इकाई 8 संक्रियात्मक प्रवर्धकों के अनुप्रयोग

इकाई की रूपरेखा

8.1 प्रस्तावना
उद्देश्य
8.2 प्रतिलोमी प्रवर्धक
8.3 अप्रतिलोमी प्रवर्धक
8.4 प्रतिलोमी योजक
8.5 बुनियादी अवकलक
8.6 बुनियादी समाकलक
8.7 ऑप एम्प में पुनर्भरण
8.8 सारांश
8.9 अंत में कुछ प्रश्न
8.10 हल और उत्तर

8.1 प्रस्तावना

आदर्श ऑप एम्प के लिए खुला पाश लब्धि (open loop gain- A_{OL}) अनन्त होती है तथा एक व्यावहारिक ऑप एम्प 741C के लिए भी A_{OL} का मान 200,000 जितना ऊँचा होता है। लेकिन इतने ऊँचे A_{OL} का अधिकांश ऐसे अनुप्रयोगों में कोई लाभ नहीं होता जिनमें ऑप एम्प का इस्तेमाल होता है। खुला पाश लब्धि अचर भी नहीं होती। यह तापमान और विद्युत प्रदाय में परिवर्तन तथा निर्माण की तकनीकों के साथ बदलती है। इतनी विशाल लब्धि की वजह से छोटी सी निवेश वोल्टता के संगत निर्गम वोल्टता $+V_{SAT}$ या $-V_{SAT}$ से कर्तित (clip) हो जाती है। इसके अलावा निर्गम वोल्टता को संतृप्ति वोल्टता की सीमा के अन्दर रखने के लिए ज़रूरी हो जाता है कि निवेश वोल्टता चन्द माइक्रोवोल्ट के मान की हो। इतनी कम वोल्टता तो प्रयोगशाला में भी प्राप्त करना मुश्किल होता है। चूंकि रैखिक प्रवर्धकों में निर्गम वोल्टता निवेश वोल्टता के समानुपाती होती है, इसलिए खुला पाश संक्रियात्मक प्रवर्धकों का उपयोग नहीं किया जा सकता। अलबत्ता कम्पेरेटर (जिनकी चर्चा इकाई 7 में की जा चुकी है) तथा वर्ग तरंग जनित्र आदि में खुला पाश प्रवर्धकों का इस्तेमाल होता है।

ऑप एम्प को रैखिक प्रवर्धक तथा अधिकांश अन्य अनुप्रयोगों में इस्तेमाल करने के लिए कुछ बाह्य परिपथ डिज़ाइन करना अनिवार्य होता है। ऐसा परिपथ ऋणात्मक पुनर्भरण (negative feed back) की अवधारणा का उपयोग करके बनाया जाता है। इस अवधारणा की चर्चा हम भाग 8.7 में करेंगे। ऑप एम्प के अनुप्रयोग पर आधारित इस इकाई में, जब कि अन्यथा न बतायां जाए, हम ऑप एम्प 741C का ही इस्तेमाल करेंगे। निर्गम पिन को एक प्रतिरोधक के ज़रिए प्रतिलोमी पिन 2 से जोड़ा गया है। ऋणात्मक पुनर्भरण वाले ऐसे प्रवर्धक की लब्धि को संवृत पाश लब्धि (closed loop gain A_{CL}) कहते हैं। यह सिद्ध किया जा सकता है कि यह लब्धि ऑप एम्प की खुला पाश लब्धि A_{OL} पर निर्भर नहीं करती। यह केवल बाह्य परिपथ के गुणधर्मों पर निर्भर करती है।

उद्देश्य

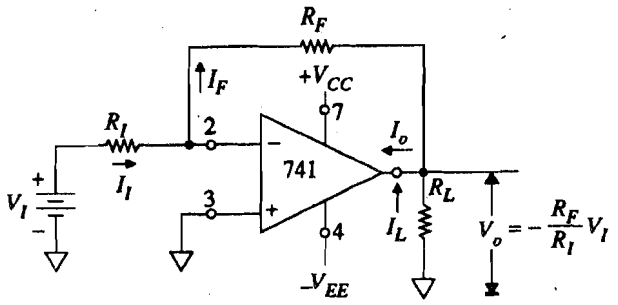
इस इकाई के अध्ययन के बाद आप

- प्रतिलोमी प्रवर्धक का परिपथ आरेख बना सकेंगे और इसकी संवृत पाश लब्धि A_{CL} ज्ञात कर सकेंगे,
- एक प्रतिलोमी प्रवर्धक का गुणक अथवा भाजक के रूप में उपयोग कर सकेंगे,

- एक दी हुई लब्धि वाला प्रतिलोमी प्रवर्धक डिज़ाइन कर सकेंगे,
- अप्रतिलोमी प्रवर्धक का परिपथ आरेख बनाकर उसकी संवृत पाश लब्धि ज्ञात कर सकेंगे,
- एक प्रतिलोमी योजक का परिपथ आरेख बना सकेंगे और इस परिपथ को एक चैनल प्रवर्धक के लिए इस्तेमाल कर सकेंगे,
- एक बुनियादी अवकलक का परिपथ आरेख बना सकेंगे और यह दिखा सकेंगे कि इस परिपथ का निर्गम, निवेश तरंग-रूप का अवकलज है,
- एक बुनियादी समाकलक का परिपथ आरेख बना सकेंगे और यह दिखा सकेंगे कि इस परिपथ का निर्गम, निवेश तरंग-रूप का समाकल है,
- प्रवर्धकों में पुनर्भरण की अवधारणा समझा सकेंगे।

8.2 प्रतिलोमी प्रवर्धक

चित्र 8.1 में दिए गए परिपथ पर गौर कीजिए। इस परिपथ में निर्गम पिन 6 को एक प्रतिरोधक R_F के जरिए प्रतिलोमी निवेश (inverting input) पिन 2 से जोड़ा गया है। पिन 2 को एक निवेश प्रतिरोधक R_I के ज़रिए निवेश वोल्टता दी जाती है। अप्रतिलोमी निवेश (noninverting input) पिन 3 को भौम से जोड़ दिया जाता है। निर्गम पिन 6 को भी एक प्रतिरोधक R_L के जरिए भौम से जोड़ दिया जाता है। इस परिपथ में दो व्यावहारिक किन्तु विवरण को बहुत आसान बना देने वाली मान्यताएं लागू की गई हैं। ये मान्यताएं इस प्रकार हैं: यदि निर्गम वोल्टता संतृप्ति के बिन्दु पर नहीं है तो अंतर निवेश (differential input) शून्य होगा। और प्रतिलोमी एवं अप्रतिलोमी निवेश पिनों से प्रवेश करने वाली धारा नगण्य होगी।



चित्र 8.1: प्रतिलोमी प्रवर्धक।

धनात्मक निवेश

एक प्रतिरोधक R_I के ज़रिए प्रतिलोमी (–) निवेश पिन 2 पर एक धनात्मक निवेश वोल्टता ($+ V_I$) लगाई जाती है और पुनर्भरण प्रतिरोध (feedback resistor) R_F, निर्गम से निवेश को ज़रूरी पुनर्भरण प्रदान कर देता है। ऊपर दी गई व्यावहारिक मान्यताओं के मुताबिक पिन 2 के ज़रिए ऑप एम्प में कोई धारा प्रवेश नहीं कर रही है। और चूंकि अप्रतिलोमी (+) निवेश पिन 3 भूसंपर्कित है, इसलिए पिन 2 भी भौम वोल्टता स्तर, यानि 0V पर है। अर्थात्, हालांकि पिन 2 को भूसंपर्कित नहीं किया गया है मगर यह भूसंपर्कित ही प्रतीत होती है। यह गौर तलब है कि किसी ऑप एम्प के तुल्य परिपथ (चित्र 7.9) में पिन 2 व 3 को एक अत्यंत उच्च प्रतिरोध (आदर्श रूप में अनन्त प्रतिरोध) के ज़रिए एक-दूसरे से जोड़ा गया है। लिहाज़ा हम कहते हैं कि पेन 2 यानी प्रतिलोमी निवेश, आभासी भौम (virtual ground) पर है।

