جامعة الموصل
كلية التربية للعلوم الصرفة
قسم الفيزياء

Electronics الالكترونيات

المرحلة الثالثة

أ.م.د عمار تحسين زكر

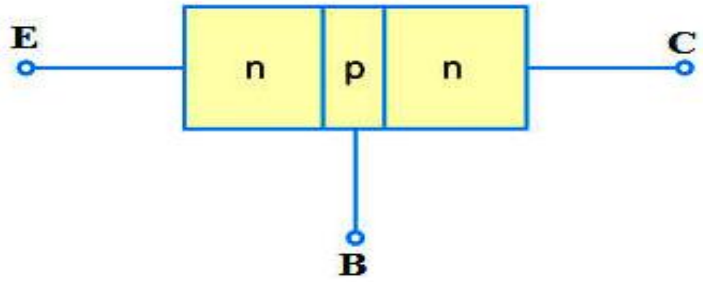
المحاضرة الاولى

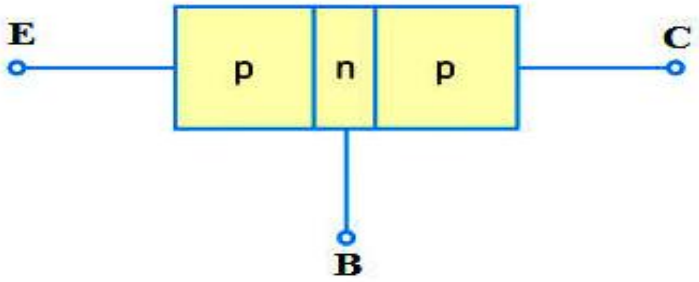
الترانزستورات ثنائية القطبية (Bipolar Junction Transistors)

التركيب :

الترانزستور هو اختصار لكلمتي *Transfer Resistor* اي نقل ألمقاومة، يتكون الترانزستور من ثلاثة مناطق شبه موصلة، تكون المنطقتين الطرفيتين (الخارجيتين) متشابهتين في القطبية اي انهما تكونان من نفس شبه الموصل. أما المنطقة الوسطية فتكون رقيقة جداً وتكون بقطبية ونوعية تطعيم مخالفة للمنطقتين الخارجيتين. المنطقتان الخارجيتان تشكلان كل من الباعث (*Emitter*) والجامع (*Collector*) اما المنطقة الوسطية فتسمى بـالقاعدة (*Base*).

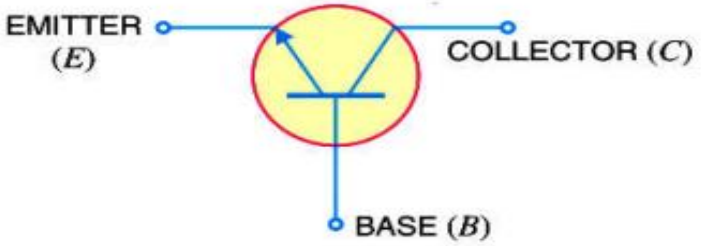
يكون تطعيم الباعث (*E*) غزيراً ويقوم بحقن الالكترونات الى القاعدة (*B*). حيث ان القاعدة تكون خفيفة التطعيم ورقيقة جداً وتعمل على تمرير معظم الالكترونات المحقونة الى الجامع (*C*). يتراوح تطعيم الجامع بين التطعيم الغزير للباعث والتطعيم القليل للقاعدة ويسمى الجامع لأنه يجمع الالكترونات من القاعدة ويكون مساحته هي الاكبر بين المناطق الثلاثة لكي يبدد الحرارة بصورة اكبر مما يبدده الباعث والقاعدة.

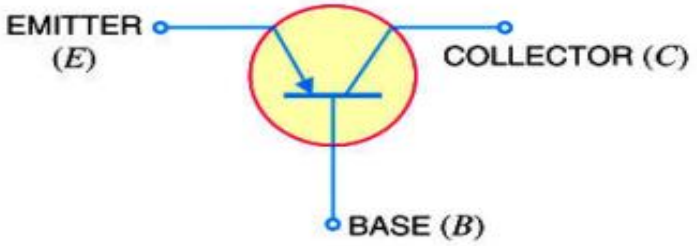


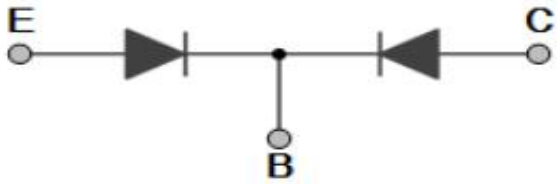


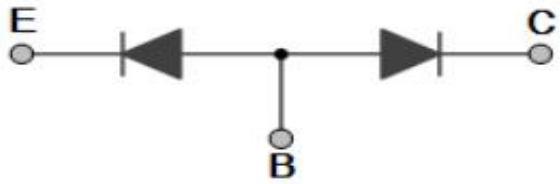
هناك نوعين من الترانزستورات ، نوع *pnp* و نوع *npn* ، ويكون النوع الاول متمماً للنوع الثاني ويكون التيارات والفولتيات متعاكسة في النوعين.

يجدر الاشارة هنا الى ان الترانزستور له وصلتين ، واحدة بين الباعث والقاعدة والأخرى بين الجامع والقاعدة ، لذلك يمكن اعتباره ثنائيين اثنين ، الثنائي الواقع الى اليسار تسمى ثنائي (الباعث – قاعدة) او (*Emitter Diode*) ، والثاني الواقع على اليمين يسمى ثنائي (الجامع - قاعدة) أو (*Collector Diode*) .

