इलेक्ट्रॉनिकी (Electronics)

16 CHAPTER

भूमिका (Introduction)

इलेक्ट्रॉनिकी, भौतिकी की वह शाखा है जिसके अन्तर्गत इलेक्ट्रॉन पुंज की गति को नियंत्रित कर विद्युत राशियों के प्रवर्धन (Amplification), दोलन, मॉडुलन, दिष्टकरण (Rectification), संसूचन आदि प्रक्रमों का अध्ययन किया जाता है। इन्हीं प्रक्रमों की सहायता से इलेक्ट्रॉनिक उपकरण जैसे रेडियो, टेलीविजन, राडार, कम्प्यूटर आदि का निर्माण किया जाता है। इलेक्ट्रॉनिकी का अध्ययन निम्न तीन रूपों में किया जाता है—

(i) वाल्व इलेक्ट्रॉनिकी

(ii) अर्धचालक इलेक्ट्रॉनिकी तथा

(iii) क्वाण्टम इलेक्ट्रॉनिकी

वाल्व इलेक्ट्रॉनिकी के अन्तर्गत मुक्त इलेक्ट्रॉनों को धातु पृष्ठ से बाहर निकालकर, उनकी गतिकी का वाल्वों (निर्वात् नलिकाओं) में उपयोग किया जाता है। ये वाल्व इनमें प्रयुक्त इलेक्ट्रोडों की संख्या के आधार पर डायोड, ट्रायोड, टेट्रोड, पेन्टोड आदि नामों से जाने जाते हैं। इन सभी वाल्वों में काँच के निर्वातित आवरण में एक कैथोड़ (इलेक्ट्रॉन उत्सर्जक) तथा एक एनोड़ अथवा प्लेट (इलेक्ट्रॉन संग्राहक) होते हैं। इन युक्तियों में इलेक्ट्रॉन केवल कैथोड़ से एनोड़ की ओर प्रवाहित कर सकते हैं अर्थात् इलेक्ट्रॉन केवल एक ही दिशा में प्रवाहित हो सकते है। इसी कारण ऐसी युक्तियों को साधारणतया वाल्व कहते हैं। ये युक्तियाँ उच्च वोल्टता पर कार्य करती है। इनका जीवनकाल कम होता है तथा ये महँगी युक्तियाँ है। इनका आकार बड़ा होता है। इनमें शक्ति व्यय अधिकतम होता है।

अर्धचालक इलेक्ट्रॉनिकी में इलेक्ट्रॉनों तथा होलों या कोटरों (holes) का उपयोग अर्धचालक के भीतर किया जाता है। ये युक्तियाँ अल्प वोल्टता पर कार्य करती है। इनका जीवनकाल अधिक होता है तथा ये सस्ती युक्तियाँ है। इनका आकार बहुत छोटा होता है। इनमें शक्ति व्यय न्यूनतम होता है।

क्वाण्टम इलेक्ट्रॉनिकी में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा अवस्थाओं का उपयोग कुछ कार्यों के लिए किया जाता है जैसे LASER तथा MASER आदि में।

इस अध्याय में हम अर्धचालक इलेक्ट्रॉनिकी से सम्बन्धित कुछ मूल अवधारणाओं के बारे में जानकारी प्राप्त करेंगे तथा संधि डायोड एवं द्विध्रुवीय संधि ट्रांजिस्टर जैसी कुछ अर्धचालक युक्तियों का अध्ययन करेंगे।

16.1 ठोसों में ऊर्जा बैण्ड (Energy bands in Solids)

सामान्यतया पदार्थों को तीन अवस्थाओं में वर्गीकृत किया जा सकता है ठोस, द्रव तथा गैस। प्रायः ठोस क्रिस्टलीय प्रकृति के होते हैं जिनमें परमाणु क्रिस्टल जालक में नियमित रूप से व्यवस्थित होते हैं। ठोसों में परमाणु निकटवर्ती परमाणु से अति अल्प दूरी से पृथक्कित होते हैं जिसे **जालक नियतांक** (lattice constant) कहते हैं। जालक नियतांक का मान भिन्न-भिन्न क्रिस्टलीय पदार्थों के लिए भिन्न-भिन्न होता है। जालक नियतांक परमाणु की रेखीय विमा की कोटि (Å) का होता है।

पदार्थ अणुओं से मिलकर बना होता है। अणु, परमाणु से मिलकर बने होते हैं। परमाणु, पदार्थ की वह मूलभूत इकाई है, जिसमें पदार्थ के गुण मौजूद होते हैं, लेकिन परमाणु स्वतन्त्र अवस्था में नहीं रह सकता है। प्रत्येक परमाणु के केन्द्र में एक नाभिक होता है जिसमें धनावेशित प्रोटॉन तथा उदासीन न्यूट्रॉन होते हैं। इलेक्ट्रॉन नाभिक के चारों ओर चक्कर लगाते रहते हैं। जिस परमाणु में प्रोटॉनों तथा इलेक्ट्रॉनों की संख्या बराबर होती है वे उदासीन परमाणु कहलाते हैं। किसी भी पदार्थ के भौतिक तथा रासायनिक गुणों का निर्धारण उसमें उपस्थित इलेक्ट्रॉनों, प्रोटॉनों तथा न्यूट्रॉनों की संख्या पर निर्भर करता है।

किसी कक्ष में इलेक्ट्रॉनों की संख्या का निर्धारण पाउली के अपवर्जन नियम (Pauli's exclusion principle) से किया जाता है। इस नियम के अनुसार किसी कक्ष में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की अधिकतम संख्या $2n^2$ होती है। जहाँ n-कक्ष की संख्या है--

n = 1 प्रथम कक्ष (K-कक्ष) इलेक्ट्रॉनों की संख्या $2 \times 1^2 = 2$

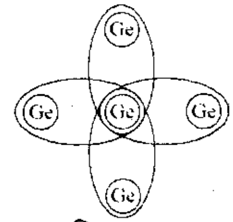
n = 2 द्वितीय कक्ष (L-कक्ष) इलेक्ट्रॉनों की संख्या $2 \times 2^2 = 8$

n = 3 तृतीय कक्ष (M-कक्ष) इलेक्ट्रॉनों की संख्या $2 \times 3^2 = 18$

n = 4 चतुर्थ कक्ष (N-कक्ष) इलेक्ट्रॉनों की संख्या $2 \times 4^2 = 32$

इससे स्पष्ट है कि सबसे अन्दर वाले कक्ष में (जिसकी ऊर्जा न्यूनतम होती है) केवल 2 इलेक्ट्रॉन उपस्थित होते हैं। आगे की कक्षाओं में ऊर्जा वृद्धि होती जाती है। साथ ही इलेक्ट्रॉनों की संख्या भी 8, 18, 32,....... के क्रम में बढ़ती जाती है।

सबसे बाहर के कक्ष में उपस्थित इलेक्ट्रॉन अधिकतम ऊर्जा के इलेक्ट्रॉन होते हैं जिन्हें संयोजी इलेक्ट्रॉन कहते है। ये कक्ष, उच्च ऊर्जा वाले कक्ष होते हैं। ये उच्च ऊर्जा के स्तर, संयोजकता स्तर कहलाते हैं। चूंकि ये संयोजी इलेक्ट्रॉन नाभिक से सबसे अधिक दूरी पर स्थित होते हैं, इस कारण इन इलेक्ट्रॉन पर नाभिक का कूलॉम आकर्षण बल नगण्य होता है। दूसरे शब्दों में ये संयोजी इलेक्ट्रॉन नाभिक से शिथिलता से बन्धे होते हैं अर्थात् ये स्वतन्त्रतापूर्वक विचरण कर सकते हैं, इन्हें **मुक्त इलेक्ट्रॉन** (free electron) कहते हैं। इन संयोजी इलेक्ट्रॉन के अतिरिक्त सभी इलेक्ट्रॉन अपनी-अपनी कक्षाओं में गति करते रहते हैं। इन पर नाभिक का आकर्षण बल अधिक होता है। इन्हें **बद्ध इलेक्ट्रॉन** (Bound electron) कहते हैं।



चित्र 16.1

उदाहरण के लिए जरमेनियम परमाणु में 32 इलेक्ट्रॉन होते हैं। इसका इलेक्ट्रॉनिक विन्यास $1s^2, 2s^2.2p^6.3s^2.3p^6.3d^{10}.4s^2.4p^2$. होता है। इसके विभिन्न कक्षों में पाउली अपवर्जन नियम से निम्न इलेक्ट्रॉन होंगे–

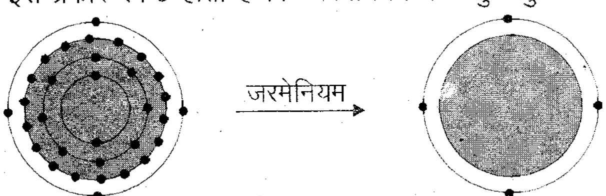
K कक्ष में 2, L कक्ष में 8.

M कक्ष में 18, N कक्ष में 4

इस प्रकार Ge परमाणु के प्रथम तीन कक्ष पूर्णतया भरे हुए हैं इनमें

उपस्थित इलेक्ट्रॉन बद्ध इलेक्ट्रॉन हैं। इसके सबसे बाहरी कक्ष में चार इलेक्ट्रॉन हैं। ये संयोजी इलेक्ट्रॉन हैं जो $4s^2$, $4p^2$ कक्षाओं में होते हैं ये कक्षाएँ संयोजी कक्षाएँ कहलाती हैं।

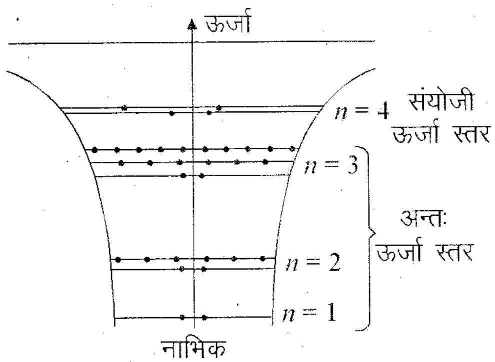
इस प्रकार स्पष्ट होता है कि जरमेनियम परमाणु चतु:संयोजी हैं।



चित्र 16.2

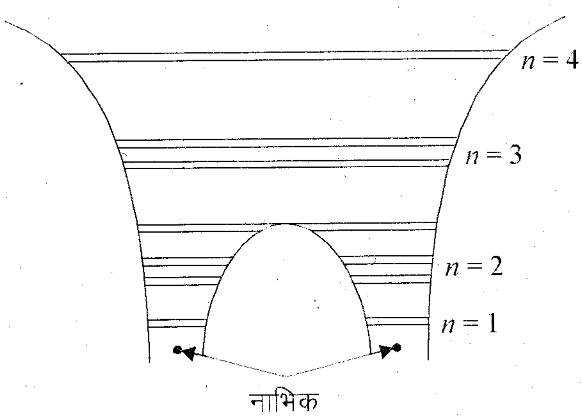
ऊर्जा बैण्ड सिद्धान्त (Energy Band Theory)

किसी परमाणु के प्रत्येक कक्ष में गतिशील इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा का मान निश्चित होता है। इसे ऊर्जा स्तर या ऊर्जा तल कहते हैं। एकल परमाणु में इलेक्ट्रॉनों पर नाभिक का आकर्षण बल लगने के कारण स्थितिज ऊर्जा ऋणात्मक होती है जिससे इलेक्ट्रॉन स्थितिज ऊर्जा वक्र द्वारा परिबद्ध क्षेत्र में ही गति करते हैं। ये इलेक्ट्रॉन सम्भावित अनुमत ऊर्जा स्तरों में ही रहते हैं। निम्न चित्र में एकल परमाणु जरमेनियम के लिए कुछ अनुमत ऊर्जा स्तरों को प्रदर्शित किया गया है–



चित्र 16.3

जब किसी तत्व के दो परमाणुओं को एक-दूसरे के समीप लाया जाता है तब इनमें परस्पर अन्योन्य क्रिया होती है जिससे दोनों परमाणुओं में प्रत्येक ऊर्जा स्तर दो ऊर्जा स्तरों में विभक्त हो जाता है इसमें एक ऊर्जा स्तर मूल ऊर्जा स्तर के ऊपर तथा दूसरा ऊर्जा स्तर मूल ऊर्जा स्तर के नीचे स्थित होता है जिनके मध्य की दूरी अत्यल्प होती है। इसे निम्न चित्र में प्रदर्शित किया गया है–



चित्र 16.4

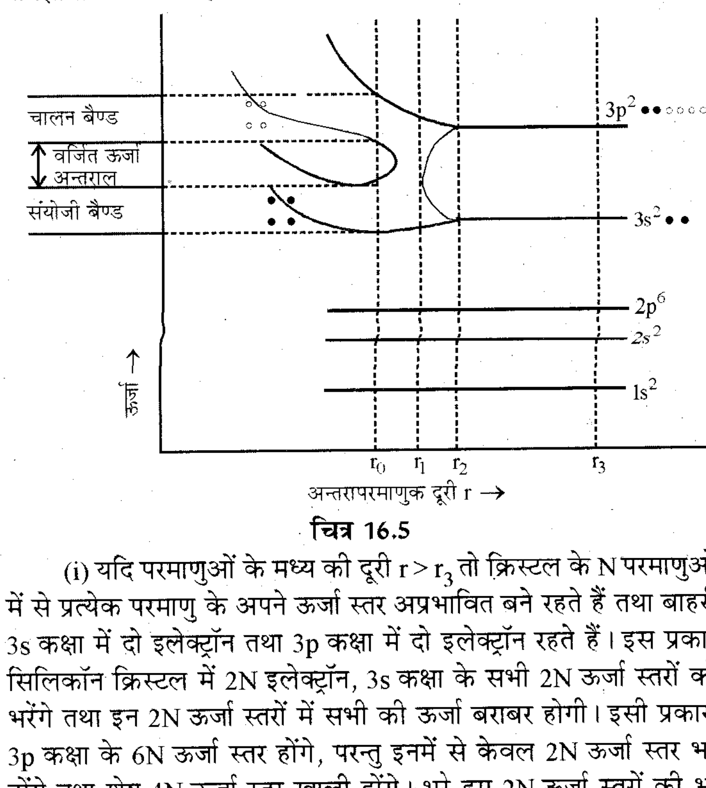
क्रिस्टल संरचना में अनेक परमाणु एक-दूसरे के पास स्थित होने से प्रत्येक परमाणु का ऊर्जा स्तर, क्रिस्टल में उपस्थित परमाणुओं की संख्या के बराबर ऊर्जा स्तरों में विभक्त हो जाता है। इन ऊर्जा स्तरों के अत्यन्त समीप होने के कारण ये ऊर्जा स्तर, एक ऊर्जा बैण्ड (energy band) का निर्माण करते हैं। इस प्रकार बहुत ही पास-पास स्थित अनेक ऊर्जा स्तरों के समूह को ऊर्जा बैण्ड कहते हैं।

उदाहरण के लिये चित्र में सिलिकॉन क्रिस्टल में ऊर्जा बैण्ड का बनना समझाया गया है। चित्र में ऊर्जा को Y- अक्ष पर तथा दो परमाणुओं के मध्य की दूरी r को X- अक्ष पर लिया गया है।

सिलिकॉन परमाणु (Z = 14) का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास निम्नानुसार होता है—

$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^2$

इनमें से पहली तथा दूसरी कक्षा इलेक्ट्रॉनों द्वारा पूर्णत: भरी है जबकि तीसरी कक्षा में केवल 4 इलेक्ट्रॉन है। तीसरी कक्षा में स्थायी परमाणु संरचना के लिए अधिकतम 8 इलेक्ट्रॉन हो सकते हैं, अत: तीसरी कक्षा आंशिक खाली है। 3s कक्षा में दो इलेक्ट्रॉन है तथा 3p कक्षा में दो इलेक्ट्रॉन है, जबकि 3p कक्षा में अधिकतम छ: इलेक्ट्रॉन हो सकते है। माना कि क्रिस्टल में N परमाणु है। जब दो परमाणु एक दूसरे के समीप आते हैं तब पहली व दूसरी कक्षा की ऊर्जा अवस्थाएँ तो अप्रभावित रहती है, परन्तु तीसरी कक्षा के संगत ऊर्जा अवस्थाएँ प्रभावित होने लगती है। इसे निम्न स्थितियों द्वारा समझाया जा सकता है—



चित्र 16.5

(i) यदि परमाणुओं के मध्य की दूरी $r > r_3$ तो क्रिस्टल के N परमाणुओं में से प्रत्येक परमाणु के अपने ऊर्जा स्तर अप्रभावित बने रहते हैं तथा बाहरी 3s कक्षा में दो इलेक्ट्रॉन तथा 3p कक्षा में दो इलेक्ट्रॉन रहते हैं। इस प्रकार सिलिकॉन क्रिस्टल में 2N इलेक्ट्रॉन, 3s कक्षा के सभी 2N ऊर्जा स्तरों को भरेंगे तथा इन 2N ऊर्जा स्तरों में सभी की ऊर्जा बराबर होगी। इसी प्रकार, 3p कक्षा के 6N ऊर्जा स्तर होंगे, परन्तु इनमें से केवल 2N ऊर्जा स्तर भरे होंगे तथा शेष 4N ऊर्जा स्तर खाली होंगे। भरे हुए 2N ऊर्जा स्तरों की भी ऊर्जा बराबर होगी।

(ii) जब परमाणुओं के मध्य की दूरी r इस प्रकार हैं, कि $r_2 < r < r_3$ तो भी ये ऊर्जा स्तर अप्रभावित रहते हैं।

(iii) जैसे ही परमाणुओं के मध्य की दूरी r का मान r_2 होता है, प्रत्येक परमाणु के 3s तथा 3p ऊर्जा स्तर प्रभावित होने लगते हैं, जबकि 1s, 2s तथा 2p ऊर्जा स्तर अप्रभावित रहते हैं।

(iv) जब परमाणुओं के मध्य की दूरी r इस प्रकार है कि $r_1 < r < r_2$ तो प्रत्येक परमाणु के 3s तथा 3p ऊर्जा स्तरों के इलेक्ट्रॉनों की ऊर्जा प्रभावित हो जाती है तथा प्रत्येक इलेक्ट्रॉन का भिन्न-भिन्न ऊर्जा स्तर नहीं रहता है, बल्कि 3s के 2N अत्यधिक पास-पास ऊर्जा स्तर बन जाते हैं। ऐसा होने से 3s व 3p ऊर्जा स्तरों के बीच का ऊर्जा अन्तराल समाप्त होने लगता है। इन पास-पास ऊर्जा स्तरों के समूह को ऊर्जा बैण्ड कहते हैं।

(v) जैसे ही परमाणुओं के मध्य की दूरी r का मान r_1 होता है, 3s तथा 3p ऊर्जा स्तरों के मध्य का ऊर्जा अन्तराल समाप्त हो जाता है तथा अब कुल 8N ऊर्जा स्तर एक साथ फैले होते हैं। इस अवस्था में 3s तथा 3p कक्षा में इलेक्ट्रॉनों में अन्तर करना संभव नहीं होता है। हम केवल यह कह सकते हैं कि 8N ऊर्जा स्तरों में से 4N ऊर्जा स्तर इलेक्ट्रॉनों से भरे हैं तथा 4N ऊर्जा स्तर इलेक्ट्रॉनों से खाली है।

(vi) जब परमाणुओं के मध्य की दूरी r का मान साम्य दूरी r_0 के बराबर होता है तो परम शून्य ताप पर क्रिस्टल में इलेक्ट्रॉनों से भरे 4N ऊर्जा स्तरों का ऊर्जा बैण्ड तथा इलेक्ट्रॉनों से खाली 4N ऊर्जा स्तरों का ऊर्जा बैण्ड एक दूसरे से अलग होकर पुन: ऊर्जा अन्तराल प्राप्त कर लेते हैं। इस ऊर्जा अन्तराल को वर्जित ऊर्जा अन्तराल कहते हैं तथा इसे ΔE_g द्वारा व्यक्त करते हैं। वह ऊर्जा बैण्ड जिसमें ऊर्जा स्तर इलेक्ट्रॉनों द्वारा पूर्णत: भरे होते हैं, संयोजी बैण्ड (Valence band) कहलाता है तथा वह ऊर्जा बैण्ड जिसके ऊर्जा स्तर पूर्णत: खाली होते हैं, चालन बैण्ड (Conduction band) कहलाता है।

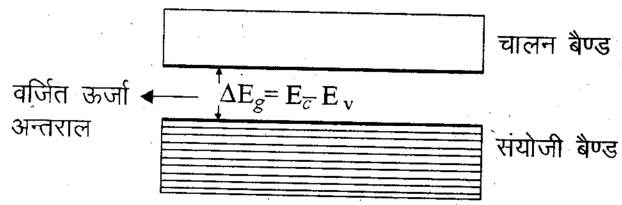
किसी वास्तविक क्रिस्टलीय ठोस के लिए N का मान बहुत अधिक होता है जैसे 10^{22} से 10^{23} परमाणु/सेमी.^{3} इस कारण प्रत्येक ऊर्जा बैण्ड में इतनी ही संख्या में ऊर्जा स्तर होते हैं। इन ऊर्जा स्तरों में अन्तराल बहुत ही अल्प होता है। उदाहरण के लिए यदि बैण्ड की न्यूनतम व अधिकतम ऊर्जा में अन्तराल 1 eV हो तो इस बैण्ड में 10^{22} ऊर्जा स्तर होने पर दो समीपतम ऊर्जा स्तरों में अन्तराल लगभग 10^{-22} eV का होता है।

सिलिकॉन क्रिस्टल (N परमाणु) के ऊर्जा स्तर

ऊर्जा स्तर	कुल उपलब्ध संख्या	इलेक्ट्रॉनों द्वारा भरी संख्या
1s	2N	2N
2s	2N	2N
2p	6N	6N
3s	2N	2N
3p	6N	2N

ऊर्जा बैण्ड के प्रकार (Types of energy bands)

ऊपर वर्णित ऊर्जा बैण्ड सिद्धान्त से यह स्पष्ट होता है कि प्रत्येक कक्ष या ऊर्जा स्तर, अनेक ऊर्जा स्तरों में विभाजित हो जाता है, जिन्हें ऊर्जा बैण्ड कहते हैं। प्रत्येक कक्ष के ऊर्जा स्तर के संगत, ऊर्जा बैण्ड प्राप्त होते हैं। संयोजी कक्ष के लिए संयोजी बैण्ड बनता है। अत: ठोस के परमाणुओं के संयोजी इलेक्ट्रॉन जिस ऊर्जा बैण्ड में स्थित होते हैं उसे संयोजी बैण्ड कहते हैं। इसमें उपस्थित इलेक्ट्रॉन परमाणु के नाभिक से शिथिल बंध से बंधे होते हैं। अत: ये इलेक्ट्रॉन धारा वाहक के रूप में क्रियाशील नहीं हो पाते हैं। बिना किसी अतिरिक्त ऊर्जा के सभी संयोजी इलेक्ट्रॉन संयोजी बैण्ड में रहते हैं। इस संयोजी बैण्ड के ऊपर एक और बैण्ड होता है, जिसे चालन बैण्ड कहते हैं जो अनुत्तेजित अवस्था में अधिकांशत: रिक्त होता है।



चित्र 16.6

कुछ ऊर्जा पाकर संयोजी बैण्ड के इलेक्ट्रॉन चालन बैण्ड में चले जाते हैं। चालन बैण्ड में आए इन इलेक्ट्रॉन पर नाभिक का आकर्षण बल नगण्य होता है। इस कारण से ये इलेक्ट्रॉन मुक्त इलेक्ट्रॉन की भांति व्यवहार करने लगते हैं और क्रिस्टल जालक में इधर-उधर कहीं भी ये विचरण करते रहते हैं। जो धारावाहक के रूप में कार्य कर सकते हैं जैसा धात्विक चालकों में होता है।

संयोजी बैण्ड व चालन बैण्ड के मध्य के ऊर्जा अन्तराल को वर्जित ऊर्जा अन्तराल ΔE_g (Forbidden energy gap) कहते हैं। इस ऊर्जा अंतराल के संगत कोई भी इलेक्ट्रॉन ठोस में नहीं होता है। यह अंतराल पदार्थ की प्रकृति पर निर्भर करता है। जो अधिक, कम या शून्य हो सकता है।

वर्जित ऊर्जा अन्तराल उस आवश्यक ऊर्जा को व्यक्त करता है जो किसी भी इलेक्ट्रॉन को संयोजी बैण्ड से चालन बैंड में पहुँचाने के लिए आवश्यक होती है अर्थात् किसी भी इलेक्ट्रॉन को संयोजी बैण्ड से चालन में पहुँचाने के लिए कम से कम वर्जित ऊर्जा अन्तराल ΔE_g के बराबर ऊर्जा देनी आवश्यक होती है।

यदि यह ऊर्जा, तरंगदैर्ध्य λ या आवृत्ति υ के विकिरण द्वारा प्रदान की जाती है तो

$$\Delta E_g = \frac{hc}{\lambda} = h\upsilon$$

जहाँ h प्लांक नियतांक ($=6.6 \times 10^{-34}$ जूल × सेकण्ड) तथा c प्रकाश की चाल ($= 3 \times 10^8$ मी/से) है।

संयोजी बैण्ड के उच्चतम ऊर्जा स्तर को E_v द्वारा प्रदर्शित करते हैं तथा चालन बैण्ड के निम्नतम ऊर्जा स्तर को E_c द्वारा प्रदर्शित करते है।

वर्जित ऊर्जा अन्तराल से कम ऊर्जा देने पर इलेक्ट्रॉन चालन बैण्ड में नहीं पहुँच पाते और चालकता में सहायक नहीं होते। किसी भी पदार्थ की चालकता, वर्जित ऊर्जा अंतराल (ΔE_g) पर निर्भर करती है। ठोसों में इलेक्ट्रॉनों का संक्रमण (transition) दो प्रकार से संभव है–

(i) एक ही बैण्ड के ऊर्जा स्तरों में संक्रमण तथा

(ii) विभिन्न बैण्डों के मध्य ऊर्जा स्तरों में संक्रमण।

इन दोनों प्रकार के संक्रमणों के लिए उच्च ऊर्जा स्तर का रिक्त होना आवश्यक है। एक ही बैण्ड के दो क्रमागत ऊर्जा स्तरों में अत्यल्प

अन्तर होने के कारण इस प्रकार के संक्रमणों के लिए अल्प ऊर्जा की आवश्यकता होती है जबकि दो क्रमागत ऊर्जा बैण्डों में संक्रमण के लिए इलेक्ट्रॉन को वर्जित ऊर्जा अन्तराल की कोटि की ऊर्जा की आवश्यकता होती है।

महत्वपूर्ण तथ्य

ऊर्जा बैण्ड-किसी भी विलगित परमाणु में संयोजी इलेक्ट्रॉन केवल अनुमत: उपकोशों में उपस्थित होते हैं। प्रत्येक उपकोश की एक निश्चित ऊर्जा होती है परन्तु जब दो परमाणु एक-दूसरे के पास लाये जाते हैं तो इनके ऊर्जा स्तरों में परिवर्तन होता है तथा ये फैलकर ऊर्जा बैण्ड बना लेते हैं। ठोसों में अति निकटतम ऊर्जा स्तरों के समूह को ऊर्जा बैण्ड कहते हैं।

ठोसों में तीन प्रकार के ऊर्जा बैण्ड होते हैं—

(1) संयोजी बैण्ड (V.B.)— संयोजी इलेक्ट्रॉनों की ऊर्जा स्तरों के संयोजन द्वारा निर्मित ऊर्जा बैण्ड संयोजी बैण्ड कहलाता है।

(i) इस बैण्ड में संयोजी इलेक्ट्रॉन होते हैं।

(ii) यह बैण्ड आंशिक रूप या पूर्ण रूप से इलेक्ट्रॉनों द्वारा भरा होता है।

(iii) इस बैण्ड में उपस्थित इलेक्ट्रॉन विद्युत क्षेत्र से ऊर्जा ग्रहण करने की स्थिति में नहीं होते हैं।

(iv) यह अधिकतम ऊर्जा का बैण्ड है।

(v) 0K ताप पर संयोजी बैण्ड में इलेक्ट्रॉन द्वारा अधिग्रहण अधिकतम ऊर्जा स्तर को फर्मी ऊर्जा स्तर कहते हैं।

(2) चालन बैण्ड (C.B.)— संयोजी ऊर्जा बैण्ड से उच्च ऊर्जा बैण्ड को चालन बैण्ड कहते हैं।

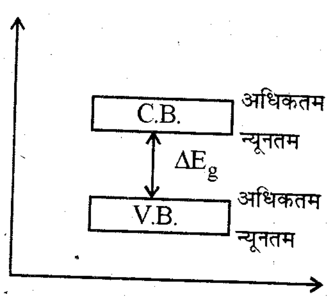
(i) इस बैण्ड में इलेक्ट्रॉन आंशिक रूप से पाये जाते हैं।

(ii) यह बैण्ड रिक्त या आंशिक रूप से इलेक्ट्रॉनों द्वारा भरा होता है।

(iii) इस बैण्ड में उपस्थित इलेक्ट्रॉन ऊर्जा ग्रहण करने की स्थिति में होते हैं।

(iv) यह न्यूनतम ऊर्जा का रिक्त बैण्ड है।

(3) वर्जित बैण्ड या वर्जित ऊर्जा अन्तराल (ΔE_g)— चालन बैण्ड तथा संयोजी बैण्ड के मध्य ऊर्जा अन्तराल $\Delta E_g = (C.B.)_{न्यूनतम} - (V.B.)_{अधिकतम}$



(i) इस बैण्ड में इलेक्ट्रॉन नहीं पाये जाते हैं।

(ii) यह बैण्ड पूर्णत: खाली होता है।

(iii) ताप बढ़ाने पर, ऊर्जा अन्तराल थोड़ा कम हो जाता है।

16.2 चालक, कुचालक तथा अर्धचालक का वर्गीकरण (Classification of Conductor, Insulator and Semiconductor)

चालकता के आधार पर

विद्युत चालकता (σ) अथवा प्रतिरोधकता (ρ) के आधार पर ठोस पदार्थों का निम्न प्रकार से वर्गीकरण किया जा सकता है—

(i) कुचालक या विद्युतरोधी— इनकी प्रतिरोधकता बहुत अधिक (अथवा चालकता बहुत कम) होती है।

- इनकी प्रतिरोधकता 10^{11} ओम×मी. से 10^{19} ओम × मी के मध्य होती है।
- इनकी चालकता 10^{-11} ओम$^{-1}$ मी$^{-1}$ तथा 10^{-19} ओम$^{-1}$ मी$^{-1}$ के मध्य होती है।
- कुचालकों का प्रतिरोध ताप गुणांक (α) ऋणात्मक होता है अर्थात् ताप बढ़ाने से प्रतिरोध कम होता है।

(ii) धातु— इनकी प्रतिरोधकता बहुत कम (अथवा चालकता बहुत अधिक) होती है।

- इनकी प्रतिरोधकता 10^{-2} ओम × मी से 10^{-8} ओम×मी के मध्य होती है।
- इनकी चालकता 10^2 ओम$^{-1}$ मी$^{-1}$ तथा 10^8 ओम$^{-1}$ मी$^{-1}$ के मध्य होती है।
- धातुओं का ताप बढ़ाने से मुक्त इलेक्ट्रॉनों की संख्या तो नियत रहती है परन्तु टक्करों की आवृत्ति बढ़ जाती है, फलस्वरूप प्रतिरोध भी बढ़ जाता है। यही कारण है कि धातुओं का प्रतिरोध ताप गुणांक (α) धनात्मक होता है।

(iii) अर्धचालक-इनकी प्रतिरोधकता या चालकता धातुओं तथा विद्युतरोधी पदार्थों के बीच की होती है।

- इनकी प्रतिरोधकता 10^{-5} ओम × मी. से 10^6 ओम×मी. के मध्य होती है।
- इनकी चालकता 10^5 ओम$^{-1}$ मी$^{-1}$ तथा 10^{-6} ओम$^{-1}$ मी$^{-1}$ के मध्य होती है।
- अर्धचालकों का ताप बढ़ाने पर, मुक्त इलेक्ट्रॉनों की संख्या में वृद्धि के कारण चालकता बढ़ती है जबकि प्रतिरोधकता घटती है। यही कारण है कि अर्धचालकों का प्रतिरोध ताप गुणांक (α) ऋणात्मक होता है।

ऊर्जा बैण्ड के आधार पर

किसी भी पदार्थ की चालकता, मुक्त इलेक्ट्रॉन की संख्या पर निर्भर करती है। वर्जित ऊर्जा अन्तराल ΔE_g के बराबर या इससे अधिक ऊर्जा देने से संयोजी बैण्ड के इलेक्ट्रॉन, चालन बैण्ड में चले जाते हैं और मुक्त हो जाते हैं। अत: हम कह सकते हैं कि किसी भी पदार्थ की चालकता वर्जित ऊर्जा अन्तराल पर निर्भर करती है।

पदार्थों को ऊर्जा बैण्ड के आधार पर तीन भागों में वर्गीकृत किया जा सकता है—

(अ) कुचालक या विद्युतरोधी (Insulators)

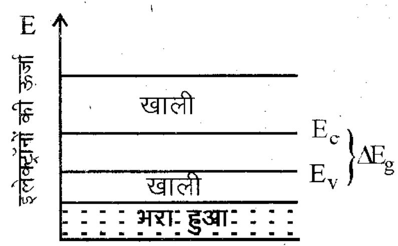
(ब) चालक या धातुएँ (Conductors or metals)

(स) अर्ध चालक (Semi Conductors)

16.2.1 चालक (Conductor)

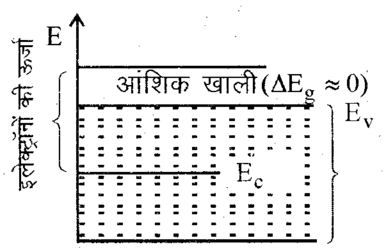
चालक वे ठोस पदार्थ होते हैं जिनमें अन्तिम ऊर्जा बैण्ड अधूरे भरे होते हैं अथवा चालन बैण्ड तथा संयोजी बैण्ड का अतिव्यापन होता है। उदाहरण के लिए सोडियम, ताँबा, चाँदी आदि चालक पदार्थ होते हैं।

सोडियम के परमाणु में 11 इलेक्ट्रॉन होते हैं इनमें से प्रथम कक्ष में दो, दूसरे कक्ष में आठ व तीसरे कक्ष में (3s बैण्ड में) एक ही इलेक्ट्रॉन होता है। इस प्रकार सोडियम का 3s बैण्ड आधा भरा होता है। इस बैण्ड के e^- इलेक्ट्रॉन कमरे के ताप पर वातावरण से ऊर्जा ग्रहण कर उसी बैण्ड के उच्च तलों में आ जाते हैं। जब इस प्रकार के पदार्थ पर बाहरी विद्युत क्षेत्र आरोपित किया जाता है तो ये इलेक्ट्रॉन कुछ ऊर्जा ग्रहण कर गतिमान हो जाते हैं इनकी सामूहिक गति के कारण विद्युत चालन होता है।



चालक में ऊर्जा बैण्ड
चित्र 16.7

जिन पदार्थों के संयोजी बैण्ड पूर्ण भरे होते हैं। उदाहरण के लिए Mg के परमाणु में 12 इलेक्ट्रॉन होते हैं इसमें 3s बैण्ड पूर्ण रूप से भरे होते हैं परन्तु इसके ऊपर 3p बैण्ड का नीचला भाग 3s बैण्ड के ऊपरी भाग से अतिव्यापन कर लेता है। इस प्रकार धातुओं में चालन व संयोजी बैण्ड अतिव्यापन की स्थिति में होते हैं।

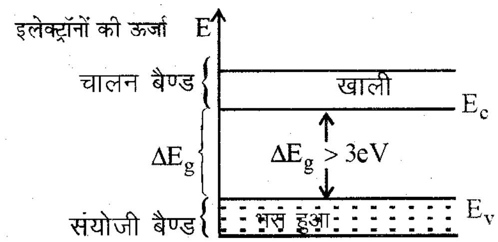


चालक में ऊर्जा बैण्ड का अतिव्यापन
चित्र 16.8

इनके मध्य ऊर्जा अन्तराल नहीं होता है। कमरे के ताप पर ही वातावरण से ऊर्जा ग्रहण कर संयोजी इलेक्ट्रॉन चालन बैण्ड में चले जाते हैं। जब बाह्य विद्युत क्षेत्र आरोपित किया जाता है तब ये मुक्त इलेक्ट्रॉन गतिमान हो जाते हैं और विद्युत का चालन करते हैं। इस प्रकार के पदार्थों का प्रतिरोध कम अथवा चालकता उच्च होती है।

16.2.2 कुचालक (Insulator)

कुचालक वे पदार्थ होते हैं जिनमें संयोजी बैण्ड तथा चालन बैण्ड के मध्य स्थित वर्जित ऊर्जा अन्तराल ΔE_g अत्यधिक होता है।



चित्र 16.9 कुचालक में ऊर्जा बैण्ड

चित्र से स्पष्ट है कि कुचालकों में वर्जित ऊर्जा अन्तराल का मान 3eV से अधिक होता है। इस कारण सामान्य ताप पर संयोजी बैण्ड के इलेक्ट्रॉन, चालन बैण्ड में नहीं जा पाते है। संयोजी बैण्ड तो पूर्ण रूप से भरा रहता है जबकि चालन बैण्ड में कोई इलेक्ट्रॉन उपस्थित नहीं होता है। दूसरे शब्दों में कुचालकों में कोई मुक्त इलेक्ट्रॉन नहीं होता है। अतः कोई विद्युत चालन संभव नहीं होता है। जबकि चालकता के लिए मुक्त इलेक्ट्रॉन आवश्यक होते हैं।

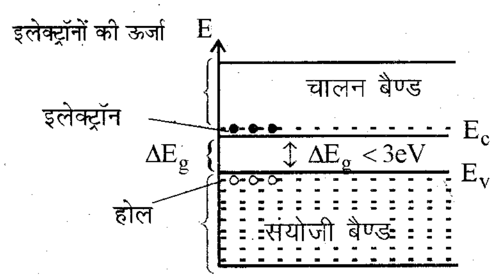
यही कारण है कि इस प्रकार के पदार्थों की चालकता नगण्य होती है और प्रतिरोधकता अत्यधिक होती है।

इस प्रकार के पदार्थों को अत्यधिक ताप देने पर संयोजी बैण्ड के कुछ इलेक्ट्रॉन, चालन बैण्ड में चले जाते हैं। इस कारण इनकी चालकता में अत्यल्प वृद्धि होती है और प्रतिरोधकता में अत्यल्प कमी आती है। कुचालकों की इस विशेष अवस्था को **भंजन अवस्था (Break down)** कहते हैं।

उदाहरण–लकड़ी, काँच, एबोनाइट, हीरा आदि कुचालक या विद्युतरोधी है। हीरे का वर्जित ऊर्जा अन्तराल 7eV होता है।

16.2.3 अर्धचालक (Semiconductor)

अर्ध चालक वे पदार्थ होते हैं जिनमें वर्जित ऊर्जा अन्तराल ΔE_g का मान, कुचालकों से कम परन्तु चालकों से अधिक होता है।



अर्द्ध चालक में ऊर्जा बैण्ड कमरे के ताप पर
चित्र 16.10

चित्र में बताए अनुसार अर्ध चालकों में वर्जित ऊर्जा अन्तराल परिमित परन्तु अल्प ($\Delta E_g < 3eV$) होता है। जो कि कुचालकों में पाए जाने वाले वर्जित ऊर्जा अन्तराल से कम है। उदाहरण के रूप में चतुर्थ संयोजी पदार्थ जैसे जरमेनियम (Ge) में यह वर्जित ऊर्जा अन्तराल लगभग 0.72eV तथा सिलिकॉन (Si) के लिए यह 1.1eV होता है। मिश्र धातु गेलियम आर्सनाइड (Ga As) में ΔE_g, 0.33eV तथा इण्डियम एन्टीमनॉइड (In Sb) में $\Delta E_g = 0.17$ eV होता है।

तत्व	परमाणु क्रमांक	इलेक्ट्रॉन वितरण	संयोजकता	वर्जित ऊर्जा अन्तराल ΔE_g
Si	14	2, 8, 4	चतुर्थ	1.1 eV
Ge	32	2, 8, 18, 4	चतुर्थ	0.72 eV

परमशून्य ताप पर इन पदार्थों के संयोजी इलेक्ट्रॉन संयोजी बैण्ड में ही रहते हैं। इस कारण कोई मुक्त इलेक्ट्रॉन विद्यमान नहीं होने के कारण इस अवस्था में ये पदार्थ कुचालक की भांति व्यवहार करते हैं अर्थात् परमशून्य ताप पर इनकी चालकता शून्य होती है। अर्धचालकों का प्रतिरोध उतना अधिक नहीं होता जितना विद्युतरोधी पदार्थों का होता है।

लेकिन सामान्य ताप पर संयोजी बैण्ड के इलेक्ट्रॉन इतनी ऊर्जा प्राप्त कर लेते हैं कि वे चालन बैण्ड में पहुँच जाये, क्योंकि इन पदार्थों का वर्जित ऊर्जा अन्तराल ΔE_g अत्यल्प होने के कारण, संयोजी बैण्ड के इलेक्ट्रॉन जल्दी ही मुक्त इलेक्ट्रॉन की भांति व्यवहार करने लगते हैं। अतः सामान्य ताप पर ये पदार्थ चालक की तरह व्यवहार करते हैं।

परमशून्य ताप पर कुचालक तथा सामान्य ताप पर चालक की भांति व्यवहार करने के कारण ही इन्हें **अर्धचालक** कहते हैं।

मुख्यत: अर्धचालक दो प्रकार के होते हैं—

(i) तात्विक अर्धचालक (Elemental semiconductor)—

उदाहरण-सिलिकॉन (Si) तथा जरमेनियम (Ge)

(ii) यौगिक अर्धचालक (Compound Semiconductor)

उदाहरण-

(a) अकार्बनिक-CdS, GaAs, CdSe, InP आदि।

(b) कार्बनिक-एन्थ्रासीन (anthracene), मादित थैलोस्यानीस (doped pthalocyanines) आदि।

(c) कार्बनिक बहुलक-पॉलीपाइरोल (Polypyrole), पॉलीऐनिलीन (Polyaniline), पॉलीथायोफीन (Polythiophene) आदि।

महत्त्वपूर्ण तथ्य

क्र. सं.	गुण	चालक	कुचालक	अर्धचालक
1.	धारा वाहक	स्वतंत्र इलेक्ट्रॉन	–	स्वतंत्र इलेक्ट्रॉन तथा होल
2.	अशुद्धि मिलाने पर प्रतिरोध	बढ़ता है	नियत	घटता है
3.	इलेक्ट्रॉन घनत्व	$\frac{10^{29}}{m^3}$	–	$Ge \sim \frac{10^{19}}{m^3}$ $Si \sim \frac{10^{16}}{m^3}$

16.3 नैज अर्ध-चालक (Intrinsic Semi-Conductor)

(अ) नैज अर्ध-चालक (Intrinsic Semi-Conductor)

एक शुद्ध अर्ध-चालक, जिसमें किसी भी प्रकार की अशुद्धि न हो नैज अर्ध-चालक कहलाते हैं अर्थात् प्रकृति से प्राप्त शुद्ध अर्ध-चालक, नैज अर्ध-चालक होते हैं। उदाहरण के तौर पर शुद्ध जरमेनियम तथा शुद्ध सिलिकॉन (Pure Si), नैज अर्धचालक है। आदर्श अवस्था में इस प्रकार के किसी नैज अर्धचालक में केवल उसी अर्धचालक के परमाणु होने चाहिए। व्यवहार में इस प्रकार के क्रिस्टल प्राप्त करना संभव नहीं होता है। अतः यदि अर्धचालक पदार्थ में अशुद्ध परमाणुओं की संख्या तथा अर्धचालक परमाणुओं की संख्या का अनुपात $1 : 10^8$ या इससे भी कम हो तो इसे नैज अर्धचालक माना जा सकता है। नैज अर्धचालक की चालकता उन संयोजी बैण्ड के इलेक्ट्रॉन के कारण होती है जो ऊर्जा पाकर चालन बैण्ड में चले जाते हैं और नाभिक के आकर्षण बल से मुक्त हो जाते हैं। नैज अर्धचालकों की चालकता को **नैज चालकता (Intrinsic conductivity)** कहते हैं।

नैज चालकता निम्न प्रकार से व्यक्त की जा सकती है–

$$\sigma_i = \sigma_e + \sigma_h$$

(ब) नैज अर्ध-चालकों की क्रिस्टलीय संरचना

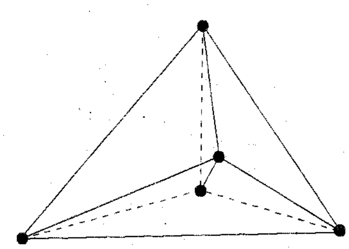
नैज अर्धचालकों की क्रिस्टलीय संरचना के अध्ययन के लिए जरमेनियम व सिलिकॉन को उदाहरण के रूप में प्रयुक्त करते हैं।

जरमेनियम (Ge) तथा सिलिकॉन (Si) दोनों ही तत्व आवर्त सारणी (Periodic table) के चतुर्थ वर्ग के सदस्य हैं। इनकी संयोजकता चार होती है। इनके इलेक्ट्रॉनिक विन्यास हैं–

$Ge(32) = 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^2$

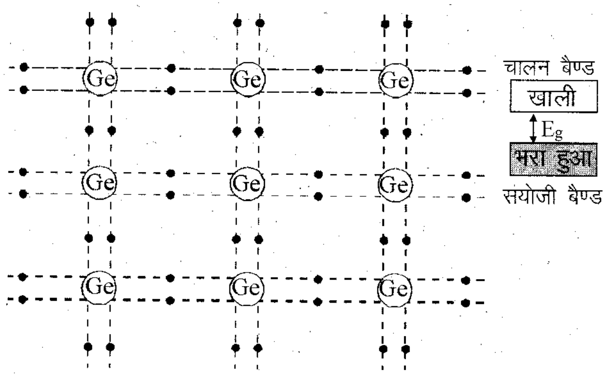
$Si(14) = 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^2$

जरमेनियम व सिलिकॉन की क्रिस्टल संरचना में परमाणु एक क्रमित व्यूह (ordered aray) में इस प्रकार व्यवस्थित होते हैं कि प्रत्येक परमाणु एक समचतुष्फलक (reg-ular tetrahedron) के किसी एक कोने पर चित्रानुसार व्यवस्थित होता है।



चित्र 16.11

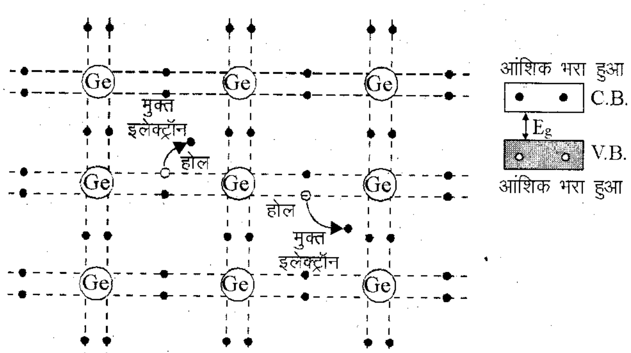
जरमेनियम व सिलिकॉन के इलेक्ट्रॉनिक विन्यास से स्पष्ट है कि दोनों ही तत्वों के संयोजी कक्ष में चार इलेक्ट्रॉन होते हैं। इन्हें संतृप्त होने के लिए चार और इलेक्ट्रॉन की आवश्यकता होती है। ऐसे में जरमेनियम व सिलिकॉन अपने ही अन्य चार परमाणुओं के एक-एक इलेक्ट्रॉन से साझा कर सह-संयोजक बन्ध (Co-valent bond) बना लेते हैं और संतृप्त हो जाते हैं। नीचे चित्र द्वारा परमशून्य ताप पर जरमेनियम की क्रिस्टलीय संरचना दर्शायी गयी है–



चित्र 16.12 : परमशून्य ताप पर शुद्ध जरमेनियम की क्रिस्टलीय संरचना

परमशून्य ताप की अवस्था में जरमेनियम, कुचालक की भांति व्यवहार करता है अर्थात् इनकी चालकता शून्य होती है क्योंकि 0 K ताप पर चालन बैण्ड एवं संयोजी बैण्ड में मुक्त इलेक्ट्रॉन नहीं होते फलतः $\sigma_e = \sigma_h = 0$ होने से $\sigma_i = 0$ होगी परन्तु यदि पर्याप्त मात्रा में तापीय ऊर्जा दी जाये तो संयोजी बैण्ड में स्थित इलेक्ट्रॉन, वर्जित ऊर्जा अन्तराल ($\Delta E_g \simeq 0.72$ eV) को पार कर चालन बैण्ड में चले जाते हैं और मुक्त इलेक्ट्रॉन की तरह व्यवहार करने लगते हैं। इस अवस्था में शुद्ध जरमेनियम, चालक की तरह कार्य करने लगता है।

परमशून्य ताप से उच्च ताप पर जब इलेक्ट्रॉन तापीय ऊर्जा के कारण संयोजी बैण्ड से चालन बैण्ड में प्रवेश करता है तो चालन बैण्ड में एक मुक्त इलेक्ट्रॉन तो प्राप्त हो जाता है, परन्तु संयोजी बैण्ड में एक रिक्त स्थान हो जाता है। जिसे होल या कोटर (Hole) कहते हैं। यह होल वास्तव में एक इलेक्ट्रॉन की कमी को दर्शाता है अतः **अर्धचालक में इलेक्ट्रॉन की रिक्तता ही होल कहलाती है**। इसे धन आवेशित कण मान सकते हैं। नीचे चित्र में कमरे के ताप पर शुद्ध जरमेनियम की क्रिस्टलीय संरचना दर्शाई गई है–



चित्र 16.13 – परमशून्य ताप से उच्च ताप पर शुद्ध जरमेनियम की क्रिस्टलीय संरचना

चित्र से स्पष्ट है कि ताप देने पर चालन बैण्ड में मुक्त इलेक्ट्रॉन तथा संयोजी बैण्ड में होल एक साथ युग्म के रूप में उत्पन्न होते हैं। यही कारण है कि नैज या शुद्ध अर्ध-चालकों में इलेक्ट्रॉन तथा होलों की संख्या समान होती है। अतः **ऐसे अर्धचालक जिनमें ताप जनित मुक्त इलेक्ट्रॉन व होल युग्म के रूप में उत्पन्न होते हैं, नैज अर्धचालक कहलाते है**। यदि मुक्त इलेक्ट्रॉन सान्द्रता (n_e) व होल (n_h) हो तो नैज सान्द्रता

$$n_i = n_e = n_h$$

यहाँ n_e तथा n_h नैज अर्धचालक में प्रति एकांक आयतन में क्रमशः मुक्त इलेक्ट्रॉनों व होलों की संख्या है।

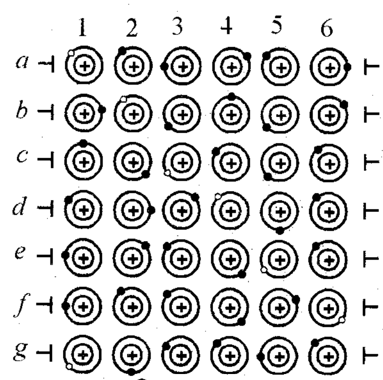
नैज सान्द्रता n_i को अर्धचालक में नैज आवेश वाहक घनत्व (Intrinsic charge carrier density) भी कहते हैं।

जिस स्थान पर होल बनता है उसके समीप के परमाणु से इलेक्ट्रॉन सह-संयोजक बन्ध तोड़कर, इस होल को भर देता है। इस प्रकार अब होल दूसरी नवीन स्थिति पर बनता है। इस प्रकार होल क्रिस्टल जालक में इधर-उधर अस्थायी रूप से गतिशील रहता है।

टिप्पणी–होल का प्रभावी द्रव्यमान इलेक्ट्रॉन के द्रव्यमान से अधिक होता है जबकि होल पर उपस्थित धनावेश इलेक्ट्रॉन के आवेश के बराबर होता है।

निम्न चित्र में होल की विद्युत क्षेत्र में प्रभावी गति को दिखाया गया है। इसमें बिन्दु सहित वृत्त (•) इलेक्ट्रॉन को व खाली वृत्त (o) होल को प्रदर्शित करता है। चित्र को एक साथ देखें तो पता चलेगा कि होल किस प्रकार पहले आयन से छठे आयन तक चला गया है।

इस अवस्था में जब अर्धचालक के सिरों पर विद्युत विभवान्तर आरोपित करते हैं तो इलेक्ट्रॉन, धनात्मक विभव की ओर (धन टर्मिनल की ओर) जब कि होल, ऋणात्मक विभव की ओर (ऋण टर्मिनल की ओर) गति करने लगते हैं। दूसरे शब्दों में दोनों आवेश वाहक (होल तथा इलेक्ट्रॉन) विपरीत दिशा में गति करने लगते हैं और परिपथ में विद्युत धारा का निर्माण करते हैं।

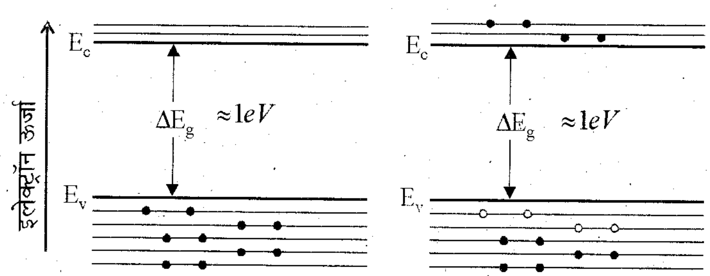


चित्र 16.14

परमशून्य ताप से अधिक ताप पर होल तथा मुक्त इलेक्ट्रॉन पदार्थ में यादृच्छिक गति करते हैं परन्तु जैसे ही विद्युत क्षेत्र आरोपित किया जाता है ये होल तथा इलेक्ट्रॉन एक निश्चित दिशा में गति करने लगते हैं। इस गति को **अपवहन गति (Drift velocity)** कहते हैं।

नैज अर्धचालक की चालकता पर ताप का प्रभाव

(Effecy of temperature on intrensic semiconductor)



