جامعة دمشق
المعهد التقاني للهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم تجهيزات طبية

أسس هندسة الكترونية ـ٢ـ

إعداد:
م. روزان المسالخي

الترانزستور ثنائي القطبية

BJT Transistor

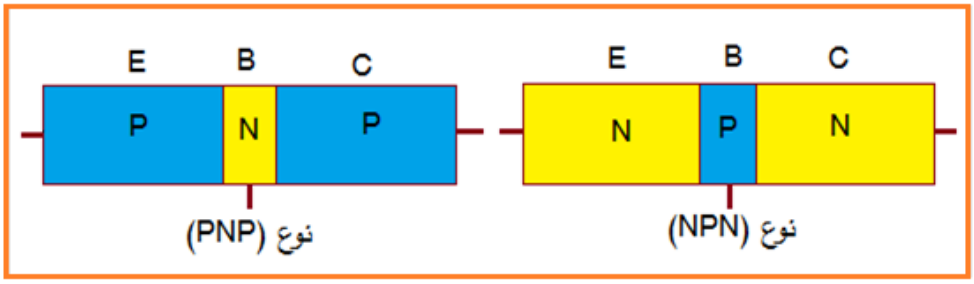
يعتبر الترانزستور أحد أهم عناصر أشباه الموصلات التي تم اكتشافها في العصر الحديث.

يستخدم الترانزستور بشكل عام في مكبرات الإشارات الكهربائية والمفاتيح الالكترونية المختلفة، وقد ساعدت عدة عوامل مثل صغر حجمه وسهولة تصنيعه وقلة تكاليفه واستهلاكه القليل للطاقة الكهربائية على انتشاره بشكل كبير.

يوجد نوعان رئيسيان من الترانزستورات وهما الترانزستور ثنائي القطبية Bipolar Junction Transistor وترانزستور التأثير المجالي Field Effect Transistor حيث أننا سندرس في مقررنا الترانزستورات العادية (ثنائية القطبية BJT)..

الترانزستورات ثنائية القطبية BJT :

تتكون هذه الترانزستورات كما هو مبين في الشكل من ثلاث قطع N ، P مرتبة بالشكل التالي :

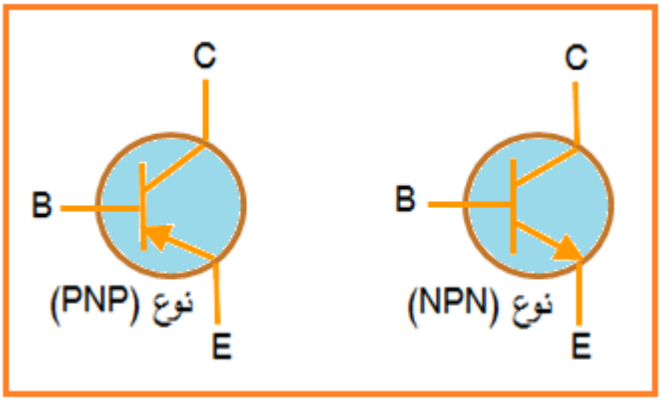


❖ لمعرفة نوع الترانزستور هل هو NPN أو PNP نلحق بالسهم بحيث يشير السهم إلى N السالب ، ويعتبر ترانزستور NPN هو الأكثر شهرة واستخداما..

❖ لمعرفة أطراف الترانزستور وتمييزها عن بعضها البعض فنلاحظ أن :

- القاعدة Base: تكون دوما في المنتصف.
- الباعث Emitter: هو صاحب السهم.

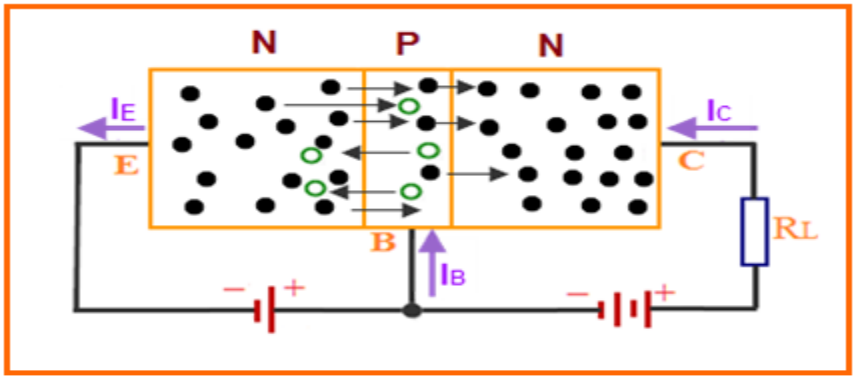
- المجمع Collector: هو الطرف الثالث المتبقي.



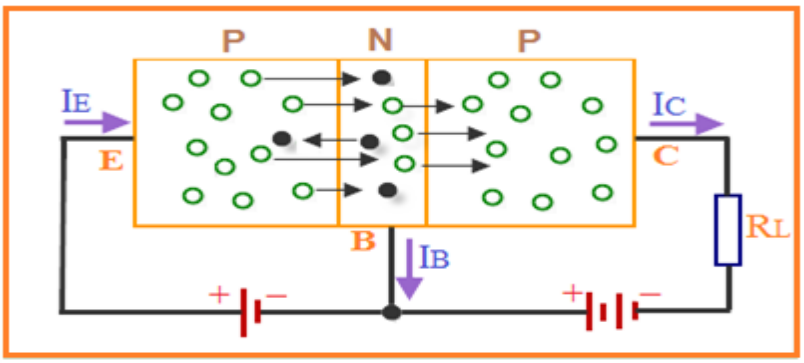
❖ تصنع الترانزستورات بشكل عام من السيليزيوم أو الجرمانيوم ويعتبر الترانزستور المصنوع من السيليزيوم ذو مزايا أفضل بكثير من ترانزستور الجرمانيوم لذلك فهي الأكثر استخداماً.

مبدأ عمل الترانزستور:

في مادة نصف الناقل N تكون الحاملات الأساسية من الالكترونات الحرة وفي نصف الناقل P تكون الحاملات الأساسية من الفجوات، عند وصل طبقة N مع طبقة P فإن الالكترونات الحرة والفجوات الحرة تتحرك كل منها باتجاه الأخرى ويتحد عدد قليل من الالكترونات مع عدد قليل من الفجوات، ويتشكل لدينا منطقة ذات توتر انحياز يعاكس حركة حوامل الشحنات وبما أن الترانزستور يتألف من ثلاث طبقات لذلك يوجد منطقتي فصل الأولى بين (الباعث والقاعدة) والثانية بين (القاعدة والمجمع).



- في الترانزستور NPN يكون الباعث من نصف الناقل N وحتى تستطيع الالكترونات الحرة في الباعث من اجتياز منطقة الفصل بين (الباعث والقاعدة) نصل طرف الباعث إلى القطب السالب كماهو موضح بالشكل وبسبب التنافر مع القطب السالب تتلقى الالكترونات 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 الكترونات الباعث مع فجوات القاعدة أما الباقي فتصل إلى منطقة الفصل الثانية بين القاعدة والمجمع عندها نقوم بوصل المجمع مع القطب الموجب لمنبع التغذية الذي يعمل على جذب الالكترونات مما يساعد على اجتياز منطقة الفصل الثانية بين القاعدة والمجمع وبذلك يمر تيار I_C في المجمع.



- في ترانزستور PNP تحدث نفس العمليات الفيزيائية السابقة لكن تتبادل فيه الالكترونات والفجوات دوريهما، مع عكس قطبية منبع التغذية وكذلك اتجاهات التيارات المارة في الترانزستور كماهو بين في الشكل السابق.

يمكننا القول أنه:

بالنسبة للترانزستور نوع NPN نجد أن وصلة الباعث – القاعدة PN تكون ذو انحيازأمامي، وتكون بالتالي القاعدة B موجبة بالنسبة للباعث والجهد اللازم لتأمين هذا الانحياز في ترانزستور السيلزيوم يساوي تقريباً $U_{BE}=0.7\ V$ بالمقابل فإن وصلة المجمع – القاعدة PN تكون ذو انحياز عكسي..وبالتالي نتيجة لتطبيق جهود الانحياز هذه يمر تيار من المجمع إلى القاعدة إلى الباعث، حيث أن:

I_B : تيار القاعدة

I_E : تيار الباعث

I_C : تيار المجمع

ودوماً يكون تيار القاعدة صغير جداً مقارنة مع تياري الباعث والمجمع.

ولفهم عمل الترانزستور يمكن أن نتخيله كالتالي :

فهناك دوما تيار(الذي يمثل هنا الماء) يجب أن يمر من المجمع للباعث عبر بوابة القاعدة، هذه البوابة إما أن تسمح للتيار أن يمر جزئياً من المجمع C إلى E أو يمر كلياً من C إلى E أو لاتسمح له بالمرور نهائياً، أي أن I_B هو الذي يتحكم بمرور تيار المجمع إلى الباعث.

☒ أي عند غلق الصنبور ← لايوجد تيار ماء ← $I_B=0$ ← $I_C=0$

☒ عند بداية فتحه ← يتدفق الماء حسب فتحة الصنبور ← I_B له قيمة متوسطة ← I_C له قيمة متوسطة.

☒ عند اكتمال فتحه ← لايتدفق ماء أكثر من ذلك ← I_B له قيمة عالية ← I_C له قيمة عالية.

وومنه فإننا نلاحظ أنه يوجد تناسب طردي بين كل من تياري القاعدة والمجمع.

ونســـمي تيار القاعدة بتيار التحكم أي أنه يتحكم في فتحة بوابة القاعدة التي تمرر تيار المجمع I_C والذي نسميه بتيار الحمل.

من أهم مايميز الترانزستور أنه يمكن من خلال تيار صغير جداً (من رتبة المايكرو أو الميلي أمبير)وهو تيار القاعدة I_B أن يتحكم بتيارات كبيرة جداً (تصـــل لعدة أمبيرات) مثل تيار المجمع I_C.

وبنهاية نقول أن شـــرط عمل الترانزســـتور هو أن يطبق جهد على طرفي القاعدة حوالي 0.7 V مع الانتباه إلى أنه:

- في ترانزستور NPN:

☒ إذا كان الباعث موصول إلى الأرض فنطبق على القاعدة جهد حوالي 0.7 V

☒ أما في حال كان الباعث غير موصول إلى الأرض فمن الممكن أن يكون موصول مع مصـدر جهد قدره 1 V بالتالي يجب أن يطبق على القاعدة جهد أكبر بحوالي 0.7 V أي 1.7 V

- في ترانزستور PNP:

فإن جهد الباعث يكون أكبر من جهد القاعدة بـ 0.7 V

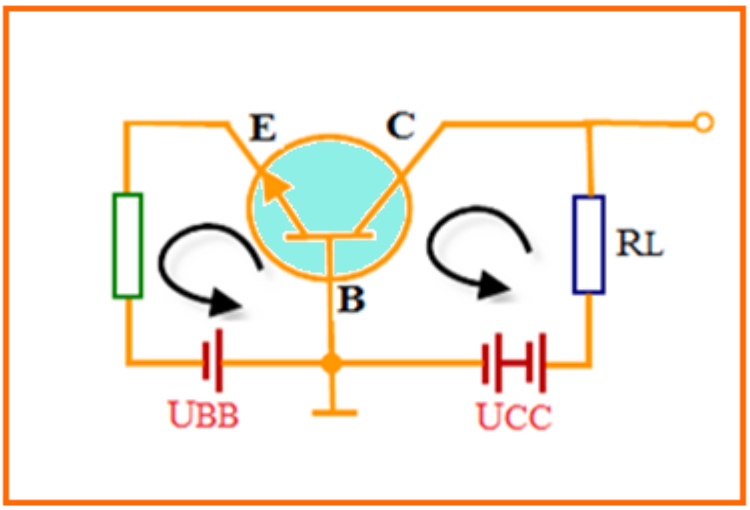
دارات الترانزستور الأساسية:

عند توصيل الترانزستور في الدارة يكون له مدخل حيث تدخل الإشارة ومخرج حيث تخرج الإشارة وبما أن للترانزستور ثلاثة أطراف (الباعث- القاعدة-المجمع) لذلك يستخدم أحد الأطراف للدخل والثاني للخرج والثالث يكون مشـــتركاً بينهما، وبناء عليه توجد ثلاث دارات أساسية لتوصيل الترانزستور بالدارة هي:

دارة القاعدة المشتركة – دارة الباعث المشترك – دارة المجمع المشترك

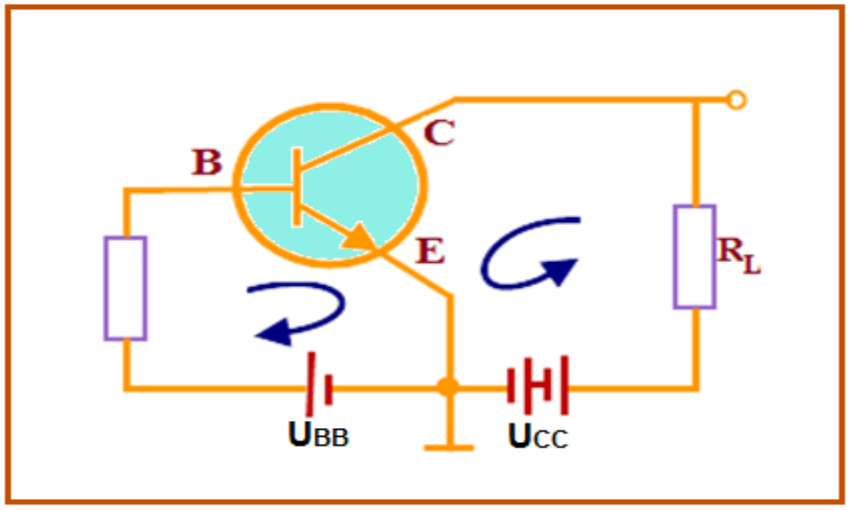
❖ دارة القاعدة المشتركة:

يمثل الشكل دارة القاعدة المشتركة للترانزستور من نوع NPN وفيها يكون دخل الدارة بين الباعث والقاعدة ويكون الخرج بين المجمع والقاعدة وبذلك تكون القاعدة مشتركة بين الباعث والمجمع.



