جامعة المنارة الخاصة

كلية الهندسة

هندسة الميكاترونيكس

أسس الالكترونيات
Basic-Electronics

تحييز الترانزستور ثنائي القطبية (نقطة العمل)
DC –Baising Bipolar Junction Transistors (BJT)

مدرس المقرر

د. السموءل صالح

المحاضرة السادسة

الفصل الدراسي الأول

الانحياز: تمثل تطبيق جهد تغذية مستمر DC على الترانزستور (على متصلي الترانزستور) حتى يتم تحديد نقطة عمله Q-Point في إحدى مناطق العمل التالية.

مناطق عمل الترانزستور

A- Active or Linear Region Operation

J_{BE} is forward biased

J_{BC} is reverse biased

$$V_{CESat} \le V_{CE} \le V_{CEmax}$$

$$I_{CE0} \le I_C \le I_{cmax}\ ,\ V_{CE} I_C \le P_{cmax}$$

B- Cutoff Region Operation

J_{BE} is reverse biased

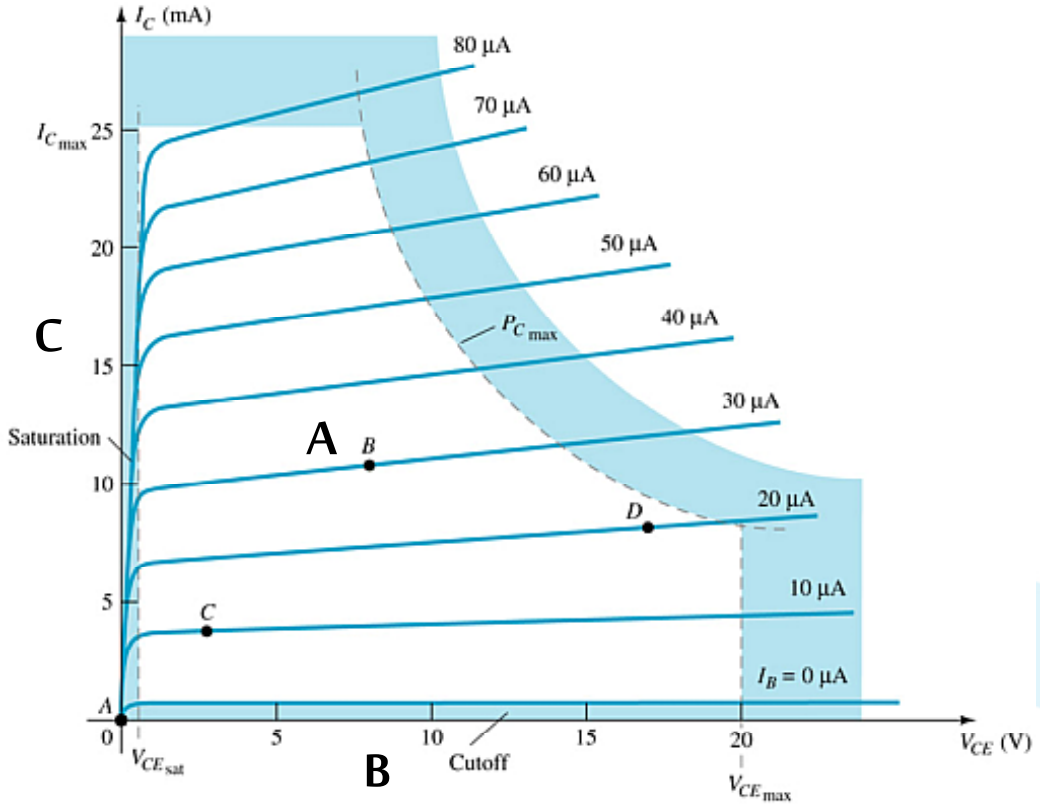
$$I_B = 0\ ,\ I_C = I_{CE0} = \beta I_{CB0} \approx 0$$

C- Saturation Region Operation

J_{BE} is forward biased

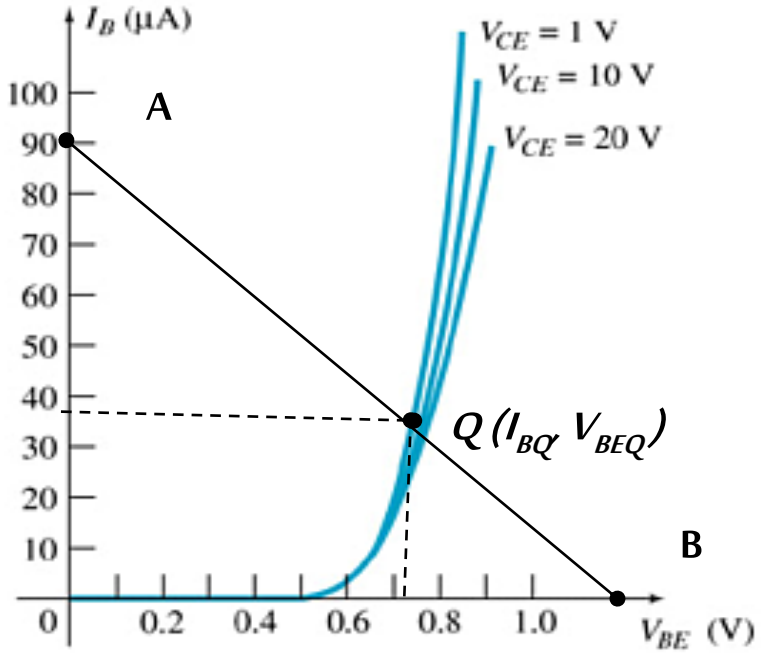
J_{BC} is forward biased

$$I_C = I_{Cmax} \ge I_{CSat} = V_{CC}/R_C \Rightarrow V_{CE} = V_{CESat} \approx 0$$



تحدد نقطة العمل بالخطوات التالية:

١- رسم خط الحمل الساكن على خواص الدخل من اجل حساب تيار الدخل (القاعدة) وذلك من حلقة الدخل.

