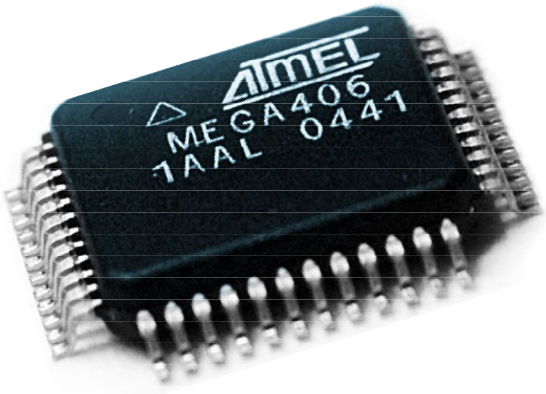
برمجة المتحكمات المصغرة

التجارب العملية

ربط مخارج المتحكم المصغر إلى العالم الخارجي

Interfacing with Microcontrollers



Programming Embedded Systems Microcontroller

You Can Practice Microcontroller Programming Easily Now!

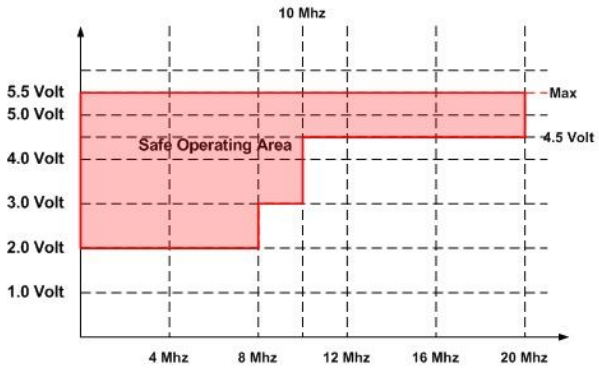
WALID BALID, Tuesday, December 15, 2009

تغذية المتحكم المصغر
Powering Microcontroller

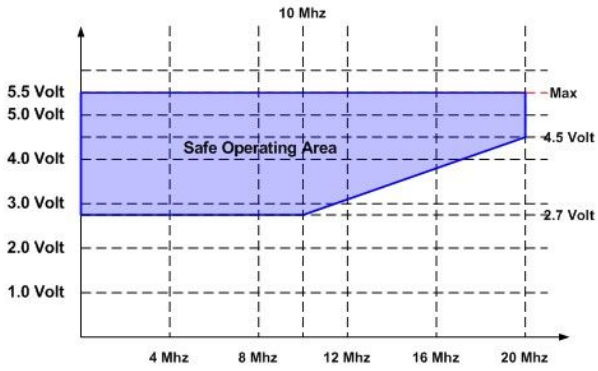
بقدر ما تكون التغذية الرئيسية – لأي دارة إلكترونية – مصممة بشكل جيد وفق اعتبارات تصميمية قياسية، بقدر ما يكون عمل العناصر الإلكترونية في الدارة مستقراً وقريباً من منحني العمل الأمثلي.

إن التغذية الكهربائية التي توصل للمتحكم المصغر هي بمثابة الروح التي تبث الحياة والحركة في المتحكم المصغر، كما أن استهلاك التغذية في المتحكم يتعلق مباشرة بسرعة عمل المتحكم المصغر، حيث أنه كلما ازداد تردد عمل المعالج، ازداد استهلاك التغذية في المعالج.

الشكل التالي بين منحني العمل الآمن للمعالج نسبة إلى التغذية المطبقة من أجل كل تردد عمل.
من أجل متحكم مصغر من العائلة "AVR" فإن التغذية 4.5V ستؤمن عمل آمن للمعالج عند كامل مجال تردد الهزاز الكريستالي، أما من أجل جهد تغذية "3V" فإن أقصى سرعة عمل للمتحكم يجب أن لا تزيد عن "8MHZ" لكي يبقى المعالج ضمن منطقة العمل الآمنة.



Typical Microchip PIC Microcontrollers Operating Voltage & Frequency
(12F683,16F690, 16F886)



Typical Atmel AVR Microcontrollers Operating Voltage & Frequency
(Tiny13, Tiny2313, Mega168P)

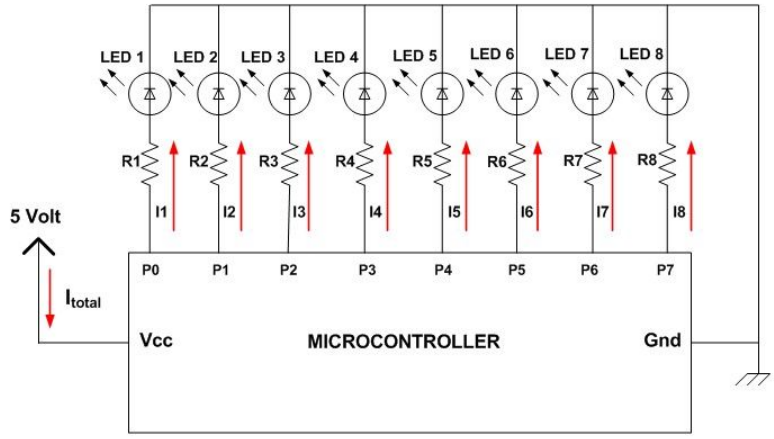
أحد أهم الاعتبارات التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار عن ربط أقطاب المتحكم إلى الأحمال هو التيار الأعظمي المستهلك من قطب المتحكم (Vcc to Gnd). إن قيمة التيار التي يمكن سحبها أو تصريفها لقطب دخل\خرج من أقطاب المتحكم تتراوح عادة من 20~40mA حسب المواصفات الكهربائية للمتحكم المصغر. كما أن التيار الأعظمي الذي يمكن سحبه أو تصريفه عن طريق المتحكم بشكل كلي هو 200mA. الشكل جانباً يوضح المواصفات الكهربائية لمتحكمات العائلة AVR.

Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on any Pin except $\overline{\text{RESET}}$ with respect to Ground	-0.5V to V_{CC}+0.5V
Voltage on $\overline{\text{RESET}}$ with respect to Ground	-0.5V to +13.0V
Maximum Operating Voltage	6.0V
DC Current per I/O Pin	40.0 mA
DC Current V_{CC} and GND Pins	200.0 mA

إن التيار الأعظمي الذي يمكن استجراره من المتحكم هو مجموع تيارات الأقطاب وتيار التشغيل للمتحكم، وإن زيادة التيار فوق الحدود العظمى سوف يؤدي إلى عطل دائم في المتحكم ويتوجب بعدها تغييره.

على الشكل التالي تم استخدام ثمانية أقطاب من متحكم مصغر كأقطاب خرج لتشغيل ثنائيات ضوئية.



Typical LEDs Display on the Microcontroller I/O Ports

إن التيار الأعظمي المستجر من المتحكم هو مجموع تيارات عمل الثنائيات الثمانية بالإضافة لتيار عمل المتحكم ويمكن حسابه بالشكل التالي:

$$I_{total} = I_{operating_current} + (8 \times I_{LED})$$

بافتراض أن جهد عمل الثنائي الضوئي هو "2V" وقيمة المقاومة التسلسلية (مقاومة تحديد تيار عمل الثنائي الضوئي) هي "150Ω"، فيمكن حساب قيمة التيار المستجر من كل قطب من العلاقة التالية:

$$I_{LED} = V / R = (5 - 2) / 150 = 20mA$$

كما أن تيار عمل المتحكم هو 2.4mA وبالتالي يمكن حساب التيار الكلي من العلاقة:

$$I_{total} = 2.5mA + 8 \times I_{LED} = 8 \times 20mA = 162.5mA$$

كما هو واضح فإن هذه القيمة تقترب من القيمة العظمة للتيار المسموح استجراره من متحكمات العائلة AVR والذي هو 200mA، بينما تفوق القيمة العظمة للتيار المسموح استجراره من متحكمات العائلة PIC والذي هو 90mA.

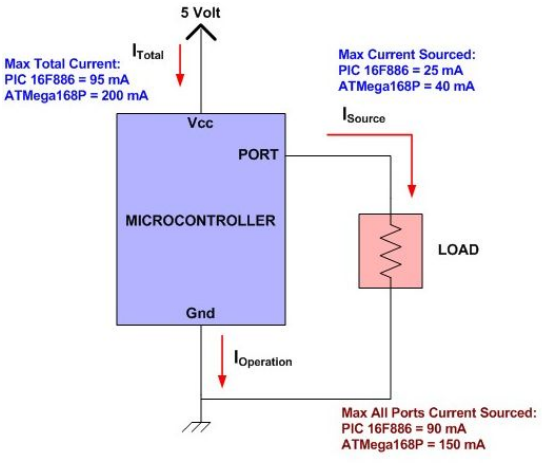
وبالتالي فإن حساب التيارات المسحوبة من أقطاب المتحكم المصغر يعتبر من أهم الأمور التي يجب دراستها في بداية أي مشروع يعتمد على المتحكم المصغر وهو ما سوف نناقشه فيما يأتي.

عملياً، فإنه ينصح بان لا يتجاوز التيار المسحوب من المتحكم نصف قيمة التيار الأعظمي المسموح به لتخفيض ضجيج العمل وللتأكد من أن المتحكم قادر على تيار لعمل الأحمال الموصولة معه بشكل جيد.

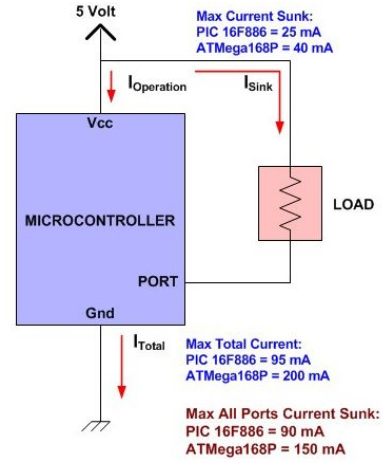
إن وصل الأحمال مع أقطاب المتحكم يكون بطريقتين:

- القطب يعمل كمنبع لتيار تشغيل الحمل (Source).
- القطب يعمل كمصرف لتيار تشغيل الحمل (Sink).

الشكل جانباً يوضح التوصيل.



A. Microcontroller's Port is used as a Current Source



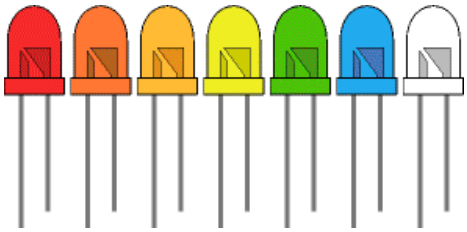
B. Microcontroller's Port is used to Sink Current

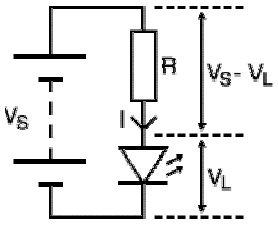
Calculating Current Resistor Value
حساب قيمة واستطاعة مقاومة تحديد التيار

إن قيمة مقاومة تحديد التيار للحمل تتعلق مباشرة بجهد تشغيل الحمل وتياره ومقاومته الأمامي. من أجل حساب قيمة مقاومة تحديد التيار لثنائي الانبعاث الضوئي (LED)، فإنه يجب معرفة تيار وجهد التشغيل للثنائي.