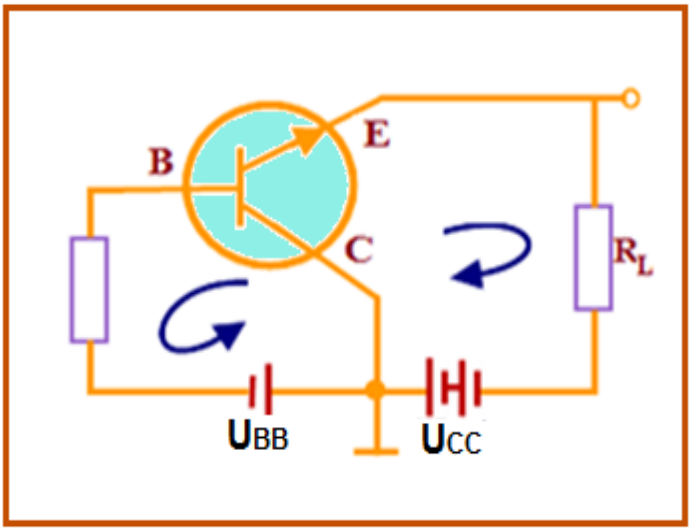
❖ دارة الباعث المشترك:

يمثل الشكل دارة الباعث المشترك وهي من أكثر الدارات الترانزستورية استخداماً وفيها يكون دخل لدارة بين الباعث والقاعدة يوكون الخرج بين المجمع والباعث وبذلك يكون الباعث مشترك بين القاعدة والمجمع.



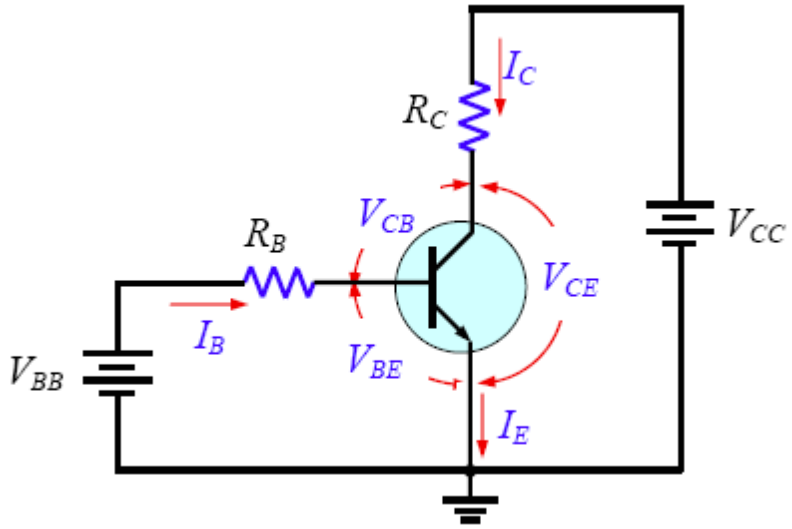
❖ دارة المجمع المشترك:

يمثل الشـــكل دارة المجمع المشـــترك والتي يكون فيها دخل لدارة بين القاعدة والمجمع يوكون الخرج بين المجمع والباعث وبذلك يكون المجمع مشترك بين الباعث والقاعدة.



الدراسة التحليلية:

لتحليل الجهد والتيار نأخذ الدارة الأساسية لتغذية الترانزستور، وفيها يوصل طرف الباعث بالأرضي ويكون مشترك بين الدخل والخرج كما في الشكل التالي:



حيث يوجد ثلاث تيارات وثلاث جهود وهي:

I_B: تيار القاعدة.

I_E: تيار الباعث.

I_C: تيار المجمع.

V_{BE}:الجهد بين الباعث والقاعدة.

V_{CB}:الجهد بين المجمع والقاعدة.

V_{CE}: الجهد بين المجمع والباعث.

- إن الانحياز الأمامي لوصلة القاعدة – الباعث يتم تأمينه عبر الجهد VBB والانحياز العكسي لوصلة القاعدة – المجمع يتم تأمينه عبر الجهد V_{CC}، وعندما تكون وصلة القاعدة – الباعث في حالة انحياز أمامي تعمل كثنائي ويكون الجهد بين طرفيها مساوياً 0.7 V وحيث أن جهد الباعث يساوي صفر لأنه متصل بالأرضي أي:

$$\mathbf{V_{BE} = 0.7\ V}$$

- ويحسب الجهد V_{CE} بين المجمع والباعث بالعلاقة التالية:

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

- ومنه يمكن حساب الجهد V_{CB} بين المجمع والقاعدة بالعلاقة التالية:

$$\mathbf{V_{CB} = V_{CE} - V_{BE}}$$

- بتطبيق قانون كيرشوف على دائرة الدخل نجد:

$$V_{BB} = V_{RB} + V_{BE} = I_B.R_B + V_{BE} \rightarrow$$

$$\mathbf{I_B = \frac{VBB - VBE}{RB}}$$

- بتطبيق قانون كيرشوف على دائرة الخرج نجد:

$$V_{CC} = V_{RC} + V_{CE} = I_C.R_C + V_{CE} \rightarrow$$

$$\mathbf{I_C = \frac{VCC - VCE}{RC} = \beta.I_B}$$

حيث β هي معامل التكبير بين تياري القاعدة والمجمع وتكون قيمتها عالية بشكل عام.

وأيضا نعرف المعامل α أنه النسبة بين تياري المجمع والباعث:

$$\boldsymbol{\alpha = \frac{IC}{IE}}$$

- **ومنه** فالعلاقة الرابطة بين التيارات الثلاثة هي :

$$\mathbf{I_E = I_B + I_C}$$

$$\mathbf{I_E = I_B + \beta . I_B = I_B (1 + \beta)}$$

مثال:

أوجد قيمة كل من α, β لترانزستور له $I_B = 50\,\mu A$ ، $I_C = 3.65\,mA$ ؟؟

$$\beta = \frac{IC}{IB} = \frac{3.65\ \text{mA}}{50\ \mu\text{A}} = \frac{3.65 * 10^{-3}}{50 * 10^{-6}} = 73$$

لإيجاد α يجب أن نقوم بحساب I_E:

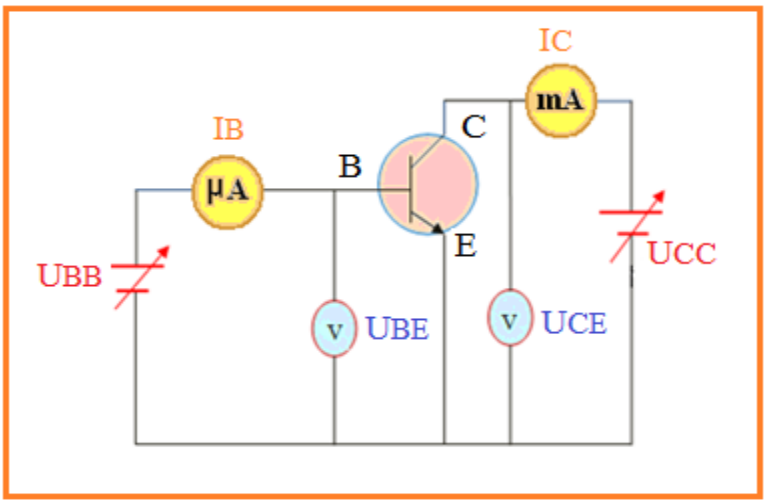
$$I_E = I_B + I_C = 0.05 + 3.65 = 3.7\,mA$$

$$\alpha = \frac{IC}{IE} = \frac{3.65\,mA}{3.7\,mA} = 0.986$$

منحنيات خواص الترانزستور:

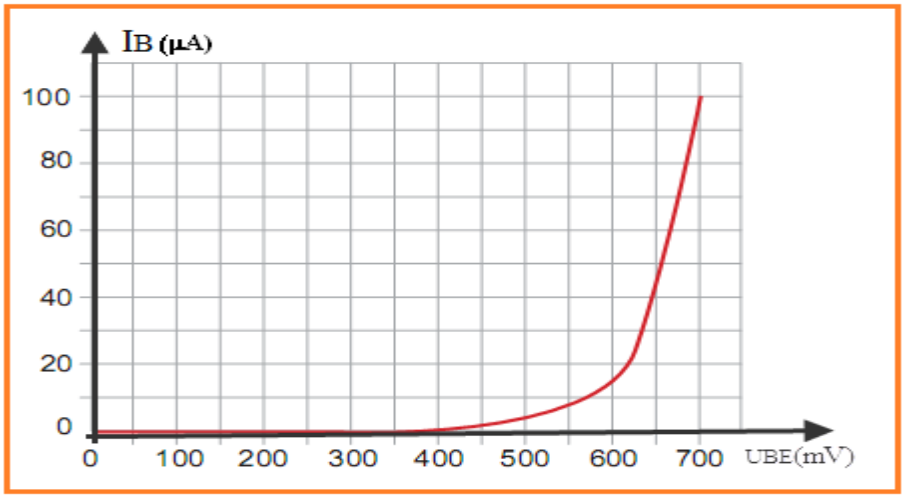
لتسهيل استعمال الترانزستور وتصميم داراته الأساسية تقدم الشركات الصانعة منحنيات مميزة لكل ترانزستور في دارة المشع المشترك الأكثر استخداماً والدارة المبينة بالشكل التالي تبين أن هناك أربعة عناصر مهمة يمكن قياسها بطريقة بسيطة وهي:

$$V_{CE}\ ،\ V_{BE}\ ،\ I_C\ ،\ I_B$$



❖ منحني خواص الدخل:

يمثل العلاقة بين تيار الدخل I_B وجهد الدخل V_{BE} عند ثبات جهد الخرج V_{CE} كما هو مبين في الشكل:

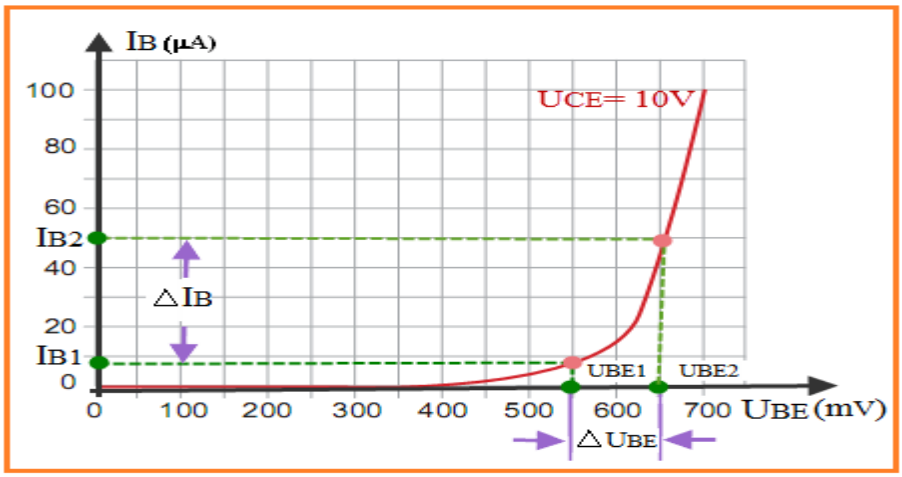


نلاحظ أنه عند وصول الجهد V_{BE} إلى $0.3\ V$ بالنسبة لترانزستور المصنوع من الجرمانيوم و $0.7\ V$ بالنسبة للترانزستور المصنوع من السيليكون تفتح بوابة القاعدة ويمر تيار I_B.

