كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الثالثة

المادة : الكترونيات2

المحاضرة: الثانية/نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر(What's app-Telegram)على الرقم 0931497960

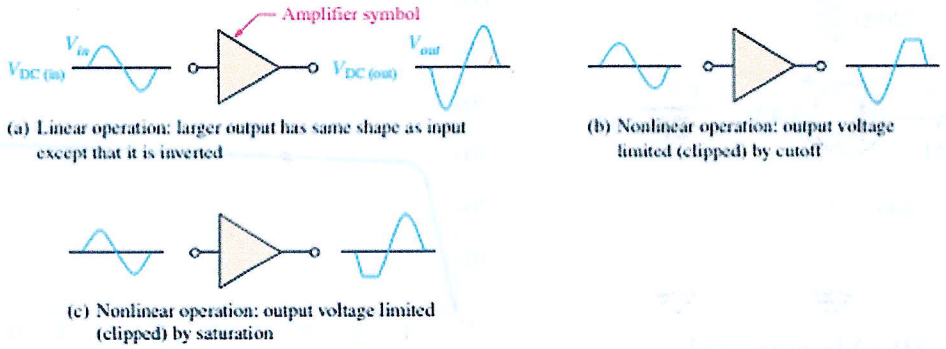
دارات انحياز الترانزستور ثنائي القطبية: Bipolar Junction Transistor Bias Circuits

نقطة العمل الساكنة:

كي يعمل ترانزستور ثنائي القطبية كمضخم يجب أن ينحاز بجهد مستمر بشكل صحيح، ويجب تعيين نقطة العمل الساكنة بحيث تضخم التغيرات التي تطرأ على إشارة الدخل ويعاد تشكيلها عند الخرج بدقة.

يعين الانحياز نقطة العمل الساكنة من أجل عملية خطية دقيقة يقوم بها مضخم الترانزستور إذا كان منحازاً بشكل دقيق، أما في حال لم ينحاز عند مدخله ومخرجه بجهود صحيحة فإنه سيدخل إما في حالة الإشباع أو القطع عند تطبيق الإشارة الكهربائية على مدخله.

يوضح الشكل (1) تأثير الانحياز المستمر الصحيح وغير الصحيح على مضخم عاكس Inverter Amplifier في حالة الانحياز بجهد مستمر صحيح تكون إشارة الخرج نسخة مضخمة عن إشارة الدخل ولكنها مقلوبة أي تختلف بالطور عن إشارة الدخل بمقدار 180^0، في حالة الانحياز غير الصحيح سيحدث تشوه في إشارة الخرج أي يصبح الجزء الموجب مقصوص من الأعلى نتيجة وجود نقطة العمل الساكنة بالجوار المباشر من منطقة القطع، وفي حال كانت نقطة العمل الساكنة بالجوار المباشر من منطقة الإشباع ستظهر إشارة الخرج مقصوصة من الجزء السالب منها من جهة الأسفل .



الشكل(1): العملية الخطية وغير الخطية ل مضخم عاكس

تحديد نقطة العمل الساكنة:

يعمل الترانزستور كمضخم في المنطقة الفعالة وبالتالي من المهم اختيار موضع نقطة العمل من خلال تحديد قيم التيار والجهد لكل من تيار القاعدة، تيار المجمع، والجهد بين الباعث والمجمع بحيث تتم عملية التضخيم بشكلها الصحيح والدقيق، سندرس التحليل البياني للمنحنيات الساكنة المميزة لمجمع الترانزستور الموضح بالشكل (2) لتبيان تأثير الانحياز الساكن على تيار وجهد الخرج للترانزستور.

ومنه سنأخذ ثلاث قيم لتيار القاعدة وراقبنا ماذا يحصل لتيار المجمع والجهد المستمر V_{CE} وتحديد نقطة عمل الترانزستور في كل حالة.

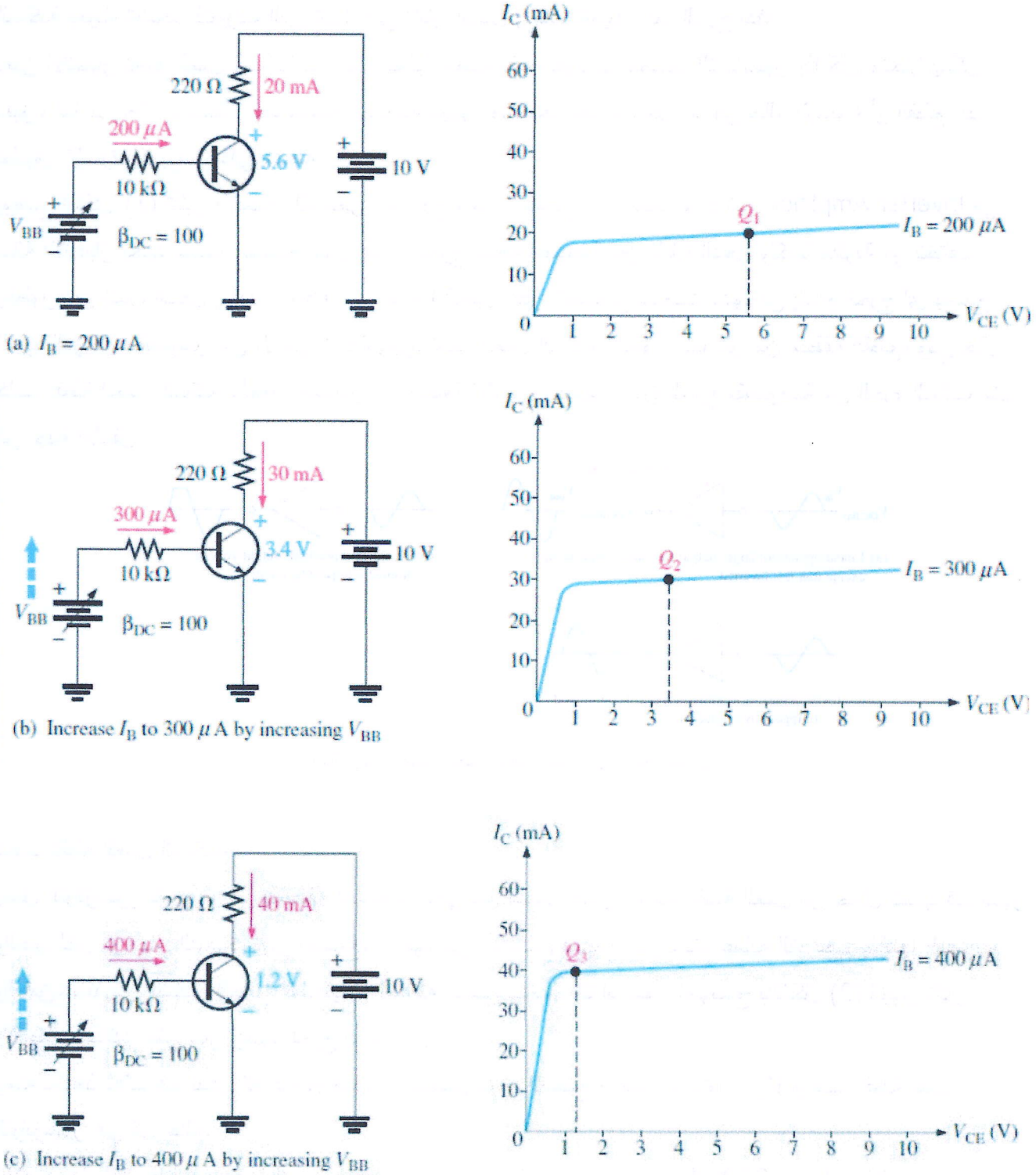
أولاً: تم ضبط قيمة الجهد V_{BB} للحصول على قيمة ل تيار القاعدة تساوي إلى $200\mu A$ وحصلنا بالتالي على المنحني المميز الموضح بالشكل (2a) ومنه $I_C = \beta_{DC} I_B$ حيث $\beta_{DC} = 100$ ومنه $I_C = 20mA$ ومنه:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 10 - (20 * 10^{-3})220 = 5.6V$$

ويوضح الشكل النقطة الساكنة على المنحني البياني بمثابة Q_1 .

