OPERATIONAL AMPLIFIER

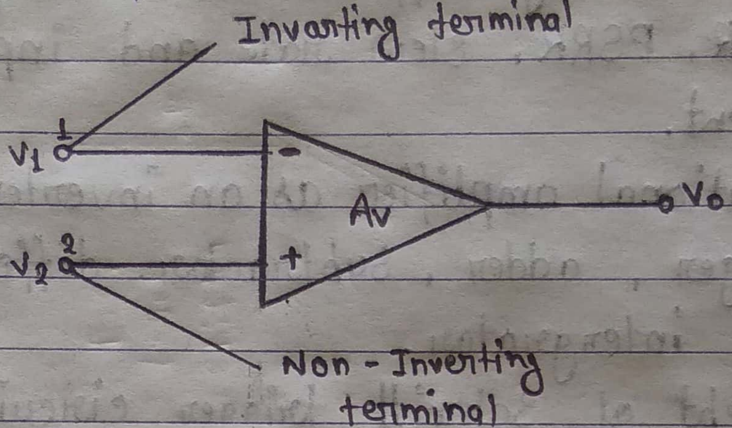
Topics -

- Characteristics of an ideal operational amplifier and its block diagram.
- Definition of differential voltage gain, CMRR, PSRR, slew rate and input offset current.
- Operational amplifier as an inverter, scale changer, adder, subtractor, differentiator, and intergrator.
- Concept of Schmitt trigger circuit and sample/hold circuit using operational amplifier and their application.

Scanned with CamScanner

एक आदर्श OP-AMP (An ideal Operational Amplifier) :-

→ OP-AMP एक डिफरैन्स एम्पलीफायर है, जिसका मूल कार्य दो इनपुट सिगनलों के अंतर को प्रवर्धित (amplify) करना है, OP-AMP का मुख्य गुण इसकी अवांछित सिगनल (underired signal) को त्यागने (reject) की क्षमता है,



एक आदर्श OP-AMP का संकेत

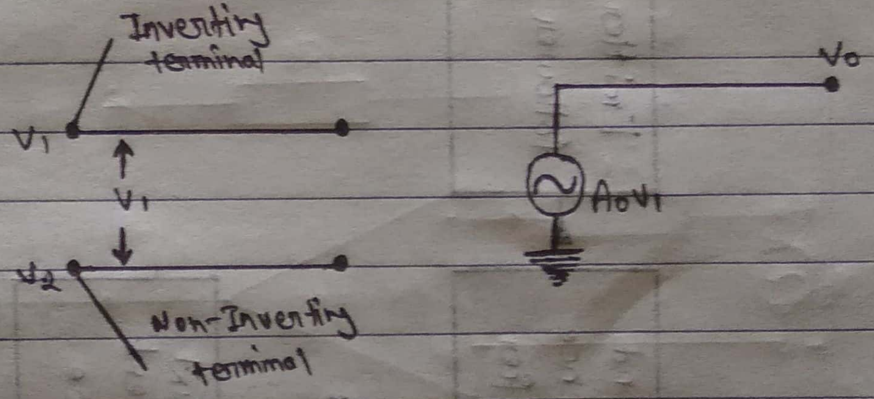
OP-AMP का टर्मिनल '1' जिस पर (−) चिन्ह लगा है, इनवर्टिंग टर्मिनल है, इस टर्मिनल पर कोई सिगनल प्रयुक्त करने पर आउटपुट मे विपरीत फेज मे वोल्टेज प्राप्त होती है, टर्मिनल '2' जिस पर (+) चिन्ह लगा है, नॉन इनवर्टिंग टर्मिनल है, इस पर दिया गया कोई सिगनल आउटपुट मे समान कला मे प्राप्त होता है, सामान्य रूप से आउटपुट वोल्टेज Vo इनपुट टर्मिनलो पर प्रयुक्त की गयी वोल्टेजों के अंतर (V_1-V_2) के समानुपाती होती है,

Scanned with CamScanner

एक आदर्श OP-AMP के निम्न अभिलक्षण होते है।-

क्रमांक	अभिलक्षण	संकेत (Symbol)	मान (Value)
1.	इनपुट प्रतिरोध (I/P Resistance)	R_i	∞
2.	आउटपुट प्रतिरोध (O/P Resistance)	R_o	0
3.	वोल्टेज लब्धि (Voltage Gain)	A_o	-∞
4.	बैंड-विड्थ (Bandwidth)	BW	∞

इसके अतिरिक्त OP-AMP मे यदि $V_1 = V_2$ तब आउटपुट शून्य ($V_o = 0$) होता है। अर्थात यह perfect balance उपलब्ध करता है, तापक्रम परिवर्तन के कारण भी इसके अभिलक्षणों मे ड्रिफ्ट नही होता है।