☒ مقاومة الدخل:

هي النســـبة بين تغير جهد الدخل إلى تغير تيار الدخل عند جهد مجمع باعث ثابت

وتعطى بالعلاقة التالية:



ويمكن استنتاج قيمة مقاومة الدخل من منحني خواص الدخل كما هو موضح في الشكل

ونأخذ مثالاً على ذلك :

بداية نحدد قيمتين لتوتر الدخل:

الأولى V_{BE1} = 550 mV فتكون قيمة تيار الدخل المقابلة I_{B1} =8 µA

الثانية V_{BE2} = 650 mV فتكون قيمة تيار الدخل المقابلة I_{B2} =50 µA

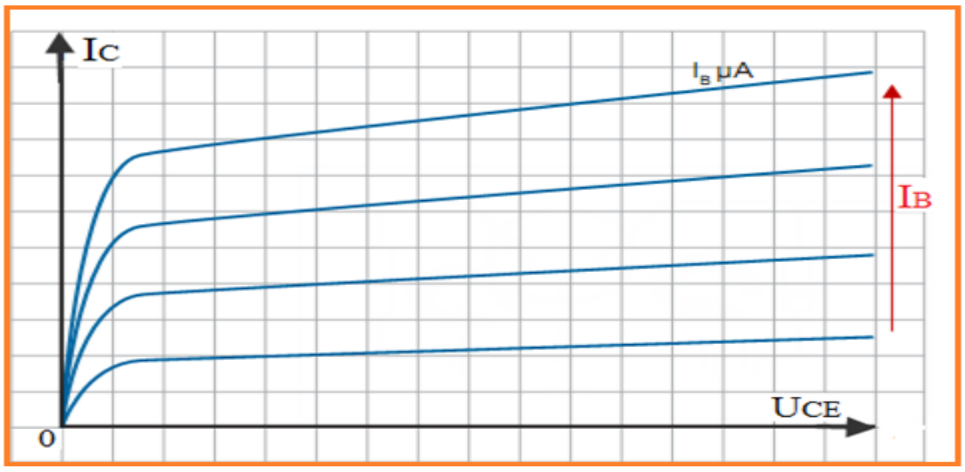
نعوض القيم في العلاقة السابقة فنجد أن:

$$R_{in} = 2.38\ K\Omega$$

❖ **منحنيات خواص الخرج:**

تمثل العلاقة بين تيار الخرج I_C وجهد الخرج V_{CE} عند ثبات تيار الدخل I_B

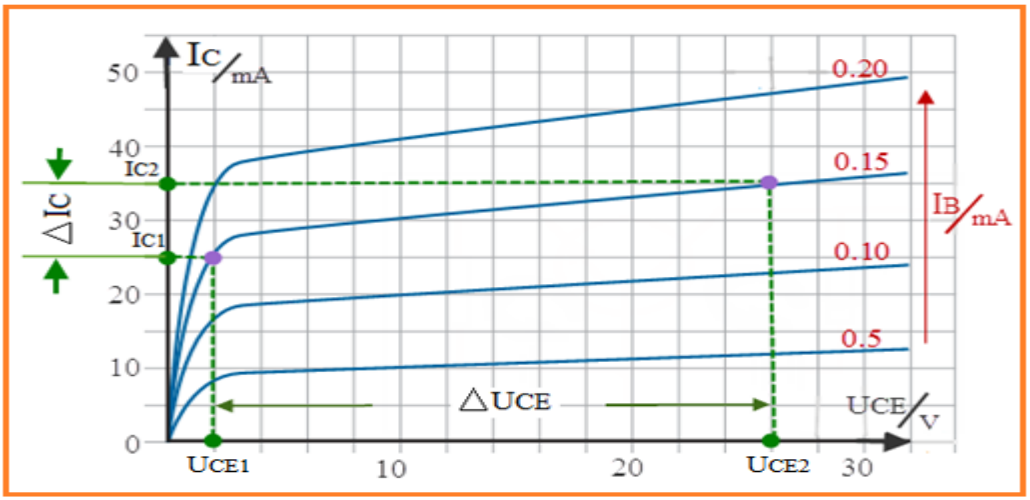
كماهو مبين في الشكل:



نلاحظ من المنحني أن الزيادة في تيار الدخل I_B تؤدي إلى زيادة كبيرة في تيار المجمع I_C.

☒ مقاومة الخرج:

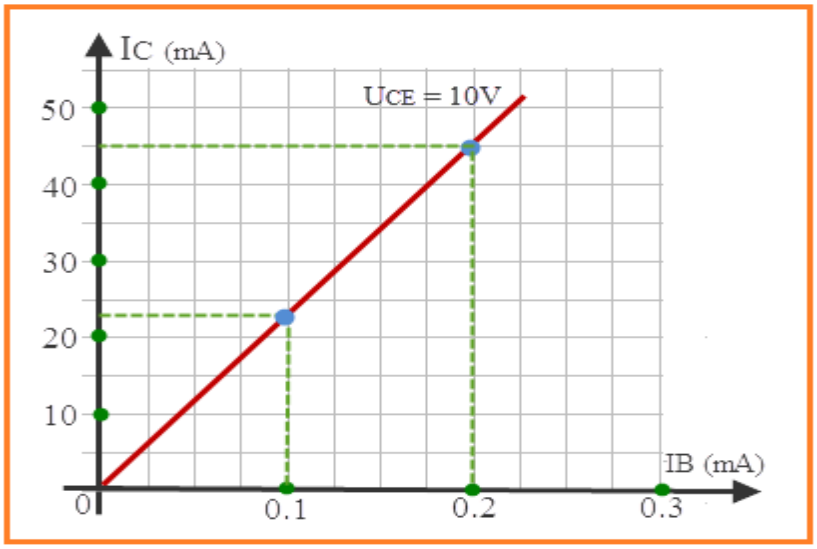
هي النســـبة بين تغير جهد الخرج إلى تغير تيار الخرج عند ثبات تيار القاعدة ويعطى بالعلاقة التالية:



ويمكن اســتنتاج قيمة مقاومة الخرج من منحني خواص الخرج عند قيمة معينة لتيار القاعدة ولتكن 0.15 mA في الشــكل الموضــح أدناه وبنفس الطريقة المتبعة لاســتنتاج مقاومة الدخل.

❖ منحنيات تضخيم التيار:

تمثل العلاقة بين تيار القاعدة وتيار المجمع عند جهد V_{CE} ثابت كماهو موضـــح في الشكل التالي:



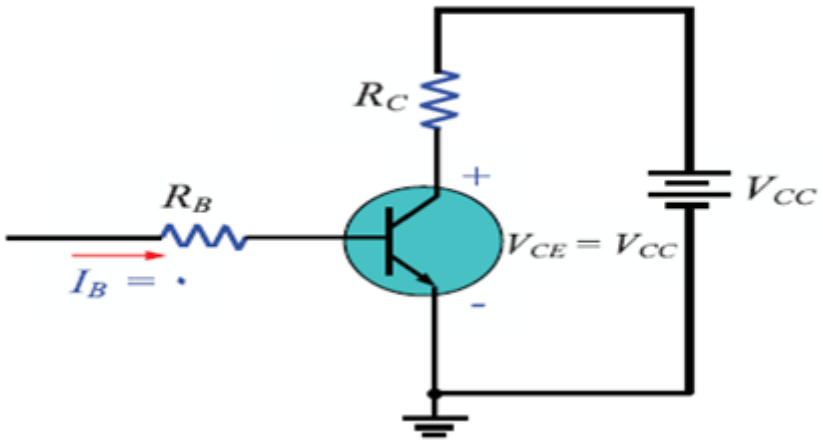
ومن هذه المنحنيات يمكننا استنتاج معامل التضخيم (التكبير) للترانزستورβ والذي يعطى بالعلاقة:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

❖ مناطق عمل الترانزستور:

☒ منطقة القطع:

يصل الترانزستور إلى منطقة القطع عندما تكون وصلة القاعدة الباعث في حالة عدم انحياز أمامي أي عندما تيار القاعدة يساوي الصفر وفي هذه الحالة طرف القاعدة مفتوح كما في الشكل التالي:



ففي منطقة القطع:

١. جميع التيارات تساوي الصفر.

٢. $V_{CC}=V_{CE}$

٣. كلاً من وصلتي القاعدة – الباعث والقاعدة – المجمع في حالة انحياز عكسي.

☒ منطقة التشبع:

عندما تكون وصـــلة القاعدة – الباعث في حالة انحياز أمامي يزداد تيار القاعدة وتبعاً لذلك يزداد تيار المجمع وفق العلاقة $I_C = \beta . I_B$ إلى أن يصل إلى أقصى قيمة له وتعطى بالعلاقة:

$$I_{C(SAT)} = \frac{VCC - VCE(SAT)}{RC}$$

وبالتالي يزداد الجهد الواقع على مقاومة المجمع مما يؤدي إلى انخفاض الجهد بين المجمع والباعث V_{CE} وفق العلاقة : $V_{CE} = V_{CC} - I_C . R_C$

ففي حالة التشبع:

١. تيار المجمع أعظمي.

٢. $V_{CE} = 0$

٣. كلاً من وصلتي القاعدة – الباعث والقاعدة – المجمع في حالة انحياز أمامي.

☒ **المنطقة الفعالة:**

في هذه المنطقة تكون وصلة القاعدة – الباعث في حالة انحياز أمامي وتكون وصلة القاعدة – المجمع في حالة انحياز عكسي.

تطبيقات الترانزستور:

إن أهم تطبيقات الترانزستور في مناطق تشغيله المختلفة هي كالتالي:

☒ الترانزستور ثنائي القطبية كمكبر : يعمل في المنطقة الخطية أو المنطقة النشطة.

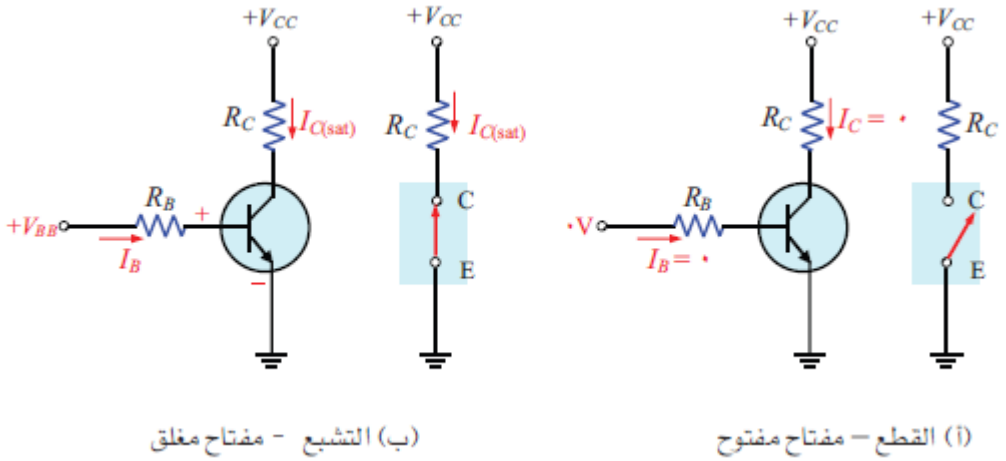
☒ الترانزستور ثنائي القطبية كمفتاح الكتروني : يعمل في منطقتي القطع والإشباع.

الترانزستور ثنائي القطبية كمفتاح:

يعتبر تشغيل الترانزستور كمفتاح الكتروني من أهم تطبيقات الترانزستور في الدوائر الالكترونية وخصوصاً الدوائر الرقمية.

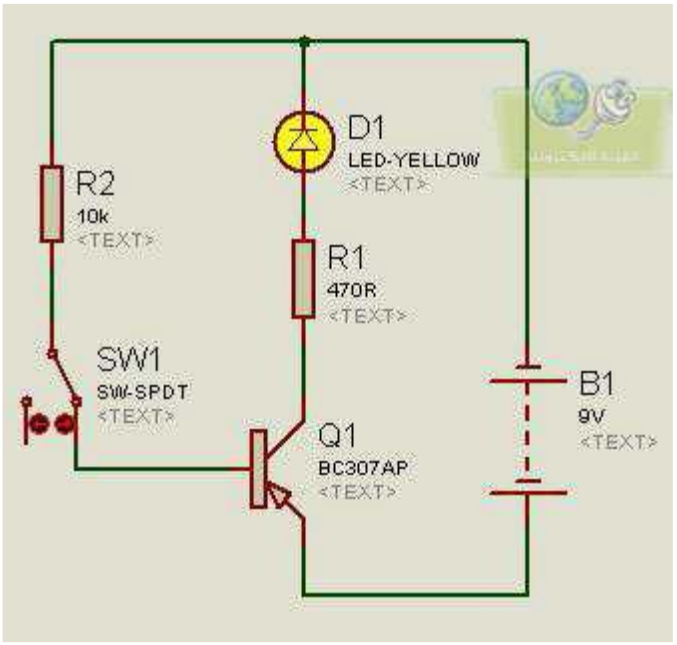
في الشكل التالي يوضح الجزء (أ) الترانزستور في منطقة القطع، لأن وصلة القاعدة – الباعث ليست في حالة انحياز أمامي وتمثل هذه الحالة بمفتاح في حالة فتح.

بينما يوضح الجزء (ب) الترانزستور في منطقة الإشباع لأن وصلة القاعدة – الباعث ووصلة القاعدة – المجمع في حالة انحياز أمامي وتيار القاعدة عالي بما يكفي لوصول تيار المجمع إلى التشبع وتمثل هذه الحالة بمفتاح مغلق.



(ب) التشبع - مفتاح مغلق (أ) القطع – مفتاح مفتوح

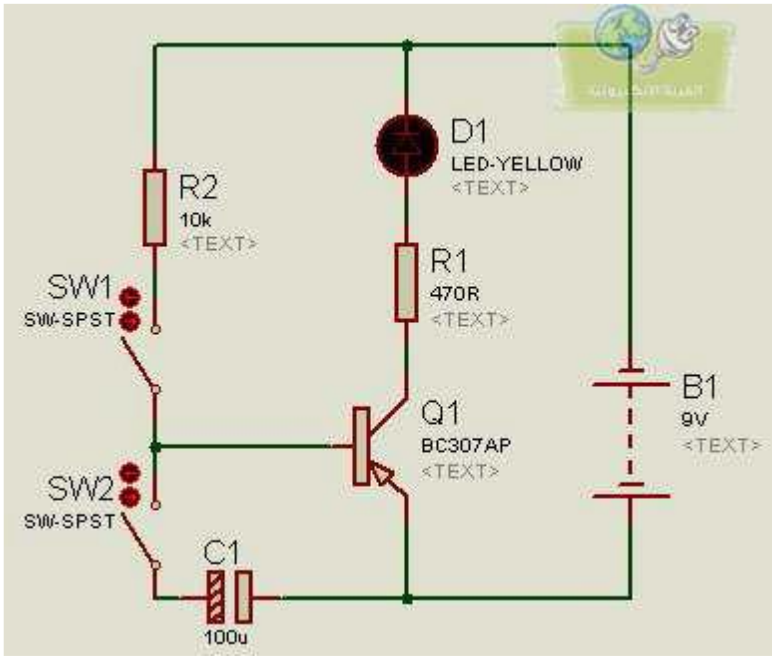
قم بتوصيل الترانزستور كما في المخطط التالي ليعمل كمفتاح ترانزستوري:



يمكن القول بأن المقاومة المتصلة مع الليد هي للحد من شدة التيار المار بالليد أما المقاومة R_2 فهي لخفض التيار المار عبر قاعدة الترانزستور ..