وبزيادة قيمة V_{BB} ستزداد قيمة تيار القاعدة ل تصبح $I_B = 300\mu A$ كانت قيمة I_C و V_{CE} $30mA$ و $3.4V$ على الترتيب وسجلت النقطة Q_2 (الشكل 2b).

وبزيادة V_{BB} تسجل قيمة تيار القاعدة إلى $I_B = 400\mu A$ كانت قيمة I_C و V_{CE} $40mA$ و $1.2V$ على الترتيب وسجلت النقطة Q_3 نقطة العمل الساكنة الموافقة لهذه الشروط الشكل (2c).



الشكل (2): دارة الترنزستور لتحديد نقطة العمل ومنحنيات مميزة الخرج للترانزستور من أجل عدة قيم ل I_B

خط الحمل الساكن DC Load Line:

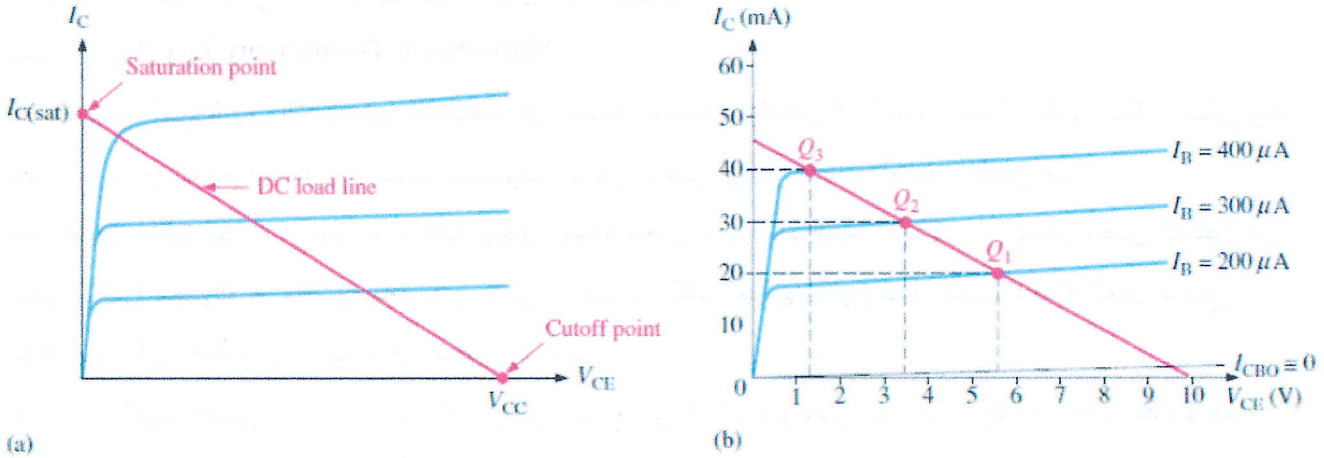
نلاحظ هنا أنه عندما يزداد I_B يزداد I_C و يتناقص V_{CE} وعندما يتناقص I_B ينخفض I_C و يزداد V_{CE}. إذن عند ضبط الجهد V_{BB} إلى الأعلى أو الأدنى تنتقل نقطة العمل الساكنة Quiescent Point على طول خط مستقيم مائل يسمى بخط الحمل الساكن والذي يصل بين جميع نقاط العمل Q إذن يمكننا من خط الحمل يمكننا الحصول على قيم I_B و I_C و V_{CE}.

نلاحظ من الشكل (3) أن خط الحمل الساكن يقطع المحور V_{CE} عند القيمة $10V$ أي عند النقطة الموافقة للمساواة $V_{CC} = V_{CE}$ وهي نقطة القطع للترانزستور. لأن تيارا القاعدة والمجمع معدومين في الحالة المثالية عند هذه النقطة ولكن في الواقع يوجد تيار تسريب صغير عند القطع.

يقطع خط الحمل الساكن I_C في الحالة المثالية عند النقطة 45.5mA وهذا يعني أنها نقطة إشباع الترانزستور، لإن I_C أعظمياً عند هذه النقطة حيث $V_{CE} = 0V$ و $I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$ وتيار $I_{C(sat)}$ أصغر بقليل من 45.5mA ونلاحظ هنا أن تطبيق قانون كيرشوف للجهد على دارة المجمع يعطي العلاقة التالية: $V_{CC} - I_C R_C - V_{CE} = 0$ تمثل هذه المعادلة معادلة خط مستقيم ميله سالب وهي معادلة خط الحمل الساكن الذي يأخذ الشكل $y = mx + b$ ومنه نحصل على النتيجة التالية: $I_C = (-\frac{1}{R_C})V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C}$ حيث $-\frac{1}{R_C}$ يمثل ميل المستقيم.

وتتعين نقطة القطع من أجل $I_C = 0$ ومنه $V_{CE} = V_{CC}$ وتكون إحداثياتها $(V_{CC}, 0)$، ونقطة الإشباع تتعين من أجل $V_{CE} = 0V$ و $I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$ وإحداثياتها $(0, \frac{V_{CC}}{R_C})$

يوضح الشكل (3a) خط الحمل وتعيين نقاط العمل الساكنة عليه من أجل ثلاث قيم ل تيار القاعدة ويمثل الشكل (3b) المنحني البياني ل معادلة خط الحمل للترانزستور ومناطق عمله.

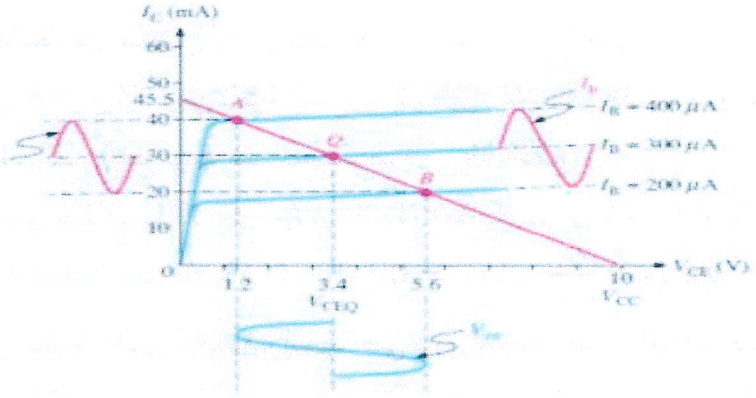


الشكل (3): منحنيات مميزة الخرج وخط الحمل للترانزستور npn في الشكل (1-2)

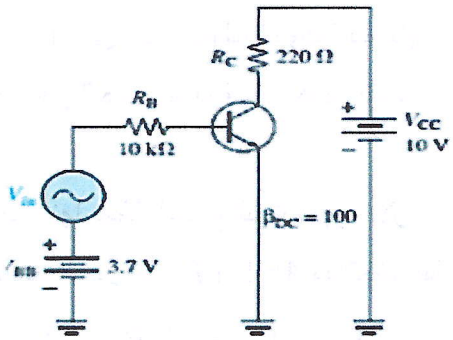
العملية الخطية التي ينجزها الترانزستور:

تسمى المنطقة الواقعة على امتداد خط الحمل الساكن التي تحتوي جميع النقاط الواقعة بين الإشباع والقطع بالمنطقة الخطية لعمل الترانزستور، وكما نعلم أن الترنزستور يعمل في هذه المنطقة ك مضخم وبالتالي فإن جهد الخرج هو نتاج إعادة تشكيل خطي لجهد الدخل في الحالة المثالية.

يوضح الشكل (4a) مثالاً على العملية الخطية للترانزستور لنفرض أننا أضفنا إشارة جيبية إلى الجهد تجعل تيار القاعدة يتغير جيبياً بمقدار $100\mu A$ فوق وتحت نقطة عملها Q الموافقة للقيمة $300\mu A$ وهذا بدوره يجعل تيار المجمع يتغير بمقدار $10mA$ فوق وتحت نقطة عمله الموافقة للقيمة $30mA$ وبنتيجة تغير تيار المجمع يتغير الجهد بين المجمع والباعث بمقدار $2.2V$ فوق وتحت نقطة عمله الموافقة للقيمة $3.4V$ حيث توافق النقطة A الواقعة على خط الحمل القمة الموجبة لجهد الدخل الجيبي وتوافق النقطتين B و Q القمة السالبة والقيمة الصفرية للموجة الجيبية على الترتيب.