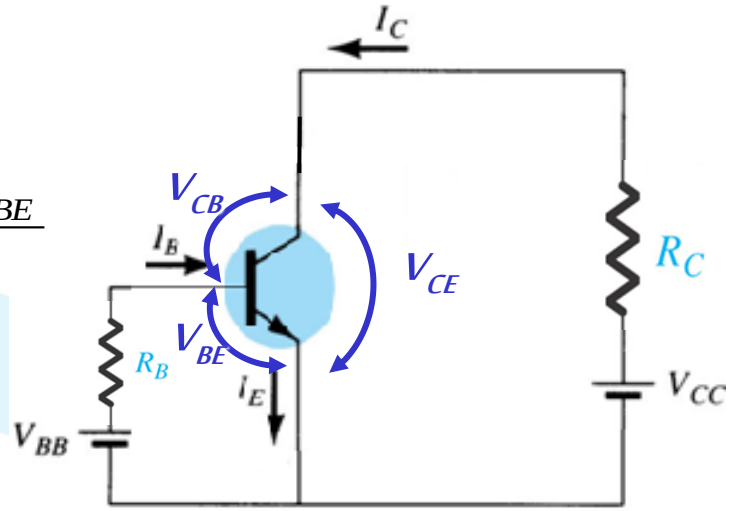


نطبق كيرشوف في الدخل
(خط الحمل الساكن لدارة الدخل)

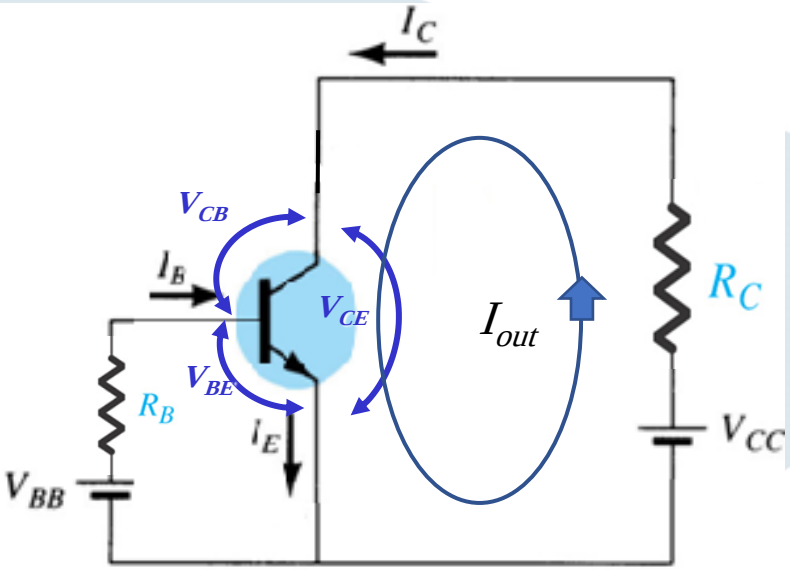
$$V_{BB} = V_{BE} + I_B R_B \Rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

Point A; $V_{BE} = 0 \Rightarrow I_B = \frac{V_{BB}}{R_B}$

Point B; $I_B = 0 \Rightarrow V_{BE} = V_{BB}$



٢- رسم خط الحمل الساكن على خواص الخرج من اجل حساب تيار وجهد نقطة العمل في الخرج مع الأخذ بعين الاعتبار تقاطع هذا الخط مع منحى تيار القاعدة المحسوب من دارة الدخل (١).



