وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة التقنية الجنوبية – المعهد التقني التكنولوجي – البصرة
قسم التقنيات الكهربائية

الحقيبة التعليمية لمادة الدوائر الالكترونية

المرحلة الأولى – كورس ثاني

اعداد

م.م وسن لؤي جاسم

م.م موفق جميل صالح

2025

وصف المقرر

1- اسم المقرر:	
الدوائر الالكترونية	
2- رمز المقرر:	
-	
3- الفصل / السنة:	
فصلي	
4- تاريخ إعداد هذا الوصف :	
14/ 02/ 2025	
5- أشكال الحضور المتاحة :	
حضوري فقط	
6- عدد الساعات الدراسية (الكلي):	
30 ساعة فصليا / 2 ساعة اسبوعياً	
7- اسم مسؤول المقرر الدراسي	
الاسم: م.م وسن لؤي جاسم الإيميل : wasan.loay@stu.edu.iq الاسم : م.م موفق جميل صالح	
8- اهداف المقرر	
1- التعرف على المكونات الأساسية مثل المقاومات، المكثفات، الملفات، والترانزستورات. 2- فهم كيفية تفاعل هذه المكونات لتشكيل دوائر إلكترونية تؤدي وظائف محددة. 3- تصميم وبناء دوائر إلكترونية بسيطة ومعقدة. 4- استخدام أدوات مثل الاوسلسكوب ومصادر الجهد والتيار للتحليل والاختبار. 5- تطوير القدرة على تحليل الدوائر باستخدام القوانين مثل أوم وكيرشوف. 6- اكتشاف الأعطال وإصلاحها بطرق منهجية. 7- تصميم حلول إلكترونية مبتكرة لمشكلات واقعية. 8- فهم أساسيات الإلكترونيات ضروري في تخصصات مثل الاتصالات، التحكم، والحوسبة. 9- يعطي خلفية قوية للعمل في مجالات التصميم والإصلاح والإنتاج الإلكتروني.	
9- استراتيجيات التعليم والتعلم	
الاستراتيجية	1- استراتيجية التعليم تخطيط المفهوم التعاوني . 2- استراتيجية التعليم العصف الذهني. 3- استراتيجية التعليم سلسلة الملاحظات

10- بنية المقرر

الأسبوع	الساعات	مخرجات التعلم المطلوبة	اسم الوحدة او الموضوع	طريقة التعلم	طريقة التقييم
1	2 ساعة	1- فهم تطبيقات الإلكترونيات 2-تطوير مهارات التفكير النقدي وحل المشكلات من خلال تحليل الدوائر واكتشاف الأخطاء. 3-القدرة على استخدام أدوات المختبر الإلكترونية، مثل المليمتر، ومولدات الإشارة، وأجهزة الاوسلسكوب. 4-تحليل الدوائر الالكترونية.	الدائرة المكافئة المستمرة للترانزستور – الحمل المستمر	1- القيام بتجارب مختبر لبناء واختبار الدو الالكترونية هذا يعزز ا النظري ويكسب المهارات العملية. 2- طلب التغذية الرا من المعلمين والزملا لتحديد نقاط القوة والضعف 3- مراجعة المفاهيم بش دوري وتطبيقها في مس جديدة لتعزيز الذاكرة والفهم. 4-استخدام البرامج التعلي والتطبيقات التفاعلية لفه المفاهيم بشكل أفضل، مث محاكاة الدوائر. 5-تشجيع البحث الذاتي عن مواضيع جديدة في الإلكترونيات واستكشاف التطورات الحديثة.	الامتحانات الأسبوعية والشهرية واليومية والتحريرية وامتحان نهاية الفصل.
2	2 ساعة		نقاط العمل – نقطة السكون (Point		
3	2 ساعة		امثلة تطبيقية		
4	2 ساعة		الترانزستور في تكبير الاشارات الصغير		
5	2 ساعة		الدائرة المكافئة المتناوبة – التقريب المثا		
6	2 ساعة		الثوابت الهجينة – الدائرة المكافئة باست		
7	2 ساعة		معاملات (h) – كسب الجهد – كسب التي		
8	2 ساعة		كسب القدرة		
9	2 ساعة		– مقاومتا الدخل والخرج – مكبرات الا		
10	2 ساعة		الصغيرة – سوق القاعدة – سوق الباعث		
11	2 ساعة		استخدام الترانزستور في تنظيم الجهد –		
12	2 ساعة		توالي – منظم توازي دائرة مصدر مستمر		
13	2 ساعة		ترانزستور تأثير المجال الوصلي (EFT		
14	2 ساعة		تركيبه – رمزه – نظرية العمل – منح		
15	2 ساعة		الخواص – منحني الموصلية التبادلي		
			تعريف جهد الضيق (VP)، (SS		
			(VGSOff) – منحنيات خو		
			OSFET) – (D-MOSFET) – (E-MOSFET		
			دوائر الانحياز (FET) – انحياز مصدر ا		
			الثابت – نقطة العمل الانحياز الذاتي – الد		
			المكافئة لل (FET) استخدام (FET)		
			تكبير الاشارة الصغيرة		
			مقارنة بين انواع الـ (FET) (ET		
			(MOSFET) وبين (BJT)		
			تركيب وخصائص ترانزستورIGBT		
			تطبيقاته		
			المقاوم المعتمد على الضوء (LDR		
			الثنائي الباعث للضوء – الثنائي الض		
			لوحة القطع السبعة تركيبها وتطبيقاتها		
			الترانزستور الضوئي – تركيبه – عمل		
			تطبيقاته العملية		

11- تقييم المقرر

توزيع كالتالي: 20 درجة امتحانات نظرية لمنتصف الفصل الاول. 20 درجة امتحانات عملية لمنتصف الفصل الاول .10 درجات امتحانات يومية وتقييم مستمر. 50 درجة امتحان نهاية الفصل

المحاضرة الأولى والثانية / خط الحمل المستمر

الفئة المستهدفة :

طلبة المرحلة الأولى – المعهد التقني التكنولوجي – قسم التقنيات الكهربائية

الدوافع:

1- يوضح خط الحمل كيف يتغير التيار في الجهاز (مثل الترانزستور أو الدايود) مع تغير الجهد.
2- يساعد على تحديد نقطة التشغيل المثلى (Q-point) لضمان الأداء المستقر للمكوّن.
3- يضمن تشغيل الجهاز ضمن النطاق الآمن والفعال.
4- يسهل التنبؤ بكيفية استجابة الجهاز في ظل ظروف معينة دون الحاجة لمحاكاة أو قياسات ميدانية معقدة.

الفكرة الرئيسية من دراسة خط الحمل المستمر هي الوصول إلى نقطة التشغيل المثلى (Q-point) في الدوائر الإلكترونية، وخاصة عند استخدام مكونات مثل الترانزستورات والدايودات.

الأهداف السلوكية:

🛠بعد شرح المحاضرة يجب ان يكون الطالب قادراً على:

1- رسم خط الحمل يدويًا بناءً على معادلة الدائرة.
2- ان يحدد نقطة التشغيل (Q-point) بدقة على الرسم.
3- أن يختار قيمًا مناسبة للمكونات لتحقيق نقطة التشغيل المطلوبة.
4- أن يقيّم تأثير التغييرات في العناصر (مثل تغيّر المقاومة) على أداء الترانزستور أو الدايود.
5- أن يتنبأ بما سيحدث للدائرة عند اختلال نقطة التشغيل.

الاختبار القبلي

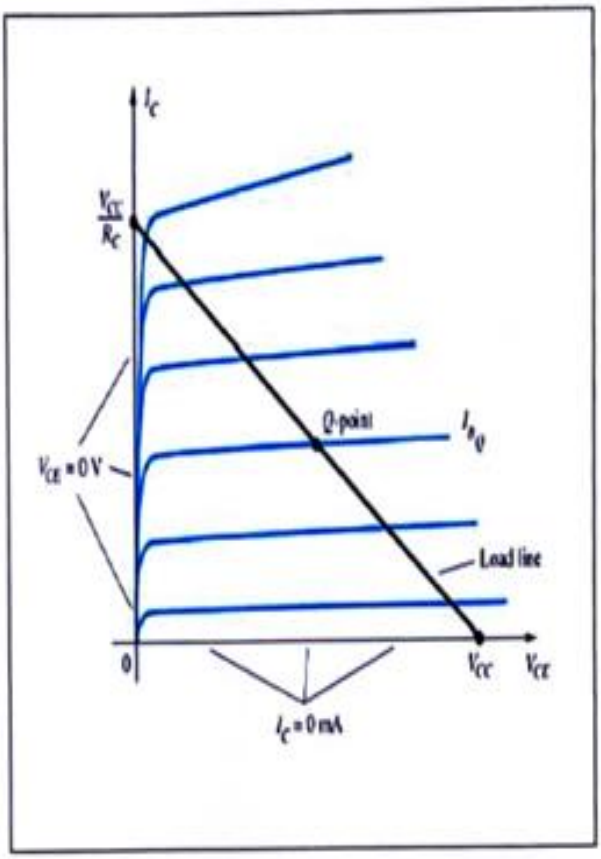
1- ما هو الهدف من دراسة خط الحمل في الدوائر الالكترونية؟
ج/ العلاقة الخطية بين الجهد والتيار في الدائرة الخارجية.

2- اشرح باختصار أهمية نقطة التشغيل (Q-point) في عمل الترانزستور، ودور خط الحمل في تحديدها.
ج/ هي الحالة التي يعمل فيها الترانزستور بشكل مستقر ضمن النطاق الخطي، أي بين حالتي التشبع والقطع، مما يسمح له بتكبير الإشارة دون تشويه. الحفاظ على هذه النقطة مهم لضمان أداء ثابت وفعال للدارة الإلكترونية.

✏️ خط الحمل هو تمثيل بياني يوضح العلاقة بين الجهد والتيار في الجزء الخارجي من الدائرة، وغالبًا ما يُرسم كخط مستقيم على منحنى خصائص الترانزستور. تقاطع هذا الخط مع منحنى الخصائص يحدد نقطة التشغيل المثلى. من خلال تعديل المكونات مثل المقاومات، يمكن تغيير ميل خط الحمل وبالتالي ضبط موقع نقطة التشغيل لتحقيق الاستقرار والفعالية المطلوبة.

