

## 2.15. स्पीड का मापन (Measurement of Speed)

स्पीड मापन के लिए टैकोमीटर का उपयोग किया जाता है। टैकोमीटर्स मैकेनिकल (mechanical) तथा इलेक्ट्रिकल दोनों प्रकार के होते हैं परन्तु इलेक्ट्रिकल टैकोमीटर्स अपेक्षाकृत अधिक प्रयुक्त किये जाते हैं क्योंकि ये टैकोमीटर इलेक्ट्रिकल ट्रांसड्यूसर्स के सभी लाभों को उपलब्ध कराते हैं।

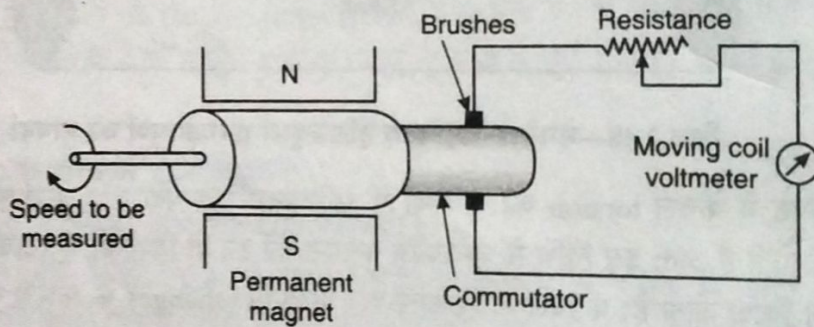
इलेक्ट्रोमैग्नेटिक टैकोमीटर्स को टैको जेनरेटर भी कहते हैं। ये दो प्रकार के होते हैं—

- डी०सी० टैकोमीटर जेनरेटर्स
- ए०सी० टैकोमीटर जेनरेटर्स

### (1) डी०सी० टैकोमीटर जेनरेटर द्वारा स्पीड मापन

#### (Measurement of speed by dc Techometer Generator)

चित्र 2.49 में एक डी०सी० टैकोमीटर जेनरेटर प्रदर्शित किया गया है। इसमें एक छोटे आकार (small) का आर्मेचर होता है। इसे उस मशीन के साथ कपल कर दिया जाता है जिसकी स्पीड ज्ञात करनी है। आर्मेचर एक स्थायी (permanent) चुम्बक के क्षेत्र में घूमता है। आर्मेचर में प्रेरित e.m.f. स्पीड तथा फ्लक्स के गुणनफल के समानुपाती होता है। चूँकि स्थायी चुम्बक का फ्लक्स नियत (constant) होता है अतः प्रेरित वोल्टेज स्पीड के समानुपाती होती है। आउटपुट वोल्टेज की ध्रुवता (polarity) रोटेशन की दिशा प्रदर्शित करती है। प्रेरित e.m.f. एक मूविंग क्वॉयल वोल्टमीटर द्वारा मापा जाता है। वोल्टमीटर का स्केल यूनिफॉर्म होता है तथा सीधे स्पीड में अंशांकित (calibrated) होता है।



चित्र 2.49—डी०सी० टैकोमीटर जेनरेटर।

आउटपुट साइड में किसी शॉर्ट सर्किट से सुरक्षा के लिए अर्थात् जेनरेटर धारा को सीमित करने के लिए एक श्रेणी प्रतिरोध प्रयुक्त किया जाता है।

**डी०सी० टैकोमीटर के लाभ—**डी०सी० टैकोमीटर के मुख्य लाभ निम्न हैं—

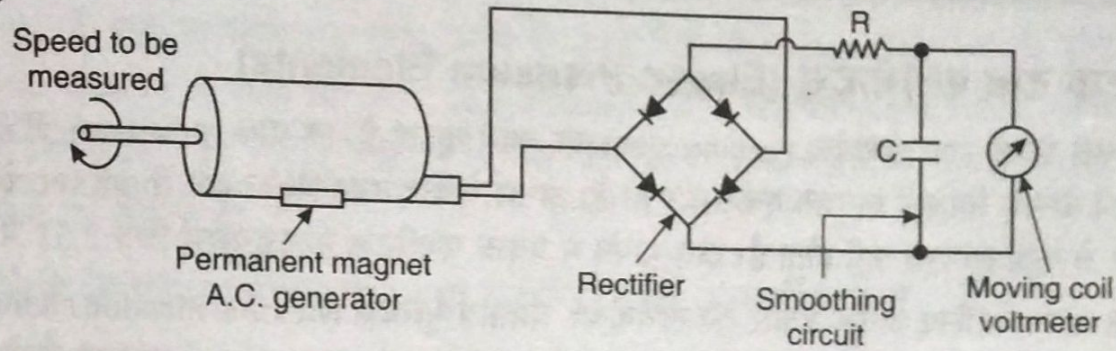
- मशीन के रोटेशन की दिशा सीधे आउटपुट वोल्टेज की ध्रुवता से ज्ञात की जा सकती है।
- आउटपुट वोल्टेज सामान्यतः 10m V/rpm होती है। इसे किसी भी सामान्य dc वोल्टमीटर द्वारा मापा जा सकता है।

**डी०सी० टैकोमीटर के दोष—**

(i) छोटे टैकोमीटर जेनरेटर्स में प्रयुक्त बुश सामान्यतः रख-रखाव की समस्या उत्पन्न करते हैं क्योंकि उनका स्पर्श प्रतिरोध (contact resistance) परिवर्तित हो सकता है जिससे पाट्यांक में त्रुटि हो सकती है। अतः टैकोमीटर के कम्यूटेटर तथा बुश को पीरियोडिक रख-रखाव की आवश्यकता है।

(ii) मीटर का इनपुट प्रतिरोध, जेनरेटर के आउटपुट प्रतिरोध की तुलना में उच्च होना चाहिए। यह इसलिए आवश्यक है जिससे आर्मेचर धारा का मान कम रहे। यदि आर्मेचर धारा उच्च होती है तब चुम्बक का क्षेत्र विकृत (distorted) होगा तथा मापन में अरेखीयता (non-linearity) उत्पन्न होगी।





चित्र 2.50—AC टैकोमीटर जेनेरेटर।

## (2) ए०सी० टैकोमीटर जेनेरेटर द्वारा स्पीड का मापन (Measurement of Speed by AC Tachometer)

ए०सी० टैकोमीटर में घूर्णीय (rotating) चुम्बक होता है। यह स्थायी (permanent) अथवा विद्युत-चुम्बक (electromagnet) हो सकता है। कुण्डली, स्टेटर में होती है। इसमें कम्यूटेटर नहीं होता है अतः इसमें dc टैकोमीटर के समान कम्यूटेटर के कारण होने वाली समस्या नहीं होती। चित्र 2.50 में ए०सी० टैकोमीटर जेनेरेटर प्रदर्शित किया गया है।

जब प्रेरित वोल्टेज के आयाम (amplitude) को स्पीड मापन के लिए प्रयुक्त किया जाता है तब चित्र 2.50 में प्रदर्शित परिपथ का उपयोग किया जा सकता है। AC टैकोमीटर जेनेरेटर की आउटपुट वोल्टेज रैक्टीफाई की जाती है तथा उसे स्थायी चुम्बक मूविंग क्वॉयल इन्सट्रूमेंट (PMMC) द्वारा मापा जाता है।

## AC टैकोमीटर की सीमाएँ (Limitations of AC Tachometer Generator)

1. कम (low) स्पीड पर आउटपुट वोल्टेज की फ्रीक्वेंसी कम (low) होती है अतः आउटपुट वोल्टेज की तरंग को सम (smooth) करना कठिन होता है। इसी कारण से ac टैको-जेनेरेटर में ध्रुवों (poles) की अधिक संख्या प्रयुक्त की जाती है जिससे कम गतियों पर भी आउटपुट वोल्टेज की फ्रीक्वेंसी उच्च रहे।

2. उच्च गतियों (high speeds) पर फ्रीक्वेंसी बढ़ती है अतः टैको-जेनेरेटर की कुण्डलियों की प्रतिबाधा गति बढ़ने पर बढ़ती है। उत्तम रेखीयता (good linearity) के लिए डिसप्ले डिवाइस की इनपुट प्रतिबाधा कुण्डलियों की प्रतिबाधा से अधिक होनी चाहिए। वर्तमान में उपलब्ध अनेक इलेक्ट्रिकल इन्सट्रूमेंट्स जैसे काउन्टर, आउटपुट वोल्टेज की फ्रीक्वेंसी द्वारा स्पीड का मापन करते हैं। इसका कारण यह है ताप, मीटर की प्रतिबाधा तथा सिस्टम की अन्य त्रुटियाँ जो वोल्टेज रीडिंग को प्रभावित करती हैं, उनका फ्रीक्वेंसी पर कोई प्रभाव नहीं होता है। अतः इलेक्ट्रॉनिक काउन्टर फ्रीक्वेंसी को स्पीड के मापन के लिए प्रयुक्त करते हैं।

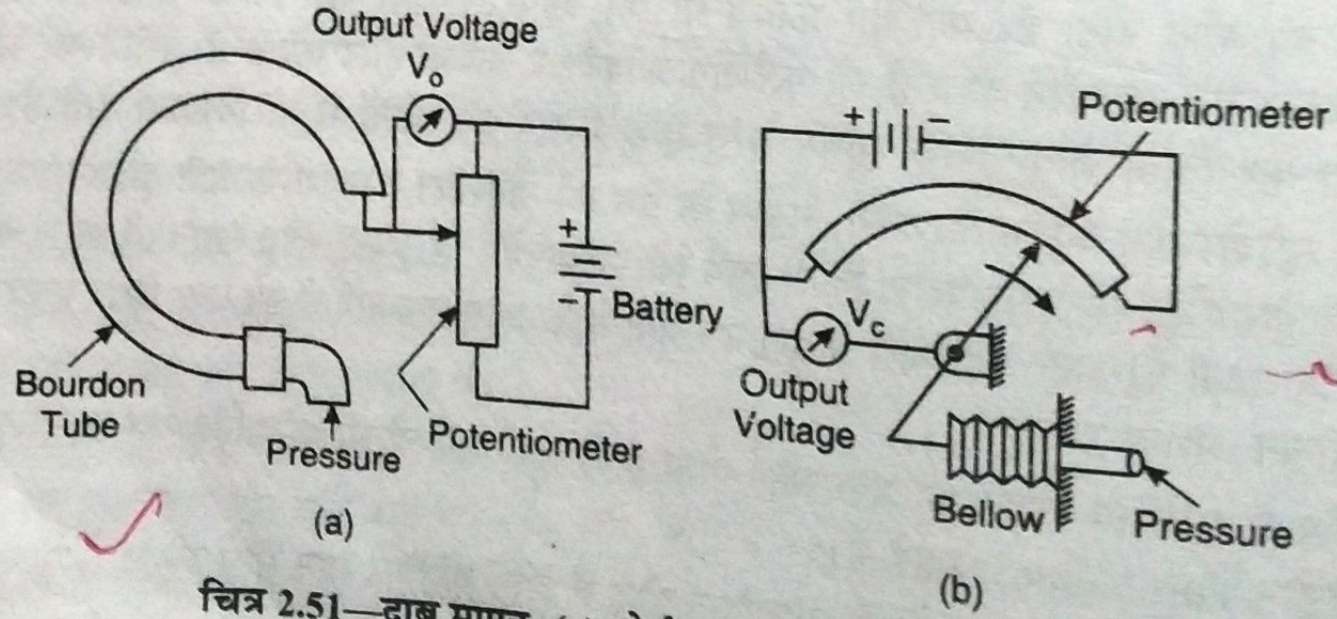


पोजीइलाक्ट्रिक एलामेन्ट्स आदि का विस्थापन ट्रांसड्यूसर का भात प्रयुक्त किया जा सकता है।

9/11

## 2.18. दाब मापन (Pressure Measurement)

पोटेन्शियोमीटर टाइप ट्रांसड्यूसर प्रयुक्त कर दाब मापन के लिए दो प्रकार के सैट-अप (set-up) चित्र 2.51 में प्रदर्शित किये गये हैं। चित्र 2.51 (a) में दाब में परिवर्तन से बोर्डन गेज की ट्यूब का डिफ्लैक्शन होता है। बोर्डन ट्यूब के साथ पोटेन्शियोमीटर का वाइपर यान्त्रिक रूप से (mechanically) संयोजित है। दाब परिवर्तित होने पर बोर्डन ट्यूब में हुए विस्थापन से वाइपर की पोटेन्शियोमीटर पर गति होती है जिससे आउटपुट वोल्टेज में संगत परिवर्तन होते हैं।



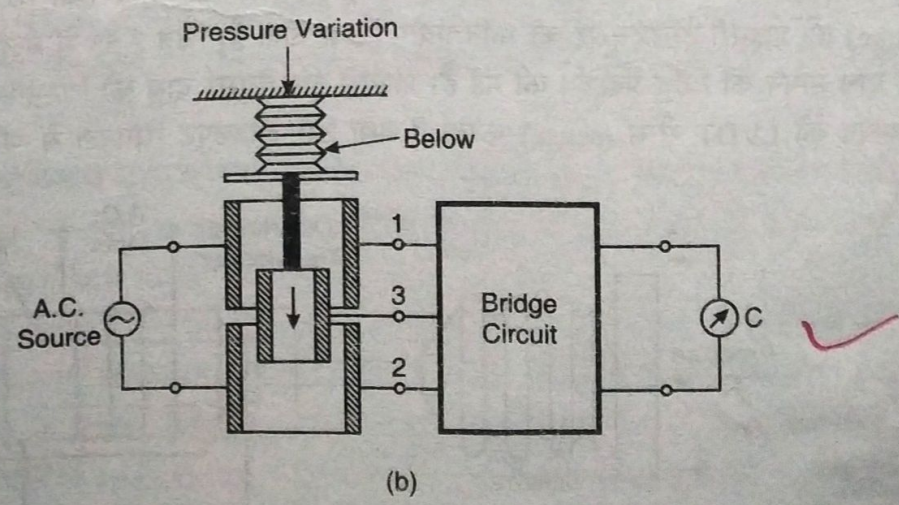
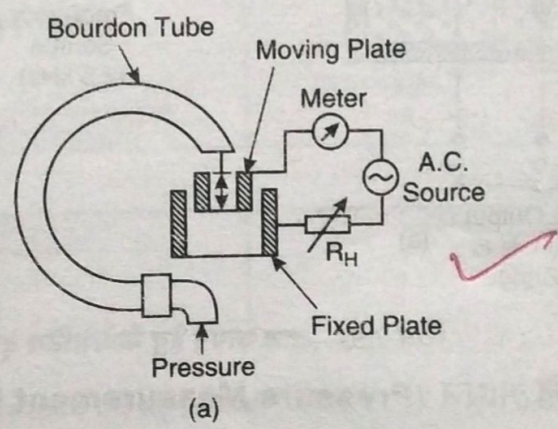
चित्र 2.51—दाब मापन—(a) बोर्डन ट्यूब द्वारा (b) बैलो द्वारा।



चित्र 2.51 (b) में दाब परिवर्तन को सैन्स करने के लिए बैलो (bellow) टाइप प्राइमरी ट्रांसड्यूसर प्रयुक्त किया गया है। बैलो में दाब परिवर्तन से बैलो का प्रसार (expansion) अथवा संकुचन (contraction) होता है जिससे बैलो के साथ संयोजित पोटैन्शियोमीटर का वाइपर गति करता है। इस प्रकार दाब परिवर्तन के समानुपाती आउटपुट वोल्टेज, वोल्टमीटर द्वारा मापी जा सकती है।

**दाब मापन के लिये कैपेसिटर ट्रांसड्यूसर या कैपेसिटर पर आधारित सैल**  
**(Capacitor Transducer for Pressure or Force Measurement—Capacitor based Pressure Cell)**

कैपेसिटर ट्रांसड्यूसर द्वारा दाब मापन के लिये बोर्डन ट्यूब अथवा बैलो (bellow) को प्राइमरी ट्रांसड्यूसर की भाँति प्रयुक्त किया जाता है। चित्र 2.52 (a) में बोर्डन ट्यूब के साथ कैपेसिटर की मूविंग प्लेट संयोजित है। जब दाब परिवर्तन के कारण बोर्डन ट्यूब में गति होती है तब उसके साथ मूविंग प्लेट भी स्थिर प्लेटों के अन्दर अथवा बाहर गति करती है जिससे कैपेसिटर की धारिता में परिवर्तन होता है। परिवर्तित धारिता के अनुसार ट्रांसड्यूसर के साथ संयोजित विद्युत परिपथ में धारा परिवर्तित होती है जिससे दाब परिवर्तन ज्ञात किया जा सकता है। इसी प्रकार चित्र 2.52 (b) में बैलो पर दाब परिवर्तन से धारिता में परिवर्तन होता है। धारिता में परिवर्तन के मापन हेतु AC स्रोत द्वारा प्रचालित एक ब्रिज परिपथ प्रयुक्त किया गया है। ब्रिज की आउटपुट, मीटर को सीधे दाब के पदों (terms) में अंशांकित (calibrate) कर दाब ज्ञात किया जा सकता है।