الشكل (4a):العملية الخطية للترانزستور



الشكل (4b): دارة الترانزستور

بحساب إحداثيات قيمة نقطة العمل وفق العلاقات للترانزستور الموضح في الشكل (4b) نجد أن

$$I_{BQ} = \frac{3.7 - 0.7}{10k\Omega} = 300\mu A$$

و $I_{CQ} = 30mA$ و $V_{CEQ} = 3.4V$

نستنتج يتم تحديد العمل الصحيح للترانزستور الذي يعطي إشارة دقيقة بين I_C و V_{CE} لتشكيل خط الحمل الساكن وتأخذ نقطة عمل الترانزستور بتقاطع خط الحمل مع المميزات الساكنة.

تشوه شكل الموجة Waveform Distortion:

يقصد بتشوه الموجة بأن الترانزستور المستخدم في عملية التضخيم (التكبير) لا يقوم بعملية التكبير بشكل خطي وهذا يعني أن إشارة الخرج قد تكون محدودة (مقصوصة) من الأعلى أو من الأدنى أو من الاثنين معاً.

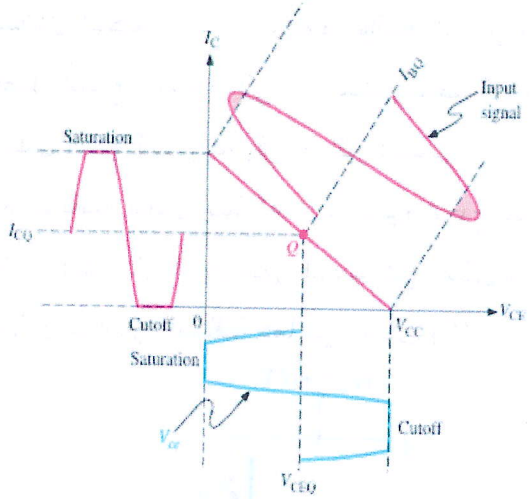
عند تطبيق إشارة دخل بشروط معينة فإنه بمقدور نقطة العمل على خط الحمل الساكن أن يجعل إحدى القمتين في شكل الإشارة محدودة أو مقصوصة وتكون إشارة الدخل في كلتا الحالتين كبيرة جداً بالنسبة لنقطة العمل وتدفع الترانزستور إلى القطع أو الإشباع في جزء دورة الدخل:

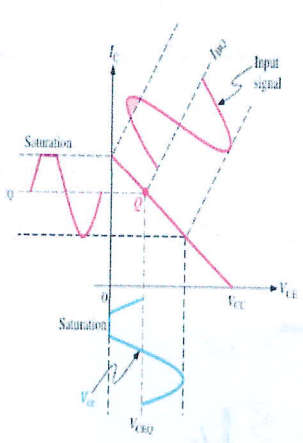
1-عندما تكون القمتين محددوتين فإن الترانزستور يندفع إلى الإشباع والقطع معاً بسبب إشارة الدخل الكبيرة جداً.

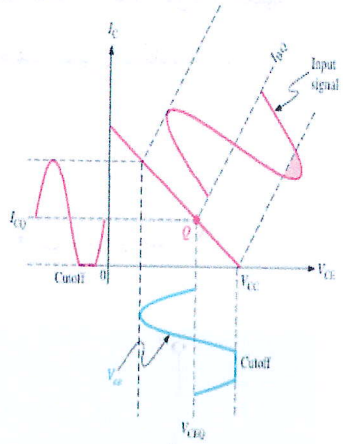
2-عندما تكون القمة الموجبة هي المحدودة فقط فإن الترانزستور يندفع إلى القطع وليس الإشباع.

3-عندما تكون القمة السالبة هي المحدود فقط يندفع الترانزستور إلى منطقة الإشباع.

يوضح الشكل (7) شكل تشوه إشارة الخرج تبعاً ل تغير نقطة العمل على طول خط الحمل الساكن ل ترانزستور من النوع npn.

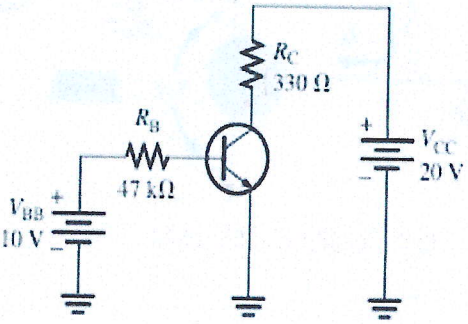






الشكل(7): شكل تشوه إشارة الخرج تبعاً ل تغير نقطة العمل

مثال: عين النقطة Q من أجل ترانزستور مصنوع من السليكون ثم أوجد القيمة العظمى ل تيار القاعدة عندما يقوم الترانزستور بالعملية الخطية علماً أن $\beta_{DC} = 200$



الحل:

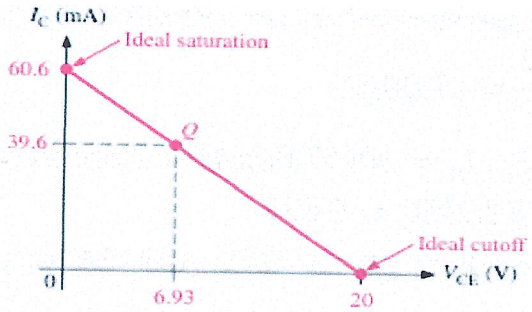
أولاً نحسب $I_B = \frac{V_{BB}-V_{BE}}{R_B} = \frac{10-0.7}{47k\Omega} = 198\mu A$

ومنه $I_C = \beta_{DC} I_B = 39.6\text{mA}$

$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 20 - 13.07 = 6.39V$

ومنه تقع نقطة العمل الساكنة عند القيم التالية:

$Q(6.39,39.6)$



وبما أن $I_{Ccutoff} = 0$ فإننا نحتاج إلى I_{Csat} لتعيين مقدار التغيير الذي يطرأ على تيار المجمع ويبقى محافظاً على العملية الخطية للترانزستور.

$$I_{Csat} = \frac{V_{CC}}{R_C} = 60.6mA$$

نستنتج مما سبق:

تيار المجمع يمكن أن يزداد قبل بلوغ حالة الإشباع بكمية تساوي في الحالة المثالية بمقدار $I_{Csat} - I_{CQ} = 21mA$ ويمكن أن يتناقص بمقدار $39.6mA$ قبل بلوغ القطع وتبلغ قيم القص من الإشارة $21mA$ لإن نقطة العمل أقرب إلى الإشباع ويحسب التغير الأعظمي الذي يطرأ على تيار القاعدة من العلاقة:

$$I_{b\,peak} = \frac{I_{c\,peak} = 21}{\beta_{DC}} = 105\mu A$$

التحليل المستمر والدارة المكافئة المستمرة:

من أجل التحليل المستمر لدارة الترنزستور أي إيجاد إحداثيات نقطة العمل الساكنة يجب رسم الدارة المكافئة المستمرة ويتم ذلك باتباع الخطوات التالية:

نقوم بقصر منابع الجهد المتناوبة AC.

نستبدل المكثفات بدارات مفتوحة والملفات بدارة مقصورة وحساب المقاومة المكافئة للمقاومات حسب نوع وصلها.