خط الحمل المستمر DC Load Line

خط الحمل المستمر هو المصطلح المستخدم للتعبير عن العلاقة بالرسم لقيم الفولتية و التيار التي تكون ممكنة لدائرة معينة



معادلة خط الحمل المستمر

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

$I_{C(sat)}$ تيار الاشباع للجامع يحصل عندما يعمل الترانزستور في منطقة الاشباع

$$I_{C_{sat}} = \left.\frac{V_{CC}}{R_C}\right|_{V_{CE}=0}$$

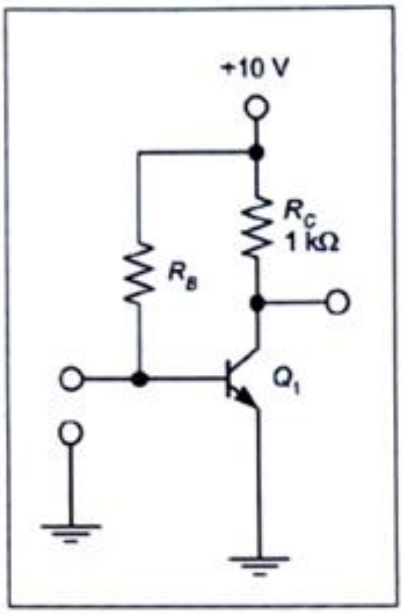
$V_{CE(off)}$ فولتية القطع تحصل عندما يعمل الترانزستور في منطقة القطع

$$V_{CE_{(off)}} = V_{CC} - I_C R_C\big|_{I_C=0}$$

احدى نهايتي خط الحمل المستمر لها الإحداثيات التالية $(I_C = 0\ ,\ V_{CE} = V_{CC})$

اي ان نقطة تقاطع خط الحمل مع المحور السيني هي V_{CC}

اما النهاية الاخرى لخط الحمل فلها الاحداثيات $(I_C = I_{C(sat)}\ ,\ V_{CE} = V_{CE(sat)})$



مثال:- للدائرة التالية ارسم خط الحمل المستمر ثم احسب قيم V_{CE} لتيارات الجامع $I_C = 1, 2, 5$ mA

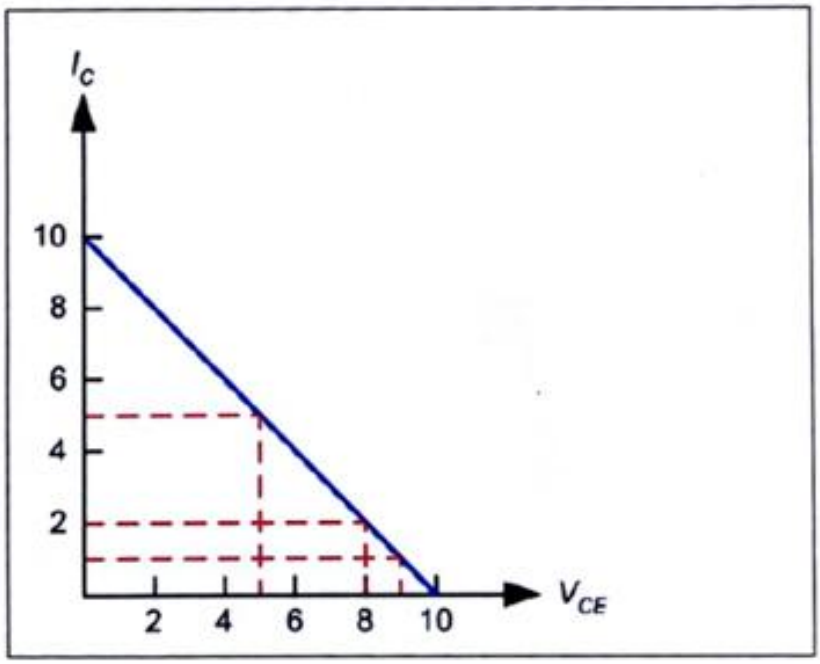
الحل:-

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

$$V_{CE} = 10 \quad \text{for } I_c = 0$$

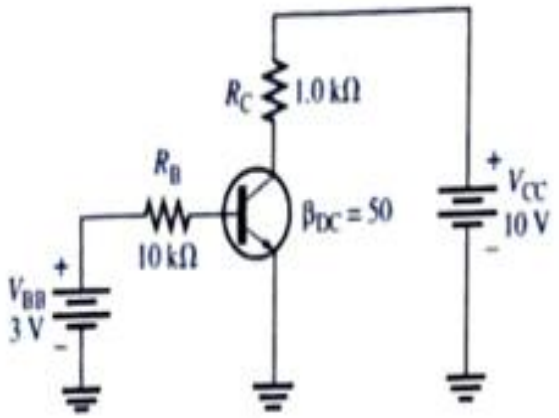
$$I_c = \frac{10}{1\times10^3} = 10\text{mA}$$

I_C (mA)	V_{CE} (V)
1	9
2	8
5	5



مثال:-

للدائرة التالية، هل الترانزسستور في حالة اشباع. علما ان $V_{CE(sat)} = 0.2\ V$



الحل:-

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE}$$

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} = \frac{10\,V - 0.2\,V}{1.0\,k\Omega} = \frac{9.8\,V}{1.0\,k\Omega} = 9.8\,mA$$

$$V_{BB} = I_B R_B + V_{BE}$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{3\,V - 0.7\,V}{10\,k\Omega} = \frac{2.3\,V}{10\,k\Omega} = 0.23\,mA$$

$$I_C = \beta_{DC} I_B = (50)(0.23\,mA) = 11.5\,mA$$

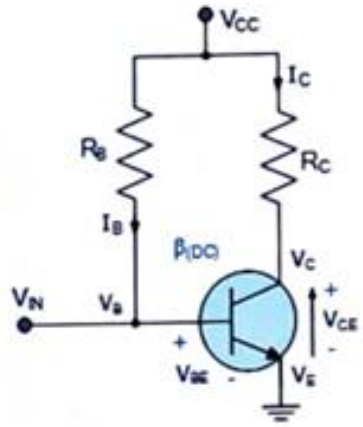
الترانزسستور يعمل في منطقة الاشباع

لان تيار الجامع (I_C) اكبر من تيار الاشباع للجامع ($I_{C(sat)}$)

دوائر انحياز الترانزسستور

لغرض استخدام الترانزسستور كمكبر يجب استخدام شبكة من المقاومات بالاضافة الى مجهز فولتية مستمرة مناسبة ، تشكل فولتيات التجهيز و المقاومات مجموعة من الفولتيات و التيارات المستمرة للترانزسستور تدعى القيم الساكنة و التي تحدد نقطة الاشتغال (نقطة Q) للترانزسستور.

1- انحياز القاعدة (الانحياز الثابت)



معادلة الاخراج للدائرة

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE}$$

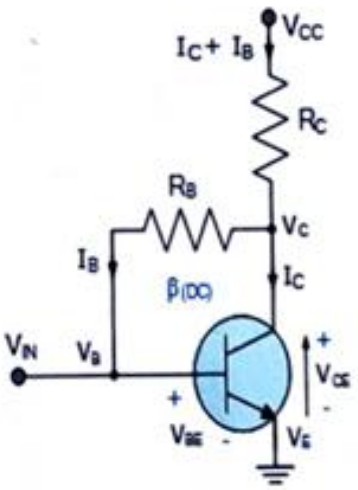
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

معادلة الادخال للدائرة

$$V_{CC} = I_B R_B + V_{BE}$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

2- انحياز التغذية العكسية للجامع



معادلة الاخراج للدائرة

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

معادلة الادخال للدائرة

$$V_{CC} = I_C R_C + I_B R_B + V_{BE}$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

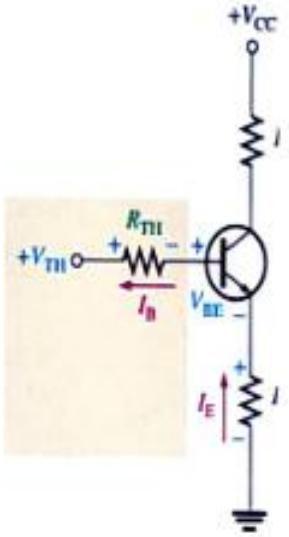
$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + R_B/\beta_{DC}}$$

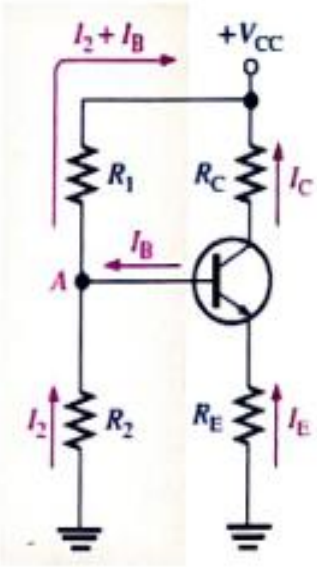
3- انحياز مقسم الجهد

$$V_{TH} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)V_{CC}$$

$$R_{TH} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_E = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_E + R_{TH}/\beta_{DC}}$$



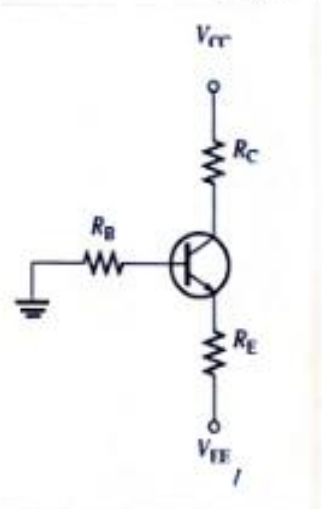


4- انحياز الباعث

$$I_E = \frac{-V_{EE} - V_E}{R_E}$$

$$I_C \approx I_E$$

$$V_{CC} = I_C R_C + V_C$$



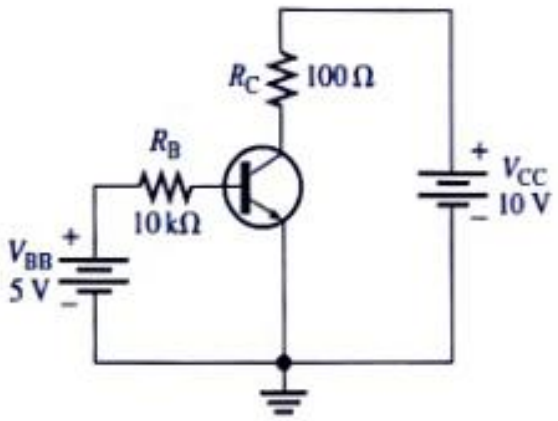
مثال 1:- احسب قيمة β_{dc} و I_E لترانزستور اذا كان $I_B = 50$ uA و

$I_C = 3{,}65$ mA

الحل:-

$$\beta_{DC} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{3.65\,\text{mA}}{50\,\mu\text{A}} = 73$$
$$I_E = I_C + I_B = 3.65\,\text{mA} + 50\,\mu\text{A} = 3.70\,\text{mA}$$

مثال 2:- للدائرة التالية ، احسب قيمة I_B و I_C و V_{BE} و V_{CB} علما $\beta_{dc} = 150$



الحل:-

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{5\,\text{V} - 0.7\,\text{V}}{10\,\text{k}\Omega} = 430\,\mu\text{A}$$
$$I_C = \beta_{DC} I_B = (150)(430\,\mu\text{A}) = 64.5\,\text{mA}$$
$$I_E = I_C + I_B = 64.5\,\text{mA} + 430\,\mu\text{A} = 64.9\,\text{mA}$$

حساب V_{CE} و V_{CB}

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 10\,\text{V} - (64.5\,\text{mA})(100\,\Omega) = 10\,\text{V} - 6.45\,\text{V} = 3.55\,\text{V}$$
$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = 3.55\,\text{V} - 0.7\,\text{V} = 2.85\,\text{V}$$