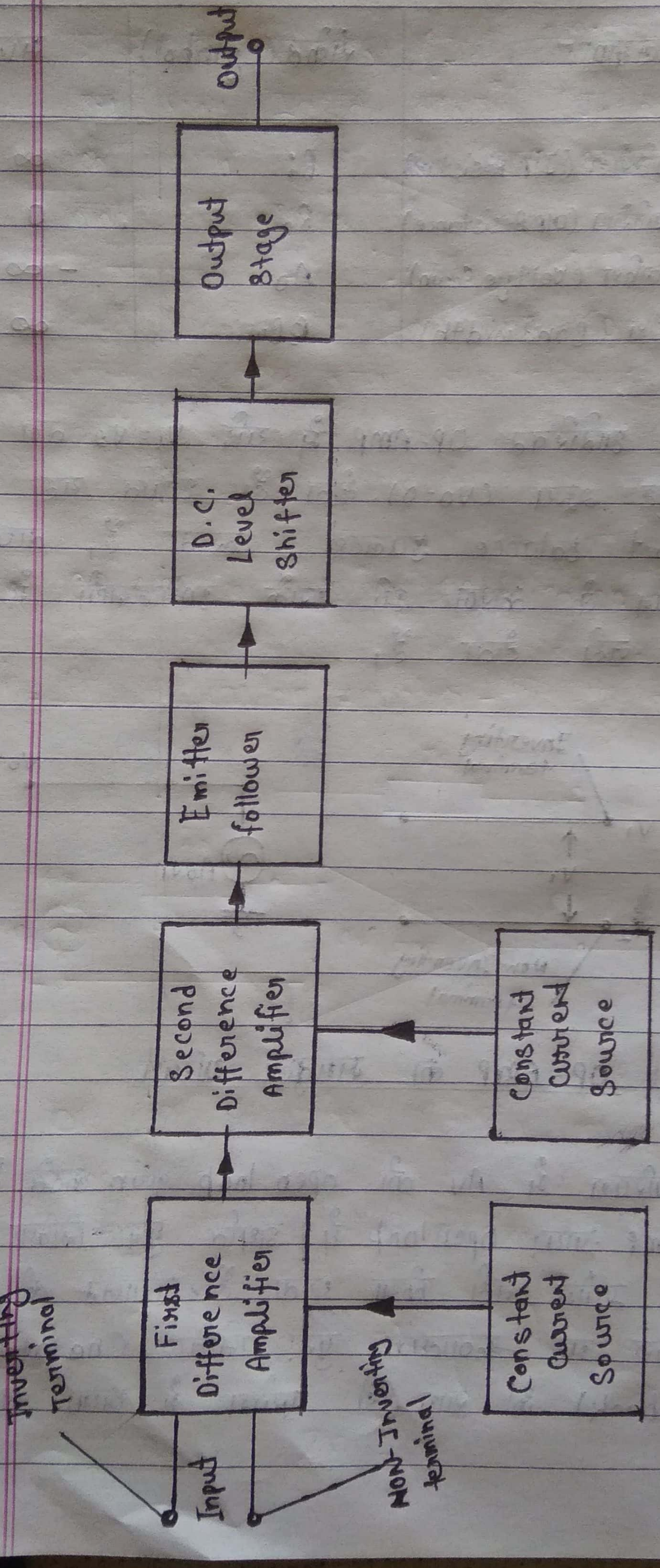


OP-AMP का समतुल्य परिपथ

इस परिपथ मे Av को open loop gain कहते है। OP-AMP प्राय: open loop मे अर्थात पुन: निवेश के बिना प्रयोग नही किया जाता है प्रचालन की स्थिरता के लिए यह ऋणात्मक पुन: निवेश (negative feedback) के साथ ही प्रयोग मे लाया जाता है।

Scanned with CamScanner

• OP-AMP का ब्लॉक डायग्राम (Block Diagram of OP-AMP):-



OP-AMP का ब्लॉक डायग्राम।

Definitions :-

(i) Common Mode Rejection Ratio (CMRR) :- यह डिफरैन्शियल मोड में प्रवर्धन (Ad) तथा कॉमन मोड मे प्रवर्धन (Ac) के अनुपात के तुल्य होता है।-

$$CMRR = \frac{A_d}{A_c}$$

(ii) Power Supply Voltage Rejection Ratio (PSRR) :-

:- यह इनपुट ऑफसेट वोल्टेज के परिवर्तन एवं पावर सप्लाई वोल्टेज के परिवर्तन के अनुपात के तुल्य होता है।-

$$PSRR = \frac{\Delta V_{io}}{\Delta V_{cc}}$$

(iii) Slew Rate (स्ल्यू रेट) :- OP-AMP को स्टैप इनपुट (Step input) देने पर आउटपुट वोल्टेज मे अधिकतम परिवर्तन की दर स्ल्यू रेट कहलाती है, OP-AMP में आंतरिक धारिता के कारण आउटपुट मे परिवर्तन की दर तथा इनपुट में परिवर्तन की दर समान नही होती, स्ल्यू रेट का मान प्रवर्धक में उपस्थित धारिता (Capacitance) पर निर्भर करता है।

