



جامعة المنارة
قسم الهندسة المعلوماتية

الدارات الكهربائية والالكترونية

Electrical and Electronic Circuits

الدكتور المهندس

علاء الدين أحمد حسام الدين

11

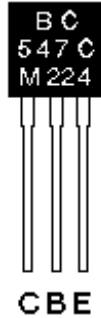
الترانزستورات

Transistors

جامعة
المنارة

الترانزستور Transistor

عندما تضاف طبقة ثالثة للدايود بحيث يتشكل لدينا وصلتين، فإن الناتج هو عنصر جديد يطلق عليه (الترانزستور)، والذي يتمتع بقدرة عالية على تضخيم الاشارات الالكترونية، بالرغم من حجمه الصغير .
كما هو مبين بالشكل يكون للترانزستور ثلاثة أطراف: القاعدة B (Base)، والمجمع C (Collector)، والباعث E (Emitter).



يوجد تصنيفان للترانزيستور بشكل عام:

1. **Bipolar Junction Transistor (ثنائي القطبية)** ويطلق عليه اختصاراً

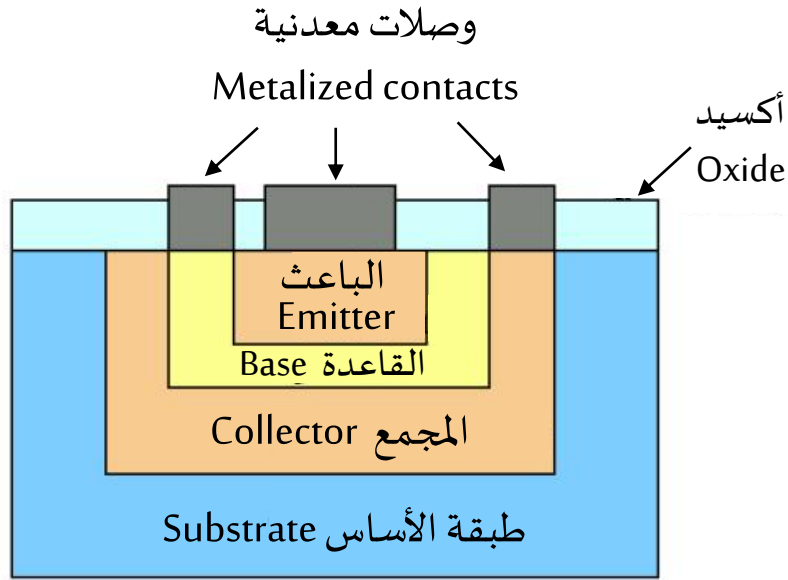
BJT. في هذا النوع تستخدم الالكترونات والثقوب كحاملات للتيار، ويعد هذا النوع من العناصر التي يتم التحكم فيها بواسطة تيار الدخل. أي أن تيار الخرج يعتمد على تيار الدخل.

2. **Junction Field Effect Transistor** ويطلق عليه اختصاراً **JFET**. في هذا

النوع يتم التحكم بالتيار المار عبره من خلال الجهد المطبق على البوابه gate (أحد أطراف الترانزيستور من هذا النوع). وفيه تكون إما

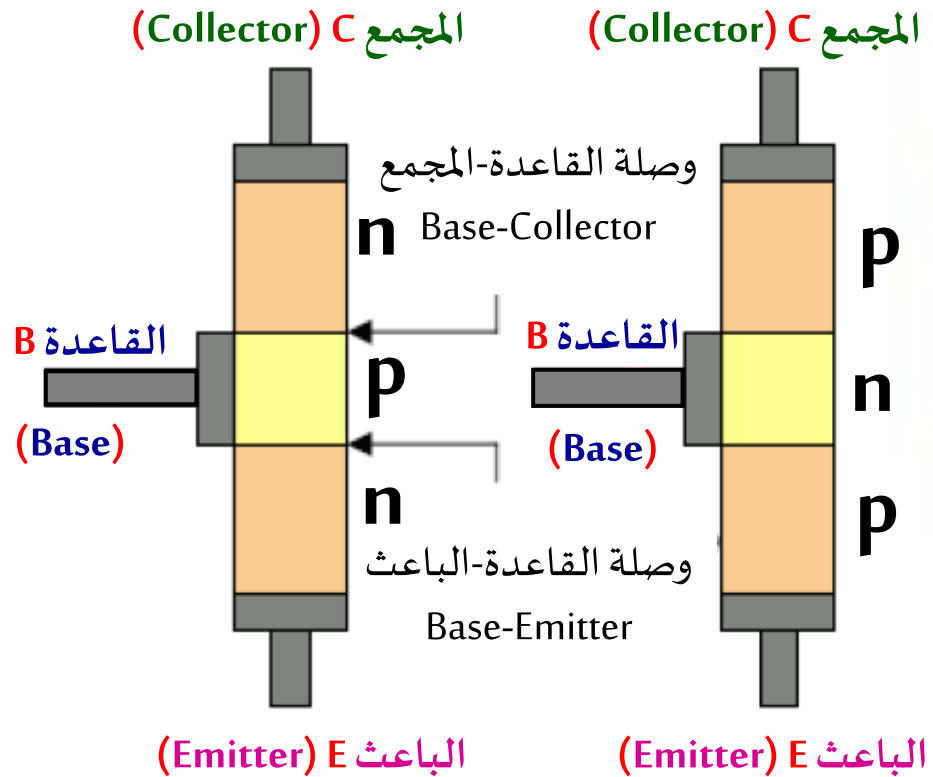
الإلكترونات أو الثقوب هي حاملة للتيار

البنية الداخلية الأساسية للترانزستور ثنائي القطبية BJT ورمزه:



يتألف هذا الترانزستور من ثلاث طبقات نصف ناقلة بجانب بعضها البعض، وبما أنه يوجد نوعين من أنصاف النواقل (P) و (N) ، فيمكن الحصول على نوعين من الترانزستورات هما (PNP) و (NPN)، وهذه الطبقات هي: القاعدة B (Base)، والمجمع C (Collector)، والباعث E (Emitter).

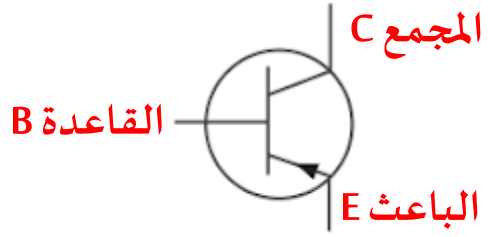
الباعث E (Emitter): هو الجزء المختص بإمداد حاملات الشحنة، وهي الفجوات في حالة الترانزيستور PNP والالكترونات في الترانزيستور NPN ويتم توصيل الباعث بانحياز أمامي بالنسبة للقاعدة، وبالتالي فهو يعطي كمية كبيرة من حاملات الشحنة عند توصيله.



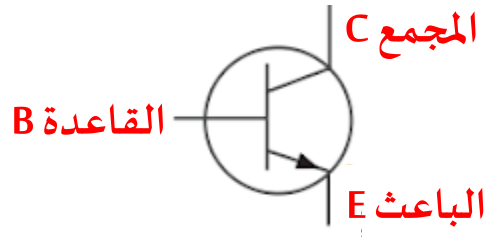
المجمع C (Collector): ويختص هذا الجزء بتجميع حاملات الشحنة القادمة من الباعث، ويوصل بانحياز عكسي مع القاعدة.

القاعدة B (Base): هي الجزء الأوسط بين الباعث والمجمع، ويتم وصله بانحياز أمامي مع الباعث، وبانحياز عكسي مع المجمع.

يرمز للترانزيستور ثنائي القطبية كما هو
مبين بالشكل.



PNP

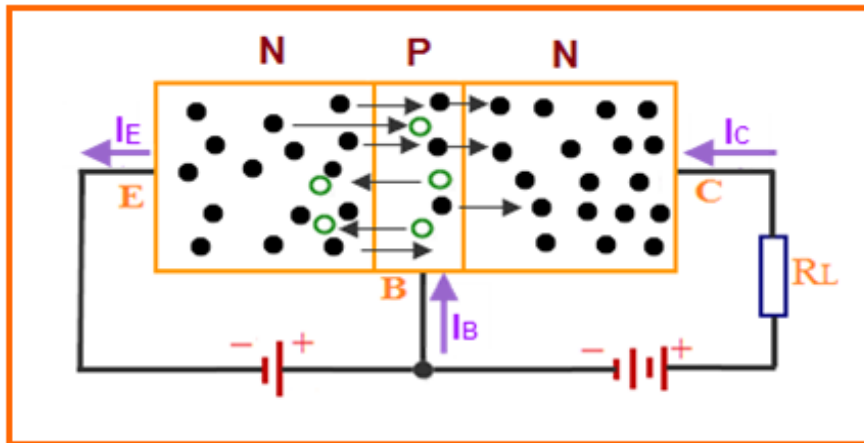


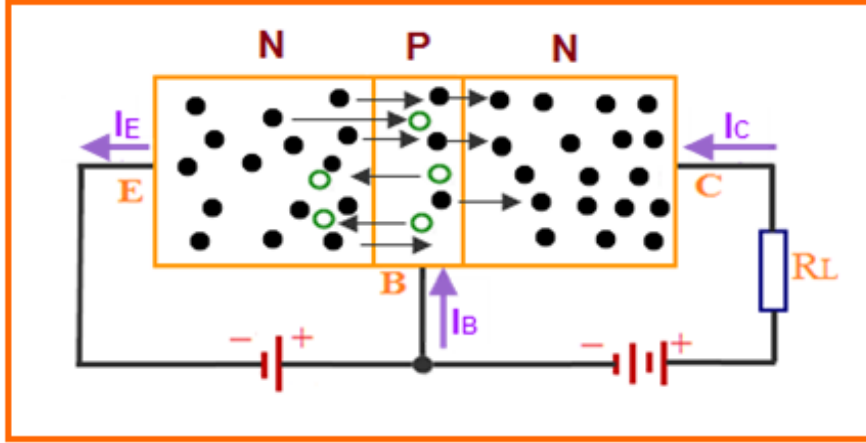
NPN

يتم وضع سهم على الباعث للدلالة عليه
من جهة، ولتحديد نوع الترانزيستور من
جهة ثانية. فإذا كان اتجاه السهم للخارج
يكون نوع الترانزيستور **NPN**، وإذا كان
اتجاه السهم للداخل يكون نوع
الترانزيستور **PNP**.