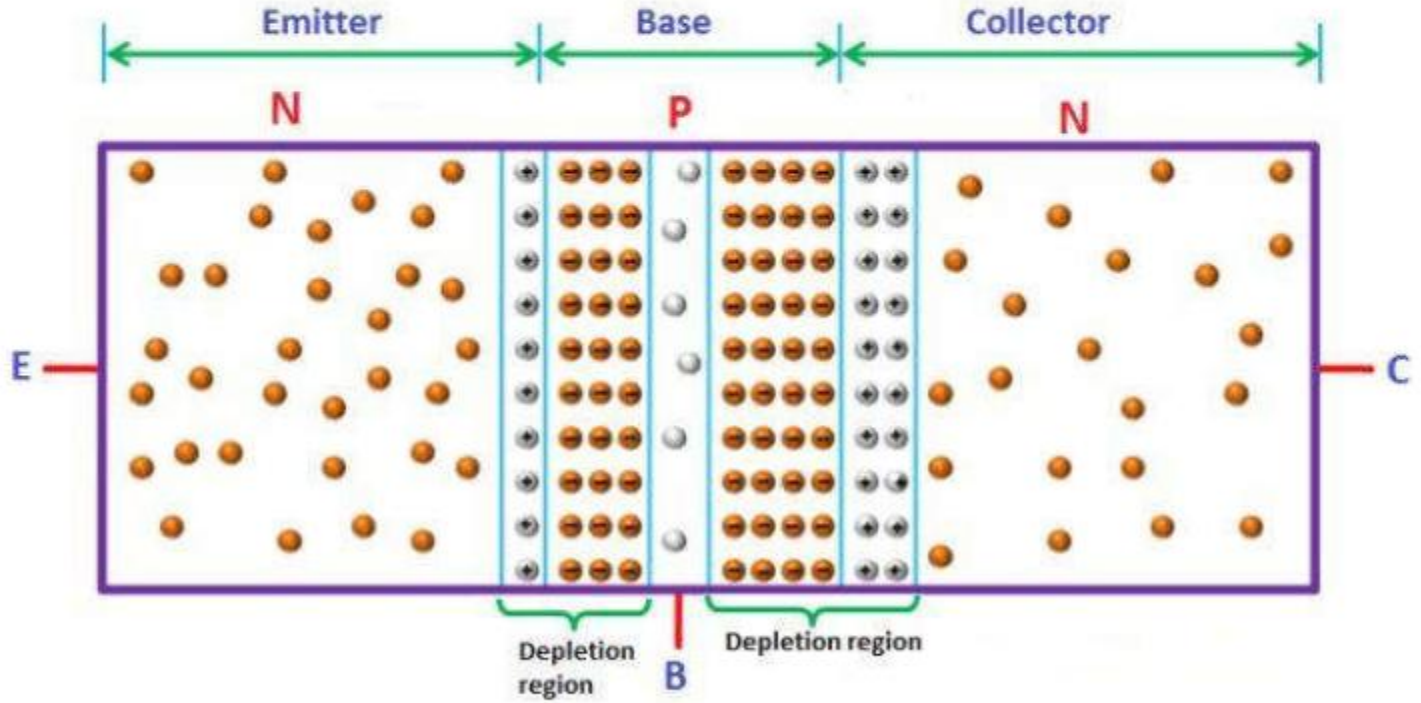








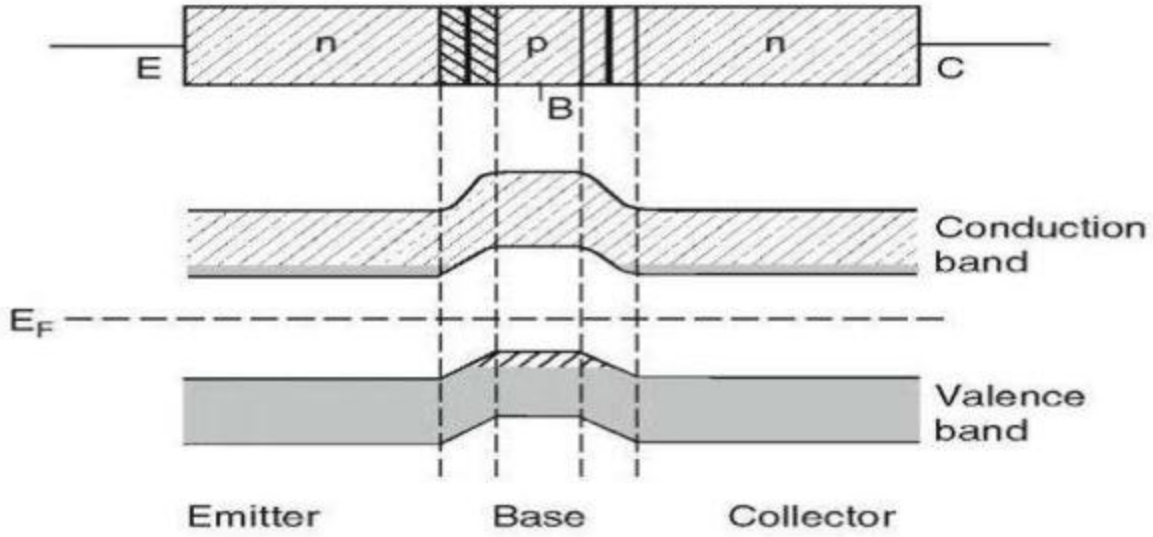
عملياً ، لا يمكن الحصول على ثنائيين عند ربط ثنائيين اعتياديين وبالطريقة المبينة في الشكل السابق وذلك لوجود اربع مناطق متساوية في التطعيم وكذلك عرض منطقة الاستنزاف متساوية تقريباً وهذا مخالف لما هو عليه في ألترانزستور حيث ان سمك منطقة الاستنزاف بين الباعث والقاعدة اقل مما هو عليه بين الجامع والقاعدة نتيجة لاختلاف التطعيم. وكنتيجة لاختلاف التطعيم في المناطق الثلاثة في الترانزستور فإن منطقتي الاستنزاف المذكورة انفاً لا تمتلك نفس ألعرض وبما ان تطعيم الباعث اكبر من تطعيم الجامع فإن طبقة الاستنزاف يكون صغيراً (او تنفذ قليلا داخل منطقة القاعدة) بينما طبقة الاستنزاف الثانية فإنها تمتد كثيراً في القاعدة وتنفذ في الجامع بعمق اقل.



من الشكل اعلاه نلاحظ ان عرض منطقة استنزاف (الباعث - قاعدة) اقل من عرض طبقة استنزاف (الجامع - قاعدة) بسبب اختلاف نسبة التطعيم في المناطق الثلاثة.

مخطط حزم الطاقة للترانزستور (Band Diagramof the transistor)

الشكل ادناه يوضح مخطط حزم الطاقة للترانزستور ويمكن ملاحظة ان الكترونات حزمة التوصيل في الباعث لاتمتلك الطاقة الكافية للدخول في منطقة القاعدة ولكن عند وضع الباعث تحت الانحياز الامامي ينخفض تل الطاقة وبذلك تتمكن الكترونات الباعث من النفوذ الى منطقة القاعدة.



