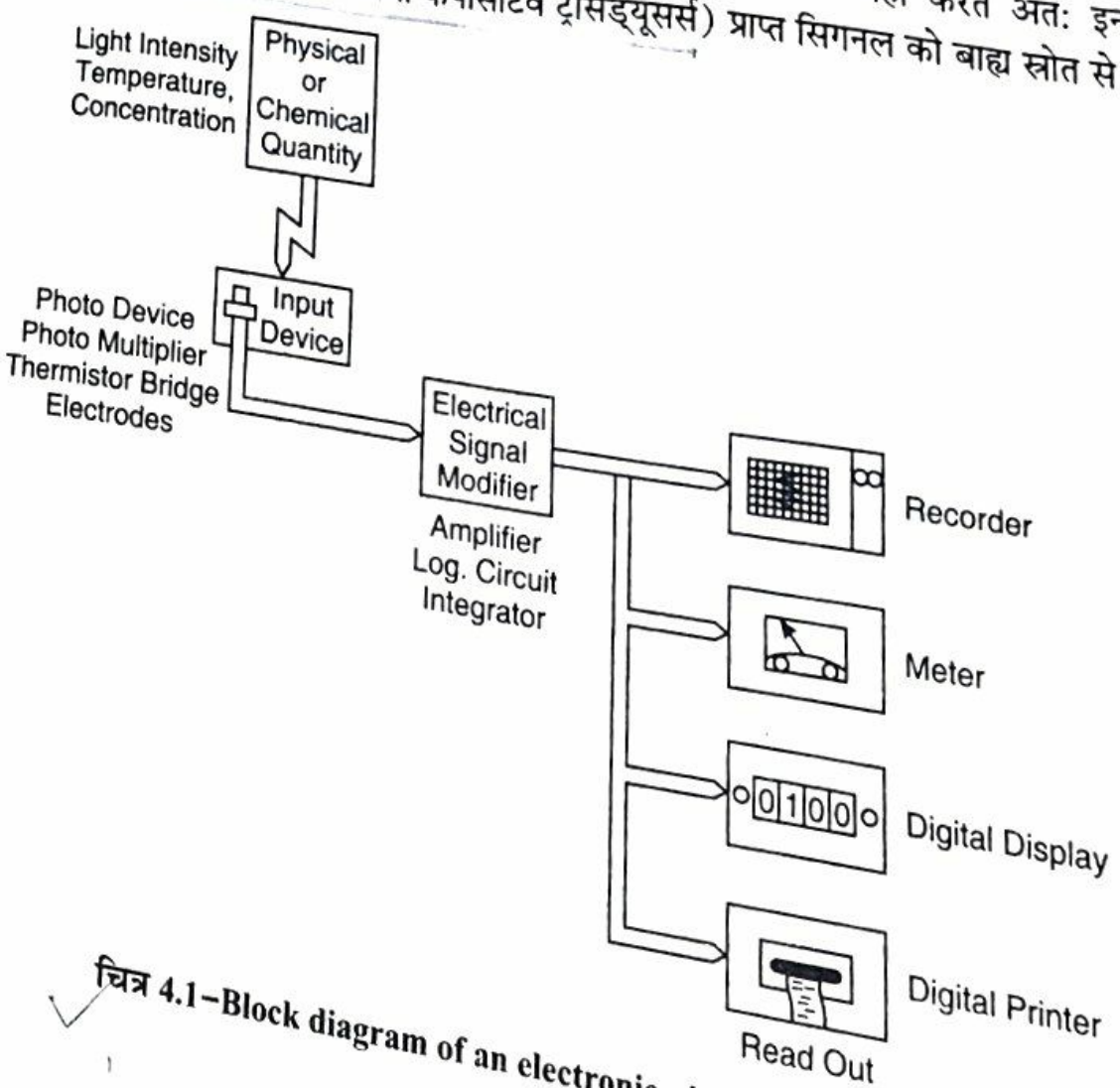
4 सिगनल कण्डीशनिंग (SIGNAL CONDITIONING)

4.1. प्रस्तावना (Introduction)

प्रोसेस कन्ट्रोल (process control) की क्रिया में मापे जाने वाले विभिन्न प्रोसेस variables भौतिक राशियाँ (physical quantities) होती हैं। अध्याय 2 में हमने इन राशियों के मापन हेतु, विद्युत सिगनल उत्पन्न करने के लिए विभिन्न सैन्सिंग एलीमेन्ट्स का अध्ययन किया है। इस प्रक्रिया में सर्वप्रथम प्राइमरी ट्रांसड्यूसर द्वारा डिटेक्शन (detection) तथा सेकण्डरी ट्रांसड्यूसर्स द्वारा, detected signal को विद्युत सिगनल में ट्रांसफर किया जाता है। डिटेक्टर-ट्रांसड्यूसर से प्राप्त यह सिगनल इस स्तर का होना चाहिए जिससे कि यह मापन प्रणाली की रिकॉर्डिंग, डिसप्ले, इन्डिकेटिंग अथवा डाटा प्रोसेसिंग स्टेज को ड्राइव कर सके। इसके लिए ट्रांसड्यूसर्स से प्राप्त सिगनलों की उपयुक्त प्रोसेसिंग (processing or conditioning) करने की आवश्यकता होती है।

सिगनल प्रोसेसिंग स्टेज का मुख्य कार्य ट्रांसड्यूसर्स से प्राप्त एनेलॉग अथवा डिजिटल आउटपुट को मापन योग्य (measurable) बनाना है। सिगनल प्रोसेसिंग स्टेज में सिगनल पर एम्पलीफिकेशन, अटेनुएशन, इन्टीग्रेशन अथवा अन्य अनेक ऑपरेशन की आवश्यकता हो सकती है। Passive ट्रांसड्यूसर्स के लिए सिगनल प्रोसेसिंग प्रणाली एक एम्पलीफिकेशन अथवा उत्तेजन (excitation) क्रिया है। इसी प्रकार एक्टिव ट्रांसड्यूसर्स के लिए भी यह एक एम्पलीफिकेशन प्रणाली हो सकती है। दोनों स्थितियों में ट्रांसड्यूसर्स की आउटपुट को कनवर्जन, इन्डिकेटिंग अथवा रिकॉर्डिंग किये जाने के योग्य स्तर तक लाया जाना आवश्यक है। Passive ट्रांसड्यूसर्स अपनी कोई वोल्टेज अथवा धारा जनरेट नहीं करते अत: इनसे (स्ट्रेन गेज, पोटेन्शियोमीटर्स, प्रतिरोधी थर्मामीटर्स, इन्डक्टिव तथा कैपेसिटिव ट्रांसड्यूसर्स) प्राप्त सिगनल को बाह्य स्रोत से उर्जित (excite)



चित्र 4.1–Block diagram of an electronic-aided measurement

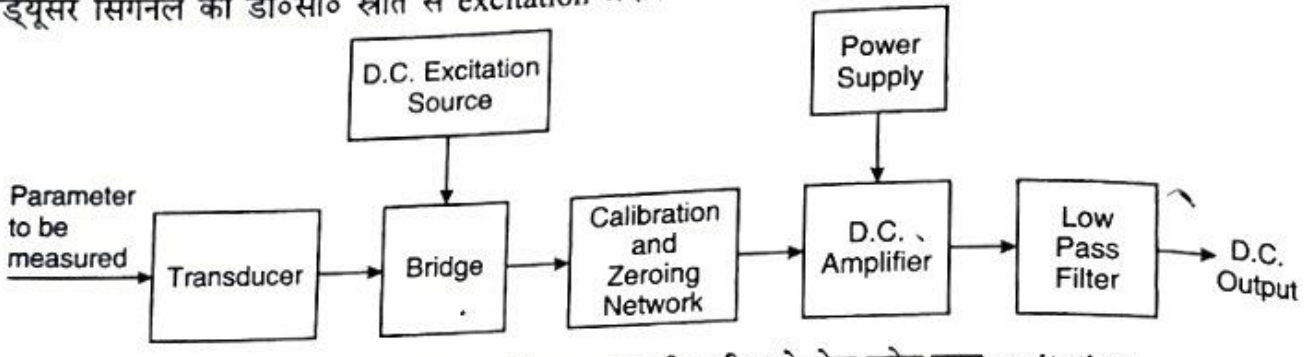
किया जाता है। एक्टिव ट्रांसड्यूसर्स उदाहरणत: थर्मोकपल, पीजोइलेक्ट्रिक तथा टैकोजनरेटर्स ट्रांसड्यूसर्स के आउटपुट सिगनल की अन्य स्रोत से excitation की आवश्यकता नहीं होती क्योंकि इनमें, भौतिक राशि (process variable) एप्लाई करने से, वोल्टेज उत्पन्न होती है। परन्तु यह निम्न वोल्टेज सिगनल (low voltage signal) होते हैं अत: इनका वोल्टेज स्तर बढ़ाने की अर्थात् एम्पलीफिकेशन की आवश्यकता होती है।

इलैक्ट्रॉनिक मापन प्रणाली को चित्र 4.1 में ब्लॉक आरेख द्वारा प्रदर्शित किया गया है। इनपुट डिवाइस जैसे—फोटो डिटैक्टर, थर्मिस्टर ब्रिज, ग्लास pH इलैक्ट्रोड या स्ट्रैन गेज परिपथ का प्रयोग करके मापी जाने वाली राशि को विद्युत सिगनल में परिवर्तित किया जाता है। इस विद्युत सिगनल को उचित इलैक्ट्रॉनिक परिपथ का प्रयोग कर एम्प्लीफाई किया जाता है जिससे सिगनल को readout device, Digital display, meter, recorder etc. में प्रदर्शित किया जाता है।

ट्रांसड्यूसर सिगनल का Excitation (Excitation of Transducer Signal)

ट्रांसड्यूसर सिगनल में प्रोसेस के किसी variable उदाहरणत: तापक्रम, दाब, गति अथवा विस्थापन इत्यादि की सूचना होती है। परन्तु यह सिगनल इतनी कम क्षमता का होता है कि इसे किसी सामान्य मापन, रिकॉर्डिंग अथवा इन्डिकेटिंग यन्त्र द्वारा सीधे मापा अथवा इन्डिकेट नहीं किया जा सकता है। अत: सिगनल प्रोसेसिंग की क्रिया में सिगनल का किसी बाह्य स्रोत द्वारा excitation किया जाता है। Excitation क्रिया DC अथवा AC किसी भी स्रोत द्वारा की जा सकती है।

(i) डी०सी० स्रोत द्वारा Excitation—इस विधि में प्राय: डी०सी० एम्पलीफायर्स का प्रयोग किया जाता है। चित्र 4.2 में ट्रांसड्यूसर सिगनल का डी०सी० स्रोत से excitation प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 4.2–Passive ट्रांसड्यूसर सिगनल का डी० सी० वोल्टेज स्रोत द्वारा excitation

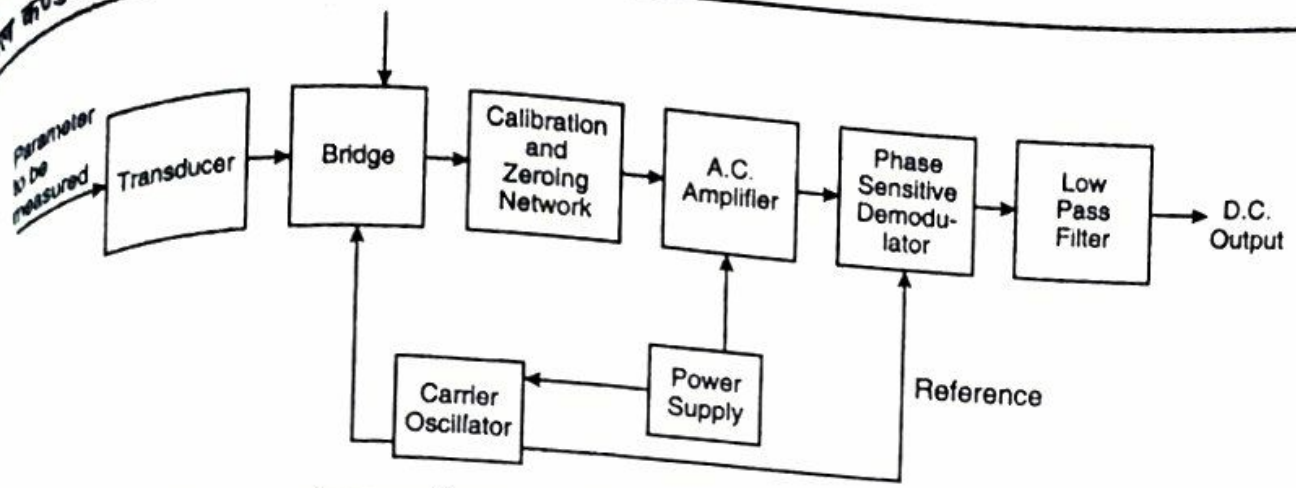
प्रतिरोध ट्रांसड्यूसर्स उदाहरणत: स्ट्रेन गेज, किसी व्हीट स्टोन ब्रिज की एक या दो आर्म (arms) की भाँति प्रयोग किये जाते हैं। व्हीटस्टोन ब्रिज प्राय: एक स्वतन्त्र डी०सी० स्रोत से ऊर्जित किये जाते हैं। ब्रिज को किसी पोटेन्शियोमीटर की सहायता से सन्तुलित किया जाता है।

चित्र 4.2 में प्रदर्शित प्रणाली में सिगनल प्रवर्धन के लिए प्रयुक्त DC एम्पलीफायर को balanced differential इनपुट की आवश्यकता होती है जिससे कि इसकी Common Mode Rejection Ratio (CMRR) उच्च हो सके। CMRR एम्पलीफायर में desired तथा undesired signal का अनुपात होती है।

डी०सी० एम्पलीफायर्स में ड्रिफ्ट की भी समस्या होती है। इस एम्पलीफायर में सप्लाई वोल्टेज में परिवर्तन अथवा ट्रांसड्यूसर्स या प्रणाली में प्रयुक्त अर्धचालक युक्तियों के पैरामीटर्स में परिवर्तन के कारण भी अवांछित निम्न आवृत्ति सिगनल उत्पन्न होते हैं तथा डाटा इनफॉर्मेशन के रूप में प्राप्त होते हैं।

डी०सी० एम्पलीफायर के तुरन्त पश्चात् एक low frequency फिल्टर प्रयोग किया जाता है जो डाटा सिगनल से उच्च आवृत्ति कम्पोनेन्ट्स तथा noise को समाप्त करता है।

(2) AC स्रोत द्वारा सिगनल का Excitation—डी०सी० एम्पलीफायर्स के दोष के कारण मापन प्रणाली की accuracy में विश्वसनीयता (reliability) कम होती है। अत: सिगनल प्रोसेसिंग के लिए AC स्रोत का प्रयोग किया गया। * CMRR का मान जितना अधिक होता है उतना ही प्रवर्धक उत्तम होता है। एक आदर्श (ideal) एम्पलीफायर की CMRR का

