المحاضرة (2)

الفصل الثاني دوائر انحياز الترانزستور والاستقرارية الحرارية

الوظيفة الاساسية للترانزستور هي تكبير الاشارة الداخلة في دائرة الادخال الى اشارة مكبرة في دائرة الاخراج. عندما تكون الاشارة الخارجة نسخة مطابقة للاشارة الداخلة (عدا القيمة) فيدعى التكبير حينها بالتكبير الاصيل faithful amplification وشروط الحصول عليه هي:

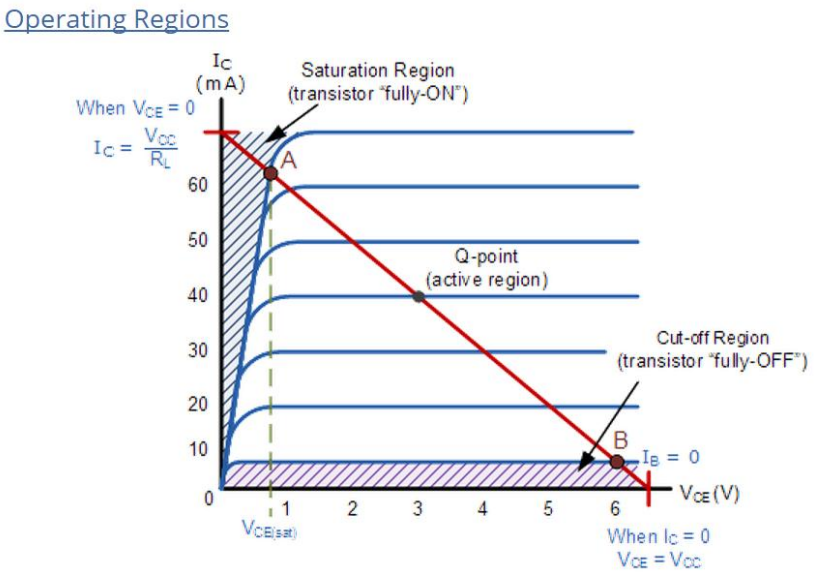
1. ان يكون انحياز باعث-قاعدة امامي
2. ان يكون انحياز مجمع-باعث عكسي
3. ان تكون نقطة تشغيل الترانزستور في المنطقة الفعالة

علل/ يجب ان تقع نقطة تشغيل الترانزستور في المنطقة الفعالة كي يتم الحصول على تكبير اصيل؟

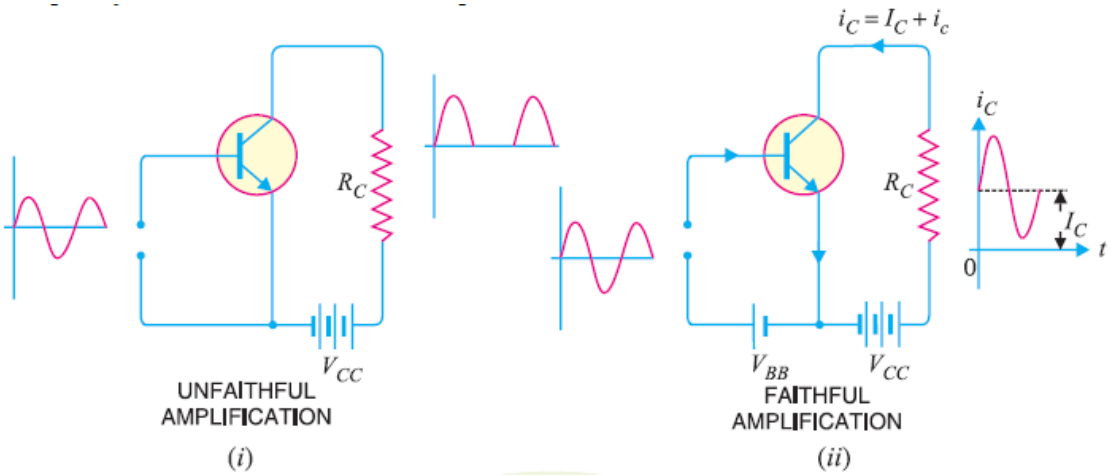
ج/ ان وضع نقطة التشغيل Q في المنطقة الفعالة يعني اي تغير يحدث في التيار او الجهد في الاشارة الداخلة يقابله تغير في تيار وجهد الاشارة الخارجة في دائرة المجمع اي تكون هناك استجابة للتغيرات في الاشارة الداخلة.