إن تيار وجهد العمل للثنائيات الضوئية يختلف حسب لون الثنائي الضوئي، الجدول التالي يوضح المواصفات الكهربائية:

Type	Colour	I_F max.	V_F typ.	V_F max.	V_R max.	Luminous intensity	Viewing angle	Wavelength
Standard	Red	20mA	2.0V	2.3V	5V	5mcd @ 10mA	60°	660nm
Super bright	Bright red	25mA	3.0V	3.4V	5V	80mcd @ 10mA	60°	625nm
Standard	Yellow	20mA	2.1V	2.3V	5V	32mcd @ 10mA	60°	590nm
Standard	Green	20mA	3.2V	3.5V	5V	32mcd @ 10mA	60°	565nm
High intensity	Blue	20mA	3.4V	3.6V	5V	60mcd @ 20mA	50°	430nm
Super bright	White	20mA	3.4V	3.6V	5V	500mcd @ 20mA	60°	660nm





IF max: التيار الأعظمي الأمامي المار في الثنائي.

VF typ: الجهد الأمامي النموذجي من اجل تشغيل الثنائي.

VF max: الجهد الأمامي الأعظمي الذي يمكن للثنائي أن يتحمله.

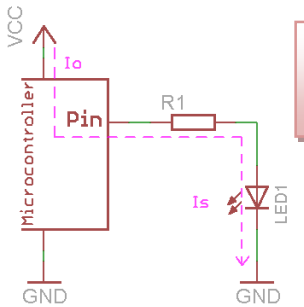
VR max: الجهد العكسي الأعظمي الذي يمكن للثنائي أن يتحمله.

Luminous intensity: شدة السطوع للثنائي.

Viewing angle: زاوية انعكاس الرؤية للإضاءة.

Wavelength: طول موجة الضوء الصادر.

وبالتالي من أجل ثنائي ضوئي ذو لون أحمر فإن جهد وتيار العمل هو 2V/20mA، وبالتالي يمكن حساب مقاومة تحديد التيار من العلاقة:



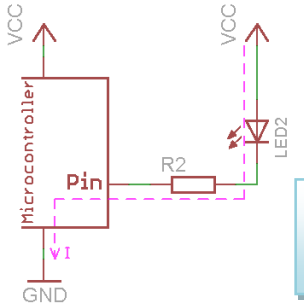
المتحكم هو منبع للتيار

$$R_{LED} = \frac{V_{cc} - V_{LED}}{I_{LED}}$$

$$R_{LED} = \frac{5 - 2}{20} = \frac{3}{20} = 150\Omega$$

$$PR_{LED} = V_R \times I_R = (V_{cc} - V_{LED}) \times I_{LED}$$

$$PR_{LED} = (5 - 2) \times 20 = 60mW$$

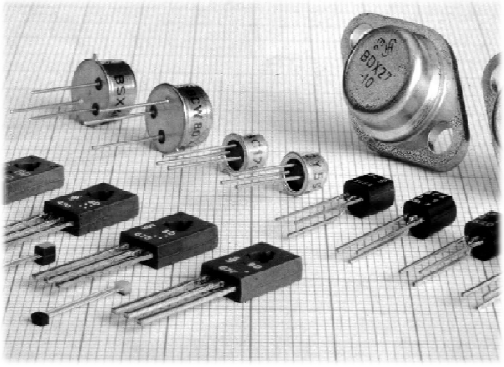


المتحكم هو مصرف للتيار

وبالتالي فإن الذي نحتاجه هو مقاومة 150Ω ذات استطاعة $1/4_{Wat}$.

Using Transistors as Control Switches
استخدام مفاتيح التحكم الترانزستورية

من أجل التحكم بأحمال ذات تيارات كبيرة (محركات – ريله – سخانات) فإن تيار الخرج لقطب المتحكم (20mA) لا يمكنه قيادة هذه الأحمال، لذا يتم استخدام الترانزستورات كمفاتيح إلكترونية (On/Of) للتحكم بهذه الأحمال.



بشكل عام يوجد نوعين من الترانزستورات:

- الترانزستورات ثنائية القطبية (BJT).
- الترانزستورات أحادية القطبية (FET).

عملياً، إن الاستخدام لكل منها يختلف بحسب طبيعة الحمل المقاد، الجدول التالي يبين الفرق بين كلا النوعين:

	BJT	FET/MOSFET
طريقة التحكم	يتم التحكم به عن طريق تيار القاعدة ويحتاج تيار 1 – 10mA بالإضافة إلى VBE=0.6V	يتم التحكم به عن طريق جهد البوابة ويختلف الجهد حسب استطاعة الترانزستور.
سرعة الفتح والإغلاق	أبطئ لا يتجاوز 200MHZ (uS)	10 مرات أسرع (nS)
العمل	تأثر كبير بالحرارة	أقل تأثراً بالحرارة
المقاومة الأمامية	المقاومة الأمامية (هبوط جهد أمامي) صغيرة جداً	مقاومة أمامية كبيرة نسبياً
التأثر	لا يتأثر بالشحنات الساكنة	يمكن أن يتأثر ويدمر بالشحنات الساكنة
ممانعة الدخل	متوسطة	كبيرة جداً (10^{12})
مجلات جهود العمل	صغيرة لا تتجاوز 100V	كبيرة جداً
تيار الحمل	يعمل من أجل تيارات أحمال صغيرة	يمكنه أن يقود أحمال بتيارات عالية (محرك)
ضجيج العمل	ضجيج عالي	ضجيج منخفض

إن مجال استخدام الترانزستورات في أنظمة التحكم الرقمي يقتصر على استخدام هذه الترانزستورات كمفاتيح إلكترونية تحكمية (On/Of)، وبالتالي فإن اختيار الترانزستور سيعتمد بالكلية على ثلاث عوامل أساسية:

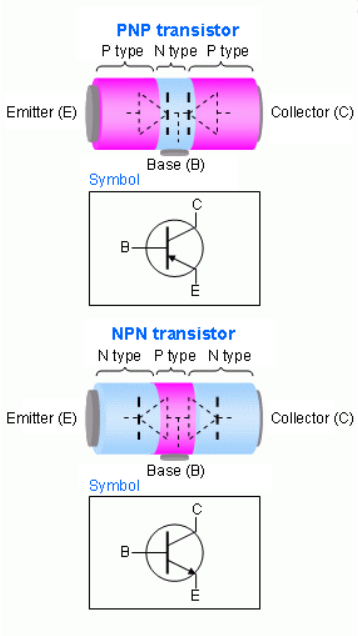
التيار المار في الترانزستور. الاستطاعة المبددة في الترانزستور. سرعة الفتح والإغلاق للترانزستور.

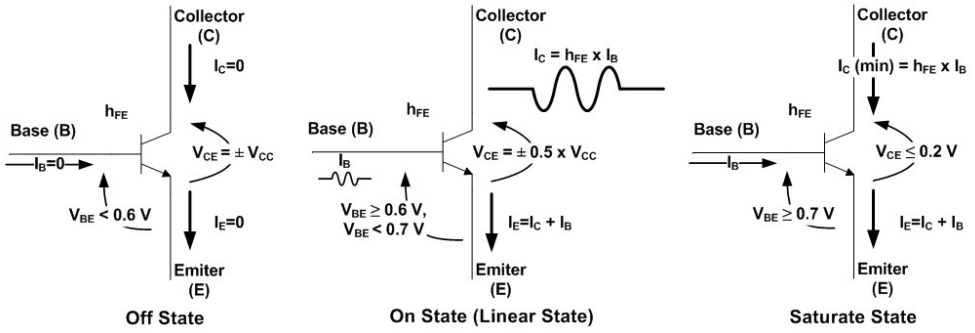
من أجل التحكم بأحمال ذات تيارات صغيرة، يتم استخدام الترانزستورات ثنائية القطبية.

من أجل التحكم بأحمال ذات تيارات وجهود متوسطة كبيرة، تستخدم الترانزستورات الحقلية.

من أجل استخدام الترانزستور كمفتاح إلكتروني فإنه يجب أن يعمل في منطقتي القطع والإشباع.

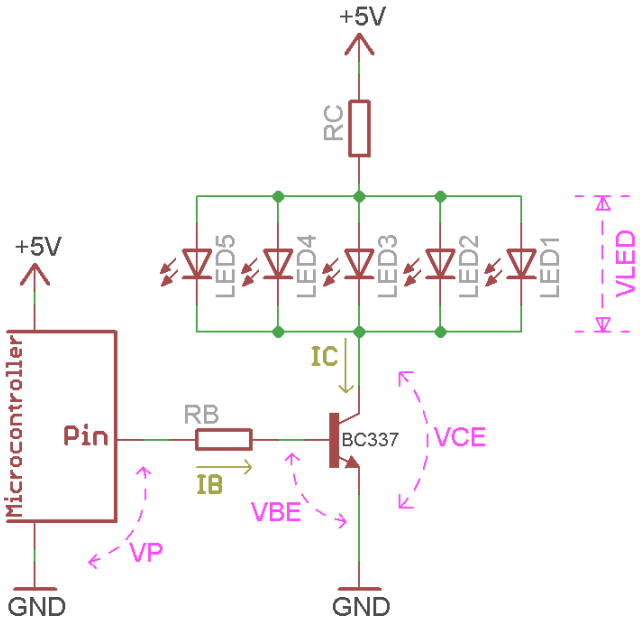
- في حالة القطع (Of state): يكون تيار القاعدة IB=0.
- في الحالة الفعالة (On active state): يكون فيها تيار المجمع $I_C = I_B \times h_{FE}$ وهي الحالة التي يستخدم فيها الترانزستور كمضخم إشارة فعال، وإن أي زيادة في تيار القاعدة ينتج عنه زيادة في تيار المجمع.
- في حالة الإشباع (On saturate state): في هذه الحالة يمرر الترانزستور كامل التيار.





الشكل أعلاه يوضح الحالات الثلاث المذكورة آنفاً لعمل الترانزستور، وما يقابل كل حالة من شروط للجهد والتيار.

الآن لنأخذ مثالاً عملياً ونحسب قيم المقاومات والتيارات كما في الشكل التالي:



إن الترانزستور الذي قمنا باختياره BC337 له المواصفات:

I_{C_max}=800mA, $V_{BE_saturate}$=0.65V, $V_{CE_saturate}$=0.2V,

h_{FE} = 100, V_{CE_max}=50V

لنحسب تيار الحمل (IC) مع العلم أن تيار كل ثنائي ضوئي هو: I_{LED}= 20mA وجهد عمل الثنائي هو: V_{LED}=2V.

$$I_C = 5 \times 20mA = 100mA$$

$$Rc = \frac{V_{cc} - V_{LED}}{I_C} = \frac{5-2}{20} = 150\Omega$$

$$P_{RC} = (V_{cc} - V_{LED}) \times I_C$$

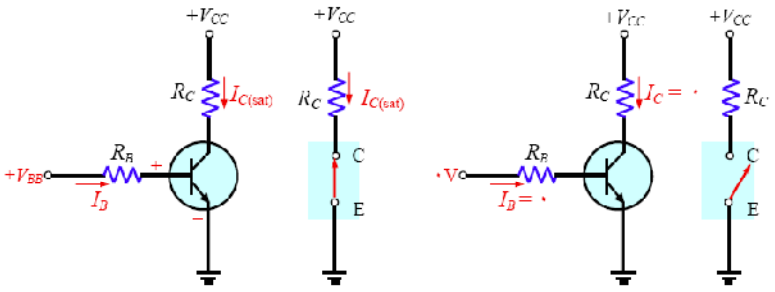
$$P_{RC} = (5-2) \times 100 = 300mW$$

لنحسب قيمة التيار الأصغري اللازم لقيادة الترانزستور عن طريق بوابة المتحكم:

$$I_C = hfe \times I_B \rightarrow I_B = \frac{I_C}{hfe} = \frac{100}{100} = 1mA$$

$$Pc_{max} = U_{CE} \times I_C = 0.2 \times 100 = 20mW$$

بالتالي يمكننا حساب قيمة مقاومة القاعدة واستطاعتها من العلاقة التالية:



$$R_B = \frac{V_P - V_{BE}}{I_B} = \frac{5-0.7}{1} = 4.3K\Omega$$

$$P_{RC} = (V_P - V_{BE}) \times I_B$$

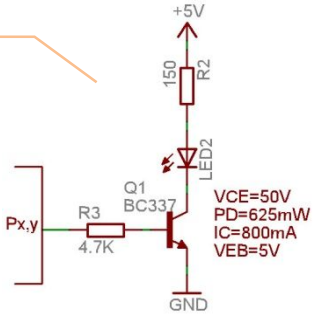
$$P_{RC} = (5-0.7) \times 1 = 4.3mW$$

أولاً: مفاتيح التحكم الترانزستورية باستخدام الترانزستورات ثنائية القطبية (BJT).