المحاضرة الثانية

انواع انحياز الترانزستور

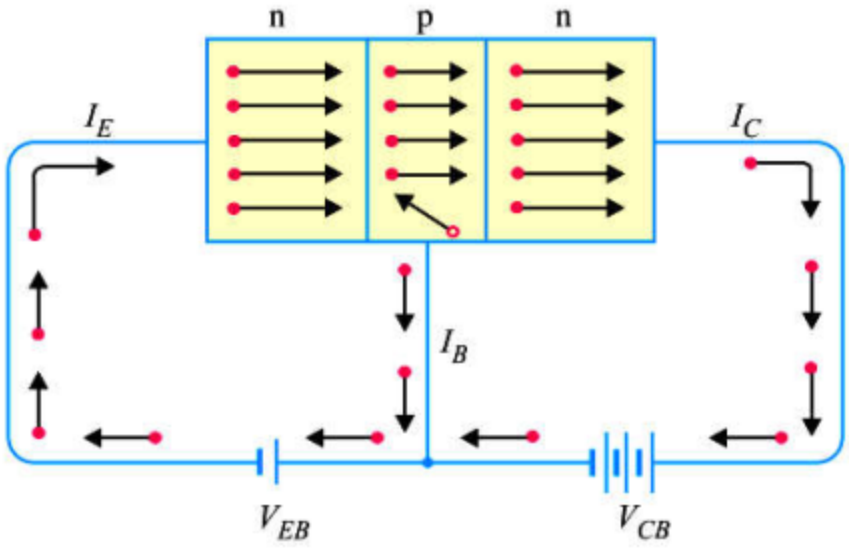
1- انحياز امامي - امامي : ويكون فيه وصلتي (الباعث - قاعدة) و (الجامع – قاعدة) في حالة انحياز امامي ويمر تيار I_E في وصلة (الباعث - قاعدة) ويمر تيار I_C في وصلة (الجامع – قاعدة) ويعمل الترانزستور في منطقة الاشباع ولا يعتمد تيار الجامع على تيار القاعدة ويسلك الترانزستور كمفتاح مغلق ولا يستفاد عمليا من هذه الدائرة.

2- انحياز عكسي – عكسي

هنا يكون وصلتي الترانزستور منحازتان عكسياً وتسري تيارات صغيرة فيهما نتيجة الانحياز العكسي والتي تمثل التيارات العكسية الناتجة عن الحاملات الاقلية التولدة حراريا او من تيارات التسرب السطحي. ويمكن اهمال هذه التيارات لصغرها واعتبار الترانزستور كمفتاح مفتوح ويعمل الترانزستور في منطقة القطع.

3- انحياز امامي – عكسي

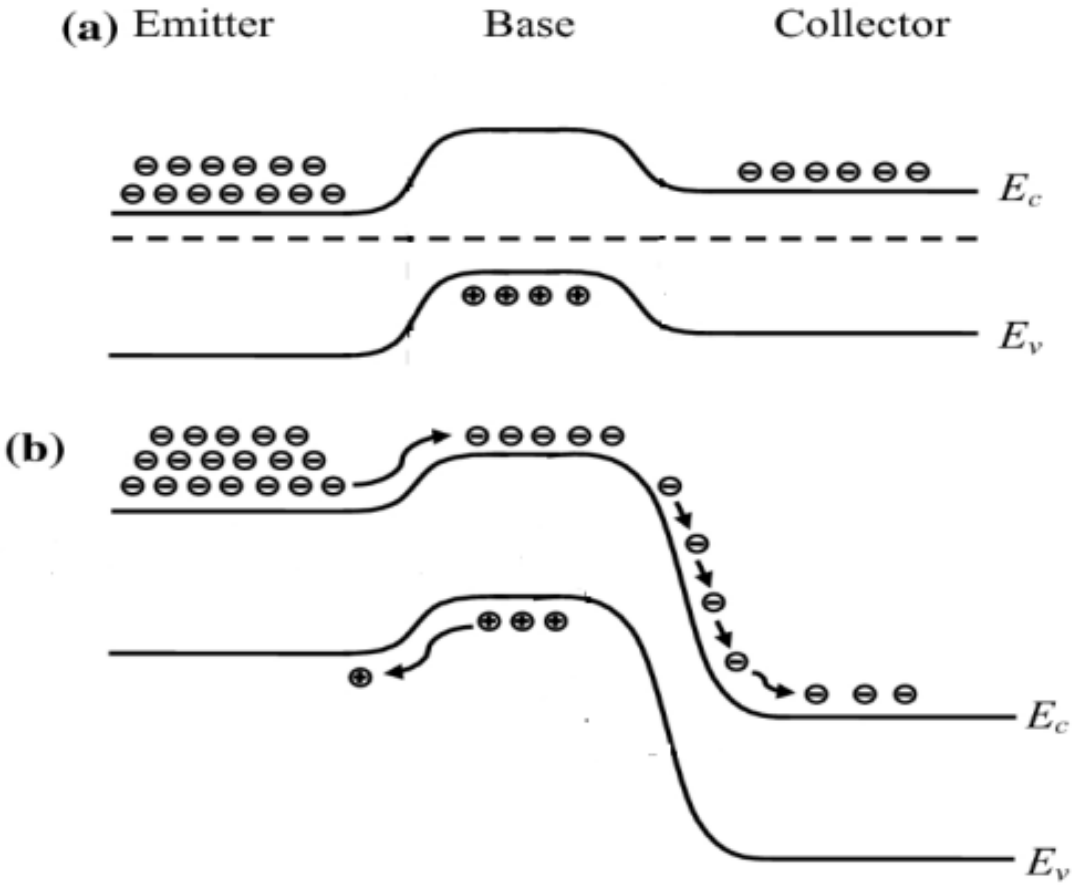
في لحظة تسليط الانحياز الامامي على ثنائي الباعث لا تكون الكترونات الباعث قد دخلت منطقة القاعدة. عندما تصبح VEB اكبر من الجهد الحاجز سوف تستطيع العديد من الكترونات الباعث دخول منطقة القاعدة ، وعندما تسري الكترونات خلال منطقة القاعدة فإنها تسقط في فجوات وتعيد التحامها وتسير الى الاسفل اي الى سلك القاعدة الخارجي وهذا التيار يسمى تيار اعادة الاتحاد (Recombination Current) ويكون هذا التيار قليل لخفة تطعيم القاعدة (اي فجواتها قليلة).



وبما ان القاعدة رقيقة جداً فإن الكترونات حزمة التوصيل المحقونة خلال طبقة استنزاف الجامع وبعدها تدفع الالكترونات الى منطقة الجامع ثم تجري الى الطرف الموجب من مصدر فولتية الجامع. أي ان اكثر من 95 % من الكترونات الباعث المحقونة تعبر الى الجامع في معظم الترانزستورات. اما المتبق من الالكترونات والبالغ 5 % تسقط في فجوات القاعدة وتسير في سلك توصيل القاعدة الخارجي.

من وجهة نظر الطاقة ، فإن الانحياز الامامي يعمل على خفض تل الطاقة ولذلك فإن الكترونات حزمة التوصيل في الباعث تمتلك طاقة كافية للوصول الى حزمة توصيل القاعدة . هذه الالكترونات تصبح حاملات اقلية في منطقة p وان 95 % من هذه الحاملات الاقلية تنتشر في منطقة استنزاف الجامع وتنحدر هذه الالكترونات الى اسفل تل الطاقة الخاصة بالجامع وعند انحدار هذه الحاملات (الالكترونات) من على التل تحرر طاقة على شكل حرارة ولذلك يكون الجامع هو المنطقة

الاكبر من حيث المساحة السطحية في الترانزستور بين مناطق التطعيم الثلاثة لكي يعمل على تبديد الحرارة المتولدة من هذا الانحدار. الشكل ادناه يبين مراحل انتقال الالكترون من الباعث الى الجامع مبينا هبوط تل الطاقة في كل مرحلة .