س/ مالذي يحدث للاشارة الخارجة عندما تكون منطقة عمل الترانزستور في منطقة القطع او منطقة الاشباع؟

ج/ دخول الترانزستور منطقة القطع يعني ان الباعث والمجمع بانحياز عكسي وهذا يؤدي لحدوث تشوه (قطع) بالاشارة الخارجة (اي عدم حصول استجابة للتغيرات في الاشارة الداخلة) بينما عمل الترانزستور في مطقة الاشباع يكون تيار الاخراج اعلى ما يمكن ولايتاثر بالتغيرات في اشارة الدخول.



الشكل ادناه يوضح دائرة التكبير غير الاصيل وكذلك دائرة الحصول على تكبير اصيل. في النصف الاول من الموجة تكون انحياز قاعدة-باعث امامي وبالتالي يمر تيار اي يتم الحصول على موجة مكبرة كما في الشكل ولكن عند الجزء السالب للموجة الداخلة سيكون انحياز القاعدة-باعث عكسيا وبذلك سوف يحدث قطع بالجهد كما في الشكل ويستمر هذا الحال بالحصول على موجة نصف معدلة اي ان التكبير يكون غير اصيل. للتخلص من هذه المشكلة يتم اضافة جهد V_{BB} للدائرة لضمان ان يكون انحاز القاعدة-باعث دوما يكون امامي وبالتالي الحصول على موجة مكبرة مشابهة للموجة الداخلة (تكبير اصيل). يشترط بتيار الجامع الناتج عن تسليط جهد V_{BB} ان يكون اكبر من القيمة العظمى للتيار الناتج عن الموجة المتناوبة الداخلة. من الشروط اللازم توفرها للحصول على اشارة مكبرة هو ان تكون القيمة الدنيا للجهد قاعدة-باعث V_{EB} اكبر من قيمة حاجز الجهد كي يمر تيار علما ان قيمة حاجز الجهد للسليكون هو 0.7V والجرمانيوم 0.3V.



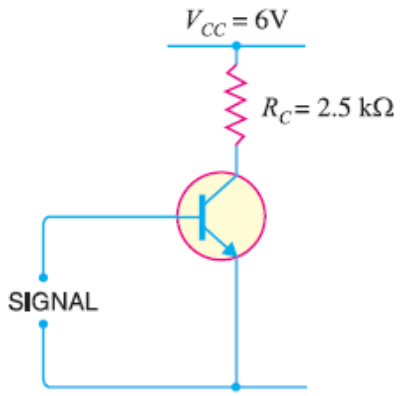
اضافة لما تقدم، يشترط ان تكون قيمة V_{CE} اكبر من 0.5V لترازستور مصنوع من الجرمانيوم واكبر من 1V لترانزستور السليكون وتسمى هذه القيمة بجهد الركبة knee voltage.

انحياز الترانزستور Transistor biasing

الغرض من تحييز الترانزستور هو جعل منطقة (وصلة) قاعدة-باعث منحازة اماميا ومنطقة (وصلة) جامع-قاعدة منحازة عكسيا باستمرا اثناء عمل الترانزستور.

مثال: ترانزستور سليكوني نوع npn كانت قيمة $V_{CC}=6V$ وقيمة مقاومة الجامع $R_C=2.5k\Omega$ احسب تيار الجامع الاقصى كي يتم الحصول على تكبير اصيل لاشارة مكبرة.

الحل



ıtion. Collector supply voltage, $V_{CC} = 6$ V

Collector load, $R_C = 2.5$ kΩ

We know that for faithful amplification, V_{CE} should not be less than 1V for silicon transistor.

Max. voltage allowed across $R_C = 6 - 1 = 5$ V

Max. allowed collector current $= 5$ V/$R_C = 5$ V/2.5 kΩ $=$ **2 mA**

Example 9.2. *A transistor employs a 4 kΩ load and V_{CC} = 13V. What is the maximum input signal if β = 100 ? Given V_{knee} = 1V and a change of 1V in V_{BE} causes a change of 5mA in collector current.*

Solution.

