



كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الثالثة

A blank, lined page from a notebook, showing horizontal ruling lines across the page. The page is framed by a thick black border.

A to Z مكتبة

Facebook Group : A to Z مكتبة



كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية



يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

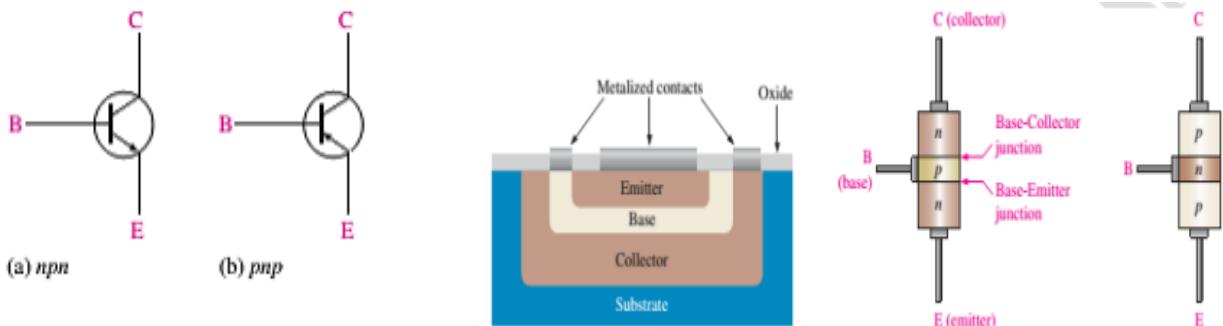
Biopolar Junction Transistor الترانزستور ثنائي القطبية

الترانزستور ثنائي القطبية (BJT):

يتتألف الترانزستور ثنائي القطبية من ثلاثة مناطق نصف ناقلة مشوبة تفصل فيما بينها وصلتان pn كما هو موضح في الشكل (1) وتسمى المناطق الثلاث بالباعث (Emitter) والقاعدة (Base) والمجمع (Collector) على الترتيب، ويمثل الشكل (2) الرموز الإلكترونيتين لtronزستورين الأول يتتألف من منطقتين من النوع n وتفصل بينهما منطقة من النوع p (رمزه npn) والأخر يتتألف من منطقتين من النوع p وتفصل بينهما منطقة من النوع n (رمزه pnp). ويدل المصطلح ثنائية القطبية إلى استخدام التقوب والالكترونات كحاملات للشحنة الكهربائية في تركيب الترانزستور.

تسمى الوصلة المشكّلة بين منطقة القاعدة ومنطقة الباعث بوصلة الباعث قاعدة، وتسمى الوصلة pn المكونة من منطقة القاعدة ومنطقة المجمع قاعدة، ويربط سلك توصيل لكل منطقة من المناطق الثلاث.

تصف القاعدة بأنها رقيقة جداً وقليلة التطعم بالمقارنة مع الباعث الذي يتتصف بدرجة تطعم عالية وسمك أكبر، ويتصف المجمع بدرجة تطعم معتدلة وسمك كبيرة نسبياً وأكبر من سماكة الباعث.

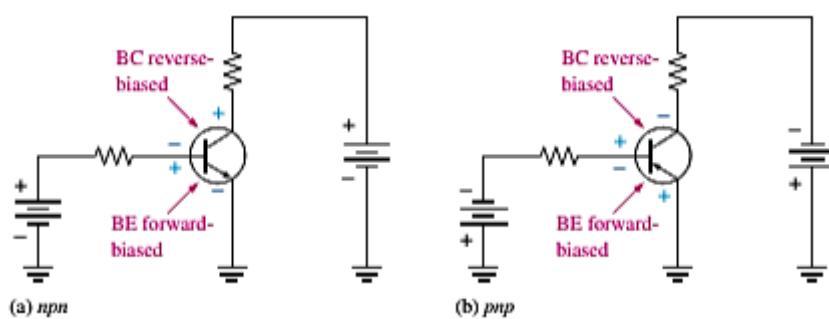


الشكل (1): بنية الترانزستور $n-p-n$ و $p-n-p$ ، ومقطع عرضي للتركيب المستوى للطبقات
الشكل (2): الرمز الإلكتروني ل نوعي الترانزستور BJT المشكّلة للترانزستور

مبدأ عمل الترانزستور (BJT):

يُعمل الترانزستور بشكل أبasi ك مضخم للإشارات الكهربائية الجيبية بالإضافة لعمله كمفتاح الكتروني.

كي يُعمل الترانزستور كمضخم بشكل دقيق يجب تحييز الوصلتين pn بجهود خارجية مستمرة كما هو موضح في الشكل (3). سندرس الترانزستور $n-p-n$ وطبق الدراسة على ترانزستور من النوع $p-n-p$ باستثناء أن أدوار الالكترونات والتقوب وتطبيقات الانحياز بالجهد، واتجاهات التيارات تتبع، وفي كل نوعي الترانزستور تحاز وصلة الباعث-قاعدة (BE) أمامياً ووصلة المجمع-قاعدة (BC) عكسيّاً.



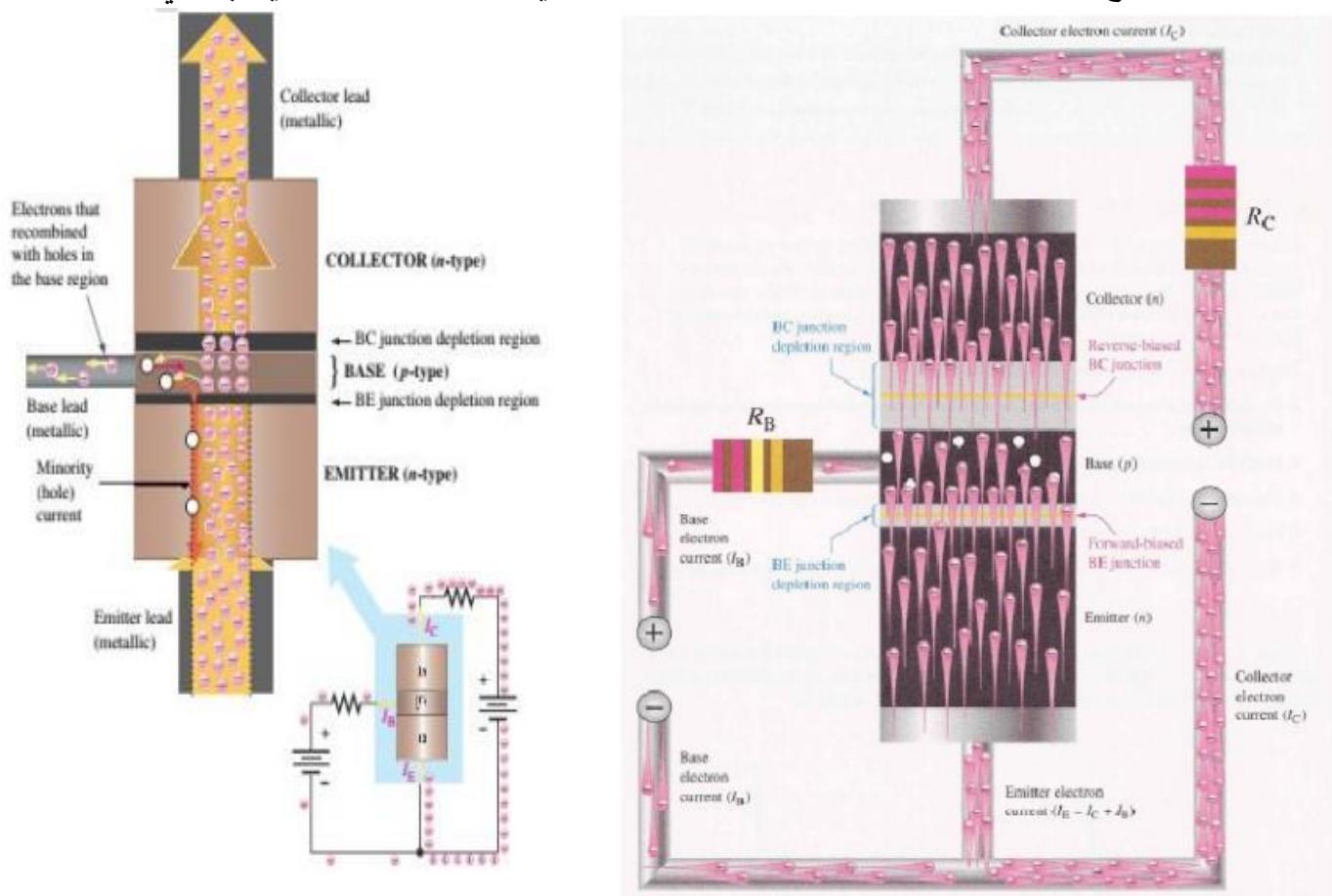
الشكل (3): دارات تحييز الترانزستور بجهود مستمرة صحيحة بنوعيه.