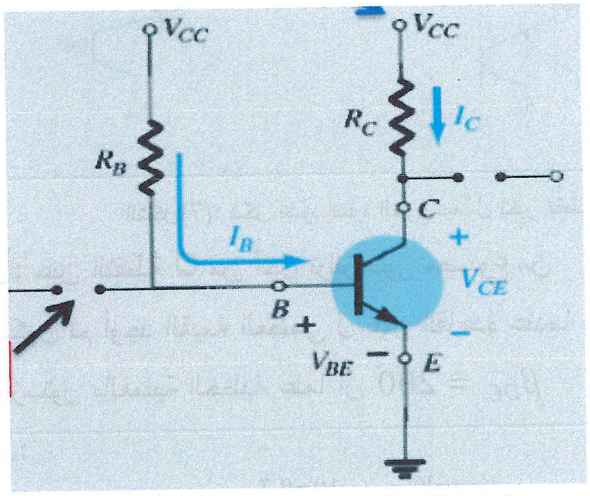
فصل المنبع المستمر إلى عدة منابع منفصلة بغرض تحليل الدارة وتحديد هبوطات الجهد على المقاومات.

تحليل الدارة المدروسة وفق طرائق التحليل.

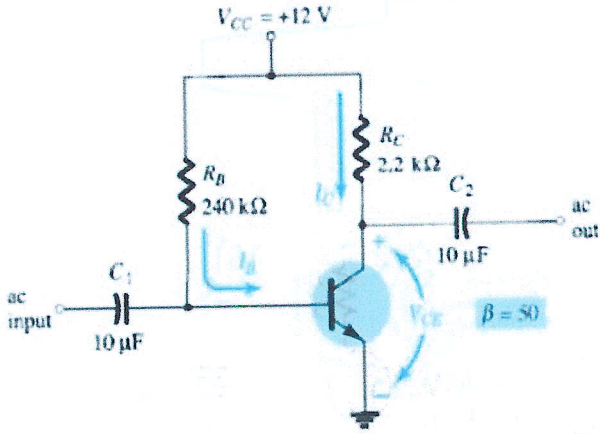
تحديد نقطة العمل الساكنة ورسم مميزة الخرج للترانزستور المدروس.

مثال: لتكن دارة الترانزستور المبينة في الشكل (5) والمطلوب حساب إحداثيات نقطة العمل للترانزستور؟

أولاً نرسم الدارة المكافئة كما في الشكل (6).



الشكل (6): الدارة المكافئة للترانزستور المدروس



الشكل (5): دارة ترانزستور npn

بتطبيق قانون كيرشوف على دارة دخل الترانزستور لحساب I_B نحصل على :

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 - 0.7}{240k\Omega} = 47.08\mu A$$

ومنه $I_{CQ} = \beta_{DC} I_B = 50(47.08\mu A) = 2.35\text{mA}$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_C R_C = 12 - 2.35(2.2k\Omega) = 6.83V$$

ومنه تقع نقطة العمل الساكنة عند القيم التالية: $Q(6.83V, 2.35mA)$

دارات انحياز الترانزستور Transistor Bias Circuits:

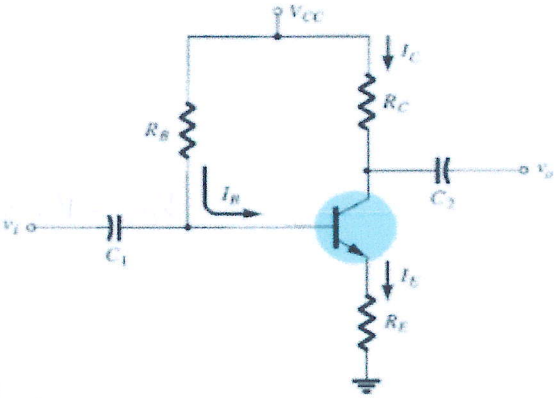
إن التطبيقات الخطية للترانزستور تتطلب توفير ظروف عمل مناسبة للترانزستور ليعمل في منطقته الخطية أي تعيين صحيح ودقيق ل نقطة العمل ويتم ذلك باستخدام عمليات تحييز مستمرة صحيحة من خلال انحياز وصلة باعث-قاعدة انحياز أمامي ووصلة مجمع-قاعدة انحياز عكسي ويوجد عدة طرائق لانحياز الترانزستور ومنها:

دارة انحياز الترانزستور ذو الباعث المشترك:

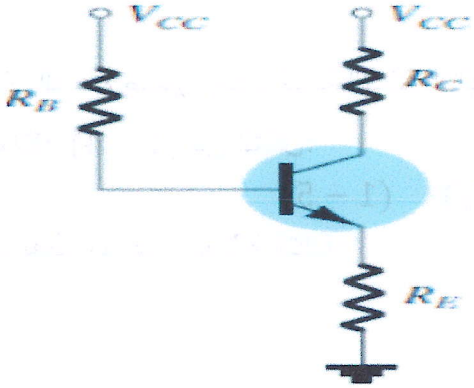
في دارة الباعث المشترك يتم تطبيق إشارة الدخل بين القاعدة والباعث وإشارة الخرج بين المجمع والباعث

يتم تحييز الترانزستور بطريقة انحياز الباعث من خلال المقاومة المربوطة مع الباعث R_E بالإضافة لمقاومة القاعدة R_B ومقاومة المجمع R_C والتغذية المستمرة V_{CC} كمصدر انحياز مستمر وحيد.

لتحليل دارة الباعث المشترك الموضح في الشكل (8) أولاً نرسم الدارة المكافئة كما هو موضح في الشكل (9)



الشكل (8): دارة الباعث المشترك



الشكل(9): الدارة المكافئة ل دارة الباعث المشترك

تحليل دارة انحياز الباعث المشترك:

بتطبيق كيرشوف للجهد على دارة دخل الترانزستور الموضحة في الشكل (10) نجد:

$$V_{CC} - I_B R_B - I_E R_E - V_{BE} = 0 \quad (1-1)$$

ونعلم أن $I_E = I_C + I_B$ و $I_C = \beta_{DC} I_B$ نعوض قيمة I_C في العلاقة I_E فتصبح بالشكل:

$$I_E = I_C + I_B = (\beta_{DC} + 1) I_B \quad (1-2)$$

وبالتعويض في المعادلة (1-1) نجد:

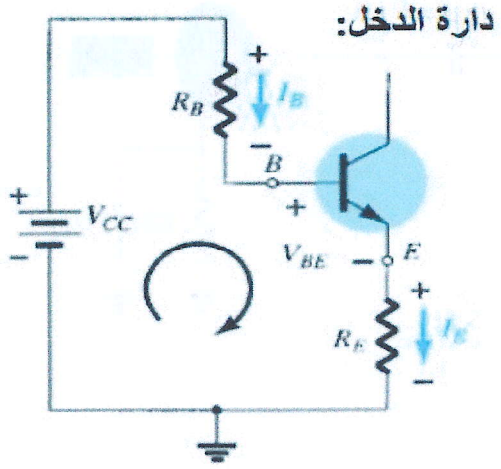
$$V_{CC} - I_B R_B - (\beta_{DC} + 1) I_B R_E - V_{BE} = 0$$
$$V_{CC} - V_{BE} - (R_B + (\beta_{DC} + 1) R_E) I_B = 0$$

ومنه تصبح علاقة تيار القاعدة بالشكل:

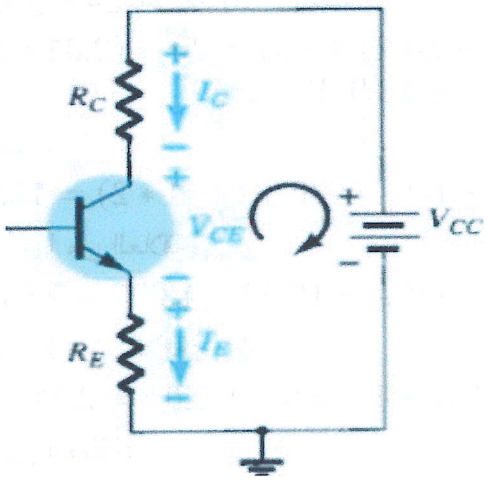
$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta_{DC} + 1) R_E} \quad (1-3)$$

نسمي المقدار $(\beta_{DC} + 1) R_E$ ب R_i وتؤول العلاقة (1-3) إلى الشكل:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + R_i}$$



