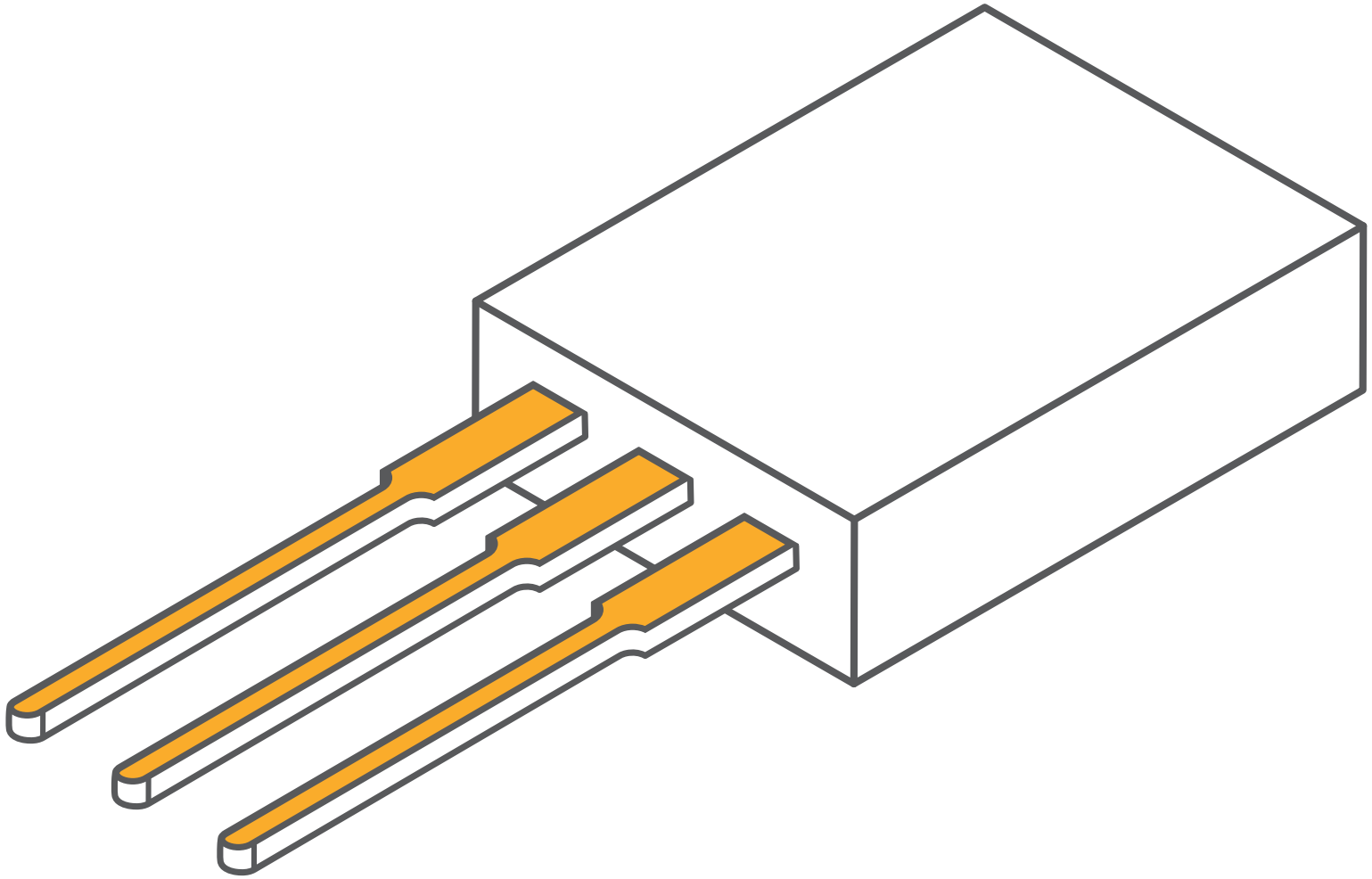


الترانزستور

أهداف الدرس

ستتمكَّن من:

- وصف علاقة طرف القاعدة وطرف المجمع وطرف الباعث في الترانزستور PNP وNPN بتطعيم شبه الموصل عند هذه الأطراف
- وصف كيف تختلف التيارات التي تمر في أطراف الترانزستور باختلاف توصيل أطراف الترانزستور بدائرة خارجية
- إعادة كتابة المعادلات التالية لحساب I_C وI_E وI_B: $I_C = \alpha_e I_E$، $I_B = (1 - \alpha_e) I_E$، $\beta_e = \frac{I_C}{I_B}$
- استخدام $V_{CC} = V_{CE} + I_C R_C$ لإيجاد أي مجهول ووصف كيف يؤثر كل حد على الحدود الأخرى

الترانزستور

في هذا العرض التقديمي، سوف نتعلَّم كيف يُمكِن استخدام الترانزستور مِفتاحًا في الدوائر الكهربية.

لكي نفهم كيف يعمل الترانزستور عمل المِفتاح، علينا أن نعرف تركيبه.

يتكوَّن الترانزستور من ثلاث مناطقَ مصنوعةٍ من أشباه موصِّلات مُطعَّمة.

تذكير: وصلات أشباه الموصِّلات

تتكوَّن وصلة أشباه الموصِّلات عن طريق توصيل أشباه الموصلات المُطعَّمة من النوع n والنوع p بعضهم ببعض.

يتكوَّن أيُّ شِبهِ موصِّل مُطعَّم من النوع n من شبكة ذرِّية عدد الإلكترونات الحرة بها أكبر من عدد الذرَّات التي لها فجوات في غِلافها الخارجي.

