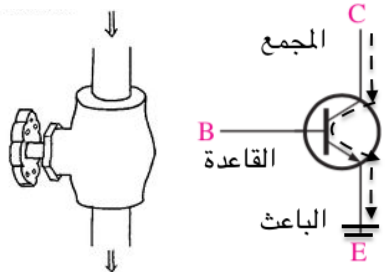
الفصل الأول

1.1 الترانزستور

الترانزستور هو اداة من مادة شبه موصلة يمكن ان تكون موصلة او عازلة للتيار في نفس الوقت. يعمل الترانزستور كمفتاح الكتروني للتحكم في امرار او اغلاق التيار المار من خلاله وكذلك كأداة فعالة لتكبير قيمة الإشارة الالكترونية او الصوتية الداخلة على دائرته. يعتبر الترانزستور حجر الأساس في بناء معظم الأجهزة الالكترونية الحديثة المستخدمة في وقتنا الحاضر.

يتألف الترانزستور كما هو موضح بالشكل (١-١) من ثلاث أطراف رئيسة (الباعث، القاعدة، المجمع). الفكرة الأساسية وراء عمل الترانزستور هي أنه يتيح بالتحكم في تدفق التيار الكهربائي المار من خلاله عبر قناة او مسار واحدة (من المجمع الى الباعث) عن طريق تغيير الشدة في تيار صغير يتدفق عبر قناة ثانية (طرف القاعدة). بمعنى اخر ان تيار صغير يتدفق بين القاعدة والباعث بمقداره التحكم في تدفق تيار كبير بين المجمع والباعث.

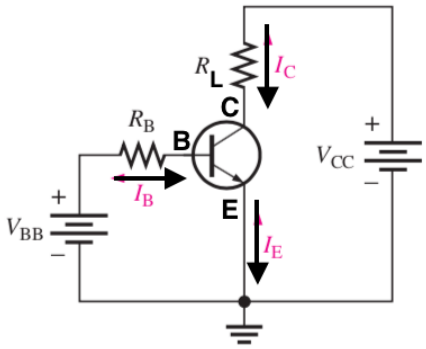


شكل (١-١)

2.1 مبدأ عمل الترانزستور

لفهم عمل الترانزستور بشكل أفضل نتصور ان هناك مجرى من الماء يتدفق في اتجاه واحد من المجمع الي الباعث ولكن إمكانية وصل الماء الى الباعث يتحكم بها طرف القاعدة. أي يمكن القول ان طرف القاعدة عبارة عن بوابة بحيث إذا كانت هذه البوابة مغلقة فلا يمكن للماء الوصل الى طرف الباعث اما إذا كانت البوابة مفتوحة بشكل قليل فان الماء سوف يصل الى الباعث بمقدار فتحة البوابة واما إذا تم فتح البوابة بشكل تام وكلي فان جميع الماء سوف يصل الى الباعث ولن يتدفق أكثر من ذلك. لهذا فان مقدار التيار الكهربائي المار في طرف القاعدة يتحكم بمقدار التيار المار بين المجمع والباعث مما يجعل الترانزستور يعمل كمفتاح كهربائي او مقاومة متغيرة.

يجب ان نتذكر دائما ان الجهد عند طرفي القاعدة يجب ان يكون أكبر من جهد الباعث (أي يجب ان يكون V 0.7 او أكبر) من اجل ان يمر تيار كهربائي في الترانزستور وبعدها يمكننا القول ان الترانزستور بدأ بالعمل. ان الترانزستور في هذه الحالة يعمل تماما كعمل مقاومة متغيرة مربوطة بين طرفي المجمع والباعث. ان ضخ تيار قاعدة I_B قليل يؤدي الى توليد تيار مجمع I_C قليل وبالتالي تزداد مقاومة الترانزستور والعكس صحيح إذا تم زيادة تيار القاعدة I_B. اما إذا كانت قيمة I_B تساوي صفر فمعناه انه لا يوجد تيار مجمع وبالتالي فان مقاومة الترانزستور ستكون عالية جدا وإذا كانت قيمة I_B عالية جدا فان المقاومة على طرفي الترانزستور ستكون صفر او مقاربة للصفر أوم.

