وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة التقنية الجنوبية
المعهد التقني العمارة
قسم التقنيات الكهربائية

الحقيبة التدريسية لمادة

الدوائر الالكترونية

الصف : الاول

تدريسي المادة
د.اسامة كريم محمد

الفصل الدراسي الثاني

جدول مفردات مادة الدوائر الالكترونية

الاسبوع	المفردات الدراسية
الأول	الدائرة المكافئة المستمرة للترانزستور – خط الحمل المستمر
الثاني	نقاط العمل – نقطة السكون (Q-Point) امثلة تطبيقية
الثالث و الرابع	الترانزستور في تكبير الاشارات الصغيرة – الدائرة المكافئة المتناوبة – التقريب المثالي – الثوابت الهجينة – الدائرة المكافئة باستخدام معاملات (h) – كسب الجهد – كسب التيار – كسب القدرة
الخامس	– مقاومتا الدخل والخرج – مكبرات الاشارة الصغيرة – سوق القاعدة – سوق الباعث
السادس	استخدام الترانزستور في تنظيم الجهد – منظم توالي – منظم توازي دائرة مصدر جهد مستمر
السابع و الثامن	ترانزستور تأثير المجال الوصلي (JEFT) – تركيبه – رمزه – نظرية العمل – منحنيات الخواص – منحني الموصلية التبادلية – تعريف جهد الضيق (V_P)، (I_{DSS})، (V_{GSOff}) – منحنيات خواص (MOSFET) – (D-MOSFET) – (E-MOSFET)
التاسع و العاشر	دوائر الانحياز (FET) – انحياز مصدر التيار الثابت – نقطة العمل الانحياز الذاتي – الدائرة المكافئة لل (FET) استخدام (FET) في تكبير الاشارة الصغيرة
الحادي عشر و الثاني عشر	مقارنة بين انواع الـ (FET) (FET ، MOSFET) وبين (BJT) تركيب وخصائص ترانزستور IGBT – تطبيقاته
الثالث عشر و الرابع عشر	المقاوم المعتمد على الضوء (LDR) – الثنائي الباعث للضوء – الثنائي الضوئي لوحة القطع السبعة تركيبها وتطبيقاتها
الخامس عشر	الترانزستور الضوئي – تركيبه – عمله – تطبيقاته العملية

الهدف من دراسة مادة الدوائر الالكترونية.

تهدف دراسة مادة الدوائر الالكترونية للصف الاول الى:

1- الهدف العام: تعريف الطالب بالمكونات الالكترونية المختلفة.

2- الهدف الخاص: سيكون الطالب قادرا على:

1) الالمام بالمكونات الالكترونية المصنعة من اشباه الموصلات باختلاف انواعها.
2) التعرف على تركيب وخواص المكونات الالكترونية المصنعة من اشباه الموصلات.
3) استخدام المكونات الالكترونية في الدوائر الالكترونية وتطبيقاتها.
4) تحليل الدوائر الالكترونية الخاصة بها بالمكونات الالكترونية الضوئية.

الفئة المستهدفة:

طلبة الصف الاول في قسم التقنيات الكهربائية.

التقنيات التربوية المستخدمة:

1. سبورة واقلام .
2. السبورة التفاعلية.
3. عارض البيانات Data Show.
4. جهاز حاسوب محمول Laptop.
5. الشاشات الذكية.

الأنشطة المستخدمة:

1. أنشطة تفاعلية صفية.
2. أسئلة عصف ذهني.
3. أنشطة جماعية (إذا تطلب الامر).
4. واجب بيتي.
5. واجب الكتروني لدمج التعليم الحضوري بالتعليم الالكتروني حسب التوجهات الحديثة للتعليم والتعلم).

أساليب التقويم:

1. التغذية الراجعة الفورية من قبل التدريسي (التقويم البنائي).
2. اشراك الطلبة بالتقويم الذاتي (تصحيح اخطائهم بأنفسهم).
3. التغذية الراجعة النهائية (التقويم الختامي)، ويقصد به حل الأسئلة المعطاة كنشاط صفي في نهاية المحاضرة.

الاسبوع الأول

الدائرة المكافئة المستمرة للترانزستور – خط الحمل المستمر

الهدف التعليمي :

مدة المحاضرة: 2 ساعة نظري + 2 ساعة عملي.

الدائرة المكافئة المستمرة (DC Equivalent Circuit) للترانزستور هي تمثيل مبسط للترانزستور يستخدم لتحليل سلوكه في الدوائر التي تعمل بتيار مستمر .يتم إنشاء هذه الدائرة عن طريق استبدال الترانزستور بمجموعة من العناصر المقابلة التي تحاكي سلوكه في حالة التيار المستمر.

خطوات إنشاء الدائرة المكافئة المستمرة:

1- ستبدال المكثفات:

يتم استبدال جميع المكثفات في الدائرة بدوائر مفتوحة، لأن المكثفات تعمل كدوائر مفتوحة في حالة التيار المستمر.

2- استبدال الملفات:

يتم استبدال جميع الملفات في الدائرة بدوائر قصيرة، لأن الملفات تعمل كدوائر قصيرة في حالة التيار المستمر.

3- استبدال مصادر التيار المتردد:

يتم استبدال جميع مصادر التيار المتردد (AC) في الدائرة بمصادر قصيرة (إذا كانت مصادر جهد) أو دوائر مفتوحة (إذا كانت مصادر تيار)، لأننا نتعامل مع تحليل التيار المستمر (DC).

4- استخدام نموذج الترانزستور:

يتم استخدام نموذج الترانزستور المناسب (مثل نموذج التحيز المستمر أو نموذج "h-parameters") لتمثيل سلوك الترانزستور في الدائرة.

أهمية الدائرة المكافئة المستمرة:

1- تحليل نقطة التشغيل:

تسمح لنا الدائرة المكافئة المستمرة بتحديد "نقطة التشغيل" (Q-point) للترانزستور، وهي قيمة التيار والجهد الثابتة التي يعمل عندها الترانزستور في الدائرة.

2- تحليل سلوك الترانزستور:

تساعد في فهم سلوك الترانزستور في الدائرة المستمرة، مثل تحديد ما إذا كان الترانزستور يعمل في وضع الإشباع أو القطع أو المنطقة النشطة.

3- تبسيط التحليل:

تبسط الدائرة المكافئة المستمرة عملية تحليل الدوائر المعقدة التي تحتوي على ترانزستورات، مما يجعلها أسهل في الفهم.

4- تصميم الدوائر:

تساعد في تصميم الدوائر التي تستخدم الترانزستورات من خلال تحديد قيم المكونات المناسبة لضمان عمل الترانزستور في المنطقة المطلوبة.

خط الحمل المستمر:

خط الحمل المستمر (DC Load Line) في الترانزستور هو تمثيل بياني للعلاقة بين تيار المجمع (Ic) والجهد بين المجمع والباعث (Vce) عند إعطاء جهد تغذية مستمر (DC) للترانزستور. يمثل هذا الخط جميع النقاط الممكنة لعمل الترانزستور في ظل ظروف التشغيل المستمر.

يستخدم خط الحمل المستمر لتحديد نقطة التشغيل (Q-point) للترانزستور، وهي النقطة التي يعمل عندها الترانزستور في الدائرة.

كيفية الرسم:

يتم رسم خط الحمل المستمر على مخطط الخصائص الإخراجية (output characteristics) للترانزستور.

يتم تحديد نقطتين على هذا الخط:

نقطة القطع :(Cut-off Point) عندما يكون الترانزستور في حالة قطع ($Ic = 0$)، ويكون الجهد Vce مساويًا لجهد التغذية (Vcc).

نقطة الإشباع :(Saturation Point) عندما يكون الترانزستور في حالة إشباع ($Vce \approx 0$)، ويكون تيار المجمع (Ic) هو أقصى تيار يمكن أن يمر عبر الترانزستور.

يتم توصيل النقطتين بخط مستقيم، وهذا هو خط الحمل المستمر.

نقطة التشغيل:(Q-point)

هي النقطة التي يتقاطع عندها خط الحمل المستمر مع منحنى خاص بالترانزستور (منحنى الخصائص الإخراجية).تحدد نقطة التشغيل قيم تيار المجمع (Ic) والجهد بين المجمع والباعث (Vce) عند هذا التشغيل.

من خلال تحديد نقطة التشغيل، يمكن للمهندس تحديد ظروف عمل الترانزستور (مثل تيار القاعدة اللازم لتحقيق تشغيل معين).

أهمية خط الحمل المستمر:

1- يساعد في اختيار المقاومات المناسبة في الدائرة لضبط نقطة التشغيل المطلوبة.

2- يساعد في فهم كيفية تأثير تغيرات تيار القاعدة على تيار المجمع والجهد بين المجمع والباعث.

3- يساعد في تحليل سلوك الترانزستور في الدائرة في ظل ظروف التشغيل المختلفة.

الاسبوع الثاني

نقاط العمل – نقطة السكون (Q-Point)

نقطة العمل (Operating Point) ونقطة السكون (Quiescent Point) هما مصطلحان أساسيان في فهم سلوك الترانزستور، خاصةً عند استخدامه كمضخم للإشارات. نقطة العمل هي النقطة التي يعمل عندها الترانزستور في حالة الاستقرار، وتحدد هذه النقطة بواسطة الجهد والتيار المستمر المطبق على الترانزستور. أما نقطة السكون، فهي حالة خاصة من نقطة العمل حيث يكون الترانزستور في حالة استقرار دون وجود إشارة دخل.

نقطة العمل (Operating Point):

هي النقطة المحددة على منحنى الخرج للترانزستور والتي تمثل حالة الاستقرار للترانزستور في ظل ظروف التشغيل المحددة.

اهمية هذه النقطة انها تحدد مدى قدرة الترانزستور على تضخيم الإشارة بشكل خطي. يجب أن تقع نقطة العمل ضمن المنطقة الخطية من منحنى الخرج لتجنب التشويه.

العوامل المؤثرة:

تتأثر نقطة العمل بعوامل مثل جهد التغذية، ومقاومة الحمل، والجهد والتيار المستمر المطبق على أطراف الترانزستور.

أمثلة:

في ترانزستور ثنائي القطبية (BJT)، يتم تحديد نقطة العمل من خلال تحديد جهد القاعدة-الباعث (VBE) وتيار القاعدة (IB) وتيار المجمع (IC).

نقطة السكون (Quiescent Point):

هي حالة خاصة من نقطة العمل حيث يكون الترانزستور في حالة استقرار ولا يوجد إشارة دخل.

تحدد نقطة السكون الظروف الأولية للترانزستور قبل تطبيق إشارة الدخل، وتلعب دورًا حاسمًا في تحديد مدى استجابة الترانزستور للإشارة.

العوامل المؤثرة:

تتأثر نقطة السكون بنفس العوامل التي تؤثر على نقطة العمل.

أمثلة:

في ترانزستور ثنائي القطبية (BJT)، تكون نقطة السكون هي النقطة التي يكون فيها جهد القاعدة-الباعث (VBE) وتيار القاعدة (IB) وتيار المجمع (IC) عند قيمهم الثابتة قبل تطبيق إشارة الدخل.

العلاقة بين نقطة العمل ونقطة السكون:

نقطة السكون هي نقطة البداية التي ينطلق منها الترانزستور قبل تطبيق إشارة الدخل، بينما نقطة العمل هي النقطة التي يعمل عندها الترانزستور بعد تطبيق إشارة الدخل.

إذا كانت إشارة الدخل صغيرة، فإن نقطة العمل ستكون قريبة من نقطة السكون، وإذا كانت الإشارة كبيرة، فقد تبتعد نقطة العمل عن نقطة السكون.

اختيار نقطة العمل المناسبة (بما في ذلك نقطة السكون) أمر بالغ الأهمية لضمان أداء الترانزستور بشكل صحيح، خاصةً عند استخدامه كمضخم للإشارات.

أمثلة توضيحية:

في ترانزستور ثنائي القطبية:(BJT) يمكن تحديد نقطة السكون عن طريق ضبط جهد القاعدة-الباعث (VBE) ومقاومة القاعدة (RB) بحيث يكون تيار المجمع (IC) وقيمة معينة.

في ترانزستور تأثير المجال:(FET) يمكن تحديد نقطة السكون عن طريق ضبط جهد البوابة-المصدر (VGS) ومقاومة المصدر (RS) بحيث تكون قيمة تيار المجرى (ID) وقيمة معينة.

أهمية اختيار نقطة العمل:

1- تجنب التشويش:يجب اختيار نقطة العمل بحيث تقع الإشارة داخل المنطقة الخطية للترانزستور لتجنب التشويه غير المرغوب فيه.

2- تحقيق التضخيم الأمثل: يجب اختيار نقطة العمل التي تسمح للترانزستور بتضخيم الإشارة بأكبر قدر ممكن من الكفاءة.