Scanned with CamScanner

(iv) Input Offset Current (इनपुट ऑफसेट धारा) :-

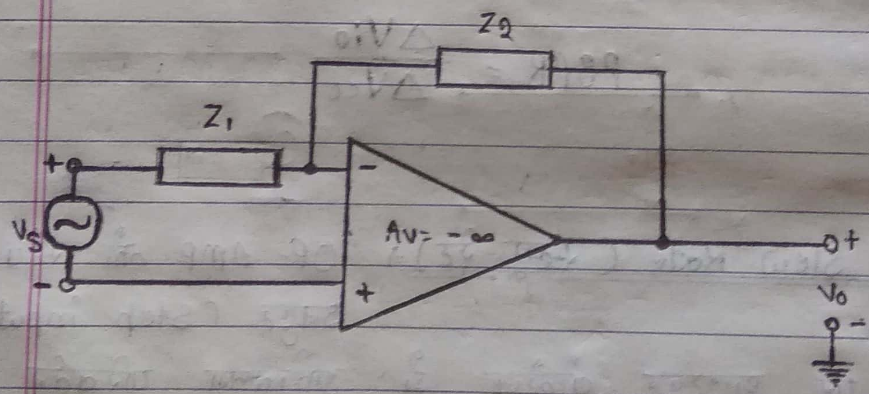
:- इनपुट ऑफसेट धारा (I_{io}), दोनों इनपुट टर्मिनलों में इस समय प्रवाहित धाराओं (I_1 तथा I_2) के अंतर के बराबर होती है, जब आउटपुट V_o शून्य होती है। अर्थात

$$I_{io} = I_1 - I_2 \quad \text{जब } V_o = 0$$

इनपुट ऑफसेट धारा का मान 20 से 60mA तक हो सकता है, यह धारा ताप परिवर्तन के साथ ड्रिफ्ट करती है,

• OP-AMP के अनुप्रयोग (Application of OP-AMP) :-

(i)- OP-AMP as an Inventor -



OP-AMP का प्रयोग Invertor की भाँति किया जा सकता है

तथा हम पढ़ चुके हैं, कि,

$$V_o = -V_s\left(\frac{Z_2}{Z_1}\right) \quad \frac{V_o}{V_s} \propto \frac{Z_2}{Z_1}$$

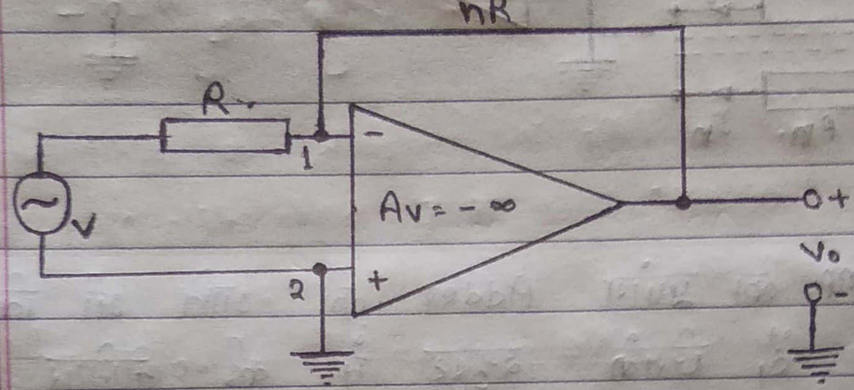
यदि $Z_2 = Z_1$

Scanned with CamScanner

तब $V_0 = -V_s$

अर्थात् $Z_2 = Z_1$ होने पर आउटपुट V_0 इनपुट V_s की तुलना में इनवर्टेड (inverted) होगी।

(ii)- **OP-AMP as an Scale changer-**



हम जानते हैं कि

समीकरण, $V_0 = -V_s\left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)$ के अनुसार