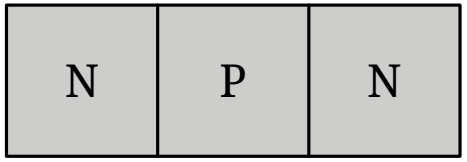
ويتكوَّن أيُّ شِبهِ موصِّل مُطعَّم من النوع p من شبكة ذرِّية عدد ذرَّاتها التي لها فجوات في غِلافها الخارجي أكبر من عدد الإلكترونات الحرة بها.

عند توصيل وصلة أشباه الموصلات بمصدر خارجي للتيار الكهربي به فرق جهد؛ فإنه يَنتج عند الوصلة توصيل. وقد يكون هذا التوصيل أماميًّا أو عكسيًّا.

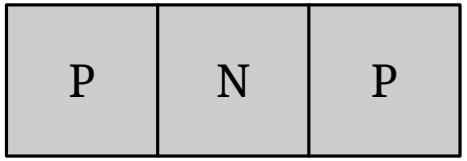
مناطق الترانزستور

يُمكِن تكوين ترانزستور بوضع شِبه موصِّل من النوع p بين اثنين من أشباه الموصِّلات من النوع n.

ويُمكِن أيضًا تكوين ترانزستور بوضع شِبه موصِّل من النوع n بين اثنين من أشباه الموصِّلات من النوع p.



ترانزستور NPN



ترانزستور PNP

مناطق الترانزستور (متابعة)

يتكوَّن كلا الترانزستورين NPN وPNP من ثلاث مناطق.

عند توصيل الترانزستور بدائرة كهربية، تُوصَّل الدائرة بكل منطقة من تلك المناطق الثلاث.

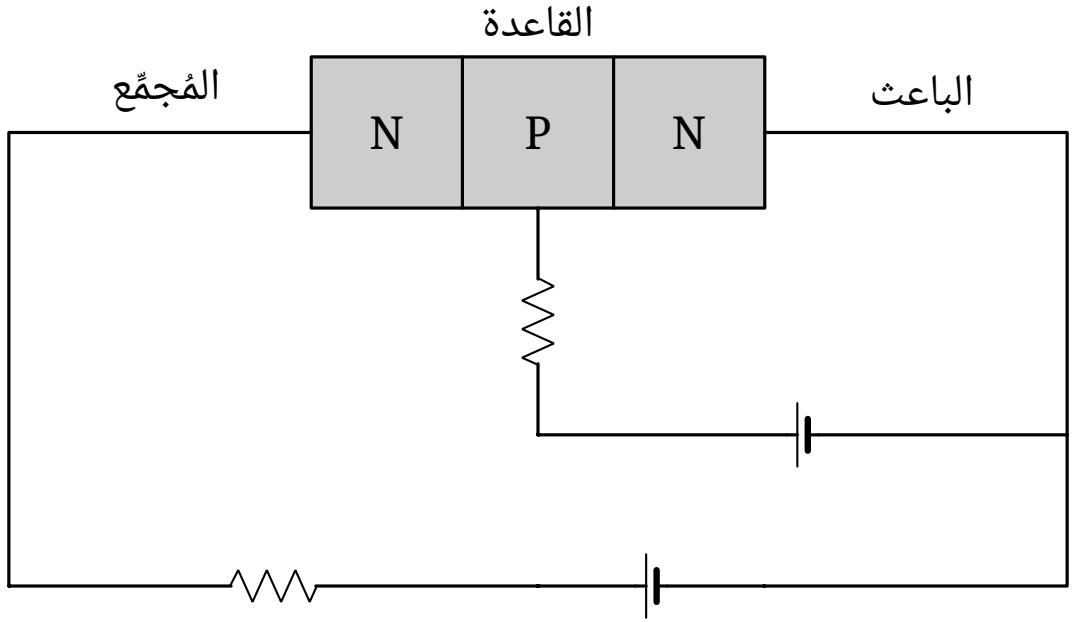
تُسمَّى مناطق الترانستور الثلاث:

- الباعث
- المُجمِّع
- القاعدة

اتصالات دائرة منطقة الترانزستور

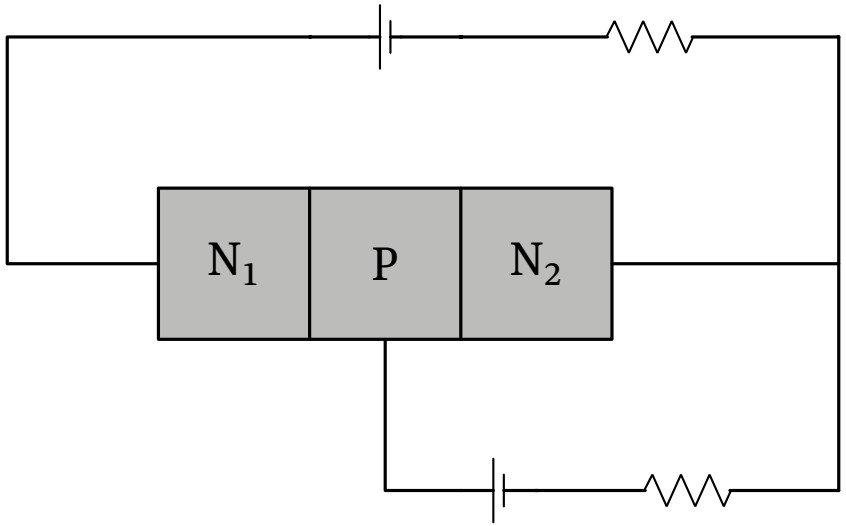
الدائرة التي تصل تلك المناطق الثلاث تُسمَّى دائرة ترتيب الباعث المشترك.

لنفترض وجود ترانزستور من النوع NPN في الترتيب بالشكل الموضَّح.