لشرح طريقة عمل الترانزستور سندرس ماذا يحصل داخل الترانزستور $n-p-n$ عند تحييزه، فالانحياز الأمامي من القاعدة إلى

الباعث يضيق منطقة الاستزاف، والانحياز العكسي من القاعدة إلى المجمع يوسع منطقة الاستزاف، فمنطقة الباعث n المطعمة بدرجة كبيرة تجتاز بسهولة عبر الوصلة BE المنحازة أمامياً. والقاعدة مطعمة بدرجة ضعيفة ورقيقة بحيث لا يوجد فيها إلا عدد محدود من الثقوب ولها السبب تستطيع نسبة ضئيلة فقط من كل الإلكترونات المتدفقة عبر الوصلة BE أن تتحدد مع الثقوب المتوفرة في القاعدة وهذا العدد القليل نسبياً من الإلكترونات يتدفق من سلك القاعدة كإلكترونات تكافؤ مكوناً تيار القاعدة الإلكتروني الصغير.

معظم الإلكترونات المتدفقة من الباعث إلى منطقة القاعدة الرقيقة والمشابهة قليلاً لا يعاد اتحادها وإنما تنتشر إلى منطقة الاستزاف BC . وحالما تصبح في هذه المنطقة فإنها تتساق عبرها تحت تأثير الحقل الكهربائي المتشكل نتيجة قوة التجاذب بين الأيونات الموجبة والسلبية. في الواقع يمكننا تصور الإلكترونات كأنها تتساق عبر الوصلة BC المنحازة عكسياً نتيجة جذب جهد تغذية المجمع وتنتقل الإلكترونات الآن عبر منطقة المجمع وتخرج من سلك المجمع وتدخل في القطب الموجب لمنبع جهد المجمع وهذا ما يكون تيار المجمع الإلكتروني كما هو موضح في الشكل (4).

يكون عادةً تيار المجمع أكبر بكثير من تيار القاعدة، وهذا هو السبب الذي يجعل الترانزستور يبدي رباً في التيار.



الشكل(4): آلية عمل الترانزستور ثنائي القطبية من النوع npn

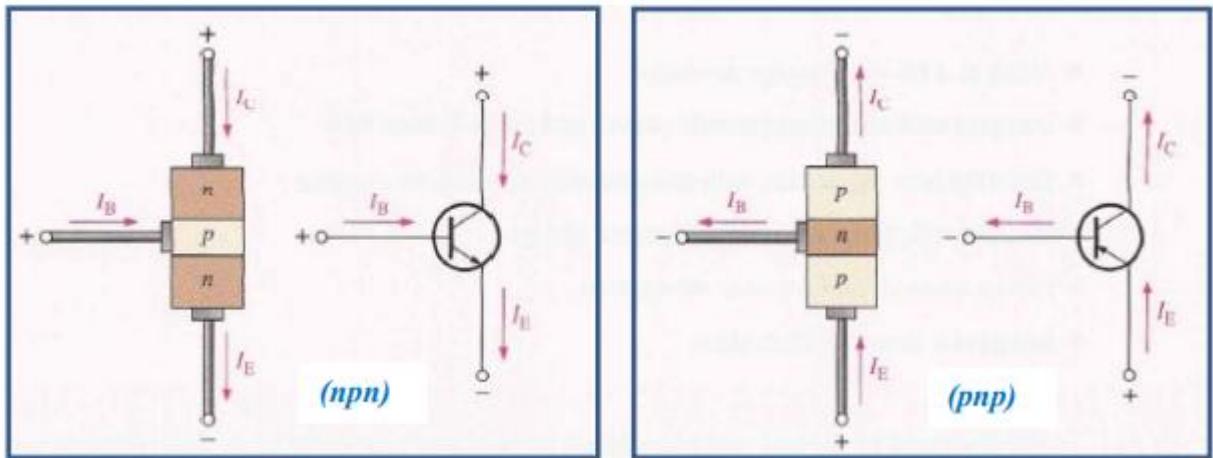
تيارات الترانزستور :Transistor Currents

يوضح الشكل (5) اتجاهات التيارات في الترانزستورين npn و pnp ورمزهما الإلكترونيين حيث يشير السهم الموافق للباعث في الرمز الإلكتروني للترانزستور يشير إلى الاتجاه الاصطلاحي للتيار.

تظهر هذه المخططات أن تيار الباعث I_E يساوي لمجموع تيارين هما: تيار المجمع I_C وتيار القاعدة I_B ويعبر عنه بالعلاقة:

$$I_E = I_C + I_B \quad (1-1)$$

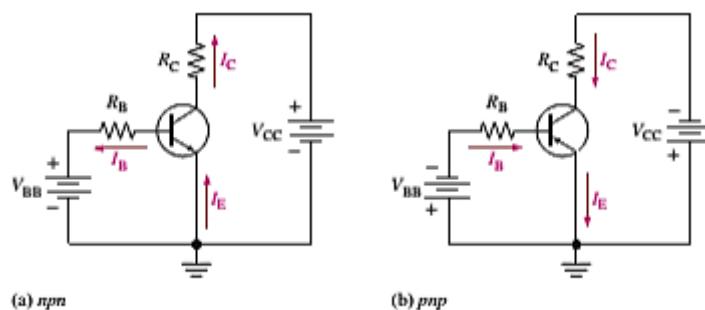
وكما ذكرنا سابقاً، فإن تيار القاعدة صغير جداً بالمقارنة مع التيارين الآخرين.



الشكل (5): اتجاهات التيار في ترانزستور T

المميزات الساكنة للترانزستور ومعاملاته (Transistor Characteristics and Parameters)

عندما يربط ترانزستور ما بجهود انحياز مستمرة كما هو موضح بالشكل (6) من أجل كلا النوعين npn و pnp فإن الجهد V_{BB} يحيى وصلة الباعث-قاعدة أمامياً، ويحيى V_{CC} وصلة المجمع-قاعدة عكسيًّا. (عملياً تؤخذ الجهد المستعملة من منبع التغذية المستمر حيث يؤخذ الجهد V_{CC} مباشرة من خرج منبع التغذية بشكل طبيعي و V_{BB} يمكن الحصول عليه باستخدام مقسم جهد).



الشكل (6): دارات احياز الترانزستور

المعاملان الساكنان α_{DC} و β_{DC} :

تمثل β_{DC} عامل الربح بتيار المستمر ويعبر عنها بالعلاقة (1-2) الممثلة بنسبة تيار المجمع المستمر إلى تيار القاعدة المستمر أي:

$$\beta_{DC} = \frac{I_C}{I_B} \quad (1-2)$$

ويتأرجح مجال القيم النموذجية لها بين أقل من 20 أو أعلى من 200 أو حتى 200 أو أعلى من أجل بعض الترانزستورات الخاصة. وتعرف نسبة تيار المجمع المستمر إلى تيار الباعث المستمر بالتحول α_{DC} الساكنة وهو أقل استخداماً من المتحول

في دارات الترانزستور ويعبر عنه بالعلاقة (1-3):

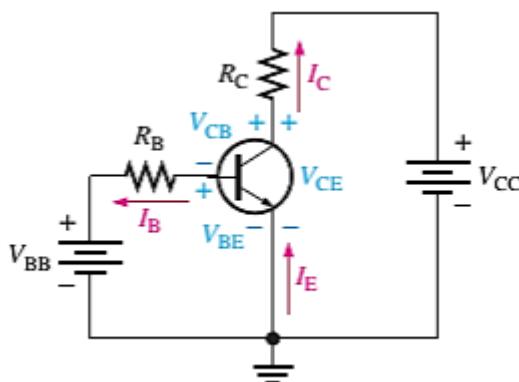
$$\alpha_{DC} = \frac{I_C}{I_E} \quad (1-3)$$

والقيم النموذجية له تتراوح بين 0.95 و 0.99 ويعود السبب إلى أن تيار المجمع المستمر أقل من تيار الباخت بقليل.