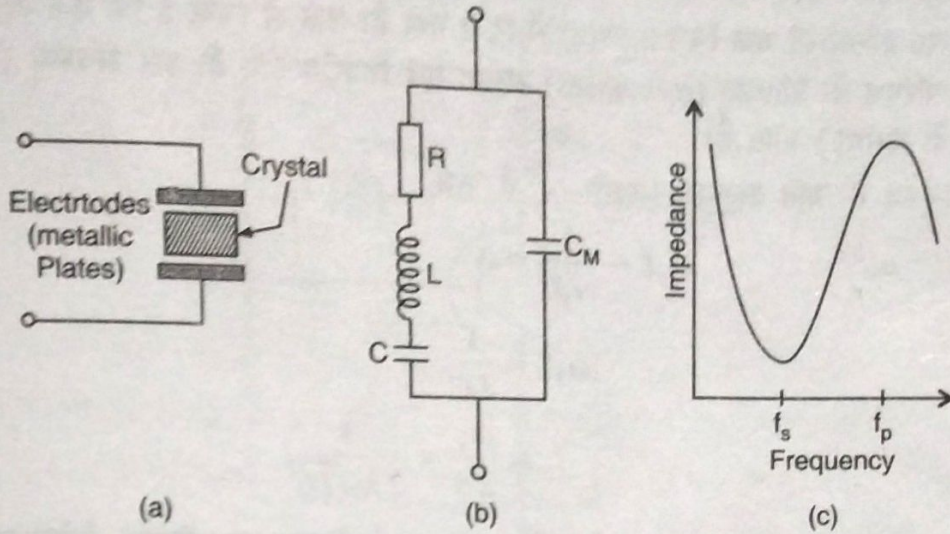
चित्र 2.52—कैपेसिटर ट्रांसड्यूसर द्वारा दाब मापन :  
 (a) में बोर्डन ट्यूब द्वारा (b) में बैलो, प्राइमरी ट्रांसड्यूसर की भाँति प्रयुक्त किये गये हैं।



## 2.20. पीजो, इलेक्ट्रो, फोटो एवं माइक्रो, स्मार्ट सेंसिंग एलीमेन्ट (Piezo, Electro, Photo, Micro and Smart Sensing Elements)

पीजो इलेक्ट्रिक सेंसिंग एलीमेन्ट्स (Piezo electric sensing elements)—किसी पदार्थ पर यान्त्रिक दाब द्वारा उत्पन्न विद्युत को दाब विद्युत या पिजो इलेक्ट्रीसिटी कहते हैं। व्यावहारिक रूप में यह देखा गया है कि अधिकांश पदार्थों में, परावैद्युत ध्रुवीकरण यान्त्रिक विकृति उत्पन्न करता है परन्तु उनमें यान्त्रिक विकृति ध्रुवीकरण उत्पन्न नहीं करता। यह वैद्युत यान्त्रिक (Electro-mechanical) प्रभाव लगभग सभी पदार्थों में होता है और इसे इलेक्ट्रोस्ट्रिक्शन (Electrostriction) कहते हैं। ऐसे पदार्थों में ध्रुवीकरण द्वारा उत्पन्न विकृति की दिशा ध्रुवीकरण द्वारा उत्पन्न दिशा से विपरीत होती है। ऐसे पदार्थों के रवों में केन्द्र सममिति (Centre of symmetry) होती है। परन्तु कुछ ठोस परावैद्युत पदार्थ ऐसे भी होते हैं जिनमें ध्रुवीकरण द्वारा उत्पन्न यान्त्रिक विकृति की दिशा पदार्थ में ध्रुवीकरण की दिशा बदलने पर बदलती है। ऐसे पदार्थों के रवों में केन्द्र सममिति नहीं होती। ऐसे पदार्थ यान्त्रिक प्रतिबल से ध्रुवीकृत हो जाते हैं और इन्हें दाब विद्युत पदार्थ कहते हैं। क्वार्ट्ज इसका महत्त्वपूर्ण उदाहरण है। ये दाब विद्युत पदार्थ व्यावहारिक दृष्टि से महत्त्वपूर्ण हैं क्योंकि ये यान्त्रिक ऊर्जा को वैद्युत ऊर्जा में बदलते हैं और इसके विपरीत, वैद्युत ऊर्जा को यान्त्रिक ऊर्जा में भी बदल सकते हैं। रॉशेल लवण,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{BaTiO}_3$ , लीथियम सल्फेट, लैड टिटानेट, लैड जिर्कोनेट आदि अन्य दाब विद्युत पदार्थ हैं।





चित्र 2.58—(a) पीजो-इलेक्ट्रिक क्रिस्टल (b) क्रिस्टल का AC तुल्यांक परिपथ (c) इम्पीडेंस-फ्रीक्वेंसी वक्र।

ये सैन्सिंग एलीमेंट पीजो-इलेक्ट्रिक प्रभाव के सिद्धान्त पर कार्य करते हैं—

**पीजो-इलेक्ट्रिक प्रभाव**—यदि किसी क्रिस्टल की सतहों पर कोई यान्त्रिक बल (mechanical force) एप्लाइ किया जाए तब क्रिस्टल के विपरीत फलकों (opposite faces) के मध्य एक विद्युत विभव (electric potential) उत्पन्न हो जाता है। यह विभव आवेशों के विस्थापन (displacement of charges) के कारण उत्पन्न होता है। यह प्रभाव उत्क्रमणीय (reversible) है अर्थात् यदि क्रिस्टल के एकसमान (similar) सतहों के मध्य कोई विद्युत पोटेंशियल एप्लाइ किया जाए तब इसके दूसरी सतहों के मध्य यान्त्रिक बल उत्पन्न होता है जिसके कारण क्रिस्टल में प्रसार (expansion) अथवा संकुचन (contraction) होता है। यदि एप्लाइ किया गया विभव प्रत्यावर्ती (varying) है तब क्रिस्टल में यान्त्रिक कम्पन (mechanical vibrations) उत्पन्न हो जाते हैं। इस प्रभाव को पीजो-इलेक्ट्रिक प्रभाव कहते हैं।

क्वार्ट्ज क्रिस्टल में पीजो-इलेक्ट्रिक गुण हैं। क्वार्ट्ज क्रिस्टल का प्राकृतिक आकार (natural shape) षट्कोणीय (hexagonal) होता है। इसके तीन अक्ष (axes) होते हैं,  $z$ -अक्ष, जिसे ऑप्टिक अक्ष कहते हैं,  $x$ -अक्ष को इलेक्ट्रिक अक्ष तथा  $y$ -अक्ष को मिकेनिकल अक्ष कहते हैं। क्वार्ट्ज क्रिस्टल में यह विशेषता है कि जब क्रिस्टल की सतहों पर कोई यान्त्रिक प्रतिबल एप्लाइ किया जाता है तब क्रिस्टल के विपरीत अक्षों के मध्य एक विभवान्तर उत्पन्न हो जाता है। इसके विपरीत यदि किसी एक प्रकार के फलकों (similar faces) के मध्य विभवान्तर एप्लाइ किया जाए तब दूसरे फलकों पर यान्त्रिक प्रतिबल लगने लगता है। इस प्रकार क्वार्ट्ज क्रिस्टल पीजो-इलेक्ट्रिक गुण प्रदर्शित करते हैं।

इस प्रकार यदि एक पीजो इलेक्ट्रिक क्रिस्टल पर उपयुक्त प्रत्यावर्ती पोटेंशियल एप्लाइ किया जाये तब यह यान्त्रिक रूप से कम्पन करने लगता है। कम्पनों का आयाम उस समय अधिकतम होता है जब एप्लाइ की गयी प्रत्यावर्ती वोल्टेज की आवृत्ति, क्रिस्टल की प्राकृतिक आवृत्ति (natural frequency) के बराबर हो।

कम्पन करते हुए एक क्रिस्टल का ac तुल्यांक परिपथ चित्र 2.58(b) द्वारा प्रदर्शित किया जा सकता है। क्रिस्टल के विपरीत फलकों पर धात्विक प्लेटें (metallic plates) लगी होती हैं [चित्र 2.58(a)]।

तुल्यांक परिपथ में प्रदर्शित इन्डक्टर  $L$ , कैपेसिटर  $C$  तथा प्रतिरोध  $R$  एक यान्त्रिक सिस्टम के द्रव्यमान (mass), कमप्लायन्स (reciprocal of spring constant) तथा अवमन्दन गुणांक (damping factor) के तुल्य (analogous) हैं। एक 90 kHz के क्रिस्टल के लिए  $L = 137 \text{ H}$ ,  $C = 0.0235 \text{ pF}$ ,  $R = 15 \text{ K}$  तथा  $C_M = 3.5 \text{ pF}$  होता है जिनसे  $Q = 5500$  प्राप्त होता है। इस क्रिस्टल की माप  $30 \text{ mm} \times 4 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$  होती है।

शन्ट कैपेसिटर  $C_M$ , मिकेनिकल माउन्टिंग के कारण धारिता प्रदर्शित करता है। यह धारिता इलेक्ट्रोड्स के मध्य होती है जब क्रिस्टल कम्पन नहीं करता।



क्रिस्टल का इम्पीडैन्स-फ्रीक्वैन्सी वक्र चित्र 2.58(c) में दिया गया है। वक्र से स्पष्ट है कि एक अनुनाद अवस्था ऐसी होती है जब RLC श्रेणी परिपथ के प्रतिघात (reactances) समान एवं विपरीत होते हैं। इस अवस्था (श्रेणी अनुनाद) में इम्पीडैन्स बहुत कम ( $R$  के बराबर) होती है।

इस प्रकार श्रेणी अनुनाद में, यदि अनुनाद आवृत्ति  $\omega_s$  है, तब

$$\omega_s L - \frac{1}{\omega_s C} = 0$$

अथवा

$$\omega_s^2 = \frac{1}{LC}$$

या

$$f_s = \frac{\omega_s}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \dots(i)$$

दूसरी अनुनाद अवस्था उच्च आवृत्ति पर उत्पन्न होती है जब RLC श्रेणी ब्रांच का प्रतिघात, कैपेसिटर  $C_M$  के प्रतिघात के बराबर होता है। यह क्रिस्टल के समान्तर अनुनाद की अवस्था होती है। इस आवृत्ति पर क्रिस्टल, बाह्य परिपथ के लिए अति उच्च प्रतिबाधा प्रदर्शित करता है। इस स्थिति में यदि समान्तर अनुनाद आवृत्ति  $\omega_p$  है तब

$$\omega_p L - \frac{1}{\omega_p C} = \frac{1}{\omega_p C_M}$$

अथवा

$$\omega_p L = \frac{1}{\omega_p} \left[ \frac{1}{C_M} + \frac{1}{C} \right] = \frac{C + C_M}{\omega_p C C_M}$$

अथवा

$$\omega_p^2 = \frac{C + C_M}{L C C_M}$$

अथवा

$$\omega_p = \sqrt{\frac{C + C_M}{L C C_M}}$$

अथवा

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C + C_M}{L C C_M}} \quad \dots(ii)$$

सामान्य पीजो-इलेक्ट्रिक पदार्थ निम्न हैं—

रोशले साल्ट (Rochelle Salts), एमोनियम डाइहाइड्रोजन फॉस्फेट, लीथियम सल्फेट, डाइपोटैशियम टारट्रेट, क्वार्ट्ज, A तथा B टाइप के सिरेमिक्स, टूरमेलीन आदि।

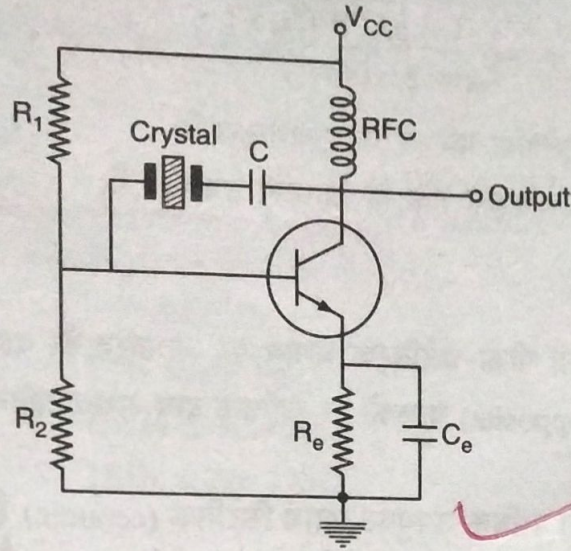
क्वार्ट्ज क्रिस्टल एवं रोशले साल्ट उत्तम पीजो-इलेक्ट्रिक पदार्थ हैं। ये प्राकृतिक पीजो-इलेक्ट्रिक पदार्थ हैं जबकि लीथियम सल्फेट तथा इथाइलीन डाइएमीन टारट्रेट सिन्थेटिक वर्ग के पीजो-इलेक्ट्रिक पदार्थ हैं।

क्वार्ट्ज क्रिस्टल की सक्रियता (activity) तथा दृढ़ता (rigidity), रोशले साल्ट तथा टूरमेलीन के मध्य होती है। इसका उपयोग दोलित्र परिपथों में किया जाता है। रोशले साल्ट की सक्रियता सबसे अधिक होती है परन्तु यान्त्रिक दृढ़ता कम होती है तथा इस पर नमी का प्रभाव होता है। इसका उपयोग प्रायः माइक्रोफोन, लाउडस्पीकर आदि में किया जाता है। टूरमेलीन की सक्रियता अत्यन्त निम्न परन्तु यान्त्रिक दृढ़ता उच्च होती है। इसका उपयोग अति उच्च आवृत्ति के दोलित्र (VHF oscillators) में किया जाता है।

क्रिस्टल ऑसिलेटर  
(Crystal Oscillator)

चित्र 2.59 में एक क्रिस्टल ऑसिलेटर का परिपथ दिया गया है। क्रिस्टल को श्रेणी अथवा समान्तर मोड में ऑपरेट किया जा सकता है।



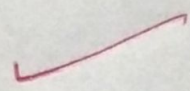


चित्र 2.59

**श्रेणी अनुनाद मोड में क्रिस्टल ऑसिलेटर  
(Crystal Oscillator in series mode)**

इसमें श्रेणी फीड-बैक (series feed back) प्रयुक्त किया गया है। क्रिस्टल को श्रेणी-अनुनाद मोड (series resonant mode) में ऑपरेट करने के लिए फीडबैक सर्किट में इसे एक श्रेणी एलीमेंट की भाँति प्रयुक्त किया गया है। इसका कारण यह है कि क्रिस्टल की श्रेणी-अनुनाद आवृत्ति पर प्रतिबाधा न्यूनतम (smallest) होती है तथा फीडबैक की मात्रा अधिकतम होती है। परिपथ में  $R_1$ ,  $R_2$  तथा  $R_e$  ट्रांजिस्टर को स्थिर dc बायस उपलब्ध कराते हैं। कैपेसिटर  $C_e$  एमिटर प्रतिरोध के लिए ac बाईपास का कार्य करता है। कैपेसिटर  $C$  कलैक्टर तथा बेस के मध्य dc को ब्लॉक करता है। क्रिस्टल अपने में से केवल  $f_s$  आवृत्ति वाली 'noise voltage' को ही पास होने देता है। अतः परिपथ में दोलन स्वतः प्रारम्भ हो जाते हैं। ऑसिलेटर के दोलन की आवृत्ति निम्न होती है :