चित्र 8.1 के परिपथ में R_I से बहने वाली धारा इसके सिरों के विभवान्तर पर निर्भर होती है। R_I का एक सिरा $+V_I$ से जुड़ा है और दूसरा सिरा 0V पर है। अतः R_I के दो सिरों के बीच वोल्टता पात (voltage drop) $+ V_I$ है। R_I के उच्च विभव वाले बिन्दु से निम्न विभव वाले बिन्दु (यानी पिन 2 जो 0V पर है) के बीच बहने वाली निवेश धारा I_I होगी

$$I_I = \frac{V_I}{R_I} \tag{8.1}$$

चूंकि धारा ऑप एम्प में प्रवेश नहीं करती, इसलिए I_I को R_F में बहना होगा। अतः R_F में से बहने वाली धारा I_F दरअसल I_I के बराबर है। यानी $I = I_I = I_F$ अर्थात् R_F के सिरों पर वोल्टता पात है

$$V_F = IR_F \tag{8.2}$$

समीकरण (8.1) से I_I का मान समीकरण (8.2) में रखने पर

$$V_F = \frac{V_I}{R_I} R_F \tag{8.3}$$

चूंकि पिन 2 आभासी भौम पर है, इसलिए R_I और R_F समान्तर क्रम में हैं अतः V_F का परिणाम V_O के बराबर है। परंतु V_F तो ऋणात्मक है, क्योंकि धारा पिन 2 (जो 0V पर है) से पिन 6 की ओर बहती है। अतः V_O, अर्थात् पिन 6 व भौम के बीच वोल्टता यह होगी :

$$V_O = -V_F$$

$$= -\frac{V_I}{R_I} R_F = -\frac{R_F}{R_I} V_I \quad \text{(समीकरण 8.3 के आधार पर)}$$

अतः प्रवर्धक की संवृत पाश लब्धि (closed loop gain) A_{CL} होगी,

$$A_{CL} = \frac{V_O}{V_I} = -\frac{R_F}{R_I} \tag{8.4}$$

अर्थात् A_{CL} सिर्फ़ R_F व R_I पर निर्भर करता है और संक्रियात्मक प्रवर्धक की खुला पाश लब्धि पर कतई निर्भर नहीं करता। चूंकि A_{CL} ऋणात्मक है, इसलिए प्रवर्धक के इस विन्यास को हम प्रतिलोमी प्रवर्धक (inverting amplifier) कहते हैं। R_F व R_I का चुनाव करना पूरी तरह से डिज़ाइनर के हाथ में होता है तथा किसी भी मान की लब्धि प्राप्त की जा सकती है। समस्त व्यावहारिक उपयोगों के लिए R_I का मान ज़्यादा, मसलन 10 kΩ रखा जाना चाहिए ताकि यह ऑप एम्प के निवेश प्रतिरोध का लघुपथन न कर सके।

निर्गम धारा I_O, R_F में से बहने वाली धारा I तथा लोड R_L में से बहने वाली धारा $I_L = V_O/R_L$ के योग के बराबर होती है। अर्थात्

$$I_O = I + I_L \tag{8.5}$$

ऑप एम्प आधारित प्रवर्धक को डिज़ाइन करते समय यह भी ध्यान में रखना चाहिए कि निर्गम पर कितनी धारा की आवश्यकता है। I का मान V_I और R_I से निर्धारित होता है, जो स्वयं डिज़ाइन की ज़रूरतों से निर्धारित होते हैं। अतः निर्गम धारा I_O का नियंत्रण R_L के उपयुक्त चयन द्वारा किया जाता है।

प्रतिलोमी प्रवर्धक परिपथ का उपयोग गुणा व भाग की संक्रियाओं के लिए किया जा सकता है। निर्गम वोल्टता, निवेश वोल्टता की R_F/R_I गुणा होती है। यदि निवेश वोल्टता किसी संख्या की द्योतक हो तो निर्गम वोल्टता उस संख्या की R_F/R_I गुनी होगी। R_F/R_I अनुपात उपयोगकर्त्ता के नियंत्रण में होता है अतः इसका मान कुछ भी रखा जा सकता है। R_I को R_F से ज़्यादा रखने पर प्रतिलोमी प्रवर्धक का उपयोग भाग की संक्रिया के लिए किया जा सकता है।

उदाहरण 8.1

ऑप एम्प 741C का इस्तेमाल करके तथा V_I का मान 1V रखते हुए एक प्रवर्धक डिज़ाइन कीजिए

हल

$R_I = 10\,\text{k}\Omega$ का चुनाव कीजिए।

$A_{OL} = -8$ है, तो $R_F = -8\,R_I = 80\,\text{k}\Omega$

समीकरण (8.1) के आधार पर

$$I = \frac{V_I}{R_I} = \frac{1\,\text{V}}{10\,\text{k}\Omega} = 0.1\,\text{mA}$$

समीकरण (8.5) से

$$I_L = I_O - I = 0.9\,\text{mA} - 0.1\,\text{mA} = 0.8\,\text{mA}$$

$$V_O = 1\,\text{V} \times (-8) = -8\,\text{V}$$

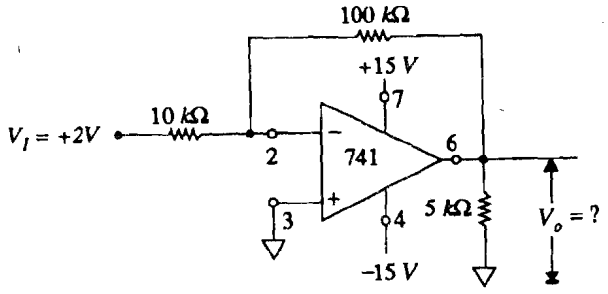
$$I_L = \frac{V_O}{R_L}$$

या $$R_L = \frac{V_O}{I_L} = \frac{8\,\text{V}}{0.8\,\text{mA}} = 10\,\text{k}\Omega$$

अर्थात् अभीष्ट डिज़ाइन के लिए $R_I = 10\,\text{k}\Omega$, $R_F = 80\,\text{k}\Omega$ और $R_L = 10\,\text{k}\Omega$ । ऑप एम्प के लिए डी.सी. बायस अपेक्षित निर्गम से कहीं ज़्यादा होना चाहिए। इस उदाहरण में $V_0 = -8\,\text{V}$ है। इसलिए $\pm 9\text{V}$ की विद्युत प्रदाय उपयुक्त नहीं होगी क्योंकि -8V लगभग $-V_{SAT}$ के बराबर होगा। लिहाज़ा विद्युत प्रदाय के लिए और अधिक मान, मसलन $\pm 10\,\text{V}$ चुना जाएगा।

बोध प्रश्न 1

नीचे दिए गए परिपथ में निर्गम वोल्टता कितनी होगी?