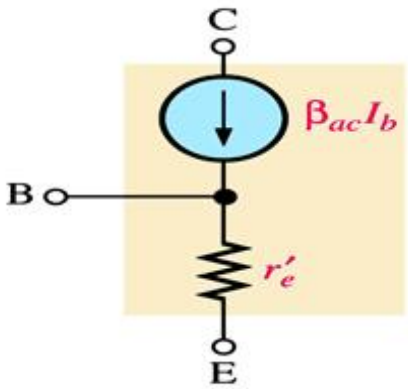
الاسبوع الثالث والرابع

الترانزستور في تكبير الاشارات الصغيرة – الدائرة المكافئة المتناوبة – التقريب المثالي – الثوابت الهجينة – الدائرة المكافئة باستخدام معاملات (h) – كسب الجهد – كسب التيار – كسب القدرة

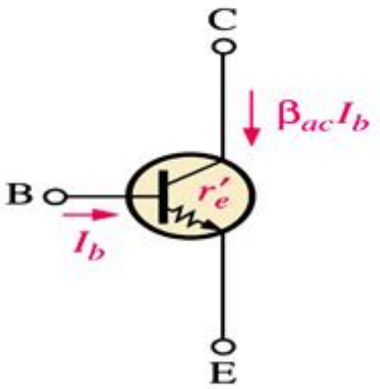
الترانزستور في تكبير الاشارات الصغيرة:

يعد ترانزستور الإشارة الصغيرة ، والمعروف تمامًا باسم Triode أشباه الموصلات ، والمعروف أيضًا باسم ترانزستور ثنائي القطب وترانزستور ثلاثي ، نوعًا من مكونات أشباه الموصلات للتحكم في التيار لتضخيم الإشارات الضعيفة في إشارات كهربائية ذات سعة أكبر ، ويستخدم أيضًا كتحول بدون اتصال. كواحد من مكونات أشباه الموصلات الأساسية ، فإن الترانزستور الثلاثي هو المكون الأساسي لدائرة إلكترونية للتضخيم الحالي. يتكون الرمز الثلاثي من تقاطعات PN قريبة جدًا من بعضها البعض على ركيزة أشباه الموصلات. تقسم تقاطعات PN على أشباه الموصلات بأكملها إلى ثلاثة أجزاء. الجزء الأوسط هو المنطقة الأساسية ، والجانبين هما منطقة باعث ومنطقة جامع. أوضاع الترتيب هي PNP و.NPN

الدائرة المكافئة المتناوبة للترانزستور *AC Equivalent Circuit*

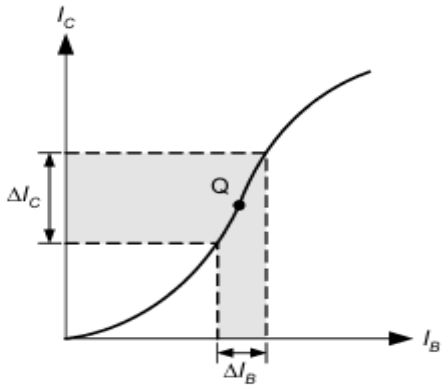


(ب) الدائرة المكافئة المتناوبة للترانزستور(NPN)



(أ) رمز الترانزستور

كسب التيار المتناوب β_{ac} (h_{fe}) و α_{ac}



العلاقة بين I_C و I_B

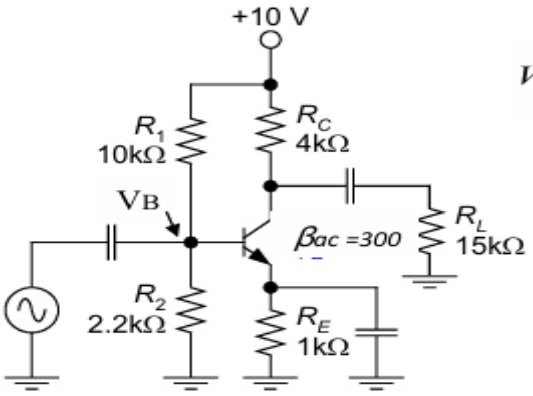
$$\beta ac = \frac{Ic}{I_B} = \frac{i_C}{i_b}$$

$$h_{fe} = \frac{ic}{ib}$$

$$\alpha ac = \frac{Ic}{I_E} = \frac{ic}{ie}$$

مثال / لدائرة المكبر الموضحة في الشكل ادناه.احسب قيمة مقاومة الثنائي المتناوبة $r'e$.

الحل :



$$V_B \cong V_{CC}\frac{R_2}{R_1+R_2} = (10\text{V})\frac{2.2\text{k}\Omega}{12.2\text{k}\Omega} = 1.8\text{V}$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{V_B - 0.7\text{V}}{1\text{k}\Omega} = 1.1\text{mA}$$

$$r_e' = \frac{25\text{mV}}{I_E} = \frac{25\text{mV}}{1.1\text{mA}} = 22.7\Omega$$

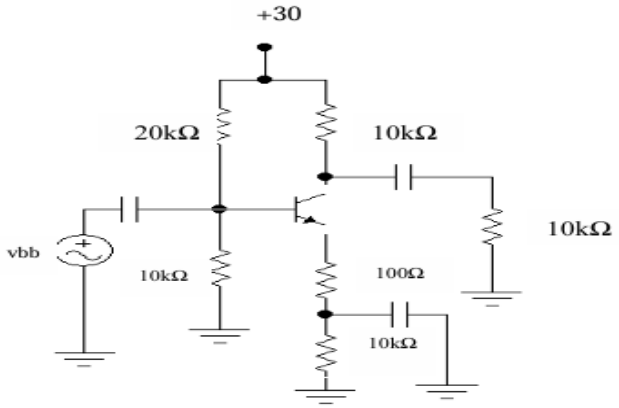
$$V_B \cong V_{CC}\frac{R_2}{R_1+R_2} = (10\text{V})\frac{2.2\text{k}\Omega}{12.2\text{k}\Omega} = 1.8\text{V}$$

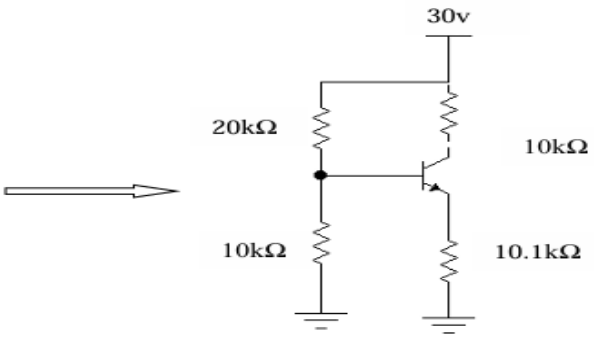
كسب الفولتية :

$$Av = \frac{Vout}{Vin}$$

$$Av = \frac{vc}{vb} = \frac{ie * rc}{ie(re^- + rE)} \approx \frac{rc}{re^- + rE}$$

مثال : احسب تيار الباعث المتناوب ie وكسب الفولتية Av للدائرة التالية علما بان $vbb = 1mV$ كقيمة عظمى (ذورة) ملاحظة :- اهمل تاثير VBE





الدائرة المكافئة المستمرة dc

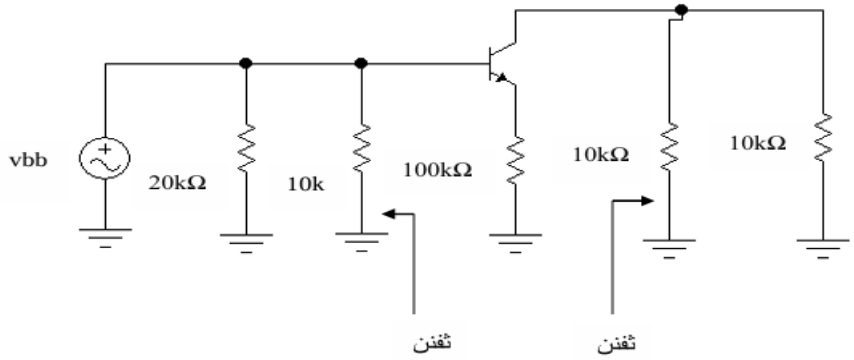
$$ie \approx \frac{vbb}{rE + re^- + \frac{rB}{\beta}}$$

$$IE = \frac{V22}{10.1*10^3} = \frac{V22}{rE}$$

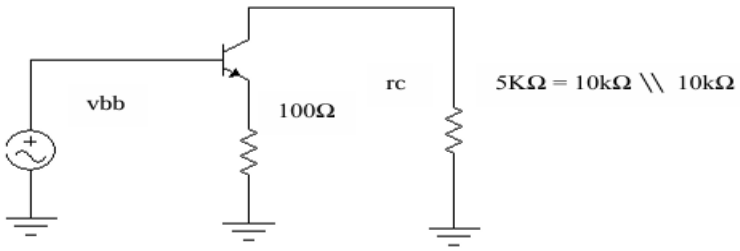
$$V22 = \frac{1\text{ }}{10+20} * 30 = 10V$$

$$IE = \frac{10}{10.1 * 10^3} = 1mA$$

$$re^- = \frac{25mA}{IE} = 25\Omega$$



الدائرة المتناوبة a.c



rb = 0 بطريقة ثفنن RC=5KΩ

$$ie = \frac{vbb}{rE + re^- + 0}$$

$$ie = \frac{1 * 10^{-3}}{100 + 25} = 8\mu A$$

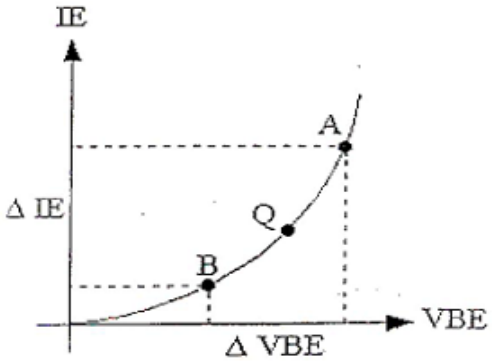
$$Av = \frac{rc}{rE + re^-} = \frac{5000}{100 + 25} = 40$$

الاسبوع الخامس

مقاومتا الدخل والخرج – مكبرات الاشارة الصغيرة – سوق القاعدة – سوق الباعث

مقاومة ثنائي الباعث المتناوبة

يمثل المنحني منحني الثنائي النموذجي الذي يربط العلاقة بين IE , VBE والنقطة Q هي نقطة العمل عند إدخال أشارة متناوبة صغيرة تتراوح النقطة Q بين النقطة B,A



حيث

$$re^{-} = \frac{\Delta VBE}{\Delta IE}$$

ونرمز $\Delta IE = ie$ تيار الباعث المتناوب

$\Delta VBE = vbe$ الفولطية المتناوبة بين القاعدة والباعث

$$re^{-} = \frac{vbe}{ie}$$

وباستخدام الرياضيات يمكن ان نشتق المعادلة التالية :

$$re^{-} = \frac{25mV}{IE}$$

حيث IE يمثل تيار الباعث المستمرة

مكبرات الإشارة الصغيرة، والمعروفة أيضًا بمكبرات الجهد، هي عناصر إلكترونية تستخدم لتضخيم إشارات الجهد الضعيفة. في سياق سوق الباعث، يمكن أن يشير ذلك إلى استخدام هذه المكبرات في دوائر الباعث (Emitter) في الترانزستورات، حيث يتم التحكم في تيار أكبر بواسطة تيار أصغر.

وظيفتها: تضخيم إشارة الجهد الضعيفة لتصبح أقوى.

مكوناتها:غالبًا ما تتكون من ترانزستور (NPN أو PNP) ومقاومات، بالإضافة إلى مكونات أخرى.

آلية العمل:

تعتمد على قدرة الترانزستور على التحكم في تيار أكبر بواسطة تيار أصغر. يتم تطبيق إشارة الدخل الصغيرة على قاعدة الترانزستور، مما يؤدي إلى تدفق تيار أكبر عبر المجمع، وبالتالي إنتاج إشارة خرج مضخمة.

استخداماتها:

تجد مكبرات الإشارة الصغيرة استخدامات واسعة في مختلف التطبيقات الإلكترونية، مثل أجهزة الراديو والتلفزيون وأجهزة الكمبيوتر وغيرها.

مكبرات الباعث:

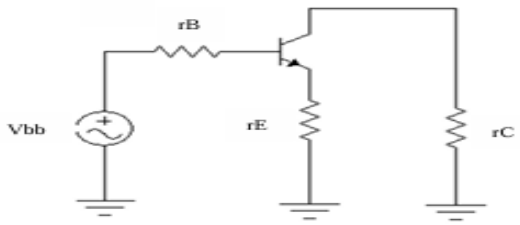
في سياق الترانزستور، يعتبر الباعث (Emitter) أحد الأطراف الثلاثة (الباعث، القاعدة، المجمع) التي تتحكم في تدفق التيار.

مقاومة الباعث:

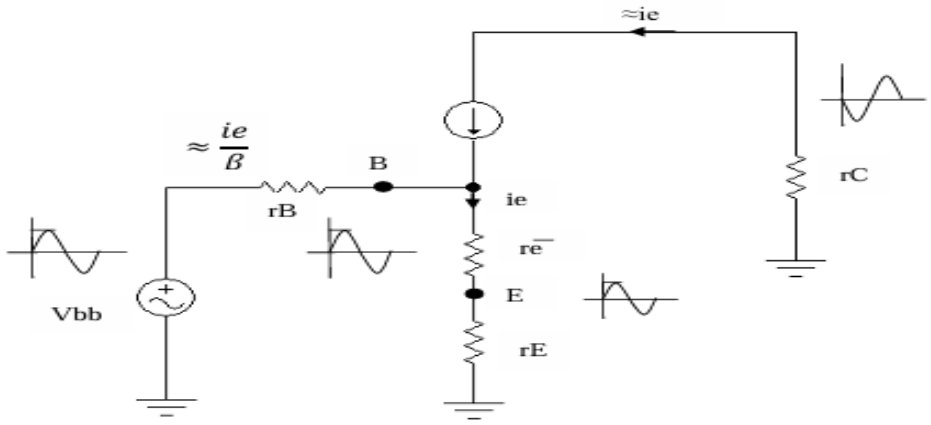
تلعب مقاومة الباعث دورًا في تحديد خصائص الترانزستور ومقاومة الخرج، مما يؤثر على أداء مكبر الإشارة.

سوق القاعدة:

تسمى هذه الدائرة بهذا الاسم لكون المصدر vbb يسوق القاعدة خلال المقاومة rB وهي اما مقاومة منفردة او مجموعة مقاومات كذلك rC , rE (محسوبة بطريقة ثفنن)



وعندما نعوض عن الترانزستور بالدائرة المتناوبة المثالية حيث vbb موجه جيبية صغيرة .



نلاحظ ان اشارة الاخراج تكون بفرق طور 180^{5} عن اشارة الادخال ، والاشارة عند الباعث (النقطة E) تكون بنفس الطور مع اشارة الادخال .

