

## الفصل السادس

### دوائر انحياز الترانزستور والاستقرارية الحرارية

#### (Transistor biasing circuits and thermal stabilization)

#### ● مقدمة

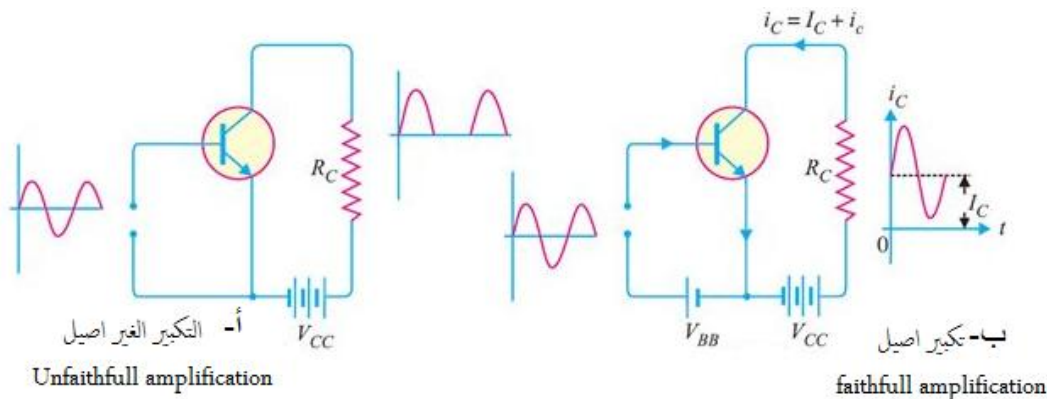
تعد عملية التكبير الوظيفة الاساسية للترانزستور , حيث يعمل على تكبير الاشارة الضعيفة الداخلة والتي يجب المحافظة عليها دون تشويه او قطع بحيث تخرج الاشارة مكبرة وطبق الاصل للاشارة الداخلة , وتسمى هذه العملية بالتكبير الاصيل (Faithfull amplification). ان تحقق مثل هذا النوع من التكبير يقتضي ان تعمل دوائر الترانزستور بانحياز امامي على ثنائي الباعث وعكسي على ثنائي الجامع طول فترة تسليط الاشارة . فضلاً عن ذلك فأن نقطة التشغيل (Q) يجب ان تقع في المنطقة الفعالة (الخطية) وليس في منطقة القطع (انحياز وصلتي الباعث والجامع عكسياً ) وليس في منطقة الاشباع (انحياز وصلتي الباعث والجامع امامياً). يتبين مما تقدم ان موقع نقطة التشغيل (Q) لمكبر الترانزستور يتحكم بطبيعة عمل هذا المكبر وتحديد شكل الاشارة الخارجة. ويتم اختيار موقع (Q) من خلال دوائر معينة تدعى بدوائر الانحياز .

#### ● أنحياز الترانزستور (transistor biasing)

للحصول على تكبير اصيل يتطلب تحقيق بعض الشروط:

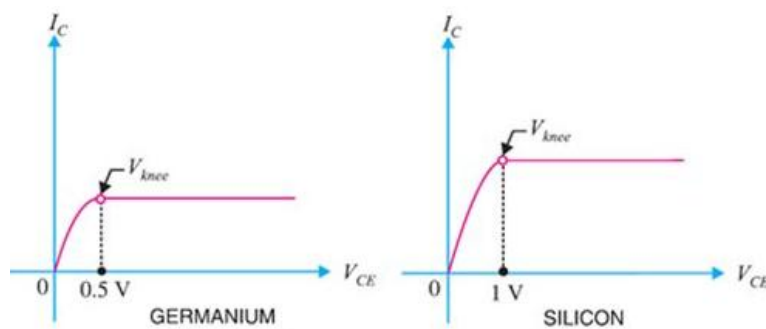
1. وجود تيار جامع مستمر مناسب: ان شكل الموجة الخارجة من الدائرة المبينة في الشكل (1-6-1) يكون مكبراً ويظهر الجزء الموجب فقط , كون الجزء السالب يتم قطعه وذلك لانحياز دائرة الادخال عكسياً مع النصف السالب , وبهذا لا يعد هذا التكبير تكبيراً اصيلاً. لذا يضاف مصدر مستمر ( $V_{BB}$ ) الى الدائرة كما مبين بالشكل (1-6-ب) التي تعمل على تحيز وصلة القاعدة- الباعث مما يؤدي الى سريان تيار قاعدة وبالتالي الى احداث تيار جامع يدعى بتيار الجامع بأشارة صفر ( $I_C$ ) (zero signal collector current).

في هذه الحالة تكون وصلة القاعدة منحازة امامياً بصورة دائمية بشرط ان تيار القاعدة الناتج من تسليط ( $V_{BB}$ ) يكون مساوياً او اكبر من اعلى قيمة يصلها تيار القاعدة المتناوب ( $\sim$ ) والناتج من تسليط الفولتية المتناوبة الداخلة . في هذه الحالة فان تيار الجامع يزداد بزيادة تيار القاعدة (خلال النصف الموجب من الموجة الداخلة) ويقل بنقصانه خلال النصف السالب من الموجة الداخلة. وبالتالي فأن الموجة الخارجة تكون نسخة طبق الاصل من الموجة الداخلة وعندئذ يتم الحصول على التكبير الاصيل المطلوب.



شكل (6-1) التكبير الاصيل والتكبير الغير اصيل

- الفصل السادس..... دوائر انحياز الترانزستور والاستقرارية الحرارية
2. وجود فولتية قاعدة- باعث ( $V_{BE}$ ) مناسبة: الحصول على تكبير اصيل لا يتم الا عندما يكون تيار القاعدة  $I_B$  أكبر من اعلى قيمة يصلها تيار القاعدة المتناوب  $i_B$  وهذا لن يتحقق الا في حالة التغلب على الجهد الحاجز عند وصلة القاعدة- الباعث. وتكون قيمة الجهد الحاجز مساوية لـ  $0.3V$  للجرمانيوم و  $0.6V$  للسليكون. لذا فأن نقصان  $V_{BE}$  عن القيمة المناسبة خلال اي جزء من الاشارة سوف يؤدي الى توقف سريان تيار القاعدة ومن ثم قطع ذلك الجزء من الاشارة وبالتالي عدم الحصول على التكبير المرغوب.
3. وجود فولتية جامع- باعث ( $V_{CE}$ ) مناسبة: يجب ان لا تقل هذه الفولتية عن  $0.5V$  للجرمانيوم و  $1V$  للسليكون. وتدعى بفولتية الركبة (knee voltage). حيث عندما تكون فولتية الجامع- الباعث اقل من هذه القيم فأن الجامع لا يكون قادراً على جذب جميع الالكترونات المحقونة من الباعث لذا فأن  $I_C$  تقل ويزداد  $I_B$  لذا فأن قيمة  $\beta$  تهبط وبالتالي عدم تكبير هذا الجزء من الاشارة (تشويهه في شكل الاشارة الخارجة).