(i) T = 0K पर (विद्युतरोधी जैसा व्यवहार)

(ii) T > 0K पर (चालक जैसा व्यवहार)

चित्र 16.15

परम शून्य ताप T = 0K पर नैज अर्धचालक पूर्ण विद्युतरोधी होता है। कमरे के ताप (T>0K) पर कुछ इलेक्ट्रॉन व होल युग्म उत्पन्न हो जाने

के कारण इनमें कुछ चालकता आ जाती है। ताप बढ़ाने पर आवेश वाहकों की संख्या में वृद्धि होने पर इनकी चालकता में वृद्धि होती है जब कि प्रतिरोधकता में कमी होती है। इनका प्रतिरोध ताप गुणांक (α) ऋणात्मक होता है।

टिप्पणी–संयोजी बैण्ड से चालन बैण्ड में इलेक्ट्रॉन के संक्रमित होने की प्रायिकता की चरघातांकी निर्भरता–

$$P \propto \exp\left(-\frac{\Delta E_g}{kT}\right)$$

से व्यक्त की जाती है जिससे स्पष्ट होता है कि प्रायिकता–

(i) ऊर्जा अन्तराल बढ़ने से घटती है।

(ii) ताप बढ़ने पर बढ़ती है।

नैज अर्धचालक में नैज आवेश वाहक घनत्व n_i का मान निम्न दो राशियों पर निर्भर करता है–

(i) ताप तथा (ii) अर्धचालक पदार्थ की प्रकृति पर।

गणितीय रूप से इस निर्भरता को निम्न सूत्र द्वारा व्यक्त किया जाता है–

$$n_i \approx AT^{3/2}\exp\left[\frac{-\Delta E_g}{2kT}\right]$$

जहाँ T परमताप, k बोल्ट्ज़मान नियतांक तथा एक A अन्य नियतांक है।

वर्जित ऊर्जा अन्तराल ΔE_g अधिक होने पर n_i का मान चरघातांकी रूप से घटता है। समान ताप पर नैज सिलिकॉन ($\Delta E_g = 1.1$ eV) तथा जरमेनियम ($\Delta E_g = 0.72$ eV) की तुलना करने पर नैज सिलिकॉन में इलेक्ट्रॉन होल युग्मों की संख्या नैज जरमेनियम की तुलना में कम होती है।

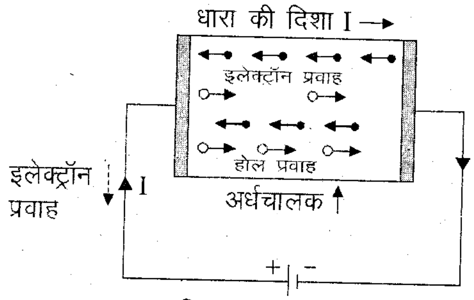
महत्वपूर्ण-Si के लिए प्रचालन ताप 180°C व Ge के लिए 85°C होता है।

16.3.1 अर्धचालक में विद्युत चालन (Conduction in Semiconductor)

एक नैज अर्धचालक में मुक्त इलेक्ट्रॉनों तथा होलों की संख्या समान होती है। इलेक्ट्रॉन तथा होल दोनों विद्युत चालन में सहयोग करते हैं। विद्युत धारा प्रवाह के लिए होल धनात्मक आवेशित कण की भांति व्यवहार करता है। इस कारण एक नैज अर्धचालक के सिरों पर विद्युत विभव लगाने पर इलेक्ट्रॉन ऋण सिरे से अर्धचालक में धन सिरे की ओर गति करते हैं जबकि होल धन सिरे से अर्धचालक में ऋण सिरे की ओर गति करते हैं।

अतः इलेक्ट्रॉनों की गति के कारण उत्पन्न धारा I_e तथा होलों की गति के कारण उत्पन्न धारा I_h एक ही दिशा में होती है, फलतः अर्धचालक में कुल धारा

$$I = I_e + I_h$$



चित्र 16.16

होल का अस्तित्व केवल अर्धचालक के अन्दर ही होता है। धातु के तार में होल का कोई अस्तित्व नहीं होता है। अतः इलेक्ट्रॉन अर्धचालक के भीतर तथा बाहर धातु तारों में भाग लेते हैं परन्तु होल केवल अर्धचालक के भीतर विद्युत प्रवाह में भाग लेते हैं।

नैज अर्धचालकों में मुक्त इलेक्ट्रॉन तथा होल के अपवहन वेग विद्युत क्षेत्र के समानुपाती होते हैं अर्थात् यदि v_e व v_h क्रमशः इलेक्ट्रॉन तथा होल के अपवहन वेग हो तो

$$v_e \propto E \Rightarrow v_e = \mu_e E \quad .....(1)$$

$$v_h \propto E \Rightarrow v_h = \mu_h E \quad .....(2)$$

यहाँ μ_e एवं μ_h क्रमशः मुक्त इलेक्ट्रॉन एवं होल की गतिशीलता (mobility) कहलाती है, इसका मात्रक मी²/वोल्ट से. होता है।

सदिश रूप में अपवहन वेग

$$\vec{v}_e = -\mu_e \vec{E} \quad .....(3)$$

तथा $$\vec{v}_h = \mu_h \vec{E} \quad .....(4)$$

यहाँ इलेक्ट्रॉन, विद्युत क्षेत्र $\vec{E}$ की दिशा के विपरीत दिशा में गति करते हैं। यदि इलेक्ट्रॉन अपवहन वेग के कारण धारा घनत्व $\vec{J_e}$ तथा होल अपवहन वेग के कारण धारा घनत्व $\vec{J_h}$ हो तो नैज अर्धचालक में प्रवाहित कुल धारा घनत्व

$$\vec{J} = \vec{J_e} + \vec{J_h} \quad .....(5)$$

$\because$ धारा घनत्व = प्रति एकांक क्षेत्रफल से प्रवाहित धारा

= आवेश वाहक संख्या घनत्व × आवेश × अपवहन वेग

$$\therefore \quad \vec{J}_e = n_e(-e)\vec{v}_e$$

परन्तु समी. (3) से

$$\vec{J}_e = n_e(-e)(-\mu_e \vec{E})$$

$$\vec{J}_e = n_e(e)\mu_e \vec{E} \quad .....(6)$$

तथा $$\vec{J}_h = n_h(e)\vec{v}_h$$

$$\vec{J}_h = n_h(e)\mu_h \vec{E} \quad .....(7)$$

विद्युत क्षेत्र में मुक्त इलेक्ट्रॉन तथा होल के अपवहन वेग विपरीत दिशा में होते हैं। परन्तु साथ ही साथ इनके आवेश भी विपरीत दिशा में होते हैं। अतः दोनों के कारण धारा की दिशा समान होती है तथा धारा घनत्व भी एक ही दिशा अर्थात् बाह्य विद्युत क्षेत्र की दिशा में होता है। अतः कुल धारा घनत्व

$$\vec{J} = \vec{J_e} + \vec{J_h}$$

$$\vec{J} = n_e(e)\mu_e \vec{E} + n_h(e)\mu_h \vec{E}$$

$$\vec{J} = (n_e \mu_e + n_h \mu_h)e\vec{E}$$

अदिश रूप में

$$J = (n_e\mu_e + n_h \mu_h)\, eE \quad .....(8)$$

धारा घनत्व का मात्रक एम्पियर/मी.² होता है। अर्धचालक की

विद्युत चालकता (electrical conductivity)

$$\sigma = \frac{J}{E} = e(n_e \mu_e + n_h \mu_h) \quad .....(9)$$

अर्धचालक की प्रतिरोधकता (resistivity)

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{e(n_e \mu_e + n_h \mu_h)} \quad .....(10)$$

नैज अर्धचालकों के लिए $n_e = n_h = n_i$

अतः चालकता $\sigma = en_i(\mu_e + \mu_h)$ .....(11)

प्रतिरोधकता $\rho = \dfrac{1}{en_i(\mu_e + \mu_h)}$ .....(12)

उपरोक्त विवेचन से यह स्पष्ट होता है कि इलेक्ट्रॉन तथा होल के आवेश परिमाण में समान होते हैं फिर भी इनकी गतिशीलताएँ भिन्न-भिन्न होती हैं। विद्युत धारा प्रवाह के लिए होल, धनात्मक आवेशित कण की भांति व्यवहार करता है जिसका कुछ प्रभावी द्रव्यमान (effective mass) भी होता है। यह प्रभावी द्रव्यमान इलेक्ट्रॉन के प्रभावी द्रव्यमान से थोड़ा अधिक होता है। इसी कारण इलेक्ट्रॉन तथा होल की गतिशीलताएँ भिन्न-भिन्न होती है।

निम्न सारणी में सिलिकॉन तथा जरमेनियम के लिए कमरे के ताप (T = 300 K) पर गतिशीलताएँ (μ_e व μ_h) तथा नैज आवेश वाहक घनत्व (n_i) के मान दिए गए हैं–

नैज अर्धचालक	μ_e (मी.^{2}/वोल्ट-से.)	μ_h (मी.^{2}/वोल्ट-से.)	(n_i/मी.^{3})
Si	0.13	0.048	1.5×10^{16}
Ge	0.39	0.19	2.4×10^{19}

अर्धचालकों में चालन द्विध्रुवीय चालन (bipolar conduction) होता है क्योंकि धारा प्रवाह में ऋणात्मक तथा धनात्मक दोनों प्रकार के मुक्त आवेश (इलेक्ट्रॉन तथा होल) भाग लेते हैं। जबकि धातुओं में एकल ध्रुवी चालन (unipolar conduction) होता है क्योंकि धातुओं में केवल इलेक्ट्रॉन ही धारा प्रवाह में भाग लेते हैं।

16.3.2 नैज अर्धचालक की चालकता पर ताप का प्रभाव (Effect of temperature on electrical conductivity of intrinsic semicondutors)

प्रयोगों द्वारा यह पाया गया है कि एक नैज अर्धचालक में आवेश वाहकों (charge carriers) $n_e = n_h$ का मान तथा इनकी गतिशीलता μ_e व μ_h के मान अर्धचालक के ताप T पर निर्भर करते हैं। यह निर्भरता निम्न प्रकार की होती है–

$$\mu \propto T^{-3/2}$$

$$n_i \propto T^{3/2}\, e^{-(\Delta E_g/2kT)}$$

इस कारण नैज अर्धचालक की चालकता σ, ताप T पर निम्न प्रकार निर्भर करती है–

$$\sigma \propto e^{-(\Delta E_g/2kT)}$$

$$\Rightarrow \quad \sigma = \sigma_0\, e^{-(\Delta E_g/2kT)} \quad .....(1)$$

एक नैज अर्धचालक में किसी भी ताप पर नैज आवेश वाहक घनत्व $n_e = n_h = n_i$ तथा चालकता σ दोनों के मान ΔE_g पर निर्भर करते हैं। किसी दिए हुए अर्धचालक (ΔE_g = नियत) के लिए ताप T में वृद्धि करने पर σ लगभग चरघातांकी रूप से बढ़ती है जबकि प्रतिरोधकता चरघातांकी रूप से कम होती है। (समी. (1) से) जबकि ताप बढ़ाने पर मुक्त इलेक्ट्रॉनों व होलों की, अर्धचालक के कम्पनशील परमाणुओं से टक्करों की संख्या में वृद्धि होती है जिससे μ_e तथा μ_h के मान में कमी होती है परन्तु यह कमी n_i में ताप में होने वाली वृद्धि के कारण σ के मान में वृद्धि की तुलना में अधिक प्रभावी नहीं होती है।

धातुओं में मुक्त इलेक्ट्रॉनों की संख्या ताप बढ़ाने पर भी लगभग वही रहती है। धातुओं में प्रतिरोध मुक्त इलेक्ट्रॉनों की गति में जालक कंपनों (lattice vibrations) के कारण अवरोध के कारण होता है। इस प्रकार धातुओं के ताप में वृद्धि करने पर प्रतिरोधकता में वृद्धि तथा चालकता में कमी प्रेक्षित होती है। सामान्य ताप पर यह $\rho \propto T$ तथा $\sigma \propto T^{-1}$ व्यवहार दर्शाती है। इसका कारण यह है कि धातुओं की चालकता $\sigma = n_e e \mu_e$ में ताप वृद्धि होने पर मुक्त इलेक्ट्रॉन घनत्व n_e का मान अपरिवर्तित रहता है जबकि इलेक्ट्रॉन गतिशीलता μ_e के मान में कमी होने से चालकता σ के मान में भी कमी होती है।

परमशून्य ताप (0 K) पर $n_i = 0$, $\sigma = 0$ होते हैं अर्थात् नैज अर्धचालक 0 K पर कुचालक होता है। नैज अर्धचालक के लिए ताप प्रतिरोध ताप गुणांक (temperature coefficient of resistance) ऋणात्मक होता है। सिलिकॉन के लिए इसका औसत मान लगभग –0.07/K होता है।

नैज अर्धचालकों की चालकता बहुत कम होने के कारण इनका कोई विशेष उपयोग नहीं होता है परन्तु इनकी प्रतिरोधकता में ताप के साथ परिवर्तन होने के कारण इन्हें प्रकाश या ऊष्मीय विकिरण सुग्राही प्रतिरोध (radiation sensitive resistance) के रूप में प्रयुक्त किया जाता है।

उदाहरण 1. 300 K ताप पर नैज जर्मेनियम की प्रतिरोधकता का परिकलन करिए। **पाठ्यपुस्तक उदाहरण 16.1**

दिया गया है– $\mu_e = 0.39\ \dfrac{m^2}{V\times s}$

$\mu_h = 0.19\ \dfrac{m^2}{V\times s}$

$n_i = 2.5\times10^{19}/m^3$

हलः नैज अर्धचालक के लिये प्रतिरोधकता के सूत्र से

$$\rho = \frac{1}{n_i e(\mu_e + \mu_h)}$$

$$\rho = \frac{1}{2.5\times10^{9}\times1.6\times10^{-19}(0.39+0.19)}$$

$$= \frac{1}{4\times0.58} = 0.43\,\Omega m$$

उदाहरण 2. C, Si तथा Ge की जालक (Lattice) संरचना समान होती है। फिर भी क्यों C विद्युतरोधी है जबकि Si व Ge नैज अर्धचालक

(intrinsic semiconductor) हैं?

हल–C, Si तथा Ge परमाणुओं के चार बंधित इलेक्ट्रॉन क्रमशः द्वितीय, तृतीय तथा चतुर्थ कक्षा में होते हैं अतः इलेक्ट्रॉन को बाहर निकालने के लिए आवश्यक ऊर्जा, कार्बन के लिए सर्वाधिक जबकि Ge के लिए न्यूनतम होती है फलतः सामान्य ताप पर Ge एवं Si में तो मुक्त इलेक्ट्रॉन कुछ मात्रा में पाये जाते हैं जबकि कार्बन में इनकी संख्या नगण्य होती है।

उदाहरण 3. किसी नैज अर्धचालक के लिये वर्जित ऊर्जा अन्तराल, E_g इलेक्ट्रॉन वोल्ट है। अर्धचालक द्वारा किस अधिकतम तरंग दैर्ध्य के आपतित प्रकाश का अवशोषण किया जा सकता है?

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 16.2

हल–वर्जित ऊर्जा अन्तराल E_g के बराबर या अधिक ऊर्जा वाले फोटॉन की अधिकतम तरंगदैर्ध्य होनी चाहिए।

$$E_g = \frac{hc}{\lambda_{max}} \Rightarrow \lambda_{max} = \frac{hc}{E_g}$$

यदि E_g को जूल में लिया जाये

$$\lambda_{max} = \frac{6.62\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{E_g} = \frac{19.86\times10^{-26}}{E_g} \text{ मीटर}$$

यदि E_g को इलेक्ट्रॉन वोल्ट में लिया जाये तब

$$\lambda_{max} = \frac{19.86\times10^{-26}}{E_g\times1.6\times10^{-19}} = \frac{12.41\times10^{-7}}{E_g} \text{m}$$

$$= \frac{1241\times10^{-9}}{E_g} \text{nm}$$

उदाहरण 4. जरमेनियम के लिए वर्जित ऊर्जा अन्तराल 0.7 eV हैं। प्रकाश की अधिकतम तरंगदैर्ध्य ज्ञात कीजिए। जिसे जरमेनियम अवशोषित कर लेगा।

हल–वर्जित ऊर्जा अन्तराल ΔE_g के बराबर या अधिक ऊर्जा वाले फोटॉन की अधिकतम तरंगदैर्ध्य होनी चाहिए

$$\Delta E_g = \frac{hc}{\lambda_{max}} \Rightarrow \lambda_{max} = \frac{hc}{\Delta E_g}$$

$$= \frac{6.6\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{0.7\times1.6\times10^{-19}} = 17.678\times10^{-7} \text{ मी.}$$

$$= 17678 \text{ Å}$$

उदाहरण 5. शुद्ध सिलिकॉन में कमरे के ताप पर, आवेश वाहकों का घनत्व 1.6×10^{16} प्रति मी³ है। यदि इलेक्ट्रॉन की गतिशीलता 0.150 $m^2V^{-1}s^{-1}$ और होल की गतिशीलता 0.05 $m^2V^{-1}s^{-1}$ है तब सिलिकॉन की चालकता तथा प्रतिरोधकता ज्ञात कीजिए।

हल–नैज अर्धचालक की चालकता होती है,

$$\sigma = e\,(n_e\,\mu_e + n_h\,\mu_h)$$

यहाँ $e = 1.6\times10^{-19}$ C, $n_e = n_h = 1.6\times10^{16}\ m^{-3}$

$\mu_e = 0.15$ तथा $\mu_h = 0.05$ है। अतः

$$\text{चालकता } \sigma = 1.6\times10^{-19}\times1.6\times10^{16}\,(0.15+0.05)$$

$$= 0.512\times10^{-3} \text{ ओम}^{-1} \text{ मी}^{-1}$$

$$\text{प्रतिरोधकता } \rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{0.512\times10^{-3}} = 1.95\times10^{3} \text{ ओम} \times \text{मी.}$$

उदाहरण 6. एक शुद्ध सिलिकॉन क्रिस्टल के नमून में 10^{13} फॉस्फोरस के परमाणुओं का प्रति सेमी³ अपमिश्रण किया गया है। यदि प्रत्येक दाता परमाणु आवेश वाहक देता है और $\mu_e = 1200\ cm^2/V.s$ है तब इस अपद्रव्यी अर्धचालक नमूने की प्रतिरोधकता की गणना करो।

हल–दिया हुआ है,

$$n_e = 10^{13}\ cm^{-3} = 10^{19}\ m^{-3}$$

$$\mu_e = 0.12\ m^2/V.s$$

अतः अपद्रव्यी अर्धचालक के लिए,

$$\sigma = e\,n_e\,\mu_e$$

$$= 1.6\times10^{-19}\times10^{19}\times0.12$$

$$= 0.192 \text{ ओम}^{-1} \text{ मी}^{-1}$$

$$\therefore \text{ प्रतिरोधकता } \rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{0.192} = 5.2 \text{ ओम} \times \text{मी.}$$

16.4 बाह्य अथवा अपद्रव्यी अर्धचालक (Impure or Extrinsic Semiconductor)

प्रकृति से प्राप्त शुद्ध अर्धचालक (नैज अर्धचालक) की कमरे के ताप पर चालकता बहुत कम होती है। ऐसे में इनकी चालकता बढ़ाने के लिए इनमें अशुद्धि (Impurity) मिलाई जाती है। अशुद्धि युक्त इन अर्धचालकों को अपद्रव्यी या बाह्य अर्धचालक कहते हैं तथा जिस प्रक्रिया के द्वारा अशुद्धि मिलाई जाती है, उसे **डोपिंग या अपमिश्रण अथवा मादन** (Doping) कहते हैं तथा अशुद्धि परमाणु अपमिश्रक (Dopants) कहलाते है। इस प्रकार के पदार्थ को मादित (Doped) कहते हैं।

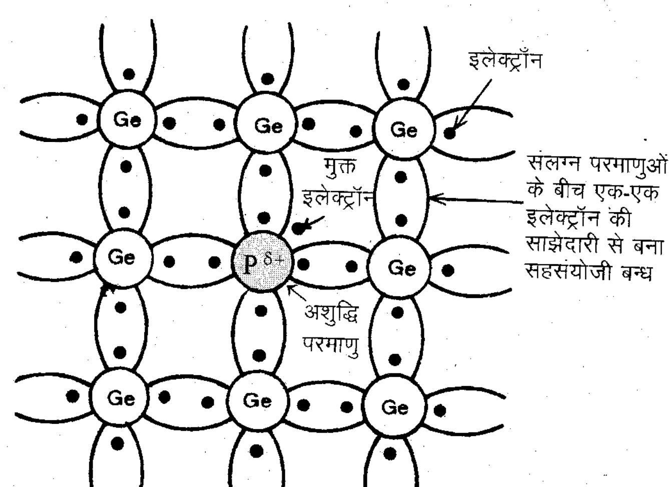
अशुद्धि की मात्रा बहुत कम होती है। लगभग 10^9 परमाणुओं में एक परमाणु अशुद्ध पदार्थ का होता है। जिससे चालकता का मान नैज अधचालक की तुलना में 1000 गुना बढ़ जाता है। नैज अर्धचालकों में अशुद्धि के रूप में पंचम समूह के आर्सेनिक (As), एन्टीमनी (Sb) तथा फॉस्फोरस (P) को और तृतीय समूह के एल्युमिनियम (Al), बोरॉन (B), गेलियम (Ga) व इण्डियम (In) को मिलाया जाता है।

त्रिसंयोजी एवं पंचसंयोजी तत्वों के यौगिक (जैसे–Ga-As, InSb, InP एवं GaP....) भी अर्धचालक की तरह व्यवहार करते हैं। अशुद्धि मिलाने से प्राप्त बाह्य अर्धचालक दो प्रकार के होते हैं–

(i) N–प्रकार के अर्धचालक (ii) P–प्रकार के अर्धचालक

16.4.1 N- प्रकार का अर्धचालक (N-Type Semiconductor)

शुद्ध जरमेनियम या सिलिकॉन में पंचम समूह के पदार्थ As, Sb या P को मिलाया जाता है तो प्राप्त अशुद्ध अर्धचालक N–प्रकार का अर्धचालक कहलाता है। पंचम समूह के पदार्थों की संयोजकता पाँच होती है अर्थात् इसके संयोजी कक्ष में पाँच इलेक्ट्रॉन होते हैं।



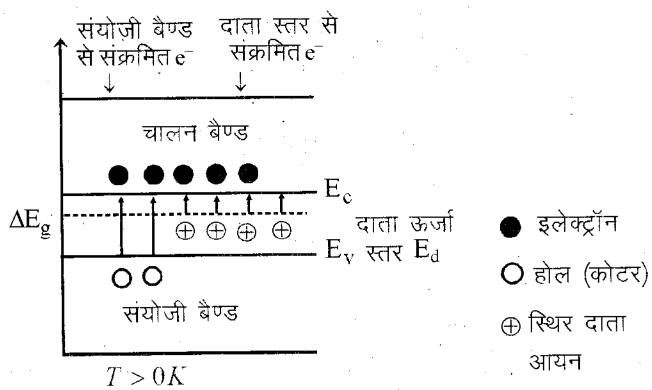
चित्र 16.17

अशुद्धि के प्रत्येक परमाणु के पाँच इलेक्ट्रॉन में से चार इलेक्ट्रॉन, जरमेनियम के अलग-अलग चार इलेक्ट्रॉन से सह-संयोजक बन्ध बना लेते हैं तथा अशुद्धि का पाँचवा इलेक्ट्रॉन, मुक्त इलेक्ट्रॉन की भांति कार्य करने लगता है। यह पाँचवा इलेक्ट्रॉन, अन्य चार इलेक्ट्रॉनों की तुलना में अशुद्धि परमाणु से बहुत ही दुर्बल बल द्वारा बंधा होता है। इसकी बंधन ऊर्जा माध्यम के परावैद्युतांक (ϵ_r) पर निर्भर करती है।

सिलिकॉन माध्यम में यह बंधन ऊर्जा लगभग 0.05 eV तथा जरमेनियम माध्यम में लगभग 0.01 eV होती है। कमरे के ताप (300 K) पर ऊष्मीय ऊर्जा के कारण यह इलेक्ट्रॉन इस बंधन ऊर्जा से अधिक ऊर्जा प्राप्त कर लेता है तथा मुक्त हो जाता है। इस प्रकार अशुद्धि का प्रत्येक परमाणु, एक मुक्त इलेक्ट्रॉन देता है। इसलिए इस प्रकार की अशुद्धि (पंचम समूह की अशुद्धि) दाता प्रकार की अशुद्धि (Donor type impurity) कहलाती है। दाता अशुद्धि द्वारा दिए गए मुक्त इलेक्ट्रॉन विद्युत चालन में सहयोग देते हैं। इस प्रकार के इलेक्ट्रॉनों का संख्या घनत्व दाता अशुद्धि की मात्रा पर निर्भर करता है।

16.4.1 बैण्ड सिद्धान्त के आधार पर N प्रकार के अर्धचालकों की व्याख्या (Energy band description for N-type semiconductors)

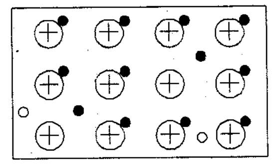
जब किसी नैज अर्धचालक में दाता प्रकार की अशुद्धि मिलायी जाती है तब दाता परमाणु दाता ऊर्जा स्तर उत्पन्न करते हैं जो चालन बैण्ड के निम्नतम ऊर्जा स्तर से अत्यल्प नीचे होते हैं [जरमेनियम के लिए लगभग 0.01 eV तथा सिलिकॉन के लिए लगभग 0.05 eV] इन दाता स्तरों से इलेक्ट्रॉन ऊष्मीय ऊर्जा ग्रहण कर आसानी से चालन बैण्ड में चले जाते हैं। इसके अतिरिक्त कुछ सहसंयोजी आबंधों के टूटने से इलेक्ट्रॉन होल युग्म भी उत्पन्न होते हैं परन्तु ऐसे इलेक्ट्रॉनों की संख्या दाता परमाणुओं से प्राप्त इलेक्ट्रॉनों की संख्या से बहुत कम होती है। इस कारण होलों की संख्या कुल इलेक्ट्रॉनों की संख्या से बहुत कम होती है।



चित्र 16.18

इस प्रकार के अपद्रव्यी अर्धचालक में बहुसंख्यक आवेश वाहक (majority charge carriers) इलेक्ट्रॉन (ऋण आवेशित कण) होते हैं। इस कारण इस अपद्रव्यी अर्धचालक को N-प्रकार का अर्धचालक कहते हैं। इस प्रकार के अर्धचालक में होल अल्पसंख्यक आवेश वाहक (minority charge carriers) होते हैं।

N प्रकार के अर्धचालक का यद्यपि कुल आवेश शून्य होता है परन्तु दाता परमाणु इलेक्ट्रॉन का दान करके धन आयन बन जाते हैं। ये धन आयन क्रिस्टल में अपने स्थान पर स्थिर बने रहते हैं तथा विद्युत चालन में सहयोग नहीं करते हैं जबकि दाता परमाणुओं द्वारा दिए गए इलेक्ट्रॉन मुक्त इलेक्ट्रॉन होते हैं तथा बहुसंख्यक आवेश वाहकों का प्रमुख अंश इन्हीं इलेक्ट्रॉनों का होता है। N प्रकार के अर्धचालक को निम्न चित्रानुसार प्रदर्शित करते हैं–



● मुक्त इलेक्ट्रॉन, ○ होल (कोटर), ⊕ स्थिर धनायन

चित्र 16.19 – N प्रकार का अर्धचालक

N प्रकार के अर्धचालक में इलेक्ट्रॉनों का घनत्व n_e, दाता परमाणुओं के घनत्व n_d के लगभग बराबर होता है परन्तु होलों के घनत्व n_h से बहुत अधिक होता है अर्थात्

$$n_e \sim n_d >> n_h$$

N प्रकार के अर्द्धचालक के लिए निम्न सूत्र को आसानी से सिद्ध किया जा सकता है—

$$n_e n_h = n_i^2$$

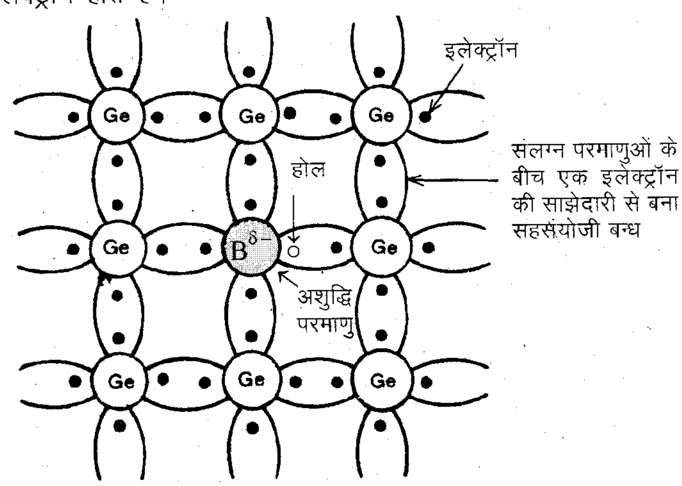
यहाँ n_i नैज आवेश वाहक घनत्व है।

इसे द्रव्य अनुपाती अभिक्रिया नियम (mass action law) कहते हैं।

16.4.2 P–प्रकार के अर्धचालक (P–Type semiconductor)

शुद्ध जरमेनियम या सिलिकॉन में त्रि-संयोजी पदार्थ एल्युमिनियम (Al), बोरॉन (B), इण्डियम (In), या गेलियम (Ga) को अशुद्धि के रूप में मिलाया जाये तो प्राप्त अशुद्ध अर्धचालक P–प्रकार का अर्धचालक कहलाता है। त्रि-संयोजी पदार्थ की संयोजकता तीन होती है अर्थात् इसके संयोजी कक्ष में तीन इलेक्ट्रॉन होते हैं।

जब इस अशुद्धि को शुद्ध जरमेनियम या सिलिकॉन में मिलाया (Doping प्रक्रिया द्वारा) जाता है तो अशुद्धि के तीन संयोजी इलेक्ट्रॉन, जरमेनियम के तीन परमाणु के तीन इलेक्ट्रॉन से सह-संयोजक बंध बना लेते हैं। जबकि जरमेनियम के चौथे परमाणु के इलेक्ट्रॉन से सह-संयोजक बन्ध नहीं बन पाता क्योंकि अशुद्धि के केवल तीन ही संयोजी इलेक्ट्रॉन होते हैं।



चित्र 16.20

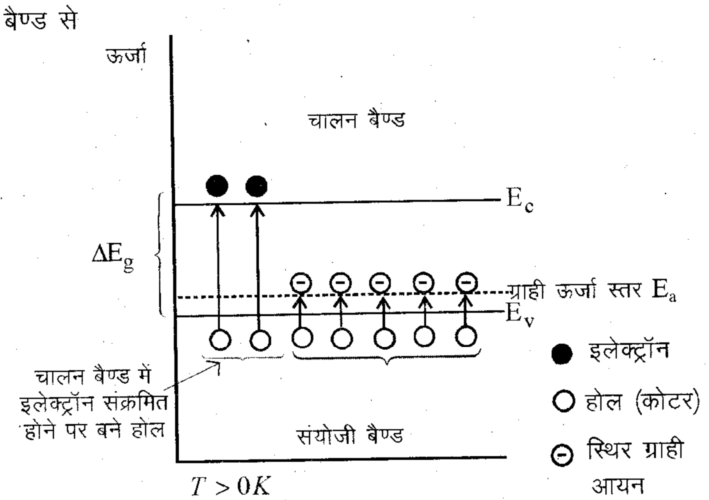
इस प्रकार जरमेनियम के चौथे परमाणु के इलेक्ट्रॉन को एक इलेक्ट्रॉन की आवश्यकता होती है ताकि इनमें सह संयोजक बन्ध बन सके। इलेक्ट्रॉन की यह कमी कोटर या होल (Hole) कहलाती है। दूसरे शब्दों में होल, एक ऐसा रिक्त स्थान होता है जहाँ इलेक्ट्रॉन ग्रहण किया जा सकता है। कमरे के ताप पर ऊष्मीय ऊर्जा के कारण आस-पास के अर्धचालक माध्यम से एक इलेक्ट्रॉन इस अशुद्धि परमाणु तथा अर्धचालक परमाणु के सहसंयोजी आबन्ध की रिक्तता में चला जाता है, जिससे ऋण

आवेशित अशुद्धि आयन बनता है। साथ ही होल, अर्धचालक माध्यम में विस्थापित हो जाता है। इस प्रकार ऐसे अपद्रव्यी अर्धचालक में एक अशुद्धि परमाणु एक इलेक्ट्रॉन को ग्रहण कर, माध्यम में एक होल उत्पन्न कर देता है। इस कारण यहाँ अशुद्धि ग्राही प्रकार की अशुद्धि (Acceptor type impurity) कहलाती है।

प्रत्येक अपद्रव्यी परमाणु के संगत, अर्धचालक में एक होल होता है, जो माध्यम में गति करने के लिए स्वतन्त्र होता है तथा विद्युत चालन में सहयोग करता है। होलों का संख्या घनत्व अपद्रव्यी के अपमिश्रण की मात्रा पर निर्भर करता है।

16.4.3 बैण्ड सिद्धान्त के आधार पर P-प्रकार के अर्धचालकों की व्याख्या (Energy band description for P-type Semiconductors)

जब किसी नैज अर्धचालक में ग्राही प्रकार की अशुद्धि मिलायी जाती है, तब ग्राही परमाणु, ग्राही ऊर्जा स्तर उत्पन्न करते हैं जो संयोजकता बैण्ड की सबसे ऊपरी ऊर्जा स्तर से अत्यल्प ऊपर होती है। संयोजकता बैण्ड से

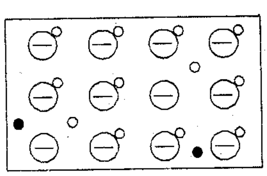


चित्र 16.21

इलेक्ट्रॉन का इस ग्राही ऊर्जा स्तर में संक्रमण हो जाता है जिससे संयोजकता बैण्ड में होल उत्पन्न हो जाता है।

इस प्रकार के अपद्रव्यी अर्धचालक में बहुसंख्यक आवेश वाहक (majority charge carriers) होल होते हैं तथा अल्पसंख्यक आवेश वाहक (minority charge carriers) इलेक्ट्रॉन होते हैं।

P-प्रकार के अर्धचालक का कुल आवेश शून्य होता है। इसमें अशुद्धि आयन ऋणात्मक होते हैं तथा इनका कुल आवेश, धनात्मक आवेशित होलों से संतुलित होता है। ऋण आयन माध्यम में स्थिर रहते हैं तथा धारा प्रवाह में सहयोग नहीं करते हैं। होल, धारा प्रवाह में सहयोग करते हैं। P-प्रकार के अर्धचालक को निम्न चित्रानुसार प्रदर्शित करते हैं–



○ होल (कोटर), ● इलेक्ट्रॉन, ⊖ स्थिर ऋणायन

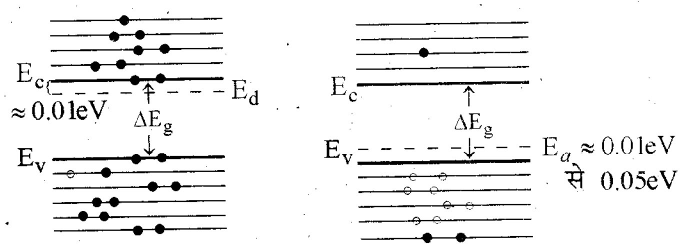
चित्र 16.22 – P-प्रकार का अर्धचालक

P प्रकार के अर्धचालक में होलों का घनत्व n_h, ग्राही परमाणुओं के घनत्व n_a के लगभग बराबर होता है अर्थात् $n_h \sim n_a >> n_e$

P प्रकार के अर्धचालक में भी द्रव्य अनुपाती अभिक्रिया नियम सत्य होता है, अर्थात्

$$n_e n_h = n_i^2$$

T > 0K पर N प्रकार तथा P प्रकार के अर्द्धचालक का ऊर्जा बैण्ड



(i) N प्रकार अर्धचालक (ii) P प्रकार अर्धचालक

चित्र–14.23

N प्रकार के अर्धचालक में दाता परमाणु द्वारा दिए गए इलेक्ट्रॉनों का ऊर्जा स्तर चालन बैण्ड के समीप तथा संयोजी बैण्ड से दूर होता है। चित्र (i) में इसे E_d से प्रदर्शित किया गया है। जरमेनियम के लिए $E_c - E_d \sim 0.01eV$ होता है तथा सिलिकॉन के लिए 0.045 eV होता है। अत: कमरे के ताप पर ही इलेक्ट्रॉन दाता स्तर से चालन बैण्ड में चले जाते हैं तथा चालकता बढ़ जाती है।

P प्रकार के अर्धचालक में ग्राही परमाणु के होल का ऊर्जा स्तर संयोजी बैण्ड के समीप तथा चालन बैण्ड से दूर होता है। चित्र (ii) में दर्शाये गये ग्राही स्तर E_a तथा संयोजी बैण्ड के मध्य ऊर्जा अन्तर $E_a - E_v \sim 0.01eV$ से 0.05 eV तक होता है। अत: कमरे के ताप पर ही कुछ संयोजी बैण्ड के इलेक्ट्रॉन ग्राही स्तर में पहुँच जाते हैं जिससे संयोजी बैण्ड में होल उत्पन्न हो जाते हैं जिससे चालकता बढ़ जाती है।

N व P प्रकार के अर्धचालकों में धारा चालन (Current Conduction in N & P-Type Semiconductor)

किसी अर्धचालक में बाह्य विद्युत क्षेत्र आरोपित करने पर मुक्त आवेश वाहक इलेक्ट्रॉन तथा होल दो प्रकार की धारा उत्पन्न करते हैं–

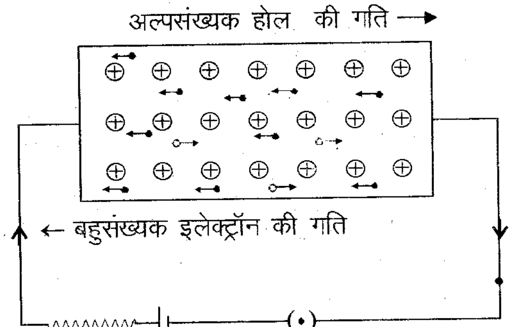
(i) अपवहन धारा (ii) विसरण धारा

(i) अपवहन धारा (Drift current)–यह धारा आरोपित बाह्य विद्युत क्षेत्र के अनुदिश आवेश वाहकों की गति के कारण प्रवाहित होती है।

(ii) विसरण धारा (Diffusion current)–यह धारा मुक्त आवेश वाहकों के अधिक सान्द्रता क्षेत्र से निम्न सान्द्रता क्षेत्र की ओर विसरण के कारण उत्पन्न होती है।

N तथा P प्रकार के अर्धचालक में धारा प्रवाह को निम्न प्रकार स्पष्ट किया जा सकता है–

(अ) N-प्रकार के अर्ध-चालक में धारा प्रवाह



चित्र 16.23 – N प्रकार का अर्धचालक परिपथ में जोड़ने पर

N प्रकार के अर्धचालक में इलेक्ट्रॉन बहुसंख्यक आवेश तथा होल

अल्प संख्यक आवेश होते हैं। जब तक अर्ध चालक के सिरों पर विद्युत क्षेत्र आरोपित नहीं किया जाता तब तक ये इलेक्ट्रॉन तथा होल इधर-उधर यादृच्छिक गति करते रहते हैं। फलस्वरूप धारा का निर्माण नहीं कर पाते।

परन्तु जैसे ही अर्धचालक के सिरों पर विद्युत क्षेत्र लगाया जाता है। जैसा कि चित्र में बताया गया है, सभी बहु संख्यक आवेश वाहक इलेक्ट्रॉन, बैटरी के धन टर्मिनल की ओर गति करने लगते हैं तथा अल्पसंख्यक आवेश वाहक होल बैटरी के ऋण सिरे की ओर गति करते हैं। मुक्त इलेक्ट्रॉन तथा होल की इन गतियों को अपवहन गति करते हैं।

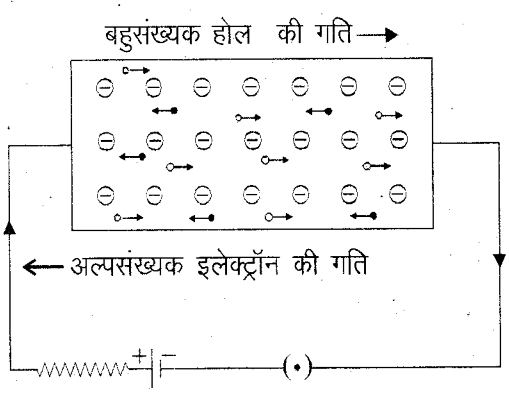
मुक्त इलेक्ट्रॉन बैटरी के धन टर्मिनल पर चले जाते हैं और अर्धचालक में उपस्थित धन आयन, बैटरी के ऋण सिरे से इलेक्ट्रॉन को आकर्षित करते हैं। इस प्रकार बैटरी के सिरों के मध्य तथा अर्धचालक से इलेक्ट्रॉन का सतत् प्रवाह होता रहता है। जिससे अर्ध चालक में से धारा प्रवाहित होती है।

चूंकि N प्रकार के अर्ध-चालक में इलेक्ट्रॉन बहुसंख्यक तथा होल अल्प संख्यक होते हैं। अतः N प्रकार के अर्ध चालक में, धारा प्रवाह में मुख्य योगदान इलेक्ट्रॉन का होता है। जबकि होल के कारण नगण्य मान की धारा प्रवाहित होती है।

(ब) P-प्रकार के अर्ध-चालक में धारा प्रवाह

P प्रकार के अर्ध-चालक में होल बहुसंख्यक आवेश वाहक जबकि इलेक्ट्रॉन अल्पसंख्यक आवेश वाहक होते हैं। जब तक अर्ध-चालक को बैटरी से नहीं जोड़ा जाता है तब कि ये यादृच्छिक गति करते रहते हैं और परिपथ में धारा प्रवाहित नहीं हो पाती।

परन्तु अर्धचालक को बैटरी से जोड़ने पर चित्र के अनुसार, होल, बैटरी के ऋण टर्मिनल की ओर, जब कि मुक्त इलेक्ट्रॉन बैटरी के धन टर्मिनल की ओर गति करने लगते हैं। इस अपवहन गति से परिपथ में धारा प्रवाहित होती है।



चित्र 14.24 – P प्रकार का अर्ध-चालक परिपथ में जोड़ने पर

होल, बैटरी के ऋण टर्मिनल से एक इलेक्ट्रॉन को लेकर उसे निष्प्रभावी कर देता है। ऐसा होने से बैटरी पर एक इलेक्ट्रॉन की कमी हो जाती है। दूसरे शब्दों में बैटरी पर एक धनावेश की अधिकता हो जाती है। ऐसे में अर्धचालक अपने में से एक इलेक्ट्रॉन को त्याग कर बैटरी के धन टर्मिनल पर भेज देता है और अर्धचालक में पुनः एक होल उत्पन्न हो जाता है। इस प्रकार P प्रकार के अर्धचालक में धारा प्रवाह होल के कारण जबकि बाहरी परिपथ में इलेक्ट्रॉन के कारण होता है।

अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

1. जालक नियतांक से क्या तात्पर्य है?
2. किसी कक्ष में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की अधिकतम संख्या किस सूत्र द्वारा दी जाती है?
3. जरमेनियम परमाणु का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास लिखिए।
4. सिलिकॉन परमाणु का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास लिखिए।
5. संयोजी बैण्ड से क्या तात्पर्य है?
6. चालन बैण्ड से क्या तात्पर्य है?
7. वर्जित ऊर्जा अन्तराल से क्या तात्पर्य है?
8. हीरे का वर्जित ऊर्जा अन्तराल कितना होता है?
9. जरमेनियम (Ge) तथा सिलिकॉन (Si) का वर्जित ऊर्जा अन्तराल कितना होता है?
10. किस ताप पर अर्धचालक, कुचालक की भांति व्यवहार करता है?
11. यौगिक अर्धचालकों के उदाहरण लिखिए।
12. नैज अर्धचालक से क्या तात्पर्य है?
13. अर्धचालक कितने प्रकार के होते हैं?
14. डोपिंग किसे कहते हैं?
15. अपद्रव्यी अर्धचालक कितने प्रकार के होते हैं?
16. N- प्रकार के अर्धचालक में आवेश वाहकों के बारे में बताइए।
17. P- प्रकार के अर्धचालक में आवेश वाहकों के बारे में बताइए।

उत्तरमाला

1. ठोसों में परमाणु निकटवर्ती परमाणु से अति अल्प दूरी से पृथक्कित होते हैं जिसे जालक नियतांक कहते हैं।
2. $2n^2$ जहाँ n कक्ष की संख्या है।
3. $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 3d^{10}, 4s^2, 4p^2$
4. $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^2$
5. वह ऊर्जा बैण्ड जिसमें ऊर्जा स्तर इलेक्ट्रॉनों द्वारा पूर्णतः भरे होते हैं, संयोजी बैण्ड कहलाता है।
6. वह ऊर्जा बैण्ड जिसके ऊर्जा स्तर पूर्णतः खाली होते हैं, चालन बैण्ड कहलाता है।
7. संयोजी बैण्ड व चालन बैण्ड के मध्य ऊर्जा अन्तराल को वर्जित ऊर्जा अन्तराल कहते हैं।
8. 7eV
9. Ge का वर्जित ऊर्जा अन्तराल लगभग 0.72eV
   Si का वर्जित ऊर्जा अन्तराल लगभग 1.1eV
10. परम शून्य ताप 0K पर अर्धचालक, कुचालक की भाँति व्यवहार करता है।
11. (a) अकार्बनिक - CdS, GaAs, CdSe, InP आदि।
    (b) कार्बनिक-एन्थ्रासीन, मादित थैलोस्यानीस आदि।
    (c) कार्बनिक बहुलक-पॉलीपाइरोल, पॉली ऐनिलीन, पॉली थायोफीन आदि।
12. प्रकृति से प्राप्त शुद्ध अर्धचालक, नैज अर्द्धचालक कहलाते हैं।
13. अर्धचालक दो प्रकार के होते हैं–
    (1) नैज अर्धचालक (2) अपद्रव्यी अर्धचालक
14. नैज अर्धचालकों की चालकता बढ़ाने के लिए उपयुक्त अशुद्धि मिलाने की प्रक्रिया को डोपिंग कहते हैं।
15. अपद्रव्यी अर्धचालक दो प्रकार के होते हैं–
    (1) N- प्रकार (2) P- प्रकार
16. N- प्रकार के अर्धचालक में बहुसंख्यक आवेश वाहक इलेक्ट्रॉन तथा अल्पसंख्यक आवेश वाहक होल होते हैं।
17. P- प्रकार के अर्धचालक में बहुसंख्यक आवेश वाहक होल तथा अल्पसंख्यक आवेश वाहक इलेक्ट्रॉन होते हैं।

16.5 P–N संधि (P–N Junction)

जब P- प्रकार के अर्धचालक को एक N- प्रकार के अर्धचालक से परमाण्वीय स्तर पर इस प्रकार जोड़ दिया जाए कि सम्पर्क तल के परमाणु एक दूसरे से मिल जाएँ तो इस प्रकार बने सम्पर्क तल को P-N संधि कहते हैं। इस युक्ति को **P-N संधि डायोड** (P-N Junction Diode) कहते हैं। P–N संधि बनाने के लिए क्रिस्टल की सतत् संरचना आवश्यक होती है।

वास्तविकता में P–N संधि में एक ही प्रकार के अर्धचालक के एक भाग में दूसरे प्रकार की अशुद्धि अधिक मात्रा में विसरित करा दी जाती है।

किसी P–N संधि के निर्माण के समय दो महत्वपूर्ण प्रक्रियायें होती है- विसरण (Diffusion) तथा अपवाह (Drift)

P- प्रकार के अर्धचालक में होलों की सांद्रता, इलेक्ट्रॉनों की सांद्रता से अधिक होती है जबकि N- प्रकार के अर्धचालक में इलेक्ट्रॉनों की सांद्रता, होलों की सांद्रता से अधिक होती है।

(अ) सन्धि बनाने की विधि-

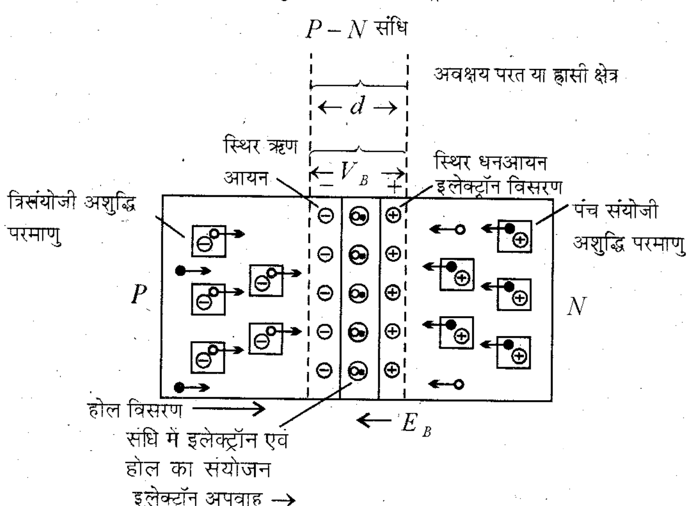
P–N संधि बनाने के लिए विसरण विधि का उपयोग किया जाता है। इसमें P- प्रकार के क्रिस्टल में पंचसंयोजी परमाणुओं का अथवा N- प्रकार के क्रिस्टल में त्रिसंयोजी परमाणुओं का वाष्पीय अवस्था में उच्च ताप पर विसरण कराया जाता है। अशुद्धि का विसरण क्रिस्टल की सतह पर अधिकतम होता है। क्रिस्टल के अन्दर गहराई बढ़ने के साथ-साथ अशुद्धि की मात्रा कम होती जाती है क्रिस्टल में जहाँ तक अशुद्धि होती है वहाँ सन्धि उपस्थित हो जाती है।

(ब) सन्धि तल पर क्रिया-

P–N संधि बनने के बाद संधि तल पर निम्नलिखित क्रियायें होती है-

(i) P- क्षेत्र के बहुसंख्यक होल N- क्षेत्र की ओर तथा N क्षेत्र के बहुसंख्यक इलेक्ट्रॉन P- क्षेत्र की ओर सान्द्रता प्रवणता के कारण विसरित होते है। आवेश वाहकों के इस विसरण के कारण संधि से होकर धारा प्रवाहित होने लगती है। इस धारा को **विसरण धारा (diffusion current)** कहते हैं।

(ii) जैसे-जैसे होल P- क्षेत्र से N- क्षेत्र की ओर विसरित होते जाते हैं तो संधि के P फलक पर ऋणात्मक ग्राही आयन अर्थात् ऋणात्मक आवेश की एक परत विकसित हो जाती है। इसी प्रकार जब कोई इलेक्ट्रॉन N- क्षेत्र से P- क्षेत्र की ओर विसरित होता है तो संधि के N- फलक पर धनात्मक दाता आयन अर्थात् धनात्मक आवेश की एक परत विकसित हो जाती है। संधि के दोनों फलकों पर विकसित इस परत या क्षेत्र को अवक्षय परत या ह्रासी क्षेत्र (Depletion region) कहते हैं। विसरण के कारण संधि क्षेत्र में होलों और इलेक्ट्रॉनों का पुन: संयोजन (recombination) हो जाता है अर्थात् पुन: सहसंयोजी आबन्ध पूर्ण हो जाते हैं, होलों व इलेक्ट्रॉनों के पुन: संयोजन के कारण इस परत या क्षेत्र में मुक्त होल व इलेक्ट्रॉन की कमी हो जाती है।

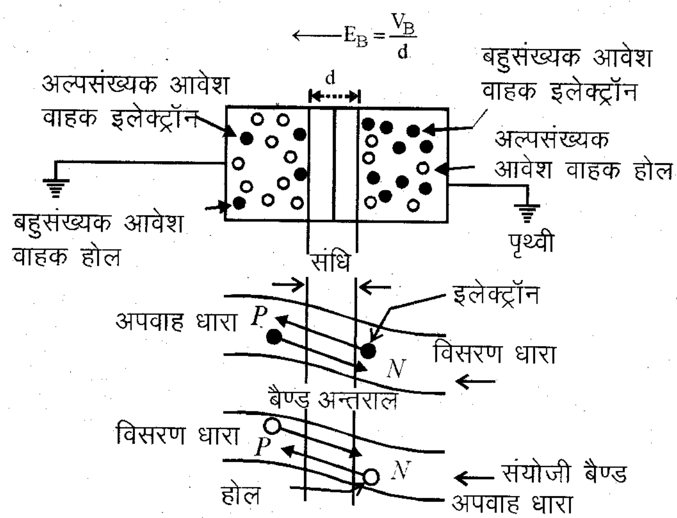


चित्र 16.25

(iii) ह्रासी क्षेत्र में P- फलक की ओर ऋण आयनों की परत और N- फलक की ओर धन आयनों की परत इस क्षेत्र में एक विद्युत क्षेत्र उत्पन्न करती है। जिसकी दिशा N- फलक से P- फलक की ओर होती है। इस विद्युत क्षेत्र के कारण और अधिक इलेक्ट्रॉनों का P- फलक की ओर तथा होलों का N- फलक की ओर विसरण नहीं हो पाता है। इसलिए इस विद्युत क्षेत्र को अवरोधी विद्युत क्षेत्र (Barrier electric field) कहते हैं।

(iv) इस विद्युत क्षेत्र के प्रभाव में P- क्षेत्र से इलेक्ट्रॉन (अल्पसंख्यक आवेश वाहक) N- क्षेत्र की ओर तथा N- क्षेत्र से होल (अल्प संख्यक आवेश वाहक), P- क्षेत्र की ओर गति करने लगते हैं, आवेश वाहकों के इस प्रवाह को अपवाह कहते हैं।

इस प्रकार एक अपवाह धारा जो कि विसरण धारा के विपरीत होती है प्रवाहित होना आरम्भ कर देती है।



