

1. પ્રવેશ :

બીજા વિશ્વયુધ્ધે વિશ્વને ખૂબ જ ખાનાખરાબી અર્પી છે, પરંતુ આ ગાળા દરમિયાન થયેલ વૈજ્ઞાનિક સંશોધનોએ પુષ્કળ શોધખોળો પણ અર્પી છે જેમાં ખાસ કરીને રડાર, ટેલિવિઝન, અર્ધવાહક ટ્રાન્ઝીસ્ટરનો સમાવેશ કરી શકાય. આ સમય દરમિયાન વીજાણુનલિકા (Electron tube)નું સ્થાન અર્ધવાહક ટ્રાન્ઝીસ્ટરે લેતાં વૈજ્ઞાનિક યુગમાં એક નવો જ તબક્કો શરૂ થયો અને આ સંશોધને વૈજ્ઞાનિક ક્ષેત્રમાં એક અભૂતપૂર્વ સિધ્ધિ મેળવી. આ સંશોધનથી અદ્યતન કમ્પ્યુટર્સ તેમજ સેટેલાઈટ દ્વારા થતા ઝડપી સંદેશાવ્યવહાર પણ શક્ય બન્યા છે તેમ કહીએ તો જરા પણ અતિશયોક્તિ નહીં લેખાય.

ઈ.સ. 1947માં અમેરિકાની બેલ ટેલિફોન લેબોરેટરીના ત્રણ વૈજ્ઞાનિકો જહોન બાર્ડેન, વોલ્ટર બ્રાટેન અને વિલિયમ શૉક્લેએ ટ્રાન્ઝીસ્ટરની શોધ કરી. આ શોધ માટે તેમને નોબલ પ્રાઈઝ પણ આપવામાં આવ્યું છે. ટ્રાન્ઝીસ્ટરનું કદ મગફળીના નાનામાં નાના દાણાના કદ બરાબર છે છતાં પણ તે વીજાણુનલિકાની બરાબર ગણી શકાય તેવાં કાર્યો કરે છે.

ટ્રાન્ઝીસ્ટરની શોધ થયા બાદ બીજી અર્ધવાહક રચનાઓ (semiconductor devices) જેવી કે FET, MOSFET, SCR, UJT વગેરેનો જન્મ થયો. આ અર્ધવાહક રચનાઓ દ્વારા ઇલેક્ટ્રોનિક્સ ઉદ્યોગોમાં એક જુદા પ્રકારની ક્રાંતિ આવી. આ રચનાઓ કદમાં નાની અને વજનમાં હલકી હોવાથી ઇલેક્ટ્રોનિક્સ ઉપકરણો સાઈઝમાં નાનાં થયાં તથા તેની કિંમતમાં નોંધપાત્ર ઘટાડો પણ થયો.

પ્રસ્તુત પ્રકરણમાં આપણે ટ્રાન્ઝીસ્ટરની રચના અને તેની લાક્ષણિકતાઓ વિશે ચર્ચા કરીશું.

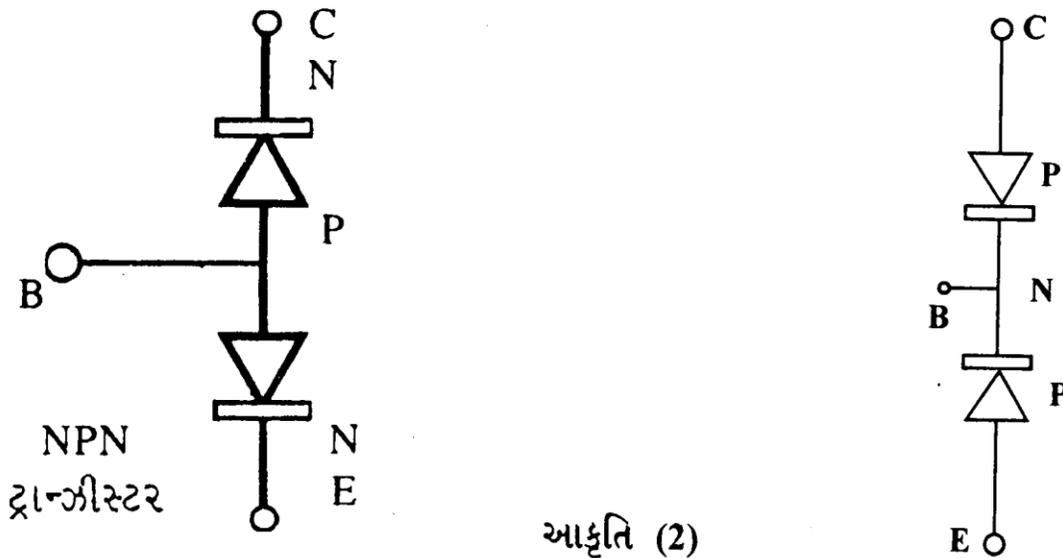
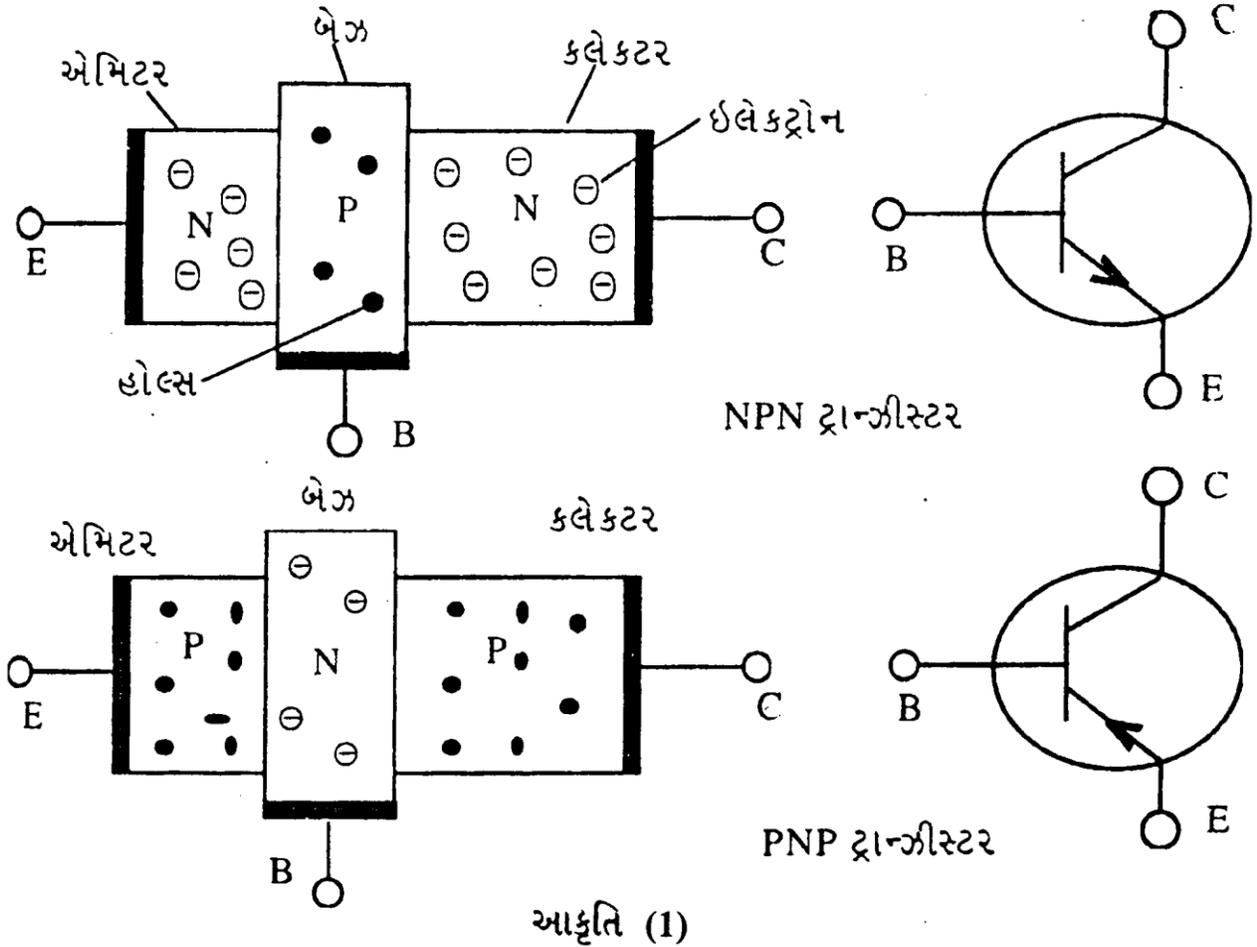
2. ટ્રાન્ઝીસ્ટર :

F.Y.B.Sc. માં આપણે PN જંકશન ડાયોડની રચના તથા તેની લાક્ષણિકતાઓનો અભ્યાસ કર્યો. ટ્રાન્ઝીસ્ટર એ PN જંકશન ડાયોડનું થયેલું નવું સ્વરૂપ છે. બે PN જંકશનવાળી રચનાને ટ્રાન્ઝીસ્ટર કહે છે. ટ્રાન્ઝીસ્ટરના બે પ્રકાર છે.

- P-N-P ટ્રાન્ઝીસ્ટર :** જેમાં P પ્રકારના બે અર્ધવાહકો વચ્ચે N પ્રકારના અર્ધવાહકની પાતળી ચીપ રાખવામાં આવે છે.
- N-P-N ટ્રાન્ઝીસ્ટર :** જેમાં N પ્રકારના બે અર્ધવાહકો વચ્ચે P પ્રકારના અર્ધવાહકની પાતળી ચીપ રાખવામાં આવે છે.

આકૃતિ(1)માં NPN તથા PNP ટ્રાન્ઝીસ્ટરની રચના તથા તેમની પરિપથ સંજ્ઞા દર્શાવી છે.

આકૃતિ (2)માં NPN ટ્રાન્ઝીસ્ટરની રચનાને બે PN જંકશન ડાયોડના Back - to - Back જોડાણ વડે દર્શાવેલ છે તથા PNP ટ્રાન્ઝીસ્ટરની રચનાને બે PN જંકશન ડાયોડના front-to-front જોડાણ વડે દર્શાવેલ છે.



ટ્રાન્ઝિસ્ટરના મધ્ય ભાગમાં રહેલ ચીપને બેઝ કહેવામાં આવે છે. બેઝના એક તરફના વિભાગને એમિટર (emitter) અને બીજી તરફના વિભાગને કલેક્ટર (collector) કહે છે. આ બંને વિભાગના કદ તથા વિદ્યુતીય લાક્ષણિકતાઓ અલગ અલગ હોય છે. કલેક્ટરનું કદ, એમિટરના કદ કરતાં મોટું હોય છે. બેઝમાં અશુદ્ધિનું પ્રમાણ ઓછું હોય છે તેમ જ તેની અવરોધકતા વધારે હોય છે. એમિટરમાં અશુદ્ધિઓનું પ્રમાણ વધારે હોય છે અને તેની અવરોધકતા ઘણી ઓછી હોય છે. કલેક્ટરમાં અશુદ્ધિનું પ્રમાણ બેઝ કરતાં વધારે પરંતુ એમિટર કરતાં ઓછું હોય છે.

એમિટર અને બેઝ વચ્ચેના જંકશનને એમિટર-બેઝ જંકશન અથવા એમિટર જંકશન કહે છે. બેઝ અને કલેક્ટર વચ્ચેના જંકશનને કલેક્ટર-બેઝ જંકશન અથવા કલેક્ટર જંકશન કહે છે. ટ્રાન્ઝીસ્ટરને કાર્યશીલ કરવા માટે એમિટર જંકશનને હંમેશાં ફોરવર્ડ બાયસ અને કલેક્ટર જંકશનને રીવર્સ બાયસ આપવામાં આવે છે. જ્યારે NPN કે PNP ટ્રાન્ઝીસ્ટરને ઉપર દર્શાવેલ બાયસ આપવામાં આવે ત્યારે તેમાં વહેતા રૈવાજીક વિદ્યુતપ્રવાહની દિશા આકૃતિ (1)માં તીર વડે દર્શાવેલ છે.

ટ્રાન્ઝીસ્ટરમાં વિદ્યુતપ્રવાહનું નિર્માણ ઇલેક્ટ્રોન તેમજ હોલ એમ બંને પ્રકારના ચાર્જ કેરિયરને લીધે થાય છે તેથી તેને Bipolar Junction Transistor અથવા BJT કહેવામાં આવે છે.

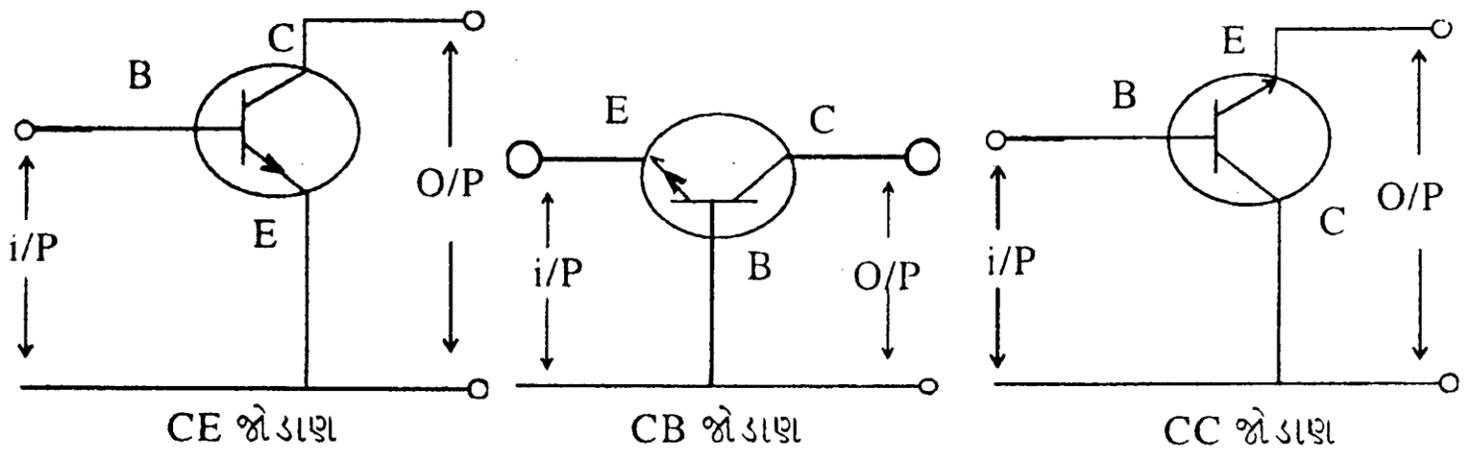
ટ્રાન્ઝીસ્ટરનો ઉપયોગ એમ્પ્લિફાયર પરિપથોમાં થાય છે. એમ્પ્લિફાયર પરિપથને બે ઇનપુટ ટર્મિનલ અને બે આઉટપુટ ટર્મિનલ, એમ કુલ ચાર ટર્મિનલ હોય છે. ટ્રાન્ઝીસ્ટરને ફક્ત ત્રણ ટર્મિનલ છે - બેઝ, એમિટર અને કલેક્ટર. આથી આવા પરિપથમાં ટ્રાન્ઝીસ્ટરના કોઈ એક ટર્મિનલને, ઇનપુટ અને આઉટપુટના સંદર્ભમાં કૉમન (common) રાખવામાં આવે છે. ટ્રાન્ઝીસ્ટરને ત્રણ ટર્મિનલ હોવાથી ત્રણ જુદા જુદા પ્રકારના એમ્પ્લિફાયર પરિપથો તૈયાર કરી શકાય જે નીચે મુજબ છે.