نطبق كيرشوف في الخرج

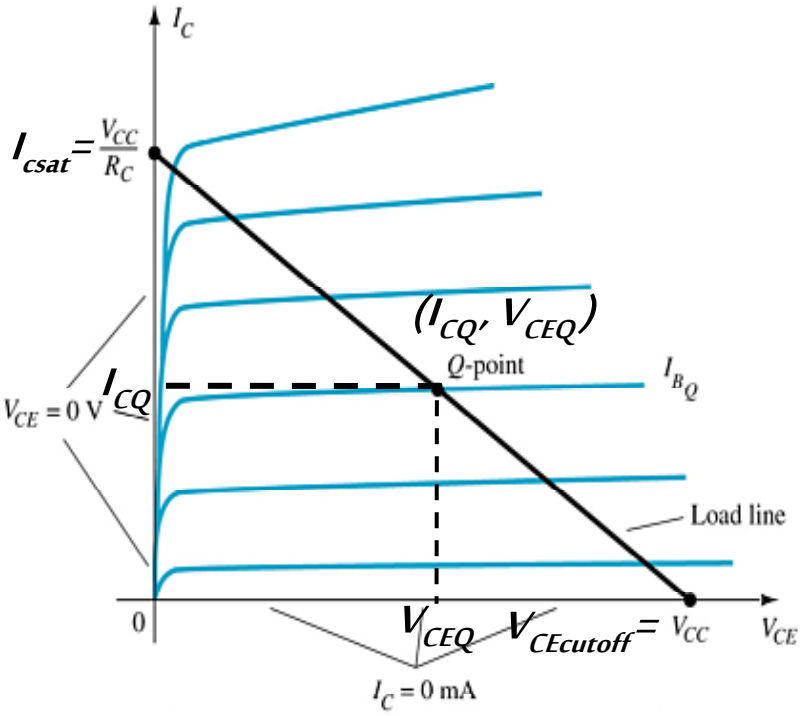
$$\sum U_{0ut} = 0$$

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

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

Point A: $V_{CE} = 0 \Rightarrow I_{CSat} = \dfrac{V_{CC}}{R_C}$

Point B: $I_C = 0 \Rightarrow V_{CECutoff} = V_{CC}$



The Q-point is the particular operating point

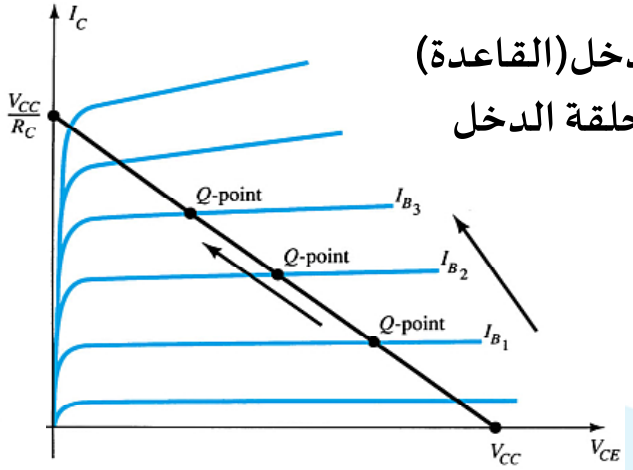
Movement of the *Q*-point with increasing level of I_B

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

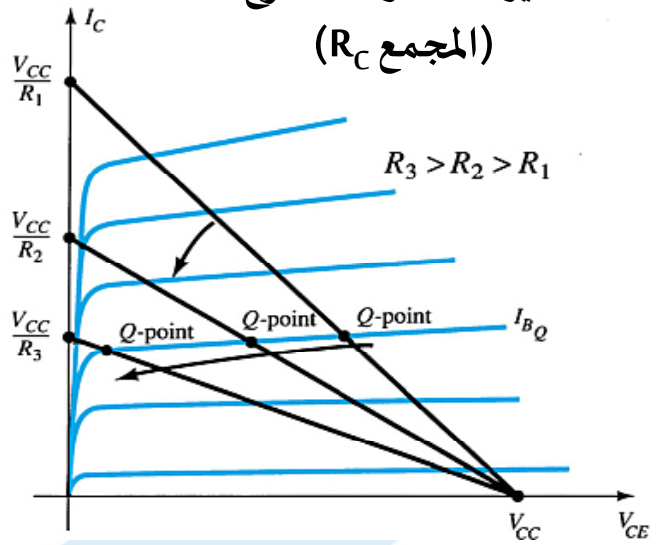
$$V_{CE} = 0 \Rightarrow I_{CSat} = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

$$I_C = 0 \Rightarrow V_{CECutoff} = V_{CC}$$

تغيرات تيار الدخل(القاعدة)
الناتج عن حلقة الدخل

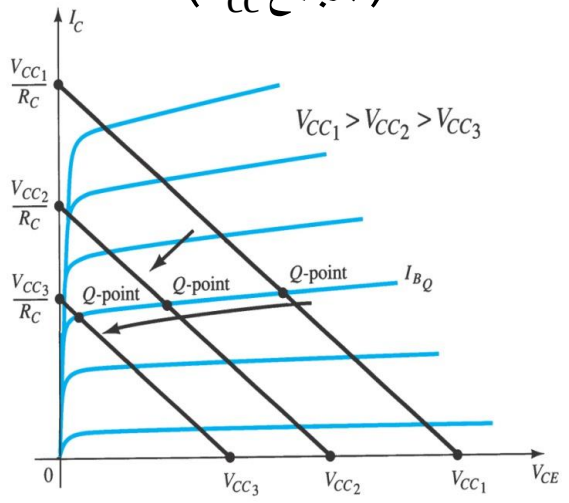


تغيرات مقاومة الخرج
(R_C المجمع)



$$I_{CSat1,2,3} = \frac{V_{CC}}{R_{C1,2,3}}$$

تغيرات جهد تحييز الخرج
(V_{CC} المجمع)

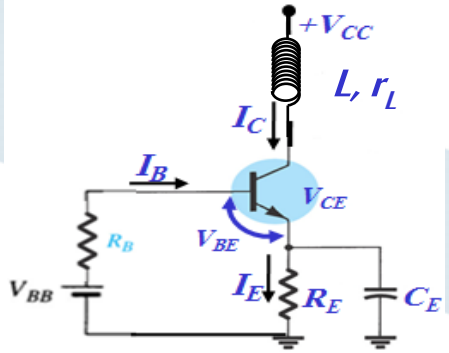


$$V_{CECutoff\ 1,2,3} = V_{CC1,2,3}$$

$$I_{CSat1,2,3} = \frac{V_{CC1,2,3}}{R_C}$$

DC- Load Line Analysis

خط الحمل الساكن لدارة بحمل مكون من ملف أو محولة



-- معادلة الخرج في الدارة المبينة جانبا وقبل استبدال المقاومة R_C بملف (خانق) تعطي خط الحمل الساكن الموضح سابقا

