

ترانزستور الوصلة ثنائي القطبية (Bipolar Junction Transistor)

المقدمة

- (1 . 5) - تركيب الترانزستور**

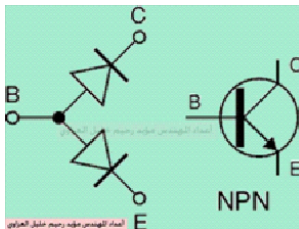
- ## (2 . 5) - مخطط حزم الطاقة للترانزستور غير المنحاز

- ### (3 . 5) - انواع الانحياز للترانسستور

- (4 . 5) - المعامل α_{dc} والمعامل β_{dc} والعلاقة بينهما

- ### (5 . 5) - طرق ربط الترانزستور

- (6 . 5) - خط الحمل ونقطة العمل وتأثير موقعها على شكل الإشارة



- ### (7 . 5) - تأثير درجة الحرارة واستقرارية العمل للترانزستور



- ### (8 . 5) - دوائر انحياز الترانزستور

المقدمة :

في عام 1947 بين كل من المخترعين " جون بارددين " و " والتر براتين " بان التيار في ثنائي منحاز باتجاه امامي يمكن ان يسيطر على التيار في ثنائي اخر منحاز عكسياً مربوط الى جانب الثنائي الاول . ان هذه التركيبة الجديدة من اشباه الموصلات ذات الاقطاب الثلاثة سميت بالترانزستور (Transistor) اختصاراً لمصطلح (Transfer Resistor) " مقاوم الانتقال " .

فسر شوكلي نظرية ترانزستور الوصلة عام (1949) ، وقد انتج اول ترانزستور عام 1951
اصبح زخم الترانزستور على الالكترونيات كبيراً جداً . وعلاوة على بدء صناعة اشباه الموصلات التي
تقدر بمليارات الدولارات ، فان الترانزستور ادى الى جميع انواع الاختراعات ذات الصلة مثل الدوائر
المتكاملة و المكونات الالكترونية الضوئية والمعالجات الدقيقة .

- (1 . 5) - تركيب الترانزستور**

يمكنك ان تطعم شبه الموصل لكي تحصل على بلورة نوع npn او بلورة نوع pnp ان مثل هذه البلورة تدعى ترانزستور الوصلة . تمتلك مناطق n الالكترونات حزمة التوصيل بكثرة وتمتلك مناطق p فجوات كثيرة . لهذا السبب ، فغالباً ما يسمى ترانزستور الوصلة بالترانزستور ثنائي القطبية bipolar transistor .

يبين الشكل (1 أ) بلورة نوع npn وكذلك رمز ترانزستور ثنائي القطبية نوع npn ، يتكون هذا الترانزستور من ثلاث مناطق هي :

الباعث (Emitter) المطعم بغزارة ، وواجبه بعث او حقن الالكترونات الى منطقة القاعدة .

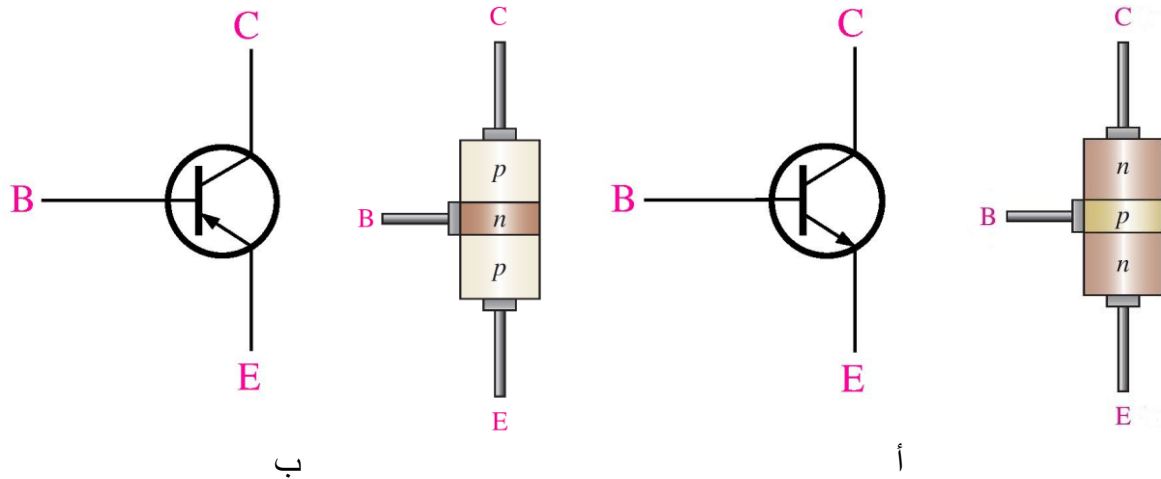
القاعدة (Base) وتكون القاعدة خفيفة التطعيم ورقيقة وتقوم بتمرير معظم الالكترونات المنبعثة من منطقة الباعث الى منطقة الجامع .

الجامع (Collector) ويتراوح تطعيمه بين التطعيم الغزير للباعث وبين تطعيم القاعدة الخفيف وجاءت تسمية الجامع بهذا الاسم لأنه يلتقط او يجمع الالكترونات من القاعدة . ان الجامع هو الاكبر بين المناطق الثلاث وعليه ان يبدد حرارة اكثر مما يبدده الباعث او القاعدة .

الترانزستور في الشكل (1) له وصلتين واحدة بين الباعث والقاعدة والاخرى بين القاعدة والجامع لهذا السبب ، فالترانزستور عبارة عن ثنائيين اثنين ندعو الثنائي الواقع على اليسار بثنائي الباعث – القاعدة وللأساطة ندعوه ثنائي الباعث emitter diode كما نسمي الثنائي الواقع على اليمين بثنائي الجامع – القاعدة او بثنائي الجامع collector diode .

الاحتمال الاخر هو الترانزستور نوع pnp الشكل (1 ب) وهذا الترانزستور هو المتمم complement للترانزستور npn ، وهذا يعني اتجاه التيارات والفولتيات في الترانزستور pnp عكس التيارات والفولتيات في الترانزستور npn .

" يشير السهم في شكل (1) الى قطب الباعث واتجاهه يمثل اتجاه التيار الاصطلاحي ومن خلال معرفة قطب الباعث يمكن معرفة نوع الترانزستور (npn او pnp) " .



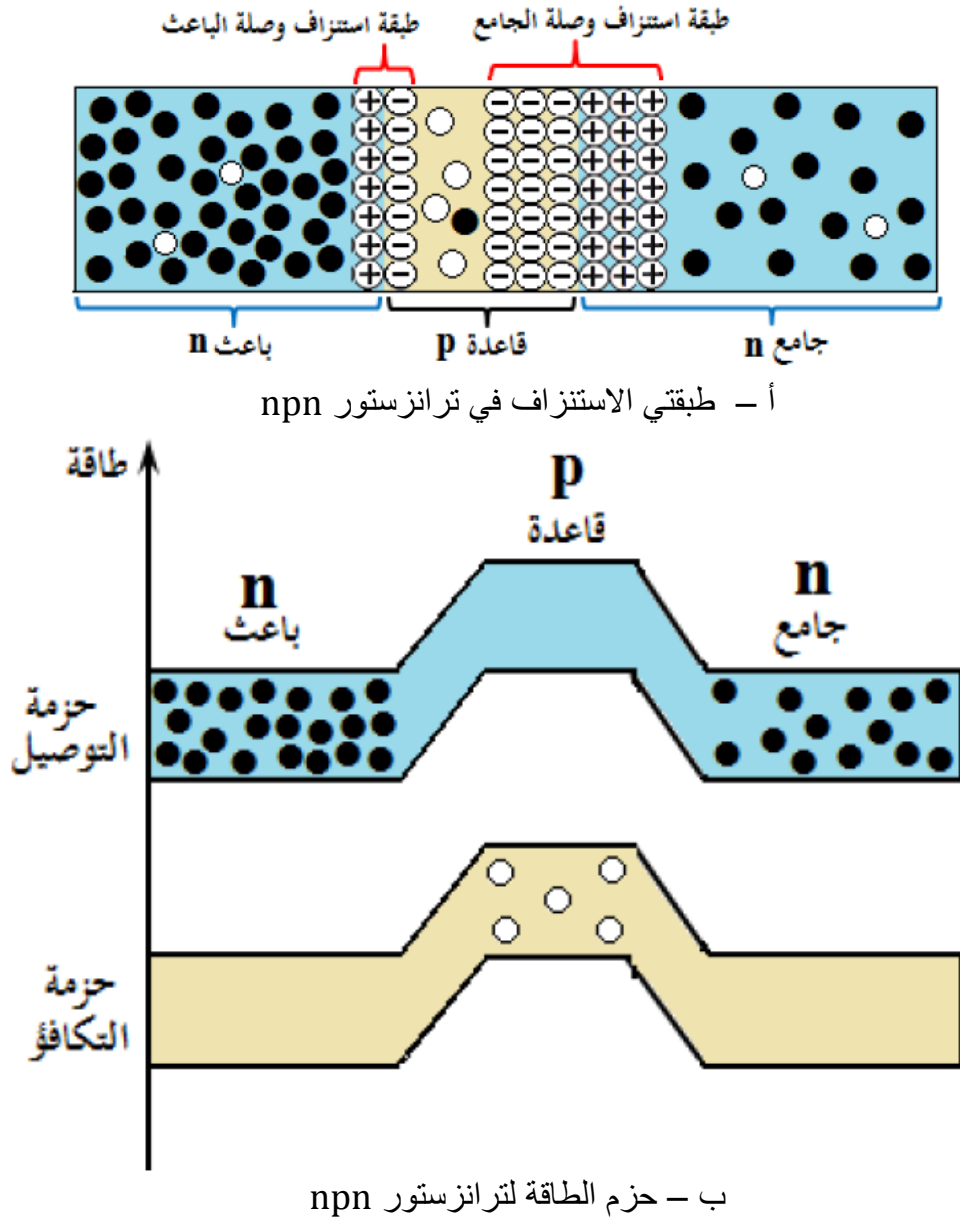
أ
ب
الشكل (1) التركيب الداخلي للترانزستور ورمزه

(2 . 5) – مخطط حزم الطاقة للترانزستور غير المنحاز

في لحظة صناعة الترانزستور من النوع npn ونظراً لاختلاف تركيز حاملات الشحنة تنتقل الالكترونات الحرة من جهة الباعث الى جهة القاعدة وكذلك من جهة الجامع باتجاه القاعدة ونتيجة لذلك تتكون طبقتي استنزاف ولكل طبقة استنزاف جهد حازر .