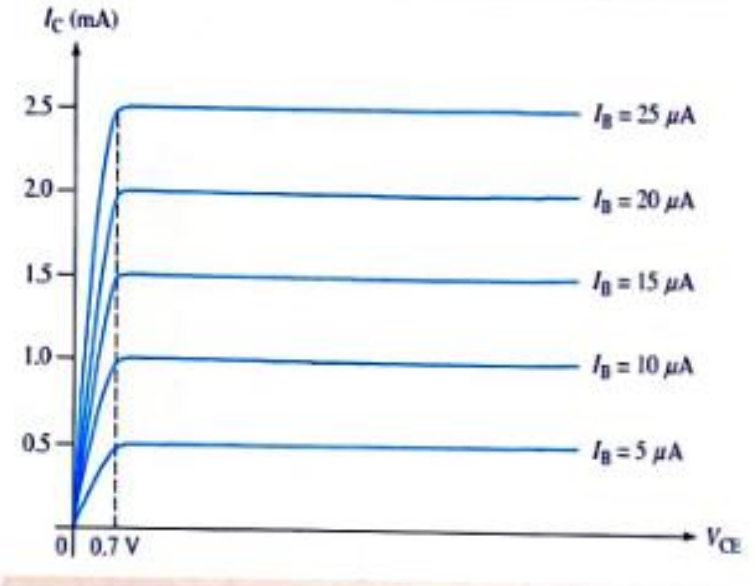
مثال 3 :- للدائرة التالية، ارسم منحنى الخواص لربط الباعث المشترك لقيم تيار القاعدة 5 uA, 10 uA, 15 uA, 20 uA , 25 uA علما بان للترنزستور $\beta_{dc} = 100$

الحل:-

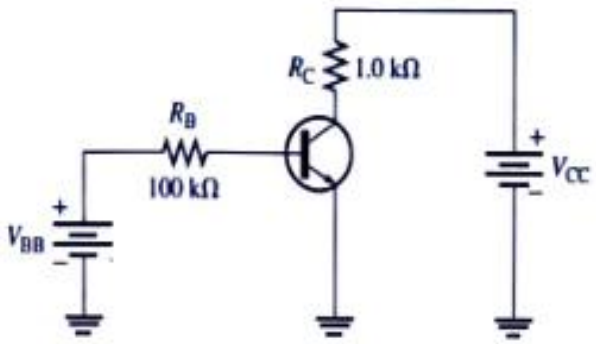
يتم حساب قيم تيار الجامع لكل قيمة من تيار القاعدة باستخدام $I_C = \beta_{dc}\ I_B$

I_B	I_C
5 μA	0.5 mA
10 μA	1.0 mA
15 μA	1.5 mA
20 μA	2.0 mA
25 μA	2.5 mA

ثم نرسم منحنى الخواص للترانزستور



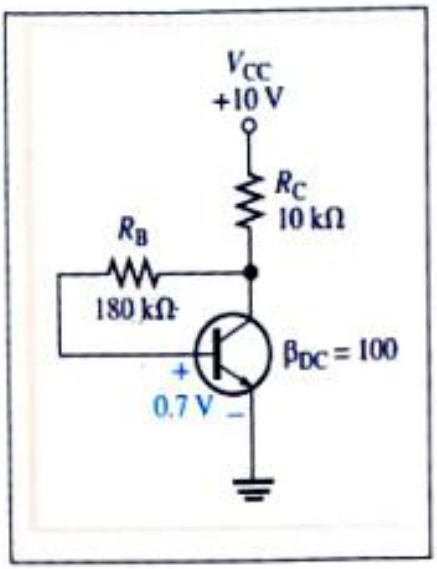
مثال 4 :- للدائرة التالية، اذا كان $I_B = 50\ uA$ و الفولتية عبر مقاومة الجامع تساوي 5 V ، احسب β_{dc} .



الحل:-

$$I_C = \frac{5}{1\ x\ 10^3} = 5\ x\ 10^{-3}\ A = 5\ mA$$

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{5\ x\ 10^{-3}}{50\ x\ 10^{-6}} = 100$$

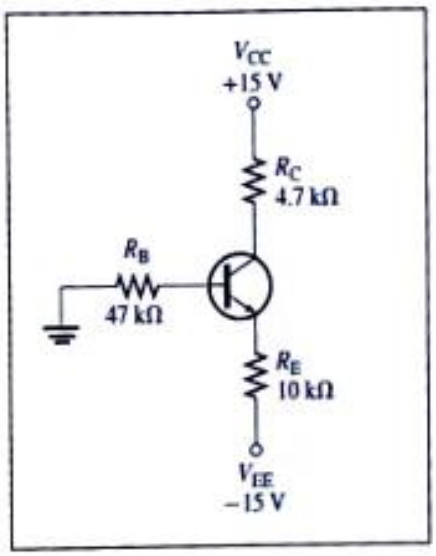


مثال 1 :- للدائرة التالية، احسب نقطة العمل (V_{CE} , I_C)

الحل:-

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + R_B/\beta_{DC}} = \frac{10\,V - 0.7\,V}{10\,k\Omega + 180\,k\Omega/100} = 788\,\mu A$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 10\,V - (788\,\mu A)(10\,k\Omega) = 2.12\,V$$



مثال 2:- للدائرة التالية، احسب نقطة العمل (V_{CE} , I_C)

علما ان V_E = -1 V

الحل:-

$$V_E \cong -1\,V$$

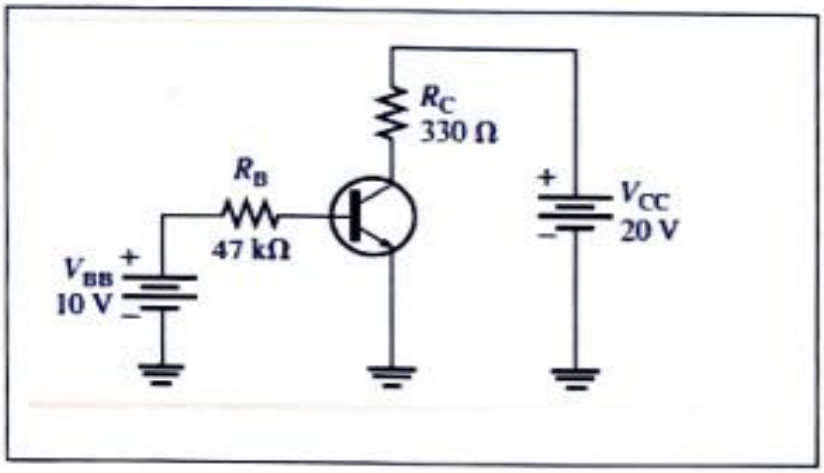
$$I_E = \frac{-V_{EE} - 1\,V}{R_E} = \frac{-(-15\,V) - 1\,V}{10\,k\Omega} = \frac{14\,V}{10\,k\Omega} = 1.4\,mA$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = +15\,V - (1.4\,mA)(4.7\,k\Omega) = 8.4\,V$$

$$V_{CE} = 8.4\,V - (-1) = 9.4\,V$$

مثال 3:- للدائرة التالية احسب نقطة العمل (Q point)

وارسم خط الحمل المستمر علما ان $\beta_{dc} = 200$



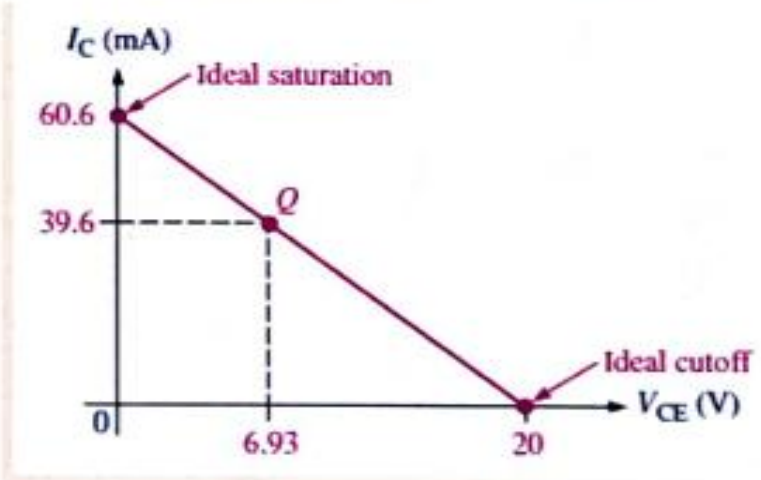
الحل:-

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{10\,V - 0.7\,V}{47\,k\Omega} = 198\,\mu A$$

$$I_C = \beta_{DC} I_B = (200)(198\,\mu A) = 39.6\,mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 20\,V - 13.07\,V = 6.93\,V$$

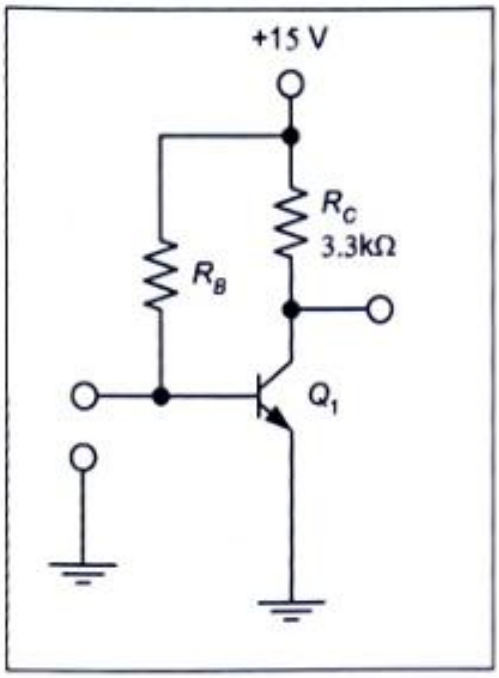
$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{20\,V}{330\,\Omega} = 60.6\,mA$$

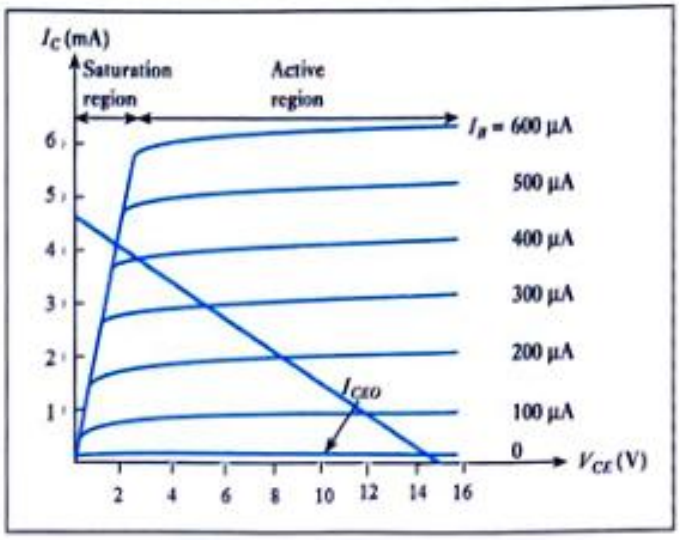


مثال 4:-

للدائرة التالية و رسم خط الحمل المستمر، احسب

$I_{C(sat)}$ و $V_{CE(cut\ off)}$

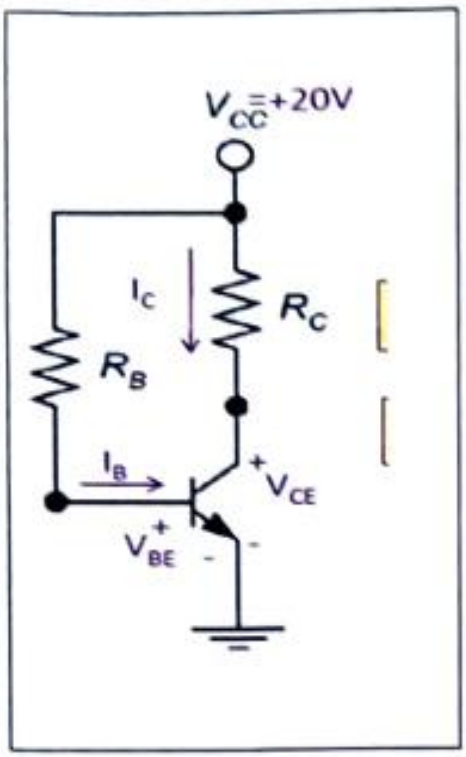




الحل:-

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

$$\therefore V_{CC} = 15V \qquad \therefore I_C = 4.54mA$$



مثال 5:- للدائرة التالية احسب نقطة العمل (Q point)

