الفصل الثالث

الترانسستور

يعتبر الترانسستور العمود الفقري للدوائر الإلكترونية ، نظراً لقدرته على تكبير الإشارات بمعدل كسب عالى٠ يمكن تمثيل الترانزستور في نواح كثيرة بصمام صغير في نظام تدفق مياه يمكن التحكم فيه بتكبير كمية الطاقة، بمعنى إدخال إشارة صغيرة كدخل، لإنتاج الطاقة المطلوبة كخرج٠

يمكن توصيف الترانسستور بأنه يتكون من وصلتين ثنائيتين ملتصقين عكس بعضهما بمعنى آخر فإن الترانسستور يشتمل على وصلتين (J_1) و(J_2) وهناك نموذجين لتكوين الترانسستور (ن – ب – ن) و (ب – ن – ب)٠ إلا أن النموذج (ن – ب – ن) أكثر إستخداما٠ كما أن هناك نوعين بذات الأهمية يجب أخذهم فى الإعتبار – ترانسستور ثنائي القطب[١] وترانسستور أحادى القطب[٢] والمعروف بإسم ترانزستور متأثر بالمجال٠ الشكل (٣-١) يوضح التكوين الهندسى ومشتقات كل من النوعين٠ من الترانسستور٠ يستخدم الترانزستور ثنائي القطب بعدة أشكال مختلفة، بعضها يستخدم لتطبيقات معينة فى مجال الترددات العالية، دوائر القطع والفتح ، وكذلك تطبيقات الطاقة العالية٠

---

[١] (bipolar junction transistor (bipolar transistor or BJT)) نوع من الترانزستور يستخدم كل من شحنات اللإلك نترونات والثقوب ٠ ويتواجد بنوعين أو قطبين بإسم (ن ب ن) و (ب ن ب) إنظلاقا من نوع الشوائب فى المناطق الثلاث للترتنزستور٠

[٢] (unipolar transistors (UJT) , field-effect transistor (FET)) نوع من الترانزستورأحادى القطبية يستخدم المجال الكهربائى للتحكم فى الشكل ومن ثم الموصلية الكهربائية للقناة لنوع واحد من الشحنات فى مواد شبه الموصل ويسمى أيضا الترانزستور المتأثر بالمجال٠

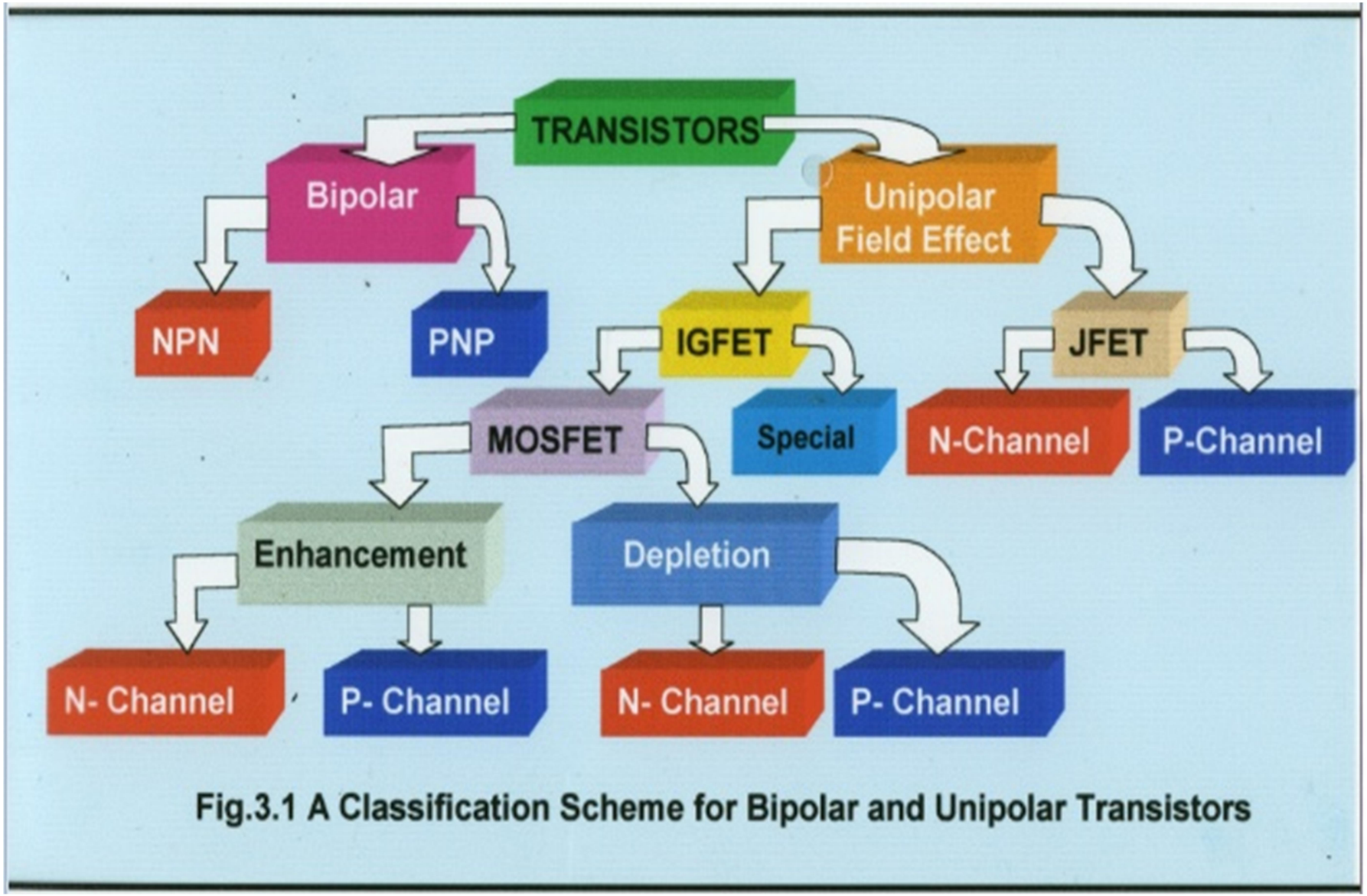
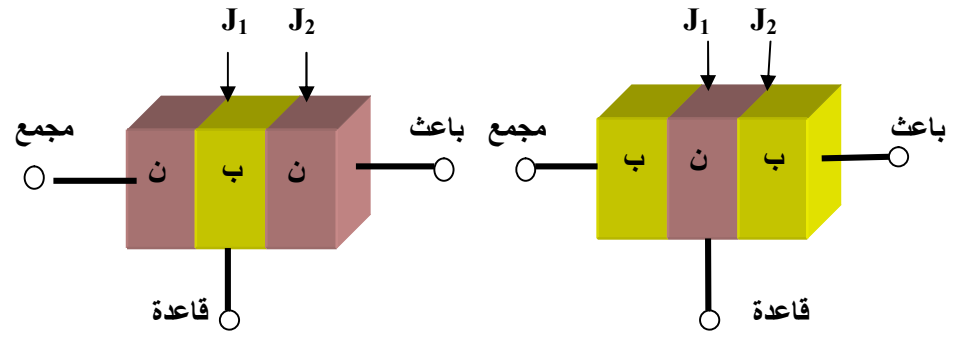


Fig.3.1 A Classification Scheme for Bipolar and Unipolar Transistors

٣ – ١ الترنستورات ثنائية القطبين

الترانسستور ثنائى القطبين هو عنصر يشتمل على ثلاث أطراف يتكون من وصلتين لثنائئ شبه موصل – محقنة بشوائب إما من العمود الثالث أو العمود الخامس من جدول مندليف وهناك نوعين من الترانسستور أحدهما يمكن أن تنتقل حاملات الشحنات من منطقة مادة (ن) الى منطقة مادة (ب) الى منطقة مادة (ن) والنوع الآخر تنتقل حاملات الشحنات من مادة (ب) الى مادة (ن) الى مادة (ب) كما هو مبين بالشكل (٣–٢)



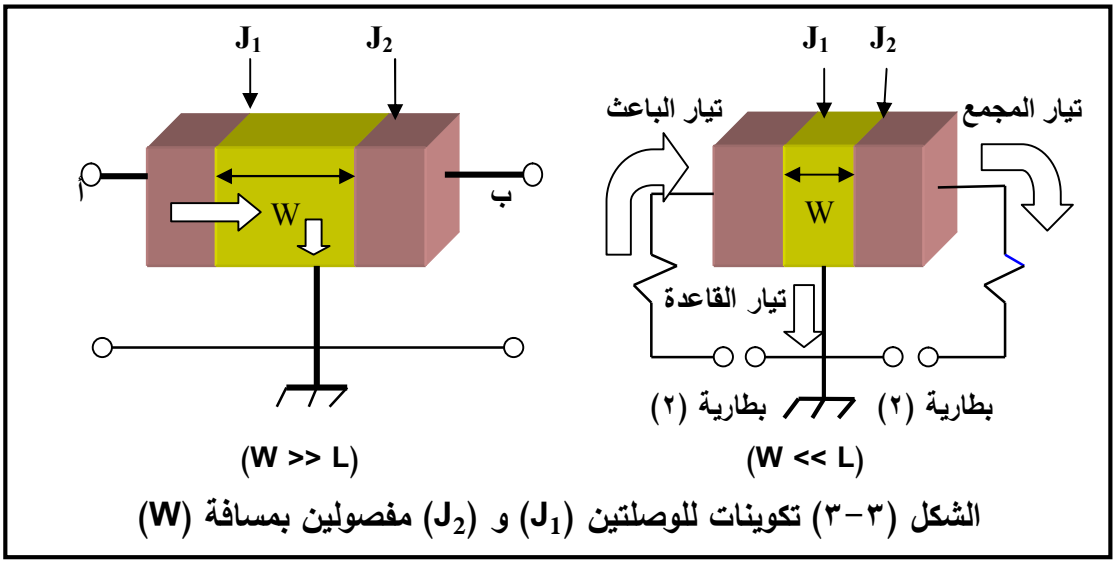
الشكل (٣–٢) تكوينات الترانسستور (ن – ب – ن) و (ب – ن – ب)

وفي كلتا الحالتين تنشأ وصلة في كل من الجانبين حيث يتغير نوع التوصيل٠ تسمى أطراف الترانسستور باعث (ب) وقاعدة (ق) ومجمع (م)٠ مع مراعاة أن يكون التكوين الهندسى للقاعدة صغيرة السمك وخفيفة الحقن بالشوائب ، هذان الإعتباران فى غاية الأهمية لتحقيق تشغيل الترانسستور٠

- آلية عمل الترانسستور

يتكون من وصلتين (J_1) و(J_2) منفصلين بمسافة (W) كما هو موضح فى الشكل (٣–٣)٠ فى حالة أن تكون المسافة (W) أكبر من طول إنتشار الشحنات (L) وتغذية الوصلة (J_1) بجهد أمامى – يتدفق تيار أمامى من خلال الوصلة (J_1) – يتحد هذا التيار فى المسافة (W) التى تمثل الطرف الثالث من الترانسستور وهى القاعدة (B) وحيث أن (W>>L) مع عدم حدوث تغذية للوصلة (J_2) – فإن التيار فى الوصلة (J_2) لا يعتمد على التيار فى الوصلة (J_1) ٠ فى حالة أن تكون المسافة (W) أصغر من طول إنتشار

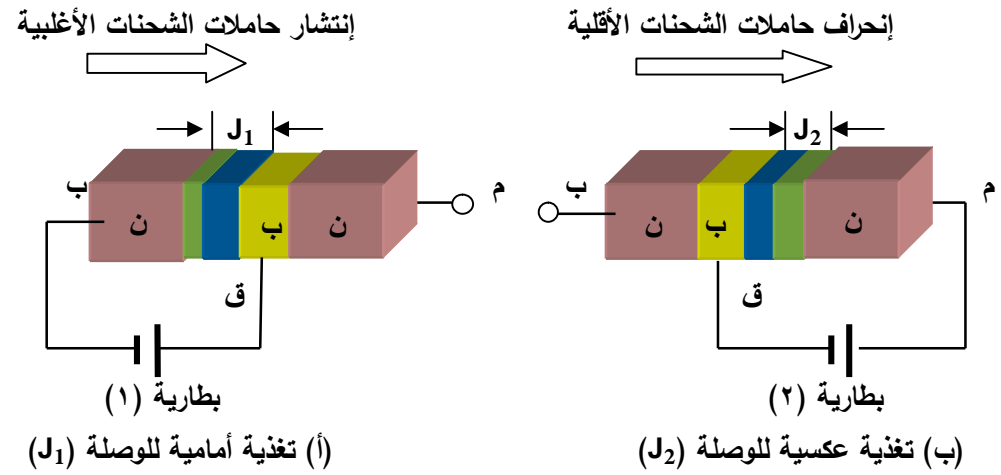
الشحنات (L) وتغذية الوصلة (J_1) بجهد أمامى والوصلة (J_2) بجهد عكسى – تنتشر حاملات الشحنات عابرة الوصلة (J_1) الى الوصلة (J_2) الى الطرف الثانى للترانسستور والمعروف بالمجمع (م) ٠



الشكل (٣–٣) تكوينات للوصلتين (J_1) و (J_2) مفصولين بمسافة (W)

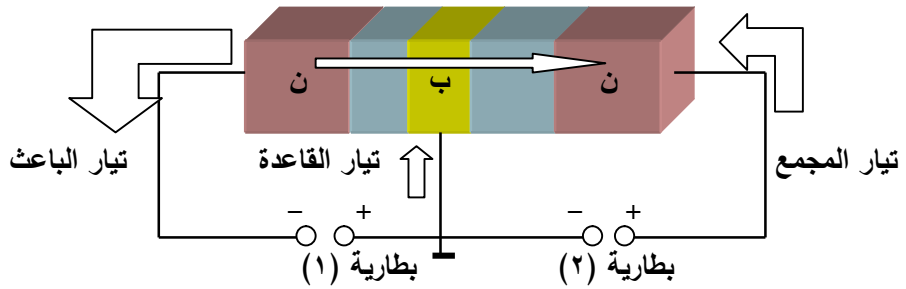
للحصول على آلية تشغيل عادية للترانسستور من نوع (ن – ب – ن) فمن الضرورى تغذية كل من وصلتي الترانسستور بمنبع جهد مستمر كالبطارية٠ نناقش كيفية تغذية كل وصله على حدة بينما فى التطبيقات يكفى منبع تيار مباشر واحد٠

الشكل (٣–٤ أ) يوضح آلية تطبيق التغذية للوصلة (J_1) بين القاعدة – والباعث (ق-ب) بتغذية أمامية من المنبع (بطارية ١) – ينتج تيار خلال الوصلة (J_1) بسبب تدفق إلكترونات الأغلبية من الباعث (ن) ويتناقص سمك المنطقة العازلة للوصلة (J_1) نتيجة التغذية الأمامية للوصلة ويتزايد سمك القاعدة (W)٠ عندما يتم حقن إلكترونات الأغلبية الى القاعدة – تصبح هذه الإلكترونات كشحنات أقلية٠ يوضح الشكل (٣–٤ ب) آلية تغذية الوصلة (J_2) بين طرف المجمع وطرف القاعدة للترانسستور (م - ق) بتغذية عكسية من المنبع (بطارية ٢) – كنتيجة لذلك يتسع سمك المنطقة العازلة للوصلة (J_2) والتيار الوحيد المار من القاعدة الى المجمع هو نتيجة إلكترونات الأقلية عبر الوصلة (J_2) من القاعدة مكونة تيار عكسى٠



(أ) تغذية أمامية للوصلة (J_1) (ب) تغذية عكسية للوصلة (J_2)

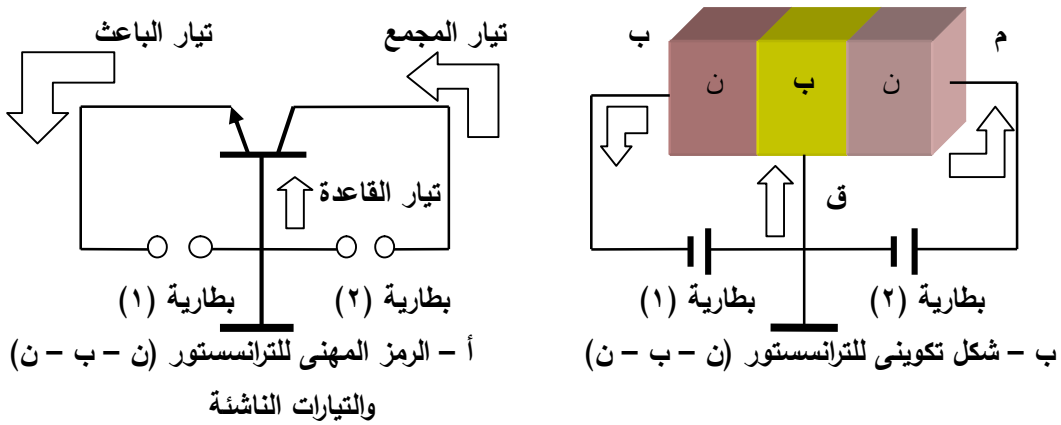
الشكل (٣-٤) تغذية الوصلتين للترانسستور نوع (ن – ب – ن)



الشكل (٣-٥) ترانسستور من النوع (ن – ب – ن) مع مصادر التغذية

يوضح الشكل (٣-٥) أقطاب التغذية لترانسستور من النوع (ن – ب – ن) لآلية التشغيل العادى – مع ملاحظة أن القطب السالب لمصدر التغذية (بطارية ٢) متصل بالقطب الموجب لمصدر التغذية (بطارية ١) وكليهما متصل بطرف القاعدة – وحيث أن القاعدة متصلة بالأرض – يمكن إعتبارها نقطة مشتركة فى الدائرة. تم ملاحظة أن الباعث سالب القطبية والمجمع موجب القطبية كليهما بالنسبة الى القاعدة. هذه الآلية هى الوضع العادى لتشغيل الترانسستور من النوع (ن – ب – ن). وحيث أن القاعدة رفيعة السمك وقليلة الحقن بالشوائب فإن الإلكترونات التى تمثل الأغلبية تتحرك من الباعث الى القاعدة وتتحد مع الثقوب فى القاعدة. الجزء الأكبر من الإلكترونات المحقنة والتى تمثل الشحنات الأقلية فى القاعدة تتحرك عبر الوصلة (J_2) تحت تأثير المجال الكهربائى لمصدر التغذية (بطارية ٢) . تتحرك معظم الإلكترونات المحقنة (I_E) فى

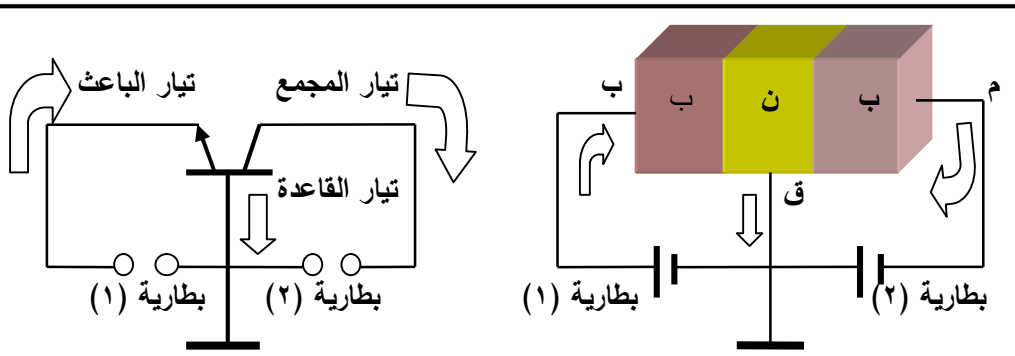
القاعدة الى المجمع مكونة تيار المجمع ٠ جزء صغير من تيار الباعث يتحد مع الثقوب فى القاعدة٠ كل إلكترون يتحد مع ثقب فى القاعدة – يترك إلكترون فى إتجاه طرف القاعدة مكونا تيار القاعدة ٠



أ – الرمز المهنى للترانسستور (ن – ب – ن) والتيارات الناشئة

ب – شكل تكوينى للترانسستور (ن – ب – ن)

الشكل (٣–٦) الدائرة المكافئة للترانسستور (ن – ب – ن)

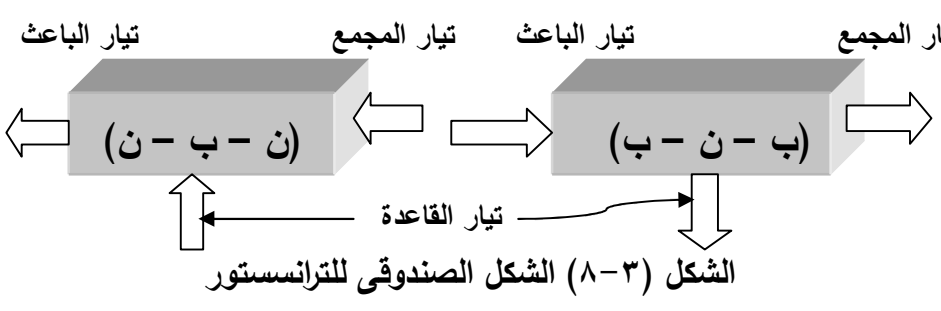


أ – الرمز المهنى للترانسستور (ب – ن – ب) والتيارات الناشئة

ب – شكل تكوينى للترانسستور (ب – ن – ب)

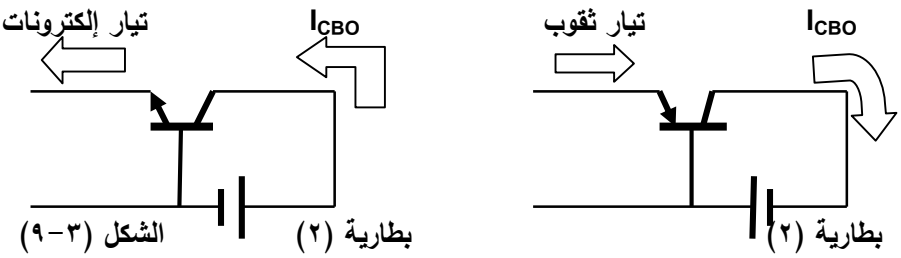
الشكل (٣–٧) الدائرة المكافئة للترانسستور (ب – ن – ب)

يوضح الشكل (٣–٦) والشكل (٣–٧) الرمز المهنى للترانسستور (ن – ب – ن) والترانسستور (ب – ن – ب) ٠ بمقارنة الرموز نلاحظ أن الباعث فى الترانسستور (ن – ب – ن) يتمثل بسهم يشير الى الخارج من القاعدة بينما فى الترانسستور (ب – ن – ب) فإن السهم يشير الى داخل القاعدة٠ الشكل (٣–٨) يستبدل كل نوع من أنواع الترانزستورات، بمربع واحد يشير كل منها الى إتجاه التيارات الداخلة والخارجة في الترانزستورات.



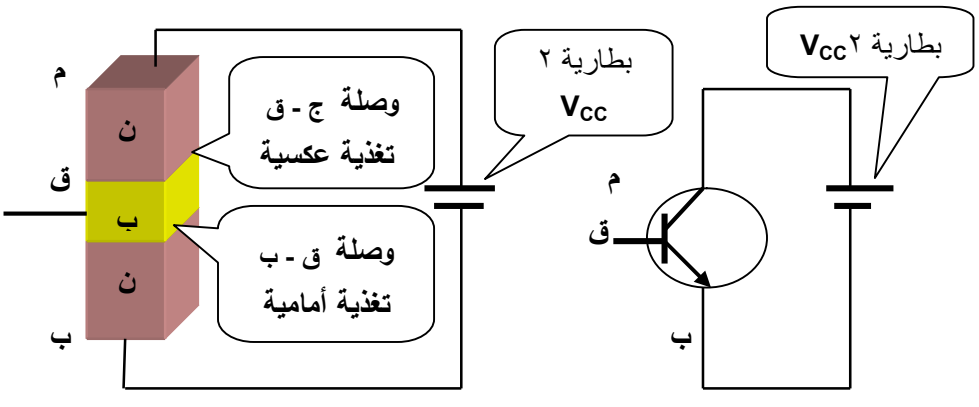
الشكل (٣–٨) الشكل الصندوقى للترانسستور

يوضح الشكل (٣–٩) تيار المجمع – القاعدة (I_{CBO}) الناتج عندما تكون دائرة الباعث ليست مغلقة وذلك لكل من نوعى الترانسستور ٠



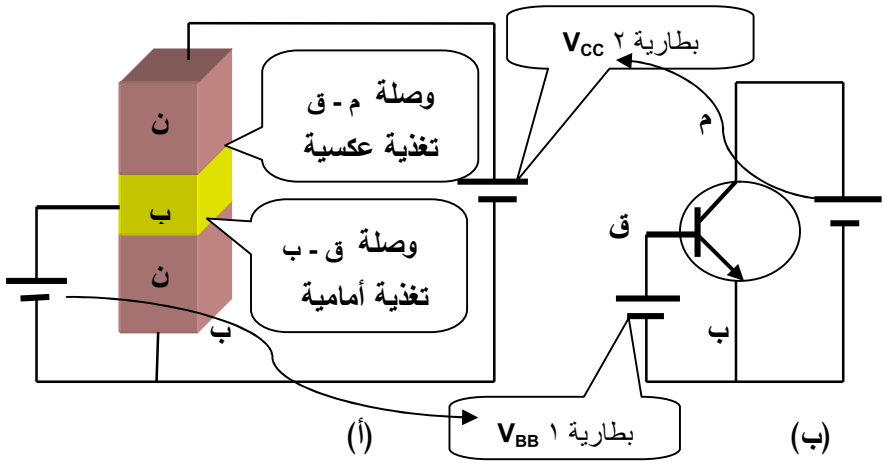
إتجاه تيار المجمع – القاعدة (I_{CBO}) فى كلا نوعى الترانسستور

لشرح المزيد فى آلية عمل الترانسستور – نبدأ بنوع الترانسستور (ن – ب – ن) كما يوضح الشكل (٣–١٠)٠ يمكن أن يكون مصدر التغذية بالجهد المستمر (بطارية ٢) المشار اليه بالرمز (V_{cc}) بطارية أو دائرة تقويم٠ يجب أن تكون تغذية الوصلة (J_1) جهد أمامى وتغذية الوصلة (J_2) جهد عكسى لآلية التكبير الخطى ٠



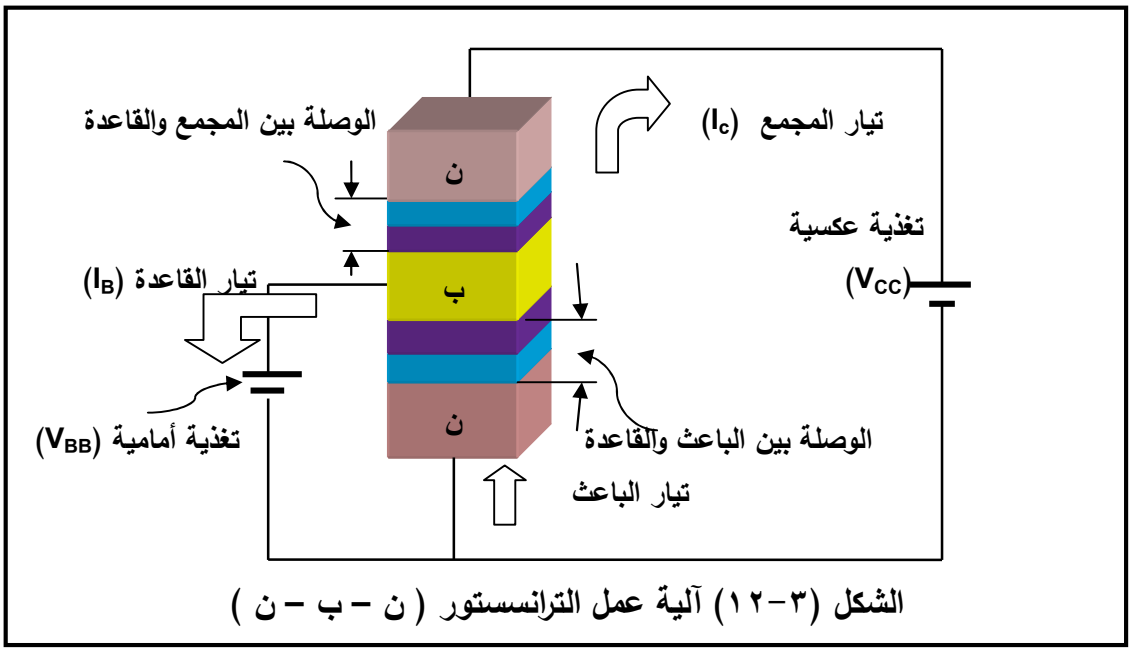
الشكل (٣–١٠) آلية عمل الترانسستور (ن – ب – ن)

فى الشكل (٣-١٠) ما دامت القاعدة مفتوحه، لا يحدوث شئ حيث يتطلب التوصيل مصدر (بطارية ١) خارجية أخرى والمشار اليها بالجهد (V_{BB}) بين القاعدة والباعث ويتم تغذية الوصلة (J1) بجهد أمامى كما هو موضح بالشكل (٣-١١).



الشكل (٣-١١) آلية عمل الترانسستور (ن – ب – ن)

تتصل القاعدة بالقطب الموجب للبطارية (V_{BB}) وبالتالى فإن تغذية الوصلة (J_1) والوصلة (J_2) سالبة. ولما كانت تغذية الوصلة (J_1) أمامية – يسرى التيار إن تعدى جهد التغذية الجهد العائق (V_B). ويحدث إنتشار الإلكترونات من الباعث الى داخل القاعدة والمشار له (تيار الباعث) وبمجرد أن يصل إلى القاعدة تحدث عملية إتحاد بين الإلكترونات والثقوب فى القاعدة.



