

7

સેમીકન્ડક્ટર ઈલેક્ટ્રોનિક્સ : દ્રવ્યો, રચનાઓ અને સાદા પરિપથો

7.1 પ્રસ્તાવના (Introduction)

આધુનિક યુગમાં ‘ઈલેક્ટ્રોનિક્સ’ શબ્દથી ભાગ્યે જ કોઈ અજાણ હશે. વાયુઅંગમાં વિદ્યુત-વિસર્જનના પ્રયોગો પરથી ઈલેક્ટ્રોનિક્સ શોધ થઈ અને ઈલેક્ટ્રોન દ્રવ્યના બંધારણમાં ભાગ લેતો અગત્યનો કષા છે તેમ પ્રસ્થાપિત થયું, ત્યાર બાદ દ્રવ્યના અનેક ઈલેક્ટ્રોનિક ગુણધર્મો જેમકે વિદ્યુતવાહકતા વર્ગેરેનો વિગતે અભ્યાસ કરવામાં આવ્યો છે.

ધાતુપદાર્થોમાં વિદ્યુતવાહકતાનો ગુણધર્મ તેમાં રહેલા ‘મુક્ત’ ઈલેક્ટ્રોનને આભારી છે. સામાન્ય સંજોગોમાં વિદ્યુત-સુવાહકમાં ઓહ્ઝમના નિયમનું પાલન થાય છે. બીજા શાદોમાં, સુવાહકોમાં ઈલેક્ટ્રોન વડે વિદ્યુતપ્રવાહનું નિર્માણ એવી રીતે થાય છે કે જેથી ઓહ્ઝમનો નિયમ મળી શકે છે. અર્થાત્, વિદ્યુતપ્રવાહનું મૂલ્ય વિદ્યુતસ્થિતિમાનના તફાવત પર રેખીય રીતે આધાર રાખે છે.

જો વાહક પદાર્થનું નિર્માણ કરતા વિદ્યુતભારો પર આપણે નિયંત્રણો લાદી શકીએ, તો વિદ્યુતપ્રવાહ (I) અને વિદ્યુતસ્થિતિમાનના તફાવતો (V) વચ્ચે જુદા-જુદા પ્રકારના સંબંધો મેળવી શકીએ અને તે અનુસાર આપણે વિદ્યુતપ્રવાહો અને વિદ્યુતસ્થિતિમાનના તફાવતો દ્વારા વિશિષ્ટ પ્રકારનાં કાર્યો કરાવી શકીએ. વળી, આપણે એવી રચનાઓ (devices) બનાવવાનો પણ વિચાર કરી શકીએ કે જેમાં ઈલેક્ટ્રોનનું ‘ઉત્પાદન’, તેમની સંખ્યા, તેમનું વહન વગેરે પર સંપૂર્ણપણે આપણો કાબૂ રહે, તો તેની રચનાઓ દ્વારા પણ વિશિષ્ટ પ્રકારના I - V સંબંધો મેળવી શકાય અને તેમના વિશિષ્ટ ઉપયોગો કરી શકાય. આવી રચનાઓ કુદરતમાં પણ કોઈક એવા પદાર્થો મળી શકે કે જેમાં યોગ્ય ફેરફારો કરીને પણ આવી રચનાઓ વિકસાવી શકાય. ઈલેક્ટ્રોનિક્સમાં આવી રચનાઓ અને તેમની વિશિષ્ટ કામગીરીઓના અભ્યાસો કરવામાં આવે છે.

(નોંધ : ઈલેક્ટ્રોનિક્સ શબ્દ Electron Mechanics પરથી આવેલો છે.)

ધાતુઅંગમાં મુક્ત ઈલેક્ટ્રોનને કારણે જેવું વિદ્યુતવહન થાય છે, તેના કરતાં જુદી રીતે વિદ્યુતવહન થતું હોય તેવા પદાર્થો પણ કુદરતમાં છે. આવા પદાર્થોમાં યોગ્ય બેણ્સેન કરવાથી વિશિષ્ટ પ્રકારના I - V સંબંધો મેળવી શકાય છે. આવા પદાર્થોને લીધે સોલિડ સ્ટેટ ઈલેક્ટ્રોનિક્સનો વિકાસ શકય બન્યો છે.

સોલિડ સ્ટેટ ડિવાઇસીસ (ધન અવસ્થા રચનાઓ) કદમાં નાની અને હલકી હોવાથી તેમનાથી બનતાં ઈલેક્ટ્રોનિક ઉપકરણો કદમાં નાનાં અને વધુ કાર્યક્ષમ થયાં અને તેમની ડિમ્યુનિયમ શકાય.

પ્રસ્તુત પ્રકરણમાં આપણે P-N જંક્શન ડાયોડ, ટ્રાનિઝસ્ટર, LED (Light Emitting Diode), સોલરસેલ જેવી સેમીકન્ડક્ટર રચનાઓનો અભ્યાસ કરીશું. ઉપરાંત આપણે રિજિટલ ઈલેક્ટ્રોનિક્સના આધાર સંબંધી જેવા લોજિક (Logic) પરિપથોનો પણ અભ્યાસ કરીશું.

7.2 સુવાહકો, અવાહકો અને અર્ધવાહકો (બોન્ડના સંદર્ભમાં)

(Conductors, Insulators and Semiconductors (A Bond Picture))

આવર્તકોષ્ટકના પ્રથમ ગ્રાન સમૂહોમાં રહેલાં ધાતુતત્ત્વો જેવાં કે આલ્કલી ધાતુઓ, ઉમદા ધાતુઓ, ઓલ્યુમિનિયમ વગેરે વિદ્યુત-સુવાહકો છે. આ ધાતુઅંગમાં મુક્ત ઈલેક્ટ્રોનને લીધે સહેલાઈથી વિદ્યુતવહન થાય છે. અને તેમની વિદ્યુત-અવરોધકતા પ્રમાણમાં ઘણી ઓછી હોય છે. અધાતુ તત્ત્વો (Insulator) વિદ્યુતના લગભગ અવાહક છે. આવા પદાર્થોમાં મુક્ત ઈલેક્ટ્રોન હોતા નથી. આ તત્ત્વોની વિદ્યુત-અવરોધકતા ઘણી જ મોટી હોય છે.

આવર્તકોષ્ટકના ચોથા સમૂહમાંનાં Si અને Ge જેવાં તત્ત્વોની વિદ્યુત-અવરોધકતા ધાતુઓની વિદ્યુત-અવરોધકતા કરતાં વધારે પરંતુ અધાતુઓની વિદ્યુત-અવરોધકતા કરતાં ઓછી હોય છે. આવાં **તત્ત્વો અર્ધવાહકો કહેવાય છે.**

સુવાહકો અને અર્ધવાહકોમાં વિદ્યુતવહનની પ્રક્રિયા જુદા-જુદા પ્રકારની હોય છે. Si અને Ge વસ્તુતઃ અર્ધવાહકો તેમના શૂદ્ધ સ્વરૂપમાં શૂન્ય કેલિન તાપમાને અવાહકો તરીકે જ વર્ત છે.

સુવાહકોનું તાપમાન વધારતા તેમની અવરોધકતા વધે છે, જ્યારે અર્ધવાહકોનું તાપમાન અમુક મર્યાદામાં વધારતાં તેમની અવરોધકતા ઘટે છે. અર્ધવાહક પર યોગ્ય આવૃત્તિવાળા વિકિરણને આપાત કરતાં પણ તેમની વાહકતામાં ફેરફાર થાય છે.

ટેબલ 7.1

સુવાહક, અવાહક અને અર્ધવાહકોની અવરોધકતા (ઓરડાના તાપમાને)

(ફક્ત જાણકારી માટે)

પદાર્થ	અવરોધકતા (ρ) ($\Omega \text{ m}$)	વાહકતા ($\sigma = \frac{1}{\rho}$) (S/m)	વર્ગીકરણ
ચાંદી	1.6×10^{-8}	6.25×10^7	સુવાહક
કોપર	1.7×10^{-8}	5.88×10^7	
એલ્યુમિનિયમ	2.6×10^{-8}	3.85×10^7	
જર્મનિયમ (શૂદ્ધ)	6.5×10^{-1}	1.54	અર્ધવાહક
સિલિકોન (શૂદ્ધ)	2×10^8	5×10^{-9}	
ગ્લાસ	1.7×10^{11}	5.88×10^{-12}	અવાહક
હાર્ડ રબર	1.0×10^{16}	1×10^{-16}	

Si અને Geને મૂળભૂત અર્ધવાહક એટલે કે Elemental Semiconductors કહે છે. આવા અર્ધવાહકોમાંથી PN જંક્શન, લેનર ડાયોડ, ડ્રાઇઝર વગેરે જેવા ઇલેક્ટ્રોનિક્સ રચનાઓ તૈયાર કરવામાં આવે છે.

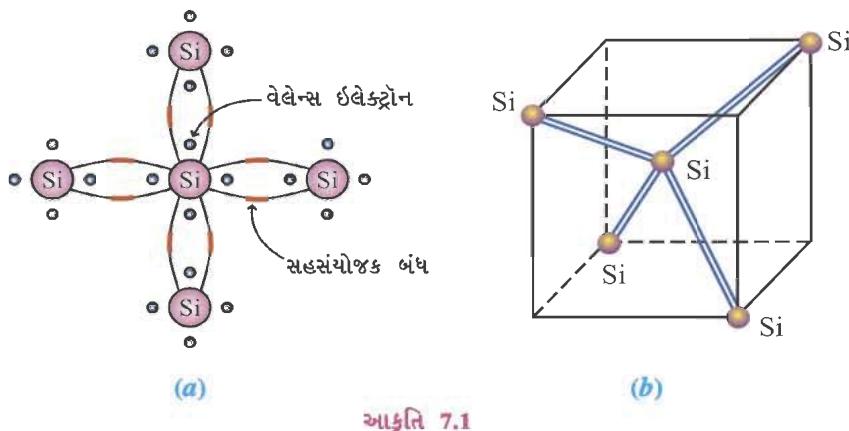
Elemental Semiconductors ઉપરાંત અમુક સંયોજનો (compounds) પણ અર્ધવાહક તરીકે વર્તે છે. આ પ્રકારના અર્ધવાહકોમાં અકાર્બનિક અને કાર્બનિક સંયોજનો ઉપરાંત પોલિમર કાર્બનિક પદાર્થોમાં સમાવેશ થાય છે. ઉદાહરણ તરીકે, CdS (કેડમિયમ સલ્ફાઈડ), GaAs (ગેલેયમ આર્સેનાઈડ), CdSe (કેડમિયમ સેલેનાઈડ) વગેરે અકાર્બનિક અર્ધવાહકો છે. સોલરસેલ, LED, લેસર ડાયોડ જેવી રચનાઓ આ પ્રકારના અર્ધવાહકોમાંથી બનેલી હોય છે.

ઈ.સ. 1990 પછી કેટલીક અર્ધવાહક રચનાઓ કાર્બનિક અને પોલિમર કાર્બનિક પદાર્થોમાંથી બનાવવામાં આવે છે. પરિણામે પોલિમર ઇલેક્ટ્રોનિક્સ અને મોલેક્યુલર ઇલેક્ટ્રોનિક્સના વિકાસની ક્ષિતિજો વિસ્તરી છે.

પ્રસ્તુત પ્રકરણમાં આપણે મૂળભૂત અર્ધવાહકોનો અભ્યાસ કરીશું જેમાં Si તત્ત્વ વધારે અગત્યનો છે.

Siનો પરમાણુકમાં 14 છે. તેની ઇલેક્ટ્રોનિક સંરચના $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$ માં $1s^2 2s^2 2p^6$ થી K અને L કવચો (Shell) સંપૂર્ણ ભરાયેલી હોય છે. અને $3s^2 3p^2$ ઇલેક્ટ્રોન્સ વેલેન્સ ઇલેક્ટ્રોન્સ છે. આમ, Si (અને Ge (Z = 32) પણ) ટેન્ટાવેલન્ટ છે. અહીં બે s કષાકો અને બે p-કષાકોમાંથી કુલ ચાર sp³ સંકર કષાકો તૈયાર

થાય છે અને આ કક્ષકો પરોશી પરમાણુઓની આવી જ કક્ષકો સાથે મળીને સહસંયોજક બંધ (Convalent Bond) તૈયાર કરે છે. દરેક સહસંયોજક બંધમાં બે ઇલેક્ટ્રોન હોય છે. આમ, સિલિકોનનો દરેક પરમાણુ પોતાના ચાર વેલેન્સ ઇલેક્ટ્રોનમાંથી એક-એક ઇલેક્ટ્રોનની પોતાના ચાર પાડોશી પરમાણું સાથે ભાગીદારી કરી સહસંયોજક બંધ રચે છે. આકૃતિ 7.1(a)માં આ સ્થિતિ દ્વિ-પરિમાણમાં અને આકૃતિ 7.1 (b)માં ત્રિ-પરિમાણમાં દર્શાવી છે. પરમાણુઓની આવી ગોઠવણી ત્રિપરિમાણમાં આગળ વધારવાથી ડાયમન્ડ બંધારણ તૈયાર થાય છે. આમ, Si અને Ge એ ડાયમન્ડ સ્ફિટિક-બંધારણ ધરાવે છે.

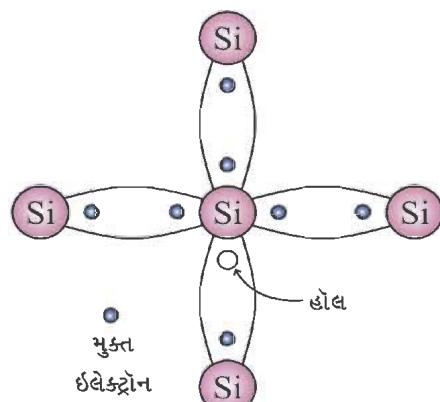


હોલની સંકલ્પના : નિરપેક્ષ શૂન્ય તાપમાને Si (અને Ge)ના બધા વેલેન્સ ઇલેક્ટ્રોન સહસંયોજક બંધમાં જકડાયેલા હોય છે. પરિણામે Si (અને Ge) આ તાપમાને અવાહક તરીકે વર્તે છે. ઓરડાના તાપમાને સ્ફિટિકમાંના પરમાણુઓ ઉભીય દોલનો (Thermal Oscillations) કરે છે. પરિણામે કેટલાક સહસંયોજક બંધમાં લંગાણ સર્જય છે અને તેવા સહસંયોજક બંધમાંથી ઇલેક્ટ્રોન છટકીને ‘મુક્ત’બની જાય છે. આવા મુક્ત ઇલેક્ટ્રોન વિદ્યુતવહનમાં ભાગ લે છે.

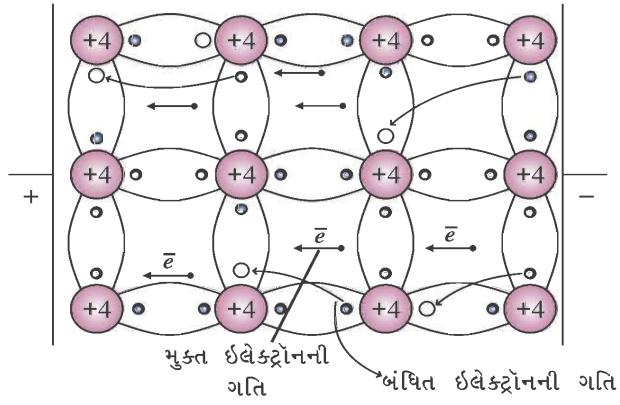
સહસંયોજક બંધમાંથી ઇલેક્ટ્રોન છૂટો પડી જતાં તે જગ્યાએ ઇલેક્ટ્રોનની ઊંઘાપ વર્તીય છે. સહસંયોજક બંધમાં ઇલેક્ટ્રોનની ગેરહાજરીશી ખાલી રહેતી ‘જગ્યા’માં ઇલેક્ટ્રોનને ‘આકર્ષવા’ની વૃત્તિ હોય છે. જો બીજા કોઈ સહસંયોજક બંધમાં ભંગાળ સર્જઈને ઇલેક્ટ્રોન લ્યાંથી છૂટો પડે, તો તેવો ઇલેક્ટ્રોન આ ખાલી જગ્યામાં ગોઠવાઈ જાય છે. આ ખાલી જગ્યાને હોલ કહે છે. અને જાણો કે તે ધનવિદ્યુતભાર ધરાવતા હોય તેમ વર્તે છે. (જુઓ આકૃતિ 7.2) બરાબર યાદ રાખો કે, હોલ એ કોઈ વાસ્તવિક કણ નથી અને તેમાં ધનવિદ્યુતભાર જેવું કંઈ નથી, તો પ્રશ્ન એવો થાય કે હોલને આપણે શાથી મહત્વ આપીએ છીએ ?

ઓરડાના તાપમાને, Si માં ઇલેક્ટ્રોનને સહસંયોજક બંધમાંથી છટકવા માટે જરૂરી ઊર્જા 1.1 eV અને Ge માટે 0.72 eV છે.

સેમીકન્ડક્ટર ઇલેક્ટ્રોનિક્સ : દ્રવ્યો, રચનાઓ અને સાદા પરિપથો



અર્ધવાહકમાં વિદ્યુતવહન : આપણે જોયું કે સહસંયોજક બંધમાંથી છટકેલ ઈલેક્ટ્રોન મુક્ત બની જાય છે અને તેમાં હોલ ઉદ્ભાવે છે. આ સ્થિતિમાં જ્યારે સ્ફટિકના બે છેડા વચ્ચે p.d. પ્રસ્થાપિત કરવામાં આવે ત્યારે મુક્ત ઈલેક્ટ્રોન ઋણ છેડાથી ધન છેડા તરફ ગતિ કરીને વિદ્યુતપ્રવાહનું નિર્માણ કરે છે. (જુઓ આકૃતિ 7.3)



આકૃતિ 7.3 અર્ધવાહકમાં વિદ્યુતનું વહન

આમ, અર્ધવાહકમાં વિદ્યુતપ્રવાહ બે પ્રકારે મળે છે : (1) મુક્ત થઈ ગયેલા ઈલેક્ટ્રોનની ગતિ (I_e) (2) બંધિત ઈલેક્ટ્રોન અથવા હોલની ગતિ (I_h).

આવા ઈલેક્ટ્રોન બંધિત અવસ્થામાંથી છટકીને નજીકના હોલમાં જ ફરીથી બંધિત અવસ્થામાં આવી જાય છે. આ ઈલેક્ટ્રોનને 'મુક્ત' ઈલેક્ટ્રોન ગણી શકાય નહીં. મુક્ત ઈલેક્ટ્રોન દ્વારા મળતા વહનથી જુદું પાડવા માટે બંધિત ઈલેક્ટ્રોનની ગતિની વિરુદ્ધ દિશામાં ગતિ કરતાં હોલની ગતિના સ્વરૂપમાં નિરૂપવામાં આવે છે.

હોલની ગતિ ઈલેક્ટ્રોનની ગતિની વિરુદ્ધ દિશામાં એટલે કે ધનથી ઋણ છેડા તરફ હોવાથી હોલ ધનવિદ્યુતભારી કણની જેમ વર્તતા લઈ શકાય છે. હવે જ્યારે કોઈ એમ કહે કે વહન હોલને કારણે થાય છે. ત્યારે સમજજું કે બંધિત ઈલેક્ટ્રોન દ્વારા થાય છે. શુદ્ધ કે અંતર્ગત અર્ધવાહક Si અને Geમાં મુક્ત ઈલેક્ટ્રોન અને હોલ એમ બંને કારણે વિદ્યુત-વહન થાય છે એટલે કે ઈલેક્ટ્રોન અને હોલ બંને વિદ્યુતભારવાહકો છે.

શુદ્ધ અર્ધવાહકમાં મુક્ત ઈલેક્ટ્રોન અને હોલ જોડકામાં જ ઉદ્ભબતા હોવાથી તેમની સંખ્યા-ઘનતા (Number Density) અનુકૂળે n_e અને n_h સમાન હોય છે. અહીં, ઈલેક્ટ્રોન અને હોલને ઇન્ટ્રિન્સિક (Intrinsic) વિદ્યુતભારવાહકો પણ કહે છે. આથી, તેમની સંખ્યા ઘનતાને n_i વડે દર્શાવાય છે. આમ, શુદ્ધ અર્ધવાહક માટે, $n_e = n_h = n_i$.

સિલિકોન Si (કે Ge જર્મનિયમ)નું તાપમાન વધારતાં વધારે બંધમાં લંગાણ સંર્જય છે. પરિષામે વધારે મુક્ત ઈલેક્ટ્રોન અને હોલ પ્રાપ્ત થાય છે. આમ, વિદ્યુતભારવાહકનોની સંખ્યા-ઘનતા વધતાં વાહકતામાં વધારો થાય છે.

7.3 સુવાહકો, અવાહકો અને અર્ધવાહકો (બેન્ડવાદ અનુસાર) (Conductors, Insulators and Semconductors - A band picture)

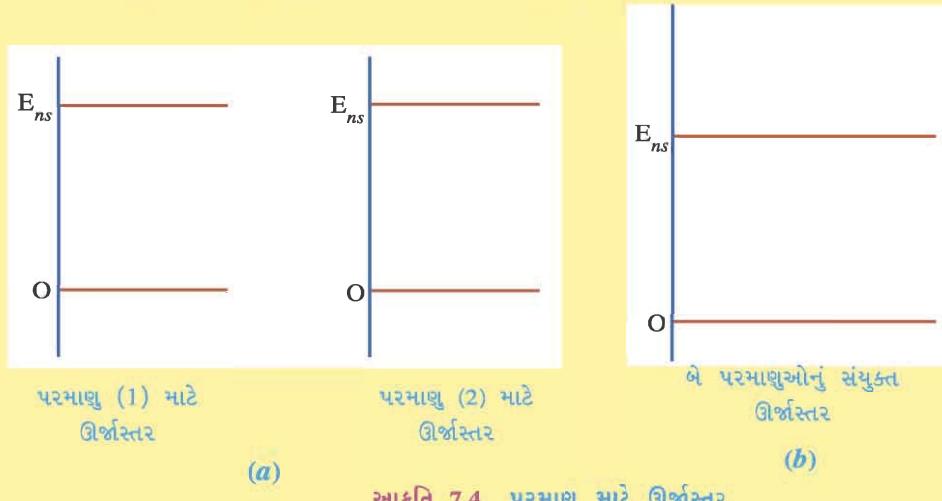
કુન્ત જાળકારી માટે : કેટલાંક ધન પદાર્થોના X-ray અભ્યાસ તેમજ બીજા અભ્યાસો દર્શાવે છે કે તે સ્ફટિકમય બંધારણ ધરાવે છે. એટલે કે તેમાં અણૂઝો કે પરમાણુઓ નિયમિત રીતે ગોઠવાયેલા હોય છે. અગાઉના પ્રકરણમાં આપણે હાઇડ્રોજનના ઈલેક્ટ્રોનનાં ઊર્જાસ્તરોનો જે અભ્યાસ કર્યો તે આ ડિસ્પામાં લાગુ પાડી શકાતો નથી. જ્યારે પરમાણુઓ નજીક નજીક ગોઠવાયેલા હોય ત્યારે પરમાણુ તેના પડોશી પરમાણુઓ તેમજ દૂરના અંતરે આવેલા અનેક પરમાણુઓ સાથે આંતરકિયા કરે છે. આથી પરમાણુઓના ઈલેક્ટ્રોનની

ગુર્જ બદલાય છે. પરમાણુની અંદરના કક્ષામાં આવેલ ઈલેક્ટ્રોન્સ ન્યુક્લિયસ સાથે જકડાયેલા હોવાથી તેમની ગુર્જના સ્તરમાં ખાસ ફેર પડતો નથી પરતું બહારની કક્ષામાં ઈલેક્ટ્રોન્સ (વેલેન્સ ઈલેક્ટ્રોન્સ) બીજા પરમાણુઓ સાથે ભાગીદારી કરતો હોવાથી તેની ગુર્જના સ્તરોમાં ફેરફાર થાય છે. સ્વતંત્ર પરમાણુના ઈલેક્ટ્રોનની ગુર્જ કરતાં સ્ફટિકમાં રહેલા દરેક ઈલેક્ટ્રોન માટે અલગ-અલગ ગુર્જનું સ્તર મળે છે. આવા ગુર્જના સ્તરોને ગુર્જપણો અથવા Energy Band કહે છે. ઘન પદાર્થમાં Energy Band કઈ રીતે રચાય છે, તે હવે આપણે સમજશું.

આપણે જાણીએ છીએ, કે કવોન્ટમ-તંત્રની કવોન્ટમીકૃત ગુર્જઓને, યોગ્ય સ્કેલ પર, ઉર્ધ્વાક્ષ પર આડી રેખાઓ વડે રજૂ કરવામાં આવે છે. આવી આકૃતિને Energy Level Diagram કહે છે.

એક કરતાં વધારે પરમાણુઓ ધરાવતા અણુઓ અને ઘનપદાર્થોમાં પણ ઈલેક્ટ્રોનની વર્તણૂક અને તેમની ગુર્જઓનો ખ્યાલ મેળવવા માટે કવોન્ટમ મિકેનિકસનો ઉપયોગ અનિવાર્ય છે.

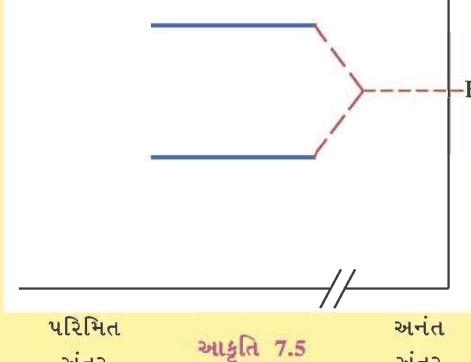
ઘન પદાર્થના કિસ્સામાં ઈલેક્ટ્રોનનાં ગુર્જસ્તરો કેવી રીતે ‘ગોઠવાયેલા’ હોય તે જાણવા માટે એક બહુ જ સાદા કાલ્યનિક ઉદાહરણથી શરૂ કરીએ. આ માટે આપણે, પ્રથમ માત્ર બે પરમાણુવાળા એક અણુનો વિચાર કરીશું. ધારો કે આ અણુના દરેક પરમાણુમાં ns ($n =$ પૂણીક મુખ્ય કવોન્ટમ-નંબર અને $l = 0$ એટલે $l = 0$ કક્ષીય કવોન્ટમ-નંબર) વડે રજૂ કરી શકતું 1 વેલેન્સ ઈલેક્ટ્રોન છે. પરમાણુમાં તેની ગુર્જને આપણે E_{ns} વડે દર્શાવીશું. જ્યારે અણુ રચતા આ પરમાણુઓ સૈદ્ધાંતિક રીતે એકબીજાથી અનંત અંતરે હોય ત્યારે તેમની વચ્ચે કોઈ અંતરરક્ષિત થતી નથી અને બંને પરમાણુઓ આ અર્થમાં એકબીજાથી સ્વતંત્ર છે. તે દરેકમાં ns ઈલેક્ટ્રોનની ગુર્જ E_{ns} છે. આકૃતિ 7.4 (a)માં બંને પરમાણુઓ માટે જુદા-જુદા energy level diagramsમાં E_{ns} ગુર્જસ્તરો દર્શાવ્યાં છે.



આકૃતિ 7.4 પરમાણુ માટે ગુર્જસ્તર

હવે, આ ગુર્જસ્તરોને જુદા-જુદા ડાયાગ્રામમાં દર્શાવવાને બદલે એક જ ડાયાગ્રામમાં દર્શાવીએ, તો E_{ns} દર્શાવતી બંને આડી રેખાઓ એક જ સ્થાને આવશે. આ સ્થિતિ આકૃતિ 7.4 (b)માં દર્શાવી છે.

હવે, આ બે પરમાણુઓને એકબીજાથી પરિમિત અંતરે લાવીએ, તો તેમના બધા જ ઘટકકણો એકબીજા સાથે અંતરરક્ષિત કરશે અને તેથી, તેઓ જ્યારે એકબીજાથી અનંત અંતરે હતા, ત્યારે તેમના વેલેન્સ ઈલેક્ટ્રોનની જે સ્થિતિ-ગુર્જઓ હતી, તે હવે બદલાઈ જશે. પરિણામે આવાં તરંગ-વિધ્યા અને તેમને અનુરૂપ નવી ગુર્જઓ મળશે. એટલે તે તેમની વચ્ચેના અનંત અંતર માટે E_{ns}

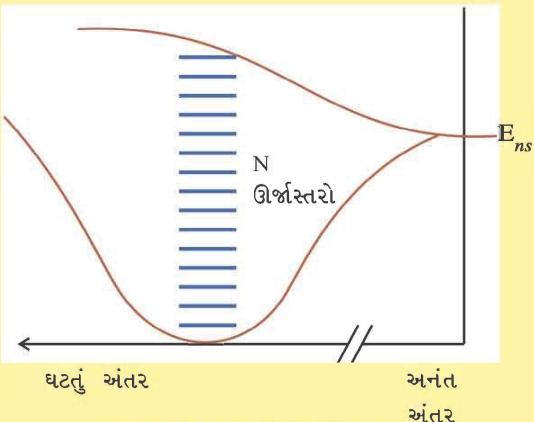


ઊર્જાઓ જે સમાન હતી અને energy level diagram પર એક જ સ્થાને હતી, તેના બદલે હવે આપણાને જુદી-જુદી ઊર્જાવાળા બે ઊર્જાસ્તરો મળશે. આમ, E_{ns} ઊર્જાસ્તરો છૂટાં પડશે, અર્થાત્ ઊર્જાસ્તરોનું splitting થશે. આવું એક કાલ્યનિક splitting (સરળતા ખાતર) આકૃતિ 7.5 માં દર્શાવ્યું છે.

મુખ્ય વાત આ છે : આપણી પાસે E_{ns} ઊર્જાવાળાં (સમાન ઊર્જાનાં) બે સ્તરો હતાં. તેમાંથી આપણાને જુદી-જુદી ઊર્જાવાળાં બે સ્તરો મળ્યાં.

જો આપણા કાલ્યનિક ઉદાહરણમાં ગ્રાફ પરમાણુઓ હોત અને તે દરેકમાં એક-એક E_{ns} ઊર્જાવાળાં સરહોત, તો તેમનું ઉપર જણાવ્યા અનુસાર splitting થઈને ગ્રાફ ઊર્જાસ્તરો મળ્યાં હોત. અને અંતર સાથે ઊર્જાના, હવે બેને બદલે ગ્રાફ આવેખો મળ્યાં હોત.

હવે, તમે સમજ શક્ખો કે જો N પરમાણુઓ માટે આવી ગણતરી કરીએ, તો N પરમાણુઓ પરનાં E_{ns} ઊર્જાસ્તરોમાંથી આપણાને જુદી-જુદી ઊર્જા સાથે N ઊર્જાસ્તરો મળે. (ઊર્જાસ્તરોની કુલ સંખ્યા બદલાતી નથી તે હકીકત ખાસ નોંધો.) વળી, બે પરમાણુઓ માટે અંતર સાથે ઊર્જાસ્તરોની ઊર્જાના બે આવેખોને બદલે હવે આપણાને N આવેખો મળે. આકૃતિ 7.6માં સરળતા ખાતર આપણે splitting પછી, સૌથી વધારે અને સૌથી ઓછી ઊર્જા ધરાવતા સ્તરો માટેના બે આવેખો દર્શાવ્યા છે. વચ્ચેનાં ઊર્જાસ્તરોની ઊર્જાઓ માત્ર આડી રેખાઓ વડે દર્શાવી છે.



આકૃતિ 7.6 N પરમાણુઓના ઊર્જાસ્તરો

આ રીતે મળતાં ઊર્જાસ્તરોમાં બે કંભિક ઊર્જાસ્તરો વચ્ચે ઊર્જાનો તફાવત સામાન્ય રીતે નાનો હોય છે. આવાં N ઊર્જાસ્તરોનો સમૂહ એક ઊર્જા-બેન્ડ (Energy Band) રચે છે, તેમ કહેવાય. અને આપણા ઉદાહરણમાં જે બેન્ડ મળે છે તે ns levelમાંથી મળે છે તેમ કહેવાય. આમ, આ બેન્ડનું નામાભિદાન પણ ns વડે કરી શકાય. આપણે nsને વેલેન્સ અવસ્થા ગણી છે, એટલે આ બેન્ડને આપણા ઉદાહરણની વેલેન્સ-બેન્ડ કહેવાય.

હવે, આટલી જાણકારી સાથે Si (સિલિકોન) માટે કેવી બેન્ડસ મળે તેનો અવ્યાસ કરીએ.

