

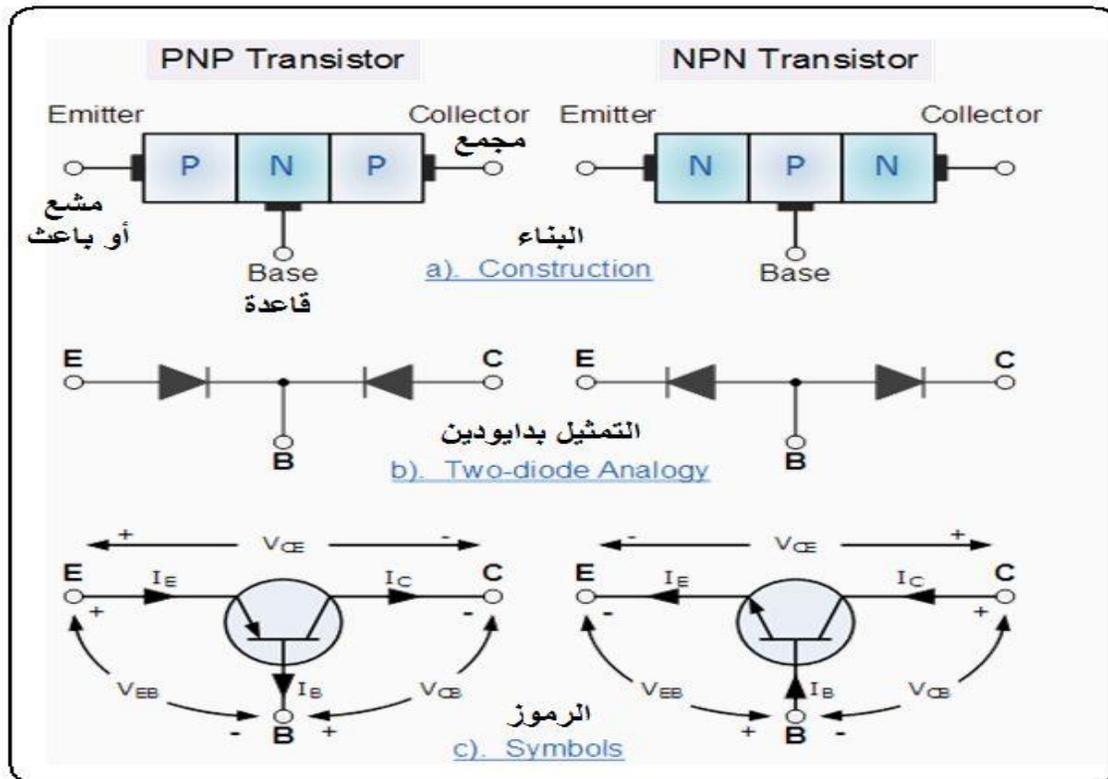
## الترانزستور (Transistor)

الترانزستور هو جهاز مصنوع من مواد شبه موصلة متكون من وصلتين PN وثلاثة اطراف ولهذا فهو مماثل للصمام الثلاثي في عمله. وتدلل التسمية على طبيعة عمل الجهاز فالمقطع (trans) فهو اختصار كلمة (transfer) يشير الى الخاصية التي يمتلكها الجهاز في نقل الاشارة من دائرة الادخال ذات المقاومة الصغيرة الى دائرة الاخراج ذات المقاومة العالية من غير نقصان يذكر او بشكل مكبر. اما الجزء (istor) فهو اختصار كلمة (resistor) فتصف الجهاز بانه عنصر صلب من عائلة المقاومة. وقد استعيض بالترانزستور عن الصمامات في كثير من الدوائر الالكترونية وذلك لانه:

1. صغير الحجم جداً بالمقارنة مع الصمامات.
2. لا يحتاج الى تسخين او فتيلة.
3. لا يستهلك طاقة كبيرة.
4. عمره طويل جداً ولا تتأثر خواصه مع الزمن.
5. لا يتأثر بالاهتزازات او الكدمات اثناء التشغيل.

### الخصائص الاساسية للترانزستور

أ. المكونات: يتكون الترانزستور من بلورة واحدة من شبه الموصل (سليكون او جيرمانيوم) بثلاث مناطق يكون ترتيبها على هيئة NPN او PNP.



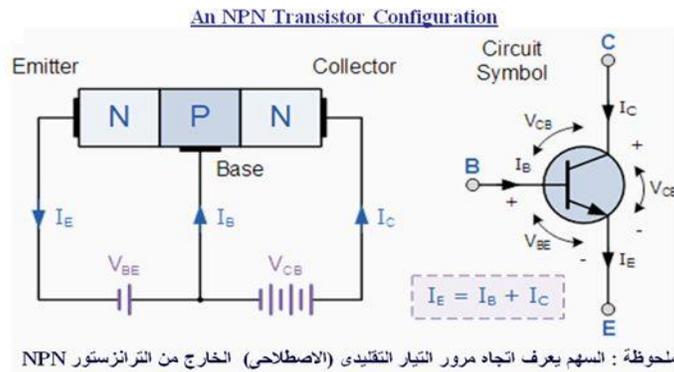
شكل (5-1) تركيب ورمز الترانزستور PNP و NPN.