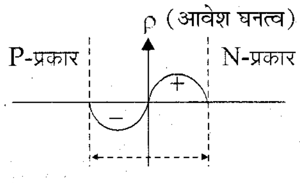
चित्र 16.26

(iv) प्रारम्भ में विसरण धारा, अपवाह धारा की तुलना में बहुत अधिक होती है। जैसे-जैसे विसरण प्रक्रिया होती जाती है, संधि तल के दोनों ओर निश्चल आवेशित आयनों की संख्या बढ़ती जाती है संधि पर आन्तरिक विद्युत क्षेत्र बढ़ता जाता है। जिससे अपवाह धारा बढ़ने लगती है। यह प्रक्रम उस समय तक चलता रहता है जब तक कि दोनों धारायें परिमाण में समान नहीं हो जाती। इस स्थिति में संधि से होकर बहुसंख्यक आवेश वाहकों की गति समाप्त हो जाती है तथा P–N संधि संतुलन की स्थिति में आ जाती है। इस प्रकार एक P-N संधि बन जाती है। साम्यावस्था में P-N संधि से होकर कोई नेट विद्युत धारा प्रवाहित नहीं होती है।

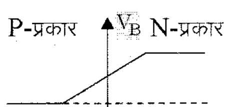
(vi) अवरोधी विद्युत क्षेत्र के कारण एक फलक से दूसरे फलक के मध्य विद्युत विभवान्तर उत्पन्न हो जाता है इस विभव की ध्रुवता इस प्रकार होती है कि यह बहुसंख्यक आवेश वाहकों के और प्रवाह का विरोध करता है जिसके कारण ही साम्यावस्था की स्थिति उत्पन्न होती है अत: इस विभव को प्राय: अवरोधी विभव या रोधिका विभव (Barrier potential) कहते हैं। इस स्थिति में अवरोधी विभव अधिकतम होता है।

महत्वपूर्ण तथ्य

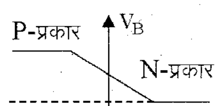
1. सिलिकन P-N संधि के लिए यह अवरोधी विभव ~0.7V होता है, जबकि जरमेनियम P-N संधि के लिए यह अवरोधी विभव ~0.3V होता है।
2. होल के लिए N- फलक की ओर विभव अवरोधी है, अर्थात् होल इस अवरोधी विभव के कारण ह्रासी क्षेत्र को पार कर P- फलक से N- फलक की ओर नहीं जा सकता (चित्र (ii))।
इलेक्ट्रॉनों के लिए अवरोधी विभव चित्र (iii) में दिखाया गया है। अत: P-N संधि से धारा प्रवाह संधि पर उत्पन्न विभवरोधिका पर निर्भर करता है।



(i)



(ii) होलों के लिए
अवरोधी विभव

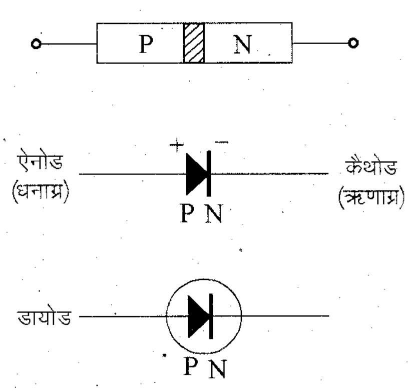


(iii) इलेक्ट्रॉनों के लिए
अवरोधी विभव

3. P-N संधि में ह्रासी क्षेत्र में अवरोधी विभव का औसत मान ~0.5 मान लें और ह्रासी क्षेत्र की मोटाई ~1μm लें तब अवरोधी विद्युत क्षेत्र का मान होगा–
$$E_B = \frac{V_B}{d} = \frac{0.5}{10^{-6}}$$
$= 5 \times 10^5$ वोल्ट/मीटर
4. P-N संधि एक संधारित्र के तुल्य मानें तब ह्रासी क्षेत्र या अवक्षय परत के दोनों ओर विपरीत प्रकृति के आवेश और मध्य भाग परावैद्युत माध्यम माना जा सकता है।
5. अवरोधी विभव का मान (a) अर्धचालक की प्रकृति, (b) मिलायी गयी अशुद्धि की प्रकृति तथा (c) ताप पर निर्भर करता है।
6. नैज अर्धचालकों में चालन इलेक्ट्रॉनों तथा होलों के उत्पन्न होने के साथ-साथ पुन: संयोजन का प्रक्रम होता है जिसमें इलेक्ट्रॉन, होल के साथ पुन: संयोजित होते हैं। साम्यावस्था में आवेश वाहकों के उत्पन्न होने की दर उनके पुन: संयोजन की दर के बराबर होती है। इस पुन: संयोजन का कारण इलेक्ट्रॉन या होलों में संघट्ट करना है।
7. शुद्ध अर्धचालक को अपद्रव्यी अर्धचालक बनाने के लिए अपमिश्रक ऐसा होना चाहिए जो मूल अर्धचालक पदार्थ के जालक को विकृत न करे उसे केवल क्रिस्टल में बहुत कम मूल अर्धचालक परमाणु स्थितियों को ही घेरना चाहिए। इसे प्राप्त करने के लिए एक आवश्यक शर्त यह है कि अपमिश्रक के अणु तथा अर्धचालक पदार्थ (Si अथवा Ge) के अणुओं का साइज लगभग समान हो।
8. C, Si तथा Ge की प्रतिरोधकताओं में अंतर इनके चालन तथा संयोजी बैंडों के बीच ऊर्जा अंतराल पर निर्भर करता है।
कार्बन, Si तथा Ge के लिए ऊर्जा अंतराल क्रमश: 5.4 eV, 1.1eV तथा 0.7 eV है। Sn भी चतुर्थ ग्रुप का तत्व है। परन्तु यह धातु है क्योंकि इसके प्रकरण में ऊर्जा अतरांल 0eV है।
9. तापीय साम्य में अर्धचालकों में इलेक्ट्रॉनों तथा होलों की सान्द्रता–
$$n_e n_h = n_i^2 \qquad n_e = n_h = n_i$$
जहाँ n_e = इलेक्ट्रॉन घनत्व
n_h = होल घनत्व
n_i = नैज आवेश वाहक घनत्व
10. अर्धचालक में इलेक्ट्रॉन की रिक्तता ही होल या कोटर कहलाती है। इसे धन आवेशित माना जाता है।
11. कक्ष ताप पर 10^{10} परमाणु एक इलेक्ट्रॉन- होल युग्म उत्पन्न करता है परन्तु ताप बढ़ाने पर इनकी संख्या में तीव्रता से वृद्धि होती है। इस ताप को एक सीमा से अधिक नहीं बढ़ाया जा सकता।
12. P-N संधि में इलेक्ट्रॉन अथवा होल रहित अचल आयन क्रोड का एक ह्रासी स्तर (क्षेत्र) बन जाता है अत: ह्रासी क्षेत्र वह क्षेत्र है जहाँ कोई मुक्त इलेक्ट्रॉन या होल अर्थात् कोई आवेश वाहक नहीं होते हैं।
13. विद्युत रोधी पदार्थ हेतु $\Delta E_g > 3eV$ अर्धचालक हेतु $\Delta E_g = 0.2eV$ से 3eV जबकि धातुओं के लिए $\Delta E_g = 0$
14. अवक्षय परत या ह्रासी क्षेत्र की चौड़ाई या मोटाई P व N फलकों में उपस्थित अशुद्धियों की मात्रा पर निर्भर करती है।
यदि अशुद्धियों की मात्रा अधिक है तो परत की चौड़ाई (d) बहुत कम होती है। जो लगभग माइक्रोन (10^{-6}m) कोटि की होती है।
15. **ह्रासी क्षेत्र**: P-N संधि के दोनों ओर उस परत या क्षेत्र को जिसमें मुक्त इलेक्ट्रॉन व होल अर्थात् मुक्त आवेश वाहक नहीं होते हैं ह्रासी क्षेत्र या अवक्षय परत कहते हैं अर्थात् इसमें केवल स्थैतिक आयन होते हैं।
16. **विभव रोधिका**: P-N संधि में ह्रासी क्षेत्र के सिरों पर उत्पन्न विभवान्तर को विभव रोधिका कहते हैं। यह N क्षेत्र से P क्षेत्र की ओर इलेक्ट्रॉनों की गति को रोकने का प्रयास करता है।

P-N संधि डायोड (P–N Junction diode)

P-N संधि के रूप में प्राप्त व्यवस्था अर्ध चालक डायोड कहलाती है। जिसके सिरों पर धात्विक संपर्क जुड़े होते हैं ताकि इस संधि पर कोई बाह्य वोल्टता आरोपित की जा सके। डायोड शब्द di + electrode का संक्षिप्त रूप है जिसका तात्पर्य है दो इलेक्ट्रोड। P-N संधि डायोड में P तथा N दो इलेक्ट्रोड है। यहाँ अर्धचालक से तात्पर्य है कि P-N संधि तल अर्धचालक पदार्थ का बना हुआ है। P-N संधि डायोड के संकेत को निम्न प्रकार प्रदर्शित किया जाता है–



चित्र 16.27

यहाँ तीर का चिन्ह P से N की दिशा में है। P धनाग्र तथा N ऋणाग्र है। तीर की दिशा संधि से होकर धारा प्रवाह की दिशा बताता है।

P-N संधि डायोड की अभिनति
(Biasing of P-N Junction Diodes)

विद्युत वाहक बल स्रोत को P–N संधि डायोड से जोड़ने का तरीका अभिनति कहलाता है।

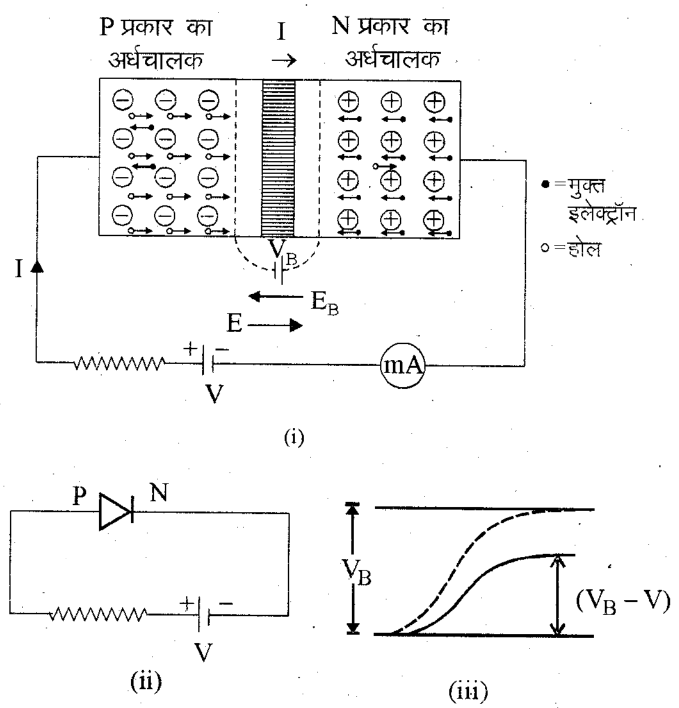
P-N संधि डायोड का दो प्रकार से बायसीकरण किया जा सकता है–

(i) अग्र अभिनति या अग्र दिशिक बायसीकरण

(ii) उत्क्रम अभिनति या पश्च दिशिक बायसीकरण

16.5.1 अग्रदिशिक बायस (अग्र अभिनति) में P–N संधि डायोड (P-N junction diode under forward bias)

(i) जब एक P-N संधि का P सिरा बैटरी के धनात्मक टर्मिनल से और N सिरा बैटरी के ऋणात्मक टर्मिनल से जोड़ दिया जाता है, तब इसे अग्रदिशिक बायस की हुई P-N संधि कहते हैं।



चित्र: 16.28

(ii) इस व्यवस्था में होल, बैटरी के धनात्मक टर्मिनल से प्रतिकर्षित होकर संधि की ओर गति करते हैं और इलेक्ट्रॉन बैटरी के ऋणात्मक सिरे से प्रतिकर्षित होकर संधि की ओर गति करते हैं। इसके कारण अवक्षय परत की मोटाई कम हो जाती है। अतः P-N संधि को अग्रदिशिक बायस करने पर अवक्षय क्षेत्र घट जाता है।

(iii) विभव रोधिका का मान कम हो जाता है तथा संधि के आर-पार और अधिक आवेश वाहक विसरित होने लगते हैं तथा संधि का प्रतिरोध कम हो जाता है।

(iv) P-प्रकार के भाग के बैटरी के धन-टर्मिनल की ओर कोई इलेक्ट्रॉन सहसंयोजी आबन्ध तोड़ कर चला जाता है और फलस्वरूप एक होल उत्पन्न कर देता है जो संधि क्षेत्र की ओर गति करने लगता है। ठीक इसी समय बैटरी के ऋण-टर्मिनल से एक इलेक्ट्रॉन N-प्रकार के भाग में प्रवेश करता है और संधि क्षेत्र की ओर गति करने लगता है। P-प्रकार में धारा होलों के प्रवाह के कारण, और N-प्रकार में धारा इलेक्ट्रॉनों के प्रवाह के कारण बहती है।

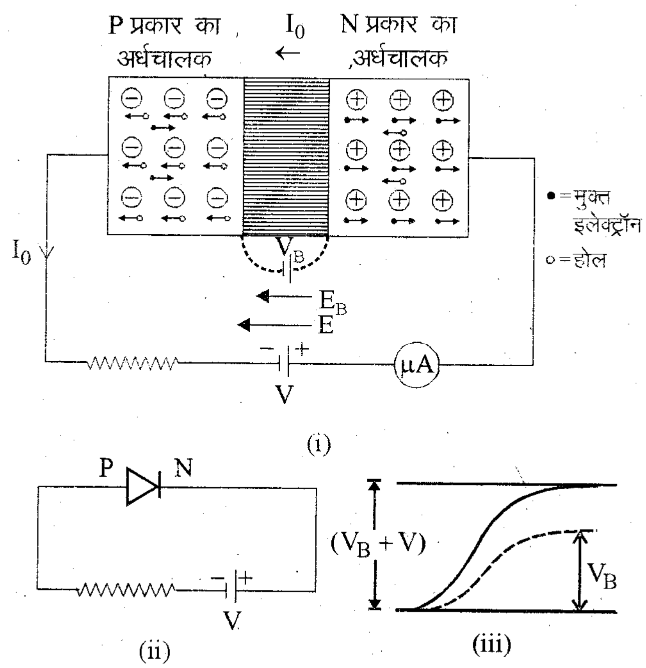
इस धारा को अग्र धारा कहते है। इसका मान मिली–एम्पियर (mA) की कोटि का होता है। जैसे–जैसे P व N सिरों के मध्य विभवान्तर V बढ़ाया जाता है, तब रोधिका ऊँचाई काफी कम हो जायेगी तथा अधिक संख्या में आवेश वाहक संधि को पार करने लगते हैं जिससे धारा का मान भी तेजी से बढ़ता है।

अग्र अभिनति में आरोपित विभव V, अवरोधी विभव V_B के विपरीत होता है, अतः अग्र अभिनति में अवरोधी विभव V_B से घटकर V_B–V रह जाता है।

(v) बैटरी के कारण P-N संधि पर विद्युत क्षेत्र E, P-पार्श्व से N-पार्श्व की ओर है (अग्र बायस व्यवस्था में), जबकि अवरोधी विद्युत क्षेत्र E_B इसके विपरीत दिशा में है।

16.5.2 पश्चदिशिक बायस (उत्क्रम अभिनति) में P-N संधि डायोड (P-N junction diode under reverse bias)

(i) जब एक P-N संधि के P-प्रकार के भाग को बैटरी के ऋण-टर्मिनल और N-प्रकार के भाग को बैटरी के धन-टर्मिनल से जोड़ देते हैं तब यह संधि उत्क्रम बायस की हुई कहलाती है।



चित्र 16.29

(ii) P-प्रकार के भाग के होल बैटरी के ऋण-टर्मिनल की ओर आकर्षित होते हैं और N-प्रकार के भाग के इलेक्ट्रॉन बैटरी के धन-टर्मिनल की ओर आकर्षित होते हैं। इस कारण इस प्रकार की बायस में बहुसंख्यक आवेश वाहक संधि से दूर की ओर विस्थापित होकर अवक्षय क्षेत्र को बड़ा कर देते हैं अर्थात् उत्क्रम बायस में अवक्षय परत की मोटाई बढ़ जाती है तथा संधि का प्रतिरोध बढ़ जाता है।

(iii) पश्चदिशिक बायस में आरोपित विभव V, अवरोधी विभव V_B की दिशा में ही होता है, अतः पश्चदिशिक बायस में अवरोधी विभव V_B

बढ़कर $V_B + V$ हो जाता है। विभवरोधिका के मान में वृद्धि होती है। इसके कारण बहुसंख्यक आवेश वाहकों का संधि से विसरित होना और अधिक कठिन हो जाता है।

(iv) ऊष्मीय उत्तेजनों के कारण P- प्रकार के भाग में कुछ इलेक्ट्रॉन तथा N- प्रकार के भाग में कुछ होल उपस्थित रहते हैं। P- प्रकार के भाग में उपस्थित इन इलेक्ट्रॉनों तथा N- प्रकार के भाग में उपस्थित इन होलों को अल्पसंख्यक धारावाहक कहते हैं। एक अतिअल्प धारा (I_0) जिसे प्रतीप या उत्क्रम संतृप्ति धारा (reverse saturation current) कहते हैं। अल्प संख्यक आवेश प्रवाह के कारण पश्च-बायसित P-N संधि में बहती है। इसका मान माइक्रोएम्पियर (μA) की कोटि का होता है। इसकी कोटि $\sim 10^{-9}$ A (सिलिकॉन) और 10^{-6} A (जरमेनियम) P-N संधि डायोड के लिए होती है।

(v) उत्क्रम बायस अवस्था में संधि एक उच्च प्रतिरोधकता वाले पदार्थ की भाँति व्यवहार करती है।

(vi) उत्क्रम बायस अवस्था में P-N संधि की प्रभावी धारिता $\sim 10^{-12}$ F (कुछ पिको फैरड) होती है।

(vii) यदि उत्क्रम अभिनति अवस्था में संधि के ताप में वृद्धि की जाये तब सहसंयोजी आबन्ध टूटने से अल्पसंख्यक धारावाहकों की संख्या में वृद्धि हो जाती है। इस प्रकार उत्क्रम संतृप्त धारा ताप पर बहुत अधिक निर्भर करती है तथा संधि का ताप बढ़ाने पर बढ़ती है। जब विभवान्तर का मान एक सीमा से अधिक बढ़ जाता है तो धारा अचानक तेजी से बढ़ती है। इस प्रक्रिया को P-N संधि का भंजन (break down) कहते हैं।

महत्वपूर्ण तथ्य

1. नी (Cut-in) वोल्टता–वह वोल्टता जिस पर धारा की वृद्धि प्रारंभ होती है, नी–वोल्टता या देहली वोल्टता (Threshold Voltage) कहलाती है। Ge के लिए इसका मान 0.2V तथा Si के लिए इसका मान 0.7V होता है।

2. प्रतीप संतृप्त धारा (Reverse saturation current)— पश्च दिशिक बायस P–N संधि में अल्पसंख्यक आवेश वाहकों के प्रवाह के कारण प्रवाहित अति अल्प धारा को प्रतीप धारा कहते हैं जो बायस में परिवर्तन के साथ लगभग स्थिर बनी रहती है। इसे प्रतीप संतृप्त धारा कहते हैं।

3. प्रतीप धारा आरोपित विभव पर अत्यधिक निर्भर नहीं करती है अल्पांश वाहकों को संधि के एक फलक से दूसरे फलक तक पहुँचाने के लिए अल्प वोल्टता ही पर्याप्त होती है। यह ताप पर निर्भर करती है।

16.6 P–N संधि डायोड विभव-धारा अभिलाक्षणिक (P–N Junction diode voltage current characteristics)

अर्ध चालक डायोड में आरोपित अग्र और उत्क्रम विभव एवं संगत धारा में खींचे गए आलेख को अभिलाक्षणिक वक्र कहते हैं।

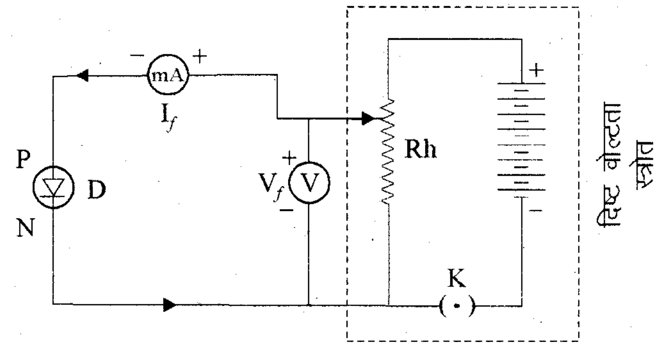
अभिलाक्षणिक वक्र दो प्रकार के होते हैं–

(i) अग्र अभिनति व्यवस्था में अग्र वोल्टता (V_f) तथा अग्र धारा (I_f) में खींचा गया वक्र अग्र अभिनति अभिलाक्षणिक वक्र कहलाता है।

(ii) उत्क्रम अभिनति व्यवस्था में उत्क्रम वोल्टता (V_r) तथा उत्क्रम धारा (I_r) में खींचा गया वक्र उत्क्रम अभिनति अभिलाक्षणिक वक्र कहलाता है।

16.6.1 अग्र अभिनति अभिलाक्षणिक वक्र (Characteristic curve of forward biasing)

P-N सन्धि डायोड़ का अग्र अभिनति अभिलाक्षणिक वक्र खींचने के लिए नीचे दिखाया गया परिपथ बनाते हैं।

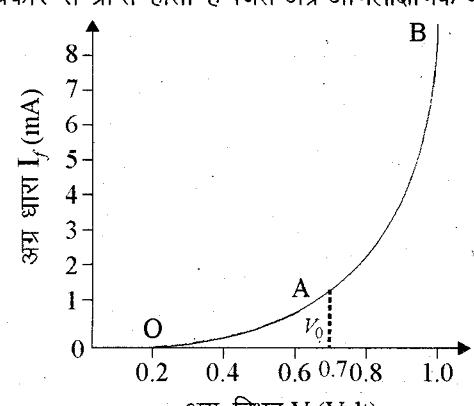


चित्र 16.30 – अग्र अभिनति अभिलाक्षणिक वक्र खींचने के लिए डायोड़ अग्र अभिनति की स्थिति में

चित्र में बताए अनुसार P-N सन्धि डायोड D के P सिरे को बैटरी के धन टर्मिनल से तथा डायोड D के N सिरे को बैटरी के ऋण टर्मिनल से जोड़ा जाता है। परिपथ में एक वोल्टमीटर तथा एक मिली अमीटर चित्रानुसार जोड़ा गया है ताकि अग्रदिशिक वोल्टता (V_f) तथा अग्रदिशिक धारा (I_f) के मान ज्ञात किये जा सकें।

अग्र अभिनति की स्थिति में आरोपित वोल्टता, अवरोधी विभव (V_B) के विपरीत होती है। जब आरोपित वोल्टता का मान अवरोधी विभव से अधिक होता है उस समय डायोड के N प्रकार के अर्धचालक से इलेक्ट्रॉन, P प्रकार के अर्धचालक की ओर तथा P प्रकार के अर्धचालक से होल, N प्रकार के अर्धचालक की ओर गति करने लगते हैं। फलस्वरूप परिपथ में धारा प्रवाह होता है। अग्र अभिनति की इस अवस्था में अर्धचालक पर आरोपित वोल्टता (V_f) तथा अर्धचालक से प्रवाहित धारा (I_f) कहलाती है।

विभव विभाजक की सहायता से डायोड पर अग्र दिशिक वोल्टता के मान आरोपित किये जाते हैं और परिपथ में बहने वाली धारा के विभिन्न मान मिली अमीटर से नोट करते जाते हैं। इस प्रकार प्राप्त अग्र दिशिक वोल्टता तथा अग्रदिशिक धारा के विभिन्न मानों में आलेख खींचा जाये तो यह निम्न प्रकार से प्राप्त होता है जिसे अग्र अभिलाक्षणिक वक्र कहते हैं।



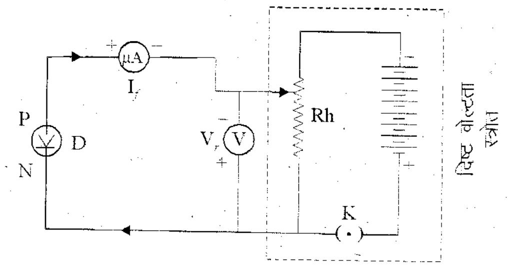
चित्र 16.31

अग्र अभिनति की स्थिति में वोल्टता के अतिअल्प मान (Ge के लिए लगभग 0.2 वोल्ट तथा Si के लिए लगभग 0.7 वोल्ट) के लिए अग्रदिशिक धारा का मान अतिअल्प होता है। इसका कारण यह है कि जब तक अग्रदिशिक वोल्टता विभवरोधिका को पार नहीं करती है तब तक डायोड में धारा प्रवाह सुगमता से नहीं होता है। डायोड का यह व्यवहार वक्र OA द्वारा प्रदर्शित किया गया है। इस स्थिति में आरोपित विभवान्तर का मान रोधिका विभव से कम होता है। अब यदि आरोपित विभवान्तर के मान में वृद्धि की जाये तब डायोड में धारा तेजी से लगभग चरघातांकी (exponential) रूप से बढ़ती है। डायोड का यह व्यवहार वक्र AB द्वारा

प्रदर्शित किया गया है। वह वोल्टता जिस पर डायोड धारा तेजी से बढ़ने लगती है, डायोड की कट-इन (cut in) या नी-वोल्टता (knee voltage) कहलाती है। इसे V_0 द्वारा व्यक्त करते हैं। यह बिन्दु A के वोल्टता के समीप होती है। सिलिकन डायोड के लिए V_0 लगभग 0.7 वोल्ट तथा जरमेनियम डायोड के लिए यह लगभग 0.2 वोल्ट प्राप्त होती है।

16.6.2 पश्च (उत्क्रम) अभिनति अभिलाक्षणिक वक्र (Characteristic curve in reverse biasing)

P-N सन्धि डायोड का पश्च अभिनति अभिलाक्षणिक वक्र खींचने के लिए नीचे दिखाया गया परिपथ बनाते हैं।

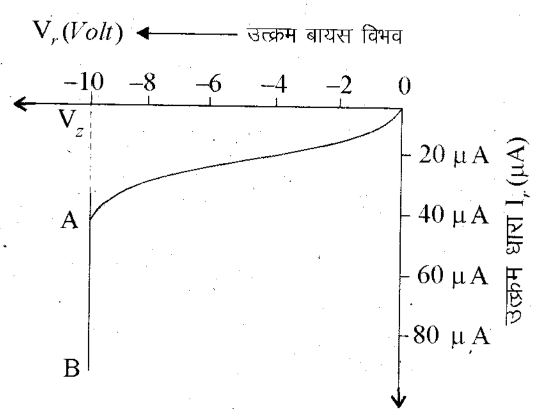


चित्र 16.32 – पश्च अभिनति अभिलाक्षणिक वक्र खींचने के लिए डायोड पश्च अभिनति की स्थिति में

चित्र में दर्शाये अनुसार P-N सन्धि डायोड D के P भाग को बैटरी के ऋण टर्मिनल से तथा डायोड D के N भाग को बैटरी के धन टर्मिनल से जोड़ा जाता है। परिपथ में एक वोल्टमीटर को डायोड के समान्तर क्रम में तथा अत्यल्प धारा मापने के लिए एक माइक्रो अमीटर श्रेणीक्रम में जोड़ा जाता है।

पश्च अभिनति की स्थिति में आरोपित (बाह्य) विभव तथा विभव रोधिका एक ही दिशा में होते हैं। जिससे अवक्षय परत की मोटाई बढ़ जाती है। डायोड के P भाग के होल बेटरी के ऋण टर्मिनल आकर्षित करता है तथा N भाग के इलेक्ट्रॉन बैटरी के धन टर्मिनल की ओर आकर्षित होते हैं। ऐसे में डायोड संधि पर होल तथा इलेक्ट्रॉन का आदान-प्रदान नहीं हो पाता तथा संधि का प्रतिरोध बढ़ जाता है। इस प्रकार पश्च अभिनति की अवस्था में बहुसंख्यक आवेश वाहकों के कारण धारा प्रवाहित नहीं होती। इस समय डायोड के P भाग में उपस्थित अल्पसंख्यक इलेक्ट्रॉन तथा N भाग में उपस्थित अल्पसंख्यक होल क्रमशः बैटरी के ऋण तथा धन टर्मिनल से प्रतिकर्षित होते हैं और P-N सन्धि पर इनका आदान-प्रदान होने लगता है। इन अल्पसंख्यक आवेश वाहकों के कारण डायोड से अत्यल्प मान की धारा प्रवाहित होती है।

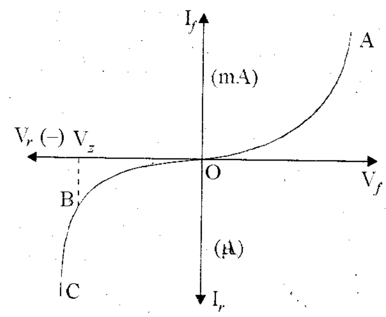
पश्च दिशिक वोल्टता तथा पश्च धारा के मानों में आलेख खींचने पर यह निम्न प्रकार प्राप्त होता है जिसे पश्च अभिनति अभिलाक्षणिक वक्र कहते हैं।



चित्र 16.33 – उत्क्रम अभिलाक्षणिक वक्र

पश्च दिशिक वोल्टता V_r तथा पश्च दिशिक धारा I_r के मध्य खींचे गये आलेख से स्पष्ट है कि प्रारम्भ में धारा का मान नगण्य होता है। पश्च दिशिक वोल्टता के मान को बढ़ाने पर भी पश्च दिशिक धारा में कोई विशेष वृद्धि नहीं होती है अर्थात् पश्च दिशिक धारा का मान नगण्य ही रहता है। यह नगण्य मान की धारा अल्पसंख्यक आवेश वाहकों के कारण प्रवाहित होती है।

एक अर्धचालक P-N संधि डायोड के सम्पूर्ण अग्र अभिनति तथा पश्च अभिनति अभिलाक्षणिक वक्र निम्न चित्र में दर्शाये गये हैं–



चित्र 16.34

अर्धचालक P-N संधि डायोड की अग्र अभिनति व्यवस्था में अधिक मात्रा (mA कोटि) में धारा बहती है लेकिन पश्च अभिनति व्यवस्था में नगण्य (μA या nA कोटि) मान की धारा बहती है। इस प्रकार निष्कर्ष निकलता है कि P-N संधि डायोड एकदिशिक युक्ति (Unidirectional device) है अर्थात् केवल एक दिशा में धारा प्रवाह को अनुमत करती है। डायोड के अभिलाक्षणिक वक्र यह भी प्रदर्शित करते हैं कि यह युक्ति अरेखीय युक्ति (nonlinear device) है जो ओम के नियम (ohm's law) का पालन नहीं करती है।

PN संधि डायोड का वोल्ट-एम्पियर समीकरण-

P-N संधि डायोड में धारा I की अभिनति वोल्टता V पर निर्भरता निम्न समीकरण द्वारा व्यक्त की जा सकती है–

$$I = I_0 (e^{eV/kT} - 1)$$

यहाँ चरघातांकी व्यंजक में $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C, V = अभिनति वोल्टता (अग्र-अभिनति के लिए धनात्मक और पश्च अभिनति के लिए ऋणात्मक), k = बोल्ट्जमान नियतांक और T = संधि का ताप है। I_0 = संतृप्त धारा (saturation current) है।

अग्रदिशिक अभिनति में V धनात्मक होने के कारण

$$e^{eV/kT} >> 1$$

अतः $$I \approx I_0 e^{eV/kT}$$

अर्थात् अग्रदिशिक अभिनति में डायोड में धारा, अभिनति वोल्टता के साथ चरघातांकी रूप में बढ़ती है।

पश्चदिशिक अभिनति में V ऋणात्मक, $V = -|V|$ होता है और इस कारण

$$e^{-e|V|/kT} << 1$$

अतः $$I \approx -I_0$$

अर्थात् पश्च अभिनति में धारा का मान लगभग नियत रहता है।

उपरोक्त समीकरण जरमेनियम डायोड के अभिलाक्षणिक वक्रों के

प्रायोगिक मानों से लगभग सुमेलित होती है। सिलिकॉन डायोड केवल गुणात्मक रूप से इस समीकरण का पालन करता है। दोनों प्रकार के डायोड के लिए यह समीकरण भंजन विभव से अधिक विभव पर लागू नहीं होता है।

16.6.3 अर्ध-चालक डायोड का प्रतिरोध (Resistance of Semi-Conductor Diode)

P-N संधि डायोड ओम के नियम का पालन नहीं करता है। बल्कि यह चरघातांकी नियम का पालन करता है। इस प्रकार P-N संधि डायोड अन-ओमीय है। इस प्रकार की युक्तियों के लिए स्थैतिक अथवा डी. सी. प्रतिरोध (static or d.c. resistance) के स्थान पर गतिक प्रतिरोध (dynamic resistance) ज्ञात करना अधिक उपयुक्त होता है। P-N डायोड के विभवान्तर में परिवर्तन तथा इसके सगंत धारा में हुए परिवर्तन के अनुपात को गतिक प्रतिरोध कहते हैं।

यदि विभवान्तर में परिवर्तन ΔV तथा इसके सगंत धारा में परिवर्तन ΔI हो तो गतिक प्रतिरोध

$$R_d = \frac{\Delta V}{\Delta I} \text{ ओम}$$

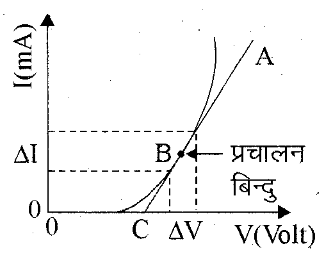
गतिक प्रतिरोध का मान भिन्न-भिन्न वोल्टताओं पर भिन्न होता है। अतः वक्र के किसी प्रचालन बिन्दु के सगंत प्रतिरोध ज्ञात करने के लिए उस बिन्दु पर वक्र पर स्पर्श रेखा खींचकर उस पर किन्ही दो बिन्दुओं के सापेक्ष ΔV एवं ΔI के मान ज्ञात कर लेते हैं जिससे R_d का मान ज्ञात हो जाता है।

डायोड के लिए गतिक प्रतिरोध दो प्रकार का होता है–

(i) अग्र गतिक प्रतिरोध (R_{df})

(ii) पश्च गतिक प्रतिरोध (R_{dr})

(i) अग्र गतिक प्रतिरोध (Dynamic forward Resistance) – एक अग्रदिशिक बायस P-N संधि डायोड के लिए, किसी प्रचालन बिन्दु पर **अग्रगतिक प्रतिरोध,** उस बिन्दु पर V-I अभिलाक्षणिक रूप के ढाल के मान के व्युत्क्रम के बराबर होता है अर्थात् अग्र गतिक प्रतिरोध,



चित्र 16.35

$$R_{df} = \frac{\text{अग्रदिशिक बायस वोल्टता में अल्प परिवर्तन}}{\text{अग्रदिशिक बायस धारा में सगंत परिवर्तन}}$$

$$= \frac{\Delta V_f}{\Delta I_f}$$

चित्र में प्रचालन बिन्दु, मान लो, B है तब रेखा AC के ढाल के मान का व्युत्क्रम, डायोड के अग्र गतिक प्रतिरोध के बराबर होता है।

अग्र गतिक प्रतिरोध सामान्यतः अल्प होता है, $R_{df} \sim 10$ से $100\,\Omega$ या ऐसा ही मान।

(ii) पश्च गतिक प्रतिरोध (Reverse resistance) – एक पश्चदिशिक (उत्क्रमित) बायस P-N संधि डायोड के प्रतिरोध को पश्च गतिक प्रतिरोध (या उत्क्रम प्रतिरोध) कहते हैं–

$$R_{dr} = \frac{\Delta V_r}{\Delta I_r}$$

क्योंकि पश्च-बायस में धारा अल्पांश का मान $\sim \mu A$ होता है, इस कारण डायोड का उत्क्रम प्रतिरोध बहुत अधिक होता है। R_{dr} का मान मेगा ओम (mega ohm) की कोटि का होता है।

16.6.4 उत्क्रम भंजन (Reverse breakdown)

जैसा कि पूर्व में वर्णित किया जा चुका है कि जब पश्चदिशिक वोल्टता को बढ़ाया जाता है तब पश्चदिशिक वोल्टता का एक ऐसा मान प्राप्त होता है जिस पर डायोड से उच्च मान की धारा प्रवाहित होने लगती है। जिस उत्क्रम बायस वोल्टता पर यह घटना देखने को मिलती है उसे **जेनर वोल्टता (V_z) या भंजन वोल्टता (breakdown voltage)** कहते हैं। इस प्रक्रिया को डायोड का उत्क्रम भंजन कहते हैं। भंजन का यह प्रक्रम दो क्रियाविधियों में से किसी एक या दोनों के कारण हो सकता है। ये क्रियाविधियाँ निम्न प्रकार हैं–

(i) ऐवलांशी भंजन (Avlanche breakdown)

(ii) जेनर भंजन (Zener breakdown)

(i) ऐवलांशी भंजन– यह प्रक्रिया ऐसे डायोड में होती है जिसमें अपेक्षाकृत कम डोपिंग होने से अवक्षय परत मोटी होती है। इस स्थिति में पश्च अभिनति वोल्टता के उच्च मानों पर, उच्च विद्युत क्षेत्र के कारण P तथा N क्षेत्रों के अल्पसंख्यक आवेश वाहक संधि को पार कर रहे होते हैं वे उच्च वेगों से त्वरित हो जाते हैं। ये उच्च वेग वाले आवेश वाहक जब संधि को पार करते हैं तब वहाँ उपस्थित सहसंयोजी आबन्धों को तोड़कर नये इलेक्ट्रॉन-होल युग्मों का उत्पादन करते हैं। यह प्रक्रिया एक श्रृंखला के रूप में होती है जिससे अल्पसंख्यक धारावाहकों की संख्या में तेजी से वृद्धि होती है तथा उत्क्रम धारा अचानक बढ़ जाती है। यह प्रक्रिया ऐवलांशी भंजन कहलाती है। इस प्रक्रिया में वोल्टता का मान कम करके धारा नियंत्रित की जा सकती है जिससे डायोड को क्षतिग्रस्त होने से बचाया जा सकता है।

(ii) जेनर भंजन–यह प्रक्रिया ऐसे डायोड में होती है जिससे अपेक्षाकृत अधिक डोपिंग होने से अवक्षय परत पतली होती है। इस स्थिति में पश्च अभिनति वोल्टता के अपेक्षाकृत कम मान पर भी संधि पर विद्युत क्षेत्र तीव्र हो जाता है। जिससे संधि के समीप सहसंयोजी आबन्ध के इलेक्ट्रॉन पर पर्याप्त बल लगता है तथा ये आबन्ध टूट जाते हैं। जिससे अल्पसंख्यक धारा वाहकों की संख्या में वृद्धि होती है तथा धारा का मान तेजी से बढ़ता है। यह प्रक्रिया जेनर भंजन कहलाती है।

उदाहरण 7. मान लीजिए किसी शुद्ध Si क्रिस्टल में 5×10^{28} परमाणु m^{-3} है। इसे पंचसंयोजी As से 1 ppm सांद्रता पर अपमिश्रित किया जाता है। इलेक्ट्रॉनों तथा होलों की संख्या परिकलित कीजिए, दिया है कि $n_i = 1.5 \times 10^{16}\ m^{-3}$

हल–दिया है– Si परमाणुओं का संख्या घनत्व = 5×10^{28} प्रति मी.^{3}

तथा अपमिश्रण की मात्रा = 1ppm (part per million)

$$= \frac{1}{10^6} \text{ परमाणु}$$

∵ प्रत्येक अपद्रव्य परमाणु (पंचसंयोजी) एक मुक्त इलेक्ट्रॉन प्रदान करता है।

अतः मुक्त इलेक्ट्रॉन की संख्या

$$n_e = \frac{5 \times 10^{28}}{10^6} = 5 \times 10^{22} \text{ प्रति मी.}^3$$

तथा होलों की संख्या

$$n_h = \frac{n_i^2}{n_e} = \frac{1.5\times10^{16}\times1.5\times10^{16}}{5\times10^{22}} = 4.5 \times 10^9 \text{ प्रति मी}^3$$

उदाहरण 8. किसी P-N संधि डायोड की अग्रदशिक अमिनति को 2.0 V से बढ़ाकर 2.5 V करने पर अग्र धारा का मान 16.5 mA से 26.5 mA हो जाता है। इसी डायोड की उत्क्रम अमिनति का मान 5 V से 10 V करने पर उत्क्रम धारा का मान 20 माइक्रोऐम्पियर से बढ़कर 30 माइक्रोऐम्पियर हो जाता है। इस डायोड का दोनों स्थितियों में गतिक प्रतिरोध ज्ञात कीजिये।

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 16.3

हल: (i) प्रश्नानुसार, अग्र अभिनति में

$$\Delta V_f = 2.5 - 2.0 = 0.5V$$

तथा अग्र दिशिक धारा में परिवर्तन

$$\Delta I_f = 26.5 - 16.5 = 10\,mA$$

अतः अग्र दिशिक गतिक प्रतिरोध

$$R_{df} = \frac{\Delta V_f}{\Delta I_f} = \frac{0.5V}{10mA}$$

$$= \frac{0.5V}{10\times10^{-3}A} = 0.5\times10^2\Omega = 50\Omega$$

(ii) उत्क्रमित अभिनति के लिये

$$\Delta V_r = 10 - 5 = 5V$$

तथा संगत धारा परिवर्तन

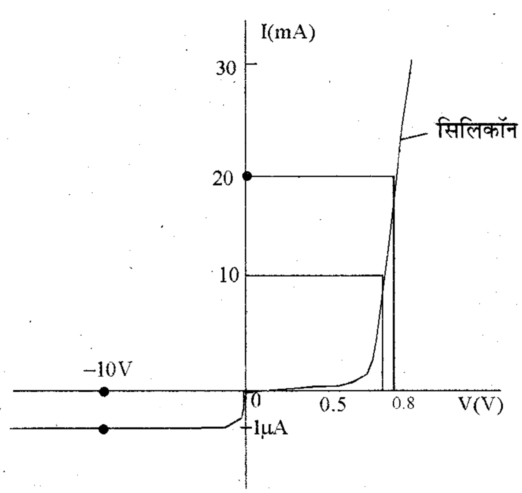
$$\Delta I_r = 30 - 20 = 10\,\mu A$$

अतः उत्क्रमित गतिक प्रतिरोध

$$R_{dr} = \frac{\Delta V_r}{\Delta I_r} = \frac{5V}{10\mu A}$$

$$= 0.5\times10^6\,\Omega = 0.5\,M\Omega$$

उदाहरण 9. किसी सिलिकॉन डायोड का V–I अभिलाक्षणिक चित्र में दर्शाया गया है। डायोड का प्रतिरोध (a) I_D = 15mA तथा (b) V_D = –10V पर परिकलित कीजिए।



चित्र: 16.36

उत्तर–(a) I_D = 15 मिली एम्पियर के लिए, इसके दोनों ओर दो बिन्दु I = 10 मिली एम्पियर तथा I = 20 मिलीएम्पियर लेने पर

ग्राफ से I_1 = 10 मिली एम्पियर पर V_1 = 0.7 वोल्ट

I_2 = 20 मिली एम्पियर पर V_2 = 0.8 वोल्ट

अतः प्रतिरोध $R_{df} = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{0.8-0.7}{(20-10)\times10^{-3}} = \frac{0.1\times10^3}{10}$

= 10 ओम

(b) ग्राफ से V = – 10 वोल्ट पर I = 1 माइक्रो एम्पियर

अतः $R_{dr} = \frac{10}{1\times10^{-6}} = 10^7$ ओम

उदाहरण 10. किसी P-N संधि डायोड का अग्रअमिनति की स्थिति में गतिक प्रतिरोध 25 ओम है। अग्र अभिनत विभव में कितना परिवर्तन किया जाये कि अग्र धारा में 1 मिली एम्पियर का परिवर्तन हो जाये?

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 16.4

हल: अग्रदिशिक प्रतिरोध

$$R_{df} = \frac{\Delta V_f}{\Delta I_f}$$

$$\Delta V_f = R_{df}(\Delta I_f)$$

$$= (25)\times(1\times10^{-3})$$

$$= 25\times10^{-3}V$$

$$= 25\,mV$$

अतः अग्र अभिनत विभव में 25 mV का परिवर्तन करना होगा।

16.7 P–N संधि डायोड का दिष्टकारी के रूप में उपयोग (Use of a P–N Junction Diode as Rectifier)

हम जानते हैं कि विद्युत धारा दो प्रकार की होती है–दिष्ट धारा तथा प्रत्यावर्ती धारा। दिष्ट धारा वह धारा है जिसका मान व दिशा समय के नियत रहते हैं जबकि प्रत्यावर्ती धारा का मान व दिशा दोनों समय के साथ आवर्त रूप से परिवर्तित होता रहता है।

हमारे घरों में प्रत्यावर्ती धारा (या प्रत्यावर्ती वोल्टता) आती है क्योंकि प्रत्यावर्ती धारा का उत्पादन व संचरण सुविधाजनक तथा कम खर्चीला है। दूसरी ओर घरों में काम आने वाले सभी इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों के लिए दिष्ट धारा या दिष्ट वोल्टता आवश्यक होती है। अतः हमें एक ऐसा उपकरण चाहिए होता है जब घरों में आने वाली प्रत्यावर्ती धारा (प्रत्यावर्ती वोल्टता) को दिष्ट धारा (दिष्ट वोल्टता) में रूपान्तरित कर दें।

प्रत्यावर्ती धारा (प्रत्यावर्ती वोल्टता) को दिष्ट धारा (दिष्ट वोल्टता) में रूपान्तरित करने वाले उपकरण को दिष्टकारी (Rectifier) कहते हैं। प्रत्यावर्ती धारा (प्रत्यावर्ती वोल्टता) को दिष्ट धारा (दिष्ट वोल्टता) में रूपान्तरित करने की इस प्रक्रिया को दिष्टकरण (Rectification) कहते

हैं।

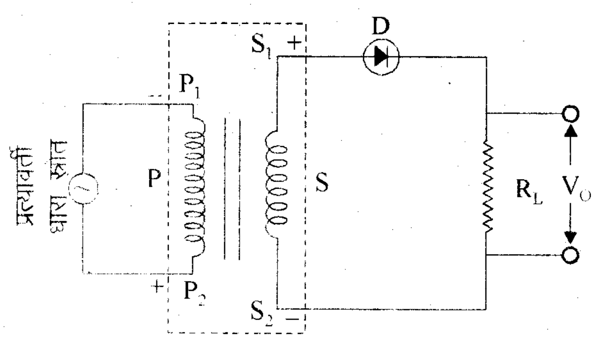
दिष्टकारी दो प्रकार का होता है–

(अ) अर्ध तरंग दिष्टकारी (Half wave rectifier)

(ब) पूर्ण तरंग दिष्टकारी (Full wave rectifier)

16.7.1 अर्ध तरंग दिष्टकारी (Half wave rectifier)

"अर्ध तरंग दिष्टकारी वह उपकरण है जो प्रत्यावर्ती धारा (प्रत्यावर्ती वोल्टता) के आधे भाग का ही दिष्टकरण करता है।"

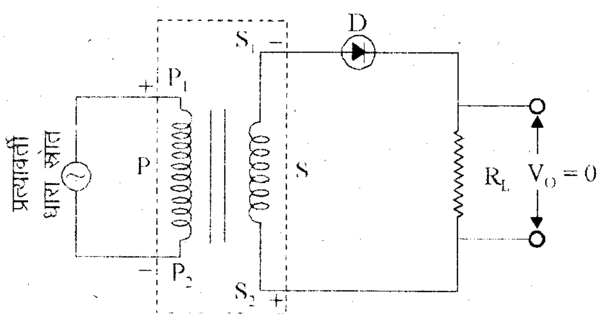


चित्र 16.37

चित्र में अर्ध तरंग दिष्टकारी का परिपथ चित्र दर्शाया गया है। इसमें ट्रांसफॉर्मर की प्राथमिक कुण्डली (P_1P_2) से प्रत्यावर्ती धारा स्त्रोत को जोड़ा जाता है तथा ट्रांसफॉर्मर की द्वितीयक कुण्डली से एक P-N सन्धि डायोड तथा एक लोड प्रतिरोध (R_L) श्रेणीक्रम में जोड़े जाते हैं। निर्गत वोल्टता को लोड (R_L) के सिरों पर प्राप्त किया जाता है।

कार्यविधि (Working)

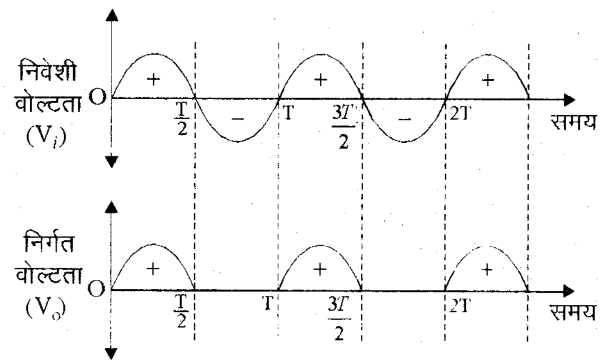
प्रत्यावर्ती वोल्टता के प्रथम आधे चक्र मे माना प्राथमिक कुण्डली का P_1 सिरा ऋणात्मक तथा P_2 सिरा धनात्मक हो जाता है। फलस्वरूप अन्योन्य प्रेरण के कारण द्वितीयक कुण्डली का S_1 सिरा धनात्मक तथा S_2 सिरा ऋणात्मक हो जाता है। परिपथ में जुड़ा डायोड अग्र बायस की अवस्था में आ जाता है और परिपथ में धारा बढ़ने लगती है। जिससे लोड (R_L) के सिरों पर निर्गत वोल्टता प्राप्त होती है। (प्रथम चित्र से)



चित्र 16.38

अगले अर्ध चक्र (ऋणात्मक अर्ध चक्र) में प्राथमिक कुण्डली का P_1 सिरा धनात्मक तथा P_2 सिरा ऋणात्मक हो जाता है जिससे अन्योन्य प्रेरण के कारण द्वितीयक कुण्डली का S_1 सिरा ऋणात्मक तथा S_2 सिरा धनात्मक हो जाता है और परिपथ में लगा डायोड पश्च बायस की अवस्था में आ जाता है। फलस्वरूप परिपथ में कोई धारा नहीं बहती और निर्गत वोल्टता शून्य रहती है।

नीचे चित्र में निवेशी वोल्टता के सापेक्ष प्राप्त निर्गत वोल्टता को दर्शाया गया है–



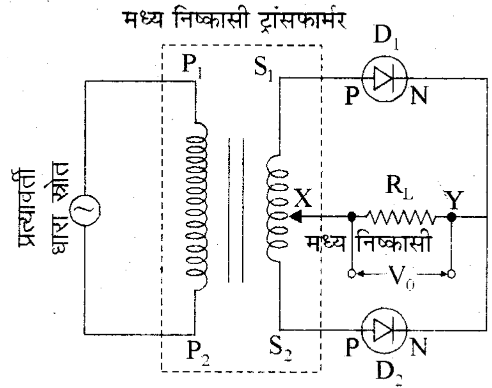
चित्र 16.39

इन आलेखों से स्पष्ट है कि निर्गत वोल्टता की आधी तरंग का ही दिष्टकरण हो पाता है जबकि शेष आधी तरंग के लिए निर्गत वोल्टता नहीं हो पाती तथा निर्गत विभव की आवृत्ति निवेशी विभव की आवृत्ति के समान होती है।

इस प्रकार अर्ध तरंग दिष्टकारी की दक्षता लगभग 40.6% होती है क्योंकि 50% निवेशी वोल्टता का दिष्टकरण नहीं हो पाता और शेष वोल्टता का क्षय हो जाता है।

16.7.2 पूर्ण तरंग दिष्टकारी (Full wave rectifier)

"पूर्ण तरंग दिष्टकारी वह उपकरण है जो प्रत्यावर्ती धारा तथा प्रत्यावर्ती वोल्टता के सम्पूर्ण भाग का दिष्टकरण करता है।



चित्र 16.40

चित्र में पूर्ण तरंग दिष्टकारी दर्शाया गया है। इसमें ट्रांसफॉर्मर की प्राथमिक कुण्डली (P_1P_2) से प्रत्यावर्ती धारा स्त्रोत को जोड़ा जाता है। द्वितीयक कुण्डली के दोनों सिरों S_1 व S_2 को दोनों डायोड (D_1 व D_2) के धनात्मक सिरों (P) से संबंधित कर दिया जाता है। जब कि इन डायोड के ऋणात्मक सिरों (N) को आपस में जोड़ दिया जाता है। ऋणात्मक सिरों (N) के उभयनिष्ठ बिन्दु Y तथा ट्रांसफॉर्मर की द्वितीयक कुण्डली के मध्यनिष्कासी बिन्दु (centre tap) X के बीच लोड प्रतिरोध R_L जोड़

दिया जाता है। इस प्रकार के मध्य निष्कासी ट्रांसफॉर्मर (central tapped transformer) के लिए बिन्दु X को निर्देश शून्य विभव बिन्दु (reference zero potential) माना जाता है। अतः इस बिन्दु के सापेक्ष एक ही समय पर यदि द्वितीयक कुण्डली का एक सिरा धनात्मक है तो दूसरा सिरा ऋणात्मक होगा। लोड प्रतिरोध (R_L) के सिरों के मध्य निर्गत वोल्टता प्राप्त की जाती है।

कार्यविधि (Working)

जब प्राथमिक कुण्डली में प्रत्यावर्ती धारा स्त्रोत जोड़ा जाता है तो धनात्मक आधे चक्र के दौरान द्वितीयक कुण्डली के S_1 व S_2 सिरों के क्रमशः धन तथा ऋण विभव पर होने के कारण डायोड D_1 अग्र बायस की अवस्था में तथा डायोड D_2 उत्क्रम बायस की अवस्था में आ जाता है। जिससे डायोड D_1 से अग्र धारा प्रवाहित होती है और लोड प्रतिरोध पर निर्गत वोल्टता ($V_0 = IR_L$) प्राप्त होती है।