चित्र से $Z_1 = R$

$Z_2 = nR$

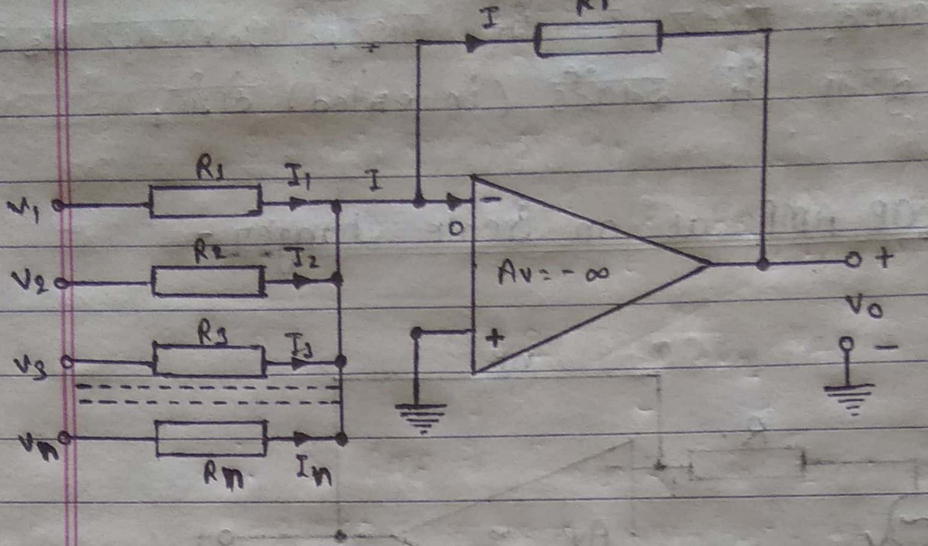
अतः $V_0 = -V_s\left(\frac{nR}{R}\right)$

$= -V_s(n)$

अतः स्केल (Scale) एक गुणांक '-n' से गुणा किया गया है।

Scanned with CamScanner

(iii)- OP-AMP as an Adder -



OP-AMP का प्रयोग Adder की भाँति भी किया जा सकता है, जिसके इनपुट में कई लीनियर वोल्टेज प्रयुक्त की गई है, जैसे $V_1, V_2, V_3 \cdots V_n$, प्रत्येक इनपुट के साथ एक श्रेणी प्रतिरोध संयोजित है।

चूंकि OP-AMP के इनपुट टर्मिनलों के मध्य धारा नगण्य है, अतः

$$I = i_1 + i_2 + i_3 \cdots + i_n$$

$$I = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \cdots + \frac{V_n}{R_n}$$

तथा $$V_0 = -IR_f = -\left(\frac{R_f}{R_1}V_1 + \frac{R_f}{R_2}V_2 + \cdots + \frac{R_f}{R_n}V_n\right)$$

यदि $$R_1 = R_2 = R_3 \cdots = R_n = R$$

तब $$V_0 = \frac{R_f}{R}(V_1 + V_2 + V_3 + \cdots + V_n)$$

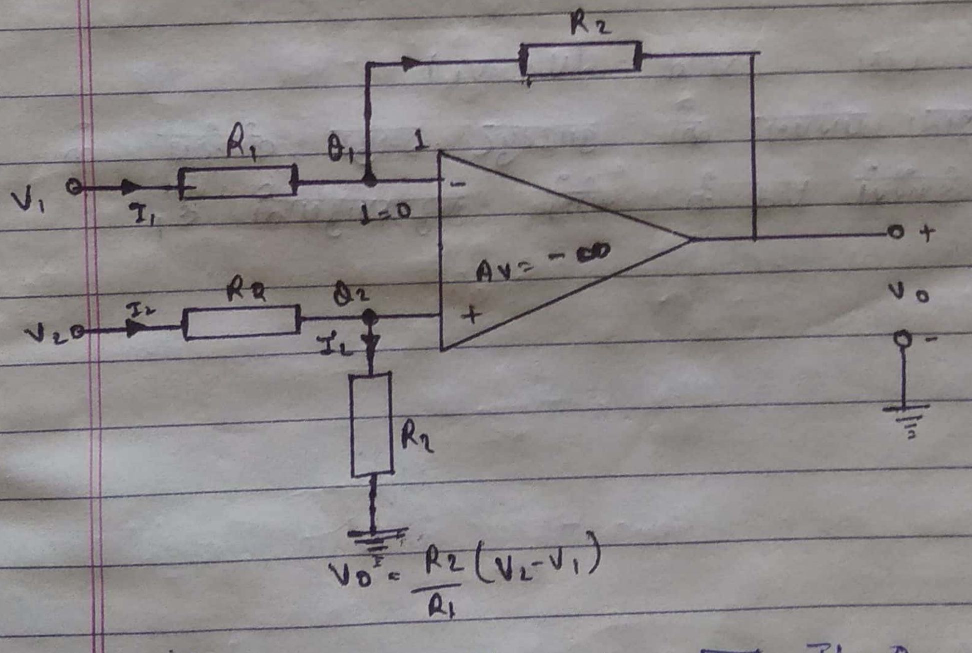
अर्थात आउटपुट वोल्टेज, इनपुट वोल्टेज के योग के समानुपाती है, इस प्रकार यह परिपथ एक Adder

