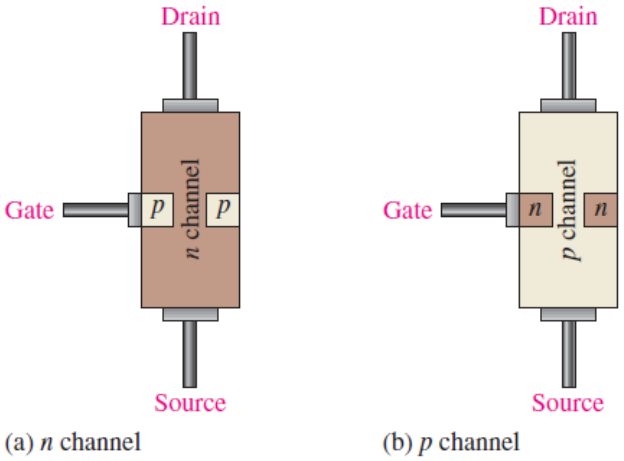
المحاضـــ 13 ـــرة

ترانزستور تأثير المجال Field Effect Transistor

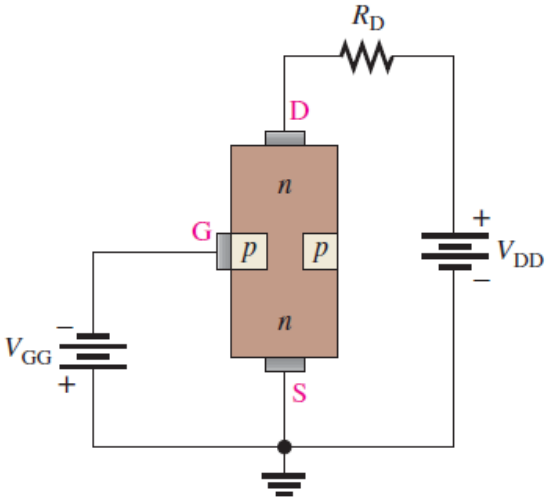
بعكس التركيب الداخلي للترانزيستور" ثنائي القطبية " والذي يتكون من طبقتين للشحنات الالكترونات والفجوات فان ترانزستور تاثير المجال FET transistor يتكون من نوع واحد لناقلات الشحنة ومن هنا ترجع تسميته بأحادي القطبية. تمكن في عام 1953م مهندسان من مختبرات بيل الأمريكية وهما أين روس (Ian Ross) وجورج ديسي (George Dacey)من تصنيع ترانزستور يعمل بآلية تختلف عن تلك المستخدمة في الترانزستور ثنائي القطبية وهو ترانزستور تأثير المجال ذي الوصلة (Junction Field Effect Transistors (FET)).ويتكون هذا الترانزستور من شريحة من السيليكون مطعمة إما كنوع سالب (N) أو كنوع موجب (P) ويوصل بطرفي هذه الشريحة قطبان معدنيان يسمى أحدهما المصدر (source) وهو يناظر الباعث (emitter) ويسمى الآخر المصرف (drain) وهو يناظر المجمع .(collector) ومن الواضح أنه عند تسليط جهد خارجي بين المصدر والمصرف فإن تيارا كهربائيا سيسري بين القطبين بغض النظر عن اتجاه الجهد المسلط وذلك على العكس من الترانزستور ثنائي القطبية.

ولكي يتم التحكم بمرور التيار بين القطبين فإنه يتم تطعيم الشريحة على جانبيها وعند وسطها بنوع تطعيم مخالف لنوع التطعيم الأساسي للشريحة ليتكون بذلك وصلتين حول الشريحة ويتم ربط الوصلتين بقطب معدني يسمى البوابة (gate) وهو يناظر القاعدة (base) ويطلق على منطقة الشريحة المحصورة بين الوصلتين اسم القناة (channel) ويتحدد عرض القناة الفعلي الذي يمكن للتيار أن يمر من خلاله من عرض القناة الحقيقي مطروحا منه عرض المنطقتين المنضبتين في الوصلتين. وعند تسليط جهد ذي انحياز عكسي بين البوابة وأحد القطبين الآخرين وغالبا قطب المصدر فإنه يمكن التحكم بعرض البوابة وبالتالي كمية التيار الذي يمر من خلالها. ومن الواضح أن عملية التحكم بالتيار المار بين المصدر والمصرف يتم من خلال الجهد الكهربائي بدلا من التيار الكهربائي كما في الترانزستور ثنائي القطبية. ولذلك فقد أطلق العلماء على هذا النوع من الترانزستورات اسم ترانزستور تأثير المجال وذلك لأن المجال الكهربائي الناتج عن الجهد المسلط على البوابة هو المسؤول عن عملية التحكم بمرور التيار في الترانزستور. إن التيار الذي يسري في القناة مكون من نوع واحد فقط من حاملات الشحنات وهي إما الإلكترونات في حالة القناة السالبة أو الفجوات في حالة القناة الموجبة ولذا فقد تمت تسمية هذا الترانزستور بالترانزستور أحادي القطبية (unipolar) وذلك عل عكس الترانستور ثنائي القطبية الذي يستخدم النوعين من الحاملات في عمله.