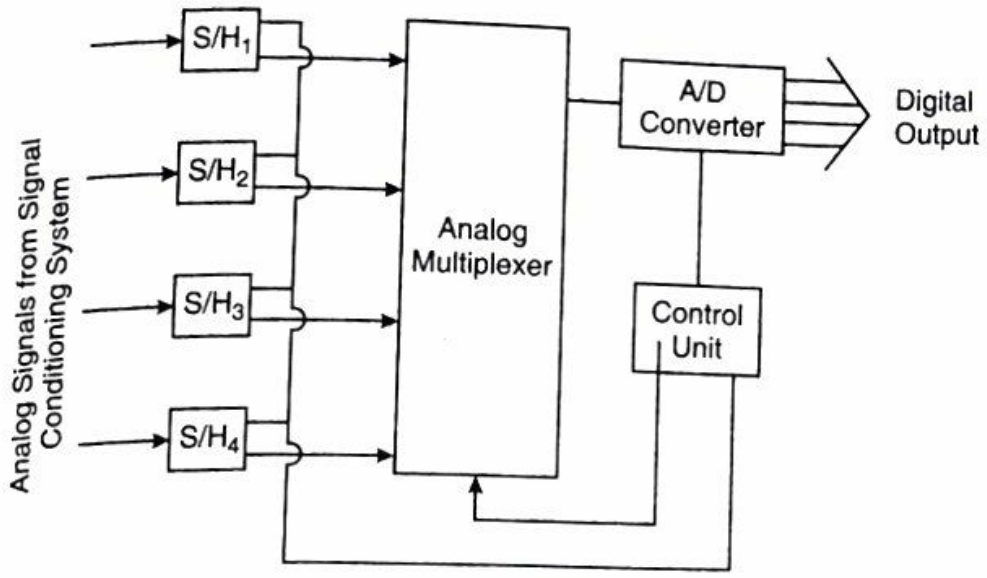


चित्र 4.3–ट्रांसड्यूसर सिगनल का कैरियर टाइप AC सिगनल द्वारा प्रोसेसिंग

अनन्त (infinity) होता है परन्तु वास्तव में ऐसा नहीं होता। AC प्रणाली में AC सिगनल कन्डीशनिंग विधि का प्रयोग चित्र में प्रदर्शित किया गया है।

यह विधि परिवर्ती (variable) प्रतिरोध अथवा रिएक्टैन्स टाइप ट्रांसड्यूसर्स में प्रयुक्त की जाती है। प्रोसेसिंग के लिए AC स्रोत की फ्रीक्वैन्सी सिगनल फ्रीक्वैन्सी से 5 से 10 गुना होती है।

इस प्रणाली (चित्र 4.3) में सर्वप्रथम ट्रांसड्यूसर सिगनल, AC स्रोत (oscillator) के सिगनल (carrier frequency) को मोडुलेट करता है। इस के पश्चात् सिगनल का एम्पलीफिकेशन होता है। एम्पलीफाइड सिगनल phase sensitive demodulator द्वारा demodulate होता है। Lowpass फिल्टर, प्रणाली के अवांछित उच्च आवृत्ति कम्पोनेन्टस तथा noise को समाप्त करता है। डिमोडुलेटर तथा LP फिल्टर से प्राप्त DC आउटपुट की ध्रुवता (polarity), ब्रिज आउटपुट पर पैरामीटर के परिवर्तन की दिशा (increasing or decreasing) प्रदर्शित करती है।



चित्र 4.4–Data acquisition and conversion system

इस प्रणाली (AC प्रणाली) में ड्रिफ्ट की समस्या नहीं होती परन्तु स्थिर आवृत्ति का कैरियर ऑसिलेटर (stable carrier oscillator) प्राप्त करना, (डी०सी० प्रणाली में प्रयुक्त DC स्रोत की तुलना में) अधिक कठिन है। कैरियर प्रणाली में, मेन्स की आवृत्ति पिक-अप का proper rejection भी उत्तम प्रकार हो जाता है।

ट्रांसड्यूसर्स द्वारा प्रोसेस Variables (अर्थात् physical quantities) उदाहरणत: ताप, दाब, गति, द्रव, तल, त्वरण आदि को उनके संगत विद्युत सिगनल में परिवर्तन एवं एम्पलीफायर्स द्वारा उनका उपयुक्त प्रवर्धन करने के पश्चात् सिगनलों को इलेक्ट्रॉनिक परिपथों द्वारा भी आवश्यकतानुसार प्रोसेसिंग किया जाता है। कुछ अनुप्रयोगों में सिगनल के आगे प्रोसेसिंग

अथवा प्रवर्धन की आवश्यकता नहीं होती तथा उन्हें सीधे इन्डिकेटिंग अथवा कन्ट्रोल इन्सट्रूमेन्टस में फीड कर दिया जाता है। परन्तु अधिकतर अवस्थाओं में सिगनलों का लीनियर अथवा नॉन लीनियर युक्तियों द्वारा प्रोसेस करने की आवश्यकता होती है।

कुछ वर्षों पूर्व तक सिगनल प्रोसेसिंग के लिए आवश्यक impedance transformation, एम्पलीफिकेशन इत्यादि के लिए डिस्क्रीट कम्पोनेन्ट्स द्वारा निर्मित इलेक्ट्रॉनिक परिपथ प्रयुक्त होते थे परन्तु वर्तमान समय में इनका स्थान इन्टीग्रेटेड परिपथों (ICs) द्वारा ले लिया गया है। IC पैकेज अत्यन्त विश्वसनीय होते हैं। ICs में सिगनल प्रोसेसिंग के लिए आवश्यक special purpose एम्पलीफायर्स उपलब्ध हैं। इनका आकार छोटा तथा मूल्य कम होता है।

मापे जाने वाले सिगनल को सैम्पल-होल्ड (S/H) परिपथ में फीड किया जा सकता है। जैसा कि चित्र 4.4 में प्रदर्शित किया गया है। यह सिगनल एनालॉग मल्टीप्लैक्सर और एनालॉग टू डिजीटल (A/D) में फीड किये जा सकते हैं। यदि सिगनल डिजीटल रूप में है तो इनको विभिन्न प्रकार से डिजीटल प्रणालियों में फीड किया जा सकता है। जैसे—कम्प्यूटर, डिजीटल डाटा लागर या ट्रांसमीटर्स आदि।

4.2. ऑपरेशनल एम्प्लीफायर (Operational Amplifier) (OP-AMP)

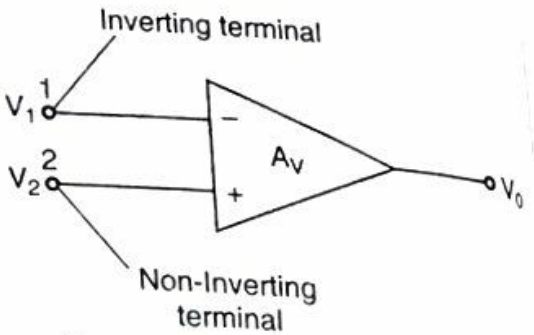
ऑपरेशनल एम्प्लीफायर मूलत: एक उच्च लब्धि (high gain) का d.c. एम्प्लीफायर है। सांकेतिक रूप में इसे OP-Amp द्वारा लिखा जाता है। OP-Amp में पुन: निविष्ट (feed back) की व्यवस्था होती है जिससे इसके अभिलक्षणों को कन्ट्रोल किया जाता है। OP-Amp की इनपुट प्रतिबाधा उच्च, आउटपुट प्रतिबाधा निम्न होती है। यह डिफरैन्शियल एम्प्लीफायर की भाँति कार्य करता है। पहले OP-Amp का उपयोग एनेलॉग कम्प्यूटर्स में गणितीय कार्यों जैसे योग, समाकलन, अवकलन इत्यादि के लिए किया जाता था। इलेक्ट्रॉनिक परिपथों में OP-Amp का व्यापक उपयोग किया जाता है जैसे— कम्पेरेटर, पल्स जेनरेटर, वर्गाकार तरंग जेनरेटर, स्मिट ट्रिगर (Schmitt Triggers) इत्यादि।

आजकल OP-Amp Linear IC's (Integrated circuits) के रूप में उपलब्ध हैं तथा इसमें मोनोलिथिक IC's के सभी गुण होते हैं जैसे मूल्य कम, छोटा आकार, उच्च विश्वसनीयता, निम्न ऑफसेट वोल्टेज एवं धारा तथा तापक्रम ट्रैकिंग गुण (temperature tracking properties) अर्थात् ताप-परिवर्तन से इसके अभिलक्षण अप्रभावित रहते हैं।

एक आदर्श OP-Amp (An Ideal Operational Amplifier)

जैसा कि ऊपर वर्णन किया गया है, OP-Amp एक डिफरैन्स एम्प्लीफायर है जिसका मूल कार्य दो इनपुट सिगनलों के अन्तर को प्रवर्धित (amplify) करना है। OP-Amp का मुख्य गुण इसकी अवांछित सिगनल (undesired signal) को त्यागने (reject) की क्षमता है।

चित्र 4.5 (a) में एक आदर्श OP-Amp का संकेत प्रदर्शित किया गया है। OP-Amp का टर्मिनल '1' जिस पर (−) चिह्न लगा है, इनवर्टिंग टर्मिनल है। इस टर्मिनल पर कोई सिगनल प्रयुक्त करने पर आउटपुट में विपरीत फेज में वोल्टेज प्राप्त होती है। टर्मिनल '2', जिस पर (+) चिह्न लगा है, नान-इनवर्टिंग टर्मिनल है। इस पर दिया गया कोई सिगनल आउटपुट में समान कला में प्राप्त होता है। सामान्य रूप से आउटपुट वोल्टेज V_0 इनपुट टर्मिनलों पर प्रयुक्त की गयी वोल्टेजों के अन्तर ($V_1 \sim V_2$) के समानुपाती होती है।



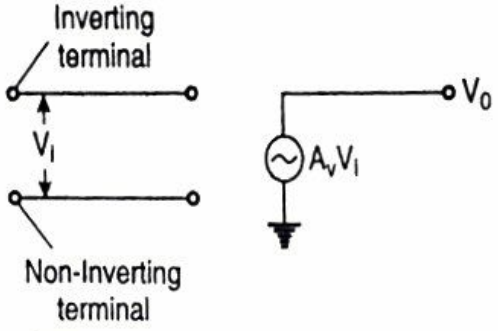
चित्र 4.5–(a) एक आदर्श OP-Amp

एक आदर्श OP-Amp के निम्नलिखित अभिलक्षण होते हैं—

क्रमांक	अभिलक्षण	संकेत (Symbol)	मान (Value)
1.	इनपुट प्रतिरोध (Input Resistance)	R_i	∞
2.	आउटपुट प्रतिरोध (Output Resistance)	R_0	0
3.	वोल्टेज लब्धि (Voltage Gain)	A_v	−∞
4.	बैंड-विड्थ (Bandwidth)	B_W	∞

इसके अतिरिक्त OP-Amp में यदि $V_1 = V_2$ तब आउटपुट शून्य ($V_0 = 0$) होती है अर्थात् यह perfect balance उपलब्ध कराता है। तापक्रम परिवर्तन के कारण भी इसके अभिलक्षणों में ड्रिफ्ट नहीं होता है।

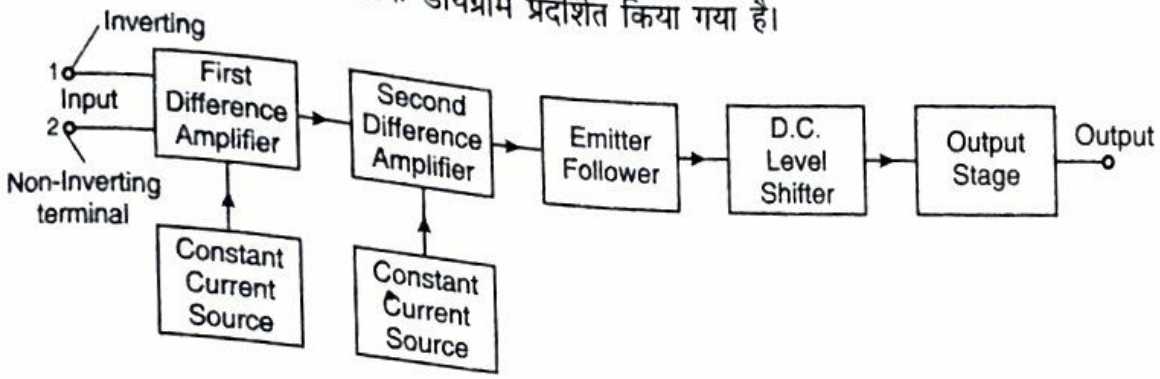
OP-Amp का समतुल्य परिपथ चित्र 4.5 (b) में प्रदर्शित किया गया है। A_v को open loop gain कहते हैं। OP-Amp प्राय: open loop में अर्थात् पुन: निविष्ट के बिना प्रयोग नहीं किया जाता है। प्रचालन की स्थिरता के लिए यह ऋणात्मक पुन: निविष्ट (negative feedback) के साथ ही प्रयोग में लाया जाता है।



चित्र 4.5–(b) एक आदर्श OP-Amp का समतुल्य परिपथ

4.3. OP-AMP का ब्लॉक डायग्राम (Block Diagram of OP-AMP)

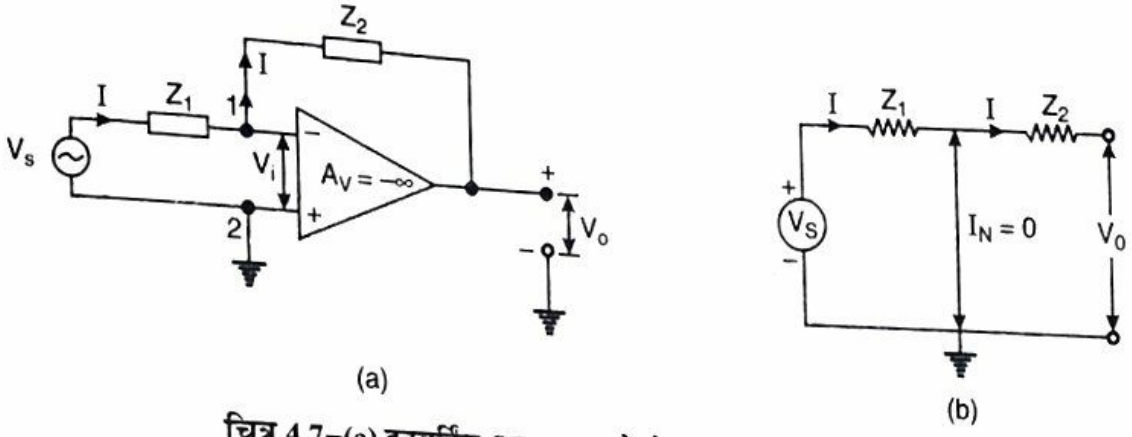
चित्र 4.6 में एक OP-Amp का ब्लॉक डायग्राम प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 4.6–OP-Amp का ब्लॉक डायग्राम

4.4. इनवर्टिंग ऑपरेशनल एम्पलीफायर (Inverting OP-AMP)

एक बेसिक OP-Amp का परिपथ फीड-बैक प्रतिबाधाओं Z_1 तथा Z_2 सहित चित्र 4.7 (a) में प्रदर्शित किया गया है। OP-Amp के इस ऑपरेशन में पॉजिटिव सिरा (नॉन-इनवर्टिंग टर्मिनल) ग्राउन्ड किया गया है तथा इनपुट सिगनल V_S, प्रतिबाधा Z_1 द्वारा निगेटिव टर्मिनल को दिया गया है, इम्पीडैन्स Z_2 द्वारा आउटपुट से निगेटिव फीड-बैक इनपुट टर्मिनल को दी गयी है। यह वोल्टेज-शन्ट फीड-बैक है।



चित्र 4.7–(a) इनवर्टिंग OP-Amp वोल्टेज शन्ट फीटबैक के साथ
(b) OP-Amp में वरचुअल ग्राउन्ड

एम्प्लीफायर के इनपुट पर एक वरचुअल ग्राउन्ड (virtual ground) अर्थात् शॉर्ट-सर्किट होता है। यहाँ वरचुअल का अर्थ यह है कि यद्यपि आउटपुट से Z_2 द्वारा इनपुट को फीड-बैक, वोल्टेज V_i को शून्य रखने का प्रयत्न करती है, परन्तु इस शॉर्ट-सर्किट में कोई धारा नहीं प्रवाहित होती है। यह स्थिति चित्र 4.7 (b) में प्रदर्शित की गयी है जहाँ पर वरचुअल ग्राउन्ड एक

इनपुट प्रतिबाधा (Input Impedance)

चूँकि फीड-बैक के कारण $V_i = 0$, अत:

$$Z_i = \frac{V_s}{I} = Z_1$$

इसका अर्थ है कि एम्पलीफायर की इनपुट प्रतिबाधा केवल बाह्य प्रतिबाधा (external impedance) Z_1 पर निर्भर करती है।