Scanned with CamScanner

की भाँति कार्य करता है, इस परिपथ का मुख्य लाभ यह है, कि इसमें इनपुट की संख्या केवल अतिरिक्त प्रतिरोध लगाकर इच्छानुसार बढ़ाई जा सकती है, परिणाम केवल परिपथ मे प्रयुक्त प्रतिरोध पर निर्भर करता है,

(iv) OP-AMP as Differential Amplifier or Subtractor ⇒

OP-AMP का उपयोग Differential Amplifier की भाँति किया जाता है, यह एम्प्लीफायर इनपुट के अंतर $(V_2 - V_1)$ को प्रवर्धित करता है, अर्थात इसकी आउटपुट $(V_2 - V_1)$ के समानुपाती है, यह परिपथ दोनों इनपुट मे कॉमन वोल्टेज, इसे reject कर देता है, इसका मुख्य उपयोग इलेक्ट्रॉनिक विधि से मापन की प्रक्रियाओं जैसे ट्रांसड्यूसर, स्ट्रेन गेज ब्रीज, थर्मोकपल इत्यादि मे किया जाता है,



$$V_0 = \frac{R_2}{R_1}(V_2 - V_1)$$

चूंकि $R_{in} = \infty$ अतः $I_i = 0$

$I_1 = I'_1$ तथा $I_2 = I'_2$

या $\frac{V_1 - e_1}{R_1} = \frac{e_1 - V_0}{R_2}$

तथा $\frac{V_2 - e_2}{R_1} = \frac{e_2}{R_2}$

उपरोक्त समीकरण से,

$$e_1 = \left[\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right] V_1 + \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) V_0$$

तथा $$e_2 = \left[\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right] V_2$$

∵ OP-AMP मे feedback के प्रभाव से दोनों इनपुट टर्मिनलों के मध्य विभवान्तर शून्य हो जाता है।

अतः $$e_1 = e_2$$

या $$\left[\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right] V_1 + \left[\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right] V_0 = \left[\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right] V_2$$

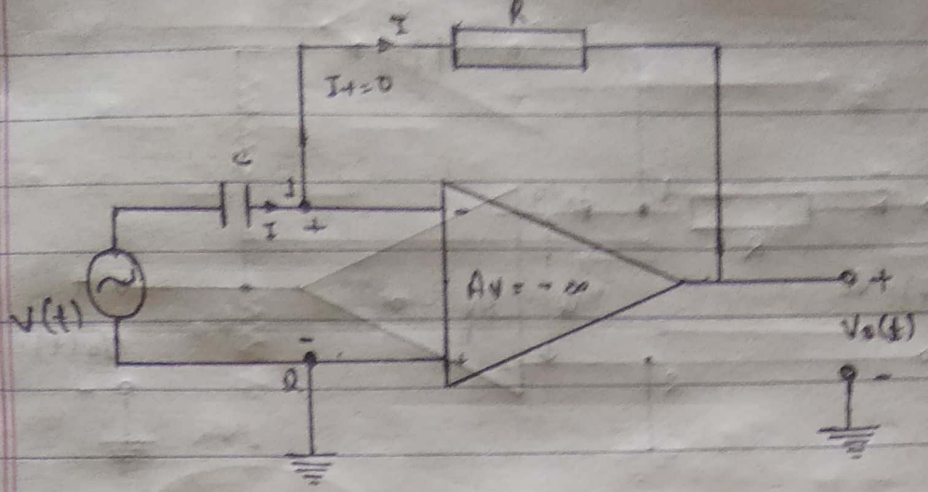
या $$V_0 = \frac{R_2}{R_1}(V_2 - V_1) = \frac{R_2}{R_1} V_d$$

जहां $V_d = (V_2 - V_1)$

अतः परिपथ की आउटपुट, इनपुट वोल्टेज के डिफरैंस V_d के सीधे अनुक्रमानुपाती है,

Scanned with CamScanner

(v)→ **Op-Amp as an Differentiator →**



चित्र से
टर्मिनल 1 पर धारा के लिए निम्न समीकरण लिखी जा सकती है

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt}[Cv(t)] = C\frac{dv(t)}{dt}$$