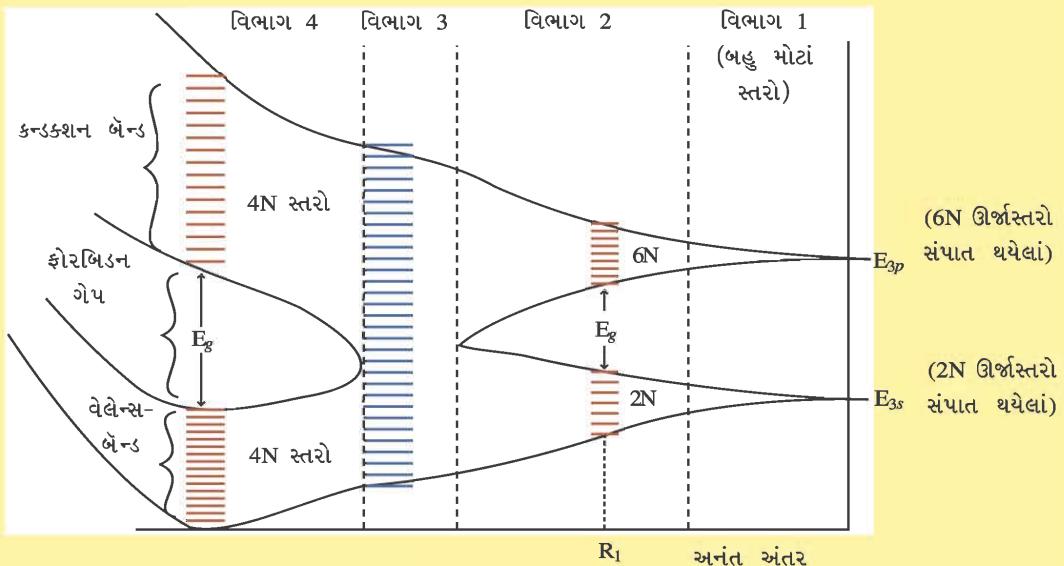
સિલિકોન પરમાણુની ઈલેક્ટ્રોન-સંરચના $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$ છે. અહીં $n = 1$ (K-કવચ) અને $n = 2$ (L-કવચ) સંપૂર્ણ ભરાયેલી છે અને તેથી $3s^2 3p^2$ એ વેલેન્સ અવસ્થાઓ છે. અંતે 3d પ્રકારના બે અને $3p$ પ્રકારના બે એમ કુલ ચાર વેલેન્સ ઈલેક્ટ્રોન્સ છે. જો સિલિકોનના ઘન પદાર્થમાં N પરમાણુઓ હોય, તો અને પ્રારંભમાં આ પરમાણુઓ એકબીજાથી અનંત અંતરે હોય તો, તો 3d પ્રકારના 2N ઈલેક્ટ્રોન્સ અને 3p પ્રકારના 2N એમ કુલ 4N ઈલેક્ટ્રોન્સ હોય. હવે, દરેક સિલિકોન પરમાણુ પર બે 3d વેલેન્સ-અવસ્થા અને 6, 3p વેલેન્સ-અવસ્થાઓ છે. આમ, દરેક પરમાણુ પર કુલ

8 વેલેન્સ-અવસ્થાઓ છે. આથી, N પરમાણુઓ પર કુલ $(2N + 6N)$ જેટલી વેલેન્સ-અવસ્થાઓ છે. આમાં 3s પ્રકારની $2N$ અવસ્થાઓની ઊર્જાઓ E_{3s} સમાન હોય અને 3p પ્રકારની $6N$ અવસ્થાઓની ઊર્જાઓ E_{3p} પણ સમાન હોય. આંતરપરમાણુ-અંતરો અનંત હોય ત્યારે તેમને આફ્ટિ 7.7માં દર્શાવ્યા અનુસાર દર્શાવી શકાય.

હવે પરમાણુઓને એકબીજાની નજીક લાવવામાં આવે છે, ત્યારે 3d પ્રકારના સ્તરોનું જુદી-જુદી ઊર્જવાળાં $2N$ સ્તરોમાં અને 3p પ્રકારના સ્તરોનું જુદી-જુદી ઊર્જવાળાં $6N$ સ્તરોમાં splitting થાય છે. નમૂના ખાતર એક અંતર R_1 માટે 3dમાંથી મળતા $2N$ સ્તરો અને 3pમાંથી મળતાં $6N$ સ્તરો દર્શાવ્યાં છે. અહીં E_g ને બેન્ડગેપ કહે છે.

શબ્દોમાં, અને આપણે આંતરપરમાણુ-અંતર માટે બેન્ડગેપ એટલે E_{3s} માંથી મળતાં મહત્તમ ઊર્જવાળા સ્તર અને E_{3p} માંથી મળતા લઘુત્તમ ઊર્જવાળા સ્તરની ઊર્જાનો તફાવત.

હજુ, આંતરપરમાણુ-અંતરો ઘટાડવામાં આવે તો વિભાગ-3માંનાં આંતરપરમાણુ-અંતરો માટે 3d પ્રકારની બેન્ડ અને 3p પ્રકારની બેન્ડ વચ્ચે કોઈ ગેપ રહેતી નથી અને કુલ $8N$ સ્તરોની સંખ્યા બેન્ડ મળે છે. હજુ પણ વિભાગ 3માંનાં અંતરો કરતાં ઓછાં અંતરો લેવામાં આવે તો વિભાગ 4માંનાં અંતરો માટે, ઉપર્યુક્ત $8N$ સ્તરોમાંથી હવે $4N$ સ્તરો ધરાવતી બીજી બેન્ડ મળે છે. તેમની વચ્ચેની બેન્ડગેપ આફ્ટિ 7.7 માં દર્શાવેલ છે. સિલિકોન પરમાણુઓ વચ્ચેના સમતોલન અંતર માટે આ બંને બેન્ડ્સ આફ્ટિમાં દર્શાવી છે. હવે, નીચેની $4N$ સ્તરો ધરાવતી બેન્ડમાં, દરેક સ્તરમાં એક એમ કુલ $4N$ ઈલેક્ટ્રોનસ મૂકી શકાય. આમ કરવાથી આ બેન્ડ સંપૂર્ણ ભરાઈ ગઈ છે તેમ કહેવાય. (ઇલેક્ટ્રોનસ્પિનને ધ્યાનમાં લેતાં, પાઉલીના exclusion સિદ્ધાંત અનુસાર એક સ્તરમાં એકથી વધારે ઇલેક્ટ્રોનનો સમાવેશ કરી શકાય નહિ) આપણા ઉદાહરણમાં નીચેની બેન્ડને વેલેન્સ-બેન્ડ કહે છે.



આફ્ટિ 7.7 સિલિકોનનો બેન્ડ ડાયગ્રામ

હવે, અગ્રે મળતી ઉપરની બેન્ડ તદ્દન ખાલી છે. આ સ્થિતિમાં ઇલેક્ટ્રોન્સને ઓછામાંઓછી E_g ઊર્જા આપવામાં આવે, તો તે સંકાંતિ કરીને ઉપરની બેન્ડમાં જઈ શકે. ઇલેક્ટ્રોન પોતાને મળેલી ઊર્જા અનુસાર ઉપરની બેન્ડમાં (બેન્ડ ખાલી હોવાથી) ગમે તે સ્તરમાં જઈ શકે અને તે અર્થમાં તે મુક્ત ઇલેક્ટ્રોન તરીકે વર્તાની વિદ્યુતવહનમાં ભાગ લઈ શકે. આથી, અહીં મળતી ઉપરની બેન્ડને કન્ડક્ષન બેન્ડ કહે છે.

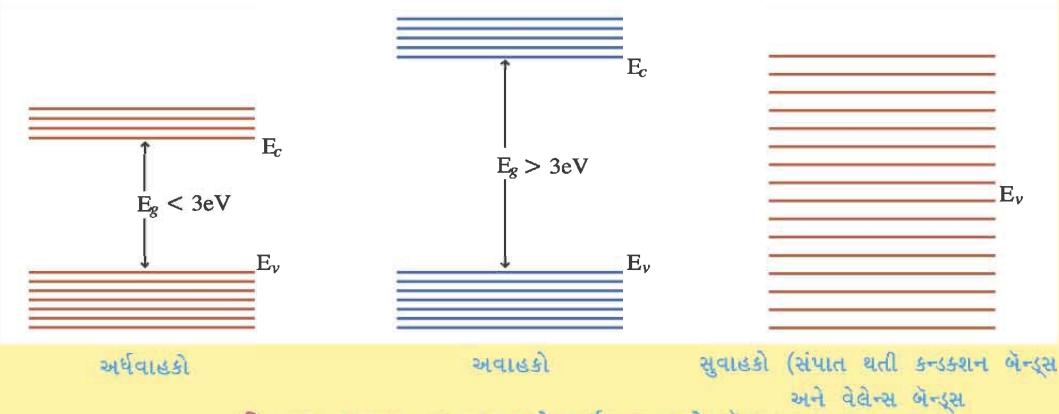
વ्यापक रीते કન્ડક્ષણ-બેન્ડની લઘુતમ ઊર્જા અને વેલેન્સ-બેન્ડની મહત્તમ ઊર્જાના તફાવતને બેન્ડગેપ (E_g) કહે છે. નોંધો કે ઊર્જાના બેન્ડગેપવાળા વિસ્તારમાં કોઈ ઊર્જાસ્તર અસ્તિત્વ ધરાવતું નથી. બીજા શબ્દોમાં ઈલેક્ટ્રોન આ વિસ્તારમાંની કોઈ ઊર્જા ધારણ કરી શકતો નથી. આ અર્થમાં ઊર્જાના આ વિસ્તારને ફોરબિડન ગેપ (Forbidden Gap) કહે છે.

જેવી રીતે અર્ધવાહક પદાર્થોમાં વેલેન્સ-બેન્ડ સંપૂર્ણ ભાલી હોય છે તેવી જ રીતે અવાહક પદાર્થોમાં પણ આવી જ પરિસ્થિતિ હોય છે. માત્ર ફરક એટલો છે કે અર્ધવાહક પદાર્થો માટે બેન્ડગેપનાં મૂલ્યો ઓછાં હોય છે, જ્યારે અવાહક પદાર્થોમાં બેન્ડગેપનાં મૂલ્યો વધારે હોય છે. અર્ધવાહકો માટે આ મૂલ્યો 3eV કરતાં ઓછાં હોય છે, જ્યારે અવાહકો માટે આ મૂલ્યો 3eV કરતાં વધારે હોય છે.

સુવાહક પદાર્થોમાં ઊર્જાસ્તરો કેવાં હોય તે જાણવા માટે આપણો સોલિયમ ધાતુનું સાઢું ઉદાહરણ ચર્ચાશું. Naની ઈલેક્ટ્રોનિક સંરચના $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ છે. આમ, Na માં 1 વેલેન્સ ઈલેક્ટ્રોન હોય છે અને સ્પિનને ધ્યાનમાં લેતા 3s પ્રકારની બે કવોન્ટમ-અવસ્થાઓ હોય છે. જો Na ધાતુનો સ્ફટિક N પરમાણુઓનો બનેલો હોય, તો પરમાણુની અવસ્થામાંથી આપણાને કુલ 2N અવસ્થાઓ પ્રાપ્ત થાય છે. બીજા શબ્દોમાં, હવે 2N ઊર્જાસ્તરો મળે છે. (અહીં આપણો માત્ર 3s ઊર્જાસ્તરમાંથી મળતા ઊર્જાસ્તરોની વાત કરીએ છીએ.) આ રીતે 2N ઊર્જાસ્તરોથી રચાતી બેન્ડમાં એક પછી એક ઈલેક્ટ્રોન પાઉલીના એક્સક્લુઝન પ્રિન્સિપલ અનુસાર મૂકતા જઈએ તો અત્રે કુલ N ઈલેક્ટ્રોન (વેલેન્સ) હોવાથી વેલેન્સ બેન્ડ અધધી જ ભરાય છે. આવી સ્થિતિમાં ઈલેક્ટ્રોન્સ પ્રમાણમાં ઓછી ઊર્જાની જરૂરિયાત સાથે આ બેન્ડમાંના ભાલી સ્તરોમાં સંકાંતિ કરી શકે છે અને આમ તેઓ જોડો કે મુક્ત ઈલેક્ટ્રોન હોય તેમ વર્તીની સહેલાઈથી વિદ્યુતવહન કરી શકે છે. એક કરતાં વધારે વેલેન્સ ઈલેક્ટ્રોન ધરાવતા ધાતુ તત્ત્વોના ઈલેક્ટ્રોનિક્સ બંધારણોના અભ્યાસો દર્શાવે છે કે વેલેન્સ-બેન્ડ અને કન્ડક્ષણ-બેન્ડ એકબીજા પર સંપાત (Overlap) થતી હોય છે.

ધનપદાર્થના બેન્ડવાદની ઉપરની બોક્સમાં આપેલી ચર્ચા માત્ર સમજૂતી પૂરતી છે. આપણો માત્ર, આ ચર્ચાના નિયોડ રૂપે મળતી માહિતીઓ નોંધીને સંતોષ માનીશું.

અર્ધવાહકો, અવાહકો અને સુવાહકોની વેલેન્સ અને કન્ડક્ષણ-બેન્ડ્સ સંખ્યાત્મક રીતે આદૃતિ 7.8માં દર્શાવી છે.



આદૃતિ 7.8 સુવાહક, અવાહક અને અર્ધવાહક માટે બેન્ડ-ડાયાગ્રામ

ધન પદાર્થના બેન્ડવાદની ઉપરની બોક્સમાં આપેલી ચર્ચા માત્ર સમજૂતી પૂરતી છે. આપણો માત્ર, આ ચર્ચાના નિયોડ રૂપે મળતી માહિતીઓ નોંધીને સંતોષ માનીશું.

જેમ પરમાણુઓમાં ઈલેક્ટ્રોન્સની અવસ્થાઓ અને તેને અનુરૂપ ઊર્જાસ્તરો હોય છે, તેમ ધન પદાર્થોમાં પણ ઈલેક્ટ્રોન્સની અવસ્થાઓ અને ઊર્જાસ્તરો હોય છે.

આવા ઊર્જાસ્તરોના સંદર્ભમાં અર્ધવાહકો, અવાહકો અને વાહકો એમ ગ્રાફ પ્રકારનું ધન પદાર્થોનું વર્ગીકરણ સમજી શકાય છે.

અર્ધવાહકો : અર્ધવાહકોના વિદ્યુતવહનને લગતા ગુણવર્ધમો સમજવા માટે આપણે સિલિકોનનું ઉદાહરણ લઈશું. ધરો કે ડાયમન્ડ પ્રકારનું બંધારણ ધરાવતો S_1 નો સ્ફટિક N પરમાણુઓનો બનેલો છે. આ સ્ફટિકના દરેક પરમાણુમાં $3p^2$ એમ બે અને $3p^2$ એમ છ વેલેન્સ-અવસ્થાઓ છે. આમાંથી $3s^23p^2$ સંરચના અનુસાર ચાર અવસ્થાઓ ભરાયેલી છે.

જ્યારે આવા પરમાણુઓ S_1 નો સ્ફટિક રહ્યે છે, ત્યારે સ્ફટિકમાં, ઉપર્યુક્ત $2 + 6 = 8$ વેલેન્સ-અવસ્થાઓમાંથી કુલ 8 N અવસ્થાઓ અને અનુરૂપ 8 N ઊર્જાસ્તરો મળે છે. આ ઊર્જાસ્તરો આકૃતિ 7.9માં દર્શાવ્યા છે.

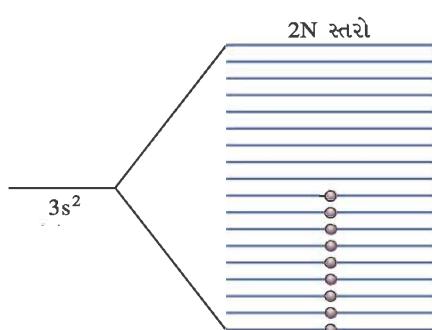
અહીં ખૂબ પાસેપસે રહેતાં 4N સ્તરો એક બેન્ડની રચના કરે છે, તેમ કહેવાય. પાઉલીના exclusion સ્થિરાત્મક અનુસાર, આકૃતિમાં દર્શાવેલ નીચેની બેન્ડમાં દરેક સ્તરમાં 1 એમ 4N ઈલેક્ટ્રોન્સનો સમાવેશ થઈ જતાં આ બેન્ડ સંપૂર્ણ ભરાઈ ગયેલ છે તેમ કહેવાય. અહીં આ બેન્ડ-વેલેન્સ-બેન્ડ કહેવાય છે. આ બેન્ડ સંપૂર્ણ ભરાયેલ હોવાથી ઈલેક્ટ્રોન એક સ્તરમાંથી બીજા સ્તરમાં જઈ શકતા નથી. પરિણામે વિદ્યુતવહન થતું નથી.

આ બેન્ડ પછી ઉપર જતાં ઊર્જાનો એવો વિસ્તાર આવે છે, જેમાં કોઈ ઊર્જાસ્તર નથી. ઊર્જાના આ વિસ્તારને ફોરબિન ગેપ કહે છે. અર્ધવાહકોમાં ફોરબિન ગેપની પહોળાઈ < 3 eV હોય છે. Si અને Ge માટે E_g ના મૂલ્યો અનુકૂમે 1.1 eV અને 0.72 eV છે.

ફોરબિન ગેપના ઉપરના વિસ્તારની બેન્ડને કન્ડક્ષન-બેન્ડ કહે છે. આ સ્થિતિ 0 K તાપમાને હોય છે. હવે જો ઈલેક્ટ્રોનને કોઈક રીતે ફોરબિન ગેપની પહોળાઈ કરતાં વધારે ઊર્જ આપવામાં આવે તો ઈલેક્ટ્રોન વેલેન્સ-બેન્ડમાંથી કન્ડક્ષન બેન્ડમાં જાય છે. આવા ઈલેક્ટ્રોન કન્ડક્ષન- બેન્ડમાં (ઘડાં ખાલી સ્તરો મળતાં હોવાથી) એક સ્તરમાંથી બીજા સ્તરમાં જઈ વિદ્યુતપ્રવાહનું નિર્માણ કરે છે.

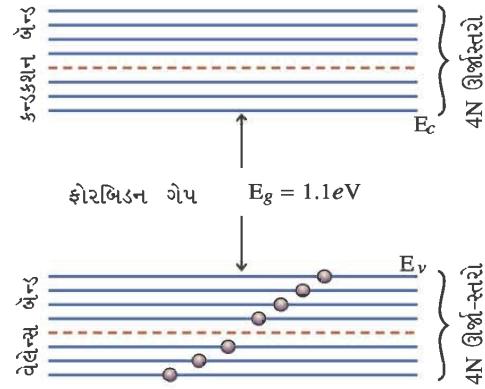
વેલેન્સ-બેન્ડમાંથી ઈલેક્ટ્રોન કન્ડક્ષન-બેન્ડમાં જતાં વેલેન્સ-બેન્ડમાં હોલ સર્જય છે. સ્પષ્ટ રીતે અહીં હોલની સંખ્યા કન્ડક્ષન બેન્ડમાંના ઈલેક્ટ્રોનની સંખ્યા જેટલી હોય છે. આમ, અંતર્ગત અર્ધવાહકમાં ઈલેક્ટ્રોન અને હોલ, સમાન સંખ્યાધનતા સાથે વિદ્યુતભારવાહકો તરીકે હોય છે.

અવાર્ધક પદાર્થો : આવા પદાર્થોમાં વેલેન્સ-બેન્ડ અને કન્ડક્ષન-બેન્ડ વચ્ચેની ફોરબિન ગેપ ઘણી જ મોટી (>3 eV) હોય છે. ડાયમન્ડ માટે E_g નું મૂલ્ય 5.4 eV છે. આથી, ઈલેક્ટ્રોન્સની વેલેન્સ-બેન્ડમાંથી કન્ડક્ષન-બેન્ડમાં સંકાંતિ સહેલાઈથી થતી નથી અને પદાર્થમાં વિદ્યુતવહન થતું નથી.



આકૃતિ 7.10 સોલિયમનો બેન્ડ-ડાયાગ્રામ

સેમીકન્ડક્ટર ઈલેક્ટ્રોનિક્સ : દ્વારા, રચનાઓ અને સાદા પરિપથો



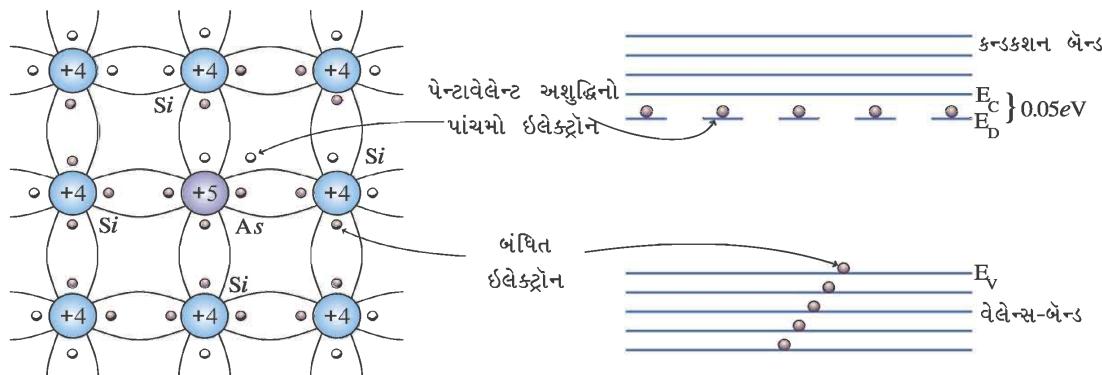
આકૃતિ 7.9 Siનો બેન્ડ-ડાયાગ્રામ
(0 K તાપમાને)

વાહકો : બેન્ડ-વાદના અનુસંધાનમાં વાહકોમાં વિદ્યુતવહન સમજવા $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$. ઈલેક્ટ્રોનિક સંરચના ધરાવતા સોલિયમ પરમાણુઓથી બનતા સ્ફટિકના $3p^2$ અવસ્થાઓમાંથી મળતી બેન્ડ આકૃતિ 7.10માં દર્શાવી છે. આ બેન્ડમાં 2 N સ્તરો છે. આમાંના N સ્તરો દરેક પરમાણુ પરથી મળતા એક-એક એમ N ઈલેક્ટ્રોન્સ વડે ભરાયેલાં છે. બાકીના N સ્તરો ખાલી રહે છે અને તેથી ઈલેક્ટ્રોન્સ આવા સ્તરો વચ્ચે સંકાંતિ કરી સહેલાઈથી વિદ્યુતવહન કરી શકે છે. આ ઉપરાંત ટેટલાક વાહક પદાર્થોમાં કન્ડક્ષન-બેન્ડ અને વેલેન્સ-બેન્ડના સ્તરો એકબીજાના વિસ્તારમાં ભળી ગયેલા હોય છે. અર્થાત્, કન્ડક્ષન-બેન્ડ અને વેલેન્સ-બેન્ડનું Overlapping થાય છે. આ સ્થિતિમાં પણ આ બેન્ડ્ઝ થતા ઘડા સ્તરો ખાલી હોય છે. અને ઈલેક્ટ્રોન્સ દ્વારા વિદ્યુતનું વહન સહેલાઈથી મેળવી શકાય છે.

7.4 N અને P પ્રકારના અર્ધવાહકો (બહિર્ગત અર્ધવાહકો) [N and P type semiconductors (Extrinsic Semiconductors)]

શુદ્ધ અર્ધવાહકોમાં યોગ્ય અશુદ્ધિ ઉમેરવાથી તેમના વાહકતાના ગુણાધર્મોમાં મોટા ફેરફારો કરી શકાય છે. અર્ધવાહકમાં અશુદ્ધિ ઉમેરવાની પ્રક્રિયાને ડોપિંગ (Doping) કહે છે. ઉદાહરણ તરીકે ટેન્ટાવેલન્ટ સિલિકોન કે જર્મનિયમમાં ફોસ્ફરસ, એન્ટિમની અને આર્સેનિક જેવી પેન્ટાવેલન્ટ અથવા ઓલ્યુમિનિયમ, ગેલિયમ કે ઇન્નિયમ જેવી ટ્રાયવેલેન્ટ અશુદ્ધિ ઉમેરતાં અશુદ્ધિ પરમાણુઓ (Impurity Atoms) મૂળ સ્ફટિકમાં ‘યજમાન’ પરમાણુઓને સ્થાને ગોઠવાય છે.

આકૃતિ 7.11માં સિલિકોનની સ્ફટિક-લેટિસ દ્વિ-પરિમાણમાં સંકેતાત્મક રીતે રજૂ કરી છે, તેમાં આર્સેનિકની અશુદ્ધિ ઉમેરલી છે. આકૃતિમાં નમૂના રૂપે એક સિલિકોન પરમાણુના સ્થાને આર્સેનિક પરમાણુઓને બેઠેલા દર્શાવ્યા છે.



આકૃતિ 7.11 અશુદ્ધિ ઉમેરલી Siની સ્ફટિક લેટિસ

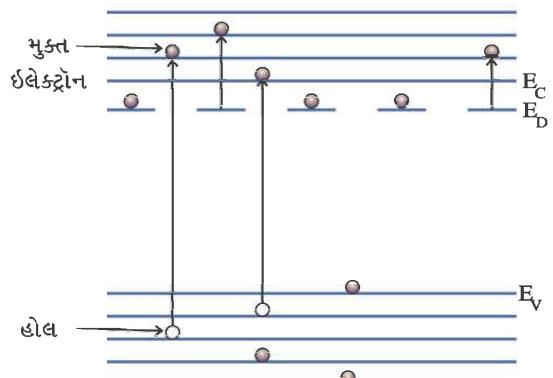
આકૃતિ 7.12 N-પ્રકારના અર્ધવાહકોનો બેન્ડ-ડાયાગ્રામ (0 K તાપમાને)

આર્સેનિક પરમાણુના પાંચ વેલેન્સ ઈલેક્ટ્રોન પૈકી ચાર ઈલેક્ટ્રોન ચાર નજીકતમ સિલિકોન પરમાણુઓ સાથે સહસંયોજક બંધ બનાવવામાં વપરાય છે. જ્યારે પાંચમો ઈલેક્ટ્રોન વધારાના ઈલેક્ટ્રોન તરીકે સ્ફટિકને પ્રામ થાય છે. આ વધારાના ઈલેક્ટ્રોનને જો આશરે 0.05 eV જેટલી ઊર્જા મળે, તો તે મુક્ત ઈલેક્ટ્રોન તરીકે વર્તે છે. Ge માટે આ ઊર્જા 0.01 eV હોય છે. આટલી ઊર્જા તો તેના ઓરડાના તાપમાને જ ઉભા-ઊર્જામાંથી પ્રામ થઈ જાય છે. આમ, અશુદ્ધ પરમાણુઓ મૂળ યજમાન સ્ફટિકને વિદ્યુતભારવાહકો (ઈલેક્ટ્રોન)નું દાન કરે છે, તેથી આવી અશુદ્ધિઓને ડોનર કહેવાય છે. તેમનું પ્રમાણ 10^6 શુદ્ધ પરમાણુઓ દીઠ આશરે 1નું રાખવામાં આવે છે. આથી એક મોલ સ્ફટિકમાં આશરે 10^{17} અશુદ્ધિ-પરમાણુઓ હોય છે. આ દરેક અશુદ્ધિ-પરમાણુમાંથી એક ઈલેક્ટ્રોન પ્રામ થાય છે. તેથી એક મોલ સ્ફટિકમાં આશરે 10^{17} મુક્ત ઈલેક્ટ્રોન મળે છે. તાંબા જેવી સુવાહક ધાતુમાં આ પ્રમાણ આશરે 10^{23} હોય છે.

આ ઉપરાંત ઉભીય ઢોલનોને કારણે કેટલાક બંધિત ઈલેક્ટ્રોન છૂટા પડી હોલનું સર્જન કરે છે. આવા હોલની સંખ્યા ડોનરમાંથી મળેલા ઈલેક્ટ્રોનની સંખ્યાના પ્રમાણમાં ઘણી નાની હોય છે. આમ, પેન્ટાવેલન્ટ અશુદ્ધ ઉમેરવાથી જર્મનિયમ કે સિલિકોનમાં વિદ્યુતવહન મુખ્યત્વે અશુદ્ધિમાંથી દાનમાં મળેલ ઈલેક્ટ્રોન દ્વારા થાય છે. આથી આવા સ્ફટિકમાં મુખ્ય વિદ્યુતભારવાહકો (majority charge carrier) તરીકે ઈલેક્ટ્રોન હોય છે.

ઈલેક્ટ્રોનનો વિદ્યુતભાર ઋણ છે અને ઋણ માટેના અંગ્રેજી શબ્દ negativeના પ્રથમ અક્ષર પરથી આવા સ્ફટિકે N પ્રકારના અર્ધવાહક સ્ફટિક કહે છે. આવા સ્ફટિકમાં હોલને લીધે થતું વિદ્યુતવહન ઘણું જ ઓછું હોય છે અને તેથી અહીં હોલ Minority Charge Carrier તરીકે કાર્ય કરે છે. N પ્રકારના અર્ધવાહક માટે $n_e > n_h$.

N પ્રકારના અર્ધવાહકોમાં વિદ્યુતવહન સમજવા માટે એક N પ્રકારના અર્ધવાહકના ઊર્જાસ્તરો આઈતિ 7.12માં દર્શાવ્યા છે. અહીં, સંપૂર્ણ ભરાયેલી વેલેન્સ-બેન્ડ અને સંપૂર્ણ ખાલી કન્ડક્ષન-બેન્ડના ઊર્જાસ્તરો ઉપરાંત, અશુદ્ધ પરમાણુનાં વેલેન્સ-ઊર્જાસ્તરો પણ નાની રેખાઓ વડે દર્શાવ્યા છે. સમગ્ર પરિસ્થિતિ 0 K તાપમાને છે. પ્રથમ તો એ નોંધો કે અશુદ્ધ પરમાણુઓનાં વેલેન્સ ઊર્જાસ્તરો (E_D) એ E_C ઊર્જાવાળા સત્તરી ખૂબ નજીક છે. Si માટે E_C અને E_D નો તફાવત 0.05 eV છે, જ્યારે, Ge માટે આ તફાવત 0.01 eV છે.



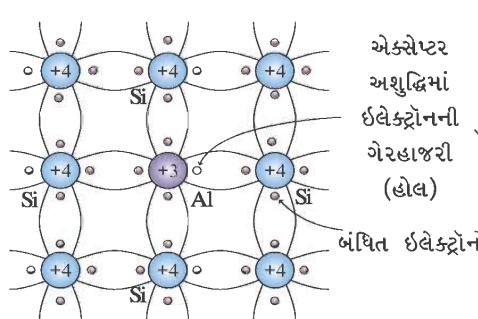
આઈતિ 7.13 N-પ્રકારના અર્ધવાહકનો બેન્ડ-ડાયાગ્રામ (ઓરડાના તાપમાને)

હવે, એ પણ નોંધો કે 0 K તાપમાને આ દરેક અશુદ્ધ પરમાણુના ઊર્જાસ્તરમાં એક-એક ઇલેક્ટ્રોન છે. આપણે જાણીએ છીએ કે અશુદ્ધ પરમાણુઓ અર્ધવાહકમાં (લોટિસમાં) છૂટા-છૂટા ગોઠવાયેલા હોય છે. આથી, આવા પરમાણુની ક્વોન્ટમ વેલેન્સ-અવસ્થાઓને રજૂ કરતાં તરંગવિષેયો આ પરમાણુઓની નજીકમાં જ હોય છે. બીજા શર્દોમાં આ તરંગવિષેયો સમગ્ર પદાર્થમાં પથરાયેલ હોતાં નથી. આથી, તેમને અનુરૂપ ઊર્જાનું મૂલ્ય ભલે સમાન હોય તોપણ સંકેતાત્મક રીતે તેમને નાની-નાની છૂટા-છૂટા રેખાઓ વડે એક જ સમક્ષિતજ ઊચાઈએ દર્શાવાય છે.

અહીં E_c અને E_d નો તફાવત ખૂબ નાનો હોવાથી એ તો સ્પષ્ટ જ છે કે તાપમાન વધારતા વેલેન્સ બેન્ડમાંના ઇલેક્ટ્રોનસ ઉપરાંત અશુદ્ધ પરમાણુઓમાંના વેલેન્સ ઇલેક્ટ્રોનસ પણ કન્ડક્ષન બેન્ડમાં સંકાંતિ કરશે. આથી, હવે કન્ડક્ષન બેન્ડમાં આંતરિક અર્ધવાહકમાં જેટલાં ઇલેક્ટ્રોનસ ચાર્જકેરિયર તરીકે મળે, તેના કરતાં વધારે સંખ્યામાં ચાર્જકેરિયર્સ મળશે. બીજા શર્દોમાં N-પ્રકારના અર્ધવાહકમાં $n_e > n_h$.

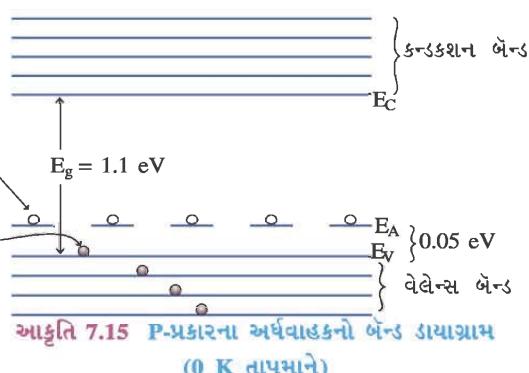
P-પ્રકારના અર્ધવાહકો : જર્મનિયમ કે સિલિકોનમાં જો ઓલ્યુમિનિયમ જેવી ટ્રાયવેલેન્ટ અશુદ્ધ ઉમેરવામાં આવે તો તેના ગ્રાન્યુ વેલેન્સ ઇલેક્ટ્રોન, આસપાસના ચાર જર્મનિયમ કે સિલિકોન પરમાણુઓમાં ગ્રાન્યુ પરમાણુઓ સાથે સહસંયોજક બંધ રચવામાં વપરાય છે, અને એક કોવેલન્ટ બંધમાં ઇલેક્ટ્રોનની ગેરહાજરી રહે છે. જે બંધમાં ઇલેક્ટ્રોનની ગેરહાજરી રહે છે. તેમાં હોલ રહેલું છે તેમ કહેવાય. બરાબર યાદ રાખો કે અહીં મળતું હોલ કંઈ મુક્ત નથી, પરંતુ ઓલ્યુમિનિયમ અને સિલિકોન વચ્ચેના એક બંધમાં છે. આ હોલ ઇલેક્ટ્રોન સ્વીકારવાની દાનત ધરાવે છે, તે અર્થમાં અહીં ઓલ્યુમિનિયમની અશુદ્ધિને એક્સોપર અશુદ્ધિ કહે છે. આવા સ્ફટિકમાં વિદ્યુતવહન મુખ્યત્વે હોલ દ્વારા થાય છે. હોલ ધનવિદ્યુતભારિત કણાની જેમ વર્તતું હોવાથી ધન માટેના અંગ્રેજી શાબ્દ positive ના પ્રથમ અક્ષર પરથી આવા સ્ફટિકોને P-પ્રકારના અર્ધવાહકો કહે છે. P-પ્રકારના અર્ધવાહકમાં મેઝોરિટી ચાર્જકેરિયર તરીકે હોલ અને માઈનોરિટી ચાર્જકેરિયર તરીકે ઇલેક્ટ્રોન હોય છે. સ્પષ્ટ છે કે અહીં, $n_h > n_e$

આઈતિ 7.14માં ઓલ્યુમિનિયમની અશુદ્ધિ સાથેની સિલિકોનની સ્ફટિક લોટિસ સંશાત્મક રીતે રજૂ કરી છે.

