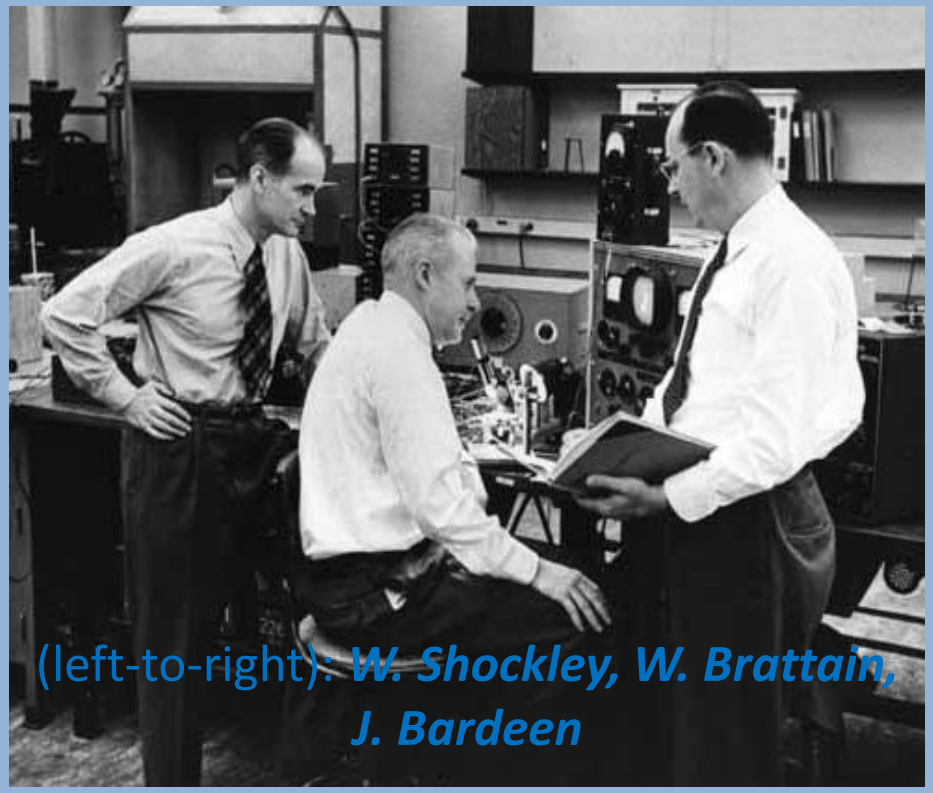
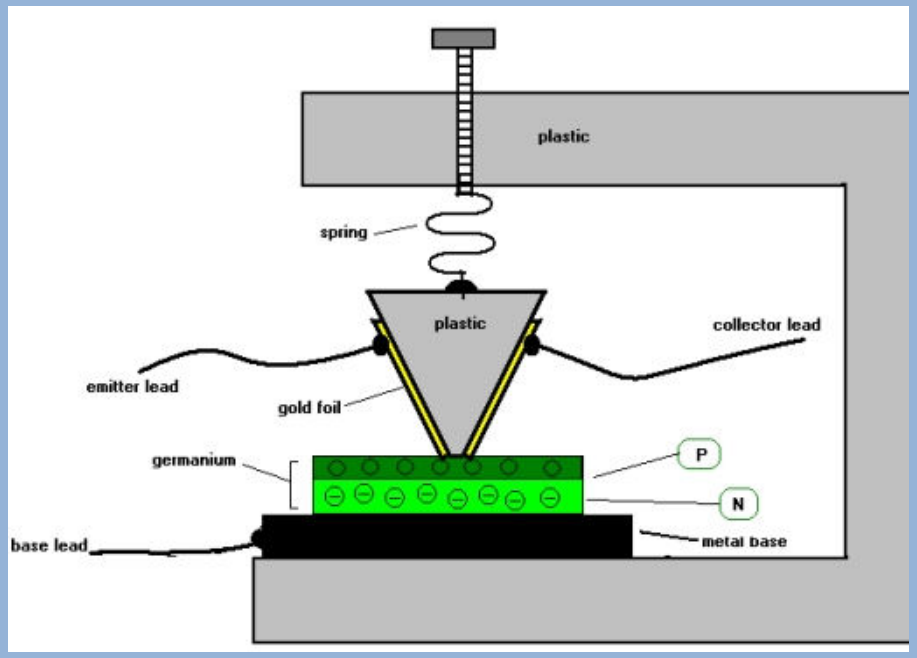
الوحدة الثانية

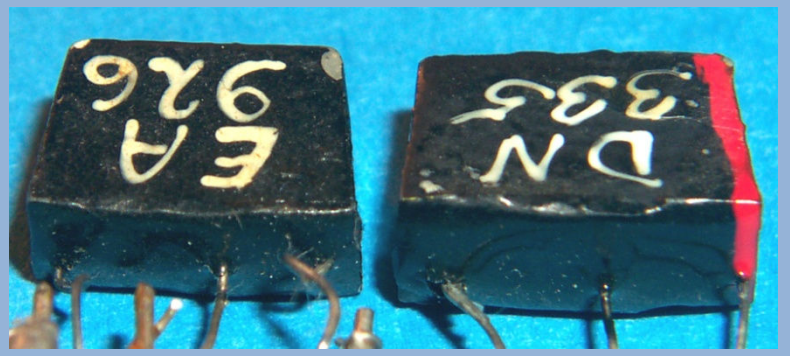
الترانزستور Transistors

في عام 1948م تم تصنيع أول ترانزستور transistor من قبل العلماء الثلاثة.