مبدأ العمل:

في المادة **N** تكون الحاملات الأساسية من الإلكترونات الحرة، وفي المادة **P** تكون الحاملات الأساسية هي الفجوات. عند وصل الطبقة **N** مع الطبقة **P** فإن الإلكترونات الحرة والفجوات الحرة تتحرك كل منها باتجاه الأخرى، ويتحد عدد قليل من الإلكترونات مع عدد قليل من الفجوات، ويتشكل لدينا منطقة ذات توتر انحياز يعاكس حركة حوامل الشحنات. وبما أن الترانزيستور يتألف من **3** طبقات لذلك يوجد منطقتي فصل: الأولى بين **الباعث والقاعدة**، والثانية بين **القاعدة والمجمع**.





في الترانزستور نوع **NPN** يكون الباعث من النوع **N**، وحتى تستطيع الإلكترونات الحرة في الباعث من اجتياز منطقة الفصل بين (الباعث والقاعدة) نصل طرف الباعث إلى القطب السالب كما في الشكل.

وبسبب التنافر مع القطب السالب تتلقى الإلكترونات الحرة قوة دفع تستطيع بها اجتياز منطقة الباعث، والوصول إلى القاعدة المكونة من نصف الناقل **P**. إن سماكة القاعدة صغيرة، وتركيز الفجوات فيها قليل، لذلك يتحد جزء صغير من الكثرونات الباعث مع فجوات القاعدة، أما بقية الإلكترونات فتصل إلى منطقة الفصل الثانية بين (القاعدة والمجمع)، وبذلك يمر تيار I_B في سلك القاعدة.

تبقى كمية الفجوات في القاعدة ثابتة لأنه بسبب إعادة اتحاد تختفي كل ثانية كمية من الفجوات، وتظهر فجوات جديدة بسبب مغادرة كمية من الإلكترونات لطبقة القاعدة.

يوصل المجمع إلى القطب الموجب لمنبع التغذية الذي يعمل على جذب الإلكترونات، مما يساعدها على اجتياز منطقة الفصل الثانية بين (القاعدة والمجمع)، وبذلك يمر تيار I_C في سلك المجمع.

مما سبق نستنتج أن تيار الباعث I_E أكبر من تيار المجمع بمقدار ما اتحد من الإلكترونات القادمة من الباعث مع فجوات القاعدة، وبالتالي فإن العلاقة التي تربط بين التيار

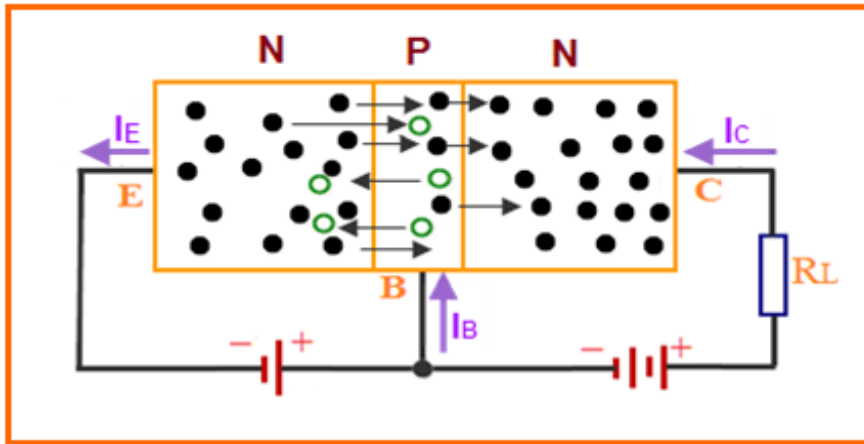
الثلاثة هي:

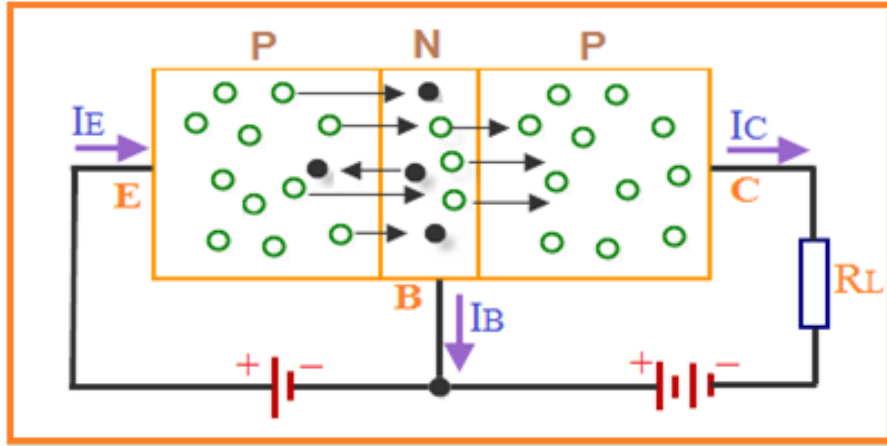
$$I_E = I_C + I_B$$

مع الأخذ بالحسبان الملاحظات التالية:

- ❖ تيار القاعدة صغير، ويبلغ عدة أجزاء بالمائة من تيار المجمع.
- ❖ المقاومة RL تمثل مقاومة حمل الترانزيستور.

❖ جهد التغذية بين (الباعث والقاعدة) أصغر بكثير من جهد التغذية بين (المجمع والقاعدة)، حيث يبلغ حوالي $0.7V$ في الترانزيستور المصنوع من السيليكون، و $0.3V$ في الترانزيستور المصنوع من الجرمانيوم.





في الترانزيستور PNP تحدث نفس العمليات الفيزيائية السابق، لكن تتبادل في الإلكترونات والفجوات دوريهما، مع عكس قطبي منبعي التغذية، وكذلك اتجاهات التيارات المارة في الترانزيستور، كما في الشكل.

دارات الترانزيستور الأساسية:

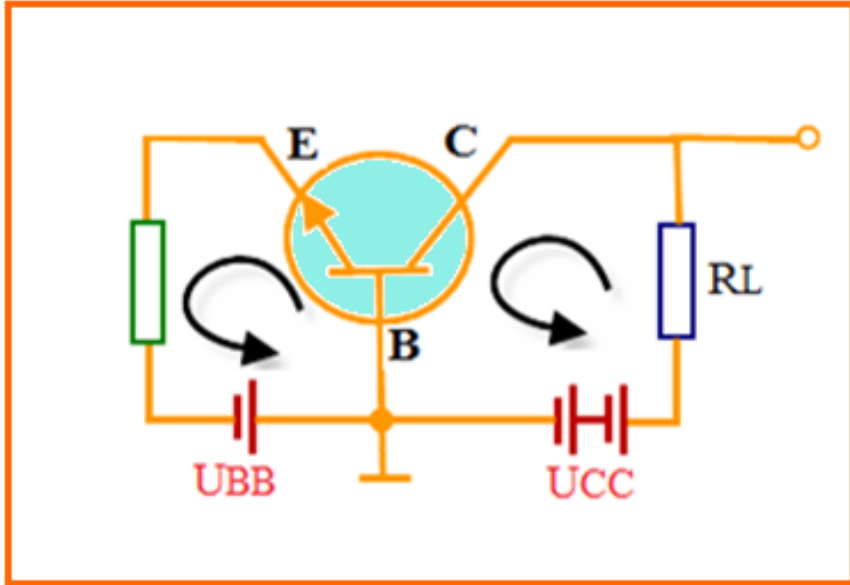
عند وصل الترانزيستور في الدارة يكون له مدخل، حيث تدخل الإشارة، ويكون له مخرج، حيث تخرج الإشارة. ويمكن تقسيم دارة الترانزيستور إلى جزأين هما:

الجزء المدخلي، وهو الجزء الذي يتم فيه التحكم بالتيار المار في الوصلة بين الباعث (E) والقاعدة (B).
الجزء المخرجي، وهو الجزء الذي يمر فيه تيار الحمل، وهذا التيار عادة هو التيار الذي يمر في الوصلة بين المجمع (C) والقاعدة (B).