مثال ١: تحديد مناطق الترانزستور

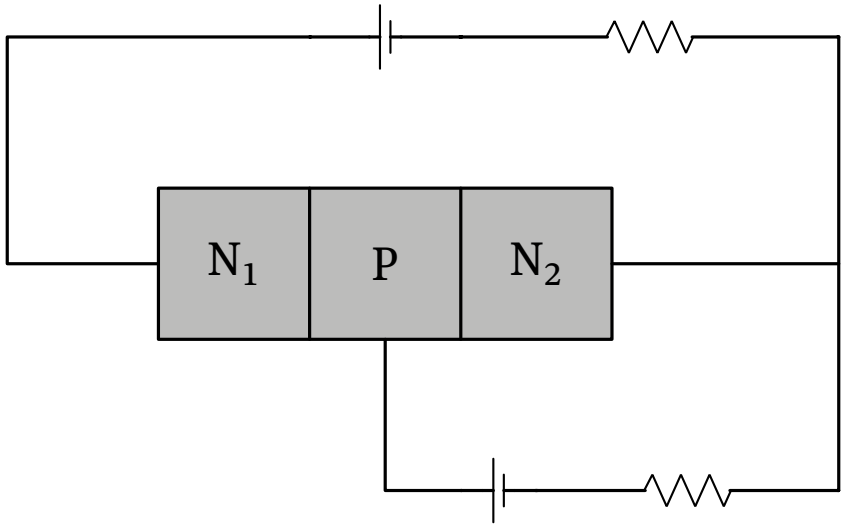
وُصِّل ترانزستور NPN بمصدرَي تيار مستمر، كما هو موضَّح بالشكل. المنطقتان n متطابقتان.



مثال ١ (متابعة)

الجزء الأول

أيٌّ من مناطق الترانزستور منطقة المُجمِّع؟



الحل

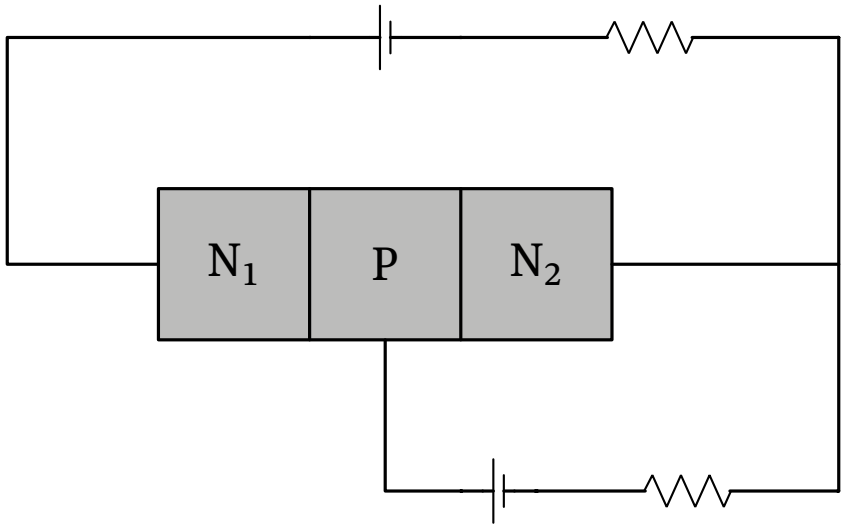
الطرف الموجب لمصدر التيار الموصَّل بكلٍّ من N_1 وN_2 متصل بـ N_1.

بالنسبة إلى ترانزستور الباعث المشترك من النوع NPN، يكون الطرف الموجب للمصدر الموصَّل بكلٍّ من N_1 وN_2 متصلًا بالمُجمِّع، ومن ثَمَّ N_1 هو المُجمِّع.

مثال ١ (متابعة)

