

# المرشحات الإلكترونيات الضوئية

## المحتوى:

الوضعية التعليمية

## المرشحات

المرشحات الخاملة  
المرشحات الفعالة  
تطبيقات اخرى حسب الرتبة

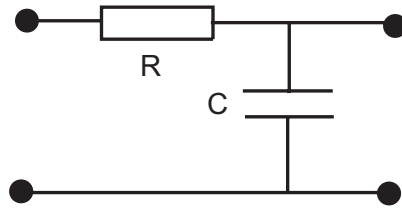
## الإلكترونيات الضوئية

الترانزستورات الضوئية:  
التايرستور الضوئي:  
تطبيقات على الإلكترونيات الضوئية:

# 4

الوحدة

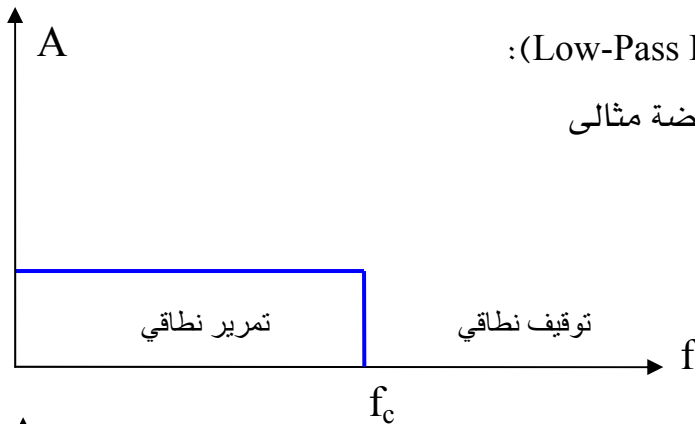
## المرشحات



تستعمل المرشحات في جميع ميادين الاتصالات. مرشح ما يسمح بمرور نطاق ترددي و يمنع مرور آخر. المرشح يكون نشط أو سلبي.

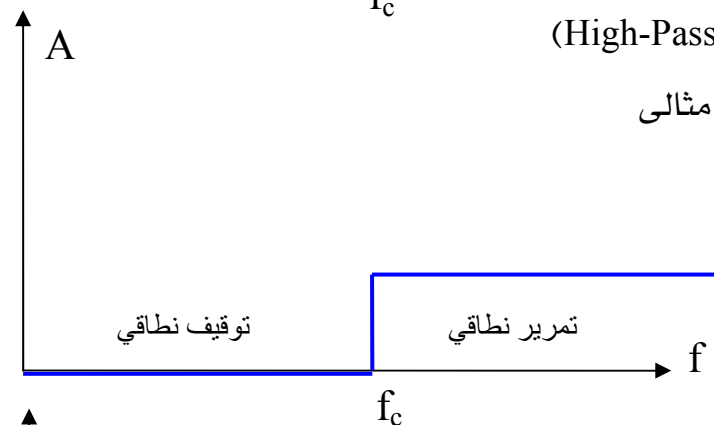
أولاً: الاستجابة المثالية (Ideal Responses):

استجابة ترددية لمرشح هو مخطط كسب الجهد بدلالة التردد. يوجد خمسة أنواع من المرشحات: تمرير ترددات منخفضة (Low Pass Filter) وتمرير ترددات عالية (High Pass Filter) وتمرير نطاق (Band Pass Filter) وتوقيف نطاق (Band Stop Filter) وتمرير نطاق (All Pass Filter).



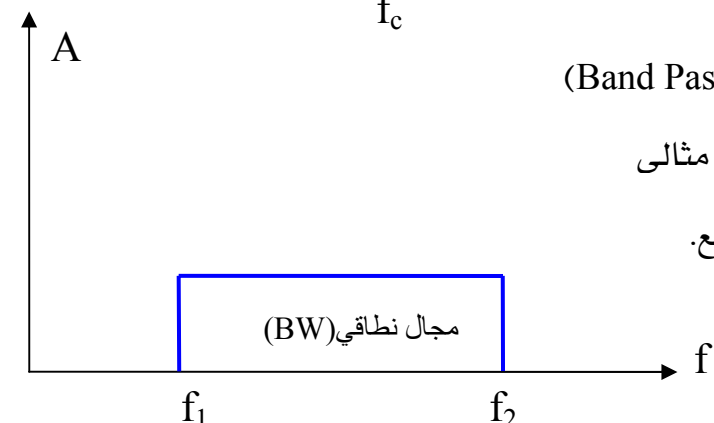
أ. مرشح تمرير الترددات المنخفضة (Low-Pass Filter):

استجابة مرشح تمرير الترددات المنخفضة مثالي  
ملحوظة:  $f_c$  تمثل تردد القطع.



ب. مرشح تمرير الترددات العالية: (High-Pass Filter)

استجابة مرشح تمرير الترددات العالية مثالي

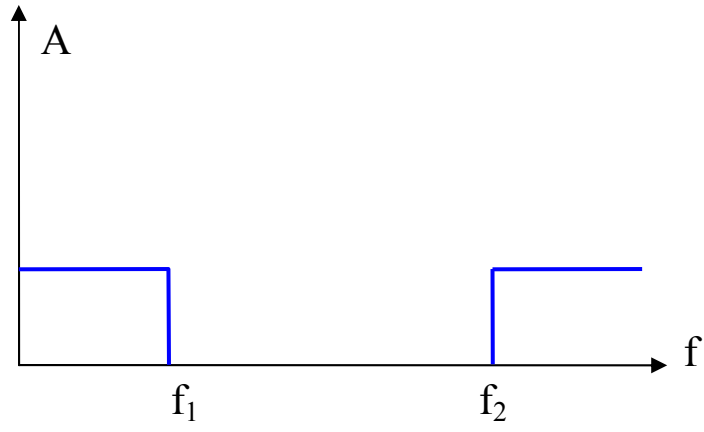


ت. مرشح تمرير مجال ترددات: (Band Pass Filter)

استجابة مرشح تمرير مجال ترددات مثالي

ملحوظة:  $f_1$  و  $f_2$  يمثلان ترددات القطع.

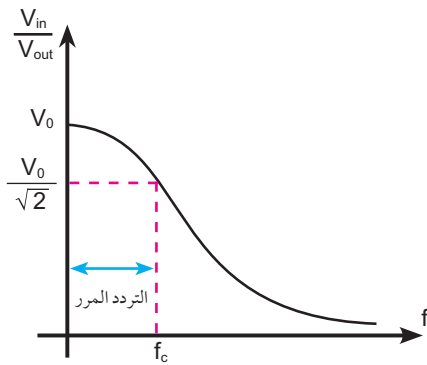
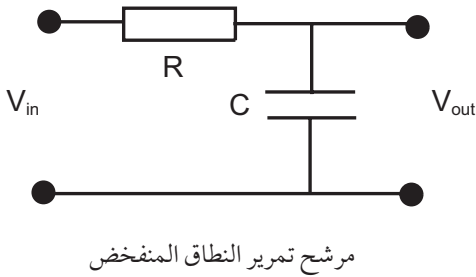
ث. مرشح توقيف مجال نطاقي: (Band Stop Filter)



شكل 1-35: استجابة مرشح توقيف مجال ترددات

المرشحات الخاملة : تتكون المرشحات الخاملة عادة من مقاومات ومكثفات وأحياناً ملفات بحيث تتحكم قيم المقاومات والمكثفات في اختيار الترددات المرغوب فيها ولا يزيد الكسب في هذه المرشحات عن 1 .