شكل (6-2) فولتية الركبة

مثال/ ترانزستور سليكون نوع NPN مع  $V_{CC} = 6V$ ,  $R_C = 2.5K\Omega$  جد: 1- اقصى قيمة مسموحة يمكن ان يصلها تيار الجامع خلال فترة تسليط الاشارة. 2- ادنى قيمة لازمة لتيار الجامع المستمر (تيار الجامع بأشارة صفر).

الحل / 1- رأينا توأاً ان اقل قيمة لازمة لـ  $V_{CE}$  ليعمل ترانزستور السليكون بصورة سليمة (تكبير أصيل) هي ( $1V$ ) وبما ان  $V_{CC} = 6V$  لذا فأن اقصى جهد على  $R_C$  سيكون مساوياً لـ

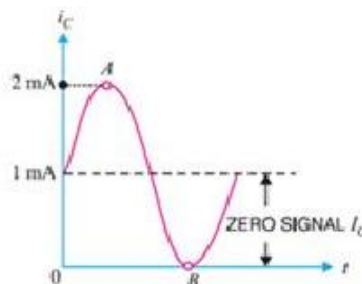
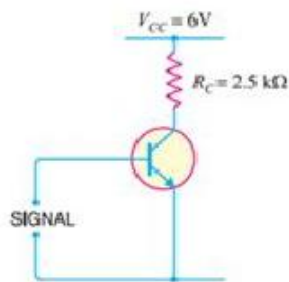
$$V_{RC} = V_{CC} - V_{CE} = (6 - 1)V = 5V$$

$$V_{CC} = V_{CE} + V_{RC} = V_{CE} + i_C R_C$$

$$i_C R_C = V_{CC} - V_{CE} \rightarrow i_{C_{Max}} = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} = \frac{5V}{2.5 \times 10^3 \Omega} \rightarrow i_{C_{Max}} = 2mA$$

2- وجدنا ان  $i_{C_{Max}} = 2mA$  حيث ان هذا التيار يظهر مترابكاً مع  $I_C$  وبما ان التكبير هو من النوع الاصيل لذا فأن هناك تناظر بين الجزء الموجب والسالب من  $i_C$  كما في الشكل ادناه وعليه فأن ادنى قيمة لتيار الجامع الصفري  $I_C$  هو:

$$I_C = \frac{2mA}{2} = 1mA$$



الفصل السادس..... دوائر انحياز الترانزستور والاستقرارية الحرارية  
 خلال النصف الموجب من الموجة عند النقطة (A) فإن  $i_C = 1 + 1 = 2mA$  , اما خلال النصف السالب من الموجة عند  
 النقطة (B) فإن  $i_C = 1 - 1 = 0mA$ .

مثال/ في دائرة ترانزستور سليكون كانت  $R_C = 4K\Omega$ ,  $V_{CC} = 13V$  فما اقصى قيمة للاشارة الداخلة للحصول على تكبير  
 اصيل, علماً أن  $(\beta = 100)$ .

الحل/ يقصد بالاشارة الداخلة هي تيار القاعدة  $i_b$

$$V_{CC} = V_{CE} + V_{RC} = V_{CE} + i_C R_C$$

$$i_C R_C = V_{CC} - V_{CE} \rightarrow i_{C_{Max}} = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} = \frac{13 - 1V}{4 \times 10^3 \Omega} = 3mA$$

$$i_C = \beta i_b \rightarrow i_b = \frac{i_C}{\beta} = \frac{3mA}{100} = 30\mu A$$

### • استقرارية نقطة التشغيل (operating point stability)

للحصول على تكبير اصيل يجب ان تكون نقطة تشغيل الترانزستور ضمن المنطقة الفعالة . الا ان موقع هذه النقطة قد يتغير اثناء  
 عمل الترانزستور . حيث ان بعض ثوابت الترانزستور تتغير من ترانزستور الى اخر من نفس النوع او تتغير مع درجة الحرارة او  
 تتغير نتيجة للتقدم وكثرة الاستعمال . لذا يجب ان يراعى في اختيار موضع نقطة التشغيل هذه العوامل . ويتم ذلك من خلال دوائر  
 الانحياز المناسبة القادرة على المحافظة على موقع نقطة العمل ثابتة. ومن العوامل التي تؤثر على نقطة التشغيل هي:

1. **الاختلاف في قيمة عامل التلكير ( $\beta$ )** : تتغير قيمة  $\beta$  من ترانزستور الى اخر وتتغير ايضاً بتغير  $I_C$  او درجة الحرارة. لذا فان  
 استمارة المواصفات لاي ترانزستور تتضمن اقل و اعلى قيمة لـ  $\beta$ . ان تغير قيمة  $\beta$  يؤدي الى تغير المسافة بين منحنيات  
 الخواص وبالتالي تتغير موقع نقطة التشغيل ( $Q$ ). ويعبر عن معدل التغير في  $I_C$  الى التغير في  $\beta$  مع ثبوت  $V_{BE}$  و  $I_{CO}$   
 بمعامل الاستقرارية.

$$S_\beta = \frac{\partial I_C}{\partial \beta} \simeq \frac{\Delta I_C}{\Delta \beta} \dots\dots\dots (1)$$

2. **التغير في درجة الحرارة** : ترتفع درجة حرارة الترانزستور نتيجة مرور التيارات فيه . حيث بأرتفاع درجة الحرارة تزداد توصيلية  
 اشباه الموصلات وتتمو فيه التيارات وخاصة تيار التسرب العكسي الذي ينمو بشدة عند ارتفاع درجة الحرارة . مغيراً بذلك  
 مميزات الاخراج للترانزستور . ولتوضيح الامر سندرس مثلاً عددياً , نفرض ان لدينا ترانزستور جيرمانيوم يتميز بالمقدارين  
 $I_{CBO} = 2\mu A$ ,  $\beta = 100$  عند درجة حرارة  $20^\circ C$ . نفرض الان ان درجة الحرارة ارتفعت الى  $70^\circ C$  اي زيادة  
 بمقدار  $(50^\circ C)$ . من المعروف ان تيار التسرب العكسي - في الجيرمانيوم- يتضاعف مع كل زيادة في درجة الحرارة بمقدار  
 $(10^\circ C)$ . لذا فإن تيار التسرب العكسي سوف يتضاعف في هذه الحالة  $2^5$  مرة, اي 32 مرة. وعند  $70^\circ C$  يصبح مساوياً  
 لـ  $64\mu A$  اي سيزداد بمقدار  $62\mu A$ .