مقاومة امتداد القاعدة (r'_b)

بما ان هناك طبقتي استنزاف تخترق القاعدة ، لذلك فإن فجوات القاعدة تكون قليلة لان طبقة شبه الموصل p المكونة للقاعدة ستكون على شكل قناة ضيقة وبزيادة الانحياز العكسي VCB يزداد عرض منطقة استنزاف الجامع والتي بدوره تقلل عرض القناة والتي تحتوي على فجوات القاعدة. اي ان هناك عدد اقل من فجوات القاعدة موجودة لإعادة الاتحاد.

إن مقاومة القاعدة تسمى مقاومة امتداد القاعدة r'_b وتعتمد على عرض القناة p وعلى تطعيم القاعدة وقد تصل الى (1KΩ) في بعض الاحيان ونموذجياً تتراوح بين (150 - 50) اوم.

فولتية الانكسار(Breakdown Voltage)

من المعلوم ان الترانزستور عبارة عن ثنائيين لذلك فإن الفولتية العكسية يمكن ان تسبب الانكسار الناتج عن الانحياز العكسي لثنائي (الجامع - قاعدة). فعند زيادة فولتية (الجامع - قاعدة) اي زيادة VCB يحصل الانكسار في فولتية الجامع بسبب الانهيار او بسبب ظاهرة التواصل (Reach through) او الثقب.

منطقتي الآستنزاف قبل التداخل | تداخل منطقتي الآستنزاف | تلف الترانزستور

المحاضرة الثالثة

هنا التواصل يعني ان طبقة استنزاف الجامع تصبح عريضة بحيث تصل الى منطقة استنزاف الباعث وفي هذه الحالة تنبعث الكترونات الباعث الى الجامع مباشرتاً. هنا يجب ان ننوه الى انه حتى في التداخل القليل جداً بين طبقة استنزاف (الجامع - قاعدة) مع طبقة استنزاف (الباعث - قاعدة) يؤدي الى تيار جامع كبير وبالتالي الى تلف الترانزستور. كما مبين في الشكل اعلاه. لذلك يجب تجنب هذه الظاهرة (الانهيار والتواصل) بجعل فولتية الجامع اقل من فولتية الانكسار وكم معطى في استمارة المعلومات المزودة من قبل المصنع.

هنا يجب ان ننوه ايضاً الى ان زيادة VEB تعمل على زيادة الالكترونات المحقونة الى القاعدة بينما زيادة الانحياز العكسي VCB يكون تأثيره قليل على عدد الالكترونات التي تدخل الجامع ولكن زيادة VCB يزيد من انحدار تل الجامع.

معاملات الترانزستور α_{dc} ، β_{dc}

بما ان 95 % من الالكترونات المحقونة تصل الجامع لذلك يكون تيار الجامع مساوياً لتيار الباعث تقريباً اي ان

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

وكلما كانت القاعدة ارق واخف تطعيماً كان α_{dc} اعلى ، وفي الحالة المثالية عندما تصل جميع الالكترونات الى الجامع فإن $\alpha_{dc} \cong 1$ ولذلك فإن قيم α تتراوح بين $(0.95 - 0.99)$

هنا يجب ان نشير الى معامل اخر وهو الكسب في التيار المستمر او ما يسمى بمعامل التكبير β_{dc} حيث ان

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

وهذه المعاملات تسمى بالثوابت الهجينية وان قيمة الكسب في التيار المستمر β_{dc} تتراوح بين (250 - 20) أو اكثر حسب نوع الترانزستور

<u>مثال (واجب)</u>

اثبت ان

1- $\beta_{dc} = \frac{\alpha}{1-\alpha_{dc}}$

2- $\alpha_{dc} = \frac{\beta}{1-\beta_{dc}}$

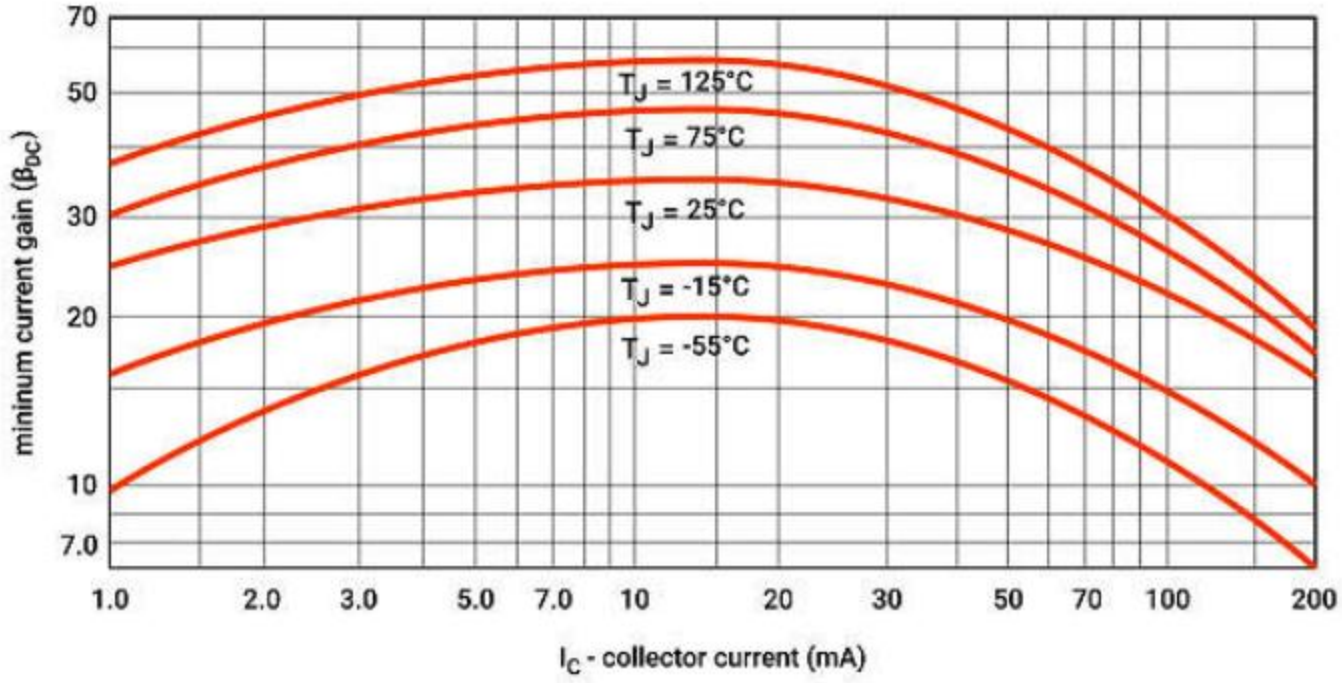
اذا علمت ان $I_E = I_C + I_B$

<u>مثال (واجب)</u>

احسب I_C ، α_{dc} ، β_{dc} اذا علمت ان $I_B = 100\mu A$ و $I_E = 100\ mA$

تغير β_{dc} مع درجة الحرارة

ان قيمة β_{dc} لها تأثير كبير على عمل الترانزستور وهي كمية غير ثابتة وتتغير مع تيار الجامع I_C ودرجة الحرارة. فعند ثبوت درجة الحرارة وزيادة قيمة I_C يزداد قيمة β_{dc} الى ان تصل الى اعلى قيمة. اما ما بعدها فإن استمرار زيادة I_C تقل قيمة β_{dc} وكما موضح في الشكل ادناه



