



महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण सिस्टम, मुंबई

(स्वायत्त) (ISO 9001:2015) (ISO/IEC 27001:2013)

अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका

शिक्षण पुस्तिका
(Learning Material)

अॅनालॉग इलेक्ट्रॉनिक्स

ANALOG ELECTRONICS

(313324)

अणुविद्युत अभियांत्रिकी गट

मराठी - इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम

(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील तृतीय सत्र पदविका)

शिक्षण पुस्तिका

(Learning Material)

अॅनालॉग इलेक्ट्रॉनिक्स

ANALOG ELECTRONICS

(313324)

अणुविद्युत अभियांत्रिकी गट

मराठी - इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम
(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील तृतीय सत्र
पदविका)



महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण सिस्टम, मुंबई

(स्वायत्त) (ISO 9001:2015) (ISO/IEC 27001:2013)

मार्गदर्शक

अकोले किशोर प्रल्हाद

प्रभारी विभागप्रमुख, अणुविद्युत अभियांत्रिकी

प्रमुख समन्वयक

डॉ. एस एम गणेचारी

प्राचार्य

समन्वयक

निर्मला कांबळे

अधिव्याख्याता, अणुविद्युत आणि दूरसंचार अभियांत्रिकी

सांकलक

दिपक कुलकर्णी

विभागप्रमुख, अणुविद्युत आणि दूरसंचार अभियांत्रिकी

निलिमा पलासपागर

अधिव्याख्याता, अणुविद्युत आणि दूरसंचार अभियांत्रिकी

प्रमिला सिद्राम वाले

अधिव्याख्याता, अणुविद्युत आणि दूरसंचार अभियांत्रिकी

वैशाली अविनाश राजेशिर्के

अधिव्याख्याता, अणुविद्युत आणि दूरसंचार अभियांत्रिकी

ऐश्वर्या वैभव दिवाणे

अधिव्याख्याता, अणुविद्युत आणि दूरसंचार अभियांत्रिकी



महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ

(स्वायत्त) (ISO: ९००१:२०१५) (ISO/IES: २७००१-२०१३)

शासकीय तंत्रनिकेतन इमारत, चौथा मजला, ४९, खेरवाडी, बांद्रा (पूर्व), मुंबई - ४०० ०५१.

दूरध्वनी क्र.: ०२२-६२५४२१७० / १६१

Email : director@msbte.com

Web : www.msbte.org.in



प्रास्ताविक

महाराष्ट्र राज्यातील पदविका स्तरावरील तंत्रशिक्षणामध्ये विद्यार्थ्यांचे रोजगार कौशल्य विकसित करून विद्यार्थ्यांचा सर्वांगीण विकास घडवून आणण्याकरिता महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ कटिबद्ध आहे. उद्योगधंद्यातील बदलत्या तंत्रज्ञानाशी संबंधित गरजा लक्षात घेऊन महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळाकडून पदविका अभ्यासक्रम वेळोवेळी अद्यावत करण्यात येतो. अभियांत्रिकी पदविका अभ्यासक्रम शिकत असतांना संकल्पनात्मक ज्ञान, सुसंगत संदर्भ, प्रश्न विचारणे, विश्वसनिय पुरावे, कारणमीमांसा आणि सुस्पष्ट निकष यांचा वापर करून अर्थाची उकल करण्याची, विश्लेषण व मूल्यमापन करण्याची तसेच तर्काने अनुमान काढण्याची क्षमता म्हणजेच चिकित्सक विचार विद्यार्थ्यांमध्ये अधिक दृढ होतील असा मला विश्वास आहे. जेव्हा विद्यार्थी ज्ञान मिळवण्याच्या माध्यमाशी पूर्णपणे परिचित आणि सोयीस्कर असतात, तेव्हा त्यांच्यासाठी वर्गातील चर्चेत भाग घेणे सोपे होते, संकल्पनात्मक व सैद्धांतिक बाबींचे आकलन परिपूर्ण होते, संज्ञानात्मक क्षमता सुधारते आणि त्यांचा आत्मविश्वास देखील वाढतो या सर्व गोष्टींचा विचार करून मंडळाकडून शैक्षणिक सामुग्रीची निर्मिती करण्यात आलेली आहे. भारत देश हा खेड्यापाड्यातून विकसित झालेला देश असून ग्रामीण भागातील विद्यार्थ्यांना तांत्रिक शिक्षण घेतांना भाषेचा अडसर न येता तांत्रिक बाबींचा आशय समजून घेणे शक्य होईल या दृष्टिकोनातून महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळाने पदविका स्तरावरील तांत्रिक शिक्षणाकरीता विद्यार्थ्यांना मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय शैक्षणिक वर्ष २०२१-२२ पासून उपलब्ध करून दिलेला आहे.

राष्ट्रीय शैक्षणिक धोरण-२०२० प्रादेशिक भाषेतील शिक्षणास प्रोत्साहन देते, ज्यामुळे विद्यार्थ्यांना तांत्रिक अभ्यासक्रमांसाठी प्रादेशिक भाषांतून शिक्षणाचे माध्यम निवडता येते. सदर धोरणामुळे प्रादेशिक भाषांमध्ये तांत्रिक सामग्री आणि अभ्यास सामग्रीचा विकास आणि भाषांतर निर्माण करण्याची आवश्यकता आहे. त्यास अनुसरून मंडळाने मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय द्वितीय व तृतीय वर्षाकरिताही उपलब्ध करून देण्यात आला आहे. तसेच त्याकरिताची शैक्षणिक सामग्रीही संबंधीत भागधारकरांना उपलब्ध करून देण्यात येत आहे.

पदविका स्तरावरील तंत्रशिक्षण अधिक दर्जेदार करण्यासाठी महाराष्ट्रातील अनुभवी व तज्ञ अध्यापकांनी व्यावहारिक मराठी भाषा व इंग्रजी भाषेतील तांत्रिक शब्दावली यांचा वापर करून मराठी - इंग्रजी भाषेचा सुवर्णमध्य साधण्याचा प्रयत्न केलेला आहे. मंडळाच्या स्तरावर गठीत सुकाणू समितीमार्फत सदर शैक्षणिक सामुग्रीचा दर्जा, तसेच इतर बाबींची तपासणी करण्यात आलेली आहे. त्यामुळे सदर शैक्षणिक सामुग्री अधिक सम्पन्न झालेली असून विद्यार्थी त्यांच्या व्यक्तिमत्त्वाचा सुसंवादी आणि सर्वांगीण विकास साधतील. परिणामतः विश्वस्तरीय मनुष्यबळाच्या गरजा पूर्ण करण्यात महाराष्ट्र राज्य अग्रेसर राहील व पर्यायाने राष्ट्रनिर्मिती करिता निश्चितच हातभार लागेल, असा मला विश्वास आहे.

अभियांत्रिकी पदविका अभ्यासक्रमातील प्रमुख विषयांची मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक शैक्षणिक सामुग्री बनविण्यासाठी अध्यापक व सुकाणू समितीचे सदस्य यांनी दर्शविलेले समर्पण व वचनबद्धता कौतुकास पात्र आहे, या सर्वांचे मी मनःपूर्वक अभिनंदन करतो !


(प्रमोद नाईक)

संचालक

म. रा. तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई.

अनुक्रमणिका

अ. क्र.	युनिटचे नाव	पान क्र.
1	पॉवर अॅम्प्लीफायरस Power Amplifiers	1
2	ओपॅम्प आणि त्यांचे ऑपेरेशनल उपयोग Op-Amp and its applications	15
3	वेवफॉर्म जेनरेटरसस Waveform Generators	48
4	अॅक्टिव फिल्टरस Active Filters	61
5	स्पेशलाइज (IC) सर्किटचे उपयोग Specialized IC Applications	83

युनिट - 1

पॉवर अॅम्प्लीफायरस (Power Amplifiers)

विषय निष्पत्ति (Course Outcome)

ट्रान्झिस्टरला पॉवर अॅम्प्लीफायर म्हणून वापरणे

Use transistor as a power amplifier

यूनिट आऊटकम (Unit Outcome):

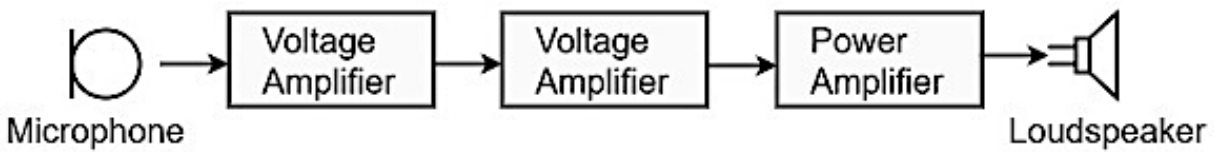
- 1.1 पॉवर अॅम्प्लीफायरच्या कामगिरीचे वैशिष्ट्ये (parameters) चे वर्णन करणे.
Describe the performance of the given power amplifier parameters.
- 1.2 दिलेल्या प्रकारच्या पॉवर अॅम्प्लीफायरचे कार्य आकृतिसह स्पष्ट करणे.
Explain with sketches the working of given type of power amplifier.
- 1.3 कामगिरीच्या वैशिष्ट्ये (Performance parameters) आधारे विविध प्रकाराच्या पॉवर अॅम्प्लीफायरचे तुलना करणे.
Compare the given type of power amplifier on the basis of performance parameter.
- 1.4 दिलेल्या ॲप्लिकेशन्ससाठी संबंधित पॉवर अॅम्प्लीफायरची निवड करणे.
Select relevant type of power amplifier for the given applications.

परिचय

पॉवर अॅम्प्लीफायर हे एक अणुविद्युत उपकरण आहे जे कमी -पावर इलेक्ट्रिकल संदेश ला लाउडस्पीकर किंवा इतर आउटपुट उपकरणे चालविण्यासाठी योग्य स्तर वर वाढवतो, ज्यामुळे ते वायरलेस कम्युनिकेशन्स आणि ऑडिओ ॲप्लिकेशन्समध्ये उपयुक्त ठरतात.

1.1.1 पॉवर अॅम्प्लीफायर ब्लॉक आकृती चे वर्णन :

ऑडिओ संदेशाचे इलेक्ट्रिकल सिग्नलमध्ये रूपांतर होते, नंतर विद्युत दाब वर्धन (amplification), संदेशाचे पावर वर्धन केले जाते आणि ध्वनिप्रक्षेपकला दिले जाते.



आकृति 1.1: पावर अॅम्प्लीफायर ब्लॉक आकृती

विद्युत दाब अॅम्प्लीफायर संदेशाची विद्युत दाब ची पातळी वाढवतो, तर पावर अॅम्प्लीफायर संदेशाची पावर पातळी वाढवतो. पावर स्तर वाढवण्या व्यतिरिक्त, ते DC पावर ला AC पावर मध्ये रूपांतरित करू शकते जे इनपुट संदेशाद्वारे नियंत्रित केले जाते.

पावर ट्रान्झिस्टर इतर ट्रान्झिस्टरपेक्षा खालील घटकांमध्ये वेगला आहे:

1. उच्च पॉवर हाताळण्यासाठी ते आकाराने मोठे आहे.
2. ट्रान्झिस्टरचा कलेक्टर विभाग रुंद केला जातो आणि तापमान कमी करण्यासाठी कलेक्टर-बेस जंक्शनवर हीट सिंक जोडला जातो.
3. पावर ट्रान्झिस्टरचे एमिटर आणि बेस विभाग हे उच्च डोप (highly doped) केलेले असतात.
4. लो इनपुट विद्युत्विरोधका मुळे, ह्याला कमी इनपुट पावर आवश्यक असते.

1.1.2 विद्युत दाब अॅम्प्लीफायर आणि पॉवर अॅम्प्लीफायर ची तुलना:

तक्ता 1.1 : विद्युत दाब अॅम्प्लीफायर आणि पॉवर अॅम्प्लीफायर ची तुलना

अ.क्र.	वैशिष्ट्य	विद्युत दाब अॅम्प्लीफायर	पॉवर अॅम्प्लीफायर
1.	बीटा (β)	उच्च (>100)	कमी (5 ते 20)
2.	कलेक्टर विद्युत्विरोधक(RC)	उच्च (4-10 K Ω)	कमी (5 ते 20 Ω)
3.	कपलिंग	R-C कपलिंग	ट्रान्सफॉर्मर कपलिंग
4.	इनपुट विद्युत दाब	कमी(काही mV)	उच्च (2 -4 V)
5.	कलेक्टर विद्युत प्रवाह	कमी (≈ 1 mA)	उच्च (> 100 mA)
6.	पावर आउटपुट	कमी	उच्च
7.	आउटपुट इंपिडन्स	उच्च (≈ 12 K Ω)	कमी (≈ 200 Ω)

1.1.3 कामगिरीच्या वैशिष्ट्ये (Performance Parameters)

- गेन (Gain): अॅम्प्लीफायरची गेन म्हणजे ते संदेशाची विपुलता (amplitude) किती वाढवू शकतो याचे मापन आहे. हे सहसा डेसिबेल्स (dB) मध्ये व्यक्त केले जाते आणि इनपुट आणि आउटपुट संदेशाच्या पावर च्या गुणोत्तराचे प्रतिनिधित्व करते.

$$\text{गेन (Gain)} = \frac{V_o}{V_{in}}$$

- कार्यक्षमता (Efficiency): कार्यक्षमता म्हणजे इनपुट पावर (P_{in}) चे किती टक्के आउटपुट पावर (P_{out}) मध्ये प्रभावीपणे रूपांतर झाले. उर्वरित पावर ची उष्णतेमध्ये हानी होते. बॅटरीने चालणारे उपकरणे यासाठी उच्च कार्यक्षमतेची गरज असते.

$$\% \text{ Efficiency } (\eta) = \frac{P_{ac}}{P_{dc}} \times 100$$

- फ्रिक्वेन्सी पट्टा (Bandwidth): फ्रिक्वेन्सी श्रेणी ज्या मध्ये अॅम्प्लीफायर प्रभावीपणे विकसित करू शकतो त्याला फ्रिक्वेन्सी पट्टा असे म्हणतात.
- विरूपण (Distortion): अॅम्प्लीफायर मध्ये इनपुट आणि आउटपुट वेवच्या आकारात होणारे बदल विरूपण म्हणून ओळखले जाते. विरूपण (distortion) कमी करण्यासाठी नेगेटिव्ह अभिप्राय चा उपयोग केला जातो.
- फ्रिक्वेन्सी बँड (Frequency Band): पावर अॅम्प्लीफायर चा फ्रिक्वेन्सी बँड म्हणजे तो कोणत्या विशिष्ट फ्रिक्वेन्सी वर काम करू शकतो आणि त्यामुळे इनपुट संदेशाची पावर वाढवू शकते.

1.2 पॉवर ॲम्प्लीफायरचे वर्गीकरण:

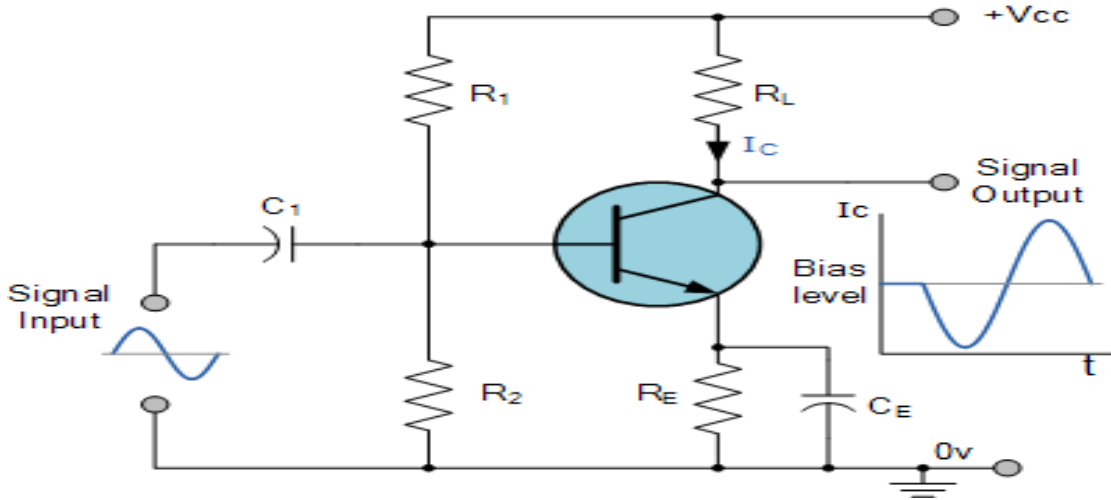
पॉवर ॲम्प्लीफायरचे वर्गीकरण त्यांच्या Q बिंदुच्या लोड लाईनवरील स्थितीवर आधारित आहे.

तक्ता 1.2: पॉवर ॲम्प्लीफायरचे वर्गीकरण

क्रमांक	वैशिष्ट्ये	क्लास A	क्लास B	क्लास C	क्लास AB
1	Q बिंदुची स्थिती	लोड लाईनच्या मध्यभागी	कट ऑफ विभाग	कट ऑफच्या खाली	कट ऑफ विभागाच्या वर
2	अनुप्रयोग	हाय-फिडेलिटी ऑडिओ	मोटर नियंत्रण, पावर इन्व्हर्टर	आरएफ संदेश वर्धन, प्रसारण	ऑडिओ वर्धन, कार ऑडिओ

1.3.1 क्लास A पॉवर ॲम्प्लीफायर:

- क्लास A पॉवर ॲम्प्लीफायर मध्ये वापरलेला ट्रान्झिस्टर इनपुट वेवफॉर्मच्या एका पूर्ण सायकल साठी वाहक असतो
- Q बिंदु लोड लाईन च्या मध्यभागी स्थित असल्याने ट्रान्झिस्टरचा वहन कोन (conduction angle) 360° आहे.

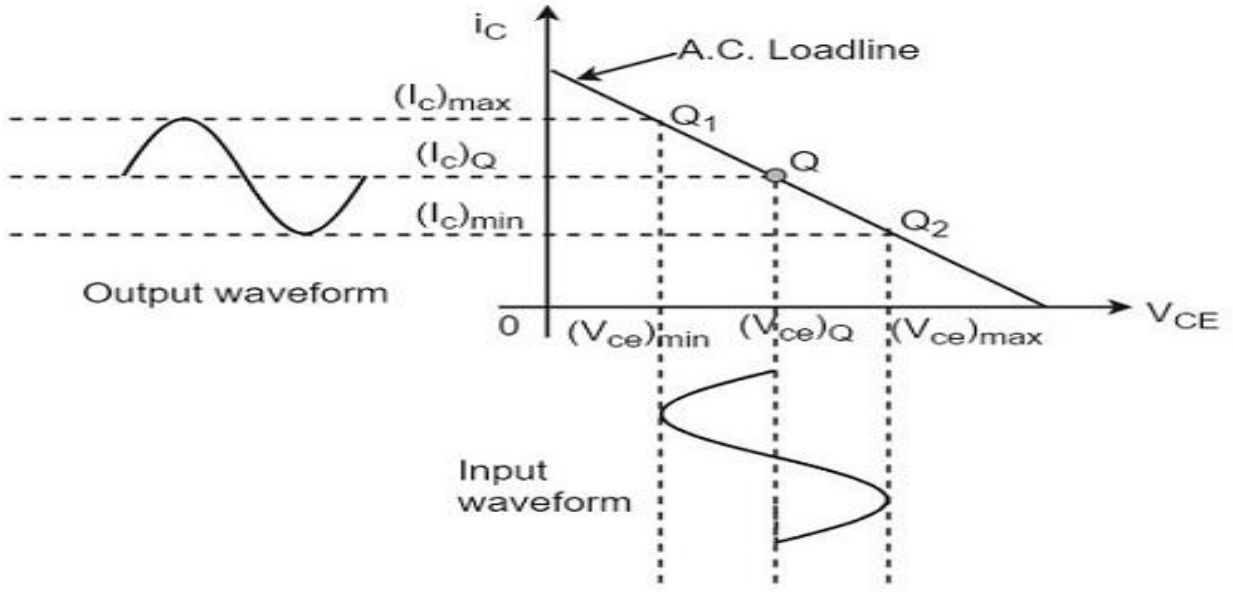


आकृति 1.2: क्लास A पॉवर ॲम्प्लीफायर

- ट्रान्झिस्टर लोड लाईनच्या लिनियर भागावर काम करतो त्यामुळे आउटपुट वेवफॉर्म, इनपुट वेवफॉर्म सारखे असते आणि त्यामुळे हे विरुपणापासून मुक्त असते.
- ट्रान्झिस्टरमध्ये मोठ्या प्रमाणात पॉवर, उष्णतेच्या स्वरूपात नष्ट होते त्यामुळे त्याची कार्यक्षमता कमी असून ती २५ % ते ५० % दरम्यान असते. कलेक्टर बॅटरीमधून काढलेली DC पॉवर:

$$P_{in} = V \times I$$

$$P_{in} = V_{cc} \times I_{cQ}$$



आकृति 1.3: क्लास A पावर अॅम्प्लीफायर वेवफॉर्म

AC पॉवर आउटपुट जे लोड विद्युत्विरोधका वर निर्मित:

$$P_{out(ac)} = I^2 R_c = \frac{V^2}{R_c} = \left(\frac{V_m}{\sqrt{2}} \right)^2 \frac{1}{R_c} = \frac{V_m^2}{2R_c}$$

फायदे:

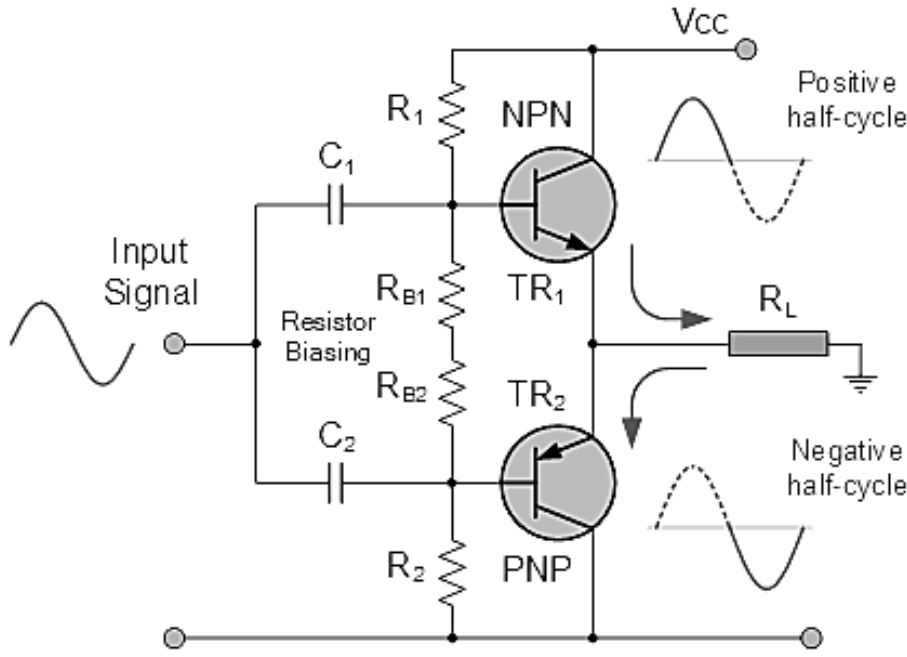
1. पूर्ण इनपुट चक्रा साठी विद्युत प्रवाह वाहतो
2. लहान संदेश अॅम्प्लीफायर करू शकतो.
3. आउटपुट वेवफॉर्म आणि इनपुट वेवफॉर्म समान आहे
4. आउटपुट वेवफॉर्म मध्ये विरुपण नाही.

तोटे

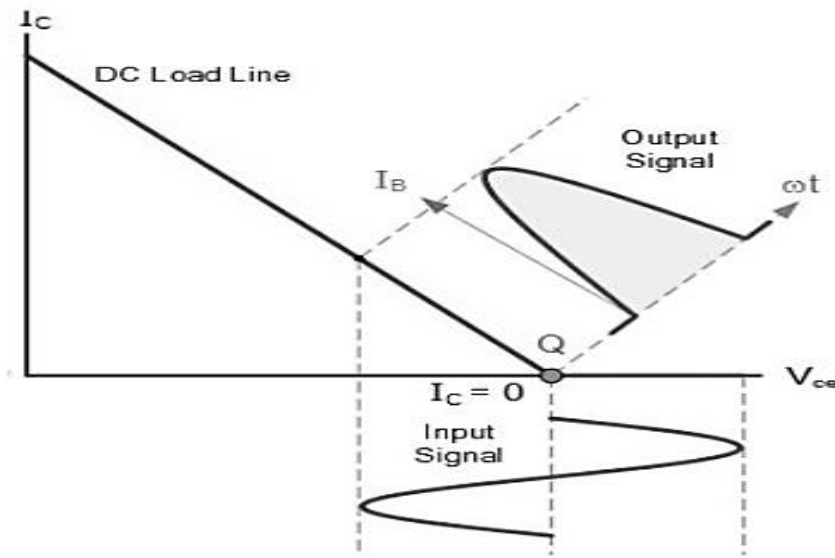
1. लो पॉवर आउटपुट.
2. लो कलेक्टर कार्यक्षमता.

1.3.2 क्लास B पॉवर अॅम्प्लीफायर:

1. क्लास B पॉवर अॅम्प्लीफायर मध्ये वापरलेला ट्रान्झिस्टर इनपुट वेवफॉर्मच्या एका अर्ध्या चक्रासाठी कंडक्ट करतो.
2. Q पॉईंट लोड लाईनवर कट ऑफवर स्थित असल्याने ट्रान्झिस्टरचा वहन कोन 180° आहे.
3. आउटपुट, पॉझिटिव्ह अर्ध्या चक्रा मध्ये मिळतो ज्यामुळे आउटपुट वेवशेप, इनपुट वेवशेप पेक्षा वेगळा आहे आणि त्यात विरुपण निर्माण होते.
4. इनपुट संदेशाच्या वेगळ्या अर्ध्या चक्रा मध्ये दोन ट्रान्झिस्टर्स वापरून विरुपण कमी केले जाऊ शकते जेणेकरून आउटपुटवर पूर्ण चक्र तयार होईल. प्रत्येक ट्रान्झिस्टर फक्त 180° साठी कंडक्ट करतो हे पुश-पुल अॅम्प्लीफायर म्हणून ओळखले जाते.
5. क्लास B अॅम्प्लीफायर मध्ये पॉवर अपव्यय (Power Dissipation) कमी असते कारण नेगेटिव्ह अर्ध्याचक्रामध्ये ट्रान्झिस्टर बंद राहतो ज्यामुळे 78.5 % कार्यक्षमता मिळते जी क्लास A पेक्षा जास्त आहे.
6. ट्रान्झिस्टर्स कट ऑफवर पक्षपात (Bias) असल्याने झिरो क्रॉसिंग बिंदु जवळ वेवफॉर्म मध्ये विरुपण होते ज्याला क्रॉस-ओवर विरुपण म्हणतात आणि हे क्लास AB अॅम्प्लीफायर वापरून कमी केले जाऊ शकते.



आकृति 1.4 क्लास B पॉवर अॅम्प्लीफायर



आकृति 1.5 : क्लास B पॉवर अॅम्प्लीफायर वेवफॉर्म

फायदे:

1. 78.5 % पर्यंतची कार्यक्षमता.
2. नैगेटिव अर्धचक्रामध्ये ट्रान्झिस्टर बंद असल्याने कमी उष्णता निर्मित होते.

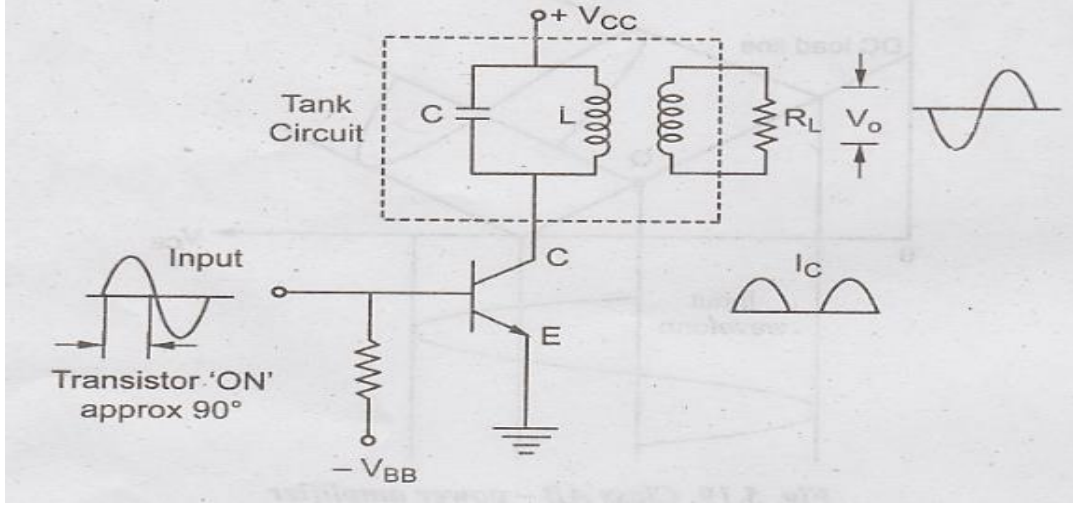
तोटे:

1. झिरो क्रॉसिंग बिंदूच्या जवळ वेवफॉर्म मध्ये विरूपण निर्माण होते, ज्याला क्रॉस-ओवर विरूपण म्हणतात.
2. इनपुट आणि आउटपुट वेवफॉर्ममध्ये फरक असल्याने विरूपण निर्माण होते.

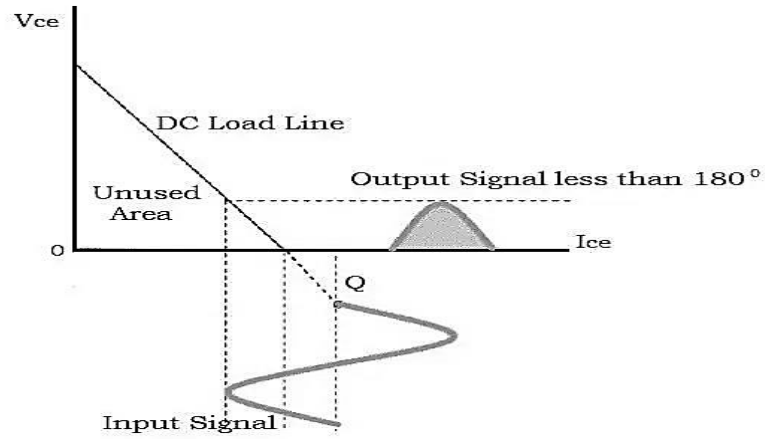
1.3.3 क्लास C पॉवर अॅम्प्लीफायर:

1. क्लास C पॉवर अॅम्प्लीफायर मध्ये वापरलेला ट्रान्झिस्टर इनपुट वेवफॉर्मच्या अर्ध्या चक्रापेक्षा कमी कालावधीसाठी कंडक्ट करतो.
2. Q बिंदू लोड लाईनवर कट ऑफ विभागाच्या खाली स्थित असल्याने ट्रान्झिस्टरचे वहन कोन 180° पेक्षा कमी आहे.

- आउटपुट फक्त पॉझिटिव्ह अर्ध्या चक्राच्या 1/4 भागात प्राप्त होतो ज्यामुळे आउटपुट वेवशेप इनपुट वेवशेपपेक्षा वेगळे आहे आणि त्यात विरूपण निर्माण होते.
- क्लास C अॅम्प्लीफायर ची कार्यक्षमता 95% पेक्षा जास्त आहे.



आकृति 1.6: क्लास C पॉवर अॅम्प्लीफायर



आकृति 1.7: क्लास C पॉवर अॅम्प्लीफायर वेवफॉर्म

फायदे:

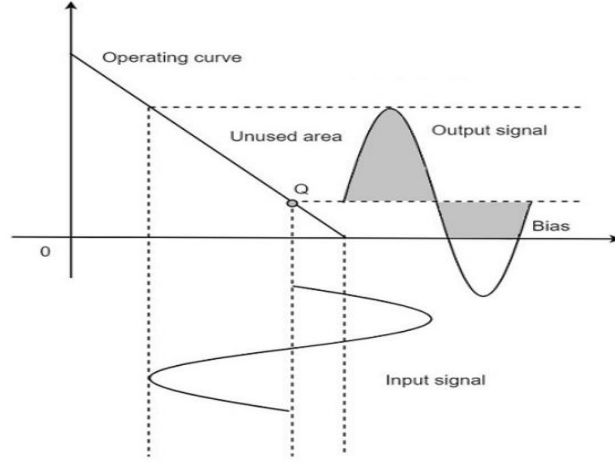
- कार्यक्षमता 95% पेक्षा जास्त आहे.
- रेडिओ फ्रिक्वेन्सी अनुप्रयोगसाठी उत्तम.

तोटे:

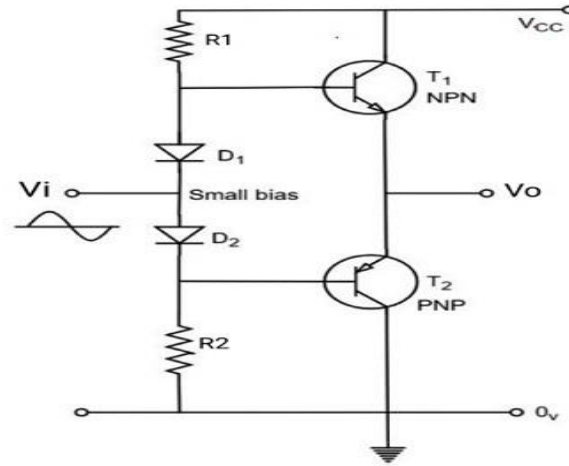
- इनपुट आणि आउटपुट वेवफॉर्ममध्ये फरक असल्याने विरूपण निर्माण होते.
- ऑडिओ वारंवारतेसाठी योग्य नाही.

1.3.4 क्लास AB पॉवर अॅम्प्लीफायर:

- क्लास AB पावर अॅम्प्लीफायर मध्ये वापरलेला ट्रान्झिस्टर इनपुट वेवफॉर्मच्या अर्ध्या चक्रा पेक्षा जास्त आणि पूर्ण चक्रापेक्षा कमी कालावधीसाठी कंडक्ट करतो.
- हे दर्शवते की ट्रान्झिस्टर 180° पेक्षा जास्त आणि 360° पेक्षा कमी काळासाठी कार्यरत आहे.
- या क्लास AB अॅम्प्लीफायर मध्ये मिळणारे विरूपण क्लास A पेक्षा जास्त आणि क्लास B पेक्षा कमी आहे.
- या अॅम्प्लीफायर मध्ये पावर अपव्यय क्लास A पेक्षा कमी आणि क्लास B पेक्षा जास्त असतो, म्हणूनच त्याची कार्यक्षमता क्लास A पेक्षा जास्त आणि क्लास B पेक्षा कमी असून ती सुमारे 50% ते 60% दरम्यान आहे.



आकृति 1.9: क्लास AB पॉवर अॅम्प्लीफायर वेवफॉर्म



आकृति 1.8: क्लास AB पॉवर अॅम्प्लीफायर

फायदे:

1. क्रॉस-ओवर डिस्टॉर्शनचे निर्मूलन.
2. क्लास A ऍम्प्लीफायरपेक्षा उच्च कार्यक्षमता आणि सिग्नलची ऍम्प्लिफिकेशन प्रदान करते.
3. हा एक लिनियर ऍम्प्लीफायर आहे कारण आउटपुट सिग्नलचा अॅम्प्लीटुड आणि फेज इनपुटसारखाच असतो.

तोटे:

1. क्रॉस-ओवर विरूपणची (cross over distortion) शक्यता असते.

प्रश्न: अॅम्प्लीफायर मध्ये विरूपण निर्माण करणारे घटक कोणते?

उत्तर:

1. ट्रान्झिस्टरचे नॉन-लीनियर विभागामध्ये कार्य.
2. वेगवेगळ्या फ्रिक्वेन्सी संदेशना असमान वर्धन.
3. ट्रान्झिस्टरसना कट-ऑफवर पक्षपात केल्याने क्रॉस ओवर विरूपण.
4. नॉनलीनियर फेज वैशिष्ट्याणमुळे फेज विरूपण.

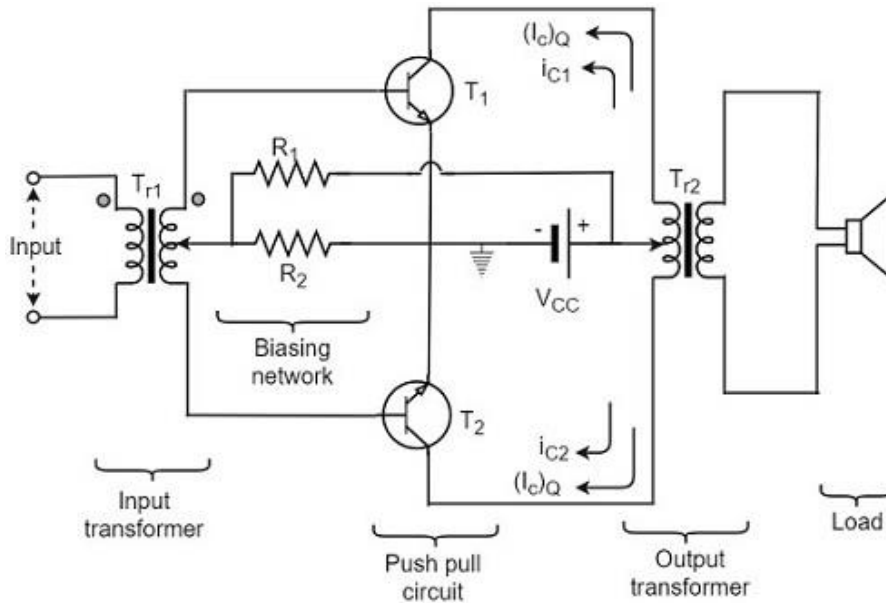
1.3.5 क्लास A, क्लास B, क्लास C and क्लास AB मध्ये तुलना

तक्ता 1.3: क्लास A, क्लास B, क्लास C and क्लास AB मध्ये तुलना

क्र.	पॅरामीटर्स	क्लास A	क्लास B	क्लास C	क्लास AB
1	वहन कोन	360°	180°	180° पेक्षा कमी	180° - 360°
2	Q बिंदु ची स्थिती	लोड लाइन च्या मध्ये	कट ऑफवर	कट ऑफच्या खाली	कट ऑफजवळ
3	आउटपुट वेवफॉर्ममध्ये विरूपण	विरूपण नाही	क्लास A पेक्षा जास्त	क्लास A, B, AB पेक्षा जास्त	कमी
4	कार्यक्षमता	25%-50%	78.5 %	95%	50%-78.5%
5	पावर अपव्यय	अतिशय जास्त	अतिशय कमी	कमी	मध्यम
6	रेखीयता (Linearity)	उत्तम	चांगले	खराब	चांगले
7	अनुप्रयोग	हाय-फिडेलिटी ऑडिओ	मोटर नियंत्रण, पावर इन्व्हर्टर्स	आरएफ संदेश वर्धन, प्रसारण	ऑडिओ वर्धन, कार ऑडिओ

1.3.6 पुश-पुल ॲम्प्लीफायर (Push-Pull Amplifier):

सर्किट आकृती :-



आकृती 1.10: पुश-पुल ॲम्प्लीफायर

पुश-पुल व्यवस्थेमध्ये, दोन सारखे ट्रान्झिस्टर T_1 आणि T_2 यांचे एमिटर टर्मिनल्स शॉर्ट केलेले असतात. इनपुट सिग्नल ट्रान्झिस्टरना ट्रान्सफॉर्मर T_{r1} च्या माध्यमातून लागू केला जातो ज्यामुळे दोन्ही ट्रान्झिस्टर बेसला उलट ध्रुवीयतेचे सिग्नल मिळतात. दोन्ही ट्रान्झिस्टरचे कलेक्टर आउटपुट ट्रान्सफॉर्मर T_{r2} च्या प्राथमिकाशी जोडलेले असतात. दोन्ही ट्रान्सफॉर्मर सेंट्रल टॅप केलेले असतात. V_{CC} पुरवठा आउटपुट ट्रान्सफॉर्मरच्या प्राथमिक माध्यमातून दोन्ही ट्रान्झिस्टरच्या कलेक्टरला

दिला जातो. प्रतिरोधक R1 आणि R2 पूर्वाग्रह व्यवस्थापन पुरवतात. लोड सामान्यतः एक लाउडस्पीकर असतो जो आउटपुट ट्रान्सफॉर्मरच्या सेकेंडरीला जोडलेला असतो. आउटपुट ट्रान्सफॉर्मरचे टर्न्स रेशो अशा प्रकारे निवडले जाते की लोड ट्रान्झिस्टरच्या आउटपुट इम्पीडन्सशी योग्यरित्या जुळवले जाते. त्यामुळे ॲम्प्लिफायरद्वारे लोडला जास्तीत जास्त पॉवर दिली जाते.

ॲपरेशन :-

1. आउटपुट ट्रान्सफॉर्मर Tr2 वरून आउटपुट जमा केले जाते. या ट्रान्सफॉर्मर Tr2 च्या प्राइमरीमध्ये प्रत्यक्ष व्यवहारात कोणताही DC घटक नसतो. ट्रान्झिस्टर T1 आणि T2 चे संग्राहक ट्रान्सफॉर्मर Tr2 च्या प्राथमिकशी जोडलेले असतात जेणेकरून त्यांचे प्रवाह परिमाणात समान असतात आणि ट्रान्सफॉर्मर Tr2 च्या प्राथमिकमधून विरुद्ध दिशेने वाहतात.
2. जेव्हा AC इनपुट संदेश लागू केला आहे, ट्रान्झिस्टर T1 चा बेस अधिक सकारात्मक आहे तर ट्रान्झिस्टर T2 चा बेस कमी सकारात्मक आहे. त्यामुळे ट्रान्झिस्टर T1 चा कलेक्टर विद्युत प्रवाह i_{c1} वाढतो तर ट्रान्झिस्टर T2 चा कलेक्टर विद्युत प्रवाह i_{c2} कमी होतो. हे प्रवाह आउटपुट ट्रान्सफॉर्मरच्या प्राथमिक भागाच्या दोन भागांमध्ये विरुद्ध दिशेने वाहतात. शिवाय, या प्रवाहांमुळे निर्माण होणारा प्रवाह देखील विरुद्ध दिशेने असेल.

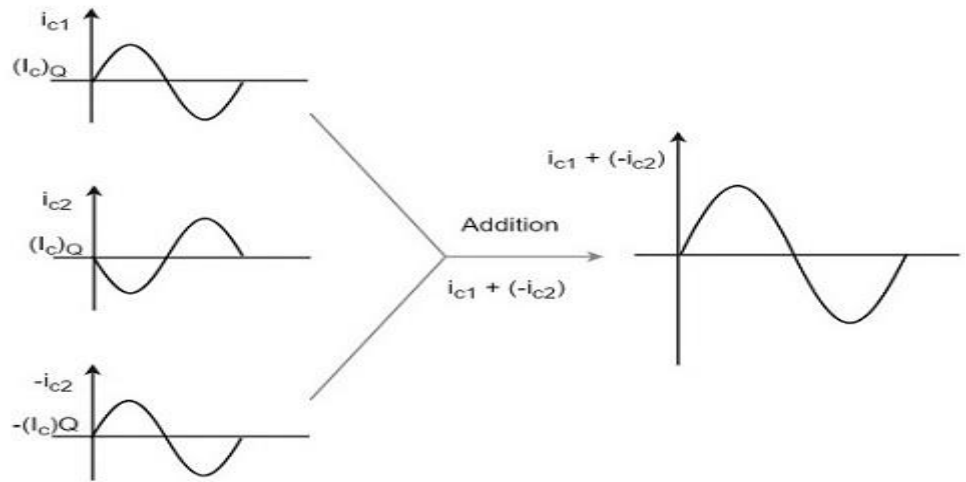
- म्हणून, संपूर्ण भारातील विद्युत दाब हे प्रेरित विद्युत दाब असेल ज्याचे परिमाण कलेक्टर विद्युत प्रवाह च्या फरकाच्या प्रमाणात असेल.

$$(I_{c1} - I_{c2})$$

- त्याचप्रमाणे, Negative इनपुट संदेशासाठी, कलेक्टर विद्युत प्रवाह i_{c2} , i_{c1} पेक्षा जास्त असेल. या प्रकरणात, लोड ओलांडून विकसित विद्युत दाब पुन्हा फरक झाल्यामुळे होईल:

$$I_{c2} > I_{c1}$$

- लोड ओलांडून प्रेरित विद्युत दाब ची ध्रुवीयता उलट केली जाईल
- $I_{c1} - I_{c2} = I_{c1} + (-I_{c2})$
- अधिक चांगल्या प्रकारे समजून घेण्यासाठी, खालील आकृतीचा विचार करूया.



आकृति 1.11: पुश-पुल ॲम्प्लीफायर वेव फॉर्म

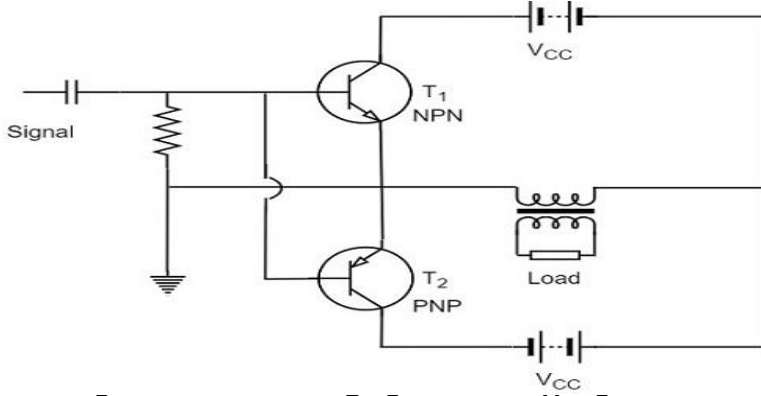
पुश-पुल ॲम्प्लीफायरचे फायदे:-

1. उच्च AC आउटपुट मिळते
2. आउटपुट सम हार्मोनिकसपासून मुक्त आहे
3. रिपल व्होल्टेजचा प्रभाव संतुलित होतो. अपर्याप्त फिल्टरिंगमुळे हे वीज पुरवठ्यामध्ये उपस्थित आहेत.

पुश पुल ॲम्प्लीफायरचे तोटे:

1. ट्रान्झिस्टर एकसारखे असले पाहिजेत, समान प्रवर्धन तयार करतात.
2. ट्रान्सफॉर्मरसाठी केंद्र-टॅपिंग आवश्यक आहे.
3. ट्रान्सफॉर्मर अवजड आणि महाग आहेत.

1.3.7 पूरक सममिती (Complementary Symmetry) पुश-पुल अॅम्प्लीफायर - सर्किट :-

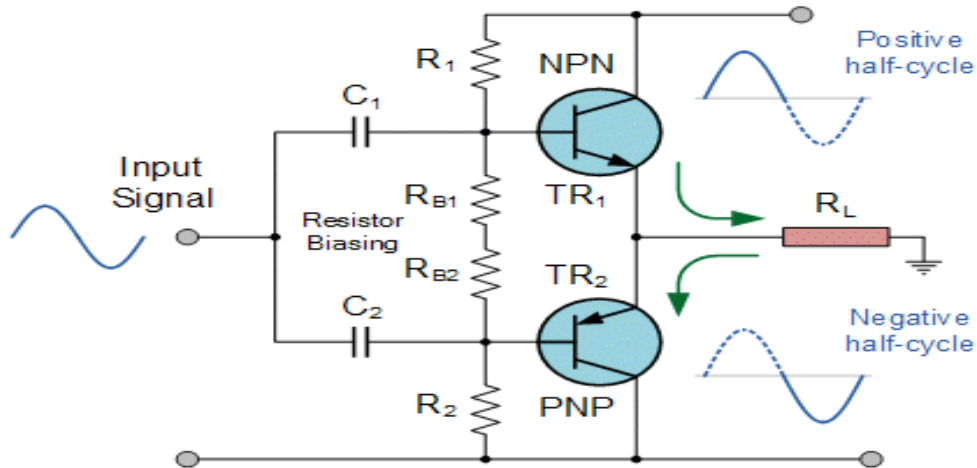


आकृती 1.12 - पूरक सममिती पुश-पुल अॅम्प्लीफायर

पूरक सममिती (Complementary Symmetry) पुश-पुल अॅम्प्लीफायर सर्किटमध्ये NPN ट्रांझिस्टर आणि PNP ट्रांझिस्टर पुश पुल कॉन्फिगरेशनमध्ये जोडलेले आहे. जेव्हा इनपुट संदेश लागू केला जातो, तेव्हा इनपुट सिग्नलच्या सकारात्मक अर्ध्या चक्रादरम्यान, NPN ट्रांझिस्टर चालते आणि PNP ट्रांझिस्टर कट ऑफ होते. निगेटिव्ह हाफ सायकल दरम्यान, NPN ट्रांझिस्टर कट ऑफ होतो आणि PNP ट्रांझिस्टर चालतो.

अशा प्रकारे, इनपुटच्या सकारात्मक अर्ध्या चक्रादरम्यान NPN ट्रांझिस्टर संदेश चा विपुलता वाढतो, तर PNP ट्रांझिस्टर इनपुटच्या नकारात्मक अर्ध्या चक्रादरम्यान विपुलता वाढतो. ट्रांझिस्टर हे दोन्ही एकमेकांना पूरक असल्याने, पुश पुल कॉन्फिगरेशनमध्ये जोडलेले असताना सममितीने कार्य करतात, या सर्किटला पूरक सममिती पुश पुल अॅम्प्लीफायर असे म्हणतात.

1.3.8 ट्रान्सफॉर्मर विहरीत पुशपुल अॅम्प्लीफायर ऑपरेशन



आकृती 1.13: ट्रान्सफॉर्मर विहरीत पुशपुल अॅम्प्लीफायर

इनपुटच्या सकारात्मक अर्ध्या चक्रात ऑपरेशन -

- ट्रांझिस्टर Q1 चे BE जंक्शन फॉरवर्ड पक्षपात आहे आणि Q2 चे रिव्हर्स पक्षपात आहे
- त्यामुळे ट्रांझिस्टर Q1 इनपुट संदेशाच्या संपूर्ण सकारात्मक अर्ध्या चक्रात V_s संपूर्ण लोडवर सकारात्मक अर्ध्या चक्र तयार करतो.

इनपुटच्या नकारात्मक अर्ध्या चक्रात ऑपरेशन -

- PNP ट्रांझिस्टर Q2 चे BE जंक्शन फॉरवर्ड पक्षपात आहे आणि समतुल्य सर्किटमध्ये दाखवल्याप्रमाणे I_{b2} वाहू लागतो
- Q1 चे BE जंक्शन रिव्हर्स पक्षपात आहे म्हणून Q1 बंद राहते

- लोड विद्युत प्रवाह IL, RL मधून उलट दिशेने वाहतो आणि नकारात्मक आउटपुट विद्युत दाब तयार करतो.