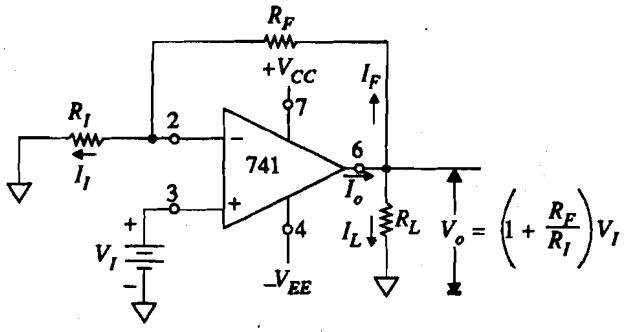
चित्रः बोध प्रश्न 1

8.3 अप्रतिलोमी प्रवर्धक

चित्र 8.2 में दिया गया परिपथ एक अप्रतिलोमी प्रवर्धक (non inverting amplifier) का परिपथ है। इस परिपथ में भी R_I व R_F को उसी तरह जोड़ा जाता है, जैसा कि प्रतिलोमी प्रवर्धक में जोड़ा गया था। लेकिन इसमें चित्रानुसार R_I को भूसंपर्कित कर दिया जाता है और निवेश वोल्टता V_I अप्रतिलोमी (+) निवेश पिन 3 पर दी जाती है।

भाग 8.2 में बताए गए कारणों की बदौलत प्रतिलोमी निवेश पिन 2 उसी वोल्टता पर होता है जिस पर अप्रतिलोमी निवेश पिन 3 है। यानी पिन 2 + V_I पर है जिसके कारण R_I में से धारा I_I प्रवाहित होती है। R_I के सिरों पर विभव पात V_I है। अतः

$$I_I = \frac{V_I}{R_I} \qquad (8.6)$$



चित्र 8.2: अप्रतिलोमी प्रवर्धक।

ज़ाहिर है कि I_I पिन 2 से भौम में प्रवाहित होती है। उन्हीं कारणों से R_F में से बहने वाली धारा I_F, I_I के बराबर होनी चाहिए यानी $I = I_F = I_I$ अर्थात् धारा I निर्गम टर्मिनल पिन 6 से पिन 2 से होती हुई भौम तक बहती है। अतः निर्गम पिन 6, पिन 2 की तुलना में उच्चतर विभव पर है। चूंकि अब लोड प्रतिरोध R_L, R_I व R_F के श्रेणी क्रम के साथ समान्तर क्रम में है, इसलिए निर्गम वोल्टता, R_I व R_F के सिरों पर वोल्टता के योग के बराबर होती है। यानी

$$V_0 = V_I + IR_F$$

$$= V_I + \frac{V_I}{R_I} R_F \quad \text{(समीकरण (8.6) के आधार पर)}$$

$$= V_I \left\{ 1 + \frac{R_F}{R_I} \right\}$$

यानी प्रवर्धक की संवृत पाश लब्धि (closed loop gain) होगी

$$A_{CL} = \frac{V_0}{V_I} = \left\{ 1 + \frac{R_F}{R_I} \right\} \tag{8.7}$$

ध्यान दें कि A_{CL} का चिह्न वही है, जो निवेश वोल्टता का है अर्थात् यह धनात्मक है। इस वजह से इस प्रवर्धक को हम अप्रतिलोमी प्रवर्धक कहते हैं। इस बात पर भी ध्यान दें कि इस मामले में भी लब्धि R_F और R_I पर निर्भर है, न कि संक्रियात्मक प्रवर्धक के मापदण्डों पर । अलबत्ता लब्धि सदैव एक से ज़्यादा होती है। R_F / R_I के अनुपात को कम से कम करके लब्धि को एक के नज़दीक लाया जा सकता है परंतु इसे एक से कम कदापि नहीं किया जा सकता। चूंकि पिन 6 भौम से ऊँचे विभव पर है, इसलिए लोड धारा I_L पिन 6 से लोड प्रतिरोध R_L से होकर भौम में बहती है।

उदाहरण 8.2

ऑप एम्प 741C का उपयोग करके और V_I को 2.2V रखते हुए प्रवर्धक डिज़ाइन कीजिए जिसकी लब्धि +10 हो और जिसके लिए $I_O = 0.1$ mA हो।

हल

$R = 10\,\text{k}\Omega$ लीजिए।

दिया गया है कि $A_{CL} = +10 = 1 + (R_F / R_I)$

यानी $R_F / R_I = 10 - 1 = 9$

यानी $R_F = 9R_I = 90\,\text{k}\Omega$

$I = V_I / R_I = 0.2\,\text{V} / 10\,\text{k}\Omega = 0.02\,\text{mA}$

$V_0 = +10\,V_I = 10 \times 0.2\text{V} = 2\text{V}$

हम जानते हैं कि $I_0 = I + I_L$, अतः

$$I_0 = 0.02 + V_0 / R_L = 0.1 \text{ mA}$$

यानी $V_0 / R_L = (0.1 - 0.02) \text{ mA} = 0.08 \text{ mA}$

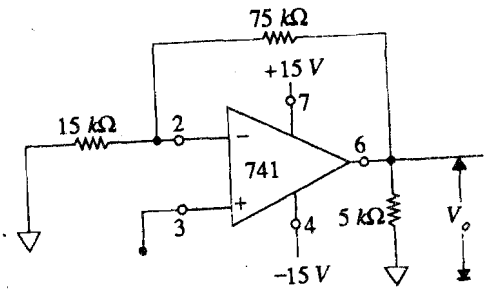
यानी $R_L = 2\text{V} / 0.08 \text{ mA} = 25 \text{ k}\Omega$

अतः अभीष्ट डिज़ाइन के लिए $R_I = 10 \text{ k}\Omega, R_F = 90 \text{ k}\Omega$

और $R = 25 \text{ k}\Omega$.

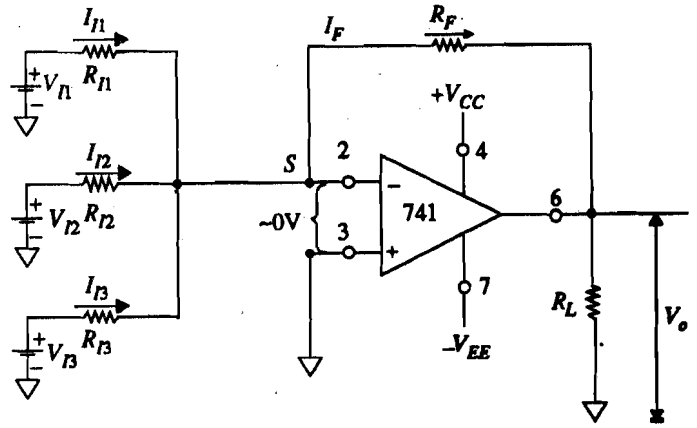
बोध प्रश्न 2

नीचे दिए चित्र में दिखाए गए प्रवर्धक की लब्धि क्या होगी?



8.4 प्रतिलोमी योजक

ऑप एम्प के प्रतिलोमी प्रवर्धक विन्यास का कई अनुप्रयोगों में इस्तेमाल होता है। जैसा कि हमने भाग 8.2 में बताया था, प्रतिलोमी प्रवर्धक का उपयोग गुणा व भाग के लिए किया जा सकता है। चित्र 8.1 के परिपथ में R_I के ज़रिए मात्र एक निवेश है। निवेशों की संख्या जितनी चाहे बढ़ाई जा सकती है। उदाहरण के लिए, चित्र 8.3 में दिया गया परिपथ देखिए। इसमें निवेश प्रतिरोधकों के रूप में तीन प्रतिरोधक पिन 2 से जुड़े हैं और इन सभी के लिए एक साझा R_F है। चूंकि पिन 3 भूसंपर्कित है, इसलिए पिन 2, 0V पर है।



चित्र 8.3: प्रतिलोमी योजक।

R_F से बहने वाली धारा उन सभी धाराओं का योग है, जो पिन 2 के जुड़ाव बिन्दु S पर पहुँचती है। इन धाराओं का निर्धारण V_{I1} व R_{I1}, V_{I2} व R_{I2} और V_{I3} व R_{I3} द्वारा होता है। अतः

$$I_F = I_{I1} + I_{I2} + I_{I3}$$

$$= \frac{V_{I1}}{R_{I1}} + \frac{V_{I2}}{R_{I2}} + \frac{V_{I3}}{R_{I3}}$$

तो निर्गम वोल्टता होगी

$$V_O = I_F \cdot R_F$$

$$= -\left(\frac{V_{I1}}{R_{I1}} + \frac{V_{I2}}{R_{I2}} + \frac{V_{I3}}{V_{I3}} \right) R_F \qquad (8.8)$$