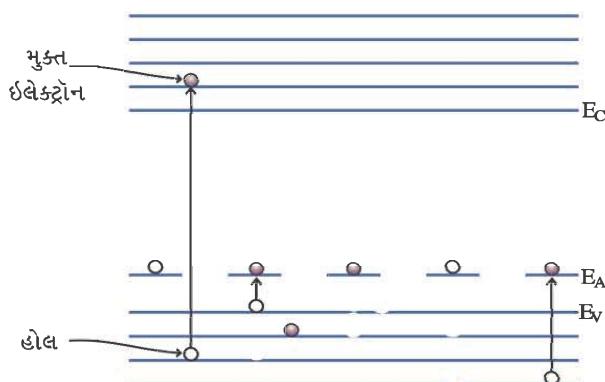


આઈતિ 7.14 Al અશુદ્ધ ઉમેરેલો Si સ્ફટિક

સેમીકન્ડક્ટર ઇલેક્ટ્રોનિક્સ : દ્રવ્યો, રચનાઓ અને સાદા પરિપથો



આઈતિ 7.15 P-પ્રકારના અર્ધવાહકનો બેન્ડ ડાયાગ્રામ (0 K તાપમાને)



**આકૃતિ 7.16 P-પ્રકારના અર્ધવાહકનો બેન્ડ ડાયગ્રામ
(ઓરડાના તાપમાને)**

પરિષામે વેલેન્સ-બેન્ડમાં મોટી સંખ્યામાં હોલ ઉત્પન્ન થાય છે અને ઈલેક્ટ્રોન્સને મુક્ત રીતે હરવા ફરવાની સંભાવના વધી જાય છે. (જુઓ આકૃતિ 7.16) P-પ્રકારના અર્ધવાહકમાં વિદ્યુતવહન શુદ્ધ અર્ધવાહકમાંના વિદ્યુતવહન કરતાં વધારે હોય છે. અહીં $n_h > n_e$.

ઉપર્યુક્ત ચર્ચા દરમિયાન તમને એવો પ્રશ્ન થઈ શક્યો હોત કે અર્ધવાહકને ઊર્જા આપતા તેના વેલેન્સ-બેન્ડમાના બધા જ ઈલેક્ટ્રોન્સ શા માટે સંકાંતિ કરીને કન્ડકશન-બેન્ડમાં જતા નથી? હકીકતમાં કોઈ ઈલેક્ટ્રોન વેલેન્સ-બેન્ડમાંથી કન્ડકશન-બેન્ડમાં જાય અને ઈલેક્ટ્રોન-હોલનું જોડકું રચાય તે પરિસ્થિતિ ‘સ્થિર’ હોતી નથી. પદાર્થના તાપમાન અનુસર, થરમોડાઇનેમિક્સના નિયમો મુજબ ઈલેક્ટ્રોન અને હોલ વચ્ચે અથડામણો થતી હોય અને ઈલેક્ટ્રોન-હોલના પુનઃસંયોજનની પ્રક્રિયાઓ એક સાથે થતી હોય છે. સમતોળના સ્થિતિમાં ઈલેક્ટ્રોન-હોલ ઉત્પન્ન થવાનો દર અને તેમના **પુનઃસંયોજન (Recombination)**નો દર સમાન હોય છે.

$$\text{હવે } \text{પુનઃસંયોજનનો \ } d_2 \approx n_h n_e$$

$$\text{પુનઃસંયોજનનો \ } d_2 = R \ n_h n_e \quad (7.4.1)$$

અહીં R ને પુનઃસંયોજન-ગુણાંક (Recombination Coefficient) કહે છે.

અંતર્ગત અર્ધવાહક માટે, $n_e = n_h = n_i$ હોવાથી,

$$\text{પુનઃસંયોજનનો \ } d_2 = R n_h n_e = R n_i^2 \quad (7.4.2)$$

પરંતુ, અંતર્ગત અર્ધવાહક અને તેમાંથી બનાવેલ બહિર્ગત અર્ધવાહકનાં સ્કટિક બંધારણો સમાન હોવાથી અને ઉપર્યુક્ત પ્રક્રિયાઓ થરમોડાઇનેમિક્સના નિયમોને અનુસરતી હોવાથી આ બંને પ્રકારના અર્ધવાહકો માટે પુનઃસંયોજનનો દર સમાન હોય છે.

$$\therefore R n_e n_h = R n_i^2$$

$$\therefore n_i^2 = n_e n_h \quad (7.4.3)$$

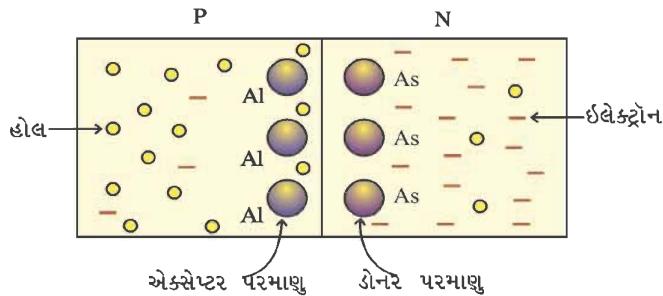
7.5 P-N જંક્શન-ડાયોડ (P-N Junction diode)

જ્યારે Si (અથવા Ge) વેફરના એક વિસ્તારમાં ડોનર અશુદ્ધિ (As) અને બીજા વિસ્તારમાં એક્સેપ્ટર અશુદ્ધિ (Al) ઉમેરવામાં આવે છે. ત્યારે Si વેફરમાં N-પ્રકારના, P-પ્રકારનો અર્ધવાહક તેમજ જંક્શન તૈયાર થાય છે. આકૃતિ 7.17માં જંક્શન બનતા અગાઉ P અને N વિભાગની પરિસ્થિતિ દર્શાવી છે.

P-પ્રકારના અર્ધવાહક માટે બેન્ડ-ઊર્જાસ્તરો અશુદ્ધિ પરમાણુઓનાં વેલેન્સ-ઊર્જાસ્તરો સાથે આકૃતિ 7.15માં દર્શાવ્યા છે. અહીં, અશુદ્ધિ પરમાણુ (Acceptor)ના ઊર્જાસ્તરો E_A એ E_V ની તદ્દન નજીક છે. પણ આ ઊર્જાસ્તરોમાં કોઈ ઈલેક્ટ્રોન ન હોવાથી ત્યા હોલ અસ્તિત્વ ધરાવે છે તેમ કહેવાય.

હવે, ઓરડાના તાપમાને ઈલેક્ટ્રોન્સને પૂરતી ઊર્જા મળતા તેઓ અશુદ્ધિ પરમાણુઓને કારણે મળતાં હોલ્સમાં સહેલાઈથી સંકાંતિ કરી શકે છે. આ ઉપરાંત અમુક ઈલેક્ટ્રોન્સ કન્ડકશન-બેન્ડમાં પણ સંકાંતિ કરે છે. આના

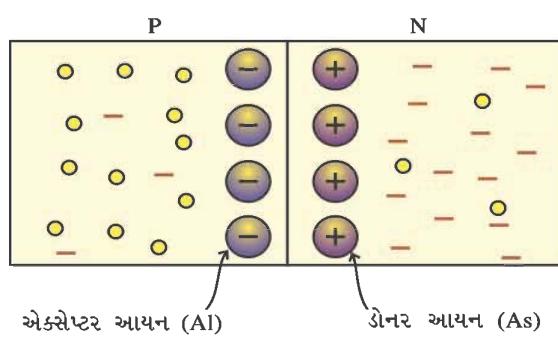
P વિભાગમાં હોલની સંખ્યા વધારે છે. તેને નાનાં વર્તુળો (O) વડે દર્શાવેલ છે. આ હોલ અશુદ્ધ પરમાણુ (Al) અને Si પરમાણુ વચ્ચેના સહસંયોજક બંધમાં છે. N વિભાગમાં મુક્ત ઈલેક્ટ્રોનની સંખ્યા વધારે છે. અને તેને નાની સુરેખા (-). વડે દર્શાવ્યા છે. આ ઈલેક્ટ્રોન અશુદ્ધ પરમાણુ (As)માંથી મળે છે. આકૃતિ 7.17માં જંકશન પાસે નમૂના તરીકે Al અને Asના ગણ પરમાણુઓ દર્શાવ્યા છે.



આકૃતિ 7.17 PN જંકશન બન્યા પહેલાંની સ્થિતિ

આ સ્થિતિમાં N અને P બંને વિભાગો વિદ્યુતની દર્શિએ તટસ્થ છે. N વિભાગમાં ભલે As પરમાણુ પરથી એક વધારાનો ઈલેક્ટ્રોન પ્રાપ્ત થતો હોય પણ સાથે સાથે As પરમાણુના ન્યુક્લિયસ પર એક ધનવિદ્યુતભાર વધારે છે. આ જ રીતે P વિભાગમાં એક ઈલેક્ટ્રોન ભલે ખૂટે પણ સાથે સાથે Alના ન્યુક્લિયસમાં એક ધનવિદ્યુતભાર ઓછો છે.

N વિભાગમાં મુક્ત ઈલેક્ટ્રોનની સંખ્યા P વિભાગમાંના મુક્ત ઈલેક્ટ્રોનની સંખ્યા કરતાં ઘણી વધારે હોવાથી, N વિભાગમાંના ઈલેક્ટ્રોનનું જંકશન મારફતે P વિભાગમાં ડિફ્યુઝન (diffusion) થાય છે. આ પ્રક્રિયાથી P વિભાગમાંથી પ્રવેશતા ઈલેક્ટ્રોન જંકશન પાસેના P વિભાગમાંના હોલને પૂરી હોય છે. આ જ પ્રમાણો બહુ જ થોડી સંખ્યામાં હોલનું પણ P થી N તરફ ડિફ્યુઝન થતું હોય છે. એટલે કે N વિભાગના કેટલાક વેલેન્સ ઈલેક્ટ્રોન એ જંકશન પાસેના P વિભાગના હોલમાં ડિફ્યુઝ થાય છે.



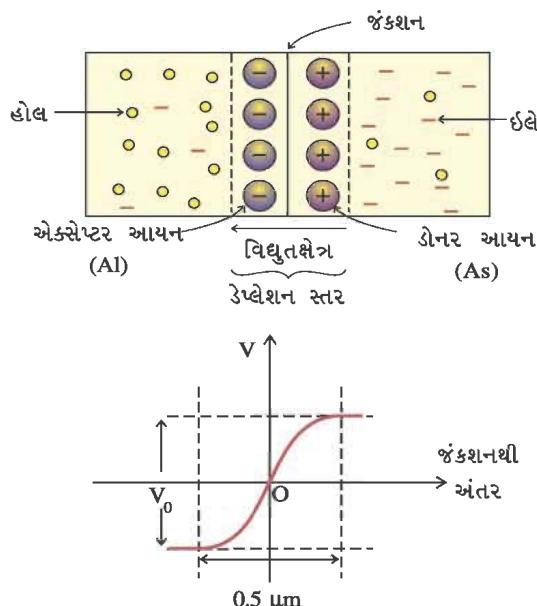
આકૃતિ 7.18 PN-જંકશનમાં ડિફ્યુઝન થયા પછી સ્થિતિ

આ વિદ્યુતભારોને લીધે જંકશન વિસ્તારમાં N થી P તરફનું વિદ્યુતક્ષેત્ર રચતું જાય છે. એટલેકે જંકશન પાસેના N વિભાગમાં ધન સ્થિતિમાન અને P વિભાગમાં ઋણ સ્થિતિમાન સ્થપાય છે. હવે, ઈલેક્ટ્રોનને Nમાંથી P વિભાગમાં જવા માટે આ વિદ્યુતક્ષેત્રનો સામનો કરવો પડે છે. જ્યારે આ વિદ્યુતક્ષેત્ર પૂરતું પ્રબળ બની જાય છે, ત્યારે ઈલેક્ટ્રોન-હોલનું ડિફ્યુઝન અટકી જાય છે.

આકૃતિ 7.19 માં P-N જંકશનની આ સ્થિતિએ જંકશન પાસેના વિસ્તારમાં પ્રસ્થાપિત થતા વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો આવેખ દર્શાવ્યો છે.

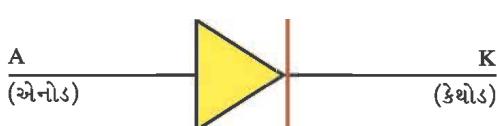
સેમીકન્ડક્ટર ઈલેક્ટ્રોનિક્સ : દ્રવ્યો, રચનાઓ અને સાદા પરિપથો

આકૃતિ 7.19 પરથી બે મુદ્દાઓ ફસિત થાય છે.



આકૃતિ 7.19 PN જંક્શનનું દેપ્લેશન

P-N જંક્શનમાં દેપ્લેશન બેરિયર અને દેપ્લેશન વિસ્તારની પહોળાઈ, P અને N વિભાગમાં ઉમેરવામાં આવેલ અશુદ્ધિના પ્રમાણ પર આધ્યારિત છે. અશુદ્ધિનું પ્રમાણ ઓદ્ધું હોય ત્યારે દેપ્લેશન વિસ્તારની પહોળાઈ વધારે હોય છે, અને જંક્શન આગળ વિદ્યુતક્ષેત્ર નબળું પડે છે. અર્ધવાહકોમાં અશુદ્ધિનું પ્રમાણ વધારતા દેપ્લેશન વિસ્તારની પહોળાઈ ઘટે છે અને વિદ્યુતક્ષેત્ર તીવ્ર બને છે. આમ, અશુદ્ધિઓના પ્રમાણમાં વધારો કે ઘટાડો કરવાથી જંક્શનની લાક્ષણિકતા બદલી શકાય છે. જેના ફલસ્વરૂપે આપણે અલગ-અલગ પ્રકારની અર્ધવાહક રચનાઓ તૈયાર કરી શકીએ છીએ. P-N જંક્શન ડાયોડની સંશા આકૃતિ 7.20માં દર્શાવી છે.



આકૃતિ 7.20 PN જંક્શનની સંશા

(1) જંક્શન પાસેના નાના વિસ્તારમાં N વિભાગમાં હવે મેઝોરિટી કેરિયર અથવા ઈલેક્ટ્રોન નથી જ્યારે P વિભાગમાં મેઝોરિટી કેરિયર અથવા હોલ નથી. આ વિસ્તારો પોતપોતાના મેઝોરિટી કેરિયરથી ખાલી થઈ ગયા છે. જંક્શન પાસેના આ વિસ્તારને ડેપ્લેશન સ્ટર (Depletion layer) અથવા space charge વિસ્તાર કહે છે. ડેપ્લેશન સ્ટરની જાડાઈ આશરે $0.5\mu\text{m}$ જેટલી હોય છે.

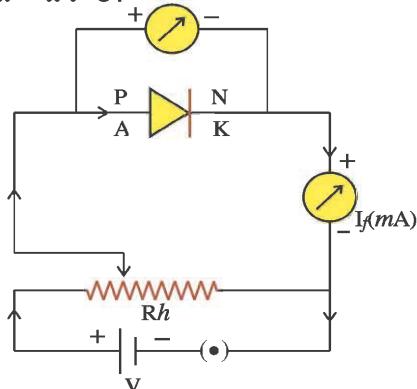
(2) ડેપ્લેશન સ્ટરમાંના વિદ્યુતવિભવ-વિતરણને ડેપ્લેશન બેરિયર અથવા પોટોન્યુયલ બેરિયર કહે છે. અહીં ઉદ્ભબવો p.d. (V_0) 0.1 Voltના કમનો હોય છે. Si માટે આ મૂલ્ય આશરે 0.7V અને Ge માટે તે 0.3V છે.

અહીં, P વિભાગને એનોડ (A) અને N વિભાગને ક્લોડ (K) કહે છે. અને બે ઈલેક્ટ્રોન્ઝ હોવાથી તેને P-N જંક્શન ડાયોડ કહે છે. સંશામાં દર્શાવેલ Arrow એ ડાયોડમાં વહેતા રૈવાજિક પ્રવાહ (ડાયોડ ફોરવર્ડ બાયસમાં હોય ત્યારે)ની દિશા દર્શાવે છે. આ અંગેની ચર્ચી હવે આપણે કરીશું.

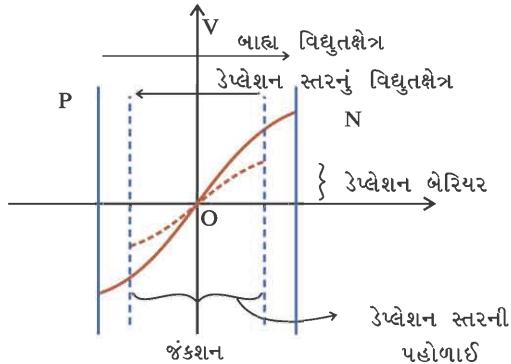
7.6 P-N જંક્શન ડાયોડની સ્થિત લાક્ષણિકતાઓ

હવે, આપણે P-N જંક્શન ડાયોડ માટે I-V સંબંધો તપારીશું. આ સંબંધોને P-N જંક્શન ડાયોડની લાક્ષણિકતાઓ કહે છે.

આવી લાક્ષણિકતાઓનો પ્રાયોગિક અભ્યાસ કરવા માટેના પરિપથ આકૃતિ 7.21 (a) અને 7.23 (a)માં દર્શાવ્યો છે. બેટરી સાથે જોડેલ રિલોસ્ટેટ વડે ડાયોડને સમાંતર ચલ વોલ્ટેજ લાગુ પાડી શકાય છે. આકૃતિમાં દર્શાવેલ પરિપથમાં વોલ્ટમિટર આ વોલ્ટેજનું માપન કરે છે. મિલી ઓમીટર કે માઇક્રો ઓમીટર, જરૂરિયાત અનુસાર પ્રવાહનું માપન કરે છે. અંગે ડાયોડને સમાંતર વોલ્ટેજ બે રીતે લગાડી I-V લાક્ષણિકતાઓનો અભ્યાસ કરવામાં આવે છે.



(a) વિદ્યુત-પરિપથ



(b) ફોરવર્ડ બાયસમાં અંકશન સ્તરની પહોળાઈ અને અંકશન બેરિયરમાં ઘટાડો (નુટક રેખા)

આકૃતિ 7.21 P-N-જંક્શનનું ફોરવર્ડ બાયસ જોડાણ

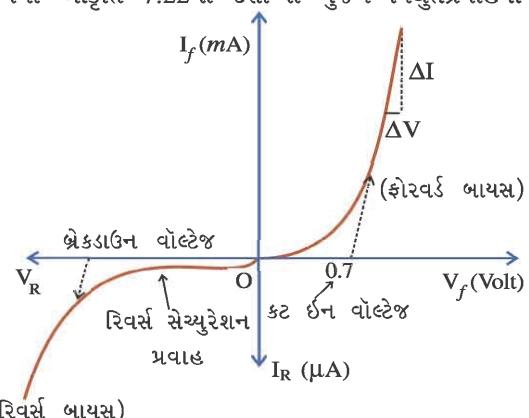
ફોરવર્ડ બાયસ : જ્યારે PN જંક્શનના P તરફના છેડાને બેટરીના ધન પ્રુવ અને N તરફના છેડો બેટરીના ઋષા પ્રુવ સાથે જોડવામાં આવે ત્યારે આ પ્રકારના જોડાણને ફોરવર્ડ બાયસ કહે છે.

આ પ્રકારના જોડાણમાં જંક્શનમાં બાધ બેટરી દ્વારા ઉદ્ભબવટું વિદ્યુતક્ષેત્ર અને અંકશન સ્તરનું વિદ્યુતક્ષેત્ર પરસ્પર વિસુદ્ધ હિસામાં હોય છે. એટલે કે બાધ બેટરીનું emf(V) અને અંકશન સ્તરમાંના વિદ્યુતસ્થિતમાનનો તફાવત (V₀) પરસ્પર વિસુદ્ધ હોવાથી અંકશન બેરિયરની ગંચાઈ તેમજ પહોળાઈમાં પડા ઘટાડો થાય છે. (જુઓ આકૃતિ 7.21(b)). આથી ઈલેક્ટ્રોનને Nથી P તરફ જવા માટે ઓછું કાર્ય કરવું પડે છે. અને વધુને વધુ ઈલેક્ટ્રોનસ જંક્શન કોસ કરી N થી P તરફ ગતિ કરે છે. આ જ રીતે P વિભાગમાંથી હોલ જંક્શન કોસ કરીને N વિભાગમાં જાય છે. આમ, બંને પ્રકારના ચાર્જકરિયરને લીધે વિદ્યુતપ્રવાહ મળે છે. ફોરવર્ડ બાયસમાં મળતો કુલ પ્રવાહ એ હોલ ડિફ્યુઝન પ્રવાહ અને ઈલેક્ટ્રોનપ્રવાહના સરવાળા જેટલો હોય છે. આ પ્રવાહની હિસા જંક્શનમાં P વિભાગથી N વિભાગ તરફ હોય છે અને તેનું મૂલ્ય mAના કમનું હોય છે.

જો બેટરી વોલ્ટેજનું મૂલ્ય વધારવામાં આવે તો જંક્શનમાં આકૃતિ 7.22માં દર્શાવ્યા મુજબ વિદ્યુતપ્રવાહમાં વધારો થાય છે.

આકૃતિ 7.22 દર્શાવે છે કે, પ્રારંભમાં વોલ્ટેજ સાથે પ્રવાહમાં થતો વધારો બધું જ ઓછો છે. જ્યારે બાધ બેટરી વોલ્ટેજનું મૂલ્ય બેરિયર પોટોનિશયલ કરતાં વધે છે ત્યાર પછી પ્રવાહમાં વોલ્ટેજ સાથે જડપથી (ચરઘાતાંકીય રીતે) વધારો થાય છે. આ વોલ્ટેજને ગ્રેશોલ્ડ વોલ્ટેજ અથવા Cut-In (Cut In) વોલ્ટેજ કહે છે. Ge અને Si માટે ગ્રેશોલ્ડ (Threshold) વોલ્ટેજનાં મૂલ્યો આશરે અનુક્રમે 0.3 V અને 0.7 V છે.

સેમીકન્ડક્ટર ઈલેક્ટ્રોનિક્સ : દ્રવ્યો, રચનાઓ અને સાદા પરિપથો



આકૃતિ 7.22 P-N-જંક્શનની લાક્ષણિકતા

આહી વિદ્યુતપ્રવાહ અને વોલ્ટેજનો સંબંધ રેખીય નથી. આથી, આ ડિસ્સામાં ઓહ્મના નિયમનો ઉપયોગ કરીને P-N જંકશન ડાયોડનો અવરોધ શોધી શકાય નહિ. આમ છતાં આવા ડિસ્સામાં નીચે જણાવ્યા અનુસાર ડાયોડ અવરોધ શોધી શકાય છે.

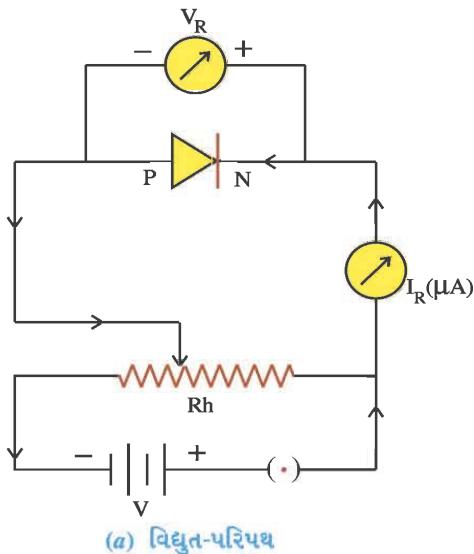
આલેખના વક પરના કોઈ બિંદુને અનુલક્ષીને ડાયનેમિક (dynamic) અવરોધ (r_f) શોધવા માટે આ બિંદુ પાસે વોલ્ટેજ અને પ્રવાહના સૂક્ષ્મ ફરજારો અનુક્રમે ΔV અને ΔI લઈ, $\frac{\Delta V}{\Delta I}$ ગુણોત્તર શોધવામાં આવે છે.

$$\therefore r_f = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

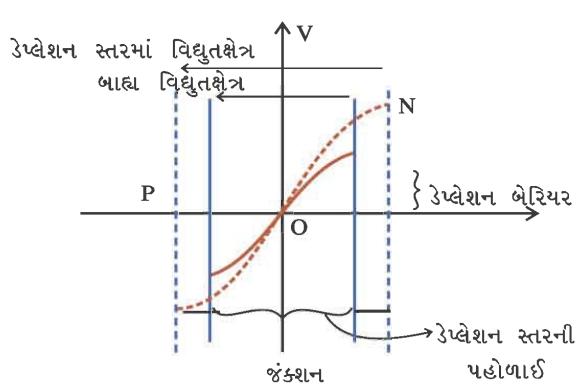
આલેખ અરેખીય હોવાથી જુદાં-જુદાં બિંદુઓ પાસે આ મૂલ્યો જુદાં-જુદાં હોય છે.

ફોરવર્ડ બાયસમાં ડાયોડના અવરોધનું મૂલ્ય આશરે 10Ω થી લઈ 100Ω જેટલું હોય છે.

રિવર્સ બાયસ : જ્યારે PN જંકશનના P તરફના છેડા સાથે બેટરીનો પ્રાણ ધ્રુવ અને N તરફનો છેડા સાથે ધન ધ્રુવ જોડવામાં આવે તો આ પ્રકારના જોડાણને **રિવર્સ બાયસ** કહે છે.



(a) વિદ્યુત-પરિપથ



(b) તેલેશન સ્તરની પહોળાઈ અને તેલેશન બેચિયરમાં વધારો (નુટકરેખા)

આકૃતિ 7.23 P-N-જંકશનનું રિવર્સ બાયસ જોડાણ

આ પ્રકાર જોડાણમાં જંકશનમાં બાબ્ધ બેટરી દ્વારા ઉદ્ભવવનું વિદ્યુતક્ષેત્ર અને તેલેશન સ્તરનું વિદ્યુતક્ષેત્ર સમાન દિશામાં હોય છે. એટલે કે બાબ્ધ બેટરીનું વિદ્યુતસ્થિતિમાન અને તેલેશન સ્તરમાંનો વિદ્યુતસ્થિતિમાન એકબીજા સાથે સહાયકારી સ્થિતિમાં આવે છે. પરિણામે તેલેશન સ્તરની પહોળાઈ તેમજ તેલેશન પોટોન્સિયલમાં વધારો થાય છે. (જુઓ આકૃતિ 7.23(b)) આથી ઈલેક્ટ્રોનને N થી P તરફ જવામાં અને હોલને P થી N તરફ જવામાં ઈલેક્ટ્રોનને વધારે ઊર્જાની જરૂર પડે છે.

પરંતુ આ પરિણામી વિદ્યુતક્ષેત્રની દિશા એવી હોય છે. જેથી P અને N વિભાગમાં રહેલા માઈનોરિટી ચાર્જકેરિયર જંકશન પસાર કરી શકે છે. આથી, રિવર્સ બાયસમાં આ માઈનોરિટી ચાર્જકેરિયરને કારણે P-N-જંકશનમાં μA ના કમનો પ્રવાહ મળે છે, આ પ્રવાહ બેટરીના વોલ્ટેજ સાથે લગભગ અચળ રહે છે. આથી તેને **રિવર્સ સેચ્યુરેશન પ્રવાહ (Reverse Saturation Current)** કહે છે. જો બેટરી વોલ્ટેજનું મૂલ્ય અમુક હદ કરતાં વધુ આપવામાં આવે તો પ્રવાહમાં જડપી વધારો થાય છે. વોલ્ટેજના આ મૂલ્યને **રિવર્સ બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ (V_R)** કહે છે. જો P-N-જંકશનને બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ કરતાં વધુ વોલ્ટેજ આપવામાં આવે, તો તે damage થવાની સંભાવના રહે છે.

રિવર્સ બાયસમાં P-N-જંકશનનો ડાયનેમિક અવરોધ (r_{ab}) ખૂબ મોટો ($\approx 10^6 \Omega$) એટલે કે $10^6 \Omega$ ના કમનો હોય છે.

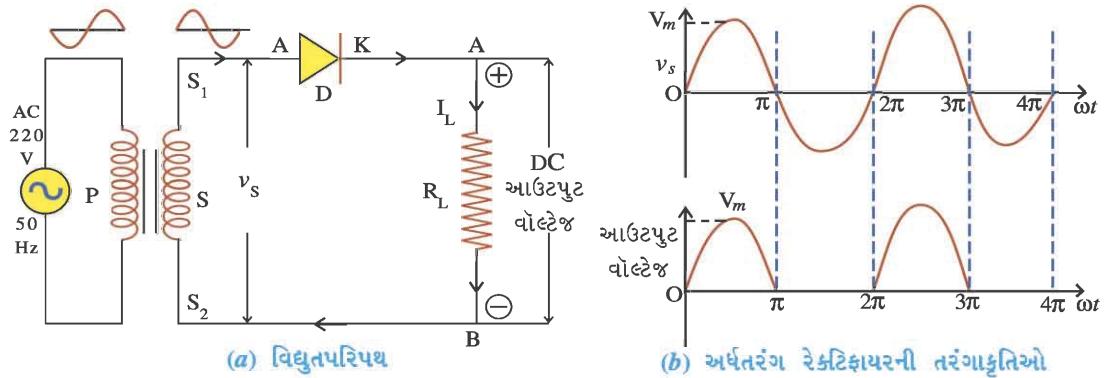
7.7 P-N-જંક્શન ડાયોડનો રેકિટફાયર તરીકે ઉપયોગ (P-N Junction Diode as a Rectifier)

મોટા ભાગના ઇલેક્ટ્રોનિક ઘટકો તેમજ ઉપકરણો DC ઊર્જા પર કાર્યક્રમાદી હોય છે. દા.ત.,, રેઝિયો, ટી.વી. સેલફોન વગેરે. આ DC ઊર્જા આપણે જુદા-જુદા પ્રકારની બેટરીઓમાંથી પ્રાપ્ત થાય છે. પરંતુ, બેટરીના વપરાશ દરમિયાન તે ડિસ્ચાર્જ પણ થાય છે. અને કિમતમાં મોંધી છે. ગૃહવપરાશ માટે આપણને સહેલાઈથી ઉપલબ્ધ થાય તેવી ઊર્જા એ અને AC ઊર્જા છે. અને તે પ્રમાણમાં સસ્તી પણ છે. આથી, આપણને એવા પરિપથની જરૂરિયાત ઊભી થઈ જે પ્રમાણમાં સસ્તી એવી AC ઊર્જાનું DC ઊર્જામાં રૂપાંતર કરે. AC ઊર્જાનું DC ઊર્જામાં રૂપાંતર કરવાની પ્રક્રિયાને રેકિટિફિકેશન (Rectification) કહે છે. જે પરિપથ આ પ્રક્રિયા કરે તેને રેકિટફાયર (Rectifier) કહે છે. આ માટે P-N જંક્શન ડાયોડનો ઉપયોગ કરી શકાય છે.

આપણે આગળના પરિચ્છેદમાં જોયુ કે P-N જંક્શન જ્યારે ફોરવર્ડ બાયસની સ્થિતિમાં હોય છે. ત્યારે રૈવાજિક પ્રવાહ જંક્શનમાંથી P થી N તરફ વહે છે. પરંતુ જંક્શન જ્યારે રિવર્સ બાયસની સ્થિતિમાં હોય છે ત્યારે વિદ્યુતપ્રવાહ N થી P તરફ લગભગ શૂન્ય હોય છે. આ હકીકત દર્શાવે છે, કે જો P-N જંક્શનને એ.સી. વોલ્ટેજ આપો હોય તો એ.સી. વોલ્ટેજના જે અર્ધચક દરમિયાન P તરફનો છેડો ધન હશે એટલે કે P-N જંક્શન ફોરવર્ડ બાયસની સ્થિતિમાં હશે, ત્યારે જ પરિપથમાં વિદ્યુતપ્રવાહ વહેશે. એ.સી. વોલ્ટેજના અનુક્રમે આવતા બીજા અર્ધચક દરમિયાન હવે P છેડો ઋષણ બનતાં P-N જંક્શન રિવર્સ બાયસની સ્થિતિમાં આવશે. પરિપથમાં લગભગ વિદ્યુતપ્રવાહ વહેશે નહિં. આ સ્થિતિમાં પરિપથમાં કોઈ યોગ્ય અવરોધ મૂક્યો હોય, તો તેમાંથી એક જ દિશામાં વહેતો (વધતો-ઘટતો) પ્રવાહ મળે છે અને આ અવરોધના છેડાઓ વચ્ચે (વધતો-ઘટતો) એ.સી. વોલ્ટેજ મળે છે. આ સમગ્ર પ્રક્રિયા આકૃતિ 7.24 કે 7.25 માં દર્શાવેલ પરિપથ દ્વારા સાકાર કરી શકાય છે.

અર્ધતરંગ રેકિટફાયર (Halfwave Rectifier) : અર્ધતરંગ રેકિટફાયરનો વિદ્યુતપરિપથ આકૃતિ 7.24માં દર્શાવ્યા છે. AC. મેઈન્સ વોલ્ટેજ (220 V, 50 Hz) ને ટ્રાન્સફોર્મરના પ્રાઇમરી ગૂંચણાને આપવામાં આવે છે. જ્યારે સેકન્ડરી ગૂંચણાને P-N જંક્શન ડાયોડ D અને લોડ-અવરોધ (R_L) સાથે શ્રેણીમાં જોડવામાં આવે છે.

ટ્રાન્સફોર્મરના પ્રાઇમરી ગૂંચણાને AC વોલ્ટેજ આપતાં સેકન્ડરી ગૂંચણામાં ઉદ્ભબતો AC વોલ્ટેજ કેવી રીતે બદલાય છે. તે આકૃતિમાં દર્શાવ્યું છે.