وارسم خط الحمل المستمر علما ان

$\beta = 100, R_B = 500K\Omega\ R_C = 2.5K\Omega$ and $V_{CC} = 20V.$

الحل:

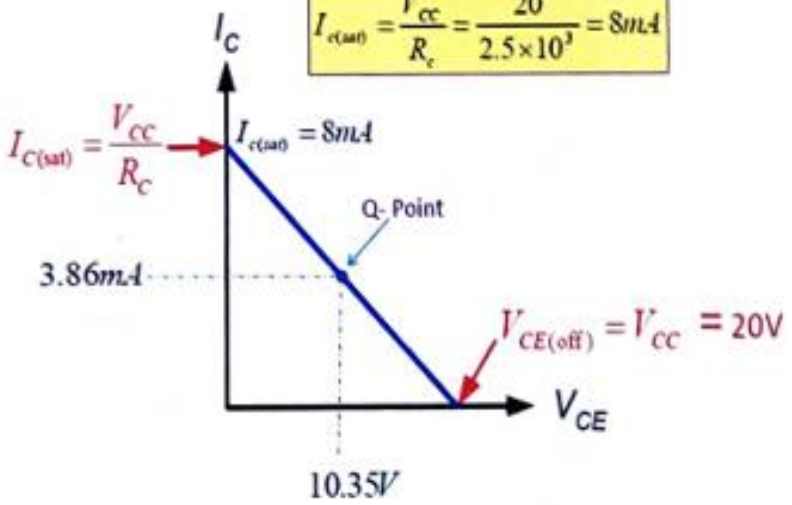
$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad \therefore I_B = \frac{20 - 0.7}{500 \times 10^{-3}} \quad \therefore I_B = 38.6\mu A$$

$$I_C = h_{FE} I_B \quad \therefore I_C = 100 \times 38.6\mu A \quad \therefore I_C = 3.86mA$$

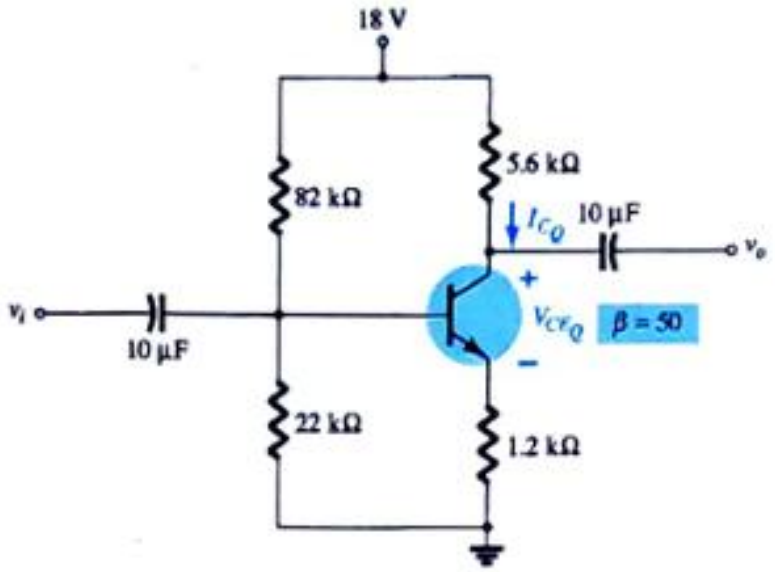
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad \therefore V_{CE} = 20 - \left(3.86 \times 10^{-3} \times 2.5 \times 10^{3}\right)$$

$$\therefore V_{CE} = 10.35V$$

$$I_{c(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_c} = \frac{20}{2.5 \times 10^3} = 8mA$$



مثال 6:- احسب نقطة العمل (V_{CE} . I_C) للدائرة التالية



الحل:-

$$R_{Th} = R_1 \| R_2 = 82\,\text{k}\Omega \| 22\,\text{k}\Omega = 17.35\,\text{k}\Omega$$

$$E_{Th} = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{22\,\text{k}\Omega(18\,\text{V})}{82\,\text{k}\Omega + 22\,\text{k}\Omega} = 3.81\,\text{V}$$

$$I_B = \frac{E_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta + 1)R_E} = \frac{3.81\,\text{V} - 0.7\,\text{V}}{17.35\,\text{k}\Omega + (51)(1.2\,\text{k}\Omega)} = \frac{3.11\,\text{V}}{78.55\,\text{k}\Omega} = 39.6\,\mu\text{A}$$

$$I_{C_Q} = \beta I_B = (50)(39.6\,\mu\text{A}) = \mathbf{1.98\,mA}$$

$$V_{CE_Q} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

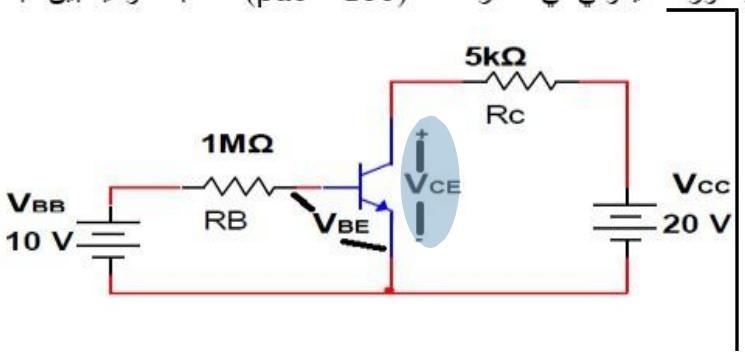
$$= 18\,\text{V} - (1.98\,\text{mA})(5.6\,\text{k}\Omega + 1.2\,\text{k}\Omega)$$

$$= \mathbf{4.54\,V}$$

الاختبار البعدي

.

مثال :للترانزستور السليكوني في الدائرة أدناه ($\beta dc = 100$) احسب الفولتية بين الباعث والجامع V_{CE}



المحاضرة الثالثة والرابعة/ الترانزستور في تكبيرالاشارة الصغيرة

الفئة المستهدفة :

طلبة المرحلة الأولى – المعهد التقني التكنولوجي – قسم التقنيات الكهربائية

الدوافع:

فهم سلوك الترانزستور في النطاق الخطي – تعلّم كيف يشتغل الترانزستور حول نقطة التشغيل (Q-point) بحيث يكون التغيير في تيار المجمع متناسباً مع التغير في جهد القاعدة.

الفكرة الرئيسية لدراسة الترانزستور في نطاق الإشارة الصغيرة تكمن في تحويل السلوك المعقَّد للترانزستور (غير الخطي) إلى نموذج خطّي بسيط حول نقطة التشغيل (Q-point).

الأهداف السلوكية:

بعد شرح المحاضرة يجب ان يكون الطالب قادراً على:

1- توصيل دائرة مكبر CE صغيرة الإشارة على لوحة تجارب أو في برنامج محاكاة وتعيين مكوناتها الصحيحة.

2- تحليل تأثير تغيير مقاومة المجمع أو مقاومة الباعث على مكسب الجهد ومقاومة الدخل ومقاومة الخرج.

الاختبار القبلي

.

- ما هو الدور الأساسي للترانزستور في تكبير الإشارة الصغيرة؟

ج/ الدور الأساسي للترانزستور في تكبير الإشارة الصغيرة هو تحويل التغيّرات الطفيفة في جهد الإدخال (Vb) إلى تغيّرات أكبر في تيار الخرج (Ic)، ثم الحصول على تكبير جهد عبر مقاومة التحميل (Rc).

- لماذا نحرص على تثبيت النقطة Q-point قبل الانتقال لتحليل الإشارة الصغيرة المرتبطة بها؟ اذكر سببين على الأقل.
- ج/ ضمان خطّية التكبير • نقطة التشغيل داخل المنطقة النشطة تضمن أن الترانزستور يعمل في نطاق خطّي، فتتحوّل التغيّرات الطفيفة في جهد القاعدة إلى تغيّرات متناسبة في تيار المجمع دون تشويه.
ثبات الأداء تجاه التغيّرات البيئية والمكونات • تثبيت Q-point يحول دون انتقال الدائرة إلى التشبع أو القطع عند اختلاف الحرارة أو تباين معاملات الترانزستور، فيبقى معامل التكبير ثابت ومضمون.

مكبرات الاشارة الصغيرة

ان ابسط طريقة لتحليل عمل دوائر الترانزستور هي تجزئة التحليل الى قسمين و هما تحليل AC وتحليل DC و بعبارة اخرى يمكننا تحليل دوائر الترانزستور بتطبيق نظرية التراكب حيث ناخذ جميع المصادر المستمرة في نفس الوقت و نحسب التيارات و الفولتيات المستمرة و بعد ذلك ناخذ جميع المصادر المتناوبة في نفس الوقت و نحسب التيارات و الفولتيات المتناوبة و من ثم نقوم بجمع التيارات و الفولتيات المستمرة و المتناوبة جبريا للحصول على التيارات و الفولتيات الكلية,