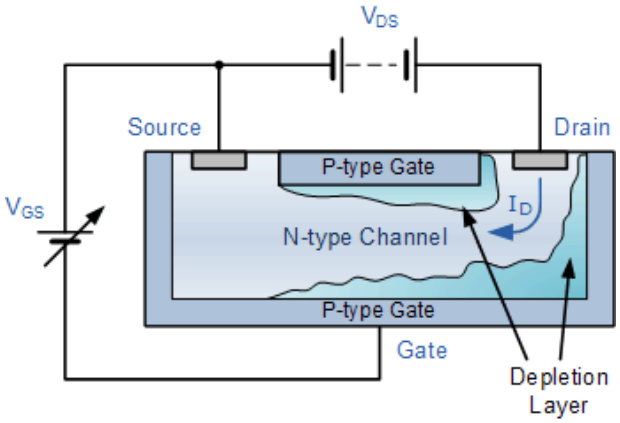


الشكل يوضح نوعي ترانزستور تاثير المجال ذي القناة n والاخر ذي قناة P

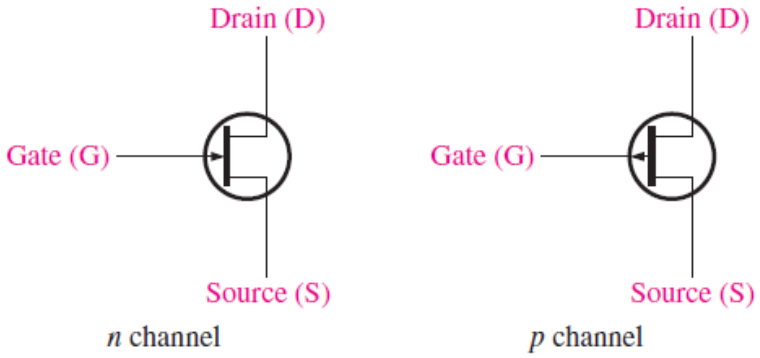
الشكل ادناه يوضح طريقة تحييز منطقتي ترانزستور FET ويلاحظ ان المصدر V_{DD} يولد جهدا على القناة (n-channel) مما يؤدي الى مرور تيار يسمى تيار المصرف Drain current (I_D) والذي يسري من المصدر Source باتجاه المصرف.



الجهد V_{GG} او (V_{GS}) هو جهد عكسي يسلط على منطقة مصدر-بوابة Source-gate وعادة يعمل ترانزستور FET تحت تاثير هذا الجهد العكسي الذي يؤدي الى تكوين منطقة استنزاف تمتد على طول الوصلة np وبذلك سيتحكم جهد البوابة العكسي بمقاومة (عرض) القناة مما يؤدي الى التحكم بقيمة التيار المار I_D.



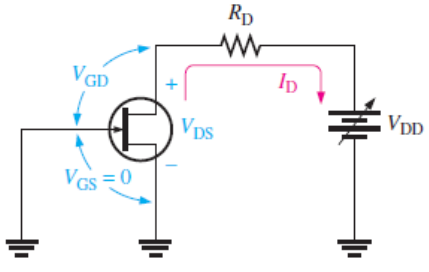
يرمز للترامزستور FET بكلا نوعيه كما في الشكل



