

इलेक्ट्रिकल आणि इलेक्ट्रॉनिक

इंजिनिअरिंगची मूलभूत तत्त्वे

(प्रयोगशाळा नियमपुस्तिकेसह)

लेखक:

सुसान एस मॅथ्यू
साजी टी चाको

अनुवादक:

डॉ. शितल एन. जाधव
मालू एस. दंडी

पुनरावलोकनकर्ता:

प्रा. स्नेहल एस. गायकवाड



KHANNA BOOK PUBLISHING CO. (P) LTD.

PUBLISHER OF ENGINEERING AND COMPUTER BOOKS

4C/4344, Ansari Road, Darya Ganj, New Delhi-110002

Phone: 011-23244447-48

Mobile: +91-99109 09320

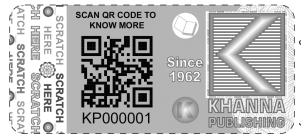
E-mail: contact@khannabooks.com

Website: www.khannabooks.com

Dear Readers,

To prevent the piracy, this book is secured with HIGH SECURITY HOLOGRAM on the front title cover. In case you don't find the hologram on the front cover title, please write us to at contact@khannabooks.com or whatsapp us at +91-99109 09320 and avail special gift voucher for yourself.

Specimen of Hologram on front Cover title:



Moreover, there is a SPECIAL DISCOUNT COUPON for you with EVERY HOLOGRAM.

How to avail this SPECIAL DISCOUNT:

Step 1: Scratch the hologram

Step 2: Under the scratch area, your “coupon code” is available

Step 3: Logon to www.khannabooks.com

Step 4: Use your “coupon code” in the shopping cart and get your copy at a special discount

Step 5: Enjoy your reading!

ISBN: 978-93-5538-044-9

Book Code: DIP172MA

Fundamentals of Electrical and Electronics Engineering

by Susan S. Mathew, Saji T. Chacko

[Marathi Edition]

Published by:

Khanna Book Publishing Co. (P) Ltd.

Visit us at: www.khannabooks.com

Write us at: contact@khannabooks.com

CIN: U22110DL1998PTC095547

To view complete list of books,
Please scan the QR Code:



KPH

Printed in India.

Copyright © Reserved

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise without prior permission of the publisher.

This book is sold subject to the condition that it shall not, by way of trade, be lent, re-sold, hired out or otherwise disposed of without the publisher's consent, in any form of binding or cover other than that in which it is published.

Disclaimer: The website links provided by the author in this book are placed for informational, educational & reference purpose only. The Publisher do not endorse these website links or the views of the speaker/ content of the said weblinks. In case of any dispute, all legal matters to be settled under Delhi Jurisdiction only.



प्रो. अनिल डी. सहस्रबुद्धे
अध्यक्ष
Prof. Anil D. Sahasrabudhe
Chairman



सत्यमेव जयते

अखिल भारतीय तकनीकी शिक्षा परिषद्

(भारत सरकार का एक सांविधिक निकाय)

(शिक्षा मंत्रालय, भारत सरकार)

नेल्सन मंडेला मार्ग, वसंत कुंज, नई दिल्ली-110070

दूरभाष : 011-26131498

ई-मेल : chairman@aicte-india.org

ALL INDIA COUNCIL FOR TECHNICAL EDUCATION

(A STATUTORY BODY OF THE GOVT. OF INDIA)

(Ministry of Education, Govt. of India)

Nelson Mandela Marg, Vasant Kunj, New Delhi-110070

Phone : 011-26131498

E-mail : chairman@aicte-india.org

प्रास्ताविक

शतकानुशतके भारतीय समाजाच्या प्रगती आणि विस्तारामध्ये अभियांत्रिकीने अत्यंत महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावली आहे. भारतीय उपखंडात उगम पावलेल्या अभियांत्रिकी संकल्पनांचा जगावर प्रभाव पडला आहे.

ऑल इंडिया कौन्सिल फॉर टेक्निकल एज्युकेशन (एआयसीटीई) 1987 मध्ये स्थापनेपासून तंत्रशास्त्राच्या विद्यार्थ्यांना शक्य त्या सर्व प्रकारे मदत करण्यात नेहमीच आघाडीवर असते. एआयसीटीईचे ध्येय तांत्रिक शिक्षणाला प्रोत्साहन देणे आणि त्याद्वारे उद्योगाला अधिक उंचीवर नेणे आणि शेवटी आपल्या प्रिय मातृभूमी भारताला आधुनिक विकसित राष्ट्र बनण्याचे आहे. येथे हे नमूद करणे योग्य ठरेल की अभियंते आधुनिक समाजाचा कणा आहेत – चांगले अभियंते, म्हणजे चांगले उद्योग आणि चांगले उद्योग म्हणजे चांगला देश.

NEP 2020 मध्ये प्रादेशिक भाषांमध्ये सर्वांना शिक्षणाची कल्पना मांडण्यात आली आहे, ज्यामुळे प्रत्येक विद्यार्थी पुरेसा सक्षम होईल आणि राष्ट्रीय विकासासाठी योगदान देण्याच्या स्थितीत येईल याची खाली होईल.

एआयसीटीई गेल्या काही वर्षांपासून अविरतपणे काम करत असलेल्या क्षेत्रांपैकी एक म्हणजे सर्व अभियांत्रिकी विद्यार्थ्यांना विविध प्रादेशिक भाषांमध्ये तयार केलेल्या आंतरराष्ट्रीय दर्जाची पुस्तके माफक किमतीमध्ये उपलब्ध करून देणे. ही पुस्तके सोप्या भाषेत, वास्तविक जीवनातील उदाहरणे, समृद्ध सामग्री आणि बदलत्या जगाच्या उद्योगाच्या गरजा लक्षात घेऊनच तयार केलेली आहेत. ही पुस्तके अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञानासाठी एआयसीटीई मॉडेल अभ्यासक्रम – 2018 नुसार आहेत.

संपूर्ण भारतातील प्रख्यात, उत्तम ज्ञान आणि अनुभव संपन्न प्राध्यापकांनी शैक्षणिक क्षेत्राच्या सोईसाठी ही पुस्तके लिहिली आहेत. एआयसीटीईला विश्वास आहे की ही पुस्तके त्यांच्या समृद्ध सामग्रीसह तांत्रिक विद्यार्थ्यांना अधिक सहजतेने आणि गुणवत्तेसह विषयांवर प्रभुत्व मिळविण्यात मदत करतील.

या अभियांत्रिकी विषयांना अधिक सुबक बनविण्याच्या प्रयत्नांसाठी एआयसीटीई मूळ लेखक, समन्वयक आणि अनुवादकांच्या मेहनतीचे कौतुक करते.

(Anil D. Sahasrabudhe)

ऋणनिर्देश

डिप्लोमा विद्यार्थ्यांसाठी तांत्रिक पुस्तक प्रकाशित करण्यासाठी लेखक AICTE चे सूक्ष्म नियोजन आणि अंमलबजावणीसाठी आभारी आहेत. पुस्तकाच्या समीक्षक प्रा. अकोले किशोर प्रल्हाद यांनी पुस्तकाला विद्यार्थ्यांसाठी अनुकूल बनवण्यामध्ये आणि कलात्मक पद्धतीने अधिक चांगला आकार देण्यासाठी दिलेल्या अमूल्य योगदानाची आम्ही मनापासून प्रशंसा करतो.

हे पुस्तक AICTE मॉडले अभ्यासक्रमाशी आणि राष्ट्रीय शैक्षणिक धोरण (NEP)-2020 च्या मार्गदर्शक तत्वांनुसार संरेखित आहे हे देखील आम्ही मोठ्या सन्मानाने सांगतो. प्रादेशिक भाषांमधील शिक्षणाला चालना देण्यासाठी, या पुस्तकाचे अनुसूचित भारतीय प्रादेशिक भाषांमध्ये भाषांतर केले जात आहे.

मराठी भाषेतील अनुवादात योगदान दिल्याबद्दल डॉ. नरेंद्र एस. जाधव आणि मालू एस. दांडी आणि समीक्षा के ल्याबद्दल प्रा. सैहल एस. गायकवाड यांचे ही आम्ही आभार मानू इच्छितो.

श्री. बुद्धा चंद्रशेखर, CCO NEAT AICTE ज्यांचे AI आधारित अनुवादक साधन भाषांतराच्या उद्देशाने वापरले गेले यांना आम्ही विनम्र अभिवादन करू इच्छितो.

श्वेटी, आम्ही प्रकाशन गृह, M/s चे मनापासून आभार व्यक्त करू इच्छितो. खन्ना बुक पब्लिशिंग कंपनी प्रायव्हेट लिमिटेड, नवी दिल्ली, ज्याची संपूर्ण टीम प्रकाशनाच्या सर्व पैलूंवर सहकार्य करण्यास सदैव तत्पर होती जेणेकरून हा एक अद्भुत अनुभव असेल.

– सुसान एस. मॅथ्यू,
साजी टी चाको

प्रस्तावना

“इलेक्ट्रिकल आणि इलेक्ट्रॉनिक्स इंजिनीअरिंगची मूलभूत तत्त्वे” हे पुस्तक आमच्या मूलभूत इलेक्ट्रिकल आणि इलेक्ट्रॉनिक्स अभियांत्रिकी अभ्यासक्रमांच्या शिकवण्याच्या समृद्ध अनुभवाचा परिणाम आहे. हे पुस्तक लिहिण्याची सुरुवात पॉलिटेक्निकच्या विद्यार्थ्यांना, इलेक्ट्रिकल आणि इलेक्ट्रॉनिक्स अभियांत्रिकीच्या मूलभूत गोष्टींना समोर आणणे तसेच त्यांना अभ्यासक्रमाची अंतर्दृष्टी मिळवणे आणि संबंधित प्रात्यक्षिक परिणाम विकसित करणे सक्षम करणे आहे. विस्तृत कव्हेरेज आणि आवश्यक पूरक माहिती प्रदान करण्याच्या हेतू लक्षात घेऊन, आम्ही AICTE ने शिफारस केलेले विषय अत्यंत व्यवस्थित पद्धतीने पुस्तकात समाविष्ट केले आहेत. अभ्यासक्रमाच्या मूलभूत संकल्पना सोप्या मार्गाने समजावून सांगण्याचा प्रयत्न करण्यात आला आहे.

हस्तलिखित तयार करण्याच्या प्रक्रियेदरम्यान, आम्ही विविध प्रमाणित पाठ्यपुस्तकांचा विचार केला आहे आणि त्यानुसार आम्ही गंभीर प्रश्न, निराकरण आणि पूरक उदाहरणे इत्यादी विभाग विकसित केले आहेत. मूलभूत संकल्पना, कायदे आणि काम करण्याच्या तत्त्वांचे स्पष्टीकरण. पुस्तकात विविध स्तरावरील उदाहरणे तसेच उपक्रम समाविष्ट आहेत आणि या अतिशय तर्कशुद्ध आणि पद्धतशीर पद्धतीने मांडण्यात आल्या आहेत. विविध प्रकारच्या विद्यार्थ्यांना शिकवताना त्या समस्यांचे श्रेणीकरण अनेक वर्षांपासून तपासले गेले आहे.

आवश्यकतेनुसार उदाहरणे आणि उदाहरणे वगळता, संबंधित विषयांच्या योग्य आकलनासाठी आम्ही प्रत्येक युनिटमध्ये असंख्य निराकरण केलेल्या समस्यांसह पुस्तक समृद्ध केले आहे. हे लक्षात घेणे महत्वाचे आहे की पुस्तकात, आम्ही संबंधित युनिटमध्ये संबंधित प्रयोगशाळा प्रात्यक्षिक समाविष्ट केली आहे. “अधिक जाणून घ्या” विभागात मुख्यतः सूक्ष्म प्रकल्प, अतिरिक्त क्रियाकलाप, व्हिडिओ आणि आयसीटी दुवे समाविष्ट आहेत जे शिकण्याच्या सर्व क्षेत्रांमध्ये परिणाम विकसित करण्यासाठी हे समाविष्ट केले गेले आहे जेणेकरून या भागाद्वारे प्रदान केलेली पूरक माहिती, वापरकर्त्यासाठी फायदेशीर ठरेल. पुस्तक हे लक्षात घेणे महत्वाचे आहे की विविध स्तरांच्या विषयांवर अधिक माहिती मिळवण्यासाठी, व्हिडिओ आणि वेबसाइट्सचा QR कोड प्रदान केला गेला आहे जो स्कॅन केला जाऊ शकतो आणि संबंधित सहाय्यक ज्ञानासाठी तसेच “अधिक जाणून घ्या” विभागात पाहता येतो. याव्यतिरिक्त, आम्ही परिशिष्ट विभागात काही आवश्यक मूलभूत माहिती स्पष्ट केली आहे.

जोपर्यंत सध्याच्या पुस्तकाचा संबंध आहे, “इलेक्ट्रिकल आणि इलेक्ट्रॉनिक्स अभियांत्रिकीची मूलभूत तत्त्वे” म्हणजे विद्यार्थ्यांना आव्हाने हाताळण्यासाठी ज्ञान लागू करण्यासाठी आणि विद्यार्थी आणि डिप्लोमा धारकांना पुढे येणाऱ्या संबंधित प्रश्न सोडवण्यासाठी तयार करणे. अभ्यासक्रमाची सामग्री प्रयोगशाळा प्रॅक्टिकलसह रचनात्मक पद्धतीने सादर केली जाते जेणेकरून अभियांत्रिकी डिप्लोमा विद्यार्थ्यांना विविध क्षेत्रांमध्ये काम करण्यासाठी तयार करेल.

आम्हाला मनापासून आशा आहे की हे पुस्तक विद्यार्थ्यांना संकल्पना समजून घेण्यासाठी प्रेरणा देईल आणि अभ्यासक्रमाच्या भक्कम पायाच्या विकासासाठी नक्कीच योगदान देईल. जरी या पाठ्यपुस्तकातील चुका आणि चुकीचे ठसे तपासण्यासाठी सर्व काळजी घेण्यात आली आहे, तरीही परिपूर्णतेचा दावा करणे अशक्य आहे विशेषतः कारण ही पहिली आवृत्ती आहे. अशा कोणत्याही त्रुटी, चुका, वगळणे, सुधारणेसाठी सूचना अत्यंत स्वागतार्ह आहेत आणि आमच्या निदर्शनास आणल्या जाऊ शकतात, जे पुस्तकाच्या भविष्यातील आवृत्त्या सुधारण्यास हातभार लावतील.

या पुस्तकाच्या रूपात परिणत होणाऱ्या विविध पैलूंवर काम करणे खरोखरच एक मोठा आनंद होता आणि आम्हाला आशा आहे की इलेक्ट्रिकल आणि इलेक्ट्रॉनिक्स अभियांत्रिकीच्या विशाल आणि मनोरंजक क्षेत्राच्या मूलभूत संकल्पना समजून घेणे उपयुक्त ठरेल आणि उपयुक्त शिक्षण मदत होईल अपेक्षित शिक्षण परिणाम विकसित करण्यासाठी.

– सुसान एस. मॅथ्यू,

साजी टी चाको

फलित आधारित शिक्षण

परिणाम आधारित शिक्षण परिणाम आधारित अभ्यासक्रम, परिणाम आधारित शिक्षण-शिक्षण प्रक्रिया आणि लक्षित शिक्षण परिणाम साध्य करण्यासाठी परिणाम आधारित मूल्यांकन यांचा समावेश आहे. राष्ट्रीय मान्यता मंडळानुसार, अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञानातील डिप्लोमा कार्यक्रम पूर्ण झाल्यानंतर पदवीधर सक्षम असेल:

PO-1: मूलभूत आणि शिस्तबद्ध विशिष्ट ज्ञान: अभियांत्रिकी समस्यांचे निराकरण करण्यासाठी मूलभूत गणित, विज्ञान आणि अभियांत्रिकी मूलभूत आणि अभियांत्रिकी विशेषज्ञतेचे ज्ञान लागू करा.

PO-2: समस्येचे विश्लेषण: कोडिफाईड स्टॅंडर्ड पद्धती वापरून चांगल्या प्रकारे परिभाषित अभियांत्रिकी उदाहरणे ओळखा आणि विश्लेषण करा.

PO-3: सोल्यूशन्सची रचना/ विकास: चांगल्या प्रकारे परिभाषित तांत्रिक समस्यांसाठी डिझाइन सोल्यूशन्स आणि निर्दिष्ट गरजा पूर्ण करण्यासाठी सिस्टीम घटक किंवा प्रक्रियांच्या डिझाईनमध्ये मदत.

PO-4: अभियांत्रिकी साधने, प्रयोग आणि चाचणी: प्रमाणित चाचण्या आणि मोजमाप करण्यासाठी आधुनिक अभियांत्रिकी साधने आणि योग्य तंत्र वापरा.

PO-5: समाज, शाश्वतता आणि पर्यावरणासाठी अभियांत्रिकी पद्धती: समाज, स्थिरता, पर्यावरण आणि नैतिक पद्धती संदर्भात योग्य तंत्रज्ञान लागू करा.

PO-6: प्रकल्प व्यवस्थापन: अभियांत्रिकी व्यवस्थापन तत्त्वे वैयक्तिकरित्या वापरा, एक टीम सदस्य किंवा एक नेता म्हणून प्रकल्प व्यवस्थापित करा आणि प्रभावीपणे अभियांत्रिकी क्रियाकलापांबद्दल संवाद साधा.

PO-7: आयुष्यभर शिकणे: वैयक्तिक गरजांचे विश्लेषण करण्याची आणि तांत्रिक बदलांच्या संदर्भात अद्ययावत करण्यात गुंतण्याची क्षमता.

अभ्यासक्रमाचे परिणाम

अभ्यासक्रम पूर्ण झाल्यानंतर विद्यार्थी हे करू शकतील:

CO-1: दिलेल्या अभियांत्रिकी अर्जासाठी विद्युत/इलेक्ट्रॉनिक घटक सुचवा.

CO-2: चाचणी मूलभूत ऑनॅलॉग सर्किटमध्ये Op-Amp असतात.

CO-3: डिजिटल सर्किट्सच्या कार्याचा अर्थ लावा.

CO-4: अभियांत्रिकी अनुप्रयोगांमध्ये इलेक्ट्रिक आणि चुंबकीय सर्किटची तत्त्वे वापरा.

CO-5: एसी सर्किट्सच्या कार्याचा अर्थ लावा.

CO-6: विशिष्ट आवश्यकतांसाठी ट्रान्सफॉर्मर आणि इलेक्ट्रिक मोटर्स सुरक्षितपणे चालवा.

कोर्स आउट- कॉम्स	कार्यक्रमाच्या परिणामांसह अपेक्षित मॅपिंग (1- कमकुवत सहसंबंध; 2- मध्यम सहसंबंध; 3- मजबूत सहसंबंध)						
	PO-1	PO-2	PO-3	PO-4	PO-5	PO-6	PO-7
CO-1	3	2	2	3	1	1	1
CO-2	3	1	1	2	1	1	1
CO-3	3	1	1	-	1	1	1
CO-4	3	2	1	1	1	1	1
CO-5	3	2	1	2	1	1	1
CO-6	3	2	1	2	1	1	1

संक्षिप्तरूपे आणि चिन्हे

संक्षेपांची यादी

संक्षेप	फुल फॉर्म	संक्षेप	फुल फॉर्म
A_{cm}	Common mode gain	JFET	Junction Field Effect transistor
A_d	Differential mode gain	KCL	Kirchhoff's Current Law
AC	Alternating Current	KVL	Kirchhoff's Voltage Law
B	Magnetic flux density	LED	Light Emitting Diode
BJT	Bipolar Junction Transistor	LSB	Least Significant Bit
BW	Band Width	LV	Low Voltage
C	Coulomb	M	Mutual Inductance
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor	MOSFET	Metal Oxide Field Effect Transistor
CB	Common Base	MSB	Most Significant Bit
CC	Common Collector	OL	Open loop
CE	Common Emitter	OP-Amp	Operational Amplifier
CL	Closed loop	P	Power
CMRR	Common Mode Rejection Ratio	PIV	Peak Inverse Voltage
CO	Course Outcome	PO	Program Outcome
DC/ D.C./ dc	Direct Current	PSRR	Power Supply Rejection Ratio
AC/ A.C./ ac	Alternating Current	PVC	Poly Vinyl Chloride
emf	Electro motive force	Q	Quality factor
FB	Forward Biased	R, L, C	Resistor, Inductor, Capacitor
FF	Flip Flop	R_F	DC or static resistance
G	Conductance	RMS	Root Mean Square Value
Ge	Germanium	S, R	Set, Reset
H	Magnetic field intensity	Si	Silicon
HV	High Voltage	T	Time period

संक्षेप	फुल फॉर्म	संक्षेप	फुल फॉर्म
Hz	Hertz	t	Time
I	Current	TTL	Transistor Transistor Logic
i	Instantaneous value of current	UO	Unit Outcome
I_B	Base current	V	Voltage
IC	Integrated Circuit	VA	Volt Ampere
I_C	Collector current	VAR	Reactive Power
I_E	Emitter current	W	Watt
I_f	Forward current	Wb	Weber
IM	Induction motor	Y	Admittance
J	Current density	Z	Impedance

प्रतीकांची यादी

प्रतीक	वर्णन	प्रतीक	वर्णन
Ω	SI युनिट ऑफ रेझिस्टन्स, ओहम	α_{dc}	ट्रान्झिस्टरच्या सीबी कॉन्फिगरेशनमध्ये करंट गेन
μ_o	पूर्ण पारगम्यता (Absolute permeability)	β_{dc}	ट्रान्झिस्टरच्या सीई कॉन्फिगरेशनमध्ये करंट गेन
μ_r	सापेक्ष पारगम्यता (Relative permeability)	μ	सामग्रीची पारगम्यता (Permeability)
C_f	फीडबॅक कॅपेसिटर	A	तापमान रेझिस्टन्स गुणांक (coefficient)
R_C	चुंबकीय कोरची अनिच्छा (Reluctance)	Θ	फेज अँगल
R_{ag}	हवा अंतर अनिच्छा (Air gap reluctance)	Λ	फ्लक्स लिंकेज
R_f	फीडबॅक रेझिस्टर	P	विशिष्ट रेझिस्टन्स किंवा प्रतिरोधकता (resistivity)
f	रेझोनॅन्ट फ्रीक्वेंसी	Σ	विशिष्ट चालकता (conductance) किंवा चालकता (conductivity)
K	ट्रान्सफॉर्मर वळण्याचे प्रमाण	Φ	परस्पर प्रवाह (Mutual flux)
\emptyset	डीसी मोटर फ्लक्स	Ω	कोनीय गती (Angular velocity)

आकृत्यांची यादी

युनिट-1: इलेक्ट्रॉनिक घटक आणि सिग्नलचे विहंगावलोकन

आकृती 1.1: मूलभूत सर्किट	3
आकृती 1.2: रेझिस्टर (Resistor) चे प्रतीक	5
आकृती 1.3: रेझिस्टरचे रंग कोडिंग	5
आकृती 1.4: रेझिस्टर (Resistor) चे वर्गीकरण	5
आकृती 1.5: इंडक्टर्सचे भाग	7
आकृती 1.6: इंडक्टर्सचे प्रतीक	7
आकृती 1.7: कॅपेसिटरचे प्रतीक	8
आकृती 1.8: सीरीज सर्किट	9
आकृती 1.9: पॅरलेल सर्किट	9
आकृती 1.10: P N जंक्शन	13
आकृती 1.11: P-N जंक्शन डायोडचे प्रतीक	13
आकृती 1.12: डायोड- फॉरवर्ड बायस	13
आकृती 1.13: डायोड-रिव्हर्स बायस	14
आकृती 1.14: डायोड व्ही आयची वैशिष्ट्ये	14
आकृती 1.15: NPN बीजेटीचीरचना	17
आकृती 1.16: बीजेटीचे योजनाबद्ध चिन्ह	17
आकृती 1.17: जेएफईटी चिन्ह	20
आकृती 1.18: न्यूनता (Depletion) MOSFET प्रकार	22
आकृती 1.19: वर्धित (Enhancement) MOSFET प्रकार	22
आकृती 1.20: CMOS डिव्हाइस	22
आकृती 1.21: कंटीन्यूअस टाईम सिग्नल	24
आकृती 1.22: डिस्क्रिट टाईम सिग्नल	24
आकृती 1.23: निर्धारक सिग्नल	25
आकृती 1.24: नॉन (Non)-निर्धारक सिग्नल	25
आकृती 1.25: अल्टरनेटिंग करंट (एसी) सिग्नल	26
आकृती 1.26: डायरेक्ट करंट (डीसी) सिग्नल	26
आकृती 1.27: AC व्होल्टेज साइन वेव्ह	27

आकृती 1.28: व्होल्टेज स्त्रोताचे सर्किट प्रतिनिधित्व	28
आकृती 1.29: V-I वैशिष्ट्यपूर्ण व्होल्टेज स्त्रोत	28
आकृती 1.30: सर्किट करंट स्त्रोताचे प्रतिनिधित्व	29
आकृती 1.31: करंट स्त्रोताचे V-I वैशिष्ट्य	29
आकृती 1.32: सर्किट व्होल्टेज स्त्रोताचे प्रतिनिधित्व	29
आकृती 1.33: व्होल्टेज स्त्रोताचे V-I वैशिष्ट्य	29
आकृती 1.34: करंट स्त्रोताचे सर्किट प्रतिनिधित्व	30
आकृती 1.35: करंट स्त्रोताचे V-I वैशिष्ट्य	30
आकृती 1.36: अवलंबित (Dependent) व्होल्टेज स्त्रोताचे प्रतीक	30
आकृती 1.37: अवलंबित (Dependent) करंट स्त्रोताचे प्रतीक	30
युनिट-2: अॅनालॉग सर्किट्सचे विहंगावलोकन	
आकृती 2.1: ऑप-अॅम्पचे चिन्ह (Symbol)	85
आकृती 2.2: IC741(μA 741) चे पिनआउट आकृती	85
आकृती 2.3: 741 ऑप-अॅम्पचे (Op Amp) विविध IC पॅकेजेस	86
आकृती 2.4: इनपुट बायस करंट I_{B1} आणि I_{B2} ; आणि ऑफसेट व्होल्टेज V_{io}	86
आकृती 2.5: आदर्श ऑप-अॅम्प	88
आकृती 2.6: Op Amp क्लोज-लूप कॉन्फिगरेशन	90
आकृती 2.7: फीडबॅकसह ऑप अॅम्पची ब्लॉकची आकृती	91
आकृती 2.8: इनव्हर्टिंग अॅम्प्लीफायर	92
आकृती 2.9: इनव्हर्टिंग मोड मध्ये ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर	92
आकृती 2.10: नॉन-इन्व्हर्टिंग अॅम्प्लीफायर	94
आकृती 2.11: अॅडर म्हणून ऑप-अॅम्प	97
आकृती 2.12: ऑप-अॅम्प डिफरन्शिएटर (विभेदक) सर्किट	98
आकृती 2.13: अनुक्रमे चौरस आणि साइन वेव्ह (square & sine wave) वापरून आदर्श आउटपुट वेव्हफॉर्म	98
आकृती 2.14: ऑप-अॅम्प इंटिग्रेटर सर्किट	99
आकृती 2.15: अनुक्रमे स्क्वेअर आणि साइन वेव्ह वापरून आदर्श (Ideal) आउटपुट वेव्हफॉर्म	100
युनिट-3: डिजिटल इलेक्ट्रॉनिक्सचे विहंगावलोकन	
आकृती 3.1: लॉजिक सिग्नल	116
आकृती 3.2: AND गेट	116
आकृती 3.3: OR गेट	117
आकृती 3.4: NOT गेट	117

आकृती 3.5: NOR and NAND gate	118
आकृती 3.6: NAND गेट्स वापरून S-R लॅच	120
आकृती 3.7: क्लॉक S-R फ्लिप-फ्लॉप	120
आकृती 3.8: D फ्लिप फ्लॉप	121
आकृती 3.9: J-K फ्लिप-फ्लॉप	121
आकृती 3.10: T-फ्लिप-फ्लॉप	121
आकृती 3.11: स्टेट आकृती	122
आकृती 3.12: 2-बिट अप असिंक्रोनस काउंटर	122
आकृती 3.13: 2-बिट असिंक्रोनस डाउन काउंटर	122
आकृती 3.14: 4 बिट दशक (Decade) काउंटर	123
आकृती 3.15: दोन इनपुट टीटीएल लॉजिक NAND गेट	125
युनिट-4: इलेक्ट्रिक आणि मॅग्नेटिक सर्किट्स	
आकृती 4.1: (a) व्होल्टेज फरकाचे प्रतिनिधित्व; (b) व्होल्टेज फरकाचे वैकल्पिक (पर्यायी) प्रतिनिधित्व	134
आकृती 4.2: (a) उधळलेल्या (dissipated) पॉवरचे पॅसिव्ह साइन कन्व्हेन्शन; (b) निर्मित पॉवरचे पॅसिव्ह साइन कन्व्हेन्शन	135
आकृती 4.3: नोडची व्याख्या	135
आकृती 4.4: मेष (Mesh)	135
आकृती 4.5: KCL चे स्पष्टीकरण	136
आकृती 4.6: संदर्भ नोडचे (reference node) स्पष्टीकरण	137
आकृती 4.7: करंटच्या आसपासच्या फ्लक्सलाईन्स	137
आकृती 4.8: विविध प्रकारच्या मॅग्नेटिक मटेरियलचा B-H वक्र (कर्ब)	138
आकृती 4.9: फ्लक्स	139
आकृती 4.10: एक्सायटिंग कोइलसह फेरोमॅग्नेटिक मटेरियलची रिंग	139
आकृती 4.11: सेल्फ-इंडक्टन्स	141
आकृती 4.12: म्युच्युअल इंडक्टन्स	142
आकृती 4.13: (a) हवेच्या अंतरासह मॅग्नेटिक कोर; (b) मॅग्नेटिक सर्किटची इलेक्ट्रिक सर्किटशी समानता	144
आकृती 4.14: (a) तीन अंगांसह मॅग्नेटिक रचना; (b) मॅग्नेटिक सर्किटची इलेक्ट्रिक समानता	145
युनिट-5: एसी सर्किट्स	
आकृती 5.1: चुंबकीय क्षेत्रात फिरत असलेल्या कॉइलमध्ये EMF निर्माण होतो	155
आकृती 5.2: साइनसॉइडल वेव्हफॉर्म	155
आकृती 5.3: पर्यायी व्होल्टेज आणि वर्तमान	158
आकृती 5.4: एसी प्रणाली आणि डीसी प्रणाली	158

आकृती 5.5: श्री-फेज साइन वेव्ह	159
आकृती 5.6: फेज अँगलसह साइन वेव्ह	159
आकृती 5.7: कंडली फिरवण्याचा टप्पा	159
आकृती 5.8: फेज फरक	160
आकृती 5.9: एसी स्त्रोतासह शुद्ध प्रतिरोधक प्रवाह	161
आकृती 5.10: एसी व्होल्टेज इनपुटला शुद्ध प्रतिरोधक सर्किटचा प्रतिसाद	162
आकृती 5.11: रेझिस्टिव्ह सर्किटचे फेजर आकृती	162
आकृती 5.12: एसी इनपुटसह शुद्ध प्रेरक सर्किट	162
आकृती 5.13: एसी व्होल्टेज इनपुटला शुद्ध प्रेरक सर्किटचा प्रतिसाद	163
आकृती 5.14: शुद्ध आगमनात्मक सर्किटचे फेजर आकृती	163
आकृती 5.15: एसी इनपुटसह शुद्ध कॅपेसिटिव्ह सर्किट	163
आकृती 5.16: एसी व्होल्टेज इनपुटला शुद्ध कॅपेसिटिव्ह सर्किटचा प्रतिसाद	164
आकृती 5.17: फेजर आकृती एक शुद्ध कॅपेसिटिव्ह सर्किट	164
आकृती 5.18: आर-एल सीरीज सर्किट	165
आकृती 5.19: एसी व्होल्टेज इनपुटला आर-एल सीरीज सर्किटचा प्रतिसाद	165
आकृती 5.20: आर-सी मालिका सर्किट	167
आकृती 5.21: एसी व्होल्टेज इनपुटला आर-सी मालिका सर्किटचा प्रतिसाद	167
आकृती 5.22: R-L-C मालिका सर्किट	167
आकृती 5.23: प्रतिबाधा त्रिकोण	168
आकृती 5.24: R-L-C समांतर सर्किट	168
आकृती 5.25: समांतर आरएलसी सर्किटचे फेजर आकृती	169
आकृती 5.26: स्टार जोडणी	173
आकृती 5.27: डेल्टा जोडणी	173
आकृती 5.28: स्टार जोडनीसह व्होल्टेज आणि करंट	174
आकृती 5.29: डेल्टा जोडनीसह व्होल्टेज आणि करंट	174
आकृती 5.30: पॉवर त्रिकोण	175
युनिट-6: ट्रान्सफॉर्मर आणि मशीन्स	
आकृती 6.1: ट्रान्सफॉर्मरचे समोरचे दृश्य	189
आकृती 6.2: सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मर चे विभागीय दृश्य	189
आकृती 6.3: (a) कोर (Core) प्रकार ट्रान्सफॉर्मर (b) शेल (Shell) प्रकार ट्रान्सफॉर्मर	192
आकृती 6.4: प्राथमिक (Elementary) ट्रान्सफॉर्मर	192

आकृती 6.5: नो लोड फेजर आकृती	194
आकृती 6.6: ऑटोट्रान्सफॉर्म	195
आकृती 6.7: DC मशीनचे विभागीय/सेक्शनल दृश्य	197
आकृती 6.8: DC सीरीज (Series) मोटर	199
आकृती 6.9: DC शंट(shunt) मोटर	199
आकृती 6.10: DC सीरीज मोटरचे स्पीड-टॉर्क वैशिष्ट्ये	200
आकृती 6.11: DC शंट मोटरची स्पीड-टॉर्क वैशिष्ट्ये	200
आकृती 6.12: 3 फेज इंडक्शन मोटर (a) स्क्विरल केज (Squirrel cage); (b) वाऊंड रोटर (Wound rotor)	202
आकृती 6.13: गोल (round) रोटर मशीन मध्ये टॉर्क	203
आकृती 6.14: टॉर्क-स्पीड वैशिष्ट्ये (a) 3-फेज इंडक्शन मोटर; (b) 3-फेज सिंक्रोनस मोटर	204
आकृती 6.15: सिंगल फेज कॅपेसिटर स्लिट फेज मोटर (a) कनेक्शन आकृती (b) फेजर आकृती	205

सारण्यांची यादी

सारणी 1.1: पॅरलेल् आणि सीरीज सूत्रे	10
सारणी 1.2: डायोडचे प्रकार	15
सारणी 1.3: ट्रान्झिस्टर कॉन्फिगरेशनची तुलना	17
सारणी 1.4: ऑपरेटिंग स्टेट आणि जंक्शन बायसिंग	19
सारणी 1.5: बीजेटी आणि एफईटी दरम्यान तुलना	20
सारणी 1.6: निष्क्रिय (passive) आणि सक्रिय (active) घटकांमधील तुलना	23
सारणी 2.1: IC 741 साठी उपसर्ग (Prefix) अक्षरे आणि उत्पादकाची नावे	84
सारणी 2.2: IC 741 पिनचे कार्ये (Functions)	85
सारणी 2.3: IC 741 पॅरामीटर्स	89
सारणी 3.1: बूलियन नियम	114
सारणी 3.2: सिंक्रोनस आणि असिंक्रोनस क्रमिका (sequential) सर्किटची तुलना	119
सारणी 3.3: TTL उपपरिवारांची तुलना	126
सारणी 3.4: लोकप्रिय डिजिटल टीटीएल आयसी	126
सारणी 4.1: इलेक्ट्रिकल आणि मॅथेटिक सर्किटमधील समानता	143
सारणी 6.1: 3-फेज AC मोटरचे रोटर बांधकाम तपशील	202

शिक्षकांसाठी मार्गदर्शक तत्त्वे

आउटकम बेस्ड एज्युकेशन (OBE) लागू करण्यासाठी विद्यार्थ्यांचे ज्ञान स्तर आणि कौशल्य संच वाढवले पाहिजे. OBE च्या योग्य अंमलबजावणीसाठी शिक्षकांनी मोठी जबाबदारी स्वीकारली पाहिजे. OBE प्रणालीतील शिक्षकांसाठी काही जबाबदाऱ्या (मर्यादित नाहीत) खालीलप्रमाणे असू शकतात:

- वाजवी मर्यादेत, त्यांनी त्यांचा वेळ सर्व विद्यार्थ्यांच्या फायद्यासाठी वापरला पाहिजे.
- त्यांनी विद्यार्थ्यांच्या क्षमतेचे मूल्यांकन केवळ परिभाषित निकषावर आणि कोणत्याही पक्षपात आणि भेदभावाशिवाय केले पाहिजे.
- त्यांनी हे सुनिश्चित करण्याचा प्रयत्न केला पाहिजे की सर्व विद्यार्थ्यांना त्यांचे शिक्षण पूर्ण झाल्यानंतर पुरेसे दर्जेदार ज्ञान तसेच त्यांच्या मुख्य शिस्तीशी जुळणारी क्षमता प्राप्त होईल.
- त्यांनी विद्यार्थ्यांना त्यांची अंतिम कामगिरी क्षमता विकसित करण्यासाठी नेहमी प्रोत्साहित केले पाहिजे.
- त्यांनी नवीन दृष्टीकोन एकत्रित करण्यासाठी गट कार्य आणि सांघिक कार्य सुलभ केले पाहिजे आणि प्रोत्साहित केले पाहिजे.
- त्यांनी मूल्यांकनाच्या प्रत्येक भागात ब्लूम वर्गीकरण पाळावे.

ब्लूम वर्गीकरण

स्तर	शिक्षकांनी तपासावे	विद्यार्थी सक्षम असावा	मूल्यांकनाची संभाव्य पद्धत
निर्माण करणे	विद्यार्थी तयार करण्याची क्षमता	डिझाइन करा किंवा तयार करा	सूक्ष्म प्रकल्प
मूल्यमापन	विद्यार्थ्यांचे औचित्य सिद्ध करण्याची क्षमता	वाद घालणे किंवा बचाव करणे	असाइनमेंट
विश्लेषण करणे	विद्यार्थ्यांमध्ये फरक करण्याची क्षमता	फरक किंवा भेद करा	प्रकल्प/प्रयोगशाळा पद्धती
अर्ज करणे	विद्यार्थ्यांची माहिती वापरण्याची क्षमता	चालवा किंवा प्रात्यक्षिक करा	तात्त्विक सादरीकरण/ प्रात्यक्षिक
समजून घेणे	विद्यार्थ्यांची कल्पना स्पष्ट करण्याची क्षमता	स्पष्ट करा किंवा वर्गीकृत करा	सादरीकरण / परिसंवाद
आठवणे	विद्यार्थ्यांची आठवण करण्याची क्षमता (किंवा लक्षात ठेवणे)	व्याख्या करा किंवा आठवा	प्रश्नमंजुषा

विद्यार्थ्यांसाठी मार्गदर्शक तत्त्वे

OBE लागू करण्यासाठी विद्यार्थ्यांनी समान जबाबदारी घ्यावी. OBE प्रणालीतील विद्यार्थ्यांसाठी काही जबाबदाऱ्या (मर्यादित नाहीत) खालीलप्रमाणे आहेत:

- प्रत्येक कोर्समध्ये युनिट सुरू होण्यापूर्वी विद्यार्थ्यांना प्रत्येक UO ची चांगली माहिती असावी.
- अभ्यासक्रम सुरू होण्यापूर्वी विद्यार्थ्यांना प्रत्येक CO ची चांगली माहिती असावी.
- अभ्यासक्रम सुरू होण्यापूर्वी विद्यार्थ्यांना प्रत्येक PO ची चांगली माहिती असावी.
- विद्यार्थ्यांनी योग्य चिंतन आणि कृतीसह गंभीर आणि वाजवी विचार केला पाहिजे.
- विद्यार्थ्यांचे शिक्षण व्यावहारिक आणि वास्तविक जीवनातील परिणामांशी जोडलेले आणि समाकलित केले पाहिजे.
- विद्यार्थी OBE च्या प्रत्येक स्तरावर त्यांची क्षमता जाणून घ्या.

अनुक्रमणिका

प्रास्ताविक	iii
ऋणनिर्देश	v
प्रस्तावना	vii
फलित आधारित शिक्षण	viii
अभ्यासक्रमाचे परिणाम	ix
संक्षिप्तरूपे आणि चिन्हे	x
आकृत्यांची यादी	xii
सारण्यांची यादी	xvi
शिक्षकांसाठी मार्गदर्शक तत्त्वे	xvii
विद्यार्थ्यांसाठी मार्गदर्शक तत्त्वे	xviii
युनिट-1: इलेक्ट्रॉनिक घटक आणि सिग्नलचे विहंगावलोकन	1
युनिट वैशिष्ट्ये	1
तर्कसंग	2
पूर्व-आवश्यकता	2
युनिट परिणाम	2
1.1 निष्क्रिय (passive) घटक	3
1.1.1 परिचय	3
1.1.2 सर्किट (Circuit) घटकांचे प्रकार	3
1.1.3 रेझिस्टन्स	4
1.1.4 इंडक्टर्स	7
1.1.5 कॅपेसिटर	8
1.1.6 सीरीज (Series) आणि पॅरलेल् (Parallel) सर्किट्स	9
1.2 सक्रिय (active) घटक	11
1.2.1 परिचय	11
1.2.2 P N जंक्शन डायोड	12
1.2.3 ट्रान्झिस्टर	16
1.2.4 एफईटी	19
1.2.5 एमओएस (MOS) उपकरणे	21
1.2.6 सीएमओएस (CMOS)	22
1.2.7 निष्क्रिय (passive) आणि सक्रिय (active) घटकांमधील तुलना	23

1.3 सिग्नल आणि सक्रिय (active) स्त्रोत	24
1.3.1 परिचय	24
1.3.2 सिग्नलचे वर्गीकरण	24
1.3.3 निर्धारक आणि नॉन (Non)-निर्धारक सिग्नल	25
1.3.4 नियतकालिक आणि नॉन (Non)-नियतकालिक सिग्नल	25
1.3.5 विद्युत सिग्नल	26
1.3.6 व्होल्टेज आणि करंट स्त्रोत (source)	28
1.3.7 आयडियल (Ideal)/नॉन-आयडियल (Non-Ideal) स्त्रोत	28
1.3.8 अवलंबित (Dependent) व्होल्टेज आणि करंट स्त्रोत	30
युनिट सारांश	32
अभ्यास	33
संबंधित प्रात्यक्षिक	35
अधिक जाणून घ्या	80
संदर्भ आणि सुचवलेले वाचन	81
युनिट-2: अॅनालॉग सर्किट्सचे विहंगावलोकन	82
युनिट वैशिष्ट्ये	82
तर्कसंग	82
पूर्व-आवश्यकता	83
युनिट परिणाम	83
2.1 ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायरची मूलतत्त्वे	84
2.1.1 परिचय	84
2.1.2 ऑप अॅम्पची मूलतत्त्वे	84
2.1.3 आयडियल ऑप-अॅम्प	88
2.1.4 ऑप अॅम्प कॉन्फिगरेशन	89
2.1.5 ऑप-अॅम्पचे ऑपरेटिंग मोडस	91
2.2 ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायरचे अनुप्रयोग	96
2.2.1 अॅडर म्हणून ऑप-अॅम्प	96
2.2.2 डिफरेंशियल (विभेदक) म्हणून ऑप-अॅम्प	97
2.2.3 इंटीग्रेटर म्हणून ऑप-अॅम्प	99
युनिट सारांश	102
अभ्यास	102
संबंधित प्रात्यक्षिक	103
अधिक जाणून घ्या	107
संदर्भ आणि सुचवलेले वाचन	108

युनिट-3: डिजिटल इलेक्ट्रॉनिक्सचे विहंगावलोकन	109
युनिट वैशिष्ट्ये	109
तर्कसंग	109
पूर्व-आवश्यकता	110
युनिट परिणाम	110
3.1 बूलियन कार्य (Operation) आणि बूलियन बैजिकी (Boolean Algebra)	110
3.1.1 परिचय	110
3.1.2 संख्या सिस्टीम	111
3.1.3 संख्या रूपांतरण	112
3.1.4 बायनरी (Binary) अंकगणित (Arithmetic)	113
3.1.5 बूलियन नियम आणि प्रमेये	114
3.2 लॉजिक गेट्स	115
3.2.1 पॉझिटिव्ह (positive) आणि निगेटिव्ह (negative) लॉजिक (logic)	116
3.2.2 लॉजिक गेट्सचे प्रकार	116
3.3 फ्लिप फ्लॉप आणि काउंटर	119
3.3.1 फ्लिप-फ्लॉपचे प्रकार	119
3.3.2 काउंटर	122
3.4 डिजिटल इंटिग्रेटेड सर्किट्स	124
3.4.1 इंटिग्रेटेड सर्किटची ओळख	124
3.4.2 डिजिटल आयसी तपशील (Specification) परिभाषा (Terminology)	124
3.4.3 ट्रान्झिस्टर ट्रान्झिस्टर लॉजिक (टीटीएल)	125
3.4.4 टीटीएल उपपरिवार	126
3.4.5 डिजिटल आयसीचे अनुप्रयोग	126
युनिट सारांश	127
अभ्यास	129
अधिक जाणून घ्या	130
संदर्भ आणि सुचवलेले वाचन	131
युनिट-4: इलेक्ट्रिक आणि मॅग्नेटिक सर्किट्स	132
युनिट वैशिष्ट्ये	132
तर्कसंग	132
पूर्व-आवश्यकता	132
युनिट परिणाम	133
4.1 इलेक्ट्रीक सर्किटचे पैरामीटर्स	133
4.1.1 परिचय	133

4.1.2	सिग्नल पैरामीटर्स	134
4.1.3	इलेक्ट्रिक सर्किट परिभाषा संज्ञा	135
4.1.4	सर्किट विश्लेषण	136
4.2	मॅग्नेटिक सर्किटचे पैरामीटर्स	137
4.2.1	इलेक्ट्रिक करंटचा मॅग्नेटिक प्रभाव	137
4.2.2	मॅग्नेटिक सर्किट	139
4.3	इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शन	140
4.3.1	फॅराडेज लॉ	140
4.3.2	सेल्फ व म्युच्युअल इंडक्टन्स	141
4.4	इलेक्ट्रिकल आणि मॅग्नेटिक सर्किटमधील समानता	143
	युनिट सारांश	146
	अभ्यास	147
	संबंधित प्रात्यक्षिक	149
	अधिक जाणून घ्या	152
	संदर्भ आणि सुचवलेले वाचन	152
	युनिट-5: एसी सर्किट्स	153
	युनिट वैशिष्ट्ये	153
	तर्कसंग	153
	पूर्व-आवश्यकता	154
	युनिट परिणाम	154
5.1	अल्टरनेटिंग करंट (ए.सी.) ची मुलतत्वे	154
5.1.1	परिचय	154
5.1.2	अल्टरनेटिंग प्रमाण	155
5.1.3	अल्टरनेटिंग प्रमाणाशी संबंधित महत्वाच्या संज्ञा	156
5.1.4	फेज, फेज डिफरन्स आणि पॉवर फॅक्टर	159
5.1.5	फेजर	161
5.1.6	केवळ रेझिस्टर (Resistor), इंडक्टर (Inductor), कॅपेसिटर (Capacitor) मध्ये एसी	161
5.2	एसी सीरीज (Series) आणि पॅरलेल (Parallel) सर्किट्स	164
5.2.1	प्रस्तावना	164
5.2.2	रेझिस्टन्स-इंडक्टन्स (आरएल) सर्किट	165
5.2.3	रेझिस्टन्स-कॅपेसिटन्स (आर-सी) सर्किट	166
5.2.4	रेझिस्टन्स, इंडक्टन्स आणि कॅपेसिटन्स सर्किट (आरएलसी सर्किट)	167
5.3	एसी पॉवर आणि थ्री-फेज सर्किट	172
5.3.1	परिचय	172

5.3.2	श्री-फेज सिस्टमचे फायदे	172
5.3.3	स्टार (star) आणि डेल्टा (delta) जोडणी	173
5.3.4	व्होल्टेज (voltage) आणि करंट (current) लाईन (line) आणि फेज (phase) मुल्याकामधील संबंध	173
5.3.5	विद्युत पॉवर	174
5.3.6	पॉवर त्रिकोण	175
5.3.7	श्री-फेज जोडणीमधील पॉवर (power)	176
	युनिट सारांश	177
	अभ्यास	178
	संबंधित प्रात्यक्षिक	180
	अधिक जाणून घ्या	185
	संदर्भ आणि सुचवलेले वाचन	186
	युनिट-6: ट्रान्सफॉर्मर आणि मशीन्स	187
	युनिट वैशिष्ट्ये	187
	तर्कसंग	187
	पूर्व-आवश्यकता	187
	युनिट परिणाम	188
6.1	ट्रान्सफॉर्मर	188
6.1.1	परिचय	188
6.1.2	ट्रान्सफॉर्मरचे भाग	189
6.1.3	ट्रान्सफॉर्मर्सचे प्रकार	191
6.1.4	काम करण्याचे तत्त्व	192
6.1.5	ऑटोट्रान्सफॉर्मर	195
6.2	इलेक्ट्रिक मोटर्स	197
6.2.1	प्रस्तावना	197
6.2.2	DC मोटर	197
6.2.3	AC मोटर्स	201
6.2.4	सिंगल फेज AC मोटर्स	205
	युनिट सारांश	207
	अभ्यास	207
	संबंधित प्रात्यक्षिक	208
	अधिक जाणून घ्या	217
	संदर्भ आणि सुचवलेले वाचन	218

परिशिष्ट	219-222
परिशिष्ट-A: लॅब असेसमेंट रेकॉर्ड	219
परिशिष्ट-B: प्रयोगशाळेत काम करताना सूचना	221
परिशिष्ट-C: अभ्यास/सूक्ष्म प्रकल्प/गटातील क्रियाकलाप साठी सूचक मूल्यमापन मार्गदर्शक तत्त्वे	222
वस्तुनिष्ठ प्रश्नांची उत्तरे	223
पुढील शिक्षणासाठी संदर्भ	224
CO आणि PO अटेन्मेंट टेबल	225
अनुक्रमणिका	226

1

इलेक्ट्रॉनिक घटक आणि सिग्नलचे विहंगावलोकन

युनिट वैशिष्ट्ये

हे युनिट खालील विषयांवर चर्चा करते:

- निष्क्रिय आणि सक्रिय घटक
- रेझिस्टर, कॅपेसिटर आणि इंडक्टर्स
- डायोड आणि त्यांचे अनुप्रयोग
- द्विध्रुवीय जंक्शन ट्रान्झिस्टर आणि त्यांचे अनुप्रयोग
- फील्ड इफेक्ट ट्रान्झिस्टर, एमओएस आणि सीएमओएस आणि त्यांचे अनुप्रयोग
- सिग्नल: डीसी/एसी, व्होल्टेज/वर्तमान, नियतकालिक/नॉन-आवधिक सिग्नल
- सरासरी, आरएमएस, सिग्नलची सर्वोच्च मूल्ये
- विविध प्रकारचे सिग्नल वेव्हफॉर्म
- व्होल्टेज आणि वर्तमान स्रोत

विषयांच्या व्यावहारिक अनुप्रयोगांवर अधिक उत्सुकता निर्माण करण्यासाठी तसेच समस्या सोडवण्याची क्षमता सुधारण्यासाठी चर्चा केली जाते. ब्लूमच्या वर्गीकरणाच्या खालच्या आणि उच्च क्रमाने विविध श्रेणीतील अनेक बहुपर्यायी प्रश्न तसेच लहान आणि लांब उत्तर प्रकारांचे प्रश्न देण्याव्यतिरिक्त, सराव करण्यासाठी संख्यात्मक समस्यांची संख्या प्रदान केली जाते.

संबंधित व्यावहारिक घटक युनिट 1 च्या सामग्रीवर आधारित प्रदान केले जातात, त्यानंतर "अधिक जाणून घ्या" विभाग. या विभागात प्रामुख्याने "सूक्ष्म प्रकल्प आणि उपक्रम" समाविष्ट आहेत जे व्यावहारिक क्रियाकलापांवर प्रकाश टाकतात, काही मनोरंजक अनुप्रयोगांची उदाहरणे स्वयं-शिक्षण, सर्जनशीलता आणि शिकण्याच्या सर्व क्षेत्रांमध्ये परिणाम विकसित करण्यावर केंद्रित आहेत. हे समाविष्ट केले गेले आहे जेणेकरून या भागाद्वारे प्रदान केलेली पूरक माहिती, पुस्तक वापरकर्त्यासाठी फायदेशीर ठरेल. हे लक्षात घेणे महत्वाचे आहे की विविध स्तरांच्या विषयांवर अधिक माहिती मिळवण्यासाठी, व्हिडिओ आणि वेबसाइट्सचा QR कोड प्रदान केला गेला आहे जो स्कॅन केला जाऊ शकतो आणि संबंधित सहाय्यक ज्ञानासाठी तसेच "अधिक जाणून घ्या" विभागात पाहता येतो. सरतेशेवटी, संदर्भ आणि सुचवलेल्या वाचनांची यादी युनिटमध्ये दिलेली आहे जेणेकरून पुढील वाचन आणि अभ्यासासाठी कोणी त्यांच्यामधून जाऊ शकेल.

तर्कसंग

वायर्ड जग आणि माणूस अनेक उपक्रम करण्यासाठी विजे (Current) वर अवलंबून आहे. मोबाईल फोन आणि म्युझिक प्लेयरमधील इंटीग्रेटेड सर्किट (Circuit) मधील सूक्ष्म विषयापासून ते संगणक व टीव्ही सेटपर्यंत, घराघरांपर्यंत वीज वाहून नेणार या भव्य वस्तूंपर्यंत इलेक्ट्रिकल (Electrical) आणि इलेक्ट्रॉनिक (Electronic) सर्किटद्वारे अनुप्रयोगांची संख्या नियंत्रित केली जाते.

हा युनिट इलेक्ट्रिकल (Electrical) आणि इलेक्ट्रॉनिक्स अभियांत्रिकीच्या मूलभूत गोष्टींच्या अभ्यासाची मूलभूत थीम आहे. या युनिट मध्ये, कोणत्याही सर्किट (Circuit)चे मूलभूत घटक असलेल्या रेझिस्टर (resistors), कॅपेसिटर (capacitors), इंडक्टर्स (inductors), डायोड्स (diodes), बीजेटी (BJT), एफईटी (FET) सारख्या घटकांचे कार्य वर्णन केले आहे. सर्किट्सचे विश्लेषण, प्रक्रिया आणि प्रमाणीकरण करण्यास मदत करणारे सिग्नल (Signal) आणि सतत ऊर्जा वितरीत किंवा आत्मसात करू शकणाऱ्या सक्रिय (active) स्त्रोतांचे विहंगावलोकन या युनिट मध्ये स्पष्ट केले आहे.

पूर्व-आवश्यकता

1. विज्ञान: वर्तमान, रासायनिक पदार्थांचे प्रभाव-निसर्ग आणि वर्तणूक (दहावी)
2. उपयोजित रसायनशास्त्र: अणू संरचना, अभियांत्रिकी साहित्य (सेमेस्टर-I)
3. उपयोजित भौतिकशास्त्र-I: भौतिक जग, एके आणि मापन (सेमेस्टर-I)
4. गणित-I: त्रिकोणमिती, बीजगणित (सेमेस्टर-1)

युनिट परिणाम

हे युनिट पूर्ण झाल्यावर, विद्यार्थी सक्षम असेल:

U1-O1: इलेक्ट्रॉनिक (Electronic) आणि इलेक्ट्रिकल (Electrical) घटकांचे वर्गीकरण करा.

U1-O2: दिलेल्या उपयोजनसाठी योग्य वेगळा घटक सुचवा.

U1-O3: दिलेल्या सेमीकंडक्टर (semiconductor) यंत्रांच्या रचना आणि कार्यरत तत्त्वाचे वर्णन करा.

U1-O4: निरंतर विद्युत सिग्नलच्या पॅरामीटर्सचे स्पष्टीकरण.

U1-O5: आदर्श आणि प्रात्य सक्रिय (active) स्त्रोतांची तुलना करा.

कोर्स आऊटकोम्ससह युनिट वाईजचे एक्सपेक्ट्ड मॅपिंग:

युनिट-1 परिणाम	कोर्स आऊटकोम्ससह एक्सपेक्ट्ड मॅपिंग (1-दुर्बलसहसंबंध; 2-मध्यमसंबंध; 3-मजबूतसहसंबंध)					
	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4	CO-5	CO-6
U1-O1	3	-	-	-	-	-
U1-O2	3	-	-	-	-	-
U1-O3	3	-	-	-	-	-
U1-O4	3	-	-	-	-	-
U1-O5	3	-	-	-	-	-

जॉर्ज सायमन ओहम (1789-1854)

इटालियन शास्त्रज्ञ अलेस्सांद्रो व्होल्टा यांनी शोधलेल्या इलेक्ट्रोकेमिकल सेलसह त्याचे संशोधन सुरू केले. त्याच्या व्यावहारिक प्रयोगांनी गणिती दुवे दर्शविले आणि त्याला आढळले की कंडक्टर आणि परिणामी विद्युत प्रवाहात लागू संभाव्य फरक (व्होल्टेज) यांच्यात थेट प्रमाण आहे, जर तापमान बदलत नाही. हा संबंध ओहम लॉ म्हणून ओळखला जातो आणि आता इलेक्ट्रिकल सर्किट डिझाइनचा आधारस्तंभ आहे.

**1.1 निष्क्रिय (passive) घटक****1.1.1 परिचय**

किशोरांना तसेच मुलांना जिग सॉ पझल खेळायला आवडते. संपूर्ण चित्र विकसित करण्यासाठी वेगवेगळ्या भागांची संख्या योग्य प्रकारे कोडे सोडली पाहिजे. विकसित चित्रामध्ये प्रत्येक भागाची विशिष्ट भूमिका असते. त्याचप्रमाणे कोणत्याही विद्युतीय किंवा इलेक्ट्रॉनिक्स अनुप्रयोगासाठी, सर्किट्स किंवा सिस्टीम विकसित केल्या जातात ज्यात प्रत्येक घटक अनुप्रयोगाच्या कार्यान्वित होण्यासाठी विशिष्ट अर्थपूर्ण भूमिका असते. खरं तर, त्यामध्ये गुंतलेले वेगवेगळे भाग खरोखर न समजता सर्किट (Circuit) एकत्र करणे शक्य आहे. इलेक्ट्रॉनिक (Electronic) स्कीमॅटिकशी जुळण्यासाठी कोणी फक्त जिगसॉ कोडे सारख्या घटकांना जोडू शकतो. त्यानुसार, विद्यमान सर्किट (Circuit) डीबग करण्यासाठी किंवा एखादे डिझाइन करण्यासाठी वैयक्तिक विद्युत घटक कसे कार्य करतात आणि ते एकत्र कसे वापरायचे हे समजून घेणे आवश्यक आहे. या विषया मध्ये रेझिस्टर्स (Resistor), कॅपेसिटर्स आणि इंडक्टर्स जे कोणत्याही सर्किट (Circuit) चे मूलभूत घटक असतात असे घटक कसे वापरले जातात याचे वर्णन केले आहे.

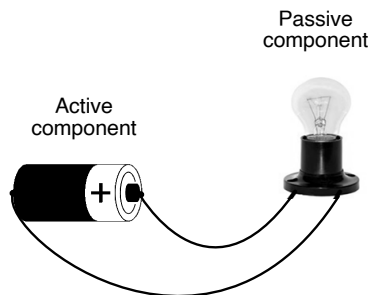
1.1.2 सर्किट (Circuit) घटकांचे प्रकार

सर्किट बनवणारे घटक म्हणून ओळखले जाणारे इलेक्ट्रॉनिक (Electronic) घटक संपूर्ण सर्किट तयार करण्यासाठी कंडक्टरद्वारे एकत्र जोडलेले असतात. ते सर्किटमधून ऊर्जा वितरित करतात किंवा शोषून घेतात यावर अवलंबून त्यांना दोन मुख्य श्रेणींमध्ये वर्गीकृत केले जाऊ शकते:

अ) निष्क्रिय (passive) घटक

ब) सक्रिय (active) घटक

एक निष्क्रिय (passive) घटक केवळ ऊर्जा प्राप्त करू शकतो, जो तो एकतर विसर्जित किंवा शोषून घेऊ शकतो. एक सक्रिय (active) घटक विद्युत सर्किट (Circuit) ला ऊर्जा पुरवतो, आणि म्हणूनच विद्युत प्रभार नियंत्रित करण्याची क्षमता असते. दोन इलेक्ट्रॉनिक (Electronic) घटकांपासून बनविलेले मूलभूत सर्किट (Circuit) चे उदाहरण, एक सेल आणि एक बल्ब आकृती 1.1 मध्ये स्पष्ट केले आहे.



आकृती 1.1: मूलभूत सर्किट

डिस्क्रीट (Discrete) घटक

ते घटक, जे डिस्क्रीट (स्वतंत्र) स्वरूपाचे असतात म्हणजेच फक्त एका सर्किट (Circuit) घटकासह, त्यांना स्वतंत्र घटक म्हणतात. हे घटक सक्रिय (active) किंवा निष्क्रिय (passive) स्वतंत्र स्वरूपामध्ये असू शकतात. ते विद्युत आणि इलेक्ट्रॉनिक (Electronic) सर्किटमध्ये मोठ्या प्रमाणात वापरले जातात. काही रेझिस्टर्स (Resistor), कॅपेसिटर्स, इंडक्टर्स, सेमीकंडक्टर डायोड, ट्रान्झिस्टर आहेत. डिस्क्रीट (स्वतंत्र) घटक हा शब्द समजायला हवा कारण त्याचा वापर भिन्न सर्किटघटकांना इंटिग्रेटेड सर्किट (आयसी) पासून वेगळे करण्यासाठी केला जातो.



निष्क्रिय (Passive) घटकाची व्याख्या

एक निष्क्रिय (passive) घटक इलेक्ट्रॉनिक (Electronic) घटक असतो जेव्हा एखाद्या सर्किट (Circuit) मध्ये जोडलेला असतो तेव्हाच ऊर्जा प्राप्त होते, जी विद्युत क्षेत्रातील किंवा चुंबकीय क्षेत्रात ते विलीन, शोषून किंवा ठेवू शकते. निष्क्रिय (passive) घटकांना चालवण्यासाठी कोणत्याही प्रकारच्या विद्युत शक्तीची आवश्यकता नसते. 'निष्क्रिय (passive)' नावाप्रमाणेच - निष्क्रिय (passive) उपकरणे वाढवणे (gain) किंवा प्रवर्धन (amplification) देत नाहीत. निष्क्रिय (passive) घटकांच्या सामान्य उदाहरणांमध्ये रेझिस्टर्स (Resistor), इंडक्टर्स, कॅपेसिटर्स समाविष्ट आहेत.

1.1.3 रेझिस्टन्स

हे विद्युतीय सर्किटमधील विद्यमान करंट (current) चा विरोध होय. हे त्या पदार्थाची मालमत्ता म्हणून वर्णन केले आहे ज्यामुळे ते त्याद्वारे करंट (current) च्या प्रवाहास विरोध करते. सर्व सामग्रीसाठी रेझिस्टन्स (Resistance) समान नाही. तांबे, अॅल्युमिनियम इ. सारखे कंडक्टर (conductor) लहान रेझिस्टन्स (Resistance) देतात तर बेकलाईट, ग्लास, रबर, मीका, कोरडे लाकूड, पी.वी.सी. (पॉलीविनायल क्लोराईड) इत्यादी सारख्या इन्सुलेट सामग्री उच्च रेझिस्टन्स (Resistance) देतात.

सामग्रीद्वारे प्रदान केलेला रेझिस्टन्स (Resistance) जितका जास्त असेल तितका सामग्रीचा इलेक्ट्रॉनप्रवाह किंवा करंट (current) कमी होईल. रेझिस्टन्स (Resistance) गुणधर्म कॉम्प्युटर मदर बोर्ड, टेलिव्हिजन आणि भव्य दिवे अशा विविध प्रकारच्या अनुप्रयोग आणि उपकरणेमध्ये वापरला जातो. रेझिस्टन्स (Resistance) चे एसआय युनिट ओहम आहे, ग्रीक अक्षर ओमेगा 'Ω' चे प्रतीक आहे आणि आर (R) अक्षराद्वारे देखील प्रतिनिधित्व केले जाते. जेव्हा एक एखाद्या व्होल्टेजच्या व्होल्टेजसह सामग्रीमध्ये एक एम्पीयरचा करंट (current) जातो तेव्हा सामग्रीचा रेझिस्टन्स (Resistance) एक ओहम असतो. करंट (current) टर्मिनल मधील व्होल्टेज च्या प्रमाणात असते. हे प्रमाण ओहमसने दर्शविले जाते:

$$R = \frac{V}{I} \quad \dots(1.1)$$

कंडक्टरने दिलेला रेझिस्टन्स (Resistance) 'R' खालील चार घटकांवर अवलंबून असतो:

- ते लांबी 'एल (l)' नुसार बदलते
- ते कंडक्टरच्या क्रॉस-सेक्शन एरिया 'ए (A)' हिच्या विरुद्ध असते
- ते साहित्याच्या स्वरूपावर अवलंबून असते.
- हे कंडक्टरच्या तापमानावर देखील अवलंबून असते.

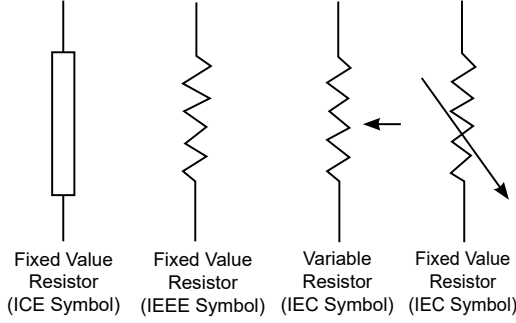
सध्या शेवटच्या घटकाकडे दुर्लक्ष करूया,

$$R \propto \frac{l}{A} \text{ or } R = \frac{\rho l}{A} \quad \dots(1.2)$$

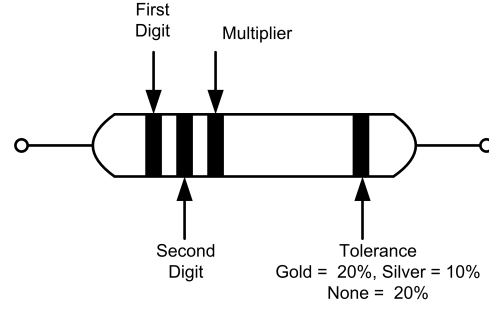
जिथे ρ सामग्रीच्या स्वरूपावर अवलंबून स्थिर आहे आणि त्यास त्याचे विशिष्ट रेझिस्टन्स (Resistance) किंवा रेझिस्टिविटी (Resistivity) म्हणून ओळखले जाते. विशिष्ट प्रतिकारांचे एकक ओहम-मीटर आहे.

रेझिस्टर्स

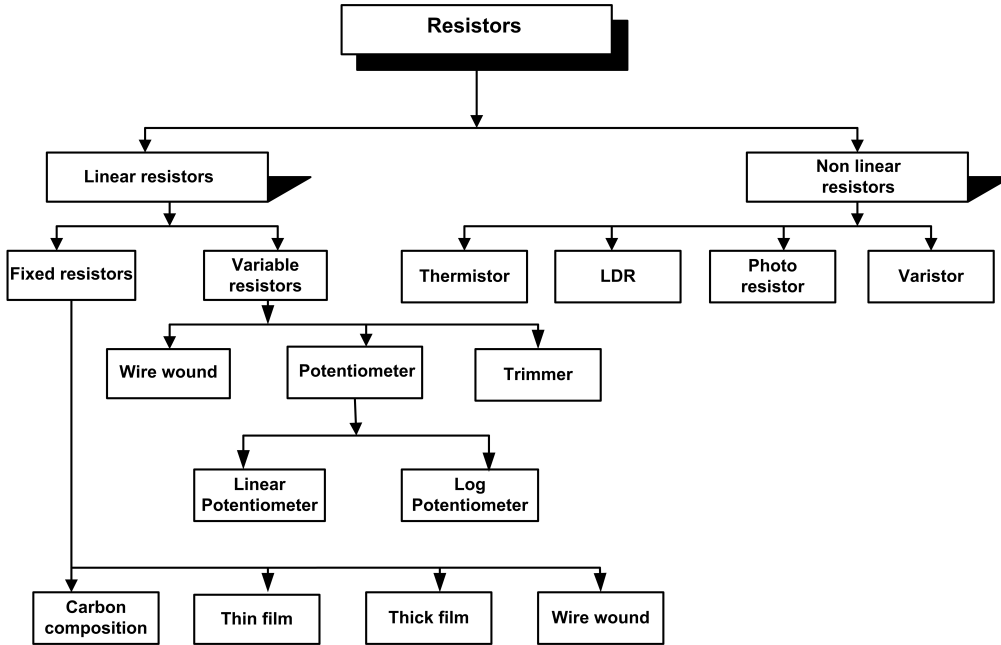
रेझिस्टर्स (Resistor) हा दोन टर्मिनल असलेला विद्युत घटक आहे. सर्किटमधील हा सर्वात महत्वाचा घटक आहे कारण यामुळे वापरकर्त्यास सर्किटमधील करंट (current) आणि व्होल्टेजचे प्रमाण अचूकपणे नियंत्रित करता येते.



आकृती 1.2: रेझिस्टर (Resistor) चे प्रतीक



आकृती 1.3: रेझिस्टरचे रंग कोडिंग



आकृती 1.4: रेझिस्टर (Resistor) चे वर्गीकरण

रेझिस्टर्स (Resistor) रचना प्रकार तसेच रेझिस्टन्स (Resistance) सामग्रीच्या आधारावर विभागले जाऊ शकतात. एक रेझिस्टर्स (Resistor) तरीखूप लहान, सहसा सिरेमिक रॉडभोवती गुंडाळलेल्या तांब्याच्या तारा आणि इन्सुलेटिंगचा बाह्य कोटिंगनेबनलेला असतो. याला वायर-गुंडाळलेला (wire wound) रेझिस्टर्स म्हणतात, आणि वळणाची संख्या (number of turns) आणि वायरचे आकार रेझिस्टन्स ची अचूक माता निर्धारित करतात. लहान रेझिस्टर्स (Resistor), जे कमी-पॉवर (power) च्या सर्किट्ससाठी डिझाइन केलेले आणि वापरलेले जातात, ते बऱ्याचदा कार्बन फिल्मपासून बनविलेले असतात, जे तांबे वायर गुंडाळी मुळे अवजड बनू शकते. आकृती 1.3 मध्ये कार्बन फिल्म रेझिस्टन्स (Resistance) चे रंग कोडिंग दर्शविले गेले आहे,

जे प्रॅक्टिकल क्रमांक 13 मध्ये वर्णन केले आहे. रेझिस्टरच्या प्रकारासाठी आणखी एक वर्गीकरण म्हणजे फिक्स्ड रेसिस्टर्स (Fixed Resistors) आणि व्हेरिएबल रेझिस्टर्स (Variable Resistor), जसे कि पोटेंशियोमीटर, रिओस्टॅट, ट्रिम पॉट. आकृती 1.2 अशा प्रकारच्या काही रेझिस्टन्स (Resistance) चे प्रतीक दर्शविते. रेझिस्टन्स (Resistance) चे तपशीलवार वर्गीकरण आकृती 1.4 मध्ये दर्शविले आहे.

पॉवर रेटिंग किंवा वॉटेज

- जास्तीत जास्त निर्दिष्ट तपमानावर रेझिस्टन्स (Resistance) द्वारे जास्तीत जास्त उष्णता विरहित रेझिस्टरला झालेल्या नुकसानाला रेझिस्टरचे पॉवर रेटिंग म्हणतात.
- हे निर्दिष्ट तापमानात वॉट (डब्ल्यू- W) मध्ये व्यक्त केले जाते.
- जेव्हा रेझिस्टन्स (Resistance) चा वापर उच्च तापमानात केला जातो तेव्हा पॉवर रेटिंग कमी होईल.
- सामान्य उपलब्ध रेझिस्टन्स (Resistance) ची 1/8W, 1/4W, 1/2W, 1W, 2W ची रेटिंग असतात.
- रेझिस्टरचा आकार त्याच्या पॉवर हाताळण्याच्या क्षमतेवर अवलंबून असतो. लहान रेझिस्टर्स (Resistor) कमी पॉवर हाताळण्यासाठी डिझाइन केलेले आहेत, कारण रेझिस्टरचा आकार वाढल्याने पॉवर हाताळण्याची क्षमता देखील वाढते.

कण्डक्टन्स आणि कण्डक्टिविटी

रेझिस्टन्स (Resistance) च्या परस्परसंबंधला (reciprocal) 'G' अक्षराने प्रतिनिधित्व करणाऱ्याला कण्डक्टन्स असे म्हणतात. तर कंडक्टरचा रेझिस्टन्स (Resistance) विद्युत् प्रवाहाला देऊ केलेल्या विरोधाचे मोजमाप करतो, समीकरण 1.2 वरून,

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad G = \frac{1}{\rho} \frac{A}{L}$$

$$G = \sigma \frac{A}{L} \quad \dots(1.3)$$

जिथे σ ला कंडक्टरची कण्डक्टिविटी किंवा विशिष्ट कंडक्टरचे कण्डक्टन्स म्हणतात. कण्डक्टन्सचे एकक सीमेंस (S) आहे. कण्डक्टिविटीचे एकक सीमेंस / मीटर (S/m) आहे.

रेझिस्टन्स वर तापमानाचा प्रभाव

कोणत्याही सामग्रीच्या रेझिस्टन्स वर परिणाम करणारे घटक म्हणजे तापमान. तापमानात वाढ होण्याचा परिणाम:

- शुद्ध धातूचा रेझिस्टन्स (Resistance) वाढविणे.
- कार्बन, इलेक्ट्रोलाइट्स आणि इन्सुलेटरचा रेझिस्टन्स (Resistance) कमी करणे.
- मिश्रधातूचा रेझिस्टन्स (Resistance) वाढविण्यासाठी, जरी त्यांच्या बाबतीत ही वाढ तुलनेने कमी आहे.

रेझिस्टन्सचा तापमान गुणांक

धातूचा कंडक्टर रेझिस्टन्स (Resistance) 0 डिग्री सेल्सियस तापमानाला R_0 , t° सेल्सियस तापमानाने गरम होऊ द्या आणि या तापमानाला त्याचा रेझिस्टन्स (Resistance) R_t होऊ द्या. नंतर तपमानाच्या सामान्य श्रेणीचा विचार केल्यास असे आढळले की रेझिस्टन्समधील वाढ, $R_t - R_0$ खालील गोष्टीवर अवलंबून असते

- थेट त्याच्या प्रारंभिक रेझिस्टन्सवर

ब) थेट तापमानात वाढ

क) कंडक्टरच्या सामग्री (material) च्यास्वरूपावर. α

$$\text{Or } R_t - R_0 \propto R_0 \times t \text{ or } R_t - R_0 = \alpha R_0 t \quad \dots(1.4)$$

जिथे α (अल्फा) एक स्थिर (constant) असतो आणि कंडक्टरच्या प्रतिकाराचे तापमान गुणांक म्हणून ओळखला जातो. समीकरण (1.4) पुनर्रचनाकरून, आम्हाला मिळेल.

$$R_t = R_0 + \alpha R_0 t = R_0 (1 + \alpha t) \quad \dots(1.5)$$

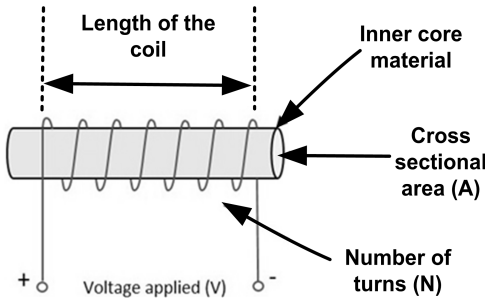
1.1.4 इंडक्टर्स

इंडक्टर एक दोन-टर्मिनल घटक आहे जो चुंबकीय क्षेत्राच्या रूपात तात्पुरते उर्जा संचयित करतो. याला सहसा कॉइल म्हणतात. इंडक्टर्सचा मुख्य गुणधर्म असा आहे की जो करंट (current) च्या कोणत्याही बदलास विरोध करतो. एक इंडक्टर देखील सर्किट (Circuit) चा निष्क्रिय (passive) घटक मानला जातो, कारण तो त्यामध्ये चुंबकीय क्षेत्र म्हणून ऊर्जा साठवू शकतो आणि ती उर्जा सर्किटमध्ये पोहोचवू शकतो, परंतु सतत नाही. इंडक्टर ची ऊर्जा शोषून घेण्याची आणि वितरणाची क्षमता मर्यादित आहे. फॅराडेच्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनच्या कायद्यानुसार, जेव्हा एखादा इंडक्टर मधून वाहणारा करंट (current) बदलतो, तेव्हा वेळ-बदलणारे (time-varying) चुंबकीय क्षेत्र कंडक्टरमध्ये व्होल्टेज बनवते. लेन्स नियमानुसार प्रेरित ईएमएफची दिशा, निर्माण करणाऱ्या करंट (current) मधील बदलास विरोध करते. म्हणूनच, प्रेरित ईएमएफ कॉइलवर लागू केलेल्या व्होल्टेजच्या विरुद्ध आहे. हे इंडक्टरगुणधर्म आहे. डीसी सिग्नल (Signal) मध्ये उपस्थित असलेला एसी घटक एखादा इंडक्टरकर्ता अवरोधित करतो. इंडक्टरकधीकधी कोरवर लपेटले जातात, उदाहरणार्थ फेराइट कोर. आकृती 1.5 मध्ये लेबल केलेल्या विविध भागांसह इंडक्टर दर्शविला गेला.

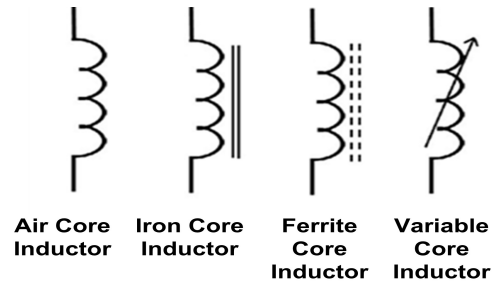
प्रतीक आणि युनिट्स

आकृती 1.6 मध्ये विविध प्रकारचे इंडक्टर्सची चिन्हे आहेत. इंडक्टन्सचे एकक हेनरी म्हणजेच एच (H). वास्तविक व्यवहारात, हेन्री एक अत्यंत मोठे युनिट आहे. म्हणूनच मिलिहेनरी (mH) किंवा मायक्रोहेनरी (μH) सारख्या बरीच लहान युनिट्स वापरली जातात.

$$1 \text{ mH} = 1 \times 10^{-3} \text{ H आणि } 1 \mu\text{H} = 1 \times 10^{-6} \text{ H.}$$



आकृती 1.5: इंडक्टर्सचे भाग



आकृती 1.6: इंडक्टर्सचे प्रतीक

इंडक्टन्स प्रभावित करणारे घटक

इंडक्टन्सची कॉइल खालील पैरामीटर्सवर अवलंबून असते:

1. वळणांची संख्या ($N-N$),
2. कोअर सामग्री,

3. वाईंडिंग (winding) लांबी,
4. कॉईल फॉर्मरचे एकक (Dimension of Coil former).

इंडक्टर मध्ये ऊर्जा संग्रहण

इलेक्ट्रोमॅग्नेटिझमचा एक मूलभूत गुणधर्म म्हणजे विद्युत् करंट (current) जेव्हा इंडक्टरद्वारे वाहतो, तेव्हा चुंबकीय क्षेत्र चालू प्रवाहाच्या काटकोनात तयार होते. हे तयार होत राहते. हे एका क्षणी स्थिर होते, याचा अर्थ असा की त्यानंतर इंडक्टन्स तयार होणार नाही. जेव्हा करंट (current) वाहणे थांबते इंडक्टर क्यू फॅक्टर तेव्हा चुंबकीय क्षेत्र कमी होते. ही चुंबकीय उर्जा विद्युत उर्जेमध्ये बदलली जाते. म्हणूनच चुंबकीय क्षेत्राच्या रूपात यामध्ये ऊर्जा तात्पुरते साठवली जाते.



इंडक्टर क्यू फॅक्टर

- इंडक्टरमधील उर्जेच्या अपव्ययांच्या (Dissipation) तुलनेत इंडक्टरची उर्जा साठवण्याच्या क्षमतेस क्वालिटी घटक (क्यू-Q) म्हणतात. हे फिगर ऑफ मेरिट म्हणून देखील ओळखले जाते.

$$\text{क्यू घटक यांनी दिले आहे, } Q = \frac{\text{Energy Stored}}{\text{Energy Dissipated}} \quad \dots(1.6)$$

- उच्च Q घटक म्हणजे उर्जा संचयनाच्या संदर्भात थोडे उर्जा अपव्यय, तर कमी Q घटकांचा अर्थ उर्जा संचयनाइतकी उर्जा अपव्यय.
- कॉइल्ससाठी Q फॅक्टरचे मूल्य 5 ते 100 दरम्यान असू शकते.
- हे लक्षात घ्यावे लागेल की कॉइलच्या डीसी रेझिस्टन्सचे मूल्य जितके लहान असते तितकेच Q फॅक्टरचे मूल्य जास्त असते. ट्युनिंग सर्किट (Circuit) मध्ये उच्च Q कॉइल्सला प्राधान्य दिले जाते, कारण ते सर्किट अधिक निवडक आणि संवेदनशील बनवते.

1.1.5 कॅपेसिटर

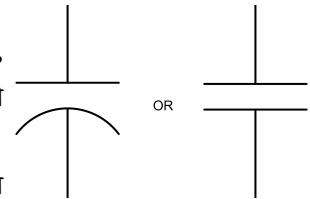
कॅपेसिटर एक निष्क्रिय (passive) घटक आहे जो त्याच्या प्लेट्स दरम्यान संभाव्य फरक स्वरूपात उर्जा साठवण्याची क्षमता ठेवतो. हे व्होल्टेजमध्ये अचानक झालेल्या बदलास रेझिस्टन्स (Resistance) करते. चार्ज दोन प्लेट्समधील संभाव्य फरकाच्या स्वरूपात संग्रहित केले जाते, जे चार्ज संग्रहणांच्या निर्देशानुसार सकारात्मक आणि नकारात्मक बनते.

या दोन प्लेट्स दरम्यान एक नॉन-कंडक्टिंग प्रांत अस्तित्वात आहे ज्याला डायलेक्ट्रिक म्हणतात. हे डायलेक्ट्रिक व्हॅक्यूम, हवा, अभ्रक, कागद, सिरॅमीक, अल्युमिनियम इत्यादी असू शकते. वापरलेल्या डायलेक्ट्रिकनुसार कॅपेसिटरचे नाव दिले आहे.

प्रतीक आणि युनिट्स

कॅपेसिटरचे एकक फॅरड्स आहे. सामान्यतः, उपलब्ध कॅपेसिटरची मूल्ये मायक्रो-फॅरॅड्स (μF), पिको-फॅरॅड्स (pF), आणि नॅनो-फॅरॅड्स (nF), त्या क्रमाने असतील. आकृती 1.7 मध्ये दर्शविल्यानुसार कॅपेसिटरचे प्रतीक आहे.

कॅपेसिटरची (Capacitor) कॅपेसिटिव्ह प्लेट्समधील अंतराच्या प्रमाणात असते आणि प्लेट्सच्या क्षेत्राशी विपरित प्रमाणात असते. तसेच, सामग्रीची परमिटिव्हिटी (permittivity)



जितकी जास्त असेल तितकी कॅपेसिटिव्ह वाढेल. त्या माध्यमात प्रति युनिट चार्जद्वारे किती विद्युत करंट (current) तयार होत आहे हे परमिटिव्हिटी माध्यमांवरून वर्णन करते.

आकृती 1.7: कॅपेसिटरचे प्रतीक

कॅपेसिटरमध्ये वापरलेली डायलेक्ट्रिक साहित्य

कॅपेसिटरच्या उत्पादनामध्ये वापरले जाणारे डायलेक्ट्रिक साहित्य खालीलप्रमाणे आहेत.

1. हवा (Air)
2. मीका (Mica)
3. ग्लास (Glass)
4. सिरॅमीक (Ceramic)
5. पोर्सिलेन (Porcelain)
6. पॉलिस्टीरिन (Polystyrene)
7. फायबर (Fibre)
8. बेकलाईट (Bakelite)
9. वॅक्सड पेपर (Waxed paper)
10. इलेक्ट्रोलायटिक (Electrolytic) (Al_2O_3 आणि फॉस्फोरस (phosphorous) किंवा कार्बोनेट (carbonate))

कॅपेसिटरची कार्ये

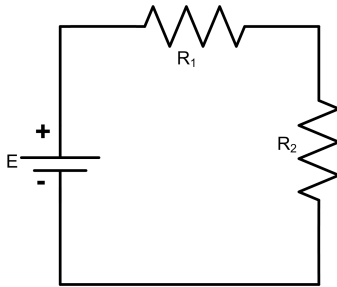
इलेक्ट्रिक सर्किट (Circuit) मधील कॅपेसिटरची महत्वाची कामे खालीलप्रमाणे आहेत:

1. तो त्याद्वारे थेट प्रवाहास (डीसी) विरोध करतो.
2. त्यातून अगदी सहजतेने पर्यायी प्रवाहास (एसी) बायपास केला जातो.
3. हे त्यात विद्युत ऊर्जा साठवते.
4. हे डीसी वीजपुरवठ्यातून लहरी काढून टाकते.
5. ते सर्किट (Circuit) मधील कोणत्याही व्होल्टेजच्या बदलास विरोध करते.

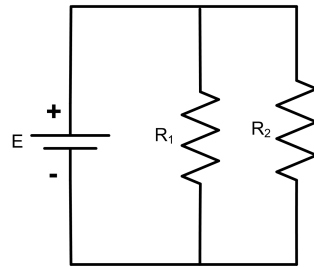


1.1.6 सीरीज (Series) आणि पॅरलेल (Parallel) सर्किट्स

रेझिस्टर्स (Resistor) अशा प्रकारे जोडलेले असतात की एका प्रवाहातून केवळ दुसऱ्या प्रवाहात प्रवाहित होतो त्याला मालिकेमध्ये जोडलेले असे म्हणतात. आकृती 1.8 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे दोन रेझिस्टन्स (Resistance) कांचे सीरीज संयोजन कार्य करते, जोपर्यंत व्होल्टेज स्रोताचा प्रश्न आहे, एक रेझिस्टर्स (Resistor) म्हणून दोन प्रतिरोधांच्या बेरीजच्या समान मूल्य आहे.



आकृती 1.8: सीरीज सर्किट



आकृती 1.9: पॅरलेल सर्किट

आकृती 1.9 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे रेझिस्टन्स (Resistance) प्रमाणेच, जेव्हा कॅपेसिटन्स आणि इंडक्टन्स सीरीजमध्ये जोडलेले असतात आणि सर्किटमध्ये पॅरलेल असतात तेव्हा समकक्ष मूल्याचे सूत्र सारणी 1.1 मध्ये दर्शविले आहे.

सारणी 1.1: पॅरलेल आणि सीरीज सूत्रे

संयोजक धरण	रेजिस्टर	इंडक्टर	कॅपेसिटर
सिरीज	$R = R_1 + R_2$	$L = L_1 + L_2$	$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$
समांतर	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$	$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$	$C = C_1 + C_2$

वास्तविक जीवनात निष्क्रिय (passive) घटकांचे अनुप्रयोग

निष्क्रिय (passive) घटक बऱ्याच उपकरणांमध्ये वापरले जातात. त्यातील काही उपयोग नंतरच्या युनिटमध्ये स्पष्ट केले जातील.

रेझिस्टर्स

रेझिस्टन्स (Resistance) चे अनुप्रयोग खालीलप्रमाणे आहेत:

1. संभाव्य विभाजक (Potential dividers)
2. करंट (Current) नियंत्रण
3. डीसी वीजपुरवठा
4. सर्किट नेटवर्क फिल्टर (Filter circuit networks)
5. एम्पलीफायर सर्किट्स (Amplifier circuits)
6. हीटिंग घटक (Heating element)

इतर काही अनुप्रयोगांचा समावेश खालीलप्रमाणे आहे

- संरक्षणासाठी, उदा. धूळ प्रतिरोधक (fusible resistors).
- वायर गुंडाळलेला रेझिस्टन्स (Resistance) अॅम्पीयर मीटरसह शंटमध्ये संतुलित करंट (current) नियंत्रण, उच्च संवेदनशीलता आणि अचूक मोजमाप आवश्यक असते असे अनुप्रयोग आढळतात.
- फोटो रेझिस्टन्स (Resistance), ज्वाला डिटेक्टर, घरफोडीचा अलार्म, छायाचित्रण उपकरणे इ. मध्ये अनुप्रयोग आढळतो.

कॅपेसिटर

इलेक्ट्रॉनिक (Electronic) सर्किटमधील कॅपेसिटरचे महत्त्वाचे अनुप्रयोग खालीलप्रमाणे आहेत:

1. हे ऊर्जा साठवण करण्यासाठी वापरले जाते.
2. रिपल व्होल्टेज कमी करण्यासाठी फिल्टर सर्किट्समध्ये याचा वापर केला जातो.
3. फ्रिक्वेंसीच्या निवडीसाठी ट्यूनिंग सर्किटमध्ये याचा वापर केला जातो.
4. हे मोटर सुरू करण्यासाठी, मोटार चालविण्यासाठी वापरले जाते.
5. एसएम P एस, मोडेम सारख्या उपकरणांसाठी याचा वापर केला जातो.

इंडक्टर्स

इंडक्टर्सचे महत्त्वपूर्ण अनुप्रयोग खालीलप्रमाणे आहेत:

1. हे सर्किटमध्ये बदलणारे करंट (current) कमी करण्यासाठी वापरले जाते.

2. हे डीसी प्रवाहाच्या (DC Current) वहनासाठी परवानगीसाठी वापरली जाते.
3. हे रिपल व्होल्टेज किंवा रिपल घटक कमी करण्यासाठी फिल्टर सर्किट्समध्ये वापरले जाते.
4. फ्रिक्वेंसी (Frequency) च्या निवडीसाठी रेडिओ ट्रान्समीटर आणि रिसीव्हर्सच्या (Transmitter and Receiver) ट्यूनिंग सर्किटमध्ये (Tuning circuit) याचा वापर केला जातो.
5. हे रिले (Relay), इलेक्ट्रिक मोटर्स (Electric motors), ट्रान्सफॉर्मर्स (Transformers), सेन्सर्स (Sensors), सारख्या उपकरणांमध्ये वापरले जाते.

सोडविलेले उदाहरण

उदाहरण 1: $2.2\text{ M}\Omega$, $470\text{K}\Omega$, $220\text{K}\Omega$, $55\text{K}\Omega$, आणि $1.6\text{ M}\Omega$ रेझिस्टर्स (Resistor) असलेले पाच रेझिस्टन्स (Resistance) मालिकांमध्ये जोडलेले आहेत. या मालिकेच्या संयोजनाच्या एकूण किंवा समकक्ष प्रतिकारांची गणना करा?

उत्तर: रेझिस्टर्स (Resistor) च्या सीरीज संयोजनासाठी, हे समीकरण आहे

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

तथापि, खबरदारीची नोंद आहे की सर्व रेझिस्टन्स (Resistance) समान युनिटच्या दृष्टीने व्यक्त केले जाणे आवश्यक आहे. किलो ओहमच्या बाबतीत

$$R_{eq} = 2200 + 470 + 220 + 55 + 1600$$

$$R_{eq} = 4545\text{ k}\Omega; R_{eq} = 4.545\text{ M}$$

उदाहरण 2: $1\text{K}\Omega$, $2\text{K}\Omega$, $4\text{K}\Omega$ आणि $8\text{K}\Omega$ चे चार रेझिस्टन्स (Resistance) पॅरलेल् मध्ये जोडलेले आहेत. या संयोजनाच्या समकक्ष प्रतिकाराची गणना करा?

उत्तर: प्रतिकारांच्या पॅरलेल् संयोजनासाठी हे समीकरण आहे

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8}$$

$$= 0.125 + 0.250 + 0.500 + 1.000 = 1.875$$

$$\text{म्हण } R_{eq} = \frac{1}{1.875} = 0.53\text{ k}\Omega$$

1.2 सक्रिय (active) घटक

1.2.1 परिचय

ऑटोमेशन (Automation), डिजिटलायझेशन (Digitization) आणि स्मार्ट सिस्टम (Smart system) ला and सक्रिय (active) घटकांचा वापर आवश्यक आहे. घरगुती ते औद्योगिक, अवकाश, संरक्षण, कृषी, वैद्यकीय, वाहतूक, शिक्षण आणि करमणूक या सर्व अभियांत्रिकी विषयांमध्ये आणि अभियांत्रिकी अनुप्रयोगात सक्रिय (active) घटक महत्वाची भूमिका बजावतात. सर्व इलेक्ट्रॉनिक (electronic) उत्पादने सक्रिय (active) घटकांच्या कार्यावर आधारित आहेत. बाह्य ऊर्जेनुसार जे घटक बदलतात त्यांना सक्रिय (active) घटक असे म्हणतात. सक्रिय (active) घटकांची कार्यक्षमता बाह्य उर्जेवर अवलंबून असते.

सुधारण्यासाठी (rectifying), वर्धित करण्यासाठी (amplifying) आणि स्विच करण्यासाठी सक्रिय (active) घटक योग्य आहेत. सक्रिय (active) घटकांचे दोन मुख्य प्रकार आहेत: 1) ट्यूब डिव्हाइस 2) सेमीकंडक्टर उपकरणे.

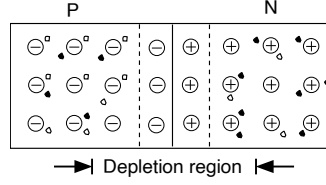
ऑपरेशनचा वेग कमी, मोठे आकार, माउंट करणे कठीण आणि सेमीकंडक्टर घटकांपेक्षा महाग अशा अनेक कमतरता दाखवतात म्हणून आता एक दिवस ट्यूब उपकरण सामान्यपणे वापरले जात नाहीत. सेमीकंडक्टर सक्रिय (active) घटकांना सॉलिड स्टेट घटक असेही म्हणतात. हे सेमीकंडक्टर सामग्रीचे बनलेले आहेत. सक्रिय (active) सेमीकंडक्टर घटकांचे बरेच फायदे आहेत जसे: ऑपरेशनचा वेग, कॉम्पॅक्टनेस, माउंटिंगसाठी सुलभ आणि ट्यूब उपकरणांपेक्षा स्वस्त. सामान्यपणे वापरले जाणारे सक्रिय (active) घटक म्हणजे डायोड (Diode), बीजेटी (BJT-Bipolar Junction Transistor), एफईटी (FET-Field effect Transistor), एमओएसएफईटी (MOSFET-Metal Oxide Semiconductor FET), एससीआर (SCR-Silicon controlled Rectifier), डीआयएसी (DIAC), यूजेटी (UJT-Uni Junction Transistor), टीआरआयएसी (TRIAC), आयजीबीटी (IGBT), PUT, इंटीग्रेटेड सर्किट (Integrated Circuit).

सेमीकंडक्टर मटेरियलमध्ये विद्युत वाहकता कमी असून कंडक्टरपेक्षा कमी असतात. बाह्य ऊर्जेच्या अनुप्रयोगानुसार त्याची कण्डक्टिविटी बदलते. शुद्ध सेमीकंडक्टर मटेरियलला इन्ट्रिन्सिक (Intrinsic) (आंतरिक) सेमीकंडक्टर म्हणतात. सामान्यतः वापरल्या जाणाऱ्या शुद्ध सेमीकंडक्टर मटेरियलमध्ये सिलिकॉन (Si) आणि जर्मेनियम (Ge) आहेत. कण्डक्टिविटी सुधारण्यासाठी म्हणजेच मुक्तभारवाहक (free charge carrier) वाढविण्यासाठी, इन्ट्रिन्सिक सेमीकंडक्टर मध्ये अशुद्धता मिसळली जाते. इन्ट्रिन्सिक सेमीकंडक्टर मध्ये अशुद्धी जोडण्याच्या प्रक्रियेस डोपिंग असे म्हणतात. डोपिंग प्रक्रियेमुळे इन्ट्रिन्सिक सेमीकंडक्टर अशुद्ध सेमीकंडक्टर मध्ये रूपांतरित होते. या अशुद्ध सेमीकंडक्टर सामग्रीस एक्स्ट्रिन्सिक (Extrinsic) (बाह्य) सेमीकंडक्टर म्हणतात. इन्ट्रिन्सिकसेमीकंडक्टरमध्ये जोडलेल्या अशुद्ध सामग्रीच्या प्रकारावर अवलंबून, दोन प्रकारचे एक्स्ट्रिन्सिक सेमीकंडक्टर P टाईप (P-Type) आणि N टाईप (N-Type) च्या सामग्रीसारखे प्राप्त केले जातात. या दोन एक्स्ट्रिन्सिकसेमीकंडक्टर वापरून सक्रिय (active) घटक तयार केले जातात. P प्रकार प्राप्त करण्यासाठी एक्स्ट्रिन्सिक सेमीकंडक्टरमध्ये ट्रायव्हॅलेंट मटेरियल डोपिंग करतात आणि N प्रकार एक्स्ट्रिन्सिक सेमीकंडक्टरमध्येपेंटाव्हॅलेंट मटेरियल डोपिंग करतात. P प्रकार मटेरियलमध्येधन (positive) भारवाहकहोल बहुमत चार्ज वाहक असतात तर N टाईप मटेरियलमध्येऋण (negative) भारवाहकइलेक्ट्रॉन बहुमत चार्ज वाहक असतात.

1.2.2 P N जंक्शन डायोड

P आणि N प्रकारच्या सेमीकंडक्टरला जोडणी करून P-N जंक्शन डायोड तयार होते. P-N जंक्शन तयार होताच त्याचा परिणाम खालीलप्रमाणे होतो:

1. जंक्शनच्या जवळ असलेल्या P क्षेत्रातील होल N क्षेत्रामध्ये मुक्त इलेक्ट्रॉनसह एकत्र होतात. त्याचप्रमाणे N क्षेत्र आणि जंक्शन जवळील मुक्त इलेक्ट्रॉन होलसह पुन्हा एकत्र होण्यासाठी P प्रदेशात प्रवेश करतात.
2. जंक्शन जवळील हे पुन्हा एकत्रितपणे जास्त काळ सुरू राहणार नाहीत कारण P प्रदेशात पसरण्याचा प्रयत्न करणारे इलेक्ट्रॉन आता नकारात्मक स्थलांतरित आयनांद्वारे मागे टाकले जातात आणि P प्रदेशावरील होल N क्षेत्रातील सकारात्मक स्थलांतरित आयनांद्वारे मागे टाकली जातात. तर होल आणि इलेक्ट्रॉनचे एकूण पुनर्गठन होऊ शकत नाही.
3. जंक्शन जवळ पुन्हा काही जोड्या लावण्यासाठी, दोन्ही बाजूंनी कोणतेही प्रभार वाहक नसलेला प्रदेश तयार केला जातो. यात केवळ नकारात्मक आणि सकारात्मक अचलआयन असतात. या प्रदेशाला न्यूनता (depletion) क्षेत्रकिंवा स्पेस-चार्ज प्रदेश म्हणतात. आकृती 1.10 मध्ये P N जंक्शन न्यूनता प्रदेशासह दर्शविते.



आकृती 1.10: P N जंक्शन

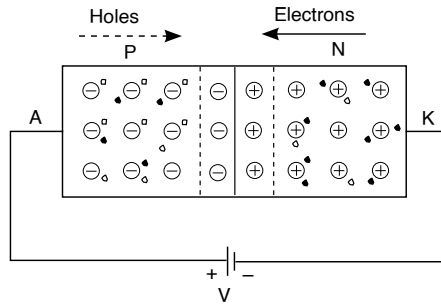
स्वीकारकर्ता (acceptor) आणि दाता (donor) आयन यांच्यामधील विद्युत क्षेत्रास अडथळा (barrier) म्हणतात. अडथळ्याच्या दोन बाजूंमधील संभाव्य फरक (potential difference) म्हणजेच Si साठी अडथळा संभाव्य सुमारे 0.7 V आहे आणि Ge साठी 0.3 V आहे. P-N जंक्शन डायोड हे दोन टर्मिनल डिवाइस आहे. P क्षेत्राला जोडलेल्या टर्मिनलला एनोड म्हणतात. N क्षेत्राला जोडलेल्या टर्मिनलला कॅथोड असे म्हणतात. तेथे दोन इलेक्ट्रोड आहेत, म्हणून हे नाव डायोड (डीआय + इलेक्ट्रोड) आहे. P-N जंक्शन डायोडचे प्रतीक आकृती 1.11 मध्ये दर्शविलेले आहे.



आकृती 1.11: P-N जंक्शन डायोडचे प्रतीक

1.2.2.1 P-N जंक्शन डायोडचे ऑपरेशन

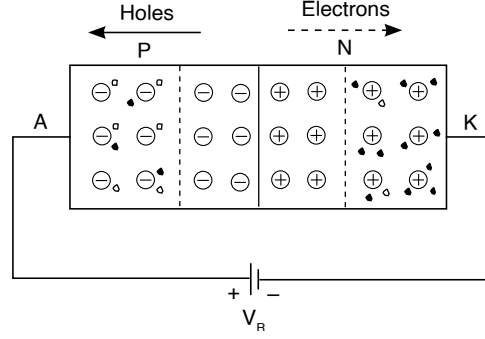
PN जंक्शन डायोड दोन अवस्था (state) मध्ये किंवा परिस्थितीत ऑपरेट केले जाऊ शकते उदा. फॉरवर्ड बायस (bias) अवस्था आणि रिव्हर्स बायस स्टेट. जेव्हा कॅथोडच्या संदर्भात एनोडची उच्च क्षमता असते, तेव्हा डायोड फॉरवर्ड बायस असल्याचे म्हणतात, म्हणजे, बाह्य बॅटरीच्या पॉझिटिव्ह टर्मिनलला एनोड आणि कॅथोडला नकारात्मक टर्मिनल जोडणे. आकृती 1.12 डायोड फॉरवर्ड बायस कनेक्शन दर्शविते. P क्षेत्रातील होल बॅटरीच्या सकारात्मक टर्मिनलद्वारे मागे टाकले जातात आणि जंक्शनच्या दिशेने जातात. त्याचप्रमाणे N प्रदेशातील इलेक्ट्रॉन जंक्शनच्या दिशेने जातात. म्हणून न्यूनताक्षेत्रची रुंदी कमी होते.



