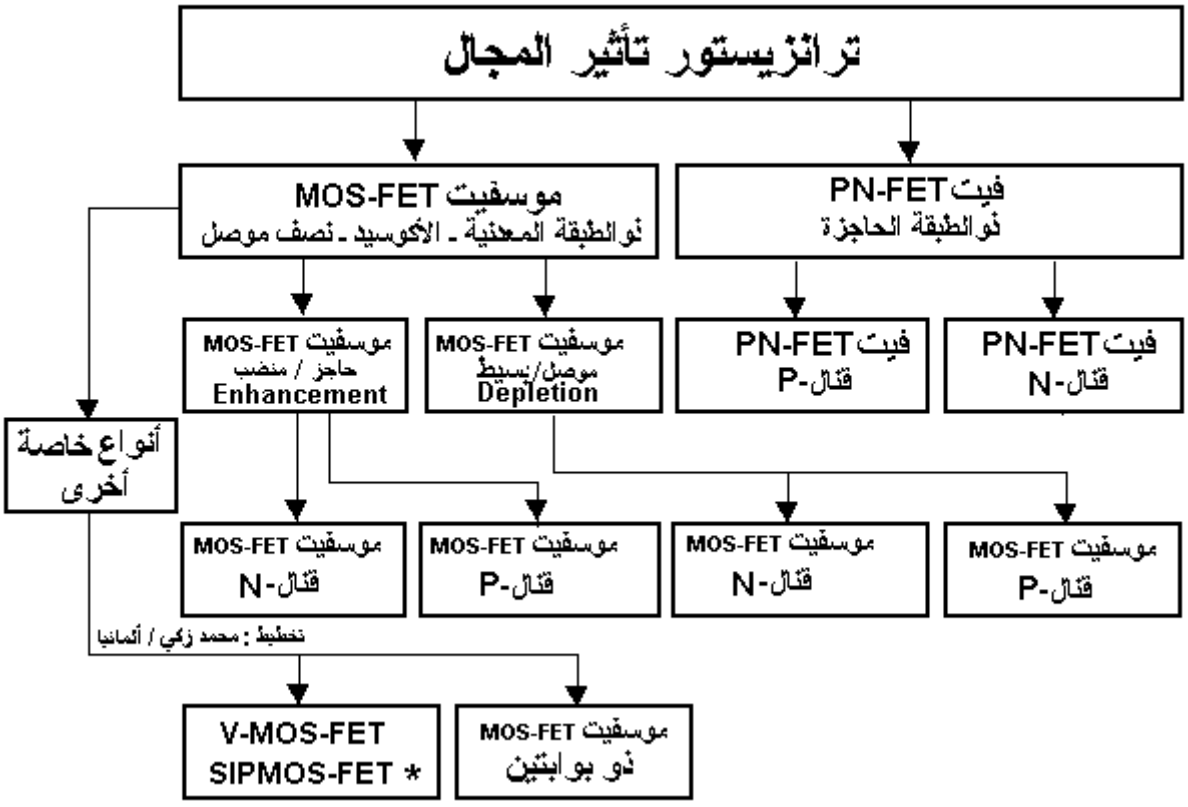
الترانزستورات أحادية القطبية
MOSFET- FET

ترانزيستور تأثير المجال FET(Field-Effect):

هو عنصر كهربائي يفضل استعماله كمفتاح أو كمكبر للإشارات الصغيرة..

أنواعه : يشكل ترانزستور "FET" مجموعتين:
- ذو الطبقة الحاجزة (PN-FET)..
- ذو الأكسيد المعدني (MOSFET)..

وتنقسم المجموعتان إلى صنفين:
- موجب القنال (P)..
- سالب القنال (N)..



البنية الداخلية وطريقة العمل:

بعكس التركيب الداخلي للترانزيستور "ثنائي القطبية" والذي يتكون من طبقتين للشحنات (إلكترونات وثقوب) أو (سالب وموجب) ..

يتكون ترانزيستور "FET" من طبقة واحدة إما (P) أو (N) ، ومن هنا ترجع تسميته بأحادي القطبية ..

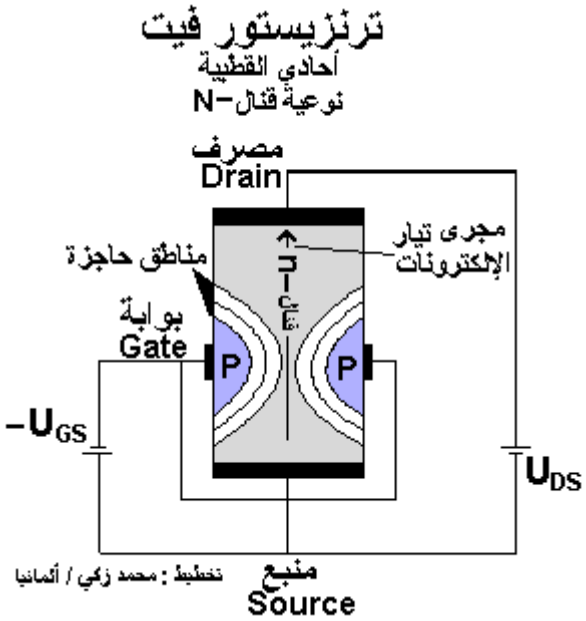
تتكون بنية ترانزيستور "FET" من مساحة نصف موصلة بشكل القضيب وهي من مادة السليكون ، وعلى يمين ويسار القضيب تتكون مناطق حاجزة ، وبين أعلى وأسفل هذا القضيب تتكون "قنال" الاتصال (مادة N موصلة دون طبقة حاجزة) وتشكل هذه القنال المصرف (Drain) و المنبع (Source) ..

وعلى جوانب القضيب تم مزج "منطقتان" من مادة P موصلتين ومرتبطتين ببعضهم البعض، وتشكلا البوابة (Gate) ومن هنا تأتي تسمية "الترانزيستور PN-FET ..

فإذا تم توصيل جهد بمساحة بلورية موصلة من مادة السليكون N أي المصرف (Drain) و المنبع (Source)، فيسري بها تيار كهربائي (ID) عبر قنال في هذه المساحة ، وذلك بحكم الجهد والمقاومة في هذه المساحة .

وفي حالة توصيل جهد سلبي بين البوابة (Gate) والمنبع (Source)، فتكون قطبية طبقتي PN باتجاه حاجز، وتتكون بذلك داخل الطبقتين "مناطق حاجزة" بحيث تمنع مرور التيار بهذا الاتجاه. وتتوسع "المناطق الحاجزة" بينما يضيق قطر ممر التيار في القنال.