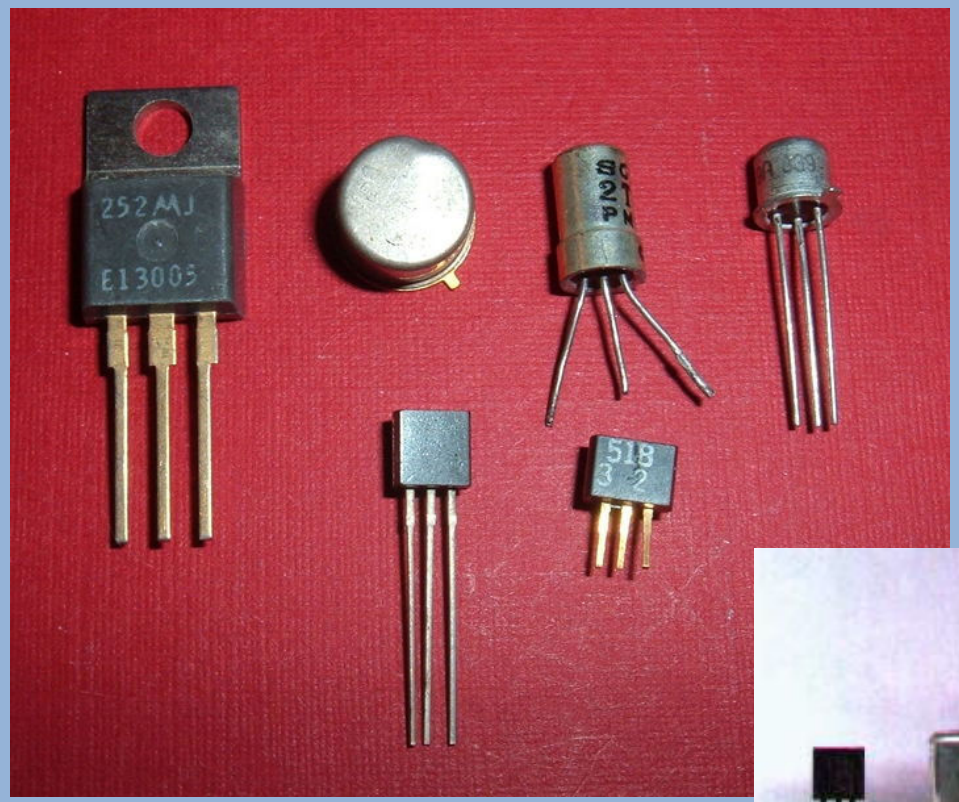


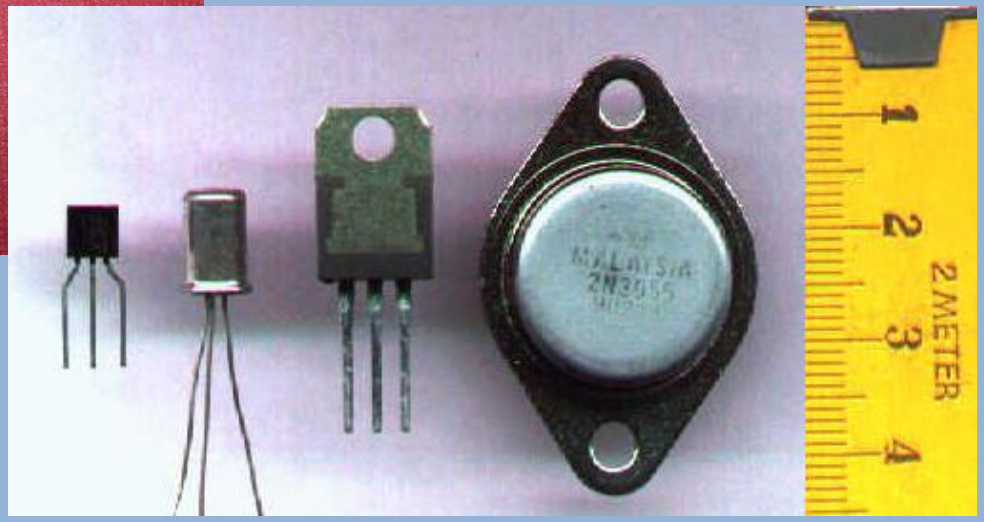
(left-to-right): ***W. Shockley, W. Brattain, J. Bardeen***