आकृती 1.12: डायोड- फॉरवर्ड बायस

पारंपारिक करंटची दिशा म्हणजे छिद्रां (holes) च्या हालचालीची दिशा, म्हणजे एनोडपासून कॅथोडपर्यंत. जर बॅटरीचा व्होल्टेज वाढला तर करंट देखील वाढतो. विरुद्ध दिशेने वाहणाऱ्या अल्पसंख्याक वाहकां (carriers) मुळे अगदी कमी करंट वाहतो. जेव्हा कॅथोडच्या संदर्भात एनोड कमी संभाव्यतेत असते (नकारात्मक संदर्भात कॅथोड), तेव्हा PN जंक्शन रिव्हर्स बायस असे म्हटले जाते, म्हणजे बाह्य बॅटरीचे नकारात्मक टर्मिनल एनोड आणि कॅथोडला पॉझिटिव्ह टर्मिनलशी जोडलेले असते. P प्रदेशातील हॉल्स बॅटरीच्या नकारात्मक टर्मिनलकडे आकर्षित होते आणि N प्रदेशातील इलेक्ट्रॉन बॅटरीच्या सकारात्मक टर्मिनलकडे जातात. वाहक

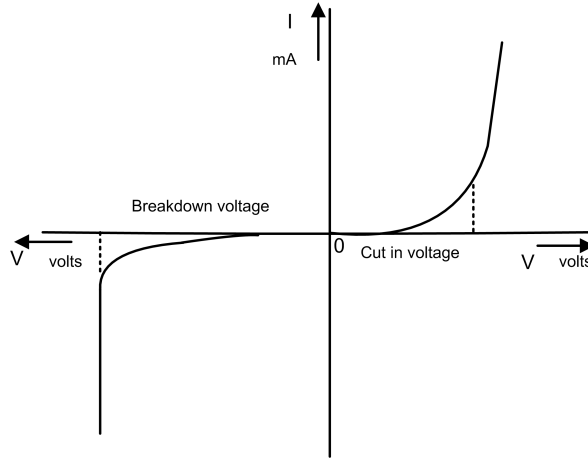
जंक्शनपासून दूर जात असल्याने न्यूनताक्षेत्राची रुंदी वाढते. अशा प्रकारे बहुसंख्य वाहकांमुळे करंट वाहत (current) नाही. परंतु अल्पसंख्याक वाहकांमुळे कॅथोडपासून एनोडपर्यंत फारच कमी करंट (current) असतो. पण त्यांची संख्या खूपच कमी असते त्यामुळे करंट (current) देखील खूपच कमी असतो.



आकृती 1.13: डायोड-रिक्टर्स बायस

1.2.2.2 डायोडची वैशिष्ट्ये

डिव्हाइसची व्हीआय (VI) वैशिष्ट्ये (Characteristics) विविध उपयोजित इनपुट व्होल्टेजसाठी डिव्हाइस ऑपरेशन दर्शविते. डायोडची फॉरवर्ड आणि रिक्टर्स वैशिष्ट्ये आकृती 1.14 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे आहे. डीसी सर्किटमध्ये जोडलेले डायोड एक निश्चित रेझिस्टन्स (Resistance) देते ज्याला डीसी रेझिस्टन्स (Resistance) किंवा स्थिर रेझिस्टन्स (Resistance) म्हणतात. हे डायोडद्वारे डीसी करंट (current) पर्यंत डीसी व्होल्टेजचे प्रमाण आहे (समीकरण 1.7).



आकृती 1.14: डायोड व्ही आयची वैशिष्ट्ये

फॉरवर्ड वैशिष्ट्यांमधून पाहिल्याप्रमाणे, फॉरवर्ड बायस स्थितीत स्थिर रेझिस्टन्स (Resistance) काही ओहममध्ये लहान असतो. तसेच रिक्टर्स वैशिष्ट्यांवरून हे स्पष्टपणे दिसून येते की करंट (current) खूपच लहान आहे म्हणून मेगा ओहममध्ये स्थिर रेझिस्टन्स (Resistance) जास्त आहे.

$$R_F = \frac{V}{I}$$

1.2.2.3 डायोड पॅरामीटर्स

खालील पॅरामीटर्स निर्मात्यांनी निर्दिष्ट केल्या आहेत:

- कमाल फॉरवर्ड करंट (current) ($I_{F_{max}}$):** डायोड सुरक्षितपणे सहन करू शकणाऱ्या फॉरवर्ड बायसमध्ये कमाल करंट (current). यापलीकडे डायोड खराब होईल.
- रिव्हर्स व्होल्टेज (PIV):** डायोडवर सुरक्षितपणे लागू केले जाणारे जास्तीत जास्त रिव्हर्स व्होल्टेज.
- फॉरवर्ड आणि रिव्हर्स स्थिर आणि गतिशील रेझिस्टन्स (Resistance).
- जंक्शन कॅपेसिटन्स.



1.2.2.4 डायोड अनुप्रयोग


PN जंक्शन डायोड हा एक मूलभूत सेमीकंडक्टर घटक आहे जो विविध इलेक्ट्रॉनिक (Electronic) सर्किट्समध्ये वापरला जातो. हे इलेक्ट्रॉनिक्स सर्किट विविध अभियांत्रिकी अनुप्रयोगांमध्ये वापरले जातात. PN जंक्शन डायोडचे मुख्य अनुप्रयोग खालील आहेत:



- एसी सिग्नल (Signal) ला डीसी सिग्नलमध्ये रूपांतरित करण्यासाठी डायोड रेक्टिफायर सर्किट तयार करण्यासाठी वापरले जातात.
- वेव्ह शेपिंग सर्किट डायोड क्लिप किंवा क्लॅम्प इनपुट सिग्नल (Signal) साठी वापरले जाते.
- डायोड डिजिटल सर्किटमध्ये स्विचिंग घटक म्हणून वापरले जातात.
- सर्व प्रकारचे डीसी वीज पुरवठा, बॅटरी चार्जर, व्होल्टेज गुणक आणि एलिमिनेटर डायोडची महत्त्वपूर्ण भूमिका आहे.
- संप्रेषण प्रणालीमध्ये, सिग्नल (Signal) डिमोड्यूलेशनसाठी अर्थात माहिती सिग्नल शोधणे आणि संगणकांमध्ये रीसेट सर्किट डायोड वापरतात.
- इंडक्टर रिले किंवा मोटरचे डीसी संपृक्तता (saturation) टाळण्यासाठी, डायोड त्यास जोडलेले आहे.

1.2.2.5 डायोडचे प्रकार

P N जंक्शन डायोड ऑपरेशन, VI ची वैशिष्ट्ये आणि अनुप्रयोग वापरल्या जाणाऱ्या सामग्री, डोपिंग रचना आणि भौतिक परिमाणांवर अवलंबून आहेत. सारणी 1.2 त्यांची वैशिष्ट्ये आणि अनुप्रयोग मूलभूत तीन प्रकारचे डायोड दर्शविते.

सारणी 1.2: डायोडचे प्रकार

अ.क्र.	चिन्हासह डायोड	वैशिष्ट्ये	अनुप्रयोग
1.	<p>झेनर डायोड</p> 	<ol style="list-style-type: none"> सामान्य P N जंक्शन डायोडपेक्षा डोपिंगची एकाग्रता खूप जास्त आहे सामान्यतः रिव्हर्स मध्ये संचालित. हे रिव्हर्सअवस्थेत जेनर ब्रेकडाउन प्रदर्शित करते हे सिलिकॉनने बनलेले आहे. 	<p>झेनर डायोडचा उपयोग:</p> <ol style="list-style-type: none"> रेग्युलेटेड डीसी वीजपुरवठ्यात व्होल्टेज नियमन मीटर संरक्षण सर्किट (Circuit) स्पाइक गार्ड सर्किट्स

अ.क्र.	चिन्हासह डायोड	वैशिष्ट्ये	अनुप्रयोग
2	<p>लाइट एमिटेड डायोड (एलईडी)</p> 	<ol style="list-style-type: none"> विशेष सेमीकंडक्टर मटेरियल वापरली जातात GaAs, GaAsP, GaP, SiC. जेव्हा हे डायोड फॉरवर्ड बायस्ड असेल तर ते प्रकाश सोडेल. वेव्हलेन्थ (म्हणजे उत्सर्जित प्रकाशाचा रंग) डोपिंग सामग्रीवर अवलंबून असतो. चार्ज कॅरियरच्या इंजेक्शनमुळे हलकी उर्जा उत्सर्जन हे एलईडीचे मूलभूत तत्त्व आहे. हे विविध आकारात उपलब्ध आहे. उत्सर्जित प्रकाशाची तीव्रता त्यामधून वाहणाऱ्या प्रवाहाच्या प्रमाणात आहे. 	<p>एलईडी उपयोग:</p> <ol style="list-style-type: none"> विविध विद्युत आणि इलेक्ट्रॉनिक (Electronic) उपकरणांसाठी उर्जा सूचक. प्रदर्शन डिव्हाइस म्हणून इलेक्ट्रॉनिक (Electronic) उपकरणांमध्ये. सात विभाग आणि मॅट्रिक्स प्रदर्शन तयार करणे. ऑप्टो कपलर, रिमोट कंट्रोल अंतर मोजण्यासाठी प्रकाश स्रोत आणि इतर तत्सम ऑप्टिकल स्विचिंग आणि कम्युनिकेशन सिस्टम
3	<p>फोटो डायोड</p> 	<ol style="list-style-type: none"> विशेष सेमीकंडक्टर सामग्री वापरली जाते. हे प्रवाहामध्ये प्रकाशाची तीव्रता लपवते. हे सामान्यतः रिव्हर्स मध्ये चालविले जाते 	<p>फोटो डायोडचा उपयोग:</p> <ol style="list-style-type: none"> प्रकाश संवेदना घरफोडीचा गजर ऑप्टो कपलर ऑटो फ्लॅश कॅमेरा

1.2.3 ट्रांझिस्टर

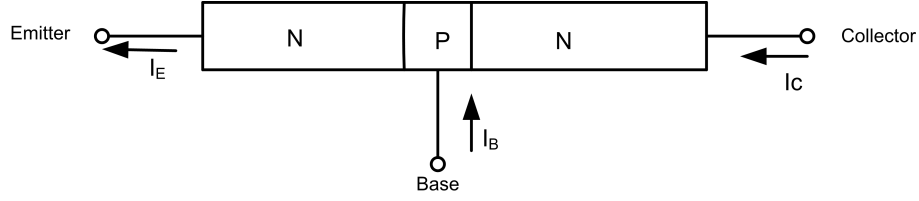
एक बायपोलर जंक्शन ट्रांझिस्टर (बीजेटी) मुळात दोन प्रकारचे P-N जंक्शन असलेले सिलिकॉन किंवा जर्मेनियम क्रिस्टल असतात जे एकतर P-प्रकार किंवा N-प्रकार सेमीकंडक्टर विपरीत प्रकारांच्या जोडीच्या दरम्यान तयार केले जातात. बीजेटीला सामान्यतः ट्रांझिस्टर म्हटले जाते. हे कमकुवत सिग्नल (Signal) वाढविण्यास सक्षम आहे. अशा प्रकारे ट्रांझिस्टरमधील करंट (current) (किंवा बीजेटी) धन तसेच ऋण ध्रुव करंट (current) वाहकांमुळे वाहते. म्हणूनच ट्रांझिस्टरला (बीजेटी) एक बायपोलर यंत्र म्हणतात.

1.2.3.1 ट्रांझिस्टरची रचना

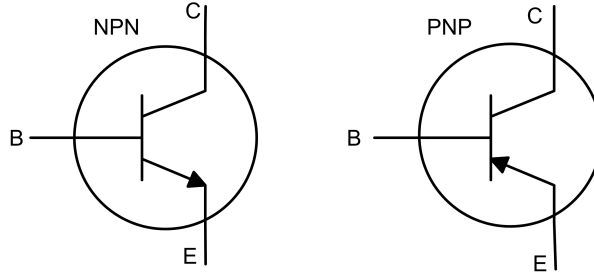
ट्रांझिस्टर हे एक सॉलिड स्टेट सेमीकंडक्टर दोन जंक्शन, तीन क्षेत्र आणि तीन टर्मिनल डिव्हाइस आहे. तीन टर्मिनल एमिटर (Emitter), बेस (Base) आणि कलेक्टर (Collector) आहेत. रचना तपशीलांमधून, दोन प्रकारचे ट्रांझिस्टर PNP (PNP) ट्रांझिस्टर आणि NPN (NPN) ट्रांझिस्टर आहेत. जेव्हा N-प्रकार सेमीकंडक्टरच्या दोन स्तरांदरम्यान P-प्रकार सेमीकंडक्टरचा पातळ थर सँडविच केला जातो तेव्हा त्याला NPN ट्रांझिस्टर म्हणून ओळखले जाते. आकृती 1.15 मध्ये NPN ट्रांझिस्टरची रचना माहिती दर्शविली गेली आहे. बीजेटीमध्ये कलेक्टर क्षेत्राच्या तुलनेत एमिटर क्षेत्रात जास्त डोपिंग असते. कलेक्टर क्षेत्रामध्ये मोठ्या प्रमाणात भौतिक क्षेत्र आहे जेथे कलेक्टर क्षेत्राच्या तुलनेत बेस क्षेत्रामध्ये डोपिंगचे प्रमाण कमी आहे. म्हणून नेहमी बीजेटीमध्ये एमिटर विद्युतकरंट (current) सर्वात जास्त असतो. NPN बीजेटीमध्ये एमिटर विद्युतकरंट (current) कलेक्टर आणि बेस प्रवाहांची बेरीज आणि बाह्य दिशेने असतो.

$$\text{i.e., } I_E = I_B + I_C$$

...(1.8)



आकृती 1.15: NPN बीजेटीचीरचना



आकृती 1.16: बीजेटीचे योजनाबद्ध चिन्ह

1.2.3.2 ट्रान्झिस्टरचे कॉन्फिगरेशन

बीजेटी तीनपैकी कोणत्याही एका कॉन्फिगरेशन मध्ये ऑपरेट केले जाऊ शकते. बीजेटीसाठी तीन कॉन्फिगरेशन आहेत: (1) कॉमन बेस (सीबी) कॉन्फिगरेशन [Common Base(CB) configuration]; (2) कॉमन एमिटर (सीई) कॉन्फिगरेशन [Common emitter (CE) configuration]; (3) कॉमन कलेक्टर (सीसी) कॉन्फिगरेशन [Common Collector (CC) configuration].

सारणी 1.3: ट्रान्झिस्टर कॉन्फिगरेशनची तुलना

अ. क्र.	पॅरामीटर्स	कॉमन बेस (सीबी)	कॉमन इमिटर (सीई)	कॉमन कलेक्टर (सीसी)
1.	इनपुट टर्मिनल	इमिटर	बेस	बेस
2.	आउटपुट टर्मिनल	कलेक्टर	कलेक्टर	इमिटर
3.	इनपुट इम्पिडन्स	कमी	मध्यम	उंच
4.	आउटपुट इम्पिडन्स	खूप उच्च	मध्यम	निम्न
5.	करंटगेन	जवळपास एक	उंच	खूप उंच
6.	व्होल्टेज गेन	उंच	सीबीपेक्षा जास्त	जवळपास एक
7.	पॉवर गेन	मध्यम	उच्च	निम्न
8.	औष्णिक स्थिरता	उच्च	निम्न	उच्च
9.	अनुप्रयोग	कमी आवाज	प्रीमप्लीफायर (विस्तृत बँड) एएफ व्होल्टेज वर्धक	प्रतिबाधा जुळणारे, बफर

सारणी 1.3 मध्ये तीन संरचनांची तुलना दाखवते. कोणत्याही कॉन्फिगरेशनसाठी, कलेक्टर टर्मिनलवर इनपुट लागू होत नाही आणि कोणत्याही कॉन्फिगरेशनमध्ये बेस टर्मिनलमधून आउटपुट घेतले जाते. बीजेटी हा सध्याचा कार्यशील सक्रिय (active) घटक आहे. बऱ्याच अनुप्रयोगांसाठी ट्रान्झिस्टर सीई कॉन्फिगरेशनमध्ये चालविले जाते. ट्रान्झिस्टर निवडताना, त्यातील वैशिष्ट्यांचा विचार करणे आवश्यक आहे.

करंट गेन अल्फा (α): सीबी कॉन्फिगरेशनमध्ये बेस व्होल्टेज V_{CB} च्या निरंतर कलेक्टरसाठी करंट (current) I_E उत्सर्जित करण्यासाठी कलेक्टर करंट (current) I_C चे गुणोत्तर करंट (current) वाढीव अल्फा (α) असे म्हणतात. समीकरण 1.9 नुसार α_{dc} दिले जाते. अल्फाचे (α) मूल्य 0.95 ते 0.998 पर्यंत आहे.

$$\alpha_{dc} = I_C / I_E \quad \dots(1.9)$$

करंट गेन बीटा (β): सीई कॉन्फिगरेशनमध्ये एमिटर व्होल्टेज V_{CE} मध्ये स्थिर कलेक्टर करण्यासाठी करंट (current) I_B बेस कलेक्टर करंट (current) I_C चे प्रमाण करंट (करंट (current)) गेन बीटा (β) असे म्हणतात. समीकरण 1.10 नुसार β दिले जाते. बीटाचे मूल्य (β) 20 ते 250 पर्यंत असते.

$$\beta_{dc} = I_C / I_B \quad \dots(1.10)$$

समीकरण 1.8, 1.9 आणि 1.10 मधून α आणि β मधील संबंध म्हणून मिळवता येतात

$$\alpha = \beta / (1 + \beta) \quad \dots(1.11)$$

$$\beta = \alpha / (1 - \alpha) \quad \dots(1.12)$$

ट्रान्झिस्टरचे वैशिष्ट्य:

1. कमाल कलेक्टर-ते-एमिटर व्होल्टेज, $V_{CE(max)}$
2. कमाल कलेक्टर करंट (current), $I_{C(max)}$
3. कलेक्टर-टू-एमिटर कट-ऑफ व्होल्टेज, V_{CEO}
4. कलेक्टर कट ऑफ करंट (current), I_{CEO}
5. कलेक्टर-टू-एमिटर ब्रेक डाउन व्होल्टेज, V_{CBO}
6. कमाल कलेक्टर अपव्यय, PD
7. कलेक्टर संपृक्तता व्होल्टेज, $V_{CE(sat)}$
8. डीसी करंट गेन (hFE)

1.2.3.3 ट्रान्झिस्टरचे अनुप्रयोग

ट्रान्झिस्टर तीनपैकी कोणत्याही ऑपरेटिंग मोडमध्ये ऑपरेट केले जाऊ शकते. बीजेटीसाठी तीन ऑपरेटिंग पद्धती आहेत: (1) कटऑफ स्टेट (Cutoff state); (2) सक्रिय (active) स्टेट (Forward state); (3) संतृप्ति स्टेट (Saturation State). सारणी 1.4 मध्ये तीनपैकी एका ऑपरेटिंग स्टेट मध्ये ट्रान्झिस्टर ऑपरेट करण्यासाठी आवश्यक जंक्शन बायसिंगचा सारांश दिला आहे.

सारणी 1.4: ऑपरेटिंग स्टेट आणि जंक्शन बायसिंग

अ. क्र.	ऑपरेटिंग स्टेट	बेस एमिटर जंक्शन	बेस कलेक्टर जंक्शन	अनुप्रयोग
1.	कटऑफ स्टेट	रिव्हर्स बायस	रिव्हर्स बायस	--
2.	सक्रिय (active) स्टेट	फॉरवर्ड बायस	रिव्हर्स बायस	एम्पलीफायर
3.	संतृप्ति स्टेट	फॉरवर्ड बायस	फॉरवर्ड बायस	स्विचिंग

ट्रान्झिस्टरकडे इलेक्ट्रॉनिक्सच्या सर्व क्षेत्रात विस्तृत अनुप्रयोग आहेत, त्यापैकी काहींचा उल्लेख आहे. हे बहुधा एम्पलीफायर सर्किटसाठी वापरले जाते. एम्पलीफायर इनपुट सिग्नल (Signal) चे मोठेपणा वाढवते.

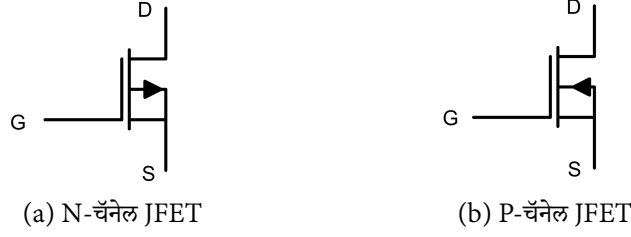
1. एम्पलीफायर
2. टाइमर आणि टाइम विलंब सर्किट
3. स्विचिंग सर्किट
4. ऑसिलेटर
5. मल्टीवाइबरेटर
6. इलेक्ट्रॉनिक (Electronic) स्विच
7. क्लिपिंग सर्किट्समध्ये लाटाचे आकार
8. मोड्युलेटर
9. डिटेक्टर (किंवा डिमोड्युलेटर)
10. लॉजिक सर्किट्स

1.2.4 एफईटी

फील्ड इफेक्ट ट्रान्झिस्टर (एफईटी) एक सेमीकंडक्टर सॉलिड स्टेट सक्रिय (active) डिव्हाइस आहे. फील्ड इफेक्ट ट्रान्झिस्टर युनि-पोलर ट्रान्झिस्टर (Unipolar Transistor) चे उदाहरण आहे. एफईटी आउटपुटमध्ये विद्युत् करंट (current) एकतर इलेक्ट्रॉनमुळे किंवा होलमुळे होते. इनपुटने इलेक्ट्रिकल (Electrical) फील्ड म्हणजेच व्होल्टेज आउटपुट चालू नियंत्रित करते म्हणून त्याला फील्ड इफेक्ट ट्रान्झिस्टर असे म्हणतात.

1.2.4.1 एफईटी रचना

फील्ड इफेक्ट ट्रान्झिस्टर प्रामुख्याने जंक्शन फील्ड इफेक्ट ट्रान्झिस्टर (JFET) (जेएफईटी) आणि मेटल ऑक्साईड सेमीकंडक्टर फील्ड इफेक्ट ट्रान्झिस्टर (MOSFET) दोन प्रकार आहेत. जेएफईटी N चॅनेल किंवा P चॅनेलद्वारे बनविले जाऊ शकते. N-चॅनेल एफईटीच्या रचनेत, गेट P प्रकारच्या सेमीकंडक्टरचा बनलेला असतो आणि P चॅनेल एफईटीसाठी N प्रकारची सेमीकंडक्टर सामग्री वापरली जाते. आकृती 1.17 मध्ये एफईटीचे योजनाबद्ध चिन्हे दर्शविते. एफईटीचे तीन टर्मिनल आहेत: (1) स्त्रोत (Source) (सोर्स); (2) निचरा (Drain) (ड्रेन); (3) गेट (Gate). स्त्रोत आणि ड्रेन टर्मिनल चॅनेलशी कनेक्ट केलेले आहेत. चॅनेल असमानपणे डोप केलेले आहे. चॅनेलच्या क्षेत्राच्या तुलनेत चॅनेलच्या स्त्रोतक्षेत्रामध्ये डोपिंग जास्त असते.



आकृती 1.17: जेएफईटी चिन्हे

एफईटीचे महत्त्वाचे वैशिष्ट्य म्हणजे बीजेटीपेक्षा चिप वर कमीतकमी व्यापले जाते आणि तयार करणे सोपे असते. गेट व्होल्टेज V_{GS} चॅनेल करंट (current) कंट्रोल करते. या हेतूसाठी गेट स्त्रोत रिव्हर्सबायसआहे. तर न्यूनता क्षेत्ररंदी चॅनेल क्षेत्रामध्ये वाढते. स्त्रोतसंदर्भात ड्रेनरिव्हर्सबायसआहे. भार वाहक स्त्रोताच्या क्षेत्रावरून ढकलले जातात आणि ड्रेनच्या दिशेने जातात. हे चॅनेल करंट (current) बनवते. ज्या V_{GS} वर चॅनेल करंट (current) शून्य होते त्याला पिंच ऑफ (pinch off) व्होल्टेज म्हणतात. जेव्हा V_{GS} शून्य असते तेव्हा चॅनेलमधून वाहणारा करंट (current) जास्तीत जास्त असतो. याला संतृप्ति (Saturation) स्टेट ड्रेन करंट $IDSS$ म्हटले जाते.

1.2.4.2 बीजेटी आणि एफईटी दरम्यान तुलना

ऑपरेशन, रचना, वैशिष्ट्ये आणि त्यांचे फायदे यांच्या आधारे ट्रान्झिस्टर आणि युनी-पोलर ट्रान्झिस्टर (एफईटी) ची तुलना सारणी 1.5 मध्ये केली आहे.

सारणी 1.5: बीजेटी आणि एफईटी दरम्यान तुलना

क्र.	बीजेटी	एफईटी
1.	हे एक सेमीकंडक्टर उपकरण आहे ज्यामध्ये बेस, एमिटर आणि कलेक्टर म्हणून ओळखले जाणारे तीन टर्मिनल असतात.	एफईटी हे सेमीकंडक्टर डिव्हाइस देखील आहे ज्यात गेट, सोर्स आणि ड्रेन असे तीन टर्मिनल आहेत.
2.	करंट (current) छिद्र आणि इलेक्ट्रॉनमुळे होते. म्हणूनच, हे एक बायपोलर यंत्र आहे.	करंट (current) एकतर छिद्र किंवा इलेक्ट्रॉनांमुळे होते. म्हणूनच, एफईटी एक युनिपोलर ट्रान्झिस्टर आहे.
3.	बीजेटी हे करंट (current) नियंत्रित उपकरण आहे.	एफईटी एक व्होल्टेज नियंत्रित डिव्हाइस आहे.
4.	त्याचे ऑपरेशन बहुसंख्य तसेच अल्पसंख्याक वाहकांच्या प्रवाहावर अवलंबून असते.	त्याचे ऑपरेशन केवळ बहुसंख्य वाहकांच्या प्रवाहावर अवलंबून असते.
5.	बीजेटीची इनपुट प्रतिबाधा कमी आहे.	एफईटीची इनपुट प्रतिबाधा जास्त आहे.
6.	डिव्हाइस नॉइझ (noise) करणारा आहे.	हे बायपोलर ट्रान्झिस्टरपेक्षा कमी नॉइझ (noise) करणारा आहे.
7.	बीजेटीचे दोन प्रकार आहेत: N-P-N आणि P-N-P.	एफईटीचे दोन प्रकार आहेत: N-चॅनेल आणि P-चॅनेल.
8.	बीजेटी रचना करणे कठीण आहे आणि अधिक जागा व्यापली जाते.	एफईटी रचना करणे सोपे आहे आणि कमी जागा व्यापते.
9.	बीजेटी सर्किट्स उच्च बँडविड्थ (bandwidth) उत्पादन देते.	तुलनेने कमी बँडविड्थ उत्पादन देते.

क्र.	बीजेटी	एफईटी
10.	एमिटर-बेस जंक्शन फॉरवर्ड बायस्ड आहे आणि कलेक्टर-बेस रिव्हर्स बायस्ड आहे.	गेट टू सोर्स तसेच ड्रेन टू सोर्स हे दोन्ही रिव्हर्स बायस्ड आहेत. प्रभावीपणे सोर्स क्षेत्र फॉरवर्ड बायस्ड आहे.
11.	त्यात औष्णिक (thermal) स्थिरता खराब आहे.	त्यात औष्णिक (thermal) स्थिरता आहे.
12.	बीजेटी व्होल्टेज व्हेरिएबल रेझिस्टर म्हणून वापरली जाऊ शकत नाही.	एफईटी सहजपणे व्होल्टेज व्हेरिएबल रेझिस्टर म्हणून वापरली जाऊ शकते.

1.2.4.3 एफईटी (FET) चे अनुप्रयोग

लिनियर (Linear) अनुप्रयोगांसाठी त्याच्या आउटपुट वैशिष्ट्यांच्या स्थिर करंट (current) प्रदेशात एफईटी चालविला जातो. एफईटी व्होल्टेज व्हेरिएबल रेझिस्टर (VVR) किंवा व्होल्टेज अवलंबित (Dependent) रेझिस्टर्स (Resistor) म्हणून उपयुक्त आहे. याला अॅक्टिव्ह लोड असे म्हणतात. एफईटी चा वापर बऱ्याच इलेक्ट्रॉनिक (Electronic) सर्किट्स अनुप्रयोगात केला जातो जसे:

1. आरएफ (RF) आणि एएफ (AF) एम्पलीफायर
2. ऑसीलेटर (Oscillator)
3. स्विच सर्किट्स
4. मोजमाप यंत्रांमध्ये बफर
5. संप्रेषण रिसीव्हर्स
6. टीव्हीचे सिग्नल (Signal) मिक्सर सर्किट्स
7. मेमरी डिव्हाइस
8. डिजिटल सर्किट्स

1.2.5 एमओएस (MOS) उपकरणे

इन्सुलेटेड गेट फील्ड इफेक्ट ट्रान्झिस्टरला मेटल ऑक्साईड सेमीकंडक्टर फील्ड इफेक्ट ट्रान्झिस्टर (MOSFET) असे म्हणतात. यात गेट आणि चॅनेल दरम्यान SiO_2 ची इन्सुलेशन लेयर आहे. तर ते एफईटीपेक्षा खूप उच्च इनपुट प्रतिबाधाची ऑफर देते.

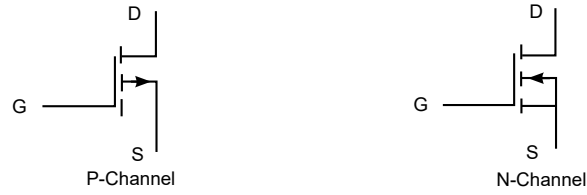
1.2.5.1 एमओएसएफईटी (MOSFET) चे प्रकार

रचना तपशीलांमधून MOSFET चे दोन प्रकार आहेत: (1) न्यूनता (Depletion) प्रकार MOSFET; (2) वर्धित (Enhancement) प्रकार MOSFET. न्यूनता च्या प्रकारातील MOSFET मध्ये एक भौतिक चॅनेल, इन्सुलेटेडगेट (insulated gate) आणि सबस्ट्रेट (substrate) आहे. त्यात चार टर्मिनल सोर्स, ड्रेन, गेट आणि सबस्ट्रेट आहेत. सबस्ट्रेट डिव्हाइसच्या मुख्य भागाशी कनेक्ट केलेले आहे. चॅनेल प्रकारानुसार दोन प्रकारचे न्यूनता MOSFET आहेत: (1) N चॅनेल न्यूनता MOSFET; (2) P चॅनेल न्यूनता MOSFET. न्यूनता प्रकार MOSFET देखील सामान्यपणे चालू (ON) MOSFET म्हणून म्हटले जाते. न्यूनता MOSFET चे दोन ऑपरेटिंग रीती: (1) न्यूनतामोड; (2) वर्धित मोड. न्यूनताच्या मार्गांमध्ये गेट नकारात्मक संभाव्यते (negative potential) वर ठेवली जाते. वर्धित मोडमध्ये न्यूनताप्रकार MOSFET ऑपरेट करण्यासाठी, गेट सकारात्मक संभाव्यतेवर ठेवली जाते. आकृती 1.18 मध्ये न्यूनता MOSFET चे सर्किट चिन्हे दर्शविली आहेत.



आकृती 1.18: न्यूनता (Depletion) MOSFET प्रकार

वर्धित (Enhancement) MOSFET प्रकार मध्ये न्यूनता ऑपरेशनचा मोड नाही आणि तो केवळ वर्धित मोडमध्ये कार्य करतो. N चॅनेल MOSFET आणि P चॅनेल MOSFET न एमओएस (NMOS) आणि P एमओएस (PMOS) डिव्हाइस म्हणून देखील ओळखले जातात. आकृती 1.19 मध्ये वर्धित MOSFET प्रकारातील MOSFET चे प्रतीक दर्शविले आहे.



आकृती 1.19: वर्धित (Enhancement) MOSFET प्रकार

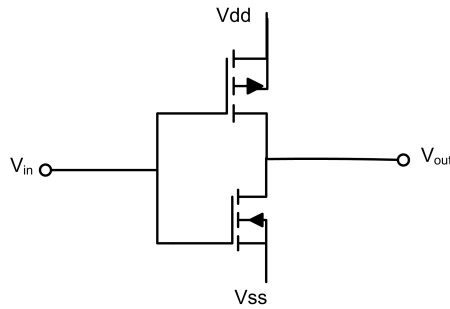
1.2.5.2 MOSFET चे अनुप्रयोग

MOSFET चे काही अनुप्रयोग खालीलप्रमाणे आहेत:

1. उच्च करंट (current) आणि व्होल्टेज स्विचिंग अनुप्रयोगांसाठी योग्य
2. ट्रॅक्शन सिस्टम
3. एसी ड्राइव्ह
4. मल्टीफेस इन्व्हर्टर

1.2.6 सीएमओएस (CMOS)

कॉम्प्लिमेंटरी मेटल ऑक्साईड सेमीकंडक्टर (CMOS) डिव्हाइस तयार करण्यासाठी P चॅनेल MOSFET आणि N चॅनेल MOSFET एकत्र वापरले जातात. हे डिव्हाइस सामान्यतः डिजिटल सर्किट्स फॅब्रिकेशनसाठी वापरले जातात. CMOS उपकरणांचा वापर करून लॉजिक गेट्स, काउंटर, मायक्रोकंट्रोलर आणि मेमरीज तयार केल्या आहेत. CMOS डिव्हाइसेस कमी उर्जाचा वापर आणि कॉम्पॅक्ट सारखी वैशिष्ट्ये ऑफर करतात. या उपकरणांचा वापर करून इंटिग्रेटेड सर्किट तयार केली जातात. आकृती 1.20 मध्ये CMOS डिव्हाइसचिरचना दर्शविली गेली आहे.



आकृती 1.20: CMOS डिव्हाइस



1.2.7 निष्क्रिय (passive) आणि सक्रिय (active) घटकांमधील तुलना

सारणी 1.6: निष्क्रिय (passive) आणि सक्रिय (active) घटकांमधील तुलना

अ. क्र.	निकष (Criteria)	निष्क्रिय (passive) घटक	सक्रिय (active) घटक
1.	स्त्रोत स्वरूप	निष्क्रिय (passive) घटक सर्किटमधील शक्ती किंवा ऊर्जा वापरतात.	सक्रिय (active) घटक सर्किटवर शक्ती किंवा ऊर्जा वितरित करतात किंवा नियंत्रित करतात.
2.	उदाहरणे	रेझिस्टर्स (Resistor), कॅपेसिटर, इंडक्टर इ.	डायोड, बीजेटी, एफईटी, इंटिग्रेटेड सर्किट इ.
3.	पॉवर गेन	ते पॉवर गेन प्रदान करण्यात अक्षम आहेत.	ते पॉवर गेन प्रदान करण्यात सक्षम आहेत.
4.	करंटचा करंट (current)	निष्क्रिय (passive) घटक करंटचा करंट (current) नियंत्रित करू शकत नाहीत.	सक्रिय (active) घटक करंटचा करंट (current) नियंत्रित करू शकतात.
5.	बाह्य स्त्रोताची आवश्यकता	ऑपरेशन्ससाठी त्यांना कोणत्याही बाह्य स्त्रोताची आवश्यकता नाही.	ऑपरेशन्ससाठी त्यांना बाह्य स्त्रोताची आवश्यकता असते.

उपक्रम

- या युनिटचा विषय क्रमांक 1.1 आणि 1.2 शिकल्यानंतर, विद्यार्थ्यांनी सक्रिय आणि निष्क्रिय घटक वापरून घरी उपलब्ध असलेल्या विविध गॅझेटवर यादी ओळखण्याचा आणि तयार करण्याचा प्रयत्न केला पाहिजे.
- विद्यार्थी त्यांच्या प्रमुख वैशिष्ट्यांसह सक्रिय आणि निष्क्रिय घटकांबद्दल जाणून घेण्यासाठी डेटा बुकचा संदर्भ घेईल आणि दोन वेगवेगळ्या घटकांसह दोन घटकांसह सादरीकरण तयार करेल.

सोडविलेले उदाहरण

उदाहरण 1: बीजेटी मध्ये तीन टर्मिनल करंट (current) $I_1 = 100\text{mA}$, $I_2 = 93\text{mA}$ आणि $I_3 = 7\text{mA}$ टर्मिनल नावे ओळखा.

उत्तर: बीजेटीकडे तीन टर्मिनल आहेत: एमिटर, बेस आणि कलेक्टर. या तीन टर्मिनल प्रवाहांपैकी एमिटर करंट (current) नेहमीच सर्वात मोठा असतो.

दिलेल्या आकडेवारीप्रमाणे, I_1 सर्वात मोठा आहे, जेणेकरून ते सध्या एमिटर टर्मिनलमधून वाहते.

$$I_E = I_C + I_B$$

$$100\text{mA} = 93\text{mA} + 7\text{mA}$$

बीजेटीमध्ये बेस करंट (current) सर्वात लहानवाहते, म्हणून I_3 करंट (current) बेस टर्मिनलमधून वाहतो.

म्हणून कलेक्टरमार्फत I_2 करंट (current) वाहत आहे.

उदाहरण 2: सीबी (CB) ट्रान्झिस्टर कॉन्फिगरेशनमध्ये करंट (current) गेन (α) 1 पेक्षा कमी आणि जवळपास समान असल्याचे समायोजित करा.

उत्तर: सीबी कॉन्फिगरेशनमध्ये BJT चे करंट (current) गेन दिले आहेत,

करंट (current) गेन (Current gain),

$$\alpha = I_C / I_E$$

$$I_E = I_C + I_B$$

I_E च्या तुलनेत I_B खूपच लहान असल्याने, I_B/I_E ही संज्ञा 1 च्या तुलनेत खूपच लहान असेल. तर, करंट (current) गेनचे मूल्य 1 पेक्षा कमी असेल.

उदाहरण 3: ट्रान्झिस्टरचे $\alpha = 0.9$ असल्यास, गणना करा β .

उत्तर: दिले: $\alpha = 0.9$

$$\alpha = 0.9$$

$$\beta = \alpha / (1 - \alpha) = (0.9) / (1 - 0.9) = 9$$

उदाहरण 4: जर $\beta = 100$ असेल तर अल्फाची गणना करा.

उत्तर: दिले: $\beta = 100$

करंट (current) गेन

$$\alpha = \beta / (1 + \beta) = 100 / 101 = 0.99$$

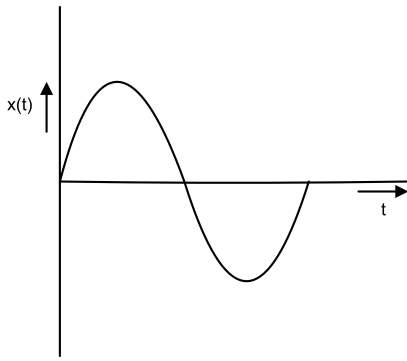
1.3 सिग्नल आणि सक्रिय (active) स्त्रोत

1.3.1 परिचय

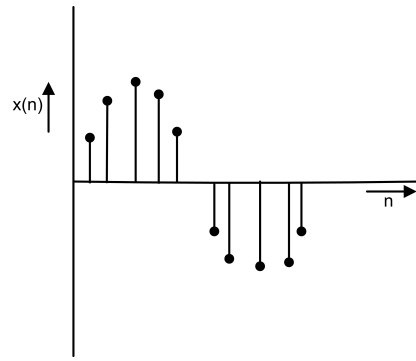
ऑडिओ, व्हिज्युअल जे माहिती पोहोचवतात अशा शारीरिक कार्यासाठी यांत्रिक सिग्नल आणि पॉवर डिलिव्हरीसाठी इलेक्ट्रिकल सिग्नल अशा वेगवेगळ्या रूपात सिग्नल असू शकतात. सिग्नलचे वर्गीकरण सर्किट्सचे विश्लेषण, प्रक्रिया आणि प्रमाणीकरण करण्यात मदत करते. सिग्नलची त्यांची कोणतीही शारीरिक वैशिष्ट्ये, त्यांचे गणितीय प्रतिनिधित्व किंवा त्यांच्या वापरावर वर्गीकरण केले जाऊ शकते. अंतर्निहित विषय सिग्नलच्या प्रकाराबद्दल संक्षिप्त विहंगावलोकन देतो ज्यात पर्यायी प्रवाह आणि थेट प्रवाह सिग्नलमध्ये बदल करण्याच्या मूलभूत संकल्पना समजण्यावर विशेष लक्ष दिले जाते.

1.3.2 सिग्नलचे वर्गीकरण

सिग्नलचे विस्तृतपणे कंटीन्यूअस (Continuous) टाईम (Time) सिग्नल आणि डिस्क्रीट (Discrete) वेळेचे सिग्नल म्हणून वर्गीकृत केले जाते. कंटीन्यूअस (Continuous) टाईम (Time) सिग्नल असे असते ज्यांचे गणितीय कार्य कंटीन्यूअस (Continuous) टाईम (Time) डोमेनमध्ये परिभाषित केले जाते, जेथे एक वेगळा टाईम (Time) सिग्नल म्हणून विशिष्ट वेळेवर परिभाषित केले जाते. आकृती 1.21 आणि 1.22 मध्ये ठराविक कंटीन्यूअस (Continuous) आणि डिस्क्रीट (Discrete) वेळेचे संकेत दर्शविले जातात.



आकृती 1.21: कंटीन्यूअस टाईम सिग्नल



आकृती 1.22: डिस्क्रीट टाईम सिग्नल

वरील सिग्नलचे पुढील वर्गीकरण केले आहे

- निर्धारक (Deterministic) आणि नॉन-निर्धारक (Non-deterministic) सिग्नल
- नियतकालिक (Periodic) आणि नॉन-नियतकालिक (Non-periodic) सिग्नल

1.3.3 निर्धारक आणि नॉन (Non)-निर्धारक सिग्नल

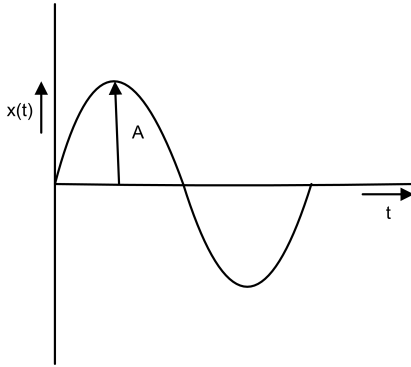
निर्धारक सिग्नल म्हणजे ते सिग्नल ज्यांचे स्वरूप आणि मोठेपणा कोणत्याही क्षणी अंदाज करता येतो. निर्धारक कंटीन्युअस (Continuous) टाईम सिग्नलचे आणि डिस्क्रीट (Discrete) टाईम सिग्नलचे गणितीय कार्य म्हणून दिले जाते.

$$x(t) = A \sin \omega t \quad \dots(1.13)$$

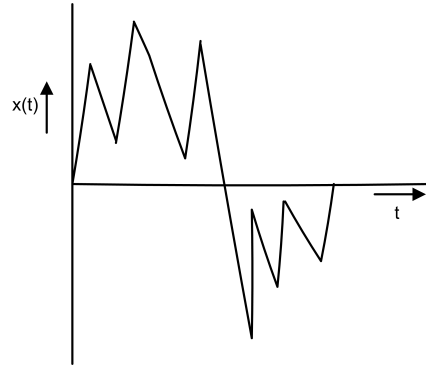
$$f(x) = \begin{cases} 1, & n \geq 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots(1.14)$$

समीकरण 1.13 वर नमूद केल्याप्रमाणे साइन (sin) फंक्शन मध्ये जास्तीत जास्त अम्प्लिट्यूड (amplitude) A आहे आणि वेळेसह साइनसॉइडली (sinusoidally) मध्ये भिन्न आहे तर समीकरण 1.14 मध्ये डिस्क्रीट (Discrete) टाईम (Time) सिग्नल अम्प्लिट्यूड एक सॅम्पलिंग इन्स्टंट्स n साठी आणि शून्य इतर सर्व सॅम्पलिंग इन्स्टंट्ससाठी प्रस्तुत करते.

नॉन (Non)-निर्धारक सिग्नल यादृच्छिक (random) सिग्नल म्हणून ओळखले जाते आणि त्याचा स्वभाव भाकित केला जात नाही. अशा सिग्नलचा नमुना अनियमित असतो आणि साध्या गणिताच्या कार्याद्वारे ते परिभाषित केले जाऊ शकत नाहीत. उदाहरणार्थ, सेमीकंडक्टर सामग्रीमध्ये इलेक्ट्रॉनांच्या हालचालीमुळे थर्मल आवाज तयार होतो. आकृती 1.23 आणि 1.24 निर्धारक आणि नॉन (Non)-निर्धारक सिग्नल दर्शवितो.



आकृती 1.23: निर्धारक सिग्नल



आकृती 1.24: नॉन (Non)-निर्धारक सिग्नल

1.3.4 नियतकालिक आणि नॉन (Non)-नियतकालिक सिग्नल

जर ठराविक कालावधीनंतर स्वतःची पुनरावृत्ती होत असेल तर कंटीन्युअस (Continuous) टाईम (Time) सिग्नलला नियतकालिक असे म्हणतात. नियतकालिक सिग्नलचे गणिती समीकरण म्हणून दर्शविले जाते.

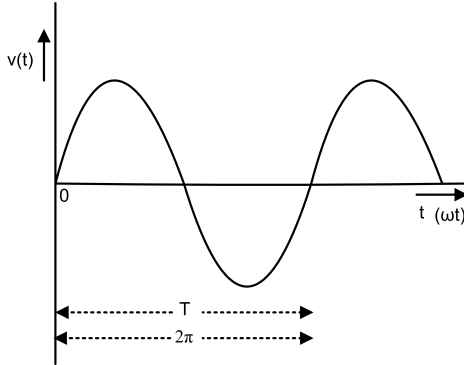
$$x(t) = x(t + T), \quad -\infty < t < \infty \quad \dots(1.15)$$

जेथे T हा सिग्नलचा कालावधी आहे. T चे सर्वात लहान मूल्य जे दिलेली समीकरण 1.15 पूर्ण करते त्याला सिग्नलचा मूलभूत कालावधी T_0 म्हणतात.

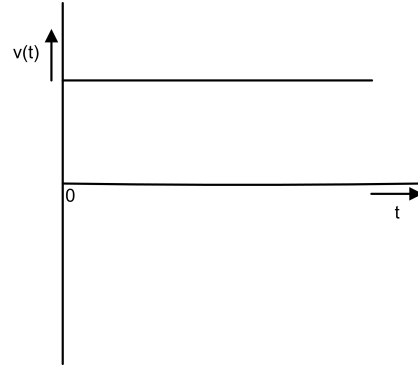
एक सिग्नल जो विशिष्ट कालावधीनंतर पुनरावृत्ती होत नाही किंवा जे समीकरण 1.15 पूर्ण करीत नाहीत अशा सिग्नलला नॉन (Non)-नियतकालिक (non-periodic) किंवा अनावर्ती (aperiodic) सिग्नल म्हणून ओळखले जातात. उदाहरणार्थ, मायक्रोफोनद्वारे तयार केलेले सिग्नल किंवा रेडिओ स्टेशनमधून व्युत्पन्न केलेले सिग्नल.

1.3.5 विद्युत सिग्नल

आज वापरात असलेल्या दोन विद्युत सिग्नल आहेत, उद्योगांच्या उर्जा उपकरणासाठी आणि कार्यालयांमध्ये किंवा घरांमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या उपकरणांसाठी. सर्वात सामान्य वापरलेला विद्युत सिग्नल म्हणजे अल्टरनेटिंग करंट (एसी) सिग्नल. त्याचा सापेक्ष सोयीचा फायदा ज्यायोगे तो तयार केला जाऊ शकतो आणि विस्तारित केला जाऊ शकतो, सिग्नल जनरेशन स्टेशनपासून शेवटच्या ग्राहकांपर्यंत प्रसारित करण्यासाठी कमी खर्चाचा आहे आणि सर्वात महत्वाचा म्हणजे विद्युत प्रणाली मध्ये काही तुटी आढळल्यास एसी सिग्नलमध्ये खंड पाडणे सोपे आहे. उद्योगांमध्ये वापरली जाणारी आणि घरगुती वापरली जाणारी उपकरणे ही एसी सिग्नलद्वारे चालविली जातात. अलिकडच्या वर्षांत वेगळ्या सक्रिय (active) घटकांच्या विकासामध्ये केलेल्या प्रगतीमुळे डायरेक्ट करंट (डीसी) सिग्नलचा उर्जा उपकरणे आणि उपकरणासाठी वाढीव उपयोग प्रत्यक्षात येणार आहे. आकृती 1.25 आणि आकृती 1.26 अल्टरनेटिंग करंट (AC) सिग्नल आणि डायरेक्ट करंट (DC) सिग्नल दर्शविते.



आकृती 1.25: अल्टरनेटिंग करंट (एसी) सिग्नल



आकृती 1.26: डायरेक्ट करंट (डीसी) सिग्नल

अल्टरनेटिंग करंट (एसी) एक साइनसॉइडल टाईम (Time)-भिन्न सिग्नल आहे. नावानुसार हे टी (T)-कालखंडात पॉझिटिव (positive) आणि नकारात्मक अशा वेगवेगळ्या मूल्यांच्या मालिकेतून जात आहे, ज्यानंतर ती चक्रीय पद्धतीने त्याच मालिकेत कंटीन्यूअस (Continuous) पुनरावृत्ती होते. हे वीज प्रकल्पात जनरेटरद्वारे व्युत्पन्न केले जाते. त्यानंतर व्युत्पन्न व्होल्टेज ट्रान्सफॉर्मर्स वापरून वाढविला जातो आणि नंतर त्या फॅक्टरी आणि निवासी घरांमध्ये ट्रान्समिशन आणि वितरण नेटवर्कद्वारे वितरित केल्या जातात जेथे आवश्यकतेनुसार व्होल्टेज खाली केले जाते. निवासी घरासाठी व्होल्टेजची आवश्यकता 50 Hz मध्ये 230 V आहे. एसी सिग्नल समजण्यासाठी, खालील अटी महत्त्वपूर्ण आहेत.

1.3.5.1 कालावधी आणि चक्र

अल्टरनेटिंग करंट किंवा व्होल्टेजचा कालावधी हा वेळेचे सर्वात लहान मूल्य आहे जे अल्टरनेटिंग क्वांटिटीचे आवर्ती (recurring) मूल्य वेगळे करते. हे आवर्ती मूल्य वेगळे करणाऱ्या कालावधीचा अर्थ T द्वारे आकृती 1.27 मध्ये दर्शविला आहे. अल्टरनेटिंग करंट किंवा व्होल्टेज सिग्नलच्या एका पॉझिटिव (positive) आणि नकारात्मक मूल्यांच्या पूर्ण संचाला सायकल (cycle) म्हणतात. समीकरण 1.16 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे एक सायकल कोनीय



वेगाने (angular velocity) देखील संदर्भित केली जाते जिथे एका सायकलला 360° किंवा कोनीय मापनाचे 2π रेडियन असे म्हटले जाते.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \dots(1.16)$$

1.3.5.2 फ्रीक्वन्सी

फ्रीक्वन्सी म्हणजे प्रति सेकंद चक्रांची संख्या. फिरणाऱ्या मशीनमध्ये, रोटरीच्या संपूर्ण परिभ्रमण दरम्यान स्टेटरवर ठेवलेल्या कंडक्टर मशीनच्या रोटरीला निश्चित केलेल्या पोलच्या जोडीमधून फ्लक्सद्वारे कापले जातात तेव्हा एक संपूर्ण चक्र तयार होते. P ध्रुव यंत्रासाठी प्रति सेकंद चक्रांची संख्या $p/2$ आहे आणि जर n रोटरी रोटेशनची गती प्रति सेकंद (rps) परिभ्रमणमध्ये असेल तर प्रति सेकंद चक्र किंवा हर्ट्झमध्ये फ्रीक्वन्सी चे समीकरण आहे.

$$f = \frac{np}{2} \quad \dots(1.17)$$

सेकंदात व्यक्त होणारा T हा एका चक्रासाठीचा कालावधी असल्याने, फ्रीक्वन्सी टर्म अशी व्यक्त केली जाऊ शकते

$$f = \frac{1}{T} \quad \dots(1.18)$$

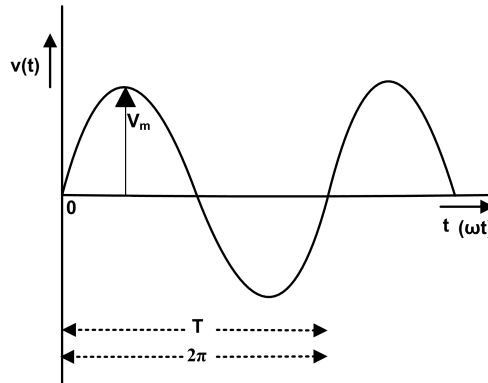
वापरात असलेल्या सर्वात सामान्य पॉवर प्लांट फ्रिक्वेन्सी 50 Hz आणि 60 Hz आहेत. भारतात जनरेटिंग व्होल्टेजची वारंवारिता 50 Hz आहे, तर उत्तर अमेरिका, युरोप आणि इतर खंडातील बऱ्याच देशांमध्ये, उत्पादनाची फ्रीक्वन्सी 60 Hz आहे.

1.3.5.3 वेव्हफॉर्म

त्वरित व्होल्टेजच्या प्लॉटमुळे किंवा x -अक्षावर असलेल्या वेळेच्या विरुद्ध y -अक्षावर चालू असलेल्या x - y प्लेनवरील वक्राचे आकार म्हणजे त्याचे वेव्हफॉर्म किंवा वेव्ह आकार. सेकंदात वेळेच्या दृष्टीने व्यक्त केलेला x - अक्ष रेडियन किंवा अंशांच्या दृष्टीने देखील व्यक्त केला जाऊ शकतो.

सराव मध्ये अल्टरनेटिंग व्होल्टेज आणि प्रवाह साइन वेव्हला व्युत्पन्न करते. म्हणून, एसी व्होल्टेज आणि प्रवाहची गणना साइन वेव्हवर आधारित आहे. एक वास्तविक साइन वेव्ह आकृती 1.27 मध्ये दर्शविली आहे आणि अशी व्यक्त केली जाऊ शकते

$$v(t) = V_m \sin \omega t \quad \dots(1.19)$$



आकृती 1.27: AC व्होल्टेज साइन वेव्ह

जे ωt रेडियनमध्ये टाइम अँगल देखील म्हटले जाते, तेथे V व्होल्टेजचे त्वरित मूल्य आणि साइनसॉइडल व्होल्टेज बदलांचे कमाल / सर्वोच्च मूल्य V_m असते.

1.3.6 व्होल्टेज आणि करंट स्रोत (source)

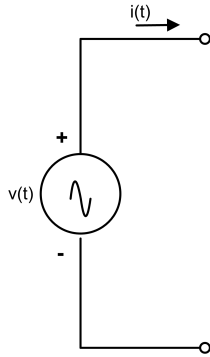
या युनिटच्या विषय 1 मध्ये, तीन निष्क्रिय (passive) घटकांवर चर्चा करण्यात आली, म्हणजे ऊर्जा शोषून घेणारा रेझिस्टर आणि इतर दोन म्हणजे इंडक्टर आणि कॅपेसिटर जे सक्रिय (active) स्रोतापासून ऊर्जा साठवू शकतात आणि त्याच स्रोताकडे परत वितरीत करू शकतात. विद्युत ऊर्जेचे स्रोत जे कंटीन्यूअस (continuous) ऊर्जा वितरीत करू शकतात किंवा शोषून घेऊ शकतात त्यांना सक्रिय (active) स्रोत म्हणतात. सक्रिय (active) स्रोतांना त्यांच्या व्होल्टेज - करंट वैशिष्ट्यांनुसार व्होल्टेज स्रोत आणि करंट स्रोत म्हणून वर्गीकृत केले जाते.

1.3.7 आयडियल (Ideal)/नॉन-आयडियल (Non-Ideal) स्रोत

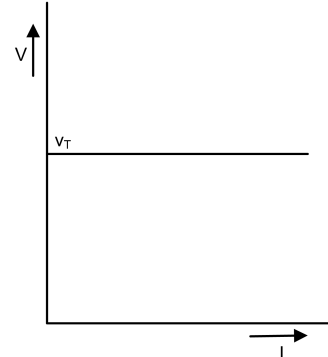
व्होल्टेज आणि करंट स्रोतांना व्होल्टेज- करंट (VI) वैशिष्ट्यांनुसार आयडियल (Ideal) आणि नॉन-आयडियल (Non-Ideal) / व्यावहारिक व्होल्टेज आणि करंट स्रोत म्हणून वर्गीकृत केले गेले आहे.

1.3.7.1 आयडियल (ideal) व्होल्टेज स्रोत

एक आयडियल (ideal) व्होल्टेज स्रोत त्याच्या आउटपुट टर्मिनलवर व्होल्टेजसह ऊर्जा वितरीत करतो आणि स्रोतापासून करंटपेक्षा वेगळा असतो. आयडियल (ideal) साइनसॉइडल व्होल्टेज स्रोताचे सर्किट प्रतिनिधित्व $V(t) = V_m \sin \omega t$ द्वारे आणि त्याची VI वैशिष्ट्ये अनुक्रमे आकृती 1.28 आणि 1.29 दर्शविली आहेत. व्होल्टेज स्रोत टर्मिनलवर संदर्भ ध्रुवीयता + आणि - चिन्हासह आकृती 1.28 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे पॉझिटिव (positive) व्हॉल्टेज $v(t)$ पॉझिटिव असताना अर्ध्या चक्रादरम्यान असते. प्रत्येक चक्र दरम्यान व्होल्टेज स्रोत टर्मिनलमधील वास्तविक ध्रुवीय एकदा चिन्हात बदल करतात.



आकृती 1.28: व्होल्टेज स्रोताचे सर्किट प्रतिनिधित्व



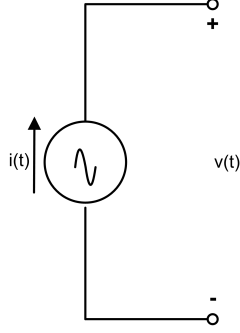
आकृती 1.29: V-I वैशिष्ट्यपूर्ण व्होल्टेज स्रोत

आयडियल (ideal) व्होल्टेज स्रोताच्या VI वैशिष्ट्यांवरून असे लक्षात येते की V_T म्हणून दर्शवलेले व्होल्टेज स्रोतामधून वाहणाऱ्या करंट $i(t)$ पासून वेगळा आहे, जेथे V_T कोणत्याही वेळी स्रोत व्होल्टेज $v(t)$ चे मूल्य आहे.

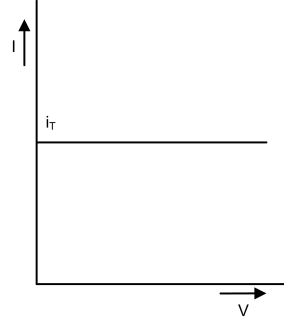
1.3.7.2 आयडियल (ideal) करंट स्रोत

एक आयडियल (ideal) करंट स्रोत आउटपुट टर्मिनलसद्वारे करंटसह ऊर्जा वितरीत करतो जे करंट स्रोताच्या टर्मिनलवरील व्होल्टेजपासून वेगळा आहे. $i(t) = I_m \sin \omega t$ आणि त्याच्या V-I वैशिष्ट्यांनी दिलेल्या आयडियल (ideal) साइनसॉइडल करंट

स्त्रोताचे सर्किट प्रतिनिधित्व अनुक्रमे आकृती 1.30 आणि 1.31 मध्ये दर्शविले आहे. आकृती 1.31 पासून, असे आढळून आले आहे की मूल्य i_T स्त्रोत करंट $i(t)$ दिलेल्या वेळेवर तत्काळ करंट स्त्रोताच्या टर्मिनलवरील व्होल्टेजपेक्षा वेगळा आहे.



आकृती 1.30: सर्किट करंट स्त्रोताचे प्रतिनिधित्व

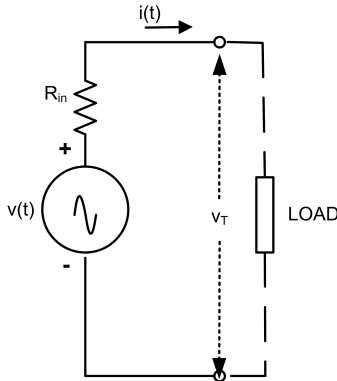


आकृती 1.31: करंट स्त्रोताचे V-I वैशिष्ट्य

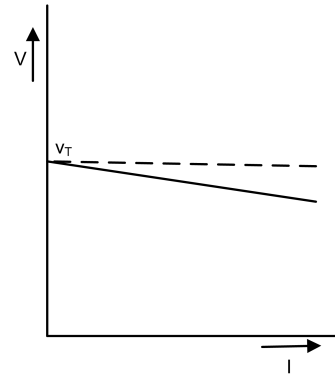
1.3.7.3 नॉन-आयडियल (Non-ideal) / प्रात्यक्षिक व्होल्टेज स्त्रोत

अव्यवहार्य व्होल्टेज स्त्रोत, ऊर्जा रूपांतरण प्रक्रियेद्वारे प्राप्त होते. उदाहरणार्थ, व्होल्टेज स्त्रोत जनरेटरमध्ये, यांत्रिक ते विद्युत उर्जेमध्ये रूपांतरण होते. त्याचप्रमाणे, बॅटरी स्त्रोतासाठी, रासायनिक ऊर्जा विद्युत उर्जेमध्ये रूपांतरित होते. उर्जेचे रूपांतरण नुकसानात होते आणि व्होल्टेज स्त्रोत जनरेटरसह मालिकेत अंतर्गत प्रतिरोधक R_{in} कनेक्ट करून याची काळजी घेतली जाते. प्रात्यक्षिक व्होल्टेज स्त्रोताचे सर्किट प्रतिनिधित्व आकृती 1.32 मध्ये आणि त्याचे V-I वैशिष्ट्ये आकृती 1.33 मध्ये दर्शविलेले आहेत. हे V-I वैशिष्ट्यांवरून पाहिले जाऊ शकते की टर्मिनल व्होल्टेज v_T करंट i मध्ये वाढीसह कमी होते. टर्मिनल व्होल्टेज समीकरण 1.20 द्वारे दिले जाते

$$v_T = v - iR_{in} \quad \dots(1.20)$$



आकृती 1.32: सर्किट व्होल्टेज स्त्रोताचे प्रतिनिधित्व



आकृती 1.33: व्होल्टेज स्त्रोताचे V-I वैशिष्ट्य

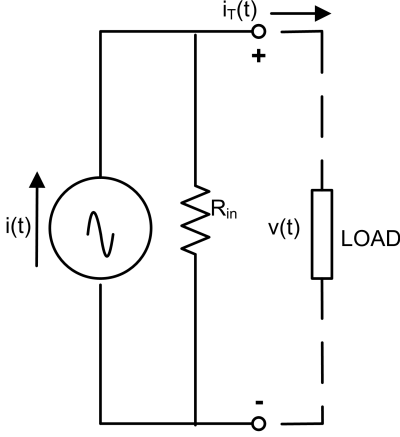
1.3.7.4 नॉन (Non)-आयडियल (ideal) / प्रात्यक्षिक करंट स्त्रोत

प्रात्यक्षिक करंट स्त्रोतामध्ये नुकसान दर्शविला जातो तो विद्यमान स्रोताशी समांतर आंतरिक प्रतिरोधक R_{in} कनेक्ट करून दर्शविला जातो. प्रात्यक्षिक करंट स्त्रोताचे सर्किट प्रतिनिधित्व आणि V-I वैशिष्ट्ये अनुक्रमे आकृती 1.34 आणि आकृती 1.35 मध्ये दर्शविली

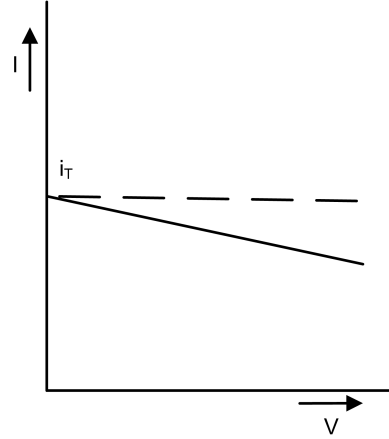
आहेत. हे V-I वैशिष्ट्यांमधून पाहिले जाऊ शकते की टर्मिनल करंट i_T टर्मिनल व्होल्टेज v मध्ये वाढ झाल्यामुळे कमी होते. टर्मिनल करंटचे समीकरण दिले जाते.

$$i_T = i - V/R_{in} \quad \dots(1.21)$$

बायपोलर जंक्शन ट्रान्झिस्टर वापरणारे इलेक्ट्रॉनिक सर्किट आणि फोटोव्होल्टिक सेल वापरणारे सर्किट बहुतेकदा त्यांच्या समकक्ष सर्किटमधील करंट स्रोतांचा वापर करून स्पष्ट केले जातात.



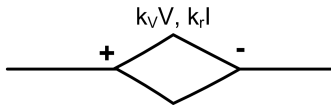
आकृती 1.34: करंट स्रोताचे सर्किट प्रतिनिधित्व



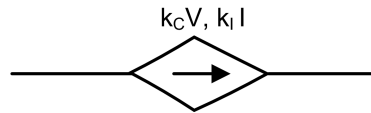
आकृती 1.35: करंट स्रोताचे V-I वैशिष्ट्य

1.3.8 अवलंबित (Dependent) व्होल्टेज आणि करंट स्रोत

डिस्क्रीट (Discrete) व्होल्टेज आणि करंट स्रोत ज्या सर्किटमध्ये जोडलेले आहेत त्या करंट किंवा व्होल्टेज घटकापेक्षा वेगळा आहे. अवलंबित (Dependent) स्रोतांमध्ये, व्होल्टेज/ करंट अवलंबित (Dependent) स्रोतांच्या टर्मिनल्सद्वारे ओलांडून किंवा करंट व्होल्टेज/ सर्किटमध्ये अन्यत्र करंट असलेल्या व्होल्टेज/ करंटद्वारे निर्धारित केले जाते. त्यानुसार, अवलंबित (Dependent) स्रोतांचे वर्गीकरण केले जाते (i) व्होल्टेजवर अवलंबून व्होल्टेज स्रोत (ii) करंट अवलंबून व्होल्टेज स्रोत (iii) करंट अवलंबून करंट स्रोत (iv) व्होल्टेज अवलंबून करंट स्रोत. अवलंबित (Dependent) स्रोतांसाठी चिन्हे आकृती 1.36 आणि 1.37 मध्ये दर्शविली आहेत. k_V , k_I , k_C आणि k_I वास्तविक संख्या आहेत, जेथे k_I , k_C अनुक्रमे ट्रान्स-रेझिस्टन्स आणि ट्रान्स-कंडक्टन्स आहेत आणि k_V , k_I परिमाणहीन आहेत.



आकृती 1.36: अवलंबित (Dependent) व्होल्टेज स्रोताचे प्रतीक



आकृती 1.37: अवलंबित (Dependent) करंट स्रोताचे प्रतीक

अनुप्रयोग

डिजिटल थर्मामीटरने वापरणारे एखाद्या व्यक्तीचे तापमान निरीक्षण करणे, मोबाईल कम्युनिकेशन, व्हिडिओ स्ट्रीमिंग, स्मार्ट घड्याळे इत्यादी सेन्सरकडून प्राप्त झालेल्या एनालॉग (analog) सिग्नलवर प्रक्रिया करण्यासाठी डिस्क्रीट (discrete) सिग्नलचा वापर केला

जातो. सक्रिय (active) स्त्रोत आपल्या दैनंदिन जीवनाचा एक भाग आहेत. उदाहरणार्थ, भिंतीवरील घड्याळ, टीव्हीचे रिमोट कंट्रोल युनिट, एअर कंडिशनर्स वापरण्यासाठी वापरलेले 1.5 V सेल, इग्निशनसाठी आणि वाहनांची प्रकाश व्यवस्था इत्यादी वापरण्यासाठी, वापरलेली 12 V बॅटरी हे सर्व सक्रिय (active) डीसी स्रोत आहेत. त्याचप्रमाणे, आपल्या घरांमध्ये वापरण्यात येणारी घरगुती उपकरणे जसे रेफ्रिजरेटर, वॉशिंग मशीन, फ्लोरोसेंट ट्यूब लाईट, सीलिंग फॅन इत्यादी सिंगल फेज एसी स्त्रोत वापरतात.

उपक्रम

विद्यार्थी करतील

1. एनालॉग (analog) आणि डिस्क्रीट (discrete) सिग्नलच्या अनुप्रयोगांची यादी करा.
2. गॅझेटची यादी तयार करा जे एनालॉग (analog) आणि डिस्क्रीट (discrete) सिग्नल वापरतात.

सोडविलेले उदाहरण

उदाहरण 1.3.1: रेझिस्टरसह मालिकेतील आयडियल (ideal) व्होल्टेज स्त्रोत म्हणून बॅटरी स्त्रोत दाखवल्याप्रमाणे टर्मिनल्सशी जोडलेले भार (load) भरत आहे. टर्मिनलवरील व्होल्टेज V_T 130 V आहे आणि करंट I_T 10 A आहे. टर्मिनलवरील भार आता बदलला आहे आणि त्यानुसार टर्मिनलवरील व्होल्टेज 100 V आहे आणि करंट 25 A आहे. व्होल्टेज V_S स्त्रोताच्या आणि रेझिस्टर R ची गणना करा. VI वैशिष्ट्य काढा.

उत्तर: स्त्रोत व्होल्टेज, टर्मिनल करंट आणि सीरीज रेझिस्टरच्या दृष्टीने टर्मिनल व्होल्टेज दिले जाते

$$V_T = V_S - I_T R \quad \dots(1.1)$$

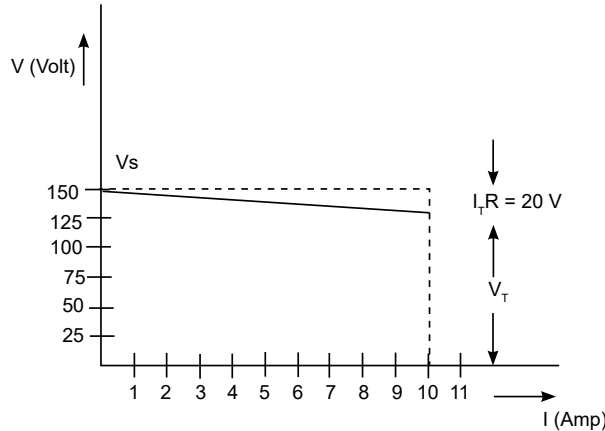
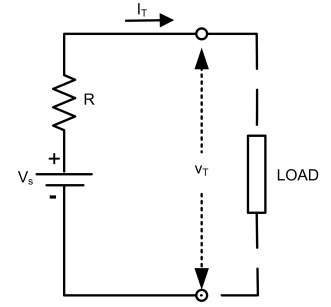
दोन भिन्न लोड परिस्थितीसाठी टर्मिनल व्होल्टेज समीकरण 1.1 वापरणे खालीलप्रमाणे आहे

$$130 = V_S - 10R \quad \dots(1.2)$$

$$100 = V_S - 25R \quad \dots(1.3)$$

समीकरण 1.2 मधून V_S समीकरण 1.3 मध्ये लावून, सीरीज रेझिस्टरचे मूल्य $R = 30 / (15) = 2 \Omega$ आहे.

R चे मूल्य समीकरण 1.2 मध्ये लावून $V_S = 150 \text{ Volt}$ आहे.



उदाहरण 1.3.2: प्रात्यक्षिक करंट स्रोतामध्ये 3 milliamp आयडियल (ideal) करंट स्रोत असतो ज्यामध्ये 1000 ओहमचा अंतर्गत प्रतिकार असतो. ओपन सर्किट टर्मिनल व्होल्टेज आणि अंतर्गत रेझिस्टरमध्ये उधळलेल्या शक्तीची गणना करा.

उत्तर: प्रात्यक्षिक स्रोताचे समीकरण खालीलप्रमाणे दिले आहे

$$i_T = i - v/R_{in} \quad \dots(2.1)$$

करंट स्रोताच्या टर्मिनलवर कोणतेही भार जोडलेले नसल्यामुळे दिलेल्या उदाहरणासाठी, करंट $i_T = 0$. म्हणूनच समीकरण 2.1

$V = iR_{in}$ मध्ये बदलते, जिथे V टर्मिनल व्होल्टेज आहे. i आणि R_{in} चे मूल्य टाकणे, $V = 3$ Volt.

युनिट सारांश

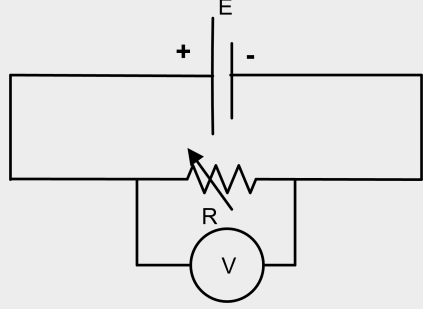
- निष्क्रिय (passive) आणि सक्रिय (active) घटक दोन मुख्य प्रकारचे सर्किट घटक तयार करतात.
- विद्युत चिन्हे सक्रिय (active) आणि निष्क्रिय (passive) दोन्ही घटकांचे प्रतिनिधित्व करण्यासाठी वापरली जातात.
- प्रतिकार (R) ही प्रवाहाच्या प्रवाहाला दिलेल्या विरोधाचे वर्णन करण्यासाठी वापरली जातात.
- रेझिस्टरचा वापर सर्किटमधील विद्युत प्रवाहाचा प्रवाह मर्यादित करण्यासाठी किंवा नियंत्रित करण्यासाठी तसेच त्याच्या परिसरात किंवा सर्किटच्या काही भागातील व्होल्टेज पातळी कमी करण्यासाठी केला जातो.
- कॅपेसिटर विद्युत भार (charge) च्या रूपात ऊर्जा साठवते.
- इंडक्टर हा एक निष्क्रिय (passive) घटक आहे ज्याचा वापर विद्युत चुंबकीय ऊर्जेच्या रूपात साठवण्यासाठी केला जातो जेव्हा त्यावर वीज लागू होते.
- सेमीकंडक्टर घटक सक्रिय (active) घन स्थिती घटक आहेत.
- सक्रिय (active) घटक सर्व इलेक्ट्रॉनिक सर्किटमध्ये वापरले जातात.
- डायोड, बीजेटी आणि एफईटी हे मूलभूत डिस्क्रीट (Discrete) सक्रिय (active) घटक आहेत.
- डायोड हे एक दिशा-निर्देशित डिव्हाइस आहे जे प्रामुख्याने रेक्टिफिकेशनसाठी वापरले जाते.
- बीजेटी हे एक करंट ऑपरेटिंग तीन टर्मिनल डिव्हाइस आहे जे मुख्यतः प्रवर्धन आणि स्विचिंग ऑपरेशनसाठी वापरले जाते.
- एफईटी हे एक व्होल्टेज ऑपरेटिंग डिव्हाइस आहे ज्यात उच्च इनपुट प्रतिबाधा (impedance) आहे. PMOS आणि NMOS एकत्रितपणे CMOS बांधण्यासाठी एकत्र केले जातात.
- सिग्नलचे वर्गीकरण कंटीन्यूअस (Continuous) टाईम (Time) सिग्नल आणि डिस्क्रीट (Discrete) सिग्नल म्हणून केले जाते.
- घरगुती आणि औद्योगिक अनुप्रयोगासाठी वापरल्या जाणाऱ्या इलेक्ट्रिकल सिग्नलचे एसी सिग्नल आणि डीसी सिग्नल म्हणून वर्गीकृत केले जाते.
- एसी आणि डीसी सिग्नल स्रोत त्यांच्या व्होल्टेज- करंट वैशिष्ट्यांनुसार आयडियल (ideal) आणि प्रात्यक्षिक स्रोत म्हणून वर्गीकृत केले जातात.
- बीजेटी, जेएफईटी सारख्या सक्रिय (active) घटक असलेल्या सर्किट्सच्या विश्लेषणासाठी अवलंबित (Dependent) व्होल्टेज आणि करंट स्रोत वापरला जातो.

अभ्यास

A. वस्तुनिष्ठ प्रश्न (Objective Questions)

सूचना: कृपया सर्वात योग्य उत्तर निवडा.

अ. क्र.	बहु-निवडक वस्तू	अ. क्र.	बहु-निवडक वस्तू
1.1	तापमानात वाढ झाल्याने शुद्ध धातूचा प्रतिकार (a) वाढते (b) कमी करा (c) स्थिर राहते (d) आधी वाढते आणि नंतर कमी होते	1.5	सिग्नल $x(t)$ जर नॉन (Non)-नियतकालिक सिग्नल असेल असे म्हटले जाते (a) $x(t) = x(t + T)$ हे समीकरण T च्या सर्व मूल्यांसाठी समाधानी आहे (b) $x(t) = x(t + T)$ हे समीकरण T च्या फक्त एका मूल्यासाठी समाधानी आहे (c) $x(t) = x(t + T)$ हे समीकरण T च्या कोणत्याही मूल्यांसाठी समाधानी आहे (d) $x(t) = x(t + T)$ हे समीकरण T च्या विषम मूल्यांसाठीच समाधानी आहे
1.2	कॅपेसिटरच्या दोन प्लेट्समधील इन्सुलेट माध्यम _____ म्हणून ओळखले जाते (a) इलेक्ट्रोड (b) कॅपेसिटिव्ह माध्यम (c) वहनकारी माध्यम (d) डायलेक्ट्रिक	1.6	आयडियल (ideal) व्होल्टेज स्त्रोतामध्ये स्त्रोत व्होल्टेज आणि टर्मिनल व्होल्टेज म्हणून संबंधित असू शकतात (a) टर्मिनल व्होल्टेज स्त्रोत व्होल्टेजपेक्षा जास्त आहे (b) टर्मिनल व्होल्टेज स्त्रोत व्होल्टेजच्या बरोबरीचे आहे (c) टर्मिनल व्होल्टेज नेहमी स्त्रोत व्होल्टेजपेक्षा कमी असते (d) टर्मिनल व्होल्टेज स्त्रोत व्होल्टेजपेक्षा जास्त असू शकत नाही
1.3	सर्वाधिक वापरला जाणारा _____ सेमीकंडक्टर आहे. (a) कार्बन (b) सिलिकॉन (c) जर्मेनियम (d) गॅलियम	1.7	ऑप्टो-कपलरसाठी डायोडची जोडी वापरली जाते (a) झीनर डायोड आणि पीएन जंक्शन डायोड (b) झीनर आणि एलईडी (c) झीनर डायोड आणि फोटो डायोड (d) एलईडी आणि फोटोडायोड
1.4	व्होल्टेज नियमनसाठी _____ डायोड योग्य आहे (a) PN जंक्शन (b) प्रकाश उत्सर्जित करणारा (c) छायाचित्र (d) झीनर	1.8	1.0Ω प्रतिकार असलेल्या वायरची लांबी चार समान भागांमध्ये कापली जाते. हे चार भाग एकत्र जोडलेले आहेत जेणेकरून दाट वायर तयार होईल. जाड वायरचा प्रतिकार _____ असेल. (a) 4Ω (b) $1/16 \Omega$ (c) $1/4 \Omega$ (d) 16Ω

अ. क्र.	बहु-निवडक वस्तू	अ. क्र.	बहु-निवडक वस्तू
1.9	बीजेटीमध्ये, टर्मिनल प्रवाह $I_1 = 5 \text{ mA}$, $I_2 = 9, 5 \text{ mA}$, $I_3 = 100 \text{ mA}$ आहेत. योग्य पर्याय निवडा (a) $I_1 = IB$, $I_2 = IC$, $I_3 = IE$ (b) $I_1 = IB$, $I_2 = IE$, $I_3 = IC$ (c) $I_1 = IC$, $I_2 = IB$, $I_3 = IE$ (d) $I_1 = IE$, $I_2 = IC$, $I_3 = IB$	1.10	दर्शविलेल्या सर्किट आकृतीमध्ये, जर E व्होल्ट असलेल्या बॅटरीमध्ये काही मर्यादित अंतर्गत प्रतिकार असेल आणि जर R कमी झाला तर व्होल्टमीटरचे वाचन _____ होईल.  (a) स्थिर रहा (b) वाढवा (c) कमी करा (d) E च्या बरोबरीचे असेल

B. विषयनिष्ठ प्रश्न (Subjective Questions)

- घरावर 500 मल्टी-कलर आउटडोर लाईट्सची खूप लांब स्ट्रिंग बसवली आहे. वीज लागू केल्यानंतर, घराच्या मालकाला लक्षात आले की दोन बल्ब जळून गेले आहेत. दिवे मालिकेत जोडलेले आहेत किंवा समांतर आहेत?
- तेथे 5 F, 10 F आणि 15 F चे कॅपेसिटर्स 100 V सप्लायमध्ये मालिकेत जोडलेले आहेत. समतुल्य कॅपेसिटन्स निश्चित करा.
- इंडक्टर फोटोडिओड, एमओएसईएफटी आणि सक्रिय डीसी स्त्रोत प्रत्येकी दोन अनुप्रयोगांची यादी करा.
- विजेची गरज, इनपुट प्रतिबाधा, थर्मल स्थिरता आणि कॉम्पॅक्टनेसच्या आधारावर BJT ची FET सह तुलना करा.
- स्वयंपाकघर आणि स्टोअर रूम लाइट करण्यासाठी दोन लाइट बल्ब वापरले जातात. जेव्हा एक व्होल्टेज 240 व्ही असते तेव्हा एक लाइट बल्ब 300 एमए काढतो. स्टोअर रूममधील दुसरा लाइट बल्ब 240 एमए काढतो जेव्हा त्यावरील व्होल्टेज 240 व्ही असते. लाइट बल्बच्या एकूण प्रतिकाराची गणना करा?
- घरगुती अलार्ममध्ये प्रकाश अमूर्तता शोधण्यासाठी योग्य प्रकारचे डायोड सुचवा.
- 'बीजेटीमध्ये, एमिटर टर्मिनल करंट जास्तीत जास्त वर्तमान आहे' असे औचित्य सिद्ध करा.
- Of चे मूल्य मोजा, जर of चे मूल्य 0.92 असेल.
- द्विध्रुवीय जंक्शन ट्रान्झिस्टरचा व्यावहारिक स्त्रोत 500 ओमच्या अंतर्गत प्रतिकारासह 3 एएमपी आदर्श वर्तमान स्त्रोत असतो. व्यावहारिक वर्तमान स्त्रोताच्या टर्मिनल्सशी 250 ओमचे लोड रेझिस्टर जोडलेले आहे. लोड टर्मिनलवरील व्होल्टेज आणि लोड रेझिस्टरद्वारे शोषलेली शक्ती शोधा.
- आदर्श आणि व्यावहारिक स्त्रोतांमधील फरक सूचीबद्ध करा.

संबंधित प्रात्यक्षिक

I. P7- ES110: निष्क्रिय घटक

P7.1 प्रात्यक्षिक विधान

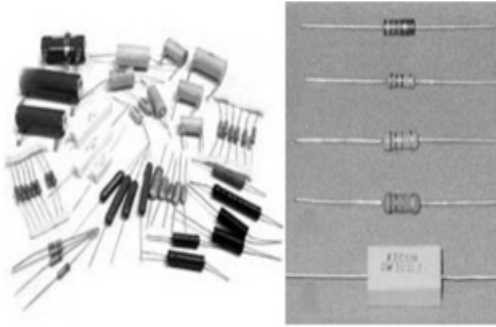
दिलेल्या सर्किटमधील विविध निष्क्रिय इलेक्ट्रॉनिक घटक ओळखा.

P7.2 प्रात्यक्षिक महत्व

कोणतेही सर्किट विविध प्रकारच्या घटकांनी बनलेले असते. हा प्रयोग निष्क्रिय इलेक्ट्रॉनिक घटकांच्या ओळख कौशल्यांच्या विकासासाठी आहे. रेझिस्टर, इंडक्टर आणि कॅपेसिटरसारखे निष्क्रिय घटक ऊर्जा नष्ट करतात किंवा साठवतात. हे प्रयोग ओळख कौशल्ये विकसित करण्यात मदत करतील जे कोणत्याही सर्किट किंवा डिव्हाइसच्या समस्यानिवारणासाठी अत्यंत आवश्यक आहे.

P7.3 संबंधित सिद्धांत

निष्क्रिय इलेक्ट्रॉनिक घटकांसाठी, कृपया या पुस्तकाच्या अध्याय 1 मधील विभाग 1.1 पहा.



आकृती P7.3: विविध प्रकारचे कॅपेसिटर दाखवणारी प्रतिमा



आकृती P7.2: विविध प्रकारचे इंडक्टर्स दाखवणारी प्रतिमा

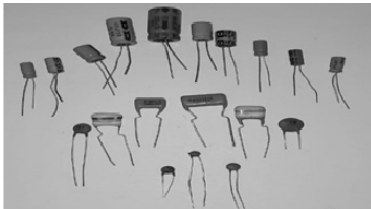
P7.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती (PrO)

PrO1: दिलेल्या सर्किटमध्ये विविध प्रकारचे रेझिस्टर ओळखा.

PrO2: दिलेल्या सर्किटमध्ये विविध प्रकारचे इंडक्टर्स ओळखा.

PrO3: दिलेल्या सर्किटमध्ये विविध प्रकारचे कॅपेसिटर ओळखा.

P7.5 प्रात्यक्षिक रचना (Practical Setup) (कामाची परिस्थिती)



आकृती P7.1: विविध प्रकारचे रेझिस्टर दर्शविणारी प्रतिमा



आकृती P7.2: विविध प्रकारचे व्हेरिएबल रेझिस्टर दर्शविणारी प्रतिमा

पोटेंशियोमीटर (Potentiometers): पोटेंशियोमीटर किंवा लहान स्वरूपात पॉट हे व्हेरिअबल रेझिस्टर असतात. सामान्यतः त्यांचे मूल्य ओहममध्ये जास्तीत जास्त मूल्यासह चिन्हांकित केले जाते. लहान ट्रिम पॉट 3-अंकी कोड वापरू शकतात जेथे पहिले 2 अंक लक्षणीय असतात आणि 3 रा गुणक असतो (मुळात पहिल्या 2 अंकांनंतर 0 ' ची संख्या). उदाहरणार्थ, कोड $10^4 = 10$ त्यानंतर चार 0 's = 100000 Ohms = 100K Ohms. त्यांच्यावर एक अक्षर कोड देखील असू शकतो जो टेपर दर्शवितो (म्हणजे पोटेंशियोमीटर किती दूर वळले आहे त्या संबंधात प्रतिकार कसा बदलतो). रेखीय (Linear) (लिन) किंवा लॉगरिदमिक (लॉग) ट्रॅक असलेले पोटेंशियोमीटर तेथे आहेत. रेखीय पोटेंशियोमीटरसह, ट्रॅकच्या एका टोकाचा आणि वायपरचा प्रतिकार स्थिर दराने बदलतो कारण स्लाइडर ट्रॅकच्या बाजूने हलवला जातो. लॉगरिदमिक प्रकारांमध्ये, ट्रॅकच्या एका टोकापासून दुसऱ्या टोकापर्यंत रेझिस्टन्समधील बदल खूप कमी असतो. ते सहसा सर्किट बोर्डवर "VR" सह चिन्हांकित केले जातात.

कॅपेसिटर (Capacitor): व्यावहारिक कॅपेसिटरचे प्रकार मोठ्या प्रमाणावर बदलतात, परंतु सर्वमध्ये कमीतकमी दोन विद्युत कंडक्टर असतात जे डायलेक्ट्रिक (इन्सुलेटर) द्वारे विभक्त असतात. त्यांच्यावर बरीच मूल्ये छापली जातात, काही 3-अंकी कोडने चिन्हांकित केली जातात, आणि काही रंग कोडित असतात. ते साधारणपणे सर्किट बोर्डवर "C" सह चिन्हांकित असतात.

इंडक्टर (Inductor): एक इंडक्टर, ज्याला कॉइल किंवा रिअॅक्टर (reactor) असेही म्हणतात, त्यात वायर सारख्या कंडक्टरचा समावेश असतो, सामान्यतः कॉइलमध्ये वून्ड (wound) होतो. त्यांची मूल्ये शोधणे थोडे कठीण असू शकते. त्यापैकी काही रंग कोडित आहेत, अन्यथा LCR मीटरसारखे चांगले मोजण्याचे साधन, जे इंडक्टन्स मोजू शकते. ते सहसा सर्किट बोर्डवर "L" सह चिन्हांकित केले जातात.

P7.6 आवश्यक संसाधने

अ. क्र.	सुचवलेली संसाधने आवश्यक महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह	प्रमाण	विस्तृत वैशिष्ट्यांसह आवश्यक वास्तविक संसाधने (विद्यार्थ्यांनी भरावे)	शेरा (जर असेल तर)
1.	विविध घटक असलेले नमुना सर्किट	2		
2.	विविध प्रकारचे रेझिस्टर, पॉट, इंडक्टर आणि कॅपेसिटर	मिश्रित		

P7.7 सावधानता

- ओळखीसाठी घेतलेला कोणताही निष्क्रिय घटक योग्य ठिकाणी परत ठेवला गेला आहे याची खात्री करा.
- वर्किंग टेबलवर नीटनेटकेपणा ठेवा.
- घटक व्यवस्थित हाताळा.

P7.8 सुचवलेली कृती

- विविध घटकांचे काळजीपूर्वक निरीक्षण करा.
- दिलेल्या दोन सर्किटमधील मूल्य आणि प्रकार रेझिस्टर, इंडक्टर आणि कॅपेसिटर ओळखा आणि त्यांना निरीक्षण सारणीमध्ये नोंद करा.

P7.9 निरीक्षणे

सर्किट 1						
अ. क्र.	रेझिस्टर		इंडक्टर		कॅपेसिटर	
	प्रकार Types	मूल्ये Values	प्रकार Types	मूल्ये Values	प्रकार Types	मूल्ये Values
सर्किट 2						

P7.10 परिणाम

.....

.....

P7.11 निष्कर्ष

.....

.....

P7.12 प्रात्यक्षिक संबंधित प्रश्न

(उत्तरासाठी स्वतंत्र पत्रक वापरा)

टीप: संदर्भासाठी खाली काही नमुने प्रश्न दिले आहेत. पूर्व-परिभाषित अभ्यासक्रमाच्या निकालांची प्राप्ती सुनिश्चित करण्यासाठी शिक्षकांनी असे अधिक प्रश्न तयार केले पाहिजेत.

1. रेझिस्टरवर चौथा रंग नसल्यास, त्याचे सहनशीलता मूल्य सांगा.
2. पारंपारिक ट्यूब लाइट मध्ये वापरल्या जाणाऱ्या निष्क्रिय घटकांची यादी करा.

P7.13 संसाधने शिकण्याचे स्त्रोत



II. P8-ES110: सीरीज आणि पॅरलेल मध्ये रेझिस्टर

P8.1 प्रात्यक्षिक विधान

रेझिस्टर सीरीज आणि पॅरलेल मध्ये ब्रेडबोर्डवर जोडणी जोडा आणि मल्टीमीटर वापरून त्याचे मूल्य मोजा.

P8.2 प्रात्यक्षिक महत्त्व

विद्युत उपकरणांमध्ये सीरीज आणि पॅरलेल सर्किट कनेक्शन खूप सामान्य आहेत. फ्यूज, स्वयंचलित घर हीटिंग उपकरणे आणि सुरक्षा कटआउट स्त्रोतासह सीरीज मध्ये जोडलेले आहेत. बहुतेक उपकरणे व्होल्टेज स्त्रोतासह पॅरलेल जोडलेली असतात. या प्रयोगाचे उद्दीष्ट मापन साधने वापरणे आणि सीरीज आणि पॅरलेल सर्किटचे विश्लेषण करण्याचे कौशल्य विकसित करणे आहे.

P8.3 संबंधित सिद्धांत

सीरीज आणि पॅरलेल सर्किटसाठी, या अध्याय मधील विभाग 1.1.6 पहा.

P8.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती (PrO)

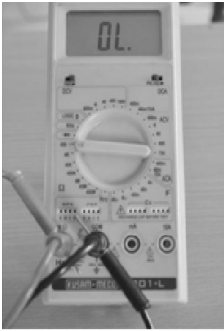
PrO1: रेझिस्टन्स मोजण्यासाठी मल्टीमीटर वापरा.

PrO2: जेव्हा रेझिस्टन्स सीरीज मध्ये जोडलेले असतात तेव्हा समतुल्य रेझिस्टन्स मोजा.

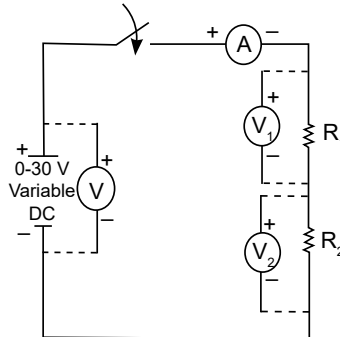
PrO3: समतुल्य रेझिस्टन्स मोजा जेव्हा रेझिस्टर पॅरलेल मध्ये जोडलेले असतात.

PrO4: लुटी स्वीकार्य मर्यादेत आहे का ते ठरवा.

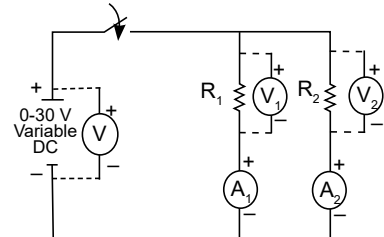
P8.5 प्रात्यक्षिक रचना (Practical Setup) (परिक्रमा आकृती (Circuit Diagram))



आकृती 8.1: डिजिटल मल्टीमीटर



आकृती 8.2: सीरीज सर्किट



आकृती 8.3: पॅरलेल सर्किट

P8.6 आवश्यक संसाधने

अ. क्र.	सुचवलेली संसाधने आवश्यक महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह	प्रमाण	विस्तृत वैशिष्ट्यांसह आवश्यक वास्तविक संसाधने (विद्यार्थ्याने भरावे)	शेरा (जर असेल तर)
1.	डिजिटल मल्टीमीटर: प्रोबसह 3½ अंकी Display	2		
2.	व्हेरिफेबल डीसी वीज पुरवठा: 0-30 V, 2 A	1		

अ. क्र.	सुचवलेली संसाधने आवश्यक महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह	प्रमाण	विस्तृत वैशिष्ट्यांसह आवश्यक वास्तविक संसाधने (विद्यार्थ्याने भरावे)	शेरा (जर असेल तर)
3.	R_1 आणि R_2 या दोन भिन्न मूल्यांचा रेझिस्टन्स	2		
4.	ब्रेड बोर्ड: 5 cm × 17 cm	1		
5.	कनेक्टिंग वायर: सिंगल स्ट्रँड टेफ्लॉन कोटिंग (0.5 मिमी व्यास)	L.S.		

P8.7 सावधानता

1. कनेक्शन प्रायोगिक सेटअपनुसार असावे याची खात्री करा.
2. प्रयोग करत असताना मल्टी-मीटरचे योग्य कार्य निवडा.
3. सर्किट कनेक्शन तपासल्याशिवाय मल्टी-मीटर चालू करू नका.
4. सर्किट आकृतीमध्ये दाखवल्याप्रमाणे योग्य ध्रुवीयतेमध्ये व्होल्टमीटर आणि अँमीटर कनेक्ट करा.
5. मल्टीमीटर जेव्हा रेझिस्टरमध्ये व्होल्टेज मोजण्यासाठी वापरले जाते तेव्हा त्याच्याशी पॅरलेल जोडलेले असावे.

P8.8 सुचवलेली कृती

1. आकृती 8.1 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे ब्रेडबोर्डवर सर्किट कनेक्ट करा.
2. सर्किटमध्ये अज्ञात रेझिस्टर R_1 कनेक्ट करा.
3. मल्टी-मीटरवर COM टर्मिनलवर ब्लॅक लीड कनेक्ट करा.
4. मल्टी-मीटरवर Ω टर्मिनलवर लाल लीड कनेक्ट करा.
5. मल्टी-मीटर चालू करा. डिस्ले विंडो एकतर 0L किंवा OPEN दर्शवायला हवी.
6. व्हेरिफाई व्होल्टेज पुरवठा वापरून सर्किटमधील व्होल्टेज बदलणे
7. मल्टीमीटर वापरून व्होल्टेज आणि करंटचे वाचन रेकॉर्ड करा.
8. ओहम नियम वापरून रेझिस्टन्स ची गणना करा.
9. रेझिस्टन्स सरासरी मूल्याची गणना करा.
10. अज्ञात रेझिस्टन्स R_2 ची गणना करण्यासाठी 6 ते 9 चरणांची पुनरावृत्ती करा.
11. दोन रेझिस्टन्स R_1 आणि R_2 ला सीरीज संयोजनात जोडा.
12. प्रयोगाद्वारे रेझिस्टन्स शोधण्यासाठी 6 ते 9 चरणांची पुनरावृत्ती करा
13. सैद्धांतिकदृष्ट्या समतुल्य रेझिस्टन्स मोजा.
14. दोन रेझिस्टन्स R_1 आणि R_2 पॅरलेल संयोजनात जोडा.
15. प्रयोगाद्वारे रेझिस्टन्स शोधण्यासाठी 6 ते 9 चरणांची पुनरावृत्ती करा
16. सैद्धांतिकदृष्ट्या समतुल्य रेझिस्टन्स मोजा.

P8.9 निरीक्षणे आणि गणना

अ. क्र.	रेझिस्टर R_1 मध्ये व्होल्टेज	रेझिस्टर R_1 मध्ये व्होल्टेज	रेझिस्टर R_2 मध्ये व्होल्टेज	सर्किटमध्ये R_2 सह प्रवाहित प्रवाह	मालिकेतील R_1 आणि R_2 मधील व्होल्टेज	मालिकेत R_1 आणि R_2 सह प्रवाहित प्रवाह	समांतर R_1 आणि R_2 मध्ये व्होल्टेज	R_1 आणि R_2 सह समांतर प्रवाह

गणना

R_1 चे सरासरी (Average) मूल्य =

R_2 चे सरासरी मूल्य =

R_1 आणि R_2 मालिकेत असताना समतुल्य (equivalent) प्रतिकाराचे सरासरी मूल्य =

R_1 आणि R_2 समांतर असताना समतुल्य प्रतिकाराचे सरासरी मूल्य =

P8.10 परिणाम आणि आंतरक्रिया

R_1 चे मूल्य	R_2 चे मूल्य	प्रतिकारांच्या मालिका संयोजनाचे समतुल्य प्रतिकार, R_s		प्रतिकारांच्या समांतर संयोजनाचे समतुल्य प्रतिकार, R_p	
प्रायोगिकदृष्ट्या	प्रायोगिकदृष्ट्या	सैद्धांतिकदृष्ट्या	प्रायोगिकदृष्ट्या	सैद्धांतिकदृष्ट्या	प्रायोगिकदृष्ट्या

P8.11 निष्कर्ष आणि / किंवा मान्यता

.....

.....

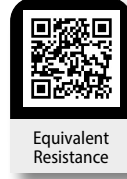
P8.12 प्रात्यक्षिक संबंधित प्रश्न

(उत्तरासाठी स्वतंत्र पत्रक वापरा)

टीप: संदर्भासाठी खाली काही नमुने प्रश्न दिले आहेत. पूर्व-परिभाषित अभ्यासक्रमाच्या निकालांची प्राप्ती सुनिश्चित करण्यासाठी शिक्षकांनी असे अधिक प्रश्न तयार केले पाहिजेत.

- जर रेझिस्टन्स व्होल्टेज तीन वेळा वाढवले असेल तर करंट कसा प्रभावित होईल?
- रेझिस्टर कसा जोडला पाहिजे जेणेकरून परिणामी रेझिस्टन्स कमी होईल?

P8.13 संसाधने शिकण्याचे स्त्रोत



III. P9-ES110: सीरीज आणि पॅरलेल मध्ये कॅपेसिटर

P9.1 प्रात्यक्षिक विधान

ब्रेड बोर्डवर सीरीज आणि पॅरलेल संयोजन मध्ये कॅपेसिटर कनेक्ट करा आणि मल्टीमीटर वापरून त्याचे मूल्य मोजा.

P9.2 प्रात्यक्षिक महत्व

उद्योग आणि घरगुती अनुप्रयोगांमध्ये, अचूकतेसह समकक्ष क्षमतेचे मोजमाप करणे फार महत्वाचे आहे. असे मोजमाप मल्टीमीटर किंवा एलसीआर मीटरद्वारे केले जाऊ शकते.

P9.3 संबंधित सिद्धांत

कॅपेसिटन्ससाठी, अध्यायचा 1.1.1 पहा.

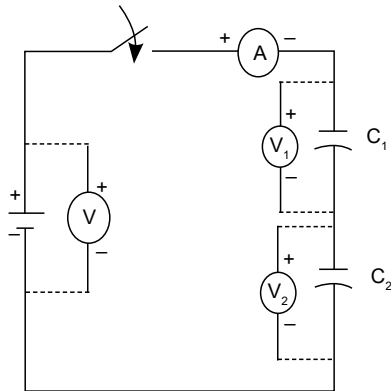
P9.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती (PrO)

PrO1: कॅपेसिटन्स मोजण्यासाठी मल्टीमीटर वापरा.

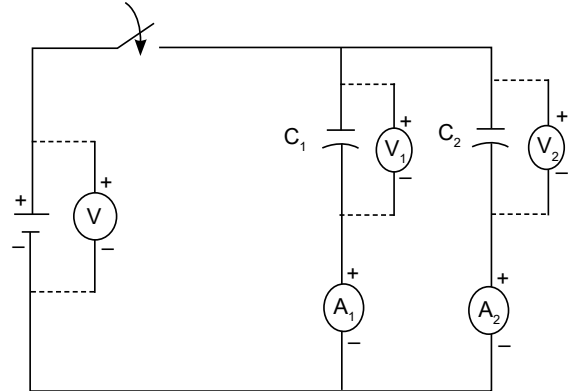
PrO2: जेव्हा कॅपेसिटन्स सीरीजमध्ये जोडलेले असतात तेव्हा समतुल्य कॅपेसिटन्स मोजा.

PrO3: समतुल्य कॅपेसिटन्स मोजा जेव्हा कॅपेसिटन्स पॅरलेल जोडलेले असतात.

P9.5 प्रात्यक्षिक रचना (Practical Setup)) (परिक्रमा आकृती (Circuit Diagram))



आकृती P9.1: कॅपेसिटरचे सीरीज संयोजन



आकृती P9.3: कॅपेसिटरचे पॅरलेल संयोजन

P9.6 आवश्यक संसाधने

अ. क्र.	सुचवलेली संसाधने आवश्यक महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह	प्रमाण	विस्तृत वैशिष्ट्यांसह आवश्यक वास्तविक संसाधने (विद्यार्थ्याने भरावे)	शेरा (जर असेल तर)
1.	डिजिटल मल्टी मीटर: प्रोबसह 1/2 अंकी डिस्प्ले	3		
2.	डीसी वीज पुरवठा: 0-30 V, 2A, SC संरक्षण, व्होल्टेज आणि वर्तमान साठी प्रदर्शन	1		
3.	EMF source: Voltage = 0-20 V, Ampere = 0-1A	1		
4.	अॅमीटर 0-5A, AC	2		
5.	Micro farads मध्ये योग्य कॅपेसिटर	2		
6.	कनेक्टिंग वायर: सिंगल स्ट्रँड टेफ्लॉन कोटिंग (0.6 मिमी व्यास)	L.S.		

P9.7 सावधानता

- सर्किट कनेक्शन तपासल्याशिवाय मल्टी-मीटर चालू करू नका.
- प्रयोग करत असताना मल्टी-मीटरचे योग्य कार्य निवडा.
- सर्किटमध्ये जोडण्यापूर्वी सर्व कॅपेसिटर पूर्णपणे डिस्चार्ज झाल्याची खात्री करा.
- सर्किटला स्पर्श करताना आपले हात ओले नाहीत याची खात्री करा.

P9.8 सुचवलेली कृती

- मल्टी-मीटरवर COM टर्मिनलवर ब्लॅक लीड कनेक्ट करा.
- मल्टी-मीटरवर Ω टर्मिनलवर लाल लीड कनेक्ट करा.
- प्रत्येक कॅपेसिटर डिस्चार्ज झाल्याची खात्री करा ($V = 0$) सुमारे 30 सेकंदांसाठी कॅपेसिटर चे वायर लीड जोडून.
- सर्किटमध्ये जोडण्यापूर्वी कॅपेसिटरचे मूल्य लक्षात घ्या.
- सर्किट डायग्राम, आकृती 9.2 नुसार मीटरसह ब्रेड बोर्डवर सीरीज मध्ये कॅपेसिटर कनेक्ट करा.
- पुरवठा चालू करा आणि व्होल्टमीटर म्हणून वापरल्या जाणाऱ्या अॅमीटर आणि मल्टीमीटरचे वाचन नोंदवा आणि प्रत्येक कॅपेसिटर आणि पुरवठा व्होल्टेजमध्ये व्होल्टेज मोजा.
- पुरवठा बंद करा.
- सीरीज समकक्ष कॅपेसिटन्स शोधा.
- सर्किट आकृती 9.3 नुसार कॅपेसिटरला मीटरसह पॅरलेल जोडा.
- पुरवठा चालू करा आणि व्होल्टमीटर आणि अॅमीटर म्हणून वापरल्या जाणाऱ्या मल्टीमीटरचे वाचन नोंदवा.
- पुरवठा बंद करा.