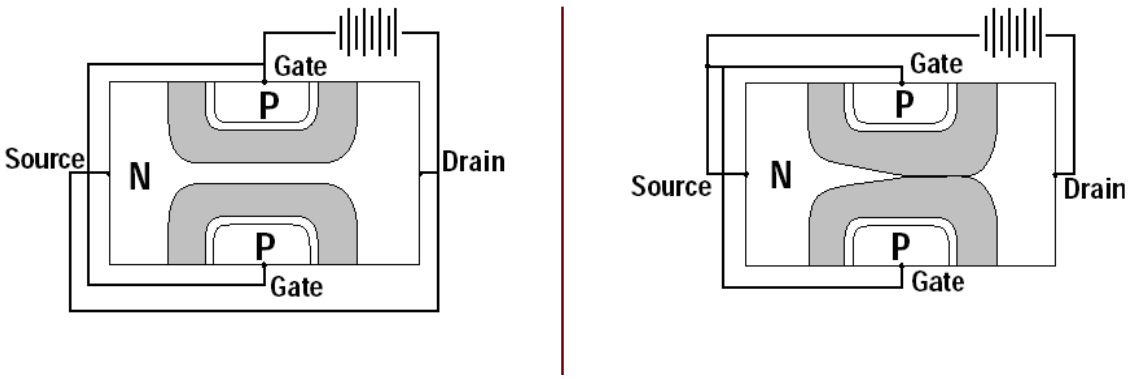
وكل ما أرتفع الجهد السلبي(UGS-) كل ما توسعت "المناطق الحاجزة".
والنتيجة لذلك أن قطر القنال (ممر التيار) يصبح أضيق فأضيق، أي أن قيمة المقاومة (RDS) في ممر التيار بين المصرف (Drain) والمنبع (Source) (لصنفN-FET) تتعلق بقيمة الجهد السلبي للبوابة (Gate)، وبذلك يمكن التحكم بقيمة المقاومة وذلك على مستوى واسع.
واستناداً لقوانين أوم فيمكن التحكم بالجهد أو التيار لو تم استبدال قطبية الجهود .



بعبارات أخرى: القنال من صنف – N هي المجال الموصل لهذا FET، ويوجه تيار المجال هذا بجهد البوابة (في هذه الحالة جهد سالب).
و إذا أرتفع الجهد السالب في البوابة، فتتمدد الطبقة الحاجزة، وينخفض تيار هذا المجال.
والاستنتاج: أن تغيير عرض الطبقة الحاجزة يجري دون قدرة (تقريباً)..

بالمقارنة مع الترانزيستور ثنائي القطبية المعتاد فلترانزستور الأحادي القطبية ميزات إيجابية كثيرة :

1. اقتصادي أكثر..
2. يعمل بجهد تشغيل منخفض ..
3. أحجام صغيرة وتركيبه يتوافق مع ترانزيستور ثنائي القطبية ..
4. يكفي توجيهه بالجهد باختلاف ثنائي القطبية الذي يوجه بقدرة..
5. مقاومة المدخل عالية ما بين (9^10)لـ FET ذي.
6. ليس هناك أهمية لقطبية التوجيه..
7. صفاء ونقاء عالي في تقنية الموجات لا يصلها ثنائي القطبية المألوف ..



currents of the circuit.

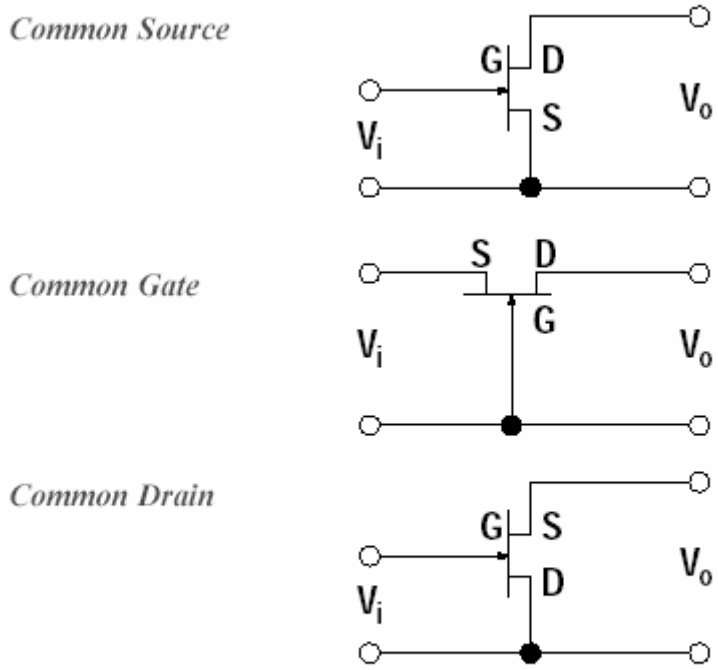
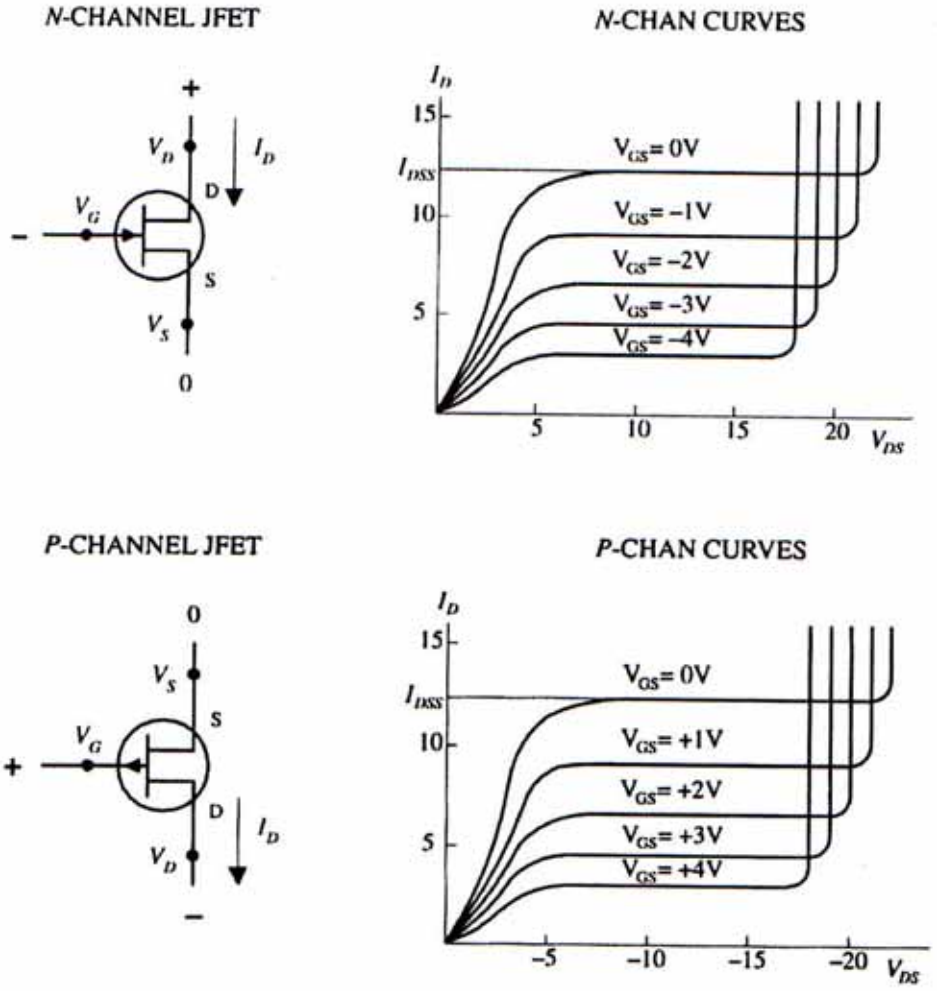