وفي استمارة المعلومات التي تزودها الشركات المصنعة تعطى قيمة β_{dc} عند قيمة معينة من I_C . وحتى عند ثبوت I_C ودرجة الحرارة فإن β_{dc} تختلف من ترانزستور الى اخر ولنفس النوع والرقم وهذا يتعلق بعمليات التصنيع حيث ان قيمة β_{dc} التي تعطى في استمارة المعلومات تمثل اقل قيمة لـ β_{dc} .

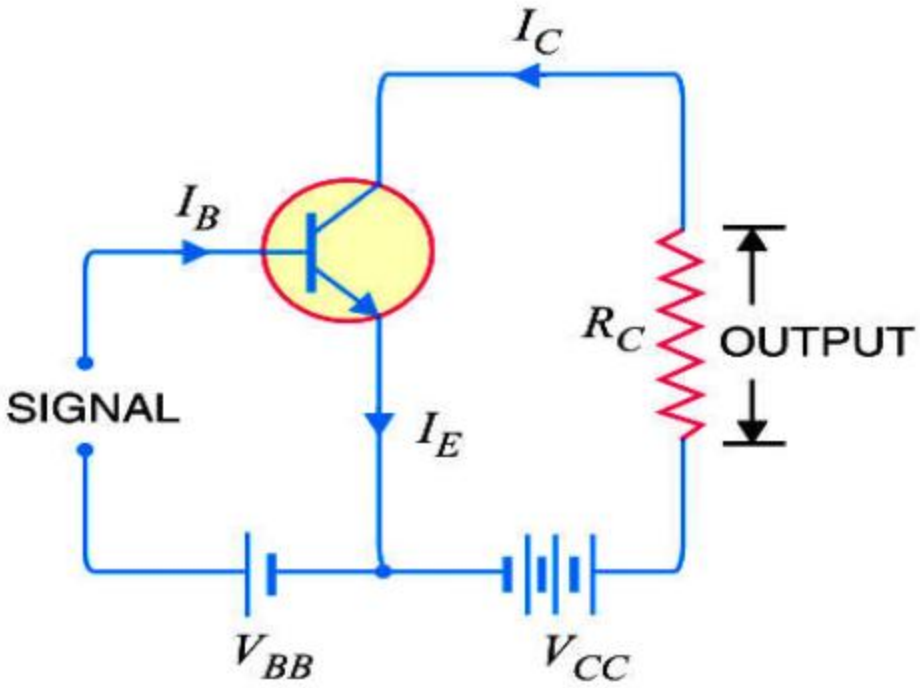
طرق ربط الترانزستور (Transistor Biasing)

1- طريقة ربط القاعدة المشتركة ((Common Base Connection (CB)
2- طريقة ربط الجامع المشتركى ((Common Collector Connection (CC)
3- طريقة ربط الباعث المشترك ((Common Emitter Connection (CE)

ان الطرق المذكورة اعلاه تعتبر من الطرق الاساسية لربط الترانزستور ، وان الطريقة الاولى والثانية تعتبر من الطرق الاقل استخداما في الدوائر الالكترونية لذلك سيكون تركيزنا على الطريقة الثالثة حصرا وذلك لنه الربط الاكثر شيوعا واستخدما في معظم التطبيقات الالكترونية.

طريقة ربط الباعث المشترك (Common Emitter Connection)

في طريقة الباعث المشترك يكون الباعث مشتركا بين دائرة الادخال ودائرة الاخراج حيث ان دائرة (الباعث – قاعدة) تمثل دائرة الادخال وان دائرة (الجامع – باعث) تمثل دائرة الاخراج وكما موضح في الشكل ادناه



من اجل فهم الدائرة اعلاه يجب التطرق الى مجموعة من العوامل التي تخص هذه الدائرة والتي سوف نتطرق اليها بشكل تفصيلي وكما يلي

المحاضرة الرابعة

1- التكبير في التيار (β)

في ربط الباعث المشترك يكون تيار الادخال هو تيار القاعدة وتيار الاخراج هو تيار الجامع وإن النسبة بين التغير في تيار الجامع (ΔI_C) الى التغير في تيار القاعدة (ΔI_B) هو معامل تكبير تيار القاعدة (β) ويعبر عنه كما ذكرنا سابقا بالمعادلة التالية

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

هنا يجب ان ننوه الى ان التغير (Δ) في المعادلة اعلاه تمثل معامل التكبير في حالة وجود اشارة متناوبة مطبقة على الدائرة ، اما في حالة عدم وجود اشارة مطبقة فيتحول المعادلة الى الشكل التالي

$$\beta_{ac} = \frac{I_C}{I_B}$$

في معظم الاحيان تمثل تيار القاعدة 5% من تيار الباعث وعلى اعتبار ان تيار الجامع مساوي تقريبا لتيار الباعث فإن β في معظم الاحيان تكون اكبر من 20 وفي العادة يكون بين (500 - 20) . ان اهمية هذه الدائرة تأتي من انها تعطي كسب جيد في كل من التيار والفولتية على حد سواء.

هنا يجب ان نذكر بعض العلاقات الخاصة بهذا الربط وهي مشابهة لما تم ذكره سابقا وعلى النحو التالي

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots . (2)$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots . (3)$$

$$\alpha = \frac{\beta}{1+\beta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots . (4)$$

$$\Delta I_E = \Delta I_B + \Delta I_C \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

عند معاينة المعادلة (3) نلاحظ انه عندما تقترب α من الواحد فإن β يقترب من المالانهاية وهذا بدوره يعني ان كسب التيار في هذا الربط يكون عاليا جداً ولهذا يستخدم هذا النوع من الربط في معظم التطبيقات الالكترونية .