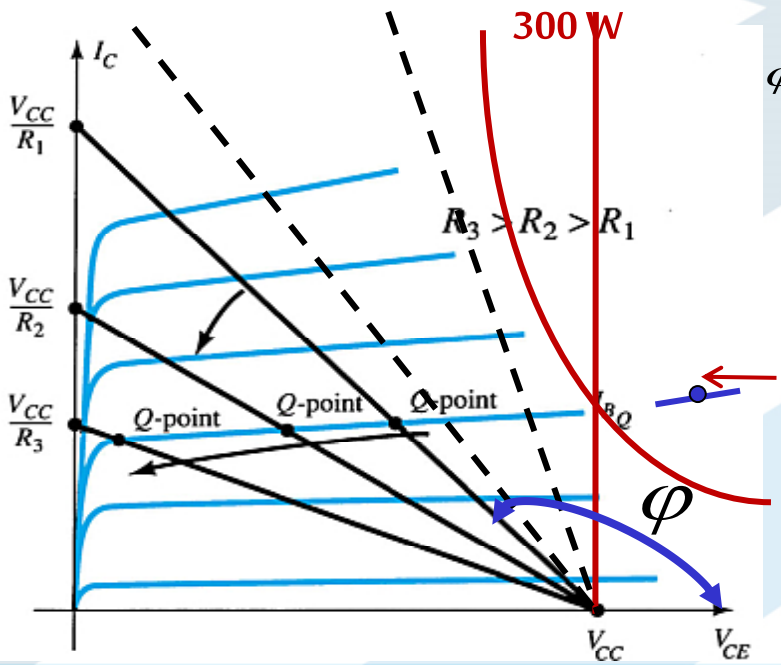
$$V_{CC} = V_{CE} + I_C R_C$$

-- تغيرات مقاومة الخرج (المجمع R_C) مع ثبات V_{CC} والتي تمثل الميل يؤدي إلى أن جميع خطوط الحمل الساكن الناتجة تمر بنقطة واحدة، هي:

$$I_C = 0 \Rightarrow V_{CE} = V_{CC}$$

-- تغيرات المقاومة R_C يتم في المجال $[0 \longrightarrow \infty]$ وبالتالي ميل خط الحمل الساكن الناتج يتغير ضمن المجال (الانطباق على محور الجهد $\phi=0$ والموازي لمحور التيار $\varphi=\pi/2$):

$$\varphi = arctg(-\frac{1}{R_C}) = \left[\frac{\pi}{2} \rightarrow 0\right]$$



معادلة الخرج في الدارة بعد استبدال المقاومة R_C بملف (خانق)

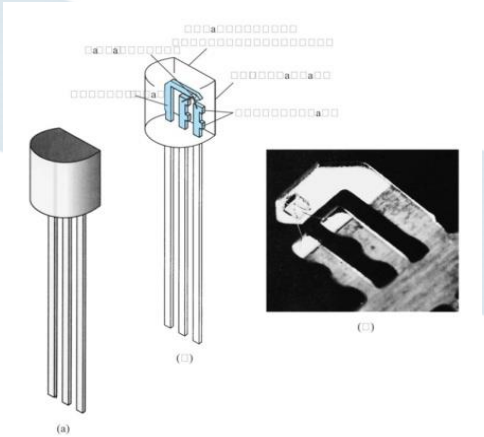
تعطي معادلة خط الحمل الساكن التالية:

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C r_C$$

$$\varphi = arctg(-\frac{1}{0}) = \frac{\pi}{2}$$

لكن عند التيار المستمر تكون $r_c=0$ وبالتالي ميل الخط هو

و نقطة العمل تتجه إلى منطقة الانهيار اذا زيادة التيار => زيادة الحرارة => نضع مقاومة الحمل الحراري R_E & C_E حيث تبدد هذه المقاومة كثيرا من الاستطاعة (الحرارة) عند غياب الإشارة المتناوبة حيث يكون ميل الخط في هذه الحالة $1/R_E$ و الديناميكي $1/X_L$



★ درجة الحرارة الكلية في الترانزيستور تعطى بـ: $T_{eq}=T_j+T_C+T_{hs}+T_a$

حيث: T_j الحرارة الناتجة عن المتصل. T_C الحرارة الناتجة عن غلاف العناصر الالكترونية.

T_{hs} الحرارة الناتجة عن صفائح التبريد (مصنوعة من الألمنيوم) تزداد عند تصميم ترانزستورات الاستطاعة.

T_a الحرارة الموجودة بين مشعات التبريد و الوسط المحيط.

★ ظاهرة الانهيار في الترانزيستور : - تحصل عند جهود عكسية منخفضة نوعا ما على المتصل J_{CB} .