Figure 1

Basic JFET Amplifier Circuit Configurations

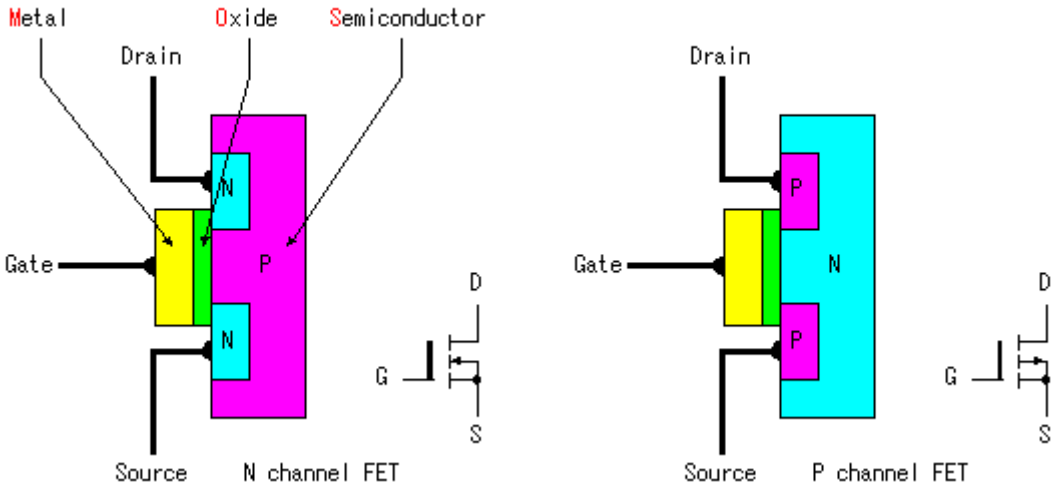


ترانزستور التأثير المجالي والمصنوع من أشباه الموصلات وأكسيد المعادن
MOSFET

يتركب ترانزستور التأثير المجالي من :

1. طبقة سفلية Substrate وهى إما من النوع N كما بيمين الشكل أو من النوع P كما بيسار الشكل ..
2. منطقتين من بلورتين من نفس النوع بعكس الطبقة السفلية N <==> P ويمثلان طرفين من أطراف الترانزستور وهما المصرف Drain والمنبع Source ..
3. طبقة من الأكسيد (ثاني أكسيد السليكون SIO2) وهي مادة غير موصلة للتيار الكهربائي (عازلة) ..
4. طبقة من المعدن وتمثل الطرف الثالث للترانزستور وهو البوابةGate ..

ونجد أيضا من الشكل أن هذا الترانزستور له نوعان هما الـ (P-Channel) والـ (N-Channel) بحسب اختيار نوع الطبقة السفلية والبلورتين الجانبيتين (المصرف والمنبع) ..

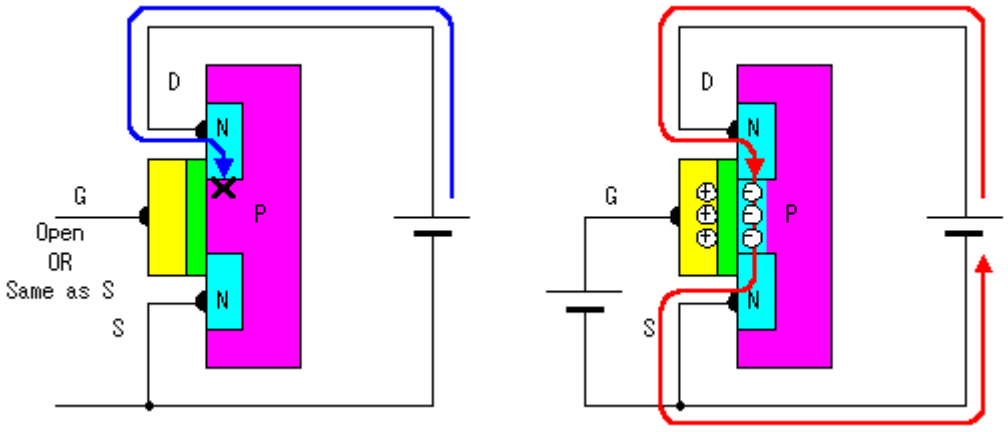


فكرة عمل ترانزستور MOSFET :

في هذا النوع من الترانزستورات يتم التحكم بتيار الخرج عن طريق جهد (المجال الكهربائي) الدخل . فكيف ذلك ؟ أنظر الشكل التالي (حيث تم توصيل المصرف بالطرف الموجب لبطارية والمنبع بالطرف السالب لها) .

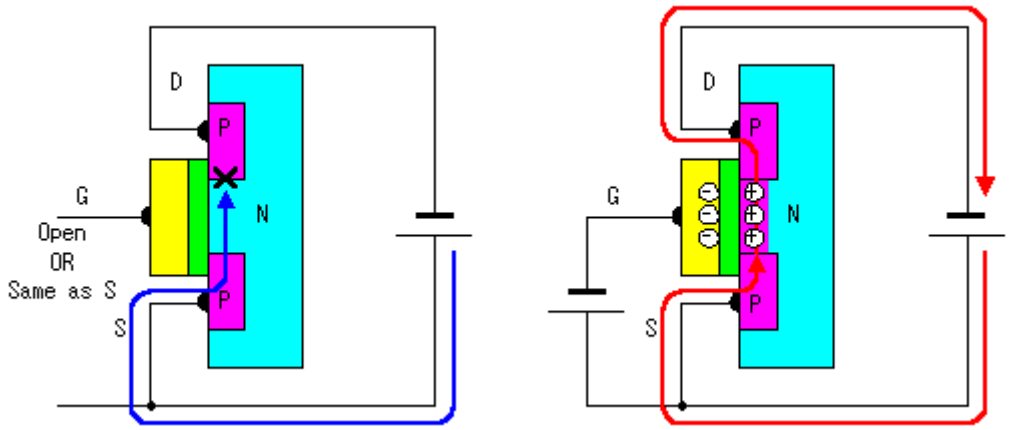
1. في حالة عدم وضع جهد على البوابة Gate فإنه لن يمر أي تيار بين المنبع والمصرف (الشكل الأيسر)..
2. في حالة وضع جهد موجب على البوابة (في الشكل الأيمن) لاحظ أن الترانزستور من نوع القناة N فإن الإلكترونات الحرة الموجودة في بلورتي المنبع والمصرف ستنجذب للمجال الكهربائي الموجب المتكون عند البوابة مكونة قناة لمرور التيار بين المنبع والمصرف.