2- تيار الجامع في ربط الباعث المشترك

$$I_E = I_B + I_C \quad \dots\dots\dots\dots (1)$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \qquad \rightarrow \qquad I_C = \alpha I_E \quad \dots\dots\dots\dots (2)$$

بما ان وصلة (الجامع – قاعدة) مربوطة بانحياز عكسي فيجب ان نأخذ التيار العكسي الناتج عن الانحياز العكسي بنظر الاعتبار عند حساب قيمة تيار الجامع اي انه يجب ان يضاف التيار العكسي على المعادلة رقم (2) وكالتالي:

$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO} \dots\dots\dots\dots (3)$$

حيث ان I_{CBO} تمثل مقدار التيار الناتج من الانحياز العكسي لوصلة (الجامع – قاعدة) . بتعويض المعادلة (1) في المعادلة (3) ينتج

$$I_C = \alpha(I_B + I_C) + I_{CBO} \dots\dots\dots\dots (3)$$

$$I_C = \alpha I_B + \alpha I_C + I_{CBO} \dots\dots\dots\dots (4)$$

$$I_C - \alpha I_C = \alpha I_B + I_{CBO} \dots\dots\dots\dots (5)$$

$$I_C(1 - \alpha) = \alpha I_B + I_{CBO} \dots\dots\dots\dots (6)$$

$$I_C = \frac{\alpha}{1 - \alpha} I_B + \frac{1}{1 - \alpha} I_{CBO} \dots\dots\dots (7)$$

بمعاينة المعادلة (7) نلاحظ انه اذا كان قيمة $I_B = 0$ فهذا يعني ان دائرة الباعث قاعدة عبارة عن مفتاح مفتوح لذلك فإن تيار الجامع سيكون هو نفسه التيار المار في الباعث والممثلة بالرمز I_{CEO} والذي يمثل التيار المار بكل من الجامع والباعث عندما يكون تيار القاعدة صفرا . وعند وضع تيار القاعدة مساوية للصفر يصبح تيار (الجامع - قاعدة) بالصيغة التالية

$$I_{CEO} = \frac{1}{1-\alpha} I_{CBO} \quad \dots\dots\dots\dots\dots\dots (8)$$

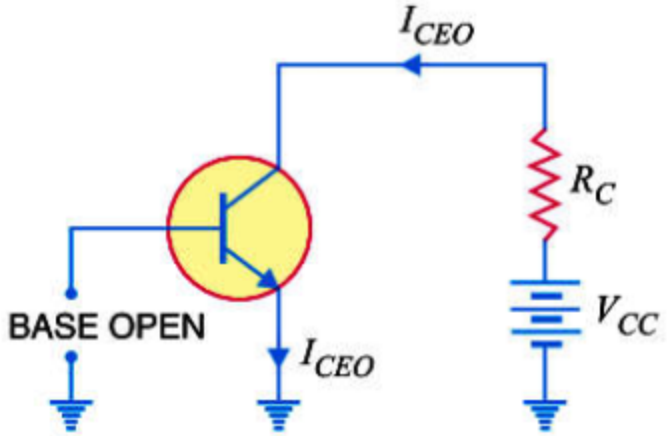
بتعويض المعادلة (8) في المعادلة (7) ينتج

$$I_C = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_B + I_{CEO} \quad \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (9)$$

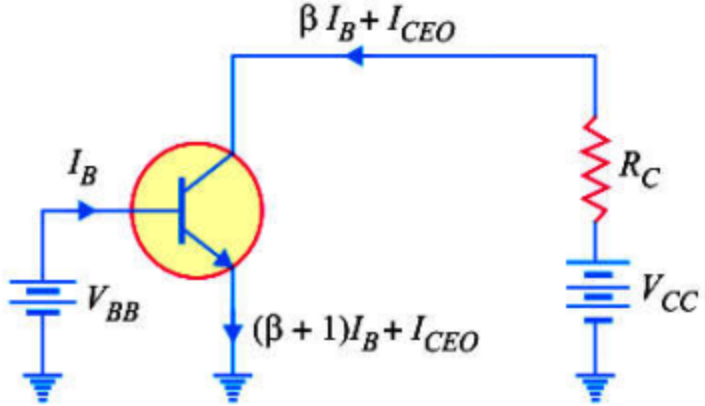
وكما هو معروف ان $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$ لذلك تصبح المعادلة النهائية بالشكل التالي

$$I_C = \beta I_B + I_{CEO} \quad \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (10)$$

ان مفهوم I_{CEO} في ربط الباعث المشترك ممكن وصفه على انه تيار جامع صغير ينتج عندما يكون تيار القاعدة مساوياً للصفر (اي ان دائر (الباعث - قاعدة) عبارة عن دائرة مفتوحة) وكما موضح في الشكل (A) ادناه.



(A)



(B)

عند تطبيق فولتية على القاعدة كما موضح في الشكل (B) اعلاه فهذا يسبب توليد تيارات عديدة منها التيارات التالية

1- تيار القاعدة = I_B

2- تيار الجامع = $\beta I_B + I_{CEO}$

3- تيار الباعث = تيار الجامع + تيار القاعدة

$$I_E = (\beta I_B + I_{CEO}) + I_B = (\beta + 1)I_B + I_{CEO}$$

على اعتبار ان $\beta + 1 = \frac{1}{1-\alpha}$. وهنا يجب ان ننوه الى ان

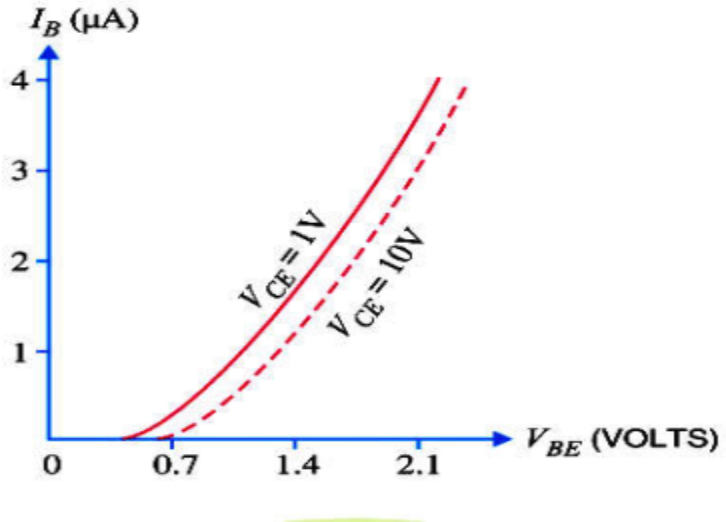
المحاضرة الخامسة

$$I_{CEO} = \frac{1}{1-\alpha} I_{CBO} = (\beta + 1) I_{CBO} \cong \beta I_{CBO}$$

خصائص ربط الباعث المشترك (Characteristics of Common Emitter Connection)

1- خواص الادخال

وتمثل العلاقة بين تيار الادخال I_B وفولتية الادخال VBE عند ثبوت الفولتية العكسية المسلطة على الاخراج VCE وتمثل خواص ثنائي (الباعث – قاعدة) وكما موضح في الشكل



نلاحظ من الشكل المجاور ان تيار القاعدة I_B يزداد بصورة اسية بزيادة الفولتية VBE عندما تصبح قيمة VBE اكبر من الجهد الحاجز للوصلة. وعند قيمة ثابتة لفولتية الادخال اي عند قيمة ثابتة لـ VBE يمكن ملاحظة ان تيار القاعدة يقل بزيادة الفولتية العكسية المسلطة على الاخراج والسبب هو ان الفولتية العكسية تقلل من عرض طبقة القاعدة (اي يزداد امتداد طبقة استنزاف الجامع داخل القاعدة)وبذلك يقل تيار اعادة الاتحاد I_B .