12. पॅरलेल् समतुल्य कॅपेसिटन्स शोधा.

13. C_1 चे मूल्य C_1' आणि C_2 चे C_2' मध्ये बदला आणि 3 ते 12 पायऱ्या पुन्हा करा आणि सीरीज समतुल्य कॅपेसिटन्स CTS_2 आणि पॅरलेल् समतुल्य कॅपेसिटन्स CTP_2 शोधा.

P9.9 निरीक्षणे आणि गणना

1. $C_1 =$ _____; $C_2 =$ _____

2. $C_1' =$ _____; $C_2' =$ _____

सीरीज कनेक्शन

अ. क्र.	V	V_1	V_2	I
1.				
2.				

मालिका कनेक्शनसाठी सैद्धांतिकदृष्ट्या

$$V = V_1 + V_2,$$

$$Q/C = Q/C_1 + Q/C_2 \text{ i.e. } 1/C = 1/C_1 + 1/C_2$$

$$C_{TS1} = C_1 \times C_2 = \text{_____}$$

$$C_1 + C_2$$

$$C_{TS2} = C_1' \times C_2' = \text{_____}$$

$$C_1' + C_2'$$

पॅरलेल् कनेक्शन

अ. क्र.	V	V_1	V_2	I
1.				
2.				

समांतर कनेक्शनसाठी सैद्धांतिकदृष्ट्या

$$V = V_1 = V_2$$

$$Q = C(V_1 + V_2)$$

$$C_{TP1} = C_1 + C_2 = \text{_____}$$

$$C_{TP2} = C_1' + C_2' = \text{_____}$$

P9.10 परिणाम आणि आंतरक्रिया

.....

.....

P9.11 निष्कर्ष

.....
.....

P9.12 प्रात्यक्षिक संबंधित प्रश्न

(उत्तरासाठी स्वतंत्र पत्रक वापरा)

टीप: संदर्भासाठी खाली काही नमुने प्रश्न दिले आहेत. पूर्व-परिभाषित अभ्यासक्रमाच्या निकालांची प्राप्ती सुनिश्चित करण्यासाठी शिक्षकांनी असे अधिक प्रश्न तयार केले पाहिजेत.

1. सुरुवातीला प्रत्येक कॅपेसिटर डिस्चार्ज करण्याचे कारण द्या.
2. 2 मायक्रो फॅराड आणि 5 मायक्रो फॅराडचे दोन कॅपेसिटर आहेत. समतुल्य कॅपेसिटन्सची तुलना करा, जर ते सीरीज आणि नंतर पॅरलेल् जोडलेले असतील.
3. जर तुम्हाला कॅपेसिटर बँकेत मोठ्या प्रमाणावर शुल्क साठवायचे असेल तर कॅपेसिटर सीरीज किंवा पॅरलेल् जोडलेले असावेत?

IV. P10-ES110: सीरीज आणि पॅरलेल मध्ये कॅपेसिटर

P10.1 प्रात्यक्षिक विधान

दिलेल्या सर्किटमधील विविध सक्रिय इलेक्ट्रॉनिक घटक ओळखा.

P10.2 प्रात्यक्षिक महत्त्व

कोणतेही सर्किट विविध प्रकारच्या घटकांनी बनलेले असते. सक्रिय घटक इलेक्ट्रिक सर्किटला ऊर्जा पुरवतात. या प्रयोगाचा उद्देश सक्रिय घटक ओळखणे आहे, जे मूलभूत सर्किट डिझाईन करण्याचे कौशल्य विकसित करण्यासाठी किंवा कोणत्याही सर्किट किंवा यंत्राच्या समस्यानिवारणासाठी अत्यंत आवश्यक आहे.

P10.3 संबंधित सिद्धांत

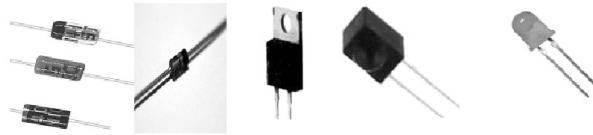
सक्रिय इलेक्ट्रॉनिक घटकांसाठी, या अध्यायचा विभाग 1.2 पहा.

P10.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती (PRO)

PrO1: दिलेल्या सर्किटमध्ये विविध प्रकारचे डायोड ओळखा.

PrO2: दिलेल्या सर्किटमध्ये विविध प्रकारचे ट्रान्झिस्टर ओळखा.

P10.5 प्रात्यक्षिक रचना



आकृती P10.1: पीएन जंक्शन डायोड, फोटो डायोड, जेनर डायोड, एलईडी सारख्या विविध प्रकारचे डायोड दाखवणारी प्रतिमा



आकृती P10.2: बीजेटी, पॉवर ट्रान्झिस्टर, जेएफईटी, एमओएसएफईटी सारख्या विविध प्रकारच्या ट्रान्झिस्टर दर्शविणारी प्रतिमा

P10.6 आवश्यक संसाधने

अ. क्र.	सुचवलेली संसाधने आवश्यक महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह	प्रमाण	विस्तृत वैशिष्ट्यांसह आवश्यक वास्तविक संसाधने (विद्यार्थ्यांनी भरावे)	शेरा (जर असेल तर)
1.	विविध सक्रिय घटक असलेले नमुना सर्किट.	3		
2.	डायोड: सेमीकंडक्टर डायोड, जेनर डायोड, एलईडी, फोटो डायोड इ.	मिश्रित		
3.	ट्रान्झिस्टर: BJT, JFET, MOSFET इ.	मिश्रित		

P10.7 सावधानता

- ओळखीसाठी घेतलेले कोणतेही सक्रिय घटक योग्य ठिकाणी परत ठेवले आहेत याची खाली करा.
- वर्किंग टेबलवर नीटनेटकेपणा ठेवा.
- घटक व्यवस्थित हाताळा.

P10.8 सुचवलेली कृती

- कॅरियस घटकांकडे काळजीपूर्वक निरीक्षण करा.
- दिलेल्या दोन मध्ये घटक क्रमांक आणि डायोड आणि ट्रान्झिस्टरचा प्रकार ओळखा सर्किट आणि निरीक्षण टेबलमध्ये त्यांची नोंद घ्या.

P10.9 निरीक्षणे

सर्किट 1				
अ. क्र.	डायोड		ट्रान्झिस्टर	
	घटक क्रमांक	प्रकार	घटक क्रमांक	प्रकार
सर्किट 2				

P10.10 परिणाम आणि आंतरक्रिया

.....

.....

P10.11 निष्कर्ष

.....

.....

P10.12 प्रात्यक्षिक संबंधित प्रश्न

(उत्तरासाठी स्वतंत्र पत्रक वापरा)

टीप: संदर्भासाठी खाली काही नमुने प्रश्न दिले आहेत. पूर्व-परिभाषित अभ्यासक्रमाच्या निकालांची प्राप्ती सुनिश्चित करण्यासाठी शिक्षकांनी असे अधिक प्रश्न तयार केले पाहिजेत.

1. दिलेला डायोड जर्मेनियम डायोड आहे की सिलिकॉन डायोड आहे हे कसे ओळखता येईल याचे वर्णन करा.
2. दिलेल्या ट्रान्झिस्टरसाठी, एमिटर, बेस आणि कलेक्टर टर्मिनल कसे ओळखता येतील याचे वर्णन करा.
3. प्रॅक्टिकल दरम्यान पाळल्या गेलेल्या विविध सक्रिय घटकांची विद्युत चिन्हे काढा.

P10.13 संसाधने शिकण्याचे स्रोत

“Diode, Transistor & FET Circuits Manual”, Editor(s): R.M. Marston, Circuits Manual Series, Newnes, 1991, ISBN 9780750602280.



V. P11-ES110: एलसीआर (LCR) मीटर वापरून मापन

P11.1 प्रात्यक्षिक विधान

इंडक्टर आणि रेझिस्टरचे मूल्य मोजण्यासाठी एलसीआर (LCR) मीटर वापरा.

P11.2 प्रात्यक्षिक महत्व

उद्योग आणि घरगुती अनुप्रयोगात, इंडक्टर आणि रेझिस्टर सर्किट मध्ये वापरले जातात. सर्किट डिझाइन करण्यासाठी तसेच सर्किटचे समस्यानिवारण करण्यासाठी, इंडक्टन्स आणि रेझिस्टन्सचे मूल्य निश्चित केले पाहिजे. हे प्रॅक्टिकल एलसीआर (LCR) मीटरच्या फ्रंट पॅनल कंट्रोल्सची ओळख करून देईल आणि त्याचा वापर इंडक्टन्स आणि रेझिस्टन्सचे मूल्य मोजण्यासाठी करेल.

P11.3 संबंधित सिद्धांत

इंडक्टन्स आणि रेझिस्टन्स साठी, कृपया या अध्यायाच्या 1 मधील 1.1.1 पहा. LCR मीटर हा एक प्रकारचा इलेक्ट्रॉनिक चाचणी उपकरणाचा वापर आहे जो इलेक्ट्रॉनिक घटकाचे इंडक्टन्स (L), कॅपेसिटन्स (C), आणि रेझिस्टन्स (R) मोजण्यासाठी वापरला जातो. या चाचणी अंतर्गत उपकरणाद्वारे वाहणारा करंट (I), उपकरणामधील व्होल्टेज (V) आणि मोजलेले V आणि I मधील फेज अँगल (phase angle) मोजले जाते. या तीन मोजमापांमधून, सर्व प्रतिबाधा मापदंडांची गणना एलसीआर (LCR) मीटरद्वारे केली जाते.

P11.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती (PrO)

PrO1: विविध सेटिंग्ज समजून घेण्यासाठी एलसीआर (LCR) मीटर हाताळा.

PrO2: एलसीआर (LCR) मीटर वापरून दिलेल्या रेझिस्टरचे मूल्य मोजा.

PrO3: डिजिटल मल्टीमीटरने रेझिस्टर मूल्याची चाचणी घ्या आणि एलसीआर (LCR) मीटरला मानक (standard) मीटर मानून त्रुटी विश्लेषण करा.

P11.5 प्रात्यक्षिक रचना (सर्किट/परिक्रमाआकृती)



आकृती P11.1: डिजिटल एलसीआर (LCR) मीटरचा नमुना



आकृती P11.2: इंडक्टर आणि रेझिस्टर

P11.6 आवश्यक संसाधने

अनु क्र.	महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह सुचवलेली आवश्यक संसाधने	प्रमाण (Quantity)
1.	डिजिटल एलसीआर (LCR) मीटर : 3 ½ - प्रोबसह डिजिटल एलसीडी (LCD) डिस्प्ले; रेझिस्टन्स : 20Ω-200MΩ; कॅपेसिटन्स: 2000PF-200 uF; इंडक्टन्स: 20mH-20H किंवा समान श्रेणी सह एलसीआर मीटर.	1
2.	इंडक्टर: विविध प्रकार जसे एअर वाऊंड, विविध मूल्यांचे फेराइट कोर टोराॅइडल इंडक्टर.	किमान 3
3.	रेझिस्टर: विविध प्रकार जसे वायर वाऊंड, कार्बन फिल्म, विविध मूल्यांची सेर्मेट फिल्म (cermet film).	किमान 3
4.	बर्नआउट रेझिस्टर (Burnout resistor).	1
5.	कनेक्टिंग वायर: सिंगल स्ट्रँड, टेफ्लॉन लेपित (coated) (0.5 मिमी व्यास).	L.S.

P11.7 सावधानता

- चालू करताच, एलसीआर मीटरला सुमारे 2 मिनिटे (सेल्फ-कॅलिब्रेशन) सेल्फ-कॅलिब्रेटेड हो होण्याची आवश्यक आहे.
- प्रयोग करत असताना, नॉब (knob) समायोजित करा आणि एलसीआर मीटरचे कार्य योग्य निवडा.

P11.8 सुचवलेली कृती

- पॅनेलवरील विविध नियंत्रणे ओळखा आणि इन्स्ट्रुमेंट मॅन्युअलद्वारे त्यांचे कार्य समजून घेण्याचा प्रयत्न करा.

2. एलसीआर मीटर चालू करा.
3. सॉकेटमध्ये अज्ञात मूल्याचे इंडक्टर इन्सर्ट करा. नॉब समायोजित करून इंडक्टन्स निवडा.
4. एलसीआर मीटरची फ्रिक्वेन्सी संपूर्ण प्रयोगात स्थिर ठेवली आहे याची खाली करा.
5. डिजिटल एलसीआर (LCR) मीटरवरून इंडक्टन्सचे मूल्य पहा आणि नोंद घ्या.
6. त्याचप्रमाणे, इतर प्रतिरोधक/रेझिस्टरस इन्सर्ट करा आणि त्यांची मूल्ये नोंदवा.
7. आता मल्टीमीटर वापरून समान रेझिस्टरचे रेझिस्टन्स मूल्य मोजा.
8. एलसीआर (LCR) मीटरला मानक (standard) मानून, स्टेप 8 मध्ये रेझिस्टन्स मोजण्यासाठी लुटीची टक्केवारी मोजा.
9. इंडक्टरस आणि रेझिस्टरस च्या विविध प्रकार आणि मूल्यांसाठी 3 ते 7 स्टेपची पुनरावृत्ती करा आणि त्यांना निरीक्षण आणि गणना सारणीमध्ये नोंदवा.
10. शेवटी, एक 'बर्न आउट' रेझिस्टर घ्या आणि इन्सर्ट करा आणि रेझिस्टन्स मोजा आणि वाचन 'A' म्हणून नोंदवा.
11. आता वायर वापरून फक्त टर्मिनलस शॉर्ट करा. निरीक्षण 'B' म्हणून नोंदवा.

P11.9 निरीक्षणे आणि गणना

अनु क्र.	इंडक्टन्सचे मूल्य 'L' (एलसीआर मीटर)	रेझिस्टन्सचे मूल्य 'R' (एलसीआर मीटर)	रेझिस्टन्सचे मूल्य 'R' (मल्टीमीटर)	रेझिस्टन्स मोजण्यासाठी लुटीची टक्केवारी

A =

B =

गणना

$$\text{रेझिस्टन्स मोजण्यासाठी लुटीची टक्केवारी} = \frac{(\text{एलसीआर मीटर वापरून 'R' मूल्य} - \text{मल्टीमीटर वापरून 'R' मूल्य}) \times 100}{(\text{एलसीआर मीटर वापरून 'R' मूल्य})}$$

P11.10 परिणाम आणि व्याख्या

(प्राप्त टॉलरन्स, लुटी (error), मूल्यांवर टिप्पणी करा; 'बर्न आउट' रेझिस्टर कनेक्ट झाल्यावर प्राप्त झालेला परिणाम; जेव्हा शॉर्ट सर्किट केले जाते तेव्हा प्राप्त परिणाम)

.....

.....

P11.11 निष्कर्ष

.....

.....

P11.12 प्रात्यक्षिकसंबंधित प्रश्न

(उत्तरासाठी स्वतंत्र पत्रक वापरा)

टीप: संदर्भासाठी खाली काही नमुने प्रश्न दिले आहेत. पूर्व-परिभाषित अभ्यासक्रमाच्या निकालांची प्राप्ती सुनिश्चित करण्यासाठी शिक्षकांनी असे अधिक प्रश्न तयार केले पाहिजेत.

1. निष्क्रिय घटकाचे (passive component) मूल्य कसे मोजू शकते जे सर्किटमध्ये जोडलेले आहे याचे वर्णन करा?
2. निष्क्रिय घटकाचे मूल्य प्रदान केलेल्या एलसीआर मीटरच्या श्रेणीच्या बाहेर असल्यास, मोजमापावर परिणाम सांगा.

VI. P12-ES110: एलसीआर-क्यू (LCR-Q) मीटर वापरून कॅपेसिटरचे मूल्य मापन**P12.1 प्रात्यक्षिक विधान**

दिलेल्या कॅपेसिटरचे मूल्य मोजण्यासाठी एलसीआर-क्यू (LCR-Q) मीटर वापरा.

P12.2 प्रात्यक्षिक महत्व

ऑटो कॉम्प्यूटेड डिजिटल एलसीआर-क्यू (LCR-Q) मीटरची उपयुक्तता, ज्याला एलसीआर-क्यू (LCR-Q) टेस्टर असेही म्हटले जाते जे कॅपेसिटन्स सारख्या घटकांचे मूल्य थेट मोजते आणि इतर महत्त्वपूर्ण पैरामीटर्स जसे की इंडक्टन्स, कॅपेसिटन्स, रेझिस्टन्स आणि क्यू फॅक्टर (Q factor) सारखी इतर मूल्ये, इलेक्ट्रॉनिक सर्किट्सच्या विकास आणि समस्यानिवारण दरम्यान उपयुक्त असतात. एलसीआर-क्यू (LCR-Q) मीटरच्या फ्रंट पॅनल नियंत्रणे आणि त्याचे मापनातील अनुप्रयोग समजून घेणे हे या प्रात्यक्षिकाचा उद्देश आहे.

P12.3 संबंधित सिद्धांत

एलसीआर-क्यू (LCR-Q) मीटर इलेक्ट्रॉनिक चाचणी उपकरणाचा एक प्रकार आहे ज्याचा वापर इंडक्टन्स (L), कॅपेसिटन्स (C), रेझिस्टन्स (R) आणि क्यू फॅक्टर (Q factor) मोजण्यासाठी केला जातो. जर कॅपेसिटरला ज्ञात व्होल्टेज स्रोताकडून आणि ज्ञात रेझिस्टरद्वारे चार्ज केले जात असेल, तर कॅपेसिटर व्होल्टेजला विशिष्ट निर्दिष्ट मूल्यापर्यंत (बॅटरी व्होल्टेजच्या 63% म्हणा) पोहोचण्यासाठी लागणारा वेळ थेट 'C' मूल्यावर अवलंबून असेल. 'C' चे मूल्य जेवढे कमी, काउंटर तंत्राचा वापर करून वेळ मोजण्यासाठी LCR मीटर तेवढा जास्त वेळ घेतो. डिजिटल व्होल्टमीटर तंत्र 'वेळ' ला व्होल्टेजमध्ये रूपांतरित करू शकते, म्हणून शेवटी C आणि/किंवा L आणि/किंवा R चे मूल्य मिळू शकते. तथापि, हे मोजमाप कसे केले जाते याचे एक सरलीकृत वर्णन आहे. स्वयं गणना मीटर (auto compute meters) मायक्रोप्रोसेसरवर आधारित साधन आहे जे मोजमाप सुलभ करते. कृपया डिजिटल LCR -Q मीटर बद्दल अधिक जाणून घेण्यासाठी मॅन्युअलचा संदर्भ घ्या.

P12.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती (PrO)

PrO1: LCR-Q मीटर सेट करा आणि हाताळा.

PrO2: कॅपेसिटन्स मोजण्यासाठी LCR-Q मीटर वापरा.

PrO3: घटकावरील अंकित मूल्यासह मीटरद्वारे प्राप्त झालेल्या परिणामांची तुलना करा. कामाची परिस्थिती.

P12.5 प्रात्यक्षिक रचना (कामाची परिस्थिती)



आकृती P12.1: ऑटो कम्प्युट डिजिटल एलसीआर-क्यू (LCR-Q) मीटरचा एक नमुना

P12.6 आवश्यक संसाधने

अ. क्र.	सुचवलेली संसाधने आवश्यक महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह	प्रमाण	विस्तृत वैशिष्ट्यांसह आवश्यक वास्तविक संसाधने (विद्यार्थ्याने भरावे)	शेरा (जर असेल तर)
1.	ऑटो कम्प्युट डिजिटल एलसीआर-क्यू (LCR-Q): 4 अंकी प्रदर्शन; स्वयं-चाचणी सुविधेसह ऑटो रेंजिंग.	1		
2.	चाचणीसाठी कॅपेसिटरस.	मिश्रित		

P12.7 सावधानता

- एलसीआर-क्यू (LCR-Q) मीटर काळजीपूर्वक हाताळा.
- प्रयोग करताना, एलसीआर-क्यू (LCR-Q) मीटरचे योग्य कार्य (function) निवडा.
- चाचणी करताना कॅपेसिटर डिस्चार्ज स्थितीत असल्याची खात्री करा.
- सर्किट आकृतीमध्ये दाखवल्याप्रमाणे योग्य ध्रुवीयतेमध्ये (polarities) कॅपेसिटर कनेक्ट करा.

P12.8 सुचवलेली कृती

- एलसीआर-क्यू (LCR-Q) मीटर च्या पॅनेलवर उपलब्ध मुख्य नियंत्रणे ओळखा आणि त्यांच्या कार्याला समजून घेण्याचा प्रयत्न करा.
- इन्स्ट्रुमेंट चालू करा.
- ठराविक वेळ सुमारे दोन मिनिटे थांबा जेणेकरून एलसीआर-क्यू (LCR-Q) मीटर स्वयं-कॅलिब्रेटेड असेल आणि वापरण्यासाठी तयार असेल.
- ध्रुवीयतेची (polarities) काळजी घेत असलेल्या सॉकेटमध्ये अज्ञात मूल्याचे कॅपेसिटर इन्सर्ट करा. 'R/L/C' स्विच दाबा जेणेकरून 'C' अंतर्गत एलईडी (LED) चमकते जे सूचित करते की इन्स्ट्रुमेंट. कॅपेसिटन्स मापन मोडमध्ये आहे. मीटर पूर्णपणे स्वयंचलित असल्याने, रेंज सेटिंगची आवश्यकता नाही. योग्य प्रत्ययाखालील एलईडी (LED) चमकेल (glow).
- त्याचप्रमाणे, इतर कॅपेसिटर इन्सर्ट करा आणि त्यांची मूल्ये नोंदवा.

- एलसीआर-क्यू (LCR-Q) मीटरद्वारे प्राप्त परिणामांची तुलना कॅपेसिटरवरील अंकित मूल्यासह करा, एलसीआर-क्यू (LCR-Q) मीटरला मानक मीटर म्हणून घ्या आणि त्रुटीची टक्केवारी (percentage of error) मोजा.
- वेगवेगळ्या कॅपेसिटरसाठी स्टेप 2 ते 5 ची पुनरावृत्ती करा आणि त्यांचे निरीक्षण आणि गणना सारणीमध्ये नोंद करा.

P12.9 निरीक्षणे आणि गणना

अनु क्र.	कॅपेसिटन्सचे मूल्य 'C' (LCR मीटर)	कॅपेसिटन्सचे मूल्य 'C' (अंकित मूल्य)	रेझिस्टन्स मोजण्यासाठी त्रुटीची टक्केवारी
1.			
2.			
3.			

गणना

$$\text{कॅपेसिटन्स मोजण्यासाठी त्रुटीची टक्केवारी} = \frac{(\text{LCR वापरून 'C' मूल्य} - \text{'C' (अंकित मूल्य)}) \times 100}{(\text{LCR मीटर वापरून 'C' मूल्य})}$$

P12.10 परिणाम आणि व्याख्या

.....

.....

P12.11 निष्कर्ष

.....

.....

P12.12 प्रात्यक्षिकसंबंधित प्रश्न

(उत्तरासाठी स्वतंत्र पत्रक वापरा)

टीप: संदर्भासाठी खाली काही नमुने प्रश्न दिले आहेत. पूर्व-परिभाषित अभ्यासक्रमाच्या निकालांची प्राप्ती सुनिश्चित करण्यासाठी शिक्षकांनी असे अधिक प्रश्न तयार केले पाहिजेत.

- एलसीआर-क्यू (LCR-Q) मीटरसाठी वॉर्म अप टाइम का आवश्यक आहे ते सांगा.
- चार्ज केलेल्या कॅपेसिटरची चाचणी घेण्याचा सल्ला का दिला जात नाही ते स्पष्ट करा.

P12.13 संसाधने शिकण्याचे स्रोत

VII. P13-ES110: कलर (रंग) कोडसह रेझिस्टर मापन आणि मल्टीमीटर वापरून पुष्टीकरण

P13.1 प्रात्यक्षिक विधान

रंगीत कोडसह पुष्टी (confirm) करण्यासाठी डिजिटल मल्टीमीटर वापरून दिलेल्या रेझिस्टरचे मूल्य निश्चित करा.



P13.2 प्रात्यक्षिक महत्त्व

या प्रयोगाचा उद्देश रंग कोडिंग वापरून कार्बन रेझिस्टरचे मूल्य शोधणे आहे. बहुतांश इलेक्ट्रॉनिक सर्किटमध्ये रेझिस्टर वापरले जातात. सर्किट्सच्या विकास आणि समस्यानिवारणासाठी (troubleshooting) मल्टीमीटर सारख्या मोजण्याचे साधन वापरून मूल्यांची पुष्टी करण्याचे कौशल्य विकसित करणे आवश्यक आहे.

P13.3 संबंधित सिद्धांत

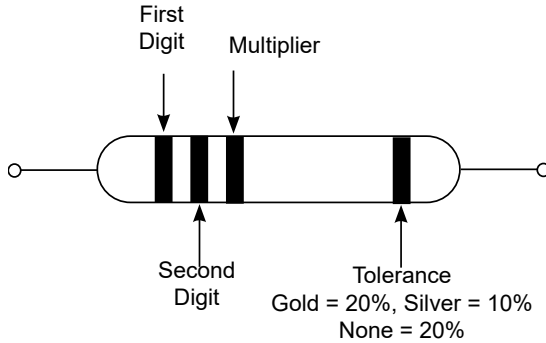
कार्बन रेझिस्टरच्या बाहेरील बाजूस वेगवेगळ्या रंगांच्या तीन बँड एकमेकांशी समतुल्य आहेत आणि चौथ्या बँडने आकृती 13.1 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे मागील अंतराच्या तुलनेत तिसऱ्यापासून थोडे दूर आहे. रंगांचे संयोजन रेझिस्टरचे मूल्य ओहममध्ये (ohms) दर्शवते. बँड डावीकडून उजवीकडे वाचले जातात, पहिले दोन रंगीत बँड बेस व्हॅल्यूचे वैयक्तिक अंक म्हणून प्रतिनिधित्व करतात, तर तिसरा पॉवर गुणक आहे आणि शेवटचा टॉलरन्स (tolerance) निर्देशक आहे कारण उत्पादन प्रक्रिया मूल्याची अचूकता मर्यादित करते. जर पाच बँड असतील, तर पहिले तीन मूळ मूल्याचे प्रतिनिधित्व करतात, तर शेवटचे दोन अजूनही अनुक्रमे गुणक आणि टॉलरन्स दर्शवतात.

रंग मूल्य प्रतिनिधित्व:

0 = काळा; 1 = तपकिरी; 2 = लाल; 3 = संता; 4 = पिवळा;
5 = हिरवा; 6 = निळा; 7 = व्हायलेट; 8 = राखाडी; 9 = पांढरा

टॉलरन्स:

तपकिरी (Brown) = $\pm 1\%$; लाल = $\pm 2\%$; सोनेरी (Gold) = $\pm 5\%$; चांदी (Silver) = $\pm 10\%$
रेझिस्टरचे पॉवर रेटिंग वॅटेजमध्ये दिले जाते. सामान्य उपलब्ध रेझिस्टरचे पॉवर रेटिंग 1/8 W, 1/4 W, 1/2 W, 1 W, 2 W आहे.



आकृती 13.1: रेझिस्टरसचे कलर कोडिंग



आकृती 13.2: डिजिटल मल्टी-मीटर वापरून रेझिस्टरचे मापन

P13.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती (PrO)

PrO1: कलर कोडिंग वरून रेझिस्टरचे मूल्य ओळखा.

PrO2: रेझिस्टर मोजण्यासाठी मल्टीमीटर वापरा.

PrO3: लुटी स्वीकार्य मर्यादेत (acceptable limits) आहे का ते ठरवा.

P13.5 प्रात्यक्षिक सेटअप (कामाची परिस्थिती)

आकृती 13.2 प्रतिकार मूल्याची पुष्टी करण्यासाठी व मोजण्यासाठी डिजिटल मल्टीमीटर वापरण्याच्या कामाची परिस्थिती दर्शवते.

P13.6 आवश्यक संसाधने

अ. क्र.	सुचवलेली संसाधने आवश्यक महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह	प्रमाण	विस्तृत वैशिष्ट्यांसह आवश्यक वास्तविक संसाधने (विद्यार्थ्याने भरावे)	शेरा (जर असेल तर)
1.	प्रोबसह डिजिटल मल्टी मीटर 3 1/2 अंकी एलसीडी (LCD) डिस्प्ले.	1		
2.	विविध मूल्ये आणि वॉटेजचे कार्बन रेझिस्टरस.	मिश्रित (किमान 5)		

P13.7 सावधानता

- मोजमाप करताना रेझिस्टरच्या दोन्ही लीड्स स्पर्श न केलेल्या आहेत याची खात्री करा, अन्यथा DMM रेझिस्टर सोबत बॉडी रेझिस्टर मोजेल.
- प्रयोग करत असताना मल्टीमीटरचे योग्य कार्य (function) निवडा.

P13.8 सुचवलेली कृती

- डिजिटल मल्टीमीटरच्या "V" सॉकेटमध्ये लाल लीड प्लग आणि "COM" सॉकेटमध्ये ब्लॅक लीड प्लग जोडा.
- रेझिस्टन्स मापन करण्यासाठी कार्य सेट करा
- योग्य श्रेणीवर (range) सेट करा.
- दोन प्रोबच्या क्रोकोडाइल क्लिपला रेझिस्टरशी (किंवा रेझिस्टर सर्किटला जम्पर वायरद्वारे मापन करण्यासाठी जोडा).
- वाचन लक्षात घ्या, आवश्यक असल्यास श्रेणी समायोजित करा.
- रंग कोड आणि डिजिटल मल्टी मीटर (DMM) वापरून विविध रेझिस्टरसचे (प्रतिरोधकांचे) रेझिस्टन्स मूल्य निश्चित करा.
- प्रत्येक रेझिस्टरचा रेझिस्टन्स मोजा आणि मूल्य निरीक्षण सारणीमध्ये नोंदवा.
- मोजलेल्या मूल्यासह रंग कोडित रेझिस्टन्स मूल्याची तुलना करा.
- मोजलेले रेझिस्टन्स आणि रंग कोडित रेझिस्टन्स रेझिस्टरच्या टॉलरन्सच्या श्रेणीमध्ये सहमत असावेत.

P13.9 निरीक्षणे आणि गणना

अनु क्र.	रंग कोड वापरून रेझिस्टन्सचे मूल्य	रंग कोडित टॉलरन्स	मोजलेले मूल्य (DMM वापरून)	टक्केवारी त्रुटी (Percentage Error)

गणना

$$\text{टक्केवारी त्रुटी} = \frac{\text{रेझिस्टन्सचे मोजलेले मूल्य} - \text{रंग कोड वापरून रेझिस्टन्सचे मूल्य} \times 100}{\text{रेझिस्टन्सचे मोजलेले मूल्य}}$$

P13.10 परिणाम आणि व्याख्या

.....

.....

P13.11 निष्कर्ष

.....

.....

P13.12 प्रात्यक्षिकसंबंधित प्रश्न

(उत्तरासाठी स्वतंत्र पत्रक वापरा)

टीप: संदर्भासाठी खाली काही नमुने प्रश्न दिले आहेत. पूर्व-परिभाषित अभ्यासक्रमाच्या निकालांची प्राप्ती सुनिश्चित करण्यासाठी शिक्षकांनी असे अधिक प्रश्न तयार केले पाहिजेत.

1. दिलेल्या रेझिस्टरचा कलर बँड तपकिरी, हिरवा आणि राखाडी असल्यास; रेझिस्टन्स आणि टॉलरन्सचे मूल्य काय आहे?
2. तुम्ही सर्किटमध्ये जोडलेल्या कार्बन रेझिस्टरचे मूल्य मोजू शकता का? आपल्या उत्तराचे स्पष्टीकरण द्या.

P13.13 संसाधने शिकण्याचे स्रोत**VIII. P14-ES110: पीएन (PN) जंक्शन डायोडची चाचणी****P14.1 प्रात्यक्षिक विधान**

डिजिटल मल्टीमीटर वापरून पीएन (PN) जंक्शन डायोडची चाचणी घ्या.

P14.2 प्रात्यक्षिक महत्व

पीएन (PN) जंक्शन डायोड हे दोन टर्मिनल सेमीकंडक्टर उपकरण आहे. अनुप्रयोगाच्या आवश्यकतेनुसार डायोड निवडला जातो. डायोडची चाचणी करण्यासाठी, त्याचे रेझिस्टन्स मोजले जाते. काही डिजिटल मल्टीमीटर आणि सीआरओ (CRO) मध्ये थेट डायोड चाचणी सुविधा आहे. दोन्ही पद्धती वापरून डायोड चाचणीचे कौशल्य विकसित करणे हे या प्रात्यक्षिकाचे उद्देश आहे.

P14.3 संबंधित सिद्धांत

पीएन (PN) जंक्शन डायोड सिद्धांतासाठी, कृपया या पुस्तकाचा विषय 1.2.2 पहा.

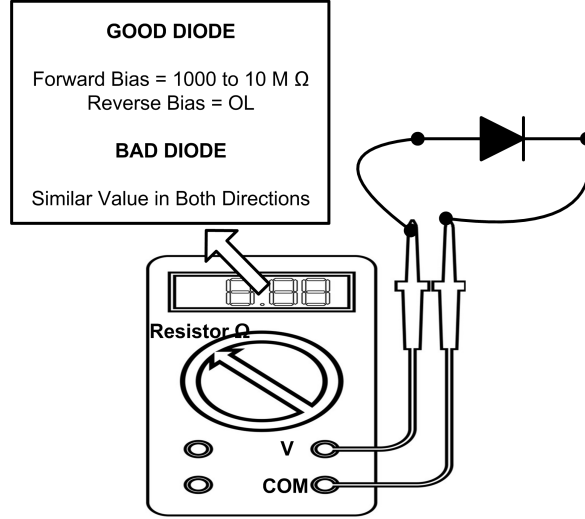
P14.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती

PrO1: डायोड चाचणीसाठी डिजिटल मल्टीमीटर वापरा.

PrO2: डायोडचा रेझिस्टन्स मोजा.



P14.5 प्रात्यक्षिक सेटअप (कामाची परिस्थिती)



आकृती 14. 1: डिजिटल मल्टीमीटर वापरून डायोडची चाचणी

P14.6 आवश्यक सामग्री

अ. क्र.	सुचवलेली संसाधने आवश्यक महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह	प्रमाण	विस्तृत वैशिष्ट्यांसह आवश्यक वास्तविक संसाधने (विद्यार्थ्याने भरावे)	शेरा (जर असेल तर)
1.	डिजिटल मल्टी मीटर: प्रोबसह 1/2 अंकी डिस्प्ले.	1		
2.	डायोड IN4007 (किंवा इतर कोणतेही समतुल्य डायोड).	1		

P14.7 सावधानता

1. चाचणी करताना मल्टीमीटरचे योग्य मोड निवडा.
2. सर्किटची सर्व सप्लाय बंद असल्याची खात्री करा.
3. चाचणी करताना डायोडवर व्होल्टेज अस्तित्वात नसल्याची खात्री करा.

P14.8 सुचवलेली कृती

- A. मल्टीमीटर अंक वापरून डायरेक्ट डायोड चाचणी :
 1. डायल (dial) म्हणजेच रोटरी स्विच डायोड टेस्ट मोडमध्ये फिरवा.
 2. चाचणी लीड्सला डायोडकडे घेऊन जा. प्रदर्शित केलेले मोजमाप रेकॉर्ड करा.
 3. चाचणी लीड्स उलट (Reverse) करा. प्रदर्शित केलेले मोजमाप रेकॉर्ड करा.
- B. रेझिस्टन्स मापन मोड वापरून डायोड चाचणी:
 1. डायल रेझिस्टन्स (Ω) मोड वर फिरवा.

2. डायोडला सर्किटमधून काढून टाकल्यानंतर चाचणी लीड्सला डायोडसोबत कनेक्ट करा. प्रदर्शित केलेले मोजमाप रेकॉर्ड करा.
3. चाचणी लीड्स उलट करा. प्रदर्शित केलेले मोजमाप रेकॉर्ड करा.
4. डायोडची चाचणी करण्यासाठी रेझिस्टन्स मोड वापरताना सर्वोत्तम परिणामांसाठी, ज्ञात चांगल्या डायोडसह घेतलेल्या वाचनांची तुलना करा.

P14.9 निरीक्षणे

A. डायरेक्ट डायोड चाचणी

1. फॉरवर्ड बायस्ड कंडिशन दरम्यान मल्टीमीटर डिस्प्ले _____ व्होल्ट (V).
2. उलट (reverse) बायस्ड कंडिशन दरम्यान मल्टीमीटर प्रदर्शन _____ व्होल्ट (V).

B. प्रतिरोध मापन चाचणी

1. फॉरवर्ड बायस्ड कंडिशन दरम्यान मल्टी मीटर डिस्प्ले _____ ohms.
2. रिव्हर्स बायस्ड कंडिशन दरम्यान मल्टी मीटर डिस्प्ले _____ ohms.

P14.10 परिणाम आणि व्याख्या

.....

.....

P14.11 निष्कर्ष आणि/किंवा प्रमाणीकरण

.....

.....

P14.12 प्रात्यक्षिकसंबंधित प्रश्न

(उत्तरासाठी स्वतंत्र पत्रक वापरा)

टीप: संदर्भासाठी खाली काही नमुने प्रश्न दिले आहेत. पूर्व-परिभाषित अभ्यासक्रमाच्या निकालांची प्राप्ती सुनिश्चित करण्यासाठी शिक्षकांनी असे अधिक प्रश्न तयार केले पाहिजेत.

1. 1 N सिरीज असलेल्या डायोडचे टर्मिनलस ओळखा.
2. सीआरओ (CRO) वापरून दिलेल्या डायोडची चाचणी घ्या.
3. दिलेल्या लोड करंट आवश्यकतेसाठी डेटा शीटमधून डायोड निवडा.

IX. P15-ES110: पीएन (PN) जंक्शन डायोड

P15.1 प्रात्यक्षिक विधान

पीएन (PN) जंक्शन डायोडची कार्यक्षमता चाचणी घ्या.

P15.2 प्रात्यक्षिक महत्त्व

पीएन (PN) जंक्शन डायोडचा वापर उद्योगांमध्ये तसेच डिटेक्टर सर्किट, वेव्ह शेपिंग सर्किट आणि DC पॉवर सप्लायच्या रेक्टिफायरसारख्या घरगुती अनुप्रयोगांमध्ये केला जातो. या अनुप्रयोगांसाठी, योग्य डायोड निवडण्यासाठी, डायोडची कार्यक्षमता

जाणून घेणे आवश्यक आहे. या प्रात्यक्षिक मध्ये, विद्यार्थी व्होल्टेजमध्ये बदल करण्याच्या संदर्भात डायोड वर्तन समजून घेण्यासाठी दिलेल्या डायोडची VI वैशिष्ट्ये काढेल, ज्यामुळे सर्किटमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या संबंधित इलेक्ट्रॉनिक उपकरणांच्या निवडीस मदत होईल.

P15.3 संबंधित सिद्धांत

पीएन (PN) जंक्शन डायोड सिद्धांतासाठी, कृपया या पुस्तकाचा विषय 1.2.2 पहा.

P15.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती

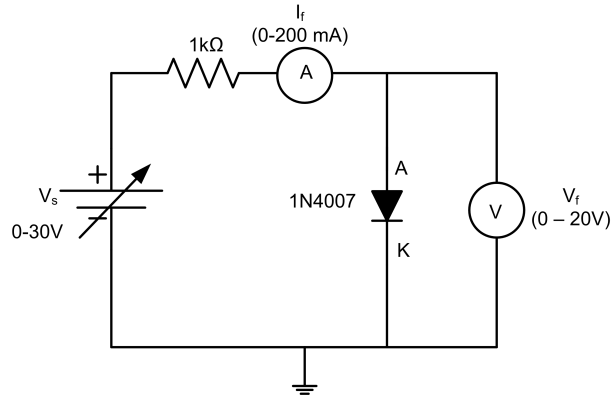
PrO1: पीएन (PN) जंक्शन डायोडची VI वैशिष्ट्ये काढा.

PrO2: दिलेल्या डायोडचा स्थिर रेझिस्टन्स (static resistance) मोजा.

PrO3: दिलेल्या डायोडचा गतिशील रेझिस्टन्स (dynamic resistance) मोजा.

PrO4: दिलेल्या डायोडचे knee व्होल्टेज निश्चित करा.

P15.5 प्रात्यक्षिक रचना (परिक्रमा आकृती)



आकृती 15.1: फॉरवर्ड बायसमध्ये डायोडचे सर्किट आकृती

P15.6 आवश्यक संसाधने

अनु क्र.	महत्वाच्या वैशिष्ट्यांसह सुचवलेली आवश्यक संसाधने मशीन/ साधने/ उपकरणे	प्रमाण
1.	डिजिटल मल्टीमीटर: 1/2 digit display	3
2.	DC रेग्युलेटेड पॉवर सप्लाय: व्हेरिएबल DC पॉवर सप्लाय 0-30V, 2A, SC संरक्षण, व्होल्टेज आणि करंट साठी डिस्ले.	1
3.	व्होल्टमीटर: 0-20 V	1
4.	अँमीटर: 0 - 200 mA, 0 - 200 μ A	2
5.	ब्रेडबोर्ड: 5.5 cm \times 17 cm	1

अनु क्र.	महत्वाच्या वैशिष्ट्यांसह सुचवलेली आवश्यक संसाधने मशीन/ साधने/ उपकरणे	प्रमाण
6.	डायोड: IN4007 (किंवा इतर कोणतेही समतुल्य डायोड)	1
7.	रेझिस्टर: $1K\Omega$ (0.5watts/0.25watts)	1
8.	कनेक्टिंग वायर सिंगल स्ट्रँड टेफ्लॉन कोटिंग (0.6mm diameter)	L. S.

P15.7 सावधानता

- सर्किट आकृतीनुसार सर्किट कनेक्शन तपासल्याशिवाय वीज पुरवठा चालू करू नका.
- सर्किट आकृतीमध्ये दाखवल्याप्रमाणे व्होल्टमीटर आणि अँमीटर योग्य ध्रुवीयतेमध्ये (polarities) जोडलेले आहेत याची खात्री करा.
- लोड रेझिस्टन्सचे योग्य मूल्य आणि वॉटेज आहे याची खात्री करा.
- प्रयोग करत असताना डायोडच्या इनपुट व्होल्टेजला डायोडच्या रेटेड व्होल्टेजपेक्षा जास्त करू नका. यामुळे डायोडचे नुकसान होऊ शकते.
- कोणतीही श्रेणी (range) बदलण्यापूर्वी मीटर बंद स्थितीत असल्याची खात्री करा.

P15.8 सुचवलेली कृती

- आकृती 15.1 प्रमाणे इलेक्ट्रिकल सर्किट कनेक्ट करा.
- वीज पुरवठा चालू करा.
- निरीक्षण टेबलमध्ये व्होल्टेज V_F आणि करंट I_F रेकॉर्ड करा.
- 0.1 V च्या स्टेपमध्ये इनपुट व्होल्टेज वाढवा.
- निरीक्षण टेबलमध्ये व्होल्टेज V_F आणि करंट I_F रेकॉर्ड करा.
- 1 V पर्यंत पोहोचत नाही तोपर्यंत स्टेप 4 ते 5 ची पुनरावृत्ती करा.
- X-अक्षावर V_F आणि Y-अक्षावर I_F घेऊन डायोडच्या फॉरवर्ड बायस वैशिष्ट्यांसाठी आलेख तयार करा.
- एका विशिष्ट बिंदूवर स्थिर रेझिस्टन्स (static resistance) ची गणना करा.
- प्लॉट केलेल्या आलेखातील दोन बिंदू लक्षात घेता, डायनॅमिक रेझिस्टन्सची गणना करा..

P15.9 निरीक्षणे आणि गणना

अनु क्र.	V_F (volts)	I_F (mA)
1.		
2.		
3.		

गणना

एका विशिष्ट बिंदूवर स्थिर रेझिस्टन्स $R_{\text{static}} = V_F / I_F$

डायनॅमिक रेझिस्टन्स $R_{\text{dynamic}} = \Delta V_F / \Delta I_F$

P15.10 परिणाम आणि व्याख्या

1. दिलेल्या डायोडचा स्थिर रेझिस्टन्स =
2. दिलेल्या डायोडचा डायनॅमिक रेझिस्टन्स =
3. दिलेल्या डायोडचा Knee व्होल्टेज =

P15.11 निष्कर्ष आणि/किंवा प्रमाणीकरण

.....

.....

P15.12 प्रात्यक्षिकसंबंधित प्रश्न

(उत्तरासाठी स्वतंत्र पत्रक वापरा)

टीप: संदर्भासाठी खाली काही नमुने प्रश्न दिले आहेत. पूर्व-परिभाषित अभ्यासक्रमाच्या निकालांची प्राप्ती सुनिश्चित करण्यासाठी शिक्षकांनी असे अधिक प्रश्न तयार केले पाहिजेत.

1. डेटा शीटमधून BY सिरीज डायोडचे टर्मिनलस ओळखा.
2. सर्किटमधून लोड रेझिस्टर काढून टाकल्यास काय होईल याचे वर्णन करा.
3. लोड रेझिस्टरचे मूल्य 5Ω , $1/4 W$ बदलल्यास काय होईल ते सांगा.

P15.13 संसाधने शिकण्याचे स्रोत**X. P16-ES110: झीनर डायोड****P16.1 प्रात्यक्षिक विधान**

झीनर डायोडची कार्यक्षमता चाचणी घ्या.

P16.2 प्रात्यक्षिक महत्व

उद्योगांमध्ये, झीनर डायोड मोठ्या प्रमाणावर रेफरन्स व्होल्टेज म्हणून वापरले जातात आणि शंट रेग्युलेटर म्हणून लहान सर्किटमध्ये व्होल्टेजचे नियंत्रित करण्यासाठी, ओव्हरव्होल्टेज प्रोटेक्शन सर्किटमध्ये, स्विचिंग ॲप्लिकेशन मध्ये. झीनर डायोडचा वापर क्लिपिंग आणि क्लॅम्पिंग सर्किट्समध्ये विशेषतः पीक क्लिपर तसेच उपकरण संरक्षणासाठी सर्ज सप्लेशन सर्किटरीमध्ये केला जातो. योग्य झीनर डायोड निवडण्यासाठी, झीनर डायोडची कार्यक्षमता समजून घेणे आवश्यक आहे.

P16.3 संबंधित सिद्धांत

झीनर डायोड सिद्धांतासाठी, कृपया या पुस्तकाचा विषय 1.2.1 पहा.

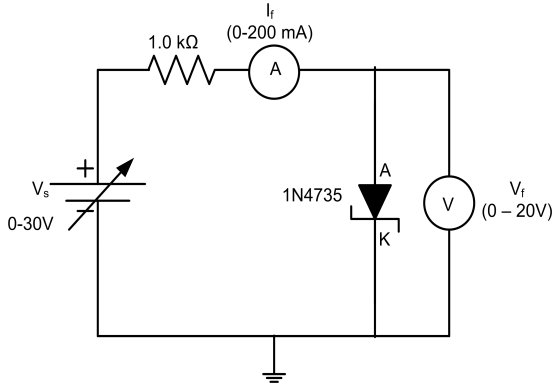
P16.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती

PrO1: सर्किटमध्ये झीनर डायोड ओळखा.

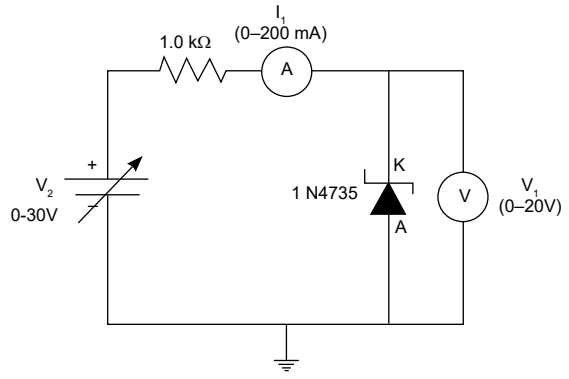
PrO2: झीनर डायोडची VI वैशिष्ट्ये प्लॉट करा.

PrO2: झीनर ब्रेकडाउन व्होल्टेज काढा.

PrO3: व्होल्टेज आणि करंट मोजण्यासाठी डिजिटल मल्टीमीटर वापरा.

P16.5 प्रात्यक्षिक रचना (परिक्रमा आकृती)

आकृती 16.1: फॉरवर्ड बायसमध्ये झीनर डायोड



आकृती 16.2: रिव्हर्स बायसमध्ये झीनर डायोड

P16.6 आवश्यक संसाधने

अ. क्र.	सुचवलेली संसाधने आवश्यक महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह	प्रमाण	विस्तृत वैशिष्ट्यांसह आवश्यक वास्तविक संसाधने (विद्यार्थ्यांनी भरावे)	शेरा (जर असेल तर)
1.	डिजिटल मल्टीमीटर: 1/2 अंकी डिस्प्ले	1		
2.	व्हेरिएबल डीसी रेग्युलेटेड पॉवर सप्लाय: 0-30 V, 2 A, SC संरक्षण, व्होल्टेज आणि करंट साठी डिस्प्ले	1		
3.	व्होल्टमीटर: 0-20 V	1		
4.	अॅमीटर (Ammeter): 0-200 mA, 0-200 μ A	2		
5.	ब्रेड बोर्ड: 5.5 cm \times 17 cm	1		
6.	झीनर डायोड 1N4735 (किंवा इतर कोणतेही समतुल्य झीनर डायोड)	1		

अ. क्र.	सुचवलेली संसाधने आवश्यक महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह	प्रमाण	विस्तृत वैशिष्ट्यांसह आवश्यक वास्तविक संसाधने (विद्यार्थ्यांनी भरावे)	शेरा (जर असेल तर)
7.	रेझिस्टर $1K\Omega$ (0.5 watts/0.25 watts)	1		
8.	कनेक्टिंग वायर सिंगल स्ट्रँड टेफ्लॉन कोटिंग (0.6 mm diameter)	L. S.		

P16.7 सावधानता

- सर्किट आकृतीनुसार सर्किट कनेक्शन तपासल्याशिवाय वीज पुरवठा चालू करू नका.
- सर्किट आकृतीमध्ये दाखवल्याप्रमाणे योग्य ध्रुवीयतेमध्ये व्होल्टमीटर आणि अँमीटर कनेक्ट करा.
- श्रेणी किंवा सेटिंग्ज बदलताना मीटर बंद स्थितीत असल्याची खात्री करा.
- सर्किट सातत्य (circuit continuity) तपासा.

P16.8 सुचवलेली कृती

- आकृती 16.1 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे सर्किटला जोडा.
- वीज पुरवठा चालू करा.
- निरीक्षण टेबल 16.1 मध्ये व्होल्टेज V_F आणि करंट I_F रेकॉर्ड करा.
- 0.1 V च्या स्टेपमध्ये इनपुट व्होल्टेज वाढवा.
- निरीक्षण टेबल 16.1 मध्ये व्होल्टेज V_F आणि करंट I_F रेकॉर्ड करा.
- 1 V पर्यंत पोहोचत नाही तोपर्यंत स्टेप 4 ते 5 ची पुनरावृत्ती करा.
- X-अक्षावर V_F आणि Y-अक्षावर I_F घेऊन डायोडच्या फॉरवर्ड बायस वैशिष्ट्यांसाठी आलेख तयार करा.
- आकृती 16.2 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे सर्किटला जोडा.
- 1V ते 12V पर्यंत स्टेपमध्ये इनपुट व्होल्टेज वाढवा.
- निरीक्षण टेबल 16.2 मध्ये व्होल्टेज V_R आणि करंट I_R रेकॉर्ड करा.
- X-अक्षावर V_R आणि Y-अक्षावर I_R घेऊन डायोडच्या रिव्हर्स बायस वैशिष्ट्यांसाठी आलेख तयार करा.

P16.9 निरीक्षणे आणि गणना

सारणी 16.1: V_F आणि I_F चे मापन

अनु क्र.	V_F (volts)	I_F (mA)
1.		
2.		
3.		

सारणी 16.2: V_R आणि I_R चे मापन

अनु क्र.	V_R (volts)	I_R (mA)
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		

गणना

1. झीनर डायोडचा फॉरवर्ड रेझिस्टन्स $R_Z = V_F / I_F$
2. $I = \underline{\hspace{2cm}}$ mA वर ब्रेकडाउन रिजन झीनर डायोडचा डायनॅमिक रेझिस्टन्स
 $R_{ZD} = V_R / I_R$

P16.10 परिणाम आणि व्याख्या

1. झीनर ब्रेकडाउन व्होल्टेज =
2. झीनर डायोडचा फॉरवर्ड रेझिस्टन्स =

P16.11 निष्कर्ष आणि/किंवा प्रमाणीकरण

.....

.....

.....

.....

P16.12 प्रात्यक्षिकसंबंधित प्रश्न

(उत्तरासाठी स्वतंत्र पत्रक वापरा)

टीप: संदर्भासाठी खाली काही नमुने प्रश्न दिले आहेत. पूर्व-परिभाषित अभ्यासक्रमाच्या निकालांची प्राप्ती सुनिश्चित करण्यासाठी शिक्षकांनी असे अधिक प्रश्न तयार केले पाहिजेत.

1. डेटा मॅन्युअलमधून कोणत्याही दोन झीनर डायोड साठी झीनर व्होल्टेजचे मूल्य शोधा.
2. झीनर डायोड साठी कमाल रिव्हर्स करंट मूल्य सांगा.
3. झीनर डायोडचा व्होल्टेजवर होणारा परिणाम आणि त्यातून वाहणारा करंट सांगा, जेव्हा रिव्हर्स व्होल्टेज ब्रेकडाउन व्होल्टेज-पेक्षा जास्त असेल.

XI. P17-ES110: लाईट ईमिटिंग डायोड**P17.1 प्रात्यक्षिक विधान**

लाईट ईमिटिंग डायोडची (LED) कार्यक्षमता चाचणी घ्या.

P17.2 प्रात्यक्षिक महत्व

उद्योग आणि घरगुती अनुप्रयोगांमध्ये LEDs डिस्प्ले डिव्हाइस आणि इंडिकेटर म्हणून मोठ्या प्रमाणावर वापरले जातात. LED दोन टर्मिनल सेमीकंडक्टर उपकरण आहे. मल्टीमीटर वापरून एलईडी (LED) ची चाचणी केली जाऊ शकते.

P17.3 संबंधित सिद्धांत

लाईट ईमिटिंग डायोडची वैशिष्ट्ये, अनुप्रयोग आणि प्रतीक साठी, या पुस्तकाचा विषय 1.2.1 पहा.

P17.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती (PrO)

लाईट ईमिटिंग डायोडची (LED) कार्यक्षमता चाचणी:

PrO1: चाचणी कौशल्ये विकसित करा.

PrO2: एलईडी (LED) चाचणी कौशल्ये विकसित करा.

PrO3: दिलेली एलईडी (LED) तपासण्यासाठी PrO3 DC पॉवर सप्लाय वापरा.

P17.5 प्रात्यक्षिक रचना (कामाची परिस्थिती)



आकृती 17.1: डिजिटल मल्टीमीटर



आकृती 17.2: एलईडी (LED) ला कनेक्ट क्रोकोडाइल प्रोबची प्रतिमा

P17.6 आवश्यक संसाधने

अ. क्र.	सुचवलेली संसाधने आवश्यक महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह	प्रमाण	विस्तृत वैशिष्ट्यांसह आवश्यक वास्तविक संसाधने (विद्यार्थ्याने भरावे)	शेरा (जर असेल तर)
1.	1/2 अंकी डिस्प्ले प्रोबसह डिजिटल मल्टी मीटर	2		
2.	DC रेग्युलेटेड पॉवर सप्लाय व्हेरिएबल DC रेग्युलेटेड पॉवर सप्लाय: 0-30 V, 2 A, SC संरक्षण, व्होल्टेज आणि करंट साठी डिस्प्ले.	1		
3.	चाचणीसाठी एलईडी (LED)	1		

4.	कनेक्टिंग वायर सिंगल स्ट्रँड टेफ्लॉन कोटिंग (0.6mm diameter)	L.S.			
----	---	------	--	--	--

P17.7 सावधानता

1. सर्किट कनेक्शन तपासल्याशिवाय मल्टीमीटर चालू करू नका.
2. प्रयोग करत असताना मल्टीमीटरचे योग्य कार्य (function) निवडा.
3. सर्किट आकृतीमध्ये दाखवल्याप्रमाणे योग्य ध्रुवीयतेमध्ये (polarities) व्होल्टमीटर आणि अँमीटर कनेक्ट करा.

P17.8 सुचवलेली कृती

1. मल्टीमीटरवर COM टर्मिनलवर ब्लॅक लीड कनेक्ट करा.
2. मल्टीमीटरवर लाल लीड Ω टर्मिनलशी कनेक्ट करा.
3. मल्टी-मीटरवर डायोड चिन्हावर डायल चालू करा. यामुळे विद्युत प्रवाह एका दिशेने वाहू शकतो आणि दुसरीकडे नाही.
4. मल्टीमीटर चालू करा. डिस्ले विंडो एकतर 0L किंवा OPEN दर्शवायला हवी.
5. चाचणीसाठी नियमित एलईडी (LED) घ्या.
6. ब्लॅक प्रोबला एलईडी (LED) च्या कॅथोडच्या टोकाशी जोडा, जे सहसा लहान टोक असते लाल प्रोबला एलईडी (LED) च्या एनोड टोकाशी जोडा.
7. एलईडी (LED) च्या स्थितीचे निरीक्षण करा.
8. मल्टी-मीटरवर प्रदर्शित फॉरवर्ड व्होल्टेज ड्रॉप वाचा.
9. पॉवर सप्लायच्या पॉझिटिव्ह आणि नेगेटिव्ह टर्मिनलवर एलईडी (LED) ला कनेक्ट करून DC पॉवर सप्लाय वापरून एलईडी (LED) ची चाचणी केली जाऊ शकते.
10. एलईडी (LED) च्या स्थितीचे निरीक्षण करा आणि नंतर एलईडी (LED) चे टर्मिनल्स उलट करून पायरी 9 ची पुनरावृत्ती करा.

P17.9 निरीक्षणे

एलईडी (LED) _____ आहे. (चमकणारा (glowing) / न चमकणारा (not glowing))

P17.10 परिणाम आणि व्याख्या

.....

.....

P17.11 निष्कर्ष आणि प्रमाणीकरण

.....

.....

P17.12 प्रात्यक्षिकसंबंधित प्रश्न

(उत्तरासाठी स्वतंत्र पत्रक वापरा)

टीप: संदर्भासाठी खाली काही नमुने प्रश्न दिले आहेत. पूर्व-परिभाषित अभ्यासक्रमाच्या निकालांची प्राप्ती सुनिश्चित करण्यासाठी शिक्षकांनी असे अधिक प्रश्न तयार केले पाहिजेत.

1. दिलेल्या एलईडी (LED) चे टर्मिनल शोधा.
2. द्विरंगी (bicolor) एलईडी (LED) चाचणीची कृती सांगा.
3. एलईडी (LED) मधून वाहणाऱ्या प्रवाहात होणाऱ्या बदलाचा परिणाम त्याच्या ब्राइटनेस वर सांगा.

XII. P18-ES110: डिजिटल मल्टीमीटर वापरून ट्रान्झिस्टरचे तीन टर्मिनल ओळखा

P18.1 प्रात्यक्षिक विधान

डिजिटल मल्टीमीटर वापरून ट्रान्झिस्टरचे तीन टर्मिनल ओळखा.

P18.2 प्रात्यक्षिक महत्व

ट्रान्झिस्टरचा उद्योगात विस्तृत अनुप्रयोग आहे. ट्रान्झिस्टरस सेमीकंडक्टर उपकरणे आहेत ज्यांचा उपयोग व्होल्टेज, करंट अ‍ॅम्प्लीफिकेशन सारख्या अनुप्रयोगांसाठी केला जातो आणि स्विचेस आणि ऑसिलेटर सर्किटमध्ये देखील वापरला जातो. डिजिटल सर्किटमध्ये हे स्विच म्हणून वापरले जातात. हे इलेक्ट्रॉनिक आणि दूरसंचार उपकरणे, संगणक, दूरदर्शन, मोबाईल फोन, ऑडिओ अ‍ॅम्प्लीफायर आणि औद्योगिक नियंत्रण मध्ये वापरले जाते.

P18.3 संबंधित सिद्धांत

ट्रान्झिस्टरवरील सिद्धांतासाठी उप विषय 1.2.3.1 पहा.

ट्रान्झिस्टर टर्मिनल्स ओळखणे: ट्रान्झिस्टर बाजारात विविध पॅकेजेससह उपलब्ध आहेत. TO-92 पॅकेजचा विचार करा. ट्रान्झिस्टर असे ठेवा की सपाट पृष्ठभाग आकृती 18.1 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे वरच्या दिशेने आहे.

आता डावीकडून सुरुवात करून 1, 2 आणि 3. सारखे चिन्हांकित करा.

1. ईमिटर (E)
2. बेस (B)
3. कलेक्टर (C)
1. ट्रान्झिस्टरमध्ये अंतर्गत दोन डायोड असतात (एनपीएन \equiv एन-पी-एन + एनपी जंक्शन + पीएन जंक्शन आणि पीएनपी \equiv पी-एन-पी + पीएन जंक्शन + एनपी जंक्शन) म्हणजे ईमिटर-बेस हे एक पीएन जंक्शन (डायोड) आणि बेस-कलेक्टर हे दुसरे पीएन जंक्शन (डायोड) आहे.
2. डायोड मोडमध्ये, जर मल्टीमीटरचा पॉझिटिव्ह प्रोब डायोडच्या एनोडशी जोडला जाईल आणि कॅथोडला निगेटिव्ह प्रोब असेल, मल्टीमीटर व्होल्टेज दर्शवेल.
3. जर मल्टीमीटर पॉझिटिव्ह प्रोब डायोडच्या कॅथोडशी जोडला गेला असेल आणि एनोडला निगेटिव्ह प्रोब असेल तर ते कोणतेही व्होल्टेज देणार नाही (शून्य व्होल्टेज दर्शवेल).

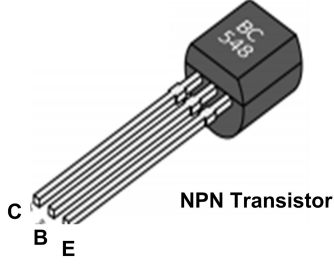
P18.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती (PrO)

PrO1: मल्टीमीटर वापरून दिलेल्या ट्रान्झिस्टरची चाचणी करा.

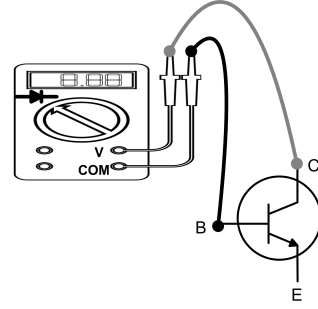
PrO2: बेस आणि ईमिटर दरम्यान; बेस आणि कलेक्टर दरम्यान; आणि ईमिटर आणि कलेक्टर दरम्यान प्रतिरोधक (resistance) मोजा.

PrO3: (BJT) बीजेटी चे टर्मिनल ओळखा.

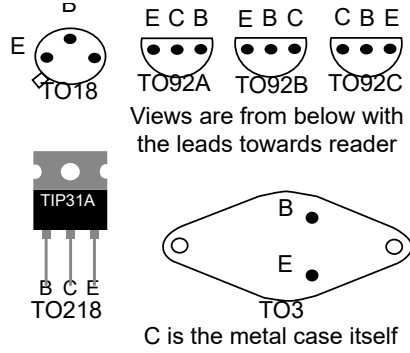
P18.5 प्रात्यक्षिक रचना (परिक्रमा आकृती)



आकृती 18.1: ट्रान्झिस्टरचे TO-92 पॅकेज



आकृती 18.2: ट्रान्झिस्टरचे टर्मिनल्स



आकृती 18.3: काही केसस्टाइलसाठी ईमिटर, बेस आणि कलेक्टर लीड्स

P18.6 आवश्यक संसाधने

अनु क्र.	महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह सुचवलेली आवश्यक संसाधने	प्रमाण	वैशिष्ट्यांसह आवश्यक प्रत्यक्ष संसाधने तपशील (विद्यार्थी-यांनी भरावी)		शेरा (असल्यास)
1.	सिंगल फेज AC स्त्रोत: 230V, 50Hz	अनु क्र.			
2.	कनेक्टिंग वायर: मल्टीस्ट्रँड Cu वायर, 1.5 mm ²	LS			
3.	डिजिटल मल्टीमीटर: 3 1/2 अंकी डिस्प्ले	1			
4.	ट्रान्झिस्टर: लहान सिग्नल ट्रान्झिस्टर (TO-92 पॅकेज); BC547 (NPN); BC557 (PNP)	प्रत्येक प्रकारातील 1			

5.	पॉवर ट्रान्झिस्टर: 2N2955 (NPN); 2N3055 (PNP)	प्रत्येक प्रकारातील 1			
----	--	--------------------------	--	--	--

P18.7 सावधानता

1. डिजिटल मल्टीमीटरचा योग्य प्रकार आणि श्रेणी निवडा.
2. सर्किट आकृती मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे सर्किट कनेक्ट करा.
3. प्रयोग पूर्ण झाल्यावर वीज पुरवठा बंद करा.

P18.8 सुचवलेली कृती

1. मल्टीमीटरला त्याच्या ओहम श्रेणीमध्ये सेट करा.
2. आकृती 18.1 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे मल्टीमीटर कनेक्ट करा.
3. बेस आणि ईमिटर मधील रेझिस्टन्स मोजा.
4. बेस आणि कलेक्टरमधील रेझिस्टन्स मोजा.
5. ईमिटर आणि कलेक्टरमधील रेझिस्टन्स मोजा.
6. खालील चार्टसह वरील स्टेपची पडताळणी करा.
7. ट्रान्झिस्टर बदला आणि स्टेप 2 ते 6 पुन्हा करा.

ट्रान्झिस्टर टर्मिनल्स दरम्यान		पीएनपी (PNP)	एनपीएन (NPN)
कलेक्टर	ईमिटर	R_{HIGH}	R_{HIGH}
कलेक्टर	बेस	R_{LOW}	R_{HIGH}
ईमिटर	कलेक्टर	R_{HIGH}	R_{HIGH}
ईमिटर	बेस	R_{LOW}	R_{HIGH}
बेस	कलेक्टर	R_{HIGH}	R_{LOW}
बेस	ईमिटर	R_{HIGH}	R_{LOW}

P18.9 निरीक्षणे

अनु क्र.	ट्रान्झिस्टर क्र.	ईमिटर आणि बेस दरम्यान रेझिस्टन्स R_{BE}	कलेक्टर आणि बेस दरम्यान रेझिस्टन्स R_{CB}	कलेक्टर आणि ईमिटर दरम्यान रेझिस्टन्स R_{CE}

--	--	--	--	--

P18.10 परिणाम

.....

.....

P18.11 निष्कर्ष आणि प्रमाणीकरण

.....

.....

P18.12 प्रात्यक्षिकसंबंधित प्रश्न

(उत्तरासाठी स्वतंत्र पत्रक वापरा)

टीप: संदर्भासाठी खाली काही नमुने प्रश्न दिले आहेत. पूर्व-परिभाषित अभ्यासक्रमाच्या निकालांची प्राप्ती सुनिश्चित करण्यासाठी शिक्षकांनी असे अधिक प्रश्न तयार केले पाहिजेत.

1. लहान सियल ट्रान्झिस्टर आणि पॉवर ट्रान्झिस्टर मधील फरक स्पष्ट करा.
2. काही ट्रान्झिस्टरला उष्णता सिंकची (heat sink) आवश्यकता आहे याचे कारण द्या.

P18.13 संसाधने शिकण्याचे स्रोत



XIII. P19-ES110: बीजेटी (BJT) चे परफॉर्मन्स

P19.1 प्रात्यक्षिक विधान

एनपीएन (NPN) ट्रान्झिस्टरच्या कामगिरीची चाचणी घ्या.

P19.2 प्रात्यक्षिक महत्व

बीजेटी (BJT) हा तीन टर्मिनल सक्रिय (active) स्वतंत्र घटक आहे. बीजेटी (BJT) एनपीएन (NPN) आणि पीएनपी (PNP) या दोन प्रकारांमध्ये उपलब्ध आहे. CE, CB आणि CC या तीन कॉन्फिगरेशनपैकी कोणत्याही एकामध्ये बीजेटी (BJT) चालवता येतो. बीजेटी (BJT) च्या कामगिरीची चाचणी त्याच्या इनपुट आणि आउटपुट वैशिष्ट्यांद्वारे केली जाऊ शकते कॉमन ईमिटर (CE) मोड हा बीजेटीसाठी ऑपरेशनचा सार्वत्रिक मोड आहे. CE मोड वापरून योग्य बायसिंगसह सर्व प्रकारची प्रवर्धन (amplifications) करता येतात. कॉमन-ईमिटर ॲम्प्लीफायर्सचा वापर रेडिओ फ्रिक्वेन्सी सर्किटमध्ये देखील केला जातो. कॉमन ईमिटर (CE) कॉन्फिगरेशनमध्ये NPN ट्रान्झिस्टरची कामगिरी तपासण्यासाठी हे प्रात्यक्षिक उपयुक्त आहे.

P19.3 संबंधित सिद्धांत

व्यावहारिक एम्पलीफायर सर्किटमध्ये कॉमन-ईमिटर (common emitter) हे सर्वात जास्त वापरले जाणारे कॉन्फिगरेशन आहे, कारण ते चांगले व्होल्टेज, करंट आणि पॉवर गेन प्रदान करते. इनपुट बेस-ईमिटर सर्किटमध्ये लागू केले जाते आणि आउटपुट कलेक्टर-ईमिटर सर्किटमधून घेतले जाते, ज्यामुळे ईमिटर इनपुट आणि आउटपुट दोन्हीसाठी "कॉमन" बनते. CE कॉन्फिगरेशन इनपुट आणि आउटपुट सिग्नल दरम्यान फेज रिव्हर्सल प्रदान करते. बीजेटी (BJT) कॉन्फिगरेशन साठी या धडा 1 मधील विभाग 1.2.3.2 पहा.

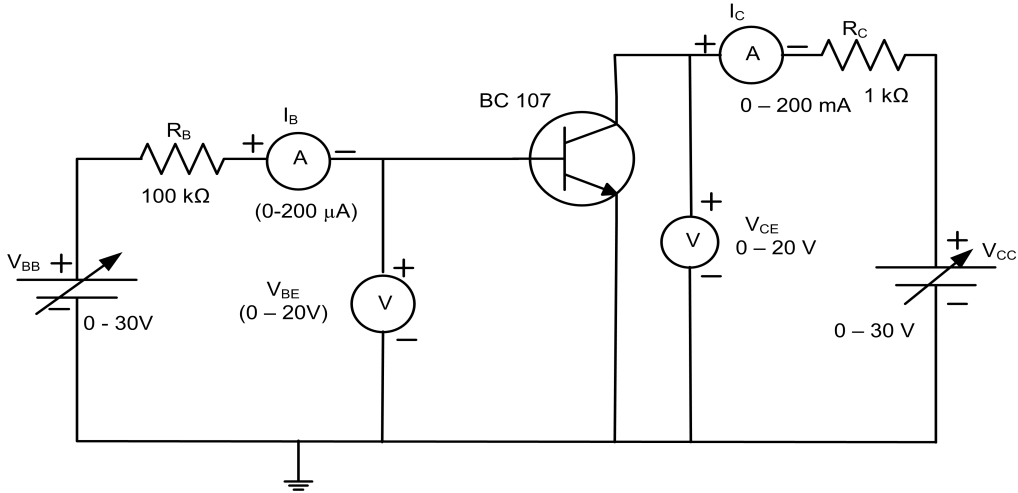
P19.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती (PrO)

PrO1: इनपुट आणि आउटपुट करंट आणि व्होल्टेज मोजणे.

PrO2: व्होल्टेज विरुद्ध करंट साठी स्केच आलेख काढणे.

PrO3: एनपीएन (NPN) ट्रान्झिस्टरच्या कामगिरीची चाचणी घेणे.

P19.5 प्रात्यक्षिक रचना (परिक्रमा आकृती)



आकृती 19.1: बीजेटी (BJT) चे CE मोडमध्ये सर्किट आकृती

P19.6 आवश्यक संसाधने

अ. क्र.	सुचवलेली संसाधने आवश्यक महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह	प्रमाण	विस्तृत वैशिष्ट्यांसह आवश्यक वास्तविक संसाधने (विद्यार्थ्याने भरावे)	शेरा (जर असेल तर)
1.	1/2 अंकी डिस्प्ले प्रोबसह डिजिटल मल्टी मीटर	2		
2.	DC रेग्युलेटेड पॉवर सप्लाय व्हेरिएबल DC रेग्युलेटेड पॉवर सप्लाय: 0-30 V, 2 A, SC संरक्षण, व्होल्टेज आणि करंट साठी डिस्प्ले.	1		

3.	व्होल्टमीटर : (0-20 V), (0-2 V)	1			
4.	अँमीटर: (0-200 mA), (0-200 μ A)	1			
5.	ट्रान्झिस्टर: BC107 किंवा इतर कोणत्याही समकक्ष	1			
6.	रेझिस्टर: 1K Ω (0.5 watts/0.25 watts)	1			
7.	ब्रेड बोर्ड: 15 CM \times 17CM	1			

P19.7 सावधानता

- सर्किट आकृतीनुसार सर्किट कनेक्शन तपासल्याशिवाय वीज पुरवठा चालू करू नका.
- प्रयोग करत असताना ट्रान्झिस्टरच्या इनपुट व्होल्टेजला त्याच्या रेटेड व्होल्टेजपेक्षा व्होल्टेजपेक्षा जास्त करू नका. यामुळे ट्रान्झिस्टरचे नुकसान होऊ शकते.
- सर्किट आकृतीमध्ये दाखवल्याप्रमाणे व्होल्टमीटर आणि अँमीटर योग्य ध्रुवीयतेमध्ये (polarities) कनेक्ट करा.

P19.8 सुचवलेली कृती

भाग-I

इनपुट वैशिष्ट्ये:

- आकृती 19.1 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे सर्किट कनेक्ट करा.
- V_{CC} बदलून V_{CE} व्होल्टेज ला (2V) वर सेट करा.
- 0V पासून 1V पर्यंत 0.1V च्या स्टेपमध्ये इनपुट व्होल्टेज V_{BE} बदला आणि निरीक्षण सारणीमध्ये I_B चे संबंधित मूल्य नोंदवा.
- V_{CE} 5V, आणि 10V वर ठेवून वरील स्टेप 2 आणि 3 ची पुनरावृत्ती करा.
- रेकॉर्ड केलेल्या वाचनांमधून वैशिष्ट्ये रेखाटणे.
- योग्य ऑपरेटिंग बिंदूवर इनपुट रेझिस्टन्स (r_i) ची गणना करा.

भाग-II

आउटपुट वैशिष्ट्ये:

- आकृती 19.1 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे सर्किट कनेक्ट करा.
- V_{BB} बदलून I_B 10 μ A वर सेट करा.
- 0V ते 10V पर्यंत 1V च्या स्टेपमध्ये आउटपुट व्होल्टेज V_{CC} बदला आणि निरीक्षण सारणीमध्ये V_{CE} आणि I_C चे संबंधित मूल्य नोंदवा.
- I_B 20 μ A आणि 30 μ A वर ठेवून वरील स्टेप 2 आणि 3 ची पुनरावृत्ती करा.
- रेकॉर्ड केलेल्या वाचनांमधून वैशिष्ट्ये रेखाटणे.
- योग्य ऑपरेटिंग बिंदूवर आउटपुट रेझिस्टन्स (r_o) ची गणना करा.

P19.9 निरीक्षणे

सारणी 19.1: इनपुट वैशिष्ट्ये

अनु क्र.	$V_{CE} = 2V$		$V_{CE} = 5V$		$V_{CE} = 10V$	
	$V_{BE} (V)$	$I_B (\mu A)$	$V_{BE} (V)$	$I_B (\mu A)$	$V_{BE} (V)$	$I_B (\mu A)$
1.						
2.						
3.						

सारणी 19.2: आउटपुट वैशिष्ट्ये

अनु क्र.	$I_B = 10\mu A$		$I_B = 20\mu A$		$I_B = 30\mu A$	
	$V_{CE} (V)$	$I_C (mA)$	$V_{CE} (V)$	$I_C (mA)$	$V_{CE} (V)$	$I_C (mA)$
1.						
2.						
3.						

गणना (आलेखातून)

1. इनपुट रेझिस्टन्स R_i :
2. आउटपुट रेझिस्टन्स R_o :
3. करंट अॅम्प्लीफिकेशन फॅक्टर α :

P19.10 परिणाम आणि व्याख्या

1. इनपुट रेझिस्टन्स $R_i = \dots\dots \Omega$
2. आउटपुट रेझिस्टन्स $R_o = \dots\dots \Omega$
3. करंट अॅम्प्लीफिकेशन फॅक्टर $\alpha = \dots\dots$

P19.11 निष्कर्ष आणि/किंवा प्रमाणीकरण

.....

.....

P19.12 प्रात्यक्षिकसंबंधित प्रश्न

उत्तरासाठी स्वतंत्र पत्रक वापरा)

टीप: संदर्भासाठी खाली काही नमुने प्रश्न दिले आहेत. पूर्व-परिभाषित अभ्यासक्रमाच्या निकालांची प्राप्ती सुनिश्चित करण्यासाठी शिक्षकांनी असे अधिक प्रश्न तयार केले पाहिजेत.

पीएनपी (PNP) ट्रान्झिस्टर वापरून हाच प्रयोग पुन्हा करा.

1. दिलेल्या बीजेटी (BJT) चे डायनॅमिक इनपुट रेझिस्टन्स शोधा.

2. CC कॉन्फिगरेशन मध्ये करंट गेन मोजण्यासाठी कृती सांगा.

P19.13 संसाधने शिकण्याचे स्रोत



XIV. P20-ES110: बीजेटी चा करंट गेन

P20.1 प्रात्यक्षिक विधान

कॉमन-ईमिटर ट्रान्झिस्टर कॉन्फिगरेशनचा करंट गेन निश्चित करा.

P20.2 प्रात्यक्षिक महत्व

बीजेटी (BJT) हा एक करंट ऑपरेटिंग, बाय-जंक्शन ॲक्टिव सेमीकंडक्टर घटक आहे. CE, CB आणि CC या तीन कॉन्फिगरेशनपैकी कोणत्याही एकामध्ये बीजेटी (BJT) चालवता येते. बीजेटी (BJT) चा करंट गेन हा कामगिरीच्या महत्त्वाच्या घटकांपैकी एक आहे. हे प्रात्यक्षिक बीजेटी (BJT) चा करंट गेन निश्चित करण्यासाठी उपयुक्त आहे.

P20.3 संबंधित सिद्धांत

प्रात्यक्षिक ॲम्प्लीफायर सर्किटमध्ये कॉमन-ईमिटर हे सर्वात वारंवार वापरले जाणारे कॉन्फिगरेशन आहे, कारण ते व्होल्टेज, करंट आणि पॉवर गेन चांगले प्रदान करते. इनपुट बेस-ईमिटर सर्किटमध्ये लागू केले जाते आणि कलेक्टर-ईमिटर सर्किट मधून आउटपुट घेतले जाते, ईमिटर इनपुट आणि आउटपुट दोन्हीसाठी "कॉमन" असते. CE कॉन्फिगरेशन मध्ये करंट गेन म्हणजे आउटपुट करंट I_C ते इनपुट करंट I_B चे गुणोत्तर.

बीजेटी (BJT) कॉन्फिगरेशनसाठी 1.2.3.2 पहा.

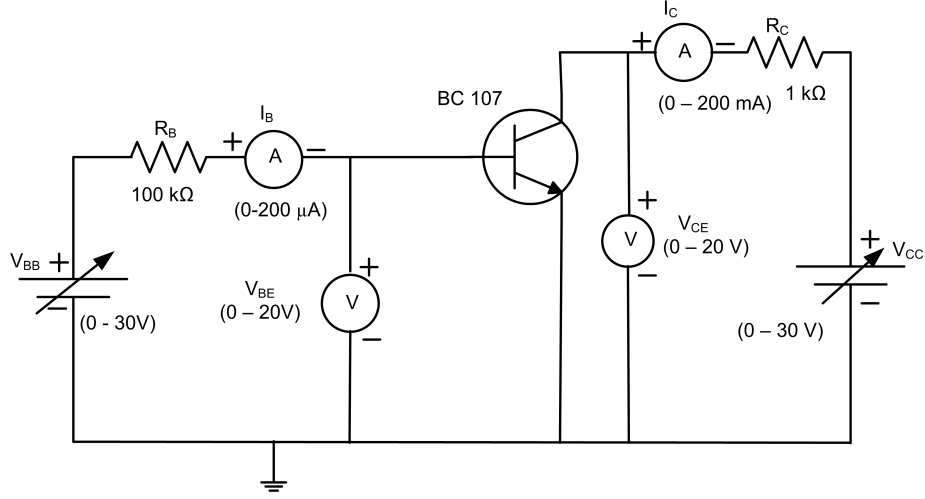
P20.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती(PrO)

PrO1: इनपुट आणि आउटपुट करंटचे मोजमाप करा.

PrO2: डायरेक्ट करंट मोजण्यासाठी मल्टीमीटर वापरा.

PrO3: CE कॉन्फिगरेशन ट्रान्झिस्टरचा करंट गेन निश्चित करा.

P20.5 प्रात्यक्षिक रचना (परिक्रमा आकृती)



आकृती 20.1: CE मोड मध्ये बीजेटी (BJT) चे सर्किट आकृती

P20.6 आवश्यक संसाधने

अनु क्र.	महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह सुचवलेली आवश्यक संसाधने	प्रमाण (Quantity)	वैशिष्ट्यांसह आवश्यक प्रत्यक्ष संसाधने तपशील (विद्यार्थी-यांनी भरावी)		शेरा (असल्यास)
1.	1/2 अंकी डिस्प्ले प्रोबसह डिजिटल मल्टी मीटर	2			
2.	व्हेरिएबल DC रेग्युलेटेड पॉवर सप्लाय: 0-30 V, 2 A, SC संरक्षण, व्होल्टेज आणि करंट साठी डिस्प्ले.	1			
3.	व्होल्टमीटर : (0-20 V), (0-2 V)	प्रत्येकी 1			
4.	अँमीटर: (0-200 mA), (0-200 μA)	प्रत्येकी 1			
5.	ट्रान्झिस्टर: BC107 किंवा इतर कोणत्याही समकक्ष	1			
6.	रेझिस्टर: 1KΩ (0.5 watts/0.25 watts)	1			
7.	ब्रेड बोर्ड: 15 CM × 17CM	1			

P20.7 सावधानता

- सर्किट आकृतीनुसार सर्किट कनेक्शन तपासल्याशिवाय वीज पुरवठा चालू करू नका.
- प्रयोग करत असताना ट्रान्झिस्टरच्या इनपुट व्होल्टेजला त्याच्या रेटेड व्होल्टेजपेक्षा व्होल्टेजपेक्षा जास्त करू नका. यामुळे ट्रान्झिस्टरचे नुकसान होऊ शकते.

- सर्किट आकृतीमध्ये दाखवल्याप्रमाणे व्होल्टमीटर आणि अँमीटर योग्य ध्रुवीयतेमध्ये (polarities) कनेक्ट करा.

P20.8 सुचवलेली कृती

- आकृती 20.1 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे सर्किट कनेक्ट करा.
- V_{CC} बदलून V_{CE} व्होल्टेज (2V) वर सेट करा.
- इनपुट व्होल्टेज V_{BE} 0.8V लागू करा आणि I_B चे संबंधित मूल्य निरीक्षण सारणीमध्ये नोंदवा.
- बायसिंग व्होल्टेज $V_{CC} = 7V$ लागू करा आणि संबंधित मूल्य I_C निरीक्षण टेबलमध्ये नोंदवा.

P20.9 निरीक्षणे आणि गणना

- इनपुट करंट $I_B = \dots\dots\dots$
- आउटपुट करंट $I_C = \dots\dots\dots$

गणना

करंट अॅम्प्लीफिकेशन फॅक्टर किंवा करंट गेन $= I_C / I_B =$

P20.10 परिणाम

CE कॉन्फिगरेशनमध्ये करंट गेन $\dots\dots\dots$ आहे.

P20.11 निष्कर्ष

$\dots\dots\dots$
 $\dots\dots\dots$

P20.12 प्रात्यक्षिकसंबंधित प्रश्न

(उत्तरासाठी स्वतंत्र पत्रक वापरा)

टीप: संदर्भासाठी खाली काही नमुने प्रश्न दिले आहेत. पूर्व-परिभाषित अभ्यासक्रमाच्या निकालांची प्राप्ती सुनिश्चित करण्यासाठी शिक्षकांनी असे अधिक प्रश्न तयार केले पाहिजेत.

- प्रत्यक्ष मल्टी मीटर पद्धत वापरून हाच प्रयोग पुन्हा करा.
- वेगवेगळ्या इनपुट आणि बायझिंग व्होल्टेजसाठी करंट गेन शोधा.
- डेटा शीटमधून दिलेल्या ट्रान्झिस्टरचे करंट गेन मूल्य शोधा.

XV. P21-ES110: ट्रान्झिस्टर स्विच सर्किट

P21.1 प्रात्यक्षिक विधान

ट्रान्झिस्टर स्विच सर्किटच्या कामगिरीची चाचणी घ्या.

P21.2 प्रात्यक्षिक महत्व

ट्रान्झिस्टरच्या सर्वात मूलभूत अनुप्रयोगांपैकी एक म्हणजे सर्किटचा दुसऱ्या भागामध्ये पॉवरचा प्रवाह नियंत्रित करण्यासाठी किंवा दुसऱ्या शब्दात त्याचा वापर साध्या इलेक्ट्रिक स्विच म्हणून करणे. एकतर कट-ऑफ किंवा सॅच्युरेशन मोडमध्ये चालवून, ट्रान्झिस्टर

स्विचचा बायनरी ऑन/ऑफ इफेक्ट तयार करू शकतो. ट्रान्झिस्टर स्विचस क्रिटिकल सर्किट-बिल्डिंग ब्लॉक्स आहेत; ते सर्किट इंटरफेस करण्यासाठी आणि लॉजिक गेट्स बनवण्यासाठी वापरले जातात, जे मायक्रोप्रोसेसर, मायक्रोकंट्रोलर आणि इतर इंटिग्रेटेड सर्किट तयार करतात आणि जे अनेक अनुप्रयोगांमध्ये उपयुक्त आहेत. अशा प्रकारे या प्रयोगाद्वारे विद्यार्थी स्विच म्हणून काम करणाऱ्या ट्रान्झिस्टरच्या कामगिरीला समजण्यास सक्षम असेल जे बाह्य इनपुटद्वारे चालू किंवा बंद केले जाऊ शकते.

P21.3 संबंधित सिद्धांत

सिद्धांतासाठी या पुस्तकाच्या 'अप्लिकेशन ऑफ ट्रान्झिस्टर' वर उप विषय 1.2.3.3 पहा.

ट्रान्झिस्टर हे करंट नियमन (current regulating) साधने आहेत जी त्यांच्यामधून ईमिटर ते कलेक्टर टर्मिनल्स पर्यंत वाहणाऱ्या करंटचे प्रमाण त्यांच्या बेस टर्मिनलवर लागू केलेल्या बायसिंग व्होल्टेजच्या प्रमाणात नियंत्रित करतात, अशा प्रकारे करंट-नियंत्रित स्विचसारखे (current-controlled switch) कार्य करतात. हे तीन वेगवेगळ्या रिजन मध्ये कार्य करतात: लागू बायसिंग स्थितीनुसार ऑक्टिव्ह, कट-ऑफ आणि संपृक्त (saturation). या सर्किटमध्ये स्क्वेअर वेव्ह इनपुट लागू केला जातो. जेव्हा इनपुट जास्त असते, ट्रान्झिस्टर चालू होतो आणि संपृक्त (saturation) रिजन मध्ये कार्य करतो. तर जास्तीत जास्त करंट I_C ट्रान्झिस्टर तसेच एलईडी (LED) द्वारे वाहते. म्हणून एलईडी प्रकाश सोडतो. जेव्हा इनपुट कमी असते (कमी म्हणजे ट्रान्झिस्टर चालू करण्यासाठी पुरेसे नाही), ट्रान्झिस्टर कट ऑफ रिजन मध्ये राहते. तर करंट I_C शून्य असतो आणि म्हणून LED प्रकाशित होत नाही. इनपुट स्क्वेअर वेव्ह असल्याने, एलईडी वैकल्पिकरित्या (alternately) चालू आणि बंद होईल.

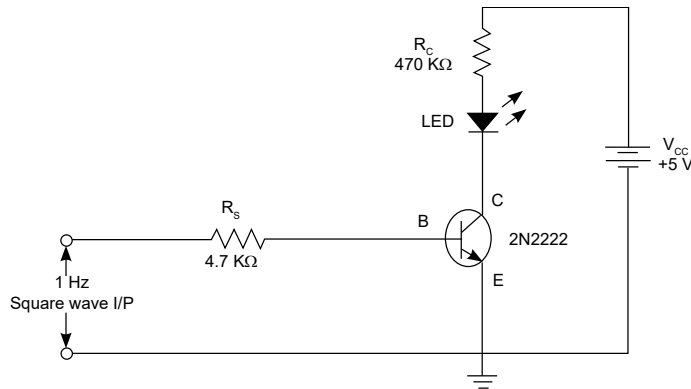
P21.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती (PrO)

PrO1: सर्किट योग्यरित्या कनेक्ट करा.

PrO2: ट्रान्झिस्टर स्विच सर्किटच्या कामगिरीची चाचणी घ्या.

PrO3: एलईडी नियंत्रित करण्यासाठी स्विच म्हणून ट्रान्झिस्टर वापरा.

P21.5 प्रात्यक्षिक रचना (कामाची परिस्थिती)



आकृती 21.1: ट्रान्झिस्टर स्विच सर्किटच्या कामगिरीची चाचणी करण्याच्या कामाची परिस्थिती दर्शवते.

P21.6 आवश्यक संसाधने

अनु क्र.	महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह सुचवलेली आवश्यक संसाधने	प्रमाण (Quantity)	वैशिष्ट्यांसह आवश्यक प्रत्यक्ष संसाधने तपशील (विद्यार्थी-यांनी भरावी)		शेरा (असल्यास)
1.	DC वीज पुरवठा: 0-30V	1			
2.	ब्रेड बोर्ड: 5.5 cm × 17 cm	1			
3.	फंक्शन जनरेटर: 1Hz- 1MHz	1			
4.	Resistors	1			
5.	ट्रान्झिस्टर: NPN, 2N2222 (किंवा BC547 किंवा इतर कोणतेही समतुल्य ट्रान्झिस्टर)	1			
6.	प्रकाश उत्सर्जित करणारा डायोड (Light Emitting Diode)				
7.	कनेक्टिंग वायर, सिंगल स्ट्रँड टेपलॉन कोटिंग (0.5 mm diameter)	LS			

P21.7 सावधानता

- सर्व कनेक्शन योग्य आणि व्यवस्थित आहेत याची खात्री करा.
- प्रयोग करत असताना मल्टी-मीटरचे योग्य कार्य (function) निवडा.

P21.8 सुचवलेली कृती

- आकृती 21.1 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे सर्किट कनेक्ट करा.
- फंक्शन जनरेटरकडून 5Vp-p ची एक स्थिर (Constant) ॲम्प्लीट्यूड 1 Hz स्क्वेअर वेव्ह मिळवा.
- फंक्शन जनरेटरमधून सर्किटमधील बेस आणि ग्राउंडवर स्क्वेअर वेव्ह सिग्नल लागू करा.
- कलेक्टर आणि ग्राउंडवर 5V V_{CC} लागू करा.
- LED चे संकेत पहा.

P21.9 निरीक्षणे

- एलईडी _____ आहे. (चमकणारा /चमकणारा नाही)

P21.10 परिणाम आणि व्याख्या

.....

.....

P21.11 निष्कर्ष

.....

.....

P21.12 प्रात्यक्षिकसंबंधित प्रश्न

1. यांत्रिक किंवा इलेक्ट्रो मेकॅनिकल स्विचवर इलेक्ट्रॉनिक स्विचचे फायदे स्पष्ट करा.
2. स्विचिंग सर्किट या शब्दाद्वारे तुम्हाला काय समजले ते स्पष्ट करा?
3. ट्रान्झिस्टर (a) बंद स्विच (b) ओपन स्विच म्हणून कधी काम करतो याचे वर्णन करा.

P21.13 संसाधने शिकण्याचे स्रोत

[1] “BJT Common Emitter Characteristics”, Virtual Labs, 2017, IIT Kharagpur.

**XVI. P22-ES110: ट्रान्झिस्टर अॅम्प्लीफायर सर्किटच्या कामगिरीची चाचणी****P22.1 प्रात्यक्षिक विधान**

ट्रान्झिस्टर अॅम्प्लीफायर सर्किटच्या कामगिरीची चाचणी घ्या.

P22.2 प्रात्यक्षिक महत्व

सिंगल स्टेज लो पॉवर अॅम्प्लीफायर्स सामान्यतः इलेक्ट्रॉनिक सर्किटमध्ये लहान सिग्नल अॅम्प्लिफिकेशनसाठी वापरले जातात. लो पॉवर अॅम्प्लीफायरचा वापर विविध इलेक्ट्रॉनिक उपकरणे आणि इलेक्ट्रॉनिक संप्रेषणात (communication) केला जातो. हे प्रात्यक्षिक विद्यार्थ्यांनी सिंगल स्टेज लो पॉवर कॉमन एमिटर अॅम्प्लीफायर तयार आणि चाचणी करण्यासाठी कौशल्ये विकसित करण्यास मदत करेल.

P22.3 संबंधित सिद्धांत

लो पॉवर अॅम्प्लीफायर हे इलेक्ट्रॉनिक उपकरण आहे जे सिग्नलची शक्ती वाढवू शकते. अॅम्प्लीफायर एका सिग्नलचे अॅम्प्लीट्यूड वाढवण्यासाठी पॉवर सप्लायमधून इलेक्ट्रिक पॉवर वापरते परंतु सर्व अॅम्प्लीफायर त्यांच्या सर्किट कॉन्फिगरेशन आणि ऑपरेशनच्या पद्धतीनुसार वर्गीकृत केल्याप्रमाणे नसतात. ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर्स आणि स्मॉल सिग्नल अॅम्प्लीफायर्सपासून मोठ्या सिग्नल आणि पॉवर अॅम्प्लीफायर्स पर्यंत अॅम्प्लीफायर्स म्हणून वर्गीकृत इलेक्ट्रॉनिक सर्किटचे अनेक प्रकार आहेत. अॅम्प्लीफायरचे वर्गीकरण सिग्नलच्या आकारावर अवलंबून असते, मोठे किंवा लहान, त्याचे भौतिक कॉन्फिगरेशन आणि ते इनपुट सिग्नलवर कसे प्रक्रिया करते, ते इनपुट सिग्नल आणि लोड मधील करंट यांच्यातील संबंध आहे. मोजले जाऊ शकणारे तीन वेगवेगळ्या प्रकारचे अॅम्प्लीफायर गेन आहेत: व्होल्टेज गेन (A_v), करंट गेन (A_i) आणि पॉवर गेन (A_p) मोजलेल्या प्रमाणावर अवलंबून आहेत.

P22.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती (PrO)

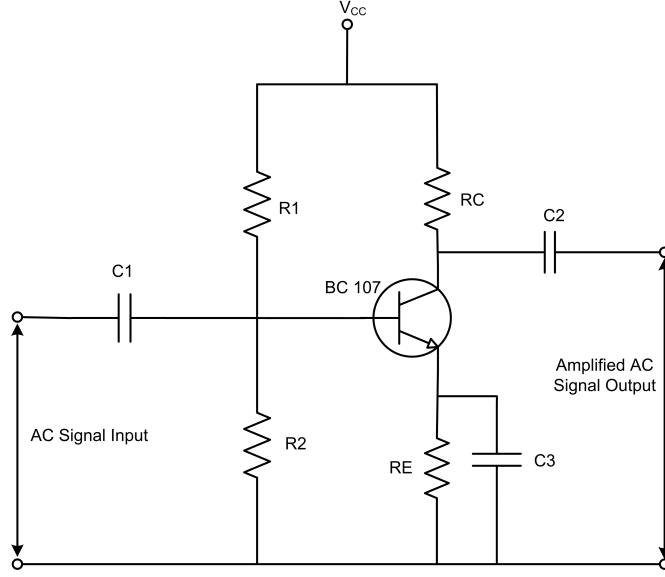
PrO1: संबंधित इलेक्ट्रॉनिक सक्रिय आणि निष्क्रिय (active and passive) घटक निवडा.

PrO2: बीजेटी (BJT), रेझिस्टर आणि कॅपेसिटर चाचणी घ्या.

PrO3: सर्किट आकृतीनुसार ब्रेडबोर्डवर इलेक्ट्रॉनिक घटक माउंट करा.

PrO4: ट्रान्झिस्टर अॅम्प्लीफायर सर्किटच्या कामगिरीची चाचणी घ्या.

P22.5 प्रात्यक्षिक रचना (परिक्रमा आकृती)



आकृती 22.1: ट्रान्झिस्टर अॅम्प्लीफायर सर्किट

P22.6 आवश्यक संसाधने

अनु क्र.	महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह सुचवलेली आवश्यक संसाधने	प्रमाण (Quantity)	वैशिष्ट्यांसह आवश्यक प्रत्यक्ष संसाधने तपशील (विद्यार्थी-यांनी भरावी)		शेरा (असल्यास)
1.	कॅथोड रे ऑसिलोस्कोप: (अॅनालॉग प्रकार) 30/100 MHz फ्रिक्वेंसी	1			
2.	व्हेरिफेबल फ्रिक्वेंसी आणि अॅम्प्लीट्यूड सह साइन, स्क्वेअर आणि त्रिकोणी आउटपुट 0-2 MHz	1			
3.	DC रेग्युलेटेड पॉवर सप्लाय: 0-30V, 2Amp SC संरक्षण (protection)	1			
4.	ट्रान्झिस्टर: BC 547 किंवा समतुल्य ट्रान्झिस्टर	1			
5.	रेझिस्टर: $R_1 = 33K\Omega$, $R_2 = 3.3K\Omega$, $R_C = 1.5K\Omega$, $R_E = 470\Omega$	1			
6.	कॅपेसिटर: $C_1 = 0.1\mu f$, $C_2 = 0.1\mu f$, $C_3 = 10 \mu f$	1			

7.	ब्रेडबोर्ड: 5.5 cm × 17 cm	1			
8.	कनेक्टिंग वायर: सिंगल स्ट्रँड टेफ्लॉन कोटिंग (0.6 mm diameter)	गरजेनुसार			

P22.7 सावधानता

- सर्किट आकृतीनुसार योग्य जोडणी केल्याची खात्री करा.
- सुरवातीला पॉवर स्विच 'बंद' स्थितीत असल्याची खात्री करा.
- फंक्शन जनरेटर आणि सीआरओ (CRO) च्या योग्य सेटिंग्जचा वापर सुनिश्चित करा.

P22.8 सुचवलेली कृती

- आकृतीनुसार ब्रेडबोर्डवर सर्किट तयार करा.
- फंक्शन जनरेटर आउटपुटला CRO शी कनेक्ट करा आणि सीआरओ (CRO) वर इनपुट सिग्नलचे निरीक्षण करा.
- फंक्शन जनरेटरवर AC सिग्नलचे योग्य अँप्लीट्यूड (10mV ते 20mV) आणि फ्रिक्वेंसी (1KHz) निवडा.
- इनपुट टर्मिनल्सवर फंक्शन जनरेटर आणि सर्किटच्या आउटपुट टर्मिनल्सवर सीआरओ (CRO) कनेक्ट करा.
- DC पॉवर सप्लाय चालू करा.
- सीआरओ (CRO) वर आउटपुट वेव्हफॉर्मचे निरीक्षण करा.
- इनपुट फ्रिक्वेंसी (100 Hz ते 2 MHz) बदला आणि सीआरओ (CRO) कडून आउटपुट व्होल्टेज नोंदवा.
- गेन ची गणना करा. फंक्शन जनरेटर फ्रिक्वेंसी बदलून वीस वाचनांसाठी स्टेप 7 ची पुनरावृत्ती करा.
- सेमी-लॉग पेपरवर फ्रिक्वेंसी रिस्पॉन्स प्लॉट करा.

P22.9 निरीक्षणे आणि गणना

सारणी 22.1: निरीक्षण सारणी

mV मध्ये इनपुट व्होल्टेज (स्थिर (constant) ठेवणे), $V_i = \underline{\hspace{2cm}}$

अनु क्र.	इनपुट फ्रिक्वेंसी (Hz)	आउटपुट व्होल्टेज, V_o (Volts)	व्होल्टेज गेन ($A = V_o/V_i$)	dB मध्ये गेन $20 \log (V_o/V_i)$
1.				
2.				
3.				

गणना

- व्होल्टेज गेन: $V_o/V_i = \dots\dots\dots$
- 1KHz वर व्होल्टेज गेन: $V_o/V_i = \dots\dots\dots$
- dB बँडविड्थ, $B/W = F_H - F_L = \dots\dots\dots$

P22.10 परिणाम आणि व्याख्या

1. मध्यम फ्रिक्वेन्सी क्षेत्र (Mid frequency region) =
2. बँडविड्थ =

P22.11 निष्कर्ष आणि/किंवा प्रमाणीकरण

.....
.....

P22.12 प्रात्यक्षिकसंबंधित प्रश्न

(उत्तरासाठी स्वतंत्र पत्रक वापरा)

टीप: संदर्भासाठी खाली काही नमुने प्रश्न दिले आहेत. पूर्व-परिभाषित अभ्यासक्रमाच्या निकालांची प्राप्ती सुनिश्चित करण्यासाठी शिक्षकांनी असे अधिक प्रश्न तयार केले पाहिजेत.

1. सर्किटमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या बायसिंगचे प्रकार ओळखा.
2. PNP ट्रान्झिस्टर वापरले तर सर्किटमध्ये आवश्यक बदल सूचित करा.
3. डेटाशीट वापरून समतुल्य (equivalent) ट्रान्झिस्टर सुचवा.

P22.13 संसाधने शिकण्याचे स्रोत

1. "Single Stage CE Amplifier | Circuit Elements and Working" Physics4students 30 Mar 2017.
2. "Data Sheet of BC546", Fairchild Semiconductor.

अधिक जाणून घ्या

सूक्ष्म प्रकल्प (उपक्रम) /उपक्रम

शिक्षकांच्या मार्गदर्शनाखाली 5 - 6 विद्यार्थ्यांच्या गटामध्ये एक किंवा दोन सूक्ष्म प्रकल्प/क्रियाकलाप हाती घ्या आणि वैयक्तिक सहभागासह गट म्हणून सादर करा. नमुना यादी खाली दिली आहे:

- a. इलेक्ट्रिक सर्किट घटक आणि त्यांच्या संबंधित औद्योगिक अनुप्रयोगांचा चार्ट तयार करा.
- b. वेगवेगळ्या प्रकारच्या रेझिस्टर, कॅपेसिटर, इंडक्टर्स आणि डायोड्सची डेटाशीट गोळा करा.
- c. माहिती गोळा करा आणि सरफेस माउंट डिव्हायसेस म्हणजेच लीड लेस डिव्हायसेसचा अहवाल तयार करा.
- d. खालील टर्मिनल बिंदूवर डिजिटल मल्टीमीटर वापरून व्होल्टेज मोजा.