ويتغير حجم هذه القناة تبعا لقوة المجال الكهربائي عند البوابة وبالتالي تتغير قيمة التيار المار بين المنبع والمصرف .



3. في حالة وضع جهد سالب على البوابة (في الشكل الأيمن) لاحظ أن الترانزستور من نوع القناة P فإن الفجوات الموجودة في بلورتي المنبع والمصرف ستنجذب للمجال الكهربائي السالب المتكون عند البوابة مكونة قناة لمرور التيار بين المنبع والمصرف.

ويتغير حجم هذه القناة تبعا لقوة المجال الكهربائي عند البوابة وبالتالي تتغير قيمة التيار المار بين المنبع والمصرف .



لاحظ أنه لوجود مادة الأكسيد العازلة بين البوابة وبقية الترانزستور فإن التيار لا يمر بينهما وفقط يتم التحكم بالتيار المار بين المنبع والمصرف عن طريق الجهد (المجال الكهربائي) الموجود على البوابة ..

ترانزستور MOSFET المتمم (CMOS) :

مصطلح الـ CMOS هو اختصار للجملة :

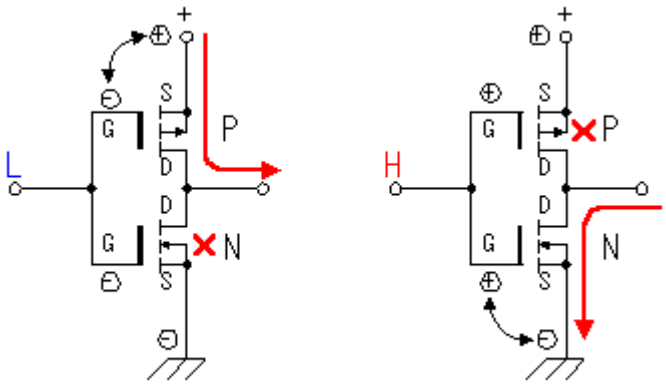
Complementary Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

وهو عبارة عن دارة تجمع بين ترانزستورين من نوع (N-Channel , P-Channel) ويكون عمله كالآتي :

- عندما يكون مستوى الدخل منخفضاً على البوابة (LOW) يعمل الترانزستور P-MOS FET أي الترانزستور ذو القناة P على تمرير التيار من مصدره لمصرفه ، ولا يعمل الترانزستور الآخر .
- عندما يكون مستوى الدخل مرتفعاً على البوابة (High) يعمل الترانزستور N-MOS FET أي الترانزستور ذو القناة N على تمرير التيار من مصرفه لمصدره ، ولا يعمل الترانزستور الآخر .

أي أنه في دارة الـ CMOS يعمل الـ N-MOS و الـ PMOS بصورة عكسية (أحدهما يمرر والآخر لا).

ويستفاد من هذه الحالة عند التعامل مع تيارات عالية (قدرات عالية) فيخفف ذلك من تسخين كلا من الترانزستورين حيث يعمل كلا منهما نصف الوقت بينما يريح الأخر مع الحفاظ على حالات الخرج وذلك بإدخال نبضة ساعة على البوابة .



الأنواع الخاصة:

Dual-Gate MOSFET:

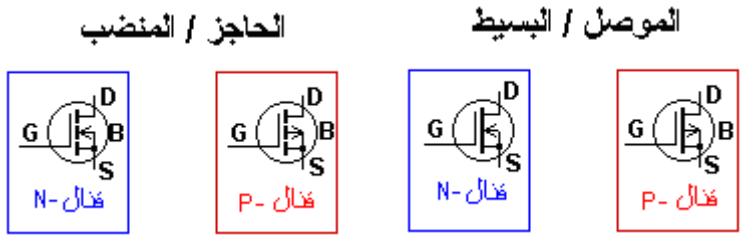
الترانزيستور MOSFET ذو البوابتين، وهو من التصميمات الخاصة لترانزيستور تأثير المجال ذو الطبقة المعدنية، وهو من النوعية الموصلة، وكما تعبر التسمية فله وصلتين للبوابة، وذلك لكي يُدخل تيار التوجيه بوابتيه على التوالي (بالتسلسل) وتكون مستقلتين عن بعضهن البعض..
أي يمكن تغيير كفاءة أو قدرة التوصيل بين المصرف (D) والمنبع (S) كلاً على حدا.
يستعمل هذا النوع في الراديو ..

VMOSFET (Vertical Metal-Oxide-Semiconductor):

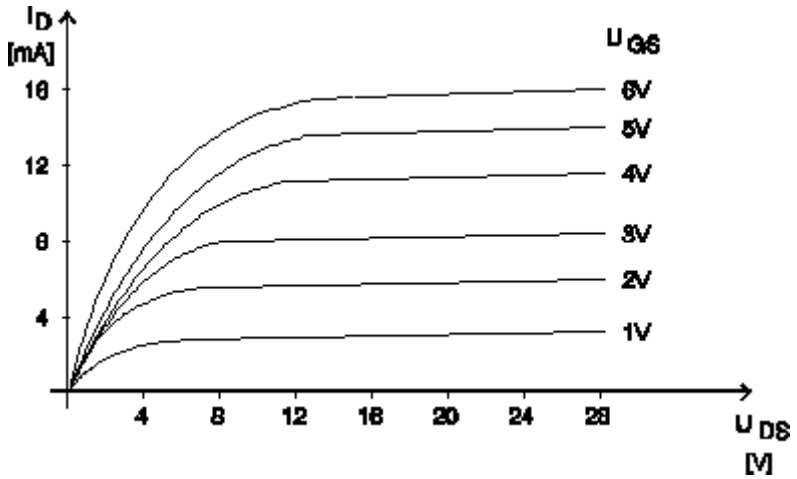
جميع أنواع ترانزيستور "FET" التي عالجنها حتى الآن تصلح للقدرات المنخفضة نسبياً وذلك يرجع للمسافة الطويلة نسبيا في "القنال" (5 مايكرو متر تقريبا) ، حيث تكون مقاومة الاختراق فيه (من 1 كيلو أوم حتى 10 كيلو أوم) ولذلك تبقى محدودة القدرة ..
أما الإمكانيات الحاضرة لتقنية التصنيع فتسمح بجهد وتيار أكبر ، وببناء طبقة عمودية بالإضافة للطبقات الأفقية المتبعة ، فيصل التيار فيه إلى 10 أمبير ويصل الجهد بين المصرف (D) والمنبع (S) إلى 100 فولت ..