2- مقاومة الادخال

توصف مقاومة الادخال لربط الباعث المشترك بالعلاقة التالية

$$r_i = \frac{\Delta VBE}{\Delta I_B}\Big|_{(VCE)\ \ Constant}$$

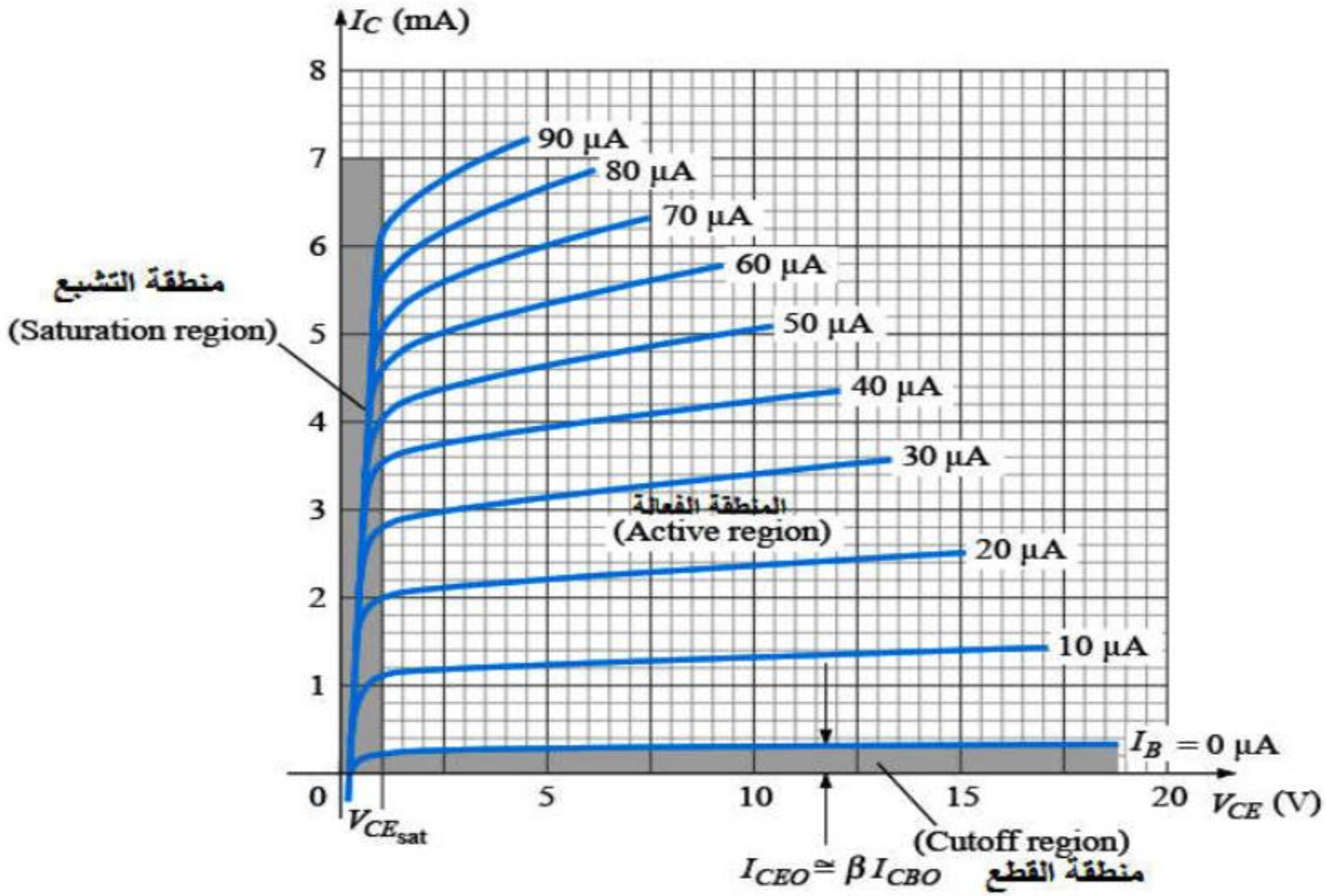
في هذا الربط يكون مقاومة الادخال اعلى بكثير مما هو عليه في باقي انواع الربط لكون تيار القاعدة اقل بكثير من تيار الباعث I_E وتكون هذه المقاومة مساوية لبضع مئات من الاوم.

3- خواص الاخراج

وتمثل العلاقة بين تيار الجامع $I_C(mA)$ والفولتية العكسية VCE (V) المسلطة ولقيم مختلفة من تيار القاعدة I_B وتتكون من ثلاثة مناطق رئيسية

- منطقة الاشباع او التشبع (Saturation Region)

وهذه المنطقة تكون على يسار خصائص الاخراج للترانزستور المربوط بطريقة الباعث المشترك وكما موضح في الشكل ادناه



وفي هذه المنطقة كما ذكرنا في بداية هذا الفصل يعمل الترانزستور في منطقة الاشباع وتكون فيها VCE اقل من الجهد الحاجز (المنطقة المضللة على يسار الشكل اعلاه) . هنا تكون وصلتي (الجامع – قاعدة) و (الباعث – قاعدة) منحازتين امامياً وبفولتيات اكبر من الجهد الحاجز (أي اكبر من 0.7 V) . ويمكن تحديد منطقة الاشباع بشكل دقيق ليكون محصورة في المنطقة الواقع بحيث يكون $(0 < VCE < VBE)$. وهنا تيار الجامع لا يعتمد على تيار القاعدة ويسمى تيار الجامع هنا بتيار الاشباع $I_{C(sat)}$. ويمكن تفسير هذه التسمية بالاعتماد على معادلة الاخراج الخاصة بهذا الربط وبالشكل التالي

$$Vcc - I_C R_C - VCE = 0$$

$$\therefore Vcc = I_C R_C + VCE$$

كما ذكرنا سابقا ان قيمة VCE صغير نسبيا ويمكن ان نعتبره صفرا في هذه المنطقة وبذلك يكون

$$VCE \cong 0$$

$$\therefore Vcc = I_{C(Sat)}R_C \quad \rightarrow \qquad I_{C(Sat)} = \frac{Vcc}{R_C}$$

حيث ان I_C يزداد بصورة خطية وتقل المقاومة التي يبديها الترانزستور بين الباعث والجامع وتسمى بمقاومة التشبع وتكون قليلة (بضع اومات) ويكون الترانزستور في هذه المنطقة كمفتاح مغلق .