بما ان المناطق الثلاث لها مناسيب تطعيم مختلفة ، لا يكون لطبقتي الاستنزاف نفس العرض تنفذ قليلاً في منطقة الباعث (لأنه غزير التطعيم) ولكنها تنفذ عميقاً في منطقة القاعدة الخفيفة التطعيم . اما طبقة الاستنزاف الثانية ، هي الاخرى تمتد كثيراً في القاعدة ، وتنفذ في منطقة الجامع بعمق اقل وكما موضح بالشكل (2 أ) .

ولكي تكتمل صورة الترانزستور غير المنحاز ، فان الشكل (2 ب) يبين الرسم البياني للطاقة . ولوجود طبقتي استنزاف يكون لدينا تلين للطاقة بالمقابل . ومما يجدر الانتباه اليه بصورة خاصة ، الالكترونات حزمة التوصيل في الباعث لا تمتلك الطاقة الكافية لكي تدخل منطقة القاعدة . ولو اخذنا نصف القطر بالاعتبار ، فان هذه الالكترونات تنتقل في مدارات حزمة توصيل اصغر من اصغر مدار متاح في القاعدة . وما لم نضع ثنائي الباعث في حالة انحياز امامي ونخفض التل ، فان الالكترونات الباعث لا تستطيع دخول القاعدة .



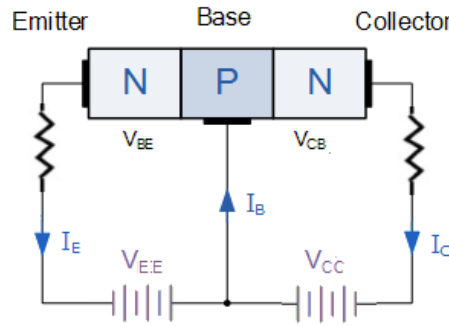
الشكل (2) الترانزستور غير المنحاز

(3 . 5) - انواع الانحياز للترانزستور

هنالك عدة طرق لتحيز الترانزستور هي

أولاً : انحياز امامي – امامي

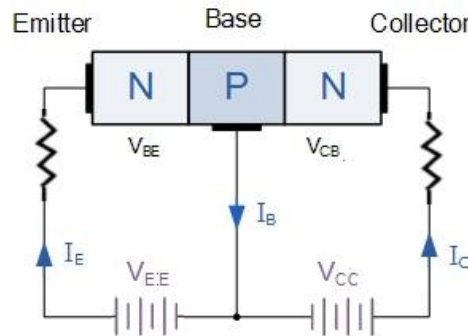
يوضح الشكل (3) انحيازاً امامياً – امامياً (FF) . وقد سمي هكذا لان ثنائي الباعث وثنائي الجامع منحازان امامياً ، ان الدائرتين اللتين تجهزان ثنائي الباعث وثنائي الجامع قد تكونان مجتمعتين كما في الشكل او قد تمثلان دائرتي ثفنن المكافئتين ومهما يكن فان الحاملات تعبر الوصلتين وتجري نازلة خلال القاعدة الى سلك التوصيل الخارجي . بعد ان تتغلب فولتية التحيز الامامية (V_{EE}) على الجهد الحاجز لوصلة الباعث يسري تيار (I_E) ، وبالمقابل عند تغلب فولتية تحيز الجامع (V_{CC}) على الجهد الحاجز لوصلة الجامع يمر تيار الجامع (I_C) ، ويمكن تصور عمل الترانزستور في هذه الحالة كعمل مفتاح مغلق .



الشكل (3) انحياز امامي – امامي

ثانياً : انحياز عكسي – عكسي

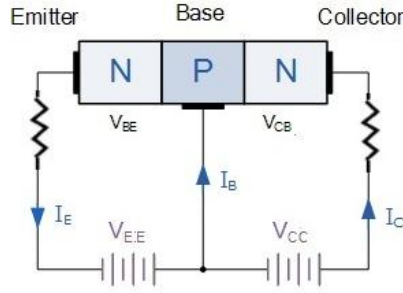
هنالك امكانية اخرى وهي تحيز الترانزستور عكسياً – عكسياً (RR) كما مبين بالشكل (4) . الثنائيان الان منحازان عكسياً ، وبهذا الشرط ، تسري فقط تيارات صغيرة مكونة من تيار التشبع المنتج حرارياً ومن تيار التسرب السطحي . ان المركبة المنتجة حرارياً تعتمد على الحرارة وتتضاعف تقريباً لكل زيادة قدرها (10°C) اما من ناحية اخرى فان مركبة التسرب السطحي تزداد مع زيادة الفولتية ويمكن اهمال هذه التيارات العكسية عادة . يمكن اعتبار الترانزستور بهذا الانحياز كمفتاح مفتوح .



الشكل (4) انحياز عكسي – عكسي

ثالثاً : انحياز امامي – عكسي

عندما تحييز ثنائي الباعث امامياً وثنائي الجامع عكسياً ، تحدث امور غير متوقعة فالشكل (5) يبين انحيازاً امامياً عكسياً (FR) وفيه نتوقع تياراً كبيراً لان ثنائي الباعث في حالة انحياز امامي كما نتوقع تيار جامع صغير لان ثنائي الجامع منحاز عكسياً ، غير انه وخلافاً لذلك التوقع ، فأننا نحصل على تيار جامع كبير (اقل بقليل من تيار الباعث) وهذا بالضبط السبب في كون الترانزستور ذلك الاختراع العظيم . يعمل الترانزستور في هذا الانحياز بالمنطقة الفعالة .



الشكل (5) انحياز امامي – عكسي

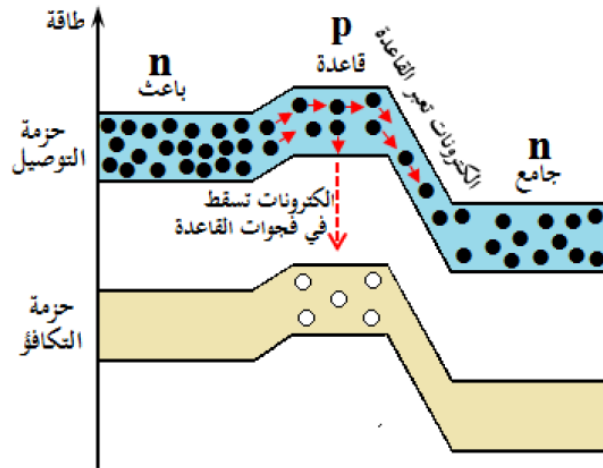
وفيما يلي توضيح موجز عن سبب حصولنا على تيار جامع كبير ففي الشكل (5) في لحظة تسليط الانحياز الامامي على ثنائي الباعث ، لا تكون الالكترونات الباعث دخلت منطقة القاعدة بعد ، فلو كانت V_{EE} اكبر من الجهد الحاجز ، يستطيع العديد من الالكترونات الباعث دخول منطقة القاعدة . هذه الالكترونات في القاعدة تستطيع المرور في كل من الاتجاهين الى اسفل القاعدة الرقيقة والى سلك توصيلها الخارجي ، او عبر وصلة الجامع ومن ثم الى منطقة الجامع . اي طريق ستسلك ؟ من اجل ان تسري الالكترونات الى اسفل خلال منطقة القاعدة ، عليها اولاً ان تسقط في فجوات ، اي تعيد التحامها بفجوات القاعدة وبعد ذلك تستطيع ان تسير الى الاسفل خلال فجوات القاعدة المتجاورة ومن ثم سلك القاعدة الخارجي كالالكترونات تكافؤية وان هذه المركبة ذات الاتجاه السفلي من تيار القاعدة تسمى بتيار اعادة الالتحام وتكون صغيرة لقلة تشويب القاعدة وهذا يعني ان فجواتها قليلة . وهناك فكرة حاسمة ثانية في عمل الترانزستور هي كون القاعدة رقيقة جداً (تكون مكتظة بالالكترونات حزمة التوصيل المحقونة) فأنها تسبب انتشاراً للإلكترونات في طبقة الاستنزاف الجامع وحال دخولها هذه الطبقة فان الالكترونات تدفع الى منطقة الجامع بواسطة مجال طبقة الاستنزاف وتستطيع الالكترونات الجامع هذه السريان في سلك توصيل الجامع الخارجي . وفيما يلي الصورة الكاملة عن الانحياز (FR) نتصور ان تياراً ثابتاً من الالكترونات يغادر طرف المصدر السالب ويدخل منطقة الباعث ، يؤدي الانحياز الامامي الى ارغام الالكترونات الباعث هذه الى دخول منطقة القاعدة وتعطي القاعدة الرقيقة والخفيفة التشويب لمعظم هذه الالكترونات زمن بقاء كاف يتيح لها الانتشار الى طبقة استنزاف الجامع وبعد ذلك يقوم مجال طبقة الاستنزاف بدفع تيار ثابت من الالكترونات الى منطقة الجامع . تغادر هذه الالكترونات الجامع داخلة سلك توصيل الجامع الخارجي ثم تجري الى الطرف الموجب من مصدر فولتية الجامع . اكثر من 95% من الالكترونات الباعث المحقونة تعبر الى الجامع في معظم الترانزستورات واقل من 5% تسقط في فجوات القاعدة وتسير خارجة من سلك توصيل القاعدة الخارجي. من تطبيق قانون كيرشوف للتيار على الشكل (5) نحصل على