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

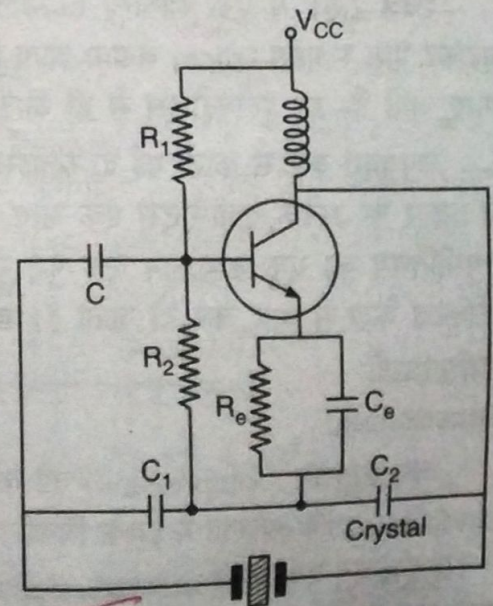


यहाँ  $L$  तथा  $C$  क्रिस्टल के तुल्यांक परिपथ में इन्डक्टर तथा कैपेसिटर हैं।

**समान्तर अनुनाद मोड में क्रिस्टल ऑसिलेटर  
(Crystal Oscillator in parallel resonant mode)**

चित्र 2.60 में एक क्रिस्टल ऑसिलेटर का समान्तर अनुनाद मोड में ऑपरेशन दिया गया है। समान्तर अनुनाद में क्रिस्टल की इम्पीडैन्स अधिकतम होती है। अतः क्रिस्टल को शन्ट (shunt) में कनेक्ट किया गया है। समान्तर अनुनाद आवृत्ति पर क्रिस्टल, उच्च मान के एक प्रेरकीय प्रतिघात (inductive reactance) की भाँति व्यवहार करता है। यह परिपथ कॉलपिट्ट ऑसिलेटर के समान ही है। अन्तर केवल यह है कि इसमें इन्डक्टर के स्थान पर क्रिस्टल का उपयोग किया गया है। परिपथ की दोलन आवृत्ति क्रिस्टल पैरामीटर्स द्वारा ही निर्धारित होती है। चूँकि क्रिस्टल का प्रतिरोध  $R$  बहुत कम होता है, अतः इसका  $Q$  उच्च होता है तथा ऑसिलेटर की आवृत्ति स्थिरता (frequency stability) अति उत्तम होती है।

समान्तर अनुनाद में प्रचालित क्रिस्टल ऑसिलेटर की दोलन आवृत्ति ( $f_p$ ) अग्र होती है—



चित्र 2.60



$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(C + C_M)}{LCC_M}}$$

यहाँ  $C$ ,  $L$  तथा  $C_M$  क्रिस्टल के तुल्यांक परिपथ के एलीमेंट्स हैं।  
वर्तमान में कुछ kHz से 10 MHz आवृत्ति तक के क्रिस्टल उपलब्ध हैं।

क्रिस्टल माइक्रोफोन



## pH मान का मापन (Measurement of pH Value)

अधिकांश औद्योगिक प्रक्रियाओं (industrial process) में विलयनों (solutions) को अम्लता तथा क्षारकता (acidity and alkalinity) के मापन एवं कन्ट्रोल की आवश्यकता होती है जिससे कि प्रक्रियाएँ दक्षतापूर्वक (efficiently) चलती रहें। जलीय विलयन (aqueous solutions) की अम्लता एवं क्षारता का स्तर विलयन में हाइड्रोजन एवं हाइड्रॉक्सिल आयनों की आपेक्षक सान्द्रता (relative concentration) द्वारा निर्धारित किया जाता है।

जब हाइड्रोजन आयन अधिक होते हैं तब विलयन अम्लीय होता है तथा जब हाइड्रॉक्सिल आयन की अधिकता (majority) होती है तब विलयन क्षारीय (alkaline) होता है। चूँकि विलयन में हाइड्रोजन आयनों एवं हाइड्रॉक्सिल आयनों की सान्द्रता का गुणनफल एक स्थिर मान (constant value) होता है अतः हाइड्रोजन आयन की सान्द्रता का मापन विलयन की केवल अम्लता को ही नहीं बल्कि प्रभावी क्षारता को भी प्रदर्शित करता है।

विच्छेदन नियतांक (Dissociation constant) हाइड्रोजन आयनों ( $H^+$ ) तथा हाइड्रॉक्सिल आयनों ( $OH^-$ ) के गुणनफल के बराबर होता है तथा इसका मान सदा  $10^{-14}$  होता है।

हाइड्रोजन आयन की सान्द्रता का मापन pH स्केल पर किया जाता है। किसी विलयन की pH वैल्यू, हाइड्रोजन आयनों की सान्द्रता के लघुगणक के निगेटिव के तुल्य होती है, अर्थात्

$$pH = -\log_{10} (H^+)$$

pH स्केल की रेंज 0 से 14 तक होती है।

उदाहरणतः माना हाइड्रोजन आयनों की सान्द्रता  $10^{-14}$  है अतः हाइड्रॉक्सिल आयनों की सान्द्रता  $10^0$  होगी क्योंकि दोनों का गुणनफल  $10^{-14}$  होना चाहिए। इस प्रकार के विलयन का pH मान निम्न होगा—

$$pH = -\log_{10} (10^{-14}) = 14$$

इसके विपरीत माना हाइड्रोजन आयनों की सान्द्रता  $10^0$  है। इसका अर्थ है कि इस विलयन का pH मान  $-\log_{10} (10^0) = 0$  होगा।

अतः हाइड्रोजन आयन की सान्द्रता pH स्केल पर मापी जा सकती है जिसका मान 0 से 14 तक परिवर्तित होता है। उदासीन (neutral) विलयन में हाइड्रोजन तथा हाइड्रॉक्सिल दोनों के आयनों की सान्द्रता बराबर अर्थात्  $10^{-7}$  होती है। अतः एक उदासीन विलयन के लिए

$$pH = -\log_{10} (10^{-7}) = 7$$

इस प्रकार उदासीन विलयन, उदाहरणतः शुद्ध जल का pH मान 7 होता है। माना विलयन अम्लीय (acidic) है तब हाइड्रोजन आयनों की सान्द्रता अधिक होगी। माना यह  $10^{-5}$  है। अतः हाइड्रॉक्सिल आयनों की सान्द्रता  $10^{-9}$  होगी। इस विलयन का pH मान,

$$pH = -\log_{10} (H^+) = \log_{10} (10^{-5}) = 5$$

इस प्रकार अम्लीय विलयनों के लिए pH का मान 0 एवं 7 के मध्य होगा। क्षारीय विलयन की अवस्था में pH मान 7 से 14 के मध्य होगा।

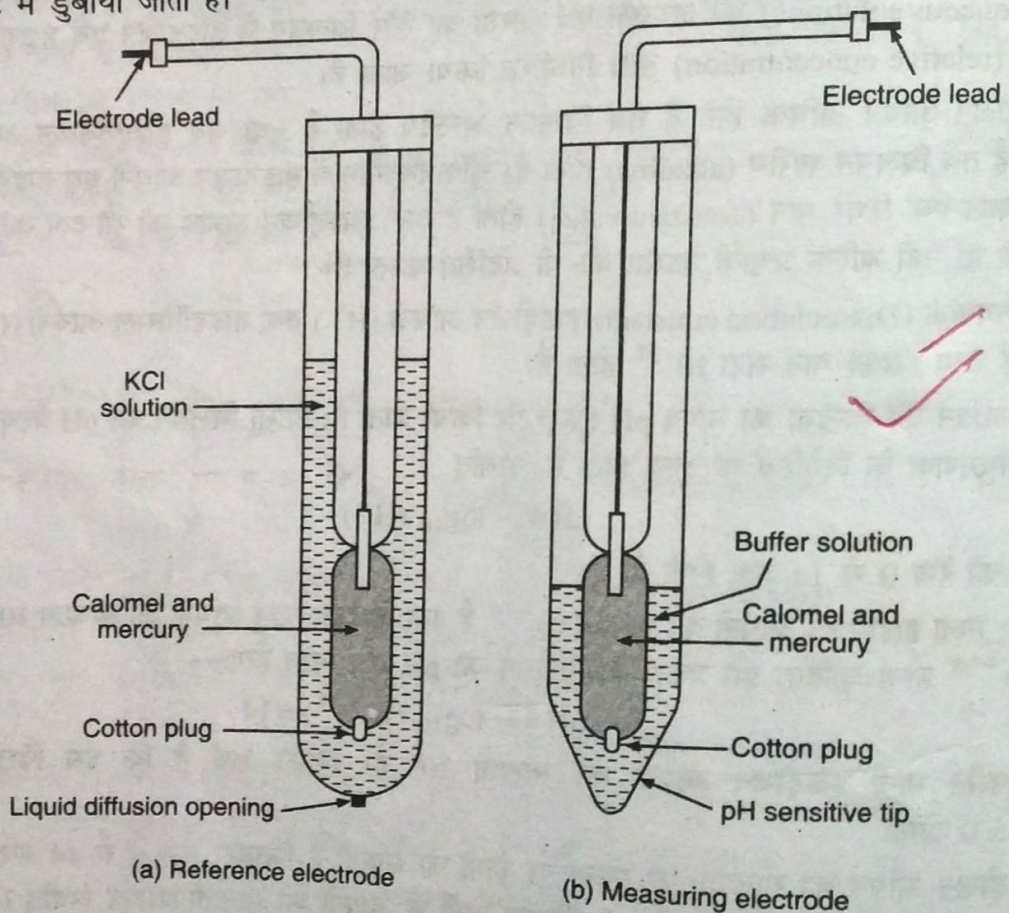


क्षारीय विलयनों के लिए हाइड्रॉक्सिल आयनों की सान्द्रता अधिक होती है। माना हाइड्रॉक्सिल आयन सान्द्रता  $10^{-2}$  है।  
 अतः हाइड्रोजन आयनों की सान्द्रता  $10^{-12}$  है। इस विलयन का pH मान होगा—  

$$\text{pH} = -\log_{10} (10^{-12}) = 12$$

उपरोक्त का सारांश यह है कि हाइड्रोजन आयनों की सान्द्रता का मापन एक स्केल पर किया जाता है जिसकी रेंज 0 से 14 होती है। इस स्केल पर उदासीनता बिन्दु (neutrality) 7.0 होता है। यह मान उस अवस्था में प्राप्त होता है जब हाइड्रोजन एवं हाइड्रॉक्सिल आयनों की सान्द्रता बराबर होती है तथा एक-दूसरे को सन्तुलित करते हैं जैसा कि शुद्ध जल में होता है। जब विलयन अधिक अम्लीय (acidic) हो जाता है तब pH स्केल पर रीडिंग 7 से कम होती है तथा जब विलयन अधिक क्षारीय हो जाता है तब इसके pH स्केल की रीडिंग 7 से अधिक हो जाती है।

pH मान के मापन के लिए इलेक्ट्रोड्स का एक पेयर मापे जाने वाले विलयन में डुबोया जाता है तथा इलेक्ट्रोड्स के मध्य उत्पन्न वोल्टेज का मापन किया जाता है। यह क्रिया एक वोल्टायक सैल के समान है जिसमें असमान इलेक्ट्रोड्स का एक पेयर इलेक्ट्रोलाइट में डुबोया जाता है।

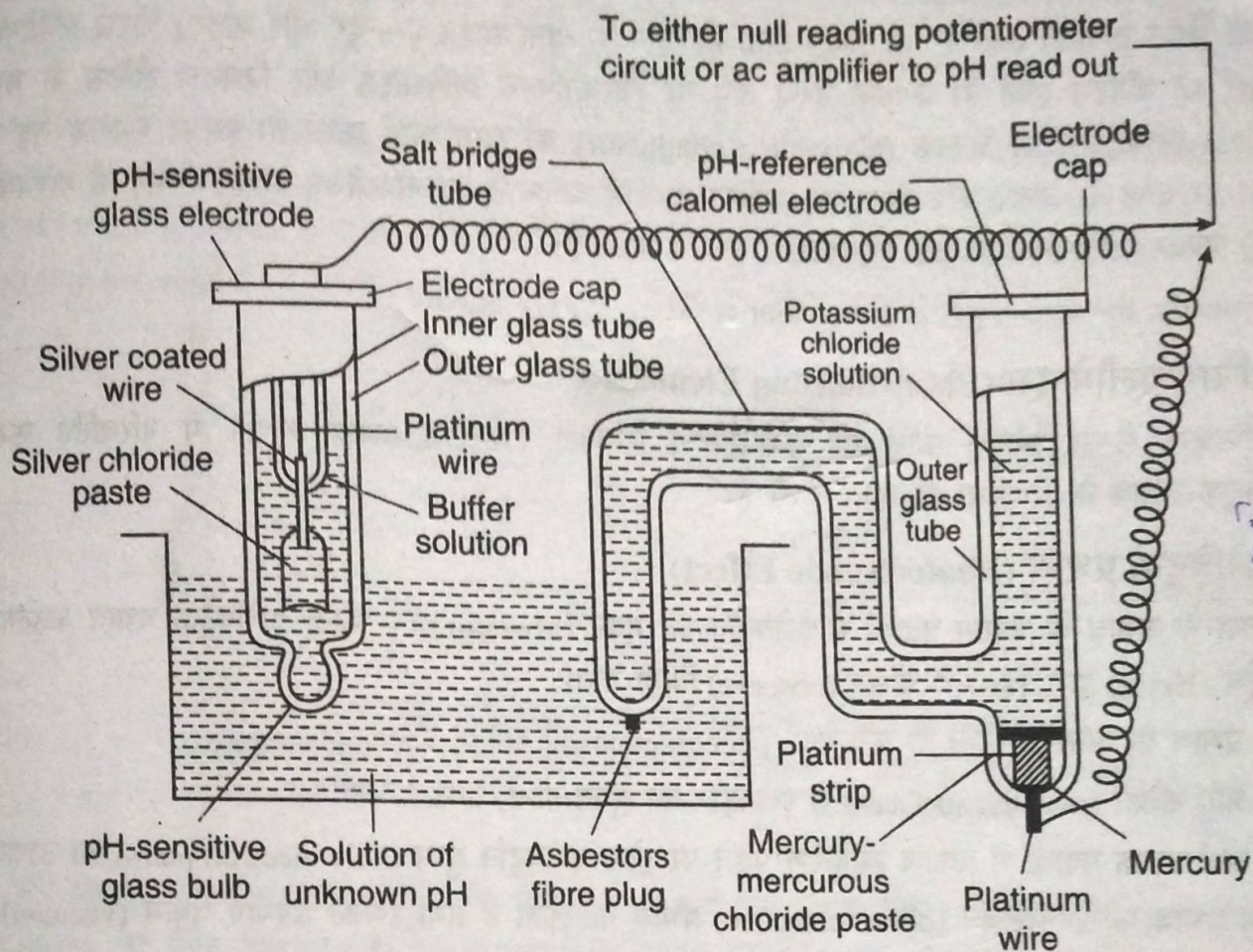


चित्र 2.66—pH सैल।

चित्र 2.66 में एक pH सैल प्रदर्शित किया गया है। pH सैल में एक इलेक्ट्रोड, जिसे रैफरेंस इलेक्ट्रोड कहते हैं, एक स्थिर पोटेन्शियल पर रहता है। यह टैस्ट किये जाने वाले विलयन के pH मान पर निर्भर नहीं करता। दूसरा इलेक्ट्रोड, मापन विभवान्तर विलयन के pH मान पर निर्भर करता है। इस प्रकार दोनों इलेक्ट्रोड्स के मध्य

चित्र 2.65 (a) में रैफरेंस इलेक्ट्रोड ग्लास (glass) का बना है तथा इसके अन्दर एक ट्यूब में कैलोमल (Mercury chloride) तथा मरकरी का घोल होता है। इसे एक बड़ी ग्लास ट्यूब के अन्दर रखा जाता है तथा दोनों के मध्य स्पेस में पोटेन्शियम क्लोराइड (KCl) का घोल होता है। इलेक्ट्रोड के नीचे एक छोटा छिद्र होता है जिसके द्वारा पोटेन्शियम क्लोराइड





चित्र 2.67—A Typical pH measuring cell which includes pH measuring glass bulb half cell and calomel (mercury and mercurous chloride) pH reference half cell.