وحسب قانون كرشوف لدائرة الادخال

$$-vbb + \frac{ie}{\beta} rB + ie\,(re^{-} + rE) \approx 0$$

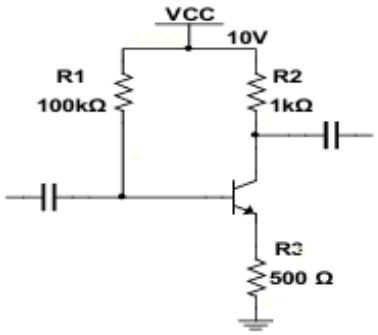
$$ie \approx \frac{vbb}{rE + re^{-} + \frac{rB}{\beta}}$$

$$Vc = ie * rc$$

$$Ve = ie * rE$$

$$Vb = ie(re^{-} + rE)$$

مثال : لدائرة مكبر انحياز التغذية الخلفية للباعث الموضحة في الشكل (أ) ، اذا كانت قيمة (r'e =25 Ω)



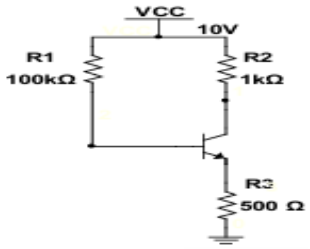
1- ارسم المكافئ المستمر والمكافئ المتناوب للمكبر.
2- احسب قيمة الربح بالجهد (Av) .

الحل / 1- المكافئ المستمر

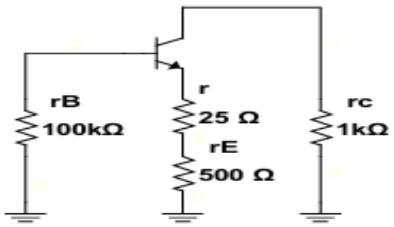
- لرسم المكافئ المستمر نجعل جميع المتسعات دائرة مفتوحة .نحصل على الدائرة الموضحة في الشكل (أ)

2- المكافئ المتناوب

- لرسم المكافئ المتناوب نجعل جميع المتسعات والمصادر المستمرة دائرة قصيرة نحصل على الدائرة الموضحة في الشكل (ب) .



(أ)



(ب)

3- من المكافئ المتناوب نجد قيمة المقاومة (rc) حيث ان ($rc = R_C = 1k$)

$$Av = \frac{rc}{re' + r_E} = \frac{1k}{25\Omega + 100\Omega} = 8$$

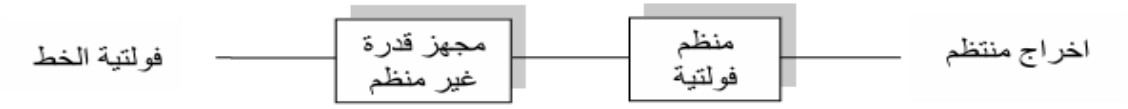
سوق الباعث:

يشير مصطلح "سوق الباعث" إلى منطقة أو موقع معين في الدائرة الإلكترونية حيث يتم استخدام الباعث (Emitter) في الترانزستور. يمكن أن يشير أيضًا إلى سوق أو مجال محدد لتطبيقات مكبرات الإشارة الصغيرة التي تستخدم الباعث.

الاسبوع السادس

استخدام الترانزستور في تنظيم الجهد – منظم توالي – منظم توازي دائرة مصدر جهد مستمر

الشكل أدناه يصور لنا فكرة تنظيم الفولتية , فولتية المصدر تسوق مجهز قدرة غير منظم مثل مقوم الموجة الكاملة مع مرشح . الفولتية من المجهز غير المنظم تتغير مباشرة مع فولتية المصدر وكذلك اي تغير في تيار الحمل ينتج تغيرا في الفولتية غير المنظمة بسبب مه ة المجهز وتفريغ متسعة المرشح. الخ.

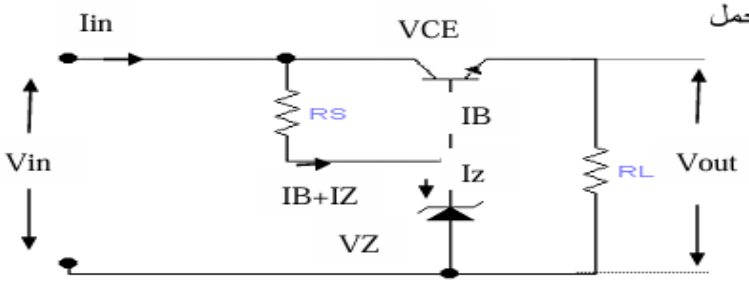


هنا ياتي استعمال منظم الفولتية وهو كما في الشكل تسوق فولتية المجهز غير المنظم الذي ينتج الفولتية المنظمة والتي تكون تقريبا ثابتة لا تتغير مع تغيرات فولتية الخط ولا مع تغيرات تيار الحمل.

ان ابسط صوره لمنظم فولتية هو باستخدام ثنائي زينر لتغيرات قليلة في تيار ثنائي زينر , ماذا نعمل لو أصبحت التغيرات في تيار ثنائي زينر كبيرة.

1- منظم التوالي :

في حالة التغيرات الكبيرة في تيار ثنائي الزينر الوسيلة الأبسط هي اضافة ترانزستور يربط تابع الباعث على التوالي مع الحمل كما في الشكل.



شكل (1)

حيث لاتزال فولتية الحمل مساوية لفولتية ثنائي زينر Vz مطروح منها هبوط الفولتية VBE في الترانزستور

$$VL = VZ - VBE$$

التغيرات في تيار ثنائي زينر قد قللت بمقدار β من المرات

$$\Delta Iz = \frac{-\Delta IL}{\beta}$$

لان التغيرات في تيار الحمل تنتج تغيرات متساوية ومضادة في تيار ثنائي زينر

$$\Delta IZ = -\Delta IL$$

تسمى هذه الدائرة منظم فولتية التوالي لان طرفا الجامع والباعث على التوالي مع الحمل وكذلك غالبا يسمى بترانزستور المرور pass transistor الفولتية عبر ترانزستور المرور تساوي

$$VCE = Vin - Vout$$

وان تيار الحمل IL هو تيار الباعث IE لترانزستور

$$IL=IE= (1+\beta)\ IB$$

ان ترانزستور القدرة له القابلية لتجهيز تيار عالي وتكون لقاعدة الترانزستور فولتية Vz ومجهزة بتيار عبر المقاومة Rs ولهذا يكون للدائرة القابلية على اعطاء تيار عالي جدا للحمل مقارنة بالتيار في حالة منظم التوازي اي باستعمال ثنائي زينر فقط.

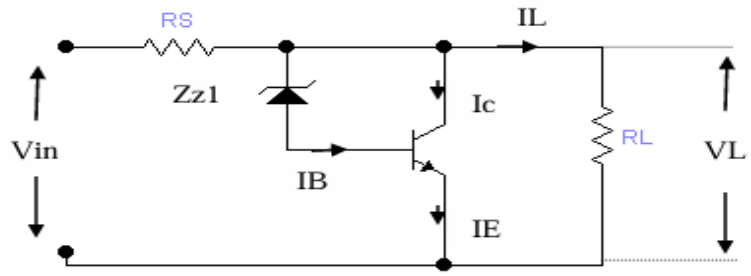
وقدرة التبديد المسموح بها للترانزستور فقط هي

$$P_D = (Vin\text{-}Vout)\ IL$$

2- منظم التوازي :

كما في الشكل يستخدم الترانزستور على التوازي مع ثنائي الزينر لذا تكون الفولتية عبر الحمل مساوية لفولتية ثنائي الزينر Vz زائدا هبوط الفولتية VBE

$$\mathbf{V_L=V_Z+V_{BE}}$$



الاسبوع السابع والثامن

ترانزستور تأثير المجال الوصلي (JEFT) – تركيبه – رمزه – نظرية العمل – منحنيات الخواص – منحني الموصلية التبادلية – تعريف جهد الضيق (V_P)، (I_{DSS})، (V_{GSoff}) – منحنيات خواص (MOSFET) – (D-MOSFET) – (E-MOSFET).

ترانزستور تأثير المجال الوصلي (JEFT):

بالرغم من ان فكرة ترانزستور تأثير المجال (FET) كانت معروفة منذ ان عرف ترانزستور ثنائي القطبية الوصلي (JBT) إلا ان عملية تصنيعه لم تتم بنجاح قبل سنة ١٩٦٠. في الوقت الراهن يعتبر ترانزستور تأثير المجال العنصر الأساسي المكون للدوائر المتكاملة.

يمتاز ترانزستور تأثير المجال عن ترانزستور ثنائي القطبية الوصلي (BJT) في عدة جوانب أهمها:

١. سهولة تصنيعه وكذلك صغر المساحة التي يشغلها لذلك فانه اكثر استعمالاً وملائمة في الدوائر المتكاملة، وكذلك تكون أطول عمراً واكبر كفاءة.
٢. يمتلك ممانعة إدخال عالية جداً (عادة ما تكون اكبر من 100MΩ).
٣. يكون أقل عرضة للتأثيرات الحرارية.
٤. يكون أقل توليداً للضوضاء.
٥. يمكن استعماله عند الترددات العالية وذلك لان حركة الحاملات في القناة لا تتم عن طريق الانتشار بل في مجال معجل.

ان اساس عمل ترانزستور تأثير المجال هو التحكم في قيمة التيار الخارج بواسطة التأثير الذي يحدثه المجال الكهربائي الناتج عن تسليط جهد على مسار ذلك التيار ولذلك سميت بترانزستور تأثير المجال ويسمى أيضا بالترانزستور الأحادي القطبية وذلك لان التيار الناتج يعتمد على حركة نوع واحد من حاملات الشحنة (اما الكترونات حرة أو فجوات) وذلك حسب نوع القناة (channel) المستعملة.

هناك نوعان من ترانزستور تأثير المجال وهي:

١- ترانزستور تأثير المجال الوصلي Junction Field-Effect Transistor (JFET)
٢- ترانزستور تأثير المجال ذي الأوكسيد المعدني Metal-Oxide-Semiconductor FET (MOSFET)

يعمل كلا النوعين على نفس الأساس وهو التحكم بالتيار بواسطة مجال كهربائي إلا ان لهما تركيب و الخواص مختلفة، لذا فسنقوم بدراسة كل نوع على حدة.

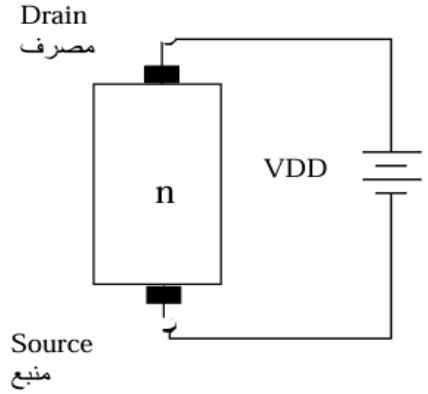
التركيب :

ترانزستور احادي القطبية يحتاج لحاملات الاغلبية فقط لكي يعمل والتسمية JFET تدل Junction Field Effect Transistor

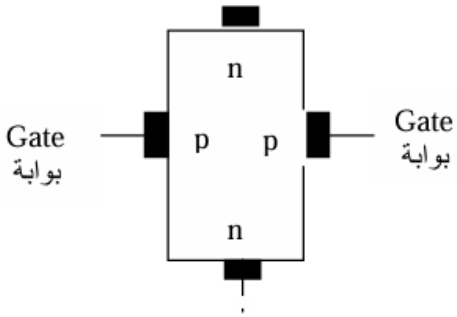
مناطقه كما في الشكل

تسمى النهاية السفلى بالمنبع Source وتسمى النهاية العليا بالمصرف Drain وقطعة شبه الموصل بينهما بالقناة channel فاذا كانت القناة من نوع n تكون الكترونات حزمة التوصيل هي الحاملات الاغلبية.

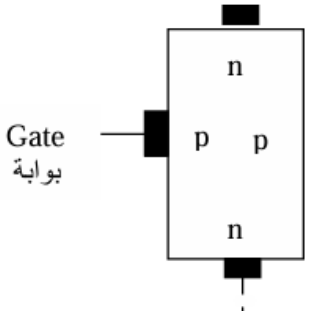
واعتمادا على VDD ومقاومة القناة نحصل على التيار



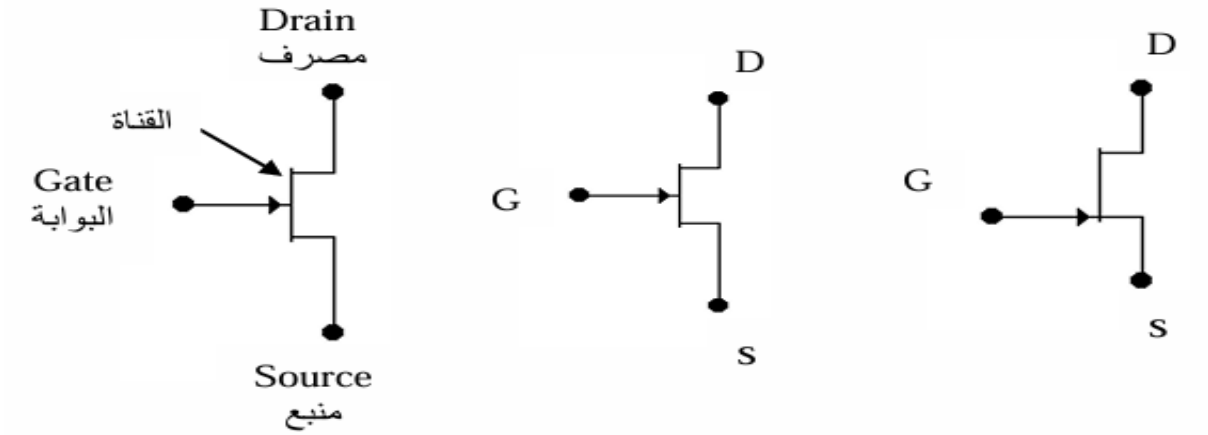
وبوضع منطقتي P باثنتين في جهة القناة نحصل على ترانزستور المجال الوصلي نوع القناة n كما في الشكل وتدعى كل من منطقتي p بالبوابة Gate وعند ربط الاطراف الخارجة لكل بوابة يدعى المكون بالبوابة المزدوجة الذي استعماله Mixer