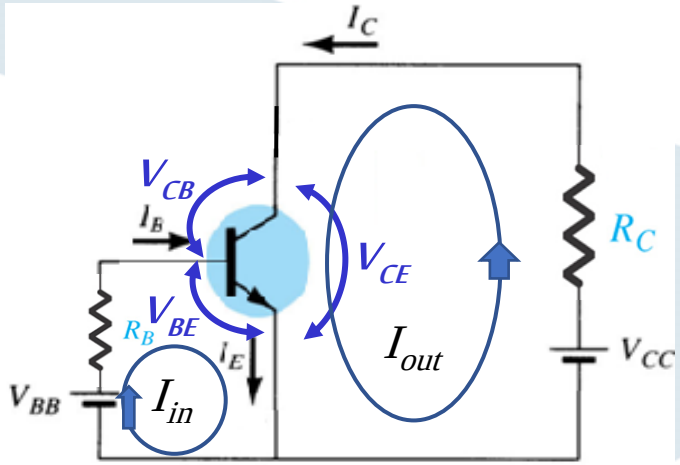
- لان القاعدة رقيقة وقليلة الإشابة إذا مقاومة نوعية عالية. وتتم الآلية كما يلي:

انهيار و مرور تيار باعث مجمع كبير جدا ← قصر بين المجمع و القاعدة ← عرض القاعدة ينعدم ↓↓ ← عرض المنطقة المجردة ↑ ← $-V_{CE}$↑

عرض المنطقة المجردة (النزوح d) في الترانزستور عند جهد عكسي تعطى بـ: $d=\sqrt{\frac{2\varepsilon_r|V_{CE}|}{qN_D}}$ حيث:

- $\varepsilon_r=\varepsilon_0\varepsilon_S$ ثابت العازلية النسبي و يساوي إلى جداء ثابت العازلية للخلاء بثابت عازلية المادة نصف الناقلة.
- N_D تركيز الشوائب المعطية في المجمع.
- عندما $V_{CE}=V_{BR}$ يصبح عرض المنطقة المجردة هو نفسه عرض القاعدة W عندها تصبح قيمة الجهد العكسي: $V_{BR}=qN_DW^2/2\varepsilon_0\varepsilon_S$

١- الانحياز المستقل لكل من دارة الدخل والخرج: يتم استخدام منبع جهد مستمر لكل من دارة الخرج ودارة الدخل وذلك لتامين انحياز الترانزستور وتحديد نقطة العمل لاحظ الدارة التالية.



أ- في حلقة الدخل: الجهد V_{BB} يؤمن انحياز المتصل J_{BE} وبالتالي تحديد تيار القاعدة اللازم لتحديد نقطة العمل.

بفرض لدينا القيم التالية V_{BB}=1v; V_{BE}=0.52 v, V_{CC}=10v; V_{CE}=0,7v, R_C=2K, R_B=8K للدارة حدد نقطة العمل. نطبق كيرشوف في الدخل:

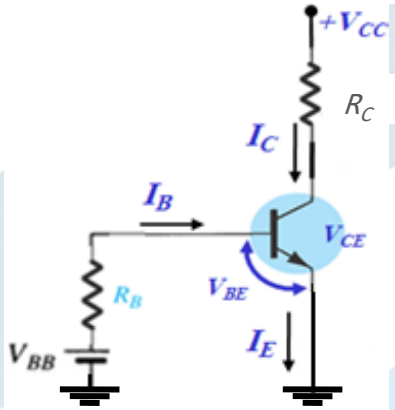
$$\sum U_{in} = 0 \Rightarrow V_{BB} - V_{BE} - I_B R_B = 0 \quad \Rightarrow$$

$$V_{BB} = V_{BE} + I_B R_B \Rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = 60\mu A$$

٢- في حلقة الخرج: الجهد V_{CC} يؤمن انحياز المتصل J_{BC} العكسي وبالتالي تحديد نقطة العمل.

نطبق كيرشوف في الخرج:

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



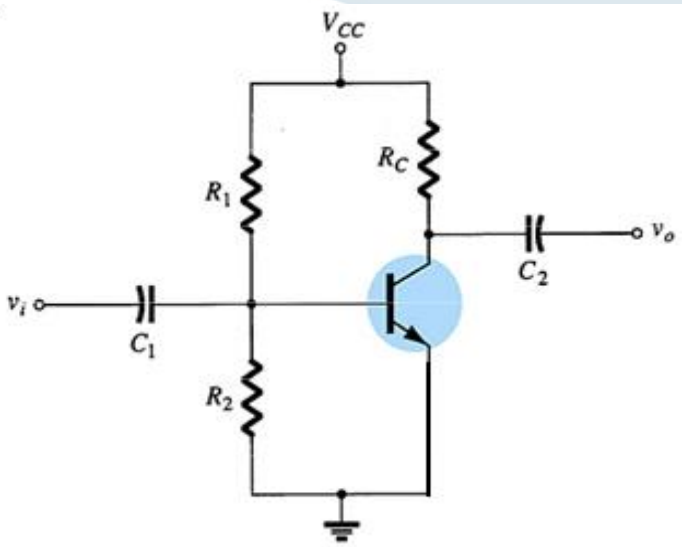
$$V_{CE} = 0 \Rightarrow I_C = I_{CSat} = \frac{V_{CC}}{R_C} = 5mA \qquad I_C = 0 \Rightarrow V_{CE} = V_{CECutoff} = V_{CC} = 10v$$