ويتشابه عمل النوعين PNP و NPN من حيث المبدأ الا ان قطبية الجهد المجهز واتجاه التيار في الترانزستورين متعاكس. وسنركز في شرحنا على الترانزستور نوع NPN.

تسمى المنطقة الاولى بالباعث (Emitter) الذي يكون فيه منسوب التطعيم عالياً، اما المنطقة الثانية فتسمى بالقاعدة (Base) وتكون دائماً ضيقة وبحدود (بضعة مايكرومترات) وذات نسبة تشويب قليلة بالمقارنة مع منطقتي الباعث والجامع (وهذا شرط اساسي لعمل الترانزستور) لكي تقلل من احتمال التحام الالكترونات الهاربة من الباعث باتجاه الجامع مع فجوات منطقة القاعدة في حالة الترانزستور نوع NPN. اما المنطقة الثالثة فتسمى بالجامع (Collector) الذي يتراوح تطعيمه بين التطعيم الغزير للباعث والتطعيم الخفيف للقاعدة، وتكون مساحته هي الأكبر وفي كثير من الترانزستورات متصل مع الغطاء لتبديد الحرارة ( $i^2R$ ). يقوم الباعث المنحاز بجهد امامي بحقن الكتروناته الى القاعدة والتي تقوم بدورها بتمرير معظم هذه الالكترونات باتجاه المجمع المنحاز عكسياً (مقاومته عالية).

ب. رمز الترانزستور: يكون رمز الترانزستور في الدوائر الالكترونية هو كما مبين في الشكل (1-5-5). يمتلك الباعث سهماً واتجاه السهم يشير الى اتجاه تيار الباعث، فإذا كان للخارج يكون من نوع NPN واذا كان للداخل يكون من نوع PNP.

ج. مبدأ عمل الترانزستور: يعمل الترانزستور عند انحياز وصلة الباعث- القاعدة امامياً، وانحياز وصلة الجامع- القاعدة عكسياً (دائرة انحياز امامي- عكسي). حيث يزود المصدر  $V_{EB}$  وصلة الباعث- القاعدة بالانحياز الامامي بينما يزود المصدر  $V_{CB}$  وصلة الجامع- القاعدة بالانحياز العكسي.



شكل (5-2) دائرة انحياز امامي- عكسي للترانزستور

في لحظة تسليط الانحياز الامامي على ثنائي الباعث- القاعدة لا تكون الكترونات الباعث قد دخلت منطقة القاعدة الا بعد ان تصبح  $V_{EB}$  أكبر من الجهد الحاجز، عندها يبدأ الباعث بحقن الكتروناته الى القاعدة مؤدياً بذلك الى احداث تيار في دائرة الباعث يدعى بتيار الباعث ( $I_E$ ). وبما ان نسبة التطعيم في القاعدة (فجوات) تكون قليلة لذا فإن بعض الكترونات الباعث يسقط في بعض هذه الفجوات (عملية اعادة التحام) ويتم تعويض الفجوات من المصدر مكونة تيار فجوات ضعيف ( $\mu A$ ) يسمى بتيار القاعدة ( $I_B$ ). اما ما تبقى من الالكترونات (معظمها) سيمر باتجاه الجامع ذو الربط العكسي حيث تواجه منحدر جمد كبير يشكل مصدر جذب لهذه الالكترونات يضاف لهذا التيار تيار ضعيف يتولد في منطقة الاستنزاف بسبب الحرارة (توليد زوج الكترون- فجوة) ويكون ضعيف ايضاً ( $\mu A$ ) ويسمى بتيار التسرب ( $I_{CO}$ ) وان هذان التياران يكونان تيار الجامع ( $I_C$ ). من هنا يتضح مبدأ عمل الترانزستور في ان جهد وصلة الباعث- القاعدة يؤثر على تيار الجامع كثيراً، فكلما زاد  $V_{EB}$  كلما زاد تيار الباعث وتبعاً لذلك يزداد تيار الجامع.