(i) કૉમન-એમિટર એમ્પ્લિફાયર (CE amplifier)

(ii) કૉમન-બેઝ એમ્પ્લિફાયર (CB amplifier)

(iii) કૉમન-કલેક્ટર એમ્પ્લિફાયર (CC amplifier)

CE એમ્પ્લિફાયર પરિપથમાં ટ્રાન્ઝીસ્ટરનો એમિટર ટર્મિનલ ઇનપુટ અને આઉટપુટ ટર્મિનલના સંદર્ભમાં કૉમન હોય છે. તેવી રીતે, CB અને CC એમ્પ્લિફાયરમાં અનુક્રમે બેઝ અને કલેક્ટર ટર્મિનલ કૉમન હોય છે. જુઓ આકૃતિ (3).



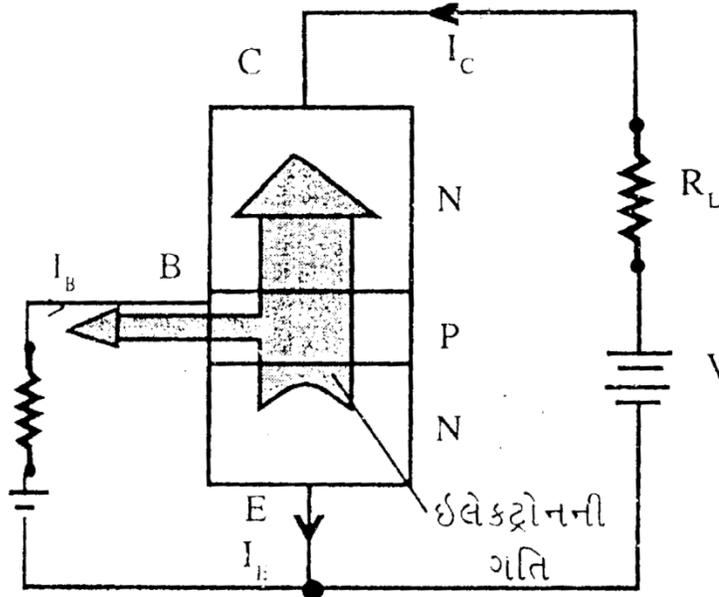
આકૃતિ (3)

આ ત્રણેય પ્રકારનાં જોડાણની લાક્ષણિકતાઓ અલગ અલગ હોવાથી, ત્રણેય પરિપથોના લાભાલાભ પણ અલગ છે. હવે, આપણે કૉમન-એમિટર એ કૉમન બેઝ પરિપથોની લાક્ષણિકતાઓ વિશે ચર્ચા કરીશું.

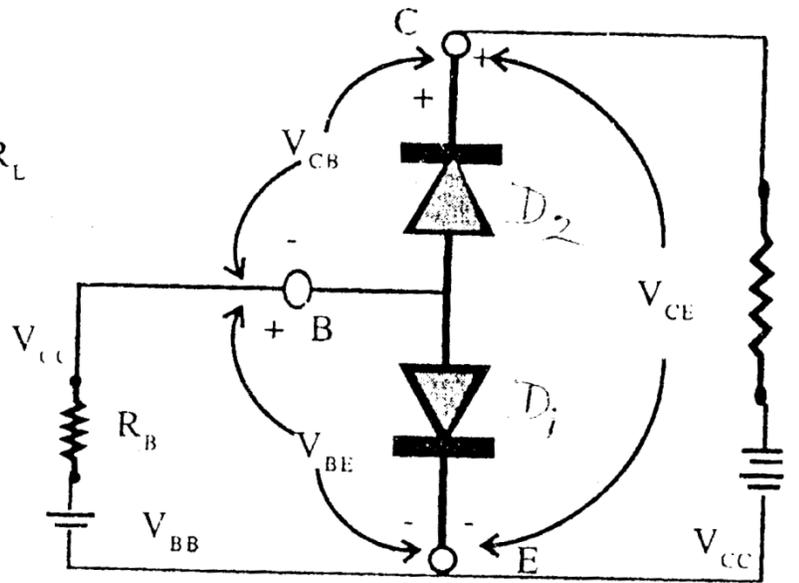
3. કૉમન-એમિટર પરિપથ :

મોટા ભાગના ઇલેક્ટ્રોનિક વિદ્યુત પરિપથો જેવા કે એમ્પ્લિફાયર, ઑસીલેટર વગેરેમાં ટ્રાન્ઝીસ્ટરનું આ પ્રકારનું જોડાણ જોવા મળે છે. આકૃતિ (4)માં N-P-N ટ્રાન્ઝીસ્ટરને કૉમન-એમિટર જોડાણમાં દર્શાવેલ છે. અહીં ટ્રાન્ઝીસ્ટરનો એમિટર, ઇનપુટ અને આઉટપુટના સંદર્ભમાં કૉમન છે.

N-P-N ટ્રાન્ઝિસ્ટરને સમતુલ્ય એવો પરિપથ બે PN જંકશન ડાયોડના Back-to - Back જોડાણ વડે આકૃતિ (5)માં દર્શાવેલ છે. આકૃતિમાં ડાયોડ D_1 ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો એમિટર જંકશન અને ડાયોડ D_2 કલેક્ટર જંકશન દર્શાવે છે.



આકૃતિ (4)



આકૃતિ (5)

ટ્રાન્ઝિસ્ટરને કાર્યશીલ કરવા માટે એમિટર જંકશન (ડાયોડ D_1)ને V_{BB} બેટરી દ્વારા ફોરવર્ડ બાયસ લાગુ પાડવામાં આવે છે અને કલેક્ટર જંકશન (ડાયોડ D_2)ને V_{CC} બેટરી દ્વારા રિવર્સ બાયસ લાગુ પાડવામાં આવે છે.

આકૃતિ પરથી સ્પષ્ટ છે કે,

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$

$$V_{CE} = V_{CB} \quad (\text{૭ } V_{BE} \approx 0.6V)$$

એટલે કે કલેક્ટર જંકશનને રિવર્સ બાયસ વોલ્ટેજ, V_{CE} દ્વારા મળે છે. હકીકતમાં આ પરિપથ ટ્રાન્ઝિસ્ટરના પૂર્ણ મોડેલનું સ્વરૂપ દર્શાવતું નથી.

એમિટર જંકશન, V_{BE} વોલ્ટેજ દ્વારા ફોરવર્ડ બાયસ થવાથી મેજોરીટી ચાર્જ કેરિયર એટલે કે ઇલેક્ટ્રોન, ઓછી અવરોધકતા ધરાવતા એમિટરમાંથી વધુ અવરોધકતા ધરાવતા બેઝમાં દાખલ થાય છે. કલેક્ટર ટર્મિનલ પરના વોલ્ટેજનું મૂલ્ય, બેઝ ટર્મિનલ પરના વોલ્ટેજના મૂલ્ય કરતાં વધુ હોય છે. એટલે કે કલેક્ટર જંકશન રીવર્સ બાયસ હોવાથી, એમિટરમાંથી આવતાં મેજોરીટી ચાર્જ કેરિયર (ઇલેક્ટ્રોન) બેઝ વિભાગમાં દાખલ થતાં તે માઈનોરીટી ચાર્જ કેરિયર બને છે. બેઝ વિભાગ ઘણો પાતળો હોવાથી એમિટરમાંથી આવતાં થોડાં ઘણાં ઇલેક્ટ્રોન બેઝમાં રહેલા હોલ (જે P પ્રકારના બેઝમાં મેજોરીટી ચાર્જ કેરિયર છે) સાથે સંયોજાઈ બેઝ પ્રવાહ I_B નું નિર્માણ કરે છે. મોટા ભાગના ઇલેક્ટ્રોન, કલેક્ટર પરના ધન વોલ્ટેજને લીધે કલેક્ટર તરફ ખેંચાઈ જાય છે. એટલે કે ટ્રાન્ઝિસ્ટરના આ વિભાગમાં ઇલેક્ટ્રોન ભેગા થાય છે, જેના કારણે કલેક્ટર પ્રવાહ I_C મળે છે. સામાન્ય રીતે એમિટરમાંથી આવતા કુલ ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યાના 98 થી 99 ટકા ઇલેક્ટ્રોન કલેક્ટરમાં દાખલ થાય છે અને 1 થી 2 ટકા ઇલેક્ટ્રોન બેઝમાં ડિફ્યુઝ થાય છે.

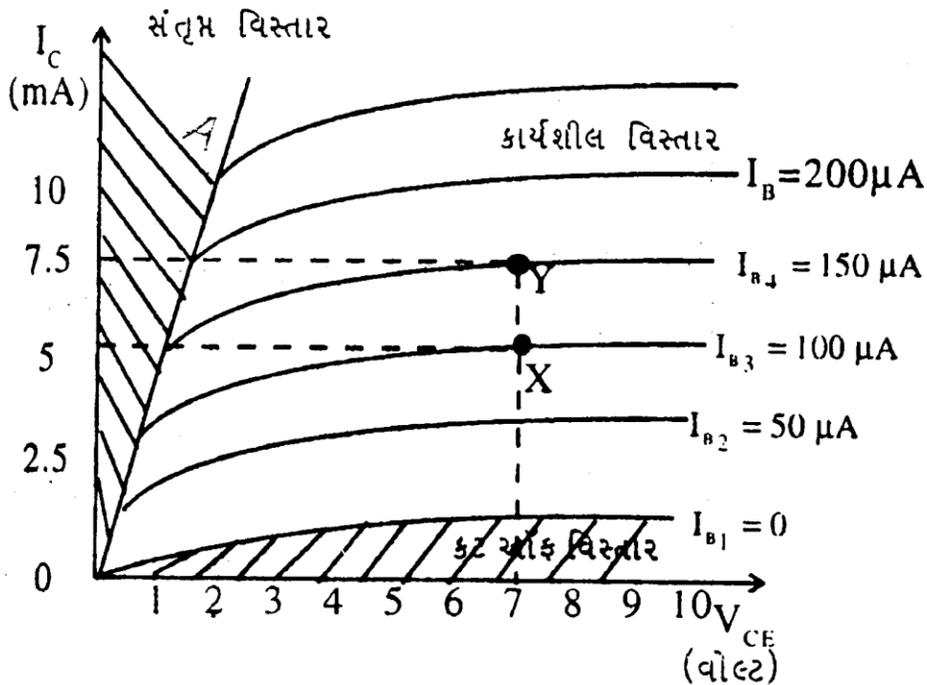
આલેખ પરથી જોઈ શકાય છે કે,

- (i) જ્યારે $V_{CE} = 0$ હોય અને એમિટર બેઝ જંકશન ફોરવર્ડ બાયસ હોય ત્યારે આ જંકશનની લાક્ષણિકતા PN જંકશન ડાયોડ જેવી હોય છે. જ્યારે બેઝ વોલ્ટેજ V_{BE} , કટ ઈન વોલ્ટેજ (Si માટે 0.6V અને જર્મેનિયમ માટે 0.3 V) થી ઓછા હોય ત્યારે ટ્રાન્ઝિસ્ટરમાં વિદ્યુતપ્રવાહનું વહન થતું નથી ત્યાર બાદ ડાયોડ (એટલે કે એમિટર જંકશન) ફોરવર્ડ બાયસ થવાથી વિદ્યુતપ્રવાહનું વહન થાય છે.
- (ii) જ્યારે $V_{CE} = 5V$ હોય, ત્યારે અચળ બેઝ વોલ્ટેજ V_{BE} માટે બેઝ પ્રવાહ I_B નું મૂલ્ય ઘટે છે. અચળ બેઝ વોલ્ટેજ V_{BE} એ, V_{CE} નું મૂલ્ય વધારતાં કલેક્ટર જંકશન પરનાં રિવર્સ બાયસ વોલ્ટેજ વધે છે આથી કલેક્ટર-બેઝ જંકશન પાસે ડેપ્લેશન સ્ટરની પહોળાઈ વધે છે. પરિણામે બેઝ વિભાગની અસરકારક પહોળાઈ ઘટે છે. આથી એમિટરમાંથી આવતા ઈલેક્ટ્રોન ઓછા પ્રમાણમાં, બેઝમાં રહેલા હોલ સાથે સંયોજાય છે અને બેઝ પ્રવાહ I_B નું મૂલ્ય ઘટે છે.