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

اي ان تيار الباعث (I_E) هو عبارة عن مجموع تيار الجامع (I_C) مضافاً اليه تيار القاعدة (I_B) . وتيار الجامع يتكون من مركبتين (مركبة تيار الحاملات الاغلبية ومركبة تيار الحاملات الاقلية) . ان مركبة تيار الحاملات الاقلية تسمى تيار التسرب ويرمز لها I_{CO} (تيار الجامع مع فتح طرف الباعث) . بصورة عامة يقاس I_C بالمللي امبير بينما يقاس I_{CO} بالمايكرو امبير او النانو امبير . وان تيار I_{CO} يشبه I_S او I_0 للثنائي وهو حساس لدرجة الحرارة ويمكن اهماله في درجة حرارة الغرفة او درجات الحرارة القريبة منها .

للتوضيح اكثر نناقش المسألة من وجهة نظر حزم الطاقة ، يعتبر مخطط الطاقة البياني الخطوة التالية للوصول الى فهم اعمق للترانزستور فوضع انحياز امامي على ثنائي الباعث يخفض ثل الطاقة كما في الشكل (6) وعليه فان الكترونات حزمة التوصيل في الباعث تمتلك الان طاقة كافية تمكنها من الوصول الى حزمة توصيل القاعدة بعبارة اخرى فان مدارات بعض الكترونات الباعث الان ، تكون من الكبر بحيث توافق بعض مدارات القاعدة المتاحة . ولهذا السبب ، تستطيع الكترونات الباعث الانتشار من حزمة توصيل الباعث الى حزمة توصيل القاعدة .

تصبح الالكترونات عند دخولها الى حزمة توصيل القاعدة هي الحاملات الاقلية لأنها في داخل منطقة p ، في اي ترانزستور تقريباً يمتلك اكثر من 95% من الحاملات الاقلية هذه زمن بقاء يكفيه لينتشر الى طبقة استنزاف الجامع وينحدر الى اسفل ثل طاقة الجامع . وعند انحدار الالكترونات من على التل تحرر طاقة على شكل حرارة بالغالب . يجب على الجامع ان يكون قادراً على تبديد هذه الحرارة ولهذا السبب يكون الاكبر عادة بين مناطق التطعيم الثلاث . اقل من 5% من الكترونات الباعث المحقونة تسقط على طول طريق اعادة الالتحام المبين في الشكل (6) حيث تصبح الكترونات تكافؤية تسير خلال فجوات القاعدة الى سلك توصيلها الخارجي .



الشكل (6) مخطط طاقة الترانستور في انحياز امامي – عكسي

نستطيع تلخيص ما تقدم بما يلي :

1 – ان الانحياز الامامي على ثنائي الباعث يسيطر على عدد الالكترونات المحقونة الى القاعدة وكما كبرت فولتية هذا الانحياز ازداد عدد الالكترونات المحقونة .

2 - يكون الانحياز العكسي على ثنائي الجامع تأثير قليل على عدد الالكترونات التي تدخل الجامع زيادة فولتية هذا الانحياز تزيد من انحدار تل الجامع لكنها لا تغير عدد الالكترونات الواصلة الى طبقة استنزاف الجامع تغيراً ملحوظاً .

(4 . 5) - المعامل α_{dc} والمعامل β_{dc} والعلاقة بينهما

المعامل α_{dc}

عندما نقول بان 95% من الالكترونات المحقونة تصل الجامع فهذا يعني ان تيار الجامع يساوي تيار الباعث تقريباً . ان α_{dc} للترانزستور يبين مدى تقارب التيارين بالقيمة وتعرف بانها نسبة تيار الجامع (I_C) الى تيار الباعث (I_E) اي :

$$\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E} \quad (2)$$

كلما كانت القاعدة ارق واخف تطعياً كانت α_{dc} اكبر ولو ذهبت جميع الالكترونات المحقونة ، مثالياً ، الى الجامع تصبح قيمة α_{dc} واحداً وهناك العديد من الترانزستورات له α_{dc} اكبر من 0.99 ، بينما يمتلك معظمها α_{dc} اكبر من 0.95 ولهذا السبب نستطيع تقريب α_{dc} الى الواحد في التحليلات الاولى .

المعامل β_{dc}

ويعرف بانه نسبة تيار الجامع (I_C) الى تيار القاعدة (I_B) ، اي ان :

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B} \quad (3)$$

فمثلاً لو قسمنا تيار جامع مقداره (5 mA) وتيار قاعدة مقداره (0.05 mA) يكون للترانزستور β_{dc} مقداره :

$$\beta_{dc} = \frac{5 \text{ mA}}{0.05 \text{ mA}} = 100$$

وفي معظم الترانزستورات ، اقل من 5% من الالكترونات الباعث المنبعثة تلتحم مع فجوات القاعدة منتجة I_B . لذلك ، يكون β_{dc} في معظم الحالات اكبر من 20 وهو يتراوح عادة من 50 الى 200 . ولبعض الترانزستورات β_{dc} بحدود 1000 . وفي الفصل القادم في موضوع الثوابت الهجينية نطلق على β_{dc} اسم كسب التيار ويرمز لها h_{FE} وهذا شيء يجدر تذكره لان استمارة المعلومات (datasheet) تعطي عادة قيمة h_{FE} .

العلاقة بين α_{dc} و β_{dc}

تخبرنا المعادلة (1) ان :

$$I_E = I_C + I_B$$

نقسم المعادلة (1) على I_C نحصل على

$$\frac{I_E}{I_C} = 1 + \frac{I_B}{I_C}$$

او

$$\frac{1}{\alpha_{dc}} = 1 + \frac{1}{\beta_{dc}} \quad (4)$$

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B} \text{ و } \alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E}$$

وبترتيب المعادلة (4) نحصل على

$$\frac{1}{\alpha_{dc}} = \frac{\beta_{dc} + 1}{\beta_{dc}}$$

او

$$\alpha_{dc} = \frac{\beta_{dc}}{\beta_{dc} + 1} \quad (5)$$

وكذلك يمكننا الحصول على : (اثبت ذلك ؟)

$$\beta_{dc} = \frac{\alpha_{dc}}{1 - \alpha_{dc}} \quad (6)$$

مثال 1: اوجد قيمة كل من α_{dc} و β_{dc} اذا علمت ان $I_C = 10 \text{ mA}$ وان $I_E = 10.1 \text{ mA}$

من العلاقة (2)

$$\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E} = \frac{10 \text{ mA}}{10.1 \text{ mA}} = 0.9901$$

ومن العلاقة (6)

$$\beta_{dc} = \frac{\alpha_{dc}}{1 - \alpha_{dc}} = \frac{0.9901}{1 - 0.9901} = 100$$

فولتيات الانهيار

بما ان نصفى الترانزستور هما ثنائيان ، لذلك فإمكان فولتية عكسية كبيرة ان تسبب انهياراً . ان وجود انحياز امامي – عكسي يدعونا للقلق على ثنائي الجامع فقط . فعندما تكون فولتية الانحياز العكسي

كبيرة يحصل انهيار تضاعفي في ثنائي الجامع . او بسبب ظاهرة التوصل reach-through (وتعرف ايضاً باسم الثقب punch-through) .

التوصل يعني ان طبقة استنزاف الجامع صارت عريضة بحيث تصل الى طبقة استنزاف الباعث وعندما يتم هذا تنبعث الالكترونات الباعث مباشرة الى طبقة استنزاف الجامع وحتى التداخل القليل جداً بين طبقتي استنزاف يؤدي الى تيار جامع كبير وبالتالي الى تلف الترانزستور.