وبما ان للترانزيستور 3 أطراف، وهي: (الباعث، القاعدة، المجمع) لذلك يتم استخدام أحد الأطراف للدخل، والثاني للمخرج، والثالث يكون مشتركاً بينهما. وبالتالي يوجد 3 دارات أساسية لتوصيل الترانزيستور بالدارة، هي:

- ❖ دارة القاعدة المشتركة (Common-Base configuration).
- ❖ دارة الباعث المشترك (Common-Emitter configuration).
- ❖ دارة المجمع المشتركة (Common-Collector configuration).

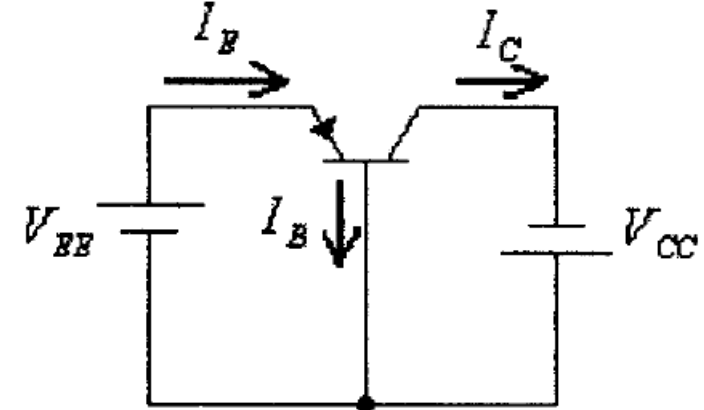
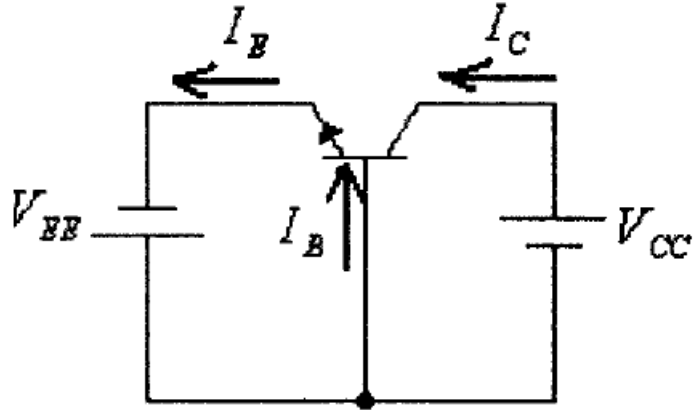
دارة القاعدة المشتركة:



يبين الشكل دارة القاعدة المشتركة للترانزستور NPN، وفيها يكون دخل الدارة بين (الباعث والقاعدة)، ويكون الخرج بين (المجمع والقاعدة)، وبذلك تكون القاعدة هي الطرف المشترك بين المدخل والمخرج (الباعث والمجمع). يقوم منبع التغذية (UBB) بتأمين الانحياز بين (الباعث والقاعدة) ومنبع التغذية (UCC) يؤمن الانحياز بين (المجمع والقاعدة).

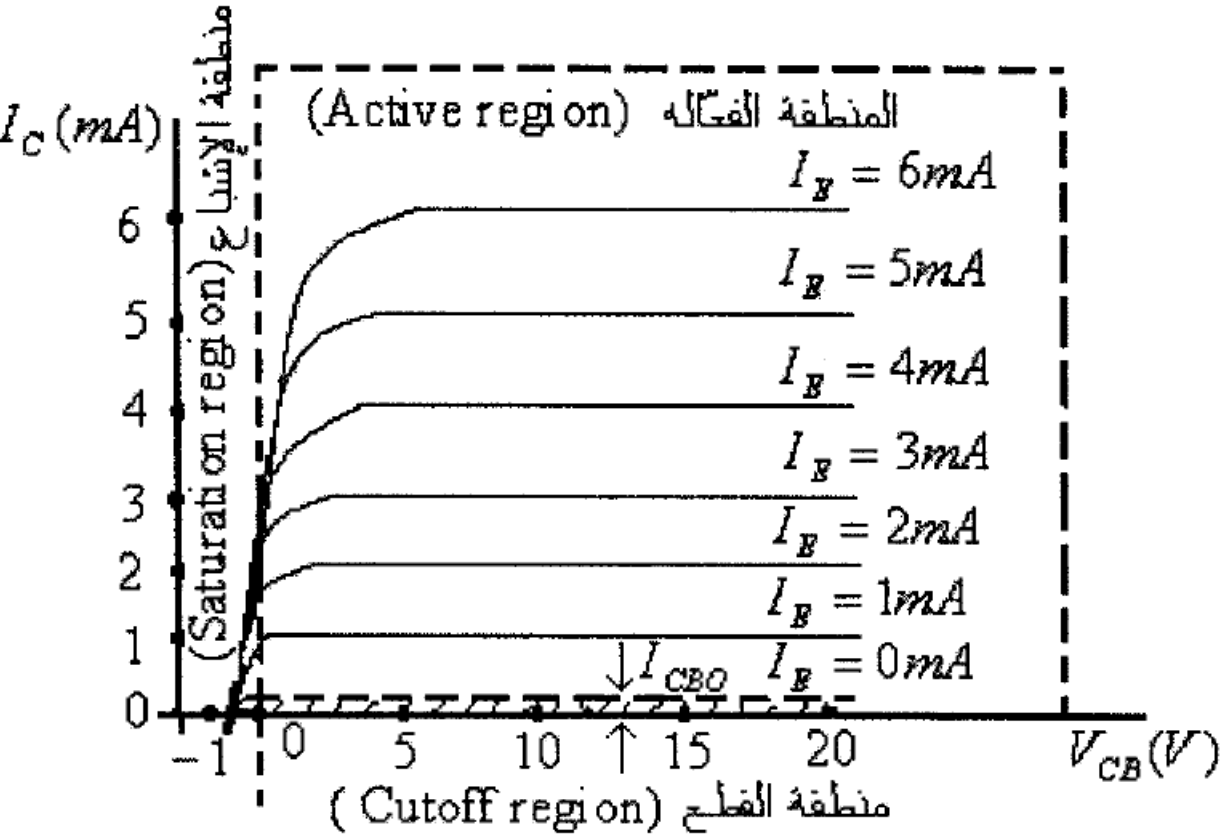
دارة القاعدة المشتركة:

التيار المدخلي هو تيار الباعث I_E ، والجهد المدخلي هو الجهد بين القاعدة B والباعث E ، أي الجهد V_{BE} . والتيار المخرجي هو تيار المجمع I_C ، والجهد المخرجي هو الجهد بين المجمع C والقاعدة B أي الجهد V_{CB} .



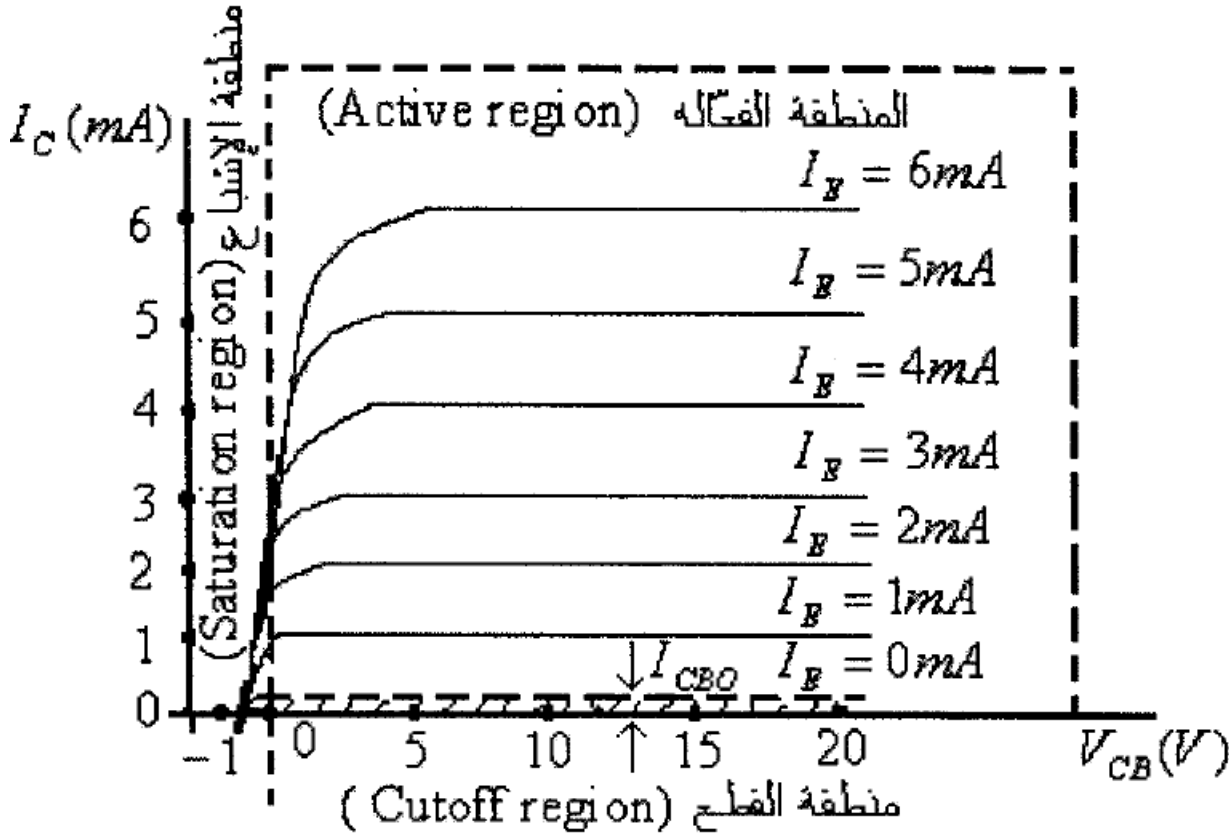
مميزات الخرج لهذه الدارة هي العلاقة بين تيار المجمع I_C والجهد بين المجمع والقاعدة V_{CB} عند قيم مختلفة لتيار الباعث I_E ، كما في الشكل:

يظهر من الشكل أن هذه المنحنيات يمكن تقسيمها إلى ثلاث مناطق: المنطقة الفعالة، ومنطقة الإشباع، ومنطقة القطع.