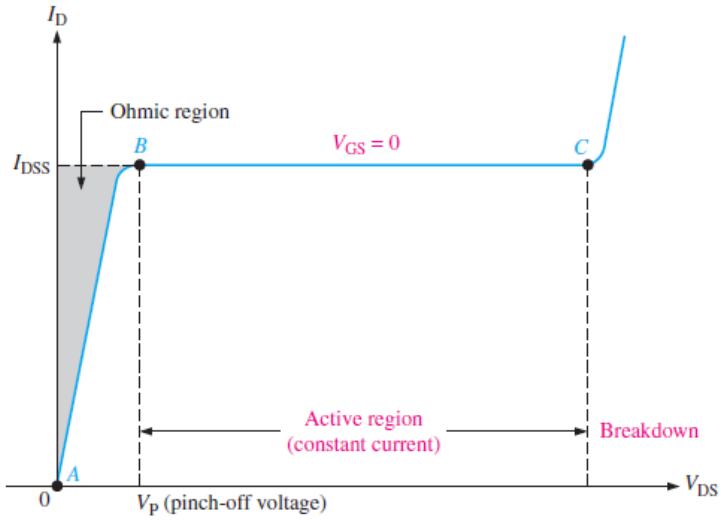
خصائص تيار الاخراج لترانزستور FET

عندما يكون جهد البوابة- المصدر مساويا الى الصفر(V_{GS} =0) فان التيار المار سيعتمد بقيمته فقط على الجهد المسلط بين المنبع (المصدر)- المهبط V_{DS} اذا بزيادتها يزداد التيار I_D خطيا ضمن قيم محددة للجهد V_{DS} كما في الشكل ادناه. المنطقة المضللة بين النقطتين A and B منطقة تغير خطي للتيار مع الجهد المسلط (منطقة اومية). عند النقطة B، تثبت قيمة تيار الاخراج على الرغم من زيادة الجهد المسلط على القناة وتسمى المنطقة المحصورة بين النقطتين B and C بالمنطقة الفعالة. ان سبب ثبوت قيمة تيار الاخراج رغم زيادة V_{DS} هو تولد جهد V_{GD} (بوابة-مصرف) تكون قيمته كافية لتعويض زيادة V_{DS} مما يؤدي الى ثبوت قيمة التيار I_D.

الجهد الذي يثبت عنده تيار الاخراج يسمى جهد الضيق V_p, pinch-off voltage. عند جهد معين ل V_{DS} يلاحظ زيادة كبيرة في قيمة التيار I_D وتسمى هذه المنطقة بمنطقة الانهيار التضاعفي Breakdown والجهد الذي يحدث عنده هذا الانهيار يسمى جهد الانهيار التضاعفي والذي عادة ما يجعل عمل ترانزستور FET عند جهد V_{DS} اقل منه (قبل الوصول الى نقطة النهيار C) وذلك لتجنب مرور تيار كبير قد يسبب تلف الترانزستور.



(a) JFET with $V_{GS} = 0$ V and a variable V_{DS} (V_{DD})



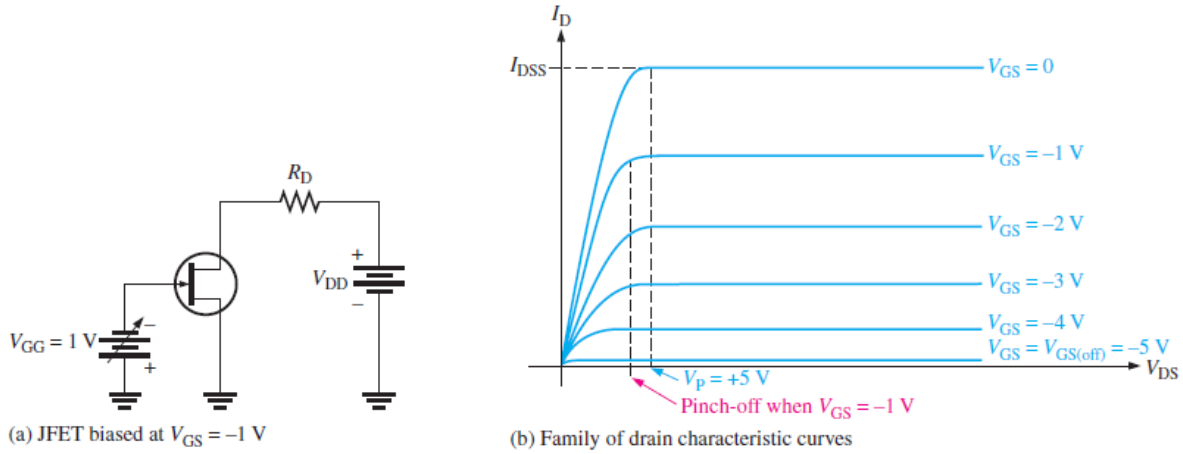
(b) Drain characteristic

س/ تحدث عن مناطق عمل ترانزستور المجال FET مبينا ذلك مع الرسم التوضيحي.