[B] આઉટપુટ લાક્ષણિકતાઓ ($I_C \rightarrow V_{CE}$) :

આઉટપુટ લાક્ષણિકતા મેળવવા માટે બેઝ પ્રવાહ I_B અચળ રાખી, કલેક્ટર એમિટર વોલ્ટેજ V_{CE} ને યોગ્ય ગાળામાં બદલતા જઈ તેને અનુરૂપ કલેક્ટર પ્રવાહ I_C માપવામાં આવે છે. I_B ના બીજા બે થી ત્રણ જુદાં જુદાં મૂલ્યો માટે પ્રયોગનું પુનરાવર્તન કરી, I_B નાં જુદાં જુદાં મૂલ્યો માટે $I_C \rightarrow V_{CE}$ નો આલેખ દોરી જે ટ્રાન્ઝિસ્ટરની આઉટપુટ લાક્ષણિકતા આપશે.

ટ્રાન્ઝિસ્ટરની આવી એક આઉટપુટ લાક્ષણિકતા આકૃતિ (8)માં દર્શાવી છે. અહીં આપણને પ્રશ્ન એ થાય કે ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો કલેક્ટર જંકશન ડાયોડ જો રીવર્સ બાયસ હોય તો વિદ્યુતપ્રવાહનું વહન કેવી રીતે થાય ?



આકૃતિ (8)

કલેક્ટરમાં અશુદ્ધિનું પ્રમાણ, બેઝ કરતાં વધુ હોય છે. તેમજ બેઝ વિભાગ ઘણો સાંકડો હોય છે. આથી કલેક્ટર બેઝ જંકશન એ leaky diode જેવું કાર્ય કરે છે. આથી એમિટર જંકશનને ફોરવર્ડ બાયસ આપતાં કલેક્ટર જંકશનમાંથી મોટા પ્રમાણમાં રિવર્સ પ્રવાહ વહે છે જેને આપણે કલેક્ટર પ્રવાહ I_C કહીએ છીએ. આ પ્રવાહનું મૂલ્ય બેઝ એમિટર જંકશન ડાયોડના ફોરવર્ડ બાયસ વોલ્ટેજ (V_{BE}) ના મૂલ્ય પર આધાર રાખે છે. V_{BE} નું મૂલ્ય વધારતાં એમિટર જંકશન પરના ડેપ્લેશન સ્ટરની પહોળાઈ તેમજ કલેક્ટર જંકશન પરના ડેપ્લેશન સ્ટરની પહોળાઈ ઘટે છે. આથી એમિટરમાંથી આવતાં ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા વધે છે. પરિણામે કલેક્ટર પ્રવાહ I_C નું મૂલ્ય વધે છે.

ટૂંકમાં, ટ્રાન્ઝીસ્ટરમાં V_{BE} વધારતાં, બેઝ પ્રવાહ I_B વધે છે અને કલેક્ટર પ્રવાહ I_C પણ વધે છે. આકૃતિ (8) માં દર્શાવ્યા મુજબ, આઉટપુટ લાક્ષણિકતાને ત્રણ વિભાગમાં વહેંચી શકાય.

(i) સંતૃપ્ત વિસ્તાર (Saturation region) :

લાક્ષણિકતા આલેખમાં દર્શાવેલ OA રેખાની ડાબી બાજુના વિસ્તારને સંતૃપ્ત વિસ્તાર કહે છે. જ્યારે V_{CE} નું મૂલ્ય V_{BE} ના મૂલ્ય કરતાં ઓછું હોય ત્યારે ટ્રાન્ઝીસ્ટરના બંને જંકશનો ફોરવર્ડ બાયસ થાય છે. આ વિસ્તારમાં કલેક્ટર પ્રવાહ I_C , બેઝ પ્રવાહ I_B ના મૂલ્ય પર આધાર રાખતો નથી.

(ii) કટ ઓફ વિસ્તાર :

$I_B = 0$ આલેખના નીચેના વિસ્તારને કટ ઓફ વિસ્તાર કહે છે. આ વિસ્તારમાં ટ્રાન્ઝીસ્ટરના બંને જંકશન રિવર્સ બાયસ સ્થિતિમાં હોય છે. $I_B = 0$ માટે મળતા કલેક્ટર પ્રવાહને રિવર્સ લીકેજ પ્રવાહ I_{CEO} કહે છે.

(iii) કાર્યશીલ વિસ્તાર (Active region):

આલેખના મધ્ય ભાગના વિસ્તારને કાર્યશીલ વિસ્તાર તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. આ વિસ્તારમાં એમિટર જંકશન ફોરવર્ડ બાયસ અને કલેક્ટર જંકશન રિવર્સ બાયસ સ્થિતિમાં હોય છે. આ વિસ્તારમાં કલેક્ટર પ્રવાહ I_C , V_{CE} ના મૂલ્ય પર બહુ આધાર રાખતો નથી, લગભગ તે અચળ રહે છે. આ વિસ્તારમાં ટ્રાન્ઝીસ્ટરને એમ્પ્લિફાયર તરીકે વાપરી શકાય છે.

● પ્રવાહ લબ્ધિ (Forward current gain) :

લાક્ષણિક આલેખ પરથી સ્પષ્ટ છે કે બેઝ પ્રવાહ I_B , માઈક્રોએમ્પિયરના ક્રમનો છે, જ્યારે કલેક્ટર પ્રવાહ I_C , મિલિએમ્પિયરના ક્રમનો છે. એટલે કે CE જોડાણમાં ટ્રાન્ઝીસ્ટરના પ્રવાહલબ્ધિનું મૂલ્ય ઘણું મોટું હોય છે. પ્રવાહલબ્ધિને નીચે મુજબ વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય.

[C] પ્રવાહલબ્ધિ (β_{dc}) :

ટ્રાન્ઝીસ્ટરના CE જોડાણ માટે, કલેક્ટર પ્રવાહ I_C અને તેને અનુરૂપ બેઝ પ્રવાહ I_B ના ગુણોત્તરને ડી.સી. પ્રવાહલબ્ધિ β_{dc} અથવા h_{FE} કહે છે.

$$\beta_{dc} = h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} \quad \dots (2)$$

ટ્રાન્ઝીસ્ટરમાં large signal માટેની પ્રવાહલબ્ધિને β તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. જ્યારે લીકેજ પ્રવાહ $\frac{I_{CEO}}{\beta+1}$ નું મૂલ્ય I_B અને I_C કરતાં ઘણું ઓછું હોય ત્યારે β અને β_{dc} ને સરખા ગણી શકાય.

$$\beta = \beta_{dc} = h_{FB} = \frac{I_C}{I_B} \quad \dots (3)$$

આકૃતિ (8) માં દર્શાવેલ આલેખ પર બિંદુ X પાસે ટ્રાન્ઝિસ્ટરની પ્રવાહલબ્ધિ નીચે મુજબ ગણી શકાય.

$$\beta = h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{5 \text{ mA}}{100 \mu\text{A}} = \frac{5 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-6}} = 50$$

સામાન્ય રીતે બજારમાં મળતા ટ્રાન્ઝિસ્ટરની પ્રવાહલબ્ધિ (β) 9 થી 900 વચ્ચે હોય છે.

[D] એ.સી. પ્રવાહલબ્ધિ (A.C. current gain) β_{ac} :

જ્યારે ટ્રાન્ઝિસ્ટરને એમ્પ્લિફાયર તરીકે વાપરવામાં આવે ત્યારે, બેઝ પ્રવાહ I_B ને અનુરૂપ કલેક્ટર પ્રવાહ I_C માં કેટલા પ્રમાણમાં ફેરફાર થાય છે તે જાણવું અગત્યનું હોય છે. V_{CE} ના અચળ મૂલ્ય માટે I_C માં થતો ફેરફાર અને તેને અનુરૂપ I_B માં થતા ફેરફારના ગુણોત્તરને એ.સી. પ્રવાહલબ્ધિ β_{ac} અથવા dynamic β કહેવામાં આવે છે.

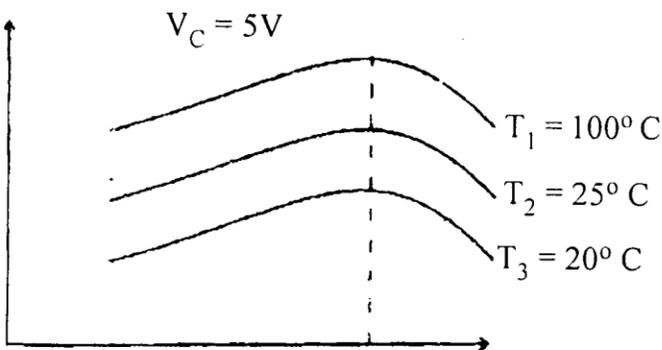
$$\beta_{ac} = h_{fe} = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{V_{CE} = \text{અચળ}} \quad \dots (4)$$

આપેલ ટ્રાન્ઝિસ્ટરના લાક્ષણિક આલેખ પર $V_{CE} = 5V$ માંથી પસાર થતી Y - અક્ષને સમાંતર ઊભી રેખા દોરતાં, તે I_{B3} અને I_{B4} ને અનુક્રમે બિંદુ X અને Y આગળ છેદશે. આ બંને બિંદુઓ X અને Y ને અનુરૂપ કલેક્ટર પ્રવાહ I_{C3} અને I_{C4} મળશે.

$$\begin{aligned} \beta_{ac} = h_{fe} &= \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{I_{C4} - I_{C3}}{I_{B4} - I_{B3}} \quad \dots (5) \\ &= \frac{(7.5 - 5) \times 10^{-3}}{(150 - 100) \times 10^{-6}} = 50 \end{aligned}$$

β_{ac} અથવા h_{fe} પ્રાયલોનો ઉપયોગ નાના સિગ્નલવાળા એમ્પ્લિફાયર પરિપથોના વિશ્લેષણ માટે વપરાય છે. સારા એમ્પ્લિફાયર પરિપથમાં વપરાતા ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો h_{fe} મોટો હોવો જરૂરી છે.

ઉપરના ઉદાહરણમાં આપણે જોયું કે β_{dc} અને β_{ac} બંને સરખાં છે. સ્થિત લાક્ષણિક આલેખના મોટા ભાગના વિસ્તારમાં બંને પ્રાયલો સરખા હોય છે.



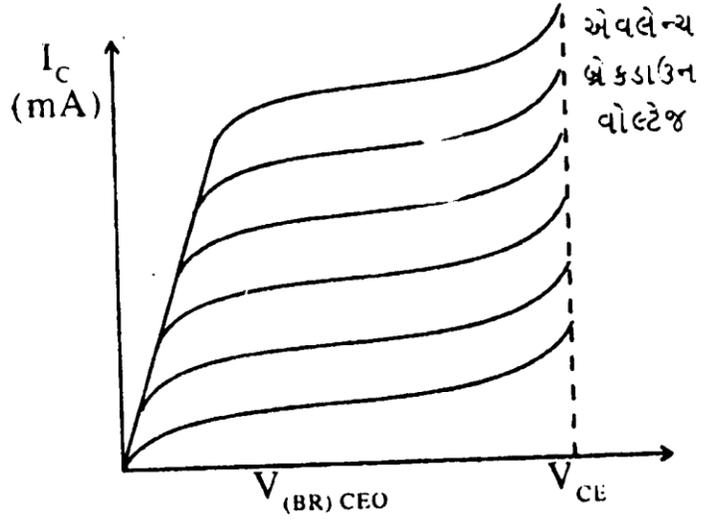
આકૃતિ (9)

આકૃતિ (9) દર્શાવે છે કે β નું મૂલ્ય કલેક્ટર પ્રવાહ I_C અને તાપમાન પર પણ આધારિત છે. તાપમાન વધારતાં h_{FE} નું મૂલ્ય વધે છે.

$I_C = 25 \text{ mA}$ માટે β નું મૂલ્ય મહત્તમ મળે છે. આ મહત્તમ મૂલ્યની ડાબી બાજુના વિસ્તારમાં $h_{fe} > h_{FE}$ હોય છે જ્યારે જમણી બાજુના વિસ્તારમાં $h_{fe} < h_{FE}$ હોય છે. કલેક્ટર પ્રવાહ I_C ના 5 mA થી 50 mA ના વિસ્તારમાં h_{fe} અથવા h_{FE} ના મૂલ્યોમાં ફક્ત $\pm 5\%$ જેટલો ફેરફાર થતો હોય છે.

[E] ટ્રાન્ઝીસ્ટરની મહત્તમ પાવર ક્ષમતા :

જ્યારે PN જંકશન ડાયોડના બે છેડા વચ્ચે રિવર્સ બાયસ વોલ્ટેજનું મૂલ્ય વધારવામાં આવે છે ત્યારે કોઈ એક મૂલ્ય માટે, ડાયોડમાંથી પસાર થતા પ્રવાહનું મૂલ્ય એકાએક વધી જાય છે. આ મૂલ્યને બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ અથવા એવલેન્ચ વોલ્ટેજ (Avalanche voltage) કહે છે. આ જ રીતે CE જોડાણમાં કલેક્ટર જંકશનના બે છેડા વચ્ચે V_{CE} નું મૂલ્ય વધારતાં, એવલેન્ચ વોલ્ટેજ આગળ કલેક્ટર પ્રવાહ I_C નું મૂલ્ય એકાએક વધે છે. (જુઓ આકૃતિ 10). ટ્રાન્ઝીસ્ટરમાં આપણને બે પ્રકારના બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ મળે છે.



આકૃતિ (10)

- (i) $V_{(BR)CBO}$: ટ્રાન્ઝીસ્ટરનો એમિટર ટર્મિનલ ખુલ્લો રાખી કલેક્ટર અને બેઝ જંકશન પાસે મળતા બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ અથવા એવલેન્ચ વોલ્ટેજને $V_{(BR)CBO}$ કહે છે.
- (ii) $V_{(BR)CEO}$: ટ્રાન્ઝીસ્ટરનો બેઝ ટર્મિનલ ખુલ્લો રાખી કલેક્ટર અને એમિટર ટર્મિનલ વચ્ચે મળતા બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજને $V_{(BR)CEO}$ કહે છે. સામાન્ય રીતે $V_{(BR)CEO}$ નું મૂલ્ય, $V_{(BR)CBO}$ ના મૂલ્યના 40 થી 50 % જેટલું હોય છે. ટ્રાન્ઝીસ્ટરને લાગુ પાડેલ વોલ્ટેજ V_{CE} હંમેશા $V_{(BR)CEO}$ કરતાં ઓછો હોવો જરૂરી છે નહીં તો ટ્રાન્ઝીસ્ટરને નુકશાન થવાની સંભાવના રહે છે.