SIPMOS-FET (Vertical Metal-Oxide-Semiconductor Siemens Power) :

وهو يشابه تركيب VMOS-FET باختلاف أن تقنية بنيته المسطحة ، ويكون من النوع المنضب أي حاجز .
تتراوح مقاومة الاختراق به بحدود الميلي أوم ، كما يتراوح توقيت التعشيق به في حدود النانو ثانية ، وغالباً يستعمل كمفتاح قدرة سريع ..



منحنى خصائص المخرج من النوع الموصل وصنف قنال N :



خاتمة:

تعتبر الترانزستورات من نوع MOSFET خليفة الترانزستورات BJT حيث تدخل في معظم الدارات الحديثة وخصوصاً في بناء الدارات المتكاملة والدارات الرقمية خاصة لما تتميز به من سرعة في الأداء خصوصاً عند استخدامها كمفاتيح .

طريقة فحص ترانزيستور MOSFET:

الترانزستورات MOSFET وخصوصاً القناة n كثيرة الاستخدام في دارات التغذية العاملة في نمط التقطيع سواء كانت بشكل فردي (أي بشكل ترانزستور مستقل) أو كترانزستور مبني ضمن دارة متكاملة مثل عائلة الـ STR في التلفزيونات والشاشات وغيرها من وحدات التغذية ..
و من المهم أن نتعرف على طريقة الفحص الستاتيكي لهذا الترانزستور عندما يكون خارج الدارة وبواسطة مقياس الأوم ..
المبدأ بسيط و هام جداً ، لأن الكثير لا يعرفون طريقة فحص هذه الترانزستورات الشائعة في الأجهزة الحديثة ..

- نصل الطرف الموجب للمقياس إلى المصرف و الطرف السالب إلى المصدر، بينما نترك البوابة حرة وبالتالي يجب أن تكون الممانعة عالية جداً أو لا نهاية..
- الآن نصل الطرف الموجب للمقياس إلى البوابة مع المحافظة على الطرف السالب للمقياس على المصدر أي سوف نشحن مكثفة البوابة..
- الآن نعيد الاختبار في الخطوة الأولى يجب أن نحصل على ممانعة صغيرة للغاية..
- نفرغ البوابة بلمس قطبي المصدر و البوابة فيعود الترانزستور لحالته الأساسية ..

فحص ترانزيستور MOSFET (طريقة ثانية):

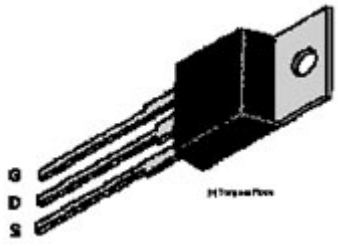
يجرى هذا الفحص باستخدام مقياس فآو رقمي موضوع على مجال فحص الديود وعلى مجال يُطبَّق فيهِ جهد أكبر من 3.3 فولت ..

- وصِّل "المنبع" في الترانزيستور إلى الطرف السالِب من المقياس ..

- أمسِك الترانزيستور من غلافِه و لا تلمِس الأجزاء المعدنيّة من مجسّات القياس بأي من أطراف الترانزيستور إلا عند الحاجة لذلِك و لا تجعل الترانزيستور يُلامِس ملابِسكَ أو الأشياء المصنوعة من البلاستيك.. لأنَّ هذِه المواد تولِّد جهود ساكِنة مرتفِعة..

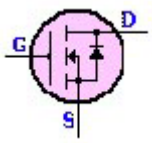
- في البدء ضع سلك المجس الموجِب بـ"بوابة " الترانزيستور ثم ضَع المجس السالِب على "المصرف" يجِب أن يُعطي المقياس قراءة منخفِضة، وبهذا تكون المكثِفة الداخليّة على بوابة الترانزيستور قد شُحِنَت عن طريق المقياس و يكون الترانزيستور "مشغّلاً "..

- حافِظ على وضع السلك الموجب للمقياس على المصرف، و ضع إصبعك بين المنبع و البوابة والمصرف أيضاً، إذا أردت، ستُفرَّغ البوابة عن طريق إصبعك وستكون قراءة المقياس مرتفعة تعني هذه القراءة أن الجسم غير ناقل ..



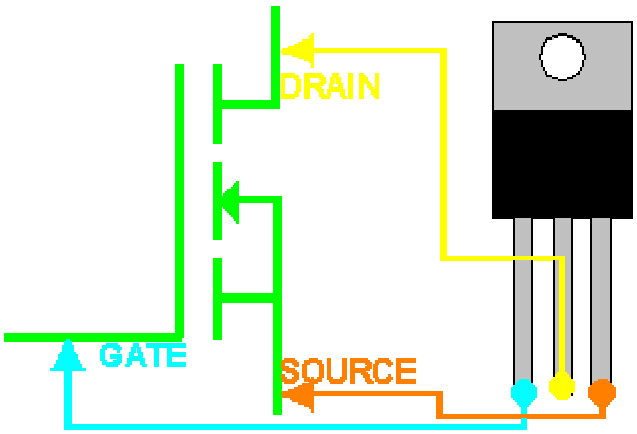
القياس السابق هو عبارة عن فحص جهد القطع في الترانزيستور، الذي يكون في العادة أكبر جهد يُطبَّق على البوابة بدون أن تُصبح ناقِلة.
هذا الإجراء ليس دقيقاً 100% إلا أنَّه كافٍ..