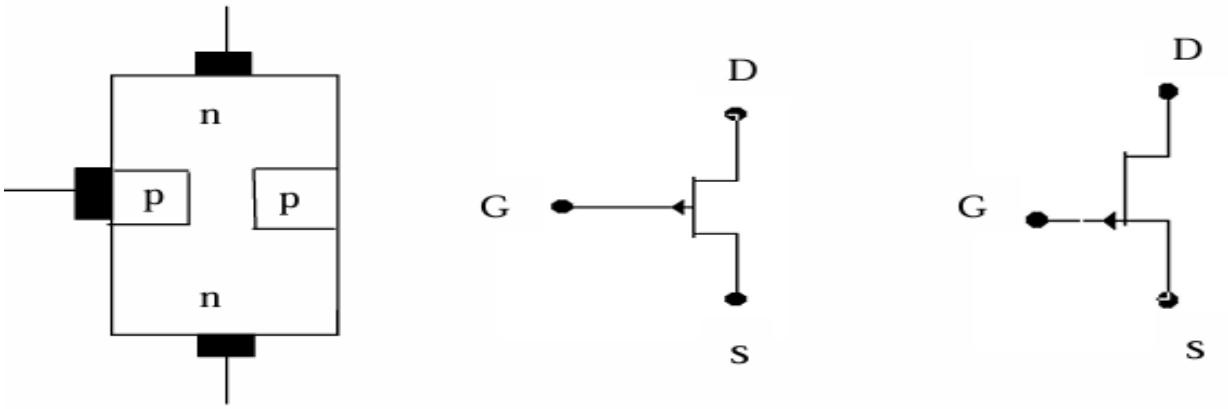
ولكننا سنركز على JFET ذي البوابة المفردة كما في الشكل الذي ربطنا بوابتاه داخليا ويمتلك طرف بوابة خارجي واحد وعند ذلك تكون لمنطقتي p نفس الجهد لانهما ربطا داخليا



الرمز :



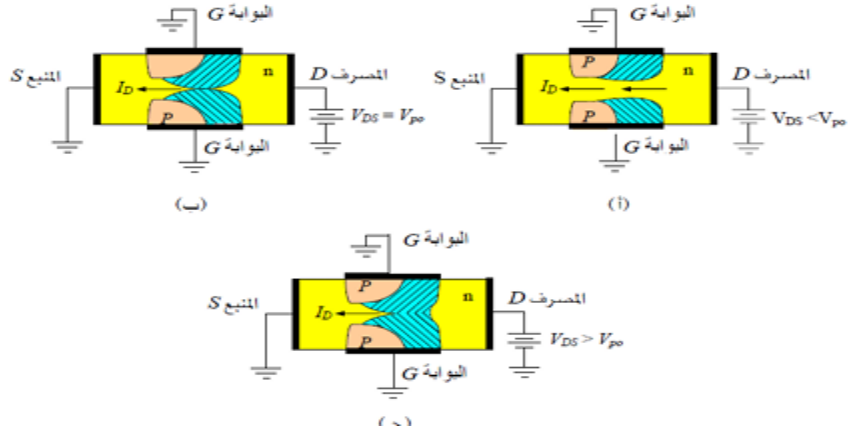
الترانزستور نوع n



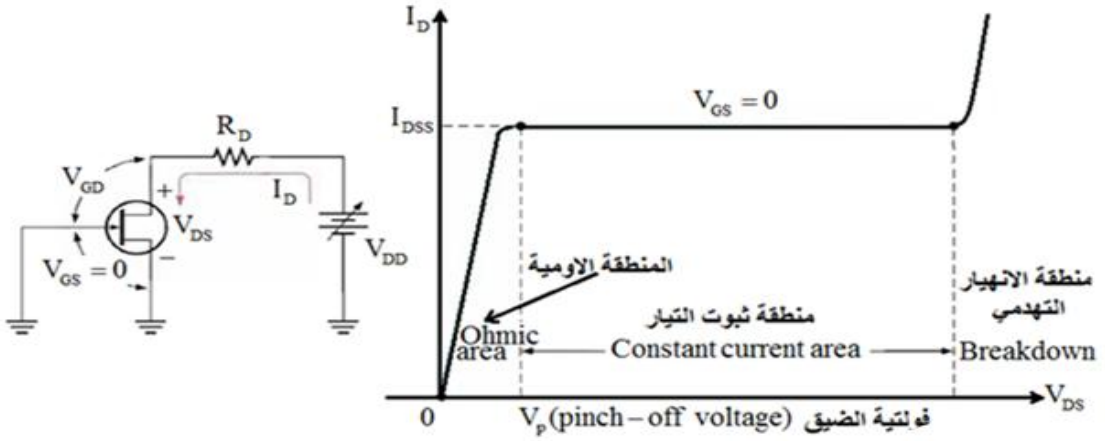
الترانزستور نوع p

مبدا عمل ترانزستور تاثير المجال الوصلي:

الشكل (أ) في ادناه يبين عرض منطقة الاستنزاف وكذلك عرض القناة بالنسبة للترانزستور ذي القناة n عندما تكون قيمة الجهد بين البوابة والمنبع تساوي صفرا ($V_{GS}= 0$) وعند قيم مختلفة للجهد V_{DS} المطبق بين المصرف والمنبع، نلاحظ من الشكل (ب) انه عندما تصل قيمة الجهد V_{DS} الى قيمة معينة يحدث اختناق او انحصار للقناة ولهذا سمي هذا الجهد بجهد الاختناق او الانحصار ويرمز له بالرمز V_{PO}.



من جهة أخرى فان تسليط جهد موجب على المصرف سيؤدي إلى تسليط جهد انحياز عكسي على وصلة *pn* التي يكونها كل من المصرف والمنبع مع البوابتين وبزيادة ذلك الجهد يزداد عرض منطقة الاستنزاف والذي يكون على حساب عرض القناة الذي يمر خلاله التيار من المنبع إلى المصرف وبالنتيجة تزداد مقاومة القناة وهذا يدفع إلى التقليل من تيار المصرف I_D كلما زاد الجهد V_{DS} المسلط.

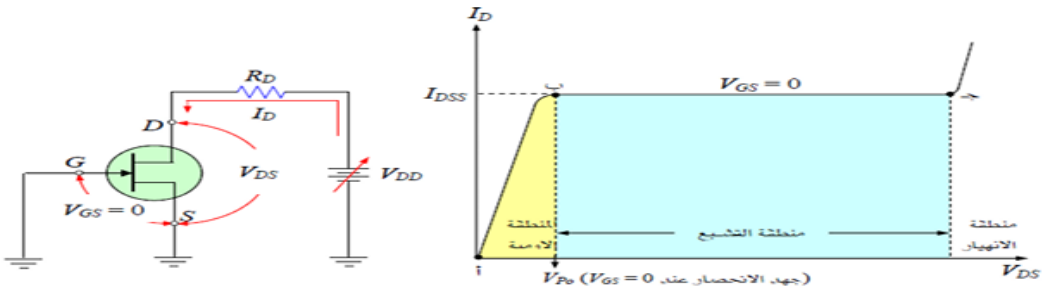


منحني تغير تيار المصرف مع فولتية المصرف في حالة تأريض البوابة

ان اساس عمل ترانزستور تأثير المجالهو التحكم في قيمة التيار الخارج بواسطة التاثير الذي يحدثه المجال الكهربائي الناتج عن تسليط جهد على مسار ذلك التيار ولذلك سميت بترانزستور تأثير المجال ويسمى أيضا بالترانزستور الأحادي القطبية وذلك لان التيار الناتج يعتمد على حركة نوع واحد من حاملات الشحنة (اما الكترونات حرة أو فجوات) .

منحنى خواص المصرف *The Drain Characteristic Curve*

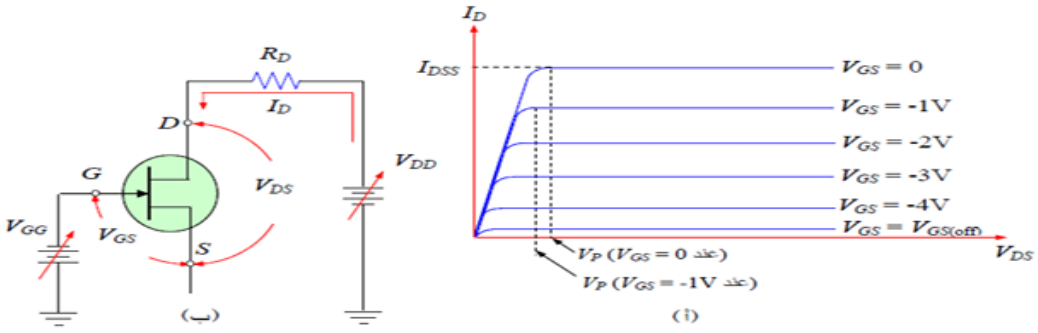
الشكل ادناه يبين العلاقة بين الجهد V_{DS} والتيار I_D بالنسبة للترانزستور ذي القناة n عندما تكون قيمة $(V_{GS}= 0)$ وعند قيم مختلفة للجهد V_{DS}. ان معدل زيادة التيار I_D بالنسبة للجهد V_{DS} يقل وذلك الى ان تصل قيمة الجهد V_{DS} الى القيمة V_{PO} وعندها يصل تيار المصرف I_D الى قيمة التشبع ويرمز لها بالرمز I_{DSS} ، نظرا لان العلاقة بين التيار I_D والجهد V_{DS} خلال هذه الفترة تتبع قانون اوم فقد اطلق عليها المنطقة الاومية. ومع زيادة قيمة الجهد V_{DS} عن القيمة V_{PO} للدرجة التي لا تسمح باية زيادة في قيمة التيار I_D عن قيمة التشبع التي وصل اليها عند قيمة الجهد V_{PO} ولذلك يطلق على المنطقة (ب - جـ) من منحني الخواص منطقة التشبع .



(أ) منحنى الخواص (ب) دائرة JFET عند $V_{GS} = 0$

ومع زيادة قيمة فرق الجهد V_{GS} بالاتجاه العكسي (لنحصل على مجموعة منحنيات) فان فرق جهد الضيق او الانحصار V_P يحدث عند قيم اقل لفرق الجهد V_{DS} كذلك يقل تيار التشبع كلما زادت قيمة انحياز البوابة عكسيا ويلاحظ ان قيمة التيار I_D بعد التشبع لا تعتمد على الجهد V_{DS} وانما تعتمد اساسا على جهد تحيز البوابة .لاحظ الشكل ادناه .

ومع زيادة قيمة فرق الجهد V_{GS} بالاتجاه العكسي (لنحصل على مجموعة منحنيات) فان فرق جهد الضيق او الانحصار V_P يحدث عند قيم اقل لفرق الجهد V_{DS} كذلك يقل تيار التشبع كلما زادت قيمة انحياز البوابة عكسيا ويلاحظ ان قيمة التيار I_D بعد التشبع لا تعتمد على الجهد V_{DS} وانما تعتمد اساسا على جهد تحيز البوابة .لاحظ الشكل ادناه .



(أ) منحنيات خصائص المصرف (ب) دائرة انحياز الترانزستور JFET ذي القناة n

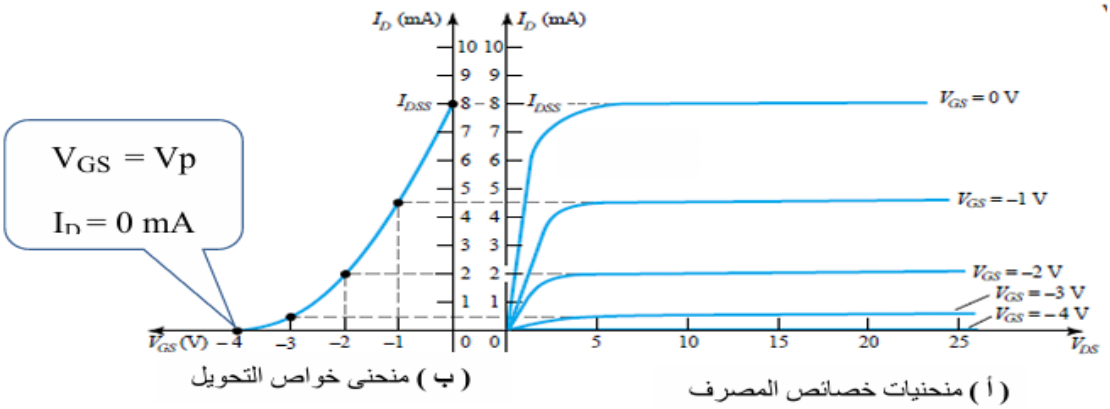
- **جهد الضيق** (Vpo) *Pinch-off voltage* :- يعرف جهد الضيق او الانحصار على انه قيمة الجهد V_{DS} التي تثبت عندها تقريبا قيمة التيار I_D .
- **جهد القطع** [$V_{GS(off)}$] *Cutoff voltage* :- يعرف جهد القطع على انه قيمة الجهد V_{GS} التي تجعل قيمة التيار I_D تقريبا تساوي صفرا.

يمكن حساب قيمة تيار الساحب (I_D) من المعادلة التالية :-

$$I_D = I_{Dss}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GSoff}}\right)^2$$

منحنى خواص التحويل *The Transfer Characteristic Curve*

من الشائع استعمال ترانزستور تاثير المجال في منطقة التشبع حيث لا تعتمد قيمة تيار المصرف I_D على الجهد V_{DS} وانما تعتمد على جهد تحيز البوابة V_{GS} . نستطيع الحصول على منحني خواص التحويل (العلاقة بين التيار I_D والجهد V_{GS}) من خواص المصرف كما موضح بالشكل ادناه .