पायरी 1: योग्य मोजमाप श्रेणी निवडा. एसी व्होल्टेज मापन करण्यासाठी निवडक नॉब ठेवा.

5 एएमपी स्विच सॉकेट आउटलेटवर व्होल्टेज मोजा. प्रदर्शित व्होल्टेज रीडिंगचे निरीक्षण करा आणि लक्षात घ्या. आता सिलेक्टर नॉब डीसी व्होल्टेज मापनात बदला आणि सॉकेट आउटलेटवर पुन्हा व्होल्टेज मोजा. प्रदर्शित वाचन लक्षात ठेवा.

पायरी 2: दिलेल्या लीड-ॲसिड बॅटरीच्या टर्मिनल्सवर व्होल्टेज मोजण्यासाठी पायरी 1 पुन्हा करा.

पायरी 1 आणि 2 वर निरीक्षण केलेल्या आणि लक्षात घेतलेल्या वाचनावर टिप्पणी आणि निष्कर्ष काढा.

व्हिडिओ संसाधने



ICT चा वापर



संदर्भ आणि सुचवलेले वाचन

1. Ritu Sahdev, Basic Electrical Engineering, New Delhi: Khanna Publishing House, 2018.
2. V.N. Mittle, and A. Mittal, Basic Electrical Engineering, McGraw Education, 2017.
3. V Jegathesan, K.Vinoth Kumar and R Saravanakumar, Basic Electrical and Electronics Engineering, New Delhi: Wiley India, 2015.
4. B. L. Theraja, Electrical Technology, Vol. - I, New Delhi: S. Chand and Company, 2015.
5. V.K. Mehta and Rohit Mehta, Principles of Electronics, S. Chand and Company, New Delhi, 2014.
6. David A. Bell, Electronic Devices and Circuits, New Delhi: Oxford University Press, 2011.

2

ॲनालॉग सर्किट्सचा आढावा

युनिट वैशिष्ट्ये

हे युनिट खालील विषयांवर चर्चा करते:

- ऑप-ॲम्प (Op Amp) IC 741 ची मूलभूत माहिती
- ऑप-ॲम्प मापदंड
- आदर्श ऑप-ॲम्प वैशिष्ट्ये
- ऑप-ॲम्प ओपन लूप कॉन्फिगरेशन
- ऑप-ॲम्प क्लोज लूप कॉन्फिगरेशन
- ऑप-ॲम्प इनव्हर्टिंग मोड एम्पलीफायर
- ऑप-ॲम्प नॉन-इनव्हर्टिंग मोड एम्पलीफायर
- ऑप ॲम्प अँडर म्हणून
- ऑप ॲम्प विभेदक (differentiator) म्हणून
- ऑप ॲम्प इंटिग्रेटर म्हणून

विषयांच्या प्रात्यक्षिक अनुप्रयोगांवर चर्चा केली जाते. एकाधिक पसंतीचे प्रश्न (Multiple choice questions) तसेच व्यक्तिनिष्ठ प्रश्न (subjective questions) आणि संख्यात्मक उदाहरणे (numerical problems) सरावासाठी प्रदान केली आहे. संबंधित प्रात्यक्षिक, त्यानंतर "अधिक जाणून घ्या" विभागात सूक्ष्म प्रकल्प आणि उपक्रम, आयसीटीसह व्हिडिओ संसाधने दिली आहेत. संदर्भ आणि सुचवलेल्या वाचनांची यादी युनिटमध्ये दिलेली आहे जेणेकरून पुढील सराव आणि शिकण्याच्या वर्धनासाठी कोणी त्यांच्या माध्यमातून जाऊ शकेल.

तर्कसंग

ऑपरेशनल ॲम्पलीफायर (कार्यरत वर्धक) (ऑप-ॲम्प) सर्वात अष्टपैलू आणि इंटिग्रेटेड सर्किट (IC) आहे. IC एक लहान सेमीकंडक्टर (semiconductor) आधारित इलेक्ट्रॉनिक डिव्हाइस (उपकरण) किंवा मायक्रोचिप (सूक्ष्म चकती) आहे ज्यावर हजारो आणि शेकडो असुरक्षित विद्युत घटक जसे की रेझिस्टर (resistors), कॅपेसिटर (capacitors) (संधारित्र) आणि ट्रान्झिस्टर (transistors), फैब्रिकेटड आहेत. ऑप-ॲम्प चा वापर ॲनालॉग इलेक्ट्रॉनिक सर्किटचे विविध अनुप्रयोग विकसित करण्यासाठी केला जातो आणि तो खूप लोकप्रिय आहे. या युनिटचा (अध्यायाचा / प्रकरणाचा) हेतू ऑपॲम्प आधारित इलेक्ट्रॉनिक

सर्किट्स तयार करणे, चाचणी करणे आणि निदान करण्याची कौशल्ये विकसित करण्याचा आहे. हे युनिट ऑपअॅम्पवर आधारित अॅनालॉग सर्किटच्या विविध पैलूंबद्दल चर्चा करते जे विविध औद्योगिक, ग्राहक आणि घरगुती अनुप्रयोगांमध्ये वापरले जातात.

पूर्व-आवश्यकता

1. विज्ञान: वर्तमानाचे परिणाम (दहावी)
2. अप्लाइड फिजिक्स-I: भौतिक जग, एके आणि मापन (सेमेस्टर-I)
3. गणित-1: बीजगणित (सेमेस्टर-1)

युनिट परिणाम

हे युनिट पूर्ण झाल्यावर, विद्यार्थी सक्षम असेल:

U2-O1: ऑप-अॅम्प पॅरामीटर्सचे वर्णन करा.

U2-O2: ऑप-अॅम्प कॉन्फिगरेशन स्पष्ट करा.

U2-O3: ऑप-अॅम्प चे इनव्हर्टिंग आणि नॉन-इनव्हर्टिंग अॅम्प्लीफायर म्हणून वर्णन करा.

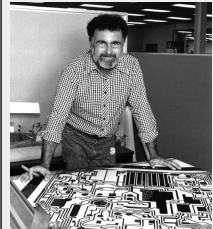
U2-O4: मूलभूत अनुप्रयोगांसाठी ऑप-अॅम्प वापरा.

कोर्स आऊटकोम्ससह युनिट वाईजचे एक्सपेक्टेड मॅपिंग:

युनिट-2 परिणाम	कोर्स आऊटकोम्ससह एक्सपेक्टेड मॅपिंग (1-दुर्बलसहसंबंध; 2-मध्यमसंबंध; 3-मजबूतसहसंबंध)					
	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4	CO-5	CO-6
U2-O1	1	3	-	-	-	-
U2-O2	1	3	-	-	-	-
U2-O3	1	3	-	-	-	-
U2-O4	2	3	-	-	-	-

रॉबर्ट जॉन विडलर (1937-1991)

पौराणिक चिप डिझायनर म्हणून ओळखले जाणारे रॉबर्ट जॉन विडलर हे पहिल्यांदा मोठ्या प्रमाणात उत्पादित ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर IC च्या डिझाइन साठी महत्त्वपूर्ण होते. स्वयं-शिकवलेला रेडिओ अभियंता, वॉल्टर विडलरने डब्ल्यू जी ए आर (WGAR) (1220AM) रेडिओ स्टेशनसाठी काम केले आणि अल्ट्रा-हाय फ्रिक्वेंसी (वारंवारता) ट्रान्समिटर्स (पारेषित) चे अग्रणी डिझाइन केले. जन्मापासूनच इलेक्ट्रॉनिक्सच्या जगाने त्यांना घेरले. विडलरने लिनीअर इंटिग्रेटेड सर्किट्सचे मूलभूत बिल्डिंग ब्लॉक्स शोधले ज्यात विडलर करंट सोर्स, विडलर बँड गॅप व्होल्टेज संदर्भ आणि विडलर आउटपुट स्टेज आहेत. 1964 मध्ये डेव्हिड टेलबर्ट यांच्या समवेत विडलरने पहिल्यांदा मोठ्या प्रमाणात उत्पादित ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर ICs तयार केलेत. यामुळे फेअरचाइल्ड सेमीकंडक्टर आणि नॅशनल सेमीकंडक्टर, लिनीअर इंटिग्रेटेड सर्किट मधील नेते बनले. नॅशनल सेमीकंडक्टर जिथे तो कलातदार होता त्याने प्रगत लिनीअर IC's मालिकेची निर्मिती केली ज्यात प्रथम अल्ट्रा-लो-व्होल्टेज ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर (LM10) समाविष्ट आहे.



2.1 ऑपरेशनल अ‍ॅम्प्लीफायरची मूलतत्त्वे

2.1.1 परिचय

आज-काल सर्व अभियांत्रिकी क्षेत्रातील अनुप्रयोगांमध्ये इलेक्ट्रॉनिक सर्किट्स (electronic circuits plays) महत्त्वपूर्ण भूमिका निभावतात. इलेक्ट्रॉनिक सर्किटचे दोन मुख्य प्रकार अ‍ॅनालॉग (analog) इलेक्ट्रॉनिक सर्किट आणि डिजिटल (अंक) इलेक्ट्रॉनिक सर्किट आहेत. रेक्टिफायर, अ‍ॅम्प्लीफायर आणि ऑसिलेटर (Oscillator) हे बहुतेकदा वापरले जाणारे अ‍ॅनालॉग इलेक्ट्रॉनिक सर्किट्स आहेत. हे सर्किट सतत (continuous) सिग्नलवर म्हणजे लिनीअर (linear) किंवा अ‍ॅनालॉग सिग्नलवर प्रक्रिया करू शकतात. म्हणून अ‍ॅनालॉग सर्किट्सला लिनीअर इलेक्ट्रॉनिक्स सर्किट असेही म्हणतात. एसी (AC) सिग्नलचे डीसी (DC) सिग्नल मध्ये रूपांतरित करण्यासाठी रेक्टिफायर सर्किटचा वापर केला जातो. डायोड रेक्टिफायर (द्विष्टकारी) सर्किट्स साठी वापरले जातात. अ‍ॅम्प्लीफायर इनपुट सिग्नलचे अ‍ॅम्प्लिट्यूड (आयाम) वाढविण्यासाठी वापरले जाते. प्रवर्धक अ‍ॅम्प्लीफायर बीजेटी (BJT) किंवा एफईटी (FET) सारख्या स्वतंत्र घटकांचा वापर करून बनवला जाऊ शकतो. स्वतंत्र घटकांचा वापर करून तयार केलेले अ‍ॅनालॉग सर्किट अशा मोठ्या आकाराचे, जास्त उर्जा (power) आणि कमी विश्वासार्हतेच्या (reliability) अनेक कमतरता दर्शविते. या कमतरतेवर मात करण्यासाठी इंटिग्रेटेड सर्किट्स (IC) वापरली जातात. ऑप अ‍ॅम्प म्हणून ओळखले जाणारे ऑपरेशनल अ‍ॅम्प्लीफायर इलेक्ट्रॉनिक सर्किटमध्ये बरेच लोकप्रिय बिल्डिंगब्लॉक्स आहेत. ऑप-अ‍ॅम्पचा उपयोग AC आणि DC सिग्नल अ‍ॅम्प्लीफिकेशन, फिल्टर्स, ओसीलेटर, होल्टेज रेगुलेटर, कंपॅरेटर आणि बऱ्याच ग्राहक आणि औद्योगिक (consumer and industrial) अनुप्रयोगांमध्ये केला जातो.

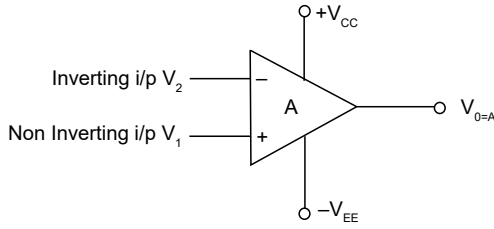
2.1.2 ऑप अ‍ॅम्पची मूलतत्त्वे

ऑपरेशनल अ‍ॅम्प्लीफायर्स एक डायरेक्ट कपलड हाय गेन अ‍ॅम्प्लीफायर असतात ज्यात साधारणतः एक किंवा अधिक डिफरन्शियल अ‍ॅम्प्लीफायर्स (विभेदी विवर्धक) असतात त्यानंतर लेव्हल शिफ्टर (सूतीकारी) आणि आउटपुट स्टेज (बाह्य टप्पा) असतात. सुरुवातीला या अ‍ॅम्प्लीफायर्सला गणिताच्या क्रियांमध्ये (ऑपरेशनमध्ये) वापरण्यात आले होते म्हणून “ऑपरेशनल” हा शब्द वापरला जातो.

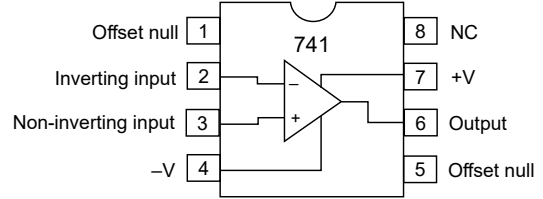
ऑपरेशनल अ‍ॅम्प्लीफायर्सची प्रतीक आकृती 2.1 मध्ये दिले आहे. सर्वात जास्त वापरली जाणारी ऑप अ‍ॅम्पची IC μA 741 आहे, जी अनेक उत्पादकांनी उत्पादित केली आहे. IC नंबर मधील दोन उपसर्ग वर्णनिर्माता दर्शवितात. सारणी 2.1 उपसर्ग आणि उत्पादक नावे दर्शविते. आकृती 2.2 IC 741 चे पिन कन्फिगरेशन दर्शवते. सारणी 2.2 IC 741 पिन कार्ये दर्शवितात.

सारणी 2.1: IC 741 साठी उपसर्ग (Prefix) अक्षरे आणि उत्पादकाची नावे

उपसर्ग अक्षरे	उत्पादकाची नाव
AD	अ‍ॅनालॉग डिव्हाइस
LM	नॅशनल सेमीकंडक्टर
MC	मोटोरोला
NE / SE	सिग्रेटिक्स
OP	प्रेसिजन मोनोलिथिक
TI	टेक्सास इन्स्ट्रुमेंट
μA	फेअरचाइल्ड



आकृती 2.1: ऑप-अॅम्पचे चिन्ह (Symbol)



आकृती 2.2: IC741(μA 741) चे पिनआउट आकृती

सारणी 2.2: IC 741 पिनचे कार्ये (Functions)

पिन न.	पिन लेबल	पिनचे कार्ये
1.	ऑफसेट नल (offset Null)	हे ऑफसेट व्होल्टेज काढण्यासाठी किंवा कमी करण्यासाठी वापरले जाते. हे पिन क्रमांक 5 सोबत वापरले जाते.
2.	इनव्हर्टिंग इनपुट	हे वजा (-) चिन्हाद्वारे दर्शविले जाते. या इनपुटला लागू केलेला सिग्नल आउटपुटमध्ये अॅम्प्लीफाइड येतो परंतु फेज इनव्हर्टेड सिग्नलच्या रूपात दिसून येतो.
3.	नॉन - इनव्हर्टिंग इनपुट	हे अधिक (+) चिन्हाद्वारे दर्शविले जाते. या टर्मिनलवर लागू केलेला सिग्नल आउटपुटमध्ये अॅम्प्लीफाइड सिग्नल म्हणून दिसेल ज्याचा इनपुट सिग्नल प्रमाणेच टप्पा आहे.
4.	$-V_{CC}$	निगेटिव्ह सप्लाइसाठी बाइसिंग पॉवर सप्लाइ पिन सामान्यपणे $-15V$ लागू केला जातो.
5.	ऑफसेट नल (offset null)	हे ऑफसेट व्होल्टेज काढण्यासाठी किंवा कमी करण्यासाठी वापरले जाते. हे पिन क्रमांक 1 सोबत वापरला जातो.
6.	आउटपुट	या पिनमधून ऑपअॅम्पचे सिंगल एन्ड आउटपुट उपलब्ध आहे.
7.	$+V_{CC}$	पॉझिटिव्ह सप्लाइसाठी बाइसिंग पॉवर सप्लाइ पिन सामान्यपणे $+15V$ लागू केला जातो.
8.	NC	कनेक्ट केलेले नाही (Not Connected).

2.1.2.1 पॅकेजेस

तीन उपलब्ध लोकप्रिय पॅकेजेस खालीलप्रमाणे आहेत:

- ड्युअल-इन-लाइन पॅकेज (DIP)
- मेटल कॅन पॅकेज (TO)
- फ्लॅट पॅकेज किंवा फ्लॅट पॅक

ऑप-अॅम्प पॅकेजेसमध्ये, एका आयसीमध्ये एकच, किंवा दोन (ड्युअल) किंवा चार (क्वाड) ऑप-अॅम्प असू शकतात. ठराविक पॅकेजेस 8 टर्मिनल, 10 टर्मिनल आणि 14 टर्मिनलचे आहे. मोठ्या प्रमाणावर वापरली जाणारी, μA 741 एकच ऑप-अॅम्प IC आहे आणि ही IC आकृती 2.3 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे विविध पॅकेजेस मध्ये उपलब्ध आहे. μA 747 एक दोन (ड्युअल) 741 आहे आणि 10-पिन कॅन किंवा 14-पिन डीआयपी (DIP) मध्ये येते.



a. ड्युअल-इन-लाइन पॅकेज (DIP)

b. सरळ लीड्ससह TO-5 पॅकेज

c. फ्लॅट पॅक

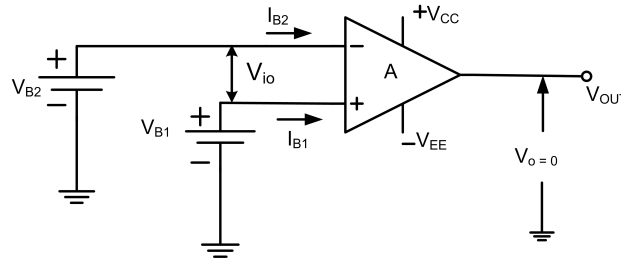
आकृती 2.3: 741 ऑप-अॅम्पचे (Op Amp) विविध IC पॅकेजेस

2.1.2.2 ऑप-अॅम्पचे पॅरामीटर्स

ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर म्हणजे फक्त एक हाय गेन (उच्च वाढ), डायरेक्ट कपल्ड अॅम्प्लीफायर (डायरेक्ट (थेट) जोडलेले वर्धक). हे सहसा विस्तृत फ्रिक्वेन्सी रेंज वर विस्तारित सिग्नल वाढविण्यासाठी डिझाइन केलेले असते आणि सामान्यपणे बाह्य फीडबॅक (feedback) नेटवर्कसह वापरले जाते. ऑप-अॅम्पचे विविध पॅरामीटर्स आहेत, जे विश्वासू अॅम्प्लीफिकेशन साठी (प्रवर्धनासाठी) आवश्यक आहेत. ऑप-अॅम्पमध्ये भिन्न इलेक्ट्रिकल पॅरामीटर्स आहेत जसे की डिफरन्शियल इनपुट प्रतिरोधक (resistance), इनपुट ऑफसेट व्होल्टेज, आउटपुट ऑफसेट व्होल्टेज आणि सामान्य मोड नकार प्रमाण (common mode rejection ratio). ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर, सर्किट आणि सिस्टम डिझाइनसाठी एक सार्वभौमिक बिल्डिंग ब्लॉक बनला आहे म्हणून, बऱ्याच प्रमाणात स्वीकारल्या गेलेल्या डिझाइन टर्मसमध्ये सामील आहेत, जे विविध ऑप-अॅम्प सर्किट्सच्या तुलनात्मक गुणवत्तेचे वर्णन करतात. या विभागात, सामान्यतः ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर कामगिरीचे वैशिष्ट्यीकृत करण्यासाठी वापरले जाणारे पॅरामीटर्स स्पष्ट केले आहेत.

इनपुट ऑफसेट करंट (Input offset current) (I_{io}): इनपुट ऑफसेट करंट हा बॅलन्स अॅम्प्लीफायरच्या इनपुट टर्मिनल्समध्ये प्रवेश करणाऱ्या करंटमधील फरक आहे. आकृती 2.4 संदर्भात

$$I_{io} = I_{B1} - I_{B2}, \text{ जेथे } V_o = 0 \quad \dots(2.1)$$

आकृती 2.4: इनपुट बायस करंट I_{B1} आणि I_{B2} ; आणि ऑफसेट व्होल्टेज V_{io}

इनपुट बायस करंट (Input bias current) (I_B): इनपुट बायस करंट I_B हे शून्य व्होल्टच्या आउटपुटसह इनपुट टर्मिनल्समध्ये वाहणाऱ्या करंटचे सरासरी मूल्य आहे. आकृती 2.4 कडून,

$$I_B = \frac{I_{B1} + I_{B2}}{2}, \text{ जेव्हा } V_o = 0 \quad \dots(2.2)$$

इनपुट ऑफसेट करंट ड्रीफ्ट (Input offset current drift): हे रेशो आहे इनपुट ऑफसेट करंटच्या बदलाचा आणि तापमान बदलाचा.

$$\text{इनपुट ऑफसेट करंट ड्रीफ्ट} = \frac{\Delta I_{io}}{\Delta T} \quad \dots(2.3)$$

इनपुट ऑफसेट व्होल्टेज (Input offset voltage) (V_{io}): हे असे व्होल्टेज आहे की इनपुट सिग्नलशिवाय आउटपुट व्होल्टेज शून्य मिळविण्यासाठी इनपुट टर्मिनल दरम्यान व्होल्टेज लागू करणे आवश्यक आहे.

इनपुट ऑफसेट व्होल्टेज ड्रीफ्ट (Input offset voltage drift): हे तापमानात बदल करण्याच्या इनपुट ऑफसेट व्होल्टेजच्या बदलाचे प्रमाण म्हणून परिभाषित केले जाते.

$$\text{इनपुट ऑफसेट व्होल्टेज ड्रीफ्ट} = \frac{\Delta V_{io}}{\Delta T} \quad \dots(2.4)$$

आउटपुट ऑफसेट व्होल्टेज (Output offset voltage): जेव्हा इनपुट टर्मिनल ग्राउंड केले जातात तेव्हा हे ऑप-अॅम्पचे आउटपुट व्होल्टेज असते. या पॅरामीटरचे मूल्य आदर्श (ideal) ऑप-अॅम्पसाठी 0V आहे. प्रत्यक्षिक ऑप-अॅम्पसाठी या पॅरामीटरचे मूल्य अगदी कमी असणे आवश्यक आहे. हे कमी करण्यासाठी ऑफसेट नल (offset null) पिन वापरल्या जातात.

कॉमन मोड श्रेणी (Common mode range): ही इनपुट व्होल्टेजची कमाल (max) श्रेणी आहे जी अॅम्प्लीफायर टप्प्यात कट-ऑफ किंवा संतृप्ति (saturation) न आणता एकाच वेळी दोन्ही इनपुटला लागू केली जाऊ शकते.

इनपुट डिफरेंशियल श्रेणी (Input differential range): हे अधिकतम फरक सिग्नल आहे जे ऑप-अॅम्प इनपुट टर्मिनल्सवर सुरक्षितपणे लागू केले जाऊ शकते.

आउटपुट व्होल्टेज श्रेणी (Output voltage range): ही जास्तीत जास्त आउटपुट स्विंग (swing) आहे जी महत्त्वपूर्ण विकृतीशिवाय (distortion) प्राप्त केली जाऊ शकते.

पूर्ण उर्जा बँडविड्थ (Full power bandwidth): ही जास्तीत जास्त फ्रिक्वेन्सी श्रेणी आहे जीथे संपूर्ण आउटपुट व्होल्टेज स्विंग मिळवता येऊ शकेल.

पॉवर सप्लाय रिजेक्शन प्रमाण (Power Supply Rejection Ratio): पॉवर सप्लाय रिजेक्शन रेश्यो म्हणजे इनपुट ऑफसेट व्होल्टेजमधील बदलाचे प्रमाण म्हणजे एका वीजपुरवठा व्होल्टेजमध्ये बदल होणे आणि इतर वीज पुरवठा व्होल्टेजेस स्थिर असतात.

स्लीव रेट (Slew rate): आउटपुट व्होल्टेज बदलण्याचा हा कमाल दर आहे. हे क्लोज-लूप (close loop) अॅम्प्लीफायरच्या आउटपुट व्होल्टेजच्या बदलाचे दर म्हणून देखील परिभाषित केले जाते. हे V/ μ S युनिटमध्ये व्यक्त केले जाते. ऑप अॅम्पची कमाल ऑपरेटिंग फ्रिक्वेन्सी स्लीव रेटवर अवलंबून असते.

$$F_{\max} = \text{स्लीव रेट} / (2\pi V_p) \quad \dots(2.5)$$

युनिटी गेन बँडविड्थ (Bandwidth/पट्टरुंदी): ही डायरेक्ट (डायरेक्ट (थेट)) करंटपासून 0 Hz पर्यंतची फ्रिक्वेन्सी श्रेणी आहे ज्यावर ओपन-लूप गेन युनिटी (1) ओलांडतो.

इनपुट इंपीडन्स (प्रतिबाधा) (Z_i): हे रेशो आहे इनपुट व्होल्टेज V_i आणि I_i इनपुट करंटचा.

$$\text{इनपुट इंपीडन्स } Z_i = \frac{V_i}{I_i} \quad \dots(2.6)$$

आउटपुट व्होल्टेज स्विंग (swing): AC आउटपुट हे कमाल अनक्लिप्ड पीक (unclipped peak) ते पीक आउटपुट व्होल्टेज आहे जे ऑप-अॅम्प निर्मिण करू शकते. क्विएसन्ट आउटपुट (quiescent output) आदर्शपणे शून्य असल्याने AC आउटपुट व्होल्टेज पॉझिटिव्ह किंवा निगेटिव्ह स्विंग असू शकते. हे ऑप-अॅम्पच्या पॉझिटिव्ह आणि निगेटिव्ह संतृप्ति (saturation) व्होल्टेजेसची मूल्ये देखील सूचित करते. आउटपुट व्होल्टेज दिलेल्या व्होल्टेज पुरवठा $+V_{CC}$ आणि $-V_{EE}$ या मर्यादेपेक्षा कधीही वाढत नाही. IC 741 साठी, हा 13 V आहे.

कॉमन मोड रिजेक्शन रेश्यो (CMRR): कॉमन मोड सिग्नल नाकारण्याची डिफरन्शियल अॅम्प्लीफायर ची क्षमता त्याच्या कॉमन मोड रिजेक्शन रेश्योद्वारे व्यक्त केली जाते. हे कॉमन मोड A_{cm} ते डिफरन्शियल मोड गेन A_d गुणोत्तर आहे. हे सहसा डेसिबल (db) मध्ये व्यक्त केले जाते.

$$CMRR = A_d / A_{cm} \quad \dots(2.7)$$

dB मध्ये CMRR ची गणना करणे

$$CMRR \text{ in dB} = 20 \log_{10} (A_d / A_c) \quad \dots(2.8)$$

डिफरन्शियल इनपुट प्रतिरोधक (Differential input resistance)(Ri): हे दोन पैकी एका कोणत्याही इनपुट टर्मिनलवर दुसरे ग्राउंड करून मोजलेले समतुल्य प्रतिरोधक (equivalent resistance) आहे.

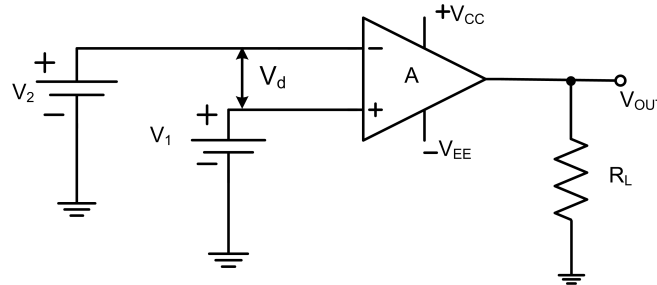
2.1.3 आयडियल ऑप-अॅम्प

आदर्श ऑप-अॅम्प मध्ये खालील गुणधर्म आहेत:

1. त्याचा इनपुट इंपीडन्स (प्रतिबाधा) असीम आहे ($Z_i = \infty$) ।
2. त्याचा आउटपुट इंपीडन्स (प्रतिबाधा) शून्य आहे ($Z_o = 0$) ।
3. त्याचा व्होल्टेज गेन अनंत आहे ($A_v = \infty$) ।
4. यात असीम बँडविड्थ आहे म्हणजेच त्याचा ओपन-लूप गेन अनंतते कडे झुकत आहे. म्हणजेच सर्व फ्रिक्वेन्सी रेंजसाठी स्थिर (constant) गेन असतो.
5. कॉमन मोड रिजेक्शन रेश्यो (CMRR) असीम आहे.
6. जेव्हा $V_1 = V_2$ असतो तेव्हा तो शून्य आउटपुट व्होल्टेज तयार करतो.
7. तपमानासोबत त्याचे वैशिष्ट्ये ड्रीफ्ट (स्विंग) होत नाहीत.



Ideal Op Amp



आकृती 2.5: आदर्श ऑप-अॅम्प

आकृती 2.5 मध्ये आदर्श ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर आहे. सिग्नल येथे दिसणारी निगेटिव्ह टर्मिनल (V_2) आउटपुटच्या उलटा आहे, येथे दिसणारी सिग्नल पॉझिटिव्ह टर्मिनल (V_1) कोणत्याही बदलाशिवाय आउटपुटला दिसतो. म्हणूनच निगेटिव्ह टर्मिनलला

“इनव्हर्टिंग” टर्मिनल आणि पॉझिटिव्ह टर्मिनलला “नॉन-इनव्हर्टिंग” टर्मिनल म्हणतात. सर्वसाधारणपणे, आउटपुट व्होल्टेज डायरेक्ट $V_d = V_1 - V_2$ च्या प्रमाणात असते. आनुपातिकतेच्या स्थिरतेला (constant of proportionality) (AV) अ‍ॅम्प्लीफायरचा व्होल्टेज गेन म्हणतात.

सरावात, जेव्हा ऑप-अ‍ॅम्पला काही विशिष्ट अनुप्रयोगांसाठी निवडले जाते तेव्हा त्याचे पॅरामीटर्स डेटा शीटमधून पाहिले जातात. सारणी 2.3 IC 741साठी काही आवश्यक पॅरामीटर मूल्य दर्शवितो.

सारणी 2.3: IC 741 पॅरामीटर्स

अनु क्र.	पॅरामीटर्स	ठराविक मूल्य (25° से)
1.	इनपुट इंपीडन्स (प्रतिबाधा)	2 M Ω
2.	आऊटपुट इंपीडन्स (प्रतिबाधा)	75 Ω
3.	CMRR	90 db
4.	पुरवठा व्होल्टेज	+/- 18 V
5.	इनपुट ऑफसेट व्होल्टेज	1 mV
6.	इनपुट ऑफसेट करंट	20 mA
7.	इनपुट बायस करंट	80 mA
8.	डिफरन्शियल इनपुट व्होल्टेज	+/- 15 V
9.	बँडविड्थ	1 MHz
10.	स्लीव्ह रेट	0.5 V / μ S

2.1.4 ऑप अ‍ॅम्प कॉन्फिगरेशन

ऑप-अ‍ॅम्प दोनपैकी कोणत्याही एका कॉन्फिगरेशनमध्ये ऑपरेट केले जाऊ शकते. दोन कॉन्फिगरेशन: ओपन-लूप (open loop) कॉन्फिगरेशन आणि क्लोप लूप कॉन्फिगरेशन (close loop Configurations) आहेत.

2.1.4.1 ऑप अ‍ॅम्प ओपन लूप कॉन्फिगरेशन (संरूपण)

फीडबॅकशिवाय ऑप-अ‍ॅम्पला ओपन लूप कॉन्फिगरेशन म्हणून ओळखले जाते.

ओपन-लूप गेन (AOL): जर ' V_d ' हे ऑप-अ‍ॅम्पचे डिफरन्शियल इनपुट व्होल्टेज असेल, ते खूपच लहान असेल आणि V_o आउटपुट व्होल्टेज असेल तर ओपन-लूप गेन डिफरन्शियल इनपुट व्होल्टेजच्या V_d आउटपुट व्होल्टेजचे V_o गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाऊ शकते कारण आउटपुट आणि इनपुट टर्मिनल दरम्यान संभाव्य फीडबॅक कनेक्शन अनुपस्थित आहे.

$$\text{ओपन-लूप गेन, } A_{OL} = \frac{V_o}{V_d} \quad \dots(2.9)$$

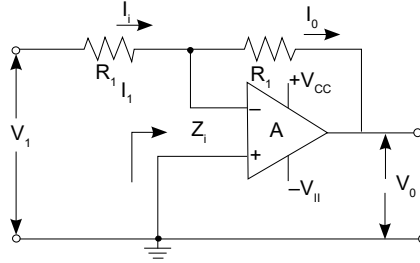
ओपन लूपमध्ये फीडबॅक अनुपस्थित असल्याने, गेन हे अनंत आणि अनियंत्रित असते. गेनवर नियंत्रण ठेवण्यासाठी आणि ऑप-अ‍ॅम्प कार्यान्वित करण्यासाठी आवश्यकतेनुसार फीडबॅक आवश्यक आहे. इनपुटला आउटपुटचा काही भाग किंवा पूर्ण आउटपुट सिग्नल फीड करणे म्हणजे फीडबॅक असे म्हणतात.

2.1.4.2 ऑप-अॅम्प क्लोज कॉन्फिगरेशन

फीडबॅकशिवाय ऑप-अॅम्प हे फारसे उपयुक्त साधन नाही, कारण इनपुटवरील अत्यंत लहान व्होल्टेज परिणामी आउटपुटमध्ये संपृक्ततेत (saturation) जाईल. म्हणूनच, मर्यादित (finite) व्होल्टेज गेन मिळविण्यासाठी फीडबॅक लागू करणे आवश्यक आहे. जेव्हा फीडबॅक लागू केला जातो, तेव्हा ऑप-अॅम्पची वैशिष्ट्ये फीडबॅक नेटवर्कद्वारे मोठ्या प्रमाणात निर्धारित केली जातात फीडबॅकसह अॅम्प्लीफायरला क्लोज लूप कॉन्फिगरेशन असे म्हणतात.

क्लोज लूप गेन (Closed-loop gain) (A_{CL}): अॅम्प्लीफायरच्या गेनला क्लोज लूप गेन म्हणतात कारण फीडबॅक प्रतिरोधक (resistor) ऑप-अॅम्प आउटपुट टर्मिनल मधून इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनल म्हणजे निगेटिव्ह टर्मिनलपर्यंत लूप बंद करते. आकृती 2.6 म्हणून:

$$\text{क्लोज लूप गेन, } A_{CL} = \frac{V_o}{V_i} \quad \dots(2.10)$$



आकृती 2.6: Op Amp क्लोज-लूप कॉन्फिगरेशन

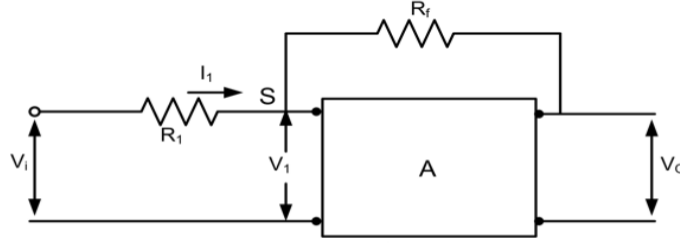
आकृती 2.6 मध्ये दर्शवल्याप्रमाणे असे आढळले आहे की अॅम्प्लीफायरसाठी ज्याला इनव्हर्टिंग अॅम्प्लीफायर म्हणतात त्याचा क्लोज-लूप गेन $\left(\frac{R_f}{R_1}\right)$ समान आहे.

आउटपुट इंपीडन्स (प्रतिबाधा) (Z_o): ऑप-अॅम्पचा क्लोज-लूप आउटपुट इंपीडन्स (प्रतिबाधा) $Z_{o(CL)}$ लूप गेनला ओपन-लूप आउटपुट प्रतिबाधाचे प्रमाण $Z_{o(OL)}$ म्हणून परिभाषित आहे. अशा प्रकारे,

$$Z_{o(CL)} = \frac{Z_{o(OL)}}{\text{Loopgain}} \quad \dots(2.11)$$

जेथे, लूप गेन = ओपन लूप गेन – क्लोज लूप गेन.

वर्चुअल ग्राउंड (Virtual ground): ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायरची वैशिष्ट्ये स्पष्ट करण्यासाठी, फीडबॅक सर्किट, आकृती 2.7 वर विचार करा ज्यामध्ये इनपुट आणि आउटपुट दरम्यान जोडलेल्या रेझिस्टर R_f द्वारे निगेटिव्ह व्होल्टेज फीडबॅक तयार केला जातो. अॅम्प्लीफायरमध्ये फेज उलट अल्यामुळे फीडबॅक निगेटिव्ह आहे हे लक्षात घ्या. ऑपरेशनल फीडबॅकमधील फीडबॅक गुणोत्तर कमी इंपीडन्स (प्रतिबाधा) स्त्रोतासाठी उच्च प्रतिबाधा स्त्रोतासाठी पर्यंत ऐक्य बदलू शकते, कारण फीडबॅक व्होल्टेज पर्याप्त इनपुट सिग्नल स्त्रोताच्या समांतर जोडलेले आहे. किर्चॉफचा (Kirchhoff) करंट लॉ ब्रांचच्या बिंदू S वर लागू करून ऑपरेशनल फीडबॅक सर्किटचे विश्लेषण करणे सोयीचे आहे. अॅम्प्लीफायर इनपुट इंपीडन्स (प्रतिबाधा) मोठी असल्याने या ब्रांचमध्ये सध्याचा करंट नगण्य (negligible) आहे, याचा अर्थ R मधील करंट R_f मधील करंटच्या बरोबरीचा आहे.



आकृती 2.7: फीडबॅकसह ऑप अॅम्पची ब्लॉकची आकृती

$$\frac{V_i - V_1}{R} = \frac{V_1 - V_o}{R_f}$$

सादर करीत आहे $V_1 = \frac{V_o}{A}$ आणि, $V_o \left(1 + \frac{1}{A} + \frac{R_f}{A} \right) = - \frac{R_f}{R} \cdot V_i$

कारण, गेन खूप मोठा आहे,

$$V_o = - \frac{R_f}{R} V_i \quad \dots(2.12)$$

याचा अर्थ असा की आउटपुट व्होल्टेज हे फक्त स्थिर घटक (constant factor): आणि इनपुट व्होल्टेज यांचा गुणाकार आहे. जर R_f आणि R साठी प्रेसिजन प्रतिरोधक (precision resistors) वापरले गेले तर या गुणाकाराची अचूकता चांगली असते. ऑप-अॅम्पमध्ये ब्रांच बिंदू 'S' चे विशेष महत्त्व आहे. S आणि ग्राउंड दरम्यान प्रभावी इंपीडन्स (प्रतिबाधा) ठरवून हे स्पष्ट केले जाऊ शकते, जे इनपुट करंट I_1 ला V_1 च्या गुणोत्तरानुसार दिले जाते.

$$Z_s = \frac{V_1}{I_i} = \frac{V_1 R_f}{V_1 V_o} = \frac{R_f}{\frac{1}{\frac{V_o}{V_1}}} = \frac{R_f}{1 + A} \quad \dots(2.13)$$

येथे, इनपुट करंटसाठी समीकरणाची उजवी बाजू घातली गेली आहे. समीकरण 2.13 नुसार जर गेन (gain) मोठा असेल तर ग्राउंडवर S ची प्रतिबाधा फारच कमी आहे. $R_f = 10^5 \text{ ohm}$ आणि $A = 10^4$ हे ठराविक मूल्ये आहेत ज्यामुळे इंपीडन्स (प्रतिबाधा) 10 ohm असेल. निगेटिव्ह फीडबॅक व्होल्टेजमुळे कमी इंपीडन्स (प्रतिबाधा) येईल, जे 'S' येथे इनपुट सिग्नल रद्द करेल आणि ब्रांच बिंदूला ग्राउंड संभाव्यतेवर ठेवेल. या कारणास्तव 'S' बिंदूला वर्च्युअल ग्राउंड (virtual ground) म्हणतात. फीडबॅक क्रियान्वये 'S' ग्राउंड विभवतेवर (ground potential) ठेवण्यात आला असला तरी, याक्षणी ग्राउंडवर करंट अस्तित्वात नाही.

2.1.5 ऑप-अॅम्पचे ऑपरेटिंग मोडस

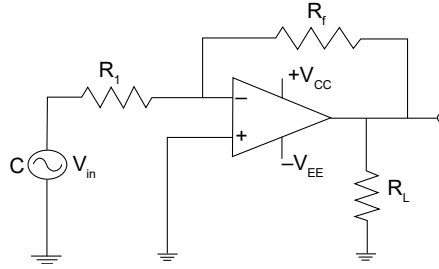
आउटपुटमधून इनपुटला फीडबॅक देऊन ऑप-अॅम्पचा उपयोग लिनीअर अनुप्रयोगात प्रभावीपणे केला जाऊ शकतो. इनपुट संदर्भात परत दिलेला सिग्नल 180° ने आऊट ऑफ फेज मिळाल्यास फीडबॅकला निगेटिव्ह फीडबॅक किंवा डीजेनेरेटिव फीडबॅक (degenerative feedback) असे म्हणतात. सामान्यतः वापरल्या जाणारे क्लोज लूप ऑपरेटिंग मोड खालील प्रमाणे आहेत.

- इनव्हर्टिंग (Inverting) अॅम्प्लीफायर आणि
- नॉन-इनव्हर्टिंग (Non-Inverting) अॅम्प्लीफायर

2.1.5.1 ऑप-अॅम्प इन्व्हर्टिंग मोड अॅम्प्लीफायर

इन्व्हर्टिंग (Inverting) ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर कॉन्फिगरेशन ही सर्वात सोपी आणि सामान्यतः वापरली जाणारी ऑप-अॅम्प ऑपरेटिंग मोड आहे. इन्व्हर्टिंग मोड अॅम्प्लीफायरमध्ये, इनपुटच्या संदर्भात आउटपुट अगदी 180° ने आऊट ऑफ फेज आहे (म्हणजेच जर पॉझिटिव्ह व्होल्टेज लागू केला असेल तर आउटपुट निगेटिव्ह होईल). आउटपुट इनपुट अॅम्प्लीफाईड व्हर्जन च्या (फेजच्या दृष्टीने) उल्टा आहे. इन्व्हर्टिंग ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर कॉन्फिगरेशन म्हणजे ऑप-अॅम्पचा क्लोज-लूप मोड अनुप्रयोग आहे. हे निगेटिव्ह फीडबॅक वापरते, याचा अर्थ असा की फीडबॅक सिग्नल इनपुट सिग्नलला विरोध करतो.

$$V_o = - (R_f/R_i) * V_i \quad \dots(2.14)$$



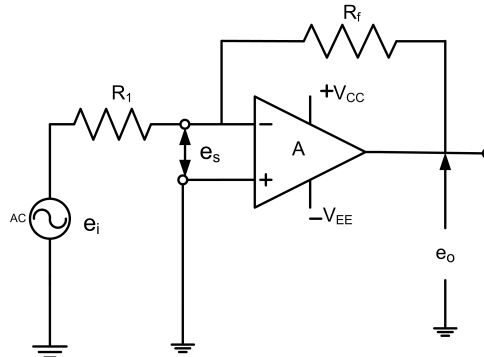
आकृती 2.8: इन्व्हर्टिंग अॅम्प्लीफायर

सर्किट आकृती 2.8 मध्ये हे इन्व्हर्टिंग मोडमध्ये वापरले जाणारे ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर आहे. या ऑपरेशनच्या मोडमध्ये, अॅम्प्लीफायरचे पॉझिटिव्ह इनपुट टर्मिनल ग्राउंडला आहे आणि इनपुट सिग्नल e_i रेझिस्टर R_i मार्गे निगेटिव्ह इनपुट टर्मिनलवर लागू केले आहे. आउटपुटपासून इनपुट टर्मिनलवर R_f द्वारे लागू केलेला फीडबॅक निगेटिव्ह आकृती 2.9 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे आहे. सर्किटद्वारे केलेले इन्व्हर्टिंग ऑपरेशन फीडबॅक रेसिस्टर R_f आणि इनपुट रेसिस्टर R_i द्वारे केले जाते.

ऑप-अॅम्प हा आदर्श ऑप-अॅम्प आहे असा विचार केल्यास त्याचा गेन अनंत (infinite) असेल. अनंत व्होल्टेज गेनसह, इनपुट टर्मिनल्समधील संभाव्य फरक (potential difference) शून्य असणे आवश्यक आहे. सर्किटमध्ये अॅम्प्लीफायरच्या संभाव्यताच्या निगेटिव्ह फीडबॅक द्वारे इनपुट टर्मिनल दरम्यान व्होल्टेज e_s ला शून्य करण्यास भाग पाडले जाते. अॅम्प्लीफायरची इनपुट इंपीडन्स (impedance) अमर्याद असल्याने, अॅम्प्लीफायरला इनपुट करंट शून्य आहे.

म्हणूनच आदर्श ऑप-अॅम्पसाठी खालील दोन अटीचे समाधान करणे आवश्यक आहे:

1. अॅम्प्लीफायर टर्मिनल्समधील संभाव्य फरक (potential difference) शून्य आहे.
2. प्रत्येक इनपुट टर्मिनलमध्ये करंट शून्य आहे.



आकृती 2.9: इन्व्हर्टिंग मोड मध्ये ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर

अॅम्प्लीफायरचा इनपुट व्होल्टेज असीम आहे या समजानुसार पहिली अट पाळली जाईल हे लक्षात घ्या. अशाप्रकारे, शून्य इनपुटद्वारे विभाजित मर्यादित (finite) आउटपुट अनंत गेन देते जे ऑप-अॅम्पचे वैशिष्ट्य आहे. व्होल्टेज $e_s = 0$ असे सूचित करते की टर्मिनल (1) मध्ये टर्मिनल (2) सारखीच क्षमता (potential) आहे. टर्मिनल (2) ग्राउंड आहे, म्हणून टर्मिनल (1) देखील वर्च्युअल ग्राउंड आहे. म्हणूनच, निगेटिव्ह टर्मिनल हे वर्च्युअल ग्राउंड आहे.

अशा प्रकारे, R_1 मधून वाहणारे करंट ' i_1 ' देखील R_f द्वारे वाहतो. कारण इनपुट करंट खूपच लहान आहे, तर तो अंदाजे शून्य असू शकतो. इनव्हर्टिंग इनपुटवर लागू केलेल्या कोणत्याही इनपुट व्होल्टेजसाठी, इनपुट डिफरन्शियल व्होल्टेज नगण्य आहे आणि इनपुट करंट शून्य आहे. त्यामुळे इनव्हर्टिंग इनपुट हे ग्राउंड असल्याचे दिसते. वर्च्युअल ग्राउंड हा शब्द एक बिंदू दर्शवितो जो ग्राउंडच्या संदर्भात व्होल्टेज शून्य आहे आणि तरीही कोणताही करंट त्या बिंदूतून वाहू शकत नाही.

$$i_1 = i_f \quad \dots(2.15)$$

$$\frac{e_1 e_s}{R_1} = \frac{e_s e_o}{R_f}$$

म्हणून $e_s = 0$,

$$\frac{e_1 0}{R_1} = \frac{0 e_o}{R_f}$$

$$\frac{e_1}{R_1} = \frac{e_o}{R_f}$$

$$\frac{e_o}{e_1} = - \frac{R_f}{R_1} \quad \dots(2.16)$$

म्हणून, येथे, रेझ्योला इनव्हर्टिंग अॅम्प्लीफायरचा क्लोज-लूप गेन A_{CL} असे म्हणतात. हे निगेटिव्ह प्रमाण (negative quantity) आहे कारण क्लोज-लूप अॅम्प्लीफायर इनपुट सिग्नलचे चिन्ह उलट (reverse) करते, म्हणजे आउटपुट इनपुटच्या आऊट ऑफ फेज आहे. गेन रेझ्योवर अवलंबून असतो.

इनपुट इंपीडन्स (प्रतिबाधा) केवळ बाह्य प्रतिरोधक (external resistor) R_1 वर अवलंबून असते हे दर्शवते. इनपुट टर्मिनल शून्याइतकी सेट केल्यावर ऑप अॅम्पच्या आउटपुटवर दिसणारे प्रतिबाधा (impedance) म्हणून आउटपुट इंपीडन्स (प्रतिबाधा) परिभाषित केली जाते. फीडबॅक प्रतिरोधक आणि इनपुट प्रतिरोधक यांचे गुणोत्तर कोणत्याही मूल्यावर सेट केले जाऊ शकते, अगदी 1 पेक्षा कमी देखील. या गुणधर्मांमुळे ऑप-अॅम्प बहुसंख्य अनुप्रयोगांमध्ये लोकप्रिय आहे. इनव्हर्टिंग अॅम्प्लीफायरचे इतर काही प्रमुख वैशिष्ट्ये जी काही अनुप्रयोगांमध्ये वापरण्यास हानिकारक आहेत, खालील प्रमाणे आहेत:

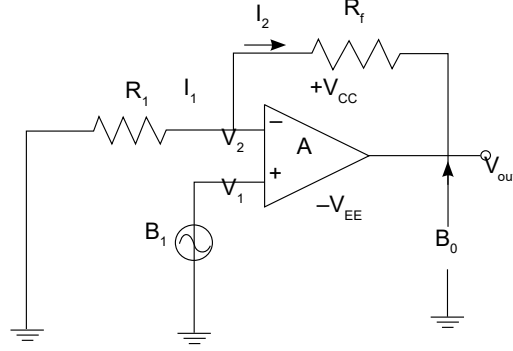
1. इनपुट आणि आऊटपुट दरम्यान फेज डिफरेंस 180° आहे.
2. इनपुट इंपीडन्स (प्रतिबाधा) कमी आहे.
3. नॉन-इनव्हर्टिंग अॅम्प्लीफायरच्या तुलनेत लहान बँडविड्थ.

2.1.5.2 ऑप अॅम्प नॉन-इनव्हर्टिंग मोड अॅम्प्लीफायर

नॉन-इनव्हर्टिंग अॅम्प्लीफायर कॉन्फिगरेशन हे सर्वात लोकप्रिय आणि व्यापकपणे वापरले जाणारे ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर सर्किटचा एक प्रकार आहे. ऑप-अॅम्प नॉन-इनव्हर्टिंग अॅम्प्लीफायर सर्किट, ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर वापरल्यामुळे झालेल्या सर्व फायद्यांसह उच्च इनपुट प्रतिरोधक प्रदान करते. नॉन-इनव्हर्टिंग अॅम्प्लीफायर एक असे आहे ज्यात इनपुटच्या संदर्भात आउटपुट फेजमध्ये आहे

(उदा. जर इनपुट पॉझिटिव्ह व्होल्टेज असेल तर आउटपुट पॉझिटिव्ह होईल). आउटपुट हे इनपुटच्या अ‍ॅम्प्लीफाईड व्हर्जनच्या (फेजच्या दृष्टीने) नॉन-इन्व्हर्टिंग आहे.

$$V_o = (1 + (R_f / R_i)) * V_i \quad \dots(2.17)$$



आकृती 2.10: नॉन-इन्व्हर्टिंग अ‍ॅम्प्लीफायर

नॉन-इन्व्हर्टिंग मोड मधील एक आदर्श ऑप-अ‍ॅम्पची सर्किट 2.10 चित्रामध्ये दर्शविली आहे. या केस (Case) मध्ये, इनपुट सिग्नल अ‍ॅम्प्लीफायरच्या नॉन-इन्व्हर्टिंग (पॉझिटिव्ह) इनपुट टर्मिनलवर डायरेक्ट (थेट) लागू केले जाते आणि फीडबॅक प्रतिरोधक R_f आउटपुट टर्मिनल आणि निगेटिव्ह इनपुट टर्मिनल दरम्यान जोडलेले असते.

R_i इन्व्हर्टिंग टर्मिनल आणि ग्राउंड दरम्यान जोडलेले आहे, मागील केस प्रमाणेच, $e_s = 0$. म्हणून, निगेटिव्ह टर्मिनलपासून ग्राउंड पर्यंत व्होल्टेज e_1 इनपुट व्होल्टेज e_2 समान आहे. लक्षात घ्या की या प्रकरणात e_1 शून्याइतके नाही, याचा अर्थ असा की नॉन-इन्व्हर्टिंग सर्किटला त्याच्या इनपुट टर्मिनलपैकी एकवर वर्चुअल ग्राउंड नाही.

म्हणून,

$$e_1 = e_2$$

$$e_1 = i_1 R_1 = e_o \frac{R_1}{R_1 + R_f} = e_2$$

अशा प्रकारे, $\frac{e_o}{e_2} = \frac{R_f + R_1}{R_1}$

किंवा $\frac{e_o}{e_1} = \frac{R_f + R_1}{R_1}$

पण $\frac{e_o}{e_2}$ क्लोज-लूप गेन आहे.

अशा प्रकारे, $A_{CL} = \frac{R_f + R_1}{R_1} = \frac{R_f}{R_1} + \frac{R_1}{R_1} = \frac{R_f}{R_1} + 1$

$$A_{CL} = \frac{e_o}{e_2} = \left(1 + \frac{R_f}{R_1} \right) \quad \dots(2.18)$$

त्यामुळे नॉन-इन्व्हर्टिंग अॅम्प्लीफायरचा क्लोज-लूप गेन एक किंवा एक पेक्षा नेहमीच जास्त आहे R_1 आणि R_f द्वारे काढला जातो. जर $R_f = 0$ आणि $R_1 = \infty$ असेल तर गेन एक असते आणि अॅम्प्लीफायर व्होल्टेज फॉलोवर म्हणून कार्य करतो म्हणजे आउटपुट व्होल्टेज इनपुट व्होल्टेजचे अचूक अनुसरण (follow) करतो. अशा व्होल्टेज फॉलोवरचा आणि नॉन-इन्व्हर्टिंग सर्किटचा फायदा म्हणजे सामान्यतः प्रतिबाधावरील बफरिंग (impedance buffering). अशा अॅम्प्लीफायर सर्किट्सचा मोठ्या प्रमाणावर वापर सिग्नल स्रोत आणि लोडचे अलगीकरण (isolation) करण्यासाठी केला जातो अशा प्रकारे, अवांछित परस्पर क्रिया किंवा लोडिंग प्रभाव प्रतिबंधित करत आहे.

नॉन-इन्व्हर्टिंग अॅम्प्लीफायरचे फायदे खालीलप्रमाणे आहेत:

1. इनपुट आणि आउटपुट दरम्यान फेज शिफ्ट (phase shift) नाही.
2. इन्व्हर्टिंग कॉन्फिगरेशनपेक्षा इनपुट इंपीडन्स (प्रतिबाधा) जास्त आहे.
3. इन्व्हर्टिंग अॅम्प्लीफायरच्या तुलनेत मोठी बँडविड्थ.
4. सर्किट निगेटिव्ह फीडबॅक वापरतो.

सोडवलेले उदाहरण

उदाहरण 2.1.1: ऑप अॅम्पचे आउटपुट व्होल्टेज $8 \mu\text{S}$ मध्ये 40V ने बदलते. ऑप अॅम्पचा स्लीव्ह रेट काढा.

उत्तर: स्लीव्ह रेट $= dV/dt$
 $= 40\text{V}/8 \mu\text{S} = 5 \text{ V}/\mu\text{S}$

उदाहरण 2.1.2: ऑप अॅम्पच्या इन्व्हर्टिंग मोडसाठी $R_f = 10 \text{ K}\Omega$ आणि $R_1 = 2 \text{ K}\Omega$. क्लोज लूप व्होल्टेज गेन A_{CL} काढा.

उत्तर: इन्व्हर्टिंग मोडमध्ये क्लोज लूप व्होल्टेज गेन $= -\frac{R_f}{R_1}$
 $= -(10 \text{ K}\Omega / 2 \text{ K}\Omega) = -5$

उदाहरण 2.1.3: ऑप अॅम्पच्या नॉन-इन्व्हर्टिंग मोडसाठी $R_f = 10 \text{ K}\Omega$ आणि $R_1 = 1 \text{ K}\Omega$ क्लोज लूप व्होल्टेज गेन A_{CL} काढा.

उत्तर: नॉन-इन्व्हर्टिंग मोडमध्ये क्लोज लूप व्होल्टेज गेन $= 1 + \frac{R_f}{R_1}$
 $= 1 + (10 \text{ K}\Omega / 1 \text{ K}\Omega) = 11$

फीडबॅक घटक $\beta = R_1 / (R_1 + R_f) = 1 \text{ K}\Omega / (1 \text{ K}\Omega + 10 \text{ K}\Omega) = 0.09$

उदाहरण 2.1.4: ऑप अॅम्पच्या डिफरेंशियल गेन 300000 आणि कॉमन मोड गेन 12.66 आहे. CMRR. काढा

उत्तर: CMRR हे डिफरेंशियल मोड गेन (Ad) ते नॉर्मल मोड (AC) गेनचे गुणोत्तर आहे.

$$\begin{aligned} \text{CMRR} &= A_d / A_c \\ &= 300000 / 12.66 = 13850.41 \\ \text{CMRR in dB} &= 20 \log_{10} (A_d / A_c) \\ &= 82.82 \text{ dB} \end{aligned}$$

उदाहरण 2.1.5: नॉन-इन्व्हर्टिंग ऑप-अॅम्पसाठी फीडबॅक प्रतिरोधक मूल्य काढा, इनपुट प्रतिरोधक $4\text{K}\Omega$ आणि आवश्यक गेन 13 आहे.

उत्तर: दिलेले ऑप-अॅम्प मोड नॉन-इन्व्हर्टिंग मोड आहे.

$$\begin{aligned} \text{इनपुट प्रतिरोधक मूल्य } R_{in} &= 4 \text{ K}\Omega \\ \text{गेन} &= 13 \\ \text{गेन} &= 1 + (R_f/R_{in}) \\ 13 &= 1 + (R_f/4\text{K}\Omega) \\ 13 - 1 &= R_f/4\text{K}\Omega \\ 12 &= R_f/4\text{K}\Omega \\ R_f &= 48 \text{ K}\Omega \end{aligned}$$

2.2 ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायरचे अनुप्रयोग

ऑप-अॅम्प मूलतः अॅनालॉग संगणकाच्या आवश्यकतेसाठी विकसित केले गेले होते. ऑप-अॅम्प हा बाह्यतः व्होल्टेज गेन नियंत्रित करण्याचे वैशिष्ट्य असलेले उच्च गेन डायरेक्ट कपलड अॅम्प्लीफायर आहे, त्यात सिग्नल प्रक्रिया आणि कंडिशनिंग अनुप्रयोगांमध्ये बरेच अनुप्रयोग आढळतात. त्याची किंमत कमी, उच्च कार्यक्षमता आणि अष्टपैलू स्वभावामुळे, बऱ्याच अॅनालॉग इलेक्ट्रॉनिक्स सर्किट्समध्ये याचा वापर केला जातो.

हे नेहमी निगेटिव्ह फीडबॅक सह क्लोज लूप मोडमध्ये वापरले जाते आणि व्होल्टेज गेन बाह्य घटक R_1 आणि R_f द्वारे नियंत्रित केले जाते. जेव्हा वीज पुरवठा जोडला जातो दोन इनपुटना ग्राउंड केले असतानाही आउटपुट असतो तेव्हा त्याला ऑफसेट (offset) म्हणतात. पिन 1 ते 5 दरम्यान $10\text{K}\Omega$ POT कनेक्ट करून आणि वाइपरला (wiper) पिन 4 वर कनेक्ट करून हे शून्य केले जाऊ शकते.

2.2.1 अॅडर म्हणून ऑप-अॅम्प

ऑप-अॅम्प वापरून अॅडर आणि सबट्रॅक्टर सर्किटचा उपयोग अंक, वजाबाकी इ. सारखे अंकगणितीय ऑपरेशन्स करण्यासाठी केला जातो. ऑप-अॅम्प अॅडरला समिंग अॅम्प्लीफायर देखील म्हणतात. अॅडर आणि सबट्रॅक्टर सर्किटमध्ये बाह्य रेसिस्टर्ससाठी योग्य मूल्ये निवडून इनपुट सिग्नल जोडला (added) जाऊ शकतो आणि इच्छेच्या किंमतीवर वजा केला जाऊ शकतो. हे अंकगणित कार्ये अॅनालॉग सर्किटमध्ये कार्यरत आहे. या सर्किटचा उपयोग AC किंवा DC सिग्नल जोडण्यासाठी केला जाऊ शकतो. हे सर्किट दोन किंवा दोनपेक्षा जास्त इनपुट व्होल्टेजच्या बीजगणित बेरीजच्या समान किंवा त्याच्या समतुल्य आउटपुट व्होल्टेज प्रदान करते जे प्रत्येक कॉन्स्टंट गेन फॅक्टर द्वारे गुणाकार करते. ऑप-अॅम्पच्या इन्व्हर्टिंग कॉन्फिगरेशनमध्ये इनव्हर्टिंग टर्मिनलला एकापेक्षा जास्त इनपुट दिले जातात परिणामी हे सर्किट्स समिंग (Summing) अॅम्प्लीफायर किंवा अॅडर म्हणून आकृती 2.11 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे काम करतात.

$$V_o = - (R_f/R_1) * (V_1 + V_2) \dots (2.11)$$

येथे व्होल्टेजेस अॅम्प्लीफाय केली जातात आणि नंतर जोडली जातात.

इनव्हर्टिंग इनपुट नोडवर KCL लागू करणे,

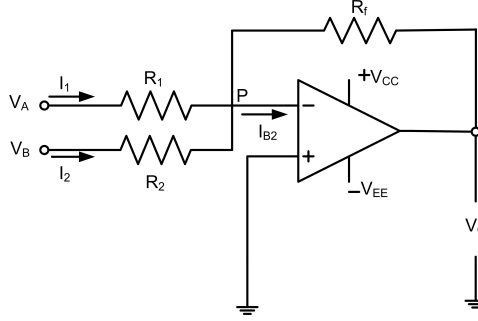
$$i_1 + i_2 = i_f + IB_2$$

आदर्श ऑप-अॅम्प म्हणून, $IB_2 = 0$

$$i_1 + i_2 = i_f$$



$$\frac{V_A V_p}{R_1} + \frac{V_B V_p}{R_2} = \frac{V_p V_o}{R_f}$$



आकृती 2.11: अँडर म्हणून ऑप-अँम्प

व्हर्चुअल ग्राउंड स्थितीमुळे, $V_p = 0$.

$$\frac{V_A}{R_1} + \frac{V_B}{R_2} = - \frac{V_o}{R_f}$$

$$V_o = - R_f \left[\frac{V_A}{R_1} + \frac{V_B}{R_2} \right]$$

$$V_o = - \left[\frac{R_f}{R_1} V_A + \frac{R_f}{R_2} V_B \right]$$

जर

$$R_1 = R_2 = R$$

$$V_o = - \frac{R_f}{R} [V_A + V_B]$$

... समिंग अँम्प्लीफायर (2.20)

जर

$$R_1 = R_2 = R_f = R$$

$$V_o = - (V_A + V_B)$$

जर $R_1 = R_2 = 2R_f$

जेव्हा सर्किट सरासरी सर्किट म्हणून कार्य करते, तेव्हा आउटपुट व्होल्टेज असते

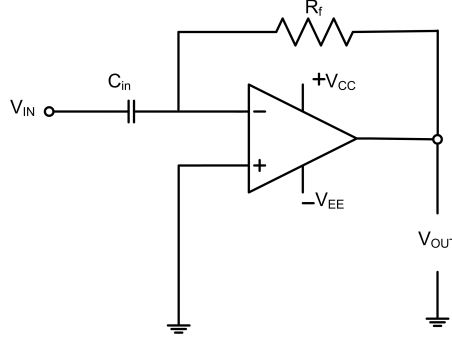
$$V_o = - \frac{(V_1 + V_2)}{2}$$

... सरासरी सर्किट (2.21)

2.2.2 डिफरन्शिएटर (विभेदक) म्हणून ऑप-अँम्प

विभेदक सर्किटमध्ये इन्व्हर्टिंग अँम्प्लीफायरच्या इनपुट टर्मिनलशी रिअॅक्टन्स X_C जोडलेले आहे तर रेझिस्टर, R_f ऑपरेशनल अँम्प्लीफायरच्या दरम्यान निगेटिव्ह फीडबॅक घटक बनवते. विभेदक सर्किट भिन्नतेचे गणितीय ऑपरेशन करते आणि “एक व्होल्टेज आउटपुट व्होल्टेज तयार करते जे वेळेच्या संदर्भात इनपुट व्होल्टेजच्या दर बदलाच्या डायरेक्ट (थेट) प्रमाणात असते”. इनपुट

व्होल्टेज सिग्नलमध्ये जलद किंवा मोठा बदल, इनपुट करंट जितका जास्त असेल तितका आउटपुट व्होल्टेज बदल अधिक “स्पाइक” आकाराचा होईल. विभेदकास इनपुट सिग्नल कॅपेसिटरवर लागू केला जातो. कॅपेसिटर (संधारित्र) DC सामग्री अवरोधित करतो जेणेकरून अॅम्प्लीफायर समिंग पॉईंटमध्ये कोणताही करंट प्रवाह नाही. शून्य आउटपुट व्होल्टेजमध्ये परिणाम. कॅपेसिटर (संधारित्र) केवळ AC प्रकारच्या इनपुट व्होल्टेज बदलांना परवानगी देतो आणि ज्याची (वारंवारता) फ्रिक्वेन्सी इनपुट सिग्नलच्या बदलाच्या दरावर अवलंबून असते.



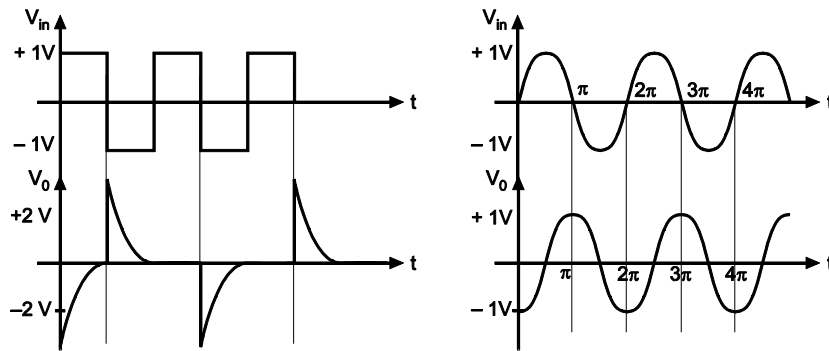
आकृती 2.12: ऑप-अॅम्प डिफरन्शिएटर (विभेदक) सर्किट

डिफरन्शिएटर (विभेदक) सर्किट विभेदांचे (डिफरन्शियलचे) गणितीय ऑपरेशन करते म्हणजे आउटपुट वेव्हफॉर्म इनपुट वेव्हफॉर्मचा डेरिव्हेटिव्ह आहे. जर इनपुट रेझिस्टर R_i ची जागा कॅपेसिटर C_{in} ने घेतली तर मूलभूत इनव्हर्टिंग अॅम्प्लीफायरमधून डिफरन्शिएटर तयार केले जाऊ शकते. आउटपुट व्होल्टेजसाठी अभिव्यक्ती प्राप्त केली जाऊ शकते कारण आउटपुट V_o वेळेसह इनपुट व्होल्टेज V_{in} च्या निगेटिव्ह दरापेक्षा $R_f C_{in}$ पटीच्या समान आहे. (-) चिन्ह इनपुट सिग्नलच्या संदर्भात आउटपुट वेव्हफॉर्म V_o ची 180° फेज शिफ्ट सूचित करते. डिफरन्शिएटर इंटिग्रेटर फंक्शनच्या उलट कार्य करत असल्याने.

$$= - (R_f C_{in}) \frac{dV_{in}}{dt} \quad \dots (2.22)$$

ज्या सर्किटमध्ये आउटपुट व्होल्टेज वेव्हफॉर्म इनपुट वेव्हफॉर्मचा डेरिव्हेटिव्ह असतो त्याला डिफरन्शिएटर (विभेदक) म्हटले जाते. आउटपुट व्होल्टेज खालीलप्रमाणे समीकरणाद्वारे दिले जाते

$$V_o = - R_f C_i \frac{dV_{in}}{dt} \quad \dots (2.23)$$



आकृती 2.13: अनुक्रमे चौरस आणि साइन वेव्ह (square & sine wave) वापरून आदर्श आउटपुट वेव्हफॉर्म

जर इनपुट साइन वेव्ह असेल तर आउटपुट कोसाइन (cosine) वेव्ह असेल किंवा जर इनपुट चौरस (स्केअर्स) वेव्ह असेल तर आउटपुट ट्रिगर पल्सेस असतील.

इनपुट सिग्नलमधील उच्च फ्रिक्वेन्सी घटक शोधण्यासाठी आणि FM मॉड्युलेटरमध्ये डिटेक्टर बदलण्याच्या दर म्हणून डिफरन्शिएटरचा उपयोग वेव्हशेपिंग सर्किटमध्ये केला जातो. डिफरन्शिएटर (विभेदक) उच्च पास फिल्टर (high pass filter) म्हणून कार्य करते.

2.2.3 इंटीग्रेटर म्हणून ऑप-अॅम्प

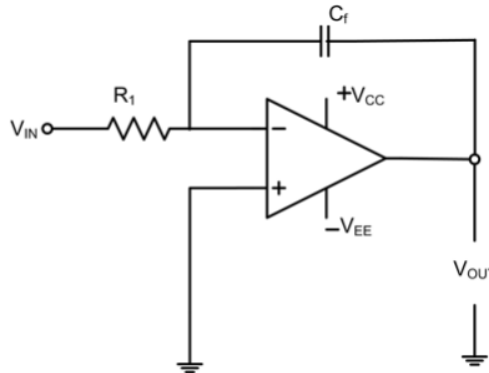
ज्या सर्किटमध्ये आउटपुट व्होल्टेज वेव्हफॉर्म हे इनपुट व्होल्टेज वेव्हफॉर्मचे इंटीग्रेशन आहे, त्याला इंटीग्रेटर (integrator) किंवा इंटीग्रेशन अॅम्प्लीफायर म्हटले जाते. मूलभूत (बेसिक) इन्व्हर्टिंग अॅम्प्लीफायर वापरून इंटीग्रेटर सर्किट मिळते. जर फीडबॅक रेझिस्टर R_f ची जागा एका कॅपेसिटर (संधारित्र) C_f ने घेतली असेल तर सर्किट इंटीग्रेटर म्हणून कार्य करते आकृती 2.14 मध्ये दर्शविले आहे. इंटीग्रेटर सर्किटमध्ये कॅपेसिटर आणि रेझिस्टरची स्थिती डिफरन्शिएटर सर्किटच्या रूपात उलट असते. ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर अॅनालॉग इंटीग्रेशन म्हणून कॉन्फिगर केले जाऊ शकते. इंटीग्रेटर सर्किटमध्ये आउटपुट म्हणजे वेळेच्या संदर्भात इनपुट व्होल्टेजचे इंटीग्रेशन. अॅक्टिव्ह (सक्रिय) डिव्हाइसेस असलेल्या इंटीग्रेटर सर्किटला अॅक्टिव्ह इंटीग्रेटर असे म्हणतात. एक सक्रिय इंटीग्रेटर साध्या R_c सर्किटच्या सहाय्याने बरेच कमी आउटपुट प्रतिरोधक (resistance) आणि उच्च आउटपुट व्होल्टेज प्रदान करते. इंटीग्रेटर सर्किट सहसा स्केअर (चौरस) वेव्ह इनपुटमधून त्रिकोणी वेव्ह आउटपुट तयार करण्यासाठी डिझाइन केले जातात. साईन वेव्ह इनपुट सिग्नलवर कार्य करतेवेळी इंटीग्रेटर सर्किटला फ्रिक्वेन्सीची मर्यादा असते.

इंटीग्रेशन म्हणजे निरंतर जोड्यांची प्रक्रिया. इंटीग्रेटरचा सर्वात लोकप्रिय अनुप्रयोग म्हणजे आउटपुट व्होल्टेजचा रॅम्प (ramp) तयार करणे जे निरंतर वाढते व्होल्टेज किंवा कमी व्होल्टेज होते. जर इनपुट व्होल्टेज स्टेप (step) व्होल्टेज असेल तर आउटपुट रॅम्प (ramp) असेल किंवा सतत अनियमित बदलत व्होल्टेज असेल. इंटीग्रेटर मोठ्या प्रमाणात रॅम्प किंवा स्वीप जनरेटर (Sweep generator), फिल्टरमध्ये, अॅनालॉग कॉम्प्युटर इ. मध्ये वापरले जातात.

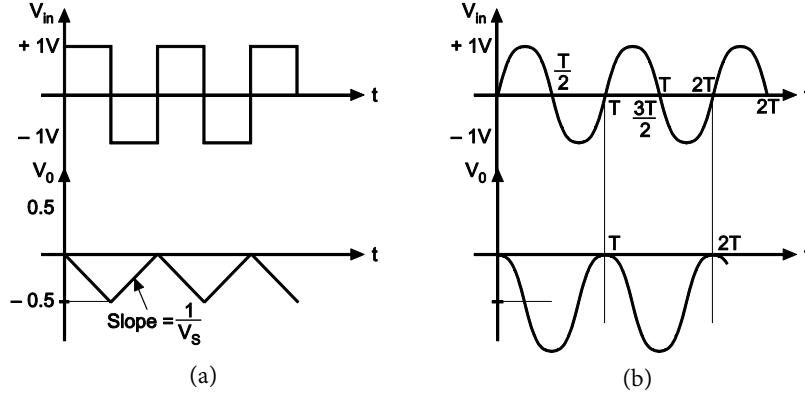
आउटपुट व्होल्टेज समीकरणाद्वारे दिले जाते

$$V_o = - \frac{1}{R_1 C_f} \int_0^t V_{in} dt + C \quad \dots(2.24)$$

वरील समीकरणातून आउटपुट व्होल्टेज डायरेक्ट (थेट) इनपुट व्होल्टेजच्या निगेटिव्ह इंटीग्रेशनसह आणि वेळेच्या स्थिरांक $R_1 C_f$ च्या व्यतिरिक्त (inversely proportional) प्रमाणात असते.



आकृती 2.14: ऑप-अॅम्प इंटीग्रेटर सर्किट



आकृती 2.15: अनुक्रमे स्केअर आणि साइन वेव्ह वापरून आदर्श (Ideal) आउटपुट वेव्हफॉर्म

इनपुट साइन वेव्ह असेल, तर आउटपुट कोसाइन वेव्ह असेल किंवा इनपुट स्केअर (चौरस) वेव्ह असेल तर आउटपुट त्रिकोणी वेव्ह असेल, ज्यामध्ये $R_1 C_f = 1$ दर्शविले असेल. जेव्हा $V_{in} = 0$, इंटिग्रेटर ओपन-लूप अॅम्प्लीफायर म्हणून काम करतो कारण C_f ओपन सर्किट म्हणून काम करते, $C_f = \infty$. इनपुट ऑफसेट व्होल्टेज V_{io} आणि इनपुट करंट चार्जिंग कॅपेसिटर C_f इंटिग्रेटरच्या आउटपुटवर एरर व्होल्टेज (error voltage) तयार करते. म्हणून, आउटपुटचे एरर व्होल्टेज कमी करण्यासाठी, एक प्रतिरोधक R_f फीडबॅक कॅपेसिटर C_f ने कनेक्ट केलेला आहे.

इंटिग्रेटरचा वापर सामान्यपणे अॅनालॉग संगणक आणि अॅनालॉग ते डिजिटल कन्व्हर्टर (ADC) आणि सिग्नल-वेव्हशेपिंग सर्किट्समध्ये केला जातो. इंटिग्रेटर लो पास फिल्टर (low pass filter) म्हणून कार्य करते. कट ऑफ फ्रीक्वेन्सी (cut off frequency) फीडबॅक घटक प्रतिरोधक R_1 आणि कॅपेसिटर C_f च्या व्यतिरिक्त (inversely proportional) प्रमाणात आहे. इंटिग्रेटरसाठी म्हणजे लो पास फिल्टरसाठी कट ऑफ फ्रीक्वेन्सी 2.25 समीकरणाद्वारे दिलेली आहे.

$$F_1 = 1/(2\pi R_1 C_f) \quad \dots(2.25)$$

अनुप्रयोग

ऑप-अॅम्पचा वापर करून अॅनालॉग सर्किट तयार केले जातात. ऑप-अॅम्पमध्ये घरगुती आणि औद्योगिक अनुप्रयोगांमध्ये विस्तृत अनुप्रयोग आहेत. विविध ऑटोमेशनमध्ये, मनोरंजन उपकरणात अॅनालॉग सर्किट वापरली जातात. बऱ्याच इलेक्ट्रॉनिक उपकरणांमध्ये खालील प्रकारची ऑप-अॅम्पची अॅनालॉग सर्किट वापरली जातात.

- प्रेसिजन रेक्टिफायर (Precision Rectifier)
- झिरो (Zero) क्रॉसिंग डिटेक्टर
- फ्रीक्वेन्सी ते व्होल्टेज कन्व्हर्टर
- सिग्नल प्रक्रिया (Processing)
- सक्रिय फिल्टर (Active Filter)
- लॉग आणि अँटीलॉग अॅम्प्ली-फायर
- व्होल्टेज ते करंट कन्व्हर्टर
- व्होल्टेज ते फ्रीक्वेन्सी कन्व्हर्टर
- अॅनालॉग गुणक आणि विभाजक (Multiplier and Divisor)
- करंट ते व्होल्टेज कन्व्हर्टर
- लिनीअर आणि स्विचिंग रेग्युलेटर (Linear and Switching Regulators)
- डिजिटल ते अॅनालॉग कन्व्हर्टर
- बायोमेडिकल इन्स्ट्रुमेंटेशन (Biomedical Instrumentation)

- सॅम्पल आणि होल्ड (Sample and Hold) सर्किट
- पीक डिटेक्टर (Peak Detector)
- ऑसिलेटर (Oscillators)
- इन्स्ट्रुमेंटेशन अॅम्प्लीफायर
- संगणकीय बिल्डिंग ब्लॉक्स
- अॅनालॉग संगणक

जिज्ञासा आणि कुतूहलासाठी क्रियाकलाप

विद्यार्थी 5-6 विद्यार्थ्यांचा गट तयार करतील आणि संकायच्या मार्गदर्शनाखाली जिज्ञासा आणि जिज्ञासा विकसित करण्यासाठी क्रियाकलाप (ies) करतील. एक नमुना खाली दिला आहे:

1. ऑप-अॅम्पचा छोटा अनुप्रयोग सर्किट निवडा. आपण या युनिटमधील अनुप्रयोगां अंतर्गत दिलेल्या सर्किटपैकी एक निवडू शकता.
2. डेटाशीटच्या (Datasheet) मदतीने एक योग्य ऑप-अॅम्पची IC निवडा.
3. सर्किटच्या आवश्यकतेनुसार योग्य मूल्याचे इलेक्ट्रॉनिक घटक निवडा.
4. अनुप्रयोगासाठी आवश्यक IC आणि इतर घटक तपासून पहा.
5. सर्किट आकृतीनुसार ब्रेडबोर्डवर इलेक्ट्रॉनिक घटक माउंट करा.
6. दिलेल्या अनुप्रयोगासाठी सर्किटची चाचणी करा.
7. अपेक्षित आउटपुटसह निरीक्षित आउटपुटची तुलना करा.

सोडवलेले उदाहरण

उदाहरण 2.2.1: ऑप-अॅम्प इंटिग्रेटरसाठी, कट ऑफ फ्रीक्वेन्सी 159 Hz, $R_{in} = 1K\Omega$ आणि $R_f = 100K\Omega$ आहे तर फीडबॅक कॅपेसिटरचे मूल्य काढा.

उत्तर: दिलेले: $R_{in} = 1K\Omega, R_f = 100K\Omega$ आणि $F_c = 159Hz$

$$F_1 = 1/(2\pi R_f C_f)$$

$$159 = 1/2\pi R_{in} C_f$$

$$159 = 1/2 \times 3.14 \times 100 \times 10^3 \times C_f$$

$$C_f = 1/2 \times 3.14 \times 100 \times 159 \times 10^3$$

$$= 1.0 \times 10^{-8} = 0.01 \mu F$$

उदाहरण 2.2.2: डिफरन्शिएटरचे फीडबॅक प्रतिरोधक $10 K\Omega$ आणि इनपुट कॅपेसिटरचे मूल्य 0.01 आहे. कट ऑफ फ्रीक्वेन्सी काढा.

उत्तर: दिलेले: डिफरन्शिएटर सर्किटसाठी $R_f = 10 K\Omega$ आणि इनपुट कॅपेसिटर $C_{in} = 0.01 \mu F$

डिफरन्शिएटरची कट ऑफ फ्रीक्वेन्सी, $f_1 = 1/2\pi R_f C_{in}$

$$f_1 = 1/2 \times 3.14 \times 10 \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6} = 1.59 KHz$$

उदाहरण 2.2.3: $4 K\Omega$ च्या फीडबॅक प्रतिरोधकासह दोन इनपुट इनव्हर्टिंग समिंग अॅम्प्लीफायरचे आउटपुट मूल्य काढा, इनपुट म्हणजे $V_1 = 3V$ आणि $V_2 = 4V$, दोन इनपुट प्रतिरोधक $R_1 = 4 K\Omega$ आणि $R_2 = 8K\Omega$ आहेत.

उत्तर: दिलेले: इनव्हर्टिंग मोड

$$R_f = 4 K\Omega$$

$$\begin{aligned}
R_1 &= 4K\Omega \\
R_2 &= 8 K\Omega \\
V_1 &= 3 V \text{ आणि } V_2 = 4 V \\
V_o &= - \left[\frac{R_f}{R_1} V_A + \frac{R_f}{R_2} V_B \right] \\
&= - [(4/4) \times 3 + (4/8) \times 4] = - [3 + 2] \\
V_o &= - 5 V
\end{aligned}$$

युनिट सारांश

- ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर, ज्याला सामान्यतः ऑप-अॅम्प म्हणतात, एक अॅनालॉग सर्किट आहे.
- ऑप-अॅम्प अनालॉग किंवा सतत डोमेन (continuous domain) मध्ये अनेक अंकगणित कार्ये, लिनियर आणि नॉन-लिनियर ऑपरेशन्स करतात.
- ऑप-अॅम्प बऱ्याच प्रकारचे अनालॉग अॅम्प्लीफायर आणि सक्रिय (Active) फिल्टरमध्ये देखील वापरले जातात.
- निगेटिव्ह फीडबॅक असलेल्या क्लोज कॉन्फिगरेशनसह ऑप-अॅम्पचा वापर इनव्हर्टिंग आणि नॉन-इनव्हर्टिंग अॅम्प्लीफायर मोडमध्ये केला जाऊ शकतो.
- इनव्हर्टिंग आणि नॉन-इनव्हर्टिंग अॅम्प्लीफायर मोडमध्ये, अॅम्प्लीफायरची क्लोज लूप गेन फीडबॅक प्रतिरोधक (resistor) आणि इनपुट प्रतिरोधकांवर अवलंबून असतो.
- युनिटी गेन (unity gain) सह नॉन-इनव्हर्टिंग अॅम्प्लीफायर अनालॉग बफर (buffer) म्हणून वापरला जातो.

अभ्यास

A. वस्तुनिष्ठ प्रश्न (Objective Questions)

सूचना: कृपया सर्वात योग्य उत्तर निवडा.

अ. क्र.	बहु-निवडक वस्तू	अ. क्र.	बहु-निवडक वस्तू
2.1	इंटीग्रेटर ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर फीडबॅक पथमध्ये समावेश: a. प्रतिरोधक b. कॅपेसिटर c. इंडक्टर d. डायोड	2.2	इनपुट सिग्नलला कॅपेसिटरद्वारे इनव्हर्टिंग इनपुट आणि फीडबॅक पाथमध्ये प्रतिरोधक समाविष्ट केले असल्यास त्या ऑप-अॅम्प सर्किटला म्हणतात a. अँडर सर्किट b. इंटीग्रेटर सर्किट c. डिफरन्शिएटर सर्किट d. नॉन-इनव्हर्टिंग अॅम्प्लीफायर

अ. क्र.	बहु-निवडक वस्तू	अ. क्र.	बहु-निवडक वस्तू
2.3	ऑप-अॅम्पची दोन इनपुट टर्मिनल म्हणून ओळखली जातात. a. उच्च आणि निम्न (High and low) b. इनव्हर्टिंग आणि नॉन – इनव्हर्टिंग c. फेज आणि न्यूट्रल d. इंटिग्रेटर आणि डिफरन्शिएटर	2.4	बायसिंगसाठी, ऑप-अॅम्प IC 741 ला आवश्यक आहे a. एक वीजपुरवठा (power supply) b. दोन वीजपुरवठा c. चार वीज पुरवठा d. वीज पुरवठा नाही
2.5	डिफरन्शिएटर सर्किटला हाय पास फिल्टर म्हणून ऑपरेट करण्यासाठी, सर्किटचा स्थिर वेळअसणे आवश्यक आहे a. उच्च (high) b. इनपुट सिग्नलच्या कालावधीच्या तुलनेत खूप जास्त c. लहान d. इनपुट सिग्नलच्या कालावधीच्या तुलनेत खूपच लहान	2.6	चार 4 इनपुटसाठी सर्किटची सरासरी, a. $R_{in} = R_f / 4$ b. $R_{in} = R_f + 4$ c. $R_{in} = R_f$ d. $R_{in} = R_f \times 16$

B. विषयनिष्ठ प्रश्न (Subjective Questions)

- आदर्श (ideal) ऑप-अॅम्पची सहा वैशिष्ट्ये सूचीबद्ध करा.
- विविध ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर पॅरामीटर्स सांगा.
- व्यवस्थित सर्किट आकृतीसह नॉन-इनव्हर्टिंग ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर समजावून सांगा.
- ऑप-अॅम्पला बफर सर्किट म्हणून समजावून सांगा.
- कम्युनिकेशन सर्किटमधील स्लीव्ह रेट पॅरामीटरचे महत्त्व समजावून सांगा.
- वापरलेल्या घटक, आउटपुट समीकरण, आवश्यक वेळ स्थिर (time constant) आणि अनुप्रयोगाच्या आधारावर इंटिग्रेटर आणि डिफरन्शिएटर सर्किटची तुलना करा.
- $2\text{ K}\Omega$ च्या फीडबॅक प्रतिरोधकासह तीन इनपुट इनव्हर्टिंग समिंग अॅम्प्लीफायरचे आउटपुट मूल्य काढा, तीन इनपुट म्हणजे $V_1 = 2\text{V}$, $V_2 = 4\text{V}$ आणि $V_3 = 6\text{V}$, तीन इनपुट प्रतिरोधक $R_1 = 2\text{K}\Omega$, $R_2 = 4\text{K}\Omega$ आणि $R_3 = 6\text{K}\Omega$ आहेत.
- ऑप-अॅम्पच्या इनव्हर्टिंग कॉन्फिगरेशनच्या फीडबॅक पथमध्ये कनेक्ट केलेले व्हेरिएबल रेझिस्टरचा इफेक्ट स्पष्ट करा.
- अॅडर (adder) सर्किट वापरून ऑप-अॅम्प आधारित सबट्रॅक्टरचे बांधकाम स्पष्ट करा.
- डिफरन्शिएटरमध्ये $20\text{ K}\Omega$ फीडबॅक प्रतिरोधक आणि कट ऑफ फ्रीक्वेंसी 1.5 KHz आहे. इनपुट कॅपेसिटर मूल्य काढा.

संबंधित प्रात्यक्षिक

I. P23- ES110: अॅम्प्लीफायर आणि इंटिग्रेटर म्हणून ऑप-अॅम्पची चाचणी करा

P23.1 प्रात्यक्षिक विधान

अॅम्प्लीफायर आणि इंटिग्रेटर म्हणून ऑप-अॅम्पची चाचणी करा.

P23.2 प्रात्यक्षिक महत्व

ऑप-अॅम्प हे आज सर्वात जास्त वापरल्या जाणाऱ्या इलेक्ट्रॉनिक उपकरणांपैकी एक आहे, ज्याचा वापर मोठ्या प्रमाणावर ग्राहक, औद्योगिक आणि वैज्ञानिक उपकरणांमध्ये केला जातो. ऑप-अॅम्प घटक म्हणून पॅकेज केले जाऊ शकतात किंवा अधिक जटिल (कॉम्प्लेक्स) इंटिग्रेटेड सर्किटचे घटक म्हणून वापरले जाऊ शकतात. इनव्हर्टिंग ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर कॉन्फिगरेशन ही सर्वात सोपी आणि सर्वात जास्त वापरली जाणारी ऑप-अॅम्प टोपोलॉजी आहे. नॉन-इनव्हर्टिंग अॅम्प्लीफायर कॉन्फिगरेशन ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर सर्किटच्या सर्वात लोकप्रिय आणि मोठ्या प्रमाणावर वापरल्या जाणार्या प्रकारांपैकी एक आहे. नॉन-इनव्हर्टिंग अॅम्प्लीफायर सर्किट ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर वापरून मिळवलेल्या सर्व फायद्यांसह उच्च इनपुट इंपीडन्स (प्रतिबाधा) प्रदान करते. ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायर इंटिग्रेसन म्हणून कॉन्फिगर केले जाऊ शकते. इंटिग्रेटर सर्किटमध्ये, आउटपुट म्हणजे वेळेच्या संदर्भात इनपुट व्होल्टेजचे इंटिग्रेशन. इंटिग्रेटर सर्किट ज्यामध्ये सक्रिय (active) उपकरणे असतात त्याला अॅक्टिव्ह इंटिग्रेटर म्हणतात. अॅक्टिव्ह इंटिग्रेटर साध्या R_C सर्किटच्या तुलनेत खूप कमी आउटपुट रेझिस्टन्स आणि उच्च आउटपुट व्होल्टेज प्रदान करतो. इंटिग्रेटर सर्किट सहसा स्क्वेअर (चौरस) वेव्ह इनपुटमधून त्रिकोणी वेव्ह आउटपुट तयार करण्यासाठी डिझाइन केलेले असतात. साईन वेव्ह इनपुट सिग्नलवर कार्य करतेवेळी इंटिग्रेटर सर्किटला फ्रिक्वेंसीची मर्यादा असते. हे प्रात्यक्षिक विद्यार्थी IC 741 वापरून स्क्वेअर (चौरस) वेव्हला त्रिकोणी वेव्हमध्ये रूपांतरित करण्यास सक्षम करेल. या प्रात्यक्षिकामुळे विद्यार्थी ऑप अॅम्पचा वापर इनव्हर्टिंग अॅम्प्लीफायर, नॉन-इनव्हर्टिंग अॅम्प्लीफायर आणि इंटिग्रेटर म्हणून करू शकेल.

P23.3 संबंधित सिद्धांत

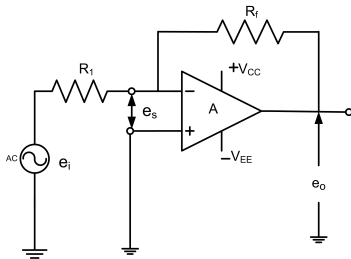
ऑप-अॅम्प ला अॅम्प्लीफायर म्हणून आणि ऑप-अॅम्प ला इंटिग्रेटर म्हणून पुस्तकातील अध्याय 2 चा विषय 2.1.5 आणि विषय 2.2.3 संदर्भित करा.

P23.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती (PrO)

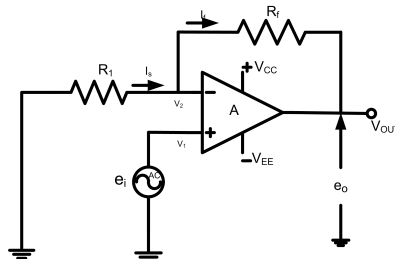
PrO1: ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायरचा गेन निश्चित करण्यासाठी संबंधित साधने वापरा.

PrO2: IC741 वापरून इंटिग्रेटर सर्किट तयार करा आणि चाचणी घ्या.

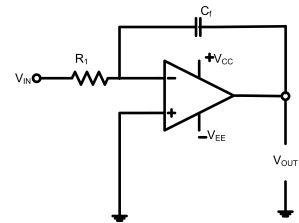
P23.5 प्रात्यक्षिक रचना (परिक्रमा आकृती)



आकृती P23.1: इन्व्हर्टिंग अॅम्प्लीफायर



आकृती P23.2: नॉन इन्व्हर्टिंग अॅम्प्लीफायर



आकृती P23.3: ऑप-अॅम्प इंटिग्रेटर

P23.6 आवश्यक संसाधने

अनु क्र.	महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह सुचवलेली आवश्यक संसाधने	प्रमाण (Quantity)	वैशिष्ट्यांसह आवश्यक प्रत्यक्ष संसाधने तपशील (विद्यार्थी-यांनी भरावी)	शेरा (असल्यास)
1.	ड्युअल पॉवर सप्लाय 0-30V, 2A	1		
2.	IC-741C	1		
3.	रेझिस्टरस R_1 1K Ω	2		
4.	रेझिस्टरस R_f 10K Ω	2		
5.	कॅपेसिटर C_F 0.01 μ F	1		
6.	फंक्शन जनरेटर 20MHz	2		
7.	अँनालॉग IC परीक्षक/टेस्टर (IC tester) योग्य अँनालॉग ICs तपासण्यासाठी	1		
8.	सीआरओ (CRO) 20MHz ड्युअल ट्रेस ऑसिलोस्कोप	2		
9.	ब्रेडबोर्ड 5.5 cm \times 17cm	2		
10.	कनेक्टिंग वायर सिंगल स्ट्रँड टेपलॉन कोटिंग (0.6mm diameter)	L S		

P23.7 सावधानता

- ब्रेडबोर्डवर IC 741 आणि रेझिस्टरचे योग्य माउंटिंग सुनिश्चित करा.
- सर्किटचे योग्य कनेक्शन सुनिश्चित करा
- सर्किटला योग्य इनपुट व्होल्टेज आणि पुरवठा व्होल्टेज सुनिश्चित करा.

P23.8 सुचवलेली कृती

इन्व्हर्टिंग अँप्लीफायर

- अँनालॉग IC टेस्टरवर IC741 ची चाचणी करा.
- ब्रेडबोर्डवर पुरवठा (supply) व्होल्टेज +15V, - 15V आणि ग्राउंडचा बिंदू बनवा.
- पिन क्रमांक 7 + 15V आणि पिन क्रमांक 4 - 15V आणि पिन क्रमांक 3 ग्राउंडशी कनेक्ट करा.
- आकृती P 23.1 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे R_1 आणि R_f जोडा
- फंक्शन जनरेटरमधून (1V, 500 Hz) चे साइन वेव्ह V_{in} निवडा, सीआरओ (CRO) वरील वेव्ह तपासा.
- पिन क्रमांक 2 वर निवडलेले साइन वेव्ह इनपुट लागू करा.
- अँप्लीट्युड स्थिर (constant) ठेवा आणि इनपुट फ्रिक्वेन्सी 100Hz ते 1MHz पर्यंत बदला.
- पिन क्रमांक 6 वरून सीआरओ (CRO) वर V_{out} मोजा आणि नोंद करा.

9. सेमी-लॉग पेपरवर फ्रिक्वेन्सी विरुद्ध गेन आलेख प्लॉट करा.
10. सेमी-लॉग पेपरवरून बँडविड्थ आणि कट ऑफ फ्रीक्वेन्सी काढा.

नॉन इन्व्हर्टिंग अ‍ॅम्प्लीफायर

1. अ‍ॅनालॉग IC टेस्टरवर IC741 ची चाचणी करा.
2. ब्रेडबोर्डवर पुरवठा व्होल्टेज +15V, -15V आणि ग्राउंडचा बिंदू बनवा.
3. पिन क्रमांक 7 +15 V आणि पिन क्रमांक 4 -15 V आणि पिन क्रमांक 2 ग्राउंडशी कनेक्ट करा.
4. आकृती P 23.2 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे R_i आणि R_f जोडा.
5. फंक्शन जनरेटरमधून (1V, 500 Hz) चे साइन वेव्ह V_{in} निवडा, सीआरओ (CRO) वरील वेव्ह तपासा.
6. निवडलेल्या साइन वेव्ह इनपुट पिन क्रमांक 3 वर लागू करा.
7. अ‍ॅम्प्लीट्यूड स्थिर ठेवा आणि इनपुट फ्रिक्वेन्सी 100Hz ते 1MHz पर्यंत बदला.
8. पिन क्रमांक 6 वरून सीआरओ (CRO) वर V_{out} मोजा आणि नोंद करा.
9. सेमी-लॉग पेपरवर फ्रिक्वेन्सी विरुद्ध गेन आलेख प्लॉट करा.
10. सेमी-लॉग पेपरवरून बँडविड्थ आणि कट ऑफ फ्रीक्वेन्सी काढा.

इंटीग्रेटर सर्किट

1. सर्किट आकृतीनुसार ब्रेडबोर्डवर सर्किट जोडा.
2. IC 741 च्या पिन क्रमांक 7 (+ V_{cc}) आणि पिन क्रमांक 4 ($-V_{EE}$) ला ड्युअल वीज पुरवठा कनेक्ट करा.
3. पिन क्रमांक 2 वर 1 KHz वर 1 V pp अ‍ॅम्प्लीट्यूडचे साइन वेव्हफॉर्म तयार करण्यासाठी फंक्शन जनरेटर सेट करा.
4. वेव्हफॉर्म इनपुट म्हणून लागू करण्यापूर्वी सीआरओ (CRO) वर तपासा.
5. 1 KHz फ्रिक्वेन्सीसाठी सीआरओ (CRO) वर इनपुट आणि आउटपुट (पिन क्रमांक 6) वेव्हफॉर्मचे निरीक्षण करा आणि फंक्शन जनरेटर आणि सीआरओ (CRO) कडून दिलेल्या इनपुटसाठी फेज शिफ्ट तपासा.
6. इनपुट व्होल्टेज 1V ठेवून 100 Hz ते 10 KHz पर्यंत इनपुट फ्रिक्वेन्सी बदला.
7. प्रत्येक फ्रिक्वेन्सीसाठी आउटपुट व्होल्टेज मोजा आणि निरीक्षण सारणीमध्ये आउटपुट व्होल्टेजची नोंद करा.
8. सेमी-लॉग पेपरवर गेन विरुद्ध फ्रिक्वेन्सी ग्राफ प्लॉट करा. डेसिबलमध्ये वेगवेगळ्या इनपुट फ्रिक्वेन्सीसाठी गेनची गणना करा.

P23.9 निरीक्षणे आणि गणना

सारणी 23.1: इन्व्हर्टिंग अ‍ॅम्प्लीफायर $V_i = 1V_{pp}$ साठी निरीक्षण सारणी

अनु क्र.	इनपुट फ्रिक्वेन्सी (Hz)	आउटपुट व्होल्टेज, V_{out} (Volts)	व्होल्टेज गेन ($A = V_{out}/V_i$)	dB मध्ये गेन $20 \log(V_{out}/V_i)$
1.	100Hz			
2.	500Hz			
3.	1KHz			

सारणी 23.2: इंटिग्रेटर इनपुट व्होल्टेज $V_i = 1 \text{ V pp}$ साठी निरीक्षण सारणी

अनु क्र.	इनपुट फ्रिक्वेन्सी (Hz)	आउटपुट व्होल्टेज, V_o (Volts)	dB मध्ये गेन $20 \log_{10}(V_o/V_i)$
1.	100 Hz		
2.	200 Hz		

गणना

- व्होल्टेज गेन: $V_o/V_i = \dots\dots\dots$
- dB मध्ये व्होल्टेज गेन: $20 \log (V_o/V_i) = \dots\dots\dots$

P23.10 परिणाम आणि व्याख्या

-
-

P23.11 निष्कर्ष आणि/किंवा प्रमाणीकरण

.....

.....

P23.12 प्रात्यक्षिकसंबंधित प्रश्न

(उत्तरासाठी स्वतंत्र पत्रक वापरा)

टीप: संदर्भासाठी खाली काही नमुने प्रश्न दिले आहेत. पूर्व-परिभाषित अभ्यासक्रमाच्या निकालांची प्राप्ती सुनिश्चित करण्यासाठी शिक्षकांनी असे अधिक प्रश्न तयार केले पाहिजेत.

- इन्व्हर्टिंग अॅम्प्लीफायर मध्ये नकारात्मक अभिप्रायाचा प्रभाव सांगा.
- लिनीअर ऑपरेशनसाठी प्रायोगिक सर्किटमध्ये लागू केले जाणारे जास्तीत जास्त इनपुट सिग्नल व्होल्टेज सांगा.
- इंटिग्रेटर लो पास फिल्टर म्हणून काम करू शकतो का? फ्रिक्वेन्सी रिस्पॉन्सच्या मदतीने तुमच्या उत्तर सिद्ध करा.

P23.13 संसाधने शिकण्याचे स्रोत



अधिक जाणून घ्या

सूक्ष्म प्रकल्प (Micro-Project) आणि उपक्रम (Activities)

विद्यार्थ्यांनी 3 ते 4 विद्यार्थ्यांचा गट किंवा वैयक्तिक आधार म्हणून सूक्ष्म प्रोजेक्ट करावे आणि ते सादर केले पाहिजेत.

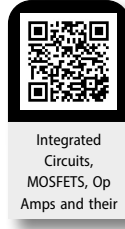
सूक्ष्म प्रकल्प (Micro-Project) आणि उपक्रम (Activities)

1. IC 741 चा वापर करून अँडर आणि सबट्रॅक्टर सर्किट तयार करा आणि चाचणी घ्या.
2. IC 741 चा वापर करून डिफरेंशिएटर सर्किट तयार करा आणि चाचणी घ्या.

उपक्रम

1. ऑप-अँप्स आधारित लिनीअर सर्किट्स आणि त्यांचे अनुप्रयोग यांचे ग्रंथालय / इंटरनेट सर्वेक्षण करा.
2. भिन्न ऑप-अँप्स आधारित सर्किट समजून घेण्यासाठी पॉवर पॉइंट प्रेझेंटेशन किंवा ऑनिमेशन तयार करा.

व्हिडिओ संसाधने



संदर्भ आणि सुचविलेले वाचन

1. Ramakant A. Gayakwad, Op-Amps and Linear Integrated Circuits, New Delhi: PHI Learning, 2011.
2. David A. Bell, Operational Amplifiers and Linear ICs, New Delhi: Oxford University Press, 2011.
3. Willam D Stanley, Operation Amplifier with Linear Integrated Circuit, New Delhi: Pearson Education, 2002.
4. Senthil M. Sivakumar, Linear Integrated Circuits, New Delhi: S. Chand Publishing, New Delhi, 2014.
5. S. Salivahanan, Linear Integrated Circuits, McGraw Hill, New Delhi, 2008.

3

डिजिटल इलेक्ट्रॉनिक्सचे विहंगावलोकन

युनिट वैशिष्ट्ये

हे युनिट खालील विषयांवर चर्चा करते:

- संख्या प्रणाली आणि रूपांतरणे
- बूलियन कायदे आणि प्रमेय
- लॉजिक गेट्स
- फ्लिप फ्लॉप आणि त्याचे प्रकार
- फ्लिप फ्लॉपचा काउंटर म्हणून वापर
- एकात्मिक सर्किटची ओळख

प्रत्येक विषयाच्या शेवटी विद्यार्थी स्वयं-शिक्षण उपक्रम समस्या सोडवण्याची उदाहरणे आणि आयसीटी संदर्भ पुढील उत्सुकता आणि सर्जनशीलता निर्माण करण्यासाठी तसेच समस्या सोडवण्याची क्षमता सुधारण्यासाठी तयार केले जातात.