धीरे-धीरे टैस्ट किये जाने वाले विलयन में विसरित (diffuse) होता है। इस प्रकार इस विलयन एवं इलेक्ट्रोड के कैलोमल विलयन के मध्य विद्युत कॉन्टैक्ट हो जाता है।

मापन इलेक्ट्रोड (जिसे ग्लास इलेक्ट्रोड भी कहते हैं) भी लगभग रैफरेंस इलेक्ट्रोड के समान ही होता है [चित्र 2.66 (b)]। परन्तु मरकरी कैलोमल एलीमैन्ट चारों ओर से एक नियत pH मान के बफर विलयन से घिरा होता है। बाहरी ट्यूब के नीचे कोई छिद्र (opening) नहीं होता बल्कि यह टेपर होती हुई एक विशेष संगठन (special composition) के ग्लास की टिप बनाती है।

इस टिप पर बफर विलयन एवं टैस्ट किये जाने वाले विलयन के मध्य दोनों विलयनों के pH के मान में अन्तर के कारण एक विभवान्तर उत्पन्न होता है। चूँकि बफर विलयन का pH मान नियत होता है, अतः इस इलेक्ट्रोड का नैट पोटेन्शियल टैस्ट किये जाने वाले विलयन के pH मान का फंक्शन होता है।

दोनों इलेक्ट्रोडों को असैम्बली (assembly) के रूप में निर्मित कर विलयन में डुबोया जाता है। दोनों इलेक्ट्रोडों के मध्य विभवान्तर, जोकि अज्ञात विलयन के pH मान का फंक्शन होता है, एक वोल्टमीटर द्वारा मापा जा सकता है। वोल्टमीटर को सीधे pH माप में कैलीब्रेट किया जाता है।



## 2m.p 9m.p फोटो सेंसिंग एलीमेन्ट्स (Photo Sensing Elements)

ऑप्टिकल सेंसर प्रकाश ऊर्जा को इलेक्ट्रिकल सिगनल (वोल्टेज अथवा धारा) में परिवर्तित करता है। ये फोटोइलेक्ट्रिक प्रभाव के सिद्धान्त पर कार्य करते हैं।

### फोटो-इलेक्ट्रिक प्रभाव (Photoelectric Effect)

प्रकाश के प्रभाव के कारण पदार्थों से इलेक्ट्रॉन का मुक्त (liberate) होना फोटो-इलेक्ट्रिक प्रभाव कहलाता है। यह प्रभाव, हर्ट्ज (Hertz) द्वारा 1887 में प्रेक्षित (observe) किया गया।

इस प्रभाव के अन्तर्गत निम्न दो प्रक्रियाएँ (phenomenon) हो सकती हैं—

(1) धातु सतहों (metallic surfaces) से इलेक्ट्रॉन का मुक्त होना, तथा

(2) अर्धचालक पदार्थों में प्रकाश विकिरण पड़ने पर होल-इलेक्ट्रॉन युग्म (hole-electron pairs) का उत्पादन होना।

प्रथम प्रभाव फोटो-उत्सर्जन (photo-emissive) प्रभाव कहलाता है तथा इसका उपयोग वैक्यूम (vacuum) तथा गैस फोटा ट्यूब्स में किया जाता है।

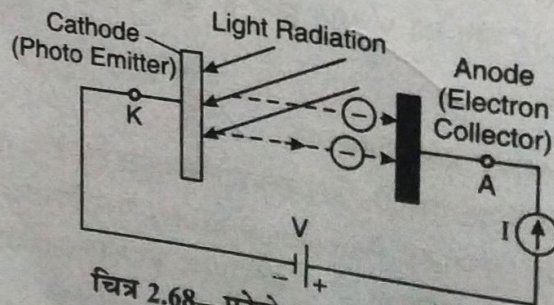
अर्धचालकों में प्रकाश के प्रभाव (photo effects) को दो भागों में वर्गीकृत किया जा सकता है—

(i) **Photo conductive effect**—किसी अर्धचालक छड़ (bar) की चालकता (conductivity), पदार्थ पर पड़ने वाले प्रकाश की तीव्रता पर निर्भर करती है।

(ii) **Junction photo effect**—किसी रिक्स बायस्ड जंक्शन में प्रवाहित होने वाली धारा जंक्शन पर पड़ने वाले प्रकाश की तीव्रता पर निर्भर करती है। यदि PN जंक्शन खुला (open circuited) है तब जंक्शन पर एक वि०वा० बल उत्पन्न होता है। यह प्रभाव फोटो-वोल्टाइक प्रभाव (photovoltaic effect) कहलाता है।

### प्रकाश-उत्सर्जन प्रभाव (Photo Emissive Effect)

किसी फोटो सेंसिटिव (photo-sensitive) सतह पर प्रकाश फोटॉन पड़ने से फोटो इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होते हैं (चित्र 2.68)। उत्सर्जित फोटो इलेक्ट्रॉनों का एक निश्चित वेग होता है। यदि एनोड (इलेक्ट्रॉन कलेक्टर) तथा कैथोड (एमिटर) के मध्य एक निश्चित (specified) निगेटिव पोटेन्शियल एप्लाइ किया जाये तब तीव्रतम गतिमान (fastest moving) इलेक्ट्रॉन भी मन्द (retard) हो जाते हैं। इसका अर्थ है कि फोटोइलेक्ट्रॉन का शून्य से एक निश्चित अधिकतम वेग  $v_{max}$  होता है। उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों का अधिकतम वेग अग्र सूत्र द्वारा प्रदर्शित किया जाता है—

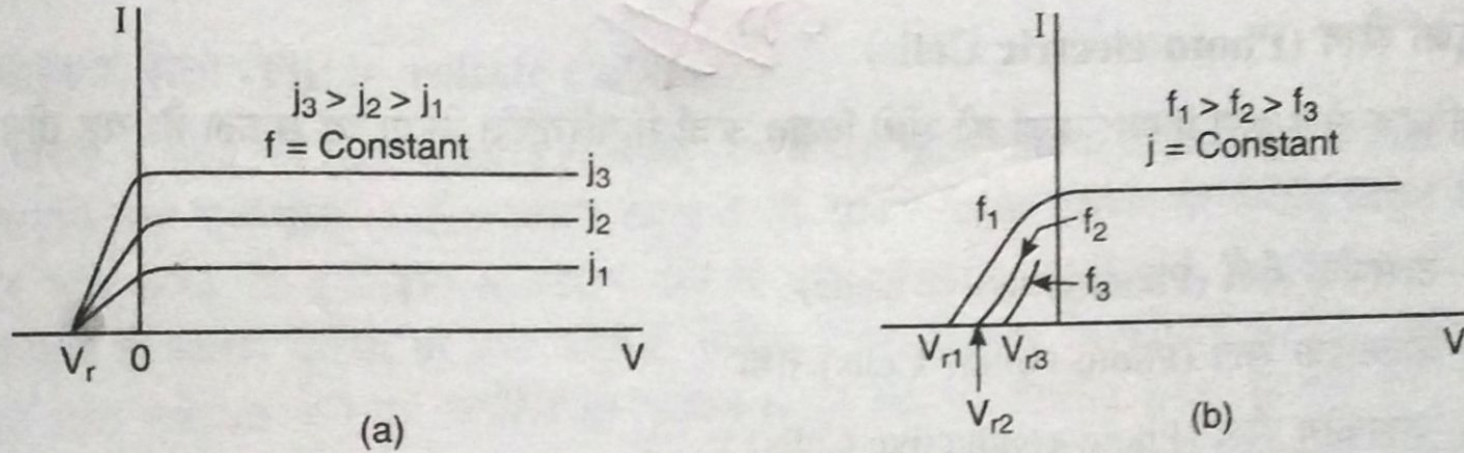


चित्र 2.68—फोटो-उत्सर्जन प्रभाव।



$$\frac{1}{2}mv_{\max}^2 = eV_r \quad \dots(i)$$

यहाँ  $V_r$  (वोल्ट में) retarding पोटैन्शियल है, अर्थात् एनोड तथा कैथोड के मध्य पोटैन्शियल  $V_r$  एप्लाइ करने से धारा शून्य हो जाती है। एनोड पर accelerating पोटैन्शियल एप्लाइ करने से सैचुरेशन की स्थिति तक धारा बढ़ती है। चित्र 2.69 (a) में धारा तथा एनोड पोटैन्शियल के मध्य प्रकाश की विभिन्न तीव्रताओं ( $j$ ) पर वक्र प्रदर्शित किये गये हैं। वक्रों से ज्ञात होता है कि retarding potential  $V_r$  (अर्थात्  $v_{\max}$ ) प्रकाश की तीव्रता पर निर्भर नहीं करते।



चित्र 2.69—फोटोइलेक्ट्रिक धारा एवं एनोड वोल्टेज में सम्बन्ध

- (a) प्रकाश फोटॉन की स्थिर आवृत्ति ( $f$ ) पर (frequency of light ' $f$ ' 3rd parameter)
- (b) स्थिर प्रकाश तीव्रता ( $j$ ) पर (intensity ' $j$ ' as 3rd parameter)।

यदि आपतित प्रकाश फोटॉन की आवृत्ति परिवर्तित की जाये तब प्रकाश-विद्युत धारा तथा एनोड वोल्टेज के मध्य वक्र चित्र 2.69 (b) की भाँति प्राप्त होता है। वक्र से स्पष्ट है कि प्रकाश की आवृत्ति जितनी उच्च होगी, धारा को शून्य करने के लिए retarding potential का मान भी उतना ही अधिक होता है। इसका अर्थ है कि आवृत्ति बढ़ने पर उत्सर्जित फोटो इलेक्ट्रॉन का वेग भी बढ़ता है।



## फोटो-इलेक्ट्रिक सैल (Photo-electric Cells)

फोटो-इलेक्ट्रिक सैल द्वारा प्रकाश ऊर्जा को सीधे विद्युत ऊर्जा में परिवर्तित किया जा सकता है। यह तीन प्रकार की होती है—

- (1) फोटो-उत्सर्जक सैल (Photo-emissive Cells)
- (2) फोटो-वोल्टाइक सेल (Photo-voltaic Cells) तथा
- (3) फोटो-चालकीय सैल (Photo-conductive Cells)

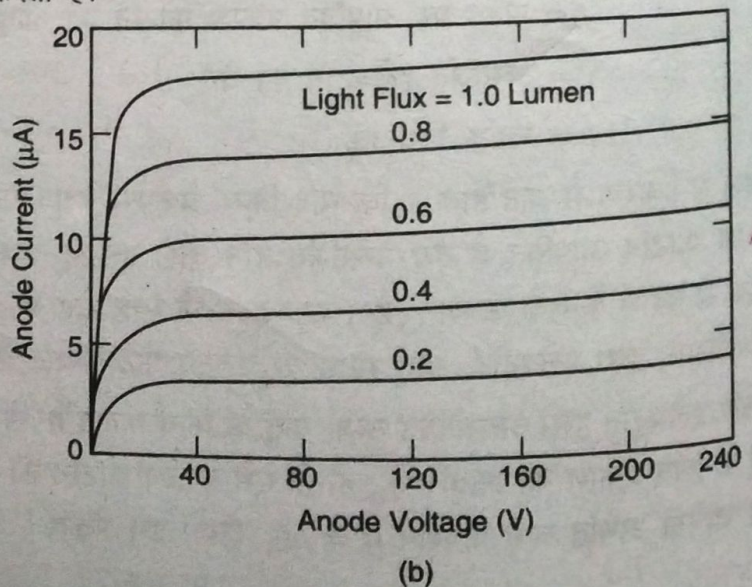
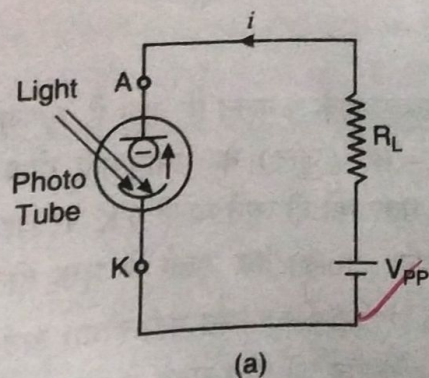
### 1. फोटो-उत्सर्जक सैल ( फोटो ट्यूब ) (Photo-emissive Cells or Photo-tube)

चित्र 2.70 में एक फोटो ट्यूब (photo-tube or photo-emissive cell) का परिपथ प्रदर्शित किया गया है। यह एक शून्यीकृत ग्लास ट्यूब (vacuum glass tube) होती है तथा ट्यूब में निर्मित कैथोड पर किसी क्षार धातु (alkaline metal) जैसे सोडियम, सीजियम आदि की एक परत होती है। जब प्रकाश इस कैथोड पर आपतित होता है तब इससे फोटोइलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होते हैं जो धनात्मक एनोड द्वारा आकर्षित कर लिए जाते हैं। एनोड प्रायः एक पतले तार का इलेक्ट्रोड होता है जो ट्यूब के मध्य (centre) में लगा होता है। परिपथ में धारा निम्न बातों पर निर्भर करती है—

- (1) प्रकाश की तीव्रता (intensity of light)
- (2) प्रकाश फोटॉन की आवृत्ति, तथा
- (3) एनोड एवं कैथोड के मध्य वोल्टेज।

चित्र 2.70 (b) में एक फोटो ट्यूब के  $V-I$  अभिलक्षण प्रदर्शित किये गये हैं।

ट्यूब के अभिलक्षणों से ज्ञात होता है कि यदि प्रकाश फोटॉन की आवृत्ति परिवर्तित न की जाये तब स्थिर एनोड वोल्टेज पर धारा, प्रकाश की तीव्रता (light flux) पर निर्भर करती है।



चित्र 2.70—(a) फोटो ट्यूब (b) फोटो ट्यूब के  $V-I$  अभिलक्षण।



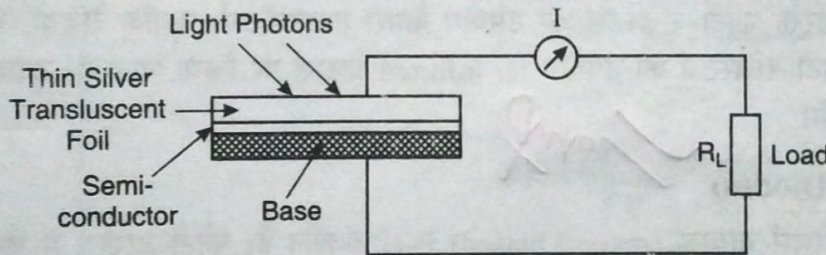
प्रयोगों से ज्ञात हुआ है कि यदि ट्यूब में कोई निष्क्रिय गैस (inert gas), उदाहरणतः आर्गन (कुछ mm दाब पर) भर दी जाये तब एनोड वोल्टेज के एक विशेष मान पर धारा का मान बहुत अधिक बढ़ जाता है। लगभग 20 वोल्ट तक गैस फोटो डायोड तथा वैक्यूम (vacuum) फोटो डायोड में धारा समान रहती है परन्तु एनोड वोल्टेज का मान 20 वोल्ट से अधिक होने पर गैस ट्यूब में धारा अप्रत्याशित रूप से बढ़ जाती है। धारा में यह वृद्धि गैस अणुओं के इलेक्ट्रॉन की टक्कर के फलस्वरूप आयनीकरण (ionisation) होने से होती है। आयनीकरण होने पर ट्यूब में आवेश वाहकों (इलेक्ट्रॉन एवं धनायन) की संख्या में वृद्धि हो जाती है।

## 2. फोटो-वोल्टाइक सेल (Photo-voltaic Cells)

जब एक बायस न किये गये (unbiased) PN जंक्शन पर प्रकाश डाला जाता है तब अर्धचालक द्वारा अवशोषित प्रत्येक फोटॉन एक इलेक्ट्रॉन तथा एक होल (hole) उत्पन्न करता है। ये आवेश वाहक जंक्शन पर निर्मित विद्युत क्षेत्र के प्रभाव से जंक्शन की ओर गति करते हैं। इलेक्ट्रॉन N-टाइप क्षेत्र में तथा होल्स P-टाइप क्षेत्र में प्रवेश करते हैं। कैरियर्स के अलग-अलग हो जाने के कारण बैरियर पर एक फॉरवर्ड वोल्टेज उत्पन्न हो जाती है। फॉरवर्ड वोल्टेज उत्पन्न होने का कारण यह है कि प्रकाश द्वारा उत्तेजित कैरियर्स, जंक्शन पर उत्पन्न विद्युत क्षेत्र की विपरीत ध्रुवता के होते हैं।

एक प्रकाशित (illuminated) PN जंक्शन पर फॉरवर्ड वोल्टेज का उत्पन्न होना फोटो-वोल्टाइक प्रभाव (photovoltaic effect) कहलाता है। इस प्रकार प्रकाशित जंक्शन बाह्य परिपथ को पावर (power) डिलीवर कर सकता है। इन्हें सोलर सैल (solar cell) भी कहते हैं।

इस सिद्धान्त को प्रयुक्त कर फोटो-वोल्टाइक सैल निर्मित किये जाते हैं। फोटो-वोल्टाइक सैल द्वारा विद्युत ऊर्जा प्राप्त करने के लिए एक परिपथ चित्र 2.71 में प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 2.71—फोटो-वोल्टाइक सैल।