مثال: أوجد قيمة I_E و β_{DC} من أجل ترانزستور علماً أن $I_C = 3.65mA$ و $I_B = 50\mu A$ و $\beta_{DC} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{3.65}{50} = 73$

تحليل التيارات والجهود :Current Voltage Analysis
بدراسة دارة الانحياز الأساسي للترانزستور الموضحة في الشكل (7) حيث يمكننا أن نعرف ثلاثة تيارات وثلاثة جهود مستمرة وهي:

I_E و I_C و I_B تيار القاعدة المستمر وتيار الباخت المستمر وتيار المجمع المستمر على الترتيب.
 V_{CE} و V_{CB} و V_{BE} جهد القاعدة بالنسبة للباخت، جهد المجمع بالنسبة للقاعدة، جهد المجمع بالنسبة للباخت على الترتيب.



الشكل (7): دارة الانحياز الأساسي للترانزستور npn

إن V_{BB} يحيز وصلة الباخت-قاعدة أمامياً، و V_{CC} يحيز وصلة المجمع -قاعدة عكسيّاً. وعندما تتحاول وصلة الباخت-قاعدة أمامياً فإنها تماثل الديود المنحاز أمامياً وتملك هبوط جهد أمامي محدد يساوي إلى:

$$V_{BE} = 0.7V \quad (1-4)$$

نلاحظ من الدارة بما أن الباخت مؤرض (0V) فحسب قانون كيرشوف للجهد نجد أن هبوط الجهد بين طرفي المقاومة

$$R_B \text{ يساوي إلى: } V_{BB} = V_{BE} + V_{R_B} \text{ ومنه}$$

$$V_{R_B} = V_{BB} - V_{BE} \quad (1-5) \text{ وبالتعويض في (1-5) نحصل على عبارة}$$

تيار القاعدة المعبر عنها بالمعادلة (1-6):

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad (1-6)$$

وتكون عبارة جهد المجمع بالنسبة للباخت المؤرض من الشكل المعبر عنه بالمعادلة (1-7) انطلاقاً من العلاقة:

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

$$V_{CE} = V_{CC} - V_{R_C} \quad (1-7)$$

وهو هبوط الجهد على مقاومة المجمع يعبر عنه بالعلاقة: $V_{R_C} = I_C R_C$ ومنه يمكننا أن نكتب عبارة الجهد عند المجمع وفق المعادلة (1-8):

$$I_C = \beta_{DC} I_B \quad \text{حيث}$$

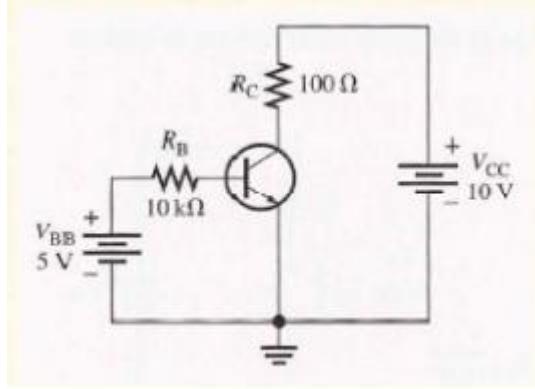
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (1-8)$$

ويساوي الجهد بين طرفي وصلة المجمع-قاعدة المنحازة عكسيًا وفق العلاقة:

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} \quad (1-9)$$

مثال: أوجد قيم I_B و I_C و I_E و V_{CE} و V_{BE} في الدارة المبينة في الشكل المجاور علمًا بأن الترانزستور يملك عامل ربح ساكن $\beta_{DC} = 150$.



الحل: نحصل من المعادلة (1-4) على $V_{BE} = 0.7V$

ونحسب تيارات القاعدة والمجمع والباعث وفق المعادلات (1-6) و (1-2) و (1-1) كما يلي:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{5 - 0.7}{10} = 430\mu A$$

$$I_C = \beta_{DC} I_B = 150 * 430 * 10^{-6} = 64.5mA$$

$$I_E = I_C + I_B = 64.5 + 0.43 = 64.9mA$$

وبحل المعادلات (1-9) و (1-8) نحصل على قيم V_{CE} و V_{CB} كما يلي:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 10 - (64.5 * 10^{-3}) * 100 = 3.55V$$

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = 3.55 - 0.7 = 2.85V$$

وبما أن المجمع يقع عند جهد أعلى من جهد القاعدة فإن الوصلة مجمع-قاعدة تكون في حالة انحياز عكسي.

المنحنيات المميزة للمجمع :Collector Characteristic Curves

يمكننا الحصول على مجموعة المحننيات المميزة للمجمع اعتمادًا على الدارة الموضحة بالشكل (8) والتي توضح كيف

يتغير تيار المجمع I_C عند تغير جهد المجمع بالنسبة للباعث V_{CE} من أجل قيم محددة لتيار القاعدة I_B

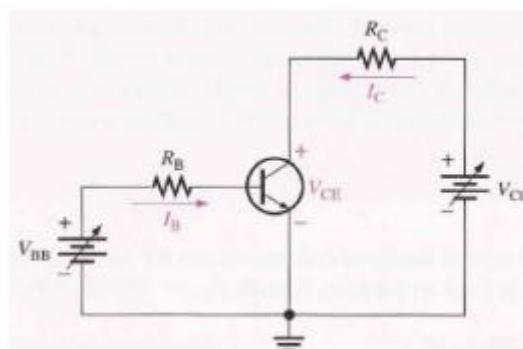
أولاً: نفرض أن V_{BE} يعطي قيمة محددة لتيار القاعدة و V_{CC} يساوي الصفر في هذه الحالة تكون كلتا الوصلتين وصلة

الباعث-قاعدة ووصلة المجمع-قاعدة في حالة انحياز أمامي لأن القاعدة تكون عند الجهد $0.7V$ تقريبًا في حين أن

الباعث والمجمع يكون عند الجهد $0V$ ويمر تيار القاعدة من وصلة الباعث-قاعدة لأن ممانعة المسار إلى الأرضي

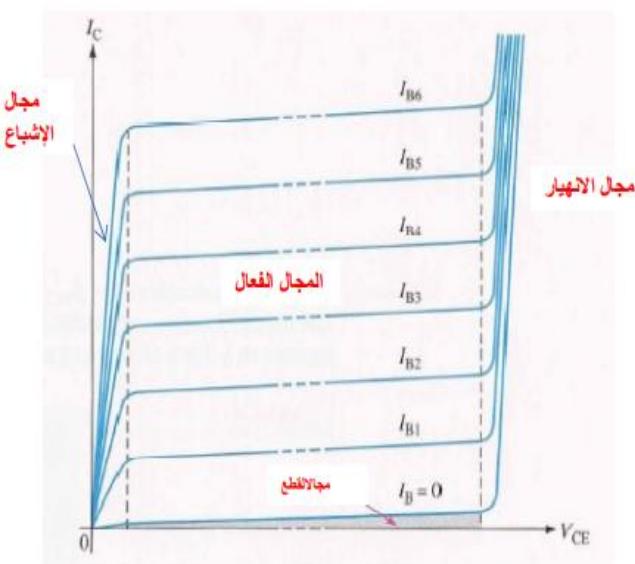
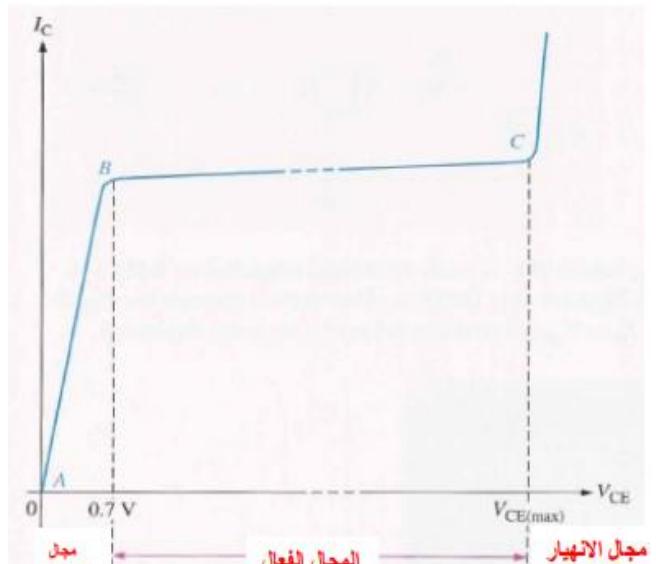
ضعيفة ولذلك فإن تيار المجمع I_C يساوي الصفر. عندما تتحاكي كلتا الوصلتين أماميًا فإن الترانزستور يكون في منطقة

الإشباع من عمله.