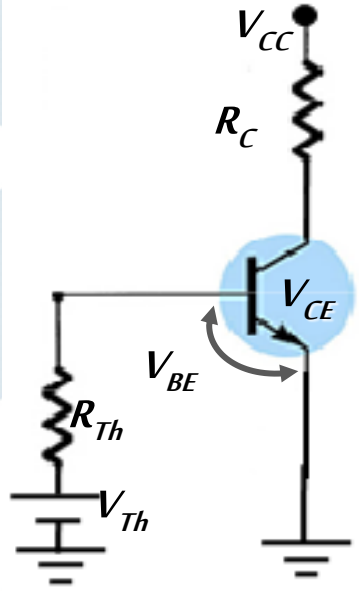
شكل آخر للدارة

٢- الانحياز باستخدام منبع جهد واحد:

أ- الانحياز باستخدام مقسم جهد (مكافئ ثفنين) Voltage divider Bais:

نؤمن جهد التحيز في الدخل V_{BB} عن طريق مقسم الجهد R_2 ، R_1 . وهي دارة مستقرة جدا، الجهد و التيار مستقلان عن تغيرات β.





الدارة المكافئة المستمرة حسب ثفنين موضحة بالشكل بحيث يعطى جهد ومقاومة ثفنين بالعلاقة التالية:

$$V_B = V_{Th} = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} \quad , \quad R_{Th} = R_1 // R_2$$

ثم نطبق كيرشوف في الدخل للحصول على تيار القاعدة اللازم :

$$V_{Th} = V_{BE} + I_B R_{TH} \Rightarrow I_B = \frac{V_{Th} - V_{BE}}{R_{Th}}$$

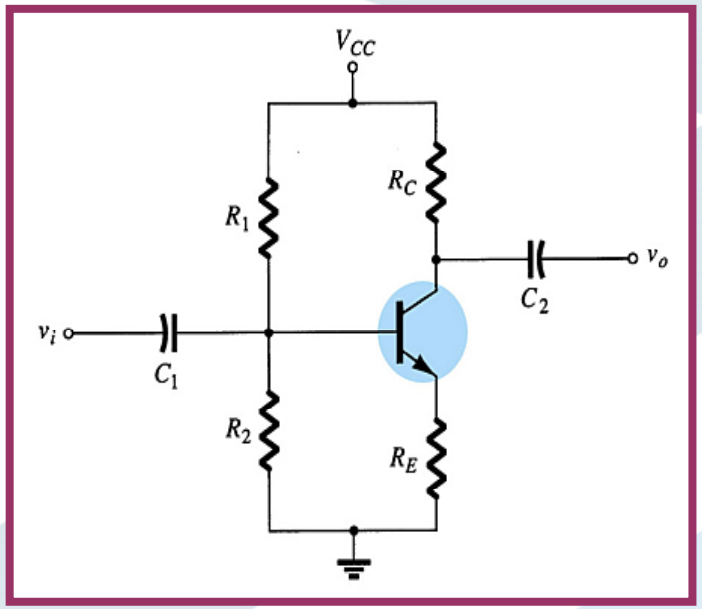
ثم نطبق كيرشوف في الخرج:

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

٢- الانحيازباستخدام منبع جهد واحد:

أ- الانحيازباستخدام مقسم جهد (مكافئ ثفنين) Voltage divider Bais: ولكن بإضافة المقاومة R_E وبذلك تصبح الدارة أكثر استقرارا

نؤمن جهد التحيزفي الدخل V_{BB} عن طريق مقسم الجهد R_2 ، R_1 .



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

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} \qquad V_E = V_B - V_{BE}$$

ثم نطبق كيرشوف في الدخل حيث يتغير عن الحل السابق وجود مقاومة الباعث :

$$I_E = I_C + I_\beta = I_C + I_C / \beta$$

$$I_C = \frac{\beta}{1+\beta} I_E \cong I_E$$

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

$$I_E \cong I_C$$

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

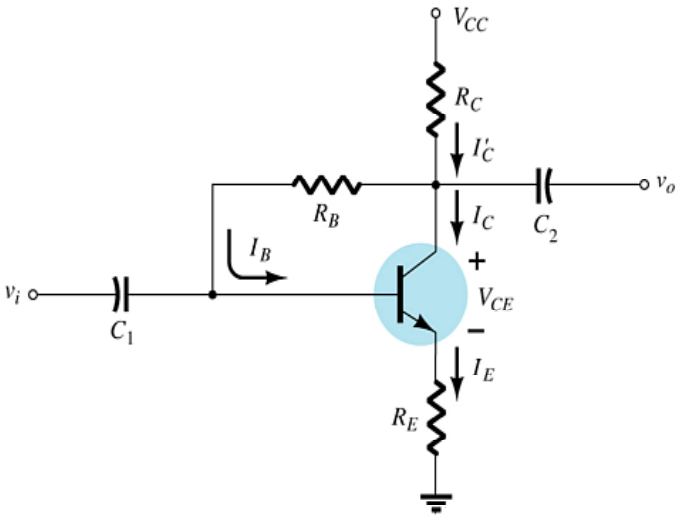
ثم نطبق كيرشوف في الخرج ليظهر اثر مقاومة الباعث:

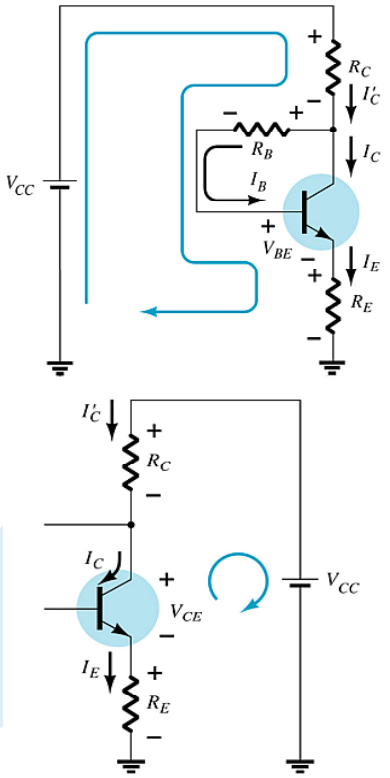
٢- الانحياز باستخدام منبع جهد واحد:

ب- الانحياز بتيار تغذية عكسية يمر عبر مقاومة موصولة بين الخرج و الدخل:

نؤمن تيار القاعدة اللازم المار عبر المقاومة R_B ، استقرار الدارة جيد و لكن تعتمد قليلا على β.

الدارة المكافئة المستمرة (دارة الانحياز)





نطبق كيرشوف في الدخل:

$$V_{CC} - I'_C R_C - I_B R_B - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

Where $I_B << I_C \Rightarrow I'_C \cong I_C$: Knowing $I_C = \beta I_B$ and $I_E \cong I_C$, the loop equation becomes:

$$V_{CC} - \beta I_B R_C - I_B R_B - V_{BE} - \beta I_B R_E = 0$$

Solving for I_B:

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

نطبق كيرشوف في الخرج:

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

Since $I_C' \cong I_C$ and $I_C = \beta I_B$:

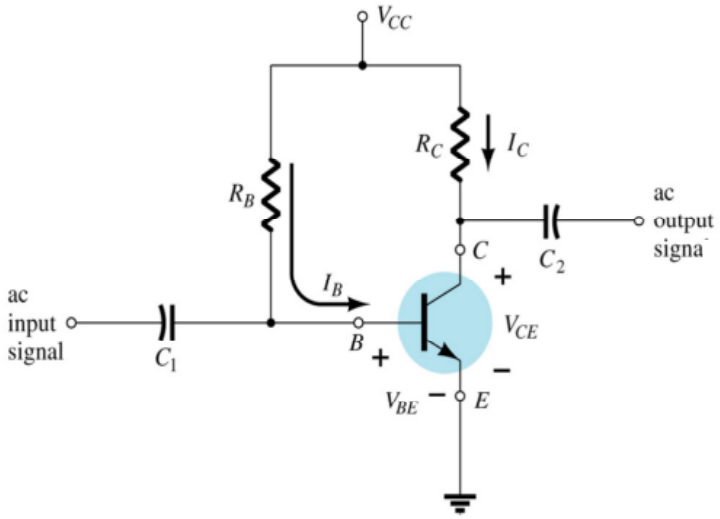
$$I_C(R_C + R_E) + V_{CE} - V_{CC} = 0$$

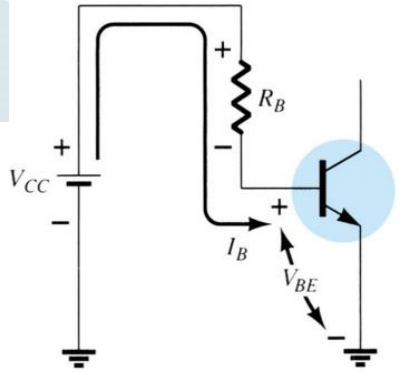
Solving for V_{CE}:

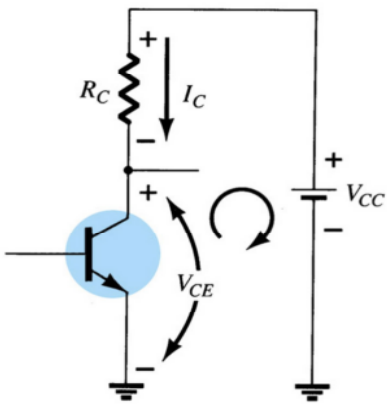
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

٢- الانحياز باستخدام منبع جهد واحد: ج- الانحياز بتيار قاعدة مجمع: نؤمن جهد التحيز في الدخل V_{BB} عن طريق هبوط الجهد على المقاومة R_B .

الدارة المكافئة المستمرة (دارة الانحياز)







نطبق كيرشوف في الدخل:

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

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

تيار المجمع يعطى بالعلاقة التالية: $I_C = \beta I_B$

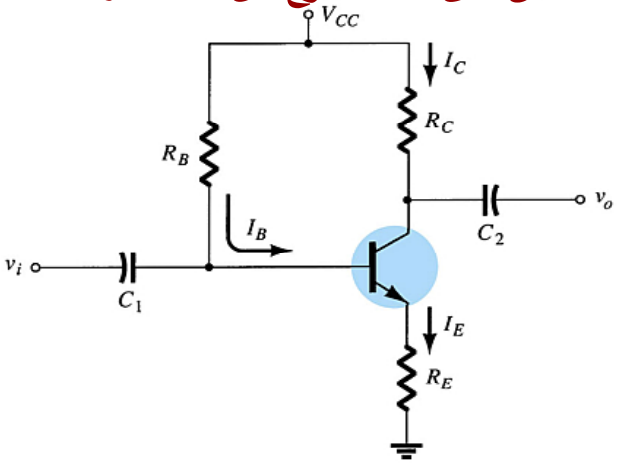
نطبق كيرشوف في الخرج:

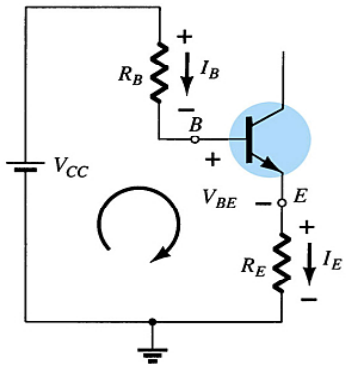
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

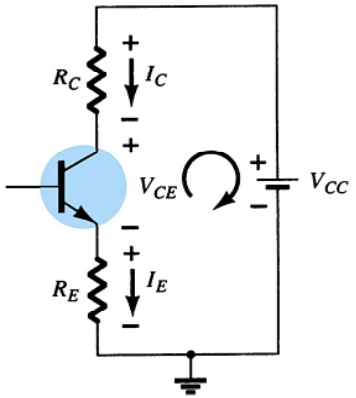
٢- الانحياز باستخدام منبع جهد واحد: د- الانحياز بتيار قاعدة ثابت يمر عبر مقاومة R_B موصولة بين المجمع-قاعدة وجود المقاومة R_E على الباعث يساعد في التحيز ويؤدي لاستقرار دارة الانحياز.

الدارة المكافئة المستمرة (دارة الانحياز)

تطبق على هذا النوع من الانحياز







نطبق كيرشوف في الدخل:

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

Since $I_E = (b + 1)I_B$:

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

Solving for I_B:

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

ملاحظة: أضيفت المقاومة $(b + 1)R_E$ على التسلسل مع مقاومة القاعدة ناتجة عن نقل مقاومة الباعث إلى دارة الدخل

نطبق كيرشوف في الخرج:

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

Since $I_E \cong I_C$:

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

$$V_E = I_E R_E$$

Also:

$$V_C = V_{CE} + V_E = V_{CC} - I_C R_C$$

$$V_B = V_{CC} - I_R R_B = V_{BE} + V_E$$

Saturation and cutoff Level

$V_{CEcutoff}$:

$$V_{CE} = V_{CC}$$

$$I_C = 0\ mA$$

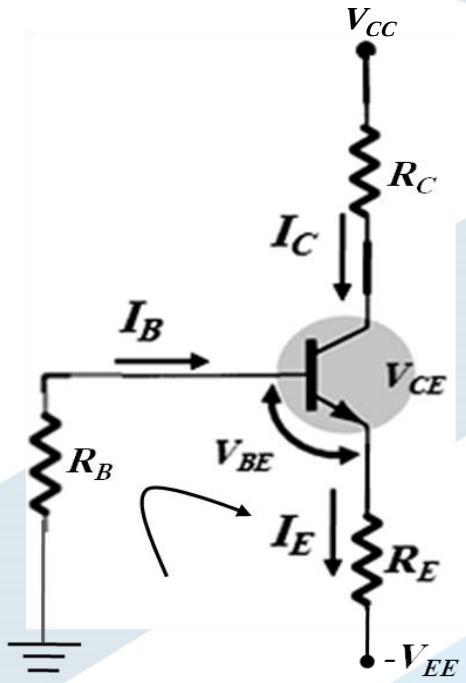
I_{Csat}:

$$V_{CE} = 0\ V$$

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

٣- الانحياز عن طريق الباعث: يتم الانحياز بتقطيب الترانزستور في هذه الدارة باستخدام منبعي جهد الأول عن طريق المجمع وهو V_{CC} والثاني عن طريق الباعث وهو V_{EE}.

التقطيب باستخدام منبع جهد موصول بالباعث.



نطبق كيرشوف في الدخل: لتحديد إحداثيات نقطة العمل، نبدأ بحساب تيار الدخل I_B من خلال حلقة دارة الدخل، ونكتب حسب كيرشوف: $V_{EE} - V_{BE} = I_B R_B + I_E R_E$

لكن لدينا من علاقة التيارات: $$I_E = I_B + I_C = I_B + \beta I_B = (1+\beta) I_B$$

نعوض في العلاقة السابقة فينتج لدينا قيمة تيار القاعدة كما يلي: $$I_B = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_B + R_E(1+\beta)}$$

بتطبيق كيرشوف الثاني على دارة الخرج نحصل على العلاقة: $V_{CC} + V_{EE} = R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E$

وبالنتيجة: $V_{CE} = V_{CC} + V_{EE} - R_C I_C - I_E R_E$

وبما أن تيار الباعث في هذه الحالة يقرب إلى تيار المجمع وفق العلاقة $I_E \approx I_C$ فإننا نحصل على معادلة خط الحمولة الساكن النهائية التي تساعد في رسم هذا الخط، وتحديد نقطة العمل للترانزستور التالية:

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

Improved Biased Stability

مناقشة استقرار دارات الانحياز

الاستقرارفي دارات الانحياز: يعود إلى ثبات (استقرار) كل من الجهد والتيار ضمن مجال واسع من تغيرات كلا من درجة الحرارة ومعامل β.

إضافة مقاومة الباعث يعززاستقرار الترانزستوروخاصة من الناحية الحرارية.

PNP Transistors

دراسة التحيزفي الترانزستور

The analysis for *pnp* transistor biasing circuits is the same as that for *npn* transistor circuits. The only difference is that the currents are flowing in the opposite direction.