• طرق ربط الترانزستور

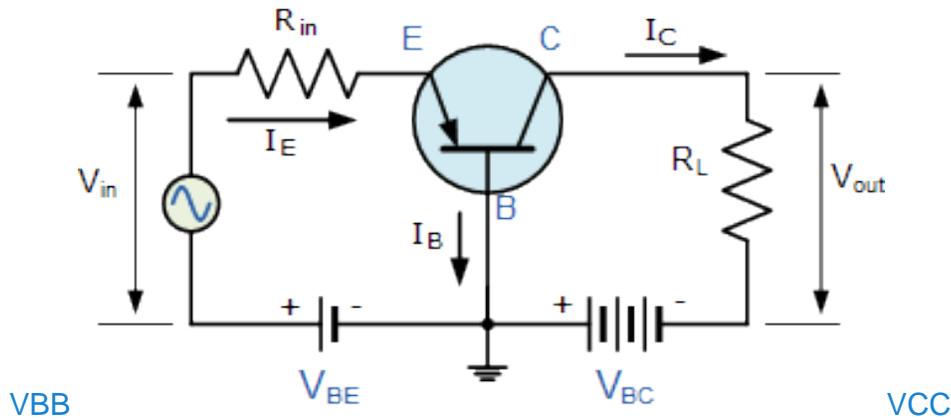
هناك ثلاث طرق لربط الترانزستور وهي:

- 1- ربط القاعدة المشترك. 2- ربط الباعث المشترك. 3- ربط الجامع المشترك.

ولكل نوع من هذه الانواع محاسنه ومساوئه, ولكن ما يجب معرفته هو ان الباعث ينحاز امامياً والجامع ينحاز عكسياً في جميع هذه الانواع من الربط.

1- ربط القاعدة المشتركة (common base)

يبين الشكل (5-3) طريقة ربط القاعدة المشتركة لترانزستور PNP حيث يربط ثنائي باعث- قاعدة امامياً وثنائي جامع- قاعدة عكسياً, وان القاعدة مشتركة بين دائرة الادخال ودائرة الاخراج.



شكل (5-3) طريقة ربط القاعدة المشتركة للترانزستور PNP

ويكون تيار الادخال  $I_E$  متولد بسبب جهد الانحياز  $V_{EB}$ . حيث تحقن القاعدة بهذا التيار والذي يفقد فيها حوالي 5% من قيمته بسبب اعادة الالتحام (اقتناص الفجوات لالكترونات القاعدة) والذي يمثل تيار القاعدة ويمر الباقي 95% منه الى الجامع ويضاف له

تيار التسرب  $I_{CBO}$  المنتج حرارياً والناشيء من توليد ازواج الكترون- فجوة في منطقة الاستنزاف.  $I_C = \alpha I_E + I_{CBO}$

ومن هذه المعادلة يتضح انه في حالة كون  $I_E$  تساوي صفر فأن  $I_C = I_{CBO}$  وانه في حالة كون  $I_{CBO}$  صغيرة بحيث يمكن اهماله

(غالباً ما يكون هذا الافتراض صحيحاً الا في درجات الحرارة العالية) تكون  $\alpha = \frac{I_C}{I_E}$ , حيث تسمى  $(\alpha)$  بمعامل التكبير في

الاشارة الكبيرة وتتراوح بين 0.9 الى 0.99 مشيرة بذلك الى ان تيار الجامع لا يختلف كثيراً عن تيار الباعث. ومن خلال تطبيق

قانون كيرشهوف للدائرة شكل (5-3):  $(I_E = I_C + I_B)$  وعند التعويض عن  $I_C$  بـ  $\alpha I_E$  باعتبار ان  $I_{CBO}$  يساوي صفر

$$I_E = \alpha I_E + I_B \rightarrow I_E(1 - \alpha) = I_B \rightarrow I_E = \frac{1}{(1-\alpha)} I_B \quad \text{وبذلك يكون:}$$

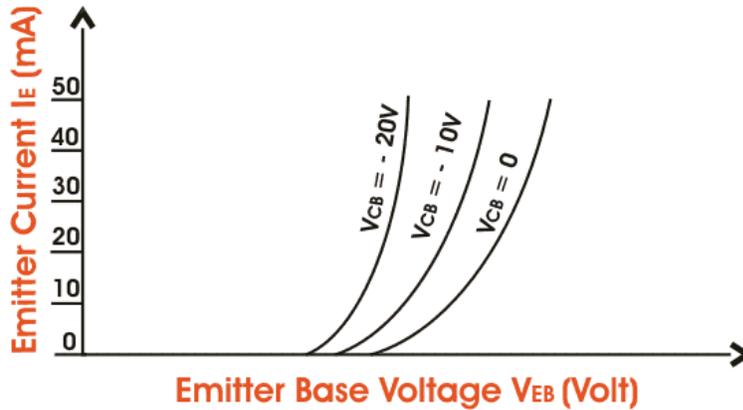
$$\alpha I_E = \frac{\alpha}{(1-\alpha)} I_B \rightarrow I_C = \beta I_B \quad (\beta = \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \text{ حيث ان})$$

وتسمى  $(\beta)$  بمعامل تكبير الاشارة الصغيرة.