ટ્રાન્ઝીસ્ટરની ડેટા બુકમાં આપણને ટ્રાન્ઝીસ્ટર માટે ત્રણ પ્રકારના મહત્તમ રેટીંગ જાણવા મળે છે.

- (i) કલેક્ટર જંકશનમાં થતો મહત્તમ પાવરનો વ્યય $P_{c \max}$.
- (ii) મહત્તમ કલેક્ટર પ્રવાહ $I_{c \max}$.
- (iii) મહત્તમ કલેક્ટર એમિટર વોલ્ટેજ V_{CEmax} .

BC 108 ટ્રાન્ઝીસ્ટર માટેના ડેટા નીચે મુજબ છે.

$$P_{c \max} = p_{t \max} = 250 \text{ mW.}$$

$$I_{c \max} = 100 \text{ mA.}$$

$$V_{CEmax} = 30 \text{ V.}$$

CE પરિપથ માટે ટ્રાન્ઝીસ્ટરમાં થતો મહત્તમ પાવરનો વ્યય નીચે મુજબ લખી શકાય.

$$P_{c \max} = V_{CE} \cdot I_C \quad \dots (6)$$

આ સમીકરણનો ઉપયોગ કરી ટ્રાન્ઝીસ્ટરની આઉટપુટ લાક્ષણિકતા પર મહત્તમ પાવર વ્યય (maximum power dissipation) માટેનો વક્ર દોરી શકાય. આ વક્ર પરવલય આકારનો હોય છે.

આ વક્ર દોરવા માટે સમી. (6)માં I_C ના જુદાં જુદાં મૂલ્યો મૂકી V_{CE} ની ગણતરી કરો.

દા.ત. BC 108 ટ્રાન્ઝિસ્ટર માટે $P_{c \max} = 250 \text{ mW}$ છે.

$$I_C = 5 \text{ mA માટે,}$$

$$V_{CE} = \frac{P_{c \max}}{I_C} = \frac{250 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-3}} = 25 \text{ V.}$$

આલેખ પરનું બિંદુ A (5 mA, 25V) મળશે.

$$I_C = 25 \text{ mA માટે,}$$

$$V_{CE} = \frac{250 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-3}} = 10 \text{ V.}$$

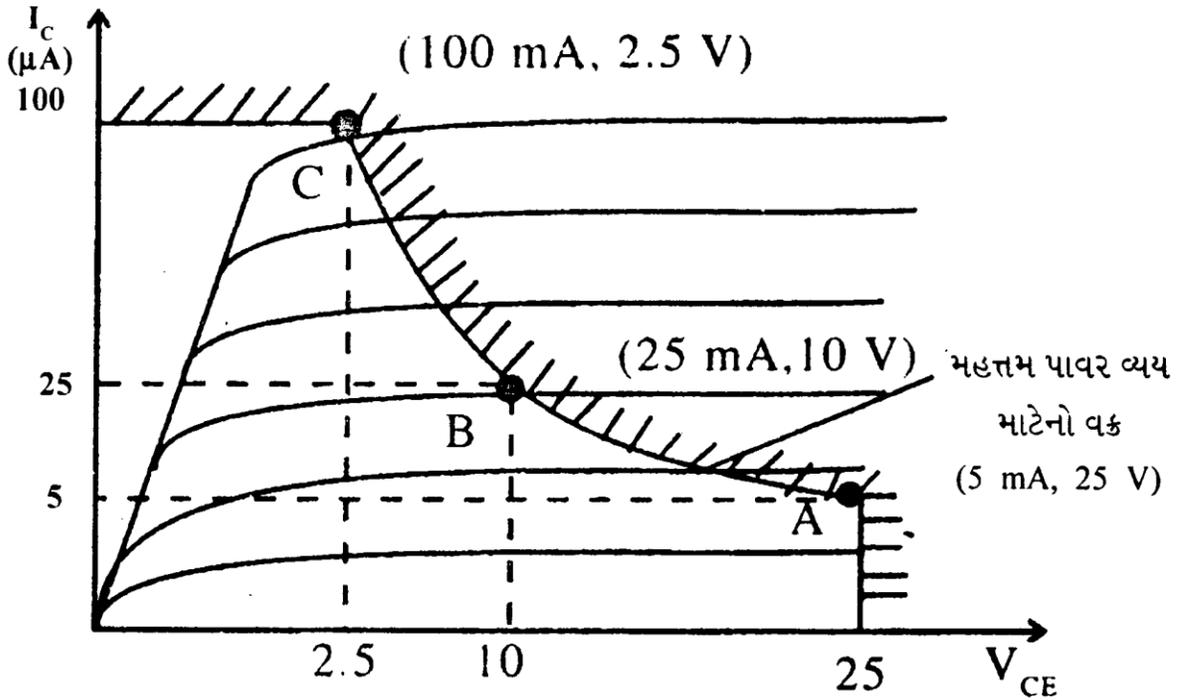
આલેખ પરનું બિંદુ B (25 mA, 10V) મળશે.

$$I_C = 100 \text{ mA માટે,}$$

$$V_{CE} = \frac{250 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-3}} = 2.5 \text{ V}$$

આલેખ પરનું બિંદુ C (100 mA, 2.5V) મળશે.

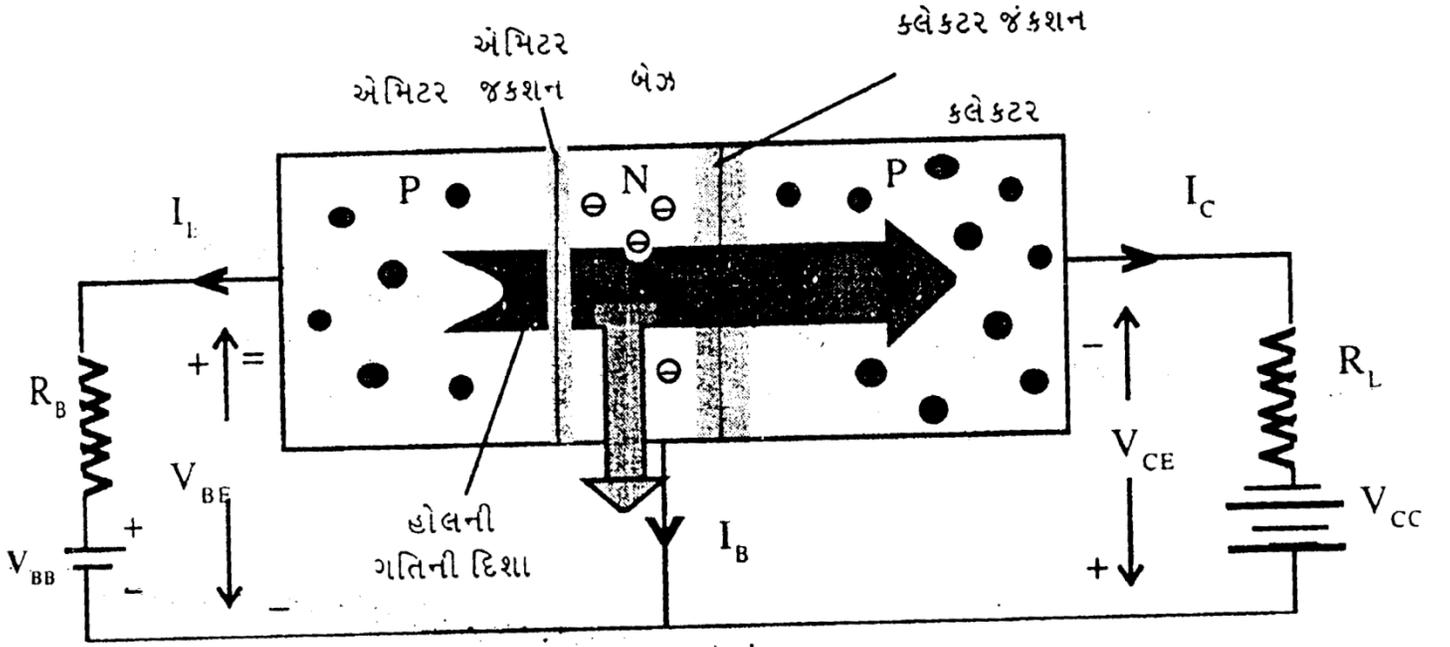
આ ત્રણેય બિંદુઓ A, B અને C ને જોડતાં આપણને મહત્તમ પાવર વ્યય માટેનો વક્ર મળશે.



ટ્રાન્ઝિસ્ટરને કાર્યશીલ કરવા માટે આ પાવર વક્રની અંદરના ભાગના વિસ્તારનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. વક્રની બહારના વિસ્તારમાં ટ્રાન્ઝિસ્ટરને નુકશાન થવાની સંભાવના રહે છે.

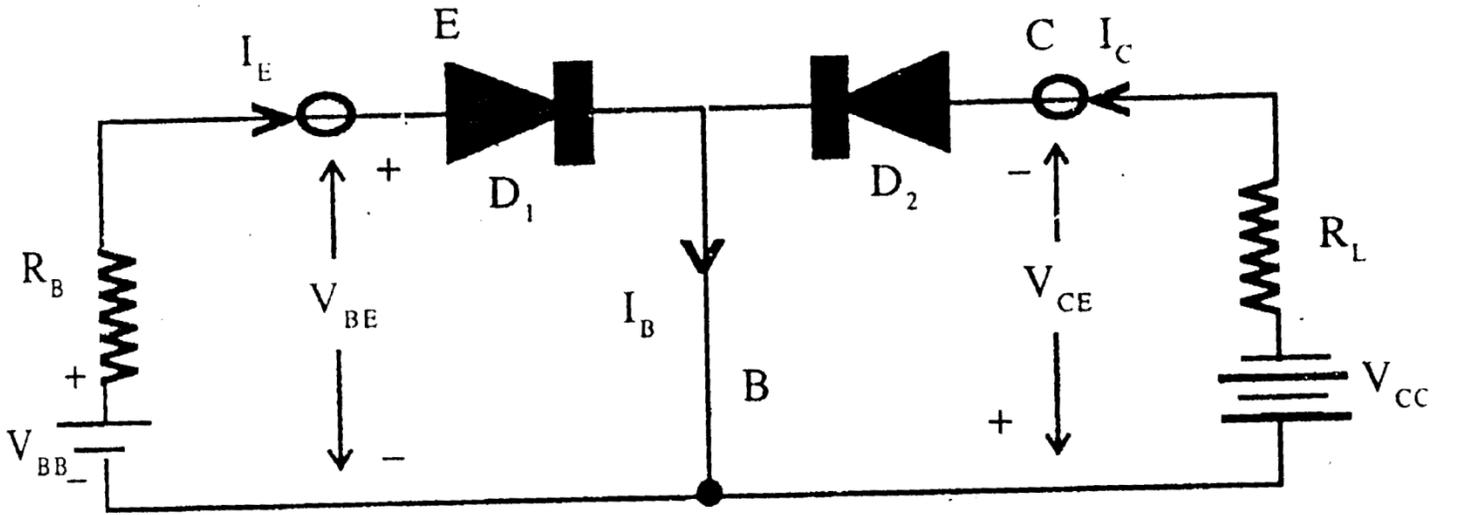
5. કોમન-બેઝ પરિપથ (CB amplifier configuration) :

આકૃતિ (12)માં P-N-P ટ્રાન્ઝિસ્ટરને કોમન બેઝ જોડાણમાં દર્શાવેલ છે. અહીં ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો બેઝ ટર્મિનલ ઈનપુટ અને આઉટપુટ ટર્મિનલના સંદર્ભમાં કોમન છે.



આકૃતિ (12)

PNP ટ્રાન્ઝિસ્ટરને બે PN જંકશન ડાયોડના front-to-front જોડાણ વડે આકૃતિ (13)માં દર્શાવેલ છે.



આકૃતિ (13)

ડાયોડ D_1 , PNP ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો એમિટર જંકશન દર્શાવે છે અને ડાયોડ D_2 એ કલેક્ટર જંકશન દર્શાવે છે. ટ્રાન્ઝિસ્ટરને કાર્યશીલ કરવા માટે એમિટર જંકશન (ડાયોડ D_1) ને V_{EE} બેટરી દ્વારા ફોરવર્ડ બાયસ આપવામાં આવે છે અને કલેક્ટર જંકશન (ડાયોડ D_2) ને V_{CC} બેટરી દ્વારા રિવર્સ બાયસ આપવામાં આવે છે. એમિટર જંકશન ફોરવર્ડ બાયસ હોવાથી તે જંકશન પાસે ડેપ્લેશન સ્ટરની પહોળાઈ ઘણી ઓછી હોય છે. જ્યારે કલેક્ટર જંકશન રિવર્સ બાયસ હોવાથી તે જંકશન પાસે ડેપ્લેશન સ્ટરની પહોળાઈ વધુ હોય છે. PNP ટ્રાન્ઝિસ્ટરનું એમિટરમાં મેજોરીટી ચાર્જ કેરિયર હોલ હોય છે અને બેઝમાં ઇલેક્ટ્રોન હોય છે.

એમિટર જંકશન ફોરવર્ડ બાયસ થવાથી V_{CE} બેટરીની અસર હેઠળ એમિટરમાંથી હોલ (NPN ટ્રાન્ઝિસ્ટરમાં ઇલેક્ટ્રોન) સહેલાઈથી બેઝમાં દાખલ થાય છે જેને આપણે એમિટર પ્રવાહ I_E કહી શકીએ. બેઝ વિભાગ સાંકડો હોવાથી તેમ જ અશુદ્ધિનું પ્રમાણ ઓછું હોવાથી એમિટરમાંથી બેઝમાં આવતા હોલમાંથી આશરે 2 % હોલ બેઝમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રોન સાથે સંયોજાય છે જે બેઝ પ્રવાહ I_B નું નિર્માણ કરે છે. બાકીના આશરે 98 % હોલ્સ કલેક્ટર જંકશન માટે માઈનોરીટી ચાર્જ કેરિયર થતાં હોવાથી V_{CC} બેટરીની અસર હેઠળ કલેક્ટર જંકશન તરફ આકર્ષાય છે. કલેક્ટર જંકશનમાં દાખલ થતાં આ હોલ, કલેક્ટર પ્રવાહ I_C નું નિર્માણ કરે છે.