Modern Transistors



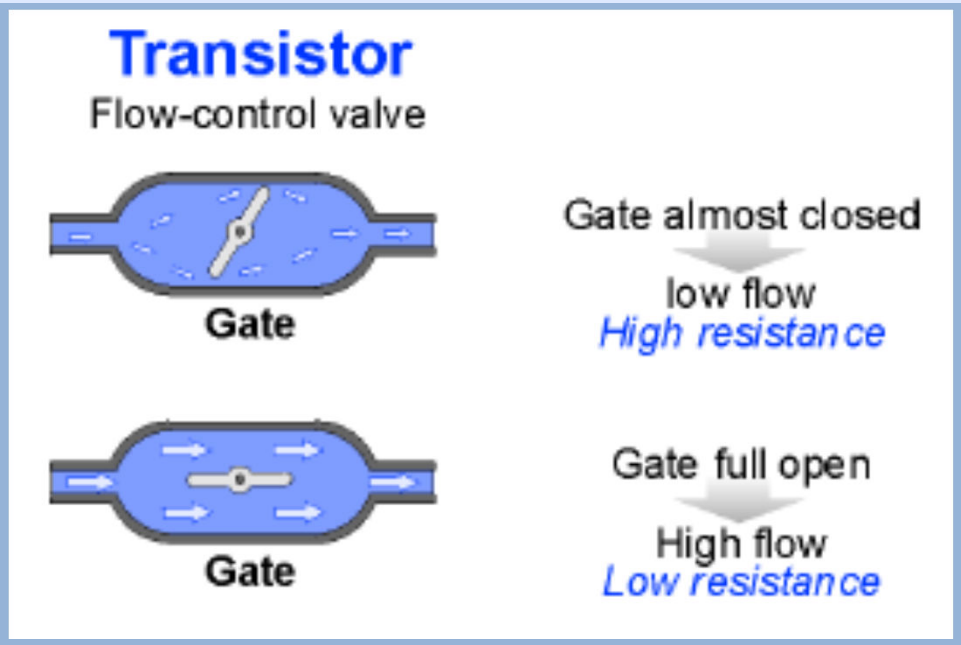


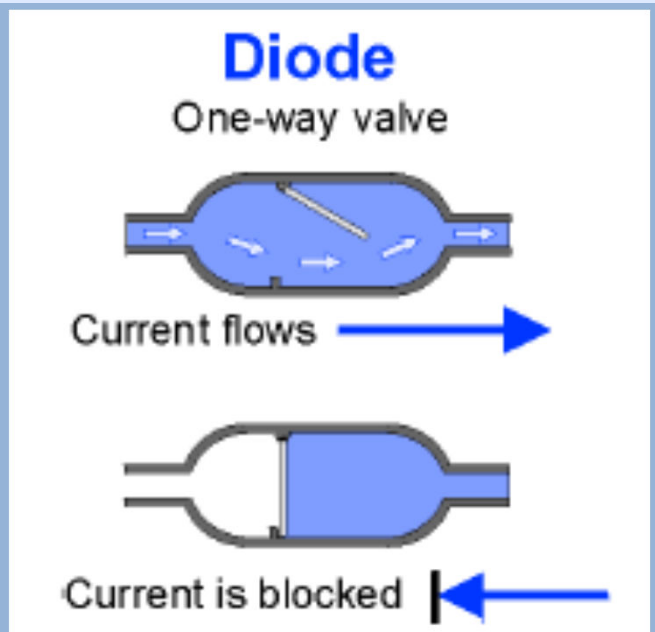
ما هو الترانزستور ؟

– عنصر (نبيطة) device من مادة شبه موصلة.

A **transistor** allows you to <u>control</u> the current, not just block it in one direction.

A good analogy for a transistor is a pipe with an adjustable gate.





Three-terminal device whose voltage-current relationship is controlled by a third voltage or current.

-عنصر بثلاث أطراف يتم التحكم بالعلاقة بين الجهد والتيار لطرفين بواسطة جهد أو تيار طرف ثالث.

ما هو الترانزستور ؟

The basic amplifying action was produced by transferring a current I from a low-to a high-resistance circuit.

The combination of the two terms results in the label transistor

TRANSISTOR ≡ TRANSfer resISTOR -

أنواع الترانزستورات

- ترانزستور ثنائي القطبية Bipolar Junction Transistor BJT

Diode-based device which is usually blocked unless the control terminals are forward-biased.

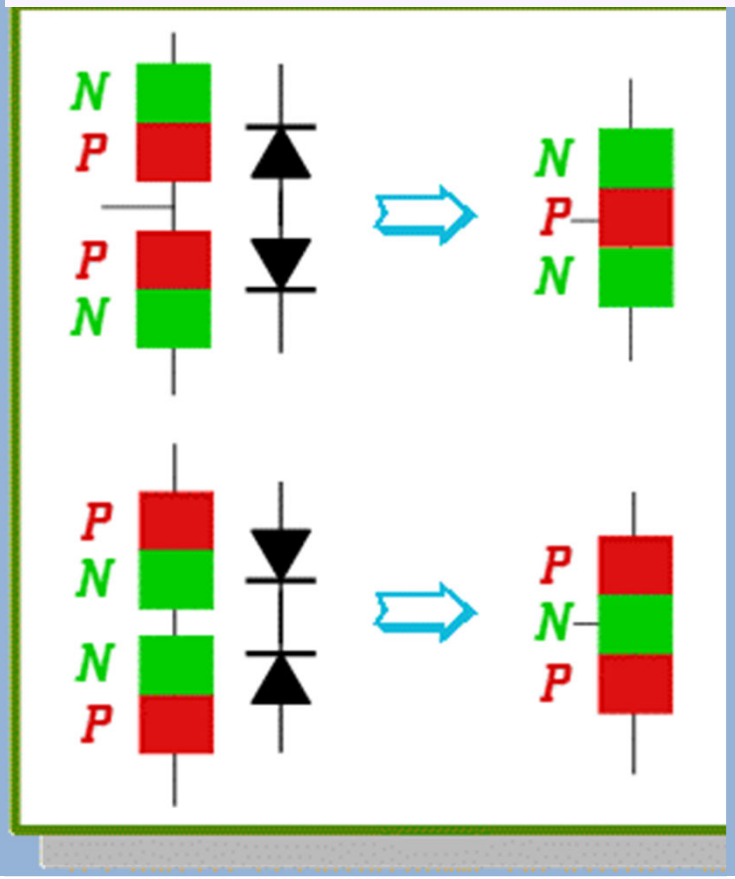
- ترانزستور وصلة أحادي الاستقطاب Unipolar Junction Transistor UJT
- ترانزستور تأثير المجال Field Effect Transistor FET

Conduction is controlled by electric field which is produced by voltage applied to the control terminals.