पूरक सममिती पुश-पुल अॅम्प्लीफायर फायदा –

1. सेंटर टॅप केलेल्या ट्रान्सफॉर्मरची गरज नसल्याने वजन आणि खर्च कमी होतो.
2. समान आणि विरुद्ध इनपुट सिग्नल व्होल्टेज आवश्यक नाहीत.

पूरक सममिती पुश-पुल अॅम्प्लीफायर अॅम्प्लीफायर चा तोटा:

1. समान वैशिष्ट्ये असलेल्या ट्रान्झिस्टरची जोडी (NPN आणि PNP) मिळणे कठीण आहे.
2. आम्हाला दोन्ही सकारात्मक आणि नकारात्मक पुरवठा व्होल्टेजची आवश्यकता आहे.

पॉवर अॅम्प्लीफायरचे फायदे

1. पावर अॅम्प्लीफायर इनकमिंग सिग्नल ला एम्प्लिफाय करतो, ज्यामुळे स्पीकर्स सारख्या उपकरणांसाठी उच्च-गुणवत्तेचा आणि लो नॉईज संदेश वितरित करणे सोपे होते.
2. पावर अॅम्प्लीफायर प्रणाली ध्वनीच्या गुणवत्तेमध्ये सुधारणा करण्यास मदत करतात. हे कमी विरुपण आणि उच्च रेखीयता मुळे साध्य होते.
3. पावर अॅम्प्लीफायर उष्णता हानी कमी करतात आणि त्यामुळे कार्यक्षमता सुधारते.
4. पावर अॅम्प्लीफायर विविध अनुप्रयोगांमध्ये वापरले जाते, जसे की ऑडिओ वर्धन, RF संदेश प्रसारण, उपभोक्ता अनुविद्युत (consumer electronics), दूरसंचार, औद्योगिक क्षेत्र इ.
5. विविध वर्गाचे पावर अॅम्प्लीफायर उपलब्ध आहेत. प्रत्येक वर्गाची स्वतःचे तपशील असतात. हे योजकाना (designers) प्राणलीच्या गरजेनुसार कॉन्फिगरेशन्स विकसित करण्यात मदत करते.

पॉवर अॅम्प्लीफायरचे तोटे:

1. पॉवर अॅम्प्लीफायर कार्य करत असताना उष्णता निर्माण करतात. त्यामुळे, ओव्हरहीटिंगच्या प्रतिबंधासाठी कूलिंग प्रणाली वापरल्या जातात. यामुळे उपकरणाचा खर्च वाढतो.
2. उच्च उर्जा अनुप्रयोग पॉवर अॅम्प्लीफायर मोठे आणि जड असतात. त्यामुळे ते सहज हाताळता किंवा लहान आकाराच्या उपकरणांमध्ये वापरता येत नाहीत.
3. जेव्हा ट्रान्झिस्टर त्याचे स्टेट्स ON वरून OFF आणि उलट बदलतो, तेव्हा काही विरुपण निर्माण होतात. यामुळे प्रणालीच्या लीनॅरिटीवर परिणाम होतो. उदाहरणार्थ, क्लास B पावर अॅम्प्लीफायर मध्ये, आउटपुट वेवफॉर्ममध्ये क्रॉसओवर विरुपण दिसते. क्लास C मध्ये, आउटपुट वेवफॉर्म विरुपण होतात.
4. उच्च-उर्जा पावर अॅम्प्लीफायर ना अनेकदा जटिल रचना (complex design) आणि अचूक घटक जुळणाची आवश्यकता असते, ज्यामुळे ते निर्माण करणे आव्हानात्मक आणि खर्चिक होते.

पॉवर अॅम्प्लीफायरचे अनुप्रायोग

1. होम थिएटर आणि मैफिलीची ठिकाणे (concert venues) मध्ये स्पीकर्स चालविणे.
2. सेल टॉवर्स आणि सॅटेलाइट मध्ये RF संदेश वायरलेस संप्रेषण करण्यात मदत करतात. पावर अॅम्प्लीफायर मुळे हाय एनर्जी पातळी शक्य होतात ज्यामुळे डेटा हस्तांतरण दर (Transfer rate) आणि वापर वाढतो.
3. रडार प्रणाली मध्ये रडार संदेश वर्धन करून अचूक ऑब्जेक्ट डिटेक्शन करण्यात मदत होते.
4. सर्व्हो मोटर आणि DC मोटरमध्ये वापरले जाते.
5. स्विचिंग प्रकारचे पावर अॅम्प्लीफायर बहुतेक औद्योगिक अॅक्चुएटर प्रणाली नियंत्रित करण्यासाठी वापरले जातात. हे मॅन्युफॅक्चरिंग प्रक्रियेत मोटर्स आणि अॅक्चुएटर्स नियंत्रित करण्यास उपयुक्त आहे.
6. अल्ट्रासाउंड आणि MRI प्रणाली चालविणे अश्या वैद्यकीय उपकरणामध्ये देखील वापरतात. s

1.3.9 पॉवर अॅम्प्लीफायरमधील विकृती

पॉवर ॲम्प्लीफायर मधील विकृती म्हणजे इच्छित आउटपुट संदेशामधून विचलन, ज्यामुळे इनपुट आणि आउटपुट संदेशामध्ये फरक होतो. पॉवर ॲम्प्लीफायर मधील मुख्य विकृतींचे प्रकार पुढीलप्रमाणे आहेत:

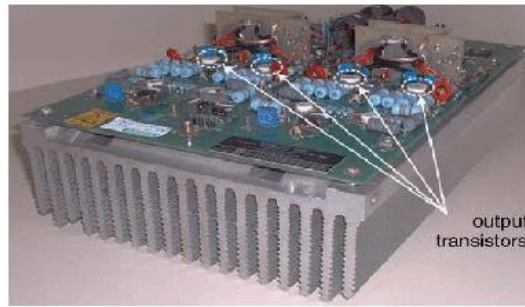
1. **हार्मोनिक विकृती:** जेव्हा आउटपुट संदेशामध्ये मूळ वारंवारतेच्या हार्मोनिक्स (गुणक) जोडले जातात तेव्हा होते.
2. **इंटरमोड्युलेशन विकृती:** जेव्हा भिन्न फ्रिक्वेन्सी मिसळतात, तेव्हा मूळ संदेशामध्ये नसलेल्या नवीन फ्रिक्वेन्सी निर्माण होतात.
3. **क्लॉसओवर विकृती:** Class B आणि AB ॲम्प्लीफायर मध्ये आढळते, हे तरंगाचे सकारात्मक आणि नकारात्मक अर्ध्यामधील संक्रमणादरम्यान होते.
4. **क्लिपिंग विकृती:** जेव्हा ॲम्प्लीफायर ओव्हरड्राईव्ह होतो आणि आउटपुट संदेश ॲम्प्लीफायर च्या जास्तीत जास्त क्षमतेपेक्षा जास्त होतो तेव्हा होते.
5. **फेज विकृती:** जेव्हा भिन्न फ्रिक्वेन्सी भिन्न प्रमाणात विलंबित होतात, तेव्हा वारंवारतेतील फेज संबंध बदलतात.

1.4.1 ऑडिओ पॉवर ॲम्प्लीफायर IC ची सर्वसाधारण वैशिष्ट्ये:

1. इंटरनली निश्चित गेन 50 (34dB)
2. आउटपुट शॉर्ट सर्किट प्रूफ आहे इन्टर्नल थर्मल लिमिटिंगसह.
3. 5 ते 22 V वाइड सप्लाय विद्युत दाब रांग (range).
4. उच्च शिखर विद्युत प्रवाह क्षमता.
5. उच्च प्रतीबाधा (impedance).

1.4.2 हीट सिंक:

हीट सिंक एक धातूचा भाग आहे जो उष्णता एका उपकरणातून (इलेक्ट्रॉनिक घटक जसे की ॲम्प्लीफायर इ.) भोवतालच्या वातावरणात स्थानांतरित करण्यासाठी वापरला जातो, ज्यामुळे उपकरण गरम होण्यापासून प्रतिबंधित होते. उष्णता उपकरणापासून हीट सिंकपर्यंत वहनाद्वारे स्थानांतरित केली जाते. आणि हीट सिंकपासून भोवतालच्या द्रव (हवा) पर्यंत वाहिनीद्वारे स्थानांतरित केली जाते. हीट सिंक उपकरण आणि भोवतालच्या हवेच्या दरम्यान संपर्क पृष्ठभाग क्षेत्र वाढवतात, ज्यामुळे उष्णता विसरण्याची संधी वाढते.



आकृति 1.14: हीट सिंक

यामुळे बहुतेक हीट सिंकमध्ये अंतराने विभाजित फिन्स असतात. फिन्स हीट सिंकचे पृष्ठभाग क्षेत्र वाढवतात/जास्तीत जास्त करतात, ज्यामुळे अधिक उष्णता विसरली जाऊ शकते. कॉपर किंवा ॲल्युमिनियम हीट सिंकच्या निर्मितीसाठी सर्वात जास्त वापरले जाणारे धातू आहेत

स्वाध्याय: (Self Learning)

1. अॅम्प्लीफायरची व्याख्या लिहा.
2. पॉवर अॅम्प्लीफायरचे कार्य सांगा.
3. पॉवर अॅम्प्लीफायरचे प्रकार सूचीबद्ध करा.
4. पॉवर अॅम्प्लीफायरचे संबंधित संज्ञा परिभाषित करा.
 - i. कार्यक्षमता (Efficiency)
 - ii. विद्युत दाब गेन (Voltage gain)
5. आकृति सह क्लास B पुश पुल अॅम्प्लीफायर कार्य समजावा.
6. आकृतिच्या मदतीने क्लास A पॉवर अॅम्प्लीफायरचे कार्य वर्णन करा.
7. आकृति आणि वेवफॉर्मसह क्लास AB पुश पुल पावर अॅम्प्लीफायर चे कार्य समजावा.
8. विभिन्न प्रकारच्या पावर अॅम्प्लीफायर ची तुलना करा –
 - i. कार्यक्षमता
 - ii. ट्रान्झिस्टर मध्ये पावर अपव्यय
 - iii. विद्युत प्रवाहाचा वहन कोन (collector current conduction angle)
 - iv. Q- बिंदु ची स्थिती.
9. पुश पुल अॅम्प्लीफायर चे फायदे आणि तोटे लिहा.
10. दिलेल्या मापदंड च्या आधारे विद्युत दाब अॅम्प्लीफायर आणि पॉवर अॅम्प्लीफायर ची तुलना
(Compare small signal amplifiers and Power amplifiers):
 - a. कलेक्टर विद्युत्विरोधक (R_c)
 - b. कपलिंग
 - c. इनपुट विद्युत दाब
 - d. कलेक्टर विद्युत प्रवाह
 - e. पावर आउटपुट
 - f. आउटपुट इंपिडन्स
11. ट्रान्सफॉर्मर कपल्ड क्लास A पावर अॅम्प्लीफायरची आकृति काढा आणि त्याचे कार्य स्पष्ट करा
12. ट्रान्सफॉर्मर विहरीत पुशपुल अॅम्प्लीफायरचे गरज सांगा.
13. खालील दिलेल्या अनुप्रायोगा मध्ये कोणत्या क्लास चे पावर अॅम्प्लीफायर वापर होतो ते सांगा:
 - a. हाय-फिडेलिटी ऑडिओ
 - b. मोटर नियंत्रण, पावर इन्व्हर्टर
 - c. आरएफ संदेश वर्धन, प्रसारण
 - d. ऑडिओ वर्धन, कार ऑडिओ

लघु प्रकल्प:

1. LM386 वापरून बेसिक ऑडिओ पावर अॅम्प्लीफायर बनवा.
2. इंटीग्रेटेड पावर अॅम्प्लीफायर सह पोर्टेबल ब्लूटूथ स्पीकर प्रणाली बनवा.
3. क्लास A, B, आणि C अॅम्प्लीफायर साठी सर्किट्स बनवा, ऑसिलोस्कोप वापरून विरूपणाचे निरीक्षण करा आणि त्यावर एक रिपोर्ट तयार करा.

संदर्भ / पुस्तके:References

Sr. No.	Title	Author	Publisher with ISBN Number
1.	Applied Electronics	Sedha R.S.	S.Chand, New Delhi,2015 ISBN:9788121927833
2.	Principles Of Electronics	V.K Mehta	S.Chand, New Delhi,2015 ISBN:9788121924504

संकेतस्थळ:

<https://www.geeksforgeeks.org/power-amplifier/>

https://www.tutorialspoint.com/amplifiers/power_amplifiers.htm

<https://youtu.be/2GijhTUQTbw?si=LN9oDVfWd6mLbQKG>

युनिट - 2

अॅम्प्लीफायर आणि त्यांचे ऑपेरेशनल उपयोग

Op-Amp and its applications

विषय निष्पत्ति (Course Outcome):

विविध अनुप्रयोगांसाठी OP-AMP चे वेगवेगळ्या कॉन्फिगरेशन तयार करणे

Construct various configurations of Op-Amp for different applications.

युनिट निष्पत्ति (Unit Outcome):

2.1 OP-AMP च्या दिलेल्या ब्लॉकच्या चे कार्य आकृती सह वर्णन करणे.

Describe with sketches the function of the given block(s) of Op-Amp.

2.2 OP-AMP च्या आदर्श वैशिष्ट्यांची यादी करणे.

List ideal characteristics of Op-Amp.

2.3 OP-AMP चे दिलेल्या पॅरामीटर्स चा व्याख्या करणे.

Define the given parameters of Op-Amp.

2.4 OP-AMP च्या विविद्ध ऑपेरेशन मोडच्या आउटपुट वेव्हफॉर्मचे स्पष्टीकरण करणे.

Interpret the output waveform of given mode of operation of Op-Amp.

2.5 OP-AMP च्या दिलेल्या अंकगणित सर्किट च्या आउटपुट विद्युतदाबची गणना करणे.

Calculate the output voltage of a given arithmetic circuit consisting of Op-Amp.

2.6 OP-AMP आधारीत दिलेल्या ॲप्लिकेशन सर्किटच्या कार्याचे वर्णन करणे.

Describe the working of the given application circuit consisting of Op-Amp.

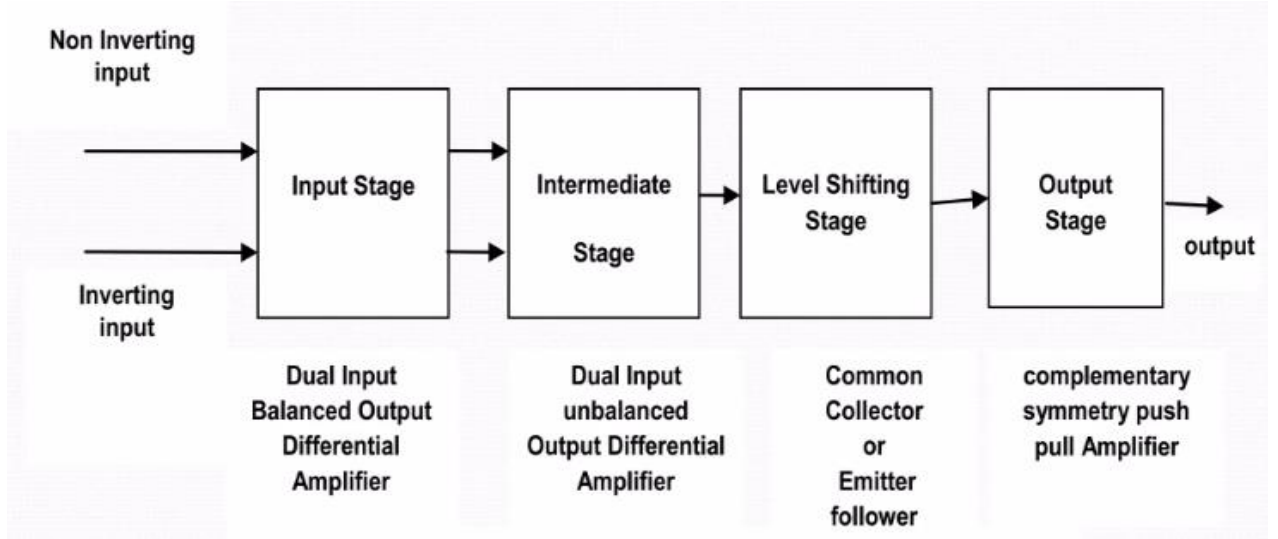
परिचय:

ऑपेरेशनल अॅम्प्लीफायर ला OP-AMP देखील म्हणतात हे एकात्मिक (integrated) सर्किट आहे, जे विविध लिनियर, नॉन-लिनियर आणि गणितीय (mathematical) ऑपेरेशन साठी वापरले जाते. OP-AMP हे डायरेक्ट कपल्ड उच्च गेन अॅम्प्लिफायर आहे. OP-AMP हे AC आणि DC दोन्ही सिग्नलसह कार्यान्वित करता येते. ऑपेरेशनल अॅम्प्लीफायर, किंवा OP-AMP उच्च इनपुट इम्पेडन्स आणि कमी आउटपुट इम्पेडन्स असलेले एक अतिशय उच्च गेन (gain) डिफरेंशियल अॅम्प्लिफायर आहे.

2.1 OP-AMP IC 741

2.1.1 OP-AMP ब्लॉक:

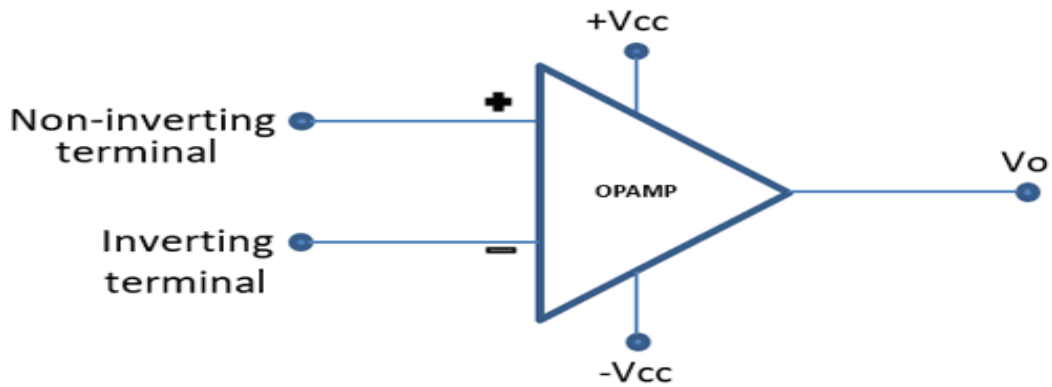
OP-AMP हा मुळात एक डिफरेंशियल अॅम्प्लीफायर आहे, म्हणजे तो त्याच्या डिफरेंशियल इनपुट टर्मिनल्समध्ये उपस्थित असलेला विद्युतदाब वाढवेल (अॅम्प्लीफाय करेल).



आकृती 2.1: OP-AMP चा ब्लॉक आकृती

- इनपुट स्टेज:** इनपुट स्टेज एक ड्युअल इनपुट, संतुलित आउटपुट फरेन्शियल अॅम्प्लिफायर आहे. ह्याला 2 इनपुट असतात, एकाला इनव्हर्टिंग आणि दुसऱ्याला नॉन-इनव्हर्टिंग टर्मिनल असे म्हणतात. हा टप्पा ओपॅम्चा बहुतेक विद्युतदाब गेन (gain) प्रदान करतो आणि ऑपरेशनल अॅम्प्लीफायरला आवश्यक असलेला उच्च इनपुट इम्पेडन्स प्रदान करतो.
- इंटरमीडिएट स्टेज:** इनपुट स्टेजचे आउटपुट हे इंटरमीडिएट स्टेजचे इनपुट म्हणून वापरले जाते. इंटरमीडिएट स्टेज: हा सहसा दुसरा डिफरेंशियल अॅम्प्लिफायर असतो. हा स्टेज एक ड्युअल-इनपुट असंतुलित (unbalanced) आउटपुट डिफरेंशियल अॅम्प्लिफायर असतो. या टप्प्यात, डायरेक्ट कपलिंग होते. तर या टप्प्यात, डीसी विद्युतदाब पोटेंशियल ग्राउंड किंवा 0V पेक्षा जास्त असतो.
- लेव्हल-शिफ्टिंग स्टेज:** पहिल्या 2 स्टेजमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या डायरेक्ट कपलिंगमुळे, लेव्हल शिफ्टिंग स्टेजचे इनपुट शून्य पातळी नसलेली अॅम्प्लिफाइड सिग्नल असते. लेव्हल शिफ्टिंग स्टेजचा वापर ग्राउंडच्या संदर्भात डीसी स्तर (level) शून्य व्होल्टवर आणण्यासाठी केला जातो. येथे स्थिर विद्युत् स्रोतासह ऍमीटर अनुयायी (follower) वापरले जाते.
- आउटपुट स्टेज:** हा टप्पा सामान्यतः एक कॉम्प्लिमेंटरी सिमेट्री पुश-पुल अॅम्प्लिफायर असतो. हे आउटपुट विद्युतदाबचे मॅग्नीट्यूड वाढवते आणि OP-AMP ची विद्युतप्रवाह पुरवठा क्षमता वाढवते. हे OP-AMP चे आउटपुट इम्पेडन्स कमी असल्याची खात्री देखील करते.

OP-AMP चे चिन्ह (Symbol) आकृती क्र. 2.2 मध्ये दाखवले आहे



आकृती क्र. 2.2 OP-AMP चे चिन्ह

2.1.2 OP-amp ची आदर्श वैशिष्ट्ये (Characteristics of OpAmp)

खालील OP-AMP ची आदर्श वैशिष्ट्ये आहेत.

- इन्फायनाईट (infinite) इनपुट इम्पेडन्स
- शून्य आउटपुट इम्पेडन्स Z_{out}
- शून्य इनपुट ऑफसेट विद्युतदाब
- शून्य सामान्य-मोड गेन
- इन्फायनाईट (infinite) ओपन-लूप गेन A
- इन्फायनाईट (infinite) बँडविड्थ.
- इन्फायनाईट कॉमन मोड रिजेक्शन रेशो (CMRR)
- इन्फायनाईट पॉवर सप्लाय रिजेक्शन रेशो (SVRR)

2.1.3 ओपन लूप अँड क्लोज्ड लूप ऍम्प्लिफायर

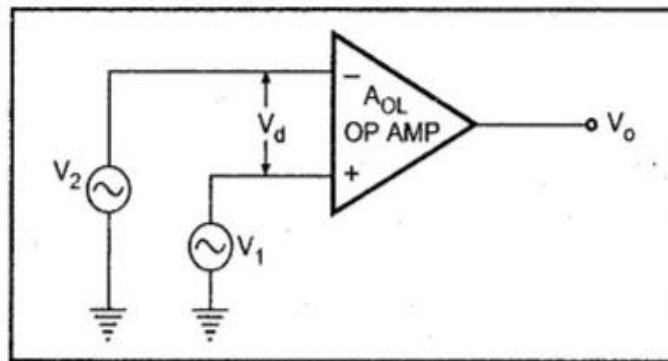
OP-AMP खालील मोडमध्ये कार्यान्वित (operate) केले जाऊ शकते.

i) **ओपन लूप (Open loop):** ओपन लूप मोड मध्ये आउटपुट दोनपैकी एक म्हणजे $+V_{sat}$ किंवा $-V_{sat}$ आउटपुट स्थिती गृहीत धरले जाते. ह्या मोड मध्ये OP-AMP फक्त स्विच म्हणून काम करतो.

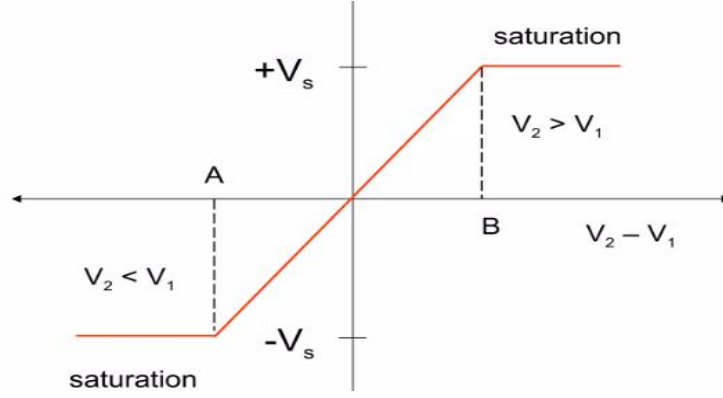
ii) **क्लोज्ड लूप (close loop):** क्लोज्ड लूप मोड मध्ये OP-AMP ची उपयुक्तता निगेटिव्ह फीडबॅक देऊन खूप जास्त वाढवता येते. ह्या मोड मध्ये आउटपुट सॅच्युरेशन मध्ये न जाता सर्किट लिनिअर पद्धतीने काम करते.

i) **ओपॅम्चे ओपन लूप कॉन्फिगरेशन (Open loop Configuration):**

OP-AMP चे ओपन लूप कॉन्फिगरेशन - OP-AMP वापरण्याचा सर्वात सोपा मार्ग म्हणजे ओपन लूप मोड. ओपन लूप कंडिशनमध्ये गेन खूप मोठा असतो. जेव्हा $V_1 > V_2$ म्हणजेच नॉनव्हर्टिंग टर्मिनल वरिल विद्युतदाब इनव्हर्टिंग विद्युतदाबपेक्षा जास्त असते तेव्हा आउटपुट विद्युतदाब V_o त्याच्या पॉझिटिव्ह सॅच्युरेशन विद्युतदाब म्हणजे $+V_{sat}$ होतो आणि जेव्हा $V_2 > V_1$ म्हणजेच इनव्हर्टिंग टर्मिनल वरिल विद्युतदाब नॉन इनव्हर्टिंग टर्मिनल वरिल विद्युतदाब पेक्षा जास्त असते तेव्हा आउटपुट विद्युतदाब V_o त्याच्या निगेटिव्ह सॅच्युरेशन विद्युतदाब म्हणजे $-V_{sat}$ होतो.



आकृती क्र. 2.3 ओपन लूप (Open loop) कॉन्फिगरेशन



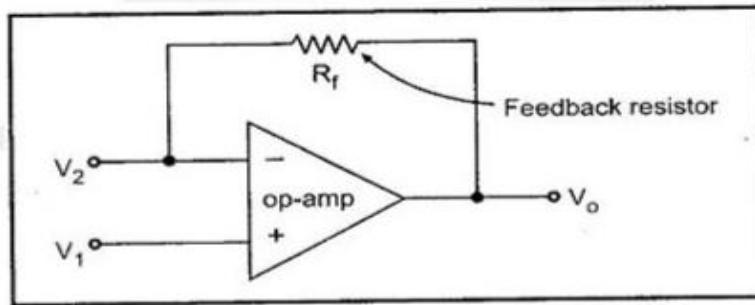
आकृती क्र. 2.4 विद्युतदाब ट्रान्सफर वैशिष्ट्ये

आकृती क्र. 2.4 मध्ये दाखवलेल्या विद्युतदाब ट्रान्सफर वैशिष्ट्ये प्रमाणे OP-AMP चे आउटपुट बिंदू a ते b पर्यंत टर्मिनलच्या एका रेन्ज साठी लिनियर असते. ही रेन्ज खूपच लहान आहे आणि प्रॅक्टिकली उच्च ओपन लूप गेन OP-AMP ची एकतर $+V_{sat}$ किंवा $-V_{sat}$ पातळी दर्शवते. ओपन लूप कंडिशनमध्ये गेन खूप मोठा असल्याने आउटपुट विद्युतदाब V_o एकतर त्याच्या पॉझिटिव्ह सॅचुरेशन विद्युतदाब ($+V_{sat}$), जेव्हा ($V_1 > V_2$) किंवा नेगेटिव्ह सॅचुरेशन विद्युतदाब ($-V_{sat}$) जेव्हा ($V_2 > V_1$) असतो.

OP-AMP च्या ह्या वैशिष्ट्या मुळे OP-AMP ओपन लूप मोडमध्ये लिनियर स्मॉल सिग्नल ॲम्प्लिफायर म्हणून काम करण्यास OP-AMP ची असमर्थता दर्शवते. म्हणून ओपन लूप कॉन्फिगरेशनमध्ये OP-AMP चा वापर केला जात नाही. OP-AMP च्या अशा ओपन लूप वर्तनामुळे OP-AMP चा विद्युतदाब कंपॅरेटर, शून्य क्रॉसिंग डिटेक्टर इत्यादी काही दुर्मिळ अनुप्रयोग (ॲप्लिकेशन्स) मध्ये केला जातो.

ii) OP-AMP चे क्लोज्ड लूप कॉन्फिगरेशन

क्लोज्ड लूप मोडमध्ये वापरल्यास OP-AMP ची उपयुक्तता लक्षणीय वाढते. फीडबॅक वापरून OP-AMP चे क्लोज्ड लूप कॉन्फिगरेशन शक्य आहे. म्हणून फीडबॅक आउटपुटचा काही भाग परत इनपुटला दिला जातो. लिनियर अनुप्रयोग मध्ये OP-AMP ला नेहमी निगेटिव्ह फीडबॅक वापरले जाते. OP-AMP चे फीडबॅक गेन नियंत्रित करण्यास मदत करते जे अन्यथा OP-AMP ला सॅचुरेशन मोड मध्ये कार्यान्वित करते.

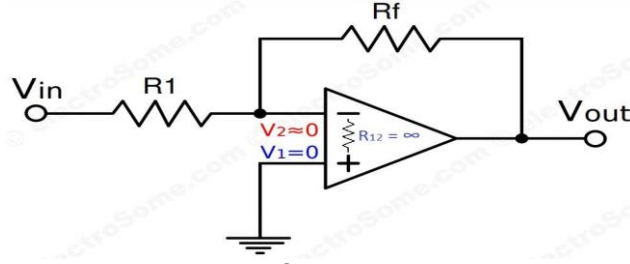


आकृती क्र. 2.5 OP-AMP चे क्लोज्ड लूप कॉन्फिगरेशन

आकृती क्र. 2.5 मध्ये दर्शविल्या प्रमाणे OP-AMP च्या आउटपुट आणि इनपुट मध्ये रेझिस्टर जोडून निगेटिव्ह फीडबॅक होतो. ह्या रेझिस्टर ला फीडबॅक रेझिस्टर असे म्हणतात, कारण हा फीडबॅक रेझिस्टर OP-AMP च्या आउटपुटला आणि इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलशी जोडलेला असतो. फीडबॅकच्या परिणामी मिळणाऱ्या गेनला OP-AMP चे क्लोज्ड (closed) लूप गेन असे म्हणतात. ह्या फीडबॅक रेझिस्टर R_f मुळे OP-AMP चे ओव्हरऑल गेन कमी होतो. हा लिनियर सर्किट्स OP-AMP च्या क्लोज्ड लूप मोडमध्ये वापरतात. याचे कारण असे की गेन कमी झाल्यामुळे OP-AMP चे आउटपुट सॅचुरेशन मध्ये जात नाही आणि सर्किट एक लिनियर पद्धतीने काम करते.

2.1.4 व्हर्चुअल ग्राउंड संकल्पना

व्हर्चुअल ग्राउंड संकल्पना बहुतेक OP-AMP अनुप्रयोगच्या मूलभूत गोष्टी बनवते: व्हर्चुअल ग्राउंड संकल्पनेची व्याख्या म्हणजे इनव्हर्टिंग टर्मिनलवरील विद्युतदाब हे नॉन इनव्हर्टिंग टर्मिनलच्या विद्युतदाबच्या बरोबरीचे असते.



आकृती क्र. 2.6 इनव्हर्टिंग ॲम्प्लिफायर

OP-AMP नॉन-इनव्हर्टिंग आणि इनव्हर्टिंग टर्मिनलमधील विद्युतदाबमधील फरक V_{id} ॲम्प्लिफाय करते.

$$V_{id} = V_1 - V_2$$

प्रेक्टिकली ओपन लूप OP-AMP चा गेन A_{OL} इन्फिनिटी आहे

$$A_{OL} = \frac{V_{out}}{V_{id}} = \frac{V_{out}}{V_1 - V_2} = \infty$$

ज्याअर्थी $V_{id} = 0$

$$V_1 = 0$$

$$V_2 = 0$$

त्या अर्थी

$$V_{id} = V_1 - V_2 = 0 = \text{म्हणजेच दोन्ही ग्राउंड.}$$

OP-AMP मध्ये व्हर्चुअल ग्राउंड याचा अर्थ असा होतो की जेव्हा विद्युतदाब $V_1 = 0V$ हे ग्राउंड असते तेव्हा विद्युतदाब V_2 हे देखील व्हर्चुअली $0V$ च्या जवळपास असते. येथे नोंद घ्या की V_2 हे भौतिकदृष्ट्या ग्राउंडशी जोडलेले नाही.

2.1.5 IC-741 आणि पिन कॉन्फिगरेशन आहे

OP-AMP IC 741 किंवा LM741 हे सर्वात जास्त वापरले जाणारे ऑपरेशनल ॲम्प्लिफायर इंटिग्रेटेड सर्किट्सपैकी एक आहे जे गणितीय ऑपरेशन्स आणि ॲम्प्लीफिकेशन दोन्ही पण कार्ये करते. ही IC मुख्यत्वे गणितीय क्रिया जसे की बेरीज, वजाबाकी, गुणाकार, भागाकार, डिफरेंसीएशन, इंटिग्रेशन इत्यादी करते.

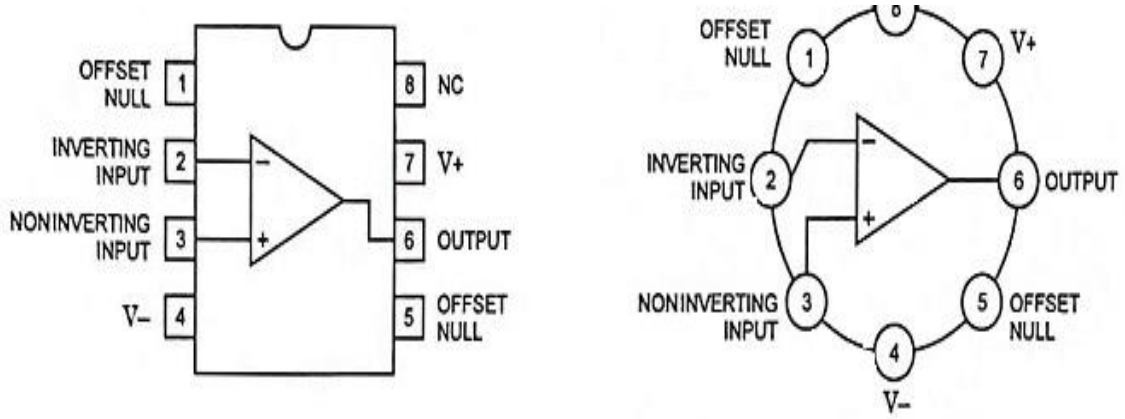
हे BJT किंवा FETS चे बनलेले उच्च गेन ॲम्प्लिफायर आहे.

2.1.6 OP-AMP IC 741 चे मुख्य वैशिष्ट्ये (Characteristics of Opamp)

खालील OP-AMP IC 741 ची मुख्य वैशिष्ट्ये आहेत:

- वीज पुरवठा: योग्य कार्यक्षमतेसाठी, त्याला किमान 5V पुरवठा आवश्यक आहे आणि 18V पर्यंत हाताळू शकतो.
- विद्युतदाब गेन सुमारे 2,00,000 आहे.
- इनपुट इम्पेडन्स सुमारे 2 MΩ.
- आउटपुट इम्पेडन्स सुमारे 75 Ω.
- विद्युतदाब गेन: किमान फ्रिक्वेन्सी (frequency) रेंज साठी 2,00,000.
- स्ल्यू रेट : 0.5V/μs.
- इनपुट ऑफसेट: 2mV-6mV.
- आउटपुट लोड: 2KΩ
- मॅक्सिमम आउटपुट विद्युतप्रवाह: 20 mA

2.1.7 IC-741 पिन कॉन्फिगरेशन



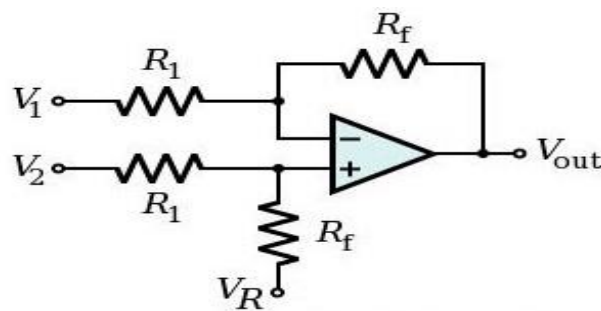
आकृती क्र. 2.7 IC-741 पिन कॉन्फिगरेशन

2.2 OP-AMP चे पॅरामीटर्स:

i. इनपुट ऑफसेट विद्युतदाब (Input Offset Voltage) V_{io}

OP-AMP च्या इनव्हर्टिंग आणि नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनल्सवर वर कोणतेही बाह्य इनपुट सिग्नल अपलाय न केल्यास आउटपुट शून्य असणे आवश्यक आहे. म्हणजे, जर $V_1 = 0$, $V_2 = 0$ तर $V_o = 0$ असायला पाहिजे. परंतु दिलेल्या बायसिंग सप्लाय विद्युतदाब मुळे, $+V$ आणि $-V$ असते एक मर्यादित बायस विद्युतप्रवाह काढलेला OP-AMP मधून फ्लो होतो आणि डिफरेंशियल अॅम्प्लिफायर कॉन्फिगरेशनवर असिमेट्रीचा परिणाम म्हणून, आउटपुट शून्य होत नाही. हे ऑफसेट म्हणून ओळखले जाते. $V_1 = 0$ असताना V_o शून्य असणे आवश्यक असल्याने, इनपुट-सिग्नल असे अपलाय करणे आवश्यक आहे की आउटपुट ऑफसेट रद्द होईल आणि V_o शून्य केले जाईल. हेच इनपुट शून्य असतांना देखील मिळालेले आउटपुट ऑफसेट विद्युतदाब म्हणून ओळखले जाते. हे आता ह्याच ऑफसेट ला रद्द करण्यासाठी जी काही कमित कामी इनपुट विद्युतदाब OP-AMP च्या इनपुट टर्मिनल्स ना घवी लगते त्या विद्युतदाबला हे ऑफसेट विद्युतदाब म्हणून ओळखले जाते. हे आकृती क्र. 2.3 मध्ये दर्शविले आहे.

इनपुट ऑफसेट विद्युतदाब चे आदर्श मूल्य. $V_{io} = 0$ V आहे. प्रॅक्टिकल मूल्य $\pm 2\text{mV}$ आहे.



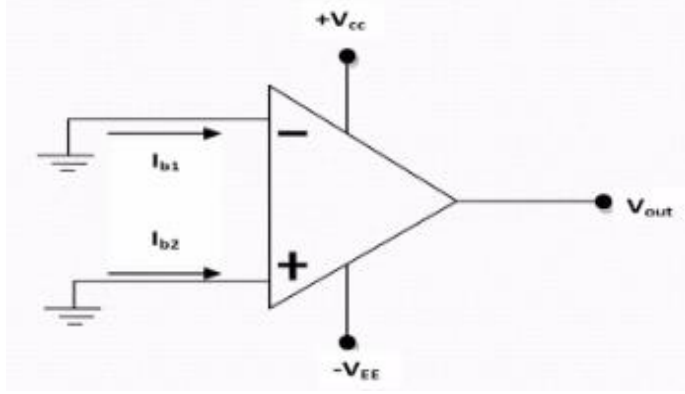
आकृती क्र. 2.8 इनपुट ऑफसेट विद्युतदाब

ii) इनपुट ऑफसेट विद्युत् प्रवाह (Input Offset Current) I_{io}

जरी आदर्श OP-AMP साठी इनपुट प्रतिबाधा ∞ असला आणि प्रॅक्टिकली इनपुट प्रतिबाधा जास्त असला तरी ही, आयसी (IC) च्या विद्युतदाबच्या स्त्रोतापासून लहान विद्युत प्रवाह वाहतो. इनव्हर्टिंग आणि नॉन-इनव्हर्टिंग टर्मिनल्समधील प्रवाहांमधील अलजेब्रिक फरक इनपुट ऑफसेट विद्युत् प्रवाह I_{io} म्हणून ओळखला जातो.

$$I_{io} = I_{b2} - I_{b1}$$

इनपुट ऑफसेट विद्युत् प्रवाह चे आदर्श मूल्य 0 आहे आणि प्रॅक्टिकल मूल्य 20nA आहे.



आकृती क्र. 2.9 इनपुट ऑफसेट विद्युत् प्रवाह

iii) ओपन लूप विद्युतदाब गेन (Open loop voltage gain) A_v

OP-AMP च्या ओपन लूप विद्युतदाब गेन हा कोणत्याही फीडबॅक मार्गाशिवाय त्याचा डिफरेंशियल गेन आहे. गणितानुसार, OP-AMP चे ओपन लूप विद्युतदाब गेन असे दर्शविले जाते:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

आदर्श मूल्य ∞ आहे. प्रॅक्टिकल मूल्य 200000 आहे.

iv) आउटपुट ऑफसेट विद्युतदाब (Output offset voltage) V_{oo}

OP-AMP चे दोन्ही इनपुटवर विद्युतदाब शून्य असतांना म्हणजेच OP-AMP च्या दोन्ही इनपुट टर्मिनल ग्राउंड असतांना त्याच्या आउटपुटवर काही विद्युतदाब मिळते, त्या विद्युतदाब (V_{oo}) आउटपुट ऑफसेट विद्युतदाब असे म्हणतात. आउटपुट ऑफसेट विद्युतदाब चे आदर्श मूल्य 0 आहे आणि प्रॅक्टिकल मूल्य 20 mV आहे.

v) कॉमन मोड रिजेक्शन रेशो (Common Mode Rejection Ratio) CMRR

OP-AMP चे कॉमन मोड रिजेक्शन रेशो (CMRR) हे क्लोज लूप डिफरेंशियल गेन आणि कॉमन मोड गेन A_{cm} चे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले आहे.

$$CMRR = A_d / A_{cm}$$

डिफरेंशियल विद्युतदाब गेनची व्याख्या अशी केली आहे: $A_d = V_o / V_{id}$

जिथे V_{id} हा डिफरेंशियल इनपुट आहे ($V_1 - V_2$) आहे.

आदर्श मूल्य ∞ आहे. प्रॅक्टिकल मूल्य 90dB आहे

vi) इनपुट रेझिस्टन्स (Input Resistance) R_i

OP-AMP चे दुसरे टर्मिनल ग्राउंड शी जोडले असतांना त्याच्या एकतर इनव्हर्टिंग किंवा नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवर मोजलेल्या रेझिस्टन्स असे म्हणतात.

आदर्श मूल्य $= \infty \Omega$,

प्रॅक्टिकल मूल्य $= 2 M\Omega$.

vii) पॉवर सप्लाय रिजेक्शन रेशो Power Supply Rejection Ratio (PSRR)

बदललेल्या इनपुट ऑफसेट विद्युतदाब V_{io} आणि बदललेल्या पॉवर सप्लाय विद्युतदाब च्या गुणोत्तरा ला PSRR म्हणून ओळखले जाते.

$$PSRR = \Delta V_{io} / \Delta V_{cc} \quad \mu V/V$$

VEE स्थिर असतो किंवा

$$PSRR = \Delta V_{io} / \Delta V_{EE} \quad \mu V/V$$

VCC स्थिर असतो

आदर्श मूल्य = 0, प्रॅक्टिकल मूल्य = 30 $\mu V/V$

viii) स्लू रेट (slew rate) SR

स्लू रेट प्रत्येक युनिट वेळेसाठी OP-AMP च्या आउटपुट विद्युतदाब (V_o) च्या बदलाचा (change) दर स्लू रेट म्हणून परिभाषित केला जातो आणि तो 'SR' ने दर्शविले जाते.

प्रति युनिट वेळेनुसार आउटपुट विद्युतदाबच्या बदलाचा कमाल (maximum) दर (rate) म्हणून त्याची व्याख्या केली जाते.

$$SR = \Delta V_o / \Delta t \max$$

जीथे, V_o आउटपुट विद्युतदाब आहे.

सर्वसाधारणपणे, स्ल्यू रेट चे मूळ माप (unit) $V/\mu s$ किंवा V/ms आहे .

आदर्श मूल्य = 0,

प्रॅक्टिकल मूल्य = 80V/ μs .

ix) इनपुट बायस विद्युत् प्रवाह (Input Bias Current) I_b

इनपुट बायस विद्युत् प्रवाह (I_b) ही दोन्ही टर्मिनल्सवरील इनपुट विद्युतदाब शून्य असताना ऑपरेशनल ऍम्प्लिफायरच्या दोन इनपुट टर्मिनल्समध्ये प्रवेश करणाऱ्या प्रवाहांची सरासरी आहे. इनपुट बायस विद्युत् प्रवाह सामान्यतः नॅनोअॅम्पिअर्स ते पिकोअॅम्पिअर्सच्या श्रेणीमध्ये आहे.

$$I_b = \frac{I_{b2} + I_{b1}}{2}$$

इनपुट बायस विद्युत् प्रवाह ची आदर्श मूल्य 0 आहे आणि प्रॅक्टिकल मूल्य 80 nA आहे.

X) आउटपुट इम्पेडन्स (Output Impedance) Z_{out}

OP-AMP चे आउटपुट इम्पेडन्स सामान्यतः खूप कमी असते, आदर्श (ideally) शून्य असते. हा कमी आउटपुट इम्पेडन्स पुश-पुल आउटपुट स्टेजसह उच्च-गेन ऍम्प्लिफायर वापरून प्राप्त केला जातो . कमी आउटपुट प्रतिबाधा OP-AMP ला स्थिर आउटपुट विद्युतदाब राखून वेगवेगळ्या इम्पेडन्स मूल्यांसह लोड चालविण्यास अनुमती देते. हे सुनिश्चित करते की OP-AMP चे आउटपुट विद्युतदाब त्याच्याशी जोडलेल्या लोडमुळे अर्थपूर्णतेने (significantly) प्रभावित होत नाही.

OP-AMP मध्ये आउटपुट इम्पेडन्स 100-20k Ω च्या श्रेणीमध्ये आहे.

आदर्श मूल्य = 0 Ω ,

प्रॅक्टिकल मूल्य = 75 Ω

xi) बँडविड्थ (bandwidth) BW.

आदर्श ऑपरेशनल ऍम्प्लिफायरमध्ये इन्फिनिटी फ्रिक्वेन्सी रेस्पॉन्स असतो आणि तो DC ते सर्वोच्च AC फ्रिक्वेन्सीपर्यंत कोणत्याही फ्रिक्वेन्सी सिग्नलला ऍम्प्लिफाय करू शकतो म्हणून त्याला इन्फिनिटी बँडविड्थ आहे असे गृहीत धरले जाते.

वास्तविक OP-AMP सह, बँडविड्थ गेन-बँडविड्थ उत्पादन (GB) द्वारे मर्यादित असते, जी वारंवारतेइतकी असते जेथे ऍम्प्लिफायर्सचा गेन युनिटी होते.

आदर्श मूल्य = ∞ ,

प्रेक्टिकल मूल्य = 1MHz.

xii) गेन बँडविड्थ प्रोडक्ट (Gain bandwidth product) GB.

नावाप्रमाणेच, GB हे ॲम्प्लिफायरच्या गेनचे आणि बँडविड्थचे प्रोडक्ट आहे.

GB = Gain x Bandwidth = A x BW

GB त्या फ्रिक्वेन्सी पॉईंटवर मोजले जाते ज्यावर ऑपरेशनल ॲम्प्लिफायरचा गेन युनिटी होतो. हे महत्त्वाचे आहे कारण ते वापरकर्त्याला वेगवेगळ्या फ्रिक्वेन्सीवर डिझाईसच्या ओपन-लूप गेनची गणना करण्यास अनुमती देते. ऑपरेशनल ॲम्प्लिफायरचे GB हे सामान्यतः त्याच्या उपयुक्ततेचे आणि कार्यक्षमतेचे मोजमाप असते, कारण उच्च GB सह OP-AMP उच्च फ्रिक्वेन्सीवर चांगली कार्यक्षमता प्राप्त करण्यासाठी वापरली जाऊ शकते.

गेन बँडविड्थ प्रोडक्ट स्थिर असते.

xiii) थर्मल ड्रिफ्ट:

बायस विद्युत् प्रवाह, ऑफसेट विद्युत् प्रवाह आणि ऑफसेट विद्युतदाब तापमानासह बदलतात. 25°C वर काळजीपूर्वक हाताळलेले सर्किट ला जेव्हा तापमान 35°C पर्यंत वाढते तेव्हा तसे राहू शकत नाही. याला थर्मल ड्रिफ्ट म्हणतात. बऱ्याचदा विद्युत् प्रवाह ड्रिफ्ट nA/°C मध्ये आणि ऑफसेट विद्युतदाब ड्रिफ्ट mV/°C मध्ये व्यक्त केला जातो.

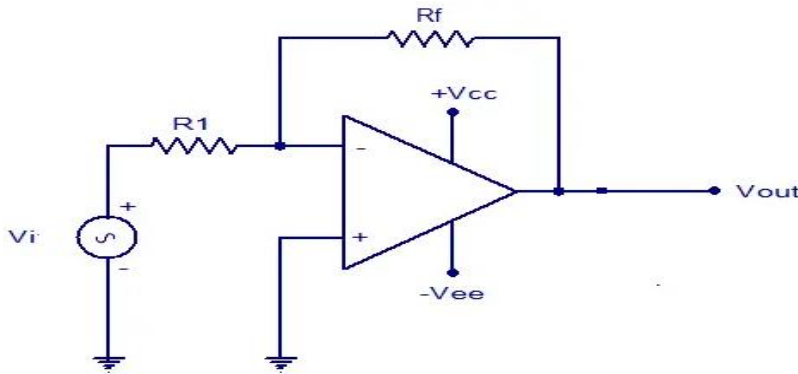
ओपॅम्साठी ऑफसेट ड्रिफ्ट 1-10 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ च्या श्रेणीत असू शकते.

2.3 क्लोज लूप कॉन्फिगरेशन: इनव्हर्टिंग आणि नॉन-इनव्हर्टिंग

2.3.1 इनव्हर्टिंग ॲम्प्लीफायर

इनव्हर्टिंग ॲम्प्लीफायर त्याच्या इनव्हर्टिंग टर्मिनलद्वारे, रेझिस्टर R1 द्वारे इनपुट घेते आणि आउटपुट ला त्याची ॲम्प्लीफाइड आवृत्ती तयार करते. हे ॲम्प्लीफायर केवळ इनपुट वाढवत नाही तर ते उलट देखील करते (त्याचे चिन्ह बदलते).

इनव्हर्टिंग ॲम्प्लीफायरचे सर्किट डायग्राम आकृती क्र. 2.9 मध्ये दर्शविले आहे:



आकृती क्र. 2.10 इनव्हर्टिंग ॲम्प्लीफायर

OP-AMP च्या इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवरील विद्युतदाब त्याच्या नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवरील विद्युतदाबच्या बरोबरीचे आहे. भौतिकदृष्ट्या, त्या दोन टर्मिनल्समध्ये शॉर्ट सर्किट नाही परंतु व्हर्चुअली ते एकमेकांशी शॉर्ट आहेत.