આકૃતિ 7.24 અર્ધતરંગ રેકિટફાયર

ગૌણ ગૂંચણામાં ઉદ્ભબતાં AC વોલ્ટેજ (v_s)ના પ્રથમ ધન અર્ધચક ($0 \leq \omega t \leq \pi$) દરમિયાન ગૌણ ગૂંચણાનો S_1 છેડો, S_2 ની સાપેક્ષે ધન હોવાથી P-N-જંક્શન ડાયોડ ફોરવર્ડ બાયસમાં આવે છે. અને રૈવાજિક પ્રવાહ ટ્રાન્સફોર્મરના ગૌણ ગૂંચણામાંથી ડાયોડમાં થઈને લોડ-અવરોધ R_L માં વહે છે. આ સ્થિતિમાં વિદ્યુતપ્રવાહ લોડ-અવરોધમાં Aથી B તરફ વહે છે. આ અર્ધચક દરમિયાન મળતો આઉટપુટ વોલ્ટેજ આકૃતિ 7.24 (b)માં દર્શાવ્યો છે.

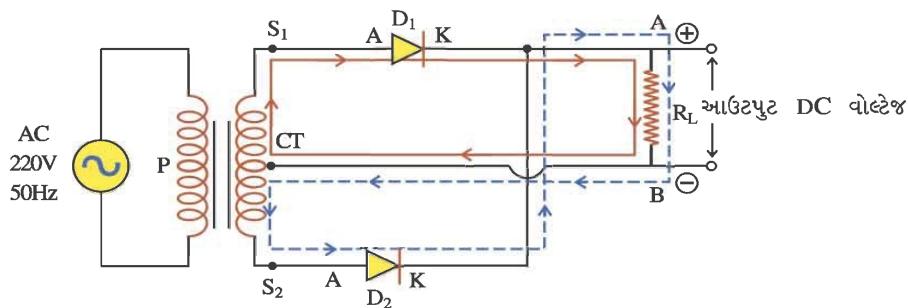
હવે, અનુક્રમે આવતા બીજા અર્ધચક ($\pi \leq \omega t \leq 2\pi$) દરમિયાન ગૌણ ગૂંચણાંઓનો S_1 છેડો એ S_2 ની સાપેક્ષે ઋષણ બને છે. અને P-N જંક્શન ડાયોડ રિવર્સ બાયસમાં આવે છે. આથી P-N જંક્શનમાંથી વિદ્યુતપ્રવાહ વહેતો નથી. અને R_L ના બે છેડા વચ્ચે આઉટપુટ વોલ્ટેજ શૂન્ય મળે છે (જુઓ આકૃતિ 7.24(b)).

સેમીકન્ડક્ટર ઇલેક્ટ્રોનિક્સ : દ્રવ્યો, રચનાઓ અને સાદા પરિપથો

આમ, પ્રથમ બે અર્ધચક દરમિયાન બનતી ઘટના અનુકૂમે આવતાં અર્ધચકો દરમિયાન પુનરાવર્તન પામે છે. હવે તમે જરૂર સમજી શક્યા હશો કે અવરોધ R_L માંથી આંતરે-આંતરે આવતાં અર્ધચકો દરમિયાન માત્ર એક જ દિશામાં (A થી B તરફ) જે DC પ્રવાહ છે. આ પ્રવાહ દ્વારા R_L ના બે છેડા વચ્ચે DC વોલ્ટેજ કરી શકાય છે.

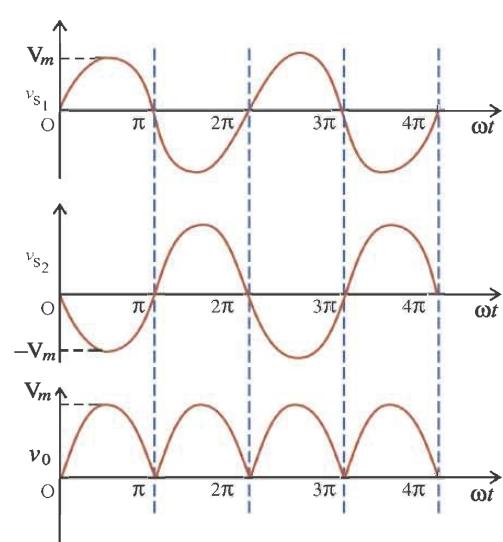
આ યોજનામાં ઈનપુટ વોલ્ટેજના અર્ધચક દરમિયાન જ આઉટપુટ DC વોલ્ટેજ મળતો હોવાથી તેને અર્ધતરંગ રેકિટફાઇર કહે છે.

પૂર્ણતરંગ રેકિટફાઇર (Full Wave Rectifier) : AC ઈનપુર વોલ્ટેજના પૂર્ણતરંગનાં બંને અર્ધચકો દરમિયાન R_L ને સમાંતર DC વોલ્ટેજ મેળવવા માટે બે P-N જંક્શન ડાયોડનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. આ માટેનો પરિપથ આફૂતિ 7.25માં દર્શાવ્યો છે.



આફૂતિ 7.25 પૂર્ણતરંગ રેકિટફાઇર

આફૂતિ 7.25માં દર્શાવ્યા મુજબ ડાયોડ D_1 અને D_2 ના એનોડને સેન્ટર ટેપ ટ્રાન્સફોર્મરના ગૌણ ગૂંચળાના છેડાઓ S_1 અને S_2 સાથે જોડેલા છે. બંને ડાયોડના કેથોડ અને ટ્રાન્સફોર્મરના સેન્ટરટેપ (CT)ની વચ્ચે લોડ-અવરોધ R_L જોડેલ છે. ટ્રાન્સફોર્મરના સેન્ટર ટેપ (CT) ની બંને બાજુ આંટાઓની સંખ્યા સરખી હોવાથી બંને ડાયોડને એકસરખો વોલ્ટેજ ($v_{S_1} = v_{S_2}$) મળે છે. પરંતુ તેમની વચ્ચે 180° જેટલો તફાવત હોય છે. (જુઓ આફૂતિ 7.26)



આફૂતિ 7.26 પૂર્ણતરંગ રેકિટફાઇરની તરંગાફૂતિઓ

ધારો કે કોઈ એક ક્ષણે, ઈનપુર વોલ્ટેજના પ્રથમ અર્ધચક દરમિયાન ગૌણ ગૂંચળામાં સેન્ટરટેપ (CT) ની સાપેક્ષે S_1 છેડો ધન અને S_2 ઋષણ બને છે. ($0 \leq \omega t \leq \pi$) આ સ્થિતિમાં D_1 ડાયોડ ફોરવર્ડ બાયસ સ્થિતિમાં અને D_2 ડાયોડ રિવર્સ બાયસ સ્થિતિમાં આવે છે. આથી રૈવાજિક વિદ્યુતપ્રવાહ $S_1 - D_1 - A - R_L - B - CT - S_1$ પથ પર વહે છે. R_L નો A છેડો ધન અને B છેડો ઋષણ બને છે.

હવે, અનુકૂમે આવતા બીજા અર્ધચક દરમિયાન સેન્ટર ટેપ (CT)ની સાપેક્ષે S_1 છેડો ધન અને S_2 છેડો ઋષણ ($\pi \leq \omega t \leq 2\pi$) બને છે. આથી, ડાયોડ D_2 ફોરવર્દ બાયસ અને ડાયોડ D_1 રિવર્સ બાયસ સ્થિતિમાં આવે છે. આ પરિસ્થિતિમાં રૈવાજિક પ્રવાહ $S_2 - D_2 - A - R_L - B - C_T - S_2$ માર્ગ (આફૂતિમાં જુટકરેખા વડે દર્શાવેલ છે) વહે છે. આ અર્ધચક દરમિયાન પણ R_L માં વિદ્યુતપ્રવાહ Aથી B તરફ જ વહે છે. આમ, બંને ઈનપુટનાં બંને અર્ધચકો એટલે કે એક પૂર્ણતરંગ દરમિયાન

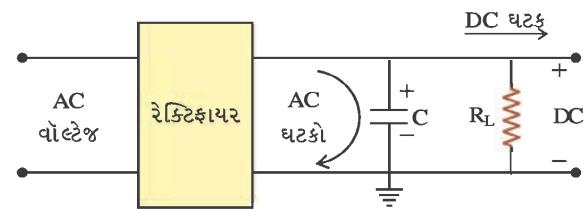
R_L માં DC પ્રવાહ મળે છે અને તેના બે છેડાની વચ્ચે DC વોલ્ટેજ પ્રાપ્ત કરી શકાય છે. આથી આ વિદ્યુત પરિપથને પૂર્ણતરંગ રેફિક્રફાયર કહે છે.

પૂર્ણતરંગ રેફિક્રફાયરની રેફિક્રફિકેશન કાર્યક્ષમતા (Rectification efficiency) એ અર્પીતરંગ રેફિક્રફાયર કરતાં વધુ હોવાથી તેનો બણોળો પ્રમાણમાં ઉપયોગ થાય છે.

ફિલ્ટર-પરિપથ : અર્પીતરંગ અને પૂર્ણતરંગ રેફિક્રફાયરના આઉટપુટમાં મળતો DC વોલ્ટેજ સમય સાથે અચળ નથી, પરંતુ તેમાં વધઘટ થાય છે. આવા DC વોલ્ટેજને સ્પંદયુક્ત DC (pulsating DC) વોલ્ટેજ કહે છે.

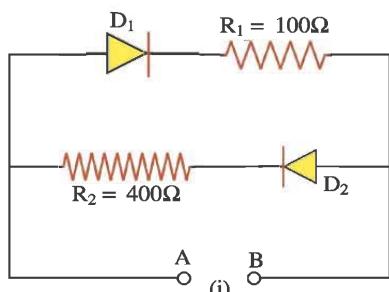
આ દર્શાવે છે કે રેફિક્રફાયરનો આઉટપુટ વોલ્ટેજ શુદ્ધ DC નથી. પરંતુ તેમાં AC ઘટકો પણ ભણેલા છે. આ AC ઘટકોને દૂર કરવા માટે ફિલ્ટર-પરિપથો વપરાય છે. ફિલ્ટર પરિપથ એ કેપેસિટર, ઈન્ડક્ટર અથવા બંનેના સંયોજનથી તૈયાર કરી શકાય છે. માત્ર કેપેસિટર (C) ધરાવતો ફિલ્ટર-પરિપથ આફૂતિ 7.27માં દર્શાવ્યો છે.

અહીં કેપેસિટરનું કેપેસિટન્સ (C) મોટું લેવામાં આવે છે. જેથી AC mains આવૃત્તિ (50 Hz) માટે તેનો ઇમ્પ્યુન્સ $\left(\frac{1}{\omega C}\right)$ નાનો મળે. આ સ્થિતિમાં રેફિક્રફાયરના આઉટપુટ વોલ્ટેજમાં રહેલા AC ઘટકો કેપેસિટરમાંથી પસાર થઈ ગ્રાઉન્ડ થઈ જાય છે. અને R_L ના બે છેડા વચ્ચે DC વોલ્ટેજ પ્રાપ્ત કરી શકાય છે. (આ કાર્યપદ્ધતિને કેપેસિટરના ચાર્જિંગ ડિસ્ચાર્જિંગ ઘટના વડે પણ સમજ શકાય છે).



આફૂતિ 7.27 ફિલ્ટર-પરિપથ

ઉદાહરણ 1 : આફૂતિ (i)માં દર્શાવેલ ડાયોડ પરિપથમાં બિંદુ A સાથે 2V બેટરીનો ધનધ્રુવ અને બિંદુ

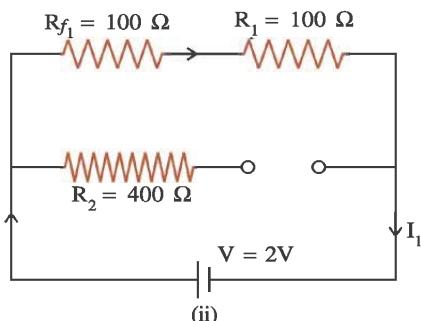


B સાથે ઋષણ ધ્રુવ જોડવામાં આવે, તો ડાયોડ D1 અને D2 માંથી વહેતા પ્રવાહની ગણતરી કરો. જો બેટરીના છેડા ઊલટાવી (reverse) નાખવામાં આવે, તો બંને ડાયોડમાંથી કેટલો પ્રવાહ વહેતો હશે? ડાયોડ D1 અને D2 ના ફોરવર્ડ બાયસ અવરોધ 100Ω અને રિવર્સ બાયસ અવરોધ અનંત હોવાથી આ ડાયોડ પરિપથનો સમતુલ્ય પરિપથ આફૂતિ (ii) મુજબ મળશે.

આફૂતિ (ii) પરથી ડાયોડ D1 માંથી વહેતો પ્રવાહ

$$I_1 = \frac{V}{R_{f1} + R_1}$$

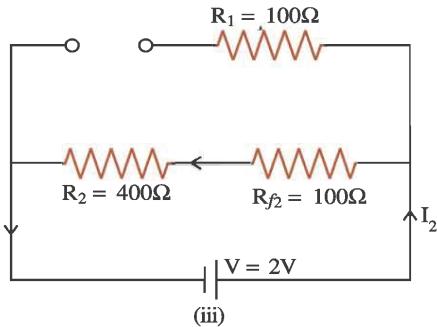
$$= \frac{2}{100+100} = 10 \text{ mA}$$



ડાયોડ D2નો અવરોધ અનંત હોવાથી તેમાંથી પ્રવાહ વહેરો નાથી.

સેમીકન્ડક્ટર ઇલેક્ટ્રોનિક્સ : દ્રવ્યો, રચનાઓ અને સાદા પરિપથો

(2) હવે બેટરીના છેડા ઉલટા કરવાથી D_1 રિવર્સ બાયસમાં જશે અને તેમાંથી વહેતો પ્રવાહનું મૂલ્ય શૂન્ય થશે. ડાયોડ D_2 ફોરવર્ડ બાયસમાં આવશે.

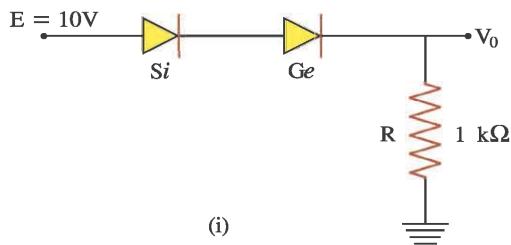


આથી પરિપથ આકૃતિ (iii)માં બતાવ્યા મુજબનો મળશે.
આથી ડાયોડ D_2 માંથી વહેતો પ્રવાહ,

$$I_1 = \frac{V}{R_{f2} + R_2}$$

$$= \frac{2}{100 + 400} = 4 \text{ mA}$$

ઉદાહરણ 2 : આકૃતિમાં દર્શાવેલ પરિપથમાં Si અને Ge ડાયોડને અવરોધ R સાથે શ્રેષ્ઠીમાં જોડેલા છે. ડાયોડમાંથી વહેતો પ્રવાહ I_D અને આઉટપુટમાં વોલ્ટેજ V_0 શોખો.



ઉકેલ : જ્યારે ડાયોડ ફોરવર્ડ બાયસ સ્થિતિમાં હોય ત્યારે તેમાં બે છેડા વચ્ચેનો વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત તેના કદુ ઈન વોલ્ટેજ કે knee voltage જેટલો હોય છે. Si ડાયોડ માટે તે 0.7 V અને Ge ડાયોડ માટે 0.3 V છે.
(ii) મુજબ મુજબ દોરી શકાય :

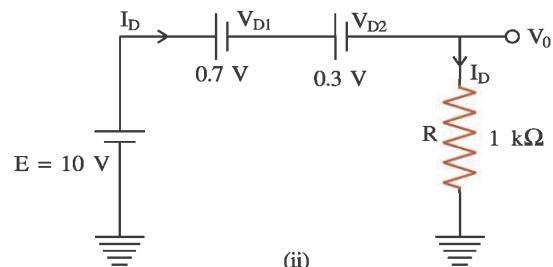
કિર્ચોફના નિયમ અનુસાર,
 $E - V_{D1} - V_{D2} - I_D R = 0$

$$\therefore I_D = \frac{10 - 0.7 - 0.3}{10^3}$$

$$\therefore I_D = 9 \text{ mA}$$

$$\therefore આઉટપુટ વોલ્ટેજ V_0 = I_D R$$

$$= 9 \times 10^{-3} \times 10^3 = 9 \text{ V}$$



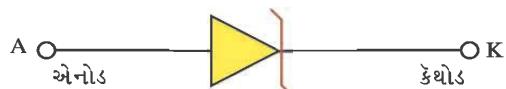
7.8 કેટલાક વિશિષ્ટ પ્રકારના P-N-જંક્શન ડાયોડ

(a) ઝેનર ડાયોડ (Zener Diode) : અગાઉ આપણે જોઈ ગયાં કે P-N-જંક્શન ડાયોડને રિવર્સ બાયસ લાગુ પડતા તેમાં વહેતો વિદ્યુતપ્રવાહ માઈનોરિટી ચાર્જકેરિયરને પરિણામે મળે છે. આ પ્રવાહ μA ના કમનો હોય છે. જો રિવર્સ બાયસનો વોલ્ટેજ વધારતા જઈએ તો કોઈ એક વોલ્ટેજ આગળ વિદ્યુતપ્રવાહમાં જડપી વધારો થાય છે, જેને બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ કહે છે. ડાયોડમાં અશુદ્ધિનું પ્રમાણ વધારવામાં આવે તો બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ આગળ રિવર્સ પ્રવાહ મિલી ઓષ્ણિયરના કમનો મેળવી શકાય છે. ડાયોડમાં મળતો આ પ્રવાહ મુખ્યત્વે બે પ્રકારની અસરોને લીધે મળે છે : (1) ઝેનર અસર (Zener Effect), (2) એવલાન્ચ અસર (Avalanche Effect).

ડાયોડમાં અશુદ્ધિનું પ્રમાણ વધારે હોય છે, ત્યારે તેઘેશન વિસ્તારની પહોળાઈ ઘણી ઓછી હોય છે. પરિણામે ઓછા રિવર્સ બાયસ વોલ્ટેજે પણ તેઘેશન વિસ્તારમાં વિદ્યુતક્ષોગ્ર પ્રબળ બને છે. દા. ત., રિવર્સ ભૌતિકવિજ્ઞાન-IV

બાયસ વોલ્ટેજ 2 V હોય અને ડેપ્લેશન વિસ્તારની પહોળાઈ 200 A° હોય, તો વિદ્યુતક્ષેત્રની તીવ્રતા $\frac{2}{200 \times 10^{-8}} = 10^6 \text{ V/cm}$ થશે. આટલા કમનું વિદ્યુતક્ષેત્ર સહસ્રાંયોજન બંધમાં રહેલા ઈલેક્ટ્રોને બહાર ખેંચી કાઢે છે. એટલે કે મોટા પ્રમાણમાં સહસ્રાંયોજક બંધો તૂટી જાય છે. પરિણામે ડાયોડમાં મોટા પ્રમાણમાં ઈલેક્ટ્રોન્સ અને હોલ્સ ઉદ્ભબવતા રિવર્સ પ્રવાહ (I_R)નું મૂલ્ય એકાએક વધી જાય છે. આ ઘટનાની સમજૂતી C.E. Zener નામના વૈજ્ઞાનિક આપેલી. આથી આ અસરને જેનર અસર (Zener effect) કહે છે અને આ પ્રકારના ડાયોડને જેનર ડાયોડ કહે છે.

P-N જંક્શન ડાયોડમાં રહેલા અશુદ્ધિના પ્રમાણમાં ઘટાડો કરી ડેપ્લેશન સ્તરની પહોળાઈ વધારી શકાય છે, જેમાં બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ ડિચા વોલ્ટેજે મળે છે. ડાયોડમાં રિવર્સ બાયસના ડિચા વોલ્ટેજે ડેપ્લેશન વિસ્તારમાં વિદ્યુતક્ષેત્ર તીવ્ર બને છે. જ્યારે માઈનોરિટી ચાર્જકરિયર

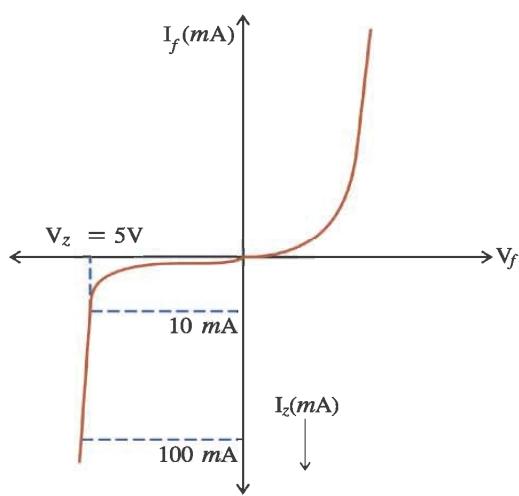


આકૃતિ 7.28 જેનર ડાયોડની સંશોધન

(દા.ત., ઈલેક્ટ્રોન) ડેપ્લેશન વિસ્તારમાંથી પસાર થાય છે, ત્યારે તે વિદ્યુતક્ષેત્રમાંથી ઊર્જા મેળવી ગતિ કરે છે. આ પ્રવેગિત ચાર્જકરિયર (ઇલેક્ટ્રોન) ડેપ્લેશન સ્તરમાં આવેલા સહસ્રાંયોજક બંધો તોડી મોટા પ્રમાણમાં ઈલેક્ટ્રોન્સ અને હોલ્સનું નિર્માણ કરે છે. આ નવા ઉદ્ભબવેલા ઈલેક્ટ્રોન્સ પણ પ્રવેગી ગતિ કરીને બીજા સહસ્રાંયોજક બંધો તોડે છે. પરિણામે મોટા પ્રમાણમાં ઈલેક્ટ્રોન્સ અને હોલ્સ ઉદ્ભબ થાય છે. આ પ્રક્રિયા સતત ચાલુ રહે છે. આથી ડાયોડમાં બ્રેકડાઉનને એવલાન્ચ બ્રેકડાઉન અને આ અસરને એવલાન્ચ અસર (Avalanche effect) કહે છે. જે ડાયોડમાં બ્રેકડાઉન એવલાન્ચ અસરથી મળે તે પ્રકારના ડાયોડને એવલાન્ચ ડાયોડ (Avalanche Diode) કહે છે.

જો ડાયોડનો બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ 4 V કરતાં ઓછો હોય તેમાં જેનર અસરને કારણે બ્રેકડાઉન થાય છે. 6 V થી વધુ બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ ધરાવતા ડાયોડમાં એવલાન્ચ અસર જોવા મળે છે. 4 V થી 6 V વચ્ચે બ્રેકડાઉન ધરાવતાં ડાયોડમાં જેનર અસર અથવા એવલાન્ચ અસરને લીધે બ્રેકડાઉન થાય છે. આ બધા પ્રકારના ડાયોડને જેનર ડાયોડ કહે છે.

જેનર ડાયોડની પરિપથ સંશોધન આકૃતિ 7.28 માં દર્શાવેલ છે. જેનર ડાયોડની પરિપથ સંશોધન P-N જંક્શન ડાયોડ જેવી જ છે, પરંતુ જો ધ્યાનથી જોવામાં આવે, તો તેની ડેપ્લેશન રેખા 'Z' આકારે વાળવામાં આવી છે.



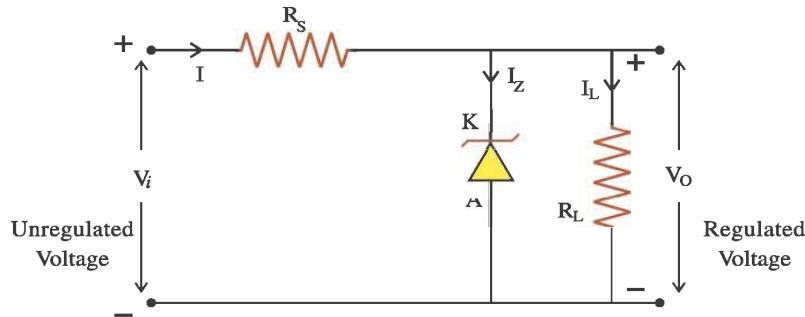
આકૃતિ 7.29 જેનર ડાયોડની લાક્ષણિકતા

આકૃતિ 7.29માં જેનર ડાયોડની લાક્ષણિકતા દર્શાવી છે. ફોરવર્ડ બાયસ લાક્ષણિકતા P-N જંક્શન ડાયોડ જેવી જ છે. રિવર્સ બાયસ સ્થિતિમાં બ્રેકડાઉન કરતાં ઓછા વોલ્ટેજવાળા વિસ્તારમાં પ્રવાહનું મૂલ્ય ખૂબ જ નાનું (μA ના કમનું) છે. બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ (V_z) આગળ આ પ્રવાહ એકાએક વધીને મિલીએમ્પ્રીયરના કમનો થાય છે, જેને જેનર પ્રવાહ (I_z) કહે છે.

અહીં મળતું બ્રેકડાઉન ખૂબ જ તીક્ષ્ણ (Sharp) હોય છે. રિવર્સ બાયસ લાક્ષણિક આલોખન પરથી જોઈ શકાય છે કે, બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ પાસે વોલ્ટેજમાં ખૂબ નાનો ફેરફાર કરતાં પ્રવાહમાં મોટો ફેરફાર મેળવી શકાય છે. બીજા શર્દોમાં આ સ્થિતિમાં જેનર ડાયોડને

સમાંતર વોલ્ટેજ, પ્રવાહના મોટા ફેરફારો માટે પણ લગભગ અચળ રહે છે. આથી આવા ડાયોડનો ઉપયોગ વોલ્ટેજ નિયામક પરિપथ (Voltage Regulator Circuit) તરીકે થાય છે.

ઝેનર ડાયોડનો વોલ્ટેજ રેગ્યુલેટર તરીકે ઉપયોગ : રેકિટફાયર પરિપથનો ઉપયોગ કરી બનાવેલા DC પાવર સપ્લાયમાં, AC Mains વોલ્ટેજમાં વધું થતાં ટ્રાન્સફોર્મરના ગૌણ ગૂંચળામાં ઉદ્ભવતા વોલ્ટેજ (V_s)માં પણ ફેરફાર થાય છે. પરિણામે લોડ-અવરોધ R_L માં મળતાં DC વોલ્ટેજમાં પણ વધું થાય છે. આવા પાવર સપ્લાયને Unregulated પાવર સપ્લાય કહે છે. જે પાવર સપ્લાયમાં ઈનપુટ વોલ્ટેજના ફેરફાર સાથે આઉટપુટ વોલ્ટેજ અચળ રહેલો હોય તેને Regulated પાવર-સપ્લાય કહે છે. ઝેનર ડાયોડની મદદથી બનાવેલ �Regulated પાવર-સપ્લાયનો પરિપથ આકૃતિ 7.30માં દર્શાવ્યો છે.



આકૃતિ 7.30 ઝેનર ડાયોડનો વોલ્ટેજ રેગ્યુલેટર તરીકે ઉપયોગ

પરિપથમાં દર્શાવ્યા મુજબ ઝેનર ડાયોડને રિવર્સ બાયસ સ્થિતિમાં જોડેલ છે. ઝેનરની શ્રેષ્ઠીમાં જોડેલ અવરોધ (R_s) એ પ્રવાહનું નિયમન કરે છે. ઝેનર ડાયોડને સમાંતર જોડેલ અવરોધ R_L ના બે છેડા વચ્ચે આઉટપુટ વોલ્ટેજ મળે છે. પરિપથને લાગુ પાડેલ ઈનપુટ વોલ્ટેજ (V_i) હંમેશા રેગ્યુલેટ આઉટપુટ વોલ્ટેજ (V_o) કરતાં મોટો હોય છે. જેટલા મૂલ્યનો રેગ્યુલેટ આઉટપુટ વોલ્ટેજ મેળવવો હોય તેના મૂલ્યના ઝેનર (બ્રેકડાઉન) વોલ્ટેજ (V_z)વાળો ઝેનરડાયોડ પરિપથમાં જોડવામાં આવે છે.

પરિપથમાં જ્યારે ઈનપુટ વોલ્ટેજ (V_i) વધે છે, ત્યારે R_s માંથી વહેતા પ્રવાહ (I)નું મૂલ્ય વધે છે. આથી R_s ના બે છેડા વચ્ચેનો વોલ્ટેજ વધે છે, જે ઈનપુટ વોલ્ટેજમાં થયેલા ફેરફાર બરાબર હોય છે. કારણ કે ઝેનર ડાયોડ પરનો વોલ્ટેજ (V_z) અચળ રહે છે. ઈનપુટ વોલ્ટેજ ઘટવાથી આનાથી ઊલટી કિયા થાય છે. R_s પરનો વોલ્ટેજ ઘટે છે, જે ઈનપુટમાં થયેલા ઘટાડા જેટલો હોય છે અને ઝેનર પરનો વોલ્ટેજ અચળ રહે છે. આમ, લોડ-અવરોધ R_L ના બે છેડા વચ્ચે મળતો આઉટપુટ વોલ્ટેજ અચળ રહે છે. આ રીતે ઝેનર ડાયોડ વાપરી રેગ્યુલેટ વોલ્ટેજ મેળવી શકાય છે.

(b) LED (Light Emitting Diode) : સિલિકીન અને જર્મનિયમ જેવા અંતર્ગત સેમીકન્ડક્ટર્સમાં જ્યારે ઇલેક્ટ્રોન કન્ડક્શન. બેન્ડમાંથી વેલેન્સ-બેન્ડમાં રહેલા હોલમાં સંકાંતિ કરે છે, ત્યારે ઉત્પન્ન થતી ઊર્જા મહદંશે ઉખા ઊર્જારૂપે મળે છે.

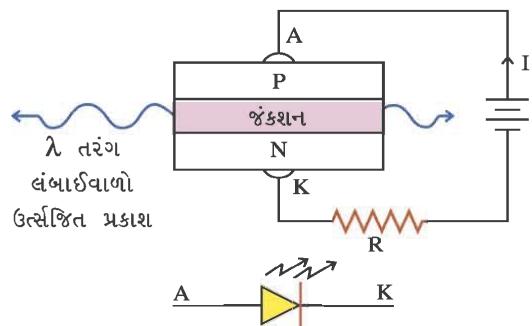
ગોટિયમ આર્સનાઈડ જેવા કેટલાક સેમીકન્ડક્ટર્સમાં આ ઊર્જા પ્રકાશ-ઊર્જા રૂપે મળે છે. અહીં ઉત્સર્જાતાં

વિદ્યુતયુંબક્રીય તરંગોની મહત્તમ તરંગલંબાઈ $\lambda = \frac{hc}{E_g}$ હોય છે, જ્યારે (E_g) એ બેન્ડગેપ ઊર્જા છે. આ રીતે

ઉત્સર્જિતો પ્રકાશ કંઈક ઉપયોગમાં લઈ શકાય તેટલા પ્રમાણમાં ઉત્પન્ન કરવા માટે કન્ડકશન બેન્ડમાં ઈલેક્ટ્રોનસનું અને વેલેન્સ-બેન્ડમાં હોલ્સનું પ્રમાણ ખૂબ મોટું હોવું જરૂરી છે. અંતર્ગત સેમીકન્ડકટર્સમાં મોટા પ્રમાણમાં અશુદ્ધિઓ ઉમેરીને પણ આવી પરિસ્થિતિ મેળવી શકાતી નથી.

ઉપર્યુક્ત હેતુ સિદ્ધ કરવા માટે મોટા પ્રમાણમાં અશુદ્ધિ ધરાવતા N અને P પ્રકારના સેમીકન્ડકટર્સ વડે P-N જંક્શન તૈયાર કરવામાં આવે છે. આ જંક્શનને સારા એવા ફોરવર્ડ બાયસની સ્થિતિમાં રાખતા આફ્ટિ 7.31 માં દર્શાવ્યા અનુસાર મોટો પ્રવાહ વહે છે.

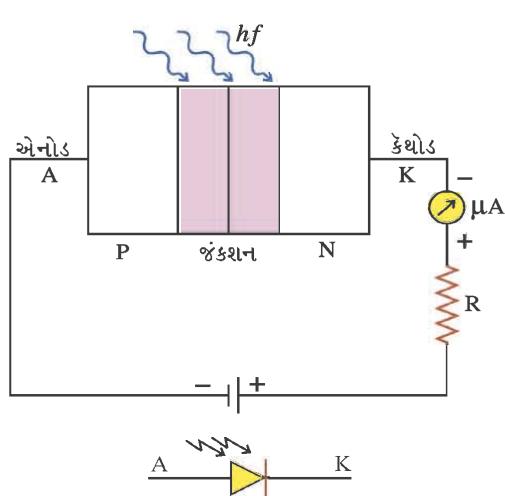
અતે પ્રવાહને કારણો N વિભાગને પુષ્ટ પ્રમાણમાં ઈલેક્ટ્રોનસ અને P વિભાગને પુષ્ટ પ્રમાણમાં હોલ્સ મળતા રહે છે. વળી, ઉપર વર્ધાવેલ સ્થિતિમાં તેઘેશન સ્તર ખૂબ જ પાતળું (થોડાક જ ૩ μm) હોય છે. આમ, આ સ્થિતિમાં N વિભાગમાંના ઈલેક્ટ્રોનસ મોટા પ્રમાણમાં જંક્શનના વિસ્તારમાં, સહેલાઈથી હોલ્સ સાથે સંયોજાય છે અને પરિણામે જોઈતી માગામાં પ્રકાશ ઉત્પન્ન થાય છે.



આફ્ટિ 7.31 LED અને તેની સંશા

બજારમાં લાલ, પીળો, નારંગી, લીલો અને વાદળી રંગના પ્રકાશને ઉત્સર્જિત કરતી LED મળે છે. દશ્યપ્રકાશ ઉત્પન્ન કરતી LEDના અર્ધવાહકની બેન્ડગોપ ઊર્જા ઓછામાં ઓછી 1.8 eV હોય છે. આ માટે સંયોજિત અર્ધવાહક ગેલિયમ આર્સેનાઈડ-ફોસ્ફાઈડ (Ga As_{1-x}P_x)નો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે.

LEDનો ઉપયોગ રિમોટ કંટ્રોલ, ON/OFF દર્શક તરીકે, ઓફિચિલ કોમ્પ્યુનિકેશનમાં, ડિસ્લે બોર્ડ તથા ડેકોરેશન માટેની લાઈટિંગમાં બહોળા પ્રમાણમાં કરવામાં આવે છે.