ترانزستور ثنائي القطبية Bipolar Junction Transistor BJT

The term "**bipolar**" was tagged onto the name to distinguish the fact that both carrier types play important roles in the operation

وضع التعبير ثنائي القطبية للدلالة على أن كلا النوعين من حاملات الشحنة تعمل دور مهماً في عمله.



يتكون من وصلتين p n مربوطتين على التوالي بحيث يشتركان في المنطقة الوسطى.

اعتماداً على ترتيب القطع، فإن هناك نوعان npn و pnp

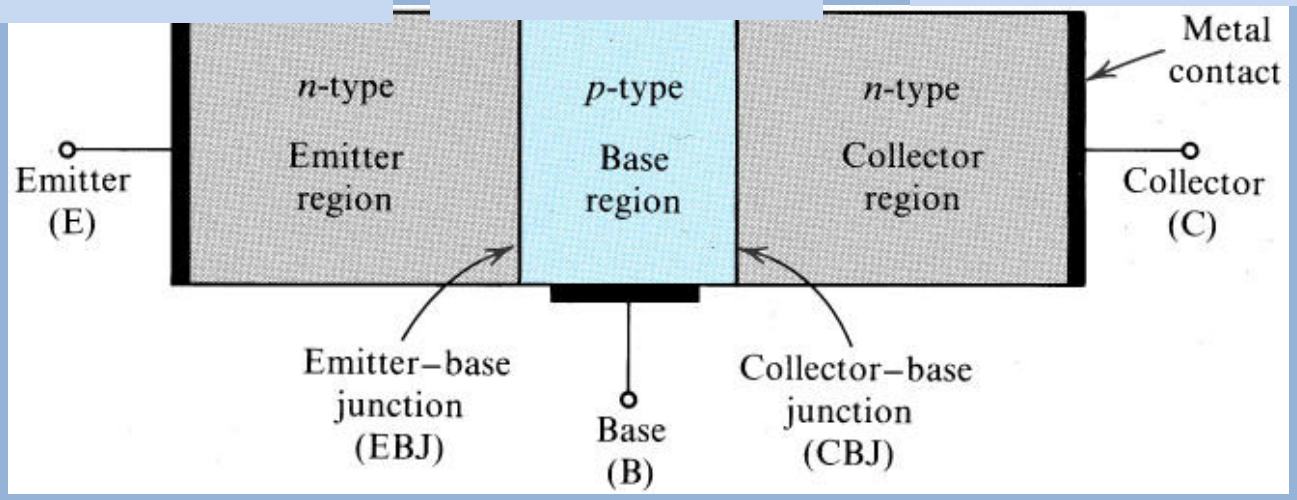
BJT structure ترکیب الترانزستور

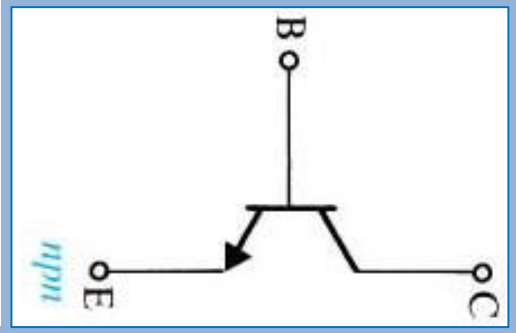
heavily doped ~ 10^15
provides the carriers