في المنطقة الفعالة تكون الوصلة بين القاعدة والباعث في حالة انحياز أمامي، والوصلة بين المجمع والقاعدة في حالة انحياز عكسي، وهذه المنطقة هي منطقة عمل الترانزستور في دارات التضخيم. في هذه المنطقة يكون تيار المجمع I_C يساوي تقريباً تيار الباعث I_E .

في **منطقة القطع** تكون كل من الوصلة بين القاعدة والباعث، والوصلة بين المجمع والقاعدة في حالة انحياز عكسي. في هذه المنطقة يكون تيار الباعث I_E يساوي **الصفر**.
 فتيار المجمع يكون مساوٍ فقط لتيار التسريب العكسي للوصلة بين المجمع والقاعدة (**التيار I_{CBO}**)، وهذا التيار يعتمد كثيراً على درجة حرارة الترانزيستور، فهو يزداد بازدياد درجة الحرارة.



في **منطقة الإشباع** تكون كل من الوصلة بين القاعدة والباعث، والوصلة بين المجمع والقاعدة في حالة انحياز أمامي. في هذه المنطقة يكون الجهد بين المجمع والقاعدة (V_{CB}) يساوي **الصفر**.

الجدير بالذكر أن الترانزيستور عندما يعمل كمفتاح، فإنه ينتقل بين منطقة القطع ومنطقة الإشباع.

لوصف عمل الترانزيستور عندما يكون موصولاً وفق دائرة القاعدة المشتركة كثيراً ما يستخدم المعامل (α) الذي يعكس العلاقة بين تيار المجمع I_C وتيار الباعث I_E . ففي دوائر التيار المستمر فإن:

$$\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E}$$

وبما ان تيار المجمع يساوي تيار الباعث، فإن: $\alpha_{dc} \approx 1$

وعادة ما تكون قيم المعامل α_{dc} محصورة بين 0.9 و 0.999.

من جهة ثانية فإن تيار المجمع يتكون من جزأين، هما: تيار يتم التحكم بمقداره بواسطة تيار الباعث I_E ، وتيار التسريب العكسي I_{CB0} . وبالتالي فإن:

$$I_C = \alpha \cdot I_E + I_{CB0}$$

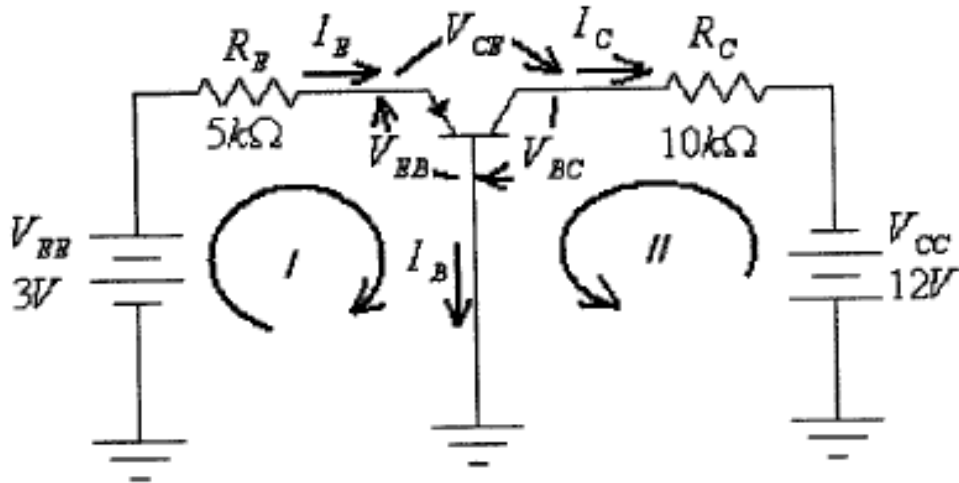
في دارات التيار المتناوب نستخدم المعامل α_{ac} لوصف العلاقة بين تغير تيار المجمع وتغير تيار الباعث، أي:

$$\alpha_{ac} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$$

$$\alpha_{ac} \approx 1$$

وبما أن تغير تيار المجمع يساوي تقريباً تغير تيار الباعث، فإن:

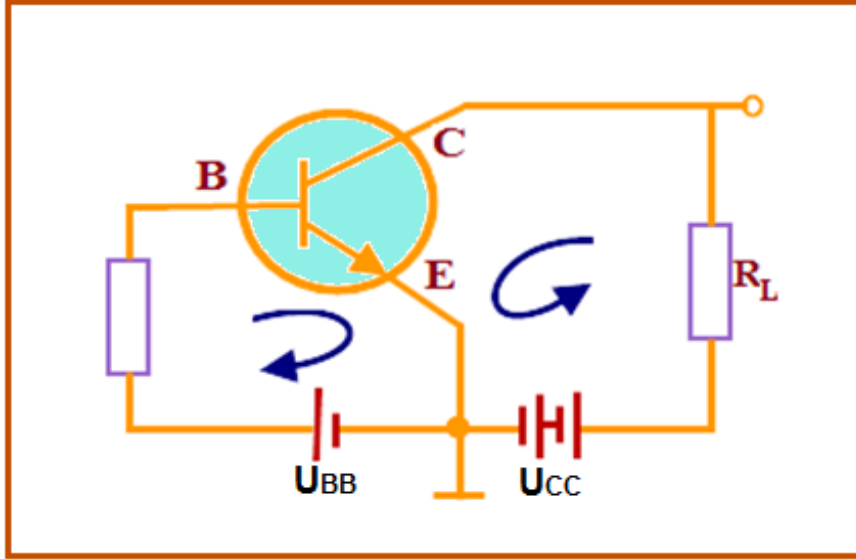
مثال: لتكن لدينا الدارة المبينة بالشكل. فإذا علمت بأن $\alpha = 0.95$ للترانزيستور المستخدم. المطلوب إيجاد ما يلي:



$$V_{CE}, V_{BC}, I_B, I_C, I_E, V_{EB}$$

دارة الباعث المشترك:

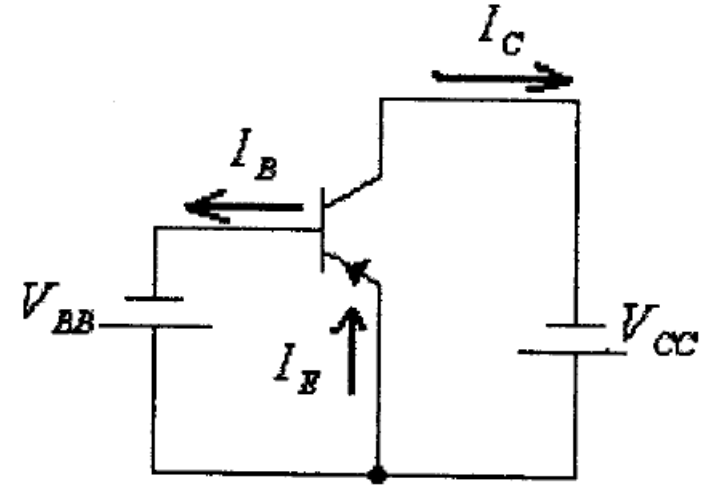
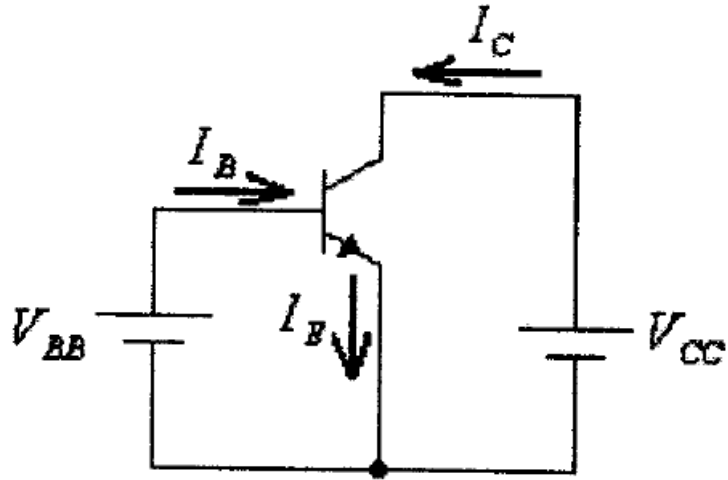
هي من أكثر الدارات استخداماً، ويبين الشكل دارة الباعث المشترك للترانزيستور NPN، وفيها يكون دخل الدارة بين (القاعدة والباعث)، ويكون الخرج بين (المجمع والباعث)، وبذلك يكون الباعث هو الطرف المشترك بين الدخل والخرج.