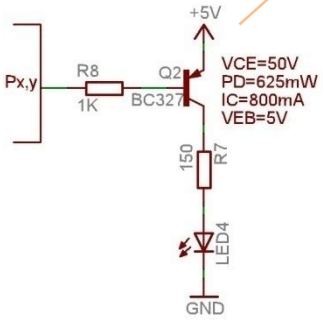
يمكن توصيل المفاتيح الترانزستورية بطريقتين:

- متحكم بها لتكون فعالة عند المنطق العالي "**1**": وبالتالي فإن الترانزستور سوف يعمل كمفتاح لوصل/فصل النقطة الأرضية (GND) للحمل، وفي هذه الحالة سوف يستخدم ترانزستور من نوع NPN.

الشكل (1)



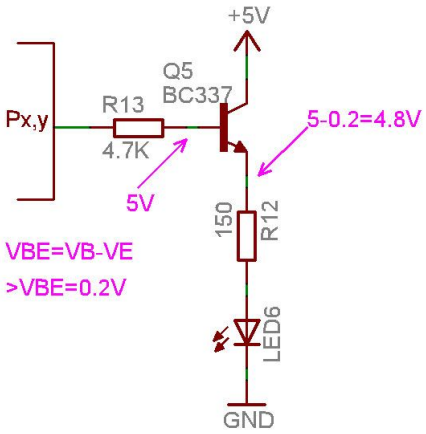
الشكل (2)



- متحكم بها لتكون فعالة عند المنطق المنخفض "**0**": وبالتالي فإن الترانزستور سوف يعمل كمفتاح لوصل/فصل نقطة التغذية (VCC) للحمل، وفي هذه الحالة سوف يستخدم ترانزستور من نوع PNP.

في بعض الأحيان يحصل خطأ في تصميم دارة المفتاح الإلكتروني باستخدام الترانزستور ثنائي القطبية، وهو من خلال استخدام الترانزستورات من نوع NPN كمفتاح لوصل/فصل نقطة التغذية (VCC) للحمل، أو استخدام الترانزستور من نوع PNP كمفتاح لوصل/فصل النقطة الأرضية (GND) للحمل.

الشكل جانباً يبين تصميم خاطئ يستخدم ترانزستور من نوع NPN كمفتاح لوصل/فصل نقطة التغذية (VCC) للحمل. لنوضح الخطأ بالحسابات التالية:



حتى يفتح الترانزستور بشكل كامل (حالة الإشباع)، فيجب أن يكون التيار على قاعدته

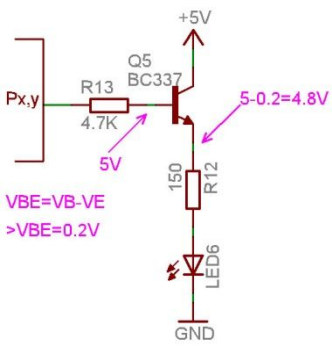
$V_{BE} = 0.7V$

إن الجهد الموجود على المشع (E) هو: $V_E = V_{CC} - V_{CE} = 5 - 0.2 = 4.8V$

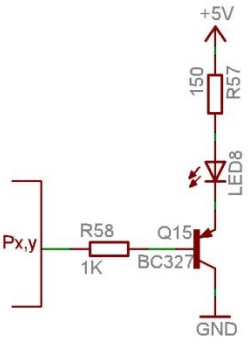
كما أن الجهد على قاعدة الترانزستور هو: $V_B = V_{PIN} = 5V$

وبالتالي فإن: $V_{BE} = V_B - V_E = 5 - 4.8 = 0.2V$

هذا يعني أن الترانزستور يعمل في المنطقة الفعالة ولن يكفي تيار مجمع الترانزستور (I_C) لتشغيل الحمل وسيعمل الثنائي الضوئي بشكل خافت.

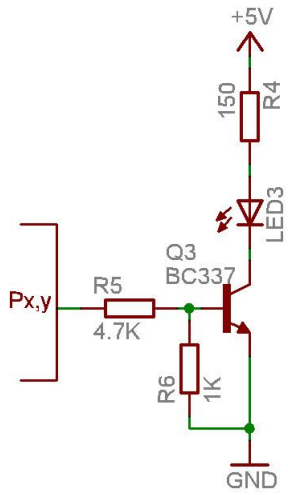


توصيل خاطئ!



إن الجهد المطبق على قاعدة الترانزستور في الدارة المبينة في الشكل (1) والشكل (2) يساوي 5V وهو نفسة جهد منطق بوابة المتحكم المصغر، بنفس الوقت من أجل الفتح الكامل للترانزستور فإنه يكفي تطبيق 0.7V، وإن هذا الجهد الزائد على القاعدة يؤدي إلى سحب تيار زائد، وبالتالي يمكن إضافة مقاومة مع مقاومة القاعدة ليتشكل لدينا مقسم كمون خرجه يتراوح بين 0.7~1V.

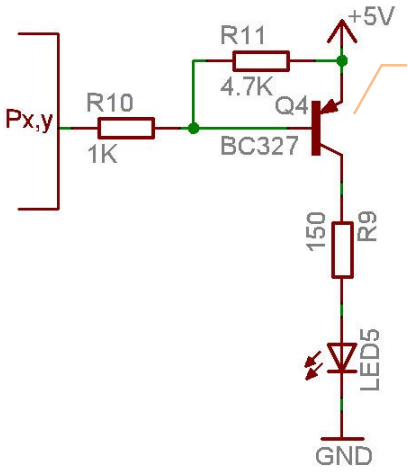
الشكل (3)



$$VB = VP \frac{R6}{R6 + R5}$$

$$VB = 5 \frac{1}{4.7 + 1} = 0.87V$$

الشكل (4)



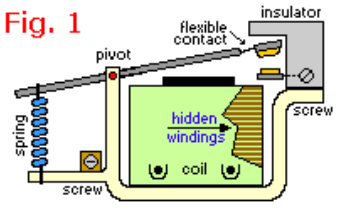
إن الدارات المدرجة أعلاه تقتصر على التحكم بعمل ثنائي ضوئي، بفس الوقت فإن الترانزستور يستخدم للتحكم بعمل ريليه الوصل الميكانيكي (Relay).

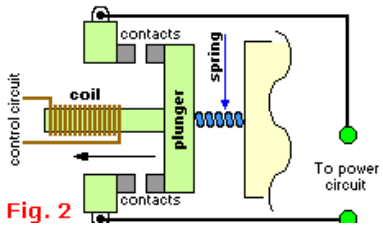
إن مجال جهود التحكم بالريليه واسع نسبياً، يتراوح:

3V, 5V, 6V, 9V, 12V, 15V, 24V, 36V, 48V, 60V

إن التيار الذي يستجره ملف تشغيل الريليه يتراوح من 30mA ~ 300mA، وذلك حسب حجم واستطاعة الريليه.

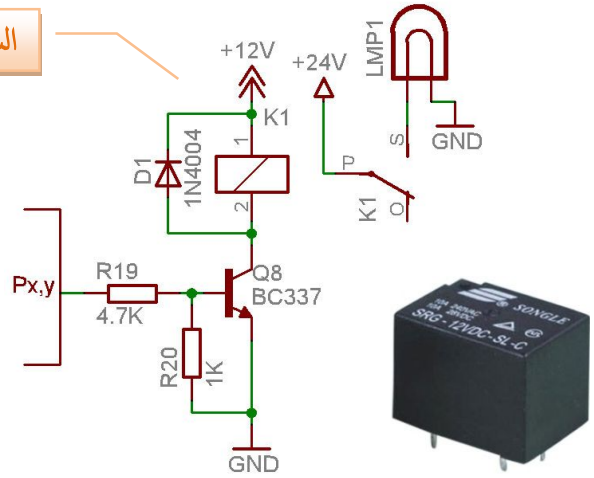
يوضح الشكل التالي رسماً تفصيلياً للبنية الداخلية للريليه حيث أنه عندما يتم تغذية ملف الريليه فإن الزراع الذي يحمل التماس المتحرك سوف ينجذب ويلامس التماس الثابت مؤدياً إلى وصل الدارة، وعندما يفقد الملف تهييجه تؤثر قوة النابض العكسية على الذراع وتعيده إلى وضعيته الأساسية.



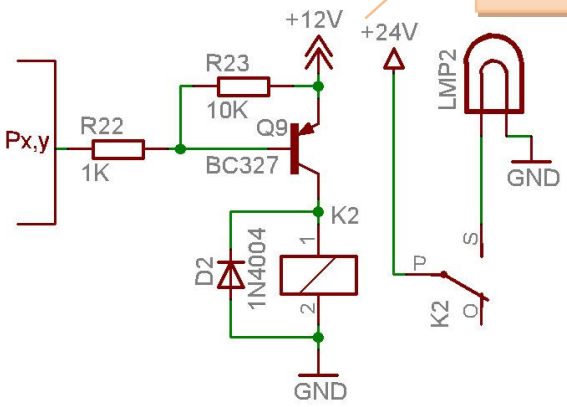


الدارات التالية يتم فيها استبدال الثنائيات الضوئية بـ Relay.

الشكل (5)



الشكل (6)



على الشكل (5) والشكل (6) تتحكم الريليه التي يعمل ملفها على 12V بعمل مصباح تيار مستمر جهد تشغيله 24V.

في الشكل (6) وعند تطبيق "1" على قطب بوابة المتحكم فإن الترانزستور Q8 سوف يغلق مؤدياً إلى وصل النقطة الأرضية إلى الطرف الثاني من ملف الريليه ويتهيج الملف مؤدياً بدوره إلى جذب تماس الريليه K1 وإغلاق النقطتين P, S، وعندها يضيء المصباح الكهربائي.

ملاحظة: من أجل حماية الترانزستور من أن يتم تدميره (حرقه) بسبب تيار التفريغ (Electromotive Force) لملف الريليه عند وصل وفصل الترانزستور، يتم إضافة ديود (ثنائي) على التوازي مع ملف الريليه (على الشكل أعلاه D1, D2) والذي بدوره يشكل حلقة مغلقة عند لتفريغ تيار الملف عند فصل الترانزستور.