الان اذا اعتبرنا ان المعامل  $(\alpha)$  لا يعتمد على درجة الحرارة . فإن تيار الجامع في ربط القاعدة المشتركة ( $CB$ )  
 $I_C = \alpha I_E + I_{CBO}$  سوف يزداد بمقدار  $62\mu A$ . وبما ان  $I_C$  لا يقل عادة عن (الملي امبير) لذا فإن هذه الزيادة  
 (بالميكرو امبير) لا تؤثر على نظام تشغيل الترانزستور وبالتالي لا تؤثر على موقع نقطة التشغيل.

اما في ربط الباعث المشترك (CE) فإن  $I_{CEO} = (1 + \beta)I_{CBO} = 101 \times 2\mu A = 202\mu A$  عند درجة حرارة  $20^\circ C$ . اما اذا ارتفعت درجة الحرارة الى  $70^\circ C$  فإن  $I_{CEO} = 6.4mA$  اي يزداد بمقدار  $6.2mA$ . لذا فمن العلاقة  $(I_C = \beta I_B + I_{CEO})$  فإن  $I_C$  سوف تزداد بمقدار  $6.2mA$  وهذه زيادة كبيرة جداً . لذا يتغير موقع نقطة التشغيل بصورة ملحوظة.

نستنتج ان دائرة القاعدة المشتركة (CB) تتمتع باستقرار حراري جيد حيث لا تتغير خصائصه بشدة عند ارتفاع درجة الحرارة , اما في دائرة الباعث المشترك (CE) فان خصائصها تتغير بشدة عند ارتفاع درجة الحرارة وبذلك لا تتمتع باستقرار حراري .

هذا ويعرف معامل الاستقرار الحراري (S) بأنه معدل التغير في تيار الجامع  $I_C$  الى التغير في تيار التسرب العكسي  $I_{CO}$

$$S = \frac{\partial I_C}{\partial I_{CO}} \approx \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CO}} \dots\dots (2)$$

عند ثبوت  $I_B$  و  $V_{BE}$  ويعرف رياضياً بأنه:

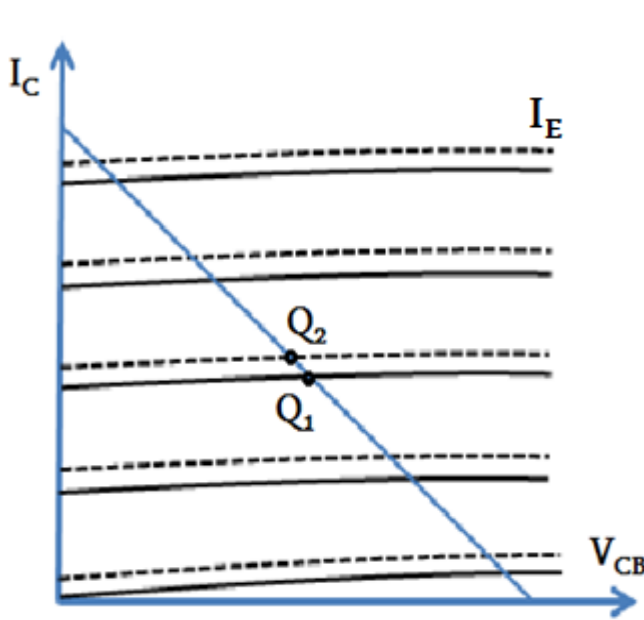
وكلما كان  $S$  صغيراً كلما كانت الاستقرارية أكبر.

3. التغير في قيمة  $V_{BE}$  : يقاس مدى تأثير تغير  $V_{BE}$  من ترانزستور لآخر او بسبب التغير في درجات الحرارة بمعامل

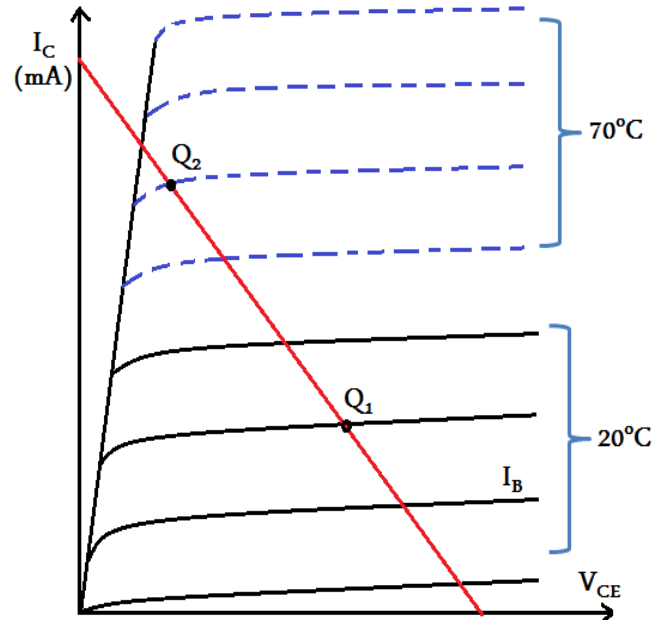
الاستقرارية ( $S_v$ ). ويعرف بأنه معدل التغير في  $I_C$  الى التغير في  $V_{BE}$  عند ثبوت كل من  $I_{CO}$  و  $\beta$  ويكتب رياضياً:

$$S_v = \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}} \approx \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}} \dots\dots\dots (3)$$

على الرغم من كل ما قيل عن  $S_v$  و  $S_\beta$  الا ان العامل المؤثر يبقى هو  $S$  وان اي دائرة تعطي استقراراً جيداً لـ  $I_C$  مع  $I_{CO}$  تعطي استقراراً جيداً لـ  $I_C$  مع التغير في  $\beta$  و  $V_{BE}$  بسبب التغير في درجة الحرارة . ومن هنا فإن المعامل  $S$  يعد المعامل الأكثر استخداماً وفعالية في تحديد جودة دائرة الانحياز.



شكل (6-4) تأثير درجة الحرارة على دائرة القاعدة المشتركة (تتمتع باستقرار حراري)



شكل (6-3) تأثير درجة الحرارة على دائرة الباعث المشترك (لا تتمتع باستقرار حراري)

• دوائر التحيز (biasing circuits)

ان المشكلة الاكثر اهمية في دوائر الترانزستور هي الحفاظ على استقرارية نقطة التشغيل , الحرارية منها على الاخص . وبعبارة اخرى الابقاء على قيم  $V_{CE}$  و  $I_C$  ثابتة ويتم ذلك بطريقتين:

أ. طريقة التحيز المناسبة

ب. طريقة التعويض المناسبة

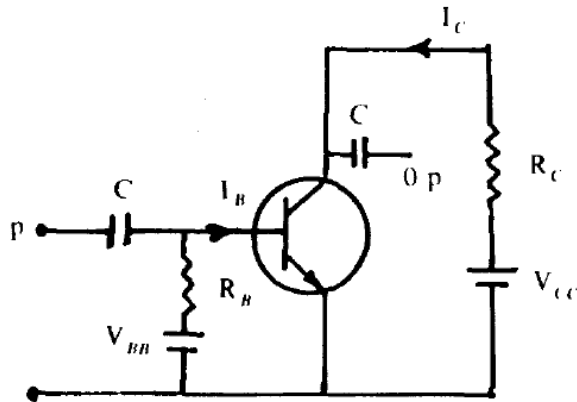
تتضمن طريقة التحيز استخدام دائرة تحيز مكونة من شبكة من المقاومات تحافظ على ثبوت قيم  $V_{CE}$  و  $I_C$  على الرغم من تغير كل من  $V_{BE}$  و  $\beta$  و  $I_{CO}$  و  $I_B$ .