तथा आउटपुट वोल्टेज

$$V_o(t) = -RI = -R \cdot C\frac{dv(t)}{dt}$$

अतः परिपथ की आउटपुट इनपुट वोल्टेज के अवकलन (differentiation) पर निर्भर करती है।
यदि इनपुट सिग्नल

$$V(t) = V\sin\omega t$$

तब आउटपुट

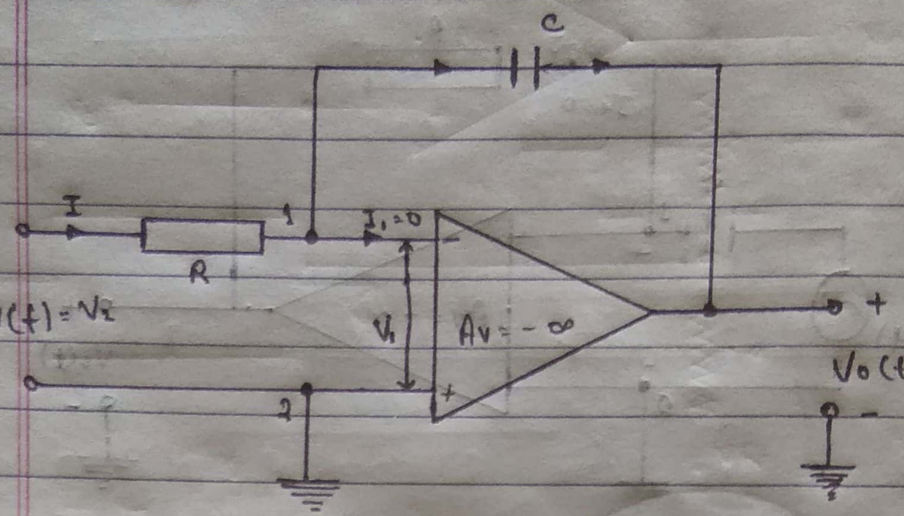
$$V_o(t) = -RC(V)\omega\cos\omega t$$

- **Application of Differentiator →**

(i)- फ्रीक्वेंसी मॉडुलेशन में
(ii)- मल्टीवाइब्रेटर के ट्रिगर परिपथों में
(iii)- वेव शेपिंग में
(iv)- एक्टिव लो-पास (low pass) फिल्टर्स में।

Scanned with CamScanner

(vii) OP-AMP as an Integrator :-



यह एक इनवर्टिंग OP-AMP है, जिसमें फीड बैक, प्रतिरोध के स्थान पर कैपेसिटर C द्वारा दी गई है।
कैपेसिटर द्वारा फीड बैक देने से इनवर्टिंग इनपुट टर्मिनल पर एक काल्पनिक ग्राउंड उत्पन्न होता है, इसका अर्थ है कि "C" के पार्श्व में वोल्टेज, आउटपुट वोल्टेज V_0 के बराबर ही है।
चित्र से

$$\frac{V_2 - V_1}{R} = C \frac{d}{dt}(V_1 - V_0)$$

V_1 को उपेक्षित करने पर

$$\frac{V_2}{R} = -C \frac{dV_0}{dt}$$

या

$$\frac{dV_0}{dt} = -\frac{1}{RC} V_2$$

या

$$V_0 = -\frac{1}{RC}\int V(t)\,dt \qquad [\because V_2 = V(t)]$$

इस प्रकार परिपथ की आउटपुट V_0 इनपुट वोल्टेज $V(t)$ के इन्टीग्रेशन के समानुपाती है। यदि इनपुट वोल्टेज नियत (Constant) है। अर्थात् $V(t) = V$ तब

आउटपुट एक रैम्प वोल्टेज (Ramp Voltage) होगी।

अर्थात

यदि $v(t) = V$

तब $V_0 = -\frac{Vt}{RC}$

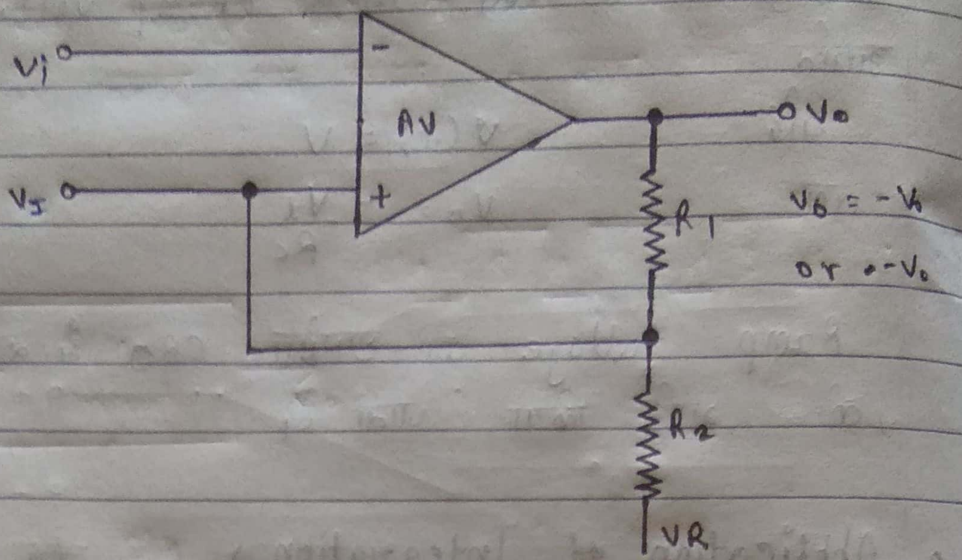
Ramp Voltage का उपयोग CRO में स्वीप वोल्टेज की भाँति किया जाता है।