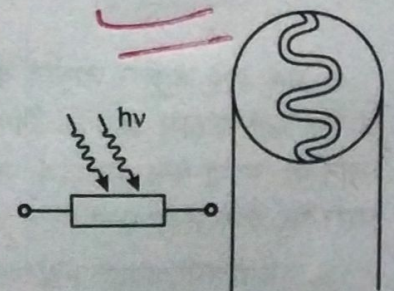
फोटो-वोल्टाइक सैल में सिलिकॉन तथा सैलेनियम अर्धचालक पदार्थ प्रयुक्त किये जाते हैं तथा PN जंक्शन बनाने के लिए इनकी डोपिंग की जाती है। सिलिकॉन अर्धचालक से निर्मित सैल में फोटो-वोल्टाइक वि०वा० बल (e.m.f.) का अधिकतम मान 0.5 V होता है।

सोलर सैल LS222 तथा LS223 एक 3.4 kΩ लोड में 34 μW शक्ति उपलब्ध करा सकते हैं।

## 3. फोटो-रजिस्टर अथवा फोटो-कन्डक्टिव सैल

### (Photo-conductive Cell or Photo Resistors)

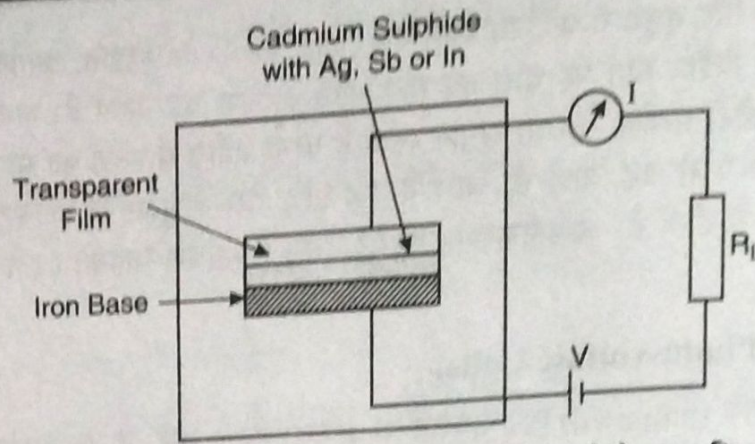
जब किसी अर्धचालक पदार्थ पर प्रकाश विकिरण पड़ता है तब उसकी चालकता बढ़ती है। पदार्थ की चालकता\* (conductivity) इसमें उपलब्ध आवेश कैरियर्स की संख्या पर निर्भर करती है। अर्धचालक पर प्रकाश ऊर्जा पड़ने से उसमें निर्मित सहसंयोजी बन्ध (covalent bonds) टूटते हैं तथा इलेक्ट्रॉन-होल युग्म (pairs) का उत्पादन होता है। आवेश वाहकों में वृद्धि होने से पदार्थ का प्रतिरोध कम होता है। अतः इस प्रकार की युक्ति फोटो-कन्डक्टर अथवा फोटो प्रतिरोध (photo resistor) कहलाती है (चित्र 2.72)।



चित्र 2.72—फोटो-रजिस्टर।

\* अर्धचालक पदार्थ की चालकता का सूत्र  $\sigma = nu_n + p\mu_p$  है जहाँ  $\sigma$  = पदार्थ की चालकता,  $n$  = इलेक्ट्रॉन का घनत्व,  $p$  = होल्स (holes) का घनत्व,  $\mu_n$  = इलेक्ट्रॉन की mobility,  $\mu_p$  = होल्स की mobility



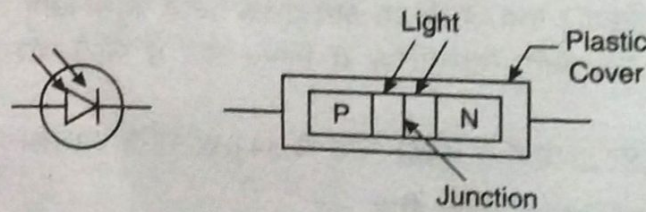


चित्र 2.73—फोटो-रजिस्टर अथवा कैडमियम सल्फाइड फोटो-कन्डक्टिव सैल।

फोटो-चालकता (photo-conductivity) के प्रभाव को प्रयुक्त कर फोटो-चालकीय युक्तियाँ (photo conducting devices) बनाई जाती हैं। चित्र 2.73 में एक कैडमियम सल्फाइड सैल की कार्यप्रणाली प्रदर्शित की गई है। इसका एलार्म एवं कन्ट्रोल परिपथों में व्यापक प्रयोग किया जाता है। इसमें CdS की एक परत डिपॉजिट की जाती है। CdS में कुछ मात्रा Ag, Sb तथा In की भी मिलाई जा सकती है। CdS में यह गुण है कि इसका प्रतिरोध इस पर आपतित प्रकाश की मात्रा के अनुसार परिवर्तित होता है। जितना प्रकाश अधिक गिरता है उतना ही प्रतिरोध कम होता है। CdS सैल का प्रतिरोध तेज प्रकाश से पूर्ण अन्धकार (darkness) तक क्रमशः  $100\Omega$  से  $10M\Omega$  तक परिवर्तित हो सकता है। अनेक LDR की उच्चतम सैन्सिटिविटी 500 nm से 600 nm तरंगदैर्घ्य के मध्य प्राप्त होती है। फोटो रजिस्टर्स, इन्फ्रारेड, दृश्य (visible) प्रकाश तथा अल्ट्रावायलैट प्रकाश पर ऑपरेट होने के लिए उपलब्ध हैं। इनका उपयोग सामान्यतः स्ट्रीट लाइट, ऑटोमैटिक ऑन-ऑफ स्विच आदि में किया जाता है। इसके अतिरिक्त फोटो-रजिस्टर्स का उपयोग कैमरा लाइटमीटर्स, क्लॉक रेडियो, सीक्योरिटी एलार्म आदि में किया जाता है। Ge-Cu फोटो-रजिस्टर्स का उपयोग far-infrared प्रकाश पर किया जाता है। उदाहरणतः इन्फ्रारेड एस्ट्रोनामी तथा इन्फ्रारेड स्पैक्ट्रोसकोपी।

### फोटो डायोड (Photo Diodes)

फोटो डायोड एक रिवर्स बायस्ड (reverse biased) P-N जंक्शन है। फोटो डायोड में जंक्शन पर प्रकाश पड़ने की व्यवस्था की जाती है। डायोड में धारा, प्रकाश की तीव्रता (intensity of light) बढ़ने पर बढ़ती है। चित्र 2.74 में फोटो डायोड का संकेत एवं आन्तरिक रचना प्रदर्शित की गई है।



चित्र 2.74—फोटो डायोड।

एक PN जंक्शन डायोड को ऐसे पारदर्शक (transparent) प्लास्टिक कवर में बन्द किया जाता है जिसमें PN जंक्शन के एक ओर प्रकाश आने के लिए कुछ स्थान (opening) छोड़ दिया गया हो। प्लास्टिक कवर के (opening छोड़कर) शेष स्थान पर काला पेन्ट कर दिया जाता है। इस पूरे सिस्टम को एक धातु के बॉक्स में रख दिया गया है तथा प्रकाश आने वाले स्थान पर एक शटर लगा दिया जाता है।

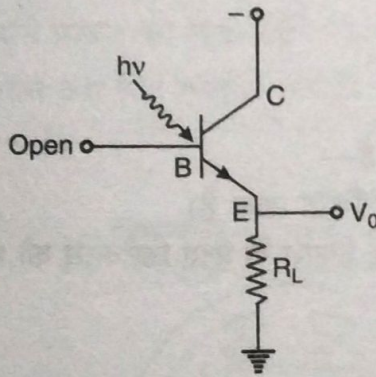
जब रिवर्स बायस्ड PN डायोड पर प्रकाश नहीं पड़ता तब डायोड धारा, रिवर्स बायस वोल्टेज पर निर्भर नहीं करती है एवं उनका मान नियत (fixed) रहता है। यह धारा ऊष्मीय विक्षोभ (thermal agitation) से उत्पन्न होल-इलेक्ट्रॉन युग्म (pair) के कारण होती है अर्थात् यह सन्तृप्त धारा माइनॉरिटी कैरियर के कारण उत्पन्न होती है जो जंक्शन को पार कर जाते हैं। मेजॉरिटी कैरियर जंक्शन को पार करने में असमर्थ रहते हैं। जब जंक्शन पर प्रकाश पड़ता है तो इससे नये इलेक्ट्रॉन-होल



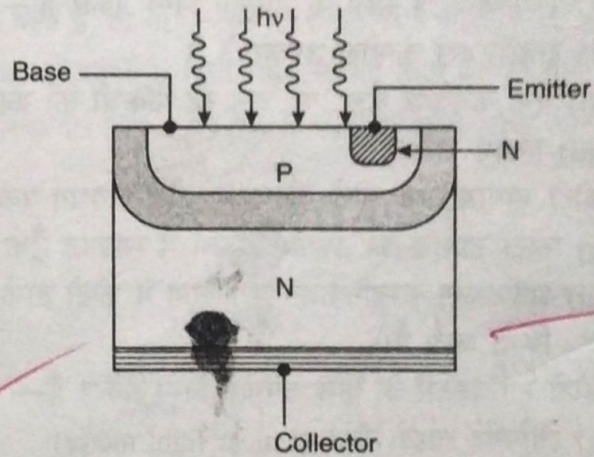
युग्म उत्पन्न होते हैं जिनको माइनॉरिटी कैरियर ही माना जा सकता है। अब जो माइनॉरिटी कैरियर जंक्शन के निकट उत्पन्न होते हैं, वे जंक्शन पार कर सकते हैं जिससे एक अतिरिक्त धारा प्रवाहित होती है। जंक्शन पर प्रयुक्त अधिक वोल्टेज के कारण माइनॉरिटी कैरियर द्वारा जंक्शन पार करने की क्रिया इतनी शीघ्रता से होती है कि इलेक्ट्रॉन-विबर (electron-hole) का संयोग होने की सम्भावना बहुत कम हो जाती है तथा डायोड में तब तक धारा प्रवाहित होती रहती है जब तक प्रकाश पुँज पड़ता रहता है।

### फोटो ट्रांजिस्टर (Photo Transistor)

फोटो ट्रांजिस्टर, ट्रांजिस्टर क्रिया द्वारा उच्च गेन (gain) उत्पन्न करता है। यह एक बाइपोलर डिवाइस है तथा इसका उपयोग ऑप्टिकल डिटेक्टर की भाँति किया जाता है। चित्र 2.75 में एक फोटो ट्रांजिस्टर का सांकेतिक परिपथ दिया गया है। चित्र 2.76 में इसकी सरल संरचना दी गई है। अन्य फोटो डिटेक्टर्स की तुलना में यह कम शोर (low noise) वाली डिवाइस है। फोटो ट्रांजिस्टर सामान्यतः ओपिन-सर्किटेड (open-circuited) बेस के साथ ऑपरेट किया जाता है। जब इसके बेस-कलैक्टर जंक्शन पर प्रकाश डाला जाता है तब रिवर्स बायस्ड बेस-कलैक्टर जंक्शन में उत्पन्न इलेक्ट्रॉन तथा होल्स विद्युत क्षेत्र में स्वीप हो जाते हैं तथा एक फोटो धारा  $I_L$  उत्पन्न करते हैं। होल्स बेस में इन्जेक्ट हो जाते हैं जिससे बेस धारा प्रवाहित होती है। इस बेस धारा के कारण एमिटर में इलेक्ट्रॉन इन्जेक्ट होते हैं। धाराओं में निम्न सम्बन्ध होता है—



चित्र 2.75—फोटो ट्रांजिस्टर का परिपथ।



चित्र 2.76—फोटो ट्रांजिस्टर की संरचना।

$$I_E = \alpha I_E + I_L$$

यहाँ  $\alpha$ , कॉमन बेस धारा गेन है। चूँकि बेस परिपथ खुला है अतः  $I_C = I_E$ । अतः

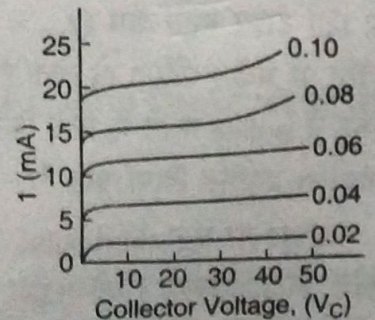
$$I_C = \alpha I_C + I_L$$

अथवा

$$\frac{I_C}{I_L} = \frac{1}{1-\alpha}$$

...(i)

चूँकि  $\alpha$  लगभग 1 के बराबर होता है अतः ट्रांजिस्टर क्रिया द्वारा उच्च गेन प्राप्त होता है। डिवाइस का सम्पूर्ण गेन समीकरण (i) को एक फैक्टर  $\eta$  द्वारा गुणा कर प्राप्त किया जा सकता है। फैक्टर  $\eta$  ट्रांजिस्टर के बेस-कलैक्टर जंक्शन में अवशोषित प्रकाश का एक भाग (fraction) प्रदर्शित करता है। डिवाइस में परावर्तन तथा ट्रांसमिशन के कारण होने वाली हानियाँ  $\eta$  को 1 से कम रखती हैं। चित्र 2.77 में फोटो ट्रांजिस्टर के  $V-I$  अभिलक्षण दिए गए हैं।



चित्र 2.77—फोटो ट्रांजिस्टर के  $V_C - I_C$  अभिलक्षण।



फोटो ट्रांजिस्टर की उच्च आवृत्ति अनुक्रिया (high frequency response) बहुत उत्तम नहीं होती क्योंकि बेस-कलेक्टर जंक्शन की कैपेसिटी उच्च होती है। फिर भी फोटो ट्रांजिस्टर में कम शोर तथा उच्च गेन (low noise and high gain) के कारण इसके महत्वपूर्ण उपयोग किए जाते हैं। ट्रांजिस्टर जंक्शन पर सामान्यतः इनफ्रारैड प्रकाश ILED (Infrared light emitting diode) डायोड से डाला जाता है तथा इसके लिए ट्रांजिस्टर में एक विन्डो बनाई जाती है। फोटो ट्रांजिस्टर का टर्न-ऑन तथा टर्न-ऑफ टाइम बहुत कम होता है अतः ये प्रकाश पड़ते ही आउटपुट देने लगते हैं। इसी प्रकार प्रकाश पड़ना बन्द होते ही तुरन्त इनमें कन्डक्शन बन्द हो जाता है। इसका टर्न-ऑन टाइम 2 से 5 माइक्रोसेकण्ड तथा टर्न-ऑफ टाइम 300 ns के क्रम का होता है।

औद्योगिक कार्यों (Industries) में प्रयुक्त मुख्य फोटो ट्रांजिस्टर निम्न हैं—

BPY 76, BPX 70-71, OCP 70

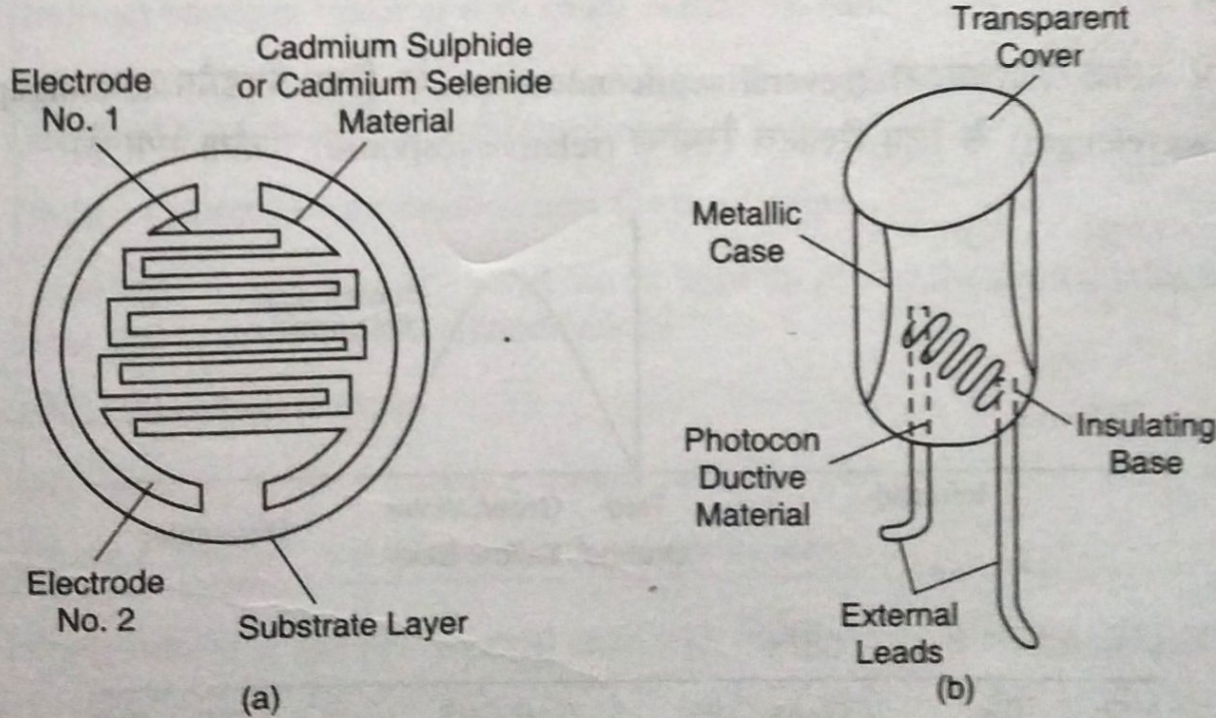
### ऑप्टिकल सैन्सर का उपयोग (Applications of Optical Sensors)