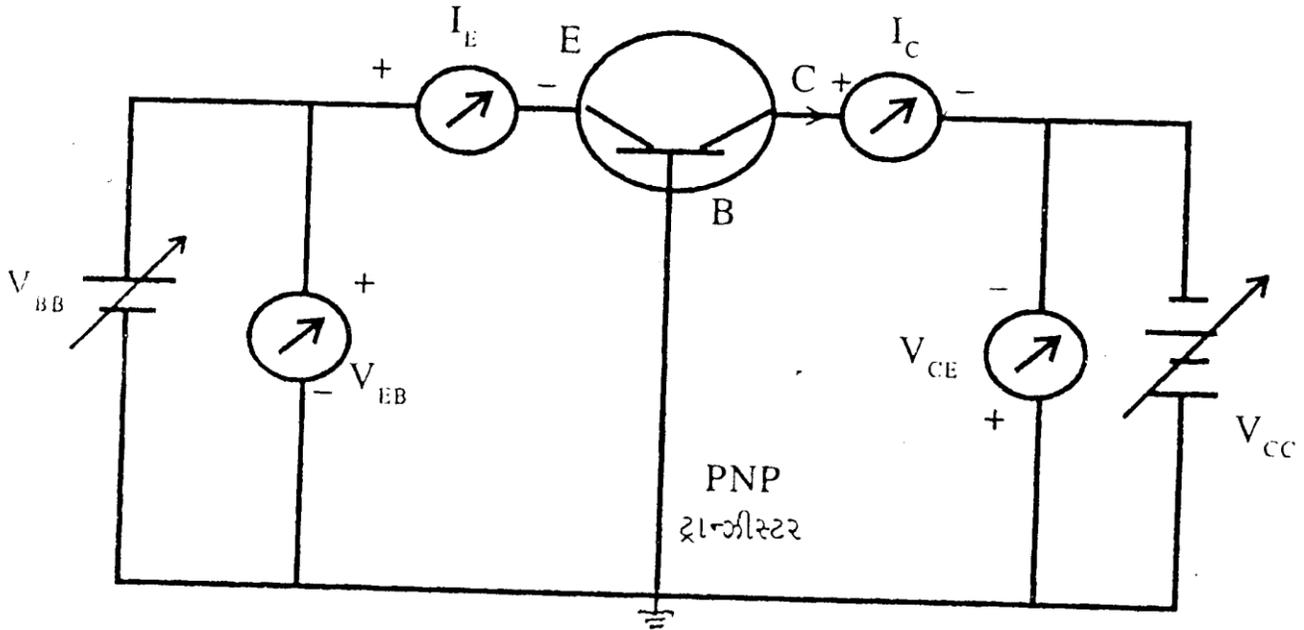
આમ, C_B જોડાણમાં પણ એમિટર પ્રવાહ I_E એ બેઝ પ્રવાહ I_B અને કલેક્ટર પ્રવાહ I_C નું સંયોજન છે.

$$\therefore I_E = I_B + I_C \quad \dots (7)$$

અહીં બેઝ પ્રવાહ I_B એ માઈનોરીટી ચાર્જ કેરિયર ના કમનો હોય છે જ્યારે I_E અને I_C પ્રવાહ મિલિએમ્પિયરના કમનો હોય છે.

6. CB પરિપથની લાક્ષણિકતાઓ :

CB પરિપથની લાક્ષણિકતાઓ મેળવવા માટેનો પરિપથ આકૃતિ (14)માં દર્શાવેલ છે.



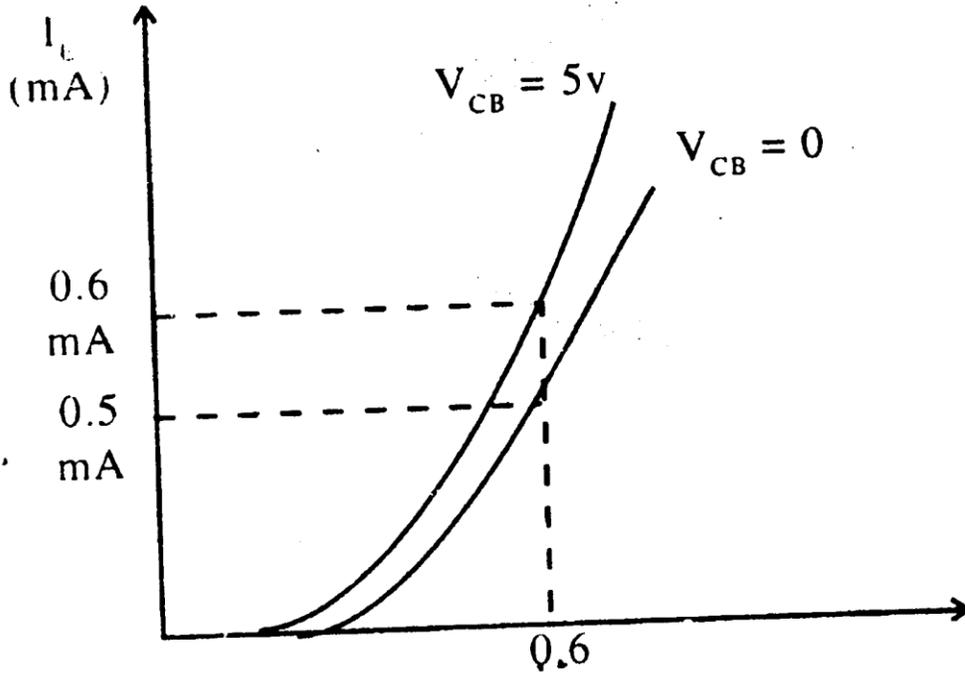
આકૃતિ (14)

[A] ઈનપુટ લાક્ષણિકતાઓ ($I_E \rightarrow V_{EB}$) :

સૌ પ્રથમ $V_{CB} = 0$ રાખી, V_{EB} વોલ્ટેજ શૂન્યથી લઈ 1 V સુધી યોગ્ય ગાળામાં બદલતા જઈ એમિટર પ્રવાહ I_E નોંધો. ત્યારબાદ V_{CB} ના કોઈ એક ઊંચા મૂલ્ય (દા.ત. $V_{CB} = 5V$) રાખી પ્રયોગનું પુનરાવર્તન કરો.

$I_E \rightarrow V_{EB}$ નો આલેખ દોરો જે ટ્રાન્ઝિસ્ટરના કૉમન બેઝ જોડાણની ઈનપુટ લાક્ષણિકતા આપશે. આવી એક લાક્ષણિકતા આકૃતિ (15)માં દર્શાવેલ છે. આલેખ પરથી જોઈ શકાય છે કે,

જ્યારે $V_{CB} = 0$ હોય અને એમિટર જંકશન ફોરવર્ડ બાયસ હોય ત્યારે એમિટર-બેઝ જંકશન સાદા PN જંકશન ડાયોડની જેમ વર્તે છે. તેથી તેની ઈનપુટ લાક્ષણિકતા PN જંકશન ડાયોડ જેવી હોય છે.

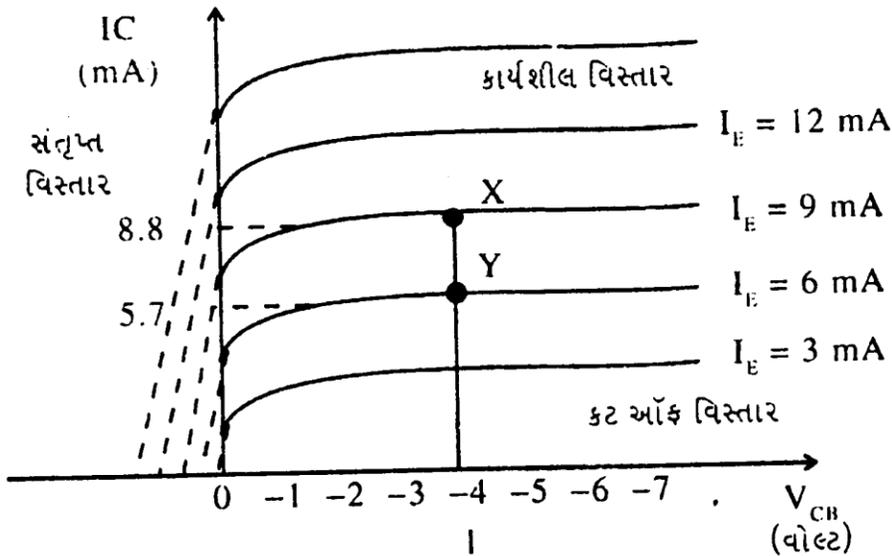


આકૃતિ (15)

V_{EB} ના કોઈ એક અચળ મૂલ્ય માટે V_{CB} વોલ્ટેજ વધારતાં કલેક્ટર જંક્શન પાસે ડેપ્લેશન સ્તરની પહોળાઈ વધે છે તેથી અસરકારક બેઝ વિસ્તાર ઘટે છે પરિણામે એમિટર પ્રવાહ I_E વધે છે.

[B] આઉટપુટ લાક્ષણિકતાઓ ($I_C \rightarrow V_{CB}$) :

CB જોડાણની આઉટપુટ લાક્ષણિકતા મેળવવા માટે એમિટર પ્રવાહ I_E અચળ રાખી, V_{CB} ના જુદાં જુદાં મૂલ્યો માટે કલેક્ટર પ્રવાહ I_C માપવામાં આવે છે. $I_C \rightarrow V_{CB}$ નો આલેખ તેની આઉટપુટ લાક્ષણિકતા આપે છે. આવી એક લાક્ષણિકતા આકૃતિ (16)માં દર્શાવી છે.



આકૃતિ (16)

લાક્ષણિક આલેખો પરથી સ્પષ્ટ છે કે I_E ના અચળ મૂલ્ય માટે, કલેક્ટર પ્રવાહ I_C , V_{CB} ના મૂલ્ય પર આધાર રાખતો નથી. એમિટર પ્રવાહ I_E નું મૂલ્ય બદલતાં I_C બદલાય છે, તેમ જ તેમનાં મૂલ્ય લગભગ સરખાં.

હોય છે. કલેક્ટર પ્રવાહ I_C ના આલેખો X અક્ષને લગભગ સમાંતર છે જે દર્શાવે છે કે ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો આઉટપુટ અવરોધ ઘણો મોટો છે.

[C] ડી.સી. પ્રવાહલબ્ધિ α (D.C. current gain) :

ટ્રાન્ઝિસ્ટરના CB પરિપથમાં કલેક્ટર પ્રવાહ I_C અને એમિટર પ્રવાહ I_E ના ગુણોત્તરને પ્રવાહલબ્ધિ α_{dc} કહેવામાં આવે છે.

$$\alpha_{dc} = \alpha = h_{FB} = \frac{I_C}{I_E} \quad \dots (8)$$

આઉટપુટ લાક્ષણિક આલેખમાં બિંદુ X આગળ α ની ગણતરી કરતાં,

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{8.8 \times 10^{-3}}{9 \times 10^{-3}} = 0.97$$

[D] એ.સી. પ્રવાહલબ્ધિ (A.C. current gain):

અચળ V_{CB} વોલ્ટેજે કલેક્ટર પ્રવાહમાં થતા ફેરફાર I_C અને તેને અનુરૂપ એમિટર પ્રવાહ I_E માં થતા ફેરફારના ગુણોત્તરને A.C પ્રવાહલબ્ધિ α_{ac} કહે છે.

$$\alpha_{ac} = h_{fb} = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} \right|_{V_{CE} = \text{અચળ}} \quad \dots (9)$$

આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ $V_{CB} = 5V$ માટે Y - અક્ષને સમાંતર રેખા દોરતાં, બિંદુ X અને Y આગળ આપણને નીચે મુજબનાં મૂલ્યો મળશે.

બિંદુ X પાસે, $I_E = 9 \text{ mA}$, $I_C = 8.8 \text{ mA}$

બિંદુ Y પાસે, $I_E = 6 \text{ mA}$, $I_C = 5.7 \text{ mA}$

$$\alpha_{ac} = h_{fb} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} = \frac{(9 - 6) \times 10^{-3}}{(8.8 - 5.7) \times 10^{-3}} = 0.97$$

અહીં આપણે જોઈ શકીએ છીએ કે, α_{ac} અને α_{dc} નાં મૂલ્યો સરખાં છે. આથી આપણે બંને પ્રકારના પ્રવાહલબ્ધિ માટે α_{dc} અને α_{ac} સંજ્ઞા વાપરવાને બદલે ફક્ત α સંજ્ઞા વાપરીશું. CB જોડાણમાં α નું મૂલ્ય હંમેશા એક કરતાં ઓછું હોય છે.

CE અને CB બંને પ્રકારના જોડાણમાં આપણે જોયું કે ઈનપુટમાં એમિટર જંકશન હંમેશા ફોરવર્ડ બાયસ હોય છે. એટલે કે તેનો અવરોધ ઓછો હોય છે. આઉટપુટમાં કલેક્ટર જંકશન રિવર્સ બાયસ હોય છે આથી તેનો અવરોધ વધારે હોય છે. આમ ટ્રાન્ઝિસ્ટર, તેના ઈનપુટમાં આપેલ સિગ્નલને (તરંગને) ઓછા અવરોધવાળા વિસ્તારમાંથી વધારે અવરોધવાળા વિસ્તારમાં તબદીલ (transfer) કરવાની ક્ષમતા ધરાવે છે. આથી તેને ટ્રાન્ઝિસ્ટર કહે છે.