الشكل (10): دارة الدخل للترانزستور ذو الباعث المشترك



الشكل (11): دارة الخرج للترانزستور ذو الباعث المشترك

وبتطبيق كيرشوف للجهد على دارة خرج الترانزستور الموضحة في الشكل (11) نجد:

$$I_E R_E + V_{CE} + I_C R_C - V_{CC} = 0 \quad (1-4)$$

وبما أن تيار القاعدة صغير يمكننا كتابة العلاقة التالية $I_E \cong I_C$

وتصبح العلاقة $(4-1)$ من الشكل:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \quad (1-5)$$

يعطى جهد نقطة الباعث بالعلاقة التالية:

$$V_E = I_E R_E$$

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

ومنه جهد نقطة المجمع:

$$V_C = V_{CE} + V_E = V_{CC} - I_C R_C \quad (1-6)$$

ويعطى جهد نقطة القاعدة بالعلاقة التالية:

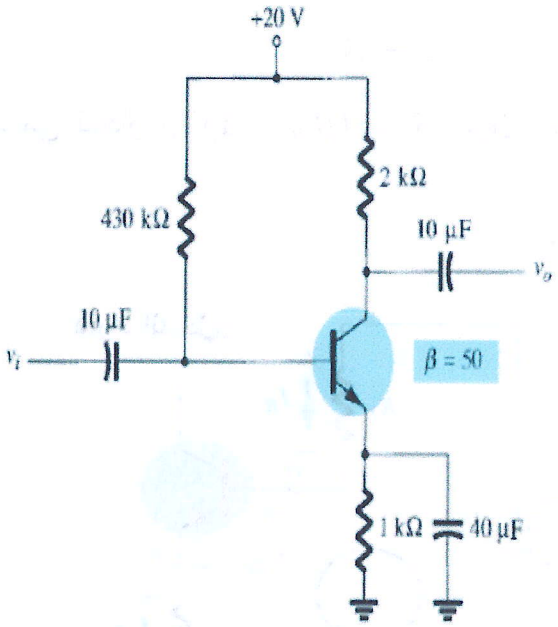
$$V_B = V_{CC} - I_B R_B$$

$$V_B = V_{BE} + V_E \quad (1-7)$$

مثال: لتكن دارة الترانزستور ذو الباعث المشترك الموضحة بالشكل المجاور والمطلوب:

أوجد قيمة كل من جهد نقطة المجمع وجهد نقطة الباعث وجهد نقطة القاعدة وجهد المجمع بالنسبة للقاعدة.

الحل : أولاً نقوم بحساب كل من تيار القاعدة وفق العلاقة $(3-1)$ و تيار المجمع من علاقة الربح بالتيار.



من $(3-1)$ نجد أن

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta_{DC} + 1)R_E}$$

$$= \frac{20-0.7}{430k\Omega + (51*1000)} = \frac{19.3}{481k\Omega} = 40.1\mu A$$

$$I_C = \beta_{DC} I_B = 50 * 40.1\mu A \cong 2.01mA$$

وبحساب V_{CE} من العلاقة $(5-1)$ نجد:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 20 - (2.01 * 3\ k\Omega)$$
$$= 13.97V$$

ومنه نحسب V_C :

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = 20 - (2.01 * 2) = 15.98V$$

وتحسب V_E من العلاقة:

$$V_E = V_C - V_{CE} = 15.98 - 13.97 = 2.01V$$

وتحسب V_B من العلاقة:

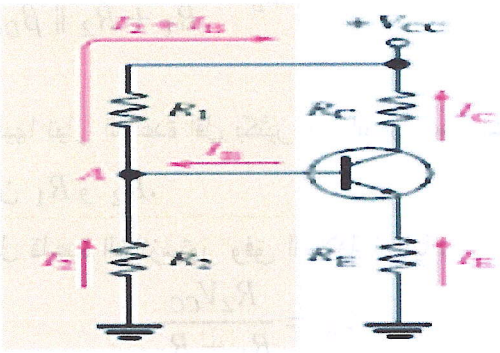
$$V_B = V_{BE} + V_E = 0.7 + 2.01 = 2.71\ V$$

و V_{BC} من العلاقة:

$$V_{BC} = V_B - V_C = -13.27V$$

الانحياز باستخدام مقسم جهد Voltage-Divider Bias:

تعتبر دارة التحييز باستخدام مقسم جهد من أهم دارات التحييز استعمالاً في التطبيقات العملية بسبب استقرارية العمل العالية. نستخدم V_{CC} كمصدر انحياز في تحليل دارة الترانزستور بمقسم جهد كما هو موضح في الشكل (12) حيث يمكننا الحصول على جهد الانحياز المستمر لقاعدة الترانزستور من مقسم الجهد- مقاومة الذي يتألف من المقاومتين R_1 و R_2 و V_{CC} هو جهد التغذية المستمرة لمجمع الترانزستور ويوجد مساران للتيار بين النقطة A والأرضي. المسار الأول يكون عبر المقاومة R_2 والأخر عبر وصلة القاعدة-باعث والمقاومة R_E التي تعمل على تحسين استقرارية عمل الدارة.



الشكل (12): دارة الانحياز بوساطة مقسم الجهد

سندرس حالتين ل تيار القاعدة:

الحالة الأولى: وفي حالة كانت قيمة I_B صغيرة مقارنة مع التيار المار مع R_2 بحيث لا يمكن إهمالها فإننا سنأخذ بالحسبان مقاومة الدخل الساكنة $R_{IN(base)}$ التي تبرز من قاعدة الترانزستور إلى الأرضي وتكون موصولة على التفرع مع R_2 كما هو موضح بالشكل (13).

وتعطى علاقة مقاومة الدخل الساكنة عند قاعدة الترانزستور فهنا يطبق جهد الدخل بين القاعدة والأرضي وبتطبيق قانون أوم نجد:

$$R_{IN} = \frac{V_{IN}}{I_{IN}}$$

وتعطى علاقة الجهد على دارة الباعث-قاعدة بالعلاقة:

$$V_{IN} = V_{BE} + I_E R_E$$

وبفرض $V_{BE} \leq I_E R_E$ وتؤول العلاقة إلى الشكل :

$$V_{IN} \cong I_E R_E$$

وبما أن $I_E \cong I_C = \beta_{DC} I_B$

ومنه

$$V_{IN} \cong I_E R_E = \beta_{DC} I_B R_E$$

وتيار الدخل للترانزستور يعبر عنه بتيار القاعدة ومنه يمكننا كتابة العلاقة المعبرة عن مقاومة الدخل للترانزستور بالشكل:

$$R_{IN(Base)} = \frac{V_{IN}}{I_{IN}} \cong \frac{\beta_{DC} I_B R_E}{I_B} = \beta_{DC} R_E \qquad (1-9)$$

تحليل دارة الانحياز بوساطة مقسم الجهد في حال وجود مقاومة الدخل:

نبدأ عملية التحليل بتعيين الجهد عند قاعدة الترانزستور بتطبيق علاقة مقسم الجهد

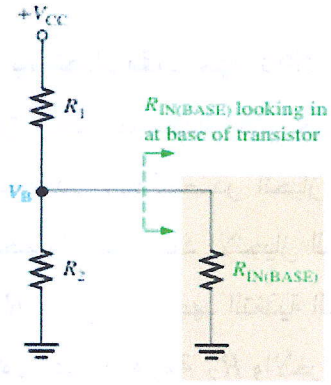
$$R_{IN} = \beta_{DC} R_E$$

والمقاومة الكلية المتشكلة بين القاعدة والأرضي تساوي إلى:

$$R_2 \parallel \beta_{DC} R_E$$

وبالتالي تصبح علاقة الجهد عند مدخل قاعدة الترانزستور بالشكل:

$$V_B = \frac{(R_2 \parallel \beta_{DC} R_E) V_{CC}}{R_1 + R_2 \parallel \beta_{DC} R_E} \qquad (1-10)$$



الشكل(13): دارة مقسم الجهد بوجود مقاومة الدخل

الحالة الثانية: في الحالة التي يكون فيها تيار القاعدة أقل بكثير من التيار المار من R_2 فإن تيار الانحياز يمكن أن يبدو كمقسم جهد مؤلف من المقاومتين R_1 و R_2.