مفاتيح التحكم الترانزستورية ذات المجمع المفتوح:

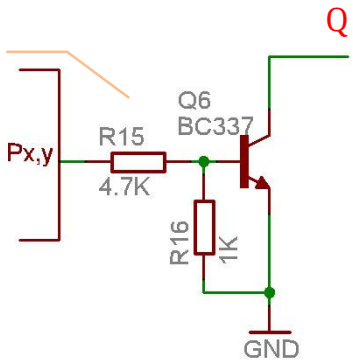
في بعض التطبيقات الخاصة يطلب أن يكون خرج الترانزستور المتحكم به ذو حالة منطقية وحيدة "1" or "0"، وهذا ما يسمى بالترانزستور ذو المجمع المفتوح.

الشكل (7) يستخدم ترانزستور من النوع NPN.

في الحالة الافتراضية (الترانزستور مفتوح) يكون الخرج Q عائماً، وبالتالي يمكن استخدام مقاومة رفع (Pull-Up) إلى الجهد المطلوب وجوده عند هذه الحالة (.. ,5V, 12V).

أمّا عند تطبيق "1" على بوابة الترانزستور، تصبح الحالة المنطقية على الخرج "0".

الشكل (7)

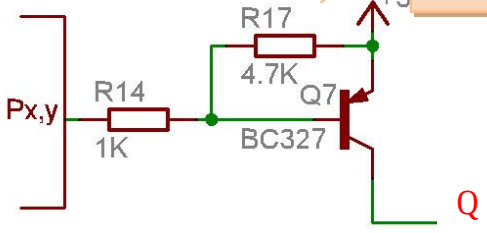


الشكل (8) يستخدم ترانزستور من النوع PNP.

في الحالة الافتراضية (الترانزستور مفتوح) يكون الخرج Q عائماً.

أمّا عند تطبيق "0" على بوابة الترانزستور، تصبح الحالة المنطقية على الخرج "1".

الشكل (8)



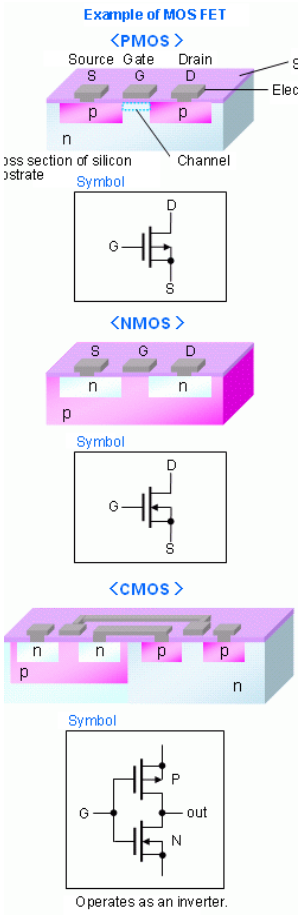
ثانياً: مفاتيح التحكم الترانزستورية باستخدام الترانزستورات أحادية القطبية (MOSFET & FET):

كما ذكرنا سابقاً، من أجل التحكم بالتطبيقات ذات الاستطاعات العالية، تستخدم الترانزستورات أحادية القطبية، التي تعتبر أغلى ثمناً من الترانزستورات ثنائية القطبية.

هنا ينبغي أن نوضح فكرة عامة وهي:

عندما نقول ترانزستور قناة نوع "**N**" فهذا يعني أن الترانزستور سيفتح القناة عند تطبيق جهد موجب على بوابته (G) لكي يفتح.

عندما نقول ترانزستور قناة نوع "**P**" فهذا يعني أن الترانزستور سيفتح القناة عند تطبيق جهد صفري أو سالب على بوابته (G) لكي يفتح.



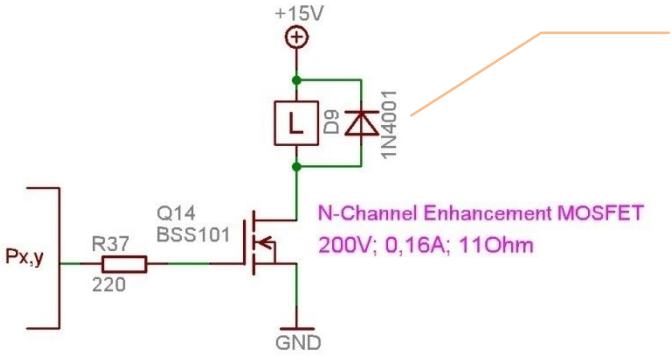
الشكل التالي عبارة عن دارة تحكم بحمل تحريضي (L) عن طريق ترانزستور MOSFET معزز بقناة نوع "N" له المواصفات التالية:

$$V_{DS_max}=200V,\ I_{DS_max}=160mA,\ R_{DS}=0.16\Omega,\ V_G=5V$$

يتحكم هذا الترانزستور بحمل تحريضي له المواصفات التالية:

$$V_{Load}=15V,\ I_{Load}=100mA$$

بما أن جهد بوابة الترانزستور $V_G=5V$ فيمكن قيادة هذا الترانزستور من بوابة المتحكم المصغر مباشرة كما في الشكل التالي:



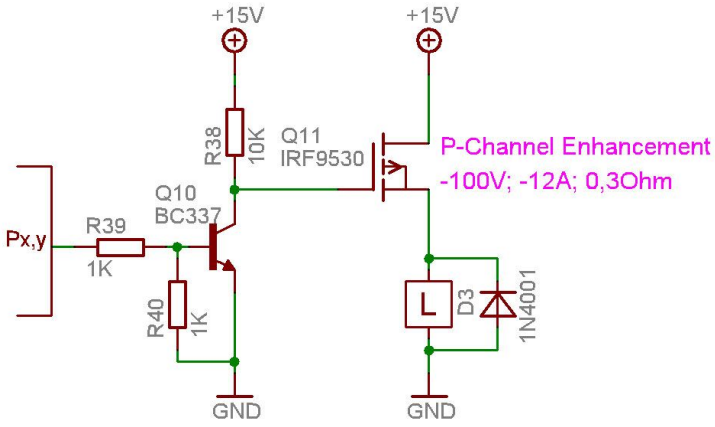
من أجل حماية الترانزستور من تيار التفريغ العكسي (EMF) للحمل التحريضي.

إن جهود التحكم ببوابة الترانزستورات أحادية القطبية تتراوح من 5V ~ 25V حسب استطاعة الترانزستور، وبالتالي لا يمكن قيادتها مباشرة من بوابة المتحكم المصغر، لذلك يستخدم الترانزستور ثنائي القطبية من أجل قيادة بوابة ترانزستور أحادي القطبية، حيث يعمل الترانزستور الثنائي القطبية كمفتاح إلكتروني لجهد تغذية بوابة الترانزستور ثنائي القطبية، ويقود الترانزستور أحادي القطبية الحمل مباشرة.

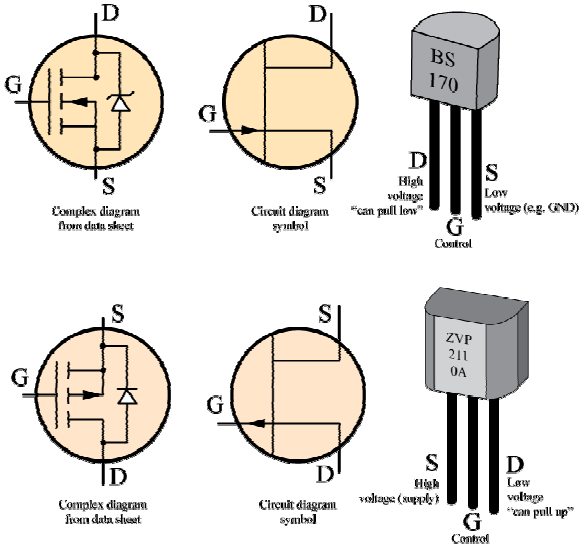
الشكل التالي عبارة عن دارة تحكم بحمل تحريضي (L) عن طريق ترانزستور MOSFET معزز بقناة نوع "P" له المواصفات التالية:

$$V_{DS_max}=100V,\ I_{DS_max}=12A,\ R_{DS}=0.3\Omega,\ V_G=15V$$

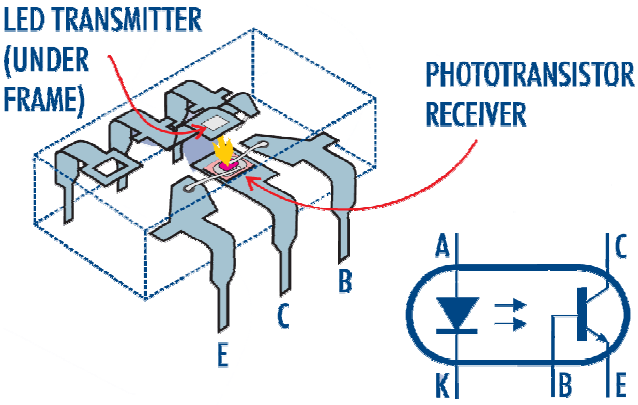
يتحكم هذا الترانزستور بحمل تحريضي له المواصفات التالية: $I_{Load}=10$, $V_{Load} = 15V$.



يتم قدح الترانزستور الحقلي عن طريق الترانزستور الثنائي BC337، حيث أنه عند تطبيق "0" على قاعدة الترانزستور Q10 يفتح الترانزستور ويطبق "0" على بوابة الترانزستور الحقلي Q11 فيفتح الترانزستور ويمرر التيار إلى الحمل. أما عند تطبيق "1" على قاعدة الترانزستور Q10 يغلق مسبباً تطبيق جهد موجب (15V) على قاعدة الترانزستور Q11 وإغلاقه.



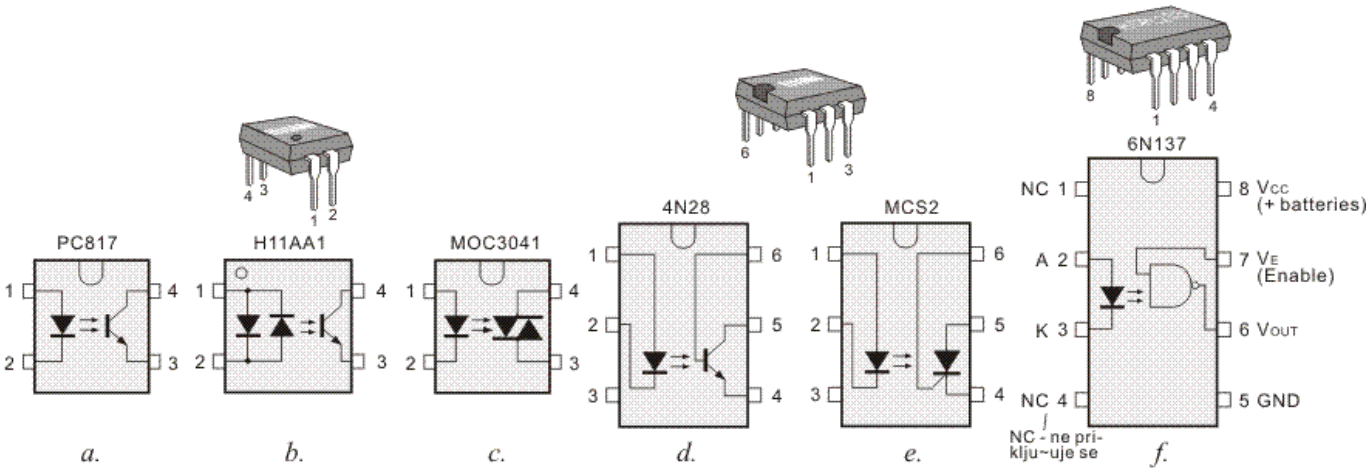
في كثير من التطبيقات يلزم عزل دارة التحكم التي يمكن أن تكون معالج أو متحكم مصغر والتي تعمل ضمن مستويات جهود منخفضة (TTL) عن دارة الحمل المتحكم به (مثل المحرك) والذي يعمل بجهود وتيارات عالية وذلك خصوصاً في التطبيقات التي يمكن أن تولد ضجيج (تحريضي، كهرطيسي، مغناطيسي)، وبالتالي يجب الفصل بين النقطة المشركة ومسارات التحكم لكلا الدارتين (التحكم والقيادة) بهدف منع انتشار الضجيج والتشويش التحريضي على مسارات دارة التحكم. والحماية من اختلال عملها وعمل المتحكم المصغر، وفي بعض الأحيان يمكن أن يؤدي الضجيج إلى محو الذواكر الموجودة.