مقاومة المصرف(r_d) *Drain resistance* : - هي عبارة عن معدل تغير الجهد V_{DS} بالنسبة لتغير التيار I_D عند ثبات الجهد V_{GS} وتتراوح قيمة هذه المقاومة تقريبا (100KΩ ⟵ 1MΩ) .

الموصلية (g_m) *Tran conductance* :- هي عبارة عن معدل تغير تيار المصرف I_D بالنسبة لتغير الجهد V_{GS} عند ثبات قيمة الجهد V_{DS} وتتراوح قيمة الموصلية من 0.1 الى 20 ملي امبير/فولت

$$gm = \frac{\Delta ID}{\Delta VGS}$$

يمكن الحصول على قيمة المعامل $\mathbf{g_m}$ من اشتقاق معادلة تيار الساحب :-

$$I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{VGS}{VGS\ off}\right)^2$$

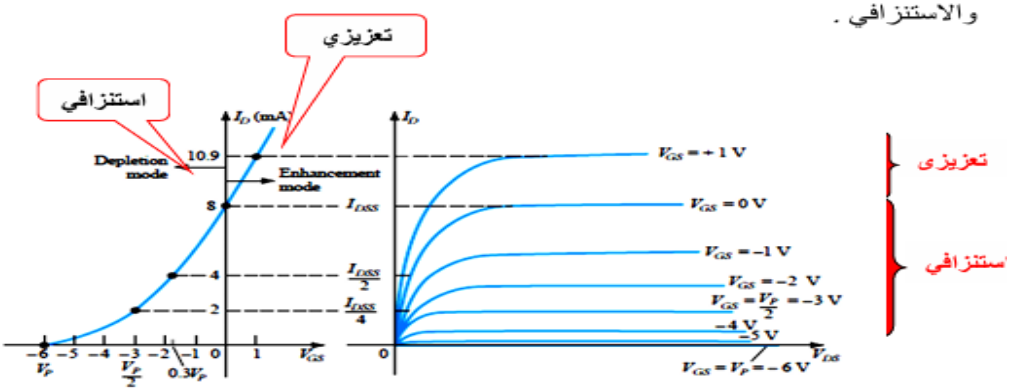
$$\frac{ID}{dVGS} = 2I_{DSS}\left(1 - \frac{VGS}{VGS\ off}\right)^2\left(-\frac{1}{VGS\ off}\right) = \frac{2IDSS}{VGS\ off}\left(1 - \frac{VGS}{VGS\ off}\right)$$

- عندما تكون $(V_{GS} = 0)$ تصبح قيمة $g_m = g_{mo}$

$$g_m = -\frac{2IDSS}{VGS\ off}\left(1 - \frac{VGS}{VGS\ off}\right) \qquad \boxed{g_m = g_{mo}\left(1 - \frac{VGS}{VGS\ off}\right)}$$

منحنيات *MOSFET*

الرسم ادناه يوضح خواص المصرف وخواص التحويل للترانزستور *MOSFET* للنوع التعزيزي والاستنزافي .



مثال : في دائرة انحياز الترانزستور JFET اذا كانت قيمة (I_{Dss} =8.4mA و V_{Gs} = - 0 .5V) وقيمة ($V_{Gs\ off}$ = -3V) . أحسب قيمة g_{mo} , g_m .

الحل :

$$g_{mo} = -\frac{2I_{DSS}}{V_{GS(off)}} = \frac{-2 \times 8.4mA}{-3V} = 5.6ms = 5600\mu s$$

$$g_m = g_{mo}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GSof}}\right) = 5.6\left(1 - \frac{-0.5\ V}{-3V}\right) = 4.67\ ms = 4670\mu\ s$$

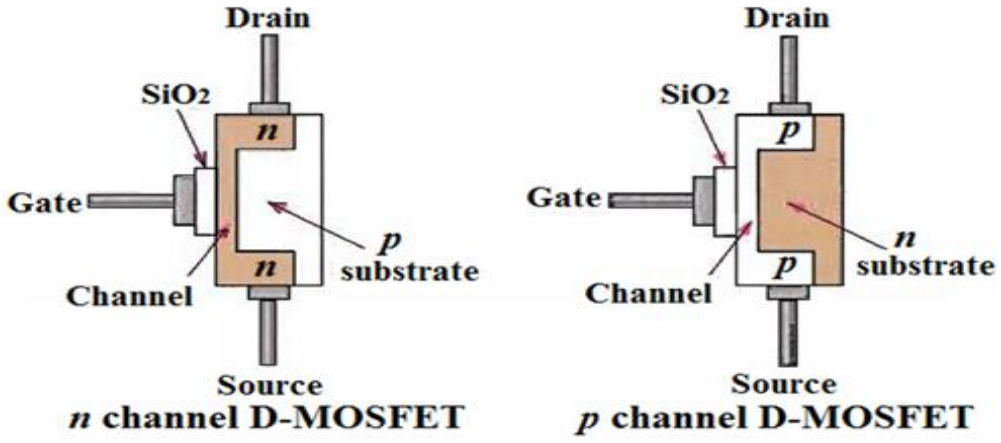
ترانزستور تأثير المجال ذي الأوكسيد المعدني MOSFET

Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor (MOSFET)

هو النوع الثاني من ترانزستور تأثير المجال ويختلف عن ترانزستور تأثير المجال الوصلي (JFET) بكونه لا يحتوي على وصلة *pn* وبدلاً عن ذلك تكون البوابة معزولة عن القناة بطبقة رقيقة من مادة عازلة (غالباً ما تكون ثاني أوكسيد السليكون SiO_2)، ولذلك يسمى MOSFET أحيانا بترانزستور تأثير المجال ذي البوابة المعزولة IGFET (Insulated–Gat FET). هناك نوعان من ترانزستور تأثير المجال ذي الأوكسيد المعدني هما:

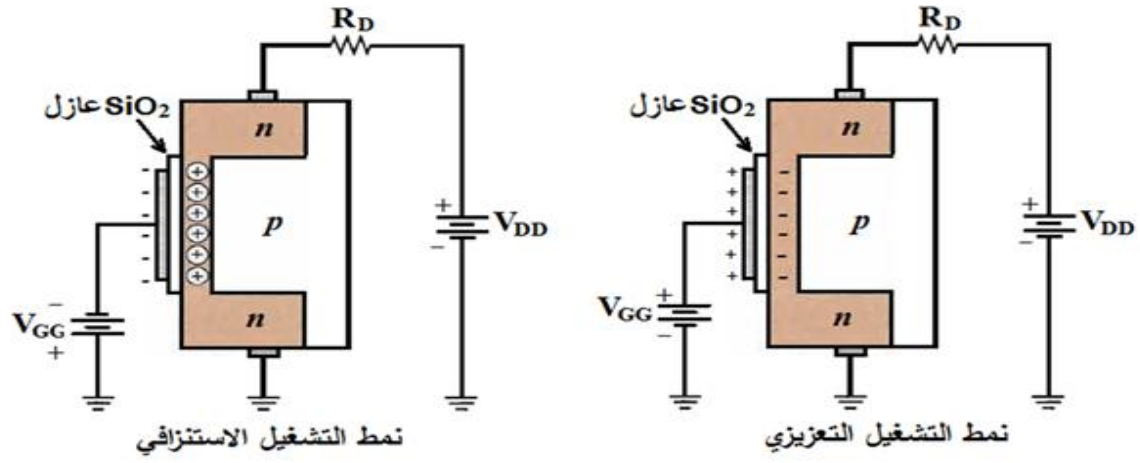
أولاً: ترانزستور تأثير المجال ذي الأوكسيد المعدني الاستنزافي D–MOSFET

الشكل يوضح تركيب D–MOSFET ذي القناة السالبة و تركيب D–MOSFET ذي القناة الموجبة. سوف نركز في دراستنا على ترانزستور D–MOSFET ذي القناة السالبة (قناة *p* تعامل بنفس الأسلوب ولكن بقطبيات معاكسة).



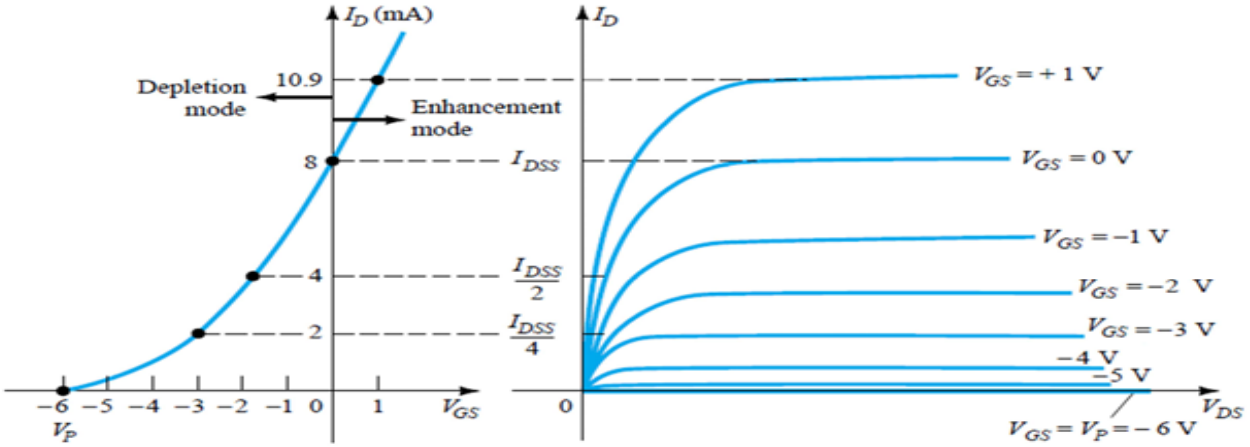
شكل . تركيب D–MOSFET ذي القناة السالبة و تركيب D–MOSFET ذي القناة الموجبة

لترانزستور D–MOSFET ذي القناة السالبة نمطين للعمل يسمى الأول نمط العمل الاستنزافي (depletion mode) وفيه تسلط فولتية سالبة على البوابة، اما الثاني فيسمى النمط التعزيزي (enhancement mode) وفيه يتم تسليط فولتية موجبة على البوابة، وغالباً يستعمل D–MOSFET للعمل ضمن النمط الاستنزافي، الشكل وضح نمطي التشغيل لـ D–MOSFET ذي القناة السالبة.



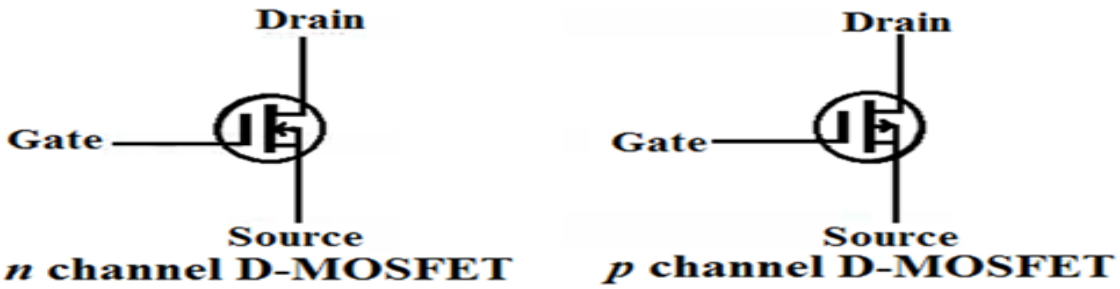
شكل نمطي التشغيل لـ D–MOSFET ذي القناة السالبة

الشكل التالي يوضح منحنيات خواص الإخراج ومنحنى الخواص الانتقالية لترانزستور D–MOSFET ذي قناة سالبة في حالة نمطي التشغيل الاستنزافي والتعزيزي:



شكل : منحنيات خواص الإخراج ومنحنى الخواص الانتقالية لترانزستور D–MOSFET ذي قناة سالبة في حالة نمطي التشغيل الاستنزافي والتعزيزي

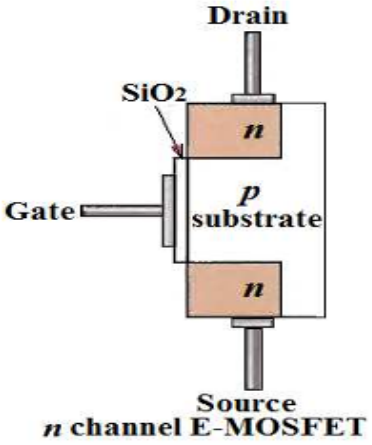
الشكل يوضح رمزي D–MOSFET ذي القناة السالبة والقناة الموجبة حيث يلاحظ الاختلاف مع رمز JFET بكون البوابة معزولة عن القناة وليست متصلة معها .