वर दर्शविलेल्या सर्किटमध्ये, नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनल ग्राउंड आहे. म्हणजे OP-AMP च्या नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवर 0V दिले जाते तेव्हा व्हर्चुअल शॉर्ट संकल्पनेनुसार, OP-AMP च्या इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवरील विद्युतदाब 0V असेल.

या टर्मिनलच्या नोडवरील नोडल समीकरण (equation) खाली दर्शविल्याप्रमाणे आहे:

$$\frac{0-V_i}{R_1} + \frac{0-V_o}{R_f} = 0$$

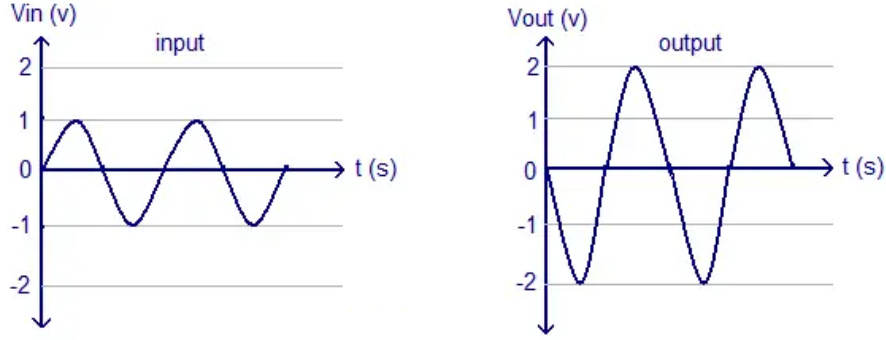
$$\frac{-V_i}{R_1} = \frac{V_o}{R_f}$$

$$V_o = \left(-\frac{R_f}{R_1}\right) V_i$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \left(-\frac{R_f}{R_1}\right)$$

आउटपुट विद्युतदाब V_o आणि इनपुट विद्युतदाब V_i चे गुणोत्तर (ratio) म्हणजे इनव्हर्टिंग ॲम्प्लिफायरचा विद्युतदाब-गेन किंवा गेन $\left(-\frac{R_f}{R_1}\right)$ आहे .

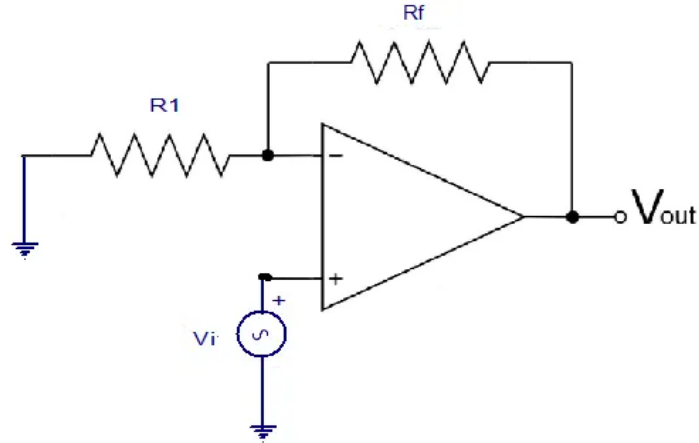
लक्षात घ्या की इनव्हर्टिंग ॲम्प्लिफायरच्या गेन समीकरणाला नेगेटिव्ह चिन्ह आहे. ते सूचित करते की इनपुट आणि आउटपुटमध्ये 180° फेज डिफरन्स आहे जे आकृती क्र. 2.6 मध्ये दर्शविले आहे,



आकृती क्र. 2.11 OP-AMP चे इनव्हर्टिंग ॲम्प्लिफायरचे इनपुट आणि आउटपुट वेवफॉर्म

2.3.2 नॉन इनव्हर्टिंग ॲम्प्लिफायर

नॉन-इनव्हर्टिंग ॲम्प्लिफायर त्याच्या नॉन-इनव्हर्टिंग टर्मिनलद्वारे इनपुट घेते आणि आउटपुट म्हणून त्याची ॲम्प्लिफाइड रूपात (version) तयार करते. नावाप्रमाणेच, हे ॲम्प्लिफायर आउटपुटचे चिन्ह उलटे किंवा न बदलता फक्त इनपुट ॲम्प्लिफाय करते . नॉन-इनव्हर्टिंग ॲम्प्लिफायरचे सर्किट डायग्राम आकृती क्र. 2.12 मध्ये दर्शविले आहे:



आकृती क्र. 2.12 नॉन इनव्हर्टिंग ॲम्प्लिफायर

वरील सर्किटमध्ये, इनपुट विद्युतदाब V_i थेट OP-AMP च्या नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवर दिले आहे. तर, OP-AMP च्या नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवरील विद्युतदाब V_i आहे .

विद्युतदाब डिव्हिजन प्रिंसिपल वापरून, पुढे दिल्याप्रमाणे OP-AMP च्या इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवर विद्युतदाबची V_1 ची गणना करू शकतो:

$$\Rightarrow V_1 = V_{out} \cdot \left(\frac{R_1}{R_1 + R_f}\right)$$

व्हर्चुअल शॉर्ट संकल्पनेनुसार, OP-AMP च्या इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवरील विद्युतदाब त्याच्या नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवरील विद्युतदाबसारखेच असते.

$$\Rightarrow V_1 = V_i$$

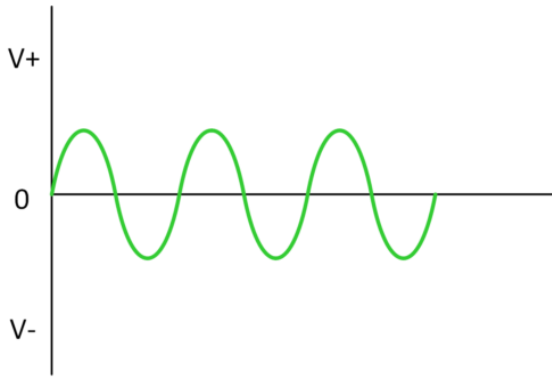
$$\Rightarrow V_{out} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_f} \right) = V_i$$

$$\Rightarrow \frac{V_{out}}{V_i} = \frac{R_1 + R_f}{R_1}$$

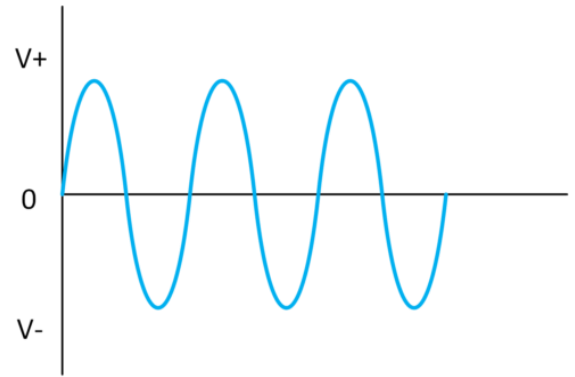
$$\Rightarrow \frac{V_{out}}{V_i} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

आउटपुट विद्युतदाब V_{out} आणि इनपुट विद्युतदाब V_i चे गुणोत्तर किंवा नॉन-इनव्हर्टिंग ॲम्प्लिफायरचे विद्युतदाब-गेन किंवा गेन $(1 + \frac{R_f}{R_1})$ आहे.

नॉन-इनव्हर्टिंग ॲम्प्लिफायरच्या गेन चे पॉसिटीव्ह चिन्ह हे सूचित करते की इनपुट आणि आउटपुट फेझ मध्ये आहे .



Input Signal



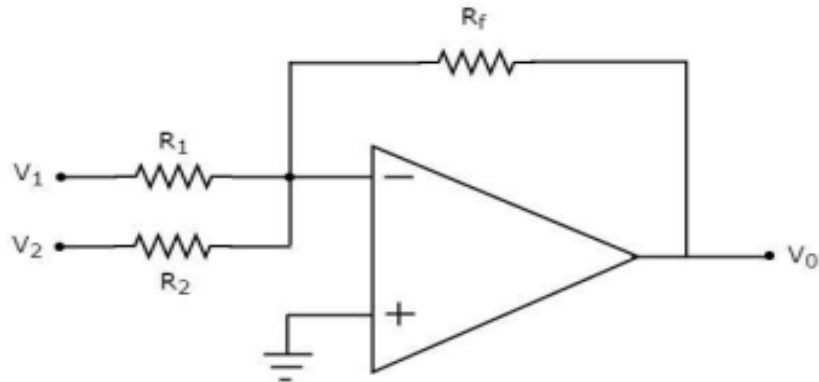
Output Signal

आकृती क्र. 2.13 OP-AMP चे नॉन इनव्हर्टिंग ॲम्प्लीफायरचे इनपुट आणि आउटपुट वेवफॉर्म

2.4 OP-AMP चे बेसिक गणितीय अनुप्रयोग (Applications).

2.4.1 ॲडर (Adder)

ॲडर (Adder) हे एक इलेक्ट्रॉनिक सर्किट आहे जे दिलेल्या इनपुटला जोडून आउटपुट तयार करते. OP-AMP आधारित ॲडर त्याच्या इनव्हर्टिंग टर्मिनलवर दिलेल्या इनपुट विद्युतदाबांना जोडून आउटपुट देतो. याला समिंग ॲम्प्लीफायर असेही म्हटले जाते कारण आउटपुट चे ॲप्लिट्यूड वाढते .



आकृती क्र. 2.14 OP-AMP आधारित ॲडर सर्किट

आकृती क्र. 2.14 सर्किटमध्ये, OP-AMP चे नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनल ग्राउंड ला जोडलेले आहे. याचा अर्थ त्याच्या नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवर शून्य व्होल्ट लागू केले आहे.

व्हर्चुअल शॉर्ट संकल्पनेनुसार, ओपॅम्च्या इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवरील विद्युतदाब त्याच्या नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवरील विद्युतदाबसारखेच असते , तर: OP-AMP च्या इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवरील विद्युतदाब शून्य व्होल्ट असेल.

इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलच्या नोडवर नोडल समीकरण (equation) KVL असे आहे.

$$\frac{0-V_1}{R_1} + \frac{0-V_2}{R_2} + \frac{0-V_0}{R_f} = 0$$

$$\Rightarrow -\frac{V_1}{R_1} - \frac{V_2}{R_2} = \frac{V_0}{R_f}$$

$$\Rightarrow V_0 = -\left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2}\right) R_f$$

$$\text{जर } R_1 = R_2 = R_f = R,$$

मग आउटपुट विद्युतदाब V_0 असेल

$$V_0 = -R \left(\frac{V_1}{R} + \frac{V_2}{R} \right)$$

$$\Rightarrow V_0 = -(V_1 + V_2)$$

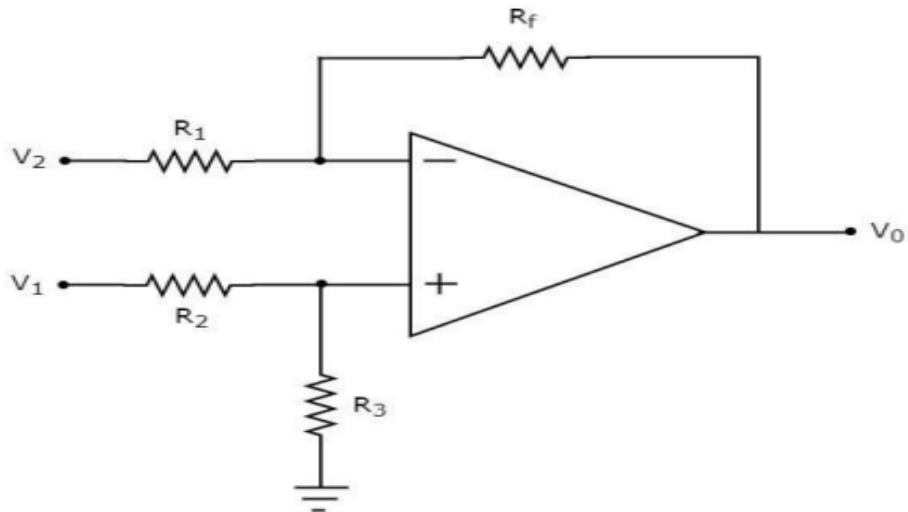
वर चर्चा केलेले OP-AMP आधारित अँडर सर्किट दोन इनपुट विद्युतदाबची V_1 आणि V_2 ची बेरीज आउटपुट म्हणून तयार करेल, जेव्हा सर्किटमध्ये उपस्थित असलेले सर्व रेझिस्टर समान मूल्याचे असतात. लक्षात घ्या की अँडर सर्किटच्या आउटपुट विद्युतदाब V_0 मध्ये नेगेटिव्ह चिन्ह आहे, जे सूचित करते की इनपुट आणि आउटपुटमध्ये 180° फेज फरक आहे.

2.4.2 सबट्रॅक्टर (Subtractor)

सबट्रॅक्टर(Subtractor) हे एक इलेक्ट्रॉनिक सर्किट आहे जे दिलेल्या इनपुटला वजा करून आउटपुट तयार करते. हा विभाग OP-AMP आधारित सबट्रॅक्टर सर्किटबद्दल चर्चा करतो.

OP-AMP आधारित सबट्रॅक्टर त्याच्या इनव्हर्टिंग आणि नॉन-इनव्हर्टिंग टर्मिनलसवर दिलेल्या इनपुट विद्युतदाबांना वजा करून आउटपुट तयार करतो. याला डिफरन्स अॅम्प्लिफायर असेही म्हणतात, कारण आउटपुट चे अॅम्प्लिट्यूड वाढते.

OP-AMP आधारित सबट्रॅक्टर सर्किट डायग्राम आकृती क्र. 2.15 मध्ये दाखवले आहे:



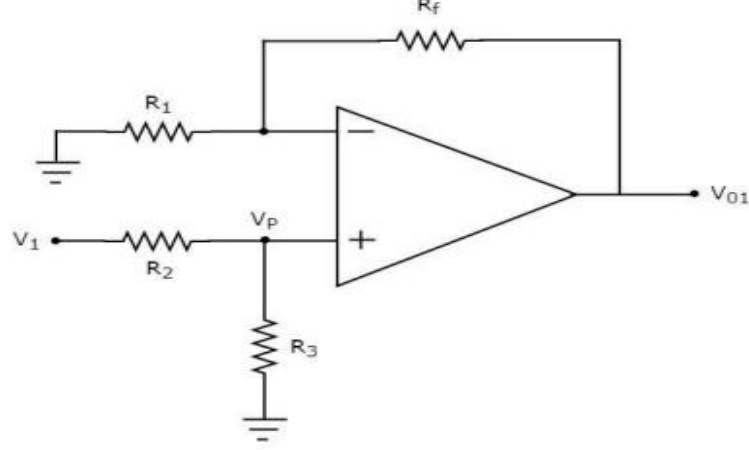
आकृती क्र. 2.15 OP-AMP आधारित सबट्रॅक्टर सर्किट

आता, पुढील स्टेप्स मध्ये सुपरपोजिशन प्रमेय(theorem) वापरून आकृती क्र. 2.15 च्या सर्किटचे आउटपुट विद्युतदाब V_0 साठी समीकरण (एक्सप्रेशन) काढू.

स्टेप 1

प्रथम, फक्त $\square 1$ विचारात घेता, आउटपुट विद्युतदाब $\square o1$ काढू या .

यासाठी शॉर्ट सर्किट करून $\square 2$ काढून टाका , नंतर आकृती क्र. 2.16 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे सुधारित सर्किट आकृती प्राप्त होते.



आकृती क्र. 2.16: स्टेप 1

आता, विद्युतदाब विभाजन (voltage division) तत्त्व वापरून, OP-AMP चे नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनल वर विद्युतदाबची गणना करा इनपुट टर्मिनल.

$$\Rightarrow \square o = \square i \left(\frac{R3}{R2+R3} \right)$$

आता, वरील सर्किट नॉन-इनव्हर्टिंग ॲम्प्लिफायर सारखे दिसते ज्यामध्ये इनपुट विद्युतदाब $\square i$. म्हणून, वरील सर्किटचे आउटपुट विद्युतदाब $\square o1$ असेल

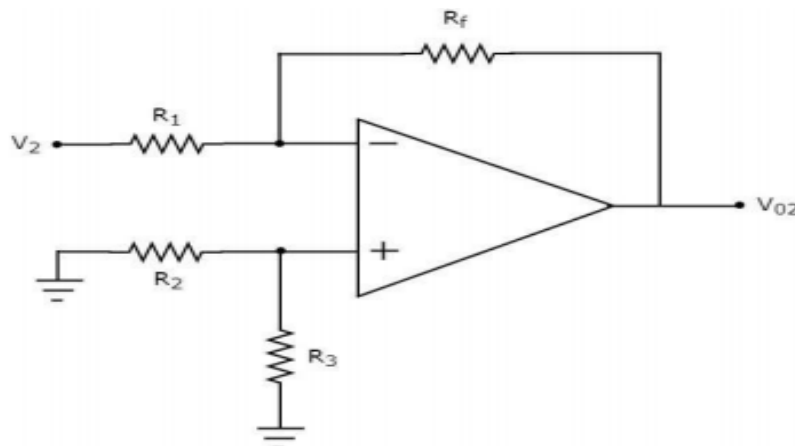
$$\square o1 = \square p \left(1 + \frac{Rf}{R1} \right) \quad (\text{नॉन-इनव्हर्टिंग ॲम्प्लिफायर च्या गेन चे सूत्र लक्षात घेता})$$

वरील समीकरणात $\square i$ चे मूल्य बदली करून , फक्त $\square 1$ विचारात घेऊन आउटपुट विद्युतदाब $\square o1$ असे लिहिले जाऊ शकते :

$$\square o1 = \square i \left(\frac{R3}{R2+R3} \right) \left(1 + \frac{Rf}{R1} \right)$$

स्टेप 2

या स्टेप मध्ये , फक्त $\square 2$ विचारात घेऊन आउटपुट विद्युतदाब $\square o2$ शोधू या. मध्ये तत्सम सिमिलर वरील स्टेप च्या सिमिलर, शॉर्ट सर्किट करून $\square 1$ काढून टाका. सुधारित सर्किट आकृती खालील आकृतीत दाखवले आहे.



आकृती क्र. 2.17: स्टेप 2

OP-AMP च्या नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवर विद्युतदाब शून्य व्होल्ट असेल. याचा अर्थ, वरील सर्किट फक्त एक इनव्हर्टिंग OP-AMP आहे. त्यामुळे, वरील सर्किटचे आउटपुट विद्युतदाब $\varnothing_{o2}$ असेल:

$$\varnothing_{o2} = \left(- \frac{R_f}{R_1} \right) \cdot \varnothing_2$$

स्टेप 3

या स्टेप मध्ये, आपण सबट्रक्टर सर्किटचे आउटपुट विद्युतदाब $\varnothing_o$, स्टेप 1 आणि स्टेप 2 मध्ये प्राप्त केलेले जोडून मॅथमॅटिकली हे असे लिहिले जाऊ शकते:

$$\varnothing_o = \varnothing_{o1} + \varnothing_{o2}$$

वरील समीकरणात $\varnothing_{o1}$ आणि $\varnothing_{o2}$ ची मूल्ये टाकून, V_o चे समीकरण असे मिळते:

$$\varnothing_o = 1 \left(\frac{R_3}{R_2+R_3} \right) \left(1 + \frac{R_f}{R_1} \right) + \left(- \frac{R_f}{R_1} \right) \varnothing_2$$

$$\varnothing_o = 1 \left(\frac{R_3}{R_2+R_3} \right) \left(1 + \frac{R_f}{R_1} \right) - \left(\frac{R_f}{R_1} \right) \varnothing_2$$

जर $\varnothing_1 = \varnothing_1 = \varnothing_2 = \varnothing_3 = \varnothing$, असेल

तर आउटपुट विद्युतदाब $\varnothing_o$ चे समीकरण असे असेल :

$$\varnothing_o = 1 \left(\frac{R}{R+R} \right) \left(1 + \frac{R}{R} \right) - \left(\frac{R}{R} \right) \varnothing_2$$

$$\varnothing_o = \varnothing_1 \left(\frac{1}{2} \right) (2) - (1) \varnothing_2$$

$$\varnothing_o = 1 - \varnothing_2$$

अशा प्रकारे, वर चर्चा केलेले OP-AMP आधारित सबट्रक्टर सर्किट मधले जेव्हा सर्व रेझिस्टर समान मूल्याचे असतात तेव्हा आउटपुट $\varnothing_1$ आणि $\varnothing_2$ दोन इनपुट विद्युतदाबमधील फरक असेल.

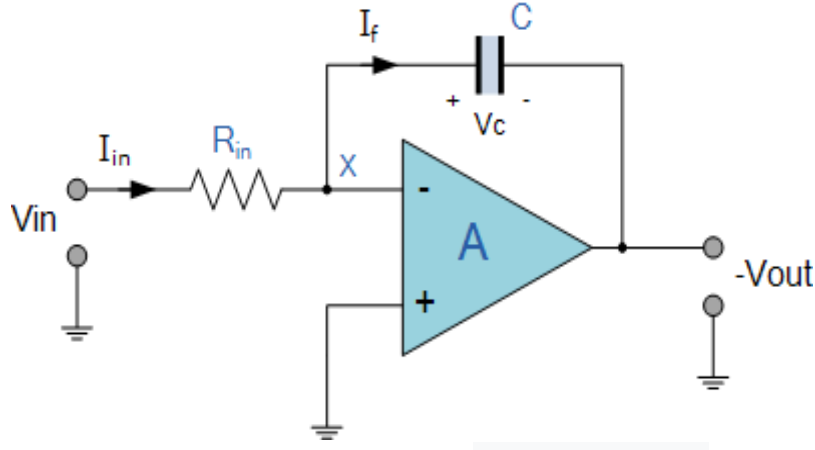
सबट्रक्टर (subtractor) चे अनुप्रयोग :

- सिरीस नकारात्मक फीडबॅक सर्किट मध्ये वापरले.
- व्हॉल्यूम कंट्रोल सर्किट म्हणून वापरले जाते.
- स्वयंचलित (automatic) गेन नियंत्रण सर्किट म्हणून वापरले जाते.

2.4.3 इंटिग्रेटर (Integrator)

इंटिग्रेटर एक इलेक्ट्रॉनिक सर्किट आहे जे आउटपुट तयार करते जे दिलेल्या इनपुटला इंटिग्रेट करतो. हा विभाग OP-AMP आधारित इंटिग्रेटरबद्दल चर्चा करतो.

OP-AMP आधारित इंटिग्रेटर त्याच्या इनव्हर्टिंग टर्मिनलवर दिलेल्या इनपुट विद्युतदाबचा इंटिग्रल आउटपुट तयार करतो. OP-AMP आधारित इंटिग्रेटरचे सर्किट आकृती क्र. 2.18 मध्ये दाखवले आहे.



आकृती क्र. 2.18 OP-AMP आधारित इंटिग्रेटर

सर्किटमध्ये, OP-AMP चे नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनल ग्राउंडशी जोडलेले आहे. याचा अर्थ त्याच्या नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवर 0V आहे.

व्हर्चुअल शॉर्ट संकल्पनेनुसार, OP-AMP च्या इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवरील विद्युतदाब त्याच्या नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवर असलेल्या विद्युतदाबच्या बरोबरीचे असेल. तर, OP-AMP च्या इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवरील विद्युतदाब शून्य व्होल्ट असेल.

इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलचे नोडल समीकरण असे आहे:

$$\begin{aligned} \frac{0 - V_i}{R} + \square \frac{d(0 - V_o)}{dt} &= 0 \\ \Rightarrow \frac{-V_i}{R} - \square \frac{dV_o}{dt} &= 0 \\ \Rightarrow \frac{dV_o}{dt} &= \frac{-V_i}{R C} \\ \Rightarrow \frac{dV_o}{dt} &= \frac{-V_i}{R C} \square \square \end{aligned}$$

वर दर्शविलेल्या समीकरणाच्या दोन्ही बाजू इंटिग्रेट केल्याने असे मिळते:

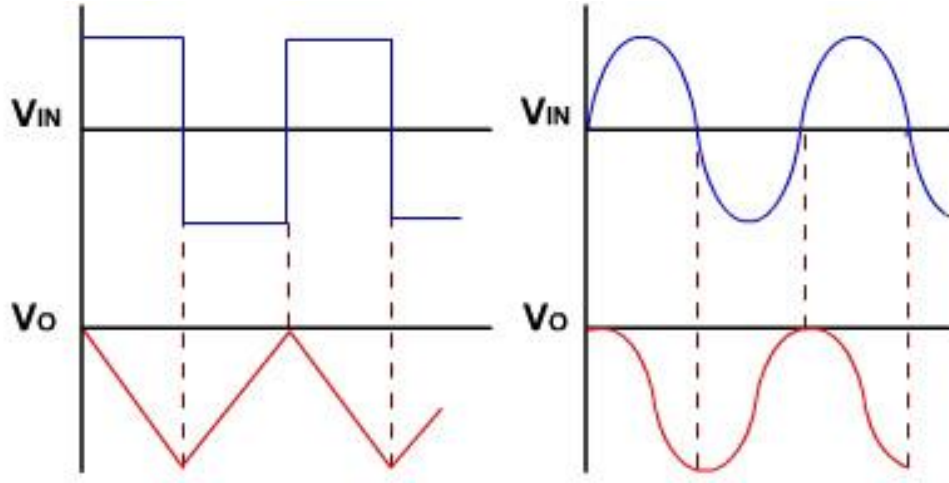
$$\square \frac{dV_o}{dt} = \square \frac{-V_i}{R C} \square \square$$

जर $\square \square = 1$, तर आउटपुट विद्युतदाब $\square \square$ असे मिळेल :

$$\Rightarrow \square \square = \square - \square \square$$

तर, वर चर्चा केलेले OP-AMP आधारित इंटिग्रेटर सर्किट चे आउटपुट, इनपुट विद्युतदाब $\square \square$ चे अविभाज्य आहे.

टीप: आउटपुट विद्युतदाब $\square \square$ च्या समीकरणा मध्ये नेगेटिव्ह चिन्ह असे सूचित करते की इनपुट आणि आउटपुट मध्ये 180° फेज फरक आहे जे आकृती क्र. 2.19 मध्ये दर्शविले आहे.



आकृती क्र. 2.19 इंटिग्रेटर चे वेवफार्म

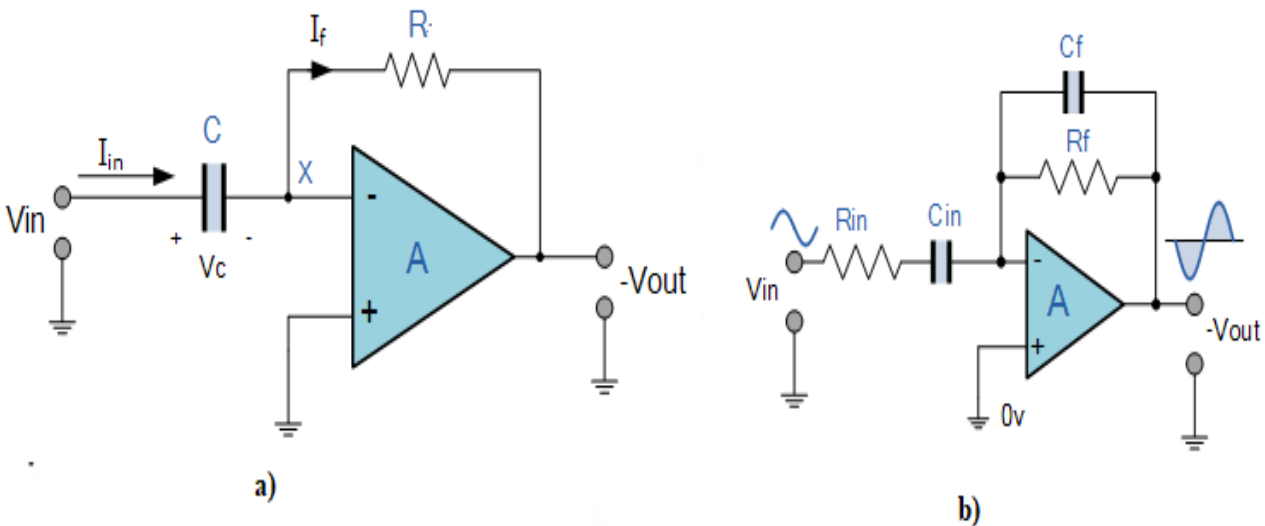
उपयोग:

- ॲनालॉग संगणक
- एडीसी (ADC)
- वेवशेपिंग सर्किट
- सिग्नल वेव ला आकार देणारी सर्किट्स

2.4.4 डिफरेंशिएटर (Differentiator)

डिफरेंशिएटर एक इलेक्ट्रॉनिक सर्किट आहे जे त्याच्या इनपुटच्या पहिल्या डिफरेंशिएट समान आउटपुट तयार करते. हा विभाग OP-AMP आधारित डिफरेंशिएटर बदल तपशीलवार चर्चा करतो.

OP-AMP आधारित डिफरेंशिएटर चे आउटपुट म्हणजे इनव्हर्टिंग टर्मिनलवर दिलेला विद्युतदाबाचे डिफरेंशिएट आहे. OP-AMP आधारित डिफरेंशिएटरचा सर्किट डायग्राम आकृती क्र. 2.20 मध्ये दर्शविले आहे



आकृती क्र. 2.20 a) मूलभूत (basic) डिफरेंशिएटर सर्किट b) प्रात्यक्षिक डिफरेंशिएटर सर्किट

OP-AMP आधारित डिफरेंशिएटर आकृती क्र. 2.20 मध्ये, ओपॅम्चे नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनल ग्राउंडशी जोडलेले आहे. याचा अर्थ त्याच्या नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवर 0V लागू केले आहे.

व्हर्चुअल शॉर्ट संकल्पनेनुसार, ओपॅम्च्या इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवरील विद्युतदाब त्याच्या नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट

टर्मिनलवर असलेल्या विद्युतदाबच्या बरोबरीचे असेल. तर, OP-AMP च्या इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवरील विद्युतदाब 0V असेल.

इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलच्या नोडवरील नोडल समीकरण असे आहे.

$$C \frac{d(0-V_i)}{dt} + \frac{0-V_o}{R} = 0$$

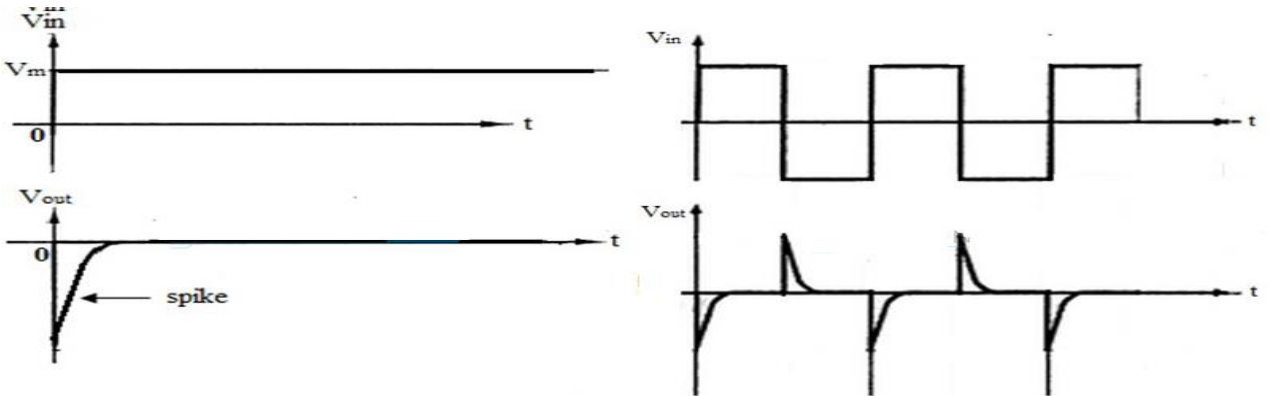
$$\Rightarrow -C \frac{dV_i}{dt} = \frac{V_o}{R}$$

$$\Rightarrow V_o = -RC \frac{dV_i}{dt}$$

जर $RC = 1$ असेल तर आउटपुट विद्युतदाब V_o असे मिळेल:

$$V_o = - \frac{dV_i}{dt}$$

अशा प्रकारे, OP-AMP आधारित डिफरेंशिएटर सर्किट चे आउटपुट, इनपुट विद्युतदाब V_i चे डिफरेंशिएट आहे. आउटपुट विद्युतदाब V_o च्या समीकरणा मध्ये नेगेटिव्ह चिन्ह सूचित करते की इनपुट आणि आउटपुटमध्ये 180° फेज फरक आहे.



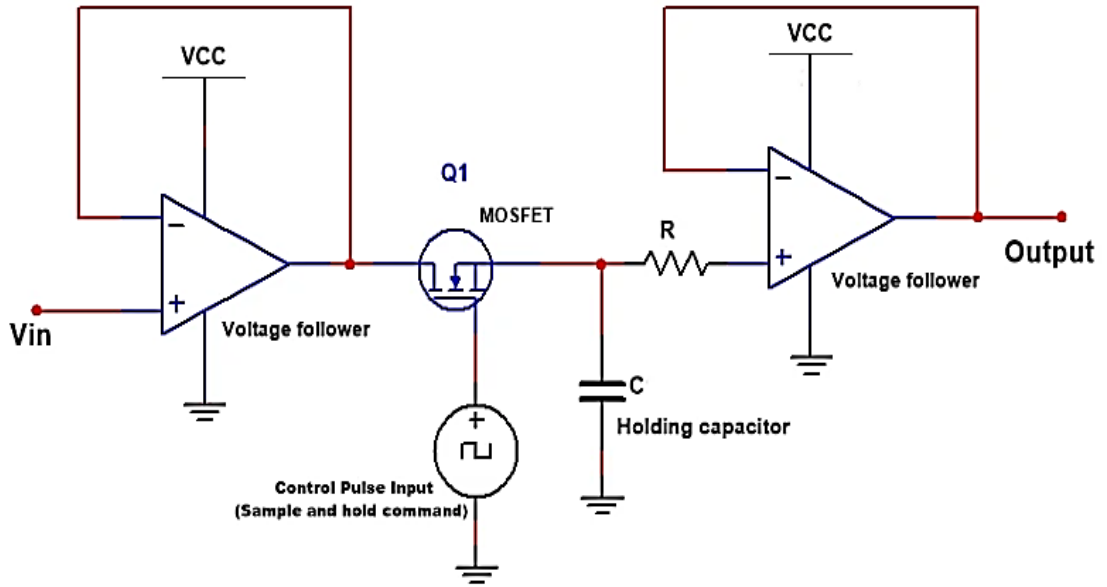
आकृती क्र. 2.21 डिफरेंशिएटर वेवफॉर्म

2.5 सॅम्पल अँड होल्ड सर्किट, I-V रूपांतर, V-I रूपांतर

2.5.1 सॅम्पल अँड होल्ड सर्किट

सॅम्पल अँड होल्ड सर्किट हे एक इलेक्ट्रॉनिक सर्किट आहे जे इनपुट विद्युतदाब सिग्नलचे सॅम्पल बनवते आणि हे सॅम्पल सिग्नल अगदी कमी कालावधीसाठी स्थिर ठेवते.

या सर्किटमध्ये दोन विद्युतदाब फॉलोअर सर्किट, एक कॅपेसिटर आणि एक MOSFET जोडलेले आहे. येथे दिलेला नियंत्रण (control) विद्युतदाब MOSFET च्या गेट टर्मिनलवर दिलेला आहे, येथे MOSFET स्विच म्हणून वापर केला आहे. विद्युतदाब फॉलोअर सर्किट वापरण्याचे कारण म्हणजे हे सर्किट इनपुट सिग्नलप्रमाणेच आउटपुट देते आणि खूप जास्त इनपुट प्रतिबाधा (impedance) असल्यामुळे इनपुटवर कोणतेही लोड नाही (no load) आणि इनपुट प्रतिबाधा खूप जास्त असल्यामुळे कॅपेसिटर देखील डिस्चार्ज होणार नाही.

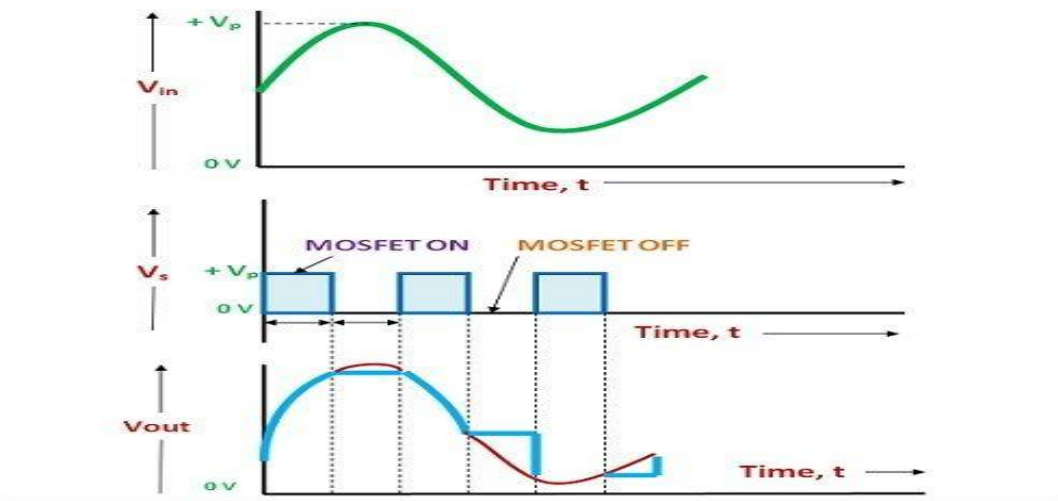


आकृती क्र. 2.22 सॅम्पल अँड होल्ड सर्किट

एन-चॅनेल MOSFET जे स्विच म्हणून कार्य करते ते V_c (कंट्रोल इनपुट) या नियंत्रण विद्युतदाबद्वारे चालवले जाते. नियंत्रण विद्युतदाब V_c हे MOSFET च्या गेटवर दिले आहे.

जेव्हा V_c जास्त असतो तेव्हा MOSFET चालू होते आणि बंद (close) स्विच सारखे कार्य करते. हे सॅम्पलिंग मोड आहे. कॅपेसिटर तात्काळ इनपुट विद्युतदाबला MOSFET द्वारे चार्ज करतो. $V_c=0$ होताच MOSFET बंद होते आणि कॅपेसिटर OP-AMP 1 आउटपुटमधून डिस्कनेक्ट होतो. ऑप्लिफायर 2 च्या उच्च प्रतिबाधामुळे कॅपेसिटर डिस्चार्ज स्वतः द्वारे करू शकत नाही. अशा प्रकारे हा होल्ड मोड आहे ज्यामध्ये कॅपेसिटरमध्ये नवीनतम सॅम्पल मूल्य आहे. ज्या कालावधीत विद्युतदाब ओलांडते तो कालावधी कॅपेसिटर इनपुट विद्युतदाबच्या बरोबरीचा असतो याला सॅम्पल कालावधी म्हणतात. ज्या कालावधी दरम्यान कॅपेसिटरमधील विद्युतदाब स्थिर असतो त्याला होल्ड पीरियड म्हणतात.

तर, या संपूर्ण प्रक्रियेत, या सर्किटमध्ये वापरलेल्या मुख्य कॅपेसिटरद्वारे आउटपुटचे सॅम्पल घेतले जाते आणि काही कालावधीसाठी धरून ठेवले जाते. सॅम्पल सिग्नल हे डिजिटल सिग्नल आहेत त्यामुळे असे म्हणता येईल की सॅम्पल आणि होल्ड सर्किट अॅनालॉग सिग्नलला डिजिटल सिग्नलमध्ये रूपांतरित करते.



आकृती क्र. 2.23 सॅम्पल अँड होल्ड सर्किट चे वेवफॉर्म

सॅम्पल आणि होल्ड सर्किटचे अनुप्रयोग

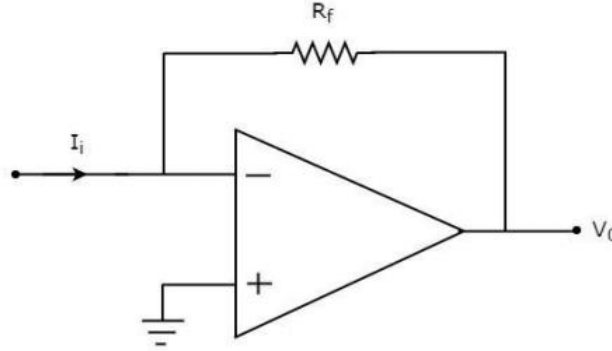
- एडीसी (अॅनालॉग-टू-डिजिटल रूपांतरण)
- DACs (डिजिटल-टू-एनालॉग रूपांतरण)
- अॅनालॉग डिमल्टीप्लेक्सिंगमध्ये
- लिनियर सिस्टम्समध्ये

- डेटा वितरण प्रणाली मध्ये
- डिजिटल व्होल्टमीटरमध्ये

2.5.2 विद्युत् प्रवाह ते विद्युतदाब (I to V) रूपांतर

विद्युत् प्रवाह ते विद्युतदाब रूपांतर किंवा I ते V रूपांतर करणारे हे इलेक्ट्रॉनिक सर्किट आहे जे इनपुट म्हणून विद्युत् प्रवाह घेते आणि आउटपुट म्हणून विद्युतदाब तयार करते. हा विभाग याबद्दल चर्चा करतो OP-AMP आधारित विद्युत् प्रवाह ते विद्युतदाब रूपांतर .

OP-AMP आधारित विद्युत् प्रवाह ते विद्युतदाब रूपांतर चालू असतांना जेव्हा विद्युत् प्रवाह त्याच्या इनव्हर्टिंग टर्मिनलवर दिले जाते तेव्हा आउटपुट म्हणून विद्युतदाब मिळतो .OP-AMP आधारित विद्युत् प्रवाह टू विद्युतदाब रूपांतर सर्किट आकृती क्र. 2.24 मध्ये दर्शविले आहे.



आकृती क्र. 2.24 OP-AMP आधारित विद्युत् प्रवाह टू विद्युतदाब रूपांतर सर्किट

सर्किटमध्ये OP-AMP चे नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनल ग्राउंड ला जोडलेले आहे. याचा अर्थ त्याच्या नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवर 0V दिले आहे. वर्चुअल शॉर्ट संकल्पनेनुसार, OP-AMP च्या इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवरील विद्युतदाब त्याच्या नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवरील विद्युतदाबच्या बरोबरीचे असेल. तर, OP-AMP च्या इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवरील विद्युतदाब शून्य व्होल्ट असेल.

इनव्हर्टिंग टर्मिनलच्या नोडवर नोडल समीकरण असे आहे:

$$-I_i + \frac{0 - V_o}{R_f} = 0$$

$$\Rightarrow -I_i = \frac{V_o}{R_f}$$

$$V_o = -R_f \cdot I_i$$

अशा प्रकारे, विद्युत् प्रवाह ते विद्युतदाब रूपांतर चे आउटपुट विद्युतदाब V_o हे निगेटिव्ह गुणाकार आहे फीडबॅक रेझिस्टर R_f आणि इनपुट विद्युत् प्रवाह I_i चे . आउटपुट विद्युतदाब V_o चे नेगेटिव्ह चिन्ह सूचित करते की इनपुट विद्युत् प्रवाह आणि आउटपुट विद्युतदाबमध्ये 180° फेज फरक आहे.

वरील समीकरण आपण असे पुन्हा लिहू शकतो:

$$\frac{V_o}{I_i} = -R_f$$

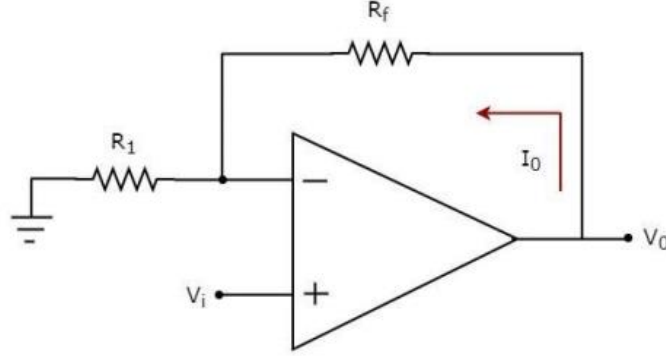
वरील समीकरण आउटपुट विद्युतदाब V_o आणि इनपुट विद्युत् प्रवाह I_i चे गुणोत्तर दर्शवते आणि ते फीडबॅक रेझिस्टरच्या R_f च्या समान आहे. आउटपुट विद्युतदाब V_o आणि इनपुट विद्युत् प्रवाह I_i यांच्या गुणोत्तराला **ट्रान्सरेसिस्टन्स** म्हणतात.

सर्किटचे आउटपुट आणि इनपुटचे गुणोत्तर ला गेन असे म्हणतात. तर, विद्युत्प्रवाह ते विद्युतदाब रूपांतर चा गेन हा त्याचा ट्रान्स रेझिस्टन्स आहे आणि तो R_f आहे .

2.5.3 विद्युतदाब ते विद्युत् प्रवाह (V to I) रूपांतर करणारे

विद्युतदाब टू विद्युत् प्रवाह रूपांतर किंवा V ते I रूपांतर करणारे हे एक इलेक्ट्रॉनिक सर्किट आहे जे इनपुट म्हणून विद्युत् प्रवाह घेते आणि आउटपुट म्हणून विद्युतदाब तयार करते. हा विभाग चालू रूपांतर ते OP-AMP आधारित विद्युतदाब बदल चर्चा करतो.

OP-AMP आधारित विद्युतदाब ते विद्युत् प्रवाह रूपांतर आउटपुट विद्युत् प्रवाह तयार करते जेव्हा विद्युतदाब त्याच्या नॉन-इनव्हर्टिंग टर्मिनलवर दिले जाते. OP-AMP आधारित विद्युतदाब ते विद्युत् प्रवाह रूपांतर करणारे चे सर्किट डायग्राम आकृती क्र. 2.25 मध्ये दर्शविला आहे.



आकृती क्र. 2.25 OP-AMP आधारित विद्युतदाब ते विद्युत् प्रवाह रूपांतर चे सर्किट

सर्किटमध्ये, ओपॅम्पच्या नॉन-इनव्हर्टिंग टर्मिनलवर इनपुट विद्युतदाब V_i दिले आहे. व्हर्च्युअल शॉर्ट संकल्पनेनुसार, ओपॅम्पच्या इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवर जे विद्युतदाब आहे तेच विद्युतदाब नॉन-इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवर असेल. तर, OP-AMP च्या इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलवरील विद्युतदाब V_i असेल.

इनव्हर्टिंग इनपुट टर्मिनलच्या नोडवर नोडल समीकरण असे आहे:

$$\frac{V_i}{R_1} - I_o = 0$$

$$\Rightarrow I_o = \frac{V_i}{R_1}$$

अशा प्रकारे, विद्युतदाब ते विद्युत् प्रवाह रूपांतर चे आउटपुट विद्युत् प्रवाह I_o हे त्याच्या इनपुट विद्युतदाब V_i आणि रेझिस्टर R_1 चे गुणोत्तर आहे.

वरील समीकरण आपण असे पुन्हा लिहू शकतो:

$$\frac{I_o}{V_i} = \frac{1}{R_1}$$

वरील समीकरण आउटपुट विद्युत् प्रवाह I_o आणि इनपुट विद्युतदाब V_i यांचे गुणोत्तर दर्शवते आणि ते $\frac{1}{R_1}$ आहे .

आउटपुट विद्युत् प्रवाहचे गुणोत्तर I_o आणि इनपुट विद्युतदाब V_i ला **ट्रांसकंडक्टन्स** म्हणतात.

सर्किटचे आउटपुट आणि इनपुट यांच्या गुणोत्तराला गेन म्हणतात तर, विद्युतदाब ते विद्युत् प्रवाह रूपांतर चा गेन हा ट्रांसकंडक्टन्स आहे आणि तो R_1 रेझिस्टरच्या व्युत्क्रम (रेसिप्रोकल) आहे. **विद्युतदाब ते विद्युत् प्रवाह रूपांतर चे**

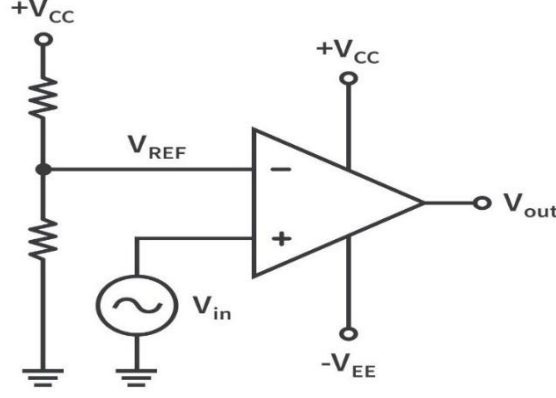
अनुप्रयोग.

1. कमी विद्युतदाब एसी आणि डीसी व्होल्टमीटर
2. डायोड जुळणारे शोधक
3. एलईडी आणि झिनार डायोड टेस्टर्स.

2.6 तुलनाकर्ता (कंपॅरेटर) आणि तुलनाकर्ता चे अनुप्रयोग

2.6.1 तुलनाकर्ता (कंपॅरेटर):

तुलनाकर्ता हे सर्वात सोप्या स्वरूपातील दोन इनपुट ओपन लूप OP-AMP आहे . ओपॅम्सच्या एका इनपुट सिग्नल विद्युतदाबची तुलना दुसऱ्या इनपुट सिग्नल म्हणजे संदर्भ विद्युतदाबा शी करते.



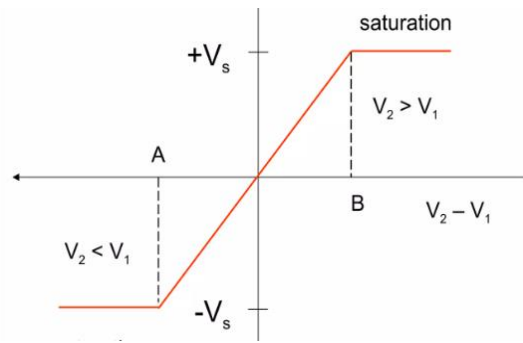
आकृती क्र. 2.26

(a) मूलभूत तुलनात्मक सर्किट

b) लहरी

तुलनाकर्त्याचे आउटपुट कोणते इनपुट मोठे आहे यावर अवलंबून, एकतर सकारात्मक किंवा नकारात्मक सॅच्युरेशन विद्युतदाब ($\pm V(\text{sat})$) असते .

आकृती क्र. 2.26 (a) मध्ये नॉन-इनव्हर्टिंग तुलनाकर्ता दर्शविले आहे. याला नॉन-इनव्हर्टिंग कंपॅरेटर असे म्हणतात कारण ओपॅम्च्या नॉन-इनव्हर्टिंग (+) टर्मिनलवर सिग्नल विद्युतदाब V_{in} दिले आहे. इनव्हर्टिंग (-) टर्मिनल ग्राउंडशी जोडलेले आहे. त्यामुळे येथे संदर्भ विद्युतदाब $V_{ref}=0V$ आहे. या तुलनाकर्त्या मध्ये कोणताही फीडबॅक वापरला जात नसल्यामुळे, OP-AMP ओपन लूप मोडमध्ये कार्य करते आहे आणि ओपन लूप गेन A_v हा मोठा आहे.