आउटपुट प्रतिबाधा (Output Impedance)

इनपुट शून्य पर सैट की जाती है तब एम्प्लीफायर की आउटपुट से OP-Amp के अन्दर प्राप्त देखने पर प्रतिबाधा को आउटपुट प्रतिबाधा कहते हैं। एक आदर्श एम्पलीफायर के लिए यह शून्य (zero) होती है।

इस प्रकार एक इनवर्टिंग एम्पलीफायर के लिए—

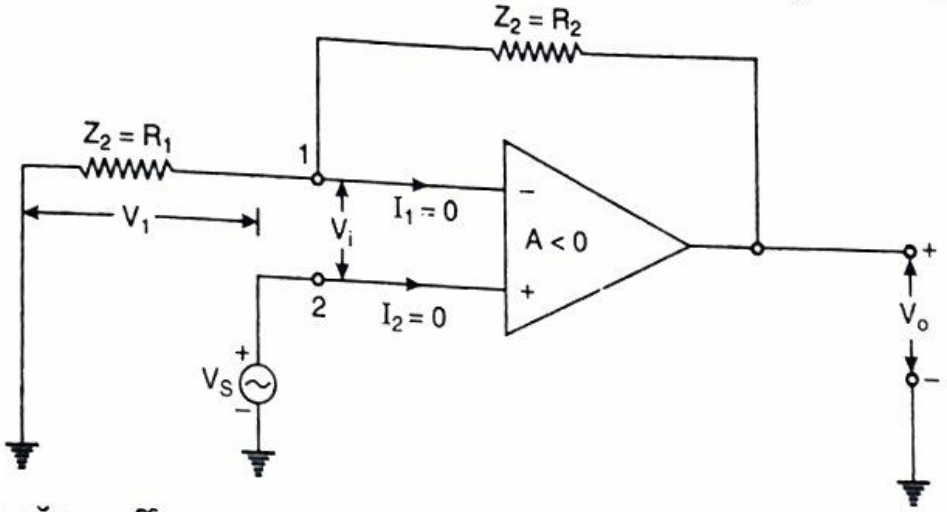
(i) एम्पलीफायर के प्रत्येक इनपुट टर्मिनल पर धारा शून्य होती है।

(ii) इनपुट टर्मिनलों के मध्य विभवान्तर शून्य होता है।

(iii) इनपुट टर्मिनलों पर एक काल्पनिक (virtual) शॉर्ट-सर्किट होता है।

4.4. नॉन-इनवर्टिंग ऑपरेशनल एम्पलीफायर (Non-inverting OP-AMP)

नॉन-इनवर्टिंग एम्पलीफायर में आउटपुट, इनपुट के बराबर तथा उसके फेज में होती है। इसके अतिरिक्त सोर्स तथा लोड परस्पर प्रभावी रूप से अलग-अलग (effectively isolated) होते हैं (जिसके लिए $Z_i = \infty$ तथा $Z_0 = 0$)। इसमें आउटपुट, इनपुट के बराबर तथा उसकी कला (phase) में होती है। एक एमिटर फॉलोअर के समान सोर्स तथा लोड प्रभावी रूप से अलग होते हैं अर्थात् $Z_i = \infty$ तथा $Z_0 = 0$। चूँकि इनपुट इम्पीडैन्स $Z_i = \infty$, अत: OP-Amp के इनपुट टर्मिनलों में से किसी में भी धारा नहीं प्रवाहित होती, अर्थात् $I_1 = 0$ तथा $I_2 = 0$। चित्र 4.8 में नॉन-इनवर्टिंग OP-Amp का परिपथ दिया गया है। इनपुट सिगनल V_S सीधे नॉन-इनवर्टिंग टर्मिनल 2 को दिया गया है अत: आउटपुट में फेज उत्क्रमण (phase inversion) नहीं होता।



चित्र 4.8–नॉन-इनवर्टिंग OP-Amp। फीड-बैक इम्पीडैन्स $Z_2 = R_2$ तथा इनपुट इम्पीडैन्स $Z_1 = R_1$। आउटपुट वोल्टेज इनपुट वोल्टेज के समान होती है, $V_0 = V_s$ तथा $V_i = 0$।

आउटपुट का कुछ भाग इनवर्टिंग इनपुट को फीड-बैक कर दिया जाता है जिससे इनवर्टिंग टर्मिनल पर वोल्टेज V_1 प्राप्त होती है जिसकी ध्रुवता नॉन-इनवर्टिंग इनपुट के समान ही होती है। चूँकि $Z_i = \infty$, $A = -\infty$ तथा $V_0 = A(V_1 - V_s)$, अत: एक निश्चित आउटपुट V_0 के लिए (जबकि $A \to \infty$)

$$V_1 - V_s = 0 \qquad \text{अथवा} \qquad V_1 = V_s$$

मोटी (thick) लाइन द्वारा दिखाया गया है जिसके दोनों सिरों पर तीर लगे हैं। वरचुअल ग्राउन्ड का एनेलॉग गणनाओं में अत्यधिक महत्त्व है तथा इसी आधार पर एनेलॉग इनवर्टर, स्केल चेंजर, फेज शिफ्टर तथा एडर परिपथ डिजाइन किये जाते हैं।

OP-Amp को तब आदर्श (ideal) माना जाता है जब इसका वोल्टेज गेन 'A' अनन्त हो। चित्र 4.7 से, वोल्टेज गेन

$$|A| = \frac{V_0}{V_i}$$

यहाँ V_i इनपुट टर्मिनलों के मध्य वोल्टेज है। यदि V_0 का मान सीमित है तब लाभ अनन्त होने के लिए V_i शून्य होना चाहिए। यह कार्य फीड-बैक इम्पीडैन्स Z_2 द्वारा किया जाता है। इम्पीडैन्स Z_2, आउटपुट से एक निगेटिव फीड-बैक वोल्टेज इनपुट को इतनी मात्रा में देता है कि इनपुट शून्य हो जाती है। इस प्रकार टर्मिनल 1 भी टर्मिनल 2 के विभव पर आ जाता है तथा इनपुट टर्मिनलों के मध्य कोई धारा प्रवाहित नहीं होती है।

इम्पीडैन्स Z_1 में बहने वाली धारा I प्रतिरोध Z_2 से प्रवाहित होगी। चूँकि OP-Amp की इनपुट प्रतिबाधा ∞ होती है अत:

Z_1 में प्रवाहित धारा $I = \dfrac{V_s - V_i}{Z_1}$

तथा Z_2 में प्रवाहित धारा $I = \dfrac{V_i - V_0}{Z_2}$

$$\therefore \quad \frac{V_s - V_i}{Z_1} = \frac{V_i - V_o}{Z_2} \qquad \text{...(i)}$$

या $$\frac{V_0}{Z_2} = V_i\left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}\right) - \frac{V_s}{Z_1}$$

परन्तु OP-Amp का वोल्टेज लाभ $$A = -\frac{V_o}{V_i} \quad \text{या} \quad V_i = -\frac{V_0}{A}$$

समीकरण (i) में V_i का मान रखने पर, $\dfrac{V_0}{Z_2} = -\dfrac{V_0}{A}\left(\dfrac{1}{Z_1} + \dfrac{1}{Z_2}\right)\dfrac{V_s}{Z_1}$ ...(ii)

या $$\frac{V_0}{V_s} = -\frac{Z_2}{Z_1} \times \frac{1}{\left[1 + \frac{1}{A}\left(1 + \frac{Z_2}{Z_1}\right)\right]}$$

$\dfrac{V_0}{V_s}$ फीड-बैक के साथ वोल्टेज गेज (A_f) है। यह इनवर्टिंग एम्प्लीफायर का closed loop amplification कहलाता है।

प्रवर्धक का फीड-बैक की अनुपस्थिति में लाभ 'A' open loop amplification कहलाता है।

$\dfrac{V_0}{V_s}$ एक ऋणात्मक राशि है क्योंकि closed loop amplifier इनपुट वोल्टेज का चिह्न बदल देता है। समीकरण (ii) से ज्ञात होता है कि $\dfrac{V_0}{V_s}$ का मान फीड-बैक प्रतिरोध Z_2 तथा इनपुट प्रतिरोध Z_1 के अनुपात पर निर्भर करता है।

$$\therefore \quad \frac{V_0}{V_s} \propto \frac{Z_2}{Z_1} \qquad \text{....(iii)}$$

इस प्रकार इनवर्टिंग एम्पलीफायर के समान, इनपुट वोल्टेज $V_i (= V_1 - V_s)$ शून्य है, परन्तु चूँकि $V_1 \neq 0$, अतः नॉन-इनवर्टिंग OP-Amp का किसी भी इनपुट टर्मिनल पर काल्पनिक (virtual) ग्राउन्ड नहीं होता है। चूँकि इनपुट टर्मिनल धारा $I_1 = 0$ अत: R_1 मे प्रवाहित धारा I, प्रतिरोध R_2 में भी प्रवाहित होगी।

चित्र 4.8 से,

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

अथवा

$$V_s = R_1 \left[\frac{V_0}{R_1 + R_2} \right]$$

$$\therefore \quad \frac{V_0}{V_s} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

इस प्रकार आउटपुट, अनुपात $\frac{R_2}{R_1}$ पर निर्भर करती है। यदि $R_1 = \infty$ तब $V_0 = V_s$, अर्थात् आउटपुट वोल्टेज, इनपुट वोल्टेज का अनुसरण (follow) करती है। इस प्रकार OP-Amp का यह परिपथ एक वोल्टेज फॉलोअर (Voltage Follower) का कार्य करता है।

अत: नॉन-इनवर्टिंग OP-Amp परिपथों में—

(i) किसी भी इनपुट टर्मिनल में धारा नहीं प्रवाहित होती है।

(ii) एम्पलीफायर के दो इनपुट टर्मिनलों पर वोल्टेज बराबर ($V_1 = V_s$) है।

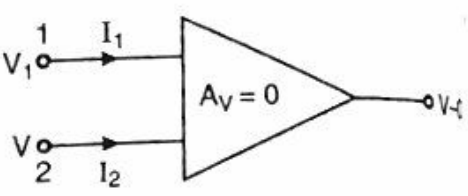
(iii) चूँकि $V_1 = V_s$ अत: कहा जा सकता है कि एम्पलीफायर, इनपुट टर्मिनलों पर किसी कॉमन मोड वोल्टेज (common mode voltage) से ऑपरेट हो रहा है क्योंकि कुछ वोल्टेज दोनों टर्मिनलों के लिए कॉमन है। इस प्रकार इनपुट टर्मिनलों पर कोई वोल्टेज ड्रॉप नहीं है क्योंकि V_1, वोल्टेज V_s को फॉलो करता है। अर्थात् इनपुट टर्मिनलों के मध्य निश्चित ही एक ओपिन सर्किट उत्पन्न हो जाता है।

4.5. OP-AMP के पैरामीटर्स के सामान्य मान

क्रमांक	अभिलक्षण	आदर्श OP-Amp	प्रैक्टिकल OP-Amp
(i)	Open loop voltage gain	∞	10^4 से 10^{10}
(ii)	Input impedance	∞	10^8 से $10^{12}\,\Omega$
(iii)	Output impedance	Zero	Open loop : $10^3\,\Omega$ Closed loop : $1\,\Omega$
(iv)	Band width	∞	Open loop : 100 Hz Closed loop : 100 M Hz
(v)	CMRR	∞	10^4 से 10^8

चित्र 4.9

(i) इनपुट बायस धारा (Input Bias Current)—एक आदर्श OP-Amp की आउटपुट, दोनों इनपुट बराबर ($V_1 = V_2$) होने पर शून्य होती है। परन्तु परिपथों में प्रयुक्त अन्य कम्पोनैन्ट जैसे ट्रांजिस्टर इत्यादि के मैच न होने (mismatch) से इनपुट टर्मिनलों में एक असमान बायस धारा प्रवाहित होती है। यह इनपुट बायस धारा प्रत्येक इनपुट टर्मिनल में उस समय प्रवाहित होती है जब इन पर समान



वोल्टेज प्रयुक्त की जाती है। यदि $V_0 = 0$ पर इनपुट टर्मिनलों में प्रवाहित धाराएँ I_1 तथा I_2 हैं तब इनपुट बायस धारा

$$I_{\text{bias}} = \frac{I_1 + I_2}{2}$$

(ii) इनपुट ऑफसेट धारा (Input Offset Current)—इनपुट ऑफसेट धारा (I_{i0}), दोनों इनपुट टर्मिनलों में उस समय प्रवाहित धाराओं (I_1 तथा I_2) के अन्तर के बराबर होती है जब आउटपुट V_0 शून्य होती है। अर्थात्

$$I_{i0} = I_1 - I_2 \quad \text{जब} \quad V_0 = 0$$

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

(iii) इनपुट ऑफसेट वोल्टेज (Input Offset Voltage)—इनपुट वोल्टेज का वह मान, जो आउटपुट टर्मिनल पर शून्य वोल्टेज देती है, 'इनपुट ऑफसेट वोल्टेज' (V_{i0}) कहलाता है।

प्रयोग में लाये गये OP-Amp में यह देखा गया है कि इनपुट टर्मिनलों पर समान वोल्टेज ($V_1 = V_2$) प्रयुक्त करने पर भी आउटपुट वोल्टेज शून्य नहीं होती है। आउटपुट को शून्य पर सैट करने के लिए 'इनपुट ऑफसेट वोल्टेज' V_{i0} की आवश्यकता होती है। इसका मान 1 से 4 mA तक होता है।

यह वोल्टेज (V_{i0}) ताप परिवर्तन के साथ ड्रिफ्ट होती है। यदि ताप में ΔT परिवर्तन से इनपुट ऑफसेट वोल्टेज में ड्रिफ्ट ΔV_{io} हो तब

$$\text{इनपुट ऑफसेट वोल्टेज ड्रिफ्ट} = \frac{\Delta V_{i0}}{\Delta T}$$

(iv) इनपुट कॉमन मोड रेंज (Input Common Mode Range)—यह वह अधिकतम डिफरैन्शियल सिगनल वोल्टेज है जो सुरक्षापूर्वक OP-Amp के इनपुट में दिया जा सकता है।

(v) पावर सप्लाई वोल्टेज रिजैक्शन अनुपात 'PSRR' (Power Supply Voltage Rejection Ratio)—यह इनपुट ऑफसेट वोल्टेज के परिवर्तन एवं पावर सप्लाई वोल्टेज के परिवर्तन के अनुपात के तुल्य होता है—

$$PSRR = \frac{\Delta V_{i0}}{\Delta V_{cc}}$$

(vi) कॉमन मोड रिजैक्शन अनुपात 'CMRR' (Common Mode Rejection Ratio)—यह डिफरैन्शियल मोड में प्रवर्धन (A_d) तथा कॉमन मोड में प्रवर्धन (A_c) के अनुपात के तुल्य होता है।

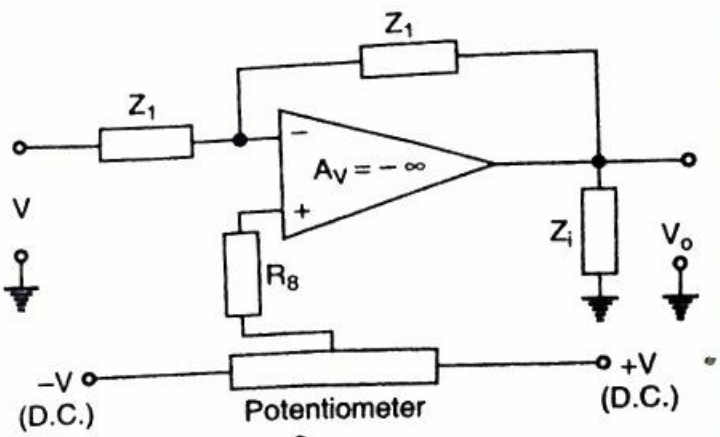
$$\text{CMRR} = \frac{A_d}{A_c}$$

(vii) स्ल्यू रेट.(Slew Rate)—OP-Amp को स्टैप इनपुट (step input) देने पर आउटपुट वोल्टेज में अधिकतम परिवर्तन की दर स्ल्यू रेट कहलाती है। OP-Amp में आन्तरिक धारिता के कारण आउटपुट में परिवर्तन की दर तथा इनपुट में परिवर्तन की दर समान नहीं होती। स्ल्यू रेट का मान प्रवर्धक में उपस्थित धारिता (capacitance) पर निर्भर करता है।