Transfer + Resistor = Transistor

□ α અને β વચ્ચેનો સંબંધ :

આપણે જાણીએ છીએ કે,

$$I_E = I_B + I_C ; \alpha = \frac{I_C}{I_B} \text{ અને } \beta = \frac{I_C}{I_B}$$

હવે, $I_B = I_E - I_C$

$$\therefore \beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{I_C}{I_E - I_C}$$

$$= \frac{I_C/I_E}{(I_E - I_C)/I_E}$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad \dots (10, A)$$

$$\text{અથવા } \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad \dots (10, B)$$

ઉદાહરણો

1. આપેલા ટ્રાન્ઝીસ્ટરમાં એમિટર પ્રવાહમાં 1 mA નો ફેરફાર કરતાં, કલેક્ટર પ્રવાહમાં 0.992 mA જેટલો ફેરફાર થાય છે, તો,

- CB પરિપથ માટે ટ્રાન્ઝીસ્ટરની પ્રવાહલબ્ધિ અને
- CE પરિપથ માટે ટ્રાન્ઝીસ્ટરની પ્રવાહલબ્ધિ ગણો.

$$\Delta I_E = 1 \text{ mA} ; \Delta I_C = 0.992 \text{ mA}$$

CB પરિપથ માટે,

$$\text{પ્રવાહલબ્ધિ } \alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} = \frac{0.992 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-3}} = 0.992$$

CE પરિપથ માટે,

$$\text{પ્રવાહલબ્ધિ } \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \frac{0.992}{1 - 0.992} = 124$$

2. આપેલ ટ્રાન્ઝીસ્ટરનો $\alpha = 0.97$ છે. ટ્રાન્ઝીસ્ટરના CE જોડાણમાં જો બેઝ પ્રવાહમાં $200 \mu\text{A}$ નો ફેરફાર થતો હોય તો કલેક્ટર પ્રવાહમાં કેટલો ફેરફાર થશે ?

$$\alpha = 0.97 ; \Delta I_B = 200 \mu\text{A} \equiv 0.2 \text{ mA}$$

CE જોડાણ માટે,

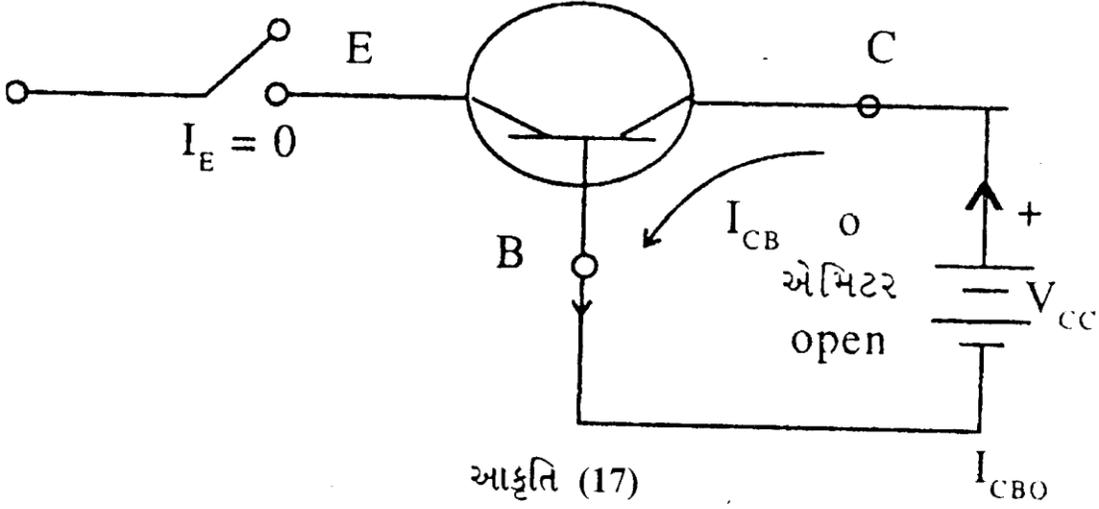
$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \frac{0.97}{1 - 0.97} = 32.3$$

$$\text{હવે, } \beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

$$\begin{aligned} \therefore \Delta I_C &= \beta \cdot \Delta I_B = (32.3) (0.2 \times 10^{-3}) \\ &= 6.46 \text{ mA.} \end{aligned}$$

7. ટ્રાન્ઝિસ્ટરમાં લીકેજ પ્રવાહો (Leakage currents in Transistor) :

(i) કોમન-બેઝ પરિપથમાં લીકેજ પ્રવાહ (I_{CBO}) :



કોમન-બેઝ પરિપથમાં જ્યારે એમિટર ટર્મિનલને ખુલ્લો કરવામાં આવે (એટલે કે $I_E = 0$) અને કલેક્ટર બેઝ જંક્શન રિવર્સ બાયસ હોય ત્યારે, કલેક્ટરમાંથી બેઝ તરફ થોડા પ્રમાણમાં પ્રવાહ વહે છે. આ પ્રવાહને કલેક્ટર-બેઝ લીકેજ પ્રવાહ અથવા રીવર્સ સંતૃપ્ત પ્રવાહ (reverse saturation current) I_{CBO} કહે છે. I_{CBO} માં 'O' subscript એમિટર ટર્મિનલ open છે તેનું સૂચન કરે છે. આ પ્રવાહને કલેક્ટર કટ્ ઓફ પ્રવાહ I_{CO} તરીકે પણ ઓળખવામાં આવે છે.

□ I_C , I_E અને I_{CBO} વચ્ચેનો સંબંધ :

કોમન બેઝ પરિપથમાં આપણને મળતો કલેક્ટર પ્રવાહ I_C નીચેના બે ઘટકોને કારણે મળે છે.

(i) એમિટર પ્રવાહનો અમુક ભાગ જે કલેક્ટર સુધી પહોંચે છે. i.e. αI_E

(ii) કલેક્ટર-બેઝ લીકેજ પ્રવાહ I_{CBO} .

\therefore કુલ કલેક્ટર પ્રવાહ,

$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO} \quad \dots (11)$$

$$\text{અથવા } I_C = \alpha I_E + I_{CO} \quad \dots (12)$$

□ I_C , I_B અને I_{CBO} વચ્ચેનો સંબંધ :

સ.ક. (11)માં $I_E = I_C + I_B$ મૂકતાં,

$$I_C = \alpha (I_C + I_B) + I_{CBO}$$

$$\therefore (1 - \alpha) I_C = \alpha I_B + I_{CBO}$$

$$\therefore I_C = \left(\frac{\alpha}{1 - \alpha} \right) I_B + \left(\frac{1}{1 - \alpha} \right) I_{CBO} \quad \dots (13)$$

$$\text{હવે, } \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \beta$$

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

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

સમી. (13)માં ઉપરના મૂલ્યનો ઉપયોગ કરતાં,

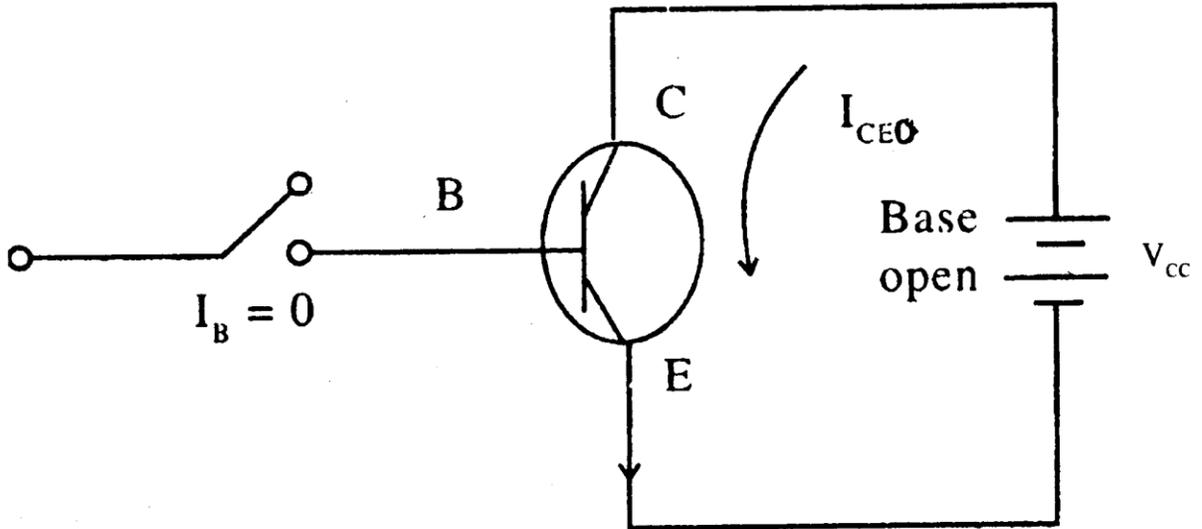
$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CBO} \quad \dots (14)$$

અથવા

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CO} \quad \dots (15)$$

સમી. (14) એ CE પરિપથમાં વહેતા કલેક્ટર પ્રવાહનું સમીકરણ છે.

(ii) કોમન-એમિટર પરિપથમાં લીકેજ પ્રવાહ (I_{CEO}) :



આકૃતિ (18)

કોમન-એમિટર પરિપથમાં બેઝ ટર્મિનલને ખુલ્લો કરતાં એટલે કે $I_B = 0$ હોય ત્યારે ટ્રાન્ઝિસ્ટરનું કલેક્ટરથી એમિટર જંકશન તરફ વહેતા પ્રવાહને લીકેજ પ્રવાહ I_{CEO} અથવા કટ્ ઓફ પ્રવાહ કહેવામાં આવે છે. આમ, CE પરિપથમાં મળતો કુલ કલેક્ટર પ્રવાહ I_C નીચેના બે ઘટકોને લીધે મળે છે.

(i) એમિટર પ્રવાહનો અમુક ભાગ જે કલેક્ટર સુધી પહોંચે છે. i.e. βI_B .

(ii) કલેક્ટર એમિટર લીકેજ પ્રવાહ I_{CEO} .

$$\text{કુલ કલેક્ટર પ્રવાહ, } I_C = \beta I_B + I_{CEO} \quad \dots (16)$$

સમી. (14) અને (16)ને સરખાવતાં,

$$I_{CEO} = (\beta + 1) I_{CBO} \quad \dots (17)$$

આ સમીકરણ દર્શાવે છે કે CE જોડાણમાં વહેતો લીકેજ પ્રવાહ I_{CEO} , CB જોડાણમાં વહેતા લીકેજ પ્રવાહ કરતાં $(\beta + 1)$ ઘણો મોટો છે. લીકેજ પ્રવાહ I_{CBO} નું મૂલ્ય તાપમાન પર આધારિત છે. આથી તાપમાન વધતાં લીકેજ પ્રવાહ I_{CEO} નું મૂલ્ય ઝડપથી વધે છે.

ઓરડાના તાપમાને Si અને Ge અર્ધવાહકમાંથી બનાવેલ ટ્રાન્ઝિસ્ટરમાં વહેતાં લીકેજ પ્રવાહનાં મૂલ્યો નીચે મુજબ છે.

સિલિકોન ટ્રાન્ઝિસ્ટર : $I_{CBO} \approx 0.1 \mu A$ થી $1 \mu A$; $I_{CEO} \approx 20 \mu A$

જર્મેનિયમ ટ્રાન્ઝિસ્ટર : $I_{CBO} \approx 2 \mu A$ થી $5 \mu A$; $I_{CEO} \approx 500 \mu A$

ઉપરના આંકડા દર્શાવે છે કે જર્મેનિયમ પ્રકારના ટ્રાન્ઝિસ્ટરમાં લીકેજ પ્રવાહનું મૂલ્ય મોટું હોય છે. આ પ્રકારના ટ્રાન્ઝિસ્ટરમાં $10^\circ C$ તાપમાનના વધારા સાથે લીકેજ પ્રવાહ I_{CBO} નું મૂલ્ય લગભગ બમણું થાય છે.

ઉદાહરણ : આપેલ ટ્રાન્ઝિસ્ટર માટે $\beta = 100$ અને $I_{CBO} = 5 \mu A$ છે. CE પરિપથમાં જોડતાં, ટ્રાન્ઝિસ્ટરમાં વહેતો કલેક્ટર પ્રવાહ $1 mA$ હોય તો, I_B , I_E , α અને I_{CEO} ગણો.

$$\beta = 100 ; I_{CBO} = 5 \mu A ; I_C = 1 mA = 1000 \mu A$$

$$(i) \quad I_E = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CBO}$$

$$\therefore I_B = \frac{I_C - (\beta + 1) I_{CBO}}{\beta} = \frac{1000 \times 10^{-6} - (100 + 1) 5 \times 10^{-6}}{100} = 4.95 \mu A$$

$$(ii) \quad I_E = I_B + I_C = 4.95 \mu A + 1000 \mu A = 1.00495 mA.$$

$$(iii) \quad \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} = \frac{100}{100 + 1} = 0.99$$

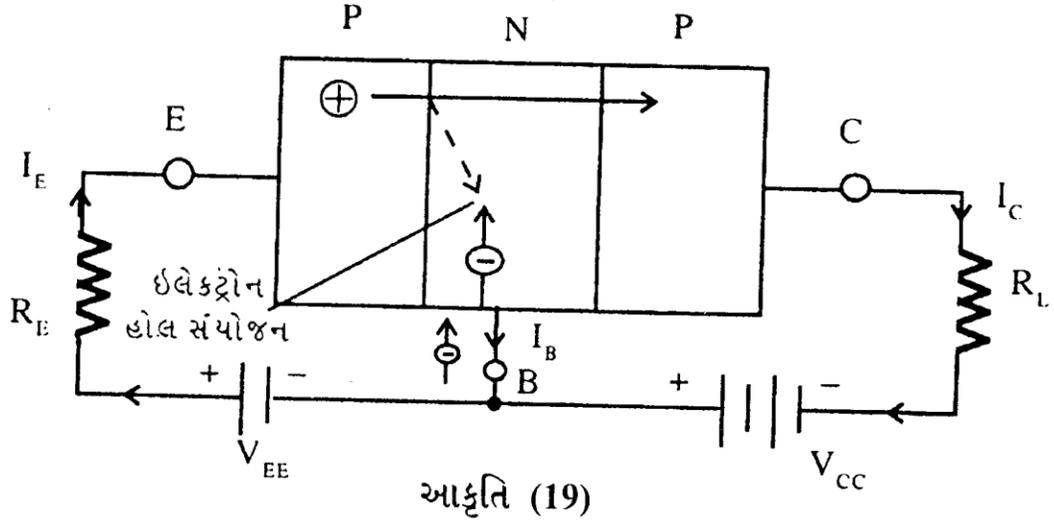
$$(iv) \quad I_{CEO} = (\beta + 1) I_{CBO} = (100 + 1) 5 \mu A. \\ = 505 \mu A$$