1. फोटो-वोल्टाइक सैल का उपयोग पंच कार्ड (punch cards) में होल्स का पैटर्न सैन्स करने के लिए पंच कार्ड रीडर अथवा टेप रीडर की भाँति किया जाता है।
2. फोटो-कन्डक्टिव सैलों के उपयोग निम्न प्रकार हैं—
  - (i) इन्डस्ट्रियल कन्ट्रोल उपकरणों में
  - (ii) एक कनवेयर बैल्ट पर चल रहे पैकिजों की काउन्टिंग
  - (iii) एलार्म परिपथ
3. फोटो डायोड तथा फोटो-वोल्टाइक सैल लगभग एकसमान युक्तियाँ हैं—
  - (i) फोटो डायोड का उपयोग फिल्म में साउण्ड ट्रैक रीडर की भाँति किया जाता है।
  - (ii) ऑप्टिकल कम्युनिकेशन यंत्रणालियों में फोटो डायोड को मॉडुलेटेड प्रकाश के लिए डिटेक्टर की भाँति उपयोग किया जाता है।
4. फोटो ट्रांजिस्टर के कुछ उपयोग निम्न प्रकार हैं—
  - (i) लीनियर लाइट मीटर (Linear light meter)
  - (ii) रिले ऑपरेशन
  - (iii) शाफ्ट एनकोडर्स में शाफ्ट की कोणीय स्थिति को डिजिटल कोड में कनवर्ट करने के लिए प्रयुक्त किया जाता है।



## फोटो प्रतिरोधीय युक्तियाँ (Photo Resistive Devices) *mf*

इन युक्तियों में प्रकाश ऊर्जा के परिवर्तन के कारण विद्युतीय चालकता में परिवर्तन होता है। इस प्रकार की युक्तियों को प्रकाश पर आधारित प्रतिरोध (Light Dependent Resistors or LDR) कहा जाता है क्योंकि इनका प्रतिरोध चालकता के व्युत्क्रम अनुपात में बदलता है। चित्र 2.79 में प्रदर्शित कैडमियम सल्फाइड (CaS) सेल सामान्य प्रकाश का फोटो चालक सेल होता है। जब इस पर परिवर्ती तीव्रता का दृश्य प्रकाश डाला जाता है, तो कैडमियम सल्फाइड सेल का प्रतिरोध बदलता है। इस पर पड़ने वाले प्रकाश की मात्रा बढ़ने पर सेल प्रकाश तीव्रता परिवर्तनों के लिये बहुत सुग्राही होता है। इन युक्तियों को विशेष रूप से अलार्म तथा रिले कन्ट्रोल सर्किटों में प्रयुक्त किया जाता है। चित्र 2.79 (b) में फोटो प्रतिरोध युक्ति का परिच्छेद दृश्य दिखाया गया है।



चित्र 2.79

प्रकाश के पड़ने पर अर्द्धचालक पदार्थ की सतह से इलेक्ट्रॉन मुक्त होते हैं जिसमें पदार्थ का विद्युतीय प्रतिरोध घटता है अर्थात् पदार्थ अधिक चालक हो जाता है।

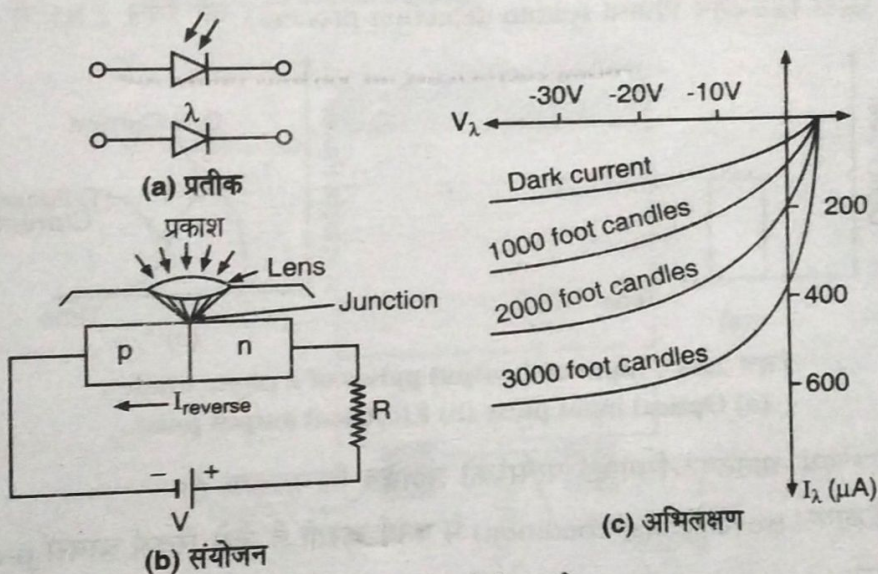


## फोटो डायोड (Photo Diodes)

“फोटो डायोड एक ऐसा p-n सन्धि डायोड है जिसकी रिवर्स बायस धारा का मान उसमें पड़ने वाले प्रकाश की तीव्रता (intensity of light) पर आश्रित होता है।”

फोटो डायोड एक ऐसी युक्ति है जोकि रिवर्स बायस में कार्य करती है। इसका संयोजन (connection), प्रतीक व अभिलक्षण चित्र 2.83 में प्रदर्शित है।

आपको याद होगा कि रिवर्स सैचुरेशन धारा का मान माइक्रोएम्पीयर में होता है तथा यह माइनोंरिटी वाहकों के कारण होती है। सन्धि पर प्रकाश पड़ने पर प्रकाश तरंगों की ऊर्जा डायोड की परमाणु संरचना (atomic structure) को प्राप्त हो जाती है जिससे माइनोंरिटी आवेश वाहकों की संख्या बढ़ जाती है व रिवर्स धारा भी बढ़ जाती है। प्रकाश को जंक्शन पर concentrate करने के लिए लैस (lens) का प्रयोग किया जाता है। प्रकाश की तीव्रता फुट कैन्डिल्स (foot candles) में मापी जाती है। अतः, फुट कैन्डिल्स के विभिन्न मानों पर फोटो डायोड में रिवर्स धारा का ग्राफ चित्र 2.82 (c) में प्रदर्शित है।

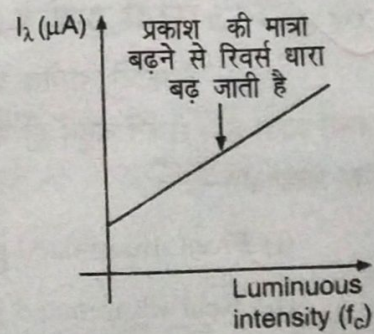


चित्र 2.83—फोटो डायोड

जब प्रकाश न पड़ रहा हो, उस समय डायोड में प्रवाहित धारा को अंधकार धारा (dark current) कहते हैं। प्रकाश की तीव्रता (luminous intensity) बढ़ाने पर रिवर्स धारा लगभग रेखीय (linearly) रूप से बढ़ती है। प्रकाश की तीव्रता व रिवर्स धारा के मध्य ग्राफ चित्र 2.84 में प्रदर्शित है। फोटो डायोड बनाने के लिए जरमेनियम का प्रयोग किया जाता है।

“An optical detection is a device which is employed to isolate the information signal (i. e., demodulation) from light modulated signal, reaching the receiver.

The working principle of photo detection is based on the fact that if an optical photon of energy  $h\nu$  ( $h\nu > E_g$ , the bandgap of the semiconductor) falls on the semiconductor, the photon will excite the electron from the valence band to the conduction band, leaving a vacancy or hole in the valence band. These additional charge carriers (electron hole pairs), called photogenerated charge carriers, increase the conductivity of the photo diode. The increase in conductivity depends on number of additional charge carriers generated in the photo diode, which in turn depends on the number of photons of light falling on it.”

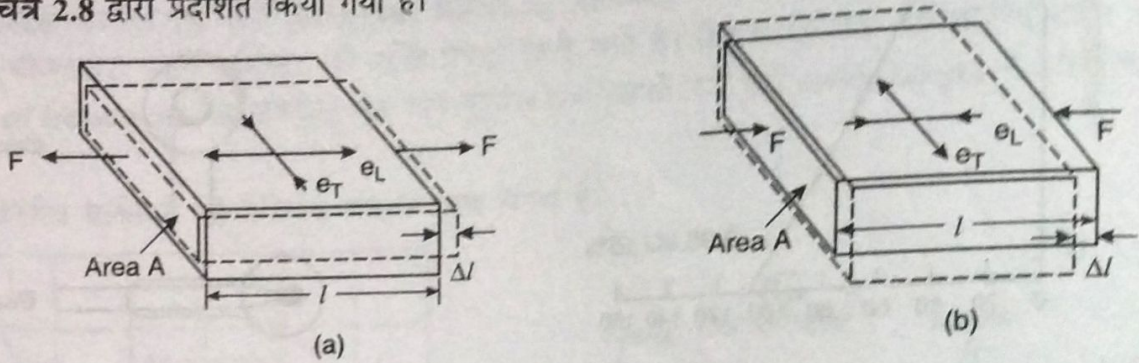


चित्र 2.84—प्रकाश तीव्रता व रिवर्स धारा के मध्य ग्राफ।



## स्ट्रेन गेज (Strain Gauge)

यदि किसी धातु के चालक को खींचा जाये या दबाया जाये तो उसकी लम्बाई व मोटाई (व्यास) में परिवर्तन के कारण उसका विद्युतीय प्रतिरोध बदल जाता है जिसके परिणामस्वरूप चालक की प्रतिरोधकता में परिवर्तन हो जाता है। चालक के परिवर्तन को चित्र 2.8 द्वारा प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 2.11—Stress and strain

(a) Effect of tensile stress (b) Effect of compressive stress.

$$\text{Elastic modulus} = \frac{\text{stress}}{\text{strain}}$$

मूलतः यह डिफॉर्मेशन, आकार में परिवर्तन (compression or extension) के रूप में होते हैं। स्ट्रेन गेज द्वारा किसी निश्चित दूरी एवं दिशा में उत्पन्न प्रसार अथवा संकुचन (extension or compression) को मापा जा सकता है। अधिकतर स्ट्रेन गेज, स्ट्रेन में परिवर्तन को प्रतिरोध एवं चुम्बकीय (or inductive) परिवर्तन के पदों में रिकॉर्ड करती हैं। कुछ गेज फोटोइलेक्ट्रिक अथवा पीजोइलेक्ट्रिक प्रभाव पर भी आधारित होते हैं। प्रतिरोध पर आधारित गेज, प्रतिरोध स्ट्रेन गेज (Resistance Wire Strain Gauge) कहलाती है। वायर स्ट्रेन गेज में एक मोटा धातु का तार किसी कैरियर (उदाहरणतः पेपर) पर सीमेन्टेड (cemented) होता है। यह प्रतिरोध तार ही डिफॉर्मेशन ज्ञात करने के लिए मापन एलीमेंट (measuring element) का कार्य करता है। इस मापन में स्ट्रेन गेज, स्ट्रक्चर के उस भाग पर सीमेंट कर दिया जाता है जिस पर स्ट्रेस उत्पन्न होता है। स्ट्रक्चर की सतह में उत्पन्न डिफॉर्मेशन, सीमेन्ट की परतों तथा कैरियर से होकर धातु के तार (gauge wire) में ट्रांसफर हो जाते हैं जिससे तार के प्रतिरोध में अनुपातिक परिवर्तन (proportional change) होते हैं जिन्हें इलेक्ट्रॉनिक अथवा इलेक्ट्रिकल विधियों द्वारा मापा जा सकता है।

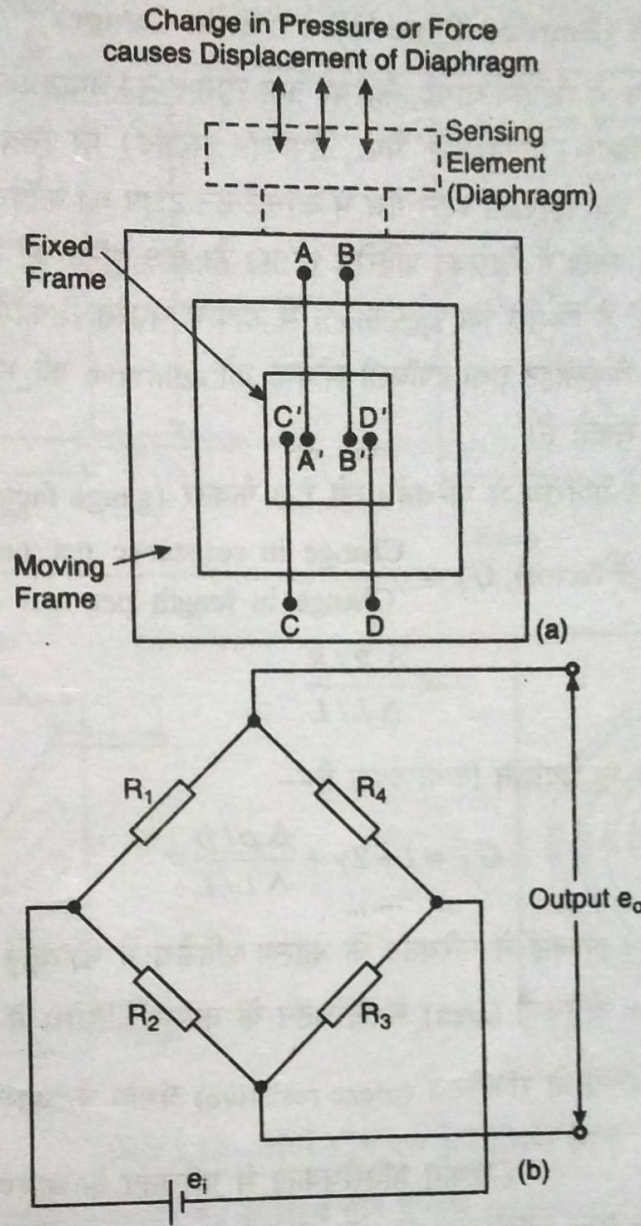
प्रतिरोध के परिवर्तन के सिद्धान्त पर कार्य करने वाली स्ट्रेन गेज (resistance strain gauges) दो प्रकार की होती हैं—

1. अनबॉन्डेड टाइप स्ट्रेन गेज (Unbonded type strain gauge)
2. बॉन्डेड टाइप स्ट्रेन गेज (Bonded type strain gauge)
3. बॉन्डेड मेटल फायल स्ट्रेन गेज (Bonded metal foil strain gauge)

### अनबॉन्डेड टाइप स्ट्रेन गेज (Unbonded Type Strain Gauge)

चित्र 2.12 (a) में एक अनबॉन्डेड (unbonded) टाइप स्ट्रेन गेज प्रदर्शित की गई है। इस गेज में प्रयुक्त प्रतिरोधी तार किसी इनसुलेटिंग माध्यम, उदाहरणतः वायु में दो बिन्दुओं के मध्य तनाव में (stretched) रखा जाता है। प्रतिरोधी तार प्रायः कॉपर-निकिल, क्रोम-निकिल अथवा निकिल-आयरन मिश्र धातुओं (alloys) के होते हैं। इनका व्यास 0.003 mm तथा लम्बाई 25 mm अथवा इससे कम होती है। चित्र 2.12 (a) में विस्थापन (displacement) मापन हेतु व्यवस्था (arrangement) प्रदर्शित की गई है। प्रणाली में दो फ्रेम—एक स्थिर तथा दूसरा मूविंग (moving) है। दोनों फ्रेमों के मध्य चार प्रतिरोध वायर





चित्र 2.12—Unbonded स्ट्रेन गेज द्वारा विस्थापन का मापन :