الجزء الثاني

أيٌّ من مناطق الترانزستور منطقة الباعث؟



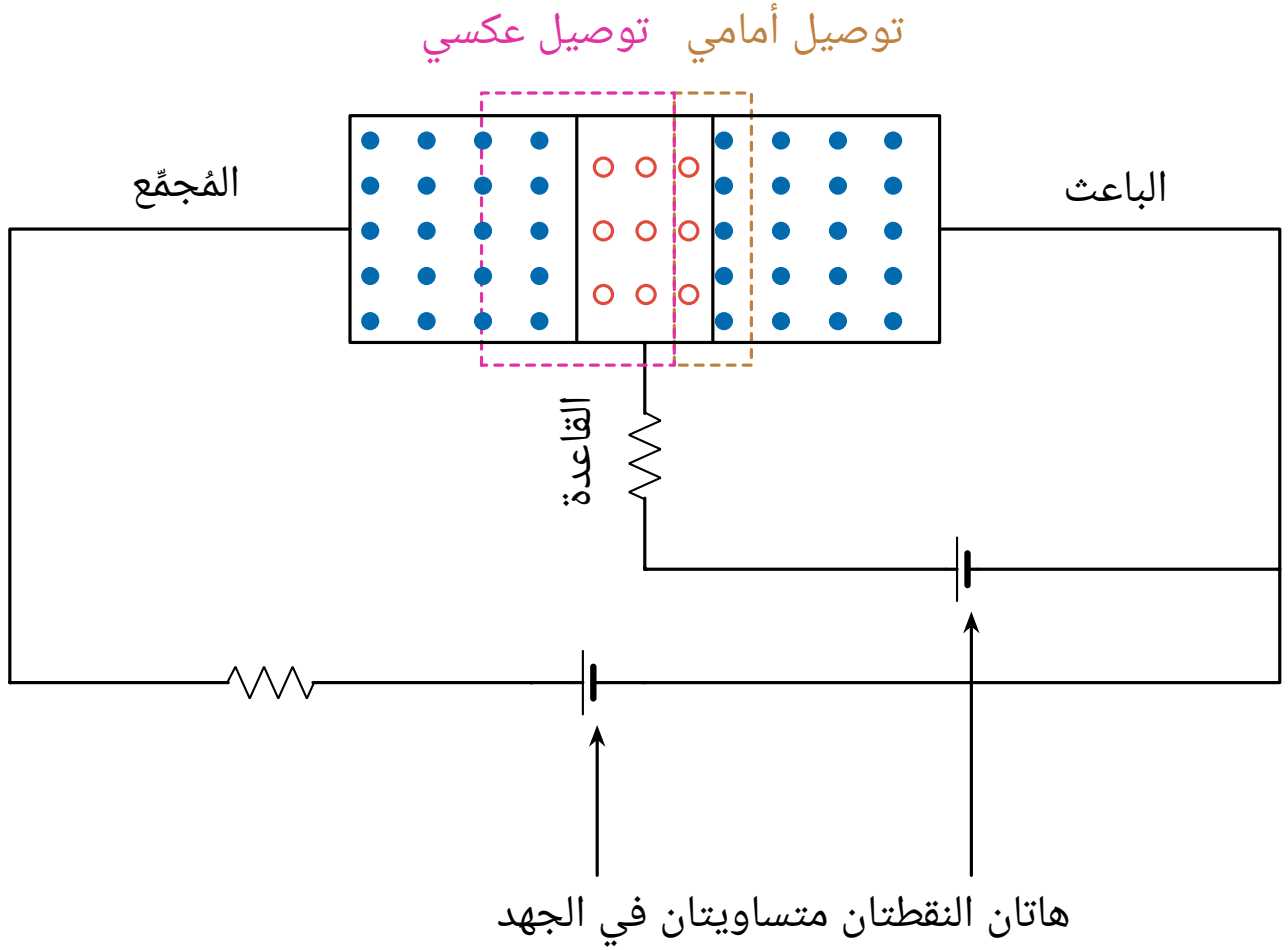
الحل

الطرف السالب لمصدر التيار الموصَّل بكلٍّ من N_1 وN_2 متصل بـ N_2.

بالنسبة إلى ترانزستور الباعث المشترك من النوع NPN، يكون الطرف السالب للمصدر الموصَّل بكلٍّ من N_1 وN_2 متصلًا بالباعث، ومن ثَمَّ N_2 هو الباعث.

التوصيلات عند وصلات منطقة الترانزستور

يتأثَّر التيار في دائرة الترانزستور بالتوصيلات عند حدود القاعدة والمنطقتَين المجاورتين لها.



في هذا الشكل، الإلكترونات الحرة موضَّحة بدوائر لونها أزرق، والفجوات موضَّحة بحلقات لونها أحمر.

التوصيلات عند وصلات منطقة الترانزستور (متابعة)

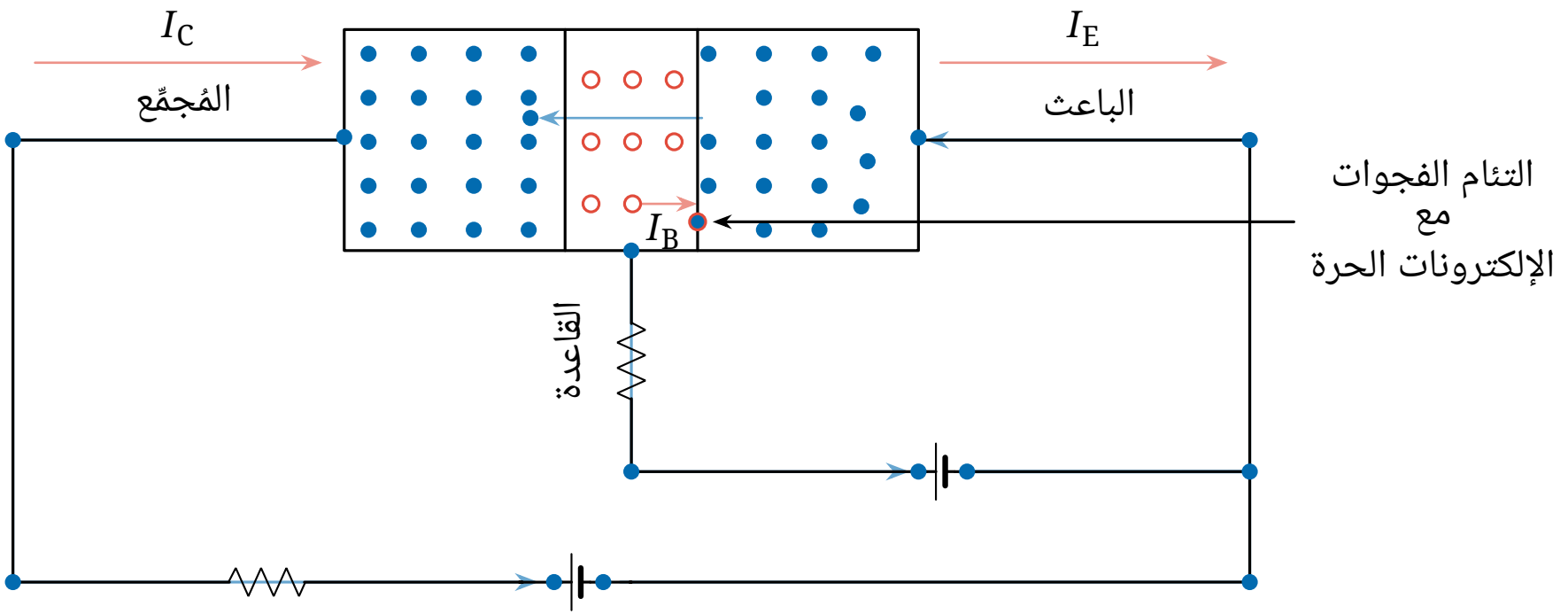
منطقة القاعدة أقل سُمكًا من منطقتَي المُجمِّع والباعث. تكون منطقة القاعدة في ترانزستور حقيقي رقيقة للغاية مقارنةً بالمنطقتين الأُخريَين. الفرق في السُّمك أكبر بكثير من الفرق الموضَّح في الشكل.