هناك عدة مميزات لترانزستور تاثير المجال جعلت منه واسع الاستعمال في الاجهزة الالكترونية ومنها:

1. سهل التصنيع مقارنة مع ترانزستور الوصلة اضافة الى انه اقل مساحة وبالتالي استخدم في تصنيع الدوائر المتكاملة IC وكذلك هو اطول عمرا واكثر كفاءة.
2. يمتلك ممانعة ادخال عالية جدا عادة اكبر من 100 ميكا اوم مقارنة مع ترانزستور الوصلة ذي الممانعة القليلة.
3. تاثره بالحرارة محدود وهو قليل توليد للضواء التي تحدث بسبب حركة الالكترونات والتي تظهر على شكل اشارات غير مرغوب فيها.
4. يمكن استعماله عند الترددات العالية وذلك لان حركة الشحنات داخل القناة تتم عن طريق مجال معجل وليس بالانتشار اذ ان تردد القطع لايتحدد عمليا بزمن مرور الحاملات في القناة بل بسعة المفرق p-n.

الشكل ادناه يبين سلوك تيار المصرف بزيادة قيمة جهد البوابة العكسي V_{GS} حيث يلاحظ هبوط بقيمة التيار كلما زادت قيمة جهد البوابة. ايضا يمكن ملاحظة ان قيمة جهد الضيق تقل بزيادة جهد البوابة (اكبر قيمة لجهد الضيق عندما $V_{GS}=0$).



(a) JFET biased at $V_{GS} = -1$ V

(b) Family of drain characteristic curves

يلاحظ من الشكل انه عند قيمة معينة لجهد البوابة يصبح تيار المصرف مساويا للصفر وهذا الجهد يسمى بجهد القطع Cutoff voltage وفيها $V_{GS}=V_{GS(off)}$.

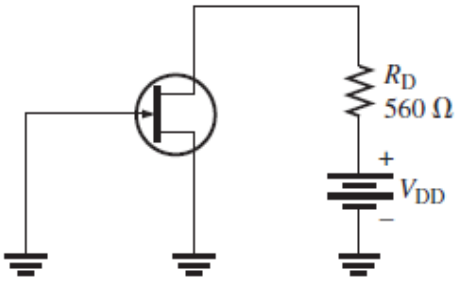
س/ مالاختلاف بين جهد القطع $V_{GS(off)}$ وجهد الضيق V_P؟ وضح ذلك مع الرسم للمخطط.

س/ متى تحدث حالة القطع في ترانزستور تاثير المجال؟

ج/ تحدث عندما تتلامس طبقتا الاستنزاف من الجهتين مع بعضها البعض مما يودي الى منع سريان تيار في القناة $I_D=0$ ويتم ذلك عند جهد بوابة عكسي معين (يختلف باختلاف الترانزستور).

مثال/ للدائرة في الشكل ادناه اذا كانت $V_{GS(off)}$ =-4 V و I_{DSS}=12mA احسب اقل جهد V_{DD} مطلوب لجعل الترانزستور يعمل بتيار مستقر (ثابت) اذا علمت ان جهد البوابة المسلط =0

الحل/



بما ان جهد القطع يساوي -4 فولت اذا جهد الضيق V_P=4V

$V_{DS}=V_P=4$ V

$I_D=I_{DDS}=12$ mA (because $V_{GS}=0$)

هبوط الجهد على المقاومة R_D يحسب من

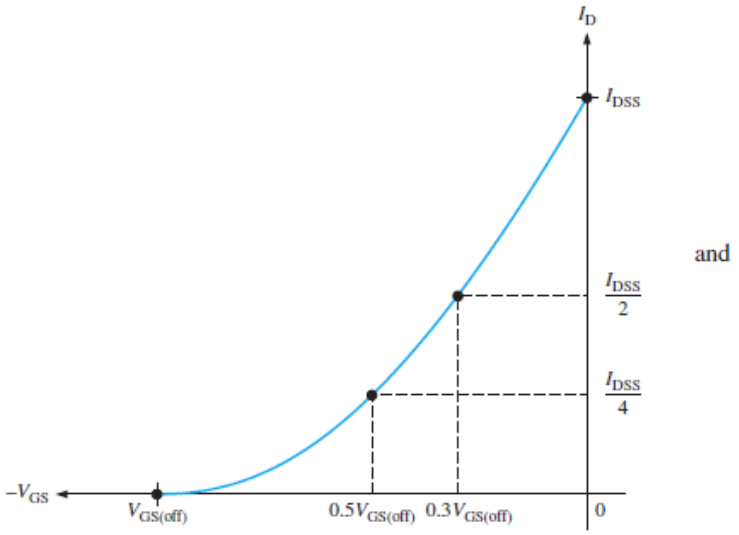
$$V_{RD}=I_DR_D=12 \text{ mA x } 560\ \Omega = 6.72 \text{ V}$$

بتطبيق قانون كيرشوف على دائرة المصرف

$$V_{DD}=V_{DS}+V_{RD}=4V+6.72V=10.7V$$

هذا الجهد الذي عند تسليطه سيجعل الدائرة تعمل بتيار ثابت ضمن المنطقة الفعالة.