4.6. ऑफसेट नल विधि (Offset Null Method)

आउटपुट टर्मिनलों पर शून्य वोल्टेज प्राप्त करने के लिए इनपुट टर्मिनलों पर थोड़ी मात्रा में डी०सी० वोल्टेज प्रयुक्त करनी पड़ती है। यह offset null balancing कहलाता है तथा इसके लिए प्रयुक्त परिपथ nulling परिपथ कहलाते हैं।

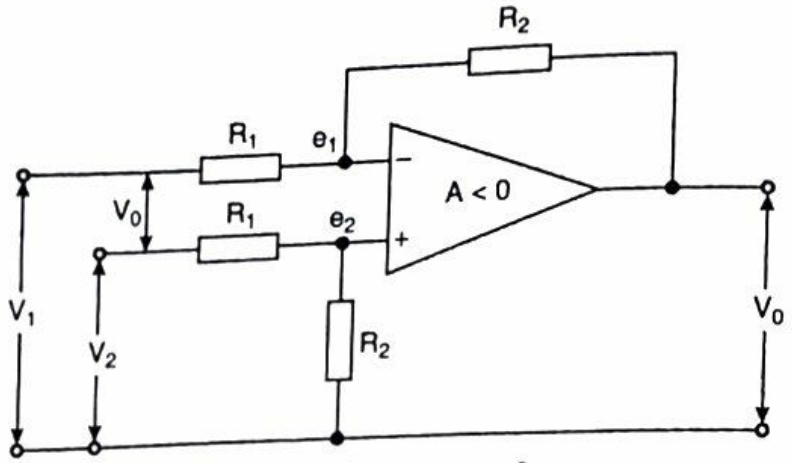
चित्र 4.10 में एक offset null method प्रदर्शित किया गया है। इसमें एक पोटैन्शियोमीटर को वोल्टेज डिवाइडर की भाँति प्रयुक्त कर आवश्यकतानुसार ऑफसेट वोल्टेज OP-Amp को दी जा सकती है जिससे आउटपुट शून्य हो जाए।



चित्र 4.10

4.7. डिफरैन्शियल एम्पलीफायर (Differential Amplifier)

चित्र 4.11 में OP-Amp को एक डिफरैन्शियल एम्प्लीफायर की भाँति प्रयोग किया गया है। यह एम्पलीफायर इनपुट $(V_2 - V_1)$ का प्रवर्धन करता है तथा दोनों इनपुट में कॉमन वोल्टेज को reject करता है। एक आदर्श OP-Amp में इनपुट धारा शून्य होती है।



चित्र 4.11–डिफरैन्शियल एम्पलीफायर।

चित्र 4.11 से नॉन-इनवर्टिंग (non-inverting) टर्मिनल पर वोल्टेज

$$e_2 = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) V_2 \qquad \text{...(i)}$$

तथा इनवर्टिंग (inverting) टर्मिनल पर वोल्टेज

$$e_1 = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) V_1 + \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) V_0 \qquad \text{...(ii)}$$

परन्तु फीड-बैक प्रतिरोध R_2 द्वारा OP-Amp के इनपुट टर्मिनलों के मध्य विभवान्तर शून्य किया जाता है अर्थात् $e_1 = e_2$। अत: समीकरण (i) तथा (ii) से

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

या $$R_2 V_1 + R_1 V_0 = R_2 V_2$$

या आउटपुट $$V_0 = \frac{R_2}{R_1}(V_2 - V_1) = \frac{R_2}{R_1} V_d \qquad \text{...(iii)}$$

इस प्रकार प्रवर्धक का डिफरैन्शियल गेन (differential gain)

$$\frac{V_0}{V_d} = \frac{R_2}{R_1}$$

OP-Amp को डिफरैन्शियल प्रवर्धक के रूप में तीन प्रकार से प्रचालित किया जा सकता है—

(i) सिंगल एन्डेड मोड (Single ended mode)—इस प्रचालन में V_1 अथवा V_2 शून्य होता है। यदि $V_1 = 0$ तब यह नॉन-इनवर्टिंग मोड में तथा यदि $V_2 = 0$ तब यह इनवर्टिंग मोड में प्रचालित होता है।

(ii) डिफरैन्शियल मोड (Differential mode)—इस प्रचालन में दोनों इनपुट सिगनल समान परन्तु विपरीत ध्रुवता (opposite polarity) के होते हैं।

(iii) कॉमन मोड (Common mode)—इस प्रचालन में दोनों इनपुट सिगनल प्रत्येक क्षण आयाम (amplitude) तथा कला (phase) में समान होते हैं, अर्थात् $V_1 = V_2$। अत: समीकरण (iii) से $V_d = 0$ जिससे $V_0 = 0$ अर्थात् कॉमन मोड में आउटपुट वोल्टेज शून्य होती है।

4.8. OP-AMP के अनुप्रयोग (Applications of OP-AMP)

ऑपरेशनल एम्पलीफायर के निम्न मुख्य अनुप्रयोग हैं—

(i) इनवर्टर (Invertor)

(ii) स्केल चेन्जर (Scale Changer)

(iii) एडर (Adder)

(iv) सब्ट्रैक्टर (Subtractor)

(v) डिफरैन्शियल एम्पलीफायर (Differential Amplifier)

(vi) बफर एम्पलीफायर (Buffer Amplifier)

(vii) डिफरैन्शियेटर (Differentiator)

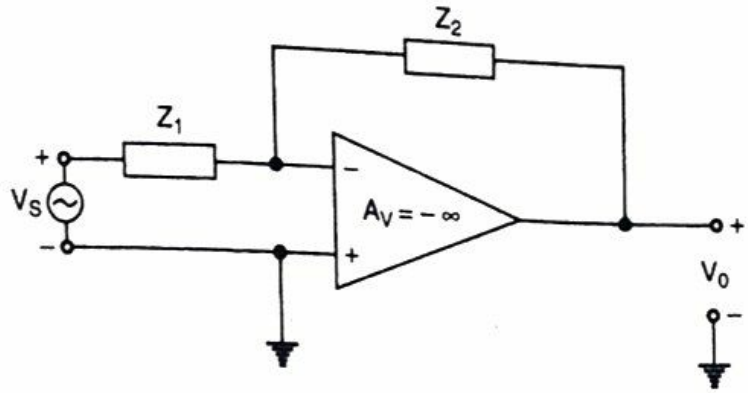
(viii) इन्टीग्रेटर (Integrator)

(ix) स्मिट ट्रिगर (Schmitt Trigger)

(x) लघुगणकीय एम्पलीफायर (Logarithmic Amplifier)

(xi) प्रतिलघुगणकीय एम्पलीफायर (Anti-logarithmic Amplifier)

OP-Amp का इनवर्टर की भाँति प्रयोग (OP-Amp as an Inverter)



चित्र 4.12–OP-Amp का इनवर्टर की भाँति अनुप्रयोग।

चित्र 4.12 में OP-Amp का एक इनवर्टर की भाँति उपयोग दिखाया गया है।

हम अध्ययन कर चुके हैं कि,

अत: $$V_0 = -V_s\left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)\frac{V_0}{V_s} \propto \frac{Z_2}{Z_1}$$

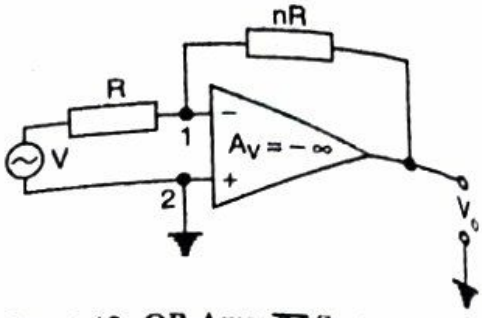
यदि $$Z_2 = Z_1$$

तब $$V_0 = -V_s$$

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

OP-Amp का Scale Changer की भाँति अनुप्रयोग

एक Scale Changer OP-Amp का परिपथ चित्र 4.13 में प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 4.13–OP-Amp का Scale changer की भाँति उपयोग।

समीकरण $V_0 = -V_s(Z_2 / Z_1)$ से, चित्र 4.13 के अनुसार,

$$Z_1 = R$$

$$Z_2 = nR$$

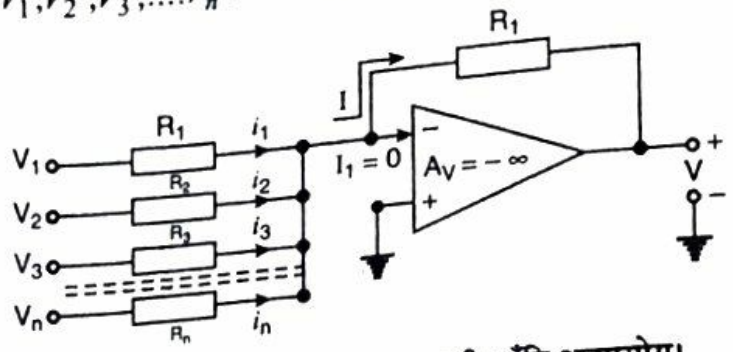
अत:
$$V_0 = -V_s\left(\frac{nR}{R}\right)$$

$$= -V_s(n)$$

अर्थात् स्केल, एक गुणक '$-n$' से गुणा किया गया है।

OP-Amp का Adder की भाँति प्रयोग (OP-Amp as an Adder)

एक OP-Amp का Adder की भाँति उपयोग हेतु परिपथ चित्र 4.14 में प्रदर्शित किया गया है। इनपुट में कई लीनियर वोल्टेज प्रयुक्त की गई हैं जैसे $V_1, V_2, V_3, \ldots V_n$। प्रत्येक इनपुट के साथ एक श्रेणी प्रतिरोध संयोजित है।



चित्र 4.14–OP-Amp का Adder की भाँति अनुप्रयोग।

चित्र 4.14 से,

चूँकि OP-Amp के इनपुट टर्मिनलों के मध्य धारा नगण्य है अत:

$$I = i_1 + i_2 + \ldots + i_n$$

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

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

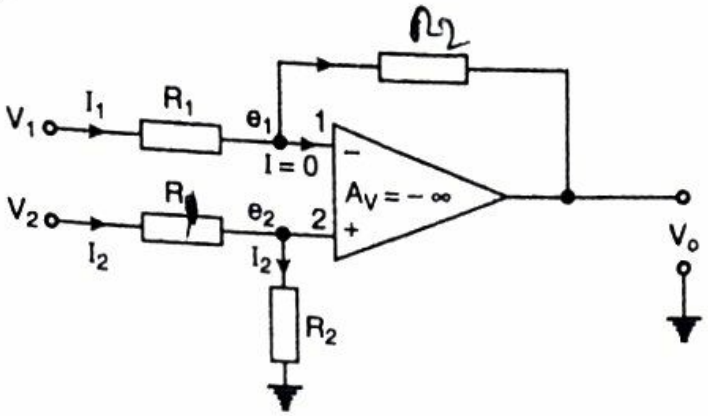
यदि
$$R_1 = R_2 = R_3 = \ldots = R_n = R$$

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

अर्थात् आउटपुट वोल्टेज, इनपुट वोल्टेज के योग के समानुपाती है। इस प्रकार यह परिपथ एक Adder प्रवर्धक 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 में प्रयुक्त प्रतिरोध पर निर्भर करता है।

OP-Amp का डिफरैन्शियल एम्प्लीफायर की भाँति अनुप्रयोग अथवा सब्ट्रैक्टर (OP-Amp as Differential Amplifier or Subtractor)

चित्र 4.15 में OP-Amp का डिफरैन्शियल एम्प्लीफायर की संयोजन प्रदर्शित किया गया है। यह एम्प्लीफायर इनपुट के अन्तर $(V_2 - V_1)$ को प्रवर्धित करता है अर्थात् इसकी आउटपुट $(V_2 - V_1)$ के समानुपाती है। यह परिपथ दोनों इनपुट में कॉमन वोल्टेज (यदि कोई हो) तो उसे reject कर देता है। इसका मुख्य उपयोग डलेक्ट्रॉनिक विधि से मापन की प्रक्रियाओं जैसे ट्रान्सड्यूसर, स्ट्रेन गेज ब्रिज, थर्मोकपल इत्यादि में किया जाता है।



चित्र 4.15–OP-Amp डिफरैन्शियल की भाँति अनुप्रयोग।

चित्र 4.15 से,

$$R_{in} = \infty, \text{ अत: } I_i = 0$$

चूँकि

$$I_1 = I'_1 \text{ तथा } I_2 = I'_2$$

∴

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

या

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

तथा

उपरोक्त समीकरण में,

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

$$e_2 = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) V_2$$

तथा

चूँकि OP-Amp में फीड-बैक के प्रभाव से दोनों इनपुट टर्मिनलों के मध्य विभवान्तर शून्य हो जाता है अत:

$$e_1 = e_2$$

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

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

यहाँ

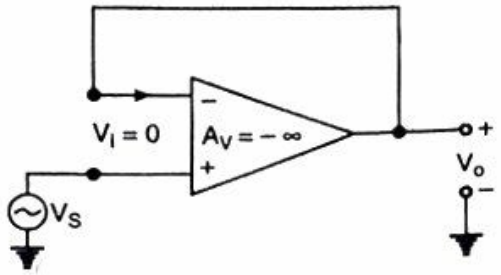
$$V_d = (V_2 - V_1)$$

अत: परिपथ की आउटपुट, इनपुट वोल्टेज के डिफरैन्स V_d के सीधे अनुक्रमानुपाती है।

OP-Amp का बफर एम्पलीफायर की भाँति अनुप्रयोग (OP-Amp as Buffer Amplifier)

चित्र 4.16 में OP-Amp का एक बफर एम्प्लीफायर की भाँति कनैक्शन प्रदर्शित किया गया है। यह परिपथ वोल्टेज फॉलोअर भी कहलाता है। इस परिपथ में समस्त आउटपुट, इनपुट में इनवर्टिंग टर्मिनल पर फीड-बैक कर दी गई है। दोनों इनपुट काल्पनिक रूप से (virtually) परस्पर सम्बन्धित कर दी गई हैं अत: एक प्रकार से आउटपुट वोल्टेज, इनपुट वोल्टेज को फॉलो (follow) करती है अर्थात्

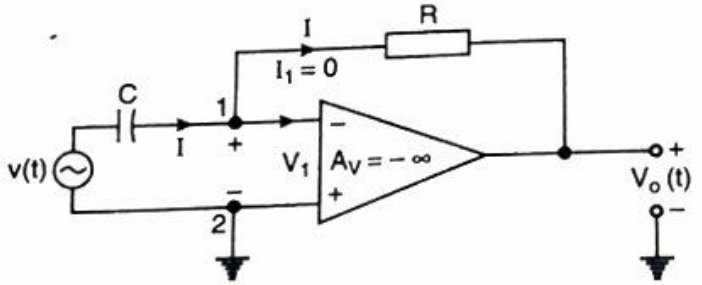
$$V_0 = V_s$$



चित्र 4.16–OP-Amp का बफर एम्पलीफायर की भाँति प्रयोग, $V_i = 0$ क्योंकि $A_v = -\infty$ अत: $V_e = V_s$

OP-Amp का डिफरैन्शियेटर की भाँति अनुप्रयोग (OP-Amp as Differentiator)

चित्र 4.17 में एक OP-Amp का डिफरैन्शियेटर की भाँति संयोजन प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 4.17–OP-Amp का डिफरैन्शियेटर की भाँति अनुप्रयोग।