आकृती क्र. 2.27 तुलनाकर्ता चे ट्रान्सफर आलेख

आकृती क्र. 2.27 तुलनाकर्ताचे विद्युतदाब ट्रान्सफर वैशिष्ट्ये (VTC) दर्शविते. ट्रान्सफर वैशिष्ट्य म्हणजे इनपुट विद्युतदाब विरुद्ध आउटपुट विद्युतदाबचा आलेख (graph).

जेव्हा इनपुट विद्युतदाब V_{in} ते सकारात्मक असते परंतु खूप लहान असते आणि 0 ते "a" च्या श्रेणीत असते, तेव्हा आउटपुट विद्युतदाब $V_o = (A_v * V_{in})$ असते जेथे A_v हे ओपन लूप गेन आहे. A_v खूप जास्त असल्याने, आउटपुट विद्युतदाब $+V(\text{sat})$ वर नेण्यासाठी बिंदू "a" च्या पलीकडे एक अतिशय लहान सकारात्मक इनपुट विद्युतदाब आवश्यक आहे. जेथे $+V(\text{sat}) \approx +V_{cc}$.

त्याचप्रमाणे जेव्हा V_{in} नकारात्मक असतो परंतु लहान असल्याने आणि 0 ते "b" च्या श्रेणीत असल्याने V_{in} आणि V_o

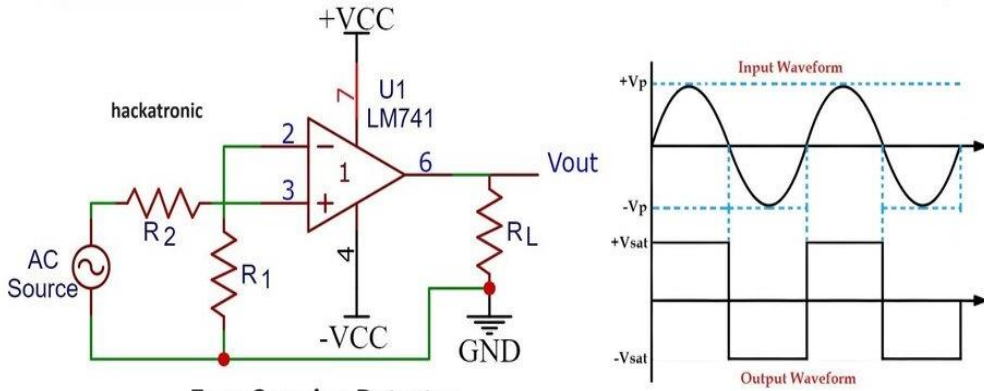
मधील संबंध रेखीय असते. परंतु बिंदू "b" च्या पलीकडे, नकारात्मक इनपुट विद्युतदाब आउटपुटला $-V(\text{sat})$ वर नेईल जेथे $-V(\text{sat}) \approx -V_{EE}$.

2.6.2 झिरो क्रॉसिंग डिटेक्टर

झिरो क्रॉसिंग डिटेक्टर सर्किट हे OP-AMP कंपॅरेटर सर्किटचे महत्वाचे अनुप्रयोग आहे. याला साइन ते स्केअर वेव्ह (sine to square wave) रूपांतर असेही म्हटले आहे. इनव्हर्टिंग किंवा नॉन-इनव्हर्टिंग कंपॅरेटर्सपैकी कोणतेही शून्य-क्रॉसिंग डिटेक्टर म्हणून वापरले जाते. फक्त संदर्भ विद्युतदाबमध्ये आणला जाणारा बदल म्हणजे इनपुट विद्युतदाबची तुलना शून्य सोबत करणे आवश्यक आहे ($V_{\text{ref}} = 0V$). V_{in} इनपुट साइन वेव्ह आहे.

i) इनव्हर्टिंग झिरो क्रॉसिंग डिटेक्टर

इनव्हर्टिंग झिरो क्रॉसिंग डिटेक्टर हे काहीही नसून मूलभूत तुलनात्मक सर्किट च्या नॉन इनव्हर्टिंग टर्मिनलला शून्य संदर्भ विद्युतदाब आणि इनव्हर्टिंग टर्मिनल ला इनपुट सिग्नल दिले आहे.



आकृती क्र. 2.28 इनव्हर्टिंग झिरो क्रॉसिंग डिटेक्टर

आकृती क्र. 2.28 मधील दर्शविलेले तरंगरूपाचा संदर्भ घ्या. जेव्हा इनपुट साइनवेव्ह शून्य ओलांडते आणि $t = 0$ वर सकारात्मक होते, तेव्हा डिफरेंशियल इनपुट विद्युतदाब V_d नकारात्मक होते आणि आउटपुट विद्युतदाब $-V(\text{sat})$ वर स्विंग होईल.

जेव्हा साइनवेव्ह पुन्हा शून्य ओलांडते आणि इन्स्टंट $t = T/2$ वर नकारात्मक होते तेव्हा डिफरेंशियल इनपुट विद्युतदाब सकारात्मक होते आणि आउटपुट विद्युतदाब $+V(\text{sat})$ वर स्विंग होईल कारण आता (+) टर्मिनल (-) टर्मिनलपेक्षा अधिक सकारात्मक आहे. झिरो क्रॉसिंग डिटेक्टर प्रत्येक वेळी जेव्हा इनपुट विद्युतदाब शून्य ओलांडतो तेव्हा त्याचे आउटपुट एका स्थितीतून दुसऱ्या स्थितीत स्विकारतो.

झिरो क्रॉसिंग डिटेक्टरला साइन वेव्ह ते स्केअर वेव्ह रूपांतर (convertor) म्हणूनही ओळखले जाते.

शून्य क्रॉसिंग डिटेक्टरचे दोष:

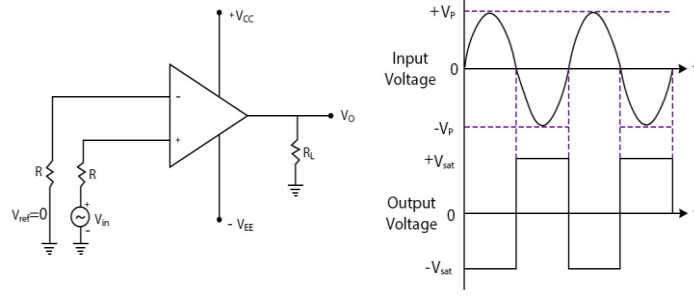
इनपुट ला उपस्थित आवाजा मुळे चुकीचे स्विचिंग होऊ शकते.

शून्य क्रॉसिंग डिटेक्टरचे अनुप्रयोग

- 1 स्केअर वेव्ह जनरेटर.
2. मुख्य सिंक्रोनाइझिंग सर्किट.
3. थायरिस्टर्ससाठी मायक्रोप्रोसेसर आधारित ट्रिगरिंग सर्किट.

ii) नॉन इनव्हर्टिंग झिरो क्रॉसिंग डिटेक्टर

नॉन-इनव्हर्टिंग झिरो क्रॉसिंग डिटेक्टर ZCD मध्ये, नॉन-इनव्हर्टिंग टर्मिनलला इनपुट दिले जाते आणि इनव्हर्टिंग टर्मिनल ग्राउंड केले जाते



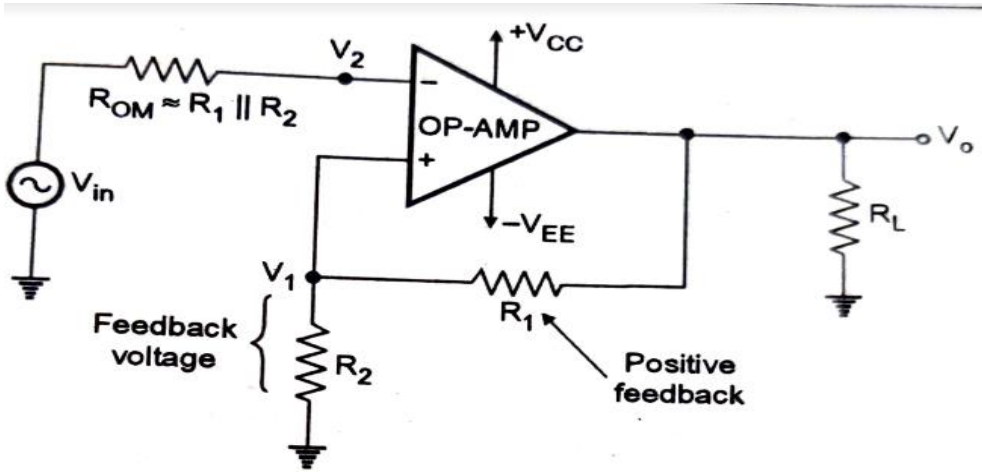
आकृती क्र. 2.29 नॉन इनव्हर्टिंग झिरो क्रॉसिंग डिटेक्टर

जेव्हा इनपुट शून्य ते सकारात्मक मूल्यापर्यंत वाढते, तेव्हा डिफरेंशियल विद्युतदाब सकारात्मक असते आणि OP-AMP सकारात्मक सॅचुरेशनमध्ये असेल, $+V_{sat}$. जेव्हा इनपुट शून्य ते ऋण मूल्यापर्यंत कमी होते, तेव्हा डिफरेंशियल विद्युतदाब नकारात्मक असते आणि OP-AMP नकारात्मक सॅचुरेशनमध्ये असेल, $-V_{sat}$. अशा प्रकारे जेव्हा इनपुट शून्याच्या जवळ संक्रमण करते तेव्हा आउटपुट $+V_{sat}$ वरून $-V_{sat}$ मध्ये बदलते.

वेव्हफॉर्मवरून आपण असे म्हणू शकतो की आउटपुट विद्युतदाब $+V_{sat}$ for $V_{in} > 0$ आणि $-V_{sat}$ for $V_{in} < 0$. अशा प्रकारे, नॉन-इनव्हर्टिंग झिरो क्रॉसिंग डिटेक्टरमध्ये, इनपुट आउटपुटवर उलटे (invert) होत नाही.

2.6.2 स्किमीट (schmitt) ट्रिगर

हे सर्किट अनियमित आकाराच्या वेव्हफॉर्मला चौरस लहरी किंवा पल्स मध्ये रूपांतरित करते. आकृती क्र. 2.24 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे स्किमीट ट्रिगर सिग्नल ला इन्व्हर्ट करतो. रेझिस्टन्स डिव्हायडर R_1 आणि R_2 OP-AMP च्या आउटपुट आणि नॉन-इनव्हर्टिंग (+) टर्मिनल दरम्यान जोडले असल्याने तिथे पॉसिटीव्ह फीडबॅक होते. हे स्किमीट ट्रिगर सर्किट मुळात इन्व्हर्टिंग कंपॅरेटर ज्या मध्ये सकारात्मक किंवा पुनरुत्पादक (regenerative) फीडबॅक आहे. म्हणून त्याला पुनरुत्पादक तुलनाकर्ता असेही म्हणतात.



आकृती क्र. 2.30 स्किमट (schmitt) ट्रिगर सर्किट

लक्षात घ्या की इनव्हर्टिंग इनपुटवर V_{in} इनपुट विद्युतदाब दिले आहे. रेझिस्टर R_{0M} ला ऑफसेट मिनिमाइझिंग रेझिस्टर म्हणतात आणि ते R_1 आणि R_2 च्या समांतर संयोजनाचे (combination) आहे.

स्किमीट ट्रिगरमध्ये, संदर्भ विद्युतदाब V_1 , R_1 चे विकसित विद्युतदाब आहे. हा संदर्भ विद्युतदाब निश्चित (fix) नाही परंतु त्याचे ऑप्लिट्यूड आणि चिन्ह आउटपुट विद्युतदाबवर अवलंबून असते कारण,

$$V_1 = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} * V_o$$

स्किमीट ट्रिगरसाठी दोन भिन्न ट्रिगरिंग विद्युतदाब परिभाषित केले आहेत जे: (a) अप्पर थ्रेशोल्ड विद्युतदाब V_{UT} आणि (b) लोअर थ्रेशोल्ड विद्युतदाब V_{LT} आहेत.

जेव्हा इनपुट विद्युतदाब या थ्रेशोल्ड पातळी ओलांडतो तेव्हा प्रत्येक वेळी आउटपुट विद्युतदाब त्याची स्थिती बदलेल.

वरच्या थ्रेशोल्ड विद्युतदाबची व्याख्या V_{in} चे मूल्य म्हणून केली जाते जे आउटपुट विद्युतदाब भाग पाडते संक्रमण करण्यास मध्ये $+V_{sat}$ वरून $-V_{sat}$ मध्ये.

त्याचप्रमाणे लोअर थ्रेशोल्ड विद्युतदाब हे V_{in} चे मूल्य म्हणून परिभाषित केले आहे जे आउटपुट विद्युतदाबला $-V_{sat}$ वरून $+V_{sat}$ मध्ये बदलण्यास भाग पाडेल.

अप्पर ट्रिगर (थ्रेशोल्ड) आणि लोअर थ्रेशोल्ड स्तरांसाठी गणितीय समीकरण पुढे परिभाषित केल्या आहेत:

अप्पर ट्रिगर (थ्रेशोल्ड) पातळी

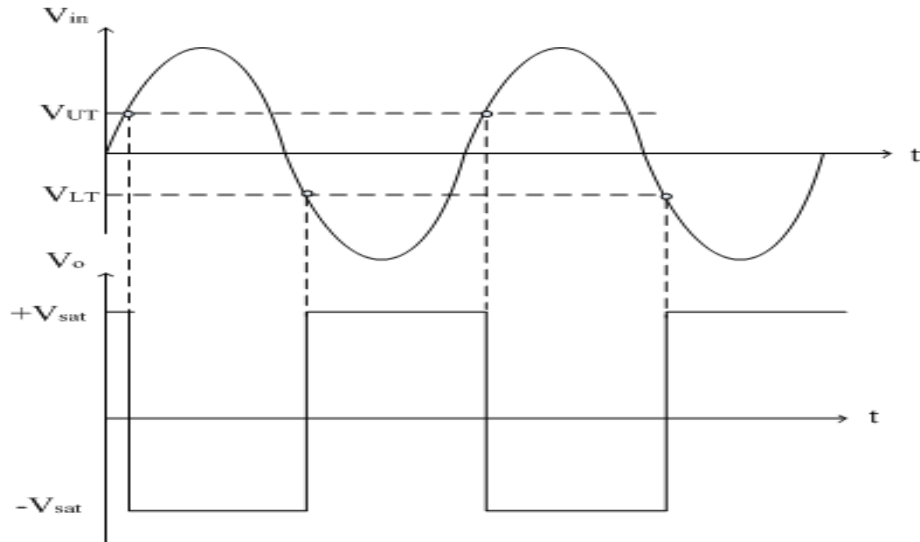
$$V_{UT} = (V_{sat} * \frac{R_2}{(R_1 + R_2)})$$

अशाप्रकारे वरची थ्रेशोल्ड पातळी एक सकारात्मक संदर्भ विद्युतदाब आहे,

तर खालची थ्रेशोल्ड पातळी,

$$V_{LT} = (-V_{sat} * \frac{R_2}{(R_1 + R_2)})$$

अशा प्रकारे खालच्या थ्रेशोल्ड पातळीची परिमाण (level) वरच्या थ्रेशोल्ड इतकीच आहे परंतु विरुद्ध (-) चिन्ह आहे.



आकृती क्र. 2.31 स्किमीट (Schmitt) ट्रिगर सर्किट

इनव्हर्टिंग स्किमीट ट्रिगरसाठी इनपुट आणि आउटपुट विद्युतदाब वेव्हफॉर्मस आकृती क्र.2.31 दाखवल्याप्रमाणे आहेत. ओपॅम्च्या इनव्हर्टिंग इनपुटवर एक साइनसॉइडल इनपुट लागू केला जातो सुरुवातीला आउटपुट विद्युतदाब $+V_{sat}$ आहे असे गृहीत धरून. नॉन-इनव्हर्टिंग (+) टर्मिनलवर संदर्भ विद्युतदाब V_1 द्वारे दिले जाते,

$$V_1 = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} * V_{sat}$$

आकृती क्र 2.25 a मध्ये बिंदू A पर्यंत $V_o = +V_{sat}$ आउटपुट विद्युतदाब). बिंदू A वर, इनपुट विद्युतदाब $V_{in} = V_{UT}$. V_{UT} पेक्षा किंचित जास्त झाल्यावर आउटपुट विद्युतदाब $+V_{sat}$ वरून $-V_{sat}$ वर स्विच होतो.

आता संदर्भ विद्युतदाब V_1 निगेटिव्ह होतो आणि खालील द्वारे दिले जाते,

$$V_1 = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} * -V_{sat}$$

आउटपुट विद्युतदाब समान राहते - बिंदू A आणि B दरम्यान $-V_{sat}$.

आकृती क्र. च्या B बिंदूवर. 2.25 a) इनपुट विद्युतदाब V_{LT} ओलांडते आणि V_{LT} पेक्षा अधिक निगेटिव्ह होते. म्हणून तुलनाकर्ता आउटपुट $+V_{sat}$ वर स्विच करते. हे संदर्भ विद्युतदाब बदलेल

$$V_1 = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} * V_{sat}$$

आउटपुट विद्युतदाब + V_{sat} बिंदू C पर्यंत समान राहील जेथे ते स्थिती बदलते - V_{sat} ला. प्रक्रिया नंतर स्वतःची पुनरावृत्ती होईल.

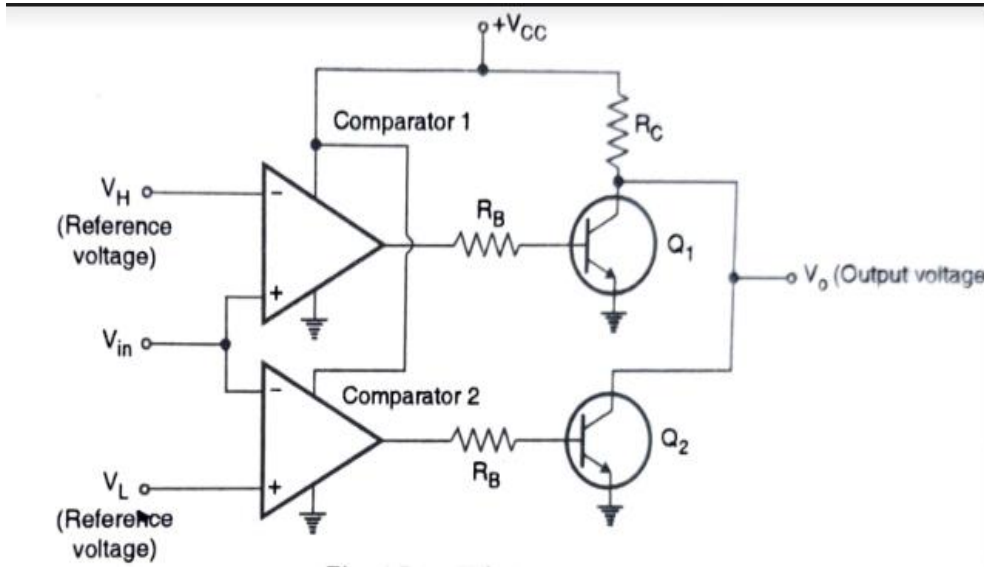
स्किमीट ट्रिगरचे अनुप्रयोग:

स्किमीट ट्रिगर चे काही महत्वाचे ॲप्लिकेशन्स खालीलप्रमाणे आहेत

- साइनवेव्हचे स्केअर वेव्हमध्ये रूपांतर करणे.
- तुलनाकर्ता सर्किटमध्ये ओव्हरविद्युतदाब आणि ओव्हरविद्युतप्रवाह संरक्षण म्हणून .
- चालू/बंद तापमान नियंत्रकाच्या प्रकारमध्ये.

2.6.4 विंडो डिटेक्टर

दोन तुलनेचा वापर करून विंडो डिटेक्टर सर्किट आकृती क्र. 2.31 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे आहे. विंडो डिटेक्टर सर्किटचा वापर निर्दिष्ट (specified) विद्युतदाब बँडमध्ये येतो की नाही हे शोधण्यासाठी विंडो डिटेक्टर सर्किट वापरले जाते.



आकृती क्र. 2.32 विंडो डिटेक्टर सर्किट

V_H आणि V_L हे $V_H > V_L$ सह दोन संदर्भ विद्युतदाब आहेत आणि V_{in} हे इनपुट विद्युतदाब आहे. दोन तुलनाकर्त्यांचे आउटपुट दोन ट्रान्झिस्टरवर लागू केले जातात जे स्विच म्हणून कार्य करतात. दोन ट्रान्झिस्टरच्या कॉमन कलेक्टर टर्मिनलवर आउटपुट विद्युतदाब प्राप्त होते.

जर V_{in} दोन संदर्भ विद्युतदाब दरम्यान असेल तर, $V_L < V_{in} < V_H$ मधील नंतर दोन्ही तुलनाकर्त्यांचे आउटपुट कमी असतील. त्यामुळे दोन्ही ट्रान्झिस्टर बंद अवस्थेत राहतील. तर कलेक्टर विद्युतदाब म्हणजे. आउटपुट विद्युतदाब V_{CC} च्या बरोबरीचे असेल

$V_o = +V_{CC}$: $V_L < V_{in} < V_H$ साठी.

जर V_{in} , V_L पेक्षा कमी असेल तर तुलनाकर्ता 1 चे आउटपुट कमी असेल आणि तुलनाकर्ता 2 चे आउटपुट जास्त असेल. हे ट्रान्झिस्टर Q_1 बंद करेल परंतु ट्रान्झिस्टर Q_2 संतृप्त होईल. आउटपुट विद्युतदाब $V_{CE(sat)}$ म्हणजेच कमी असेल.

$V_o = V_{CE(sat)} = \text{low}$: $V_{in} < V_L$ साठी

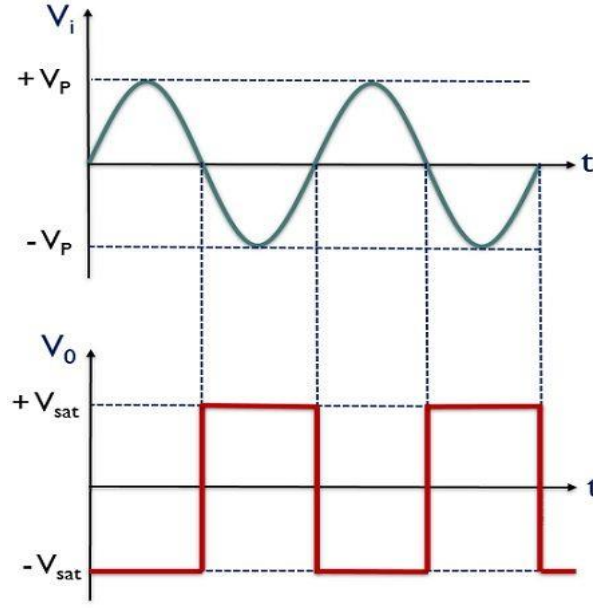
जर V_{in} , V_H पेक्षा मोठा असेल तर तुलनीय 1 चे आउटपुट जास्त असेल आणि तुलनाकर्ता 2 चे आउटपुट कमी असेल. अशा प्रकारे ट्रान्झिस्टर Q_1 संतृप्त होईल आणि Q_2 बंद राहील. आउटपुट विद्युतदाब $V_{CE(sat)}$ म्हणजेच कमी असेल.

$V_o = V_{CE(sat)} = \text{low}$: $V_{in} > V_H$ साठी

उच्च आउटपुट विद्युतदाब सूचित करते की इनपुट विद्युतदाब विंडोच्या आत आहे तर कमी आउटपुट विद्युतदाब सूचित

करते की इनपुट विद्युतदाब विंडोच्या बाहेर आहे.

इनपुट आउटपुट विद्युतदाब वेव्हफॉर्मस आकृती क्र. 2.32 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे आहेत.



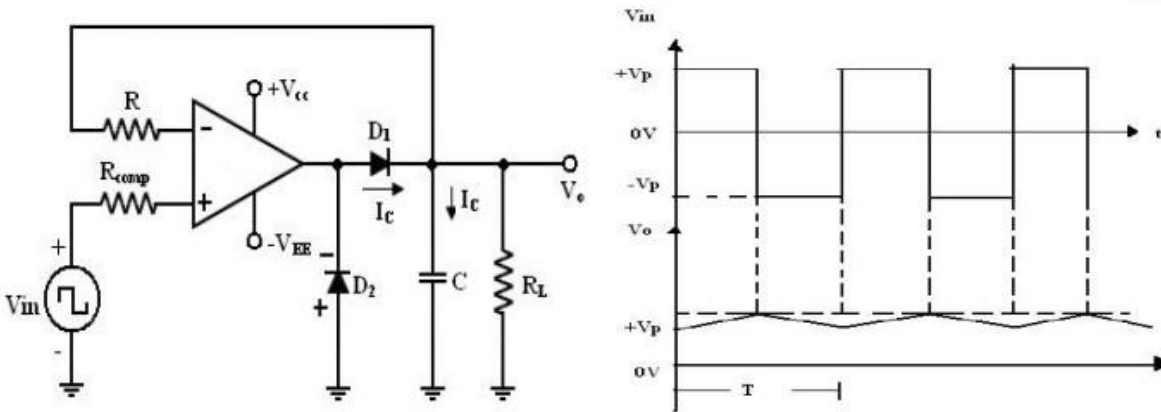
आकृती क्र. 2.33 इनपुट आउटपुट विद्युतदाब वेव्हफॉर्मस

विंडो डिटेक्टरचे अनुप्रयोग

1. लेव्हल डिटेक्टर
2. औद्योगिक अलार्म
- 3.

2.6.5 पीक डिटेक्टर.

स्केअर, त्रिकोणी, सॉ टूथ आणि पल्स वेव्ह ही नॉन-साइनसॉइडल वेव्हफॉर्मसची विशिष्ट उदाहरणे आहेत. या सायनसॉइडल वेव्हफॉर्मस मोजण्यासाठी पारंपारिक ए. सी. व्होल्टमीटर वापरला जाऊ शकत नाही कारण ते शुद्ध साइन वेव्हचे RMS मूल्य मोजण्यासाठी डिझाइन केलेले आहे. या समस्येचा एक संभाव्य उपाय म्हणजे नॉन-साइनसॉइडल वेव्हफॉर्मसची शिखर मूल्ये मोजणे. पीक डिटेक्टर स्केअर वेव्ह इनपुटचे +ve पीक मूल्य मोजतो.



आकृती क्र. 2.34 पीक डिटेक्टर सर्किट आणि इनपुट आउट वेव्हफॉर्म

पीक डिटेक्टर सर्किट हे ओपॅम्च्या नॉन-लिनियर ऍप्लिकेशन्सपैकी एक आहे. हे इनपुट सिग्नलचे शिखर मूल्य शोधण्यासाठी आणि धरून ठेवण्यासाठी वापरले जाते. या सर्किटचे आउटपुट इनपुट सिग्नलच्या पीक व्हॅल्यूचे अनुसरण करेल आणि कमाल मूल्य अमर्यादपणे (infinitely) साठवून ठेवेल. पीक डिटेक्टर दोन प्रकारचे असू शकतात:

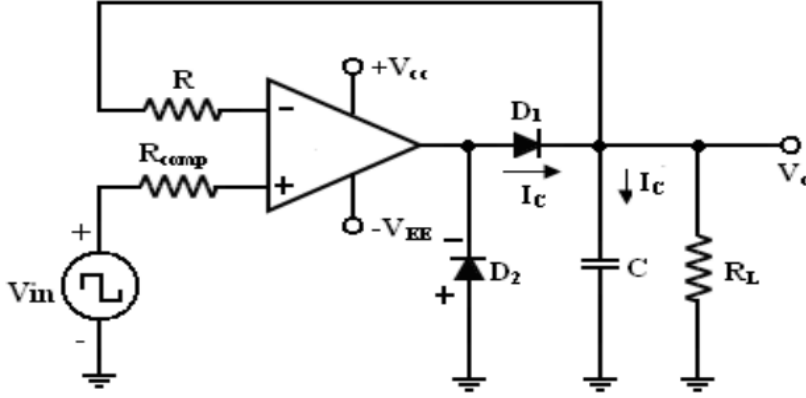
i) पॉझिटिव्ह पीक डिटेक्टर आणि

ii) निगेटिव्ह पीक डिटेक्टर.

i) पॉझिटिव्ह पीक डिटेक्टर:

आकृती क्र. 2.34 पॉझिटिव्ह पीक डिटेक्टर चा सर्किट आकृती दाखवते. 2.28(b) संबंधित तरंगरूपे दाखवते.

- OP-AMP चा वापर विद्युतदाब फॉलोअर म्हणून केला जातो. त्यामुळे या सर्किटचा गेन 1 आहे. डायोड D1 इनपुटच्या सकारात्मक अर्ध्या सायकल ला फॉरवर्ड बायस्ड असेल, म्हणून हे सर्किट केवळ सकारात्मक इनपुट विद्युतदाबसाठी संवेदनशील आहे D₂ नकारात्मक विद्युतदाबला पुढे जाऊ देत नाही.



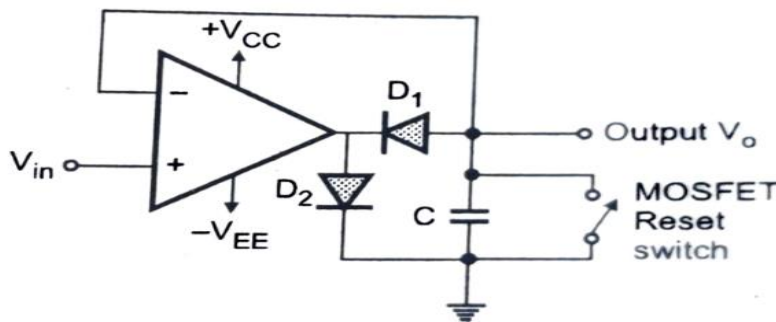
आकृती क्र. 2.35 पॉझिटिव्ह पीक डिटेक्टर चा सर्किट

डायोड D1 आणि D2 हे आदर्श मानले जातात आणि आउटपुट विद्युतदाब V_o हे कॅपेसिटरमधील विद्युतदाबशिवाय दुसरे काहीही नाही. V_o = V_c

- कॅपेसिटरवरील प्रारंभिक विद्युतदाब 0V आहे. त्यामुळे इनपुटच्या पहिल्या सकारात्मक अर्ध्या सायकल, डायोड D1 फॉरवर्ड बायस्ड आहे D2 रिव्हर्स बायस्ड आहे आणि कॅपेसिटर इनपुटच्या पॉझिटिव्ह पीक व्हॅल्यूला चार्ज होतो.
- आता इनपुट विद्युतदाब कमी झाल्यामुळे डायोड D1 रिव्हर्स बायस्ड होतो आणि कंडक्टिंग थांबवते. कॅपेसिटर नंतर स्थिर आउटपुट विद्युतदाब राखतो जे इनपुटच्या शिखर मूल्याच्या बरोबरीचे असते. याला होल्ड मोड म्हणतात.
- पुढील सकारात्मक अर्ध्या सायकल ला, इनपुट विद्युतदाब कॅपेसिटरवरील विद्युतदाबपेक्षा वर येताच डायोड फॉरवर्ड बायस होतो अशा प्रकारे आकृती क्र.2.35 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे कॅपेसिटर आता नवीन उच्च शिखर मूल्यावर चार्ज होतो. लक्षात घ्या की कॅपेसिटर फक्त नवीन उच्च व्हॅल्यूवर चार्ज होईल. त्यामुळे जर इनपुटचे पीक व्हॅल्यू सध्याचा कॅपेसिटर विद्युतदाबपेक्षा कमी असेल, तर आउटपुट बदलत नाही. कारण नंतर डायोड D1 रिव्हर्स बायस्ड राहतो.
- कॅपेसिटरमध्ये जोडलेले MOSFET स्विच सर्किट रीसेट करण्यासाठी आहे. हे स्विच क्षणार्धात चालू करून, कॅपेसिटर पूर्णपणे डिस्चार्ज होऊ शकतो.

ii) निगेटिव्ह पीक डिटेक्टर.

डायोडची दिशा उलट करून तेच सर्किट पीक निगेटिव्ह विद्युतदाब डिटेक्टर म्हणून काम करेल. (आकृती क्र. 2.36 पाहा).

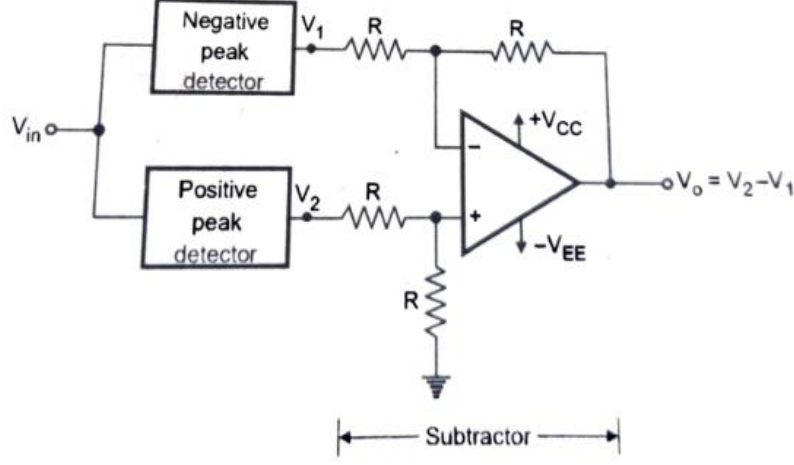


आकृती क्र. 2.36 निगेटिव्ह पीक डिटेक्टर

पीक डिटेक्टर त्यांचे अनुप्रयोग चाचणी (Test) आणि मापन (टी आणि एम) साधनांमध्ये होतो. ते AM (Amplitude Modulation) डिटेक्टर म्हणून देखील वापरले जातात.

iii) पीक टू पीक डिटेक्टर

पीक ते पीक डिटेक्टरचे सर्किट आकृती क्र. 2.37 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे आहे. यात पॉझिटिव्ह पीक डिटेक्टर, निगेटिव्ह पीक डिटेक्टर आणि सबट्रॅक्टर आहे.



आकृती क्र. 2.37 पीक ते पीक डिटेक्टरचे सर्किट

पॉझिटिव्ह पीक डिटेक्टर इनपुट विद्युतदाब V_{in} च्या सकारात्मक अर्ध्या सायकल प्रतिसाद देतो. अशा प्रकारे विद्युतदाब V_2 त्याच्या आउटपुट पीक पॉझिटिव्ह विद्युतदाबशी संबंधित आहे.

निगेटिव्ह पीक डिटेक्टर इनपुट विद्युतदाबच्या V_{in} फक्त नकारात्मक अर्ध्या सायकल प्रतिसाद देईल अशा प्रकारे त्याच्या आउटपुटवर विद्युतदाब V_1 पीक नकारात्मक विद्युतदाबशी संबंधित आहे .

दोन पीक डिटेक्टरचे आउटपुट सबट्रॅक्टरच्या इनपुटवर लागू केले जातात. अशा प्रकारे आउटपुट विद्युतदाब दिले जाते,

$V_o = V_2 - V_1 =$ पॉझिटिव्ह पीक विद्युतदाब - नकारात्मक पीक विद्युतदाब

$V_o =$ पीक टू पीक विद्युतदाब

सोडवलेली उदाहरणे

1. इनपुट विद्युतदाब 1V असताना -5V चे आउटपुट विद्युतदाब प्राप्त करण्यासाठी 741 OP-AMP वापरून एक इनव्हर्टिंग ॲम्प्लीफायर डिझाइन करा. फीडबॅक रेझिस्टर R_f 10 k Ω आहे. आवश्यक इनपुट रेझिस्टर (R_{in}) चे मूल्य निश्चित करा

उत्तर:

इनव्हर्टिंग ॲम्प्लीफायरसाठी आउटपुट विद्युतदाब असे दिले जाते:

$$V_{out} = - \frac{R_f}{R_{in}} \cdot V_{in}$$

दिलेले आहे:

- $V_{in} = 1V$
- $V_{out} = -5V$
- $R_f = 10k\Omega$

$R_{in} = ?$

R_{in} सोडवण्यासाठी V_{out} सूत्राची पुनर्रचना करा

$$R_{in} = - \frac{R_f}{V_{out}} \cdot V_{in}$$

$$= - \frac{10 \times 1000}{-5} = 2000 = 2\text{k}\Omega$$

अशा प्रकारे, इनपुट रेझिस्टर $R_{in} = 2\text{ k}\Omega$

2) इनपुट विद्युतदाब 1V असताना 10V चा आउटपुट विद्युतदाब मिळवण्यासाठी 741 OP-AMP वापरून नॉन-इनव्हर्टिंग ॲम्प्लिफायर डिझाइन करा. रेझिस्टर टू ग्राउंड (R_1) $1\text{ k}\Omega$ आहे. आवश्यक फीडबॅक रेझिस्टर (R_f) चे मूल्य निश्चित करा.

उत्तर:

नॉन-इनव्हर्टिंग ॲम्प्लीफायरसाठी आउटपुट -असे दिले जाते

$$V_{out} = (1 + \frac{R_f}{R_1}) \cdot V_{in}$$

दिलेले आहे:

- $V_{in} = 1\text{V}$
- $V_{out} = 10\text{V}$
- $R_1 = 1\text{k}\Omega$
- We need to find R_f

Rearrange the formula to solve for R_f :

$$(1 + \frac{R_f}{R_1}) = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$R_f = (\frac{V_{out}}{V_{in}} - 1) \cdot R_1 = (\frac{10}{1} - 1) \cdot 1000 = 9\text{ k}\Omega$$

3. इनपुट विद्युतदाब 5V असताना 5V चे आउटपुट विद्युतदाब मिळवण्यासाठी 741 OP-AMP वापरून विद्युतदाब फॉलोअर डिझाइन करा.

उत्तर:

विद्युतदाब फॉलोअरसाठी, आउटपुट विद्युतदाब इनपुट विद्युतदाबच्या बरोबरीचे आहे:

$$V_{out} = V_{in}$$

दिलेला $V_{in} = 5\text{V}$

अशा प्रकारे, कोणत्याही अतिरिक्त घटकांची आवश्यकता नाही आणि आउटपुट विद्युतदाब 5V असेल.

4. -3V चे आउटपुट विद्युतदाब प्राप्त करण्यासाठी 741 OP-AMP वापरून समिंग ॲम्प्लिफायर डिझाइन करा. इनपुट विद्युतदाब $V_{in1} = 1\text{V}$ आणि $V_{in2} = 2\text{V}$ आहेत. फीडबॅक रेझिस्टर R_f आणि इनपुट रेझिस्टर R_1 आणि R_2 सर्व $10\text{ k}\Omega$ आहेत. आउटपुट विद्युतदाब चे मूल्य निश्चित करा.

उत्तर:

इनव्हर्टिंग कॉन्फिगरेशनसह समिंग ॲम्प्लिफायरसाठी आउटपुट विद्युतदाब असे दिले जाते :

$$V_{out} = -R_f (\frac{V_{in1}}{R_{f1}} + \frac{V_{in2}}{R_{f2}})$$

दिलेले आहे:

- $V_{in1} = 1\text{V}$
- $V_{in2} = 2\text{V}$
- $R_f = R_1 = R_2 = 10\text{k}\Omega$

हे मूल्ये टाकून

$$V_{out} = -10\text{k}\Omega (\frac{1}{10\text{k}\Omega} + \frac{2}{10\text{k}\Omega})$$

$$V_{out} = -(1+2) = -3V$$

अशा प्रकारे, आउटपुट व्होल्टेज -3V आहे

5: -2V चे आउटपुट विद्युतदाब प्राप्त करण्यासाठी 741 OP-AMP वापरून फरक अॅम्प्लिफायर डिझाइन करा. इनपुट विद्युतदाब $V_{in1}=5V$ आणि $V_{in2} = 3V$ आहेत. सर्व प्रतिरोधक (R_1, R_2, R_3 आणि R_4) $10\text{ k}\Omega$ आहेत. आउटपुट विद्युतदाब तपासा.

उत्तर:

फरक अॅम्प्लिफायरसाठी: $V_{out} = \left(\frac{R_f}{R_1}\right)(V_{in2} - V_{in1})$

दिलेले आहे:

- $V_{in1}=5V$
- $V_{in2}=3V$
- $R_f=R_1=R_2=R_3=R_4=10\text{k}\Omega$

$$V_{out} = (V_{in2} - V_{in1}) = 3V - 5V$$

$$V_{out} = -2V$$

अशा प्रकारे, आउटपुट व्होल्टेज -2V आहे

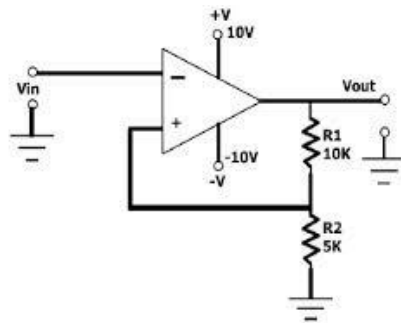
6. इनव्हर्टिंग अॅम्प्लिफायर सर्किटमध्ये $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ आणि $R_f = 3\text{ K}\Omega$ आहे. 2 V च्या इनपुट विद्युतदाब करिता आउटपुट विद्युतदाब, इनपुट प्रतिरोध आणि इनपुट प्रवाह निश्चित करा.

उत्तर: आउटपुट विद्युतदाब $V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}\right) V_i = \left(\frac{3}{1}\right) \times 2 = -6V$

इनपुट प्रतिरोध $R_{in} = R_1 = 1\text{ K}\Omega$.

$$\text{इनपुट प्रवाह } i = \frac{V_i}{R_{in}} = \frac{2}{1000} = 2\text{ mA.}$$

6. दिलेल्या स्किमेट ट्रिगर सर्किटरीमध्ये



आकृती क्र. 2.38 स्किमेट ट्रिगर सर्किट

$R_1=1\text{K}\Omega$, $R_2=100\text{ }\Omega$, $V_{ref} = 0$, $V_{in}=1\text{Vpp}$ आणि सायनुसॉईडल संपृक्तता व्होल्टेज $\pm 15V$, मग V_{UT} , V_{LT} आणि R_{o1} चे मूल्य निश्चित करा.

गणना:

स्किमेट ट्रिगर सर्किटरीमध्ये $R_1=1\text{K}\Omega$, $R_2=100\text{ }\Omega$, $V_{ref} = 0V$, $V_{in}=1\text{Vpp}$ आणि सायनुसॉईडल संपृक्तता व्होल्टेज

$$\pm 15V$$

$$V_o = +V_{sat} \text{ किंवा } -V_{sat}$$

$$V_{ref} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_o$$

$$R_{o1} = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1000 \times 100}{1000 + 100} = \frac{1000}{11} = 90.91 \Omega$$

V_{UT} हा वरचा थ्रेशोल्ड पॉइंट आहे जर आउटपुट विद्युतदाब हा +ve संदर्भ असेल

$$V_{UT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (+V_{sat}) = \frac{100}{1000 + 100} \times 15 = 1.36V$$

V_{LT} हा लोअर थ्रेशोल्ड पॉइंट आहे जर आउटपुट विद्युतदाब हा -ve संदर्भ असेल

$$V_{LT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (-V_{sat}) = \frac{100}{1000 + 100} \times (-15) = -1.36V$$

स्वाध्याय

1. IC 741 OP-AMP ची मूलभूत वैशिष्ट्ये स्पष्ट करा.

Explain the basic characteristics of OpAmp IC 741.

2. IC 741 OP-AMP साठी इनपुट ऑफसेट विद्युतदाब, इनपुट बायस विद्युतप्रवाह आणि स्ल्यू रेटसाठी विशिष्ट मूल्ये कोणती आहेत?

What are typical values for input offset voltage, input bias current and slew rate for IC 741 OpAmp?

3. ओपन लूप आणि बंद लूप कॉन्फिगरेशनला थोडक्यात स्पष्ट करा.

Briefly explain open loop and closed loop configuration.

4. 741 OP-AMP वापरून नॉन-इनव्हर्टिंग ऑप्लिफायरचा सर्किट आकृती काढा, त्याच्या विद्युतदाब वाढीसाठी अभिव्यक्ती काढा.

Draw the circuit diagram of a non-inverting amplifier using 741 OpAmps, derive an expression for its voltage gain.

5. तीन इनपुट विद्युतदाबची बेरीज करण्यासाठी 741 OP-AMP वापरून समिंग ऑप्लिफायर डिझाइन करा.

Design a summing amplifier using 741 OpAmps to sum the three input voltages.

6. IC 741 OP-AMP ला शून्य-क्रॉसिंग डिटेक्टरमध्ये रूपांतरित करण्यासाठी कोणते बदल आवश्यक आहेत? ते स्पष्ट करा.

What modifications are required to convert a 741 OpAmp into a zero-crossing detector? Explain it.

7. IC 741 OP-AMP वापरून इंटिग्रेटरचे सर्किट काढा आणि स्पष्ट करा. हे सर्किट कोणत्या अनुप्रयोगांसाठी वापरले जाऊ शकते?

Draw and explain the circuit of integrator using 741 OpAmps. For what applications can this circuit be used?

8. 741 OP-AMP वापरून डिफरेंशिएटरचे सर्किट काढा आणि ते स्पष्ट करा.

Draw and explain the circuit of differentiator using IC 741 OpAmp.

9. OP-AMP आधारित स्मिट ट्रिगरसाठी $R_2 = 150 \text{ K}\Omega$, $R_1 = 100 \text{ K}\Omega$, $V_{in} = 500 \text{ mV}$ साइन वेव्ह, संपृक्तता विद्युतदाब $= \pm 15 \text{ V}$ असल्यास. थ्रेशोल्ड विद्युतदाब V_{UTP} आणि V_{LTP} शोधा.

If $R_2 = 150 \text{ K}\Omega$, $R_1 = 100 \text{ K}\Omega$, $V_{in} = 500 \text{ mV}$ sine wave for OpAmp based Schmitt trigger, saturation voltage $= \pm 15 \text{ V}$. Find the threshold voltage V_{UTP} and V_{LTP} .

लघुप्रकल्प

1. IC 741 किंवा समतुल्य वापरून स्केअर वेव जनरेटर तयार करा.
2. निम्न-स्तरीय ऑडिओ सिग्नल वाढवण्यासाठी 741 OP-AMP वापरून एक साधे ऑडिओ ॲम्प्लिफायर सर्किट डिझाइन विकसित करा.
3. एक सर्किट जो इनपुट सिग्नलला उलट करतो तो विकसित करा आणि एकाधिक इनपुट सिग्नल एकत्र जोडण्यासाठी समिंग ॲम्प्लिफायर सर्किट विकसित करा.
4. विविध सिग्नल प्रोसेसिंग ॲप्लिकेशन्समध्ये उपयुक्त असलेल्या दोन इनपुट सिग्नलमधील फरक वाढविण्यासाठी एक विभेदक ॲम्प्लिफायर सर्किट तयार करा.
5. उच्च इनपुट प्रतिबाधा आणि कमी आउटपुट प्रतिबाधा प्रदान करण्यासाठी 741 OP-AMP वापरून विद्युतदाब फॉलोअर सर्किट डिझाइन करा.
6. दोन विद्युतदाबची तुलना करणारे आणि इनपुट जास्त आहे यावर आधारित उच्च किंवा कमी सिग्नल आउटपुट करणारे एक तुलनात्मक सर्किट तयार करा.
7. इंटिग्रेटर सर्किट तयार करा, जे सिग्नल प्रोसेसिंग आणि कंट्रोल सिस्टममध्ये वापरले जाऊ शकते.

संकेत स्थळ

- <https://www.learningaboutelectronics.com/Articles/Difference-amplifier-circuit.php>
- https://www.electronics-tutorials.ws/OpAmp/OpAmp_4.htm

संदर्भ:

Sr. No.	Author	Title	Publisher with ISBN Number
1	Sedha R.S.	Applied Electronics	Sedha R.S. Applied Electronics S.Chand, New Delhi, 2015 ISBN:9788121927833
2	Gayakwad Ramakant A.	Op-Amps and Linear Integrated Circuits	PHI Learning, New Delhi 2011, ISBN:9788120320581
3	Salivahanan S., Bhaaskaran Kanchana V.S.	Linear Integrated Circuits	Tata McGraw-Hill Education, New Delhi, 2018, ISBN: 9789353160487
4	Chaudhary D. Roy	Linear Integrated Circuits	New Age International Publishers ISBN: 9788122420906
5	S. Salivahanan, N. Suresh Kumar	Electronic Devices and Circuits	McGraw Hill Education, Edition- Fourth, ISBN- 9789339219505

युनिट - 3

वेव्हफॉर्म जेनरेटर

Waveform Generator

विषय निष्पत्ति (Course Outcome):

वेगवेगळ्या वेव्हफॉर्म जनरेटर सर्किटची निगा राखणे

Maintain different Waveform Generator circuits

युनिट निष्पत्ति (Unit Outcomes):

3.a अॅम्प्लीफायर सर्किट्ससाठी पॉझिटिव्ह आणि निगेटिव्ह फीडबॅकचे तत्त्व स्पष्ट करणे.

Explain the principle of positive and negative feedback for amplifier circuits

3.b बार्कहौसेन नियमावली स्पष्ट करणे.

State Barkhausen's criteria for oscillation.

3.c दिलेल्या प्रकारच्या ऑसिलेटरच्या कार्याच्या तत्त्वाचे वर्णन करणे.

Describe the working principle of a given type of oscillator.

3.d दिलेल्या ऑसिलेटरसाठी दोलनाच्या फ्रिक्वेन्सीची गणना करणे.

Calculate the frequency of oscillation for a given oscillator.

3.e दिलेल्या ऑपरेटिंग फ्रिक्वेन्सीसाठी दिलेल्या प्रकारच्या ऑसिलेटरचे सर्किट घटक निवडा.

Select the circuit components of the given type of oscillator for given operating frequency.

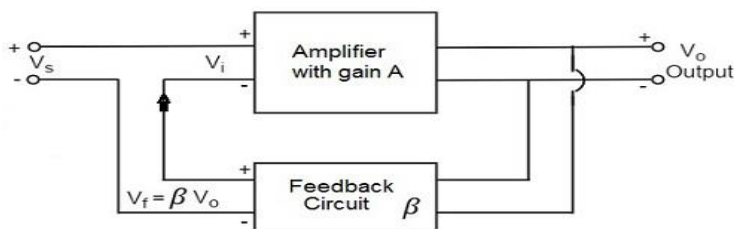
परिचय:

वेव्हफॉर्म जनरेटर एक इलेक्ट्रॉनिक सर्किट आहे, जो स्टॅण्डर्ड वेव्हफॉर्म निर्माण करतो. जवळजवळ प्रत्येक इलेक्ट्रॉनिक प्रणालीमध्ये वेव्हफॉर्म जनरेटरद्वारे इलेक्ट्रॉनिक नियंत्रित फ्रिक्वेन्सी(frequency), फेज(phase), अॅम्प्लिट्यूड (amplitude) आणि वेव्हफॉर्म आकार (किंवा तरंग आकार) सिग्नलची पद्धतशीर निर्मिती केली जाते. वेव्हफॉर्म जनरेटरचे दोन प्रकार आहेत: स्केअर वेव्ह जनरेटर, ट्रॅंग्युलर वेव्ह जनरेटर. एक स्केअर वेव्ह जनरेटर एक इलेक्ट्रॉनिक सर्किट आहे जो स्केअर वेव्ह (Square wave) निर्माण करतो. ट्रॅंग्युलर वेव्ह जनरेटर एक इलेक्ट्रॉनिक सर्किट आहे, जो त्रिकोणी वेव्ह (Triangular wave) निर्माण करतो.