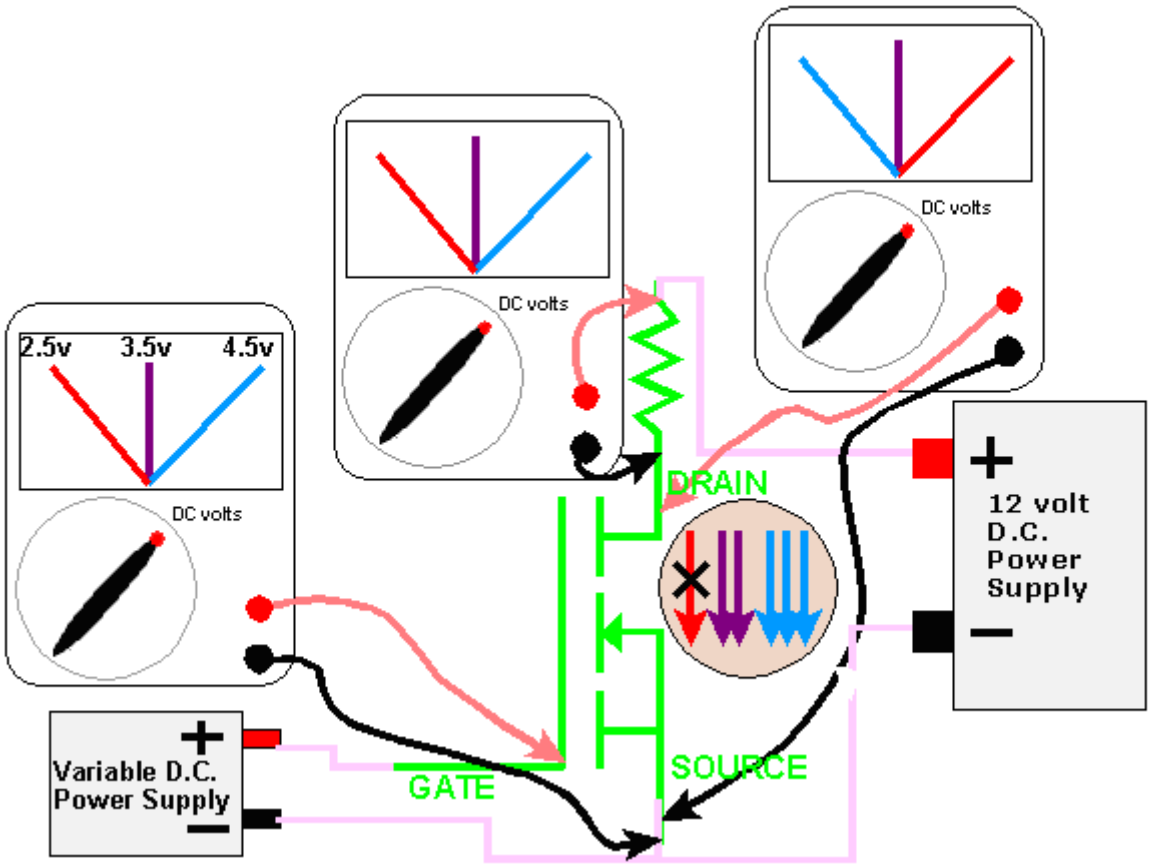
عندما يتعطّل ترانزيستور MOSFET فعادةً يكون السبب هو قصر المصرف إلى البوّابة ، وهذا يؤدي إلى إعادة جهد المصرف إلى البوابة ومنها إلى التغذية التي تأتي عن طريق مقاومة البوابة ، وقد تؤدي إلى تُخريب منبع التغذية وأي ترانزستورات MOSFET مربوطة بواباتها معه على التفرُّع ..



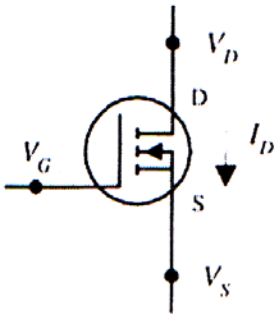
لهذا عندما يتعطل ترانزيستور MOSFET يفضل فحص منبع التغذية أيضاً ، لهذا السبب يضاف عادةً ديود زينر بين البوابة والمنبع ، سوف يعمل هذا الترانزيستور قصر دارة و يحد من الأخطار الناتجة عن الأعطال .. يمكِن أيضاً إضافة مقاومات صغيرة إلى القاعدة التي ستعمل دارة مفتوحة عندما تتعطّل (مثل عمل الفاصمة المنصهرة) بنتيجة تعرضها لجهد مرتفِع و بالتالي تؤدي إلى فصل بوابة الترانزيستور ..

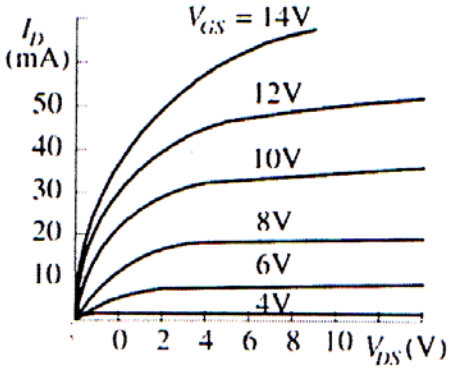
عادةً يعطي ترانزيستور MOSFET ناراً أو ينفجر عندما يتعطَّل حتى في دارات الهواة ، و هذا يعني أنّ الترانزيستور المعطوب يمكِن كشفُهُ بالنظر ، حيث سيكون مكان الثقب فيه على لوحة الدارة محروقاً أو ستلاحِظ وجود السواد في مكانٍ ما حولَهُ ، لقد رأيتُ هذهِ الأشكال كثيراً في وحدات التغذية التي لا تنقطع UPS التي قد تحوي أكثر من ثمانية ترانزستورات MOSFET على التوازي ، وعادةً ما نحتاج إلى استبدالِهم جميعاً بالإضافة إلى دارة قيادتِهم ..
أبداً .. لا تستخدِم كاوي لحام عادي في لحام ترانزستورات MOSFET ، بل استخدِم منصّة لِحام احترافيّة ESD خاصّة محميّة ..

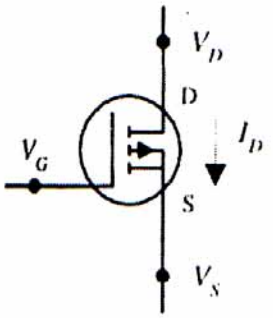


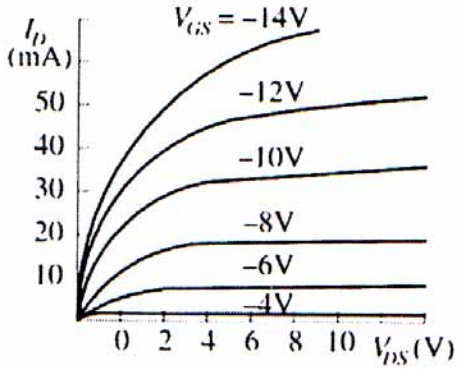


Voltage applied to gate	Voltage across resistor	Voltage across transistor
2.5 volts	no voltage	approximately 12 volts
3.5 volts	less than 12 volts	less than 12 volts
4.5 volts	approximately 12 volts	virtually no voltage



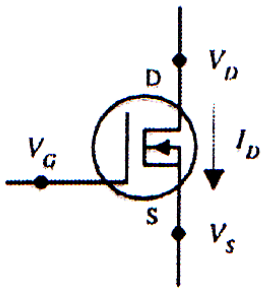


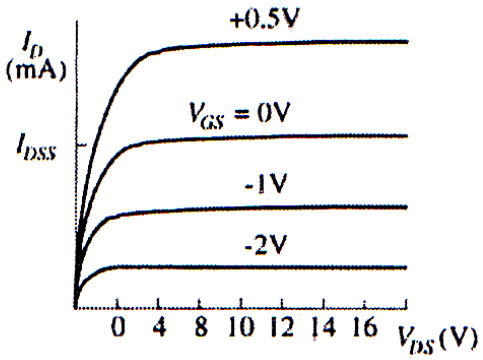




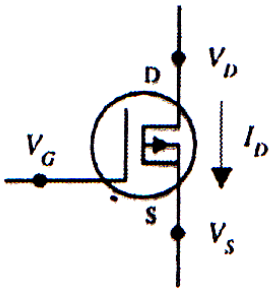
رموز ومميزات خرج ترانزستورات MOSFET نوع معزّز