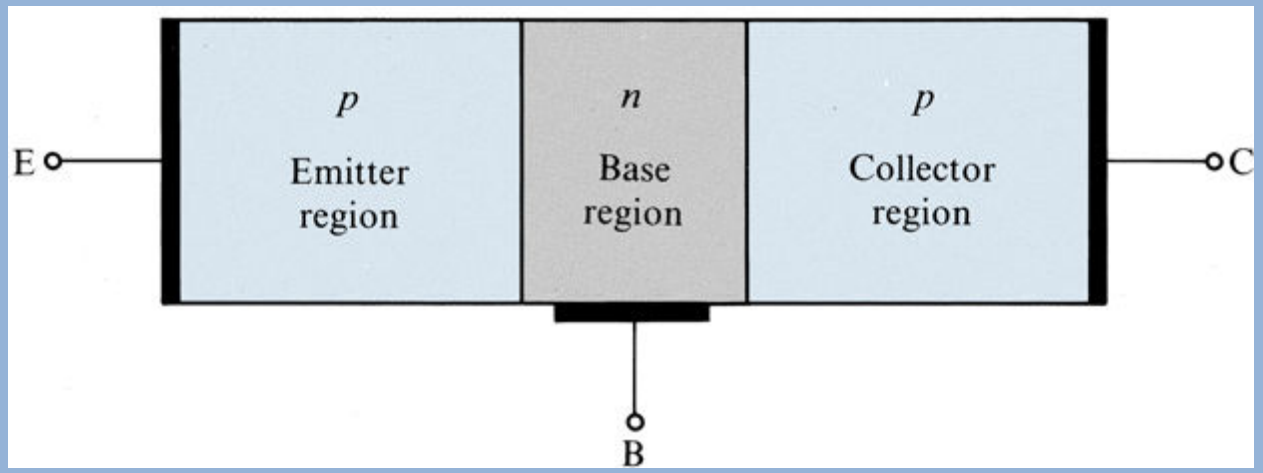
lightly doped ~ 10^8

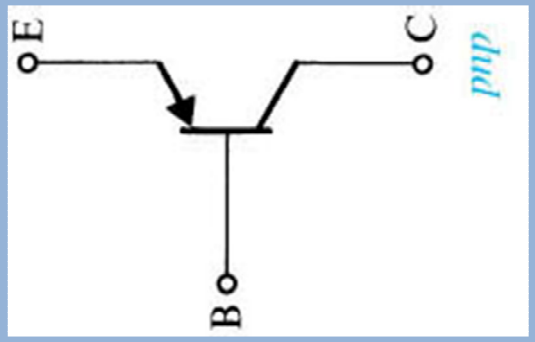
lightly doped ~ 10^6

the ratio of the total width to that of the center layer is 150:1

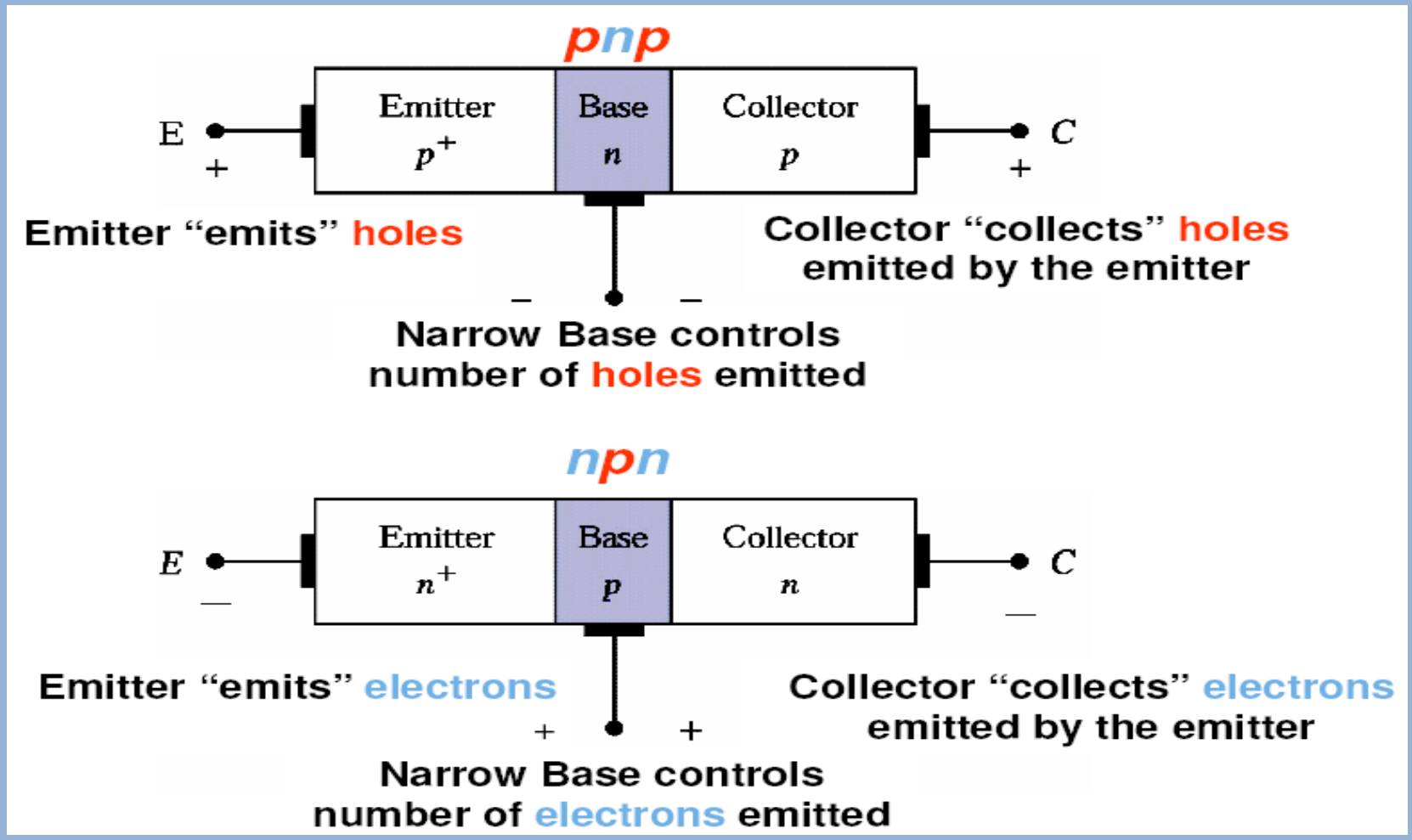








BJT structure ترکیب الترانزستور



تشغيل الترانزستور BJT operation