(5 . 5) - طرق ربط الترانزستور

هناك ثلاث طرق لربط الترانزستور (كل ما ذكره هو لترانزستور نوع npn) وهي :

1 - الربط بطريقة القاعدة المشتركة (CB) (Common-Base)

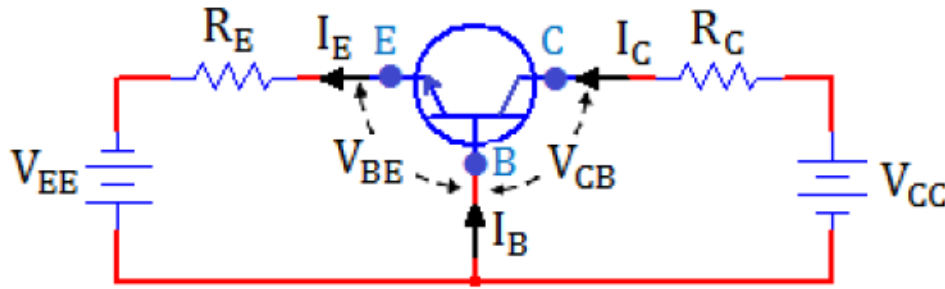
2 - الربط بطريقة الباعث المشترك (CE) (Common-Emitter)

3 - الربط بطريقة الجامع المشترك (CC) (Common-Collector)

بصرف النظر عن طريقة الربط المعتمدة فان وصلة الباعث تحييز امامياً ، بينما يتم تحييز وصلة الجامع عكسياً وذلك لجعل الترانزستور عاملاً في منطقة العمل (المنطقة الفعالة) . وفيما يلي شرح لكل طريقة ربط .

1 - الربط بطريقة القاعدة المشتركة (CB) (Common-Base)

الشكل (7) يوضح ربط القاعدة المشتركة ، حيث نجد ان طرفي الادخال يمثلته طرفي الباعث - القاعدة بينما يكون طرفي الاخراج هما طرفي الجامع - القاعدة ، ويكون طرف القاعدة مشترك بين طرفي الادخال والاخراج .



شكل (7) طريقة ربط القاعدة المشتركة

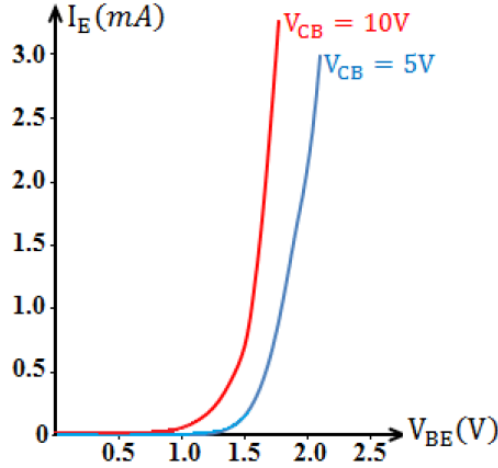
عند دراسة خواص ربط معين تتم دراسة خواص الادخال للدائرة (العلاقة بين تيار الادخال وفولتية الادخال) بثبوت خواص الاخراج (العلاقة بين تيار الاخراج وفولتية الاخراج) ، وهنا يجب الانتباه الى ان هناك دائماً عامل من احدهما يؤثر على الآخر .

اولاً: خواص الادخال (منحنيات الباعث)

الشكل (8) يمثل منحنيات الادخال ، حيث نلاحظ انها تتمثل بعائلة منحنيات تمتاز بالخاصيتين :

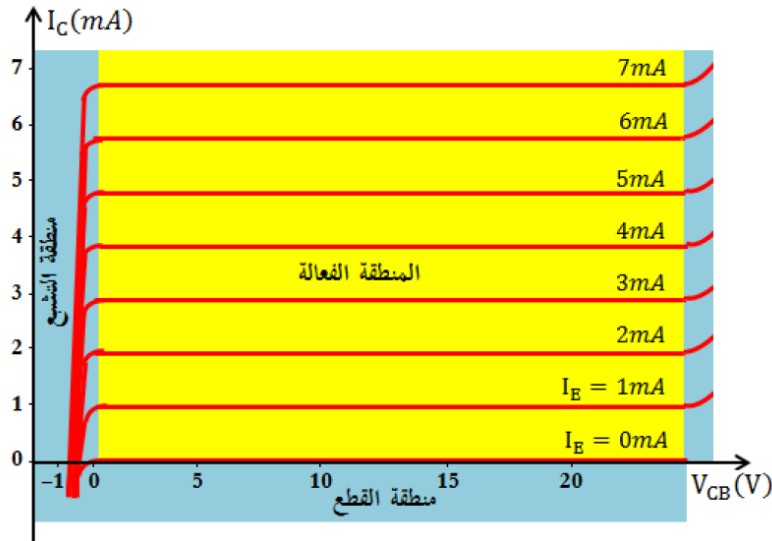
1 - لكل منحنى (V_{CB} معينة) نجد ان تيار الادخال (I_E) يبدأ بزيادة كبيرة نسبياً عندما تتغلب فولتية الادخال على جهد الحاجز لوصلة الباعث ، وبعد ذلك فإن اي زيادة بسيطة في فولتية الادخال (V_{BE}) يرافقها زيادة كبيرة في تيار الادخال ، وهذا يعني ان مقاومة الادخال صغيرة جداً (بحدود 100Ω) .

2 - عند زيادة (V_{CB}) تحدث زيادة بسيطة في تيار الباعث (تيار الادخال) (I_E) لفولتية الادخال (V_{BE}) معينة .



الشكل (8) منحنيات خواص الادخال لربط القاعدة المشتركة (منحنيات الباعث)

ثانياً : خواص الاخراج (منحنيات الجامع)



الشكل (9) منحنيات خواص الاخراج لربط القاعدة المشتركة (منحنيات الجامع)

الشكل (9) يمثل منحنيات الاخراج لربط القاعدة المشتركة ، نلاحظ ان هناك ثلاث مناطق مميزة :

1 - **المنطقة الفعالة (Active Region)** : وتسمى هذه المنطقة ايضا بمنطقة العمل ، في هذه المنطقة تكون وصلة الباعث منحازة امامياً ووصلة الجامع منحازة عكسياً ، حيث نلاحظ ان زيادة فولتية الاخراج (V_{CB}) تؤدي الى زيادة بسيطة جداً في تيار الاخراج (I_C) مما يدل على ان مقاومة الاخراج

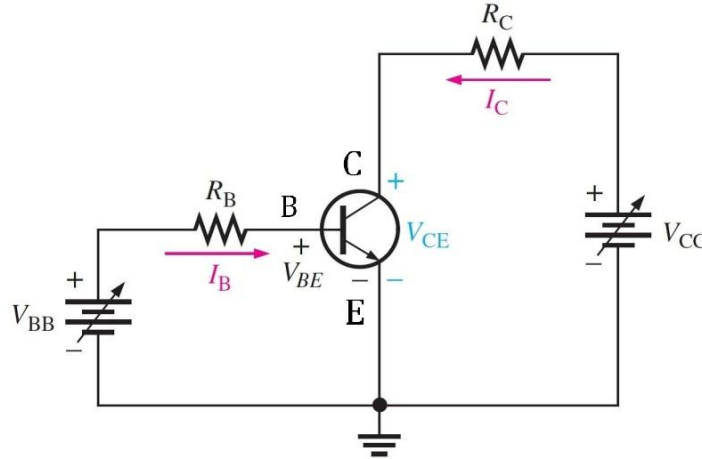
عالية جداً ونلاحظ كذلك ان تيار الاخراج يكون اقل بقليل من تيار الادخال (I_E) ، وهذا يعني ان كسب التيار لربط القاعدة المشتركة يكون اقل من الواحد ، وحيث ان تيار الاخراج اقل بقليل من تيار الادخال ومقاومة الاخراج عالية جدا تكون فولتية الاخراج اكبر بكثير من فولتية الادخال ، اي ان كسب الفولتية لربط القاعدة المشتركة يكون كبير جداً .

2 - منطقة القطع (Cut-off Region) : في هذه المنطقة تكون وصليتي الباعث والجامع منحازة عكسياً ويتصرف الترانزستور كدائرة مفتوحة .

3 - منطقة التشبع (Saturaton Region) : في هذه المنطقة تكون وصليتي الباعث والجامع منحازة امامياً ويتصرف الترانزستور كدائرة مغلقة .

2 - الربط بطريقة الباعث المشترك (CE) (Common-Emitter)

في هذا النوع من الربط يكون الباعث مشترك بين طرفي الادخال (القاعدة - الباعث) وطرفي الاخراج (الجامع - الباعث) كما موضح بالشكل (10) حيث تم استعمال مصدر الجهد (V_{BB}) لتحيز وصلة الباعث امامياً والمصدر (V_{CC}) لتحيز وصلة الجامع عكسياً ، اما المقاومتان (R_B) و (R_C) فتستعمل لتحديد تيار القاعدة والجامع وعلى الترتيب .



الشكل (10) ربط الباعث المشترك

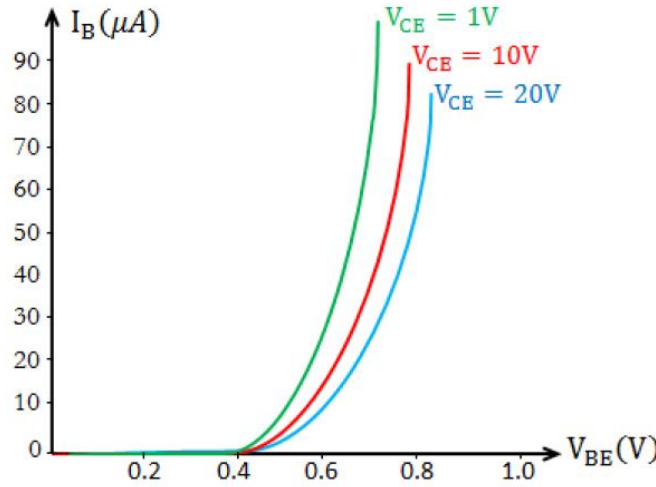
اولاً: خواص الادخال (منحنيات القاعدة)

الشكل (11) يمثل منحنيات الادخال لربط الباعث المشترك ، حيث نلاحظ :

1 - انها تتمثل بعائلة منحنيات تشبه منحنى الخواص للثنائي الاعتيادي المنحاز امامياً . وتمثل مقاومة الادخال النسبة بين التغير في فولتية الادخال (ΔV_{BE}) الى التغير في تيار الادخال (ΔI_B) لفولتية (V_{CE}) ثابتة ، وتكون مقاومة الادخال لربط الباعث المشترك صغيرة ($\approx 1K\Omega$) .