الشكل (٣-١٢) آلية عمل الترانسستور (ن – ب – ن)

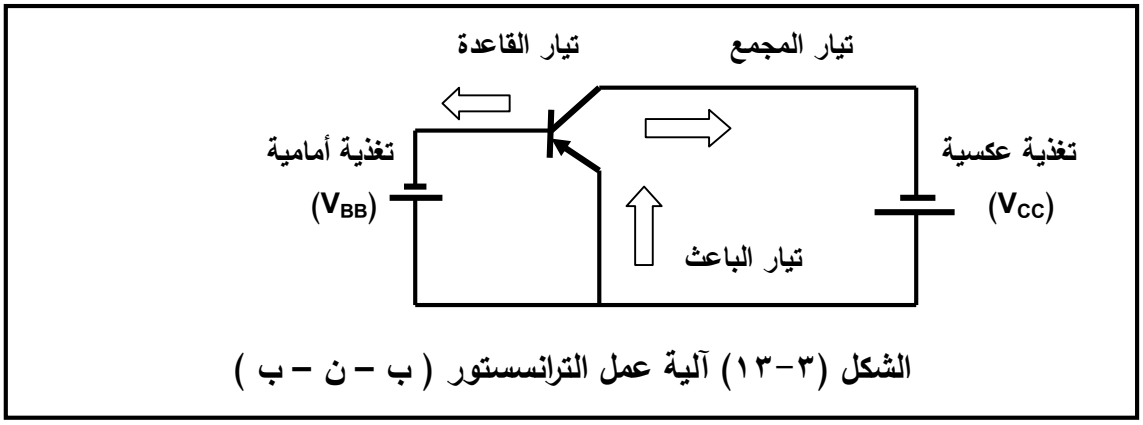
ومع مراعاة أن القاعدة رفيعة السمك وقليلة تركيز الشوائب بها – وبالتالى فإن عملية إتحاد الإلكترونات والثقوب فى القاعدة قليل جدا وحيث أن سمك القاعدة أصغر من طول إنتشار الإلكترونات ($W << L_n$) مما يساعد التيار المحقون (تيار الباعث) للوصول الى الوصلة (J_2) وحيث أن تغذية الوصلة (J_2) تغذية عكسية مما يستقطب الإلكترونات من خارج القاعدة خلال (J_2) الى المجمع كما هو موضح بالشكل (٣-١١) ينتج عنه تدفق تيار المجمع به يكتمل مسار التيار بالشكل (٣-١٢)٠الإلكترونات التى إتدمجت مع الثقوب فى القاعدة تستكمل مسارها الى البطارية (V_{BB}) مكونة تيار القاعدة:

المعادلة (٣-١) $I_E = I_B + I_C$

تسمى النسبة بين تيار المجمع وتيار الباعث كسب التيار ويرمز له بالرمز (ألفا)

المعادلة (٣-٢) $\alpha = I_C / I_E$

القيم النموذجية لكسب التيار ألفا فى المتوسط في نطاق ٩و٠ الى ٩٩و٠ أقل من الواحد الصحيح٠ حتى يمكن تعظيم قيمة كسب الترانسستور (α) يجب أن تكون كمية حقن الشوائب فى الباعث كثيرة وأن تكون القاعدة صغيرة السمك وتركيز شوائب خفيفة ٠ يوضح الشكل (٣-١٣) آلية عمل الترانسستور (ب – ن – ب) – وحتى يتم تغذية وصلتى الترانسستور بشكل صحيح – فإن أقطاب كل من مصدرى الجهد (V_{BB}) و(V_{cc}) متصلين بعكس ما سبق عند الحديث عن آلية عمل الترانسستور (ن – ب – ن)٠



الشكل (٣-١٣) آلية عمل الترانسستور (ب – ن – ب)

ومن هنا فإن المعادلتين (٣-١) و(٣-٢) صالحتين لكلا النوعين٠ لشرح آلية عمل الترانسستور (ب – ن – ب) بحقن الثقوب من الباعث الى القاعدة يتحد بعض من هذه

الثقوب فى القاعدة٠ تتدفق الثقوب المحقنة والتى تساوى تيار الباعث مضروبا فى كسب التيار الفا عبر القاعدة الى المجمع٠

النسبة بين تيار المجمع وتيار القاعدة يشار إليها بكسب التيار بيتا(β) ٠

$$\beta = I_c / I_B$$ المعادلة (٣-٣)

الصيغ الرياضية بين كسب التيار الفا (α) و كسب التيار بيتا (β) موضح كالتالى:

$$I_E = I_B + I_C \quad \& \quad I_C = \alpha I_E$$

$$I_C = \alpha (I_B + I_C) \quad \& \quad I_C (1- \alpha) = \alpha I_B$$

$$\frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

$$\frac{I_C}{I_B} = \beta$$ المعادلة (٣-٤)

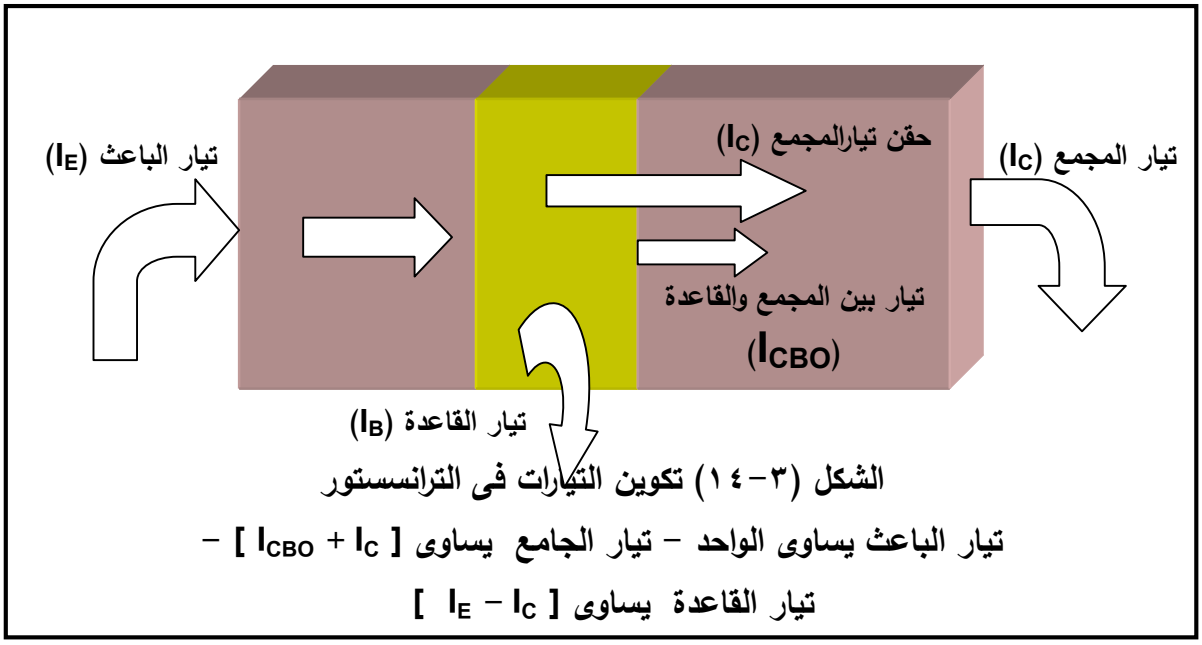
$$\beta = \frac{\alpha}{1- \alpha}$$ المعادلة (٣-٥)

من خلال المعادلتين السابقتين ،

$$\beta (1-\alpha) = \alpha \quad \& \quad \beta = \alpha \beta + \alpha \quad \& \quad \beta = \alpha (\beta + 1)$$

$$\propto = \frac{\beta}{1+ \beta}$$ ومنها المعادلة (٣-٦)

من الواضح أنه يمكن تطبيق المعادلتين (٣-٥) و (٣-٦) على كلا نوعى الترانسستور٠ كما يجب الإشارة – حيث أن تغذية الوصلة (J_2) عكسية – يتواجد تيار عكسى (I_{CBO}) فى نفس إتجاه تيار المجمع كما بالشكل (٣-١٤) ٠



الشكل (٣-١٤) تكوين التيارات فى الترانسستور

تيار الباعث يساوى الواحد – تيار الجامع يساوى [$I_C + I_{CBO}$] –

تيار القاعدة يساوى [$I_E - I_C$]

وبالتالى فإن تيار المجمع الكلى هو حاصل جمع كلا من التيارين:

$$I_C = I_{C(injected)} + I_{CBO}$$ المعادلة (٣-٧)

التيار(I_{CBO}) هو التيار بين المجمع والقاعدة عندما تكون دائرة الباعث مفتوحة٠ في مجال تكنولوجيا الترانزستور – فإن التيار بين المجمع والقاعدة والمشار له (I_{CBO}) ذو قيمة صغيرة جدا ويمكن إهماله فى بعض التطبيقات الخاصة٠ دعنا دائما نتذكر – أن التيار (I_{CBO}) هو تيار التشبع العكسى (I_o) فى الوصلات الثنائية٠ ويتأثر بمقدار الجهد العكسى ودرجات الحرارة ٠ يتضاعف التيار (I_{CBO}) مع إرتفاع كل عشرة درجات فى الحرارة ويشار الى التيار (I_{CBO}) التيار المتسرب بين المجمع والقاعدة ٠

٣ – ٢ آليات الكسب[٣] فى الترانزستور

لا يعتبر الترانزستور ثنائى القطبية مكبر كسب تيار – ولكن بإضافة مصدر تغذية وحمل مناسب يمكن أن يصبح مكبر كسب قدرة أو مكبر كسب جهد٠ ومن الممكن الوصول إلى ذلك بالتحكم فى كمية الشوائب أو المقاومة النوعية لكل من الباعث والقاعدة والمجمع وعلى ذلك :

$$I_C^2 R_{o/t} >> I_E^2 R_{i/n}$$

النسب النموذجية للمقاومة النوعية لكل من الباعث والقاعدة والمجمع على نحو ١ : ٢١٠ : ٤١٠ – كما أوضحنا سابقا أن كسب التيار للترانسستور ذو القاعدة المشتركة هو أقل من الواحد ($I_c < I_E$) ٠ فى حال توصيل الترانسستور تكوين الباعث المشترك – فإن التيار الداخل هو تيار القاعدة وهو الفرق بين كل من تيار الباعث وتيار المجمع وبالفرض أن تيار الباعث يساوى الواحد وتيار المجمع يساوى الفا (α) وتيار القاعدة يساوى واحد

---

[٣] power gain، voltage gain ، current gain) الكسب هو مقياس لدائرة بمنفذين (غالبا مكبر) لزيادة طاقة أو قيمة لإشارة من منفذ الإدخال إلى منفذ الإخراج بإضافة الطاقة المحولة من بعض مصادر الطاقة إلى الإشارة٠ وهى نسبة متوسطة لقيمة إشارة أو الطاقة عند منفذ الإخراج إلى القيمة أو الطاقة في منفذ الإدخال٠وكثيراً ما يعبر عنها باستخدام الديسيبل الوغاريتمي (dB)٠التكبير لقيم أكبر من الواحد (صفر ديسبل) هذا التضخيم، هو الخاصية المميزة للعناصر النشط أو لدائرة، بينما فى الدوائر السلبية سيكون المكسبا أقل من واحد٠ كما يستخدم مصطلح الكسب للتعريف بنسبة الدخل إلى االخرج فيمكن أن يكون (كسب الجهد)، (كسب التيار) ، (كسب الطاقة أو القدرة)

سالب كسب التيار ألفا ($I_B = 1-\alpha$) وبالتالى فإن كسب التيار من القاعدة الى المجمع يمكن التعبير عنه بالقيمة بيتا (β) وهى قيمة أكبر من الواحد الصحيح.

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$ المعادلة (٣-٨)

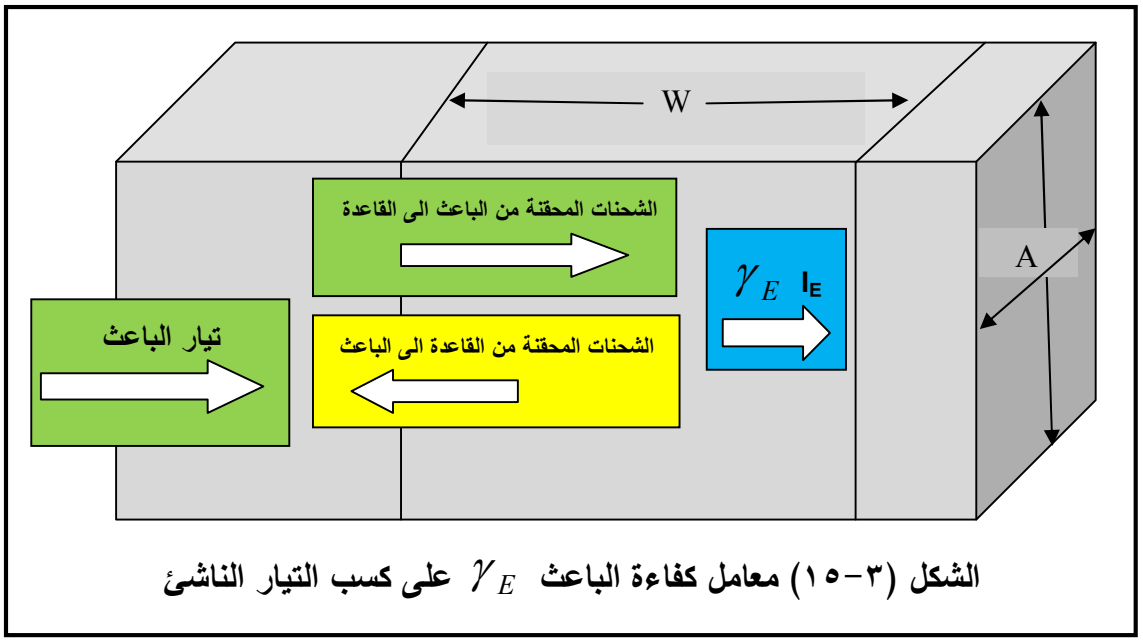
وللحصول على كسب تيار عالى ، فإن النسبة بين تيار القاعدة وتيار الباعث يجب أن تكون صغيرة جدا- هناك ثلاث معاملات يجب مراعاتها لتقليل قيمة تيار القاعدة .

- كفاءة الباعث

ليس كل التيار الكلى المتدفق من الباعث الى القاعدة نتيجة لحاملات الشحنات الأغلبية المحقنة من الباعث الى القاعدة – ولكن أيضا مع جزء صغير نتيجة حقن حاملات الشحنات من القاعدة الى الباعث. التيار المحقن من القاعدة الى الباعث يسبب فقد فى حاملات الشحنات الأغلبية فى القاعدة. كفاءة الباعث γ_E فى الترانسستور (ن – ب – ن) هى نسبة حاملات الشحنات المحقنة من الباعث الى تيار الباعث نفسه.

$$\gamma_E = \frac{1}{\left[1 + \left(\delta_E W / \delta_B L_{pE}\right)\right]} = 1 - \left(\frac{\delta_E W}{\delta_B L_{pE}}\right)$$ المعادلة (٣-٩)

حيث (δ_E) و (δ_B) يمثلان المقاومة النوعية لكل من الباعث والقاعدة – و(W) تمثل السمك المؤثر للقاعدة ($W_{(effective)}$) والذى يساوى سمك القاعدة مطروحا منه تداخل الباعث والمجمع فى القاعدة. يفترض أن السمك المؤثر للقاعدة ($W_{(effective)}$) صغير القيمة وبالتالى تقترب كفاءة الباعث γ_E الى الواحد الصحيح.

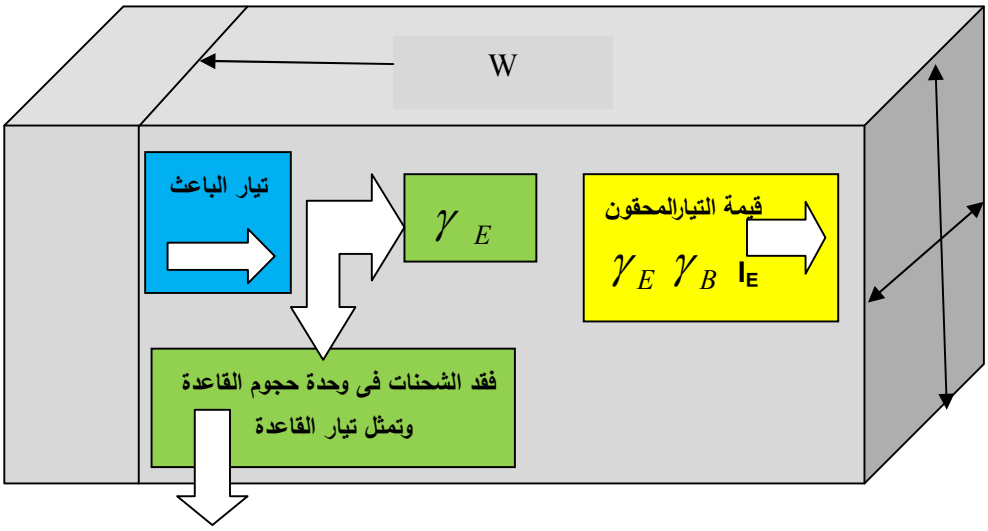


الشكل (٣-١٥) معامل كفاءة الباعث γ_E على كسب التيار الناشئ

- **كفاءة القاعدة[٤]**

تعرف بمعامل النقل فى القاعدة وهى نتيجة لفقد الشحنات الأقلية فى القاعدة من خلال إتحاد الشحنات ٠ للحفاظ على قيمة كفاءة القاعدة بقيمة كبيرة – يجب أن يكون سمك القاعدة صغير ومشوار حياة الشحنات الأقلية كبير فى القاعدة ٠

$$\gamma_B = 1 - \frac{1}{2}\left(\frac{W}{L_{nB}}\right)^2$$ **المعادلة (٣-١٠)**



الشكل (٣-١٥) معامل كفاءة القاعدة γ_B على كسب التيار الناشئ

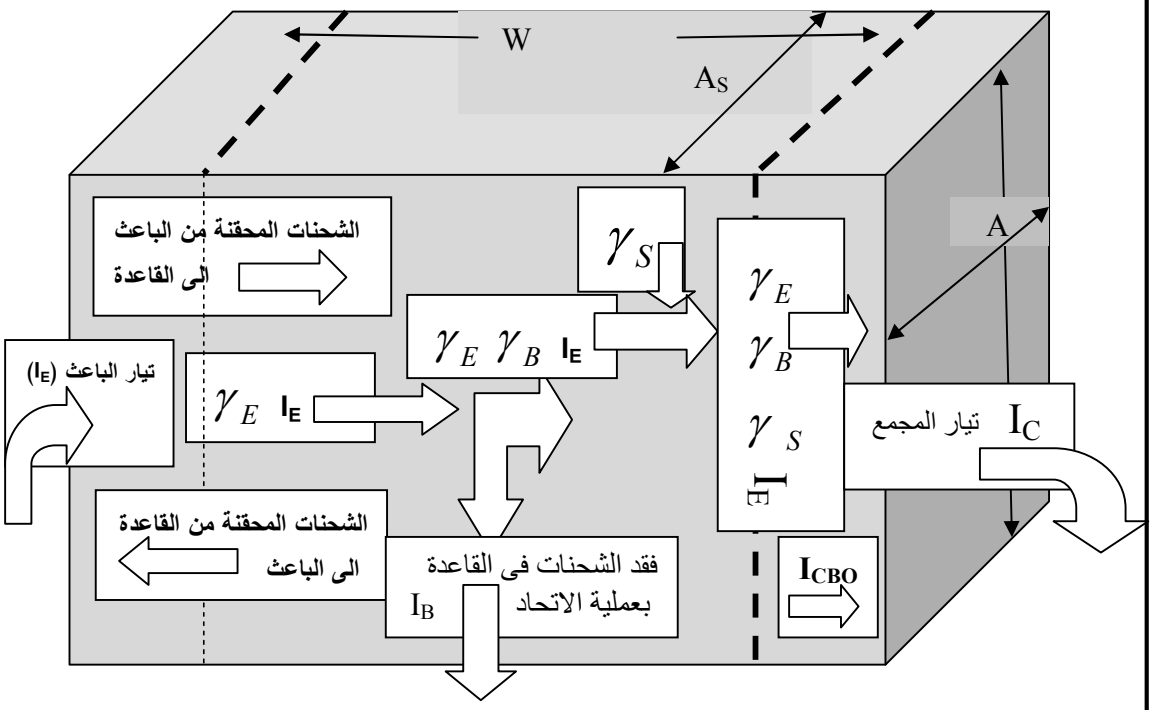
- **كفاءة سطوح الترانسستور**

تحدد كفاءة سطح الترانسستور بقدر إتحاد الشحنات الأقلية فى القاعدة على سطح الترانسستور ٠ ويعتمد مقدار الفقد على أسلوب معالجة السطح ٠ السرعة السطحية لإتحاد الشحنات (S) تساوى معدل إتحاد الشحنات فى الثانية لكل سم^2 ٠

$$\gamma_S = 1 - \left(\frac{AD_{nB}}{SA_S W}\right)$$ **المعادلة (٣-١١)**

[٤] base transport factor) عامل تحديد كفاءة النقل للشحنات الأقلية من خلال قاعدة الترانزستور ثنائي القطب ، أي من وصلة الباعث إلى وصلة المجمع ؛ ينبغي أن تكون قريبة من الواحد الصحيح قدر الإمكان.

حيث (A) مساحة المقطع العرضي للترانسستور و(A_S) مساحة السطح، حاصل ضرب كل من كفاءة الباعث والقاعدة والسطح ($\gamma_C\ \gamma_B\ \gamma_E$) يمثل كسب التيار ألفا .



الشكل (٣-١٧) المعاملات المؤثرة فى كسب التيار ألفا (α)

وبفحص المعادلة التالية وللحفاظ بقيم كبيرة لكل من الثلاث العوامل المؤثرة – يجب أن يكون كل من الثلاث أجزاء من المعادلة ذو قيمة صغيرة وكل عمر حاملات الشحنات كبير وسمك القاعدة صغير والمقاومة النوعية للباعث (δ_E) يجب أن تكون قيمتها صغيرة جدا والسرعة السطحية لإتحاد الشحنات (S) يجب أن تكون صغيرة.

$$\frac{1}{\beta}=\frac{1-\alpha}{\alpha}=\frac{1-\gamma_E\gamma_B\gamma_S}{\gamma_E\gamma_B\gamma_S}$$

$$\frac{1}{\beta}=\left[\left(\frac{\delta_E W}{\delta_B L_{pE}}\right)+\frac{1}{2}\left(\frac{W}{L_{nB}}\right)^2+\left(\frac{AD_{nB}}{SA_S W}\right)\right] \quad \text{المعادلة (٣-١٢)}$$

كسب التيار بيتا (β) للترانسستور هو داله للجهد الواقع على المجمع ويمكن ملاحظة ذلك من المعادلة المعادلة (٣-١٢). بزيادة الجهد على المجمع يزيد سمك المنطقة العازلة بين المجمع والقاعدة والذى يسبب تناقص سمك القاعدة. وهكذا بزيادة جهد

المجمع يزداد كسب التيار بيتا (β) للترانسستور بالاضافة الى حساسية جهد كسب التيار بيتا – كما نعلم فإن كسب التيار بيتا لترانسستور من السيلكون هو دالة لتيار الباعث وبالتالى يتناقص كسب التيار بيتا مع التيار سواء كانت قيمته صغيرة أو كبيرة٠ فى حالة التيار منخفض القيمة يجب أن يؤخذ فى الإعتبار قيمة إتحاد الشحنات الأقلية ومراعاة الفقد الإضافى للشحنات المحقنة فى المنطقة العازلة ما بين الباعث والقاعدة٠

$$I_F = I_R\left(e^{qVo/2KT} - 1\right)$$ المعادلة (٣-١٣)

فى حالة ضعف تيار الباعث فإن التيار الناتج من عملية الإتحاد يكون صغير القيمة وتقريبا ثابت لأي ترانزستور ويمكن أن يكون جزء من التيار الكلى مما يجعل كفاءة الباعث منخفضة٠ فى حالة أن يكون تيار الباعث كبير فإن تيار الناتج عن إتحاد الشحنات صغير وله تأثير منخفض ٠ المعادلة (٣-١٣) أقل حدية بكثير عن تيار الحقن المثالى ونتيجة لذلك يزيد الكسب مع زيادة تيار الباعث٠ كمثال وبفرض أن التيار الناتج عن إتحاد الشحنات يساوى ١ ميكرو أمبير عند تيار باعث يساوى ١٠ ميكرو أمبير، فإن الكفاءة العظمى هى ٩٠% ٠ أما إذا كان تيار الباعث يساوى ١٠٠ ميكرو أمبير مما يتسبب فى زيادة التيار الناتج عن إتحاد الشحنات الى ٣ ميكرو أمبير مما يزيد الكفاءة العظمى الى ٩٧% ٠ مع زيادة التيار تتناقص قيمة كسب التيار بيتا بسبب إنخفاض كفاءة الباعث٠ كثافة الشحنات المحقنة (الإلكترونات من الترانسستور نوع ن – ب – ن) فى القاعدة لتيار الباعث عالى القيمة يمكن أن يتعدى كثافة الإتزان لحاملات الشحنات المستقبلة فى القاعدة٠ وللحفاظ على التعادل الكهربائى في القاعدة يجب تعزيز الثقوب فى القاعدة بقيمه أعلى من قيمة الإتزان المطلوبة لمطابقة الشحنات المحقنة والذى يسبب زيادة في توزيع الشحنات الأقلية٠ يؤدي هذا الى حقن أكبر من الثقوب من القاعدة إلى الباعث التي لا تؤثر فى تيار المجمع مما يؤدى الى إنخفاض فى كفاءة الباعث ويمكن تقييم كفاءة الباعث فى المعادلة (٣-١٢) من العلاقة:

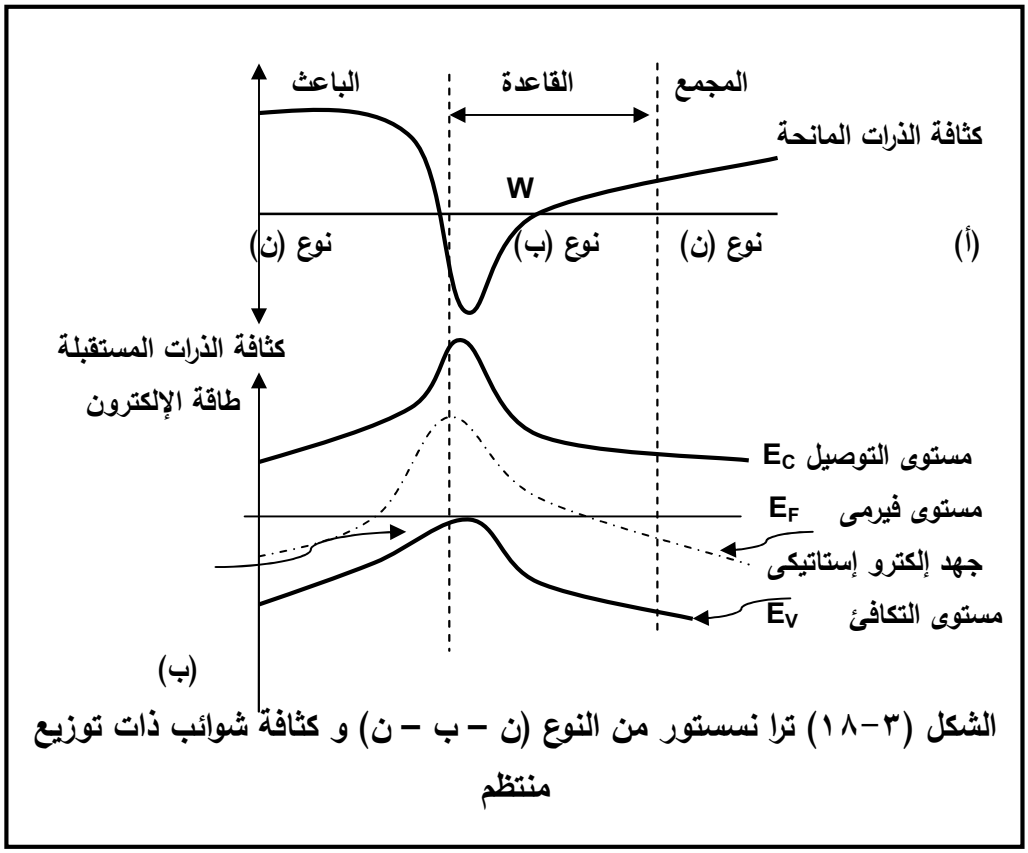
$$\frac{1}{\gamma_E} = 1 + \frac{\rho_E W}{\rho_B L_{pE}}\left(1 + \frac{I_E W}{2qAD_{nB}N_a}\right)$$ المعادلة (٣-١٤)

تتناقص كفاءة الباعث بزيادة تيار الباعث٠ تنطبق جميع المعلومات السابقة على ترانزستور من النوع (ن – ب – ن) الذى يتميز بتوزيع منتظم للشوائب فى منطقة

القاعدة٠ الترانسستور المصنع بتكنولوجيا الإنتشار على أحد الوجوه من مادة السيلكون كما هو الحال فى كل من أشكال الترانسستور المسطحة أو مخروطية الشكل فإن كثافة الثقوب فى القاعدة غير ثابتة كما هو مبين فى الشكل (٣-١٨أ)٠ كثافة الشوائب فى مادة الشبه موصل تؤدى الى مستويات طاقة كما هو موضح فى الشكل (٣-١٨ ب)٠ مع الأخذ فى الإعتبار أن مستويات الطاقة تتطلب حالة إتزان٠ فمن السهل أن نلاحظ أنه عندما يتم تغذية الباعث بحقن إلكترونات أعلى من قمة مستوى الطاقة فى القاعدة، ينخفض مستوى كثافة الإلكترونات فى إتجاه المجمع كما لو أنها تعرضت الى مجال كهربائى وهى الحقيقة٠ هذا المجال الناشئ يقلل الزمن التى تقضيه الإلكترونات في عبور منطقة القاعدة وبالتالي يتم تحسين كفاءة نقل القاعدة٠ توضح المعادلة التالية الكسب للترانسستور من النوع (ن – ب – ن) ذو كثافة توزيع شوائب منتظمة٠

$$\frac{1}{\beta}=\frac{R_{SE}}{R_{SB}}+\frac{1}{4}\left(\frac{W}{L_{nB}}\right)^2+\frac{SA_SW}{AD_{nB}}$$ المعادلة (٣-١٥)

مع ملاحظة أن الجزء الثانى من المعادلة هو نصف القيمة المقابلة لمعادلة القاعدة السابق الإشارة إليها٠ المصطلحات المستخدمة (R_{SE}) و(R_{SB}) هى لمقاومة سطح كل من الباعث والقاعدة على التوالى٠



الشكل (٣-١٨) ترا نسستور من النوع (ن – ب – ن) و كثافة شوائب ذات توزيع منتظم

- **٣-٣ مقاومة القاعدة**

خلال آلية التشغيل العادى للترانسستور – يسرى تيارين فى القاعدة أحدهما تيار المجمع والتيار الثانى هو تيار القاعدة٠ تيار القاعدة ذو قيم صغيرة بالمقارنة بتيار المجمع٠ يسرى تيار المجمع من الباعث الى المجمع على مساحة كبيرة نسبيا خلال مسافة قصيرة وهى سمك القاعدة٠ ومن جانب آخر – يسرى تيار القاعدة على طول محيط الوصلة لذلك فإن التيار يسرى فى مساحة صغيرة جدا وطول سريان التيار على محيط الوصلة كبير نسبيا٠ تسمى المقاومة الموزعة لسريان التيار فى القاعدة بمقاومة القاعدة ويشار لها بالرمز (R_B') ٠ وجود المقاومة (r_B'') تؤدى الى مزاحمة كبيرة لتيار الباعث فى إتجاه محيط الباعث المتاخم الى طرف القاعدة٠ ولهذا السبب فإن طول المحيط وليست مساحة الباعث ذات أهمية لتشغيل الترانسستور٠ عند إستخدام الترانسستور بتكوين القاعدة المشتركة فإن التيار من نقطة الدخل ونقطة الخرج كلاهما يسرى خلال القاعدة المشتركة وينشأ جهد واقع على المقاومة (r_B) ٠يتسبب فى تغذية عكسية غير مرغوب فيها والتى تشير الى ضرورة أن تكون مقاومة القاعدة صغيرة بقدر الإمكان٠ يمكن حساب قيمة مقاومة القاعدة (r_B) بطريقة مباشرة فى حالة أن تكون قيم المقاومة النوعية والشكل الهندسى للقاعدة معروف٠ خلال تشغيل الترانسستور فإن قيمة مقاومة القاعدة (r_B) تتأثر بتغير تيار الباعث وجهد المجمع (V_C)٠ يتسبب التيار الكبير للباعث فى زيادة موصلية المادة المصنع منها القاعدة مما يتسبب فى إنخفاض قيمة (r_B) – بزيادة جهد المجمع يقل سمك منطقة القاعدة مما يحد من سريان تيار الباعث وتزيد قيمة مقاومة القاعدة (r_B) ٠

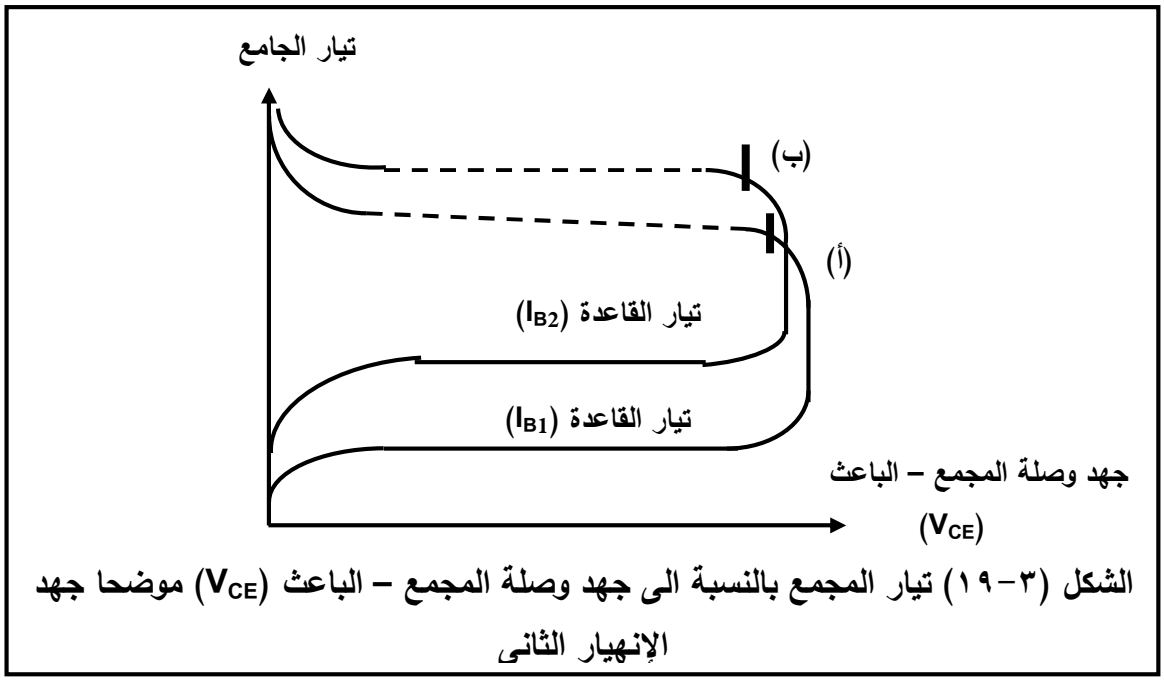
٣-٣ خواص الجهد والتيار فى الترانسستور

تعتمد تصنيفات الجهد والتيارات فى الترامسستور على مستوى كثافة وتدرجات الشوائب فى كل من أجزائه الثلاث ٠ يوجد فى الترانزستور عاملين مهمين ذو تأثير للحفاظ على آلية التشغيل أحدهما يشار إليه بالجهد المتصل وتزاحم التيار[٥] والعامل

---

٥ (($V_{CEO(sus)}$) sustaining voltage) الحفاظ على إتصال الجهد بين المجمع والباعث عندما تكون دائرة القاعدة مفتوحة هو جهد إنهيار الوصلة بين المجمع والباعث عندما تكون قيم تيار المجمع مرتفعة عندما تكون اطراف القاعدة الدائرة مفتوحة – عندما يكون الدائرة مغلقة – التحول الى طرف الباعث من خلال دائرة – التحول الى طرف الباعث

الثانى يشار إليه بجهد الإنهيار الثانى[٦]وهو الأكثر خطورة ٠ يحدث جهد إنهيار الباعث نتيجة الى الإنهيار الجليدى فى الوصلة ما بين الباعث – القاعدة٠ يعتمد جهد الإنهيار الى حد كبير على كثافة الشحنات في جانب منطقة القاعدة للوصلة الملاصقة للباعث كثيفة الشوائب بمكن تحديد الإنهيار الجليدى مرة أخرى بمعرفة إما كثافة أو تدرج تركيز الشوائب فى الوصلة بين الجامع والقاعدة كما فى الشكل (٣–١٩) أو (٣–٢٠)٠



الشكل (٣–١٩) تيار المجمع بالنسبة الى جهد وصلة المجمع – الباعث (V_{CE}) موضحا جهد الإنهيار الثانى

فى حالات نادرة عند إستخدام الباعث بتقنية السبك نجد أن جهد إنهيار الباعث أقل من القيم الموضحة بالشكل (٣–١٩) بسبب تركيز المجال عند حواف القطب٠ يحدث جهد إنهيار المجمع (BV_{CB}) بسبب إما جهد الإنهيار الجليدى أو من خلال إندفاع الجهد[٧]أيهما أقل٠

من خلال مقاومة محددة – التحول الى طرف الباعث من خلال جهد محدد – مع ملاحظة أن الجهد العابر بين طرفى المجمع والباعث أثناء التبديل مع حمل حث من التغذية الأمامية لوصلة القاعدة – الباعث إلى أحد الحالات الخارجية الموضحة أعلاه.