تسمى الوصلة بين الباعث والقاعدة EBJ

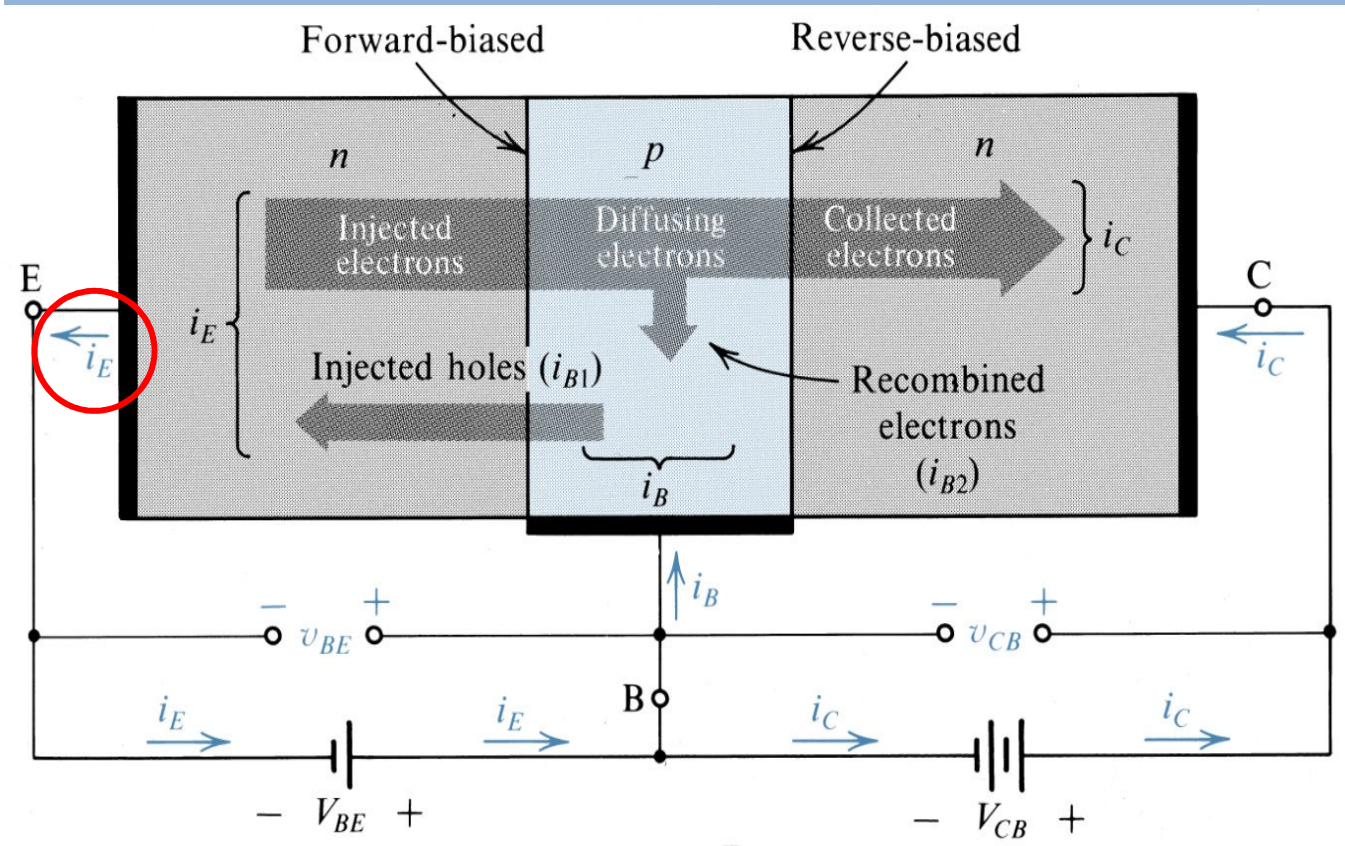
تسمى الوصلة بين المجمع والقاعدة CBJ

يحدد أسلوب الترانزستور تبعاً لنوع انحياز الوصلتين

Mode	EBJ	CBJ
Cutoff	Reverse	Reverse
Forward active	Forward	Reverse
Saturation	Forward	Forward
Reverse active	Reverse	Forward