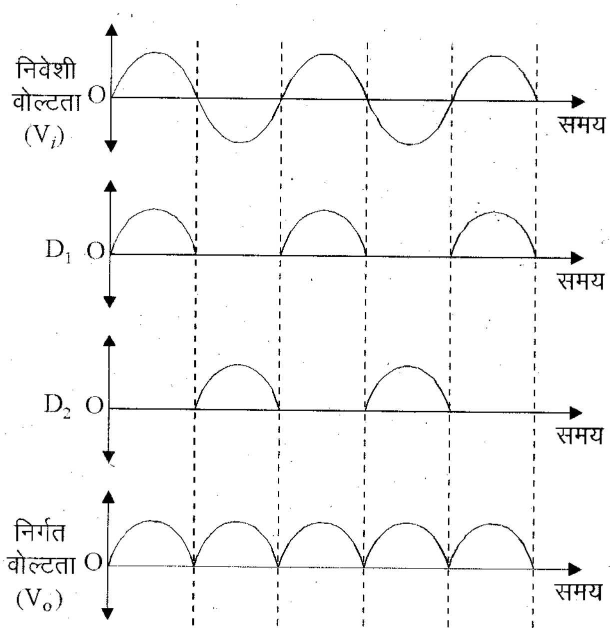
प्रत्यावर्ती धारा के ऋणात्मक चक्र के दौरान द्वितीयक कुण्डली के S_1 व S_2 सिरे क्रमशः ऋण व धन विभव पर आ जाते हैं। जिससे डायोड D_1 उत्क्रम बायास व डायोड D_2 अग्र बायस की अवस्था में आ जाते हैं। डायोड D_2 के कारण धारा (I) प्रवाहित होती है। जिससे लोड प्रतिरोध के सिरों पर निर्गत वोल्टता ($V_0 = IR_L$) प्राप्त होती है।

इस प्रकार धनात्मक एवं ऋणात्मक दोनों अर्ध चक्रों में लोड प्रतिरोध से धारा प्रवाहित होती है तथा धारा की दिशा दोनों ही स्थितियों में समान रहती है। इस प्रकार लोड प्रतिरोध के सिरों पर निर्गत वोल्टता एक ही दिशा में प्राप्त होती है।

इन आलेखों से स्पष्ट है कि D_1 डायोड के कारण निर्गत वोल्टता प्राप्त होती है तथा D_2 डायोड के कारण भी उसी दिशा में निर्गत वोल्टता प्राप्त होती है।

इस तरह से निवेशी वोल्टता के पूर्ण चक्र के लिए निर्गत वोल्टता एक ही दिशा में प्राप्त होती है।

यद्यपि इस निर्गत वोल्टता में स्पन्दन होता है। इसे फिल्टर नामक उपकरण से प्रवाहित कर पूर्ण रूप से दिष्ट धारा में रूपान्तरित किया जा सकता है। **इसमें निर्गत विभव की आवृत्ति निवेशी विभव की आवृत्ति से दुगुनी होती है।**



चित्र 16.41

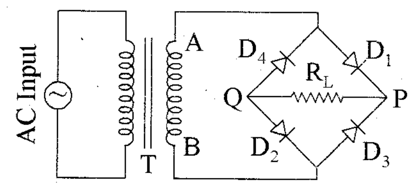
पूर्ण तरंग दिष्टकारी में साधारण ट्रांसफॉर्मर के स्थान पर मध्य निष्कासी ट्रांसफॉर्मर प्रयुक्त करते हैं। यदि उच्च विभव पर दिष्ट धारा प्राप्त करनी होती है तब उच्चायी ट्रांसफॉर्मर प्रयुक्त करते हैं तथा निम्न विभव पर दिष्टधारा प्राप्त करनी होती है तब अपचायी ट्रांसफॉर्मर प्रयुक्त करते हैं।

सामान्यतया पूर्ण तरंग दिष्टकारी की दक्षता 81.2% होती है। यह अर्ध तरंग दिष्टकारी की दक्षता का दुगुना है।

16.7.3 पूर्ण तरंग सेतु दिष्टकारी (Full wave bridge rectifier)

चित्र में एक पूर्ण तरंग दिष्टकारी दर्शाया गया है और इसमें चार PN संधि डयोडों का उपयोग होता है।

निवेशी प्रत्यावर्ती वोल्टता ट्रांसफार्मर की प्राथमिक कुण्डली और ब्रिज (सेतु) परिपथ ट्रांसफार्मर की द्वितीयक कुण्डली के सिरों पर लगाया जाता है।



चित्र 16.42

जब प्राथमिक कुण्डली में प्रत्यावर्ती धारा स्त्रोत जोड़ा जाता है तब धनात्मक आधे चक्र के दौरान द्वितीयक कुण्डली का सिरा A धनात्मक तथा सिरा B ऋणात्मक होता है तब डायोड D_1 तथा डायोड D_2 अग्र बायसित तथा डायोड D_3 तथा डायोड D_4 पश्च बायसित हो जाते हैं। इस स्थिति में धारा D_1 से P से Q से D_2 में होती हुई बहती है जबकि डायोड D_3 व डायोड D_4 में चालन नहीं होता है।

प्रत्यावर्ती धारा के ऋणात्मक चक्र के दौरान द्वितीयक कुण्डली का सिरा A ऋणात्मक तथा सिरा B धनात्मक होता है तब डायोड D_3 तथा डायोड D_4 अग्र बायसित तथा डायोड D_1 व डायोड D_2 पश्च बायसित हो जाते हैं। इस स्थिति में धारा D_3 से P से Q से D_4 में होती हुई बहती है। जबकि डायोड D_1 व डायोड D_2 में चालन नहीं होता है।

इस प्रकार सेतु दिष्टकारी में किसी भी समय केवल दो डायोडों से विद्युत धारा प्रवाहित होती है तथा दो डायोडों में चालन नहीं होता है। लोड प्रतिरोध R_L से विद्युत धारा, प्रत्येक चक्र में P से Q की ओर प्रवाहित होती है। इस कारण प्राप्त वोल्टता दिष्ट वोल्टता होती है। इस निर्गत वोल्टता का प्रतिरूप पूर्ण तरंग दिष्टकारी के लिए प्राप्त प्रतिरूप के समान होता है। सेतु दिष्टकारी के लिए मध्य निष्कासी ट्रांसफॉर्मर के स्थान पर साधारण ट्रांसफॉर्मर प्रयुक्त करते हैं जो कि अपेक्षाकृत कम मूल्य का होता है। यह सेतु दिष्टकारी का पूर्ण तरंग दिष्टकारी की तुलना में एक महत्वपूर्ण लाभ है।

सेतु दिष्टकारी परिपथ में प्रयुक्त डायोड इस प्रकार के होने चाहिए कि पश्च अभिनति अवस्था में इनका भंजन नहीं हो अन्यथा पश्च अभिनति

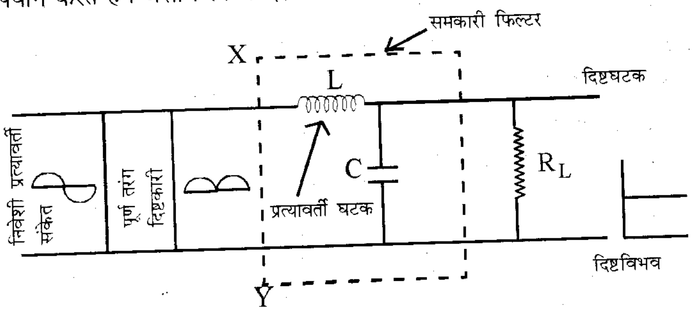
अवस्था में इनके द्वारा धारा चालन होने से दिष्टकरण संभव नहीं होगा। इसके लिए डायोड का भंजन विभव ट्रांसफॉर्मर की द्वितीयक कुण्डली पर प्राप्त प्रत्यावर्ती संकेत के शिखर मान से अधिक होना चाहिए। इस प्रकार के डायोड शक्ति डायोड (power diode) कहलाते हैं।

समकारी फिल्टर

पूर्ण तरंग दिष्टकारी से लोड प्रतिरोध के सिरों पर निर्गत विभव उतार चढ़ाव वाला दिष्ट विभव प्राप्त होता है। यह परिवर्तनशील विभव शुद्ध विभव और प्रत्यावर्ती घटक विभवों का अध्यारोपण होता है।

कुछ विशेष परिपथ जिनकी सहायता से प्रत्यावर्ती घटकों को दिष्ट विभव से पृथक कर शुद्ध दिष्ट विभव प्राप्त किया जा सकता है, समकारी फिल्टर कहते हैं।

कार्यविधि-समकारी फिल्टर परिपथों में मुख्यतया संधारित्र या प्रेरकत्व अथवा दोनों का प्रयोग करते हैं। उच्चावचन को कम करने के लिए LC फिल्टर का उपयोग करते हैं। जैसा चित्र में दर्शाया गया है-



चित्र: 16.43

जब दिष्टकारी से प्राप्त निर्गत स्पंदमान दिष्टविभव को फिल्टर के X व Y के मध्य लगाया जाता है तो प्रेरकत्व L के द्वारा उत्पन्न प्रतिबाधा प्रत्यावर्ती विभव घटक को रोक देता है जबकि दिष्ट विभव घटक पर कोई प्रभाव नहीं डालता है इसके बाद भी यदि कुछ प्रत्यावर्ती घटक शेष रह जाते हैं तो लोड (R_L) के समान्तर क्रम में लगा संधारित्र (C) प्रत्यावर्ती घटक के लिए लघु प्रतिबाधा उत्पन्न करेगा। जबकि दिष्टघटक को रोक लेगा जो लोड R_L पर प्राप्त होगा इस प्रकार लोड R_L पर एक परिशुद्ध दिष्ट विभव प्राप्त होता है।

16.8 विशिष्ट प्रयोजन P–N संधि डायोड (Special purpose P-N junction diodes)

अर्ध-चालक के उपयोग उसके अभिलाक्षणिक गुणों पर निर्भर करता है। इलेक्ट्रॉनिक परिपथों में विभिन्न प्रकार के डायोडों का उपयोग किया जाता है। जो कि निम्न प्रकार है–

(अ) जेनर डायोड (Zener Diode)

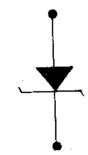
(ब) फोटो डायोड (Photo Diode)

(स) प्रकाश उत्सर्जक डायोड (Light Emitting Diode)

(द) सौर सेल (Solar cell)

16.8.1 जेनर डायोड (Zener Diode)

यह एक विशिष्ट प्रयोजन अर्ध चालक डायोड है जिसका नाम उसके आविष्कारक सी. जेनर के नाम पर रखा गया है इसे भंजन क्षेत्र में उत्क्रम बायस में प्रचलित करने के लिए डिजायन किया गया है तथा इसका उपयोग वोल्टता नियंत्रक या वोल्टता नियमन के लिए किया जाता है।



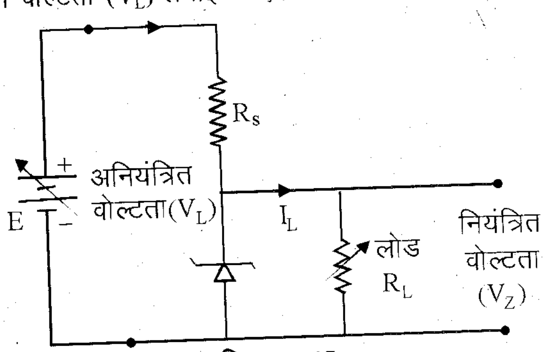
चित्र 14.43

जेनर डायोड का प्रतीक चित्र में दर्शाया गया है। जेनर डायोड एक विशेष रूप से निर्मित P–N संधि डायोड ही है। जिसमें संधि के दोनों ओर P तथा N दोनों फलकों को अत्यधिक अपमिश्रित कर विकसित किया जाता है जिससे अवक्षय परत की चौड़ाई बहुत कम होती है तथा संधि का विद्युत क्षेत्र लगभग 5V तक के लघु पश्चदिशिक बायस होने पर भी अति उच्च होता है इसका भंजन वोल्टता कम तथा तीक्ष्ण हाता है तथा जो भंजन क्षेत्र में उत्क्रम धारा के काफी उच्च मान तक बिना क्षति ग्रस्त हुए कार्य कर सकता है। भंजन वोल्टता का मान निर्माण के समय अपमिश्रण की मात्रा पर निर्भर करता है। भिन्न-भिन्न डायोडों के लिए इसे भिन्न-भिन्न रखा जा सकता है। जेनर डायोड को सदैव उत्क्रम अभिनति पर रखते हैं अग्र बायस की स्थिति में यह साधारण डायोड की तरह कार्य करता है।

किसी जेनर डायोड का I–V अभिलाक्षणिक वक्र चित्र में दर्शाया गया है।

इस वक्र से स्पष्ट है कि एक सूक्ष्म उत्क्रम धारा एक निश्चित वोल्टता तक नियत रहती है। जब आरोपित पश्च वोल्टता (V) जेनर डायोड की भंजन वोल्टता (V_Z) के समान हो जाती है तो परिपथ में विद्युत धारा में बहुत अधिक परिवर्तन हो *जाता है। भंजन वोल्टता (V_Z) के पश्चात्*, पश्च वोल्टता में कोई सार्थक परिवर्तन किये बिना ही अत्यधिक धारा उत्पन्न की जा सकती है अर्थात् जेनर डायोड से प्रवाहित धारा में अत्यधिक परिवर्तन होने पर भी जेनर वोल्टता नियत रहती है। इसी गुण का उपयोग विद्युत आपूर्तियों को वोल्टताओं के नियमित करने में किया जाता है तथा आपूर्तियों से नियत वोल्टताओं पर विद्युत धारा प्राप्त होती है।

सामान्यत: दिष्टकारी को इस्तेमाल करने वाली dc शक्ति पूर्तियों में विभिन्न लोड धाराओं पर निर्गत वोल्टता बदल जाती है। इस प्रकार वोल्टताएँ **अनियमित** हैं। यदि किसी dc शक्ति पूर्ति की निर्गत वोल्टता, लोड के साथ नहीं बदले तो उसे **नियमित शक्ति प्रदायी** कहते हैं। मान लें कि एक जेनर डायोड (जिसकी भंजन वोल्टता V_z है) पर एक अनियंत्रित dc निवेशी वोल्टता (V_L) लगाई जाए।

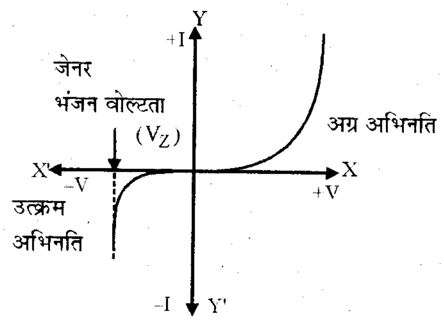


चित्र 16.45

लोड प्रतिरोध R_L जेनर डायोड के समान्तर क्रम में लगाया गया है। जेनर डायोड इस प्रकार का होना चाहिए कि इसकी भंजन वोल्टता V_Z

उस नियत मान की दिष्ट वोल्टता के समान हो जिसे लोड प्रतिरोध R_L पर प्राप्त करना है। जेनर डायोड को परिपथ में पश्च अभिनति की अवस्था में संयोजित किया जाता है। यदि आरोपित वोल्टता $V_L > V_Z$ हो तब जेनर डायोड भंजन स्थिति में होगा तथा इसके सिरों पर वोल्टता V_Z ही बनी रहती है। लोड प्रतिरोध R_L डायोड के समान्तर क्रम में है अतः इस पर भी वोल्टता V_Z ही रहेगी।

यदि R_L का मान परिवर्तित भी कर दिया जाये तब भी वोल्टता V_Z ही रहेगी। इस प्रकार जेनर डायोड के दोनों सिरों पर निर्गत वोल्टता का नियमन हो जाता है। प्रतिरोध R_s द्वारा जेनर धारा को नियंत्रित किया जाता है अन्यथा तापीय ऊर्जा के कारण डायोड क्षतिग्रस्त हो जायेगा।



चित्र: 16.46 जेनर डायोड के लिए V–I अभिलाक्षणिक वक्र

महत्त्वपूर्ण तथ्य

1. **जेनर डायोड**–जेनर डायोड एक विशेष रूप से निर्मित P–N संधि डायोड ही है जिसमें अपद्रव्य की मात्रा अधिक रखी जाती है जिससे अवक्षय परत की चौड़ाई बहुत कम होती है तथा इसकी भंजन वोल्टता (जेनर वोल्टता) कम तथा तीक्ष्ण होती है। ये भंजन क्षेत्र में उत्क्रम धारा के काफी उच्च मान तक बिना क्षतिग्रस्त हुए कार्य कर सकते हैं।
2. **जेनर वोल्टता**–(जेनर डायोड में भंजन वोल्टता) पश्च बायस की अवस्था में वह क्रांतिक पश्च वोल्टता जिस पर किसी जेनर डायोड से एकाएक अधिक मान की धारा प्रवाहित होने लगती है उसे जेनर वोल्टता कहते हैं। जेनर डायोड का यह गुण वोल्टता नियंत्रक के रूप में प्रयोग किया जाता है।
3. **जेनर प्रभाव**–P–N संधि डायोड के पश्च बायस अवस्था में भंजन के कारण धारा के मान में अचानक वृद्धि के प्रभाव को जेनर प्रभाव कहते हैं।

16.8.2 फोटो-डायोड (Photo -Diode)

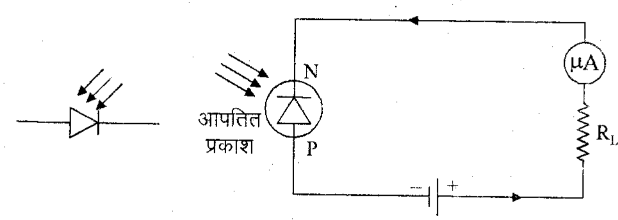
फोटो डायोड या (प्रकाश डायोड) वह विशेष डायोड है जो प्रकाश ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में रूपान्तरित करता है। प्रकाश डायोड में प्रकाश सुग्राही अर्धचालक (Photo sensitive semi-conductor) पदार्थ का उपयोग किया जाता है।

इसमें P या N अर्धचालक में से किसी एक क्षेत्र को अत्यधिक पतला रखा जाता है जिससे कि आपतित प्रकाश अवशोषित होने पर फोटॉन संधि तल तक पहुँच सके।

जब इस प्रकार के डायोड पर **पश्च बायस की अवस्था** में उचित आवृत्ति का प्रकाश आपतित होता है तो अर्धचालकों के बने सहसंयोजक बन्ध (Covalent bond) टूटने लगते हैं तथा अधिक संख्या में इलेक्ट्रॉन संयोजी बैण्ड से चालन बैण्ड की ओर गति करते हैं। इस स्थिति में संयोजी बैण्ड में से संक्रमित प्रत्येक इलेक्ट्रॉन के संगत होल उत्पन्न होता है। इस प्रकार इस प्रक्रिया में इलेक्ट्रॉन-होल युग्म उत्पन्न हो जाते हैं। ये युग्म तापीय प्रभाव के कारण उत्पन्न युग्म के अतिरिक्त होते हैं। इस प्रकार अर्धचालक में आवेश वाहकों की संख्या में वृद्धि होती है और डायोड से विद्युत धारा प्रवाहित होने लगती है। साथ ही अर्धचालक की चालकता में वृद्धि होती है। यह वृद्धि प्रकाशिक चालकता (Photo conductivity) तथा यह प्रभाव प्रकाशिक चालकता प्रभाव (Photo conductive effect) कहलाता है।

प्रकाश की आवृत्ति बढ़ाने पर प्रकाश धारा में भी वृद्धि होती है तथा एक स्थिति ऐसी आती है जब धारा का मान अधिकतम हो जाता है। इसे **संतृप्त धारा** कहते हैं।

फोटो डायोड का प्रतीक निम्न चित्र में दर्शाया गया है–



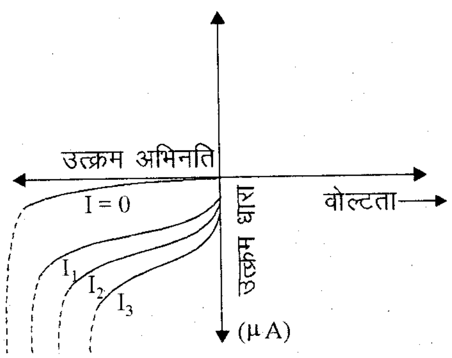
चित्र 16.47

सामान्यतः फोटो डायोड को परिपथ में पश्च अभिनति की व्यवस्था में संयोजित किया जाता है। जब डायोड पर प्रकाश आपतित होता है तब फोटॉन संधि तल पर अवशोषित होकर इलेक्ट्रॉन-होल युग्म निर्मित करते हैं जो कि संधि पर उपस्थित विद्युत क्षेत्र के कारण पृथक् हो जाते हैं तथा संधि से होकर प्रवाहित होते हैं। इस स्थिति में पश्च संतृप्त धारा के मान में वृद्धि होती है। यह धारा कई सौ माइक्रोएम्पियर कोटि तक की हो सकती है। फोटो डायोड को भंजन वोल्टता से कम वोल्टता पर रखा जाना आवश्यक होता है।

आपतित प्रकाश की आवृत्ति नियत रखकर यदि प्रकाश की तीव्रता को बढ़ाया जाता है तब धारा का मान और बढ़ जाता है।

इस प्रकार प्रकाश की तीव्रता में परिवर्तन के कारण पश्च धारा में उत्पन्न परिवर्तन के मापन द्वारा प्रकाश की तीव्रता का मापन किया जा सकता है।

विभिन्न तीव्रताओं (I) के संगत पश्च धारा में परिवर्तनों को निम्न चित्र में दर्शाया गया है–



चित्र 16.48

यहाँ I = आपतित प्रकाश की तीव्रता

$I = 0$ प्रकाश आपतित नहीं है।

तथा $I_3 > I_2 > I_1 > 0$

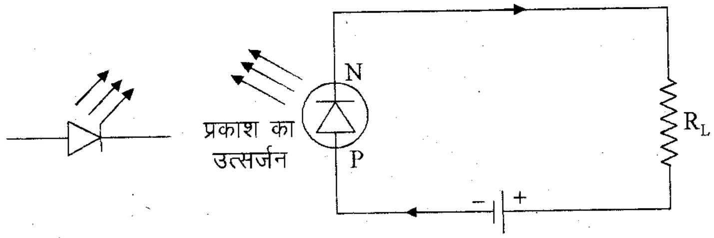
प्रकाश डायोड का उपयोग फिल्मों में ध्वनि पुनः उत्पादन, प्रकाश चलित स्विचों में, कम्प्यूटर टेप कार्ड पढ़ने में तथा प्रकाश के संसूचन में किया जाता है।

16.8.3 प्रकाश उत्सर्जक डायोड (Light Emitting Diode-LED)

प्रकाश डायोड जिस सिद्धान्त पर कार्य करता है उसके विपरीत सिद्धान्त पर यह डायोड आधारित है। प्रकाश उत्सर्जक डायोड, विद्युत ऊर्जा को प्रकाश ऊर्जा में रूपान्तरित करता है। यह P-N सन्धि डायोड गेलियम आर्सेनाइड फॉस्फाइड (GaAsP) तथा गेलियम फॉस्फाइड (GaP) से बना होता है।

जब इस प्रकार के डायोड को अग्र अभिनति (Forward bias) की स्थिति में जोड़ा जाता है तब चालन बैण्ड में इलेक्ट्रॉनों का संयोजी बैण्ड में उपस्थित होलों से पुनः संयोजन (recombination) होता है तथा ऊर्जा उत्पन्न होती है। इलेक्ट्रॉन सामान्यतः चालन बैण्ड के न्यूनतम ऊर्जा स्तर पर तथा होल संयोजी बैण्ड के उच्चतम ऊर्जा स्तर के संगत होते हैं। अतः इस प्रक्रिया में मुक्त ऊर्जा बैण्ड अन्तराल की ऊर्जा के बराबर होती है। मुक्त ऊर्जा प्रकाश के रूप में होती है। प्रकाश की तरंगदैर्घ्य यदि दृश्य क्षेत्र में होती है तो प्रकाश दिखायी देता है। यही कारण है कि इस प्रकार के संधि डायोड प्रकाश उत्सर्जक डायोड कहलाते हैं।

प्रकाश उत्सर्जक डायोड का प्रतीक निम्न चित्र में दर्शाया गया है–



चित्र 16.49

उत्सर्जित प्रकाश की तीव्रता अधिक होने के लिए इलेक्ट्रॉन-होल की पुनः संयोजन संख्या अधिक होनी चाहिए। नैज अर्धचालक में इलेक्ट्रॉन-होल युग्मों की संख्या सीमित होती है तथा अपमिश्रित अर्धचालकों में एक ही प्रकार के आवेश वाहकों की संख्या अधिक तथा दूसरे प्रकार के आवेश वाहकों की संख्या कम होने के कारण इनका उपयोग नहीं किया जाता है। गैलियम फॉस्फाइड (GaP) जैसे अर्धचालक में यदि संधि तल के P तथा N क्षेत्रों में अपमिश्रण अधिक मात्रा में हो तब अवक्षय क्षेत्र बहुत पतला होगा तथा संधि को अग्र अभिनत करने पर P क्षेत्र से बहुसंख्यक होल N क्षेत्र की ओर व N क्षेत्र से बहुसंख्यक इलेक्ट्रॉन P क्षेत्र की ओर गतिशील होते हैं जिससे अवक्षय क्षेत्र के समीप इनका अत्यधिक मात्रा में पुनः संयोजन होता है तथा उत्सर्जित प्रकाश की तीव्रता बहुत अधिक होती है।

विभिन्न रंगों जैसे गहरा लाल, हरा, पीला आदि के प्रकाश उत्सर्जक डायोड होते हैं। इनका रंग अर्धचालक पर निर्भर करता है। इनका उपयोग कृत्रिम उपग्रह, केलकूलेटर्स, घड़ी, सूचक लाइट, चोर घंटियों, प्रकाशिक तन्तु संचार आदि में किया जाता है।

अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

1. कमरे के ताप पर निम्न में आवेश वाहकों के नाम लिखिए–
   (i) चालक (ii) नैज अर्धचालक तथा (iii) कुचालक
2. क्या अर्धचालक ओम के नियम का पालन करते हैं?
3. अर्धचालक युक्तियाँ बनाने में सिलिकॉन की अपेक्षा जरमेनियम को अधिक प्रयुक्त करते हैं, क्यों?
4. नैज अर्धचालक में अपमिश्रण का उसके वर्जित ऊर्जा अन्तराल पर क्या प्रभाव पड़ता है?
5. नैज अर्धचालक के वर्जित ऊर्जा अन्तराल पर ताप बढ़ाने पर क्या प्रभाव पड़ता है?
6. PN संधि डायोड में संधि पर धारा प्रवाह की दिशा क्या होती है P से N की ओर अथवा N से P की ओर?
7. ऐसे तीन पदार्थों के नाम लिखिए जिनकी प्रतिरोधकता ताप बढ़ाने पर घटती है।
8. (i) N प्रकार का तथा (ii) P प्रकार का अर्धचालक बनाने के लिए प्रयुक्त किए जा सकने वाले तीन-तीन अपद्रव्य पदार्थों के नाम लिखिए।
9. P–N संधि डायोड के दो उपयोग लिखिए।
10. किसी अर्धचालक में प्रबल विद्युत धारा प्रवाहित करने पर क्या होता है?
11. एक अर्धचालक को T_1K से T_2K तक ठण्डा किया जाता है उसके प्रतिरोध पर क्या प्रभाव पड़ेगा?
12. परम शून्य ताप पर जरमेनियम का एक टुकड़ा किस प्रकार का व्यवहार दर्शाता है?
13. अर्धचालक को लगातार गर्म करते रहने पर अर्धचालक के प्रतिरोध पर क्या प्रभाव पड़ता है?
14. अर्धचालकों में उनके उपयोग के अनुसार अशुद्धि क्यों मिलायी जाती है?
15. P तथा N- प्रकार के बाह्य अर्धचालक पदार्थों में अशुद्धि के परमाणुओं तथा शुद्ध अर्धचालक के परमाणुओं का अनुपात कितना होता है?
16. वोल्टेज नियमन के लिए कौन सी युक्ति प्रयुक्त की जाती है?
17. जेनर डायोड तथा साधारण डायोड में क्या अन्तर है?
18. यदि एक अर्धचालक डायोड की अग्र अभिनति दोगुनी कर दी

जाए तब अवक्षय परत की चौड़ाई पर क्या प्रभाव पड़ेगा?

19. P–N संधि डायोड के अग्र तथा उत्क्रम अभिनति व्यवस्थाओं में प्रतिरोधों का अनुपात कितना होता है?
20. P–N संधि डायोड किसे कहते हैं?
21. P–N संधि बनाने की किसी एक विधि का नाम लिखिए।
22. अर्धचालक डायोड में डायोड से क्या तात्पर्य है?
23. P–N संधि डायोड का बायसीकरण कितने प्रकार से किया जाता है?
24. अर्धचालक डायोड के अभिलाक्षणिक वक्र से क्या तात्पर्य है?
25. जेनर वोल्टता से क्या तात्पर्य है?
26. दिष्टकरण से क्या तात्पर्य है?
27. दिष्टकारी के प्रकार लिखिए।
28. ऑप्टोइलेक्ट्रॉनिक संधि युक्तियों से क्या तात्पर्य है?
29. ऑप्टोइलेक्ट्रॉनिक युक्तियों के नाम लिखिए।
30. फोटो डायोड के उपयोग लिखिए।
31. प्रकाश उत्सर्जक डायोड के उपयोग लिखिए।

उत्तरमाला

1. (i) मुक्त इलेक्ट्रॉन (ii) इलेक्ट्रॉन तथा होल तथा (iii) कुचालक में कोई आवेश वाहक नहीं होते हैं।
2. अर्धचालक ओम के नियम का पालन केवल अति अल्प विद्युत क्षेत्र (=10^6 वोल्ट/मीटर से कम) तक ही करते हैं। इसके पश्चात् विभव बढ़ाने पर धारा का मान लगभग नियत हो जाता है।
3. जरमेनियम में वर्जित ऊर्जा अन्तराल कम (=0.72 eV) तथा सिलिकॉन में वर्जित ऊर्जा अन्तराल अधिक (=1.1eV) होता है। इस कारण जरमेनियम का उपयोग सिलिकॉन की अपेक्षा अधिक होता है।
4. अपमिश्रण से वर्जित ऊर्जा अन्तराल कम हो जाता है।
5. वर्जित ऊर्जा अन्तराल पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता है।
6. P से N की ओर
7. कार्बन, सिलिकॉन तथा जरमेनियम।
8. (i) एण्टीमनी, बिस्मथ, फॉस्फोरस।
   (ii) ऐल्युमिनियम, इण्डियम, गैलियम
9. (i) दिष्टकारी के रूप में (ii) संसूचक के रूप में।
10. प्रबल विद्युत धारा प्रवाहित करने पर अर्धचालक गर्म हो जाता है। जिससे सहसंयोजी आबन्ध टूट जाते हैं तथा अर्धचालक एक चालक की भांति व्यवहार करने लगता है।
11. प्रतिरोध बढ़ जाएगा। 12. कुचालक की भांति व्यवहार करता है।
13. प्रतिरोध कम हो जाता है।
14. विद्युत चालकता बढ़ाने के लिए।
15. 10^{-7} 16. जेनर डायोड।
17. जेनर डायोड में अपमिश्रण अपेक्षाकृत अधिक होता है।
18. अवक्षय परत लगभग आधी हो जाएगी।
19. 10^{-3} :1
20. जब P- प्रकार के अर्धचालक को एक N- प्रकार के अर्धचालक से परमाण्वीय स्तर पर इस प्रकार जोड़ दिया जाए कि सम्पर्क तल के परमाणु एक दूसरे से मिल जाएँ तो इस प्रकार बने सम्पर्क तल को P-N संधि कहते हैं। इस युक्ति को P–N संधि डायोड कहते हैं।
21. विसरण विधि।
22. डायोड शब्द di + electrode का संक्षिप्त रूप है जिसका तात्पर्य है दो इलेक्ट्रोड। P–N संधि डायोड में P तथा N दो इलेक्ट्रोड है।
23. P–N संधि डायोड का बायसीकरण दो प्रकार से किया जाता है–
    (i) अग्रदिशिक बायसीकरण (ii) पश्चदिशिक बायसीकरण
24. अर्धचालक डायोड में आरोपित अग्र तथा उत्क्रम विभव तथा संगत धारा के मध्य खींचे गए आलेख को अभिलाक्षणिक वक्र कहते हैं।
25. पश्चदिशिक वोल्टता का वह मान जिस पर डायोड से उच्च मान की धारा प्रवाहित होने लगती है, जेनर वोल्टता या भंजन वोल्टता कहलाती है।
26. प्रत्यावर्ती धारा (प्रत्यावर्ती वोल्टता) को दिष्ट धारा (दिष्ट वोल्टता) में रूपान्तरित करने की प्रक्रिया को दिष्टकरण कहते हैं।
27. दिष्टकारी दो प्रकार का होता है–
    (i) अर्ध तरंग दिष्टकारी (ii) पूर्ण तरंग दिष्टकारी
28. ऐसी युक्तियाँ जिनमें आवेश वाहकों की उत्पत्ति फोटॉनों के द्वारा होती है, ऑप्टोइलेक्ट्रॉनिक युक्तियाँ कहलाती है।
29. (i) फोटो डायोड (ii) प्रकाश उत्सर्जक डायोड (iii) सोलर सेल
30. फोटो डायोड का उपयोग फिल्मों में ध्वनि पुन: उत्पादन, प्रकाश चालित स्विचों में, कम्प्यूटर टेप कार्ड पढ़ने में तथा प्रकाश के संसूचन में किया जाता है।
31. प्रकाश उत्सर्जक डायोड का उपयोग कृत्रिम उपग्रह, केलकूलेटर्स, घड़ी, सूचक लाइट, चोर घंटियों, प्रकाशिक तन्तु संचार आदि में किया जाता है।

16.9 ट्रांजिस्टर (Transistor)

ट्रांजिस्टर का आविष्कार 1948 में अमेरिकी वैज्ञानिकों बार्डीन (Bardeen), शोकले (Shokley) तथा बेटिन (W.H. Barattain) ने किया था। इन्हें सन् 1956 में भौतिकी के नोबेल पुरस्कार से सम्मानिक किया गया। वर्तमान में ट्रांजिस्टर के कई प्रकार हैं–संधि ट्रांजिस्टर (Junction Transistor), क्षेत्र प्रभाव ट्रांजिस्टर (Field Effect Transistor या FET) तथा धातु अर्धचालक ऑक्साइड क्षेत्र प्रभाव ट्रांजिस्टर (Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor या MOSFET) यहाँ हम संधि ट्रांजिस्टर के बारे में अध्ययन करेगें।

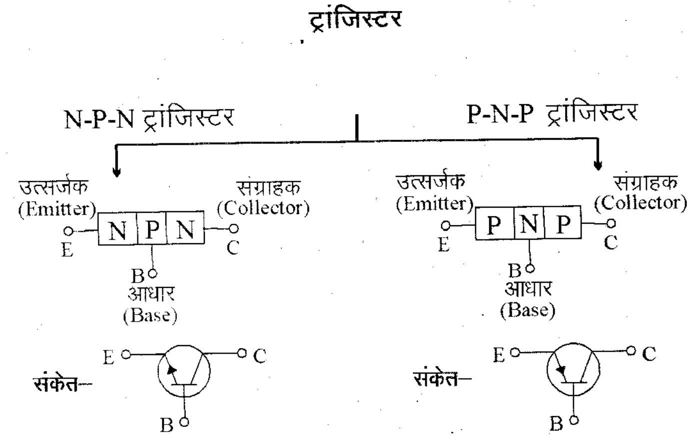
16.9.1 संधि ट्रांजिस्टर (Junction Transistor)

"दो P-N संधियों को आपस में सम्बन्धित किया जाये तो हमें जो व्यवस्था प्राप्त होती है उसे ट्रांजिस्टर कहते हैं" अर्थात् TRANSISTOR TRANSFER + REGISTOR अर्थात् ट्रांजिस्टर में किसी संकेत को

निम्न प्रतिरोध से उच्च प्रतिरोध में भेजा जाता है।

यह दो प्रकार के होते हैं–

(i) N-P-N ट्रांजिस्टर (ii) P-N-P ट्रांजिस्टर

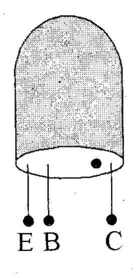


चित्र 16.50

ट्रांजिस्टर के तीन टर्मिनल होते हैं। जिन्हें निम्न नामों से जाना जाता है– उत्सर्जक, आधार तथा संग्राहक।

यदि ट्रांजिस्टर N–P–N है तो उत्सर्जक तथा संग्राहक दोनों N प्रकार के अर्धचालक होगें और आधार P प्रकार का अर्द्धचालक होगा। इसके विपरित यदि ट्रांजिस्टर P–N–P है तो उत्सर्जक तथा संग्राहक दोनों P प्रकार अर्द्धचालक होगें और आधार N प्रकार का अर्द्धचालक होगा।

उत्सर्जक का कार्य बहुसंख्यक आवेश वाहकों का उत्सर्जन करना है इसलिए उत्सर्जक में अशुद्धि की डोंपिग अधिक की जाती है। जबकि आधार इन आवेश वाहकों को संग्राहक तक पहुंचाने का कार्य करता है। इस कारण आधार सबसे कम डोपिंग का क्षेत्र होता है। संग्राहक का कार्य उत्सर्जक द्वारा उत्सर्जित आवेश वाहकों को संग्रहित करना है। इसलिए संग्राहक का क्षेत्रफल अधिक रखा जाता है। उत्सर्जक द्वारा उत्सर्जित आवेश वाहकों से उत्सर्जक धारा (I_E) बनती है। जबकि आधार के बहुसंख्यक आवेश वाहक जब उत्सर्जित आवेश वाहकों से मिलते हैं तो आधार धारा (I_B) बनती है। जिसका मान अत्यल्प होता है तथा संग्राहक जिन आवेश वाहकों को ग्रहण करता है उसके कारण जो धारा बनती है उसे संग्राहक धारा (I_C) कहते हैं।



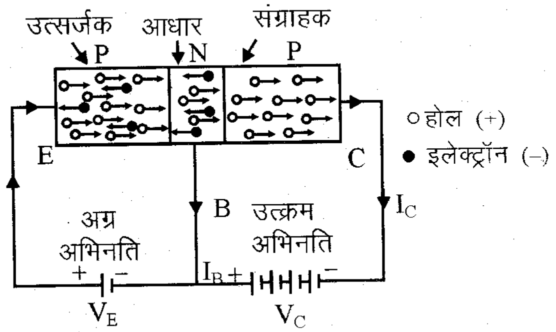
चित्र 16.51

ट्रांजिस्टर का वास्तविक रूप–ट्रांजिस्टर को व्यवहार में काम में लाने के लिए इसे एक छोटा बेलनाकर रूप दिया जाता है। ट्रांजिस्टर को धातु के खोल में सील कर दिया जाता है। ताकि वातावरण की आर्द्रता या ताप का प्रभाव ट्रांजिस्टर पर न पड़े। इसमें तीन टर्मिनल निकले होते हैं। जिस टर्मिनल के पास बिन्दु (Dot)) का निशान होता है वह संग्राहक होता है तथा शेष दो आधार तथा उत्सर्जक होते हैं।

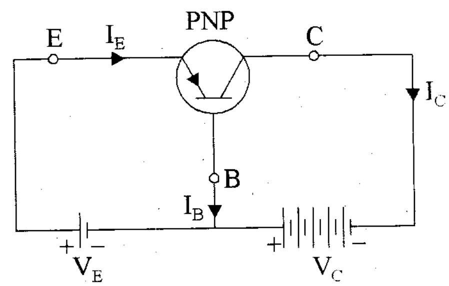
16.9.2 ट्रांजिस्टर क्रियाविधि (Operation of transistor)

1. P-N–P ट्रांजिस्टर क्रियाविधि (Operation of P–N–P transistor)

चित्र में एक P-N-P ट्रांजिस्टर का परिपथ चित्र दिखाया गया है। बायीं ओर की उत्सर्जक-आधार (P-N) संधि को थोड़ा-सा अग्र बायस (1 वोल्ट की भिन्न) दिया गया है, जबकि दायीं ओर की आधार-संग्राहक (N-P) संधि को बड़ा उत्क्रम-बायस (कुछ वोल्ट) दिया गया है।



(अ)



(ब)

चित्र 16.52

अग्र-बायस होने के कारण उत्सर्जक (P-क्षेत्र) में उपस्थित होल (holes) आधार की ओर चलते हैं, चूँकि आधार बहुत पतला है, अतः इसमें प्रवेश करने वाले अधिकतर होल (लगभग 98%) इसे पार करके संग्राहक तक पहुँच जाते हैं, जबकि उनमें से बहुत कम (लगभग 2%) आधार में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों से संयोग करते हैं। जैसे ही कोई होल इलेक्ट्रॉन से संयोग करता है वैसे ही एक नया इलेक्ट्रॉन बैटरी V_E के ऋण सिरे से निकलकर आधार में प्रवेश करता है। ठीक इसी क्षण एक इलेक्ट्रॉन उत्सर्जक में से टर्मिनल E के द्वारा निकलकर बैटरी V_E के धन सिरे पर पहुँचता है। इससे उत्सर्जक में एक होल उत्पन्न हो जाता है जो आधार की ओर चलना प्रारम्भ कर देता है। इस प्रकार आधार-उत्सर्जक परिपथ में एक क्षीण धारा बहती है।

जो होल संग्राहक में प्रवेश कर जाते हैं, जो कि उत्क्रम-बायसित होलों के चलने में सहायक है, वे टर्मिनल C पर पहुँचते हैं। जैसे ही कोई होल C पर पहुँचता है, बैटरी V_C के ऋण सिरे से एक इलेक्ट्रॉन आकर इसे उदासीन कर देता है। पुनः ठीक इसी क्षण एक इलेक्ट्रॉन उत्सर्जक में से टर्मिनल E के द्वारा निकलकर बैटरी V_E के धन सिरे पर पहुँचता है। इससे उत्सर्जक में एक होल उत्पन्न हो जाता है जो आधार की ओर चलना प्रारम्भ कर देता है। इस प्रकार, संग्राहक-उत्सर्जक परिपथ में विद्युत धारा बहती है।

स्पष्ट है कि P-N-P ट्रांजिस्टर के भीतर धारा-प्रवाह होलों के उत्सर्जक से संग्राहक की ओर चलने के कारण होता है ; जबकि बाहरी

परिपथ में इलेक्ट्रॉनों के चलने के कारण होता है।

टर्मिनल B से चलने वाली धारा को 'आधार-धारा' (base current) I_B कहते हैं तथा संग्राहक के टर्मिनल C से बाहर जाने वाली धारा को 'संग्राहक धारा' (collecter current) I_C कहते हैं। स्पष्टतः

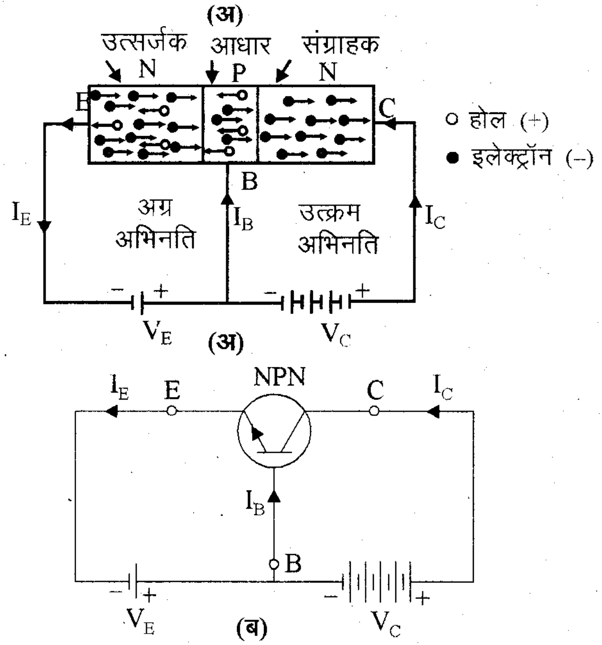
$$I_E = I_B + I_C$$

आधार के अत्यन्त पतला होने के कारण इसमें संयुक्त होने वाले होल-इलेक्ट्रॉनों की संख्या बहुत कम होती है। इस प्रकार लगभग सभी होल जो उत्सर्जक से आधार में प्रवेश करते हैं, संग्राहक तक पहुँच जाते हैं। अतः संग्राहक-धारा I_C, उत्सर्जक-धारा I_E से कुछ ही कम होती है।

2. N–P–N ट्रांजिस्टर क्रियाविधि (Operation of N–P–N transistor)

चित्र में N-P-N ट्रांजिस्टर का परिपथ चित्र दिखाया गया है। दोनों N-क्षेत्रों में चलनशील (mobile) इलेक्ट्रॉन होते हैं जबकि बीच के पतले P-क्षेत्र में चलनशील (धनात्मक) होल होते हैं। बायीं ओर की उत्सर्जक-आधार (N-P) संधि को बैटरी V_E द्वारा थोड़ा-सा अग्र-बायस दिया गया है, जबकि दायीं ओर की आधार-संग्राहक (P-N) संधि को बैटरी V_C के द्वारा बड़ा उत्क्रम-बायस दिया गया है।

(अ)



चित्र 16.53

अग्र-बायस होने के कारण उत्सर्जक (N-क्षेत्र) से इलेक्ट्रॉन आधार की ओर चलते हैं। चूँकि आधार बहुत पतला है अतः इसमें प्रवेश करने वाले अधिकतर इलेक्ट्रॉन इसे पार करके संग्राहक तक पहुँच जाते हैं कुछ ही इलेक्ट्रॉन आधार में उपस्थित होल से संयोग करते हैं। जैसे ही कोई इलेक्ट्रॉन किसी होल से संयोग करता है, वैसे ही बैटरी V_E के ऋण सिरे से एक इलेक्ट्रॉन टर्मिनल E के द्वारा उत्सर्जक में प्रवेश करता है। ठीक इसी क्षण बैटरी V_E का धन सिरा आधार से एक इलेक्ट्रॉन प्राप्त करता है। इससे आधार में एक होल उत्पन्न हो जाता है तथा संयोग के कारण नष्ट हुए होल की क्षतिपूर्ति हो जाती है। इस प्रकार आधार-उत्सर्जक परिपथ में धारा बहती है।

जो इलेक्ट्रॉन संग्राहक में प्रवेश करते जाते हैं, जोकि उत्क्रम-बायसित है तथा इलेक्ट्रॉनों के चलने में सहायक है, वे टर्मिनल C पर पहुँचते हैं। जैसे ही कोई इलेक्ट्रॉन C को छोड़कर बैटरी V_C के धन सिरे में प्रवेश करता है, वैसे ही बैटरी V_E के ऋण सिरे से एक इलेक्ट्रॉन उत्सर्जक में प्रवेश करता है। इस प्रकार संग्राहक-उत्सर्जक परिपथ में धारा बहती है।

उपरोक्त से यह स्पष्ट है कि N-P-N ट्रांजिस्टर के भीतर तथा बाह्य परिपथ में भी, इलेक्ट्रॉन आवेश-वाहक होते हैं। (इसके विपरीत, P-N-P ट्रांजिस्टर के भीतर आवेश-वाहक होल होते हैं।)

आधार के टर्मिनल B में प्रवेश करने वाला क्षीण धारा 'आधार-धारा' (base current) I_B है तथा संग्राहक-टर्मिनल C में प्रवेश करने वाली बड़ी धारा 'संग्राहक-धारा' (collector current) I_C है। ये दोनों धारायें मिलकर उत्सर्जक टर्मिनल E से निकलती हैं जो कि 'उत्सर्जक-धारा' (emitter current) I_E है। स्पष्टतः

$$I_E = I_B + I_C$$

ट्रांजिस्टर की उपरोक्त क्रिया से हमें निम्न **निष्कर्ष** प्राप्त होते हैं–

(i) उत्सर्जक धारा (I_E) का मान आधार धारा (I_B) तथा संग्राहक धारा (I_C) के योग के बराबर होती है।

$$I_E = I_B + I_C$$

(ii) आधार धारा (I_B) का मान अत्यल्प होने के कारण उत्सर्जक धारा (I_E) का मान लगभग संग्राहक धारा (I_C) के बराबर होता है।

$$I_E \simeq I_C \qquad I_B = \text{नगण्य}$$

I_B का मान माइक्रो एम्पियर की कोटि का होता है। जबकि I_E तथा I_C का मान मिली एम्पियर की कोटि का होता है।

(iii) आधार को दिये गये समस्त इलेक्ट्रॉन सफलता पूर्वक संग्राहक में नहीं पहुंच पाते।

(iv) उत्सर्जक आधार सन्धि (EBJ) तथा संग्राहक आधार सन्धि (CBJ) यदि इन दोनों ही सन्धियों को उत्क्रम बायस पर रखा जाये तो I_E, I_B, I_C के मान लगभग शून्य होगें। इसके विपरीत यदि दोनों सन्धि को अग्र बायस रखा जाये तो एकाएक अत्यधिक धारा बहेगी। इन दोनों ही स्थितियों में ट्रांजिस्टर का प्रचालन सम्भव नहीं होता यही कारण है कि उत्सर्जक आधार सन्धि (EBJ) को अग्र बायस जबकि संग्राहक आधार सन्धि (CBJ) को पश्च बायस रखा जाता है।

(v) उत्सर्जक आधार सन्धि की (EBJ) की प्रतिबाधा (प्रतिरोध) अत्यल्प होती है। जबकि संग्राहक आधार सन्धि (CBJ) की प्रतिबाधा उच्च होती है।

16.10 ट्रांजिस्टर परिपथीय अभिविन्यास (Transistor Circuit Configuration)

ट्रांजिस्टर के तीन भाग होते हैं जिनमें तीन इलेक्ट्रोड चित्र के अनुसार लगे होते हैं–

(i) उत्सर्जक E (ii) संग्राहक C (iii) आधार B

किसी भी युक्ति को विद्युत परिपथ में जोड़ने के लिए दो सिरों की आवश्यकता होती है। इस प्रकार निवेशी तथा निर्गत दोनों परिपथों में किसी एक ट्रांजिस्टर को जोड़ने के लिए चार सिरे होनां आवश्यक है अतः ट्रांजिस्टर के किसी एक सिरे को निवेशी तथा निर्गत दोनों में उभयनिष्ठ बना देते हैं। इस प्रकार निम्न तीन विधियों द्वारा ट्रांजिस्टर को परिपथ में जोड़ा जा सकता है–

(i) उभयनिष्ठ आधार विन्यास (CB) (Common Base Configuration)

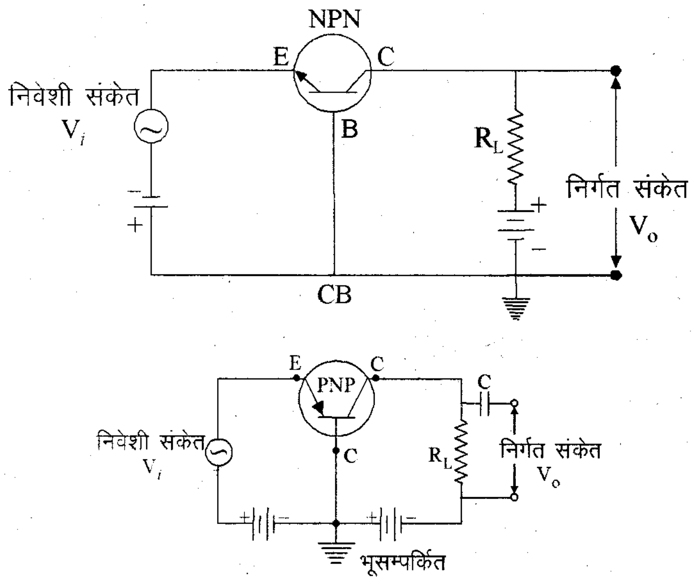
(ii) उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास (CE) (Common Emitter Configuration)

(iii) उभयनिष्ठ संग्राहक विन्यास (CC) (Common Collecter Configuration)

प्रायः उभयनिष्ठ सिरा पृथ्वी से जुड़ा रहता है। अतः उभयनिष्ठ के स्थान पर भू-सम्पर्कित भी लिखा जा सकता है। चित्र अ, ब, स में तीनों

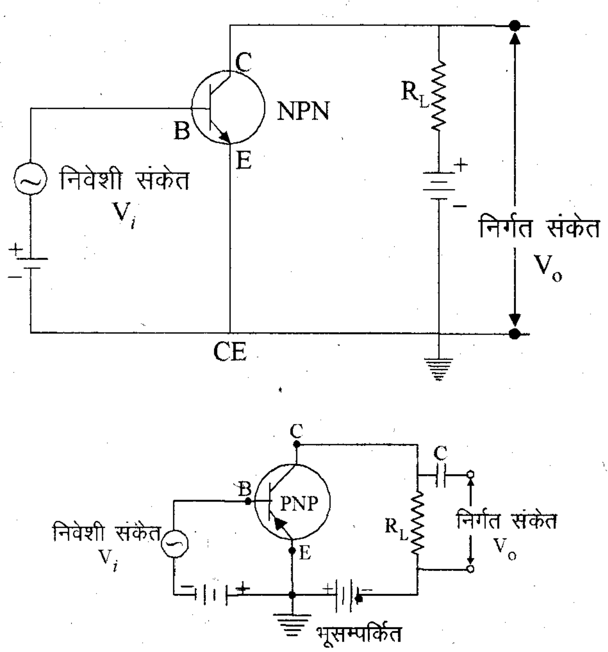
विन्यासों को बताया गया है।

(i) उभयनिष्ठ आधार विन्यास–चित्र (अ) में आधार B निवेशी तथा निर्गत परिपथ में उभयनिष्ठ है। इस परिपथ को उभयनिष्ठ आधार परिपथ (CB) कहते हैं। इस परिपथ में उत्सर्जक व आधार के मध्य संकेत (signal) निवेशित करते हैं तथा संग्राहक आधार परिपथ में जुड़े लोड प्रतिरोध R_L पर संकेत प्राप्त करते हैं।