رمزي D–MOSFET ذي القناة السالبة والقناة الموجبة :

ثانياً: ترانزستور تأثير المجال ذي الأوكسيد المعدني التعزيزي E–MOSFET (Enhancement MOSFET)

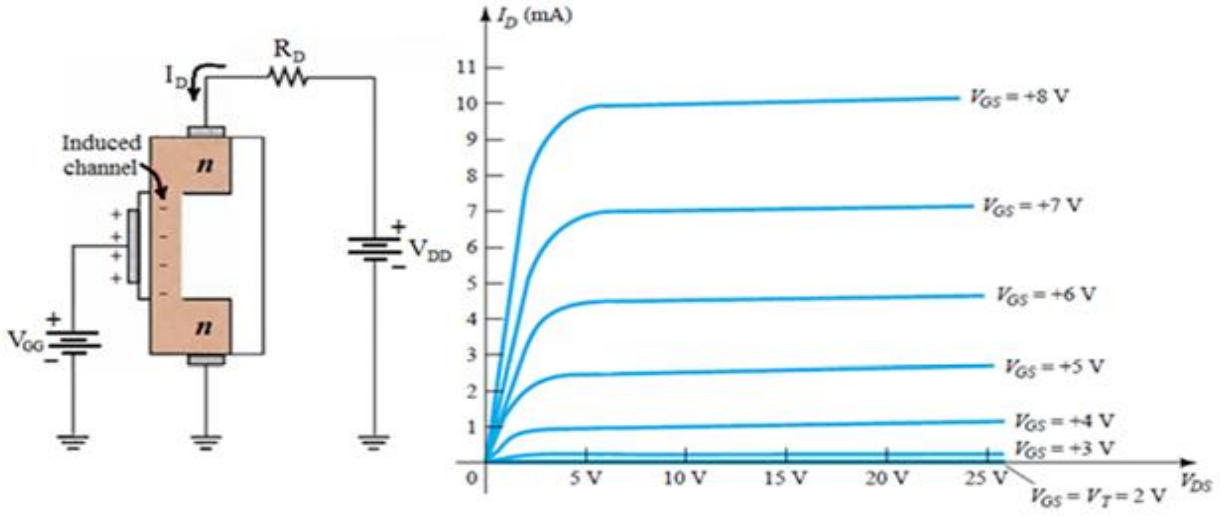
يعمل (E–MOSFET) ضمن النمط التعزيزي فقط، ويختلف عن D–MOSFET بكون تركيبه لا يتضمن قناة، حيث تمتد منطقة الأساس لتصل إلى طبقة العازل SiO_2. الشكل يوضح تركيب ترانزستور تأثير المجال ذي الأوكسيد المعدني التعزيزي ذي القناة السالبة، حيث يلاحظ عدم وجود قناة (في التركيب عند صناعته) وان منطقة الأساس متصلة بطبقة العازل.



: تركيب ترانزستور تأثير المجال ذي الأوكسيد المعدني التعزيزي ذي القناة السالبة

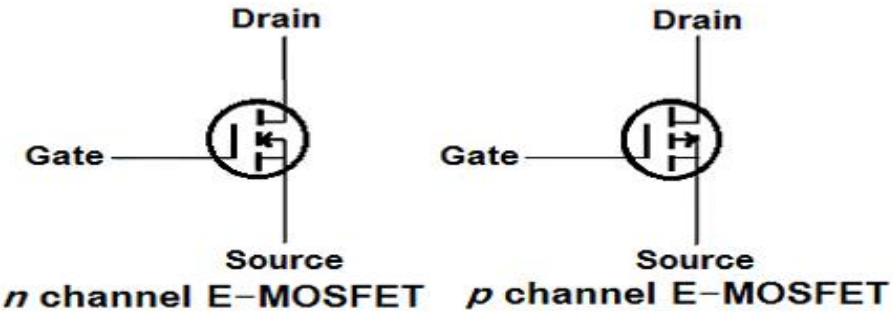
ان فكرة عمل E–MOSFET ذي القناة السالبة فتكون كالتالي:

عند تسليط جهد موجب على البوابة اعلى من قيمة حدية معينة (V_T) يؤدي إلى توليد قناة مؤلفة من طبقة رقيقة من الكترونات في منطقة الأساس المجاورة لطبقة العازل، وبزيادة الجهد المسلط عن القيمة الحدية تزداد توصيلية القناة "المستحثة" وبالتالي يزداد تيار المصرف بزيادة الجهد المسلط. الشكل يوضح منحنيات خواص الإخراج لترانزستور E–MOSFET ذي القناة السالبة والدائرة المستعملة.



شكل . منحنيات خواص الإخراج لترانزستور E–MOSFET ذي القناة السالبة

الشكل يوضح رمزي E–MOSFET ذي القناة السالبة و ذي القناة الموجبة، الخط المقطع للدلالة على عدم وجود القناة في التركيب.



رمزي E–MOSFET ذي القناة السالبة و ذي القناة الموجبة :

مقارنة بين انواع الترانزستورات :

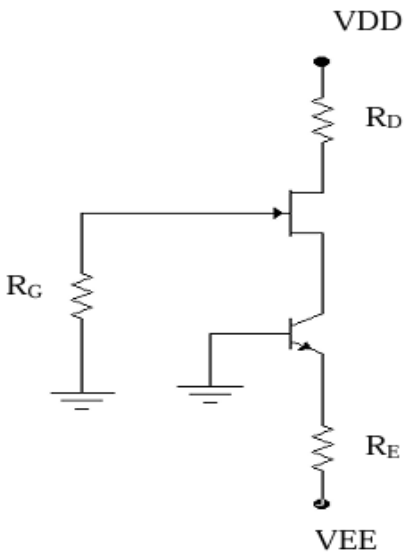
ترانزستور ثنائي القطب *BJT*	ترانزستور احادي القطب *JFET*
يسمى ترانزستور ثنائي القطب لان التيار المار فيه يتولد من الفجوات **و** الالكترونات معا .	يسمى ترانزستور احادي القطب لان التيار المار فيه يتولد التيار من الفجوات **او** الالكترونات فقط .
تتصل القاعدة بالباعث والجامع اتصالا وصليا.	يتصل المصدر والمصرف اتصالا اوميا.
تيار القاعدة يسيطر على تيار الجامع ، لذلك يعمل الترانزستور كمنظبط بالتيار.	فولتية البوابة – المصدر تسيطر على تيار المصرف لذلك يعمل الترانزستور كمنظبط بالفولتية
لعمل الترانزستور تكون القاعدة منحازة اماميا.	لعمل الترانزستور تكون البوابة منحازة عكسيا .
تكون قيمة المقاومة الداخلية صغيرة ، لذلك يكون تيار الاخراج اكثر حساسية للتغيرات في فولتية الادخال.	تكون قيمة المقاومة الداخلية عالية جدا تقترب الى مالانهاية ، لذلك يكون تيار الاخراج اقل حساسية للتغيرات في فولتية الادخال
ترانزستور احادي القطب *JFET*	**ترانزستور احادي القطب نوع *MOSFET***
لعمل الترانزستور تسلط فولتية سالبة على البوابة فقط .	لعمل الترانزستور تسلط فولتية اما سالبة او موجبة على البوابة
يعمل الترانزستور باسلوب استنزافي فقط .	يعمل الترانزستور باسلوب استنزافي وباسلوب تعزيزي .
يعتبر موصلا وبتغيرجهد الدخل يصل الترانزستور الى حالة القطع.	النوع التعزيزي يعتبرغير موصل ويحتاج جهد دخل موجب حتى يبدأ بالتوصيل .
ترسب البوابة مع القناة ، لذا تكون البوابة غيرمعزولة عن القناة .	ترسب البوابةعلى عازل من الاوكسيد المعدني لذا تكون البوابة معزولة عن القناة .
يكون تيار البوابة المتسرب كبير مقارنة بنوع MOSFET	يكون تيار البوابة المتسرب قليل بسبب البوابة المعزولة
تكون المقاومة الداخلية اقل مقارنة بنوع MOSFET	المقاومة الداخلية عالية جدا على مدى واسع من درجات الحرارة

الاسبوع التاسع والعاشر

دوائر الانحياز (FET) – انحياز مصدر التيار الثابت – نقطة العمل الانحياز الذاتي – الدائرة المكافئة لل (FET) استخدام (FET) في تكبير الاشارة الصغيرة

دوائر الانحياز (FET):

1- **انحياز مصدر التيار الثابت:**



الطريقة الامثل لتثبيت تيار المصرف ضد التغيرات في ثوابت FET وذلك بتوفير مجهز مجزا"مجهز ذو فولتية موجبة واخرسالبة" حيث يعمل ترانزستور ثنائي القطبية عمل مصدر تيار ويجبر ترانزستور المجال الوصلي على امتلاك ID يساوي IC وبذلك نستطيع التحكم بقيمة IDمن خلال IC.

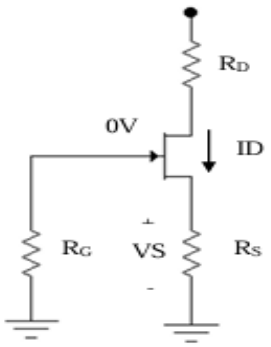
تيار الباعث في ترانزستور ثنائي القطبية

$$IE \approx \frac{VEE}{RE}$$

يعمل الجامع للثنائي مثل مصدر تيار ' لذلك فهو يرغم تيار المصرف على ان يساوي IE تقريبا

2- **نقطة العمل الانحياز الذاتي:**

اكثر الطرق شيوعا في تحييز JFET يسري تيار المصرف الى الاسفل خلال R_D , R_S



الفولتية بين المصرف والمنبع $VDS=VDD-ID\ (R_D+R_S)$

الفولتية عبر مقاوم المنبع $VS=IDR_S$

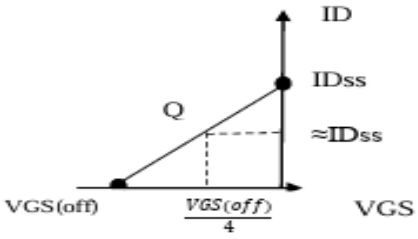
VG=0 لان تيار البوابة صغيرة جدا يمكن اهماله

$VGS=VG-VS=0-IDR_S$

تمثل فولتية الانحياز الذاتي ولاضرورة لوجود مصدر فولتية خارجي يسوق البوابة $VGS= -IDR_S$

الانحياز الذاتي يثبت نقطة العمل QPoint ضد تغيرات توابت JFET مثل " gmo , IDss "
في الشكل فولتية بوابة تساوي ربع VGS(off) تنتج تيار مصرف يساوي نصف IDss تقريبا
وهذه القيم تنتج

$$RS = \frac{-VGS(off)}{2IDss}$$

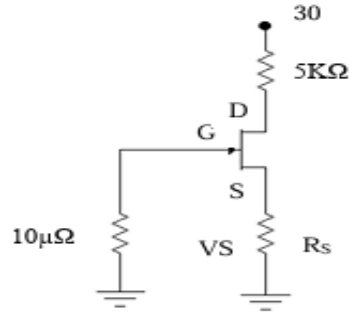


للانحياز عند نقطة وسطى

$$VGS(off) = \frac{2IDss}{gmo} \qquad RS = \frac{1}{gmo}$$

مثال :-الترانزستور في الشكل له "gmo=5000μs " "IDss=5mA "كم هي قيمة RS لانحياز عند نقطة وسطى ؟وماقيمة VGSالقابلة لها؟وماقيمةVDS؟

الحل:-



$$RS = \frac{1}{gmo} = \frac{1}{5000*10^{-6}} = 200\Omega$$

عند نقطة وسطى $ID = 2.5m\ A$

$$VGS = -IDRs = -2.5*10^{-3}*200 = -0.5\ V$$

$$VDS = VDD - ID\ (RD+Rs)$$

$$30 - 2.5*10^{-3}(5000+200) = 17V$$

الدائرة المكافئة لل (FET):

استخدام (FET) في تكبير الاشارة الصغيرة

تتكون الدائرة المكافئة لترانزستور تأثير المجال (FET) بشكل مثالي من بوابة (على شكل مكثف)، ومصدر، ومصرف، وموصلية انتقالية (gm)، ومقاومة خرج (ro).

عناصر الدائرة المكافئة لـ FET:

البوابة :(Gate) تُعتبر البوابة عادةً مكثفًا.

المصدر (Source) والمصرف :(Drain) يمثلان الأطراف الرئيسية لتدفق التيار.

الموصلية الانتقالية :(Trans conductance - gm) تُستخدم لتمثيل كيفية تغيير تيار المصرف استجابةً لتغير جهد البوابة.

مقاومة الخرج :(Output Resistance - ro) تصف كيفية تغير تيار المصرف استجابةً لتغير جهد المصرف، خاصةً عند ثبات جهد البوابة.

ملاحظة: الدوائر المكافئة ضرورية لتحليل سلوك المكونات الإلكترونية مثل FETs في نطاق التيار المتردد أو التيار المستمر. عند تكوين دائرة مكافئة للتيار المستمر، يتم استبدال المكثفات بدوائر مفتوحة، والملفات بدوائر قصر، ويتم تقليل مصادر التيار المتردد إلى الصفر، مع استبدال مصادر الجهد المترددة بدوائر قصر.

الاسبوع الحادي عشر والثاني عشر

مقارنة بين انواع الـ (FET) (FET ، MOSFET) وبين (BJT)
تركيب وخصائص ترانزستور IGBT - تطبيقاته

ترانزستور BJT	ترانزستور MOSFET
يتم التحكم به عن طريق التيار المطبق على القاعدة (B)	يتم التحكم به عن طريق الجهد المطبق على البوابة (G)
مقاومة الدخل صغيرة وبالتالي تحتاج لتيار لعملية التحكم	مقاومة الدخل كبيرة وبالتالي لن يستهلك أي تيار لعملية التحكم
القدرة على مضاعفة التيار أقل	القدرة على مضاعفة التيار كبيرة
القدرة على مضاعفة الجهد كبيرة	القدرة على مضاعفة التيار أقل
احتمالية تلفه أقل	احتمالية تلفه كبير
يستخدم للتحكم بالترددات المتوسطة	يستخدم للتحكم بالترددات العالية
منخفض السعر	عالي السعر
استهلاكه للقدرة أكبر	استهلاكه للقدرة أقل
ينتج منه حرارة أكبر	ينتج منه حرارة أقل

ما هو الفرق بين ترانزستور BJT وFET

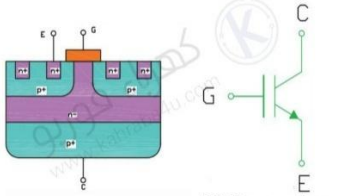
ترانزستورBJT	ترانزستورFET
ترانزستور ثنائية القطب	ترانزستور تأثير المجال
له 3 أطراف (مجمع- قاعدة- باعث)	له 3 أطراف (مصرف- بوابة- مصدر)
يوجد نوعينPNP, NPN :	يوجد نوعين JFET :وMOSFET
يستهلك تيار تحكم بسيط على طرف القاعدة	يتم التحكم في طرف البوابة بواسطة تطبيق جهد موجب على Enhancement-mode أو سالب على Depletion-mode
يعمل إذا كان الجهد المطبق على القاعدة أكبر من 0.7 فولت على طرف القاعدة	-لا يمرر الموسفت تيار بين طرفي المصدر والمصرف إذا ما تم تطبيق جهد موجب أو سالب
يستهلك تيار على طرف القاعدة	يعتمد طرف البوابة على الجهد فقط دون التيار
مقدار سخونة أكبر	مقدار سخونة أقل
أقل تكلفة	أكثر تكلفة

تركيب وخصائص ترانزستور IGBT :

الترانزستور ثنائي القطبية ذو البوابة المعزولة IGBT (insulated-gate bipolar transistor) يجمع بين ميزات من كل من MOSFET و BJT مما جعله مفيدًا في تطبيقات التبديل (switching) عالية الجهد والتيار العالي. لقد حلت ترانزستورات IGBT إلى حد كبير محل MOSFET و BJT في العديد من هذه التطبيقات.