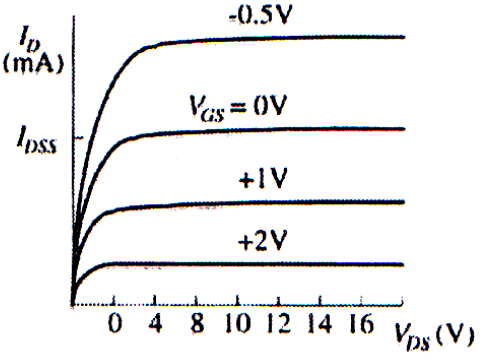
N-CHANNEL DEPLETION-TYPE MOSFET





P-CHANNEL DEPLETION-TYPE MOSFET

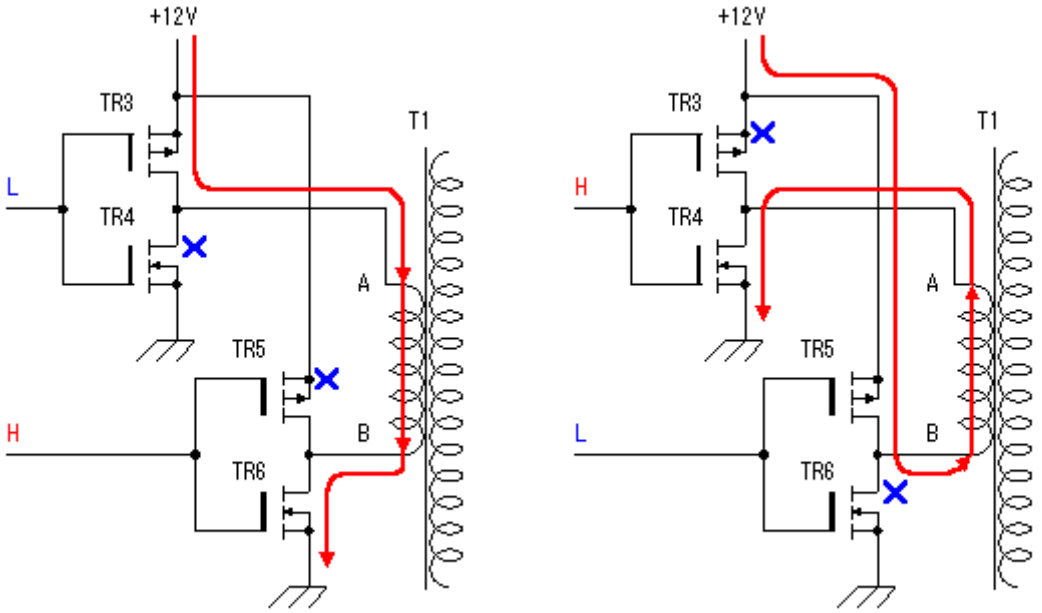




رموز ومميزات خرج ترانزستورات MOSFET نوع مقلل

The power MOS FET switching circuit

الدارة التالية تحوي على ترانزستورات (MOS FET) استطاعية ، حيث تقوم هذه الدارة بتحويل التيار المستمر (DC) إلى تيار متناوب (AC) ..
إن المحول يقوم على تحويل التيار المقطع بواسطة الترانزستورات من (12V) إلى (220V) ..
تجري عملية التبديل بالتناوب بين مجموعتين من الترانزستورات حيث :

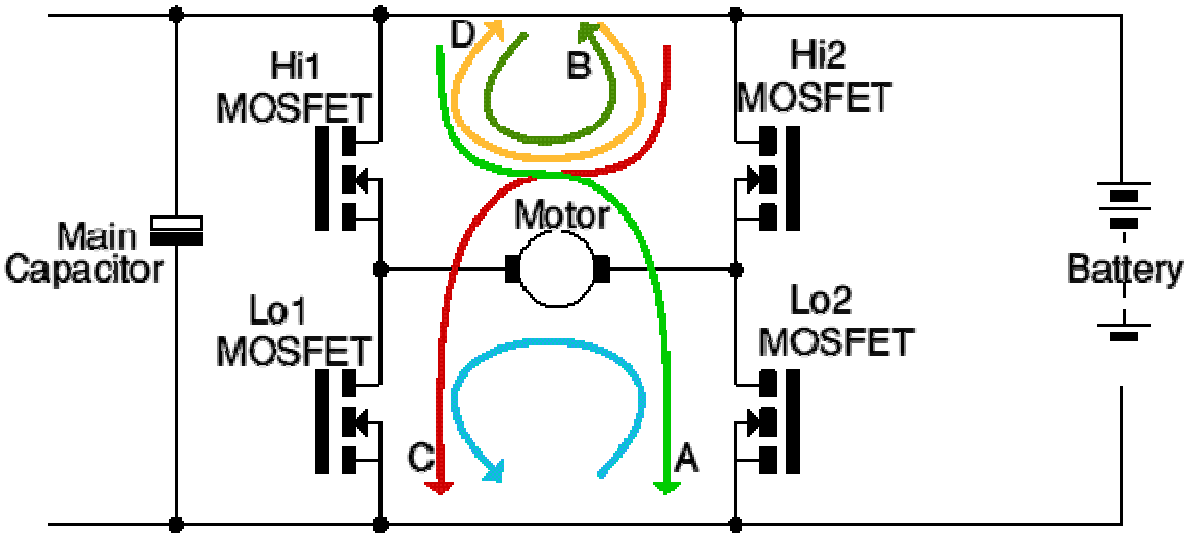


يعمل الترانزستورات (TR3 and TR6) عندما تكون إشارة التحكم (L) على (TR3 and TR4) و (H) على (TR5 and TR6) ..
يعمل الترانزستورات (TR4 and TR5) عندما تكون إشارة التحكم (H) على (TR3 and TR4) و (L) على (TR5 and TR6) ..

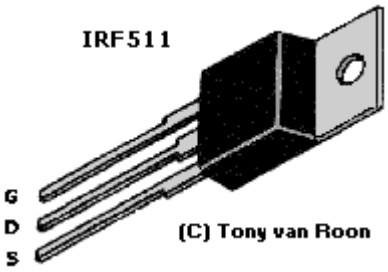
H Bridge Motor control

الدارة التالية تستخدم للتحكم بسرعة محركات التيار المستمر ، وتسمى بجسر H ..
تحوي الدارة على أربعة ترانزستورات MOSFET تشكل الجسر ..

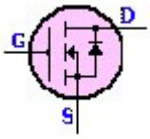
في الحالة الأولى يمر التيار من البطارية ثم خلال (Hi1) ثم المحرك إلى (Lo2) ثم إلى القطب السالب للبطارية وهو السهم الأخضر A..
في الحالة الثانية يمر التيار من البطارية ثم خلال (Hi2) ثم المحرك إلى (Lo1) ثم إلى القطب السالب للبطارية وهو السهم الأحمر C..