تركيز الفجوات في منطقة القاعدة أقل بكثير من تركيز الإلكترونات الحرة في منطقتَي الباعث والمُجمِّع.

الباعث موصَّل أماميًّا، والمُجمِّع موصَّل عكسيًّا.

يتساوى الجهد عند الطرفَين السالبَين لمصدرَي فرق الجهد.

التيارات في مناطق الترانزستور



يوجد تيار خارج من وصلة منطقة الباعث. ويُمكِن الإشارة إليه بالرمز I_E.

يوجد تيار داخل إلى وصلة منطقة المُجمِّع. ويُمكِن الإشارة إليه بالرمز I_C.

يوجد تيار داخل إلى وصلة منطقة القاعدة. ويُمكِن الإشارة إليه بالرمز I_B.

التيارات في مناطق الترانزستور (متابعة)

نلاحظ أن I_{E} ناتج عن الإلكترونات الحرة التي تتحرَّك من الباعث إلى منطقة القاعدة.

تتسارع الإلكترونات الحرة، التي تنتقل من الباعث إلى القاعدة، بواسطة التوصيل الأمامي في الباعث باتجاه المُجمِّع. معظم هذه الإلكترونات لديها طاقة كافية للتغلُّب على تأثير التوصيل العكسي عبر المُجمِّع؛ ومن ثَمَّ تمر إلى منطقة المُجمِّع.

تلتئم الفجوات في القاعدة مع جزء صغير من الإلكترونات في منطقة الباعث. ويتكوَّن تيار القاعدة من هذه الإلكترونات.

تعتمد شدة التيار I_{B} مقارنةً بشدة التيار I_{C} على سُمك منطقة القاعدة، وعلى الفرق في تركيز التطعيم بمنطقتَي الباعث والقاعدة.

ترتبط قيم I_{C} وI_{E} وI_{B} على النحو الآتي:

$$I_{\mathrm{E}} = I_{\mathrm{C}} + I_{\mathrm{B}}.$$

التيارات في مناطق الترانزستور (متابعة)

تُمثِّل نسبة I_C إلى I_B قيمة مهمة في دائرة الترانزستور. وفي دائرة ترانزستور الباعث المشترك تكون قيمة I_B عادة أقل كثيرًا من قيمة I_C. وهذا لأن السُّمك وتركيز التطعيم في منطقة القاعدة قليلان مقارنةً بمنطقة المُجمِّع.

يُسمَّى ثابت التناسب بين I_C وI_E بـ α_e:

$$I_C = I_E \alpha_e.$$

نسبة تكبير التيار في دائرة الترانزستور

تُعطى نسبة I_C إلى I_B بالصيغة:

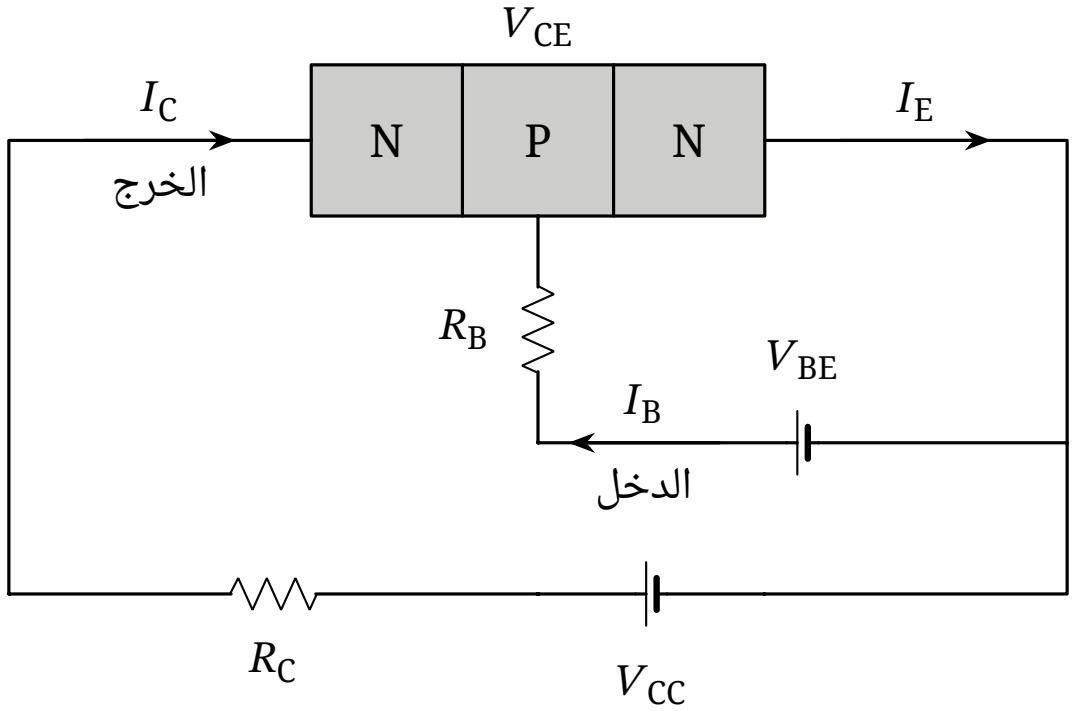
$$\frac{I_C}{I_B} = \frac{I_E \alpha_e}{I_E (1 - \alpha_e)}$$
$$\frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha_e}{1 - \alpha_e} = \beta_e,$$

حيث يُسمَّى β_e نسبة تكبير التيار في الدائرة.

في أي دائرة حيث $I_C \gg I_B$ يجب أن يكون $\alpha_e \approx 1$.