يؤمن منبع التغذية (U_{BB}) الانحياز بين (القاعدة والباعث)، ويؤمن منبع التغذية (U_{CC}) الانحياز بين (المجمع والقاعدة).

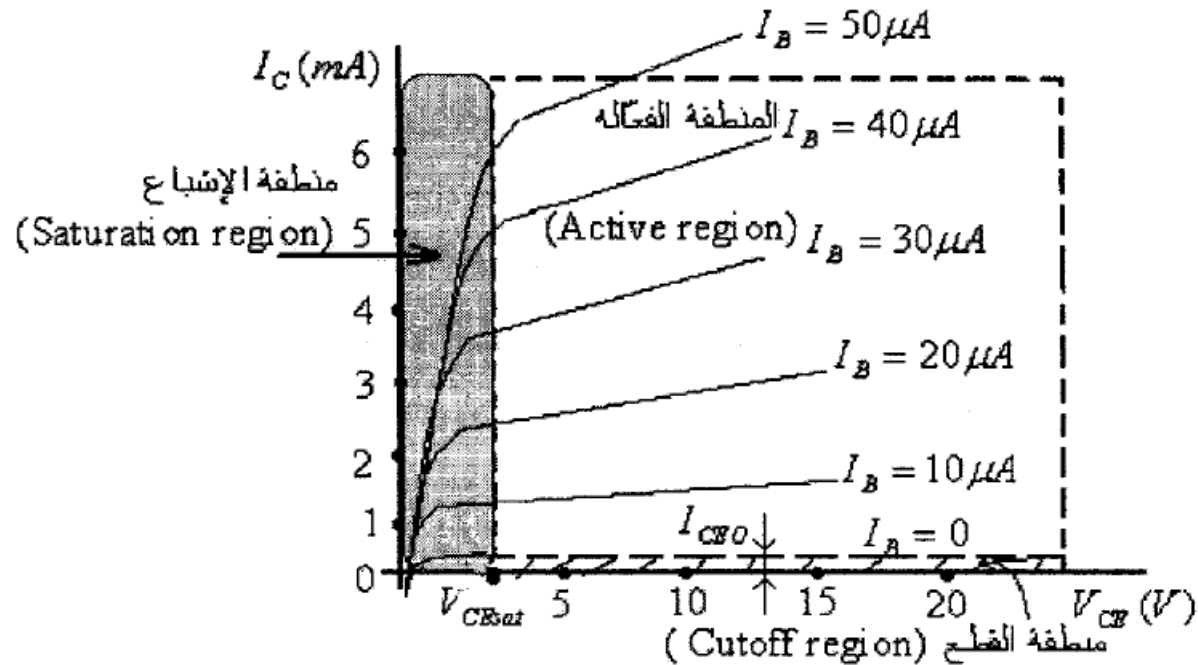
دارة الباعث المشترك:

التيار المدخلي هو تيار القاعدة I_B ، والجهد المدخلي هو الجهد بين القاعدة **B** والباعث **E**، أي الجهد V_{BE} . والتيار المخرج هو تيار المجمع I_C ، والجهد المخرج هو الجهد بين المجمع **C** والباعث **E** أي الجهد V_{CE} .

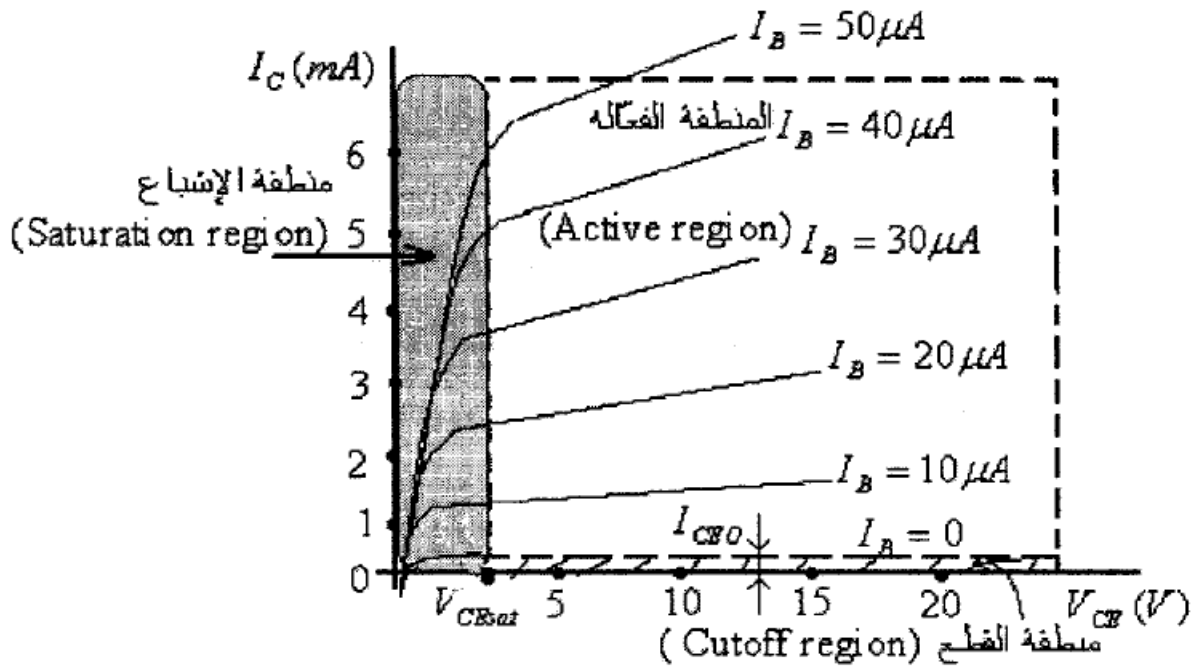


مميزات الخرج لهذه الدارة هي العلاقة بين تيار المجمع I_C والجهد بين المجمع والباعث V_{CE} عند قيم مختلفة لتيار القاعدة I_B ، كما في الشكل.

نلاحظ من الشكل القيم الصغيرة لتيار القاعدة مقارنة مع تيار المجمع، كما نلاحظ انحراف منحنيات تيار المجمع إلى الأعلى عند القيم المختلفة لتيار القاعدة، وهذا يشير إلى ازدياد تيار المجمع بارتفاع الجهد بين المجمع والباعث.



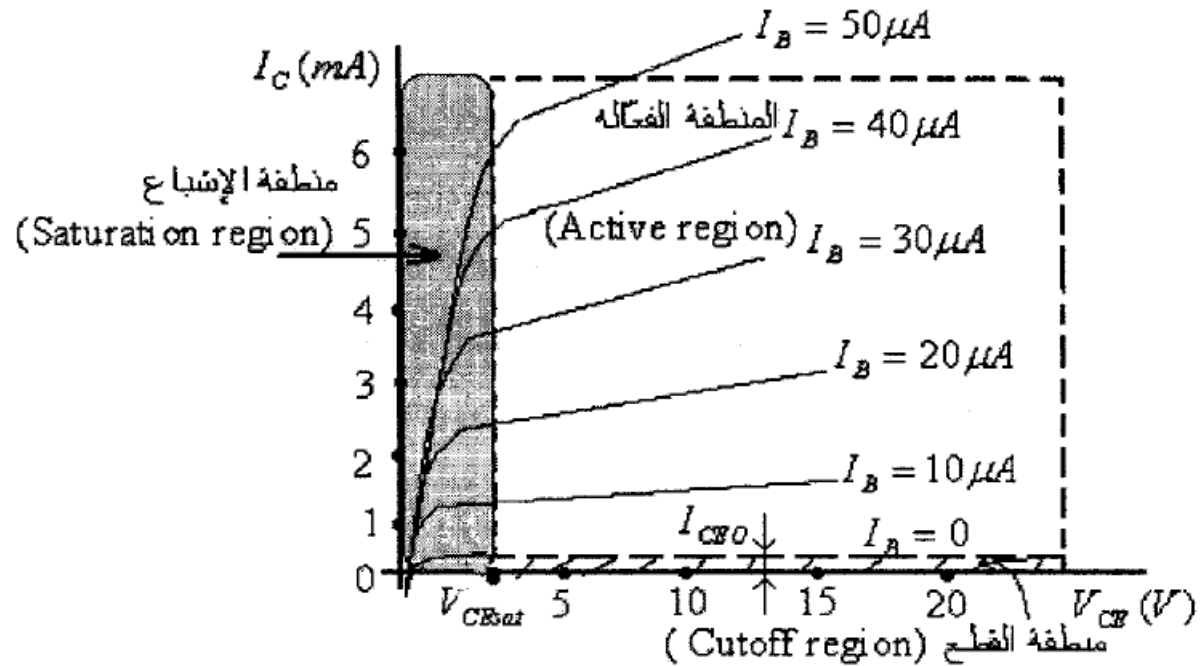
أيضاً يمكن تقسيم المنحنيات إلى ثلاث مناطق: المنطقة الفعالة، ومنطقة الإشباع، ومنطقة القطع.