• Application of Integration ⇒

(i)- वेव शेपिंग परिपथों में।
(ii)- सा-टूथ (Saw-tooth) ऑसिलेटर्स में।
(iii)- एनेलॉग-टू-डिजिटल कनवर्टर्स में (A/D convertor)।
(iv)- त्रिभुजाकार तरंग (triangular wave) जेनेरेशन में।
(v)- एक्टिव लो-पास फिल्टर्स में।
(vi)- वोल्टेज को फ्रीक्वेंसी में कनवर्ट करने वाले परिपथो में।

• स्मिट ट्रिगर (Schmitt Trigger) ⇒

स्मिट ट्रिगर इनपुट में किसी भी प्रकार की परिवर्ती (Changing) तरंगो को देने से आउटपुट में वर्गाकार तरंगे देता है, वर्गाकार तरंगो का rise तथा fall टाइम बहुत कम होता है, स्मिट ट्रिगर की आउटपुट पर केवल दो वोल्टेज स्तर प्राप्त होते है, आउटपुट वोल्टेज का मान स्मिट ट्रिगर की दोनों इनपुटों पर दी गई वोल्टेज पर निर्भर करता है, आउटपुट वर्गाकार तरंगो की विड्थ (width) इनपुट तरंग के आकार पर निर्भर करती है।



स्मिट ट्रिगर

चित्र में, एक OP-AMP को स्मिट ट्रिगर के रूप में connection किया गया है। परिपथ की ~~इनवि~~ इनवर्टिंग ~~टर्मिनल~~ इनपुट को एक परिवर्ती (varying) वोल्टेज V_1 दी गई है तथा नॉन-इनवर्टिंग टर्मिनल को प्रतिरोध R_1 व R_2 द्वारा पॉजिटिव फीड-बैक दी गई है। VR एक रैफरेन्स वोल्टेज है। पॉजिटिव फीड-बैक देने से परिपथ का गेन बहुत अधिक हो जाता है। परिपथ में $V_I < V_i$ तथा $V_I > V_i$ के लिए ट्रिगरिंग वोल्टेज अलग-अलग होती है। तथा दोनों के अंतर को हिस्टैरिसिस (hysteresis) कहते हैं।

<u>Circuit's operation</u> – माना $V_i < V_I$ तथा आउटपुट $V_O = +V_O$ तब नानइनवर्टिंग टर्मिनल पर इनपुट

$$V_I = \frac{R_1 V_R}{R_1 + R_2} + \frac{R_2 V_O}{R_1 + R_2} = V_1 \text{ (माना)} \quad -(1)$$

अब यदि इनपुट वोल्टेज V_i को बढ़ाया जाता है, तब $V_i = V_T$ होने पर आउटपुट V_0 पर स्थिर तथा $V_i = V_T$ = constant रहती है, परंतु जैसे ही V_i का V_T से अधिक ($V_i > V_T$) होता है, तब +ve feedback के कारण आउटपुट V_0 अकस्मात V_0 पर स्विच हो जाती है, तथा इसी मान ($-V_0$) पर तब तक स्थिर रहती है, जब तक $V_i > V_T$

(ii) $V_i > V_T$ के लिए नान इनवर्टिंग टर्मिनल पर वोल्टेज

$$V_1 = \frac{R_1 V_R}{R_1+R_2} - \frac{R_2 V_0}{R_1+R_2} = V_2 \quad \text{(ii)}$$

V_2 का मान V_1 से कम होता है तथा दोनों के अंतर को हिस्टेरेसिस (V_H) कहते हैं

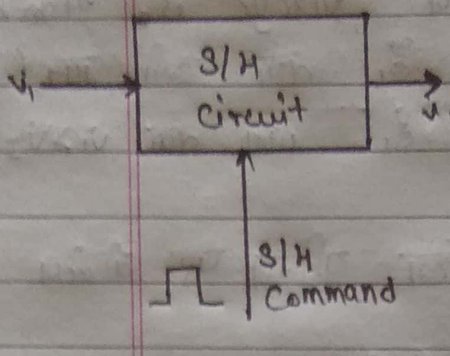
$$V_H = V_1 - V_2 = \frac{2R_2 V_0}{R_1+R_2}$$