ومن ثَمَّ تكون قيمة β_e كبيرة جدًّا.

فروق الجهد والمقاومات والتيارات في دائرة الترانزستور



V_{CC} فرق الجهد المزوَّد عبر المُجمِّع والباعث.

V_{CE} فرق الجهد عبر المُجمِّع والباعث ويُسمَّى فرق جهد الخرج.

V_{BE} فرق الجهد المزوَّد عبر القاعدة والباعث ويُسمَّى فرق جهد الدخل.

R_C مقاومة تيار المُجمِّع.

R_B مقاومة تيار القاعدة.

فروق الجهد والمقاومات والتيارات في دائرة الترانزستور (متابعة)

في دائرة الترانزستور، نعلم أن:

$$V_{\mathrm{CE}} = V_{\mathrm{CC}} - I_{\mathrm{C}}R_{\mathrm{C}}.$$

ونعلم أيضًا أن:

$$I_{\mathrm{C}} = \beta_e I_{\mathrm{B}}.$$

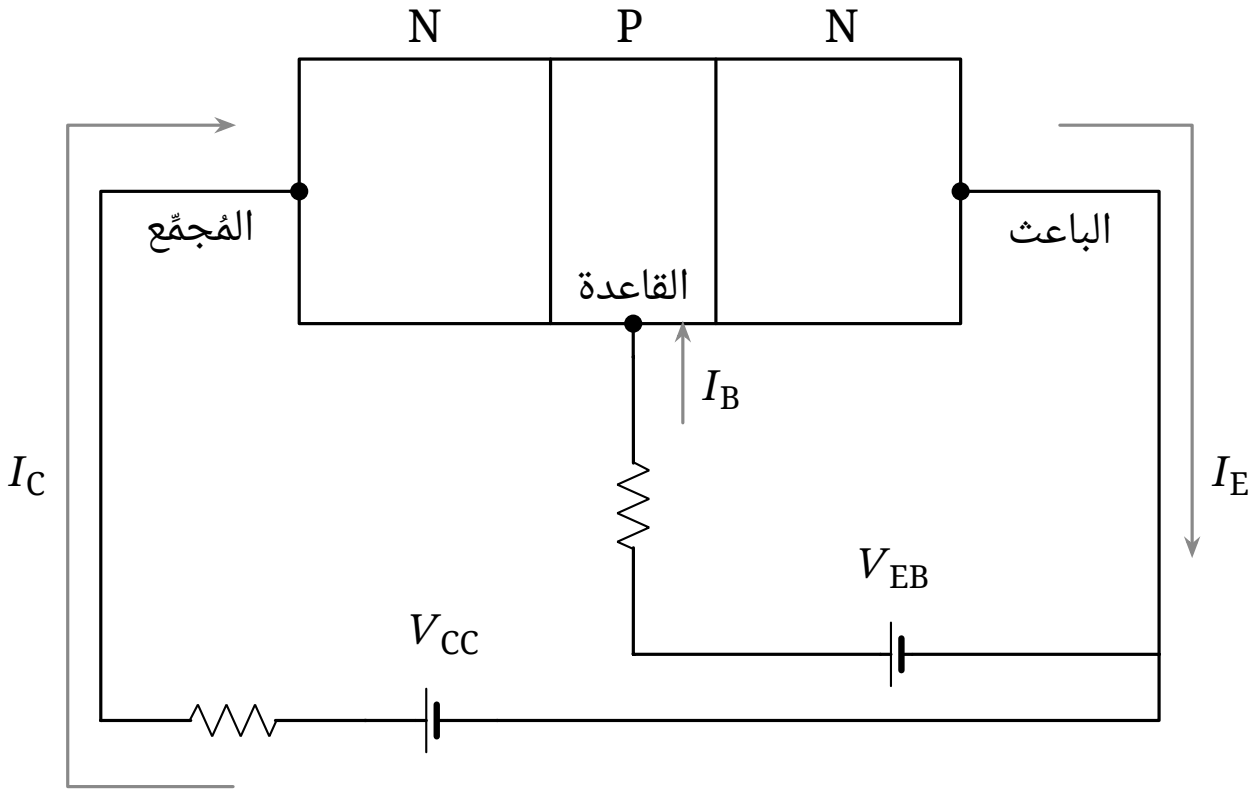
من هذا، نلاحظ أن I_{C} يُمكِن تغييره بزيادة جهد الدخل؛ لأنه بزيادة V_{EB} يزداد I_{B}.

يمكننا أن نسمِّي I_{B} تيار الدخل، وأن نسمِّي I_{C} تيار الخرج.

بالنظر إلى أن β_e ثابت، تكون نسبة I_{B} إلى I_{C} ثابتة في الترانزستور. ونلاحظ بعد ذلك أنه بزيادة تيار الدخل يزداد تيار الخرج.

مثال ٢: إيجاد نسبة تكبير التيار في دائرة ترانزستور

وُصِّل ترانزستور من النوع NPN بمصدر طاقة جهده V_{CC}. وُصِّل مصدر طاقة جهده V_{EB} بطرَفي الباعث والقاعدة للترانزستور، كما هو موضَّح بالشكل. يمرُّ التيار $I_C = 99.5\ \text{mA}$ بين V_{CC} وطرف المُجمِّع، والتيار $I_E = 100.0\ \text{mA}$ بين V_{EB} وطرف الباعث، والتيار I_B بين V_{EB} وطرف القاعدة.



مثال ٢ (متابعة)

الجزء الأول

احسب I_B.

الحل

ترتبط قيم I_C وI_E وI_B على النحو الآتي:

$$I_E = I_C + I_B.$$

ويمكننا جعل I_B في طرف بمفرده:

$$I_E - I_C = I_B.$$

بالتعويض بالقيم المعروفة نجد أن:

$$I_B = 100\,\text{mA} - 99.5\,\text{mA}$$
$$I_B = 0.5\,\text{mA}.$$

مثال ٢ (متابعة)

الجزء الثاني

نسبة تكبير التيار المستمر في الترانزستور تساوي نسبة I_C إلى I_B. احسب نسبة تكبير التيار المستمر في الترانزستور.