साध्या इंटिग्रेटेड सर्किट्समधून किंवा रेझिस्टर-कॅपॅसिटर (RC) टँक सर्किटला क्वार्ट्झ क्रिस्टलला जोडलेल्या ऑपरेशनल प्रवर्धकसमधून बेसिक वेव्हफॉर्म जनरेटर सर्किट्स किंवा तयार करणे देखील शक्य आहे जे इच्छित वारंवारतेवर आवश्यक बायनरी किंवा स्केअर वेव्ह आउटपुट वेव्हफॉर्म तयार करते. वेव्हफॉर्म जनरेटरद्वारे निर्माण केलेली स्केअर वेव्ह हि टायमिंग(timing) किंवा अनुक्रमिक(sequential) वेव्हफॉर्म म्हणून वापरतात

वेव्हफॉर्म जनरेटरचा वापर सर्किट्सवर निर्दिष्ट अॅनालॉग सिग्नल लागू करण्यासाठी, डीसी (D.C) सिग्नलमधील काहीही, वेगवेगळ्या फ्रिक्वेन्सीच्या साइन लहरी, AM/FM मॉड्युलेटेड सिग्नल उत्पन्न करण्यासाठी केला जातो.

3.1 फीडबॅक अॅम्प्लीफायरचे तत्त्व:



आकृती क्र 3.1 फीडबॅक अॅम्प्लीफायर

फीडबॅक ॲम्प्लीफायर (Feedback Amplifier):

फीडबॅक ही आउटपुटमधून काही ऊर्जा इंजेक्ट करण्याची आणि नंतर ती इनपुटवर परत करण्याची प्रक्रिया आहे. या तत्वाला वापरणारे ॲम्प्लीफायरला, फीडबॅक ॲम्प्लीफायर म्हणतात.

फीडबॅक ॲम्प्लीफायरमध्ये मूलतः ॲम्प्लीफायर सर्किट आणि फीडबॅक सर्किट (किंवा नेटवर्क) असे दोन भाग असतात. फीडबॅक सिग्नल इनपुट सिग्नल वाढवतो किंवा कमी करतो यावर अवलंबून, आकृती क्रमांक 3.1 मध्ये, ॲम्प्लीफायर गेन (Gain) A म्हणून दर्शविला जातो. ॲम्प्लीफायर गेन (Gain) आउटपुट विद्युतदाब V_o आणि इनपुट विद्युतदाब V_i चे गुणोत्तर आहे. फीडबॅक नेटवर्क ॲम्प्लीफायर आउटपुट V_o मधून विद्युतदाब V_f काढते.

विद्युतदाब V_f चे समीकरण खालीलप्रमाणे दिले आहे

$$V_f = \beta V_o \text{ काढते.}$$

$\beta = V_f/V_o$ याला फीडबॅक फॅक्टर म्हणतात.

पॉझिटिव्ह फीडबॅकसह, फीडबॅक ॲम्प्लीफायरच्या गेनचे समीकरण दिले आहे

इनपुट लूपवर KVL लागू करा,

$$V_s - V_i + V_f = 0$$

$$V_s + V_f = V_i \dots\dots\dots 1$$

$$\text{ओपन लूप गेन} = A = V_o/V_i$$

$$V_o = A V_i$$

$$V_o = A [V_s + V_f] \dots\dots\dots \text{from 1}$$

$$V_o = A [V_s + \beta V_o]$$

$$V_o = A V_s + A \beta V_o$$

$$V_o - A \beta V_o = A V_s$$

$$V_o [1 - A \beta] = A V_s$$

$$V_o/V_s = A/(1 - A\beta)$$

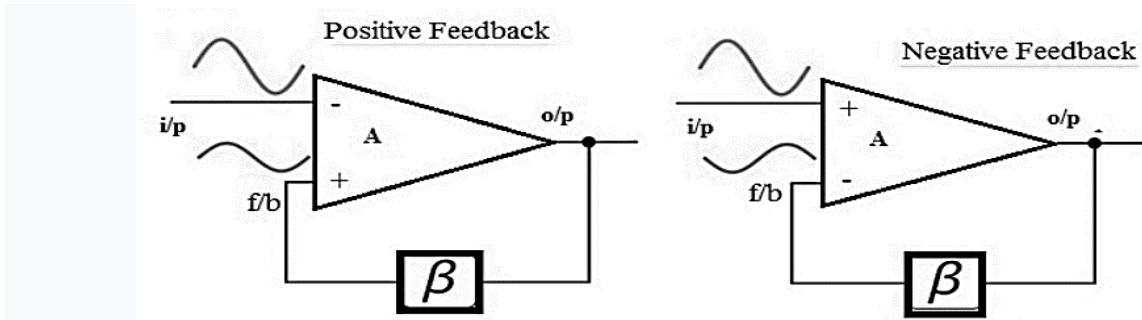
$$A_{FB} = V_o/V_{in} = A/(1 - A\beta)$$

नेगेटिव्ह फीडबॅक ॲम्प्लीफायरच्या लाभाचे समीकरण दिले आहे

$$A_{FB} = V_o/V_{in} = A/(1 + A\beta)$$

3.1.1 फीडबॅकचे प्रकार

फीडबॅकचे दोन मूलभूत प्रकार आहेत:



आकृती क्र 3.2: पॉझिटिव्ह आणि निगेटिव्ह फीडबॅक रचना

1. पॉझिटिव्ह फीडबॅक: जर फीडबॅक सिग्नल (विद्युतदाब किंवा विद्युतप्रवाह) अशा प्रकारे लागू केले गेले जे इनपुट सिग्नलसह टप्प्यात असेल आणि अशा प्रकारे ते वाढवत असेल, तर त्याला पॉझिटिव्ह फीडबॅक म्हणतात. काहीवेळा याला पुनरुत्पादक फीडबॅक किंवा डायरेक्ट फीडबॅक म्हणून देखील ओळखले जाते. पॉझिटिव्ह फीडबॅक ॲम्प्लीफायरचा गेन वाढवतो. पॉझिटिव्ह फीडबॅक हा ऑसिलेटरमध्ये वापरला जातो.

ज्या फीडबॅकमध्ये फीडबॅक एनर्जी म्हणजेच विद्युतदाब किंवा विद्युतप्रवाह इनपुट सिग्नलच्या इन फेज असते त्यामुळे त्याला पॉझिटिव्ह फीडबॅक म्हणतात. इनपुट सिग्नल आणि फीडबॅक सिग्नल दोन्ही 180° च्या फेज शिफ्टचा परिचय देतात त्यामुळे लूपभोवती 360° परिणामी फेज शिफ्ट होते, शेवटी इनपुट सिग्नल आणि आउटपुट सिग्नल हे फेज मध्ये असतात. जरी पॉझिटिव्ह फीडबॅकमुळे ॲम्प्लीफायरचा फायदा वाढतो, परंतु त्याचे तोटे आहेत जसे की वाढती विकृती (distortion), वाढती अस्थिरता या गैरसोयींमुळे ॲम्प्लीफायरसाठी पॉझिटिव्ह फीडबॅक देण्याची शिफारस केली जात नाही. जर पॉझिटिव्ह फीडबॅक पुरेसा मोठा असेल तर ते ऑस्सीलेशन नां कारणीभूत ठरते, ज्याद्वारे ऑसिलेटर सर्किट्स तयार होतात.

2. निगेटिव्ह फीडबॅक: जर फीडबॅक सिग्नल अशा प्रकारे लागू केला असेल की तो इनपुट सिग्नलसह फेजच्या बाहेर आहे आणि त्यामुळे तो कमी होतो तर त्याला निगेटिव्ह फीडबॅक म्हणतात काहीवेळा त्याला डीजनरेटिव्ह फीडबॅक किंवा इन्वर्स फीडबॅक देखील म्हटले जाते. निगेटिव्ह फीडबॅक ॲम्प्लीफायरचा गेन (gain) कमी करतो. अशा प्रकारे निगेटिव्ह फीडबॅक वारंवार लहान सिग्नलमध्ये तसेच मोठ्या सिग्नल ॲम्प्लीफायर सर्किट्समध्ये वापरली जाते.

फीडबॅक ॲम्प्लीफायर संकल्पना आकृती 3.2 वरून समजू शकते. ज्या फीडबॅकमध्ये फीडबॅक एनर्जी म्हणजेच विद्युतदाब किंवा विद्युतप्रवाह इनपुटच्या फेज बाहेर आहे आणि त्यामुळे त्याचा विरोध होतो, त्याला निगेटिव्ह फीडबॅक म्हणतात. निगेटिव्ह फीडबॅकमध्ये, ॲम्प्लीफायर सर्किटमध्ये 180° चे फेज शिफ्ट सादर करतो तर फीडबॅक नेटवर्क असे डिझाइन केलेले आहे की ते फेज शिफ्ट किंवा शून्य फेज शिफ्ट तयार करत नाही. अशाप्रकारे परिणामी फीडबॅक विद्युतदाब V_f हे इनपुट सिग्नल V_{in} सह फेजच्या बाहेर 180° आहे. निगेटिव्ह फीडबॅक ॲम्प्लीफायर चा गेन (gain) कमी झाला असला तरी निगेटिव्ह फीडबॅकचे अनेक फायदे आहेत.

तक्ता क्र. 3.1 पॉझिटिव्ह फीडबॅक आणि निगेटिव्ह फीडबॅकची तुलना

वैशिष्ट्ये	पॉझिटिव्ह फीडबॅक	निगेटिव्ह फीडबॅक
इनपुट आणि आउटपुटमधील संबंध	इन फेज	आऊट ऑफ फेज
एकूण गेन	फीडबॅक उपस्थित नसलेल्या सिस्टमच्या गेन पेक्षा जास्त.	फीडबॅक अनुपस्थित असलेल्या सिस्टमच्या गेन पेक्षा लहान.
प्रभावी इनपुट	लागू केलेल्या इनपुट आणि फीडबॅक सिग्नलची बेरीज.	लागू केलेले इनपुट आणि फीडबॅक सिग्नलमधील फरक
फेज शिफ्ट	0° or 360°	180°
अनुप्रयोग	ऑसिलेटर	ॲम्प्लीफायर
स्थिरता (Stability)	कमी	तुलनेने अधिक
संवेदनशीलता (sensitivity)	कमी	उच्च

3.1.2 निगेटिव्ह फीडबॅकचे फायदे आणि तोटे:

निगेटिव्ह फीडबॅकचे फायदे:

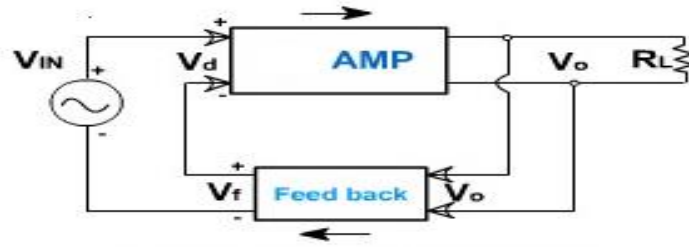
1. अत्यंत स्थिर गेन (gain) आहे.
2. त्यात कमी हार्मोनिक विकृती आहे.
3. त्यात फेज विकृती कमी आहे
4. निगेटिव्ह फीडबॅकमुळे नको असलेला(noise) सिग्नल कमी होतो.
5. इनपुट आणि आउटपुट इम्पीडन्स इच्छेनुसार सुधारित केले जाऊ शकते.
6. आउटपुट इम्पीडन्स वाढवू किंवा कमी करू शकते.

निगेटिव्ह फीडबॅकचे तोटे:

1. गेन कमी असतो.
2. हे विद्युतप्रवाह-शंट आणि विद्युतप्रवाह-सिरीझ फीडबॅक प्रवर्धकाचे आउटपुट इम्पीडन्स वाढवते.

3.1.3 निगेटिव्ह फीडबॅक सर्किट्सचे प्रकार:

1. विद्युतदाब-सिरीझ फीडबॅक

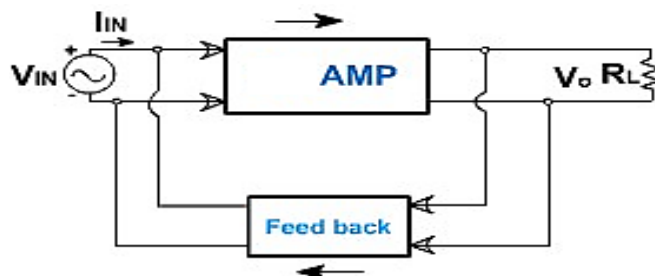


आकृती क्र 3.3: विद्युतदाब-सिरीझ फीडबॅक

वैशिष्ट्ये:

1. विद्युतदाब गेन: कमी असतो
2. बँडविड्थ: जास्त असतो
3. हार्मोनिक विकृती: कमी असतो
4. नको असलेला(noise) सिग्नल: कमी असतो
5. इनपुट रेझिस्टन्स: जास्त असतो
6. आउटपुट रेझिस्टन्स: कमी असतो

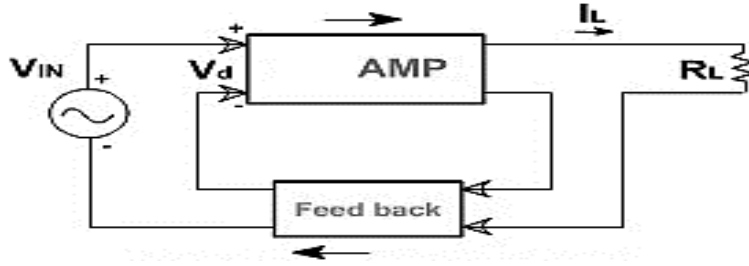
2. विद्युतदाब-शंट फीडबॅक.



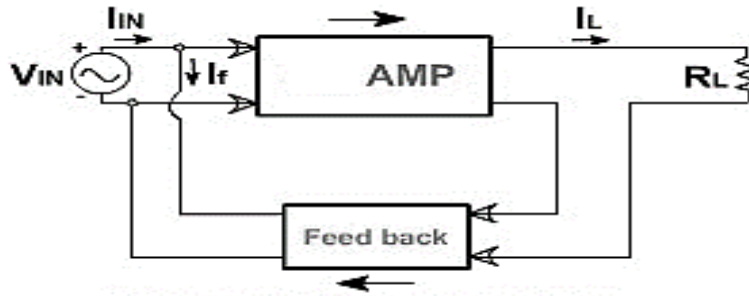
आकृती क्र 3.4: विद्युतदाब-शंट फीडबॅक

वैशिष्ट्ये:

1. विद्युतदाब गेन:कमी असतो
2. बँडविड्थ: जास्त असतो
3. हार्मोनिक विकृती:कमी असतो
4. नको असलेला(noise) सिग्नल:कमी असतो
5. इनपुट रेझिस्टन्स:कमी असतो
6. आउटपुट रेझिस्टन्स:कमी असतो

3. विद्युतप्रवाह-सिरीझ फीडबॅक**आकृती क्र 3.5: विद्युतप्रवाह-सिरीझ फीडबॅक****वैशिष्ट्ये:**

1. विद्युतदाब गेन:कमी असतो
2. बँडविड्थ: जास्त असतो
3. हार्मोनिक विकृती:कमी असतो
4. नको असलेला(noise) सिग्नल:कमी असतो
5. इनपुट रेझिस्टन्स:जास्त असतो
6. आउटपुट रेझिस्टन्स:जास्त असतो

विद्युतप्रवाह-शंट फीडबॅक:**आकृती क्र 3.6: विद्युतप्रवाह-शंट फीडबॅक****वैशिष्ट्ये:**

1. विद्युतदाब गेन:कमी असतो
2. बँडविड्थ: जास्त असतो
3. हार्मोनिक विकृती:कमी असतो

4. नको असलेला(noise) सिग्नल:कमी असतो
5. इनपुट रेझिस्टन्स:कमी असतो
6. आउटपुट रेझिस्टन्स:जास्त असतो

तक्ता क्र. 3.2 निगेटिव्ह फीडबॅक सर्किट्सच्या प्रकारांची तुलना

वैशिष्ट्ये	विद्युतदाब-सिरीझ फीडबॅक	विद्युतदाब-शंट फीडबॅक	विद्युतप्रवाह-सिरीझ फीडबॅक	विद्युतप्रवाह-शंट फीडबॅक
विद्युतदाब गेन	कमी	कमी	कमी	कमी
बँडविड्थ	जास्त	जास्त	जास्त	जास्त
हार्मोनिक विकृती	कमी	कमी	कमी	कमी
नको असलेला(noise) सिग्नल	कमी	कमी	कमी	कमी
इनपुट रेझिस्टन्स	जास्त	कमी	जास्त	कमी
आउटपुट रेझिस्टन्स	कमी	कमी	जास्त	जास्त

3.2 ऑसिलेटर (Oscillator):

ऑसिलेटरची गरज (Need of Oscillator)

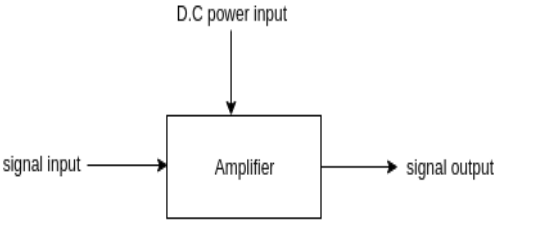
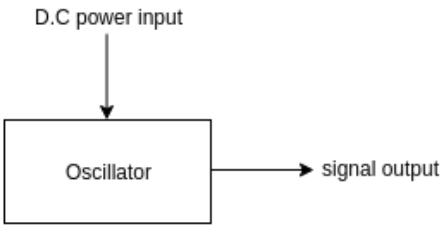
ऑसिलेटर हे एक सर्किट आहे जे फिक्स्ड ॲम्प्लिट्यूड आणि फ्रिक्वेन्सी (frequency) साइनसॉइडल वेव्हफॉर्म तयार करण्यासाठी पॉझिटिव्ह फीडबॅक ॲम्प्लीफायरचा (amplifier) वापर करते. विद्युत आणि इलेक्ट्रॉनिक उपकरणांमध्ये हा शक्तीचा प्रमुख स्त्रोत आहे.

पॉझिटिव्ह (Positive) फीडबॅकसह प्रदान केलेले ॲम्प्लीफायर कोणतेही इनपुट नसतानाही साइनसॉइडल सिग्नल तयार करू शकतात. या सिग्नलला ऑस्सिलेशन असे म्हणतात, आणि म्हणून डिव्हाइसला ऑसिलेटर म्हणून ओळखले जाते.

3.2.1 ॲम्प्लीफायर आणि ऑसिलेटरची तुलना:

तक्ता क्र 3.3 : ॲम्प्लीफायर आणि ऑसिलेटरची तुलना

वैशिष्ट्ये	ॲम्प्लीफायर (Amplifier)	ऑसिलेटर (Oscillator)
व्याख्या	कमकुवत सिग्नलची तीव्रता वाढवणाऱ्या इलेक्ट्रॉनिक सर्किटला ॲम्प्लीफायर म्हणतात.	साइनसॉइडल किंवा नॉनसाइनसॉइडल वेव्हफॉर्म असलेल्या निश्चित वारंवारतेचा एसी (A.C) सिग्नल तयार करणाऱ्या इलेक्ट्रॉनिक सर्किटला ऑसिलेटर म्हणतात.

ब्लॉक डायग्राम		
सर्किटमधील प्राथमिक कार्य आणि स्थान	अॅम्प्लीफायरचे मुख्य कार्य म्हणजे सिग्नलची तीव्रता वाढवणे. म्हणून, प्रवर्धक सर्किटमध्ये वारंवार वापरले जातात कारण लांब अंतरावर प्रवास करताना सिग्नल त्याची ऊर्जा गमावतो.	ऑसिलेटर हे पिरियोडिक(periodic) इलेक्ट्रॉनिक सिग्नल (signal) तयार करतात, विशेषतः साइन वेव्ह किंवा स्क्वेअर वेव्ह. ऑसिलेटर DC सिग्नलला पिरियोडिक(periodic) AC सिग्नलमध्ये रूपांतरित करतात ज्याचा वापर ध्वनी लहरींची फ्रिक्वेन्सी (frequency) सेट करण्यासाठी किंवा क्लॉक सिग्नल म्हणून वापरला जाऊ शकतो.
कार्य	अॅम्प्लीफायर गुणक म्हणून काम करतो.	ऑसिलेटर एक स्रोत म्हणून कार्य करते.
आउटपुट सिग्नल	अॅम्प्लीफायरचे आउटपुट हे इनपुट प्रमाणेच एक प्रवर्धित सिग्नल आहे. तो कालावधी किंवा अपिरियोडिक असू शकते.	ऑसिलेटर नेहमी एक दोलन निर्माण करतो, म्हणजे नियतकालिक सिग्नल निर्माण करतो.
इनपुट आणि आउटपुटची उपस्थिती	अॅम्प्लीफायरमध्ये इनपुट आणि आउटपुट दोन्ही असणे आवश्यक आहे.	ऑसिलेटरमध्ये फक्त आउटपुट असते.
फीडबॅक प्रकार	प्रवर्धकमध्ये, निगेटिव्ह फीडबॅक वापरला जातो.	ऑसिलेटर पॉझिटिव्ह फीडबॅक वापरतात.
इनपुट सिग्नलची आवश्यकता	ऑपरेशनसाठी, अॅम्प्लीफायरला अॅम्प्लीफाइड आउटपुट सिग्नल उत्पन्न करण्यासाठी इनपुट सिग्नलची आवश्यकता असते. इनपुट सिग्नलशिवाय ते काहीही करत नाही.	ऑसिलेटरला ऑसीलेटरी आउटपुट सिग्नल उत्पन्न करण्यासाठी इनपुट सिग्नलची आवश्यकता नसते.
अनुप्रयोग	ऑडिओ सिग्नलची तीव्रता वाढवण्यासाठी ऑडिओ सिस्टीममध्ये प्रवर्धकचा मोठ्या प्रमाणावर वापर केला जातो.	कॉम्प्युटर, लॅपटॉप आणि इतर अनेक इलेक्ट्रॉनिक उपकरणांमध्ये आणि सिंक्रोनाइझेशनसाठी क्लॉक पल्स तयार करण्यासाठी ऑसिलेटरचा मोठ्या प्रमाणावर वापर केला जातो.

3.3 बार्कहौसेन क्रायटेरिया:

ऑसिलेटर त्या फ्रिक्वेन्सीवर काम करेल ज्यासाठी एकूण शिफ्ट 0° किंवा 360° आहे.

लूप गेन $A\beta$ चे परिमाण ऑसिलेशनच्या फ्रिक्वेन्सीवर 1 च्या बरोबरीचे असणे आवश्यक आहे. म्हणजे

1. $A\beta = 1$ आणि

2. लूपवर फेज शिफ्ट (θ) = 0° किंवा 360° .

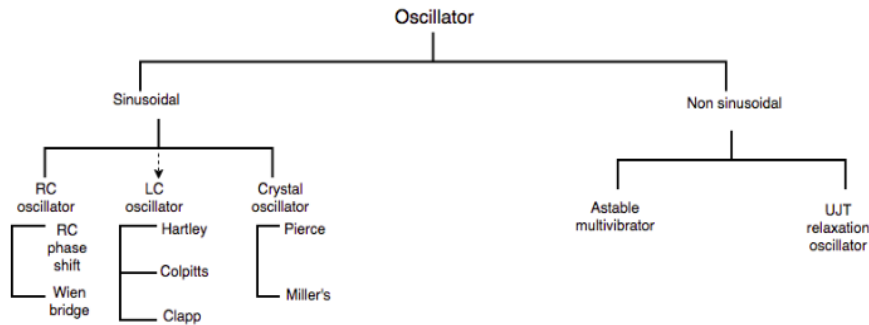
3.3.1 ऑसिलेटरचे वर्गीकरण:

ऑसिलेटरचे मुख्य दोन प्रकार आहेत

- 1) साइनसाइडल ऑसिलेटर
- 2) नॉनसाइनसाइडल ऑसिलेटर

साइनसाइडल ऑसिलेटरच्या मुख्य प्रकारांमध्ये खालील ऑसिलेटर समाविष्ट आहेत:

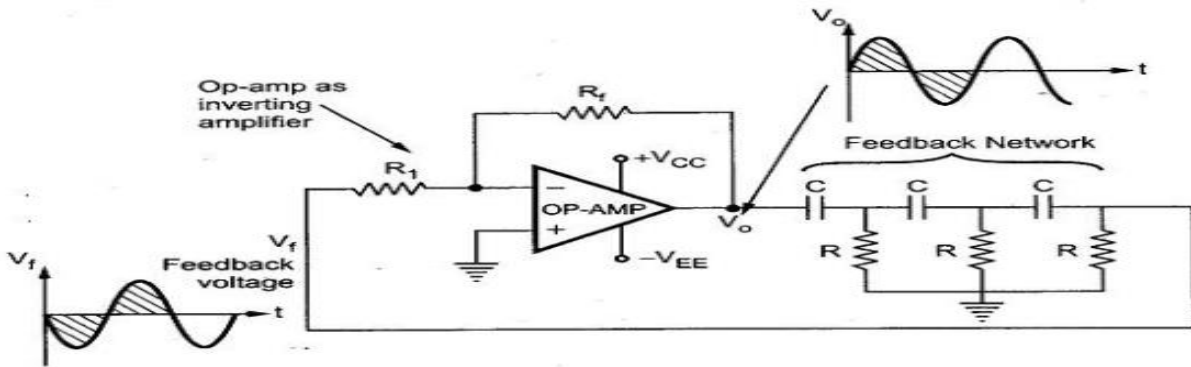
1. वेन ब्रिज ऑसिलेटर
2. RC फेज शिफ्ट ऑसिलेटर
3. एल.सी.(LC) ऑसिलेटर
4. हार्टले (Hartley) ऑसिलेटर
5. कोलपिट्स (Colpitts) ऑसिलेटर
6. क्लॅप(Clapp) ऑसिलेटर
7. क्रिस्टल (crystal) ऑसिलेटर



आकृती क्र 3.7: ऑसिलेटरचे वर्गीकरण

3.4 ऑसिलेटर सर्किट्स:

3.4.1 IC 741 आधारीत फेज शिफ्ट ऑसिलेटर:



आकृती क्र 3.8: IC 741 आधारीत फेज शिफ्ट ऑसिलेटर

OP-AMP वापरून R-C फेज शिफ्ट ऑसिलेटर मध्ये OP-AMP हा इनव्हर्टिंग अॅम्प्लीफायर मोडमध्ये वापरतो. अशा प्रकारे ते इनपुट आणि आउटपुट दरम्यान 180° चे फेज शिफ्ट सादर करते. फीडबॅक नेटवर्कमध्ये प्रत्येकी 60° फेज शिफ्ट निर्माण करणारे 3 RC विभाग असतात. OP-AMP वापरून असे RC फेज शिफ्ट ऑसिलेटर आकृती 3.8 मध्ये दाखवले आहे. अॅम्प्लीफायरचे आउटपुट फीडबॅक नेटवर्कला दिले जाते. फीडबॅक नेटवर्कचे आउटपुट अॅम्प्लीफायरला कार्यान्वित करते. लूपभोवती एकूण फेज शिफ्ट अॅम्प्लीफायरचे 180° आणि तीन RC विभागामुळे 180° आहे, अशा प्रकारे 360° . हे पॉझिटिव्ह

फीडबॅक आवश्यक स्थिती पूर्ण करते आणि सर्किट ऑसिलेटर म्हणून कार्य करते.

खाली दिलेल्या फ्रिक्वेन्सीवर (Frequency) RC फेज शिफ्ट ऑसिलेटरची सर्किट ऑसिलेट (oscillate) करते $F = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}}$ या वारंवारतेवर,

$$\beta = -\frac{1}{29}$$

निगेटिव्ह चिन्ह 180° चे फेज शिफ्ट दर्शवते $|\beta| = \frac{1}{29}$ आता ऑसिलेशनसाठी $|A||\beta| \geq 1$ $|A| \geq \frac{1}{|\beta|} \geq 29$

अशा प्रकारे IC741 आधारीत फेज शिफ्ट ऑसिलेटर सर्किट ऑसिलेटर म्हणून काम करेल जे 29 गेन असल्यास आणि लूपभोवती एकूण फेज शिफ्ट 360° असल्यास साइनसॉइडल वेव्हफॉर्म तयार करेल. हे ऑसिलेटरसाठी बरखौसेन निकष पूर्ण करते. हे ऑसिलेटर ऑडिओ फ्रिक्वेन्सी रेंजवर वापरले जातात, म्हणजे सुमारे 20 Hz ते 100 kHz पर्यंत.

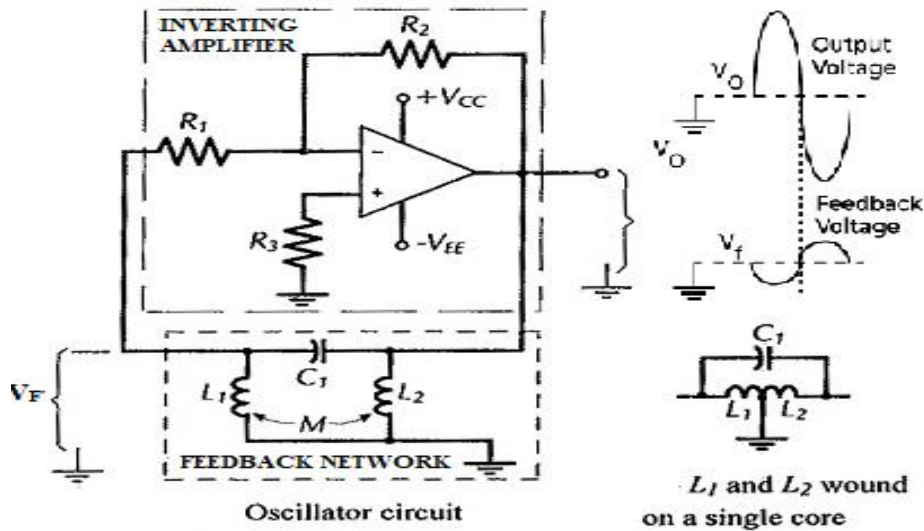
आर-सी फेज शिफ्ट ऑसिलेटरचे फायदे:

1. सर्किट डिझाइन करणे सोपे आहे.
2. ऑडिओ फ्रिक्वेन्सी श्रेणीवर आउटपुट तयार करू शकते.
3. साइनसॉइडल आउटपुट वेव्हफॉर्म तयार करते. -
4. हे एक स्थिर-फ्रिक्वेन्सी ऑसिलेटर आहे.

आर-सी फेज शिफ्ट ऑसिलेटरचे तोटे"

1. R आणि C ची मूल्ये बदलून, ऑसिलेटरची फ्रिक्वेन्सी बदलली जाऊ शकते. पण तिन्ही विभागांची R आणि C ची मूल्ये दोलायमान परिस्थिती पूर्ण करण्यासाठी एकाच वेळी बदलली पाहिजेत. पण हे व्यावहारिकदृष्ट्या अशक्य आहे. म्हणून फेज शिफ्ट ऑसिलेटरला सर्व व्यावहारिक हेतूसाठी, एक निश्चित फ्रिक्वेन्सी ऑसिलेटर मानले जाते.
2. ऑसिलेटरची फ्रिक्वेन्सी स्थिरता विविध घटकांच्या आणि तापमान मूल्यांमधील बदलांमुळे आणि वृद्धत्व इत्यादींच्या प्रभावामुळे कमी होते.

3.4.2 IC 741 आधारीत हार्टली ऑसिलेटर:



आकृती क्र.3.9:IC 741 आधारीत हार्टली ऑसिलेटर

OP-AMP वापरून हार्टली ऑसिलेटर सर्किटमध्ये, फीडबॅक नेटवर्कमध्ये दोन इंडक्टर्स आणि एक कॅपेसिटर असतो. आकृती 3.9 दाखवल्याप्रमाणे OP AMP वापरून हार्टली ऑसिलेटर सर्किटमध्ये L_1 आणि L_2 एकाच कोअरवर गुंडाळलेले असू शकतात जेणेकरून दोन वायडिंग्स दरम्यान परस्पर इंडक्टन्स (M) असेल.

या प्रकरणात, एकूण इंडक्टन्स खाली दिल्या प्रमाणे असेल,

$$L_T = L_1 + L_2 + 2M$$

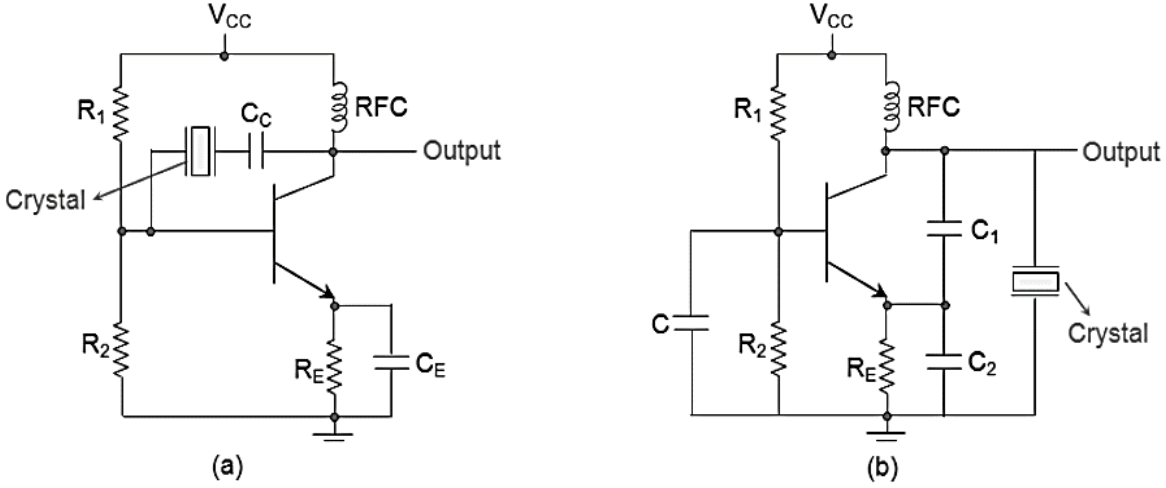
फीडबॅक नेटवर्क रेझोनान्स खाली दिल्या फ्रिक्वेन्सीवर ऑसिलेशन उद्भवते; $F = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1+L_T}}$

Where

$$L_T = L_1 + L_2 + 2M$$

3.4.3 BJT आधारीत क्रिस्टल ऑसिलेटर:

क्रिस्टल ऑसीलेटर्स क्रिस्टलला सर्किटमध्ये जोडून डिझाइन केले जाऊ शकतात जसे की ते सिरीझ-रेझोनंट मोडमध्ये ऑपरेट केल्यावर कमी इम्पिडन्स देते आणि अँटी-रेझोनंट किंवा समांतर(parallel) मध्ये ऑपरेट केल्यावर उच्च इम्पिडन्स देते.



आकृती क्र.10:BJT आधारीत क्रिस्टल ऑसिलेटर

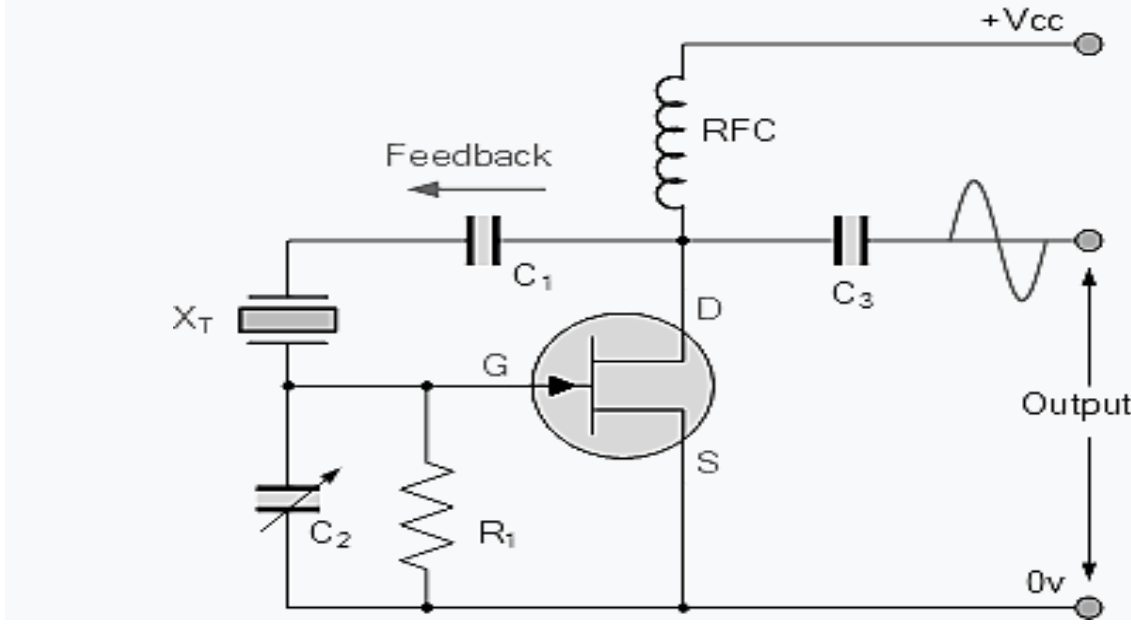
आकृती 3.10 (a) दर्शविलेल्या सर्किटमध्ये, रेझिस्टन्स R_1 आणि R_2 हे विद्युतदाब डिव्हायडर नेटवर्क तयार करतेतर एमिटर रेझिस्टर R_E सर्किट स्थिर करते. पुढे, C_{EAC} बायपास कॅपेसिटर म्हणून कार्य करते, कपलिंग कॅपेसिटर C_C असताना कलेक्टर आणि बेस टर्मिनल्स दरम्यान DC सिग्नल प्रसार ब्लॉक करण्यासाठी वापरला जातो. पुढे, आकृती (b) च्या मध्ये कॅपेसिटर C_1 आणि C_2 कॅपेसिटिव्ह विद्युतदाब डिव्हायडर नेटवर्क तयार करा. याव्यतिरिक्त, दोन्ही आकृती 3.10 (a) आणि आकृती 3.10 (b) च्या सर्किटमध्ये रेडिओ फ्रिक्वेन्सी कॉइल (RFC) देखील आहे जे दुहेरी फायदा देखील प्रदान करते, ते DC बायस प्रदान करते तसेच सर्किट-आउटपुट पूर्वाग्रह करते जे AC पॉवर लाईन्सवरील सिग्नलमुळे प्रभावित होते. सर्वसाधारणपणे, क्रिस्टल ऑसीलेटर्सची फ्रिक्वेन्सी ही क्रिस्टलची मूलभूत किंवा वैशिष्ट्यपूर्ण फ्रिक्वेन्सी यावर निश्चित केली जाईल जी क्रिस्टलचा भौतिक आकार आणि माप यावर निर्धारित केला जातो.

क्रिस्टल ऑसीलेटर्सची विशिष्ट ऑपरेटिंग श्रेणी 40 KHz ते 100 MHz पर्यंत आहे ज्यामध्ये OPAMP's वापरून कमी फ्रिक्वेन्सी ऑसिलेटर डिझाइन केले आहेत. उच्च फ्रिक्वेन्सी क्रिस्टल ऑसीलेटर्स हे ट्रान्झिस्टर(BJT) आणि एफइटी(FET) वापरून डिझाइन केलेले असतात.

क्रिस्टल ऑसिलेटरचे अनुप्रयोग:

1. क्रिस्टल ऑसिलेटर आकाराने छोटे असतात आणि त्याची किंमत कमी असते.
2. ते इलेक्ट्रॉनिक युद्ध व्यवस्था, संचारमध्ये मोठ्या प्रमाणावर वापरले जातात
3. मायक्रोप्रोसेसर, मायक्रोकंट्रोलर मध्ये वापरतात,
4. अवकाश किंवा अंतराळ ट्रॅकिंग सिस्टम, मोजमाप साधने, वैद्यकीय उपकरणे, संगणक, डिजिटल सिस्टम, इन्स्ट्रुमेंटेशन, फेज लॉक केलेले लूप सिस्टम, मोडेम, सेन्सर, डिस्क ड्राइव्ह, दूरसंचार, इंजिन नियंत्रण प्रणाली, घड्याळे, ग्लोबल पोजिशनिंग सिस्टम (GPS), केबल टेलिव्हिजन सिस्टम, व्हिडिओ कॅमेरे, खेळणी, व्हिडिओ गेम्स, रेडिओ सिस्टम, सेल्युलर फोन, टाइमर इ.

3.4.4 FET आधारीत क्रिस्टल ऑसिलेटर:



आकृती क्र.11:FET आधारीत क्रिस्टल ऑसिलेटर

या साध्या सर्किटमध्ये, क्रिस्टल X_T दोलनांची फ्रिक्वेन्सी निर्धारित करते आणि त्याच्या सीरीझ रेझोनंट फ्रिक्वेन्सीवर कार्य करते, f_s आउटपुट आणि इनपुट दरम्यान कमी प्रतिबाधा मार्ग देते. रेझोनान्समध्ये 180° फेज शिफ्ट आहे, ज्यामुळे फीडबॅक पॉझिटिव्ह होतो. आउटपुट साइन वेवचे ॲम्प्लिट्यूड ट्रेन टर्मिनलवर जास्तीत जास्त विद्युतदाब श्रेणीपर्यंत मर्यादित आहे. रेझिस्टर, R_1 फीडबॅक आणि क्रिस्टल ड्राइव्हचे प्रमाण नियंत्रित करते तर प्रत्येक चक्रादरम्यान रेडिओ फ्रिक्वेन्सी चोक(RFC) विद्युतदाबला रिवर्स करते.

FET आधारीत क्रिस्टल ऑसिलेटर मध्ये, FET चा वापर करणे इष्ट ठरते कारण FET च्या उच्च इनपुट रेझिस्टन्समुळे क्रिस्टलचे हलके लोडिंग होते ज्यामुळे

- चांगली स्थिरता येते आणि
- Q मूल्य कमी होत नाही.

सोडवलेली उदाहरणे:

- OPAMP RC फेज शिफ्ट ऑसिलेटरमध्ये R आणि C ($R = 22 \text{ k}\Omega$, $C = 10 \text{ pF}$) च्या तीन जोड्या असतात. तर दोलनाची फ्रिक्वेन्सीची गणना करा.

उत्तर: वरील फेज शिफ्ट ऑसिलेटरद्वारे उत्पादित फ्रिक्वेन्सी खालीलप्रमाणे दिली जाते

$$f = 1 / 2\pi RC \times 6$$

$$f = 1 / 2 \times 3.14 \times 22 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-12} \times 6 = 295 \text{ Hz}$$

- जर हार्टले ऑसिलेटरमध्ये $L_1 = 1 \text{ mH}$, $L_2 = 2 \text{ mH}$ आणि $C = 0.1 \text{ nF}$, तर दोलनाची फ्रिक्वेन्सीची गणना करा.

उत्तर: हार्टले ऑसिलेटरची फ्रिक्वेन्सी $f = 1 / 2\pi \sqrt{L_T C}$ द्वारे दिली जाते

$$\text{येथे, } L_T = L_1 + L_2 = 1 \text{ mH} + 2 \text{ mH} = 3 \text{ mH} = 3 \times 10^{-3} \text{ H}$$

$$\text{इंडक्टन्स } (L_1) = 1 \text{ mH} \text{ आणि } (L_2) = 2 \text{ mH} \text{ कॅपेसिटन्स } (C) = 0.1 \text{ nF} = 0.1 \times 10^{-9} \text{ F}$$

$$f = 1 / 2 \times 3.14 \sqrt{3 \times 10^{-3} \times 0.1 \times 10^{-9}} = 290.72 \text{ KHz}$$

स्वाध्याय (Self-Learning):

1. ऑसिलेटरची गरज सांगा.
2. ऑसिलेटरचे वर्गीकरण करा.
3. पॉझिटिव्ह फीडबॅकचे तत्त्व स्पष्ट करा आणि हा फीडबॅक कुठे वापरतात याचे उदाहरण द्या.
4. निगेटिव्ह फीडबॅकचे तत्त्व स्पष्ट करा आणि हा फीडबॅक कुठे वापरतात याचे उदाहरण द्या.
5. बार्कहौसेन निकष स्पष्ट करा.
6. OPAMP RC फेज शिफ्ट ऑसिलेटरमध्ये R आणि C ($R = 22 \text{ k}\Omega$, $C = 10 \text{ pF}$) च्या तीन जोड्या असतात. तर दोलनाची फ्रिक्वेन्सीची गणना करा. (Hint: $F = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}}$)
7. RC फेज शिफ्ट ऑसिलेटर डिझाइन करा जे 100 Hz वारंवारतेवर दोलन करेल.
8. RC फेज शिफ्ट ऑसिलेटर मध्ये 5 pF कॅपेसिटर वापरून 800 kHz ची फ्रिक्वेन्सी निर्माण करण्यासाठी R चे मूल्य शोधा.
9. क्रिस्टलच्या ac समतुल्य सर्किटमध्ये ही मूल्ये दिली आहेत: $L = 1 \text{ H}$, $C = 0.01 \text{ pF}$, $R = 1000 \Omega$ आणि $C_m = 20 \text{ pF}$. क्रिस्टलच्या f_s आणि f_p ची गणना करा.
(Hint: $f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ & $f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LCT}}$ where $CT = \frac{C \times C_m}{C + C_m}$)
10. ऑसिलेटर आणि ॲम्प्लीफायरची तुलना करा.
11. विद्युतप्रवाह-सिरीझ फीडबॅक आणि विद्युतप्रवाह-शंट फीडबॅक ची तुलना खालील वैशिष्ट्ये वापरून करा:
i) विद्युतदाब गेन ii) बँडविड्थ iii) इनपुट रेझिस्टन्स iv) आउटपुट रेझिस्टन्स

लघुप्रकल्प (Microprojects):

1. IC741 किंवा समतुल्य IC वापरून स्केअर वेव्ह जनरेटर तयार करा.
2. IC741 किंवा समतुल्य IC वापरून ट्रॅंग्युलर वेव्ह जनरेटर तयार करा.
3. IC741 वापरून 20MHz फ्रिक्वेन्सीसाठी हार्टले ऑसिलेटर तयार करा.
4. निगेटिव्ह फीडबॅक कनेक्शनच्या प्रकारांची तुलनेचा तक्ता तयार करा.
5. 2MHz च्या वारंवारतेसाठी ट्रान्झिस्टराइज्ड क्रिस्टल ऑसिलेटर डिझाइन करा.

संदर्भ: References

Sr. No	Author	Title	Publisher with ISBN Number
1	V.K. Mehta, Rohit Mehta	Principles of Electronics	S.Chand and Company Ram Nagar, New Delhi-110 055,11th edition 2014, ISBN 9788121924504
2	B.L.Theraja	Basic Electronics	S. Chand Publishing, 2007,ISBN:9788121925556
3	R.S.Sedha	A textbook of Applied Electronics	S Chand, New Delhi 2008, ISBN:978-8121927833
4	Mottershead, Allen	Electronic Devices and Circuit: An introduction	Goodyear Publishing Co. New Delhi ISBN: 9780876202654
5	Horowitz, Paul Hill, Winfield	The Art of Electronics	Cambridge University Press, New Delhi 2015 ISBN: 9780521689175
6	Bell, David	Fundamentals of Electronic Devices and Circuits	Oxford University Press, International edition, USA,2015, ISBN:9780195425239
7	Vijay Baru, Rajendra Kaduskar, Sunil T. Gaikwad	Basic Electronic Engineering	Dreamtech press,New Delhi,2015,ISBN:9789350040126

संकेतस्थळ:

1. <http://circuitsgallery.blogspot.com/2012/03/rc-phase-shift-oscillator-using-741-op.html>
2. <https://www.electronicshub.org/hartley-oscillator/>
3. <https://www.electronicshub.org/oscillator-basics/>
4. https://www.tutorialspoint.com/amplifiers/amplifiers_negative_feedback.htm
5. <https://ece.poriyaan.in/topic/types-of-negative-feedback-connections-20250/>
6. <https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-positive-feedback-and-negative-feedback/>

युनिट - 4

ॲक्टिव फिल्टर्स

(Active Filters)

विषय निष्पत्ति (Course Outcome):

विविध अणुविद्युत सर्किट्समध्ये वापरल्या जाणाऱ्या ॲक्टिव फिल्टरचे विश्लेषण करणे

Analyze active filters used in various electronic circuits.

यूनिट निष्पत्ति (Unit Outcome):

4.a आकृतीसह दिलेल्या फिल्टरच्या प्रकाराचे कार्य स्पष्ट करणे.

Describe with circuit diagram working of the given type of filter.

4.b दिलेल्या फ्रिक्वेन्सी (Frequency) प्रतिसादावर आधारित फिल्टरचा प्रकार ओळखणे.

Identify the type of filter based on given frequency response.

4.c दिलेल्या फिल्टरच्या प्रकारानुसार कट-ऑफ फ्रिक्वेन्सी (Frequency) गणना करणे.

Calculate the cut off frequency of given type of filter.

4.d दिलेल्या कट ऑफ फ्रिक्वेन्सी (Frequency) साठी ॲक्टिव फिल्टरचा प्रकार आणि क्रम विकसित करणे.

Develop given type and order of active filter for the given cut-off frequency.

परिचय

अणुविद्युत सर्किट्स/ प्रणाली मधून विशिष्ट फ्रिक्वेन्सी (frequency), सिग्नल पास करण्यासाठी किंवा ब्लॉक (Block) करण्यासाठी फिल्टर सर्किट नावाचे अणुविद्युत सर्किट बनवले जाते. अनेक अणुविद्युत प्रणाली आणि अनुप्रयोग (Application) चा हा एक आवश्यक भाग आहे कारण ते अवांछित फ्रिक्वेन्सी (undesired frequency) अवरोधित करून आणि इच्छित फ्रिक्वेन्सी (desired frequency) देऊन सर्किटच्या फ्रिक्वेन्सी (Frequency) प्रतिसादाला आकार देते. विज पुरवठा, सिग्नल प्रक्रिया अनुप्रयोग (Application), ध्वनि प्रणाली आणि संवाद (Communication) प्रणाली असे अनेक विद्युत उपकरणे फिल्टरचा वापर करतात. अणुविद्युतच्या क्षेत्रात, फिल्टरसाठी बरेच व्यावहारिक अनुप्रयोग आहेत.