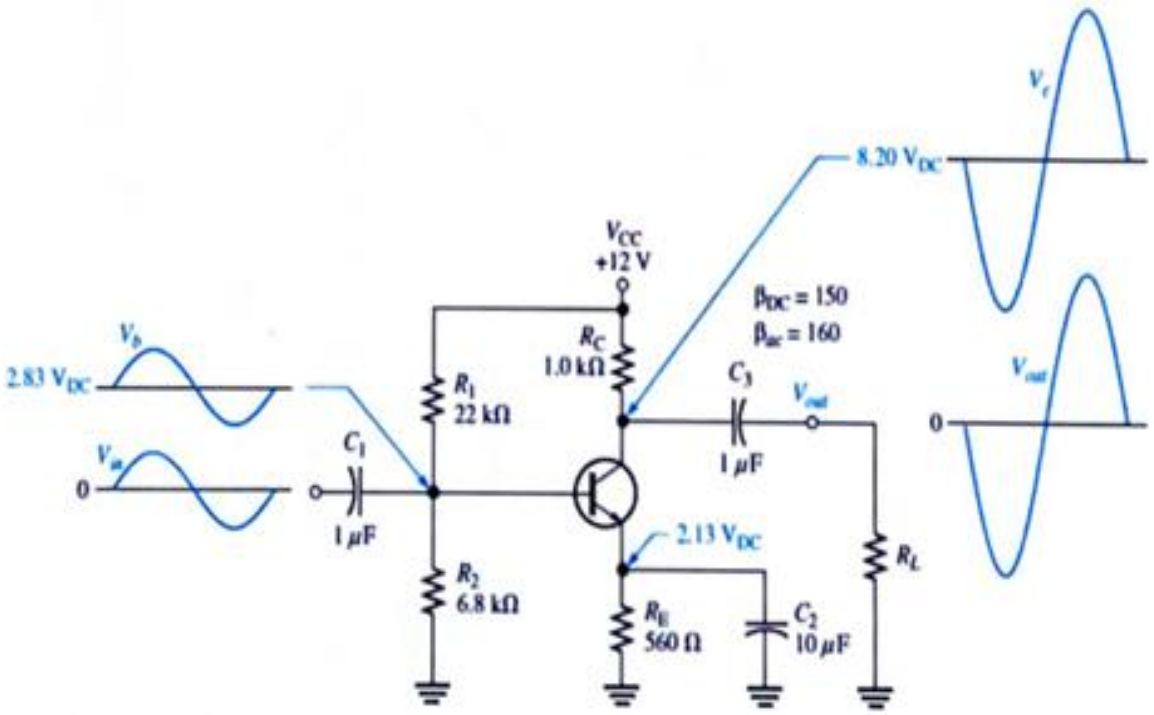
الدائرة المكافئة المستمرة

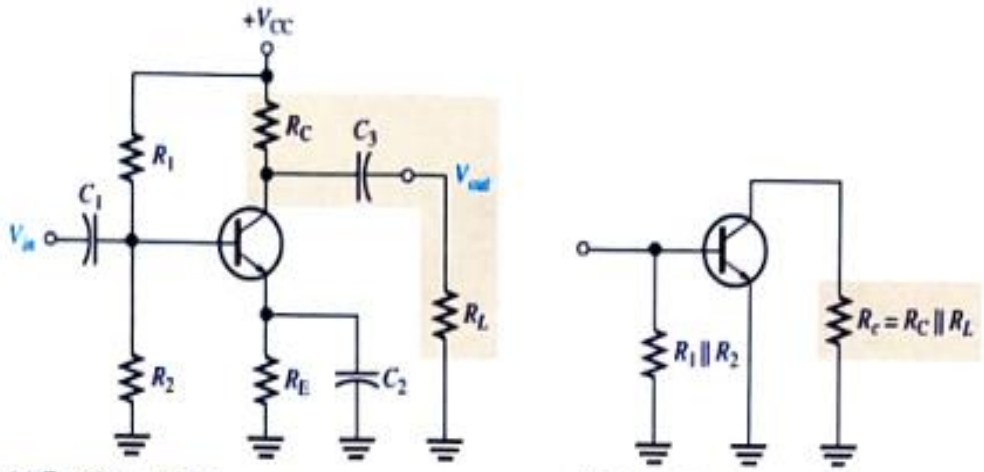
1- تختزل كافة المصادر المتناوبة الى الصفر
2- نقوم بفتح كافة المتسعات الموجودة في الدائرة,
3- نستخدم الحروف الكبيرة للتعبير عن التيارات و الفولتيات المستمرة، مثل I_E , V_{BE}

الدائرة المكافئة المتناوبة

1- تختزل كافة المصادر المستمرة الى الصفر
2- نقوم بقصر كافة المتسعات الموجودة في الدائرة,
3- نستخدم الحروف الصغيرة للتعبير عن التيارات و الفولتيات المتناوبة، مثل v_{bc} , i_c

مكبر الباعث المشترك





(a) Complete amplifier

(b) AC equivalent ($X_{C1} = X_{C2} = X_{C3} = 0$)

ان مقاومة ثنائي الباعث المتناوبة r'_e تحسب من المعادلة التالية

$$r'_e \cong \frac{25\,\text{mV}}{I_E}$$

مثال :- احسب مقاومة الباعث المتناوبة لترانزستور يكون فيه تيار الباعث المستمر يساوي 2 mA

الحل:-

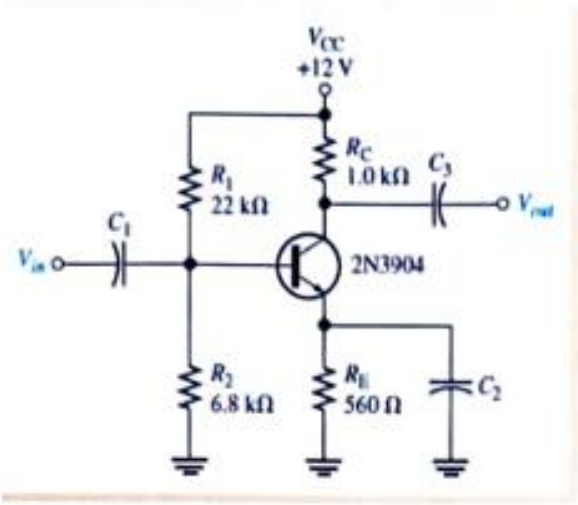
$$r'_e \cong \frac{25\,\text{mV}}{I_E} = \frac{25\,\text{mV}}{2\,\text{mA}} = 12.5\,\Omega$$

حساب كسب الفولتية

$$A_v = \frac{R_C}{r'_e + R_E}$$

مثال:- احسب كسب الفولتية للدائرة المبينة بالشكل بوجود متسعة الامرار C_2 و بعدم وجودها.

علما ان $I_E = 3.8\ mA$

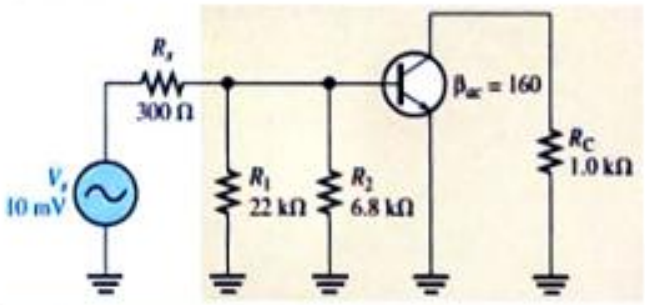


الحل:- بعدم وجود المتسعة C_2

$$r'_e \cong \frac{25\ mV}{I_E} = \frac{25\ mV}{3.80\ mA} = 6.58\ \Omega$$

$$A_v = \frac{R_C}{r'_e + R_E} = \frac{1.0\ k\Omega}{567\ \Omega} = 1.76$$

بوجود المتسعة



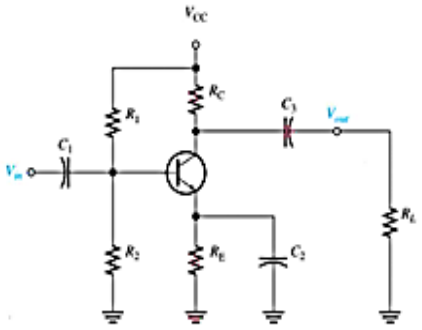
$$A_v = \frac{R_C}{r'_e} = \frac{1.0\ k\Omega}{6.58\ \Omega} = 152$$

مثال: لدائرة مضخم الأشارة الصغيرة المبينة في الشكل ذات القيم التالية:

V_{cc}=30V, R_1=45kΩ, R_2=15kΩ, R_C=10kΩ, R_E=7.5kΩ, R_L=5KΩ, β=200, V_{in}=5mV, V_{BE}=0

جدد ما يلي:

1. مقاومة الإدخال عند القاعدة
2. مقاومة الإدخال عن مصدر الأشارة
3. مقاومة الأخراج
4. كسب الفولتية
5. كسب التيار
6. كسب القدرة
7. قيمة جهد الأخراج



DC analysis

$$V_{th} = (30) \times \frac{15}{15+45} = 7.5\ V$$

$$R_{th} = \frac{45 \times 15}{45+15} = 11.2\ k\Omega$$

$$V_{th} = V_{BE} + I_E R_E + I_B R_B$$

$$V_{th} = I_E R_E \qquad 7.5 = I_E \times 7.5 \times 10^3 \qquad I_E = 1\ mA$$

AC analysis

$$r'_e = \frac{25mv}{I_E} = \frac{25mv}{1\ mA} = 25\Omega$$

1. $r_{in(base)} = \beta r'_e = 200 \times 25 = 5k\Omega$
2. $r_{in(source)} = r_{in(base)} \parallel R_1 \parallel R_2 = 5 \parallel 45 \parallel 15 = 3.54\ k\Omega$
3. $R_{out} = R_c = 10\ K\Omega$
4. $A_v = \frac{R_c \parallel R_L}{r'_E + R_E} = \frac{10 \parallel 5}{25} = 133$
5. $A_i = \beta = 200$
6. $A_p = A_v \times A_i = 26600$
7. $v_{out} = v_{in} \times A_v = 5 \times 10^{-3} \times 133 = 655mV$

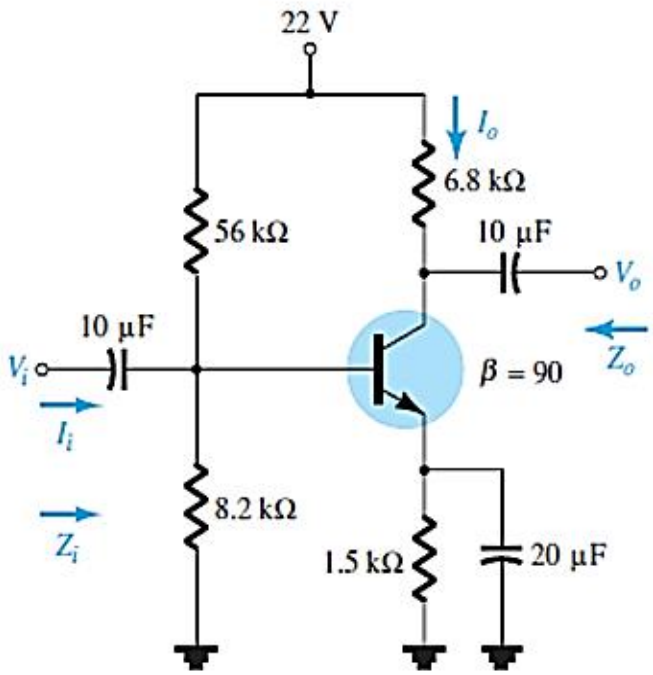
مقارنة بين أنواع الربط الثلاثة

S. No.	Characteristic	Common base	Common emitter	Common collector
1.	Input resistance	Low (about 100 Ω)	Low (about 750 Ω)	Very high (about 750 kΩ)
2.	Output resistance	Very high (about 450 kΩ)	High (about 45 kΩ)	Low (about 50 Ω)
3.	Voltage gain	about 150	about 500	less than 1
4.	Applications	For high frequency applications	For audio frequency applications	For impedance matching
5.	Current gain	No (less than 1)	High (β)	Appreciable

الاختبار البعدي

For the network of the figure below, determine:

a. r_e.
b. Z_i.
c. Z_o ($r_o = \infty\,\Omega$).
d. A_v ($r_o = \infty\,\Omega$).
e. The parameters of parts (b) through (d) if $r_o = 50\,\text{k}\Omega$ and compare results.