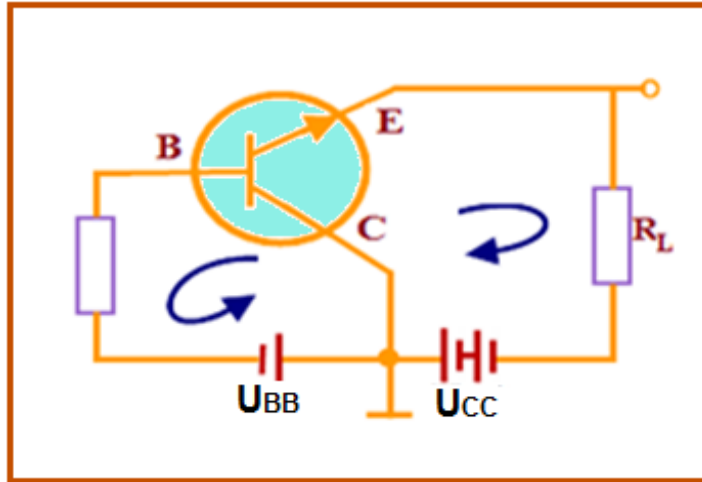
في المنطقة الفعالة تكون الوصلة بين القاعدة والباعث في حالة انحياز أمامي، والوصلة بين المجمع والقاعدة في حالة انحياز عكسي، وهذه المنطقة هي منطقة عمل الترانزيستور في دارات التضخيم.

في منطقة القطع تكون كل من الوصلة بين القاعدة والباعث والوصلة بين المجمع والقاعدة في حالة انحياز عكسي، مع ملاحظة أنه عندما يكون تيار القاعدة مساوياً للصفر فإن تيار المجمع لا يساوي الصفر، وإنما يساوي قيمة تيار التسريب I_{CBO} ، وهي أكبر من القيمة نفسها في حالة دائرة القاعدة المشتركة.

في منطقة الإشباع تكون كل من الوصلة بين القاعدة والباعث والوصلة بين المجمع والباعث في حالة انحياز أمامي، مع ملاحظة أن الجهد بين المجمع والباعث V_{CE} يساوي القيمة V_{CEsat} والتي قيمتها بحدود $0.3V$ لمعظم الترانزستورات.



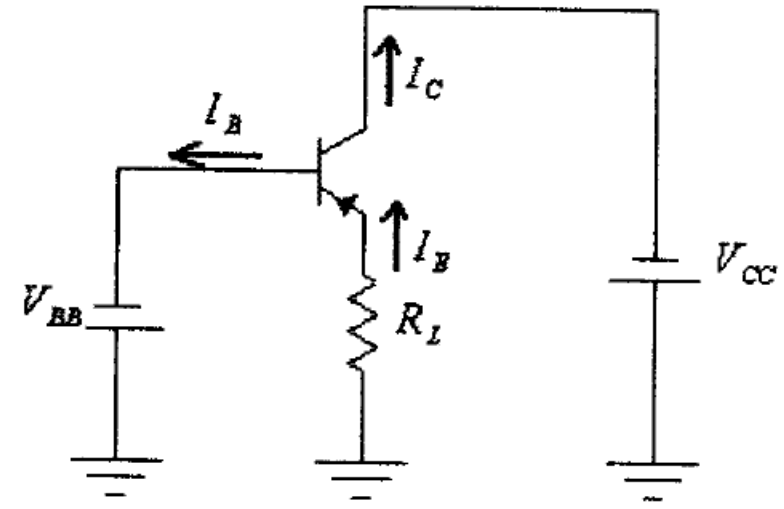
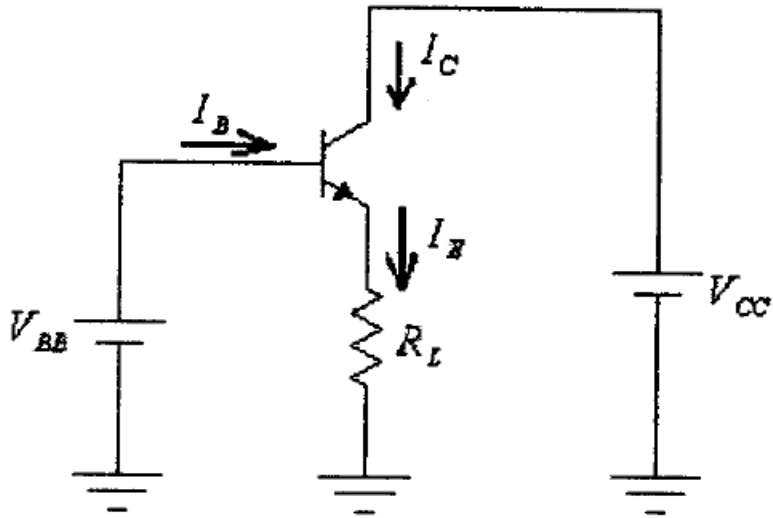
دارة المجمع المشترك:



يكون المجمع هو الطرف المشترك بين الدخل والخرج ويكون الدخل بين (القاعدة والمجمع)، والخرج بين (الباعث والمجمع).
تستخدم هذه الدارة كثيراً من أجل التوافق بين الممانعات.

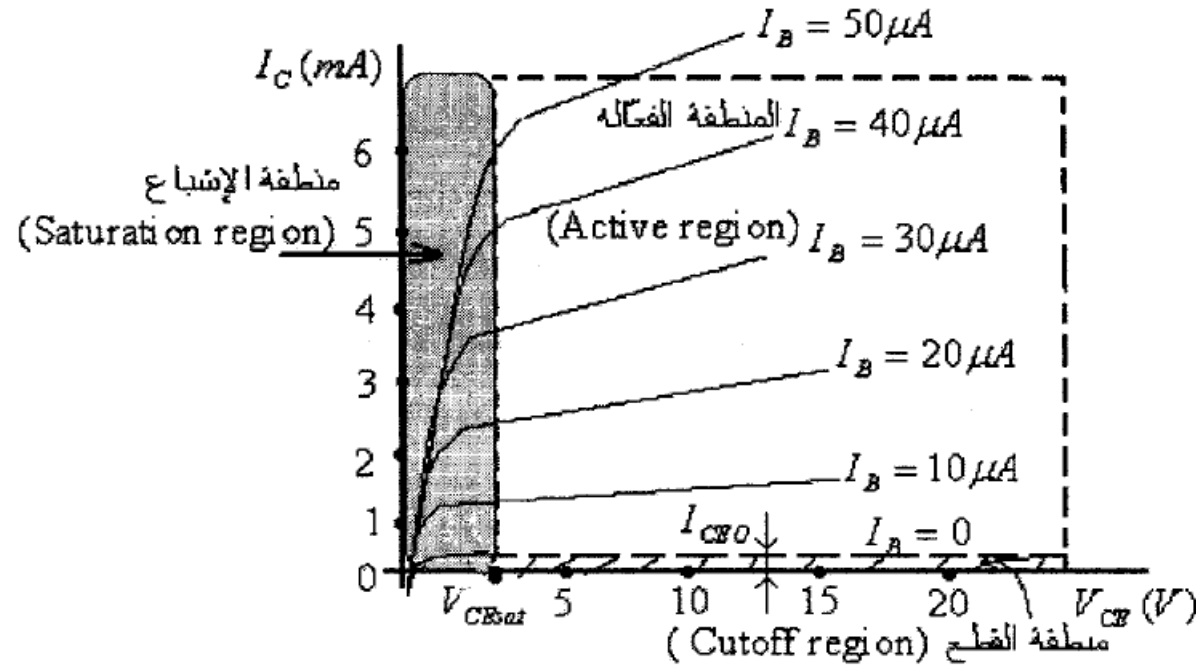
دارة المجمّع المشترك:

التيار المدخلي هو تيار القاعدة I_B ، والجهد المدخلي هو الجهد بين القاعدة **B** والمجمّع **C**، أي الجهد V_{BC} . والتيار المخرجي هو تيار الباعث I_E ، والجهد المخرجي هو الجهد بين المجمّع **C** والباعث **E** أي الجهد V_{CE} .