[٦] (Secondary breakdown –(BV_{EBO})) الإنهيار الثاني وضع لا رجعة فيه مسببا فشل في ترانزستورات القدرة ذات مساحة وصلة كبيرة، تحت شروط معينة للتيار والجهد، ، يتركز التيار في منطقة واحدة من وصلة القاعدة – الباعث مسببا إرتفاع فى درجة حرارة وضعية مما يتسبب فى تدمير الترانزستور٠ يمكن أن يحدث الانهيار الثاني على حد سواء مع التغية الأمامية أو العكسية٠

[٧] (punch through V_{PT}) بزيادة جهد المجمع تتناقص سمك القاعدة الفعلى الى الصفر ويصبح جهد تغذية وصلة الباعث بساوى صفر كلمايصل جهد المجمع الى القاعدةويسبب تناقص جهد وصلة الباعث مسببا غرتفاع تيار الباعث ٠ وبالتالى هناك ضرورة لوجود حد أقصى لجهد المجمع – تسمى هذه الظاهرة إندفاع الجهد

يزداد سمك المنطقة المفرغة بزيادة جهد التغذية على وصلة (المجمع – القاعدة) وتمتد بالكامل عبر منطقة القاعدة وتتلامس مع المنطقة المفرغة لوصلة (القاعدة – الباعث) مما يتسبب فى إندفاع الجهد ويحدث الإنهيار بمجرد تلامس المنطقتين المفرغتين للوصلتين (J_2) و(J_1) كما يمكن السيطرة على إندفاع الجهد بالتحكم فى جهد الجامع وتدرج كثافة الشوائب وسمك منطقة القاعدة وهى العوامل التى تسيطر على إندفاع الجهد٠ يمكن حساب سمك المنطقة المفرغة بإستخدام معادلة بواسون كما فى المعادلات (٣–١٥) و(٣–١٦) للوصلات ذات التوزيع الفجائى لكثافة الشوائب، أو المعادلة (٣–١٧) للوصلات ذات التوزيع المنتظم التدريجى لكثافة الشوائب٠

$$\frac{\partial^2 V(X)}{\partial X^2} = \frac{\rho(x)}{\varepsilon_r \varepsilon_o}$$ المعادلة (٣–١٥)

$$= - q N_a P$$ المعادلة (٣–١٦)

$$\frac{\partial^2 V(X)}{\partial X^2} = \frac{qN_a}{\varepsilon_r \varepsilon_o}$$ المعادلة (٣–١٧)

مع ملاحظة أنه فى حالة الإنهيار عند الجهد المرتفع يسرى التيار بين المجمع والقاعدة ، حيث يسرى تيار إندفاع الجهد بين المجمع والباعث٠ ينبغي إستيعاب أكثر لظاهرة جهد الإنهيار طالما أن الآلية ليست واضحة جداً – هل جهد إنهيار وصلة (المجمع– الباعث) يحدث عندما تكون الدائرة الكهربائية بتكوين القاعدة المشتركة مفتوحة وبدون تيار قاعدة خارجى؟ ويشار عادة الى ذلك بظاهرة إتصال الجهد[٥] ($BV_{CE\ (sus)}$) أو (BV_{CEO}) ٠ تحت هذه الشروط – يكون جهد التغذية الأمامى لوصلة (الباعث – القاعدة) والتيار المار كما يلى:

$$I_C = I_{CBO} + \alpha I_E$$ المعادلة (٣–١٨)

حيث (I_{CBO}) هو تيار (المجمع – القاعدة) العكسى عندما تكون الدائرة الكهربائية للباعث مفتوحة٠ وحيث أن تيار المجمع يساوى تيار الباعث يساوى تيار بين (الجامع – القاعدة) العكسى ($I_C = I_E = I_{CEO}$) لدائرة كهربائية غير مغلقة القاعدة :

$$I_{CEO} = I_{CBO} + \alpha I_{CEO}$$ المعادلة (٣–١٩)

لذلك :

$$I_{CEO} = \frac{I_{CBO}}{1-\alpha}$$ المعادلة (٣-٢٠)

يشار بالرمز (I_{CEO}) الى تيار المجمع الى الباعث عندما تكون دائرة قاعدة الترانسستور مفتوحة٠ يتضح من المعادلة (٣-٢٠) عندما يكون تيار المجمع الى الباعث أكبر من تيار المجمع–القاعدة العكسى (I_{CBO}) بمعامل ($1/(1-\alpha)$) والذى يساوى تقريبا كسب التيار بيتا للترانسستورعندما تكون دائرة قاعدة الترانسستور مفتوحة٠ يرتفع التيار كلما زاد الجهد الواقع بين المجمع والباعث بسبب تضاعف ظاهرة الإنهيار الجليدى فى وصلة المجمع ، والتى بدورها تتسبب فى زيادة كسب التيار ألفا للترانسستور٠ يمكن حساب معامل تضاعف ظاهرة الإنهيار الجليدى (M) بالصيغة التالية:

$$M = \frac{1}{1-(V/V_B)^n}$$ المعادلة (٣-٢١)

حيث (V_B) جهد الإنهيار الجليدى و(n) ثابت تتغير قيمته من ٢ الى ٦ طبقا لنوع الوصلة المستخدمة٠ الكسب النهائى للترانسستور هو حاصل ضرب الكسب ألفا (α) ومعامل تضاعف ظاهرة الإنهيار الجليدى(M)٠ بالتعويض عن قيمة (αM) فى المعادلة (٣-٢٠) – عندما ($\alpha M = 1$) يرتفع تيار المجمع الى الباعث (I_{CEO}) الى ما لا نهاية ويحدث الإنهيار– لهذه الحالة:

$$M = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{1-\left(BV_{CEO}/BV_{CBO}\right)^n}$$ المعادلة (٣-٢٢)

$$BV_{CEO} = (1-\propto)^{1/n}\ BV_{CBO}$$ المعادلة (٣-٢٣)

إذا كانت قيمة كسب التيار ألفا (α) منخفضة فإن ظاهرة أنتظام إتصال الجهد[٥] لا يختلف كثيرا عن جهد الإنهيار الجليدى– ولكن للعناصر ذات كسب تيار مرتفع فهناك إختلاف كبير٠عادة لا يستخدم الترانسستور عند جهد أعلى من قيم إنتظام إتصال الجهد لظهور آثار مقاومة سلبية تسبب عدم الإستقرار وينتج ضرر أو تدمير للترانزستور٠ يحدث نوع آخر من إنهيار الجهد ذو تأثير مزعج في تصميم الدوائر يسمى جهد الإنهيار الثانى ويكون الجهد من الباعث الى الجامع صغير للغاية٠ فذلك يمكن أن يكون مدمراً للترانزستور ومكونات أخرى في النظام ٠ على الأرجح أن السمة الأكثر وضوحاً المرتبطة بالانهيار الثاني هو إنخفاض مفاجئ في جهد المجمع٠ بمجرد أن يكون الترانزستور في

هذه الحالة تنشأ مقاومة ديناميكية سلبية ويميل التيار للتدفق بعيداً إذا سمحت الدائرة٠ كما يوضح الشكل (٣-١٩) فإن خواص الجهد والتيار فى حالة ثبوت تيار القاعدة٠ عندما يصل الجهد والتيار إلى نقطة مثل (أ) أو (ب) يحدث الإنهيار الثانى٠ هناك دائماً تأخير فى الوقت بعد الوصول إلى نقطة (أ) أو (ب) وحدوث الإنهيار الثانى – يقود هذا الى الفكرة القائلة بأن بعض الطاقة مطلوبة لبدء التأثير٠ ويشار إلى هذه الفرضية نظرية الهروب الحراري[٨] وتقترح هذه النظرية ظهور بقعة ساخنة في وصلة المجمع وتركيز تدفق التيار في هذه البقعة٠البقعة الساخنة لها معاوقة منخفضة تقصر المجمع خارجا مسببة إنخفاض بسيط فى الجهد٠ جميع أنواع الترانسستور وبعض الدايود ذات المساحة الكبيرة نسبيا والتى تستخدم فى تطبيقات القدرة تعانى من هذا الإنهيار، ولكن الأكثر ملاحظته في الترانزستورات فى مجالات القدرة والجهد العالي والترددات العالية حيث أن كثافة القدرة عند وصلة المجمع عالية أثناء التشغيل العالى٠ وهى أكثر وضوحاً في العناصر المترسبة رأسيا حيث تكون المقاومة المتصلة بالمجمع على التوالى صغيرة ٠

٣-٤ قطع إشارة التردد[٩]

كسب التيار الترانسستور (بتكوين قاعد مشتركة) ثابت القيمة مع التردد ثم يتناقص بطريقة مشابهة إستجابة للتردد فى دائرة تجمع مقاومة ومكثف[١٠]٠ يتحدد التردد الزاوى أو المشار له تردد قطع الإشارة (f_α) بإنخفض معامل التردد الى ٠٧٠٧و٠ من قيمة التردد المنخفض٠ يتناسب تردد قطع الإشارة (f_α) عكسيا مع الزمن الكلى لإنتشار إشارة الباعث الى المجمع ويمكن تقريبها بأربع ثوابت تحدد الوقت ٠

١- زمن شحن سعة وصلة (الباعث – القاعدة)

تمثل سعة الوصلة بين (الباعث – القاعدة) (C_{TE}) مع المقاومة الديناميكية لها

---

[٨] (Thermal runaway) يشير إلى حالة تكون هناك زيادة في درجة الحرارة تتسبب فى تغيير الشروط بطريقة تؤدي إلى زيادة أكثر في درجة الحرارة، غالباً ما يؤدي إلى نتائج مدمرة. . وهذا نوع من التغذية المرتدة الإيجابية غير محكومة٠ وبعبارة أخرى، "نظرية الهروب الحراري" تصف عملية التي يتم الإسراع بزيادة درجة الحرارة، في المقابل الإفراج عن الطاقة التى تتسبب فى زيادة اكبر لدرجة الحرارة

[٩] (cutoff frequency,corner frequency, or break frequency) التردد هو حد استجابة التردد لنظام الطاقة التي تتدفق من خلال النظام تبدأ بالتناقص (الموهنة أو المنعكسة) بدلاً من مرورها خلال النظام.

[١٠] (RC network)

(re) دائرة على التوازى لها ثابت زمنى ($\tau_E = r_e C_{TE}$) وحيث أن قيمة المقاومة الديناميكية تساوى ($r_e = KT / q I_E$) فمن الممكن أن يكون ثابت الزمن (τ_E) كبير القيمة عند تيار تشغيل ضعيف٠ ويمكن حساب سعة الوصلة على النحو التالى:

$$C_{TE} = A\sqrt{\frac{q\varepsilon_r\varepsilon_o N_B}{2V}}$$

المعادلة (٣-٢٤)

حيث (A) مساحة وصلة الباعث و (N_B) كثافة الشوائب فى جانب القاعدة الملاصق لوصلة الباعث٠ عند تشغيل الترانسستور بقيمة تيار تشغيل معروف – من الممكن تقليل ثابت الزمن (τ_E) بتصميم مساحة وصلة (الباعث – القاعدة) صغيرة وأيضا مراعاة أن تكون مقاومة القاعدة كبيرة ٠

٢- زمن النقل فى القاعدة (τ_B)

وهو الزمن المطلوب لإنتشار الشحنات الأقلية المحقونة عبر منطقة القاعدة الى المجمع وتساوى :

$$\tau_B = \frac{W}{v_B}$$

المعادلة (٣-٢٥)

حيث (W) تمثل سمك المنطقة المفرغة بين حافتى الوصلة فى منطقة القاعدة و(v_B) متوسط السرعة عبر القاعدة٠ وحيث أن ($v_B = D/W$) حيث (D) ثابت إنتشار حاملات الشحنات بالمتر المربع على الثانية –

$$\tau_B = \frac{W^2}{D}$$

المعادلة (٣-٢٦)

هناك علاقة بين (τ_B) و(ω_B) حيث (ω_B) هى تردد القطع فى القاعدة وتساوى ((ω_B) (τ_B) = ٢,٤٣) ٠ يتناقص زمن عبور القاعدة بزيادة جهد (المجمع – القاعدة)٠ كلما إتسعت المنطقة المفرغة للمجمع فى منطقة القاعدة تتسبب فى تناقص السمك الفعلى للقاعدة٠ وحيث أن زمن النقل فى القاعدة يتناسب عكسيا مع معامل إنتشار حاملات الشحنات الأقلية، ومن ثم حركية حاملات الشحنات الأقلية مما يجعل تردد القطع فى الترانسستور من النوع (ن– ب– ن) أكبر منه فى الترانسستور من النوع (ب – ن – ب)٠

٣- زمن عبور المنطقة المفرغة للمجمع (τ_D)

عندما تصل حاملات الشحنات الأقلية الى حافة المنطقة المفرغة بين (المجمع والقاعدة) تتعرض الى مجال كهربائى٠ تنحرف حاملات الشحنات عبر المنطقة المفرغة

بمعدل يمكن تحديده بقيم حركية الشحنات ومقدار المجال الكهربائى٠ وقد تلاحظ زيادة سرعة الإنحراف مع زيلدة المجال الكهربائى الى قيمة الحد الأقصى٠ الحد الأقصى لسرعة الإنحراف للترانسستور المصنع من السيلكون يصل الى ٥و٨ x ١٠^٤ متر/ ثانية عند قيمة المجال الكهربائى حوالى١٠^٦ فولت/متر٠ يتم الوصول إلى هذا القدر من كثافة المجال الكهربائى في معظم العناصر عند جهود مجمع منخفضة الفولتية ولذلك فإن زمن عبور المنطقة المفرغة للمجمع (τ_D) يساوى:

$$\tau_D = \frac{X_m}{v_{SC}}$$ المعادلة (٣-٢٧)

حيث (X_m) هى سمك المنطقة المفرغة للمجمع و(v_{sc}) هى السرعة الحدية للإنتشار٠ كما فى الحالات السابقة هناك علاقة بين (τ_D) و(ω_D) حيث (ω_D) هى تردد قطع الإشارة فى القاعدة وتساوى ($\tau_D\ \omega_D = 2$)٠ يتزايد زمن عبور المنطقة المفرغة مع المقاومة النوعية للمجمع وجهد الوصلة بين المجمع والقاعدة بسبب إتساع المنطقة المفرغة٠

٤- زمن شحن سعة وصلة المجمع – القاعدة (C_{TC})

تظهر سعة وصلة (المجمع – القاعدة) (C_{TC}) عبر خرج الترانزستور ويتم شحنها خلال مقاومة (الباعث – المجمع) المتصلة على التوالى ٠ يمكن حساب زمن شحن السعة لوصلة المجمع كالتالى:

$$c = (re + r_{SC})\ C_{TC}$$ المعادلة (٣-٢٨)

حيث (r_{sc}) مقاومة المجمع متصلة على التوالى٠ يمكن الجمع بين الثوابت الأربعة السابقة للحصول على زمن التأخير الكلى للإشارة من الباعث الى المجمع على النحو التالى:

$$\tau_{TOTAL} = \frac{1}{\omega_\alpha} = \frac{1}{\omega_E} + \frac{1}{\omega_B} + \frac{1}{\omega_D} + \frac{1}{\omega_C}$$ المعادلة (٣-٢٩)

للترانسستور من النوع (ن – ب – ن) ، نجد أن إشارة القطع ألفا تساوى:

$$\frac{1}{\omega_\alpha} = r_E C_{TE} + \frac{\omega^2}{2.43D} + \frac{X_m}{2\vartheta_{SC}} + (r_E + r_{SC})C_{TC}$$ المعادلة (٣-٣٠)

علاقة الثابت (2.43) فى (ω_B) والثابت (2) فى (ω_D) تتصل ببساطة بزمن تأخير الإشارة الى زمن العبور يمكن إيجاد قيمة تغير التردد فى إشارة القطع ألفا (f_α) كما يلى:

$$\alpha = \frac{\alpha_O}{1+(j\omega/\omega_\alpha)}$$ المعادلة (٣-٣١)

حيث (α) تمثل التردد المنخفض لكسب التيار لدائرة بتكوين قاعدة مشتركة وحيث أن كسب التيار بيتا ($\beta = \alpha / (1 - \alpha)$) فإن التغير فى تردد كسب التيار بيتا يساوى:

$$\beta = \frac{\alpha_o}{\left[1-\alpha_o+\left(j\omega/\omega_\alpha\right)\right]}$$ المعادلة (٣-٣٢)

يمكن تبسيط المعادلة بتثبيت المعامل ($1 - \alpha_o$) من مقام المعادلة السابقة وتحديد قيمة ($\beta_o = \alpha_o (1 - \alpha_o)$) الى :

$$\beta = \frac{\beta_o}{1+j\omega/(1-\alpha_o)\omega_\alpha}$$ المعادلة (٣-٣٣)

لذلك – فإن التغير فى قيمة كسب التيار بيتا مشابه لما هو متوقع لكسب التيار ألفا٠ قيمة كسب التيار بيتا أكبر من قيمة كسب التيار ألفا ($\beta_o >> \alpha_o$) وينخفض تردد القطع بقيمة ($1-\alpha$) ٠ هذا الإنخفاض فى قيم تردد القطع بسبب الحساسية للمقدار ($1-\alpha$) في مرحلة التحول لقيمة التردد (ω_α) حيث قيمة (β) معروفة مثل عرض النطاق الترددي لكسب التيار (ω_T) والذى يساوى ($2\pi f_T$) – يمكن إثبات أن :

$f_T = 0.7 \alpha_o f_\alpha$ المعادلة (٣-٣٤)

بتحديد قيمة كسب التيار بيتا عند التردد (f) حيث :

$$\left(\frac{1-\alpha_o}{\alpha_o}\right) f_T \langle f \langle f_\alpha$$ المعادلة (٣-٣٥)

ما يعادل تقريبا

$f_T \approx \beta_f$ المعادلة (٣-٣٦)

يستخدم غالبا هذا التقريب لتحديد قيمة (f_T)٠ يشار الى حد تردد التذبذب الأقصى (f_{max}) للترانسستور بالتردد عندما بكون الكسب يتراوح بين القيمة الأمثل وإنخفاض قيمة طرفى المقاومة للوحدة – ويمكن حساب حد تردد التذبذب الأقصى (f_{max}) للترانسستور بالصيغة التقريبية التالية:

$$f_{\max} = \frac{1}{2}\sqrt{f_t f_\alpha}$$ المعادلة (٣-٣٧)

حيث :

$$f_0 = 1/2 \pi r_B C_C$$

هى التردد المماثل لزمن التفريغ لسعة المجمع (C_C) خلال مقاومة القاعدة (r_B)٠ يمثل التردد (f_{max}) الحد الأقصى لإستخدامات الترانسستور حيث لا ينشأ أى كسب عند قيم أعلى من التردد (f_{max})٠ من جهه أخرى – أنه من الممكن تشغيل الترانسستور بقيم أكبر من عرض النطاق الترددى لكسب التيار (f_T) لبعض أنواع ترانسستورات القدرة فى تطبيقات الموجات الميكروووية بسبب سهولة القياس – أحيانا يتم إستخدام الترانسستور بلا مبالاة أعلى من الحد الأعلى لتردد التشغيل٠ من الجدير بالذكر أن عرض النطاق الترددى لكسب التيار (f_T) يمكن أن تكون أما أعلى أو أقل من حدود التردد الحقيقية (f_{max})٠

٣ – ٥ جهد التشبع[١١]

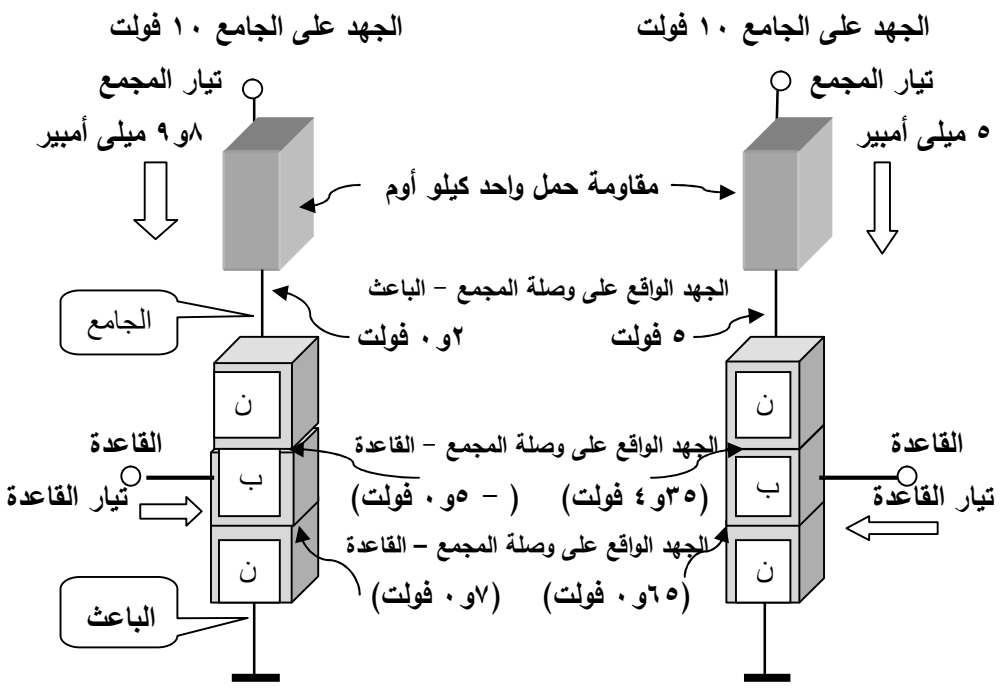
الترانزستور عنصر تبديل (فتح وإغلاق) ممتاز بسبب إنخفاض قيم التسريب عند تبديل حالة الترانسستور الى حالة الفتح (off) والإنخفاض البسيط فى الجهد عند التبديل الى وضع التشغيل (on) وسرعة التشغيل٠ يشار الى آلية تشغيل الترانسستور الى حد التشبع عند تبديل حالة الترانسستور الى وضع القفل أو التشغيل مع التغذية المناسبة للقاعدة لدائرة بتكوين الباعث المشترك٠ عند منطقة التشبع يتم تغذية كلا من وصلتى الباعث والمجمع تغذية أمامية ومن ثم الجهد الواقع على المجمع الى الباعث هو الفرق العددى بين الجهد على وصلة (الباعث – القاعدة) والجهد على وصلة (القاعدة – المجمع)٠ وحيث أن جهد التشبع هو الفرق بين الجهدين المذكورين فهو أصغر من أيهما٠ الشكل (٣–٢٠) يوضح بعض قيم الجهد النموذجية فى المنطقة النشطة لترانسستور من النوع (ن – ب – ن) المصنع من السليكون٠ فى هذه الحالة يتم تغذية وصلة الباعث بتغذية أمامية ووصلة المجمع تغذية عكسية٠ يعتمد الجهد الواقع على المجمع على تيار المجمع والجهد الواقع اللاحق على مقاومة حمل المجمع٠ للوصول الى هذه الحالة فإن تغذية القاعدة تعتمد على كسب التيار بيتا للترانسستور أو عند تيار قاعدة يساوى تيار المجمع مقسوم على كسب التيار بيتا ($I_B = I_c/\beta$) ٠ بزيادة تيار القاعدة

[١١] ترانزستور في حالة التشبع عند أى زيادة في تيار القاعدة لا ينتج عنه تغييرا في تيار المجمع

عن تيار المجمع مقسوم على كسب التيار بيتا يسبب زيادة تيار المجمع وتناقص الجهد على المجمع٠ أقصى قيمة تيار للمجمع ستحدد بقيمة أقل قليلا من الجهد على المجمع مقسوما على مقاومة الحمل (V_{CC} / R_L)٠ عندما يكون كسب التيار بيتا أكبر من

$$\beta I_B > V_{CC} / R_L$$

تصبح تغذية وصلة المجمع أمامية٠ يوضح الشكل (٣-٢٠ ب) جهد التشبع٠الجهد من المجمع الى الباعث فى حالة جهد التشبع يشار له بالرمز(V_{CESAT})٠ يوضح الشكل (٣-٢٠) القيم النموذجية للجهد الخارجى على طرفى الترانسستور٠



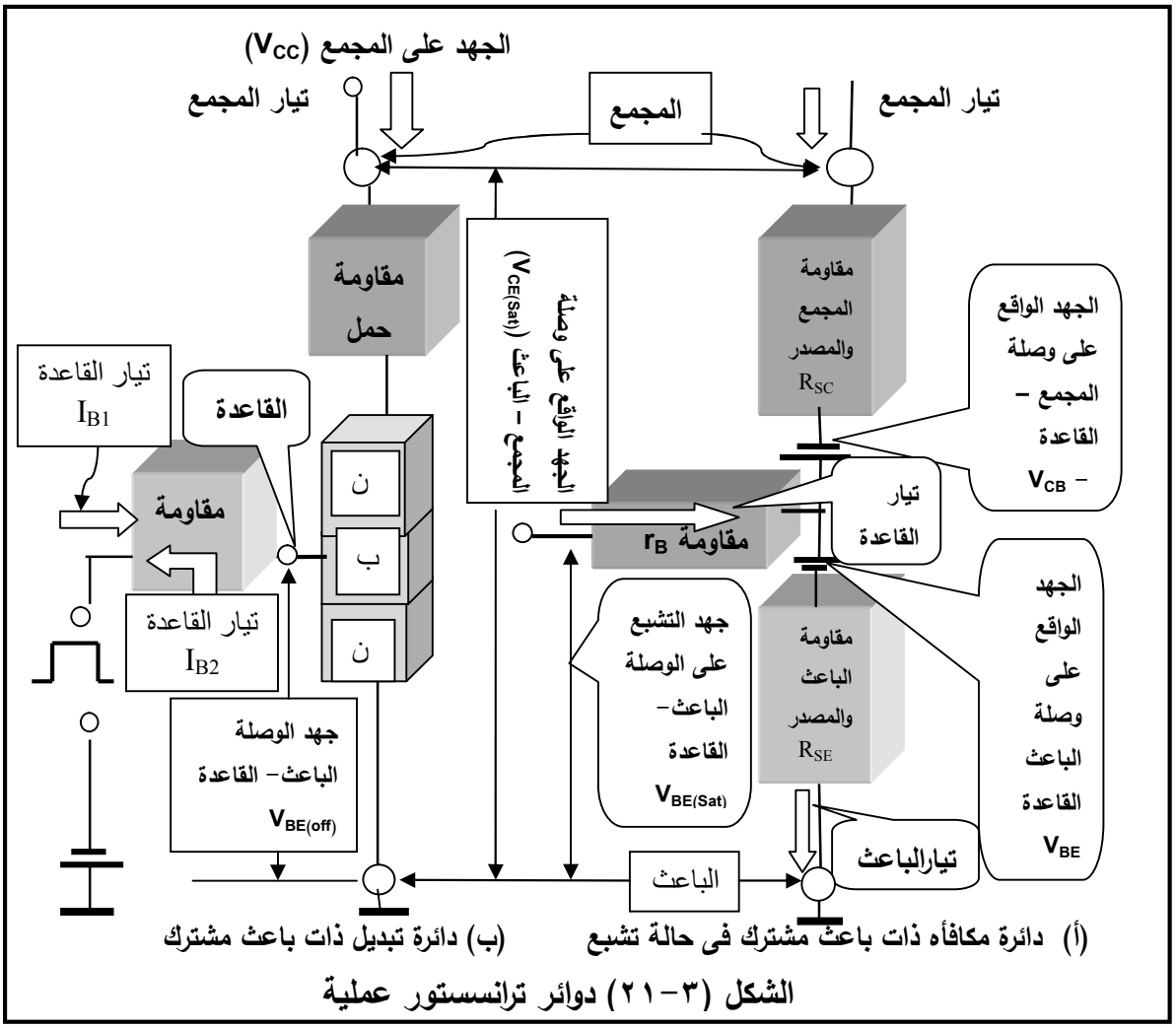
الشكل (٣-٢٠) قيم نموذجية للتيار والجهد للترانسستور فى المنطقتين النشطة والتشبع