جهد البوابة الذي يسيطر على تيار المصرف يكون سالب لترانزستور ذو قناة نوع n بينما يكون الجهد موجبا لترانزستور ذو قناة من نوع p. الشكل ادناه يبين العلاقة بين جهد البوابة لترانزستور FET بقناة n وتيار المصرف. ويلاحظ من الشكل:



$$I_D = 0 \quad \text{when } V_{GS} = V_{GS(off)}$$

$$I_D = \frac{I_{DSS}}{4} \quad \text{when } V_{GS} = 0.5V_{GS(off)}$$

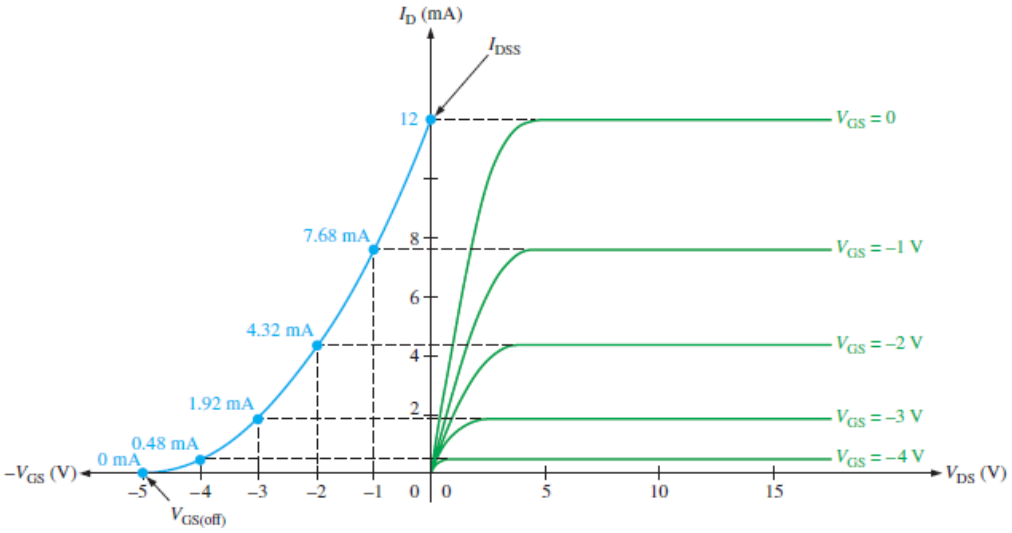
$$I_D = \frac{I_{DSS}}{2} \quad \text{when } V_{GS} = 0.3V_{GS(off)}$$

and

$$I_D = I_{DSS} \quad \text{when } V_{GS} = 0$$

منحنى خاصية النقل The transfer characteristic curve لترانزستور FET يوضحه الشكل ادناه. علاقة تيار المصرف مع جهد البوابة (منحنى النقل) يعبر عنه بالعلاقة:

$$I_D \cong I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2$$



مثال: ترانزستور تاثير المجال 2N5459 اذا كان I_{DSS}=9 mA و $V_{GS(off)}$=-8 V احسب تيار المصرف عندما V_{GS}=0, -1 V, -4 V.

الحل:

Solution For $V_{GS} = 0$ V,

$$I_D = I_{DSS} = \mathbf{9\ mA}$$

For $V_{GS} = -1$ V, use Equation 8–1.

$$I_D \cong I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2 = (9\text{ mA})\left(1 - \frac{-1\text{ V}}{-8\text{ V}}\right)^2$$
$$= (9\text{ mA})(1 - 0.125)^2 = (9\text{ mA})(0.766) = \mathbf{6.89\ mA}$$

For $V_{GS} = -4$ V,

$$I_D \cong (9\text{ mA})\left(1 - \frac{-4\text{ V}}{-8\text{ V}}\right)^2 = (9\text{ mA})(1 - 0.5)^2 = (9\text{ mA})(0.25) = \mathbf{2.25\ mA}$$