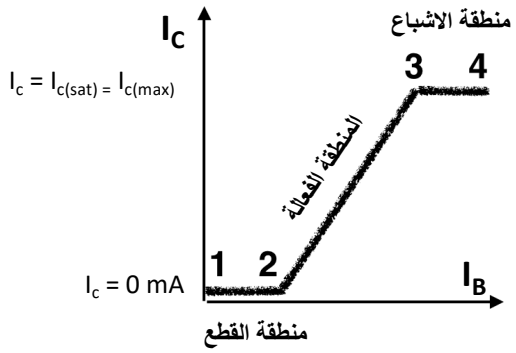


شكل (١-٢)

وبالنظر الى دائرة الترانزستور المربوط بهيئة NPN والموضحة بالشكل (١-٢)، نلاحظ ان مصدر الجهد المستمر V_{CC} سيعمل على ضخ تيار I_c عند طرف المجمع ولكن هذا التيار سوف يتوقف عن النقطة C ولا يمكنه العبور الى النقطة E (طرف الباعث) الى بعد ان تصبح الفولتية عن طرفي القاعدة-باعث V_{BE} حوالي 0.7 فولت عند النقطة B مؤدية الى توليد تيار I_B. يمكن تسمية I_B بتيار التحكم لأنه يتحكم بمقدار فتح البوابة بين طرفي المجمع-باعث وتيار I_C يسمى تيار الحمل لأنه مسؤول عن امرار التيار في مقاومة الحمل R_L التي هي بالأساس تمثل مصباح او محرك كهربائي او أي عنصر كهربائي يراد التحكم في تشغيله باستخدام الترانزستور. ان التحكم بتشغيل مصباح كهربائي يحتاج حوالي الى نصف أمبير باستخدام تيار قاعدة بحدود 100 مايكرو-أمبير هو فعلا من المميزات الرائعة لاستخدام الترانزستور في التطبيقات الالكترونية.

3.1 العلاقة بين تيار الحمل (I_C) وتيار التحكم (I_B)

ندرس الان كيفية عمل I_B في التحكم بخصائص الترانزستور. بالنظر الى شكل (١-٣)، نجد ما يأتي:



شكل (١-٣)

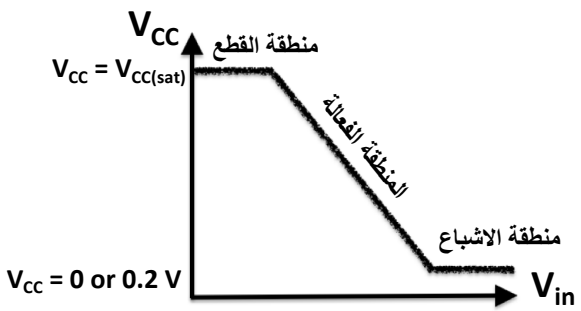
أ- من نقطة ١ الى ٢ تكون قيمة V_{BE} اقل من 0.7 وتكون قيمة $I_C = 0$ لان $I_B = 0$ ويكون الترانزستور في منطقة القطع. يمكن اعتبار الترانزستور كسلك مقطوع لا يمرر التيار ابدا وان الترانزستور يعمل كمفتاح مفتوح.

ب- من نقطة ٢ الى ٣ تكون قيمة V_{BE} مساوية او أكبر من 0.7 V ويبدأ بعدها I_C بالمرور الى طرف الباعث المؤرض ويعتمد مقداره على قيمة I_B. ان العلاقة بين تيار الحمل وتيار القاعدة هي علاقة خطية بمعنى ان تيار المجمع سوف يزداد خطيا مع زيادة تيار القاعدة. الترانزستور سوف يكون في المنطقة الفعالة او الخطية والترانزستور في هذه الحالة سيعمل كمقاومة متغيرة. ان عمل الترانزستور كمقاومة متغير له أهمية كبيرة في تطبيقات تكبير التيار والفولتية كما سوف نراه لاحقا. يجب ان نذكر بان العلاقة ($I_C = \beta I_B$) التي تم شرحها سابقا يمكن فقط تطبيقها عندما يكون الترانزستور في المنطقة الفعالة.