8. CB અને CE એમ્પ્લિફાયરની ભૌતિક સમજૂતી :

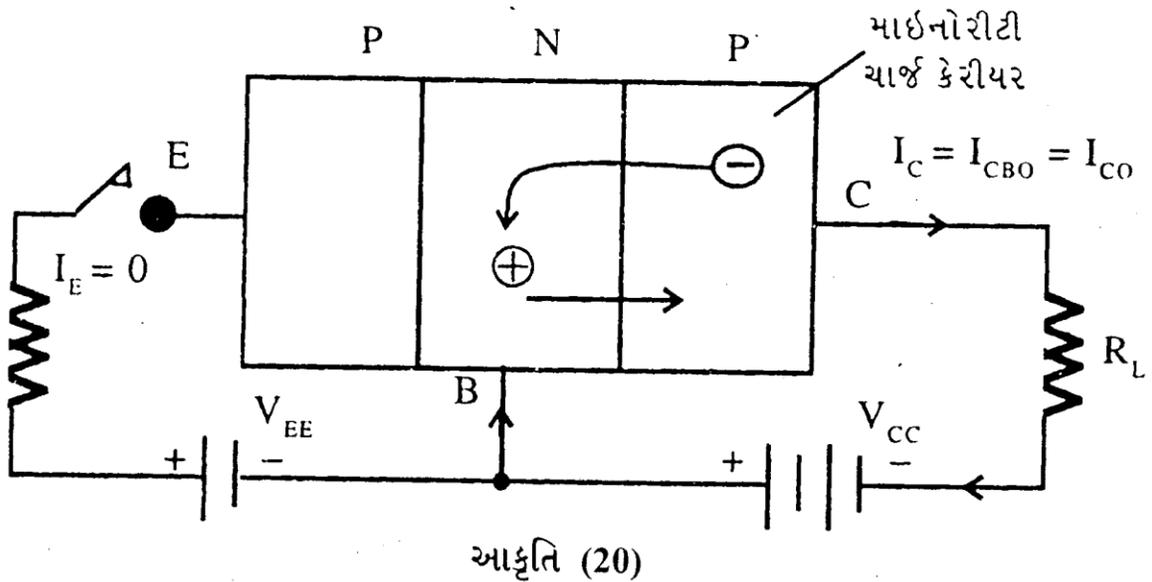
પ્રકરણની શરૂઆતના ભાગમાં આપણે CB અને CE એમ્પ્લિફાયરની ઈનપુટ અને આઉટપુટ લાક્ષણિકતાઓ તથા તેમાંથી વહેતા લીકેજ પ્રવાહો વિશે ચર્ચા કરી. અહીં આપણે આ બંને પરિપથોમાં વહેતા વિદ્યુતપ્રવાહો વિશે જરા વિસ્તારથી ચર્ચા કરીશું.

[A] CB પરિપથમાં થતી ક્રિયા :

આગળ આપણે જોઈ ગયા કે સામાન્ય સ્થિતિમાં CB પરિપથમાં, એમિટર બેઝ જંકશનને ફોરવર્ડ બાયસ આપવામાં આવે છે, અને કલેક્ટર બેઝ જંકશનને રિવર્સ બાયસ આપવામાં આવે છે. આથી કલેક્ટર બેઝ જંકશન leaky diode તરીકે વર્તે છે, પરંતુ CB પરિપથ માટે આ સત્ય નથી.



આકૃતિ (19)માં PNP ટ્રાન્ઝીસ્ટરનું CB જોડાણ કરવામાં આવ્યું છે. એમિટર વિભાગમાં હોલ (holes) અને બેઝ વિભાગમાં ઇલેક્ટ્રોન મેજોરીટી ચાર્જ કેરિયર તરીકે છે. V_{EE} બેટરી દ્વારા એમિટર બેઝ જંક્શનને ફોરવર્ડ બાયસ લાગુ પાડતાં એમિટર વિભાગમાંથી હોલ, બેઝ તરફ ધકેલાય છે. બેઝ વિભાગમાં અશુદ્ધિનું પ્રમાણ એમિટર અને કલેક્ટર કરતાં ઓછું હોવાથી તેમ જ તેની પહોળાઈ ઘણી ઓછી (આશરે કુલ ટ્રાન્ઝીસ્ટરની લંબાઈના 2% જેટલી) હોવાથી એમિટરમાંથી આવતા હોલ, બેઝમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રોન સાથે ઓછા પ્રમાણમાં સંયોજાય છે. આશરે 98 % જેટલા હોલ બેઝમાંથી પસાર થઈ કલેક્ટર વિભાગમાં દાખલ થાય છે. પરિણામે મળતો કલેક્ટર પ્રવાહ I_C કલેક્ટર બેઝ વચ્ચે લાગુ પાડેલ વોલ્ટેજ V_{CB} થી સ્વતંત્ર હોય છે. આથી CB જોડાણની આઉટપુટ લાક્ષણિકતાઓ આપણને લગભગ સીધી રેખાઓ (flat lines) મળે છે. બાકી રહેલા 2 % હોલ માટે જરૂરી ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા V_{EE} બેટરી પૂરા પાડે છે, જે બેઝ પ્રવાહ I_B નું નિર્માણ કરે છે, (જુઓ આકૃતિ 19) I_B નું મૂલ્ય માઈક્રોએમ્પિયરના ક્રમનું હોય છે. આથી એમિટર પ્રવાહ I_E અને કલેક્ટર પ્રવાહ I_C ના મૂલ્યમાં બહુ ફેરફાર થતો નથી.



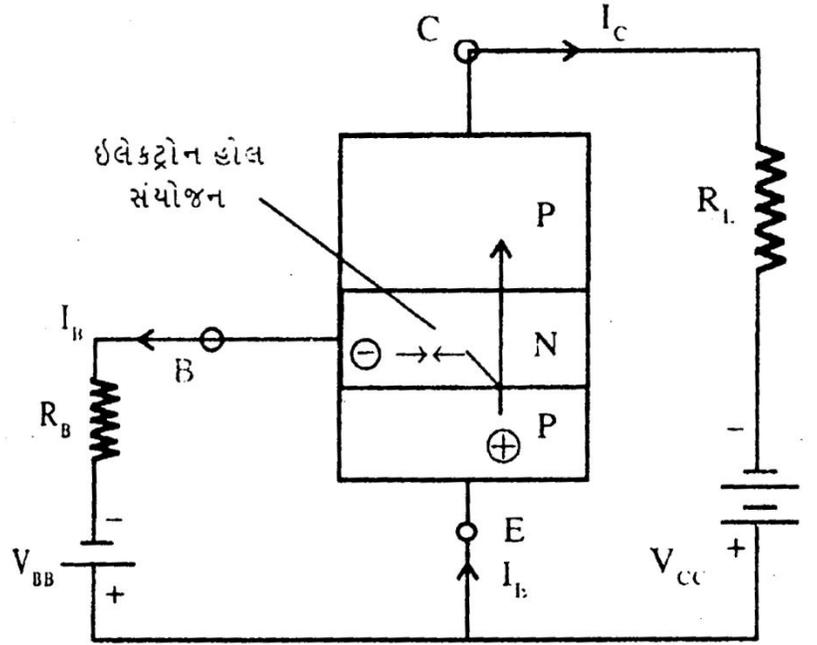
હવે જો બેટરી V_{EE} ને પરિપથમાંથી દૂર કરવામાં આવે એટલે કે એમિટર-બેઝ જંક્શન પરનું ફોરવર્ડ બાયસ દૂર કરતાં, V_{CC} બેટરી માટેનો પરિપથ પૂર્ણ થતો નથી. આથી એમિટર વિભાગમાંના હોલ કલેક્ટર વિભાગમાં જઈ શકતા નથી.

પરિપથમાં ફક્ત V_{CC} બેટરી રહેતાં, તે કલેક્ટર બેઝ જંકશનને રિવર્સ બાયસ પૂરો પાડે છે જેથી જંકશન પાસેના ડેપ્લેશન સ્ટરની પહોળાઈ વધે છે અને જંકશનમાંથી ફક્ત માઈનોરીટી ચાર્જ કેરિયર (બેઝ વિભાગના હોલ અને કલેક્ટર વિભાગના ઇલેક્ટ્રોન) પસાર થઈ રિવર્સ સંતૃપ્ત પ્રવાહ કે લીકેજ પ્રવાહ I_{CO} નું નિર્માણ કરે છે જેનું મૂલ્ય ઘણું જ ઓછું હોય છે.

આમ, આપણે જોઈ શકીએ છીએ કે પરિપથમાં V_{EE} બેટરી હોય ત્યારે અને પરિપથમાંથી તેને દૂર કર્યા બાદ પણ બેઝ ટર્મિનલમાં વહેતો પ્રવાહ ઘણો જ ઓછો હોય છે. એટલે કે V_{EE} બેટરી દૂર કર્યા બાદ પણ N પ્રકારનો બેઝ જંકશન પાસે પૂરતા પ્રમાણમાં બેરિયર (barrier) ઉત્પન્ન કરે છે જેથી તેમાં વહેતો પ્રવાહ લગભગ નહિવત્ હોય છે. આગળ CE એમ્પ્લીફાયરના વર્ણનમાં આપણે જોયું કે કલેક્ટર-બેઝ જંકશન ડાયોડ leaky diode તરીકે વર્તે છે, પરંતુ CB પરિપથમાં તેમ કહી શકાય નહિ.

[B] CE પરિપથમાં થતી ક્રિયા :

આકૃતિ (20, A)માં PNP ટ્રાન્ઝિસ્ટરને CE પરિપથમાં દર્શાવેલ છે. બેઝ-એમિટર જંકશન ફોરવર્ડ બાયસ હોવાથી, V_{CC} બેટરી, એમિટર વિભાગમાં હોલ દાખલ કરે છે જે ઓછી અશુદ્ધિ ધરાવતા બેઝમાંથી પસાર થઈ કલેક્ટર વિભાગમાં દાખલ થાય છે. લગભગ 98 % જેટલા હોલ કલેક્ટરમાં દાખલ થઈ મોટો રિવર્સ પ્રવાહ આપે છે. એટલે કે આ જંકશન leaky diode તરીકે વર્તે છે. બાકી રહેલા 2 % જેટલાં હોલ N પ્રકારના બેઝ વિભાગમાંના ઇલેક્ટ્રોન સાથે સંયોજાય છે. V_{BB} બેટરી બેઝને ઈન્વર્સ પ્રમાણમાં ઇલેક્ટ્રોન પૂરું પાડવાનું કાર્ય કરે છે જે બેઝ પ્રવાહ I_B નું નિર્માણ કરે છે. જો ફોરવર્ડ બાયસ વોલ્ટેજ V_{BE} નું મૂલ્ય ઓછું કરવામાં આવે તો બેઝમાં દાખલ થતા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા ઘટે છે અને બેઝ પ્રવાહ I_B ઘટે છે. તેમજ એમિટરમાંથી કલેક્ટર તરફ જતાં હોલની સંખ્યામાં સારો એવો ઘટાડો થાય છે, અને કલેક્ટર પ્રવાહ I_C ઘટે છે. આમ બેઝ પ્રવાહ I_B માં થોડો પણ ફેરફાર કરવામાં આવે તો કલેક્ટર પ્રવાહ I_C માં મોટો ફેરફાર થાય છે.



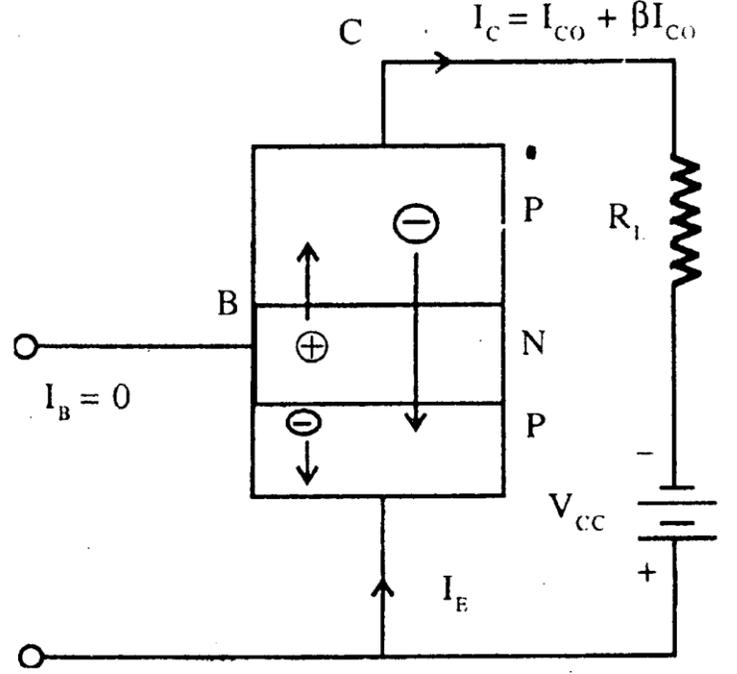
આકૃતિ (20 A)

જો રિવર્સ બાયસ વોલ્ટેજ V_{CC} નું મૂલ્ય વધારવામાં આવે તો કલેક્ટર અને બેઝ વચ્ચેના ડેપ્લેશન સ્ટર (વ્યાજ ચાર્જ વિસ્તાર)ની પહોળાઈ વધે છે, અને બેઝ વિભાગનો અસરકારક વિસ્તાર ઘટે છે. આમ, બેઝ વિભાગની પહોળાઈ, કલેક્ટર એમિટર વોલ્ટેજ V_{CE} પર આધાર રાખે છે. આ ઘટનાને **Early effect** કહે છે. બેઝ વિભાગની પહોળાઈ ઘટતાં બેઝમાં સંયોજન પામતાં ઇલેક્ટ્રોન હોલની સંખ્યા ઘટે છે, તેથી વધુ પ્રમાણમાં હોલ કલેક્ટર

વિભાગમાં દાખલ થાય છે. પરિણામે કલેક્ટર પ્રવાહ I_C વધે છે. CE પરિપથમાંની આઉટપુટ લાક્ષણિકતાનું આપણે જોઈ શકીએ છીએ કે મળતા આલેખો ઢાળવાળા હોય છે. આ દર્શાવે છે કે α અને β નું મૂલ્ય V_{CE} વોલ્ટેજના વધારા સાથે વધે છે.