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

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

आउटपुट वोल्टेज

$$V_0(t) = -RI = -R.C\frac{dv(t)}{dt}$$

अत: परिपथ की आउटपुट, इनपुट वोल्टेज के अवकलन (differentiation) पर निर्भर करती है।

यदि इनपुट सिगनल $v(t) = V\sin\omega t$

तब आउटपुट $v_0(t) = -RC(V)\omega\cos\omega t$

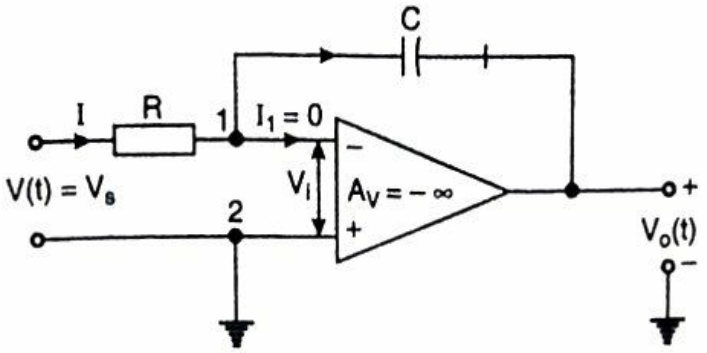
डिफरैन्शियेटर के अनुप्रयोग (Applications of Differentiator)

डिफरैन्शियेटर परिपथ के मुख्य अनुप्रयोग निम्न हैं—

1. फ्रीक्वैन्सी मॉडुलेशन में
2. मल्टीवाइब्रेटर के ट्रिगर परिपथों में
3. वेव–शोपिंग में
4. एक्टिव लो–पास (low pass) फिल्टर्स में।

OP-Amp का इन्टीग्रेटर की भाँति अनुप्रयोग (OP-Amp as an Integrator)

चित्र 4.18 में OP-Amp का इन्टीग्रेटर की भाँति संयोजन प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 4.18–OP-Amp का इन्टीग्रेटर की भाँति प्रयोग।

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 ग्राउन्ड उत्पन्न होता है। इसका अर्थ है कि "C" के पार्श्व में वोल्टेज, आउटपुट वोल्टेज V_0 के बराबर ही है। चित्र 4.18 से

$$\frac{V_s - V_i}{R} = C\frac{d}{dt}(V_t - V_0)$$

V_i को उपेक्षित करने पर,

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

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

या

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

या

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, अर्थात्

यदि $v(t) = V$

तब

$$V_0 = -\frac{V_t}{RC}$$

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

इन्टीग्रेटर के अनुप्रयोग (Applications of Integration)

इन्टीग्रेटर परिपथ के मुख्य अनुप्रयोग निम्न प्रकार हैं—

1. वेव-शेपिंग परिपथों में
2. सा-टूथ (saw-tooth) ऑसिलेटर्स में
3. एनेलॉग-टू-डिजिटल कनवर्टर्स में (A/D converters)
4. त्रिभुजाकार तरंग (triangular wave) जेनरेशन में
5. एक्टिव लो-पास फिल्टर्स में
6. वोल्टेज को फ्रीक्वैन्सी में कनवर्ट करने वाले परिपथों में आदि।

OP-Amp का लघुगणकीय एम्प्लीफायर की भाँति अनुप्रयोग (OP-Amp as a Logarithmic Amplifier)

OP-Amp का एक लघुगणकीय एम्प्लीफायर की भाँति संयोजन चित्र 4.19 में प्रदर्शित किया गया है। इस परिपथ की आउटपुट, इनपुट वोल्टेज के लघुगणक के समानुपाती होती है। एक P-N डायोड की धारा समीकरण निम्न होती है—

$$I_f = I_0[e^{(V_f/\eta V_T - 1)}] \quad \text{...(i)}$$

यहाँ

I_f = फॉरवर्ड धारा

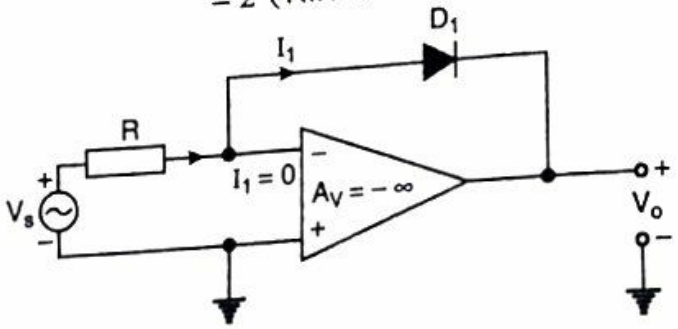
V_f = फॉरवर्ड वोल्टपात

I_0 = संतृप्त धारा

$V_T = \frac{KT}{e}$ (ताप का वोल्टेज तुल्यांक)

$\eta = 1$ (जर्मेनियम डायोड के लिए)

$= 2$ (सिलिकॉन डायोड के लिए)



चित्र 4.19–OP-Amp का लघुगणकीय एम्पलीफायर की भाँति अनुप्रयोग।

वास्तविक परिपथों में फॉरवर्ड धारा I_f का मान संतृप्त धारा I_0 से काफी अधिक होता है। अत; समीकरण (i) से

$$I_f \cong I_0 e^{V_f/\eta V_T}$$

लघुगणक लेने पर

$$V_f = \eta V_T (\log I_f - \log I_0) \quad \text{...(ii)}$$

चूँकि $\quad I_f = I_1 = \frac{V_s}{R}$ तथा $V_0 = -V_f$

अत: $$V_0 = -\eta V_T \left(\log \frac{V_s}{R} - \log I_0 \right) \quad \text{...(iii)}$$

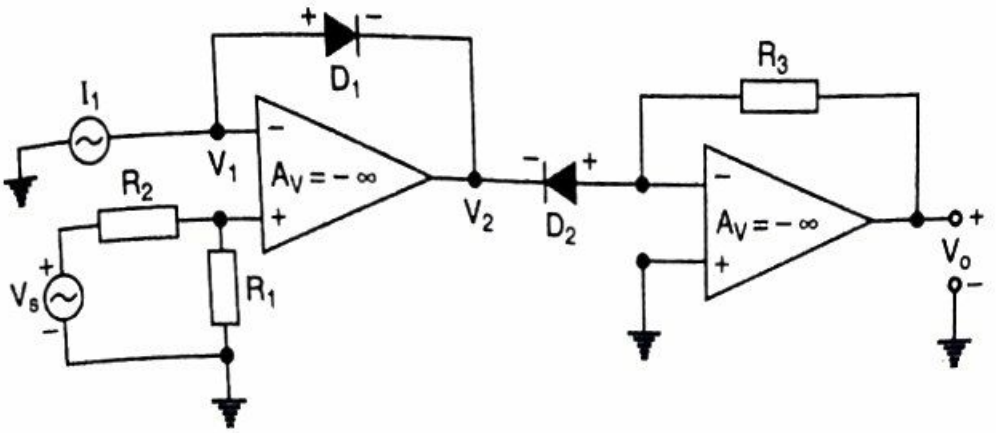
समीकरण (iii) से स्पष्ट है कि आउटपुट वोल्टेज V_0, इनपुट वोल्टेज V_s के लघुगणक के समानुपाती है।

Antilogarithmic Amplifiers

इस प्रवर्धक का परिपथ चित्र 4.22 में प्रदर्शित किया गया है। इस परिपथ की आउटपुट वोल्टेज इनपुट वोल्टेज के antilog के समानुपाती होती है। परिपथ में दो OP-Amp प्रयुक्त किये गए हैं। प्रवर्धक की आउटपुट निम्न समीकरण द्वारा दी जाती है—

$$V_0 = R_3 I_f \text{antilog}\left[-V_s \frac{1}{hV_T} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \right]$$

अथवा $$V_0 = K_1 \text{antilog}(K_2 V_s)$$



चित्र 4.20–OP-Amp का Antilogarithmic एम्पलीफायर की भाँति प्रयोग।

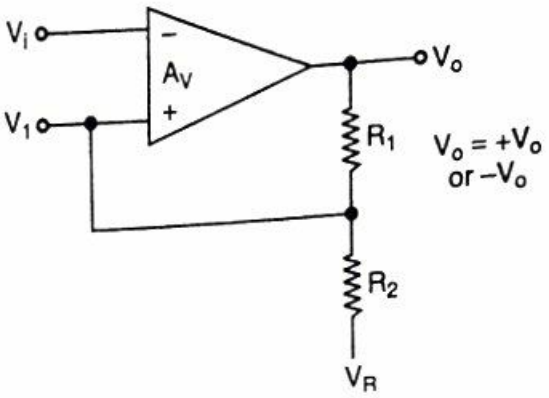
आउटपुट वोल्टेज के समीकरण से स्पष्ट है कि आउटपुट V_0, इनपुट वोल्टेज के antilog के समानुपाती है।

4.10. स्मिट ट्रिगर (Schmitt Trigger)

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

स्मिट ट्रिगर एक स्टेट में स्थायी (stable) होता है तथा किसी परिवर्तित होने वाली (varying) इनपुट द्वारा ट्रिगर करने पर तीव्रता से दूसरी स्टेट पर आ जाता है। पुन: जब इनपुट अपने मूल (original) मान पर आती है तब परिपथ तीव्र ट्रांजिशन कर अपनी स्थायी अवस्था में आ जाता है।

चित्र 4.21 में एक OP-Amp के स्मिट ट्रिगर की भाँति कनैक्शन प्रदर्शित किये गए हैं। परिपथ की इनवर्टिंग इनपुट को एक परिवर्ती (varying) वोल्टेज v_i दी गई है तथा नॉन-इनवर्टिंग टर्मिनल को प्रतिरोध R_1 एवं R_2 द्वारा पॉजिटिव फीड-बैक दी गई है। V_R एक रैफरैन्स वोल्टेज है। पॉजिटिव फीड-बैक देने से परिपथ का गेन बहुत अधिक हो जाता है।



चित्र 4.21–स्मिट ट्रिगर

परिपथ में $v_i < v_1$ तथा $v_i > v_1$ के लिए ट्रिगरिंग वोल्टेज अलग-अलग होती हैं तथा दोनों के अन्तर को हिस्टेरिसिस (hysteresis) कहते हैं।

परिपथ का ऑपरेशन—माना $v_i < v_1$ तथा आउटपुट $v_0 = +V_0$ तब चित्र 4.21 से, नॉनइनवर्टिंग टर्मिनल पर इनपुट

$$v_1 = \frac{R_1 V_R}{R_1 + R_2} + \frac{R_2 V_0}{R_1 + R_2} = V_1 \text{ (माना)} \qquad \text{...(i)}$$

अब यदि इनपुट वोल्टेज v_i को बढ़ाया जाता है तब $v_i = V_1$ होने तक आउटपुट V_0 पर स्थिर तथा $v_1 = V_1 = \text{constant}$ रहती है। परन्तु जैसे ही V_i का मान V_1 से अधिक ($V_i > V_1$) होता है तब, पॉजिटिव फीड-बैक के कारण आउटपुट v_0 अकस्मात् (abruptly) $-V_0$ पर स्विच हो जाती है [चित्र 4.22 (a)] तथा इसी मान ($-V_0$) पर तब तक स्थिर रहती है जब तक $v_i > V_1$ [V_1 को थ्रेशोल्ड अथवा अपर ट्रिगरिंग पोटैन्शियल (upper triggering potential or UTP) कहते हैं।

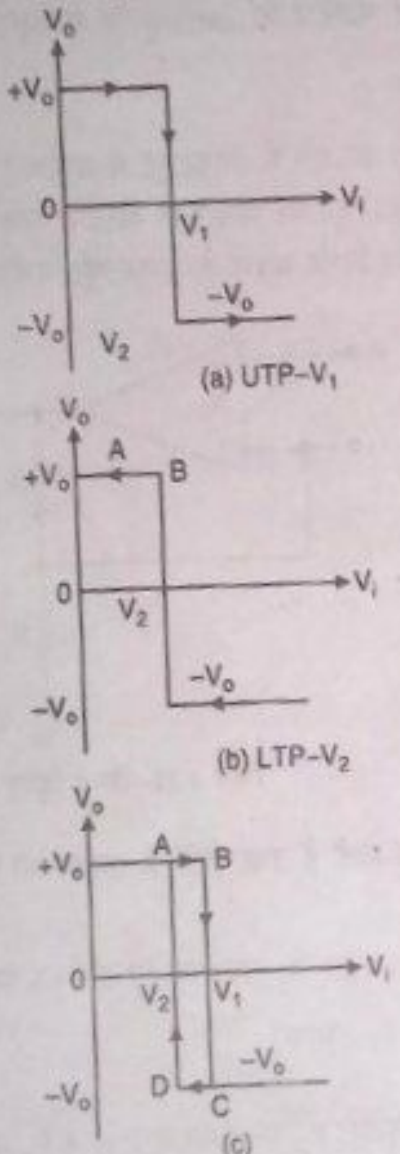
(ii) $v_i > V_1$ के लिए नॉन-इनवर्टिंग टर्मिनल पर वोल्टेज

$$v_1 = \frac{R_1 V_R}{R_1 + R_2} - \frac{R_2 V_0}{R_1 + R_2} = V_2 \text{ (माना)} \qquad \text{...(ii)}$$

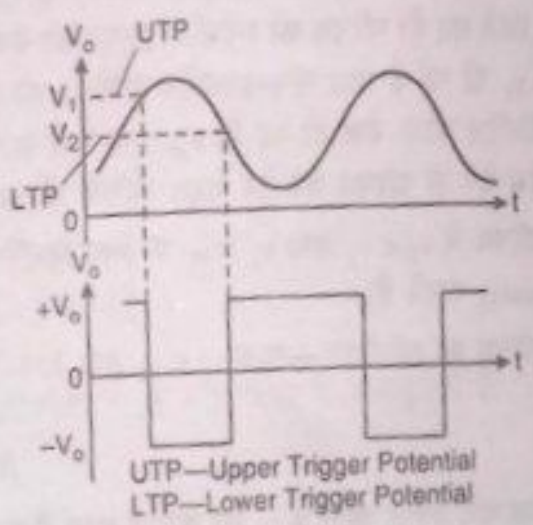
V_2 का मान V_1 से कम होता है तथा दोनों के अन्तर को हिस्टेरिसिस (V_H) कहते हैं।

$$V_H = V_1 - V_2 = \frac{2R_2V_0}{R_1 + R_2}$$

अब यदि इनपुट v_i का मान कम होता है तब आउटपुट $-V_0$ पर तब तक रहती है जब तक v_i का मान टर्मिनल 1 पर वोल्टेज के बराबर नहीं हो जाता है अर्थात् जब तक $v_i = V_2$। इस वोल्टेज पर रिजेनरेटिव ट्रांजिशन होता है तथा आउटपुट चित्र 4.22 (b) के समान अकस्मात् (instantaneously) $+V_0$ पर वापस आ जाती है। V_2 को लोअर ट्रिगर पोटैन्शियल (LTP) कहते हैं। चित्र 4.22 (c) मे सम्पूर्ण ट्रांसफर फंक्शन प्रदर्शित किया गया है। इस चित्र के वे भाग, जिनमें तीर (arrow) नहीं लगा है, किसी भी दिशा में ऑपरेट किए जा सकते हैं परन्तु शेष भाग (ABCD) केवल तभी प्राप्त हो सकते हैं जब v_i तीर की दिशा के अनुसार परिवर्तित हो। ध्यान दीजिए कि हिस्टेरिसिस के कारण परिपथ, बढ़ते हुए सिगनलों पर उच्च वोल्टेज पर तथा घटते हुए सिगनलो पर अपेक्षाकृत कम वोल्टेज पर ट्रिगर होता है।



चित्र 4.22



चित्र 4.23–एक परिवर्ती (Varying) इनपुट सिगनल पर स्मिट ट्रिगर की अनुक्रिया; आउटपुट एक वर्गाकार तरंग है।