يوجد فى العناصر الفعلية بعض المقاومات الطفيلية مع كل طرف خارجى كما هو موضح بالشكل (٣-٢١) والمشار اليها بالرمز (rs_B) فى طرف القاعدة و(r_{SC}) فى طرف المجمع و(r_{SE}) فى طرف الباعث٠ لو أتخذت هذه المقاومات فى الإعتبار – فإن جهد دخل القاعدة يساوى :

$$V_{BE(SAT)} = \frac{KT}{q} \ln \frac{|I_E| + |\alpha_R I_C|}{I_{EBO}} + I_B r_B + I_E r_{SE}$$ **المعادلة (٣- ٣٨)**

حيث كل الرموز لها المعنى العادى ويشار الى الرمز (α_R) بمعكوس كسب التيار للترانسستور حيث تم إستبدال طرف المجمع بطرف الباعث٠ ويتم إيجاد جهد التشبع للجامع ($VC_{CE(SAT)}$) كما يلى:

$$V_{CE(Sat)} = -\frac{KT}{q} ln \frac{\alpha_R \left\{1 - I_C{}^{(1-\alpha)}/_{I_B \alpha}\right\}}{1 - I_C{}^{(1-\alpha_R)}/_{I_B}} + I_C r_{SC} + I_E r_{SE}$$ **المعادلة (٣- ٣٩)**



الشكل (٣-٢١) دوائر ترانسستور عملية

فى الترانسستور المصنع من السيلكون بآلية إنتشار الشوائب نجد القيمة (α_R) عادة ذات قيمة صغيرة مقارنة بالواحد الصحيح – أو ($(1 - \alpha_R) \equiv 1$) ٠ لو تم إستخدام هذا التقريب فى المعادلة (٣-٣٥) – نحصل :

$$V_{CE(Sat)} = -\frac{KT}{q} ln \frac{\alpha_R \left\{1 - I_C/_{\beta I_B}\right\}}{1 - I_C/_{I_B}} + I_C r_{SC} + I_E r_{SE}$$ **المعادلة (٣- ٤٠)**

حيث تم التعويض بقيمة (β) بدلا من ($\alpha / (1 - \alpha)$)

- **الشحنات المخزونة فى الترانسستور**

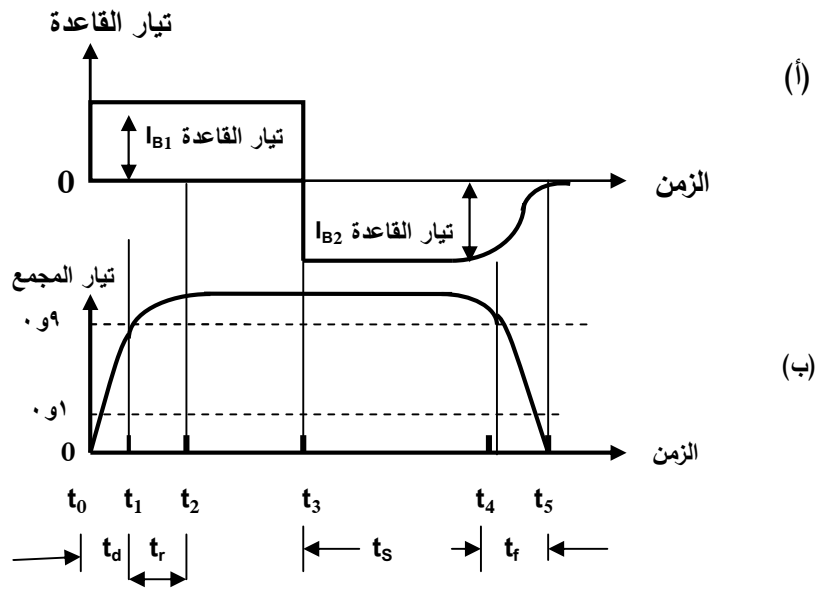
كما ذكرنا سابقا – فإن الترانسستور عنصر تبديل سريع جداً٠ تنطوى المناقشة على آلية إنخفاض جهد الترانزستور عند تشغيلة فى حالة التوصيل وظهور معاوقة عند التبديل لحالة قطع التوصيل التى تتسبب فى إنخفاض الجهد الواقع على القاعدة حتى لا تتمكن الوصلة بين (القاعدة – الباعث) من التوصيل وتتبدل حالة الترانسستور الى حالة قطع التوصيل فى تكوين الدائرة ذات الباعث المشترك٠ فى الحقيقة – فى بعض اللحظات تتغير تغذية وصلة (القاعدة – الباعث) (J_1) الى تغذية عكسية – تحت هذه الظروف يسرى فقط التيار المتسرب من الوصلة (J_1) وترتفع معاوقة الترانسستور كثيرا ٠ هذه المعاوقة الكبيرة غير موجودة – ومع ذلك تتبدل حالة الترانسستور الى حالة قطع التوصيل٠ تبديل حالة الترانسستور من حالة قطع التوصيل الى حالة التوصيل تعنى أن يتعدى الترانسستور المنطقة النشطة التى يحدث فيها التشغيل العادى٠ سرعة إنتقال الترانسستور من المنطقة النشطة تعتبر دالة لمنحنيات الكسب والتردد٠ قد يكون من المفيد عمل مقارنة بين الدايود والترانسستور – قد لوحظ عند تغير تغذية الدايود تدريجيا تأخير زمنى ملحوظ فى وصلة الباعث (J_1) أو وصلة المجمع (J_2) فى الترانسستور٠ يتم تخزين الشحنات المتحركة المحقنة فى جانبى الوصلة وعندما تتم تغذية أمامية تدريجية لا يحدث سريان الشحنات لحظيا ولكن يتطلب زمن محدد قبل الوصول الى حالة إتزان جديدة لكثافة الشحنات الأقلية٠ مع التغذية العكسية فإن الشحنات السابق تخزينها يجب أن تتحرك قبل إكتساب الوصلة معاوقة عالية٠ إذا تم حقن نبضة تيار مربعة للترانزستور عند زمن (t_o) لتبديل حالة الترانسستور الى حالة التوصيل وتبديلها عند زمن (t_3) لحالة قطع التوصيل مع ملاحظة تيار المجمع كما هو واضح فى الشكل (٣–٢٢ أ و ب) ٠ يشار الى زمن التبديل بأنه الزمن الذى يحتاجه تيار المجمع ليصل ٩٠% من قيمته – ثم :

$$t_{ON} = t_d + t_r$$ **المعادلة (٣–٤١)**

حيث : (t_d) زمن التأخير و(t_r) زمن إرتفاع التيار٠ كذلك يحتاج تبديل حالة الترانسستور الى حالة قطع التوصيل الى زمن محدد ليصل تيار المجمع الى ١٠% من قيمته – وبالتالى :

$$t_{OFF} = t_S + t_f$$ **المعادلة (٣–٤٢)**

حيث (t_S) زمن الشحن و(t_f) زمن التفريغ٠ تحديد الأوقات فى المعادلات السابقة لها علاقة بالشكل الهندسى وتكوين الوصلات فى الترانسستور٠



الشكل (٣-٢٢) التكوين الموجى لتيار القاعدة الداخل وتيار المجمع الخارج للترانسستور

مع مراعاة خصائص الوصلتين فى الترانسستور– نحصل على الصيغ التقريبية التالية:

$$t_d = \frac{2C_{TE}\sqrt{V_{BE(OFF)}}}{I_{B1}}$$ **المعادلة (٣-٤٣)**

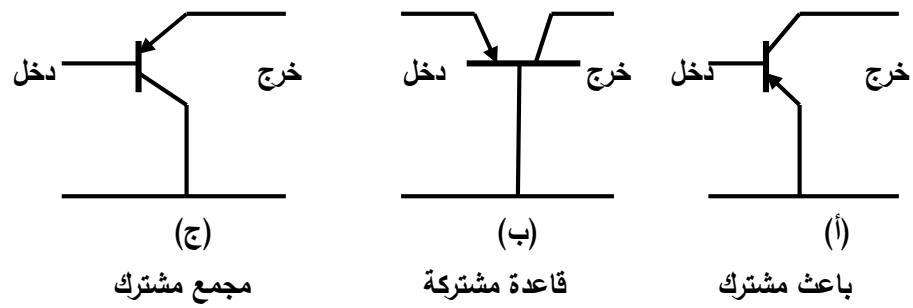
$$t_r = \beta\left\{\frac{1}{\omega_T} + 1.7R_L C_{TE}\right\}\ln\frac{\beta I_{B1}}{\beta I_{B1} - 0.9I_C}$$ **المعادلة (٣-٤٤)**

$$t_f = \beta\left\{\frac{1}{\omega_T} + 1.7R_L C_{TC}\right\}\ln\frac{I_C - \beta I_{B2}}{0.1I_C - \beta I_{B2}}$$ **المعادلة (٣-٤٥)**

$$t_S = \left\{\frac{0.6}{\omega_T} + \frac{\tau_{pC}}{2}\right\}\ln\frac{I_{B1} - I_{B2}}{I_C/\beta - I_{B2}}$$ **المعادلة (٣-٤٦)**

٣-٦ تكوين دوائر الترانزستور والخصائص الثابتة

غالباً يستخدم تحليل الرسوم البيانية التى تتعلق بالجهود والتيارات، يمكن تشغيل الترانسستور بإحدى التكوينات الثلاث الممكنة٠

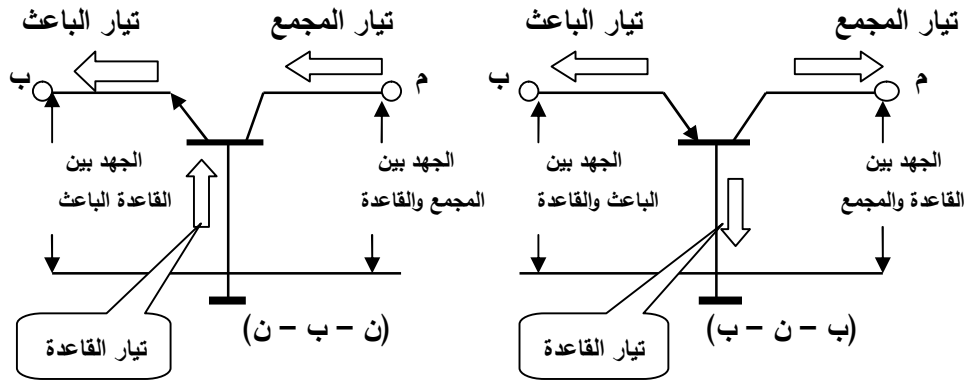


الشكل (٣- ٢٣) التكوينات الثلاث الممكنة لتشغيل الترانسستور

يوضح الشكل (٣-٢٣) أن أحد أطراف الترانسستور الثلاث مشترك بين الدخل والخرج وذلك فى التكوينات الثلاث والموضحة بالشكل٠ تتمثل العناصر المتغيرة والحاكمة فى آلية تشغيل الترانسستور فى أربعة عناصر هى جهد الدخل- التيار الداخل - جهد الخرج - والتيار الخارج٠

٣-٨-١ تكوين القاعدة المشتركة فى دوائر الترانسستور

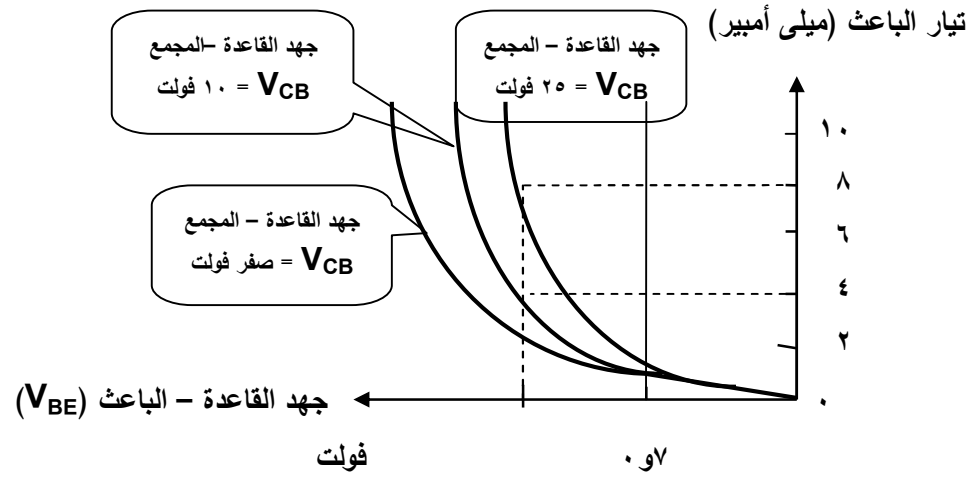
فى تكوين القاعدة المشتركة والمشار لها (C.B) نجد أن الجهد بين القاعدة والباعث يمثل الجهد الداخل (V_{BE}) والجهد بين المجمع والقاعدة يمثل الجهد الخارج (V_{CB})٠ فى المعادلات الرياضية نجد أن الجهد (V_{BE}) هو نفسه جهد التغذية (V_{BB}) والجهد (V_{CB}) هو نفسه جهد التغذية (V_{CC})٠



الشكل (٣-٢٤) جهود الدخل والخرج فى تكوين القاعدة المشتركة لكلا من نوعى الترانسستور

❖ **خصائص الدخل فى تكوين القاعدة المشتركة لدوائر الترانسستور**

يوضح الشكل (٣-٢٥) رسم بياني لتيار الباعث الداخل مقابل الجهد الكهربي للإدخال (V_{BE}) لصمام ثنائي إنحياز أمامى٠ يعتمد منحنى جهد الدخل (V_{BE}) على جهد الخرج ذو التغذية العكسية (V_{CB})٠ عند قيمة جهد(V_{CB})عكسى كبير تتحرك شحنات كثيرة من القاعدة خلال وصلة (القاعدة – المجمع) (J_2) مما يتسبب فى زيادة التيار من الباعث الى المجمع٠



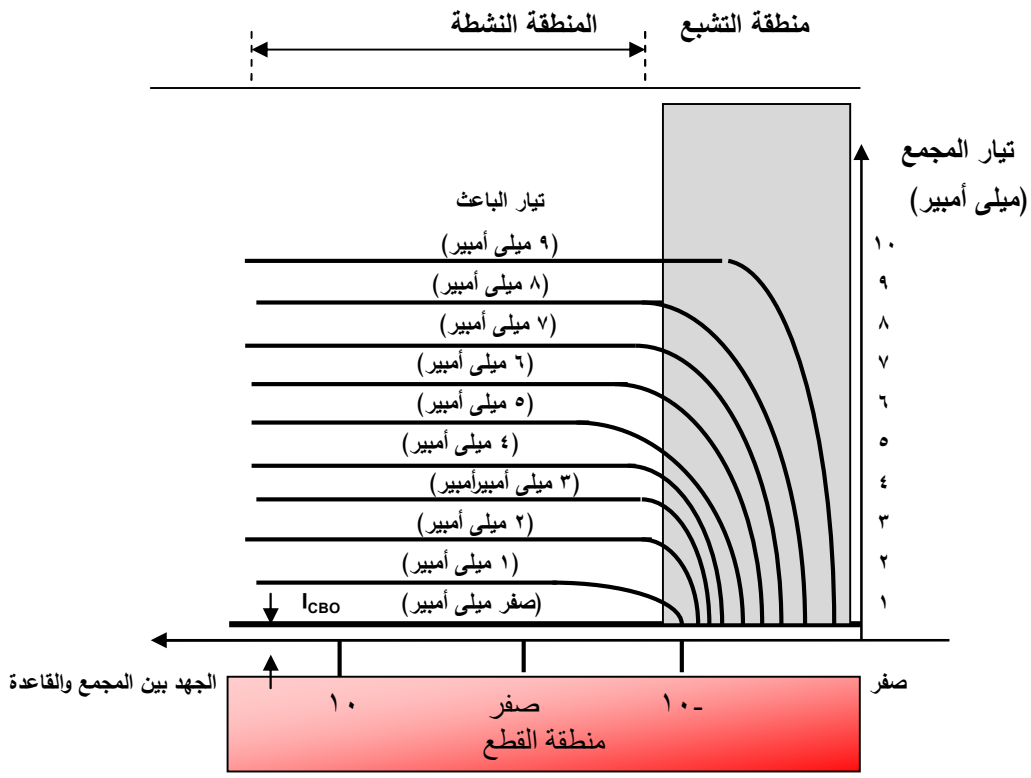
الشكل (٣-٢٥) خواص دخل التيار فى تكوين القاعدة المشتركة للترانسستور (ن – ب – ن)

يوضح الشكل (٣-٢٥) منحنيات الخواص لقيم مختلفة لجهد (المجمع – القاعدة) (J_2) ٠ يوضح كل منحنى تغير تيار الباعث مع قيمة ثابتة لجهد (القاعدة – الباعث) (V_{BE}) لقيمة معينة لجهد (المجمع – القاعدة) (V_{CB})٠ من المنحنى :

- **عند جهد (القاعدة – الباعث) (V_{BE}) = ٠و٧ فولت وقيمة جهد (المجمع – القاعدة) (V_{CB})= ١٠ فولت نحصل على تيار الباعث = ٤ ميلى أمبير**
- **عند جهد (القاعدة – الباعث) (V_{BE}) = ٠و٧ فولت وقيمة (جهد المجمع – القاعدة) (V_{CB})= ٢٥ فولت نحصل على تيار الباعث = ٨ ميلى أمبير**

هناك إختلافات صغيرة فى شكل المنحنيات كلما تغير جهد (المجمع – القاعدة) (V_{CB})٠ لهذا السبب يهمل غالبا تأثير جهد (المجمع – القاعدة) (V_{CB}) فى خواص دخل الترانسستور فى المسائل التطبيقية٠ خواص تكوين القاعدة المشتركة فى الترانسستور (ب – ن – ب) لها نفس الشكل العام السابق إيضاحه٠

❖ **خصائص الخرج فى تكوين القاعدة المشتركة لدوائر الترانسستور**



الشكل (٣-٢٦) منحنيات الخرج لترانسستور (ن – ب – ن) تكوين القاعدة المشترك

يوضح الشكل الجهد الكهربي للخرج (V_{CB}) لقيم مختلفة لتيار الباعث الداخل – نستنتج ما يلى:

١. **يبدأ كل منحنى عند تيار الخرج يساوى صفر ويرتفع بسرعة بزيادة جهد (المجمع – القاعدة) (J_2) بعد أن يتجاوز قيمته السلبية الأولية .**

٢. **حيث أن كل منحنى يمثل قيمة ثابتة لتيار الباعث بينما يتزايد تيار المجمع . فإن النسبة بين تيار المجمع وتيار الباعث تتزايد وهذا يعنى أن بزيادة تيار المجمع من الصفر الى أكبر قيمة كلما يتزايد الجهد الواقع على وصلة (المجمع – القاعدة) (V_{CB}) – وهذا يعنى أن قيمة كسب التيار ألفا غير ثابتة بسبب أن جزء صغير من تيار الباعث قادر على الوصول الى المجمع الى أن يرتفع جهد الوصلة (V_{CB}) الى قيمة كافية لسحب كل الشحنات .**

٣. **بمجرد عكس تغذية الوصلة (V_{CB}) وتصبح قادرة على جذب الشحنات الى طرف المجمع**

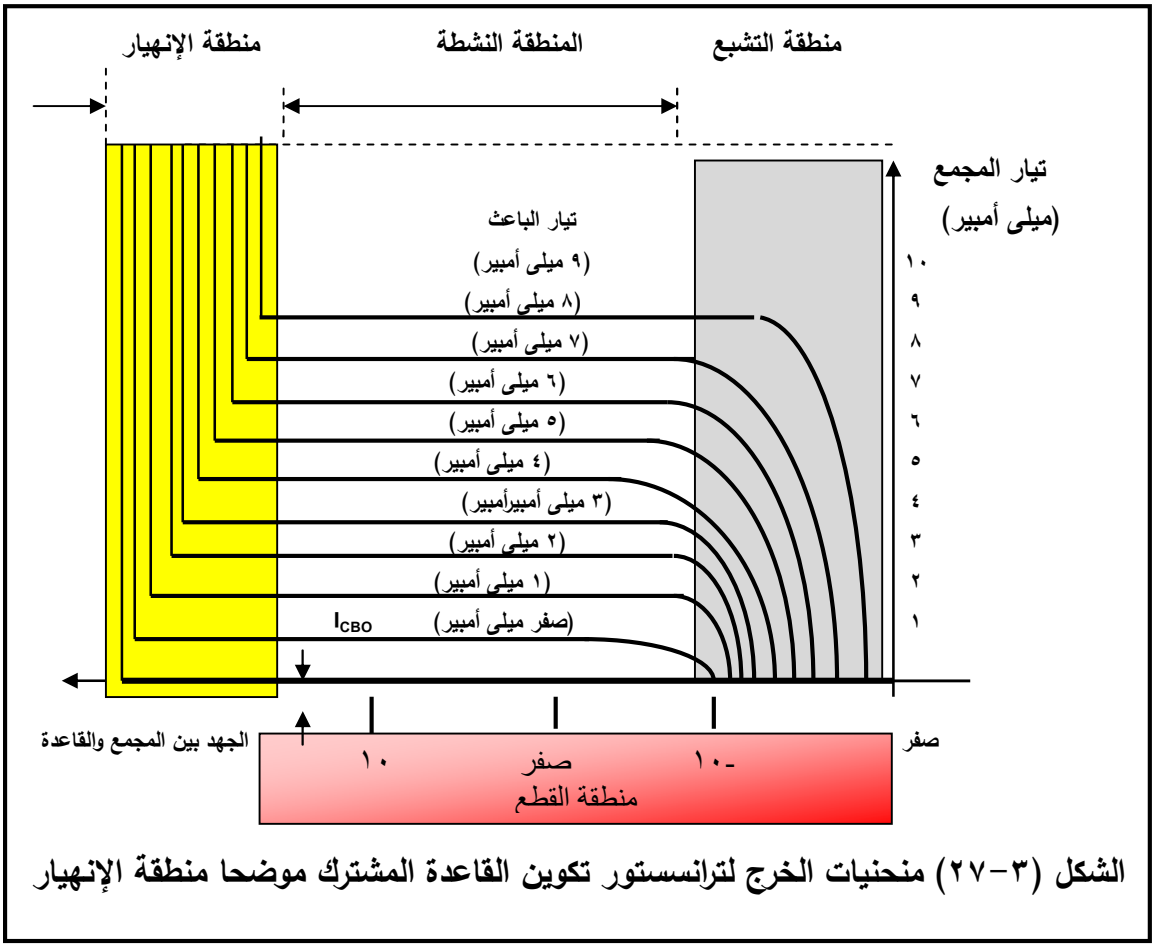
يظل تيار المجمع ثابت حتى بزيادة جهد الوصلة (V_{CB}) عند قيمة تيار باعث ثابتة – وبالتالى فإن النسبة بين تيار المجمع وتيار الباعث تقريبا ثابتة وبالتالى فإن كسب التيار ألفا ثابت .

٤. عند قيمة تيار الباعث يساوى صفر بمعنى أن دائرة الباعث مفتوحة وتغذية جهد الوصلة (V_{CB}) عكسية – يسرى التيار (I_{CBO}) فقط.

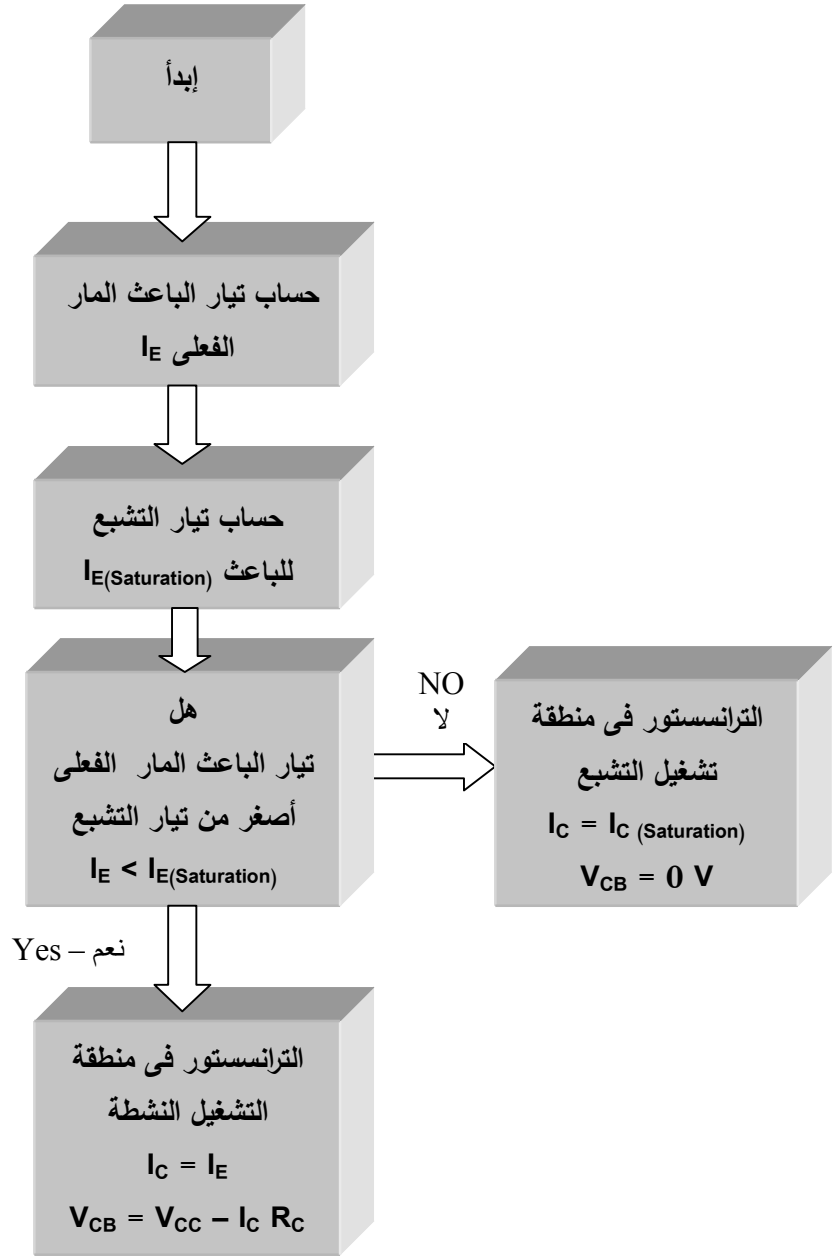
٥. تنقسم خواص خرج الترانسستور الموضحة فى الشكل (٣-٢٦) الى أربع مناطق موضحة بالجدول (٣-١) .

الجدول (٣-١)

الوضع	تغذية وصلة (الباعث – القاعدة) (J_1)	تغذية وصلة (المجمع – القاعدة) (J_2)
منطقة التشبع	تغذية أمامية	تغذية أمامية
المنطقة النشطة	تغذية أمامية	تغذية عكسية
منطقة القطع	تغذية عكسية	تغذية عكسية
منطقة التبديل	تغذية عكسية	تغذية أمامية



الشكل (٣-٢٧) منحنيات الخرج لترانسستور تكوين القاعدة المشترك موضحا منطقة الإنهيار



بالنسبة للترانسستور من النوع (ب – ن – ب) تصبح ($V_{CB} = - V_{CC} – I_C R_C$)

الشكل (٣–٢٨) خطوات حساب قيمة تيار المجمع والجهد (V_{CB}) فى تكوين دوائر القاعدة المشتركة فى حال سريان تيار الباعث

١. تحدث ظاهرة الإنهيار بإندفاع الجهد[٧] عندما ترتفع قيمة تيار المجمع فجأة عند قيم جهد كبيرة فى الوصلة (V_{CB}) – يحدث هذا الإنهيار عندما تتلامس المنطقة المفرغة (J_1) مع المنطقة المفرغة (J_2) أو عند قيمة سمك القاعدة الفعلى يساوى صفر

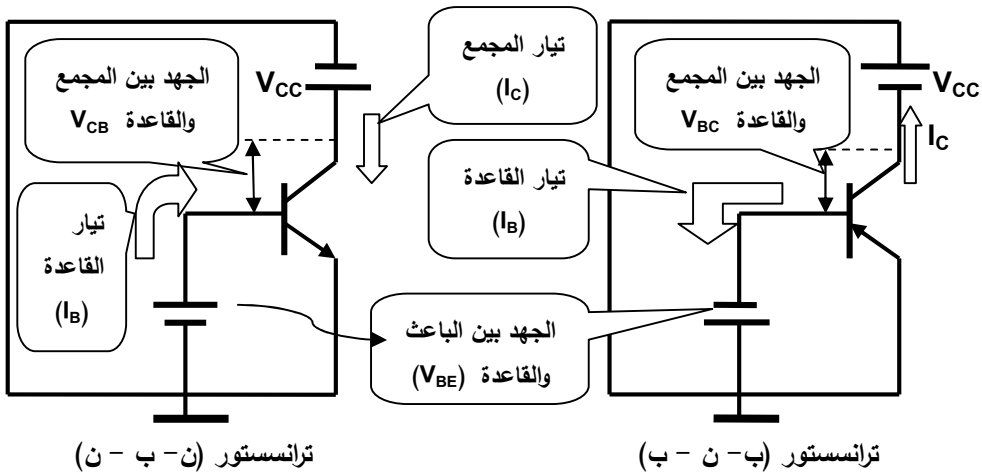
($W_{effective} = 0$) وهذا يعنى أن سمك القاعدة يساوى صفر ويحدث قصر المجمع والباعث.

٢. يحدث جهد الإنهيار لوصلة (المجمع – القاعدة) (BV_{CBO}) عندما يساوى تيار الباعث صفر بما يعنى أن دائرة الباعث مفتوحة. كما يحدث عند قيم جهد صغيرة لتيارات دخل للباعث كبيرة.

الشكل (٣-٢٧) يوضح آلية حدوث ظاهرة الإنهيار بإندفاع الجهد[٧] . يوضح الشكل (٣-٢٨) الخطوات اللازمة لتحديد قيم تيار المجمع وجهد (المجمع – القاعدة) فى تكوين القاعدة المشتركة مع سريان تيار الباعث.

٣-٨-٢ تكوين الباعث المشترك فى دوائر الترانسستور

يوضح الشكل (٣-٢٩) تكوين الباعث المشترك فى دوائر الترانسستور- حيث يكون طرف الباعث متصل بالأرض وأن جهد التغذية أكبر من الجهد (V_{BB}) لضمان أن تظل الوصلة (J_2) ذات تغذية عكسية. كما يوضح الشكل (٣-٣٠) جهد التغذية الداخل (V_{BE}) وتيار القاعدة الداخل وجهد الخرج (V_{CE}) وتيار المجمع الخارج .