अब यदि सारे प्रतिरोधक एक ही मान के हों, यानी

$R = R_F = R_{I1} = R_{I2} = R_{I3}$ हो, तो

$$V_O = -(V_{I1} + V_{I2} + V_{I3}) \qquad (8.9)$$

अर्थात् इस परिपथ की निर्गम वोल्टता सारी निवेश वोल्टताओं के योग के बराबर होती है। इस परिपथ को प्रतिलोमी योजक (inverting adder) कहते हैं। ऋण चिह्न से पता चलता है कि निवेश व निर्गम के बीच 180° का कलांतर होता है।

यदि सारे R_I बराबर मान के लिए जाएं और R_F भिन्न मान का हो, तो निर्गम वोल्टता होगी

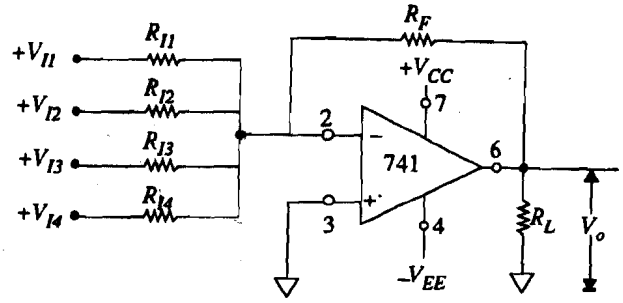
$$V_0 = -\left(V_{I1} + V_{I2} + V_{I3}\right)\frac{R_F}{R_I} \qquad (8.10)$$

इस समीकरण से पता चलता है कि निवेश के योग में गुणक R_F/R_I की गुणा होती है। यह गुणक उपयोगकर्त्ता के नियंत्रण में होता है। इस समीकरण में यदि R_F/R_I को 1/3 के बराबर कर दें तो परिणामस्वरूप जो प्रवर्धक बनता है, वह औसतकारी प्रवर्धक (averaging amplifier) कहलाता है।

चित्र 8.3 के परिपथ के कई अनुप्रयोग हैं। उपरोक्त अनुप्रयोगों के अलावा, यदि R_I के विभिन्न मानों वाला परिपथ बनाया जाए तो निर्गम वोल्टता प्रत्येक निवेश वोल्टता के संगत निर्गम वोल्टताओं के योग के बराबर होती है। इस तरह के परिपथ का अंकीय-अनुरूप परिवर्तक (digital to analog converter) के रूप में भी उपयोग किया जा सकता है। एक विकल्प यह भी हो सकता है सारे निवेशों का इस्तेमाल न किया जाए। एक समय पर एक ही निवेश का इस्तेमाल किया जा सकता है। उस स्थिति में इस परिपथ का उपयोग विभिन्न R_I द्वारा निर्धारित विभिन्न लब्धियों को प्राप्त करने हेतु किया जा रहा होता है। ऐसे परिपथ को एक चैनल प्रवर्धक (channel amplifier) के रूप में प्रयुक्त किया जा सकता है।

उदाहरण 8.3

एक ऑप एम्प 741C का उपयोग करके –20, –15, –10 और –5 लब्धियों वाला एक 4-चैनल प्रतिलोमी प्रवर्धक डिज़ाइन कीजिए।



चित्र 8.4: चार निवेशों वाला प्रतिलोमी प्रवर्धक।

हल

चित्र 8.4 के अनुसार एक 4-चैनल प्रतिलोमी प्रवर्धक बनाइए। चार निवेशों के लिए समीकरण (8.8) को निम्नानुसार लिखा जा सकता है

$$V_O = \left(\frac{V_{I1}}{R_{I1}} + \frac{V_{I2}}{R_{I2}} + \frac{V_{I3}}{R_{I3}} + \frac{V_{I4}}{R_{I4}} \right) R_F$$

$$= -\left(V_{I1} \frac{R_F}{R_{I1}} + V_{I2} \frac{R_F}{R_{I2}} + V_{I3} \frac{R_F}{R_{I3}} + V_{I4} \frac{R_F}{R_{I4}} \right) \qquad (8.11)$$

ज़ाहिर है कि निवेश प्रतिरोध को बदलकर प्रत्येक चैनल की लब्धि को स्वतंत्र रूप से बदला जा सकता है। हमें पता है कि

$$A_{CL1} = \frac{R_F}{R_{I1}}, \; A_{CL2} = \frac{R_F}{R_{I2}}, A_{CL3} = \frac{R_F}{R_{I3}}, A_{CL4} = \frac{R_F}{R_{I4}}$$

सर्वोच्च लब्धि (–20) वाले चैनल के लिए R_I का मान 10 kΩ ले लीजिए। R_F का मान निम्नानुसार पता कीजिए:

$$A_{CL1} = -20 = \frac{R_F}{R_{I1}} = \frac{R_F}{10\,\text{k}\Omega}$$

तो $R_F = 20 \times 10 = 200\,\text{k}\Omega$। इस प्रकार से प्राप्त R_F के मान के आधार पर अन्य चैनलों के R_I मान ज्ञात कीजिए।

चैनल 2 के लिए, $A_{CL2} = -15 = 200/R_{I2}$

यानी $R_{I2} = 200/15 = 13.33\,\text{k}\Omega$

चैनल 3 के लिए, $A_{CL3} = -10 = 200/R_{I3}$

यानी $R_{I3} = 200/10 = 20\,\text{k}\Omega$

चैनल 4 के लिए, $A_{CL4} = -5 = 200/R_{I4}$

यानी $R_{I4} = 200/5 = 40\,\text{k}\Omega$

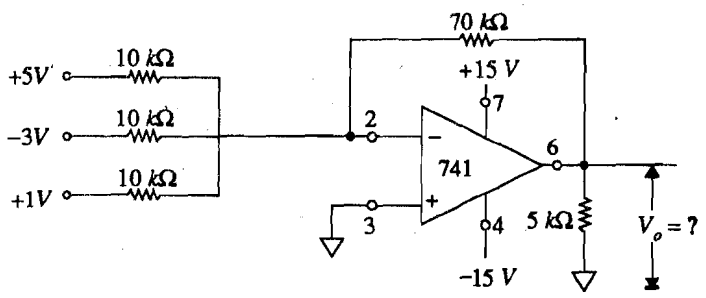
इस डिज़ाइन को सार रूप में इस तरह लिखा जा सकता है:

$R_F = 200\,\text{k}\Omega$

चैनल	A_{CL}	R_I
1	–20	10 kΩ
2	–15	13.33 kΩ
3	–10	20 kΩ
4	–5	40 kΩ

बोध प्रश्न 3

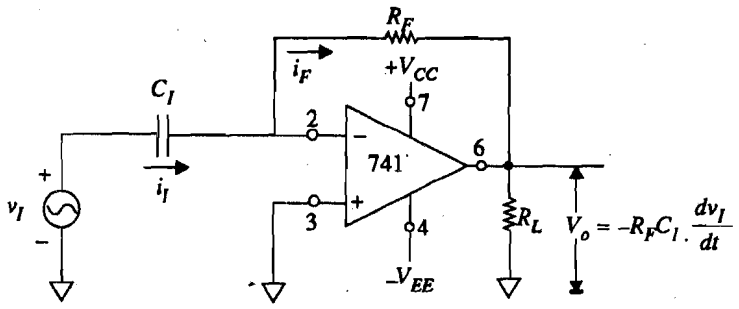
नीचे दिये गए परिपथ का निर्गम क्या होगा?