وتشمل طريقة التعويض على ربط جهاز حساس للتغيرات الحرارية كالثنائي البلوري او الترانزستور نفسه الى دائرة ال ترانزستور الذي يعمل على توليد الجهد او التيار اللازم لاستقرار نقطة التشغيل للترانزستور.

أ. طريقة التحيز: توجد عدة طرق لتحيز الترانزستور منها:

1 - التحيز الثابت (fixed biasing)

يتم في هذا النوع استخدام مصدرين للجهد , الاول يعمل على تحيز وصلة القاعدة - الباعث ( $V_{BB}$ ) والثاني يعمل على تحيز وصلة الجامع- عكسياً ( $V_{CC}$ ).



شكل (5-6) دائرة التحيز الثابت

يتم حساب تيار القاعدة في هذه الدائرة بتطبيق قانون كيرشهوف للجهد على دائرة القاعدة:

$$V_{BB} = I_B R_B + V_{BE} \rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \dots\dots (4)$$

بما ان  $V_{BE}$  كمية ثابتة (0.6V للسليكون و 0.3V للجرمانيوم) لذا يمكن تحديد قيمة  $I_B$  من خلال اختيار قيم مناسبة لكل من  $V_{BB}$  و  $R_B$ . ان معرفة قيمة  $I_B$  سوف تساعدنا على ايجاد نقطة التشغيل (Q) (من تقاطع خط الحمل , المرسوم على خواص

الايخراج, مع منحني تيار القاعدة المحسوب اعلاه او من خلال المعادلة:  $I_C = \beta I_B$  في حالة معرفة  $\beta$  دون اللجوء الى منحنيات

الخواص. اما بالنسبة لـ  $V_{CE}$  فيتم حسابها من المعادلة:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \dots\dots (5)$$

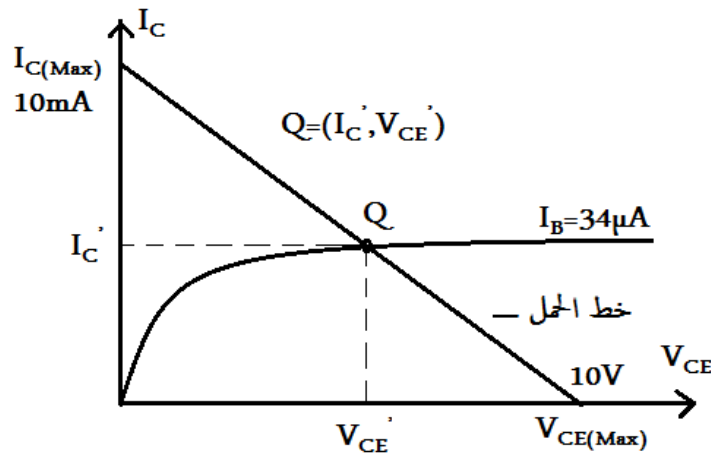
الفصل السادس..... دوائر انحياز الترانزستور والاستقرارية الحرارية  
 في الدائرة اعلاه على فرض ان  $V_{CC} = 10V$  و  $R_C = 1K\Omega$  و  $V_{BB} = 4V$  و  $R_B = 100K\Omega$ . يمكن استخراج  
 (Q) عند النقطة  $(V_{CE}, I_C)$  وكما يلي:  
 نرسم خط الحمل من خلال المعادلة (5) حيث يكون

$$V_{CE_{Max}} = V_{CC} = 10V \rightarrow I_C = 0$$

$$I_{C_{Max}} = \frac{V_{CC}}{R_C} = 10mA \rightarrow V_{CE} = 0$$

وبهذا يمكن رسم خط الحمل كما في الشكل (6-6).

وان النقطة (Q) تمثل تقاطع منحنى تيار القاعدة عند القيمة  $I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{(4 - 0.6)V}{100K\Omega} = 34\mu A$  مع خط الحمل عند  
 درجة حرارة  $25^\circ C$  مثلاً.



شكل (6-6) تحديد نقطة التشغيل (Q) باستخدام خط الحمل

فأذا ارتفعت درجة الحرارة من  $25^\circ C$  الى  $100^\circ C$  (درجة حرارة الترانزستور) في هذه الحالة سيقبل  $V_{BE}$  ويزداد  $I_{CO}$ . ان  
 النقصان في  $V_{BE}$  لن يؤثر على قيمة تيار القاعدة  $I_B$  (يقبل  $V_{BE}$  بمعدل  $2mV$  لكل درجة حرارة في حالة السليكون) وعند وضع  
 $V_{BE}$  مساوياً لـ  $0.4V$  مثلاً لن يغير من قيمة تيار القاعدة الا بـ  $2\mu A$  وعليه يمكن اعتبار  $I_B$  ثابتاً. وتؤدي الزيادة في  $I_{CO}$  الى  
 زيادة كبيرة في  $I_C$  حيث:  $I_C = (1 + \beta)I_{CO} + \beta I_B$  وبهذا فان نقطة التشغيل سوف تزحف نحو منطقة الاشباع كلما  
 زادت درجة الحرارة كما في الشكل (6-3), وان وجود Q في منطقة التشبع سيؤدي الى تشويه الإشارة الخ ارجة. لذا تعد هذه  
 الدائرة غير صالحة للتكبير اضافة الى انها غير مرغوب فيها من الناحية الاقتصادية وذلك لانها تستخدم مصدرين للقدرة  $V_{CC}$ ,  
 $V_{BB}$  مما يعني زيادة في الاستهلاك وزيادة في الحجم.

من الممكن التغلب على العيب الاخير من خلال استخدام مصدر واحد  $V_{CC}$  واستغلاله في الحصول على تيار الانحياز (القاعدة).