ब्लूमच्या वर्गीकरणाच्या वाढीव पातळीनंतर अनेक निवडक प्रश्न तसेच व्यक्तिपरक प्रश्न, संदर्भांखाली सूचीबद्ध पुस्तकांमध्ये प्रदान केलेल्या अनेक समस्यांद्वारे असाइनमेंट आणि सुचवलेले वाचन युनिटमध्ये दिले आहेत जेणेकरून एखादा सराव करण्यासाठी त्यांच्यामधून जाऊ शकेल.

संबंधित व्यावहारिक "अधिक जाणून घ्या" विभागाद्वारे दिले जातात जेणेकरून प्रदान केलेली पूरक माहिती पुस्तकाच्या वापरकर्त्यासाठी फायदेशीर ठरेल. या विभागात युनिट सामग्रीवर आधारित, "मायक्रो प्रोजेक्ट" क्रियाकलाप आणि व्हिडिओ संसाधनांचा क्यूआर कोड प्रदान केलेल्या काही उप-विषयांबद्दल अधिक जाणून घेण्यासाठी प्रदान केले आहेत.

तर्कसंग

गणना (computation), डेटा प्रक्रिया (processing), संप्रेषण (communication) आणि मोजमाप (measurement) आणि नियंत्रण (control) यासाठी डिजिटल सिस्टीम (system) चा मोठ्या प्रमाणात वापर केला जातो. डिजिटल सिस्टीम अधिक विश्वासाह, कमी आवाजामुळे (noise) प्रभावित, डिझाईन करणे सोपे आणि आयसी चिप्सवर बनवण्याचे मुख्य कारण आहे. अध्याय डिजिटल सिस्टीम च्या मूलभूत संकल्पना आणि डिजिटल उपकरणे आणि एकात्मिक (integrated) सर्किटमध्ये त्यांचा वापर समजून घेण्यास मदत करेल.

पूर्व-आवश्यकता

1. गणित: सेट, वास्तविक संख्या, गणितातील पुरावे (दहावी)

युनिट परिणाम

हे युनिट पूर्ण झाल्यावर, विद्यार्थी सक्षम असेल:

U3-O1: बूलियन कायदे आणि प्रमेय वापरून दिलेल्या अभिव्यक्तीचे सरलीकरण करा.

U3-O2: विविध प्रकारचे लॉजिक गेट्स स्पष्ट करा.

U3-O3: विशिष्ट प्रकारचे काउंटर तयार करण्यासाठी दिलेल्या फ्लिप-फ्लॉपचा वापर करा.

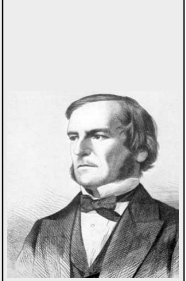
U3-O4: गेट्ससाठी योग्य TTL डिजिटल IC सुचवा.

कोर्स आऊटकोम्ससह युनिट वाईजचे एक्सपेक्ट्ड मॅपिंग:

युनिट-3 परिणाम	कोर्स आऊटकोम्ससह एक्सपेक्ट्ड मॅपिंग (1-दुर्बलसहसंबंध; 2-मध्यमसंबंध; 3-मजबूतसहसंबंध)					
	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4	CO-5	CO-6
U3-O1	-	-	3	-	-	-
U3-O2	2	-	3	-	-	-
U3-O3	2	-	3	-	-	-
U3-O4	3	-	3	-	-	-

जॉर्ज बूल (1864 - 1815)

बुलियन बैजिकी (Boolean Algebra) 1847 मध्ये युनिव्हर्सिटी कॉलेज, कॉर्क, आयर्लंडमधील गणिताचे प्राध्यापक जॉर्ज बूले यांनी त्यांच्या 'द मॅथेमॅटिकल अॅनॅलिसिस ऑफ लॉजिक' मध्ये सादर केले होते. बुलियन बैजिकी ही बीजगणिताची शाखा आहे ज्यात 'खरे' (True) आणि 'खोटे' (false), सहसा अनुक्रमे '1' आणि '0' असे दर्शविले जाते. प्राथमिक बीजगणित मध्ये, जिथे चलांचे (variables) मूल्ये संख्या आहेत आणि मुख्य कार्य बेरीज आणि गुणाकार आहेत, बुलियन बैजिकी (Boolean Algebra) ची मुख्य कामे AND, OR आणि NOT आहेत. सर्व आधुनिक इलेक्ट्रॉनिक डिजिटल संगणकांची पायाभरणी करण्याचे श्रेय बुलियन लॉजिकला जाते.



3.1 बुलियन कार्य (Operation) आणि बुलियन बैजिकी (Boolean Algebra)

3.1.1 परिचय

इलेक्ट्रॉनिक सर्किट आणि सिस्टीम (system) चे दोन प्रकार आहेत, अॅनालॉग (Analog) आणि डिजिटल (Digital). अॅनालॉग सर्किट असे आहेत ज्यात व्होल्टेज आणि करंट कमाल (maximum) आणि किमान (minimum) मूल्यामध्ये सतत बदलत असतात. डिजिटल सर्किट म्हणजे जेथे व्होल्टेज पातळी (level) मर्यादित (finite) मूल्य मानते. सर्व आधुनिक डिजिटल

प्रणालीमध्ये, फक्त दोन भिन्न व्होल्टेज पातळी आहेत. प्रत्येक व्होल्टेज पातळी मात्र मर्यादित व्होल्टेज मूल्याचे एक अरुंद बँड आहे. डिजिटल सिस्टीम बायनरी (Binary) सिस्टीम वापरतात, जिथे बायनरी (Binary) अंक 1 उच्च व्होल्टेज पातळी दर्शविण्यासाठी वापरला जातो आणि बायनरी (Binary) अंक 0 कमी व्होल्टेज पातळी दर्शविण्यासाठी वापरला जातो. डिजिटल सिस्टीम ला नंतर पॉझिटिव्ह (positive) लॉजिक सिस्टीम म्हणतात. डिजिटल सिस्टीम ला स्विचिंग सर्किट किंवा लॉजिक सर्किट असेही म्हणतात. सर्किट्स बूलियन बैजिकी (Boolean Algebra) वापरतात. बूलियन बैजिकी ही गणिती तर्कशास्त्राची एक सिस्टीम आहे ज्यात लॉजिक सर्किटचे विश्लेषण आणि संश्लेषण करण्यासाठी घटक आणि ऑपरेटरचा संच असतो. बैजिकी डेसिमल (decimal) आणि बायनरी (Binary) संख्या सिस्टीम बैजिकी (Algebra) या दोहोपेक्षा भिन्न आहे आणि नियम आणि कायदांच्या संचाद्वारे त्याचे मूल्यांकन केले जाते.

3.1.2 संख्या सिस्टीम

संख्या सिस्टीम प्रमाण (quantities) आणि चिन्हे संबंधित आहे. संख्या सिस्टीम दिलेल्या क्रमांकाचे मूल्य त्याच्या दिलेल्या बेसच्या संदर्भात दर्शवते. मोजणी असो किंवा मोजमाप, मानव आपल्या दैनंदिन कामांसाठी डेसिमल (decimal) संख्या सिस्टीम चा वापर करतो. डिजिटल सिस्टीम बायनरी (Binary) संख्या सिस्टीम वापरते. बेस मूल्य दिलेल्या संख्येचे भिन्न प्रतिनिधित्व दर्शवते आणि म्हणून, भिन्न संख्या सिस्टीम मध्ये एकाच संख्येचे वेगवेगळे प्रतिनिधित्व असते.

3.1.2.1 डेसिमल (decimal) संख्या सिस्टीम

डेसिमल (decimal) संख्या सिस्टीम मध्ये बेस 10 आहे कारण ती दहा स्वतंत्र चिन्हे वापरते म्हणजे 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ते 9 ही चिन्हे डेसिमल सिस्टीम मध्ये संख्या दर्शविण्यासाठी वापरतात. उदाहरणार्थ, 10 ही संख्या 0 आणि 1 या चिन्हाद्वारे दर्शवली जाते, जेथे चिन्ह 0 हा सर्वात कमी महत्त्वाचा अंक (सर्वात उजवा अंक) आणि चिन्ह 1 हा सर्वात महत्त्वाचा अंक (सर्वात डावा अंक) असतो. डेसिमल सिस्टीम मध्ये प्रत्येक अंक स्थिती (position) बेस 10 ची विशिष्ट शक्ती दर्शवते. उदाहरणार्थ, डेसिमल संख्या

$$(3456)_{10} = 3 \times 10^3 + 4 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 6 \times 10^0$$

सर्वात उजवा अंक 10^0 (एकक किंवा एक) च्या क्रमाने आहे, दुसरा उजवा सर्वात जास्त अंक 10^1 (दहापट), तिसरा उजवा सर्वात अंक 10^2 (शेकडो) च्या क्रमाने आहे, चौथा उजवा सर्वात अंक (हजारो) आणि असेच. सर्वसाधारणपणे, डेसिमल (decimal) बिंदू असलेली डेसिमल संख्या सिस्टीम अशी दर्शवली जाते

$$D_3 D_2 D_1 D_0 . D_{-1} D_{-2}$$

गुणांक (coefficient) द्वारे दर्शविलेले डेसिमल (decimal) अंक 0 ते 9 मधील कोणत्याही डेसिमल अंकांचे प्रतिनिधित्व करते आणि सबस्क्रिप्ट k स्थिती मूल्य दर्शवते आणि म्हणून बेसची शक्ती म्हणजेच बेस 10 ज्यावर गुणांक लागू करणे आवश्यक आहे. वर दर्शविल्याप्रमाणे डेसिमल (decimal) संख्येसाठी, ते खालीलप्रमाणे असेल

$$D_3 \times 10^3 + D_2 \times 10^2 + D_1 \times 10^1 + D_0 \times 10^0 + D_{-1} \times 10^{-1} + D_{-2} \times 10^{-2}$$

3.1.2.2 बायनरी (Binary) संख्या सिस्टीम

बायनरी (Binary) सिस्टीममध्ये 0 आणि 1 अशी दोन स्वतंत्र चिन्हे आहेत त्यामुळे या संख्या सिस्टीम चा बेस 2 आहे. बायनरी (Binary) सिस्टीममध्ये $(2)^{10}$ ही डेसिमल (decimal) संख्या $(10)^2$ म्हणून दर्शवली जाते. बायनरी (Binary) अंकला बिट म्हणतात. डेसिमल (डेसिमल) संख्या सिस्टीम प्रमाणे बायनरी (Binary) सिस्टीम एक पोजिशनल वेट सिस्टीम आहे, जिथे प्रत्येक

बिट बेस 2 च्या विशिष्ट शक्तीचे प्रतिनिधित्व करते. बायनरी (Binary) सिस्टीमच्या सर्वात उजव्या बिटला लीस्ट सिग्निफिकन्ट बिट (Least Significant Bit) (LSB) आणि सर्वात डाव्या बिटला मोस्ट सिग्निफिकन्ट बिट (Most Significant Bit) (MSB) म्हणतात. सर्वसाधारणपणे, बायनरी (Binary) पॉईंट असलेली बायनरी (Binary) संख्या सिस्टीम अशी दर्शवली जाते

$$b_3 b_2 b_1 b_0 . b_{-1} b_{-2}$$

गुणांक b_k द्वारे दर्शविलेले बायनरी (Binary) बिट एकतर बिट 0 किंवा बिट 1 दर्शवते आणि सबस्क्रिप्ट k स्थिती मूल्य दर्शवते आणि म्हणून बेसची शक्ती म्हणजेच बेस 2 ज्यावर गुणांक लागू करणे आवश्यक आहे. वर दर्शविल्याप्रमाणे बायनरी (Binary) क्रमांकासाठी ते खालीलप्रमाणे असेल

$$b_3 \times 2^3 + b_2 \times 2^2 + b_1 \times 2^1 + b_0 \times 2^0 + b_{-1} \times 2^{-1} + b_{-2} \times 2^{-2}$$

3.1.2.3 ऑक्टल (Octal) आणि हेक्साडेसिमल (Hexadecimal) संख्या सिस्टीम

ऑक्टल संख्या सिस्टीम

सुरुवातीच्या सूक्ष्म संगणकांद्वारे ऑक्टल संख्या सिस्टीम वापरली जात असे. ऑक्टल नंबर सिस्टीममध्ये आठ स्वतंत्र चिन्हे 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 आणि 7 आहेत. त्यामुळे बेस 8 आहे. ऑक्टल संख्या सिस्टीम देखील एक पोजिशनल संख्या सिस्टीम आहे, ज्यामध्ये ऑक्टल सिस्टीम चा प्रत्येक अंक बेस 8 ने दर्शवितात.

हेक्साडेसिमल संख्या सिस्टीम

डिजिटल संगणक सिस्टीम बायनरी (Binary) क्रमांक सिस्टीम वापरते. बायनरी (Binary) सिस्टीममध्ये डेटावर प्रक्रिया करणे मशीनसाठी सोपे असले तरी, बायनरी (Binary) संख्या लांब आहेत आणि मानवाद्वारे हाताळण्यासाठी खूप अवघड आहे. या समस्येवर मात करण्यासाठी, हेक्साडेसिमल संख्या सिस्टीम विकसित केली गेली आणि डिजिटल प्रणालींमध्ये डेटा प्रोसेसिंगसाठी ही सर्वात लोकप्रिय संख्या सिस्टीम बनली आहे. वापरलेली स्वतंत्र चिन्हे 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E आणि F आहेत. त्यामुळे बेस 16 आहे. ही देखील एक पोजिशनल संख्या सिस्टीम आहे.

3.1.3 संख्या रूपांतरण

3.1.3.1 बायनरी (Binary) ते डेसिमल रूपांतरण

बायनरी संख्या त्यांचे स्थिती वजन प्रणाली द्वारे दशांश संख्या मध्ये रूपांतरित केले जातात. या पद्धतीमध्ये प्रत्येक बायनरी बिट संबंधित स्थितीच्या वजनाद्वारे गुणाकार केला जातो आणि त्यानंतर प्रत्येक उत्पादनाच्या अटीचा परिणाम दशांश संख्या मिळवण्यासाठी जोडला जातो. उदाहरणार्थ 1101.112 ला डेसिमल मध्ये रूपांतरित करा

$$\begin{aligned} 1101.11 &= 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 8 + 4 + 0 + 1 + 0.5 + 0.25 = 13.75_{10} \end{aligned}$$

3.1.3.2 डेसिमल ते बायनरी रूपांतरण

बायनरी पूर्णांक मिळवण्यासाठी डेसिमल संख्या प्रणालीचा पूर्णांक भाग क्रमिकपणे 2 ने भागला जातो. शेवटची बाकी MSB आहे. त्याचप्रमाणे, उत्पादन (product) शून्य होईपर्यंत किंवा इच्छित अचूकता प्राप्त होईपर्यंत अपूर्णांक (fractional) भाग क्रमिकपणे 2 ने गुणाकार केला जातो. उदाहरणार्थ $(35.875)_{10}$ बायनरी (Binary) मध्ये रूपांतरित करा. दाखवल्याप्रमाणे पूर्णांक (integer) भाग प्रथम क्रमाक्रमाने 2 ने भागला जातो.



उत्तर 100011 बाणाने दाखवल्याप्रमाणे तळापासून वरपर्यंत बाकी वाचून प्राप्त केले आहे. आता अपूर्णांक (integer) भागाला क्रमशः 2 ने गुणाकार करून आणि पूर्णांक (integer) भाग खालिलप्रमाणे लक्षात ठेवा

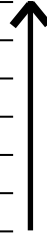
$$0.875 \times 2 = 1.75, \text{ पूर्णांक} = 1$$

$$0.750 \times 2 = 1.50, \text{ पूर्णांक} = 1$$

$$0.500 \times 2 = 1.00, \text{ पूर्णांक} = 1$$

आता पुढच्या दिशेने पूर्णांक (integer) वाचणे आणि आपल्याला मिळेल (0.111). पूर्णांक (integer) आणि अपूर्णांक (fractional) भाग एकत्र करून बायनरी (Binary) समतुल्य (equivalent) मिळेल $38.875_{10} = 100011.111_2$.

2	35	Reminder
2	17	1
	8	1
2	4	0
2	2	0
2	1	0
	0	1 (MSB)



3.1.4 बायनरी (Binary) अंकगणित (Arithmetic)

3.1.4.1 बायनरी (Binary) बेरीज

दोन बायनरी (Binary) बिट्स ची बेरीज करण्यासाठी खालील नियमांचे पालन करतात

$$0 + 0 = 0; 0 + 1 = 1; 1 + 0 = 0; 1 + 1 = 0 \text{ आणि कॅरी } 1$$

खालील बायनरी (Binary) क्रमांक 1011.011 आणि 111.010 ची बेरीज करा

$$\begin{array}{r} 1011.011 \\ + 111.010 \\ \hline 10010.101 \end{array}$$

कॅरी फॉरवर्ड (carry forward) ची बेरीज डेसिमल बेरीज प्रमाणेच केली जाते

3.1.4.2 बायनरी (Binary) वजाबाकी

बायनरी (Binary) वजाबाकी खालील नियमांचे पालन करते

$$0 - 0 = 0; 1 - 0 = 1; 1 - 1 = 0; 0 - 1 = 1 \text{ उसणे (borrow) घेउन म्हणजेच } 10 - 1 \text{ च्या बरोबरीने}$$

बायनरी (Binary) क्रमांक 111.111; 1010.010 मधून वजा करा

$$\begin{array}{r} 1010.010 \\ - 111.110 \\ \hline 0010.011 \end{array}$$

डिजिटल कॉम्प्युटरमध्ये वजाबाकी ऑपरेशन सुलभ करण्यासाठी पूरक (complements) वापरले जातात. प्रत्येक संख्या सिस्टीम साठी दोन प्रकारचे पूरक (complements) आहेत. बायनरी (Binary) संख्या सिस्टीम मध्ये, दोन प्रकारचे पूरक (complements) वापरले जातात: 1's पूरक (complements) आणि 2's पूरक (complements)

3.1.5 बूलियन नियम आणि प्रमेये

3.1.5.1 बूलियन बैजिकी (Boolean Algebra)

बुलियन बैजिकी तर्कशास्त्राच्या पद्धतशीर उपचारांसाठी विकसित केलेली बीजगणित सिस्टीम आहे. हे घटकांचा संच, ऑपरेटरचा संच आणि अनेक गृहीत तत्त्वे (postulates) सह परिभाषित केले आहे. सामान्य बीजगणित विपरीत निगेटिव्ह (negative) संख्या आणि अपूर्णांक (integer) अस्तित्वात नाहीत. बुलियन बैजिकी (Boolean Algebra) मध्ये कोणतेही वजाबाकी किंवा विभाजन (division) कार्य नाहीत. बुलियन बैजिकी (Boolean Algebra) चे मूलभूत नियम आहेत.

$$1. \quad A + B = B + A$$

$$2. \quad A \cdot B = B \cdot A$$

जेथे A आणि B हे S चे घटक आहेत.

एसोसिएटिव्ह (Associative) नियम: सेट S वरील बायनरी (Binary) ऑपरेटर प्लस (+) किंवा डॉट (.) असोसिएटिव्ह आहे असे म्हटले जाते जर:

$$1. \quad (A + B) + C = A + (B + C)$$

$$2. \quad (A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C)$$

जेथे A, B आणि C हे S चे घटक आहेत.

डिस्ट्रीब्यूटिव्ह (Distributive) नियम:

$$1. \quad (A + B) \cdot C = A \cdot B + B \cdot C$$

$$2. \quad A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$$

AND, OR and NOT नियम: सारणी 3.1 मूलभूत बुलियन नियम दर्शवते

सारणी 3.1: बूलियन नियम

अ. क्र.	OR नियम	AND नियम	NOT नियम
1.	$A + 0 = A$	$A \cdot 0 = 0$	$A'' = A$
2.	$A + 1 = 1$	$A \cdot 1 = A$	जर $A = 0$, तर $A' = 1$
3.	$A + A = A$	$A \cdot A = A$	जर $A = 1$, तर $A' = 0$
4.	$A + A' = 1$	$A \cdot A' = 0$	

जेथे $A = \{0,1\}$ आणि A चे पूरक (complements) A' म्हणून दर्शविले जाते

डी मॉर्गनचे (De Morgan's) प्रमेय:

प्रमेय दोन नियमांचे प्रतिनिधित्व करते

$$\text{नियम 1: } (A + B)' = A' \cdot B'$$

नियम सांगतो की दोन व्हेरिएबल्सची बेरीज वैयक्तिक पूरकां (complements) च्या प्रॉडक्ट (product) च्या बरोबरीची असते.

$$\text{नियम 2: } (A \cdot B)' = A' + B'$$

नियम सांगतो की दोन व्हेरिएबल्सच्या प्रॉडक्ट चे पूरक (complements) वैयक्तिक पूरकांच्या बेरीजच्या बरोबरीचे आहे.

उपक्रम

डिजिटल सर्किटद्वारे माहिती प्रक्रियेसाठी वापरल्या जाणाऱ्या डिजिटल कोडवर सादरीकरण तयार करा.

सोडविलेले उदाहरण

उदाहरण 3.1.1: खालील डेसिमल संख्या $(452)_{10}$ बायनरी मध्ये रूपांतरित करा.

2	450	बाकी
2	225	0
2	112	1
2	56	0
2	28	0
2	14	0
2	7	0
2	3	1
2	1	1
	0	1

$$452_{10} = (111000010)_2$$

उदाहरण 3.1.2: पहिले दहा डेसिमल (decimal) अंक बेस 3 वर लिहा.

उत्तर: बेस 3 सिस्टीमसाठी चिन्हे (symbols) 0, 1 आणि 2 आहेत. उर्वरित डेसिमल (decimal) संख्या डेसिमल संख्येला क्रमानुसार बेस 3 ने विभाजित करून मिळतात.

डेसिमल (decimal) अंक 3, 10_3 म्हणून लिहिलेला आहे आणि त्याचप्रमाणे डेसिमल (decimal) अंक 4 ते 9 खालील प्रमाणे लिहिलेला आहे

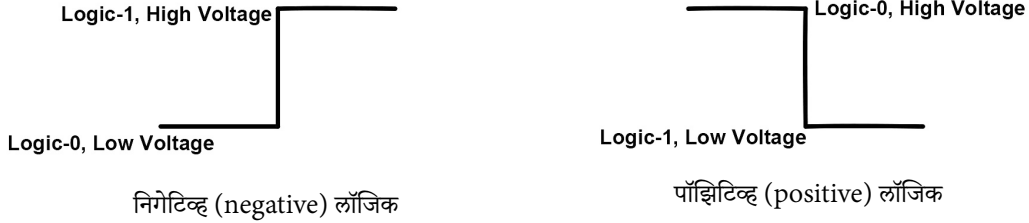
डेसिमल (decimal) संख्या	बेस 3 मध्ये समतुल्य (Equivalent)	डेसिमल (decimal) संख्या	बेस 3 मध्ये समतुल्य	डेसिमल (decimal) संख्या	बेस 3 मध्ये समतुल्य
4	11	5	12	6	20
7	21	8	22	9	23

3.2 लॉजिक गेट्स

बूलियन फंक्शन हे बायनरी (Binary) ऑपरेटर्स AND, OR, NOT, कंस आणि समान चिन्ह वापरून बायनरी (Binary) व्हेरिएबल्ससह बनलेली अभिव्यक्ती (expression) आहे. एक बायनरी (Binary) व्हेरिएबल (variable) 0 किंवा 1 मूल्य घेऊ शकते. उदाहरणार्थ बूलियन फंक्शन $F = x + y$ हे 1 च्या बरोबरीचे आहे, जर व्हेरिएबल (variable) x, y किंवा दोन्ही 1 च्या बरोबरीचे असतील, अन्यथा $F = 0$. बूलियन (Boolean) फंक्शन ट्रूथ टेबल (truth table) द्वारे दर्शविले जाऊ शकते. n व्हेरिएबल (variable) बूलियन फंक्शन F च्या ट्रूथ टेबल (Truth Table) मध्ये n व्हेरिएबल्सच्या $2n$ संयोगांची (combinations) यादी आणि त्या संयोगांसाठी प्रत्येकी 0 किंवा 1 हे दर्शवणारे स्तंभ (column) असतात.

3.2.1 पॉझिटिव्ह (positive) आणि निगेटिव्ह (negative) लॉजिक (logic)

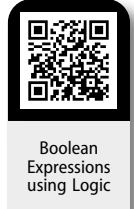
व्होल्टेज लेव्हल जे लॉजिक -1 किंवा लॉजिक -0 च्या समान बायनरी (Binary) व्हेरिएबल (variable) चे प्रतिनिधित्व करते. जेव्हा उच्च व्होल्टेज लॉजिक -1 आणि लोअर व्होल्टेज लॉजिक -0 दर्शवते, तेव्हा लॉजिक सिस्टमला पॉझिटिव्ह लॉजिक म्हणतात. उदाहरणार्थ, डिजिटल सिस्टीम लॉजिक -1 ची व्याख्या करू शकते जर व्हेरिएबल (variable) व्होल्टेज पातळी त्याच्या नाममात्र मूल्याच्या + 5.0 V बरोबरीची असेल. त्याचप्रमाणे, व्हेरिएबल (variable) च्या व्होल्टेज पातळीचे नाममात्र मूल्य 0 V असेल तर लॉजिक -0 परिभाषित केले जाईल. दुसरीकडे, लॉजिक सिस्टमला निगेटिव्ह (negative) लॉजिक म्हटले जाते, जेव्हा उच्च व्होल्टेज म्हणजेच + 5 V लॉजिक -0 दर्शवते आणि कमी व्होल्टेज म्हणजेच 0 V लॉजिक -1 दर्शवते. सर्वसाधारणपणे, सर्व डिजिटल सर्किट अनुज्ञेय सहनशीलतेच्या (allowable tolerance) पातळीसह बायनरी सिग्नल स्वीकारतात. 0 V आणि 0.8 V मधील व्होल्टेज लॉजिक - 0 आणि 3 V ते 5V दरम्यान व्होल्टेज लॉजिक -1 दर्शवते.



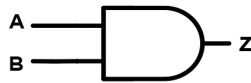
आकृती 3.1: लॉजिक सिग्नल

3.2.2 लॉजिक गेट्सचे प्रकार

कोणत्याही डिजिटल प्रणालीचा मूलभूत बिल्डिंग ब्लॉक म्हणजे लॉजिक गेट्स. नाव लॉजिक गेट्स हे सूचित करते की गेटचे आउटपुट डिव्हाइसच्या सध्याच्या इनपुटनुसार निर्णय घेण्याच्या क्षमतेवर आधारित आहे. AND, OR आणि NOT असे तीन प्रकारचे मूलभूत दरवाजे आहेत. लॉजिक गेट्सचे इनपुट आणि आउटपुट फक्त दोन स्तरांमध्ये येऊ शकतात. हे दोन स्तर लॉजिक -1 आहेत, ज्याला उच्च/सत्य (HIGH/TRUE) आणि लॉजिक -0 ला कमी/असत्य (LOW/FALSE) असे म्हणतात.



3.2.2.1 AND गेट



Logic Symbol

$$Z = A \cdot B$$

Boolean Expression

A	B	Z
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

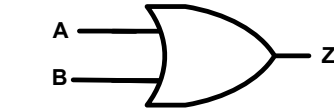
Truth table

आकृती 3.2: AND गेट

AND गेट एक लॉजिक सर्किट आहे ज्याचे आउटपुट लॉजिक –1 गृहीत धरते जेव्हा त्याचे प्रत्येक इनपुट लॉजिक –1 असते. जरी एक इनपुट लॉजिक –0 वर असला तरी आउटपुट लॉजिक –0 मानते. AND गेटमध्ये दोन किंवा अधिक इनपुट आहेत, परंतु फक्त एक आउटपुट आहे. AND गेटचे लॉजिक चिन्ह, बूलियन एक्सप्रेसशन आणि ट्रूथ टेबल (Truth Table) आकृती 3.2 मध्ये दर्शविली आहे.

3.2.2.2 OR गेट

OR गेट एक लॉजिक सर्किट आहे ज्यात गेट आउटपुट लॉजिक –0 गृहीत धरते जेव्हा त्याचे प्रत्येक इनपुट लॉजिक –0 वर असते. जरी एक इनपुट लॉजिक –1 वर असला तरी आउटपुट लॉजिक –1 ला गृहीत धरते. OR गेटमध्ये दोन किंवा अधिक इनपुट आहेत, परंतु फक्त एक आउटपुट आहे. OR गेटचे लॉजिक चिन्ह, बूलियन एक्सप्रेसशन आणि ट्रूथ टेबल (Truth Table) आकृती 3.3 मध्ये दर्शविली आहे.



Logic Symbol

$$Z = A + B$$

Boolean Expression

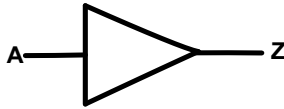
A	B	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Truth table

आकृती 3.3: OR गेट

3.2.2.3 NOT गेट

NOT गेट, ज्याला इन्व्हर्टर (INVERTER) गेट असेही म्हणतात, फक्त एकच इनपुट आणि एक आउटपुट आहे. NOT गेटचे आउटपुट नेहमीच त्याच्या इनपुटचे पूरक (complements) असेल. नॉट गेटचे लॉजिक चिन्ह, बूलियन एक्सप्रेसशन आणि ट्रूथ टेबल (Truth Table) आकृती 3.4 मध्ये दर्शविली आहे.



Logic Symbol

$$Z = A'$$

Boolean Expression

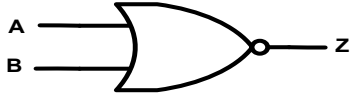
A	Z
0	1
1	0

Truth table

आकृती 3.4: NOT गेट

3.2.2.4 युनिव्हर्सल गेट्स (Universal Gates)

नॅंड (NAND) आणि एनओआर (NOR) गेट्स तीनही मूलभूत गेट्स अर्थात AND, OR आणि NOT च्या लॉजिक फंक्शनला स्पष्ट करू (realize) शकतात. म्हणून, या गेट्सला युनिव्हर्सल गेट्स म्हटले जाते. आकृती 3.5 लॉजिक चिन्ह, बूलियन एक्सप्रेसशन आणि ट्रूथ टेबल (Truth Table) खाली दर्शविते.



Logic Symbol

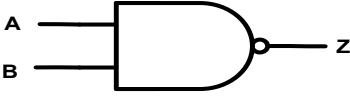
$$Z = (A + B)'$$

Boolean
Expression

NOR Gate

A	B	Z
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Truth table



Logic Symbol

$$Z = (A \cdot B)'$$

Boolean
Expression

NAND Gate

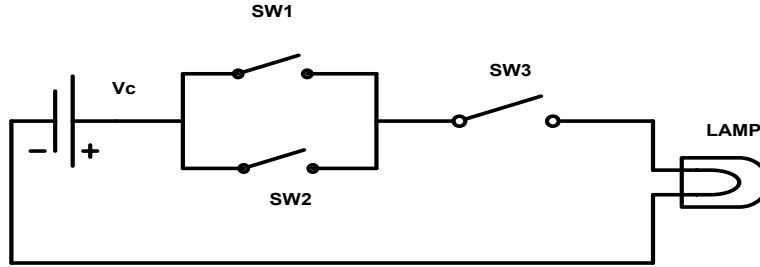
A	B	Z
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Truth table

आकृती 3.5: NOR and NAND gate

क्रियाकलाप

लॉजिक गेट्स (Logic Gates) वापरून खाली दाखवलेल्या सर्किटची अंमलबजावणी करा.



सोडविलेले उदाहरण

उदाहरण 3.2.1: कोणते लॉजिक गेट $Z = (A' + B')'$ या अभिव्यक्तीद्वारे दर्शविले जाते

उत्तर: डीमॉर्गनचे (De Morgan's) प्रमेय वापरून प्रथम अभिव्यक्ती वरील अभिव्यक्ती $(A' + B')' = A'' \cdot B'' = A \cdot B$

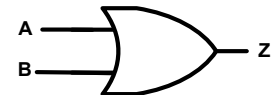
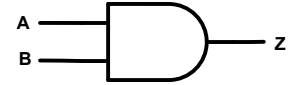
वरील बूलियन अभिव्यक्ती AND गेट वापरून लागू केली जाऊ शकते.

उदाहरण 3.2.2: OR गेट वापरून बूलियन अभिव्यक्ती $Z = A + A'B$ लागू करा.

उत्तर: डिस्ट्रीब्यूटिव (Distributive) नियम लागू करून, बूलियन एक्सप्रेसन Z म्हणून पुन्हा लिहीले जाऊ शकते

$$Z = (A + A') \cdot (A + B), \text{ किंवा नियम नुसार, } A + A' = 1$$

$$\text{म्हणून, } Z = 1 \cdot (A + B) = A + B$$



3.3 फ्लिप फ्लॉप आणि काउंटर

डिजिटल सर्किट्सचे व्यापकपणे संयोगी (combinational) सर्किट आणि क्रमिका (sequential) सर्किट म्हणून वर्गीकरण केले जाते. संयोगी सर्किटमध्ये कोणत्याही वेळी आउटपुट त्या वेळी उपस्थित इनपुटवर अवलंबून असते. संयोगी सर्किटची उदाहरणे म्हणजे अॅडर्स (adder), सबट्रॅक्टर (subtractor), एन्कोडर (encoder), डीकोडर (decoder), कॉम्पॅरेटर (comparator), मल्टीप्लेक्सर्स (multiplexer) इ. क्रमिका (sequential) सर्किटमध्ये आउटपुट केवळ वर्तमान इनपुटवरच नव्हे तर मेमरी एलिमेंटमध्ये साठवलेल्या भूतकाळातील स्थितीवर देखील अवलंबून असते. उदाहरणे म्हणजे फ्लिप फ्लॉप (Flip Flop), रजिस्टर (Register), काउंटर (counter) इ. क्रमिका (sequential) सर्किट दोन प्रकारची असतात, सिंक्रोनस आणि असिंक्रोनस. सिंक्रोनस क्रमिका (sequential) सर्किटमध्ये, सर्किट वर्तन त्याच्या सिग्नलच्या ज्ञानावरून विभक्त वेळेचा क्षण (discrete instant of time) परिभाषित केले जाऊ शकते. विभक्त वेळेचा क्षण क्लॉकच्या (clock) सिग्नलद्वारे परिभाषित केला जातो. असिंक्रोनस क्रमिका (sequential) सर्किटमध्ये, इनपुट सिग्नलच्या लॉजिक लेव्हलमध्ये कोणत्या क्रमाने बदल होतो यावर सर्किटचे वर्तन अवलंबून असते. सारणी 3.2 सिंक्रोनस आणि असिंक्रोनस क्रमिका (sequential) सर्किट दरम्यान तुलना दर्शवते.

सारणी 3.2: सिंक्रोनस आणि असिंक्रोनस क्रमिका (sequential) सर्किटची तुलना

अ. क्र.	असिंक्रोनस क्रमिका सर्किट (Asynchronous sequential circuit)	सिंक्रोनस क्रमिका सर्किट (Synchronous sequential circuit)
1.	मेमरी घटक अनक्लॉक केलेले फ्लिप-फ्लॉप आहेत.	मेमरी घटक क्लॉक फ्लिप-फ्लॉप आहेत.
2.	इनपुट सिग्नलमध्ये बदल कोणत्याही क्षणी मेमरी घटकांवर परिणाम करू शकतो.	इनपुट सिग्नलमध्ये बदल क्लॉक सिग्नल उपस्थित असतानाच मेमरी घटकांवर परिणाम करू शकतो.
3.	क्लॉक सिग्नलची अनुपस्थिती असिंक्रोनस सर्किटचे कार्य जलद करते.	ऑपरेटिंग स्पीड क्लॉक सिग्नलच्या वारंवारते (frequency) वर अवलंबून असते.

3.3.1 फ्लिप-फ्लॉपचे प्रकार

क्रमिका (sequential) सर्किटचा सर्वात महत्वाचा मेमरी घटक आणि मूलभूत बिल्डिंग ब्लॉक म्हणजे फ्लिप-फ्लॉप. फ्लिप-फ्लॉपला दोन स्थिर अवस्था असतात आणि ती त्या स्थितीत अनिश्चित काळासाठी राहू शकते. योग्य इनपुट सिग्नल लागू करूनच त्याची स्थिती बदलली जाऊ शकते. फ्लिप-फ्लॉपला एक-बिट मेमरी घटक देखील म्हणतात.

फ्लिप फ्लॉप दोन क्रॉस जोडलेले NAND किंवा NOR गेट्स वापरून बनवले जातात. फ्लिप-फ्लॉप बनवण्यासाठी अनेक वेगवेगळ्या व्यवस्था आहेत. प्रत्येक प्रकारच्या फ्लिप-फ्लॉपची विशिष्ट अनुप्रयोग म्हणून लागू करण्यासाठी भिन्न वैशिष्ट्ये आहेत.

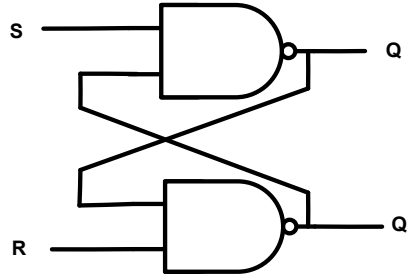
3.3.1.1 बेसिक फ्लिप-फ्लॉप (एस-आर लॅच)

फ्लिप-फ्लॉपच्या सर्वात सोप्या प्रकाराला एस-आर लॅच म्हणतात. यात S (SET) आणि R (RESET) असे दोन इनपुट आहेत आणि दोन आउटपुट Q आणि त्याचे पूरक (complements) Q' आहेत. लॅच ची स्थिती 1 किंवा 0 या Q च्या मूल्याशी संबंधित आहे. आकृती 3.6 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे S-R लॅचचे विश्लेषण NAND गेट्स वापरून पुढीलप्रमाणे सारांशित केले जाऊ शकते जेव्हा इनपुट S = 0 आणि इनपुट R = 1, तो फ्लिप-फ्लॉप अर्थात Q = 1 सेट करेल आणि S शून्यावर परत आल्यानंतरही सेट स्थितीत राहील.

जेव्हा इनपुट $R = 0$ आणि $S = 1$, तो फ्लिप-फ्लॉप रीसेट करेल म्हणजेच $Q = 0$ आणि R शून्यावर परत आल्यानंतरही रीसेट स्थितीत राहील.

जेव्हा इनपुट $S = 1$ आणि $R = 1$, फ्लिप-फ्लॉप स्थिती तशीच राहील म्हणजेच $Q = 1$ असेल तर ती $Q = 1$ (सेट स्थिती) आणि $Q = 0$ असेल तर ती $Q = 0$ म्हणून राहील (रीसेट स्थिती).

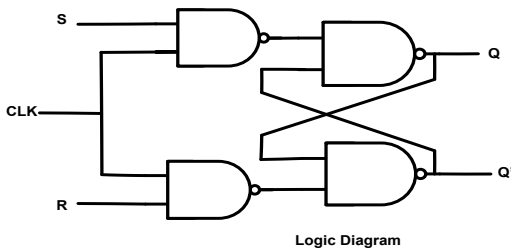
जेव्हा इनपुट $S = 0$ आणि $R = 0$, आउटपुट स्थिती Q आणि त्याचे पूरक (complements) अर्थात $Q = Q' = 1$ म्हणून अव्याख्यात (undefined) होते. ही इनपुट स्थिती अवैध आहे आणि वापरली जाऊ नये.



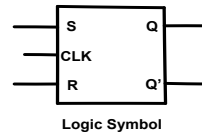
आकृती 3.6: NAND गेट्स वापरून S-R लॅच

3.3.1.2 क्लॉक S-R फ्लिप फ्लॉप

वर चर्चा केलेल्या मूलभूत S-R लॅचला असिंक्रोनस S-R फ्लिप-फ्लॉप असेही म्हटले जाते, कारण इनपुट सिग्नलची स्थिती बदलली की आउटपुट स्थिती कोणत्याही वेळी बदलते. क्लॉक फ्लिप-फ्लॉपला क्लॉक सिग्नलची आवश्यकता असते आणि क्लॉक सिग्नल उच्च (High) (लॉजिक-1) असेल तेव्हाच फ्लिप-फ्लॉपची स्थिती बदलेल. या प्रकारच्या फ्लिप फ्लॉपला लेव्हल ट्रिगर फ्लिप फ्लॉप म्हणतात. क्लॉक केलेल्या फ्लिप-फ्लॉपला सिंक्रोनस क्रमिका (sequential) सर्किट असेही म्हणतात. आकृती 3.7 नॅन्ड गेट्स वापरून क्लॉक केलेल्या S-R फ्लिप-फ्लॉपचे लॉजिक आकृती, लॉजिक चिन्ह आणि ट्रूथ टेबल (Truth Table) दर्शवते. दाखवलेल्या लॉजिक आकृतीतून असे दिसून येते की जेव्हा क्लॉक चा सिग्नल कमी (LOW) (लॉजिक -0) असतो तेव्हा दोन्ही इनपुट NAND गेट्सचे आउटपुट उच्च असते. या प्रकरणात, फ्लिप-फ्लॉप स्थिती अपरिवर्तित (unchanged) राहील. जेव्हा क्लॉकचा सिग्नल उच्च (लॉजिक-1) होतो, तेव्हा S आणि R इनपुट NAND गेट्समधून जाईल आणि फ्लिप-फ्लॉप Q चे अंतिम आउटपुट S आणि R इनपुट सिग्नलनुसार बदलेल.



Logic Diagram



Logic Symbol

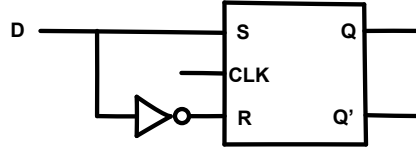
CLK	S	R	Q_i	Q_{i+1}	State
1	0	0	0	0	No Change
	0	0	1	1	
	0	1	0	1	RESET
	0	1	1	1	
	1	0	0	0	SET
	1	0	1	0	
	1	1	0	X	Undefined
	1	1	1	X	

Truth table

आकृती 3.7: क्लॉक S-R फ्लिप-फ्लॉप

3.3.1.3 डी (D) फ्लिप फ्लॉप

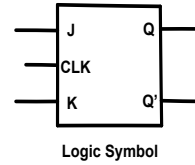
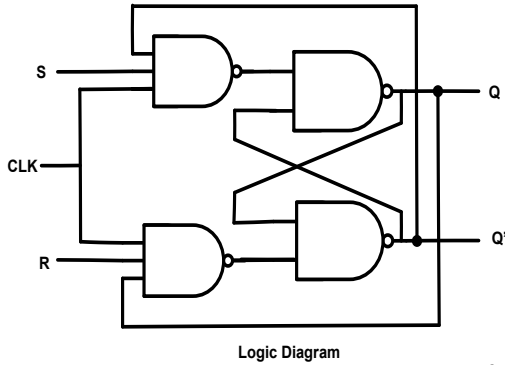
ट्रूथ टेबल (Truth Table) वरून असे दिसून येते की जेव्हा इनपुट S आणि R = 1, आउटपुट स्थिती अपरिभाषित असते. ही स्थिती टाळण्यासाठी आकृती 3.8 मध्ये सिंगल इनपुट क्लॉक फ्लिप-फ्लॉप दाखवले जेथे S इनपुटला पूरक (complements) करून R इनपुट प्राप्त होतो. या सिंगल इनपुट क्लॉक फ्लिप-फ्लॉपला D फ्लिप फ्लॉप किंवा विलंब (Delay) / डेटा (data) फ्लिप-फ्लॉप असे म्हणतात. फ्लिप-फ्लॉप सेट करण्यासाठी D = 1, S = 1 आणि R = 0, क्लॉक सिग्नल उच्च सह. त्याचप्रमाणे, जेव्हा D = 0, S = 0 आणि R = 1, फ्लिप-फ्लॉप रीसेट करण्यासाठी.



आकृती 3.8: D फ्लिप फ्लॉप

3.3.1.4 J-K फ्लिप-फ्लॉप

हे सर्वात लोकप्रिय आणि मोठ्या प्रमाणावर वापरले जाणारे फ्लिप-फ्लॉप. J-K फ्लिप-फ्लॉपचे कार्य आकृती 3.7 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे क्लॉक एस-आर फ्लिप फ्लॉपसारखे आहे. फरक एवढाच आहे की त्यात S-R फ्लिप-फ्लॉप सारखी कोणतीही अपरिभाषित अवस्था नाही. J-K फ्लिप-फ्लॉप लॉजिक आकृती, लॉजिक चिन्ह आणि ट्रूथ टेबल (Truth Table) आकृती 3.9 मध्ये दाखवले. जेव्हा J = K = 1, फ्लिप-फ्लॉप टॉगल करते तेव्हा ती त्याची वर्तमान स्थिती बदलते म्हणजेच जर Q = 1 ते 0 मध्ये बदलते आणि जर Q = 1 असेल तर अवस्था 0 मध्ये बदलते.



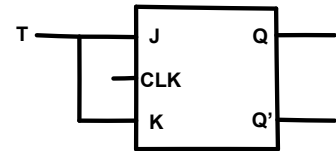
CLK	J	K	Q _t	Q _{t+1}	State
1	0	0	0	0	No Change
	0	0	1	1	
	0	1	0	1	RESET
	0	1	1	1	
	1	0	0	0	SET
	1	0	1	0	
	1	1	0	1	Toggle
	1	1	1	0	

Truth table

आकृती 3.9: J-K फ्लिप-फ्लॉप

3.3.1.5 T फ्लिप-फ्लॉप

जेव्हा J-K चे दोन्ही इनपुट एकत्र जोडले जातात जसे आकृती 3.10 मध्ये दाखवले जातात आणि समान टर्मिनलला T असे लेबल लावले जाते, तेव्हा फ्लिप-फ्लॉपला T फ्लिप-फ्लॉप म्हणतात. जेव्हा T = 0, दोन्ही J = K = 0 आणि फ्लिप फ्लॉप स्थिती अपरिवर्तित राहतात. जेव्हा T = 1, दोन्ही J = K = 1 आणि फ्लिप-फ्लॉप त्याच्या स्थितीला टॉगल करतात. टी फ्लिप फ्लॉपला टॉगल फ्लिप-फ्लॉप म्हणूनही ओळखले जाते.

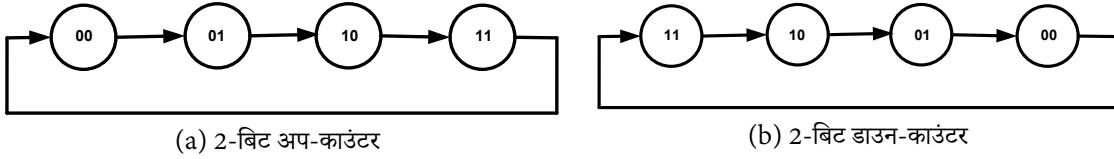


Logic Symbol

आकृती 3.10: T-फ्लिप-फ्लॉप

3.3.2 काउंटर

काउंटर एक क्रमिका (sequential) सर्किट आहे ज्याचा वापर क्लॉक ची पल्स (pulse) मोजण्यासाठी केला जातो. डिजिटल काउंटरमध्ये फ्लिप-फ्लॉपचा संच असतो ज्याची स्थिती काउंटरच्या इनपुटवर लागू केलेल्या क्लॉकच्या पल्सच्या प्रतिसादात बदलते. काउंटरच्या प्रत्येक गणनाला स्थिती (states) म्हणतात. काउंटरसाठी वापरल्या जाणाऱ्या फ्लिप-फ्लॉपच्या संख्येवर स्थिती ची संख्या अवलंबून असते आणि स्थिती चा क्रम फ्लिप-फ्लॉपमधील परस्पर संबंधावर अवलंबून असतो. उदाहरणार्थ, 2-बिट काउंटरला दोन फ्लिप-फ्लॉपची आवश्यकता असते आणि स्थिती ची संख्या 4 असते. अप-काउंटर आणि डाउन-काउंटरसाठी स्थिती चा क्रम अनुक्रमे 3.10 (a) आणि (b) आकृती मध्ये दर्शविला आहे. 2-बिट काउंटरला मॉड्यूलस किंवा मॉड-4 काउंटर देखील म्हणतात कारण काउंटर मूळ स्थितीत पोहोचण्यापूर्वी ज्या स्थिती ची संख्या पास होते त्यांना काउंटरचे मॉड्यूलस देखील म्हणतात. N बिट काउंटरचे मॉड्यूलस 2^N आहे.



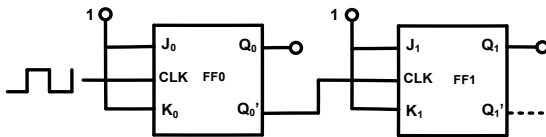
आकृती 3.11: स्टेट आकृती

काउंटर हे असिंक्रोनस काउंटर आणि सिंक्रोनस काउंटरमध्ये विभागलेले आहेत.

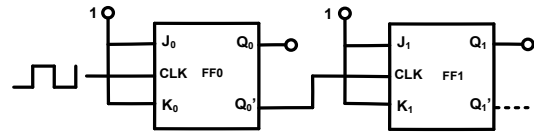
1. असिंक्रोनस काउंटरला रिपल (ripple) काउंटर देखील म्हणतात, फ्लिप-फ्लॉप अशा प्रकारे जोडलेले असतात की पहिल्या FF चे आउटपुट दुसऱ्या FF साठी क्लॉकची पल्स (clock pulse) बनते वगैरे. या काउंटरची मुख्य कमतरता म्हणजे त्यांची कमी गती.
2. सिंक्रोनस काउंटरमध्ये सर्व फ्लिप-फ्लॉप एकाच क्लॉकच्या पल्सने एकाच वेळी घडतात. सिंक्रोनस काउंटर ज्याला समांतर काउंटर म्हणूनही ओळखले जाते ते असिंक्रोनस काउंटरपेक्षा वेगवान असतात.

3.3.2.1 असिंक्रोनस काउंटर

2-बिट अप काउंटर आकृती 3.11 मध्ये दर्शविले आहे. दाखवल्याप्रमाणे दोन J-K फ्लिप फ्लॉप आहेत त्यांच्या इनपुट $J = K = 1$ आहे. आकृती 3.8 च्या ट्रूथ टेबल (Truth Table) वरून असे दिसून येते की जेव्हा त्यांच्या क्लॉक ची पल्स उच्च असते तेव्हा फ्लिप फ्लॉप त्यांच्या वर्तमान स्थितींना टॉगल करतात अर्थात लॉजिक -1 वर. स्थिती आकृती, आकृती 3.11 (a) मध्ये दाखवल्याप्रमाणे काउंटर 00 (स्थिती 0) ते 11 (स्थिती 3) पर्यंत मोजणे सुरू करते. आउटपुट Q_1 MSB आणि Q_0 LSB दर्शवते. आकृती 3.12 2-बिट डाउन काउंटर दर्शवते.

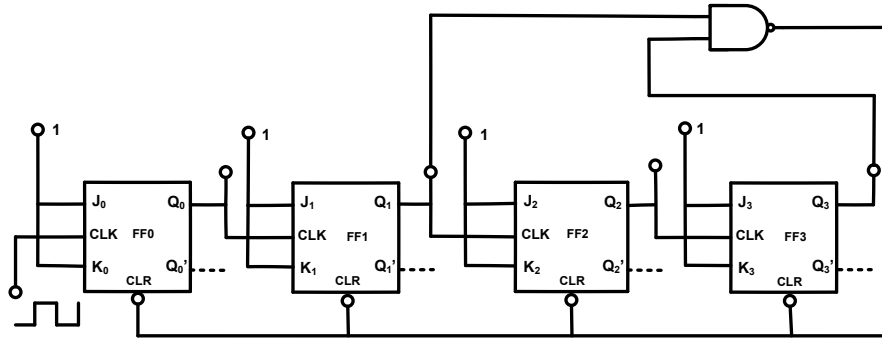


आकृती 3.12: 2-बिट अप असिंक्रोनस काउंटर



आकृती 3.13: 2-बिट असिंक्रोनस डाउन काउंटर

मॉड-10 काउंटरला दशक (Decade) काउंटर देखील म्हणतात. आवश्यक फ्लिप फ्लॉपची संख्या 4 आहे. 4 फ्लिप-फ्लॉपसह सोळा स्थिती आहेत, गणना मूल्य क्रम $(0000)_2$ पासून $(1111)_2$ पर्यंत. एका दशक (Decade) काउंटरमध्ये फक्त 10 वैध (valid) स्थिती आहेत म्हणजेच गणना मूल्य $(0000)_2$ ते $(1001)_2$ पर्यंत. उर्वरित स्थिती अवैध (invalid) आहेत म्हणजेच $(1010)_2$ ते $(1111)_2$ पर्यंत. यासाठी एक फीडबॅक लॉजिक सर्किट प्रदान करावे लागेल जे मोजणी मूल्य $(1010)_2$ पर्यंत पोहोचताच सर्व फ्लिप-फ्लॉप अव्यग्र (clear) किंवा रीसेट करेल. आकृती 3.14 फीडबॅक सर्किटसह एक दशक (Decade) काउंटर दर्शविते, जेथे आउटपुट Q_3 MSB आहे आणि Q_0 LSB आहे.



आकृती 3.14: 4 बिट दशक (Decade) काउंटर

1. डी (D) आणि टी (T) फ्लिप-फ्लॉपचे अनुप्रयोग शोधा.
2. आपल्या दैनंदिन जीवनात काउंटरच्या वापरावर एक सादरीकरण तयार करा.

उदाहरण 3.3.1: MOD-16 काउंटर बनवण्यासाठी किती फ्लिप-फ्लॉप आवश्यक आहेत?

उदाहरण 3.3.2: NOR गेट्स वापरून J-K फ्लिप-फ्लॉपचे लॉजिक आकृती काढा.

Logic Diagram

3.4 डिजिटल इंटिग्रेटेड सर्किट्स

3.4.1 इंटिग्रेटेड सर्किटची ओळख

इंटिग्रेटेड सर्किट्स (आयसी) लहान सिलिकॉन सेमीकंडक्टर क्रिस्टल असतात ज्यात रेझिस्टर, डायोड, कॅपेसिटर, ट्रान्झिस्टर, एफईटी सारखे घटक असतात. इलेक्ट्रॉनिक सर्किट तयार करण्यासाठी घटक एकमेकांशी जोडलेले आहेत. चिप (chip) नावाचे सेमीकंडक्टर क्रिस्टल धातू, प्लास्टिक किंवा सिरेमिक पॅकेजवर बसवले जाते आणि इलेक्ट्रॉनिक सर्किटचे टर्मिनल पॉइंट आयसी तयार करण्यासाठी बाह्य पिनला उपलब्ध केले जातात. आयसीचा मुख्य फायदा म्हणजे त्याचा लहान आकार, कमी विजेचा वापर, उच्च विश्वसनीयता, ऑपरेशनची उच्च गती आणि सर्वात महत्वाची कमी किंमत. इंटिग्रेटेड सर्किट दोन प्रकारच्या पॅकेजमध्ये येतात, फ्लॅट पिन आणि ड्युअल इन लाइन (डीआयपी) पॅकेज.



इंटिग्रेटेड सर्किटचे रेषीय (Linear) आणि डिजिटल असे वर्गीकरण केले जाते. रेषीय आयसी सतत (continuous) संकेतांसह कार्य करतात आणि मोठ्या प्रमाणावर ॲम्प्लीफायर, फिल्टर, कॉम्पॅटर आणि कन्व्हर्टर इत्यादी म्हणून वापरले जातात, डिजिटल आयसी बायनरी (Binary) सिग्नलसह कार्य करतात आणि एकमेकांशी जोडलेले डिजिटल गेट्स बनलेले असतात. डिजिटल आयसीचे वर्गीकरण केवळ त्यांच्या लॉजिक ऑपरेशनद्वारेच नाही, तर लॉजिक सर्किट कुटुंबा (family) द्वारे केले जाते. आयसीमध्ये फ्लिप-फ्लॉप, लॉजिक गेट्स (Logic Gates), काउंटर, मेमरी चिप्स, मायक्रोकंट्रोलर इत्यादींचा समावेश असतो. डिजिटल IC चे वेगवेगळे लॉजिक

सर्किट कुटुंब (family)

- ट्रान्झिस्टर-ट्रान्झिस्टर लॉजिक (TTL)
- डायोड ट्रान्झिस्टर लॉजिक (DTL)
- रेझिस्टर ट्रान्झिस्टर लॉजिक (RTL)
- एमिटर कपलड लॉजिक (ECL)
- मेटल ऑक्सাইड सेमीकंडक्टर (MOS)
- कॉम्प्लिमेंटरी मेटल ऑक्सাইड सेमीकंडक्टर (CMOS)
- इंटिग्रेटेड इंजेक्शन लॉजिक (I²L)

3.4.2 डिजिटल आयसी तपशील (Specification) परिभाषा (Terminology)

डिजिटल आयसीच्या सर्वात उपयुक्त तपशील संज्ञा (terms) खालीलप्रमाणे आहेत:

थ्रेशोल्ड (Threshold) व्होल्टेज: लॉजिक गेटच्या इनपुटवरील व्होल्टेज पातळी जे आउटपुट व्होल्टेज पातळीमध्ये बदल घडवून आणते म्हणजेच एका लॉजिक लेव्हलपासून दुसऱ्या लॉजिक स्तरावर.

वीज अपव्यय (Dissipation): गेटद्वारे एका विशिष्ट फ्रिक्वेन्सीवर काम करण्यासाठी आवश्यक असलेली वीज आणि mW (milliwatts) मध्ये दिली जाते.

प्रपोगेशन डिले (Propagation Delay): इनपुट सिग्नल द्वारे गेट इनपुट पासून आउटपुट पर्यंत प्रपोगेशन करण्यासाठी लागणारा वेळ.

फॅन-इन (Fan In): हे गेट हाताळण्यासाठी डिझाइन केलेले इनपुटची संख्या म्हणून परिभाषित केले आहे.

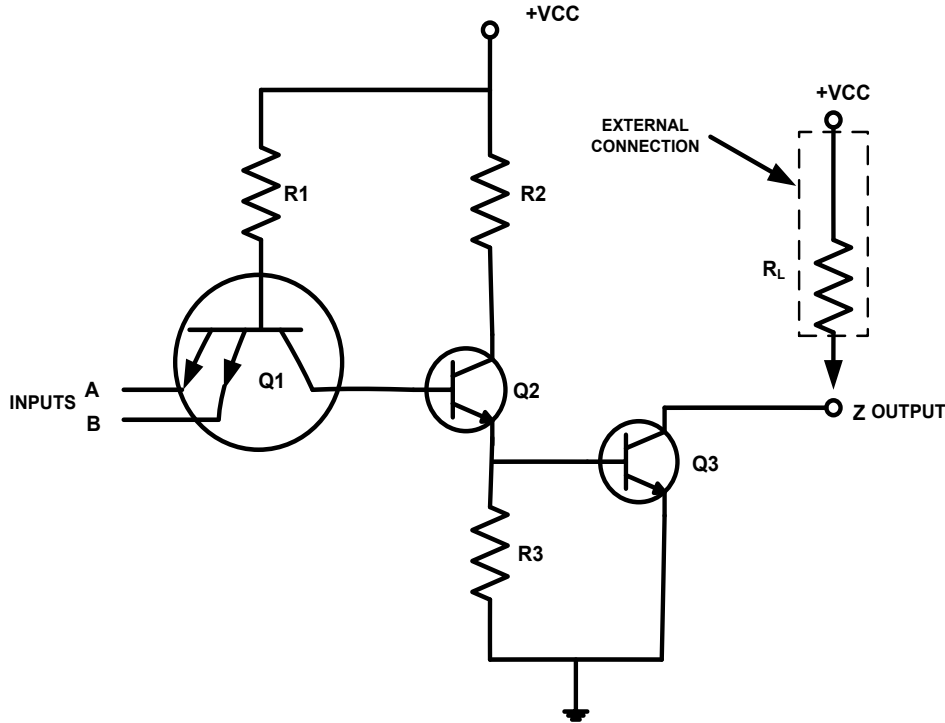
फॅन-आउट (Fan Out): हे लोडची जास्तीत जास्त संख्या (इतर गेट्सचे इनपुट) म्हणून परिभाषित केले जाते जे गेटचे आउटपुट ओव्हरलोड केल्याशिवाय हाताळू शकते.

नॉईज मार्जिन (Noise margin): लॉजिक सर्किटची त्याच्या इनपुट टर्मिनल्सवर नॉईज व्होल्टेज सहन करण्याची क्षमता आणि अशा प्रकारे सर्किटची खराबी (malfunction) टाळणे याला नॉईज प्रतिकारशक्ती (immunity) म्हणतात. व्होल्टेज पातळीच्या दृष्टीने आवाजाच्या प्रतिकारशक्तीचे मोजमाप याला नॉईज मार्जिन म्हणतात.

ऑपरेटिंग तापमान (Operating Temperature): आयसीमध्ये इलेक्ट्रॉनिक घटक असतात आणि तापमान संवेदनशील (sensitive) असतात. तापमान श्रेणी (range) म्हणजे ज्या दरम्यान IC समाधानकारकपणे कार्य करते. व्यावसायिक डिजिटल IC साठी, ते 0 ते 70°C दरम्यान असते.

3.4.3 ट्रान्झिस्टर ट्रान्झिस्टर लॉजिक (टीटीएल)

लॉजिक परिवारात सर्वात लोकप्रिय. टीटीएल कुटुंबातील मूलभूत लॉजिक ऑपरेशन ट्रान्झिस्टरद्वारे केले जाते. टीटीएल एकतर कट ऑफ (cut off) क्षेत्रात (region) किंवा सॅच्युरेशन (saturation) क्षेत्रात ट्रान्झिस्टर वापरतात. टीटीएल लॉजिक परिवाराचे फायदे म्हणजे त्याची कमी किंमत आणि चांगली गती. मुख्य तोटे म्हणजे उच्च शक्तीचा अपव्यय (High power Dissipation) आणि कमी नॉईज मार्जिन. मूलभूत TTL लॉजिक सर्किट म्हणजे NAND गेट. आकृती 3.15 दोन इनपुट NAND गेटचे सर्किट आकृती दर्शवते.



आकृती 3.15: दोन इनपुट टीटीएल लॉजिक NAND गेट

3.4.4 टीटीएल उपपरिवार

टीटीएल सबफॅमिलीजचे वर्गीकरण 1. प्रमाण (Standard) टीटीएल, 74 मालिका (series), 2. लो पॉवर टीटीएल, 74L मालिका, 3. हाय स्पीड टीटीएल, 74H मालिका, 4. स्कॉटकी (Schottky) टीटीएल, 74S मालिका, 5. कमी पॉवर स्कॉटकी टीटीएल, 74LS मालिका, 6. जलद TTL, 74F मालिका. सारणी 3.3 आयसी परफॉर्मन्स स्पेसिफिकेशनच्या दृष्टीने उपपरिवारांची तुलना दर्शवते. सारणी 3.4 मूलभूत डिजिटल सर्किट्सच्या पूर्तते (realization) साठी टीटीएल उपपरिवारांखालील सर्वात सामान्यतः वापरल्या जाणाऱ्या काही आयसी दर्शविते.



सारणी 3.3: TTL उपपरिवारांची तुलना

Sl. No	Performance Specification	74	74L	74H	74S	74LS	74F
1.	प्रपोगेशन डिले (Propagation Delay) (ns)	9	33	6	3	9.5	4
2.	वीज अपव्यय (Power Dissipation) (milliWatt)	10	1	23	20	2	1.2
3.	कमाल क्लॉक वारंवारता (Maximum clock frequency) (MHz)	35	3	50	125	45	70
4.	फॅन-आउट	10	20	10	20	20	20
5.	नॉईज मार्जिन (V)	0.4	0.4	0.4	0.7	0.5	0.5

सारणी 3.4: लोकप्रिय डिजिटल टीटीएल आयसी

Sl. No	आयसी वर्णन	Sl. No	आयसी वर्णन
1.	7402 क्वाड 2-इनपुट NOR गेट	6.	74LS83, 4- बिट फुल अॅडर (adder)
2.	74F00 क्वाड 2-इनपुट NAND गेट	7.	74LS138, 3-8 बिट बायनरी (Binary) डीकोडर
3.	74LS08 क्वाड 2-इनपुट AND गेट	8.	74F74, D प्रकार फ्लिप-फ्लॉप
4.	74LS32 क्वाड 2-इनपुट OR गेट	9.	7473, ड्युअल J-K फ्लिप-फ्लॉप
5.	7404 हेक्स इन्व्हर्टर	10.	7490, डिकेड काउंटर

3.4.5 डिजिटल आयसीचे अनुप्रयोग

डिजिटल आयसीचा वापर बहुतेक संगणकांमध्ये केला जातो. इनपुट आणि आउटपुट सिग्नल बायनरी (Binary) सिस्टीम प्रमाणे दोन स्तरांवर निश्चित केल्याचे कारण आहे. त्यांचा समावेश आहे.

- फ्लिप फ्लॉप
- टाइमर

- काउंटर
- मल्टीप्लेक्सर्स
- क्लॉक चिप्स
- मेमरी चिप्स
- प्रोग्राम लॉजिक डिव्हाइसेस
- मायक्रोप्रोसेसर
- मायक्रोकंट्रोलर

उपक्रम

1. लॉजिक गेट ICs ची डेटाशीट वापरा आणि स्पेसिफिकेशन टर्मिनॉलॉजी नोट करा.
2. खालील IC चे अनुप्रयोग (application) ओळखा: 555, 741, 7445, 7404, 7473, 7490

सोडविलेले उदाहरण

उदाहरण 3.4.1: SSI ते VLSI पर्यंत IC च्या उत्क्रांतीचे थोडक्यात वर्णन करा.

उत्तर: डिजिटल आयसीचे वर्गीकरण सिलिकॉन सबस्ट्रेटवरील लॉजिक गेट्स (Logic Gates)च्या संख्येनुसार केले जाते. जटिलतेच्या (complexity) पातळीनुसार त्यांचे वर्गीकरण केले जाते.

सॉल स्केल इंटीग्रेशन (SSI): 12 पेक्षा कमी गेट सर्किट असलेले IC. उदाहरणे फ्लिप-फ्लॉप आहेत.

मध्यम स्केल इंटीग्रेशन (MSI): 12 ते 100 दरम्यान लॉजिक गेट सर्किटसह आयसी. उदाहरणे म्हणजे काउंटर, रजिस्टर इ.

लार्ज स्केल इंटीग्रेशन (LSI): एकाच क्रिस्टलवर 100 ते 9999 दरम्यान गेट सर्किट असलेले IC. उदाहरण रॅम (RAM), रॉम (ROM) इत्यादी मेमरीचे आहे.

व्हेरी लार्ज स्केल इंटीग्रेशन (VLSI): एका क्रिस्टलवर 10,000 ते 99,999 दरम्यान गेट सर्किट असलेले IC. उदाहरण मायक्रोप्रोसेसर आहे.

युनिट सारांश

- डिजिटल सिस्टीम अधिक विश्वासार्ह (reliable), कमी आवाजामुळे प्रभावित, डिझाइन करणे सोपे आणि आयसी चिप्सवर बनवलेले आहे.
- डिजिटल सिस्टीम बायनरी (Binary) संख्या सिस्टीम वापरते.
- बुलियन बैजिकी (Boolean Algebra) ही एक बीजगणित सिस्टीम आहे जी घटकांचा संच, ऑपरेटरचा संच आणि अनेक गृहीत तत्त्वेसह (postulates) लॉजिकच्या पद्धतशीर उपचारांसाठी विकसित केली गेली आहे.
- कोणत्याही डिजिटल सिस्टीम चा मूलभूत बिल्डिंग ब्लॉक म्हणजे लॉजिक गेट्स (Logic Gates).
- तीन प्रकारचे मूलभूत लॉजिक गेट AND, OR आणि NOT आहेत.

- लॉजिक गेट्स (Logic Gates) चे इनपुट आणि आउटपुट दोन स्तरांमध्ये आढळतात, लॉजिक-1, ज्याला HIGH/TRUE आणि लॉजिक-0 ला LOW/FALSE असे म्हणतात.
- NAND आणि NOR गेट्स युनिव्हर्सल गेट्स म्हणून ओळखले जातात कारण ते तीनही मूलभूत गेट्स अर्थात AND, OR आणि NOT चे लॉजिक फंक्शन ओळखू शकतात.
- डिजिटल सर्किट्सचे व्यापकपणे एकत्रित (combinational) सर्किट आणि क्रमिका (sequential) (sequential) सर्किट म्हणून वर्गीकरण केले जाते.
- कॉम्बिनेशनल सर्किट्स मध्ये, वेळेच्या कोणत्याही क्षणी आउटपुट वेळेच्या त्या क्षणी उपस्थित असलेल्या इनपुटवर अवलंबून असते.
- क्रमिका (sequential) सर्किट दोन प्रकारचे असतात, सिंक्रोनस आणि एसिंक्रोनस.
- क्रमिका (sequential) सर्किटचा मूलभूत बिल्डिंग ब्लॉक म्हणजे फ्लिप-फ्लॉप, ज्याला एक-बिट मेमरी घटक देखील म्हणतात.
- फ्लिप-फ्लॉपला दोन स्थिर स्थिती (state) आहेत आणि ती त्या स्थितीत अनिश्चित काळासाठी राहू शकते. योग्य इनपुट सिग्नल लागू करूनच त्याची स्थिती बदलली जाऊ शकते.
- फ्लिप-फ्लॉपच्या सर्वात सोप्या प्रकाराला S-R लॅच म्हणतात, ज्यामध्ये S (SET) आणि R (RESET) असे दोन इनपुट असतात आणि दोन आउटपुट Q आणि त्याचे पूरक (complement) Q' असतात.
- डिजिटल काउंटर एक क्रमिका (sequential) सर्किट आहे, ज्यात फ्लिप-फ्लॉप असतात ज्यांची स्थिती काउंटरच्या इनपुटवर लागू केलेल्या क्लॉकच्या पल्सच्या (clock pulse) प्रतिसादात बदलते.
- क्लॉकची पल्स मोजण्यासाठी वापरले जाणारे काउंटर, असिंक्रोनस (Asynchronous) काउंटर आणि सिंक्रोनस (Synchronous) काउंटरमध्ये विभागलेले आहेत.
- असिंक्रोनस काउंटरमध्ये ज्याला रिपल (Ripple) काउंटर देखील म्हणतात, फ्लिप-फ्लॉप अशा प्रकारे जोडलेले असतात की पहिल्या FF चे आउटपुट दुसऱ्या FF साठी क्लॉकची पल्स बनते वगैरे.
- सिंक्रोनस काउंटरमध्ये, ज्याला समांतर काउंटर देखील म्हणतात, सर्व फ्लिप-फ्लॉप एकाच क्लॉकच्या स्पंदाने एकाच वेळी घडतात.
- डिजिटल आयसी बायनरी (Binary) सिग्नलसह कार्य करतात आणि एकमेकांशी जोडलेले डिजिटल गेट्स बनलेले असतात.
- ट्रान्झिस्टर ट्रान्झिस्टर लॉजिक (TTL) ज्यामध्ये ट्रान्झिस्टरद्वारे मूलभूत लॉजिक ऑपरेशन केले जाते हे लॉजिक परिवारात सर्वात लोकप्रिय आहे.

अभ्यास

A. वस्तुनिष्ठ प्रश्न (Objective Questions)

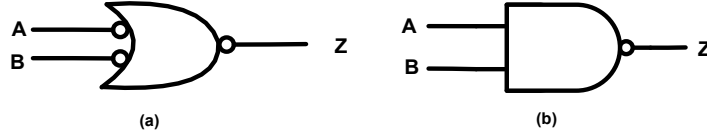
सूचना: कृपया सर्वात योग्य उत्तर निवडा.

अ. क्र.	बहु-निवडक वस्तू	अ. क्र.	बहु-निवडक वस्तू
3.1	खालीलपैकी सर्वात लांब आहे (a) बाइट (b) निबल (c) वर्ड (d) बिट	3.4	एसआर फ्लिप-फ्लॉप खालील इनपुट स्वीकारू शकत नाही: (a) एस = आर = 0 (b) एस = 1, आर = 0 (c) एस = आर = 1 (d) एस = 0, आर = 1
3.2	जर इनपुट सिग्नल कॅपेसिटरद्वारे इनपुट इनव्हर्ट करण्यासाठी दिले जाते आणि फीडबॅक पाथमध्ये रेझिस्टर असते, तर त्या ऑप एम्प सर्किटला म्हणतात (a) अँडर सर्किट (b) इंटिग्रेटर सर्किट (c) डिफरंटसेटर सर्किट (d) नॉन-इनव्हर्टिंग एम्पलीफायर	3.5	_____ ची संख्या मोजण्यासाठी काउंटर वापरला जातो (a) फ्लिप फ्लॉप (b) रजिस्टर (Register) (c) बिट्स (d) पल्स (pulse)
3.3	ज्या गेटसाठी Z” असत्य (FALSE) आहे तेच ओळखा जर A” सत्य (TRUE) असेल आणि B” सत्य (TRUE) असेल. (a) NAND (b) NOR (c) AND (d) OR	3.6	चार इनपुट सरासरी सर्किटसाठी, (a) $R_{in} = R_f/4$ (b) $R_{in} = R_f + 4$ (c) $R_{in} = R_f$ (d) $R_{in} = R_f \times 4$

B. विषयनिष्ठ प्रश्न (Subjective Questions)

- डिजिटल सिस्टीम मध्ये बायनरी (Binary) संख्या सिस्टीम का वापरली जाते ते सांगा.
- डेसिमल (decimal) संख्येला एका संख्येत रूपांतरित करण्यासाठी स्वीकारलेल्या प्रक्रियांची यादी करा ज्याची संख्या सिस्टीम बेस b सह आहे.
- खाली दिलेल्या बायनरी (Binary) संख्यांवर अंकगणित (arithmetic) ऑपरेशन करा:
(a) $10111.101 + 110111.01$ (b) $10001.01 - 1111.11$

4. ट्रूथ टेबल (Truth Table) पद्धतीद्वारे पडताळणी करा बुलियन (Boolean) अभिव्यक्ती (expression): $A + A'B + AB = A + B$.
5. खालील बुलियन नियमांची वैधता ट्रूथ टेबल (Truth Table) द्वारे दाखवा:
 - (a) असोसिएटिव नियम
 - (b) डिस्ट्रीब्यूटिव नियम
6. डिजिटल सर्किटमध्ये पॉझिटिव्ह (positive) लॉजिक आणि निगेटिव्ह (negative) लॉजिक स्पष्ट करा.
7. ट्रूथ टेबल (Truth Table) द्वारे पडताळणी करा की आकृती (a) आणि (b) मध्ये दर्शविलेल्या गेट्सचे आउटपुट समान आहेत.



8. D आणि T प्रकारच्या फ्लिप-फ्लॉपसाठी लॉजिक आकृती आणि ट्रूथ टेबल (Truth Table) काढा.
9. T फ्लिप फ्लॉप वापरून 3-बिट रिपल काउंटरसाठी सर्किट आकृती काढा.
10. रेखीय (linear) IC आणि डिजिटल IC मधील फरक सांगा.

अधिक जाणून घ्या

सूक्ष्म प्रकल्प

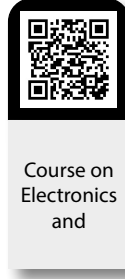
प्राध्यापकांच्या मार्गदर्शनाखाली 5-6 विद्यार्थ्यांच्या गटात एक किंवा दोन सूक्ष्म प्रकल्प /क्रियाकलाप हाती घ्या आणि वैयक्तिक सहभागासह गट म्हणून सादर करा. एक नमुना सूक्ष्म-प्रकल्प प्रश्न खाली दिली आहे:

- अ. कूलिंग युनिट तीन व्हेरिएबल्सद्वारे नियंत्रित केले जाते: तापमान (T), आर्द्रता (Humidity) (H) आणि दिवसाची वेळ (T). कूलिंग युनिट खालील अटीनुसार चालू आहे:
 - i. तापमान 78 अंश F पेक्षा जास्त आहे आणि दिवसाची वेळ सकाळी 8.00 ते संध्याकाळी 5.00 च्या दरम्यान आहे.
 - ii. आर्द्रता 85% पेक्षा जास्त आहे, तापमान 78 अंश F पेक्षा जास्त आहे आणि दिवसाची वेळ सकाळी 8.00 ते संध्याकाळी 5.00 च्या दरम्यान आहे.
 - iii. आर्द्रता 85% पेक्षा जास्त आहे आणि दिवसाची वेळ सकाळी 8.00 ते संध्याकाळी 5.00 दरम्यान आहे.
 - ब. कूलिंग युनिट चालू करण्यासाठी डिजिटल आयसी वापरून लॉजिक गेट्स (Logic Gates) वापरून सर्किट विकसित करा.
- टीप: कूलिंग युनिट एक तापदीप्त दिवा (incandescent lamp) स्विचिंग म्हणून मानले जाईल.

व्हिडिओ संसाधने



ICT चा वापर



संदर्भ आणि सुचवलेले वाचन

1. Anand A. Kumar, Fundamentals of Digital Electronics, PHI Publisher, 2016.
2. R. P. Jain, Modern Digital Electronics, New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, 2012.
3. S. Salivahnan and S. Pravin Kumar, Digital Electronics, Noida: Vikas Publishing House Pvt. Ltd., 2011.
4. A.P. Malvino, D.P. Leach and G. Saha, Digital Principles and Applications, Mcgraw Hill Educations, 2017.

4

इलेक्ट्रिक आणि मॅग्नेटिक सर्किट्स

युनिट वैशिष्ट्ये

हे युनिट खालील विषयांवर सविस्तर चर्चा करते:

- करंट, व्होल्टेज, पॉवर आणि एनर्जीची व्याख्या
- इलेक्ट्रिक सर्किटचे मापदंड आणि कायदे
- चुंबकीय सर्किटचे मापदंड
- इलेक्ट्रिक आणि मॅग्नेटिक सर्किट्स मधील तुलना

प्रत्येक विषयाच्या शेवटी विद्यार्थी स्वयं-शिक्षण उपक्रम समस्या सोडवण्याची उदाहरणे आणि आयसीटी संदर्भ पुढील उत्सुकता आणि सर्जनशीलता निर्माण करण्यासाठी तसेच समस्या सोडवण्याची क्षमता सुधारण्यासाठी तयार केले जातात. ब्लूमच्या वर्गीकरणाच्या वाढीव पातळीनंतर अनेक निवडक प्रश्न तसेच व्यक्तिपरक प्रश्न, संदर्भांखाली सूचीबद्ध पुस्तकांमध्ये प्रदान केलेल्या अनेक समस्यांद्वारे असाइनमेंट आणि सुचवलेले वाचन युनिटमध्ये दिले आहेत जेणेकरून एखादा सराव करण्यासाठी त्यांच्यामधून जाऊ शकेल.

संबंधित व्यावहारिक सूक्ष्म प्रकल्प आणि क्रियाकलाप असलेल्या "अधिक जाणून घ्या" विभागात पाठपुरावा केला जातो, आयसीटी दुव्यांसह व्हिडिओ संसाधनांसाठी क्यूआर कोड दिले जातात. संदर्भ आणि सुचवलेल्या वाचनांची यादी युनिटमध्ये दिलेली आहे जेणेकरून पुढील सराव आणि शिकण्याच्या वर्धनासाठी कोणी त्यांच्या माध्यमातून जाऊ शकेल.

तर्कसंग

इलेक्ट्रिसिटी (electricity) आणि मॅग्नेटिझम (magnetism) एकमेकाशी जोडलेले आहेत. वैज्ञानिक प्रयोगांनी हे सिद्ध केले आहे की इलेक्ट्रिक फिल्डद्वारे (विद्युत क्षेत्राद्वारे) मॅग्नेटिक प्रभाव तयार होतो आणि त्याउलट मॅग्नेटिक फिल्ड इलेक्ट्रिक फिल्ड तयार करू शकते. मॅग्नेटिक फिल्ड इलेक्ट्रिक आणि मेकॅनिकल ऊर्जा दरम्यान आवश्यक कनेक्शन बनवते. सर्व इलेक्ट्रोमेकॅनिकल उपकरणे इलेक्ट्रीकल आणि मेकॅनिकल उपकरणांमधील दोन्ही दिशेने उर्जा बदलण्यासाठी मॅग्नेटिक फिल्डवर (चुंबकीय क्षेत्रावर) अवलंबून असतात. या धड्यात (अध्यायात/प्रकरणात) मॅग्नेटिक फिल्ड, मॅग्नेटायजेशन वैशिष्ट्य, ईएमएफ (emf) इंडक्शन आणि साधे मॅग्नेटिक आणि इलेक्ट्रिक (विद्युत) सर्किट दरम्यान परस्पर संबंध नियंत्रित करण्याच्या कायद्याचा (law) समावेश आहे.

पूर्व-आवश्यकता

1. विज्ञान: विद्युत, विद्युत प्रवाहाचे चुंबकीय परिणाम (दहावी)
2. गणित: दोन व्हेरिएबल्समध्ये रेखीय (Linear) समीकरणाची जोडी, द्विघात (Quadratic) समीकरणे (दहावी)

युनिट परिणाम

हे युनिट पूर्ण झाल्यावर, विद्यार्थी सक्षम असेल:

U4-O1: इलेक्ट्रिकल सर्किटचे मूलभूत पैरामीटर्स समजावून सांगा.

U4-O2: मॅग्नेटिक सर्किटच्या मूलभूत पैरामीटर्सचे वर्णन करा.

U4-O3: इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनचे नियम स्पष्ट करा.

U4-O4: इलेक्ट्रिक आणि मॅग्नेटिक सर्किटचे स्पष्टीकरण द्या.

कोर्स आऊटकोम्ससह युनिट वाईजचे एक्सपेक्ट्ड मॅपिंग

युनिट-4 परिणाम	कोर्स आऊटकोम्ससह एक्सपेक्ट्ड मॅपिंग (1-दुर्बलसहसंबंध; 2-मध्यमसंबंध; 3-मजबूतसहसंबंध)					
	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4	CO-5	CO-6
U4-O1	2	-	-	3	2	2
U4-O2	1	-	-	3	1	2
U4-O3	1	-	-	3	1	3
U4-O4	1	-	-	3	1	1

मायकेल फॅराडे (1791-1867)

इतिहासातील सर्वात प्रभावशाली वैज्ञानिक ज्यांनी इलेक्ट्रोमॅग्नेटिझम आणि इलेक्ट्रोकेमिस्ट्रीच्या अभ्यासाला हातभार लावला. त्यांना अगदी कमी औपचारिक शिक्षण मिळाले, परंतु एक उत्कृष्ट प्रयोगवादी आणि डायरेक्ट करंट वाहक असलेल्या कंडक्टरच्या भोवतालच्या मॅग्नेटिक फील्डवरील त्यांच्या संशोधनाने इलेक्ट्रिकमॅग्नेटिक फील्डवरील संकल्पनेचा पाया प्रस्थापित केला. जेव्हा फॅराडेने त्यांच्या प्रयोगांमधून बदलत्या मॅग्नेटिक फील्डमध्ये इलेक्ट्रिक फिल्ड तयार केले तेव्हा हा महत्वपूर्ण शोध लागला. याला नंतर जेम्स मॅक्सवेलने गणिताच्या भाषेत मॉडेलिंग केले आणि हा फॅराडेस कायदा (Faradays law) म्हणून ओळखला जातो. वरील प्रिंसिपलचा वापर करून फॅराडे यांना इलेक्ट्रिक डायनामाचा शोध लागला. कॅपेसिटन्सच्या SI युनिटला त्यांच्या सन्मानार्थ फॅराड असे नाव देण्यात आले.



4.1 इलेक्ट्रीक सर्किटचे पैरामीटर्स

4.1.1 परिचय

मागील युनिट्समध्ये, भिन्न पॅसिव्ह सर्किट घटक, ॲक्टिव्ह घटक, त्यांचे प्रकार म्हणजे स्वतंत्र (independent) आणि अवलंबिलेल्या (dependent) व्होल्टेज / करंट सोर्स (source) आणि सिग्नलचे प्रकार याबद्दल मूलभूत समजूत घातली गेली. हा विषय इलेक्ट्रिक चार्ज (electric charge/ विद्युत प्रभार), करंट, व्होल्टेज आणि इलेक्ट्रिक सर्किटच्या मूलभूत विश्लेषणासाठी भिन्न इलेक्ट्रिक सर्किट संज्ञा आणि कायदे या संकल्पनेसह आहे.

4.1.2 सिंगल पॅरामीटर्स

करंट

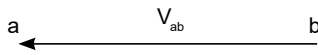
मूलभूत इलेक्ट्रिक कॅन्टीटी (quantity) हे चार्ज (charge) आहे. त्याचे युनिट कूलॉम्ब (Coulomb) आहे आणि अस्तित्वात असलेले सर्वात लहान प्रमाण असलेल्या इलेक्ट्रॉनद्वारे वाहून नेलेले निगेटिव्ह चार्ज म्हणजे -1.602×10^{-19} C. अणूमध्ये कण वाहून नेणारा दुसरा चार्ज म्हणजे प्रोटॉन ज्यावर पॉझिटिव्ह चार्ज केला जातो, ज्याची तीव्रता इलेक्ट्रॉन इतकीच असते. प्रोटॉनचा चार्ज म्हणून $+1.602 \times 10^{-19}$ C दिला जातो. इलेक्ट्रिक करंट मध्ये मोठ्या प्रमाणात चार्ज कणांचा (charged particles) प्रवाह असतो. इलेक्ट्रिक करंट पूर्वनिर्धारित क्षेत्रातून वाहणाऱ्या चार्ज कणांच्या बदलाचा वेळ दर म्हणून परिभाषित केला जातो. गणिताच्या रूपात, करंट

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

जेथे ΔQ हे Δt वेळेत पूर्वनिर्धारित क्रॉससेक्शनल क्षेत्रातून वाहणारे चार्जचे एकक आहे. करंटच्या युनिट्सना ॲम्पिअरस (Ampere) म्हणतात, जेथे 1 Ampere (A)

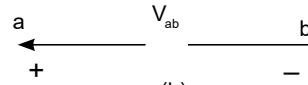
व्होल्टेज (संभाव्य फरक/ पोटेन्शियल डिफरन्स)

इलेक्ट्रिक सर्किटमध्ये जाणारे चार्ज करंट वाढवते. एका चार्जला सर्किटमध्ये बिंदू a ते बिंदू b पर्यंत हलविण्यासाठी, काही काम किंवा ऊर्जा (work or energy) खर्च करावी लागते. बिंदू a ते b पर्यंत युनिट चार्ज हलविण्यामध्ये केलेल्या कार्यास व्होल्टेज किंवा पोटेन्शियल डिफरन्स (potential difference) म्हणतात. व्होल्टेजच्या युनिटला व्होल्ट (Volt) म्हणतात, जेथे 1 volt (V) = 1 Joule/1 Coulomb. जसे गुरुत्वाकर्षण फील्डमध्ये दोन बिंदूंमध्ये पोटेन्शियल डिफरन्स निवडलेल्या मार्गापेक्षा स्वतंत्र आहे. आकृती 4.1 (a) मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे, जर बिंदू a चे व्होल्टेज b पेक्षा जास्त आहे, जसे सूचित केले आहे की बिंदू b पासून a पर्यंत हलविण्यामध्ये कार्य केले जाणे आवश्यक आहे, म्हणजे उर्जा इनपुट चार्ज करण्यासाठी. त्याचप्रमाणे जर चार्ज एका बिंदू a पासून b पर्यंत मागे सरकते तर उर्जा म्हणजे आउटपुट म्हणजे व्होल्टेज ड्रॉप a ते b पर्यंत जाणे. आकृती 4.1 (b) व्होल्टेज डिफरन्स पर्यायीमार्ग दर्शवित आहे.



(a)

(a) व्होल्टेज फरकाचे प्रतिनिधित्व



(b)

(b) व्होल्टेज फरकाचे वैकल्पिक (पर्यायी) प्रतिनिधित्व

आकृती 4.1:

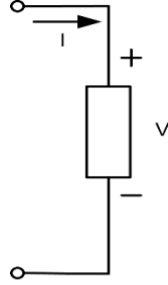
पॉवर (शक्ती) आणि ऊर्जा

पॉवर ही प्रति युनिट वेळेचे काम (work) म्हणून परिभाषित केली जाते. पॅसिव्ह घटकाद्वारे उत्पन्न केलेली किंवा नष्ट केलेली (generated or dissipated) पॉवर खालील समीकरणांद्वारे दर्शविली जाऊ शकते.

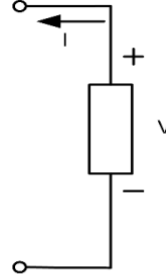
$$\text{पॉवर (Power)} = \frac{\text{Work}}{\text{time}} = \frac{\text{Work}}{\text{charge}} \times \frac{\text{charge}}{\text{time}} = \text{voltage} \times \text{current} \quad \text{किंवा } P = VI$$

पॉवरचे एकक ज्युल्स प्रति सेकंद किंवा वॅट्स असते. जर व्होल्टेज आणि करंट दोन्ही वेळेनुसार स्थिर राहतील, तर ऊर्जा (energy) E हस्तांतरित (transferred) ऊर्जा $V \times I \times t$ ज्युल्स आहे. पॉवर ही व्होल्टेज आणि करंटसारख्या चिन्हांकित प्रमाणदेखील

आहे. आकृती 4.2 (a) मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे पॉवर दिली आहे जर करंट (I) कोणत्याही व्होल्टेजच्या (V) पॉझिटिव्ह टर्मिनलमध्ये प्रवाहित होत असेल तर. पॅसिव्ह साइन कन्व्हेन्शन नुसार उधळलेली (dissipated) पॉवर पॉझिटिव्ह आहे किंवा दुसऱ्या शब्दांत घटक (element) पॉवर शोषून घेते. आकृती 4.2 (b) मध्ये जर करंट (I) एखाद्या घटकाच्या (element) पॉझिटिव्ह टर्मिनल वरून बाहेर वाहिले तर पॉवर बाहेर टाकली जाते, तर कन्व्हेन्शन नुसार उधळलेली (dissipated) पॉवर निगेटिव्ह आहे, म्हणजे घटक (element) पॉवर वितरीत करते.



(a) उधळलेल्या (dissipated) पॉवरचे पॅसिव्ह साइन कन्व्हेन्शन



(b) निर्मित पॉवरचे पॅसिव्ह साइन कन्व्हेन्शन

आकृती 4.2

4.1.3 इलेक्ट्रिक सर्किट परिभाषा संज्ञा

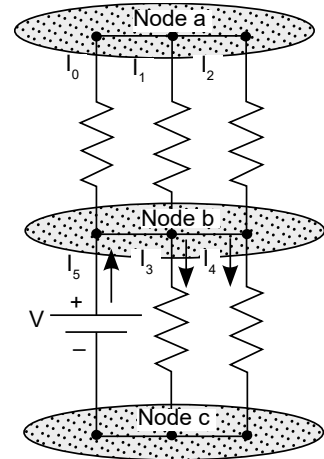
सर्किट घटकांचे परस्पर संबंध इलेक्ट्रिक सर्किट म्हणून ओळखले जातात. खालील व्याख्या इलेक्ट्रिक सर्किटचे काही महत्त्वपूर्ण पैरामीटर्स सादर करते.

ब्रांच (Branch)

एक ब्रांच म्हणजे सर्किटचा कोणताही भाग ज्यास दोन टर्मिनल जोडलेले असतात. एका ब्रांचला एका पेक्षा जास्त सर्किट घटक असू शकतात.

नोड (Node)

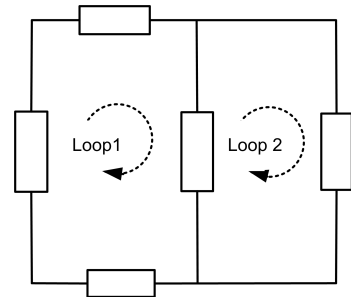
एक नोड दोन किंवा अधिक ब्रांचचे एक जंक्शन आहे. सरावमध्ये दोन किंवा अधिक ब्रांच टर्मिनलचे कोणतेही कनेक्शन एकत्रितपणे नोड बनवतात. सर्किट विश्लेषणासाठी नोड्स अतिशय महत्वाचे पैरामीटर आहेत. आकृती. 4.3 मध्ये ब्रांच आणि नोड तयार करण्यासाठी ब्रांच टर्मिनलचे परस्पर कनेक्शन दाखवते.



आकृती 4.3: नोडची व्याख्या

लूप आणि मेष (Loop and Meshes)

लूप म्हणजे ब्रांचेस चे बंद कनेक्शन. मेष ही एक लूप आहे ज्यात इतर कोणत्याही लूप नाहीत. आकृती 4.4 मध्ये इलेक्ट्रिक सर्किट्सच्या विश्लेषणासाठी मेष एक महत्त्वपूर्ण मदत दाखविले आहे.



आकृती 4.4: मेष (Mesh)

4.1.4 सर्किट विश्लेषण

इलेक्ट्रिक सर्किटच्या विश्लेषणामध्ये अज्ञात ब्रांच करंट आणि नोड व्होल्टेज निश्चित करणे समाविष्ट असते. त्यासाठी व्हेरिएबल्सचा एक संच ओळखावा लागेल आणि त्यानंतर या व्हेरिएबल्सचा (variables) वापर करून समीकरणाचा सेट बांधावा लागेल. सर्किट विश्लेषणाच्या दोन महत्त्वपूर्ण मूलभूत कायद्यांचा (law) म्हणजे किर्चॉफ करंट कायदा (KCL) आणि किर्चॉफच्या व्होल्टेज कायद्याचा (KVL) उपयोग करून समीकरणांचा संच तयार केला आहे.

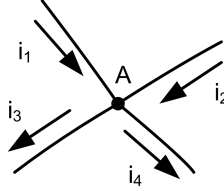
किर्चॉफ करंट लॉ (Kirchoff's Current Law (KCL))

किर्चॉफचा करंट लॉ म्हणतो की चार्ज तयार केले जाऊ शकत नाही परंतु त्यांचे जतन केले जाणे आवश्यक आहे, म्हणून नोडवरील करंटची बेरीज शून्य असणे आवश्यक आहे.

$$\sum_{k=1}^{k=N} i_k = 0 \quad \dots(4.1)$$

जेथे, ब्रांच मधून वाहणारा स्वतंत्र करंट आहे. आकृती 4.5 मध्ये दर्शविल्या प्रमाणे करंट दिशा निर्देश सह नोडचा विचार करा. नोडमध्ये प्रवेशकरणाऱ्या करंट निगेटिव्ह गृहीत धरला जातो आणि नोडमधून सोडणारा करंट पॉझिटिव्ह गृहीत धरला जातो. KCL कायदा लागू करताना नोड A मधील परिणामी समीकरण खालील प्रमाणे दिले आहे.

$$i_1 + i_2 + (-i_3) + (-i_4) = 0 \quad \dots(4.2)$$



आकृती 4. 5: KCL चे स्पष्टीकरण

किर्चॉफ व्होल्टेज लॉ (Kirchoff's Voltage Law)(KVL)

किर्चॉफच्या व्होल्टेज कायदानुसार इलेक्ट्रिक सर्किटमध्ये कोणतीही उर्जा (energy) गमावली किंवा तयार केली जात नाही. किंवा, बंद सर्किटमध्ये सोर्ससशी (sources) संबंधित सर्व व्होल्टेजची बेरीज लोड व्होल्टेजच्या (load voltages) बेरीजे इतकी असणे आवश्यक आहे, जेणेकरून सर्किटच्या भोवतालचे नेट व्होल्टेज शून्य असेल.

$$\sum_{k=1}^N v_k = 0 \quad \dots(4.3)$$

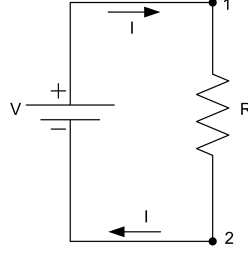
जेथे, क्लोज लूप (closed loop) सर्किटच्या पॅसिव्ह आणि ॲक्टिव्ह घटकांवर वैयक्तिक व्होल्टेजेस आहेत.

KVL कायदा अधिक समजून घेण्यासाठी, रेफरन्स व्होल्टेजची (reference voltage) संकल्पना समजून घेणे

आवश्यक आहे. आकृती 4.6 सर्किटमध्ये नोड 1 आणि 2 संबंधित नोड व्होल्टेजेस आणि म्हणून अनुक्रमे आहेत. नोड1 किंवा 2 मधील कोणतीही एका नोडला संदर्भनोड आणि संबंधित नोड व्होल्टेजला रेफरन्स व्होल्टेज म्हणून निवडले जाऊ शकते. उदाहरणार्थ वरील आकृतीमध्ये, जर नोड 2 संदर्भनोड, व्होल्टेज सोर्सच्या निगेटिव्ह टर्मिनलला कनेक्टेड म्हणून निवडले आहे, तर मग नोड 1 व्होल्टेज हे व्होल्ट हे संदर्भ नोड व्होल्टेज व्होल्ट च्या वर असेल. सरावसाठी रेफरन्स व्होल्टेज शून्य व्होल्ट नियुक्त केला आहे.



Introduction:
KVL, KCL
and Power
Balance



आकृती 4.6: संदर्भ नोडचे (reference node) स्पष्टीकरण

उपक्रम

व्होल्टेज सोर्स म्हणून कार्य केलेल्या सेलला दोन बल्ब समांतर जोडून सर्किट तयार करा. व्होल्टेज सोर्समधून काढलेला करंट, दोन बल्बद्वारे काढलेला करंट आणि मोजा. KCL ची पडताळणी करा.

सोडवलेले उदाहरणे

उदाहरण 4.1.1: दर्शविलेले सर्किटमध्ये रेसिस्टर R द्वारे शोषली जाणारी पॉवर आणि करंट सोर्सद्वारे वितरित केलेली पॉवर निर्धारित करा.

उत्तर: मेष-1 ला KVL लागू करा, KVL समीकरण आहे

$$5 - 3 - V_2 = 0, \text{ निराकरण } V_2 = 2 \text{ V.}$$

आता मेष- 2 ला KVL लागू करा, KVL समीकरण आहे

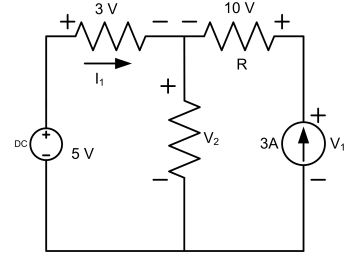
$$V_2 + 10 - V_1 = 0$$

V_2 ची व्हॅल्यू टाकल्यावर व्होल्टेज $V_1 = 12 \text{ V}$

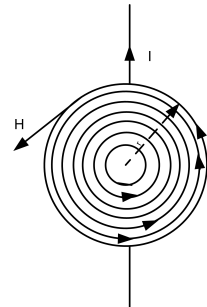
पॅसिव्ह पॉवर साईन कन्व्हेन्शननुसार, करंट सोर्सद्वारे वितरित केलेली पॉवर

$$= 12 \times 3 = 36 \text{ वॅट (Watt).}$$

रेसिस्टर R द्वारे शोषून घेतलेली किंवा नष्ट केलेली पॉवर = R मधला व्होल्टेज ड्रॉप \times R मधून वाहत असलेल्या करंट = $10 \times 3 = 30 \text{ वॅट (Watt).}$

**4.2 मैग्नेटिक सर्किटचे पैरामीटर्स****4.2.1 इलेक्ट्रिक करंटचा मैग्नेटिक प्रभाव**

करंट वाहून नेणारा कंडक्टरद्वारे तयार केलेले मैग्नेटिक फिल्ड समजण्यासाठी, आकृती 4.7 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे, लांब सरळ करंट वाहून नेणारा कंडक्टर विचारात घ्या. कागदाच्या पृष्ठभागातून बाहेर वाहणारा करंट बोल्डडॉटने दर्शविला. कंडक्टरच्या सभोवतालच्या जागेवर मैग्नेटिक फिल्ड स्थापित करण्यास करंट कारणीभूत होते. मैग्नेटिक फिल्डच्या कोणत्याही पॉईंटवर उत्तर पोलवर मैग्नेटिक फिल्डचे बल (force) जाणवते. कंडक्टरच्या सभोवतालचा गोलाकार बंद मार्ग फ्लक्सच्या लाईन्स म्हणून ओळखला जातो आणि मैग्नेटिक बल (force) त्या लाईन्सच्या सभोवतालच्या सर्व बिंदूशी स्पर्शिक (tangential) असते. फ्लक्सच्या प्रवाहाची दिशा उजव्या हाताच्या नियमाद्वारे (right hand rule)



आकृती 4.7: करंटच्या आसपासच्या फ्लक्सलाईन्स

दिही जाते ज्यात असे म्हटले आहे की जर कंडक्टरला उजव्या हाताने करंट प्रवाहाच्या दिशेने अंगठ्याच्या बिंदूने पकडले तर फ्लक्सच्या प्रवाहाची दिशा अशी आहे ज्या कडे इतर चार बोटे त्याला घेरतील. फ्लक्स लाईन्स कंडक्टर जवळ दाट असतात आणि त्यापासून दूर जाताना कमी दाट होतात.

मॅग्नेटाइझिंग बल

मॅग्नेटाइझिंग बल (force) किंवा मॅग्नेटिक फिल्ड इन्टेन्सिटीची (H) व्याख्या कंडक्टरला एन्क्लोज करणार्या फ्लक्स लाईनच्या प्रति युनिट लांबीच्या कंडक्टर मधून वाहणारा करंट म्हणून केली जाते. बिज्या r असलेल्या गोलाकार फ्लक्स लाईनसाठी मॅग्नेटिक फिल्ड इन्टेन्सिटी (H)

$$H = \frac{i}{2\pi r} \frac{A}{m} \quad \dots(4.4)$$

समीकरण पासून दिसते मॅग्नेटिक फिल्ड इन्टेन्सिटी कंडक्टरच्या सभोवतालच्या मटेरियलमुळे प्रभावित होत नाही किंवा दुसऱ्या शब्दांत ते मॅग्नेटिक सर्किटच्या बांधकामात वापरल्या जाणार्या मटेरियलच्या गुणधर्मापासून स्वतंत्र आहे.

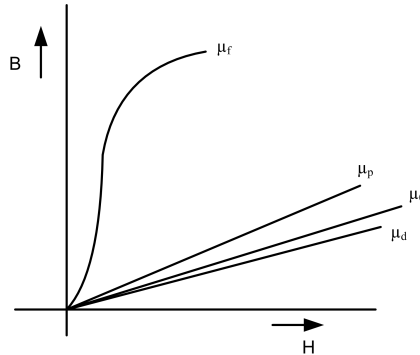
फ्लक्स घनता

फ्लक्स घनता (B) मटेरियलच्या गुणधर्मावर अवलंबून असते. मॅग्नेटिक फिल्ड इन्टेन्सिटी आणि फ्लक्स घनता यांच्यातील संबंध म्हणून दिले गेले आहेत

$$B = \mu_0 \mu_r H \quad \frac{Wb}{m^2} \quad \text{or Tesla} \quad \dots(4.5)$$



पॅरामीटर μ विशिष्ट भौतिक माध्यमासाठी एक स्केलर स्थिर आहे आणि त्याला माध्यमांची पर्मेबिलिटी म्हणतात. मटेरियलची पर्मेबिलिटी (पारगम्यता) ही मोकळ्या जागेच्या (free space) पर्मेबिलिटीचे आणि रिलेटिव पर्मेबिलिटीचे गुणाकार आहे. मोकळ्या जागेची पर्मेबिलिटी $= 4\pi \times 10^{-7}$ रिलेटिव पर्मेबिलिटी माध्यमावर अवलंबून असते आणि त्याचे परिमाण मटेरियलच्या मॅग्नेटिक गुणधर्माचे उपाय दर्शवते. पर्मेबिलिटीचे मूल्य जितके मोठे असेल तितके इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक संरचनेत मोठ्या फ्लक्स घनतेचे उत्पादन करण्यासाठी आवश्यक करंट कमी असेल. पर्मेबिलिटीचे एकक म्हणून $\frac{Wb}{A-m}$ दिले गेले आहे. आकृती 4.8 मॅग्नेटिक मटेरियलच्या विविध प्रकारचे पर्मेबिलिटी दर्शविते. सबस्क्रिप्ट दर्शविते की मटेरियल हे फेरोमॅग्नेटिक, पॅरामेग्नेटिक, मोकळी जागा (free space) किंवा डायमॅग्नेटिक आहे.