चित्र

8.5 बुनियादी अवकलक

चित्र 8.5 में बुनियादी अवकलक (basic differentiater) का परिपथ दर्शाया गया है, जो अवकलन की गणितीय क्रिया सम्पादित करता है। निर्गम तरंग-रूप, निवेश तरंग-रूप का अवकलज होता है। अवकलक परिपथ प्राप्त करने के लिए प्रतिलोमी प्रवर्धक के R_I की जगह एक संधारित्र लगा देते हैं। शेष परिपथ वही रहता है। प्रतिलोमी प्रवर्धक के संदर्भ में बताए गए कारणों से ही संधारित्र



चित्र 8.5: बुनियादी अवकलक।

में से बहने वाली धारा i_C, प्रतिरोधक R_F में से बहने वाली धारा i_F के बराबर होती है। अर्थात्

$$i_c = i_F$$

धारा i_F, जनित्र से पिन 2 तक बहती है और वहाँ से R_F में बहती है। चूंकि पिन 2, 0V पर है, C के आरपार वोल्टता पात V_I है और R_F के आर पार वोल्टता पात $-V_0$ है। अब याद करें कि संधारित्र C में से बहने वाली धारा, संधारित्र के आरपार वोल्टता परिवर्तन की C गुना होती है। अतः

$$i_c = C_I \frac{dV_I}{dt}$$

और $$i_F = -\frac{V_O}{R_F}$$

अतः हमें निम्नलिखित संबंध प्राप्त होता है

$$C_I \frac{dV_I}{dt} = -\frac{V_O}{R_F}$$

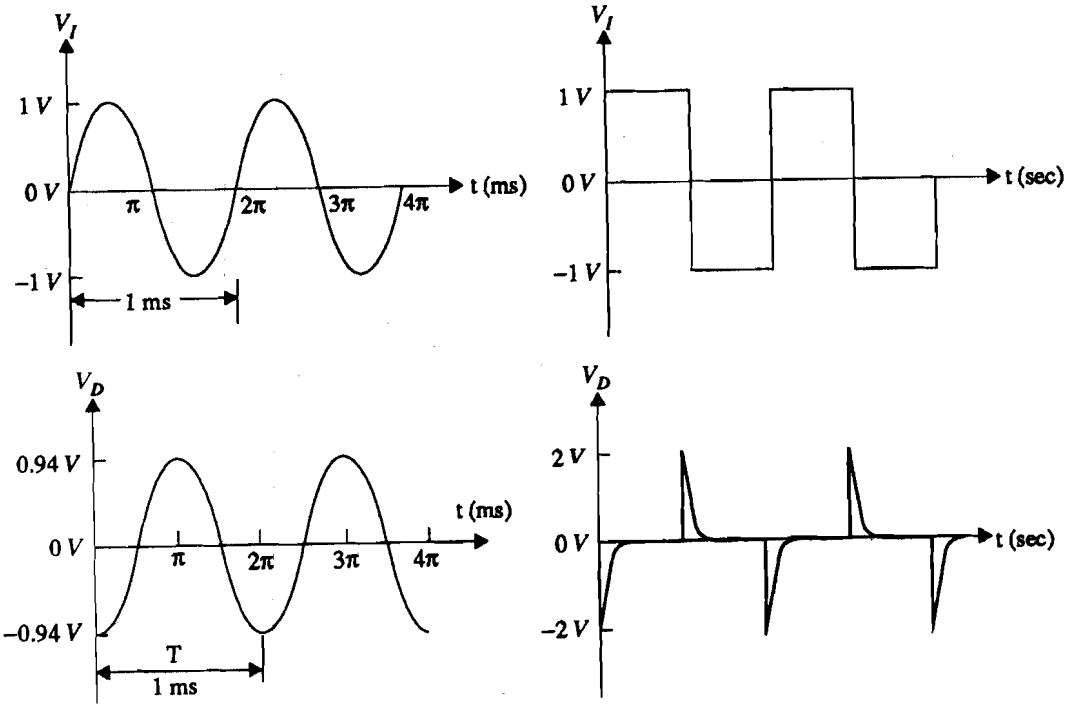
इसे पुनः व्यवस्थित करने पर

$$V_0 = -R_F C_I \frac{dV_I}{dt}$$

यदि $R_F C_I = 1$ हो, तो

$$V_O = -\frac{dV_I}{dt} \qquad (8.12)$$

लिहाज़ा निर्गम वोल्टता, निवेश वोल्टता V_I की ऋणात्मक अवकलज होती है। यदि निवेश तरंग-रूप एक ज्या तरंग हो, तो निर्गम तरंग रूप एक कोज्या तरंग होगी। और यदि निवेश तरंग एक वर्ग तरंग हो, तो निर्गम तरंग एक स्पाइक (spike) तरंग रूप होगी, जैसा कि चित्र 8.6 में दिखाया गया है।

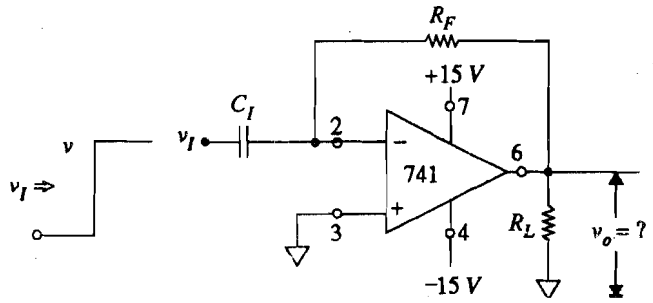


(क) (ख)

चित्र 8.6: बुनियादी अवकलक का निर्गम जब निवेश (क) एक ज्या तरंग हो, (ख) एक वर्ग तरंग हो।

बोध प्रश्न 4

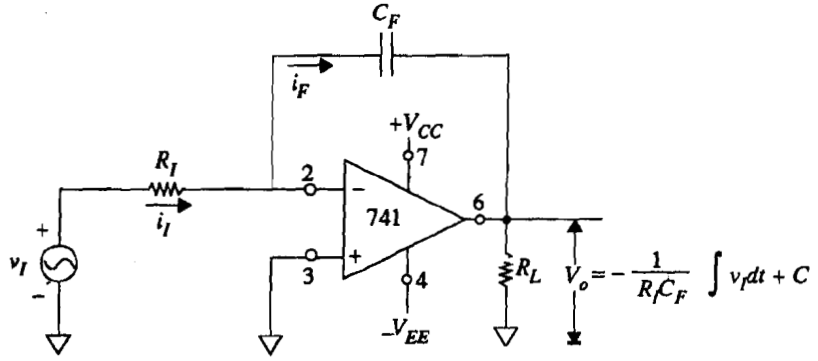
नीचे बताए गए बुनियादी अवकलक का निर्गम तरंग रूप पता कीजिए।