الشكل (8): دارة الباعث المشترك

عند ازدياد V_{CE} يزداد I_C تدريجياً ويرتفع وبالتالي تيار المجمع، وهذا ما يشير إليه جزء المنحني المميز الواقع بين نقطتين A و B في الشكل (9) فالتيار I_C يرتفع بازداد V_{CE} لأن V_{CE} يبقى أقل من $0.7V$ بسبب انحياز الوصلة مجمع-قاعدة أمامياً.

الشكل (10): $I_C = f(V_{CE})$ من أجل عدة قيم ل I_B الشكل (9): تغيرات I_C كتابع ل V_{CE} من أجل قيمة محددة ل I_B

ثانياً: في الحالة المثالية عندما يتجاوز V_{CE} القيمة $0.7V$ فإن وصلة المجمع-قاعدة تصبح في حالة انحياز عكسي ويكون الترانزستور في المنطقة النشطة أو الخطية من عمله. وبما أن وصلة مجمع-قاعدة منحازة عكسياً فإن التيار I_C يتوقف عن الزيادة وعملياً يبقى ثابت من أجل القيمة المعلنة لتيار القاعدة عند الاستمرار بزيادة V_{CE} .

في الواقع يزداد تيار المجمع I_C بشكل ضعيف جداً بارتفاع V_{CE} بسبب توسيع منطقة الاستزاف لوصلة مجمع-قاعدة المنحازة عكسيًّا وهذا ما يوفر الفرصة المناسبة لعدد أقل من التقوب الأقلية لتعيد اتحادها مع الالكترونات في منطقة القاعدة التي تسبب زيادة بسيطة في الربح بالتيار (β_{DC}) بشكل فعال. وهذا ما يوضحه جزء المنحني المميز الواقع بين نقطتين C و B من الشكل (9) وفي هذا الجزء من المنحني المميز تتعين قيمة التيار I_C من العلاقة (1-2) فقط.

ثالثاً: عندما يبلغ قيمة V_{CE} جداً عالياً جداً تؤول وصلة المجمع-قاعدة المنحازة عكسيًّا إلى حالة الانهيار ويزداد تيار المجمع بشكل كبير كما يوضح جزء المنحني المميز الواقع على يمين النقطة C يجب أن لا يعمل الترانزستور في منطقة الانهيار على الإطلاق.

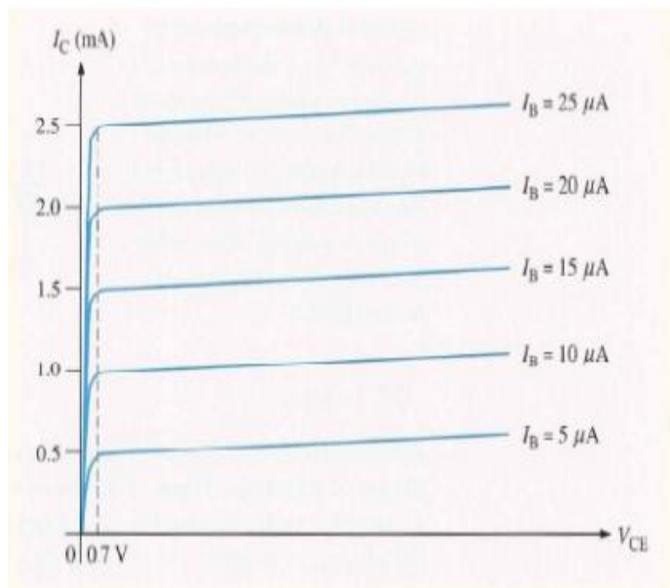
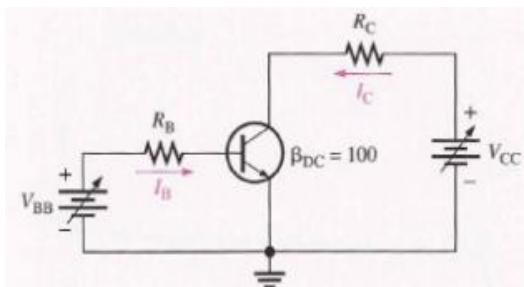
يوضح الشكل (10) مجموعة المنحنيات المميزة للمجمع المرسومة كعلاقة بين التيار I_C والجهد V_{CE} من أجل عدة قيم لـ I_B . فعندما يكون تيار القاعدة معدوماً ($I_B = 0$) فإن الترانزستور يكون في منطقة القطع Cut Off على الرغم من وجود تيار تسرب صغير جداً للمجمع.

مثال: ارسم مجموعة مثالية من منحنيات المجمع من أجل الدارة المبينة في الشكل المجاور علمًا بأن قيمة I_B تردد من 5 μA حتى 25 μA كل 5 μA و $100 = \beta_{DC}$ لا يتجاوز جهد الانهيار.

الحل: نوجد قيمة I_C من العلاقة (1-2) $I_C = \beta_{DC} I_B$ كما هو موضح في الجدول المرفق.

$I_B (\mu A)$	5	10	15	20	25
$I_C (mA)$	0.5	1	1.5	2	2.5

الشكل (0): المنحنيات المميزة للمجمع $I_C = f(V_{CE})$ من أجل قيم مختلفة لـ I_B



خط الحمل الساكن DC Load Line

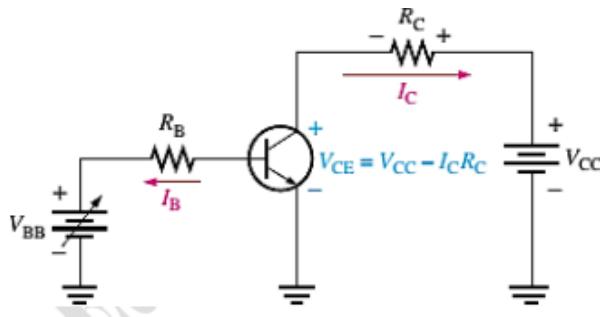
ندرس كل من حالتي القطع والإشباع.

دراسة حالة القطع Cut Off: بدراسة الدارة الموضحة في الشكل (11) يكون الترانزستور في منطقة القطع من عمله عندما $I_B = 0$ وفي هذه الحالة يكون مربط القاعدة مفتوحاً وبتوفر شرط كهذا توجد كمية صغيرة جداً من تيار المجمع المتسرب I_{CEO} الناتج في معظمه من الحاملات المتولدة حرارياً. وبما أن تيار تسرب المجمع صغير للغاية فعادة ما يهمل في تحليل الدارات بحيث يصبح الجهد بين طرفي وصلة المجمع-قاعدة يساوي إلى V_{CC} وفي حالة القطع تكون كلتا الوصلتين وصلة الباعث-قاعدة ووصلة المجمع-قاعدة في حالة انحياز عكسي.