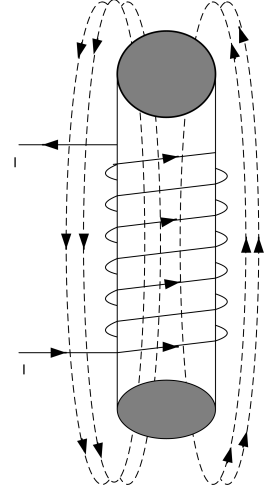


आकृती 4.8: विविध प्रकारच्या मॅग्नेटिक मटेरियलचा B-H वक्र (कर्व)

मॅग्नेटोमोटिव्ह फोर्स

एकाच कंडक्टिंग वायरद्वारे तयार होणारे मॅग्नेटिक फिल्ड फारसे मजबूत नाही. N टर्न असलेल्या कोईलला घट्ट वळण/ गुंडाळी देऊन कंडक्टरला आकार देऊन फिल्ड इन्टेन्सिटी (field intensity) वाढविली जाऊ शकते. ही व्यवस्था N फोल्ड या फ्लक्स लाईन्सने जोडलेला करंट प्रभावीपणे वाढवते. N.I गुणाकारस मॅग्नेटो मोटिव्ह फोर्स F म्हटले जाते आणि त्याचे युनिट अँपिअर-टर्न (AT) असते. आकृती 4.9 मध्ये एक फेरोमॅग्नेटिक रिंग आकाराचे मटेरियल दर्शविले आहे ज्यात गोलाकार.

क्रॉससेक्शन आहे आणि करंट I असलेल्या आणि N वळण असलेल्या कॉइलमुळे उत्तेजित/ एक्साईटेड (excited) होतो. मॅग्नेटिक कोर मध्ये (चुंबकीय गाभ्यात) स्थापित फ्लक्स आकारात वर्तुळाकार आहे आणि फ्लक्स लाईन्सचा मोठा भाग त्याच्या उच्च पर्मिबिलिटीमुळे कोरमधून (core) जातो. हवेतून जाणाऱ्या फ्लक्स लाईनचा छोटासा भाग गळती (लीकेज/ leakage flux) फ्लक्स म्हणून ओळखला जातो.



आकृती 4.9: फ्लक्स

4.2.2 मॅग्नेटिक सर्किट

आकृती 4.10 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे गोलाकार क्रॉस सेक्शन क्षेत्रासह इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक (विद्युतचुंबकीय) कोर स्ट्रक्चरचे समतुल्य मॅग्नेटिक सर्किटद्वारे विश्लेषण केले जाऊ शकते.

या सर्किटसाठी फ्लक्स घनता (flux density B) समीकरणाद्वारे दिली जाते.

$$B = \frac{\mu NI}{l} \quad \dots(4.6)$$

येथे l फ्लक्सची लांबी आहे. फ्लक्स घनता B याप्रमाणे देखील दर्शविता येते:

$$B = \frac{\phi}{A} \quad \dots(4.7)$$

येथे A इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक जेथे संरचनेचे क्रॉससेक्शनल क्षेत्र आहे आणि हे फ्लक्स लाईनच्या दिशेने लंबवत (perpendicular) आहे. फ्लक्स घनतेची समीकरणे (4.6) आणि (4.7) एकरूप करून,

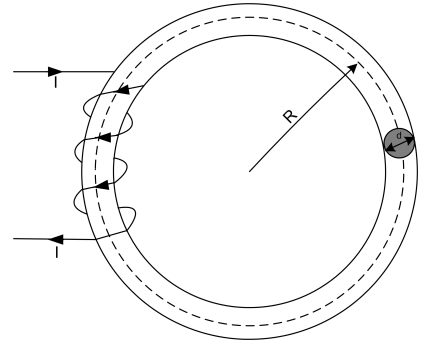
$$NI = \phi \frac{l}{\mu A} \quad \dots(4.8)$$

$$\frac{l}{\mu A} \text{ याला मॅग्नेटिक सर्किटची अनिच्छा (reluctance) म्हणून}$$

ओळखले जाते आणि R चिन्ह असे नाव दिले आहे.

उपक्रम

सिंगल स्ट्रँड बेअर कॉपर कंडक्टर वापरून एक मल्टी टर्न कॉइल तयार करा. टर्मिनल 1 आणि 2 म्हणून कॉइलच्या दोन टोकांना चिन्हांकित करा. टर्मिनल 19V सेलच्या पॉझिटिव्ह टर्मिनलला आणि टर्मिनल 2 सेलच्या निगेटिव्ह टर्मिनलला स्लाइडर स्विचद्वारे



आकृती 4.10: एक्सायटिंग कोईलसह फेरोमॅग्नेटिक मटेरियलची रिंग

जोडा. कॉइलच्या जवळ एक मॅग्नेटिक कंपास आणा आणि स्लाइडर स्विच चालू करा कंपास N-S पोल सुईची स्थिती पहा. आता टर्मिनलला उलट जोडा करा आणि N-S पोल कंपास सुईची स्थिती पहा. केलेल्या निरीक्षणांवर टिप्पणी/भाष्य द्या.

सोडवलेले उदाहरणे

उदाहरण 4.2.1: क्रॉससेक्शन एरिया $A = 0.0001 \text{ m}^2$, $N = 500$ turns, $l = 1000$. दिलेल्या मॅग्नेटिक/चुंबकीय संरचनेसाठी फ्लक्स घनता मोजा.

मॅग्नेटो मोटिव्ह फोर्स $F = \text{mmf} = Ni = 500 \times 0.1 = 50 \text{ AT}$

मॅग्नेटिक कोरची सरासरी लांबी $l_c = 4 \times 0.1 = 0.4$ आहे

रीलक्ट्रॉन्स $R = \frac{l_c}{\mu_0 \mu_r A} = \frac{0.4}{1000 \times 0.0001 \times 4\pi \times 10^{-7}} = 2.865 \times 10^6 \text{ AT/Wb}$

फ्लक्स $\phi = \frac{F}{R} = \frac{50}{2.865 \times 10^6} = 1.75 \times 10^{-5} \text{ Wb}$

फ्लक्स घनता $B = \frac{\phi}{A} = 0.175 \text{ Wb/m}^2$

4.3 इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शन

4.3.1 फॅराडेज लॉ

जेव्हा पृष्ठभागावरून जाणारा मॅग्नेटिक फ्लक्स तीव्रता बदलतो तेव्हा इलेक्ट्रिक फिल्ड पृष्ठभागाच्या बाह्यरेखासह प्रेरित (induced) होते. फॅरडे कायदा सांगते की वेगळ्या वेळेच्या फ्लक्स मुळे पृष्ठभागाच्या बाह्यरेखासह इलेक्ट्रोमोटिव्ह बल (electromotive force) किंवा emf होते आणि तो दिला जातो.

$$e = -\frac{d\phi}{dt} \quad \dots(4.9)$$

किंवा दुसऱ्या शब्दांत पातळ (thin) N टर्न (turn) कॉइल पृष्ठभागाच्या समोरासमोर ठेवल्यास त्यामध्ये emf प्रेरित (induced) होतो, जो दिलेला आहे.

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} = -\frac{d\lambda}{dt} \quad \dots(4.10)$$

जेथे $\lambda = N\phi$ = कॉइलचे फ्लक्स लिंकेज आहे.

निगेटिव्ह चिन्हाचा अर्थ असा आहे की (induced emf) प्रेरित emf मुळे कॉइलमध्ये करंट प्रवाहित होईल ज्यामुळे फ्लक्समधील बदलाला विरोध होईल. हा कायदा लेन्झचा कायदा म्हणून ओळखला जातो. (induced emf) प्रेरित emf ची ध्रुवीयता/पोलारिटी भौतिक विचारातून ननिश्चित केली जाऊ शकते आणि म्हणूनच (induced emf) प्रेरित emf चे समीकरणातून निगेटिव्ह चिन्ह वगळले जाते.

कॉइलच्या फ्लक्स लिंकेजमध्ये बदल विविध प्रकारे होऊ शकतो.



केस-1: फ्लक्सचे मूल्य (value) स्थिर असते आणि त्याच्या सापेक्ष कॉइल हलते.

केस-2: कॉइल स्थिर राहते आणि त्यातून फ्लक्स मोठ्या प्रमाणात बदलतात (फ्लक्सस्पंदन/ flux pulsations)

केस-3: फ्लक्स आणि कॉइलमधील बदल एकत्र उद्भवतात म्हणजे वेगवेगळ्या फ्लक्समधून फिरणारी कॉइल.

केस-1 मध्ये, फ्लक्स कटिंग नियम लागू केला जाऊ शकतो, जेथे l लांबीच्या एकाच कंडक्टरमध्ये emf प्रेरित (induced) केले जाते आणि वेग (velocity) v आणि फ्लक्स घनता (डेन्सिटी) (flux density B) B जे स्थिर चुंबकीय/मॅग्नेटिक फिल्ड कापते खालील प्रमाणे दिलेला आहे.

$$e = Blv \text{ volts} \quad \dots(4.11)$$

जेथे l मीटरमध्ये आहे, v मीटर प्रति सेकंद (m/s) आणि B वेबर प्रति चौरस मीटर Wb/m^2 आहे. प्रेरित emf ला गतिशीलपणे प्रेरित emf (dynamically induced emf) एमएफ किंवा मोशनल (motional emf) म्हणून ओळखले जाते. मोशनल emf नेहमीच इलेक्ट्रोमॅकेनिकल ऊर्जा रूपांतरणाशी संबंधित असतो. Emf ची दिशा फ्लेमिंगच्या उजव्या हाताच्या नियमाने (Fleming's right hand rule) दिली आहे.

केस-2 मध्ये, स्थिर कॉइलमध्ये प्रेरित (induced) emf वेगवेगळ्या चुंबकीय/मॅग्नेटिक फिल्डमुळे आहे. कोणतीही हालचाल समाविष्ट नाही आणि ऊर्जा रूपांतरण/परिवर्तन नाही. इतके प्रेरित emf हे स्थिरपणे प्रेरित emf किंवा ट्रान्सफॉर्मर emf म्हणून ओळखले जाते आणि समीकरण क्रमांक 4.9 सारखे आहे.

केस-3 मध्ये, दोन्ही emf म्हणजे मोशनल emf आणि ट्रान्सफॉर्मर emf हे कॉइलमध्ये प्रेरित (induced) केले आहेत.

4.3.2 सेल्फ व म्युच्युअल इंडकटन्स

सेल्फ-इंडकटन्स

सेल्फ-इंडकटन्स त्याच कॉइलमध्ये वाहणाऱ्या करंटद्वारे तयार केलेल्या मॅग्नेटिक फिल्डद्वारे कॉइलमध्ये प्रेरित व्होल्टेज मोजतो. आकृती 4.11 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे N टर्न असलेल्या आणि करंट वाहून नेलेल्या कॉइलचा विचार करा.

कॉइल कॉइलच्या वळणांना/टर्नला जोडणारी एक फ्लक्स तयार करते. मग फॅराडेस कायद्यानुसार कॉइलमध्ये गुंतलेला emf खालील प्रमाणे दिला आहे.

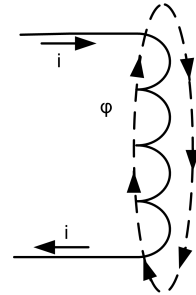
$$\begin{aligned} e &= N \frac{d\phi}{dt} \text{ volts} \\ &= N \frac{d\phi}{di} \frac{di}{dt} = L \frac{di}{dt} \end{aligned} \quad \dots(4.12)$$

जेथे $L = N \frac{d\phi}{di}$

ला कॉइलचे सेल्फ इंडकटन्स म्हणतात आणि त्याचे युनिट H (henrys/ हेन्री) आहे. आकृती 4.8 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे B-H वक्र असलेल्या फेरोमॅग्नेटिक मटेरियलसाठी, वक्र नॉनलाइनियर असल्याने, सेल्फ-इंडकटन्स हे वक्रवरील ऑपरेटिंग पॉइंटच्या भोवती वाढीव बदलाशी संबंधित वाढीव मूल्याशी सुसंगत आहे.

रेषीय (linear) B-H वक्र (कर्व) असलेले मॅग्नेटिक मटेरियल, सेल्फ इंडकटन्स म्हणून व्यक्त केले जाऊ शकते.

$$L = \frac{N\phi}{i} = \frac{\lambda}{i} \text{ H}$$



आकृती 4.11: सेल्फ-इंडकटन्स

फ्लक्स लीकेज होत नाही असे गृहीत धरल्यास वरील समीकरणत नुमरेटर आणि डीनोमिनेटरला N द्वारे गुणाकारकरून पुन्हा लिहिले जाऊ शकते,

$$L = \frac{N^2 \phi}{Ni}$$

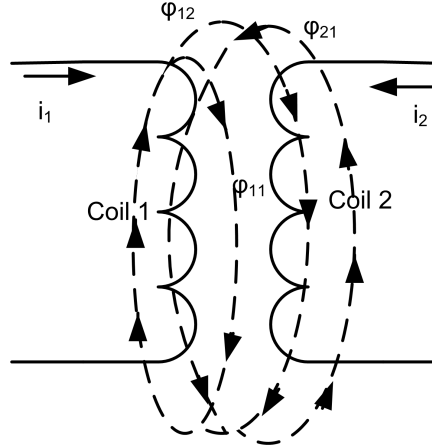
समीकरणातून फ्लक्सचे मूल्य बदलून वरील समीकरण पुन्हा लिहिले जाऊ शकते,

$$L = N^2 \mu \frac{A}{l} = \frac{N^2}{R} \quad \dots(4.13)$$

सेल्फ इंडकटन्सचे एकक हेन्री (हेनरी) आहे आणि कॉइलचे सेल्फ इंडकटन्स केवळ भूमिती, मॅग्नेटिक मटेरियलच्या पर्मिबिलिटी आणि कॉइलच्या वळणाची संख्या यावर अवलंबून असते.

म्युच्युअल इंडकटन्स

जेव्हा दोन कॉइल्स सामान्य कोरवर जखम होतात किंवा एकमेकांच्या जवळ ठेवले जातात, तेव्हा एका कॉइलद्वारे तयार केलेल्या फ्लक्सचा एक भाग इतर कॉइललादेखील आकृती. 4.12 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे जोडतो. दोन शेजारच्या कॉइल्समध्ये चुंबकीय/मॅग्नेटिक कपलिंग आहे आणि यामुळे म्युच्युअल इंडकटन्सची संकल्पना उद्भवते.



आकृती 4.12: म्युच्युअल इंडकटन्स



गृहीत धरा कॉइल 1 आणि 2 ला समान N टर्न आहेत आणि त्यामधून वाहणार्या करंट अनुक्रमे i_1 आणि i_2 आहे. i_1 करंटद्वारे तयार होणारा एकूण फ्लक्स कॉइल मध्ये ϕ_1 आहे. कॉइल 2 ला लिंक असलेला ϕ_1 फ्लक्सचा एक भाग ϕ_{12} आहे, त्याचप्रमाणे कॉइल 1 ला लिंक असलेला एकूण ϕ_2 फ्लक्सचा एक भाग ϕ_{21} करंटद्वारे तयार होणारा एकूण फ्लक्स कॉइल मध्ये ϕ_2 आहे.

$$M_{12} = N \frac{d\phi_{12}}{dt} = \frac{\lambda_{12}}{i_1} \text{ H} \quad \dots(4.14)$$

$$M_{21} = N \frac{d\phi_{21}}{dt} = \frac{\lambda_{21}}{i_2} \text{ H} \quad \dots(4.15)$$

घट्ट जोडलेल्या कॉइलसाठी (tightly coupled coil) तेथे फ्लक्स लीकेज (गळती) नसते आणि म्हणूनच $M_{12} = M_{21} = M$. म्युच्युअल इंडकटन्सचे एकक हेन्री (हेनरी) देखील आहे.

उपक्रम

N टर्न असलेले एअर कोअर (air core) कॉइल दिलेल्या लांबी आणि व्यासाच्या (diameter) सॉलिड कंडक्टर (solid conductor) पासून बनवले जाते. LCR मीटर वापरून सेल्फ इंडक्टन्स मोजा. 2N पर्यंत टर्नची (वळणांची) संख्या वाढवा, आणि पुन्हा LCR मीटर वापरून सेल्फ इंडक्टन्स मोजा मोजलेल्या सेल्फ इंडक्टन्सची तुलना करा आणि निष्कर्ष काढा.

सोडवलेले उदाहरणे

उदाहरण 4.3.1: एक लांब लोहचुंबकपट्टीची फ्लक्स 500×10^{-6} Wb आहे. बारचुंबकाची समाप्ती 1000 टर्न कॉइल 1/10 सेकंदातून मागे घेतली जाते. कॉइलच्या टर्मिनलवर उत्पन्न केलेला emf मोजा.

उत्तर: फॅराडेस कायद्याद्वारे emf समीकरण $e = N \frac{d\phi}{dt}$,

$$\text{दिलेले } N = 1000 \text{ and } \frac{d\phi}{dt} = \frac{500 \times 10^{-6}}{\frac{1}{10}} = 5000 \times 10^{-6}$$

$$e = 1000 \times 5000 \times 10^{-6} = 5 \text{ V}$$

उदाहरण 4.3.2: 1000mm लांब सोलेनोईडचा इंडक्टन्स (inductance) काढा ज्याचे mm व्यासाच्या ट्यूब दंडगोलाकारवर एकसारखेपणाने 3000 टर्न वळवून आहेत.

उत्तर: दिलेले $N = 3000$, $l = 1000 \text{ mm} = 1 \text{ मीटर}$,

$$\text{क्रॉससेक्शनल एरिया} = \pi \frac{0.060^2}{4} = 2.83 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

सेल्फ-इंडक्टन्स $L = N^2 \mu \frac{A}{l}$ लोहाची रिलेटिव परमियाबिलिटी 5000 आहे.

सेल्फ-इंडक्टन्सचे मूल्य बदलणे

$$L = 3000 \times 3000 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 5000 \times \frac{2.83 \times 10^{-3}}{1} = 160 \text{ H.}$$

4.4 इलेक्ट्रिकल आणि मॅग्नेटिक सर्किटमधील समानता

एक मॅग्नेटिक सर्किटचे विश्लेषण प्रतिरोधक इलेक्ट्रिक सर्किटशी साधर्म्य असलेले आहे. साधर्म्य असलेले प्रमाण टेबलमध्ये सूचीबद्ध केले आहे.

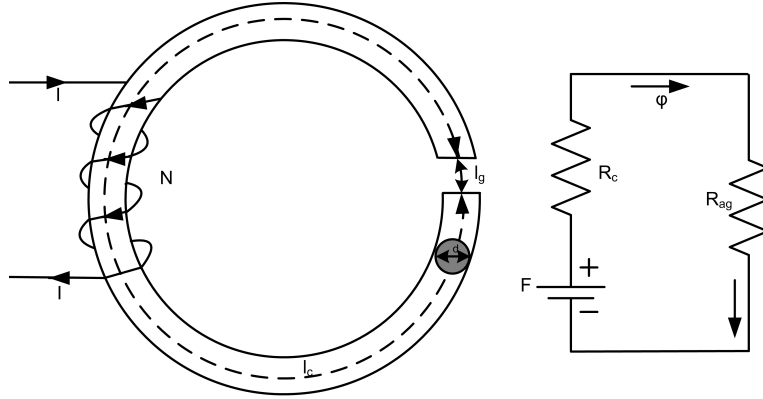
सारणी 4.1: इलेक्ट्रिकल आणि मॅग्नेटिक सर्किटमधील समानता

इलेक्ट्रिकल कॉन्स्टीट	मॅग्नेटिक कॉन्स्टीट
इलेक्ट्रिक फिल्डची इन्टेन्सिटी (तीव्रता) E, V/m	मॅग्नेटिक फिल्डची इन्टेन्सिटी (तीव्रता) H, A-turns/m
व्होल्टेज V, Volts	मॅग्नेटो मोटिव्ह फोर्स(बल) F, A-turns
करंट i, Amp	मॅग्नेटिक फ्लक्स flux ϕ Wb



इलेक्ट्रिकल कॉन्स्टी	मॅग्नेटिक कॉन्स्टी
करंट घनता (डेन्सिटी) $J \text{ A/m}^2$	मॅग्नेटिक फ्लक्स डेन्सिटी $B \text{ Wb/m}^2$
प्रतिकार (Resistance) R	रीलक्टॉन्स (Reluctance) R , A-turns/Wb

इलेक्ट्रिक सर्किटसाठी किर्चाफचा कायदा चुंबकीय सर्किटसाठीही तितकाच लागू आहे. KVL चा अर्थ मेषचा (जाळीचा) मॅग्नेटो-मोटिव्ह फोर्स (mmf) हा जाळीच्या (mesh) विविधभागांमध्ये खर्च केलेल्या mmf's च्या बरोबरीचा आहे. त्याचप्रमाणे, KCL कायद्याचा अर्थ असा लावला जातो की येणारे आणि बाहेर जाणारे फ्लक्स हे चुंबकीय (मॅग्नेटिक) घटकांच्या जंक्शनवर समान आहेत. आकृती 4.13 (a) मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे मॅग्नेटिक सर्किटचे विश्लेषण मॅग्नेटिक सर्किटची मालिका म्हणून केले जाऊ शकते ज्यात फ्लक्स घनता (density) मॅग्नेटिक (कोर) गाभ्यात आणि हवेच्या अंतरात समान आहे. चुंबकीय (मॅग्नेटिक) सर्किटची विद्युत (इलेक्ट्रिक) उपमा आकृती 4.13 (b) मध्ये दर्शविली गेली आहे ज्यात दोन चुंबकीय घटक (magnetic element) मालिकेत जोडलेले आहेत ज्यात (reluctance) रीलक्टॉन्सचे R_1 आणि R_2 आहेत. प्रत्येक घटकाची लांबी त्याच्या मध्यम (mean) लांबीशी सुसंगत असते.



(a) हवेच्या अंतरासह मॅग्नेटिक कोर

(b) मॅग्नेटिक सर्किटची इलेक्ट्रिक सर्किटशी समानता

आकृती 4.13

मॅग्नेटिक कोरच्या रीलक्टॉन्सची मध्यम (mean) लांबी R_c आहे.

$$R_c = \frac{l_c}{\mu_0 \mu_r A}$$

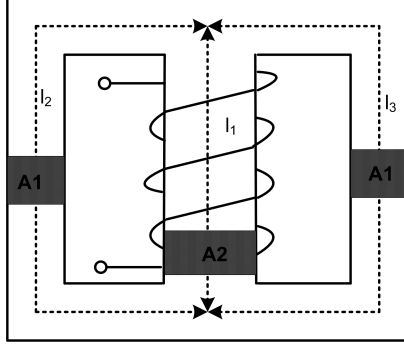
आणि हवेच्या अंतराची रीलक्टॉन्स दिली जाते:

$$R_{ag} = \frac{l_{ag}}{\mu_0 \mu_r A}$$

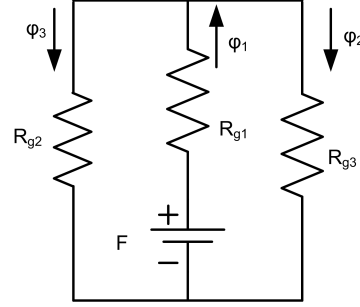
हवेच्या अंतरात फरकाकडे दुर्लक्ष केल्यास संपूर्ण रीलक्टॉन्स $R = R_c + R_{ag}$

सर्किटमधील फ्लक्स $= \frac{F}{R}$, where $F = Ni$

समांतर चुंबकीय/मॅग्नेटिक सर्किट आणि त्याची इलेक्ट्रिक सर्किटशी समानता आकृती 4.14 (a) आणि (b) मध्ये अनुक्रमे दिली जाते.



(a) तीन अंगांसह मॅग्नेटिक रचना



(b) मॅग्नेटिक सर्किटची इलेक्ट्रिक समानता

आकृती 4.14:

उपक्रम

दिलेल्या लोखंडी खिळ्यावर स्थिर टर्नची (वळणांची) कॉइल गुंडाळून इलेक्ट्रोमॅग्नेट बनवा. केस-1. मालिकेत दोन 1.5V (व्होल्ट) सेल कनेक्ट करा आणि स्लाइडर स्विचद्वारे कॉइलच्या टर्मिनल्सला जोडा. कॉइलजवळ काही सर्व पिनस ठेवा. स्लाइडर स्विच चालू करा. केस-2. 3V सेलची जागा 9V बॅटरीने बदलून घेऊन त्याच प्रक्रियांची पुनरावृत्ती करा. केस-1 आणि 2 साठी सर्व पिनवर विद्युतचुंबकीय शक्तीचा (electromagnetic force) परिणाम पहा आणि आवश्यक निष्कर्ष काढा.

सोडवलेले उदाहरणे

उदाहरण 1: 140cm आणि क्रॉससेक्शनल क्षेत्र 12 cm^2 ची लोखंडी अंगठी² वायरच्या 500 वळणांनी (turns) बनलेली आहे. जेव्हा एक्सायटिंग करंट 2A असतो, तेव्हा फ्लक्स 1.2 मिलीवेबर असल्याचे आढळते. लोखंडाची सापेक्ष पर्मिबिलिटी काढा.

ऊत्तर: दिले, $\phi = \frac{F}{R}$, $F = NI = 500 \times 2 = 1000$ आणि फ्लक्स $\phi = 1.2 \times 10^{-3} \text{ Wb}$.

$$\text{रेझिस्टन्स } R = \frac{1000}{1.2 \times 10^{-3}} = 833.33 \times 10^3. R = \frac{l}{\mu_0 \mu_r A}$$

सरासरी लांबी $l = 1.4 \text{ mtr}$ and $A = 12 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$$\text{वरील मूल्याने } \phi \text{ बदलले, } 833.33 \times 10^3 = \frac{1.4}{12 \times 10^{-4} \times \mu_r \times 4\pi \times 10^{-7}}$$

$$\mu_r = 1114.69$$

युनिट सारांश

- मूलभूत (fundamental) विद्युत प्रमाणांचा चार्ज म्हणतात.
- मोठ्या प्रमाणात चार्ज केलेल्या कणांच्या प्रवाहामुळे विद्युत प्रवाह होतो.
- युनिट चार्ज एका बिंदूपासून दुस -या बिंदूवर हलवण्याच्या कार्याला व्होल्टेज किंवा संभाव्य फरक म्हणतात.
- पॉवर ची व्याख्या प्रति युनिट वेळेत केलेले कार्य म्हणून केली जाते.
- निष्क्रिय (passive) आणि सक्रिय (active) सर्किट घटकांचे परस्परसंबंध इलेक्ट्रिक सर्किट म्हणून ओळखले जाते.
- इलेक्ट्रिक सर्किटच्या विश्लेषणासाठी सर्वात सामान्य सर्किट शब्दावली शाखा, नोड जाळी आणि लूप आहेत.
- सर्किट विश्लेषणासाठी दोन मूलभूत कायदे म्हणजे किर्चॉफचा वर्तमान आणि व्होल्टेज कायदा.
- वर्तमान करंट वाहक कंडक्टरभोवती एक चुंबकीय क्षेत्र तयार करतो.
- करंट घनता सामग्रीच्या सापेक्ष पारगम्यता आणि चुंबकीय क्षेत्राच्या तीव्रतेवर अवलंबून असते.
- सापेक्ष पारगम्यता सामग्रीच्या चुंबकीय गुणधर्मांचे मापन दर्शवते आणि फेरोमॅग्नेटिक, डायमॅग्नेटिक आणि पॅरामॅग्नेटिक सामग्री म्हणून वर्गीकृत केली जाते.
- वेळ बदलणारा प्रवाह कंडक्टर किंवा कॉइलमध्ये ईएमएफला प्रेरित करतो आणि त्याची परिमाण फ्लक्सच्या बदलाच्या दरावर आणि कंडक्टरच्या वळणांची संख्या यावर अवलंबून असते.
- सेल्फ-इंडक्टन्स त्याच कॉइलमध्ये प्रवाहित होणाऱ्या चुंबकीय क्षेत्राद्वारे कॉइलमध्ये प्रेरित व्होल्टेज मोजते.
- परस्पर प्रवाह दोन शेजारच्या कॉइलमधील चुंबकीय जोडणीवर अवलंबून असतात आणि त्यानुसार घट्ट जोडलेले किंवा सैल जोडलेले कॉइल्स म्हणून वर्गीकृत केले जातात.
- स्व आणि परस्पर प्रेरणांचे एकक हेन्री आहे.
- चुंबकीय सर्किटचे विश्लेषण प्रतिरोधक सर्किटसारखेच आहे आणि किर्चॉफचा कायदा चुंबकीय सर्किटसाठी तितकाच लागू आहे.
- चुंबकीय कोरची अनिच्छा ही सरासरी कोर लांबीच्या थेट प्रमाणात असते आणि कोरच्या क्रॉस सेक्शनल एरियाच्या उलट प्रमाणात असते.

अभ्यास

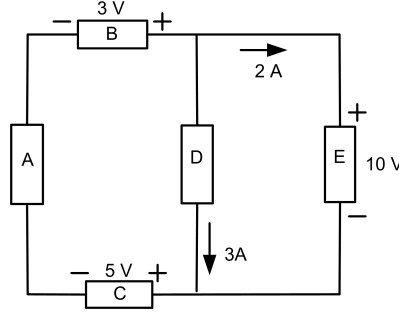
A. वस्तुनिष्ठ प्रश्न (Objective Questions)

सूचना: कृपया सर्वात योग्य उत्तर निवडा.

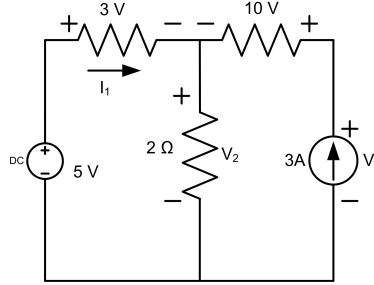
अ. क्र.	बहु-निवडक वस्तू	अ. क्र.	बहु-निवडक वस्तू
4.1	खालीलपैकी कोणते स्थिर चुंबकीय क्षेत्राचे स्रोत आहेत? 1. कायमस्वरूपी चुंबक 2. एकसमान वेगाने फिरणारी एक चार्ज डिस्क 3. प्रवेग (acceleration) चार्ज 4. वेळोवेळी रेषेत बदलणारे इलेक्ट्रिक फिल्ड a. फक्त 1, 3 आणि 4 b. फक्त 3 आणि 4 c. 1, 2, 3 आणि 4 d. फक्त 1, 2 आणि 4	4.4	फॅराडे इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनच्या कायदानुसार एखादा कंडक्टरमध्ये induced emf : a. मॅग्नेटिक फिल्ड मध्ये आहे b. मॅग्नेटिक फिल्डसाठी लंबवत (perpendicular) आहे c. मॅग्नेटिक फ्लक्स कापतो d. मॅग्नेटिक फिल्ड क्षेत्राच्या दिशेला समांतर (parallel) फिरते
4.2	A/m मध्ये असीम (infinite) रेखीय करंट वाहक कंडक्टरद्वारे विकसित केलेले मॅग्नेटिक फिल्ड आहे a. $H = \frac{\mu I}{2\pi R}$ b. $H = \frac{I}{2\pi R}$ c. $H = \frac{\mu I}{2r}$ d. $H = \frac{I}{r}$	4.5	चुंबकीय सर्किटद्वारे देऊ केलेली a. अनिच्छा यावर अवलंबून असते b. मॅग्नेटिक साहित्याचे (magnetic material) स्वरूप c. मॅग्नेटिक फ्लक्सची लांबी मार्गाचे क्रॉससेक्शनल क्षेत्र d. वरील सर्व.
4.3	इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शन समीकरणमध्ये (फॅरडे आणि Lenz) कायदाचा खालील गोष्टवारा (सारांशित) आहे. a. $e = LR$ b. $e = L \frac{di}{dt}$ c. $e = -\frac{d\phi}{dt}$ d. वरीलपैकी काहीही नाही	4.6	चार 4 इनपुट सरासरी सर्किटसाठी, a. $R_{in} = R_f / 4$ b. $R_{in} = R_f + 4$ c. $R_{in} = R_f$ d. $R_{in} = R_f \times 4$

B. विषयनिष्ठ प्रश्न (Subjective Questions)

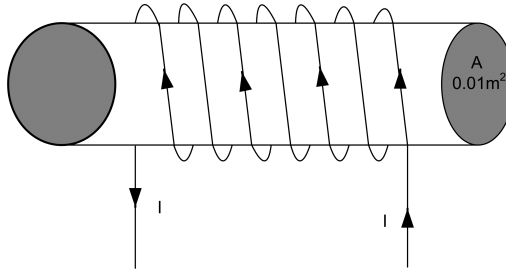
- चुंबकीय सर्किटमध्ये 150 टर्न्स-कॉइल, क्रॉससेक्शनल क्षेत्र आणि चुंबकीय सर्किटची लांबी अनुक्रमे $5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ and $25 \times 10^{-2} \text{ m}$ आहे. जेव्हा करंट 2A आहे आणि एकूण फ्लक्स $0.3 \times 10^{-3} \text{ Wb}$ आहे तेव्हा चुंबकीय फिल्डची इन्टेन्सिटी आणि सापेक्ष/ रिलेटिव पर्मिबिलिटीचे मूल्य काढा.
- दर्शविलेल्या सर्किटसाठी कोणते घटक शक्ती (power) शोषून घेत आहेत आणि कोणते शक्ती (power) प्रदान करीत आहेत हे निश्चित करा.



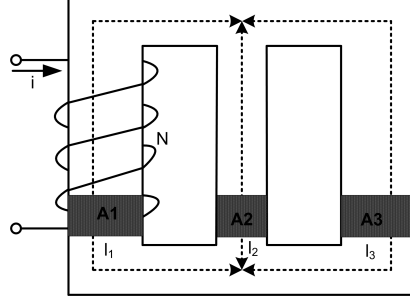
- व्होल्टेज V_1 आणि V_2 आणि I_1 काढण्यासाठी KVL आणि KCL लावा.



- 230 V, 100 W इकॅन्सेंट दिवा (incandescent lamp) विचारात घ्या. (i) दिव्याचा प्रतिकार (resistance) (ii) दिवा करंट (iii) 8 तासांमध्ये दिव्याने वापरलेली ऊर्जा निश्चित करा.
- दर्शविलेल्या विद्युतचुंबकीय सर्किटसाठी (i) कोरची फ्लक्स घनता (density) शोधा (ii) चुंबकीय प्रवाह रेषा (magnetic flux lines) स्केच करा आणि त्यांची दिशा निश्चित करा (iii) चुंबकाच्या उत्तर आणि दक्षिण ध्रुवाचे संकेत करा. क्रॉससेक्शनल क्षेत्र 0.01 m^2 आहे.



6. चुंबकीय संरचनेसाठी (i) चुंबकीय सर्किटची इलेक्ट्रिक समानता (ii) एकूण रीलक्टॉन्स (reluctance) आणि (iii) कॉइलचे सेल्फ इंडक्टन्स निश्चित करा करते. दिलेले: $N = 100$ turns, $\mu_r = 3000 \mu_0$, $A_1 = A_3 = 100 \text{ cm}^2$, $A_2 = 25 \text{ cm}^2$, $l_1 = l_3 = 1 \text{ cm}$ and $l_2 = 10 \text{ cm}$.



7. प्रत्येक अनुप्रयोगासह प्रेरित आणि गतिशीलपणे प्रेरित emf (statically induced and dynamically induced) आकृतीसह स्पष्ट करा.
8. चुंबकीय सर्किट आणि इलेक्ट्रिक सर्किटची तुलना करा.
9. कॉइलच्या सेल्फ इंडक्टन्ससाठी एक्सप्रेशन सोडवा.

संबंधित प्रात्यक्षिक

I. P1- ES110: चुंबकीय साहित्यची पारगम्यता

P1.1 प्रात्यक्षिक विधान

B-H वक्र (curve) प्लॉट करून चुंबकीय सामग्रीची पारगम्यता (permeability) निश्चित करा.

P1.2 प्रात्यक्षिक महत्व

चुंबकीय पारगम्यता हे एक मूल्य आहे जे चुंबकीय सामग्री लागू केलेल्या चुंबकीय क्षेत्राला कसा प्रतिसाद देते हे व्यक्त करते. जर चुंबकीय साहित्याचे द्विध्रुव सहजपणे लागू केलेल्या चुंबकीय क्षेत्राकडे वळले तर त्या चुंबकीय साहित्याला उच्च पारगम्यता मानली जाते. पारगम्यतेच्या आधारावर, चुंबकीय सामग्रीचे पॅरामॅग्नेटिक, डायमॅग्नेटिक किंवा फेरोमॅग्नेटिक सामग्री म्हणून वर्गीकरण केले जाते.

P1.3 संबंधित सिद्धांत

सिद्धांतासाठी, या पुस्तकाच्या 'चुंबकीय सर्किटचे मापदंड' विषय 4.2 पहा.

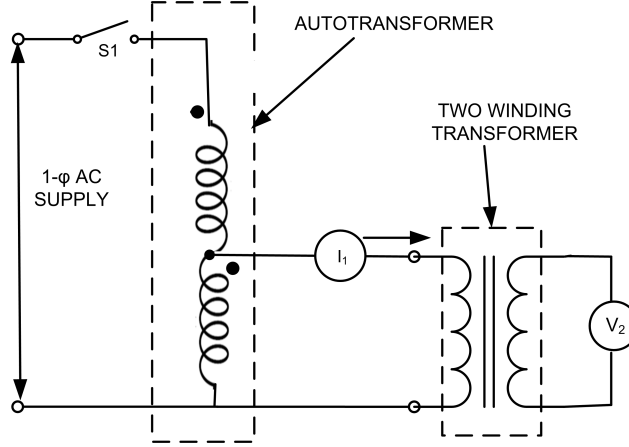
P1.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती (PrO)

PrO1: मोजण्याचे साधन योग्य श्रेणीचे निवडा.

PrO2: सर्किट आणि मोजण्याचे उपकरण योग्यरित्या कनेक्ट करा.

PrO3: दिलेल्या चुंबकीय साहित्याची पारगम्यता निश्चित करा.

P1.5 प्रात्यक्षिक रचना (परिक्रमा आकृती)



आकृती P 1.1: चुंबकीय साहित्याची पारगम्यता निश्चित करण्यासाठी सर्किट आकृती

P1.6 आवश्यक संसाधने

अ. क्र.	सुचवलेली आवश्यक संसाधने मशीन/ साधने/ उपकरणे महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह	प्रमाण	वास्तविक संसाधने विस्तृत वैशिष्ट्यांसह मशीन/ साधने/ उपकरणे वापरतात (विद्यार्थ्यांनी भरावे)	शेरा (जर असेल तर)
1.	सिंगल फेज एसी सोर्स 230V, 50Hz	1		
2.	कनेक्टिंग वायर, मल्टीस्ट्रँड क्यू वायर, 1.5 mm ²	LS		
3.	सिंगल पोल स्विच, 5 A	2		
4.	सिंगल फेज ऑटो ट्रान्सफॉर्मर, 2 KVA, 230 V/270 V	1		
5.	सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मर, 2 KVA, 230 V/115 V	1		
6.	व्होल्टमीटर, 0-300 V AC	1		
7.	अॅमीटर 0- 1A, AC/ डिजिटल अॅमीटर	1		

P1.7 सावधानता

- मोजण्याचे साधन योग्य प्रकार आणि श्रेणी निवडा.
- सर्किट आकृतीमध्ये दाखवल्याप्रमाणे ammeters आणि voltmeters कनेक्ट करा.
- सर्किट आकृतीनुसार सर्किट कनेक्शन तपासा आणि ऑटो ट्रान्सफॉर्मरला वीज पुरवठ्यासाठी स्विच एस 1 चालू करण्यापूर्वी वायर कनेक्शन घट्ट असल्याची खात्री करा.
- प्रयोग झाल्यानंतर वीज पुरवठा बंद करा.

P1.8 सुचवलेली कृती

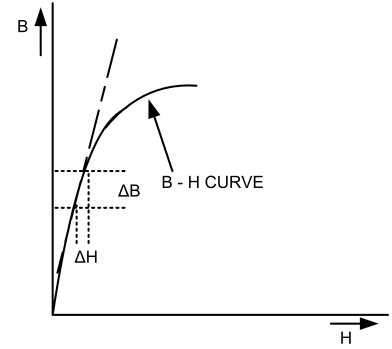
1. आकृती P1.1 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे सर्किटला जोडा.
2. ऑटो ट्रान्सफॉर्मर आणि सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मरचे योग्य कनेक्शन सुनिश्चित करा.
3. ऑटोट्रान्सफॉर्मर रोटरी नॉब शून्य व्होल्टेज स्थितीत ठेवा.
4. सिंगल पोल स्विच S_1 सुरु करा.
5. पुरवठा व्होल्टेज 1-फेज ट्रान्सफॉर्मरमध्ये 10-15 व्होल्टच्या टप्प्यात रेटेड व्होल्टेज पर्यंत हळूहळू ऑटोट्रान्सफॉर्मरची रोटरी नॉब फिरवून वाढवा.
6. निरीक्षण टेबलमध्ये दोन वळण ट्रान्सफॉर्मरचे प्राथमिक व्होल्टेज (V_1), करंट (I_1) आणि दुय्यम व्होल्टेज (V_2) रेकॉर्ड करा.
7. B-H वक्र (curve) प्लॉट करा आणि आकृती P1.2 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे B-H वक्र (curve) च्या रेखीय भागाला स्पर्शिका काढा.

P1.9 परिणाम

अ. क्र.	प्राथमिक करंट (I_1)	दुय्यम व्होल्टेज (V_2)
1.		

गणना

1. मोजलेले दुय्यम व्होल्टेज चुंबकीय प्रवाह घनता B च्या प्रमाणात आहे आणि प्राथमिक प्रवाह चुंबकीय क्षेत्र तीव्रते H च्या प्रमाणात आहे.
2. आलेख कागदाच्या x-अक्ष (axis) वर करंट मूल्य आणि y-अक्ष (axis) वर व्होल्टेज मूल्य चिन्हांकित करा.
3. पारगम्यता $\mu = \frac{\Delta B}{\Delta H}$

**P1.10 परिणाम**

दिलेल्या ट्रान्सफॉर्मरसाठी वापरल्या जाणाऱ्या चुंबकीय साहित्याची पारगम्यता -----
--- आहे.

आकृती P 1.2: B-H वक्र (curve)

P1.11 निष्कर्ष

.....
.....

P1.12 प्रात्यक्षिक संबंधित प्रश्न

(उत्तरासाठी स्वतंत्र पत्रक वापरा)

टीप: खाली संदर्भासाठी काही नमुने प्रश्न दिले आहेत. पूर्व-परिभाषित अभ्यासक्रमाच्या निकालांची प्राप्ती सुनिश्चित करण्यासाठी शिक्षकांनी असे अधिक प्रश्न तयार केले पाहिजेत.

1. मऊ आणि कठोर चुंबकीय सामग्रीमधील फरक सांगा.
2. ट्रान्सफॉर्मरसाठी कोर स्ट्रक्चर म्हणून फेरोमॅग्नेटिक सामग्रीच्या गरजेची यादी करा.
3. ट्रान्सफॉर्मरचा आकार पुरवठा वारंवारते (frequency) वर कसा अवलंबून असतो ते सांगा.

P1.13 संसाधने शिकण्याचे स्त्रोत



B-H curve

अधिक जाणून घ्या

सूक्ष्म प्रकल्प

5 - 6 विद्यार्थ्यांचा एक गट तयार करा आणि एक किंवा दोन सूक्ष्म प्रकल्प /क्रियाकलाप प्राध्यापकांच्या मार्गदर्शनाखाली आणि वैयक्तिक सहभागासह गट म्हणून सादर करा. एक नमुनायादी खाली दिली आहे:

1. करंट कॅरिंग कण्डक्टरमध्ये करंटचे पासिंग शोधण्यासाठी एक साधी प्रोब विकसित करा.
2. म्युच्युअल इंडक्टन्स ज्या निकषांवर अवलंबून आहे त्या निकषांचा अभ्यास करण्यासाठी सर्किट विकसित करा.

व्हिडिओ संसाधने



Electrical and
magnetic
circuits



Basic electric
circuit

संदर्भ आणि सुचविलेले वाचन

1. Seksena, S.B. Lal; Dasgupta, Kaustuv, Fundamentals of Electrical Engineering, Cambridge University Press, 2017.
2. Kothari, D P; Nagrath, I. J., Basic Electrical Engineering, New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, 2002.
3. Wadhwa, C.L., Basic Electrical Engineering, New-Age International Pvt Ltd Publishers, 2007.
4. Theraja, B.L., Electrical Technology, Vol. – I, New Delhi: S. Chand and Company, 2015.

5

एसी सर्किट्स

युनिट वैशिष्ट्ये

हे युनिट खालील विषयांवर चर्चा करते:

- अल्टरनेटिंग प्रमाणाशी संबंधित संज्ञां म्हणजे चक्र (cycle), फ्रीक्वन्सी (frequency), नियतकालिक वेळ (periodic time), अम्प्लिट्यूड (amplitude), कोनीय वेग (angular velocity), आरएमएस मूल्य (rms value), सरासरी मूल्य (average value), फॉर्म फॅक्टर (form factor), पीक फॅक्टर (peak factor), इम्पिडंस (impedance), फेज अँगल (phase angle) आणि पॉवर फॅक्टर (power factor).
- अल्टरनेटिंग ईएमएफ आणि करंटचे गणितीय आणि फेझर प्रतिनिधित्व.
- स्टार आणि डेल्टा कनेक्शनमधील व्होल्टेज आणि करंट संबंध.
- AC मधील रेझिस्टर, इंडक्टर्स आणि कॅपेसिटर.
- R-L सीरीज, R-C सीरीज, R-L-C सीरीज आणि पॅरलेल् सर्किटमधील A.C.
- AC सर्किट आणि पॉवर त्रिकोण मधील पॉवर.

विषयांच्या व्यावहारिक अनुप्रयोगांवर अधिक उत्सुकता निर्माण करण्यासाठी तसेच समस्या सोडवण्याची क्षमता सुधारण्यासाठी चर्चा केली जाते. हे लक्षात घेणे महत्वाचे आहे की आवडत्या विविध विषयांवर अधिक माहिती मिळवण्यासाठी व्हिडीओ आणि वेबसाइट्सच्या क्यूआर कोडच्या स्वरूपात लिंक प्रदान केले गेले आहेत. एकाधिक पसंतीचे प्रश्न तसेच व्यक्तिनिष्ठ प्रश्न आणि संख्यात्मक उदाहरणाची संख्या सरावासाठी प्रदान केली जाते. संबंधित प्रयोग, त्यानंतर "अधिक जाणून घ्या" विभागात सूक्ष्म प्रकल्प आणि उपक्रम तसेच आयसीटीसह पूरक माहिती व्हिडीओ संसाधनांचा समावेश आहे. संदर्भ आणि सुचवलेल्या वाचनांची यादी युनिटमध्ये दिली आहे जेणेकरून पुढील सराव आणि शिकण्याच्या वर्धनासाठी कोणी त्यांच्या माध्यमातून जाऊ शकेल.

तर्कसंग

अल्टरनेटिंग करंट (संक्षिप्त ए.सी./एसी) आजच्या ऊर्जा निर्मिती, वितरण आणि वापरामध्ये महत्वाची भूमिका बजावते. डीसी (DC) सर्किट प्रमाणे, एसी (AC) सर्किटमध्ये उर्जा आणि भाराचा स्त्रोत असतो, ज्यामध्ये वीजेचे रूपांतर होते. एसी सर्किटमध्ये व्होल्टेज आणि करंटच्या मुल्याचे परिमाण व दिशा स्थिर नसते, ते वेळेच्या नियमित अंतराने बदलते. एसीचा वापर घरगुती आणि औद्योगिक अनुप्रयोगांसाठी केला जातो जसे की दूरदर्शन संच, संगणक, मायक्रोवेव्ह ओव्हन, पंखे, उद्योगात वापरल्या जाणाऱ्या मोठ्या मोटर्स इत्यादी. या अध्यायात एसी ची मूलभूत तत्त्वे आणि मूलभूत सर्किट्सचे वर्णन केले जाईल.

पूर्व-आवश्यकता:

1. उपयोजित भौतिकशास्त्र-I: कार्य, शक्ती आणि ऊर्जा (सेमेस्टर-I)
2. गणित-I: त्रिकोणमिती, बीजगणित (सेमेस्टर-I)

युनिट परिणाम

हा अध्याय पूर्ण झाल्यावर, विद्यार्थी सक्षम असेल:

U5-O1: AC सिग्नलशी संबंधित विविध मूलभूत संज्ञांचे वर्णन करा.

U5-O2: अल्टरनेटिंग e.m.f. व करंट चे गणितीय आणि फेजर आकृती दर्शवा.

U5-O3: सिंगल फेज AC च्या अधीन असताना R-L सीरीज, R-C सीरीज, R-L-C सीरीज आणि पॅरलेल् सर्किटचे विश्लेषण करा.

U5-O4: स्टार/ डेल्टा ट्रान्सफॉर्मेशन वापरून 3 फेज एसी सिस्टीममध्ये व्होल्टेज आणि करंटचे संबंध निश्चित करा.

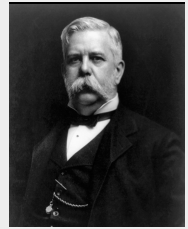
U5-O5: AC सर्किटचे मापदंड निश्चित करण्यासाठी पॉवर त्रिकोण वापरा.

कोर्स आऊटकोम्ससह युनिट वाईजचे एक्सपेक्टेड मॅपिंग:

युनिट-5 परिणाम	कोर्स आऊटकोम्ससह एक्सपेक्टेड मॅपिंग (1-दुर्बलसहसंबंध; 2-मध्यमसंबंध; 3-मजबूतसहसंबंध)					
	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4	CO-5	CO-6
U5-O1	1	-	-	-	3	3
U5-O2	1	-	-	-	3	3
U5-O3	1	-	-	-	3	3
U5-O4	2	-	-	-	3	1
U5-O5	1	-	-	-	3	1

जॉर्ज वेस्टिंगहाऊस (1914-1986)

औद्योगिक क्रांती 2.0 च्या दरम्यान सर्वात प्रगत शोधकांपैकी एक होते आणि अल्टरनेटिंग करंट तंत्रज्ञानाला प्रोत्साहन देण्यासाठी प्रसिद्ध आहे, ज्यांनी जगातील प्रकाश आणि उर्जा उद्योगांमध्ये क्रांती आणली आणि एअर ब्रेक सिस्टीमचा शोध लावला ज्यामुळे रेल्वेमार्ग सुरक्षित बनले. युनियन आर्मी आणि नेव्हीमध्ये सेवा दिल्यानंतर, त्यांनी अनेक उपकरणे पेटंट केले, विशेषतः रेल्वेमार्गासाठी. त्यांनी अखेरीस वेस्टिंगहाऊस इलेक्ट्रिक आणि मॅन्युफॅक्चरिंग कंपनी सुरू केली जेणेकरून अल्टरनेटिंग करंट (एसी) वीज निर्मिती सुधारेल.

**5.1 अल्टरनेटिंग करंट (ए.सी.) ची मुलतत्वे****5.1.1 परिचय**

जरी अल्टरनेटिंग प्रमाणाचा जास्त व्यापक अर्थ असला तरी त्याचा वापर सामान्यतः सायनसॉइडल (sinusoidal) प्रमाण करण्यासाठी केला जातो. सहसा, अल्टरनेटिंग करंट (एसी करंट म्हणून ओळखले जाते) किंवा अल्टरनेटिंग व्होल्टेज (एसी व्होल्टेज

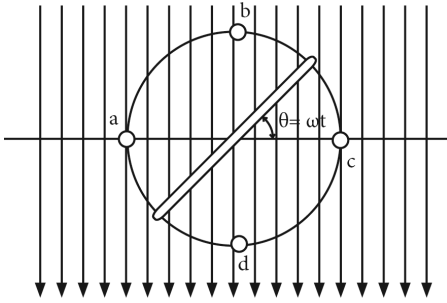
म्हणून ओळखले जाते) हे सायनसॉइडल (sinusoidal) बदलणारे करंट किंवा व्होल्टेज आहे. जवळजवळ सर्व इलेक्ट्रिकल पॉवर सप्लाय सिस्टीममध्ये सायनसॉइडल (sinusoidal) एसी करंटचा समावेश असतो, जो साइनसॉइडल एसी व्होल्टेजमधून मिळतो. एसी व्होल्टेज तयार करण्यासाठी जनरेटरचा वापर केला जातो. आपल्या घर, कारखाने आणि कार्यालयांसाठी युटिलिटी कंपन्यांनी निर्माण केलेले व्होल्टेज म्हणजे एसी व्होल्टेज.

5.1.2 अल्टरनेटिंग प्रमाण

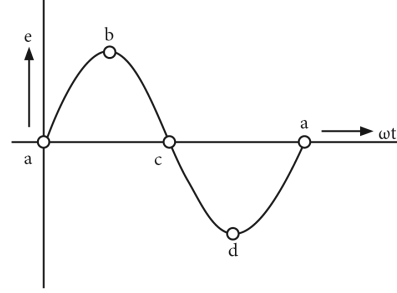
अध्याय 1 च्या युनिट 1.3 मध्ये उल्लेख केल्याप्रमाणे, अल्टरनेटिंग प्रमाण सतत आकार (magnitude) बदलते आणि वेळोवेळी नियमित अंतराने दिशा बदलते. पर्यायी व्होल्टेज किंवा करंट नेहमी गुळगुळीत वेव्हेचे रूप घेऊ शकत नाही जसे की आकृती 5.1 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे, तरीही साइन वेव्हे हे आदर्श स्वरूप आहे आणि स्वीकारलेले स्टॅंडर्ड (standard) आहे. स्टॅंडर्ड साइन वेव्हमधून विचलित होणाऱ्या वेव्ह ह्या डिस्टॉर्टेड (distorted) वेव्ह म्हणून ओळखल्या जातात. सर्वसाधारणपणे, तथापि, एक अल्टरनेटिंग करंट किंवा व्होल्टेज एक आहे, ज्याची दिशा नियमितपणे रिकरिंग (recurring) अंतराने उलटते.

अल्टरनेटिंग व्होल्टेज आणि करंट

जेव्हा कॉइल चुंबकीय क्षेत्रात फिरवली जाते, तेव्हा त्या कॉइलमध्ये एक अल्टरनेटिंग इलेक्ट्रोमोटिव्ह फोर्स (e.m.f.) प्रेरित होते. E.m.f.चे मूल्य कॉइलमधील वळणांची संख्या, चुंबकीय क्षेत्राची ताकद आणि चुंबकीय क्षेत्रात कॉइल फिरवण्याची गती यावर प्रेरित होते. आकृती 5.1 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे ' ω ' रेडियन प्रति सेकंदाच्या स्थिर कोनीय वेगाने एकसमान चुंबकीय क्षेत्रात फिरणाऱ्या वाहकाचा विचार करा. त्याचा रोटेशनचा अक्ष चुंबकीय पॉवर च्या रेषांना लंब (perpendicular) आहे. ए, बी, सी आणि डी सारख्या वाहकाच्या भिन्न स्थितीनुसार, इलेक्ट्रोमोटिव्ह फोर्स (ईएमएफ) चे संबंधित मूल्य आकृती 5.2 मध्ये दर्शविले आहे.



आकृती 5.1: चुंबकीय क्षेत्रात फिरणाऱ्या कॉइलद्वारे प्रेरित E.M.F.



आकृती 5.2: साइनसॉइडल वेव्ह

बिंदू a आणि बिंदू c वर, कंडक्टर चुंबकीय क्षेत्राच्या पॅरलेल् फिरतो. म्हणून, e.m.f. प्रेरित शून्य आहे. बिंदू b आणि d वर असताना, कंडक्टर चुंबकीय क्षेत्राच्या लंब (perpendicular) दिशेने फिरतो. म्हणून, e.m.f. प्रेरित जास्तीत जास्त आहे. कंडक्टरच्या एका पूर्ण परिभ्रमण मध्ये, e.m.f.चे एक पूर्ण चक्र प्राप्त आहे. E.m.f.ची दिशा बिंदू a आणि c वर विरुद्ध होते, यालाच अल्टरनेटिंग e.m.f. म्हणून ओळखले जाते किंवा अल्टरनेटिंग व्होल्टेज. जेव्हा प्रेरित अल्टरनेटिंग e.m.f. कॉइल सह बाह्य सर्किटशी जोडले जातात तेव्हा अल्टरनेटिंग करंट वाहू लागतो. या अल्टरनेटिंग करंट ची वेव्हफॉर्म ही अल्टरनेटिंग व्होल्टेजच्या वेव्हफॉर्म प्रमाणे असते. तसेच, e.m.f. साइन फंक्शन प्रमाणे बदलते. शोधलेला वक्र (curve) साइन वक्र आहे आणि म्हणूनच, त्याला साइनसॉइडल ईएमएफ म्हणून ओळखले जाते.

5.1.3 अल्टरनेटिंग प्रमाणाशी संबंधित महत्त्वाच्या संज्ञा

अल्टरनेटिंग प्रमाणाशी संबंधित काही महत्त्वाच्या संज्ञा, ज्या समजून घेतल्या पाहिजेत त्या म्हणजे चक्र (cycle), फ्रीक्वन्सी (frequency), नियतकालिक वेळ (periodic time), अम्लिट्यूड (amplitude), कोनीय वेग (angular velocity), आरएमएस मूल्य (rms value), सरासरी मूल्य (average value), फॉर्म फॅक्टर (form factor), पीक फॅक्टर (peak factor), इम्पिडंस (impedance), फेज अँगल (phase angle), आणि पॉवर फॅक्टर (power factor); त्यांचे थोडक्यात वर्णन केले आहे:

1. **चक्र:** अल्टरनेटिंग परिमाणांच्या सकारात्मक आणि नकारात्मक मूल्यांचा एक संपूर्ण संच चक्र म्हणून ओळखला जातो. म्हणून, आकृती 5.3 च्या प्रत्येक आकृती एक पूर्ण चक्र दर्शवते. कधीकधी कोन मापनाच्या दृष्टीने एक चक्र देखील निर्दिष्ट केले जाऊ शकते. अशा परिस्थितीत, एक पूर्ण चक्र 360° किंवा 2π रेडियनमध्ये पसरले असे म्हटले जाते.
2. **फ्रीक्वन्सी:** ही एका सेकंदात होणाऱ्या चक्रांची संख्या आहे. फ्रीक्वन्सी चे एकक हर्ट्झ (Hz) किंवा चक्र/सेकंद आहे. उदाहरणार्थ, 50 Hz म्हणजे एका सेकंदात 50 चक्रे.
3. **कालावधी किंवा नियतकालिक वेळ (T):** अल्टरनेटिंग प्रमाणाचे एक चक्र पूर्ण करण्यासाठी सेकंदात लागणारा वेळ आहे. हे T द्वारे दर्शविले जाते. फ्रीक्वन्सी आणि कालावधी दरम्यानचा संबंध खालील प्रमाणे काढला जाऊ शकतो:
 f चक्र पूर्ण करण्यासाठी लागणारा वेळ = 1 सेकंद
 1 चक्र पूर्ण करण्यासाठी लागणारा वेळ = $1/f$ सेकंद
 $\therefore T = 1/f$... (5.1)
4. **अम्लिट्यूड:** हे जास्तीत जास्त मूल्य आहे, पॉझिटिव्ह किंवा निगेटिव्ह, अल्टरनेटिंग प्रमाणाद्वारे प्राप्त केले जाते. याला जास्तीत जास्त (maximum) किंवा कमाल मूल्य (peak value) असेही म्हटले जाते.
5. **सरासरी मूल्य (Average Value):** एका चक्रावर अल्टरनेटिंग प्रमाणाच्या सर्व मूल्यांच्या अंकगणित सरासरीला त्याचे सरासरी मूल्य म्हणतात. एका चक्रावर अल्टरनेटिंग प्रमाणाचे सरासरी मूल्य शून्य आहे. म्हणून, त्याची व्याख्या अर्ध्या चक्रावर केली जाते. सरासरी मूल्य हे स्थिर करंट चे मूल्य म्हणून परिभाषित केले जाते जे तेवढाच इलेक्ट्रीक चार्ज हस्तांतरित करते जेवढा अल्टरनेटिंग प्रवाहाने इलेक्ट्रीक चार्ज हस्तांतरित केला जातो.

साइनसॉइडल करंटचे सरासरी मूल्य,

$$i = I_m \sin \omega t \quad \dots (5.2)$$

$$I_{av} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} i d(\omega t)$$

$$I_{av} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_m \sin \omega t d(\omega t)$$

$$I_{av} = \frac{2I_m}{\pi} = 0.6371 I_m \quad \dots (5.3)$$

\therefore साइनसॉइडल करंटचे सरासरी मूल्य = $0.637 \times$ कमाल मूल्य.

6. **आर.एम.एस. (R.M.S) मूल्य:** आर.एम.एस. (रूट मीन स्क्वेअर) मूल्य हे अल्टरनेटिंग करंट चे ते मूल्य आहे जे स्थिर करंट चे (Steady current) किंवा थेट करंट चे (DC current) मूल्य आहे, जे दिलेल्या सर्किटमधून दिलेल्या वेळेसाठी वाहते आणि तेवढीच उष्णता निर्माण करते जेवढी उष्णता त्याच सर्किटमधून जेव्हा अल्टरनेटिंग करंट तेवढ्याच वेळेसाठी वाहतो. हे प्रभावी मूल्य (Effective Value) म्हणून देखील ओळखले जाते. अॅमिटर (Ammeter) ने मोजलेल्या अल्टरनेटिंग करंट चे मूल्य हे आर.एम.एस. मूल्य असते. साइनसॉइडल अल्टरनेटिंग करंट साठी (Sinusoidal alternating current);

$$i = I_m \sin \omega t$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i^2 d(\omega t)}$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} i_m^2 \sin^2 \omega t d(\omega t)}$$

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m \quad \dots(5.4)$$

∴ साइनसॉइडल वेव्हफॉर्मचे आर.एम.एस. मूल्य = 0.707 × कमाल (Maximum value) मूल्य.

7. **फॉर्म फॅक्टर (Form Factor):** फॉर्म फॅक्टर हा अल्टरनेटिंग करंट चे आर.एम.एस. (R.M.S) मूल्य व सरासरी मूल्य यांचे गुणोत्तर आहे.

$$\text{फॉर्म फॅक्टर} = \text{आर.एम.एस. (R.M.S) मूल्य} / \text{सरासरी मूल्य} \quad \dots(5.5)$$

$$= 0.707 I_m / 0.637 I_m = 1.11$$

अशा प्रकारे, साइनसॉइडल वेव्हफॉर्मसाठी, फॉर्म फॅक्टरचे मूल्य 1.11 आहे.

8. **पीक फॅक्टर (Peak factor):** पीक फॅक्टर हा कमाल मूल्य व आर.एम.एस. (R.M.S) मूल्य यांचे गुणोत्तर आहे.
पीक फॅक्टर = कमाल मूल्य / आर.एम.एस. (R.M.S) मूल्य ...(5.6)

9. **कोनीय गती (Angular Velocity):** कोनीय फ्रीक्वन्सी म्हणजे एका सेकंदात व्यापलेल्या रेडियन्सची संख्या म्हणून परिभाषित केली जाते (म्हणजे, फिरत्या कॉइलने व्यापलेला कोन). कोनीय फ्रीक्वन्सी चे एकक rad/sec आहे.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad \dots(5.7)$$

10. **तात्काळिक मूल्य (Instantaneous Value):** हे कोणत्याही क्षणी प्रमाणाचे मूल्य आहे.

अल्टरनेटिंग व्होल्टेज आणि करंट

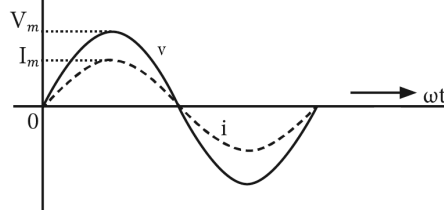
$$v = V_m \sin \theta = V_m \sin \omega t = V_m \sin 2\pi f t = V_m \sin \frac{2\pi}{T} t \quad \dots(5.8)$$

जेथे V_m = व्होल्टेजचे कमाल मूल्य,

f = Hz मध्ये वारंवारता, आणि t = वेळ सेकंदात

समीकरण 5.8 द्वारे व्यक्त केलेल्या संबंधातून,

- अल्टरनेटिंग व्होल्टेजचे जास्तीत जास्त मूल्य किंवा शिखर मूल्य हे वेळेच्या कोनाच्या साईनचा गुणांकाने दिले जाते.
- फ्रीक्वन्सी f हे 2π ने विभाजित केलेल्या वेळेच्या गुणांकाने दिले जाते.



आकृती 5.3: अल्टरनेटिंग व्होल्टेज व करंट

उदाहरणार्थ, जर अल्टरनेटिंग व्होल्टेजचे समीकरण दिलेले असेल $V = 20 \sin 314t$

तर या व्होल्टेजचे कमाल मूल्य 20 V

तर त्याची फ्रीक्वन्सी $f = 314/2\pi = 50 \text{ Hz}$

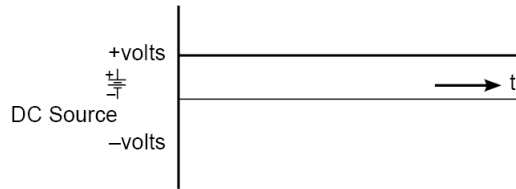
जर वरील व्होल्टेजसह करंट जर फेजमध्ये असेल आणि I_m हे करंटचे जास्तीत जास्त मूल्य असेल तर अल्टरनेटिंग करंट तात्कालिक मूल्याचे समीकरण खालील प्रमाणे आहे,

$$i = I_m \sin 2\pi ft = I_m \sin \omega t = I_m \sin \frac{2}{T} t \quad \dots (5.9)$$

एसी प्रणाली (A.C. system) आणि डीसी प्रणाली (D.C. system) ची तुलना

एक डीसी वेव्हफॉर्म आकृती 5.4 मध्ये दर्शविले आहे. डीसी प्रणालीपेक्षा एसी प्रणालीचे काही महत्त्वाचे फायदे खालीलप्रमाणे आहेत.

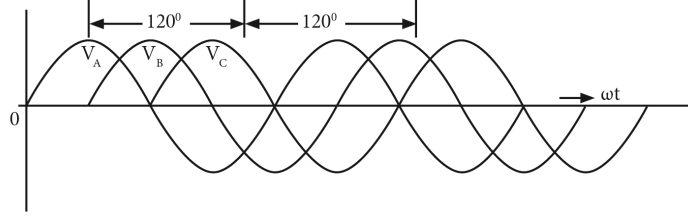
- ट्रान्सफॉर्मर वापरून एसी व्होल्टेज कार्यक्षमतेने कमी/जास्त करता येतात.
- डीसी मोटर्सच्या तुलनेत, एसी मोटर्स स्वस्त आहेत आणि त्यांची जोडणी सोपी आहेत.
- एसी प्रणालीसाठी स्विचगियरर्स हे डीसी प्रणालीपेक्षा सोपे आहे.
- ब्रेक इव्हन अंतरापर्यंत सुलभ आणि स्वस्त उत्पादन आणि प्रसारण.



आकृती 5.4: डीसी व्होल्टेज

सिंगल-फेज आणि थ्री-फेज एसी

एसी सिंगल-फेज किंवा थ्री-फेज असू शकतो. सिंगल-फेज एसी (आकृती 5.3) घरातल्या लहान विद्युत मागण्यांसाठी वापरली जाते. आकृती 5.5 मध्ये दाखवलेल्या थ्री-फेज एसीचा वापर केला जातो जेथे प्रचंड भार (load) म्हणजेच व्यावसायिक आणि औद्योगिक सुविधांमध्ये मोठ्या प्रमाणावर वीज आवश्यक असते. थ्री-फेज ही तीन ओव्हरलॅपिंग एसी सायकलची अखंड सीरीज आहे. प्रत्येक वेव्हफॉर्म एका फेजचे प्रतिनिधित्व करते आणि 120 अंशांनी ऑफसेट होते.



आकृती 5.5: श्री-फेज साइन वेव्ह

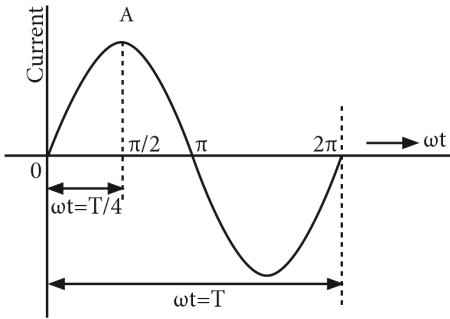
5.1.4 फेज, फेज डिफरन्स आणि पॉवर फॅक्टर

चक्र (Cycle) दरम्यान, अल्टरनेटिंग करंट किंवा व्होल्टेज विविध मूल्यांमधून जातो. शून्यापासून प्रारंभ करून, ते कमाल पर्यंत वाढते आणि नंतर हळूहळू शून्यावर कमी होते. नंतर उलट दिशेने वाढते, कमाल होते आणि शेवटी, पुन्हा शून्यावर येते. सर्व अल्टरनेटिंग प्रमाण या विविध फेजमधून जातात. या विविध फेजना इलेक्ट्रिकल अभियांत्रिकीमधील विविध अवस्था म्हटले जातात. अल्टरनेटिंग प्रमाणाचा फेज हा त्या अल्टरनेटिंग प्रमाणाच्या नियतकालिक वेळेचा अपूर्णाक आहे, जीचा फेज नुकताच शून्य स्थितीतून गेलेला आहे.

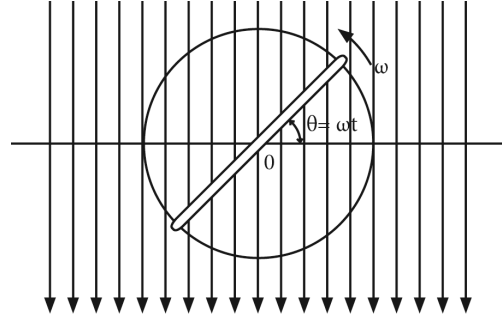
दोन अल्टरनेटिंग वेव्हज या एकाच फेज मध्ये असल्याचे म्हटले जाईल जेव्हा त्या एकाच वेळी त्यांच्या कमाल आणि शून्य मूल्यांवर पोहोचतील. त्यांची जास्तीत जास्त मूल्ये परिमाणानुसार भिन्न असू शकतात. वेळेच्या कोणत्याही विशिष्ट प्रसंगी प्रत्यक्ष फेज हा इतका महत्त्वपूर्ण नाही. तथापि, कोन किंवा वेळेतील फरक महत्त्वाचा आहे. फेज मधील फरक हा दोन भिन्न व्होल्टेज किंवा दोन भिन्न करंट किंवा व्होल्टेज आणि करंट असू शकतात. दोन अल्टरनेटिंग प्रमाण मधील सापेक्ष फरकाला 'फेज डिफरन्स' म्हणतात आणि ते 'फेज अँगल' च्या दृष्टीने व्यक्त केले जाते.

+ I_m चा फेज $\pi/2$ रॅड किंवा $T/4$ सेकंद आहे

– I_m चा फेज $3\pi/2$ रॅड किंवा $3T/4$ सेकंद आहे



आकृती 5.6: फेज अँगलसह साइन वेव्ह



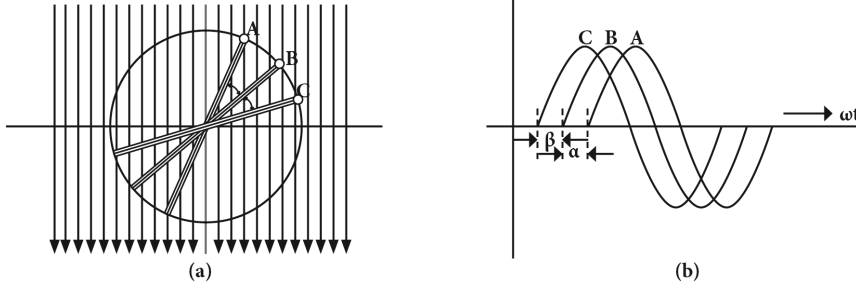
आकृती 5.7: फिरण्याचा कॉइलचा फेज

उदाहरणार्थ, बिंदू A वरील करंट चा फेज $T/4$ सेकंद आहे, जेथे T हा कालावधी आहे किंवा त्या दृष्टीने व्यक्त केला जातो कोन, तो $\pi/2$ रेडियन आहे (आकृती 5.6). तसेच, फिरण्याचा कॉइलचा फेज आकृती 5.7 मध्ये तात्काळ दर्शविला आहे. तसेच θ जो ωt च्या बरोबर आहे, म्हणून, त्याला फेज अँगल म्हणतात.

फेज फरक

आकृती 5.8 (a) मध्ये दाखवल्याप्रमाणे समान कोनीय वेग असलेल्या कोनांनी एकमेकांपासून विस्थापित आणि एकसमान चुंबकीय क्षेत्रात फिरत असलेल्या तीन समान सिंगल-टर्न कॉइल्सचा विचार करा.

इथे, प्रेरित e.m.f.s चे मूल्य तीन कॉइल्समध्ये समान आहे, परंतु एक महत्त्वाचा फरक आहे. E.m.f.s. या कॉइल्समध्ये एकाच वेळी त्यांच्या कमाल किंवा शून्य मूल्यांवर पोहोचत नाही परंतु ते एकामागून एक त्या मूल्यांवर पोहोचतात. तीन साइनसॉइडल वेव्हफॉर्म आकृती 5.8 (b) मध्ये दर्शविल्या आहेत. असे दिसून येते की वक्र B आणि C हे वक्र A पासून कोन β आणि $(\alpha + \beta)$ ने अनुक्रमे विस्थापित होतात. म्हणून, याचा अर्थ असा की A आणि B मधील फेज फरक हा β आणि B आणि C मधील फेज फरक हा α आहे, परंतु A आणि C दरम्यान $(\alpha + \beta)$ आहे. तथापि, कोणते ईएमएफ (e.m.f.) कमाल मूल्य प्रथम गाठते या बद्दल सूचित करत नाही. ही कमतरता 'लॅग' किंवा 'लीड' या संज्ञा वापरून पुरवली जाते. फेज फरकाच्या संदर्भात वापरलेले अधिक (+) चिन्ह 'लीड' दर्शवते तर वजा (-) चिन्ह 'लॅग' दर्शवते.



आकृती 5.8: फेज फरक

लीडींग (leading) अल्टरनेटिंग प्रमाण (quantity) हे असे आहे जे इतर प्रमाणा (quantity) च्या तुलनेत आधी त्याच्या कमाल (किंवा शून्य) मूल्यापर्यंत पोहोचते. त्याचप्रमाणे, एक लॅगिंग अल्टरनेटिंग प्रमाण ही अशी आहे जी इतर प्रमाणापेक्षा नंतर त्याच्या कमाल किंवा शून्य मूल्यापर्यंत पोहोचते. उदाहरणार्थ, आकृती 5.8 (b) मध्ये, B A च्या β ने मागे आणि C A च्या $(\alpha + \beta)$ ने मागे आहे कारण ते नंतर त्यांच्या कमाल मूल्यांपर्यंत पोहोचतात. तात्काळ प्रेरित e.m.f.s साठी तीन समीकरणे आहेत (समीकरण 5.10 e_A , e_B आणि e_C)

$$e_A = E_m \sin \omega t$$

$$e_B = E_m \sin (\omega t - \beta)$$

$$e_C = E_m \sin [\omega t - (\alpha + \beta)]$$

...(Eq. 5.10)

सोडविलेले उदाहरण

उदाहरण 5.1.1: $i = 141.4 \sin 314t$ द्वारे एक अल्टरनेटिंग करंट i दिला जातो शोधा i) कमाल मूल्य ii) वारंवारता iii) कालावधी iv) तात्कालिक मूल्य जेव्हा $t = 5 \text{ ms}$.

ऊत्तर:

दिलेले, $i = 141.4 \sin 314t$

$$i = I_m \sin \omega t$$



AC Circuits

- i. कमाल मूल्य $I_m = 141.4 \text{ A}$
- ii. कोनीय वेग $(\omega) = 314 \text{ rad/sec}$
 $f = \omega/2\pi = 50 \text{ Hz}$
- iii. $T = 1/f = 0.02 \text{ सेकंद}$
- iv. $I = 141.4 \sin(314 \times 0.005) = 3.87 \text{ A}$

5.1.5 फेजर

फेजर एक वेक्टर आहे जो साइनसॉइडल फंक्शनचे प्रतिनिधित्व करण्यासाठी वापरला जातो. हे उत्पत्तीभोवती (Origin) कोनीय वेगाने घड्याळविरोधी दिशेने फिरते. विद्युत प्रमाण जसे व्होल्टेज आणि करंट हे फेजरच्या सहाय्याने दर्शविले जातात ज्याची लांबी परिमाण दर्शवते आणि बाण दिशा दर्शवते. फेजर्सचा अनुलंब हा दिलेल्या समीकरणासाठी साइनसॉइडल वेव्ह ने बदलणाऱ्यांचे प्रमाण दर्शवितो.

येथे, फेजर्सचे परिमाण करंट (I_m) आणि व्होल्टेज (V_m) चे शिखर किंवा कमाल मूल्य दर्शवते. आकृती 5.6 आणि आकृती 5.7 पासून, फेजर आणि साइनसॉइडल फंक्शनचे वेळेच्या संदर्भात असलेले संबंध यांच्यातील संबंध पाहिला जाऊ शकतो. उभ्या अक्षावर फेजरचे प्रक्षेपण हे त्याच्या प्रमाणाचे मूल्य दर्शवते. उदाहरणार्थ, करंट किंवा व्होल्टेज फेजरच्या बाबतीत, अनुक्रमे $I_m \sin \omega t$ आणि $V_m \sin \omega t$ द्वारे दिलेल्या उभ्या अक्षावर फेजरचे प्रक्षेपण, त्या क्षणी करंट किंवा व्होल्टेजचे मूल्य देते.

5.1.6 केवळ रेझिस्टर (Resistor), इंडक्टर (Inductor), कॅपेसिटर (Capacitor) मध्ये एसी

5.1.6.1 केवळ रेझिस्टर (Resistor) सर्किट

ओहमच्या नियमानुसार, $I = V/R$ किंवा $V = IR$

जेव्हा अल्टरनेटिंग व्होल्टेज V हे केवळ रेझिस्टर (Resistor) R वर लागू केले जाते, तेव्हा

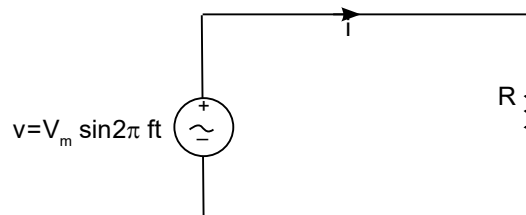
$$i = I_m \sin 2\pi f t.$$

द्वारे दिलेल्या रेझिस्टर मध्ये वाहणाऱ्या प्रवाहाचे तात्कालिक मूल्य काढले जाते.

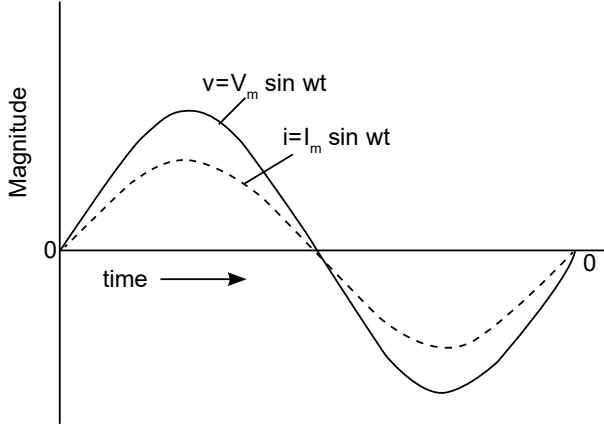
जास्तीत जास्त व्होल्टेजच्या दृष्टीने V चे मूल्य आणि

$$I_m = V_m / R,$$

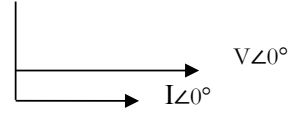
$$v = V_m \sin 2\pi f t$$



आकृती 5.9: AC मध्ये केवळ रेझिस्टर



आकृती 5.10: केवळ रेझिस्टर चा AC इनपुट प्रतिसाद (response)

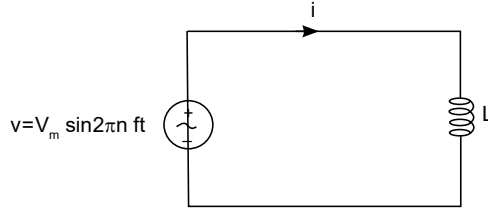


आकृती 5.11: फेजर आकृती

V आणि i च्या संबंधातून, आम्ही पाहतो की आकृती 5.10 प्रमाणे परिमाण दर्शविले जाऊ शकतात. आकृती 5.11 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे केवळ रेझिस्टर (Resistor) सर्किटच्या फेजर आकृतीवरून, व्होल्टेज आणि करंटचे फेजर्स सर्व क्षणांसाठी एकाच दिशेने असतात, व्होल्टेज आणि करंट दरम्यानचा फेज अँगल शून्य असतो, म्हणजेच फेज फरक शून्य आहे. म्हणून, पॉवर फॅक्टर किंवा $\cos \theta$ चे मूल्य 1 आहे.

5.1.6.2 केवळ इंडक्टर (Inductor) सर्किट

एसी व्होल्टेज हे आकृती 5.12 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे केवळ इंडक्टरशी (Inductor) जोडलेले आहे. याचा परिणाम म्हणजे e.m.f स्व-प्रेरणांमुळे कॉइलमध्ये प्रेरित होतो. हे e.m.f. कॉइलमधून वाहणाऱ्या प्रवाहाच्या बदलाच्या दरावर अवलंबून आहे. या विरोधामुळे, करंट हा व्होल्टेजच्या $\pi/2$ किंवा 90° च्या कोनातून मागे आहे.



आकृती 5.12: AC सह केवळ इंडक्टर सर्किट

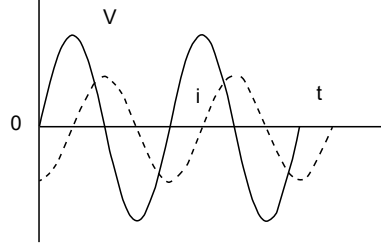
$$V = V_m \sin 2\pi f t$$

$$\therefore \text{करंटचे मूल्य } i = I_m \sin (2\pi f t - \pi/2) = -I_m \cos 2\pi f t$$

हे आकृती 5.13 मध्ये दर्शविले आहे.

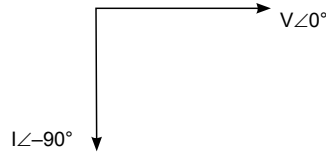
$$\text{तसेच, करंट चे मूल्य } I_m = V_m / \omega L$$

जेथे " ωL " ला "इंडक्टिव रियाक्टन्स" म्हणून ओळखले जाते आणि X_L द्वारे दर्शविले जाते. तसेच, जेथे L हे हेन्रीमध्ये इंडक्टन्सचे मूल्य आहे आणि $X_L = 2\pi f L$ ओहममध्ये मोजले जाते.



आकृती 5.13: एसी व्होल्टेज इनपुटला केवळ इंडक्टर सर्किटचा प्रतिसाद

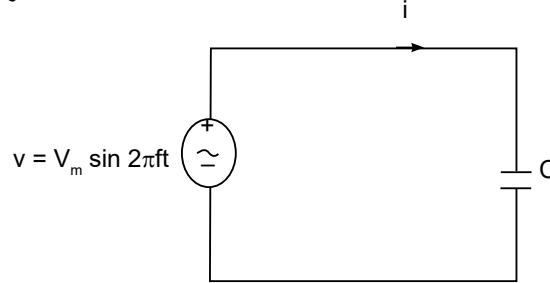
या सर्किटमध्ये, व्होल्टेज आणि करंट मधील फेज फरक 90° आकृती 5.14 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे आहे. म्हणून, पॉवर फॅक्टर किंवा $\cos \phi$ चे मूल्य शून्य आहे.



आकृती 5.14: फेज आकृती

5.1.6.3 केवळ कॅपेसिटिव्ह (Capacitive) सर्किट

जेव्हा आकृती 5.15 प्रमाणे केवळ कॅपेसिटर (capacitor) अल्टरनेटिंग व्होल्टेज लागू केले जाते, तेव्हा चार्जिंग आणि डिस्चार्ज करण्याची प्रक्रिया सुरू होते. हे एका दिशेने आणि नंतर विरुद्ध दिशेने चार्ज केले जाते. याचा परिणाम करंटच्या प्रवाहात होते. चार्जिंग आणि डिस्चार्जिंग प्रक्रियेमुळे, विद्युत प्रवाह अप्लाईड व्होल्टेजला $\pi/2$ कोन ने लीड करतो.



आकृती 5.15: एसी सह केवळ कॅपेसिटिव्ह सर्किट

समजा $V = V_m \sin 2\pi ft$

मग करंट $i = I_m \sin (2 \pi ft + \pi/2)$

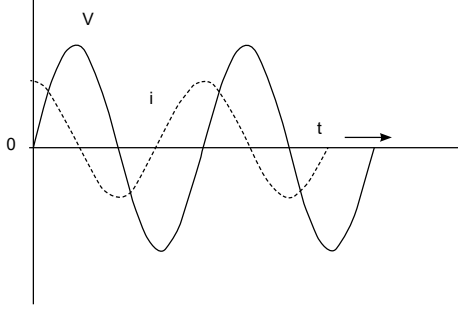
तसेच, करंटचे मूल्य $I_m = V_m / (1/\omega C)$

या ठिकाणी, $1/\omega C$ रेझिस्टन्सची भूमिका बजावते.

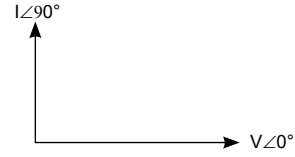
हे “कॅपेसिटिव्ह रिअॅक्टन्स” (Capacitive Reactance)

म्हणून ओळखले जाते आणि X_C द्वारे दर्शविले जाते. जेथे C हे Faraday मध्ये कॅपेसिटन्सचे मूल्य आहे आणि $\omega = 2\pi f$, X_C हे ohms मध्ये मोजले जाते.

या सर्किटमध्ये व्होल्टेज आणि करंट मधील फेज फरक 90° आहे जो आकृती 5.17 मध्ये दर्शविला आहे. त्यामुळे पॉवर फॅक्टर किंवा $\cos \phi$ मूल्य शून्य आहे.



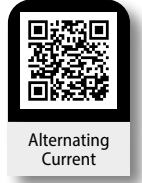
आकृती 5.16: एसी व्होल्टेज इनपुटला केवळ कॅपेसिटिव्ह सर्किटचा प्रतिसाद



आकृती 5.17: फेजर आकृती

अनुप्रयोग

- जगातील जवळजवळ प्रत्येक घर एसी पॉवर द्वारे चालते. एसीच्या तुलनेत उष्णतेमुळे जास्त वीज गमावल्याने, आग लागण्याचे उच्च जोखीम, उच्च खर्च आणि ट्रान्सफॉर्मर्सचा वापर करून उच्च व्होल्टेजला कमी व्होल्टेज-मध्ये रूपांतरित करण्याच्या समस्यांमुळे डीसीचा वापर सामान्यतः या हेतूसाठी केला जात नाही.
- एसी सह इलेक्ट्रिक जनरेटर, आणि वीज वितरण (distribution) प्रणाली तयार करणे देखील शक्य आहे जे डीसी पेक्षा अधिक कार्यक्षम आहेत, आणि म्हणूनच असे दिसून येते की एसीचा वापर जगभरात उच्च पॉवर च्या अनुप्रयोगांमध्ये केला जातो.
- इलेक्ट्रिक मोटर्सला पॉवर देण्याच्या बाबतीत एसी देखील अधिक लोकप्रिय आहे, एक उपकरण जे विद्युत उर्जेला यांत्रिक (mechanical) उर्जेमध्ये रूपांतरित करते.
- आपण वापरत असलेली बहुतेक घरगुती उपकरणे एसीवर अवलंबून असतात जसे रेफ्रिजरेटर, पंखे, एअर कंडिशनर, ओव्हन, टोस्टर इ.
- तीन मूलभूत, रेषीय निष्क्रिय (linear passive) घटक: रेझिस्टर (R), कॅपेसिटर (C), आणि इंडक्टर (L) स्वतःहून एसी अनुप्रयोगांच्या संख्येत वापरले जातात आणि आरसी (RC) सर्किट, आरएल (RL) सर्किट, एलसी (LC) सर्किट आणि आरएलसी (RLC) सर्किट म्हणून एकत्रित केले जाऊ शकतात, ज्याचे कोणत्या घटकांचा वापर केला जातो हे संक्षिप्त शब्द सूचित करतात. या सर्किट्समध्ये, त्यापैकी, बऱ्याच विद्युत आणि अनुरूप इलेक्ट्रॉनिक अनुप्रयोगांना मूलभूत असलेल्या महत्त्वपूर्ण प्रकारच्या वर्तनाचे मोठ्या संख्येने चित्रण केले आहे.



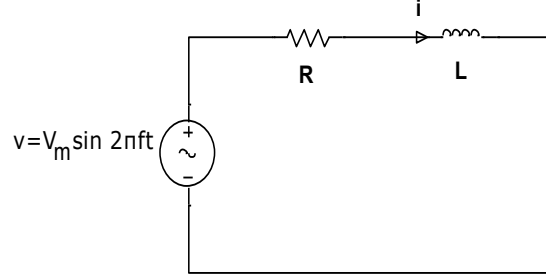
5.2 एसी सीरीज (Series) आणि पॅरलेल (Parallel) सर्किट्स

5.2.1 प्रस्तावना

इलेक्ट्रिकल अभियांत्रिकीमध्ये, जेव्हा प्रात्यक्षिक सर्किटचे विश्लेषण केले जाते, तेव्हा ते सामान्यतः रिझिस्टन्स (resistance), इंडक्टन्स (inductance) आणि कॅपेसिटन्स (capacitance) चे दोन किंवा अधिक घटक (elements) असतात. म्हणूनच अशा अनेक परिस्थिती आहेत ज्यात एसी सीरीज सर्किटशी संबंधित विविध घटकांची गणना करणे आवश्यक आहे. एसी मशीनच्या

कामगिरीचा अभ्यास करण्यासाठी, एसी सीरीज सर्किटचे ज्ञान अत्यंत आवश्यक आहे. या विभागात, एसी सीरीज सर्किट्समध्ये रेझिस्टन्स, इंडक्टन्स आणि कॅपेसिटन्स चे वर्णन केले आहे.

5.2.2 रेझिस्टन्स-इंडक्टन्स (आरएल) सर्किट



आकृती 5.18: आरएल सीरीज सर्किट

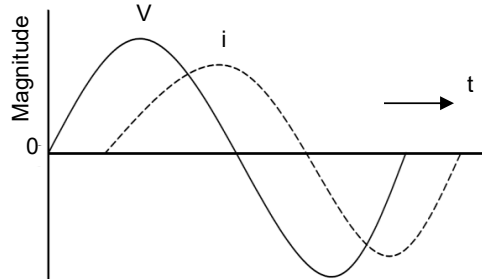
मागील विभागात, एसी व्होल्टेज सर्किटमध्ये लागू होते ज्यात केवळ रेझिस्टन्स, इंडक्टन्स आणि कॅपेसिटन्स यांचा समावेश असतो हे स्पष्ट केले आहे. तथापि, सीरीज सर्किटमध्ये जेव्हा एसी व्होल्टेज दोनच्या संयोजनावर लागू होते म्हणजे आकृती 5.18 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे सर्किटमध्ये केवळ रेझिस्टन्स R आणि केवळ इंडक्टन्स L सीरीज मध्ये असते, आर आणि एल मध्ये प्रवाहित करंट समान असेल आणि म्हणूनच, आरएमएस (R.M.S.) सारखेच तात्काळ (instantaneous) मूल्य आणि कमाल (maximum) मूल्य असेल. सीरीज सर्किटच्या समाधानासाठी करंट संदर्भ म्हणून घेतले जाते.

समजा $i = I_m \sin \omega t$ विद्युत प्रवाहासाठी समिकरण आहे. यामुळे R आणि L मध्ये व्होल्टेज कमी होईल. R मध्ये तात्काळ व्होल्टेज ड्रॉप आहे

$$V_R = i R = I_m \sin \omega t R \quad \dots(\text{Eq. 5.11})$$

आणि, L मध्ये तात्काळ व्होल्टेज ड्रॉप आहे

$$\begin{aligned} V_L &= L \frac{di}{dt} = L \frac{d(I_m \sin \omega t)}{dt} \\ &= (I_m \cos \omega t) \omega L \end{aligned} \quad \dots(\text{Eq. 5.12})$$



आकृती 5.19: AC व्होल्टेज इनपुटला R-L सीरीज सर्किटचा प्रतिसाद

त्यानंतर, पुरवठा (supply) व्होल्टेजचे एकूण तात्काळ मूल्य आहे

$$\begin{aligned}
 V &= V_R + V_L \\
 &= I_m R \sin \omega t + I_m \omega L \cos \omega t \\
 &= I_m (R \sin \omega t + \omega L \cos \omega t)
 \end{aligned}$$

जेथे

$$R = Z \cos \theta \text{ and } \omega L = X_L = Z \sin \theta; \quad \dots(\text{Eq. 5.13})$$

या ठिकाणी Z हा सर्किटचा इम्पिडंस आहे.

$$\begin{aligned}
 V &= I_m [Z \cos \theta \sin \omega t + Z \sin \theta \cos \omega t] \\
 &= I_m Z [\cos \theta \sin \omega t + \sin \theta \cos \omega t] \\
 &= I_m Z [\sin (\omega t + \theta)] \\
 &= V_m \sin (\omega t + \theta) \quad \dots(\text{Eq. 5.14})
 \end{aligned}$$

अशाप्रकारे, व्होल्टेज करंटला θ कोना (angle) ने लीड करतो, याचा अर्थ असा देखील होतो की, इंडक्टिव सर्किटमधील करंट θ कोना (angle) द्वारे व्होल्टेजला मागे पाडतो.

ज्ञात (known) पैरामीटर्सच्या (parameters) दृष्टीने θ चे मूल्य गुणोत्तर (ratio) घेऊन शोधले जाऊ शकते

$$Z \sin \theta / Z \cos \theta = \tan \theta$$

or

$$\theta = \tan^{-1} \omega L / R \quad \dots(\text{Eq. 5.15})$$

हे ' ω ' वारंवारतेचे (frequency) कार्य आहे. दिलेल्या पैरामीटर्सच्या दृष्टीने Z चे मूल्य आहे

$$R = Z \cos \theta; \omega L = Z \sin \theta$$

ते वर्ग (Squaring) आणि अधिक (adding) करून,

$$\begin{aligned}
 R^2 + \omega^2 L^2 &= Z^2 (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta) = Z^2 \\
 Z &= \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \quad \dots(\text{Eq. 5.16})
 \end{aligned}$$

आकृती 5.19 आरएल सर्किटमधील व्होल्टेज आणि करंट ची भिन्नता दर्शवते.

सर्किटची एकूण पॉवर (Power), $P = VI \cos \theta$

या ठिकाणी V आणि I व्होल्टेज आणि करंटची r.m.s. मूल्ये आहेत.

5.2.3 रेझिस्टन्स-कॅपेसिटन्स (आर-सी) सर्किट

आकृती 5.20 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे आर-सी सर्किटची तुलना आरएल सर्किटशी केल्यावर, असे पाहिले जाते इम्पिडंस

$$Z = \sqrt{R^2 + (1/\omega^2 C^2)} \quad \dots(\text{Eq. 5.17})$$

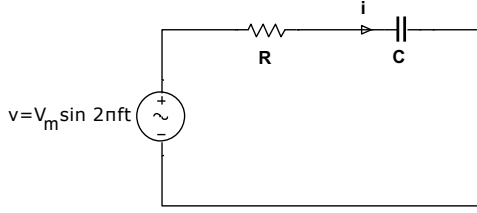
$$I_m = V_m / Z; \tan \theta = X_C / R. \text{ or } \theta = \tan^{-1} 1 / (\omega CR) \quad \dots(\text{Eq. 5.18})$$

$$\cos \theta = R / Z$$

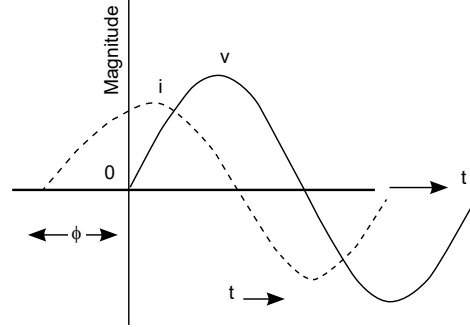
$$i = I_m \sin (2\pi ft + \phi) \quad \dots(\text{Eq. 5.19})$$

कारण करंट व्होल्टेजला ϕ कोनातून लीड करतो.

सर्किटची एकूण पॉवर (Power), $P = VI \cos \phi$



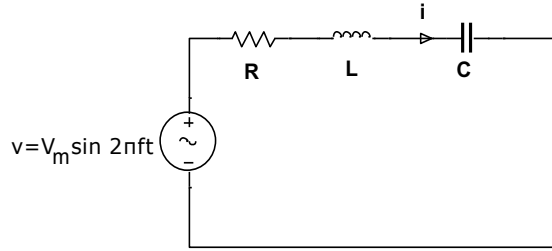
आकृती 5.20: आर-सी सीरीज सर्किट



आकृती 5.21: AC व्होल्टेज इनपुटला R-C सीरीज सर्किटचा प्रतिसाद

5.2.4 रेझिस्टन्स, इंडक्टन्स आणि कॅपेसिटन्स सर्किट (आरएलसी सर्किट)

आकृती 5.22 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे, केवळ रेझिस्टन्स (Resistance) R , केवळ इंडक्टिव्ह रियाक्टन्स (inductive reactance) X_L ohm आणि केवळ कॅपेसिटिव्ह रियाक्टन्स (capacitive reactance) X_C Ohm एसी व्होल्टेजमध्ये सीरीज (Series) मध्ये जोडलेले आहेत, आकृती 5.22 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे, $V = V_m \sin 2\pi ft$



आकृती 5.22: R-L-C सीरीज सर्किट

या प्रकरणात, करंटला एकूण एकत्रित रेझिस्टन्सने विरोध केला जातो जो इम्पिडन्स म्हणून ओळखला जातो.

इम्पिडन्समध्ये रेझिस्टन्स R आणि निव्वळ रियाक्टन्स (reactance) X असते.

निव्वळ रियाक्टन्स (reactance) खालील प्रमाणे दिले जाते

$$X = X_L - X_C, \text{ जेव्हा } X_L > X_C$$

$$\text{or } X = X_C - X_L, \text{ जेव्हा } X_C > X_L$$

$$\text{अशा प्रकारे, इम्पिडन्स } Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$\text{or } Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

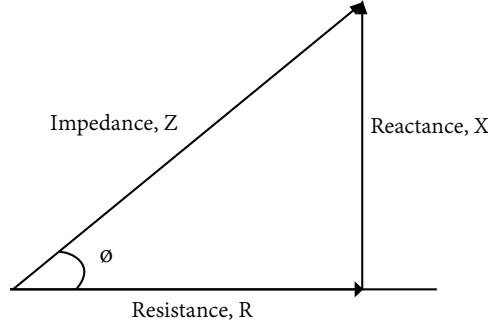
$$\text{or } Z = \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}$$

...(Eq.5.20)

$$\text{करंट चे मूल्य } I_m = \frac{V_m}{Z}, \text{ पॉवर फॅक्टरचे मूल्य } \cos \phi = \frac{R}{Z}, \text{ आणि फेझ कोन } \phi = \cos^{-1} \frac{R}{Z}$$

इम्पिडंस त्रिकोण

इम्पिडंस त्रिकोण एक काटकोन त्रिकोण आहे ज्याचा आधार (base), लंब (perpendicular) आणि कर्ण (hypotenuse) अनुक्रमे रेझिस्टन्स (Resistance) R , रिअॅक्टन्स (Reactance) X आणि इम्पिडन्स (Impedance) Z हे आकृती 5.23 मध्ये दर्शवतात. हे मुळात सर्किट इम्पिडन्स चे जीओमेट्रिकल (geometrical) प्रतिनिधित्व आहे.



आकृती 5.23: इम्पिडन्स त्रिकोण

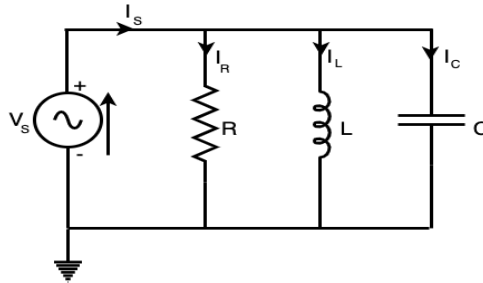
पॅरलेल् (Parallel) आरएलसी सर्किट

आरएलसी सर्किटचा विचार करा ज्यात रेझिस्टर, इंडक्टर आणि कॅपेसिटर एकमेकांना पॅरलेल् जोडलेले आहेत. आकृती 5.24 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे, हे पॅरलेल् संयोजन (combination) व्होल्टेज सप्लाय V द्वारे पुरवले जाते. सीरीज आरएलसी सर्किटमध्ये, तीनही घटकामधून वाहणारा करंट म्हणजेच रेझिस्टर, इंडक्टर आणि कॅपेसिटर सारखाच राहतो, परंतु पॅरलेल् सर्किटमध्ये, प्रत्येक घटकामधील व्होल्टेज समान राहतो आणि प्रत्येक घटकामध्ये करंट इम्पिडन्स वर अवलंबून असतो. म्हणूनच पॅरलेल् आरएलसी सर्किटचा सीरीज आरएलसी सर्किटशी दुहेरी संबंध (dual relationship) असल्याचे म्हटले जाते.

सप्लायमधून काढलेला एकूण करंट, रेझिस्टर (resistor), इंडक्टर (inductor) आणि कॅपेसिटर (capacitor) करंटच्या वेक्टर (vector) बेरीजच्या बरोबरीचा आहे, तीन वैयक्तिक शाखा करंटच्या गणितीय बेरीज नाही, कारण रेझिस्टर, इंडक्टर आणि कॅपेसिटरमध्ये वाहणारा करंट एकमेकांशी एकाच फेजमध्ये नाही; म्हणून ते अंकगणिताने बेरीज करू शकत नाहीत.