المحاضرة الخامسة / استخدام الترانزستور في تنظيم الجهد

الفئة المستهدفة :

طلبة المرحلة الأولى – المعهد التقني التكنولوجي – قسم التقنيات الكهربائية

الدوافع:

- **الحاجة إلى توفير جهد كهربائي مستقر للأجهزة الإلكترونية لحمايتها من التقلبات.**
- **الترانزستور يُستخدم كعنصر تحكُّم فعال بفضل خصائصه في التكبير والتبديل.**
- **التعرّف على تطبيق عملي لمبدأ عمل الترانزستور في الدوائر الإلكترونية.**

الفكرة الرئيسية :

"يُستخدم الترانزستور في منظمات الجهد لتنظيم وتثبيت الجهد الخارج عبر التحكم في مرور التيار الكهربائي، مما يجعله عنصراً أساسياً في تصميم الدوائر المستقرة والفعالة."

الأهداف السلوكية:

بعد انتهاء المحاضرة يُتوقع من الطالب أن يكون قادرًا على:

- **تعريف الترانزستور ودوره في تنظيم الجهد.**
- **تمييز أنواع منظمات الجهد التي تعتمد على الترانزستورات.**
- **توصيل دائرة تنظيم جهد بسيطة باستخدام ترانزستور.**
- **شرح كيف يُستخدم الترانزستور كمفتاح أو كمضخِّم داخل منظم الجهد.**

الاختبار القبلي

-اشرح مفهوم الترانزستور ودوره الأساسي في الدوائر الإلكترونية.

الترانزستور هو عنصر إلكتروني نصف ناقل يُستخدم للتحكم في تدفق التيار الكهربائي داخل الدائرة. يمكن أن يعمل كمكبر (Amplifier) أو كمفتاح (Switch). يتميّز بصغر حجمه وسرعته في الاستجابة، ويعد من اللبنات الأساسية في بناء الدوائر الإلكترونية الحديثة.

- ما أهمية تنظيم الجهد الكهربائي في الأجهزة الإلكترونية؟ وضّح كيف يساعد ذلك في تحسين الأداء.

تنظيم الجهد يحمي المكونات الإلكترونية الحساسة من التلف الناتج عن تغيرات الجهد. فعند تثبيت الجهد، تعمل الأجهزة بكفاءة واستقرار، مما يقلل من الأعطال ويزيد من عمرها التشغيلي.

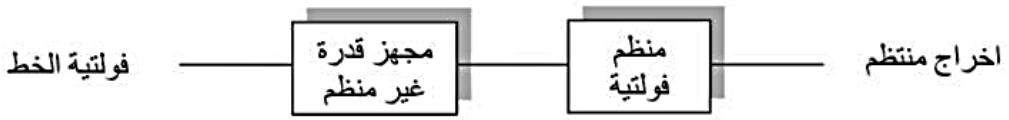
- من وجهة نظرك، لماذا يُستخدم الترانزستور في منظمات الجهد بدلًا من عناصر أخرى؟

لأن الترانزستور يتميز بقدرته على الاستجابة السريعة والتحكم الدقيق في التيار. كما يُعتبر عنصرًا فعالًا من حيث استهلاك الطاقة والحجم مقارنةً ببعض العناصر الأخرى مثل الريليهات أو الأنظمة الميكانيكية التقليدية.

استخدام الترانزستور في تنظيم الجهد المستمر

الفكرة الاساسية -:

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 ممانعة المجهز وتفريغ متسعة المرشح. الخ.

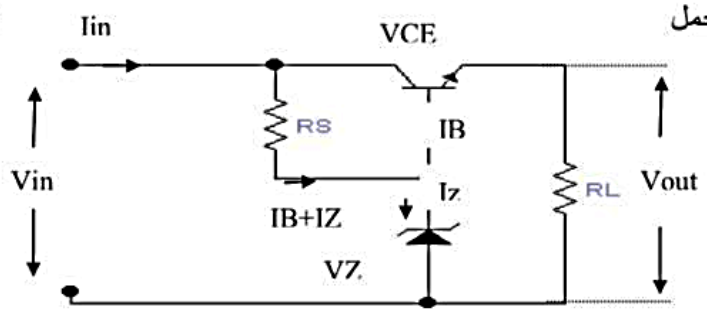


هنا ياتي استعمال منظم الفولتية وهو كما في الشكل تسوق فولتية المجهز غير المنظم الذي ينتج الفولتية المنظمة والتي تكون تقريبا ثابتة لا تتغير مع تغيرات فولتية الخط ولا مع تغيرات تيار الحمل.

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.

منظمات التوالي series Regulators

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

$$P_D = (Vin-Vout)\ IL$$

<u>مثال- :</u>

من الشكل (1) فولتية زينر Vz تساوي (7.5 V) و (β=100) و RL=100Ω. كم هي فولتية الحمل وتيار الحمل علما ان Vz < Vin؟

الحل:-

فولتية الحمل $V_L = V_Z - V_{BE}$

$$=7.5- 0.7= 6.8$$

$$IL = \frac{VL}{RL} = \frac{6.8V}{100} = 68mA$$

مثال:-

في المثال السابق $Zz_1=6\Omega$ كم هو التغير في تيار الحمل عندما تتغير RL من 50-100Ω
كم هو التغير في تيار زينر ؟ التغير التقريبي في فولتية الحمل؟

الحل:-

$$VL = VZ - VBE$$

$$=7.5-0.7=6.8V$$

عندما تكون **RL=100Ω** $IL=\frac{VL}{RL}=\frac{6.8}{100}=68mA$

عندما تكون **RL=50 Ω** $IL=\frac{VL}{RL}=\frac{6.8}{50}=136mA$

التغير في تيار الحمل $\Delta IL = 136mA - 68mA = 68\ mA$

يكون التغير في تيار الزينر $\Delta Iz=\frac{-\Delta IL}{\beta}=\frac{-68}{100}=0.68mA$

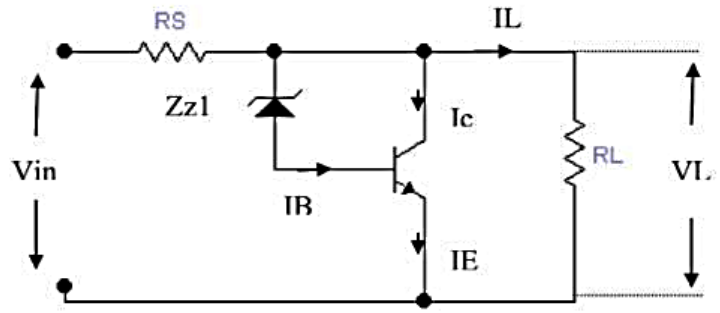
التغير التقريبي في فولتية الحمل $Vout = Zz\ \Delta Iz$

$$=6\Omega X\ (-0.68\ mA) = -4.08mv$$

منظم الفولتية 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

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



الاختبار البعدي

س1/ صف كيف يُستخدم الترانزستور لتنظيم الجهد في دائرة إلكترونية، ووضح دور كل جزء من الدائرة.

س2/ اقترح تصميمًا مبسطًا لدائرة منظم جهد تعتمد على الترانزستور، ووضح مبدأ عملها ومكوناتها الأساسية.

س3/ ناقش أهمية استخدام الترانزستورات ذات الكفاءة العالية في منظمات الجهد الحديثة، وتأثير ذلك على كفاءة الأجهزة الإلكترونية.

المحاضرة السادسة والسابعة والثامنة / أنواع الترانزستورات

الفئة المستهدفة :

طلبة المرحلة الأولى – المعهد التقني التكنولوجي – قسم التقنيات الكهربائية

الدوافع:

- **الحاجة إلى فهم أعمق لبنية الترانزستورات الحديثة المستخدمة في الإلكترونيات الدقيقة.**
- **ربط المفاهيم النظرية بالتطبيقات العملية في تصميم الدوائر الرقمية والأنظمة المدمجة.**
- **التعرّف على الفروق الجوهرية بين الترانزستور التقليدي (BJT) والترانزستورات القائمة على الجهد.**

الفكرة الرئيسية :

"تُعدّ ترانزستورات FET وMOSFET من أهم أنواع الترانزستورات المعتمدة على الجهد في التحكم بالتيار الكهربائي، وتتميّز بكفاءتها العالية واستخداماتها الواسعة في الدوائر الرقمية وأنظمة القدرة."

الأهداف السلوكية:

بعد انتهاء المحاضرة يُتوقع من الطالب أن يكون قادرًا على:

- **تعريف ترانزستور FET وMOSFET وشرح مبدأ عمل كل منهما.**

التمييز بين FET وMOSFET من حيث البنية وطريقة التشغيل.

توضيح مزايا وعيوب كل نوع في التطبيقات الإلكترونية المختلفة.

- **اختيار النوع المناسب من الترانزستور لتطبيق عملي وفقًا لمتطلبات الجهد والتيار.**

الاختبار القبلي

ما هو ترانزستورFET ؟ وما مبدأ عمله الأساسي؟

✅ **الإجابة النموذجية: ترانزستور (Field Effect Transistor) FET هو نوع من الترانزستورات يُستخدم للتحكم في التيار الكهربائي باستخدام الجهد بدلاً من التيار كما في .BJT يعمل عن طريق تأثير المجال الكهربائي على قناة الناقلات (إلكترونات أو ثقوب)، ويتحكم جهد البوابة (Gate) بمدى توصيل التيار بين المصدر (Source) والمصرف.(Drain)**

ما الفرق الأساسي بين FET وMOSFET؟

✅ **الإجابة النموذجية MOSFET :هو نوع فرعي من FET يتميز بوجود طبقة عازلة (عادة أكسيد السيليكون) بين البوابة والقناة، وهو اختصار لـ "Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor". الفرق الأساسي أن MOSFET يمتاز بكفاءة أعلى في العزل وقدرة أفضل على التحكم بالجهد، ويُستخدم بكثرة في الدوائر الرقمية والطاقة.**

في أي نوع من التطبيقات يُفضل استخدام FET أو MOSFET بدلاً منBJT ؟ ولماذا؟

✅ **الإجابة النموذجية: يُفضل استخدام FET أو MOSFET في الدوائر التي تتطلب سرعة استجابة كبيرة، وكفاءة في استهلاك الطاقة، مثل الدوائر المنطقية (Logic Circuits)والمعالجات الدقيقة. لأنها تعمل بالجهد ولا تحتاج تيار قاعدة كما فيBJT ، مما يجعلها أكثر كفاءة.**

ترانزستور تاثير المجال الوصلي

Junction Field Effect Transistor (JFET)

تم استخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي لكي يتم تلافي عيوب الترانزستور العادى ثنائي القطبية (BJT) و أهم هذه العيوب ممانعة الادخال المنخفضة بسبب التغذية الأمامية بين الباعث Emitter والقاعدةBase ، أيضا نسبة التشوهات الحادثة للإشارة عالية نسبياً..
وجدير بالذكر أن الـ JFET هو أول عائلة ترانزستور الـFET ، حيث تم تطويره فيما بعد الى الـ MOSFET المستخدم حالياً فى الدوائر الحديثة.