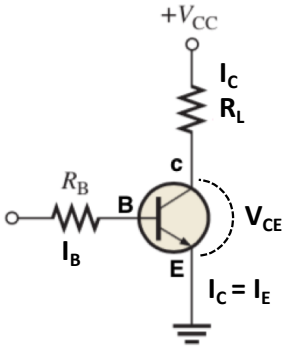
ج- من نقطة ٣ الى ٤ تتوقف العلاقة بين تيار الحمل وتيار التحكم وذلك لان أي زيادة في تيار التحكم بعد النقطة ٣ سوف لا يقابله زيادة في تيار الحمل. يكون الترانزستور في هذه الحالة في منطقة الاشباع. يحدث الاشباع للترانزستور وذلك لان اعلى قيمة ال ($I_{C(sat)}$) تعتمد على قيمة V_{CC} وان زيادة I_B سوف لن تؤدي الى زيادة تيار الحمل I_C وبهذا فان الترانزستور سوف يكون مشبعا. يمكن اعتبار الترانزستور كسلك مغلق يمرر تيار عالي جدا وبهذا فان مقاومة الترانزستور ستكون صغيرة جدا والترانزستور سوف يعمل كمفتاح مغلق.

4.1 العلاقة بين جهد الادخال (V_{in}) وجهد (V_{CE})

من العلاقات المهمة التي تتحكم في خصائص الترانزستور هي علاقة مقدار الجهد V_{in} عند دائرة ادخال الترانزستور ومقدار الجهد V_{CE} على طرفي الترانزستور في دائرة الإخراج. بالنظر الى شكل (١-٤) (أ)، نجد ما يأتي:



(أ)



(ب)

شكل (١-٤)

أ- عندما يكون جهد V_{in} ذو قيمة سالبة او صفر او اقل من 0.7 V فان $I_B=0$ وبالتالي لا يمر تيار حمل $I_C=0$ وبهذا يكون الترانزستور كمفتاح مفتوح.

عند تحليل دائرة الإخراج للدائرة الموضحة بالشكل (١-٤) (ب) نجد ان ($V_{CC} - I_C R_L - V_{CE} = 0$). بمعنى اخر، ان هناك جزء من جهد ال V_{CC} سوف يؤخذ على طرفي مقاومة الحمل R_L وجزأ اخر على طرفي الترانزستور V_{CE}. ان فرق الجهد على طرفي مقاومة الحمل يمكن ايجاده باستخدام قانون اوم ($V_L = I_C R_L$). بما ان $I_C = 0$ فمعناه انه لا يوجد فرق جهد مسلط على طرفي مقاومة الحمل وبهذا فان كل قيمة جهد ال V_{CC} سوف يتم تسليطها على طرفي الترانزستور أي ($V_{CC} = V_{CE}$). وهذا هو شرط القطع للترانزستور كما تعلمناه سابقا.

ب- عندما يكون جهد V_{in} مساويا الى 0.7 V فان I_B يعمل على زيادة I_C حسب العلاقة الخطية بينهما. ان زيادة I_C يعني زيادة الجهد المسلط على مقاومة الحمل V_L وبالتالي يقل الجهد على طرفي الترانزستور V_{CE}. في هذه الحالة يكون الترانزستور في الوضع الفعال.

ج- عندما زيادة جهد V_{in} الى قيمة عالية، فان I_C سوف يزداد ويزداد نتيجة لذلك قيمة V_L وتقل قيمة V_{CE} الى ان تصل الى الصفر او تقريبا $V_{CE(sat)}$= 0.2 V. في هذه الحالة يكون جميع جهد متركزا حول مقاومة الحمل. وهذه هو شرط حصول الاشباع للترانزستور.

سؤال: إذا كان الترانزستور يعمل كمفتاح لماذا لا نستخدم المفتاح العادي؟

الجواب:

١ـ المفتاح العادي يحتاج الى قوة ميكانيكية ليعمل ولكن الترانزستور يحتاج الى إشارة كهربائية صغيرة.