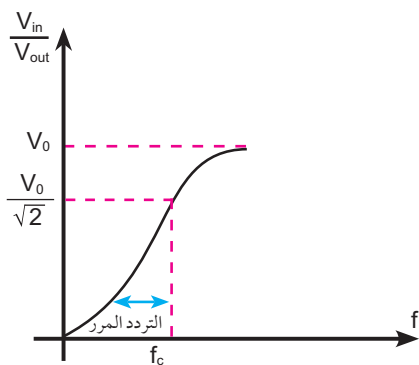
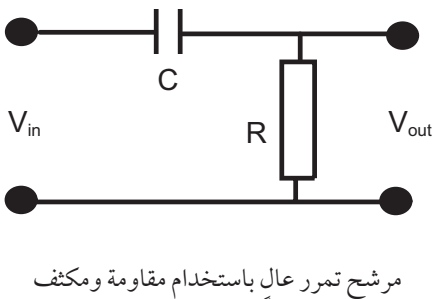
### مرشح تمرير النطاق المنخفض passive low pass filter



إذا أدخلت مجموعة إشارات مختلفة التردد على دائرة مرشح إمرار الترددات المنخفضة فسوف لا تمر سوى الترددات المنخفضة بما في ذلك الجهود المستمرة، أما الترددات العالية فلا تظهر في مخرج هذه الدارة ولذا سمي هذا المرشح مرشح التمرير المنخفض ويمكن بناء مرشح إمرار الترددات المنخفضة الخامل باستخدام مقاومة ومكثف كما في الشكل المجاور .

وتستخدم هذه الدارة في تمرير إشارات ترددها أقل من تردد يسمى تردد القطع  $f_c$  Cutoff Frequency إلى التردد الذي يساوي صفر (أي الجهد المستمر)، ويمكن إيجاد  $f_c$  من العلاقة الرياضية الآتية :

حيث إن  $R$  قيمة المقاومة ،  $C$  سعة المكثف ،  $\pi$  مقدار ثابت يساوي 3.14 ويسمى المقدار  $RC$  بالثابت الزمني للمرشح .



### مرشح تمرير النطاق العالي passive high pass Filter :

إذا أدخلت مجموعة إشارات مختلفة التردد على دائرة مرشح إمرار الترددات العالية فسوف لا تمر سوى الترددات العالية أما الترددات المنخفضة فلا تظهر في مخرج هذه الدائرة؛ ولذا سميت هذه الدارة مرشح التمرير العالي . ويمكن بناء مرشح إمرار الترددات العالية الخامل باستخدام مقاومة ومكثف كما في الشكل أدناه، وهي نفس دائرة مرشح إمرار الترددات المنخفضة ولكن بإبدال أماكن المقاومة والمكثف .

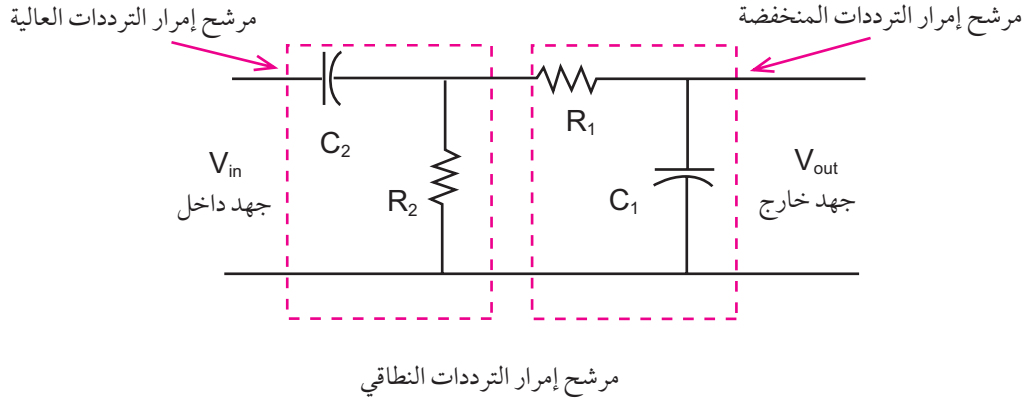
وتستخدم هذه الدارة في تمرير إشارات ترددها أكبر من تردد معين يسمى تردد القطع  $f_c$  Cutoff Frequency ويمكن إيجاد  $f_c$  من العلاقة الرياضية التالية :

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

حيث إن  $R$  قيمة المقاومة ،  $C$  سعة المكثف ،  $\pi$  مقدار ثابت يساوي 3.14 ويسمى المقدار  $RC$  بالثابت الزمني للمرشح .

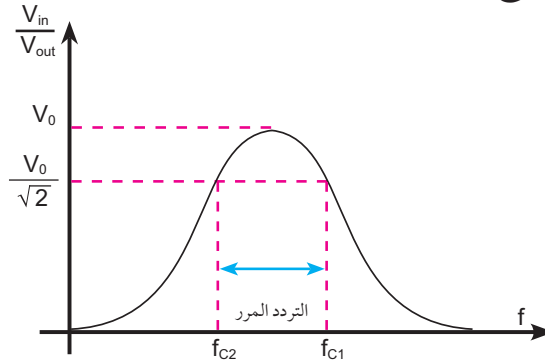
## مرشح إمرار النطاق الخامل ( Passive Band Pass Filter )

هذا المرشح عبارة عن مرشحين: مرشح إمرار الترددات المنخفضة ومرشح إمرار الترددات العالية مربوطة ببعضها والنتيجة أن هذا المرشح يسمح بمرور نطاق من الترددات بالمرور، ولكن أي تردد خارج هذا النطاق بالمرور كما في الشكل التالي .



وتستخدم هذه الدائرة في تمرير إشارات ترددها بين تردد القطع المنخفض (الأول)  $f_{C1}$  وتردد القطع العالي (التالي)  $f_{C2}$ ، ويمكن إيجاد قيمة  $f_C$  من العلاقة الرياضية الآتية:  $f_{C1} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$  وأما  $f_{C2}$  فيمكن إيجادها من العلاقة الرياضية الآتية:  $f_{C2} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}$

لو رسمنا قيمة ( الجهد الخارج / الجهد الداخل ) مقابل التردد لوجدنا الشكل الآتي :



مثال:

مرشح إمرار الترددات المنخفضة مكون من مقاومة بقيمة 160 أوماً ومكثف بسعة 0.1 مايكروفاراد، فما هو تردد القطع؟

**الحل:**

أولاً سعة المكثف يجب أن تكون بالفاراد

سعة المكثف (C) =  $10^{-6} \times 0.1$  فاراد

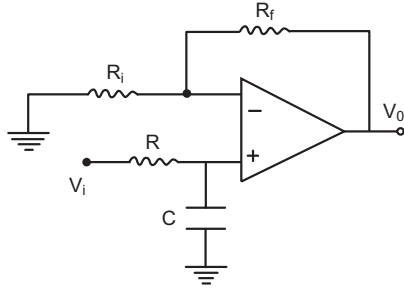
$$\text{تردد القطع} = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$= \frac{1}{2 \times 3.14159 \times 160 \times 0.1 \times 10^{-6}} = 9947.2 \text{ هيرتز}$$

## المرشحات الفعالة

كما تم ذكره فإن المرشح الخامل لا يزيد كسبه عن 1 ، وللحصول على مرشح يمرر الترددات المرغوب فيها ويمنع الترددات الغير المرغوب فيها من المرور ويضخم الإشارة حسب الحاجة يستخدم مضخم العمليات في ذلك .

### مرشح إمرار النطاق المنخفض الفعال (Active low pass filter)



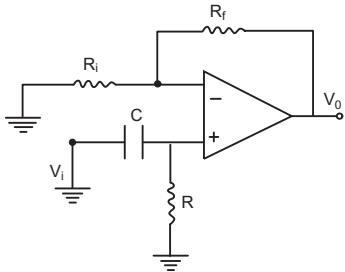
مرشح تمرير النطاق المنخفض الفعال

يمكن بناء مرشح إمرار ترددات منخفضة فعال باستخدام دائرة مرشح إمرار الترددات المنخفضة الخامل ولكن بإضافة دائرة كسب باستخدام مضخم العمليات كما في الشكل المجاور .