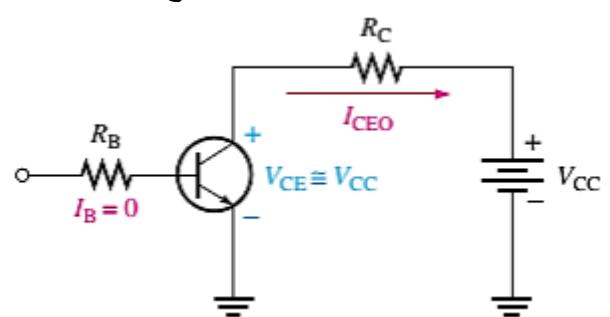
دراسة حالة الإشباع Saturation.

عندما تصبح حالة وصلة الباعث-قاعدة في حالة انحياز أمامي وتيار القاعدة متزايد فإن تيار المجمع يزداد أيضاً وفق علاقة الربح بالتيار β_{DC} ويتنافض هبوط الجهد بين طرفي وصلة الباعث-مجمع قاعدة هبوط أكبر للجهد بين طرفي مقاومة المجمع (العلاقة (1-8)) كما هو موضح في الشكل (12). فعندما يبلغ V_{CE} قيمة الإشباع $V_{CE(Sat)}$ تصبح وصلة المجمع-قاعدة في حالة انحياز أمامي وعندها لا يمكن لـ I_C أن يزداد على الرغم من زيادة تيار

القاعدة. وعند الوصول إلى نقطة الإشباع هذه لا تعود العلاقة (1-2) صالحة وبالتالي لا تكون متحققة لأن تيار المجمع أصبح أصغر بكثير من $\beta_{DC} I_B$ فجهد الإشباع $V_{CE(Sat)}$ من أجل ترانزستور ما يمكن أن يحصل في نقطة ما تحت نقطة تحدب منحنيات المجمع.

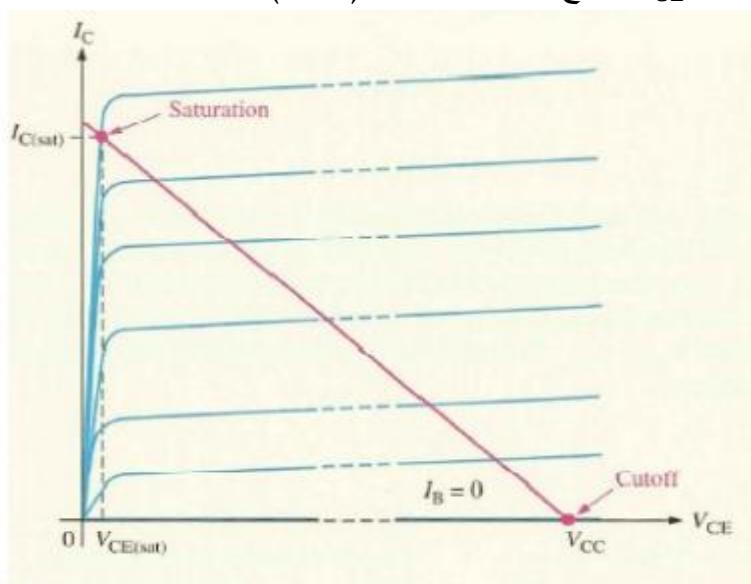


الشكل (12): دارة ترانزستور يعمل في منطقة الإشباع



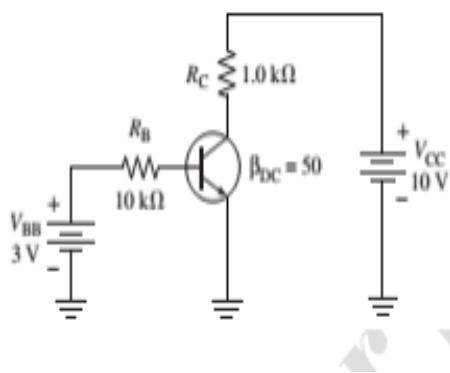
الشكل (11): دارة ترانزستور يعمل في منطقة القطع

توضح حالتي القطع والإشباع للترانزستور باستعمال خط الحمل الساكن الموضح في الشكل (13) والذي يمثل بخط مستقيم يصل بين نقطة القطع ونقطة الإشباع للترانزستور المدرس على مجموعة المنحنيات المميزة للمجمع حيث يواافق أسفل خط الحمل نقطة قطع مثالية حيث $V_{CE} = V_{CC}$ و $I_C = 0$ و يواافق نقطة الإشباع أعلى الخط حيث حيث يواافق المجمع نقطة النشطة (الفعالة) لعمل الترانزستور بين هاتين النقطتين.



الشكل (13): خط الحمل الساكن وتحديد نقطتي الإشباع والقطع.

مثال: حدد فيما إذا كان الترانزستور في الشكل (14) في منطقة الإشباع أم لا، بفرض أن $V_{CE(Sat)} = 0.2V$



الشكل 14

الحل: أولاً نحدد قيمة تيار الإشباع وفق العلاقة:

$$I_{C(Sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(Sat)}}{R_C} = \frac{10 - 0.2}{1k\Omega} = 9.8mA$$

ومن ثم نحسب قيمة تيار القاعدة لتبيّن إذا كان بإمكانه إنتاج تيار الإشباع أم لا

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{3 - 0.7}{10k\Omega} = 0.23mA$$

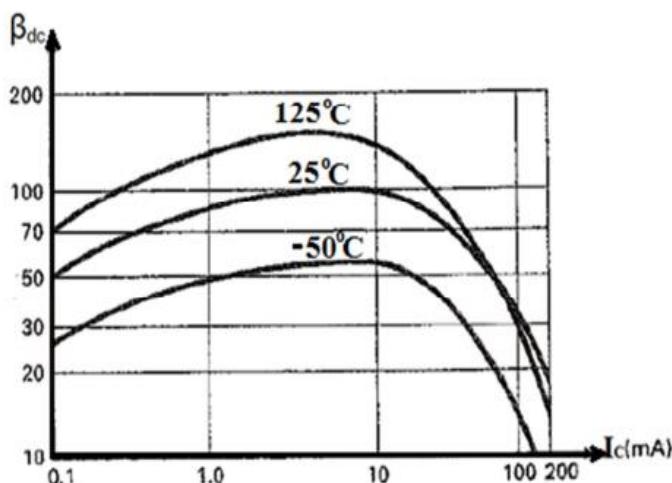
ومنه نحسب تيار المجمع وفق علاقة الربح بالتيار

$$I_C = \beta_{DC} I_B = 50 * 0.23 * 10^{-3} = 11.5mA$$

هذا يبيّن أن تيار القاعدة من أجل قيمة معينة للربح بالتيار قادر على إنتاج تيار مجمع أكبر من $I_{C(Sat)}$ وبهذا نستنتج أن الترانزستور يكون مشبعاً ولا يمكن بلوغ قيمة تيار المجمع $11.5mA$ على الإطلاق، وإذا زدنا تيار القاعدة أكثر يبقى تيار المجمع عند قيمته المشبعة.

العوامل التي يتعلّق بها الربح بالتيار β_{DC} :

يعد الربح بالتيار المستمر β_{DC} (يرمز له في بيانات الترانزستور بالرمز h_{FE}) من المعاملات الهامة للترانزستور ثنائي القطبية. إن المعامل β_{DC} ليس ثابتاً تماماً وإنما يتغيّر مع تيار المجمع I_C ودرجة الحرارة، فمن أجل درجة حرارة ثابتة وزيادة تيار المجمع نلاحظ أن عامل الربح بالتيار β_{DC} يزداد ويصل لقيمة عظمى والاستمرار بزيادة تيار المجمع إلى ما بعد القيمة العظمى يؤدي إلى تناقص β_{DC} . أما في حال بقي I_C ثابتاً وتغيّرت درجة الحرارة فنلاحظ أن β_{DC} يتّسّب طرداً مع درجة الحرارة، حيث أن رفع درجة الحرارة يجعل β_{DC} يزداد والعكس بالعكس. وهذا ما يوضّحه الشكل (15) والذي يبيّن تغيّرات β_{DC} مع درجة الحرارة من أجل ترانزستور نموذجي.



الشكل (15): تغيّرات β_{DC} مع I_C ودرجة الحرارة من أجل ترانزستور نموذجي.