من أجل حل هذه المشكلة تستخدم العوازل الضوئية وتدعى بـ (OPTO-ISOLATORS or PHOTO-COUPLERS)، وهي عبارة عن مرسل ضوئي ومستقبل ضوئي في دارة متكاملة واحدة، حيث أن المرسل يتصل مباشرة مع دارة التحكم والمستقبل الضوئي يتصل مع دارة القيادة، بمعنى آخر أن العازل الضوئي يقوم بالفصل الفيزيائي الكامل بين دارتين بحيث يبقى الارتباط بينهما ضوئياً بهدف نقل إشارة أو توليد أمر تحكم.

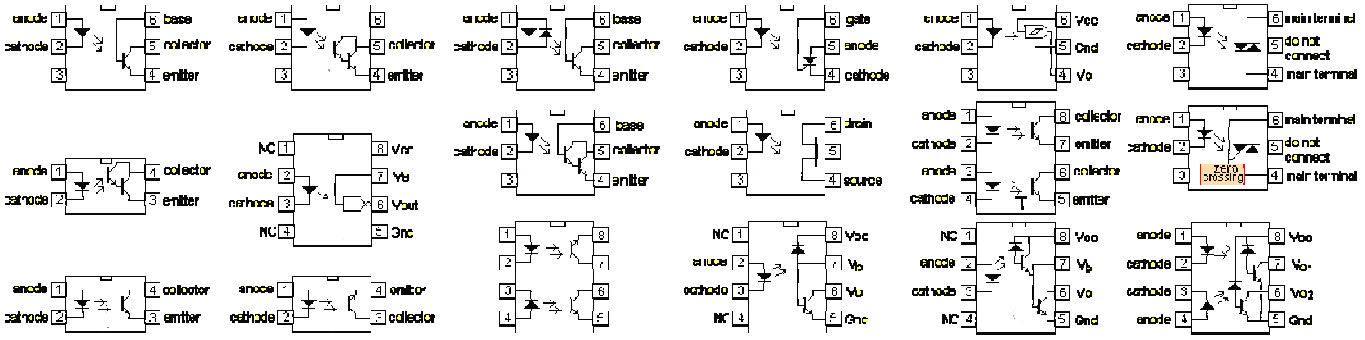
طبعاً ربما يتساءل البعض لماذا لا نستخدم الريليه بدلاً من العوازل الضوئية وهي تؤدي نفس الغرض!؟ هذا صحيح ولكن إذا قارنا الحجم الذي تأخذه الريليه الميكانيكية فسنجده كبير جداً مقارنةً مع حجم العوازل الضوئية بالإضافة إلى السرعة الكبيرة في نقل الإشارات باستخدام العوازل الضوئية، بنفس الوقت الذي تشكل فيه العطالة الميكانيكية عبئاً كبيراً على سرعة عمل الريليه، بالإضافة إلى ذلك كله تتميز العوازل الضوئية بوثوقية عمل عالية جداً.

تتوفر العوازل الضوئية على شكل دارات متكاملة ذات أغلفة مكونة من **4Pin, 6Pin, 8Pin**.



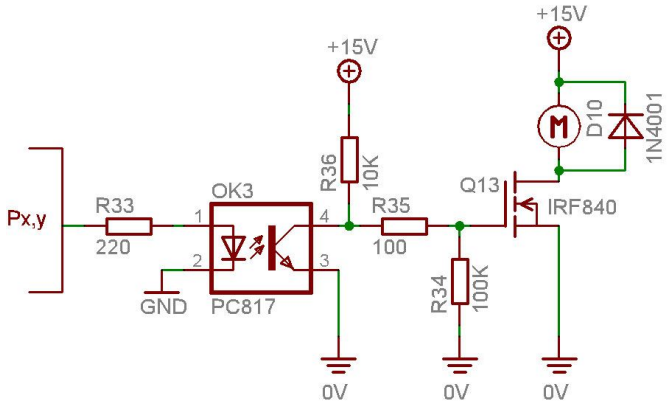
على الشكل أعلاه، تتوفر هذه العوازل بحيث يكون القيم المرسل هو عبارة عن ثنائي ضوئي يعمل بجهد 2V وتيار 15mA، أما بالنسبة لدارة الاستقبال فهي على عدة أنواع بما يتناسب مع الحمل المقاد.

تتوفر العوازل الضوئية بحيث يكون المستقبل الضوئي إما: ترانزستور ثنائي – ترانزستور حقلي – ترياك – ثايرستور – ترانزستور دارلنكتون – بوابة منطقية.



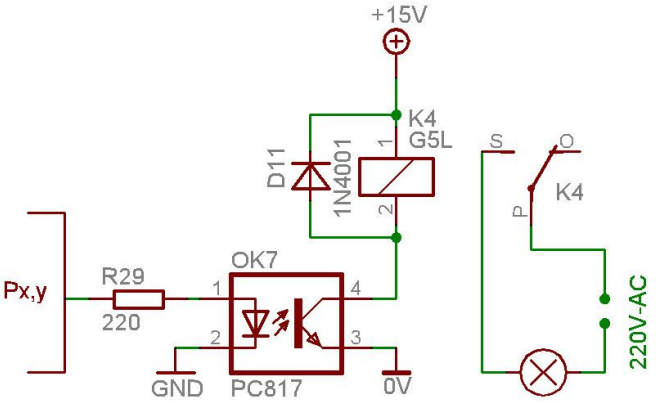
الشكل التالي هو عبارة عن دارة التحكم بسرعة محرك تيار مستمر عن طريق متحكم مصغر مقادة بشكل غير مباشر عن طريق عازل ضوئي ترانزستوري وترانزستور حقلي ذو بوابة معزولة قناة نوع P.

عند تطبيق "1" على دارة دخل العازل (الثنائي الضوئي) يتم قدح الترانزستور الضوئي داخل العازل فيفتح الترانزستور ويطبق "0" على بوابة الترانزستور الحقلي Q13 الذي هو قناة نوع P فيفتح الترانزستور ويمرر التيار إلى المحرك فيعمل. أما عند تطبيق "0" على قاعدة دخل العازل يغلق الترانزستور الضوئي داخل العازل مسبباً تطبيق جهد موجب (15V) على قاعدة الترانزستور Q13 وإغلاقه وبالتالي توقف المحرك عن العمل.

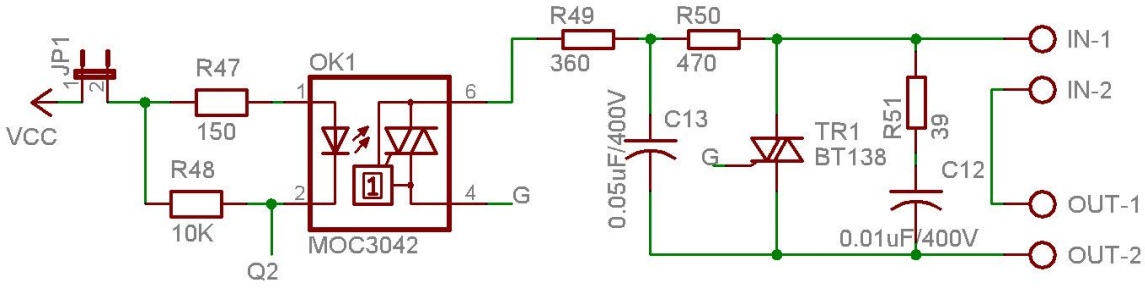


الشكل التالي هو عبارة عن دارة تحكم بمصباح تيار متناوب عن طريق متحكم مصغر مقاد بشكل غير مباشر عن طريق عازل ضوئي ترانزستوري وريليه ميكانيكية.

عند تطبيق "1" على دارة دخل العازل (الثنائي الضوئي) يتم قدح الترانزستور الضوئي داخل العازل فيفتح الترانزستور ويطبق "0" على الطرف الثاني لملف الريليه فيتهيج ملف الريليه ويؤدي إلى إغلاق تماسها فيمرر التيار إلى المصباح. أما عند تطبيق "0" على قاعدة دخل العازل يغلق الترانزستور الضوئي داخل العازل مسبباً قطع التغذية عن ملف الريليه فيفصل تماسها ويفتح دارة تغذية المصباح الكهربائي.



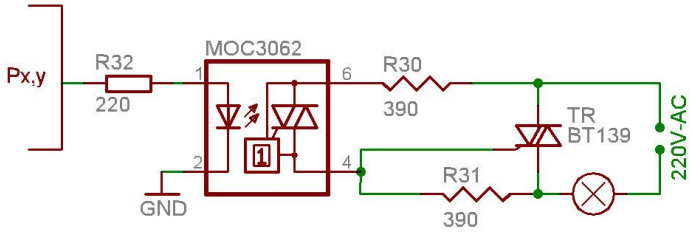
الشكل التالي هو عبارة عن دارة قيادة أحمال تحريضية ذات جهود وتيارات عالية عن طريق متحكم مصغر مقادة بشكل غير مباشر عن طريق عازل ضوئي من نوع ترياك وترياك استطاعي.



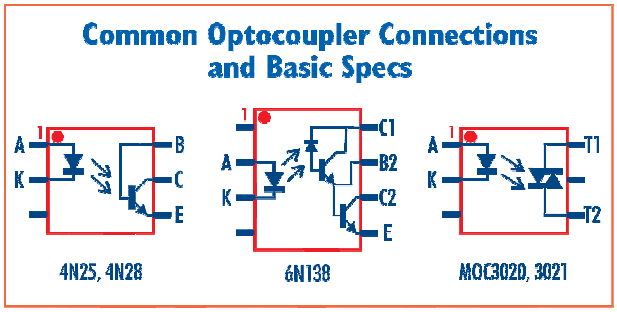
Control Signal ("0"= on | "1"= off)

إن هذه الدارة تختلف في بنيتها عن دارات العوازل السابقة حيث أن قسم الاستقبال في العازل الضوئي سوف يتحكم بشكل مباشر بمصدر التيار الكهربائي.