उदाहरणांमध्ये हे समाविष्ट आहे:

1. बिनतारी (Radio) कम्प्युनिकेशन: फिल्टर्स बिनतारी (Radio) रिसीव्हर्सना इतर सर्व सिग्नल्स नाकारताना फक्त इच्छित सिग्नल " ऐकण्यासाठी " सक्षम करतात (इतर सिग्नलमध्ये भिन्न फ्रिक्वेन्सी (frequency) सामग्री आहे असे गृहीत धरून).
2. DC विज पुरवठा : अणुविद्युत सर्किट्समध्ये शुद्ध (Pure) डीसी (DC) पुरवठा करण्यासाठी रेक्टिफायरचा (Rectifier) वापर केला जातो. पण रेक्टिफायरचे आउटपुट शुद्ध (Pure) डीसी (DC) नसते, त्यात स्पंदन (pulsations) असते, म्हणजे त्यात एसी (AC) आणि डीसी (DC) घटक असतात. एसी (AC) घटक अवांछित (undesirable) आहे आणि तो काढून टाकणे आवश्यक आहे. यासाठी, फिल्टर सर्किट वापरले जाते.
3. ध्वनि (Audio) अणुविद्युत: क्रॉसओवर जाळे (Network) हे फिल्टरचे जाळे (Network) आहे ज्याचा वापर कमी-फ्रिक्वेन्सी (Frequency) ऑडिओ वूफरला (woofer), मिड-रेंज (मध्यम श्रेणी) फ्रिक्वेन्सी (frequency) ते मिडरेंज (मध्यम श्रेणी) स्पीकर आणि उच्च-फ्रिक्वेन्सी (High frequency) ध्वनी ट्वीटरवर (tweeter) पाठवण्यासाठी केला जातो.
4. अॅनालॉग-टू-डिजिटल रूपांतरण (Analog to Digital converter): अलायझिंग (aliasing) कमी करण्यासाठी फिल्टर्स ADC इनपुटच्या समोर ठेवले जातात.

4.1 फिल्टर व्याख्या (Filter Defination):

फिल्टर हे अणुविद्युत सर्किट्स आहेत जे विशिष्ट फ्रिक्वेन्सी (frequency) घटकांना परवानगी देतात आणि इतर फ्रिक्वेन्सी (frequency) नाकारतात.

4.1.1 फिल्टरचे वर्गीकरण (Filter Classification) :

- 1) एनालॉग आणि डिजिटल फिल्टर (Analog and Digital filter)
- 2) ॲक्टिव आणि निष्क्रिय फिल्टर (Active and Passive filter)
- 3) ध्वनि फ्रिक्वेन्सी (Audio Frequency) आणि बिनतारी फ्रिक्वेन्सी (Radio Frequency) फिल्टर

1) एनालॉग आणि डिजिटल फिल्टर (Analog and Digital filter):-

अॅनालॉग फिल्टर (Analog Filter) :-

- a) अॅनालॉग फिल्टर्स अॅनालॉग सिग्नल फिल्टर करण्यासाठी वापरले जातात.
 - अॅनालॉग फिल्टर्स बहुतेक वेळा वेव (Wave) फिल्टरिंग ॲप्लिकेशन्समध्ये वापरले जातात, म्हणजे, जेथे विशिष्ट फ्रिक्वेन्सी घटक पास करणे आणि अॅनालॉग (सतत-वेळ continuous) सिग्नलमधून इतरांना नकार देणे आवश्यक असते.
 - अॅनालॉग फिल्टर्स रेझिस्टर, इंडक्टर आणि कॅपेसिटर सारख्या विविध घटकांसह डिझाइन केलेले आहेत

b) डिजिटल फिल्टर (Digital filter):-

- डिजिटल सिग्नल फिल्टर करण्यासाठी डिजिटल फिल्टर वापरले जातात.
- डिजिटल फिल्टर हे हार्डवेअर आणि/किंवा सॉफ्टवेअरमध्ये लागू केलेले गणितीय अल्गोरिदम आहे जे फिल्टरिंग उद्दिष्ट साध्य करण्याच्या उद्देशाने डिजिटल आउटपुट सिग्नल तयार करण्यासाठी डिजिटल इनपुट सिग्नलवर कार्य करते.

2) ॲक्टिव फिल्टर आणि निष्क्रिय फिल्टर (Active and Passive Filter):

a) ॲक्टिव फिल्टर (Active filter):

- रेझिस्टर आणि कॅपेसिटर व्यतिरिक्त, ॲक्टिव फिल्टर एक ॲक्टिव घटक वापरतो जसे की ऑपरेशनल ॲम्प्लीफायर, ट्रान्झिस्टर इ.
- त्याला उर्जेच्या बाह्य स्रोताची (External Power Supply) आवश्यकता असते , परंतु ते उच्च व्होल्टेज लाभ प्रदान करते. हा लाभ कोणत्याही कमकुवत इनपुट सिग्नलला वाढवण्यासाठी वापरला जातो.
- ॲक्टिव फिल्टर खूप कमी- फ्रिक्वेन्सी (Low Frequency) सिग्नल फिल्टर करू शकतो परंतु ते खूप उच्च-फ्रिक्वेन्सी (High Frequency) सिग्नलवर प्रक्रिया करू शकत नाही.

b) निष्क्रिय फिल्टर (Passive Filter):

- नावाप्रमाणेच निष्क्रिय फिल्टर निष्क्रिय घटकांपासून बनलेले असतात, जसे की रेझिस्टर ,कॅपेसिटर आणि इंडक्टर.त्याला उर्जेच्या कोणत्याही बाह्य स्रोताची (External Power Supply) आवश्यकता नाही. त्यामुळे या फिल्टरमध्ये सिग्नल ॲम्प्लिटुड (Amplitude) वाढू शकत नाही. आउटपुट सिग्नल ॲम्प्लिटुड हे नेहमी त्याच्या इनपुट सिग्नल ॲम्प्लिटुड (Amplitude) पेक्षा कमी असते.
- हे उच्च- फ्रिक्वेन्सी (High Frequency) सिग्नल सहजपणे फिल्टर करू शकते परंतु ते कोणत्याही कमी फ्रिक्वेन्सी (Low Frequency) वर प्रक्रिया करू शकत नाही

3) साऊंड फ्रिक्वेन्सी (Audio Frequency) आणि बिनतारी फ्रिक्वेन्सी (Radio Frequency) फिल्टर (Audio and Radio filter):-

- साऊंड फ्रिक्वेन्सी (Audio Frequency) फिल्टर: जे ध्वनि (Audio) फ्रिक्वेन्सी (Frequency) (20 Hz to 20KHz) वर काम करतात उदाहरण RC फिल्टर.
- बिनतारी फ्रिक्वेन्सी (Radio Frequency) फिल्टर: बिनतारी फ्रिक्वेन्सी (Radio Frequency) (30 Hz to 300 GHz) फिल्टर्स हे बिनतारी फ्रिक्वेन्सी (Radio Frequency) रेंजवर काम करतात उदाहरण LC फिल्टर, क्रिस्टल.

4.1.2 **अॅक्टिव** आणि निष्क्रिय फिल्टरमधील फरक (Difference between active and passive filter)

4.2 निष्क्रिय फिल्टरपेक्षा **अॅक्टिव** फिल्टरचे गुण आणि तोटे (Merits and Demerits of active filter over passive filter)

अ. क्र.	पॅरामीटर (घटक)	अॅक्टिव फिल्टर	निष्क्रिय फिल्टर
1	वापरलेले घटक	अॅक्टिव घटक जसे की ऑप-एम, ट्रान्झिस्टर इ.	निष्क्रिय घटक जसे रेझिस्टर, इंडक्टर आणि कॅपेसिटर इ.
2	सर्किट जटिलता (complexity)	अधिक गुंतागुंतीचे (कारण- ऑप-एम, ट्रान्झिस्टर सोबत इतर कम्पोनन्ट ने अॅक्टिव फिल्टर तयार करावा लागतो.)	अॅक्टिव फिल्टरपेक्षा कमी गुंतागुंतीचे (फक्त रेझिस्टर, इंडक्टर आणि कॅपेसिटर वापरून निष्क्रिय फिल्टर तयार करता येतो)
3	वजन आणि आकार	वजन कमी आणि आकार लहान असते. आयसी (IC-integrated circuit) फॅब्रिकेशन शक्य आहे	इंडक्टर्सच्या उपस्थितीमुळे तुलनेने जास्त मोठे. आयसी (IC-integrated circuit) फॅब्रिकेशन शक्य नाही.
4	बाह्य वीज पुरवठा	आवश्यक आहे	आवश्यक नाही
5	संवेदनशीलता	अधिक संवेदनशील	तुलनेने कमी संवेदनशील
6	Q घटक	उच्च	अॅक्टिव फिल्टरच्या तुलनेत खूप कमी
7	इनपुट प्रतिबाधा (Impedance)	उच्च	मध्यम
8	खर्च	जास्त	तुलनेने कमी.

4.2.1 निष्क्रिय फिल्टरपेक्षा **अॅक्टिव** फिल्टरचे खालील फायदे देतात (Merits of active filter over passive filter):

- गेन (Gain) आणि फ्रिक्वेन्सी (frequency) समायोजन लवचिकपणा: ऑपरेशनल अॅप्लिफायर गेन (Gain) प्रदान करण्यास सक्षम असल्याने, इनपुट सिग्नलची ऊर्जा अॅक्टिव फिल्टरमध्ये कमी होत नाही. अॅक्टिव फिल्टरच ट्यून (tune) करणे किंवा समायोजित (**adjust**) करणे सोपे आहे.
- लोडिंग (loading) समस्या नाही : ऑपरेशनल अॅप्लिफायरच्या जास्त इनपुट प्रतिकार (Resistance) आणि कमी आउटपुट प्रतिकारमुळे (Resistance), अॅक्टिव फिल्टरमुळे सोर्स किंवा लोड (Load) होत नाही.
- खर्च (मूल्य): ऑपरेशनल अॅप्लिफायरच्या विविधतेमुळे आणि इंडक्टर न वापरता तयार केले जाऊ शकतात ज्यामुळे अॅक्टिव फिल्टर निष्क्रिय फिल्टरपेक्षा अधिक किफायतशीर आणि स्वस्त असतो.

4. न बदलणारी (non-floating) इनपुट आणि आउटपुट.
5. ॲक्टिव फिल्टर आकाराने लहान आणि इंडक्टरच्या अनुपस्थितीमुळे कमी अवजड असतात.
6. सिग्नल अँप्लिट्यूड(Amplitude) मध्ये लक्षणीय वाढ (Gain) हि एक किंवा अधिक जास्त असू शकतो.
7. ॲक्टिव फिल्टर लोडिंग(Loading) आणि प्रतिबाधा जुळण्या समस्यांशिवाय (Impedance Matching) जोडणी सील(Cascade) केली जाऊ शकतात.

4.2.2 निष्क्रिय फिल्टरपेक्षा ॲक्टिव फिल्टर खालील तोटे देतात(Demerits of Active filter over Passive filter):

1. मर्यादित फ्रिक्वेन्सी(frequency) श्रेणी.
2. डीसी (DC) वीज पुरवठा आवश्यक आहे.
3. ॲक्टिव घटकांच्या उपस्थितीमुळे अवांछित (noise) आणि विकृती (distortion) सादर होत.

4.2.3 फिल्टर अनुप्रयोग(Filter Applications) :

1. सिग्नल प्रोसेसिंग आणि दृशा (conditioning) संबंधित अनेक अनुप्रयोग (Application) मध्ये फिल्टर सर्किट्स महत्त्वपूर्ण आहेत, कारण ते वारंवारतेवर (Frequency) आधारित सिग्नलला निवडकपणे परवानगी देऊ शकतात किंवा कमी करू शकतात.
2. त्यांचा वापर ध्वनि (Audio) आणि संगीत उपकरणांपासून जेथे ते श्राव्य किंवा ध्वनि (Audio) गुणवत्ता अनुकूलित (Optimize) करतात, बिनतारी फ्रिक्वेन्सी (Radio frequency) कम्युनिकेशनपर्यंत, जेथे ते इच्छित सिग्नल वेगळे करतात.
3. ते विद्युत अवांछित आवाज (Electrical Noise) कमी करण्यासाठी वीज पुरवठा (Power Supply), सिग्नल वेगळे करण्यासाठी दूरसंचार आणि डेटा गुणवत्ता वाढविण्यासाठी जैव वैद्यकीय (biomedical) उपयोजनान (Application) मध्ये देखील वापरले जातात.
4. शिवाय, स्थिरता आणि कार्यप्रदर्शन सुधारण्यासाठी ते सिग्नल दृशा (conditioning), प्रक्रिया आणि नियंत्रण प्रणालीं मध्ये आवश्यक आहेत.
5. फिल्टर सर्किट्सचा वापर अवांछित आवाज (Noise) दूर करण्यासाठी केला जातो.
6. ते बिनतारी (Radio) ट्यूनिंगमध्ये एका विशिष्ट फ्रिक्वेन्सी (frequency) साठी वापरले जातात.
7. ध्वनि (Audio) सिस्टममध्ये पूर्व-प्रवर्धन/विशदीकरण (Pre-amplification), समानीकरण (equalization), ध्वनी नियंत्रण (tone-control) मध्ये वापरले जाते.
8. ते सिग्नल प्रक्रिया (Processing) सर्किट्स आणि माहिती रूपांतरण मध्ये देखील वापरले जातात.
9. वैद्यकीय अणुविद्युत प्रणालीमध्ये फिल्टर सर्किट्सचा मोठ्या प्रमाणावर वापर केला जातो.

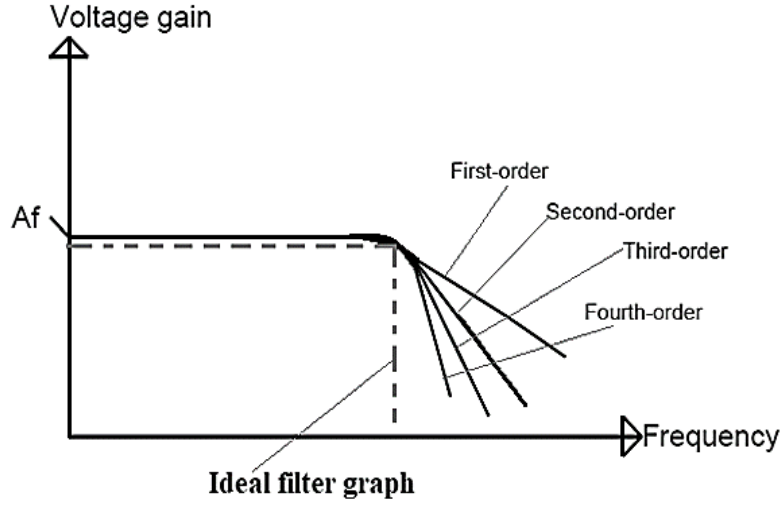
4.3 फिल्टरशी संबंधित अटी/ घटक (Terms related to filters):-

4.3.1. फिल्टरचा क्रम (Order of Filter)

फिल्टर क्रम रोल ऑफ रेट (Roll of rate) किंवा फिल्टरच्या पोलसची(Poles) संख्या किंवा फिल्टरमधील आरसी (RC) सर्किटच्या संख्येद्वारे परिभाषित केला जातो. फिल्टर क्रम व रोल ऑफ रेट(Roll of rate) तक्ता 4.2 मध्ये दर्शविले आहे.

तक्ता 4.2: फिल्टर क्रम व रोल ऑफ रेट(Roll of Rate)

फिल्टरचा क्रम	रोल ऑफ रेट
1 ली ऑर्डर	$\pm 20\text{dB/decibels}$
2 री ऑर्डर	$\pm 40\text{ dB/decibels}$
3 री ऑर्डर	$\pm 60\text{ dB/decibels}$



आकृति 4.4.1 - सर्व फिल्टरचा क्रम

4.3.2. कट ऑफ फ्रिक्वेन्सी (Cut off frequency):- फिल्टरच्या पास बँड आणि स्टॉप बँडमधील सीमा (boundary) म्हणजे कट ऑफ फ्रिक्वेन्सी (frequency) आहे.

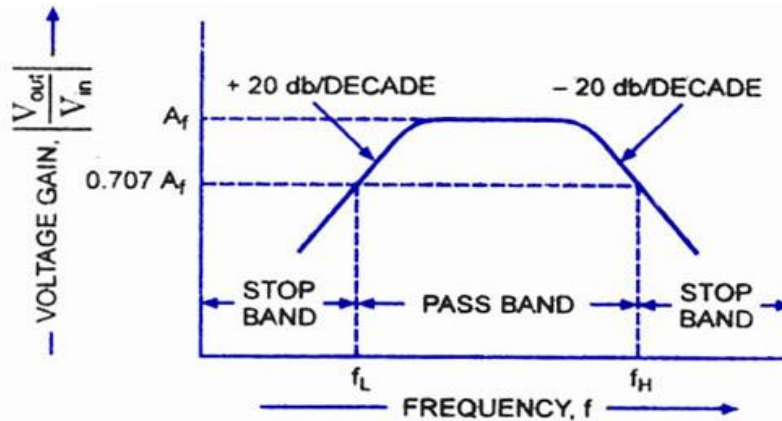
4.3.3. पास बँड (Pass Band):- पास बँड ही फ्रिक्वेन्सी (frequency) ची श्रेणी आहे जी फिल्टरमधून जाऊ शकते.

4.3.4. स्टॉप बँड (Stop Band): फिल्टरद्वारे खंड (block) केलेला फ्रिक्वेन्सी (frequency) बँड,

4.3.5. सेंटर फ्रिक्वेन्सी (Center frequency) (f_c): फिल्टर किंवा चॅनेलची सेंटर फ्रिक्वेन्सी (Center frequency) हे वरच्या (Higher) आणि खालच्या (Lower) कटऑफ फ्रिक्वेन्सीच्या (frequency) सेंट्रल फ्रिक्वेन्सीचे (Center frequency) मोजमाप असते.

4.3.6. रोल ऑफ रेट (Roll of rate):- स्टॉप बँडमध्ये ज्या दराने गेन झपाट्याने कमी होतो त्याला रोल ऑफ रेट म्हणतात.

4.3.7. बँडविड्थ :- (Bandwidth) वरच्या (Higher) कट ऑफ फ्रिक्वेन्सी (frequency) (f_H) आणि खालच्या (Lower) कट ऑफ फ्रिक्वेन्सी (frequency) (f_L) यातील फरक बँडविड्थ म्हणून ओळखला जातो.



आकृति 4.4.2: बँडपास फिल्टरचा प्रात्यक्षिक (Practical) प्रतिसाद

4.3.8 Q घटक (Q Factor): Q घटक हे फिल्टरच्या बँडविड्थचे व सेंटर फ्रिक्वेन्सी (Center frequency) (f_c) चे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले आहे

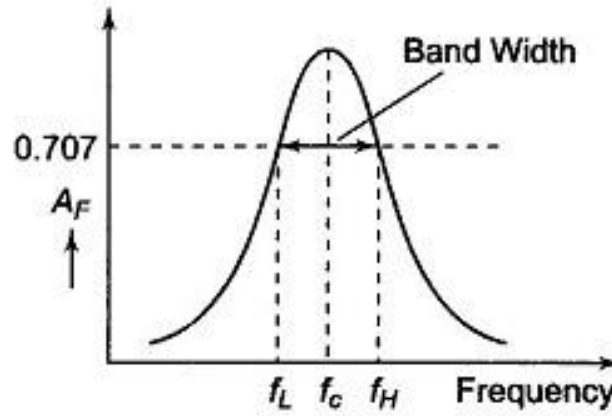
$$Q = f_c / B.W.$$

$$f_c = \frac{f_H + f_L}{2}$$

$$B.W. = f_H - f_L$$

Q घटक हे सिलेक्टिव्ह किंवा नॉन सिलेक्टिव्ह बॅंड पास फिल्टर वारंवारतेच्या (frequency) दिलेल्या प्रसारासाठी कसे आहे याचे मोजमाप आहे. Q घटक चे मूल्य जितके कमी तितके फिल्टरची बॅंडविड्थ विस्तीर्ण असते आणि परिणामी Q घटक जितका जास्त असेल तितका संकुचित आणि अधिक "सिलेक्टिव्ह फिल्टर असतो.

सेंटर फ्रिक्वेन्सी(Center frequency) (f_c)- सेंटर फ्रिक्वेन्सी(Center frequency), बॅंड-पास आणि नॉच फिल्टरसाठी वापरली जाणारी संज्ञा, ही सेंटर फ्रिक्वेन्सी(center frequency) आहे जी वरच्या(Higher) आणि खालच्या कटऑफ वारंवारतेच्या(lower cutoff frequency) दरम्यान असते. सेंटर फ्रिक्वेन्सी(frequency) सामान्यतः एकतर अंकगणितीय मध्य किंवा खालच्या कट ऑफ फ्रिक्वेन्सी(lower cutoff frequency) आणि वरच्या(Higher) कट ऑफ वारंवारतेचा (frequency) भौमितीय मध्य म्हणून परिभाषित केली जाते.



आकृति 4.4.3: बॅंडविड्थ आणि गुणवत्ता घटक प्रतिसाद

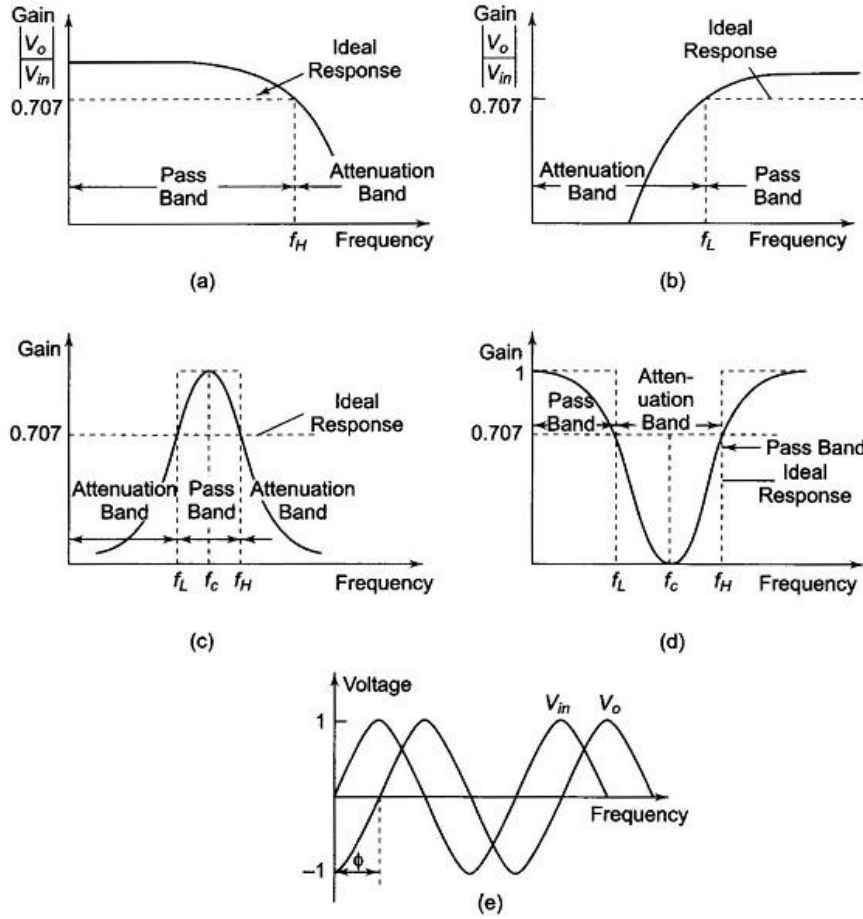
4.4 ऑर्डर आणि फ्रिक्वेन्सी प्रतिसाद (Order and frequency response):

फिल्टर हे एक सर्किट आहे जे **फ्रिक्वेन्सी**(frequency) अवलंबित्वाच्या निकषांवर आधारित सिग्नलवर प्रक्रिया करते. ज्या पद्धतीने फिल्टरचे वर्तन **फ्रिक्वेन्सी**(frequency) नुसार बदलते त्याला त्याची **फ्रिक्वेन्सी**(frequency) प्रतिसाद म्हणतात.

4.4.1 फिल्टरचे प्रकार(Types of Filter)

- लो पास फिल्टर(Low Pass Filter)
- हाय पास फिल्टर(High Pass Filter)
- बॅंड पास फिल्टर(Band Pass Filter)
- बॅंड स्टॉप फिल्टर/बॅंड रिजेक्ट फिल्टर (Band Stop Filter/Band Reject Filter)
- सर्व (All) पास फिल्टर (All Pass Filter)

यापैकी प्रत्येक फिल्टर ॲक्टिव्ह घटक म्हणून Op amp आणि निष्क्रिय घटक म्हणून R, C वापरतो. आकृती 4.4.4 पाच प्रकारच्या फिल्टरची फ्रिक्वेन्सी (frequency) प्रतिसाद वैशिष्ट्य (Characteristics) दर्शवते. टिपक्यानी(dotted) केलेला वक्र (Curve) आदर्श(Ideal) प्रतिसाद दर्शवितात, तर घन रेषा (bold line) प्रात्यक्षिक (Practical) प्रतिसाद दर्शवितात.



आकृति 4.4.4 आयडियल आणि प्रात्यक्षिक प्रतिसाद

a) लो पास फिल्टर b) हाय पास फिल्टर c) बँड पास फिल्टर d) बँड स्टॉप फिल्टर e) ऑल पास फिल्टर

a. लो पास फिल्टर: (Low Pass Filter):

लो पास फिल्टरचा वापर सर्किट्समध्ये जो फक्त कमी फ्रिक्वेन्सी (Low frequency) सिग्नल पास करण्यासाठी केला जातो. सर्किटमध्ये हाय फ्रिक्वेन्सी (High frequency) आणि एसी (AC) करंट ब्लॉक (Block) करण्यासाठी याचा वापर केला जातो. लो पास फिल्टरचा आदर्श (ideal) आणि प्रात्यक्षिक (Practical) प्रतिसाद आकृती 4.4.4 a) मध्ये दर्शविला आहे. 0 Hz ते हाय कटऑफ फ्रिक्वेन्सी (High cutoff frequency) (f_H) पर्यंत सतत वाढ होते. f_H वर 3 dB ने वाढ होते. 0 Hz ते हाय कटऑफ फ्रिक्वेन्सी (High cutoff frequency) (f_H) मधील वारंवारतेला (frequency) पास बँड फ्रिक्वेन्सी (frequency) म्हणून ओळखले जाते, तसेच f_H च्या पलीकडे असलेल्या वारंवारतेला (frequency) स्टॉप बँड म्हणून ओळखले जाते.

b. हाय पास फिल्टर (High pass filter):

हाय पास फिल्टर ठराविक कटऑफ फ्रिक्वेन्सी (frequency) (f_L) वरील फ्रिक्वेन्सी (frequency) सिग्नललाच पुढे जाऊ देतो आणि कमी फ्रिक्वेन्सी (Low frequency) घटक कमी अवरोधित (block) करतो. हाय पास फिल्टरचा आदर्श (ideal) आणि प्रत्यक्ष (Practical) प्रतिसाद आकृती 4.4.4 b) मध्ये दर्शविला आहे. कटऑफ वारंवारतेच्या (frequency) (f_L) पलीकडे असलेल्या सिग्नल वारंवारतेच्या (frequency) श्रेणीला पास बँड म्हणतात आणि 0 ते f_L पर्यंतच्या वारंवारतेच्या (frequency) श्रेणीला स्टॉपबँड म्हणतात.

c. बँड पास फिल्टर (Band-pass filter):

बँड पास फिल्टर हे हाय पास आणि लो पास फिल्टरचे संयोजन (Combination) आहे, आणि यामुळे सिग्नलला वारंवारतेच्या (frequency) विशिष्ट श्रेणीतून जाण्याची परवानगी मिळते. बँड पास फिल्टरचा आदर्श (ideal) आणि प्रत्यक्ष (Practical) प्रतिसाद आकृती 4.4.4 c) मध्ये दर्शविला आहे. यात दोन स्टॉप बँड आहेत. 0 आणि f_L मधील वारंवारतेची (frequency) श्रेणी आणि f_H च्या पलीकडे. f_L आणि f_H मधील बँड ला पासबँड म्हणतात. त्यामुळे त्याची बँडविड्थ आहे.

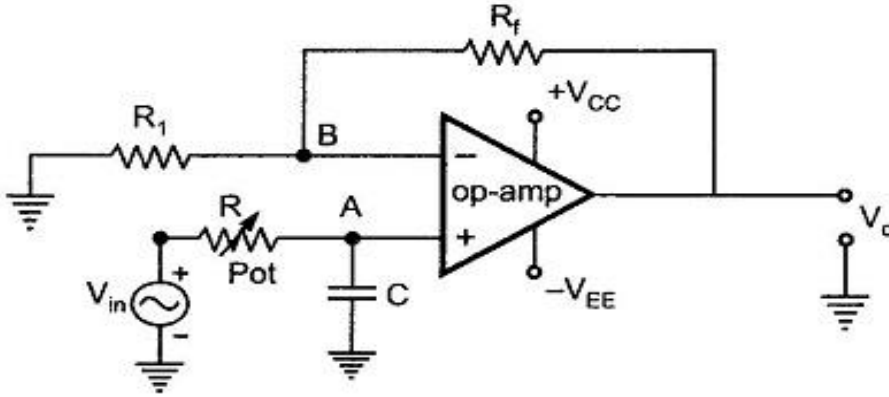
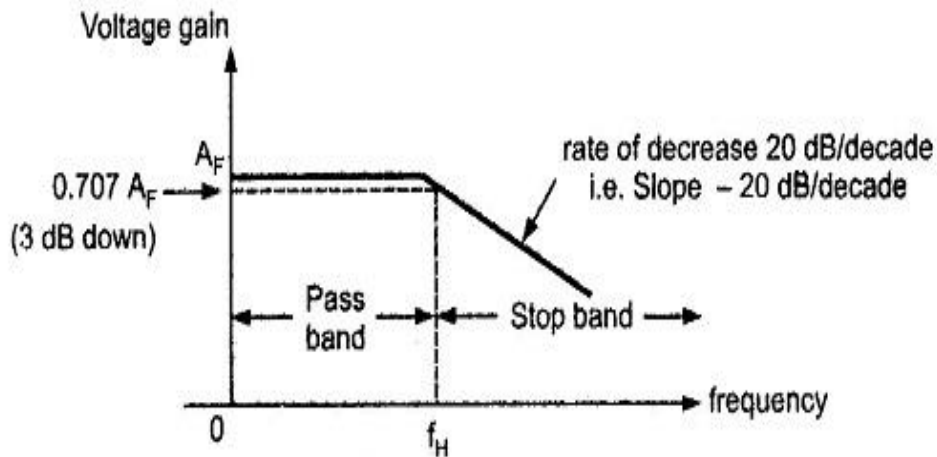
$$B.W = (f_H - f_L).$$

d. बॅण्ड स्टॉप फिल्टर/ बॅण्ड रिजेक्ट फिल्टर (Band-stop or Band reject filter):

हे बॅण्डपासच्या अगदी उलट कार्य करते, ते सिग्नलला वारंवारतेच्या (frequency) निर्दिष्ट (Specified) श्रेणीतून जाण्याची परवानगी देत नाही. बॅण्ड स्टॉप फिल्टर आदर्श (ideal) आणि प्रत्यक्ष (Practical) प्रतिसाद आकृती 4.4.4 d) मध्ये दर्शविला आहे. यात वारंवारतेच्या (frequency) श्रेणीमध्ये दोन पासबॅण्ड आहेत. 0 ते f_L आणि f_H च्या पलीकडे. f_L आणि f_H मधील बॅण्डला स्टॉपबॅण्ड म्हणतात.

e. ऑल पास फिल्टर (All pass filter):

हे इनपुट सिग्नलचे सर्व फ्रिक्वेन्सी (frequency) पास करते परंतु ऑल पास फिल्टरमधील सर्वात महत्वाचा घटक म्हणजे तो इनपुट सिग्नलच्या वेगवेगळ्या फ्रिक्वेन्सी (frequency) साठी फेज शिफ्ट प्रदान करतो. ऑल पास फिल्टर आदर्श (ideal) आणि प्रत्यक्ष (Practical) प्रतिसाद आकृती 4.4.4 e) मध्ये दर्शविला आहे.

4.4.2 फर्स्ट ऑर्डर लो पास बटरवर्थ फिल्टर: (First order Low pass Butterworth Filter)**आकृती 4.4.5 a फर्स्ट ऑर्डर लो पास बटरवर्थ फिल्टर (First order Low pass Butterworth Filter)****आकृती 4.4.5 b फ्रिक्वेन्सी (frequency) प्रतिसाद****फर्स्ट ऑर्डर लो पास बटरवर्थ फिल्टर (First order Low pass Butterworth Filter)**

आरसी सर्किट वापरून फर्स्ट ऑर्डरच्या लो पास फिल्टरसाठी, नॉन इनव्हर्टिंग कॉन्फिगरेशनमध्ये ऑपरेशनल ऑप्लिफायर वापरले जाते. आकृती 4.4.5 a मध्ये दर्शविली आहे. याला वन पोल लो पास बटरवर्थ (butterworth) फिल्टर असेही म्हणतात. रेझिस्टर R_1 आणि R_f फिल्टरचा गेन (Gain) निश्चित करतात. व्होल्टेज-डिव्हायडर नियमानुसार, नॉन-इनव्हर्टिंग टर्मिनल C वर व्होल्टेज (across capacitor) आहे,

फर्स्ट ऑर्डर लो पास बटरवर्थ फिल्टर सर्किटसाठी समीकरण ((First order Low pass Butterworth Filter formula)-

$$X_C = 1/(2\pi fC)$$

op-amp नॉन-इन्व्हर्टिंग कॉन्फिगरेशनमध्ये आहे

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) V_A$$

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) \frac{V_{in}}{(1 + j2\pi fRC)}$$

म्हणून

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{A_F}{1 + j \left(\frac{f}{f_H}\right)}$$

जसे

$$A_F = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) = \text{gain of filter in pass band}$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi RC} = \text{high cut off frequency of filter}$$

f = operating frequency

V_o/V_{in} हे फिल्टरचे ट्रान्सफर फंक्शन आहे आणि पोलर स्वरूपात व्यक्त केले जाऊ शकते,

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \left| \frac{V_o}{V_{in}} \right| \angle \Phi$$

$$\left| \frac{V_o}{V_{in}} \right| = \frac{A_F}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_H}\right)^2}}$$

परंतु

$$\Phi = -\tan^{-1}\left(\frac{f}{f_H}\right)$$

फेज कोन Φ अंशांमध्ये आहे.

1. $f < f_H$

$$\left| \frac{V_o}{V_{in}} \right| \cong A_F \text{ i.e. constant}$$

$$2. f = f_H,$$

$$\left| \frac{V_o}{V_{in}} \right| = \frac{A_F}{\sqrt{2}} = 0.707 A_F$$

$$3. \text{ At } f > f_H$$

$$\left| \frac{V_o}{V_{in}} \right| < A_F$$

अशा प्रकारे, ॲक्टिव लो पास फिल्टरमध्ये 0Hz ते वरच्या(Higher) कट ऑफ फ्रिक्वेन्सी (frequency) पॉइंट f_H , पर्यंत गेन A_F कॉन्स्टंट आहे तर f_H येथे गेन $0.707 A_F$ आहे, आणि f_H नंतर फ्रिक्वेन्सी(frequency) वाढल्यामुळे गेन(Gain) स्थिर दराने कमी होतो. म्हणजेच, जेव्हा फ्रिक्वेन्सी(frequency) दहापट (एक decibels) वाढविली जाते, तेव्हा व्होल्टेज वाढ 10 ने विभाजित केली जाते.

दुसऱ्या शब्दात, प्रत्येक वेळी फ्रिक्वेन्सी(frequency) 10 पटीने ने वाढली की गेन 20dB कमी होतो. फिल्टर सर्किट्स हाताळताना सर्किटच्या पास बँड गेनची तीव्रता सामान्यतः डेसिबल किंवा dB मध्ये व्यक्त केली जाते. गेन कमी होण्याचा दर 20 dB/decibels आहे, म्हणजे घट ही फ्रिक्वेन्सी(frequency) प्रतिसादातील नकारात्मक उताराने (Negative Slope) दर्शविली जाऊ शकते, जसे - 20 dB/decibels.

फर्स्ट ऑर्डर लो पास फिल्टर डिझाइन स्टेप्स(First Order Low Pass Filter design Steps)

1. कट-ऑफ फ्रिक्वेन्सी(frequency) निवडा.
2. $1\mu F$ पेक्षा कमी किंवा समान C (Capacitor)चे मूल्य निवडा,
3. समीकरणातून R चे मूल्य काढा

$$f_H = \frac{1}{2\pi RC}$$

4. जी व्होल्टेज गेन(Gain) हवी आहे त्यावर अवलंबून R_f आणि R_1 ची मूल्ये निवडा

$$A_F = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

फ्रिक्वेन्सी स्केलिंग (Frequency Scaling):

एकदा फिल्टर डिझाइन केल्यानंतर, काहीवेळा, कट-ऑफ फ्रिक्वेन्सी(frequency) f_H चे मूल्य बदलणे आवश्यक आहे. मूळ कट-ऑफ फ्रिक्वेन्सी(frequency) f_H ला नवीन कट-ऑफ फ्रिक्वेन्सी(frequency) f'_H मध्ये बदलण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या पद्धतीला फ्रिक्वेन्सी स्केलिंग म्हणतात.

फ्रिक्वेन्सी स्केलिंग खालीलप्रमाणे पूर्ण केले जाते.

1. उच्च कटऑफ फ्रिक्वेन्सी(High cutoff frequency) बदलण्यासाठी, मूळ कटऑफ फ्रिक्वेन्सी(frequency) आणि नवीन कटऑफ फ्रिक्वेन्सी(frequency) गुणोत्तराला (Ratio) R किंवा C चा गुणाकार करा, परंतु दोन्हीनी नाही.
2. कॅपेसिटरचे मानक(standard) मूल्य निवडा. आणि नंतर इच्छित कटऑफ फ्रिक्वेन्सी(frequency) साठी रेझिस्टरचे मूल्य काढा.

उदाहरण: (Example)

1. पास बँड गेन '2' सह कट ऑफ फ्रिक्वेन्सी(frequency) 2KHz साठी फस्ट ऑर्डर लो पास फिल्टर डिझाइन करा. (गृहीत धारा $C=0.01 \mu F$)

➤ उत्तर

दिलेली माहिती:

$$f_H = 2\text{KHz}$$

$$C = 0.01 \mu F$$

$$A_F = 2$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$R = 1 / (2\pi f_H C)$$

$$R = 1 / [2\pi (2 \times 10^3) \times 10^{-6}]$$

$$R = 7.95\text{K}\Omega$$

दिलेल्या माहिती प्रमाणे - पास बँड गेन '2'

$$A_F = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

$$A_F = 1 + 1 = 2$$

म्हणून $R_f = R_1 = 10\text{K}\Omega$ (गृहीत धरणे)

2. फस्ट ऑर्डरसाठी बटरवर्थ लो पास फिल्टर. $R=10\text{K}\Omega$ आणि $C=0.01 \mu F$ असल्यास कटऑफ फ्रिक्वेन्सीची (frequency) गणना करा. $R_f=100\text{k}$ असल्यास पासबँड व्होल्टेज गणना करा.

➤ उत्तर

दिलेली माहिती:

$$R = 10\text{K}\Omega$$

$$C = 0.01 \mu F$$

$$R_f = 100\text{k}$$

$$f_C = 1 / [2\pi RC]$$

$$= 1 / [2\pi \times (10 \times 10^3) \times (0.001 \times 10^{-6})]$$

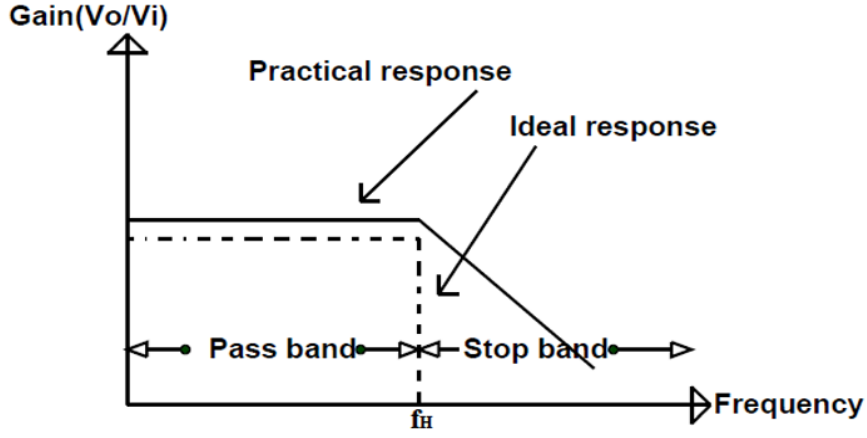
$$f_C = 15.915\text{KHz}$$

$$A_F = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

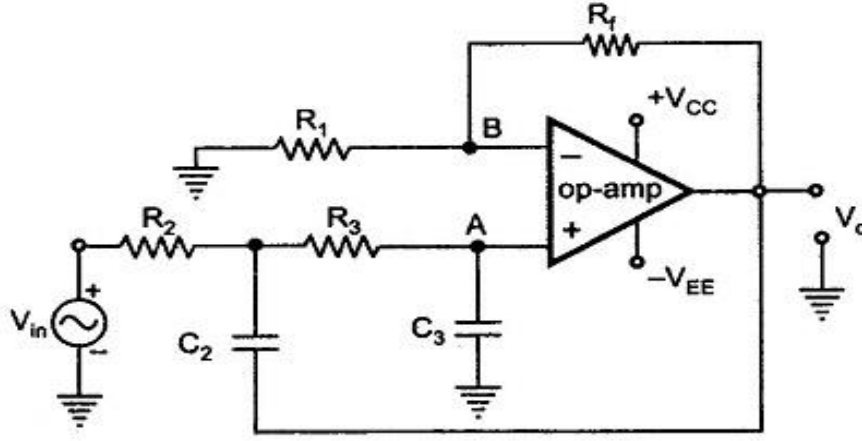
$$= 1 + [(100 \times 10^3) / (10 \times 10^3)]$$

$$A_F = 11$$

4.4.3 सेकण्ड ऑर्डर लो पास बटरवर्थ फिल्टर (Second order Low pass Butterworth Filter)



आकृती 4.4.6 a) सेकण्ड ऑर्डर लो पास बटरवर्थ फिल्टर (Second order Low pass Butterworth Filter)



आकृती 4.4.6 b) फ्रिक्वेन्सी (frequency) प्रतिसाद सेकण्ड ऑर्डर लो पास बटरवर्थ फिल्टर (Second order Low pass Butterworth Filter)

आकृती 4.4.6 a), b) मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे अतिरिक्त RC नेटवर्क वापरून प्रथम ऑर्डर फिल्टरला सेकंड ऑर्डर प्रकारात रूपांतरित केले जाऊ शकते. फिल्टरसाठी कट ऑफ फ्रिक्वेन्सी (frequency) f_H आता R_2 , C_2 , R_3 आणि C_3 द्वारे ठरवली जाते. फिल्टरचा गेन (Gain) नेहमीप्रमाणे ऑपरेशनल अॅम्प्लिफायर द्वारे ठरविला जातो, म्हणजे रेझिस्टन्स R_1 आणि R_f . सेकंड ऑर्डर लो पास बटरवर्थ फिल्टरचा (Second order Low pass Butterworth Filter) प्रात्यक्षिक (Practical) प्रतिसाद आदर्श (ideal) फिल्टर प्रतिसादच्या अगदी जवळ असणे आवश्यक आहे. लो पास फिल्टरच्या बाबतीत, स्टॉप बँडमध्ये कट ऑफ फ्रिक्वेन्सी (frequency) नंतर गेन (Gain) खूप वेगाने बंद होणे नेहमीच अपेक्षित असते. फस्ट ऑर्डर फिल्टरच्या बाबतीत ते 20 dB/दशकांच्या दराने रोल ऑफ होते. सेकंड ऑर्डर फिल्टरच्या बाबतीत, गेन (Gain) रोल होतो 40 dB/दशकांच्या दराने. अशा प्रकारे नंतर सेकंड ऑर्डरच्या लो पास फिल्टरसाठी फ्रिक्वेन्सी (frequency) प्रतिसादाचा उताराचा वेग जास्त आहे -40 dB/decibels.

सेकण्ड ऑर्डर लो पास बटरवर्थ फिल्टर व्होल्टेज गेन मॅग्निट्यूड समीकरण (Second order Low pass Butterworth Filter Voltage Gain Magnitude Equation):

$$f_H = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_2 R_3 C_2 C_3}}$$

$$\left| \frac{V_o}{V_{in}} \right| = \frac{A_F}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_H} \right)^4}}$$

A_F = पास बँड फिल्टरमधील गेन(Gain)

f = इनपुट फ्रिक्वेन्सी(frequency) Hz मध्ये

f_H = उच्च कट-ऑफ फ्रिक्वेन्सी(frequency) Hz मध्ये.

फ्रिक्वेन्सी(frequency) प्रतिसाद आकृती 4.4.6 b मध्ये दर्शविला आहे. कट ऑफ फ्रिक्वेन्सी(frequency) f_H ला गेन $0.707 A_F$ म्हणजे 3 dB खाली आहे, त्याच्या 0Hz पातळीपासून. f_H नंतर ($f > f_H$) नंतर, गेन(Gain) 40 dB/ दशकाच्या फ्रिक्वेन्सी(frequency) दराने रोल ऑफ होतो. म्हणून, f_H नंतर प्रतिसादाचा उतार(slop) – 40 dB/decibels आहे.

➤ **सेकंड ऑर्डर लो पास बटरवर्थ फिल्टरसाठी डिझाइन स्टेप्स:**(First order Low pass Butterworth Filter Design Steps)

1. हाय कट ऑफ फ्रिक्वेन्सीसाठी (frequency) एक मूल्य निवडा. (f_H)
2. डिझाइन गणना सुलभ करण्यासाठी, $R_2 = R_3 = R$ आणि $C_2 = C_3 = C$ सेट करा नंतर $C < 1\mu f$ चे मूल्य निवडा.
3. $R = 1 / (2\pi f_H C)$ चे मूल्य मोजा.
4. शेवटी, समान रेसिस्टर ($R_2 = R_3$) आणि कॅपेसिटर ($C_2 = C_3$) मूल्यांमुळे, सेकंड ऑर्डरचा पास बँड व्होल्टेज गेन(Gain) $A_F = 1 + (R_F / R_1) = 1.586$ असावा. $R_F = 0.586 R_1$ म्हणून $R_1 < 100k\Omega$ चे मूल्य निवडा.
5. R_F मूल्याची गणना करा.

उदाहरण (Example)

1) 1 KHz च्या उच्च(High) कटऑफ फ्रिक्वेन्सीवर (frequency) सेकंड ऑर्डर लो पास फिल्टर डिझाइन करा. $C_2 = C_3 = 0.0047 \mu F$, $R_1 = 27 K\Omega$.

➤ उत्तर

दिलेली माहिती

$$f_H = 1 \text{ KHz}$$

$$C_2 = C_3 = 0.0047 \mu F$$

$$R_1 = 27 K\Omega,$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_2 R_3 C_2 C_3}}$$

$$R_2 = R_3 = [1/(2\pi) \times (1 \times 10^3) \times (0.0047 \times 10^{-6})]$$

$$R_2 = R_3 = 33.86 K\Omega$$

$$R_F = 0.586 \times R_1 \text{ च्या समान असणे आवश्यक आहे आणि } R_1 = 27 K\Omega \text{ आहे}$$

म्हणून

$$R_F = (0.586) \times (27 \times 10^3)$$

$$R_F = 15.82 K\Omega$$

2. 1.6 kHz च्या हाय कट-ऑफ फ्रिक्वेन्सीवर (frequency) आणि 1.586 च्या व्होल्टेज गेन(Gain), $R_1 = 19.89 \text{ K}\Omega$ त्याच बरोबर सेकंड ऑर्डरचे लो- पास फिल्टर डिझाईन करा.

➤ उत्तर

दिलेली माहिती

$$F_H = 1.6 \text{ KHz}$$

$$A_v = 1.586$$

$$R_1 = 19.89 \text{ K}\Omega$$

$$\text{समजा } C_2 = C_3 = 0.005 \mu\text{F}$$

$$R_2 = R_3 = [1/(2\pi) \times (1.6 \times 10^3) \times (0.005 \times 10^{-6})]$$

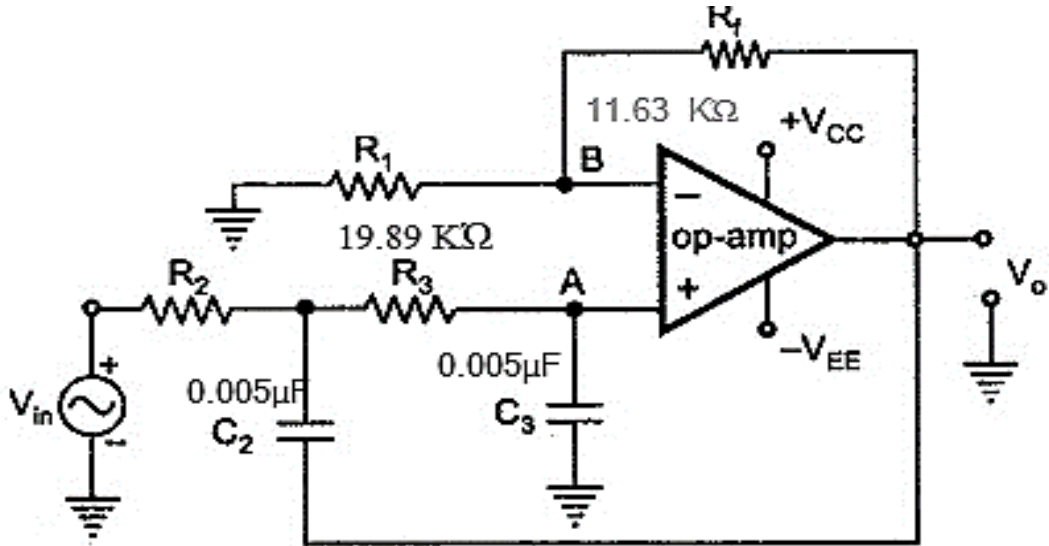
$$R_2 = R_3 = 19.89 \text{ K}\Omega$$

$$R_f = 0.586 \times R_1$$

$$R_f = 0.586 \times 19.86$$

$$R_f = 11.63 \text{ K}\Omega$$

डिझाईन केलेले सर्किट खाली 4.4.7 मध्ये दाखवले आहे

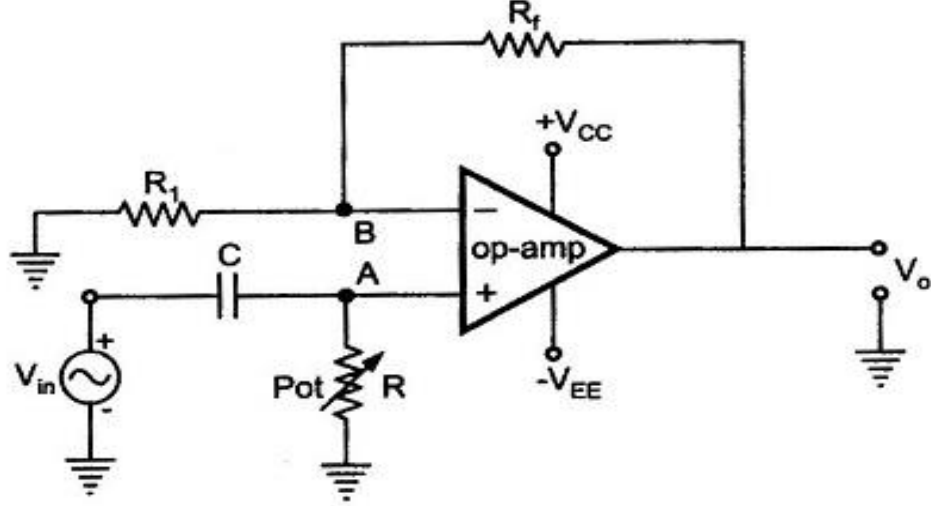


आकृती 4.4.7 लो पास फिल्टर

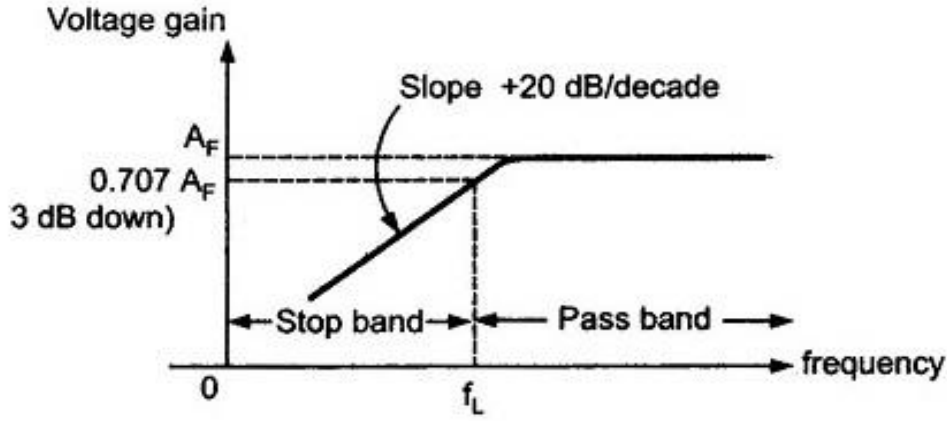
➤ लो पास फिल्टर अनुप्रयोग (Low Pass Filter Applications):

- हे फिल्टर प्रामुख्याने अणुविद्युत ॲप्लिकेशन जसे की स्पीकर आणि सबवूफरमध्ये वापरले जातात. ते स्पीकर्समध्ये फिल्टर म्हणून आणि सबवूफरसाठी इनपुट म्हणून काम करतात.
- ध्वनि(Audio) ॲम्प्लीफायर्स आणि इकेलायझर्सच्या (Equalizer) डिझाइनमध्येही ते प्रमुख भूमिका बजावतात.
- जेव्हा ADC डिजिटल(Digital) कन्व्हर्टरसाठी वापरता, तेव्हा हे फिल्टर सिग्नल नियंत्रित करण्यासाठी ॲंटी अलायझिंग (Anti-aliasing) फिल्टर म्हणून वापरले जातात.
- जेव्हा साऊंड आणि नॉइज येतो तेव्हा, प्रतिध्वनी (echo) टाळण्यासाठी उच्च फ्रिक्वेन्सी(Frequency) सिग्नलला ध्वनी(Audio) प्रसारित करण्यापासून रोखण्यासाठी फिल्टरचा वापर केला जातो.