આફ્ટિ 7.32 ફોટો-ડાયોડ અને તેની સંશા

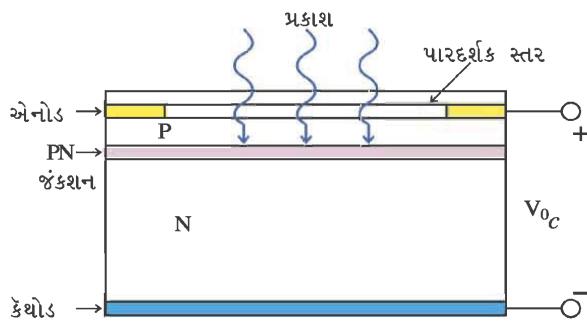
(c) ફોટો-ડાયોડ (Photo diode) : ફોટો-ડાયોડની રચના સામાન્ય P-N-જંક્શન ડાયોડ જેવી જ હોય છે. બંને ડાયોડમાં તફાવત એ છે કે, ફોટો-ડાયોડમાં પ્રકાશને પ્રવેશવા બારી (Window) હોય છે. આ ડાયોડને હંમેશા રિવર્સ બાયસ સ્થિતિમાં જ ઉપયોગમાં લેવામાં આવે છે. (જુઓ આફ્ટિ 7.32)

P-N-જંક્શન ડાયોડને રિવર્સ બાયસ આપતા તેમાંથી સંતૃપ્ત રિવર્સ પ્રવાહ પસાર થાય છે. સંતૃપ્ત રિવર્સ પ્રવાહનું પ્રમાણ ડાયોડનું તાપમાન અથવા તેના પર પ્રકાશ આપાત કરી વધારી શકાય છે. તેઘેશન વિસ્તાર પર આપાત કરેલ પ્રકાશના ફોટોનની ઊર્જા $\frac{hc}{\lambda} > E_g$, હશે, ત્યારે જંક્શનના વિસ્તારમાં સહસંયોજક બંધોમાં ભંગાડા પડે છે. આથી તેમાં ઈલેક્ટ્રોન-હોલનાં વધુ જોડકાંઓ ઉદ્ભવે

છે. (અથવા પ્રકાશ ઊર્જાને લીધે ઈલેક્ટ્રોન્સની વેલેન્સ-બેન્ડમાંથી કન્ડક્ષન-બેન્ડમાં સંકૂતિ થાય છે.) આ ઉદ્ભવેલા બંને પ્રકારના માઈનોરિટી ચાર્જ કેરિયર્સ જંક્શન પસાર કરીને રિવર્સ પ્રવાહમાં વધારો કરે છે. આ રિવર્સ પ્રવાહ માના કમનો હોય છે.

ડાયોડ પર પ્રકાશ આપાત કરવામાં ન આવે ત્યારે તેમાંથી વહેતા સંતૃપ્ત રિવર્સ પ્રવાહને Dark Current કહે છે. આપાત પ્રકારની તીવ્રતા વધારતા ઈલેક્ટ્રોન-હોલ જોડકાંઓની સંખ્યા વધે છે. પરિણામે ડાયોડમાં પ્રવાહ વધે છે.

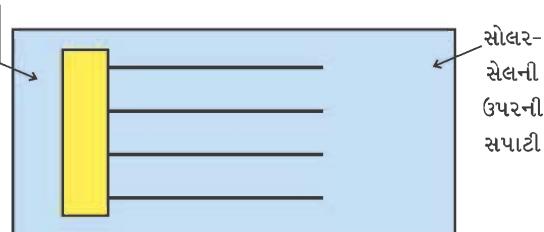
ફોટો ડાયોડએ પ્રકારના તરંગોનું વિદ્યુતસિળનલમાં રૂપાંતર કરે છે. આથી તેનો ઉપયોગ ઓપ્ટિકલ કમ્પ્યુનિકેશનમાં મોટા પ્રમાણમાં થાય છે. તેનો ઉપયોગ CD પ્લેયર, કમ્પ્યૂટર તેમજ સિક્યુરિટી સિસ્ટમમાં પણ થાય છે.



આકૃતિ 7.33 સોલરસેલની રચના

આકૃતિ 7.33માં સોલરસેલની રચના દર્શાવી છે. N પ્રકારની અર્ધવાહક પર P પ્રકારના અર્ધવાહકનું પાતળું સ્તર (Thin Layer) રચીને P-N-જંક્શન તૈયાર કરવામાં આવે છે. N વિભાગ સાથે જોડેલા ધાતુના ઈલેક્ટ્રોડને કેથોડ અને P વિભાગ સાથે જોડેલા ધાતુના ઈલેક્ટ્રોડને એનોડ કહે છે. એનોડ વડે P વિભાગ સંપૂર્ણપણે ઢંકાઈ ન જાય તે માટે આંગળીઓના આકાર વાળો એનોડ (Finger Anode) બનાવવામાં આવે છે. (જુઓ આકૃતિ 7.34)

આંગળીઓના આકારવાળો એનોડ



આકૃતિ 7.34

P વિભાગના પાતળા સ્તરને એમ્ભિટર (Emitter) અને N વિભાગને બેઝ (Base) કહે છે. P વિભાગ પાતળા સ્તરનો બનેલો હોવાથી ફોટોનની ઊર્જાનો વ્યય થયા વગર તે સીધો P-N-જંક્શન પર આપાત થઈ શકે છે. સોલરસેલમાંથી મળતો પાવર વધારવા માટે P-N-જંક્શનનો કાર્યરત વિસ્તાર (Active Region) મોટો રાખવામાં આવે છે.

જંક્શન પર આપાત થયેલ ફોટોનની ઊર્જા $hf > E_g$. હશે ત્યારે તે ઈલેક્ટ્રોન-હોલનાં જોડકાં ઉત્પન્ન કરશે, જે જંક્શન-ક્રોને કારણે પરસ્પર વિરુદ્ધ દિશામાં ગતિ કરશે. ફોટોનથી ઉત્સર્જિત થયેલ ઈલેક્ટ્રોન N-વિભાગ તરફ અને હોલ P વિભાગ તરફ ગતિ કરે છે અને પરિપથમાં બાબુ અવરોધ જોડેલ ન હોય તો P વિભાગમાં હોલ્સ અને N વિભાગમાં ઈલેક્ટ્રોનસનો સંચય (સંગ્રહ) થાય છે, જેના કારણે emf ઉદ્ભવે છે. જેને ફોટો-વોલ્ટેજ કહે છે. સોલરસેલમાં આ emfનું મૂલ્ય 0.5 Vથી 0.6 V જેટલું હોય છે.

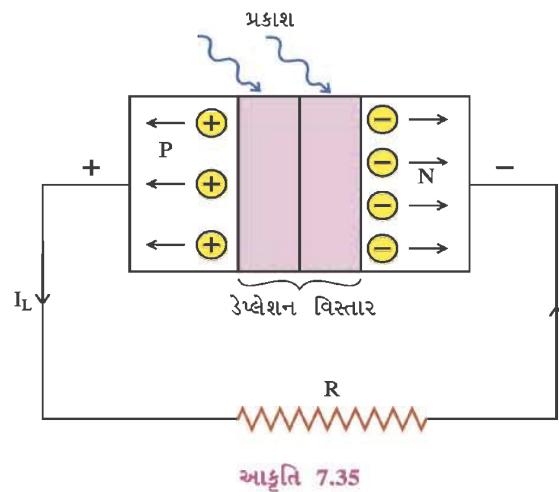
બાબા પરિપथમાં અવરોધ જોડતાં આકૃતિ 7.35માં દર્શાવ્યા મુજબ ફોટોપ્રવાહ I_L વહે છે. આ પ્રવાહનું મૂલ્ય તેમજ ફોટો-વોલ્ટેજનું મૂલ્ય પ્રકાશની તીવ્રતા પર આધાર રાખે છે.

Si, GaAs, કેદ્ભિયમ સલ્ફાઈડ (CdS), કેદ્ભિયમ સેલેનાઈડ (CdSe) જેવા અર્ધવાહકોનો ઉપયોગ સોલરસેલ બનાવવામાં થાય છે.

સોલર સેલ બનાવવા માટે ઉપયોગમાં લેવાતા પદાર્થ માટે નીચેની બાબતો અગત્યની છે.
 (i) બેન્ડગેપ-ઓર્જ (1.0 eV થી 1.8 eV)
 (ii) પ્રકાશ શોષવાની ક્ષમતા વધુ હોવી જોઈએ.
 (iii) વાહકતા વધુ હોવી જોઈએ. (iv) પદાર્થ સહેલાઈથી ઉપલબ્ધ હોવો જોઈએ.

સોલરસેલ માટે હંમેશા સૂર્યપ્રકાશ હોવો જરૂરી નથી. જે પ્રકાશના ફોટોનની ઊર્જા અર્ધવાહકના બેન્ડગેપ ઊર્જા કરતા વધુ હોય તે પ્રકાશ પણ ફોટો વોલ્ટેજ ઉત્પન્ન કરી શકે છે.

ઘણા બધા સોલર સેલને શ્રેણી અને સમાંતરમાં જોડી જોઈતા પ્રમાણમાં વોલ્ટેજ અને પ્રવાહ મેળવી શકાય છે. આવા જોડાણને સોલર પેનલ કહેવામાં આવે છે. આવી પેનલોનો ઉપયોગ સેટેલાઈટમાં વિદ્યુત-ઊર્જા મેળવવા માટે થાય છે. આવી પેનલોની મદદથી ગૌડા વિદ્યુતકોષ (Storage Battery)ને દિવસ દરમિયાન ચાર્જ કરીને રાત્રિ દરમિયાન પ્રકાશ મેળવી શકાય છે. કોંક્રેટ, ઇલેક્ટ્રોનિક ઘડિયાળો અને કેમેરામાં પણ સોલરસેલનો ઉપયોગ થાય છે.



વિવિધ પ્રકારના P-N-જંક્શન ડાયોડની પરિપથ સંશાઓ

(1)	P-N-જંક્શન-ડાયોડ	
(2)	જેનર ડાયોડ	
(3)	LED	
(4)	ફોટો-ડાયોડ	
(5)	સોલરસેલ	

સેમીકન્ડક્ટર ઇલેક્ટ્રોનિક્સ : દ્રવ્યો, રચનાઓ અને સાદા પરિપથો

ઉદાહરણ : ૩ 2.8 eV બેન્ડગોપ ધરાવતા અર્ધવાહકમાંથી એક ફોટો-ડાયોડ તૈયાર કરવામાં આવ્યો છે. શું તે 6620 nm તરંગલંબાઈ ધરાવતા વિકિરણને પારખી (detect) શકશે ? ($h = 6.62 \times 10^{-34}$ Js)

$$\text{ઉક્તા : } E_g = 2.8 \text{ eV} = 2.8 \times 1.6 \times 10^{-19} = 4.48 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{વિકિરણની તરંગલંબાઈ } \lambda = 6620 \text{ nm} = 6.620 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\text{આ વિકિરણની ઊર્જા, } E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.62 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{6.620 \times 10^{-6}} = 3 \times 10^{-20} \text{ J}$$

અહીં $E < E_g$ હોવાથી ફોટો-ડાયોડ 6620 nm તરંગલંબાઈવાળા વિકિરણને પારખી શકશે નહીં.

૭.૯ ટ્રાન્ઝિસ્ટર (Transistor)

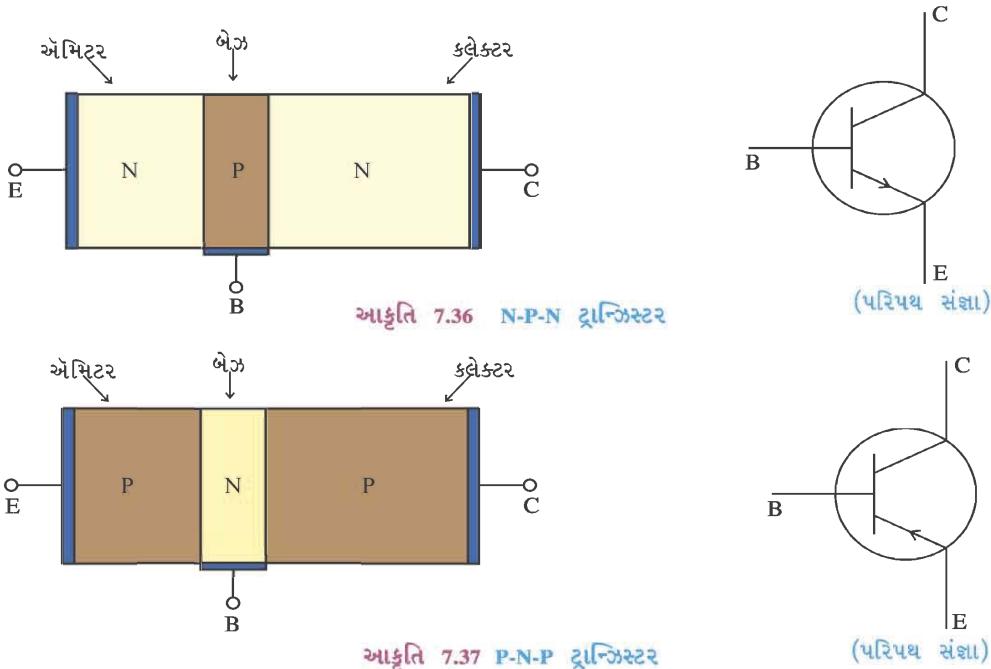
ઈ.સ. 1948માં અમેરિકાની બેલ ટેલિફોન લોનોરેટરીના ગ્રાન્ચ વૈજ્ઞાનિકો જહોન બાર્ડિન, વોલ્ટર બ્રાટેન અને વિલાયિમ શૉકલેને ટ્રાન્ઝિસ્ટરની શોધ કરી. આ શોધ માટે તેમને નોંબલ પણ આપવામાં આવ્યું છે. ટ્રાન્ઝિસ્ટરનું કદ મગફળીના નાનામાં નાના દાખાના કદ બરાબર છે છતાં પણ તે (Vacuum tube)ની બરાબર ગણી શકાય તેવાં કાર્યો કરે છે. આ શોધ બાદ ઇલેક્ટ્રોનિક ઉદ્યોગમાં એક પ્રકારની કાંતિ આવી. ટ્રાન્ઝિસ્ટર કદમાં નાના અને વજનમાં હલકા હોવાથી ઇલેક્ટ્રોનિક ઉપકરણો નાનાં થયાં તથા તેમની કિમતમાં નોંધપાત્ર ઘટાડો પણ થયો.

બે P-N-જંક્શનવાળી રચનાને ટ્રાન્ઝિસ્ટર કહે છે. ટ્રાન્ઝિસ્ટરો બે પ્રકારનાં છે. :

(i) **P-N-P ટ્રાન્ઝિસ્ટર :** આ પ્રકારના ટ્રાન્ઝિસ્ટરમાં P પ્રકારના બે અર્ધવાહકો વચ્ચે N પ્રકારના અર્ધવાહકની પાતળી ચિપ હોય છે.

(ii) **N-P-N ટ્રાન્ઝિસ્ટર :** આ પ્રકારના ટ્રાન્ઝિસ્ટરમાં N પ્રકારનો બે અર્ધવાહકો વચ્ચે P પ્રકારના અર્ધવાહકની પાતળી ચિપ હોય છે.

આકૃતિ 7.36 N-P-N ટ્રાન્ઝિસ્ટરની રચના અને પરિપથ સંજ્ઞા દર્શાવ્યા છે. આકૃતિ 7.37માં P-N-P ટ્રાન્ઝિસ્ટરની રચના અને પરિપથ સંજ્ઞા દર્શાવ્યા છે.

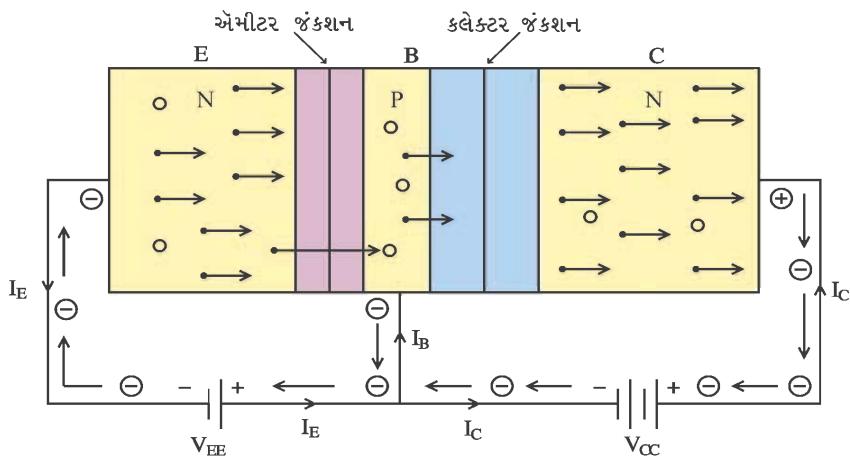


ટ્રાન્ઝિસ્ટરના મધ્ય બેજમાં રહેલ ચિપને બેજ (Base) કહે છે. બેજના એક તરફના વિભાગને ઓમીટર (Emitter) અને બીજી તરફના વિભાગને ક્લેક્ટર (Collector) કહે છે. આ બંને વિભાગનાં કદ તથા વિદ્યુતીય લાક્ષણિકતાઓ અલગ-અલગ હોય છે. ક્લેક્ટરનું કદ, ઓમીટરના કદ કરતા ઓછું હોય છે. બેજમાં અશુદ્ધિનું પ્રમાણ ઓછું હોય છે તેમજ તેની અવરોધકતા વધારે હોય છે. ઓમીટરમાં અશુદ્ધિનું પ્રમાણ વધારે હોય છે અને તેની અવરોધકતા ઘણી ઓછી હોય છે. ક્લેક્ટરમાં અશુદ્ધિનું પ્રમાણ બેજ કરતાં વધારે પરંતુ ઓમીટર કરતાં ઓછું હોય છે.

ઓમીટર અને બેજ વચ્ચેના જંક્શનને ઓમીટર-બેજ જંક્શન અથવા ઓમીટર જંક્શન કહે છે. બેજ અને ક્લેક્ટર વચ્ચેના જંક્શનને ક્લેક્ટર-બેજ જંક્શન અથવા ક્લેક્ટર જંક્શન કહે છે. ટ્રાન્ઝિસ્ટરને કાર્યશીલ કરવા ઓમીટર જંક્શનને હુંમેશાં ફોરવર્ડ બાયસ અને ક્લેક્ટર જંક્શનને રિવર્સ બાયસ આપવામાં આવે છે. જ્યારે N-P-N અથવા P-N-P ટ્રાન્ઝિસ્ટરને આ પ્રમાણોના બાયસ આપવામાં આવે ત્યારે તેમાં વહેતા રૈવાજિક વિદ્યુતપ્રવાહની દિશા આકૃતિ 7.36 અને 7.37માં દર્શાવેલ સંજ્ઞામાં ઓમીટર પર તીર વડે દર્શાવેલ છે.

ટ્રાન્ઝિસ્ટરમાં વિદ્યુતપ્રવાહનું નિર્માણ એ ઇલેક્ટ્રોન તેમજ હોલ એમ બંને પ્રકારના ચાર્જકેરિયરને લીધે થાય છે. તેથી તેને Bipolar Junction Transistor (BJT) કહે છે.

7.9.1 ટ્રાન્ઝિસ્ટરની કાર્યવાહી : વ્યવહારમાં N-P-N ટ્રાન્ઝિસ્ટર વધારે ઉપયોગી હોઈ હવે આપણે N-P-N ટ્રાન્ઝિસ્ટરની કાર્યવાહી ચર્ચાશું. આ માટેનો એક પરિપથ આકૃતિ 7.38માં દર્શાવ્યો છે.



આકૃતિ 7.38 N-P-N ટ્રાન્ઝિસ્ટરની કાર્યવાહી

ટ્રાન્ઝિસ્ટરને કાર્યશીલ કરવા માટે ઓમીટર જંક્શનને V_{EE} બેટરી વડે ફોરવર્ડ બાયસ આપેલ છે અને ક્લેક્ટર જંક્શનને V_{CC} બેટરી દ્વારા રિવર્સ બાયસ આપેલ છે. ફોરવર્ડ બાયસ વોલ્ટેજ V_{EE} નું મૂલ્ય આશરે 0.5 થી 1V ની વચ્ચે હોય છે અને રિવર્સ બાયસ વોલ્ટેજ V_{CC} નું મૂલ્ય 5 Vથી 10 V વચ્ચે હોય છે. ઓમીટર જંક્શન ફોરવર્ડ બાયસ હોવાથી તે જંક્શન પાસે ડેપ્લેશન વિસ્તારની પહોળાઈ ઓછી હોય છે, જ્યારે ક્લેક્ટર જંક્શન રિવર્સ બાયસ હોવાથી તે જંક્શન પાસે ડેપ્લેશન વિસ્તારની પહોળાઈ વધારે હોય છે. N-P-N ટ્રાન્ઝિસ્ટરમાં ઓમીટરમાં મેજોરિટી ચાર્જકેરિયર ઇલેક્ટ્રોન હોય છે અને બેજમાં હોલ હોય છે.

અતે, ઓમીટર જંક્શન ફોરવર્ડ બાયસમાં હોવાથી બાય બેટરી (V_{EE})ની અસર હેઠળ ઓમીટરમાંથી ઇલેક્ટ્રોન સહેલાઈથી બેજ વિભાગમાં જાય છે, આના કારણે રચાતો પ્રવાહ ઓમીટર પ્રવાહ (I_E) કહેવાય છે. હવે, બેજ વિભાગ સાંકડો છે અને તેમાં અશુદ્ધિનું પ્રમાણ ઓછું છે. આથી, ઓમીટરમાંથી બેજમાં આવતાં આશરે 5 % કરતાં ઓછા ઇલેક્ટ્રોન બેજમાંના હોલ સાથે સંયોજાય છે. બાબીના ઇલેક્ટ્રોન બેટરી V_{CC} ની અસર હેઠળ ક્લેક્ટર જંક્શન તરફ

સેમીકન્ડક્ટર ઇલેક્ટ્રોનિક્સ : દ્રવ્યો, રચનાઓ અને સાદા પરિપથો

આકર્ષણીને કલેક્ટર વિભાગમાં દાખલ થાય છે. કલેક્ટર વિભાગમાં દાખલ થતાં દરેક ઈલેક્ટ્રોન દીઠ એક ઈલેક્ટ્રોન, કલેક્ટર વિભાગમાંથી બાધ્ય પરિપથમાં દાખલ થઈ કલેક્ટરપ્રવાહ I_C નું નિર્માણ કરે છે. વળી, બેજમાં હોલ સાથે સંયોજાતા દરેક ઈલેક્ટ્રોન દીઠ એક ઈલેક્ટ્રોન V_{EE} વડે આકર્ષણીને બાધ્ય પરિપથમાં દાખલ થઈ બેજ પ્રવાહ I_B નું નિર્માણ કરે છે.

જંક્શનબિંદુ પાસે ડિર્ચોફના પ્રથમ નિયમ અનુસાર.

$$I_E = I_B + I_C$$

સામાન્ય રીતે, ટ્રાન્ઝિસ્ટરમાં I_E અને I_C , mAના કમના અને I_B , μ Aના કમનો હોય છે.

આ જ પ્રમાણોની કાર્યવાહી આપણો P-N-P ટ્રાન્ઝિસ્ટર માટે પણ સમજ શકીએ. P-N-P ટ્રાન્ઝિસ્ટરમાં એમીટરમાંથી આવતા મેઝોસ્ટી ચાર્જ કેરિયર હોલ હોય છે. તે સાંકડા બેજ વિસ્તાર (N-વિભાગ)માંથી પસાર થઈ કલેક્ટર વિભાગમાં જઈ કલેક્ટરપ્રવાહ I_C રચે છે.

સામાન્ય રીતે, ઈલેક્ટ્રોનિક પરિપથો જેવા કે એન્થ્રિલફાયરને બે ઈનપુટ ટર્મિનલ અને બે આઉટપુટ ટર્મિનલ એમ કુલ ચાર ટર્મિનલ હોય છે. ટ્રાન્ઝિસ્ટરને ફક્ત ગણ ટર્મિનલ છે : બેજ (B), એમીટર (E) અને કલેક્ટર (C). આથી આવા પરિપથમાં ટ્રાન્ઝિસ્ટરના કોઈ એક ટર્મિનલને ઈનપુટ અને આઉટપુટના સંદર્ભમાં કોમન (common) રાખવામાં આવે છે. આ રીતે ગણ જુદા-જુદા પ્રકારના પરિપથો તૈયાર કરી શકાય છે :

(1) કોમન બેજ (CB) પરિપથ (2) કોમન એમીટર (CE) પરિપથ (3) કોમન-કલેક્ટર (CC) પરિપથ

ટ્રાન્ઝિસ્ટરના CB પરિપથમાં આઉટપુટ પ્રવાહ I_C અને ઈનપુટ પ્રવાહ I_E હોય છે. I_C અને I_E ના ગુણોત્તરને પ્રવાહગેઠન (Current Gain) α_{dc} કહે છે.

$$\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E}$$

અહીં, $I_E > I_C$ હોવાથી, હંમેશાં $\alpha_{dc} < 1$ હોય છે.

CE પરિપથમાં આઉટપુટ પ્રવાહ I_C અને ઈનપુટ પ્રવાહ I_B હોય છે. આથી CE પરિપથ માટે, પ્રવાહ ગેઠન

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B}.$$

અહીં, $I_C \gg I_B$ હોવાથી, હંમેશાં $\beta_{dc} \gg 1$ હોય છે.

CB, CE અને CC પરિપથોની લાક્ષણિકતાઓ અલગ-અલગ હોવાથી, ગણોય પરિપથોના લાભાલાભ પણ અલગ છે.

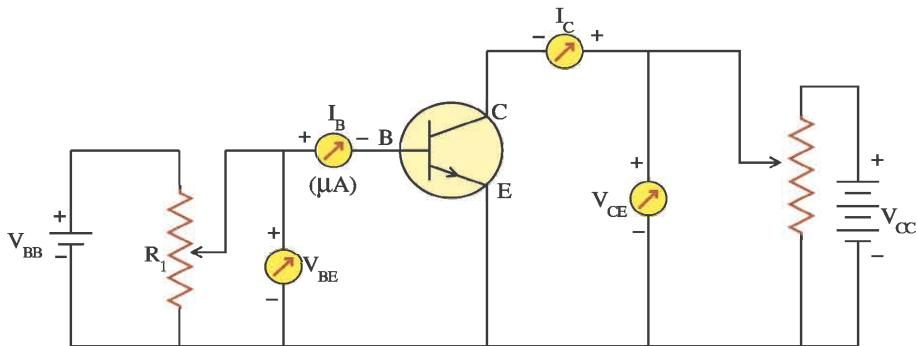
મૌટા ભાગના ઈલેક્ટ્રોનિક પરિપથોમાં CE પરિપથનો ઉપયોગ થતો હોવાથી, આપણો ફક્ત CE પરિપથની લાક્ષણિકતાઓની ચર્ચા કરીશું.

7.9.2 ટ્રાન્ઝિસ્ટરની લાક્ષણિકતાઓ : ટ્રાન્ઝિસ્ટરની કાર્યપદ્ધતિ જાણવા માટે આપણો તેમાં વહેતા પ્રવાહી અને વોલ્ટેજો વચ્ચેનો સંબંધ જાણવો જરૂરી છે. ટ્રાન્ઝિસ્ટરમાં વહેતા જુદા-જુદા પ્રવાહો અને વોલ્ટેજો વચ્ચે સંબંધ દર્શાવતા આલેખને ટ્રાન્ઝિસ્ટરના સ્થિત લાક્ષણિક આલેખો (Static Characteristic Curves) કહે છે. ટ્રાન્ઝિસ્ટરના કોઈ એક આઉટપુટ વોલ્ટેજ માટે ઈનપુટ વોલ્ટેજ અને ઈનપુટ પ્રવાહ વચ્ચે સંબંધ દર્શાવતા આલેખને ઈનપુટ લાક્ષણિકતા (Input Characteristics) કહે છે. ઈનપુટ પ્રવાહના કોઈ એક મૂલ્ય માટે

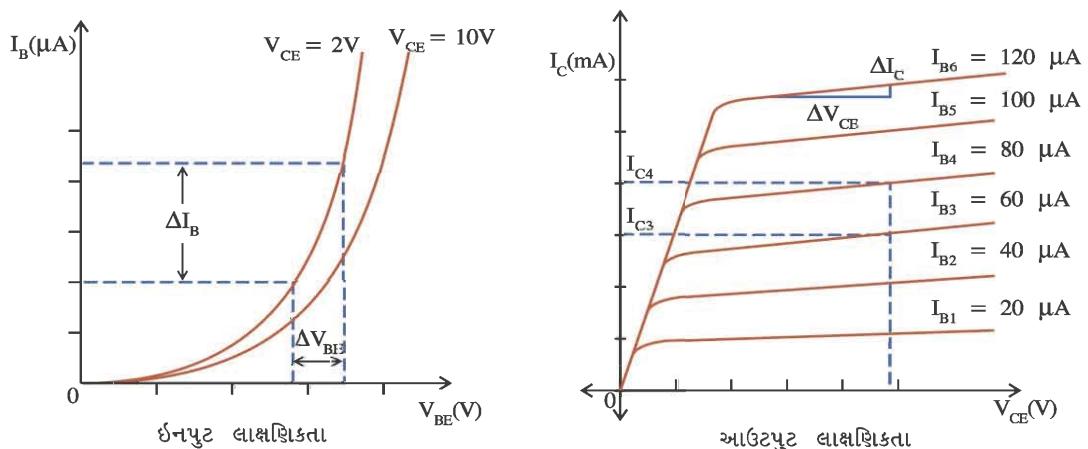
આઉટપુટ વોલ્ટેજ અને આઉટપુટ પ્રવાહ વચ્ચેનો સંબંધ દર્શાવતા આવેખને આઉટપુટ લાક્ષણિકતા (Output Characteristics) કહે છે.

CE પરિપथની સ્થિત લાક્ષણિકતાઓ મેળવવા માટેનો વિદ્યુત-પરિપથ આફૂતિ 7.39માં દર્શાવ્યો છે.

પરિપથમાં V_{BB} બેટરી દ્વારા એમીટર જંક્શનને ફોરવર્ડ બાયસ અને V_{CC} બેટરી દ્વારા કલેક્ટર-જંક્શનને રિવર્સ બાયસ આપેલ છે. રિહોસ્ટેટ (Rheostat) R_1 ની મદદથી ટ્રાન્ઝિસ્ટરના બેઝ વોલ્ટેજ V_{BE} બદલી શકાય છે, અને રિહોસ્ટેટ R_2 ની મદદથી કલેક્ટર V_{CE} વોલ્ટેજ બદલી શકાય છે.



આફૂતિ 7.39 ટ્રાન્ઝિસ્ટરની લાક્ષણિકતા મેળવવાનો વિદ્યુતપરિપથ



આફૂતિ 7.40 ટ્રાન્ઝિસ્ટરની લાક્ષણિકતા

CE પરિપથની ઈનપુટ લાક્ષણિકતા મેળવવા માટે સૌપ્રથમ રિહોસ્ટેટ R_2 ની મદદથી કલેક્ટર વોલ્ટેજ V_{CE} નું કોઈ એક મૂલ્ય ગોઠવો. (દા.ત. $V_{CE} = 2$ V) અને R_1 ની મદદથી બેઝ વોલ્ટેજ V_{BE} ને યોગ ગાળામાં બદલતા જઈ બેઝ પ્રવાહ I_B નોંધો. ત્યાર બાદ V_{CE} ના કોઈ એક ઉંચા મૂલ્ય (દા.ત., $V_{CE} = 10$ V) માટે પ્રયોગનું પુનરાવર્તન કરો. $I_B - V_{BE}$ નો આવેખ દોરો. જે ટ્રાન્ઝિસ્ટરની ઈનપુટ લાક્ષણિકતા આપે છે. આવી એક ઈનપુટ લાક્ષણિકતા આફૂતિ 7.40માં દર્શાવી છે. આ લાક્ષણિકતા સામાન્ય P-N જંક્શન ડાયોડ જેવી જ છે.

આઉટપુટ લાક્ષણિકતા મેળવવા માટે બેઝ પ્રવાહ I_B અચળ રાખી (દા.ત. $I_B = 20\mu A$) કલેક્ટર વોલ્ટેજ V_{CE} ને યોગ ગાળામાં બદલતા જઈ તેને અનુરૂપ કલેક્ટરપ્રવાહ I_C નોંધો. I_B ના બીજાં ગણથી ચાર જુદા-જુદા મૂલ્યો (દા.ત. 40 μA , 60 μA અને 80 μA વગેરે) માટે પ્રયોગનું પુનરાવર્તન કરો. જુદા-જુદા I_B પ્રવાહ માટે $I_C = V_{CE}$ ના આવેખો દોરો. જે ટ્રાન્ઝિસ્ટરની આઉટપુટ લાક્ષણિકતા આપે છે. (જુઓ આફૂતિ 7.40) આવેખના મધ્ય ભાગના સેમીકનડકટર ઈલેક્ટ્રોનિક્સ : દ્રવ્યો, રચનાઓ અને સાદા પરિપથો

વિસ્તારને કાર્યશીલ વિસ્તાર (Active Region) કહે છે. આ વિસ્તારમાં કલેક્ટર પ્રવાહ I_C , V_{CE} ના મૂલ્ય પર આધાર રાખતો નથી અને તે લગભગ અચળ રહે છે. ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો એમિલફાયર તરીકે ઉપયોગ કરવો હોય, તો તેને આ વિસ્તારમાં કાર્યશીલ કરવામાં આવે છે.

આ લાક્ષણિક આલેખો પરથી ટ્રાન્ઝિસ્ટરના પ્રાચલો (Parameters) નીચે મુજબ શોધી શકાય છે :

(1) ઈનપુટ-અવરોધ (Input Resistance) : અચળ કલેક્ટર વોલ્ટેજ (V_{CE}) માટે, ઈનપુટ બેઝ વોલ્ટેજમાં થતાં ફેરફાર (ΔV_{BE}) અને ઈનપુટ બેઝ પ્રવાહમાં થતાં ફેરફાર (ΔI_B)ના ગુણોત્તરને ઈનપુટ-અવરોધ (r_i) કહે છે.

$$r_i = \left(\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} \right)_{V_{CE}} = \text{અચળ}$$

આ પ્રાચલને ઈનપુટ લાક્ષણિકતા પરથી શોધી શકાય છે. સામાન્ય રીતે r_i નું મૂલ્ય k ડાના કમનું હોય છે.