الشكل (٣-٢٩) تكوين تغذية دائرة باعث مشترك

يعتبر تكوين دائرة الباعث المشترك من أهم الدوائر المفيدة فى تطبيقات الهندسة الإلكترونية وواسعة الإنتشار – وكما نعلم من المعادلة (٣-٢)

$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO}$$

$$\frac{\mathbf{I_C}}{\propto} - \frac{\mathbf{I_{CBO}}}{\propto} = \mathbf{I_E} = \mathbf{I_B} + \mathbf{I_c}$$

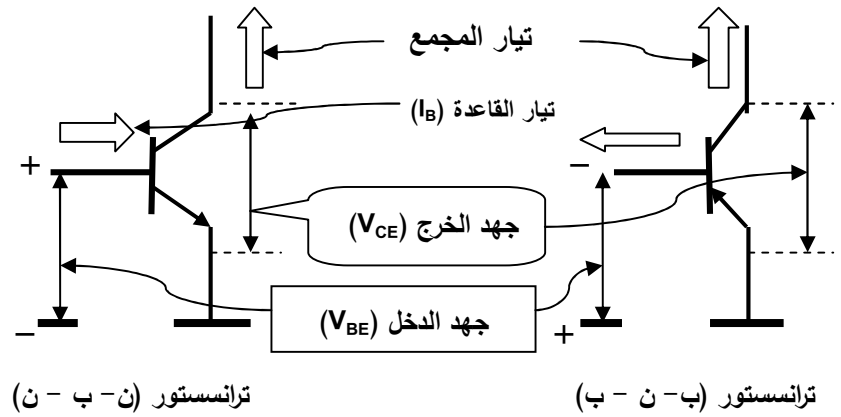
$$I_C\left(\frac{1}{\alpha}-1\right) = I_B + \frac{I_{CBO}}{\alpha}$$

وحيث :

$$\left(\frac{1}{\alpha}-1\right) = \left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right)$$

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

$$I_C = \left(\frac{\alpha I_B}{1-\alpha}\right) + \left(\frac{I_{CBO}}{1-\alpha}\right) \qquad \textbf{المعادلة (٣-٤٧)}$$

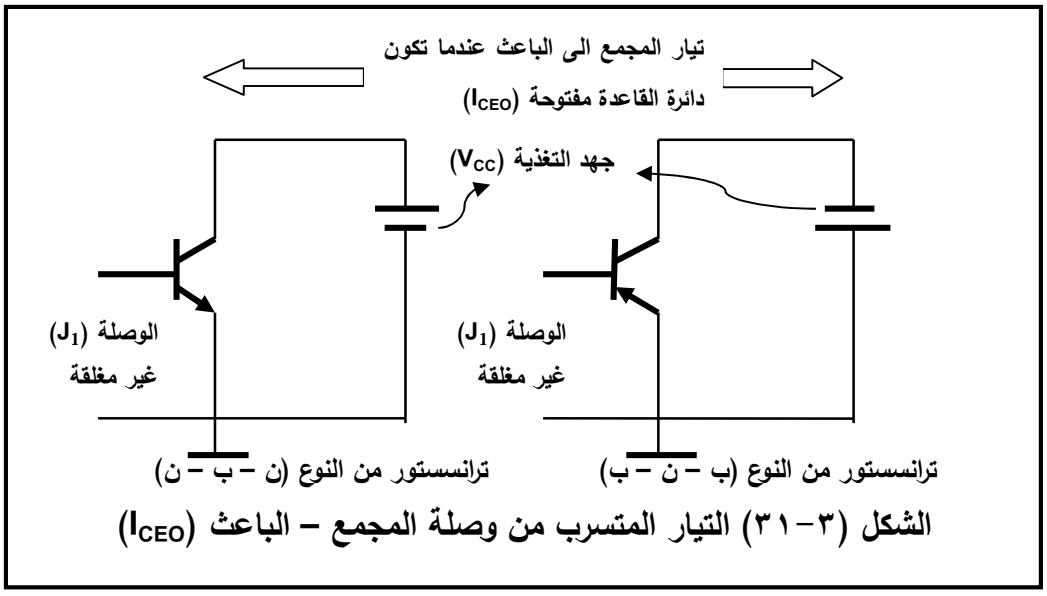


الشكل (٣-٣٠) جهد وتيار الدخل فى تكوين تغذية دائرة باعث مشترك

يوضح الشكل (٣-٣١) ترانسستور تكوين الباعث المشترك (CE) حيث دائرة (القاعدة – الباعث) مفتوحة بينما تغذية دائرة (المجمع – القاعدة) تغذية عكسية وبالتالى يسرى تيار (I_{CEO}) فقط وهو التيار من المجمع الى الباعث عندما تكون دائرة القاعدة مفتوحة٠ طالما أن دائرة القاعدة مفتوحة فإن تيار القاعدة يساوى صفر ($I_B = 0$) ويصبح التيار (I_{CEO}) هو التيار الوحيد فى الدائرة٠ بالتعويض بقيمة تيار القاعدة ($I_B=0$) فى المعادلة (٣-٤٧)- إذا :

$$I_{CEO} = \left(\frac{I_{CBO}}{1-\alpha}\right) = \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right) I_{CBO} \qquad \textbf{المعادلة (٣-٤٨)}$$

وحيث أن قيمة كسب التيار ألفا تقترب من الواحد الصحيح وبالتالى فإن القيمة واحد سالب ألفا تساوى صفر ($1-\alpha = 0$) ومقلوبها ($1/1-\alpha$) يعطى قيمة كبيرة٠ نستنتج من المعادلة (٣-٤٨) أن قيمة تيار المجمع الى الباعث عندما تكون دائرة القاعدة مفتوحة (I_{CEO}) أكبر من تيار المجمع الى القاعدة عندما تكون دائرة الباعث مفتوحة (I_{CBO}) – على سبيل المثال – فى حالة قيمة (I_{CBO}) تساوى ١و٠ ميكرو أمبير وقيمة كسب التيار ألفا تساوى ٩٩٥و٠ نجد أن قيمة (I_{CEO}) تساوى ١و٠ x ١٠ $^{-٦}$ مقسومة على (١- ٩٩٥و٠ = ٠٠٥و٠) تساوى ٢٠ ميكرو أمبير- مما يمثل مشكلة فى تطبيقات الحرارة العالية٠



الشكل (٣-٣١) التيار المتسرب من وصلة المجمع – الباعث (I_{CEO})

بالرجوع الى المعادلة (٣-٤٧) يجب مراعاة أهمية المعامل ($\alpha I_B/1-\alpha$) حيث نحصل على قيمة كسب التيار بيتا يساوى قيمة أكبر من الواحد ($\beta = \alpha/1- \alpha > 1$) وتتراوح قيمتها من ٢٠ الى بعض المئات٠ وكلما إقترب كسب التيار ألفا الى الواحد فهذا يعنى زيادة كسب التيار بيتا – على سبيل المثال فى حالة كسب التيار ألفا تساوى ٩٩و٠ فإن كسب التيار بيتا تساوى ٩٩ وإذا زادت كسب التيار ألفا الى ٩٩٥و٠ نحصل على قيمة كسب التيار بيتا أكبر وتساوى ١٩٩ – فمن الواضح أن بزيادة صغيرة فى كسب التيار ألفا يزداد كسب التيار بيتا كثيرا٠ ويمكن إعادة كتابة المعادلة (٣-٤٧) كما يلى:

$$I_C = \beta I_B + \left(\frac{I_{CBO}}{1-\alpha} \right)$$ **المعادلة (٣-٤٩)**

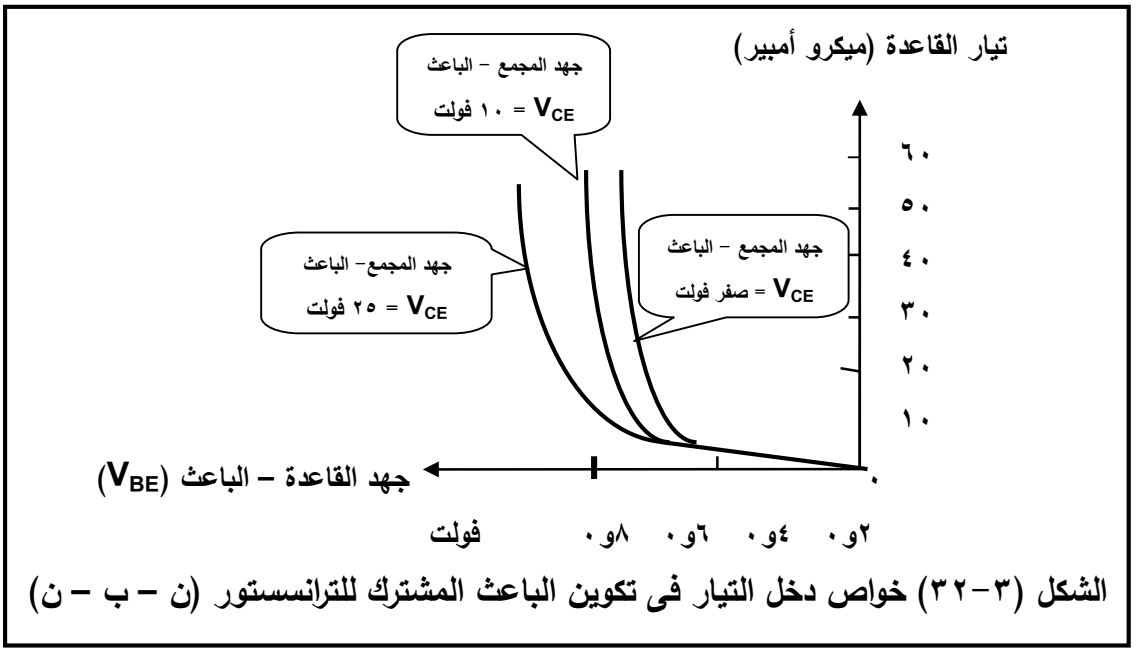
أو المعادلة (٣-٥٠) $I_C = \beta I_B + I_{CEO}$

كما تم إستنتاج أن قيمة التيار (I_{CEO}) أكبر من قيمة التيار (I_{CBO}) ولكن ما زالت قيمته صغيرة عن قيمة كسب التيار بيتا مضروبا فى تيار القاعدة (βI_B) وبالتالى من الممكن إهمال قيمة التيار (I_{CEO}) ويصبح تيار المجمع يساوى حاصل كسب التيار بيتا مضروبا فى تيار القاعدة :

المعادلة (٣-٥١) $I_C = \beta I_B$

❖ **خصائص الدخل فى تكوين الباعث المشترك لدوائر الترانسستور**

يوضح الشكل (٣-٣٢) مجموعة منحنيات الخواص للترانسستور (ن – ب – ن) فى تكوين الباعث المشترك لقيم ثابتة لجهد الوصلة (القاعدة – الباعث) (V_{BE}) نلاحظ زيادة تيار القاعدة كلما إنخفضت قيمة جهد الوصلة (V_{CE}) وذلك لأن القيم الكبيرة لجهد الوصلة (V_{CE}) يتسبب فى قيم تغذية عكسية كبيرة وبالتالى تمتد المنطقة المفرغة للوصلة (J_2) تتسبب فى تقليل سمك القاعدة تتسبب فى إنخفاض تيار القاعدة – تسمى خواص الدخل فى تكوين الدوائر ذات الباعث المشترك بخواص القاعدة.



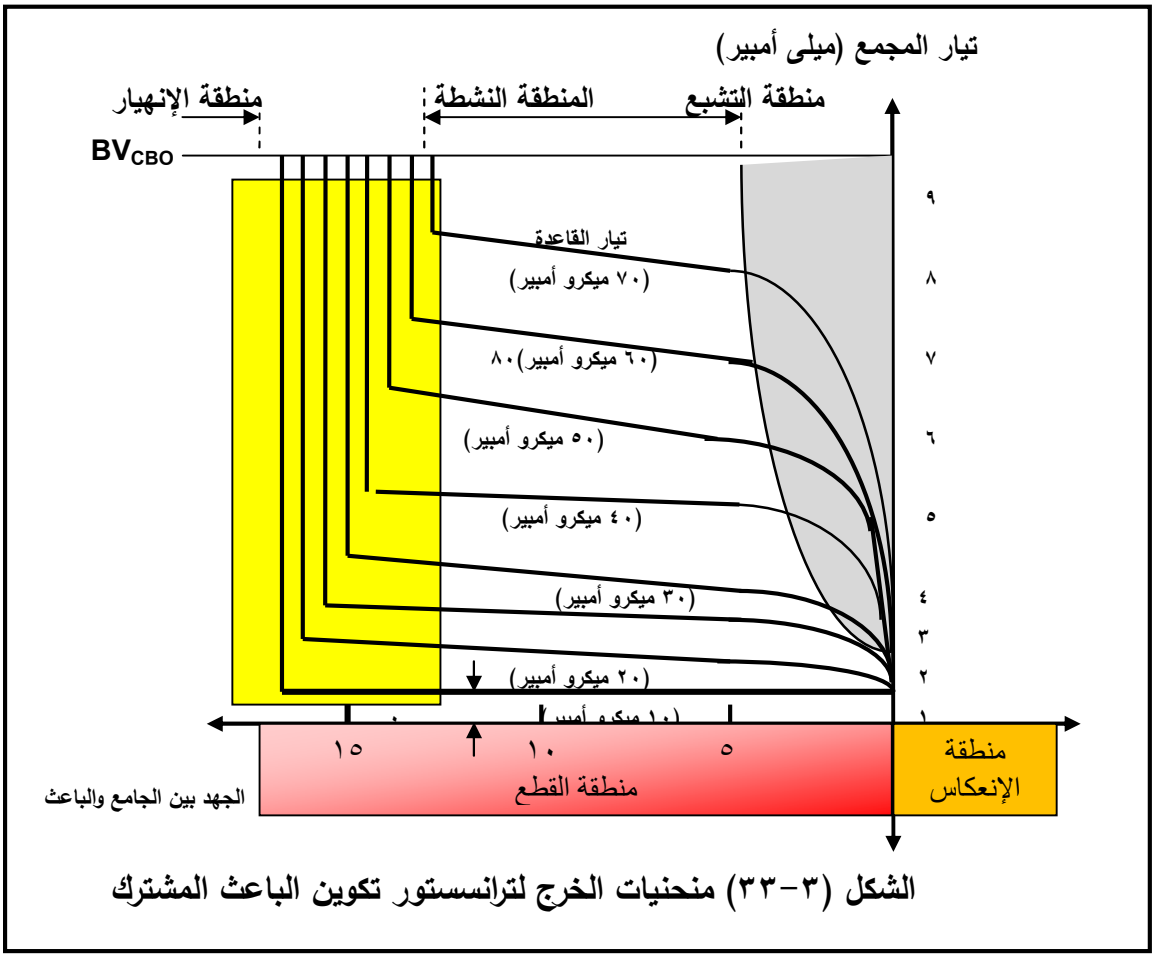
الشكل (٣-٣٢) خواص دخل التيار فى تكوين الباعث المشترك للترانسستور (ن – ب – ن)

❖ خصائص الخرج فى تكوين الباعث المشترك لدوائر الترانسستور

يوضح الشكل (٣-٣٣) الخواص والمنحنيات – لقيم ثابتة للجهد (V_{CE}) يتزايد تيار المجمع بزيادة تيار القاعدة – نلاحظ من المنحنيات ما يلى:

١. يمكن إستنتاج قيمة كسب التيار بيتا عند أى نقطة على المنحنى – كما هو موضح عند قيمة الجهد (V_{CE}) يساوى ٥ فولت وتيار القاعدة (I_B) يساوى ٥٠ ميكرو أمبير نحصل على تيار لمجمع يساوى ٥ ميلى أمبير ومنها نستنتج قيمة كسب التيار ($\beta = I_C/I_B$) يساوى ٥ x ١٠$^{-٣}$ مقسوم على ٥٠ x ١٠$^{-٦}$ تساوى ١٠٠ . تعتمد قيمة كسب التيار بيتا على المنطقة التى يعمل بها الترانسستور .

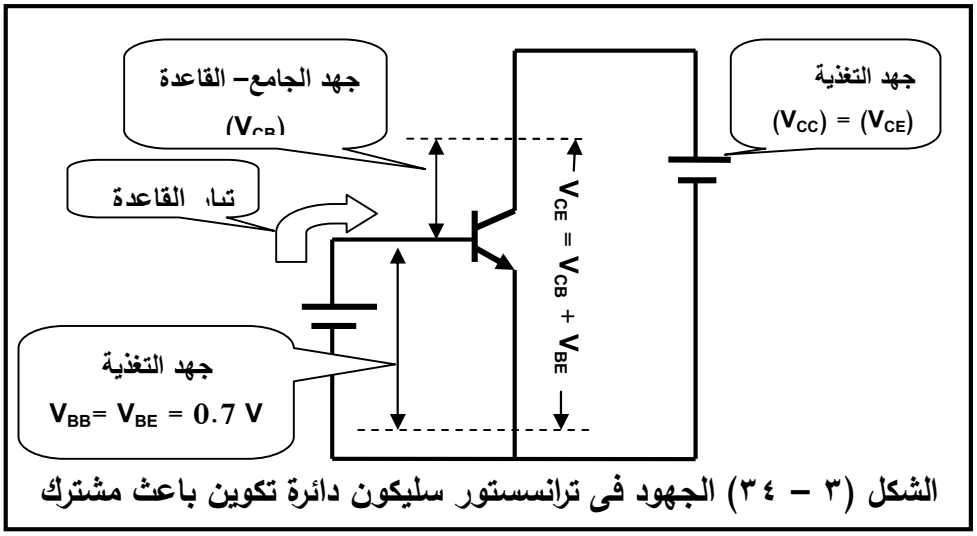
٢. عندما يساوى تيار القاعدة صفر بمعنى أن دائرة الدخل مفتوحة وأن تغذية الوصلة (V_{CE}) بجهد عكسى مما يعنى أن التيار الوحيد المار هو (I_{CEO}) . بزيادة جهد الوصلة (V_{CE}) يحدث جهد الإنهيار (BV_{CEO}) والذى سبق الإشارة له بإتصال الجهد ($BV_{SUSTAIN}$). مع ملاحظة أن جهد الإنهيار (BV_{CEO}) أصغر بكثير من جهد الإنهيار (BV_{CBO}) بسبب أن التيار (I_{CEO}) أكبر كثيرا من التيار (I_{CBO}) .



الشكل (٣-٣٣) منحنيات الخرج لترانسستور تكوين الباعث المشترك

٣ ٠ مع ملاحظة أن جهد المصدر (V_{BB}) الذى يماثل جهد تغذية الوصلة (V_{BE}) اصغر كثيرا من جهد المصدر (V_{CC}) الذى يماثل جهد تغذية الوصلة (V_{CE}) – قيمة الجهد (V_{BE}) حوالى ٧و٠ فولت للعناصر المصنعة من السيلكون٠ عند تناقص الجهد (V_{CE}) الى حوالى ٧و٠ فولت بمعنى أن الجهد (V_{CB}) يساوى صفر لم تعد الوصلة (J_2) ذات تغذية عكسية كما فى الشكل (٣– ٣٤)٠

٤ ٠ من الشكل (٣–٣٤) يوضح ($V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$) – إذا كانت ($V_{BE} = V_{CE}$) تساوى ٧و٠ فولت فإن (V_{CB}) تساوى صفر فولت مما تجعل الوصلة (J_2) لم تعد ذات تغذية عكسية٠



الشكل (٣ – ٣٤) الجهود فى ترانسستور سليكون دائرة تكوين باعث مشترك

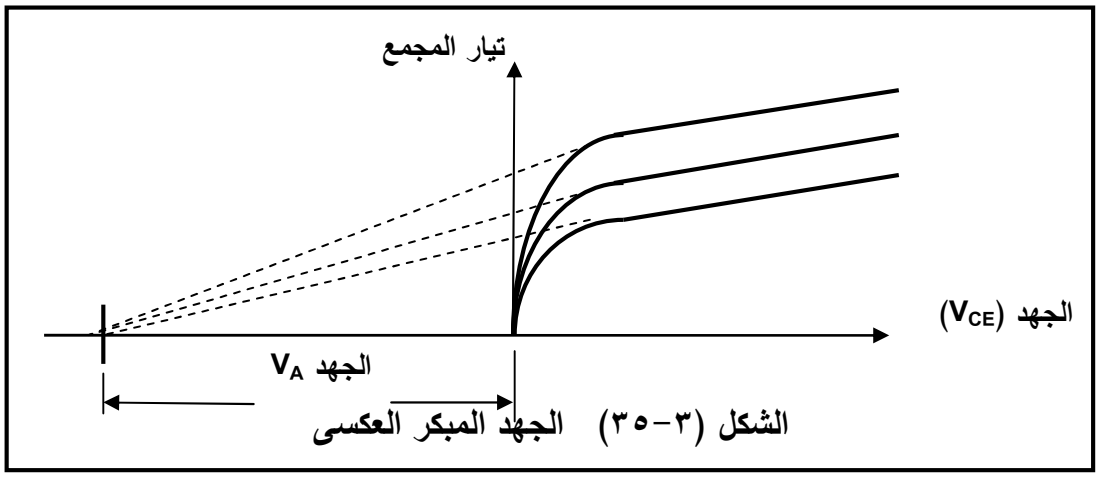
من الممكن ملاحظة من مجموعة منحنيات تيار المجمع وهى تقريبا مستوية حتى ينخفض الجهد (V_{CE}) الى ٧و٠ فولت – مع إنخفاض أكثر فى قيمة (V_{CE}) يبدأ تيار المجمع فى الإنخفاض حتى تصبح الوصلة (J_2) ذات تغذية أمامية٠ على سبيل المثال فى حالة الجهد (V_{CE}) يساوى ٢و٠ فولت وبالتالى فإن الجهد (V_{CB}) يساوى ٢و٠ – ٧و٠ = ٥و٠ فولت ٠مع ملاحظة أن نوع الترانسستور فى التحليل السابق كان من النوع (ن – ب – ن) – المجمع ذو موصلية (ن) متصل بمصدر جهد قيمته – ٥و٠ فولت وهذا يعنى تغذية أمامية ويقع فى منطقة التشبع – ويشار الى جهد التشبع هذا ($V_{CE(SATURATION)}$) وتتراوح قيمته من ١و٠ الى ٣و٠ فولت معتمدا على قيمة تيار القاعدة (I_B)٠

٥ ٠ تيار المجمع لا يساوى صفر عند تيار قاعدة يساوى صفر ولكنه يساوى قيمة

التيار (I_{CEO}) – المنطقة أسفل تيار قاعدة (I_B) يساوى صفر فى منحنى الخواص تعرف بمنطقة قطع الاشارة٠

٦ – بزيادة الجهد (V_{CE}) يتناقص سمك القاعدة يقلل تيار القاعدة – وحيث أن تيار القاعدة ثابت مع زيادة الجهد (V_{CE}) – مما يسبب زيادة فى تيار المجمع مما يعنى أن كسب التيار بيتا غير ثابت القيمة مع زيادة الجهد (V_{CE})٠

٧ ٠ المنحنيات المقابلة لقيم كبيرة لتيار القاعدة فإن تيار المجمع يرتفع بسرعة عن قيمته فى حالات قيم صغيرة لتيار القاعدة ٠ لو تم إسقاط هذه المنحنيات الى جهة اليسار كما فى الشكل (٣–٣٥) فإنه يتقاطع مع المحور (V_{CE}) عند نفس النقطة٠



الشكل (٣–٣٥)

تسمى نقطة التقاطع بالجهد المبكر العكسى[١٢] (V_A) عندها لا يعمل الترانسستور مع جهد يساوى(V_A)٠ ويعتبر هذا المعامل ذات أهمية للترانسستور المستخدم فى برمجة الحاسبات مثل برنامج المحاكاة مع التركيز على الدوائر المتكاملة والمعروف بإسم

(SPICE) Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis

---

[١٢] (Early Effect and Early Voltage) عكس الجهد المبكر • كلما يتزايد جهد التغذية العكسية خلال الوصلة (المجمع – القاعدة) يتزايد سمك المنطقة العازلة بين المجمع – القاعدة وتتناقص سمك القاعدة (تعديل سمك القاعدة) ٠ في التطبيقات العملية للترانزستور ، خصائص الإخراج لها ميل موجب في منطقة التشغيل النشطة ؛ تيار المجمع لا يعتمد على جهد بين المجمع والباعث٠ (التأثير المبكر) عندما يتم تمديد خصائص الخرج والعودة إلى نقطة تيار المجمع يساوى الصفر، تتقاطع المنحنيات عند نقطة واحدة تقريبا عند إتجاه سالب للجهد بين المجمع والباعث وتتراوح قيمته بين ١٥ الى ١٥٠ فولت ويسمى (الجهد المبكر)

٣-٨-٣ تكوين المجمع المشترك فى دوائر الترانسستور

يوضح الشكل (٣-٣٦) دائرة تكوين المجمع المشترك حيث أن طرف المجمع متصل بالأرض٠ من الشكل نجد أن :

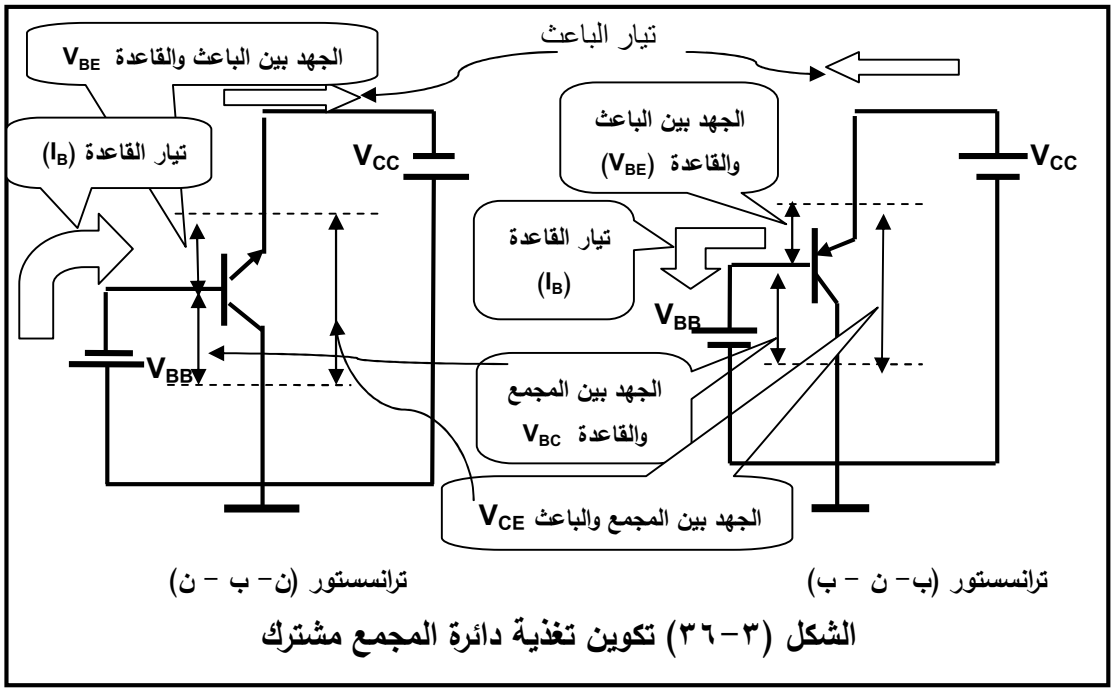
$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$ **المعادلة (٣-٥٢)**

حيث يمثل المصدر البطارية (V_{CC}) الجهد بين المجمع والباعث (V_{CE}) ويمثل المصدر البطارية (V_{BB}) الجهد بين المجمع والقاعدة (V_{CB}) – وبالتالى:

$$V_{BB} = V_{CC} — V_{BE}$$

غالبا فأن الجهد (V_{BE}) ذو قيمة صغيرة (٧و٠ فولت) وبالتالى:

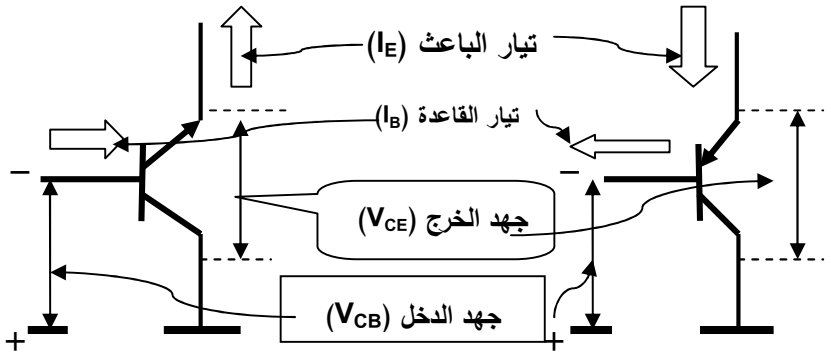
$$V_{CB} = V_{BB} = V_{CC} — 0.7$$ **المعادلة (٣-٥٣)**



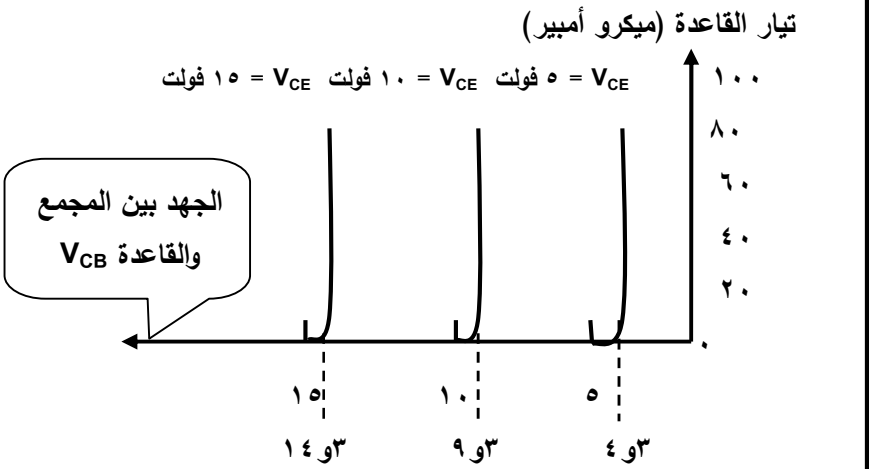
الشكل (٣-٣٦) تكوين تغذية دائرة المجمع مشترك

يجب الحفاظ على تغذية الوصلة (J_2) تغذية عكسية كما يجب أن يكون جهد الوصلة أكبر من الصفر ($V_{CB} > 0$) ومن ثم جهد البطارية (V_{BB}) يجب أن يكون أكبر من ($V_{CC} - 0.7$) ٠ يوضح الشكل (٣-٣٧) معاملات الدخل والخرج ٠

ويوضح الشكل (٣-٣٨) مجموعة نموذجية لخواص الدخل فى تغذية دائرة الجامع المشترك حيث الجهد بين الجامع والقاعدة (V_{CB}) وتيار القاعدة لقيم (V_{CE}) مختلفة ثابتة ٠