● منحنيات الخواص لدائرة القاعدة المشتركة

ان التعرف بصورة كاملة على سلوك الترانزستور في الدوائر لا يتم الا من خلال التعرف على مختلف العلاقات بين الجهود والتيارات ذات العلاقة. وفي الترانزستور يوجد ترابط متبادل دائماً بين اربعة مقادير: تيارى وجهدي الادخال والايخراج  $(V_o, V_{in}, i_o, i_{in})$  وسنتناول دراسة مجموعة مميزات الدخول  $i_{in} = f(V_{in})$  مع مجموعة مميزات الاخراج  $i_o = f(V_o)$ .

أ. مميزات الادخال: تشير مميزات الادخال الى المنحني الذي يمثل العلاقة بين تيار الادخال  $I_E$  في ربط القاعدة المشتركة، وجهد الادخال اي جهد الباعث- القاعدة  $V_{EB}$  عند قيمة ثابتة من جهد الجامع- القاعدة  $V_{CB}$ ، كما ممثل في الشكل (4-5). نلاحظ:



شكل (4-5) العلاقة بين تيار الباعث وفولتية الباعث- القاعدة

1- يزداد تيار الباعث زيادة كبيرة مع زيادة صغيرة في الجهد  $V_{EB}$  مما يشير الى صغر مقاومة الادخال والتي تعرف بانها النسبة بين التغير الحاصل في جهد الباعث- القاعدة  $\Delta V_{EB}$  الى التغير الحاصل في تيار الباعث  $\Delta I_E$  عند ثبوت فولتية

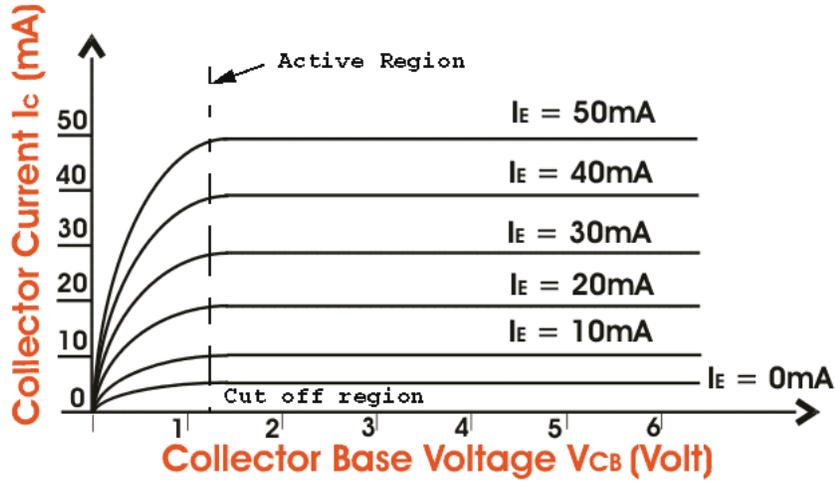
$$r_i = \left( \frac{\Delta V_{EB}}{\Delta I_E} \right)_{V_{CB}} \quad \text{الايخراج } V_{CB}$$

والمعادلة اعلاه تمثل مقدار المقاومة التي تبديها دائرة الادخال للاشارة (التيار) الداخلة  $I_E$  (وقيمتها بضع اومات).

2- على الرغم من ان تأثير زيادة زيادة  $V_{CB}$  على  $I_E$  ليس كبيراً الا انه من الواضح ان  $I_E$  عند قيمة معينة ل  $V_{EB}$  يزداد مع زيادة  $V_{CB}$ . والسبب هو عند زيادة  $V_{CB}$  (الجهد العكسي) سوف تزداد عرض منطقة الاستنزاف بين الجامع والقاعدة وتكون الزيادة على حساب عرض القاعدة وبذلك تقل مساحة القاعدة والذي يؤدي الى نقص في حالات اعادة الالتحام التي تحدث في منطقة القاعدة (تقل خسائر  $I_E$ ) وهذا يعني زيادة  $I_E$ .

ب- مميزات الاخراج: تمثل مميزات الاخراج المنحنيات التي تربط بين تيار الاخراج  $I_C$  وجهد الجامع- القاعدة  $V_{CB}$  بثبوت تيار الادخال  $I_E$ . ويتبين من هذه المنحنيات ما يلي:

- i. يتغير  $I_C$  مع  $V_{CB}$  فقط عند القيم الواطئة ل  $V_{CB}$  ( $V_{CB} < 1$ ).
- ii. ان تيار الجامع يصبح مساوياً لتيار الباعث عند ( $V_{CB} > 1$ ).
- iii. ان قيمة  $I_C$  لا تعتمد على  $V_{CB}$  عند ( $V_{CB} > 1$ ) وانما تعتمد على  $I_E$  ونلاحظ ان الزيادة الكبيرة في  $V_{CB}$  لا تقابلها الا زيادة طفيفة جداً في  $I_C$  مما يدل على كبر مقاومة الاخراج ( $r_o$ ).