في هذا التوصيل نتعامل مع القاعدة كبوابة نعطيها إشارة لتسمح بالفصل أو القطع، ونحن كل مايتوجب علينا توصيل القطب السالب للترانزستور لتسمح للتيار الموجب بالمرور من الباعث للمجمع وعندها يضيء الليد، وفي حال فصل المفتاح سيتم قطع تيار القاعدة وتوقف الترانزستور تماماً عن العمل.

ننتقل لإضافة تطوير أكثر لهذا المفتاح الترانزستوري عن طريق إضافة مكثف كيميائي 100 مايكروفاراد كماهو مبين في الشكل التالي:



عرفنا أننا إذا قفلنا المفتاح SW1 سوف يضيء الليد والآن:

١- سنقوم بقفل SW1 ليضيء الليد ثم نقوم بقفل SW2 نلاحظ أن الليد ينطفىء ثم يعود ليضيء سريعاً ويستقر مضيئاً.

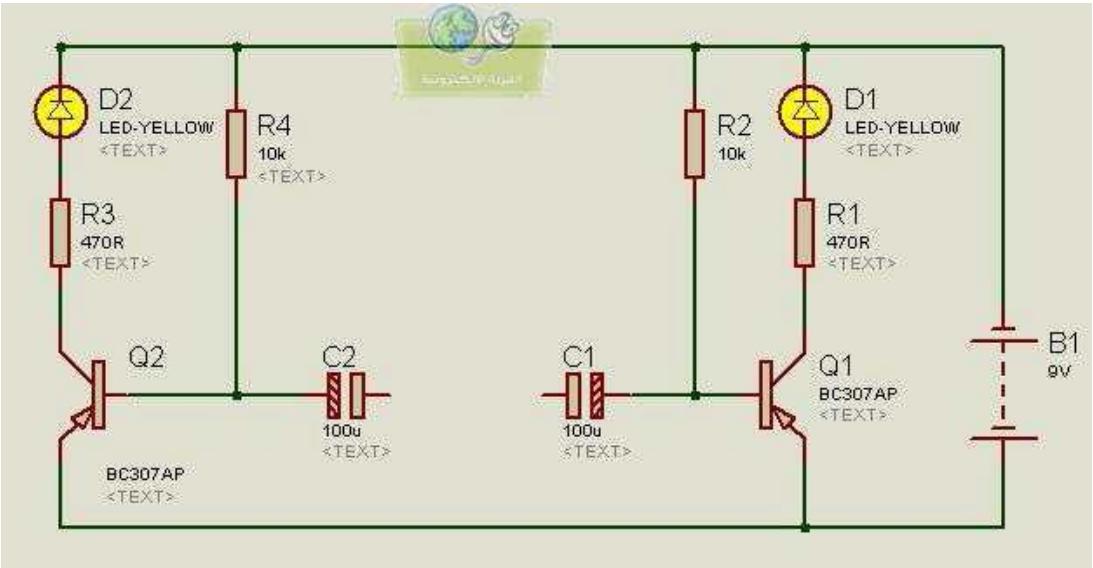
نفسر ذلك بأنه: قمنا بعملية شحن المكثف الفارغ مما جعل التيار يتجه كاملاً إلى المكثف ذي المقاومة المنخفضة وترك الترانزستور فانطفىء الليد وأثناء عملية الشحن تزداد مقاومة المكثف ويعود التيار تدريجياً وبسرعة لقاعدة الترانزستور فيعاد إضاءة الليد تدريجياً ولكن بسرعة عالية لأن شحن المكثف لاتأخذ إلا وقت قصير جداً وقد لا يلاحظ تدرج في إضاءة الليد.

٢- نقوم الآن بفتح SW2 أولاً ثم نقوم بفتح SW1 نلاحظ أن الليد ينطفىء لأن SW1 مفتوح.

٣- نقوم بقفل SW2 وسنلاحظ إضاءة الليد ثم انطفاؤه تدريجياً ببطء رغم أن المفتاح SW1 مفتوح.

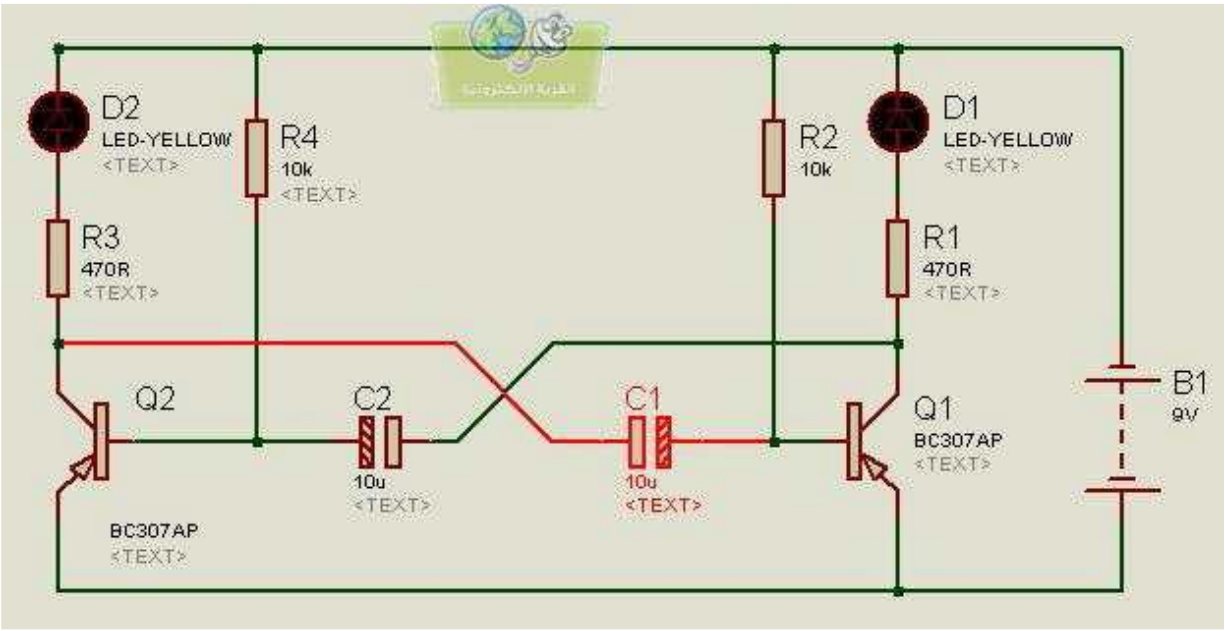
نفسر ذلك بأنه: عند قفل المفتاح SW2 فإننا قمنا بتوصيل المكثف المشحون ليعمل كبطارية على طرفي القاعدة مما جعل الليد يضيء ولكن تضعف قوة الإضاءة تدريجياً حتى تكتمل عملية تفريغ المكثف الكيميائي.

نقوم بعمل تكرار لنفس دارة المفتاح السابقة ولكن سنعمل على توصيل المكثف من ناحية واحدة فقط كمافي الشكل التالي:



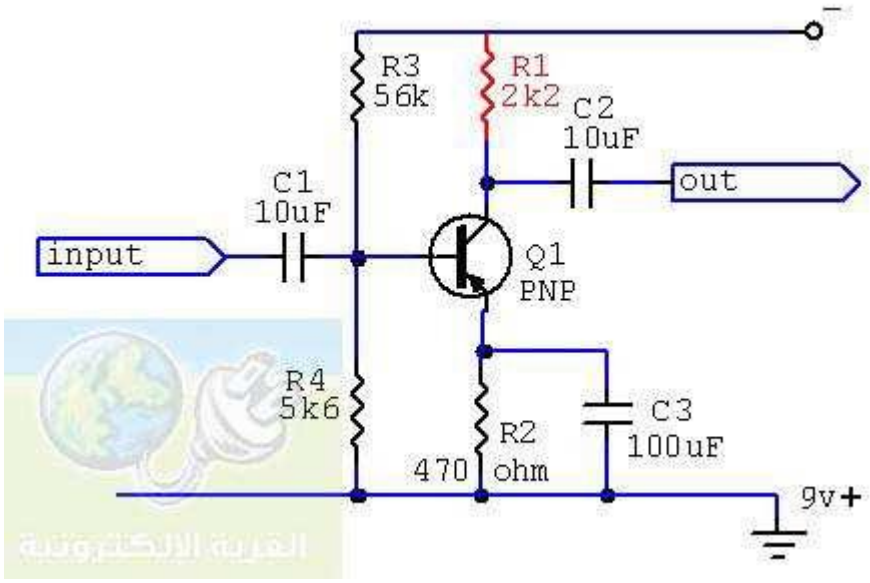
وفي هذه الحالة الليدان مضيئان ولايوجد مايمنع الإضاءة حتى الآن..

سنقوم بعد ذلك بتوصيل كل مكثف على خرج الترانزستور الآخر كما في الشكل التالي:



فنجد أن كل مفتاح أصبح متأثراً بخرج المفتاح الآخر، إذا عمل أحدهما عمل على شحن مكثف المفتاح الثاني وبذلك ينطفىء الليد الأول حتى إتمام عملية الشحن ليعود للإضاءة وعندها يعمل على إعادة شحن المكثف الأول وينطفىء الليد الثاني إلى أن تتم عملية الشحن وهكذا نحصل على خرج متبادل الإضاءة يضيء ليد وينطفىء ليد (إضاءة متبادلة) وهي كالتي نشاهدها عادة في سيارات الشرطة ولعب الأطفال.

إذا أردنا أن نستخدم الترانزستور كمضخم فنعمل على توصيله كالتالي وهذا التوصيل يسمى بتوصيلة باعث مشترك (أي أن الباعث مشترك بين الدخل والخرج كما ذكرنا سابقاً).

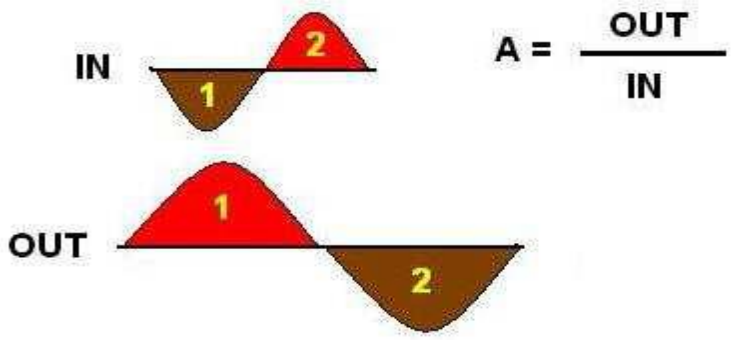


في هذه الدارة وضعنا:

- R3 , R4 : كمجزىء جهد وثبات انحياز القاعدة

- R2 , C3 : كاستقرار حراري وتأمين انحياز المشع
- R1 : مقاومة الحمل
- C1 , C2 : مكثفات ربط بين الدخل والخرج.
- الترانزستور هنا للتكبير.

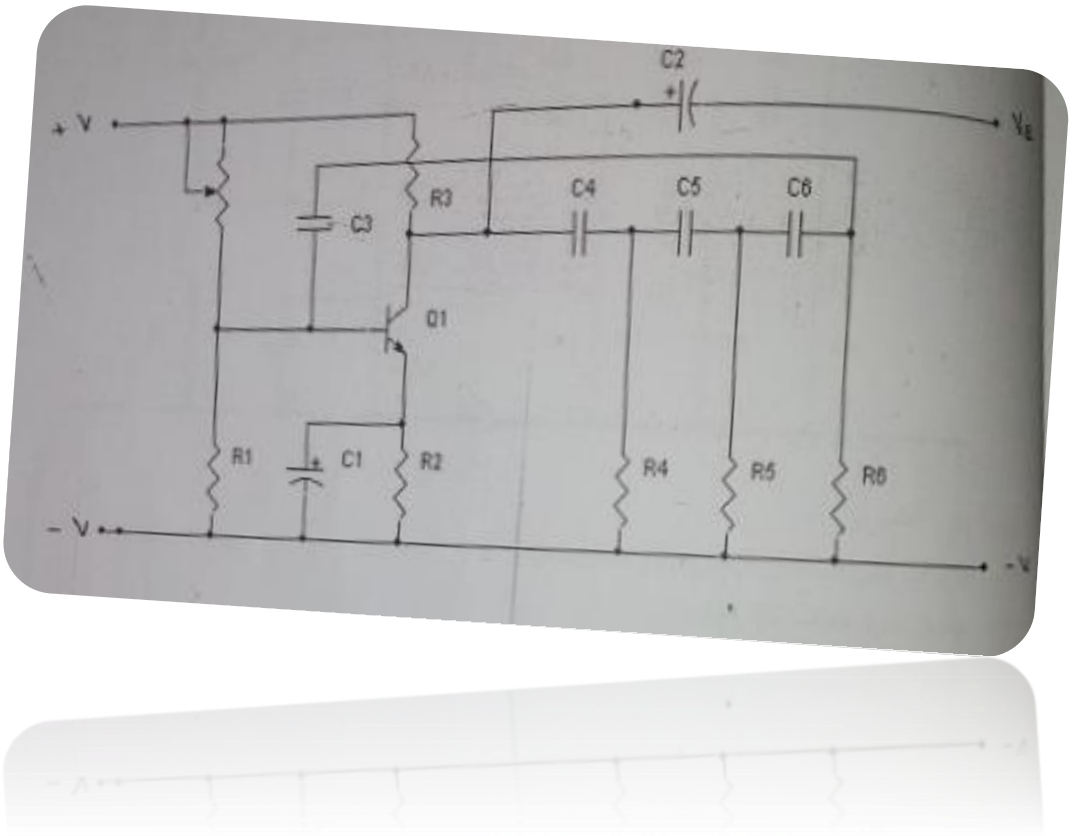
يعمل الترانزستور على تكبير الإشارة الواقعة على طرف القاعدة كماهي بنفس شكلها غير أنها معكوسة الاتجاه ومكبرة أي أنه في حال وجود نبضة موجبة على طرف القاعدة تخرج نبضة أكبر على طرف المجمع وتكون سالبة وهكذا...