عند تطبيق "0" على دارة دخل العازل (الثنائي الضوئي) يتم قدح الترياك الضوئي داخل العازل فيفتح الترياك ويؤدي إلى مرور التيار الكهربائي من نقطة الدخل IN_1 (220V/50HZ) عبر دارة مقسم الجهد إلى قاعدة الترياك BT138، فيفتح الترياك ويؤدي إلى مرور التيار إلى خرج الحمل على النقطتين $OUT_{1,2}$. أما عند تطبيق "1" على دخل العازل يغلق الترياك الضوئي داخل العازل ويفصل الترياك الاستطاعي. إن الغاية من وجود دارة المرشح المؤلف من المقاومة R51 والمكثف C12 هو للحد من أثر تيار التسريب للحمل التحريضي. من أجل حمولات غير تحريضية يمكن استخدام الدارة التالية.

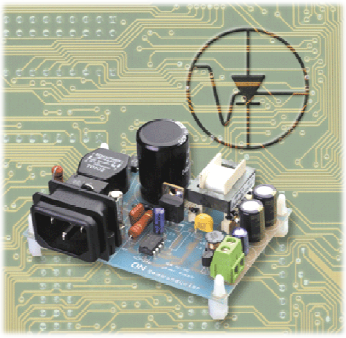


الجدول التالي يبين أكثر أنواع العوازل الضوئية استخداماً.



TYPE	ISOLATION (Viso)	INPUT LED IF(max)	OUTPUT VCE(max)	CTRmin (@ IF)	BANDWIDTH (kHz)
4N25	5300Vrms	80mA	7V	20% (10mA)	300
4N28	5300Vrms	80mA	7V	10% (10mA)	300
6N138	2500Vrms	20mA	7V	300% (1.6mA)	~20
MOC3020	7500Vpk	50mA	Voff =400V	(Trig. @ 30mA)	—
MOC3021	7500Vpk	50mA	Voff =400V	(Trig. @ 15mA)	—

Designing a Liner DC Power Supply تصميم وحدة تغذية مستمرة خطية



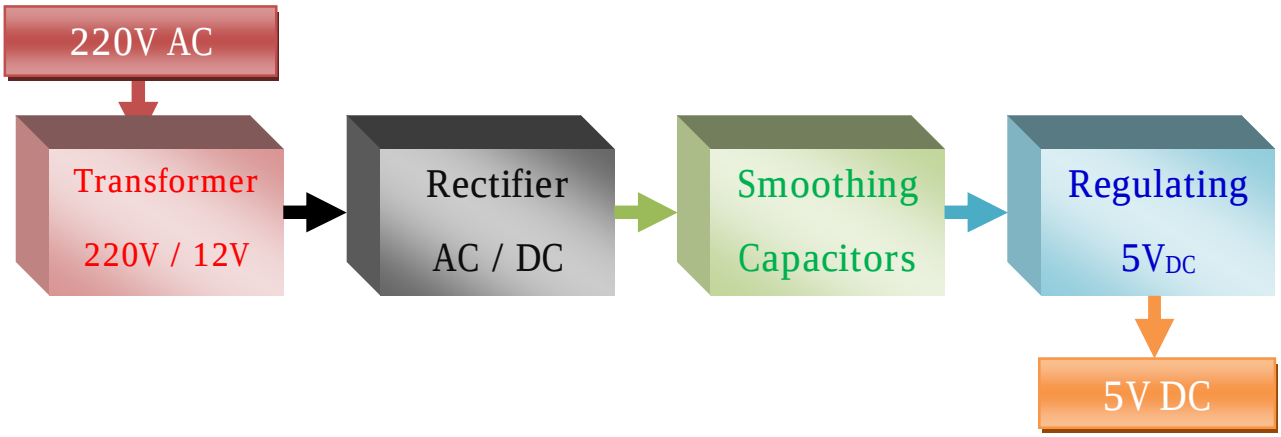
تؤثر جودة تصميم وحدة التغذية المستمرة بشكل كبير في أداء النظام ووثوقية عمله.

بشكل عام تنقسم وحدات التغذية المستمرة إلى نوعين أساسيين:

- وحدات التغذية المستمرة الخطية: وهي التي تعتمد على المحولات لتخفيض الجهد المتناوب ومن ثم تقويمه وتنظيمه.
- وحدات التغذية المستمرة التقطيعية: ولا تحوي على محولات تخفيض التيار وإنما يتم الحصول على التيار المطلوب عبر تقطيع تيار الدخل باستخدام دارات متكاملة تقطيعية. فعالية هذه الدارات كبير جداً يصل إلى 95%. كما أنا قابل للعمل على مجال واسع من جهد وتردد الدخل (90V~265V / 45HZ~55HZ).

الذي سوف ندرسه في هذا المبحث هو تصميم وحدة تغذية خطية ذات أداء وكفاءة عالية.

تتألف مراحل تصميم وحدة التغذية المستمرة الخطية من أربع مراحل أساسية موضحة على الشكل التالي:



المرحلة الأولى: تحويل الجهد المتناوب من 220V إلى جهد متناوب منخفض متناسب مع الجهد المستمر المطلوب وذلك باستخدام محولات تيار متناوب ذات تيار (استطاعة) متناسبة مع استطاعة الحمل.

تتكون هذه المحولات من ملف ابتدائي يوصل إلى الجهد العالي (220V)، وملف ثانوي يعطي الجهد المخفّض.

تتوفر هذه المحولات في الأسواق بجهود خرج مختلفة:

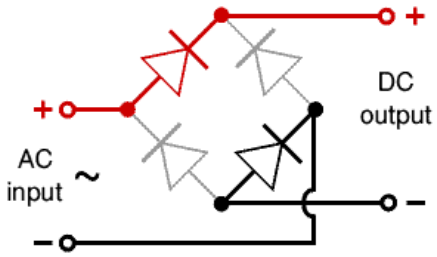
(5V, 6V, 9V, 12V, 15V, 28V, 24V, 36V, 48V).

واستطاعات عديدة:

(200mA, 300mA, 400mA, 500mA, 1000mA, 1500mA).

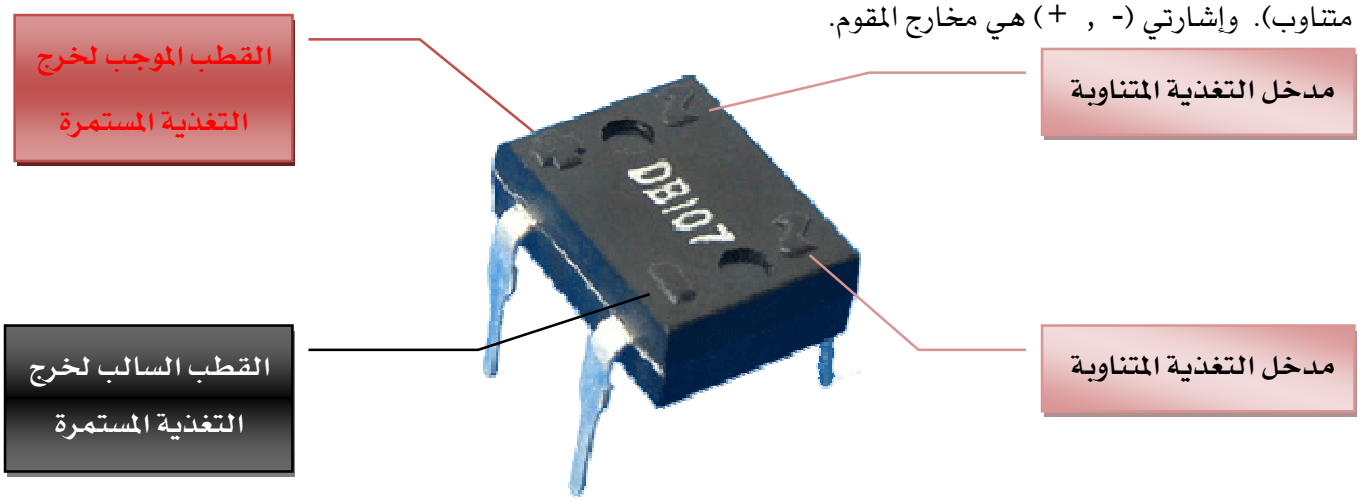
وتتوفر أيضاً بجهود مزدوجة (6x2, 8x2, 9x2, 12x2, 15x2, etc...) وتسمى المحولات ذات النقطة المشتركة.

المرحلة الثانية: تقويم الجهد المتناوب إلى جهد مستمر، ويتم ذلك باستخدام المقومات الجسرية.

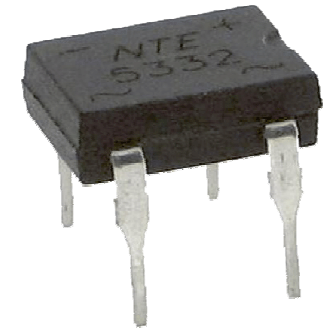


يتكون المقوم الجسري (جسر التقويم) من أربعة ثنائيات موصلة مع بعضها بشكل جسري، ويحتوي المقوم الجسري على أربعة أرجل يكون مشاراً عليها بالرموز التالية (~ , - , +).

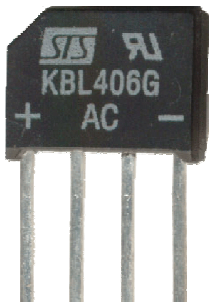
حيث أنّ إشارة (~) الموجودة على القطبين هي مدخل المقوم الجسري (تيار متناوب). وإشارتي (- , +) هي مخارج المقوم.



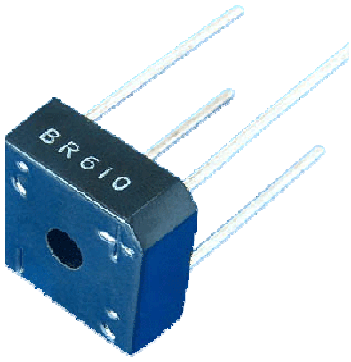
تتوفر هذه المقومات الجسرية باستطاعات مختلفة (1A, 2A, 4A, 6A, 10A, 14A, 25A, 40A) لتلبي كافة التطبيقات البسيطة منها والصناعية.



1 Amp



4 Amp



6 Amp

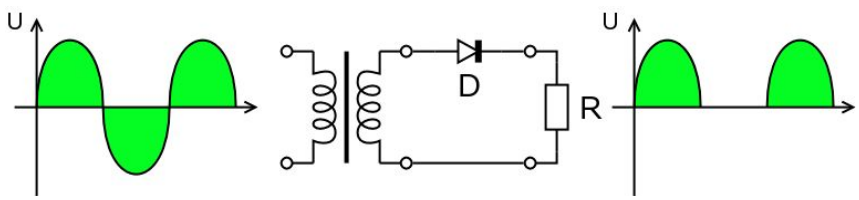
14A / 400V

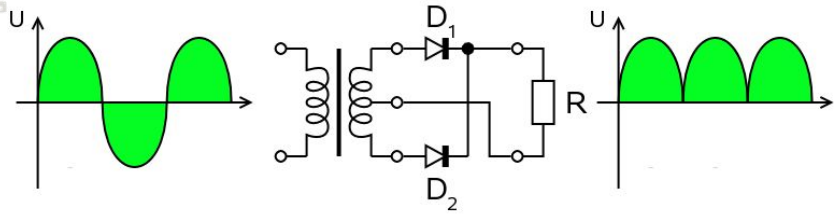
إن طرق توصيل دارات التقويم لا تقتصر فقط على طريقة تقويم الموجة الكاملة التي تستخدم المقوم الجسري، وإنما على هناك دارات تقويم مثل: نصف الموجة، الموجة الكاملة ذات النقطة المشتركة.