આકૃતિ (21) માં દર્શાવ્યા મુજબ જો ટ્રાન્ઝીસ્ટરનો બેઝ ટર્મિનલ ખુલ્લો કરવામાં આવે તો કલેક્ટરથી એમિટર તરફ લીકેજ પ્રવાહ I_{CEO} વહે છે. CB પરિપથમાં મળતો લીકેજ પ્રવાહ I_{CO} , માઈનોરીટી ચાર્જ કેરિયરને લીધે મળે છે પરંતુ CE જોડાણમાં આ પ્રવાહ બેઝ એમિટર જંકશન પાસે થતી ઇલેક્ટ્રોનની ગતિને લીધે મળે છે.

ઇલેક્ટ્રોનની આ ગતિ બેઝ એમિટર જંકશનને થોડા પ્રમાણમાં ફોરવર્ડ બાયસ કરે છે. (લગભગ 30 mV જેટલો) અને તે I_{CO} જેટલો બેઝ પ્રવાહ વહેતો હોય તેમ વર્તે છે. આ વોલ્ટેજ તફાવતને લીધે એમિટરમાંથી હોલ, કલેક્ટર બેઝ જંકશન તરફ ગતિ કરી βI_{CO} જેટલો વધારાનો કલેક્ટર પ્રવાહ ઉત્પન્ન કરે છે.



આકૃતિ (21)

$$I_C = \beta I_B = \beta I_{CO}$$

આથી બેઝ ટર્મિનલ ખુલ્લો હોય ત્યારે CE પરિપથમાં મળતો કુલ લીકેજ પ્રવાહ,

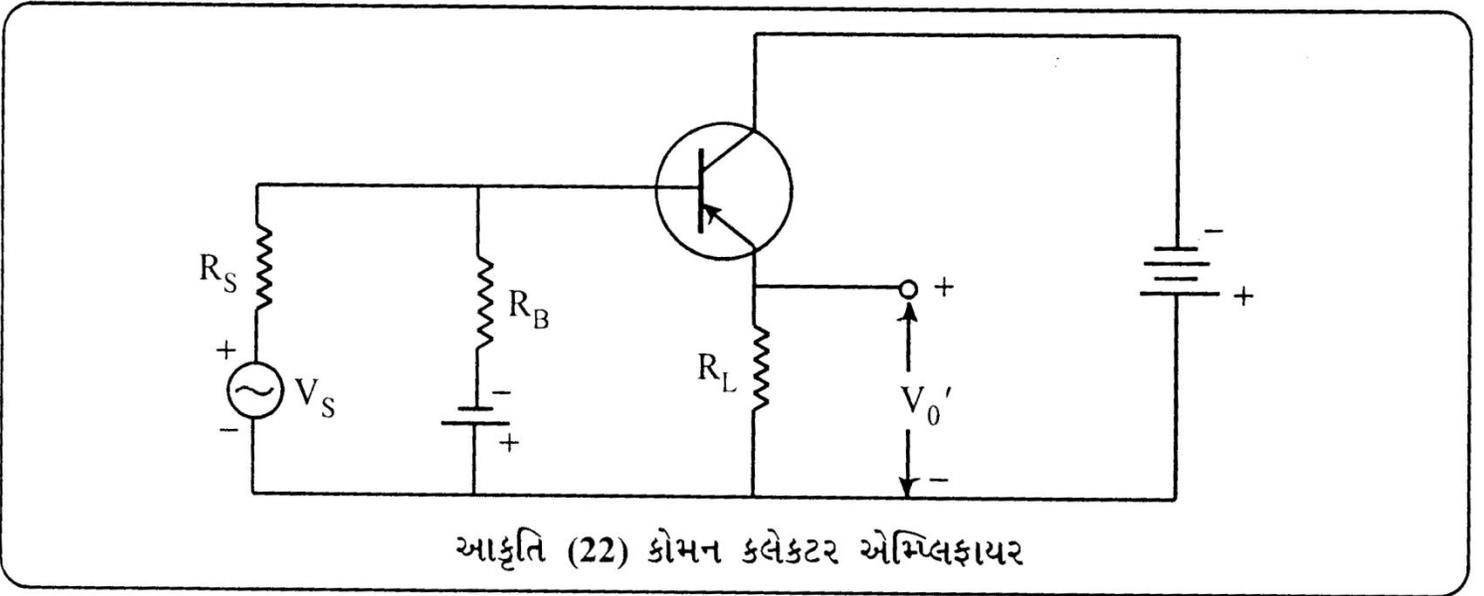
$$I_{CO} + \beta I_{CO} = (\beta + 1) I_{CO}$$

થાય, જેને આપણે લીકેજ પ્રવાહ I_{CEO} તરીકે ઓળખીએ છીએ. (જુઓ સમી. 17)

❖ કોમન કલેક્ટર એમ્પ્લિફાયર :

હવે આપણે કોમન કલેક્ટર પ્રકારની સંરચના વિષે ટૂંકમાં વાત કરીશું. આ CC પ્રકારની સંરચનાને એમીટર ફોલોવર પણ કહે છે. આ રચનામાં પરિપથ CE ના પરિપથ જેવો જ હોય છે, માત્ર તફાવત એટલું છે કે હવે આઉટપુટ એ કલેક્ટરને બદલે એમીટરના છેડામાં લેવામાં આવે છે. આવો પરિપથ નીચેની આકૃતિ (22) માં દર્શાવ્યો છે.

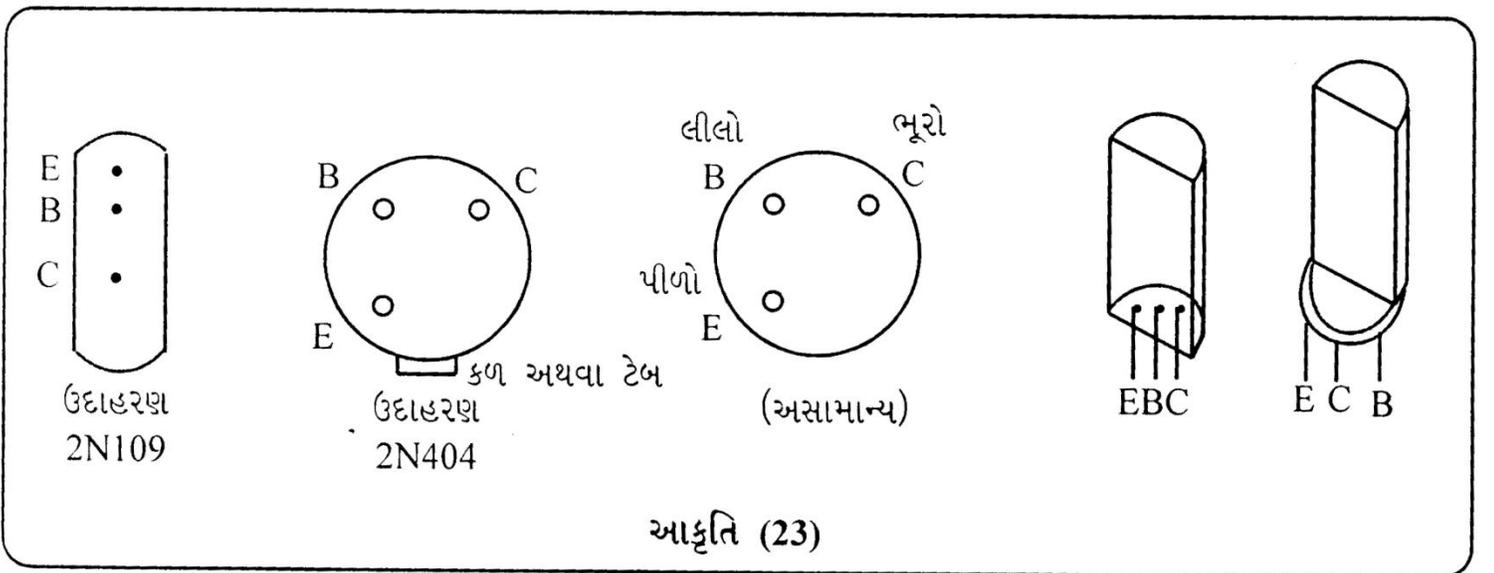
જ્યાં સુધી ઇલેક્ટ્રોન્સ અને હોલ્સની ગતિઓને લાગે વળગે છે, ત્યાં સુધી અત્રે પણ ભૌતિક સમજૂતી CE સંરચના માટે અપાતી સમજૂતી જેવી જ છે. આ સંરચનામાં કોમન કલેક્ટર વોલ્ટેજ ગેઈન દર્શાવતું નથી અને તેથી $A_v < 1$. પરંતુ આ પરિપથમાં પ્રવાહ ગેઈન A_i અને પાવર ગેઈન A_p મળી શકે છે.



❖ ટ્રાન્ઝિસ્ટર અને તેના છેડાઓની ઓળખ :

NPN અને PNP ટ્રાન્ઝિસ્ટરોની સંજ્ઞાઓ આપણે પ્રસ્તુત પ્રકરણની આકૃતિ (1)માં આપેલ છે. બન્ને કેસમાં એમીટર પર મૂકેલા તીરની દિશાઓ ધ્યાનપૂર્વક તમે જોઈ જ હશે. જો કે આવા તીરો માત્ર કાગળ પરની આકૃતિમાં હોય છે. પ્રયોગશાળામાં તમને ટ્રાન્ઝિસ્ટર આપવામાં આવે તો તેના પર આવાં તીર હોતાં નથી. પ્રથમ તો આપણને જે ટ્રાન્ઝિસ્ટર આપવામાં આવે તે PNP પ્રકારનો કે NPN પ્રકારનો છે તે નક્કી કરવું પડે. આ માટે ટ્રાન્ઝિસ્ટર મેન્યુઅલનો ઉપયોગ કરવો જોઈએ. આવા મેન્યુઅલમાં ટ્રાન્ઝિસ્ટરના નંબર (દા.ત. 2N109) આપવામાં આવ્યા હોય છે. આ નંબરને આધારે ટ્રાન્ઝિસ્ટરની ઓળખાણ મેળવી શકાય.

હવે જુદા જુદા માઉન્ટિંગના કિસ્સામાં બેઈજ, એમીટર અને કલેક્ટરના છેડાઓ કેવી રીતે નક્કી કરાય તે નીચેની આકૃતિમાં દર્શાવ્યું છે. આ આકૃતિમાં આપણે પાવર ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો સમાવેશ કર્યો નથી.



આપણે બેઈજ અને એમીટર વચ્ચેનો અવરોધ માપીને પણ ટ્રાન્ઝિસ્ટરનો પ્રકાર NPN કે PNP જાણી શકીએ.

સ્વાધ્યાય

- (1) ટ્રાન્ઝીસ્ટર એટલે શું ? તેને બનાવવાની રીતોની ચર્ચા કરો.
- (2) દ્વિ-ધ્રુવી ટ્રાન્ઝીસ્ટર (Bi-polar Transistor) એટલે શું ? તેના પ્રકાર લખો. PNP અથવા NPN ટ્રાન્ઝીસ્ટરના ત્રણ જુદા જુદા પ્રકારના બેઝીક જોડાણો ઈનપુટ અને આઉટપુટમાં બેટરી જોડીને ચર્ચો.
- (3) NPN ટ્રાન્ઝીસ્ટર માટે કોમન એમીટર (CE) નું બેઝીક જોડાણ દોરો અને તેનું કાર્ય સમજાવો.
- (4) કોમન એમીટર પરિપથની સ્થિત લાક્ષણિકતાઓ માટેનો વિદ્યુત પરિપથ દોરીને ઈનપુટ અને આઉટપુટ લાક્ષણિકતાઓના આલેખ દોરીને ચર્ચા કરો.
- (5) CE પરિપથ દોરીને D.C. પ્રવાહ લબ્ધિ અને A.C. પ્રવાહ લબ્ધિની ચર્ચા કરો.
- (6) ટ્રાન્ઝીસ્ટરની મહત્તમ પાવર કાર્યક્ષમતા સમજાવો.
- (7) PNP ટ્રાન્ઝીસ્ટર માટે CB પરિપથનો બેઝીક જોડાણ દોરો, અને તેનું કાર્ય સમજાવો.
- (8) CB પરિપથની ઈનપુટ અને આઉટપુટ લાક્ષણિકતાઓનો આલેખ દોરીને ચર્ચા કરો. તેના માટે D.C. પ્રવાહ લબ્ધિ અને A.C. પ્રવાહ લબ્ધિની વ્યાખ્યા આપો.
- (9) CB અને CE પરિપથ માટે પ્રવાહ લબ્ધિ α અને β વચ્ચેનો સંબંધ સ્થાપિત કરો.
- (10) કોમન બેઝ ટ્રાન્ઝીસ્ટરમાં લીકેજ પ્રવાહ (Leakage current) આકૃતિ દોરી સમજાવી I_C, I_E, I_B, I_{CBO} ના સંબંધ મેળવો.
- (11) CB અને CE એમ્પ્લિફાયરની ભૌતિક સમજૂતી પરિપથ દોરીને સમજાવો.