٢ـ سرعة غلق وفتح المفتاح العادي محددة جدا ولكن الترانزستور يوفر سرعات كبيرة للفتح والغلق.

سؤال: إذا كان الترانزستور يعمل كمقاومة متغيرة لماذا لا نستخدم مقاومة متغيرة عادية؟

الجواب:

١ـ المقاومة المتغيرة العادية تحتاج الى قوة ميكانيكية لكي تعمل ولكن الترانزستور يحتاج الى إشارة كهربائية صغيرة.

٢ـ المقاومة المتغيرة العادية تتحمل تيارات كهربائية محدودة ولكن الترانزستور يتحمل تيارات عالية.

٣ـ العمر الافتراضي للمقاومة المتغيرة العادية اقل من الترانزستور إذا تم استخدامها بشكل متكرر وبكثرة.

سؤال واجب: هل من الممكن ان يتم قياس تيار في دائرة الإخراج إذا كان الترانزستور لا يعمل أي في منطقة القطع؟ إذا كان الجواب بنعم فاثبت ذلك؟

سؤال واجب: لماذا يصل الترانزستور الى حالة الاشباع؟ ومتى تكون قيمة ال V_{CE} تساوي صفر او 0.2 V؟

5.1 التحقق من حالة الترانزستور حسابيا

إذا كانت لدينا دائرة ترانزستور ونود التعرف فيما إذا كان الترانزستور يعمل في أحد المناطق الثلاثة (القطع – الفعالة – الاشباع)، فالعامل الأساسي لتحقيق هذه الحاسبات هو معرفة قيمة تيار القاعدة I_B واجراء ما يلي:

أ- إذا كانت قيمة I_B مساوية للصفر، فان الترانزستور بلا شك يعمل في منطقة القطع.

ب- إذا كانت قيمة I_B أكبر من 0.7 فولت فيجب حساب قيمة V_{CE} للتحقق من ان الترانزستور يعمل في المنطقة الفعالة او منطقة الاشباع. فاذا كانت ال V_{CE} أكبر من 0.2 فولت فان الترانزستور يعمل في

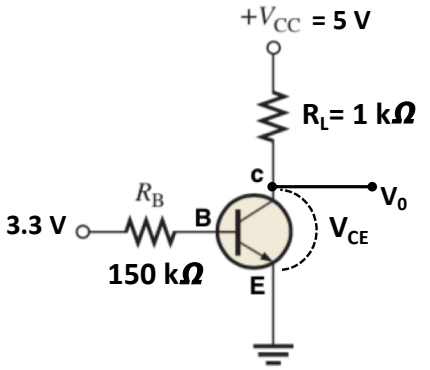
المنطقة الفعالة ومنها يمكن تطبيق العلاقة ($I_C = \beta\ I_B$). اما اذا كانت ال V_{CE} مساوية او اصغر من 0.2 فولت فان الترانزستور يعمل في منطقة الاشباع ومنها يمكن تطبيق العلاقة ($I_C = I_{C(sat)}$).

مثال (١-١):

إذا كانت لدينا دائرة ترانزستور موضحة بالشكال (١-٥). في أي منطقة يعمل الترانزستور؟ ما قيمة فولتية الإخراج V_o؟ افترض قيمة ال $V_{BE} = 0.7\ V$ وان قيمة ال $\beta = 120$.

الحل/

المطلب الأول:



شكل (١-٥)

بتطبيق قانون كيروشوف للجهد على دائرة الادخال، يمكن إيجاد قيمة تيار القاعدة:

$$3.3\ V - (150 \times 10^3 \Omega \times I_B) - 0.7 = 0$$

$$\therefore I_B = \frac{3.3\ V - 0.7\ V}{(150 \times 10^3 \Omega)} = 1.73 \times 10^{-5} A = 17.3\ \mu A\ > 0$$