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad , \quad \text{وتكون معادلة تردد القطع}$$

$$\text{وكسبه يساوي } 1 + \frac{R_f}{R_i}$$

### مرشح إمرار النطاق المرتفع الفعال (Active High pass filter)



مرشح تمرير الترددات المرتفعة الفعال

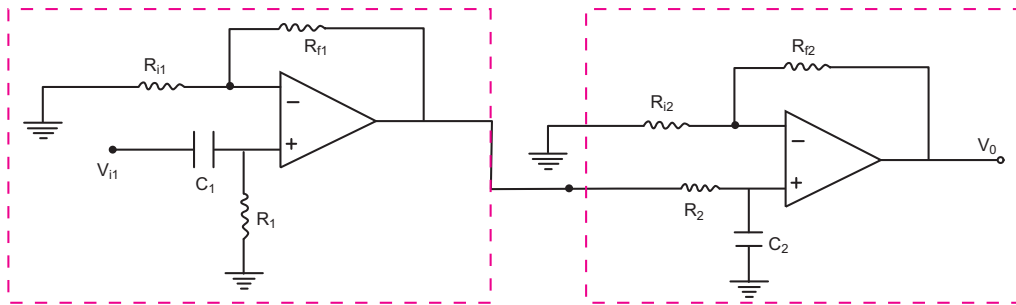
بإضافة دائرة كسب باستخدام مضخم العمليات يمكن بناء مرشح إمرار ترددات العالية ولكن كما يلي :

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad , \quad \text{وتكون معادلة تردد القطع}$$

$$\text{وكسبه يساوي } 1 + \frac{R_f}{R_i}$$

### مرشح إمرار النطاق الفعال (Active Band pass filter):

هذا المرشح عبارة عن مرشح إمرار نطاق عالي متبوع بمرشح إمرار نطاق منخفض على التوالي (ولا يهم الترتيب) حيث أن مرشح التردد العالي يحدد تردد القطع الأول  $f_{c1}$  ، ومرشح النطاق المنخفض يحدد تردد القطع الثاني  $f_{c2}$  ، وتكون دائرة هذا المرشح كما يأتي :



مرشح تمرير ترددات النطاق الفعال

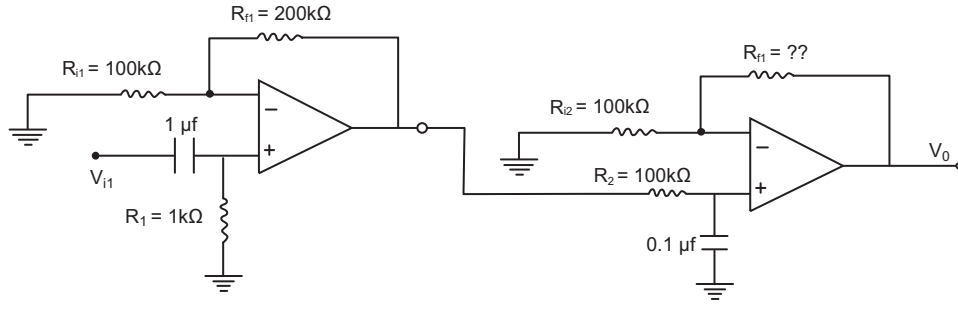
$$f_{c2} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} \quad , \quad \text{ومعادلة تردد القطع الثاني}$$

$$f_{c1} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \quad \text{وتكون معادلة تردد القطع الأول}$$

$$G = \left(1 + \frac{R_{f1}}{R_{i1}}\right) \left(1 + \frac{R_{f2}}{R_{i2}}\right) \quad \text{أما كسب الدارة هو حاصل ضرب كسب الدائرتين}$$

مثال:

في الشكل الآتي احسب مقاومة  $R_{f2}$  إذا كان كسب الدارة يساوي 5، ثم احسب  $f_{c1}$  و  $f_{c2}$



الحل:

$$G = \left(1 + \frac{R_{f1}}{R_{i1}}\right) \left(1 + \frac{R_{f2}}{R_{i2}}\right)$$

$$5 = \left(1 + \frac{200}{100}\right) \left(1 + \frac{R_{f2}}{100}\right) \rightarrow 5 = 3 \times \left(1 + \frac{R_{f2}}{100}\right)$$

$$\frac{5}{3} = 1 + \frac{R_{f2}}{100} \rightarrow \left(\frac{5}{3} - \frac{3}{3}\right) = \frac{R_{f2}}{100}$$

$$\frac{2}{3} = \frac{R_{f2}}{100} \rightarrow 200 = 3R_{f2} \rightarrow R_{f2} = \frac{200}{3} \text{ k}\Omega$$

$$f_{c1} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = \frac{1}{2\pi(1 \times 10^3)(1 \times 10^{-6})} = \frac{1}{2\pi \times (1 \times 10^{-3})} = \frac{500}{\pi} \text{ Hz}$$

$$f_{c2} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} = \frac{1}{2\pi(1 \times 10^3)(0.1 \times 10^{-6})} = \frac{1}{2\pi \times (1 \times 10^{-4})} = \frac{5000}{\pi} \text{ Hz}$$

## تطبيقات المرشحات

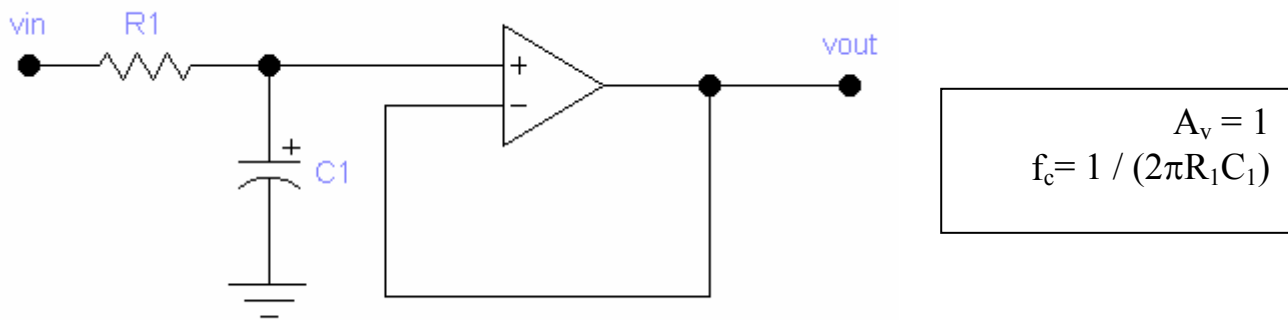
للمرشحات تطبيقات عديدة فهي تستخدم مثلاً في جهاز المذياع لاختيار الإذاعة المراد سماعها وذلك باستخدام مرشح إمرار ترددات نظامي يمكن إشارة محطة إذاعية معينة من المرور ويمنع غيرها. وتستخدم في أنظمة الاتصالات تستخدم لتحرير الإشارات المرغوبة ومنع إشارات التشويش من المرور.