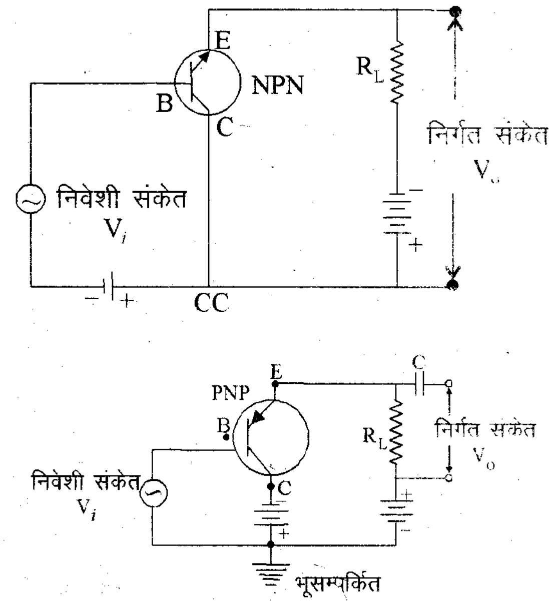
(अ)

(ii) उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास–चित्र (ब) में संधि ट्रांजिस्टर के उभयनिष्ठ उत्सर्जक (CE) विन्यास को दिखाया गया है। चित्र में उत्सर्जक E को निवेशी तथा निर्गत परिपथ में उभयनिष्ठ बताया गया है। इस परिपथ में आधार उत्सर्जक के मध्य संकेत लगाते हैं तथा संग्राहक उत्सर्जक के मध्य जुड़े लोड प्रतिरोध R_L के सिरों पर संकेत प्राप्त करते हैं।



(ब)

(iii) उभयनिष्ठ संग्राहक विन्यास–चित्र (स) में उभयनिष्ठ संग्राहक विन्यास (CC) को दिखाया गया है। इस विन्यास में संग्राहक C को निवेशी तथा निर्गत परिपथ में उभयनिष्ठ बनाया गया है। इस परिपथ में आधार संग्राहक के मध्य संकेत लगाते हैं तथा उत्सर्जक आधार परिपथ में लगे लोड प्रतिरोध R_L पर संकेत प्राप्त करते हैं।



चित्र (स) 16.54

उपरोक्त तीनों प्रकार के विन्यासों में उत्सर्जक–आधार संधि अग्र बायस तथा संग्राहक–आधार संधि उत्क्रम बायस पर है। ट्रांजिस्टर अग्र उत्क्रम स्थिति में ही सक्रिय कार्य करता है।

16.10.1 ट्रांजिस्टर के अभिलाक्षणिक वक्र (Transistor Characteristic Curves)

विद्युत परिपथों में ट्रांजिस्टर का उपयोग इस बात पर निर्भर करता है कि इसमें निवेशी तथा निर्गत परिपथों में प्रवाहित धारा व वोल्टता के परिवर्तन से किस प्रकार के वक्र प्राप्त होते हैं। ट्रांजिस्टर के निवेशी परिपथ व निर्गत परिपथ में प्रवाहित धाराओं का इन परिपथों में प्रयुक्त विभवान्तर के साथ होने वाले परिवर्तनों को दर्शाने वाले वक्र इसके अभिलाक्षणिक वक्र कहलाते हैं। जब परिपथ में केवल दिष्ट धाराएँ ही प्रवाहित हों तथा निर्गत टर्मिनलों के मध्य कोई लोड प्रतिरोध नहीं जुड़ा हो तो ऐसे वक्र स्थैतिक अभिलाक्षणिक (Static Characteristic) वक्र कहलाते हैं। जब परिपथ में प्रत्यावर्ती धाराएँ प्रवाहित हो तथा निर्गत टर्मिनलों के मध्य लोड प्रतिरोध lगा हो तब प्राप्त अभिलाक्षणिक वक्र गतिक अभिलाक्षणिक (dynamic characteristic) वक्र कहलाते हैं। प्रत्येक विन्यास के लिए ट्रांजिस्टर के "अभिलाक्षणिक वक्रों" के बहुत सारे सेट प्राप्त किये जा सकते हैं इनमें दो प्रकार के महत्त्वपूर्ण है–

(i) निर्गत अभिलाक्षणिक वक्र–नियत निवेशी धारा के लिए निर्गत वोल्टता एवं निर्गत धारा में खींचा गया वक्र निर्गत अभिलाक्षणिक वक्र कहलाता है।

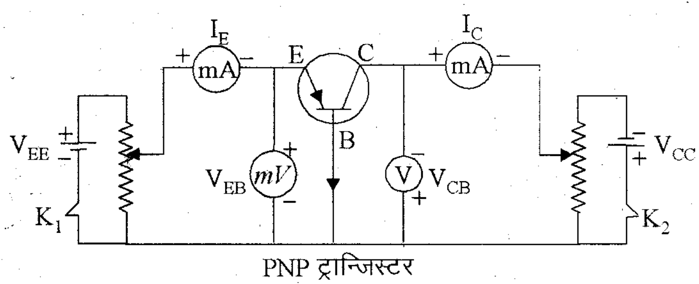
(ii) निवेशी अभिलाक्षणिक वक्र–नियत निर्गत वोल्टता के लिए निवेशी धारा तथा निवेशी वोल्टता में खींचा गया वक्र निवेशी अभिलाक्षणिक वक्र कहलाता है।

प्रत्येक विन्यास के लिए उपरोक्त दोनों प्रकार के वक्र प्राप्त किए जा सकते हैं।

16.10.2 उभयनिष्ठ आधार विन्यास अभिलाक्षणिक वक्र (Common base configuration characteristic curves)

PNP ट्रांजिस्टर के लिए उभयनिष्ठ आधार अभिलाक्षणिक वक्र

PNP ट्रांजिस्टर के उभयनिष्ठ आधार विन्यास के लिए निम्न चित्रनुसार परिपथ व्यवस्थित करते हैं–



चित्र 16.55

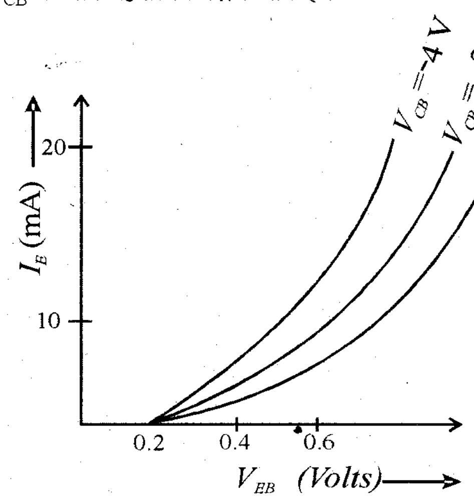
परिपथ का वर्णन

चित्र में PNP ट्रांजिस्टर का उभयनिष्ठ आधार विन्यास दर्शाया गया है। निवेशी परिपथ को अग्र बायस करने के लिए ट्रांजिस्टर के उत्सर्जक को बैटरी के धनाग्र से जोड़ा गया है तथा आधार को बैटरी के ऋणाग्र से जोड़ा गया है।

चित्रानुसार मिलीअमीटर तथा मिली वोल्टमीटर लगाये गये जिनकी सहायता से क्रमशः उत्सर्जक धारा (I_E) तथा उत्सर्जक आधार वोल्टता (V_{EB}) नापे जा सकते हैं।

निर्गत परिपथ को उत्क्रम बायस किया गया है। इसके लिए ट्रांजिस्टर संग्राहक बैटरी के ऋणाग्र से तथा आधार को धनाग्र से जोड़ा गया है। एक मिलीअमीटर तथा वोल्टमीटर चित्रानुसार जोड़े गये हैं जो कि संग्राहक धारा (I_C) तथा संग्राहक आधार वोल्टता (V_{CB}) को नापने का कार्य करते हैं।

निवेशी अभिलाक्षणिक वक्र–निवेशी अभिलाक्षणिक वक्र खींचने के लिए संग्राहक-आधार वोल्टता (V_{CB}) को नियत रखकर उत्सर्जक आधार वोल्टता (V_{EB}) के विभिन्न मानों के लिए उत्सर्जक धारा (I_E) के मान ज्ञात करते हैं। इस प्रकार (V_{CB}) को किसी अन्य मान पर नियत रखकर पुनः इस प्रक्रिया को दोहराते हैं तथा प्राप्त आंकड़ों में आलेख खींचते हैं। उत्क्रम अभिनति होने के कारण V_{CB} के मान ऋणात्मक लिये जाते हैं।



चित्र 16.56

विवेचना–

(1) आलेख से स्पष्ट है कि संग्राहक-आधार वोल्टता के किसी नियत मान के लिए उत्सर्जक-आधार वोल्टता (V_{EB}) के मान को बढ़ाने से उत्सर्जक धारा (I_E) का मान भी बढ़ता है।

(2) आलेख से स्पष्ट है उत्सर्जक आधार वोल्टेज के एक निश्चित न्यूनतम मान से ही धारा प्रवाहित होती है इससे कम वोल्टेज पर धारा प्रवाहित नहीं होती इसलिए इसे **देहली वोल्टता** कहते हैं।

"देहली वोल्टता वह वोल्टता है जिससे कम मान पर धारा प्रवाहित नहीं होती।"

निवेशी प्रतिरोध (R_i) – "निवेशी वोल्टेज तथा निवेशी धारा के अनुपात को निवेशी प्रतिरोध कहते हैं।

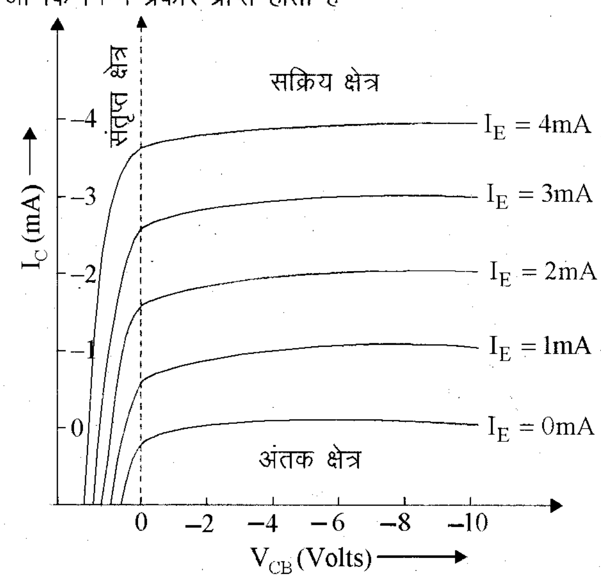
$$\text{निवेशी प्रतिरोध } (R_i) = \frac{\Delta V_{EB}}{\Delta I_E} \text{ मात्रक-ओम}$$

इसका मान 50 Ω से 100 Ω कोटि का होता है।

निर्गत अभिलाक्षणिक वक्र

ट्रांजिस्टर का अभिलाक्षणिक वक्र खींचने के लिए उत्सर्जक धारा के मान को नियत रखकर आधार–संग्राहक वोल्टेज (V_{CB}) के विभिन्न मानों के लिए संग्राहक धारा के विभिन्न मान प्राप्त करते हैं।

इसी प्रकार उत्सर्जक धारा के अन्य मान जैसे 10 mA के लिए अलग-अलग आधार–संग्राहक वोल्टेज (V_{CB}) के मानों के लिए अलग-अलग संग्राहक धारा (I_C) के मान प्राप्त करते हैं। इस प्रक्रिया को विभिन्न उत्सर्जक धारा के लिए दोहराते है तथा प्राप्त आंकड़ों में आलेख खींचतें हैं। जो कि निम्न प्रकार प्राप्त होता है–



चित्र 16.57

CB संधि के उत्क्रम बायस होने के कारण इन वक्रों के लिए V_{CB} तथा I_C दोनों ऋणात्मक होते हैं।

आलेख की विवेचना–

(i) प्रारम्भ में संग्राहक–आधार वोल्टता (V_{CB}) को बढ़ाने से संग्राहक धारा का मान तेजी से रेखीय रूप से बढ़ता हैं अर्थात् इस क्षेत्र में संग्राहक –आधार वोल्टता, संग्राहक धारा के समानुपाती होती है।

$$V_{CB} \propto I_C$$

(ii) संग्राहक आधार वोल्टता (V_{CB}) का मान और बढ़ाने पर संग्राहक धारा (I_C) का नहीं बढ़ता है। आलेख से स्पष्ट है कि अल्प धनात्मक वोल्टता को शून्य तक ले जाने में धारा का मान तेजी से रेखीय रूप में बढ़ता है। परन्तु संग्राहक–आधार वोल्टता (V_{CB}) को और बढ़ाने

पर संग्राहक धारा में वृद्धि नहीं होती इस समय प्रवाहित संग्राहक धारा को संतृप्त संग्राहक धारा कहते हैं।

(iii) आलेख से स्पष्ट है कि स्थिर उत्सर्जक धारा के मान को बढ़ाने से संग्राहक धारा के मान में भी वृद्धि होती है। संतृप्त संग्राहक धारा का मान लगभग नियत या स्थिर उत्सर्जक धारा के तुल्य होता है।

(iv) चित्र में रेखा OA संतृप्त रेखा कहलाती है। इस रेखा तथा I_C अक्ष के मध्य का क्षेत्र संतृप्त क्षेत्र कहलाता है। $I_E = 0$ वाले वक्र तथा V_{CB} अक्ष के मध्य के क्षेत्र को अंतक क्षेत्र (cutoff region) कहते हैं। संतृप्त क्षेत्र तथा अंतक क्षेत्र के अतिरिक्त शेष क्षेत्र सक्रिय क्षेत्र (active region) कहलाता है।

(1) निर्गत प्रतिरोध (R_o)–"निर्गत वोल्टता तथा निर्गत धारा के अनुपात को निर्गत प्रतिरोध कहलाता है।"

$$\text{निर्गत प्रतिरोध } (R_o) = \left(\frac{\Delta V_{CB}}{\Delta I_C}\right)_{I_E = \text{नियत}} \quad \text{मात्रक–ओम}$$

इसका मान अत्यधिक उच्च $10^6\,\Omega$ कोटि का होता है।

(2) निर्गत चालकता–निर्गत प्रतिरोध के व्युत्क्रम को निर्गत चालकता कहते हैं।

$$\text{निर्गत चालकता } (g_m) = \frac{1}{R_o} = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CB}}\right)_{I_E = \text{नियत}} \text{मात्रक-ओम}^{-1}$$

16.10.3 ट्रांजिस्टर उभयनिष्ठ आधार विन्यास के लिये धारा लाभ या धारा प्रवर्धन गुणांक (Current gain or current amplification factor for transistor in common base configuration)

निर्गत धारा तथा निवेशी धारा के अनुपात को धारा लाभ कहते हैं।

संग्राहक आधार वोल्टता को नियत रखकर संग्राहक धारा (I_C) तथा उत्सर्जक धारा (I_E) का अनुपात धारा लाभ को प्रदर्शित करता है।

$$\text{धारा लाभ } (\alpha) = \left(\frac{I_C}{I_E}\right)_{V_{CB} = \text{नियत}}$$

$$\text{धारा लाभ} = \frac{\text{निर्गत धारा}}{\text{निवेशी धारा}}$$

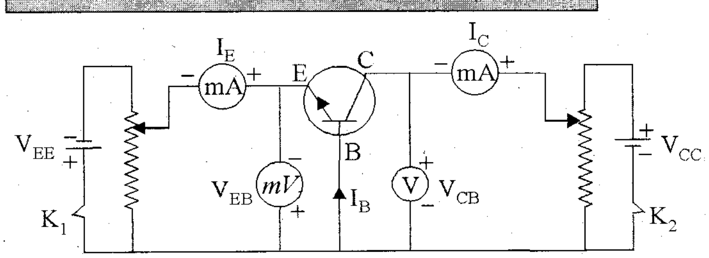
मात्रक = मात्रकहीन

गतिक अवस्था में–

$$(\alpha)_{\text{गतिक}} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$$

धारा लाभ α का मान 1 के निकट परन्तु 1 से कुछ कम होता है। α के मान 0.9 से लेकर 0.99 तक प्राप्त होते हैं।

उभयनिष्ठ आधार अभिलाक्षणिक वक्र (NPN ट्रांजिस्टर)



NPN ट्रान्जिस्टर

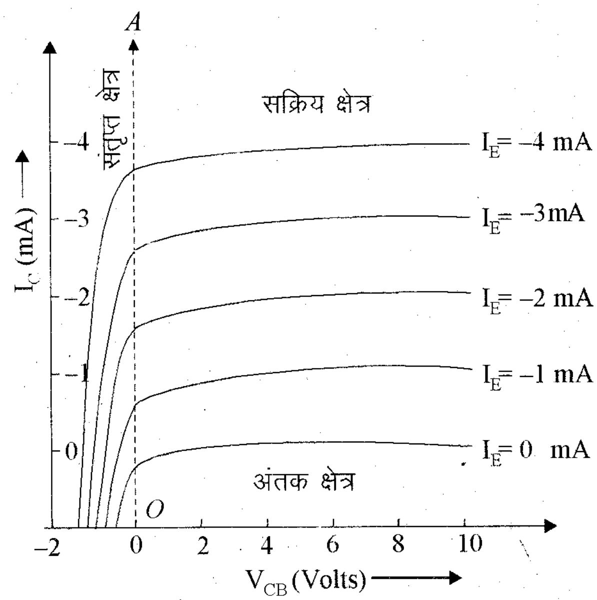
चित्र 16.58

परिपथ का वर्णन–चित्र में N–P–N ट्रांजिस्टर का उभयनिष्ठ आधार विन्यास दर्शाया गया है। निवेशी परिपथ को अग्र बायस करने के लिए ट्रांजिस्टर के उत्सर्जक को बैटरी के ऋणाग्र से जोड़ा गया है तथा आधार को बैटरी के धनाग्र से चित्रानुसार मिली अमीटर तथा मिली वोल्टमीटर लगाऐ गये है जिनकी सहायता से क्रमशः उत्सर्जक धारा (I_E) तथा उत्सर्जक –आधार वोल्टेज (V_{EB}) नापे जा सकते हैं।

निर्गत परिपथ को उत्क्रम बायस किया गया है। इसके लिए ट्रांजिस्टर संग्राहक की बैटरी के धनाग्र से तथा आधार को ऋणाग्र से जोड़ा गया है। एक मिली अमीटर तथा वोल्टमीटर चित्रानुसार जोड़ गये हैं। जो कि संग्राहक धारा (I_C) तथा संग्राहक–आधार वोल्टता (V_{CB}) को नापने का कार्य करते हैं।

निर्गत अभिलाक्षणिक वक्र–ट्रांजिस्टर का अभिलाक्षणिक वक्र खींचने के लिए उत्सर्जक धारा के मान को नियत रखकर आधार–संग्राहक वोल्टेज (V_{CB}) के विभिन्न मानों के लिए संग्राहक धारा के विभिन्न मान प्राप्त करते हैं।

इसी प्रकार उत्सर्जक धारा के अन्य मान जैसे 10 mA के लिए अलग-अलग आधार–संग्राहक वोल्टेज (V_{CB}) के मानों के लिए अलग-अलग संग्राहक धारा (I_C) के मान प्राप्त करते हैं। इस प्रक्रिया को विभिन्न उत्सर्जक धारा के लिए दोहराते है तथा प्राप्त आंकड़ों में आलेख खींचतें हैं। जो कि निम्न प्रकार प्राप्त होता है–



चित्र 16.59

आलेख की विवेचना–

(i) प्रारम्भ में संग्राहक–आधार वोल्टता (V_{CB}) को बढ़ाने से संग्राहक धारा का मान तेजी से रेखीय रूप से बढ़ता हैं अर्थात् इस क्षेत्र में संग्राहक –आधार वोल्टता, संग्राहक धारा के समानुपाती होती है।

$$V_{CB} \propto I_C$$

(ii) संग्राहक आधार वोल्टता (V_{CB}) का मान और बढ़ाने पर संग्राहक धारा (I_C) का नहीं बढ़ता है। आलेख से स्पष्ट है कि अल्प धनात्मक वोल्टता को शून्य तक ले जाने में धारा का मान तेजी से रेखीय रूप में बढ़ता है। परन्तु संग्राहक–आधार वोल्टता (V_{CB}) को और बढ़ाने पर संग्राहक धारा में वृद्धि नहीं होती इस समय प्रवाहित संग्राहक धारा को संतृप्त संग्राहक धारा कहते हैं।

(iii) आलेख से स्पष्ट है कि स्थिर उत्सर्जक धारा के मान को बढ़ाने से संग्राहक धारा के मान में भी वृद्धि होती है। संतृप्त संग्राहक धारा का मान लगभग नियत या स्थिर उत्सर्जक धारा के तुल्य होता है।

(iv) चित्र में रेखा OA संतृप्त रेखा कहलाती है। इस रेखा तथा I_C

अक्ष के मध्य का क्षेत्र संतृप्त क्षेत्र कहलाता है। $I_E = 0$ वाले वक्र तथा V_{CB} अक्ष के मध्य के क्षेत्र को अंतक क्षेत्र (cutoff region) कहते हैं। संतृप्त क्षेत्र तथा अंतक क्षेत्र के अतिरिक्त शेष क्षेत्र सक्रिय क्षेत्र (active region) कहलाता है।

ट्रांजिस्टर के विभिन्न नियतांक

(a) धारा प्रवर्धन गुणांक या धारा लाभ–निर्गत धारा तथा निवेशी धारा के अनुपात को धारा लाभ कहते हैं।

संग्राहक–आधार वोल्टता को नियत रखकर संग्राहक धारा (I_C) तथा उत्सर्जक धारा (I_E) का अनुपात धारा लाभ को प्रदर्शित करता है।

$$\text{धारा लाभ } (\alpha) = \left(\frac{I_C}{I_E}\right)_{V_{CB}=\text{नियत}}$$

$$\text{धारा लाभ} = \frac{\text{निर्गत धारा}}{\text{निवेशी धारा}}$$

मात्रक = मात्रकहीन

गतिक अवस्था में–

$$(\alpha)_{\text{गतिक}} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$$

धारा लाभ α का मान 1 के निकट परन्तु 1 से कुछ कम होता है। α के मान 0.9 से लेकर 0.99 तक प्राप्त होते हैं।

(b) निर्गत प्रतिरोध (R_o)–"निर्गत वोल्टता तथा निर्गत धारा के अनुपात को निर्गत प्रतिरोध कहलाता है।"

$$\text{निर्गत प्रतिरोध } (R_o) = \left(\frac{\Delta V_{CB}}{\Delta I_C}\right)_{I_E=\text{नियत}} \quad \text{मात्रक–ओम}$$

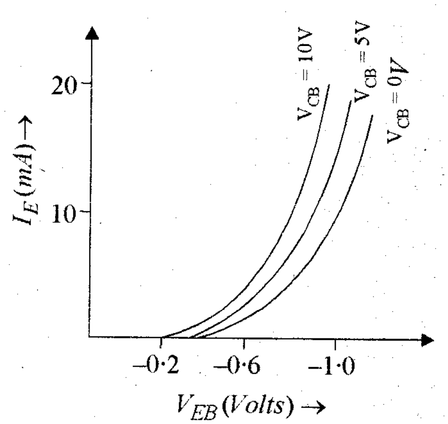
इसका मान अत्यधिक उच्च $10^6\,\Omega$ कोटि का होता है।

(c) निर्गत चालकता–निर्गत प्रतिरोध के व्युत्क्रम को निर्गत चालकता कहते हैं।

$$\text{निर्गत चालकता } (g_m) = \frac{1}{R_o} = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CB}}\right)_{I_E=\text{नियत}} \text{मात्रक-ओम}^{-1}$$

निवेशी अभिलाक्षणिक वक्र–निवेशी अभिलाक्षणिक वक्र खींचने के लिए संग्राहक-आधार वोल्टता (V_{CB}) को नियत रख कर उत्सर्जक-आधार वोल्टता (V_{EB}) के विभिन्न मानों के लिए उत्सर्जक धारा (I_E) के मान ज्ञात करेंगे।

इस प्रकार (V_{CB}) को किसी अन्य मान पर नियत रखकर पुनः इस प्रक्रिया को दोहराते हैं तथा प्राप्त आंकड़ों में आलेख खींचते हैं जो कि निम्न प्रकार प्राप्त होता है–



चित्र 16.60

विवेचना–

(1) आलेख से स्पष्ट है कि संग्राहक-आधार वोल्टता के किसी नियत मान के लिए उत्सर्जक-आधार वोल्टता (V_{EB}) के मान को बढ़ाने से उत्सर्जक धारा (I_E) का मान भी बढ़ता है।

(2) आलेख से स्पष्ट है उत्सर्जक आधार वोल्टेज के एक निश्चित न्यूनतम मान से ही धारा प्रवाहित होती है इससे कम वोल्टेज पर धारा प्रवाहित नहीं होती इसलिए इसे **देहली वोल्टता** कहते हैं।

"देहली वोल्टता वह वोल्टता है जिससे कम मान पर धारा प्रवाहित नहीं होती।"

निवेशी प्रतिरोध (R_i) – "निवेशी वोल्टेज तथा निवेशी धारा के अनुपात को निवेशी प्रतिरोध कहते हैं।

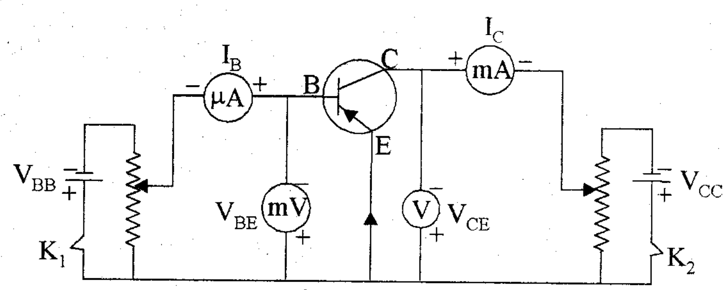
$$\text{निवेशी प्रतिरोध } (R_i) = \frac{\Delta V_{EB}}{\Delta I_E} \text{ मात्रक-ओम}$$

इसका मान $50\,\Omega$ से $100\,\Omega$ कोटि का होता है।

6.10.4 उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास अभिलाक्षणिक वक्र (Common emitter configuration characteristic curves)

PNP ट्रांजिस्टर के लिए उभयनिष्ठ उत्सर्जक अभिलाक्षणिक वक्र

PNP ट्रांजिस्टर के उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास के लिए निम्न चित्रानुसार परिपथ व्यवस्थित करते हैं।



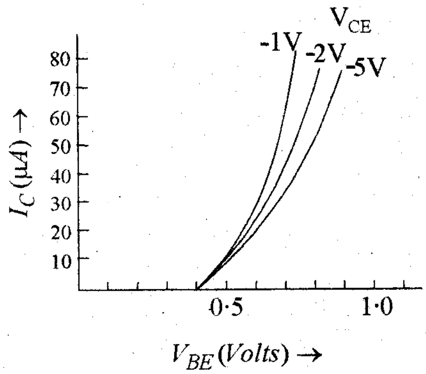
PNP ट्रान्जिस्टर

चित्र 16.61

परिपथ का वर्णन–ऊपर चित्र में PNP ट्रांजिस्टर के लिए उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास का परिपथ दर्शाया गया है। आधार तथा उत्सर्जक के मध्य निवेशी परिपथ है जबकि उत्सर्जक-संग्राहक के मध्य निर्गत परिपथ। निवेशी परिपथ को अग्र बायसित जबकि निर्गत परिपथ को पश्च बायसित किया गया है। परिपथ में जुड़े माइक्रो अमीटर तथा मिली अमीटर क्रमशः आधार धारा तथा संग्राहक धारा के मान को दर्शाते है जबकि परिपथ में जुड़े मिली वोल्टमीटर तथा वोल्टमीटर क्रमशः आधार-उत्सर्जक वोल्टता (V_{BE}) तथा उत्सर्जक-संग्राहक वोल्टता (V_{CE}) के मान को प्रदर्शित करते हैं।

निवेशी अभिलाक्षणिक वक्र (Input characteristic curve)–उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास के निवेशी अभिलाक्षणिक वक्र को खींचने के लिए निर्गत वोल्टता (V_{CE}) को नियत रखा जाता है तथा निवेशी वोल्टता (V_{BE}) के अलग-अलग मानों के लिए निवेशी धारा (I_B) के अलग-अलग मान प्राप्त किए जाते हैं। इस प्रक्रिया को निर्गत वोल्टता के अन्य मानों

पर नियत रखकर दोहराया जाता है तथा प्राप्त पाठ्यांकों की सहायता से आलेख खींचते हैं जो कि निम्न प्रकार प्राप्त होता है।



चित्र 16.62

विवेचना–आलेख से स्पष्ट है कि आधार उत्सर्जक वोल्टता के मान को बढ़ाने से आधार धारा के मान में वृद्धि होती है साथ ही V_{BE} के एक निश्चित न्यूनतम मान से ही आधार धारा प्रवाहित होना प्रारंभ होती है इस निश्चित न्यूनतम वोल्टता को **देहली वोल्टेज** कहते हैं।

नियतांक

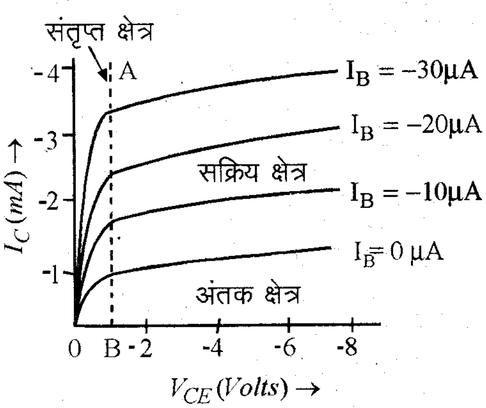
निवेशी प्रतिरोध (R_i) – "निश्चित निर्गत वोल्टता पर निवेशी वोल्टता (V_{BE}) तथा निवेशी धारा (I_B) के अनुपात को निवेशी प्रतिरोध (R_i) कहते हैं।"

गतिक अवस्था में $$R_i = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B}$$

इसका मान कुछ सौ ओम कोटि का होता है। उभयनिष्ठ उत्सर्जक अभिविन्यास का निवेशी प्रतिरोध, उभयनिष्ठ आधार विन्यास के निवेशी प्रतिरोध की तुलना में अधिक होता है।

निर्गत अभिलाक्षणिक वक्र (Output characteristic curve)– उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास के निर्गत अभिलाक्षणिक वक्र को खींचने के लिए सर्वप्रथम I_B के मान को नियत रखते हुए V_{CE} के अलग-अलग मानों के लिए संग्राहक धारा (I_C) के अलग-अलग मान प्राप्त करते हैं।

इस प्रकार इस प्रक्रिया को I_B के अलग-अलग नियत मानों के लिए दोहराते हैं और प्राप्त आंकड़ों की सहायता से निर्गत अभिलाक्षणिक वक्र खींचते हैं जो निम्न प्रकार प्राप्त होता है–



चित्र 16.63

विवेचना–

(1) आलेख से स्पष्ट है कि प्रारंभ में V_{CE} का मान बढ़ाने से I_C का मान तेजी से बढ़ता है।

(2) यदि V_{CE} को और बढ़ाया जाये तो I_C के मान में तेजी से वृद्धि नहीं होती। I_C का मान लगभग नियत हो जाता है।

(3) I_B का मान बढ़ने से उसके संगत I_C का मान भी बढ़ता है।

चित्र में रेखा AB संतृप्त रेखा कहलाती है। रेखा AB तथा I_C अक्ष के मध्य का क्षेत्र संतृप्त क्षेत्र कहलाता है। I_B का मान शून्य होने पर भी I_C का मान शून्य नहीं होता है अर्थात् निवेशी धारा शून्य होने पर भी निर्गम धारा प्रवाहित होती है। $I_B = 0$ वाले वक्र तथा V_{CE} अक्ष के मध्य के क्षेत्र को अंतक क्षेत्र (cutoff region) कहते हैं। संतृप्त क्षेत्र तथा अंतक क्षेत्र के अतिरिक्त शेष क्षेत्र सक्रिय क्षेत्र (active region) कहलाता है।

(1) निर्गत गतिक प्रतिरोध–

$$R_o = \left(\frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C}\right)_{I_B = \text{नियत}} \quad \text{मात्रक–ओम}$$

यह बहुत उच्च लगभग 50 KΩ से 100 KΩ कोटि का होता है।

(2) निर्गत चालकता–

$$g_m = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CE}}\right)_{V_{BE} = \text{नियत}} \quad \text{ओम}^{-1}$$

16.10.5 ट्रांजिस्टर उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास के लिये धारा लाभ या धारा प्रवर्धन गुणांक (Current gain or current amplification factor for transistor in common emitter configuration)

"निश्चित निर्गत वोल्टता (V_{CE}) के लिए निर्गत धारा (I_C) तथा निवेशी धारा (I_B) के अनुपात को धारा लाभ कहते हैं।"

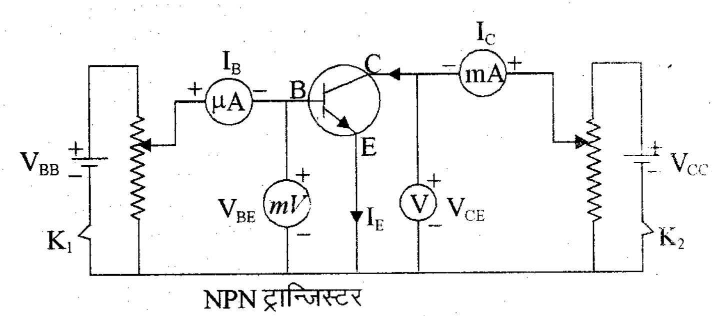
$$\text{धारा प्रवर्धन गुणांक} = \frac{\text{निर्गत धारा}}{\text{निवेशी धारा}}$$

$$\beta = \left(\frac{I_C}{I_B}\right)_{V_{CE} = \text{नियत}} \quad \text{(मात्रकहीन)}$$

गतिक अवस्था में $$\beta = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right)_{V_{CE} = \text{नियत}}$$

$\because$ $I_C > I_B$ तथा $\Delta I_C >> \Delta I_B$ अतः β का मान 1 से बहुत अधिक होता है अर्थात् $\beta >> 1$

उभयनिष्ठ उत्सर्जक अभिलाक्षणिक वक्र (NPN ट्रांजिस्टर)



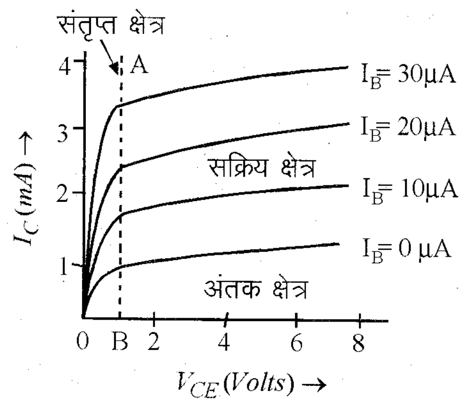
चित्र 16.64

परिपथ का वर्णन–ऊपर चित्र में N-P-N ट्रांजिस्टर के लिए उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास का परिपथ दर्शाया गया है। आधार तथा उत्सर्जक के मध्य निवेशी परिपथ है जबकि उत्सर्जक-संग्राहक के मध्य निर्गत परिपथ।

निवेशी परिपथ को अग्र बायसित जबकि निर्गत परिपथ को पश्च बायसित किया गया है। परिपथ में जुड़े माइक्रो अमीटर तथा मिली अमीटर क्रमशः आधार धारा तथा संग्राहक धारा के मान को दर्शाते है जबकि परिपथ में जुड़े मिली वोल्टमीटर तथा वोल्टमीटर क्रमशः आधार-उत्सर्जक वोल्टता (V_{BE}) तथा उत्सर्जक-संग्राहक वोल्टता (V_{CE}) के मान को प्रदर्शित करते हैं।

निर्गत अभिलाक्षणिक वक्र (Output characteristic curve)– उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास के निर्गत अभिलाक्षणिक वक्र को खींचने के लिए सर्वप्रथम I_B के मान को नियत रखते हुए V_{CE} के अलग-अलग मानों के लिए संग्राहक धारा (I_C) के अलग-अलग मान प्राप्त करते हैं।

इस प्रकार इस प्रक्रिया को I_B के अलग-अलग नियत मानों के लिए दोहराते हैं और प्राप्त आंकड़ों की सहायता से निर्गत अभिलाक्षणिक वक्र खींचते हैं जो निम्न प्रकार प्राप्त होता है–



चित्र 16.65

विवेचना–

(1) आलेख से स्पष्ट है कि प्रारंभ में V_{CE} का मान बढ़ाने से I_C का मान तेजी से बढ़ता है।

(2) यदि V_{CE} को और बढ़ाया जाये तो I_C के मान में तेजी से वृद्धि नहीं होती। I_C का मान लगभग नियत हो जाता है।

(3) I_B का मान बढ़ने से उसके संगत I_C का मान भी बढ़ता है।

चित्र में रेखा AB संतृप्त रेखा कहलाती है। रेखा AB तथा I_C अक्ष के मध्य का क्षेत्र संतृप्त क्षेत्र कहलाता है। I_B का मान शून्य होने पर भी I_C का मान शून्य नहीं होता है अर्थात् निवेशी धारा शून्य होने पर भी निर्गम धारा प्रवाहित होती है। $I_B = 0$ वाले वक्र तथा V_{CE} अक्ष के मध्य के क्षेत्र को अंतक क्षेत्र (cutoff region) कहते हैं। संतृप्त क्षेत्र तथा अंतक क्षेत्र के अतिरिक्त शेष क्षेत्र सक्रिय क्षेत्र (active region) कहलाता है।

ट्रांजिस्टर के नियतांक

(i) धारा लाभ या धारा प्रवर्धन गुणांक (β) – "निश्चित निर्गत वोल्टता (V_{CE}) के लिए निर्गत धारा (I_C) तथा निवेशी धारा (I_B) के अनुपात को धारा लाभ कहते हैं।"

$$\text{धारा प्रवर्धन गुणांक} = \frac{\text{निर्गत धारा}}{\text{निवेशी धारा}}$$

$$\beta = \left(\frac{I_C}{I_B}\right)_{V_{CE} = \text{नियत}} \text{ (मात्रकहीन)}$$

गतिक अवस्था में $\beta = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right)_{V_{CE} = \text{नियत}}$

∵ $I_C > I_B$ तथा $\Delta I_C >> \Delta I_B$ अतः β का मान 1 से बहुत अधिक होता है अर्थात् $\beta >> 1$

(ii) निर्गत गतिक प्रतिरोध–

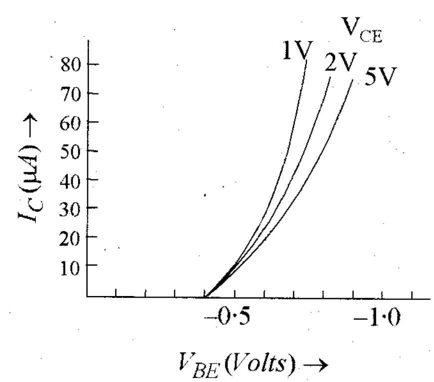
$$R_o = \left(\frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C}\right)_{I_B = \text{नियत}} \text{ मात्रक–ओम}$$

यह बहुत उच्च लगभग 50 KΩ से 100 KΩ कोटि का होता है।

(iii) निर्गत चालकता–

$$g_m = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CE}}\right)_{V_{BE} = \text{नियत}} \text{ ओम}^{-1}$$

निवेशी अभिलाक्षणिक वक्र (Input characteristic curve)– उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास के निवेशी अभिलाक्षणिक वक्र को खींचने के लिए निर्गत वोल्टता (V_{CE}) को नियत रखा जाता है तथा निवेशी वोल्टता (V_{BE}) के अलग-अलग मानों के लिए निवेशी धारा (I_B) के अलग-अलग मान प्राप्त किए जाते हैं। इस प्रक्रिया को निर्गत वोल्टता के अन्य मानों पर नियत रखकर दोहराया जाता है तथा प्राप्त पाठ्यांकों की सहायता से आलेख खींचते हैं जो कि निम्न प्रकार प्राप्त होता है।



चित्र 16.66

विवेचना–आलेख से स्पष्ट है कि आधार उत्सर्जक वोल्टता के मान को बढ़ाने से आधार धारा के मान में वृद्धि होती है साथ ही V_{BE} के एक निश्चित न्यूनतम मान से ही आधार धारा प्रवाहित होना प्रारंभ होती है इस निश्चित न्यूनतम वोल्टता को **देहली वोल्टेज** कहते हैं।

नियतांक

निवेशी प्रतिरोध (R_i) – "निश्चित निर्गत वोल्टता पर निवेशी वोल्टता (V_{BE}) तथा निवेशी धारा (I_B) के अनुपात को निवेशी प्रतिरोध (R_i) कहते हैं।"

गतिक अवस्था में $R_i = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B}$

इसका मान कुछ सौ ओम कोटि का होता है। उभयनिष्ठ उत्सर्जक अभिविन्यास का निवेशी प्रतिरोध, उभयनिष्ठ आधार विन्यास के निवेशी प्रतिरोध की तुलना में अधिक होता है।

16.10.6 α तथा β में सम्बन्ध (Relation between α and β)

हम जानते हैं– $\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$ तथा $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$

$$\Delta I_E = \Delta I_B + \Delta I_C$$

ΔI_C का दोनों पक्षों में भाग देने पर

$$\frac{\Delta I_E}{\Delta I_C} = \frac{\Delta I_B}{\Delta I_C} + \frac{\Delta I_C}{\Delta I_C}$$

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{\beta} + 1 \qquad .....(1)$$

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1+\beta}{\beta}$$

$$\alpha = \frac{\beta}{1+\beta}$$

समी. (1) से

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{\beta} + 1$$

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

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

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

तथा $\beta - \alpha\beta = \alpha$

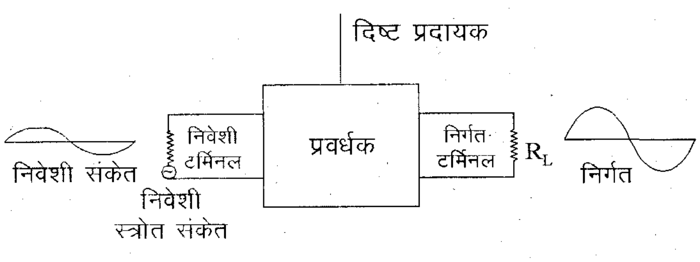
या $\beta - \alpha = \alpha\beta$

अर्थात् दोनों धारा लाभों का अन्तर उनके गुणनफल के समान होता है।

16.11 ट्रांजिस्टर प्रवर्धक (Transistor amplifier)

प्रवर्धन (Amplification)

"वह युक्ति जिसके द्वारा प्राप्त निवेशी संकेत (धारा अथवा वोल्टेज) को अधिक आयाम के निर्गत संकेत में रूपान्तरित किया जा सके ऐसी युक्ति को प्रवर्धक कहते हैं।"



चित्र 16.67

उभयनिष्ठ आधार विन्यास तथा उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास एक प्रवर्धक के रूप में कार्य करते हैं।

प्रवर्धन–"वह प्रक्रिया जिसके द्वारा अल्प आयाम के निवेशी संकेत को अधिक आयाम के निर्गत संकेत में रूपान्तरित किया जाता है तो वह प्रक्रिया प्रवर्धन कहलाती है।"

प्रवर्धन की प्रक्रिया में संकेत की आकृति तथा आवृत्ति (Shape and frequency) में कोई परिवर्तन नहीं होता है। संकेत के आयाम की वृद्धि में आवश्यक ऊर्जा की प्राप्ति प्रवर्धक परिपथ में लगी दिष्ट प्रदायक (DC power supply) से होती है।

प्रवर्धक का उदाहरण–श्रव्य आवृत्ति प्रवर्धक।

इस प्रवर्धक में माइक्रोफोन द्वारा ध्वनि संकेतों को इनके तुल्य आवृत्ति के विद्युतीय संकेतों में परिवर्तित कर प्रवर्धक में निवेशित किया जाता है। जिससे निर्गत में उच्च आयाम के विद्युतीय संकेत प्राप्त होते हैं। इन संकेतों को लाउड स्पीकर द्वारा पुनः ध्वनि संकेतों में परिवर्तित किया जाता है। इस प्रकार हमें अधिक तीव्रता की ध्वनि सुनाई देती है।

प्रवर्धन गुणांक या लाभ (लब्धि)–"निर्गत संकेत तथा निवेशी संकेत के अनुपात को प्रवर्धन गुणांक या लाभ कहते हैं।"

विभिन्न प्रकार के प्रवर्धन गुणांक–

(A) धारा प्रवर्धन गुणांक या धारा लाभ–"निर्गत धारा तथा निवेशी धारा के अनुपात को धारा प्रवर्धन गुणांक या धारा लाभ कहते हैं।"

या

"निर्गत धारा में परिवर्तन तथा निवेशी धारा में परिवर्तन के अनुपात को धारा प्रवर्धन गुणांक या धारा लाभ कहते हैं।"

$$\text{धारा प्रवर्धन गुणांक या धारा लाभ} = \frac{\text{निर्गत धारा में परिवर्तन}}{\text{निवेशी धारा में परिवर्तन}}$$

$$= \frac{\Delta I_o}{\Delta I_i}$$

(B) वोल्टता प्रवर्धन गुणांक या वोल्टता लाभ–"निर्गत वोल्टता में परिवर्तन तथा निवेशी वोल्टता में परिवर्तन के अनुपात को वोल्टता प्रवर्धन गुणांक या वोल्टता लाभ कहते हैं।"

$$\text{वोल्टता प्रवर्धन गुणांक} = \frac{\text{निर्गत वोल्टता में परिवर्तन}}{\text{निवेशी वोल्टता में परिवर्तन}}$$

$$A_V = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i}$$

(C) शक्ति प्रवर्धन गुणांक या शक्ति लाभ–"निर्गत शक्ति में परिवर्तन तथा निवेशी शक्ति में परिवर्तन के अनुपात को शक्ति लाभ कहते हैं।"

$$\text{शक्ति लाभ} = \frac{\text{निर्गत शक्ति में परिवर्तन}}{\text{निवेशी शक्ति में परिवर्तन}}$$

$$A_P = \frac{\Delta P_o}{\Delta P_i}$$

ट्रांजिस्टर को प्रवर्धक के रूप में उपयोग करने के लिए निर्गत विभव (V_o) तथा निवेशी विभव (V_i) के मध्य सक्रिय क्षेत्र का उपयोग किया जाता है। इस वक्र के रैखिक भाग की प्रवणता निवेश में परिवर्तन के संगत निर्गत में परिवर्तन की दर को व्यक्त करती है। यह ऋणात्मक होती है क्योंकि $V_o = V_{CC} - I_C R_L$ है जबकि $I_C R_L$ शून्य नहीं है। इसी कारण से V_i के मान में वृद्धि करने पर V_o के मान में कमी आती है तथा निर्गत को निवेश की कला से बाहर कहा जाता है।

अब यदि सक्रिय क्षेत्र के मध्य बिन्दु के संगत V_{BB} का मान नियत है तो परिपथ वोल्टता लाभ के CE प्रवर्धक की भांति व्यवहार करेगा।

∵ निर्गत वोल्टता

$$V_0 = V_{CC} - I_C R_L$$

$$\therefore \quad \Delta V_0 = 0 - R_L \Delta I_C \qquad ...(i)$$

इसी प्रकार निवेशी वोल्टता

$$V_i = I_B R_B + V_{BE}$$

$$\therefore \quad \Delta V_i = R_B \Delta I_B + \Delta V_{BE} \quad \text{...(ii)}$$

$\because$ ΔV_{BE} का मान $R_B \Delta I_B$ की तुलना में नगण्य है।

अत: $\Delta V_i \approx R_B \Delta I_B$ ...(iii)

$\because$ वोल्टता लाभ $A_v = \dfrac{\Delta V_o}{\Delta V_i}$

$\therefore$ समी. (i) व (iii) से

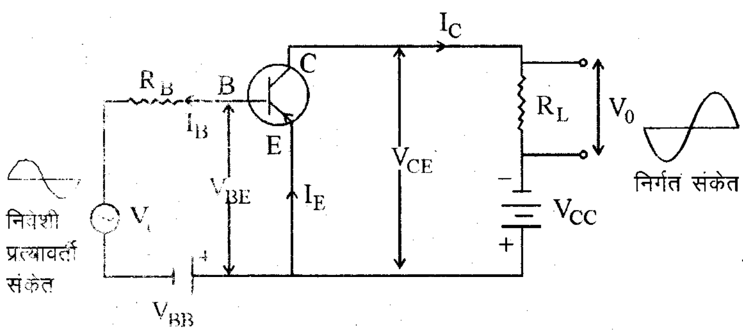
$$A_v = \frac{-R_L \Delta I_C}{R_B \Delta I_B}$$

$$\because \quad \beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

$$A_V = -\beta \frac{R_L}{R_B} \quad \text{....(iv)}$$

16.11.1 उभयनिष्ठ-उत्सर्जक प्रवर्धक (Common emitter ampifier) प्रवर्धक PNP ट्रांजिस्टर

परिपथ का वर्णन-चित्र में उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास में ट्रांजिस्टर को एक प्रवर्धक के रूप में दर्शाया गया है।



चित्र 16.68

निवेशी संकेत को आधार व आधार बैटरी V_{BB} के ऋण सिरे के मध्य लगाया जाता है तथा निर्गत वोल्टता संग्राहक परिपथ में लगे लोड प्रतिरोध R_L के सिरों के मध्य प्राप्त की जाती है। ट्रांजिस्टर में क्षीण आधार धारा (I_B) के संगत संग्राहक धारा (I_C) काफी अधिक प्राप्त होती है जिससे आधार पर लगा निवेशी संकेत संग्राहक धारा में बहुत अधिक परिवर्तन कर देता है। इस प्रकार परिपथ में पर्याप्त धारा लाभ प्राप्त होता है।

निवेशी संकेत का धनात्मक अर्ध चक्र, उत्सर्जक-आधार संधि के अग्र बायस का विरोध करता है। अत: उत्सर्जक आधार के बीच वोल्टेज घटता है, जिससे आधार धारा घटती है, अत: संग्राहक धारा भी घटती है। फलस्वरूप लोड प्रतिरोध में विभव परिवर्तन $I_C R_L$ का मान भी घटता है तथा संग्राहक वोल्टेज अधिक ऋणात्मक हो जाता है। इस प्रकार निवेशी संकेत के धनात्मक अर्द्ध चक्र के लिए लोड प्रतिरोध के सिरों के बीच विभव परिवर्तन ऋणात्मक चक्र के रूप में होता है। इसी प्रकार निवेशी संकेत के ऋणात्मक अर्द्ध चक्र में, आधार अधिक ऋणात्मक हो जाता है अर्थात् उत्सर्जक आधार संधि के बीच वोल्टता बढ़ती है, अत: संग्राहक धारा भी बढ़ती है, जिससे लोड प्रतिरोध के सिरों के बीच वोल्टेज बढ़ता है। अत: विभव परिवर्तन धनात्मक अर्द्ध चक्र के रूप में होता है।

इस प्रकार निवेशी व निर्गत वोल्टेज में π का कलान्तर उत्पन्न हो जाता है।

विभिन्न प्रवर्धक गुणांक

(A) धारा प्रवर्धन गुणांक या धारा लाभ–**"निर्गत धारा में परिवर्तन तथा निवेशी धारा में परिवर्तन के अनुपात को धारा प्रवर्धन गुणांक कहते हैं।"**

उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास में इसे β से व्यक्त करते हैं। अर्थात्

$$\beta = \frac{\text{संग्राहक धारा में परिवर्तन}}{\text{आधार धारा में परिवर्तन}}$$

$$\beta = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right) \text{ जब } V_{CE} = \text{नियत}$$

ΔI_C का मान ΔI_B के तुलना में अत्यधिक होता है इस कारण β का मान भी अधिक होता है। सामान्यत: β का मान 40 से 200 के मध्य होता है।

(B) वोल्टता प्रवर्धन गुणांक या वोल्टता लाभ–"निर्गत वोल्टता में परिवर्तन तथा निवेशी वोल्टता में परिवर्तन के अनुपात को वोल्टता प्रवध्नि गुणांक कहते हैं।"

$$A_V = \frac{\text{निर्गत वोल्टता में परिवर्तन}}{\text{निवेशी वोल्टता में परिवर्तन}}$$

$$A_V = \frac{\Delta V_0}{\Delta V_i} \qquad \text{माना कि } R_B = R_i$$

$$A_V = \frac{\Delta I_C \times R_L}{\Delta I_B \times R_i}$$

$$A_V = \beta \times \frac{R_L}{R_i}$$

A_V = वोल्टता लाभ = धारा लाभ × प्रतिरोध लाभ

(C) शक्ति प्रवर्धन गुणांक–**"निर्गत शक्ति में परिवर्तन तथा निवेशी शक्ति में परिवर्तन के अनुपात को शक्ति प्रवर्धन गुणांक कहते हैं।"**

$$A_P = \frac{\text{निर्गत शक्ति में परिवर्तन}}{\text{निवेशी शक्ति में परिवर्तन}}$$

$$A_P = \frac{\Delta P_0}{\Delta P_i}$$

$$\Delta P_0 = \Delta V_0 \times \Delta I_0$$

$$\Delta P_0 = \Delta V_0 \times \Delta I_C$$

इसी प्रकार $\Delta P_i = \Delta V_i \times \Delta I_B$

$$A_P = \frac{\Delta V_0 \times \Delta I_C}{\Delta V_i \times \Delta I_B}$$

$$A_P = \frac{\Delta V_0}{\Delta V_i} \times \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

$$A_P = A_V \times \beta$$

अर्थात् शक्ति लाभ = वोल्टता लाभ × धारा लाभ

$$A_P = \beta \times \frac{R_L}{R_i} \times \beta$$

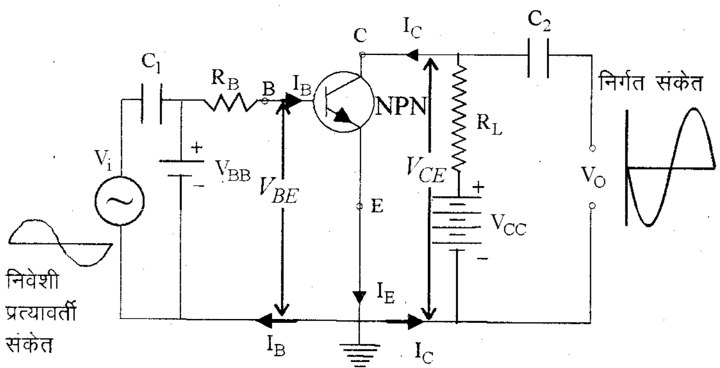
$$A_P = \beta^2 \times \frac{R_L}{R_i}$$