بما ان I_B أكبر من الصفر, فنستبعد ان يكون الترانزستور في حالة القطع. بقي لدينا التعرف على قيمة V_{CE} لتحديد منطقة عمل الترانزستور. يمكن ايجادها بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على دائرة الإخراج

$$\therefore 5V - (10^3 \Omega \times I_{C)}) - V_{CE} = 0$$

لدينا هنا مجهولين (V_{CE} و I_C)! لحل هذه المسالة نستخدم طريقتين للحل،

أولا: نفترض ان الترانزستور يعمل في المنطقة الفعالة. على هذا الأساس يمكن ان نحصل على I_C كالاتي:

$$I_C = \beta\ I_B = 120 \times 17.3\ \mu A = 2.076\ mA$$

الان يمكننا إيجاد قيمة V_{CE}

$$5\,V - (10^3\Omega \times 2.076\,mA) - V_{CE} = 0$$

$$V_{CE} = 5\,V - (10^3\Omega \times 2.076\ \times 10^{-3}A)$$

$$\therefore V_{CE} = 2.92\,V\ > 0.2. \qquad [\Omega \times A = V]$$

بما ان V_{CE} أكبر من $0.2\ V$ فان الترانزستور بالفعل يعمل في المنطقة الفعالة وان افتراضنا كان صحيحا.

ثانيا: كما تعلمنا سابقا, يمكن حساب قيمة $I_{C(sat)}$ ومقارنتها مع I_C كلاتي

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_L} = \frac{5\,V - 0.2\,V}{10^3\Omega} = 4.8\ \times 10^{-3}A = 4.8\,mA$$

بما ان قيمة I_C اقل من $I_{C(sat)}$ فان الترانزستور يعمل في المنطقة الفعالة وهذا تأكيد اخر على افتراضنا.

المطلب الثاني:

بما ان الفولتية الخارجة على طرفي الترانزستور, فان

$$\therefore\ V_o = V_{CE} = 2.92\,V$$

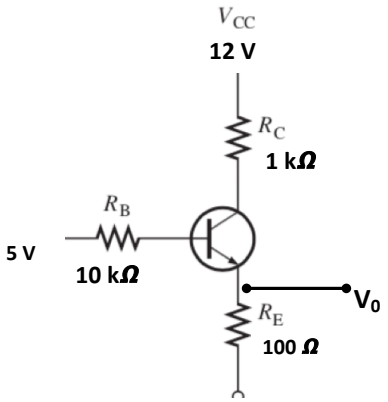
$2.92\ V$ *هي الفولتية المتوقع قياسها عمليا إذا ما ربطت أطراف الفولتميتر على طرفي الترانزستور.*

واجب١ : *كيف تجعل الترانزستور في المثال (١-١) يصل الى حالة الاشباع؟ هناك عنصر مطلوب تغيروه لتحقيق هذا الشرط؟*

مثال (١-٢): *إذا كانت لدينا دائرة ترانزستور موضحة بالشكال (١-٦). في أي منطقة يعمل الترانزستور؟ ما قيمة فولتية الإخراج V_o؟ افترض قيمة ال $V_{BE} = 0.7\ V$ وان قيمة ال* $\beta = 120$.

الحل/

المطلب الأول:



شكل (١-٦)

بتطبيق قانون كيروشوف للجهد على دائرة الادخال، على فرض ان ($I_E = I_C$) يمكن إيجاد قيمة تيار القاعدة:

$$5\,V - (10 \times 10^3\Omega \times I_B) - 0.7 - (100\,\Omega \times I_C) = 0$$

نعوض عن قيمة I_C بالعلاقة ($I_C = \beta\ I_B$)

$$5\,V - (10 \times 10^3\Omega \times I_B) - 0.7 - (100\,\Omega \times \beta \times I_B) = 0$$

$$\therefore I_B = \frac{5\,V - 0.7\,V}{(10 \times 10^3\Omega) + (100\,\Omega \times 120)} = 1.95 \times 10^{-4}A = 195.5\,\mu A\ > 0$$