القيم الأعظمية التي يتّصف بها الترانزستور ثنائي القطبية **Maximum Transistor Power**

يتّصف الترانزستور ثنائي القطبية كأي جهاز الكتروني بقدراته المحدودة على العمل، حيث لكل ترانزستور هناك منطقة عمل معينة يستطيع العمل ضمنها دون أن تتجاوز التيارات المارة عبره والجهود بين أطرافه الحدود القصوى لتحمله أو أن يحدث تشوه (Distortion) للإشارة الداخلة المراد تكبيرها.

فالقيم التقديرية الأعظمية التي تكون مدونة على لائحة المعاملات من قبل المصنع هي التي تقرر حدود عمل الترانزستور وتمثل القيم التقديرية الأعظمية الخاصة به في الجهد بين المجمع والقاعدة والجهد بين المجمع والباعث والجهد بين الباعث والقاعدة وتيار المجمع والاستطاعة المنشطة.

تعطى علاقة الاستطاعة العظمى للترانزستور ثنائي القطبية بالعلاقة (1-10):

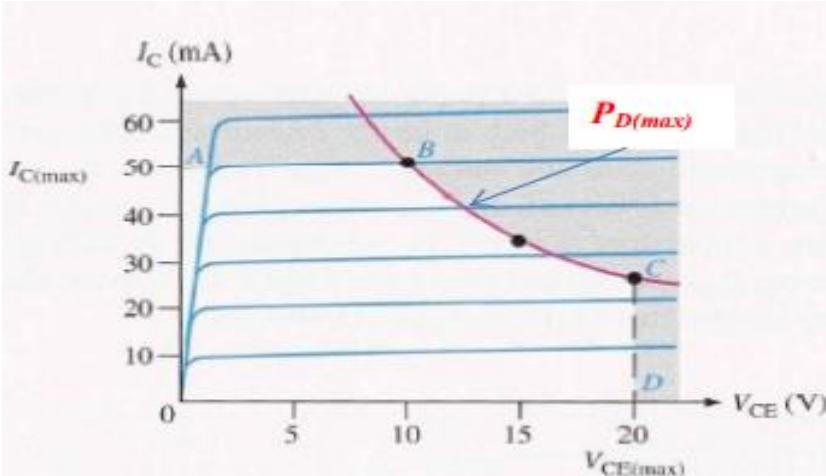
$$P_{D(max)} = V_{CE} * I_C \quad (1 - 10)$$

يجب ألا يتجاوز حاصل ضرب I_C في V_{CE} الاستطاعة العظمى المتشتتة فلا يمكن أن تكون قيمتا I_C و V_{CE} أعظميتين لأن معاً فإذا كان الجهد بين المجمع والباعث أعظمياً فيجب أن يحسب تيار الإشباع من العلاقة (1-10)

وفق الآتي: $I_C = \frac{P_{D(max)}}{V_{CE}}$ وبالعكس إذا كان I_C أعظمياً فيمكن إعادة كتابة علاقة V_{CE} انطلاقاً من علاقة

$$V_{CE} = \frac{P_{D(max)}}{I_C}$$

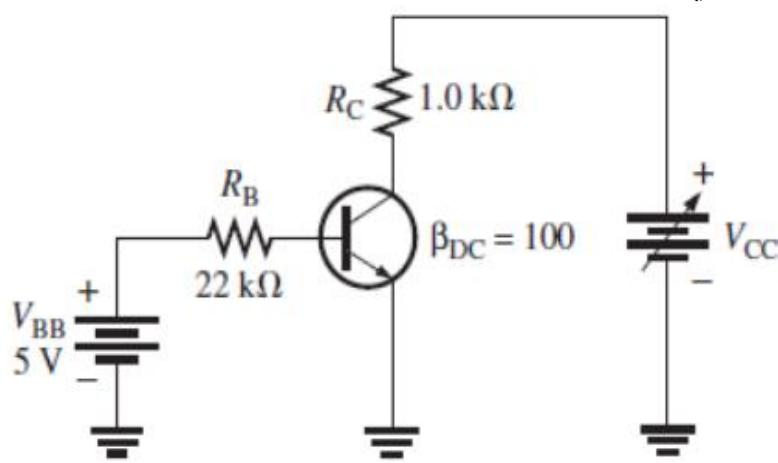
ويمكن رسم منحني الاستطاعة الأعظمية المتشتتة من أجل أي ترانزستور على المنحنيات الساكنة المميزة لمجمع الترانزستور كما هو موضح في الشكل (16).



الشكل(16): منحني الاستطاعة العظمى المتشتتة

نلاحظ من الخط البياني أن الترانزستور لا يمكن أن يعمل في القسم المظلل من المنحني فالتيار الأعظمي محدود بالقيمة التقديرية الواقعة بين النقطتين A و B، و $P_{D(max)}$ محددة بالقيمة التقديرية الواقعة بين النقطتين B و C، و $V_{CE(max)}$ محدد بالقيمة الواقعة بين النقطتين C و D.

مثال: يتصرف الترانزستور الموضح في الشكل المجاور بالقيمة التقديرية الأعظمية التالية: $P_{D(max)} = 800mW$ و $V_{CC} = 15V$ و $I_{C(max)} = 100mA$ و $V_{CE(max)} = 15V$ بدون أن يتجاوز القيمة التقديرية. وحدد القيمة التقديرية التي سيتم تجاوزها أم لا؟



أولاً نحسب قيمة I_B من العلاقة (1-6)

من أجل حساب تيار المجمع لتحديد قيمة

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{5 - 0.7}{22k\Omega} = 195\mu A$$

نلاحظ أن I_C أقل بكثير من $I_{C(max)}$ ولن يتغير عند تغيير V_{CC} ويتعين من $\beta_{DC} I_B$ فقط.

والجهد بين طرفي المقاومة R_C يساوي إلى:
 $V_{R_C} = I_C R_C = (19.5)(1k\Omega) = 19.5V$

يمكننا تعين قيمة V_{CC} عندما $V_{CC} = 15V$ وفق العلاقة $V_{CE} = V_{CE(max)} = 15V$

$$V_{CC(max)} = V_{CE(max)} + V_{R_C} = 15 + 19.5 = 34.5V$$

ومنه

إذن يمكننا زيادة V_{CC} ضمن الشروط المتوفرة قبل أن يتجاوز الجهد $V_{CE(max)}$ احدهـ ولكن ليس معدومـ إن تجاوزـتـ $P_D(max)$ ـ حـدـهاـ أـمـ لاـ.

$$P_D = (15)(19.5mA) = 293mW < P_{D(max)}$$

وبـماـ أنـ الاستـطـاعـةـ الأـعـظـمـيـةـ 800mWـ فـهـذـاـ يـعـنـيـ أنـ الاستـطـاعـةـ الأـعـظـمـيـةـ الـمـتـشـتـتـةـ لـنـ تـتـجـاـزـ حـدـهـاـ عـنـدـماـ $V_{CC} = 34.5V$ ـ وـفـيـ هـذـهـ الـحـالـةـ تـعـتـبـرـ الـقـيـمـةـ $V_{CE(max)} = 15V$ ـ حـدـاـ تـقـرـيـباـ.ـ إـذـاـ أـخـذـ تـيـارـ الـقـاعـدـةـ الـقـيـمـةـ صـفـرـ أـيـ يـصـبـحـ التـرـانـزـسـتـورـ فـيـ مـرـحـلـةـ الـقـطـعـ وـبـالـتـالـيـ إـنـ الـجـهـدـ $V_{CE(max)}$ ـ سـيـجـاـزـ قـيـمـتـهـ الـحـدـيـةـ أـلـاـ لـأـنـ كـاـمـلـ جـهـدـ الـتـغـذـيـةـ V_{CC} ـ سـيـهـبـطـ عـلـىـ التـرـانـزـسـتـورـ.