किर्चॉफ (Kirchhoff) चा करंट नियम लागू करा, ज्यामध्ये असे म्हटले आहे की जंक्शन (junction) किंवा नोड (node) मध्ये प्रवेश करणार्या करंट ची बेरीज त्या नोडमधून बाहेर पडलेल्या करंट च्या बेरजेइतकी आहे,

$$I_S^2 = I_R^2 + (I_L - I_C)^2$$



आकृती 5.24: आरएलसी पॅरलेल् (Parallel) सर्किट

पॅरलेल् आरएलसी सर्किटची फेजर आकृती

V ला सप्लाइ (supply) व्होल्टेज असू द्या;

I_s , एकूण स्त्रोत (source) करंट;

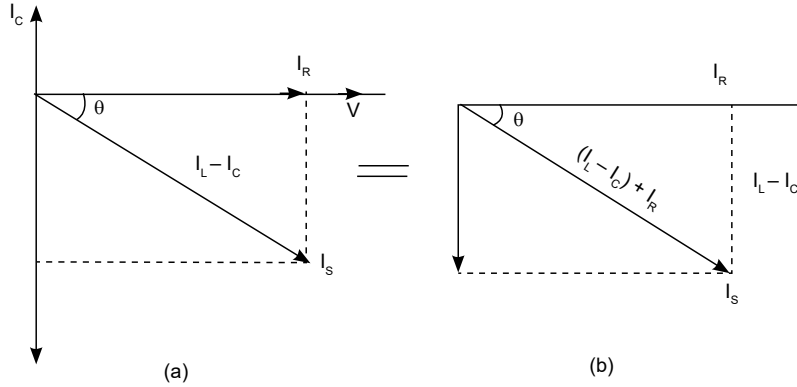
I_R , रेझिस्टरमधून वाहणारा करंट;

I_C , कॅपेसिटरमधून वाहणारा करंट;

I_L , इंडक्टरमधून वाहणारा करंट; आणि

θ , सप्लाइ व्होल्टेज आणि करंट मधील फेज अँगल फरक.

पॅरलेल् आरएलसी सर्किटचे फेजर आकृती काढण्यासाठी, व्होल्टेज संदर्भ म्हणून घेतले जाते कारण प्रत्येक घटकामधील व्होल्टेज समान राहते आणि इतर सर्व करंट म्हणजेच I_R , I_C , I_L व्होल्टेज वेक्टरच्या तुलनात्मक (relative) काढले जातात. रेझिस्टरच्या बाबतीत, व्होल्टेज आणि करंट एकाच फेज मध्ये असतात; करंट वेक्टर I_R समान फेज मध्ये आणि व्होल्टेजच्या दिशेने काढला जातो. कॅपेसिटरच्या बाबतीत, करंट व्होल्टेजला 90° ने लीड (lead) करतो, म्हणून I_C वेक्टर लीडिंग व्होल्टेज वेक्टर V 90° द्वारे काढा. इंडक्टरसाठी, करंट वेक्टर I_L 90° ने व्होल्टेज ला लॅग (lag) करतो म्हणून I_L वेक्टर लॅगिंग व्होल्टेज वेक्टर V 90° द्वारे काढा. I_R , I_C आणि I_L चा परिणाम म्हणजे व्होल्टेज वेक्टरच्या संदर्भात फेज च्या फेज अँगल फरकाने करंट I_s , आकृती 5.25 (a) मध्ये दर्शविले आहे.



आकृती 5.25: पॅरलेल आरएलसी सर्किट ची फेजर आकृती

आकृती 5.25 (b) मध्ये उजव्या बाजूला दाखवल्याप्रमाणे सरलीकृत फेझर आकृती प्राप्त केली आहे.

पॅरलेल् आरएलसी सर्किटच्या फेजर आकृतीवर, पायथागोरस प्रमेय लागू करणे,

$$I_s^2 = I_R^2 + (I_L - I_C)^2$$

$I_R = V/R$, $I_C = V/X_C$ आणि $I_L = V/X_L$, असल्याने, वरील समीकरणात I_R , I_C , I_L चे मूल्य बदलणे,

$$I_s = \left(\frac{V}{R} \right)^2 + \left(\frac{V}{X_L} - \frac{V}{X_C} \right)^2$$

सिम्प्लिफाइंग (simplifying) केल्यावर, ऍडमिटन्स (admittance),

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{I_s}{V} \sqrt{\left(\frac{1}{R} \right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C} \right)^2} \quad \dots(\text{Eq. 5.21})$$

वर दाखवल्या इम्पिडंसच्या समीकरणाप्रमाणे, पॅरलेल् RLC सर्किटच्या प्रत्येक घटकाला इम्पिडंस ($1/Z$) म्हणजेच ऍडमिटन्स (admittance), Y . पॅरलेल् RLC सर्किट सोडवण्यासाठी, प्रत्येक शाखेचा ऍडमिटन्स आढळल्यास आणि एकूण सर्किटची ऍडमिटन्स फक्त प्रत्येक शाखेची ऍडमिटन्स जोडून मिळू शकते.

सीरीज आरएलसी सर्किटमधील रेझोनन्स

एसी सर्किटमधील रेझोनन्स म्हणजे एक विशेष फ्रीक्वन्सी (frequency) ठरवते ज्याचे मूल्य रेझिस्टन्स (resistance), इंडक्टन्स (inductance) आणि कॅपेसिटन्स (capacitance). इंडक्टिव्ह रियाक्टंस (inductive reactance) $X_L = \omega L$ or $X_L = 2\pi f L$ आणि कॅपेसिटिव्ह रियाक्टंस (capacitive reactance) $X_C = \frac{1}{\omega C}$ or $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$ जेथे f ही फ्रीक्वन्सी (frequency), L हे इंडक्टन्स (inductance) हेन्री (Henry) मध्ये आणि कॅपेसिटन्स (capacitance) फराड (Farad) मध्ये आहे.

फ्रीक्वन्सी (frequency) च्या विशिष्ट मूल्यावर, $X_L = X_C$ चे मूल्य असे होऊ शकते. या टप्प्या (stage) वर, निव्वळ रियाक्टंस शून्य असेल. सीरीज सर्किट ज्यामध्ये केवळ रियाक्टंस शून्य होते; ह्याला “इलेक्ट्रिकल रेझोनन्स” म्हणतात. ज्या फ्रीक्वन्सी (frequency) वर हे घडते त्याला “रेझोनंट फ्रीक्वन्सी” असे म्हणतात, $X_L = X_C$ हे समीकरण वापरून काढता येते.

$$\text{त्याचे मूल्य } f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad \dots (\text{Eq. 5.22})$$

रेझोनन्स फ्रीक्वन्सीवर असे दिसून येते की, $Z = R$ ओहम आणि करंटचे मूल्य केवळ रेझिस्टन्सने विरोध केले जाते आणि हे किमान (minimum) इम्पिडंस, कमाल (maximum) करंट आणि शून्य फेज द्वारे दर्शविले जाते.

पॅरलेल् आरएलसी सर्किटमधील रेझोनन्स

सीरीज आरएलसी सर्किट प्रमाणेच, पॅरलेल् आरएलसी सर्किट देखील रेझोनन्स फ्रिक्वेंसी नावाच्या विशिष्ट फ्रिक्वेंसीवर रेझोनेइट्स (resonates) करते म्हणजे एक फ्रिक्वेंसी येते ज्यावर इंडक्टिव्ह रियाक्टंस (inductive reactance) च्या समान बनते कॅपेसिटिव्ह रियाक्टंस (capacitive reactance) परंतु सीरीज आरएलसी सर्किटच्या विपरीत, पॅरलेल् आरएलसी सर्किटमध्ये इम्पिडंस जास्तीत जास्त होते आणि सर्किट पूर्णपणे रेझिस्टिव्ह (resistive) सर्किटसारखे वागते ज्यामुळे सर्किट चे इलेक्ट्रिकल पॉवर फॅक्टर एक होते.

सोडविलेले उदाहरण

उदाहरण 5.1.1: सीरीज सर्किटमध्ये 6Ω चे रेझिस्टन्स आणि 8Ω चे इंडक्टिव्ह रियाक्टंस असते. 141.4 V(rms) चा पोटेन्शियल डिफरेन्स त्यावर लागू होतो. ठराविक क्षणी, लागू केलेले व्होल्टेज $+ 100 \text{ V}$ आणि ते वाढत आहे. या क्षणी गणना (Calculate) करा, (i) करंट (ii) रेझिस्टन्स दरम्यान व्होल्टेज ड्रॉप आणि (iii) इंडक्टिव्ह रियाक्टंस दरम्यान व्होल्टेज ड्रॉप.

उत्तर: $Z = R + jX = 6 + j8 = 10 \angle 53.1^\circ$

हे दर्शवते की करंट व्होल्टेज पेक्षा 53.1 ने मागे आहे. V संदर्भ संख्या म्हणून घेऊ या.

मग, $v = (141.4 \times \sqrt{2}) \sin t = 200 \sin t$; $I_m = V_m / Z = 20$; Hence $i = 20 \sin (t - 53.1^\circ)$.

1. जेव्हा व्होल्टेज $+ 100 \text{ V}$ आणि वाढते; $100 = 200 \sin t$; $\sin t = 0.5$; $\omega t = 30^\circ$.

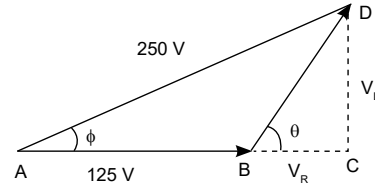
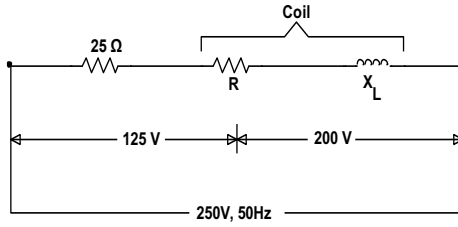
या क्षणी, करंट $i = 20 \sin (30^\circ - 53.1^\circ) = -20 \sin 23.1^\circ = -7.847 \text{ A}$.

रेझिस्टर वर व्होल्टेज ड्रॉप $= i_R = -7.847 \times 6 = -47 \text{ V}$.

2. प्रथम आपण इन्डक्टिव्ह रियाक्टंस व्होल्टेज ड्रॉप V_L चे समीकरण शोधू या. व्होल्टेज ड्रॉपचे जास्तीत जास्त मूल्य $= I_m X_L = 20 \times 8 = 160 \text{ V}$. हे करंट 900 ने पुढे नेते. करंट स्वतःच प्रयुक्त (applied) व्होल्टेज पेक्षा 53.10 ने मागे पडल्यामुळे, प्रयुक्त (applied) व्होल्टेजमध्ये.
3. रीएक्टिव्ह (reactive) व्होल्टेज ड्रॉप $(90^\circ - 53.1^\circ) = 36.9^\circ$. म्हणून, व्होल्टेजचे समीकरण जेव्हा $\omega t = 30^\circ$ असते तेव्हा

$$V_L = 160 \sin (30^\circ + 36.9^\circ) = 160 \sin 66.9^\circ = 147.2 \text{ V}.$$

उदाहरण 5.1.2: 250-V, 50-Hz वर पुरवठा केल्यावर 5 A चा करंट मालिकेत गैर-इन्डक्टिव्ह रेझिस्टन्स तून वाहतो. जर रेझिस्टन्स मध्ये व्होल्टेज 125 V आणि कॉइल मध्ये 200 V असल्यास, गणना करा (a) कॉइलची इम्पिडंस, रियाक्टंस आणि रेझिस्टन्स (b) कॉइलद्वारे शोषलेली पॉवर आणि (c) एकूण पॉवर वेक्टर आकृती काढा.



उत्तर: $I = 5 \text{ A}$

काढलेल्या वेक्टर आकृतीवरून पाहिल्याप्रमाणे,

$$BC^2 + CD^2 = 200^2 \quad \dots(i)$$

$$(125 + BC)^2 + CD^2 = 250^2 \quad \dots(ii)$$

समीकरण (i) (ii) कडून वजा करणे.

$$\therefore BC = 27.5 \text{ V}; CD = 200 - 27.5 = 198.1 \text{ V}$$

(a) कॉइल इम्पिडंस $= 200/5 = 40 \Omega$

$$V_R = I_R = BC \text{ or}$$

$$5_R = 27.5$$

$$\therefore R = 27.5/5 = 5.5\Omega$$

Also $V_L = I \cdot X_L = CD = 198.1$

$$\therefore X_L = 198.1/5 = 39.62 \Omega$$

or $X_L = 40 - 5.5 = 39.62 \Omega$

(b) कॉइलद्वारे शोषलेली पॉवर = Voltage across coil \times current $\times \cos \theta$
 $= 200 \times 5 \times 27.5/200 = 137.5 \text{ W}$

तसेच $P = I^2 R = 5^2 \times 5.5 = 137.5 \text{ W}$

(c) एकूण पॉवर $= VI \cos \phi = 250 \times 5 \times AC/AD = 250 \times 5 \times 152.5/250 = 762.5 \text{ W}$

$I^2 R$ सूत्र वापरून पॉवरची गणना देखील केली जाऊ शकते.

$$\text{सीरीज रेझिस्टन्स} = 125/5 = 25 \Omega$$

$$\text{एकूण सर्किट रेझिस्टन्स} = 25 + 5.5 = 30.5 \Omega$$

$$\text{एकूण पॉवर} = 5^2 \times 30.5 = 762.5 \text{ W}$$

अनुप्रयोग

आरसी आणि आरएलसी सर्किटच्या अनुप्रयोगांमध्ये खालील गोष्टींचा समावेश आहे:

- आरएफ अम्प्लिफायर (RF Amplifiers)
- फिल्टरिंग सर्किट्स (Filtering Circuits)
- ऑसिलेटर सर्किट्स (Oscillator Circuits)
- सिग्नलची प्रक्रिया (Processing of Signal)
- करंट किंवा व्होल्टेजचे विस्तारण करणे (Magnification of Current or Voltage)
- फ्रीक्वन्सी, अम्प्लिट्यूड मॉड्यूलेशन सर्किट (Frequency, amplitude modulation circuit)
- रेडिओ वेव्ह ट्रान्समीटर (Radio Wave Transmitters)

आरएल कॉम्बिनेशन (combination) तुलनेने महाग (expensive) आहे, म्हणूनच ते खूप कमी उपकरणांमध्ये आढळते उदा. ट्यूब लाईटचा चोक, वीज पुरवठा इ. एलसी सर्किट आणि आरएलसी सर्किट इलेक्ट्रॉनिक रेझोनेटर्स म्हणून वागतात, जसे की अनेक अनुप्रयोगांमध्ये एक प्रमुख घटक आहेत ऑसिलेटर (Oscillators), फिल्टर (Filters), ट्यूनर्स (Tuners), मिक्सर (Mixers), संपर्क रहित कार्डे (Contactless cards), ग्राफिक्स टॅब्लेट, इलेक्ट्रॉनिक आर्टिकल सव्हेइलन्स (electronic article surveillance) (सुरक्षा टॅग), इ.

5.3 एसी पॉवर आणि थ्री-फेज सर्किट

5.3.1 परिचय

पूर्वीच्या युनिट्समध्ये सिंगल फेज सर्किटची चर्चा होती. आताच्या काळात, थ्री-फेज सिस्टीम सर्वात जास्त वापरल्या जाणाऱ्या सिस्टीम आहेत. बहुतेक इलेक्ट्रिकल मशीन थ्री-फेज सिस्टीमवर कार्यरत आहेत. एवढेच नव्हे तर पूर्ण जेनरेशन (generation), ट्रॅन्समिशन (transmission), डिस्ट्रीब्यूशन (distribution) तसेच विद्युत ऊर्जेचा वापर (utilization of electrical energy) थ्री-फेज सिस्टीम वर आधारित आहे. फ्लोअर मिलमध्ये आणि बहुतेक उद्योगांमध्ये थ्री फेज मोटर्सचा वापर केला जातो. घरात सामान्यपणे वापरले जाणारे स्विच डबल पोल (double pole) चे असतात, तर उद्योगांमध्ये वापरले जाणारे स्विच 'ट्रिपल पोल' प्रकाराचे असतात कारण उद्योगांमध्ये सामान्यतः थ्री-फेज चा पुरवठा केला जातो. म्हणून थ्री-फेज सिस्टमच्या मूलभूत गोष्टींबद्दल जाणून घेणे आवश्यक आहे.

5.3.2 थ्री-फेज सिस्टमचे फायदे

सिंगल फेज सिस्टीमच्या तुलनेत, थ्री-फेज सिस्टीमच्या बाबतीत काही फायदे आहेत जे खालीलप्रमाणे आहेत:

1. थ्री-फेज प्रणालीमधील पॉवर सिंगल फेज प्रणालीपेक्षा तीनपट आहे.
2. सिंगल फेज प्रणालीमध्ये उपलब्ध असलेल्या केवळ एका व्होल्टेजच्या (voltage) तुलनेत, थ्री-फेज प्रणालीमधील व्होल्टेजचे मूल्य दोन टप्प्यात आणि स्टार जोडणीच्या बाबतीत लाइन व्होल्टेज आहेत.

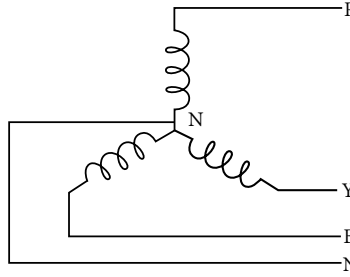
3. सिंगल फेज प्रणालीमध्ये प्रसारित केलेल्या विजेच्या तुलनेत श्री-फेज प्रणालीमध्ये मोठ्या प्रमाणात वीज प्रसारित केली जाऊ शकते.
4. श्री-फेज प्रणालीवर चालणाऱ्या मोटर्सचा पॉवर फॅक्टर समान आउटपुट आणि गतीसाठी सिंगल फेज मोटर्सच्या पॉवर फॅक्टर-पेक्षा जास्त असतो.
5. श्री-फेज विद्युतधारा फिरणारे चुंबकीय क्षेत्र तयार करू शकतात (जे एसी मोटर्सच्या ऑपरेशनसाठी आवश्यक आहे) तर सिंगल फेज सप्लाय फक्त पल्सेटिंग क्षेत्र तयार करू शकते.

5.3.3 स्टार (star) आणि डेल्टा (delta) जोडणी

श्री-फेज परिपथ दोन प्रकारे जोडल्या जाऊ शकतात

(i) स्टार जोडणी

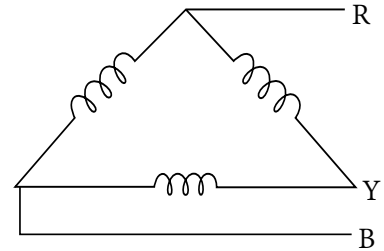
स्टार जोडणीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे आकृती 5.26, बिंदू N बनवण्यासाठी कॉइल किंवा रेसीस्टंस चे तीन टोक एकत्र केले जातात. हे जंक्शन तटस्थ बिंदू म्हणून कार्य करते. उर्वरित तीन टोके R, Y आणि B पुरवठा टर्मिनल आहेत.



आकृती 5.26: स्टार जोडणी

(ii) डेल्टा जोडणी

डेल्टा कनेक्शनमध्ये दोन टोके असतात, एक एका कॉइल किंवा रोधकातून आणि दुसरे कॉइल किंवा रोधकातून एकत्र जोडले जातात. अशा प्रकारे, ते आकृती 5.27 दाखवल्याप्रमाणे तीन जंक्शन बनवते R, Y आणि B अशी तीन जंक्शन (junction) पुरवठा टर्मिनल (terminal) आहेत.



आकृती 5.27: डेल्टा जोडणी

5.3.4 व्होल्टेज (voltage) आणि करंट (current) लाईन (line)

आणि फेज (phase) मूल्याकामधील संबंध

श्री-फेज जोडणीच्या बाबतीत, दोन बाह्य वाहक किंवा लाईनमधील व्होल्टेजला 'लाईन व्होल्टेज' म्हणतात. हे व्हीएल द्वारे दर्शविले जाते. प्रत्येक कॉइल किंवा फेजमधील व्होल्टेजला 'फेज व्होल्टेज' म्हणतात. हे व्हीपी द्वारे दर्शविले जाते. त्याचप्रमाणे, बाह्य वाहक किंवा रेषेत वाहणाऱ्या प्रवाहाला 'लाईन करंट' म्हणतात. हे I_L द्वारे दर्शविले जाते. कॉइल किंवा फेजमध्ये वाहणाऱ्या प्रवाहाला 'फेज करंट' म्हणतात. हे I_p द्वारे दर्शविले जाते. हे सर्व आकृती 5.28 आणि आकृती 5.29 मध्ये दर्शविले आहेत आणि ते स्टार आणि डेल्टा कनेक्शनच्या बाबतीत V_L आणि V_p , I_L आणि I_p मधील संबंध शोधण्यात मदत करेल.

5.3.4.1 स्टार (star) जोडणी

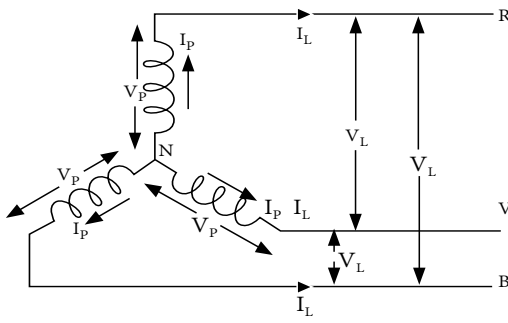
आकृती 5.28 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे तारा जोडणीमध्ये, असे दिसून येते की रेषा प्रवाह फेज

$$\text{करंटच्या बरोबरीचा आहे} \quad I_L = I_p \quad \dots(\text{Eq. 5.23})$$

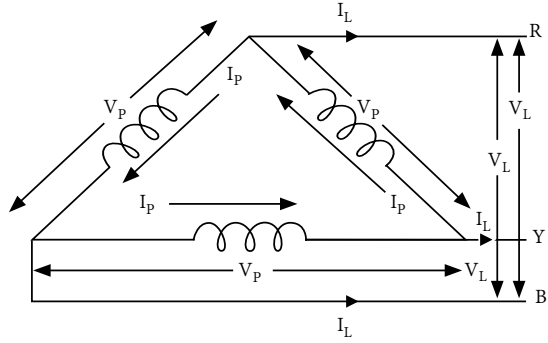
व्होल्टेजबद्दल, लाइन (line) व्होल्टेज (voltage) फेज (phase) व्होल्टेजच्या $\sqrt{3}$ पट आहे

$$\text{i.e.,} \quad V_L = \sqrt{3} V_p \text{ or } V_p = V_L / \sqrt{3} \quad \dots(\text{Eq. 5.24})$$

$$\text{तसेच, फेज करंट (current) } I_p = \frac{\text{Phase voltage (Vp)}}{\text{Impedance per phase (Z)}} \quad \dots(\text{Eq. 5.25})$$



आकृती 5.28: स्टार जोडणीसह व्होल्टेज आणि करंट



आकृती 5.29: डेल्टा जोडणीसह व्होल्टेज आणि करंट

5.3.4.2 डेल्टा (delta) जोडणी

आकृती 5.29 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे डेल्टा जोडणीसाठी, हे पाहिले जाते की लाईन व्होल्टेज फेज व्होल्टेजच्या

$$\text{i.e.,} \quad V_L = V_p \quad \dots(\text{Eq. 5.26})$$

लाईन विद्युतधारा फेज विद्युतधारेच्या $\sqrt{3}$ पट आहे

$$\text{i.e.,} \quad I_L = \sqrt{3} I_p \text{ or } I_p = I_L / \sqrt{3} \quad \dots(\text{Eq. 5.27})$$

$$\text{फेज करंट} \quad I_p = \frac{\text{Phase voltage (Vp)}}{\text{Impedance per phase (Z)}} \quad \dots(\text{Eq. 5.28})$$

5.3.5 विद्युत पॉवर

पॉवर म्हणजे ज्या दराने काम केले जाते किंवा ज्या दराने ऊर्जा खर्च केली जाते. वर्क (work) सहसा joules मध्ये व्यक्त केले जाते. विद्युतीय भाषेत, जेव्हा एक व्होल्टच्या व्होल्टेजमुळे सर्किटमधून इलेक्ट्रॉनचा एक कूलम्ब जातो तेव्हा एक जूल काम पूर्ण होते. जेव्हा हे काम एका सेकंदात पूर्ण होते, तेव्हा ते एका वॉटच्या बरोबरीचे असते. बहुतेक वेळा, विद्युत उपकरणांना वॉट्समध्ये रेट केले जाते. वॉट (watt) हे पॉवर चे मूलभूत एकक आहे. एका वॉटची व्याख्या देखील केली जाते जे एका व्होल्टच्या व्होल्टेजमुळे एका अँपिअर करंटला सर्किटमधून जाण्यास कारणीभूत होते. वीज, व्होल्टेज आणि करंटमधील हे संबंध खालील सूत्राद्वारे व्यक्त केले आहे:

$$\text{पॉवर (Power)} = \text{व्होल्ट्स (Volts)} \times \text{अँपिअर (Amperes)}$$



Alternating Current
(Ep 4)

or $P = V \times I$

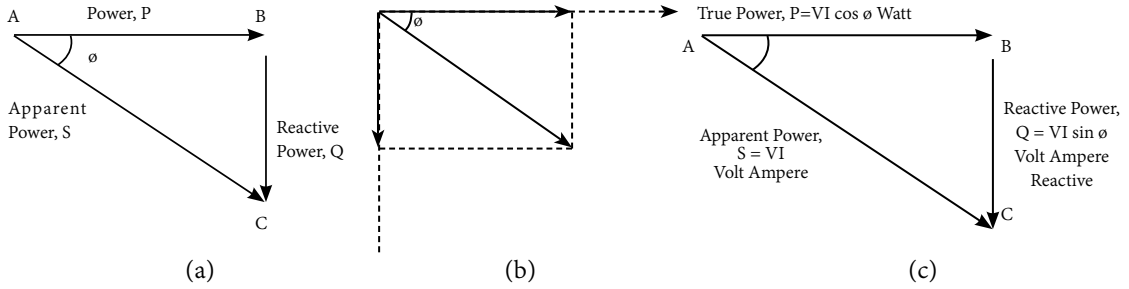
इतर ओमच्या कायद्याच्या घटकांच्या बाबतीत, पॉवर (power) सूत्र खालीलप्रमाणे इतर दोन प्रकारे दर्शविले जाऊ शकते:

$$P = I^2 R \text{ वा } P = V^2/R \quad \dots(\text{Eq. 5.29})$$

जेथे वॉट्स किंवा व्होल्ट-अँपिअर (व्हीए) मध्ये P पॉवर आहे, V व्होल्टमध्ये व्होल्टेज आहे, I अँपिअरमध्ये विद्युतधारा आहे, R ओहममध्ये प्रतिरोध आहे

5.3.6 पॉवर त्रिकोण

पॉवर त्रिकोण म्हणजे काटकोन त्रिकोणाचे प्रतिनिधित्व ज्याच्या बाजू सक्रिय, प्रतिक्रियाशील आणि उघड पॉवर दर्शवतात. या काटकोन त्रिकोणाचा आधार (base), लंब (perpendicular) आणि कर्ण (hypotenuse) अनुक्रमे अनुक्रमे ऍक्टिव्ह (Active), रिएक्टिव (Reactive), आणि अपॅरेंट (Apparent) पॉवर दर्शवतात. जेव्हा करंटचा प्रत्येक घटक जो ऍक्टिव्ह घटक ($I \cos \phi$) किंवा रिएक्टिव घटक ($I \sin \phi$) असतो तो व्होल्टेज V द्वारे गुणाकार केला जातो, तेव्हा आकृती 5.30 मध्ये दाखवलेला पॉवर त्रिकोण मिळतो.



आकृती 5.30: पॉवर त्रिकोण

आकृती 5.30(a) एक पॉवर त्रिकोण दर्शवते. बाजू AB, BC आणि AC अनुक्रमे P, Q आणि S दर्शवतात. पॉवर त्रिकोण आकृती 5.30 (b) मध्ये दाखवलेल्या फेजर आकृतीवरून मिळतो. एसी सर्किटमध्ये जी पॉवर प्रत्यक्षात वापरली जाते त्याला टू (True) पॉवर किंवा ऍक्टिव्ह (Active) पॉवर किंवा रीअल (Real) पॉवर म्हणतात. युनिट वॅट आहे आणि ते किलोवॅट (KW) किंवा MW मध्ये मोजले जाते. जी पॉवर पुढे आणि पुढे वाहते याचा अर्थ ती सर्किटमध्ये दोन्ही दिशेने फिरते किंवा त्यावर प्रतिक्रिया देते, त्याला रिएक्टिव पॉवर म्हणतात. रिएक्टिव पॉवर किलोव्होल्ट-अँपिअर रियाक्टिव (KVAR) किंवा MVAR मध्ये मोजली जाते. व्होल्टेज आणि करंटच्या रूट मीन स्क्वेअर (आरएमएस) मूल्याचे उत्पादन अपॅरेंट पॉवर म्हणून ओळखले जाते. ही पॉवर KVA किंवा MVA मध्ये मोजली जाते.

या परिमाणांमधील संबंध आकृती 5.30(c) मध्ये दर्शविलेल्या पॉवर त्रिकोण नावाच्या ग्राफिकल प्रस्तुतीकरणाने स्पष्ट केले आहे.

- जेव्हा करंटचा (current) एक सक्रिय घटक सर्किट व्होल्टेज (circuit voltage) V ने गुणाकार केला जातो, तेव्हा त्याचा परिणाम सक्रिय पॉवर मध्ये होतो. ही पॉवर आहे जी मोटरमध्ये टॉर्क निर्माण करते, हीटरमध्ये उष्णता इ. ही पॉवर वॅटमीटरने (wattmeter) मोजली जाते.
- जेव्हा करंटचा रिएक्टिव घटक सर्किट व्होल्टेजने गुणाकार केला जातो, तेव्हा तो रिएक्टिव पॉवर देतो. ही पॉवर फॅक्टर निर्धारित करते आणि ती सर्किटमध्ये पुढे आणि पुढे वाहते.

- जेव्हा सर्किट करंट सर्किट व्होल्टेजने गुणाकार केला जातो, तेव्हा त्याचा परिणाम अपॅरन्ट पॉवर मध्ये होतो.
- पॉवर च्या वर दर्शविलेल्या पॉवर त्रिकोणापासून, ऍक्टिव्ह पॉवर चे प्रमाण अपॅरन्ट पॉवर कडे घेऊन घटक निश्चित केला जाऊ शकतो.

$$\text{पॉवर फॅक्टर} = \frac{\text{Active power}}{\text{Apparent power}} = \frac{\text{KW}}{\text{KVA}} \quad \dots(\text{Eq. 5.30})$$

मूलतः, पॉवर म्हणजे व्होल्टेज आणि करंटचे उत्पादन, परंतु एसी सर्किटमध्ये (AC circuit) केवळ प्रतिरोधक सर्किट वगळता सामान्यतः व्होल्टेज आणि करंटमध्ये सिंगल फेज फरक असतो आणि अशा प्रकारे VI सर्किटमध्ये वास्तविक किंवा ट्रू (True) पॉवर देत नाही.

$$\therefore \text{ट्रू (True) पॉवर, } P = VI \cos \phi. \quad \dots(\text{Eq. 5.31})$$

केवळ इंडक्टन्स (inductance) किंवा केवळ कॅपेसिटन्स (capacitance) साठी, सर्किटमध्ये वापरलेली पॉवर शून्य आहे., फेज अँगल 90° आहे. तथापि, केवळ प्रतिरोधक सर्किटच्या बाबतीत $P = VI$ ने दिलेली वीज वापरली जाते. जेथे V आणि Ir.m.s. व्होल्टेज आणि करंट मूल्य आहे.

5.3.7 श्री-फेज जोडणीमधील पॉवर (power)

स्टार आणि डेल्टा कनेक्शनसाठी प्रत्येक टप्प्यात वापरलेली वीज $V_p I_p \cos \phi$ आहे. सर्किटमधील एकूण पॉवर श्री-फेजच्या शक्तीची बेरीज आहे.

$$\therefore \text{वापरलेली एकूण पॉवर } W = 3 V_p I_p \cos \phi \text{ द्वारे दिली जाते} \quad \dots(\text{Eq. 5.32})$$

आता $I_p = I_L$; $V_p = V_L / \sqrt{3}$ स्टार कनेक्शनसाठी आणि $V_p = V_L$; डेल्टा कनेक्शनसाठी $I_p = I_L / \sqrt{3}$

V_p आणि I_p च्या या फेज व्हॅल्यूजला लाईन व्हॅल्यूज अर्थात V_L आणि I_L मध्ये रूपांतरित करणे, स्टार आणि डेल्टा कनेक्शन या दोन्हीमध्ये एकूण पॉवर साठी वरील अभिव्यक्ती बनते

$$W = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi \quad \dots(\text{Eq. 5.33})$$

उपक्रम

1. प्रत्येक तुकडी जवळच्या उपकेंद्राला किंवा उद्योगाला भेट देईल आणि श्री-फेज तील वीज पुरवठा आणि पॉवर फॅक्टर सुधारणेच्या व्यवस्थेचे निरीक्षण करेल. प्रत्येक तुकडी त्यांच्या निरीक्षणावर आधारित एक संक्षिप्त अहवाल तयार करेल

सोडवलेले उदाहरण

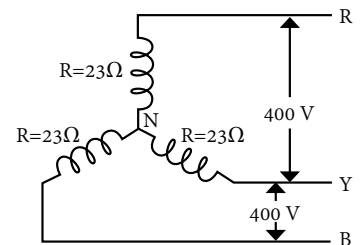
उदाहरण 5.3.1: दिलेल्या डेटासह दर्शविलेल्या सर्किटचे निरीक्षण करा आणि खालील गोष्टी ठरवा.

(a) फेज करंट (phase current), (b) लाईन करंट (line current) (c) प्रत्येक फेजचा पॉवर फॅक्टर (phase power factor), आणि (d) एकूण वापरलेली पॉवर.

उत्तर: हे पाहिले जाते की लाईन व्होल्टेज $V_L = 400 \text{ Volts}$

प्रति फेज $R = 23 \text{ ohms}$ प्रतिकार

आता, फेज व्होल्टेज $V_p = 400 / \sqrt{3} = 230 \text{ व्होल्ट}$



करंट, $I_p = V_p / R = 230/23 = 10 \text{ amps}$

आता, फेज व्हॅल्यूमधून करंटची लाईन व्हॅल्यू मोजत आहे

$$I_L = \sqrt{3} \times I_p = 17.3 \text{ amps.}$$

वापरलेली एकूण पॉवर

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi \\ &= 3 \times 400 \times 17.3 \times 1 \text{ (कारण } \cos \phi = 1 \text{ प्रतिरोधक सर्किट)} \\ &= 12000 \text{ वॅट्स} \\ &= 12 \text{ किलोवॅट} \end{aligned}$$

उदाहरण 5.3.2: आकृती पहा. इम्पिडंस प्रत्येक फेज मध्ये 8 ohm रेझिस्टन्स (resistance), आणि 6 ohm इन्डक्टिव्ह रियाक्टन्स (inductive reactance). खालीलची गणना करा (i) फेज व्होल्टेज (phase voltage), (ii) फेज करंट (phase current), (iii) लाईन करंट (line current), (iv) एकूण वापरली पॉवर.

उत्तर: सर्किट डेल्टा (delta) जोडलेले असल्याने,

फेज व्होल्टेज (V_p) = 400 व्होल्ट.

फेज करंट शोधण्यासाठी, प्रत्येक फेज साठी इम्पिडंस ची गणना केली जाते म्हणजे Z आणि R आणि X च्या दिलेल्या मूल्यांचा वापर करून.

$$Z = 8 + j6 = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ ohms.}$$

फेज करंट

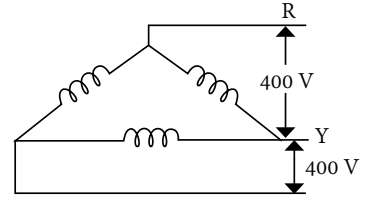
$$I_p = V_p / Z = 400 / 10 = 40 \text{ amps}$$

या पासून लाईन करंट (line current) $I_L = \sqrt{3} \times 40 = 69.2 \text{ amps.}$

पॉवर फॅक्टर (power factor) $\cos \phi = R/Z = 8/10 = 0.8$

आता एकूण वापरलेली पॉवर,

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi \\ &= \sqrt{3} \times 400 \times 69.2 \times 0.8 = 38400 \text{ watts} = 38.4 \text{ KW} \end{aligned}$$



युनिट सारांश

- r.m.s. मूल्य पर्यायी प्रवाहाचे मूल्य त्या स्थिर (डीसी) प्रवाहाद्वारे दिले जाते जे दिलेल्या वेळेसाठी दिलेल्या सर्किटमधून वाहते तेव्हा त्याच उष्णतेचे उत्पादन करते जे समान सर्किटमधून एकाच वेळी वाहताना वैकल्पिक प्रवाहाने निर्माण होते. याला पर्यायी प्रवाहाचे प्रभावी मूल्य म्हणूनही ओळखले जाते.
- फेज ही कोणत्याही विद्युत परिमाणांची सापेक्ष स्थिती असते ज्याचा संदर्भ वेळ किंवा कोनामध्ये मोजला जातो.
- पर्यायी प्रमाणाच्या सकारात्मक आणि नकारात्मक मूल्यांच्या संपूर्ण संचाला चक्र म्हणतात.
- फेज हा कालावधी किंवा चक्राचा अंशात्मक भाग म्हणून परिभाषित केला जातो ज्याद्वारे संदर्भाच्या निवडलेल्या शून्य स्थानावरून प्रमाण वाढले आहे.

- AC एसी सर्किटमध्ये स्रोत व्होल्टेज आणि करंट दरम्यान सिंगल फेज अँगल आहे जो प्रतिबाधाद्वारे प्रतिकार विभाजित करून शोधला जाऊ शकतो.
- पॉवर फॅक्टर (power factor) -1 ते 1 पर्यंत आहे.
- श्री-फेज सिस्टीममध्ये सिंगल-फेज सिस्टमपेक्षा काही फायदे आहेत.
 - श्री-फेज करंट (three phase current) 3 फेज विंडिंगला (phase winding) पुरवले तर फिरणारे चुंबकीय क्षेत्र तयार होते तर सिंगल फेज सप्लाय केवळ पल्सेटिंग चुंबकीय क्षेत्र तयार करू शकते.
 - श्री-फेज सिस्टीममध्ये सिंगल फेज च्या तुलनेत समान पॉवर प्रसारित करण्यासाठी कमी वाहक साहित्य आवश्यक आहे
 - श्री-फेज सिस्टीममध्ये पॉवर सिंगल फेज सिस्टीमपेक्षा तीन पटीने आहे.
 - सिंगल-फेज सिस्टीममध्ये प्रसारित केलेल्या विजेच्या तुलनेत मोठ्या प्रमाणावर वीज श्री-फेज प्रणालीमध्ये प्रसारित केली जाऊ शकते.
- तीन मूलभूत, रेखीय निष्क्रिय घटक: रेझिस्टर (R), कॅपेसिटर (C), आणि इंडक्टर (L) RC सर्किट, RL सर्किट, LC सर्किट आणि RLC सर्किटच्या स्वरूपात एकत्र केले जाऊ शकतात.
- स्टार कनेक्शनमध्ये, लाईन करंट फेज करंटच्या बरोबरीचे असते आणि लाईन व्होल्टेज फेज व्होल्टेजच्या $\sqrt{3}$ पट असते.
- डेल्टा कनेक्शनसाठी, फेज व्होल्टेज आणि लाईन करंटच्या बरोबरीचा लाईन व्होल्टेज फेज करंटच्या $\sqrt{3}$ पट आहे.
- स्टार आणि डेल्टा कनेक्शनसाठी प्रत्येक फेज मध्ये वापरलेली वीज $V_p I_p \cos \phi$ आहे. सर्किटमधील एकूण पॉवर तीन फेज च्या पॉवर ची बेरीज आहे.
- पॉवर त्रिकोण हे काटकोन त्रिकोणाचे प्रतिनिधित्व आहे ज्याचा आधार सक्रिय किंवा सत्य पॉवर दर्शवितो, लंब (perpendicular) रिएक्टिव पॉवर दर्शवितो आणि कर्ण (hypotenuse) अप्रॅरन्ट (Apparent) पॉवर दर्शवते.

अभ्यास

A. वस्तुनिष्ठ प्रश्न (Objective Questions)

सूचना: कृपया सर्वात योग्य उत्तर निवडा

अ. क्र.	बहु-निवडक वस्तू	अ. क्र.	बहु-निवडक वस्तू
5.1	साइन वेवचे पीक (sine wave peak) मूल्य येते a. एकदा प्रत्येक चक्र सकारात्मक कमाल मूल्यावर. b. एकदा प्रत्येक चक्र नकारात्मक कमाल मूल्यावर. c. प्रत्येक चक्र दोनदा सकारात्मक आणि नकारात्मक कमाल मूल्यावर. d. प्रत्येक चक्र दोनदा सकारात्मक कमाल मूल्यावर	5.2	प्रतिबाधाच्या काल्पनिक भागाला म्हणतात: a. रेसिस्टन्स (resistance) b. रियाक्टन्स (reactance) c. अॅडमिटन्स (admittance) d. कंडक्टन्स (conductance)

अ. क्र.	बहु-निवडक वस्तू	अ. क्र.	बहु-निवडक वस्तू
5.3	साइन वेव्हची वारंवारता 50 हर्ट्झ (Hz) आहे. रेडियन/सेकंदात (Rad/sec) त्याची कोनीय वारंवारता असेल a. $50/\pi$ b. $50/2\pi$ c. 50π d. 100π	5.5	$v_1 = A \sin \omega t$ and $v_2 = B \sin (\omega t - \phi)$, a. v_1 lags v_2 by ϕ b. v_2 lags v_1 by ϕ c. v_2 leads v_1 by ϕ d. v_1 is in phase with v_2
5.4	$I(t) = 100$ द्वारे दिलेला पर्यायी प्रवाह एक मूल्य प्राप्त करेल 86.6 A नंतर सेकंदांनंतर लगेच वर्तमान मूल्य शून्य आहे a. $1/300$ sec b. $1/600$ sec c. $1/1200$ sec d. $1/150$ sec	5.6	स्टार कनेक्शनसाठी, लाइन करंट 15 amps आहे. फेज करंटचे मूल्य असेल a. 10 amps b. 12.5 amps c. 15 amps d. 17amps

B. विषयनिष्ठ प्रश्न (Subjective Questions)

- “पॉवर फॅक्टर” ही संज्ञा परिभाषित करा. केवळ प्रेरक सर्किटच्या बाबतीत पॉवर फॅक्टरचे मूल्य निश्चित करा?
- जर 15 ohms ची रिअॅक्टन्स असणारी केवळ कॅपेसिटन्समध्ये $300 \sin \omega t$ अल्टरनेटिंग व्होल्टेज लागू केले असेल. खालील गोष्टी ठरवा:
(a) करंटच्या तात्कालिक मूल्याची अभिव्यक्ती,
(b) पॉवर फॅक्टर,
(c) करंट आणि व्होल्टेज मधील फेज अँगल फरक, आणि
(d) पॉवरचा वापर.
- 12ω चे रेसीस्टन्स असलेले सर्किट, 0.15 H चे इंडक्टन्स आणि सीरिज (series) $100\mu\text{f}$ चे कॅपेसिटन्स 100V, 50Hz पुरवठा ओलांडून जोडलेले आहे. करंट आणि पुरवठा व्होल्टेजमधील इम्पिडन्स, करंट, फेज मधील फरक मोजा.
- $Z_1 = 10 + j15\omega$ आणि $Z_2 = 6 - j8\omega$ च्या इम्पिडन्स सह दोन सर्किट पॅरलेल जोडलेले आहेत. जर पुरवठा करंट 20 A असेल. प्रत्येक शाखेत उधळलेली पॉवर निश्चित करा.
- डेल्टा कनेक्टेड सिस्टीममध्ये, फेज व्होल्टेज, फेज करंट आणि पॉवर फॅक्टरची मूल्ये अनुक्रमे 500 व्होल्ट, 20 amps आणि 0.8 आहेत. सिस्टमद्वारे वापरल्या जाणाऱ्या एकूण पॉवर ची गणना करा

संबंधित प्रात्यक्षिक

I.P2-ES110: रेझिस्टिव्ह लोड साठी सर्किट पैरामीटर्सचे मापन

P2.1 प्रात्यक्षिक विधान

प्रतिरोधक लोडसह सिंगल फेज सर्किटमध्ये व्होल्टेज, करंट आणि पॉवर मोजा.

P2.2 प्रात्यक्षिक महत्त्व

नेम प्लेट स्पेसिफिकेशन्सनुसार दिलेल्या लोडच्या कामगिरीचे मूल्यांकन करण्यासाठी व्होल्टेज, करंट आणि पॉवर यासारख्या मापदंडांचे मोजमाप महत्त्वपूर्ण आहे. हीटर लोड्स सारख्या अनुप्रयोगांसाठी मोजमाप वीज पुरवठा केबल्सचे आकारमान आणि फ्यूज, सर्किट ब्रेकर इत्यादी संरक्षणात्मक उपकरणांचे रेटिंग निर्धारित करण्यात मदत करेल.

P2.3 संबंधित सिद्धांत

सिद्धांतासाठी विषय 5.1.3 (i) शुद्ध प्रतिरोधक सर्किट पहा. सिंगल फेज एसी सप्लायमधून पुरवलेल्या प्रतिरोधक लोड ने शोषून घेतलेली पॉवर $VI\cos\theta$ म्हणून दिली जाते, जेथे V आणि I व्होल्टेज ओलांडून आणि लोडद्वारे व्होल्टेज असतात. प्रतिरोधक लोडसाठी पॉवर फॅक्टर $\cos\theta$ म्हणजे एक. म्हणून, प्रतिरोधक लोड ने शोषलेली पॉवर VI च्या बरोबरीची आहे.

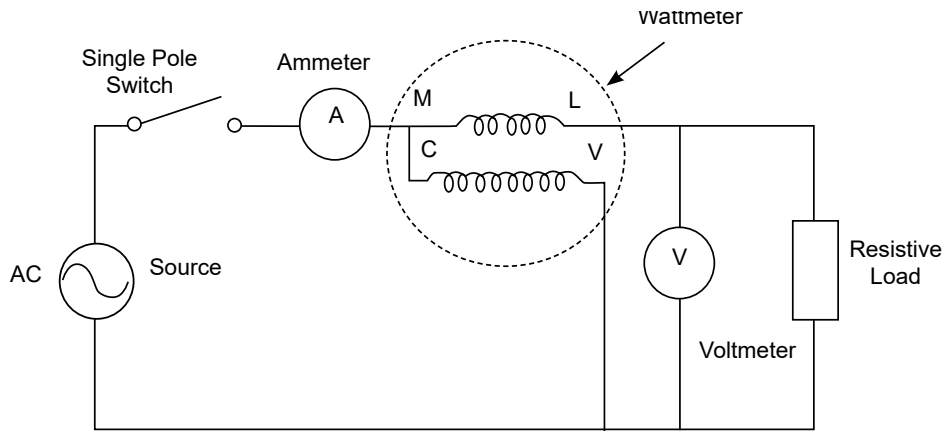
P2.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती (PrO)

PrO1: मोजण्याचे साधन योग्य श्रेणीचे निवडा.

PrO2: सर्किट आणि मोजण्याचे उपकरण योग्यरित्या कनेक्ट करा.

PrO3: दिलेल्या प्रतिरोधक लोडचे व्होल्टेज, करंट आणि पॉवर मोजा.

P2.5 प्रात्यक्षिक रचना (Practical Setup) (रेखांकन /रूपरेषा /परिक्रमाआकृती/कामाची परिस्थिती)



आकृती P 2.1: व्होल्टेज, करंट आणि पॉवर मोजण्यासाठी सर्किट आकृती

P2.6 आवश्यक संसाधने

अ. क्र.	सुचवलेली संसाधने आवश्यक महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह	प्रमाण	विस्तृत वैशिष्ट्यांसह आवश्यक वास्तविक संसाधने (विद्यार्थ्याने भरावे)	शेरा (जर असेल तर)
1.	सिंगल फेज एसी सोर्स 230V, 50Hz	1		
2.	कनेक्टिंग वायर, मल्टीस्ट्रँड क्यू वायर, 1.5 mm ²	LS		
3.	सिंगल पोल स्विच, 5 A	1		
4.	Resistive load, 1 KW	1		
5.	व्होल्टमीटर, 0-300 V AC	1		
6.	अँमीटर 0-5A, AC	1		
7.	सिंगल फेज वॅटमीटर, करंट कॉइल 0-5 A, व्होल्टेज कॉइल 0-300 V	1		

P2.7 सावधानता

- मोजण्याच्या साधनांच्या श्रेणीची योग्य निवड सुनिश्चित करा.
- सर्किट आकृतीमध्ये दाखवल्याप्रमाणे अँमीटर आणि व्होल्टमीटर कनेक्ट करा.
- वीज पुरवठा चालू करण्यापूर्वी सर्किट आकृतीनुसार सर्किट कनेक्शन तपासा.

P2.8 सुचवलेली कृती

- आकृती P 2.1 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे सर्किट कनेक्ट करा.
- अँमीटर, व्होल्टमीटर आणि वॅटमीटरचे योग्य कनेक्शन सुनिश्चित करा.
- दिलेल्या प्रतिरोधक लोड चे प्रतिकार मोजा.
- सिंगल फेज वीज पुरवठा कनेक्ट करा.
- सिंगल पोल स्विच चालू करा.
- निवडलेल्या करंट आणि व्होल्टेज कॉइल रेटिंगनुसार वॅटमीटरचे गुणाकार घटक रेकॉर्ड करा.
- निरीक्षण सारणीमध्ये करंट, व्होल्टेज आणि वॅटमीटर वाचन रेकॉर्ड करा.

P2.9 निरीक्षणे आणि गणना

अ. क्र.	अँमीटर (A)	व्होल्टमीटर (V)	वॅटमीटर (W)

गणना

दिलेल्या प्रतिरोधक लोड $P = \frac{V^2}{R}$ आणि करंट $I = \frac{V}{R}$ च्या पॉवरची गणना जेथे V व्होल्टमीटरचे वाचन आहे आणि प्रक्रियेच्या चरण 3 मध्ये मोजल्याप्रमाणे दिलेल्या प्रतिरोधक लोड चे प्रतिकार आहे.

P2.10 परिणाम

अ. क्र.	निरीक्षण केलेले पॅरामीटर	मोजलेले मूल्य	गणना मूल्य	लुटी
1.	करंट			
2.	वॅटमीटर			

P2.11 निष्कर्ष

.....

.....

P2.12 प्रात्यक्षिक संबंधित प्रश्न

(उत्तरासाठी स्वतंत्र पत्रक वापरा)

टीप: संदर्भासाठी खाली काही नमुने प्रश्न दिले आहेत. पूर्व-परिभाषित अभ्यासक्रमाच्या निकालांची प्राप्ती सुनिश्चित करण्यासाठी शिक्षकांनी असे अधिक प्रश्न तयार केले पाहिजेत.

1. निरीक्षण केलेल्या मूल्यांसह दिलेल्या लोडचे पॉवर फॅक्टर निश्चित करा.
2. लोडच्या सोबत अँमीटर सीरीज मध्ये आणि व्होल्टमीटर पॅरलेल् मध्ये जोडण्याचे कारण सांगा.

P2.13 संसाधने शिकण्याचे स्रोत**II. P3-ES110: आरएल लोडसाठी सर्किट पॅरामीटर्सचे मापन****P3.1 प्रात्यक्षिक विधान**

आर-एल सीरीज सर्किटमध्ये व्होल्टेज, करंट आणि पॉवर मोजा.

P3.2 प्रात्यक्षिक महत्व

नेम प्लेट स्पेसिफिकेशन्सनुसार दिलेल्या लोडच्या कामगिरीचे मूल्यांकन करण्यासाठी व्होल्टेज, करंट आणि पॉवर यासारख्या मापदंडांचे मोजमाप महत्त्वपूर्ण आहे. घरगुती लोड जसे पंखा, रेफ्रिजरेटर, एअर कंडिशनर इत्यादींसाठी मोजमाप वीज पुरवठा केबल्सचे आकारमान आणि फ्यूज, सर्किट ब्रेकर इत्यादी संरक्षणात्मक उपकरणाचे रेटिंग निर्धारित करण्यात मदत करेल.

P3.3 संबंधित सिद्धांत

सिद्धांतासाठी विषय 5.2.2 रेझिस्टन्स-इंडक्टन्स सर्किट पहा. सिंगल फेज एसी सप्लायमधून पुरवलेल्या आर-एल लोडद्वारे शोषलेली पॉवर $VI\cos\phi$ म्हणून दिली जाते, जेथे V आणि I व्होल्टेज लोडमध्ये आणि करंट लोडमधून जाते. R-L लोडसाठी पॉवर फॅक्टर $\cos\phi$ शून्य आणि एक असतो.

P 3.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती (PrO)

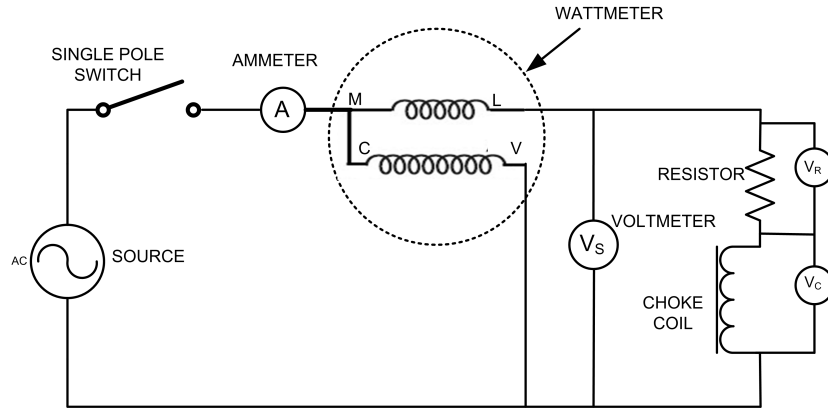
प्रतिरोधक लोडसाठी व्होल्टेज, करंट आणि पॉवर मोजा:

PrO1 मोजण्याचे साधन योग्य श्रेणीचे निवडा.

PrO2 सर्किट आणि मोजण्याचे उपकरण योग्यरित्या कनेक्ट करा.

PrO3 दिलेल्या प्रतिरोधक इन्डक्टिव्ह लोडचे व्होल्टेज, करंट आणि पॉवर मोजा.

P 3.5 प्रात्यक्षिक रचना (Practical Setup)(रेखांकन /रूपरेषा /परिक्रमाआकृती/कामाची परिस्थिती)



आकृती P 3.1: व्होल्टेज, करंट आणि पॉवर मोजण्यासाठी सर्किट आकृती

P3.6 आवश्यक संसाधने

अ. क्र.	सुचवलेली संसाधने आवश्यक महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह	प्रमाण	विस्तृत वैशिष्ट्यांसह आवश्यक वास्तविक संसाधने (विद्यार्थ्यांनी भरावे)	शेरा (जर असेल तर)
1.	सिंगल फेज एसी सोर्स 230V, 50Hz	1		
2.	कनेक्टिंग वायर, मल्टीस्ट्रँड क्यू वायर, 1.5 mm ²	LS		
3.	सिंगल पोल स्विच, 5 A	1		
4.	प्रतिरोधक लोड, 1 kW	1		
5.	चोक कॉइल	1		
6.	व्होल्टमीटर, 0-300 V AC	3		
7.	अँमीटर 0-5A, AC	1		
8.	सिंगल फेज वॅटमीटर, करंट कॉइल 0-5 A, व्होल्टेज कॉइल 0-300 V	1		

P3.7 सावधानता

1. मोजण्याचे साधन योग्य प्रकार आणि श्रेणी निवडा.
2. सर्किट आकृतीमध्ये दाखवल्याप्रमाणे ammeters आणि voltmeters कनेक्ट करा.
3. सर्किट आकृतीनुसार सर्किट कनेक्शन तपासा आणि वीज पुरवठा चालू करण्यापूर्वी वायर कनेक्शन घट्ट आहेत.
4. प्रयोग झाल्यानंतर वीज पुरवठा बंद करा.

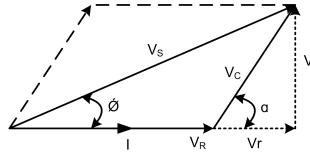
P3.8 सुचवलेली कृती

1. आकृती P 3.1 मध्ये दाखवल्या प्रमाणे सर्किट कनेक्ट करा.
2. अमीटर, व्होल्टमीटर आणि वॉटमीटरचे योग्य कनेक्शन सुनिश्चित करा
3. दिलेल्या प्रतिरोधक लोडचे प्रतिकार मोजा.
4. सिंगल फेज वीज पुरवठा कनेक्ट करा.
5. सिंगल पोल स्विच चालू करा
6. निवडलेल्या करंट आणि व्होल्टेज कॉइल रेटिंगनुसार वॉटमीटरचे गुणाकार घटक रेकॉर्ड करा.
7. निरीक्षण सारणी क्रमांक 3.1 मध्ये करंट, व्होल्टेज आणि वॉटमीटर वाचन रेकॉर्ड करा.

P3.9 निरीक्षणे आणि गणना

अ. क्र.	अमीटर वाचन (A)	व्होल्टमीटर वाचन (V)			वॉटमीटर वाचन (W)
		V_S	V_R	V_L	

गणना



आकृती P 3.2: फेजर आकृती

सर्किटमधून वाहणारा करंट I आहे, प्रतिरोधक लोड मध्ये व्होल्टेज ड्रॉप V_R आहे, चोक कॉइलवरील व्होल्टेज V_C आहे, जेथे $V_C = V_R + jV_L$, V_R , V_L अनुक्रमे प्रतिकार आणि इंडक्टन्स चोक कॉइलचा ड्रॉप

1. दिलेल्या R-L लोडच्या पॉवर फॅक्टरची गणना करा $\cos \theta = \frac{P}{V_S I}$ आणि लोड इम्पिडंस $Z = \frac{V_S}{I}$
2. आकृती 3.2 मध्ये दर्शविलेल्या फेझर आकृतीवरून $\cos \alpha = \frac{V_S^2 - V_R^2 - V_C^2}{2V_C V_R}$
3. साइन लॉ वापरून पॉवर फॅक्टर $\cos \theta = \cos(\sin^{-1}(V_C \sin \alpha / V_S))$
4. इनपुट पॉवर $= V_S I \cos \theta$

P3.10 परिणाम

अ. क्र.		मोजलेले मूल्य	गणना मूल्य	बुटी
1.	पॉवर			
2.	पॉवर फॅक्टर			

P3.11 निष्कर्ष

.....

.....

.....

.....

P3.12 प्रात्यक्षिक संबंधित प्रश्न

(उत्तरासाठी स्वतंत्र पत्रक वापरा)

टीप: संदर्भासाठी खाली काही नमुने प्रश्न दिले आहेत. पूर्व-परिभाषित अभ्यासक्रमाच्या निकालांची प्राप्ती सुनिश्चित करण्यासाठी शिक्षकांनी असे अधिक प्रश्न तयार केले पाहिजेत.

1. निरीक्षण केलेल्या मूल्यांसह चोक कॉइलचा प्रतिकार निश्चित करा.
2. एक आदर्श आणि प्रात्यक्षिक इंडक्टर यांच्यातील फरक सांगा.
3. सिंगल फेज पॉवर मोजण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या पद्धतीची यादी करा.
4. संपूर्ण सर्किटमध्ये अँमीटर कनेक्ट न करण्याच्या कारणांची माहिती द्या ?

P3.13 संसाधने शिकण्याचे स्रोत



अधिक जाणून घ्या

सूक्ष्म प्रकल्प

5-6 विद्यार्थ्यांच्या गटाने प्राध्यापकांच्या मार्गदर्शनाखाली एक किंवा दोन सूक्ष्म प्रकल्प (उपक्रम) हाती घेतले पाहिजेत आणि वैयक्तिक सहभागासह गट म्हणून सादर केले पाहिजेत. एक नमुना सूक्ष्म-प्रकल्प समस्या खाली दिली आहे:

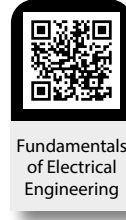
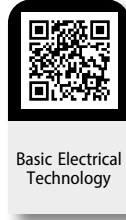
1. सिंगल फेज एसी (AC) सप्लायमध्ये स्विचसह सीरिज़ 40 वॉटच्या दिव्यासह सीरिज़ तीन चोक कनेक्ट करा. स्विचिंग अॅक्शनच्या परिणामाचे विश्लेषण करा आणि वेळेच्या संदर्भात व्होल्टेज (voltage) आणि करंटच्या (current) भिन्नतेवर

टिप्पणी द्या.

उपक्रम

1. विविध घरगुती उपकरणांमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या विविध प्रकारच्या रेझिस्टर (resister), इंडक्टर्स (inductors) आणि कॅपेसिटरसंबंधी (capacitors) माहिती गोळा करा.
2. प्रत्येक तुकडी त्यांच्या स्वतःच्या इन्स्टिट्यूट/कमर्शियल कॉम्प्लेक्स/मॉल इत्यादीमध्ये थ्री-फेज तील वीज वितरण पॅनेलचे निरीक्षण करेल आणि अहवाल तयार करेल.

ICT चा वापर



संदर्भ आणि सुचवलेले वाचन

1. V.N Mittle, and A. Mittal, Basic Electrical Engineering, McGraw Education, 2017.
2. M.S Sukhija and T.K. Nagsarkar, Basic Electrical and Electronics Engineering, New Delhi: Oxford University Press, 2013.
3. B.L Theraja, Electrical Technology, Vol. - I, New Delhi: S. Chand and Company, 2015.
4. S.K Bhattacharya, Basic Electrical Engineering, Pearson Education, 2019.
5. S.B Lal Seksena and Kaustuv Dasgupta, Fundamentals of Electrical Engineering, Cambridge University Press, 2017.

6

ट्रान्सफॉर्मर आणि मशीन्स

युनिट वैशिष्ट्ये

हे युनिट खालील विषयांवर सविस्तर चर्चा करते:

- ट्रान्सफॉर्मरचे मुख्य भाग
- ट्रान्सफॉर्मरचे कार्य तत्त्व
- डीसी मशीनची बांधकाम वैशिष्ट्ये
- डीसी मोटर्सचे प्रकार आणि त्यांची वैशिष्ट्ये
- एसी मोटर्सचे प्रकार आणि त्यांचे अनुप्रयोग

प्रत्येक विषयाच्या शेवटी विद्यार्थी स्वयं-शिक्षण उपक्रम समस्या सोडवण्याची उदाहरणे आणि आयसीटी संदर्भ पुढील उत्सुकता आणि सर्जनशीलता निर्माण करण्यासाठी तसेच समस्या सोडवण्याची क्षमता सुधारण्यासाठी तयार केले जातात.

ब्लूमच्या वर्गीकरणाच्या वाढीव स्तरांनंतर अनेक निवडक प्रश्न तसेच व्यक्तिपरक प्रश्न, संदर्भांखाली सूचीबद्ध पुस्तकांमध्ये प्रदान केलेल्या अनेक समस्यांद्वारे असाइनमेंट आणि सुचवलेले वाचन युनिटमध्ये दिले आहेत जेणेकरून एखादा सराव करण्यासाठी त्यांचा वापर केला जाऊ शकेल.

संबंधित प्रयोग "अधिक जाणून घ्या" विभागाद्वारे दिले जातात जेणेकरून प्रदान केलेली पूरक माहिती पुस्तकाच्या वापरकर्त्यासाठी फायदेशीर ठरेल. या विभागात युनिट सामग्रीवर आधारित, "मायक्रो प्रोजेक्ट" आणि "ॲक्टिव्हिटीज" दिले गेले आहेत जे दैनंदिन वास्तविक जीवन किंवा/आणि औद्योगिक बाबी विविध पैलूंवर विकसित करण्यासाठी विवेकपूर्वक डिझाइन केलेले आहेत. समाविष्ट केलेल्या काही उप-विषयांबद्दल अधिक जाणून घेण्यासाठी अतिरिक्त व्हिडिओ संसाधने प्रदान केली जातात.

तर्कसंग

सर्व प्रकारच्या आणि सर्व स्तरावरील विद्युत पॉवर प्रणाली (electrical power system) अनुप्रयोगांनुसार व्होल्टेज किंवा करंट पातळी बदलण्यासाठी कार्यरत ट्रान्सफॉर्मरच्या वापराशिवाय अपूर्ण आहे. उद्योगांमध्ये विद्युत प्रणालीचा (Electrical system) वापर आणि ग्राहक लहान आणि मोठ्या इलेक्ट्रिक मोटर्सचा वापर करतात. हा धडा (अध्याय) विद्यार्थ्याला ट्रान्सफॉर्मरच्या मूलभूत कार्य आणि अनुप्रयोगांशी परिचित करेल. हा अध्याय कौशल्यांसह विशिष्ट अनुप्रयोगासाठी मोटर्स निवडण्यास विद्यार्थ्यांना सक्षम करेल.

पूर्व-आवश्यकता

1. उपयोजित भौतिकशास्त्र- 1
2. मूलभूत गणित

युनिट परिणाम

U6-O1: ट्रान्सफॉर्मर्सचे बांधकाम आणि वर्गीकरण वर्णन करा.

U6-O2: ट्रान्सफॉर्मर्सच्या काम करण्याच्या तत्त्वाचे वर्णन करा.

U6-O3: ऑटोट्रान्सफॉर्मरचे कार्य स्पष्ट करा.

U6-O4: मोटर्सचे बांधकाम आणि कार्य तत्त्वाचे वर्णन करा.

U6-O5: मोटर्सची मूलभूत समीकरणे आणि वैशिष्ट्ये स्पष्ट करा.

U6-O6: विशिष्ट अनुप्रयोगांसाठी मोटर्स सुचवा.

कोर्स आउटकॉमसह युनिटनुसार शिक्षण परिणामचे मॅपिंग आहे.

युनिट-6 परिणाम	कोर्स आऊटकॉमसह एक्सपेक्टेड मॅपिंग (1-दुर्बलसहसंबंध; 2-मध्यमसंबंध; 3-मजबूतसहसंबंध)					
	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4	CO-5	CO-6
U6-O1	1	-	-	3	3	3
U6-O2	1	-	-	3	3	3
U6-O3	1	-	-	3	3	3
U6-O4	2	-	-	3	3	3
U6-O5	1	-	1	3	3	3
U6-O6	1		1	3	3	3

निकोला टेस्ला (1856-1943)

एक सर्बियन-अमेरिकन अभियंता आणि भौतिकशास्त्रज्ञ, 1882 मध्ये फिरायला जात असताना, ब्रशलेस AC मोटरची कल्पना सुचली, ज्याने त्याच्या फिरत्या इलेक्ट्रोमॅग्नेट्सचे पहिले स्केच मार्गाच्या वाळूमध्ये बनवले. त्या वर्षाच्या अखेरीस ते पॅरिसला गेले आणि कॉन्टिनेंटल एडिसन कंपनीत डायरेक्ट करंट वीजनिर्मिती केंद्राची दुरुस्ती करण्याची नोकरी मिळाली. दोन वर्षांनंतर 1884 मध्ये तो अमेरिकेत स्थलांतरित झाला. तो वेस्टिंगहाऊसमध्ये सामील झाला जिथे त्याने पहिल्या अल्टरनेटिंग करंट (AC) मोटरचा शोध लावला आणि AC जनरेशन आणि ट्रान्समिशन तंत्रज्ञान विकसित केले. 1890 च्या दशकात टेस्लाने इलेक्ट्रिक ऑसिलेटर, मीटर, सुधारित दिवे आणि उच्च-व्होल्टेज ट्रान्सफॉर्मरचा शोध लावला ज्याला टेस्ला कॉइल म्हणतात. टेस्ला आणि वेस्टिंगहाऊस यांनी मिळून जनरल इलेक्ट्रिकच्या भागीदारीत नायग्रा धबधब्यावर AC जनरेटर बसवले आणि पहिले आधुनिक पॉवर स्टेशन (modern power station) तयार केले.



6.1 ट्रान्सफॉर्मर

6.1.1 परिचय

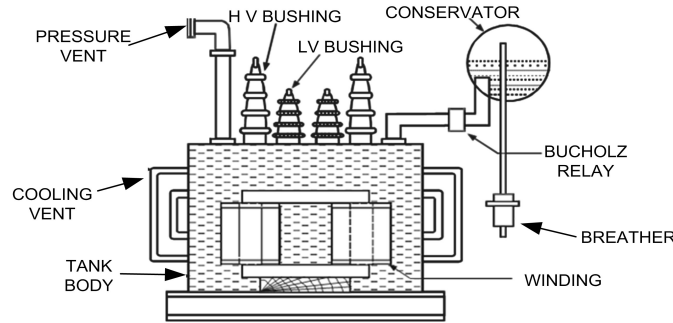
डायरेक्ट करंटवर अल्टरनेटिंग करंटचा सर्वात महत्वाचा फायदा म्हणजे अत्यंत सहजता ज्याद्वारे कमी व्होल्टेज मधून उच्च व्होल्टेज मध्ये किंवा उलट ट्रान्सफॉर्मर्सच्या मदतीने रूपांतरित केले जाऊ शकते. ट्रान्सफॉर्मर हे एक स्थिर उपकरण (static device) आहे. (कोणतेही फिरणारे भाग नसलेले) जे विद्युत उर्जेला (electrical energy) एका अल्टरनेटिंग करंट सर्किटमधून दुस-याकडे

व्होल्टेज किंवा करंट पातळीमध्ये आणि फ्रिक्वेन्सी मध्ये कोणताही बदल न करता बदलते. ट्रान्सफॉर्मर्सच्या मदतीने उच्च-व्होल्टेज लांब पल्ल्याच्या ट्रान्समिशनमुळे एका भौगोलिक प्रदेशात निर्माण होणाऱ्या विद्युत उर्जेचा वापर दुस-या प्रदेशातील केंद्रांवर लोड करणे शक्य झाले आहे.

ट्रान्सफॉर्मर्स सिंगल-फेज किंवा थ्री-फेज सप्लायवर काम करण्यासाठी डिझाइन केलेले आहेत आणि त्यानुसार सिंगल-फेज किंवा थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मर्स म्हणून ओळखले जातात. या अध्यायातील चर्चा केवळ सिंगल-फेज ट्रान्सफॉर्मर्स पुरती मर्यादित आहे. तथापि थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मर हे सिंगल-फेज ट्रान्सफॉर्मर्स सारख्या तत्त्वावर काम करतात.

6.1.2 ट्रान्सफॉर्मरचे भाग

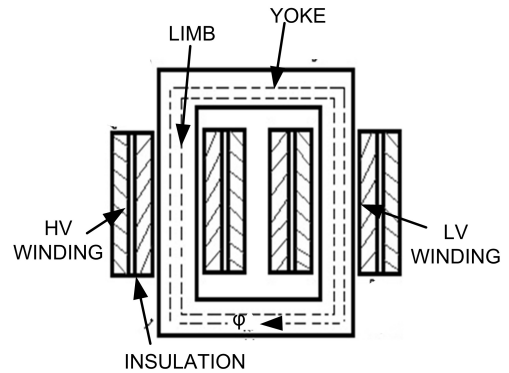
ट्रान्सफॉर्मर मध्ये प्रामुख्याने खालील भाग असतात: पहिल्या भागांमध्ये लिम्ब्स (limbs), योक्स (yokes) आणि क्लॅम्पिंग (clamping) स्ट्रक्चर असते जे चुंबकीय/मॅग्नेटिक सर्किट बनवते आणि दुसरा भाग म्हणजे इलेक्ट्रिकल सर्किटमध्ये प्राथमिक वाइन्डिंग, दुय्यम वाइन्डिंग (primary & secondary winding) आणि इन्सुलेशन असते. आकार (क्षमता) आणि ऑपरेटिंग व्होल्टेजमध्ये वाढ झाल्यामुळे, इतर अनेक भाग आहेत जसे की टँक बॉडी (tank body), बुशिंग्स (bushings), कंझर्व्हेटर (conservator), ब्रिदर (breather), एक्सप्लोजन व्हेंट (explosion vent), बुखोलझ रिले (Buchholz relay), टॅपिंग स्विच (tapping switches) इ. आकृती 6.1 बांधकाम तपशील (constructional details) दर्शवते.



आकृती 6.1: ट्रान्सफॉर्मरचे समोरचे दृश्य

a. कोर आणि वाइन्डिंग्स

The ट्रान्सफॉर्मरचा कोर (core) मॅग्नेटिक साहित्याचा (material) बनलेला असतो आणि फ्लक्ससाठी कमी रीलक्ट्रॉन्सचा (अनिच्छेचा/अभिरोधचा/reluctance) मार्ग प्रदान करण्यासाठी वापरला जातो. मॅग्नेटिक सर्किटचा रीलक्ट्रॉन्स (reluctance) कमी, तेवढी फील्ड मजबूत असते. कोरसाठी प्रत्यक्षात वापरलेली सामग्री म्हणजे 0.35 ते 0.5 mm जाडीच्या लॅमिनेशनच्या स्वरूपात उच्च दर्जाचे सिलिकॉन स्टील. हे लॅमिनेशन वार्निश (varnished) केलेले असतात किंवा इन्वेलप (enamel) त्यांना एकमेकांपासून इन्सुलेट करण्यासाठी लेपित केलेले असते.



आकृती 6.2: सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मरचे विभागीय

प्राथमिक आणि दुय्यम वाइन्डिंग बनवणारे कॉइल्स (coils) गोलाकार वायर किंवा पट्टीच्या स्वरूपात चांगले इन्सुलेटेड कॉपर कंडक्टर वापरून बनलेले असतात. या कॉइल्स नंतर कोरच्या लिम्ब्स भोवती (limbs) ठेवल्या जातात. हे वाइन्डिंग एकमेकांपासून इन्सुलेट केलेल्या असतात आणि कोर इन्सुलेट सामग्रीचे सिलेंडर जसे की प्रेस बोर्ड किंवा बेकलाईट वापरून बनलेला असतो.

ट्रान्सफॉर्मरमध्ये, साधेपणासाठी प्राथमिक आणि दुय्यम वाइन्डिंग कोरच्या स्वतंत्र लिम्ब्सवर (limb) दर्शविले जातात. तथापि, जर अशी व्यवस्था प्रत्यक्ष व्यवहारात वापरली गेली, तर प्राथमिक वाइन्डिंगने निर्माण होणारे सर्व फ्लक्स दुय्यम वाइन्डिंगशी जोडले जाणार नाहीत कारण काही फ्लक्स हवेद्वारे बाहेर पडतील. असा फ्लक्स लीकेज फ्लक्स (leakage flux) म्हणून ओळखला जातो. लीकेज फ्लक्सचे मूल्य जेवढे अधिक, ट्रान्सफॉर्मरची कार्यक्षमता तेवढी अधिक खराब होते. म्हणून, हा लीकेज फ्लक्स कमी करण्यासाठी, प्राथमिक वाइन्डिंग आणि दुय्यम वाइन्डिंग ट्रान्सफॉर्मरमध्ये एकाच लिम्बवर (limb) ठेवलेले आहेत. हे वाइन्डिंग आकृती 6.2 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे एकतर दंडगोलाकार (cylindrical) आहेत किंवा सॅंडविच प्रकार आहेत.

b. ट्रान्सफॉर्मर टँक

50 KVA पेक्षा जास्त रेटिंग असलेले ट्रान्सफॉर्मर्स, संपूर्ण ट्रान्सफॉर्मर असंब्ली म्हणजेच वाइन्डिंग आणि कोर एका बनावटीच्या शीट (fabricated sheet) मेटल टँकमध्ये ठेवण्यात येते आणि तेलामध्ये विसर्जित केले जाते जे इन्सुलेशन आणि कूलिंग दोन्ही उद्देशांसाठी कार्य करते. वाइन्डिंग आणि कोरमध्ये निर्माण होणारी उष्णता तेलाद्वारे टँकच्या बाह्य पृष्ठभागावर नेली जाते. अधिक प्रभावी शीत (Cooling) करणाऱ्या टँकच्या पृष्ठभागाचे क्षेत्र वाढवण्यासाठी कूलिंग ट्यूब पुरवल्या जातात.

c. टर्मिनल बुशिंग्स

ट्रान्सफॉर्मरच्या प्राथमिक आणि दुय्यम वाइन्डिंगचे टर्मिनल टँकमधून बाहेर आणले जातात आणि पोर्सिलेन बुशिंगच्या (porcelain bushings) मदतीने टँकच्या अंगातून इन्सुलेट केले जातात. हे बुशिंग टँकला बसवले आहेत.

d. कंझर्व्हेटर

ट्रान्सफॉर्मरमध्ये, सेवेतील तापमान बदलांसह तेलाचा विस्तार (expansion) आणि आकुंचन (contraction) करण्यासाठी तेलाच्या पातळीपेक्षा काही जागा पुरवणे नेहमीच आवश्यक असते. जेव्हा ट्रान्सफॉर्मर उबदार होतो, तेल विस्तृत होते आणि तेलाच्या शीर्षस्थानी हवा बाहेर टाकली जाते. जेव्हा ट्रान्सफॉर्मर थंड होतो, तेलाचे आकुंचन होते आणि बाहेरील हवा ट्रान्सफॉर्मरमध्ये ओढली जाते. ही प्रक्रिया ट्रान्सफॉर्मरचा ब्रिदर (breathing) म्हणून ओळखली जाते. योग्य खबरदारी घेतल्याशिवाय, या प्रक्रियेदरम्यान ट्रान्सफॉर्मरमध्ये प्रवेश करणारी बाहेरील हवेत लक्षणीय ओलावा असू शकते. जेव्हा ट्रान्सफॉर्मरमधील तेल अशा आर्द्र हवेच्या (moist air) संपर्कात येते तेव्हा ते हवेतील ओलावा सहजपणे शोषून घेते आणि काही प्रमाणात त्याचे इन्सुलेटिंग मूल्य गमावते. कंझर्व्हेटरचा वापर करून तेलाचा हा न्हास (deterioration) टाळता येऊ शकतो. कंझर्व्हेटर एक हवाबंद दंडगोलाकार (cylindrical) बेलनाकार धातूचा ड्रम आहे जो ट्रान्सफॉर्मर टँकवर समर्थित (supported) आहे. हे ड्रम पाईपद्वारे ट्रान्सफॉर्मर टँकला जोडलेले असते आणि ते नेहमीच अंशतः (partly filled) तेलात भरलेले असते. तपमानाच्या बदलांसह मुख्य टँकमध्ये तेलाचा विस्तार आणि आकुंचन आता कंझर्व्हेटरने घेतला आहे. या व्यवस्थेमुळे, मुख्य टँक नेहमी तेलांनी भरलेली असल्याने तेलाचा पृष्ठभाग थेट हवेच्या संपर्कात येत नाही.

e. ब्रिदर

ट्रान्सफॉर्मरच्या ब्रिदर प्रक्रियेदरम्यान कंझर्व्हेटरमध्ये तेलाच्या पातळीपेक्षा वरच्या हवेचे विस्थापन (displacement) ब्रिदर म्हणून ओळखल्या जाणाऱ्या उपकरणाद्वारे होते. त्यात कॅल्शियम क्लोराईड (calcium chloride) किंवा सिलिका जेल (silica gel)

सारख्या ड्रायिंग एजंटचा (drying agent) समावेश आहे, जो हवेतील आर्द्रता बाहेर काढतो. ब्रिदर देखील उपस्थित धूळ, धुळीचे कण काढून हवा देखील शुद्ध करते. अशा प्रकारे, केवळ कोरड्या आणि स्वच्छ हवेला ट्रान्सफॉर्मरमधील तेलाच्या संपर्कात येण्याची परवानगी आहे.

f. बुखोलझ रिले

हे मुख्य टँकला कंड्रक्टोरला जोडणाऱ्या पाईपलाईन मध्ये बसवलेले संरक्षणात्मक उपकरण (protective device) आहे. बिघाडाच्या स्थितीत वाइन्डिंग मध्ये झालेल्या नुकसानीमुळे जास्त उष्णता निर्माण होते, वाइन्डिंगच्या परिसरातील टँकतील तेल विघटित होते आणि विविध प्रकारचे वायू मुक्त होतात. हे वायू बुखोलझ रिले चालवतात जे सुरुवातीच्या स्थितीत ऑपरेटरला अलार्म देते. जर विकसित झालेल्या नुकसानाचे (फॉल्टचे) रूपांतर गंभीर प्रकारच्या नुकसानामध्ये (फॉल्टमध्ये) झाले तर ही रिले मुख्य सर्किट ब्रेकरमधून बंद (trips off) पडते.

g. एक्सप्लोजन व्हेंट

टँकच्या वरच्या पृष्ठभागावर बसवलेला वाकलेला पाईप एक्सप्लोजन वेंट किंवा रिलीफ वाल्व (relief valve) म्हणून ओळखला जातो. हे काचेच्या शीट किंवा अल्युमिनियम फॉइल शीटपासून बनविलेले डायफ्राम (diaphragm) प्रदान करते. बिघाड (fault) झाल्यास, कूलिंग ऑइलच्या वाष्पीकरणामुळे टँकच्या आत जास्त दाब निर्माण झाल्यास, एक्सप्लोजन वेंटमधील डायफ्राम (diaphragm) फुटतो आणि दबाव सोडतो, त्यामुळे ट्रान्सफॉर्मरचे नुकसान टाळता येते.

6.1.3 ट्रान्सफॉर्मर्सचे प्रकार

कोर आणि वाइन्डिंगच्या व्यवस्थेवर अवलंबून, ट्रान्सफॉर्मरचे दोन मुख्य प्रकार आहेत: कोर प्रकार आणि शेल (Shell) प्रकार. आकृती 6.3 दोन प्रकारचे ट्रान्सफॉर्मर दर्शवते.

a. कोर ट्रान्सफॉर्मर्स

कोर प्रकार ट्रान्सफॉर्मरची वैशिष्ट्यपूर्ण वैशिष्ट्ये खालीलप्रमाणे आहेत:

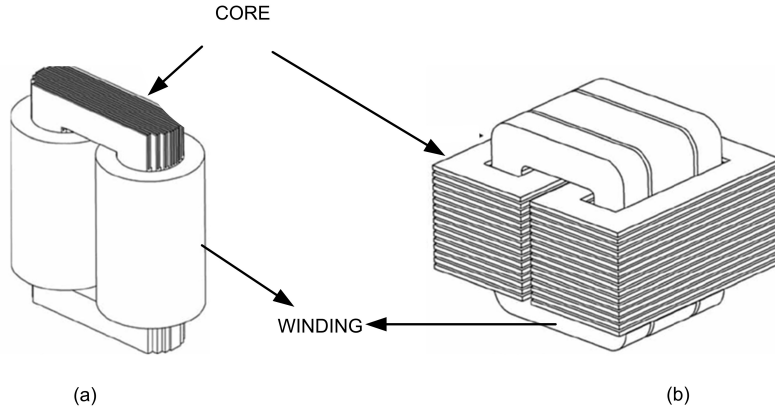
- आकृती 6.3(a) मध्ये दाखवल्याप्रमाणे आयताकृती (rectangular) रचना तयार करण्यासाठी कोर प्रकार ट्रान्सफॉर्मर लॅमिनेशनचे बनलेले आहे आणि एकच मॅग्नेटिक सर्किट प्रदान करते.
- वाइन्डिंग कॉइल्स साधारणपणे दंडगोलाकार असतात आणि अपव्यय (wastage) कमी करण्यासाठी एकाग्र असतात, कमी व्होल्टेज वाइन्डिंग कोरच्या जवळ ठेवले जाते. हे वाइन्डिंग कोरच्या महत्त्वपूर्ण भागाभोवती असते.
- प्राथमिक/ दुय्यम किंवा कमी व्होल्टेज/ उच्च व्होल्टेज वाइन्डिंग कोरच्या दोन लिम्बसवर (limbs) समान रीतीने वितरीत केले जातात.
- दोन लिम्बसवर (limbs) वाइन्डिंग वितरीत केले जात आहेत; नैसर्गिक शीतकरण अधिक प्रभावी होते.
- दुरुस्तीसाठी कॉइल्स फक्त योकच्या वरच्या बाजूस डिसमॅंटल (dismantl) करून काढून टाकता येतो.

b. शेल (Shell) प्रकार ट्रान्सफॉर्मर्स

शेल प्रकार ट्रान्सफॉर्मरची ठळक वैशिष्ट्ये खाली सूचीबद्ध आहेत:

- या प्रकारच्या ट्रान्सफॉर्मरचा कोर दुहेरी मॅग्नेटिक (double magnetic) सर्किट प्रदान करतो.
- वाइन्डिंग साधारणपणे सँडविच प्रकार असतात, नेहमी कोरच्या मध्यवर्ती लिम्बसवर (central limb) ठेवतात.

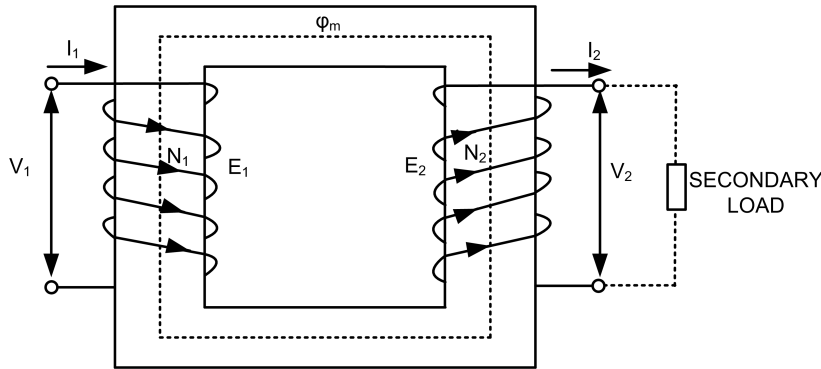
- H.V. आणि L.V. कॉइल्स पॅनकेक्सच्या स्वरूपात एकमेकांशी जोडलेले आहेत. वरच्या आणि खालच्या कॉइल्स जे कोरच्या योजकजवळ असतात ते फक्त LV वाइंडिंग असतात.
- कोरच्या मध्यवर्ती लिंबसवर (central limb) ठेवलेल्या वाइंडिंग भोवती कोर जवळजवळ आहे. वैशिष्ट्य वाइंडिंगला यांत्रिक (mechanical) संरक्षण प्रदान करण्यात मदत करते.
- कॉइल्स केवळ मध्यवर्ती लिंबसवर (central limb) ठेवल्या जातात आणि बाह्य कोर लिंबने वेढलेले (surrounded) असतात, त्यामुळे नैसर्गिक शीतकरण (cooling) कमी असते.
- कॉइल्सची दुरुस्ती कोर प्रकार ट्रान्सफॉर्मरसाठी तितकी सोपी नाही.



आकृती 6.3: (a) कोर (Core) प्रकार ट्रान्सफॉर्मर (b) शेल (Shell) प्रकार ट्रान्सफॉर्मर

6.1.4 काम करण्याचे तत्त्व

ट्रान्सफॉर्मरचे ऑपरेशन सामान्य चुंबकीय/मॅग्नेटिक फिल्डद्वारे जोडलेल्या दोन सर्किट्समधील सेल्फ-इंडक्टन्स तत्त्वावर आधारित आहे. आकृती 6.4 मध्ये दर्शविलेल्या ट्रान्सफॉर्मरला त्याच्या प्राथमिक स्वरूपात विचारात घ्या.



आकृती 6.4: प्राथमिक (Elementary) ट्रान्सफॉर्मर

यात मूलभूतपणे दोन वाइंडिंगचा समावेश आहे, प्राथमिक आणि दुय्यम वाइंडिंग, विद्युत वेगळ्या (electrically separate) परंतु लॅमिनेटेड स्टील कोरवर गुंडाळलेले आहे. कोरच्या उभ्या भागांवर ज्यावर हे वाइंडिंग ठेवलेले असतात त्यांना लिंबस (limbs) म्हणतात आणि वरचे आणि खालचे भाग योक्स (yokes) असतात. विद्युत पुरवठा (electric supply) व्यवस्थेशी जोडलेली

आणि त्यातून ऊर्जा मिळवणाऱ्या वाइन्डिंगना प्राथमिक वाइन्डिंग म्हणतात. इच्छित व्होल्टेजवर लोडला ऊर्जा पुरवणाऱ्या इतर वाइन्डिंगना दुय्यम वाइन्डिंग म्हणतात.

जेव्हा प्राथमिक वाइन्डिंग एखाद्या AC विद्युत पुरवठ्याशी जोडलेले असते, त्यामधून एक अल्टरनेटिंग करंट (AC) फिरतो. प्राथमिक वाइन्डिंगमधून वाहणारा हा करंट अल्टरनेटिंग फ्लक्स तयार करतो. यातील बहुतांश फ्लक्स लोह कोर (iron core) द्वारे दुय्यम वाइन्डिंगशी जोडला जातो आणि फॅराडेच्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनच्या कायद्यानुसार त्यात emf प्रेरित (induce) करतो. घटना (phenomenon), ज्यामुळे प्राथमिक वाइन्डिंग मधील अल्टरनेटिंग करंट दुय्यम वाइन्डिंग मध्ये emf निर्माण करतो, त्याला म्युच्युअल इंडकटन्स (mutual induction) म्हणून ओळखले जाते आणि दुय्यम वाइन्डिंग मध्ये प्रेरित emf, म्युच्युअल प्रेरित emf (mutually induced emf) म्हणून ओळखले जाते. या emf ची फ्रिक्वेंसी पुरवठा व्होल्टेजच्या समान आहे.

6.1.4.1 ट्रान्सफॉर्मरचे emf समीकरण

समजा आकृती 6.4 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे ट्रान्सफॉर्मरला प्राथमिक आणि दुय्यम वाइन्डिंग मध्ये N_1 आणि N_2 वळणांची (turns) संख्या आहे. जेव्हा AC व्होल्टेज V_1 फ्रिक्वेंसी f ला प्राथमिक वाइन्डिंगवर लागू केले जाते, तेव्हा प्राथमिक वाइन्डिंग मधून करंट I_m प्रवाह होईल आणि यामुळे एक अल्टरनेटिंग फ्लक्स तयार होईल जो प्राथमिक आणि दुय्यम दोन्ही वाइन्डिंगना जोडणाऱ्या कोरमधून आपला मार्ग पूर्ण करेल. अल्टरनेटिंग फ्लक्स चे समीकरण आहे:

$$\phi = \phi_m \cos \omega t \quad \dots(6.1)$$

फॅराडे कायद्यानुसार प्राथमिक वाइन्डिंग मधील प्रेरित emf समीकरण अल्टरनेटिंग फ्लक्समुळे दिले जाते.

$$e_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad \dots(6.2)$$

6.2 मध्ये 6.1 च्या फ्लक्सचे मूल्य टाकल्यास हे समीकरण बनते

$$\begin{aligned} e_1 &= -N_1 \frac{d\phi_m \cos \omega t}{dt} \\ e_1 &= N_1 \omega \phi_m \sin \omega t \\ e_1 &= N_1 \omega \phi_m \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \end{aligned}$$

$$\text{or} \quad e_1 = E_m \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad \dots(6.3)$$

जेथे $E_m = 2\pi f N_1 \phi_m$, प्रेरित emf चे कमाल मूल्य

प्राथमिक वाइन्डिंग मध्ये प्रेरित emf चे RMS (root mean square) मूल्य दिले जाते:

$$E_1 = \frac{2\pi f N_1 \phi_m}{\sqrt{2}} = 4.44 f N_1 \phi_m \quad \dots(6.4)$$

त्याचप्रमाणे, दुय्यम वाइन्डिंग मध्ये emf द्वारे दिले जाते:

$$E_2 = 4.44 f N_2 \phi_m \quad \dots(6.5)$$



6.1.4.2 व्होल्टेज परिवर्तन गुणोत्तर

व्होल्टेज परिवर्तन गुणोत्तर हे दुय्यम वाइन्डिंग व्होल्टेजचे प्राथमिक वाइन्डिंग व्होल्टेजचे प्रमाण म्हणून परिभाषित केले जाते. हे K द्वारे दर्शविले जाते. जर $K < 1$, तर दुय्यम व्होल्टेज प्राथमिक व्होल्टेजपेक्षा कमी असेल आणि ट्रान्सफॉर्मरला स्टेप डाउन (step down) ट्रान्सफॉर्मर म्हटले जाईल. जर $K > 1$, तर ट्रान्सफॉर्मर एक स्टेप अप (step up) ट्रान्सफॉर्मर आहे.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{1}{K}$$

आदर्श ट्रान्सफॉर्मर बहुल खालील गृहितके तयार केली जातात:

- वाइन्डिंग प्रतिरोधक (resistance) नगण्य आहेत.
- सर्व फ्लक्स ट्रान्सफॉर्मरच्या कोरपर्यंत मर्यादित असतात आणि दोन्ही वाइन्डिंग ना पूर्णपणे जोडतात.
- कोरची पर्मिबिलिटी (permeability) जास्त आहे जेणेकरून फ्लक्स तयार करण्यासाठी आणि कोरमध्ये स्थापित करण्यासाठी आवश्यक मॅग्नेटिक करंट नगण्य (negligible) आहे.
- हिस्टेरिसिस आणि एडी करंट (Hysteresis and Eddy current losses) नुकसान नगण्य (negligible) आहेत.

वरील गृहितकासह, ट्रान्सफॉर्मरचे इनपुट व्होल्ट अ‍ॅम्पीअर (volt ampere) आणि आउटपुट व्होल्ट अ‍ॅम्पीअर (volt ampere) अंदाजे समान म्हणजे $V_1 I_1 = V_2 I_2$ आहे. वरील समीकरण बनते:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{K}$$

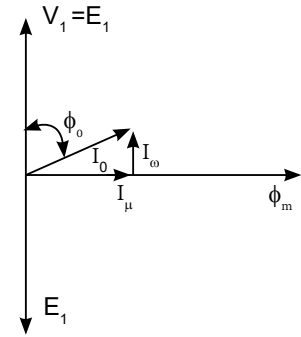
...(6.6)

6.1.4.3 ट्रान्सफॉर्मर लोड नसलेल्या स्थितीत

जेव्हा ट्रान्सफॉर्मर लोड नसलेल्या स्थितीत असतो, तेव्हा आकृती 6.4 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे दुय्यम वाइन्डिंग मध्ये करंट शून्य असतो तर प्राथमिक वाइन्डिंग मध्ये थोडाच करंट ज्याला नो लोड करंट (no load current) म्हणून ओळखले जाते. करंट खालील दोन घटकांचा समावेश आहे.

- प्रतिक्रियाशील किंवा मॅग्नेटिक घटक (reactive or magnetising component) आणि
- ॲक्टिव (सक्रिय) किंवा शक्ती घटक (active or power component).

मॅग्नेटाइझिंग घटक मॅग्नेटाइझिंग फ्लक्स तयार करतो, म्हणून ते फ्लक्सच्या फेज मध्ये आहे. सक्रिय घटक (active component) लोह कोर (Iron Core) मध्ये हिस्टेरिसिस आणि एडी करंट नुकसान (losses) पुरवण्यासाठी शक्ती (Power) निर्माण करतो, सक्रिय घटक करंट व्होल्टेज सह फेज मध्ये आहे. प्राथमिक वाइन्डिंग मध्ये प्रेरित emf मॅग्नेटाइझिंग फ्लक्स ने समीकरण 6.3 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे मागे (Lags) पडते. सामान्यतः सक्रिय घटक नो लोड करंटच्या मॅग्नेटिक घटकाच्या तुलनेत खूप लहान असतो. आकृती 6.5 ट्रान्सफॉर्मरच्या नो लोड स्थितीत फेजर आकृती दर्शवते. फेजर आकृतीमधून मॅग्नेटाइझिंग करंट (current) आणि कोर लॉस (Loss) घटक. लोड नसलेल्या ट्रान्सफॉर्मरला पॉवर इनपुट दिले जाते



आकृती 6.5: नो लोड फेजर आकृती

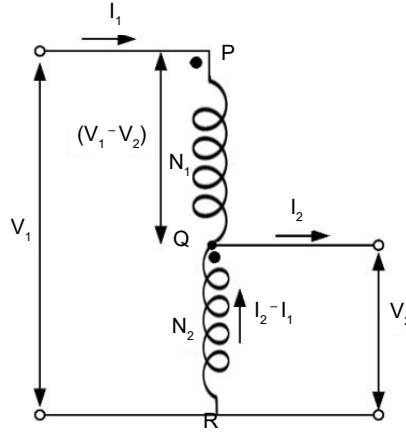
$$P_o = V_1 I_o \cos \phi_o \quad \dots(6.7)$$

जेथे $\cos \phi_o$ नो लोड पॉवर फॅक्टर आहे आणि नो लोड करंट खाली दिले आहे.

$$I_o = \sqrt{I_\mu^2 + I_w^2} \quad \dots(6.8)$$

6.1.5 ऑटोट्रान्सफॉर्मर

ट्रान्सफॉर्मर ज्यामध्ये वाइन्डिंगचा एक भाग प्राथमिक आणि दुय्यम (primary and secondary) दोन्ही सर्किटमध्ये एकच असतो त्याला ऑटो ट्रान्सफॉर्मर म्हणतात. आकृती 6.6 मध्ये मध्ये दाखवल्याप्रमाणे प्राथमिक द्वितीयकला (secondary) विद्युत तसेच मॅग्नेटिकदृष्ट्या जोडलेले आहे. दोन वाइन्डिंग ट्रान्सफॉर्मरच्या विपरीत, ऑटोट्रान्सफॉर्मर मध्ये विद्युतदृष्ट्या वेगळ्या नसतात.



आकृती 6.6: ऑटोट्रान्सफॉर्मर

आकृती 6.6 मध्ये, PR म्हणजे वळण असलेली प्राथमिक वाइन्डिंग आणि QR दुय्यम वाइन्डिंग आहे ज्यामध्ये वळणांची संख्या आहे. इनपुट व्होल्टेज आणि करंट आणि आहेत आणि आउटपुट व्होल्टेज आणि करंट अनुक्रमे आणि आहेत. जर अंतर्गत प्रतिबाधा (internal impedance) ड्रॉप आणि नुकसान दुर्लक्षित केले, तर $V_1 I_1 = V_2 I_2$ किंवा

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{1}{K} \quad \dots(6.9)$$

QR विभागात करंट ($I_2 - I_1$) आहे जेथे $I_2 > I_1$

ऑटो ट्रान्सफॉर्मरमध्ये पॉवर इनपुटचा फक्त एक भाग ट्रान्सफॉर्मर अॅक्शनद्वारे प्राथमिक ते दुय्यम बाजूला हस्तांतरित केला जातो. उर्वरित पॉवर थेट प्राथमिक पासून दुय्यम बाजूला हस्तांतरित केली जाते. कंडक्टिव्हली आणि इन्डक्टिव्हली हस्तांतरित पॉवरची सापेक्ष रक्कम (relative amount of power) परिवर्तनाच्या गुणोत्तरावर (transformation ratio) अवलंबून असते.

विचार करा ऑटोट्रान्सफॉर्मरद्वारे लोड करण्यासाठी वितरित व्होल्ट अ‍ॅम्पीअर पॉवर $= V_2 I_2$

QR वाइन्डिंगच्या पॉवरच्या बरोबरीने रूपांतरित पॉवर आहे. रूपांतरित/बदललेली पॉवर (transformed power) किंवा प्रेरक (inductive) पॉवर दिली आहे:

समीकरण 6.9, वरील समीकरणात टाकल्यास

$$V_2(I_2 - I_1) = V_2 I_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) = V_2 I_2 (1 - K) \quad \dots(6.10)$$

थेट चालवलेली पॉवर समान लोड करण्यासाठी वितरित केलेली पॉवर (शक्ती) उणे रूपांतरित पॉवर (शक्ती) आणि हे:

$$V_2 I_2 - V_2 I_2 (1 - K) = KV_2 \quad \dots(6.11)$$

दोन वाइंडिंग ट्रान्सफॉर्मरच्या तुलनेत ऑटो ट्रान्सफॉर्मरचे खालील फायदे आहेत

- समान क्षमता आणि व्होल्टेज गुणोत्तरासाठी ऑटो ट्रान्सफॉर्मरसाठी आवश्यक तांब्याचे (copper) वजन कमी आहे.
- ऑटो ट्रान्सफॉर्मरचा आकार समान रेटिंगसाठी कमी आहे.

6.1.5.1 ऑटो ट्रान्सफॉर्मरचे अनुप्रयोग

- लांब फीडर सर्किट्सवरील व्होल्टेज थेंबांची (voltage drops) भरपाई करण्यासाठी.
- व्हेरिएबल व्होल्टेज नियंत्रण प्रदान करण्यासाठी.
- ट्रान्सफॉर्मर आउटपुट व्होल्टेज समायोजित करण्यासाठी वेगवेगळ्या लोडसह सिस्टम व्होल्टेज स्थिर ठेवण्यासाठी.

उपक्रम

- महाविद्यालयाच्या मुख्य वीज पुरवठा सबस्टेशनला भेट द्या. डिस्ट्रीब्यूशन ट्रान्सफॉर्मरच्या नेम प्लेटचे तपशील नोंदवा. नेम प्लेटमध्ये दिलेल्या तपशील तपशीलांवर अहवाल तयार करा.
- दिलेल्या 1-फेज दोन वाइंडिंग ट्रान्सफॉर्मरचे प्राथमिक आणि दुय्यम वाइंडिंग प्रतिरोधक मोजा. प्रतिरोधक/रेझिस्टन्स व्हॅल्यू लक्षात घ्या आणि कोणते वाइंडिंग HV वाइंडिंग आहे याचा अंदाज घ्या.

सोडवलेले उदाहरण

उदाहरण 6.1.1: सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मरमध्ये 400 प्राथमिक आणि 1000 दुय्यम वाइंडिंग वाइंडिंग आहे. कोरचे क्रॉस सेक्शनल क्षेत्र 60 cm² आहे. प्राथमिक पुरवठा व्होल्टेज 500V असेल तर कोरमध्ये फ्लक्स घनतेचे पीक (peak) मूल्य निश्चित करा, फ्रिक्वेन्सी = 50 Hz आहे.

उत्तर: प्राथमिक वाइंडिंग मध्ये प्रेरित emf चे rms मूल्य $E_1 = 4.44 f N_1 \phi_m$ । समान आहे. एक आदर्श ट्रान्सफॉर्मर लक्षात घेता

$$E_1 = V_1, \text{ दिलेले, प्राथमिक पुरवठा व्होल्टेज } = 500 \text{ V.}$$

$$\text{त्यामुळे } 500 = 4.44 \times 50 \times 400 \times B_m \times 60 \times 10^{-4}, B_m = 0.938 \text{ Wb/m}^2$$

उदाहरण 6.1.2: 200/100 V, 50 Hz चे ट्रान्सफॉर्मर 100 V च्या बाजूने 40 Hz वर उत्साहित/एक्साईटेड (excited) होण्यासाठी. एक्साईटेड (excited) करंट समान राहिल्यास कमी व्होल्टेजच्या (LV) बाजूला लागू होणारा व्होल्टेज शोधा.

$$\text{उत्तर: } 100 \text{ V बाजूस } 50 \text{ Hz वर प्रेरित emf समीकरण } 100 = 4.44 \times 50 \times \phi_m \times N_2. \quad \dots(1)$$

एक्साईटेड करंट, 40 Hz वर देखील तेच राहणे आवश्यक आहे.

$$40 \text{ Hz वर emf समीकरण } = E_2 = 4.44 \times 40 \times \phi_m \times N_2 \quad \dots(2)$$

समीकरण (1) आणि (2) $E_2 = 80 \text{ Volts}$

6.2 इलेक्ट्रिक मोटर्स

6.2.1 प्रस्तावना

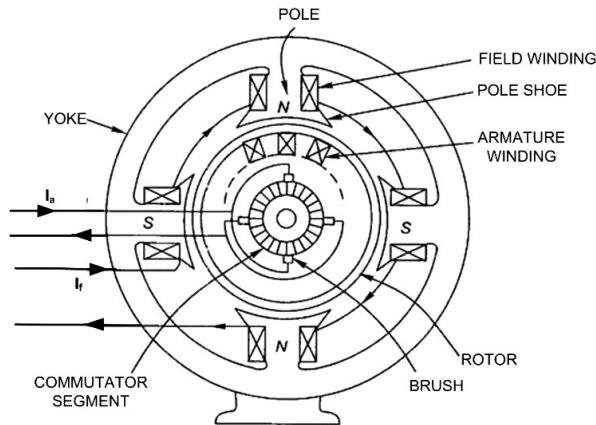
फिरणाऱ्या इलेक्ट्रिकल मशीनमध्ये प्रामुख्याने दोन भाग असतात, स्टेटर (stator) स्थिर भाग आणि रोटर (rotor) फिरणारा भाग. स्टेटर साधारणपणे दंडगोलाकार आकाराचा मॅग्नेटिक कोर असतो आणि मॅग्नेटिक कोरचाच बनलेला रोटर स्टेटरच्या आत फिरतो. स्टेटर आणि रोटर कोर एअर (air) गॅपद्वारे वेगळे केले जातात. स्टेटर आणि रोटर वर मॅग्नेटिक प्रवाह (magnetic flux) स्थापित करण्यासाठी मॅग्नेटिक वाइन्डिंग असते. रोटर बेअरिंग सपोर्ट केलेल्या शाफ्टवर बसवले आहे आणि शाफ्ट बेल्ट आणि पुलीच्या व्यवस्थेद्वारे किंवा गिअर बॉक्सद्वारे यांत्रिक भारांशी (mechanical loads) जोडलेले आहे.