स्मिट ट्रिगर के अनुप्रयोग

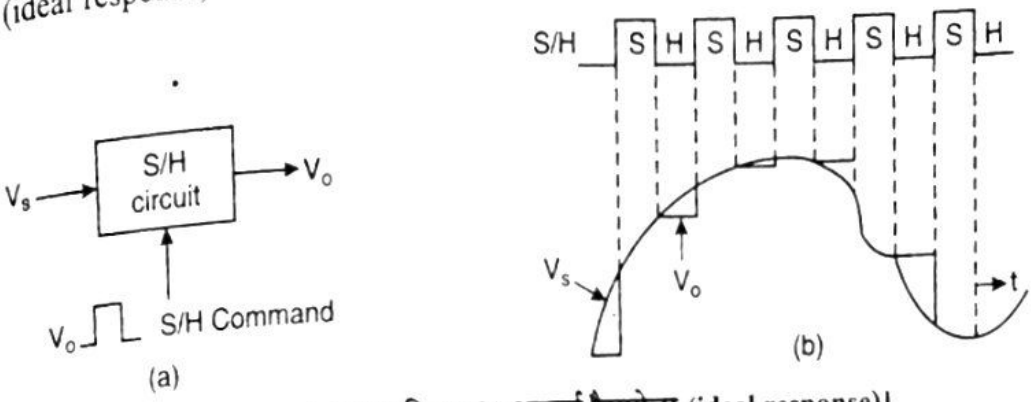
(1) स्मिट ट्रिगर का मुख्य उपयोग 'Squaring' परिपथ की भाँति किया जाता है। यह चित्र 4.23 मे प्रदर्शित किया गया है। इनपुट सिगनल किसी भी प्रकार का परिवर्ती सिगनल हो सकता है परन्तु यह आवश्यक है कि इसका अधिकतम मान हिस्टेरिसिस रेंज V_H से अधिक होना चाहिए। आउटपुट एक वर्गाकार तरंग होती है जिसका आयाम (amplitude) इनपुट तरंग

...पीक-से-पीक (peak-to-peak) मान पर निर्भर नहीं करता है। आउटपुट की लीडिंग (leading) तथा ट्रेलिंग (trailing) एज, ...ट की तुलना में अधिक तीव्र होती हैं।

(2) स्मिट ट्रिगर का एक अन्य उपयोग वोल्टेज कन्ट्रोल्ड ऑसिलेटर्स (VCO) में किया जाता है।

4.11. सैम्पिल एण्ड होल्ड परिपथ (Sample and Hold Circuit)

सैम्पिल एवं होल्ड परिपथ का उपयोग किसी एनेलॉग इनपुट सिगनल को बहुत कम अवधि (1-10 μ sec) के लिए सैम्पल करना तथा सैम्पल किये गए अन्तिम मान (last value) को तब तक होल्ड करना है जब तक कि इनपुट की पुन: सैम्पलिंग न हो जाये। होल्डिंग पीरियड कुछ मिलीसेकण्ड से कुछ सेकण्डों तक हो सकता है। सैम्पिल एवं होल्ड परिपथ (S/H circuit) में एक तीसरा टर्मिनल भी होता है जिसके द्वारा लॉजिक S/H कमाण्ड दिया जाता है। अन्य दो टर्मिनल इनपुट (V_s) एवं आउटपुट (V_0) के लिए होते हैं। परिपथ में कमाण्ड एक पल्स के रूप में दिया जाता है। चित्र 4.24 में एक S/H परिपथ की आदर्श अनुक्रिया (ideal response) दिया गया है।



चित्र 4.24—(a) S/H परिपथ (b) आदर्श रैसपोन्स (ideal response)।

परिपथ के दो ऑपरेशन मोड होते हैं जो S/H कमाण्ड के लॉजिक लेविल पर निर्भर करते हैं। परिपथ आउटपुट V_0 को V_s की ओर स्विंग करता है तथा पल्स के शेष भाग में V_0, इनपुट V_s को फॉलो करता है। S/H पल्स हटाने पर परिपथ V_0 को V_s के उस मान पर होल्ड करता है जो पल्स के deactivation पर था। चित्र 4.24 (b) में एक पॉजिटिव हो रही positive going S/H पल्स के लिए V_0 तथा V_s दिखाए गए हैं। परिपथ को 'negative going' पल्स के लिए भी डिजाइन किया जा सकता है अर्थात् कमाण्ड Low होने पर V_0, V_s को ट्रैक करता है तथा पल्स high होने पर होल्ड करता है।

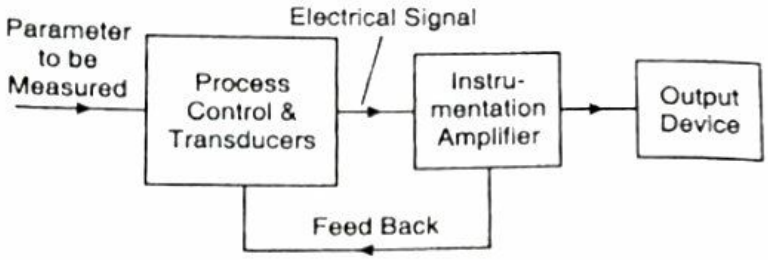
4.12. अनुप्रयोग (Applications)

S/H परिपथ के उपयोग निम्न प्रकार हैं—

1. A/D कनवर्टर्स में, विशेष रूप से 'approximation' टाइप A/DC में।
2. D/A कनवर्टर्स द्वारा CRT डिस्पले के 'glitches' हटाने में।
3. एनेलॉग डिमल्टीप्लैक्सिग, एनेलॉग डिले लाइन्स, इलेक्ट्रिक संगीत कुंजी बोर्ड्स।

4.13. बेसिक इन्सट्रूमेन्टेशन एम्प्लीफायर्स (Basic Instrumentation Amplifier)

इन्सट्रूमेन्टेशन एम्प्लीफायर्स (Instrumentation Amplifiers)—प्रोसेस variable अथवा पैरामीटर्स के मान मापन प्रणाली के अन्त में संयोजित यन्त्रों द्वारा प्रदर्शित होते हैं उदाहरणत: रिकॉर्डर्स, एमीटर्स, वोल्टमीटर्स, डिजिटल डिवाइसेज़ इत्यादि। इन युक्तियों के प्रचालन के लिए प्राय: बहुत कम शक्ति की आवश्यकता होती है तथा यह ड्राइविंग पावर प्राय: प्रोसेस के मापन परिपथ से प्राप्त हो जाती है। परन्तु, सम्भव है कि किन्हीं परिपथों में आउटपुट डिवाइसेस को प्रचालित करने के लिए आवश्यक शक्ति प्राप्त न हो सके। ऐसी अवस्था में आउटपुट डिवाइस सीधे परिपथ से संयोजित करने पर मापन परिपथ की अवांछित (undesired) लोडिंग होती है तथा सिगनल distort हो जाता है जिसके कारण आउटपुट डिवाइस से त्रुटिपूर्ण डाटा प्राप्त होते हैं।



चित्र 4.25—प्रोसेस कन्ट्रोल के लिए इन्सट्रूमेन्टेशन एम्पलीफायर का प्रयोग: फीडबैक सिगनल के जेनरेशन द्वारा आउटपुट का नियन्त्रण।

ऐसी परिस्थिति में इन्स्ट्रूमेन्टेशन एम्प्लीफायर्स प्रयुक्त किये जाते हैं। यह एम्प्लीफायर्स आउटपुट डिवाइसेस के प्रचालन के लिए आवश्यक पावर उपलब्ध कराते हैं तथा प्रतिबाधा मैचिंग उपलब्ध कराते हैं जिससे की मापन प्रणाली पर लोडिंग प्रभाव नहीं होता तथा सिगनल का proper प्रोसेसिंग एवं डिसप्ले प्राप्त होता है।

प्रोसेस कन्ट्रोल एवं इन्स्ट्रूमेन्टेशन हेतु आज सभी औद्योगिक प्रणालियों में ऑपरेशनल एम्प्लीफायर्स का प्रयोग किया जाता है। यह प्रवर्धक विद्युत सिगनलों पर गणितीय ऑपरेशन करते हैं जो कि मापन प्रणाली में अति आवश्यक है उदाहरणार्थ Addition, Subtraction, Division, Multiplication, Differentiation, Integration इत्यादि।

इन एम्प्लीफायर्स में, प्रोसेस को कन्ट्रोल एवं रेगुलेट करने के लिए आवश्यक फीडबैक वोल्टेज (in terms of measured parameter) भी उपलब्ध होती है (चित्र 4.25)।

चित्र 4.26 में इनपुट एम्प्लीफायर्स A_1 और A_2 इनपुट बफर की तरह कार्य करते है जिसका gain एक (unity) होता है। Common mode signal e_{cm} का gain $= \left(1+\frac{2R_2}{R_1}\right)$ जो कि डिफरैन्शियल signal के लिए होता है।

इन्स्ट्रूमेन्टेशन एम्प्लीफायर्स का schematic चित्र 4.28 में प्रदर्शित किया गया है। जो OP-Amp की सहायता से बनाया है।

OP-Amp के अनेक अभिलक्षणों का प्रयोग करके इन्स्ट्रूमेन्टशन एम्प्लीफायर के इनपुट अभिलक्षण ज्ञात किये जा सकते हैं।

Let $$R_4 = R_5 = R_6 = R_7.$$

Therefore,

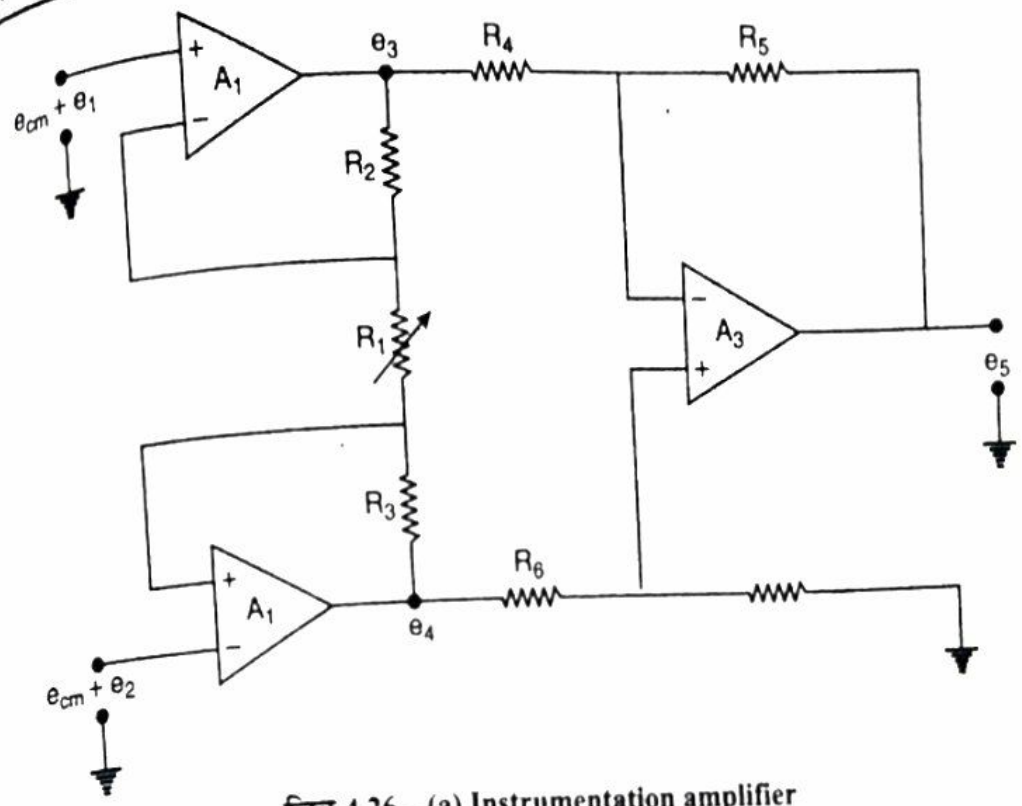
$$e_3 = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)e_1 - \left(\frac{R_2}{R_1}\right)(e_{cm} + e_2)$$

$$e_4 = \left(1+\frac{R_3}{R_1}\right)e_2 - \left(\frac{R_3}{R_1}\right)(e_{cm} + e_1)$$

$$e_5 = e_4 - e_3$$

where $e_{cm} + e_1$ is the input to amplifier A_1.

and $e_{cm} + e_2$ is the input to amplifier A_2.



चित्र 4.26—(a) Instrumentation amplifier

If $R_2 = R_3$, the output voltage is given by

$$e_5 = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \times (e_2 - e_1)$$

इन्स्ट्रूमेन्टेशन एम्प्लीफायर्स के निम्न अभिलक्षण होने चाहिए—

1. एम्प्लीफायर की इनपुट प्रतिबाधा उच्च तथा आउटपुट प्रतिबाधा कम होनी चाहिये। उच्च इनपुट प्रतिबाधा इस लिए आवश्यक है जिससे कि ट्रांसड्यूसर स्टेज की लोडिंग न हो तथा निम्न आउटपुट प्रतिबाधा होने से प्रवर्धक की response, आवृत्ति से प्रभावित नहीं होती है। अतः आउटपुट डिवाइस वास्तविक परिणाम प्रदर्शित करती है।

2. इसे प्रचालन के लिए अत्यन्त सूक्ष्म (very small) अतिरिक्त पावर की आवश्यकता होनी चाहिए।

3. प्रोसेस variables के सूक्ष्म परिवर्तन के अनुसार ही इसका response होना चाहिए तथा आउटपुट डिवाइस को information देनी चाहिए।

4. मापन प्रणाली से इसके द्वारा ली गई शक्ति अत्यन्त कम होनी चाहिए।

5. इसका कार्यकाल (life) अधिक तथा प्रचालन विश्वसनीय होना चाहिए।

6. आवृत्ति के बड़े क्षेत्र (wide range of frequency) में इसका response flat होना चाहिए।

The optimum common mode rejection को R_6 or R_7 को एडजस्ट कर प्राप्त किया जाता है जबकि यह निश्चित किया जाये कि $\frac{R_5}{R_4} = \frac{R_7}{R_6}$

एक व्यापारिक Commercial Instrumentation Amplifier को चित्र 4.27 में प्रदर्शित किया गया है तथा उसकी विशेषताएँ टेबिल में दी गयी हैं।

कॉमन मोड सिगनल (Common Mode Signals)

ऑपरेशनल (डिफ्रेन्स) एम्प्लीफायर में दो इनपुट टर्मिनल होते है तथा इसकी आउटपुट इसके दोनों इनपुट पर एप्लाई किये गये सिगनलों की वोल्टेज के अन्तर के समानुपाती होती है। यदि दोनों इनपुट वोल्टेज समान है तब आउटपुट शून्य होती है। एम्प्लीफायर के इनपुट टर्मिनलों पर समान इनपुट (equal inputs), कॉमन मोड सिगनल (Common Mode Signal) कहलाते हैं क्योंकि इनपुट सिगनल दोनों इनपुट के लिए कॉमन है। इस स्थिति में आउटपुट शून्य होना इस एम्प्लीफायर का एक गुण (feature) है।

परन्तु, वास्तविक स्थितियों में दोनों इनपुट बराबर होने पर भी आउटपुट exactly शून्य नहीं होती क्योंकि प्रवर्धक को दोनों इनपुट के response में अन्तर हो सकता है। एक प्रेक्टिकल डिफ्रेन्स एम्प्लीफायर की कॉमन मोड सिगनल के साथ आउटपुट सैकड़ों माइक्रोवोल्ट के क्रम की होती है।

इस प्रकार एक डिफ्रेन्स एम्प्लीफायर (used as instrumentation amplifier) में डिफ्रेन्स सिगनल पर gain (A_d) तथा कॉमन मोड सिगनल पर gain (A_c) अलग-अलग होता है।

कॉमन मोड रिजेक्शन अनुपात 'CMRR' (Common Mode Rejection Ratio, CMRR)