(2) આઉટપુટ-અવરોધ (Output Resistance) : અચળ બેઝપ્રવાહ (I_B) માટે, કલેક્ટર વોલ્ટેજમાં થતાં ફેરફાર (ΔV_{CE}) અને તેને અનુરૂપ કલેક્ટરપ્રવાહમાં થતાં ફેરફાર (ΔI_C)ના ગુણોત્તરને ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો આઉટપુટ અવરોધ r_o કહે છે.

$$r_o = \left(\frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} \right)_{I_B} = \text{અચળ}$$

ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો આ પ્રાચલ આઉટપુટ લાક્ષણિકતા પરથી મેળવી શકાય છે. સામાન્ય રીતે તેનું મૂલ્ય $50\ k\ \Omega$ થી $100\ k\ \Omega$ ની વચ્ચે હોય છે.

(3) પ્રવાહગેઠન (Current Gain) : અચળ કલેક્ટર-વોલ્ટેજ (ΔI_C) માટે, કલેક્ટર પ્રવાહમાં થતાં ફેરફાર (ΔI_C) અને તેને અનુરૂપ બેઝ પ્રવાહમાં થતાં ફેરફાર (ΔI_B)ના ગુણોત્તરને પ્રવાહગેઠન β કહે છે.

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

આ પ્રાચલને આઉટપુટ લાક્ષણિકતાના કાર્યશીલ વિસ્તાર પરથી મેળવી શકાય છે. β નું મૂલ્ય સામાન્ય રીતે 10 થી 1000ની વચ્ચે હોય છે.

CE-પરિપથ માટે β અને r_i નો ગુણોત્તર લેતાં,

$$\frac{\beta}{r_i} = \frac{\Delta I_C / \Delta I_B}{\Delta V_{BE} / \Delta I_B} = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}}$$

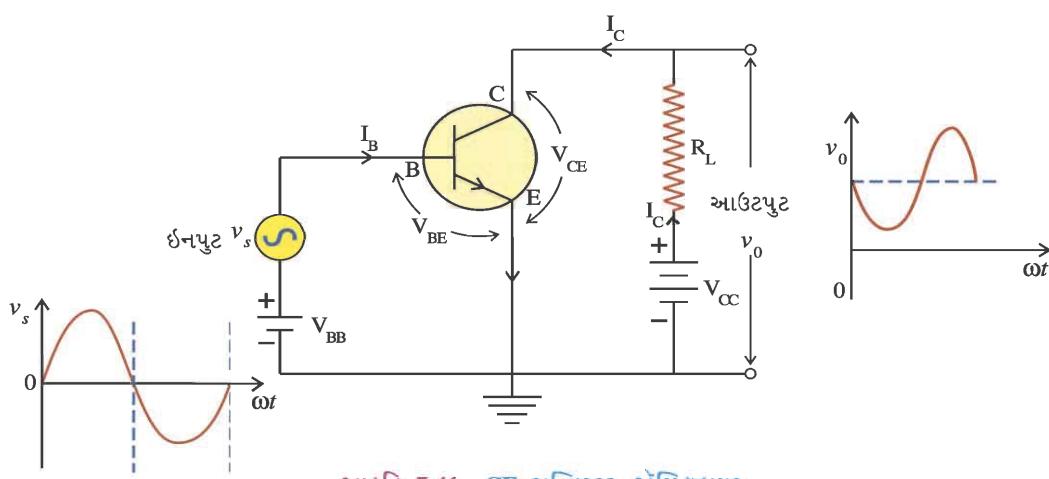
ટ્રાન્ઝિસ્ટરના આઉટપુટ-પરિપથમાં થતા પ્રવાહના ફેરફાર (ΔI_C) અને ઈનપુટ-વોલ્ટેજમાં થતા ફેરફાર (ΔV_{BE})ના ગુણોત્તરને ટ્રાન્સકન્કટન્સ (g_m) કહે છે.

$$\therefore g_m = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}} \text{ અથવા } g_m = \frac{\beta}{r_i}$$

તેનો એકમ મ્હો (mho) છે.

(c) ટ્રાન્ઝિસ્ટર એમિલફાયર (Transistor as an Amplifier) : એમિલફાયર પરિપથોનું ઇલેક્ટ્રોનિક્સમાં એક આગવું મહત્વ છે. મોટા ભાગનાં ઇલેક્ટ્રોનિક ઉપકરણોમાં આ પરિપથનો ઉપયોગ થાય છે. ઇલેક્ટ્રોનિક્સમાં જ્યારે આપણો પનારો નાના સિગનલો સાથે પડે છે ત્યારે તેમને વિવર્ધિત કરવાની જવાબદારી એમિલફાયર પરિપથો ઉપાડી લે છે. દા.ત. માઈક્રોફોનના આઉટપુટમાં મળતો વોલ્ટેજ, રેડિયો કે ટીવીના એન્ટેના દ્વારા રિસીવ થતા સિગનલો વગેરે માઈક્રોવોલ્ટના કમના હોય છે. આ પ્રકારના સિગનલોને એમિલફાયર પરિપથ દ્વારા વિવર્ધિત કરીને ઉપયોગમાં લઈ શકાય છે.

આ હકીકત સમજવા માટે આપણો બહોળો વપરાશ ધરાવતા કોમન એમીટર (CE) ટ્રાન્ઝિસ્ટર એમિલફાયર પરિપથનો અભ્યાસ કરીશું. આ માટે N-P-N ટ્રાન્ઝિસ્ટર સાથેનો CE એમિલફાયર પરિપથ આકૃતિ 7.41માં દર્શાવ્યો છે. પરિપથમાં બેટરી V_{BB} દ્વારા એમીટર જંક્શનને ફોરવર્ડ બાયસ આપેલ છે. અને V_{CC} બેટરી દ્વારા કલેક્ટર-જંક્શનને રિવર્સ બાયસ આપેલ છે. જે A.C. સિગનલને વિવર્ધિત કરવું હોય તેને ટ્રાન્ઝિસ્ટરના બેઝ, એમીટર વચ્ચે જોડવામાં આવે છે. વિવર્ધિત થયેલ સિગનલ ટ્રાન્ઝિસ્ટરના કલેક્ટર અને એમીટર વચ્ચે એટલે કે R_L ના બે છેડા વચ્ચે મળે છે.



આકૃતિ 7.41 CE ટ્રાન્ઝિસ્ટર એમિલફાયર

ટ્રાન્ઝિસ્ટરના બેઝ પર નાનું A.C. સિગનલ (v_s) આપતાં તેના V_{BE} વોલ્ટેજમાં ફેરફાર થાય છે. પરિષામે બેઝપ્રવાહ I_B માં ફેરફાર થાય છે. I_B માં થતો ફેરફાર (ΔI_B) માઈક્રોએમ્પિયરના કમનો હોય છે. આ બેઝ પ્રવાહના ફેરફાર સાથે આઉટપુટ પરિપથમાં કલેક્ટરપ્રવાહમાં $\beta \Delta I_B$ જેટલો ફેરફાર થાય છે જે મિલીએમ્પિયરના કમનો હોય છે. આ પ્રવાહને મોટો અવરોધ R_L માંથી પસાર કરતાં તેના બે છેડા વચ્ચે મોટા મૂલ્યનો વોલ્ટેજ મળે છે જે પરિપથનો વિવર્ધિત આઉટપુટ વોલ્ટેજ છે. આમ, ટ્રાન્ઝિસ્ટર એમિલફાયર તરીકે કાર્ય કરે છે. એમિલફાયર પરિપથના આઉટપુટ-વોલ્ટેજ (V_o) અને ઈનપુટ-વોલ્ટેજ (v_s)ના ગુણોત્તરને વોલ્ટેજગેઠન (A_v) કહે છે.

પરિપથની કાર્યવાહી :

(1) ઈનપુટ-પરિપથ : એમિલફાયરનું ઈનપુટ સિગનલ v_s છે, જે વિવર્ધિત કરવાનું છે, v_s ની ગેરહાજરીમાં (એટલે $v_s = 0$) ઈનપુટ-પરિપથ માટે કિર્ચોફના બીજા નિયમ અનુસાર,

$$V_{BB} = V_{BE} \quad (7.9.1)$$

હવે, v_s ની હાજરીમાં બેઝ-એમીટર વચ્ચેના વોલ્ટેજમાં ΔV_{BE} જેટલો ફેરફાર થાય છે.

સેમીકન્ડક્ટર ઇલેક્ટ્રોનિક્સ : દ્રવ્યો, રચનાઓ અને સાદા પરિપથો

$$\therefore V_{BB} + v_s = V_{BE} + \Delta V_{BE} \quad (7.9.2)$$

સમીકરણ (7.9.2)માં સમીકરણ (7.9.1) વાપરતાં,

$$v_s = \Delta V_{BE} \quad (7.9.3)$$

હવે, ΔV_{BE} ને કારણે બેઝપ્રવાહમાં ΔI_B જેટલો ફેરફાર થાય છે. જો ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો ઈનપુટ અવરોધ r_i હોય તો, વ્યાખ્યા અનુસાર,

$$r_i = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B}$$

અથવા

$$\Delta V_{BE} = v_s = r_i \Delta I_B \quad (7.9.4)$$

(2) આઉટપુટ પરિપથ : ઈનપુટ પરિપથમાં ΔI_B જેટલા બેઝ પ્રવાહના ફેરફારને લીધે આઉટપુટ પરિપથમાં કલેક્ટર-પ્રવાહ (I_C)માં ΔI_C જેટલો ફેરફાર થાય છે. આથી અવરોધ R_L ના બે છેડા વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનના તફાવતમાં $R_L \Delta I_C$ જેટલો ફેરફાર થાય છે.

હવે, કિર્ચોફના બીજા નિયમ અનુસાર,

$$V_{CC} = I_C R_L + V_{CE} \quad (7.9.5)$$

$$\therefore \Delta V_{CC} = R_L \Delta I_C + \Delta V_{CE}$$

પરંતુ, બેટરી વોલ્ટેજ V_{CC} અચળ હોવાથી $\therefore \Delta V_{CC} = 0$

$$\therefore 0 = R_L \Delta I_C + \Delta V_{CE}$$

$$\therefore \Delta V_{CE} = -R_L \Delta I_C$$

$$\therefore v_o = -R_L \Delta I_C \quad (7.9.6)$$

અંગે, ΔV_{CE} એ આઉટપુટ ટર્મિનલના બે છેડા વચ્ચે મળતો હોવાથી તેને આઉટપુટ વોલ્ટેજ v_o કહે છે.

વોલ્ટેજોઈન (A_v) : હવે, વોલ્ટેજની વ્યાખ્યા અનુસાર,

$$\text{વોલ્ટેજ ગેઈન}, A_v = \frac{\text{અનુભૂત વોલ્ટેજ}}{\text{અનુભૂત વોલ્ટેજ}} = \frac{v_o}{v_s}$$

આ સમીકરણમાં સમીકરણ (7.9.6) અને (7.9.4)નો ઉપયોગ કરતાં.

$$A_v = -\frac{R_L \Delta I_C}{r_i \Delta I_B} \quad (7.9.7)$$

$$A_v = -\beta \frac{R_L}{r_i} \quad (7.9.8)$$

જ્યાં, $\beta = A_i = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ ને ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો પ્રવાહગેઈન કહે છે. $\frac{\beta}{r_i}$ ને ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો ડ્રાસકન્કટન્સ (g_m) કહે છે.

$$\therefore A_v = -g_m R_L \quad (7.9.9)$$

અહીં, ઋણ નિશાની દર્શાવે છે કે ઈનપુટ સિજનલ (v_s) અને આઉટપુટ સિજનલ (v_o) વચ્ચે કળા તફાવત 180°નો છે. એટલે કે, ઈનપુટમાં વોલ્ટેજ વધે ત્યારે આઉટપુટમાં વોલ્ટેજ ઘટે અને તેવી જ રીતે ઈનપુટમાં વોલ્ટેજ વધે છે.

પાવરગેઇન (A_p) : પાવરગેઇન A_pની વ્યાખ્યા અનુસાર,

$$A_p = \frac{\Delta V_{CE} \Delta I_C}{\Delta V_{BE} \Delta I_B}$$

$$A_p = \frac{\Delta V_{CE} \Delta I_C}{\Delta V_{BE} \Delta I_B}$$

$$A_p = A_v A_i$$

$$= \left(-\beta \frac{R_L}{r_i} \right) (\beta)$$

$$\therefore |A_p| = \beta^2 \frac{R_L}{r_i} \quad (7.9.10)$$

હવે, પ્રશ્ન એ થાય કે આઉટપુટમાં આ વધારાનો AC પાવર આવ્યો ક્યાંથી ? શું ઊર્જા-સંરક્ષણના નિયમનું ઉલ્લંઘન થાય છે ના, અહીં, ટ્રાન્ઝિસ્ટર, તેને V_{CC} બોટરી દ્વારા આપેલ DC ઊર્જાનું AC ઊર્જામાં રૂપાંતર કરે છે.

ઉદાહરણ 4 : ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો કોમન બેઝ (CB) પરિપथ માટે પ્રવાહ ગેઠન α અને કોમન એમીટર (CE) પરિપથ માટે પ્રવાહ ગેઠન β છે, તો α અને β વચ્ચેનો સંબંધ મેળવો.

ઉકેલ : CB પરિપથ માટે, $\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$

CE પરિપથ માટે, $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$

હવે, ટ્રાન્ઝિસ્ટરના કોઈ પણ પ્રકારના પરિપથ માટે,

$$\Delta I_E = \Delta I_C + \Delta I_B \quad (\because I_E = I_B + I_C)$$

$$\therefore \frac{\Delta I_E}{\Delta I_C} = 1 + \frac{\Delta I_B}{\Delta I_C} \quad (\Delta I_C વડે ભાગતાં)$$

$$\therefore \frac{1}{\alpha} = 1 + \frac{1}{\beta} \quad (\alpha અને \beta ની વ્યાખ્યા મુજબ)$$

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

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

આ જ રીતે, $\alpha = \frac{\beta}{1+\beta}$ સંબંધ પણ મેળવી શકાય. જોતે પ્રયત્ન કરી જુઓ.

ઉદાહરણ 5 : N-P-N ટ્રાન્ઝિસ્ટરના એમીટરમાં 1 μ s સમયમાં 10^{10} ઇલેક્ટ્રોન બેટરીમાંથી પ્રવેશે છે. આમાંના 2 % ઇલેક્ટ્રોન બેઝમાંના હોલ સાથે સંયોજાય છે, તો ટ્રાન્ઝિસ્ટર માટે I_E , I_B , I_C તેમજ α_{dc} અને β_{dc} શોધો. ($e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$)

ઉકેલ : પ્રવાહની વાખ્યા અનુસાર,

$$\text{એમીટર પ્રવાહ } I_E = \frac{Q}{t} = \frac{ne}{t} = \frac{10^{10} \times 1.6 \times 10^{-19}}{10^{-6}} = 1600 \mu\text{A}$$

હવે, 2 % ઇલેક્ટ્રોન બેઝમાંના હોલ સાથે સંયોજાય છે, જે બેઝ પ્રવાહ I_B રેચે છે. બાકીના 98 % ઇલેક્ટ્રોન કલેક્ટરમાં જાય છે અને તે કલેક્ટરપ્રવાહ I_C રેચે છે.

$$\therefore I_B = 0.02 I_E = 0.02 \times 1600 = 32 \mu\text{A}$$

$$\therefore I_C = 0.98 I_E = 0.98 \times 1600 = 1568 \mu\text{A}$$

$$\text{Now, } \alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E} = \frac{1568 \times 10^{-6}}{1600 \times 10^{-6}} = 0.98 \quad (\text{or } \alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E} = \frac{98\% I_E}{I_E} = 0.98)$$

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{1568 \times 10^{-6}}{32 \times 10^{-6}} = 49 \quad (\beta_{dc} = \frac{\alpha_{dc}}{1 - \alpha_{dc}} \text{ સમીકરણનો ઉપયોગ કરીને})$$

ઉદાહરણ 6 : CE ટ્રાન્ઝિસ્ટર એમ્બિલફાયરમાં ઈનપુટ સિંગલ લગાડતાં બેઝ-એમીટર વચ્ચે 0.02 Vનો ફેરફાર થાય છે. આથી, બેઝપ્રવાહમાં 20 μ Aનો ફેરફાર થાય છે અને કલેક્ટરપ્રવાહમાં 2 mAનો ફેરફાર થાય છે. (1) ઈનપુટ અવરોધ, (2) એ.સી. પ્રવાહ ગેઠન, (3) ટ્રાન્સકન્કટન્સ, (4) લોડ-અવરોધ $5 \text{ k } \Omega$ હોય, તો વોલ્ટેજગેઠન અને પાવરગેઠન શોધો.

ઉકેલ : અહીં, $\Delta I_B = 20 \mu\text{A} = 20 \times 10^{-6} \text{ A}$, $\Delta V_{BE} = 0.02 \text{ V} = 2 \times 10^{-2} \text{ V}$

$$\Delta I_C = 20 \text{ mA} = 20 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$(1) \text{ ઈનપુટ અવરોધ, } r_i = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{2 \times 10^{-2}}{20 \times 10^{-6}} = 1 \text{ k}\Omega$$

$$(2) \text{ એ.સી. પ્રવાહગેઠન, } A_i = \beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{2 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-6}} = 100$$

$$(3) \text{ ટ્રાન્સકન્કટન્સ, } g_m = \frac{\beta}{r_i} = \frac{100}{1000} = 0.1 \text{ mho}$$

$$(4) \text{ વોલ્ટેજગેઠન, } |A_V| = g_m R_L \\ = (0.1) (5000) \\ = 500$$

$$(5) \text{ પાવરગેઠન, } A_P = A_V A_i \\ = (500) (100) \\ = 5 \times 10^4$$

ઉદાહરણ 7 : CE ટ્રાન્ઝિસ્ટર એમિલફાયરમાં કલેક્ટર સપ્લાય વોલ્ટેજ 10 V છે. ઈનપુટ સિગનલની ગેરહાજરીમાં બેઝપ્રવાહ 10 μ Aઅને કલેક્ટર-એમીટર વચ્ચે વોલ્ટેજ 4 V મળે છે. ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો પ્રવાહગોઈન (β) 300 છે. એમિલફાયરમાં લગાડેલ લોડ-અવરોધ R_L નું મૂલ્ય શોધો.

ઉકેલ : અહીં, $V_{CC} = 10$ V, $I_B = 10 \mu$ A = 10×10^{-6} A, $V_{CE} = 4$ V, $\beta = 300$, $R_L = ?$

$$\text{હવે, } I_C = \beta I_B = (300) (10 \times 10^{-6}) = 3 \text{ mA}$$

એમિલફાયરના આઉટપુટ પરિપથને કિર્ચોફનો બીજો નિયમ લગાડતાં,

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

$$\therefore R_L = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = \frac{10 - 4}{3 \times 10^{-3}} = 2000 = 2 \text{ k}\Omega$$

7.9.4 ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો સ્વિચ તરીકે ઉપયોગ (Transistor as a Switch) : આદર્શ ON/OFF સ્વિચ જ્યારે 'OFF' સ્થિતિમાં હોય ત્યારે તેમાંથી પ્રવાહ વહેતો નથી, કારણ કે તેનો અવરોધ અનંત હોય છે. જ્યારે તે 'ON' સ્થિતિમાં હોય ત્યારે તેનો અવરોધ શૂન્ય હોય છે ત્યારે તેમાંથી મહત્તમ પ્રવાહ પસાર થાય છે. આ પ્રકારની રચના આપણે ટ્રાન્ઝિસ્ટરની મદદથી પડા સાકાર કરી શકીએ છીએ.

આકૃતિ 7.42માં ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો સ્વિચ તરીકે ઉપયોગ દર્શાવતો વિધૂતપરિપથ દર્શાવ્યો છે.

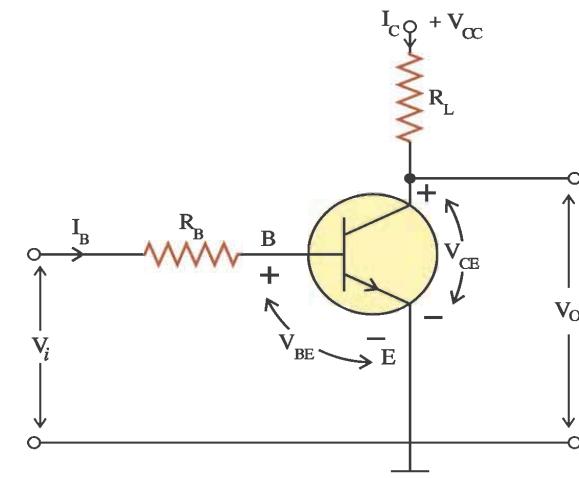
ટ્રાન્ઝિસ્ટરના ઈનપુટ વિભાગમાં કિર્ચોફનો નિયમ લગાડતાં,

$$V_i = I_B R_B + V_{BE} \quad (7.9.11)$$

ટ્રાન્ઝિસ્ટરના આઉટપુટ વિભાગમાં કિર્ચોફનો નિયમ લગાડતાં,

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

$$\therefore V_o = V_{CC} - I_C R_L \quad (7.9.12)$$



આકૃતિ 7.42 ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો સ્વિચ તરીકે ઉપયોગ

(i) જ્યારે ઈનપુટ વોલ્ટેજ $V_i = 0$ અથવા ટ્રાન્ઝિસ્ટરના કદ્દ ઈન વોલ્ટેજ કરતાં ઓછો હશે, ત્યારે બેઝપ્રવાહ ($I_B = 0$) હશે. પરિણામે ($I_C = 0$) થશે. આથી, સમીક્ષણ 7.9.12 અનુસાર,

$$V_o \approx V_{CC}$$

આ સ્થિતિમાં ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો આઉટપુટ અવરોધ ખૂબ જ મોટો હોવાથી તેમાંથી પ્રવાહ વહેતો નથી. જે ટ્રાન્ઝિસ્ટરની OFF સ્થિતિ અથવા cut off સ્થિતિ દર્શાવે છે.

સેમીકન્ડક્ટર ઈલેક્ટ્રોનિક્સ : દ્રવ્યો, રચનાઓ અને સાદા પરિપથો

(ii) જ્યારે ઈનપુટ વોલ્ટેજ $V_i \approx V_{CC}$, જેટલો હશે, ત્યારે બેઝપ્રવાહ I_B મહત્તમ થશે, પરિણામે કલેક્ટરપ્રવાહ I_C પણ મહત્તમ થાય છે. અને લોડ-અવરોધ R_L ના બે છેડા વચ્ચેનો P.d. ($I_C R_L$)નું મૂલ્ય લગભગ V_{CC} જેટલું થાય છે. સમીકરણ (7.9.12) અનુસાર,

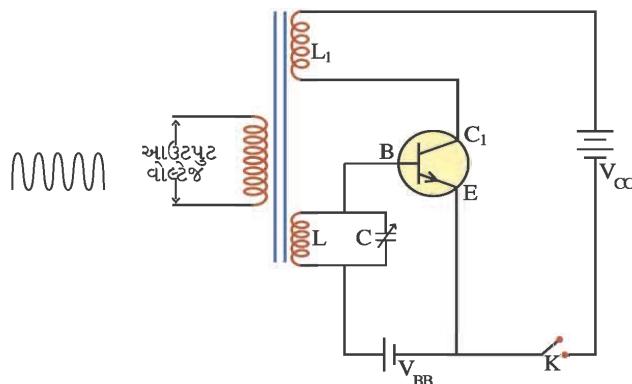
$$V_0 \approx 0$$

આ સ્થિતિમાં ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો આઉટપુટ અવરોધ ઓછો હોવાથી તેમાંથી મહત્તમ પ્રવાહ વહે છે. જે ટ્રાન્ઝિસ્ટરની સંતૃપ્તા (Saturation) સ્થિતિ અથવા 'ON' સ્થિતિ દર્શાવે છે.

આવા પરિપથનો ઉપયોગ રિલેક્ટર ઇલેક્ટ્રોનિક્સમાં 'NOT' ગેટ બનાવવામાં થાય છે.

7.9.5 ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો ઓસ્સિસ્લેટર તરીકે ઉપયોગ (Transistor as an Oscillator) : AC વિદ્યુતપ્રવાહના પ્રકરણમાં આપણો LC પરિપથમાં થતાં વિદ્યુતદોળનો નો અભ્યાસ કર્યો. આ દોળનો સમય જતાં મંદ પડતાં જાય છે. જો આવા દોળનો સતત ચાલુ રાખવા હોય તે માટે જરૂરી ડિસ્ચાર્જ-પરિપથમાં પૂરી પાડવી જોઈએ. આ કાર્ય ઓસ્સિસ્લેટર પરિપથ દ્વારા કરી શકાય છે.

ઓભિલફાયર પરિપથમાં આપણો જોયું કે જ્યારે તેને ઈનપુટ વોલ્ટેજ આપવામાં આવે ત્યારે જ આપણાને આઉટપુટ વોલ્ટેજ મળે છે. પરંતુ ઓસ્સિસ્લેટર પરિપથમાં બાધ્ય ઈનપુટ વોલ્ટેજની ગેરહાજરીમાં આપણો આઉટપુટ વોલ્ટેજ મેળવી શકીએ છીએ. આવા પરિપથ દ્વારા ઈન્સિટ્રેન્શન આવૃત્તિવાળા વોલ્ટેજ / પ્રવાહના દોળનો મેળવી શકાય છે.



આકૃતિ 7.43માં દર્શાવેલ પરિપથમાં બેટરી V_{BB} વહે ટ્રાન્ઝિસ્ટરના BE જંક્શનને ફોરવર્ડ બાયસ અને V_{CC} બેટરી વહે BC જંક્શનને રિવર્સ બાયસ લાગુ પાડેલ છે. પરિપથમાં આઉટપુટ અને ઈનપુટ વચ્ચે LC પરિપથ દાખલ કરે છે. ઈન્ડક્ટર L_1 અને L એકબીજા સાથે અન્યોન્ય પ્રેરણથી સંકળામેલા છે.

આકૃતિ 7.43 ટ્રાન્ઝિસ્ટર ઓસ્સિસ્લેટર

પરિપથમાં જ્યારે કણ ચાલુ કરવામાં આવે ત્યારે ટ્રાન્ઝિસ્ટરના કલેક્ટર પરિપથમાં ઈન્ડક્ટર L_1 દ્વારા પ્રવાહ વહે છે. આ કલેક્ટરપ્રવાહનું મૂલ્ય સમય સાથે વધતું જાય છે. આથી, L_1 સાથે સંકળામેલ ચુંબકીય ફલક્સ અને તેના પરિણામે L સાથે સંકળામેલ ફલક્સ પણ વધતું જાય છે. અને કેપેસિટર C ની ઉપરની ખેટ ઘન વિદ્યુતભારિત બનતી જાય છે. જે ટ્રાન્ઝિસ્ટરના ફોરવર્ડ બાયસ વોલ્ટેજનું મૂલ્ય વધારે છે. અને કલેક્ટરપ્રવાહ I_C પણ વધે છે. જ્યાં સુધી કલેક્ટર પ્રવાહ સંતુમ ન બને ત્યાં સુધી આ પ્રક્રિયા ચાલુ રહે છે. આ સ્થિતિમાં કેપેસિટર ડિસ્ચાર્જ થઈ ગયું હોય છે. અને ફોરવર્ડ બાયસનો વિરોધ પણ થતો નથી. પરિણામે કલેક્ટરપ્રવાહ પણ વધવા લાગે છે. અહીં, કલેક્ટરપ્રવાહ શૂન્ય અને મહત્તમ મૂલ્ય વચ્ચે 'દોળનો' કરે છે.

જ્યારે કલેક્ટરપ્રવાહ સંતુમ બને ત્યારે L_1 સાથે સંકળામેલ ફલક્સ બદલાવાનું બંધ થાય છે, ત્યારે L સાથે સંકળામેલ ફલક્સ પણ ધરતું હોવાથી કેપેસિટરની નીચેની ખેટ ઘનવિદ્યુતભારિત બનતી જાય છે. જ્યાં સુધી કલેક્ટરપ્રવાહ શૂન્ય ન થાય ત્યાં સુધી આ પ્રક્રિયા ચાલુ રહે છે. આ સ્થિતિમાં કેપેસિટર ડિસ્ચાર્જ થઈ ગયું હોય છે. અને ફોરવર્ડ બાયસનો વિરોધ પણ થતો નથી. પરિણામે કલેક્ટરપ્રવાહ પણ વધવા લાગે છે. અહીં, કલેક્ટરપ્રવાહ શૂન્ય અને મહત્તમ મૂલ્ય વચ્ચે 'દોળનો' કરે છે.

અતે, મળતી દોલનોની આવૃત્તિ,

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

અહીં, બેટરી V_{CC} માંથી LC પરિપथને ગેર્જ મળતી જાય છે. આમ, ઓસ્સિલેટર દ્વારા બેટરીની DC વિદ્યુત-ગેર્જનું AC વિદ્યુત-ગેર્જમાં રૂપાંતર થાય છે.

યવહારમાં ઓસ્સિલેટરનો ઉપયોગ સંદેશા યવહાર, રેડિયો, ટીવી અને ટ્રાન્સમિટરમાં ઉચ્ચ આવૃત્તિ મેળવવામાં થાય છે. આવા ઓસ્સિલેટર વડે થોડીક આવૃત્તિઓથી શરૂ કરી 10^9 Hz સુધીની આવૃત્તિઓ મેળવી શકાય છે.

ઉદાહરણ 8 : ટ્રાન્ઝિસ્ટર ઓસ્સિલેટર પરિપથમાં $C = 100 \text{ pF} = 100 \times 10^{-12} \text{ F}$, $f_1 = 1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$, $f_2 = 2 \text{ MHz} = 2 \times 10^6 \text{ Hz}$, $C_2 = ?$

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}} \quad \text{and} \quad f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_2}}$$

$$\therefore \frac{f_1}{f_2} = \frac{2\pi\sqrt{LC_2}}{2\pi\sqrt{LC_1}} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$$

$$\therefore C_2 = \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 \times C_1 = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \times 100 \times 10^{-12}$$

$$C_2 = 25 \text{ pF}$$

7.10 ડિજિટલ ઇલેક્ટ્રોનિક્સ અને લોજિક પરિપથો (Digital Electronics and Logic Circuits)

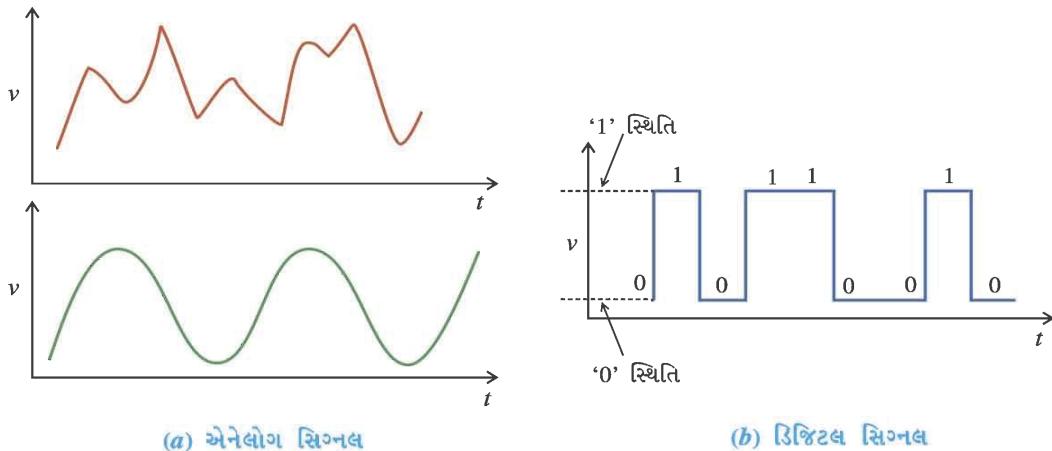
“આવતી કાલે વરસાદ આવશે કે નહિ આવે ? ભારતની કિકેટીમ world cup જતશે કે નહિ ?” આવા પ્રશ્નોના જવાબને ફક્ત બે સ્થિતિ હોય છે : ‘હા’ (Yes) અથવા ‘ના’ (No). જ્યોર્જ બુલ નામના ગણિતશાસ્ત્રીએ તર્કશાસ્ત્રના નિયમોને ગાણિતિક સ્વરૂપે રજૂ કરી બુલિયન એલ્જિબ્રા (Boolean Algebra) (બુલિયન બીજગણિત) વિકસાવ્યું. 1938માં શેનોન નામના વૈજ્ઞાનિકે બુલિયન એલ્જિબ્રાનો ઉપયોગ કરી વિદ્યુત-પરિપથો તૈયાર કર્યા, જેને લોજિક પરિપથો કહે છે. આના ફલસ્વરૂપે ડિજિટલ ઇલેક્ટ્રોનિક્સ શાખાનો ઉદ્ભબ થયો. આવા લોજિક પરિપથોમાં Switching કિયાઓ થઈ શકતી હોય છે. પરિપથના આઉટપુટમાં વોલ્ટેજ હાજર હોય, તો તેને ‘ON’ સ્થિતિ અથવા ‘1’ સ્થિતિ કહેવાય છે અને વોલ્ટેજ ગેરહાજર (એટલે કે શૂન્ય) હોય, તો તેને ‘OFF’ સ્થિતિ અથવા ‘0’ સ્થિતિ કહેવાય છે. આવા પરિપથમાં આઉટપુટને ફક્ત બે જ સ્થિતિ હોવાથી તેમાં દિંબંકી (Binary) સંખ્યા પદ્ધતિનો ઉપયોગ થાય છે.

આધુનિક યુગમાં ડિજિટલ ઇલેક્ટ્રોનિક્સનો ઉપયોગ કમ્પ્યુટરમાં, માઇક્રોસૉસ્ટરમાં, કોમ્પ્યુનિકેશન, ટી.વી. CD પ્લેયર તેમજ મેડિકલ ઉપકરણોમાં વ્યાપકપણે થાય છે.