تشغيل الترانزستور في المنطقة النشطة

Operation of npn transistor in The Active Mode



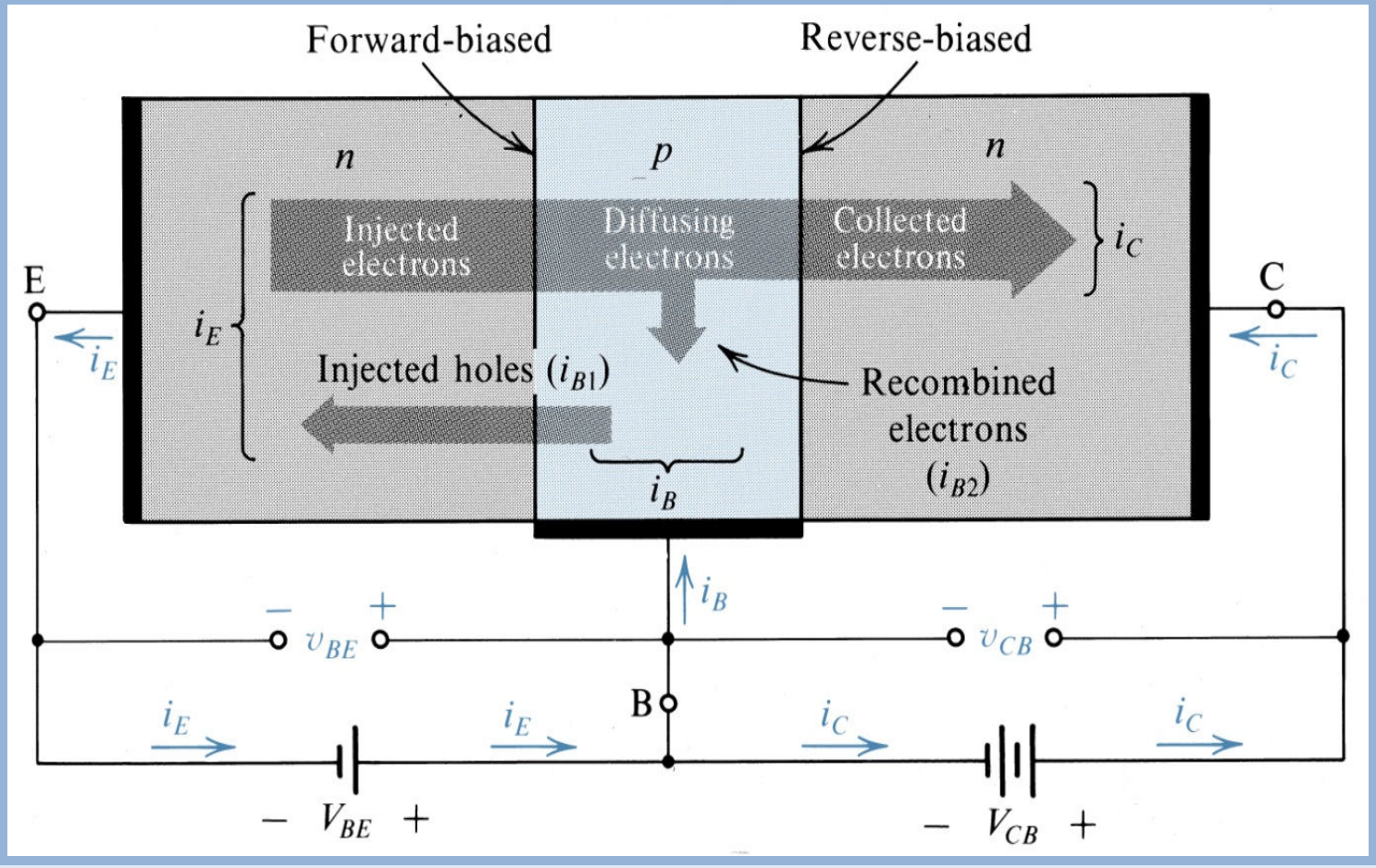
الوصلة بين المجمع والقاعدة CBJ في انحياز عكسي

الوصلة بين الباعث والقاعدة EBJ في انحياز أمامي

يمر تيار يتكون بسبب انتشار الالكترونات من الباعث إلى القاعدة والثقوب من القاعدة إلى الباعث.

n >> p

تيار الباعث i_E



تدخل الالكترونات إلى منطقة القاعدة (p-type) وتعتبر شحنات أقلية .

تعبر الالكترونات إلى منطقة المجمع عبر الوصلة CBJ المنحازة عكسياً .

تتحد بعض الالكترونات مع الثقوب (الأغلبية) في منطقة القاعدة .

بينما تعبر معظم الالكترونات إلى منطقة المجمع بسبب الجهد الموجب العالي.
ويعتمد عددها على الجهد v_{CB}

تيار المجمع i_C

$$i_C = I_S\, e^{V_{BE}/V_T}$$

يتكون تيار القاعدة i_B من مركبتين

i_{B1} : من الثقوب التي تدخل منطقة الباعث. يتناسب مع e^{V_{BE}/V_T}

i_{B2}: من الثقوب التي تأتيها من المجمع. يتناسب مع e^{V_{BE}/V_T}

$$i_B = i_{B1} + i_{B2}$$

يتناسب مع e^{V_{BE}/V_T}

$$i_C = I_S\, e^{V_{BE}/V_T}$$

$$i_B = \frac{i_C}{\beta} = \frac{I_S}{\beta} e^{v_{BE}/V_T}$$

β=100, …200 الثابت

current gain كسب التيار

بما أن التيار الذي يدخل لطرف الترانزستور يساوي التيار الخارج منه

تيار الباعث يساوي مجموع تيار القاعدة و المجمع

$$i_E = i_C + i_B$$

$$i_E = i_C + \frac{1}{\beta} i_C$$

$$i_E = i_C \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

$$i_E = i_C \left(\frac{\beta + 1}{\beta} \right)$$

$$i_E = \frac{1}{\alpha} i_C$$

$$i_C = \alpha \, i_E$$

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

Most of the electrons (a fraction α which is close to 1, e.g. 0.98) flowing from the emitter into the base reach the collector-base (CB) junction.