इन्स्ट्रूमेशन हेतु प्रयुक्त डिफ्रेन्स एम्प्लीफायर (ऑपरेशनल एम्प्लीफायर) के CMRR का मान डिफ्रेन्स सिगनल पर gain (A_d) तथा कॉमन मोड सिगनल पर gain (A_c) के अनुपात के तुल्य होता है।

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

एक आदर्श एम्प्लीफायर मे यह अनुपात अर्थात् CMRR का मान अनन्त (infinity) होना चाहिए। CMRR किसी प्रोसेस मे प्रयुक्त एम्प्लीफायर की आउटपुट मे desired signal तथा undesired signal का अनुपात है। CMRR का मान जितना उच्च होता है प्रवर्धक भी उतना ही उत्तम होता है।

ड्रिफ्ट (Drift)

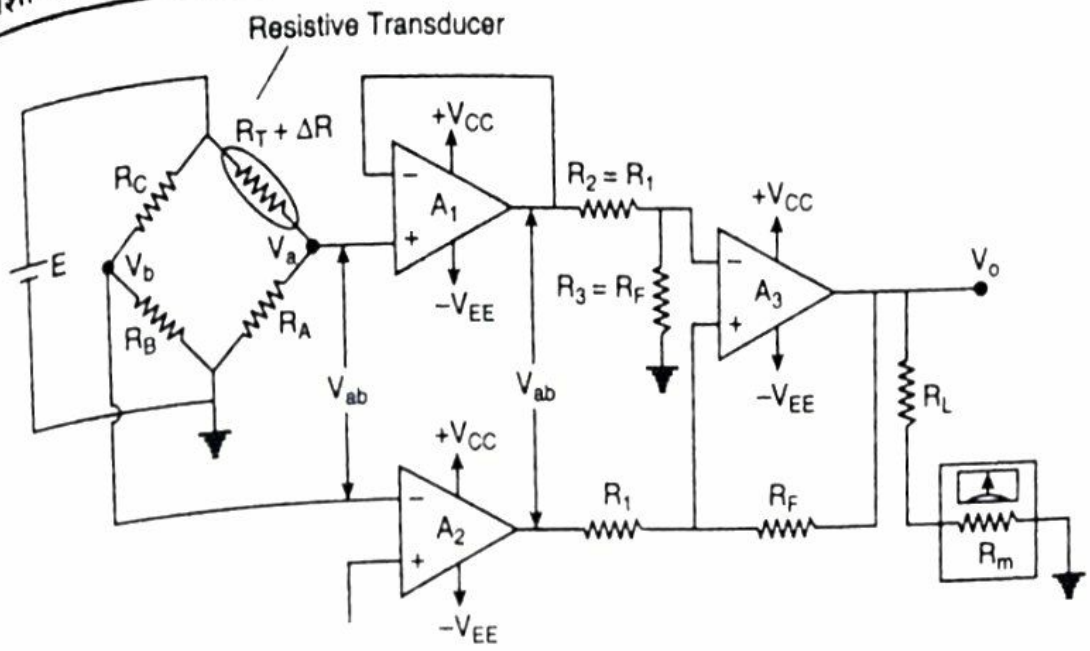
एम्प्लीफायर्स में, कुछ समय प्रयोग के पश्चात् ताप परिवर्तन एवं aging के कारण, उनके डिजाइन किये गये gain तथा वोल्टेज स्तर में परिवर्तन आने लगता है। यह परिवर्तन बहुत धीरे-धीरे होते हैं अत: ड्रिफ्ट (drift) कहलाते हैं। इलेक्ट्रॉनिक्स इन्स्ट्रूमेशन में ड्रिफ्ट के कारण प्रणाली में अप्रत्याशित परिवर्तन (serious proportions) आ सकते हैं जिससे परिणाम अत्यन्त त्रुटिपूर्ण हो सकते हैं।

डिफ्रेन्शियल एम्प्लीफायर्स मे ड्रिफ्ट को समाप्त करने की क्षमता होती है। एम्प्लीफायर की दो इनपुट तथा दो आउटपुट होने का अर्थ है कि वह दो समान (identical) एम्प्लीफायर्स से मिलकर बना है। अत: aging अथवा ताप परिवर्तन होने का जो प्रभाव एक एम्प्लीफायर पर पड़ता है उसी प्रकार का प्रभाव दूसरे एम्प्लीफायर भी पड़ता है। अत: यह दोनों प्रभाव एम्प्लीफायर्स पर एकसमान (identical) सिगनलों की भाँति अर्थात् Common Mode Signal की भाँति कार्य करते हैं। चूँकि डिफ्रेन्स एम्प्लीफायर (जो कि instrumentation में प्रयोग किये जाते हैं) का CMRR उच्च होता है अत: उनमें ड्रिफ्ट का प्रभाव नगण्य होता है। यदि दोनों एम्प्लीफायर्स पूर्णतया एक समान हैं अर्थात् उनके अभिलक्षण identical हैं तब aging तथा तापक्रम परिवर्तन का प्रभाव पूर्णतया समाप्त हो जाता है तथा परिणामों पर कोई प्रभाव नहीं होता है।

4.14, इन्स्टूमेन्टेशन एम्प्लीफायर के उपयोग (केवल ब्रिज) [Application of Instrumentation Amplifiers (Specific Bridge)]

चित्र 4.28 में ट्रान्सड्यूसर ब्रिज का उपयोग कर डिफरेन्शियल इन्स्ट्रूमेन्टशन एम्प्लीफायर प्रदर्शित किया गया है।

दिए गए परिपथ में प्रतिरोध ट्रान्सड्यूसर (जिसका प्रतिरोध कुछ भौतिक ऊर्जा में परिवर्तन के साथ परिवर्तित होता है) ब्रिज की एक भुजा के साथ कनैक्ट किया जाता है।



चित्र 4.28—**Differential Instrumentation Amplifier**

चित्र में, R_T = Resistance of transducer

ΔR = Change in resistance of the resistive transducer

Hence $(R_T + \Delta R)$ = Total resistance of the transducer

सन्तुलित ब्रिज के लिए $V_b = V_a$

तो
$$\frac{R_B(E)}{R_B + R_C} = \frac{R_A(E)}{R_A + R_T}$$

इसलिए
$$\frac{R_C}{R_B} = \frac{R_T}{R_A}$$

जिस भौतिक राशि का मापन किया जाता है उसके लिए आवश्यक condition पर ब्रिज सन्तुलित किया जाता है। माना ट्रान्सड्यूसर का प्रतिरोध ΔR परिवर्तित होता है चूँकि R_A और R_B निश्चित प्रतिरोध है और V_b नियत है जबकि V_a, ट्रान्सड्यूसर का प्रतिरोध परिवर्तित होने से परिवर्तित होता है। इसलिए परिपथ में Voltage divider rule अप्लाई करने पर—

$$V_a = \frac{R_A(E)}{R_A + (R_T + \Delta R)} \quad \text{और} \quad V_b = \frac{R_B(E)}{R_B + R_C}$$

ब्रिज नोड का आउटपुट

$$V_{ab} = V_a - V_b$$

$$\text{Therefore } V_{ab} = \frac{R_A(E)}{R_A + (R_T + \Delta R)} - \frac{R_B(E)}{R_B + R_C}$$

यदि $R_A = R_B = R_C = R_T = R$, then

$$V_{ab} = \frac{R(E)}{2R + \Delta R} - \frac{R(E)}{2R}$$

$$= E\left(\frac{R}{2R + \Delta R} - \frac{1}{2}\right)$$

$$\therefore \quad V_{ab} = R\left[\frac{2R - 2R - \Delta R}{2(2R + \Delta R)}\right] = \frac{-\Delta R(E)}{2(2R + \Delta R)}$$

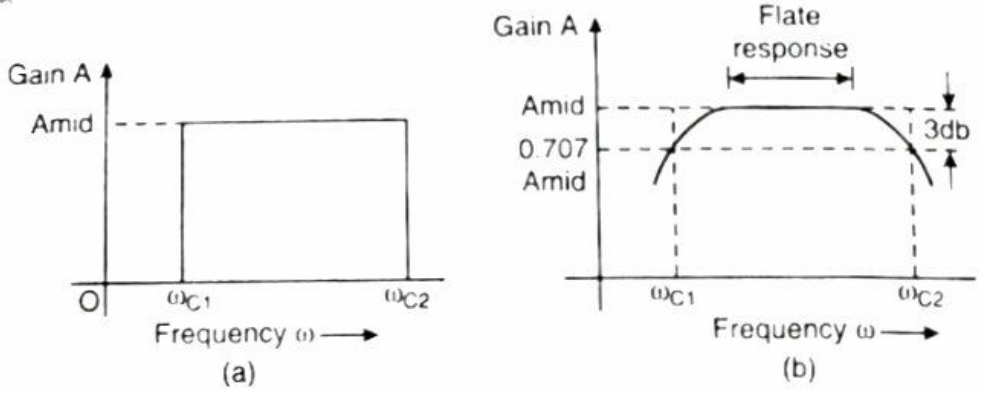
यही आउटपुट वोल्टेज V_{ab} डिफरेंशियल एम्प्लीफायर पर अप्लाई (applied) किया जाता है। बेसिक एम्प्लीफायर का gain $\left(\frac{RF}{R_1}\right)$ है और एम्प्लीफायर का आउटपुट वोल्टेज

$$V_0 = V_{ab}\left(\frac{RF}{R_1}\right) = \frac{-\Delta R(E)}{2(2R+\Delta R)} \times \frac{RF}{R_1}$$

उपरोक्त समीकरण से स्पष्ट है कि आउटपुट वोल्टेज ट्रान्सड्यूसर के प्रतिरोध पर निर्भर करता है। अत: आउटपुट वोल्टेज को मापक यंत्र द्वारा अपेक्षित भौतिक राशि के साथ कैलीब्रेट (Calibrated) कर लिया जाता है।

ए०सी० एम्प्लीफायर्स (A.C. Amplifiers)

ए०सी० प्रवर्धक उन सिनोसोयडल सिगनलों के प्रवर्धकों के लिये बनाया जाता है जिनकी आवृत्तियाँ एक विशेष आवृत्ति रेंज में होती हैं। ये आउटपुट टर्मिनलों पर इनपुट सिगनलों के पुनरोत्पादन के लिये डिजाइन किये जाते हैं। परन्तु इनमें वोल्टेज या धारा ज्ञात निष्पत्ति में बढ़ जाती है। वह आवृत्ति रेंज जिसमें आवृत्ति अनुक्रिया फ्लेट होती है लोड प्रतिरोध R_L पर निर्भर करती है। आदर्श रूप में वोल्टेज लाभ व आवृत्ति वक्र को चित्र 4.29 (a) में दिखाया गया है। चित्र से स्पष्ट है कि ωC_1 व ωC_2 आवृत्तियों के बीच लाभ नियत रहता है। इस लाभ को मध्य लाभ (Mid gain) A_{mid} कहते हैं। इस प्रभाव में ए०सी० प्रवर्धक बैन्ड पास फिल्टर की तरह कार्य करता है तथा इसका पास बैन्ड $\omega C_2, \omega C_1$ होता है अर्थात् यह इस बैन्ड की आवृत्तियों को पास कर देता है तथा शेष को अस्वीकार कर देता है। इसका अर्थ है कि इस पास बैन्ड की आवृत्तियों के अलावा शेष आवृत्तियों के संगत आउटपुट शून्य होता है।

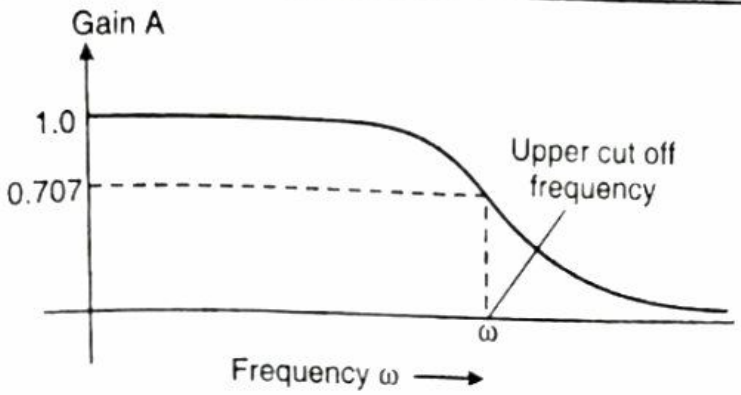


चित्र 4.29

व्यवहार में यह आदर्श अनुक्रिया प्राप्त नहीं होती है। वास्तविक अनुक्रिया को चित्र 4.29 (b) में दिखाया गया है। इस चित्र के अनुसार यहाँ पर पास बैन्ड होता है जिसमें हमें फ्लेट अनुक्रिया प्राप्त होती है। कुछ लोवर व अपर आवृत्तियों पर लाभ A_{mid} से कम हो जाता है। जिस आवृत्ति पर $0{\cdot}707\,A_{mid}$ होता है, उसे **कट ऑफ आवृत्ति** (Cutt off Frequency) कहते हैं। कट ऑफ आवृत्ति दो होती हैं। इन्हें ωC_1 व ωC_2 कहते हैं या जिन्हें क्रमश: लोअर कट ऑफ आवृत्ति तथा अपर कट ऑफ आवृत्ति कहते हैं।

प्रवर्धक की बैन्ड चौड़ाई $BW = \omega C_2 - \omega C_1$ मध्य बैन्ड अनुक्रिया से यह अनुक्रिया 3dB घट जाती है। इनपुट वोल्टेज में मन्द परिवर्तनों का आउटपुट वोल्टेज पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता है। आउटपुट वोल्टेज में मन्द परिवर्तनों (उदाहरण के रूप में ड्रिफ्ट) को इस प्रवर्धक में दूर किया जा सकता है।

अत: दिष्टधारा सिगनल के प्रवर्धन या मन्द दर से परिवर्तनीय ए०सी० सिगनल के लिये डी०सी० प्रवर्धक प्रयुक्त किया जाता है। एक विशेष डी०सी० प्रवर्धक का अनुक्रिया वक्र चित्र 4.30 में दिखाया गया है। चित्र के अनुसार फ्लेट अनुक्रिया दिष्टधारा या शून्य आवृत्ति तक होती है। जैसा पहले बताया जा चुका है। डी०सी० प्रवर्धक मुख्यत: मापन तथा इन्स्ट्रूमेन्टेशन पद्धति में प्रयुक्त किये जाते हैं। ये ऐनेलॉग कम्प्यूटर के आवश्यक घटक होते हैं।

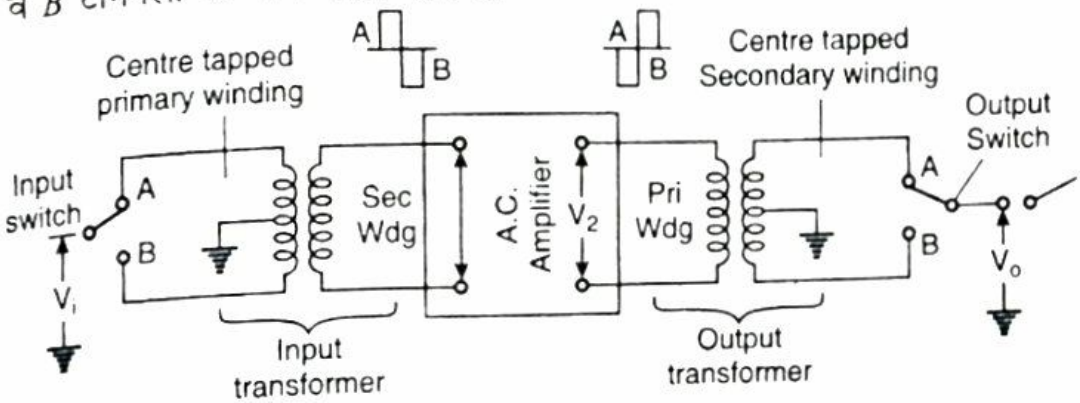


चित्र 4.30

चोप्ड और डी०सी० मोडुलेटिड एम्प्लीफायर (Choped and Modulated D.C. Amplifier)