એમ્બિલફાયર, ઓસ્સિલેટર જેવા પરિપથના આઉટપુટમાં મળતાં વોલ્ટેજ અને પ્રવાહનાં સિગનલો સમયની સાથે સતત બદલાયા કરે છે. અહીં વોલ્ટેજ કે પ્રવાહનનું મૂલ્ય લઘુત્તમ મૂલ્ય અને મહત્તમ મૂલ્યની વચ્ચે ગમે તે મળી શકે. આવા સિગનલોને એનેલોગ, સિગનલ (Analog Signal) કહે છે. આકૃતિ 7.44(a)માં બે જુદા-જુદા પ્રકારના એનેલોગ સિગનલ દર્શાવ્યા છે.

સેમીકન્ડક્ટર ઇલેક્ટ્રોનિક્સ : દ્રવ્યો, રચનાઓ અને સાદા પરિપથો

હવે આકૃતિ 7.44 (b)માં દર્શાવેલ સિગનલ જુઓ. તેમાં પ્રવાહ કે વોલ્ટેજનાં ફક્ત બે જ મૂલ્યો છે. વોલ્ટેજના મહત્વમને '1' વડે અને લઘુતમ વોલ્ટેજ '0' વડે દર્શાવેલ છે. આવા સિગનલને ડિજિટલ સિગનલ (Digital Signal) કહે છે.



આકૃતિ 7.44 એનેલોગ અને ડિજિટલ સિગનલ

લોજિક પરિપથોમાં બે પ્રકારની પદ્ધતિઓ વપરાય છે.

(1) ધન લોજિક પદ્ધતિ (Positive Logic System) : આ પદ્ધતિમાં વધુ ધન વોલ્ટેજને high level અથવા '1' તરીકે અને ઓછા ધન વોલ્ટેજને low level અથવા '0' તરીકે લેવાય છે.

(2) અધા લોજિક પદ્ધતિ (Negative Logic System) : આ પદ્ધતિમાં વધુ અધા વોલ્ટેજને '1' અને ઓછા અધા વોલ્ટેજને '0' સ્થિતિ તરીકે લેવાય છે.

આપણી ચર્ચામાં આપણો ધન લોજિક પદ્ધતિનો ઉપયોગ કરીશું જેમાં +5 V ને '1' સ્થિતિ તરીકે અને 0 V ને '0' સ્થિતિ તરીકે લઈશું.

હવે આપણો લોજિક પરિપથોની ચર્ચા કરીએ તે પહેલા ડિજિટલ ઇલેક્ટ્રોનિક્સની પરિભાષામાં વપરાતા શબ્દોને ઓળખી લઈએ.

લોજિકગેટ (Logic Gate) : જે લોજિક પરિપથને એક અથવા એક કરતાં વધુ ઈનપુટ હોય અને ફક્ત એક આઉટપુટ હોય તેવા પરિપથને લોજિક ગેટ કહે છે. તેના આઉટપુટને ફક્ત બે જ સ્થિતિ હોય છે. '0' અથવા '1', જે ઈનપુટ સિગનલોની સ્થિતિ પર આધાર રાખે છે.

લોજિક ગેટ્સ એ ડિજિટલ ઇલેક્ટ્રોનિક્સ પરિપથોના મુખ્ય ઘટકો છે. **OR ગેટ**, **AND ગેટ** **NOT ગેટ**એ મૂળભૂત લોજિક ગેટ્સ છે. **NAND** અને **NOR** જેવા બીજા ગેટ્સ આ મૂળભૂત લોજિક ગેટ્સનાં સંયોજનોથી મેળવી શકાય છે.

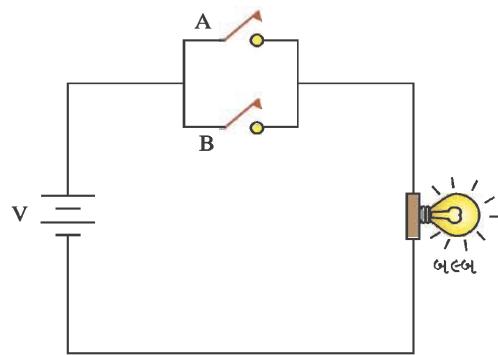
બુલિયન સમીકરણ (Boolean Equation) : લોજિક ગેટના કાર્યની ખાસ પ્રકારની ગાણિતિક (બેજિક) રજૂઆત છે.

દુથ્ટેબલ (Truth Table) : લોજિક ગેટને આપવામાં આવતાં જુદા-જુદા ઈનપુટોનાં સંયોજનો અને તેમને અનુલક્ષીને મળતા આઉટપુટને દર્શાવતા ટેબલને દુથ્ટેબલ કહે છે.

7.10.1 OR ગેટ (OR Gate) : OR ગેટનું કાર્ય સમજવા માટે આકૃતિ 7.45માં દર્શાવેલ બલ્બ અને સિવચો A અને B ધરાવતો પરિપથ ધ્યાનમાં લો.

ટેબલ 1

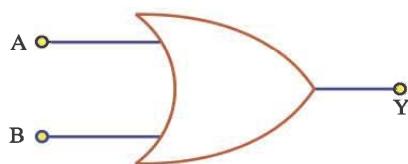
A	B	Bulb
Open	Open	OFF
Open	Close	ON
Close	Open	ON
Close	Close	ON



આકૃતિ 7.45

અહીં, જ્યારે કોઈ એક સ્વિચ અથવા બંને સ્વિચ ON હશે ત્યારે બલ્બ ON થાય છે. જ્યારે બંને સ્વિચ OFF હશે ત્યારે બલ્બ OFF રહે છે. સ્વિચોની આ સ્થિતિ અને બલ્બની અનુરૂપ સ્થિતિ ટેબલ 1માં દર્શાવી છે.

હવે, આ ટેબલમાં સ્વિચ A ને ઈનપુટ A, સ્વિચ Bને ઈનપુટ B અને બલ્બની સ્થિતિને આઉટપુટ Y કહીએ, તો OR ગેટ માટેનું દુષ્ટટેલ તૈયાર થાય છે. (જુઓ ટેબલ 2).



આકૃતિ 7.46 OR ગેટની પરિપથ સંક્ષા

ટેબલ 2

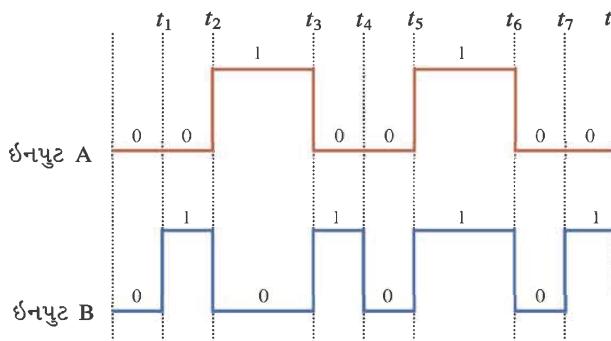
A	B	$Y = A + B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

આ ટેબલમાં ‘ON’ સ્થિતિને ‘1’ અને ‘OFF’ સ્થિતિને ‘0’ વડે દર્શાવી છે. આ ટેબલ પરથી OR ગેટના કાર્યને નીચે મુજબ વ્યાખ્યાપિત કરી શકાય:

જ્યારે કોઈ એક ઈનપુટ અથવા બધા જ ઈનપુટ ‘1’ હોય ત્યારે આઉટપુટ ‘1’ ભણે છે.

બુલિયન સમીકરણ : $Y = A + B$: અહીં ‘+’ સંક્ષાસે સરવાળા માટે વાપરવામાં નથી આવી, પરંતુ તે OR ઓપરેટર દર્શાવે છે. આ સમીકરણને આ રીતે વાંચવામાં આવે છે. : “Y બરાબર A OR (અથવા) B.” OR ગેટની પરિપથસંક્ષા આકૃતિ 7.46માં દર્શાવી છે.

ઉદાહરણ 9 : આકૃતિમાં બે ઈનપુટ ધરાવતા OR ગેટ માટેના ડિજિટલ સિગનલ દર્શાવ્યાં છે. OR ગેટના આઉટપુટમાં મળતા તરંગનો આકાર દોરો.



સેમીકન્ડક્ટર ઇલેક્ટ્રોનિક્સ : દ્રવ્યો, રચનાઓ અને સાદા પરિપથો

ઉક્તા : A અને B ઈનપુટની જુદી-જુદી સ્થિતિઓ માટે OR ગેટના ટુથટેબલ પરથી Y મેળવો અને આઉટપુટ સિગનલ દોરો.

જ્યારે,

$$t < t_1; A = 0, B = 0, \text{ માટે } Y = 0$$

$$t_1 < t < t_2; A = 0, B = 1, \text{ માટે } Y = 1$$

$$t_2 < t < t_3; A = 1, B = 0, \text{ માટે } Y = 1$$

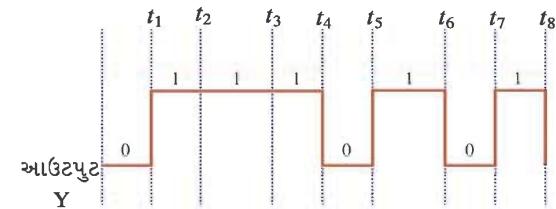
$$t_3 < t < t_4; A = 0, B = 1, \text{ માટે } Y = 1$$

$$t_4 < t < t_5; A = 0, B = 0, \text{ માટે } Y = 0$$

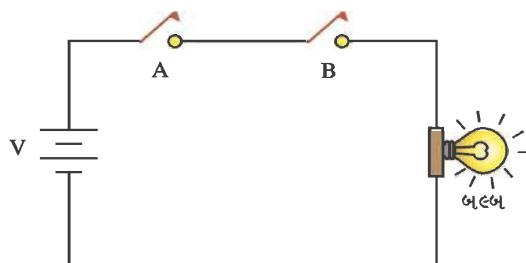
$$t_5 < t < t_6; A = 1, B = 1, \text{ માટે } Y = 1$$

$$t_6 < t < t_7; A = 0, B = 0, \text{ માટે } Y = 0$$

$$t_7 < t < t_8; A = 0, B = 1, \text{ માટે } Y = 1$$



7.10.2 AND ગેટ (AND Gate) : AND ગેટનું કાર્ય સમજવા માટે આકૃતિ 7.47માં દર્શાવેલ પરિપથ ઘાનમાં લો. અહીં બંને સ્વિચો A અને B, બલ્બ સાથે શ્રેણીમાં જોડેલ છે. અહીં બંને સ્વિચો શ્રેણીમાં હોવાથી કોઈ એક સ્વિચ OFF હશે ત્યારે પરિપથમાં પ્રવાહ વહેશે નહિ અને બલ્બ OFF રહેશે. જ્યારે બંને સ્વિચ ON હશે ત્યારે જ બલ્બ ON થશે.



ટેબલ 3

A	B	Bulb
Open	Open	OFF
Open	Close	OFF
Close	Open	OFF
Close	Close	ON

આકૃતિ 7.47

ટેબલ-3માં સ્વિચોની સ્થિતિ અને બલ્બની અનુકૂલ સ્થિતિ દર્શાવી છે. આ પરથી AND ગેટનું ટુથટેબલ નીચે મુજબ તૈયાર કરી શકાય.



ટેબલ 4

A	B	$Y = A \cdot B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

આકૃતિ 7.48 AND ગેટની પરિપથ સંક્ષા

આ ટુથટેબલ પરથી AND ગેટ નીચે મુજબ વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય.

AND ગેટના બધા જ ઈનપુટ '1' હોય તો જ આઉટપુટ '1' મળે છે. બાકીની બધી જ શરતો માટે '0' છે.

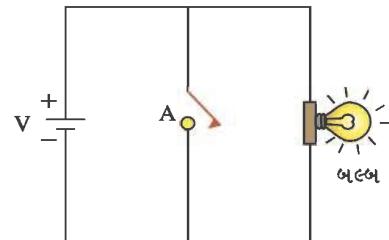
અહીં '.'ને AND ઓપરેટર કહે છે. અને સમીકરણને આ રીતે વાંચવામાં આવે છે : "Y બરાબર A AND (અને) B." $Y = A \cdot B$.

AND ગેટની પરિપથ સંક્ષા આકૃતિ 7.48માં દર્શાવી છે.

7.10.3 NOT ગેટ (NOT Gate) : NOT ગેટને ફક્ત એક જ ઈનપુટ અને એક જ આઉટપુટ ટર્મિનલ હોય છે. આ ગેટ દ્વારા ઈનપુટની ડિયા ઉલટાઈ જાય છે. આ સમજવા માટે આકૃતિ 7.49માં દર્શાવેલ પરિપથ ઘાનમાં લો :

ટેબલ 5

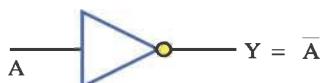
A	Bulb
Open	ON
Close	OFF



આકૃતિ 7.49

અહીં આપડો જોઈ શકીએ છીએ કે, જ્યારે સ્વિચ A ખુલ્લી હોય ત્યારે બેટરીનો પ્રવાહ બલભાંથી પસાર થાય છે અને બલબ ON થાય છે. સ્વિચ Aને બંધ કરતાં બેટરી Short Circuit થાય છે. પરિણામે બલભાંથી પ્રવાહ પસાર થતો નથી અને બલબ OFF રહે છે. આ પરિપથનું કાર્ય ટેબલ 5માં દર્શાવ્યું છે. ટેબલ પરથી સ્પષ્ટ છે કે, આઉટપુટમાં થતી કિયાએ ઈનપુટમાં થતી કિયા કરતાં ઉલટી (Inverse) છે, જે NOT ગેટની લાક્ષણિકતા છે. આ પરથી NOT ગેટનું ટુથટેબલ ટેબલ 6 મુજબ તૈયાર થાય છે.

ટેબલ 6



આકૃતિ 7.50 NOT ગેટની પરિપથ સંશા

A	Y = \bar{A}
1	0
0	1

આ ટેબલ પરથી NOT ગેટનું કાર્ય નીચે મુજબ આપી શકાય.

“જ્યારે ઈનપુટ ‘1’ હોય ત્યારે આઉટપુટ ‘0’ અને ઈનપુટ ‘0’ હોય ત્યારે આઉટપુટ ‘1’ મળે છે.” આથી આ ગેટ Inverter તરીકે પણ ઓળખાણ છે.

બુલિયન સમીકરણ : $Y = \bar{A}$: અહીં NOT ઓપરેટરને ‘-’ (Bar) સંશા વડે દર્શાવેલ છે. આ સમીકરણને નીચે મુજબ વંચાય : “Y બરાબર NOT A.”

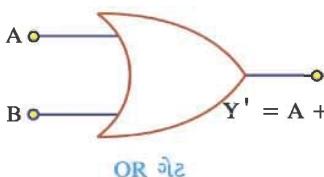
ડિજિટલ ઇલેક્ટ્રોનિક્સમાં AND, OR અને NOT ત્રણોય લોજિક ગેટ્સ પાયાના લોજિક ગેટ્સ કહેવામાં છે. આ ગેટ્સનાં જુદાં-જુદાં સંયોજનોથી બીજા નવા લોજિક ગેટ્સ તૈયાર કરી શકાય છે. હવે આપડો આવા બીજા એ લોજિક ગેટ્સનો અત્યાસ કરીએનું.

7.10.4 NOR ગેટ (NOR Gate) : OR ગેટ અને NOT ગેટના સંયોજનથી બનતા ગેટને NOR ગેટ કહે છે. (**OR + NOT = NOR**) અહીં OR ગેટના આઉટપુટને NOT ગેટના ઈનપુટમાં આપવામાં આવે છે. NOR ગેટનું બુલિયન સમીકરણ નીચે મુજબ છે. :

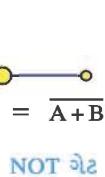
$$Y = \overline{A+B}$$

આ સમીકરણને આ રીતે વંચાય : “Y બરાબર NOT A OR B.”

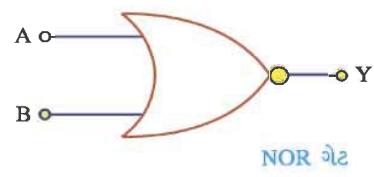
NOR ગેટનો પરિપથ અને સંશા આકૃતિ 7.51માં દર્શાવેલ છે. સંશામાં દર્શાવેલ bubble, OR ગેટનો આઉટપુટ NOT ગેટના આઉટપુટના ઉલટાય છે તે દર્શાવે છે. ટેબલ 7 NOR ગેટનું ટુથટેબલ દર્શાવે છે.



OR ગેટ



NOT ગેટ



NOR ગેટ

આકૃતિ 7.51 NOR ગેટનો લોજિક પરિપથ અને સંશા

સેમીકન્ડક્ટર ઇલેક્ટ્રોનિક્સ : ડ્રિઝો, રચનાઓ અને સાદા પરિપથો

ટેબલ 7

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

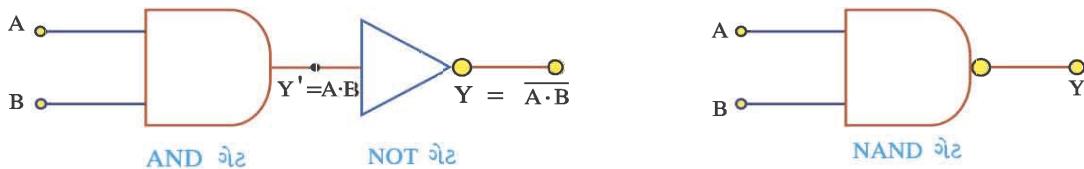
આપેલ ટુથટેબલ પરથી NOR ગેટનું કાર્ય નીચે મુજબ લખી શકાય :

“જ્યારે કોઈ ઈનપુટ ‘1’ હોય, તો આઉટપુટ ‘0’ મળે અને બધા જ ઈનપુટ ‘0’ હોય ત્યારે આઉટપુટ ‘1’ મળે.”

7.10.5 NAND ગેટ (NAND Gate) : AND ગેટ અને NOT ગેટના સંયોજનથી બનતા ગેટને NAND ગેટ કહે છે. (AND + NOT = NAND) અહીં AND ગેટના આઉટપુટને NOT ગેટના ઈનપુટમાં આપવામાં આવે છે. NAND ગેટનું બુલિયન સમીકરણ નીચે મુજબ છે :

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

આ સમીકરણને આ રીતે વંચાય : “Y બરાબર NOT A AND B.”



આકૃતિ 7.52 NAND ગેટનો લોજિક પરિપથ અને સંજ્ઞા

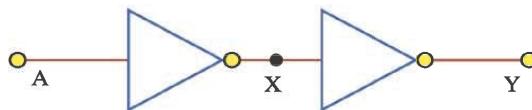
ટેબલ 8

A	B	$Y' = A \cdot B$	$Y = \overline{A \cdot B}$
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

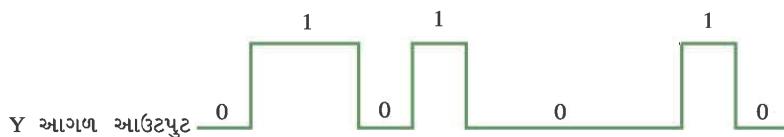
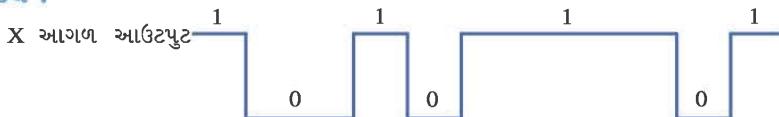
NAND ગેટનો પરિપથ અને સંજ્ઞા આકૃતિ 7.52માં દર્શાવેલ છે અને ટેબલ (8) તેનું ટુથટેબલ દર્શાવે છે. આ ટુથટેબલનો સારાંશ આ રીતે આપી શકાય.

“જ્યારે કોઈ એક ઈનપુટ ‘0’ હોય, ત્યારે આઉટપુટ ‘1’ મળે અને જ્યારે બધા ઈનપુટ ‘1’ હોય, ત્યારે આઉટપુટ ‘0’ મળે.”

ઉદાહરણ 10 : બે NOT ગેટની મદદથી તૈયાર કરેલો એક લોજિક પરિપથ આકૃતિમાં દર્શાવ્યો છે. ઈનપુટ સિગનલ A માટે બિંદુ X અને Y આગળ આઉટપુટનાં તરંગો દોરો.

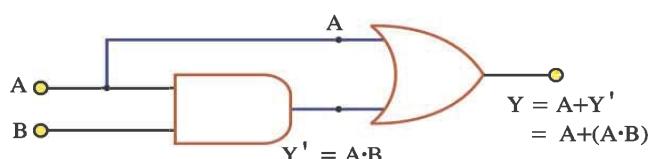


ઉક્તા :



અહીં પહેલા NOT ગેટનો આઉટપુટ $X = \bar{A}$. થશે. આથી ઇનપુટ A કરતાં ઉલટો આઉટપુટ મળશે. હવે આ સિંગલ બીજા NOT ગેટના ઇનપુટમાં હોવાથી ફરીથી આ સિંગલ ઉલટાય છે. એટલે કે મૂળ ઇનપુટ સિંગલ A પાછું મળે છે. ($Y = \bar{\bar{X}} = \bar{\bar{A}} = A$)

ઉદાહરણ 11 : આકૃતિમાં દર્શાવેલા લોજિક પરિપથ માટે ટુથટેબલ તૈયાર કરો.



ઉક્તા : અહીં AND ગેટના ઇનપુટ A અને B તથા આઉટપુટ Y' છે. હવે OR ગેટના ઇનપુટ A અને Y' છે, Y' ($= A \cdot B$). આથી તેનો આઉટપુટ $Y = A + Y' = A + (A \cdot B)$. થશે. આથી આ પરિપથનું ટુથટેબલ નીચે મુજબ મળશે.

ટેબલ 9

A	B	$Y' = A \cdot B$	$Y = A + Y'$
0	0	0	0
0	1	0	0
1	0	0	1
1	1	1	1

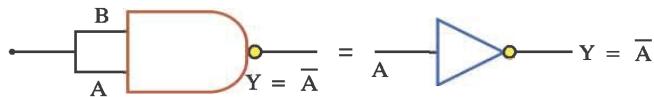
ઉદાહરણ 12 : 2 - ઈનપુટ ધરાવતા NAND ગેટનાં બંને ઈનપુટ ટર્મિનલોને short કરી એક ટર્મિનલ બનાવતા તે કેવા પ્રકારના ગેટ તરીકે વર્તશે ?

ઉકેલ : NAND ગેટનાં બંને ટર્મિનલો A અને Bને short કરતાં બંને ટર્મિનલોની સ્થિતિ સમાન થશે, એટલે કે $A = B$ થશે. આથી NAND ગેટની લાક્ષણિકતા મુજબ,

$A = 0$ અને $B = 0$ થશે, ત્યારે $Y = 1$ તથા

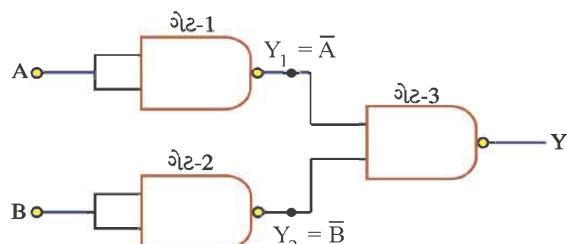
$A = 1$ અને $B = 1$ થશે, ત્યારે $Y = 0$ થશે.

અહીં મળતો આઉટપુટ Y ઈનપુટ, A અથવા B કરતાં ઉંધો મળે છે. આથી $Y = \bar{A}$ થાય. આમ, આ ગેટ NOT ગેટ તરીકે વર્તશે.



(નોંધ : આ રીતે NOR ગેટનાં બંને ઈનપુટ ટર્મિનલને short કરતાં તે NOT ગેટ તરીકે વર્ત છે.)

ઉદાહરણ 13 : ત્રણ NAND ગેટ ધરાવતો પરિપથ આફ્ટિમાં દર્શાવ્યો છે. આ પરિપથ માટે દર્શાવ્યો કે તે OR ગેટ જેવું કાર્ય કરે છે.



ઉકેલ : ઉપર ઉદાહરણમાં સમજાવ્યા મુજબ ગેટ 1 અને 2 બંને NOT ગેટ તરીકે વર્તશે. આથી $Y_1 = \bar{A}$ અને $Y_2 = \bar{B}$ થશે. હવે ગેટ 3 માટે \bar{A} અને \bar{B} ઈનપુટ થશે. આ ગેટનો આઉટપુટ Y , NAND ગેટના ટુથટેબલ પરથી તૈયાર થઈ શકે.

આઉટપુટ A	ઇનપુટ B	$Y_1 = \bar{A}$	$Y_2 = \bar{B}$	આઉટપુટ $Y = \overline{Y_1 Y_2}$
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	1
1	1	0	0	1

ટુથટેબલ પરથી સ્પષ્ટ છે કે, A અને B ઈનપુટ માટે મળતો આઉટપુટ (Y) એ OR ગેટના ટુથટેબલ જેવો છે. આથી આ પરિપથ OR ગેટ તરીકે વર્તશે.

નોંધ : NAND અને NOR ગેટની મદદથી મળભૂત લોજિક ગેટ (AND, OR અને NOT) તૈયાર કરી શકતા હોવાથી તેમને યુનિવર્સલ લોજિક ગેટ કહે છે.

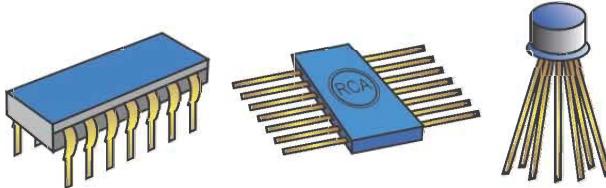
7.11 ICનો પ્રાથમિક જ્યાલ (Primary Concept of IC)

આધુનિક યુગમાં ઇલેક્ટ્રોનિક ઉપકરણો કદમાં નાનાં અને વધુ કાર્યક્ષમ થયાં છે. દા.ત. 1960માં સૌપ્રથમ આસ્ટિલ્યુમિનેસન્સ આવેલ કમ્પ્યુટરનું કદ એક મોટા ઓરડાના કદ જેટલું હતું. હાલમાં બજારમાં લોપટોપ કમ્પ્યુટર તેમજ બિસ્સામાં મૂકી લઈ જવાય તેવાં નાની સાઈઝના (પામટોપ) કમ્પ્યુટર મળે છે. બોલપેનની સાઈઝમાં રેઝિયો મળે છે. આ ઇલેક્ટ્રોનિક ઉપકરણોના Miniaturisation પાછળ ઇન્ટિગ્રેટેડ સર્કિટ (Integrated Circuit-IC)નો મહત્વનો ફળો છે.

પચાસ વર્ષ પહેલાં ઈલેક્ટ્રોનિક પરિપથ બનાવવા માટે ડ્રાન્જિસ્ટર, ડાયોડ, અવરોધ જેવા ઘટકોને ભેગા કરીને વાહક તાર વડે તેમનું જોડાણ કરવામાં આવતું હતું. આ પ્રકારના પરિપથો કદમાં મોટા અને તેમના જોડાણ ભરોસાપાત્ર હતા નહિ.

ત્યાર બાદ પ્રિન્ટેડ સર્કિટબોર્ડ (PCB) અસ્તિત્વમાં આવ્યા, જેમાં ઘટકોને બોર્ડ પર યોગ્ય રીતે ગોઈવી તેમનું ધાતુની પદ્ધીઓ (metal strips) વડે જોડાણ કરવામાં આવે છે. PCB ની મદદથી પરિપથોની સાઈઝમાં ઘટાડો થયો, પરંતુ પરિપથો ટ્રિપરિમાણ (3D) માં રહે છે. ત્યાર બાદ ઉપકરણની સાઈઝ ઘટાડવા માટે ડિ-પરિમાણ (2D)માં વિદ્યુતપરિપથ બનાવવાના પ્રયત્નો શરૂ થયા તેના ફલ સ્વરૂપે ઈન્ટિગ્રેટ સર્કિટ (IC)નો આવિજ્ઞાર થયો. 1 mm × 1mm. કે તેનાથી નાની સાઈઝના સ્ફટિક (અથવા ચિપ-Chip) પર અનેક ડ્રાન્જિસ્ટર, ડાયોડ, અવરોધ અને કેપેસિટર (નાના મૂલ્યનાં) જેવા ઘટકોને તૈયાર કરી તેના આંતરિક જોડાણ કરીને વિદ્યુત પરિપથ તૈયાર કરવામાં આવે છે, જેને ઈન્ટિગ્રેટ સર્કિટ (IC) કહે છે. આ ટેક્નોલોજીની મદદથી ઈલેક્ટ્રોનિક ઉદ્યોગમાં કાંતિ આવી. પરિણામે, ઉપકરણોની સાઈઝ અને કિમત બંનેમાં ધરખમ ઘટાડો થયો.

ઉજિટલ ઈલેક્ટ્રોનિક્સમાં ઉપયોગમાં લેવાતી (IC)નું વર્ગીક્રણ તેમાં આવેલ લોજિક ગેટ્સની સંખ્યાના આધારે કરવામાં આવે છે. **SSI (Small Scale Integration)** પ્રકારની ચિપમાં લોજિક ગેટની સંખ્યા 10 કે તેનાથી ઓછી હોય છે. **MSI (Medium Scale Integration)** ચિપમાં લોજિક ગેટની સંખ્યા 100 કે તેનાથી ઓછી હોય છે. 100 થી 1000 લોજિક ગેટની સંખ્યા ધરાવતી ચિપને **LSI (Large Scale Integration)** કહે છે. 1000 કરતાં વધુ લોજિક ગેટ ધરાવતી ચિપને **VLSI (Very Large Scale Integration)** કહે છે. કમ્પ્યુટરમાં આ પ્રકારની ચિપનો ઉપયોગ થાય છે.



સ્ટાર્ટ પેકેજમાં સંપૂર્ણ તૈયાર IC

આકૃતિ 7.53 જુદા-જુદા પ્રકારની IC

ICના મુખ્યત્વે ગ્રાન્ટ પ્રકાર છે :

(1) ફિલ્મસર્કિટ (Film Circuit) : આ પ્રકારની IC માં અવરોધ અને કેપેસિટર જેવા ઘટકોની રચના કરવા thin film ટેકનિકનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે.

(2) મોનોલિથિક ઈન્ટિગ્રેટ સર્કિટ (Monolithic Integrated Circuit) : તેમાં ડ્રાન્જિસ્ટર, ડાયોડ, અવરોધ અને કેપેસિટર જેવા ઘટકો તૈયાર કરી શકાય છે.

(3) હાઇબ્રિડ ઈન્ટિગ્રેટ સર્કિટ (Hybrid Integrated Circuit) : આ પ્રકારની ICએ ફિલ્મસર્કિટ અને મોનોલિથિક પ્રકારની ICનું મિશ્ર સ્વરૂપ છે, જેમાં એક કરતાં વધુ ચિપ આવેલી હોય છે. અહીં આપણે મોનોલિથિક પ્રકારની IC વિશે પ્રાથમિક ખ્યાલ મેળવીનું.

મોનોલિથિક (Monolithic)એ શ્રીક ભાષાનો શબ્દ છે. Monios એટલે ‘એક’ અને Lithic એટલે ‘સ્ટોન’ માત્ર એક જ પ્રકારના અર્ધવાહક સ્ફટિક (Si અથવા Ge) પર બનાવવામાં આવતી ICને મોનોલિથિક ઈન્ટિગ્રેટ સર્કિટ કહે છે.

સારાંશ

- સુવાહક, અવાહક અને અર્ધવાહક :** સુવાહકમાં મુક્ત ઈલેક્ટ્રોનિક્સને લીધે વિદ્યુતવહન સરળતાથી થાય છે. તેમની વિદ્યુત-અવરોધકતા ઘણી ઓછી હોય છે. અવાહકમાં મુક્ત ઈલેક્ટ્રોન હોતા નથી. આથી તેમની વિદ્યુત-અવરોધકતા ઘણી મોટી હોય છે. અર્ધવાહક તત્ત્વોની અવરોધકતા સુવાહક કરતાં ઓછી અને અવાહક કરતાં વધુ હોય છે. 0 K તાપમાને અર્ધવાહક અવાહક તરીકે જ વર્તે છે.