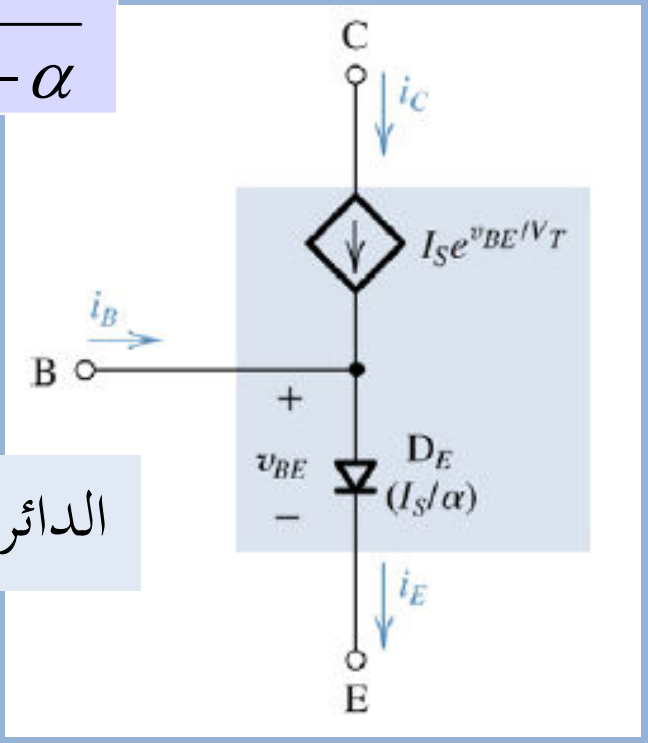
$$i_C = \alpha\, i_E$$

α = Common-base current gain (0.9-0.999; typical 0.99)

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} \qquad \alpha = \frac{i_C}{i_E}$$

β = Common-emitter current gain (10-1000; typical 50-200)

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$



الدائرة المكافئة للترانزستور npn في المنطقة النشطة

Summary of the BJT Current-Voltage Relationships in the Active Mode

$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_B = \frac{i_C}{\beta} = \left(\frac{I_S}{\beta}\right) e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_E = \frac{i_C}{\alpha} = \left(\frac{I_S}{\alpha}\right) e^{v_{BE}/V_T}$$

Note: For the *pnp* transistor, replace v_{BE} with v_{EB}.

$$i_C = \alpha i_E \qquad i_B = (1-\alpha) i_E = \frac{i_E}{\beta+1}$$

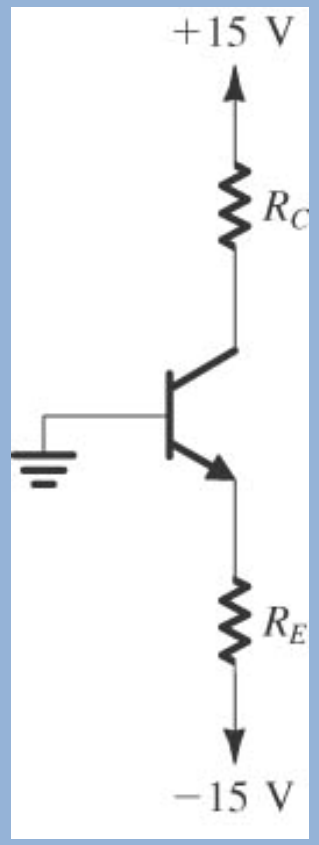
$$i_C = \beta i_B \qquad i_E = (\beta+1) i_B$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \qquad \alpha = \frac{\beta}{\beta+1}$$

V_T = thermal voltage = $\dfrac{kT}{q} \cong 25$ mV at room temperature

تدريب

The npn transistor has beta=100 and exhibits an I_c=1mA at V_{BE}=0.7V.
Design the circuit so that :
1- a current of 2mA flows through collector.
2- a voltage of +5V appears at the collector.

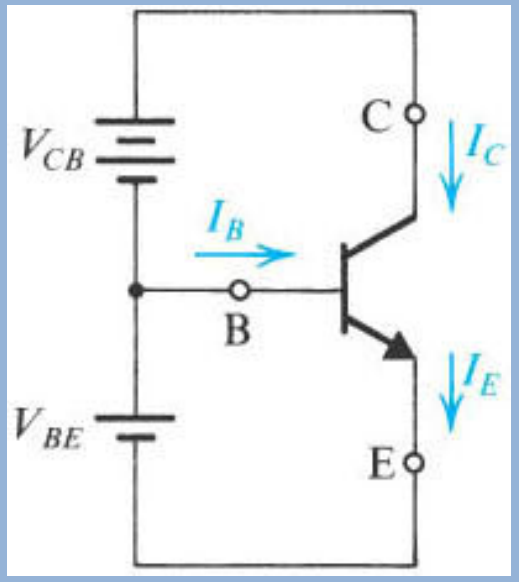


ترانزستور npn له β=100. يمر في المجمع تيار قيمته I_C=1mA عند V_{BE}=0.7V.

صممي الدائرة بحيث:
1- I_C= 2 mA. 2- جهد المجمع V_{CB}= +5V

اتجاه الجهود و التيارات في الترانزستور المنحاز في المنطقة النشطة

Voltage polarities and current flow in transistor biased in the active mode



الجهد V_{BE} موجب يعني أن جهد القاعدة أعلى من جهد الباعث. هذا يجعل BEJ في الانحياز الموجب.

$$V_{BE} \geq V_b \qquad V_b = 0.7\,V \text{ (for Si)}$$

الجهد V_{CB} موجب يعني أن جهد المجمع أعلى من جهد القاعدة لتكون CBJ في الانحياز السالب.

$$V_{CB} \rangle V_{BE}$$

BJT circuit configurations طرق توصيل الترانزستور BJT

التوصيل بقاعدة مشتركة Common-base Configuration CB	التوصيل بمجمع مشترك Common-collector Configuration CC	التوصيل بباعث مشترك Common-Emitter Configuration CE