وتكون قيمة الجهد المطبق على مدخل قاعدة الترانزستور وفق العلاقة التالية:

$$V_B = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2}$$

وتعين قيمة جهد الباعث وفق العلاقة:

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

ومنه يعطى تيار الباعث بالعلاقة:

$$I_C = I_E = \frac{V_E}{R_E}$$

ويعطى الجهد V_{CE} بالعلاقة:

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

وتطبق هذه الطريقة فقط عند تحقق الشرط التالي:

$$\beta R_E \geq 10 R_2$$

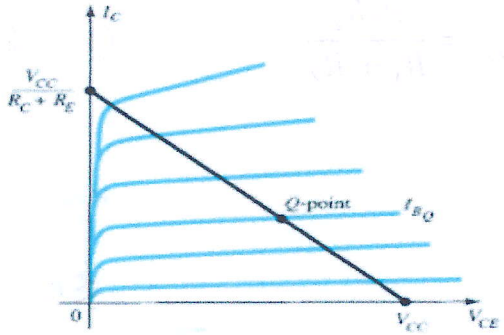
وتحدد نقطة عمل الترانزستور وفق مايلي: $I_{CQ} \cong I_E$

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

ويرسم خط الحمل وفق مايلي:

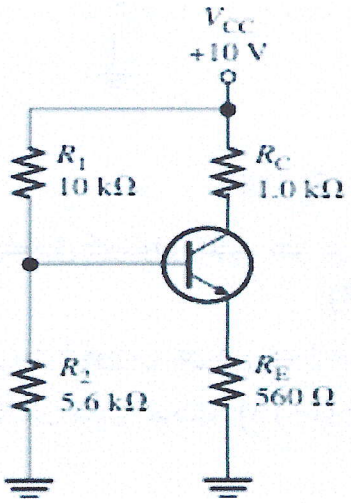
حيث تمثل $I_{C(sat)}$ نقطة تقاطع خط الحمل مع المحور I_C من أجل $V_{CE} = 0$

و نقطة القطع $V_{CE(cutoff)} = V_{CC}$ ويرسم خط الحمل وتحدد عليه نقطة العمل كما في الشكل (14).



الشكل (14): خط الحمل للترانزستور المدروس

مثال: عين قيمة كل من V_{CE} و I_C في دارة الترانزستور المنحاز بوساطة مقسم الجهد الموضح بالشكل المجاور علماً أن $\beta_{DC} = 100$



الحل: لنوجد أولاً مقاومة الدخل الساكنة عند القاعدة لنرى إمكانية إهمالها من عدمها.

$$R_{IN(Base)} = \beta_{DC} R_E = 100(560) = 56k\Omega$$

ومن المعلوم أنه إذا وجدت مقاومتان موصولتان فيما بينهما على التوازي وإحداهما أكبر من الأخرى بعشر مرات على الأقل فإن المقاومة الكلية تساوي إلى القيمة الأصغر تقريباً أي $R_{IN(Base)} = 10R_2$ وبالتالي نهمل $R_{IN(Base)}$

وتصبح قيمة الجهد عند قاعدة الترانزستور بالشكل:

$$V_B = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{5.6k\Omega}{15.6k\Omega} 10 = 3.59V$$

ومنه جهد الباعث يحسب بالشكل:

$$V_E = V_B - V_{BE} = 3.59 - 0.7 = 2.89V$$

ويعطى التيار بالشكل:

$$I_E = I_C = \frac{V_E}{R_E} = \frac{2.89}{560\Omega} = 5.16mA$$

وبالتالي يساوي الجهد بين الباعث والقاعدة إلى:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 10 - 5.16(1.56) = 1.95V$$

تحليل دارة الانحياز باستخدام مقسم الجهد باستبدال دارة مقسم الجهد بدارة ثيفنن المكافئة :

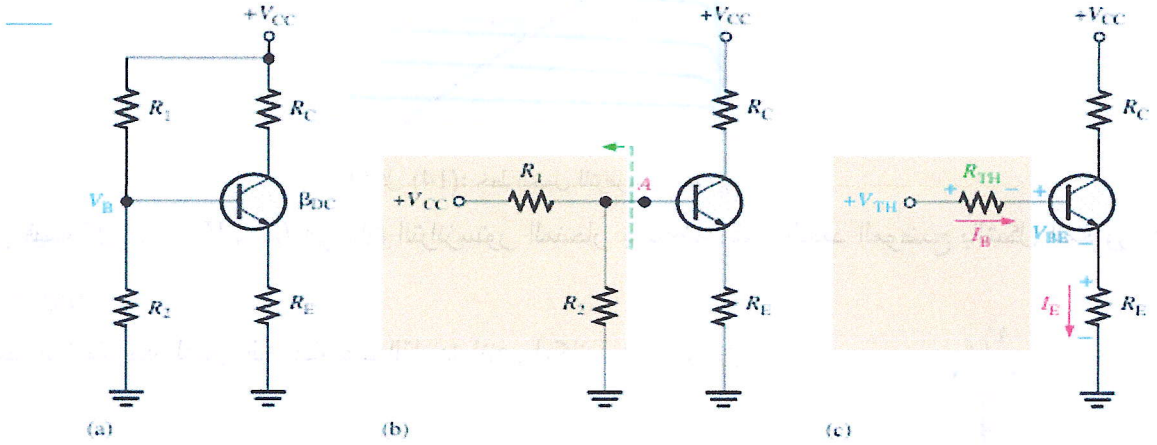
تستخدم دارة الانحياز بمقسم جهد الممثلة بطريقة ثيفنن لتقييم استقرارية الدارة.

لتكن لدينا الدارة الموضحة في الشكل (15a) بتطبيق نظرية ثيفنن على الدارة الواقعة على يسار القاعدة حيث يستبدل مصدر التغذية V_{CC} بدارة مقصورة إلى الأرضي ويفصل الترانزستور من الدارة كما هو موضح بالشكل (15b) التي تمثل مكافئ ثيفنن لدارة الانحياز (15a) وعندها يكون الجهد عند A بالنسبة للأرضي هو جهد ثيفنن ويساوي إلى:

$$V_{Th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \qquad (1-11)$$

ومقاومة ثيفنن تساوي إلى:

$$R_{Th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \qquad (1-12)$$



الشكل (15) مكافئ دارة ثيفنن لدارة الانحياز الموصولة إلى قاعدة الترانزستور.

بتطبيق كيرشوف للجهد على دارة الباعث–قاعدة المكافئة في الشكل (15c) نحصل على العلاقة (13–1):

$$V_{Th} - V_{R_{Th}} - V_{BE} - V_{R_E} = 0 \qquad (1-13)$$

وبعد التعويض عن قيم جهود المقاومات وفق قانون أوم وحل المعادلة الناتجة بالنسبة لجهد ثيفنن للحصول على تيار الدخل تؤول المعادلة (13–1) إلى الشكل:

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

$$I_C = \beta_{DC} I_B \quad \text{و} \quad I_E = I_C + I_B$$

وبالتعويض عن تيار الباعث بالعلاقة $I_E = (1+\beta_{DC})I_B$ يصبح جهد ثيفنن من الشكل:

$$V_{Th} = (R_{Th} + (1+\beta_{DC})R_E)I_B + V_{BE} \qquad (1-14)$$

وتصبح علاقة تيار القاعدة من الشكل:

$$I_B = \frac{V_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (1+\beta_{DC})R_E} \qquad (1-15)$$

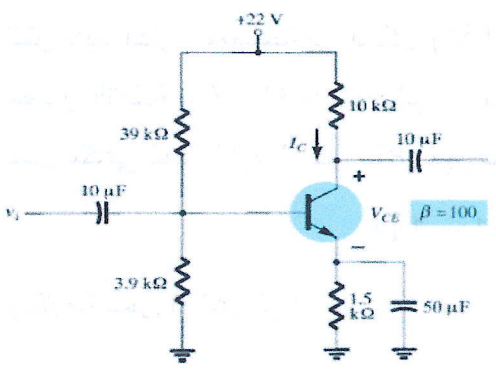
وتيار المجمع يحسب من علاقة الربح بالتيار β_{DC}

وبتطبيق كيرشوف على دارة الخرج فنجد:

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

مثال: لتكن لدينا الدارة المبينة في الشكل المجاور والمطلوب:

إيجاد I_C و V_{CE} باستخدام مكافئ ثيفنن.