شكل (5-5) منحنيات الخروج لترانزستور قاعدة مشتركة

• الكسب في الجهد ( $A_V$ ): ويعني به النسبة بين التغير في جهد الاخراج ( $\Delta V_o$ ) الى التغير في جهد الادخال ( $\Delta V_{in}$ ):

$$V_o = I_C r_o \quad (\text{فولتية الاخراج})$$

$$\Delta V_o = \Delta I_C r_o \quad \rightarrow \quad I_C = \alpha I_E \quad \rightarrow \quad \Delta V_o = \Delta \alpha I_E r_o$$

$$V_{in} = I_E r_{in} \quad \rightarrow \quad \Delta V_{in} = \Delta I_E r_{in}$$

اما جهد الادخال:

$$A_V = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_{in}} = \frac{\alpha \Delta I_E r_o}{\Delta I_E r_{in}} = \alpha \frac{r_o}{r_{in}}$$

من خلال المعادلة الاخيرة يتبين ان هناك كسباً في الفولتية كون مقاومة الاخراج في ربط القاعدة المشتركة كبيرة جداً مقارنة بمقاومة الادخال الصغيرة. الا انه في ربط القاعدة المشتركة تربط مقاومة حمل  $R_L$  في دائرة الاخراج وتكون على التوازي مع  $r_o$ . ومن المعلوم ان المقاومة المكافئة لهذا الربط تكون اصغر من اصغر مقاومة مشتركة في الربط لذا تكون المقاومة المكافئة قريبة للمقاومة

$$A_V = \alpha \frac{R_L}{r_{in}} \quad R_L, \text{ لذا يمكن كتابة المعادلة اعلاه كما يلي:}$$

وعلى الرغم من ان المقاومة  $R_L$  في دائرة الاخراج تؤدي الى حفظ الكسب في الجهد الا ان ربطها يكون للأسباب التالية:

I. التحكم في مقدار الكسب في الفولتية من خلال اختيار قيمة مناسبة لـ  $R_L$ .

II. لا يمكن زيادة الكسب الى الملائمة بزيادة  $R_L$ , لانه سوف يثبت عند قيمة معينة مهما زادت قيمة  $R_L$  لذا يجب ان تكون

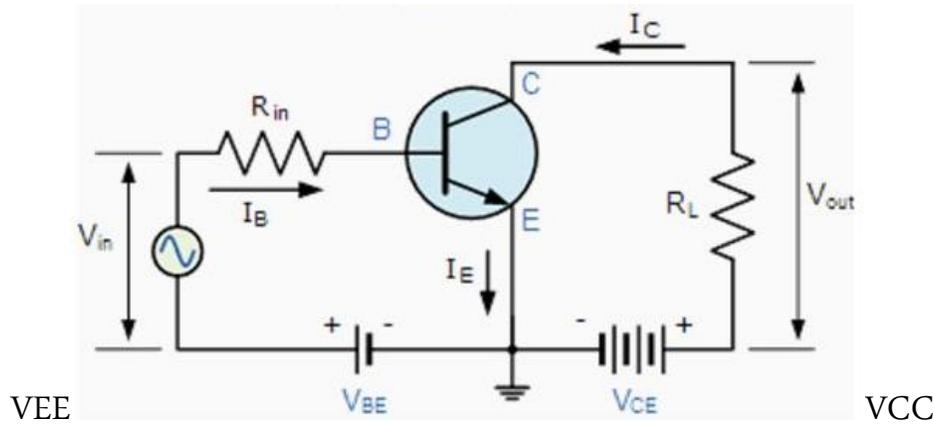
$R_L$  ذات قيمة محددة.

## 2. ربط الباعث المشترك (common emitter)

يلاحظ في هذه الدائرة ان دائرة الادخال هي القاعدة- الباعث ودائرة الاخراج هي الجامع- الباعث, وان الباعث مشترك بين

دائرتي الادخال والاخراج. حيث يتم انحياز وصلة القاعدة- الباعث امامياً بواسطة الجهد  $V_{BE}$  ووصلة الجامع- الباعث عكسياً

بواسطة  $V_{CE}$ . ويجب ان يكون  $V_{CE}$  اكبر من  $V_{BE}$ . ويعد هذا النوع من الربط من أكثر الانواع استعمالاً ومن خصائصه:



شكل (5-6) طريقة ربط الباعث المشترك للترانزستور NPN

I. عامل تكبير التيار ( $\beta$ ): هو النسبة بين تيار الادخال  $I_B$  وتيار الاخراج  $I_C$ :  
في معظم الترانزستورات (ما عدا ترانزستورات القدرة) يكون تيار القاعدة 5% من تيار الباعث وعليه تتراوح  $\beta$  من 20 الى 500 لذا يستخدم ربط الباعث المشترك في تكبير التيار.