يمتلك ترانزستور IGBT خصائص توصيل الخرج لـ BJT ولكن يتم التحكم فيه باستخدام الفولتية مثل MOSFET، وله ثلاثة أطراف، مجمع (collector) وباعث (emitter) وبوابة(gate) .

رمز ترانزستور IGBT مشابه لرمز BJT باستثناء وجود شريط إضافي يمثل هيكل بوابة MOSFET بدلاً من القاعدة.



رمز ترانزستور IGBT

يمتاز ترانزستور IGBT بأنه يتم الحصول على زيادة في كثافة التيار والتي تفوق كثافة التيار في ترانزستور BJT ويمتاز أيضا بأن سرعة تبديله (الفصل والتوصيل) أسرع من BJT ولكن مازالت أقل من MOSFET حيث تصل إلى 40 كيلوهرتز. ويتوافر هذا النوع بمقننات تصل إلى 1600 فولت للجهد و1000 أمبير للتيار. ويستخدم هذا النوع بكثرة في دوائر التحكم في المحركات الكهربائية.

الترانزستور IGBT يتكون من نوعين من الترانزستورات، الأول يمثل مدخل المفتاح، وهو عبارة عن ترانزستور نوعMOSFET ، والآخر ترانزستور الخرج، وهو عبارة عن ترانزستورBJT ، ويمتلك الترانزستور IGBT ثلاثة أطراف هي المجمع (Collector) والباعث (Emitter) والبوابة.(Gate)

استخدامات الترنزستورIGBT :

يتم استخدام IGBT في مجموعة متنوعة من تطبيقات إلكترونيات القدرة بسبب كفاءتها العالية، وسرعات التبديل العالية. بعض تطبيقات ترانزستور IGBT ما يلي:

1- عاكسات الجهد Voltage inverters

2- التحكم بسرعة المحرك الكهربائي.

3- دارات التقطيع chopping circuits

4- وحدات التغذية الكهربائية.

5- مصادر الطاقة غير المنقطعة :(UPS) يتم استخدام IGBTs في أنظمة ال UPS لقدرتها على سرعة التبديل العالية والتي تضمن انتقال سلس بين المصدر الرئيسي والاحتياطي.

6- دوائر تحويل الجهد المستمر do-de converters

7- دوائر شحن البطاريات.

مميزات ترانزستور ثنائي القطب معزول البوابة IGBT :

تمتلك IGBT العديد من المزايا على أجهزة أشباه الموصلات الأخرى مثل MOSFET والترانزستور ثنائي القطبية .BJT فيما يلي بعض المميزات:

1 الجهد العالي والقدرة على التعامل مع التيار.

2- مقاومة مدخلات عالية جدًا.

3- يمكن تحويل التيار العالي جدًا باستخدام جهد منخفض جدًا.

4- جهاز يتم التحكم فيه بالجهد، أي أنه لا يحتوي على تيار دخل وفقد دخل منخفض.

5- تعمل دوائر تشغيل البوابة البسيطة وغير المكلفة على تقليل متطلبات تشغيل البوابة

5- يمكن تشغيله بسهولة عن طريق تطبيق جهد إيجابي وإيقاف تشغيله عن طريق تطبيق جهد صفري أو سلبي.

6- لديه مقاومة منخفضة للغاية.

7- يتمتع بكثافة تيار عالية، مما يمكنه من الحصول على حجم شريحة أصغر.

8- يتمتع بكسب طاقة أعلى من أنابيب BJTs و.MOS

9- لديه سرعة تحويل أعلى من.BJTs

10- يمكن تبديل المستوى الحالي العالي بجهد تحكم منخفض.

11- تعزيز الموصلية بسبب الطبيعة ثنائية القطب.

12- أكثر أمانا.

عيوب ترانزستورIGBT:

لدى IGBT بعض العيوب التي يجب مراعاتها أثناء تصميم الدوائر الإلكترونية مثل:

1- سرعة تحويل أقل من أنابيب.MOS

2- أحادي الاتجاه، لا يمكنه التعامل مع أشكال موجات التيار المتردد بدون دوائر إضافية.

3- لا يمكن منع الفولتية العكسية الأعلى.

4- أكثر تكلفة من أنابيب BJTs و.MOS

5- على غرار بنية PNPN للثايرستور، فإنه يعاني من مشاكل في التوصيل.

6- وقت إيقاف تشغيل أطول من أنابيب.PMOS

7- هيكل PNPN مشابه للثايرستور مع وجود مشكلات في الإغلاق.

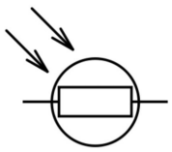
8- أوقات إيقاف تشغيل أطول من أنابيب.PMOS

الاسبوع الثالث عشر والرابع عشر

المقاوم المعتمد على الضوء (LDR) – الثنائي الباعث للضوء – الثنائي الضوئي لوحة القطع السبعة تركيبها وتطبيقاتها

المقاوم المعتمد على الضوء (LDR):

المقاومة الضوئية (Light Dependent Resistor LDR) :وتعني المقاومة المعتمدة على الضوء، كما يوحي اسمها فهي مقاومة حساسة للضوء، تعتمد قيمتها على الضوء الساقط عليها، تقل قيمة المقاومة مع زيادة شدة الضوء، وتزداد قيمتها مع انخفاضه. أي انها تتناسب عكسيًا مع شدة الضوء. وتسمى أيضًا.(photoresistor)
تُصنع المقاومة الضوئية LDR من مواد شبه موصلة وحساسة للضوء مثل كبريتيدات الكاديوم (CdS) وتكون بشكل متعرج كما في الصورة وذلك لزيادة قيمة المقاومة وتقليل التيار عند الظلام، ويتم توصيل اثنين من الملامسات المعدنية على طرفي الشريط المتعرج، تمثل اطراف المقاومة والتي يتم ربطها مع الدوائر الكهربائية. ويتم وضع طلاء شفاف على الجزء العلوي لها لحماية المادة الحساسة للضوء، ويكون الطلاء شفافًا لتتمكن المقاومة من امتصاص الضوء من البيئة المحيطة بسهولة.
هناك العديد من الرموز المختلفة المستخدمة مع المقاومة الضوئية، ومن أكثر الرموز المستخدمة هي خط متعرج كالمنشار او مستطيل في وسط دائرة، مع وجود سهم أو سهمين تشير إلى سقوط الضوء عليها.



مبدأ عمل المقاومة الضوئية:

تعمل المقاومة الضوئية وفقًا لمبدأ الموصلية الضوئية (photo conductivity) عندما يسقط الضوء على المادة الموصلة فإنها تمتص الطاقة الضوئية وتعمل على إثارة الإلكترونات الموجودة في المدار الأخير (نطاق التكافؤ) للمادة الموصلة، ومن ثم تعمل الإلكترونات الحرة على التوصيل وبالتالي تزيد الموصلية حسب الزيادة في شدة الضوء. ويجب أن تكون طاقة الضوء الساقط أكبر من طاقة الـ (band gap) بحيث تكون الإلكترونات في نطاق التكافؤ مثارة وتعمل على التوصيل.

خصائص المقاومة الضوئية :

تعتمد هذه المقاومة على الضوء، تقل قيمتها عند سقوط الضوء عليها وتزداد في الظلام، وعندما تكون في مكان مظلم تصبح مقاومتها عالية جدًا ويمكن أن تصل إلى عدة ميقا اوم وعند تعرضها للضوء تنخفض قيمتها بشكل كبير. وفي حالة تطبيق جهد ثابت عليها وزادت شدة الضوء، يبدأ التيار في الارتفاع.

مزايا المقاومة الضوئية :

1- لها حساسية عالية.

2- بسيطة التركيب وصغيرة الحجم.

3- سهولة في استخدامها.

4- رخيصة وغير مكلف.

5- نسبة مقاومة الـ(light-dark) عالية.

6- توصيلها بسيط.

عيوب المقاومة الضوئية:

1- استقرار درجة الحرارة منخفض بالنسبة لأفضل المواد.

2- تستجيب المواد المستقرة، ببطء شديد.

3- استخدامها محدود في الحالات التي يتغير فيها شدة الضوء بسرعة.

4- استجابتها للتغير في الضوء غير سريعة.

5- تتأثر بتغير درجة الحرارة المحيطة بها.

تطبيقات المقاومة الضوئية :

تتميز المقاومة الضوئية (LDR) بانخفاض تكلفتها وبتركيبها البسيط وغالبًا ما تستخدم كحساسات ضوئية. تشمل التطبيقات الأخرى للمقاومات الضوئية ما يلي:

1- تستشعر حالات غياب أو وجود الضوء كما في الكاميرات.

2- تستخدم في تصميم إنارة الشوارع.

3- تستخدم في الاضاءات التي تعمل من الغروب حتى شروق الشمس كالإضاءات الخارجية للمنازل أو المحلات التجارية لتشغيل الإضاءة عند حلول الظلام وإيقافها في النهار اتوماتيكي.

4- تستخدم في ساعات التنبيه.

5- دوائر الإنذار من السرقة.

6- أجهزة قياس شدة الضوء.

الثنائي الباعث للضوء :

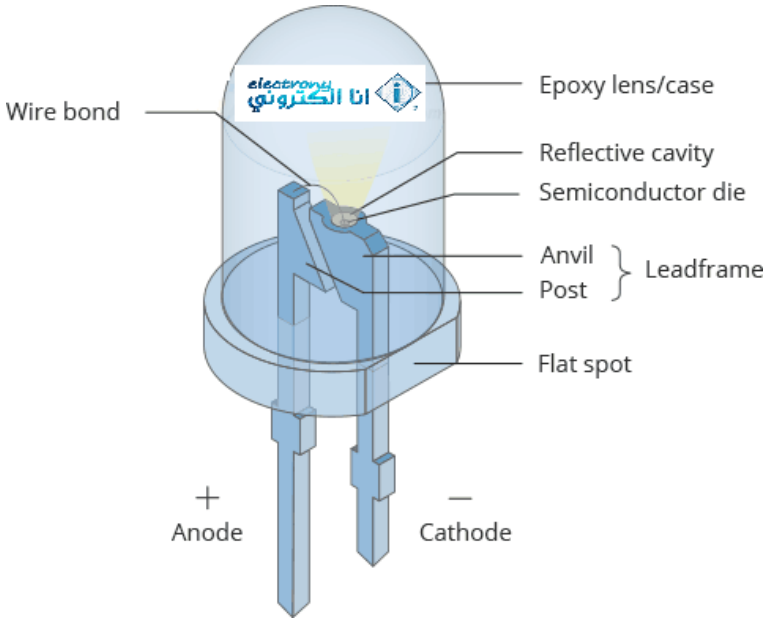
LEDs موجودة في كل مكان – في هواتفنا وفي سياراتنا وحتى في منازلنا . عندما يضيء جهاز إلكتروني ، هناك فرصة جيدة أن يكون مؤشر LED خلفه.

LEDs تشبه المصابيح الصغيرة. لكنها تمتاز بانخفاض استهلاك الطاقة ، وصغر حجمها ، والتبديل السريع وعمر طويل يجعلها مثالية للأجهزة المحمولة وغيرها من التطبيقات منخفضة الطاقة.

إنها نوع خاص من الصمام الثنائي الذي يحول الطاقة الكهربائية إلى ضوء . لديهم خصائص كهربائية مشابهة جدا للديود ذو الوصلة PN العادي . هذا هو السبب في أن رمز LED يشبه الصمام الثنائي PN الطبيعي ، إلا أنه يحتوي على سهام تشير بعيداً عن الصمام الثنائي تشير إلى أن الضوء ينبعث من الصمام الثنائي.

البناء الداخلي للصمام المشع للضوء :

الصمام المشع للضوء شائعة جدًا ، فهي تأتي في مجموعة كبيرة من الأشكال والأحجام والألوان . الشكل التالي يبين أجزاء منه.



بناء الصمام يختلف كثيرا عن الصمام الثنائي العادي . تحاط وصلة PN الخاص بمصباح LED بقشرة من راتنج الإيبوكسي البلاستيكي الصلب الشفاف.

يتم تصنيع القشرة بطريقة تركز فوتونات الضوء المنبعثة من الوصلة صعودًا من خلال الجزء العلوي المقبب من LED، والذي يعمل كعدسة . هذا هو السبب في أن الضوء المنبعث يبدو أكثر إشراقًا في مقدمة المصباح.