الوظيفة الأساسية للترانزستور عملـهـ كـمـضـخـ وـالـمـقـصـودـ بـذـلـكـ هوـ الـعـمـلـيـةـ الـتـيـ يـحـصـلـ خـلـالـهـ اـزـدـيـادـ خـطـيـ فيـ سـعـةـ الـإـشـارـةـ الـكـهـرـبـائـيـ بـالـإـضـافـةـ لـعـمـلـهـ كـمـفـتـاحـ الـكـتـرـوـنـيـ،ـ سـنـاقـشـ مـبـدـأـ عـمـلـ التـرـانـزـسـتـورـ فـيـ كـلـ مـنـهـماـ وـلـكـ سـنـتـعـرـفـ عـلـىـ الـكـمـيـاتـ الـمـسـتـمـرـةـ وـالـمـتـنـاوـيـةـ أـلـاـ.

الكميات المتناوبة والمستمرة:

تشـيرـ الـأـحـرـفـ الـكـبـيرـةـ عـلـىـ الـتـيـارـاتـ وـالـجـهـودـ الـمـسـتـمـرـةـ وـالـمـتـنـاوـيـةـ مـعـاـ وـتـنـطـبـقـ هـذـهـ الـقـاعـدـةـ عـلـىـ الـقـيـمـةـ الـتـرـبـيـعـيـةـ الـوـسـطـيـةـ وـالـقـيـمـةـ الـعـظـمـىـ لـلـمـطـالـ وـالـقـيـمـةـ الـفـاـصـلـةـ بـيـنـ الـقـمـيـتـيـنـ الـأـعـظـمـيـةـ وـالـأـصـغـرـيـةـ الـمـتـعـاـقـبـتـيـنـ.

تـمـثـلـ الـكـمـيـاتـ I_E ـ وـ I_C ـ وـ I_B ـ الـتـيـارـاتـ الـمـسـتـمـرـةـ لـلـتـرـانـزـسـتـورـ،ـ وـالـكـمـيـاتـ V_{BE} ـ وـ V_{CE} ـ وـ V_{CB} ـ جـهـودـ التـرـانـزـسـتـورـ الـمـسـتـمـرـةـ بـيـنـ الـطـرـفـيـنـ،ـ وـتـمـثـلـ الـجـهـودـ الـمـسـتـمـرـةـ بـيـنـ أـطـرـافـ التـرـانـزـسـتـورـ وـالـأـرـضـيـ بـ V_C ـ وـ V_B ـ وـ V_E ـ.

وـتـمـثـلـ I_e ـ وـ I_c ـ وـ I_b ـ الـتـيـارـاتـ الـمـتـنـاوـيـةـ لـلـتـرـانـزـسـتـورـ،ـ وـالـكـمـيـاتـ V_{be} ـ وـ V_{cb} ـ وـ V_{ce} ـ جـهـودـ التـرـانـزـسـتـورـ الـمـتـنـاوـيـةـ بـيـنـ الـطـرـفـيـنـ،ـ وـتـمـثـلـ الـجـهـودـ الـمـتـنـاوـيـةـ بـيـنـ أـطـرـافـ التـرـانـزـسـتـورـ وـالـأـرـضـيـ بـ V_c ـ وـ V_b ـ وـ V_e ـ.

بـالـإـضـافـةـ أـنـ التـرـانـزـسـتـورـ يـمـتـلـكـ مـقاـوـمـةـ دـاخـلـيـةـ لـلـتـيـارـ الـمـتـاـوـبـ r'_e ـ وـتـدـعـىـ بـالـمـقاـوـمـةـ الـأـمـامـيـةـ الـدـيـنـامـيـكـيـةـ لـلـبـاعـثـ،ـ أـمـ الـمـقاـوـمـاتـ الـخـارـجـيـةـ الـمـوـصـوـلـةـ إـلـىـ تـرـانـزـسـتـورـ تـمـثـلـ بـأـحـرـفـ كـبـيرـةـ معـ دـلـيـلـ إـذـاـ كـانـتـ لـلـتـيـارـ الـمـسـتـمـرـ أـوـ الـمـتـاـوـبـ كـمـاـ فـيـ الـتـيـارـاتـ وـالـجـهـودـ.

آلية عمل الترانزستور كمفتاح الكتروني :The Transistor As a Switch

يـسـتـخـدـمـ التـرـانـزـسـتـورـ كـدـارـةـ إـغـلـاقـ وـفـتـحـ (ـأـيـ مـفـتـاحـ الـكـتـرـوـنـيـ)ـ حـيـثـ عـنـدـ اـسـتـخـدـامـهـ هـكـذـاـ يـعـمـلـ التـرـانـزـسـتـورـ فـيـ مـنـطـقـتـيـ الـقـطـعـ وـالـإـشـبـاعـ بـالـتـعـاـقـبـ كـمـاـ يـسـتـفـادـ مـنـ هـذـهـ الـخـاصـيـةـ لـلـتـرـانـزـسـتـورـ فـيـ الدـارـاتـ الـرـقـمـيـةـ.

يـوـضـعـ الشـكـلـ (17)ـ مـبـدـأـ عـمـلـ التـرـانـزـسـتـورـ كـجـهـازـ إـغـلـاقـ وـفـتـحـ.ـ وـيـكـونـ التـرـانـزـسـتـورـ فـيـ مـنـطـقـةـ الـقـطـعـ مـنـ عـمـلـهـ لـأـنـ وـصـلـةـ الـبـاعـثـ-ـقـاعـدـةـ لـيـسـ مـنـحـازـةـ أـمـامـيـةـ وـفـيـ هـذـهـ الـحـالـةـ مـنـ النـاـحـيـةـ الـمـثـالـيـةـ يـوـجـدـ فـتـحـ بـيـنـ الـمـجـمـعـ وـالـبـاعـثـ وـيـكـونـ التـرـانـزـسـتـورـ فـيـ مـنـطـقـةـ الـإـشـبـاعـ مـنـ عـمـلـهـ لـأـنـ وـصـلـتـيـ الـبـاعـثـ-ـقـاعـدـةـ وـوـصـلـةـ الـمـجـمـعـ-ـقـاعـدـةـ تـكـوـنـ فـيـ حـالـةـ اـنـحـيـازـ أـمـامـيـ وـتـيـارـ الـقـاعـدـةـ النـاتـجـ يـكـوـنـ كـبـيرـاـ كـفـاـيـةـ لـيـجـعـلـ تـيـارـ الـمـجـمـعـ يـبـلـغـ قـيـمـتـهـ الـمـشـبـعـ وـفـيـ هـذـهـ الـحـالـةـ يـوـجـدـ قـصـرـ (ـإـغـلـاقـ)ـ بـيـنـ الـمـجـمـعـ وـالـبـاعـثـ

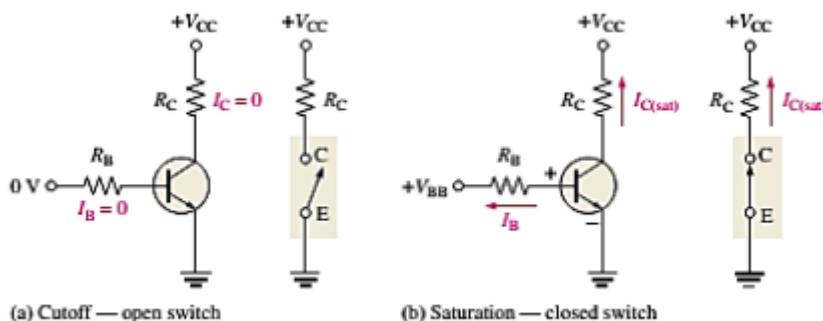
شـرـوـطـ تـحـقـيقـ حـالـةـ الـقـطـعـ:ـ يـكـونـ التـرـانـزـسـتـورـ فـيـ مـنـطـقـةـ الـقـطـعـ عـنـدـمـاـ لـاـ تـتـجـاـزـ وـصـلـةـ الـبـاعـثـ-ـقـاعـدـةـ أـمـامـيـةـ وـبـإـهـمـالـ تـيـارـ الـتـسـبـبـ تـكـوـنـ جـمـيعـ الـتـيـارـاتـ فـيـ التـرـانـزـسـتـورـ مـسـاـوـيـةـ لـلـصـفـرـ وـ V_{CE} ـ يـسـاـوـيـ إـلـىـ V_{CC} ـ أـيـ:

$$V_{CE(Cut off)} = V_{CC} \quad (1 - 11)$$

شروط تحقيق حالة الإشباع: عندما تكون وصلة البابعث-قاعدة منحازة أمامياً ويتتوفر تيار قاعدة كافٍ لإنتاج تيار مجمع أعظمي فإن الترانزستور يكون مشبعاً وفي هذه الحالة تكون علاقة تيار الإشباع للمجمع من الشكل التالي:

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} \quad (1-12)$$

وبما أن قيمة $V_{CE(sat)}$ صغيرة جداً مقارنة بقيمة V_{CC} فإن القيمة الدنيا لتيار القاعدة الضرورية لتأمين حالة الإشباع تساوي إلى: $I_{B(min)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta_{DC}}$ (1-13) حتى يحافظ الترانزستور على حالة الإشباع.