بما ان I_B أكبر من الصفر, فنستبعد ان يكون الترانزستور في حالة القطع. بقي لدينا التعرف على قيمة V_{CE} لتحديد منطقة عمل الترانزستور. يمكن ايجادها بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على دائرة الإخراج

$$12V - (10^3\Omega \times I_C) - V_{CE} - (100\,\Omega \times I_C) = 0$$

لدينا هنا مجهولين (V_{CE} و I_C)! لحل هذه المسالة نستخدم طريقتين للحل،

<u>أولا:</u> نفترض ان الترانزستور يعمل في المنطقة الفعالة. على هذا الأساس يمكن ان نحصل على I_C كالاتي:

$$I_C = \beta\ I_B = 120 \times 195.5\,\mu A = 23.46\ mA$$

الان يمكننا إيجاد قيمة V_{CE}

$$12V - (1100\,\Omega \times I_C) - V_{CE} = 0$$

$$\therefore V_{CE} = 12\,V - (1100\,\Omega \times 23.46\ \times 10^{-3}A) = -13.8\,V\ < 0.2 \qquad [\Omega \times A = V]$$

بما ان V_{CE} أصغر من $0.2\ V$ فان الترانزستور يعمل في منطقة الاشباع وان افتراضنا كان غير صحيح.

<u>ثانيا:</u> يمكن حساب قيمة $I_{C(sat)}$ ومقارنتها مع I_C كلاتي

$$\therefore I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_L} = \frac{12\,V - 0.2\,V}{1100\,\Omega} = 10.7\ \times 10^{-3}A = 10.7\,mA$$

بما ان قيمة I_C أكبر من $I_{C(sat)}$ فان الترانزستور يعمل في منطقة الاشباع.

إذا القيمة الحقيقة ل I_C تساوي 10.7 mA وليس 23.46 mA.

المطلب الثاني:

بما ان الفولتية الخارجة مأخوذة على طرفي المقاومة R_E, فان

$$\therefore\ V_o = 100\,\Omega \times 10.7\,mA = 1.1\,V$$

6.1 القدرة المبددة في الترانزستور

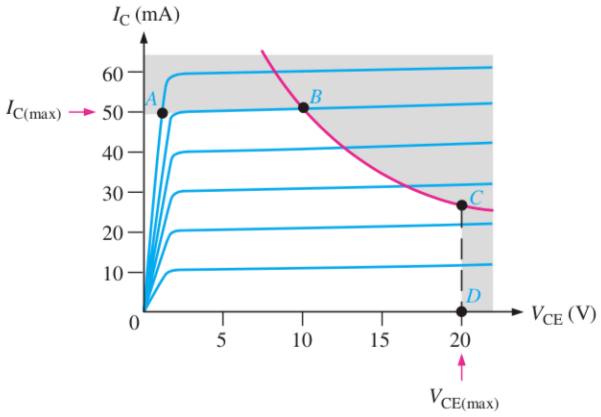
ترانزستور ثنائي القطبية مثله مثل أي أداة الكترونية له قيود في عمليه. يتم تحديد هذه القيود في شكل معدلات قصوى ويتم تحديدها عادةً في ورقة بيانات الشركة المصنعة. عادة، يتم إعطاء الحد الأقصى لمعدل جهد مجمع-قاعدة، جهد مجمع-باعث، جهد باعث-قاعدة، تيار المجمع، وتبديد الطاقة.

يجب ألا يتجاوز حاصل ضرب V_{CE} في I_C الحد الأقصى لمعدل تبديد الطاقة. لا يمكن أن يكون كل من V_{CE} و I_C بحد أقصى في نفس الوقت. إذا كان V_{CE} هو الحد الأقصى، يمكن حساب I_C كالاتي

$$I_C = \frac{P_{D(\max)}}{V_{CE}}$$

إذا كان الحد الأقصى هو I_C، يمكن حساب V_{CE} بإعادة ترتيب المعادلة السابقة كما يلي:

$$V_{CE} = \frac{P_{D(\max)}}{I_C}$$



(أ)

$P_{D(max)}$	V_{CE}	I_C
500 mW	5 V	100 mA
500 mW	10 V	50 mA
500 mW	15 V	33 mA
500 mW	20 V	25 mA

(ب)

شكل (١-٧)

بالنسبة لأي ترانزستور معطى، يمكن رسم منحنى تبديد الطاقة الأقصى على منحنيات خواص المجمّع، كما هو موضح في الشكل (١-٧) (أ). يتم جدولة هذه القيم في الشكل (١-٧) (ب). تفترض ان $P_{D(max)} = 500$ mW، $V_{CE(max)}$ 20 V، و $I_{C(max)} = 50$ mA. يظهر المنحنى أنه لا يمكن تشغيل هذا الترانزستور في الجزء المظلل من الرسم البياني.