8.6 बुनियादी समाकलक

चित्र 8.7 में एक बुनियादी समाकलक (basic integrator) का परिपथ दिखाया गया है, जो समाकलन की गणितीय संक्रिया को अंजाम देता है। निर्गम तरंग रूप V_O निवेश तरंग रूप V_I का समाकल होता है। समाकलक परिपथ प्राप्त करने के लिए प्रतिलोमी प्रवर्धक के परिपथ में प्रतिरोधक R_F के स्थान पर संधारित C_F लगाना होता है। शेष परिपथ वही रहता है। प्रतिलोमी प्रवर्धक के संदर्भ में बताए जा चुके कारणों की वजह से प्रतिरोधक R_I में से बहने वाली धारा i_I संधारित C_F में से बहने वाली धारा i_F के बराबर होगी। अर्थात्

$$i_I = i_F$$



चित्र 8.7: बुनियादी समाकलक।

धारा i_I जनरेटर में से पिन 2 तक और वहाँ से संधारित्र C_F में से बहती है। चूंकि पिन 2, 0V पर है, R_I के आरपार वोल्टता पात V_I है और C_F के आरपार $-V_O$ है। अतः

$$i_I = \frac{V_I}{R_I}$$

और $$i_F = C_F \frac{d(-V_O)}{dt}$$

तो $$\frac{V_I}{R_I} = C_F \frac{d(-V_O)}{dt}$$

या $$\int \frac{V_I}{R_I} dt = \int C_F \frac{d}{dt}(-V_O)\, dt$$

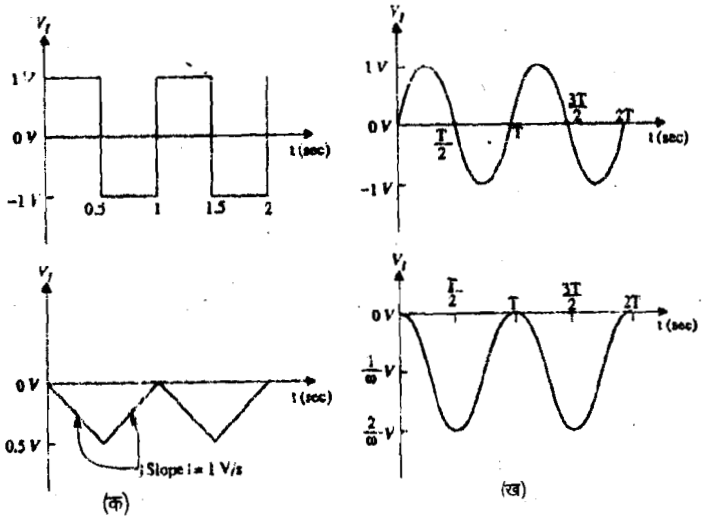
$$= C_F(-V_O) + \text{ समाकलन स्थिरांक}$$

या $$V_0 = \frac{1}{R_I C_F}\int V_I\, dt + \text{ समाकलन स्थिरांक} \qquad (8.13)$$

समाकलन स्थिरांक समय $t = 0$ पर V_O के मान के बराबर होता है। समीकरण (8.13) से पता चलता है कि निर्गम, निवेश वोल्टता तरंग-रूप के समाकल के समानुपाती होता है। यदि गुणनफल $R_I C_F$ को 1 कर दिया जाए और समाकलन स्थिरांक 0 हो, तो

$$V_O = -\int V_I\, dt \qquad (8.14)$$

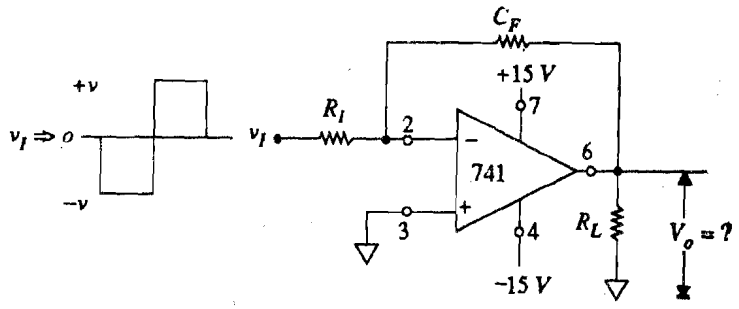
यदि निवेश तरंग-रूप ज्या तरंग हो, तो निर्गम तरंग एक कोज्या तरंग होगी। और यदि निवेश तरंग, एक वर्ग तरंग हो, तो निर्गम तरंग एक त्रिकोण तरंग (triangular wave) होगी, जैसा कि चित्र 8.8 में दिखाया गया है।



(क) (ख)

बोध प्रश्न 5

नीचे दिए गए बुनियादी समाकलक के लिए निर्गम तरंग रूप बनाइए।

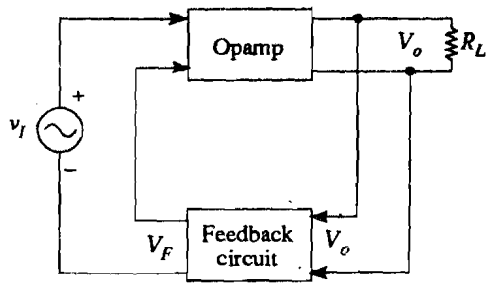


8.7 ऑप एम्प में पुनर्भरण

इस इकाई की शुरूआत में हमने दो सुविधाजनक मान्यताएं दी थीं जिनके परिणामस्वरूप यह मान लिया गया था कि पिन 2 में कोई धारा प्रविष्ट नहीं होती और R_I में से बहने वाली धारा, R_F में से बहने वाली धारा के बराबर होगी। यह भी माना गया था कि पिन 2 व 3 समान विभव पर हैं। इन मान्यताओं की बदौलत हमारी गणनाएं काफ़ी आसान हो गई थीं। लेकिन वास्तविक स्थिति ऐसी नहीं होती। चाहे थोड़ी सी ही सही मगर कुछ धारा तो ऑप एम्प में प्रविष्ट होती है और इसकी वजह से निवेश के आर-पार कुछ वोल्टता पात होता ही है। हमने ऋणात्मक पुनर्भरण का (negative feedback) ज़िक्र ज़रूर किया था मगर इसका ब्यौरा नहीं दिया था। आइए, अब देखें कि क्या ऊपर वर्णित परिपथों के यथार्थपरक विश्लेषण से भी वही परिणाम प्राप्त होते हैं। ऊपर जिन संवृत पाश प्रवर्धकों की चर्चा की गई है, वे सारे ऋणात्मक पुनर्भरण प्रवर्धक थे।

पुनर्भरण से युक्त प्रवर्धक में दो बुनियादी परिपथ जाल (network) होते हैं। एक तो होता है प्रवर्धक और दूसरा होता है पुनर्भरण जाल जो निर्गम वोल्टता के एक अंश को वापिस निवेश तक पहुंचा देता है। जब पुनर्भरण वोल्टता, निवेश वोल्टता में जुड़ती है, तो इसे धनात्मक पुनर्भरण (positve feedback) कहते हैं। धनात्मक पुनर्भरण की वजह से लब्धि बढ़ती है। यदि पुनर्भरण वोल्टता ऐसी हो जो निवेश वोल्टता को घटा दे, तो ऐसे पुनर्भरण को ऋणात्मक पुनर्भरण कहते हैं। ऋणात्मक पुनर्भरण लब्धि को कम कर देता है। धनात्मक व ऋणात्मक पुनर्भरण के लाभ-हानि की चर्चा इस इकाई के दायरे से बाहर का विषय है। अतः इस पहलू की चर्चा यहाँ नहीं की जाएगी।

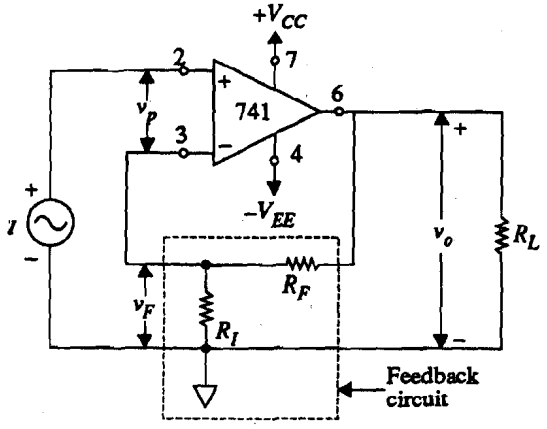
अब चित्र 8.9 के परिपथ पर ग़ौर कीजिए। निर्गम टर्मिनल को पुनर्भरण परिपथ जाल से जोड़ा गया है और पुनर्भरण परिपथ जाल को श्रेणी क्रम में निवेश वोल्टता स्रोत से जोड़ा गया है। अतः इस विन्यास में निवेश वोल्टता V_I, प्रतिलोमी निवेश पिन 3 को जाती है तथा पुनर्भरण वोल्टता V_F प्रतिलोमी निवेश पिन 2 को जाती है।