शक्ति लाभ = (धारा लाभ)^2 × प्रतिरोध लाभ

β का मान अधिक होने के कारण इसका वर्ग और भी अधिक हो जाता है। फलस्वरूप हमें उच्च आयाम की निर्गत शक्ति प्राप्त होती है। यही कारण है कि उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास धारा प्रवर्धन वोल्टता प्रवर्धन तथा शक्ति प्रवर्धन के रूप में काम में लिया जाता है।

उभयनिष्ठ उत्र्जक प्रवर्धक NPN ट्रांजिस्टर

परिपथ का वर्णन–चित्र में उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास में ट्रांजिस्टर को एक प्रवर्धक के रूप में दर्शाया गया है।



चित्र 16.69

ट्रांजिस्टर एक प्रवर्धक के रूप में कार्य करे इसके लिए निवेशी परिपथ अर्थात् उत्सर्जक आधार सन्धि के अग्र बायस तथा निर्गत परिपथ अर्थात् उत्सर्जक संग्राहक सन्धि को पश्च बायस किया गया है। उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास होने के कारण उत्सर्जक को भू सम्पर्कित किया गया हैं तथा निर्गत वोल्टता प्राप्त (V_0) करने के लिए लोड़ प्रतिरोध (R_L) को संग्राहक पर जोड़ा गया है।

माना कि निवेशी प्रत्यावर्ती वोल्टता आरोपित करने से पूर्व उत्सर्जक धारा I_E, आधार धारा I_B तथा संग्राहक धारा I_C है तब किरचॉफ के नियम से

$$I_E = I_B + I_C \quad \text{....(i)}$$

संग्राहक धारा I_C के कारण लोड R_L में विभव पतन I_CR_L है। अतः संग्राहक उत्सर्जक वोल्टता V_{CE} हो तो निर्गत परिपथ में किरचॉफ के नियम से

$$V_{CC} = I_C R_L + V_{CE}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_CR_L \quad \text{....(ii)}$$

जब EB संधि पर निवेशी प्रत्यावर्ती वोल्टता संकेत आरोपित किया जाता है तो आधार-उत्सर्जक वोल्टता ($V_{BE} \pm V_i$) परिवर्तित होती रहती है। इससे I_E तथा I_C में भी परिवर्तन होता रहता है। इसके परिणामस्वरूप V_{CE} का मान समी. (ii) के अनुसार परिवर्तित होता है। निवेशी प्रत्यावर्ती वोल्टता V_i आरोपित करने पर V_{CE} में होने वाले परिवर्तन V_o ही प्रवर्धित निर्गत वोल्टता के रूप में प्राप्त होते हैं।

निर्गत एवं निवेशी परिपथ में विपरीत कला का स्पष्टीकरण

संग्राहक धारा, आधार धारा पर पूर्णतः निर्भर करती है। अतः आधार धारा घटने के कारण संग्राहक धारा में अधिक कमी आती है। इस प्रकार निवेशी वोल्टता के धनात्मक (प्रथम आधे भाग) अर्द्ध चक्र की तुलना में प्रवर्धित वोल्टता संग्राहक वोल्टता के रूप में ऋणात्मक अर्द्ध चक्र प्राप्त होता है। इसी प्रकार निवेशी वोल्टता के ऋणात्मक अर्द्ध चक्र में आधार अभिनत अधिक हो जाने के कारण आधार धारा μA में अधिक वृद्धि होगी। जिसके फलस्वरूप संग्राहक धारा भी अधिक मात्रा में (mA में) बढ़ी हुई प्राप्त होने से निर्गत संकेत का धनात्मक अर्द्ध भाग मिलेगा। अर्थात् निवेशी संकेत धनात्मक होने पर निर्गत संकेत ऋणात्मक होता है तथा निवेशी संकेत ऋणात्मक होने पर निर्गत संकेत धनात्मक होता है। इस प्रकार निवेशी संकेत एवं निर्गत संकेत परस्पर विपरीत कला यानि π कलान्तर में होता है।

विभिन्न प्रवर्धक गुणांक

(A) धारा प्रवर्धन गुणांक या धारा लाभ–"**निर्गत धारा में परिवर्तन तथा निवेशी धारा में परिवर्तन के अनुपात को धारा प्रवर्धन गुणांक कहते हैं।**"

उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास में इसे β से व्यक्त करते हैं। अर्थात्

$$\beta = \frac{\text{संग्राहक धारा में परिवर्तन}}{\text{आधार धारा में परिवर्तन}}$$

$$\beta = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right) \text{ जब } V_{CE} = \text{नियत}$$

ΔI_C का मान ΔI_B के तुलना में अत्यधिक होता है इस कारण β का मान भी अधिक होता है। सामान्यतः β का मान 40 से 200 के मध्य होता है।

(B) वोल्टता प्रवर्धन गुणांक या वोल्टता लाभ–"निर्गत वोल्टता में परिवर्तन तथा निवेशी वोल्टता में परिवर्तन के अनुपात को वोल्टता प्रवर्धन गुणांक कहते हैं।"

$$A_V = \frac{\text{निर्गत वोल्टता में परिवर्तन}}{\text{निवेशी वोल्टता में परिवर्तन}}$$

$$A_V = \frac{\Delta V_0}{\Delta V_i} \qquad \text{माना कि } R_B = R_i$$

$$A_V = \frac{\Delta I_C \times R_L}{\Delta I_B \times R_i}$$

$$A_V = \beta \times \frac{R_L}{R_i}$$

A_V = वोल्टता लाभ = धारा लाभ × प्रतिरोध लाभ

(C) शक्ति प्रवर्धन गुणांक–"निर्गत शक्ति में परिवर्तन तथा निवेशी शक्ति में परिवर्तन के अनुपात को शक्ति प्रवर्धन गुणांक कहते हैं।"

$$A_P = \frac{\text{निर्गत शक्ति में परिवर्तन}}{\text{निवेशी शक्ति में परिवर्तन}}$$

$$A_P = \frac{\Delta P_0}{\Delta P_i}$$

$$\Delta P_0 = \Delta V_0 \times \Delta I_0$$

$$\Delta P_0 = \Delta V_0 \times \Delta I_C$$

इसी प्रकार $\Delta P_i = \Delta V_i \times \Delta I_B$

$$A_P = \frac{\Delta V_0 \times \Delta I_C}{\Delta V_i \times \Delta I_B}$$

$$A_P = \frac{\Delta V_0}{\Delta V_i} \times \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

$$A_P = A_V \times \beta$$

अर्थात् शक्ति लाभ = वोल्टता लाभ × धारा लाभ

$$A_P = \beta \times \frac{R_L}{R_i} \times \beta$$

$$A_P = \beta^2 \times \frac{R_L}{R_i}$$

शक्ति लाभ = (धारा लाभ)^2 × प्रतिरोध लाभ

β का मान अधिक होने के कारण इसका वर्ग और भी अधिक हो जाता है। फलस्वरूप हमें उच्च आयाम की निर्गत शक्ति प्राप्त होती है। यही कारण है कि उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास धारा प्रवर्धन वोल्टता प्रवर्धन तथा शक्ति प्रवर्धन के रूप में काम में लिया जाता है।

उदाहरण 11. एक ट्रांजिस्टर के लिए $\alpha_{dc} = 0.98$ और $I_E = 1$ mA है। इन आंकड़ों के संगत आधार धारा और संग्राहक धारा के मान ज्ञात करो।

हल–(i) $\alpha = \frac{I_C}{I_E}$

या $0.98 = \frac{I_C}{1}$

$I_C = 0.98$ mA

(ii) ∵ $I_B = I_E - I_C$

∴ $I_B = 1 - 0.98$

$= 0.02$ mA

$= 20\ \mu A$

उदाहरण 12. एक ट्रांजिस्टर के लिये उभयनिष्ठ आधार विन्यास में धारा लाभ 0.99 है इसी ट्रांजिस्टर का उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास में धारा लाभ कितना होगा? **पाठ्यपुस्तक उदाहरण 16.5**

हल:

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

∵ $\alpha = 0.99$

∴ $\beta = \frac{0.99}{1-0.99} = \frac{0.99}{0.01} = 99$ (मात्रकहीन)

उदाहरण 13. एक ट्रांजिस्टर के लिए उभयनिष्ठ आधार परिपथ में धारा लाभ 0.98 है। यदि उत्सर्जक धारा में 5.0 mA का परिवर्तन होता है तब संग्राहक धारा में कितना परिवर्तन होगा ? आधार धारा में भी परिवर्तन ज्ञात करो।

हल–∵ $\alpha = \Delta I_C / \Delta I_E$,

∴ $\Delta I_C = \alpha (\Delta I_E) = 0.98 \times 5.0$ mA

$= 4.9$ mA

क्योंकि $I_E = I_C + I_B$

∴ $\Delta I_B = \Delta I_E - \Delta I_C$

$= (5.0 - 4.9)$ mA

$= 0.1$ mA

उदाहरण 14. यदि उभयनिष्ठ आधार विन्यास परिपथ में संग्राहक में लगे 2.0 kΩ प्रतिरोध के सिरों पर विभवान्तर 2.0 V है। ट्रांजिस्टर के लिए $\alpha = 0.95$ है। आधार धारा I_B का मान ज्ञात कीजिए। **पाठ्यपुस्तक उदाहरण 16.6**

हल: संग्राहक परिपथ में लगे 2.0 kΩ प्रतिरोध पर विभवान्तर 2 V है।

अतः $I_C = \frac{V_0}{R_L} = \frac{2V}{2k\Omega} = 1\,\text{mA}$

∵ $\alpha = \frac{I_C}{I_E}$

∴ $I_E = \frac{I_C}{\alpha} = \frac{1}{0.95} = 1.05\,\text{mA}$

∵ $I_E = I_B + I_C$

अतः $I_B = I_E - I_C = 1.05 - 1.0 = 0.5\,\text{mA}$

उदाहरण 15. एक NPN ट्रांजिस्टर को उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास में संयोजित किया जाता है। यदि इसके लिये संग्राहक वोल्टता 3 वोल्ट, संग्राहक धारा 13.4 मिली एम्पियर तथा आधार धारा 150 माइक्रो एम्पियर हो तो उत्सर्जक धारा तथा धारा लाभ ज्ञात कीजिये।

हल–प्रश्नानुसार, $V_{CE} = 3$ वोल्ट, $I_C = 13.4$ मिली एम्पियर

$= 13.4 \times 10^{-3}$ एम्पियर

तथा $I_B = 150$ माइक्रो एम्पियर $= 0.15 \times 10^{-3}$ एम्पियर

$$I_E = I_C + I_B$$
$$= 13.4 \times 10^{-3} + 0.15 \times 10^{-3}$$
$= 13.55 \times 10^{-3}$ एम्पियर
$= 13.55$ मिली एम्पियर

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{13.4 \times 10^{-3}}{0.15 \times 10^{-3}} = \frac{13.4}{0.15}$$
$$= 89.33$$

उदाहरण 16. किसी संधि ट्रांजिस्टर में जब इसकी संग्राहक वोल्टता V_{CB} को नियत रखते हुए उत्सर्जक वोल्टता V_{EB} को 5 mV से परिवर्तित किया जाता है तो इसकी उत्सर्जक धारा का मान 0.15 mA से परिवर्तित होता है। ट्रांजिस्टर का निवेशी प्रतिरोध ज्ञात कीजिये। **पाठ्यपुस्तक उदाहरण 16.7**

हलः प्रश्नानुसार ट्रांजिस्टर उभयनिष्ठ आधार विन्यास में है, अतः इसका निवेशी प्रतिरोध

$$R_i = \frac{\Delta V_{EB}}{\Delta I_E}$$

दिया गया है–

$$\Delta V_{EB} = 5mV$$

$$\Delta I_E = 0.15 \text{ mA}$$

$$\therefore \quad R_i = \frac{5 \times 10^{-3}}{0.15 \times 10^{-3}} = 33.33\Omega$$

उदाहरण 17. एक उभयनिष्ठ उत्सर्जक परिपथ में $V_{CE} = 2$ वोल्ट है। आधार धारा I_B में 100 माइक्रो एम्पियर से 200 माइक्रो एम्पियर का परिवर्तन करने पर संग्राहक धारा 9 मिली एम्पियर से 16.5 मिली एम्पियर हो जाती है। धारा लाभ ज्ञात कीजिये।

हल–प्रश्नानुसार, आधारा धारा में परिवर्तन

$\Delta I_B = (200 - 100)$ माइक्रो एम्पियर
$= 100 \times 10^{-6}$ एम्पियर

संग्राहक धारा में परिवर्तन

$\Delta I_C = (16.5 - 9)$ मिली एम्पियर
$= 7.5 \times 10^{-3}$ एम्पियर

धारा लाभ

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{7.5 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-6}} = 75$$

उदाहरण 18. एक प्रवर्धक परिपथ में ट्रांजिस्टर उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास में प्रयुक्त किया गया है। आधार धारा में 20 μA का परिवर्तन संग्राहक धारा में 1 mA का परिवर्तन करता है तथा आधार–उत्सर्जक वोल्टता में 0.04 V का परिवर्तन हो रहा है। ज्ञात कीजिये (i) निवेशी प्रतिरोध (ii) धारा प्रवर्धन गुणांक। यदि संग्राहक परिपथ में 6 kΩ का लोड प्रतिरोध प्रयुक्त किया जाये तो प्रवर्धक का वोल्टता लाभ भी ज्ञात कीजिये। **पाठ्यपुस्तक उदाहरण 16.8**

हलः उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास में

(i) निवेशी प्रतिरोध

$$R_i = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{0.04V}{20\,\mu A} = \frac{0.04}{20 \times 10^{-6}} \frac{V}{A}$$

$$= 2000\Omega = 2\,k\Omega$$

(ii) धारा प्रवर्धन गुणांक

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{1mA}{20\mu A} = \frac{1 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-6}} \frac{A}{A} = 50$$

वोल्टता लाभ

$$A_v = \beta \frac{R_L}{R_i} = 50 \times \frac{6k\Omega}{2k\Omega} = 150$$

उदाहरण 19. एक उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास के लिए धारा लाभ 50 है। यदि आधार 200 μA हो तो उत्सर्जक धारा का मान ज्ञात कीजिए ? साथ ही अब यदि इस ट्रांजिस्टर को उभयनिष्ठ आधार विन्यास में बदला जाये और यदि उत्सर्जक धारा में 1mA का परिवर्तन किया जाये तो संग्राहक धारा में कितना परिवर्तन होगा ?

हल–दिया गया है– $\beta = 50$, $I_B = 200\ \mu A$, $I_E = ?$

$$\Delta I_E = 1mA$$
$$\Delta I_C = ?$$
$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$
$$I_C = I_B \times \beta$$
$$I_C = 200 \times 50 \times 10^{-6}$$
$I_C = 10000 \times 10^{-6} = 10^{-2}$ एम्पियर
$$I_E = I_C + I_B = 10^{-2} + 200 \times 10^{-6}$$
$$= 10 \times 10^{-3} + 200 \times 10^{-6}$$
$$= 10 \times 10^{-3} + \cdot 2 \times 10^{-3}$$
$= 10.2 \times 10^{-3}$ एम्पियर
$\Delta I_E = 1 \times 10^{-3}$ एम्पियर
$$\Delta I_C = ?$$
$$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$$
$$\Delta I_C = \Delta I_E \times \left(\frac{\beta}{1+\beta}\right)$$
$$\Delta I_C = 1 \times 10^{-3} \times \frac{200 \times 10^{-6}}{1 + 200 \times 10^{-6}}$$
$$\Delta I_C = 1 \times 10^{-3} \times 0.98$$
$$\Delta I_C = 0.98 \text{ mA}$$

उदाहरण 20. एक ट्रांजिस्टर के उभयनिष्ठ उत्सर्जक प्रवर्धक के लिए $\beta = 60$, $R_L = 5$ kΩ तथा $R_i = 500\ \Omega$ है तब इस प्रवर्धक का वोल्टता लाभ क्या होगा ?

हल– वोल्टता लाभ $A_v = \beta\left(\frac{R_L}{R_i}\right)$

$$A_v = 60 \times \frac{5000}{500}$$

$$A_v = 600$$

उदाहरण 21. एक उभयनिष्ठ उत्सर्जक प्रवर्धक का धारा लाभ 50 है। यदि आधार धारा 250 माइक्रोऐम्पियर हो तो उत्सर्जक धारा का मान ज्ञात कीजिये। अब यदि इसे उभयनिष्ठ आधार प्रवर्धक के रूप में प्रयोग में लाया जाये तो उसके उत्सर्जक धारा में 3 मिली ऐम्पियर का परिवर्तन करने पर संग्राहक धारा में कितना परिवर्तन होगा?

हल–प्रश्नानुसार $\beta = 50$, $I_B = 250$ माइक्रोऐम्पियर $= 250 \times 10^{-6}$ एम्पियर

$\because \quad \beta = \frac{I_C}{I_B}$

$\therefore \quad I_C = \beta \times I_B = 50 \times 250 \times 10^{-6}$
$= 12.5 \times 10^{-3}$ एम्पियर

अत: $I_E = I_B + I_C$
$= 0.25 \times 10^{-3} + 12.5 \times 10^{-3}$
$= 12.75 \times 10^{-3}$ एम्पियर
$= 12.75$ मिली एम्पियर

उभयनिष्ठ आधार विन्यास में $\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} = \frac{\beta}{1+\beta}$

$\therefore \quad \Delta I_C = \Delta I_E\left(\frac{\beta}{1+\beta}\right)$

$= 3 \times 10^{-3} \times \left(\frac{50}{1+50}\right) = \frac{3\times10^{-2}\times50}{51}$
$= 2.94 \times 10^{-3}$ एम्पियर
$= 2.94$ मिली एम्पियर

उदाहरण 22. किसी CE ट्रांजिस्टर प्रवर्धक के लिए 2.0 kΩ के उत्सर्जक प्रतिरोधक के लिए सिरों पर 2.0 V है। मान लीजिए ट्रांजिस्टर का धारा प्रवर्धक 100 है। यदि dc का आधार धारा का मान सिग्नल धारा का 10 गुना होता है, तो 2.0V की आपूर्ति V_{BB} श्रेणीक्रम में संयोजित प्रतिरोधक R_B का क्या मान होना चाहिए। संग्राहक प्रतिरोध के सिरों पर dc विभवपात भी परिकलित कीजिए।

हल-दिया है- निर्गत दिष्ट वोल्टता $V_{CC} = 2$ वोल्ट, तथा
$R_o = 2$ किलो ओम
$\beta = 100$, $\quad I_{B_{dc}} = 10 I_{B_{ac}}$, $\quad V_{BB} = 2$ वोल्ट
$R_B = ?$

अत: संग्राहक संकेत धारा

$$I_{C_{ac}} = \frac{V_{CE}}{R_o} = \frac{2}{2\times10^3} = 10^{-3} \text{ एम्पियर} = 1 \text{ मिली एम्पियर}$$

आधार संकेत धारा

$$I_{B_{ac}} = \frac{I_{C_{ac}}}{\beta} = \frac{10^{-3}}{100} = 10\times10^{-6} \text{ एम्पियर} = 10 \text{ माइक्रो एम्पियर}$$

आधार दिष्ट धारा

$$I_{B_{dc}} = 10_{B_{ac}} = 100\times10^{-6} = 10^{-4} \text{ एम्पियर}$$

अत: प्रतिरोध $R_B = \frac{V_{BB}-V_{BE}}{I_B} = \frac{2-0.6}{10^{-4}} = 14\times10^3$ ओम
$= 14$ किलो ओम
(यहाँ $V_{BE} = 0.6$ वोल्ट माना गया है)

तथा संग्राहक दिष्ट धारा

$$I_{C_{dc}} = \beta \times I_{B_{dc}} = 100\times10^{-4} = 10^{-2} \text{ एम्पियर}$$
$= 10$ मिली एम्पियर

अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

1. संधि ट्रांजिस्टर से क्या तात्पर्य है?
2. संधि ट्रांजिस्टर के प्रकार लिखिए।
3. ट्रांजिस्टर के कितने टर्मिनल होते हैं?
4. संधि ट्रांजिस्टर में प्रवाहित धाराओं के नाम लिखिए।
5. I_E, I_B व I_C में सम्बन्ध लिखिए।
6. संधि ट्रांजिस्टर की संधियों का नाम लिखिए।
7. ट्रांजिस्टर के विन्यासों का नाम लिखिए।
8. ट्रांजिस्टर के अभिलाक्षणिक वक्रों के प्रकार व परिभाषा लिखिए।
9. धारा लाभ से क्या तात्पर्य है?
10. उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास में निर्गत अभिलाक्षणिक वक्र किन प्राचलों के मध्य खींचे जाते हैं?
11. उभयनिष्ठ उर्त्सक विन्यास में निवेशी अभिलाक्षणिक वक्र किन प्राचलों के मध्य खींचे जाते हैं?
12. ट्रांजिस्टर के उपयोग लिखिए।
13. प्रवर्धक से क्या तात्पर्य है?
14. शक्ति लाभ व धारा लाभ में सम्बन्ध लिखिए।

उत्तरमाला

1. दो P–N संधियों को परस्पर सम्बन्धित करने पर प्राप्त व्यवस्था को ट्रांजिस्टर कहते हैं।
2. संधि ट्रांजिस्टर दो प्रकार के होते हैं।
(i) NPN ट्रांजिस्टर (ii) PNP ट्रांजिस्टर
3. ट्रांजिस्टर के तीन टर्मिनल होते हैं–
(i) उत्सर्जक (E) (ii) आधार (B)
(iii) संग्राहक (C)
4. उत्सर्जक धारा I_E, आधार धारा I_B तथा संग्राहक धारा I_C
5. $I_E = I_B + I_C$
6. उत्सर्जक-आधार संधि (EBJ)
संग्राहक-आधार संधि (CBJ)
7. (i) उभयनिष्ठ आधार विन्यास (ii) उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास
(iii, उभयनिष्ठ संग्राहक विन्यास
8. **(i) निर्गत अभिलाक्षणिक वक्र**-नियत निवेशी धारा के लिए निर्गत वोल्टता तथा निर्गत धारा में खींचा गया वक्र निर्गत अभिलाक्षणिक वक्र कहलाता है।
(ii) निवेशी अभिलाक्षणिक वक्र-नियत निर्गत वोल्टता के लिए निवेशी धारा तथा निवेशी वोल्टता में खींचा गया वक्र निवेशी अभिलाक्षणिक वक्र कहलाता है।

9. निर्गत धारा तथा निवेशी धारा का अनुपात धारा लाभ कहलाता है।
10. V_{CE} तथा I_C के मध्य जबकि I_B नियत रहती है।
11. V_{BE} तथा I_C के मध्य जबकि V_{CE} नियत रहती है।
12. स्विच के रूप में, प्रवर्धक के रूप में, दोलित्र के रूप में।
13. वह युक्ति जिसके द्वारा प्राप्त निवेशी संकेत को अधिक आयाम के निर्गत संकेत में रूपान्तरित किया जा सके, ऐसी युक्ति को प्रवर्धक कहते हैं।
14. शक्ति लाभ = $(\text{धारा लाभ})^2 \times$ प्रतिरोध लाभ

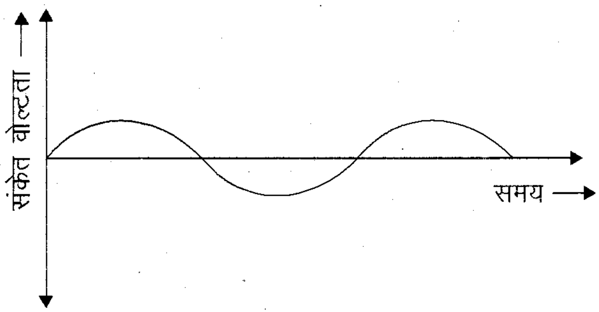
16.12 अंकीय इलेक्ट्रॉनिकी (Digital Electronics)

इलेक्ट्रॉनिकी में मुख्यतः दो प्रकार के संकेत प्रयुक्त किये जाते हैं–

(i) अनुरूप संकेत (Analog signal) तथा

(ii) अंकरूप संकेत (Digital signal)

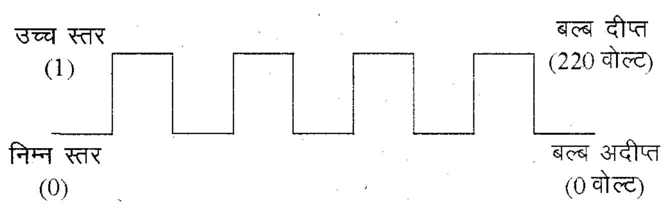
(i) अनुरूप संकेत–जब वोल्टता या धारा समय के साथ सतत् रूप से परिवर्तित होती हो तब संकेत अनुरूप संकेत होता है। अनुरूप संकेत में वोल्टता का किसी परास में सतत् कोई सा भी मान हो सकता है। (चित्र से)



चित्र 16.70

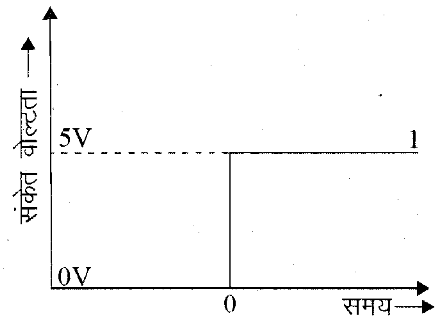
इलेक्ट्रॉनिक परिपथ जैसे प्रवर्धक, दोलित्र आदि अनुरूप परिपथ (Analog circuits) कहलाते है तथा इनमें निवेश तथा निर्गत संकेत अनुरूप संकेत होते है। इसके अतिरिक्त प्रयोगशाला में प्रयुक्त वोल्टमीटर तथा अमीटर अनुरूप युक्तियों के रूप में होते है क्योंकि इन उपकरणों में संकेतक (Pointer) अंशाकित पैमाने पर सतत् रूप से तब तक गति करते है जब तक कि यह सही पाठ्यांक की स्थिति में न पहुँच जाये। जब किसी विद्युत बल्ब के साथ वोल्टता नियामक (regulator) लगा हो तब यह अनुरूप युक्ति के रूप में होता है क्योंकि वोल्टता नियामक की सहायता से बल्ब के प्रकाश की तीव्रता सतत् रूप से परिवर्तित की जा सकती है।

(ii) अंकरूप संकेत–जब संकेत स्पंद (Pulse) के रूप में होता है तब यह अंकरूप संकेत कहलाता है। इसमें वोल्टता के केवल विविक्त (discrete) मान ही लिए जाते हैं। (चित्र से)



चित्र 16.71

उच्च स्तर (high level) वाली वोल्टता को 1 तथा निम्न स्तर (low level) वाली वोल्टता को 0 से दर्शाते हैं। उदाहरण के लिए यदि किसी बल्ब के साथ एक स्विच जुड़ा हो तो बल्ब में वोल्टता के 0 स्तर के लिए स्विच ऑफ (off) तथा 1 स्तर के लिए स्विच ऑन (ON) होता है। इस स्थिति में शून्य वोल्टता को 0 से तथा अधिकतम वोल्टता 220 वोल्ट को 1 से व्यक्त किया जाता है। वास्तव में 0 तथा 1, 0 वोल्ट तथा 1 वोल्ट को प्रदर्शित नहीं करते। 0 तथा 1 द्वि-आधारी अंकों (binary digits) को निरूपित करते हैं तथा इन्हें द्विअंकी (bit) कहते हैं। बिट 0, स्पंद की अनुपस्थिति तथा बिट 1, स्पंद की उपस्थिति को व्यक्त करता है। डिजिटल घड़ियाँ, आधुनिक कम्प्यूटर आदि अंकरूप युक्तियों के उदाहरण हैं। सामान्यतः उच्च स्तर वाली स्तर 1 की वोल्टता (5 ± 0.5) वोल्ट तथा निम्न स्तर वाली स्तर 0 की वोल्टता (0 ± 0.5) वोल्ट होती है। इन वोल्टताओं के यथार्थ मान का ज्ञान आवश्यक नहीं होता है क्योंकि इन स्तरों में वोल्टता स्तर में अन्तराल बहुत कम होता है। इस प्रकार के अंकीय संकेत को निम्न चित्र में दर्शाया गया है–



चित्र 16.72

16.13 तर्क द्वार या तार्किक द्वार या लोजिक गेट (Logic Gates)

तार्किक द्वार एक ऐसा तर्क संगत परिपथ है जिसमें एक या एक से अधिक निवेशी टर्मिनल (input) परन्तु केवल एक निर्गत टर्मिनल (output) होता है। तार्किक द्वार अंकरूप परिपथों का आधारभूत भाग है।

तार्किक द्वार में निवेशी तथा निर्गत संकेत के मध्य एक तार्किक सम्बन्ध होता है।

सत्य-सारणी (Truth Table)

सत्य सारणी एक ऐसी सारणी है जो किसी तार्किक द्वार के निवेशी तथा निर्गत संकेतों की समस्त सम्भावनाओं को दर्शाती है।

विभिन्न प्रकार के तार्किक द्वार (Different type of gate)

मूल रूप से तार्किक द्वार निम्न तीन प्रकार के होते हैं–

(i) OR द्वार (ओर या अपि द्वार)

(ii) AND द्वार (ऐण्ड या अथ द्वार)

(iii) NOT द्वार (नॉट या न द्वार)

इन द्वारों के परस्पर संयोजन से अन्य द्वार NOR तथा NAND द्वार भी निर्मित कर सकते हैं।

16.13.1 OR-द्वार (ओर या अपि द्वार) (OR gate)

OR-द्वार एक ऐसा द्वार होता है जिसमें दो या दो से अधिक निवेशी टर्मिनल तथा एक निर्गत टर्मिनल होता है तथा किसी भी एक निवेशी संकेत के उच्च (1) होने पर निर्गत संकेत भी उच्च (1) होता है। दूसरे शब्दों में सभी निवेशी संकेतों के शून्य होने पर ही निर्गत संकेत भी शून्य होता है। चरों 0 तथा 1 की बीजगणित सामान्य बीजगणित से भिन्न होती है। इस बीजगणित को इसके प्रतिपादक जॉर्ज बूल के नाम पर बूलीय बीजगणित (Boolean algebra) कहते हैं तथा इस प्रकार के चरों में परस्पर सम्बन्ध प्रदर्शित करने वाले समीकरणों को बूलीय व्यंजक (Boolean expression) कहते हैं।

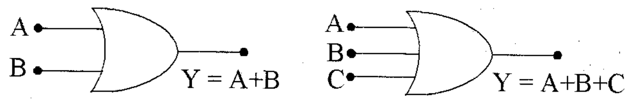
OR-द्वार की संक्रिया को + से व्यक्त करते हैं। OR-द्वार के लिए दो निवेशी टर्मिनल होने पर बूलीय व्यंजक निम्न हैं–

$$Y = A + B$$

तथा तीन निवेशी टर्मिनल होने पर–

$Y = A + B + C$

OR-द्वार के संकेत

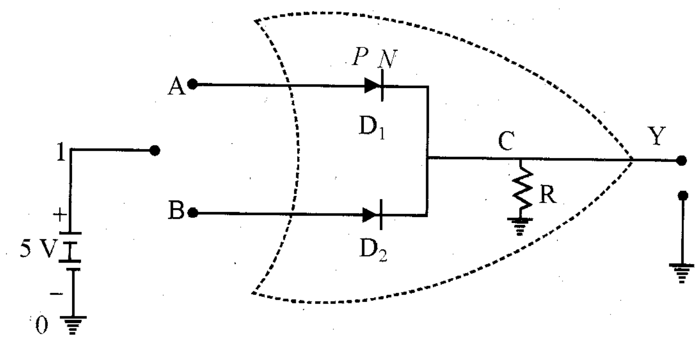


चित्र 16.73

OR-द्वार की सत्य सारणी

A	**B**	**Y = A + B**
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

OR-द्वार को बनाने के लिए दो डायोडो D_1 तथा D_2 का निम्नानुसार उपयोग किया जाता है–



चित्र 16.74

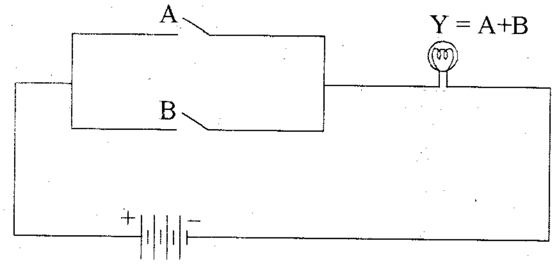
निवेशी A व B दोनों पर वोल्टताओं के मान 0V रखे जा सकते हैं। 0V को 0 से 5V को 1 से निरूपित किया जाता है। निर्गत Y. प्रतिरोध I R के सिरे पर वोल्टता है जब प्रतिरोध R का दूसरा सिरा भूसंपर्कित है। जब A = B = 0 है अर्थात् A व B दोनों पर कोई संकेत नहीं है तब कोई भी डायोड D_1 या D_2 प्रचालित नहीं होगा व R पर कोई विभवपतन नहीं होगा या Y = 0 प्राप्त होगा। यह स्थिति सत्य सारिणी की प्रथम पंक्ति के अनुरूप है।

यदि निवेशी A को 5V (अवस्था) व B को 0V (अवस्था 0) पर रखा जाये तो डायोड D_1 अग्र बायसित होकर बंद स्विच की भांति व्यवहार करेगा अर्थात् चालन अवस्था में होगा। अब यदि D_1 आदर्श डायोड है तो इस पर कोई विभवपतन नहीं होगा। अतः प्रतिरोध R पर पृथ्वी के सापेक्ष 5V विभवपतन होगा या Y = 1 अवस्था प्राप्त होगी। यह परिणाम सत्य सारिणी की द्वितीय पंक्ति के अनुरूप है।

(v) यदि A = 0 व B = 5V (अवस्था 1) है तो अब D_1 के स्थान पर डायोड D_2 चालन की स्थिति में होगा। अभी भी Y = 1 प्राप्त होगा। यह सत्य सारिणी की तीसरी पंक्ति के अनुरूप है।

(vi) यदि A व B डायोड पर 5V (अवस्था 1) प्रयुक्त किये जाये तो दोनों डायोड D_1 व D_2 चालित होंगे क्योंकि दोनों डायोड समान्तर क्रम में है अतः प्रतिरोध R पर अब भी 5V विभवपतन होगा व Y = 1 प्राप्त होगी। यह स्थिति सत्य सारिणी की चतुर्थ पंक्ति के अनुरूप है।

OR-द्वार की संक्रिया को नीचे दिखाए गये दो स्विचों के समान्तर संयोजन परिपथ से भी समझ सकते हैं–



चित्र 16.75

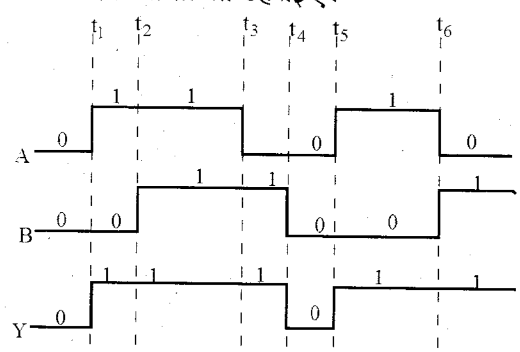
चित्र से स्पष्ट हैं कि जब दोनों चित्र OFF (अवस्था-0) होते हैं तो बल्ब प्रकाश नहीं देता है अर्थात् Y = 0

दोनों में से किसी एक चित्र के ON (अवस्था-1) तथा अन्य के OFF (अवस्था-0) होने पर, बल्ब प्रदीप्त अवस्था (अवस्था-1) में होता है, अर्थात् Y = 1

दोनों स्विचों के ON (अवस्था-1) होने पर बल्ब प्रदीप्त अवस्था (अवस्था-1) में होता है अर्थात् Y = 1।

महत्त्वपूर्ण–OR-द्वार में सभी निवेशी टर्मिनल के शून्य होने पर ही निर्गत टर्मिनल शून्य होता है अन्यथा अन्य सभी स्थितियों में निर्गत संकेत उच्च (अवस्था-1) प्राप्त होता है।

उदाहरण 23. चित्र में दिए गए निवेश A तथा B के लिए 'OR' गेट के निर्गत तरंगरूप को न्यायोचित ठहराइए।



चित्र: 16.76

हल– दिए गए तरंग स्वरूप के निवेशी A तथा B की विभिन्न स्थितियों के लिए एक 'OR' द्वार का निर्गत निम्नानुसार होगा–

समय	निवेशी (A)	निवेशी (B)	निर्गत $Y_1 = A + B$
$t < t_1$	0	0	0
t_1 से t_2 तक	1	0	1
t_2 से t_3 तक	1	1	1
t_3 से t_4 तक	0	1	1
t_4 से t_5 तक	0	0	0
t_5 से t_6 तक	1	0	1
$t > t_6$	0	1	1

स्पष्टत: तरंग स्वरूप का निर्गत संकेत Y, OR द्वार के निर्गत Y_1 के अनुरूप ही है।

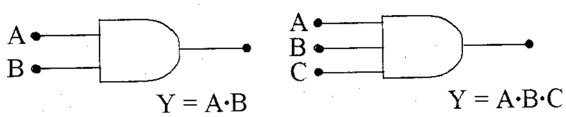
16.13.2 AND-द्वार (ऐण्ड या अथ द्वार) (AND gate)

AND-द्वार ऐसा द्वार है जिसमें दो या दो से अधिक निवेशी टर्मिनल तथा एक निर्गत टर्मिनल होता है तथा किसी एक भी निवेशी संकेत के शून्य अवस्था में होने पर निर्गत संकेत शून्य होता है अर्थात् निर्गत संकेत को उच्च (अवस्था-1) प्राप्त करने के लिए सभी निवेशी संकेत उच्च (अवस्था-1) में होने चाहिए।

AND-द्वार की संक्रिया को (डॉट) से व्यक्त करते हैं। AND-द्वार में दो निवेशी टर्मिनल तथा तीन निवेशी टर्मिनल होने पर बूलीय व्यंजक को निम्न प्रकार व्यक्त करते हैं

$$Y = A.B \qquad Y = A.B.C$$

AND-द्वार का संकेत–

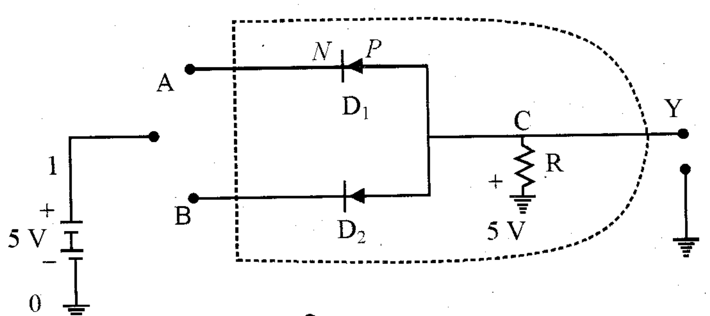


चित्र 16.77

AND-द्वार की सत्य-सारणी

A	B	Y = A.B
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

AND-द्वार को दो डायोडों D_1 तथा D_2 का उपयोग कर निम्न प्रकार बनाया जाता है–



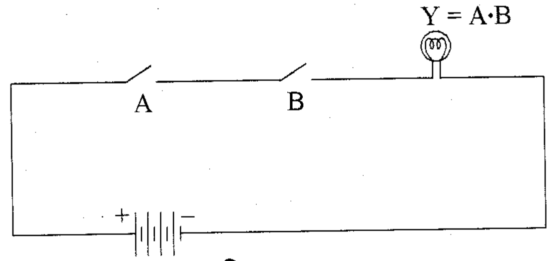
चित्र 16.78

यहाँ प्रतिरोध R एक 5V विभवान्तर की बैटरी के धन टर्मिनल से जुड़ा है व इस बैटरी का ऋण सिरा भू-सम्पर्कित है। निवेशी टर्मिनल A व B में प्रत्येक को 0 अथवा 5V विभव स्तर पर रखा जा सकता है।

यदि A व B दोनों शून्य विभव पर हैं (A = B = 0) तो डायोड D_1 व D_2 दोनों अग्र बायसित होंगे व चालन करेंगे। यदि ये आदर्श डायोड है तो इन पर कोई विभवपतन नहीं होगा व प्रतिरोध R पर 5V विभव पतन होगा। इसका सिरा Y पृथ्वी के सापेक्ष शून्य विभव पर होगा। (Y = 0) यह सत्य सारिणी की प्रथम पंक्ति में व्यक्त किया गया है।

यदि A व B में से कोई एक मान A = 5V व दूसरा शून्य पर हो (B = 0) तो अब एक डायोड यहाँ A चालन में व B अचालन अवस्था में होगा। यदि डायोड A आदर्श है तो इस पर कोई विभवपतन नहीं होगा तथा पुनः प्रतिरोध R पर 5V विभवपतन होगा व अब भी Y = 0 प्राप्त होगा। यही स्थिति A पर 0V व B पर 5V लगाने पर होगी। ये स्थितियाँ सत्य सारिणी की द्वितीय व तृतीय पंक्ति के अनुरूप हैं। यदि A व B दोनों पर 5V विभव प्रयुक्त किया जाये (A = B = 1) तो दोनों डायोड अचालन अवस्था में होंगे व प्रतिरोध R में कोई धारा नहीं होगी अतः इसका ऊपरी सिरा उतने ही विभव पर होगा जितना कि निचला भाग अर्थात् पृथ्वी के सापेक्ष +5V पर होगा। यह स्थिति सत्य सारिणी की चतुर्थ पंक्ति में प्रदर्शित की गई है।

AND-द्वार की संक्रिया को नीचे दिखाए गए दो स्विचों के श्रेणीक्रम परिपथ से भी समझ सकते हैं।



चित्र 16.79

चित्र से स्पष्ट है कि जब दोनों स्विच या कोई एक भी स्विच OFF (0-अवस्था) होता है तो बल्ब प्रदीप्त नहीं होता अर्थात् निर्गत संकेत शून्य होता है Y = 0।

परन्तु यदि दोनों स्विच ON (अवस्था-1) होते हैं तब ही बल्ब प्रदीप्त (अवस्था-1) होता है अर्थात् संकेत उच्च (अवस्था-1) में होता है।

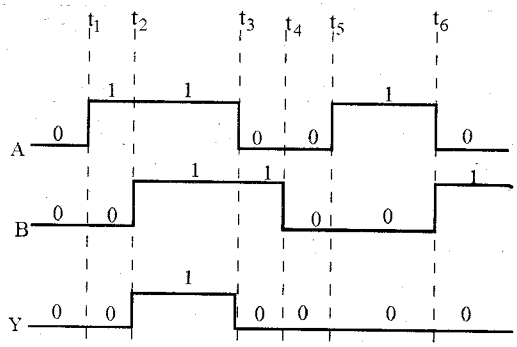
महत्त्वपूर्ण–AND-द्वार में सभी निवेशी संकेत उच्च (अवस्था) होने पर ही निर्गत संकेत उच्च (अवस्था-1) प्राप्त होता है।

उदाहरण 24. A और B निवेश के तरंगरूपों को पूर्व के उदाहरण के समान लीजिए। AND गेट से प्राप्त निर्गत तरंगरूप को स्केच कीजिए।

हल– दिए गए तरंग स्वरूप के निवेशी A तथा B की विभिन्न स्थितियों के लिए एक 'OR' द्वार का निर्गत निम्नानुसार होगा–

समय	निवेशी (A)	निवेशी (B)	निर्गत Y=A . B
$t < t_1$	0	0	0
t_1 से t_2 तक	1	0	0
t_2 से t_3 तक	1	1	1
t_3 से t_4 तक	0	1	0
t_4 से t_5 तक	0	0	0
t_5 से t_6 तक	1	0	0
$t > t_6$	0	1	0

अतः एक AND द्वार के लिए निर्गत तरंग स्वरूप को चित्र में प्रदर्शित तरंग Y के द्वारा व्यक्त कर सकते हैं–



चित्र: 16.80

16.13.3 NOT-द्वार (नॉट या न द्वार) (NOT gate)–

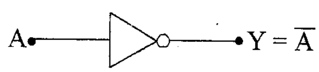
NOT-द्वार एक ऐसा द्वार होता है जिसमें एक निवेश तथा एक निर्गत टर्मिनल होता है तथा निर्गत टर्मिनल पर संकेत, निवेशी टर्मिनल के संकेत का विपरीत होता है। इसीलिए इसे प्रतिलोमक (Invertor) भी कहते हैं। इसका उपयोग स्विच परिपथ में किया जाता है।

जब निवेशी संकेत शून्य अवस्था में होता है तो निर्गत संकेत उच्च (अवस्था-1) अवस्था में प्राप्त होता है। जबकि निवेशी संकेत के उच्च (अवस्था-1) अवस्था में होने पर निर्गत संकेत शून्य अवस्था में प्राप्त होता है।

NOT-द्वार के बूलीय व्यंजक का निम्नानुसार व्यक्त करते हैं–

$$Y = \overline{A}$$

NOT-द्वार का संकेत–

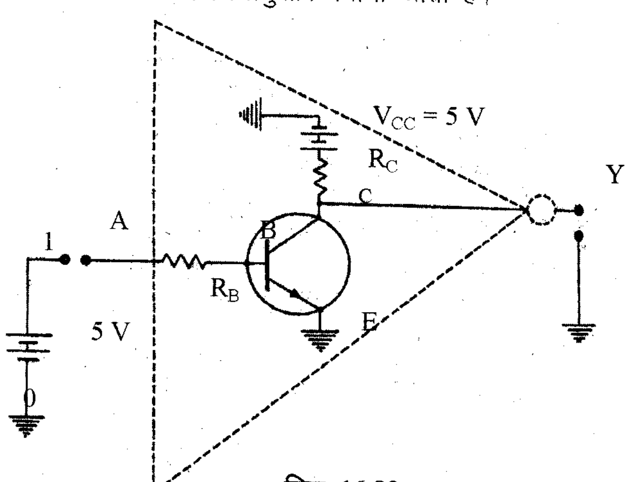


चित्र 16.81

NOT-द्वार की सत्य-सारणी

A	$Y = \overline{A}$
0	1
1	0

NOT-द्वार को डायोड के उपयोग से नहीं बनाया जाता इसे ट्रांजिस्टर के उपयोग से चित्रानुसार बनाया जाता है।



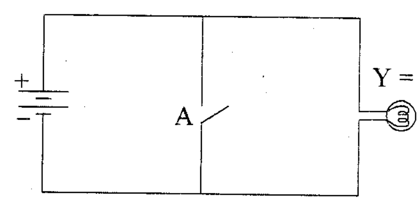
चित्र 16.82

चित्र में एक NPN ट्रांजिस्टर प्रयुक्त किया गया है। ट्रांजिस्टर के आधार B को प्रतिरोध R_B के द्वारा निवेशी टर्मिनल A से जोड़ा गया है। उत्सर्जक E, भू-सम्पर्कित है व संग्राहक C को प्रतिरोध R_C के द्वारा दिष्ट प्रदायक V_{CC} (= 5V) के धनात्मक सिरे पर जोड़ा गया है। इस दिष्ट प्रदायक का ऋणात्मक सिरा भू-सम्पर्कित है। निर्गम Y, संग्राहक C का पृथ्वी के सापेक्ष विभवान्तर है।

जब निवेशी टर्मिनल A भी भू-सम्पर्कित किया जाये $V_A = 0$ तो आधार भी भू सम्पर्कित हो जाता है अर्थात् उत्सर्जक संधि पर कोई अभिनति नहीं है पर आधार-संग्राहक संधि उत्क्रम अभिनति होती है। इस स्थिति में आधार धारा शून्य, उत्सर्जक धारा शून्य होने के साथ-साथ संग्राहक धारा भी शून्य होगी व ट्रांजिस्टर अंतक (cut off) अवस्था में होगा। अतः संग्राहक पर विभव पृथ्वी के सापेक्ष, +5V (= V_{CC}) होगा अतः निवेशी A = 0V होने पर निर्गत उच्च (+5V) होगा या A = 0 तब Y = 1 प्राप्त होगा।

अब यदि आधार पर पृथ्वी के सापेक्ष +5V वोल्टता प्रयुक्त की जाये (अर्थातृ A = 1) तो आधार उत्सर्जक संधि अग्र अभिनति होगी। अब आधार धारा, उत्सर्जक धारा व संग्राहक धारा तीनों उपस्थित होती है। यदि R_B व R_C के मान इस प्रकार से चयनित किये जाये कि संग्राहक धारा उच्च हो तो ट्रांजिस्टर संतृप्तता (saturation) की अवस्था में होगा। इस स्थिति में R_C पर विभवपतन ठीक +5V होगा जो कि संग्राहक परिपथ में लगी बैटरी V_{CC} के विभव के ठीक बराबर पर विपरीत है इस प्रकार C पर वोल्टता शून्य होगी अर्थात् Y = 0 प्राप्त होगा।

NOT-द्वार की संक्रिया को नीचे दिखाए विद्युत परिपथ से भी समझ सकते हैं



चित्र 16.83

स्विच A के ON (अवस्था-1) होने पर बल्ब प्रदीप्त नहीं होता अर्थात् निर्गत संकेत शून्य अवस्था में ही होता है। जबकि स्विच A के OFF (अवस्था-0) होने पर बल्ब प्रदीप्त होता है अर्थात् निर्गत संकेत अवस्था-1 में होता है।

महत्त्वपूर्ण–NOT-द्वार निर्गत टर्मिनल पर निवेशी टर्मिनल का विपरीत प्रदर्शित करता है।

ऊपर वर्णित सभी द्वार मूल द्वार कहलाते हैं। इनके संयोजन से दो अन्य द्वार भी बनाए जा सकते हैं। जिनका वर्णन आगे किया गया है।

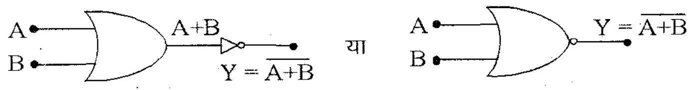
16.13.4 NOR-द्वार (नॉर या नापि द्वार) (NOR Gate)–

NOR-द्वार, OR तथा NOT द्वार के संयोजन से बनाया जाता है। जिसमें दो या दो से अधिक निवेशी टर्मिनल तथा केवल एक निर्गत टर्मिलन होता है। इसके निर्गत पर एक बुलबुला लगा होता है। NOR-द्वार का निर्गत संकेत तभी उच्च (अवस्था-1) होता है जब सभी निवेशी संकेत शून्य अवस्था में हो।

NOR-द्वार की संक्रिया को निम्न बूलीय व्यंजक से व्यक्त करते हैं–

$$Y = \overline{A + B}$$

NOR-द्वार का संकेत–



चित्र 16.84

NOR-द्वार की सत्य-सारणी

A	B	A + B	Y = $\overline{A+B}$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

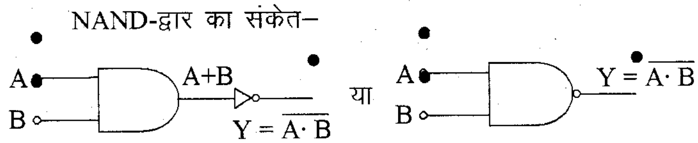
16.13.5 NAND-द्वार (नेन्ड द्वार, नथ द्वार) (NAND gate)–

AND-द्वार तथा NOT के संयोजन से प्राप्त युक्ति NAND द्वार कहलाती है। यह एक ऐसा तार्किक द्वार है जिसमें दो या दो से अधिक निवेशी टर्मिनल जबकि केवल एक निर्गत टर्मिनल होता है। निर्गत पर एक बुलबुला लगा होता है। सभी निवेशी संकेत के उच्च (1-अवस्था) होने पर ही, निर्गत संकेत शून्य होता है। अन्यथा निर्गत संकेत अवस्था-1 में होता है।

NAND-द्वार की बूलीय व्यंजक को निम्नानुसार व्यक्त कर संकते हैं–

$$Y = \overline{A.B}$$

NAND-द्वार का संकेत–



चित्र 16.85

NAND-द्वार की सत्य-सारणी

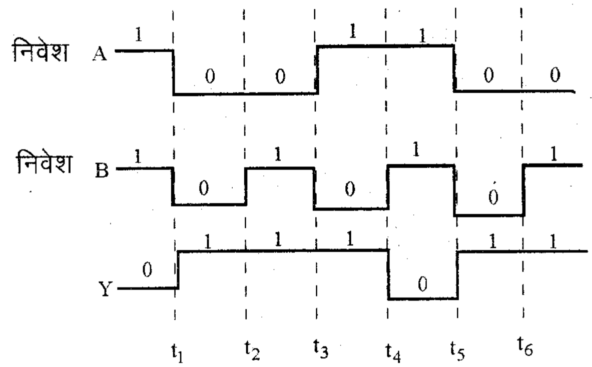
A	B	A . B	Y = $\overline{A.B}$
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

नेन्ड द्वार तथा नॉर द्वार अंकीय परिपथों के लिए निर्माण खण्ड (building blocks) के रूप में प्रयुक्त किए जाते हैं अर्थात् इनका उपयोग करके ओर द्वार, ऐन्ड द्वार तथा नॉट द्वार बनाये जा सकते हैं। इस कारण इन्हें **सार्वत्रिक द्वार (universal gate)** भी कहते हैं।

उदाहरण 25. नीचे दिखाए गए निवेश A तथा B के लिए NAND गेट के निर्गत Y को स्केच कीजिए।

हल–दिए गए तरंग स्वरूप के निवेशी A तथा B की विभिन्न स्थितियों के लिए एक 'NAND' द्वार का निर्गत निम्नानुसार होगा–

समय	निवेशी (A)	निवेशी (B)	A.B	निर्गत Y = $\overline{A.B}$
$t < t_1$	1	1	1	0
t_1 से t_2 तक	0	0	0	1
t_2 से t_3 तक	0	1	0	1
t_3 से t_4 तक	1	0	0	1
t_4 से t_5 तक	1	1	1	0
t_5 से t_6 तक	0	0	0	1
$t > t_6$	0	1	0	1



चित्र 16.86

अत: NAND द्वार के लिए निर्गत Y को उपरोक्त चित्र में प्रदर्शित त स्वरूप से व्यक्त कर सकते हैं।

16.13.6 XOR द्वार (XOR gate)

यह गेट 'NOT' गेट 'AND' गेट तथा 'OR' गेट का संयोजन है। इ एक्सक्लूसिव OR गेट के नाम से जानते है।

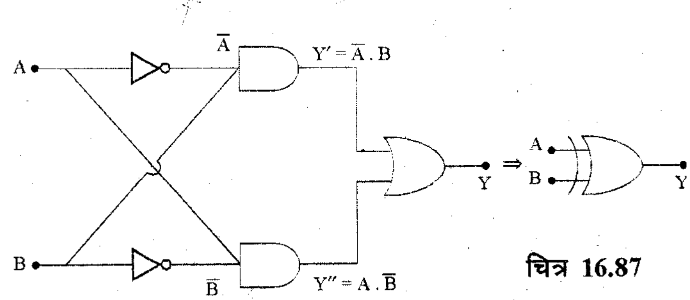
यह गेट निवेशी A या B के उच्च मान (1) के लिए उच्च निर्ग (1) देता है परन्तु दोनों निवेशी के उच्च होने पर निर्गम अल्प (0 प्राप्त होता है।

बूलीय व्यंजक तथा सत्य–सारणी

$$Y = A + B = \bar{A}B + A\bar{B}$$

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

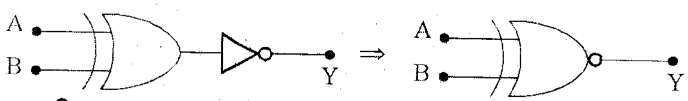
XOR गेट का संकेत–



चित्र 16.87

(XNOR) गेट : XOR + NOT → XNOR

बूलीय व्यंजक : $Y = A . B = \overline{A}\,\overline{B} + AB$



चित्र 16.88

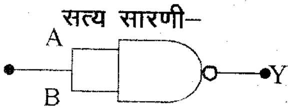
NAND गेट से अन्य लॉजिक गेट बनाना–

NAND गेट डिजिटल इलेक्ट्रॉनिक्स की निर्माण इकाई है, सभी लॉजिक गेटो OR, AND तथा NOT को NAND गेट का उपयोग करके बनाया जा सकता है।

(i) NAND गेट से NOT गेट का निर्माण–

जब NAND गेट के दोनों निवेशी टर्मिनलों को जोड़ दिया जाता है तो यह NOT गेट की तरह कार्य करता है।

सत्य सारणी–



चित्र 16.89

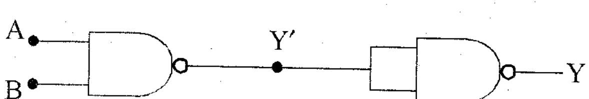
निवेशी	निर्गत
A = B	Y
0	1
1	0

(ii) NAND गेट से AND गेट का निर्माण–

जब NAND गेट के निर्गम को NOT गेट (NAND गेट से बना) के निवेशी टर्मिनल से जोड़ देते है तो यह संयोजन AND गेट की तरह कार्य करता है।

सत्य सारणी–

A	B	Y′	Y
0	0	1	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1



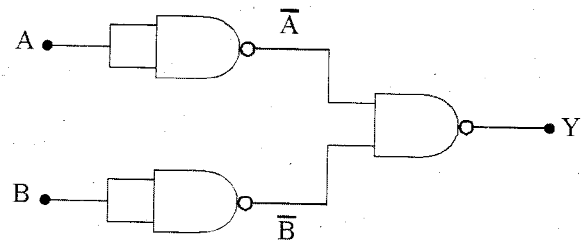
चित्र 16.90

(iii) NAND गेट से OR गेट का निर्माण–

जब दो NOT गेटों (NAND गेट से बने) से प्राप्त निर्गमों को NAND गेट के निवेशी टर्मिनलों से जोड़ देते है, इस प्रकार बना लॉजिक गेट OR गेट की तरह कार्य करता है।

सत्य सारणी–

A	B	$\overline{A}$	$\overline{B}$	Y
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	1
1	1	0	0	1



चित्र 16.91

महत्वपूर्ण तथ्य

(1) बूलीय अभिगृहीत तथा नियम :

(i) बूलीय अभिगृहीत :

$0 + A = A, \quad 1.A = A$

$1 + A = 1, \quad 0.A = 0, \quad A + \overline{A} = 1$

(ii) तत्समक नियम : $A + A = A, A . A = A$

(iii) निगेशन नियम : $\overline{\overline{A}} = A$

(iv) क्रम-विनिमेय नियम :

$A + B = B + A,$

$A . B = B . A$

(v) साहचर्य नियम :

$(A + B) + C = A + (B + C),$

$(A . B) . C = A . (B . C)$

(vi) वितरण नियम :

$A . (B + C) = A . B + A . C$

(vii) डी मार्गन नियम :

$\overline{A + B} = \overline{A} . \overline{B}, \qquad \overline{A.B} = \overline{A} + \overline{B}$

$A + B = A + B, \qquad A(\overline{A} + B) = AB$

अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

1. क्या यह संभव है कि दो PN संधि डायोडों को मिलाकर ट्रांजिस्टर बनाया जा सकता है?
2. ट्रांजिस्टर में उत्सर्जक सदैव अग्र बायस में तथा संग्राहक को सदैव उत्क्रम बायस में रखा जाता है, क्यों?
3. ट्रांजिस्टर में आधार को उत्सर्जक तथा संग्राहक की अपेक्षा बहुत पतला बनाया जाता है तथा इसमें अशुद्धि की सान्द्रता भी बहुत कम होती है, क्यों?
4. यदि ट्रांजिस्टर में उत्सर्जक को उत्क्रम अभिनति में तथा संग्राहक को अग्र अभिनति में रखा जाए तो ट्रांजिस्टर की कार्य प्रणाली पर क्या प्रभाव पड़ेगा?
5. क्या ट्रांजिस्टर में उत्सर्जक तथा संग्राहक को परस्पर परिवर्तित किया जा सकता है? समझाइए।
6. NPN तथा PNP ट्रांजिस्टर में कौन अधिक उपयोगी है और क्यों?