الحل

نسبة تكبير تيار القاعدة β_e تُعطى بالصيغة الآتية:

$$\beta_e = \frac{I_C}{I_B}.$$

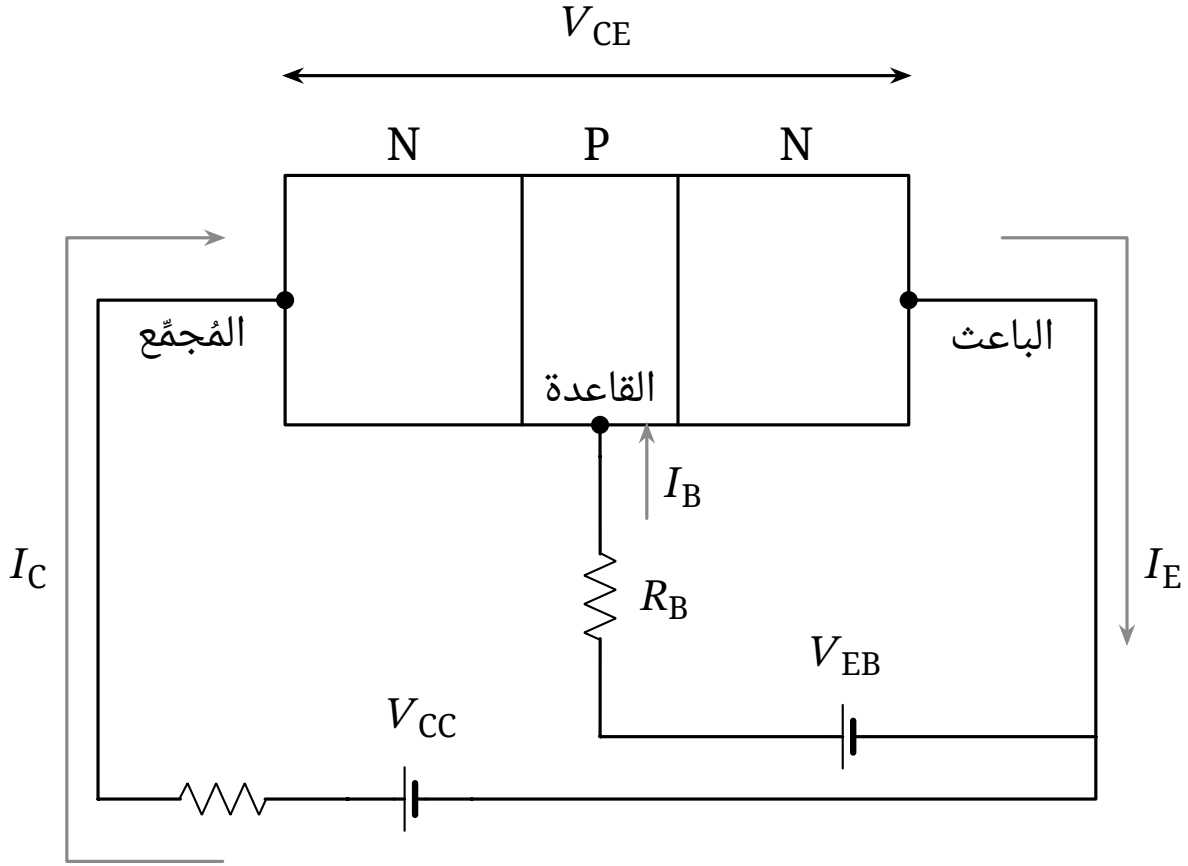
بالتعويض بالقيم المذكورة في السؤال نجد أن:

$$\frac{99.5\,\text{mA}}{0.5\,\text{mA}} = 199$$

$$\beta_e = 199.$$

مثال ٣: العلاقة بين تغيُّرات التيار الكهربي في دائرة ترانزستور

وُصِّل ترانزستور NPN بمصدر طاقة جهده V_{CC}. وُصِّل مصدر طاقة جهده V_{EB} بطرَفي الباعث والقاعدة للترانزستور، كما هو موضَّح في الشكل. يمرُّ التيار I_C بين V_{CC} وطرف المُجمِّع، والتيار I_E بين V_{EB} وطرف الباعث، والتيار I_B بين V_{EB} وطرف القاعدة. وُضِعت المقاومة الخارجية R_C بين V_{CC} وطرف المُجمِّع، والمقاومة الخارجية R_B بين V_{EB} وطرف القاعدة. فرق الجهد بين طرَفي المُجمِّع والباعث يساوي V_{CE}.



مثال ٣ (متابعة)

الجزء الأول

إذا قلَّت قيمة R_{B}، فأيٌّ من الآتي يَصِف وصفًا صحيحًا تأثير ذلك في قيمة I_{C}؟

أ. يزداد I_{C}.

ب. يقل I_{C}.

ج. يظل I_{C} ثابتًا.

الحل

بتقليل R_{B} يزداد I_{B}.

وبما أنَّ:

$$I_{\mathrm{C}} = \beta_e I_{\mathrm{B}},$$

إذن نلاحظ أنه إذا كانت قيمة β_e ثابتة، فإنه بزيادة I_{B} يزداد I_{C}.

مثال ٣ (متابعة)

الجزء الثاني

إذا زادت قيمة R_{B} فأيٌّ من الآتي يَصِف وصفًا صحيحًا تأثير ذلك في قيمة I_{C}؟

A. يزداد I_{C}.
B. يقل I_{C}.
C. يظل I_{C} ثابتًا.

الحل

بزيادة R_{B} يقل I_{B}.