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \rightarrow (I_E = I_C + I_B) \rightarrow I_B = I_E - I_C$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{I_C}{I_E - I_C} = \frac{\frac{I_C}{I_E}}{\frac{I_E - I_C}{I_E}} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \rightarrow \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

عند اقتراب  $\alpha$  من 1 يعني ذهاب  $\beta$  الى  $\infty$  وهذا يعني ان التكبير يكون كبير في ربط الباعث المشترك.

II. تيار التسرب  $I_{CEO}$  في ربط الباعث المشترك: يتكون تيار الجامع في ربط الباعث المشترك من مركبتين وهما الجزء المكبر من تيار القاعدة  $\beta I_B$  وتيار التسرب  $I_{CEO}$  المتولد حرارياً في دائرة الجامع-الباعث.

$$I_C = \beta I_B + I_{CEO} \dots (1) \rightarrow I_E = I_C + I_B \rightarrow I_C = \alpha I_E + I_{CBO}$$

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

$$I_C = \frac{\alpha}{1 - \alpha} I_B + \frac{1}{1 - \alpha} I_{CBO} \rightarrow I_C = \beta I_B + \frac{1}{1 - \alpha} I_{CBO}$$

بمقارنة المعادلة الاخيرة مع معادلة (1) يتضح ان  $(I_{CEO} = \frac{1}{1 - \alpha} I_{CBO})$ .

مثال / جد قيمة  $\beta$  عندما  $\alpha = 0.9$  (1)  $\alpha = 0.98$  (2)  $\alpha = 0.99$  (3).

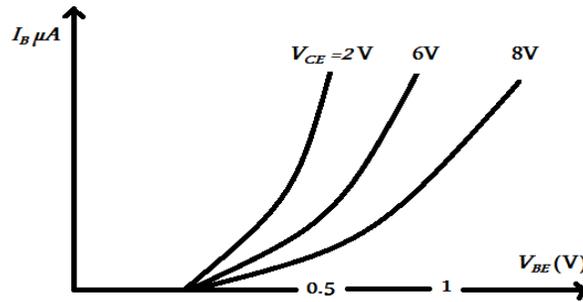
$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}, \quad (1) \beta = \frac{0.9}{1 - 0.9} = 9 \quad (2) \beta = \frac{0.98}{1 - 0.98} = 49 \quad (3) \beta = \frac{0.99}{1 - 0.99} = 99$$

مثال / احسب  $(I_E)$  عندما  $(\beta = 50)$ ,  $(I_B = 20 \mu A)$ .

$$I_E = I_B + I_C = I_B + \beta I_B = I_B(1 + \beta) = 20 \times 10^{-6}(1 + 50) = 1020 \times 10^{-6} A$$

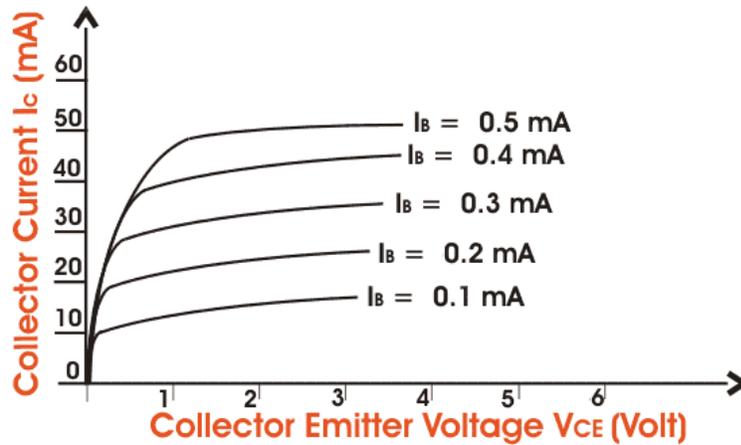
### منحنيات الخواص لربط الباعث المشترك:

أ. مميزات الادخال: تمثل مجموعة المنحنيات او المنحي الذي يربط بين تيار الادخال  $I_B$  وفولتية الادخال (القاعدة- الباعث)  $V_{BE}$  عند قيمة معينة وثابتة لفولتية الجامع- الباعث  $V_{CE}$  ويتبين من المنحي ما يلي:



شكل (5-7) تأثير زيادة  $V_{CE}$  على منحنى خواص الباعث المشترك

- 1- يشابه هذا المنحنى منحنى الخواص (I-V) لثنائي بلوري منحاز امامياً.
  - 2- بالمقارنة مع القاعدة المشتركة نلاحظ ان ازدياد  $I_B$  مع  $V_{BE}$  يكون اقل من ازدياد  $I_E$  مع  $V_{EB}$  وبهذا فإن مقاومة الادخال لدائرة (CE) أكبر مما هي عليه في دائرة (CB) حيث تبلغ  $r_i$  عدة مئات من الاومات:  $r_i = \left(\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B}\right)_{V_{CE}=cons}$ .
  - 3- ان زيادة  $V_{CE}$  تقلل من تيار القاعدة لنفس القيمة من  $V_{BE}$  بسبب زيادة طبقة الاستنزاف للجامع وبذلك يصبح عدد الالكترونات الساقطة في الفجوات اقل لذلك يقل تيار اعادة الالتحام (تيار القاعدة).
  - 4- تكون قيمة  $I_B$  صغيرة جداً وتقترب من الصفر عند ( $V_{BE} < 0.5$ ) او السالبة منها وهذا هو شرط القطع.
- ب. مميزات الاخراج: هي منحنيات العلاقة بين تيار الاخراج  $I_C$  وفولتية الاخراج  $V_{CE}$  لقيم ثابتة من تيار الادخال  $I_B$ . وتتسم



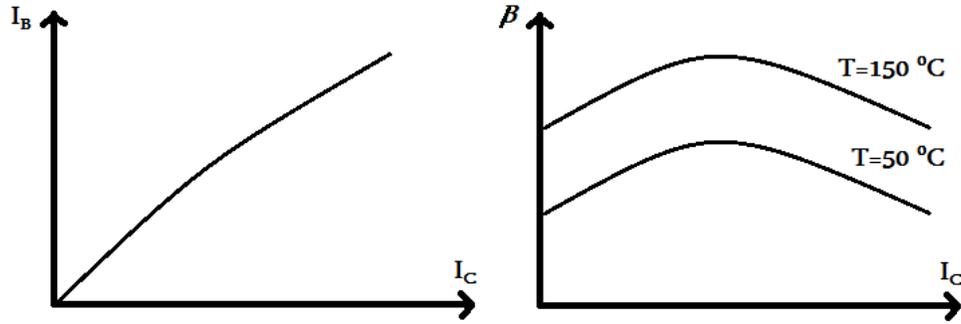
شكل (5-8) منحنيات الخواص الباعث المشترك

- 1- يتغير تيار الجامع  $I_C$  عند تغير  $V_{CE}$  بين الصفر والواحد فولت فقط ثم يصبح ثابتاً تقريباً حيث تكون هذه الفولتية كافية لسحب جميع الالكترونات الى منطقة الجامع وتسمى هذه الفولتية بفولتية الركبة (knee voltage).
  - 2- ان زيادة  $V_{CE}$  لن تؤدي الا الى زيادة طفيفة في  $I_C$  ناتجة عن زيادة عرض منطقة الاستنزاف في الجامع واعتقال اعداد قليلة اخرى من الالكترونات القاعدة قبل سقوطها، وعليه فإن مقاومة الاخراج في دائرة الباعث المشترك تكون كبيرة نوعاً ما (تقريباً  $50K\Omega$ ), اقل مما هو عليه في دائرة القاعدة المشتركة.
- $r_o = \left(\frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C}\right)_{I_B=cons}$ .

3- تقاس  $I_C$  بـ mA بينما تقاس  $I_B$  بـ  $\mu A$  لذا تكون قيمة  $I_C$  أكبر بكثير من  $I_B$  وتساوي (بعد فولتية الرتبة)  $\beta I_B$ .

4- عند  $I_B = 0$  فإن  $I_C$  يساوي تيار التسرب لدائرة الجامع- الباعث  $I_{CEO}$ .

5- تكون المسافة بين منحنيات  $I_C$  متقاربة عند قيم  $I_B$  الصغيرة وتكون متباعدة عند قيم  $I_B$  الكبيرة مما يشير الى عدم خطية العلاقة بين  $I_C$  و  $I_B$  والذي يكافئ تغير  $\beta$  مع  $I_C$ .