الشكل (٣–٣٧) دخل وخرج الجهد والتيار فى تكوين تغذية دائرة المجمع المشترك



الشكل (٣–٣٨) منحنيات الدخل فى دائة تكوين المجمع المشترك

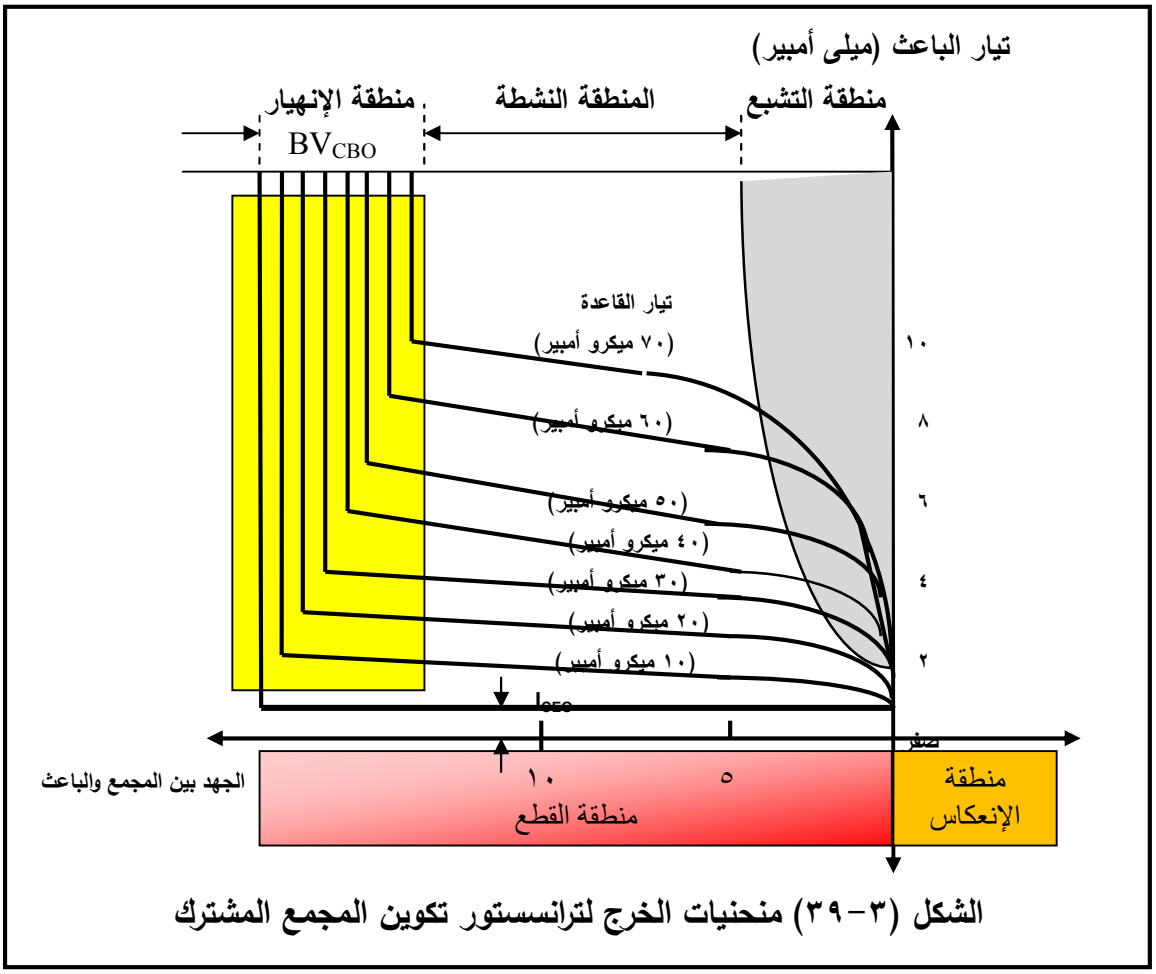
من المنحنيات نلاحظ أن تيار القاعدة يصل الى قيمة الصفر بسرعة بزيادة طفيفة للجهد (V_{CB}) ٠ويمكن تفسير ذلك بأنه حتى يسرى تيار قاعدة ملحوظ – يجب أن يكون جهد الوصلة (V_{BE}) حوالى ٥و٠ الى ٧و٠ فولت وحيث

المعادلة (٣–٥٤) $V_{BE} = V_{CE} - V_{CB}$

إذا سمح بزيادة الجهد (V_{CB}) الى قيمة قريبة من الجهد (V_{CE}) نجد أن الجهد (V_{BE}) يؤول الى الصفر ولا يسرى تيار القاعدة كدخل٠ من المنحنى حيث الجهد (V_{CE}) يساوى ٥ فولت والجهد (V_{CB}) يساوى ٣و٤ فولت نجد أن قيمة الجهد (V_{BE}) تساوى ٥ – ٣و٤ = ٧و٠ فولت وتيار قاعدة يساوى ٨٠ ميكرو أمبير٠ بزيادة الجهد (V_{CB})

الى ٥ فولت نجد أن قيمة الجهد (V_{BE}) تساوى ٥ –٥ = صفر فولت ولم تعد تغذية الوصلة (J_1) تغذية أمامية ويؤول تيار القاعدة الى الصفر ٠

يوضح الشكل (٣–٣٩) مجموعة منحنيات الخرج لدائرة تكوين المجمع المشترك (CC) والذى يوضح تيار الباعث بالنسبة الى جهد الخرج (V_{CE}) لقيم ثابتة مختلفة لتيار القاعدة ٠



الشكل (٣–٣٩) منحنيات الخرج لترانسستور تكوين المجمع المشترك

عند إهمال قيمة التيار المتسرب – لذلك :

$$I_C = \beta\, I_B$$

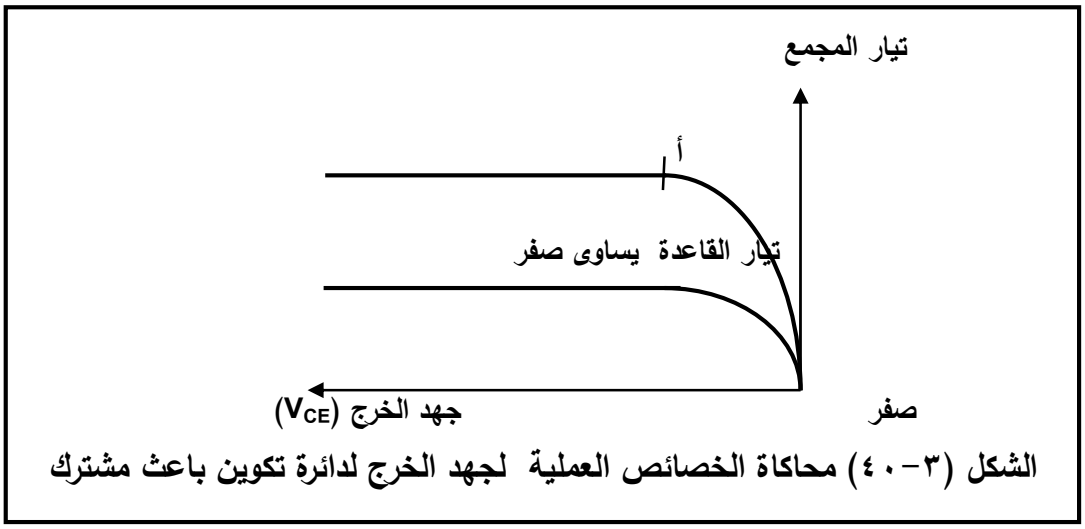
$$I_E = I_C + I_B = \beta\, I_B + I_B$$

$$I_E = I_B\,(\beta + 1) \qquad \text{المعادلة (٣–٥٥)}$$

المعادلة (٣–٥٥) توضح العلاقة بين تيار الدخل والخرج فى دائرة تكوين المجمع المشترك ٠

٣-٧ الإعتبارات التطبيقية لدوائر تكوين الباعث المشترك

كما سبق الإيضاح أن الدوائر الإلكترونية ذات ترانسستور الباعث المشترك هى الأكثر إنتشارا٠ ولمزيد من الإيضاح – من المعادلة (٣-٣) أوضحت أن تيار المجمع يساوى تيار القاعدة فى حالة أن يكون تيار القاعدة يساوى صفر وكذلك تيار المجمع يساوى صفر٠ فى التطبيقات العملية فإن قيمة تيار المجمع لا يمكن أن يساوى صفر حتى لو كانت قيمة تيار القاعدة تساوى صفر٠ الشكل (٣-٤٠) يوضح محاكاة الخصائص العملية لجهد الخرج لدائرة تكوين باعث مشترك – مع ملاحظة حتى الوصول الى النقطة المشار لها (أ) فأن تيار المجمع يتزايد بزيادة جهد الخرج (V_{CE}) – بعد النقطة المشار لها (أ) فإن أى زيادة فى جهد الخرج (V_{CE}) لا يصاحبها زيادة ملحوظة فى تيار المجمع٠ من خصائص منحنيات الخرج للدوائر بتكوين الباعث المشترك الموضحة فى الشكل (٣-٤١) ومن الواضح أن تيار المجمع يزيد كلما زاد تيار القاعدة ٠



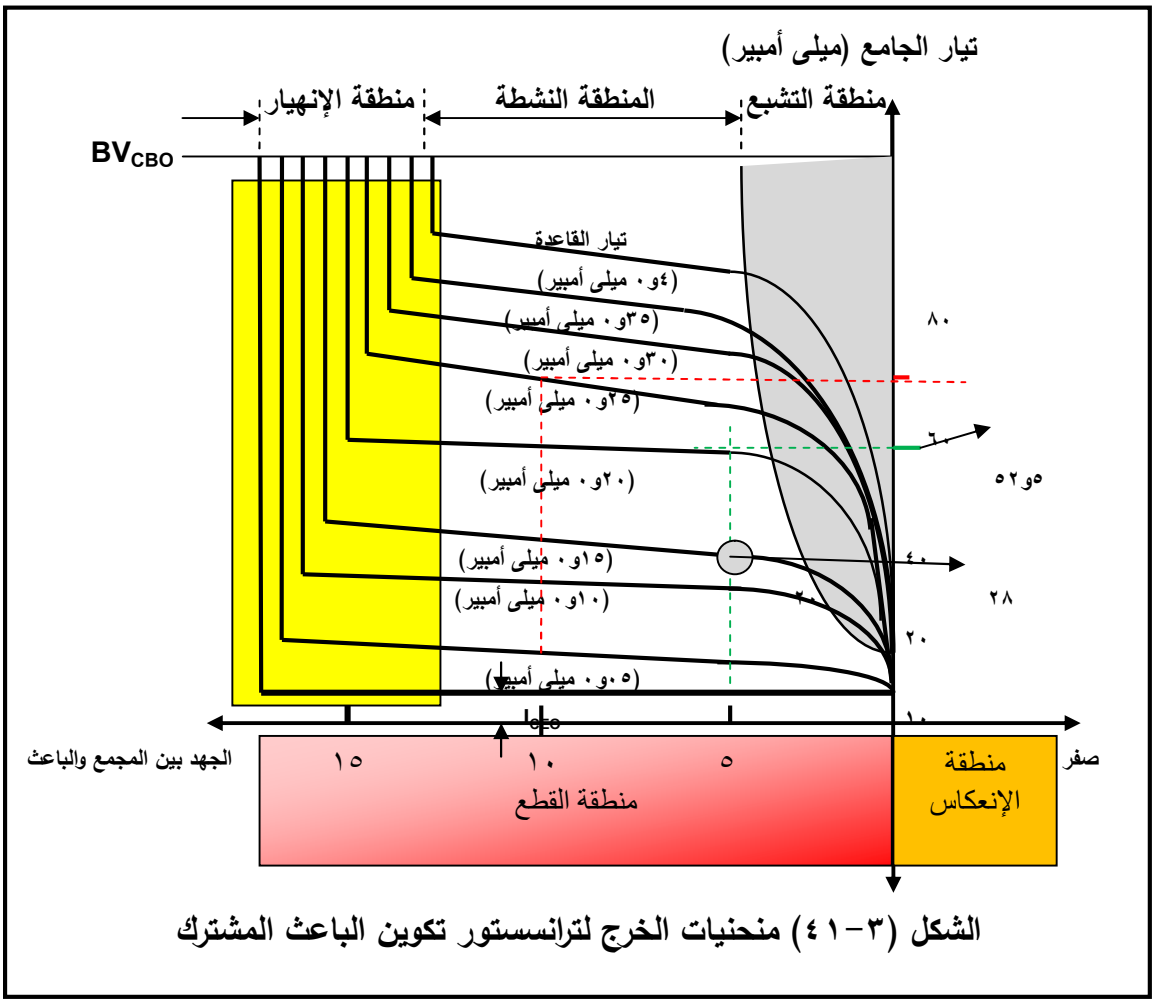
الشكل (٣-٤٠) محاكاة الخصائص العملية لجهد الخرج لدائرة تكوين باعث مشترك

تستخدم العلاقة بين تيار المجمع وتيار القاعدة لايجاد قيمة كسب التيار بيتا – نفترض أن جهد الخرج (V_{CE}) يساوى ٥ فولت وتيار القاعدة يساوى ٢٥و٠ ميلى أمبير فنحصل على تيار المجمع يساوى ٥و٥٢ ميلى أمبير – ثم كسب التيار (βI_{ICVCE}) – الرمزين (I_{CVCE}) يشيران الى نقطة التشغيل (Q) وهى غير صالحة لنقاط تشغيل أخرى٠ فى دوائر التكبير نتعامل مع الجهد والتيار المستمر والمتردد٠ كلما تغيرت قيمة تيار القاعدة يتغير تيار المجمع بقيم أكبر٠ تعتمد حجم الشحنات على نقطة التشغيل (Q) –

على سبيل المثال – عند جهد خرج (V_{CE}) يساوى ١٠ فولت وتيار المجمع يساوى ٥٣ ميلى أمبير تتوافق مع تيار القاعدة ٢٥و٠ ميلى أمبير٠ كلما تغير تيار القاعدة من ٢و٠ الى ٣و٠ ميلى أمبير يتغير تيار المجمع من ٤١ الى ٦٤ ميلى أمبير٠ مما يعنى بتغير طفيف فى تيار القاعدة ١و٠ ميلى أمبير ($\Delta I_B = 0.3 - 0.2 = 0.1$ ma) يحدث تغير ليس بقليل فى تيار المجمع ($\Delta I_C = 64 - 41 = 23$ ma) ومن المعادلة (٣-٣) يمكن أن نحصل على كسب تيار كبير

$$\beta = \left.\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right|_{V_{CE}\ I_C} = \left.\frac{23\times10^{-3}}{0.1\times10^{-3}}\right|_{V_{CE}=10V,\ I_{C=53mA}} = 230$$

مع ملاحظة أن قيمة كسب التيار بيتا عند نقطة تشغيل ما ليس بالضرورة أن يتساوى مع نقط أخرى فى المنحنى٠



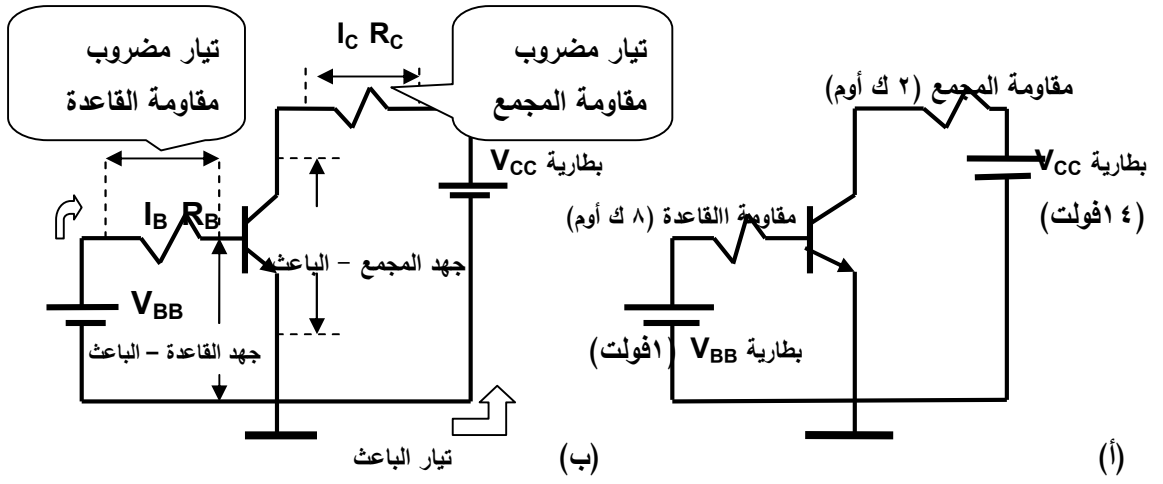
الشكل (٣-٤١) منحنيات الخرج لترانسستور تكوين الباعث المشترك

- **تحديد نقطة التشغيل (Q)**

لإستخدام الترانسستور كمكبر- يجب أن تكون التغذية حتى يعمل الترانسستور فى المنطقة النشطة٠ يوضح الشكل (٣-٤٢) معاملات الدخل والخرج فى دائرة تكوين الباعث المشترك، معاملات الدخل البطارية (V_{BB}) ومقاومة القاعدة (R_B) ومعاملات الخرج البطارية (V_{CC}) ومقاومة المجمع (R_C)٠ القيم النموذجية للبطارية (V_{CC}) من ٤ الى ٥ فولت وقيم البطارية (V_{BB}) أقل من ١ فولت٠ من الشكل (٣-٤٢ ب) ،

$$V_{BE} = V_{BB} - I_B R_B = 1 - 8000\ I_B,$$

تشتمل المعادلة معاملين غير معرفين – جهد القاعدة الباعث (V_{BE}) وتيار القاعدة ٠



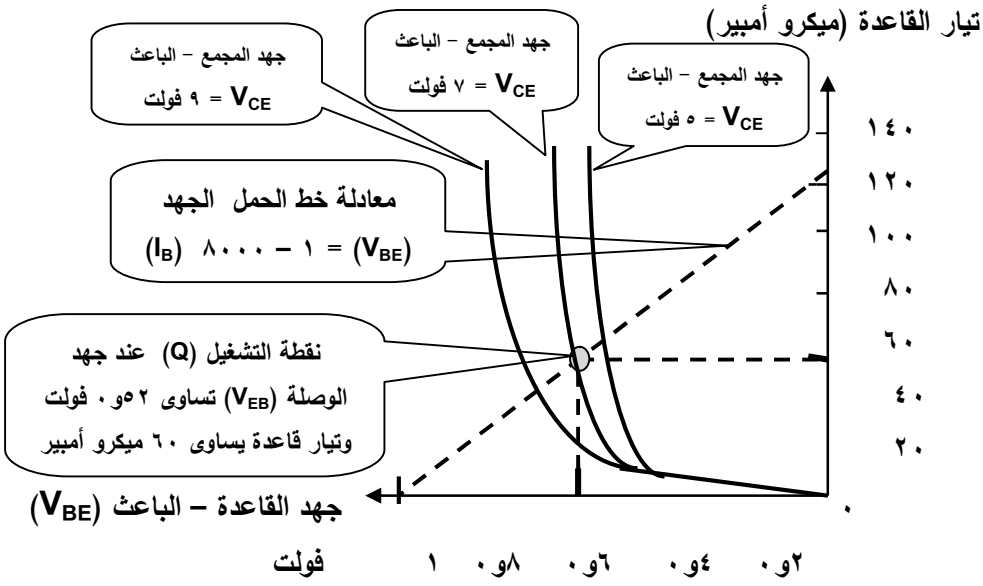
الشكل (٣-٤٢) معاملات الدخل والخرج فى دائرة تكوين الباعث المشترك

برسم خط الحمل بإستخدام منحنيات الدخل فى الشكل (٣-٤٣) وبالتعويض لقيمة جهد البطارية (V_{BB}) يساوى صفر وتيار القاعدة يساوى صفر نحصل على جهد الوصلة (V_{EB}) تساوى ١ فولت وتيار قاعدة يساوى ١٢٥ ميكرو أمبير بتوصيل الخط بينهما يتقاطع مع منحنى الجهد (V_{CE}) يساوى ٧ فولت محددا نقطة التشغيل (Q) وقيمها جهد الوصلة (V_{EB}) تساوى ٠و٥٢ فولت وتيار قاعدة يساوى ٦٠ ميكرو أمبير٠ وبتحليل منحنيات الخرج بالشكل (٣-٤٢ ب) يتضح :

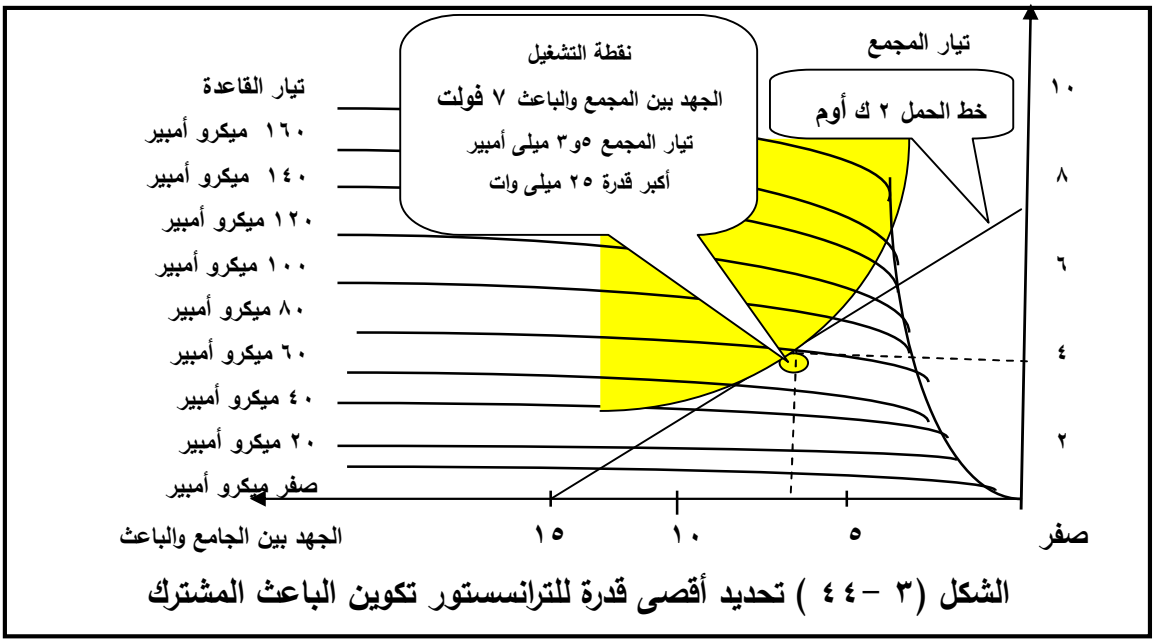
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 14 - 2000\ I_C$$

برسم خط الحمل بإستخدام منحنيات الخرج فى الشكل (٣-٤٤) وبالتعويض عن قيمة الجهد (V_{CE}) يساوى صفر وتيار المجمع يساوى صفر نحصل على قيمة تيار المجمع يساوى ٧ ميلى أمبير والجهد (V_{CE}) يساوى ١٤ فولت – بتوصيلهما بخط مستقيم

يتقاطع مع المنحنى تيار القاعدة ٦٠ ميكرو أمبير تتحدد نقطة التشغيل (Q) عند الجهد (V_{CE}) يساوى ٧ فولت و تيار المجمع يساوى ٥و٣ ميلى أمبير ٠



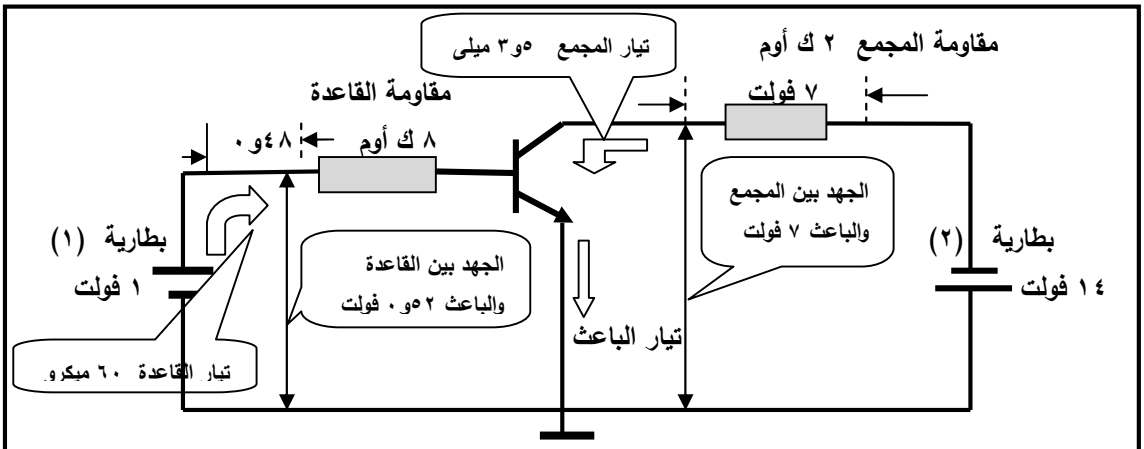
الشكل (٣–٤٣) خواص دخل التيار فى تكوين الباعث المشترك للترانسستور (ن – ب – ن)



الشكل (٣ –٤٤) تحديد أقصى قدرة للترانسستور تكوين الباعث المشترك

وبالتالى معاملات التشغيل للدائرة بالشكل (٣–٤٢) هى: تيار قاعدة يساوى ٦٠ ميكرو أمبير والجهد (V_{BE}) يساوى ٥٢و٠ فولت وتيار المجمع يساوى ٥و٣ ميلى أمبير والجهد (V_{CE}) يساوى ٧ فولت والموضحة بمنحنيات الخرج بالشكل (٣–٤٤) – لضمان تشغيل الترانزستور يتم رسم منحنى آخر بإستخدام خواص الخرج لدائره تكوين الباعث

المشترك والموضحة بالشكل (٣ -٤٤)٠ فى الشكل (٣-٤٥) يوضح معاملات ترانسستور ذو قدرة ٢٥ ميلى وات حيث (P = IV) مما يعنى أن معاملات التشغيل ١٠ فولت و٥و٢ ميلى أمبير أو ٥ فولت و٥ ميلى أمبير أو أية قيم أخرى تحقق القدرة ٢٥ ميلى وات٠ برسم عدد مثل هذه النقاط يمكن رسم قطع زائد يوضح الحد الأقصى من الطاقة كما هو موضح بالشكل (٣ -٤٤)٠



الشكل (٣ - ٤٥) معاملات التشغيل فى الدائرة تحت المناقشة

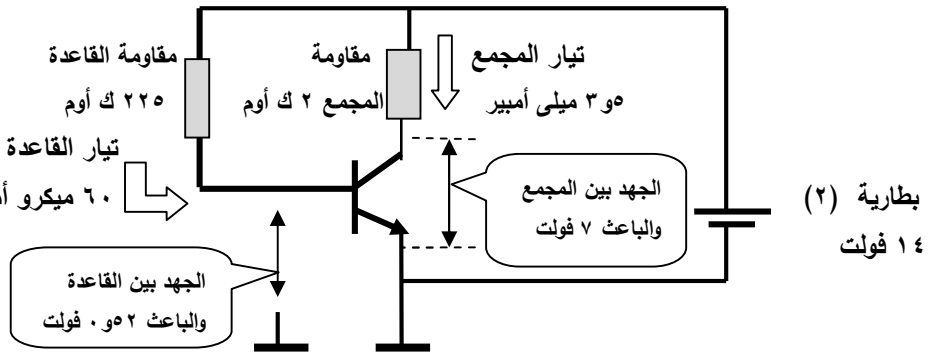
للتشغيل الآمن – يجب أن تقع نقطة تشغيل الترانسستور الى يسار منحنى القدرة٠ توضح الدائرة فى الشكل (٣-٤٥) وجود مصدرين للطاقة – للإستخدمات العملية فإننا فى حاجة الى مصدر واحد فقط حيث كلا من المصدرين (V_{BB}) و(V_{CC}) ذوات تغذية موجبة بالنسبة الى الأرض فمن الممكن إلغاء البطارية (V_{BB}) وتوصيل مقاومة القاعدة (R_B) للطرف الموجب للبطارية (V_{CC})٠ وحيث أن قيمة الجهد فى البطارية (V_{CC}) يساوى ١٤ فولت وجهد البطارية (V_{BB}) يساوى ١ فولت وبالتالى يجب أن تكون مقاومة القاعدة (R_B) أكبر للحفاظ على نفس معاملات التشغيل٠ الجهد الفعلي على مقاومة القاعدة (R_B) يساوى جهد البطارية (V_{CC}) مطروحا منه الجهد على الوصلة (V_{BE}) أى ١٤ – ٠٥٢و = ١٣و٤٨ فولت والتى تسبب تيار قاعدة ٦٠ ميكرو أمبير يسرى فى مقاومة القاعدة (R_B) والتى يمكن حساب قيمتها بالمعادلة:

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B}$$ المعادلة (٣-٥٦)

من مستويات الجهود أعلاه – يجب أن تكون قيمة مقاومة القاعدة (R_B) :

$$R_B = \frac{14 - 0.52}{60 \times 10^{-6}} = 225K\Omega$$

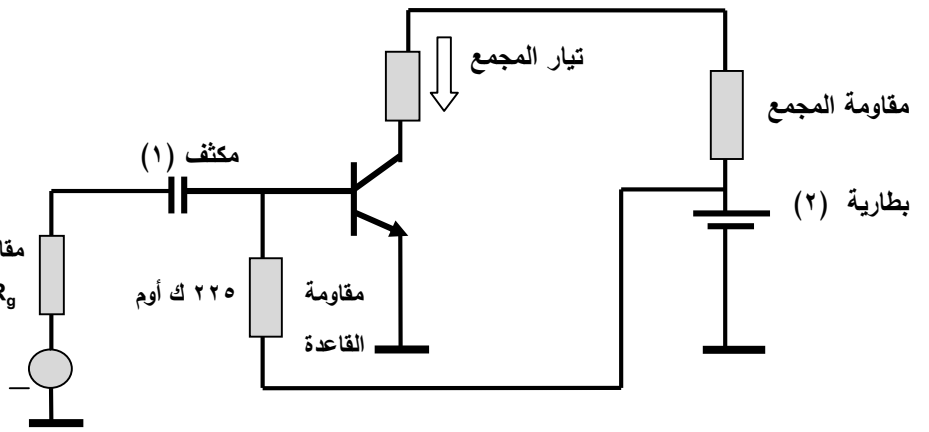
وبإعادة رسم الدائرة الكهربائية فى الشكل (٣-٤٢) الى ما هو مقترح بالشكل (٣-٤٤)



الشكل (٣ - ٤٦) دائرة ترانسستور(ن – ب – ن) تكوين باعث مشترك معملية

- تحديد الجهد والتيار لتطبيقات التكبير

الدائرة بالشكل (٣-٤٧) هى نفسها بالشكل (٣-٤٦) إلا أنه موضح عليها نقاط التشغيل وكذلك يوجد عند دخل الدائرة مصدر لإشارة تيار متردد المراد تكبيره٠ يمنع المكثف (C_1) مرور التيار المستمر فى الترانسستور وأيضا فى مصدر توليد إشارة التيار المتردد ٠ فى حالة توصيل مصدر توليد إشارة التيار المتردد مباشرة الى طرف قاعدة الترانسستور بدون المقاومة (R_g) والمكثف (C_1) فإن طرف قاعدة الترانسستور سيتم قصره بالأرض٠