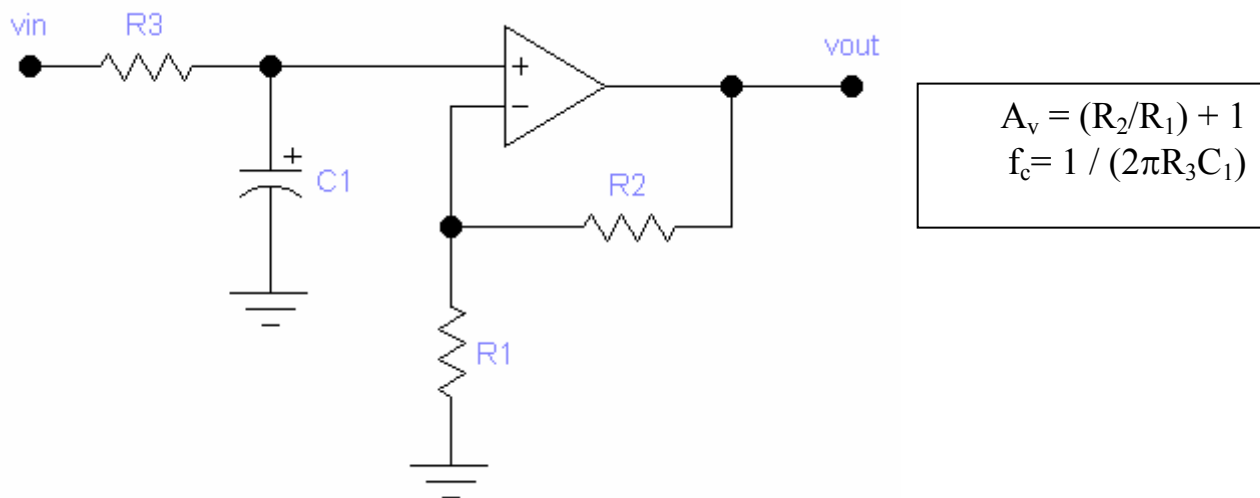
## 1- مرشح من الرتبة الأولى:

هذه المرشحات تحتوي على مكثف واحد. ولذا تنتج فقط مرشح تمرير الترددات الصغيرة أو مرشح الترددات العالية.

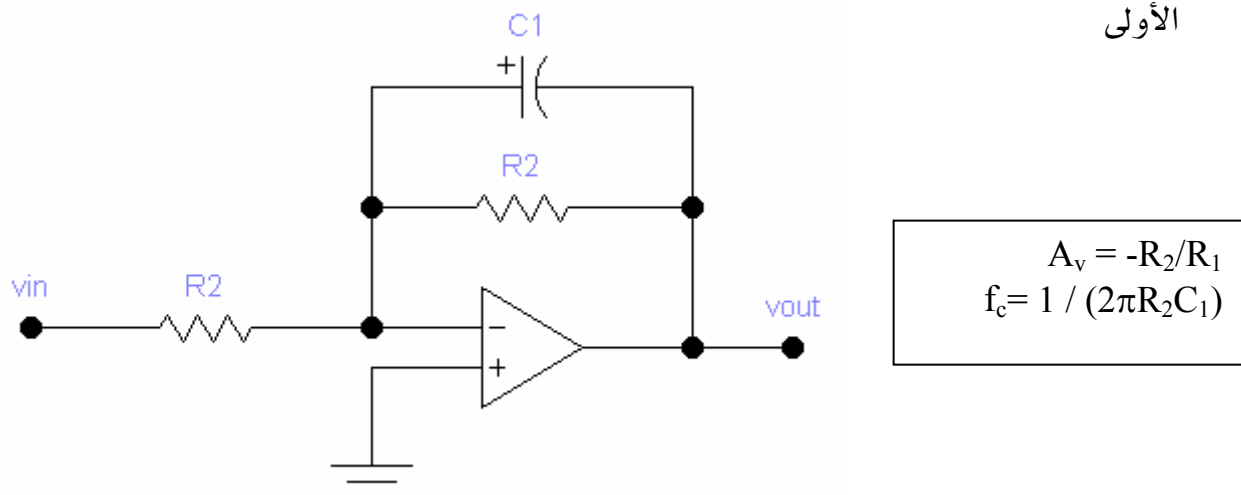
## 1-1 - مرشح تمرير الترددات الصغيرة (Low Pass Filter)



شكل 1-37: مرشح تمرير الترددات الصغيرة نشط من الرتبة الأولى مكبر غير عاكس تابع

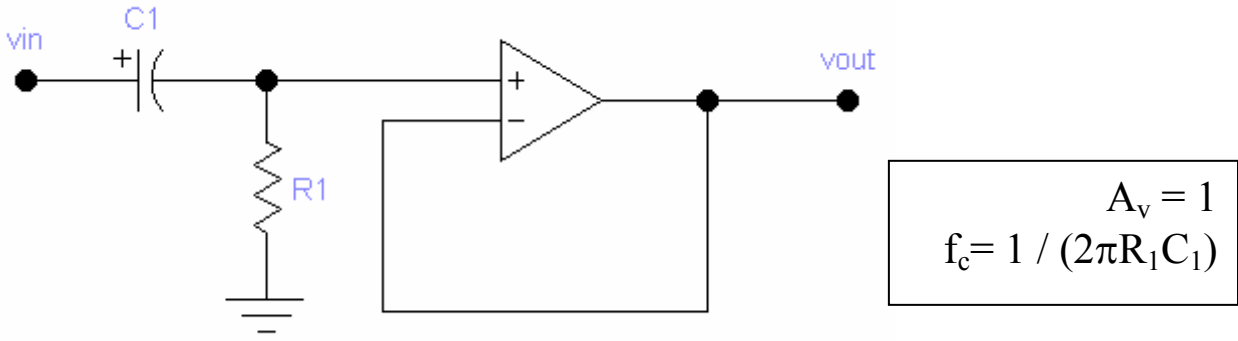


شكل 1-37: مرشح تمرير الترددات الصغيرة نشط من الرتبة الأولى

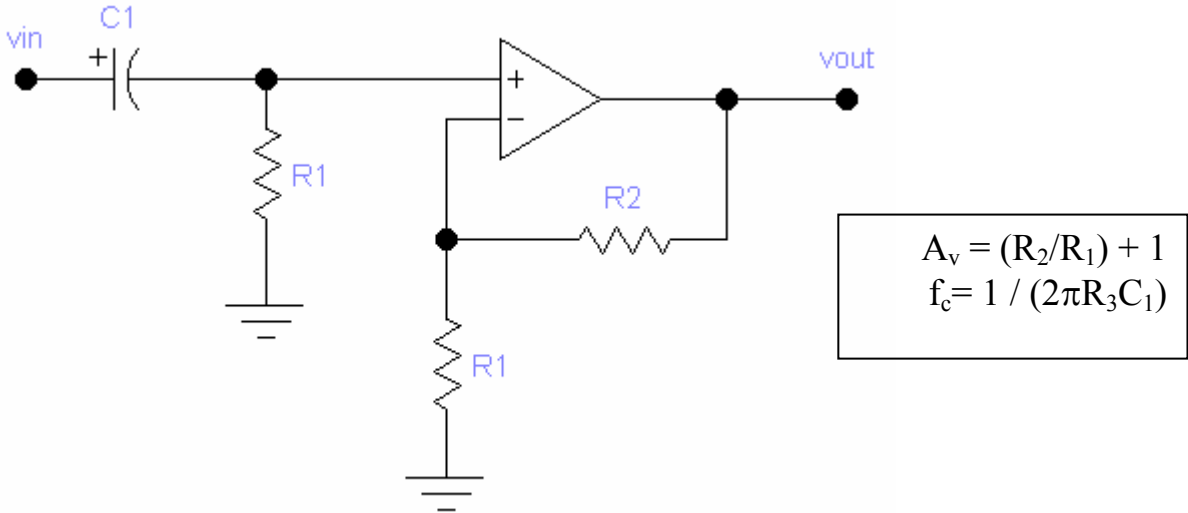


شكل 1-37: مرشح تمرير الترددات الصغيرة نشط من الرتبة الأولى مكبر عاكس مع كسب جهد.