2 - لفولتية ادخال (V_{BE}) معينة نلاحظ ان تيار الادخال (I_B) يقل بزيادة (V_{CE}) وسبب ذلك انه كلما تزداد (V_{CE}) فان طبقة استنزاف وصلة الجامع - القاعدة تزداد (انحياز عكسي والذي بدوره

يقلل من عرض طبقة استنزاف وصلة الباعث – القاعدة وبالنتيجة تقل عمليات اعادة الالتحام في منطقة القاعدة مما يقلل من تيار القاعدة (I_B) .



الشكل (11) خواص الادخال (منحنيات القاعدة)

ثانياً : خواص الاخراج (منحنيات الجامع)

وهي موضحة بالشكل (12) . حيث يمكن الحصول عليها باستخدام الدائرة في شكل (10) حيث يتم تثبيت قيم تيار القاعدة I_B وتغير فولتية المصدر V_{CC} وقياس كل من V_{CE} و I_C ، ونلاحظ :

1 – ان هناك سلوك عام يتكرر في كل منحنى لقيمة معينة من تيار الادخال (I_B) ، حيث نلاحظ ان هناك زيادة بسيطة في تيار الاخراج (I_C) عند زيادة فولتية الاخراج (V_{CE}) وهذا يدل على ان مقاومة الاخراج عالية بحدود ($50K\Omega$) ، ان زيادة الجهد (V_{CE}) يؤدي الى زيادة طبقة استنزاف وصلة الجامع (انحياز عكسي) مما يتيح للجامع التقاط المزيد من الالكترونات منطقة القاعدة وبالنتيجة يزداد تيار الجامع .

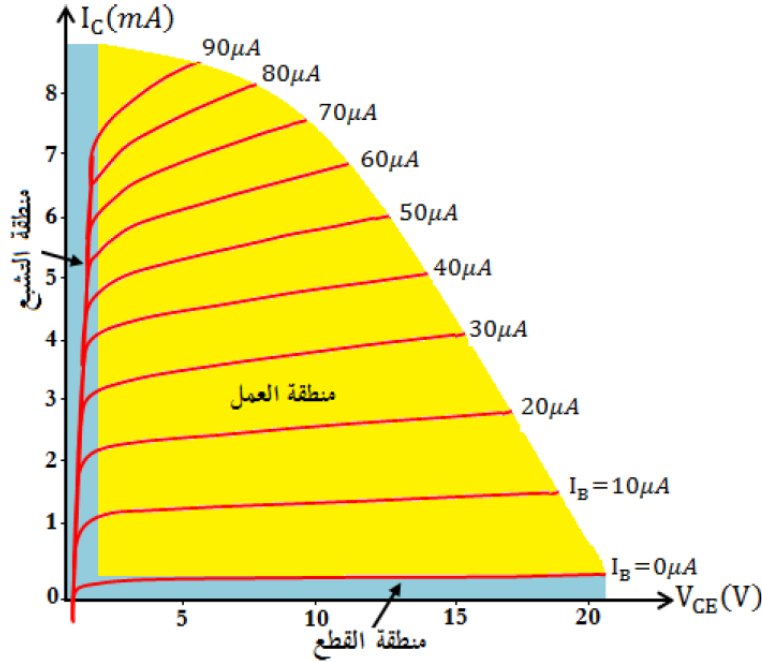
2 – عند زيادة تيار القاعدة زيادة بسيطة بالميكروامبير (μA) فان ذلك يؤدي الى زيادة كبيرة في تيار الجامع بالملي امبير (mA) .

3 – ان منحنى خواص الاخراج يمكن تقسيمه الى ثلاث مناطق وهي :

أ – منطقة التشبع : حيث يلاحظ انه لفولتيات (V_{CE}) الاقل من حوالي $0.2V$ تكون وصلة الجامع منحازة امامياً وكذلك فان وصلة الباعث منحازة امامياً بالأصل ، عندها يتصرف الترانزستور كمفتاح مغلق .

ب – منطقة القطع : عندما يكون تيار القاعدة مساوياً للصفر ($I_B = 0$) يكون تيار الجامع عبارة عن تيار التشبع العكسي (I_{CEO}) والذي عدة يكون من الصغر يمكن اهماله ، لذا تسمى المنطقة الاسفل من ($I_B = 0$) بمنطقة القطع ويكون كل وصلتي الباعث والجامع منحازة عكسياً .

ج - منطقة العمل (الفعالة) : في هذه المنطقة تكون وصلة الباعث منحازة امامياً ووصلة الجامع منحازة عكسياً ، تمتاز هذه المنطقة بوجود تناسب طردي بين تيار القاعدة (تيار الادخال) وتيار الجامع (تيار الاخراج) حيث لا حظنا ان اي زيادة بسيطة في تيار القاعدة يصاحبه زيادة كبيرة في تيار الجامع حيث يمكن التعبير عن ذلك التناسب بالعلاقة ($I_C = \beta_{dc} I_B$) ، ان هذه الميزة تعني ان الترانزستور العامل في المنطقة الفعالة يمكنه القيام بالتكبير ولهذا يكون لهذه المنطقة اهمية كبيرة لأنها المنطقة التي يمكن ان يعمل فيها الترانزستور كمضخم .



الشكل (12) خواص الاخراج (منحنيات الجامع)

3 - الربط بطريقة الجامع المشترك (CC) (Common-Collector)

في طريقة الربط هذه يكون ادخال الدائرة بين طرفي القاعدة والجامع ويكون طرفي الاخراج بين الباعث والجامع ، اي ان طرف الجامع يكون مشترك بين طرفي الادخال والاخراج . ان ربط الجامع المشترك يشبه ربط الباعث المشترك باستثناء كون مقاومة الحمل مرتبطة بطرف الباعث بدلاً من الجامع . ان كسب التيار في ربط الجامع المشترك يمثل النسبة بين تيار الجامع الى تيار القاعدة . ومن ذلك نجد ان طريقة الربط هذه يتيح كسب تيار عالي يقارب كسب طريقة ربط الباعث المشترك لان ($I_E \approx I_C$) اما كسب الفولتية فيكون اقل من واحد . يمتاز هذا الربط ايضاً بكون مقاومة الادخال له عالية جداً بحدود ($750K\Omega$) ومقاومة الاخراج منخفضة جداً بحدود (50Ω) ، ولهذا السبب فغالباً ما يستعمل ربط الجامع المشترك لموائمة المقاومة بين دائرتين (ربط دائرة ذات مقاومة اخراج عالية مع دائرة مقاومة ادخال منخفضة لتحقيق نقل اعظم قدرة ممكنة بين الدائرتين) . وهناك تطبيق مهم اخر لهذا الربط وهو تنظيم الفولتية .

الجدول (1) يبين القيم النموذجية لكل من مقاومتي الادخال والاخراج وكسبي الفولتية والتيار والقدرة والتطبيقات العملية لطرق الربط الثلاثة .

جدول (1) يوضح المقارنة بين طرق الربط الثلاثة

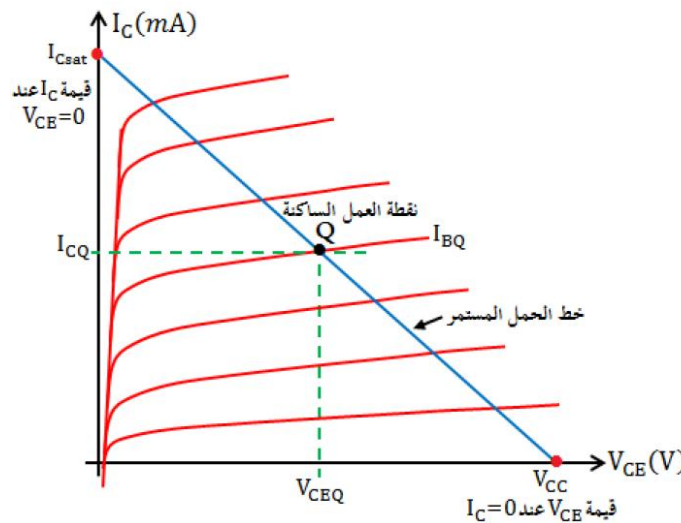
الخاصية	طريقة ربط القاعدة المشتركة	طريقة ربط الباعث المشترك	طريقة ربط الجامع المشترك
مقاومة الادخال	صغيرة جداً ($\approx 100\Omega$)	متوسطة ($\approx 1K\Omega$)	عالية جداً ($\approx 750K\Omega$)
مقاومة الاخراج	عالية جداً ($\approx 500K\Omega$)	متوسطة ($\approx 50K\Omega$)	صغيرة جداً ($\approx 50\Omega$)
كسب الفولتية	عالي (≥ 150)	عالي (≥ 300)	اقل من واحد
كسب التيار	اقل من واحد	عالي ($\approx \beta_{dc}$)	عالي (≤ 100)
كسب القدرة	عالي	عالي جداً	عالي
التطبيقات	للترددات العالية	للترددات المسموعة	لموائمة المقاومات

يعتبر ربط الباعث المشترك اكثر طرق الربط استعمالاً في الدوائر الالكترونية للأسباب التالية :

- 1 - كسب عالي في التيار
- 2 - كسب عالي في الجهد والقدرة وبالتالي تكون افضل الطرق من حيث كسب القدرة ولذلك تكون مضخمات القدرة هي دائماً مضخمات تستعمل هذا الربط .
- 3 - تناسب جيد بين مقاومة الاخراج والادخال حيث تكون النسبة بين مقاومة الادخال ومقاومة الاخراج 50 مما يجعلها مثالية للاستعمال في ربط (اقران) مراحل الترانزستور المتشابهة مع بعضها البعض .