كما هو الحال في الصمام الثنائي العادي ، يسمى الجانب الموجب من LED الأنود ، بينما يسمى الجانب السالب

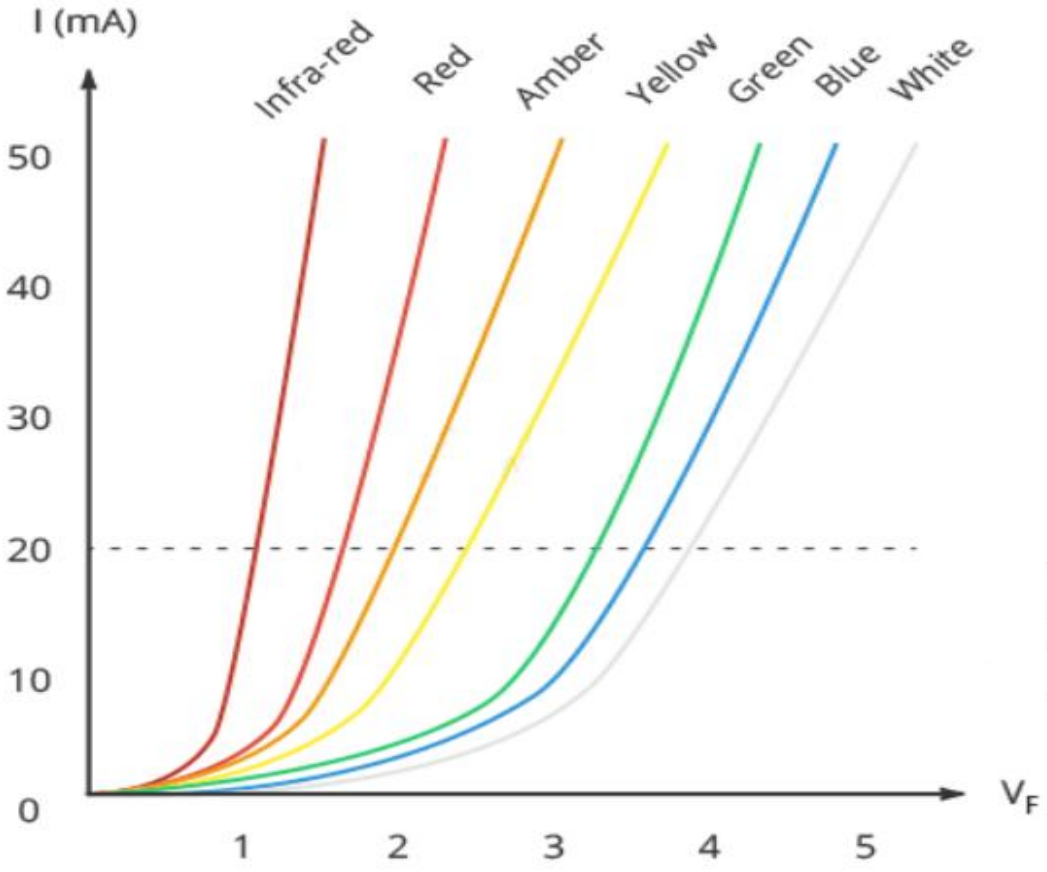
من الصمام الكاثود . يشار عادة إلى الكاثود من خلال وجود طرف أقصر من الأنود . ليس هذا فقط ، فإن الجزء الخارجي من العلبة البلاستيكية يحتوي عادةً على بقعة مسطحة أو درجة يمكن أن تشير أيضًا إلى جانب الكاثود في. LED

ليست كل مصابيح LED نصف كروية الشكل ، بعضها مستطيل الشكل بينما البعض الآخر أسطواني ، لكن معظمها مبني بالطريقة نفسها.

جهد وتيار الصمام الثنائي الباعث للضوءLED :

بالنسبة لمعظم LED منخفضة الطاقة ، يتراوح انخفاض الجهد المعتاد من 1.2 فولت إلى 3.6 فولت للتيارات بين 10 مللي أمبير إلى 30 مللي أمبير . يعتمد انخفاض الجهد بالضبط على مادة أشباه الموصلات المستخدمة ، اللون ، التسامح ، إلى جانب عوامل أخرى.

نظرًا لأن LED هو في الأساس ديود ، يمكن رسم منحنيات الخصائص IV لكل لون كما هو موضح أدناه.



الثنائي الضوئي (Photodiode)، والمعروف أيضًا بالصمام الثنائي الباعث للضوء (LED)، هو جهاز إلكتروني شبه موصل يصدر الضوء عند مرور تيار كهربائي من خلاله، ويعتمد تركيبه على طبقات من مواد شبه موصلة تُبنى فوق بعضها البعض لتكوين بنية تسمح بإعادة تركيب الإلكترونات والثقوب مما يولد فوتونات الضوء.

تركيب الثنائي الضوئي:

يتكون الثنائي الضوئي بشكل عام من:

1- طبقة الركيزة:(Substrate Layer)

وهي الطبقة الأساسية التي تُبنى عليها باقي الطبقات، وغالبًا ما تكون من مواد مثل الياقوت أو كربيد السيليكون، وتوفر دعمًا ميكانيكيًا وإدارة حرارية.

2- طبقة من النوع:(N-type Layer) N

طبقة رقيقة من مادة شبه موصلة غنية بالإلكترونات، وهي حاملات الشحنة.

3- الطبقة النشطة:(Active Layer)

طبقة حاسمة في انبعاث الضوء، تتكون غالبًا من آبار كمومية متعددة تسهل إعادة تركيب الإلكترونات والثقوب.

4- طبقة من النوع:(P-type Layer) P

طبقة تحتوي على فائض من "الثقوب" وهي شواغر مشحونة بشكل إيجابي، مما يسهل انتقالها للمساعدة في عملية إعادة التركيب.

5- طبقات الاتصال:(Contact Layers)

طبقات معدنية توصل إلى منطقتي النوع N والنوع P للسماح بتدفق التيار.

6- التغليف:(Encapsulation)

غالبًا ما يتم تغليف الجهاز في راتنج إيبوكسي شفاف أو مادة شفافة لحمايته وتعزيز استخلاص الضوء.

طريقة العمل:

عند توصيل الثنائي الضوئي بمصدر كهربائي، ينتقل التيار عبر طبقاته، مما يسبب انتقال الإلكترونات من منطقة النوع N والثقوب من منطقة النوع P إلى المنطقة النشطة. عند إعادة تركيب الإلكترونات والثقوب في هذه المنطقة، يتم إطلاق فرق الطاقة على شكل فوتونات، وهي جسيمات الضوء. لون الضوء المنبعث يعتمد على المادة شبه الموصلة المستخدمة ومستويات الطاقة المحددة التي تقفز بينها الإلكترونات.

التطبيقات:

يستخدم الثنائي الضوئي في مجموعة واسعة من التطبيقات، بما في ذلك:

1- الاتصالات الضوئية:

كجهاز استقبال للإشارات الضوئية في الاتصالات عبر الألياف الضوئية أو من خلال توجيه الأشعة الساقطة.

2- الأجهزة الإلكترونية الاستهلاكية:

في مشغلات الأقراص المضغوطة، وكاشفات الدخان، ومستقبلات أجهزة التحكم عن بُعد بالأشعة تحت الحمراء.

3- أجهزة الإنذار:

في أنظمة الإنذار للأمن.

4- المختبرات العلمية:

ككواشف حساسة للضوء وفي تطبيقات مثل تمثيل البناء الضوئي.

الاسبوع الخامس عشر

الترانزستور الضوئي – تركيبه – عمله – تطبيقاته العملية

الترانزستور الضوئي:

الترانزستور الضوئي هو جهاز يعمل بتحويل الفوتونات الواردة إلى إلكترونات في قاعدة ترانزستور ثنائي القطب . وكما هو الحال في أي ترانزستور من هذا النوع، يُسبب تيار القاعدة تدفق تيار مجمع-باعث أكبر، والذي تكتشفه دائرة كهربائية.

يعمل الترانزستور الضوئي كمفتاح حساس للضوء، ويشبه في تركيبه الترانزستور ثنائي القطبية (العادي)، ولكن دون طرف القاعدة الذي يستبدل بسطح حساس للضوء.

إذ يعتمد في عمله على الظاهرة الفولتيه الضوئية، أي إن تيار القاعدة يتولد بالضوء ويتناسب مع شدة الإضاءة الساقط على السطح الحساس للضوء، على عكس الترانزستور العادي الذي يطبق عليه نبضة تيار حسب طبيعة دائرة التحكم على طرف القاعدة.

وعند وضع الترانزستور الضوئي في الظلام يصبح في حالة قطع بالتالي لا يمرر أي تيار بين المجمع والباعث.

أما عند تعرض منطقة السطح الحساس للضوء يمر تيار قاعدة صغير ينتج عن ذلك تيار كبير يمر بين المجمع والباعث.

يشبه عمل الترانزستور الضوئي عمل الترانزستور العادي إلا أنه يعتمد على الظاهرة الفولتية الضوئية ((Photovoltaic Effect حيث إن قاعدة الترانزستور حساسة للضوء لاحظ شكل (12) حيث إن طبقة القاعدة ذات حجم كبير. ويتولد تيار القاعدة بتأثير الضوء ويتناسب مع شدة الإضاءة على السطح الحساس للضوء. ويكافئ الترانزستور الضوئي ثنائي ضوئي مع ترانزستور، ومن ميزاته أنه سريع الاستجابة.

عند وضع الترانزستور الضوئي في الظلام يصبح في حالة قطع، ولا يمر تيار بين المجمع والباعث، وعند تعرض السطح الحساس للضوء، يتولد تيار قاعدة صغير ينتج عن ذلك تيار كبير يمر بين المجمع والباعث. كما توجد أيضا ترانزستورات تأثير المجال الضوئية التي تستخدم التأثير الضوئي في توليد جهد البوابة الذي يتحكم بتيار المصرف (Drain) – المنبع (Source). والشكل (12) يوضح رمز الترانزستور الضوئي وبعض الأشكال الشائعة.

الشكل اعلاة يوضح شكل ورمز الترانزستور الضوئي.

التركيب :

يتكون الترانزستور الضوئي بشكل أساسي من مواد شبه موصلة مثل السيليكون والجرمانيوم وزرنيخيد الغاليوم، ويحتوي على ثلاث طبقات (مناطق) مثل الترانزستور العادي، وهي القاعدة والمجمع والباعث، مع التركيز على منطقة القاعدة الحساسة للضوء.

المكونات الأساسية للترانزستور الضوئي:

المواد شبه الموصلة:

تُصنع من مواد مثل السيليكون والجرمانيوم وزرنيخيد الغاليوم، والتي تتفاعل مع الضوء.

هيكل الترانزستور:

يتكون من ثلاث طبقات شبه موصلة، إما من النوع NPN (طبقتان N وطبقة P بينهما) أو PNP (طبقتان P وطبقة N بينهما).

الأطراف:

يحتوي على ثلاثة أطراف رئيسية:

القاعدة :(Base) وهي المنطقة الحساسة للضوء التي تتولد فيها أزواج الإلكترونات والفجوات عند سقوط الضوء.

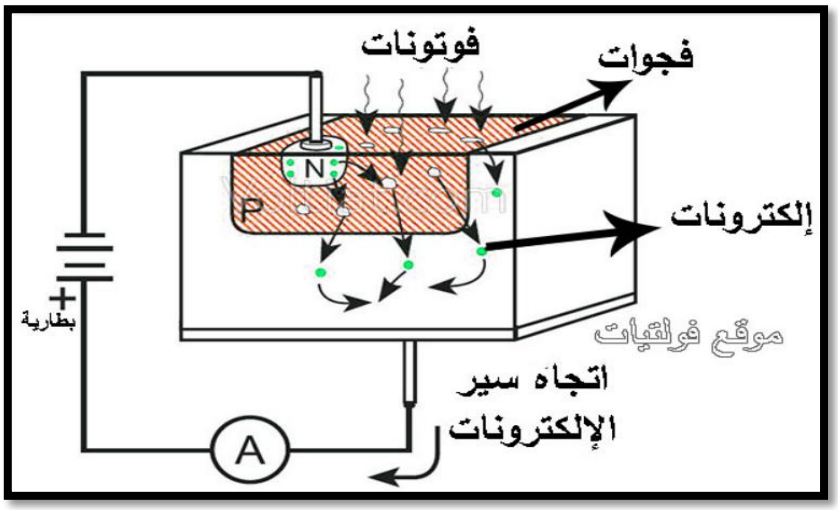
المجمع :(Collector) تستقبل التيار المتدفق نتيجة لتولد أزواج الإلكترونات والفجوات في القاعدة.

الباعث :(Emitter) يغذي القاعدة بالإلكترونات أو الفجوات لمعادلة الشحنات الناتجة عن الضوء.

مبدأ العمل :

يعتمد الترانزستور الضوئي في عمله على فوتونات الضوء في تشغيله، إذ يغير حالته بمجرد اصطدام فوتونات الضوء بطرف القاعدة، وتحويله إلى إشارة تيار أساسي حسب قوة الضوء، ونتيجة لذلك يتشكل تيار كهربائي يمر من المجمع إلى الباعث.

وما يحدث به نظرياً: هو أنه عند اصطدام فوتونات الضوء مع إلكترونات المادة P ، تكسبها طاقة كافية لتتجاوز حاجز منطقة الاستنزاف لتصل إلى طبقة المجمع N ، وتترك مكانها أيونات موجبة سرعان ما تجذب إليها إلكترونات الباعث N ، بالتالي يسمح بمرور التيار من طرف المجمع إلى الباعث.



الشكل يمثل تركيب الترانزستور الضوئي ومبدا العمل.

التطبيقات العملية :

يستخدم في الكثير من التطبيقات، أهمها:

1- دوائر التفعيل الضوئي : التحكم في أنظمة الإضاءة والتحكم في السرعة.

2- دوائر الاستقبال : يمكن استخدام الترانزستور الضوئي كدارة استقبال لمرسلات ضوئية في تطبيقات التحكم عن بعد Remote control والتي يستخدم فيها غالبا الأشعة تحت الحمراء Infra-Red.

3- أنظمة العد.

4- أنظمة الإنذاروالحماية: التحكم في الأجهزة الكهربائية الخطرة مثل الأفران والمواقد.

5- أجهزة الكشف.

6- الدارات المنطقية الحاسوبية.

7- التحكم في الأجهزة الإلكترونية عن بعد.

8- التحكم في الأجهزة الكهربائية الحساسة مثل الأجهزة الطبية والأجهزة الصناعية.