चित्र 8.9: ऑप एम्प में पुनर्भरण।

चित्र 8.2 में दिए गए अप्रतिलोमी परिपथ पर ग़ौर करें। यहाँ इसे चित्र 8.10 में फिर से बनाया गया है। इस परिपथ की तुलना चित्र 8.9 के परिपथ से करने पर हम देखते हैं कि R_I और

R_F मिलकर एक पुनर्भरण परिपथ जाल बनाते हैं। निर्गम वोल्टता V_o , R_I और R_F के श्रेणी क्रम के आर-पार प्राप्त होती है। R_I के आर-पार वोल्टता पात, पुनर्भरण वोल्टता V_F है और इसे प्रतिलोमी निवेश पिन 2 पर लगाया जाता है। निवेश वोल्टता V_I को अप्रतिलोमी निवेश पिन 3 पर लगाया जाता है।



चित्र 8.10: चित्र 8.2 का अप्रतिलोमी प्रवर्धक परिपथ, फिर से बनाया गया।

याद कीजिए कि संवृत पाश लब्धि A_{CL} को इस तरह परिभाषित किया जाता है

$$A_{CL} = \frac{V_0}{V_I}$$

चित्र 8.10 के परिपथ में निर्गम वोल्टता है,

$$V_O = A_{OL}(V_1 - V_2) \tag{8.15}$$

जहाँ V_1 निवेश वोल्टता V_I है और V_2 पुनर्भरण वोल्टता V_F है। अतः R_I व R_F के आर-पार पुनर्भरण परिपथ जाल से V_O को भाग देने पर

$$V_2 = V_F$$

$$= \frac{R_I V_0}{R_I + R_F} \tag{8.16}$$

V_1 व V_2 के मानों को समीकरण (8.15) में रखने पर

$$V_0 = A_{OL}\left(V_I - \frac{R_I V_0}{R_I + R_F} \right)$$

पुनर्व्यवस्थित करने पर

$$V_0 = \frac{A_{OL}(R_I + R_F) V_I}{R_I + R_F + A_{OL} R_I}$$

$$A_{CL} = \frac{V_0}{V_I} = \frac{A_{OL}(R_I + R_F)}{R_I + R_F + R_I A_{OL}}$$

चूंकि आदर्श रूप में A_{OL} का मान अनन्त होता है और 741C के मामले में इसका मान 200,000 यानी लगभग 10^5 है, इसलिए

$$A_{OL} R_I >> R_I + R_F$$

अतः

$$A_{CL} = \frac{A_{OL}(R_1 + R_F)}{A_{OL} R_1} = \frac{R_1 + R_F}{R_1}$$

$$A_{CL} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$$

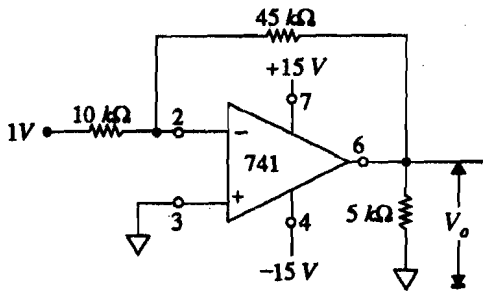
यानी अप्रतिलोमी प्रवर्धक के A_{CL} की समीकरण वही है, जो भाग 8.3 में समीकरण (8.7) के ज़रिए प्राप्त की गई थी। अर्थात् हमने शुरूआत में जो मान्यताएं ली थीं उनकी वजह से कोई गणितीय त्रुटि नहीं हुई है। बल्कि उन मान्यताओं की बदौलत हमें विभिन्न परिपथ जालों को आसानी से हल करने में मदद ही मिली है।

8.8 सारांश

- एक आदर्श ऑप एम्प की अनन्त खुला पाश लब्धि अधिकांश कार्यों के लिए किसी मतलब की नहीं होती और इसलिए प्रवर्धक की लब्धि को नियंत्रित करने हेतु बाह्य परिपथ का उपयोग किया जाता है।
- पिन 2 व पिन 6 को जोड़ने वाले पुनर्भरण प्रतिरोधक R_F के उपयोग से ऑप एम्प की पाश लब्धि को नियंत्रित किया जा सकता है।
- प्रतिलोमी प्रवर्धक की लब्धि पूरी तरह पुनर्भरण प्रतिरोधक R_F तथा निवेश प्रतिरोधक R_1 पर निर्भर होती है। इस लब्धि की समीकरण में ऋण चिह्न से पता चलता है कि निवेश वोल्टता व निर्गम वोल्टता के बीच 180° का कलांतर होता है। इस कारण से इसे प्रतिलोमी प्रवर्धक कहते हैं। इस स्थिति में निवेश वोल्टता पिन 2 पर दी जाती है।
- प्रतिलोमी प्रवर्धक का गुणक व भाजक के रूप में उपयोग किया जा सकता है।
- अप्रतिलोमी प्रवर्धक में निवेश व निर्गम वोल्टताओं के बीच कोई कलांतर नहीं होता है। निवेश पिन 3 पर लगाया जाता है। इस प्रवर्धक की संवृत पाश लब्धि सदैव 1 से ज़्यादा होती है।
- प्रतिलोमी प्रवर्धक में एक साझा पुनर्भरण प्रतिरोधक के साथ कई सारे निवेश हो सकते हैं। इस तरह के परिपथ का उपयोग एक योजक, औसतकारी तथा चैनल प्रवर्धक के रूप में हो सकता है।
- एक बुनियादी अवकलक में निवेश प्रतिरोधक की जगह एक संधारित्र लगाया जाता है। अवकलक का निर्गम तरंग-रूप निवेश तरंग का अवकलज होता है।
- एक बुनियादी समाकलक में पुनर्भरण प्रतिरोधक की जगह एक संधारित्र लगाया जाता है। समाकलक का निर्गम तरंग-रूप निवेश तरंग का समाकल होता है।
- ऑप एम्प की संवृत पाश लब्धि की गणना ऋणात्मक पुनर्भरण की धारणा के आधार पर भी की जा सकती है। इस तरह की गणना से पता चलता है कि पिन 2 व 3 के एक समान विभव पर होने संबंधी मान्यता एकदम सही नहीं होने के बावजूद, आसान तरीके से परिणाम प्राप्त करने में मददगार होती है।

8.9 अंत में कुछ प्रश्न

1. ऑप एम्प 741C का उपयोग करके एक प्रवर्धक डिज़ाइन कीजिए जिसकी लब्धि 0.5V के निवेश व 5 mA की निर्गम धारा के लिए –20 हो।
2. नीचे दिए गए परिपथ को पहचानिए तथा निर्गम धारा की मात्रा पता कीजिए। इस परिपथ में क्या बदलाव किए जाएं कि प्रवर्धक की लब्धि को बदले बगैर निर्गम धारा दोगुनी हो जाए?