4.4.4 फस्ट ऑर्डर हाय पास बटरवर्थ फिल्टर: (First order high pass butterworth filter):



आकृती 4.4.8 a): सर्किट डायग्राम फस्ट ऑर्डर हाय पास बटरवर्थ फिल्टर (First order high pass butterworth filter)



आकृती 4.4.8 b): फ्रिक्वेन्सी प्रतिसाद फस्ट ऑर्डर हाय पास बटरवर्थ फिल्टर (First order high pass butterworth filter)

आकृती 4.4.8 a) फस्ट ऑर्डर हाय पास बटरवर्थ फिल्टर (First order high pass butterworth filter) हे एक सर्किट आहे जे f_L म्हणून दर्शविलेल्या निर्दिष्ट (specified) कट ऑफ वारंवारतेच्या (frequency) खाली असलेले सर्व सिग्नल रोखते किंवा स्टॉप करते. अशा प्रकारे, हाय पास फिल्टर लो पास फिल्टरच्या उलट कार्य करते त्यामुळे, फस्ट ऑर्डर हाय पास बटरवर्थ फिल्टर (First order high pass butterworth filter) सर्किट लो पास फिल्टर सर्किटमध्ये रेझिस्टन्स आणि कैपेसिटर निर्धारित करणारी फ्रिक्वेन्सी (frequency) बदलून मिळवता येते. फस्ट ऑर्डर लो पास फिल्टर सर्किटमध्ये आर आणि सी (R and C) घटकाची अदलाबदल करून फस्ट ऑर्डर हाय पास फिल्टर मिळवता येतो आकृती 4.4.8 b) फस्ट ऑर्डर हाय पास बटरवर्थ फिल्टर (First order high pass butterworth filter) दाखवते पास बँड मधील फिल्टरच्या वाढीच्या 0.707 पट वाढलेली फ्रिक्वेन्सी कमी कट ऑफ फ्रिक्वेन्सी (lower cut off frequency) असे म्हणतात आणि ती f_L म्हणून दर्शविली जाते. त्यामुळे, f_L पेक्षा मोठ्या सर्व फ्रिक्वेन्सीना (frequency) पास करण्याची परवानगी आहे परंतु पास होण्याची अनुमती असलेली कमाल फ्रिक्वेन्सी (frequency) वापरलेल्या ऑपरेशनल अॅप्लिफायरच्या क्लोज लूप बँडविड्थ (Close loop bandwidth) द्वारे निर्धारित केली जाते.

फस्ट ऑर्डर हाय पास बटरवर्थ फिल्टर व्होल्टेज गेन मॅग्निट्युड समीकरण (First order high pass butterworth filter Voltage

Gain Magnitude Equation):

$$V_o = A_F V_A$$

V_A = Voltage at the non inverting input

$$A_F = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) = \text{gain of op-amp in pass band}$$

$$\therefore V_o = A_F V_{in} \left[\frac{j \left(\frac{f}{f_L} \right)}{1 + j \left(\frac{f}{f_L} \right)} \right]$$

$$\left| \frac{V_o}{V_{in}} \right| = \frac{A_F \left(\frac{f}{f_L} \right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_L} \right)^2}} \text{-----1}$$

समीकरण 1 हाय पास फिल्टरच्या वर्तनाचे वर्णन करते.

1. कमी फ्रिक्वेन्सीवर (At low frequencies) i.e. $f < f_L$

$$\left| \frac{V_o}{V_{in}} \right| < A_F$$

2. At $f < f_L$

$$\left| \frac{V_o}{V_{in}} \right| = 0.707 A_F \text{ i.e. 3 dB down from the level of } A_F$$

3. $f > f_L$ वर, म्हणजे उच्च फ्रिक्वेन्सी(High frequency), भाजकाच्या (denominator) (f/f_L) तुलनेत 1 दुर्लक्षित केले जाऊ शकते.

$$\left| \frac{V_o}{V_{in}} \right| \cong A_F \text{ i.e. constant}$$

अशा प्रकारे, सर्किट A_F प्रमाणे पास बँड गेनसह हाय पास फिल्टर म्हणून काम करते. फ्रिक्वेन्सी(frequency) साठी, $f < f_L$, 20 dB/दशकांच्या दराने $f = f_L$ पर्यंत वाढ होते. बँडमधील फ्रिक्वेन्सी(frequency) प्रतिसादाचा उतार हा फर्स्ट ऑर्डरच्या हाय पास फिल्टरसाठी 20 dB/दशकांच्या आहे. फ्रिक्वेन्सी(frequency) प्रतिसाद आकृती 4.4.8 b) मध्ये दर्शविला आहे.

➤ फर्स्ट ऑर्डर हाय पास फिल्टर डिझाइन स्टेप्स(First order high pass filter Design Steps):-

1. कट-ऑफ फ्रिक्वेन्सी(frequency) f_L निवडा,
2. $1 \mu F$ पेक्षा कमी किंवा समान C चे मूल्य निवडा.
3. समीकरणातून R चे मूल्य काढा. $R = 1/(2\pi f_L C)$
4. दिलेल्या गेन(Gain)वर अवलंबून R_F आणि R_1 ची मूल्ये निवडा $A_F = (1 + R_F / R_1)$.

उदाहरण (Example):

1. फर्स्ट ऑर्डर बटरवर्थ हाय पास फिल्टर मध्ये $C = 0.0047 \mu F$ आणि $f_L = 10 \text{ KHz}$, असल्यास R चे मूल्य काढा

➤ उत्तर

दिलेली माहिती: $C = 0.0047 \mu F$

$f_L = 10 \text{ KHz}$

$R = ?$

$R = 1/[2\pi f_L C]$

$$R = 1/[2\pi(100 \times 10^3) \times (0.0047 \times 10^{-6})] = 3.386 \text{K}\Omega$$

2. फर्स्ट ऑर्डर बटरवर्थ हाय पास फिल्टर मध्ये $R=15\text{K}\Omega$ आणि $C=0.001 \mu\text{F}$ आणि ,असल्यास f_L आणि व्होल्टेज गेन चे मूल्य काढा. जर $R_f=10\text{K}\Omega$, $R_1=5\text{K}\Omega$

➤ उत्तर

दिलेली माहिती

$$R=15\text{K}\Omega$$

$$C=0.001 \mu\text{F}$$

$$R_f=10\text{K}\Omega ,$$

$$R_1=5\text{K}\Omega$$

$$f_c=?$$

$$A_F=?$$

$$f_L = 1/[2\pi R C]$$

$$f_L = 1/[2\pi \times (15 \times 10^3) \times (0.001 \times 10^{-6})]$$

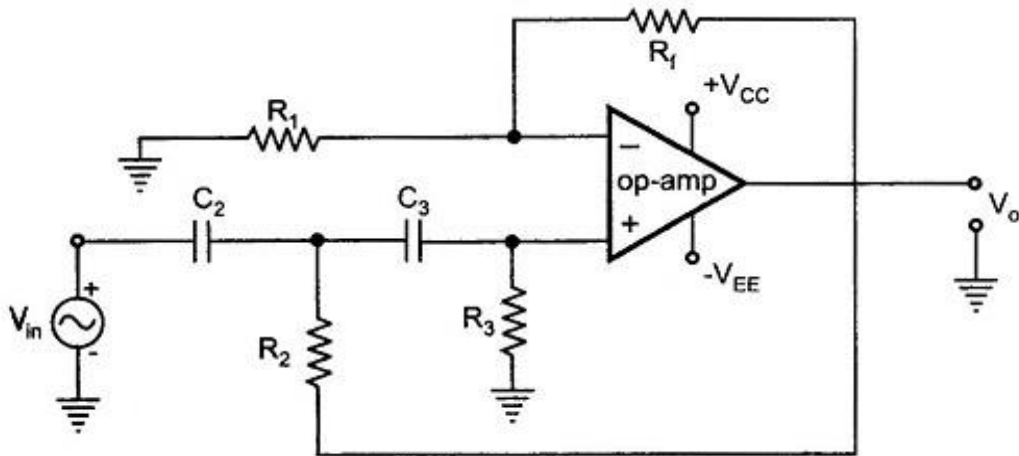
$$f_L = 1061 \text{Hz}$$

$$A_F = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) = \text{gain of op-amp in pass band}$$

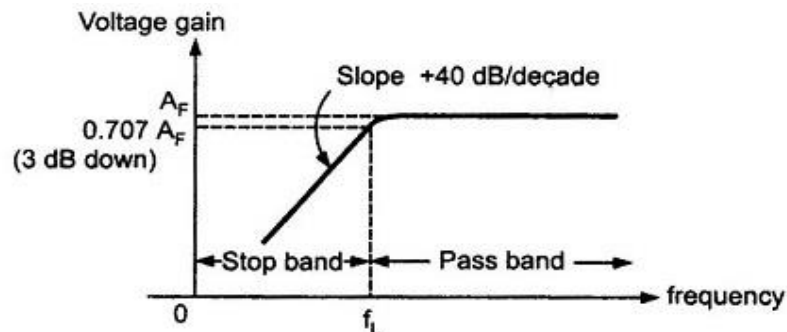
$$A_F = (1 + 10/5)$$

$$A_F = 3$$

4.4.5 सेकंड ऑर्डर हाय पास बटरवर्थ फिल्टर:(Second order high pass butterworth filter)



आकृती 4.4.9 a): सेकंड ऑर्डर हाय पास बटरवर्थ फिल्टर(Second order high pass butterworth filter)



आकृती 4.4.9 b): फ्रिक्वेन्सी(frequency)प्रतिसाद सेकंड ऑर्डर हाय पास बटरवर्थ फिल्टर:(Second order high pass butterworth filter)

आकृती 4.4.9 a) मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे अतिरिक्त RC जाळे(Network) वापरून प्रथम ऑर्डर फिल्टरला सेकंड ऑर्डर प्रकारात रूपांतरित केले जाऊ शकते. फिल्टरसाठी कट ऑफ फ्रिक्वेन्सी(frequency) f_H आता R_2 , C_2 , R_3 आणि C_3 द्वारे ठरवली जाते. फिल्टरचा गेन(Gain) नेहमीप्रमाणे ऑपरेशनल अॅम्प्लिफायर द्वारे ठरविला जातो, म्हणजे रेझिस्टन्स R_1 आणि R_f . सेकंड ऑर्डर हाय पास बटरवर्थ फिल्टरचा(Second order high pass butterworth filter)प्रात्यक्षिक (Practical) प्रतिसाद आदर्श(ideal) प्रतिसाद च्या अगदी जवळ असणे आवश्यक आहे.

सेकंड ऑर्डरच्या हाय पास फिल्टरचे व्होल्टेज गेन मॅग्निट्यूड (Voltage Gain Magnitude Equation) खालील समीकरण द्वारे दिले जाते,

$$\left| \frac{V_0}{V_{in}} \right| = \frac{A_F}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_L}{f} \right)^4}} \quad \dots (1)$$

$$R_2 = R_3 = R \text{ and } C_2 = C_3 = C$$

A_F = पास बँड फिल्टरमधील गेन (Gain)

f = इनपुट फ्रिक्वेन्सी(frequency) Hz मध्ये

- f_L = कमी कट-ऑफ फ्रिक्वेन्सी(frequency) Hz मध्ये. $\text{Hz} \approx 1/2\pi RC$

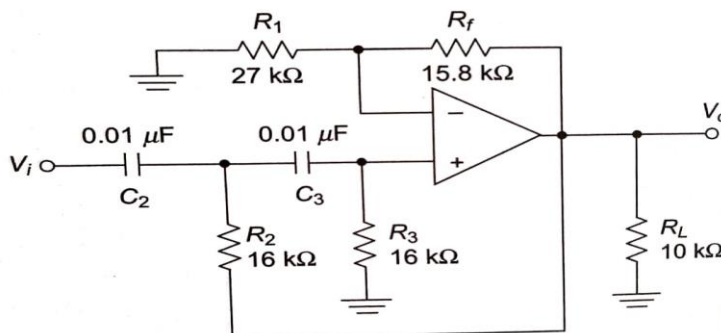
$$R_f = 0.586 R_1$$

हाय पास फिल्टर अनुप्रयोग (High Pass filter Application):-

1. लो फ्रिक्वेन्सी(Low frequency) नॉइज(Noise) कमी करण्यासाठी हे लाऊड स्पीकरमध्ये वापरले जातात.
2. हे ध्वनि(Audio) अॅम्प्लिफायरमध्ये अॅम्प्लिट्यूड (amplitude) वाढवण्यासाठी वापरले जातात.
3. हे इक्लायझर (Equalizer) मध्ये देखील वापरले जातात.
4. ध्वनि मिक्सर(Audio Mixer) मध्ये देखील वापरले जातात.

उदाहरण (Example):

- 1) आकृती 4.4.10 वरून सेकंड ऑर्डरसाठी कमी कट-ऑफ फ्रिक्वेन्सी f_L आणि सेकंड ऑर्डरच्या हाय पास फिल्टरचा पासबँड गेन काढा,



आकृती 4.4.10 सेकंड ऑर्डर हाय पास फिल्टर पासबँड

➤ उत्तर:- दिलेली माहिती-

$$R_2 = R_3 = 16K\Omega$$

$$C_2 = C_3 = 0.01\mu F$$

$$f_L = ?$$

$$A_F = ?$$

$$f_L = 1/2\pi RC$$

$$= 1/[2\pi \times 16 \times 10^3 \times (0.01 \times 10^{-6})]$$

$$= 1KHz$$

$$A_F = 1 + R_f / R_1$$

$$= 1 + (15.8/27)$$

$$= 1.586$$

लो पास फिल्टर आणि हाय पास फिल्टरमधील फरक (Difference between low pass and High pass filter)

तक्ता 4.3: लो पास फिल्टर आणि हाय पास फिल्टरमधील फरक

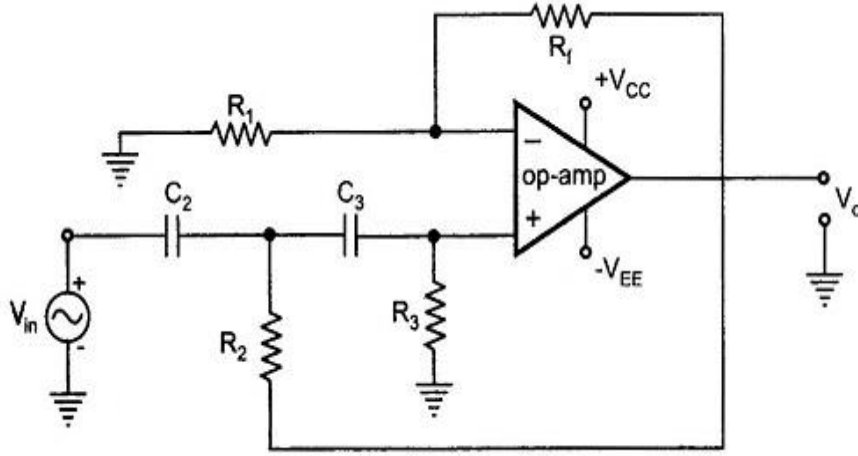
अ.क्र.	पॅरामीटर(घटक)	लो पास फिल्टर(Low Pass Filter)	हाय पास फिल्टर(High Pass Filter)
1	व्याख्या	हे एक सर्किट आहे जे कट ऑफ फ्रिक्वेंसी खालील सिग्नल फ्रिक्वेंसीला त्यातून जाण्याची परवानगी देते.	हे एक सर्किट आहे जे कट ऑफ फ्रिक्वेंसी वरील सिग्नल फ्रिक्वेंसीला त्यातून जाऊ देते.
2	सर्किट आर्किटेक्चर	यात रेझिस्टर आणि त्यानंतर कॅपेसिटर असते. यात इनपुट सिग्नल कॅपेसिटर मधून ग्राउंड केलेले असते.	यात कॅपेसिटर आणि त्यानंतर रेझिस्टर असते. यात इनपुट सिग्नल रेझिस्टर मधून ग्राउंड केलेले असते.
3	महत्त्व (Significance)	अलायझिंग (aliasing) इफेक्ट काढून टाकण्यासाठी हे महत्त्वपूर्ण आहे.	कमी फ्रिक्वेंसी(frequency) सिग्नलमुळे होणारी सिग्नल विकृती (Distortion) जसे की अवांछित (Noise) काढून टाकायचे असते तेव्हा हे महत्त्वपूर्ण असते
5	अॅप्लिकेशन्स	अँटी- अलायझिंग(Anti-aliasing) फिल्टर म्हणून कम्युनिकेशन सर्किटमध्ये वापरले जाते	ऑडिओ अॅम्प्लीफायर, कमी आवाज अॅम्प्लीफायर इ. सर्किटमध्ये वापरले जाते

तक्ता 4.4 सर्व प्रकारच्या फिल्टर सर्किट डायग्राम आणि त्यांच्या प्रतिसादाचा सारांश

अ. क्र.	फिल्टरचे नाव	आकृती	फ्रिक्वेन्सी(frequency) प्रतिसाद
1	प्रथम ऑर्डर लो पास फिल्टर बटरवर्थ फिल्टर		
2	सेकण्ड ऑर्डर लो पास फिल्टर बटरवर्थ फिल्टर		
3	फर्स्ट ऑर्डर हाय पास बटरवर्थ फिल्टर		
4	सेकंड ऑर्डर हाय पास बटरवर्थ फिल्टर		

स्वाध्याय:

- 1) पॅसिव्ह फिल्टर पेक्षा ऍक्टिव्ह फिल्टरचे चार फायदे सांगा.
- 2) वापरलेल्या घटकांवर आधारित फिल्टरचे वर्गीकरण द्या.
- 3) रोल ऑफ रेट आणि फिल्टरची ऑर्डर यांची व्याख्या लिहा.
- 4) फर्स्ट ऑर्डर हाय पास फिल्टरचे नीट सर्किट डायग्राम काढा आणि त्याचे स्पष्टीकरण करा.
- 5) हाय कट-ऑफ फ्रिक्वेन्सी(frequency) 10 KHz आणि 1.586 चा व्होल्टेज गेन सह सेकण्ड ऑर्डर लो-पास बटरवर्थ फिल्टर(Second order low pass butterworth filter) डिझाइन करा आणि डिझाइन केलेले सर्किट काढा.
- 6) कटऑफ फ्रिक्वेन्सी(frequency) आणि पासबँड परिभाषित करा.
- 7) निष्क्रिय फिल्टरपेक्षा ऍक्टिव्ह फिल्टरचे दोन गुण सांगा.
- 8) आकृती 4.4.11 मध्ये दिलेल्या सर्किट आकृती वरून, सर्किटचे नाव ओळखा आणि कट ऑफ फ्रिक्वेन्सी(frequency) मोजा आणि पास बँड गेन काढा.

**आकृती 4.4.11 सेकंड ऑर्डर हाय पास बटरवर्थ फिल्टर**

- 9) उच्च कटऑफसह सेकण्ड ऑर्डर हाय पास बटरवर्थ फिल्टर(Second order high pass butterworth filter) डिझाइन करा 1.5 kHz फ्रिक्वेन्सी(frequency) घटक मूल्यांसह सर्किट काढा.
- 10) फ्रिक्वेन्सी(frequency) प्रतिसादावर आधारित फिल्टरचे वर्गीकरण सांगा.
- 11) कट-ऑफ फ्रिक्वेन्सी(frequency) 1.6KHz सह सेकंड ऑर्डर लो पास बटर बटरवर्थ फिल्टर (Second order low pass butterworth filter) डिझाइन करा डिझाइन केलेले सर्किट आणि त्याची फ्रिक्वेन्सी(frequency) प्रतिसाद रेखाटा.
- 12) रोल ऑफ रेट आणि फिल्टरचा क्रम परिभाषित करा.
- 13) पास बँड गेन '2' सह कट ऑफ फ्रिक्वेन्सी(frequency) 12KHz वर फर्स्ट ऑर्डर लो पास बटरवर्थ फिल्टर डिझाइन करा (गृहीत धरा $C=0.01\mu F$).
- 14) फिल्टरशी संबंधित खालील संज्ञा परिभाषित करा: (i) रोल ऑफ रेट (ii) पास बँड.
- 15) लो-पास बटर बटरवर्थ फिल्टर(Low pass butterworth filter) ज्याची 1.6 kHz हाय कट-ऑफ फ्रिक्वेन्सीसह (High cutoff frequency) आणि व्होल्टेज 1.586 v घटक मूल्यांसह सर्किट काढा.

लघु प्रकल्प (मायक्रो प्रोजेक्ट)

- IC 741 वापरून शॉडो सेन्सर सर्किट डिझाइन करा
- IC 741 वापरून तापमान नियंत्रित DC वर आधारित फॅन प्रकल्प तयार करा
- R,C कम्पोनंट वापरून ब्रेड बोर्ड वर अनालॉग फिल्टर सर्किट व तसेच IC 741 वापरून डिजिटल फिल्टर सर्किट चे प्रयोग शाळेत प्रात्यक्षिक करा .
- फिल्टर व त्याचे प्रकार याचे भिंती वरील तक्ते करा
- हाय पास व लो पास फिल्टर वर पॉवर पॉईंट वर सादरीकरण करा
- युनिव्हर्सल (IC Universal Active Filter) UAF42 किंवा समतुल्य (equivalent) आयसी IC वापरून 2KHz च्या कट ऑफ फ्रिक्वेन्सीसह (frequency) लो पास फिल्टर/हाय पास फिल्टर विकसित करा

संदर्भ :

अनु क्रमांक	लेखक	शीर्षक	ISBN क्रमांकासह प्रकाशक
1	एस. सालिवाहनन, व्ही.एस. कांचना भास्करन	रेखीय एकात्मिक सर्किट्स (Linear Integrated circuit 3 rd Edition)	Tata McGraw-Hill Education, New Delhi, 2018, ISBN: 9789353160487
2	रमाकांत अ. गायकवाड	Op-Amps आणि रेखीय एकात्मिक सर्किट्स (Op- Linear Integrated circuit Amps)	PHI Learning, New Delhi 2011, ISBN:9788120320581

संकेतस्थळ:

1. <https://www.circuitstoday.com/category/filter-circuits>
2. <https://www.electronics-tutorials.ws/filter>
3. <https://www.electronicsforu.com>

युनिट - 5

स्पेशलाइज (IC) सर्किटचे उपयोग

Specialized IC Application

विषय निष्पत्ति (Course Outcome):

विविध अनुप्रयोग विकसित करण्यासाठी विशिष्ट अॅनालॉग आयसी वापरा

Use specific analog IC to develop various applications

घटक निष्पत्ति (Unit Outcome):

5.a IC 555 आधारित दिलेल्या अनुप्रयोगाचे आकृतीसह विश्लेषण करणे.

Develop a circuit for the given application using IC-555.

5.b दिलेल्या मल्टीव्हायब्रेटरच्या ड्युटी सायकल ची गणना करणे.

Calculate the duty cycle of the given type of Multivibrator.

5. PLL च्या दिलेल्या ब्लॉकच्या कार्याचे वर्णन करणे.

Describe the working of given block of PLL.

5.d IC-565 वापरून दिलेल्या अनुप्रयोगासाठी सर्किट विकसित करणे.

Develop a circuit for the given application using IC-565.

परिचय:

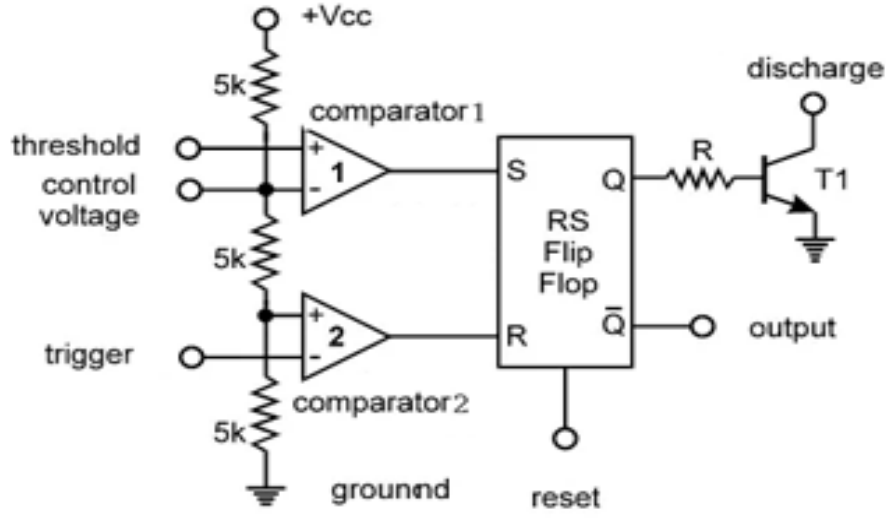
कालमापन व मोजणी सिस्टम (circuit) अनेक यांत्रिक आणि इलेक्ट्रॉनिक प्रक्रिया नियंत्रण प्रणालीमध्ये तसेच टेलिव्हिजन स्लीप टायमर, वॉशिंग मशीन इत्यादी घरगुती उपकरणांमध्ये त्यांचे उपयोग असतात. औद्योगिक उपयोगांमध्ये तापमान वाढवणे, बेक करणे, वेल्ड करणे या प्रक्रिया एका विशिष्ट कालावधीसाठी केल्या जातात. यापैकी काही प्रक्रिया अनुक्रमे देखील कराव्या लागतात, या प्रक्रिया नियंत्रण प्रणालीमध्ये टायमर सर्किट्सचा मोठ्या प्रमाणावर वापर केला जातो. सर्वात लोकप्रिय कालमापक(timer) आयसी म्हणजे IC 555 जो अमेरिकेच्या सिग्नेटिक कॉर्पोरेशनने 1972 मध्ये सादर केला. कालमापक(Timer) ऑपरेशन मुळात कॅपेसिटरच्या चार्जिंग आणि डिस्चार्जिंगवर अवलंबून असते.

5.1 टाइमर IC 555 :-

हा एक मोनोलिथिक (Monolithic) कालमापक (timer) IC आहे, जो अस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर, मोनोस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर, स्वट्टेअर वेव्ह ट्रायंग्युलर वेव्ह जनरेटर, रॅम्प जनरेटर, विद्युत दाब ओसीलेटर नियंत्रित पल्स विध मॉड्युलेटर आणि इतर अनेक उपयोगांमध्ये वापरला जाऊ शकतो .

IC 555 कालमापक सिस्टम (timer circuit) मध्ये खालील घटक असतात :

1. R S फ्लिप फ्लॉप (flip flop)
2. कंपॅरेटर (comparator)
3. संदर्भ विद्युतदाब स्रोत (Reference Voltage source)
4. डिस्चार्ज ट्रान्झिस्टर (Discharge transistor)



आकृती 5.1: IC555 ची अंतर्गत सिस्टम (circuit)

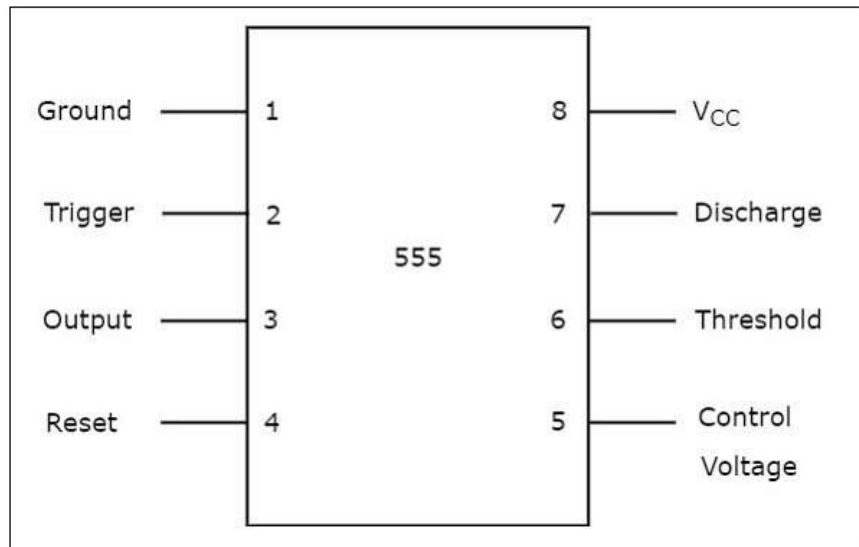
IC555 मध्ये कंपॅरेटर, एक फ्लिप-फ्लॉप, एक व्होल्टेज विभाजक, एक डिस्चार्ज ट्रान्झिस्टर आणि एक निपज स्टेज आहे. व्होल्टेज डिव्हायडरमध्ये तीन समान $5K\Omega$ विद्युतविरोधक(resistor) असतात जे पुरवठा केलेल्या व्होल्टेजच्या $1/3 V$ आणि $2/3 V$ वर दोन संदर्भ विद्युतदाब (व्होल्टेज) तयार करतात, जे 5 ते 15V पर्यंत असू शकतात.

व्होल्टेज डिव्हायडर (ज्यात तीन एकत्र जोडलेल्या $5K\Omega$ विद्युतविरोधक(resistor) असतात), जे थ्रेशोल्ड व्होल्टेजच्या एक तृतीयांश V_{CC} ($1/3 V_{CC}$) आणि दोन-तृतीयांश ($2/3 V_{CC}$) ट्रिगर पातळी प्रदान करते. उदाहरणार्थ निविष्टी (output) मूल्य 15V आहे. या प्रकरणात, ट्रिगर पातळीचे मूल्य 5V असेल ($V_{CC}/3 = 15V/3 = 5V$). आणि थ्रेशोल्ड पातळीचे मूल्य 10V असेल ($V_{CC} \times 2/3 = 15V \times (2/3) = 10V$).

जेव्हा गरज असेल तेव्हा, कंट्रोल व्होल्टेज टर्मिनल (पिन 5) वापरून ट्रिगर पातळी आणि थ्रेशोल्ड बदलू शकतो., म्हणजे पिन 5 वर नियंत्रण व्होल्टेज बदलून, आम्ही आवश्यक तपशीलानुसार ट्रिगर पातळी आणि थ्रेशोल्ड व्होल्टेज बदलू शकतो. तथापि, या प्रकरणात, ट्रिगर आणि थ्रेशोल्डचे मूल्य अनुक्रमे $1/3 V_{CC}$ आणि $2/3 V_{CC}$ सारखे राहिल.

5.1.1 पिन डायग्राम IC 555: -

555 टायमर IC च्या 8 पिनचे कार्य.



आकृती 5.2: IC 555 चे पिन संरचना

1. ग्राउंड (GND):

हा सर्किटचा सामान्य ग्राउंड पॉइंट आहे. बाह्य सर्किटचे ग्राउंड टर्मिनल तसेच वीज पुरवठा (VCC) ग्राउंड टर्मिनल 555 टाइमरच्या GND (ग्राउंड) टर्मिनलशी जोडलेले आहे.

2. ट्रिगर (Trigger):

पिन 2. - ट्रिगर, कंपरेटर क्रमांक 1 साठी नकारात्मक निविष्टी. या पिनवरील नकारात्मक पल्स अंतर्गत फ्लिप-फ्लॉप "सेट" करते जेव्हा व्होल्टेज $1/3V_{CC}$ च्या खाली जातो ज्यामुळे आउटपुट "लो"(0) वरून "हाय"(1) होते

3. आउटपुट (Output):

ही टायमरची आउटपुट पिन आहे. ही पिन लोड जोडण्यासाठी वापरली जाते. कोणत्याही क्षणी, त्याचे मूल्य कमी किंवा जास्त असते. म्हणजेच हा टायमरचा निपज (output) पिन आहे. टाइमरचे निपज (output) हे निविष्टी(input) पल्सच्या टायमिंग सायकलच्या कालावधीवर अवलंबून असते. आउटपुट कमाल 200mA वर, एकतर सिंक किंवा सोर्स विद्युतप्रवाह(Current) होऊ शकतो. कमी आउटपुटसाठी सिंक प्रवाह, विद्युतदाब (voltage) शून्यापेक्षा किंचित जास्त आणि हाय(1) निपजसाठी विद्युत प्रवाह सोर्स करते, विद्युतदाब (voltage) VCC पेक्षा कमी असते.

4. रीसेट (Reset):

निपज (output) ची मागील स्थिती विचारात न घेता, या टर्मिनलला ट्रिगर पल्स प्रदान करून डिव्हाइस रीसेट करते. म्हणजे IC ला मूळ स्थितीवर आणून ठेवते.

रीसेट पिन एकतर कनेक्ट केलेले नाही किंवा पॉझिटिव्ह रेलशी कनेक्ट केलेले नाही. या पिनवरील लॉजिक लो सिग्नल टाइमरला त्याच्या निविष्टीची पर्वा न करता रीसेट करतो. आवश्यक रीसेट व्होल्टेज 0.7 व्होल्ट आहे,

5. नियंत्रण व्होल्टेज (Control Voltage):

कंट्रोल पिन - टर्मिनल व्होल्टेज डिवायडरवरील $2/3$ पुरवठा व्होल्टेज पॉइंट कंट्रोल पिनवर आणला जातो. वेळेचे चक्र सुधारण्यासाठी ते बाह्य DC सिग्नलशी कनेक्ट करणे आवश्यक आहे. वापरात नसताना, ते 0.01μF कॅपेसिटरद्वारे ग्राउंड जोडलेले असावे; अन्यथा IC अनियमित प्रतिसाद दर्शवेल.

6. थ्रेशोल्ड व्होल्टेज (Threshold Voltage):

थ्रेशोल्ड व्होल्टेज आणि कंट्रोल व्होल्टेज हे तुलनात्मक सर्किटचे दोन निविष्टी आहेत. सर्किट थ्रेशोल्ड व्होल्टेज टर्मिनलवरील उपलब्ध व्होल्टेजची नियंत्रण टर्मिनलवरील उपलब्ध संदर्भ व्होल्टेजशी तुलना करते.

जर थ्रेशोल्ड टर्मिनल (पिन 6) वर उपलब्ध व्होल्टेज कंट्रोल व्होल्टेजपेक्षा म्हणजेच VCC च्या दोन-तृतीयांशपेक्षा जास्त असेल, तर निपज (output) कमी असेल, अन्यथा, ते जास्त असेल.

हा पिन वरच्या कंपॅरेटरला थ्रेशोल्ड व्होल्टेज प्रदान करतो. जेव्हा या पिनवरील व्होल्टेज $2/3 V_{CC}$ पेक्षा जास्त असते, तेव्हा ड्युटी सायकल बदलले जाते. हे अप्पर कॉम्पॅरेटरच्या नॉन-इनव्हर्टिंग टर्मिनलशी जोडलेले आहे. आवश्यक प्रवाह 0.1mA आहे, पल्स कालावधी 0.1μs आहे.

7. डिस्चार्ज (Discharge):

जेव्हा निपज (output) कमी असते, तेव्हा डिस्चार्ज टर्मिनल बाह्यरित्या जोडलेल्या कॅपेसिटरला कमी प्रतिरोधक डिस्चार्ज मार्ग प्रदान करते. तथापि, जेव्हा निपज (output) जास्त असते तेव्हा ते ओपन सर्किटचे कार्य करते.

हा पिन एनपीएन ट्रांझिस्टरद्वारे टाइमिंग कॅपेसिटरसाठी डिस्चार्ज मार्ग प्रदान करतो. नुकसान टाळण्यासाठी 50A पेक्षा कमी डिस्चार्ज करंट आवश्यक आहे. हे ओपन कलेक्टर निपज (output) म्हणून देखील वापरले जाऊ शकते.

8. पुरवठा विद्युतदाब (व्होल्टेज) टर्मिनल (+VCC):

टाइमर ऑपरेशनसाठी या टर्मिनलवर पुरवठा व्होल्टेज प्रदान केला जातो. हा पिन पॉवर सप्लायच्या पॉझिटिव्ह रेलला जोडलेला असतो आणि त्याला VCC असेही म्हणतात. पुरवठा व्होल्टेज +5 व्होल्ट ते +18 व्होल्ट पर्यंत बदलू शकते.

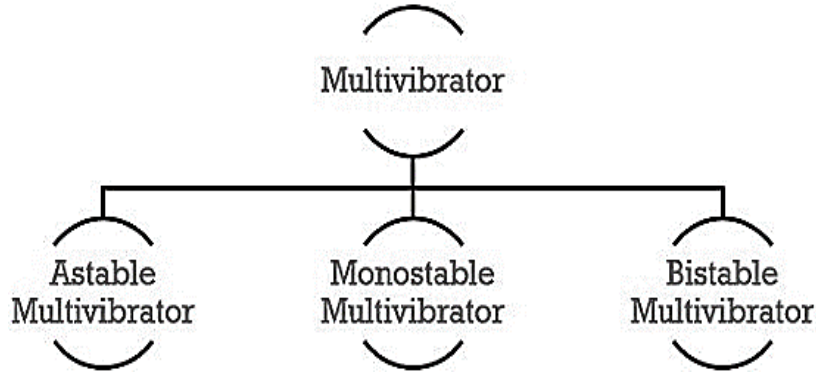
IC 555 चे वैशिष्ट्ये: -

1. अस्टेबल आणि मोनोस्टेबल दोन्ही मोडमध्ये ऑपरेट करणे शक्य आहे.
2. आउटपुट ड्यूटी सायकल (Duty cycle) समायोजित (adjust) करणे शक्य आहे.
3. ऊर्जा वापर (power consumption) 600 ते 1100 mW आहे.
4. ऑपरेटिंग तापमान रेंज: 0° ते 70° से.

5.1.2 IC 555 मल्टीव्हायब्रेटर:

मल्टीव्हायब्रेटर:-

मल्टीव्हायब्रेटर हे एक इलेक्ट्रॉनिक सर्किट आहे ज्याचा ऑपरेशनच्या एक किंवा दोन स्थिर अवस्था असू शकतात.

मल्टीव्हायब्रेटरचे वर्गीकरण

आकृती 5.3 मल्टीव्हायब्रेटरचे वर्गीकरण

1. अस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर: हा एक प्रकारचा मल्टीव्हायब्रेटर आहे ज्याला फ्री रनिंग मल्टीव्हायब्रेटर असेही म्हणतात. याला असे म्हटले जाते कारण येथे काही पूर्वनिर्धारित कालावधीनंतर स्थिती स्वतःच बदलते.
2. मोनोस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर: येथे नाव स्वतःच सूचित करत आहे की त्याची एकच स्थिर अवस्था असते आणि दुसरी अवस्था कॉन्सिस्टेबल (Stable for short duration) असते (Stable and quasistable)
3. बायस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर: बायस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटरमध्ये 2 स्थिर अवस्था असतात. एका स्थिर स्थितीतून दुसऱ्या स्थिर स्थितीत संक्रमण होण्यासाठी वेगळ्या ट्रिगर पल्सची आवश्यकता आहे.

5.1.3 मोनोस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर (Monostable Multivibrator):

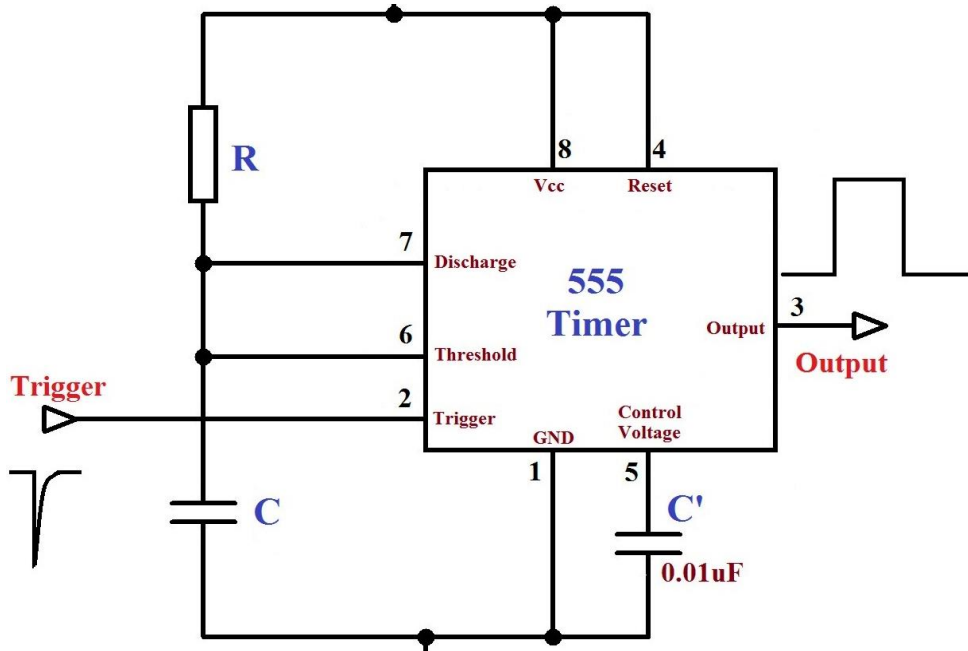
555 टायमर वापरून मोनोस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर हे एक सर्किट आहे जे निविष्टी ट्रिगरला

प्रतिसाद म्हणून परिभाषित कालावधीचे निपज (output) पल्स तयार करते. 555 टायमरचे हे

कॉन्फिगरेशन एक-शॉट मल्टीव्हायब्रेटर म्हणून देखील ओळखले जाते कारण ते एका पल्सनंतर त्याच्या स्थिर स्थितीत परत येते. आउटपुट पल्सचा कालावधी टायमरशी जोडलेल्या RC (रेझिस्टर-कॅपेसिटर) नेटवर्कद्वारे निर्धारित केला जातो. हे मार्गदर्शक मूलभूत तत्त्वे, सर्किट आकृती आणि व्यावहारिक असेंब्ली टिप्सपासून ते 555 टाइमर वापरून मोनोस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटरच्या ऍप्लिकेशन्सपर्यंत सर्व काही समाविष्ट करतात.

सर्किट आणि ऑपरेशन

आकृती 5.4 मध्ये मोनोस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर म्हणून IC 555 ची योजनाबद्ध आहे. हा IC 555 च्या ऑपरेशनचा मूलभूत मोड आहे. त्याला मोनोस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर म्हणून कार्य करण्यासाठी फक्त दोन अतिरिक्त घटकांची आवश्यकता नमूद केल्याप्रमाणे, एका मोनोस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटरमध्ये फक्त एक स्थिर स्थिती असते. जेव्हा ट्रिगर निविष्टी लागू केले जाते, तेव्हा निपज (output)वर एक पल्स(pulse) तयार होते आणि वेळेच्या अंतरानंतर स्थिर स्थितीत परत येते. ज्या कालावधीसाठी पल्स जास्त असेल तो कालावधी रेझिस्टर, (R) आणि कॅपेसिटर (C) असलेल्या टायमिंग सर्किटवर अवलंबून असेल.



आकृती 5.4 मोनोस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर

जेव्हा मोनोस्टेबल कॉन्फिगर केलेल्या 555 टायमर ऑसिलेटरच्या ट्रिगर निविष्टी(input) (पिन 2) वर नकारात्मक (0V) पल्स लागू केली जाते, तेव्हा अंतर्गत कंपॅरेटर (तुलनाक क्रमांक 1) हे इनपुट शोधतो आणि फ्लिप-फ्लॉपची स्थिती "निम्न" स्थितीपासून "हाय" (1) स्थितीत निपज (output). "सेट" करतो. या कृतीमुळे पिन 7 ला जोडलेले डिस्चार्ज ट्रान्झिस्टर "बंद" होते, ज्यामुळे बाह्य टाइमिंग कॅपेसिटर, C1 मधील शॉर्ट सर्किट काढून टाकले जाते.

ही क्रिया टाइमिंग कॅपेसिटरला रेझिस्टर, R1 द्वारे चार्ज होण्यास अनुमती देते जोपर्यंत कॅपेसिटरमधील व्होल्टेज अंतर्गत व्होल्टेज डिव्हायडर नेटवर्कद्वारे सेट केलेल्या $2/3 V_{CC}$ च्या थ्रेशोल्ड (पिन 6) व्होल्टेजपर्यंत पोहोचत नाही. या टप्प्यावर तुलनेचे निपज (output) "हाय" होते आणि फ्लिप-फ्लॉपला त्याच्या मूळ स्थितीत "रीसेट" करते जे ट्रान्झिस्टर "चालू" करते आणि कॅपेसिटरला ग्राउंड पिन मार्फत डिस्चार्ज करते यामुळे निपज (output) ची स्थिती बदलते. कालमापांची कार्य पुन्हा सुरू करण्यासाठी दुसऱ्या ट्रिगर पल्सला वेळ लागतो म्हणूनच मूळ स्थिर "लो" मूल्याकडे परत जातो, मोनोस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटरमध्ये फक्त "एक" स्थिर स्थिती आहे.

मोनोस्टेबल 555 टायमर सर्किट पिन 2 वर लागू केलेल्या नकारात्मक-जाणाऱ्या पल्सवर ट्रिगर होते आणि ही ट्रिगर पल्स निपज (output) पल्स रुंदीपेक्षा खूपच लहान असणे आवश्यक आहे ज्यामुळे टायमिंग कॅपेसिटर चार्ज होण्यास आणि नंतर पूर्णपणे डिस्चार्ज होण्यास वेळ मिळेल. एकदा ट्रिगर झाल्यानंतर, $R1 \times C1$ नेटवर्कद्वारे सेट केलेला कालावधी संपेपर्यंत 555 मोनोस्टेबल या "हाय" अस्थिर निपज (output) स्थितीत राहील. निपज (output) व्होल्टेज "उच्च" किंवा (logic) लॉजिक "1" स्तरावर राहण्याचा कालावधी

555 टाइमर समीकरण

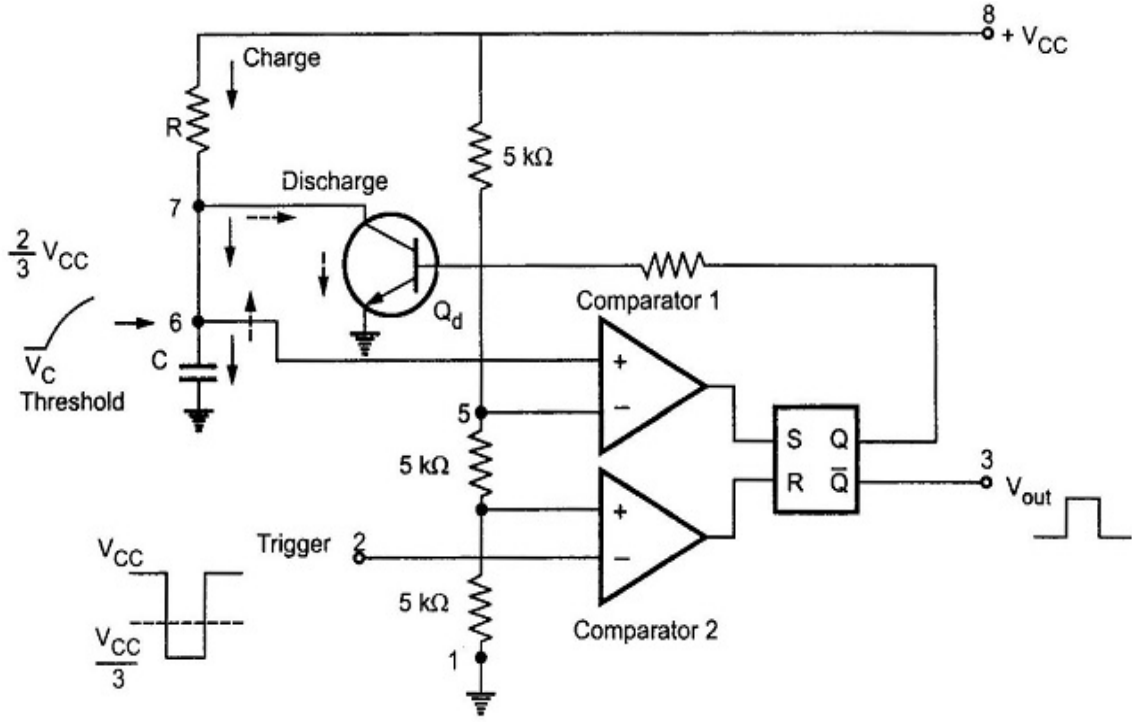
$$t = 1.1 \times R1 \times C1$$

जेथे, 't' सेकंदात आहे, R Ω (ohms) आणि C f (farads) मध्ये आहे.