تركيبه و أنواعه. [
وهو عنصر مصنع من أشباه الموصلات والذي يتم فيه توصيل التيار بواسطة نوع واحد من حاملات الشحنة ((الإلكترونات أو الفجوات))، ويوجد منه نوعان:

١- JFET N – Channel
٢- JFET P – Channel

تستخدم هذه الترانزستورات في مراحل الترددات العالية ودوائر المازج ودوائر التردد المتوسط لأجهزة التليفزيون في مكبرات.((UHF,VHF))

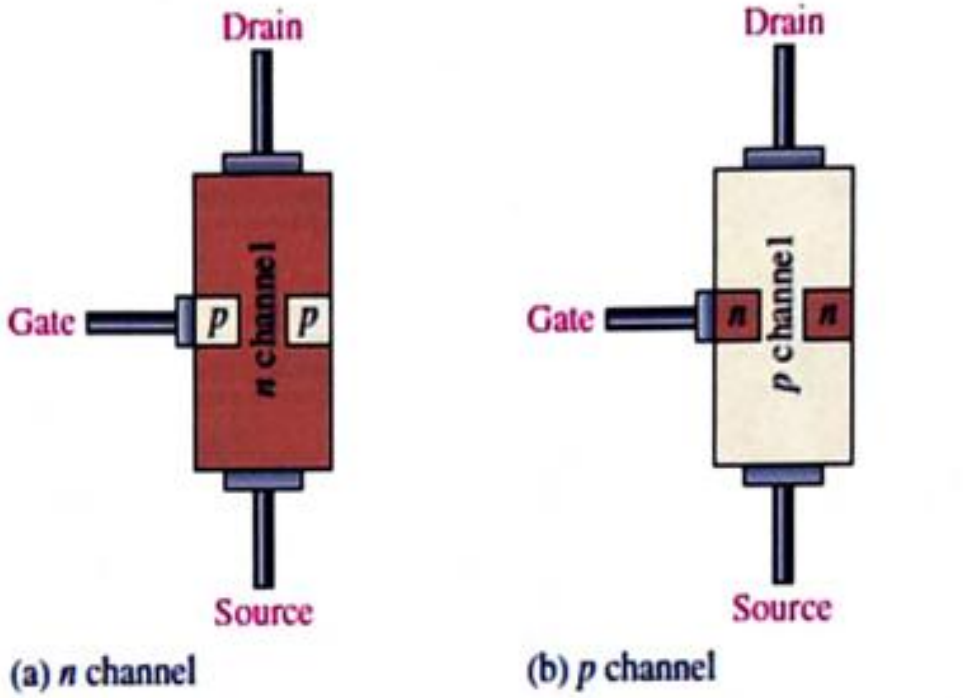
تركيب ال JFET

يتكون JFET من قطعة من السيليكون (N) او (P) يحتوى على وصلتين (P-N) وطرف مشترك يسمى البوابة (GATE) ، أطراف الترانزستور الأخرى هي المنبع (SOURCE) والمصرف (DRAIN) وبذلك يحتوى الترانزستور على ثلاث أطراف هي المنبع ويناظر الباعث والمصرف ويناظر الجامع والبوابة ويناظر القاعدة في الترانزستور العادي

يعتمد ترانزستور تاثير المجال الوصلي JFET في عمله على فرق الجهد بين البوابة Gate والمصدر Source ليسمح للتيار الكهربائي بالمرور من المصدر إلى المصرف خلال القناة الضيقة بين طبقتي الاستنزاف. ان حجم طبقتي الاستنزاف يعين عرض القناة الموصلة فكلما كانت فولتية البوابة اكثر سالبية تصبح القناة الموصلة اضيق وذلك لاقتراب طبقتي الاستنزاف الواحدة من الاخرى

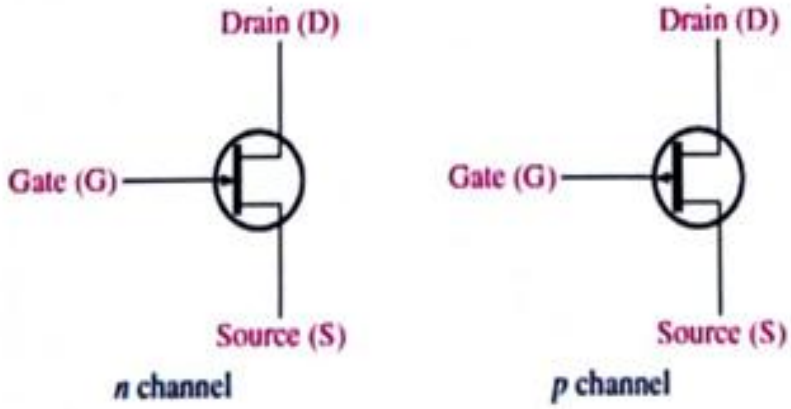
بعكس الترانزستور العادي والذي يعتمد على التيار الكهربائي لتشغيله حيث يسطير تيار الادخال على تيار الاخراج.

الشكل ادناه يوضح أجزاء JFET



(a) *n* channel (b) *p* channel

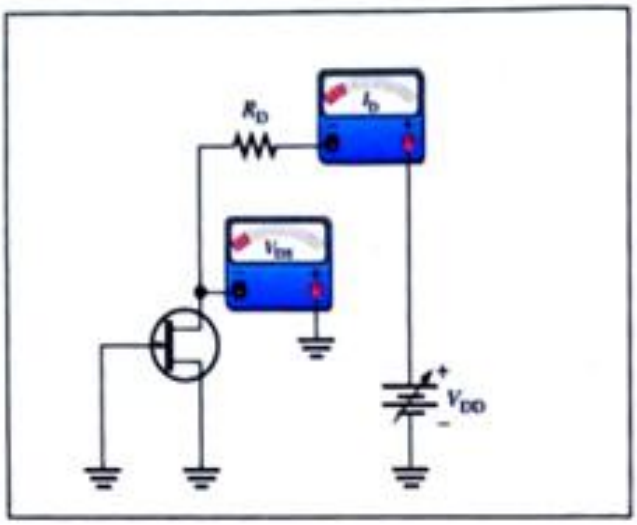
رمز JFET

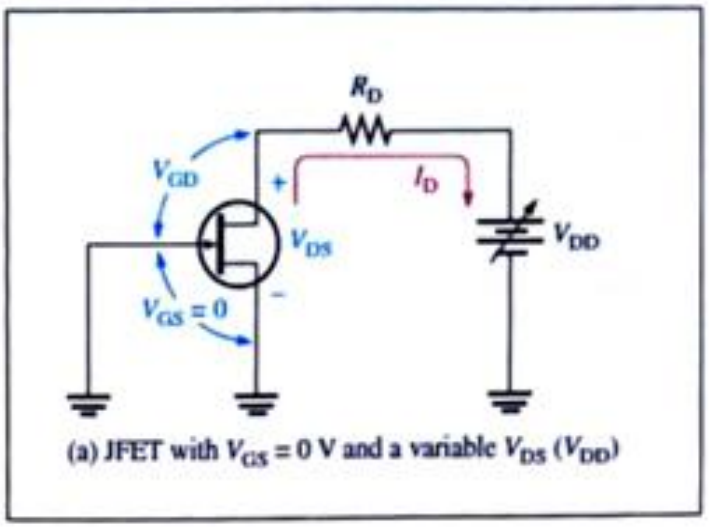


n channel *p* channel

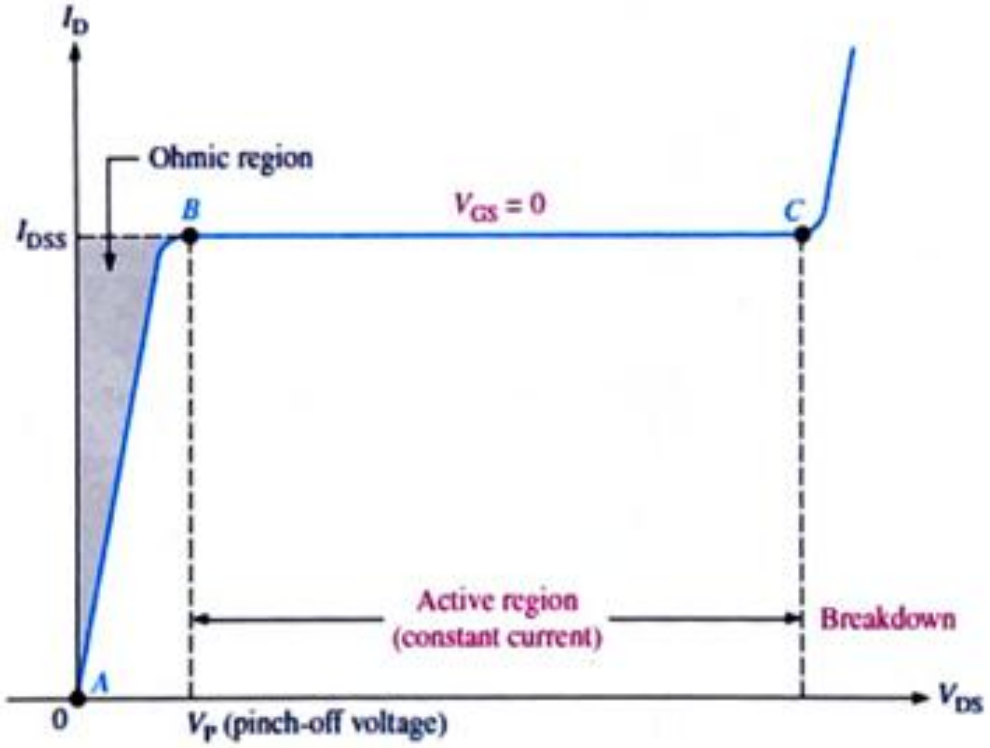
منحنيات ال JFET

وتمثل العلاقة بين تيار المصرف و فولتية المصرف

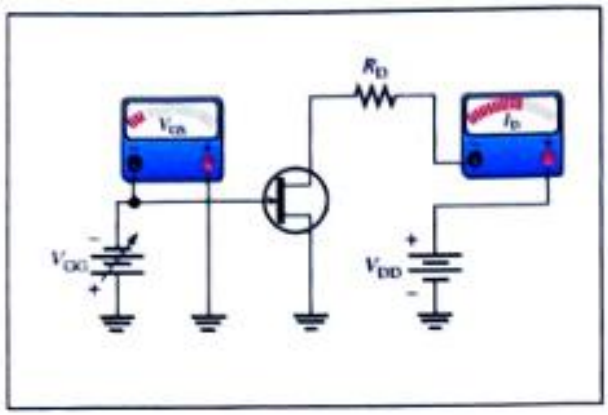


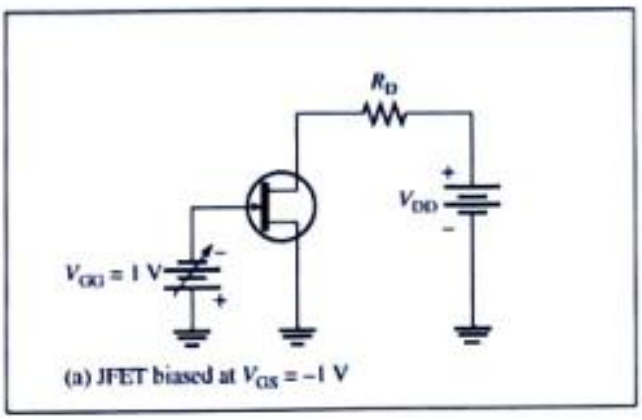


(a) JFET with $V_{GS} = 0$ V and a variable V_{DS} (V_{DD})