(5 . 6) - خط الحمل ونقطة العمل وتأثير موقعها على شكل الإشارة

تعتبر طريقة خط الحمل من اهم الطرق الرياضية المتبعة في تحليل دوائر الترانزستور ، حيث يمثل خط الحمل المستمر العلاقة بين تيار الاخراج وفولتية الاخراج والتي يتحصل عليها عادة من تطبيق قانون كيرشوف الخاص بفروق الجهد على دائرة الاخراج . وسوف نركز على خواص الاخراج لربط الباعث المشترك الموضحة بالشكل (13) . حيث يتم تحديد نقطتي القطع والتشبع من معادلة خط الحمل ، اما احداثيات نقطة العمل الساكنة (Q - point) فتحددها قيمتي تيار وفولتية الاخراج في ظروف العمل الساكنة (عدم وجود إشارة ادخال) . عند استعمال الترانزستور كمضخم يجب ان تكون نقطة العمل في منتصف خط الحمل لتحقيق اكبر تكبير ممكن لإشارة الادخال بدون تشويه .

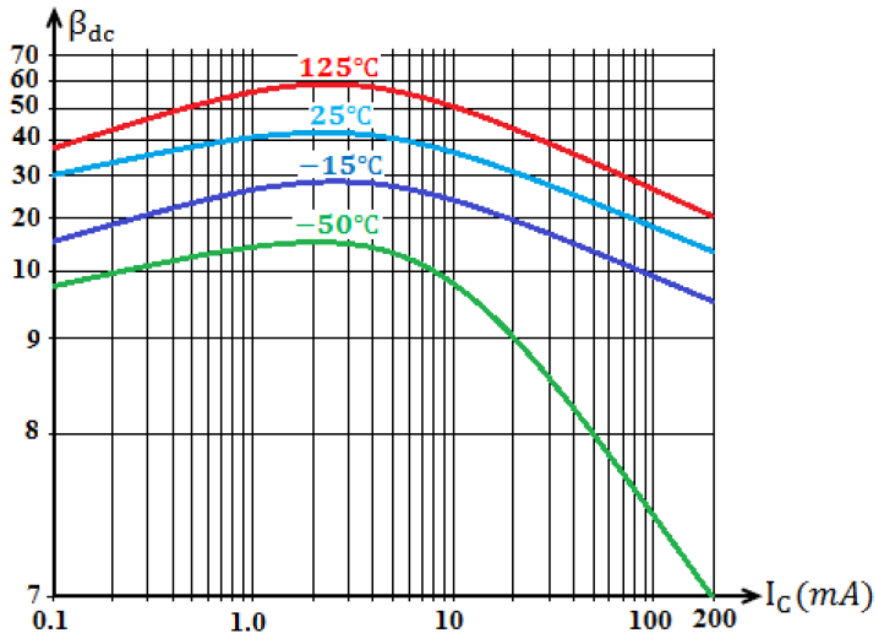


شكل (13) خط الحمل لخواص اخراج طريقة ربط الباعث المشترك

(7 . 5) - تأثير درجة الحرارة واستقرارية العمل للترانزستور

ان لارتفاع درجة الحرارة تأثير على عمل اشباه الموصلات عموماً ، وعلى الترانزستور بشكل خاص ، فزيادة درجة الحرارة تقلل من جهد حاجز وصلة الباعث المنحازة امامياً وتزيد من تيار التسرب العكسي لوصلة الجامع المنحازة عكسياً ، وبالنسبة فان عمل الترانزستور يتأثر بشكل كبير بزيادتها .

الشكل (14) يوضح تأثير عامل كسب التيار المستمر β_{dc} حيث يلاحظ من معامل كسب التيار انه يزداد بزيادة درجة الحرارة ، وكذلك نلاحظ ان هذا المعامل يتغير بتغير تيار الجامع .



شكل (14) تأثير درجة الحرارة على معامل كسب التيار المستمر

عند اخذ تأثير درجة الحرارة فان تيار الجامع سيكون عبارة عن معظم تيار الباعث المحقون والمعبر عنه بالمقدار (αI_E) مضافاً اليه تيار حاملات الشحنة الاقلية (الالكترونات في جهة القاعدة p) المتولدة حرارياً في منطقة القاعدة والتي تل الى الجامع والذي يرمز له (I_{CBO}) اي ان :

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

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

$$\text{لان } I_E = I_C + I_B \text{ من العلاقة (1)}$$

بترتيب الحدود نحصل على :

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

عندما يكون طرف القاعدة مفتوحاً ($I_B = 0$) فان تيار الجامع يكون مكوناً من تيار التسرب العكسي فقط ، بالتعويض عن ($I_B = 0$) في المعادلة الاخيرة نحصل على :

$$I_C = I_{CEO} = \frac{I_{CBO}}{1-\alpha}$$

يمكن ايجاد تيار الجامع العكسي بدلالة β بدلاً عن المعامل α وذلك باستعمال العلاقة (5) :

$$I_{CEO} = (1 + \beta_{dc}) I_{CBO} \quad (7)$$

ان مدى تأثر عمل ترانزستور ما بدرجة الحرارة يقاس بعامل يسمى معامل الاستقرار الحراري (Stability Factor) والذي يعرف بانه النسبة بين معدل التغير في تيار الجامع الى التغير في تيار التسرب العكسي للجامع بثبوت تيار القاعدة وفولتية القاعدة الى الباعث V_{BE} اي ان :

$$S = \frac{\partial I_C}{\partial I_{CEO}} \quad (8)$$

وكلما كانت S صغيرة كلما كانت الدائرة اكثر استقرارية .

في طريقة ربط الباعث المشترك يعطى معامل الاستقرار الحراري بالعلاقة :

$$S = \frac{(1 + \beta_{dc})}{1 - \beta_{dc} \frac{\partial I_B}{\partial I_C}} \quad (9)$$

(8 . 5) - دوائر انحياز الترانزستور

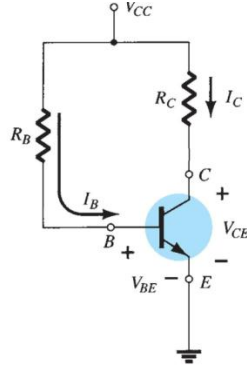
لكي نضع نقطة عمل الترانزستور في المنطقة الفعالة من الضروري تجهيز فولتيات مستمرة وبالتالي تيارات مستمرة عن طريق مصادر قدرة مستمرة . ووظيفة المكبر (المضخم) هو ان يأخذ اشارة صغيرة (تيار او فولتية متغيرة) ويكبرها دون اجراء اي تغير آخر على شكل او هيئة الاشارة عدا كونها اكبر عند الاخراج مما هو عليه في الادخال . وفي حالة عدم اختيار نقطة العمل بصورة صحيحة فان الترانزستور يدخل منطقة القطع او التشبع وبالتالي سيحصل تشويه للإشارة ويتوقف الترانزستور عن التكبير اي ان عمل المكبر يقتصر على المنطقة الفعالة فقط . ويمكن ان نصنف الدوائر الالكترونية بصورة عامة الى الدوائر الخطية (Linear Circuits) الدوائر الرقمية (Digital Circuits) . ففي دوائر الترانزستور الخطية يكون الانحياز المسلط بالاتجاه الذي يجعل ثنائي الباعث - القاعدة منحاز امامياً و ثنائي الجامع - القاعدة منحاز عكسياً . ويجب ان يبقى الانحياز كذلك طوال وجود اشارة الادخال . اما في الدوائر الرقمية فيمكن ان يكون كلا الثنائيين منحازان عكسياً او منحازان عكسياً . من الدوائر الشائعة لتحيز الترانزستور هي :

1 - دائرة انحياز القاعدة .

2 - دائرة انحياز بالتغذية الخلفية للجامع .