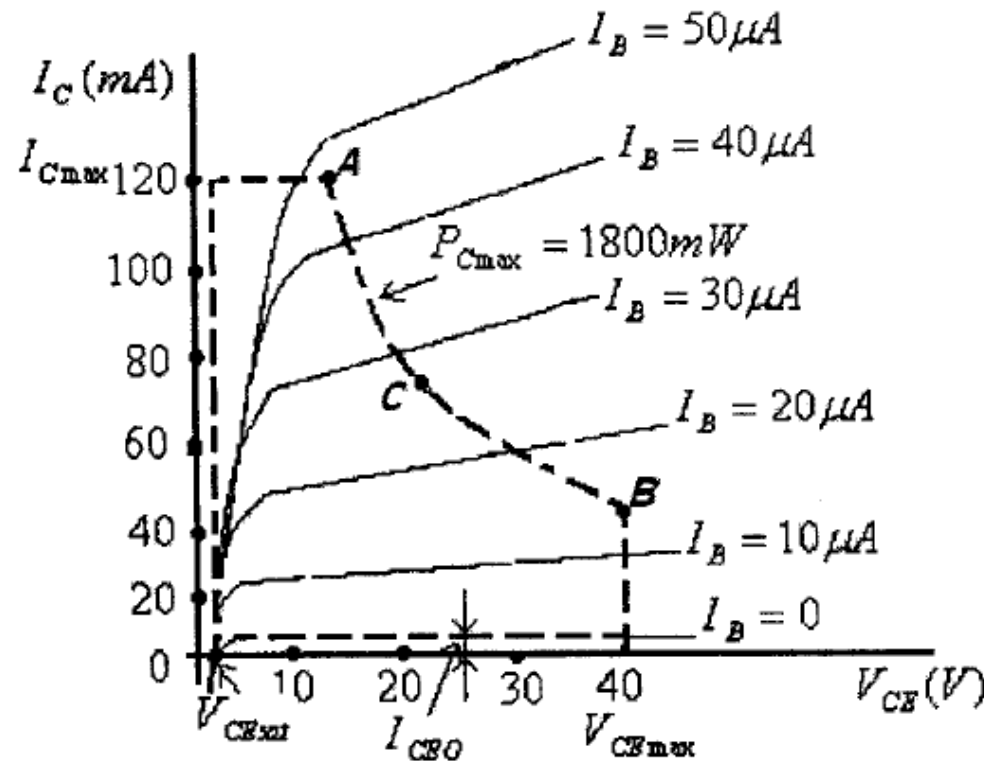
تجدد الملاحظة أن اتجاه تيار الباعث I_E هو باتجاه السهم الذي يشير إليه الباعث، وان مجموع التيارات الداخلة والخارجة للترانزيستور يساوي الصفر.

مميزات الخرج لهذه الدارة هي العلاقة بين تيار الباعث I_E والجهد بين المجمع والباعث V_{CE} عند قيم مختلفة لتيار القاعدة I_B ، وهي شبيهة بمميزات الخرج لدارة الباعث المشترك لأن قيمة تياراي الباعث والمجمّع متقاربتين. لجهد بين المجمع والباعث.

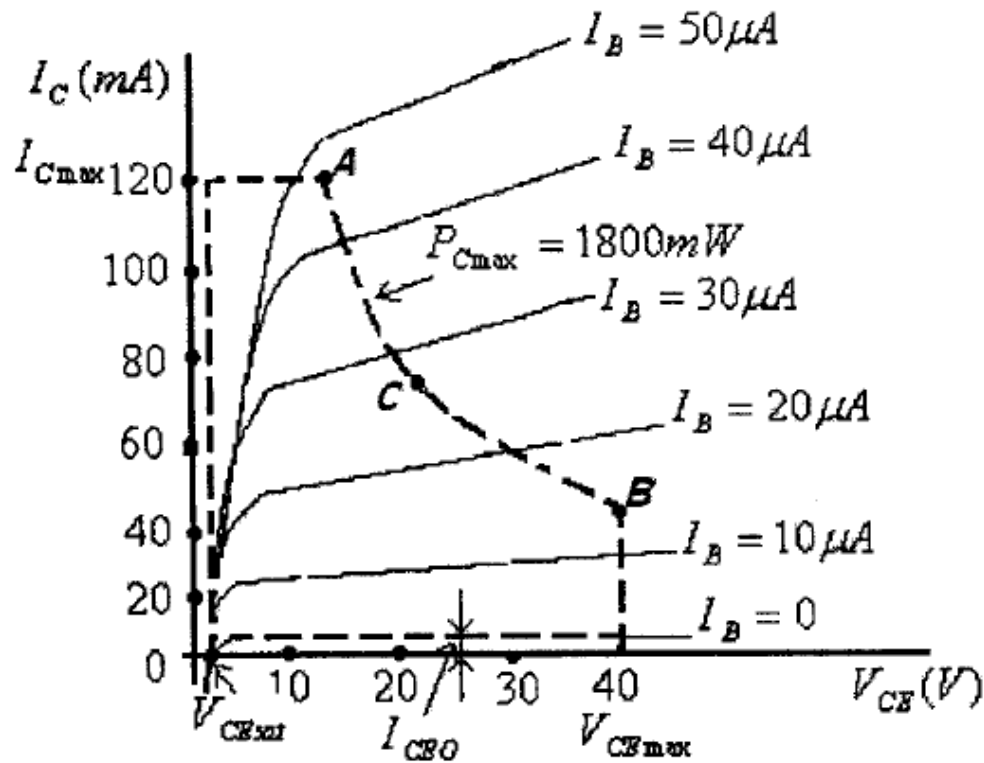


حدود عمل الترانزيستور:

يقصد بها القيم العظمى والصغرى لتيارات الترانزيستورات، والجهود بين أطرافه، والقدرة المبددة فيه، والتي يستطيع الترانزيستور العمل ضمنها دون أن ينهار أو يحدث تشويه لإشارة الدخل، والشكل التالي يبين مثالاً لتلك الحدود.



تسمى المنطقة المحصورة بين القيم العظمى والصغرى لحدود عمل الترانزستورات بمنطقة العمل الآمن، ويمكن تحديد هذه المنطقة كما يلي:



الحد الأيسر الذي يحدد القيمة الدنيا المسموح بها للجهد بين المجمع والباعث (V_{CEsat}) بحيث لا يحدث تشويه في إشارة الخرج عند عمل الترانزستور كمضخم.

الحد الأيمن الذي يحدد القيمة العظمى المسموح بها للجهد بين المجمع والباعث (V_{CEmax}) بحيث لا ينهار الترانزستور.

الخط الأفقي السفلي الذي يحدد القيمة الدنيا المسموح بها لتيار المجمع (I_{CEO}) بحيث لا يحدث تشويه في إشارة الخرج عند عمل الترانزستور كمضخم.

الخط الأفقي الأعلى الذي يحدد القيمة العظمى المسموح بها لتيار المجمع (I_{Cmax}) بحيث لا ينهار الترانزستور.

منحني القدرة العظمى المبددة (P_{Cmax})، الذي يحدد القيمة العظمى للقدرة المبددة في الترانزستور، والتي تضيع على شكل حرارة في المنطقة المحيطة بالترانزستور، ولرسم هذا المنحني يجب معرفة النقاط A, B, C على الأقل.

	الرمز	الشكل التجاري
ترانزستور NPN		
ترانزستور PNP		

2SC1815
2SA1015



2SC312



2SD481



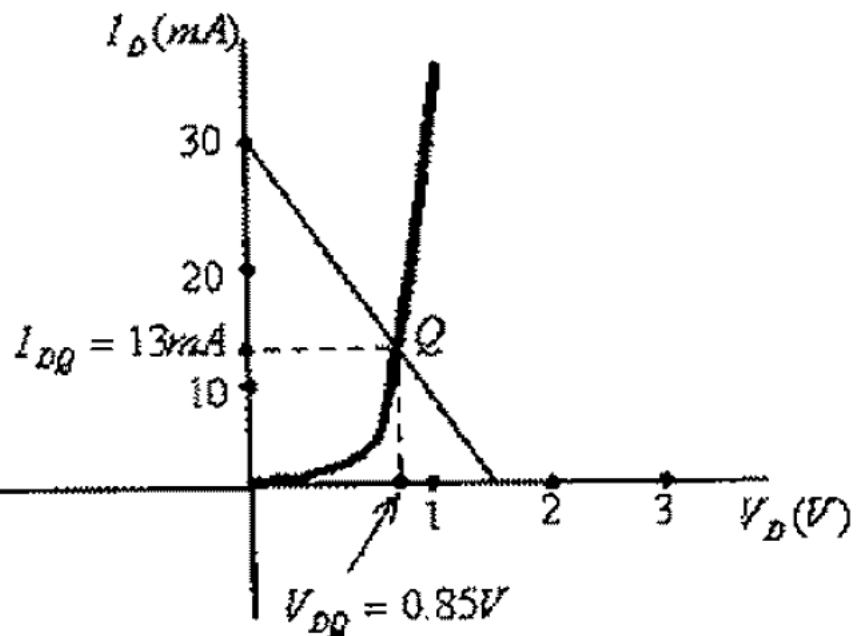
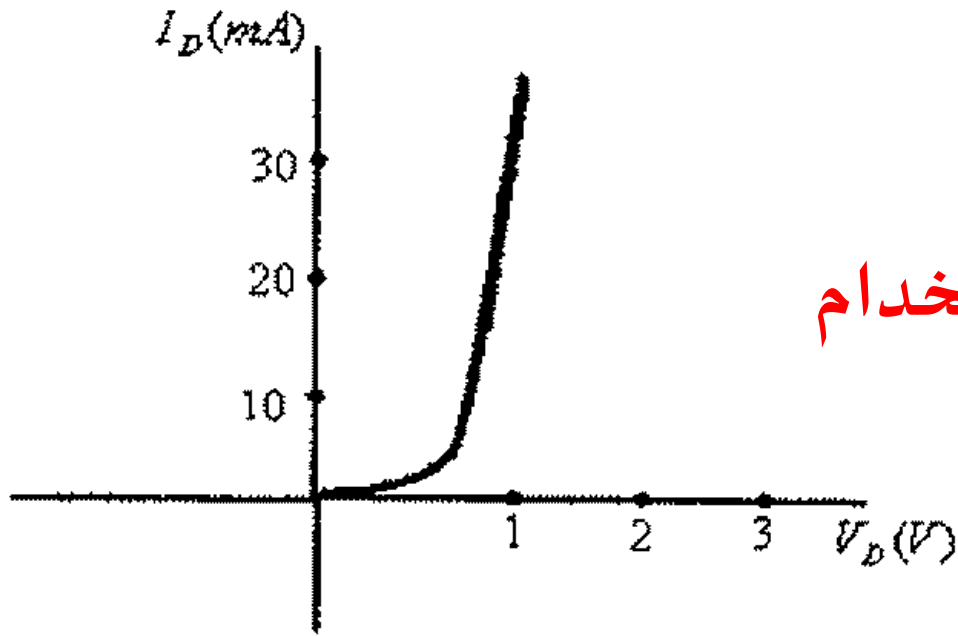
ثقب لتثبيت البرغي (غلاف خارجي) C