إن الاختلاف الرئيسي بين الوصلات الثلاث هو في القيمة الوسطية لجهد وتيار الخرج المقوم.

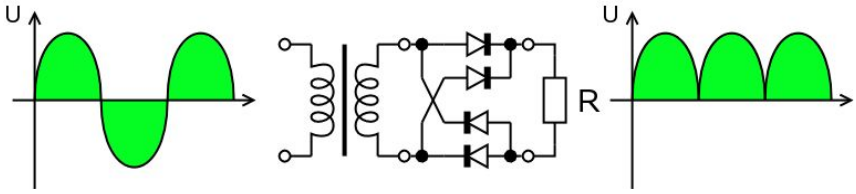
الأشكال التالية تبين الاختلاف في التوصيل والبنية للوصلات الثلاث.

دارة تقويم نصف موجة





دارة تقويم موجة كاملة ذات نقطة مشتركة

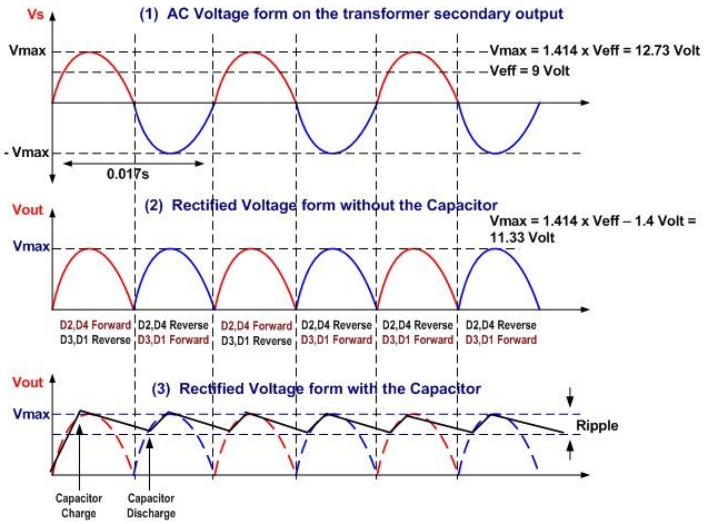


دارة تقويم موجة كاملة جسرية

تعتبر دارة تقويم الموجة الكاملة الجسرية من أكثر الدارات انتشاراً واستخداماً وكفاءةً، وهي ماسوف نعتمده في تصميم وحدة التغذية في هذا الفصل.

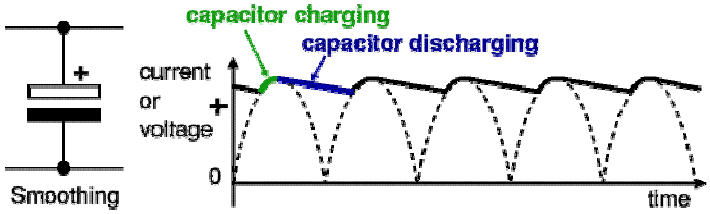
الجدول التالي يوضح العلاقات الحسابية للجهود والتيارات من أجل الوصلات الثلاث.

دارة تقويم نصف موجة	دارة تقويم موجة كاملة نقطة مشتركة	دارة تقويم موجة كاملة جسرية
$Vdc = \frac{Vm}{\pi}$	$Vdc = \frac{2Vm}{\pi}$	$Vdc = \frac{2Vm}{\pi}$
$V_{rms} = \frac{Vm}{2}$	$V_{rms} = \frac{Vm}{\sqrt{2}}$	$V_{rms} = \frac{Vm}{\sqrt{2}}$
$Vdc = \frac{\sqrt{2}V_{rms}}{\pi}$	$Vdc = \frac{2\sqrt{2}V_{rms}}{\pi}$	$Vdc = \frac{2\sqrt{2}V_{rms}}{\pi}$
$V_{Diod} = Vm$	$V_{Diod} = 2Vm$	$V_{Diod} = Vm$
$I_{Diod} = IL$	$I_{Diod} = 0.5IL$	$I_{Diod} = 0.5IL$



المرحلة الثالثة: ترشيح الجهد المقوم باستخدام مكثفات كيميائية ذات قيم محسوبة.

إن الغاية الرئيسية من الترشيح هو جعل قمم التيار المقوم ناعمة بحيث تكون القيمة العظمى هي نفسها القيمة الوسطية للتيار وذلك الحصول على إشارة قريبة من الإشارة الأمثلية للتيار المستمر.



يتم حساب قيمة المكثف اللازم للترشيح انطلاقاً من العلاقة التالية:

$$C = \frac{5 \times I_L}{V_S \times f}$$

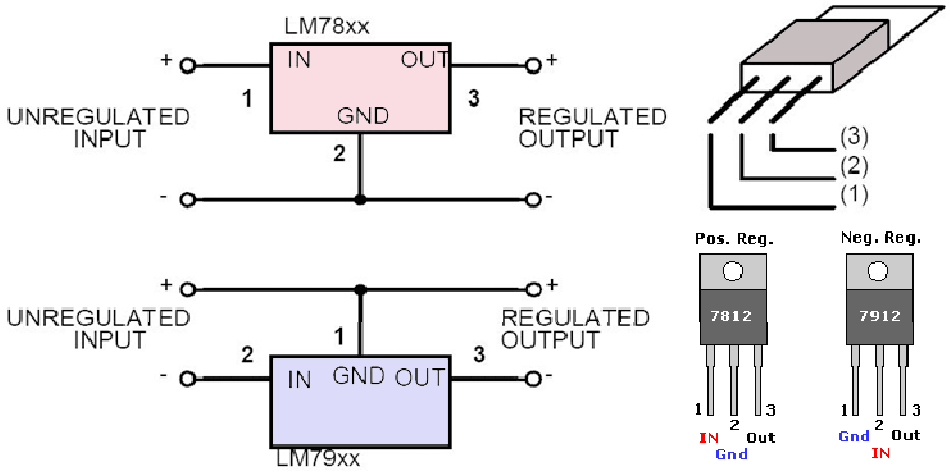
حيث أن: IL هو تيار الحمل، Vs جهد التغذية المقوم (peak value of unsmoothed DC)، f هو تردد الشبكة المتناوبة.

المرحلة الرابعة: تنظيم الجهد المقوم والمرشح باستخدام منظم جهد فعال.

تستخدم منظمات الجهد في الدارات الإلكترونية من أجل تنظيم جهود خرج دارات التقويم من أجل الحصول على جهود خرج ثابتة ودقيقة.

إن أشهر أنواع هذه المنظمات هي منظمات العائلة (78XX, 79XX)، حيث تستخدم العائلة (78XX) من أجل تنظيم الجهود الموجبة، وتستخدم العائلة (79XX) من أجل تنظيم الجهود السالبة.

Fixed Voltage Regulators (7800, 7900 series)



تتوفر منظمات الجهد بحيث تغطي جميع الجهود القياسية (5V, 6V, 8V, 9V, 10V, 12V, 15V, 18V, 24V) المستخدمة في تطبيقات دارات التيار المستمر. كما أن الجهود المطبقة على دخل منظم الجهد يجب أن تكون أكبر من الجهد المراد تنظيمه بحد قليل محدد في الجدول التالي:

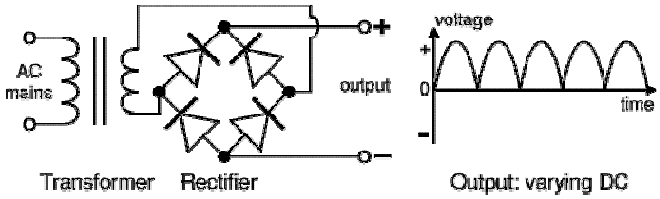
IC Part Number	Output Voltage	Minimum V_I Required
7805	+5V	7.3V
7806	+6V	8.35V
7808	+8V	10.5V
7810	+10V	12.5V
7812	+12V	14.6V
7815	+15V	17.7V
7818	+18V	21V
7824	+24V	27.1V
7905	-5V	-7.3V
7906	-6V	-8.35V
7908	-8V	-10.5V
7910	-10V	-12.5V
7912	-12V	-14.6V
7915	-15V	-17.7V
7918	-18V	-21V
7924	-24V	-27.1V

كما نرى في العمود الثالث فإن هناك جهد أصغري يجب أن يكون على دخل المنظم حتى نحصل في خرجه على الجهد المطلوب.

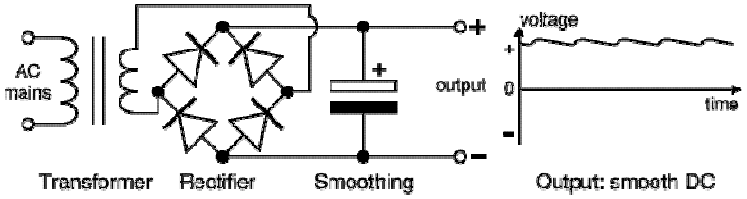
إن منظمات الجهد للعائلة 78XX or 79XX قادرة على تنظيم جهود خرج لأحمال لا تتجاوز تيارها 1A، أما من أجل منظمات ذات تيارات أعلى، فهناك منظمات أخرى مخصصة لهذه الأغراض، ولكن عموماً معظم الدارات الإلكترونية لا تتجاوز تياراتها 1A.

مراحل دارة تقويم موجة كاملة :

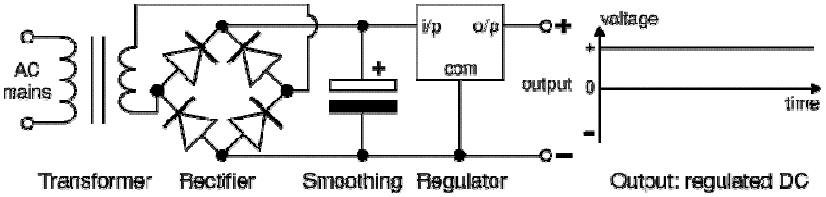
Transformer + Rectifer



Transformer + Rectifer + Smoothing



Transformer + Rectifer + Smoothing + Regulator



المطلوب تصميم وحدة تغذية مستمرة منظمة بجهد خرج 5V وتيار 800mA.

من أجل الحصول على جهد خرج 5V منظم فإننا نحتاج إلى جهد أصغري 7.3V على دخل المنظم، وبالتالي يمكن أن نختار محولة 220V/9V، لأن الجهد على خرج المقوم الجسري سيكون:

$$V_{Rectifier_Bridge} = VPP_{Trans} - V_{Diod_Drop}$$

$$V_{Rectifier_Bridge} = 9 - 1.4 = 7.6V$$

بما أن تيار الحمولة 800mA، فإن استطاعة المحولة والمقوم الجسري ومنظم الجهد يجب أن يكون أكبر من تيار الحمل بمعامل احتياط 20% لكل لا تعمل العناصر عن قيمها الحدية الأعظمية.

$$I_{Device} = I_{Load} \times 20\%$$

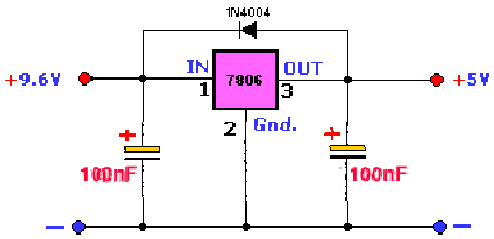
$$I_{Device} = 0.8A \times 20\% = 1A$$

وبالتالي نختار تيار المحولة والمقوم الجسري ليكون 1000mA.