7. क्या कारण है कि उभयनिष्ठ आधार प्रवर्धक की तुलना में उभयनिष्ठ उत्सर्जक प्रवर्धक अधिक श्रेष्ठ होता है?
8. ट्रांजिस्टर को उभयनिष्ठ आधार प्रवर्धक के रूप में कब प्रयुक्त किया जाता है?
9. क्या कारण है कि ट्रांजिस्टर को 220 वोल्ट d.c. के साथ उपयोग में नहीं लाया जा सकता है?
10. ट्रांसफार्मर तथा प्रवर्धक में क्या अन्तर है?
11. CE परिपथ में निवेशी तथा निर्गत वोल्टता में कितना कलान्तर होता है?
12. NAND तथा NOR गेट सार्वत्रिक गेट क्यों कहलाते हैं?
13. लॉजिक गेट की सत्यता सारणी (truth table) क्या होती है?

उत्तरमाला

1. नहीं, क्योंकि इस प्रकार की व्यवस्था में आधार क्षेत्र बहुत अधिक होगा जिससे आधार धारा बहुत अधिक हो जाएगी तथा संग्राहक धारा लगभग शून्य हो जाएगी।
2. ट्रांजिस्टर में बहुसंख्यक आवेश वाहक आधार की ओर केवल तभी गति करेंगे जब उत्सर्जक अग्र बायस में हो। फिर ये आवेश वाहक आधार को पार कर संग्राहक में तभी प्रवेश करेंगे जबकि संग्राहक उत्क्रम बायस में हो।
3. इसका कारण है कि आधार क्षेत्र में बहुत कम इलेक्ट्रॉन तथा होल संयोग पर सकें तथा आधार धारा लगभग नगण्य हो जाए। इस स्थिति में संग्राहक धारा उत्सर्जक धारा के लगभग समान होगी तथा वोल्टता व शक्ति लाभ अधिक होंगे।
4. इस स्थिति में बहुसंख्यक आवेश वाहक उत्सर्जक से आधार की ओर नहीं जायेंगे। जिससे ट्रांजिस्टर से धारा प्रवाह संभव नहीं हो पाएगा।
5. नहीं। इसका कारण है कि उत्सर्जक में अपमिश्रण अधिक होता है तथा संग्राहक में अपमिश्रण अपेक्षाकृत कम होता है।
6. NPN, क्योंकि इलेक्ट्रॉनों की गतिशीलता अधिक होती है।
7. इसका कारण है कि उभयनिष्ठ उत्सर्जक प्रवर्धक के धारा लाभ तथा शक्ति लाभ, उभयनिष्ठ आधार प्रवर्धक की अपेक्षा अधिक होते हैं।
8. जब वोल्टता लाभ प्राप्त करना हो। इसका कारण यह है कि उभयनिष्ठ आधार प्रवर्धक का वोल्टता लाभ का मान उभयनिष्ठ उत्सर्जक प्रवर्धक के वोल्टता लाभ की अपेक्षा अधिक होता है।
9. इसका कारण है कि इस स्थिति में PN संधि पर उत्क्रम वोल्टता का मान, जेनर भंजन वोल्टता से बहुत अधिक हो जाएगा।
10. ट्रांसफार्मर में केवल वोल्टता अथवा धारा का प्रवर्धन होता है परन्तु शक्ति प्रवर्धन नहीं होता है। जबकि प्रवर्धक में वोल्टता तथा धारा प्रवर्धन के साथ-साथ शक्ति प्रवर्धन भी होता है।
11. 180°
12. NAND तथा NOR गेटों की सहायता से अन्य सभी गेट AND.OR तथा NOT प्राप्त किए जा सकते हैं।
13. किसी लॉजिक गेट की सत्यता सारणी उस गेट के लिए सभी संभव निवेशी संयोजनों तथा संगत निर्गत संयोजनों को सारणीबद्ध करती है।

विविध उदाहरण

Basic Level

उदाहरण 26. किसी जेनर नियंत्रित विद्युत आपूर्ति में नियंत्रण के लिए $V_z = 6.0$ V के साथ जेनर डायोड का उपयोग किया जाता है। लोड धारा का मान 4.0 mA रखा जाना है तथा अनियंत्रित निवेश वोल्टता 10.0V है। श्रेणी प्रतिरोधक R_S का मान क्या होना चाहिए?

हल–अच्छे लोड नियंत्रण के लिए आवश्यक है कि जेनर डायोड से प्रवाहित धारा लोड धारा से अधिक होनी चाहिए तथा यह लगभग 5 गुना होनी चाहिए अर्थात् यदि लोड धारा $I_L = 4$ मिली एम्पियर

तब जेनर डायोड से प्रवाहित धारा $I_z = 20$ मिली एम्पियर

अत: श्रेणी प्रतिरोध R_S से प्रवाहित धारा

$$I_S = (20 + 4) = 24 \text{ मिली एम्पियर}$$

∵ जेनर डायोड के सिरों पर विभवान्तर $V_z = 6$ वोल्ट तथा अनियन्त्रित निवेशी वोल्टता $V_i = 10$ वोल्ट अत:

श्रेणी प्रतिरोध R_S के सिरों पर विभवपात $V_S = 10 - 6 = 4$ वोल्ट

अत: श्रेणी प्रतिरोध $R_S = \frac{V_S}{I_S} = \frac{4}{24 \times 10^{-3}} = 167$ ओम

अत: 150 ओम का कार्बन प्रतिरोध, R_S के लिए प्रयुक्त किया जा सकता है।

उदाहरण 27. यह ज्ञात है कि पश्चदिशिक बायस की धारा (~ माइक्रो एम्पियर) की तुलना में अग्रदिशिक बायस की धारा (~ मिली एम्पियर) अधिक होती है तो फिर फोटोडायोड को पश्चदिशिक बायस में प्रचालित करने का क्या कारण है?

हल–क्योंकि पश्च बायस अवस्था में संतृप्त धारा के मान में वृद्धि केवल प्रकाश प्रभावों के कारण प्रेक्षित होती है जबकि अग्र बायस अवस्था में यह आरोपित वोल्टता की वृद्धि के कारण भी प्रेक्षित होती है. अत: प्रकाश की तीव्रता, पश्च बायस अवस्था में संतृप्त धारा की वृद्धि के समानुपाती होती है तथा इस आधार पर प्रकाश की तीव्रता का मापन आसानी से हो जाता है।

उदाहरण 28. जरमेनियम अर्धचालक में इलेक्ट्रॉन-होल युग्म उत्पन्न करने के लिये आपतित विकिरणों के फोटॉन के अधिकतम तरंगदैर्ध्य की गणना करो। जरमेनियम का वर्जित ऊर्जा अन्तराल 0.75 eV है।

हल–अर्धचालक में इलेक्ट्रॉन-होल युग्म उत्पन्न करने के लिए आपतित फोटॉनों की न्यूनतम ऊर्जा वर्जित ऊर्जा अन्तराल के बराबर होनी चाहिए, अर्थात् फोटॉन की न्यूनतम ऊर्जा $h\upsilon_{min} = \Delta E_g$

$$\therefore \quad \frac{hc}{\lambda_{max}} = \Delta E_g$$

या $$\lambda_{max} = \frac{hc}{\Delta E_g}$$

$$h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ Js}$$
$$c = 3 \times 10^8 \, ms^{-1}$$

तथा $$\Delta E_g = 0.75 \text{ eV} = 0.75 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\therefore \quad \lambda_{max} = \frac{6.62 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{0.75 \times 1.6 \times 10^{-19}} = 16560 \text{ Å}$$

उदाहरण 29. 1 सेमी. × 1 मिमी. × 1 मिमी. आकार की नैज

जरमेनियम छड़ का 300 K पर प्रतिरोध ज्ञात करो। 300 K पर जरमेनियम के लिए $n_i = 2.5 \times 10^{13}$ प्रति सेमी^{3} $\mu_e = 3900$ सेमी^{2} /वोल्ट × सेकण्ड और $\mu_h = 1900$ सेमी^{2} /वोल्ट × सेकण्ड।

हल–नैज जरमेनियम की प्रतिरोधकता

$$\rho_i = \frac{1}{en_i(\mu_e + \mu_h)}$$

$$= \frac{1}{1.6 \times 10^{-19} \times 2.5 \times 10^{13} \times (3900 + 1900)}$$

= 43.10 ओम-सेमी.

अब प्रतिरोध $R = \rho_i \frac{l}{A}$

यहाँ $l = 1$ सेमी, $A = 0.1 \times 0.1$ सेमी^{2}

$$R = \frac{43.10 \times 1}{0.01} = 4310 \text{ ओम}$$

उदाहरण 30. एक p-प्रकार के जरमेनियम क्रिस्टल में ग्राही परमाणुओं का संख्या घनत्व 4×10^{15} per cm^3 है। इस क्रिस्टल की चालकता 300 K पर ज्ञात करो। दिया हुआ है-300 K पर जरमेनियम के लिए $\mu_h = 1900$ cm^2 / V.s। यह माना गया है कि इस ताप पर सभी ग्राही परमाणु आयनीकृत हो जाते हैं।

हल–अपद्रव्यी अर्धचालक (p-प्रकार के लिए) चालकता

$$\sigma = e\, n_h\, \mu_h$$

यहाँ $n_h = 4 \times 10^{15}$ per cm^3

$= 4 \times 10^{21}$ per m^3

$\mu_h = 1900\ cm^2$ / V.s

$= 0.19\ m^2$ / V.s

∴ $\sigma = 1.6 \times 10^{-19} \times 4 \times 10^{21} \times 0.19$

$= 121.6 \quad \text{Ohm}^{-1}\text{m}^{-1}$

उदाहरण 31. एक सिलिकॉन के वेफर में फॉस्फोरस मिश्रित किया जाता है तथा उसकी मात्रा 10^{13} परमाणु प्रति घन-सेमी है। यदि सभी दाता परमाणु सक्रिय हों तो कमरे के ताप पर इसकी प्रतिरोधकता क्या होगी ? इलेक्ट्रॉन की गतिशीलता $\mu_e = 1250$ समी^{2}/वोल्ट-से. है। इलेक्ट्रॉन का आवेश 1.6×10^{-19} कूलॉम है।

हल–प्रश्नानुसार, दाता परमाणुओं की संख्या $N_D = 10^{13}$ परमाणु/सेमी^{3}

इलेक्ट्रॉन की गतिशीलता $\mu_e = 1250$ सेमी^{2}/वोल्ट-से.

इलेक्ट्रॉन का आवेश $e = 1.6 \times 10^{-19}$ कूलॉम

∴ प्रतिरोधकता $\rho = \frac{1}{N_D e \mu_e}$

$$= \frac{1}{10^{13} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 1250} = 500 \text{ ओम-सेमी}$$

उदाहरण 32. जरमेनियम में $N_D = 10^{17}$ प्रति घन-सेमी सान्द्रता के दाता परमाणुओं को मिलाने के पश्चात् उसकी चालकता ज्ञात कीजिए तथा इसकी नैज अर्ध-चालक की चालकता से तुलना कीजिये–

[$n_i = 2.5 \times 10^{13}$ /सेमी.^{3} तथा $\mu_e = 3800$ सेमी^{2}/वोल्ट-सेकण्ड]

हल–अपद्रव्यी अर्ध चालक की चालकता

$\sigma_{ex} = N_D e \mu_e$

$= 10^{17} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 3800$

= 60.8 म्हो/सेमी.

अब $$\frac{\sigma_{ex}}{\sigma_i} \simeq \frac{N_D\, e\, \mu_e}{n_i\, e\, \mu_e} \simeq \frac{N_D}{n_i}$$

$$= \frac{10^{17}}{2.5 \times 10^{13}} = 4000$$

उदाहरण 33. किसी P-N संधि डायोड की अग्र दिशिक अभिनति को 1.0 वोल्ट से बढ़ाकर 1.5 वोल्ट करने पर अग्र धारा का मान 6.5 मिली ऐम्पियर से 16.5 मिली ऐम्पियर हो जाता है। इसी डायोड की उत्क्रम अभिनति का मान 5 वोल्ट से 10 वोल्ट करने पर उत्क्रम धारा का मान 25 माइक्रोऐम्पियर से बढ़कर 50 माइक्रोऐम्पियर हो जाता है। इस डायोड का दोनों स्थितियों में गतिक प्रतिरोध ज्ञात कीजिये।

हल–दिया गया है अग्र अभिनति में

$$\Delta V_f = 1.5 - 1.0 = 0.5 \text{ V}$$

तथा अग्र दिशिक धारा में परिवर्तन

$$\Delta I_f = 16.5 - 6.5 = 10\ mA$$

अतः अग्र दिशिक गतिक प्रतिरोध

$$R_f = \frac{\Delta V_f}{\Delta I_f} = \frac{0.5 \text{ V}}{10\ mA}$$

$$= \frac{0.5 \text{ V}}{10 \times 10^{-3} \text{ A}} = 0.5 \times 10^2$$

= 50 ओम

(ii) उत्क्रम अभिनति के लिये

$$\Delta V_r = 10 - 5 = 5\text{V}$$

तथा संगत धारा परिवर्तन

$$\Delta I_r = 50 - 25 = 25\ \mu\text{A}$$

अतः उत्क्रम गतिक प्रतिरोध

$$R_r = \frac{\Delta V_r}{\Delta I_r}$$

$$= \frac{5 \text{ V}}{25 \mu\text{A}} = \frac{5}{25 \times 10^{-6}}$$

$$= \frac{1}{5} \times 10^6$$

$= 0.2 \times 10^6$ ओम = 0.2 मेगा ओम

उदाहरण 34. यदि उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास के लिए धारा लाभ 40 हो तो उभयनिष्ठ आधार विन्यास के लिए धारा लाभ ज्ञात करो।

हल–दिया गया है–$\beta = 40$, $\alpha = ?$

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

$$= \frac{40}{1 + 40} = \frac{40}{41} = 0.97 \text{ (मात्रकहीन)}$$

उदाहरण 35. एक उभयनिष्ठ-उत्सर्जक प्रवर्धक में आधार-धारा में 50 माइक्रोऐम्पियर की वृद्धि होने पर संग्राहक धारा में 1.0 मिलीऐम्पियर की वृद्धि होती है। धारा-लाभ β की गणना करिये। उत्सर्जक-धारा में क्या परिवर्तन होगा ? β के प्राप्त मान से α की गणना करिये।

हल–धारा लाभ, $$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{1.0 \times 10^{-3} \text{ ऐम्पियर}}{50 \times 10^{-6} \text{ ऐम्पियर}} = 20$$

आधार धारा, उत्सर्जक धारा व संग्राहक धारा का अन्तर होती है–

$$I_B = I_E - I_C$$

अथवा $\Delta I_B = \Delta I_E - \Delta I_C$

अथवा $\Delta I_E = \Delta I_B + \Delta I_C = (50 \times 10^{-6}) + (1000 \times 10^{-6})$

$= 1050 \times 10^{-6}$ ऐम्पियर

= 1050 माइक्रोऐम्पियर

हम जानते हैं कि $\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$; इससे

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} = \frac{20}{1 + 20} = \frac{20}{21}$$

उदाहरण 36. यदि किसी उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास के लिए धारा लाभ 50 तथा परिपथ में प्रवाहित आधारा धारा का मान 100 μA हो तो उत्सर्जक धारा का मान ज्ञात करो।

हल—दिया गया है–$\beta = 50$

$I_B = 100\ \mu A = 100 \times 10^{-6}$ A
$= 10^{-4}$ A

$I_E = ?$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

$I_C = \beta \times I_B$
$I_C = 50 \times 10^{-4}$
$I_E = I_B + I_C$
$= 10^{-4} + 5 \times 10^{-3}$
$= 0.1 \times 10^{-3} + 5 \times 10^{-3}$
$= 5.1 \times 10^{-3}\ \mu A = 5.1$ mA

उदाहरण 37. यदि उभयनिष्ठ आधार विन्यास के लिए धारा प्रवर्धन गुणांक 0.98 हो तो तथा उत्सर्जक धारा 2 mA हो तो निम्न ज्ञात करो।

(i) β (उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास के लिए धारा लाभ)

(ii) संग्राहक धारा

(iii) आधार धारा

हल—दिया गया है–$\alpha = 0.98$, $\beta = ?$ $I_E = 2$ mA, $I_C = ?$

(i) $$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$
$$= \frac{0.98}{1-0.98} = 49$$

(ii) $\alpha = \frac{I_C}{I_E}$ तो $I_C = I_E \times \alpha$

$I_C = 2 \times 10^{-3} \times 9.8$
$I_C = 1.96 \times 10^{-3}$ एम्पियर $= 1.96$ mA

(iii) $$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$
$$= \frac{1.96 \times 10^{-3}}{49 \times 100}$$

$I_B = 4 \times 10^{-5}$ एम्पियर
$I_B = 40 \times 10^{-6}$ एम्पियर $= 40\ \mu A$

उदाहरण 38. एक उभयनिष्ठ उत्सर्जक प्रवर्धक का धारा लाभ 50 है। यदि आधार धारा 250 माइक्रो ऐम्पियर हो तो उत्सर्जक धारा का मान ज्ञात कीजिये। अब यदि इसे उभयनिष्ठ आधार प्रवर्धक के रूप में प्रयोग में लाये तो उसकी उत्सर्जक धारा में 3 मिली ऐम्पियर का परिवर्तन करने पर संग्राहक धारा में कितना परिवर्तन होगा ?

हल—प्रश्नानुसार, $\beta = 50$, $I_B = 250$ माइक्रो ऐम्पियर
$= 250 \times 10^{-6}$ ऐम्पियर

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

∴ $I_C = \beta \times I_B = 50 \times 250 \times 10^{-6}$
$= 12.5 \times 10^{-3}$ ऐम्पियर

अतः $I_E = I_B + I_C = 0.25 \times 10^{-3} + 12.5 \times 10^{-3}$
$= 12.75 \times 10^{-3}$ ऐम्पियर
$= 12.75$ मिली ऐम्पियर

उभयनिष्ठ आधार विन्यास में

$$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} = \frac{\beta}{1+\beta}$$

∴ $$\Delta I_C = \Delta I_E \left(\frac{\beta}{1+\beta}\right) = 3 \times 10^{-3} \times \left(\frac{50}{1+50}\right)$$
$$= \frac{3 \times 10^{-3} \times 50}{51} = 2.94 \times 10^{-3} \text{ ऐम्पियर}$$
$= 2.94$ मिली ऐम्पियर

उदाहरण 39. एक PNP ट्रांजिस्टर के लिये धारा लाभ α का मान 0.95 है। यदि उसे उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास में जोड़ दिया जाये तो उसकी आधार धारा में 4 मिली ऐम्पियर का परिवर्तन करने पर संग्राहक धारा में कितना परिवर्तन होगा ?

हल—प्रश्नानुसार, $\alpha = 0.95$, $\Delta I_B = 4$ मिली ऐम्पियर
$= 4 \times 10^{-3}$ ऐम्पियर

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$
$$\Delta I_C = \Delta I_B \times \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)$$
$$= 4 \times 10^{-3} \times \left(\frac{0.95}{1-0.95}\right)$$
$$= 4 \times 10^{-3} \times \frac{0.95}{0.05} = 76 \times 10^{-3} \text{ ऐम्पियर}$$
$= 76$ मिली ऐम्पियर

उदाहरण 40. एक ट्रांजिस्टर उभयनिष्ठ-उत्सर्जक विन्यास में जोड़ा गया है। संग्राहक-विभव 8 वोल्ट है तथा संग्राहक परिपथ में लगे 800 ओम प्रतिरोध में विभव-पतन 0.5 वोल्ट है। यदि धारा-गुणांक (α) 0.96 हो तो आधार-धारा ज्ञात कीजिये।

हल—प्रत्यावर्ती धारा लाभ $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0.96}{1-0.96} = 24$

$$\text{संग्राहक धारा, } I_C = \frac{\text{संग्राहक प्रतिरोध के सिरों पर विभव − पतन}}{\text{प्रतिरोध}}$$
$$= \frac{0.5}{800} = 0.625 \times 10^{-3} \text{ एम्पियर।}$$

परन्तु $\beta = \frac{I_C}{I_B}$, जहाँ I_B आधार-धारा है।

∴ $$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{0.625 \times 10^{-3}}{24}$$
$= 26 \times 10^{-6}$ एम्पियर $= 26$ माइक्रोएम्पियर।

उदाहरण 41. एक प्रवर्धक परिपथ में ट्रांजिस्टर उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास में प्रयुक्त किया गया है। आधार धारा में 40 माइक्रोऐम्पियर का परिवर्तन संग्राहक धारा में 2 मिलीऐम्पियर का परिवर्तन करता है तथा आधार-उत्सर्जक वोल्टता में 0.04 वोल्ट का परिवर्तन हो रहा है। ज्ञात कीजिये (i) निवेशी प्रतिरोध (ii) धारा प्रवर्धन गुणांक। यदि संग्राहक परिपथ में 6 किलो ओम का लोड प्रतिरोध प्रयुक्त किया जाये तो प्रवर्धक का वोल्टता लाभ भी ज्ञात कीजिये।

हल—उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास में

(i) निवेशी प्रतिरोध

$$R_i = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B}$$

$$= \frac{0.04}{40 \times 10^{-6}}$$
$$= 1000\ \Omega = 1\ K\Omega$$

(ii) धारा प्रवर्धन गुणांक

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$
$$= \frac{2 \times 10^{-3}}{40 \times 10^{-6}} = 50$$

वोल्टता लाभ

$$A_V = \beta \frac{R_L}{R_i} = 50 \times \frac{6}{1} = 300$$

उदाहरण 42. एक उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास में 5 किलो ओम प्रतिरोध के सिरों के बीच वोल्टता पतन 5 वोल्ट है। यदि ट्रांजिस्टर का धारा लाभ $\alpha = 0.98$ हो तो आधार धारा I_B का मान ज्ञात कीजिये।

हल–प्रश्नानुसार, $R_L = 5$ किलोओम $= 5 \times 10^3$ ओम

$V_0 = 5$ वोल्ट

$\alpha = 0.98$

$V_0 = R_L I_C$

$$\therefore \quad I_C = \frac{V_0}{R_L} = \frac{5}{5 \times 10^3} = 1 \times 10^{-3} \text{ ऐम्पियर}$$
= 1 मिली ऐम्पियर

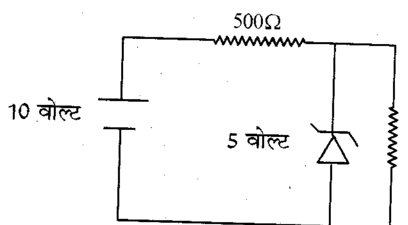
$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0.98}{1-0.98} = 49$$

लेकिन $\quad \beta = \dfrac{I_C}{I_B}$

$$\therefore \quad I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1 \times 10^{-3}}{49} = \frac{1000 \times 10^{-6}}{49}$$
$= 20.4 \times 10^{-6}$ ऐम्पियर

= 20.4 माइक्रो ऐम्पियर

उदाहरण 43. निम्न परिपथ में 1kΩ प्रतिरोध से प्रवाहित धारा ज्ञात कीजिए-



चित्र 16.92

हल- यहाँ दिए गए परिपथ में जेनर डायोड का उपयोग वोल्टता नियंत्रक युक्ति के रूप में किया गया है।

1kΩ प्रतिरोध पर वोल्टता 5 वोल्ट है।

अत: 1kΩ प्रतिरोध से प्रवाहित धारा

$$I = \frac{5}{1 \times 10^3} = 5 \times 10^{-3} \text{ एम्पियर}$$

Advance Level

उदाहरण 44. एक शुद्ध जरमेनियम अर्ध-चालक के प्रतिदर्श को 300 K पर प्रति 4×10^8 जरमेनियम परमाणुओं में एक इन्डियम (In) परमाणु की अशुद्धि की दर से मादित (doped) किया जाता है। यदि जरमेनियम के प्रतिदर्श में परमाणु संख्या घनत्व 4.4×10^{28} प्रति मी³ हो तो (i) आवेश वाहकों की प्रकृति तथा (ii) बहुसंख्यक आवेश वाहकों का घनत्व क्या होगा ?

हल–जरमेनिमय प्रतिदर्श में इन्डियम की अशुद्धि मिलाने से बहुसंख्यक आवेश वाहकों की प्रकृति होल होती है अर्थात् इस अशुद्धि से P अर्धचालक बन जाता है।

जरमेनियम परमाणुओं की संख्या $N = 4.4 \times 10^{28}$ प्रति मी.³

इन्डियम परमाणु की अशुद्धि = 1 प्रति 4×10^8 Ge परमाणु

$$\therefore \quad \text{दाता परमाणु घनत्व } N_A = \frac{4.4 \times 10^{28}}{4 \times 10^8}$$
$= 1.1 \times 10^{20}$ परमाणु प्रति मी³

$\therefore$ बहुसंख्यक आवेश वाहकों (होल) का घनत्व

$P_p = N_A = 1.4 \times 10^{20}$ प्रति मी³

उदाहरण 45. जरमेनियम में दाता सान्द्रता ज्ञात कीजिये यदि उसकी प्रतिरोधकता 0.015 ओम-मीटर है तथा $\mu_e = 6.36$ मी² / वोल्ट-सेकण्ड है। समान प्रतिरोधकता के P जरमेनियम के लिए पुनः आकलन करो, $\mu_h = 0.17$ मी² /वोल्ट सेकण्ड।

हल–N जरमेनियम की चालकता $\sigma = \mu_e e n_e$

तथा प्रतिरोधकता $\rho = \dfrac{1}{\sigma}$

$$n = \frac{1}{\mu_e e \rho}$$

प्रश्नानुसार, $\rho = 0.015$ ओम-मीटर

$\mu_e = 6.36$ मी²/वोल्ट-सेकण्ड

$e = 1.6 \times 10^{-19}$ कूलॉम

$$\therefore \quad n_e = \frac{1}{\mu_e e \rho} = \frac{1}{6.36 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 0.015}$$
$= 6.55 \times 10^{19}$ प्रति मी.³

इसी प्रकार $\quad n_h = \dfrac{1}{\mu_h e \rho}$

$$= \frac{1}{0.17 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 0.015}$$
$= 2.45 \times 10^{21}$ प्रति मी³

उदाहरण 46. किसी P-N संधि डायोड में 290 K ताप पर संतृप्ति धारा 0.50 mA है, इस ताप पर जब बायस वोल्टता 1.0 mV हो तो धारा का मान ज्ञात कीजिये।

(बोल्टजमान नियतांक $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K तथा $e^{0.04} = 1.0408$)

हल–P-N डायोड में धारा

$$I = I_0 (e^{qV/kT} - 1)$$

प्रश्नानुसार $\quad T = 290$ K. $V = 1.0$ m V $= 10^{-3}$V, $I_0 = 0.5$ mA

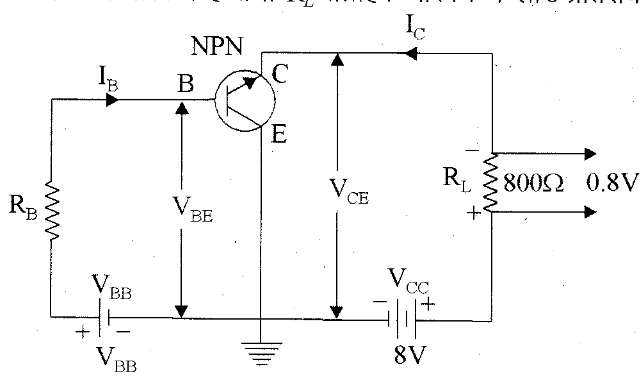
$$T = 290 \text{ K पर } \frac{qV}{kT} = \frac{1.6 \times 10^{-19} V}{1.38 \times 10^{-23} \times 290} = 40 V$$
$= 40 \times 10^{-3} = 0.04$

$$\therefore \quad I = 0.5 (e^{0.04} - 1) = 0.020 \text{ mA}$$

उदाहरण 47. N-P-N ट्रांजिस्टर को उभयनिष्ठ-उत्सर्जक विन्यास में जोड़ा गया है। इसमें संग्राहक सम्भरण 8 V है तथा 800 ओम-प्रतिरोध के सिरों के बीच (जो संग्राहक परिपथ में जोड़ा गया है) विभव-पतन 0.8 V है। यदि धारा-प्रवर्धन गुणांक 25 हो तो संग्राहक-उत्सर्जक वोल्टता तथा आधार-धारा ज्ञात कीजिये। यदि ट्रांजिस्टर का आन्तरिक प्रतिरोध

ा 200 ओम है तो वोल्टेज-लाभ एवं शक्ति-लाभ की गणना कीजिये।

हल—एक उभयनिष्ठ-उत्सर्जक N-P-N प्रवर्धक का परिपथ संलग्न चित्र में दिखाया गया है। V_{CC} तथा V_{BB} क्रमशः संग्राहक-सम्भरण तथा आधार-सम्भरण वोल्टेज हैं तथा R_L संग्राहक परिपथ में लोड-प्रतिरोध है।



चित्र 16.93

$$\text{संग्राहक-धारा, } I_C = \frac{R_L \text{ के सिरों के बीच विभव – पतन}}{R_L}$$

$$= \frac{0.8}{800} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ ऐम्पियर।}$$

संग्राहक-उत्सर्जक वोल्टेज,

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_L = 8 - 0.8 = \mathbf{7.2 \text{ वोल्ट}}\text{।}$$

धारा-प्रवर्धन गुणक अथवा धारा-लाभ,

$$\beta = 25$$

परन्तु $\beta = \frac{I_C}{I_B}$

$$\therefore \quad I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1.0 \times 10^{-3} \text{ ऐम्पियर}}{25}$$

$$= 0.04 \times 10^{-3} \text{ ऐम्पियर} = \mathbf{40\ \mu A.}$$

वोल्टेज-लाभ, $A_V = \beta \frac{R_L}{R_B} = 25 \times \frac{800}{200} = 100$

शक्ति-लाभ (वोल्टेज × धारा-लाभ) $A_p = \beta^2 \frac{R_L}{R_B}$

$$= (25)^2 \times \frac{800}{200} = 2500$$

अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

प्रश्न 1. संयोजी बैण्ड तथा चालन बैण्ड के मध्य के ऊर्जा अन्तराल को क्या कहते हैं ?

प्रश्न 2. वर्जित ऊर्जा अन्तराल का मान कुचालक, चालक तथा अर्ध चालक में कितना होता है ?

प्रश्न 3. कुचालक की प्रतिरोधकता कितनी होती है ?

प्रश्न 4. अर्ध-चालक की चालकता की तुलना, चालक व कुचालक से किस प्रकार कर सकते हैं ?

प्रश्न 5. नैज अर्ध चालक से क्या तात्पर्य है ?

प्रश्न 6. जरमेनियम तथा सिलिकन में वर्जित ऊर्जा अन्तराल (ΔE_g) का मान कितना होता है ?

प्रश्न 7. शुद्ध जरमेनियम, परमशून्य ताप पर कुचालक क्यों होता है ?

प्रश्न 8. होल (कोटर) से क्या तात्पर्य होता है ?

प्रश्न 9. शुद्ध अर्धचालकों में मुक्त इलैक्ट्रॉन व होल की संख्या का अनुपात कितना होता है ?

प्रश्न 10. बाह्य अर्धचालक से क्या तात्पर्य है ?

प्रश्न 11. बाह्य अर्धचालक कितने प्रकार के होते हैं ?

प्रश्न 12. N प्रकार के अर्ध चालक का निर्माण करने में लिए कैसी अशुद्धि मिलाई जाती है ?

प्रश्न 13. P-प्रकार के अर्धचालक का निर्माण करने के लिए कैसी अशुद्धि मिलाई जाती है ?

प्रश्न 14. अशुद्धि मिलाने की प्रक्रिया को क्या कहते हैं ?

प्रश्न 15. N-प्रकार के अर्ध चालक में बहु संख्यक आवेश वाहक कौन होते हैं ?

प्रश्न 16. P-प्रकार के अर्ध चालक में बहुसंख्यक आवेश वाहक कौन होते हैं ?

प्रश्न 17. *P-N* सन्धि डायोड क्या होता है ?

प्रश्न 18. अवक्षय परत का निर्माण कैसे होता है ?

प्रश्न 19. अग्र-बायस तथा पश्च-बायस में क्या अन्तर है ?

प्रश्न 20. अग्र बायस तथा पश्य-बायस में, अवक्षय परत पर क्या प्रभाव पड़ता है ?

प्रश्न 21. जेनर वोल्टता से क्या तात्पर्य है ?

प्रश्न 22. अग्र बायस तथा पश्च बायस में प्रतिरोध का मान कितना होता है ?

प्रश्न 23. अग्र बायस में धारा प्रवाह किनके कारण होता है ?

प्रश्न 24. पश्च बायस में धारा प्रवाह के लिए कौन जिम्मेदार होता है ?

प्रश्न 25. दिष्टकारी को परिभाषित करो ?

प्रश्न 26. अर्ध तरंग दिष्टकारी तथा पूर्ण तरंग दिष्ट कारी में क्या अन्तर है ?

प्रश्न 27. अर्ध तरंग दिष्टकारी तथा पूर्ण तरंग दिष्टकारी में क्रमशः कितने डायोड होते हैं ?

प्रश्न 28. ट्रांजिस्टर के तीनों टर्मिनल के नाम लिखो।

प्रश्न 29. उत्सर्जक तथा संग्राहक के क्या कार्य है।

प्रश्न 30. उत्सर्जक, आधार पर संग्राहक में सबसे अधिक डोपिंग किसमें होती है तथा सबसे अधिक क्षेत्रफल किसका होता है ?

प्रश्न 31. ट्रांजिस्टर कितने प्रकार के होते हैं ?

प्रश्न 32. ट्रांजिस्टर के प्रचालन के लिए, ट्रांजिस्टर को किस प्रकार बायसित किया जाता है।

प्रश्न 33. उत्सर्जक धारा, आधार धारा तथा संग्राहक धारा में क्या सम्बन्ध है ?

प्रश्न 34. उभयनिष्ठ आधार विन्यास में निर्गत धारा तथा निर्गत वोल्टता किससे प्रदर्शित की जाती है ?

प्रश्न 35. धारा प्रवर्धन गुणांक को परिभाषित करो।

प्रश्न 36. उभयनिष्ठ आधार विन्यास में धारा प्रवर्धन गुणांक को लिखो।

प्रश्न 37. निवेशी अभिलाक्षणिक वक्र किन-किन के मध्य खींचा जाता है।

प्रश्न 38. निर्गत अभिलाक्षणिक वक्र कैसे खींचा जाता है ?

प्रश्न 39. उभयनिष्ठ आधार विन्यास तथा उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास में धारा लाभ के सूत्र लिखो।

प्रश्न 40. α व β में सम्बन्ध लिखो।

प्रश्न 41. यदि α का मान 0.99 हो तो β का मान ज्ञात करो।

प्रश्न 42. देहली वोल्टता (Threshold voltage) से क्या तात्पर्य

है ?

प्रश्न 43. प्रवर्धक से क्या तात्पर्य है ?

प्रश्न 44. प्रवर्धक के रूप में कौन-कौन से परिपथ काम में लिए जाते हैं ?

प्रश्न 45. उभयनिष्ठ संग्राहक विन्यास का उपयोग किस रूप में किया जाता है।

प्रश्न 46. बाइनरी पद्धति क्या होती है?

प्रश्न 47. बाइनरी योग के नियम क्या है?

प्रश्न 48. तर्क द्वार (logic gates) क्या होते हैं?

प्रश्न 49. मूल तर्कद्वार कितने होतें हैं?

उत्तरमाला

1. वर्जित ऊर्जा अन्तराल (ΔE_g)।

2. कुचालक $\Delta E_g \geq 3eV$
चालक $\Delta E_g = 0$
अर्धचालक $\Delta E_g \simeq 1\ eV$

3. $10^{11}\ \Omega \times m$ से $10^{19}\ \Omega \times m$

4. अर्धचालक की चालकता, चालक से कम परन्तु कुचालक की चालक से अधिक होती है।

5. प्रकृति से प्राप्त शुद्ध जरमेनियम तथा सिलिकॉन नैज अर्धचालक कहलाते हैं।

6. जरमेनियम (Ge) $\Delta E_g \simeq 0.7\ eV$
सिलिकन (Si) $\Delta E_g \simeq 1.1\ eV$

7. कोई भी मुक्त इलेक्ट्रॉन नहीं होता।

8. इलेक्ट्रॉन की कमी।

9. 1 : 1

10. शुद्ध अर्धचालक की चालकता बढ़ाने के लिए इसमें अशुद्धि मिलाई जाती है। अशुद्धि युक्त, अर्ध चालक को बाह्म या अशुद्ध अर्ध-चालक कहते हैं।

11. *N*-प्रकार व *P*-प्रकार को।

12. पंच-संयोजी पदार्थ जैसे As, P, Sb

13. त्रि-संयोजी पदार्थ जैसे In, B, Al

14. डोपिंग (Dopping)

15. इलेक्ट्रॉन

16. होल।

17. *P* व *N* प्रकार अर्धचालकों को आपस में जोड़ने पर प्राप्त सन्धि P - N सन्धि कहलाती है। इस युक्ति को P–N संधि डायोड कहते हैं।

18. P भाग से होल तथा N भाग से इलेक्ट्रॉन आपस में मिलकर उदासीन परत का निर्माण करते हैं। इसे अवक्षय परत कहते हैं।

19. अग्र बायस में P-N सन्धि डायोड के P अर्ध चालक का सम्बन्ध बैटरी के धनाग्र से तथा N अर्ध चालक का समबन्ध बैटरी के ऋणाग्र से किया जाता है। इसके विपरीत पश्च बायस में P-N सन्धि डायोड के P भाग को बैटरी के ऋणाग्र से तथा N भाग को बैटरी के धनाग्र से जोड़ा जाता है।

20. अग्र बायस की स्थिति में अवक्षय परत पतली हो जाती हैं जबकि पश्च बायस की स्थिति में यह चौड़ी हो जाती है।

21. जेनर वोल्टता वह क्रांतिक पश्च वोल्टता है जिस पर जेनर डायोड से एकाएक अत्यधिक मान की धारा प्रवाहित होती है।

22. अग्र बायस में प्रतिरोध $R_f = 100$ ओम
पश्च बायस में प्रतिरोध $R_r = 10^6$ ओम

23. अग्र बायस की स्थिति में बहुसंख्यक आवेश वाहकों के कारण धारा प्रवाहित होती है।

24. पश्च बायस में अल्प संख्यक आवेश वाहकों के कारण धारा प्रवाहित होती है।

25. दिष्टकारी वह साधन है जिसकी सहायता से प्रत्यावर्ती वोल्टता का दिष्ट वोल्टता में रूपान्तरित कर सकते हैं।

26. अर्ध तरंग दिष्टकारी आधी तरंग का दिष्टकरण करता है जबकि पूर्ण तरंग का दिष्टकरण होता है।

27. अर्ध तरंग दिष्टकारी में एक जबकि पूर्ण तरंग दिष्टकारी में दो डायोड होते हैं।

28. (अ) उत्सर्जक (Emitter)
(ब) संग्राहक (Collector)
(स) आधार (Base)

29. ट्रांजिस्टर के उत्सर्जक का कार्य, बहुसंख्यक आवेश वाहकों का उत्सर्जन करना है जबकि संग्राहक का कार्य इन्हें संग्राहित करना है।

30. ट्रांजिस्टर में सबसे अधिक डोपिंग वाला भाग उत्सर्जक होता है जबकि संग्राहक सबसे अधिक क्षेत्रफल वाला भाग होता है।

31. ट्रांजिस्टर दो प्रकार का होता है–
(i) N-P-N ट्रांजिस्टर (ii) P-N-P ट्रांजिस्टर

32. ट्रांजिस्टर के प्रचालन के लिए निवेशी परिपथ को अग्र बायस तथा निर्गत परिपथ को पश्च बायस किया जाता है।

33. $I_E = I_B + I_C$

34. निर्गत धारा– I_C
निर्गत वोल्टता– V_{CB}

35. निर्गत धारा तथा निवेशी धारा का अनुपात, धारा प्रवर्धन गुणांक कहलाता है।

36. $\alpha = \frac{I_C}{I_E}$

37. निवेशी अभिलाक्षणिक वक्र, निवेशी वोल्टता तथा निवेशी धारा क
मध्य खींचा गया आलेख होता है जिसमें निर्गत वोल्टता को नियत रखा जाता है।

38. निवेशी धारा को नियत रखकर, निर्गत वोल्टता तथा निर्गत धारा में आलेख खींचा जाता है।

39. उभयनिष्ठ आधार विन्यास में धारा लाभ

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास में धारा लाभ

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

40. $\alpha = \frac{\beta}{1+\beta}$ या $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$

41. $\beta = \frac{0.99}{1-0.99} = \frac{0.99}{0.01} = 99$

42. देहली वोल्टता वह वोल्टता है, जिससे कम वोल्टता पर परिपथ में धारा प्रवाहित नहीं होती।

43. प्रर्वधक वह उपकरण है जिससे निवेशी संकेत के आयाम को बढ़ाया जाता है।

44. प्रवर्धक के रूप में उभयनिष्ठ आधार तथा उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास को काम में लिया जाता है।

45. प्रतिबाधा सुमेलन (Impedance matching) में।

46. यह तर्क की एक गणितीय पद्धति है। इसमें केवल दो चर होते हैं, सत्य या यथार्थ (true) तथा असत्य या मिथ्या (false)। इन चरों का आंकिक संकेतन क्रमशः 1 तथा 0 से होता है।

47. बाइनरी योग के निम्न चार नियम होते हैं–
$0 + 0 = 0; 0 + 1 = 1; 1 + 0 = 1$ तथा $1 + 1 = 10$

48. द्विआधारी तार्किक निष्कर्षों को विशिष्ट इलेक्ट्रॉनिक परिपथों द्वारा प्राप्त किया जा सकता है। इन परिपथों को तर्क द्वार कहते हैं तथा ये प्रमुख संरचना खण्ड होते हैं।

49. AND द्वार, OR द्वार तथा NOT द्वार मूल तर्कद्वार होते हैं।

पाठ्यपुस्तक के प्रश्न-उत्तर

वस्तुनिष्ठ प्रश्न

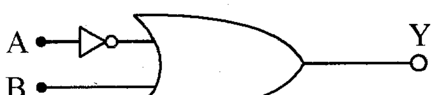
1. परमशून्य ताप पर नैज जर्मेनियम और नैज सिलिकॉन होते हैं–
(अ) अतिचालक (ब) अच्छे अर्धचालक
(स) आदर्श कुचालक (द) चालक

2. कुचालक में संयोजकता बैंड और चालन बैंड के मध्य वर्जित ऊर्जा अन्तराल निम्निलिखित कोटि का होता है
(अ) 1 eV (ब) 6 eV
(स) 0.1 eV (द) 0.01 eV

3. नैज सिलिकॉन में कक्ष ताप पर आवेश वाहकों की प्रति एकांक आयतन संख्या $1.6 \times 10^{16} / m^3$ है। यदि इलेक्ट्रॉन की गतिशीलता $0.150\ m^2 V^{-1} s^{-1}$ तथा होल गतिशीलता $0.05\ m^2 V^{-1} s^{-1}$ है, तो सिलिकॉन की चालकता ($\Omega^{-1} m^{-1}$ में) है
(अ) 1.28×10^{-4} (ब) 3.84×10^{-4}
(स) 5.12×10^{-4} (द) 2.14×10^{-4}

4. एक NPN ट्रांजिस्टर को प्रवर्धक की तरह उपयोग में लाया जा रहा है तो–
(अ) इलेक्ट्रॉन आधार से संग्राहक की ओर चलते हैं
(ब) होल उत्सर्जक से आधार की ओर चलते हैं
(स) होल आधार से उत्सर्जक की ओर चलते हैं
(द) इलेक्ट्रॉन उत्सर्जक से आधार की ओर चलते हैं

5. संलग्न चित्र में दिये गये परिपथ के लिये बूलीय समीकरण होगा।



चित्र 16.94

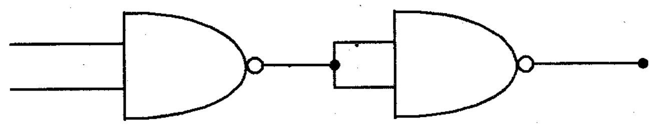
(अ) $Y = A + \overline{B}$ **(ब)** $Y = \overline{A + B}$
(स) $Y = \overline{A} + B$ **(द)** $Y = \overline{A} \cdot B$

6. किसी 'एन्ड द्वार' के लिये तीन निवेशी क्रमशः A, B व C है तो इसका निर्गत Y होगा
(अ) $Y = A \cdot B + C$ **(ब)** $Y = A + B + C$
(स) $Y = A + B \cdot C$ **(द)** $Y = A \cdot B \cdot C$

7. किसी ट्रांजिस्टर के उभयनिष्ठ आधार परिपथ में धारा प्रवर्धन गुणांक 0.95 है। जब उत्सर्जक धारा 2 mA है तब आधार धारा है
(अ) 0.1 mA (ब) 0.2 mA
(स) 0.19 mA (द) 1.9 mA

8. जर्मेनियम में वर्जित ऊर्जा अन्तराल लगभग 0.7 eV है। वह तरंग दैर्ध्य जिसका अवशोषण जर्मेनियम प्रारंभ करता है, लगभग है
(अ) 35000 Å (ब) 17700 Å
(स) 25000 Å (द) 51600 Å

9. चित्र में प्रदर्शित दो NAND द्वारों से प्राप्त तर्क द्वार है


चित्र 16.95

(अ) AND द्वार (ब) OR द्वार
(स) XOR द्वार (द) NOR द्वार

10. दो सर्वसम PN संधियाँ एक बैटरी के साथ श्रेणीक्रम में चित्र के अनुसार जोड़ी जा सकती है किन संधियों के लिए विभव पतन बराबर है
(अ) परिपथ 1 व 2 में (ब) परिपथ 2 व 3 में
(स) परिपथ 3 व 1 में (द) केवल परिपथ 1 में

उत्तरमाला

प्रश्न क्रमांक	1	2	3	4	5	6	7	8
उत्तर	(स)	(ब)	(स)	(द)	(स)	(द)	(अ)	(ब)
प्रश्न क्रमांक	9	10						
उत्तर	(अ)	(ब)						

हल एवं संकेत (बहुचयनात्मक प्रश्न)

1. (स)
2. (ब)
3. (स) प्रति एकांक आयतन आवेश वाहकों की संख्या (n_i)
$= 1.6 \times 10^{16}\ m^{-3}$

नैज अर्द्धचालकों के लिए $n_e = n_h = n_i$

इलेक्ट्रॉन गतिशीलता $\mu_e = 0.150\ m^2V^{-1}s^{-1}$

होल गतशीलता $\mu_h = 0.05\ m^2V^{-1}s^{-1}$

सिलिकन की चालकता $\sigma = ?$

$$\sigma = e(n_e\mu_e + n_h.\mu_h)$$

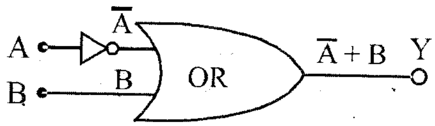
$$\sigma = 1.6 \times 10^{-19} [1.6 \times 10^{16} \times 0.150 + 1.6 \times 10^{16} \times 0.05]$$

$$\sigma = 1.6 \times 10^{-19} \times 1.6 \times 10^{16}$$

$$[0.150 + 0.05]$$
$$\sigma = 2.56 \times 10^{-3} \times 0.20$$
$$\sigma = 5.12 \times 10^{-4}\ \Omega^{-1}m^{-1}$$

4. (द) NPN ट्रांजिस्टर में धारा आधार से उत्सर्जक की ओर बहती है, अतः इलेक्ट्रॉन धारा की दिशा के ठीक विपरीत उत्सर्जक से आधार की ओर चलते हैं।

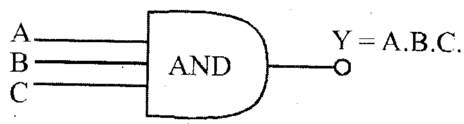
5. (स)



चित्र 16.96

$$Y = \bar{A} + B$$

6. (द)

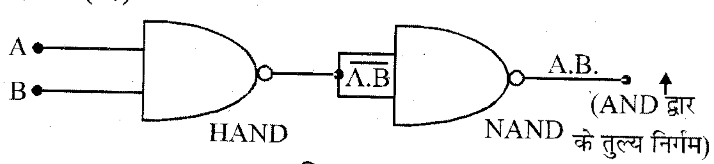


चित्र 16.97

7. (अ)
$$\alpha = 0.95$$
$$I_C = \alpha . I_E = 0.95 \times 2 = 1.90\text{mA}$$
$\therefore$ $$I_B = I_E - I_C = 2 - 1.90 = 0.1\text{ mA}$$

8. (ब)
$$\Delta Eg = 0.7\text{ eV}$$
$$= 0.7 \times 1.6 \times 10^{-19}\text{ J}$$
$\because$ $$\frac{hC}{\lambda} = \Delta Eg$$
$\therefore$ $$\lambda = \frac{hC}{\Delta Eg}$$
या $$\lambda = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{0.7 \times 1.6 \times 10^{-19}}$$
या $$\lambda = 17.7 \times 10^{-7}\text{ m.}$$
$\therefore$ $$\lambda = 17700 \times 10^{-10}\text{ m.}$$
$$= 17700\text{ Å}$$

9. (अ)



चित्र 16.98

10. (ब) चित्र नहीं है।

अतिलघुत्तरात्मक प्रश्न

1 संधि डायोड में विसरण धारा की दिशा क्या होती है?