ويتم حساب نسبة التكبير بتقسيم جهد الخرج على جهد الدخل أي:

$$A = \frac{V_o}{V_i}$$

في الدارة التالية وهي دارة مذبذب ترانزستورية نجد أنه:



VR+R1 : مجزىء جهد وتأمين انحياز لقاعدة الترانزستور.

C1+R2 : استقرار حراري وتأمين انحياز للباعث.

R3 : مقاومة الحمل للترانزستور.

C2 : مكثف لأخذ إشارة الخرج.

C3 : مكثف لتأمين التغذية العكسية الموجبة اللازمة لعمل المذبذب.

C4+R4 : دارة إزاحة الطور بمقدار 60 درجة.

C5+R5 : دارة إزاحة الطور بمقدار 60 درجة.

C6+R6 : دارة إزاحة الطور بمقدار 60 درجة.

شـــروط عمل المذبذب هو تأمين التغذية العكســـية الموجبة للمكبر وبما أن توصـــيلة الترانزستور هي توصيلة باعث مشترك أي أن هناك فرق في الصفحة بين إشارتي الدخل والخرج بمقدار 180 درجة، لذلك يجب قلب إشـــارة الخرج بمقدار 180 درجة وإعادتها إلى الدخل ويقوم بهذا الأمر دارات الإزاحة...فلنفرض كان على الدخل نبضـــة موجبة تكون على المجمع نبضـة سـالبة تمر عبر دارات الإزاحة فنحصـل على نبضـة موجبة تعود عن طريق المكثف C3 إلى الدخل بنفس الصفحة وبذلك يهتز المذبذب.

الثايرستور والدياك والترياك

Thyristor & Triac & Diak

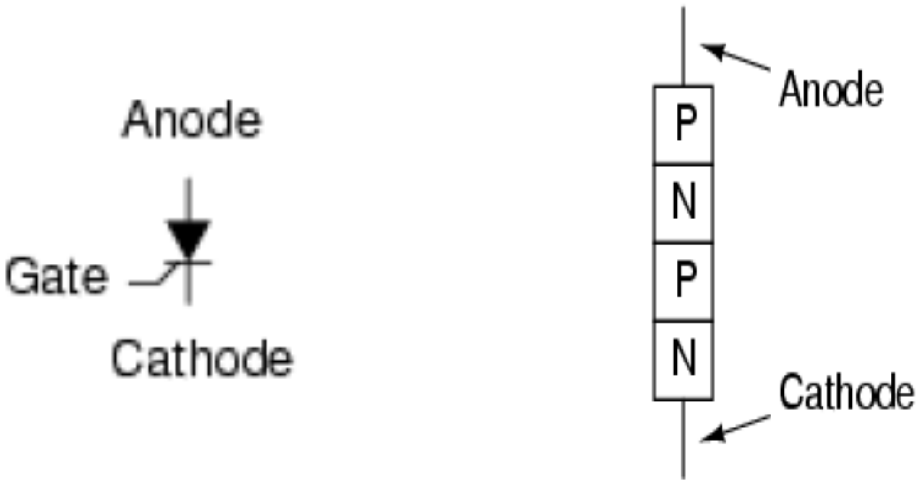
الثايرستور أو الموحد السيليكوني المحكوم scr :

هو عبارة عن عنصر الكتروني مصنوع من مواد نصف ناقلة ويتألف من أربع طبقات على التسلسل p-n-p-n وله ثلاثة أطراف:

١- المصعد Anode

٢- المهبط Cathode

٣- البوابة Gate وهي الطرف المتصل بالطبقة القريبة من المهبط.



❖ للثايرستور حالتين: حالة الانحياز الأمامي وحالة الانحياز العكسي.

نقول عن الثايرستور أنه في حالة انحياز أمامي عندما يكون جهد المصعد موجب بالنسبة لجهد المهبط ، أما إذا كان جهد المصعد سالب بالنسبة لجهد المهبط فيقال أن الثايرستور في حالة انحياز عكسي.

❖ يتلخص عمل الثايرستور في أنه يمثل مفتاح وحيد الاتجاه للتيار المتناوب مزود بقطب تحكم (البوابة) يمكن من خلاله تمرير التيار أو قطعه.

❖ عند تطبيق نبضة على البوابة كافية لتمرير تيار فيها يعادل تيار البوابة الاسمي عندها يتحول الثايرستور لحالة عمل ON ويعمل كأنه دايود.

❖ إذا تم إزالة النبضة من Gate فإن الثايرستور يبقى في حالة عمل دائم.

❖ يتحول الثايرستور لحالة OFF في حال:

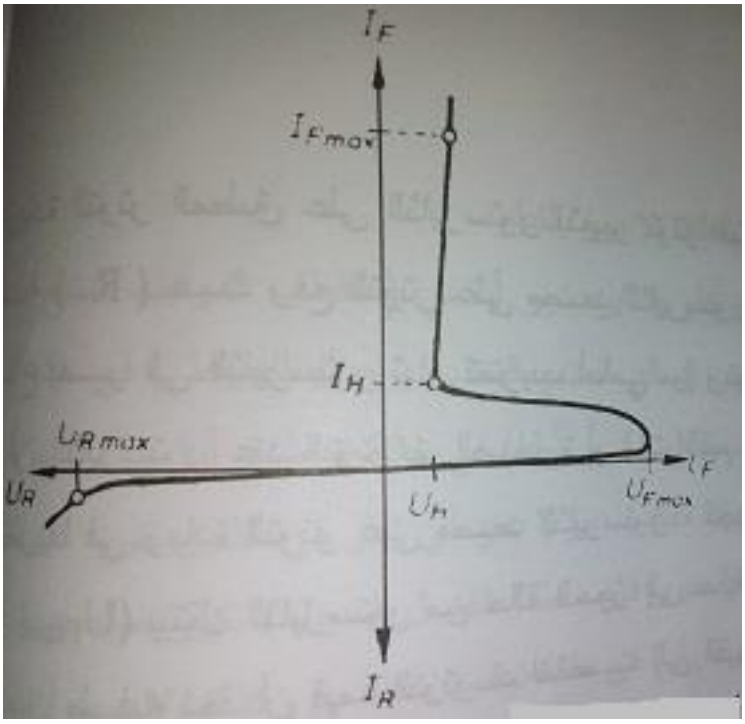
١- فصل مصدر التغذية الكهربائي عنه كلياً.

٢- تحول الجهد على المصعد إلى سالب (حيث يصبح وكأنه في حالة انحياز عكسي وهو غير مخصص للعمل فيها).

٣- عمل قصر short بين المصعد والمهبط حيث أن التيار يمر في السلك (أي في الطريق الأسهل) فيكون التيار المار في الثايرستور عندها يساوي الصفر وهذا التيار أقل من تيار المسك وبالتالي يتحول لحالة OFF.

تيار المسك I_H : هو عبارة عن التيار الأصغري الذي يجب أن يمر بين المصعد والمهبط كي يبقى الثايرستور بحالة ON.

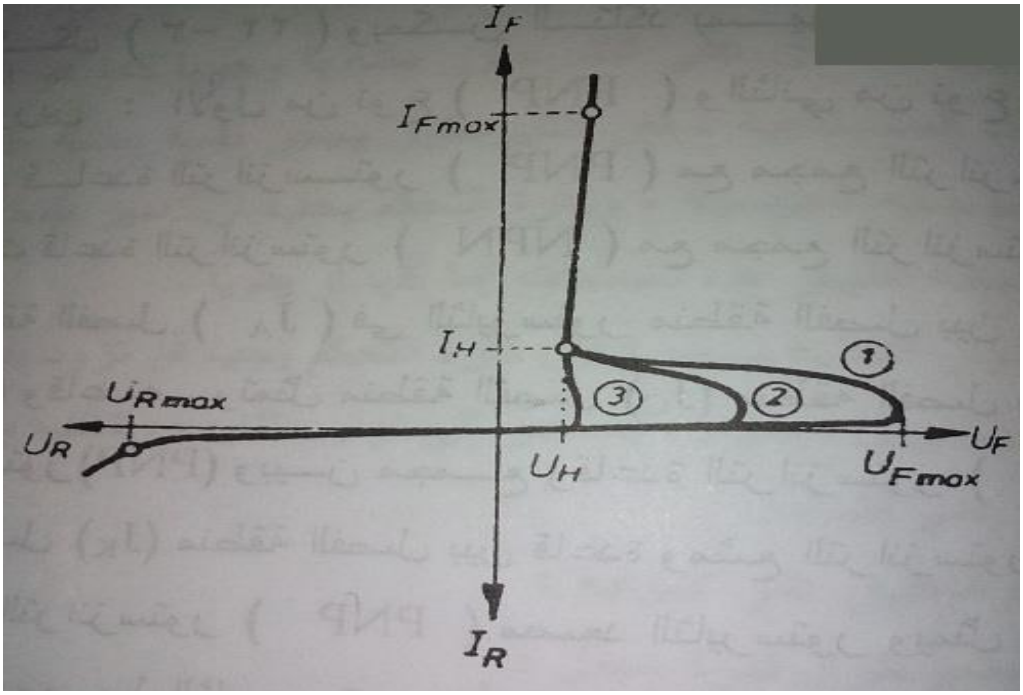
دراسة منحني الخواص الساكنة للثايرستور:



عند رفع التوتر على طرفي الثايرســـتور إلى قيم متدرجة في الارتفاع يمرفي الثايرســـتور تيار تسريب أمامي من رتبة الميلي أمبير وهذا يعني أن الثايرستور عند التوترات الصغيرة أو ذات القيم المقبولة يبقى حاجزاً وإذا اســتمرينا في زيادة التوتر على مصــعد الثايرســتور نجد أنه عنـد قيمـة معينـة للتوتر نســـميه توتر الانهيـار الأمـامي ينتقـل الثـايرســـتور من حـالـة الحجز(المســـك) إلى حالة التوصـــيل ، وبقياس التوتر على طرفيه نجد أن قيمة التوتر قد انخفضت إلى القيمة U_H وسوف يمر في الثايرستور تيار كبير.

في التوصيل العكسي للثايرستور وعندما تكون قيمة التوتر صغيرة يمر في الثايرستور تيار عكسي صغير، وعندما تصبح مساوية لتوتر الانهيار العكسي يمر فيه تيار كبير مسببا فقد في الاستطاعة.

عند زيادة تيار البوابة فإن قيمة التوتر الأمامي اللازم لإقلاع الثايرستور تتناقص فنحصل على المنحني الثاني كماهو مبين في الشكل..

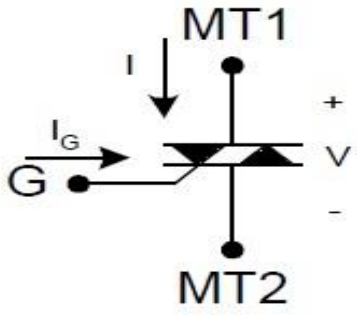


أهم ميزات الثايرستور أنه سريع الفتح والإغلاق وتصل سرعته في بعض الأنواع إلى 25 KHZ ويتحمل جهوداً عالية تصل في بعض الأنواع إلى 2000 V وكذلك يمرر تيارات عالية تصل إلى 1200 A.

الترياك:

هو عنصر من مادة شبه موصلة من السيليكون ذو طبقات متعددة، حيث يكون له ثلاثة أطراف:

Anode 1 (A1) ، Anode 2 (A2) ، Gate (G)

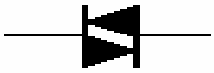


يتحمل الترياك نفس التيار والتوتر الذي يتحمله الثايرستور ولكنه يسمح بمرور التيار الكهربائي في كلا الاتجاهين الأمامي والعكسي لذلك فهو يقوم مقام ثايرستورين موصولين على التعاكس، وقد زود الترياك ببوابة واحدة كما في الثايرستور يطبق عليها توتر موجب أو سالب حسب جهة التوصيل المطلوبة.

ونظراً لأن الترياك يكافئ ثايرستورين موصلين على التعاكس فإن خواصه تشبه خواص الثايرستور في حالة الانحياز الأمامي..

الدياك:

كلمة الدياك مشتقة من الكلمات التالية باللغة الانكليزية:



Diak = Diod alternating current switch

وتعني مفتاح ثنائي للتيار المتناوب(مفتاح بالاتجاهين).

❖ عند تطبيق جهد على طرفي الدياك فإنه لن يسمح بمرور التيار من خلاله إلا بعد وصول الجهد لقيمة عليا (قيمة جهد الانهيار V_{BD})، وعندما يفتح الدياك فإنه يسمح بمرور التيار خلاله وينخفض الجهد على أطرافه من V_{BD} إلى V_{ON} لأنه أصبح شبيه بسلك.