3 - . دائرة انحياز مقسم الفولتية

دائرة انحياز القاعدة (دائرة الانحياز الثابت) (Fixed-Bias Circuit) :



الشكل (15) دائرة الانحياز الثابت

واصل التسمية هو " دائرة الانحياز ذي تيار القاعدة الثابت " وهي التسمية الادق . المصدر V_{CC} يقوم بتحيز ثنائي الباعث امامياً خلال مقاومة تحديد التيار (R_B) وكذلك يعمل هذا المصدر على تحيز ثنائي الجامع عكسياً خلال (R_C) . بتطبيق قانون كيرشوف على الادخال نحصل على :

$$V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} = 0$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad (10)$$

وبتطبيق قانون كيرشوف على الاخراج نحصل على :

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

المعادلة الاخيرة تمثل معادلة خط الحمل للانحياز الثابت ، وبحل المعادلة بالنسبة لفولتية وصلة الجامع نحصل على

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} \quad (11)$$

من العلاقة 10 نلاحظ ان تيار القاعدة ثابت تقريباً حيث ان كل من (V_{CC}) و (R_B) هي ثوابت وجهد الحاجز لوصلة الباعث (V_{BE}) يمكن اهمالها لصغرهما عندها يكون :

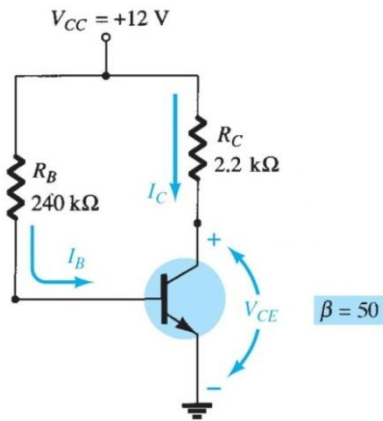
$$\frac{\partial I_B}{\partial I_C} = 0$$

وبالتعويض في معادلة عامل الاستقرارية (9) نحصل على :

$$S = 1 + \beta_{dc} \quad (12)$$

من العلاقة الاخيرة نجد ان عامل الاستقرار لدائرة الانحياز الثابت عالية القيمة مما يعني ان هذه الدائرة غير مناسبة من ناحية الاستقرارية . تمتاز دائرة الانحياز الثابت بالبساطة في التركيب وسهولة تحديد نقطة العمل الساكنة ، كما يمكن التحكم بموضع نقطة العمل من خلال تغيير قيمة المقاومة غير ان عيبها هو استقراريتها الضعيفة . يمكن تحسين استقرارية دائرة الانحياز الثابت بإضافة مقاومة على التوالي مع طرف الباعث مما يقلل من عامل الاستقرارية للدائرة (تزداد الاستقرارية) غير ان ذلك يكون على حساب كسب الفولتية الكلي للدائرة .

مثال 2: لدائرة الانحياز الذاتي لترانزستور سليكون معطى في الشكل التالي 1. - ارسم خط الحمل المستمر 2 - اين تقع نقطة العمل الساكنة 3 - اوجد عامل الاستقرارية



الحل :-

اولاً : نرسم خط الحمل $I_C = \left(-\frac{1}{R_C}\right) V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C}$

$$V_{CE} = 0 \quad \rightarrow \quad I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{12 \text{ V}}{2.2 \times 10^3} = 5.45 \text{ mA} = I_{C(sat)}$$

$$I_C = 0 \quad \rightarrow \quad V_{CE} = V_{CC} = 12 \text{ V} = V_{CE(cutoff)}$$

ثانياً : الان نحاول ان نحدد احداثيات نقطة العمل (Q)

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{240 \times 10^3} = 47.08 \mu\text{A}$$

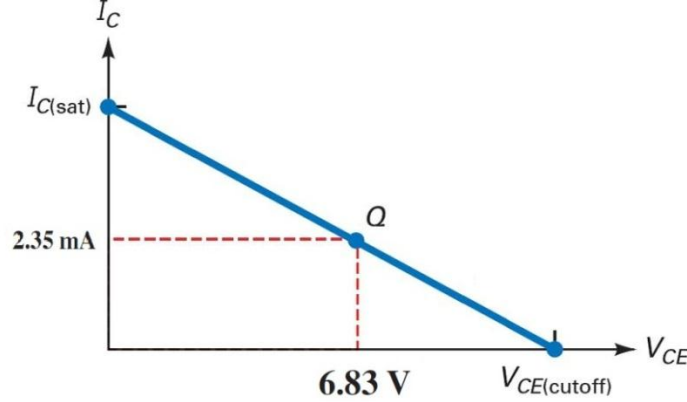
$$I_{CQ} = \beta_{dc} I_{BQ} = 50 \times 47.08 \mu\text{A} = 2.35 \text{ mA}$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_C = 12 - (2.35 \times 10^{-3})(2.2 \times 10^3) = 6.83 V$$

ثالثاً : نجد عامل الاستقرار الذي يعطى بالعلاقة

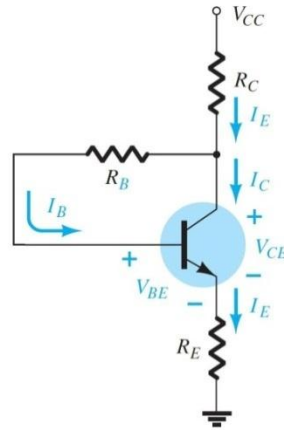
$$s = 1 + \beta_{dc} = 1 + 50 = 51$$

نلاحظ ان قيمة عامل الاستقرار مرتفع مما يدل ان الدائرة ضعيفة الاستقرار .



دائرة انحياز بالتغذية الخلفية للجامع (Collector-Feedback Bias Circuit):

وقد تسمى بدائرة الانحياز الذاتي (Self - Biasing Circuit) نلاحظ هنا ان مقاومة القاعدة (R_B) ربطت الى الجامع وليس فولتية التجهيز (V_{CC}) كما موضح بالشكل (16) . وهذا الترتيب يتيح ارجاع جزء من فولتية الاخراج الى ادخال الدائرة عبر مقاومة القاعدة وهو ودائرة الانحياز بالتغذية الخلفية للجامع تتصف بالبساطة وذات استجابة جيدة للترددات الواطئة . ان التغذية الخلفية عبر مقاومة القاعدة تعمل على زيادة استقرارية الدائرة وجعل نقطة العمل مستقرة .



الشكل (16) دائرة التغذية الخلفية للجامع

نطبق قانون كيرشوف لفروق الجهد على دائرة الجامع

$$V_{CC} - I_E R_C - V_{CE} = 0 \rightarrow V_{CC} - (I_C + I_B) R_C - V_{CE}$$

وهذه المعادلة تمثل معادلة خط الحمل للانحياز الذاتي ، ومنها نجد :

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

نطبق قانون كيرشوف لفروق الجهد على دائرة القاعدة ، فنحصل على :

$$V_{CC} - (I_C + I_B) R_C - I_B R_B - V_{BE} = 0$$

بترتيب الحدود نحصل على :

$$(R_C + R_B) I_B = V_{CC} - V_{BE} - I_C R_C \quad (13)$$

وبالتالي

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE} - I_C R_C}{(R_C + R_B)} \quad (14)$$

هذه المعادلة سوف يكون لها استعمال في ايجاد عامل الاستقرارية للدائرة . بالعودة الى المعادلة 13 يمكننا حل المعادلة باستعمال العلاقة ($I_C = \beta_{dc} I_B$) ، فنحصل على

$$(R_C + R_B) I_B = V_{CC} - V_{BE} - \beta_{dc} I_B R_C$$

بترتيب الحدود نحصل على

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta_{dc}) R_C} \quad (15)$$

من المعادلة (14) يمكننا ان نحصل على :

$$\frac{\partial I_B}{\partial I_C} = - \frac{R_C}{(R_C + R_B)} \quad (16)$$

وبالتالي ايجاد عامل الاستقرار من العلاقة (9)

$$S = \frac{\beta_{dc} + 1}{1 - \beta_{dc} \frac{\partial I_B}{\partial I_C}}$$

وبتعويض العلاقة (16) في هذه العلاقة نجد الصيغة النهائية لعامل الاستقرارية لدائرة التغذية الخلفية

$$S = \frac{\beta_{dc} + 1}{1 + \beta_{dc} \left(\frac{R_C}{R_C + R_B} \right)} \quad (17)$$

مثال 3: في الشكل التالي لترانزستور سيلكون احسب I_C و V_{CE} وعامل الاستقرارية؟

الحل :

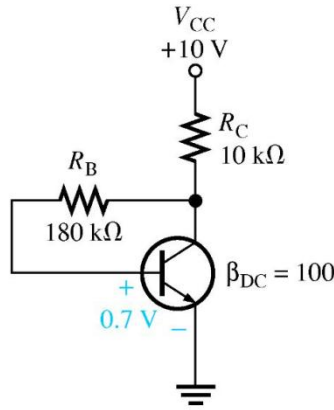
$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta_{dc})R_C} = \frac{10V - 0.7V}{180 \text{ k}\Omega + (1 + 100)10 \text{ k}\Omega} = 7.815 \mu\text{A}$$

$$I_{CQ} = \beta_{dc} I_{BQ} = 100 \times 7.815 \mu\text{A} = 0.7815 \text{ mA}$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - (I_C + I_B) R_C = 10 \text{ V} - (0.7815 \text{ mA} + 7.815 \mu\text{A})(10 \text{ k}\Omega) = 2.1 \text{ V}$$

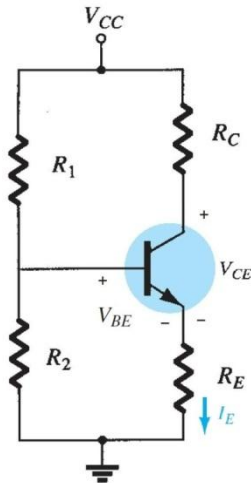
$$S = \frac{\beta_{dc} + 1}{1 + \beta_{dc} \left(\frac{R_C}{R_C + R_B} \right)} = \frac{100 + 1}{1 + 100 \left(\frac{10 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 180 \text{ k}\Omega} \right)} = 16.13$$

نلاحظ ان استقرار هذه الدائرة افضل من سابقتها في المثال السابق



دائرة انحياز مقسم الفولتية (Voltage-Divider Bias Circuit):

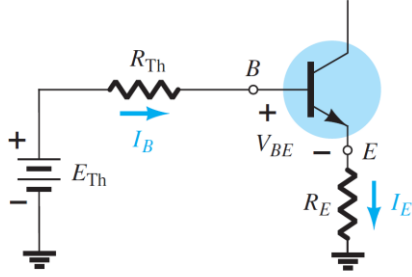
تعتبر دائرة انحياز مقسم الفولتية من اكثر دوائر التحيز استعمالاً في التطبيقات العملية وذلك لما تتمتع به من استقرارية عمل عالية وذلك بالمقارنة مع دوائر التحيز التي سبق شرحها . التسمية جاءت من مقسم الفولتية المتكون من R_1 و R_2 . الفولتية على R_2 تعمل على جعل ثنائي الباعث منحاز امامياً . تعمل فولتية المصدر على جعل ثنائي الجامع منحاز عكسياً .