الشكل(17): الترانزستور كمفتاح الكتروني

تطبيق على استخدام الترانزستور كمفتاح الكتروني:

استخدام الترانزستور الموضح في الشكل المجاور كمفتاح الكتروني لتشغيل الديود البابعث للضوء وإيقافه.

بتطبيق إشارة دخل مربع دورها $2s$ على مدخل الدارة نلاحظ أن جهد الإشارة المربعة يكون معدوم وبالتالي الترانزستور في حالة القطع ويكون تيار المجمع معدوم وعندما تصبح الموجة المربعة بقيمتها العظمى فإن الترانزستور يصبح في حالة الإشباع أي الديود البابعث للضوء يصبح في حالة انحياز أمامي ويحتاج الديود البابعث للضوء تياراً قيمته $I_C = 30mA$ لإصدار ضوء كافٍ هذا يعني أن تيار المجمع يساوي $I_C = 30mA$ وفي هذه الحالة يضيء الديود الموصول مع مجمع الترانزستور خلال ثانية وينطفئ في الثانية اللاحقة وهكذا

إيجاد سعة الموجة المربعة لجهد الدخل اللازم لجعل الترانزستور مشبعاً من أجل القيم الآتية:

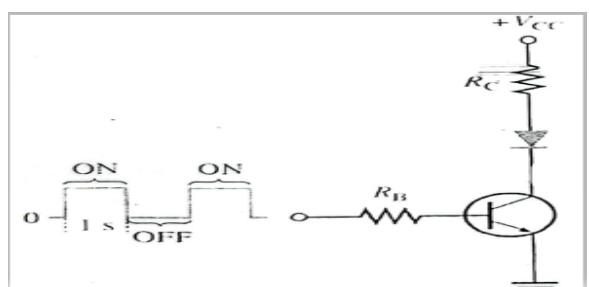
$$\beta_{DC} = 50 \quad V_{CE(sat)} = 0.3V \quad V_{CC} = 9V \quad R_B = 3.3k\Omega \quad R_C = 270\Omega$$

بتطبيق العلاقة $I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C}$ نحصل على قيمة تيار المجمع المشبع والذي يساوي إلى $0.032A$

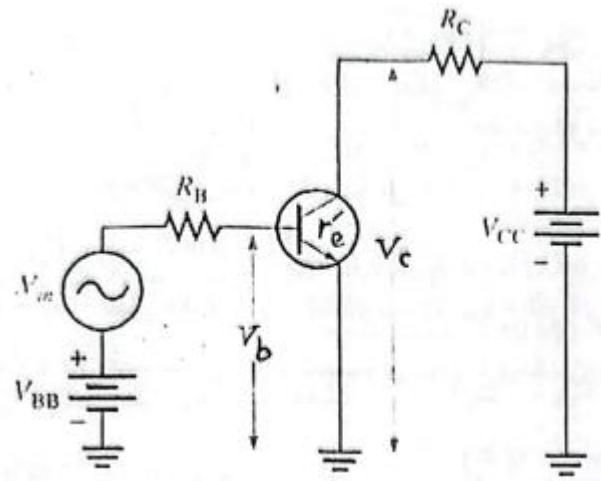
ومنه نحسب قيمة تيار القاعدة الصغرى والتي تساوي وفق العلاقة (1-13) إلى $I_{B(min)} = 644\mu A$ ، كي يحافظ الترانزستور على حالة الإشباع يجب أن يكون تيار القاعدة أكبر بكثير من $I_{B(min)}$ ولضمان عملية الإشباع سنأخذ

ضعف هذه القيمة أي تصبح تقريباً $2I_{B(min)} \cong 1.29mA$ وتحسب قيمة جهد الدخل كما يلي:

$$2I_B = \frac{V_{in} - V_{BE}}{R_B} \rightarrow V_{in} = 2I_B R_B + 0.7 = 4.96V$$



يضمّن الترانزستور التيار ونعلم أن تيار المجمّع يساوي إلى $I_C = \beta_{DC} I_B$ وبما أن تيار القاعدة صغير جداً في الترانزستور مقارنةً مع تياري المجمّع والباعث ولهذا السبب يساوي تيار المجمّع تيار الباعث تقريباً ومنه $I_C = I_E$ لتكن لدينا الدارة الموضحة في الشكل المجاور حيث يلاحظ إضافة الجهد المتناوب V_{in} إلى جهد الانحياز المستمر V_{BB} اللذان يربطان مع مقاومة القاعدة على التسلسل، يسبب جهد الدخل المتناوب مرور تيار في القاعدة يسبب بدوره مرور تيار متناوب في المجمّع بقيمة أكبر بكثير من قيمة تيار القاعدة المتناوب $I_b \geq I_c$ ويؤدي ظهور تيار المجمّع المتناوب إلى هبوط جهد متناوب بين طرفي مقاومة المجمّع R_C وبالتالي إعادة تشكيل جهد الدخل المتناوب بشكل مضخم ومقلوب (مضخم عاكس) في المنطقة الفعالة للترانزستور.



سنحل الدارة : إن وصلة الباعث-قاعدة المنحازة أمامياً تبدي مقاومة ضعيفة جداً للإشارة المتناوبة ونرمز لهذه المقاومة الداخلية للباعث بالرمز r'_e وأصبح تيار الباعث يساوي إلى :

$I_e \cong I_c = \frac{V_b}{r'_e}$ ويساوي جهد المجمّع المتناوب إلى هبوط الجهد المتناوب بين طرفي مقاومة المجمّع R_C وفق العلاقة : $V_c = I_c R_c$

وبما أن $I_c \cong I_e$ فإن جهد المجمّع المتناوب يساوي إلى $V_c = I_e R_c$ وباعتبار أن V_b جهد دخل متناوب للترانزستور حيث $V_b = V_{in} - I_b R_B$ ومنه $V_{in} = V_b + I_b R_B$ ويمكننا اعتبار الجهد V_c جهد خرج متناوب للترانزستور ومنه نعرف معامل الربح بالجهد المتناوب لدارة الترانزستور A_v بأنه نسبة جهد الخرج المتناوب إلى دخل الجهد المتناوب وفق العلاقة (1-14) : (1 - 14)

$A_v = \frac{V_c}{V_b}$ وبالتعويض عن علاقة جهد الخرج والدخل تؤول العلاقة (1-14) إلى الشكل (1-15) :

$$A_v = \frac{V_c}{V_b} = \frac{I_e R_c}{I_e r'_e} = \frac{R_c}{r'_e} \quad (1 - 15)$$

وتبين هذه العلاقة أن الترانزستور في الدارة المدروسة يضمّن إشارة الدخل ويعطي ربحاً بالجهد المتناوب مرتبطاً بكل من مقاومة الخرج R_c و مقاومة الدخل r'_e حيث $r'_e \gg R_c$ وبالتالي يكون جهد الخرج أكبر من جهد الدخل دوماً. مثال: أوجد الربح بالجهد وجهد الخرج المتناوب في الدارة السابقة إذا علمت أن $50\Omega = r'_e$ و $1k0\Omega = R_c$

$$V_b = 100mV$$

الحل: بتطبيق العلاقة (1-15) نحصل على الربح في الجهد ويساوي إلى $A_v = 20$
ونحصل من هذه العلاقة على القيمة التالية لجهد الخرج المتواكب للترانزستور:
 $V_c = V_{out} = A_v V_b = (20)(100mV) = 2V$



مكتبة
A to Z