❖مجالات استعمال الدياك:

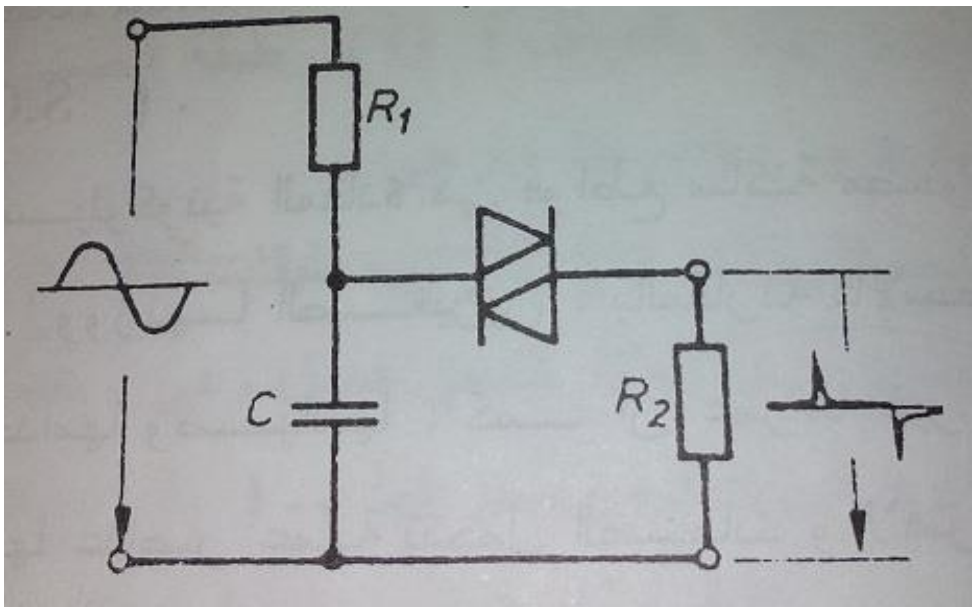
١- يستعمل الدياك كمفتاح للتيار المتناوب ذو اتجاهين.

٢- يستعمل بكثرة في دارات التحكم، إذ يستعمل كعنصر مساعد للتحكم في إقلاع الثايرستور والترياك.

٣- يستعمل في دارات توليد النبضات.

دارة توليد نبضات إبرية ذات اتجاهين موجب وسالب باستخدام الدياك:

نطبق على الدارة التالية كمون متناوب جيبي:

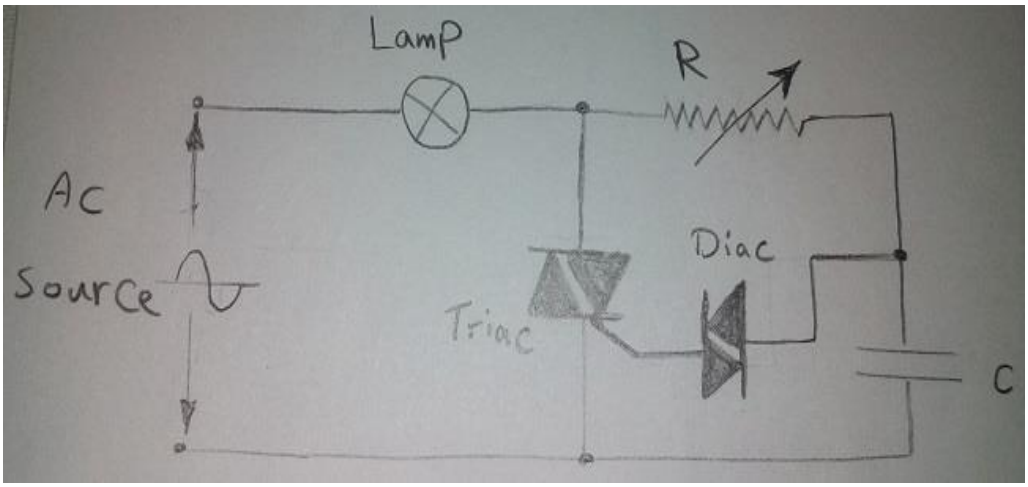


فخلال نصف الموجة الموجب يبدأ المكثف بالشحن إلى أن يصبح فرق الكمون بين طرفيه مساوياً لكمون الانهيار الأمامي، فيفتح الدياك وتنخفض مقاومته ويفرغ المكثف في المقاومة R2 ويكون التيار المار في بدء التفريغ كبيراً ثم يتناقص بسرعة تبعاً لفرق الكمون بين طرفي R2 هذا يؤدي لتشكيل نبضة إبرية موجبة.

أما في نصف الموجة السالبة فإن المكثف يشحن من جديد ولكن بقطبية معاكسة، فعندما يصبح فرق الكمون بين طرفيه مساوياً لكمون الانهيار العكسي يفتح الدياك وتصبح مقاومته العكسية صغيرة ويبدأ المكثف بالتفريغ حيث يكون تيار التفريغ كبيراً ومعاكساً

للتيار في الحالة السـابقة وبعدها تبدأ قيمة التيار بالتناقص وبالتالي نحصـل في الخرج على نبضة إبرية سالبة.

دارة التحكم في شدة الإضاءة (مفتاح دايمر):



عندما يتم تزويد الدارة بمصـدر الجهد المتناوب فإن المكثف C يبدأ بالشـحن عبر المقاومة المتغيرة R ليصـل إلى فولطية التحول للدياك (وهو جهد الانهيار الأمامي) عندها فإن الدياك يفتح ويمرر التيار ويتم قدح بوابة الترياك بالنبضة اللازمة للتوصيل.

إن قيمة المقاومة المتغيرة كلما قلت فإننا نصـل لفولطية التحول للدياك بسـرعة وتبعاً لذلك تكون شـدة إضـاءة المصـباح عالية وذلك لأن الترياك يوصـل لفترة زمنية أقرب ماتكون لإشارة المصدر، من ناحية أخرى إذا كانت قيمة المقاومة عالية فإن زمن الشحن للمكثف يكون عالي ويتم قدح الترياك في نهاية الدورة وهذا يدل على أن زمن التوصـيل يكون منخفض وتبعاً لذلك تصبح شدة الإضاءة منخفضة.

الـدارة المتكـاملـة 555

IC555

IC555 هي عبارة عن دارة متكاملة تستخدم بشكل واسع في تطبيقات مولدات النبضات في معظم فروع الالكترونيات وتمثل شريحة المؤقت 555 بالشكل التالي:

كما تلاحظ فالشريحة لها ثمانية أطراف فيما يلي وصف لوظيفة كل طرف:

الطرف	اسم الطرف		وظيفة الطرف
١	أرضي	Ground	يربط به الجهد السالب في الدائرة
٢	قدح أو اطلاق	Trigger	يستعمل لإرسال النبضة التي تجعل الخارج يرتفع ويبدأ دورة التوقيت
٣	خرج	Output	خرج الشريحة
٤	إعادة الضبط	Reset	يعيد النبض الخارج من الشريحة إلى وضع منخفض
٥	جهد التحكم	Control Voltage	يسمح بتغيير جهد القدح و جهد المبدى وذلك بتسليط جهد خارجي عند هذا الطرف
٦	المبدى	Threshold	يستعمل لجعل النبض الخارج يتحول إلى وضع منخفض ويحدث ذلك عندما يكون الجهد عند هذا الطرف بين ٣/٢ أقل و ٣/٢ أكثر من قيمة جهد مصدر التغذية.
٧	تفريغ	Discharge	
٨	مصدر التغذية	Supply Voltage	يربط به الطرف الموجب من مصدر التغذية ويتراوح بين ٥ و ١٥ فولت

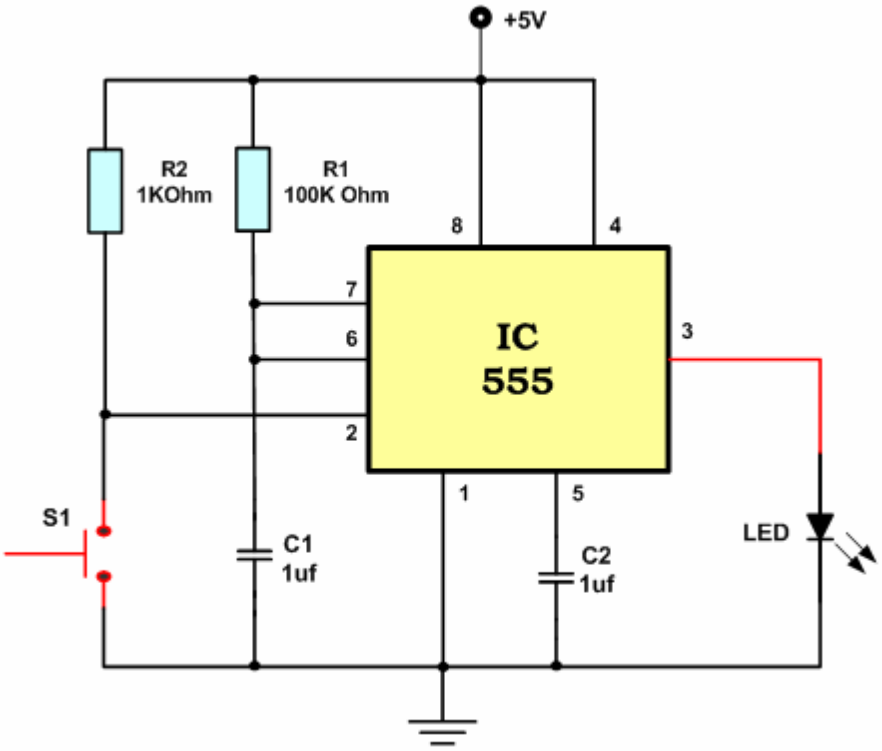
يمكن استخدام الدارة المتكاملة 555 إما بالنمط الأحادي الاستقرار Monostable أو بالنمط عديم الاستقرار Astable.

عند استخدام شريحة 555 كمؤقت في نظام عمل يعمل بالنظام الأحادي الاستقرار فإن هذا المؤقت يقوم بتوليد نبضة واحدة أو مايعرف باسم طلقة واحدة حيث أنه عند توصيل نبضة القدح Trigger فإن خرج المؤقت يتحول من مستوى الجهد المنخفض إلى مستوى الجهد المرتفع ولفترة زمنية يتم تحديدها بدارة RC خارجية ثم يعود إلى حالته المنخفضة (حالة الاستقرار).

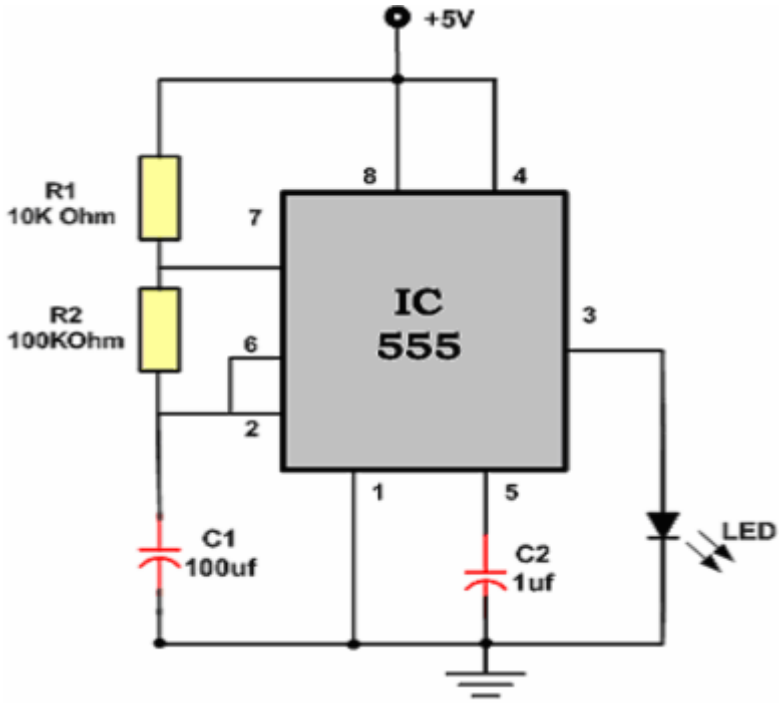
يمكننا أن ننهي النبضة الخارجة من المؤقت وذلك بإرسال نبضة على الطرف 4 (طرف إعادة الضبط).

يتم تحديد قيمة الزمن الذي يبقى فيه النبض عند مخرج الدارة بحسب قيمة المقاومة و سعة المكثف.

يكون ربط المؤقت 555 في الوضع الأحادي الاستقرار كما في الشكل التالي:



أما في الوضع العديم الاستقرار Astable فيكون توصيله بالشكل التالي:



لاحظ هنا أن الطرف 2 موصل بطريقة تسمح للدارة بإرسال نبضات إطلاق في كل دورة زمنية، بمعنى أن هذه الدارة تنتج نبضـــاً يبقى لفترة زمنية ثم يختفي لفترة زمنية ليعود النبض من جديد وهكذا بشكل مستمر.

المكونات الداخلية لدارة 555:

١- مكبري عمليات كمقارن: الهدف من المقارن هو مقارنة جهدين عند المدخلين وإنتاج إشارة تدل على أي الجهدين أكبر ومبدأ عمله باختصار كالتالي:

أ- إذا كانت فولتية المدخل الموجب أكبر من فولتية المدخل الســالب فإن الخرج يكون 1 منطقي.

ب-إذا كانت فولتية المدخل الســالب أكبر من فولتية المدخل الموجب فإن الخرج يكون 0 منطقي.