وبما أنَّ:

$$I_{\mathrm{C}} = \beta_e I_{\mathrm{B}},$$

إذن نلاحظ أنه إذا كانت قيمة β_e ثابتة، فإنه بتقليل I_{B} يقل I_{C}.

جُهدا الدخل والخرج في دائرة الترانزستور

إذا اختلف جهد الدخل في دائرة الترانزستور، يختلف جهد الخرج أيضًا.

وقد لاحظنا أن:

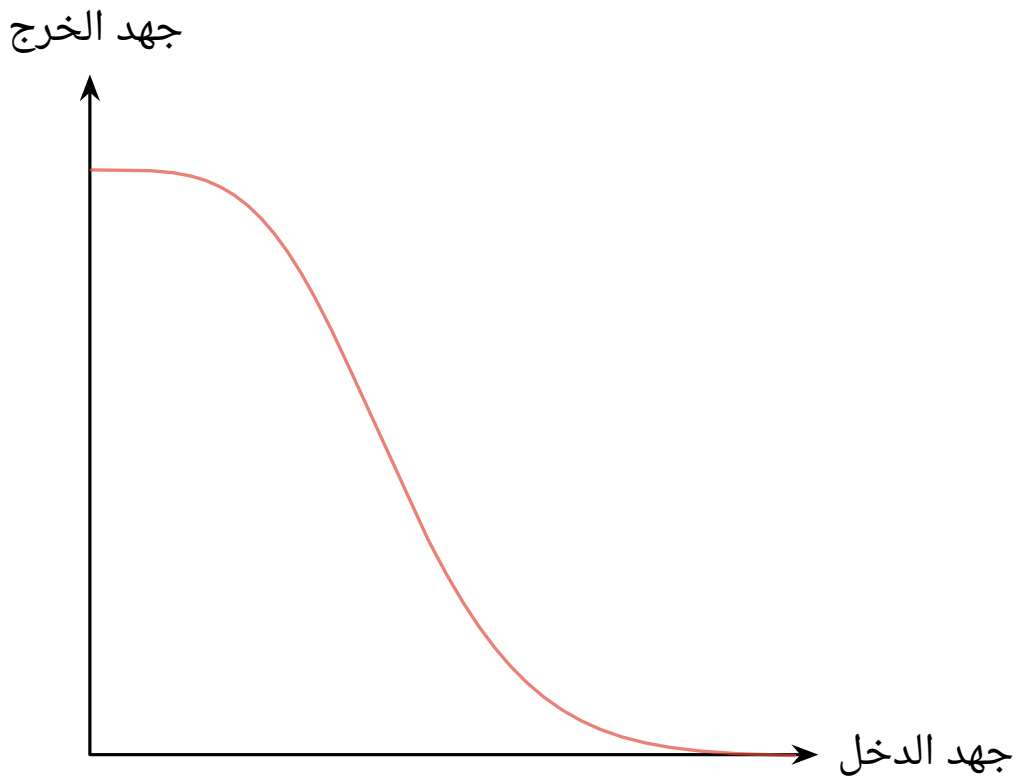
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C.$$

عند أقصى قيمة للتيار I_C، نحصل على أقل قيمة لجهد الخرج.

وإذا قل جهد الدخل، يقل كلٌّ من تيارَيِ الدخل والخرج. تيار الخرج يساوي صفرًا عندما يساوي تيار الدخل صفرًا.

وعندما يساوي تيار الخرج صفرًا نحصل على القيمة العظمى لجهد الخرج.

جُهدا الدخل والخرج في دائرة الترانزستور (متابعة)



النقاط الرئيسية

- يتكوَّن الترانزستور إما من اثنين من أشباه الموصِّلات من النوع n وبينهما شبه موصِّل من النوع p، ويُسمَّى ذلك ترانزستور NPN، أو من اثنين من أشباه الموصلات من النوع p وبينهما شبه موصِّل من النوع n، ويُسمَّى ذلك ترانزستور PNP.
- يتضمَّن الترانزستور ثلاثة أطراف تصله بالدائرة الكهربية: المُجمِّع والباعث والقاعدة. ويتصل كل طرف من الثلاثة بمنطقة واحدة من المناطق شبه الموصِّلة الثلاث.
- يُستخدم الترانزستور في دائرة تحتوي على مصدرين لفرق الجهد. ويكون مصدرا فرق الجهد موصَّلين توصيلًا أماميًّا بالباعث، وتوصيلًا عكسيًّا بالمُجمِّع.
- تعتمد التيارات في الأجزاء المختلفة من دائرة الترانزستور على أبعاد مناطق الباعث والقاعدة والمُجمِّع، وخواص المادة شبه الموصِّلة التي صُنعَت منها تلك المناطق الثلاث.
- المعادلة التي تربط التيارات في أطراف الباعث، I_{E}، والمُجمِّع، I_{C}، والقاعدة، I_{B}، هي:

$$I_{\mathrm{E}} = I_{\mathrm{C}} + I_{\mathrm{B}}.$$

النقاط الرئيسية (متابعة)

- الصيغة التي تربط التيارين في طرفَي الباعث، I_E، والمُجمِّع، I_C، هي:

$$I_C = I_E \alpha_e,$$

حيث α_e ثابت.

- الصيغة التي تربط التيارين في طرفَي المُجمِّع، I_C ، والقاعدة، I_B، هي:

$$\frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha_e}{1 - \alpha_e} = \beta_e,$$

حيث β_e نسبة تكبير التيار في الدائرة.

- أي تغيُّر طفيف في I_B يمكن أن يؤدِّي إلى تغيُّر أكبر في I_C، ما يتيح للدائرة التي تتضمَّن الترانزستور أن تعمل فعليًّا مفتاحًا لفتح التيار I_C أو غلقه.