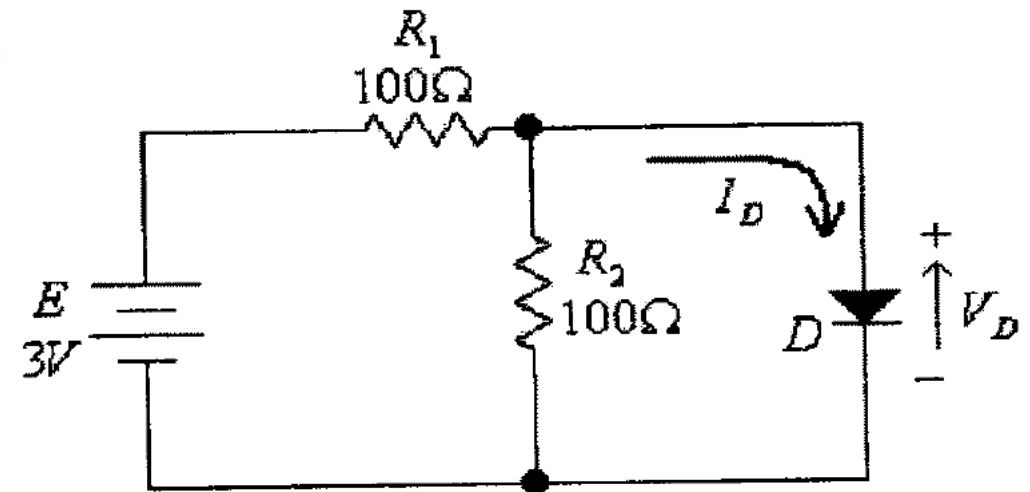
2	S	C	1815
تشير إلى أن العنصر هو ترانزستور	للإشارة إلى أن العنصر هو نصف ناقل	A	ترانزستور نوع PNP لتطبيقات الترددات العالية
		B	ترانزستور نوع PNP لتطبيقات الترددات المنخفضة
		C	ترانزستور نوع NPN لتطبيقات الترددات العالية
		D	ترانزستور نوع NPN لتطبيقات الترددات المنخفضة
			رقم مضاف بغرض تمييز المنتج

مثال عن دارات الدايمود:

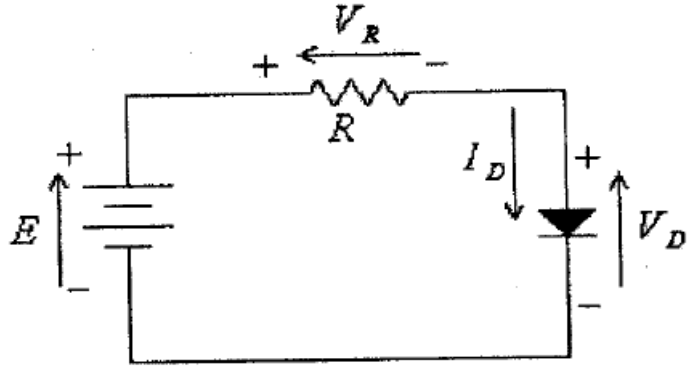
أوجد قيمة تيار الدايمود والجهد المطبق عليه باستخدام نظرية ثيفينين.



جامعة
المنصورة
MANSAURA UNIVERSITY



هناك عدة طرق لتحليل الدارات غير الخطية، ومن ضمنها الدارات التي تحوي دايود واحد أو أكثر. من أبرز هذه الطرق (طريقة خط الحمل Load-line method). نوضح هذه الطريقة من خلال الدارة التالية:



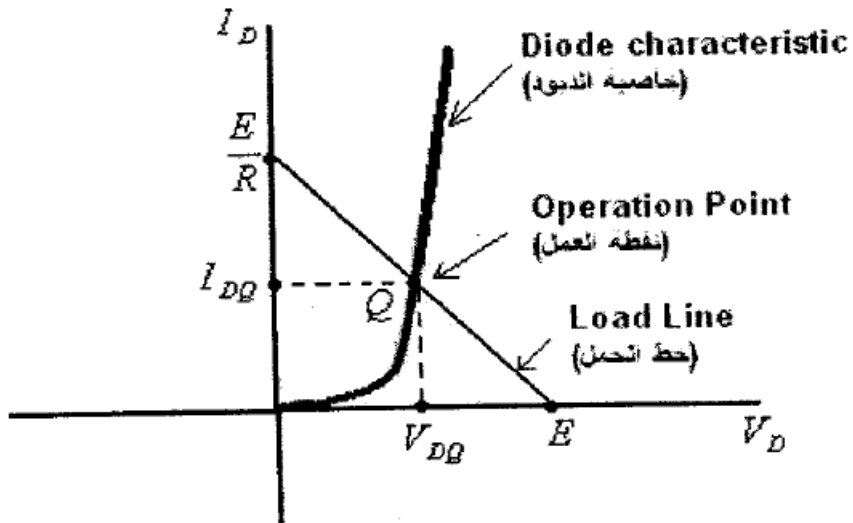
بتطبيق قانون كيرشوف الثاني نجد:

$$E = V_R + V_D$$

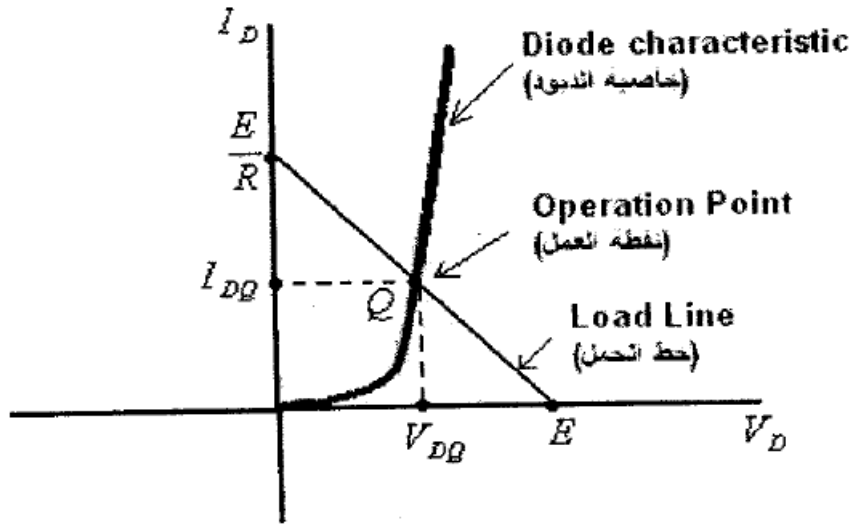
$$E = I_D \cdot R + V_D$$



نقطة تقاطع الخط المستقيم (الذي يسمى خط الحمل) الذي تمثله المعادلة السابقة مع منحنى خواص الدايود تمثل نقطة عمل الدايود، ويرمز لها بالرمز Q، كما في الشكل.



يتم رسم هذا الخط بمعرفة نقطتين منه: نحصل على الأولى بتعويض $I_D=0$ في المعادلة، وبالتالي $V_D=E$ ، أي أن احداثيات أول نقطة $(E,0)$. ونحصل على النقطة الثانية بتعويض $V_D=0$ في المعادلة السابقة، وبالتالي $I_D=E/R$ ، أي أن احداثيات النقطة الثانية $(0,E/R)$.



نصل بين النقطتين فيتقاطع المستقيم الناتج مع منحنى خواص الدايمود في النقطة Q التي تمثل نقطة العمل للدايمود. جهد الدايمود في نقطة العمل هي V_{DQ} وتياره هو I_{DQ} .