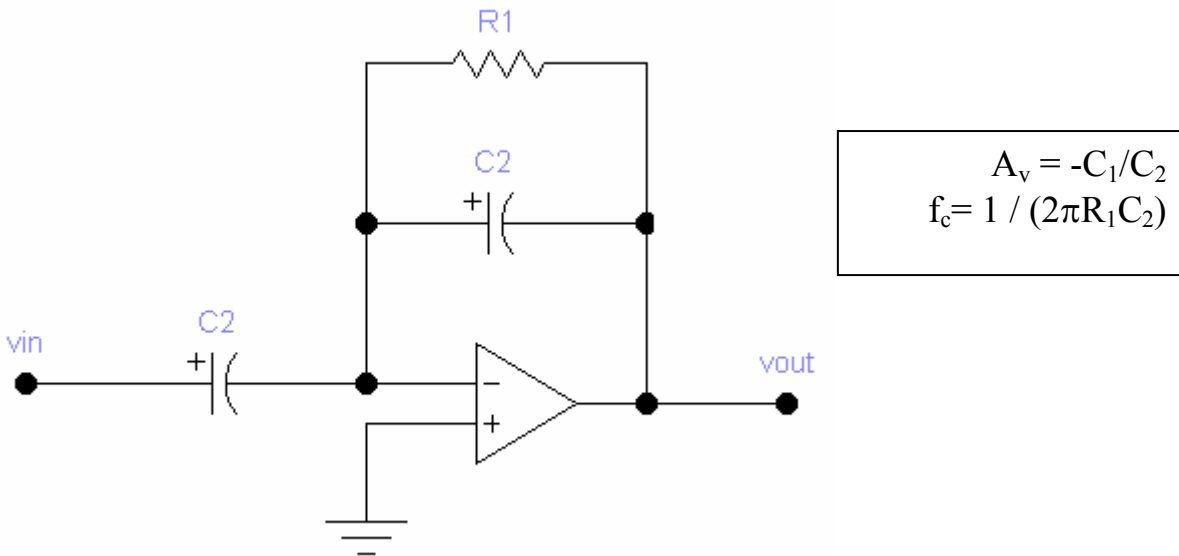
## 12 مرشح تمرير الترددات العالية (High Pass Filter)



شكل 1- 37: مرشح تمرير الترددات العالية نشط من الرتبة الأولى مكبر غير عاكس تابع.



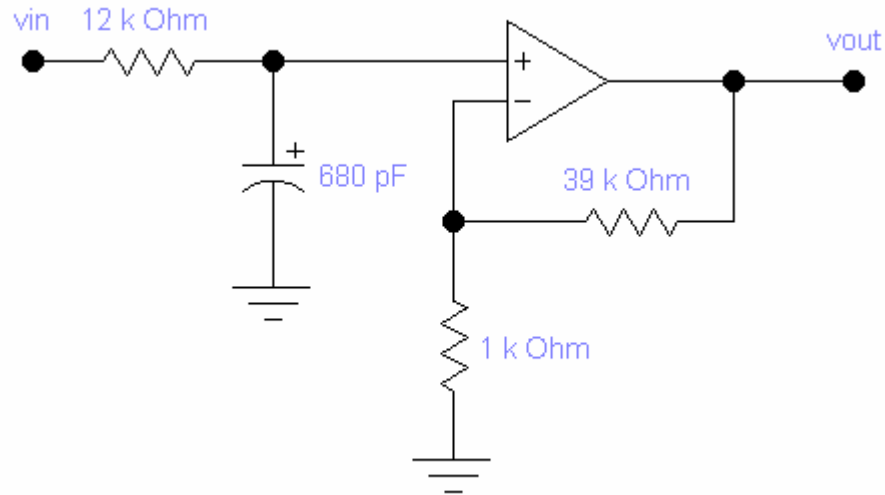
شكل 1- 37: مرشح تمرير الترددات العالية نشط من الرتبة الأولى



شكل 1- 37: مرشح تمرير الترددات العالية نشط من الرتبة الأولى

مثال :

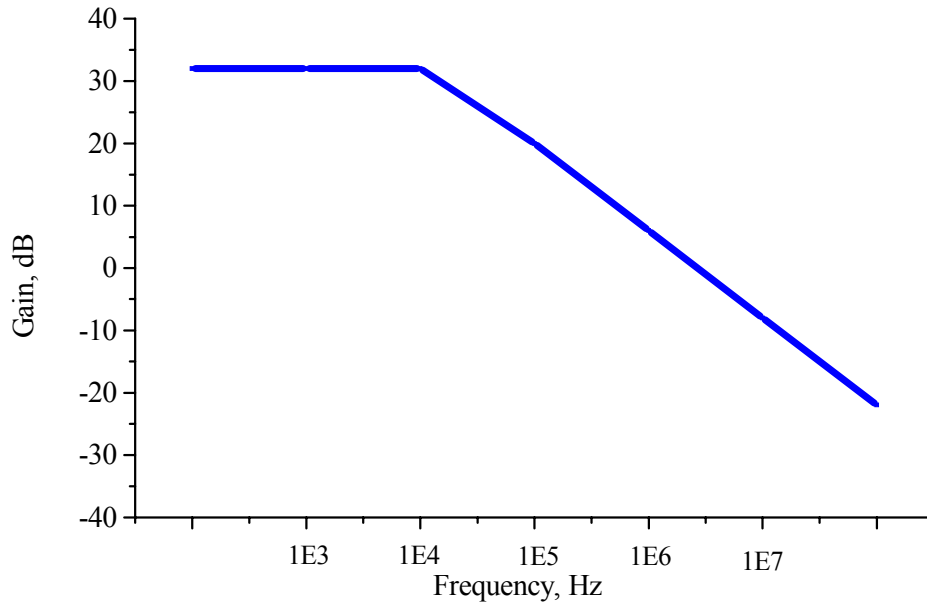
١ حسب كسب الجهد في الشكل 1 -38 . احسب تردد القطع ، ارسم الاستجابة الترددي.



شكل 1 -38: شكل المثال 1 -10.

الحل: الشكل 1 -38 يمثل مرشح تمرير الترددات الصغيرة نشط من الرتبة الأولى ومكبر غير عاكس مع كسب جهد. كسب الجهد وتردد القطع تحسب كالتالي:

$$A_v = (39 \text{ k}\Omega / 1 \text{ k}\Omega) + 1 = 40$$
$$f_c = 1 / (2\pi)(12 \text{ k}\Omega)(680 \text{ pF}) = 19.5 \text{ kHz}$$

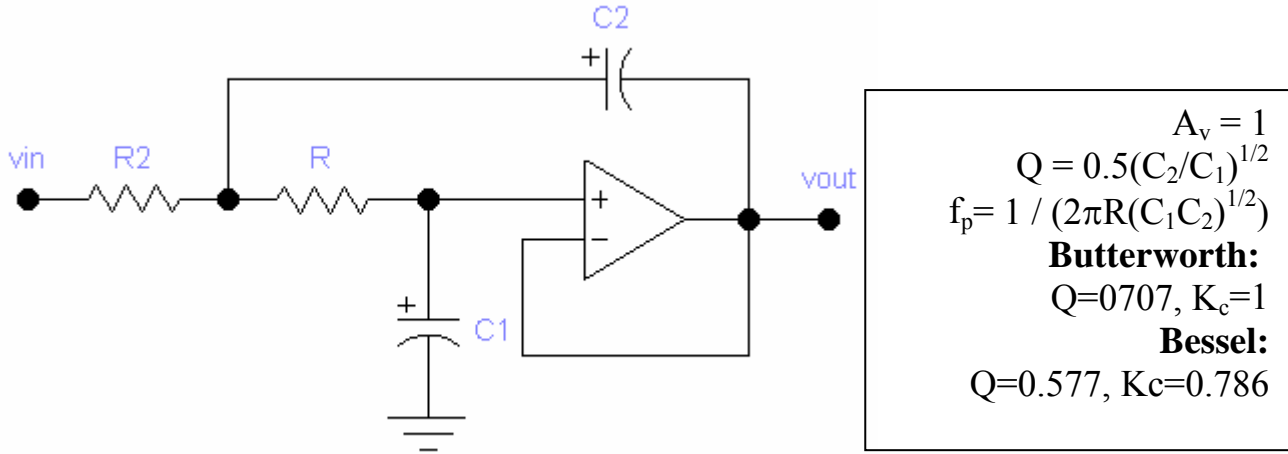


شكل 1 -39: استجابة التردد

الشكل 1 -39 يمثل استجابة التردد. كسب الجهد يساوي 32 dB عند تمرير النطاق. الاستجابة تقطع في حدود 19.5 kHz وتتناقص بمقدار 20 dB في كل ديكاد (decade).