كما في الشكل (6-7) حيث ان:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \dots\dots\dots(6)$$

الا ان هذه الدائرة تبقى هي الاخرى غير صالحة ويمكن التدليل على ذلك من خلال حساب عامل الاستقرارية الحرارية S لهذه  
 الدائرة:

$$I_C = (1 + \beta)I_{CO} + \beta I_B \dots\dots\dots(7)$$

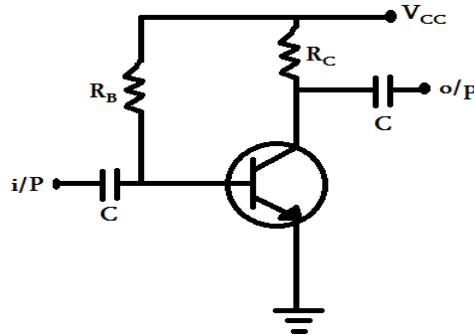
عند اخذ التفاضل لـ  $I_C$  على فرض ان  $I_B, \beta$  ثابتين:

$$1 = (1 + \beta) \frac{\partial I_{CO}}{\partial I_C} + \beta \frac{\partial I_B}{\partial I_C} \dots\dots\dots(8)$$

الفصل السادس..... دوائر انحياز الترانزستور والاستقرارية الحرارية

$$1 = (1 + \beta) \frac{\partial I_{C0}}{\partial I_C} \rightarrow \frac{\partial I_C}{\partial I_{C0}} = (1 + \beta) = S \quad \dots\dots (9) \quad \text{وبذلك يصبح: } \frac{\partial I_B}{\partial I_C} = 0$$

فأذا كانت  $\beta = 40$  فان  $S = 41$  وهذا يعني ان الزيادة في  $I_C$  اسرع بـ 41 مرة من الزيادة في  $I_{C0}$ . لذا يعد هذا النوع من الدوائر غير مرغوب به.



شكل (6-7) الانحياز بمصدر واحد

ان الاستقرارية في عمل الترانزستور في دائرة الانحياز الثابت يمكن ان تتحسن بشكل كبير عند اضافة المقاومة الى الباعث كما في الشكل (6-8). ومن تطبيق قانون كيرشهوف للجهد على دائرة القاعدة:

$$V_{CC} = I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E \quad \dots\dots (10)$$

وعند التعويض عن  $I_E$  بـ  $(I_C + I_B)$  في المعادلة (10) واجراء الترتيب اللازم:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE} - I_C R_E}{R_B + R_E} \quad \dots\dots (11)$$

نفاضل المعادلة (11) بالنسبة لـ  $I_C$  بثبوت  $V_{BE}$ ,  $\beta$  نحصل على:

$$\frac{\partial I_B}{\partial I_C} = \frac{-R_E}{R_B + R_E} \quad \dots\dots (12)$$

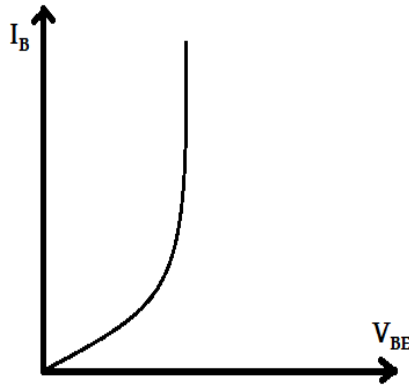
وعند التعويض عن  $\frac{\partial I_B}{\partial I_C}$  في معادلة (8) نحصل على:

$$S = \frac{1 + \beta}{1 + \beta \frac{R_E}{R_B + R_E}} = \frac{1 + \frac{R_B}{R_E}}{1 + \beta \frac{R_B}{R_E}} (1 + \beta) \quad \dots\dots (13)$$

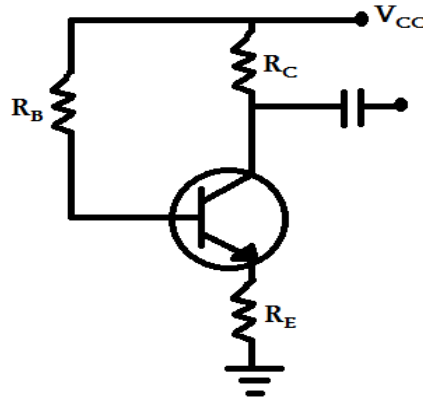
يلاحظ من المعادلة (13) في حالة كون  $\frac{R_B}{R_E} \ll 1$  فان  $S = 1$  وتزداد قيمة  $S$  كلما زادت النسبة  $\frac{R_B}{R_E}$  حتى تصبح مساوية لـ  $(1 + \beta)$  عندما  $(\frac{R_B}{R_E} \rightarrow \infty)$ .

يمكن القول، انه كلما كبرت  $\beta$  كلما قلت الاستقرارية بينما تزداد الاستقرارية كلما صغرت  $R_B$  او ازدادت  $R_E$ . اما كيف يعمل  $R_E$  على تحسين عامل الثبات فهو ان اي زيادة في تيار الجامع  $I_C$  سوف يقابلها زيادة في الجهد الهابط على  $R_E$  اي زيادة في  $R_E I_E = V_E$  ومن تقليل الفرق  $(V_E - V_B)$  او  $V_{BE}$  الذي يؤدي بدوره الى تقليل  $I_B$  كما في الشكل (6-9) وبذلك يقل  $I_C$ . من جهة اخرى فان الزيادة في  $R_E$  يلزمها زيادة في  $V_{CC}$  لتشغيل الترانزستور عند نفس نقطة التشغيل مما يعني زيادة في القدرة الضائعة. كذلك فان ادخال  $R_E$  سوف يؤدي الى زيادة التغذية الخلفية السالبة مما يؤدي بالتالي الى تقليل الكسب في الجهد بصورة ملحوظة. ولتجنب هذا الضياع في الكسب تربط عادة متسعة امرار ذات قيمة مناسبة عبر المقاومة  $R_E$  كي تقوم بامرار الاشارة المتولدة حول  $R_E$  الى الارض ومن ثم تمنع حدوث التغذية الخلفية السالبة للاشارة المتناوبة.

هذا ويتم تعيين نقطة العمل من استخدام المعادلة  $I_C = \beta I_B$  وكذلك المعادلة  $V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E)$  وفي حال كون  $R_E = 0$  فان هذه المعادلة تصبح:  $V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$ .



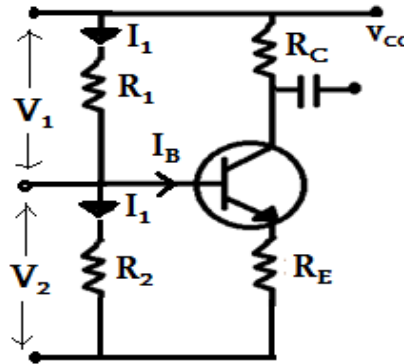
شكل (6-9) منحنى (I-V) لدائرة الادخال للترانزستور



شكل (6-8) الانحياز بمصدر واحد مع مقاومة الباعث

## 2- انحياز مجزىء الجهد (potential divider biasing)

يعد هذا النوع من دوائر الانحياز الاسع انتشاراً في الدوائر الخطية والاكثر استخداماً في تجهيز الترانزستور بالانحياز اللازم والاستقرار الحراري. يتم الحصول على هذا النوع من الانحياز بأضافة المقاومة  $R_2$  الى الدائرة في الشكل (6-8) بين القاعدة والارضية وكما موضح بالشكل (6-10).