- **Sample and Hold Circuit :**

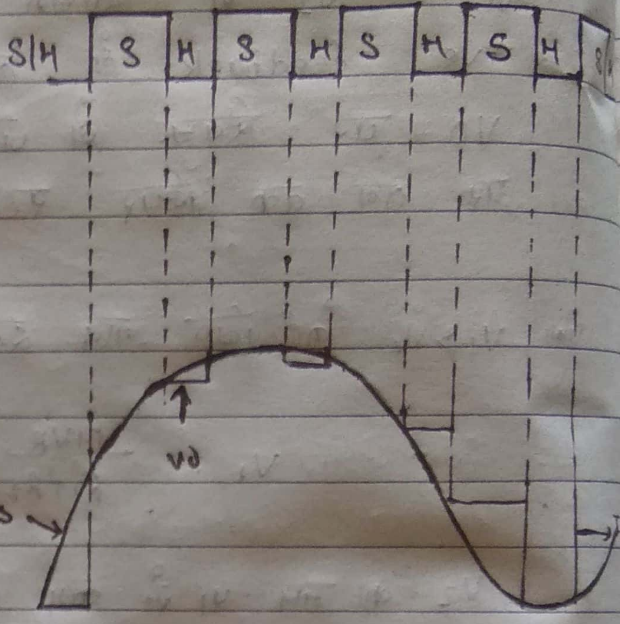
सैम्पिल एवं होल्ड परिपथ का उपयोग किसी एनेलॉग इनपुट सिगनल को बहुत कम अवधि (1-10) के लिए सैम्पिल करना तथा सैम्पल किए गए अंतिम मान (last value) को तब तक होल्ड करना है, जब तक कि इनपुट की पुनः सैम्पिलिंग न हो जाये होल्डिंग प्रसिपय पीरियड कुछ मिलीसेकण्ड से कुछ सेकण्डों तक हो सकता है सैम्पिल एवं होल्ड परिपथ में तीसरा टर्मिनल भी होता है, जिसके द्वारा लॉजिक S/H कमाण्ड दिया जाता है, अन्य दो टर्मिनल इनपुट (V_i)

Scanned with CamScanner

एवं आउटपुट (V_0) के लिए होते हैं। परिपथ में कमाण्ड एक पल्स के रूप दिया जाता है

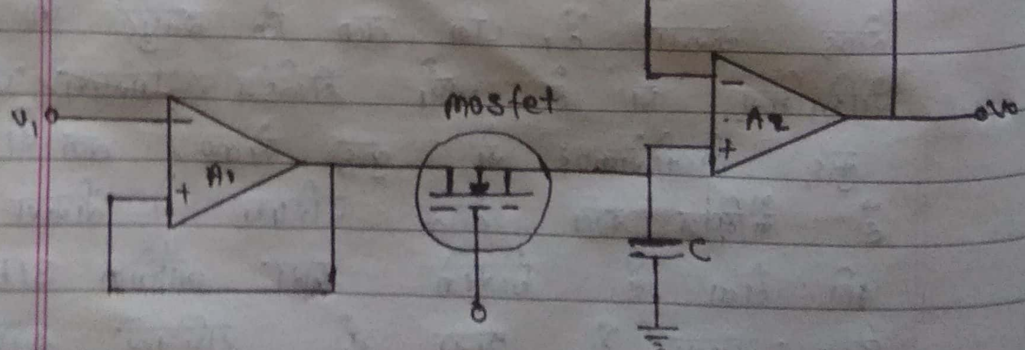


S/H Circuit



Ideal Responce

परिपथ के दो ऑपरेशन mode होते हैं। जो S/H कमाण्ड के लॉजिक लेवल पर निर्भर करते हैं। परिपथ output V_0 को V_S की ओर स्विंग करता है, तथा पल्स के शेष भाग में V_0 इनपुट V_i को follow करता है S/H पल्स हटाने पर परिपथ V_0 को V_i के उस मान पर होल्ड करता है, जो पल्स के deactivation पर था



S/H circuit

Date
Page

- Semple / Hold परिपथ के अनुप्रयोग (its Applications) :

(i) A/D Convertors में, विशेष रूप से 'approximation' टाइप A/DC में;

(ii) D/A convertors द्वारा CRT डिस्प्ले के 'glitches' हटाने में,

(iii) Analog Dmultiplexing, एनेलॉग डिले लाइन्स, इलेक्ट्रिक संगीत कुंजी बोर्डस।

Scanned with CamScanner