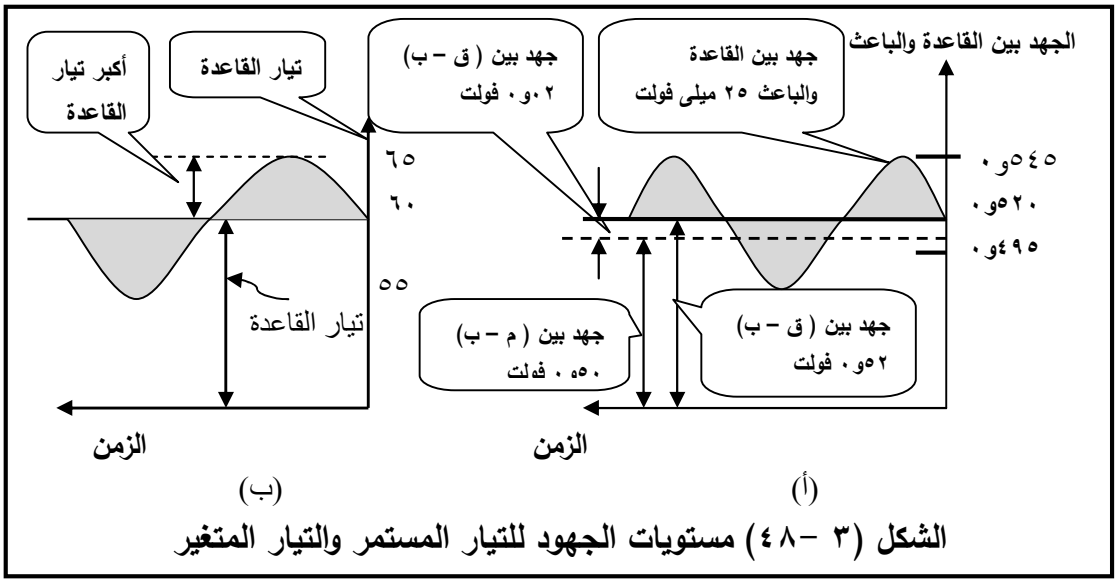


الشكل (٣ - ٤٧) دائرة ترانسستور(ن – ب – ن) تكوين باعث مشترك للتيار المتردد

فى حالة إستخدام مقاومة (R_g) صغيرة القيمة فيجب أن تكون سعة المكثف (C_1) كبيرة حتى تكون مفاعلة العنصرين لا يعتد بها في تردد الإشارة ٠ كمثال : لو كانت قيمة الذروة من إشارة الجهد (E_{gm}) تساوى ٢٥ ميلى فولت وقيمة المقاومة (R_g) تساوى صفر فإن التغير فى جهد إشارة التيار المتردد ستتصل مباشرة بالقاعدة من خلال المكثف (C_1)٠مستويات جهد التيار المستمر المستخدمة من قبل هى (V_{BE}) تساوى ٠و٥٢ فولت وبالتالى فإن تتذبذب إشارة التيار المتردد والتى تساوى ٢٥ ميلى فولت على كل جانب من مستوى التيار المستمر كما هو موضح بالشكل (٣-٤٨)على النحو التالى:

- مستوى التيار المستمر عند جهد (V_{BE}) يساوى ٠و٥٢ فولت
- قيمة الذروة إشارة الجهد (E_{gm}) للتيار المتردد تساوى ٠و٠٢٥ فولت
- قيمة أقصى جهد للوصلة (V_{BE}) = ٠و٥٢ + ٠و٠٢٥ = ٠و٠٤٥ فولت
- قيمة أقل جهد للوصلة (V_{BE}) = ٠و٥٢ - ٠و٠٢٥ = ٠و٠٤٩٥ فولت
- قيمة الجذر التربيعى للجهد(V_{be})= ٠و٠٢٥ x ٠و٧٠٧ = ٠و٠١٧٧ فولت
- التغير فى الإشارات المركبة للجهد (V_{CE}) يساوى ٠و٥ فولت
- قيمة الجذر التربيعى للجهد (V_{be}) المقاس ($V_{be} = V_{BE} - V_{CE}$)

يساوى ٠و٥٢ – ٠و٥ = ٠و٠٢ فولت



الشكل (٣ -٤٨) مستويات الجهود للتيار المستمر والتيار المتغير

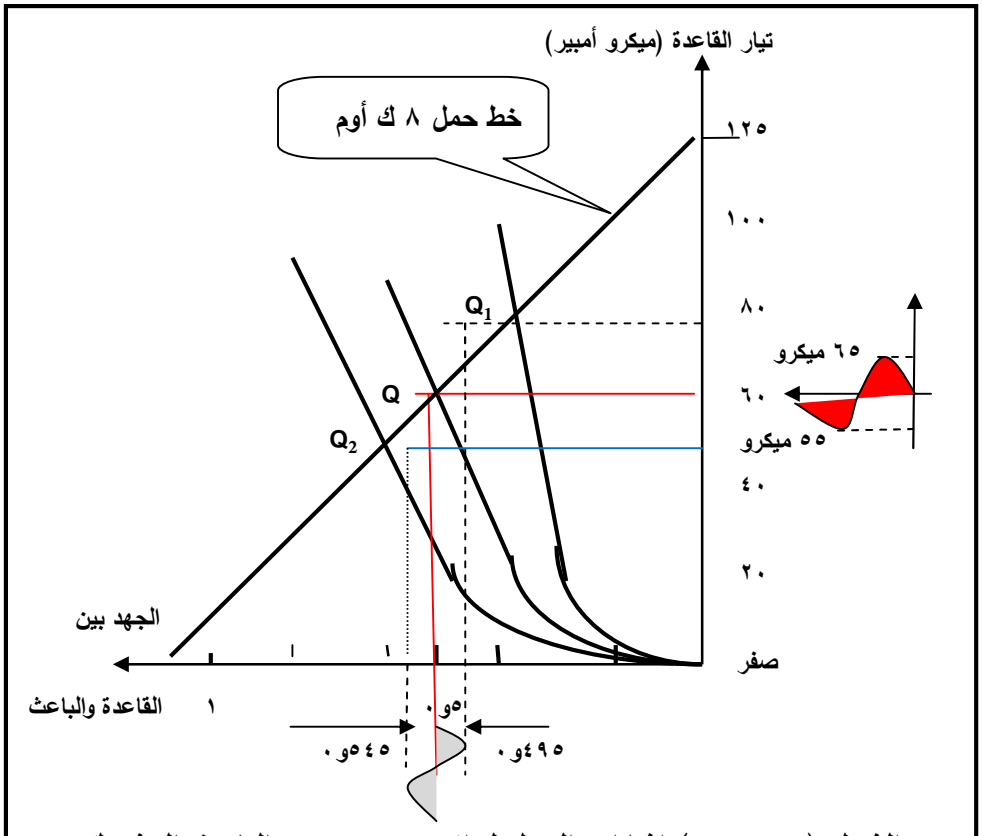
تتذبذب الإشارة الجيبية للجهد (V_{BE}) حول نقطة التشغيل (Q) للتيار المستمر كما هو موضح بإستخدام منحنيات تكوين الباعث المشترك فى الشكل (٣-٤٩) حيث أن التغيير فى الجهد (V_{BE}) يسبب تغيير فى قيمة تيار القاعدة نتيجة التغيير فى نقطة

التشغيل (Q) عند جهد (V_{CE}) يساوى ٧ فولت – من المنحنيات تم جدولة المعاملات فى الجدول (٣-٢) كنتيجة لتغير تيار القاعدة ويبدأ عمل الترانسستور ويحدث تغيير فى قيمة تيار المجمع٠

الجدول (٣-٢)

المعامل	جهد الوصلة (V_{BE}) بالفولت	جهد الوصلة (V_{CE}) = ٧ فولت	تيار القاعدة ميكرو أمبير
مستويات التيار المستمر	٠و٥٢	Q	٦٠
أقصى جهد تذبذب	٠و٥٤٥	Q_1	٦٥
أقل جهد تذبذب	٠و٤٩٥	Q_2	٥٥

التغير فى قيمة تيار المجمع نتيجة التغير فى قيمة تيار القاعدة موضح بإستخدام منحنيات الخرج فى تكوين الباعث المشترك بالشكل (٣-٥٠)٠ التغيرات نتيجة التغير فى قيمة تيار القاعدة من ٥٥ الى ٦٥ ميكرو أمبير يتقاطع مع خط الحمل عند النقطة (Z) و(W) – بإسقاط النقطتين (Z) و(W) عموديا – نحصل على التغير فى قيمة الجهد (V_{CE}) ٠وبإسقاط النقطتين (Z) و(W) أفقيا – نحصل على التغير فى قيمة تيار المجمع كما يلى ٠ الجدول (٣-٣)

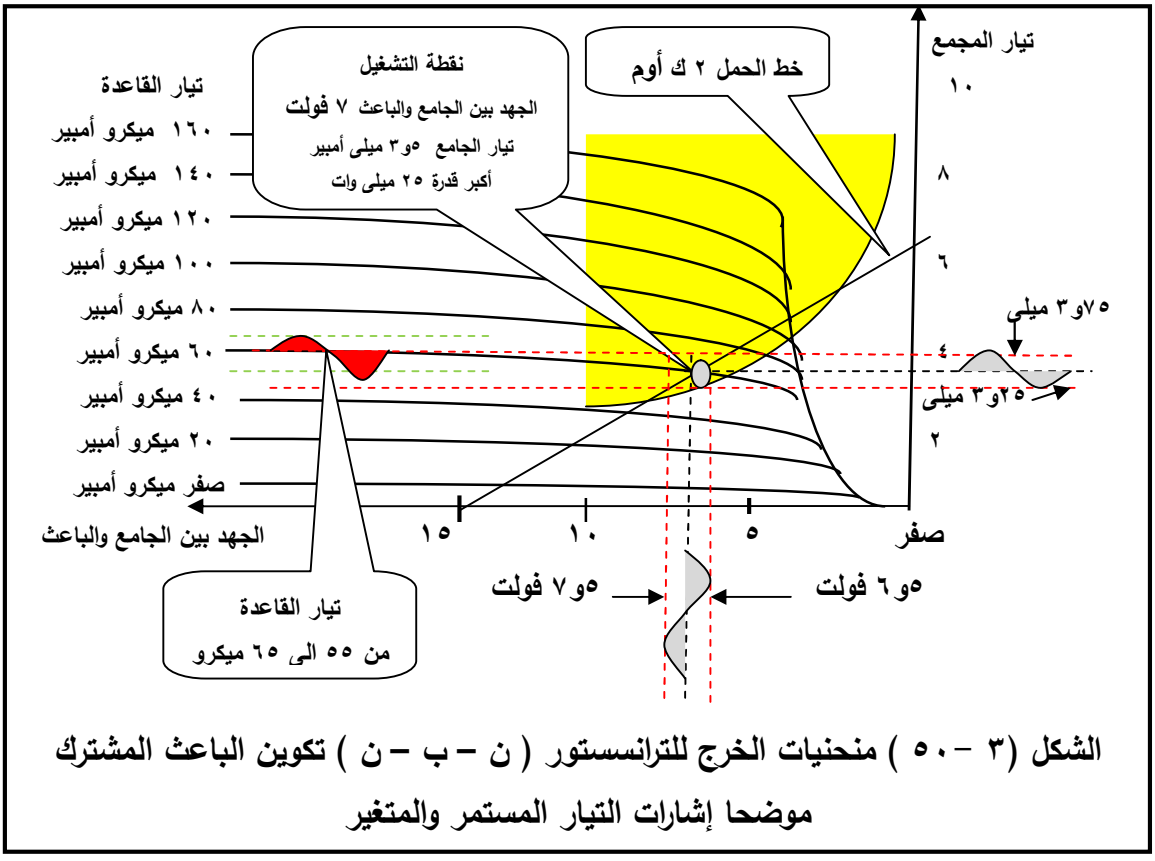


الشكل (٣ – ٤٩) إشارات الدخل لترانسستور تكوين الباعث المشترك

الجدول (٣-٣)

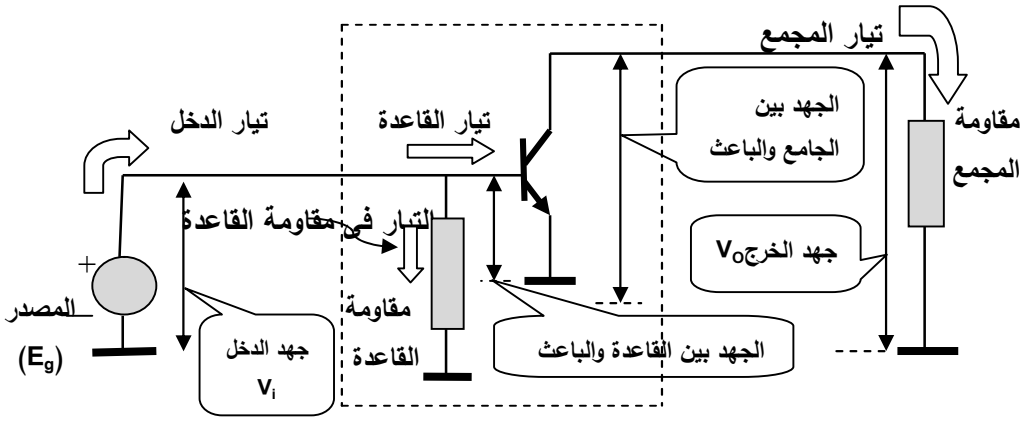
نقطة التشغيل	تيار القاعدة (ميكرو أمبير	جهد الوصلة (V_{CE})	تيار المجمع (ميكرو أمبير
Z	٥٥	٧و٥	٣٥و٣
Q	٦٠	٧	٥٠و٣
W	٦٥	٦و٥٠	٧٥و٣

وفى النهاية لحساب قيم تكبير الجهد والتيار – نعود الى الدائرة بالشكل (٣-٤٧) المطابقة للدائرة بالشكل (٣-٥١)٠ معاملات تشغيل الدائرة على النحو التالى: المقاومة (R_g) تساوى صفر وتتصرف كدائرة كهربائية مغلقة للتيار المتردد – ومقاومة القاعدة (R_B) يقع عليها الجهد المتصل بالأرض للتيار المتردد وجهد الجذر التربيعى للإشارة (E_g) ويساوى ٢٥ ميلى فولت وأكبر تيار للمجمع (I_{CM}) يساوى ٢٥و٠ ميلى أمبير وأكبر جهد للوصلة (V_{CEM}) يساوى ٥٠و٠ فولت وأكبر تيار للقاعدة (I_{bM}) يساوى ٥ ميكرو أمبير٠



الشكل (٣ – ٥٠) منحنيات الخرج للترانسستور (ن – ب – ن) تكوين الباعث المشترك موضحا إشارات التيار المستمر والمتغير

من البيانات المعطاه يمكن حساب قيمة تيار وجهد الجذر التربيعى للدخل وأيضا قيمة تيار وجهد الجذر التربيعى للخرج ومنها يمكن تحديد التكبير والكسب للترانسستور٠



الشكل (٣ – ٥١) التطوير المقترح للدائرة تحت المناقشة

١. قيم الجذر التربيعى لإشارة جهد الدخل:

جهد الدخل (E_g) يساوى جهد الوصلة (V_{be}) ويساوى ٠و٧٠٧ من أكبر جهد (V_{beM})

جهد الدخل ($V_{i/t}$) = ٠و٧٠٧ x ٠و٠٢٥ = ٠و٠٧٠ = ١٧و٧٠ ميلى فولت

٢. قيم الجذر التربيعى لإشارة تيار الدخل:

تيار الدخل ($I_{i/t}$) يساوى تيار القاعدة مضافا إليه التيار المار فى مقاومة القاعدة (I_{RB}) على النحو التالى : ($I_{i/t}$) = ٠و٧٠٧ (I_{beM}) + $V_{i/t} / R_B$

= ٠و٧٠٧ x ٥ x ١٠ $^{-٦}$ + ١٧و٧ x ١٠ $^{-٣}$ / ٢٢٥ x ١٠ ^{٣}

= ٣و٦١ ميكرو أمبير

٣. قيم الجذر التربيعى لإشارة تيار الخرج:

تيار الخرج ($I_{O/t}$) يساوى تيار المجمع يساوى ٠و٧٠٧ من أكبر تيار المجمع (I_{CM}) على النحو التالى: ($I_{O/t}$)= ٠و٧٠٧ (I_{beM}) + $V_{i/t} / R_B$

= ٠و٧٠٧ x ٠و٢٥ x ١٠ $^{-٣}$ = ٠و١٧٧ ميلى أمبير

٤. قيم الجذر التربيعى لإشارة جهد الخرج

جهد الخرج يساوى الجهد (V_{ce}) يساوى ٠و٧٠٧ أكبر جهد (V_{ceM})

جهد الخرج = ٠و٧٠٧ x ٠و٥ = ٠و٣٥٣ فولت

وكذلك يمكن حساب جهد إشارة الخرج كما يلى:

جهد الخرج ($V_{o/t}$) يساوى الجهد (V_{ce}) يساوى سالب تيار المجمع مضروبا فى المقاومة (R_C) على النحو التالى: ($V_{o/t}$) = (V_{ce}) = – = – ($I_C R_C$)

= ١٧٧و٠ x ١٠ $^{-٣}$ x ٢٠٠٠ = – ٣٥٤و٠ فولت

تبين إشارة السالب إنعكاس التغذية

٥. وبالتالى يمكن تحديد تكبير الجهد كالتالى:

معامل التكبير (Av) يساوى جهد الخرج مقسوما على جهد الدخل على النحو التالى:

(Av) = ($V_{o/t}$ /$V_{i/t}$) = ٣٥٣و٠ / ٧و١٧ x ١٠ $^{-٣}$ = ٢٠

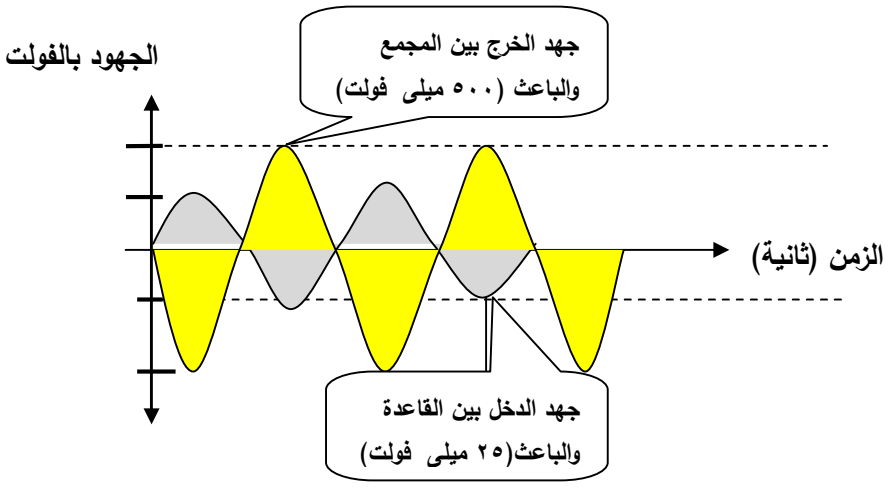
٦. قيم تكبير التيار كالتالى :

معامل التكبير (A_i) يساوى تيار الخرج مقسوما على تيار الدخل على النحو التالى:

(A_i) = ($I_{o/t}$ / $I_{i/t}$) = ٧و١٧ x ١٠ $^{-٣}$ / ٦١و٣ ١٠ $^{-٦}$ = ٤٩

٧. كسب القدرة (G) يساوى معامل تكبير الجهد مضروبا فى معامل تكبير التيار على النحو التالى: (G) = ($|A_v A_i|$) = ٢٠ x ٤٩ = ٩٨٠ = ٩و٢٩ ديسبل

يوضح الشكل (٣–٥٢) الرسم البياني للجهد (v_{ce}) والجهد (v_{be}) مع مراعاة إنعكاس التغذية.



الشكل (٣ –٥٢) منحنى زمنى لجهود الدخل والخرج للتيار المتردد

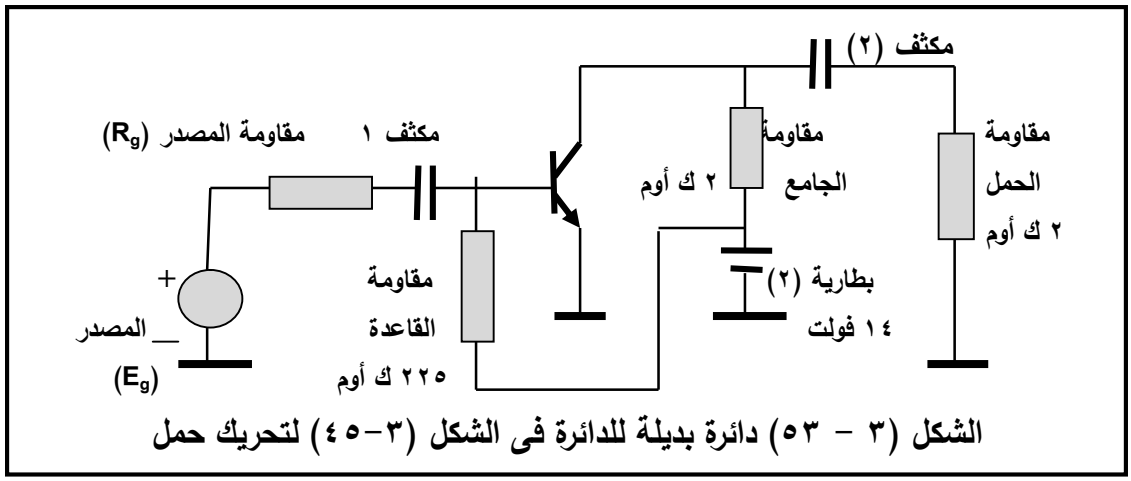
- تحميل التيار المتغير للترانسستور تكوين الباعث المشترك

الدائرة بالشكل (٣–٤٧)– يمر تيار المجمع خلال المقاومة(R_C) والترانسستور. يتكون تيار المجمع من مركبة التردد المتغير (AC) مضافا الى مستوى التيار المستمر (DC) وحيث أن تيار خرج المجمع (i_C) للترانسستور يحرك دوائر إضافية فتم تعديل الدائرة بالشكل (٣–٤٧) حيث أن المكثف (C_2) عزل مستويات التيار المستمر عن مقاومة

الحمل (R_L) ٠ خط الحمل للمقاومة (R_C) وتساوى ٢ كيلو أوم للدائرة بالشكل (٣-٤٠) ونقط التشغيل (Q) والتى تم تحديدها (V_{CE} = ٧ فولت و(I_C) = ٥و٣ ميلى أمبير) ما زالت صالحة للدائرة بالشكل (٣-٥٣) وتتكرر مرة أخرى على منحنيات الخرج فى تكوين الباعث المشترك بالشكل (٣-٥٥) – يتصرف المكثف (C_2) كدائرة مفتوحة بالنسبة للتيار المستمر- خط الحمل نتيجة المقاومة (R_C) والتى تساوى ٢ كيلو أوم فقط٠ ديناميكية خط الحمل للتيار المتردد عبارة عن دائرة على التوازى للمقاومتين (R_C) و(R_L) ويمكن تحديدهما كما يلى:

$$RL = \frac{R_C R_L}{R_C + R_L} = \frac{2K\Omega \times 2K\Omega}{2K\Omega + 2K\Omega} = 1K\Omega$$

لذلك – الدائرة المكافئة للتيار المتردد للدائرة بالشكل (٣-٥٤) – قد تم إستبدال المكثف (C_1) و (C_2) بدائرة مغلقة (صالحة فقط فى تطبيقات الترددات العالية) وكذلك البطارية (V_{CC}) ٠



الشكل (٣ - ٥٣) دائرة بديلة للدائرة فى الشكل (٣-٤٥) لتحريك حمل

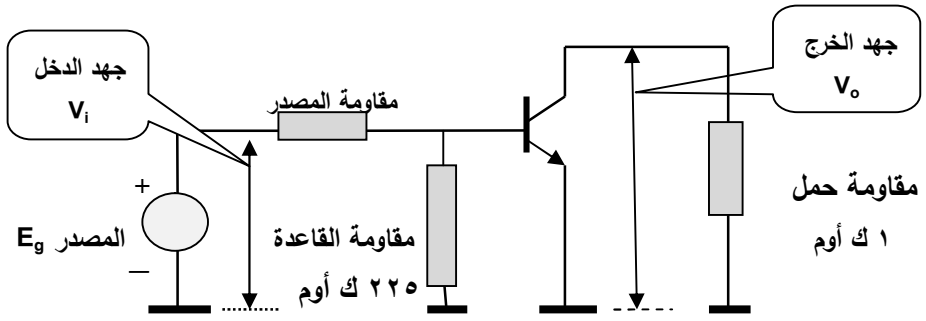
خط الحمل للتردد المتغير المكون على منحنيات الدائرة بالشكل (٣-٥٥) مع ملاحظة أن نسبة الجهد (V_{CE}) وتيار المجمع فى أى مكان يجب أن تساوى ١ كيلو أوم ويجب أن تمر من خلال نقطة التشغيل (Q) ٠ ويمكن توضيح ذلك أنه فى حالة غياب إشارة التيار المتغير فإن الجهد والتيار فى الترانسستور هما القيم عند نقطة التشغيل (Q) ولذلك فإن خطى الحمل يجب أن يعبران هذه النقطة ٠

لتحديد موقع تقاطع خط حمل التيار المتردد مع محور الجهد (V_{CE}) – نحصل على:

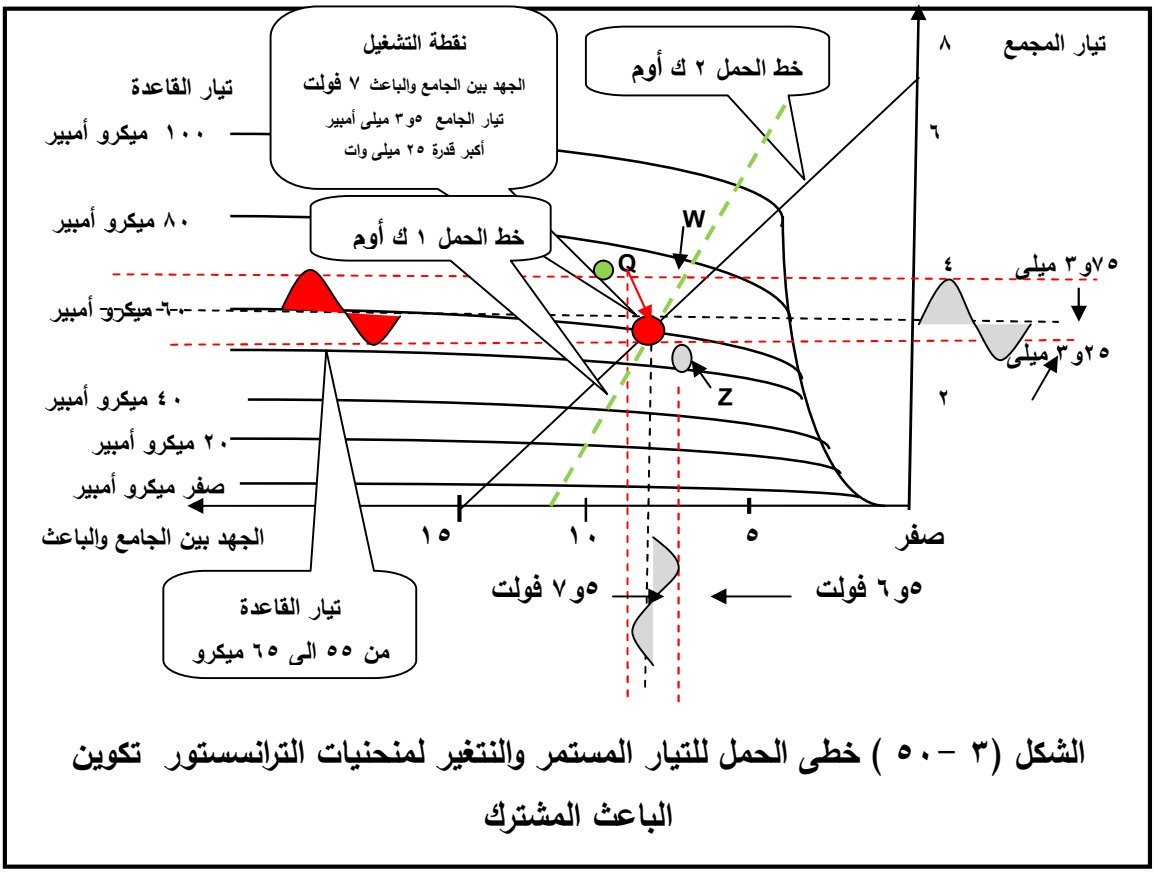
$$\Delta I_C R_L = 3.5x10^{-3}x1000 = 3.5V$$

$$V_{CE} = 7+3.5= 10.5V$$

يتقاطع خط الحمل مع محور الجهد (V_{CE}) عند قيمة ١٠و٥٠ فولت – فى الشكل (٣–٥٥) يتغير تيار القاعدة من ٥٥ الى ٦٥ ميكرو أمبير وتيار المجمع من ٣و٢٥ الى ٣و٧٥ ميلى أمبير – جهد المجمع (ΔV_{CE}) يتغير ٥و٠ فولت (من ٦و٧٥ الى ٧و٢٥ فولت) الذى يطابق التغير فى خط الحمل (R_L) الذى يصبح (R_C/R_L) يساوى ١ كيلو أوم بدلا من (R_C) وتساوى ٢ كيلو أوم ٠



الشكل (٣ – ٥٤) دائرة مكافأة للشكل (٣ – ٥١) تستخدم حمل مماثل



الشكل (٣ – ٥٠) خطى الحمل للتيار المستمر والنتغير لمنحنيات الترانسستور تكوين الباعث المشترك

التيار خلال المقاومة (R_L) كناتج للتيار المتردد فقط وذروته ٢٥و٠ ميلى أمبير وأيضا

الجهد على المقاومة (R_L) كناتج للتيار المتردد فقط وذروته ٢٥و٠ فولت٠ ولا يظهر أى تغيير فى تكبير التيار حيث التغير فى تيار المجمع (ΔI_C) ما زال ٥و٠ ميلى أمبير٠ مركبات تيار المجمع للتيار المتردد ينقسم بين المقاومة (R_C) والمقاومة (R_L) حيث أن ($R_C = R_L$) ٠ كانت قيمة كسب القدرة للدائرة بدون حمل فى الشكل (٣-٤٧) تساوى ٩و٢٩ ديسبل – فى حالة الدائرة فى وجود حمل فى الشكل (٣-٥٤) نجد:

١ – تيار الخرج:

تيار الخرج ($I_{O/t}$) يساوى نصف تيار المجمع يساوى نصف ٧٠٧و٠ من أكبر تيار المجمع (I_{CM}) على النحو التالى: ($I_{O/t}$)= ٢/١ (٧٠٧ و٠ (I_{CM})

= ٢/١ (٧٠٧و٠ x ٢٥و٠ x ١٠ $^{-٣}$)= ٠٨٨و٠ ميلى أمبير

٢ – جهد الخرج

جهد الخرج ($V_{o/t}$) يساوى سالب تيار المجمع مضروب فى المقاومة (R_L)

جهد الخرج = ($-I_C R_L$) = – ٠٨٨و٠ ١٠ $^{-٣}$ x ١٠٠٠ = – ٠٨٨و٠ فولت

٣ – جهد وتيار الدخل سبق تحديدهما كما يلى

جهد الدخل = ٧و١٧ ميلى فولت وتيار الدخل ٦٠و٣ ميكرو أمبير

٤ – تحديد تكبير الجهد كالتالى:

معامل التكبير (Av) يساوى جهد الخرج مقسوما على جهد الدخل على النحو التالى:

(Av) = ($V_{o/t} / V_{i/t}$) = ٠٨٨و٠ / ٧و١٧ x ١٠ $^{-٣}$ = – ٥

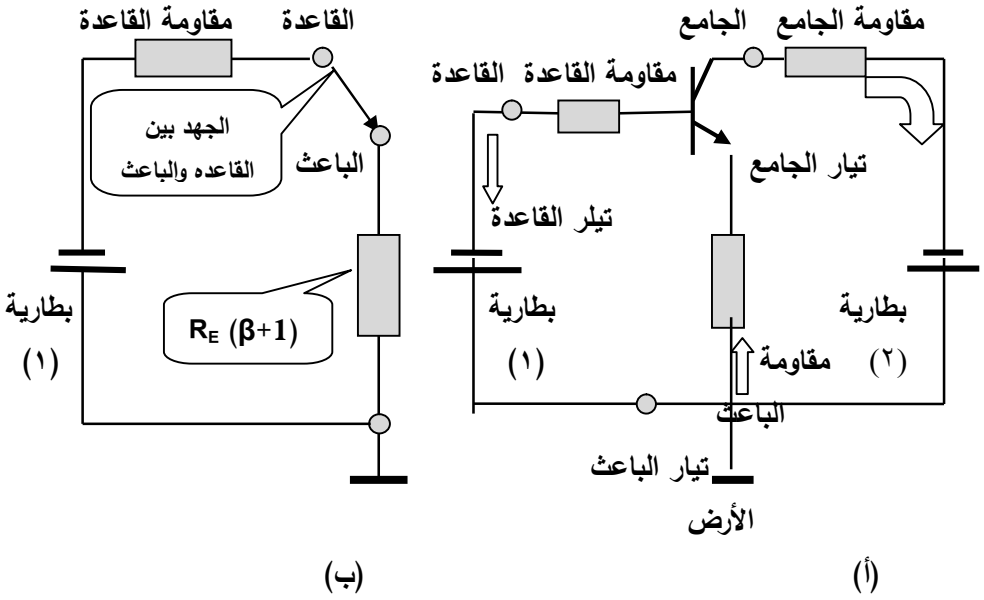
٥ – قيم تكبير التيار كالتالى :

معامل التكبير (A_i) يساوى تيار الخرج مقسوما على تيار الدخل على النحو التالى:

(A_i) = ($I_{o/t} / I_{i/t}$) = ٠٨٨و٠ x ١٠ $^{-٣}$ / ٦١و٣ ١٠ $^{-٦}$ = ٢٤و٤

٦ – وبالتالى فإن كسب القدرة (G) يساوى معامل تكبير الجهد مضروبا فى معامل تكبير التيار على النحو التالى: (G) = ($|A_v A_i|$) = ٥ x ٢٤و٤ = ١٢٢ = ١٠ لوج ١٢٢ = ٨و٢٠ ديسبل٠

مع ملاحظة إنخفاض كسب القدرة بمقدار ٩ ديسبل عن الدائرة بدون حمل٠ لمنع التغيير المفرط فى قيم معاملات التشغيل فى التيار المستمر يحب توصيل مقاومة فى دائرة الباعث كما فى الشمل (٣-٥١)



الشكل (٣-٥٦) دائرة بسيطة لمنع التغير المفرط فى نقاط تشغيل التيار المستمر

لتحقيق الإستقرار في درجة حرارة جيدة يجب أن تكون قيمة مقاومة الباعث (R_E) كبيرة – نعلم من قبل ؛

$$I_C = \beta I_B \quad \& \quad I_B = I_E - I_C \quad \& \; I_B = IE - \beta I_B$$

منها نحصل على معادلة جديدة:

$$I_E = I_B\,(\beta+1) \qquad \text{المعادلة (٣-٥٧)}$$

الجهد الكلى من القاعدة الى الأرض واضح بالشكل (٣-٥٦) ويمكن الحصول عليه بالمعادلة:

$$V_{BB} = V_{BE} + I_E R_E = V_{BE} + I_B\,(\beta+1)\,R_E \qquad \text{المعادلة (٣-٥٨)}$$

يعتبر المقدار $[I_B(\beta+1)R_E]$ تيار القاعدة الذى يسرى فى المقاومة $[R_E(\beta+1)]$ ٠ لذلك فإن القيمة الفعالة لمقاومة الباعث (R_E) كأنها مضروبة فى كسب التيار ($\beta+1$) – وأن القيمة الفعالة لأى مقاومة فى دائرة الباعث على النحو التالى:

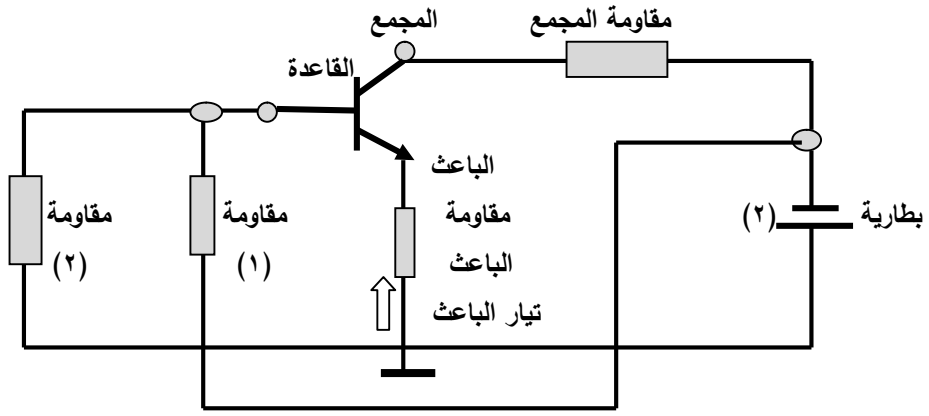
$$R_E = R_E\,(\beta+1) \qquad \text{المعادلة (٣-٥٩)}$$

القيمة الفعالة لأى مقاومة فى دائرة القاعدة على النحو التالى:

$$R_B = \frac{R_B}{(\beta+1)} \qquad \text{المعادلة (٣-٦٠)}$$

هذه الصيغ مفيدة لتبسيط دوائر الترانسستور – ولتبسيط الدائرة أكثر بالشكل (٣-٥٦)

يمكن إلغاء أحدى البطاريتين كما فى الشكل (٣-٥٧)٠يتم إستعواض البطارية (V_{BB}) بمقاومة متغيرة والتى تمكنها من إستخدام البطارية (V_{CC}) للتغذية وأيضا لتغذية دائرة الدخل٠ فى الشكل (٣-٥٧) المقاومة (R_1) والمقاومة (R_2)على التوازى وهما تعادلان مقاومة القاعدة (R_B) التى تمكن من التغذية العادية للقاعدة٠ على سبيل المثال – من الشكل (٣-٥٦) قيمة مقاومة القاعدة (R_B) تساوى ٥٠ كيلو أوم ومقاومة الباعث (R_E) تساوى ١ كيلو أوم ومقاومة المجمع (R_C) تساوى ٥٠٠ أوم وجهد البطارية (V_{BB}) تساوى ١٥ فولت وجهد البطارية (V_{CC}) تساوى ٢٥ فولت٠



الشكل (٣ - ٥٧) دائرة بسيطة لمنع التغير المفرط فى نقاط تشغيل التيار المستمر

يمكن التعويض عن مقاومة القاعدة (R_B) بمقاومتين (R_1 و R_2) على التوازى وتساوى ٥و٨٣ ك-أوم // ١٢٥ ك- أوم = ٥٠ كيلو أوم وجهد تغذية القاعدة

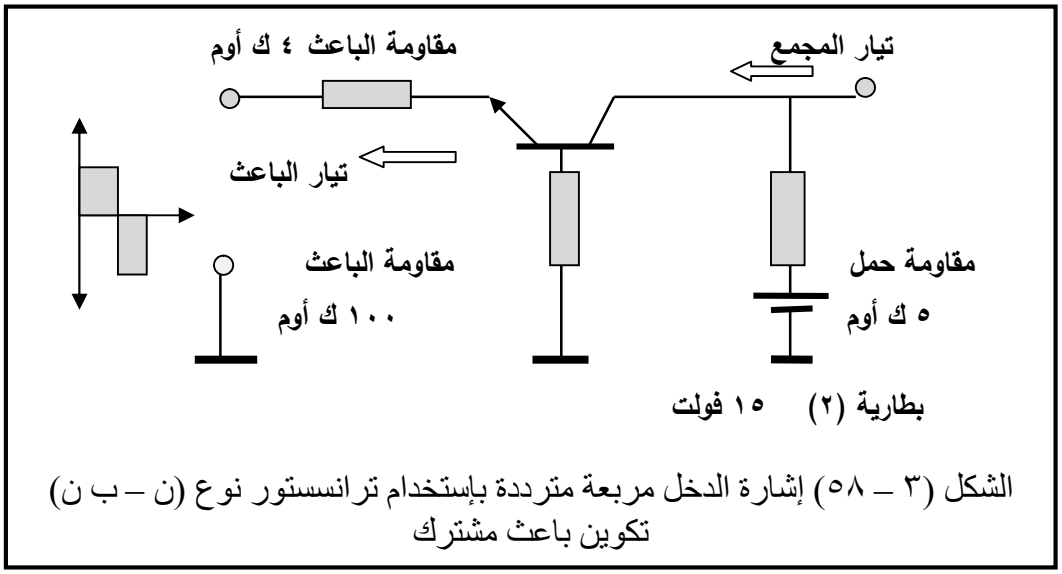
المعادلة (٣-٦١) $$V_B = V_{CC}\frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

من المعادلة – يمكن إلغاء البطارية (V_{BB}) والتى تساوى ١٥ فولت فى الشكل (٣-٥٦) وتغذية القاعدة مباشرة من البطارية (V_{CC}) بجهد قيمته (V_B)

$$V_B = -25\frac{125\times10^3}{(125+83.5)\times10^3} = -15V$$

فى الدائرة بالشكل (٣-٥٨) فإن الدخل للترانسستور عبارة عن أشارة مربعة مترددة بين موجب ٥ وسالب ٥ فولت)

فى حالة أن يكون الدخل موجب ٥ فولت وحيث أن الترانسستور من النوع (ن – ب – ن) ولذلك تكون الوصلة (J_1) عكسية التغذية ولا يسرى تيار من الباعث ٠



الشكل (٣ – ٥٨) إشارة الدخل مربعة مترددة بإستخدام ترانسستور نوع (ن – ب ن) تكوين باعث مشترك

وبالتالى تيار المجمع يساوى صفر (مع إهمال قيمة التيار I_{CBO}) ولا يوجد جهد واقع على المقاومة (R_C) وقيمة جهد الخرج (V_{CB}) يساوى جهد المنبع ١٥ فولت٠فى حالة أن يكون الدخل سالب ٥ فولت وكسب التيار فى الترانسستور يساوى ٩٩ ويسرى تيار الباعث ويمكن تحديدة بحساب قيمة المقاومة الفعالة للقاعدة (R_B)

$$R_B = \frac{R_B}{(\beta + 1)} = \frac{10^4}{99 + 1} = 1K\Omega$$

يمكن تحديد تيار الباعث الداخل للترانسستور من خلال المقاومات (R_E) و(R_B) على النحو التالى:

$$I_E = V_{i/t}/(R_E+R_B) = 5/(4+1)x10^3 = 1\ ma$$

وحيث كسب التيار ($\beta = \alpha / (1- \alpha)$) منها α = ٩٩و٠ فإن معاملات تشغيل الترانسستور على النحو التالى :

- **تيار المجمع = كسب التيار ألفا مضروب فى تيار الباعث**

  = ٩٩و٠ x ١ ميلى أمبير = ٩٩و٠ ميلى أمبير

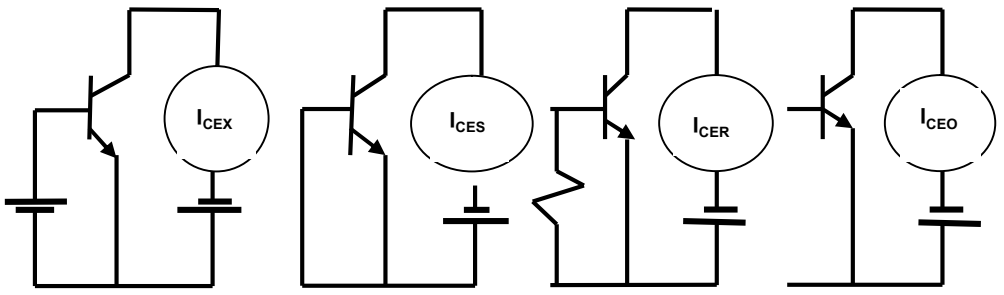
- **قيمة الجهد على مقاومة المجمع (V_{RC}) يساوى تيار المجمع مضروبا فى مقاومة المحمع (R_C)**

  = ٩٩و٠ x ٥ ك أوم = ٩٥و٤ فولت

- **قيمة الجهد على الوصلة (V_{CB}) يساوى جهد البطارية (V_{CC}) سالب الجهد على مقاومة المجمع (V_{RC}) ويساوى ١٥ – ٩٥و٤ = ٠٥و١٠ فولت٠**

- **قطع التيار فى الترانسستور تكوين الباعث المشترك**

قيمة التيار المتسرب (I_{CEO}) كبيرة (الشكل ٣-٥٩أ) خاصة إذا كان كسب التيار ألفا كبير٠ لتخفيض التيار المتسرب (I_{CEO}) يجب تخفيض تراكم الشحنات فى القاعدة الذى يمنع حقن الباعث٠ ويمكن هذا بتوفير مسار للشحنات الزائدة لتتسرب خارج قاعدة٠



الشكل (٣- ٥٩) دوائر كهربائية مختلفة التوصيل للتغلب وتخفيض التيار المتسرب للترانسستوى تكوين الباعث المشترك

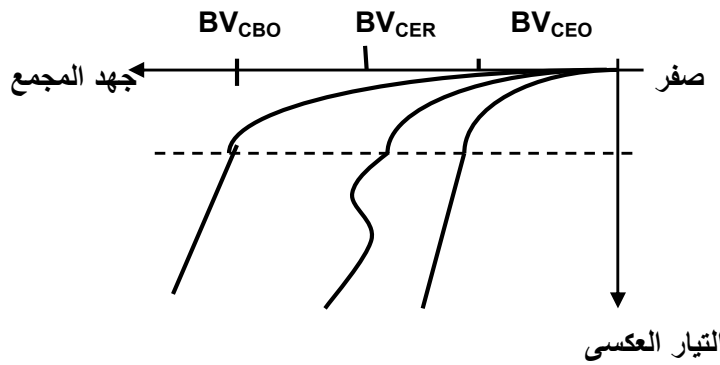
بإضافة مقاومة (R) فى الدائرة بالشكل (٣-٥٩ ب) توفر المسار المطلوب لتسريب الشحنات الزائدة من القاعدة٠ فى حالة أن تكون المقاومة (R) قيمة صغيرة فإن تيار القطع فى المجمع (I_{CER}) يتناقص٠ فى حالة أن تكون المقاومة (R) تساوى صفر فإنه يتم قصر الباعث بالقاعدة فى الدائرة بالشكل (٣-٥٩ ج) وبالتالى فإن قيمة تيار القطع فى الجامع فى حالة القصر (I_{CES}) صغيرة٠وهذا يعنى أنه يمكن تقليل التيار المتسرب فى دوائر تكوين الباعث المشترك بتوصيل دائرة كهربائية مثل:

١ – يسرى التيار المتسرب (I_{CEO}) إذا تم توصيل مقاومة (R) قيمتها كبيرة جدا فى دائرة دخل الترانسستور ($R \rightarrow \infty$) مما يعنى أن وصلة الباعث – القاعدة دائرة مفتوحة٠

٢ – يسرى التيار المتسرب (I_{CER}) لو تم توصيل مقاومة (R) فى دائرة الدخل (يتناقص التيار I_{CER} كلما تناقصت قيمة المقاومة (R) ($0< R<\infty$)

٣- يسرى التيار المتسرب (I_{CES}) لو تم قصر دائرة الدخل (قصر القاعدة بالباعث)

من الواضح أن التيار المتسرب (I_{CEO}) هو الأكبر قيمة بينما التيار المتسرب (I_{CES}) هو الأقل قيمة٠



الشكل (٣-٦٠) جهد الإنهيار نتيجة تيارات تسرب مختلفة فى ترانسستور تكوين الباعث المشترك

يوضح الشكل (٣-٦٠) جهود الإنهيار فى الترانسستور تكوين الباعث المشترك كدالة للتيار المتسرب٠ من الواضح أن أكبر قيمة تيار قطع هو الأقل فى جهد الإنهيار٠ من الشكل جهد الإنهيار الأقل هو (BV_{CEO}) بسبب أن التيار (I_{CEO}) هو الأكبر٠هناك معاملات أخرى تؤثر فى جهد الإنهيار مثل الشكل الهندسى للترانسستور – تكنولوجيا التصنيع – ٠٠٠٠٠، فى جميع الحالات كقاعدة عامة أن جهد الإنهيار (BV_{CBO}) هو الأكبر وجهد الإنهيار (BV_{CEO}) هو الأقل لأى ترانسستور٠

٣-٨ تطبيقات الترانسستور كعنصر فتح وقطع (توصيل وقطع)

من الواضح حتى يمكن تشغيل الترانسستور كعنصر توصيل وقطع فيجب تشغيل الترانسستور بين منطقتين ، منطقة القطع ومنطقة التشبع ، وليس فى المنطقة النشطة – ولمناقشة ذلك فإن الترانسستور التطبيقى لا يوجد به تيار قطع يساوى صفر وأيضا لا يوجد به جهد تشغيل يساوى صفر– ومن الأفضل التقليل من هذه المعاملات العشوائية٠

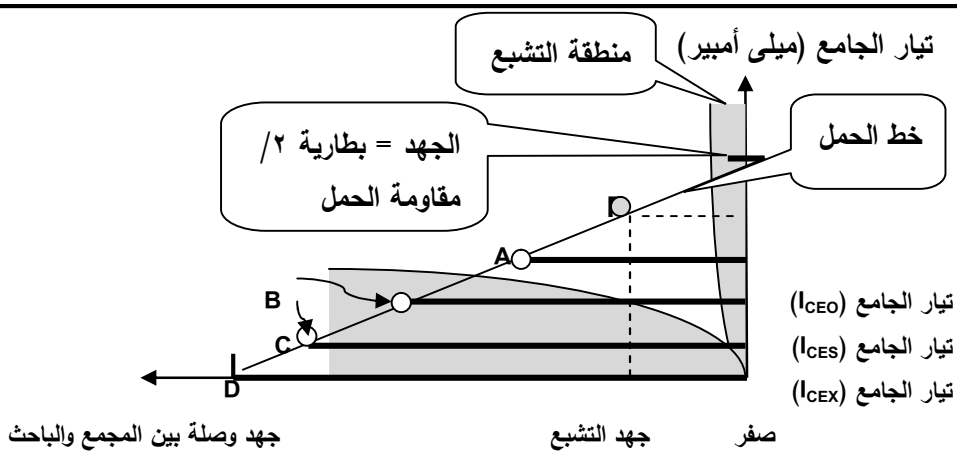
حتى يمكن تحويل الترانسستور الى حالة القطع يجب ترك دائرة القاعدة مفتوحة (الشكل ٣-٥٩ أ) وبالتالى تيار القاعدة يساوى صفر ولكن هناك تيار (I_{CEO}) يسرى خلال المجمع وتتراوح قيمته بعض الميلى أمبير٠ ولتخفيض قيمة تيار القطع فى المجمع يتم توصيل مقاومة بين القاعدة والباعث (الشكل ٣-٥٩ ب) وذلك يؤدى الى إنخفاض التيار المتسرب (I_{CER}) الى مئات من الميكرو أمبير٠ ولتخفيض هذا التيار أكثر من ذلك يمكن قصر القاعدة بالباعث (الشكل ٣-٥٩ ج) والذى يتسبب فى إنخفاض تيار المجمع الى (I_{CES}) فى حدود مائة الميكرو أمبير٠ ويمكن التخفيض أكثر بتغذية الوصلة بين

القاعدة والباعث بتغذية عكسية (الشكل ٣-٥٩ د) – على سبيل المثال – إذا كان جهد التغذية العكسية ١و٠ فولت فيعطى تيار (I_{CEX}) ٤٠ ميكرو أمبير وهذا هو أقل تيار قطع (I_{CEX}) يمكن الحصول عليه٠ تيار قطع المجمع (I_{CBO}) قد يكون أقل من ذلك ولكن يحتاج لتغيير تكوينات الترانسستور من تكوين باعث مشترك الى تكوين قاعدة مشتركة٠ وحتى يمكن تحويل الترانزستور تكوين الباعث المشترك الى مرحلة القطع فذلك يعتمد على إشارة التحكم في دائرة الإدخال٠ من الشكل (٣-٦١) فإن النقطة (A) تماثل تيار المجمع (I_{CEO}) عندما تكون دائرة القاعدة مفتوحة والنقطة (B) تماثل تيار المجمع (I_{CES}) عند قصر دائرة القاعدة والنقطة (C) تماثل تيار المجمع (I_{CEX}) عندما تكون تغذية دائرة القاعدة تغذية عكسية والنقطة (D) تماثل تيار المجمع (I_{CEO}) عندما تكون قيمته صفر (وهذا لا يمكن الحصول عليه)٠ توصيلات الدائرة فى الحالات أعلاه موضحة بالشكل (٣-٦١) ٠ للترانسستور المصنع بتكنولوجيا السطوح المستوية[١٣] فتيار القطع حوالى النانو أمبير٠عندما يكون الترانسستور فى حالة القطع فإن معظم الجهد الخارجى يقع من المجمع الى الباعث ولذلك جهد البطارية (V_{CC}) يجب ان يكون أقل من جهد الإنهيار (BV_{CEO})٠ عندما يكون الترانسستور فى حالة التوصيل فهذا يعنى أن الترانسستور تحول من منطقة القطع الى منطقة التشبع وتكون تغذية الوصلة (J_1) تغذية أمامية ويسرى تيار قاعدة ويرتفع تيار المجمع٠ وبالتالى يتحول الترانسستور من منطقة القطع الى المنطقة النشطة – بزيادة تيار القاعدة أكثر يصل تيار المجمع الى أقصى قيمة والتى يتم تحديدها بجهد البطارية (V_{CC}) مقسوما على مقاومة الحمل (V_{CC}/R_L) والتى تناظر النقطة (E) فى الشكل وهى الحالة المثلى٠ فى التطبيقات توجد مقاومة صغيرة بين المجمع والباعث فى الزمن٠ بمراجعة المعادلة (٢-١٣٨) $C_D = g\tau = 1/R\ (\tau)$ من خلال المقاومة ينتج جهد التشبع ($V_{CE(SAT)}$) والتى تماثل النقطة (F) فى الشكل٠ في محاولة لتخفيض زمن التوصيل (T_{on}) عندما يتساوى ($V_{CE} = V_{CE(SAT)}$) يتحول الترانسستور الى منطقة التشبع٠ مع ملاحظة أن ($\delta_{Si} > \delta_{Ge}$) وهذا يعنى أن جهد التشبع فى العناصر المصنعة من السيلكون أصغر عن العناصر المصنعة من الجرمانيوم٠ الوصول الى منطقة القطع فى الترانسستور المصنع من الجرمانيوم عند

---

[١٣] (planer)

جهد الوصلة (V_{BE}) يساوى ١و٠ فولت تغذية عكسية٠ الوصول الى منطقة القطع فى الترانسستور المصنع من السيلكون عند جهد الوصلة (V_{BE}) يساوى صفر فولت وهذه القيم كافية لسريان تيار (I_{CEX}) خلال المجمع٠



الشكل (٣-٦١) القيم المماثلة لتيارات القطع فى المجمع

يستبدل الترانسستور منطقة التشغيل من منطقة القطع الى المنطقة النشطة – عندما يصل جهد الوصلة (V_{BE}) جهد التشغيل وفى هذه الحالة يشار اليها ($V_{BE(CUT\ IN)}$) وهى فى حدود ١و٠ فولت فى الترانسستور المصنع من الجرمانيوم و ٥و٠ فولت فى الترانسستور المصنع من السيلكون٠بزيادة جهد الوصلة (V_{BE}) أكبر من الجهد ($V_{BE(CUT\ IN)}$) يتحرك الترانسستور الى المنطقة النشطة حيث جهد الوصلة (V_{BE}) حوالى ٢و٠ فولت فى الترانسستور المصنع من الجرمانيوم و ٦و٠ فولت فى الترانسستور المصنع من السيلكون٠ بزيادة جهد الوصلة (V_{BE}) أكثر يتحرك الترانسستور من المنطقة النشطة الى منطقة التشبع حيث جهد الوصلة (V_{BE}) حوالى ٣و٠ فولت فى الترانسستور المصنع من الجرمانيوم و ٧و٠ فولت فى الترانسستور المصنع من السيلكون٠ يتناقص جهد الوصلة (V_{CE}) الى قيمة جهد التشبع ($V_{CE(SAT)}$) – حيث جهد الوصلة (V_{CE}) حوالى ١و٠ فولت فى الترانسستور المصنع من الجرمانيوم و٣و٠ فولت فى الترانسستور المصنع من السيلكون٠ مع ملاحظة أنه فى منطقة التشبع نجد ($V_{CE} < V_{BE}$) وبالتالى تتحول التغذية للوصلة (J_2) الى تغذية أمامية – وهذا يعنى أنه فى منطقة التشيع فإن تغذية الوصلتين (J_1) و (J_2) تغذية أمامية أما فى منطقة القطع فإن تغذية الوصلتين (J_1) و(J_2) تغذية عكسية٠ ويمكن تلخيص هذه القيم ٠

الجدول (٣-٤)

مادة التصنيع	المقاومة النوعية	زمن الفتح	جهود الدخل بالفولت				جهد التشبع (V_{CE})
			جهد القطع	جهد التشغيل	جهد المنطقة النشطة	جهد منطقة التشبع	
جرمانيوم	صغيرة	صغير	-١ و ٠ عكسى	١و ٠ أمامى	٢و ٠ أمامى	٣و ٠ أمامى	-١و ٠
سليكون	كبيرة	كبيرة	صفر	٥و ٠ أمامى	٦و ٠ أمامى	٧و ٠ أمامى	-٣و ٠

٣-١١ معاملات تشغيل الترانسستور ثنائى القطب

الجدول (٣-٥)

الحالة	تغذية وصلة الباعث - القاعدة	تغذية وصلة الجامع - القاعدة	منطقة التشغيل
الأولى	أمامية	عكسية	النشطة
الثانية	أمامية	أمامية	التشبع
الثالثة	عكسية	عكسية	القطع
الرابعة	عكسية	أمامية	التحويل

الجدول (٣-٦) تكوين القاعدة المشتركة

منطقة التشغيل	تيار الباعث الداخل	تيار الجامع الخارج	جهد الخرج (V_{CB})
القطع	صفر	صفر	$V_{CB}=V_{CC}$
النشطة	$0<I_E< I_{E(SAT)}$	$I_C = I_E$	$0< V_{CB} < V_{CC}$
التشبع	$\geq I_{E(SAT)}$	$I_C = I_{E(SAT)}$	$V_{CB}=0$

الجدول (٣-٧) تكوين الباعث المشترك

منطقة التشغيل	تيار الباعث الداخل	تيار المجمع الخارج	جهد الخرج (V_{CE})
القطع	صفر	صفر	$V_{CE}=V_{CC}$
النشطة	$0<I_B< I_{B(SAT)}$	$I_C = \beta I_B$	$0< V_{CE} < V_{CC}$
التشبع	$I_B \geq I_{B(SAT)}$	$I_C = I_{C(SAT)}$	$V_{CE}\approx 0$

الجدول (٣-٨) تكوين المجمع المشترك

منطقة التشغيل	تيار الباعث الداخل	تيار المجمع الخارج	جهد الخرج (V_{CE})
القطع	صفر	صفر	$V_{CE}=0$
النشطة	$0<I_B< I_{B(SAT)}$	$I_C = (\beta+1)\ I_B$	$0< V_{CE} < V_{CC}$
التشبع	$I_B \geq I_{B(SAT)}$	$I_E = I_{E(SAT)}\ V_{CC}/R_E$	$V_{CE}\approx V_{CC}$

التشغيل الأساسي للترانزستور ثنائي القطب

الجدول (٣-٩)

تصنيف التشغيل الأساسى للترانزستور (عند درجة حرارة ٢٥ م°)

الحالة	الرمز	القيمة
جهد الوصلة بين الباعث والقاعدة	BV_{EBO}	٦ فوات
جهد الوصلة بين الجامع والقاعدة	BV_{CBO}	٢٥ فولت
جهد الوصلة بين الباعث والجامع	BV_{CEO}	٢٠ فولت
تيار الجامع	$I_{C(MAX)}$	٣٠٠ ميلى أمبير
الفقد الكلي	$P_{D(MAX)}$:	١٥٠ ميلى وات
درجة حرارو الوصلة	$T_{J(MAX)}$	١٥٠ م°

الجدول (٣-١٠)

تشويه الإشارة الناتج (القطع)

نقطة التشغيل	تيار الباعث	تيار المجمع	جهد الوصلة (V_{CB})	جهد الوصلة (V_{ES})
B	٥و١ ميلى أمبير	٤٨و١ ميلى أمبير	٦و٧ فولت	- ٥و١٢ فولت
Q	١ ميلى أمبير	٩٩و٠ ميلى أمبير	١و١٠ فولت	صفر فولت
A	٥و٠ ميلى أمبير	٥و٠ ميلى أمبير	٦و١٢ فولت	- ٥و١٢ فولت

الجدول (٣-١١)

مكبر تكوين القاعدة المشتركة

الحالة	الرمز	القيمة
كسب التيار	A_i	حوالى واحد
كسب الجهد	A_V	عالية جدا القيم النموذجية من ١٠٠ الى ٢٥٠٠
كسب القدرة	A_p	عالية جدا القيم النموذجية من ١٠٠ الى ٢٥٠٠
معاوقة الدخل	Z_i	قليلة القيم النموذجية من ١٠ الى ٢٠٠ أوم
معاوقة الخرج	Z_o	عالية القيم النموذجية من ١٠ كيلو أوم
إنحراف الوجه (من الدخل الى الخرج)		صفر°

الجدول (٣-١٢)

مكبر تكوين الباعث المشترك

الحالة	الرمز	القيمة
كسب التيار	A_i	(β) أكبر من الواحد
كسب الجهد	A_V	عالية جدا (القيم النموذجية من ١٠٠ الى ٢٥٠٠)
كسب القدرة	A_p	عالية جدا (القيم النموذجية ٢٠٠٠٠)
معاوقة الدخل	Z_i	متوسطة القيم النموذجية ١ كيلو أوم
معاوقة الخرج	Z_o	متوسطة القيم النموذجية ٢ كيلو أوم
إنحراف الوجه (من الدخل الى الخرج)		١٨٠° منتصف نطاق التردد منتصف

الجدول (٣-١٣)

مكبر تكوين الجامع المشترك

الحالة	الرمز	القيمة
كسب التيار	A_i	أكبر من الواحد وتتزايد مع (β)
كسب الجهد	A_V	أقل من الواحد – أقرب الى الواحد
كسب القدرة	A_p	متوسطة(القيم النموذجية ٥٠
معاوقة الدخل	Z_i	عالية القيم النموذجية ٥٠ كيلو أوم
معاوقة الخرج	Z_o	متوسطة القيم النموذجية ٢ كيلو أوم
إنحراف الوجه (من الدخل الى الخرج)		صفر°

الجدول (٣-١٤)

المكبرات العامة الشائعة

الخواص	قاعدة مشتركة	باعث مشترك	جامع مشترك
كسب التيار	أقل من واحد	عالية	عالية
كسب الجهد	عالية	عالية	أقل من واحد
كسب القدرة	متوسط	الأكبر	قليلة
معاوقة الدخل	صغيرة جدا	متوسطة	عالية
معاوقة الخرج	عالية	متوسطة	صغيرة جدا
أطراف الدخل	الباعث	القاعدة	القاعدة
أطراف الخرج	المجمع	المجمع	الباعث
إنحراف الوجه	صفر°	١٨٠°	صفر°
تحيز الإستقرار	جيد	جيد	جيد
استجابة التردد	جيد	معقولة	معقولة

الجدول (٣-١٥)

التكوين	قاعدة مشتركة	باعث مشترك	جامع مشترك
كسب التيار	حوالى واحد	عالية	عالية
كسب الجهد	عالية غير عكسية	عالية – عكسية	حوالى واحد غير عكسية
كسب القدرة	متوسط	كبيرة	صغيرة
معاوقة الدخل	صغيرة	متوسطة	عالية
معاوقة الخرج	عالية	متوسطة	صغيرة