شكل (6-10) دائرة انحياز مجزىء الجهد

في هذه الدائرة، على فرض ان  $I_1$  يسري خلال  $R_1$  وان  $I_B$  صغير جداً يمكن اهماله، لذا فان  $I_1$  يسري في  $R_2$  ايضاً. لذا فأن:

$$I_1 = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} \dots\dots (14)$$

$$V_1 = I_1 R_1 = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} R_1 \dots\dots (15)$$

وان الجهد المتولد حول  $R_1$  يكون:

$$V_2 = I_1 R_2 = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} R_2 \dots\dots (16)$$

اما الجهد حول  $R_2$  فيكون:

وهكذا يتم تجزئة الجهد  $V_{CC}$  الى  $V_1$  و  $V_2$  بحيث ان  $V_{CC} = V_2 + V_1$  ومن هنا جاءت التسمية بمجزىء الجهد.

وبأستخدام قانون كيرشهوف للجهد في دائرة القاعدة نجد ان:  $V_2 = V_{BE} + V_E$  او ان  $V_2 = V_{BE} + I_E R_E$

$$I_E = \frac{V_2 - V_{BE}}{R_E}$$

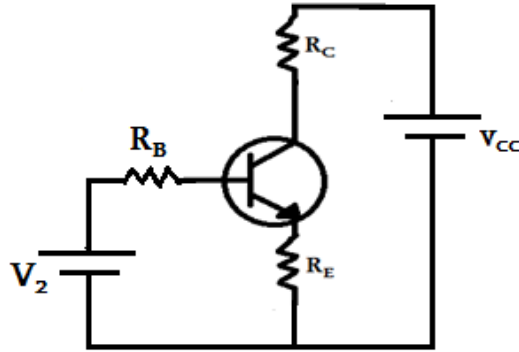
وعند الترتيب نحصل على:

$$I_C \approx \frac{V_2 - V_{BE}}{R_E} \dots\dots (17)$$

وعلى فرض ان  $I_B$  صغير بحيث يمكن اعتبار  $I_C \approx I_E$  لذا فان:



يلاحظ من معادلة (17) ان  $I_C$  لا يعتمد على  $\beta$  وإنما يعتمد على  $V_{BE}$ , وبما ان  $V_2$  أكبر بكثير من  $V_{BE}$  وان التغير في  $V_{BE}$  يكون صغيراً, لذا فان  $I_C$  لا يعتمد على اي من معاملات الترانزستور . ولحساب  $S$  نستخدم نظرية ثفنن لايجاد  $I_B$  بدلالة  $I_C$  من خلال استخدام دائرة ثفنن المكافئة كما في الشكل (6-11).



شكل (6-11) دائرة ثفنن المكافئة للدائرة في الشكل(6-10)

$$R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \dots\dots (18) \quad \text{حيث:}$$

$$V_2 = I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E \quad \rightarrow \quad V_2 = I_B R_B + V_{BE} + (I_B + I_C) R_E \dots\dots (19)$$

$$\frac{\partial I_B}{\partial I_C} = \frac{-R_E}{R_B + R_E} \dots\dots (20) \quad \text{وعليه فأن:}$$

$$S = \frac{1 + \beta}{1 + \beta \frac{R_E}{R_B + R_E}} \dots\dots (21) \quad \text{وبتعويض معادلة (20) في معادلة (8) نحصل على:}$$

### 3 - دائرة الانحياز الذاتي (self- biasing circuit)

وتدعى احياناً بدائرة انحياز التغذية الخلفية للمجمع (collector feedback biasing) ولا تختلف هذه الدائرة عن الدائرة السابقة سوى ان مقاومة الانحياز في هذه الحالة تأخذ تيار انحيازها من فولتية المجمع  $V_C$  بدلاً من مصدر المجمع  $V_{CC}$  كما في الشكل (6-12). وتعد هذه الدائرة من ابسط الدوائر التي تصمم خصيصاً لتقليل التغير في  $I_C$  نتيجة ارتفاع درجة الحرارة . فعند ارتفاع درجة الحرارة تزداد  $I_C$  والتي تؤدي الى زيادة الهبوط في الجهد على  $R_C$  فتقل بذلك  $V_C$  ويقل تبعاً لذلك  $I_B$  وهكذا يعود  $I_C$  الى قيمته الاولى. ومن خلال استخدام قانون كيرشهوف نجد ان:

$$V_{CC} - I'_C R_C - I_B R_B - V_{BE} = 0 \dots\dots (22)$$

$$V_{CC} - I_C R_C - (R_C + R_B) I_B - V_{BE} = 0 \dots\dots (23) \quad \text{حيث ان } I'_C = I_C + I_B \text{ وبذلك يكون:}$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - I_C R_C - V_{BE}}{R_C + R_B} \dots\dots (24)$$

$$\frac{dI_B}{dI_C} = \frac{-R_C}{R_C + R_B} \dots\dots (25) \quad \text{وعليه يكون:}$$

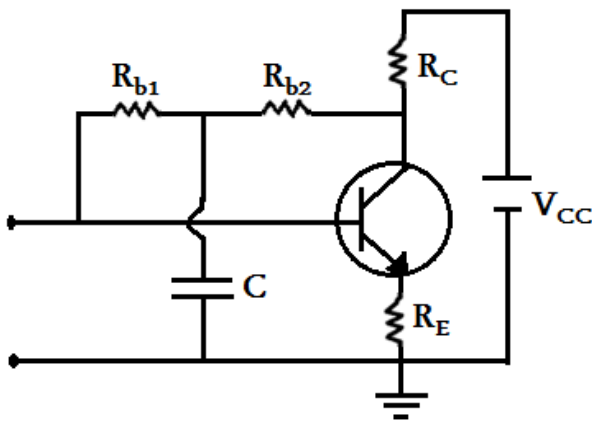
$$S = \frac{1 + \beta}{1 + \beta \frac{R_C}{R_B + R_C}} \dots\dots (26) \quad \text{وعند التعويض عن القيمة اعلاه في المعادلة (8) نحصل على:}$$