Collector supply voltage, $V_{CC} = 13$ V

Knee voltage, $V_{knee} = 1$ V

Collector load, $R_C = 4$ kΩ

$\therefore$ Max. allowed voltage across $R_C = 13 - 1 = 12$ V

$\therefore$ Max. allowed collector current, $i_C = \dfrac{12\text{ V}}{R_C} = \dfrac{12\text{ V}}{4\text{ k}\Omega} = 3$ mA

Maximum base current, $i_B = \dfrac{i_C}{\beta} = \dfrac{3\text{ mA}}{100} = 30\ \mu$A

Now $\dfrac{\text{Collector current}}{\text{Base voltage (signal voltage)}} = 5$ mA/V

$\therefore$ Base voltage (signal voltage) $= \dfrac{\text{Collector current}}{5\text{ mA/V}} = \dfrac{3\text{ mA}}{5\text{ mA/V}} =$ **600 mV**

الاختلافات في معاملات الترانزستورات Inherent Variations of Transistor Parameters

معاملات الترانزستورات مثل V_{BE}, β ليست متشابهة حتى للنوع الواحد من الترانزسترات. على سبيل المثال تكون قيمة معامل التكبير β لترانزستور نوع BC147 ضمن المدى من 100 الى 600 وهذا يعني ان نفس الترانزستور يكون بمواصفات مختلف.

ان سبب تلك الاختلافات في الخصائص يعود الى عد السيطرة الدقيقة على تصنيع الترانزستور نفسه فاي اختلاف بسيط مثلا في عرض منطقة القاعدة سيؤدي الى اختلاف في مواصفات الترانزستور وخصوصا عامل التكبير و V_{BE}. تصمم الدوائر الالكترونية للترانزستور بحيث تكون نقطة عملها غير معتمدة على معاملات الترانزستور.

استقرارية عمل الترانزستور

يتاثر تيار الجامع في الترانزستور بدرجة الحرارة ونوع الترانزستور (عندما يستبدل بنفس النوع فانه لن يحمل نفس الصفات تماما) لذا من الضروري جعل نقطة التشغيل بمعزل عن التغيرات التي قد توثر في عمل الترانزستور وهذا ما يدعى بالاستقرارية Stabilization.

يعطى تيار الجامع لترانزستور بربط باعث مشترك بالعلاقة:

$$I_C = \beta I_B + I_{CEO} = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CBO} \quad \ldots 2.1$$

يزداد تيار تسرب الجامع I_{CEO} بمقدار 0.2mA كلما ارتفعت درجة حرارة ترانزستور مصنوع من الجرمانيوم بمقدار 10 درجة موية وهذا ما يجعل الترازستور غير مستقر خصوصا التي تعمل بقدرة قليلة اي يكون تيار الجامع فيها بحدود 1mA. ان زيادة قيمة تيار الجامع ستكون معتمدة على المقدار $(\beta + 1) I_{CBO}$ - وبذلك فان الترانزستور عند درجات حرارة مرتفعة قد تتعرض لما يعرف بالهروب الحراري Thermal runaway والتي تودي في احيان كثيرة لعطب الترانزستور.

عامل الاستقرارية Stability factor

يعد ثبات قيمة تيار الجامع I_C رغم التغير الحاصل بقيمة تيار التسرب من الامور المهمة في تصنيع الترانزستور او استخدامها في الدوائر الالكترونية. نسبة التغير في تيار الجامع الى التغير في تيار التسرب بثبوت تيار القاعدة وβ يدعى بعامل الاستقرارية ويعطى بالعلاقة:

$$\text{Stability factor, } S = \frac{dI_C}{dI_{CO}} \text{ at constant } I_B \text{ and } \beta \quad \ldots. 2.2$$

الحالة المثالية ان تكون قيمة S=1 وهذا غير ممكن من الناحية العملية.

باشتقاق العلاقة 2.1 نسبة الى تيار الجامع I_C نحصل على:

$$1 = \beta \frac{dI_B}{dI_C} + (\beta + 1) \frac{dI_{CO}}{dI_C}$$

or
$$1 = \beta \frac{dI_B}{dI_C} + \frac{(\beta + 1)}{S} \qquad \left[\because \frac{dI_{CO}}{dI_C} = \frac{1}{S}\right]$$

or
$$S = \frac{\beta + 1}{1 - \beta\left(\frac{dI_B}{dI_C}\right)} \qquad ..2.3$$

* $I_{CBO} = I_{CO}$ = collector leakage current in *CB* arrangement
** Assuming β to be independent of I_C.

ملاحظة: راجع مثال عددي لتغير نقطة تشغيل ترانزستور بسبب ارتفاع درجة الحرارة ص284-285 كتاب فيزياء الالكترونيات.