الحل: أولاً نحسب مقاومة ثيفنن من العلاقة (12–1) نجد:

$$R_{Th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{39k\Omega 3.9k\Omega}{39 + 3.9} = 3.55k\Omega$$

وجهد ثيفنن من العلاقة (13–1)

$$V_{Th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{3.9k\Omega}{3.9k\Omega + 39k\Omega} 22 = 2V$$

وتحسب I_B من العلاقة (15–1) :

$$I_B = 8.38\mu A$$

ومنه $I_C = \beta_{DC} I_B = 100 * 8.38\mu A = 0.838mA$

وتحسب

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 22 - 0.838mA(10 + 1.5)k\Omega = 12.34V$$

دارة انحياز القاعدة Base Bias Circuit:

تطبق دارة الانحياز هذه في دارات تشغيل المرحلات Rely.

تحلل دارة الانحياز القاعدة الموضحة بالشكل (16) كما يلي:

بتطبيق كيرشوف للجهد على دارة القاعدة نحصل على المعادلة التالية:

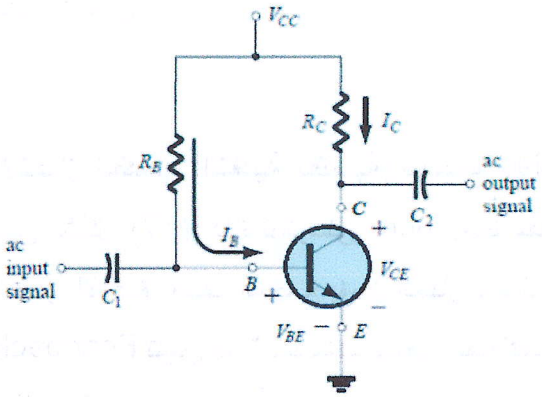
$$V_{CC} - V_{BE} - V_{R_B} = 0 \qquad (1-17)$$

بالتعويض عن V_{R_B} بقيمتها وفق قانون أوم $I_B R_B$ تؤول المعادلة (17-1) إلى الشكل:

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

ومنه تيار القاعدة اللازم لانحياز الترانزستور أمامياً عند مدخل الدارة:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$



الشكل (16): دارة انحياز القاعدة

وبتطبيق كيرشوف للجهد على دارة المجمع نحصل على المعادلة التالية : $V_{CC} - V_{CE} - I_C R_C = 0$

وتمثل معادلة خط الحمل الساكن لانحياز القاعدة.

وتعطى علاقة الجهد V_{CE} بالعلاقة : $V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$

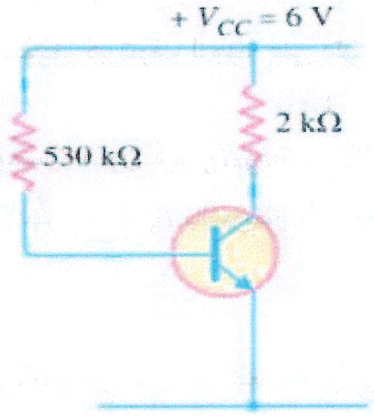
وتعطى علاقة تيار المجمع بعلاقة الربح بالتيار

$$I_C = \beta_{DC} I_B$$

$$I_C = \beta_{DC}\left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}\right)$$

مثال: لتكن دارة الترانزستور المصنوع من السليكون الموضحة في الشكل المجاور والمطلوب:

ارسم خط الحمل الساكن للدارة إذا علمت أن $\beta_{DC} = 100$



الحل: أولاً نكتب معادلة خط الحمل $V_{CC} - V_{CE} - I_C R_C = 0$

نحدد نقطة الإشباع ونقطة القطع

نقطة القطع إحداثياتها $(V_{CC}, 0)$ والتي تطابق (6,0)

نقطة الإشباع إحداثياتها $(0, I_{C(sat)})$ والتي تطابق (0,3)

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{6}{2k\Omega} = 3mA$$

لحساب إحداثيات نقطة العمل نحدد كل من I_C و V_{CE} ويتم ذلك

وفق مايأتي:

نحدد تيار القاعدة من العلاقة:

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{6 - 0.6}{530k\Omega} = 10\mu A$$

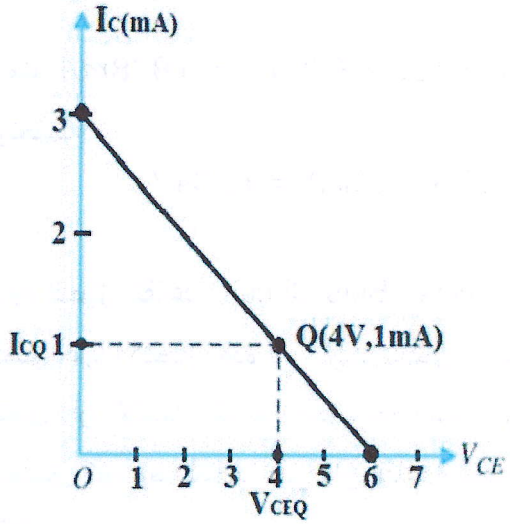
$$I_{CQ} = \beta_{DC} I_B = 100(10.19\mu A) = 1mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C = 6 - 2 = 4V$$

إحداثيات نقطة العمل $(4V, 1\ mA)$

وبرسم معادلة خط الحمل الساكن كما في الشكل المجاور

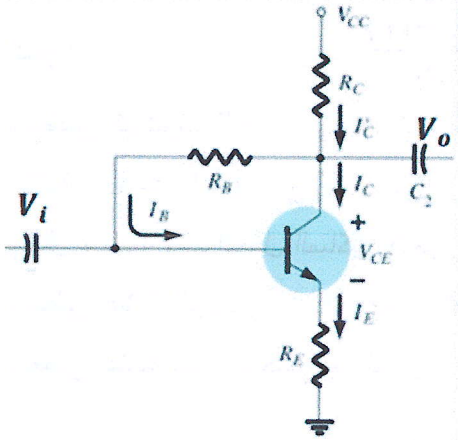
نلاحظ أن نقطة العمل أقرب للقطع وبالتالي لا يمكن استخدامها في تكبير الإشارة.



الانحياز العكسي (التغذية العكسية) للمجمع Collector–Feedback Bias:

يبين الشكل (17): دارة ترانزستور npn ترتبط مقاومة قاعدته R_B بالمجمع بدلاً من ارتباطها بالمنبع V_{CC} كما في دارة انحياز القاعدة، فجهد المجمع يؤمن انحياز وصلة القاعدة–باعث والتغذية العكسية السالبة The Negative Feedback تؤمن فعلاً تعويضياً يسعى للمحافظة على ثبات أواستقرارية النقطة Q.

فإذا حاول تيار المجمع أن يزداد تهبط كمية أكبر من الجهد بين طرفي مقاومة المجمع مما يجعل جهد المجمع V_C يتناقص وعندما يتناقص ينخفض الجهد بين طرفي مقاومة القاعدة R_B وبالتالي سيخفض تيار القاعدة I_B والذي بدوره يؤدي إلى انخفاض قيمة I_C الذي يقلل بدوره هبوط الجهد بين طرفي مقاومة المجمع R_C وهذا ما يعدل بالضبط التناقص الذي حصل في جهد المجمع V_C. وتكمن أهميتها بالمحافظة على استقرارية نقطة العمل للترانزستور.