## 2 مرشح من الرتبة الثانية: مرشح تمرير الترددات الصغيرة (Low Pass Filter)

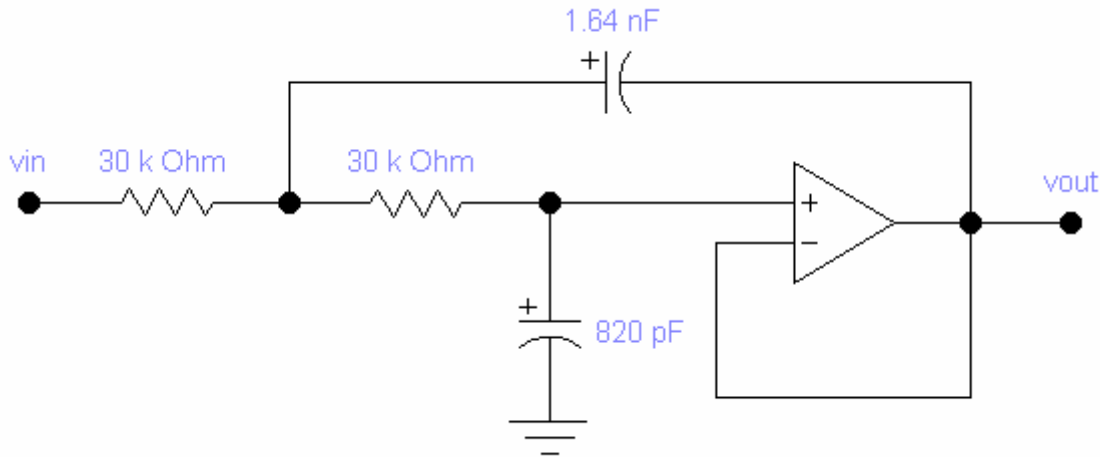
المرشح من الرتبة الثانية هو أكثر استعمالاً لأنه سهل التصميم و الدراسة. المرشحات من رتبة أعلى تكون على شكل مرشحات من الرتبة الثانية متتالية على التوالي. كل مرشح جزئي يتمتع بتردد التطابق و قيمة المعامل Q. الشكل 1- 40 يبين مرشح تمرير الترددات الصغيرة من الرتبة الثانية.



شكل 1-40: مرشح تمرير الترددات الصغيرة من الرتبة الثانية

مثال :

أحسب القطب الترددي ( $f_p$ ) و ( $Q$ ) للمرشح الموضح في الشكل 1- 41. كم هي قيمة تردد القطع  $f_c$  ؟



شكل 1-41: مرشح تمرير الترددات الصغيرة من الرتبة الثانية

الحل: قيمة Q و التردد القطبي  $f_p$  تحسب كما يلي:

$$Q = 0.5(C_2/C_1)^{1/2} = 0.5(1.64\text{nF}/820\text{pF})^{1/2} = 0.707$$

$$f_p = 1 / (2\pi R(C_1 C_2)^{1/2}) = 1/2\pi(30\text{ k}\Omega)((820\text{ pF})(1.64\text{ nF}))^{1/2} = 4.58\text{ kHz}$$

قيمة Q تبين أن الاستجابة هي استجابة (Butterworth) و منه:

$$F_c = f_p = 4.58\text{ kHz}$$

قطع استجابة هذا المرشح يساوي 4.58 kHz و تتناقص بمقدار 40 dB مع كل عشرية.

الوحدة 1

# الإلكترونيات الضوئية



## مقدمة:

الترانزستورات الضوئية هي ترانزستورات حساسة للضوء، والنوع الشائع للترانزستور الضوئي يشبه الترانزستور ثنائي القطبية ولكن بدون طرف القاعدة الذي يستبدل بسطح حساس للضوء. ويشبه عمل الترانزستور الضوئي عمل الترانزستور العادي إلا أنه يعتمد على الظاهرة الفولتية الضوئية حيث إن تيار القاعدة يتولد بالضوء ويتناسب مع شدة الإضاءة على السطح الحساس للضوء.



الترانزستور الضوئي

عند وضع الترانزستور الضوئي في الظلام يصبح في حالة قطع ولا يمر تيار بين المجمع والباعث وعند تعرض السطح الحساس للضوء يمر تيار قاعدة صغير ينتج عن ذلك تيار كبير يمر بين المجمع والباعث. كما توجد أيضاً ترانزستورات تأثير المجال الضوئية التي تستخدم التأثير الضوئي في توليد جهد البوابة الذي يتحكم بتيار المصرف (Drain) - المنبع (Source).

## آلية عمل الترانزستور الضوئي:

يبين الشكل (6') ترانزستوراً ضوئياً ذا طرفين ثنائي القطبية موصول مع مصدر جهد على طرفيه (المجمع والباعث) وكما ذكرنا سابقاً يشبه عمله عمل الترانزستور ثنائي القطبية نوع NPN العادي إلا أن طبقة القاعدة P كبيرة، وعند تعرضها للضوء تصطدم فوتونات الضوء مع الكترولونات المادة P فتكسبها طاقة كافية لتتجاوز حاجز منطقة الاستنزاف لتصل إلى منطقة المجمع N وتترك مكانها أيونات موجبة سرعان ما تجذب إليها إلكترونات الباعث N ونتيجة لذلك يتشكل تيار كهربائي يمر من المجمع إلى الباعث.

## أنواع الترانزستورات الضوئية:

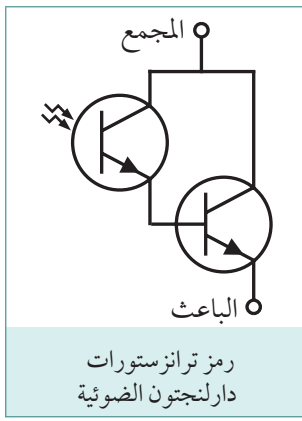
## الترانزستورات الضوئية ذات الثلاثة أطراف:

بما أن الترانزستورات الضوئية ذات الطرفين غير قادرة على توليد تيار في القاعدة كافٍ للحصول على تيار مجمع - باعث مناسب، فهناك ترانزستورات ذات ثلاثة أطراف بإضافة طرف القاعدة الذي يستخدم لتثبيت انحياز الترانزستور بحيث يمكن من التحكم في حساسيته للضوء.

رمز الترانزستور  
الضوئي ذي الثلاثة أطراف

ويمكن أن يستخدم الترانزستور الضوئي ذا الثلاثة أطراف في التطبيقات باستخدام طرفين فقط بدلاً من الترانزستورات الضوئية ذات الطرفين بدون استخدام طرف القاعدة.