- (a) दाब अथवा बल में परिवर्तन से गेज वायर्स AA', BB', CC' तथा DD' में tension अथवा compression उत्पन्न होता है।  
 (b) स्ट्रेन गेज के वायर्स AA', BB', CC' तथा DD' एक ब्रिज की संरचना करते हैं तथा दाब अथवा बल परिवर्तन पर ब्रिज से विस्थापन के समानुपाती आउटपुट  $e_o$  प्राप्त होती है।

बिन्दुओं AA', BB', CC' तथा DD' के मध्य खींचे हुए (stretched) हैं। ये स्ट्रेन गेज की चार वाइन्डिंग के रूप में कार्य करते हैं तथा इनके प्रतिरोध चित्र 2.2 (b) की भाँति एक व्हीट स्टोन ब्रिज की चार भुजाओं  $R_1, R_2, R_3$  तथा  $R_4$  की भाँति संयोजित किये जाते हैं।

गेज में प्रयुक्त चारों गेज वायर्स में प्रारम्भ में तनाव (tension) तथा उनका प्रतिरोध समान होता है जिसके कारण ब्रिज की आउटपुट  $e_o$  शून्य होती है। दाब में अल्प (small) परिवर्तन से मूविंग फ्रेम में कुछ विस्थापन (displacement) होता है जिससे दो वायर्स (wires) में तनाव (tension) बढ़ता है तथा दो में कम होता है। इसके प्रभाव से उन तारों का प्रतिरोध बढ़ जाता है जो तनाव (tension) में हैं तथा शेष दोनों तारों (wires) का प्रतिरोध घट जाता है। प्रतिरोध में परिवर्तन के फलस्वरूप ब्रिज असन्तुलित हो जाता है तथा उससे एक आउटपुट प्राप्त होती है जो विस्थापन (displacement) के समानुपाती होती है।



### बॉन्डेड टाइप वायर स्ट्रेन गेज (Bonded Type Wire Strain Gauge)

बॉन्डेड टाइप वायर स्ट्रेन गेज में सैन्सिंग वायर, कैरियर तथा सीमेन्ट का प्रयोग किया जाता है। सैन्सिंग वायर प्रायः मिश्र धातु (alloys) के होते हैं तथा कैरियर (उदाहरणतः पेपर, टैफलॉन इत्यादि) पर चित्र 2.13 की भाँति विभिन्न आकारों में सीमेन्ट किया जाता है। उदाहरणतः एक typical स्ट्रेन गेज में कॉन्स्टैन्टन टाइप का कॉपर-निकल मिश्रधातु का 5" लम्बाई एवं 1 mm व्यास का तार प्रयुक्त किया जाता है जिसका प्रतिरोध  $120\Omega$  है। गेज यूनिट को कैरियर पर किसी सीमेन्ट द्वारा अच्छी प्रकार बॉन्ड किया जाना आवश्यक है जिससे कि specimen में उत्पन्न समस्त डिफॉर्मेशन गेज वायर में ट्रांसफर हो सके। इथाईल सैलुलोज, नाइट्रोसैलुलोज, बैकेलाइट तथा इपॉक्सी सीमेन्ट को adhesive की भाँति प्रयुक्त किया जाता है। ये सीमेन्ट  $175^\circ\text{C}$  ताप तक प्रयुक्त किये जा सकते हैं।

डिफॉर्मेशन के कारण उत्पन्न प्रतिरोध में परिवर्तन को गेज फैक्टर (gauge factor) के पदों में मापा जा सकता है।

$$\text{गेज फैक्टर (Gauge factor), } G_f = \frac{\text{Change in resistance per unit ohm}}{\text{Change in length per unit length}}$$

$$= \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L}$$

गेज फैक्टर को निम्न प्रकार भी प्रदर्शित किया जाता है—

$$\text{गेज फैक्टर, } G_f = 1 + 2\gamma + \frac{\Delta \rho / \rho}{\Delta L / L}$$

यहाँ

$l =$  लम्बाई में परिवर्तन के कारण प्रतिरोध में परिवर्तन

$2\gamma =$  क्षेत्रफल (area) में परिवर्तन के कारण प्रतिरोध में परिवर्तन

$\frac{\Delta \rho / \rho}{\Delta L / L} =$  पीजो रजिस्टिव (piezo resistive) प्रभाव के कारण प्रतिरोध में परिवर्तन

(अर्थात् प्रतिरोधकता में परिवर्तन के कारण प्रतिरोध में परिवर्तन का प्रभाव)

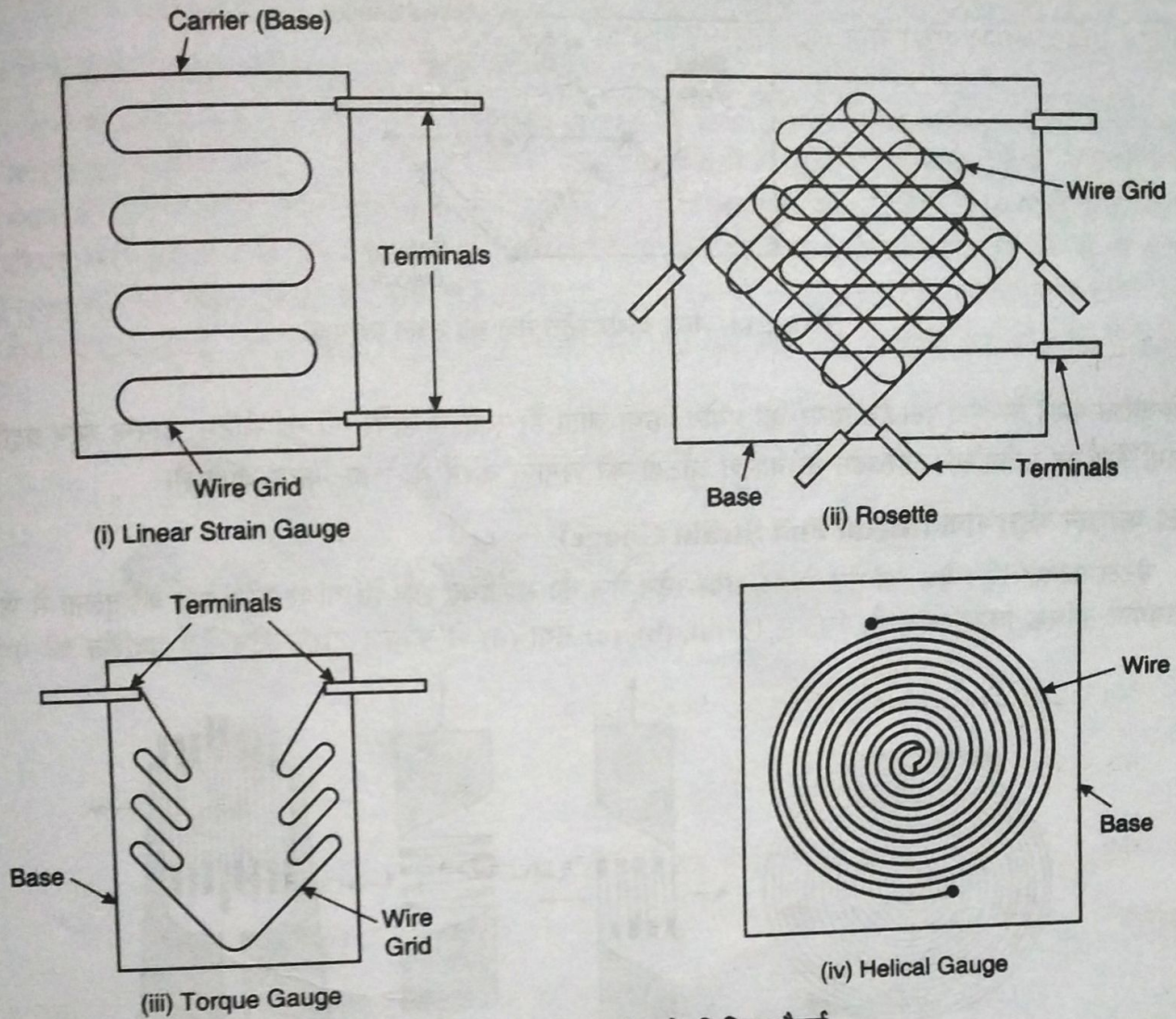
उत्तम परिणाम प्राप्त करने के लिए प्रतिरोध वायर स्ट्रेन गेज के निम्न अभिलक्षण होने चाहियें—

- (i) स्ट्रेन गेज का गेज फैक्टर उच्च होना चाहिये। उच्च गेज फैक्टर होने से physical variables में सूक्ष्म परिवर्तन भी गेज के प्रतिरोध में अधिक परिवर्तन (large  $\Delta R$ ) उत्पन्न करते हैं जिससे उच्च सुग्राह्यता (sensitivity) प्राप्त होती है।
- (ii) स्ट्रेन गेज का प्रतिरोध अधिक से अधिक उच्च होना चाहिये। इससे मापन परिपथ के प्रतिरोध (resistance of connecting leads, etc) में परिवर्तन का मापन पर प्रभाव नहीं होता है। शुद्ध मापन के लिए कनेक्टिंग वायर्स तथा टर्मिनल इत्यादि के प्रतिरोध न्यूनतम होने चाहियें।

सामान्यतः स्ट्रेन गेज के प्रतिरोध  $120\Omega$ ,  $350\Omega$  तथा  $1000\Omega$  होते हैं। यद्यपि गेज का उच्च प्रतिरोध होने से मापन हेतु प्रयुक्त ब्रिज के अन्य भागों के प्रतिरोधों में परिवर्तन का प्रभाव नहीं होता परन्तु उच्च प्रतिरोध से सैन्सिटिविटी (sensitivity) में गिरावट आती है।

उच्च sensitivity प्राप्त करने के लिए उच्च वोल्टेज पर प्रचालित ब्रिज उत्तम रहते हैं। ब्रिज की धारा क्षमता भी गेज वायर की धारा क्षमता के अनुकूल होनी आवश्यक है। सामान्यतः स्ट्रेन गेज में प्रयुक्त प्रतिरोध चालकों की धारा क्षमता 30 mA तक होती है।



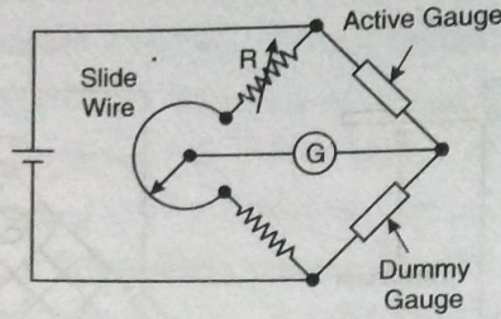


चित्र 2.13—वायर स्ट्रेन गेज के विभिन्न पैटर्न

- (iii) स्ट्रेन गेज में प्रयुक्त प्रतिरोध वायर्स का प्रतिरोध ताप गुणांक (resistance temperature coefficient) निम्न होना चाहिये। इससे मापन में ताप परिवर्तन के कारण त्रुटियाँ नहीं आती हैं।
- (iv) स्ट्रेन गेज के परफॉर्मेंस पर हिस्टेरिसिस का प्रभाव नहीं होना चाहिए।
- (v) स्ट्रेन गेज के सम्पूर्ण मापन क्षेत्र में समानता (uniformity) प्राप्त करने के लिए गेज के अभिलक्षण रेखीय (linear) होने चाहियें अर्थात् प्रतिरोध में परिवर्तन, स्ट्रेन के समानुपाती होने चाहियें।
- (vi) स्ट्रेन गेज की आवृत्ति-अनुक्रिया उत्तम होनी चाहिए अर्थात् समस्त आवृत्ति क्षेत्र में गेज के अभिलक्षण लीनियर होने चाहियें।

स्ट्रेन मापन के लिए स्ट्रेन गेज को चित्र 2.14 की भाँति एक व्हीटस्टोन ब्रिज के साथ संयोजित किया जा सकता है। इस परिपथ द्वारा स्टैटिक स्ट्रेन ज्ञात की जा सकती है। व्हीटस्टोन ब्रिज की एक आर्म में स्ट्रेन गेज तथा दूसरी आर्म में एक डमी गेज संयोजित है। प्रारम्भ में प्रतिरोध  $R$  को शून्य स्ट्रेन (zero strain) के लिए सैट किया जाता है। इस समय स्लाइड वायर को भी शून्य पर सैट किया जाता है। स्लाइड वायर एक परिवर्ती प्रतिरोध होता है। स्ट्रेन गेज को उस पिण्ड पर लगा दिया जाता है जिसमें स्ट्रेन ज्ञात करनी है। स्ट्रेन उत्पन्न होने पर, स्ट्रेन गेज का प्रतिरोध परिवर्तित होता है जिससे ब्रिज असन्तुलित हो जाता है। ब्रिज



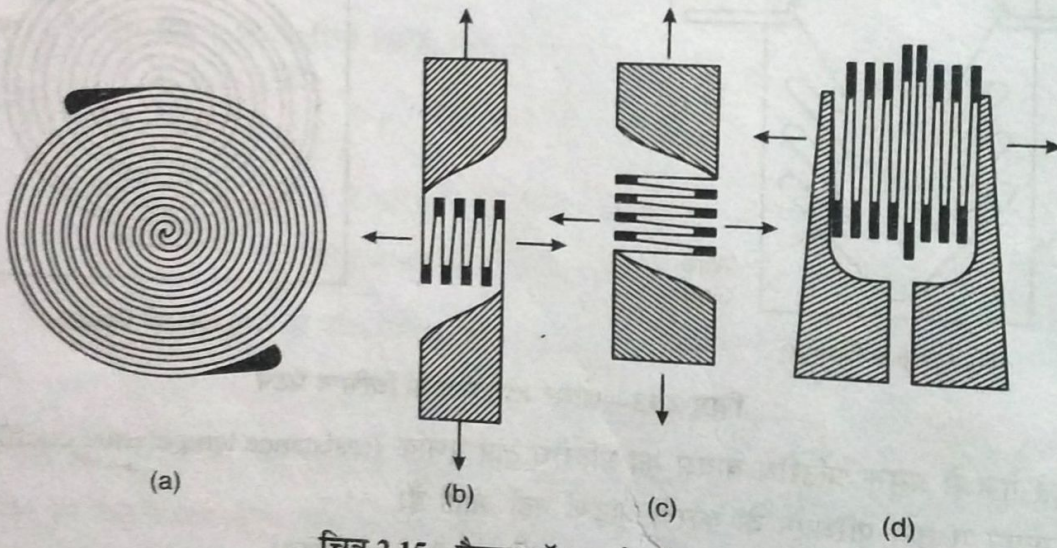


चित्र 2.14—एक वायर स्ट्रेन गेज का सरल परिपथ।

को सन्तुलित करने के लिए स्लाइड वायर का प्रयोग किया जाता है। स्लाइड वायर की नई सैटिंग, उत्पन्न स्ट्रेन प्रदर्शित करती है। डमी गेज का प्रयोग ताप परिवर्तन के कारण त्रुटियों को समाप्त करने के लिए किया जाता है।

### मेटल फॉयल स्ट्रेन गेज (Metal Foil Strain Gauge)

मैटल फॉयल स्ट्रेन गेज, बॉन्डेड मैटल वायर स्ट्रेन गेज का संशोधित रूप है। वायर स्ट्रेन गेज की तुलना में फॉयल गेज का उपयोग अधिक किया जाता है। चित्र 2.15 (a), (b), (c) तथा (d) में फॉयल टाइप स्ट्रेन गेज प्रदर्शित की गयी हैं।



चित्र 2.15—मैटल फॉयल स्ट्रेन गेज।

फॉयल टाइप गेज की ऊष्मा व्यय क्षमता (heat dissipation capacity) वायर वाउण्ड स्ट्रेन गेज की तुलना भी अधिक होती है क्योंकि समान आयतन के लिए इसका पृष्ठ क्षेत्र (surface area) अधिक होता है। इस स्ट्रेन गेज में वायर के स्थान पर धातु की फॉयल (foil) को सैन्सिंग एलिमेंट की भाँति प्रयुक्त किया जाता है। फॉयल 0.005mm से भी कम मोटाई की शीट्स से फोटो-एचिंग (photo-etching) क्रिया द्वारा बनायी जाती है।

फॉयल टाइप स्ट्रेन गेज का उपयोग ट्रांसड्यूसर्स बनाने तथा प्रतिबल विश्लेषण (stress analysis) में किया जाता है। फॉयल गेज द्वारा मापन के लिए इन्हें एक फ्लैक्सिबिल इन्सुलेटिंग कैरियर फिल्म (लगभग 0.025 mm मोटी) पर माउन्ट किया जाता है। कैरियर फिल्म पोलिमाइड (polyimide) अथवा ग्लास फिनोलिक आदि द्वारा निर्मित की जाती है। गेज का प्रतिरोध सामान्यतः 120, 350 तथा 1000Ω होता है तथा इसमें 5 से 40 mA तक धारा प्रवाहित की जा सकती है। गेज फैक्टर 2 से 4 तक होता है।