من أجل الترشيح، فإننا دائماً نستخدم مكثف ترشيح قيمته بين 1000uF ~ 2200uF ويجب أن لا تتجاوز قيمة المكثف عن هذه القيمة في دارات التغذية ذات الأغراض العامة لكي لا يتم استجرار تيار شحن كبير أثناء وصل التغذية (الحالة العابرة).

بالإضافة إلى مكثف الترشيح المذكور، يضاف على التوازي معه مكثف تنعيم قيمته عشر قيمة مكثف الترشيح 100uF ~ 220uF من أجل تنعيم الإشارة المرشحة.

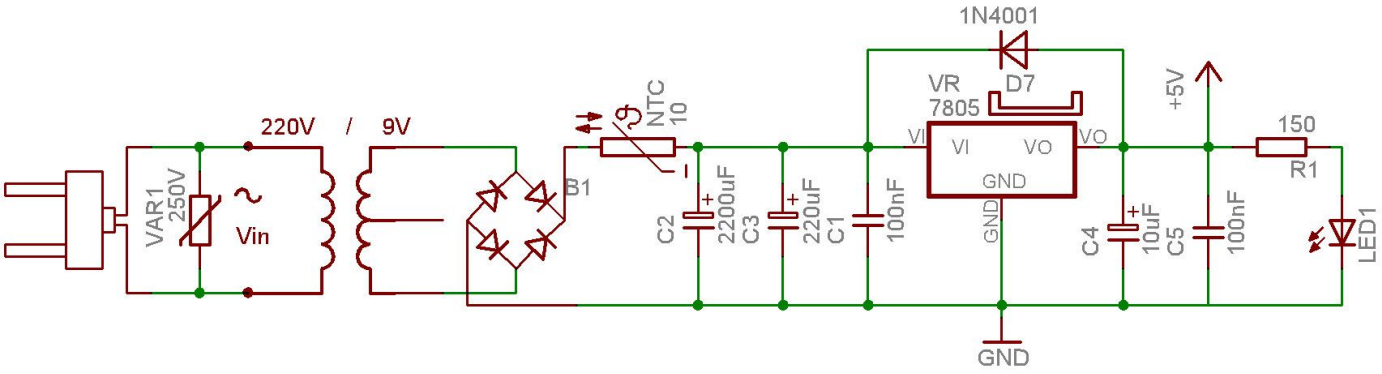
إن منظم الجهد حساس بشكل كبير من الجهود الستاتيكية، لذلك يتم وضع مكثف 100nF يقوم بامتصاص الجهود الستاتيكية (شوكية نبضية) التي يمكن أن تحدث بشكل عابر نتيجة عدم استقرار الشبكة الكهربائية أو نتيجة لتراكب ضجيج إلكترو مغناطيسي على خطوط التغذية.



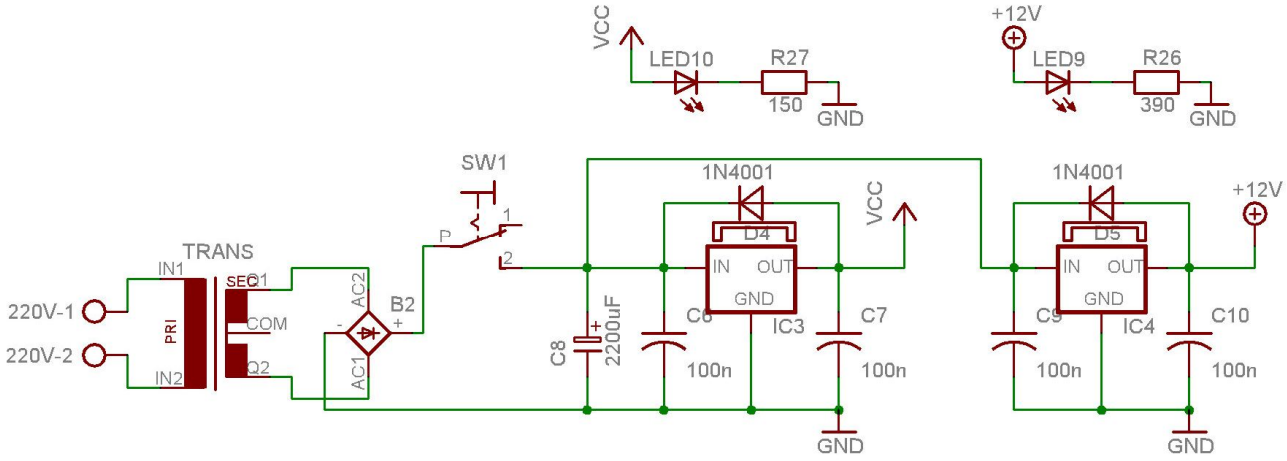
إن منظم الجهد عبارة عن عنصر فعال سيقوم بتبديد الجهد الزائد على دخله على شكل حرارة، وبالتالي سوف يتشكل لدينا ضجيج حراري متراكب على خرج المنظم، وبالتالي يتوجب وضع مكثف 100nF على خرج المنظم كما في دخله.

في بعض الأحيان يمكن أن يحصل تغذية ارتجاعية من النظام (خرج المنظم) إلى التغذية، وذلك بسبب وجود سعات ومحرضات كبيرة في النظام سوف تقوم بالتفريغ بشكل عكسي عند فصل التغذية عن الدارة وسف تؤدي إلى حرق منظم الجهد، لذلك يجب وصل ثنائي عادي (Diode) على التوازي والتعاكس مع منظم الجهد، والذي بدوره يشكل مساراً لمرور أي تيار ارتجاعي عند فصل التغذية الكهربائية.

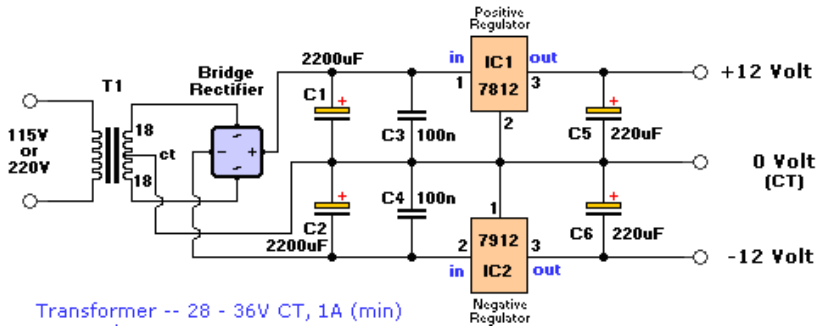
الشكل التالي يبين التصميم النهائي للدارة...



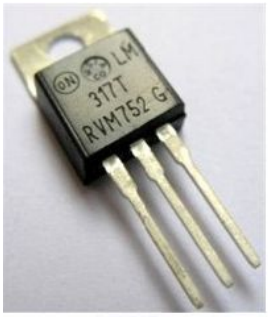
في بعض التطبيقات العملية ربما يحتاج النظام أكثر من جهد تغذية في النظام (5V, 12V مثلاً)، وبالتالي لا حاجة لتصميم دارتي تغذية، يكفي إعادة الحسابات الرياضية للجهود والتيارات. الشكل التالي دارة تغذية مزدوجة 5V, 12V.



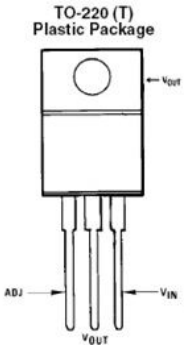
في بعض التطبيقات التي تحوي على دارات مضخمات عملياتية، فإنه يلزم وجود تغذية موجبة وسالبة في النظام، وبالتالي كل ما نحتاجه هو استخدام منظم جهد موجب ومنظم جهد سالب ليتم توصيلهما كما في الشكل التالي:

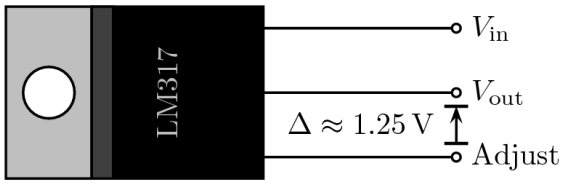


بالإضافة إلى منظمات الجهود الثابتة يوجد منظمات جهود متغيرة مثل المنظم LM317، بحيث يمكن تغيير جهد الخرج عن طريق مقاومة متغيرة موصولة مع المنظم في مجال 1.25V ~ 33V.



LM 317

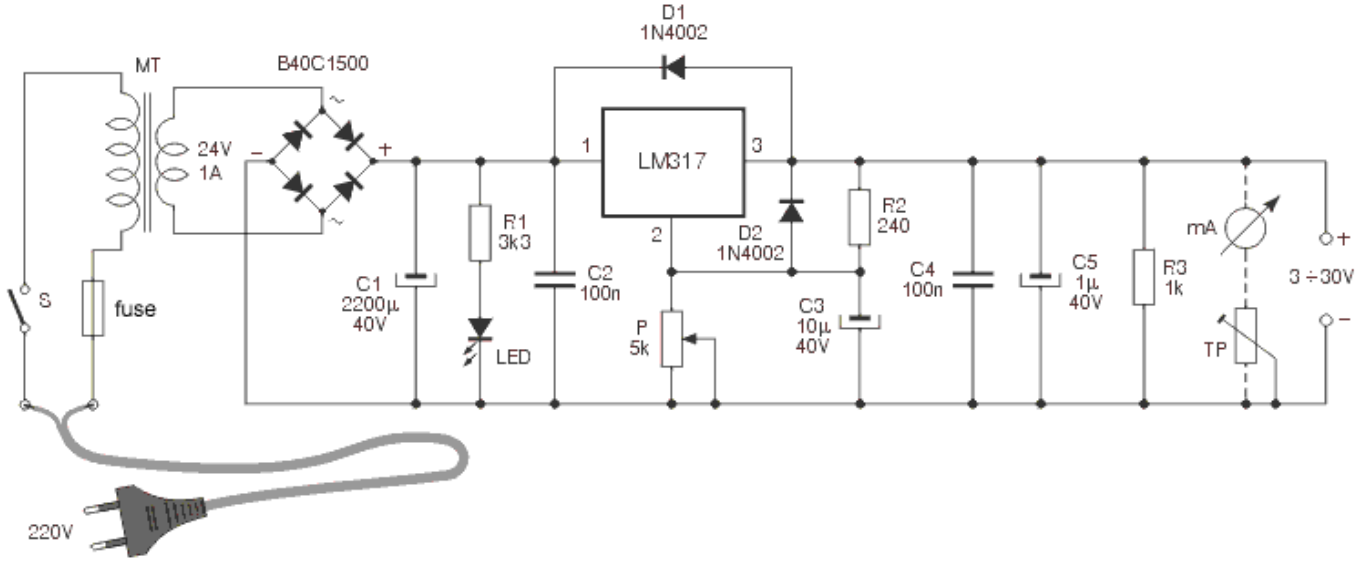




يعطى جهد خرج المنظم بالعلاقة التالية:

$$V_{out} = 1.25 \times \left[\left(1 + \frac{RP}{R2}\right) + \left(\frac{I_{adj}}{R5}\right)\right]$$

الشكل التالي يوضح الدارة العملية لهذا المنظم.



Written by: ***Walid Balid****, Embedded Systems Engineer,*
Aleppo, on Sunday, 22th March, 2009