- منطقة القطع (Cut- off region)

ويكون هذه المنطقة تحت اقل تيار للقاعدة اي في المنطقة الواقعة تحت $(I_B \leq 0)$ وفي هذه المنطقة يكون تيار الجامع مساوياً لتيار التشبع العكسي I_{CEO} لان وصلتي (الجامع – قاعدة) و (الباعث - قاعدة) منحازتين عكسياً ويعمل الترانزستور كمفتاح مفتوح .

- المنطقة الفعالة (Active Region)

في هذه المنطقة ، تكون وصلة (الباعث - قاعدة) منحازة امامياً ووصلة (الجامع - قاعدة) منحازة عكسياً وتكون في المنطقة التي تكون فيها $I_B > 0$ وعلى يمين منطقة الاشباع كما مبين في الشكل السابق. هنا نلاحظ انه كلما ازدادت الفولتية العكسية VCE فإن طبقة استنزاف الجامع تخترق القاعدة اكثر وتقلل من فرص اعادة الاتحاد بين الشحنات في منطقة القاعدة مما يؤدي الى زيادة تيار الجامع ولذلك فإن I_C يزداد بزيادة VCE وتتجه الخواص (اي تميل) الى الاعلى مقارنة بالخواص المستقيمة في حالة ربط القاعدة المشتركة (CB) ولذلك تزداد قيمة (α) . هنا يجب ان نشير الى ان المسافة بين المنحنيات غير متساوية وتكون متقاربة عند قيم صغيرة من I_B ومتباعدة عند تيارات قاعدة اعلى ولذلك تكون العلاقة غير خطية بين I_B و I_C والعلاقة بين I_C و β تكون غير خطية ايضاً وتستخدم هذه المنطقة في الترانزستور لتكبير الاشارات الصغيرة.

4- مقاومة الاخراج (Output Resistance)

تكون هذه المقاومة اقل مما هي عليه في ربط القاعدة المشتركة (CB) لآن ميل المنحني لخواص الاخراج يكون اكبر وقيمتها بحدود 50 kΩ وتوصف بالمعادلة التالية

$$r_o = \left.\frac{\Delta VCE}{\Delta I_C}\right|_{(I_B\ Constant)}$$

5- التحصيل في التيار (β_{dc})

ويمكن ايجادها وسط المنطقة الفعالة لخواص الاخراج وتوصف بالمعادلة التالية

$$\beta_{dc} = \left.\frac{I_C}{I_B}\right|_{VCE\ \ Constant} = hfe$$

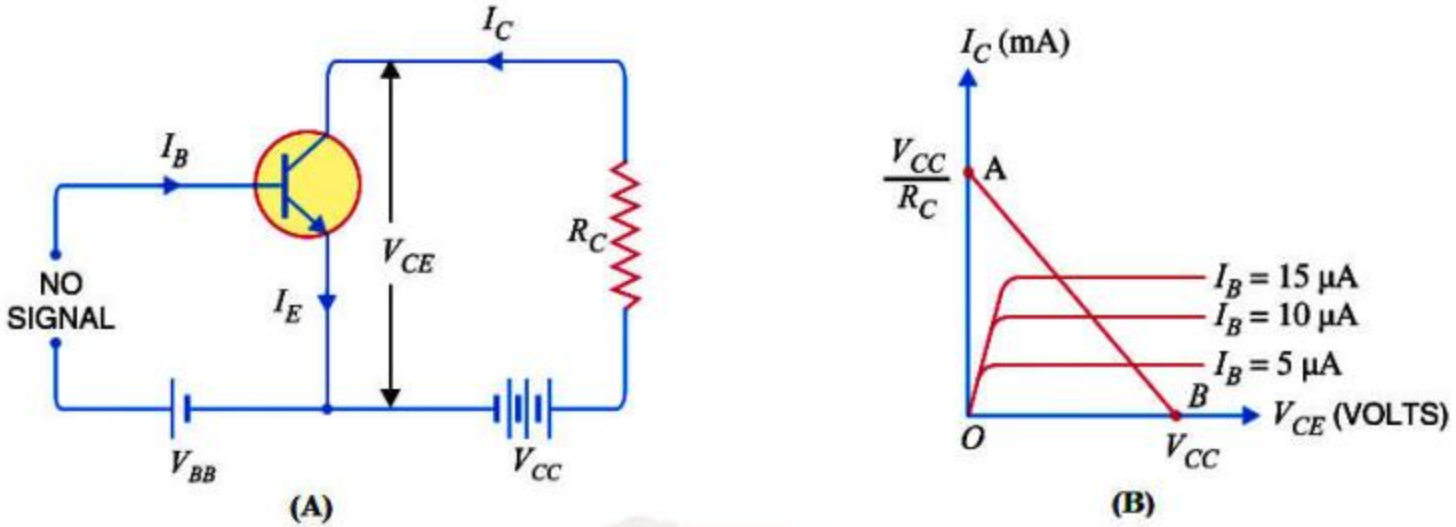
وتتراوح قيمها من (500 - 20) وتختلف من ترانزستور لآخر حسب نوعيتها واحيانا تزيد عن هذا المدى . ويمكم ايجاد قيمة β_{ac} والتي تمثل التحصيل في التيار في حالة تسليط اشارة داخلة على الترانزستور وتوصف بالمعادلة التالية

$$\beta_{ac} = \left.\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right|_{VCE\ \ Constant} = hfe$$

$$\beta_{dc} \cong \beta_{ac}$$

خط الحمل المستمر ونقطة العمل (Load line & Operating Point)

لنعتبر ان الترانزستور مربوط بطريقة الباعث المشترك وتمتلك خواص اخراج كما مبين بجوار الدائرة الالكترونية وكما في الشكل ادناه



عند تطبيق قانون كيرشوف على دائرة الاخراج المبينة في الشكل (A) ينتج المعادلة التالية

$$V_{CC} - I_C R_C - VCE = 0$$

$$V_{CC} = I_C R_C + VCE \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (*)$$

$$I_C R_C = -VCE + V_{CC}$$

$$I_C = \frac{-VCE}{R_C} + \frac{V_{CC}}{R_C}$$

وهي معادلة خطية مشابهة للمعادلة التالية

$$y = mx + c$$

وهي تمثل معادلة خط مستقيم ميله $m = -\frac{1}{R_C}$ اي يعتمد على قيمة المقاومة المستمرة R_C ولذلك تسمى خط الحمل المستمر والمقطع على محور التيار يساوي (c). ولإيجاد المقطع (c) نضع VCE = 0 في المعادلة (*) وبذلك يكون $I_C = I_C(Sat)$ وكالتالي

$$I_C(Sat) = I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$$