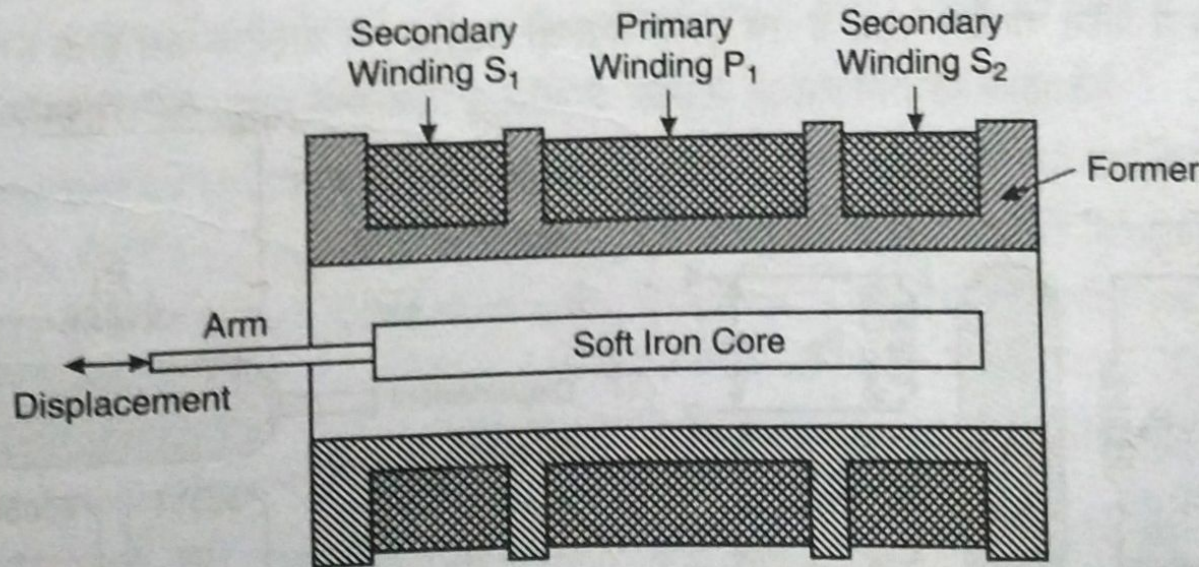
फॉयल टाइप स्ट्रेन गेज की ऊष्मीय स्थिरता (thermal stability) उत्तम होती है। इनमें मोड़ (joints) न होने के कारण प्रतिबल केन्द्रित (stress concentration) नहीं होता अतः फॉयल गेज का जीवनकाल (life) उत्तम होता है।



## 2.3. लीनियर वेरियेबिल डिफ्रैन्शियल ट्रांसफॉर्मर विस्थापन सेंसर

### (Linear Variable Differential Transformer (LVDT) Displacement Sensor)

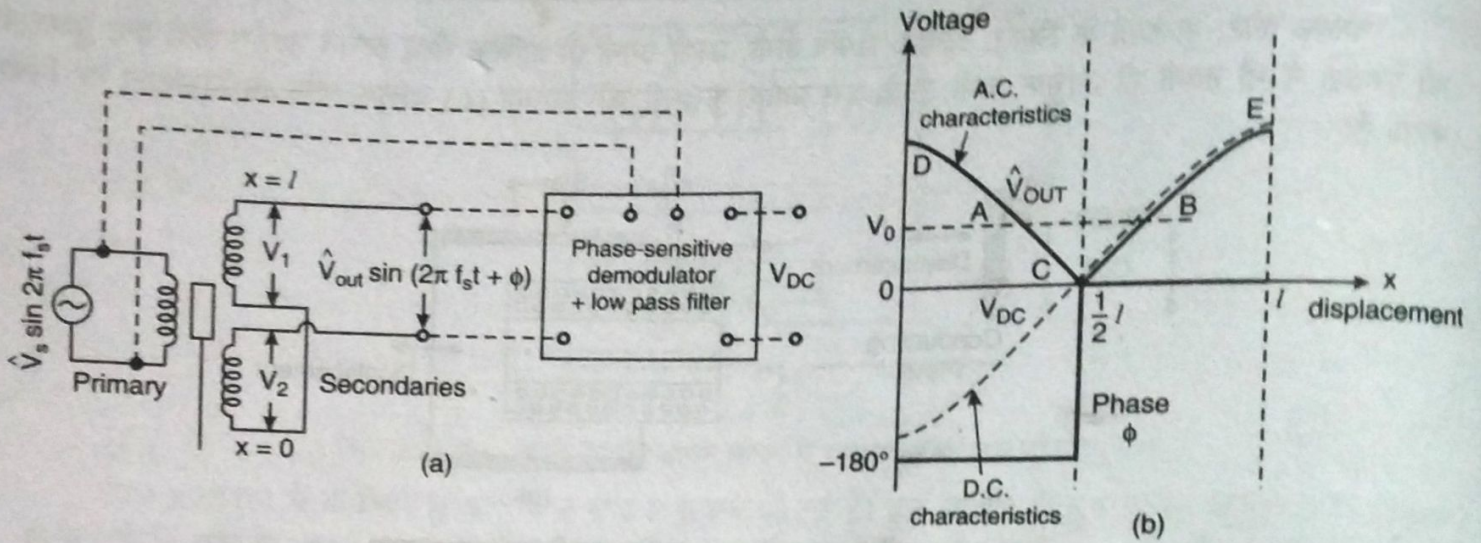
LVDT एक डिफ्रैन्शियल ट्रांसफॉर्मर है। इसका उपयोग लीनियर विस्थापन (linear displacement) को इलेक्ट्रिकल सिग्नल में परिवर्तित करने के लिए किया जाता है। ट्रांसफॉर्मर के आउटपुट अभिलक्षण लीनियर होने के कारण यह Linear Variable Differential Transformer (LVDT) कहलाता है। चित्र 2.28 में एक LVDT प्रदर्शित किया गया है। इसमें एक प्राइमरी वाइन्डिंग ( $P_1$ ) तथा दो सैकेन्डरी वाइन्डिंग ( $S_1$ ) एवं ( $S_2$ ) एक बेलनाकार फॉर्मर (former) पर लिपटी होती हैं। फॉर्मर के अन्दर नरम लोहे का कोर (soft iron core) रखा होता है जो अपनी अक्ष के अनुदिश गति (move) कर सकता है। सैकेन्डरी कुण्डलियों में टर्न संख्या समान होती है। दोनों कुण्डलियाँ ( $S_1$  तथा  $S_2$ ) श्रेणी में कनेक्ट की जाती हैं तथा इन्हें प्राइमरी कुण्डली के दोनों ओर समान रूप से (symmetrically) स्थित किया जाता है।



चित्र 2.28—LVDT.

प्राइमरी कुण्डली को AC सोर्स से सप्लाई दी जाती है [चित्र 2.29 (a)]। दोनों सैकेन्डरी वाइन्डिंग परस्पर विपरीत फेज (phase opposition) में संयोजित की जाती है। सैकेन्डरी वाइन्डिंग  $S_1$  तथा  $S_2$  में प्रेरित वोल्टेज  $e_1$  तथा  $e_2$ , प्राइमरी वाइन्डिंग द्वारा उनमें प्रेरण की मात्रा (amount of induction) पर निर्भर करती है जोकि मूविंग कोर की पोजिशन  $x_1$  पर निर्भर है। मूविंग





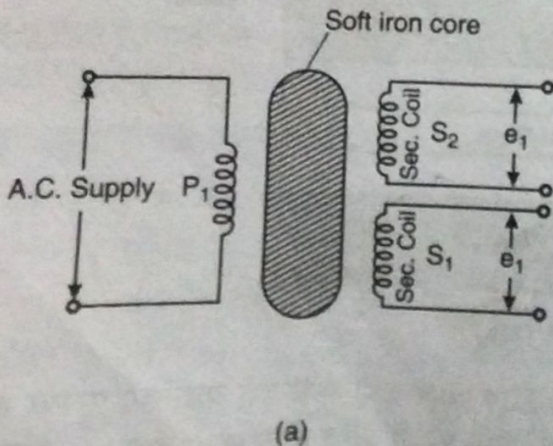
चित्र 2.29—LVDT तथा ग्राफ।

कोर की शून्य (null) स्थिति पर दोनों सैकेन्डरी वाइन्डिंग  $S_1$  तथा  $S_2$  में प्रेरित वोल्टेज बराबर होती है अर्थात्  $e_1 = e_2$ , एवं आउटपुट वोल्टेज  $e_0 = 0$  होती है। इस स्थिति में कोर की बहुत अल्प (slight) गति भी कुण्डलियों की कपलिंग में परिवर्तन करती है तथा  $e_1$  तथा  $e_2$  में अन्तर हो जाता है ( $e_1 \neq e_2$ )। अतः  $e_0$  भी शून्य नहीं होगी तथा विस्थापन के समानुपाती होगी।

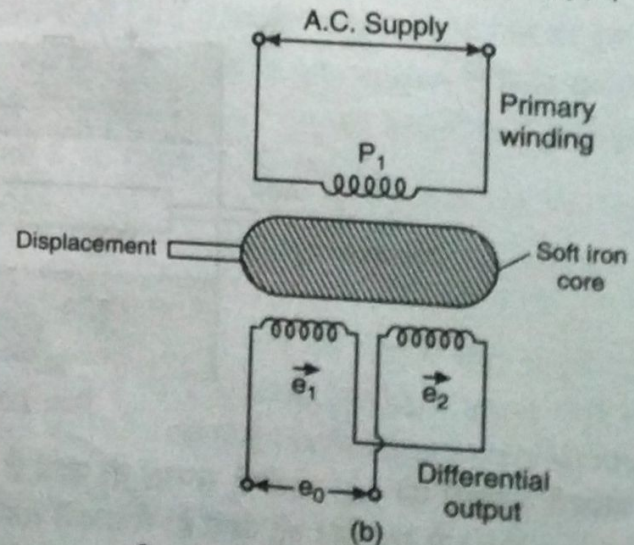
### विस्थापन का मापन

यदि मूविंग कोर, अपनी शून्य (null) स्थिति से बायें गति करता है तब कुण्डली  $S_1$  तथा  $S_2$  की तुलना में अधिक फ्लक्स लिंक करता है [चित्र 2.30 (b)]। अतः सैकन्ड्री वाइन्डिंग  $S_1$  में प्रेरित वोल्टेज  $e_1$ , कुण्डली  $S_2$  में प्रेरित वोल्टेज  $e_2$  की तुलना में अधिक होगी। आउटपुट वोल्टेज का मान  $e_0 = e_1 - e_2$  होगा तथा आउटपुट वोल्टेज माना प्राइमरी वोल्टेज के फेज में है। इसी प्रकार यदि कोर को शून्य (null) स्थिति से दायें चलाया जाता है तब कुण्डली  $S_2$  के साथ लिंक होने वाला फ्लक्स, कुण्डली  $S_1$  से लिंक होने वाले फ्लक्स से अधिक होगा। इससे  $e_2$  का मान  $e_1$  से अधिक होगा। इस अवस्था में  $e_0 = e_2 - e_1$  तथा यह प्राइमरी वोल्टेज के विपरीत फेज ( $180^\circ$  out of phase) होगा। इस प्रकार दोनों डिफ्रेंशियल वोल्टेज परस्पर  $180^\circ$  पर होंगी।

किसी भी सैकन्ड्री वाइन्डिंग में प्रेरित वोल्टेज में परिवर्तन, कोर की गति के समानुपाती होता है। यह ज्ञात कर कि कौन-सी आउटपुट वोल्टेज घट रही है अथवा बढ़ रही है, हम गति की दिशा ज्ञात कर सकते हैं अर्थात् कोर की गति से यदि एक सैकन्ड्री वाइन्डिंग में प्रेरित वोल्टेज बढ़ती है तब दूसरी सैकन्ड्री वाइन्डिंग में वोल्टेज कम होती है। दोनों वोल्टेज का अन्तर



चित्र 2.30 (a)—LVDT में विभिन्न कुण्डलियाँ।



चित्र 2.30 (b)—LVDT से विस्थापन मापन।



ट्रांसड्यूसर के आउटपुट टर्मिनलों पर प्राप्त होता है जिससे कोर की भौतिक (physical) स्थिति ज्ञात होती है अर्थात् विस्थापन ज्ञात होता है।

### LVDT के लाभ

1. उच्च रेंज (High range)—LVDT की विस्थापन मापन की रेंज काफी बड़ी है। इसके द्वारा 1.25 mm से 250 mm तक विस्थापन का मापन किया जा सकता है।
2. घर्षणहीन युक्ति (Frictionless device)—LVDT में गतिशील कोर तथा कुण्डली संरचना के मध्य कोई कॉन्टैक्ट नहीं होता है। इसका अर्थ है कि यह घर्षणहीन युक्ति है अतः इसे उन विशिष्ट मापनों में प्रयुक्त किया जाता है जो घर्षण के कारण लोडिंग को सहन न कर सकें। कुण्डली एवं कोर के मध्य घर्षण न होने से इस डिवाइस में टूट-फूट (wear out) नहीं होती है। इससे इनका जीवनकाल (mechanical life) लम्बा होता है जो अधिक विश्वसनीय मापनों में महत्वपूर्ण है, उदाहरणतः एयरक्राफ्ट, मिसाइल्स, स्पेस व्हीकल्स तथा विशिष्ट इन्डस्ट्रियल उपकरण।
3. विद्युत आइसोलेशन (Electrical isolation)—LVDT एक इस प्रकार का ट्रांसफॉर्मर है जिसमें प्राइमरी वाइन्डिंग को दी जाने वाली AC सप्लाय तथा सैकण्ड्री वाइन्डिंग में उत्पन्न आउटपुट के मध्य पूर्ण अलगाव (Complete isolation) है। LVDT के इस गुण के कारण इसे एक 'एनेलॉग कम्प्यूटिंग एलीमेंट्स' की भाँति प्रयुक्त किया जाता है।
4. उच्च आउटपुट एवं उच्च सैन्सिटिविटी (High output and high sensitivity)—LVDT से उच्च आउटपुट प्राप्त होती है एवं अधिकांश अवस्थाओं में उसके प्रवर्धन (amplification) की आवश्यकता नहीं होती है। LVDT की सैन्सिटिविटी उच्च (लगभग 40 V/mm) होती है।
5. एक दृढ़ डिवाइस (Ruggedness)—LVDT काफी उच्च स्तर का शॉक (shock) एवं कम्पन (vibration) सह सकती है, विशेष रूप से उस समय जब कोर स्पिंग लोडेड होता है।
6. कम हिस्टेरिसिस (Low hysteresis)—LVDT में हिस्टेरिसिस कम होता है।
7. शक्ति व्यय कम (Low power consumption)—LVDT में शक्ति व्यय कम (1 W से भी कम) होता है।

### LVDT में दोष (Disadvantages of LVDT)

1. उच्च डिफ्रैन्शियल आउटपुट प्राप्त करने के लिए अधिक विस्थापन की आवश्यकता है।
2. LVDT स्ट्रे चुम्बकीय क्षेत्रों के प्रति संवेदी (sensitive) होते हैं। इसके लिए LVDT की शील्डिंग की जा सकती है।
3. कुछ विशेष परिस्थितियों में ट्रांसड्यूसर की परफॉर्मैन्स कम्पनों से प्रभावित हो जाती है।
4. LVDT की कार्यप्रणाली पर ताप का प्रभाव होता है। परन्तु इस प्रकार के मापनों में, जहाँ ताप के प्रभाव की सम्भावना हो, कॉपर वायर के स्थान पर मंगनीन (manganin) का वायर प्रयुक्त किया जाता है यद्यपि इससे डिवाइस की सैन्सिटिविटी में कमी होती है। ताप के प्रभाव से फेज-शिफ्टिंग प्रभाव भी हो सकता है। इस प्रभाव को सैकण्ड्री कुण्डलियों के एक्रॉस कैपेसिटर कनेक्ट कर कम किया जा सकता है।

### LVDT के अनुप्रयोग (Applications of LVDT)

1. एक मिमी० के आंशिक भाग (fraction of 1 mm) से कुछ सेमी तक विस्थापन मापन में।
2. बल, भार, दाब आदि के मापन में।
3. धातुओं की रोलिंग (rolling) के समय शीट की मोटाई के कंट्रोल में।
4. कॉर्ड के तनावों (tension in cords) के मापन में।