٢- دارة قلاب RS Flip Flop: وهي الأصل في عمل مذبذب 555 حيث أنه:

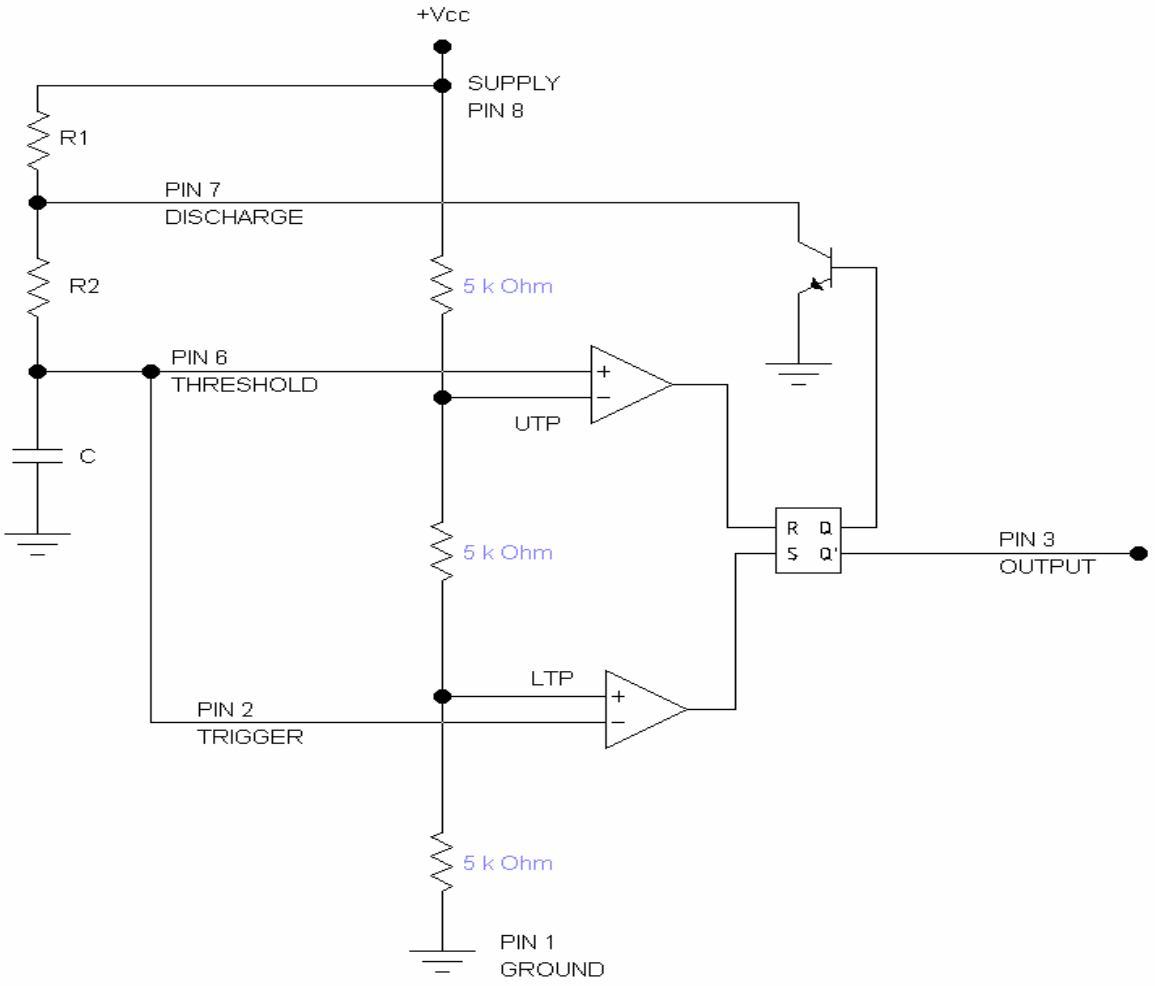
أ- إذا قدحنا S بفولتية مرتفعة (1 منطقي) يصـــبح الخرج Q مرتفعاً والطرف الآخر منخفضاً ويبقى القلاب على هذه الحالة حتى يتم قدح R.

ب-إذا قدحنا R بفولتية مرتفعة (1 منطقي) يصـــبح الخرج $\overline{Q}$ مرتفعاً والطرف الآخر منخفضاً ويبقى القلاب على هذه الحالة حتى يتم قدح S مرة أخرى.

ومنه نجد أن القلاب RS له خرجان $Q, \overline{Q}$ لهما حالتان 1 و0 هذان الخرجان يكونان دائماً متعاكسان.

٣- ترانزستور: ويستخدم في تفريغ المكثف والذي يسمى بمكثف التوقيت.

يوضـــح الشـــكل التالي دارة مؤقت عديم الاســـتقرار Astable مع العناصـــر الداخلية والخارجية:



أخذ المؤقت 555 هذا الاســـم بســـبب وجود 3 مقاومات قيمة كل منها 5 kΩ هذه المقاومات تعمل كمقسم جهد بثلاث درجات بين المنبع والأرضي بحيث يكون:

أ- بعد المقاومة الأولى قيمة الجهد تســـاوي ثلثي جهد المصـــدر وهو دخل الطرف السالب للمقارن العلوي.

ب- بعد المقاومة الثانية قيمة الجهد تســـاوي ثلث جهد المصـــدر وهو دخل الطرف الموجب للمقارن السفلي.

فإذا كانت قيمة التغذية $V_{CC} = 9\ V$ (يمكن اختيار جهد المصدر بين 5 و 15 فولت) بالتالي قيمة ثلث جهد المصدر 3 V وقيمة ثلثي جهد المصدر 6 V.

مراحل عمل الدارة :

- عند توصيل التغذية إلى الدارة يكون المكثف غير مشحون هذا يعني أن جهد الطرف رقم 2 يكون صفر فولت فيجبر خرج المقارن السفلي على أن يكون في مستوى جهد مرتفع أو 1 منطقي وهذا بدوره يقوم بعمل set للقلاب بحيث يكون خرج المؤقت Q مرتفع بينما $\bar{Q}$ المناظر له منخفض وبالتالي يبقى ترانزستور التفريغ في حالة عدم توصيل مما يسمح بشحن المكثف من المنبع من خلال المقاومتين R1 و R2 .

- عندما يزيد جهد المكثف عن ثلثي جهد المنبع يتحول خرج المقارن السفلي إلى الحالة المنخفضة وهذا ليس له تأثير على القلاب .

- عندما يزيد جهد المكثف عن ثلثي جهد التغذية يتحول خرج المقارن العلوي إلى الحالة المرتفعة ويقوم بعمل Reset للقلاب فيجبر الخرج $\bar{Q}$ على التحول للحالة المرتفعة وبالتالي يكون Q في الحالة المنخفضة، عند هذه النقطة يتحول ترانزستور التفريغ إلى حالة التوصيل ON ويقوم بتوصيل الطرف 7 بالأرضي ليتم تفريغ المكثف من خلال المقاومة R2.

- الآن يبدأ جهد المكثف بالهبوط وعندما يصل إلى قيمة أقل من ثلث جهد التغذية يعود خرج المقارن السفلي إلى الحالة المرتفعة ويقوم بعمل SET للقلاب ويتحول الخرج المعكوس $\bar{Q}$ إلى الحالة المنخفضة والخرج Q إلى الحالة المرتفعة ومنه يتحول الترانزستور إلى حالة الفصل مما يسمح للمكثف بالشحن مرة أخرى من جديد....

– تتكرر هذه العملية مرة تلو الأخرى وتكون النتيجة النهائية على هيئة قطار من النبضـــات المربعة..

– في دارة المؤقت عديم الاستقرار يمكننا حساب الدور والتردد بالمعادلات التالية:

$$T_{ON} = 0.693(R1 + R2)C$$

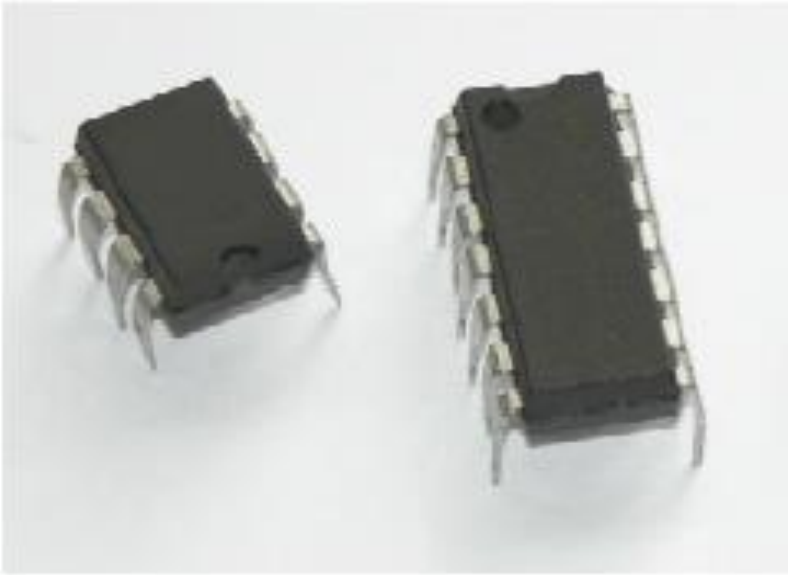
$$T_{OFF} = 0.693. R2. C$$

$$T_{Total} = 0.693(R1 + 2R2)C$$

$$f = \frac{1.44}{(R1 + 2R2)C}$$

مكبر العمليات (المكبر التشغيلي)

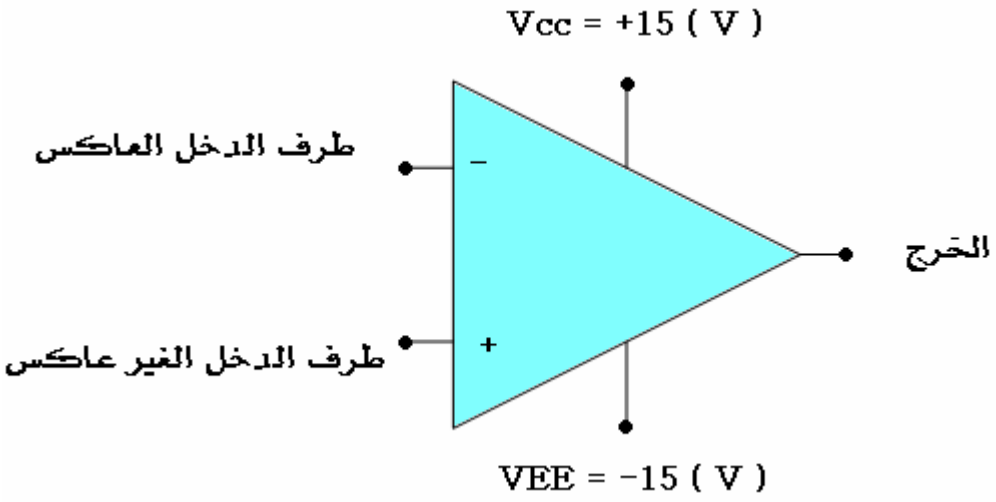
Operation Amplifier



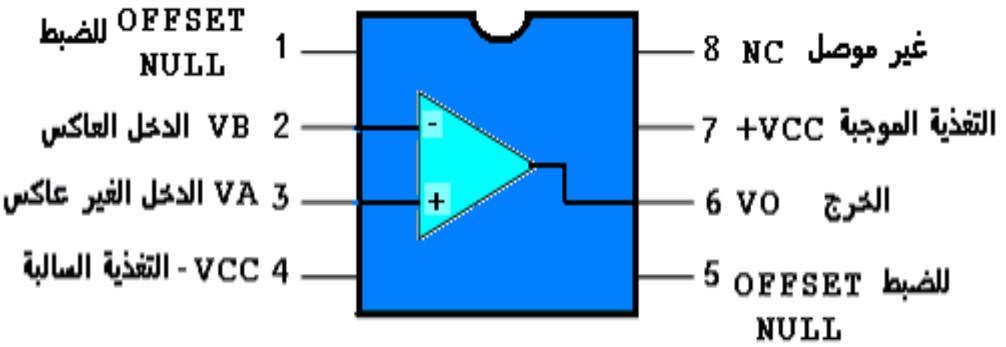
يختصر اسم المكبر التشغيلي في اللغة الانكليزية إلى op-Amp والذي يعتبر من أشهر الدوائر المتكاملة وأكثرها استخداماً.

وسمي بهذا الاسم لكثرة العمليات التي يقوم بها وأهم ميزاته أنه يمكن التحكم في خواصة بتوصيل عناصر خارجية غير فعالة تربط بين الدخل والخرج.

إن مكبر العمليات له دخلين V1 , V2 ومخرج واحد فقط Vo وعادة نحتاج إلى مصدري جهد أحدهما يعطي جهد مستمر موجب 15+ والآخر يعطي جهد مستمر سالب 15- ويمكن تمثيله بالشكل التالي:



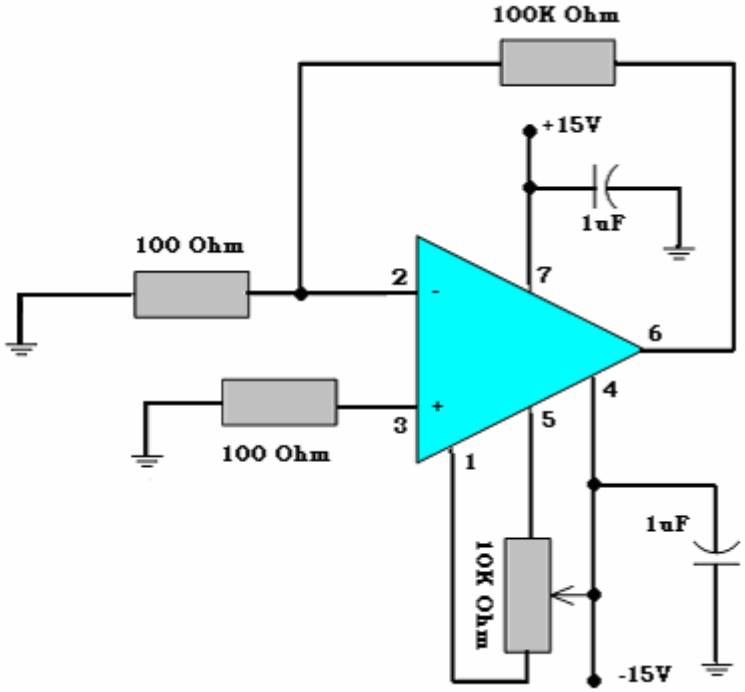
والشكل التالي يبين وظائف أرجل مضخم العمليات 741 وهي:



نلاحظ في هذا المخطط أنه يوجد طرفان offset نستخدمهم لضبط فولتية موازنة الإدخال من أجل جعل جهد الخرج يساوي الصفر.