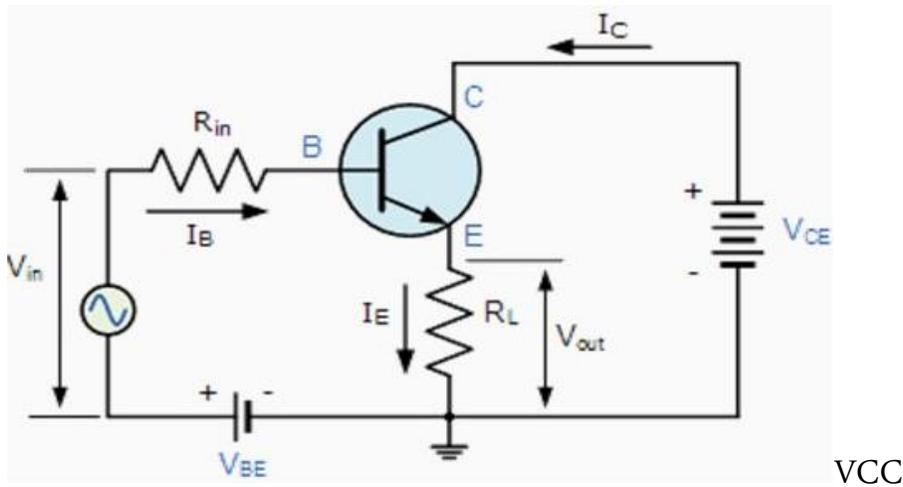


شكل (5-10) تغير  $I_C$  مع  $I_B$

شكل (5-9) تأثير درجة الحرارة على  $\beta$

### 3. ربط الجامع المشترك (common collector)

لا يختلف ربط الترانزستور بهيئة الجامع المشترك عما هو عليه في هيئة الباعث المشترك الا ان جهد الاخراج يؤخذ عادة من طرف الباعث (بعد ادخال مقاومة  $R_L$  بين الباعث والارضية) بدلاً من الجامع. من خلال قانون كيرشهوف  $V_{BB} = V_{BE} + V_E$  وبما ان  $V_{BE}$  قليل (0.7 او 0.3 فولت) لذا فإن جهد الاخراج  $V_E$  يكون مساوي تقريباً لجهد الادخال  $V_{BB}$  (اقل بقليل) لذا لا يوجد كسب في الجهد او ان دائرة الجامع المشترك لا تستخدم في تكبير اشارة الجهد.



شكل (5-11) طريقة ربط الجامع المشترك للترانزستور NPN

من جهة اخرى نلاحظ وجود كسب في التيار. حيث يرمز لعامل الكسب بالرمز  $(\gamma)$ .

$$\gamma = \frac{I_E}{I_B} = \frac{I_C + I_B}{I_B} = \frac{I_C}{I_B} + 1, \quad \beta = \frac{I_C}{I_B} \Rightarrow \therefore \gamma = \beta + 1$$

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

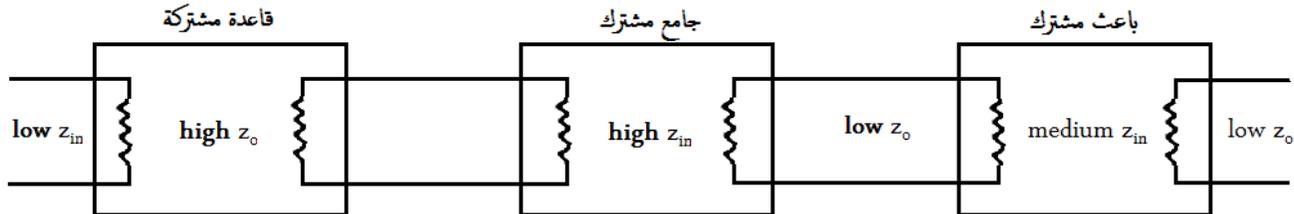
$$\gamma = \frac{1}{1-\alpha}$$

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

$$I_E - \alpha I_E = I_B + I_{CBO} \rightarrow (1 - \alpha)I_E = I_B + I_{CBO}$$

$$I_E = \gamma(I_B + I_{CBO})$$

تتميز هذه الدائرة بمقاومة ادخال عالية جداً ومقاومة اخراج واطئة جداً وبهذا فأنها تستخدم في الحالات التي يلزم فيها توافق الممانعات, حيث تقوم بسوق دائرة ذات ممانعة ادخال واطئة من دائرة ذات ممانعة اخراج عالية كما في الشكل التالي:



شكل (5-11) استخدام دائرة الجامع المشترك في الدوائر العملية

يبين الجدول مقارنة وصفية بين الانواع الثلاثة لدوائر الترانزستور, ويلاحظ من هذا الجدول بأن دائرة الباعث المشترك فوائد عديدة تميزه عن الانواع الاخرى. ولهذا السبب فهو أكثر استخداماً. اما اسوأ هذه الدوائر فهو ربط الجامع المشترك والذي يدعى بدائرة الباعث التابع (emitter follower) ولذا فانه يستخدم في تطبيقات خاصة جداً.

جدول (5-1) مقارنة وصفية لدوائر الترانزستور

ت	المميزات	القاعدة المشتركة	الباعث المشترك	الجامع المشترك
1	ممانعة الادخال	واطئة ( $100\Omega$ )	متوسطة ( $1K\Omega$ )	عالية ( $750K\Omega$ )
2	ممانعة الاخراج	عالية ( $450K\Omega$ )	متوسطة ( $50K\Omega$ )	واطئة ( $50\Omega$ )
3	الكسب في الجهد	متوسط حوالي (150)	عالي حوالي (300)	قليل اقل من واحد
4	الكسب في التيار	اقل من واحد	عالي حوالي (100)	عالي حوالي (100)
5	الكسب في القدرة	متوسط	عالي	قليل
6	فرق الطور بين الدخول والخروج	صفر	$180^\circ$	صفر
7	الاستعمال	للترددات العالية	للترددات المسموعة	لموائمة الممانعات