સેમીકન્ડક્ટર ઈલેક્ટ્રોનિક્સ : દ્રવ્યો, રચનાઓ અને સાદા પરિપથો

- શુદ્ધ અર્ધવાહકમાં વિધૃતપણ :** અર્ધવાહકમાં બે પ્રકારે વિધૃતપ્રવાહ મળે છે. 1. મુક્ત ઈલેક્ટ્રોનની ગતિથી 2. હોલ અથવા બંધિત ઈલેક્ટ્રોનની ગતિથી. ($I = I_h + I_e$)
- N પ્રકારનો અને P પ્રકારનો અર્ધવાહક :** શુદ્ધ અર્ધવાહકમાં પેન્ટાવેલન્ટ અશુદ્ધ ઉમેરીને N પ્રકારનો અર્ધવાહક બનાવવામાં આવે છે. આ પ્રકારની અશુદ્ધિને ડોનર અશુદ્ધ કહે છે. N-પ્રકારના અર્ધવાહકમાં મેજોરીટી ચાર્જકેરિયર તરીકે ઈલેક્ટ્રોન અને મોઈનોરીટી ચાર્જકેરિયર તરીકે હોલ હોય છે.
- N-પ્રકારના અર્ધવાહક માટે $n_e > n_h$.**
શુદ્ધ અર્ધવાહકમાં ટ્રાયવેલન્ટ અશુદ્ધ ઉમેરીને P-પ્રકારનો અર્ધવાહક બનાવવામાં આવે છે. આ પ્રકારની અશુદ્ધિને એક્સોસ્પર અશુદ્ધ કહે છે. P-પ્રકારના અર્ધવાહકમાં મેજોરીટી ચાર્જકેરિયર તરીકે હોલ અને મોઈનોરીટી ચાર્જકેરિયર તરીકે ઈલેક્ટ્રોન હોય છે.
- P-પ્રકાર માટે, $n_h > n_e$.**
- અર્ધવાહક માટે બેન્ડ-ડાયાગ્રામ :** N પરમાણુના બનેલા Si સ્ફટિકમાં તેની સંરચ્ચા અનુસાર 8 N વેલેન્સ અવસ્થાઓ એટલે કે ઊર્જાના 8 N સ્તરો મળે છે. પરંતુ Siની ઈલેક્ટ્રોનિક સંરચ્ચા અનુસાર તેમાં 4 N અવસ્થાઓ ભરાયેલી હોય છે.
નીચેના 4 N સ્તરો ધરાવતી બેન્ડમાં પાઉલીના સિદ્ધાંત અનુસાર 4 N ઈલેક્ટ્રોન ગોઠવાય છે અને બેન્ડ સંપૂર્ણ ભરાઈ ગઈ તેમ કહેવાય. આ બેન્ડને વેલેન્સ-બેન્ડ કહે છે.
વેલેન્સ-બેન્ડની ઉપરની બેન્ડ તદ્દૂન ખાલી હોય છે. જ્યાં ઊર્જાનાં સ્તરો અસ્તિત્વ ધરાવતાં નથી, તેમને ફોરબિન ગેપ કહે છે.
ફોરબિન ગેપના ઉપરના વિસ્તારને કન્ડક્ષન-બેન્ડ કહે છે. અહીં કન્ડક્ષનની બેન્ડ સંપૂર્ણ ખાલી હોય છે.
કન્ડક્ષન-બેન્ડની લઘૃતમ ઊર્જા (E_c) અને વેલેન્સ-બેન્ડની મહત્તમ ઊર્જા (E_v)ના તફાવતને બેન્ડગેપ (E_g) કહે છે.
વેલેન્સ-બેન્ડમાં રહેલા ઈલેક્ટ્રોનને E_g કે તેથી વધુ ઊર્જા આપતા તે કન્ડક્ષન-બેન્ડમાં જાય છે અને વિધૃતપ્રવાહનું નિર્માણ કરે છે.
અવાહકમાં બેન્ડગેપ $E_g > 3 \text{ eV}$ હોય છે.
વાહકમાં બેન્ડગેપ $E_g = 0$ હોય છે.
અર્ધવાહકમાં બેન્ડગેપ $E_g < 3 \text{ eV}$ હોય છે.
- ફોરવર્ડ બાયસ :** P-N જંક્ષનના P તરફના છેડાને બેટરીના ધન પ્રુવ અને N તરફના છેડાને બેટરીના ઋણ પ્રુવ સાથે જોડવામાં આવે, તો આ પ્રકારના જોડાણને ફોરવર્ડ બાયસ કહે છે. ફોરવર્ડ બાયસમાં ડેલેશન વિભાગી ઊંચાઈ તેમજ ડેલેશન સ્તરની પહોળાઈમાં ઘટાડો થાય છે.
ફોરવર્ડ બાયસમાં PN જંક્ષન ડાયોડનો અવરોધ 10Ω થી 100Ω ની વચ્ચે હોય છે.
- રિવર્સ બાયસ :** P-N જંક્ષનના P તરફના છેડા સાથે બેટરીનો ઋણપ્રુવ અને N તરફના છેડાને ધનપ્રુવ સાથે જોડવામાં આવે, તો આવા જોડાણને રિવર્સ બાયસ કહે છે.
રિવર્સ બાયસમાં P-N જંક્ષન ડાયોડનો અવરોધ M ઓના કમનો હોય છે.

7. **રેફ્લિક્શનર :** AC ઊર્જાનું DC ઊર્જામાં રૂપાંતરણની કિયાને રેફ્લિક્શન કહે છે. આ માટે તૈયાર કરવામાં આવેલ પરિપથને રેફ્લિક્શનર કહે છે. રેફ્લિક્શનર બે પ્રકારના છે. (i) અર્ધતરંગ રેફ્લિક્શનર (ii) પૂર્ણતરંગ રેફ્લિક્શનર
8. **ઝેનર અસર :** P-N જંક્શનના ઉપલેશન વિસ્તારની પહોળાઈ ઓછી હોય છે ત્યારે ઓછા રિવર્સ બાયસ વોલ્ટેજે ઉપલેશન વિસ્તારમાં વિદ્યુતક્ષેત્ર પ્રબળ બને છે. આ વિદ્યુતક્ષેત્ર સહસંયોજક બંધમાં રહેલા ઈલેક્ટ્રોનને બહાર ખેંચી કાઢે છે. એટલે કે મોટા પ્રમાણમાં સહસંયોજક બંધો તૂટી જાય છે. પરિણામે મોટા પ્રમાણમાં ઈલેક્ટ્રોન્સ અને હોલ્ડ ઉદ્ભવતા પ્રવાહનું મૂલ્ય એકાશેક વધી જાય છે. આ ઘટનાને ઝેનર અસર કહે છે.
9. LEDમાં ઉત્સર્જિતા પ્રકાશની મહત્તમ તરંગલંਬાઈ,

$$\lambda = \frac{hc}{E_g} \text{ જ્યાં,}$$

$$E_g = \text{બેન્ડગેપ-ઊર્જા}$$

$$h = \text{પ્લાન્ક-અચળાંક}$$

$$c = \text{પ્રકાશનો વેગ}$$

10. ફોટો-ડાયોડ આપાત પ્રકાશના તરંગને detect કરી શકે તે માટેની શરત

$$\text{આપાત પ્રકાશના ફોટોનની ઊર્જા } \frac{hc}{\lambda} > E_g$$

11. **ટ્રાન્ઝિસ્ટર :** બે P-N જંક્શનવાળી રચનાને ટ્રાન્ઝિસ્ટર કહે છે.

ટ્રાન્ઝિસ્ટરને ગ્રાફ ટર્મિનલ હોય છે (1) એમ્બીટર (A) (2) બેઝ (B) અને (3) કલેક્ટર (C) એમ્બીટર અને બેજ વચ્ચેના જંક્શનને એમ્બીટર જંક્શન કહે છે. બેજ અને કલેક્ટર વચ્ચેના જંક્શનને કલેક્ટર જંક્શન કહે છે.

ટ્રાન્ઝિસ્ટરને કાર્યશીલ કરવા માટે એમ્બીટર જંક્શનને ફોરવર્ડ બાયસ અને કલેક્ટર જંક્શનને રિવર્સ બાયસ આપવામાં આવે છે.

ટ્રાન્ઝિસ્ટરમાં જુદા-જુદા પ્રવાહ વચ્ચેનો સંબંધ :

$$I_E = I_B + I_C$$

12. **ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો પ્રાચ્યલો :**

- (1) ઈનપુટ-અવરોધ :

$$r_i = \left(\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} \right)_{V_{CE} = \text{અચળ}}$$

- (2) આઉટપુટ અવરોધ :

$$r_o = \left(\frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} \right)_{I_B = \text{અચળ}}$$

(3) પ્રવાહગોઈન :

$$\beta = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}} \right)_{V_{CE}} = \text{અચળ}$$

(4) ટ્રાન્સકન્ડક્ટન્સ :

$$g_m = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}} = \frac{\beta}{r_i}$$

g_m નો એકમ મહો (mho) છે.

13. ટ્રાન્ઝિસ્ટર ઓમ્બિલફાયર :

$$\text{CE ઓમ્બિલફાયરનો વોલ્ટેજગોઈન } A_V = -\beta \frac{R_L}{r_i} = -gm R_L$$

$$\text{CE ઓમ્બિલફાયરનો પાવરગોઈન } |A_p| = A_V A_i = \beta^2 \frac{R_L}{r_i}$$

14. ઓસ્સિસ્લેટર : જે ઈલેક્ટ્રોનિક પરિપથો દ્વારા ઈચ્છિત આવૃત્તિ અને કંપવિસ્તારવાળા વોલ્ટેજ અને પ્રવાહનાં દોલનો મેળવી શકાય છે. તેવા પરિપથને ઓસ્સિસ્લેટર કહે છે.

$$\text{LC ઓસ્સિસ્લેટરની આવૃત્તિ, } f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

15. લોજિક ગેટ : જે લોજિક પરિપથને એક અથવા એક કરતાં વધુ ઈનપુટ હોય અને ફક્ત એક જ આઉટપુટ હોય તેવા પરિપથને લોજિક પરિપથ કહે છે. તેના આઉટપુટને ફક્ત બે જ સ્થિતિ હોય છે : '0' અથવા '1'.

→ OR ગેટ, AND ગેટ અને NOT ગેટને મૂળભૂત લોજિક ગેટ કહે છે.

OR ગેટનું કાર્ય : જ્યારે કોઈ એક ઈનપુટ અથવા બધા જ ઈનપુટ '1' હોય ત્યારે આઉટપુટ '1' મળે છે.

બુલિયન સમીકરણ : $Y = A + B$.

AND ગેટનું કાર્ય : AND ગેટના બધા જ ઈનપુટ '1' હોય તો જ આઉટપુટ '1' મળે છે. બાકી બધા જ ઈનપુટ માટે '0' મળે.

બુલિયન સમીકરણ : $Y = A \cdot B$

NOT ગેટનું કાર્ય : NOT ગેટને ફક્ત એક જ ઈનપુટ હોય છે. જ્યારે ઈનપુટ '1' હોય ત્યારે આઉટપુટ '0' અને ઈનપુટ '0' હોય ત્યારે આઉટપુટ '1' મળે છે.

બુલિયન સમીકરણ $Y = \bar{A}$

NOR ગેટ : જ્યારે કોઈ એક ઈનપુટ '1' હોય, તો આઉટપુટ '0' મળે અને બધા જ ઈનપુટ '0' હોય ત્યારે આઉટપુટ '1' મળે.

બુલિયન સમીકરણ : $Y = \overline{A+B}$

NAND ગેટ : જ્યારે કોઈ એક ઈનપુટ '0' હોય, ત્યારે આઉટપુટ '1' મળે અને જ્યારે બધા ઈનપુટ '1' હોય ત્યારે આઉટપુટ '0' મળે.

બુલિયન સમીકરણ : $Y = \overline{A \cdot B}$

સ્વાધ્યાય

નીચેનાં વિધાનો માટે આપેલા વિકલ્પોમાંથી યોગ્ય વિકલ્પ પસંદ કરો :

1. ઓરડાના તાપમાને અંતર્ગત અર્ધવાહકમાં રહેલા મુક્ત ઇલેક્ટ્રોન અને હોલની સંખ્યા-ઘનતા અનુક્રમે n_e અને n_h છે, તો

 (A) $n_h > n_e$ (B) $n_e > n_h$ (C) $n_e = n_h$ (D) $n_h \gg n_e$
2. નિરપેક શૂન્ય તાપમાને Si અર્ધવાહક સ્ફટિક માટેના એનર્જી-બેન્ડ ડાયાગ્રામમાં..... .

 (A) વેલેન્સ-બેન્ડ સંપૂર્ણ ખાલી અને કન્ડકશન-બેન્ડ ભરાયેલી હોય છે.

 (B) કન્ડકશન-બેન્ડ અને વેલેન્સ બેન્ડ સંપૂર્ણ ખાલી અને વેલેન્સ-બેન્ડ સંપૂર્ણ ભરાયેલી હોય છે.

 (C) કન્ડકશન-બેન્ડ અને વેલેન્સ બેન્ડ સંપૂર્ણ ખાલી અને ફોરબિન ગેપ સંપૂર્ણ ભરાયેલી હોય છે.

 (D) કન્ડકશન-બેન્ડ અંશાં: ભરાયેલી હોય છે.
3. વાહક, અર્ધવાહક અને અવાહક પદાર્થની બેન્ડગેપ અનુક્રમે E_{g_1} , E_{g_2} અને E_{g_3} છે. આ ગ્રાફ બેન્ડગેપ વચ્ચેનો સંબંધ

 (A) $E_{g_1} = E_{g_2} = E_{g_3}$ (B) $E_{g_1} > E_{g_2} > E_{g_3}$

 (C) $E_{g_1} < E_{g_2} < E_{g_3}$ (D) $E_{g_1} < E_{g_2} > E_{g_3}$
4. Ge અર્ધવાહકની વાહકતા ક્યારે ધટે ?

 (A) તેમાં ડેનર અશુદ્ધ ઉમેરતાં (B) તેમાં એક્સોપ્ટર અશુદ્ધ ઉમેરતાં

 (C) તેના પર UV પ્રકાશ આપાત કરતાં (D) તાપમાનમાં ઘટાડો કરતાં
5. પ્રકાશને પારખવા (Detect) કરવા માટે

 (A) ફોટો-ડાયોડે ફોરવર્ડ બાયસમાં વાપરવો જોઈએ.

 (B) ફોટો-ડાયોડને રિવર્સ બાયસમાં વાપરવો જોઈએ.

 (C) LEDને ફોરવર્ડ બાયસમાં વાપરવી જોઈએ.

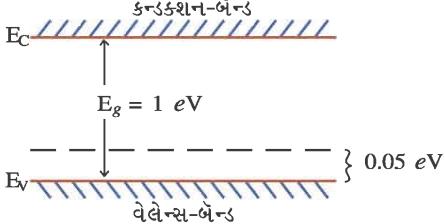
 (D) LEDને રિવર્સ બાયસમાં વાપરવી જોઈએ.
6. આકૃતિમાં દર્શાવેલ એનર્જી બેન્ડ-ડાયાગ્રામ ક્યા પ્રકારના અર્ધવાહક માટેનો છે?

 (A) N પ્રકારનો અર્ધવાહક

 (B) P પ્રકારનો અર્ધવાહક

 (C) અંતર્ગત અર્ધવાહક

 (D) N અને P બંને પ્રકારના અર્ધવાહક


7. અર્ધવાહક રચનાને કાર્યરત કરવા ફોરવર્ડ બાયસ આપવું પડે છે.

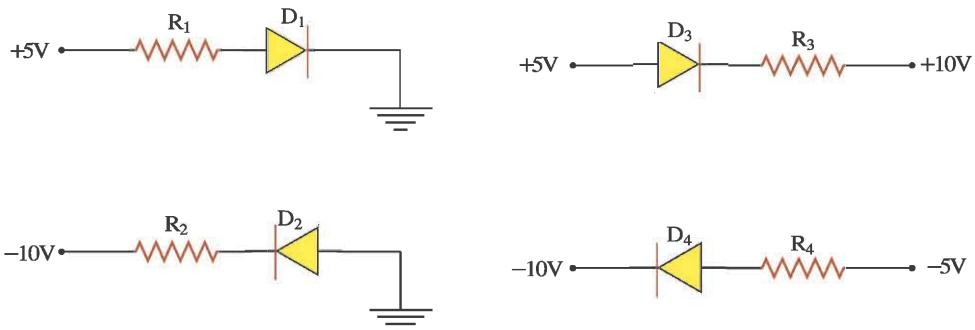
 (A) ફોટો ડાયોડ (B) ડેનર ડાયોડ

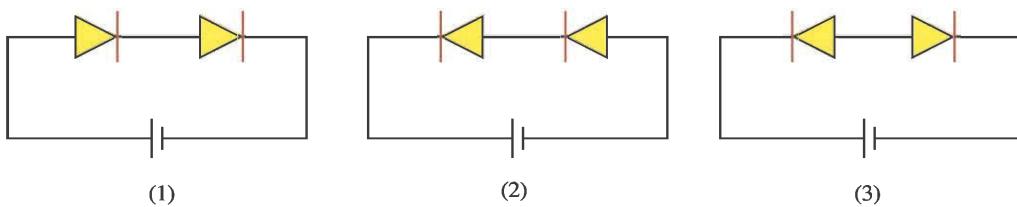
 (C) વેરેક્ટર ડાયોડ (D) લાઇટ એમ્બીટિંગ ડાયોડ (LED)
8. કઈ અર્ધવાહક રચનાને કોઈ પણ પ્રકારના બાયસ વોલ્ટેજની જરૂર પડતી નથી?

 (A) ફોટો-ડાયોડ (B) વેરેક્ટર ડાયોડ (C) સોલરસેલ (D) ટ્રાન્ઝિસ્ટર
9. PN જંકશનને સમાંતર 0.50 V નું પોટેન્શિયલ બેરિયર અસ્ટિલ્વ ધરાવે છે. જો તેલેશન સ્તરની પહોળાઈ $5.0 \times 10^{-7} \text{ m}$ હોય, તો આ વિસ્તારમાં વિદ્યુતક્ષેત્રની તીવ્રતા

 (A) $1.0 \times 10^9 \text{ V/m}$ (B) $1.0 \times 10^6 \text{ V/m}$ (C) $2.0 \times 10^5 \text{ V/m}$ (D) $2.0 \times 10^6 \text{ V/m}$

10. આકૃતિમાં દર્શાવેલ પરિપથોમાં કયો P-N જંક્શન-ડાયોડ રિવર્સ બાયસ સ્થિતિમાં હશે?





- (A) પરિપથો (1) અને (2) (B) પરિપથો (2) અને (3)
 (C) પરિપથો (3) અને (1) (D) એક પણ પરિપથમાં નહિ.
12. અર્ધતરંગ રેફેક્ટરીયરમાં ઉપયોગમાં લીધિલ દ્રાન્સફોર્મરના ગૌણ ગુંચળાના બે છેડા વચ્ચેનો મહત્તમ વોલ્ટેજ
 V_m છે. જ્યારે P-N જંક્શન ડાયોડ રિવર્સ બાયસ સ્થિતિમાં હશે, ત્યારે તેના બે છેડા વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો
 તફાવત

(A) $\frac{V_m}{2}$ (B) $\frac{V_m}{2}$ (C) V_m (D) $2V_m$

13. LC ઓસ્સિલેટરમાં મળતાં પ્રવાહનાં દોલનોની આવૃત્તિ

$$(A) f = \frac{1}{2\pi LC} \quad (B) \omega^2 = \frac{1}{LC} \quad (C) \omega = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (D) \sqrt{f} = \frac{1}{2\pi LC}$$

14. LC ઓસ્સિલેટર પરિપथમાં કેપેસિટરનું મૂલ્ય બમણું કરતાં આઉટપુટમાં મળતા તરંગની આવૃત્તિ ગણી થશે.

(A) $\frac{1}{\sqrt{2}}$ (B) $\sqrt{2}$ (C) $\frac{1}{2}$ (D) 2

- 15.** CE ટ્રાન્ઝિસ્ટર એમિલફાયરમાં એમીટર જંક્શન બાયસ અને કલેક્ટર-જંક્શન બાયસ સ્થિતિમાં હોય છે.

(A) ରିଵରସ, ଫୋର୍କ୍‌ଡୁଲ୍
 (B) ଫୋର୍କ୍‌ଡୁଲ୍, ଫୋର୍କ୍‌ଡୁଲ୍
 (C) ରିଵରସ, ରିଵରସ
 (D) ଫୋର୍କ୍‌ଡୁଲ୍, ରିଵରସ

16. CE ટ્રાન્ઝિસ્ટર એમ્પિલિફાયરનો વોલ્ટેજગેઇન 200 અને તેને ઈનપુટમાં આપેલ સિગનલ $0.5 \cos(313 t)$ V છે તો આઉટપુટ સિગનલ V હશે.

(A) $100 \cos(313 t + 90^\circ)$ (B) $100 \cos(313 t + 180^\circ)$
 (C) $100 \cos(493 t)$ (D) $0.5 \cos(313 t + 180^\circ)$

17. N-P-N ટ્રાન્ઝિસ્ટરમાં કલેક્ટરપ્રવાહ 10 mA છે. જો 90% ઈલેક્ટ્રોન એમીટરમાંથી કલેક્ટરમાં જતાં હોય તો

(A) $I_E \approx 9$ mA, $I_B \approx 1$ mA (B) $I_E \approx 11$ mA, $I_B \approx 9$ mA
 (C) $I_E \approx 11$ mA, $I_B \approx 1$ mA (D) $I_E \approx 10$ mA, $I_B \approx 1$ mA

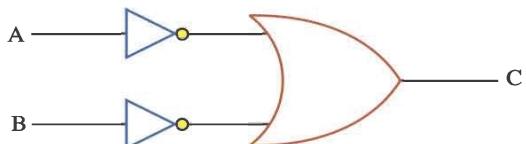
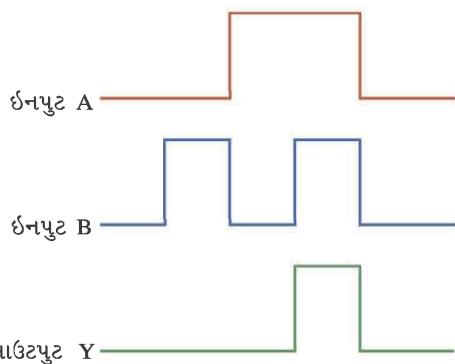
18. CE એમ્પિલિફાયરના ટ્રાન્ઝિસ્ટર માટે $\alpha = 0.99$ છે. તેનો ઈનપુટ અવરોધ $1 \text{ k}\Omega$ અને લોડ અવરોધ $10 \text{ k}\Omega$ છે. આ પરિપથનો વોલ્ટેજગેઇન

(A) 99 (B) 990 (C) 9900 (D) 99000

19. આકૃતિમાં દર્શાવેલ લોજિક પરિપથની લાક્ષણિકતા ક્યા લોજિક ગેટને સમતુલ્ય છે ?

(A) OR ગેટ
 (B) AND ગેટ
 (C) NOR ગેટ
 (D) NAND ગેટ

20. કોઈ પણ લોજિક ગેટ માટે ઈનપુટ A, ઈનપુટ B અને આઉટપુટ Yના સિગનલો આકૃતિમાં દર્શાવ્યા છે. આ લોજિક ગેટ ક્યો હશે ?



(A) OR ગેટ
 (B) AND ગેટ
 (C) NAND ગેટ
 (D) NOR ગેટ

21. નીચે દર્શાવેલ ટુથ્ટેબલ ક્યા લોજિક ગેટની લાક્ષણિકતા દર્શાવે છે?

(A) NAND ગેટ
 (B) NOR ગેટ
 (C) AND ગેટ
 (D) OR ગેટ

A	B	Y
1	1	0
1	0	0
0	1	0
0	0	1

જવાબો

- | | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1. (C) | 2. (B) | 3. (C) | 4. (D) | 5. (B) | 6. (B) |
| 7. (D) | 8. (C) | 9. (B) | 10. (C) | 11. (A) | 12. (C) |
| 13. (B) | 14. (A) | 15. (D) | 16. (B) | 17. (C) | 18. (B) |
| 19. (D) | 20. (B) | 21. (B) | | | |

નીચેના પ્રશ્નોના ટૂંકમાં જવાબ આપો :

1. સિલિકોનની ઈલેક્ટ્રોનિક સંરચના જણાવો.
2. હોલ એટલે શું ?
3. બંધિત ઈલેક્ટ્રોનને મુક્ત ઈલેક્ટ્રોન ગણી શકાય? શા માટે ?
4. ઇન્દ્રિન્સિક અર્ધવાહકો કોને કહે છે ?
5. ફોરબિડન ગેય એટલે શું ?
6. ઓરડાના તાપમાને રહેલા N પ્રકારના અર્ધવાહકોનો બેન્ડ ડાયાગ્રામ દોરો.
7. ઉપદેશન બેરિયર એટલે શું ?
8. PN જંક્શન-ડાયોડની પરિપથ સંશા દોરો. આ સંશામાં તીરની નિશાની શાનું શૂચન કરે છે ?
9. રેન્ટિફિકેશન એટલે શું ?
10. ફિલ્ટર-પરિપથ કોને કહે છે ?
11. LED માં ઉત્સર્જિત પ્રકારણની તરંગની મહત્તમ તરંગલંબાઈનું સૂત્ર લખો.
12. સોલરસેલમાં ઉદ્ભવતા ફોટો-વોલ્ટેજનું મૂલ્ય કેટલું હોય છે ?
13. ડ્રાઇઝરમાં I_E અને I_C વચ્ચેનો સંબંધ જણાવો. તેમજ તેઓ કયા કમના હોય છે ?
14. CE એમ્પિલિકેશનમાં ઈનપુટ સિનનલ અને આઉટપુટ સિનનલ વચ્ચે કળા તફાવત કેટલો હોય છે ?
15. લોજિક ગેટ કોને કહે છે ?
16. NOR ગેટનું બુલિયન સમીકરણ લખો.
17. મૂળભૂત અને યુનિવર્સલ લોજિક ગેટ કયા છે ?
18. VLSIનું પૂર્ણ નામ જણાવો.

નીચેના પ્રશ્નોના જવાબ આપો :

1. શુદ્ધ (ઇન્દ્રિન્સિક) અર્ધવાહકમાં ઈલેક્ટ્રોન અને હોલથી કેવી રીતે વિદ્યુતવહન થાય છે તે આકૃતિ સહિત સમજાવો.
2. P પ્રકારના અર્ધવાહક પર નોંધ લખો.
3. Si અર્ધવાહક માટે વેલેન્સ-બેન્ડ, કન્ડક્શન-બેન્ડ અને ફોરબિડન ગેય સમજાવો.
4. N પ્રકારના અર્ધવાહકનો 0 K તાપમાન અને ઓરડાના તાપમાન માટે ઑનજ બેન્ડ-ડાયાગ્રામ દોરો અને સમજાવો.
5. PN જંક્શન ડાયોડમાં ઉપદેશન સ્તર અને ઉપદેશન બેરિયર સમજાવો.
6. PN જંક્શનની ફોરવર્ડ બાયસ લાક્ષણિકતા મેળવવા માટેનો વિદ્યુતપરિપથ દોરો અને તેનો ફોરવર્ડ બાયસ લાક્ષણિકતા ચર્ચો.
7. અર્ધતરંગ રેન્ટિફાયરનો વિદ્યુતપરિપથ દોરો અને તેનું કાર્ય સમજાવો.
8. LED પર ટૂંક નોંધ લખો.

- N-P-N ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો ઉપયોગ કરી તૈયાર કરેલા. CE ઓમિલફાયરનો પરિપથ દોરો. CE ઓમિલફાયર માટે વોલ્ટેજ ગેરીન અને પાવરગેરીનાં સુત્રો મેળવો.
- OR ગેટનું કાર્ય સમજાવો. OR ગેટ માટે બુલિયન સમીકરણ, સંજા અને ટુથ્ટેબલ જણાવો.
- NAND ગેટનો લોજિક પરિપથ દોરો. આ ગેટ માટે તેની સંજા, બુલિયન સમીકરણ અને ટુથ્ટેબલ આપો.

નીચેના દાખલા ગણો :

- શુદ્ધ અર્ધવાહકમાં એકમ ઘનમીટર દીઠ ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા 6×10^{19} છે. $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ સાઈઝના આ અર્ધવાહક સ્ફિટિકમાં રહેલા હોલની સંખ્યા કેટલી હશે ?

[જવાબ : 12×10^{13}]

- 300 K તાપમાને રહેલા શુદ્ધ Si અર્ધવાહકમાં ઇલેક્ટ્રોન-હોલ જોડકાંની સંખ્યા-ઘનતા $1.5 \times 10^{16} \text{ m}^{-3}$ છે. આ અર્ધવાહકમાં ટ્રાયવેલન્ટ અશુદ્ધ ઉમેરતાં મેજોરિટી ચાર્જકેરિયરની સંખ્યા-ઘનતા $4.5 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$ મળે છે. અશુદ્ધ ઉમેરેલા અર્ધવાહકમાં માઈનોરિટી ચાર્જ કેરિયરની સંખ્યા-ઘનતા કેટલી હશે ?

[જવાબ : $5 \times 10^9 \text{ m}^{-3}$]

- એક અર્ધવાહક પર મહત્તમ 6000 \AA ની તરંગ-લંબાઈવાળો પ્રકાશ આપાત કરતાં ઇલેક્ટ્રોન-હોલનાં જોડકાં ઉદ્ભાવે છે. આ અર્ધવાહકની બેન્ડગેપ ઊર્જા કેટલી હશે ? [$h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J s}$]

[જવાબ : 2.07 eV]

- એક LED દ્વારા 662 nm તરંગલંબાઈવાળો પ્રકાશ ઉત્તર્વિદ્ધ કરવો હોય તો, તેની રચનામાં વપરાતા અર્ધવાહકની બેન્ડગેપ કેટલી હોવી જોઈએ ? [$h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J s}$]

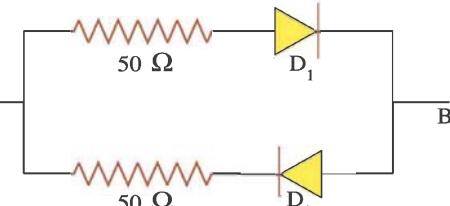
[જવાબ : 1.875 eV]

- એક P-N જંક્શનના ડેપ્લેશન વિસ્તારની પહોળાઈ 400 nm છે અને તેમાં વિદ્યુતક્ષેત્રની તીવ્રતા $5 \times 10^5 \text{ V/m}$ છે. તો (1) પોટેન્શિયલ બેરિયરનું મૂલ્ય શોધો. (2) N વિભાગમાંથી કોઈ એક મુક્ત ઇલેક્ટ્રોન P વિભાગમાં દાખલ થઈ શકે તે માટે તેની પાસે કેટલી લઘૃતમ ગતિ-ઊર્જા હોવી જોઈએ.

[જવાબ : 0.2 V, 0.2 eV]

- આકૃતિમાં દર્શાવેલ પરિપથ માટે $V_A > V_B$ અને $(2) V_B > V_A$. બંને ડિસ્સા માટે બિંદુ A અને B વચ્ચેનો સમતુલ્ય અવરોધ શોધો. અહીં ડાયોડ D_1 અને D_2 આદર્શ ડાયોડ છે તેમ સ્વીકારો.

[જવાબ : બંને ડિસ્સા માટે $R_{AB} = 50 \text{ ઓહ્મ}$]



- એક N-P-N કોમન એમીટર ઓમિલફાયરમાં જ્યારે લોડ-અવરોધ $10 \text{ k}\Omega$ છે ત્યારે વોલ્ટેજ ગેરીન 200 મળે છે, તો ટ્રાન્સિસ્કન્ડક્ટન્સનું મૂલ્ય શોધો. જો પરિપથનો ઇનપુટ અવરોધ $1 \text{ k}\Omega$ હોય, તો તેના એ.સી. પ્રવાહગેરીની ગણતરી કરો.

[જવાબ : $g_m = 0.02 \text{ mho}, A_i = 20$]

- એક N-P-N ટ્રાન્ઝિસ્ટરમાં કોમન બેઝ પરિપથમાં એમીટરમાંથી બેઝમાં આવતાં 7% જેટલા ઇલેક્ટ્રોન બેઝમાંના હોલ સાથે સંયોજાય છે. આથી કલેક્ટરપ્રવાહનું મૂલ્ય 18.6 mA મળે છે, તો એમીટર પ્રવાહનું મૂલ્ય અને પ્રવાહગેરીન શોધો.

[જવાબ : $I_{EV} = 20 \text{ mA}, \alpha = 0.93$]

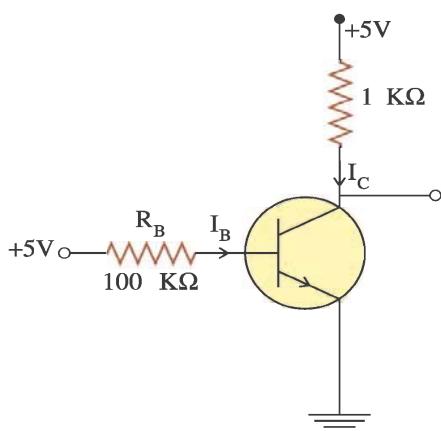
- CE ઓમિલફાયરમાં 200 mVનું ઇનપુટ સિગનલ લગાડતા બેઝપ્રવાહમાં $200 \mu\text{A}$ નો ફેરફાર થાય છે. તો ઇનપુટ અવરોધ શોધો. જો આઉટપુટ વોલ્ટેજ 2 V મળે, તો વોલ્ટેજગેરીન કેટલો હશે?

[જવાબ : $r_i = 1 \text{ k}\Omega, A_V = 10$]

10. N-P-N કોમન એમીટર ઓમિલફાયરમાં ઈનપુટ વોલ્ટેજમાં 100 mV જેટલો ફેરફાર કરતાં કલેક્ટરપ્રવાહમાં 10 mA જેટલો ફેરફાર થાય છે. આ પરિપથનો એ.સી. પ્રવાહ ગેરીન 150 છે. પરિપથમાં પાવરગેરીન 4500 મેળવવો હોય, તો લોડ-અવરોધનું મૂલ્ય કેટલું રાખવું પડે ?

[જવાબ : $R_L = 300 \Omega$]

11.

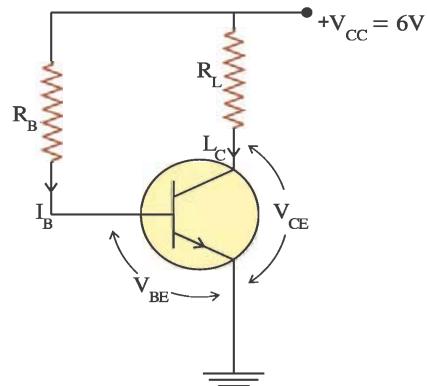


આકૃતિમાં દર્શાવેલ પરિપથમાં બેઝ અવરોધ R_B ૫૨ +5 V આપત્તાનું V_{BE} અને V_{CE} બંને વોલ્ટેજ શૂન્ય થાય છે, તો I_C , I_B અને β શોધો.

[જવાબ : $I_B = 50 \mu A$, $I_C = 5 mA$, $\beta = 100$]

12. આકૃતિમાં દર્શાવેલ પરિપથમાં $I_B = 5 \mu A$, $R_B = 1 M\Omega$, $R_L = 1.1 k\Omega$, $I_C = 5 mA$ અને $V_{CC} = 6V$ છે. આ પરિપથમાં V_{BE} અને V_{CE} નું મૂલ્ય શોધો.

[જવાબ : $V_{BE} = + 1.0V$, $V_{CE} = + 0.5V$]



13. P-N-P કોમન એમીટર પરિપથ માટે એ.સી. પ્રવાહગેરીન 100 છે, ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો ઈનપુટ અવરોધ $1 k\Omega$ છે. આ પરિપથ માટે પાવરગેરીન 2000 મેળવવો હોય, તો લોડ-અવરોધ R_L નું મૂલ્ય કેટલું રાખવું પડે ?

[જવાબ : $R_L = 200 \Omega$]