$I_{C(max)}$ هو الحد المقيد بين النقطتين A و B ، و $P_{D(max)}$ هو الحد المقيد بين النقطتين B و C ، و $V_{CE(max)}$ هو الحد المقيد بين النقطتين C و D.

مثال (١-٣): *يجب تشغيل ترانزستور معين باستخدام $V_{CE} = 6\ V$. إذا كان الحد الأقصى لمعدل الطاقة هو $250\ mW$، فما هو أكبر تيار مجمع يمكن ان يتحمله الترانزستور؟*

الحل/

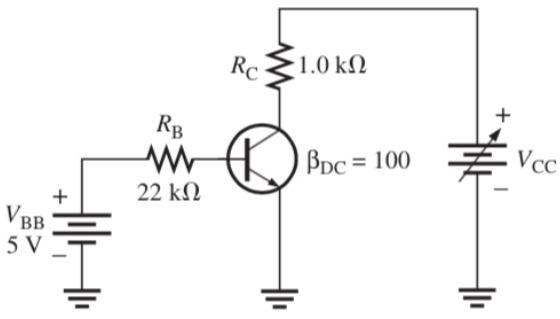
$$I_C = \frac{P_{D(\max)}}{V_{CE}} = \frac{250\ mW}{6\ V} = 41.7\ mA$$

هذا هو الحد الأقصى الحالي لهذه القيمة الخاصة من V_{CE}. يمكن أن يعالج الترانزستور تيارًا مجمعًا أكثر إذا تم تقليل V_{CE}، طالما لا يتم تجاوز $P_{D(max)}$ و $I_{C(max)}$.

واجب٢: *إذا كان* $P_{D(max)} = 1$ W ، *كم مقدار الجهد المسموح به من المجمع إلى الباعث* V_{CE} *إذا كان الترانزستور يعمل مع* $I_C = 100$ mA *؟*

مثال (١-٤): *يحتوي الترانزستور في الشكل (١-٨) على المعدلات القصوى التالية: $P_{D\ (max)} = 800\ mW$ و $V_{CE\ (max)} = 15\ V$ و $I_{C\ (max)} = 100\ mA$. اوجد الحد الأعلى التي يمكن من خلالها تعديل قيمة V_{CC} دون ان تتجاوز المعدل المسموح. ما هو المعدل الذي سيتم تجاوزه أولاً؟*

الحل/



شكل (١-٨)

المطلب الأول:

نحسب قيمة I_B لكي نحدد قيمة ال I_C

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{5\ V - 0.7\ V}{22\ k\Omega} = \frac{4.3\ V}{22 \times 10^3\ \Omega} = 0.195\ \times 10^{-3}\ A$$

$$\therefore I_B = 195\ \times 10^{-6}\ A = 195\ \mu A$$

$$\therefore I_C = \beta \times I_B = 100 \times 195\ \mu A = 19.5\ mA$$

قيمة I_C اقل بكثر من $I_{C\ (max)}$ ومن الناحية المثالية سوف لن تتغير مع V_{CC} بل ان I_C تتغير فقط مع I_B و β.

الان قيمة الجهد المطبق على المقاومة R_C هو

$$V_{RC} = I_C \times\ R_C = 19.5\ \times 10^{-3} A\ \times\ 10^3 \Omega = 19.5\ V$$

يمكن ان نحدد قيمة V_{CC} عندما $V_{CC} = V_{CC(max)} = 15$ V

$$V_{RC} = V_{CC} - V_{CE}$$

لذلك فان

$$V_{CC(\max)} = V_{CE(max)} + V_{RC} = 15\ V + 19.5\ V = 34.5\ V$$

يمكن زيادة V_{CC} إلى 34.5 V، في ظل الظروف الحالية، قبل تجاوز $V_{CE(max)}$. ومع ذلك، في هذه الفترة، من غير المعروف ما إذا كان قد تم تجاوز $P_{D(max)}$ أم لا.