IRF511 TMOS Power FET
Data sheet



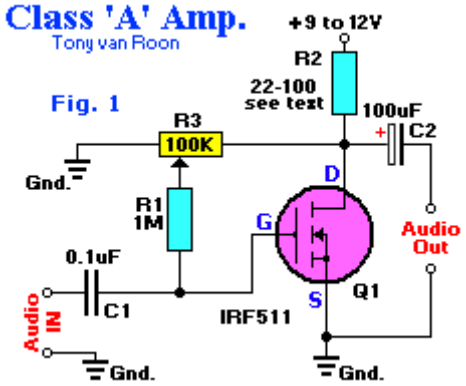
الترانزستور (IRF511) هو من نوع (N-Channel) ذو بوابة مصنوعة من السليكون من أجل سرعات عالية في التحويل وفي غلاف من الشكل (TO-220) مصمم للجهود المنخفضة من أجل تطبيقات تحتاج لسرعات تحويل عالية مثل المنظمات بالإضافة لاحتوائه على ثنائي داخلي بين المنبع والمصرف من أجل حماية الترانزيستور في حالة الأحمال التحريضية ..



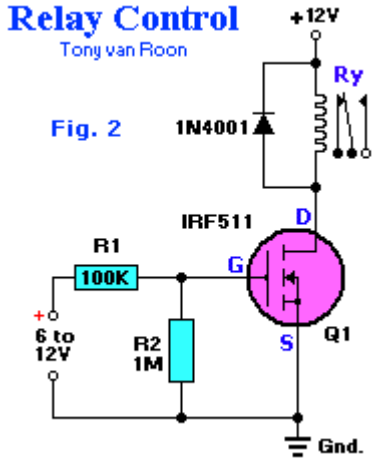
Device	Vds	rds(on)	Id
IRF510	100V	0.6 Ohm	4.0 A
IRF511	60V	0.6 Ohm	4.0 A
IRF512	100V	0.8 Ohm	3.5 A
IRF513	60V	0.8 Ohm	3.5 A

بعض التطبيقات التي تستخدم الترانزستورات IRF511

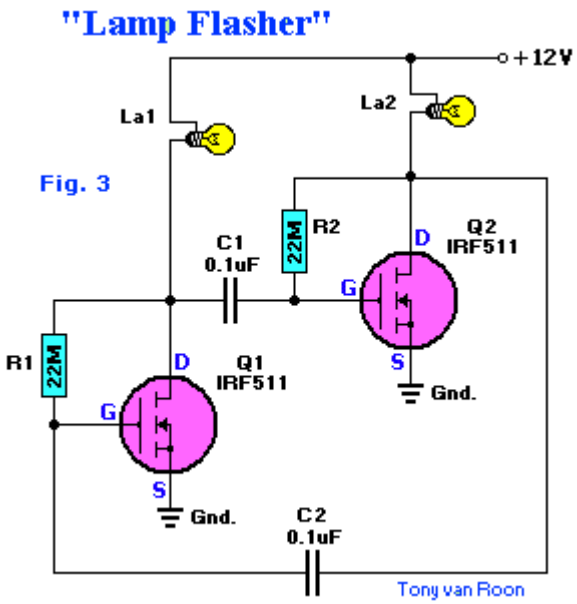
الدارة التالية عبارة عن مضخم سمعي صنف (A) ، فعند وجود إشارة في الدخل فإن الترانزستور سوف يقوم بتضخيمها ..



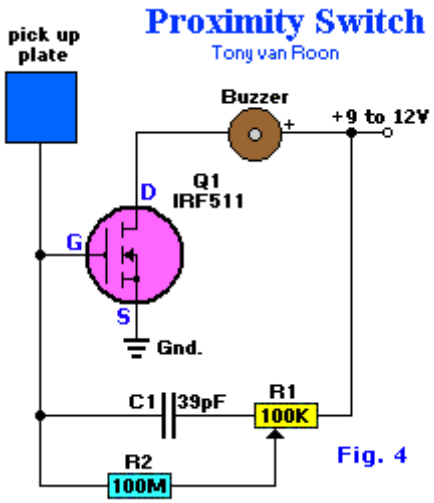
الدارة التالية هي دارة قيادة حمل (ريليه) ، حيث تعمل الريليه عند تطبيق جهود على البوابة من (6 to 12) فولت ، وتحتاج قاعدة الترانزستور حتى يعمل تياراً أقل من (10uA) ..



الدارة التالية عبارة عن هزاز عديم الاستقرار يعمل فيه المصباحان بالتناوب على نحو متقطع ..



الدارة التالية هي دارة مفتاح يستغل المعاوقة الداخلية العالية للترانزستور وقابلية المعالجة الكهربائيـة لعمـل دارة بسيطة ولكن حساسـة وهي دارة حساس اقتراب وجرس إنذار السائق .

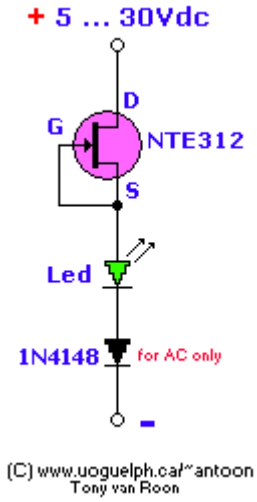


A 3x3-inch piece of circuit board (or similar size metal object), which functions as the pick-up sensor, is connected to the gate of Q1. A 100 Mega Ohm resistor, R2, isolates Q1's gate from R1, allowing the input impedance to remain very high. If a 100-MegaOhm resistor cannot be located, just tie 5 22-MegaOhm resistors in series and use that combination for R2. In fact, R2 can be made even higher in value for added sensitivity.

Potentiometer R1 is adjusted to a point where the piezo buzzer just begins to sound off and then carefully backed off to the point where the sound ceases. Experimenting with the setting of R1 will help in obtain in the best sensitivity adjustment for the circuit. Potentiometer R1 may be set to a point where the pick-up must be contacted to set of the alarm sounder. A relay or other current-hungry component can take the place of the piezo sounder to control almost any external circuit.

تشغيل ثنائي ضوئي بمجال جهد من 5 فولت إلى 30 فولت دون الحاجة إلى تغيير قيمة المقاومة..

الدارة التالية يقوم فيها الترانزستور FET بوظيفة منبع مثالي للتيار ، حيث يكون التيار في هذه الحالة بحدود (15mA) ، والديود (1N4148) يحمي الدارة من عكس القطبية ..



Meter check of a JFET transistor

Testing a JFET with a multimeter might seem to be a relatively easy task, seeing as how it has only one PN junction to test: either measured between gate and source, or between gate and drain.