6.2.2 DC मोटर

इलेक्ट्रिक मोटर हे एक यंत्र आहे जे विद्युत उर्जेला यांत्रिक उर्जेमध्ये बदलते. जर DC पुरवठ्याच्या स्वरूपात विद्युत ऊर्जा पुरवली गेली तर मोटरला DC मोटर म्हणतात.

6.2.1.1 DC मोटरचे बांधकाम

DC मशीनचे फील्ड पोल स्टेटरवर स्थित आहेत. लोखंडी पोल ना दंडगोलाकार आकाराच्या मॅग्नेटिक कोरच्या आतल्या पृष्ठभागावरून आतल्या बाजूला प्रक्षेपित (projected) केले जाते ज्याला स्टेटर योक (stator yoke) म्हणतात. योक मॅग्नेटिक प्रवाहासाठी (magnetic flux) परतीचा मार्ग म्हणून काम करते. लोखंडी पोल मध्ये एक अरुंद भाग असतो ज्यावर फील्ड वाइन्डिंग कॉइल्स ठेवल्या जातात. सामान्यतः लॅमिनेटेड पोल शू रोटरच्या पृष्ठभागावर पोल फ्लक्स वितरीत करतात. दंडगोलाकार सिलिकॉन स्टील कोर ने बनवलेल्या रोटर किंवा आर्मेचरमध्ये स्लॉटेड लॅमिनेशन्सचा स्टॅक असतो. कोरच्या अक्षीय लांबी (axial length) सह लॅमिनेटेड कोरच्या पृष्ठभागावर स्लॉट कापले जातात, ज्यामध्ये आर्मेचर वाइन्डिंग च्या कॉइल बाजू ठेवल्या जातात. कंडक्टर वायर किंवा बारच्या स्वरूपात कॉइल्स तांबे किंवा अॅल्युमिनियमचे बनलेले असतात आणि कंडक्टरचा आकार मशीनच्या करंट आणि व्होल्टेज गरजेवर अवलंबून असतो. आर्मेचर कॉइल्स स्लॉटच्या लांबीच्या बाजूने स्लॉटमध्ये चालवलेल्या लाकडाच्या वेजेसद्वारे ठेवल्या जातात. कॉइल टर्मिनलचे टोक कम्युटेटरशी जोडलेले आहेत. कम्युटेटरमध्ये तांबे ने बनलेले विभाग असतात, सामान्यतः अभ्रक (mica) सामग्रीला इन्सुलेट करून विभाग (segments) एकमेकांपासून वेगळे केले जातात.



आकृती 6.7: DC मशीनचे विभागीय/सेक्शनल दृश्य

कार्बन ब्रशेसद्वारे आर्मेचर कॉइल्समध्ये विद्युत प्रवाह (current) वाहतो. ब्रश ब्रश होल्डरमध्ये ठेवलेले असतात आणि अशा प्रकारे बसवले जातात की ते कम्यूटेटरच्या पृष्ठभागावर मुक्तपणे सरकले पाहिजेत. ब्रश संपर्क आणि कम्यूटेटर यांच्यात योग्य संपर्क राखण्यासाठी, संपर्क पॉवर (contact force) सुनिश्चित करण्यासाठी ब्रश धारक असेंब्लीमध्ये समायोज्य स्प्रिंग्स (adjustable springs) ठेवले जातात. ब्रशचे नियमितपणे परीक्षण केले पाहिजे आणि ब्रशचे झीज झाल्यास बदले पाहिजे. आकृती 6.7 DC मशीनचे विभागीय/सेक्शनल दृश्य दर्शवते.

6.2.2.2 DC मोटरचे कार्य तत्त्व

DC मोटर्स ज्या तत्त्वावर काम करतात ते फ्लेमिंगच्या डाव्या हाताच्या नियमावर (Fleming's left hand rule) आधारित आहे. जेव्हा करंट वाहू कंडक्टर स्थिर मॅग्नेटिक फील्ड मध्ये ठेवला जातो, जसे की कंडक्टर फील्ड सह उजवा कोन बनवतो, तेव्हा त्याला एक यांत्रिक पॉवर येते, ज्याची दिशा फ्लेमिंगज डाव्या हाताच्या नियमाद्वारे दिली जाते. कंडक्टरची हालचाल पॉवरच्या (force) दिशेने असते. थोडक्यात, जेव्हा विद्युत फील्ड आणि मॅग्नेटिक फील्ड एकमेकांशी संवाद साधतात तेव्हा यांत्रिक पॉवर (mechanical force) निर्माण होते. कंडक्टरने अनुभवलेल्या न्यूटनमधील यांत्रिक पॉवरचे परिमाण समीकरण 6.12 द्वारे दिले जाते.

$$F = BIL \quad \dots(6.12)$$

जेथे, B फील्ड पॉवर आहे, Wb/m^2 , I अँपिअर मध्ये कंडक्टरमधून वाहणारा करंट आहे आणि L ही मीटरमध्ये कंडक्टरची लांबी आहे.

6.2.2.3 DC मोटरचे कार्य

जेव्हा DC मोटरच्या आर्मेचर आणि फील्ड-वाइन्डिंग मधून थेट प्रवाह जातो, तेव्हा मॅग्नेटिक प्रवाह (magnetic flux) फील्ड करंटद्वारे स्थापित केला जातो (अँपिअर टर्न). आर्मेचर कंडक्टर हे मॅग्नेटिक फील्ड ला लंबवत (perpendicular) असल्याने आणि ते विद्युत् प्रवाह (current) धारण करत असल्याने त्यांना यांत्रिक पॉवरचा (mechanical force) अनुभव येतो. या शक्तीचा परिणाम टॉर्क (torque) आहे. या टॉर्कच्या प्रभावाखाली रोटार फिरू लागतो. कोणतेही यांत्रिक उपकरण (लोड) त्याच्याशी जोडलेले उपयुक्त कार्य करते. जर यांत्रिक भार (load) वाढवला गेला तर DC सप्लाय मधून अधिक करंट काढून अधिक टॉर्क तयार केला जाईल. अशा प्रकारे मोटर विद्युत उर्जेचे यांत्रिक उर्जेमध्ये रूपांतर करते.

बॅक EMF (Back EMF)

जेव्हा मोटरचे आर्मेचर फिरते तेव्हा कंडक्टरमध्ये एक emf प्रेरित होते कारण ते मॅग्नेटिक पॉवरच्या रेषा (lines of magnetic force) कापतात. प्रेरित emf लागू व्होल्टेज V च्या विरोधात (opposition) आहे आणि त्याला बॅक किंवा काउंटर emf (E_b) म्हणतात. त्याची विशालता (magnitude) दिली आहे:

$$E_b \propto \Phi_N \quad \dots(6.13)$$

जेथे Φ फील्ड फ्लक्स आहे आणि N आर्मेचर स्पीड आहे.

6.2.2.4 DC मोटर्सचे प्रकार

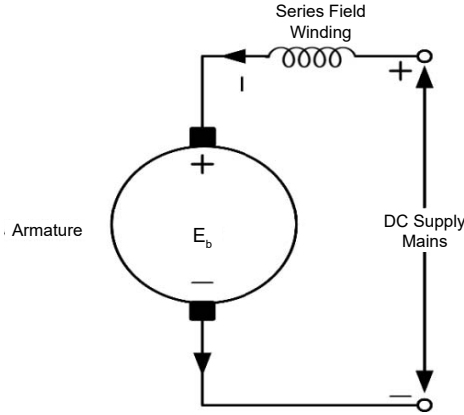
आर्मेचर वाइन्डिंग आणि फील्ड वाइन्डिंग च्या कनेक्शनच्या स्वरूपावर अवलंबून, DC मोटर्सचे दोन प्रकारात वर्गीकरण केले जाऊ शकते:

- DC सीरीज (series) मोटर
- DC शंट (shunt) मोटर

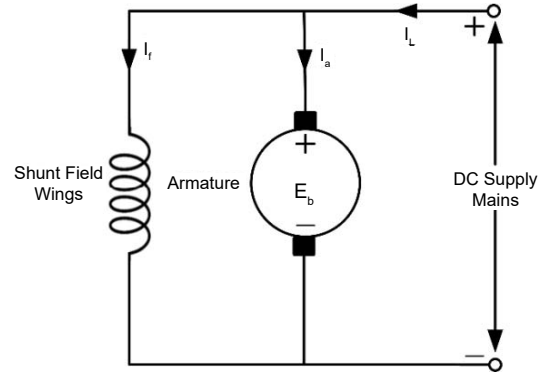


DC मोटरचा आणखी एक प्रकार म्हणजे DC कंपाऊंड मोटर, ज्यामध्ये फील्ड वाइंडिंग मालिकेत (series) तसेच समांतर (parallel) जोडलेली असते ज्याची चर्चा या पुस्तकात होत नाही.

- i. **DC सीरीज (मालिका) मोटर:** आकृती 6.8 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे सीरीज मोटर अशी आहे ज्यामध्ये फील्ड वाइंडिंग आर्मेचरच्या सीरीज मध्ये जोडलेली आहे. मोटरद्वारे वाहणारा करंट फील्ड तसेच आर्मेचर वाइंडिंग मधून सारखाच आहे. फील्ड वाइंडिंगला काही जाड कंडक्टरची वाइंडिंग असते. मॅग्नेटिक प्रवाह/फ्लक्स संतृप्ति (saturation) पर्यंत करंट नुसार बदलतो.
- ii. **DC शंट मोटर:** आकृती 6.9 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे शंट मोटर अशी आहे ज्यामध्ये फील्ड वाइंडिंग मध्ये तुलनेने पातळ वायरच्या मोठ्या संख्येने वाइंडिंग (turns) असतात, आणि आर्मेचरच्या समांतर (parallel) जोडलेली असतात. शंट मोटरच्या बाबतीत, फील्ड करंट स्थिर (constant) आहे कारण DC पुरवठा स्थिर आहे. म्हणून, फ्लक्स व्यावहारिकदृष्ट्या (Practically) स्थिर राहतो.



आकृती 6.8: DC सीरीज (Series) मोटर



आकृती 6.9: DC शंट(shunt) मोटर

6.2.2.5 मोटर्सची वैशिष्ट्ये DC

DC मोटरची दोन सर्वात महत्वाची वैशिष्ट्ये म्हणजे टॉर्क वैशिष्ट्ये आणि वेग (स्पीड/Speed) वैशिष्ट्ये.

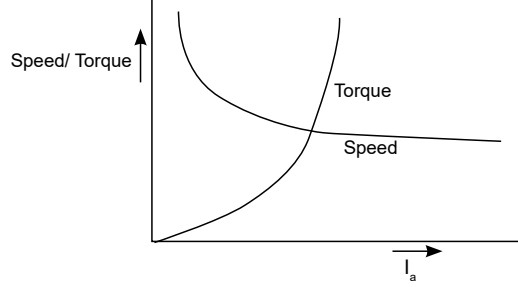
(a) टॉर्क वैशिष्ट्य (T vs. I_a):

टॉर्क (torque) वैशिष्ट्य आर्मेचर करंटसह टॉर्कच्या भिन्नतेचे प्रतिनिधित्व करते.

मोटरमध्ये विकसित होणारा टॉर्क हा फील्ड करंटद्वारे निर्माण होणाऱ्या मॅग्नेटिक प्रवाह (फ्लक्स) आणि आर्मेचर कंडक्टरमधून वाहणाऱ्या करंटच्या परस्परसंवादाचा परिणाम आहे. जर फील्ड करंट वाढल्यामुळे मॅग्नेटिक फ्लक्स वाढला, तर त्याच आर्मेचर करंटसाठी उत्पादित टॉर्क वाढेल म्हणजेच I_a कॉन्स्टंट I_a साठी $T \propto \Phi$. त्याचप्रमाणे, जर शाफ्ट लोड वाढल्यामुळे आर्मेचर करंट वाढला तर मॅग्नेटिक फ्लक्सच्या समान मूल्यासाठी देखील टॉर्क वाढेल अर्थात कॉन्स्टंट Φ साठी $T \propto I_a$. आता जर Φ आणि I_a दोन्ही बदलत असतील तर सर्वसाधारणपणे, ते असे लिहिले जाऊ शकते

$$T \propto \Phi I_a \quad \dots(6.14)$$

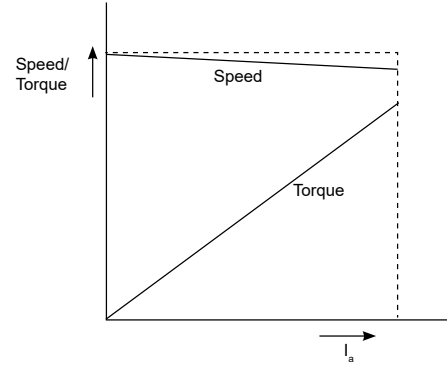
- i) **DC सीरीज मोटर:** टॉर्क समीकरण $T \propto \phi I_a$ म्हणून दिले जाते. आकृती 6.8 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे सीरीज मोटरसाठी, फील्ड वाइन्डिंग तसेच आर्मेचर वाइन्डिंग मध्ये समान करंट वाहतो. तर, मॅग्नेटिक संतृप्ति (saturation) पर्यंत, फील्ड फ्लक्स $\phi \propto I_a$ आणि म्हणून विकसित (developed) टॉर्क आहे:
- $$T \propto I_a^2 \quad \dots(6.15)$$
- याचा अर्थ असा की मॅग्नेटिक परिस्थितीपर्यंत टॉर्क करंट च्या वर्गाच्या (स्क्वेअरच्या) प्रमाणात आहे.



आकृती 6.10: DC सीरीज मोटरचे स्पीड-टॉर्क वैशिष्ट्ये

वैशिष्ट्याचा हा भाग एक प्याराबोला (परवलय) (parabola) आहे. तथापि, मॅग्नेटिक संपृक्ततेनंतर (magnetic saturation), T vs. I_a वक्र सरळ रेषा बनतो कारण फ्लक्स ϕ आर्मेचर करंटपासून स्वतंत्र आहे आणि म्हणूनच केवळ आर्मेचर करंट मुळे टॉर्क वाढतो. वैशिष्ट्यपूर्ण वक्र आकृती 6.10 मध्ये दर्शविले आहे. टॉर्क हा करंटच्या वर्गाच्या (स्क्वेअरच्या) प्रमाणात असल्याने, सुरुवातीचा टॉर्क अत्यंत उच्च आहे. उच्च प्रारंभ टॉर्क विशिष्ट अनुप्रयोगांसाठी फायदेशीर आहे. म्हणून जेथे मोठ्या स्टार्टिंग टॉर्कची आवश्यकता असते तेथे DC सीरीज मोटर्सचा वापर केला जातो.

- ii) **DC शंट मोटर:** DC शंट मोटरच्या बाबतीत, फ्लक्स ϕ स्थिर (constant) असतो त्यामुळे टॉर्क $T \propto \phi I_a$ हा आर्मेचर करंटच्या थेट प्रमाणात असतो, वेग काहीही असो. जसे आर्मेचर करंट (I_a) वाढते, टॉर्क (T) वाढते आणि याउलट (vice-versa). आकृती 6.11 DC शंट मोटरचे टॉर्क वैशिष्ट्य दर्शवते.



b. गतीचे वैशिष्ट्य (N vs. I_a):

मोटरच्या गतीचे वैशिष्ट्य साधारणपणे इनपुट करंटसह वेगातील फरक दर्शवते.

- i) **DC सीरीज मोटर्स:** DC मोटरचे गती समीकरण आहे : $N \propto \frac{E_b}{\phi}$ आकृती 6.11: DC शंट मोटरची स्पीड-टॉर्क वैशिष्ट्ये

जेथे, E_b बॅक emf आहे, ϕ फ्लक्स आणि N मोटरची गती (स्पीड) rpm मध्ये आहे. खूप कमी आर्मेचर रेझिस्टन्स साठी बॅक emf मध्ये बदल, वेगवेगळ्या लोड करंट्स साठी खूप लहान आहे आणि त्यामुळे दुर्लक्ष केले जाऊ शकते.

म्हणून, रोटरची गती फील्ड फ्लक्सच्या व्यस्त (inversely proportional) प्रमाणात आहे किंवा

$$N \propto \frac{1}{\phi} \quad \dots(6.16)$$

DC सीरीज मोटरमध्ये, फ्लक्स (ϕ) वाढते, आर्मेचर करंट वाढल्याने, म्हणजे, $\phi \propto I_a$, समीकरण 6.2.5 बदलते

$$N \propto \frac{1}{I_a} \quad \dots(6.17)$$

याचा अर्थ असा की लोड करंट अर्थात आर्मेचर करंट (I_a) वाढतो, वेग कमी होतो आणि याउलट सुद्धा (vice-versa). वैशिष्ट्य आकृती 6.10 मध्ये दर्शविले आहे. वैशिष्ट्यपूर्ण वक्र वरून असे दिसून येते की, जेव्हा लोड (भार/Load) मोठा आहे वेग कमी आहे. जेव्हा भार हलका असतो, वेग खूप जास्त असतो. म्हणून, सीरिज मोटर कधीही लोडशिवाय चालवू नये अन्यथा ते खूप जास्त (सेन्ट्रीफ्युगल) केंद्रापसारक शक्तीमुळे खराब होऊ शकते.

ii) **DC शंट मोटर:** DC शंट मोटरमध्ये फ्लक्स स्थिर असतो. जसे फ्लक्स स्थिर आहे, वेग देखील स्थिर आहे. सिद्धांतिकदृष्ट्या (Theoretically) ते खरे आहे पण प्रैक्टिकल दृष्ट्या (practically) ते शक्य नाही. खरं तर, लोड/भार वाढल्याप्रमाणे, बॅक emf (E_b) कमी होतो आणि या वस्तुस्थितीमुळे, वेग $N = E_b / \phi$ कमी होतो. वेगात ही घट लक्षणीय नाही आणि म्हणून सर्व प्रैक्टिकल (practical) हेतूसाठी DC शंट मोटर एक स्थिर गती मोटर म्हणून मानली जाते.

6.2.2.6 DC मोटर्सचे अनुप्रयोग

DC मोटर्सचा वापर अनेक औद्योगिक अनुप्रयोगांसाठी केला जातो, विशेषतः ज्यांना मोटरच्या संपूर्ण स्पीड रेंजमध्ये सतत टॉर्कची आवश्यकता असते. पोर्टेबल अनुप्रयोगांसाठी बॅटरी पॉवर वापरून, DC मोटर्स ही नैसर्गिक निवड आहे. DC सीरीज मोटर्स आणि DC शंट मोटर्सचे मुख्य अनुप्रयोग खालीलप्रमाणे आहेत:

i) **DC सीरीज मोटर्स:** जेथे उच्च प्रारंभ टॉर्क आवश्यक आहे तेथे DC सीरीज मोटर्स वापरल्या जातात, जेथे गती (स्पीड) स्थिरता आवश्यक नाही. आणि वेगात फरक शक्य आहे. सीरीज मोटर्सचे काही अनुप्रयोग आहेत:

- क्रेन
- एअर कॉम्प्रेसर
- लिफ्ट आणि एलीवेटर
- व्हॅक्यूम क्लिनर
- इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शन
- हेअर (Hair) ड्रायर
- सेविंग (Sewing) मशीन
- पावर टूल्स
- इलेक्ट्रिक फुटिंग, इ.

ii) **DC शंट मोटर्स:** जेथे नो लोड पासून पूर्ण लोड पर्यंत सतत (constant) वेग आवश्यक असतो तेथे DC शंट मोटर्सचा वापर केला जातो, आणि प्रारंभिक परिस्थिती गंभीर नाही. DC शंट मोटरचे विविध अनुप्रयोग आहेत:

- लेथ मशीन्स
- सेन्ट्रीफ्युगल पंप
- कन्व्हेअर
- फॅन
- बोरिंग मशीन
- वेडिंग मशीन
- स्पिनिंग मशीन
- ब्लोअर
- लाइन शाफ्ट, इ.

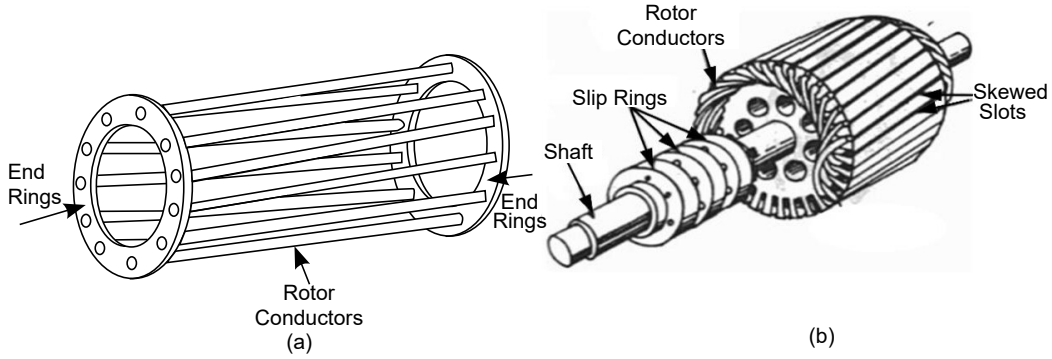
6.2.3 AC मोटर्स

6.2.3.1 मोटर बांधकाम

मागील विषयापासून, DC मोटरची वैशिष्ट्ये आणि त्याच्या अनुप्रयोगांच्या दृष्टीने कामगिरीचा अभ्यास केला गेला आहे. DC मोटरच्या ऑपरेशनसाठी, DC वीज पुरवठा आवश्यक आहे. यासाठी AC सप्लायला सेमीकंडक्टर उपकरणांचा वापर करून DC सप्लाय करण्यासाठी रेक्टिफाय केले जाते.

सिंगल किंवा त्री (1 किंवा 3) फेज AC पॉवर सप्लायचा वापर थेट AC मोटर चालवण्यासाठी केला तर ते अधिक सोयीचे होईल. DC मोटर प्रमाणे, AC मोटरमध्ये स्टेटर आणि रотор देखील असतात. स्टेटरवर मोठ्या संख्येने एकसारखे स्लॉट कापले जातात ज्यावर कॉइल बाजू ठेवल्या जातात. AC सप्लायचा प्रकार सिंगल फेज आहे की त्री फेज यावर अवलंबून कॉइल एंड्स (coil ends) जोडलेले आहेत आणि लीड्स बाहेर काढले जातात. त्यानुसार, मोटर 3-फेज किंवा 1-फेज AC मोटर म्हणून वर्गीकृत (classified) आहे.

रотор बांधकाम AC मोटरच्या प्रकारावर अवलंबून असते. आकृती 6.12 3-फेज इंडक्शन मोटरचे रотор बांधकाम दर्शवते.



आकृती 6.12: 3 फेज इंडक्शन मोटर (a) स्किरल केज (Squirrel cage) (b) वाऊंड रотор (Wound rotor)

सारणी 6.1 दोन मुख्य प्रकारच्या 3 फेज AC मोटर्सचे रотор बांधकाम तपशील दर्शवितो म्हणजे इंडक्शन मोटर आणि सिंक्रोनस मोटर. पुढे, बांधकामाच्या आधारावर दोन प्रकारचे 3 फेज इंडक्शन मोटर आहेत: स्किरल केज आणि वाऊंड रотор. त्याचप्रमाणे, समकालिक/सिंक्रोनस मोटर्स रोटर्सच्या बांधकामाच्या आधारावर दोन प्रकार आहेत: सायलेंट पोल रोटर्स (salient pole rotors) आणि नॉन-सायलेंट पोल रोटर्स.

सारणी 6.1: 3-फेज AC मोटरचे रотор बांधकाम तपशील

अनु क्र.	3-फेज AC मोटरचा प्रकार	रоторचा प्रकार आणि त्यांचे बांधकाम तपशील	
1.	तीन फेज इंडक्शन मोटर	स्किरल केज	वाऊंड रотор
		<p>रотор कोर स्लॉटेड परिघासह (slotted periphery) दंडगोलाकार आहे.</p> <p>रотор कंडक्टर तांबे किंवा अल्युमिनियमपासून बनवलेल्या अनियंत्रित बार किंवा रॉडचा बनलेला असतो.</p> <p>तांब्याच्या बनवलेल्या रिंगच्या मदतीने प्रत्येक टोकाला बार कायमस्वरूपी शॉर्ट केले जातात आणि त्यांना शेवटच्या रिंग (end rings) म्हणून ओळखले जाते.</p>	<p>रотор कोर स्लॉटेड परिघासह दंडगोलाकार आहे.</p> <p>रотор वाइन्डिंग स्टेटर वाइन्डिंग सारखेच आहे.</p> <p>तीन फेज रотор वाइन्डिंग ची तीन टोके कायमची स्लिप रिंगशी जोडलेली असतात.</p> <p>स्लिप रिंग, रотор शाफ्टवर बसवल्या जातात.</p> <p>स्लिप रिंगवर ठेवलेल्या ब्रश धारकांवर (holder) बसवलेल्या ब्रशद्वारे बाह्य कनेक्शनसाठी रотор टर्मिनल बाहेर काढले जातात.</p>

		सायलेंट पोल रोटरर्स	नॉन-सायलेंट पोल रोटरर्स
2	तीन फेज सिंक्रोनस मोटर	<p>सायलेंट शब्दाचा अर्थ आहे प्रोजेक्ट करणे. सायलेंट पोल मध्ये पोल असतात जे रोटर कोरच्या पृष्ठभागावरून प्रक्षेपित (projected) होतात. हे चार पेक्षा जास्त पोल असलेल्या रोटरसाठी वापरले जाते.</p> <p>फील्ड कॉइल म्हणून ओळखल्या जाणाऱ्या रोटर वाइन्डिंग कॉइल्स पोल बॉडीवर ठेवल्या जातात</p> <p>फील्ड वाइन्डिंगची दोन टोके स्लिप रिंग्जशी जोडलेली आहेत आणि ब्रशद्वारे DC सप्लायशी बाहेरून जोडलेली आहेत</p>	<p>नॉन-सायलेंट पोल रोटरर्स दंडगोलाकार रोटर (cylindrical rotor) म्हणूनही ओळखले जातात. रोटर आकारात दंडगोलाकार आहे ज्यामध्ये नॉन-सायलेंट पोलच्या बांधकामाप्रमाणे भौतिकदृष्ट्या पोल नाही.</p> <p>रोटर किंवा फील्ड वाइन्डिंग ठेवण्यासाठी रोटर परिधावर (periphery) स्लॉट कापले जातात.</p> <p>फील्ड वाइन्डिंगचे बाह्य कनेक्शन सायलेंट पोल रोटर सारखेच आहे.</p>

6.2.3.2 तीन फेज AC मोटर

AC मशीनच्या ऑपरेशनचे मूलभूत तत्त्व म्हणजे फिरत्या मॅग्नेटिक फिल्डची निर्मिती (rotating magnetic field). जेव्हा स्टेटर स्लॉट्सवर ठेवलेल्या तीन फेज कॉइल्सला तीन फेज संतुलित पुरवठा (balanced supply) दिला जातो जी ने विस्थापित झाली आहे, फिरणारे मॅग्नेटिक फिल्ड तयार करते. फिरणाऱ्या मॅग्नेटिक क्षेत्रामुळे रोटर वेगाने फिरतो जो फिरणाऱ्या मॅग्नेटिक फिल्डच्या गतीवर अवलंबून असतो. फिरणाऱ्या मॅग्नेटिक फिल्डची गती ज्याला समकालिक गती (synchronous speed) म्हणतात आणि ती दिले जाते:

$$N_s = \frac{120f}{P} \quad \dots(6.18)$$

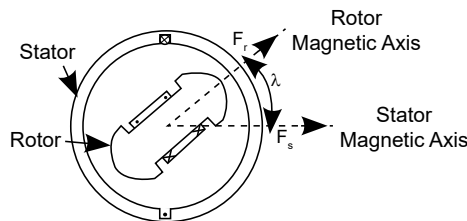
जेथे AC पुरवठ्याची फ्रिक्वेन्सी f आहे आणि P स्टेटरमध्ये उपस्थित असलेल्या पोलची संख्या आहे. मोटरमध्ये विकसित होणारे इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक टॉर्क हे हवेच्या अंतरातील दोन मॅग्नेटिक फिल्डचे परस्परसंवाद आहे, जे स्टेटर प्रवाहांद्वारे तयार केले जाते आणि रोटर प्रवाहांद्वारे तयार केले जाते. टॉर्क समीकरण दिले आहे:

$$T = F_s F_r \sin\lambda \quad \dots(6.19)$$

स्थिर टॉर्क (steady torque) तयार करण्यासाठी खालील दोन अटी पूर्ण केल्या पाहिजेत

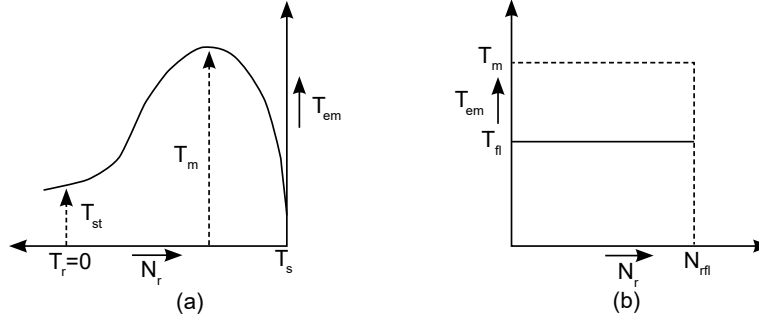
- दोन फील्ड एकमेकांना स्थिर (stationary) असणे आवश्यक आहे आणि
- दोन फील्ड च्या पोलस संख्या समान असणे आवश्यक आहे.

आकृती 6.13 AC मशीनचा टॉर्क परस्परसंवाद दर्शवते.



आकृती 6.13: गोल (round) रोटर मशीन मध्ये टॉर्क

तीन फेज इंडक्शन मोटर हे सिंगल फेड मशीन आहे, स्टेटर AC मेनमधून उत्साहित (excited) आहे. तीन फेज स्टेटर वाइन्डिंग मध्ये वाहणारा करंट स्थिर (constant) फिरणाऱ्या मॅग्नेटिक फील्डला जन्म देतो. फॅराडेच्या कायदानुसार फिरणारे मॅग्नेटिक फील्ड स्थिर रोटर कंडक्टरमध्ये व्होल्टेज प्रेरित करते जे शॉर्ट सर्किट आहे. रोटर कंडक्टरमध्ये प्रेरित व्होल्टेज (induced voltage) करंट फिरवतो जो रोटर मॅग्नेटिक फील्ड तयार करतो आणि रोटर आणि स्टेटर मॅग्नेटिक फील्डच्या परस्परसंवादामुळे टॉर्क वाढतो आणि रोटर लेन्झच्या कायदानुसार (Lenz's law) स्टेटर वाइन्डिंग द्वारे उत्पादित मॅग्नेटिक क्षेत्राच्या दिशेने फिरू लागतो. रोटर फ्रिक्वेंसी रोटर स्पीडनुसार आपोआप जुळवून घेते, अशा प्रकारे स्थिर टॉर्कसाठी (steady torque) आवश्यक असलेली पहिली अट पूर्ण करते. समकालिक / सिंक्रोनस मशीनमध्ये, स्टेटर अल्टरनेटिंग करंट वाहून नेतो, तर रोटर DC उत्तेजित (excited) असतो. दोन्ही फील्ड तुलनेने स्थिर (stationary) असतील, ज्यामुळे टॉर्क उत्पादन होईल आणि रोटर फक्त सिंक्रोनस वेगाने फिरत असेल म्हणजेच स्टेटरद्वारे उत्पादित होणारी मॅग्नेटिक फील्डची गती. आकृती 6.14 3-फेज इंडक्शन मोटर आणि सिंक्रोनस मोटरची टॉर्क-स्पीड वैशिष्ट्ये दर्शवते.



आकृती 6.14: टॉर्क-स्पीड वैशिष्ट्ये (a) 3-फेज इंडक्शन मोटर (b) 3-फेज सिंक्रोनस मोटर

6.2.3.3 3-फेज मोटर्सचे अनुप्रयोग

i. 3-फेज इंडक्शन मोटर

- स्क्रिल केज इंडक्शन मोटरमध्ये फार चांगली पारंपारिक वेग नियंत्रण पद्धत नाही, म्हणून ती स्थिर वेग (constant speed) अनुप्रयोगांसाठी वापरली जाते.
- 3(श्री) फेज स्क्रिल केज इंडक्शन मोटरचा वापर केंद्रापसारक (सेंट्रीफ्यूगल) पंप, मिलिंग मशीन, लेथ मशीन, ड्रिलिंग मशीन आणि मोठे ब्लोअर आणि पंखे (fans) यासाठी केला जा.
- स्लिप रिंग इंडक्शन मोटरमध्ये उच्च स्टार्टिंग टॉर्क आणि चांगली स्पीड कंट्रोल पद्धत आहे, त्यामुळे ती कमी वेगाने जास्त भार (load) चालवू शकते.
- स्लिप रिंग मोटर उच्च भार (load) अनुप्रयोगांसाठी जसे की लिफ्ट, क्रेन, होइस्ट आणि उद्योगांसाठी उपकरणे प्रक्रिया यासाठी वापरली जाते.

ii. 3-फेज सिंक्रोनस मोटर

- सिंक्रोनस मोटरच्या शाफ्टशी जोडलेले कोणतेही लोड नसलेल्या समकालिक/ सिंक्रोनस मोटरचा वापर पॉवर फॅक्टर सुधारण्यासाठी केला जातो. स्टॅटिक कॅपेसिटर महाग आहेत अशा परिस्थितीत पॉवर सिस्टममध्ये याचा वापर केला जातो.

- सिंक्रोनस मोटर अनुप्रयोगांसाठी वापरल्या जातात जेथे ऑपरेटिंग स्पीड 500 rpm पेक्षा कमी असते आणि 100 KW (किलोवॅट) ते 2500 KW पर्यंत उच्च शक्ती आवश्यक असते. उदा- सिमेंट प्लांटच्या रोटरी भट्टीसाठी क्रशर मोटर्स, रेसिप्रोकेटिंग पंप, कॉम्प्रेसर, स्टील रोलिंग मिलमधील मोटर्स इ.

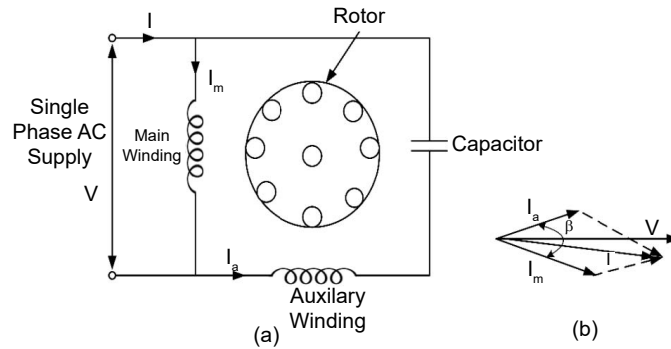
6.2.4 सिंगल फेज AC मोटर्स

3-फेज AC मोटर्सचा वापर उच्च पॉवर रेटिंग अनुप्रयोगांसाठी केला जातो. साधारणपणे, सिंगल फेज AC पुरवठा बहुतेक घरे आणि कार्यालयांमध्ये उपलब्ध असतो. यामुळे फॅन, रेफ्रिजरेटर, रूम एअर कंडिशनर्स, किचन आणि ऑफिस उपकरणे इत्यादी घरगुती अनुप्रयोगांसाठी लहान आकाराच्या मोटर्स किंवा फ्रॅक्शनल हॉर्स पॉवर मोटर्सची विविधता उपलब्ध झाली आहे. सिंगल फेज इंडक्शन मोटरमध्ये स्टेटर आणि स्क्रिअल केज (squirrel cage) रोटरवर सिंगल फेज वाइंडिंग असते. स्पंदित मॅग्नेटिक क्षेत्रामुळे (pulsating magnetic field) सिंगल फेज इंडक्शन मोटर्स स्व-प्रारंभ होत नाहीत. या समस्येवर मात करण्यासाठी, 2- वाइंडिंग सिंगल फेज मोटर्स विकसित केल्या आहेत, ज्यामध्ये मुख्य आणि सहाय्यक वाइंडिंग अशी दोन वाइंडिंग ने विद्युत द्वारे विद्युतीयरित्या विस्थापित केले, परंतु सिंगल फेज सप्लायमधून दिली जातात. घुमणारा मॅग्नेटिक फिल्ड (rotating magnetic field) विकसित करण्यासाठी वाइंडिंग करंट मध्ये वेळेचा फरक सहाय्यक वाइंडिंग मालिकेत (in series) योग्य प्रतिबाधा (impedance) ठेवून प्राप्त केला जातो. फेज स्प्लिटिंगच्या पद्धतीनुसार 2-वाइंडिंग सिंगल फेज मोटर्सचे प्रतिरोधक/रेझिस्टन्स विभाजन फेज (Resistance split phase) मोटर आणि कॅपेसिटर स्प्लिट फेज मोटर म्हणून वर्गीकरण केले जाते.

6.2.4.1 कॅपेसिटर स्प्लिट फेज AC मोटर्स

घरगुती अनुप्रयोगांसाठी सर्वाधिक वापरल्या जाणाऱ्या सिंगल फेज AC मोटर्स. कॅपेसिटर स्प्लिट फेज मोटर्सचे वर्गीकरण कॅपेसिटर स्टार्ट इंडक्शन मोटर, स्थायी (Permanent) स्प्लिट कॅपेसिटर मोटर आणि कॅपेसिटर स्टार्ट कॅपेसिटर रन मोटर असे केले जाते. स्थायी (Permanent) स्प्लिट कॅपेसिटर इंडक्शन मोटरचे कनेक्शन आकृती 6.15 मध्ये दर्शविले आहे.

सिंगल फेज इंडक्शन मोटरला स्वयं-सुरू करण्यासाठी कॅपेसिटर ऑक्सिलरी वाइंडिंग (auxiliary winding) सह मालिकेत (in series) जोडलेले आहे. ऑक्सिलरी वाइंडिंग सामान्यतः पातळ तांब्याच्या ताराने बनलेले असते मुख्य वाइंडिंगच्या (main winding) तुलनेत जाड तांब्याच्या ताराने बनलेले असते. दोन वाइंडिंग सिंगल फेज सप्लायमध्ये जोडलेले आहेत. ऑक्सिलरी वाइंडिंग मधून वाहणारा करंट फेजर आकृतीमध्ये दाखवल्याप्रमाणे कॅपेसिटरमुळे मुख्य वाइंडिंग करंटच्या पुढे (leads) असतो. अशा प्रकारे मोटर 2-फेज मोटर बनते ज्यामध्ये मुख्य आणि सहाय्यक वाइंडिंग ने विद्युत द्वारे विद्युतीयरित्या विस्थापित होते. प्रारंभिक टॉर्क (starting torque) तयार होतो आणि रोटर फिरू लागतो. कॅपेसिटरचे ठराविक रेटिंग 40 - 100 μF असते.



आकृती 6.15: सिंगल फेज कॅपेसिटर स्प्लिट फेज मोटर (a) कनेक्शन आकृती (b) फेजर आकृती

उपक्रम

- NEMA मानकानुसार ग्री-फेज एसी मोटर सिलेक्शनमध्ये पॉवर पॉइंट प्रेझेंटेशन तयार करा.
- सर्किट डायग्राम तयार करा आणि दिलेल्या सिंगल-फेज इंडक्शन मोटरच्या रोटेशनची दिशा कशी बदलायची ते दाखवा.

सोडवलेले उदाहरणे

उदाहरण 6.2.1: असंतृप्त मॅग्नेटिक फील्ड (unsaturated magnetic field) असलेली DC शंट मोटर रेटेड व्होल्टेजसह 1000 rpm वर चालते. जर लागू व्होल्टेज रेटेड व्होल्टेजच्या अर्ध्या असेल तर मोटरचा वेग काढा.

उत्तर: आर्मेचर प्रतिरोधकाकडे दुर्लक्ष करणे, बॅक (Back) emf टर्मिनल DC व्होल्टेजच्या बरोबरीने गृहित धरले.

असंतृप्त मॅग्नेटिक फील्ड दिल्यास, याचा अर्थ फील्ड फ्लक्स फील्ड करंटच्या बरोबरीचा आहे.

दिलेल्या स्थितीसह, बॅक (Back) emf $E_b = k \times I_f \times N$

रेटेड टर्मिनल व्होल्टेज V वर, बॅक (Back) emf समीकरण

$$V = k \times I_f \times 1000 \quad \dots(1) \text{ म्हणून लिहिले जाऊ शकते}$$

टर्मिनल व्होल्टेज रेटेड व्होल्टेजच्या अर्ध्यावर कमी झाल्यास, समीकरण

$$V/2 = k \times I_f/2 \times N \quad \dots(2)$$

समतुल्य (1) आणि (2) $N = 1000 \text{ rpm}$ मिळते.

उदाहरण 6.2.2: स्लिप (Slip) परिभाषित करा. 3- फेज IM 4 पोल साठी वाऊंड केली आहे आणि 50 Hz प्रणालीद्वारे सप्लाय दिला आहे. (1) सिंक्रोनस स्पीड (2) रोटर स्पीड, जेव्हा स्लिप 4% (3) रोटर फ्रिक्वेंसी काढा.

उत्तर: रोटर कधीही स्टेटर फील्डला पकडण्यात यशस्वी होत नाही कारण असे करताना, कोणतीही सापेक्ष गती (relative speed), emf, रोटर करंट आणि म्हणून टॉर्क नसतो. रोटर मॅग्नेटिक फील्डच्या मागे एका विशिष्ट वेगाने मागे पडतो जो इंडक्शन मोटरच्या ऑपरेशनसाठी आवश्यक असतो आणि वेगातील फरक मोटरवरील लोडवर अवलंबून असतो. सिंक्रोनस स्पीड आणि रोटरच्या वास्तविक रोटर स्पीड मधील फरक स्लिप स्पीड म्हणून ओळखला जातो.

स्लिप
$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s}$$

दिलेले: $P = 4, f = 50 \text{ Hz}$

म्हणून
$$N_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ rpm}$$

वरील व्याख्येवरून, रोटरची गती (स्पीड) $N_r = N_s (1 - s) = 1500(1 - 0.04) = 1500 \times 0.96 = 1440 \text{ rpm}$

रोटर फ्रिक्वेंसी $f_r = s \times f = 0.04 \times 50 = 2 \text{ Hz}$.

युनिट सारांश

1. ट्रान्सफॉर्मर्स मुळात दोन प्रकारचे असतात, कोर प्रकार आणि शेल प्रकार ट्रान्सफॉर्मर.
2. वाइन्डिंग गुणोत्तरानुसार (turns ratio) दोन वाइन्डिंग ट्रान्सफॉर्मर स्टेप डाउन किंवा स्टेप अप ट्रान्सफॉर्मर म्हणून नियुक्त केले जाऊ शकते.
3. ट्रान्सफॉर्मर एक स्थिर (static) उपकरण आहे जे व्होल्टेज किंवा करंट पातळी बदलण्यासाठी वापरले जाते, आणि फ्रिक्वेंसी समान राहते.
4. ऑटोट्रान्सफॉर्मरमध्ये, शक्तीचे हस्तांतरण कंडक्टिव आणि इन्डक्टिव (प्रवाहकीय आणि प्रेरक) जोडणीद्वारे होते.
5. DC सीरीज मोटरच्या बाबतीत, फील्ड वाइन्डिंग मध्ये आर्मेचरसह मालिकेत जोडलेल्या जाड वायरचे काही वाइन्डिंग असतात.
6. DC शंट मोटरच्या बाबतीत, फील्ड वाइन्डिंग पातळ वायरच्या अनेक वळणांनी बनलेले असते आणि ते आर्मेचरमध्ये जोडलेले असते.
7. DC सीरीज मोटरचा प्रारंभिक टॉर्क समान रेटिंगच्या इतर मोटरच्या तुलनेत जास्त आहे.
8. DC सीरीज मोटर ट्रॅक्शन, क्रेन्स आणि हॉईस्ट (hoists) इ. साठी वापरली जाते.
9. DC शंट मोटरचे अनुप्रयोग लेथ, सेंट्रीफ्यूगल आणि रिसीप्रोकेटिंग पंप, ब्लोअर, ड्रिलिंग मशीन इ. आहेत.
10. AC मोटर्सला स्टेटर वाइन्डिंग ला दिलेल्या पुरवठ्यानुसार 3-फेज किंवा 1-फेज AC मोटर्स असे वर्णन केले जाते.
11. 3-फेज AC मोटरचे दोन मुख्य प्रकार इंडक्शन मोटर आणि सिंक्रोनस मोटर आहेत.
12. 3-फेज इंडक्शन मोटरची टॉर्क स्पीड वैशिष्ट्ये DC शंट मोटर प्रमाणेच असतात.
13. फ्रॅक्शनल हॉर्स पॉवर अनुप्रयोगांसाठी, सिंगल फेज इंडक्शन मोटर वापरल्या जातात.
14. सिंगल फेज इंडक्शन मोटरचे सामान्यतः अनुप्रयोग सिलिंग फॅन, कॉम्प्रेसर मोटर आणि घरगुती पंप इ. आहेत.

अभ्यास

A. वस्तुनिष्ठ प्रश्न (Objective Questions)

सूचना: कृपया सर्वात योग्य उत्तर निवडा.

अ. क्र.	बहु-निवडक वस्तू	अ. क्र.	बहु-निवडक वस्तू
6.1	ट्रान्सफॉर्मर कोर सामग्रीचे डिझाईनरबल (इष्ट) गुणधर्म आहेत a. कमी पारगम्यता (permeability) आणि कमी हिस्टेरेसिस नुकसान b. कमी पर्मेबिलिटी आणि उच्च हिस्टेरेसिस नुकसान c. उच्च पर्मेबिलिटी आणि उच्च हिस्टेरेसिस नुकसान d. उच्च पर्मेबिलिटी आणि कमी हिस्टेरेसिस नुकसान	6.2	ट्रान्सफॉर्मर कोरचा आकार यावर अवलंबून असतो a. पुरवठा (supply) फ्रिक्वेंसी b. परमिसिबल फ्लक्स डेन्सिटी (घनता) c. कोरचे क्षेत्र (core area) d. दोन्ही (a) आणि (b)

अ. क्र.	बहु-निवडक वस्तू	अ. क्र.	बहु-निवडक वस्तू
6.3	DC मोटरच्या रोटेशनची दिशा कोणत्या नियमानुसार निर्धारित केली जाते? a. कूलम्बचा कायदा b. लेन्झचा कायदा c. फ्लेमिंगच्या उजव्या (right) हाताचा नियम d. फ्लेमिंगचा डाव्या (left) हाताचा नियम	6.5	उच्च प्रारंभिक टॉर्कसाठी सर्वात योग्य 3-फेज इंडक्शन मोटर a. स्क्रिल केज b. डबल केज c. स्लिप रिंग d. डीप बार स्क्रिल केज
6.4	खालीलपैकी कोणत्या कार्यासाठी उच्च प्रारंभिक टॉर्क आवश्यक आहे? a. एअर ब्लोअर b. वजन यंत्र c. लोकोमोटिव्ह d. सेन्ट्रीफ्युगल पंप	6.6	कॅपेसिटर स्टार्ट 1-फेज इंडक्शन मोटरमधील कॅपेसिटर या मालिकेत जोडलेले आहे a. ऑक्सिलरी (Auxiliary) वाइन्डिंग b. कॅपेन्सेटिंग वाइन्डिंग c. मेन वाइन्डिंग d. स्क्रिल केज वाइन्डिंग

B. विषयनिष्ठ प्रश्न (Subjective Questions)

1. दोन वाइन्डिंग ट्रान्सफॉर्मरचे कार्य स्पष्ट करा.
2. वितरण ट्रान्सफॉर्मरच्या बांधकामात वापरलेल्या विविध घटकांचे वर्णन करा.
3. कोर प्रकार आणि शेल प्रकार ट्रान्सफॉर्मरची ठळक वैशिष्ट्ये (salient features) स्पष्ट करा.
4. A सिंगल फेज 3000/220 व्होल्ट, 50 Hz कोर प्रकार ट्रान्सफॉर्मरमध्ये क्रॉस सेक्शन एरिया 400 चौ.से.मी. आहे. फ्लक्स घनता (flux density) 1wb/m^2 आहे. ट्रान्सफॉर्मरच्या प्राथमिक आणि दुय्यम वाइन्डिंग मधील वळणांची संख्या मोजा.
5. नो लोड कंडिशन अंतर्गत ट्रान्सफॉर्मरचे फेजर आकृती काढा आणि स्पष्ट करा.
6. ऑटो ट्रान्सफॉर्मरच्या कार्याचे वर्णन करा. दोन वाइन्डिंग ट्रान्सफॉर्मरवर ऑटो ट्रान्सफॉर्मरच्या गुणांची यादी करा.
7. लोड काढून टाकल्यावर DC सीरीज मोटरच्या बाबतीत काय होते ते स्पष्ट करा.
8. DC शंट मोटरच्या टॉर्क विरुद्ध स्पीड वैशिष्ट्ये काढा आणि स्पष्ट करा.
9. 3-फेज इंडक्शन मोटरच्या बांधकामाचे (construction) वर्णन करा.
10. सिंगल फेज इंडक्शन मोटरच्या विविध प्रकारांची यादी करा आणि त्याचा अनुप्रयोग सांगा.

संबंधित प्रात्यक्षिक

I. P4-ES110: ट्रान्सफॉर्मरचे वळण प्रमाण निश्चित करा

P4.1 प्रात्यक्षिक विधान

सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मरचे गुणोत्तर (K) निश्चित करा.

P4.2 प्रात्यक्षिक महत्त्व

ट्रान्सफॉर्मरमध्ये वळण गुणोत्तर हे एक महत्त्वाचे मापदंड आहे. कोणते वळण टर्मिनल उच्च व्होल्टेज असतील आणि कोणते टर्मिनल कमी व्होल्टेज असतील हे वळण प्रमाण निर्धारित करते.

ट्रान्सफॉर्मर पॅरामीटर्सचा संदर्भ देऊन व्होल्टेज रेग्युलेशन, ट्रान्सफॉर्मरची कार्यक्षमता निश्चित करण्यासाठी वळण प्रमाण खूप उपयुक्त आहे जसे की, वळण प्रतिरोध, इंडक्टन्सचे परिणाम, प्रेरित e.m.f, ट्रान्सफॉर्मरच्या समतुल्य सर्किटच्या प्राथमिक किंवा दुय्यम बाजूचे करंट आणि व्होल्टेज.

P4.3 संबंधित सिद्धांत

सिद्धांतासाठी, उप विषय 6.1.3.2 'ट्रान्सफॉर्मरचे e.m.f समीकरण' पहा. ट्रान्सफॉर्मरचे वळण गुणोत्तर म्हणून दिले आहे

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{1}{K}$$

P4.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती (PrO)

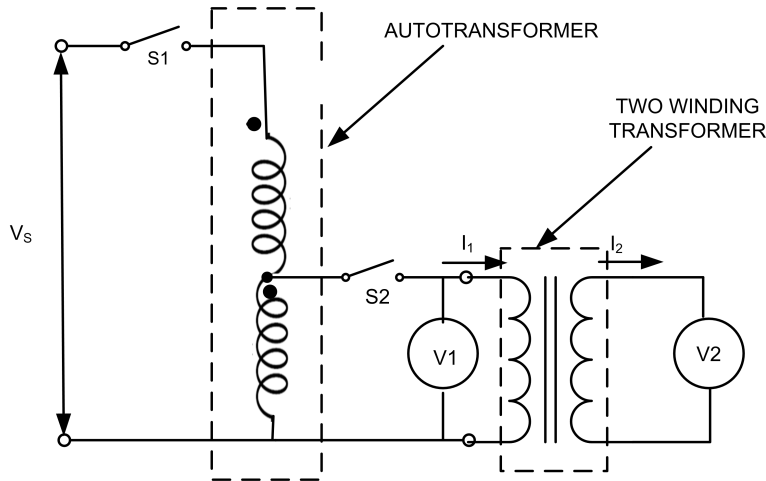
PrO1: मोजण्याचे साधन योग्य श्रेणीचे निवडा.

PrO2: सर्किट आणि मोजण्याचे उपकरण योग्यरित्या कनेक्ट करा.

PrO3: दिलेल्या 1-फेज दोन विंडिंग ट्रान्सफॉर्मरसाठी व्होल्टेज मोजणे:

PrO4: ट्रान्सफॉर्मरचे वळण गुणोत्तर निश्चित करा.

P4.5 प्रात्यक्षिक रचना (Practical Setup)(रेखांकन/रूपरेषा/परिक्रमाआकृती/कामाची परिस्थिती)



आकृती 4.1: ट्रान्सफॉर्मरचे वळण प्रमाण निश्चित करण्यासाठी सर्किट आकृती

P4.6 आवश्यक संसाधने

अ. क्र.	सुचवलेली संसाधने आवश्यक महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह	प्रमाण	विस्तृत वैशिष्ट्यांसह आवश्यक वास्तविक संसाधने (विद्यार्थ्यांनी भरावे)	शेरा (जर असेल तर)
1.	सिंगल फेज एसी सोर्स 230V, 50Hz	1		
2.	कनेक्टिंग वायर, मल्टीस्ट्रँड क्यू वायर, 1.5 mm ²	LS		
3.	सिंगल पोल स्विच, 5 A	2		
4.	सिंगल फेज ऑटो ट्रान्सफॉर्मर, 2 KVA, 230 V/270 V	1		
5.	सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मर, 2 KVA, 230 V/115 V	1		
6.	व्होल्टमीटर, 0-300 V AC	2		

P4.7 सावधानता

- मोजण्याचे साधन योग्य प्रकार आणि श्रेणी निवडा.
- सर्किट आकृती मध्ये दाखवल्याप्रमाणे व्होल्टमीटर आणि अँमीटर कनेक्ट करा.
- सर्किट आकृती नुसार सर्किट कनेक्शन तपासा आणि ऑटो ट्रान्सफॉर्मरला वीज पुरवठ्यासाठी स्विच S_1 चालू होण्यापूर्वी वायर कनेक्शन घट्ट करा.
- प्रयोग झाल्यानंतर वीज पुरवठा बंद करा.

P4.8 सुचवलेली कृती

- आकृती 4.1 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे सर्किटला जोडा.
- ऑटो ट्रान्सफॉर्मर आणि सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मरचे योग्य कनेक्शन सुनिश्चित करा.
- ऑटो ट्रान्सफॉर्मर रोटरी नॉब शून्य व्होल्टेज स्थितीत ठेवा.
- सिंगल पोल स्विच S_1 सुरु करा.
- सिंगल पोल स्विच S_2 सुरु करा.
- ऑटो ट्रान्सफॉर्मरची रोटरी नॉब हळूहळू वळवून टप्प्याटप्प्याने पुरवठा व्होल्टेज सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मरमध्ये वाढवा.
- निरीक्षण सारणीमध्ये दोन वळण ट्रान्सफॉर्मरचे प्राथमिक (V_1) आणि दुय्यम व्होल्टेज (V_2) वाचन रेकॉर्ड करा.
- सिंगल फेज दोन विंडिंग ट्रान्सफॉर्मरच्या प्राथमिकचे रेटेड व्होल्टेज होईपर्यंत चरण 6 पुन्हा करा.

P4.9 निरीक्षणे आणि गणना

अ. क्र.	प्राथमिक व्होल्टेज (V_1)	दुय्यम व्होल्टेज (V_2)

गणना

- वळण गुणोत्तर म्हणून गणना करा $\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_p}{V_s}$, जेथे V_p and V_s रेटेड प्राथमिक आणि दुय्यम व्होल्टेज सिंगल फेज दोन विंडिंग ट्रान्सफॉर्मर्सच्या नाव तपशीलामध्ये दिले आहेत.
- निरीक्षण सारणीमध्ये नोंदवलेल्या V_1 आणि V_2 च्या गुणोत्तराची गणना करून वळण गुणोत्तर काढा.

P4.10 परिणाम

अ. क्र.	मापदंड	मोजलेले प्राथमिक/दुय्यम व्होल्टेज मूल्य	रेटेड प्राथमिक/दुय्यम व्होल्टेज मूल्य	तुटी
1.	Turns ratio N_1/N_2			

P4.11 निष्कर्ष**P4.12 प्रात्यक्षिक संबंधित प्रश्न**

(उत्तरासाठी स्वतंत्र पत्रक वापरा)

टीप: संदर्भासाठी खाली काही नमुने प्रश्न दिले आहेत. पूर्व-परिभाषित अभ्यासक्रमाच्या निकालांची प्राप्ती सुनिश्चित करण्यासाठी शिक्षकांनी असे अधिक प्रश्न तयार केले पाहिजेत.

- ऑटो-ट्रान्सफॉर्मर आणि दोन विंडिंग ट्रान्सफॉर्मरमधील फरक सांगा.
- ट्रान्सफॉर्मरचे प्रेरित e.m.f ज्या घटकांवर अवलंबून आहे त्याची यादी करा.

II. P5-ES110: ट्रान्सफॉर्मरचे विद्युत प्रमाण मोजा**P5.1 प्रात्यक्षिक विधान**

सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मर कनेक्ट करा आणि इनपुट आणि आउटपुटचे प्रमाण मोजा.

P5.2 प्रात्यक्षिक महत्व

ट्रान्सफॉर्मरच्या समाधानकारक कार्याचे मूल्यांकन करण्यासाठी इनपुट आणि आउटपुट पॅरामीटर्सचे निरीक्षण प्रामुख्याने व्होल्टेज आणि करंट महत्वाचे आहे. लोड न करता कामगिरी चाचणी ट्रान्सफॉर्मर कोर नुकसान आणि नो लोड करंटची विशालता दर्शवेल. रेटेड लोडवरील चाचणी ट्रान्सफॉर्मरच्या प्राथमिक आणि दुय्यम बाजूने दिलेले व्होल्टेज आणि करंट ट्रान्सफॉर्मर नेम प्लेट रेटिंग तपशीलांनुसार आहे की नाही याचे मूल्यांकन करेल.

P5.3 संबंधित सिद्धांत

सिद्धांतासाठी या पुस्तकातील अध्याय 6 मधील 6.1.3.1 ते 6.1.3.3 विषय पहा.

P5.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती (PrO)

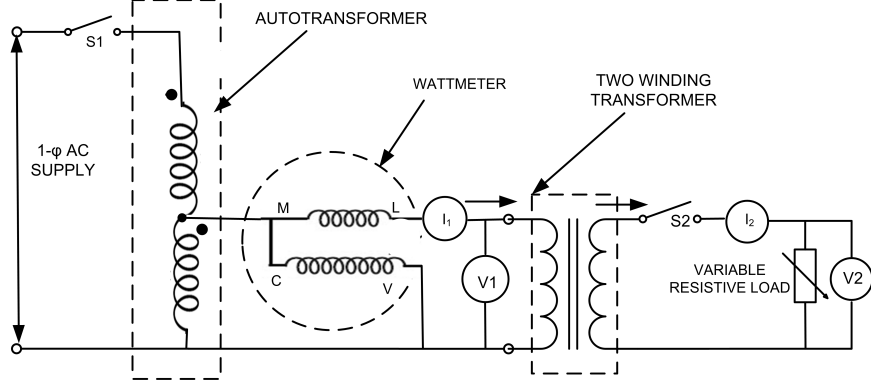
PrO1: सर्किट आणि मोजमाप यंत्र योग्य श्रेणी निवडून कनेक्ट करा.

PrO2: ट्रान्सफॉर्मरसाठी लोड रहित करंट आणि लोड रहित नुकसान ठरवा.

PrO3: दुय्यम व्होल्टेजमध्ये कोणतेही लोड रहित पासून पूर्ण लोड पर्यंत बदल निश्चित करा.

PrO4: दिलेल्या सिंगल फेज दोन विंडिंग ट्रान्सफॉर्मरसाठी व्होल्टेज मोजा.

P5.5 प्रात्यक्षिक रचना (Practical Setup)(रेखांकन /रूपरेषा /परिक्रमाआकृती/कामाची परिस्थिती)



आकृती 5.1: ट्रान्सफॉर्मर पॅरामीटर निश्चित करण्यासाठी सर्किट आकृती

P5.6 आवश्यक संसाधने

अ. क्र.	सुचवलेली संसाधने आवश्यक महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह	प्रमाण	विस्तृत वैशिष्ट्यांसह आवश्यक वास्तविक संसाधने (विद्यार्थ्याने भरावे)	शेरा (जर असेल तर)
1.	सिंगल फेज एसी सोर्स 230V, 50Hz	1		
2.	कनेक्टिंग वायर, मल्टीस्ट्रँड क्यू वायर, 1.5 mm ²	LS		
3.	सिंगल पोल स्विच, 5 A	2		
4.	सिंगल फेज ऑटोट्रान्सफॉर्मर, 2 KVA, 230 V/270 V	1		
5.	सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मर, 2 KVA, 230 V/115 V	1		
6.	व्होल्टमीटर, 0-300 V AC	2		
7.	अॅमीटर 0-10A, AC	2		
8.	LPF वॅटमीटर: 0-75-150-300 V, 0-2.5-5-10 A	1		
9.	UPF वॅटमीटर: 0-75-150-300V, 0-2.5-5-10A	1		

P5.7 सावधानता

- मोजण्याचे साधन योग्य प्रकार आणि श्रेणी निवडा.
- सर्किट आकृतीमध्ये दाखवल्याप्रमाणे अॅमीटर, व्होल्टमीटर आणि वॅटमीटर कनेक्ट करा.
- सर्किट आकृतीनुसार सर्किट कनेक्शन तपासा आणि ऑटोट्रान्सफॉर्मरला वीज पुरवठ्यासाठी स्विच S_1 चालू करण्यापूर्वी वायर कनेक्शन घट्ट करा.
- प्रयोग झाल्यानंतर वीज पुरवठा बंद करा.

P5.8 सूचवलेली कृती

1. आकृती 5.1 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे सर्किट कनेक्ट करा.
2. ऑटो ट्रान्सफॉर्मर आणि सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मरचे योग्य कनेक्शन सुनिश्चित करा.
3. ऑटोट्रान्सफॉर्मर रोटरी नॉब शून्य व्होल्टेज स्थितीत ठेवा.
4. सिंगल पोल स्विच S_1 चालू करा.
5. पुरवठा व्होल्टेज सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मरमध्ये रेटेड व्होल्टेज पर्यंतच्या टप्प्यात हळूहळू ऑटोट्रान्सफॉर्मरची रोटरी नॉब फिरवून वाढवा.
6. निरीक्षण सारणी P5.1 मध्ये दोन वळण ट्रान्सफॉर्मरचे प्राथमिक व्होल्टेज (V_1), प्राथमिक करंट (I_1) आणि LPF वॅटमीटर वाचन रेकॉर्ड करा.
7. ऑटोट्रान्सफॉर्मरचा रोटरी नॉब शून्य स्थानावर आणा.
8. सिंगल पोल स्विच S_2 सुरू करा.
9. ऑटोट्रान्सफॉर्मरची रोटरी नॉब हळूहळू फिरवून रेटेड व्होल्टेज पर्यंतच्या टप्प्यात पुरवठा व्होल्टेज सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मरमध्ये वाढवा.
10. दुय्यम व्होल्टेज (V_2) रेकॉर्ड करा.
11. पायऱ्यांमध्ये प्रतिरोधक भार बदलून निरीक्षण सारणी P5.2 मध्ये दोन वळण ट्रान्सफॉर्मरचे प्राथमिक व्होल्टेज (V_1), करंट (I_1), दुय्यम व्होल्टेज (V_2) आणि UPF वॅटमीटर वाचन रेकॉर्ड करा.
12. सिंगल फेज दोन विंडिंग ट्रान्सफॉर्मरच्या दुय्यम बाजूला रेटेड करंट येईपर्यंत 11 चरणांची पुनरावृत्ती करा.

P5.9 निरीक्षणे आणि गणना

निरीक्षण सारणी P 5.1

अ. क्र.	प्राथमिक व्होल्टेज (V_1)	प्राथमिक करंट (I_1)	वॅटमीटर वाचन
1.			

निरीक्षण सारणी P 5.2

अ. क्र.	प्राथमिक व्होल्टेज (V_1)	प्राथमिक करंट (I_1)	दुय्यम व्होल्टेज (V_2)	दुय्यम करंट (I_2)	वॅटमीटर वाचन
1.					
2.					

गणना

1. सारणी P 5.1 वापरून नो लोड पॉवर फॅक्टरची गणना करा $\cos\phi_0 = \frac{P}{V_1 I_1}$. चुंबकीय करंट $I_\mu = I_1 \cos\phi_0$ आणि मुख्य

नुकसान करंट $I_c = I_1 \sin\phi_0$. दिलेल्या ट्रान्सफॉर्मरसाठी व्होल्टेज V_1 रेट केलेले प्राथमिक व्होल्टेज आहे आणि I_1 हा प्राथमिक करंट आहे जो दिलेल्या ट्रान्सफॉर्मरच्या दुय्यम किंवा कमी व्होल्टेज बाजूस जोडलेला नाही.

- स्विच S_2 बंद स्थितीत प्राथमिक व्होल्टेजसह दुय्यम व्होल्टेजचे निरीक्षण करा आणि सारणी P 5.2 मध्ये त्याच्या रेट केलेल्या मूल्यासह रेकॉर्ड करा. या व्होल्टेजला V_{2nl} असे म्हणतात. दुय्यम वळण द्वारे प्रवाहित रेटेड दुय्यम व्होल्टेजचे निरीक्षण करा आणि रेकॉर्ड करा. या व्होल्टेजला V_{2fl} असे म्हटले जाऊ द्या.
- दुय्यम व्होल्टेजमधील टक्केवारी बदलाची गणना करा जे समान आहे $\frac{V_{2nl}-V_{2fl}}{V_{2fl}} \times 100\%$

P5.10 परिणाम

अ. क्र.	मापदंड	मोजलेले प्राथमिक/दुय्यम व्होल्टेज मूल्य वापरणे	रेटेड प्राथमिक/दुय्यम व्होल्टेज मूल्य वापरणे	तुटी
1.	Turns ratio = N_1/N_2			

P5.11 निष्कर्ष

.....

.....

P5.12 प्रात्यक्षिक संबंधित प्रश्न

(उत्तरासाठी स्वतंत्र पत्रक वापरा)

टीप: संदर्भासाठी खाली काही नमुने प्रश्न दिले आहेत. पूर्व-परिभाषित अभ्यासक्रमाच्या निकालांची प्राप्ती सुनिश्चित करण्यासाठी शिक्षकांनी असे अधिक प्रश्न तयार केले पाहिजेत.

- आदर्श आणि व्यावहारिक ट्रान्सफॉर्मरमधील फरक सांगा.
- ट्रान्सफॉर्मरचा नो लोड करंट ट्रान्सफॉर्मरच्या रेटेड करंटच्या केवळ 2-5% का आहे ते सांगा.
- ट्रान्सफॉर्मरचे प्रेरित e.m.f ज्या घटकांवर अवलंबून आहे त्याची यादी करा.

III. P6-ES110: इंडक्शन मोटर स्टार्टरची लाइन आणि फेज व्हॅल्यू मोजा

P6.1 प्रात्यक्षिक विधान

इंडक्शन मोटर स्टार्टर्समध्ये स्टार आणि डेल्टा कनेक्शन बनवा आणि लाइन आणि फेज व्हॅल्यू मोजा.

P6.2 प्रात्यक्षिक महत्व

जेव्हा श्री फेज इंडक्शन मोटर थेट वीज पुरवठा चालू करून सुरू केली जाते, तेव्हा त्याच्या रेटेड करंटच्या 5 ते 7 पट लागतात. मोठा प्रारंभ करणारा पुरवठा पुरवठा ओळींमध्ये मोठ्या प्रमाणात व्होल्टेज ड्रॉप निर्माण करतो, ज्यामुळे समान पुरवठा लाइनशी जोडलेल्या इतर उपकरणे/उपकरणांच्या ऑपरेशनवर परिणाम होऊ शकतो. स्टार/डेल्टा श्री फेज इंडक्शन मोटर स्टार्टर श्री फेज इंडक्शन मोटरद्वारे घेतलेला प्रारंभिक करंट कमी करते.

P6.3 संबंधित सिद्धांत

श्री फेज इंडक्शन मोटर सुरू करण्यासाठी वेगवेगळ्या पद्धती आहेत. इंडक्शन मोटर दुय्यम शॉर्टसह ट्रान्सफॉर्मर सारखीच असते. श्री फेज इंडक्शन मोटरच्या वेगवेगळ्या स्टार्टिंग पद्धती म्हणजे (i) डायरेक्ट ऑनलाईन (DOL) स्टार्टिंग, (ii) ऑटो ट्रान्सफॉर्मर स्टार्टिंग आणि स्टार/डेल्टा स्टार्टिंग. DOL सुरू करताना, मोटरला रेट केलेले व्होल्टेज थेट वीज पुरवठा चालू करून लागू केले जाते.

25 किलोवॅटपेक्षा कमी श्रृंखला फेज इंडक्शन मोटर थेट ऑनलाइन स्टार्टिंग वापरते. सहसा डीओएल स्टार्टर्स वापरून श्रृंखला फेज मोटरचे स्टॅटर विंडिंग डेल्टा जोडलेले असतात. ऑटो ट्रान्सफॉर्मर सुरू करताना, कमी व्होल्टेज सुरू होण्याच्या वेळी श्रृंखला फेज इंडक्शन मोटरच्या स्टॅटरवर लागू केले जाते. मोटरला कमी पुरवठा व्होल्टेज सुरू होण्याच्या वेळी लाईन करंट कमी करते. जेव्हा मोटर योग्य गती गोळा करते तेव्हा पुरवठा व्होल्टेज मोटरच्या रेटेड व्होल्टेजमध्ये वाढविला जातो. स्टार/डेल्टा स्टार्टरचा वापर तीन फेज इंडक्शन मोटर्समध्ये केला जातो जेथे मोटरच्या प्रत्येक टप्प्याचे टर्मिनल बाहेर आणले जातात. स्टार्टर 2-वे स्विच वापरतो जो स्टार्टिंगच्या वेळी स्टॅटर वळण आणि सामान्य चालू असताना डेल्टामध्ये जोडतो. सुरू होण्याच्या वेळी तारांच्या जोडणीमुळे वळण मध्ये कमी झालेले व्होल्टेज लाइन/पुरवठा करंट कमी करते.

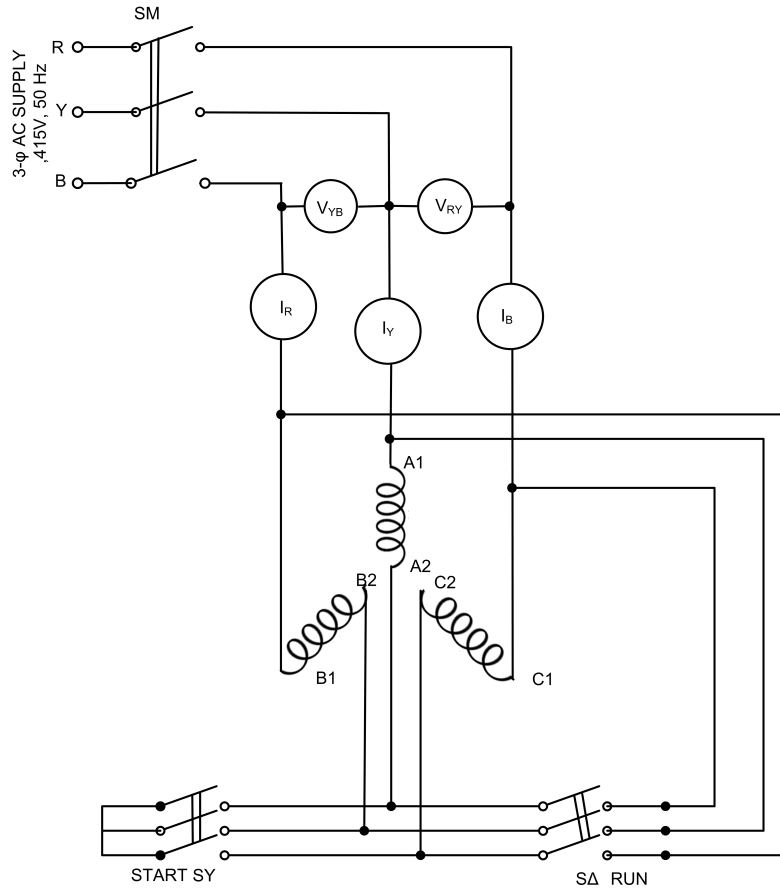
P6.4 प्रात्यक्षिक निष्पत्ती (PrO)

PrO1: मोजण्याचे साधन योग्य प्रकार आणि श्रेणी निवडा.

PrO2: सर्किट आणि मोजण्याचे उपकरण योग्यरित्या जोडा.

PrO3: तीन फेज इंडक्शन मोटरची लाईन करंट आणि लाईन व्होल्टेज मोजा.

P6.5 प्रात्यक्षिक रचना (Practical Setup)(रेखांकन /रूपरेषा /परिक्रमाआकृती/कामाची परिस्थिती)



आकृती 6.1: मॅन्युअल स्टार/डेल्टा स्टार्टरचे सर्किट आकृती

P6.6 आवश्यक संसाधने

अ. क्र.	सुचवलेली संसाधने आवश्यक महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांसह	प्रमाण	विस्तृत वैशिष्ट्यांसह आवश्यक वास्तविक संसाधने (विद्यार्थ्यांनी भरावे)	शेरा (जर असेल तर)
1.	श्री फेज इंडक्शन मोटर, 5 Hp, 415 V, गिलहरी पिंजरा IM 6 टर्मिनलसह मोटर टर्मिनल ब्लॉकवर बाहेर आणले	1		
2.	मॅन्युअल स्टार डेल्टा स्टार्टर	1		
3.	कनेक्टिंग वायर, मल्टीस्ट्रँड Cu वायर, 2.5 mm ²	LS		
4.	श्री फेज MCB, 25 A	1		
5.	श्री फेज पुरवठा, 415V	1		
6.	व्होल्टमीटर, 0-500 V AC	2		
7.	अॅमीटर 0-10A, AC	3		

P6.7 सावधानता

- मोजण्याचे साधन योग्य प्रकार आणि श्रेणी निवडा.
- सर्किट डायग्राम मध्ये दाखवल्याप्रमाणे ammeters आणि voltmeters कनेक्ट करा.
- सर्किट आकृतीनुसार सर्किट कनेक्शन तपासा आणि मॅन्युअल स्टार/डेल्टा स्टार्टरला वीज पुरवठ्यासाठी तीन ध्रुव (pole) MCB SM चालू होण्यापूर्वी वायर कनेक्शन घट्ट करा.
- प्रयोग झाल्यानंतर श्री फेज वीज पुरवठा बंद करा.

P6.8 सुचवलेली कृती

- आकृती 6.1 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे सर्किटला जोडा.
- मोटर फेज टर्मिनल्स A_1 , A_2 फेज A विंडिंग, B_1 , B_2 फेज B विंडिंग आणि C_1 , C_2 फेज C विंडिंगचे तीन कनेक्शनसह मॅन्युअल स्टार आणि डेल्टा स्टार्टरच्या स्विच टर्मिनल्सवर योग्य कनेक्शनची खाली करा.
- मॅन्युअल स्टार/डेल्टा स्टार्टरचे हँडल "सामान्य" स्थितीत असावे.
- तीन ध्रुव (Pole) MCB स्विच SM वर सुरु करा.
- स्टार/डेल्टा स्टार्टरचे हँडल स्टार स्थितीकडे वळवा म्हणजे तीन ध्रुव स्विच SY "चालू" करा. मोटर स्टेटर विंडिंग आता स्टार कनेक्शनमध्ये आहेत.
- निरीक्षण सारणी 6.1 मध्ये लाईन करंट I_R , I_Y , I_B किंवा स्टेटर फेज करंट आणि लाईन व्होल्टेज V_{RY} आणि V_{YB} रेकॉर्ड करा. निरीक्षण केलेले करंट हे मोटरद्वारे घेतलेले प्रारंभिक करंट आहेत.
- स्टार पासून डेल्टा स्थितीकडे हँडल वळवा, म्हणजे तीन ध्रुव स्विच SΔ "चालू" आणि स्विच SY "बंद" होईल. मोटर स्टेटर वळण आता डेल्टा जोडलेले आहे.

8. चरण क्रमांक 6 पुन्हा करा. मोजलेले प्रवाह I_R , I_Y , I_B हे स्टेटर लाईन करंट असतील. पुरवठ्याच्या तीन टप्प्यांत निरीक्षण केलेले करंट म्हणजे सामान्य चालू स्थितीत मोटरने घेतलेले करंट.
9. तीन ध्रुव स्विच “SM” “बंद” करून मोटर बंद करा.

P6.9 निरीक्षणे

निरीक्षण सारणी P6.1

अ. क्र.	स्टार स्थितीत मॅन्युअल स्टार्टर					डेल्टा स्थितीत मॅन्युअल स्टार्टर				
	करंट			व्होल्टेज		करंट			व्होल्टेज	
	I_R	I_Y	I_B	V_{RY}	V_{YB}	I_R	I_Y	I_B	V_{RY}	V_{YB}
1.										

P6.10 परिणाम

अ. क्र.	मोटर सुरू करंट	मोटर पळणारे करंट
1.		

P6.11 गणना

.....

.....

P6.12 प्रात्यक्षिक संबंधित प्रश्न

(उत्तरासाठी स्वतंत्र पत्रक वापरा)

टीप: संदर्भासाठी खाली काही नमुने प्रश्न दिले आहेत. पूर्व-परिभाषित अभ्यासक्रमाच्या निकालांची प्राप्ती सुनिश्चित करण्यासाठी शिक्षकांनी असे अधिक प्रश्न तयार केले पाहिजेत.

1. श्री फेज इंडक्शन मोटरचा प्रारंभिक करंट जास्त का आहे ते सांगा.
2. श्री फेज इंडक्शन मोटर्स सुरू करण्यासाठी कार्यशाळेत वापरल्या जाणाऱ्या स्टार्टर्सच्या प्रकाराविषयी माहिती गोळा करा.
3. श्री फेज इंडक्शन मोटरच्या स्टेटर विंडिंगसह काढलेला प्रारंभिक करंट रेकॉर्ड करा (i) स्टार कनेक्टेड (ii) डेल्टा कनेक्टेड. करंट सुरू करण्यातील फरकावर टिप्पणी द्या

अधिक जाणून घ्या

सूक्ष्म प्रकल्प

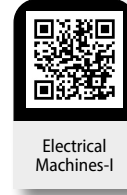
प्राध्यापकांच्या मार्गदर्शनाखाली 5-6 विद्यार्थ्यांच्या गटात एक किंवा दोन सूक्ष्म प्रकल्प/उपक्रम हाती घ्या आणि वैयक्तिक सहभागासह गट म्हणून सादर करा. एक सूक्ष्म प्रकल्प उदाहरण खालील प्रमाणे असेल:

1. दिलेल्या दोषपूर्ण सीलिंग फॅनचा दोष (fault) शोधण्यासाठी चाचणी प्रक्रिया आणि चाचणी सर्किट विकसित करा.

उपक्रम

1. महाविद्यालयाच्या मुख्य वीज पुरवठा सबस्टेशनला भेट द्या. डिस्ट्रीब्यूशन ट्रान्सफॉर्मरची नेम प्लेट तपशील नोंदवा. नेम प्लेटमध्ये दिलेल्या तपशील तपशीलांवर अहवाल तयार करा.
2. दिलेल्या 1-फेज दोन विंडिंग ट्रान्सफॉर्मरचे प्राथमिक आणि दुय्यम वळण प्रतिरोध मोजा. रेझिस्टन्स व्हॅल्यू लक्षात घ्या आणि कोणते वळण HV वळण आहे याचा अंदाज घ्या.
3. विविध उत्पादकांकडून विविध प्रकारच्या डीसी मोटर्सचे तपशील तपशील सारखी माहिती गोळा करा आणि गोळा केलेल्या माहितीवर आधारित एक संक्षिप्त अहवाल तयार करा.
4. पॉवर पॉइंट प्रेझेंटेशन विकसित करा आणि डीसी मोटर आणि त्याच्या अनुप्रयोगांवर सेमिनार द्या.
5. NEMA मानकांनुसार आणि त्याच्या अनुप्रयोगांनुसार 3-फेज AC मोटर निवडीवर पॉवर पॉइंट प्रेझेंटेशन तयार करा.
6. सर्किट आकृती विकसित करा आणि दिलेल्या 1-फेज प्रेरण मोटरच्या रोटेशनची दिशा कशी बदलता येईल हे दाखवा.

व्हिडिओ संसाधने



संदर्भ आणि सुचवलेले वाचन

1. Ritu Sahdev, Basic Electrical Engineering, New Delhi: Khanna Publishing House, 2018.
2. V.N. Mittle, and A. Mittal, Basic Electrical Engineering, McGraw Education, 2017.
3. M.S. Sukhija and T.K. Nagsarkar, Basic Electrical and Electronics Engineering, New Delhi: Oxford University Press, 2013.
4. B.L. Theraja, Electrical Technology, Vol. - I, New Delhi: S. Chand and Company, 2015.
5. S.B. Lal Seksena and Kaustuv Dasgupta, Fundamentals of Electrical Engineering, Cambridge University Press, 2017.

परिशिष्ट-A: लॅब असेसमेंट रेकॉर्ड

अ. क्र.	पृष्ठ क्र.	प्रयोगाचे नाव	तारीख			गुण	स्वाक्षरी
			वास्तविक	पुनरावृत्ती	टिप्पणी		
1.		B-H वक्र (curve) प्लॉट करून चुंबकीय सामग्रीची पारगम्यता (permeability) निश्चित करा.					
2.		रेझिस्टिव लोडसह 1 फेज सर्किटमध्ये व्होल्टेज, करंट आणि पॉवर मोजा.					
3.		आर एल सीरीज सर्किटमध्ये व्होल्टेज, करंट आणि पॉवर मोजा.					
4.		सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मरचे रूपांतर गुणोत्तर (k) निश्चित करा					
5.		सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मर कनेक्ट करा आणि इनपुट आउटपुटचे प्रमाण मोजा.					
6.		इंडक्शन मोटर स्टार्टर्समध्ये स्टार आणि डेल्टा कनेक्शन बनवा आणि लाइन आणि फेज व्हॅल्यू मोजा.					
7.		दिलेल्या सर्किटमधील विविध निष्क्रिय इलेक्ट्रॉनिक घटक ओळखा.					
8.		मालिकेत रेझिस्टर आणि ब्रेड बोर्डवर समांतर जोडणी जोडा आणि मल्टीमीटर वापरून त्याचे मूल्य मोजा.					
9.		ब्रेड बोर्डवर मालिका आणि समांतर जोडणीत कॅपेसिटर कनेक्ट करा आणि मल्टीमीटर वापरून त्याचे मूल्य मोजा.					
10.		दिलेल्या सर्किटमधील विविध सक्रिय इलेक्ट्रॉनिक घटक ओळखा.					
11.		अधिष्ठापन आणि प्रतिकार मूल्य मोजण्यासाठी LCR मीटर वापरा.					
12.		दिलेल्या कॅपेसिटरचे मूल्य मोजण्यासाठी LCR-Q मीटर वापरा.					
13.		रंगीत कोडसह पुष्टी करण्यासाठी डिजिटल मल्टीमीटर वापरून दिलेल्या रेझिस्टरचे मूल्य निश्चित करा					
14.		डिजिटल मल्टीमीटर वापरून पीएन जंक्शन डायोडची चाचणी घ्या					

अ. क्र.	पृष्ठ क्र.	प्रयोगाचे नाव	तारीख			गुण	स्वाक्षरी
			वास्तविक	पुनरावृत्ती	टिप्पणी		
15.		पीएन जंक्शन डायोडच्या कामगिरीची चाचणी घ्या					
16.		झेनर डायोडच्या कामगिरीची चाचणी घ्या.					
17.		एलईडीच्या कामगिरीची चाचणी घ्या.					
18.		डिजिटल मल्टीमीटर वापरून ट्रान्झिस्टरचे तीन टर्मिनल ओळखा.					
19.		एनपीएन ट्रान्झिस्टरच्या कामगिरीची चाचणी घ्या.					
20.		सीई कॉन्फिगरेशन ट्रान्झिस्टरचा करंट लाभ निश्चित करा.					
21.		ट्रान्झिस्टर स्विच सर्किटच्या कामगिरीची चाचणी घ्या.					
22.		ट्रान्झिस्टर एम्पलीफायर सर्किटच्या कामगिरीची चाचणी घ्या.					
23.		एम्पलीफायर आणि इंटीग्रेटर म्हणून Op Amp ची चाचणी करा.					

परिशिष्ट-B: प्रयोगशाळेत काम करताना सूचना

शिक्षकांना थोडक्यात मार्गदर्शक सूचना

शिक्षकांनी सर्व वैशिष्ट्यांसह विद्यार्थ्यांना प्रात्यक्षिकांच्या प्रात्यक्षिकांसह मार्गदर्शक तत्त्वे प्रदान केली पाहिजेत.

1. प्रत्येक प्रात्यक्षिक सुरू करण्यापूर्वी शिक्षकांनी विद्यार्थ्यांना आधीच्या संकल्पना समजावून सांगितल्या पाहिजेत.
2. प्रत्येक प्रॅक्टिकलच्या कामगिरीमध्ये विद्यार्थ्यांना सहभागी करा.
3. प्रात्यक्षिक स्वाध्याय पूर्ण झाल्यानंतर विद्यार्थ्यांमध्ये संबंधित कौशल्ये आणि क्षमता विकसित झाल्याची शिक्षकांनी खात्री करावी.
4. प्रात्यक्षिकानंतर शिक्षकांनी विद्यार्थ्यांना अनुभवाची संधी द्यावी.
5. विद्यार्थ्यांमध्ये विकसित होणारी कौशल्ये आणि क्षमता शिक्षकांनी शेअर करणे अपेक्षित आहे.
6. नियमावलीत समाविष्ट नसले तरी शिक्षक विद्यार्थ्यांना अतिरिक्त ज्ञान आणि कौशल्ये प्रदान करू शकतात परंतु उद्योगाकडून विद्यार्थ्यांना अपेक्षित आहे.
7. शेवटी व्यावहारिक असाइनमेंट द्या आणि ते सूचनानुसार आहे की नाही हे तपासण्यासाठी नियुक्त केलेल्या कार्यावर आधारित विद्यार्थ्यांच्या कामगिरीचे मूल्यांकन करा.
8. शिक्षकांनी विद्यार्थ्यांना संबंधित डेटा मॅन्युअल आणि मानके संदर्भित करण्यासाठी संदर्भित करणे आणि प्रेरित करणे अपेक्षित आहे.
9. शिक्षकांनी संपूर्ण अभ्यासक्रम दस्तऐवजाचा संदर्भ घेणे आणि अंमलबजावणीसाठी मार्गदर्शक तत्त्वांचे पालन करणे अपेक्षित आहे.

विद्यार्थ्यांसाठी सूचना

1. अभ्यासक्रम, अभ्यासक्रम शिकण्याची रचना, विकसित करावयाची कौशल्ये याविषयी शिक्षकांनी दिलेले व्याख्यान लक्षपूर्वक ऐका.
2. गटातील कामाचे आयोजन करा आणि सर्व निरीक्षणांची नोंद करा.
3. उद्योगाकडून अपेक्षेप्रमाणे विद्यार्थ्यांनी देखभाल कौशल्य विकसित करावे.
4. विद्यार्थ्याने संबंधित कौशल्ये विकसित करण्याचा आणि आत्मविश्वास मिळवण्याचा प्रयत्न केला पाहिजे.
5. विद्यार्थ्याने मॅन्युअलच्या व्याप्तीमध्ये समाविष्ट असलेल्या अधिक कल्पना, नवकल्पना, कौशल्ये इत्यादी विकसित करण्याची सवय लावावी.
6. विद्यार्थ्याने तांत्रिक मासिके, IS कोड आणि डेटा बुक्सचा संदर्भ घ्यावा.
7. विद्यार्थ्याने तारीख आणि वेळेवर प्रात्यक्षिक सादर करण्याची सवय लावावी.
8. विद्यार्थ्याला सुरक्षितता पद्धती आणि पर्यावरणीय समस्या, कचरा व्यवस्थापन व्यावहारिकतेशी निगडीत माहिती असावी.

परिशिष्ट-C: अभ्यास/सूक्ष्म प्रकल्प/गटातील क्रियाकलाप साठी सूचक मूल्यमापन मार्गदर्शक तत्त्वे

प्रक्रिया संबंधित कौशल्ये व्यवस्थापन

निकष आणि स्तर	विकसनशील	सक्षम	प्रवीण
सेट-अप हाताळणे			
डेटा रेकॉर्डिंग			
वेळेचे व्यवस्थापन			
टीम वर्क			
वैयक्तिक कार्य			
सुरक्षितता खबरदारी			

प्रक्रिया संबंधित कौशल्ये

निकष आणि स्तर	विकसनशील	सक्षम	प्रवीण	शेरा (जर काही) लागू नसल्यास, 'NA' नमूद करा
सामग्री				
संशोधन/सर्वेक्षण				
नवीनतम वापर				
नवीनतम तंत्रज्ञान वापर				
विषयाची तयारी				
सादरीकरणचा आत्मविश्वास				
पीपीटीसह आयसीटी वापर				
कौशल्य निर्माण करणे				
वेळेचे व्यवस्थापन				
गट प्रयत्न				
वैयक्तिक प्रयत्न				

वस्तुनिष्ठ प्रश्नांची उत्तरे

युनिट-1: इलेक्ट्रॉनिक घटक आणि सिग्नलचे विहंगावलोकन

क्र.	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	20
उत्तर:	a	d	b	d	c	b	d	b	a	c

युनिट-2: ऑनलाॅग सर्किट्सचे विहंगावलोकन

क्र.	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
उत्तर:	b	c	b	b	d	d

युनिट-3: डिजिटल इलेक्ट्रॉनिक्सचे विहंगावलोकन

क्र.	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6
उत्तर:	c	b	a	c	d	d

युनिट-4: इलेक्ट्रिक आणि मॅग्नेटिक सर्किट्स

क्र.	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6
उत्तर:	d	b	d	c	d	b

युनिट-5: एसी सर्किट्स

क्र.	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6
उत्तर:	c	b	d	a	b	c

युनिट-6: ट्रान्सफॉर्मर आणि मशीन्स

क्र.	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6
उत्तर:	d	d	d	c	c	a

पुढील शिक्षणासाठी संदर्भ

1. D.P. Kothari and I. J. Nagrath, Basic Electrical and Electronics Engineering, Tata McGraw Hill, 2020.
2. D.C. Kulshreshtha, Basic Electrical Engineering, McGraw Hill, 2009.
3. L.S. Bobrow, Fundamentals of Electrical Engineering, Oxford University Press, 2011.
4. K. Murgesh Kumar, DC Machines and Transformers, Vikas Publication House Pvt. Ltd., 2004.
5. J.B. Gupta, A Textbook of Basic Electrical and Electronics Engineering, Kataria & Sons, 2013
6. S.K. Bhattacharya, Basic Electrical Engineering, Pearson Education, 2019.
7. Chinmoy Saha, Arindam Halder and Debarati Ganguly, Basic Electronics: Principles and Applications, Cambridge University Press, 2018
8. E. Hughes, Electrical and Electronics Technology, Pearson, 2010.
9. B. L. Theraja, Electrical Technology, Vol. – II, New Delhi: S. Chand Publications, 2015.
10. R.S. Sedha, A text book of Applied Electronics, New Delhi: S. Chand Publications, 2008.
11. Albert Malvino and Paul David, Electronics Principles, New Delhi: McGraw Hill Education, 2015.
12. V.K. Mehta and Rohit Mehta, Principles of Electronics, S. Chand and Company, New Delhi, 2014.
13. Roger L. Tokheim, Digital Electronics, McGraw-Hill Education, 2013.
14. A.K. Maini, Analog Circuits, Khanna Publishing House, 2018.
15. Albert Malvino and David Bates, Electronic Principles, Tata McGraw Hill Publication, 2015.
16. Jacob Millman, Electronics Devices and Circuits, McGraw Hill Education; 2015.
17. Charles H. Roth Jr., Fundamentals of Logic Design, Cengage Learning, 2020
18. R. Anand, Digital Electronics, Khanna Publications, New Delhi, 2018.
19. V.J.V. Wait, L.P. Huelsman and GA Korn, Introduction to Operational Amplifier Theory and Applications, McGraw Hill, 1992.
20. Robert F. Coughlin, Fredrick F. Driscoll, Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits, New Delhi; Prentice-Hall of India Pvt. Ltd., 2009.
21. Stephen Chapman, Electric Machinery Fundamentals, New Delhi: McGraw Hill Education, 2017
22. Dorf R.C, Svoboda J.C, Introduction to Electric Circuits, John Wiley, 2015
23. Murugesan. R, Electricity and Magnetism, New Delhi; S. Chand Publishing, 2017.
24. Charles K. Alexander, Mathew N.O Sadiku, Fundamentals of Electric Circuits, McGraw Hill Education, 2013.
25. Bhimbra P.S, Garg G.C, Electrical Machines-I, New Delhi; Khanna Book Publishing Co.(P) Ltd., 2019.
26. Dhogal P.S., Basic Practical in Electrical Engineering, New Delhi; Standard Published Distributors, 2004.
27. Morrison Ralph, Practical Electronics, John Wiley & Sons, 2003

CO आणि PO अटेन्मेंट टेबल

या कोर्ससाठी कोर्सचे परिणाम (CO) कोर्स पूर्ण झाल्यानंतर प्रोग्रामच्या परिणामांसह (PO) मॅप केले जाऊ शकतात आणि अंतरांचे विश्लेषण करण्यासाठी PO च्या प्राप्तीसाठी परस्परसंबंध तयार केला जाऊ शकतो. PO च्या प्राप्तीमधील अंतरांचे योग्य विश्लेषण केल्यानंतर अंतर दूर करण्यासाठी आवश्यक उपाययोजना केल्या जाऊ शकतात.

CO आणि PO प्राप्तीसाठी टेबल

कोर्स आउट-कॉम्स	कार्यक्रमाच्या परिणामांसह अपेक्षित मॅपिंग (1- कमकुवत सहसंबंध; 2- मध्यम सहसंबंध; 3- मजबूत सहसंबंध)						
	PO-1	PO-2	PO-3	PO-4	PO-5	PO-6	PO-7
CO-1							
CO-2							
CO-3							
CO-4							
CO-5							
CO-6							

वरील टेबलमध्ये भरलेला डेटा अंतर विश्लेषणासाठी वापरला जाऊ शकतो.

अनुक्रमणिका

AC मोटर्स 6.2.4	सरासरी मूल्य 5.1.3
कॉमन मोड रेंज 2.1.2.2	DC शंट मोटर 6.2.1
सक्रिय घटक 1.2	अडथळा संभाव्य 1.1.2
कॉमन मोड रिजेक्शन रेशो (CMRR) 2.1.2.2	डी मॉर्गनचे प्रमेय 3.1.5.1
सक्रिय स्थिती 1.2.3.3	बेस 1.2.3.1
आचरण 1.1.3	डेल्टा कनेक्शन 5.3.3
adder 2.2.1	बीटा 1.2.3.2
कोर प्रकार ट्रान्सफॉर्मर 6.1.3	अवलंबित करंट स्रोत 1.3.8
अल्फा 1.2.3.2	बायनरी अंकगणित 3.1.4
काउंटर 3.3.2	अवलंबून व्होल्टेज स्रोत 1.3.8
अल्टरनेटिंग करंट सिग्नल 1.3.5	बायनरी संख्या प्रणाली 3.1.2.2
करंट 4.1.2	क्षीणता क्षेत्र 1.2.2
पर्यायी करंट 5.1.2	द्विध्रुवीय उपकरण 1.2.3
करंट स्रोत 1.3.6	निर्धारक संकेत 1.3.3
अल्टरनेटिंग व्होल्टेज 5.1.2	बुलियन बीजगणित 3.1
कट ऑफ स्टेट 1.2.3.3	डायलेक्ट्रिक सामग्री 1.1.5
आणि गेट 3.2.2.1	बुलियन नियम 3.1.5
अम्प्लिट्यूड 5.1.3	विभेदक इनपुट प्रतिरोध 2.1.2.2
कोनीय वेग 5.1.3	शाखा 4.1.3
चक्र 5.1.3	भिन्नता 2.2.2
एनोड 1.1.2	ब्रीदर 6.1.2
D फ्लिप फ्लॉप	डायोड 1.2.2
3.3.1.3	कॅपेसिटर स्प्लिट फेज एसी मोटर्स 6.2.4.3 डायरेक्ट करंट
असिंक्रोनस काउंटर 3.3.2.1	सिग्नल 1.3.5
DC मशीन 6.2	कॅपेसिटर 1.1.5
असिंक्रोनस अनुक्रमिक 3.3	वेगळे घटक 1.1.2
DC मोटर्स 6.2.1	कॅथोड 1.1.2
ऑटोड्रान्सफॉर्मर 6.1.4	ड्रेन 1.2.4.1
DC मालिका मोटर 6.2.1	क्लोज लूप कॉन्फिगरेशन 2.1.4.2

इलेक्ट्रिक पॉवर 5.3.5	नंबर सिस्टम 3.1.2
CMOS 1.2.6	इंडक्टर 1.1.4
इलेक्ट्रिकल सिग्नल 1.3.5	ऑक्टल नंबर सिस्टम 3.1.2.3
कलेक्टर 1.2.3.1	इनपुट बायस वर्तमान 2.1.2.2
इलेक्ट्रॉन 1.1.2	Op Amp 2.1.1
कॉम्बिनेशनल सर्किट्स 3.3	इनपुट भिन्नता श्रेणी 2.1.2.2
EMF समीकरण 6.1.3.2	ओपन लूप कॉन्फिगरेशन 2.1.4.1
कॉमन बेस 1.2.3.2	इनपुट प्रतिबाधा 2.1.2.2
एमिटर 1.2.3.1	OR गेट 3.2.2.2
सामान्य संग्राहक 1.2.3.2	इनपुट ऑफसेट वर्तमान 2.1.2.2
बाह्य अर्धसंवाहक 1.2.1	आउटपुट ऑफसेट व्होल्टेज 2.1.2.2
सामान्य उत्सर्जक 1.2.3.2	इनपुट ऑफसेट वर्तमान प्रवाह 2.1.2.2
फैराडे कायदा 4.3.1	आउटपुट व्होल्टेज श्रेणी 2.1.2.2
वारंवारता 5.1.3	इनपुट ऑफसेट व्होल्टेज 2.1.2.2
फील्ड इफेक्ट ट्रान्झिस्टर 1.2.4	आउटपुट व्होल्टेज स्विंग 2.1.2.2
पूर्ण पॉवर बैंडविड्थ 2.1.2.2	तात्काल मूल्य 5.1.3
फ्लिप फ्लॉप 3.3	P N जंक्शन डायोड 1.2.2
गेट 1.2.4.1	एकात्मिक सर्किट 3.4.1
फ्लक्स घनता 4.2.1	समांतर सर्किट 1.1.6
हेक्साडेसिमल क्रमांक प्रणाली 3.1.2.3	इंटीग्रेटर 2.2.3
गैर-आदर्श स्रोत 1.3.7	निष्क्रिय घटक 1.1.2
hole 1.1.2	आंतरिक सेमीकंडक्टर 1.2.1
नॉन-इनव्हर्टिंग मोड ऑप्लिफायर 2.1.5.2	पीक फैक्टर 5.1.3
IC 741 2.1.2	इनव्हर्टिंग मोड ऑप्लिफायर 2.1.5.1
अ-नियतकालिक सिग्नल 1.3.4	कालावधी 1.3.5.1
आदर्श स्रोत 1.3.7	J-K फ्लिप-फ्लॉप 3.3.1.4
NOR गेट्स 3.2.2.4	नियतकालिक सिग्नल 1.3.4
प्रतिबाधा 5.1.3	किर्चाफचा वर्तमान कायदा (KCL) 4.1.4
NOT गेट 3.2.2.3	नियतकालिक वेळ 5.1.3
प्रतिबाधा लिकोण 5.2.4	किर्चाफचा व्होल्टेज कायदा (KVL) 4.1.4
NPN BJT 1.2.3.1	फेज अँगल 5.1.4
इंडक्शन मोटर 6.2.4.3	प्रकाश उत्सर्जित डायोड 1.2.2.5

फेज फरक 5.1.5	R-L-C समांतर 5.2.4
लॉजिक गेट्स 3.2	R-L समांतर 5.2.4
फेजर 5.1.5	आर-एल-सी मालिका 5.2.4
चुंबकीय सर्किट 4.2.2	स्विचिंग सर्किट 3.1.1
फोटो डायोड 1.2.2.5	RMS मूल्य 5.1.3
चुंबकीय शक्ती 4.2.1	सिंक्रोनस अनुक्रमिक 3.3
PNP BJT 1.2.3.1	सेल्फ-इंडक्टन्स 4.3.2
मॅग्नेटोमोटिव्ह फोर्स 4.2.1	T फ्लिप-फ्लॉप 3.3.1.5
सकारात्मक तर्क 3.2.1	सेमीकंडक्टर 1.2.1
मॉड-10 काउंटर 3.3.2.2	रेझिस्टन्सचे तापमान गुणांक 1.1.3
पॉवर 4.1.2	अनुक्रमिक सर्किट 3.3
MOS 1.2.5	श्री-फेज AC 5.1.3
पॉवर फॅक्टर 5.1.3	मालिका सर्किट 1.1.6
MSB 3.1.2.2	ट्रान्सफॉर्मर 6.1.2
पॉवर सप्लाय रिजेक्शन रेशो 2.1.2.2	शेल प्रकार ट्रान्सफॉर्मर्स 6.1.3
म्युच्युअल इंडक्टन्स 4.3.2	ट्रान्झिस्टर ट्रान्झिस्टर लॉजिक 3.4.3
पॉवर त्रिकोण 5.3.6	सिग्नल 1.3.2
NAND गेट्स 3.2.2.4	ट्रान्झिस्टर 1.2.3
प्रसार विलंब 3.4.2	सिंगल-फेज AC 5.1.3
N-चॅनेल JFET 1.2.4.1	युनिटी गेन बँडविड्थ 2.1.2.2
Q घटक 1.1.4	स्ल्यू रेट 2.1.2.2
नकारात्मक तर्क 3.2.1	युनिव्हर्सल गेट्स 3.2.2.4
R-C समांतर 5.2.4	स्रोत 1.2.4.1
नोड 4.1.3	व्होल्टेज 4.1.2
R-C मालिका 5.2.3	S-R लॅच 3.3.1.1
आवाज मार्जिन 3.4.2	व्होल्टेज स्रोत 1.3.6
रेझिस्टर 1.1.3	स्टार कनेक्शन 5.3.3
नॉन-डिटरमिनिस्टिक सिग्नल 1.3.3	वेव्हफॉर्म 1.3.5.3
रेझिस्टर 1.1.3	ऑफसेट नल 2.1.2
R-L मालिका 5.2.2	जेनर डायोड 1.2.2.5
रिव्हर्स बायस 1.2.2.1	ओम्स कायदा 1.1.3