الشكل (17) دائرة مقسم الفولتية

تيار القاعدة (I_B) :

يمكن ان يحول ادخال الشكل (17) الى الشكل (18)



الشكل (18) دائرة مقسم الفولتية

$$V_{Th} \cong \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (18)$$

$$R_{Th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (19)$$

الان نطبق قانون كيرشوف على الادخال :

$$V_{Th} = I_B R_{Th} + V_{BE} + I_E R_E$$

$$\rightarrow V_{Th} - V_{BE} = I_B R_{Th} + (I_C + I_B) R_E \quad (20)$$

$$\because I_E = I_B \beta_{dc}$$

$$\rightarrow V_{Th} - V_{BE} = I_B R_{Th} + I_B (\beta_{dc} + 1) R_E = I_B [R_{Th} + (\beta_{dc} + 1) R_E]$$

$$\therefore I_B = \frac{V_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta_{dc} + 1) R_E} = I_{BQ} \quad (21)$$

فولتية الجامع الى الباعث (V_{CE}) :

نطبق قانون كيرشوف على الاخراج :

$$V_{CC} = V_{RC} + V_{CE} + V_E \rightarrow V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E$$

$$\because (I_C \cong I_E) \text{ Because } I_C = \alpha_{dc} I_E \text{ and } \alpha_{dc} \cong 1$$

لذلك

$$V_{CE} \cong V_{CC} - I_C (R_C + R_E) \quad (22)$$

ومنها نحصل على

$$I_C (R_C + R_E) \cong -V_{CE} + V_{CC} \rightarrow I_C \cong \left(\frac{-1}{R_C + R_E} \right) V_{CE} + \left(\frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \right) \quad (23)$$

هذه المعادلة تعطي خط الحمل والتي تشبه $y = mx + c$

عندما ($V_{CE} = 0$) فان

$$I_C = I_{C(sat)} = \left(\frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \right) \quad (24)$$

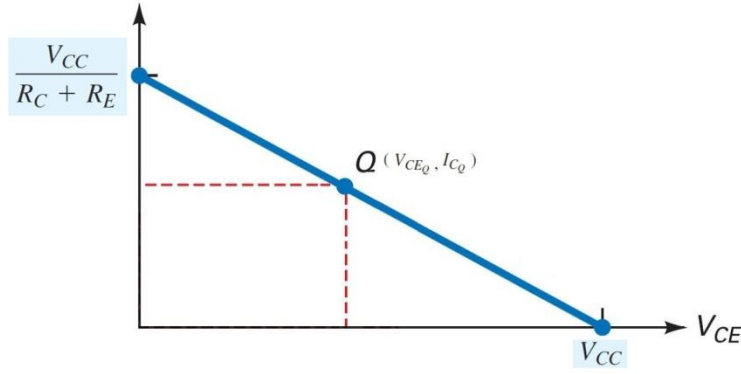
كذلك عندما ($I_C = 0$) فان

$$V_{CE} = V_{CE(cutoff)} = V_{CC} \quad (25)$$

ولتحديد احداثيات نقطة العمل Q

$$I_{CQ} = \beta_{dc} I_{BQ}$$

$$V_{CEQ} \cong V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E)$$



الشكل (17) تحديد نقطة العمل

ولإيجاد عامل الاستقرار الحراري لدائرة انحياز مقسم الفولتية نرتب العلاقة (20) لنحصل على :

$$I_B = \frac{V_{Th} - V_{BE} - I_C R_E}{R_{Th} + R_E}$$

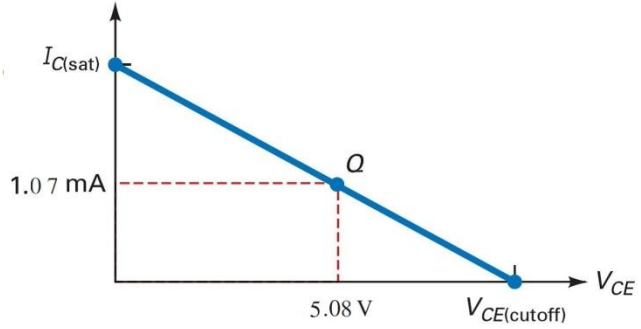
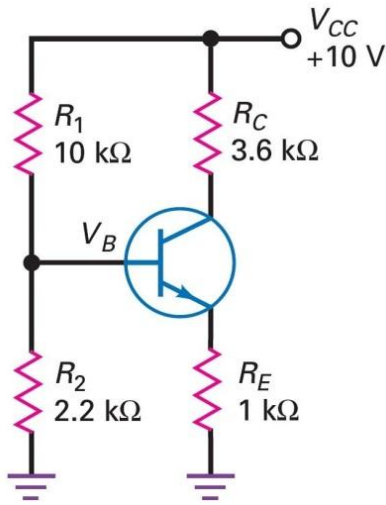
لذلك

$$\frac{\partial I_B}{\partial I_C} = - \left(\frac{R_E}{R_E + R_{Th}} \right)$$

وبتعويض هذه النتيجة في المعادلة (9) (معادلة عامل الاستقرار الحراري) نحصل على :

$$S = \frac{\beta_{dc} + 1}{1 - \beta_{dc} \left(\frac{-R_E}{R_E + R_{Th}} \right)} = \frac{\beta_{dc} + 1}{1 + \beta_{dc} \left(\frac{R_E}{R_E + R_{Th}} \right)} \quad (26)$$

مثال 4: ارسم خط الحمل المستمر وحدد نقطة العمل لدائرة الشكل التالي علماً أن $(\beta_{dc} = 100)$ اوجد عامل الاستقرار الحراري .



الحل :

اولاً : نرسم خط الحمل $I_C \cong \left(\frac{-1}{R_C + R_E} \right) V_{CE} + \left(\frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \right)$

$$V_{CE} = 0 \rightarrow I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = \frac{10 \text{ V}}{3.6 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega} = 2.17 \text{ mA}$$

$$I_C = 0 \rightarrow V_{CE(cutoff)} = V_{CC} = 10 \text{ V}$$

ثانياً : الان نحاول ان نحدد احداثيات نقطة العمل (Q)

$$V_{Th} \cong \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{2.2 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 2.2 \text{ k}\Omega} 10 \text{ V} = 1.8 \text{ V}$$

$$R_{Th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{(10 \text{ k}\Omega)(2.2 \text{ k}\Omega)}{10 \text{ k}\Omega + 2.2 \text{ k}\Omega} = 1.8 \text{ k}\Omega$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{R_2} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta_{dc} + 1)R_E} = \frac{1.8 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{1.8 \text{ k}\Omega + (100 + 1)(1 \text{ k}\Omega)} = 10.7 \mu\text{A}$$

$$I_{CQ} = \beta_{dc} I_{BQ} = (100)(10.7 \mu\text{A}) = 1.07 \text{ mA}$$

$$V_{CEQ} \cong V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E) = 10 - (1.07 \text{ mA})(3.6 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega) = 5.08 \text{ V}$$

ثالثاً : من المعادلة (26) نجد عامل الاستقرار الحراري

$$= \frac{\beta_{dc} + 1}{1 + \beta_{dc} \left(\frac{R_E}{R_E + R_{Th}} \right)} = \frac{100 + 1}{1 + 100 \left(\frac{1 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega + 1.8 \text{ k}\Omega} \right)} = 2.75$$

اسئلة ومسائل الفصل الخامس

- س1 : اشرح انواع انحياز الترانزستور ثم حدد ايها اكثر استعمالاً ولماذا ؟
- س2 : اشرح مع الرسم خواص الادخال والاخراج لربط الباعث المشترك ؟
- س3 : لترانزستور في ربط الباعث المشترك ، وضح المقصود بمنطقة العمل ثم ارسمها مع التأشير ؟
- س4 : وضح المقصود بالمعامل β_{dc} والمعامل α_{dc} ثم اشتق العلاقة التي تربط بينهما .
- س5 : قارن بين طرق ربط الترانزستور ثم بين ايها اكثر استعمالاً ولماذا ؟
- س6 : وضح المقصود بعامل الاستقرار الحراري ثم اشتق العلاقة الخاصة به لربط الباعث المشترك ؟
- س7 : لترانزستور ما تيار القاعدة (I_B) يساوي $30\mu A$ وتيار الباعث (I_E) يساوي $7.2mA$ احسب كل من المعامل α_{dc} والمعامل β_{dc} ؟
- س8 : اوجد احداثيات نقطة العمل الساكنة وعامل الاستقرارية للدائرة الموضحة بالشكل التالي ، ثم ارسم خط الحمل ، علماً بان الترانزستور مصنوع من السليكون ؟