मोनोस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर:

मोनोस्टेबल मोडला "वन-शॉट" पल्स जनरेटर देखील म्हणतात. ट्रिगर कंपॅरेटरवर नकारात्मक जाणारी ट्रिगर पल्स लागू केल्यावर घटनांचा क्रम सुरू होतो. जेव्हा या ट्रिगर कंपॅरेटरला शॉर्ट नकारात्मक जाणारी ट्रिगर पल्स संदर्भ व्होल्टेज ($1/3 V_{CC}$) च्या खाली असल्याचे जाणवते, तेव्हा डिवाइस ट्रिगर होते आणि निपज (output) हाय होते.

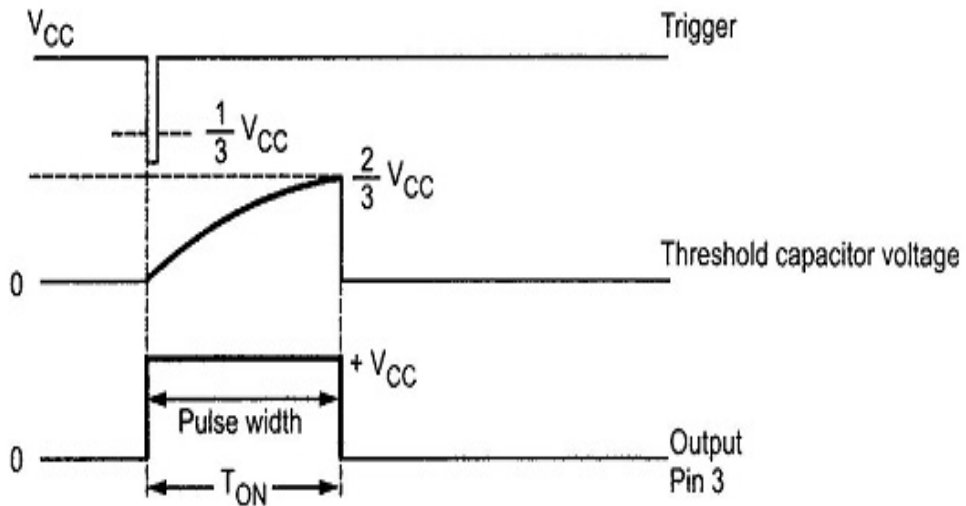
डिस्चार्ज ट्रान्झिस्टर बंद केले आहे आणि कॅपेसिटर C जो त्याच्या कलेक्टरला बाहेरून जोडलेला आहे तो रेझिस्टर R द्वारे कमाल मूल्यापर्यंत चार्ज होण्यास सुरवात करेल. जेव्हा कॅपेसिटरवरील चार्ज $2/3 V_{CC}$ वर पोहोचतो तेव्हा हाय निपज (output) पल्स समाप्त होते. RC टाइमिंग सर्किटसह मोनोस्टेबल मोडमध्ये IC 555 चे अंतर्गत कनेक्शन खाली दर्शविले आहे.



आकृती 5.5 मोनोस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर चे अंतर्गत कनेक्शन

नावात नमूद केल्याप्रमाणे, एका मोनोस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटरमध्ये फक्त एक स्थिर स्थिती असते. जेव्हा ट्रिगर इनपुट लागू केले जाते, तेव्हा निपज (output)वर एक पल्स तयार होते आणि वेळेच्या अंतरानंतर स्थिर स्थितीत परत येते. ज्या कालावधीसाठी पल्स जास्त असेल तो कालावधी रेजिस्टर (R) आणि कॅपेसिटर (C) असलेल्या टायमिंग सर्किटवर अवलंबून असेल. पिन 1 आणि 8 अनुक्रमे ग्राउंड आणि सप्लाय (VCC) शी जोडलेले आहेत. निपज (output) पिन 3 वर घेतले जाते. सर्किटचा फॉल्स रीसेट टाळण्यासाठी, पिन 4 VCC शी जोडलेला आहे.

पिन 5, जे कंट्रोल व्होल्टेज इनपुट आहे,



आकृती 5.6 मोनोस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर चे वेवफॉर्म

सिस्टममध्ये(circuit) फक्त एक स्थिर स्थिती आहे. ट्रिगर लागू केल्यावर, ते निपज (output)वर एक पल्स तयार करते आणि त्याच्या स्थिर स्थितीकडे परत येते. पल्स चा कालावधी R आणि C च्या मूल्यांवर अवलंबून असतो. त्याची एकच स्थिर अवस्था असल्यामुळे त्याला एक शॉट मल्टीव्हायब्रेटर म्हणतात

5.1.4 मोनोस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटरवरील उदाहरणे:

- सर्किटमध्ये टाइम डिले निर्माण करण्यासाठी मोनोस्टेबल 555 टाइमर आवश्यक आहे. जर $10\mu\text{F}$ टायमिंग कॅपेसिटर वापरला असेल, तर 500ms च्या किमान निपज (output) टाइम विलंबासाठी आवश्यक रेझिस्टरच्या मूल्याची गणना करा.

$500\text{ms} = 0.5\text{ s}$ त्यामुळे वरील सूत्राची पुनर्रचना करून, आपल्याला रेझिस्टरचे (R) गणना केलेले मूल्य मिळते,

$$\begin{aligned} R &= t / (1.1 \cdot C) \\ &= 0.5 / (1.1 \cdot 10 \mu\text{F}) \\ &= 0.5 / (1.1 \cdot 10 \cdot 10^{-6}) \\ &= 45.5 \text{ K}\Omega \end{aligned}$$

- R आणि C च्या योग्य मूल्यासह टायमर IC 555 आधारित पल्सच्या रुंदीसाठी

$T_p = 1\text{ms}$ मोनोस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटरच्या निपज (output)ची पल्स रुंदी या सूत्राद्वारे दिली जाते

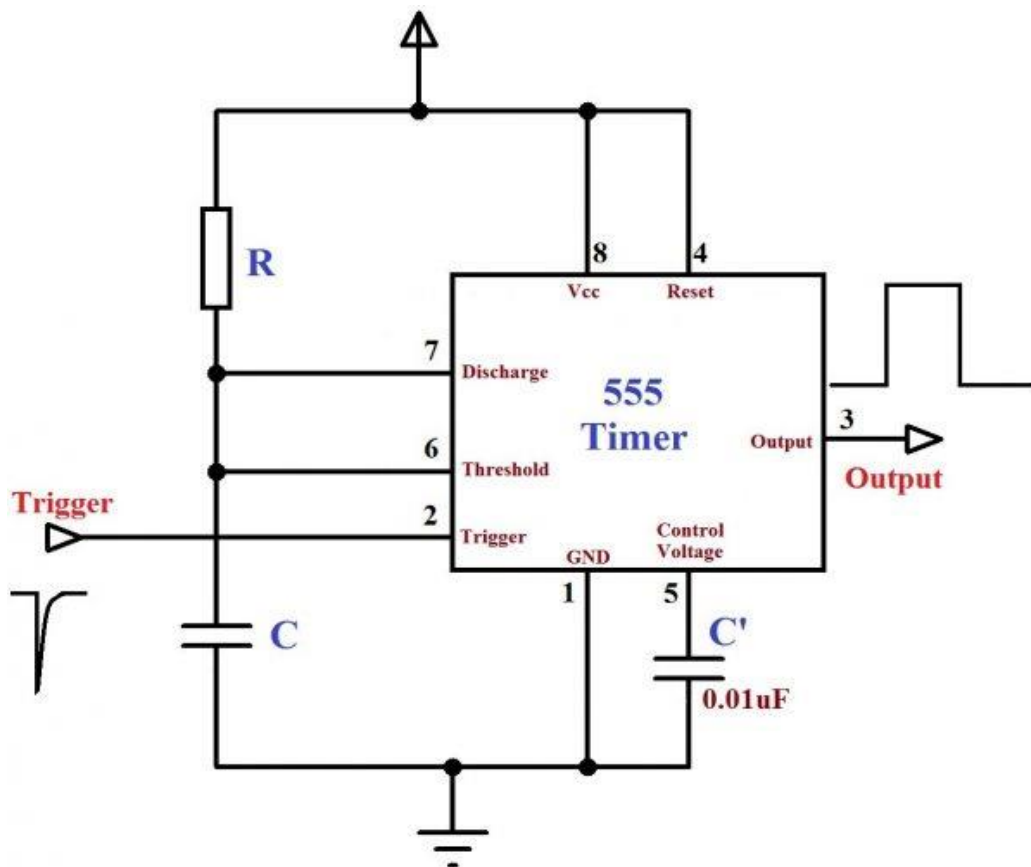
$$T_{on} = 1.1 R C$$

$$C = 0.1 \mu\text{F}$$

$$T_{on} = 1 \text{ ms}$$

$$R = 10 \cdot 10^{-3} / (1.1 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6})$$

$$= 9 \text{ k}\Omega$$



आकृती 5.7 मोनोस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर

5.1.5 IC 555 टायमर वापरून अस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर:

555 टायमर IC वापरून अस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटरची रचना आणि कार्य हे रेझिस्टर्स आणि ऑपरेशनल ॲम्प्लिफायर्स वापरून केले जाते. 555 टायमर IC मिलीसेकंद (ms) ते तासांपर्यंत अचूक वेळ विलंब देते. 555 टायमर IC हे तुलनेने स्वस्त, स्थिर आणि वापरकर्ता-अनुकूल एक सर्किट आहे आणि ते स्टेबल आणि मोनोस्टेबल दोन्ही ॲप्लिकेशन्ससाठी सर्किट डिझाइनसाठी योग्य आहे. पहिले 555 इंटीग्रेटेड सर्किट 1971 मध्ये कॉर्पोरेशन ऑफ सिग्नेटिक्सने SE555 किंवा NE555 म्हणून डिझाइन केले होते. 555 IC चा वापर करणारे अस्थिर मल्टीव्हायब्रेटर हे एक साधे ओसिलेटर सर्किट आहे जे सतत पल्स निर्माण करते. रेझिस्टर्स R1, R2 आणि कॅपेसिटर C1 ची मूल्ये हलवून सर्किटची फ्रिक्वेन्सी नियंत्रित केली जाऊ शकते.

हे सर्किट डायग्राम 555 टायमर IC एक अस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर म्हणून कार्य करण्यासाठी कसे कॉन्फिगर केले आहे ते दर्शविते. एक अस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर हे एक टायमिंग सर्किट आहे ज्याच्या 'लो'(0) आणि 'हाय'(1) अवस्था दोन्ही अस्थिर असतात. यामुळे, अस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटरचे निपज "लो"(0) आणि 'हाय'(1) दरम्यान सतत टॉगल होते, यामुळे पल्स ट्रेन निर्माण होते. त्यामुळे या सर्किटला 'पल्स जनरेटर' सर्किट असेही म्हणतात.

या सर्किटमध्ये, कॅपेसिटर C1, R1 आणि R2 द्वारे चार्ज होतो, शेवटी निपज फ्लिप-फ्लॉप टॉगल करण्यासाठी अंतर्गत कंपरेटर ट्रिगर करण्यासाठी पुरेसा व्होल्टेज तयार करतो. एकदा टॉगल केल्यानंतर, फ्लिप-फ्लॉप C1 मधून R2 पिन 7 मध्ये डिस्चार्ज करते, जो डिस्चार्ज पिन आहे. जेव्हा C1 चे व्होल्टेज पुरेसे कमी होते, तेव्हा आउटपुट फ्लिप-फ्लॉप टॉगल करण्यासाठी दुसरा अंतर्गत कंपरेटर ट्रिगर केला जातो. हे पुन्हा एकदा C1 ला R1 आणि R2 द्वारे चार्ज होण्यास अनुमती देते आणि सायकल पुन्हा सुरू होते.

C1 चा चार्ज-अप वेळ t_1 द्वारे दिला जातो:

$$t_1 = 0.693(R_1 + R_2)C_1.$$

C1 चा डिस्चार्ज वेळ t_2 द्वारे दिला जातो:

$$t_2 = 0.693 (R_2)C_1.$$

अशा प्रकारे, एका सायकल चा एकूण कालावधी

$$t_1 + t_2 = 0.693 C_1(R_1 + 2R_2) \text{ आहे.}$$

आउटपुट वेव्हची फ्रिक्वेन्सी 'f' या कालावधीची परस्पर आहे, आणि म्हणून ती दिली जाते:

$$f = 1.44 / (C_1(R_1 + 2R_2)),$$

ज्यामध्ये f Hz मध्ये R1 आणि R2 MΩ मध्ये असल्यास आणि C1 μF मध्ये असेल

$$T = t_1 + t_2$$

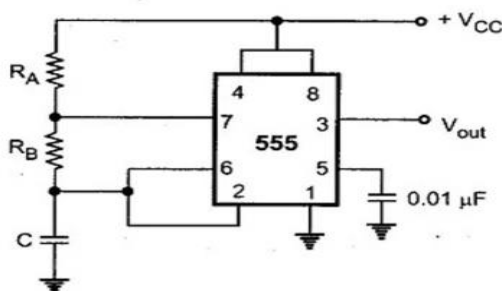
$$t_1 = 0.693 * (R_1 + R_2) * C \quad \text{चार्जिंग वेळ (Charging time)}$$

$$t_2 = 0.693 * R_2 * C \quad \text{डिस्चार्जिंग वेळ (Discharging time)}$$

$$f = 1 / T = 1.44 / (R_1 + 2R_2) C \quad \text{फ्रिक्वेन्सी (Frequency):}$$

ड्युटी सायकल (Duty cycle):

$$\% \text{ DC} = (R_1 + R_2) / (R_1 + 2R_2) \times 100\%$$



आकृती 5.8 अस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटरची घटक

अस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटरची रचना

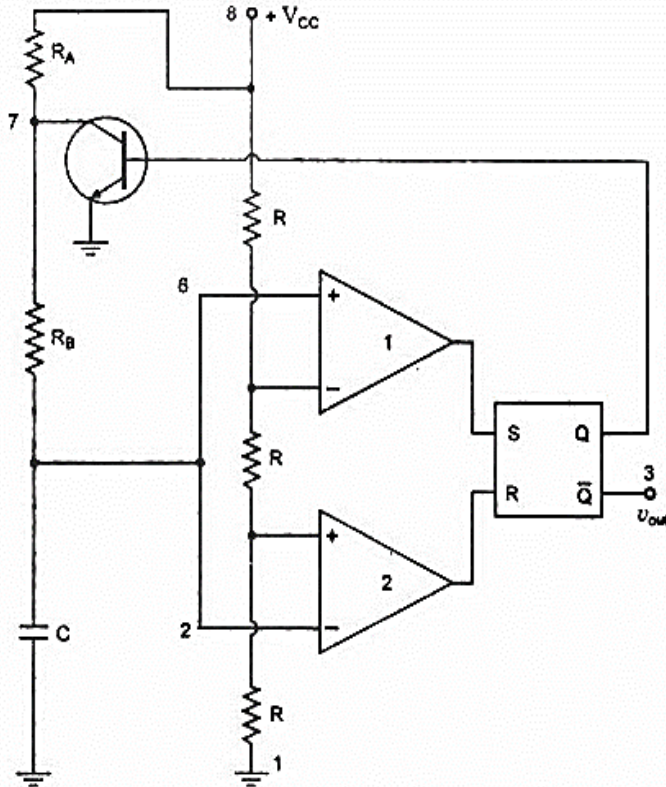
अस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटरचे डिझाईनिंगसाठी आवश्यक घटक :-

NE 555 किंवा SE 555, प्रतिरोधक ($1M\Omega \times 2$, $1K\Omega$), कॅपेसिटर ($0.01 \mu F$, $1 \mu F$) आणि LED हे आवश्यक घटक आहेत.

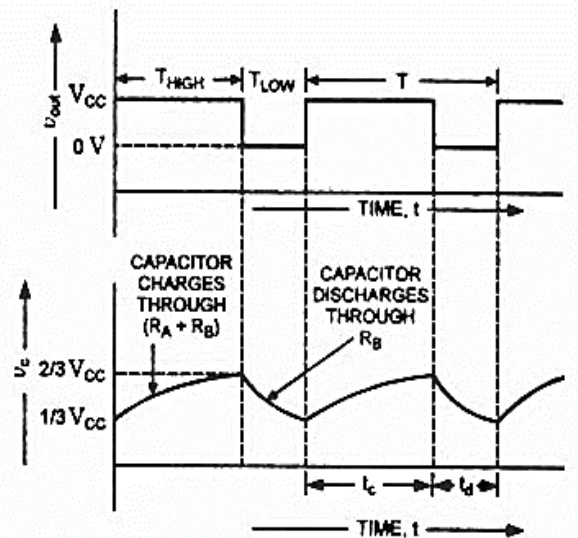
- वरील सर्किटमधील कॅपेसिटर R1 आणि R2 या दोन रेझिस्टरद्वारे चार्ज होतो आणि तेथे चार्जिंगची वेळ $T_{charges} = 0.69 (R1 + R2) \cdot C1$ म्हणून मोजली जाऊ शकते. या चार्जिंग वेळेत o/p जास्त असतो म्हणजे 1.38Sec
- कॅपेसिटर रेझिस्टर R2 द्वारे डिस्चार्ज होतो नंतर डिस्चार्जिंग वेळ $T_{discharge} = 0.69 R2C1$ असू शकते. या डिस्चार्जिंग वेळेत o/p कमी आहे, म्हणजे 0.69 सेकंद.
- एकूण कालावधी आहे $T = T_{charges} + T_{discharge} = 1.38 + 0.69 = 2.07\text{Sec}$
- ओसिलेटर फ्रिक्वेन्सी 0.483Hz आहे.
- ड्युटी सायकलची गणना खालील प्रकारे केली जाऊ शकते.
- ड्युटी सायकल = $Ton / (Ton + Toff) = 1.38 / 2.07 = 66 \%$

अस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटरचे कार्य

जेव्हा पॉवर दिली जाईल तेव्हा फ्लिप फ्लॉप सुरुवातीला रीसेट केला जातो, नंतर इन्व्हर्टरचा निपज (output) हाय असेल. कॅपेसिटरचे चार्जिंग दोन रेझिस्टर R1 आणि R2 वापरून केले जाईल. जेव्हा कॅपेसिटरचे व्होल्टेज $2/3 V_{CC}$ च्या वर जाते, तेव्हा हाय कंपरेटरचे आउटपुट हाय असेल, ते नियंत्रण फ्लिप फ्लॉप बदलते. त्यामुळे नियंत्रण फ्लिप-फ्लॉपचा Q निपज (output) लो(0) आणि Q' हाय (1) असेल. त्यामुळे इन्व्हर्टरचा अंतिम निपज (output) कमी आहे. त्याच वेळी Q1 ट्रान्झिस्टर चालू होतो आणि C1 कॅपेसिटर रेझिस्टर R2 मधून डिस्चार्ज होऊ लागतो.



Internal Circuitry With External Connections



Capacitor and Output Voltage Waveforms

आकृती 5.9 अस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर समतुल्य सिस्टम (circuit) आणि वेवफॉर्म

जेव्हा कॅपेसिटरचा व्होल्टेज $< 1/3 V_{CC}$ असेल, तेव्हा खालच्या तुलनेचा निपज (output) जास्त असेल आणि फ्लिप फ्लॉपचे

नियंत्रण 1 वर सेट केले जाईल. जेव्हा डिस्चार्ज ट्रान्झिस्टर Q1 बंद होतो, तेव्हा कॅपेसिटर चार्ज होतो आणि निपज (output)वरील LED ब्लिंक होईल. जेव्हा आयसीच्या चौथ्या पिनवर (रीसेट पिन) कमी व्होल्टेज लागू केले जाते तेव्हा ते आयसी रीसेट करते. कॅपेसिटरद्वारे कमी सिग्नल Q2 ट्रान्झिस्टर चालू होतो

अस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर्सचे उपयोग

अस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर्सच्या ऍप्लिकेशन्समध्ये रेडिओ सिग्नल प्रसारित करण्यासाठी आणि प्राप्त करण्यासाठी रेडिओ गीअर्सचा, मोर्स कोड जनरेटर आणि काही प्रणालींचा समावेश असतो ज्यांना अॅनालॉग इंटीग्रेटेड सर्किट्स आणि टीव्ही ब्रॉडकास्ट्स सारख्या स्केअर वेव्हची आवश्यकता असते.

5.1.6 अस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटरवरील उदाहरणे:

IC 555 साठी अस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर $R_1 = 5.6 \text{ K}\Omega$, $R_2 = 2.7 \text{ K}\Omega$ आणि $C = 0.1 \mu\text{F}$ म्हणून कॉन्फिगर केले आहे. ओसिलेशन्स फ्रिक्वेन्सी आणि ड्युटी सायकल शोधा

उत्तर:

दिलेल्या संख्या:

$$R_1 = 5.6 \text{ K}\Omega, R_2 = 2.7 \text{ K}\Omega \text{ आणि } C = 0.1 \text{ Mf}$$

आउटपुट व्होल्टेज वेव्हफॉर्मच्या एका चक्राचा कालावधी (T),

$$\begin{aligned} T &= T_{\text{on}} + T_{\text{off}} = 0.693 (R_1 + 2R_2) C \\ &= 0.693 [5.6 \times 10^3 + 2 \times (2.7 \times 10^3)] \times 0.1 \times 10^{-6} \\ &= 7.73 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

$$T = 0.773 \text{ m sec}$$

त्यामुळे ओसिलेशन्स फ्रिक्वेन्सी,

$$F = 1/T \quad F = 1/0.773 \times 10^{-3}$$

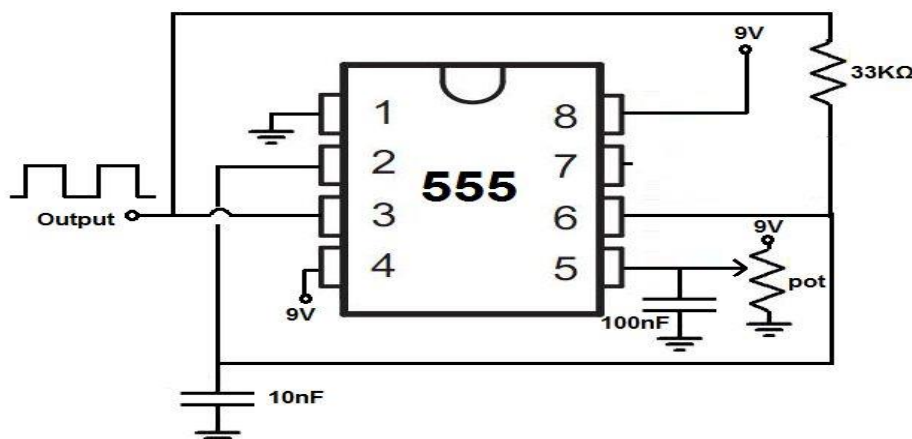
$$F = 1.293 \text{ KHz}$$

ड्युटी सायकल

$$\begin{aligned} D &= (R_1 + R_2) / (R_1 + 2R_2) \\ &= (5.6 \times 10^3) + (2.7 \times 10^3) / (5.6 \times 10^3) + 2(2.7 \times 10^3) \\ &= 8300 / 11000 \\ &= 0.7545 \end{aligned}$$

$$\text{Duty cycle (D)} = 75.45 \%$$

5.1.7 IC 555 वापरून व्होल्टेज नियंत्रित ऑसिलेटर: (Voltage controlled oscillator)



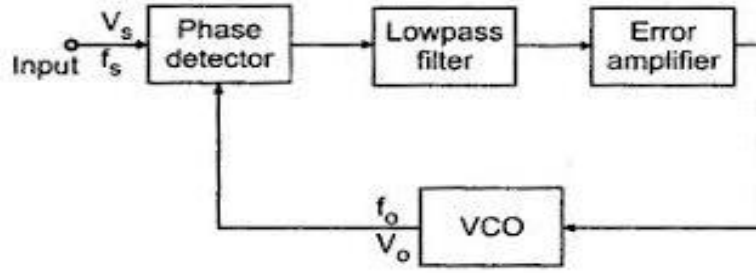
आकृती 5.10 IC 555 वापरून व्होल्टेज-नियंत्रित ऑसिलेटर

हे सिस्टम (circuit) व्होल्टेज-नियंत्रित ऑसिलेटर (VCO) आहे जे 555 टायमर IC चा मुख्य घटक म्हणून वापर करते. 555 टायमर एक अस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर म्हणून कॉन्फिगर केले आहे जेणेकरून ऑसिलेटर म्हणून कार्य करेल. एक अस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर हे फक्त एक टायमिंग सर्किट आहे ज्याचे निपज (output) 'लो'(0) आणि 'हाय'(1) दरम्यान सतत फिरत राहते, ज्यामुळे वेळ तयार होते.

555 अस्टेबल सिस्टम (circuit) चा फरक असा आहे की त्याचा 555 चा पिन 5 बाह्य व्होल्टेज स्त्रोताशी जोडलेला आहे. पिन 5 हा 555 चा कंट्रोल व्होल्टेज पिन आहे, जो वापरकर्त्याला थेट थ्रेशोल्ड व्होल्टेज समायोजित करण्यास अनुमती देतो ज्यामध्ये पिन 2/पिन 6 निविष्टी व्होल्टेजची 555 च्या अंतर्गत कंपरेटरद्वारे तुलना केली जाते. या कंपरेटरचे आउटपुट अंतर्गत फ्लिप-फ्लॉप नियंत्रित करतात जे 555 चे निपज (output) टॉगल करते, पिन 5 कंट्रोल व्होल्टेज समायोजित केल्याने 555 त्याचे निपज (output) टॉगल करते त्या फ्रिक्वेन्सी देखील समायोजित करते. पिन 5 वर इनपुट व्होल्टेज वाढवल्याने निपज (output) ऑसिलेशन फ्रिक्वेन्सी कमी होते तर इनपुट व्होल्टेज कमी केल्याने निपज (output) ऑसिलेशन फ्रिक्वेन्सी वाढते.

5.2 फेज लॉक लूप (PLL-PHASE LOCK LOOP)

फेज-लॉक केलेले लूप हे दोन सिग्नलच्या फरकाची तुलना करून ऑसिलेटर मंडळाच्या इनपुट आणि निपज फ्रिक्वेन्सी (output frequency) दरम्यान सिंक्रोनाइझेशन राखण्यासाठी वापरले जाणारे सर्किट आहेत. IC च्या उल्लांतीसह, ते इलेक्ट्रॉनिक सर्किट्सचे मूलभूत बिल्डिंग ब्लॉक म्हणून उदयास आले आहे



आकृती 5.11 फेज लॉक लूप (PLL) घटक मांडणी

फेज डिटेक्टरचे निपज (output) अॅक्टिव लो पास फिल्टरचे निविष्टी म्हणून लागू केले जाते. त्याचप्रमाणे, अॅक्टिव लो पास फिल्टरचे निपज (output) हे VCO च्या निविष्टी (input) ला दिले जाते.

PLL चे कार्य -

फेज डिटेक्टर DCV तयार करतो, f_{in} निविष्टी फ्रिक्वेन्सी (input frequency) असलेल्या सिग्नलमधील फेज फरकाच्या प्रमाणात असतो. आणि F_{out} फीडबॅक (आउटपुट) फ्रिक्वेन्सी (output frequency) आहे, फेज डिटेक्टर हा गुणक असतो आणि तो f_{in} ची फ्रिक्वेन्सी (frequency) f_{in} ची बेरीज आणि वजा करून त्याच्या निपज (output) वर दोन फ्रिक्वेन्सी (frequency) घटक तयार करतो. फेज डिटेक्टरच्या निपज (output) मध्ये उच्च फ्रिक्वेन्सी (frequency) घटक काढून टाकल्यानंतर अॅक्टिव लो पास फिल्टर त्याच्या निपज (output) वर DC विदुतदाब तयार करतो. हे सिग्नल देखील वाढवते, जेव्हा त्यावर कोणतेही निविष्टी दिले जात नाही तेव्हा VCO फ्रिक्वेन्सी असलेले सिग्नल तयार करते. DCV लागू करून ही VCO फ्रिक्वेन्सी दोन्ही बाजूला हलवता येते. म्हणून, VCO फ्रिक्वेन्सी (frequency) लो पास फिल्टरच्या आउटपुटवर उपस्थित असलेल्या DC विदुतदाबाच्या प्रमाणात आहे. VCO फ्रिक्वेन्सी निविष्टी सिग्नलच्या VCO वारंवारतेच्या बरोबरीने होईपर्यंत वरील ऑपरेशन्स होतात. अनुपयोगाच्या प्रकारावर आधारित, एकतर अॅक्टिव लो पास फिल्टरचे निपज (output) किंवा VCO चे निपज (output) वापरू शकतो. PLL अनेक अनुपयोगाकरिता वापरले जातात जसे की FM डिमॉड्युलेटर, क्लॉक जनरेटर इ.

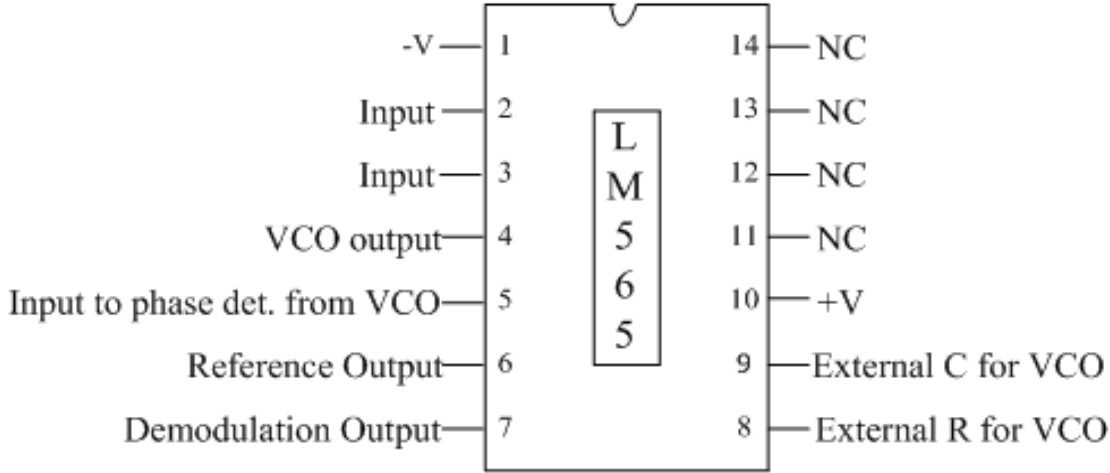
PLL खालील तीनपैकी एका मोडमध्ये कार्य करते -

1. फ्री रनिंग मोड (free running mode)
2. कॅप्चर मोड (Capture mode)

3. लॉक मोड(Lock mode)

सुरुवातीला, PLL फ्री रनिंग मोडमध्ये असतो त्यावर कोणतेही निविष्टी दिले जात नाही. जेव्हा काही फ्रिक्वेन्सी (frequency) असलेला PLL वर निविष्टी सिग्नल दिले जाते, तेव्हा VCO ची निपज फ्रिक्वेन्सी सिग्नल ((output frequency) बदलते, याला PLL कॅप्चर मोडमध्ये कार्यरत असल्याचे म्हटले जाते. VCO ची निपज फ्रिक्वेन्सी सिग्नल (output frequency) ही निविष्टी (input) फ्रिक्वेन्सी सिग्नल च्या समान होईपर्यंत सतत बदलत राहते, याला PLL लॉक मोडमध्ये कार्यरत असल्याचे म्हटले जाते.

5.2.1 पिन डायग्राम IC 565:



आकृती 5.12 पिन डायग्राम IC 565

पिन 1 :- -ve वीज पुरवठ्याचा निविष्टी पिन

पिन 2 :- (इनपुट): फेज डिटेक्टरचा निविष्टी पिन

पिन 3 :- (इनपुट): फेज डिटेक्टरचा निविष्टी पिन

पिन 4 :- (व्हीसीओ आउटपुट): व्होल्टेज-नियंत्रित ऑसिलेटरचा आउटपुट पिन

पिन 5 :- (फेज कंपॅरेटरचा VCO i/p): फेज डिटेक्टरचा निविष्टी पिन

पिन 6 :- (संदर्भ निपज (output)): अंतर्गत ऑप्लिफायरचा संदर्भ निपज (output)

पिन 7:- (व्हीसीओ कंट्रोल व्होल्टेज): या पिनवर, व्हीसीओचे कंट्रोल व्होल्टेज पाहिले जाऊ शकते

पिन 8 :- (टाइमिंग रेझिस्टर) व्हीसीओची फ्रिक्वेन्सी (frequency) करीता बाह्य रेझिस्टर (Rv) आहे

पिन 9 :- (टाइमिंग कॅपेसिटर): व्हीसीओची फ्रिक्वेन्सी (frequency) करीता बाह्य कॅपेसिटर (Cv) आहे.

पिन 10 :- (+Vcc): +Ve वीज पुरवठा

पिन 11, 12, 13 आणि 14 : कनेक्शन पिन नाहीत 14 पिनपैकी फक्त 10 पिन (पिन क्रमांक 1 ते 10) पीएलएलच्या ऑपरेशनसाठी वापरल्या जातात. तर, उर्वरित 4 कनेक्शन पिन नाहीत (पिन क्रमांक 11 ते 14) वर NC (नो कनेक्शन) असे लेबल केले आहे. जेव्हा पिन क्रमांक 2 आणि 3 ग्राउंड केले जातात तेव्हा VCO IC 565 च्या पिन क्रमांक 4 वर आउटपुट असते, गणितीयदृष्ट्या, निपज फ्रिक्वेन्सी (output frequency), 'f_{out}'

$$F_{out} = \frac{0.25}{R_v * C_v}$$

$$R_v * C_v$$

R_v - पिन क्रमांक 8 ला जोडलेले बाह्य रेझिस्टर आहे

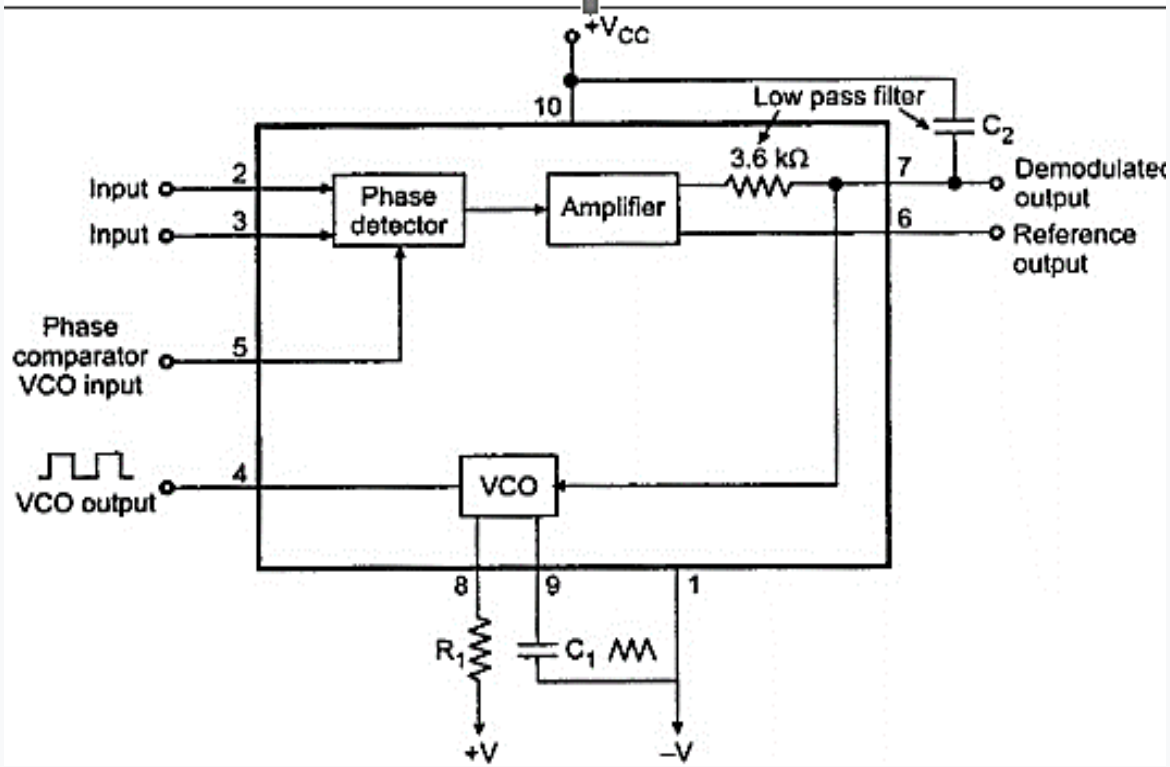
C_v - पिन क्रमांक 9 शी जोडलेला बाह्य कॅपेसिटर आहे

R_v ची आणि C_v ची योग्य मूल्ये निवडून, VCO ची निपज फ्रिक्वेन्सी (output frequency) (f_{out}) निर्धारित करू शकतो.

पिन क्रमांक 4 आणि 5 बाह्य वायरने कमी करणे आवश्यक आहे जेणेकरून VCO चे निपज फेज डिटेक्टरच्या निविष्टी पैकी एक म्हणून वापर करू शकतो.

IC 565 मध्ये 3.6KΩ चे अंतर्गत रेझिस्टर आहे. लो पास फिल्टर मध्ये एक कॅपेसिटर C, आणि अंतर्गत रेझिस्टर R असतो.

5.2.2 एकात्मिक सर्किट (IC) LM 565 फेज-लॉक लूप :-



आकृती 5.13 : PLL(IC 565) एकात्मिक-अंतर्गत सिस्टम(Circuit)

PLL चे ब्लॉक:

1. फेज डिटेक्टर (phase detector)
2. अॅक्टिव लो पास फिल्टर (Active Low pass filter)
3. व्हीसीओ (voltage-controlled oscillator)

फेज डिटेक्टर DC विद्युतदाब तयार करतो आणि हा व्होल्टेज 'fin' फ्रिक्वेन्सी असलेल्या इनपुट सिग्नलमधील फेज असमानतेशी तुलनात्मक आहे आणि 'fout' वारंवारतेसह फीडबॅक सिग्नल हा गुणक आहे आणि दोन वारंवारतेची बेरीज आणि दोन वारंवारतेचा फरक याप्रमाणे त्याच्या निपज फ्रिक्वेन्सी (output frequency) वर दोन फ्रिक्वेन्सी (frequency) निर्माण करतो.

अॅक्टिव LPF हा वरील ब्लॉक डायग्राममधील दुसरा घटक आहे जो फेज डिटेक्टरच्या निपज फ्रिक्वेन्सी (output frequency) मध्ये उपस्थित असलेला उच्च-फ्रिक्वेन्सी (frequency) काढून टाकल्यानंतर त्याच्या निपज वारंवारतेवर DCV तयार करतो. याचा वापर करून, सिग्नल वाढवता येतो.

VCO ला कोणतेही निविष्टी (input) दिले नाही तर व्होल्टेज-नियंत्रित ऑसिलेटर विशिष्ट फ्रिक्वेन्सी सह सिग्नल निर्माण करतो, त्यामुळे ही फ्रिक्वेन्सी फेज डिटेक्टर DC विद्युतदाब देऊन बदलली जाऊ शकते. अशाप्रकारे, जसे DC विद्युतदाब बदलते तसे लो पास फिल्टरच्या वारंवारतेतील फरक दिसून येतो.

व्होल्टेज-नियंत्रित ऑसिलेटरची फ्रिक्वेन्सी, निविष्टी सिग्नलच्या वारंवारतेशी समान होईपर्यंत वरील प्रक्रिया घडतात, त्याप्रमाणे अॅक्टिव LPS चे निपज (output) किंवा VCO चे निपज (output) वापरू शकतो.

LM565 वापरून PLL चे एकात्मिक सर्किट:

LM565 PLL, पिन 2 आणि 3 ला अॅनालॉग निविष्टी सिग्नलचे कनेक्शन देऊ शकतो परंतु पिन 2 इनपुट म्हणून वापरले जाते तर पिन 3 ग्राउंडशी जोडलेले आहे.

निविष्टी सिग्नल फेज डिटेक्टरला व्हीसीओ फीडबॅकद्वारे दिले जाते जे दोन्ही सिग्नल समान फ्रिक्वेन्सी मध्ये आहेत की नाही याचे मूल्यांकन करते. दोन्ही सिग्नल फ्रिक्वेन्सी समान असल्यास, फेज डिटेक्टर 0V निपज देते आणि जर फ्रिक्वेन्सी जास्त असेल तर हा डिटेक्टर +V_e निपज व्होल्टेज देतो.

व्होल्टेज सिग्नल वाढवण्यासाठी फेज डिटेक्टरचे निपज व्होल्टेज अॅम्प्लीफायरला दिले जाते आणि हे व्होल्टेज नियंत्रित ऑसिलेटरला दिले जाते. हा ऑसिलेटर एक वेव्हफॉर्म तयार करतो.

जेव्हा यास कोणतेही इनपुट दिले जात नाही, तेव्हा फ्री-रनिंग मोडमधील VCO सिग्नल तयार करेल. या सिग्नलची फ्रिक्वेन्सी पिन 8 आणि 9 वर जोडलेल्या रेझिस्टर आणि कॅपेसिटरद्वारे निर्धारित केली जाऊ शकते.

एकदा इनपुट सिग्नल दिल्यानंतर, निविष्टी सिग्नल फ्रिक्वेन्सी आणि VCO चे निपज (output) दोन्हीचे मूल्यांकन केले जाते. ते समान नसल्यास, फेज डिटेक्टर व्होल्टेज पुरवेल आणि ते बदलून VCO ला दिले जाईल.तर, अॅम्प्लीफायरला दिलेल्या व्होल्टेजच्या आधारे सिग्नल फ्रिक्वेन्सी वाढवता किंवा कमी केली जाऊ शकते. बदल केल्यावर निविष्टी सिग्नल आणि VCO च्या दोन्ही फ्रिक्वेन्सी समतुल्य असतील.

अशाप्रकारे, PLL IC फंक्शन्स, व्होल्टेज नियंत्रित ऑसिलेटरचा निपज फ्रिक्वेन्सी ((output frequency) सिग्नल नेहमी निविष्टी सिग्नल फ्रिक्वेन्सी द्वारे चालू ठेवतो.

5.2.3 लॉक-इन रेंज आणि कॅप्चर रेंज :-

लॉक-इन रेंज (Lock in range) :-

PLL लॉक झाल्यावर, ते येणाऱ्या सिग्नलमधील फ्रिक्वेन्सी बदलांचा मागोवा घेऊ शकते. वारंवारतेची श्रेणी ज्या फ्रिक्वेन्सी (frequency)वर PLL इनकमिंग सिग्नलसह फेज लॉक करू शकते याला लॉक-इन रेंज किंवा ट्रॅकिंग रेंज म्हणतात. लॉक रेंज VCO आउटपुट वारंवारतेची f_0 टक्केवारी म्हणून व्यक्त केली जाते.

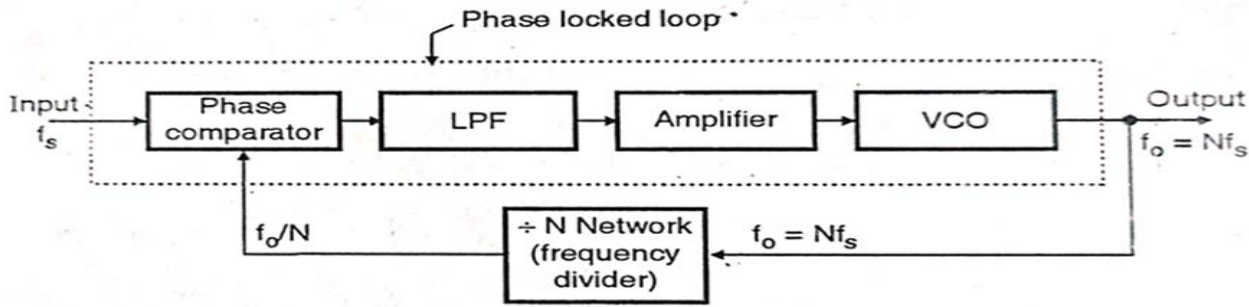
कॅप्चर रेंज (Capture range) :-

PLL इनपुट सिग्नलसह लॉक प्राप्त करू शकते अशा फ्रिक्वेन्सी च्या रेंजला कॅप्चर रेंज म्हणतात. (f_0) ची टक्केवारी म्हणून हि संबोधले जाते.

5.3 PLL चे उपयोग :

1. फ्रिक्वेन्सी गुणाकार (Frequency multiplier)
2. फ्रिक्वेन्सी (Frequency) बदल
3. एएम (AM) डिटेक्शन
4. एफएम (FM) डिटेक्शन
5. FSK डीमोड्युलेशन

5.3.1 PLL फ्रिक्वेन्सी मल्टिप्लायर (frequency multiplier):



आकृती 5.14 फ्रिक्वेन्सी मल्टिप्लायर आकृती

फ्रिक्वेन्सी मल्टिप्लायर PLL आणि 'विभाजित(divide N)' काउंटर वापरून डिझाइन करतात.

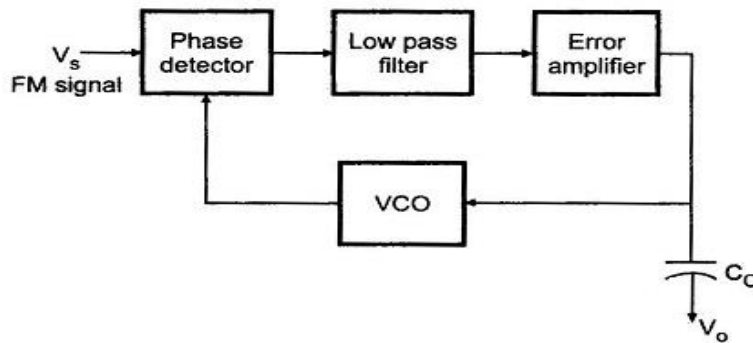
व्हीसीओ आणि पीएलएल सर्किटच्या फेज डिटेक्टरमध्ये फ्रिक्वेन्सी विभाजक (divided by N counter) जोडला जातो. अशाप्रकारे PLLच्या दोन निविष्टी फ्रिक्वेन्सी f_s आणि f_o/N आहेत PLL या दोन फ्रिक्वेन्सी समान करण्याचा प्रयत्न करते. f_s पेक्षा N पटीने जास्त असलेल्या वारंवारतेवर कार्य करते

$$f_s = (f_{out})/N$$

$$f_{out} = N \times f_{in}$$

अशाप्रकारे निविष्टी फ्रिक्वेन्सी N ने गुणली जाते. फ्रिक्वेन्सी डीवायडर च्या 'N' काउंटर योग्य निवडून, गुणाकार फॅक्टर मिळवता येतो N=5 सह फ्रिक्वेन्सी गुणक IC565 आणि Decade counter IC 7490 वापरून लागू केले जाऊ शकते

5.3.2 PLL आधारित FM डिमॉड्युलेटर -



आकृती 5.15 FM डिमॉड्युलेटर

- डीमॉड्युलेट केले जाणारे एफएम सिग्नल पीएलएलच्या इनपुटवर लागू केले जाते. PLL FM सिग्नलला लॉक केल्यामुळे, VCO FM इनपुट सिग्नलमध्ये तात्काळ फ्रिक्वेन्सी ट्रॅक करण्यास सुरुवात करते. ॲम्प्लिफायरच्या निपज (output) वर तयार होणारे एरर (error) व्होल्टेज हे FM च्या मध्यवर्ती वारंवारतेपासून निविष्टी फ्रिक्वेन्सी चे विचलनाच्या प्रमाणात असते. अशा प्रकारे एरर विदुतदाबाचा एसी घटक मॉड्युलेटिंग सिग्नल दर्शवतो. अशा प्रकारे एरर ॲम्प्लीफायर निपज (output) वर डिमॉड्युलेटेड FM निपज (output) मिळते.
- PLL वापरून FM डिमॉड्युलेटर इनपुट फ्रिक्वेन्सी आणि VCO विदुतदाब यांच्यातील लिनिअर संबंध व्होल्टेज सुनिश्चित करतो.

स्वाध्याय: (Self learning)

- 1) IC555 चा पिन आकृती काढा.
- 2) PLL चे उपयोग सांगा.
- 3) IC565 चा पिन आकृती काढा.
- 4) IC 555 ची वैशिष्ट्ये सांगा.

- 5) IC 555 चा ब्लॉक आकृती काढा.
- 6) PLL ची व्याख्या सांगा.
- 7) अस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटरचे उपयोग सांगा.
- 8) मल्टीव्हायब्रेटरचे वर्गीकरण लिहा.
- 9) मोनोस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर फ्रिक्वेन्सी विभाजक म्हणून कसे वापरले जाऊ शकते ते स्पष्ट करा.
- 10) PLL चे ब्लॉक आकृती काढा आणि स्पष्ट करा.
- 11) VCO ची आकृती (IC 555 वापरून) काढा आणि स्पष्ट करा.
- 12) मोनोस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर (IC 555 वापरून) ची आकृती काढा आणि स्पष्ट करा.
- 13) अस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर (IC 555 वापरून) ची आकृती काढा आणि स्पष्ट करा.
- 14) IC555 च्या पिन 2 व 6 चे कार्य लिहा.
- 15) 10msec पल्स रुंदी मिळविण्यासाठी मोनोस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर डिझाइन करा.
- 16) PLL चा FM डिमॉड्युलेटर म्हणून वापर कसा होतो हे स्पष्ट करा.
- 17) IC 555 साठी अस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर $R1 = 5.6 \text{ K}\Omega$, $R2 = 2.7 \text{ k}\Omega$ आणि $C = 0.1 \mu\text{F}$ म्हणून कॉन्फिगर केले आहे. ओसिलेशन्स फ्रिक्वेन्सी आणि ड्युटी सायकल शोधा.

लघुप्रकल्प (Micro-project):

1. IC 555 वापरून मोनोस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर PCB वर तयार करा. व कार्य पद्धत तपासा.
2. IC 555 वापरून अस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटर PCB वर तयार करा व कार्य पद्धत तपासा.
3. IC 555 किंवा समतुल्य IC वापरून स्वयंचलित स्ट्रीट लाईट तयार करा

संदर्भ: References

Sr. N.	Title	Author	Publication with ISBN no.
1	Applied Electronics	R.S. Sedha	S.Chand New Delhi, 2015 ISBN9788121927833)
2	OP-AMP & Linear Integrated circuits	Gaikwad Ramakant	P.H.i. Learning New Delhi 2011, ISBN:9788120320581

संकेतस्थळ: Websites

1. <https://ae-iitr.vlabs.ac.in/exp/astable-monostable-multivibrator/simulation/astable/exp.html>
(Virtual Lab for Multivibrators using Op-Amp.)
2. IC555: -[http://www.jamia-physics.net/lecnotes/lab/555 .pdf](http://www.jamia-physics.net/lecnotes/lab/555.pdf)
3. IC 555 data sheet: -<http://www.electroschematics.com/650/lm555-datasheet/>