चित्र

3. ऑप एम्प 741C का इस्तेमाल करके एक प्रवर्धक निवेश डिज़ाइन कीजिए जिसकी लब्धि + 19 हो। यदि 0.5 V की निवेश वोल्टता को प्रवर्धित करना है ताकि निर्गम धारा 5 mA हो, तो लोड प्रतिरोधक के मान की गणना कीजिए।

4. − 8 व − 17 लब्धियों वाला एक द्वि-चेनल प्रवर्धक डिज़ाइन कीजिए।

5. एक ऐसा अवकलक परिपथ बनाइए जिसका निर्गम, निवेश संकेत के अवकलज का दोगुना हो।

6. एक समाकलक परिपथ बनाइए जिसका निर्गम, निवेश संकेत के समाकल का पाँचवा हिस्सा हो।

8.10 हल और उत्तर

बोध प्रश्न

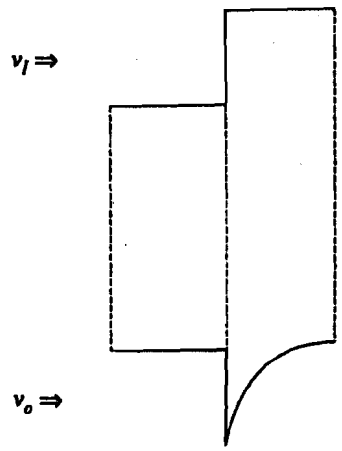
1. निर्गम वोल्टता $-V_{SAT}$ है। (ध्यान दें कि प्रवर्धक की लब्धि −10 है। +2V के निवेश के लिए निर्गम −20V होना चाहिए। लेकिन निर्गम $+V_{SAT}$ से ज़्यादा या $-V_{SAT}$ से कम नहीं हो सकता। अतः निर्गम $-V_{SAT}$ होगा जो कि लगभग −13V है।)

2. यह एक अप्रतिलोमी प्रवर्धक है तथा इसकी लब्धि $(1+R_F/R_I)$ है। यदि $R_F = 75\ \text{k}\Omega$ है और $R_I = 15\ \text{k}\Omega$ है, तो लब्धि 6 होगी।

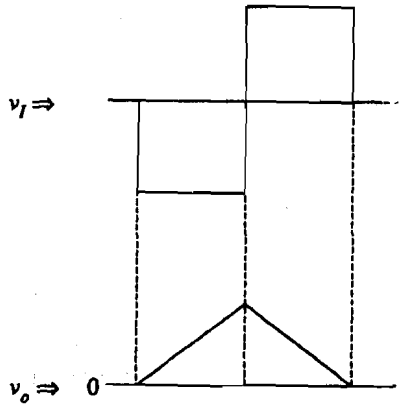
3. यह परिपथ प्रतिलोमी योजक का है। निर्गम वोल्टता है,

$$V_0 = -\frac{70\ \text{k}\Omega}{10\ \text{k}\Omega}(5-3+1)\ \text{V} = -7\times 3\text{V} = -21\text{V}$$

4. निर्गम तरंग-रूप निम्नानुसार होगा



5. निर्गम तरंग-रूप निम्नानुसार होगा



अंत में कुछ प्रश्न

1. $R_I = 10\ \text{k}\Omega$ मान लीजिए। तब $A_{CL} = -20$ के लिए, $R_F = -A_{CL} \cdot R_I = 200\ \text{k}\Omega$

   अब $I = 0.5\ \text{V}/10\ \text{k}\Omega = 0.05\ \text{mA}$

   $I_O = I + I_L$ या $5\ \text{mA} = 0.05\ \text{mA} + I_L$

   या $I_L = (5 - 0.05)\ \text{mA} = 4.95\ \text{mA}$

   अब $I_L = \text{V}_O/R_L = 10\ \text{V}/R_L = 4.95\ \text{mA}$

   या $R_L = 10\ \text{V}/4.95\ \text{mA} = 2.02\ \text{k}\Omega$

   अतः दी गई डिज़ाइन के लिए $R_I = 10\ \text{k}\Omega$, $R_F = 200\ \text{k}\Omega$ और $R_L = 2\ \text{k}\Omega$। इसके लिए $\pm 15\text{V}$ विद्युत प्रदाय का उपयोग कीजिए।

2. दिया गया परिपथ एक प्रतिलोमी प्रवर्धक है जिसकी लब्धि $= -4.5$ है। निर्गम वोल्टता $-4.5\ \text{V}$ है।

   अब $I_O = I + I_L = 1\text{V}/10\ \text{k}\Omega + 4.5\ \text{V}/5\ \text{k}\Omega$

   $= 0.1\ \text{mA} + 0.9\ \text{mA} = 1\ \text{mA}$

   प्रवर्धक की लब्धि बदले बगैर यदि निर्गम धारा को दोगुना करना है, तो $I_L = 1.9\ \text{mA}$ होना चाहिए। अतः $R_L = 4.5\ \text{V}/1.9\ \text{mA} = 2368\ \Omega$

   अतः R_L का मान $5\ \text{k}\Omega$ से घटाकर $2368\ \Omega$ करना होगा।

3. लब्धि +19 के साथ लगे धन चिह्न से पता चलता है कि यह एक अप्रतिलोमी प्रवर्धक है। हम जानते हैं कि इसकी लब्धि $(1 + R_F/R_I)$ होती है। अर्थात् R_F/R_I का मान 18 होना चाहिए। $R_I = 10\ \text{k}\Omega$ चुन लीजिए, तब $R_F = 180\ \text{k}\Omega$ होगा। निर्गम वोल्टता

   $V_O = 19 \times 0.5\text{V} = 9.5\text{V}$

   अब $I_O = I + I_L = 5\ \text{mA} = 0.5\text{V}/10\ \text{k}\Omega + I_L$

   या $I_L = (5 - 0.05)\ \text{mA} = 4.95\ \text{mA}$

   या $R_L = \text{V}_O/I_I = 9.5\ \text{V}/4.95\ \text{mA} = 1919\ \Omega$

   अर्थात् अभीष्ट डिज़ाइन इस तरह है: $R_I = 10\ \text{k}\Omega$, $R_F = 180\ \text{k}\Omega$ और $R_L = 1919\ \Omega$ या $\approx 2\ \text{k}\Omega$

4. यह दो निवेश वाला प्रतिलोमी योजक है। चैनल 1 के लिए $R_{I1} = 10\ \text{k}\Omega$ चुन लीजिए,

जिसकी लब्धि – 17 है। तब $R_F = 170\ \text{k}\Omega$ जो कि दोनों निवेशों के लिए समान होगा। चैनल 2 का R_{I2} पता करने के लिए हम जानते हैं कि $R_F/R_{I2} = -8$, यानी $R_{I2} = 170\ \text{k}\Omega/8 = 21.25\ \text{k}\Omega$ ।

अतः अभीष्ट डिज़ाइन है: $R_{I1} = 10\ \text{k}\Omega$, $R_{I2} = 21.25\ \text{k}\Omega$ या $\simeq 20\ \text{k}\Omega$, $R_F = 170\ \text{k}\Omega$ और $R_L = 5\ \text{k}\Omega$ ले लीजिए (क्योंकि धारा की भात्रा संबंधी कोई निर्देश नहीं दिया गया है)।

5. बुनियादी अवकल का निर्गम $V_O = -R_F C_I dV_I/dt$ होता है। दिया गया है कि $R_F C_I = 2$ होना चाहिए। $C_I = 1\ \mu\text{F}$ चुन लीजिए, तब $R_F = 2\ \text{M}\Omega$ होगा ताकि $R_F C_I = 2$ हो सके। अतः $C_I = 1\ \mu\text{F}$ तथा $R_F = 2\ \text{M}\Omega$ होने पर निर्गम, निवेश संकेत के अवकल का दोगुना होगा।

6. बुनियादी समाकलक का निर्गम $V_O = -\frac{1}{R_I C_F}\int V_I\, dt$ होता है। निर्गम को निवेश संकेत के समाकल का पांचवा हिस्सा होने के लिए $R_I C_F = 5$ होना चाहिए। अतः $C_F = 1\ \mu\text{F}$ ले लीजिए, तो $R_I = 5\ \text{M}\Omega$ होगा ताकि $R_I C_F = 5$ हो सके। अर्थात् $C_F = 1\mu\text{F}$ तथा $R_I = 5\ \text{M}\Omega$ होने पर बुनियादी समाकलक निर्गम, निवेश संकेत के समाकल का पांचवा हिस्सा होगा।