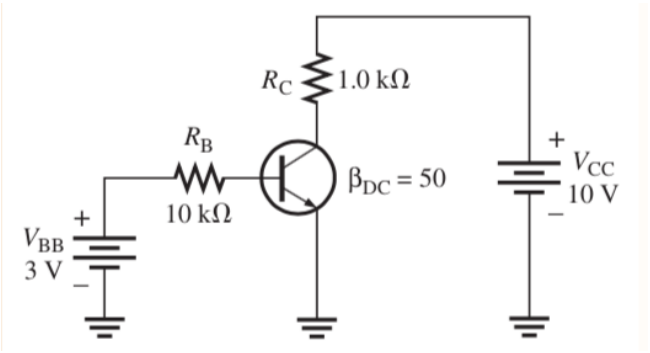
$$P_D = V_{CE(max)} \times I_C = 15\ V + 19.5\ mA = 293\ W$$

نظرًا لأن $P_{D(max)}$ هو 800 mW، فإنه لا يتم تجاوزه عند V_{CC} = 34.5 V. لذا ، $V_{CE(max)} = 15\ V$ هو الحد الاعلى في هذه الحالة.

المطلب الثاني:

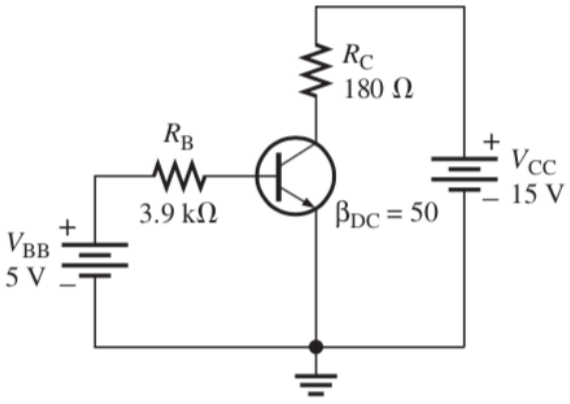
إذا تمت إزالة I_B مما يؤدي إلى إيقاف تشغيل الترانزستور، فسيتم تجاوز معدل $V_{CE(max)}$ **<u>أولاً</u>** لأنه سيتم جهد V_{CC} سوف يتم تسليطه بالكامل عبر طرفي الترانزستور.

واجب٣: *في أي منطقة يعمل الترانزستور الموضح بالشكل (١-٩) ؟ اتبع نفس الخطوات في المثال (١-١)!*



شكل (١-٩)

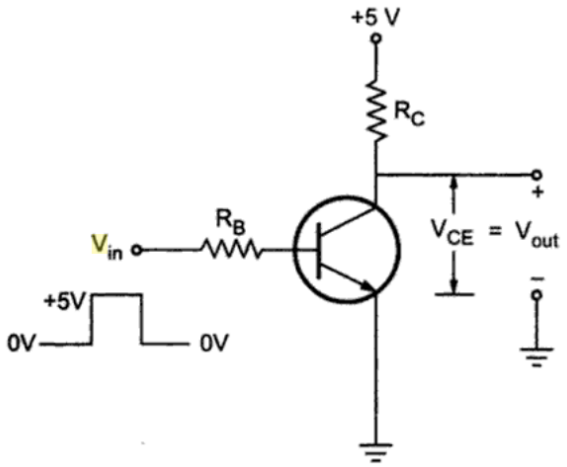
واجب٤: *في أي منطقة يعمل الترانزستور الموضح بالشكل (١-١٠) ؟ اتبع نفس الخطوات في المثال (١-١)!*



شكل (١-١٠)

واجب٥: *يتم تشغيل ترانزستور معين بتيار جامع 50 ميلي أمبير. الى أي حد يمكن أن تصل اليه قيمة* V_{CE} *دون تجاوز اعظم قدرة (*$P_{D(max)} = 1.2$ W*) ؟*

واجب٦: *كيف تتوقع شكل الموجة المربعة الخارجة من دائرة الترانزستور الموضحة في الشكل (١-١١)؟*



شكل (١-١١)