### ان وجود التغذية الخلفية السالبة في هذه الدائرة سوف يعمل على

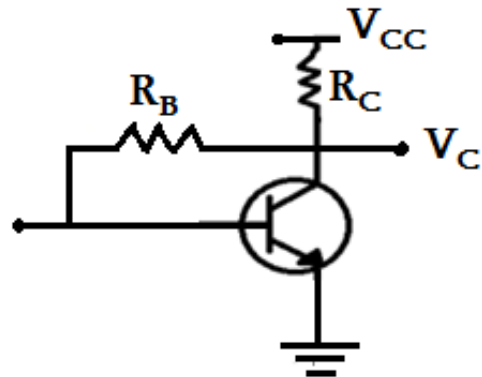
أ - تقليل التكبير في الفولتية لهذه الدائرة , من المعلوم ان الإشارة الخارجة تعاكس بالطور الإشارة الداخلة , وعليه فأن الجزء المعاد من الإشارة الخارجة خلال المقاومة  $R_B$  يعمل على تقليل حجم الإشارة الداخلة وبالتالي ينخفض الكسب . ويتم التخلص من هذا بتقسيم قيمة المقاومة  $R_B$  الى نصفين ثم ربط متسعة عند نقطة التقاء المقاومتين الى الارض كما في الشكل (6-13) حيث تعمل هذه المتسعة على امرار الجزء المعاد الى الارض.

ب -تعمل المقاومة  $R_B$  عند ربطها بهذه الصورة على تقليل مقاومة الادخال . لتلافي مثل هذا الانخفاض في  $R_{in}$  يتم استخدام التغذية الخلفية للتيار بأضافة  $R_E$  كما في الشكل (6-13).

ج - نظراً لان تيار الانحياز يتم تعيينه بواسطة  $V_C$  بدلاً من  $V_{CC}$  الثابتة لذا فأن تعيين نقطة التشغيل (Q) ليس سهلاً كما في الدوائر السابقة.



شكل (6-13) كيفية معالجة عيوب التغذية الخلفية



شكل (6-12) دائرة الانحياز الباعث

#### 4 - دائرة انحياز الباعث (emitter- biasing circuit)

يبين الشكل (6-14) الكيفية التي يتم بها تحيز الترانزستور بطريقة انحياز الباعث (emitter bias) وتأتي هذه التسمية بسبب تحيز ثنائي الباعث امامياً بواسطة مجهز الفولتية  $V_{EE}$  اما المجهز  $V_{CC}$  فيعمل كالعادة على تحيز ثنائي الجامع عكسياً.

يمتاز هذا النوع من الانحياز بالبساطة وبامتلاكه قدرأ جيداً من الاستقرارية الحرارية . خلافاً للدوائر الاخرى فأن  $R_C$  و  $R_E$  في هذه الدائرة لها دوران اساسيان: فهما فضلاً عن كونها مقاومتي الحمل والباعث على التوالي , فأنهما يعملان كمقاومتي انحياز. ويتم تحيز الترانزستور بالصورة المطلوبة من خلال اختيار القيم المناسبة لـ  $R_C$  و  $R_E$  بينما لا تعمل  $R_B$  هنا سوى ربط القاعدة بالارضية.

يتبين ان ( $V_B = 0$ ) وذلك بسبب ربط القاعدة خلال  $R_B$  الى الارض. وعليه فأنه يصبح بالامكان معاملة النهاية العليا من  $R_E$  كنقطة ارض تقريبية ( حيث ان  $V_{BE} = 0.6V$  للسليكون و  $V_{BE} = 0.3V$  للجيرمانيوم) وبهذا فأن فولتية المجهز  $V_{EE}$  سوف

$$I_E = \frac{V_{EE}}{R_E} \dots\dots\dots (27) \quad \text{تظهر بأجمعها على } R_E \text{ اي ان:}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \dots\dots\dots (28) \quad \text{ولكون الباعث يعمل كنقطة ارض تقريباً, فأن الفولتية } V_{CE} \text{ سوف تكون:}$$

ولو كان الترانزستور في حالة اشباع فأم طرف المجمع سيكون هو الاخر نقطة ارض تقريباً , فأن ( $V_{CE} = 0$ ) وبهذا فأن اعظم

$$I_{C_{Max}} = \frac{V_{CC}}{R_C} \dots\dots\dots (29) \quad \text{تيار يمكن ان يمر هو:}$$

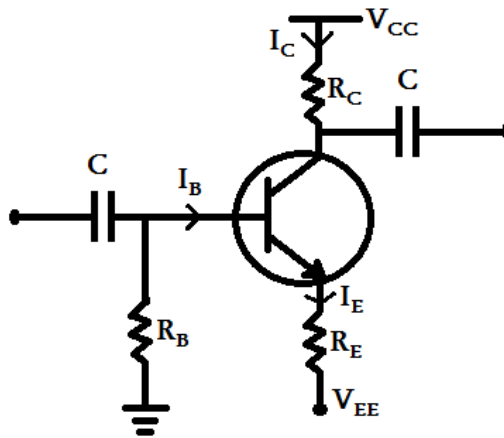
$$I_{C_{Max}} = \frac{V_{CC} + V_{EE}}{R_C + R_E} \dots\dots\dots (30)$$

او بصورة ادق:

وبهذا يمكن رسم خط الحمل المستمر وتعيين النقطة (Q) باستخدام المعادلات اعلاه. ويعطى عامل الاستقرارية الحرارية بالعلاقة:

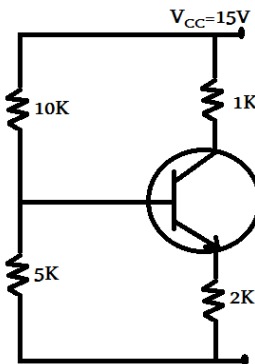
$$S = \frac{1 + \beta}{1 + \beta \frac{R_E}{R_B + R_E}} \dots\dots\dots (31)$$

على الرغم من ان المعادلة (31) ظهرت متطابقة مع المعادلتين (26)، (13) الا ان القيم العددية التي تستعمل لكل من  $R_E, R_B$  تختلف عن القيم المستخدمة في الدوائر السابقة. ففي هذه الحالة يمكن زيادة  $R_E$  وتقليل  $R_B$  وبالتالي فإن (S) يمكن ان تقترب من الحالة المثالية (1).



شكل (6-14) دائرة انحياز الباعث

مثال / في الدائرة ادناه ارسم خط الحمل ال D.C وعين نقطة التشغيل. افترض ان الترانزستور من مادة السليكون.



الحل / أ- خط الحمل ال D.C, لدينا في هذه الدائرة ان:

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C(R_E + R_C)$$

عندما  $(I_C = 0) \leftarrow V_{CE_{Max}} = V_{CC} = 15V$  وبذلك تتعين النقطة الاولى على محور السينات  $(15V, 0)$ , وعندما

$(V_{CE} = 0) \leftarrow I_{C_{Max}} = \frac{V_{CC}}{R_E + R_C} = \frac{15V}{(1+2)K\Omega} = 5mA$  وبذلك تتعين النقطة الثانية على محور الصادات  $(0, 5mA)$

ويتم رسم خط الحمل وذلك بالربط بين القمتين اعلاه كما في الشكل ادناه.