उत्तर– P भाग से N भाग की ओर होती है।

2 ट्रांजिस्टर के लिये धारा प्रवर्धन गुणोंका α व β में सम्बन्ध लिखिये।

उत्तर– $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$ या $\alpha = \frac{\beta}{\beta+1}$

3 क्या किसी अनअभिनत P-N संधि पर उपस्थित रोधिका विभव को संधि के सिरों के मध्य वोल्टमीटर जोड़ कर नापा जा सकता है?

उत्तर– नहीं।

4 ओर द्वार के लिये सत्यता सारणी बनाईये।

उत्तर– OR द्वार के लिये सत्यता सारणी

निवेश		निर्गम
A	B	Y = A + B
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

5 उस तर्क द्वार का नाम लिखिये जिसमें निर्गत तब ही 1 होता है जब सभी निवेशी 1 होते हैं।

उत्तर– AND द्वार।

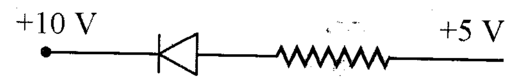
6 ट्रांजिस्टर को प्रवर्धक के रूप में काम लाने के लिये कौनसी संधि पश्च बायसित की जाती है?

उत्तर– आधार संग्राहक संधि पश्च बायसित की जाती है।

7 उस ट्रांजिस्टर के लिये α का मान क्या होगा जिसके लिये $\beta = 19$ है?

उत्तर– $\alpha = \frac{\beta}{\beta+1} = \frac{19}{19+1} = \frac{19}{20} = 0.95$

8 चित्र में प्रदर्शित डायोड किस अभिनति में है?



चित्र 16.99

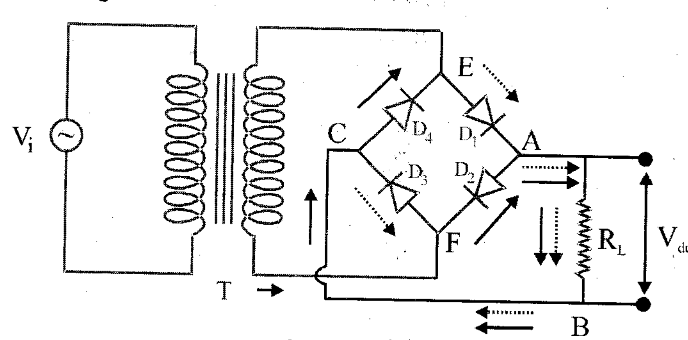
उत्तर– चित्र में प्रदर्शित डायोड पश्च अभिनति में है। ($\because V_N > V_P$)

लघुत्तरात्मक प्रश्न

1 दिष्टकरण क्या है? सेतु तरंग दिष्टकारी का परिपथ चित्र बनाईये।

उत्तर– प्रत्यावर्ती धारा को दिष्टधारा में रूपान्तरित करने की प्रक्रिया दिष्टकरण कहलाती है।

सेतु तरंग दिष्टकारी का परिपथ चित्र–



चित्र 16.100

2 **ट्रांजिस्टर में उत्सर्जक एवं संग्राहक की तुलना में आधार को बहुत पतला क्यों बनाया जाता है?**

उत्तर– उत्सर्जक व संग्राहक की तुलना में आधार इसलिये पतला बनाया जाता है, (लगभग 1%) बहुत कम संख्या में होल तथा इलेक्ट्रॉन संयोग कर सकें तथा आधार धारा लगभग नगण्य हो जाए तथा उत्सर्जक धारा व संग्राहक धारा लगभग समान बनी रहे। इस स्थिति में वोल्टता लाभ एवं शक्ति लाभ अधिक प्राप्त होते हैं।

3 **आदर्श PN संधि डायोड के लिये संपूर्ण I-V अभिलाक्षणिक वक्र बनाईये। अग्र बायस अवस्था में गतिक प्रतिरोध परिभाषित कीजिये।**

उत्तर– **सम्पूर्ण I–V अभिलाक्षणिक वक्र–**

अनुच्छेद 16.6.2 पर देखें।

अग्र बायस अवस्था में गतिक प्रतिरोध–

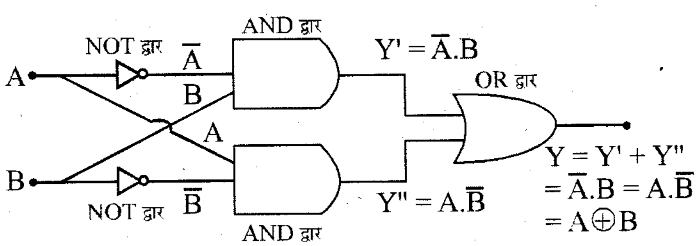
अग्र बायस अवस्था में P–N संधि डायोड के लिए, गतिक प्रतिरोध किसी निर्धारित अग्र वोल्टता पर अग्र बायस वोल्टता में परिवर्तन तथा अग्र बायस धारा में संगत परिवर्तन (ΔI_f) का अनुपात होता है।

अर्थात् गतिक प्रतिरोध $R_d = \left(\frac{\Delta V_f}{\Delta I_f}\right)\Omega$

अग्र बायस के लिए गतिक प्रतिरोध किसी प्रचालन बिन्दु पर V–I अभिलाक्षणिक वक्र के ढ़ाल के मान का व्युत्क्रम होता है।

4 **तर्क द्वार से आप क्या समझते है। XOR द्वार का प्रतीक चिन्ह बनाते हुए इसकी सत्यता सारणी दीजिये।**

उत्तर– तार्किक द्वारा अंकीय इलेक्ट्रॉनिक परिपथ के वे आधारभूत भाग हैं, जिनमें निवेशी एवं निर्गत संकेत के मध्य एक तार्किक संबंध होता है तथा इसी कारण ये तार्किक द्वार कहलाते हैं। इनमें एक ऐसा परिपथ होता है, जिसमें एक या अधिक निवेशी संकेत होते हैं, किन्तु केवल एक निर्गत संकेत होता है।



चित्र 16.101

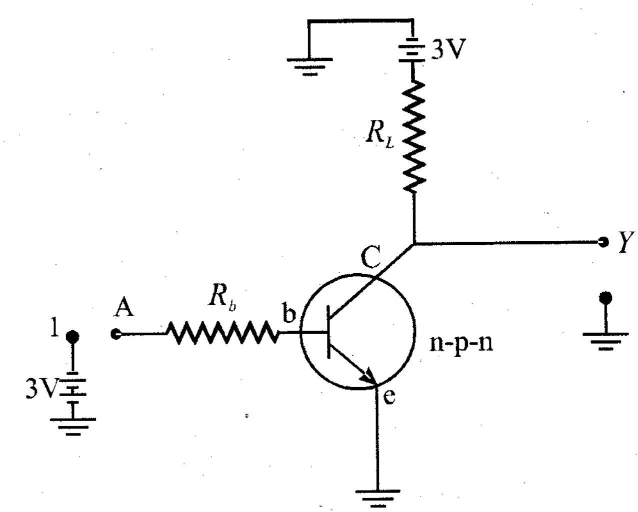
XOR द्वार का प्रतीक चिह्न

XOR द्वार की सत्यता सारणी–

निवेशी		निर्गम
A	B	Y = A⊕B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

5 **ट्रांजिस्टर आधारित NOT द्वार का परिपथ चित्र बनाईये तथा इसकी सत्यता सारिणी दीजिये।**

उत्तर–

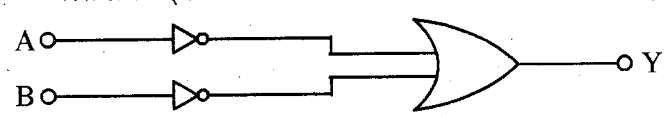


चित्र 16.102

NOT द्वार की सत्यता सारणी

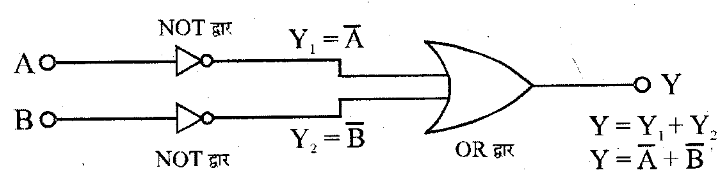
निवेशी (A)	निर्गत (Y)
0	1
1	0

6 **चित्र में दिये गये तार्किक परिपथ के लिये बूलीय व्यंजक लिखिये। इस परिपथ के लिये सत्यता सारणी भी बनाईये।**



चित्र 16.103

उत्तर–



चित्र 16.104

∴ बूलीय व्यंजक $Y = \bar{A} + \bar{B}$

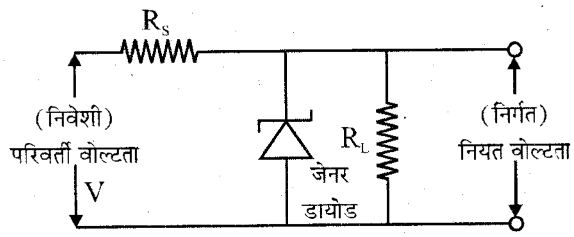
सत्यता सारणी–

निवेशी		NOT द्वारों के निर्गम	OR द्वारों के निर्गम	निर्गम
A	B	$Y_1 = \bar{A}$	$Y_2 = \bar{B}$	$Y = y_1 + y_2$ या $Y = \bar{A} + \bar{B}$
0	0	1	1	1
1	0	0	1	1
0	1	1	0	1
1	1	0	0	0

7 **जेनर डायोड द्वारा वोल्टता नियमन के लिये काम आने वाले**

परिपथ का चित्र बनाइकर इसकी प्रक्रिया संक्षेप में समझाइये।

उत्तर– जेनर डायोड द्वारा वोल्टता नियमन के लिए प्रयुक्त परिपथ–



चित्र 16.105

वोल्टता नियमन प्रक्रिया–

उपरोक्त परिपथ व्यवस्था में वोल्टता स्रोत V तथा श्रेणी क्रम प्रतिरोध R_S का चयन इस प्रकार किया जाता है, कि जेनर डायोड भंजन प्रभाग में काम करे। क्योंकि इस स्थिति में डायोड की वोल्टता = जीनर वोल्टता = लोड प्रतिरोध R_L के सिरों पर प्राप्त निश्चित मान की वोल्टता होती है।

जब निवेशी विभव बढ़ता है, जेनर डायोड का प्रतिरोध घटता है, अत: डायोड से प्रवाहित धारा का मान बढ़ता है। फलस्वरूप, श्रेणीबद्ध प्रतिरोध R_S के सिरों पर अधिक विभव पतन प्राप्त होता है। इस प्रकार प्रतिरोध R_L के सिरों पर निर्गत वोल्टता नियत बनी रहती है।

जब निवेशी विभव घटता है, डायोड से प्रवाहित धारा भी घटती है, अत: अब कुछ कम विभव पतन प्रतिरोध R_S पर प्राप्त होता है और लोड प्रतिरोध R_L के सिरों पर निर्गत वोल्टता निश्चित नियत मान पर बनायी रखी जाती है।

निबंधात्मक प्रश्न

1 **ऊर्जा बैण्ड सिद्धांत के आधार पर चालकों, अर्धचालकों तथा कुचालकों में विभेदन स्पष्ट कीजिये। नैज अर्द्धचालकों में धारा चालन की प्रक्रिया समझाईये।**

उत्तर- अनुच्छेद 16.1 तथा 16.3.1 पर देखें।

2 **PN संधि क्या होती है? इसके निर्माण के समय संधि तल पर होने वाली क्रिया को समझाइये। इस संधि को अग्र अभिनत करने पर अवक्षय परत पर होने वाले प्रभाव को भी समझाइये।**

उत्तर- अनुच्छेद 16.5 पर देखें।

3 **प्रत्यावर्ती धारा को दिष्ट धारा में परिवर्तित करने हेतु आवश्यक पूर्ण तरंग दिष्टकारी का परिपथ चित्र बनाइये एवं इसकी कार्यविधि समझाइये।**

उत्तर- अनुच्छेद 16.7.2 पर देखें।

4 **किसी PN संधि डायोड के अग्र एवं उत्क्रम अभिनति अभिलाक्षणिक वक्र प्राप्त करने हेतु आवश्यक प्रायोगिक व्यवस्था को परिपथ चित्र बनाते हुए समझाइए। प्राप्त वक्रों के आरेख भी बनाइए।**

उत्तर- अनुच्छेद 16.6, 16.6.1 तथा 16.6.2 पर देखें।

5. **संधि ट्रांजिस्टर क्या होता है? आवश्यक चित्र बनाकर PNP ट्रांजिस्टर की क्रिया विधि समझाइए।**

उत्तर- अनुच्छेद 16.9.1 तथा 16.9.2 पर देखें।

6 **उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास में संयोजित किसी ट्रांजिस्टर के अभिलाक्षणिक वक्र प्राप्त करने के लिए प्रायोगिक व्यवस्था का परिपथ का चित्र बनाते हुए वर्णन कीजिए। प्राप्त वक्रों के आरेख भी बनाईए तथा वोल्टता लाभ व धारा लाभ के सूत्र लिखिए।**

उत्तर- अनुच्छेद 16.10.4 पर देखें।

7 **प्रवर्धन से आप क्या समझते है? एक PNP ट्रांजिस्टर उभयनिष्ठ प्रवर्धक का नामांकित चित्र बनाते हुए इसमें प्रवर्धन की क्रिया समझाते हुए वोल्टता लाभ का सूत्र ज्ञात कीजिए।**

उत्तर- अनुच्छेद 16.11.1 पर देखें।

8 **विशिष्ट प्रयोजनार्थ कार्य लिए जाने वाले कुछ डायोड के नाम लिखिए तथा इनके परिपथ प्रतीक बनाइए। इनकी कार्यप्रणाली एवं उपयोगों का संक्षेप में उल्लेख कीजिए।**

उत्तर- अनुच्छेद 16.8, 16.8.1, 6.8.2 तथा 16.8.3 पर देखें।

9 **द्विनिवेशी डायोड ओर (OR) द्वार एवं एन्ड (AND) द्वार के परिपथ चित्र बनाते हुए इसकी कार्य विधि समझाइए तथा संगत सत्य सारणी बनाइए।**

उत्तर- अनुच्छेद 16.13.1 तथा 16.13.2 पर देखें।

आंकिक प्रश्न

1 **कक्ष ताप पर नैज जरमेनियम की एक प्लेट जिसका क्षेत्रफल $2\times10^{-4}\,m^2$ तथा मोटाई $1.2\times10^{-3}\,m$ है में उत्पन्न विद्युत धारा ज्ञात करो जब इसके फलकों के मध्य 5 V का विभवान्तर आरोपित किया जाता है। कक्ष ताप पर जरमेनियम में नैज आवेश वाहक घनत्व $1.6\times10^{6}/m^3$ है। इलेक्ट्रॉन तथा होल की गतिशीलताएँ क्रमश: $0.4\,m^2V^{-1}s^{-1}$ तथा $0.2\,m^2V^{-1}s^{-1}$ है।**

उत्तर– एक अर्द्धचालक की चालकता निम्न सूत्रानुसार होती है।

$$\sigma = n_e.e.\mu_e + n_h.e.\mu_h$$

किन्तु प्रश्नानुसार जरमेनियम नैज अर्द्धचालक है।

$\therefore \quad n_e = n_h = n_i$

$\therefore \quad \sigma = n_i e\,(\mu_e + \mu_h)$

किन्तु दिये हुए मानों के अनुसार

$$n_i = 1.6\times10^6\,/m^3$$
$$\mu_e = 0.4\,m^2V^{-1}s^{-1}$$
$$\mu_h = 0.2\,m^2V^{-1}s^{-1}$$

$\therefore \quad \sigma = 1.6\times10^6\times1.6\times10^{-19}\,.\,(0.4+0.2)$

या $\quad \sigma = 1.6\times1.6\times0.6\times10^{-13}$

$= 1.536\times10^{-13}\,\Omega^{-1}m^{-1}$

अत: जरमेनियम की प्लेट में उत्पन्न विद्युत धारा

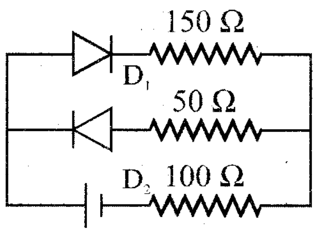
$$I = J.A. = \sigma E.A. = \sigma.\frac{V}{d}.A$$

$$\therefore\ I = 5.536\times10^{-13}\times\frac{5}{1.2\times10^{-3}}\times2\times10^{-4}$$

या $I = 1.28 \times 10^{-13}$ Ampere

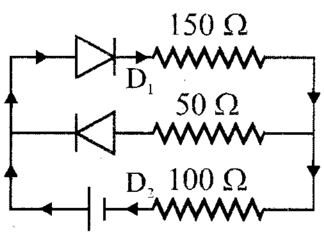
(ज्ञात है, कि $V = 5$ वोल्ट, $d = 1.2 \times 10^{-3}$ मी, $A = 2 \times 10^{-4}$ मी²)

2 **चित्र में प्रदर्शित परिपथ में लगे दोनों डायोडों का अग्र प्रतिरोध 50 Ω तथा उत्क्रम प्रतिरोध अनन्त है। यदि बैटरी का विद्युत वाहक बल 6 V है तो 100 Ω प्रतिरोध से प्रवाहित धारा ज्ञात करो।**



चित्र 16.106

उत्तर– प्रश्नानुसार दोनों डायोडों चित्र में अंकित किये गये D_1 व D_2 में से प्रत्येक का अग्र प्रतिरोध $R_{d_f} = 50\Omega$ तथा उत्क्रम प्रतिरोध अनन्त है। बैटरी का विद्युत वाहक बल V = 6 volt धारा प्रवाह अग्र बायस वाले डायोड D_1 से ही होगा, D_2 उत्क्रम बायस में है, अत: उसमें से कोई धारा प्रवाहित नहीं होगी।



चित्र 16.107

∴ धारा पथ में कुल तुल्य प्रतिरोध $R_e = 50 + 150 + 100 = 300\Omega$

∴ 100 Ω के प्रतिरोध में धारा,

$$I = \frac{V}{R_e} = \frac{6}{300} = 0.02A$$

3 **उभयनिष्ठ आधार विन्यास में किसी ट्रांजिस्टर का धारा प्रवर्धन 0.99 है। इसकी उत्सर्जक धारा में 5.0 मिलीऐम्पियर परिवर्तन करने पर संग्राहक धारा में परिवर्तन की गणना कीजिये। आधार धारा में क्या परिवर्तन होगा?**

उत्तर– प्रश्नानुसार,

धारा प्रवर्धन $\alpha = 0.99$

उत्सर्जक धारा में परिवर्तन $\Delta I_e = 5.0$ mA

संग्रहक धारा में परिवर्तन $\Delta I_C = ?$

आधार धारा में परिवर्तन $\Delta I_b = ?$

$$\because\quad \alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_e}$$

$$\therefore\quad \Delta I_C = \alpha.\Delta I_e = 0.99 \times 5.0 = 4.95 \text{ mA}$$

तथा $\Delta I_b = \Delta I_e - \Delta I_C = 5.00 - 4.95 = 0.05 \text{ mA} = 50\ \mu A$

4 **एक PN संधि के लिए विभव प्राचीर का औसतमान 0.1 V है तथा संधि क्षेत्र पर 10^5 V/m का विद्युत क्षेत्र उपस्थित है। इस संधि के लिए अवक्षय परत की मोटाई कितनी होगी।**

उत्तर– विभव प्राचीर का औसत मान V = 0.1 V

संधि क्षेत्र पर विद्युत क्षेत्र $E = 10^5$ V/m

अवक्षय परत की मोटाई d = ?

$$\because\quad E = \frac{V}{d}$$

$$\therefore\quad d = \frac{V}{E} = \frac{0.1}{10^5} = 10^{-6} \text{ m}$$

5 **एक ट्रांजिस्टर उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास में जोड़ा गया है। संग्राहक परिपथ में 8 V का शक्ति प्रदाय लगा है तथा संग्राहक के श्रेणी क्रम में लगे 800 Ω प्रतिरोध पर विभवपात 0.5 V है। यदि धारा प्रवर्धन गुणांक $\alpha = 0.96$ है तो आधार धारा ज्ञात कीजिए।**

उत्तर– प्रश्नानुसार, संग्राहक के श्रेणीक्रम में लगे $R = 800\Omega$ के सिरों पर विभवांतर V = 0.5V

$$\therefore\quad \text{संग्राहक धारा } I_C = \frac{V}{R} = \frac{0.5}{800} = 0.625 \times 10^{-3} \text{ A}$$

या $I_C = 0.625$ mA

उभयनिष्ठ आधार विन्यास धारा प्रवर्धन गुणांक $\alpha = 0.96$

∴ उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास धारा प्रवर्धन गुणांक $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$

$$\text{या}\quad \beta = \frac{0.96}{1-0.96} = \frac{0.96}{0.04} = 24$$

$$\text{पुनः}\quad \beta = \frac{I_C}{I_b}$$

$$\therefore\quad \text{आधार धारा, } I_b = \frac{I_C}{\beta} = \frac{0.625}{24} \text{ mA}$$

$$I_b = 0.026 \text{ mA} = 26\ \mu A$$

6 **एक उभयनिष्ठ उत्सर्जक प्रवर्धक में आधार धारा में 50 μA की वृद्धि होने पर संग्राहक धारा में 1.0 mA की वृद्धि होती है। धारा लाभ β की गणना करो। उत्सर्जक धारा में क्या परिवर्तन होगा? β के प्राप्त मान से α की गणना करो।**

उत्तर– आधार धारा में परिवर्तन $\Delta I_b = 50\mu A$

संग्राहक धारा में परिवर्तन $\Delta I_C \doteq 1.0\ mA = 1000\ \mu A$

$\therefore$ उभयनिष्ठ उत्सर्जक धारा प्रवर्धन गुणांक $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_b}$

या $\beta = \frac{1000}{50} = 20$

उत्सर्जक धारा में परिवर्तन $\Delta I_e = \Delta I_C + \Delta I_b$

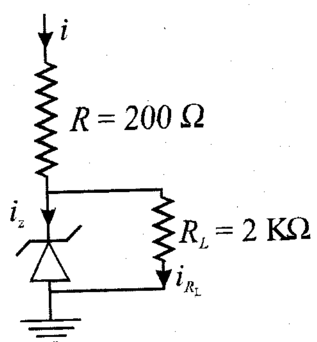
या $\Delta I_e = 1000 + 50$

$\Delta I_e = 1050\ \mu A = 1.050\ mA$

उभयनिष्ठ आधार धारा प्रवर्धन गुणांक, $\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$

$\therefore \quad \alpha = \frac{20}{(20+1)} = \frac{20}{21} = 0.95$

7 **संलग्न चित्र के परिपथ में बहने वाली धारा तथा जेनर डायोड के सिरों के बीच विभवान्तर ज्ञात करो, यदि लोड प्रतिरोध $R_L = 2k\Omega$ के सिरो के बीच विभवान्तर 15 V रहता है। जेनर डायोड की कार्यशील न्यूनतम धारा 10 mA है।**



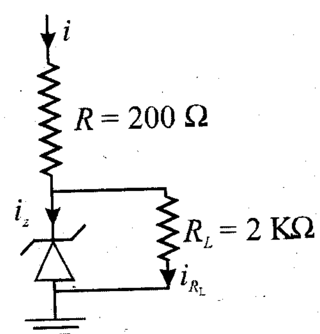
चित्र 16.108

उत्तर– लोड प्रतिरोध $R_L = 2\ k\Omega = 2000\ \Omega$

लोड प्रतिरोध के सिरों पर विभवांतर V = 15V

$\therefore$ लोड प्रतिरोध में धारा $i_{R_L} = \frac{V}{R_L} = \frac{15}{2000} A$

या $i_{R_L} = 7.5\ mA$



चित्र 16.109

जेनर डायोड की कार्यशील न्यूनतम धारा $i_z = 10mA$

$\therefore$ परिपथ में बहने वाली धारा

$i = i_{R_L} + i_Z$

$= 7.5 + 10 = 17.5\ mA$

जेनर डायोड एवं लोड प्रतिरोध R_L पार्श्व संयोजन में संयोजित है। अत: पार्श्व संयोजन में,

जेनर डायोड के सिरों के बीच विभवांतर (V_Z)

= R_L के सिरों पर विभवांतर

$\therefore \quad V_Z = 15\ V$

महत्त्वपूर्ण वस्तुनिष्ठ प्रश्न

1. परम शून्य ताप पर नैज जरमेनियम और नैज सिलिकॉन होते हैं–
   (अ) अतिचालक (ब) अच्छे अर्धचालक
   (स) आदर्श कुचालक (द) चालक
2. एक P-N संधि के अवक्षय क्षेत्र में होते हैं–
   (अ) केवल इलेक्ट्रॉन (ब) केवल होल
   (स) इलेक्ट्रॉन तथा होल दोनों (द) निश्चल आयन
3. अर्धचालकों की चालकता
   (अ) ताप पर निर्भर नहीं करती (ब) ताप वृद्धि से घटती है
   (स) ताप वृद्धि से बढ़ती है (द) पहले घटती है फिर बढ़ती है
4. निम्न कथनों में कौन सा सही नहीं है
   (अ) नैज अर्धचालकों का प्रतिरोध ताप बढ़ने पर घटता है
   (ब) नैज Si में त्रिसंयोजक अपद्रव्य के अपमिश्रण से P प्रकार का अर्धचालक बनता है
   (स) N प्रकार के अर्धचालक में बहुसंख्यक धारावाहक होल होते हैं
   (द) एक P-N संधि अर्धचालक डायोड का कार्य कर सकती है
5. एक ट्रांजिस्टर उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास में प्रवर्धक की तरह प्रयुक्त किया गया है, तब
   (अ) आधार-उत्सर्जक सन्धि उत्क्रम अभिनत होती है
   (ब) आधार-संग्राहक सन्धि अग्र अभिनत होती है
   (स) निवेशी संकेत उस वोल्टता के श्रेणी क्रम में लगाया जाता है जो कि आधार-संग्राहक सन्धि को अभिनत करता है
   (द) निवेशी संकेत उस वोल्टता के श्रेणी क्रम में लगाया जाता है जो कि आधार-उत्सर्जक संधि को अग्र अभिनत करता है
6. जिन अर्धचालकों में दाता परमाणु और मुक्त इलेक्ट्रॉन होते हैं, वे कहलाते हैं–
   (अ) नैज (ब) *N*-प्रकार के
   (स) P-प्रकार के (द) उपरोक्त में से कोई नहीं
7. कमरे के ताप पर, एक नैज अर्धचालक में n_e = इलेक्ट्रॉनों की संख्या प्रति घन मीटर तथा n_h = होलों की संख्या प्रति घन मीटर है, तब
   (अ) $n_e > n_h$ (ब) $n_e < n_h$
   (स) $n_e = n_h$ (द) कुछ कह नहीं सकते
8. नैज अर्धचालकों में सामान्य ताप पर इलेक्ट्रॉन व होल की संख्या का अनुपात है–
   (अ) 1 : 2 (ब) 2 : 1 (स) 1 : 1 (द) 1 : 3

9. वे पदार्थ जिनके संयोजी बैण्ड व चालन बैण्ड लगभग अतिव्यापन की स्थिति में होते हैं, वे होते हैं–
(अ) चालक (ब) विद्युतरोधी
(स) अर्धचालक (द) उपरोक्त सभी

10. एक PN-संधि के अवक्षय क्षेत्र की मोटाई की कोटि होती है–
(अ) 1 cm (ब) 1 mm (स) $10^{-6}\,m$ (द) $10^{-12}\,m$

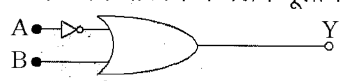
11. एक चालक में मुक्त इलेक्ट्रॉनों की संख्या निम्नलिखित कोटि की होती है,
(अ) 10^{28} per m^3 (ब) 10^{16} per m^3
(स) 10^{11} per m^3 (द) 10^{8} per m^3

12. LED को निम्नलिखित प्रकार के पदार्थों से बनाया जाता है,
(अ) अपद्रव्यी सिलिकन (ब) अपद्रव्यी जर्मेनियम
(स) गैलियम फास्फाइड (द) उपरोक्त सभी

13. P-N संधि को अग्र बायसित करने पर
(अ) P भाग से होल तथा N भाग से इलेक्ट्रॉन संधि क्षेत्र से दूर जाते हैं
(ब) P भाग से होल तथा N भाग से इलेक्ट्रॉन संधि क्षेत्र की ओर आते हैं
(स) P भाग से इलेक्ट्रॉन तथा N भाग से होल संधि क्षेत्र की ओर अग्रसित होते हैं।

14. एक PN संधि डायोड के अग्रदिशिक बायस की अवस्था में विद्युत धारा का प्रमुख अंश प्राप्त होता है,
(अ) अल्पसंख्यक आवेशों के अपवाह से,
(ब) बहुसंख्यक आवेशों के विसरण से,
(स) अशुद्धि आयनों के प्रवाह से
(द) उपरोक्त सभी से

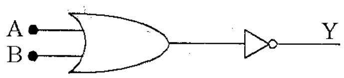
15. संलग्न चित्र में दिये गये परिपथ के लिये बूलीय समीकरण होगा–



चित्र 16.110

(अ) $Y = A + \overline{B}$ (ब) $Y = \overline{A + B}$
(स) $Y = \overline{A} + B$ (द) $Y = \overline{A}.B$

16. निम्न परिपथ का बूलीय समीकरण होगा–



चित्र 16.111

(अ) $Y = A.B$ (ब) $Y = \overline{A.B}$
(स) $Y = A + B$ (द) $Y = \overline{A + B}$

17. दो निवेशी टर्मिनलों वाले OR गेट का निर्गत केवल तब 0 होता है जब–
(अ) इसके दोनों निवेशी 0 हो (ब) कोई एक निवेशी 1 हो
(स) दोनों निवेशी 1 हो (द) कोई एक निवेशी 0 हो

18. दी गई सत्यता सारणी जिस गेट की है, उसका नाम है–
(अ) OR
(ब) AND
(स) NOT
(द) NOR

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

19. दी गई सत्यता सारणी जिस गेट की है, उसका नाम है–
(अ) OR
(ब) AND
(स) NOT
(द) NOR

A	Y
0	1
1	0

20. दी गई सत्यता सारणी जिस गेट की है, उसका नाम है–
(अ) NAND
(ब) AND
(स) OR
(द) NOT

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

21. AND गेट में एक निवेशी 0 तथा दूसरा 1 है। निर्गत होगा–
(अ) 0 (ब) 1 (स) 0 अथवा 1 (द) अनिश्चित

22. AND गेट में उच्च (1) निर्गत Y प्राप्त करने के लिये निवेशी A व B होने चाहिये–
(अ) A = 0, B = 0 (ब) A = 0, B = 1
(स) A = 1, B = 0 (द) A = 1, B = 1

23. NOT गेट के निर्गत सिगनल 1 है। निवेशी सिगनल होगा–
(अ) 0 (ब) 1 (स) 0 अथवा 1 (द) अनिश्चित

24. इनवर्टर गेट किस गेट को कहा जाता है ?
(अ) OR को (ब) AND को
(स) NOT को (द) किसी को नहीं

हल एवं संकेत

1. (स)	2. (द)	3. (स)	4. (स)
5. (द)	6. (ब)	7. (स)	8. (स)
9. (अ)	10. (स)	11. (अ)	12. (स)
13. (स)	14. (ब)	15. (स)	16. (द)
17. (अ)	18. (अ)	19. (स)	20. (ब)
21. (अ)	22. (द)	23. (अ)	24. (स)

लघुत्तरात्मक प्रश्न

प्रश्न 1. सिलिकॉन (Si) तथा जर्मेनियम (Ge) परमाणुओं की विभिन्न कक्षाओं में इलेक्ट्रॉनिक-विन्यास (electronic configuration) क्या है ? लिखिये।

उत्तर–सिलिकॉन (परमाणु क्रमांक-14) $\Rightarrow 1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^2$
जरमेनियम (परमाणु क्रमांक -32)$\Rightarrow 1s^2 2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,3d^{10}\,4s^2\,4p^2$

प्रश्न 2.ट्रांजिस्टर में उत्सर्जक तथा संग्राहक की अपेक्षा आधार को बहुत पतला क्यों रखा जाता है ?

उत्तर–ट्रांजिस्टर में होल तथा इलेक्ट्रॉनों के संयोगों को कम करने के लिए आधार को अत्याधिक पतला बनाया जाता है। इस स्थिति में उत्सर्जक से आने वाले अधिकतर होल (अथवा इलेक्ट्रान) आधार के आर-पार विसरित होकर संग्राहक पर पहुँच जाते हैं। अतः संग्राहक-धारा के लगभग बराबर होती है, आधार-धारा अपेक्षाकृत बहुत क्षीण होती है। ट्रांजिस्टर द्वारा शक्ति प्रवर्धन तथा वोल्टता-प्रवर्धन का यही मुख्य कारण है।

यदि आधार क्षेत्र को पर्याप्त मोटा बनाया जाता तो उत्सर्जक से आने वाले आवेश-वाहक अधिकतम आधार में ही उदासीन हो जाते तथा संग्राहक-धारा बहुत क्षीण होती तथा ट्रांजिस्टर का कोई उपयोग नहीं हो पाता।

प्रश्न 3.क्या दो P-N सन्धि डायोडों को P-N व N-P क्रम में मिलाकर रखने पर P-N-P ट्रांजिस्टर का कार्य कर सकते हैं ?

उत्तर–नहीं, क्योंकि इस दशा में N-क्षेत्र, जो आधार का कार्य करेगा, बहुत मोटा हो जायेगा।

प्रश्न 4.ट्रांजिस्टर में उत्सर्जक अग्र-अभिनत तथा संग्राहक उत्क्रम-अभिनत रखा जाता है। क्या इनमें से किसी को परिवर्तित किया जा सकता है ?

उत्तर–नहीं, इन्हें परिवर्तित नहीं किया जा सकता। यदि उत्सर्जक को उत्क्रम-अभिनति रखें तो इससे कोई भी आवेश-वाहक आधार तक नहीं पहुँचेगा। इस प्रकार, यदि किसी ट्रांजिस्टर में उत्सर्जक तथा संग्राहक दोनों उत्क्रम-अभिनति रखे जायें तो धारा कभी नहीं बहेगी।

यदि उत्सर्जक तथा संग्राहक दोनों को अग्र-अभिनति कर दें तो उत्सर्जक आवेश-वाहक उत्सर्जक-आधार परिपथ में प्रवहित होंगे तथा संग्राहक के आवेश-वाहक संग्राहक-आधार परिपथ में प्रवाहित होंगे। तब ट्रांजिस्टर दो P-N सन्धि-डायोडों के तुल्य होगा जिनमें आधार उभयनिष्ठ होगा। यह ट्रांजिस्टर की भाँति कार्य नहीं करेगा।

यदि उत्र्सजक को उत्क्रम-अभिनति तथा संग्राहक को अग्र-अभिनति रखें तो उत्सर्जक, संग्राहक बन जायेगा तथा संग्राहक उत्सर्जक बन जायेगा। अब यह पुनः ट्रांजिस्टर की भाँति कार्य करे लगेगा।

प्रश्न 5.किसी ट्रांजिस्टर का निवेशी प्रतिरोध निम्न तथा निर्गत प्रतिरोध उच्च क्यों होता है, व्याख्या कीजिये।

उत्तर–किसी ट्रांजिस्टर का उत्सर्जक सदैव अग्र-अभिनति तथा संग्राहक सदैव उत्क्रम-अभिनति रखा जाता है। अतः अल्प उत्सर्जक-वोल्टता से ही पर्याप्त उत्सर्जक-धारा उत्पन्न हो जाती है। इसका अर्थ यह भी है कि ट्रांजिस्टर के निवेशी सिरों पर सिग्नल-वोल्टता में अल्प-परिवर्तन उत्सर्जक-धारा में काफी बड़ा परिवर्तन उत्पन्न कर देता हैं। दूसरे शब्दों में, उत्सर्जक पर लगाये गये सिग्नल वोल्टता के लिए निवेशी प्रतिरोध का मान बहुत कम होता है।

उत्क्रम-अभिनति संग्राहक आधार से विसरित होने वाले सभी आवेश-वाहकों को एकत्रित कर लेता है। अतः संग्राहक-वोल्टता में वृहत परिवर्तन संग्राहक-धारा में केवल अल्प परिवर्तन कर पाता है। अतः ट्रांजिस्टर का निर्गत प्रतिरोध बहुत उच्च होता है।

प्रश्न 6. OR गेट की सत्यता सारणी से क्या निष्कर्ष निकलता है?

उत्तर–OR गेट के निर्गत (output) का स्तर 1 होता है यदि किसी एक, अथवा दोनों निवेशियों (inputs) का स्तर 1 हो।

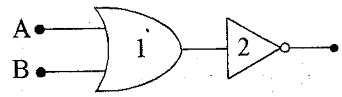
प्रश्न 7. AND गेट किस नियम पर कार्य करता है ?

उत्तर–AND गेट के निर्गत का स्तर 1 केवल तब होता है जब दोनों निवेशियों का स्तर 1 हो।

प्रश्न 8. NOT गेट किस नियम पर कार्य करता है ?

उत्तर–यदि NOT गेट के एकल (single) निवेशी का स्तर 0 हो तो उसके निर्गत का स्तर 1 होता है, तथा इसका उल्टा।

प्रश्न 9. दिये गये लॉजिक परिपथ में लॉजिक गेटों 1 व 2 को पहचानिये।



चित्र 16.112

उत्तर–लॉजिक गेट 1, OR गेट है तथा 2, NOT गेट है।

प्रश्न 10. निम्न कथनों में से प्रत्येक के लिये उस लॉजिक गेट का नाम लिखिये जिसके लिये कथन सत्य है-

(अ) निर्गत तभी 1 होता है जब, और केवल जब, सभी निवेशी 1 हों।

(ब) निर्गत तभी 0 होता है जब, और केवल जब, सभी निवेशी 0 हों।

उत्तर–(अ) AND, (ब) OR.

आंकिक प्रश्न

प्र.1. CE– ट्रांजिस्टर प्रवर्धक हेतु 2k Ω के संग्राहक प्रतिरोध के सिरों पर ध्वनि वोल्टता 2V है। मान लीजिए कि ट्रांजिस्टर का धारा प्रवर्धन गुणक 100 है। यदि आधार प्रतिरोध 1kΩ है तो निवेश संकेत (signal) वोल्टता और आधार धारा परिकलित कीजिए।

उत्तर–दिया है-संग्राहक प्रतिरोध $R_L = 2$ किलोओम

$= 2 \times 10^3$ ओम, $V_o = 2$ वोल्ट

आधार प्रतिरोध $R_B = 1$ किलोओम $= 1 \times 10^3$ ओम, $\beta = 100$

अतः संग्राहक धारा $I_C = \frac{V_0}{R_L} = \frac{2}{2 \times 10^3} = 10^{-3}$ एम्पियर

तथा आधार धारा $I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{10^{-3}}{100} = 10 \times 10^{-6}$ एम्पियर

= 10 माइक्रो एम्पियर

अतः निवेशी वोल्टता

$V_i = I_B R_B = 10 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^3 = 0.01$ वोल्ट

प्र.2. एक के पश्चात् एक श्रेणीक्रम सोपानित में दो प्रवर्धक संयोजित किए गए हैं। प्रथम प्रवर्धक की वोल्टता लब्धि 10 और द्वितीय की वोल्टता लब्धि 20 है। यदि निवेश संकेत 0.01 वोल्ट है तो निर्गम प्रत्यावर्ती संकेत का परिकलन कीजिए।

उत्तर– दिया है– $(A_v)_1 = 10$, $(A_v)_2 = 20$,

तथा $V_i = 0.01$ वोल्ट

$\because \quad A_v = \frac{V_0}{V_i}$

अतः $\quad A_v = \frac{(V_o)_2}{(V_i)_1} = \frac{(V_o)_2}{(V_i)_2} \times \frac{(V_i)_2}{(V_i)_1}$

$\because \quad (V_i)_2 = (V_o)_1$ तथा $(V_i)_1 = V_i$

अत: $A_v = \frac{(V_0)_2}{(V_i)_2} \times \frac{(V_0)_1}{(V_i)_1} = (A_v)_1 \times (A_v)_2$

$= 10 \times 20 = 200$

अत: $V_0 = A_v \times V_i$

$= 200 \times 0.01 = 2$ वोल्ट

प्र.3. कोई P-N फोटोडायोड 2.8 eV बैंड अंतराल वाले अर्धचालक से संविरचित है। क्या यह 6000nm की तरंगदैर्ध्य का संसूचन कर सकता है?

उत्तर–दिया है– $\Delta E_g = 2.8$ इलेक्ट्रॉन–वोल्ट $= 2.8 \times 1.6 \times 10^{-19}$ जूल

$\lambda = 6000$ नैनो मीटर $= 6000 \times 10^{-9}$ मीटर

अत: आपतित फोटॉन ऊर्जा

$$E = h\upsilon = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.62 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{6 \times 10^{-6}}$$

$E = 3.31 \times 10^{-20}$ जूल

$= \frac{3.31 \times 10^{-20}}{1.6 \times 10^{-19}}$ इलेक्ट्रॉन–वोल्ट = 0.206 इलेक्ट्रॉन–वोल्ट

यह ऊर्जा, वर्जित ऊर्जा अन्तराल $\Delta E_g = 2.8$ इलेक्ट्रॉन–वोल्ट से बहुत कम है अत: फोटो डायोड द्वारा दी गई तरंगदैर्ध्य संसूचित नहीं होगी।

प्र.4. सिलिकॉन परमाणुओं की संख्या 5×10^{28} प्रति m^3 है। यह साथ ही साथ आर्सेनिक के 5×10^{22} परमाणु प्रति m^3 और इंडियम के 5×10^{20} परमाणु प्रति m^3 से अपमिश्रित किया गया है। इलेक्ट्रॉन और होल की संख्या का परिकलन कीजिए। दिया है कि $n_i = 1.5 \times 10^{16}\ m^{-3}$ दिया गया पदार्थ n- प्रकार का है या p- प्रकार का?

उत्तर–दिया है–

सिलिकॉन परमाणुओं का संख्या घनत्व $= 5 \times 10^{28}$ प्रति मी^{3}

आर्सेनिक (पंचसंयोजी) परमाणुओं का संख्या घनत्व

$= 5 \times 10^{22}$ प्रति मी^{3}

इंडियम (त्रिसंयोजी) परमाणुओं का संख्या घनत्व

$= 5 \times 10^{20}$ प्रति मी^{3}

तथा $n_i = 1.5 \times 10^{16}$ प्रति मी^{3}

अत: मुक्त इलेक्ट्रॉनों का संख्या घनत्व

$n_e = (5 \times 10^{22} - 5 \times 10^{20}) = (5 - 5 \times 10^{-2}) \times 10^{22}$

$n_e = (5 - 0.05) \times 10^{22} = 4.95 \times 10^{22}$ प्रति मी^{3}

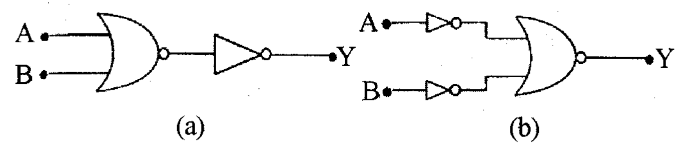
तथा $\because n_i^2 = n_e n_h$

अत: होलों का संख्या घनत्व

$$n_h = \frac{n_i^2}{n_e} = \frac{(1.5 \times 10^{16})^2}{4.95 \times 10^{22}} = 4.54 \times 10^9 \text{ प्रति मी}^3$$

$\because$ मुक्त इलेक्ट्रॉनों का संख्या घनत्व अधिक है अत: यह अर्द्धचालक n- प्रकार का है।

प्र.5. आपको चित्र में दो परिपथ दिए गए हैं। यह दर्शाइए कि परिपथ (a) OR गेट की भाँति व्यवहार करता है जबकि परिपथ (b) AND गेट की भांति कार्य करता है।



चित्र 14.97

उत्तर–(a) दिए गए परिपथ में पहला द्वार 'NOR' द्वार है अत: इसका निर्गत $Y_1 = \overline{A+B}$

इसके पश्चात् Y_1 एक NOT द्वार का निवेशी है अत:

निर्गत $Y = \overline{Y_1} = \overline{\overline{A+B}} = A+B \qquad (\because \overline{\overline{A}} = A)$

अत: परिपथ एक 'OR' द्वार की भाँति कार्य करता है।

(b) दिए गए परिपथ में NOR द्वार के निवेशी $\overline{A}$ तथा $\overline{B}$ है।

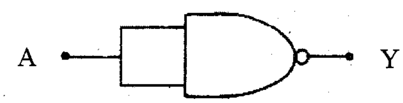
अत: निर्गत $Y = \overline{\overline{A}+\overline{B}}$

$Y = \overline{\overline{A}} \cdot \overline{\overline{B}}$ (डी–मोर्गन प्रमेय से $\overline{A+B} = \overline{A}.\overline{B}$)

$Y = A.B \qquad (\because \overline{\overline{A}} = A)$

अत: यह परिपथ एक AND द्वार का कार्य करता है।

प्र.6. नीचे दिए गए चित्र में संयोजित NAND गेट संयोजित परिपथ की सत्यमान सारणी बनाइए।



चित्र 16.113

अत: इस परिपथ द्वारा की जाने वाली यथार्थ तर्क संक्रिया का अभिनिर्धारण कीजिए।

उत्तर–दिए गए NAND द्वार के दोनों निवेशी समान अर्थात् A हैं अत:

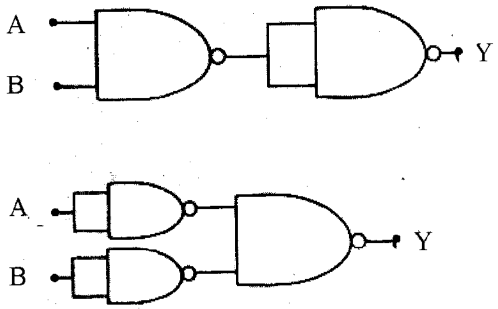
निर्गत $Y = \overline{A.B} = \overline{A.A} = \overline{A} \qquad (\because A.A = A)$

अत: सत्यता सारणी:

निवेशी A	निर्गत $Y = \overline{A}$
0	1
1	0

इस प्रकार यह परिपथ एक NOT द्वार का कार्य करता है।

प्र.7. आपको निम्न चित्र में दर्शाए अनुसार परिपथ दिए गए हैं। जिनमें NAND गेट जुड़े हैं। इन दोनों परिपथों द्वारा की जाने वाली तर्क संक्रियाओं का अभिनिर्धारण कीजिए।



चित्र 16.114

उत्तर-(a) दिए गए परिपथ के लिए प्रथम NAND द्वार का निर्गत

$$Y_1 = \overline{A.B}$$

तथा दूसरे NAND द्वार के दोनों निवेशी Y_1 है अतः निर्गत

$$Y = \overline{Y_1.Y_1} = \overline{Y_1} \qquad (\because A.A = A)$$

$$Y = \overline{\overline{A.B}} = A.B \qquad (\because \overline{\overline{A}} = A)$$

अतः यह परिपथ एक AND द्वार की भांति कार्य करता है।

(b) चित्र में दिए गए परिपथ में तीन NAND द्वार हैं जिनमें से प्रथम के दोनों निवेशी A हैं अतः निर्गत $Y_1 = \overline{A.A} = \overline{A}$ $(\because A.A = A)$

द्वितीय के दोनों निवेशी B हैं अतः निर्गत $Y_2 = \overline{B.B} = \overline{B}$

तृतीय के निवेशी Y_1 व Y_2 है अतः निर्गत

$$Y = \overline{Y_1.Y_2} = \overline{\overline{A}.\overline{B}}$$

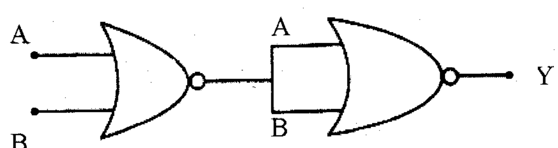
$$Y = \overline{\overline{A}} + \overline{\overline{B}} \qquad (\text{डी मोर्गन प्रमेय से } \because \overline{A.B} = \overline{A} + \overline{B})$$

अतः $Y = A + B$

अतः यह परिपथ एक OR द्वार की भांति कार्य करता है।

प्र. 8. चित्र में दिए गए NOR गेट युक्त परिपथ की सत्यमान सारणी लिखिए और इस परिपथ द्वारा अनुपालित तर्क संक्रियाओं (OR, AND, NOT) को अभिनिर्धारित कीजिए।

(संकेत-A = 0, B = 1 तब दूसरे NOR गेट के निवेश A और B, 0 होंगे और इस प्रकार Y = 1 होगा। इसी प्रकार A और B के दूसरे संयोजनों के लिए Y के मान प्राप्त कीजिए। OR, AND, NOT द्वारों की सत्यमान सारणी से तुलना कीजिए और सही विकल्प प्राप्त कीजिए।)



चित्र 16.115

उत्तर-दिए गए परिपथ में प्रथम NOR द्वार के निवेशी A तथा B हैं अतः इसका निर्गत $Y_1 = \overline{A+B}$.

द्वितीय NOR द्वार के दोनों निवेशी Y_1 हैं अतः इसका निर्गत

$$Y = \overline{Y_1 + Y_1} = \overline{Y_1} \qquad (\because A + A = A)$$

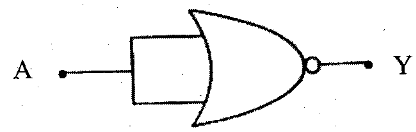
$$Y = \overline{\overline{A+B}} = A + B \qquad (\because \overline{\overline{A}} = A)$$

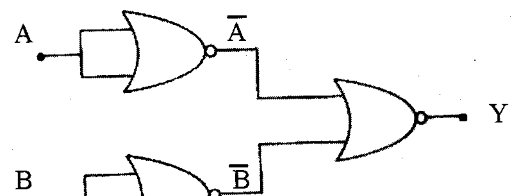
अतः यह परिपथ एक OR द्वार की भांति कार्य करता है। इसकी सत्यमान सारणी निम्नानुसार है-

निवेशी A	निवेशी B	निर्गत $Y_1 = \overline{A+B}$	अन्तिम निर्गत $Y = \overline{Y_1} = \overline{\overline{A+B}} = A+B$
0	0	1	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	0	1

सत्यमान सारणी से भी स्पष्ट है कि परिपथ OR द्वार की भांति कार्य करता है।

प्र.9. चित्र में दर्शाए गए केवल NOR गेटों से बने परिपथ की सत्यमान सारणी बनाइए। दोनों परिपथों द्वारा अनुपालित तर्क संक्रियाओं (OR, AND, NOT) को अभिनिर्धारित कीजिए।





चित्र 16.116

उत्तर-दिए गए परिपथ में NOR द्वार के दोनों निवेशी A हैं अतः इसकी सत्यमान सारणी

निवेशी A	निर्गत $Y = \overline{A+A} = \overline{A}$
0	$\overline{0+0} = \overline{0} = 1$
1	$\overline{1+1} = \overline{1} = 0$

अतः यह परिपथ एक NOT द्वार की भांति कार्य करता है।

(b) दिए गए परिपथ में प्रथम NOR द्वार के दोनों निवेशी A है, माना इसका निर्गत Y_1 हैं तथा द्वितीय NOR द्वार के दोनों निवेशी B हैं, माना इसका निर्गत Y_2 हैं। तीसरे NOR द्वार के निवेशी Y_1 व Y_2 हैं तब इसकी सत्यमान सारणी निम्नानुसार होगी-

निवेशी A	निवेशी B	प्रथम NOR द्वार का निर्गत $Y_1 = \overline{A+A} = \overline{A}$	द्वितीय NOR का निर्गत $Y_2 = \overline{B+B} = \overline{B}$	अन्तिम निर्गत $Y = \overline{Y_1 + Y_2} = \overline{\overline{A}+\overline{B}}$. $Y = \overline{\overline{A.B}} = A.B$
0	0	1	1	$\overline{1+1} = \overline{1} = 0$
0	1	1	0	$\overline{1+0} = \overline{1} = 0$
1	0	0	1	$\overline{0+1} = \overline{1} = 0$
1	1	0	0	$\overline{0+0} = \overline{0} = 1$

अतः यह परिपथ एक AND द्वार की भांति कार्य करता है।