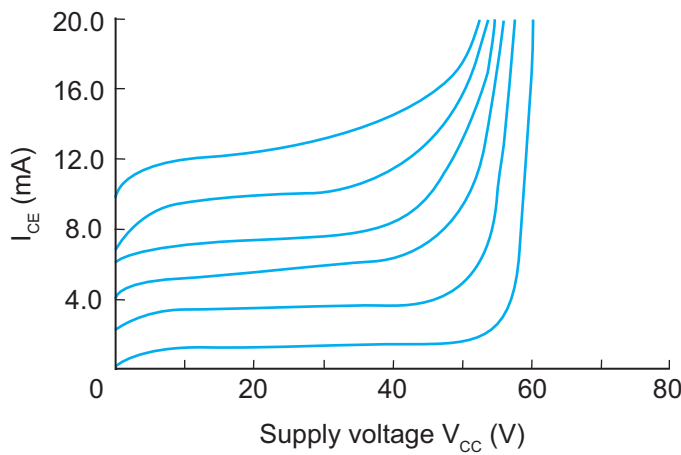
## ترانزستورات دارلنجتون الضوئية:



يمكن توصيل ترانزستور عادي مع ترانزستور ضوئي ليستفاد من خاصية توصيلة دارلنجتون بالإضافة إلى الخاصية الضوئية بحيث تشبه آلية عمله عمل ترانزستورات دارلنجتون ثنائي القطبية بالإضافة إلى حساسيته للضوء، لكن بضمن استجابة كبير نسبياً، وتتوفر هذه الترانزستورات برجل قاعدة أو بدونها.

## المواصفات الفنية للترانزستورات الضوئية:

للترانزستورات الضوئية كما للترانزستورات العادية جهد انهيار ومعدلات جهد وتيار تشغيل ومنحنى خصائص. وكما يعتمد تيار المجمع  $I_C$  على كثافة الإشعاع الساقط على قاعدة الترانزستور وعلى كسب التيار (Gain)، وعلى تيار القاعدة الخارجي في الترانزستورات الضوئية ثلاثية الأطراف.

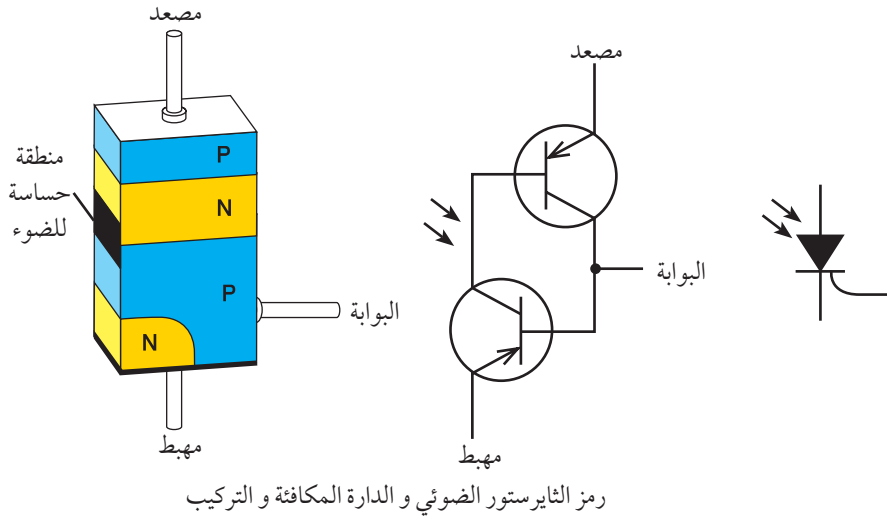


منحنى الخصائص لترانزستور ضوئي ثنائي القطبية

في حالة الظلام التام يمر تيار صغير بين المجمع والباعث يسمى تيار الظلمة ( $I_{d}$  dark Current) ويمكن اهماله لصغره (عادة في مجال nA) يبين الشكل الآتي منحنى خصائص الترانزستور الضوئي مبينا العلاقة بين شدة الاشعاع الساقط وتيار المجمع:

## الثايرستور الضوئي: LASCR

الثايرستور الضوئي (Light Activakd SCR) يشبه من حيث التركيب الثايرستور العادي ، حيث يتم قرح الثايرستور الضوئي من خلال سقوط الضوء على البوابة بدلاً من النبضة التي تمر على بوابة الثايرستور العادي عند قرحه ، ويبقى الثايرستور الضوئي في حالة تمرير حتى إذا حجب عنه الضوء ، ولإيقافه (التبديل) يعامل مثل الثايرستور العادي .



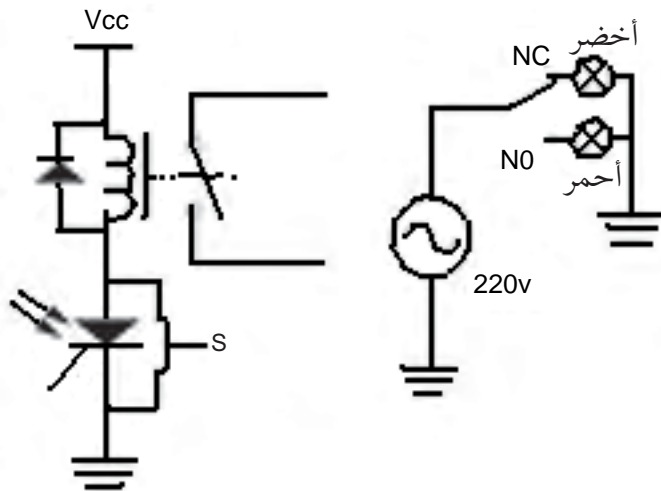
ويبين الشكل رمز الثايرستور الضوئي والتركيب والدارة المكافئة . بعض أنواع الثايرستورات الضوئية لها طرفان فقط المصعد A والمهبط K ولكن معظم الثايرستورات

الضوئية تحتوي على طرف ثالث للبوابة ؛ لتوفير إمكانية قرح الثايرستور عن طريق البوابة أو التحكم بشدة الإضاءة .

### التطبيقات:

يستخدم الثايرستور الضوئي في كثير من التطبيقات مثل تشغيل الأحمال التي تحتاج إلى تيار كبير ، ودارات الإنذار ودارات التحكم (فتح وإغلاق باب مثلاً) .

### مثال :



دارة إنذار لحدوث خلل في عمل معين . كما هو موضح في الشكل يوصل مصباح أحمر على ملامسات المرحل N.O ومصباح أخضر على ملامسات المرحل N.C .

في الوضع الطبيعي لا يوجد ضوء ساقط على الثايرستور الضوئي فتكون الدارة لا تعمل والمصباح الأخضر مضيء (تكون

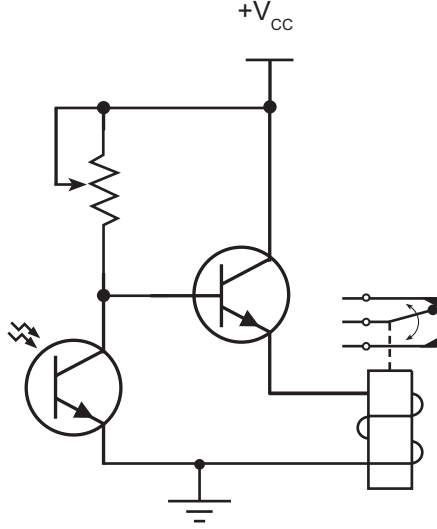
المصابيح بعيدة عن الثايرستور) عند حدوث خلل معين يسقط الضوء على الثايرستور الضوئي شكل مسبباً قرحه ، حيث يعمل على تمرير التيار ، ويعمل على عمل المرحل ، وتتصل ملامساته N.O ، وتنفصل ملامسات N.C ؛ مما يؤدي إلى إضاءة المصباح الأحمر (أو ممكن تشغيل جرس الإنذار) وإطفاء المصباح الأخضر . عند تصليح الخلل وإنهاء حالة الإنذار يتم الضغط على المفتاح S فتعود الدارة إلى حالتها الأولى .