ب. لتعيين نقطة التشغيل (Q) يلزمنا ايجاد قيمة  $I_C$  في المنطقة الفعالة حيث:

$$V_2 = I_1 R_2 = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} R_2$$

$$V_2 = \frac{15V \times 5K\Omega}{10K\Omega + 5K\Omega} = 5V$$

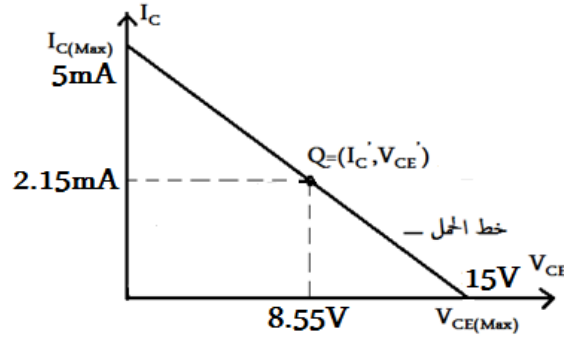
$$V_E = V_2 - V_{BE} = 5V - 0.7V = 4.3V$$

وحيث ان

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{4.3V}{2 \times 10^3 \Omega} = 2.15mA \quad \rightarrow \quad I_C \approx I_E = 2.15mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_E + R_C) = 15V - 2.15 \times 10^{-3}A(2 + 1) \times 10^3 = 8.55V$$

وبهذا تكون احداثيات نقطة التشغيل (Q) هي (8.55V, 2.15mA)



مثال/ في الدائرة ادناه احسب كلاً من  $S_\beta, S$

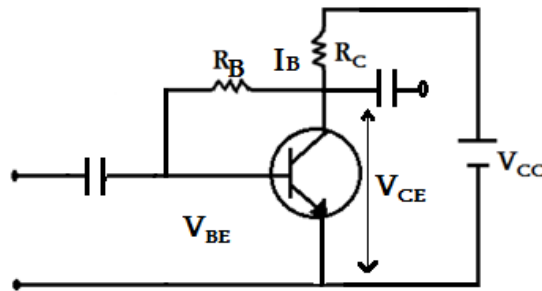
الحل/ عند تطبيق قانون كيرشهوف

$$V_{CC} = (I_B + I_C)R_C + I_B R_B + V_{BE}$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE} - I_C R_C}{R_C + R_B} \quad \rightarrow \quad \frac{\partial I_B}{\partial I_C} = \frac{-R_C}{R_C + R_B}$$

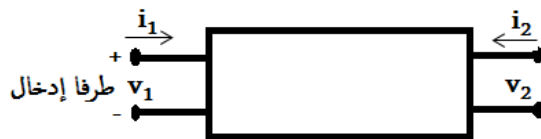
على فرض ان  $V_{BE}$  ثابت, وعند تعويض  $\frac{\partial I_B}{\partial I_C}$  في معادلة (8) نحصل على:

$$S = \frac{1 + \beta}{1 + \beta \frac{R_C}{R_C + R_B}}, \quad S_\beta = \frac{I_{C0} + I_B}{1 + \beta \frac{R_C}{R_C + R_B}}$$



### ● الثوابت الهجينة (hybrid parameters)

يمكن تمثيل الترانزستور بدوائر رباعية الاطراف (طرفا ادخال وطرفا اخراج) كما في الشكل (6-15) ادناه.



شكل (6-15)

ويمكن كتابة الدالتين اللتان تصفان الترانزستور كما يلي:  $v_1 = g_1(i_1, v_2) \dots (1)$  &  $i_2 = g_2(i_1, v_2) \dots (2)$

$i_1$  : تيار الادخال (متغير غير معتمد)

$v_1$  : فولتية الادخال (متغير معتمد)

$i_2$  : تيار الاخراج (متغير معتمد)

$v_2$  : فولتية الاخراج (متغير غير معتمد)

وبادخال الثوابت في هاتين المعادلتين:

$$v_1 = h_{11}i_1 + h_{12}v_2 \dots (3)$$

$$i_2 = h_{21}i_1 + h_{22}v_2 \dots (4)$$

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

ويمكن تسمية  $h_{22}, h_{21}, h_{12}, h_{11}$  بالثوابت الهجينة او المختلطة

$$h_{11} = \left( \frac{\Delta v_1}{\Delta i_1} \right)_{v_2} \dots (5) \quad h_{11} : \text{ممانعة الادخال (تقابل } r_i \text{) عندما تكون دائرة الاخراج في حالة قصر.}$$

$$h_{12} = \left( \frac{\Delta v_1}{\Delta v_2} \right)_{i_1} \dots (6) \quad h_{12} : \text{التكبير العكسي للفولتية (تقابل } \frac{1}{A_v} \text{) عندما تكون دائرة الادخال مفتوحة.}$$

$$h_{21} = \left( \frac{\Delta i_2}{\Delta i_1} \right)_{v_2} \dots (5) \quad h_{21} : \text{الكسب الامامي للتيار (تقابل } \beta \text{ او } \alpha \text{) عندما تكون دائرة الاخراج في حالة قصر.}$$

$$h_{22} = \left( \frac{\Delta i_2}{\Delta v_2} \right)_{i_1} \dots (5) \quad h_{22} : \text{معكوس مقاومة الاخراج (تقابل } \frac{1}{r_o} \text{) عندما تكون دائرة الادخال مفتوحة.}$$

ولتكون الثوابت الهجينة اكثر ملائمة نستبدل الرقمين المجاورين لـ  $h$  بما يلي:

الحرف i : يدل على الادخال (بدلاً من 11)

الحرف r : يدل على نسبة الجهد العكسي (بدلاً من 12)

الحرف f : يدل على نسبة التيار الامامي (بدلاً من 21)

الحرف o : يدل على الاخراج (بدلاً من 22)

واما الحرف الايمن فيكون اما (b) ربط قاعدة مشترك او (e) ربط باعث مشترك او (c) ربط جامع مشترك. لذا تكون المعادلتين (3), (4) كما يلي:

$$v_b = h_{ie}i_b + h_{re}v_c \quad \text{ربط باعث مشترك}$$

$$i_c = h_{fe}i_b + h_{oe}v_c$$

$$v_b = h_{ic}i_b + h_{rc}v_e \quad \text{ربط جامع مشترك}$$

$$i_e = h_{fc}i_b + h_{oc}v_e$$

$$v_e = h_{ib}i_e + h_{rb}v_c \quad \text{ربط قاعدة مشترك}$$

$$i_c = h_{fb}i_e + h_{ob}v_c$$