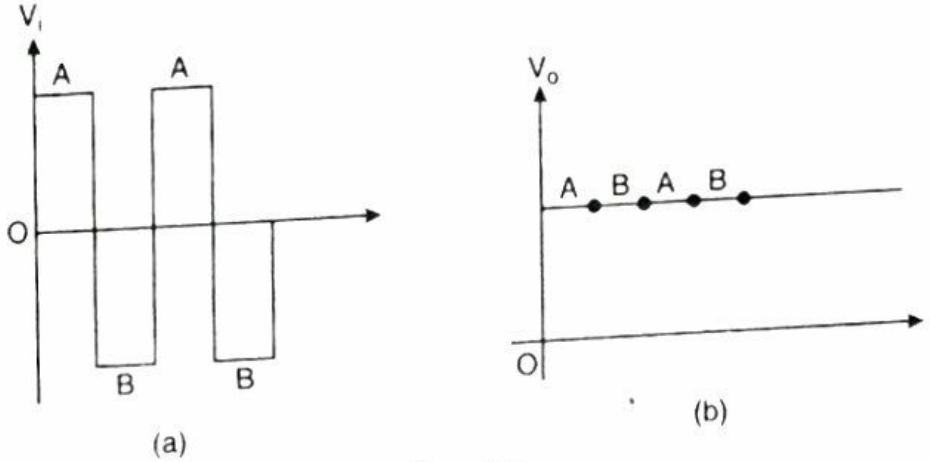
सरल ए०सी० प्रवर्धक डी०सी० इनपुट प्रवर्धन के लिये काम में लाये जाते है जबकि उनके साथ एक अतिरिक्त सर्किट जोड़ा जाता है जिसे 'चोपर' कहते हैं। इस विधि में एक डी०सी० प्रवर्धक को बनाया जाता है जिसमें डी०सी० सिगनल को पहले समतुल्य ए०सी० सिगनल में बदला जाता है जिसे एक प्रामाणिक प्रवर्धक द्वारा प्रवर्धित किया जाता है। ए०सी० सिगनल को अन्त में डी०सी० सिगनल में बदल दिया जाता है।

चित्र 4.31 में चोपर टाइप डी०सी० प्रवर्धक को दिखाया गया है। V_i इनपुट डी०सी० वोल्टेज है। इस वोल्टेज को एकान्तर रूप से A व B टर्मिनलों के बीच जोड़ा जाता है।



चित्र 4.31

जब इनपुट स्विच A स्थिति में होता है तो प्राइमरी की लपेटों में धारा एक दिशा में होती है। जब स्विच B स्थिति में होता है तो धारा उल्टी दिशा में बहती है। इस प्रकार इनपुट ट्रांसफॉर्मर की सेकेन्ड्री के एक्रोस एक ए०सी० वोल्टेज प्रेरित हो जाता है। आदर्श ट्रान्सफॉर्मर के लिये यह वोल्टेज पूर्णत: वर्गाकार वेव शेप का होता है। प्रेरित वोल्टेज का शिखर मान इनपुट डी०सी० वोल्टेज के समानुपाती होता है। ए०सी० सिगनल को प्रमाणिक ए०सी० प्रवर्धक में प्रवर्धित किया जाता है। यह प्रवर्धित वोल्टेज आउटपुट ट्रांसफॉर्मर की प्राइमरी में प्राप्त होता है। ए०सी० सिग्नल को डी०सी० में बदला जाता है। आऊटपुट ट्रांसफॉर्मर की सेकेन्ड्री लपेट को एक आऊटपुट स्विच के द्वारा जो इनपुट स्विच से जुड़ा होता है केन्द्रीय टेप किया जाता है।



चित्र 4.32

आऊटपुट ट्रांसफॉर्मर की प्राइमरी लपेटो के एक्रोस इनपुट वोल्टेज को चित्र 4.32 (a) में तथा सेकेन्ड्री लपेट के आऊटपुट को चित्र 4.32 (b) में दिखाया गया है। ऊपर समझाये गये प्रवर्धक को "**चोपर प्रवर्धक**" कहते है क्योंकि डी०सी० इनपुट वोल्टेज को चोपर करके ए०सी० सिगनल प्राप्त किया जाता है।

4.15. प्रत्यक्ष युग्मित प्रवर्धक (Direct Coupled Transistor Amplifier)

हम जानते हैं कि एकल स्टेज प्रवर्धक द्वारा प्राप्त वोल्टेज या पावर लाभ प्राय: किसी जटिल इलेक्ट्रॉनिक परिपथ के लिये आवश्यक प्रवर्धित सिगनल प्रदान नहीं कर पाता है, क्योंकि एकल स्टेज प्रवर्धक एकल ट्रांजिस्टर प्रवर्धक परिपथ द्वारा इतना प्रवर्धन नहीं हो पाता है कि उस सिगनल का पुनरोत्पादन करके उससे मूल सिगनल प्राप्त किया जा सके या उस सिगनल का यथार्थतापूर्वक मापन किया जा सके। अत: किसी प्रायोगिक सिगनल का काफी अधिक इच्छित प्रवर्धन करने के लिये हम एक से अधिक प्रवर्धकों को परस्पर युग्मित करते हैं। किसी सिगनल का इच्छित सीमा तक प्रवर्धन करने के लिये हम एक से अधिक प्रवर्धकों को एक-दूसरे से इस प्रकार जोड़ते हैं कि पहले प्रवर्धक के आऊटपुट को दूसरे प्रवर्धक के इनपुट के रूप में, दूसरे के आऊटपुट को तीसरे के इनपुट के रूप में फीड करते हैं। इस प्रकार पहले प्रवर्धक के प्रवर्धित सिगनल का दूसरा प्रवर्धक पुन: प्रवर्धन कर देता है तथा प्रवर्धन की यह प्रक्रिया उतनी ही बार होती है जितने प्रवर्धकों को परस्पर युग्मित किया जाता है। क्योंकि प्रवर्धकों के इस युग्मन में सिगनल का प्रवर्धन कई चरणों में होता है, अत: इस प्रबन्ध को बहुत चरण प्रवर्धक (Multistage Amplifier) कहते हैं। मल्टी स्टेज प्रवर्धक में प्राप्त कुल लाभ

$$A = A_1 \times A_2 \times \ldots\ldots A_n$$

किसी मल्टी स्टेज युग्मित प्रवर्धकों में प्रयुक्त युग्मन के अनुसार युग्मित प्रवर्धक निम्न प्रकार के होते हैं—

(1) प्रतिरोध संधारित्र युग्मित प्रवर्धक (Resistance Capacitance RC Coupled Amplifier)

(2) ट्रांसफॉर्मर युग्मित प्रवर्धक (Transformer Coupled Amplifier)

(3) प्रेरकत्वीय युग्मित प्रवर्धक (Inductance Coupled Amplifier)

(4) प्रत्यक्ष युग्मित प्रवर्धक (Direct Coupled Amplifier)

उपर्युक्त चारों के युग्मन में से ट्रॉंसड्यूसरों के आऊटपुट सिगनल के प्रवर्धन के लिये प्राय: प्रत्यक्ष युग्मित प्रवर्धक काम में लाये जाते हैं। इस प्रकार के बहुल चरण प्रवर्धक की एक स्टेज के आऊटपुट को बिना किसी वैद्युत नेटवर्क के सीधा दूसरी स्टेज के इनपुट के रूप में संचारित कर दिया जाता है।

इस प्रकार का युग्मन वहाँ प्रयुक्त किया जाता है, जहाँ लोड को सक्रिय सर्किट तत्त्व के आऊटपुट टर्मिनल से श्रेणी क्रम में जोड़ा जाता है। इस प्रकार की लोड युक्तियों के उदाहरण हैं—हैडफोन, लाऊडस्पीकर, डी०सी० मोटर, डी०सी० रिले, ट्रॉंजिस्टर का इनपुट सर्किट आदि।

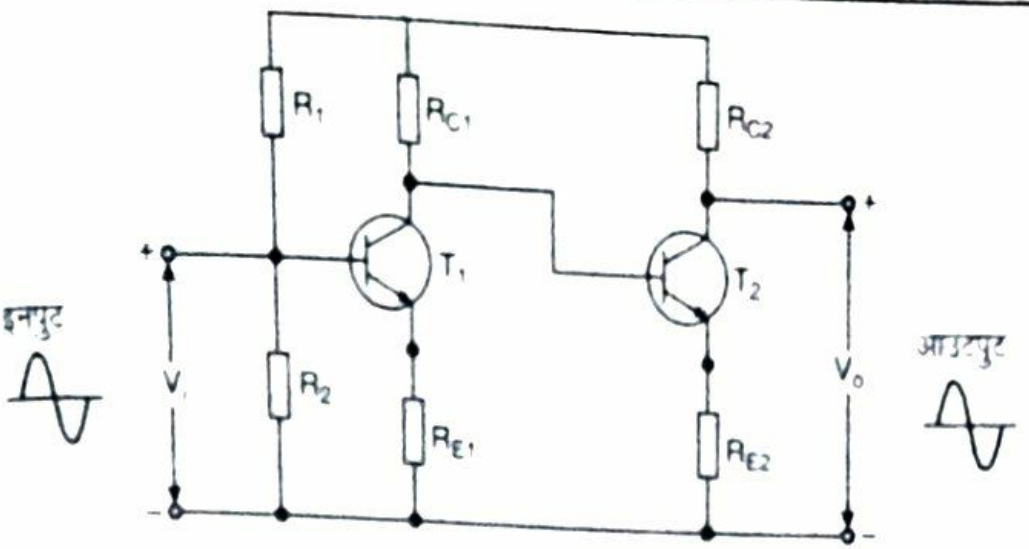
इस प्रकार प्रत्यक्ष युग्मित प्रवर्धक में एक स्टेज के आऊटपुट को बिना किसी युग्मन में युक्ति (संधारित्र या ट्रांसफॉर्मर) के सीधा एक तार द्वारा दूसरी स्टेज को फीड किया जाता है। इस प्रकार का युग्मन वहाँ प्रयुक्त किया जाता है, जहाँ सक्रिय सर्किट घटक के साथ लोड को सीधा आऊटपुट टर्मिनल के साथ जोड़ना उचित होता है।

प्रत्यक्ष युग्मित उभयनिष्ठ उत्सर्जक दो स्टेज ट्रॉंजिस्टर प्रवर्धक को चित्र 4.33 में प्रदर्शित किया गया है। इस चित्र के अनुसार दो ट्रॉंजिस्टरों T_1 व T_2 को जोड़ा जाता है। इस प्रवर्धक की दोनों स्टेजों T_1 व T_2 में दो एक समान ट्रॉंजिस्टरों को उभयनिष्ठ उत्सर्जक (CE) विधि से जोड़ा जाता है। दोनों स्टेजों में प्रत्यक्ष युग्मन है अर्थात् T_1 के आऊटपुट को सीधा (बिना किसी युग्मन सर्किट के) दूसरी स्टेज T_2 को तार द्वारा फीड कर दिया जाता है।

(i) इस कार्य के लिये इस युग्मन में T_1 के संग्राहक को T_2 के बेस से जोड़ा जाता है।

(ii) लोड प्रतिरोध R_{C2} को सीधा T_2 के संग्राहक से जोड़ा जाता है।

प्रतिरोध R_1 प्रथम स्टेज T_1 को प्रत्यक्ष अग्रिम बॉयस तथा T_2 को अप्रत्यक्ष अग्र बॉयस प्रदान करता है। T_1 के बेस पर लगाया गया कोई धारा सिगनल प्रथम स्टेज T_1 द्वारा β_1 गुना प्रवर्धित होकर T_1 के संग्राहक में प्राप्त है। प्रथम स्टेज से प्रवर्धित



चित्र 4.33

यही सिगनल दूसरी स्टेज T_2 के बेस पर लागू होता है जिससे वह पुन: β_2 गुना प्रवर्धित हो जाता है जहाँ β_1 व β_2 क्रमश: दोनो स्टेजो T_1 व T_2 के धारा प्रवर्धन लाभ है। स्पष्टत: प्रवर्धक का सिगनल धारा लाभ

$B_V = \beta_1 \times \beta_2 = \beta^2$ जबकि ट्रॉंजिस्टर बिल्कुल एक समान है।

प्रत्यक्ष युग्मित प्रवर्धक का वोल्टेज लाभ $A_V = A_{V(1)} \times A_{V(2)} = A_{V(2)}$

क्योंकि प्रथम स्टेज का वोल्टेज लाभ एक के बराबर है।

गुण (Merits)—प्रत्यक्ष युग्मित प्रवर्धक के निम्न गुण होते है—

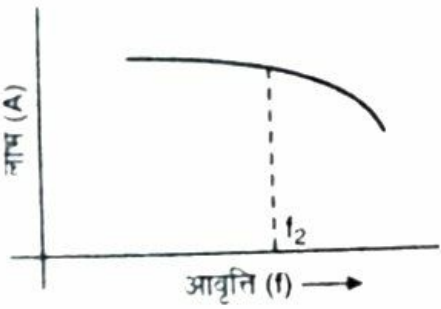
(1) इस प्रवर्धक को सर्किट प्रबन्ध बहुत सरल होता है क्योंकि इसमे प्रयुक्त घटको की संख्या न्यूनतम होती है।

(2) इसकी कीमत बहुत कम होती है।

(3) इस प्रवर्धक मे दिष्ट धारा के प्रवर्धक की बहुत उच्च क्षमता होती है। अत: इसे प्राय: डी०सी० प्रवर्धक की तरह प्रयोग मे लाया जाता है।

(4) निम्न आवृत्ति सिगनलो के प्रवर्धित करने के लिये यह विशेष रूप मे उपयुक्त होता है।

(5) क्योंकि प्रवर्धक मे कोई बाई पास धारित्र या युग्मन धारित्र प्रयोग मे नही लाया गया है अत: इसमे निम्न आवृत्तियो पर लाभ मे कोई ह्रास नही होता है। इस प्रवर्धक का आवृत्ति अनुक्रिया वक्र निम्न चित्र 4.34 मे दिखाया गया है। इस वक्र से स्पष्ट है कि प्रवर्धक का आवृत्ति अनुक्रिया वक्र अपर कट ऑफ आवृत्ति तक सरल रेखीय है। अपर कट ऑफ आवृत्ति लपेटो की धारिता तथा ट्रॉंजिस्टर की आन्तरिक धारिता पर निर्भर करती है।



चित्र 4.34

दोष (Demerits)—इस प्रवर्धक मे निम्न दोष होते है—

(1) इसे उच्च आवृत्ति सिगनलो के प्रवर्धन के लिये प्रयुक्त नही किया जा सकता है।

(2) ताप के बढ़ने पर यह अस्थिर हो सकता है अर्थात् ताप के साथ इसकी स्थिरता बहुत कम होती है।

इसका कारण यह है कि ताप परिवर्तन के कारण एक स्टेज की बेस धारा मे उत्पन्न कोई भी परिवर्तन अगली स्टेजो मे प्रवर्धित हो जाता है जिसमे Q बिन्दु शिफ्ट हो जाता है। प्रवर्धक की ताप के साथ स्थिरता को बनाये रखने के लिये उत्सर्जक प्रतिरोध का उपयोग करते है।

अनुप्रयोग (Applications)—प्रत्यक्ष युग्मित प्रवर्धको के प्रमुख अनुप्रयोग निम्न होते है—

(1) इलेक्ट्रॉनिक पावर सप्लाई के कन्ट्रोल सर्किट मे।

(2) निम्न आवृत्ति तथा निम्न आयाम के सिगनलो के प्रवर्धको मे जैसे हैड फोन, लाऊडस्पीकर, डी०सी० मोटर, डी०सी० रिले तथा ट्रॉंजिस्टर के इनपुट सर्किट मे।

(3) अवकलन (Differential) प्रवर्धको मे।

(4) कम्प्यूटर सर्किट मे।

(5) इलेक्ट्रॉनिक युक्तियो मे।