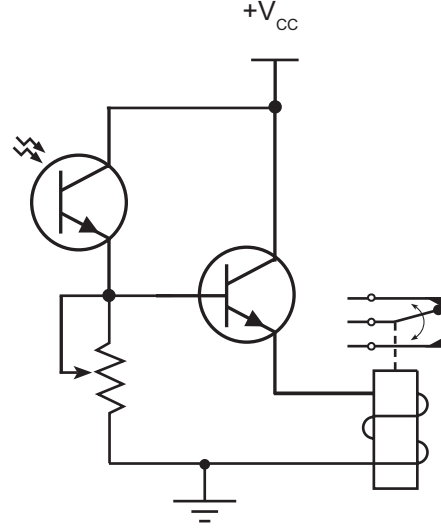
# تطبيقات على الإلكترونيات الضوئية:

## دارات التفعيل الضوئي:

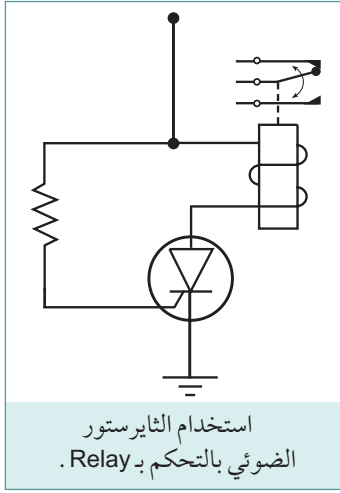
يستخدم الترانزستور الضوئي في عملية تفعيل دارة ما عن طريق تغير شدة الضوء، وكمثال على ذلك، في الشكل المجاور دارتان تم استخدام الترانزستور الضوئي ليتحكم بتيار القاعدة لترانزستور متصل مع Relay وباختلاف موقع الترانزستور الضوئي نحصل على حالتين للتشغيل تشغيل في حالة الظلام (Dark Activated) كما في الشكل وتشغيل في حالة الاضاءة (Light Activated)



تشغيل في حالة الظلام



تشغيل في حالة الاضاءة



استخدام الثايرستور الضوئي بالتحكم بـ Relay.

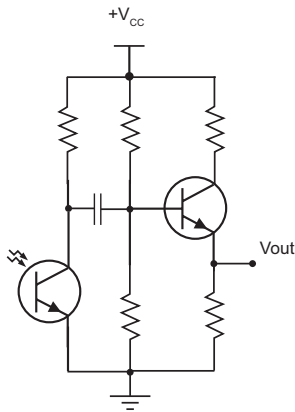
كما يمكن استخدام الترانزستور الضوئي بالتحكم مباشرة بتشغيل Relay ، أو يمكن استخدام ثايرستور ضوئي لذلك كما في الشكل

## دارات الاستقبال:

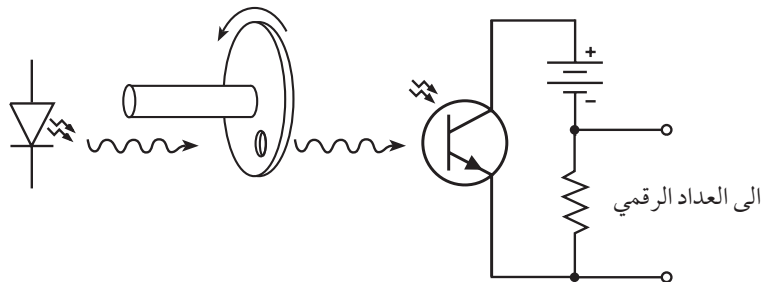
يمكن استخدام الترانزستور الضوئي كدارة استقبال لمرسلات ضوئية في تطبيقات التحكم عن بعد Remote control والتي يستخدم فيها غالباً الأشعة تحت الحمراء Infra Red . يبين الشكل ادارة يستخدم فيها ترانزستور ضوئي ككاشف موجة ضوئية مع مضخم ترانزستوري .

## دارات القياس:

يبين الشكل كيفية استخدام ترانزستور ضوئي كمقياس سرعة دوران أو عدد الدورات، حيث يستخدم قرص دوار فيه ثقب يسمح بمرور الضوء عبره مرة كل دورة، ويؤدي الضوء المار عبر الثقب إلى قذح الترانزستور الضوئي المتصل بدوره إلى عداد يعرض سرعة الدوران أو عدد الدورات الكلي .



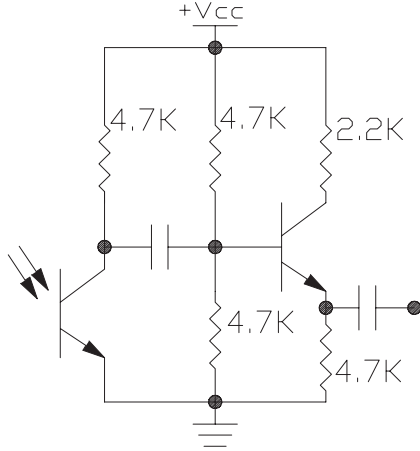
الترانزستور الضوئي في دارة استقبال .



الترانزستور الضوئي كمقياس سرعة .

## مثال :

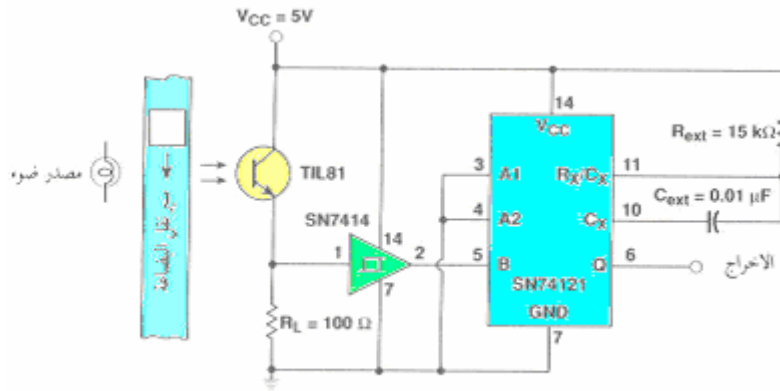
دارات الاستقبال :



يمكن استخدام الترانزستور الضوئي كدارة استقبال لمرسلات ضوئية في تطبيقات التحكم عن بعد Remote control والتي يستخدم فيها غالباً الأشعة تحت الحمراء Infra Red . يبين الشكل دارة يستخدم فيها ترانزستور ضوئي ككاشف موجة ضوئية مع مضخم ترانزستوري .

## نظرية العمل:

عند سقوط الضوء على وصلة المجمع - القاعدة الموصلة في انحياز عكسي سيتولد زوج من الإلكترونات والفجوات بسبب الطاقة الضوئية الساقطة ويزداد تيار المجمع بزيادة شدة الإضاءة والترانزستور الضوئي يكون أكثر حساسية للضوء لوجود خاصية التكبير في الترانزستور .



إن الشكل يبين استعمالاً آخر لمصدر ضوء كالدايود الضوئي والترانزستور الضوئي لكشف وجود أو غياب القطع على سير نقل البضاعة في المصنع . وهذا هو المخطط البياني الكامل . ومجدداً ، فإن الضوء الذي يبلغ الترانزستور الضوئي ( لا يوجد إنتاج في الوضعية ) يجعل الترانزستور الضوئي يقوم بالايصال ، بحيث يولد حوالي 5V تفرق مع الجهاز SN7414 . وعندما يمنع ( يصد ) الضوء إلى الترانزستور الضوئي بواسطة الإنتاج على السير ، فإن الترانزستور يتوقف بحيث تكون الفولتية على الجهاز SN7414 معدومة ( صفر ) .

أما الجهاز SN7414 فإنه يكشف هذا التآرجح في الفولتية من 5V إلى صفر فولت ، ثم يرسل نبضة إلى SN7414 الذي يولد نبضة من فترة زمنية ثابتة تبلغ 100 ميكروثانية. وهكذا ،