جهد موازنة الدخل وكيفية ضبطه:

- عند توصيل طرفي دخل المكبر التشغيلي بالأرض يجب أن يكون جهد الخرج مساوياً الصفر، ولكن عملياً لايكون الخرج مساوياً الصفر بل يساوي بضعة ميلي فولت وذلك بسبب عدم التوافق الداخلي لمكونات المكبر.
- يعرف جهد موازنة الدخل بأنه جهد الدخل الفارق اللازم لجعل جهد خرج المكبر يساوي صفر ونموذجياً يساوي 1mv وللمكبر 741 يساوي 5mv.
- لضبطه نقوم بتوصيل مقاومة متغيرة بين طرفي موازنة الدخل (وهما الطرفين 1 و5) وتوصيل منزلق المقاومة بجهد مصدر مستمر كما في الشكل التالي وتوصيل دخلي المكبر بالأرض ثم نقوم بتحريك المنزلق حتى يصبح جهد الخرج مساوياً الصفر.



مميزات المكبر التشغيلي:

١- له كسب جهد عالي جداً.

٢- رخيص الثمن ، صغير الحجم.

٣- يمكن التحكم في كسب الجهد وعرض التردد للمكبر حسب الحاجة وذلك بربط مقاومات خارجية مع المكبر التشغيلي.

٤- تعدد استخداماته حيث يستخدم في كافة العمليات الحسابية مثل (الجمع والطرح والمقارنة والتفاضل و..)، وفي المذبذبات ودوائر تنظيم الجهد وغير ذلك.

الخواص الأساسية للمكبر التشغيلي:

عندما نتكلم عن خواص مكبر العمليات فسوف نفرق بين مكبر العمليات المثالي ومكبر العمليات غير المثالي مع العلم أن المكبر المثالي لايمكن بناؤه على الإطلاق. ويمكن تلخيصها كمايلي:

أ- الخواص المثالية لمكبر العمليات:

١- كسب الجهد لانهائي للحلقة المفتوحة(أي التي لايوجد فيها تغذية راجعة).

٢- مقاومة الدخل لانهائية.

٣- مقاومة الخرج صفرية.

٤- مجال الترددات لامحدود.

٥- نسبة رفض النمط المشترك CMMR لانهائية.

ب- الخواص العملية لمكبر العمليات:

١-كسب الجهد للحلقة المفتوحة كبير جداً.

٢-مقاومة الدخل كبيرة جداً.

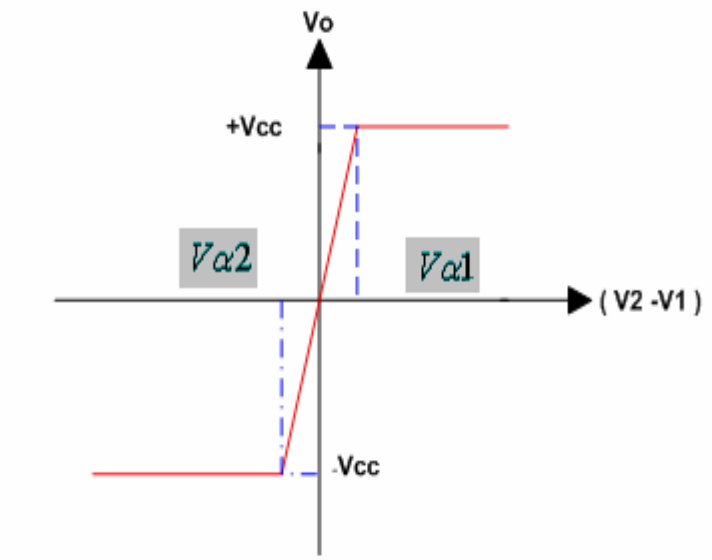
٣-مقاومة الخرج صغيرة.

٤-مجال الترددات كبير جداً.

٥-نسبة رفض النمط المشترك CMMR كبيرة جداً.

يمتاز مكبر العمليات بأن خرجه V_O يتغير تغيراً خطياً بالنسبة لتغير الفرق بين الدخلين (V_2-V_1) طالما أن الفرق بين الدخلين قيمته صغيرة جداً، أما إذا زاد الفرق فإن خرج المكبر يصل إلى درجة التشبع ويثبت عند قيمة جهد المصدر الخاص به وهو إما (15V+ أو 15V-) وذلك حسب إشارة $(V_2 - V_1)$.

يمكننا القول أن جهد الخرج دائماً محدود بقيمة وحدتي التغذية المشغلة له، فبفرض كانت إشارة الخرج في بعض الحالات أكبر من قيمة التغذية هنا سيتم قطع (قص) الإشارة وسنتعرض إلى مايسمى ظاهرة تشوه الإشارة.



يمكن كتابة معادلة الخرج بالشكل التالي:

$$V_O = A\,(V_2 - V_1) \qquad \ldots\ldots\ldots(1)$$

في المعادلة رقم 1 إذا وضعنا $V_1=0$ فإن الخرج يصبح:

$$V_O = A * V_2 \qquad \ldots\ldots\ldots(2)$$

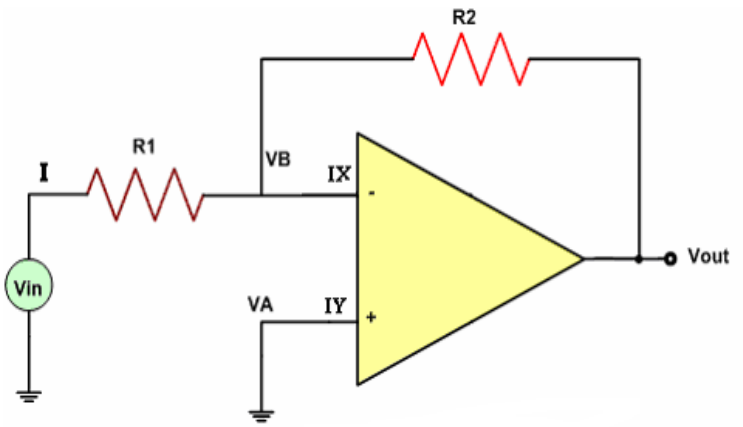
أما إذا وضعنا $V_2=0$ فإن الخرج يصبح:

$$V_O = -A * V_1 \qquad \ldots\ldots\ldots(3)$$

نفهم من المعادلة 2 أن أي جهد موجب على الطرف V_2 يعطي في الخرج جهداً موجباً....أما المعادلة رقم 3 فمعناها أن أي جهد موجب على الطرف V_1 فإنه سيعطي جهداً سالباً في الخرج نتيجة لوجود الإشارة السالبة.

لذلك فإن الدخل V_1 يسمى عادة بالدخل العاكس والدخل V_2 يسمى بالدخل غير العاكس.

دائرة المكبر العاكس

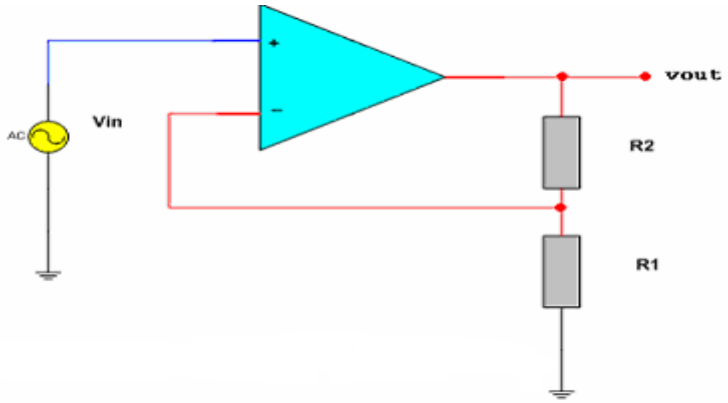


نلاحظ أن الإشـارة تطبق على الطرف العاكس بينما يتصـل الطرف غير العاكس بالأرضـي

ويعطى الكسب بالمعادلة التالية:

$$\frac{Vo}{Vin} = -\frac{R2}{R1}$$

دائرة المكبر غير العاكس

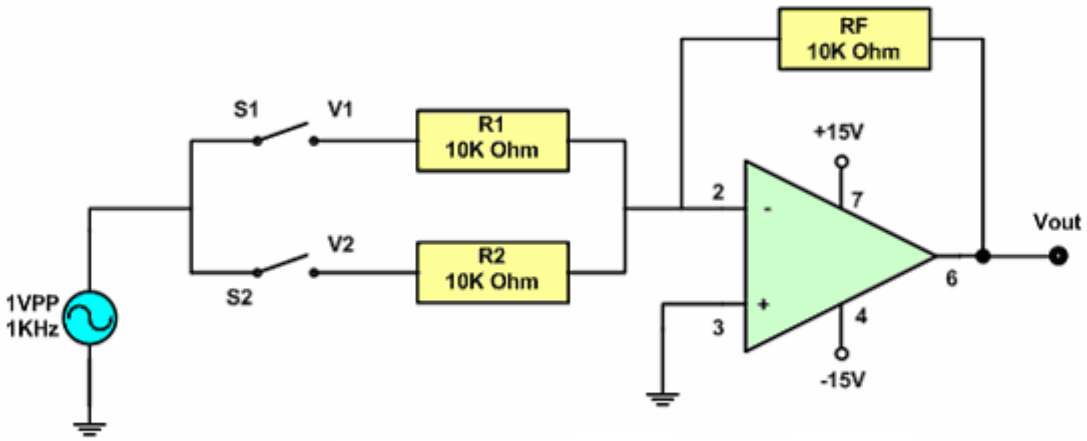


نلاحظ أن الإشـارة تطبق على الطرف الغير عاكس بينما يتصـل الطرف العاكس بالأرضـي

ويعطى الكسب بالمعادلة التالية:

$$\frac{Vo}{Viv} = 1 + \frac{R2}{R1}$$

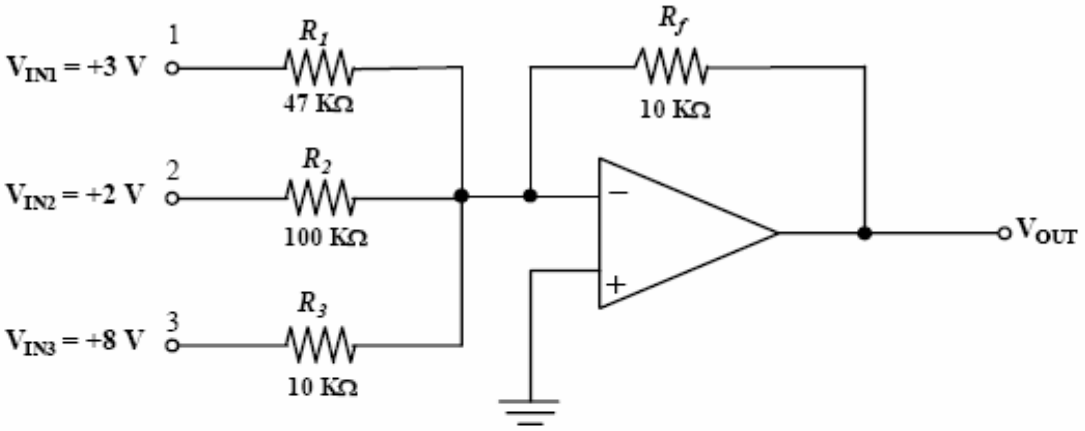
دائرة المكبر الجامع



المكبر الجامع هو مكبر عاكس يحتوي على دخلين أو اكثر. كل دخل يتميز بكســـب جهد ذاتي خاص معطى بنسبة مقازمة التغذية الخلفية على مقاومة الدخل في هذه الدارة.

ويمكن توصيل الدارة والتحقق من أن جهد الخرج هو مجموع جهود الدخل.

أوجد جهد الخرج للدائرة التالية شكل(١١ -٨):



شكل(١١ -٨)

الحل:

$$W_1 = \frac{R_F}{R_1} = \frac{10K\Omega}{47K\Omega} = 0.213$$

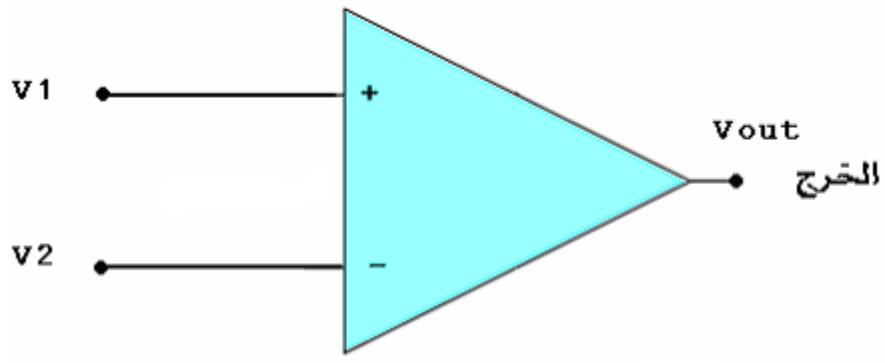
$$W_2 = \frac{R_F}{R_2} = \frac{10K\Omega}{100K\Omega} = 0.100$$

$$W_3 = \frac{R_F}{R_3} = \frac{10K\Omega}{10K\Omega} = 1$$

$$V_{out} = -[0.213(3v) + 0.1(2v) + 1(8v)]$$

$$V_{out} = -8.84v$$

دائرة المقارن



يعتبر المقارن أبسط طريقة لاستخدام مكبر العمليات حيث لايوجد تغذية عكسية وللمقارن كسب عالي جداً لذلك فإن أقل فولتية بين طرفي الدخل تنتج في الخرج أقصى جهد يقل عن Vcc بمقدار فولت أواثنين فولت.

عندما يكون V1>V2 يكون جهد الفرق بين الدخلين V1-V2 موجب فينتج المقارن عندئذ أقصى جهد موجب.

عندما يكون V2>V1 يكون جهد الفرق بين الدخلين V1-V2 ســالب فينتج المقارن عندئذ أقصى جهد سالب.