الشكل (17): دارة الانحياز بوجود التغذية العكسية

تحليل دارة التغذية العكسية لمجمع الترانزستور:

بتطبيق كيرشوف للجهد على دارة الدخل الموضحة بالشكل (18) نجد:

$$V_{CC} - V_{BE} - V_{R_E} - V_{R_B} - V_{R_C} = 0 \qquad (1-13)$$

وحسب قانون أوم $V_{R_B} = I_B R_B$ و $V_{R_E} = I_E R_E$

ولدينا $I_E \cong I_C$ بالتعويض في العلاقة (13–1) نجد:

$$V_{CC} - V_{BE} - I_E R_E - I_B R_B - I_C R_C = 0$$

وبالتعويض عن I_E بالعلاقة $I_E \cong I_C = \beta_{DC} I_B$ تؤول المعادلة الأخيرة إلى الشكل:

$$V_{CC} - V_{BE} - \beta_{DC} I_B (R_E + R_C) - I_B R_B = 0 \qquad (1-14)$$

يعبر عن علاقة تيار القاعدة بالشكل:

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

وتحسب I_C بالعلاقة $I_C = \beta_{DC} I_B$

$$I_C = \beta_{DC} \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta_{DC}(R_E + R_C)}$$

وبالإصلاح تؤول علاقة تيار المجمع إلى الشكل:

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta_{DC}} + (R_E + R_C)} \qquad (1-15)$$

وبتطبيق كيرشوف للجهود على دارة الخرج الموضحة بالشكل (19) نجد:

$$I_E R_E + V_{CE} + I'_C R_C - V_{CC} = 0$$

وبما ن $I'_C \cong I_C$ و $I_E \cong I_C = \beta_{DC} I_B$ بالتعويض نجد:

$$I_C (R_E + R_C) + V_{CE} - V_{CC} = 0$$

وبالإصلاح نجد علاقة الجهد بين طرفي وصلة باعث-مجمع:

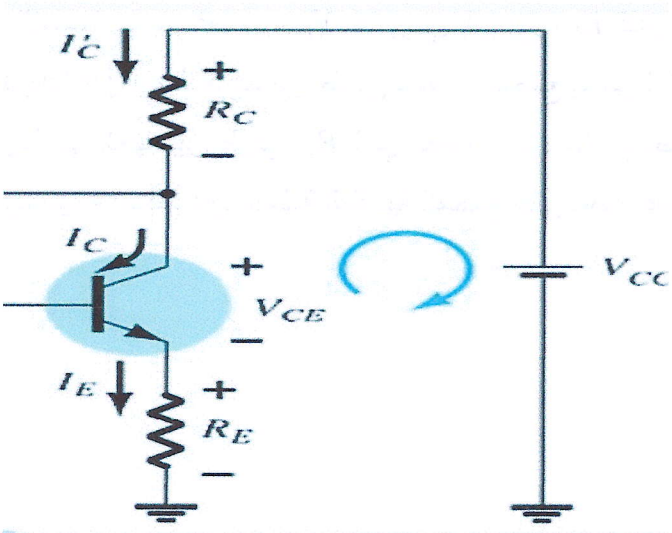
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_E + R_C)$$

وتمثل معادلة خط الحمل الساكن للترانزستور في حالة التغذية العكسية

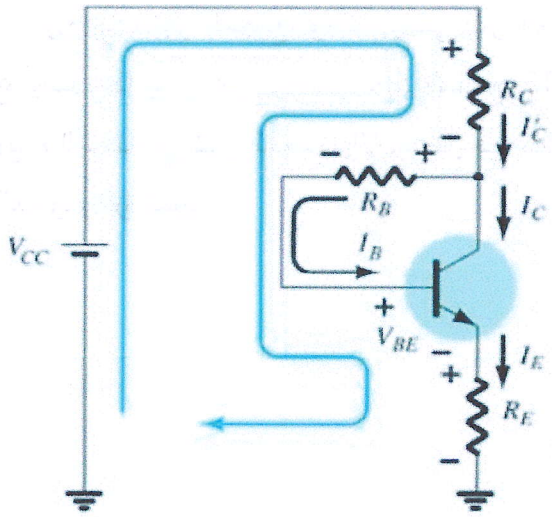
ومنها تيار الإشباع يعطى بالعلاقة: $I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_E + R_C}$

ملاحظة: وفي حال الباعث كان مؤرض يعوض عن R_E بالقيمة صفر في العلاقات السابقة.

بعض المراجع تعتبر $R_B = R_F$ وتسمى بمقاومة التغذية العكسية.



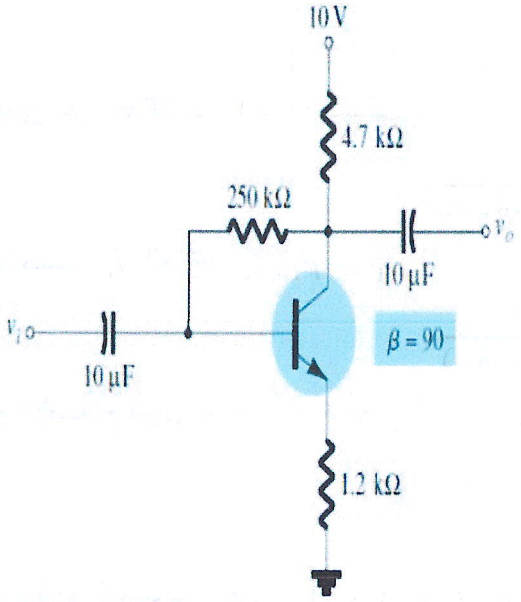
الشكل (19): دارة الخرج



الشكل (18): دارة الدخل

مثال : لتكن دارة الترانزستور npn المنحازة بفعل التغذية العكسية الموضحة في الشكل المجاور والمطلوب :

حساب إحداثيات نقطة العمل لهذه الدارة.



أولاً نحسب I_B وفق العلاقة لحساب تيار المجمع

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

$$I_B = \frac{10 - 0.7}{250k\Omega + 90(1.2k\Omega + 4.7k\Omega)} = 11.91\mu A$$

ومنه I_{CQ}

$$I_{CQ} = \beta_{DC} I_{BQ} = 90(11.91\mu A) = 1.07mA$$

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

$$V_{CEQ} = 10 - 1.07((1.2k\Omega + 4.7k\Omega) = 3.69V$$

ومنه إحداثيات نقطة العمل توافق القيم

$$Q(3.69V, 1.07mA)$$

وفي حال طلب رسم خط الحمل انطلاقاً من معادلته يرسم بعد

تحديد نقطة الإشباع ونقطة القطع كما درس سابقاً

استقرارية نقطة العمل لدارة الانحياز:

كما ذكرنا سابقاً تكمن أهمية التغذية العكسية السالبة بالمحافظة على استقرارية نقطة العمل للترانزستور، لذا يجب المحافظة على ثبات هذه النقطة.

حيث تشير المعادلة (15-1) إلى أن تيار المجمع يتعلق إلى حداً ما بكلٍ من V_{BE} و β_{DC} وبالتالي يمكن تخفيض هذه التابعية بجعل مقاومة المجمع أكبر بكثير من $\frac{R_B}{\beta_{DC}}$ وكذلك $V_{CC} \gg V_{BE}$

ووجدنا سابقاً أن β_{DC} يتناسب طرداً مع درجة الحرارة و V_{BE} يتناسب عكساً معها.

في دارة التغذية العكسية للمجمع بارتفاع درجة الحرارة تزداد قيمة β_{DC} وهذا يؤدي إلى زيادة تيار المجمع I_C ، بالإضافة تسبب نقصان V_{BE} مما يؤدي إلى زيادة I_B الذي يسبب بدوره زيادة تيار المجمع، وحالما يسعى تيار المجمع للزيادة فإن هبوط الجهد بين طرفي مقاومة المجمع يسعى للارتفاع أيضاً وهذا يؤدي إلى انخفاض جهد المجمع V_C وبالتالي الجهد بين طرفي R_B الذي يخفض بدوره I_B ويعوض الزيادة الممكنة في تيار المجمع والانخفاض في V_C وبالنتيجة تحافظ دارة التغذية العكسية للمجمع على نقطة عمل ساكنة ومستقرة نسبياً.

مكتبة A to Z