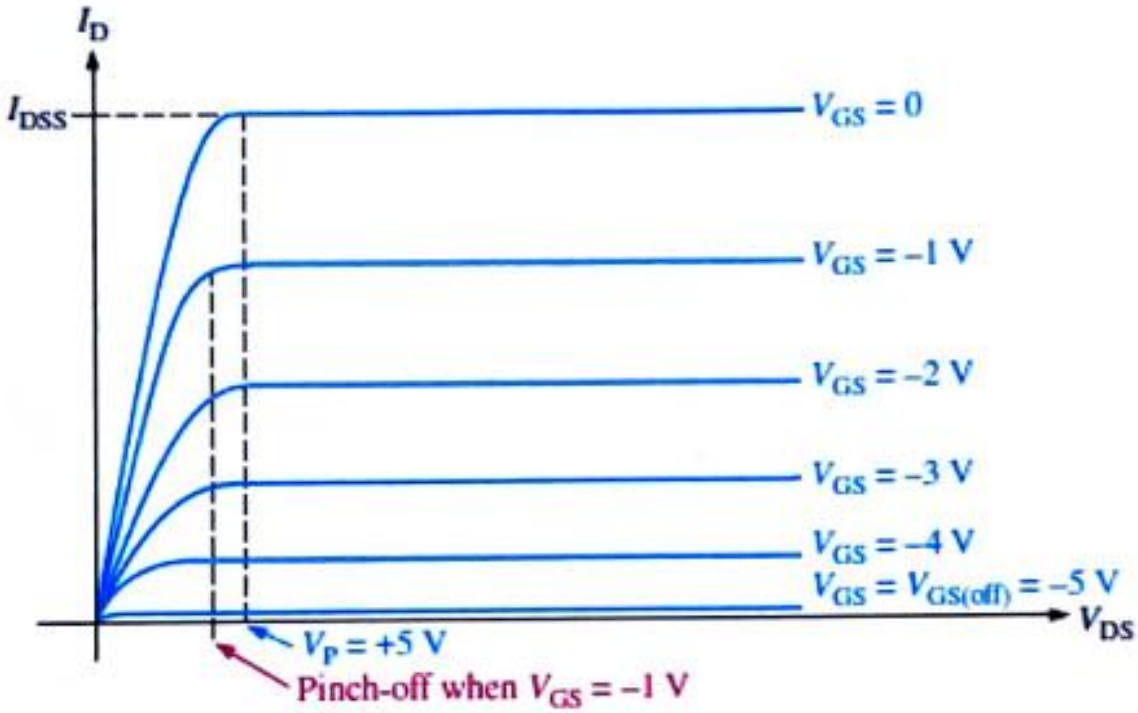


(b) Drain characteristic





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



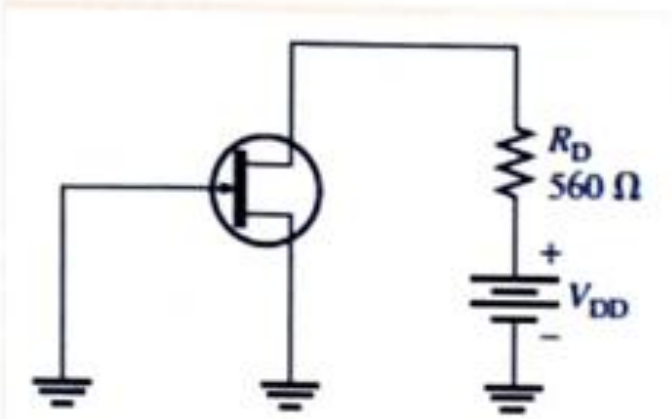
V_P :- فولتية الضيق هي فولتية المصرف التي يكون تيار المصرف فوقها ثابت تقريبا.

I_{DSS} :- ويمثل تيار المصرف الى المنبع عندما تكون البوابة في حالة قصر،

$V_{GS(OFF)}$:- وهي فولتية القطع بين البوابة و المصرف و التي يقل فيها تيار المصرف الى الصفر تقريبا.

مثال:- لدائرة ال JFET الموضحة في الشكل، اذا كان

$V_{GS(OFF)} = -4\ V$ و $I_{DSS} = 12\ mA$ ، احسب V_{DD}



الحل:-

$V_{GS(off)} = -4\ V, V_P = 4\ V.$

$V_{DS} = V_P = 4\ V$

$V_{GS} = 0\ V,$

$I_D = I_{DSS} = 12\ mA$

$V_{R_D} = I_D R_D = (12\ mA)(560\ \Omega) = 6.72\ V$

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

g_m :- هي المواصلة التبادلية و تقاس بوحدة ال Siemens

$$g_m = g_{m0}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)$$

g_{mo} :- هي المواصلة التبادلية مقاسة عند $V_{GS} = 0$

$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|}$$

مثال:- لدائرة JFET ، اذا كان

$I_{DSS} = 15\ mA,\ V_{GS(off)} = -6\ V\ ,\ V_{GS} - 4V$

احسب g_m

الحل:-

نحسب g_{mo} = 5000 uS باستخدام

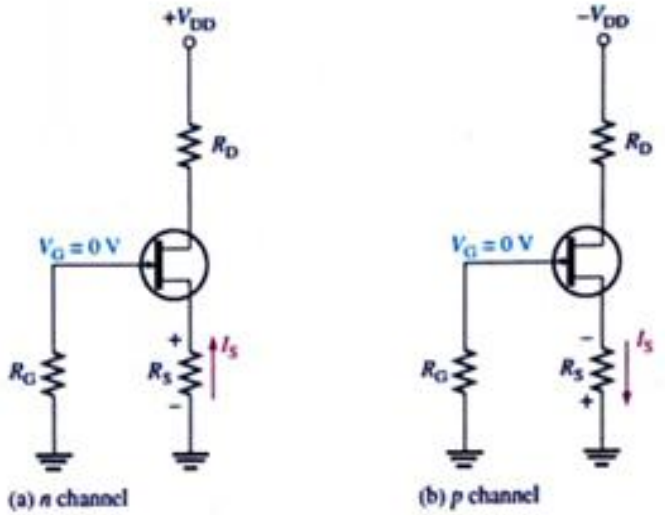
$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|}$$

$$g_m = g_{m0}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right) = (5000\,\mu S)\left(1 - \frac{-4\,V}{-6\,V}\right) = 1667\,\mu S$$

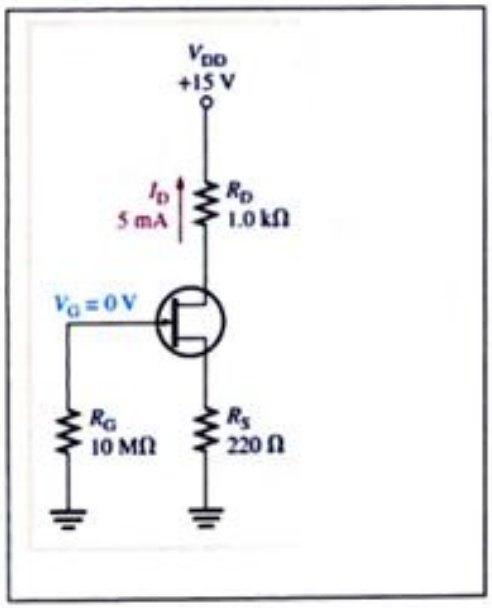
الانحياز الذاتي :- هو اكثر الطرق شيوعا في تحييد JFET فيه يسري تيار المصرف الى الاسفل خلال R_D و R_S منتجا فولتية بين المصرف و المنبع مقدارها

$$V_{DS} = V_D - V_S = V_{DD} - I_D(R_D + R_S)$$

$$V_{GS} = -I_D R_S$$



مثال:- لدائرة JFET التالية، احسب V_{GS} و V_{DS}



الحل:-

$$V_S = I_D R_S = (5\text{ mA})(220\ \Omega) = 1.1\text{ V}$$

$$V_D = V_{DD} - I_D R_D = 15\text{ V} - (5\text{ mA})(1.0\text{ k}\Omega)$$

$$= 15\text{ V} - 5\text{ V} = 10\text{ V}$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 10\text{ V} - 1.1\text{ V} = 8.9\text{ V}$$

لان $V_G = 0$

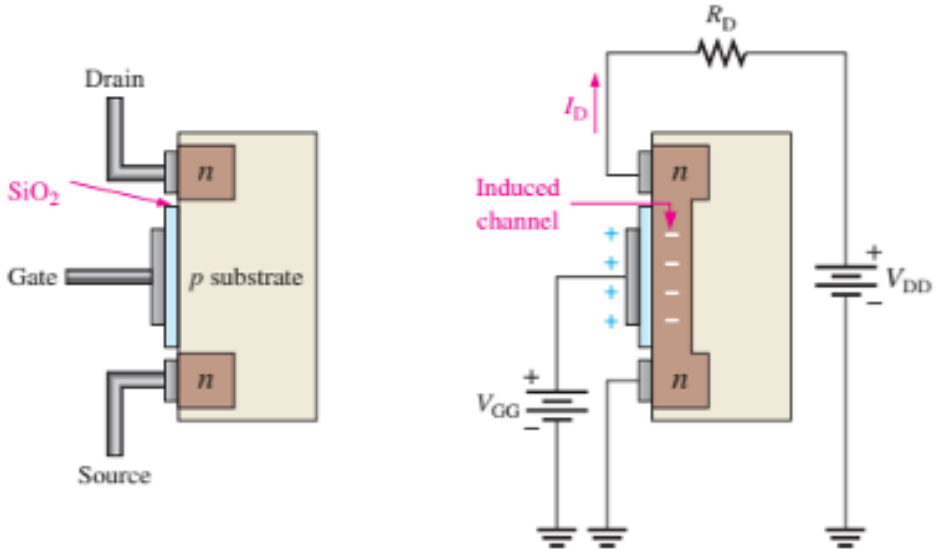
$$V_{GS} = V_G - V_S = 0\text{ V} - 1.1\text{ V} = -1.1\text{ V}$$

MOSFET

ترانزستور تأثير المجال (MOSFET) (ترانزستور تأثير المجال شبه الموصل بأكسيد معدني) هو فئة أخرى من ترانزستورات تأثير المجال. يختلف ترانزستور MOSFET عن ترانزستور JFET، إذ لا يحتوي على وصلة pn؛ بل تُعزل بوابة ترانزستور MOSFET عن القناة بطبقة من ثاني أكسيد السيليكون (SiO_2). النوعان الأساسيان من ترانزستورات MOSFET هما: ترانزستور التعزيز (E) وترانزستور الاستنفاد (D). من بين هذين النوعين، يُعد ترانزستور MOSFET المعزز أكثر استخدامًا. ونظرًا لاستخدام السيليكون متعدد البلورات حاليًا في مادة البوابة بدلًا من المعدن، تُسمى هذه الأجهزة أحيانًا ترانزستورات FET ذات البوابة المعزولة (IGFET).

ترانزستور موسفت المعزز (E-MOSFET)

يعمل ترانزستور موسفت المعزز فقط في وضع التعزيز، ولا يحتوي على وضع استنفاد. ويختلف في تركيبه عن ترانزستور موسفت D، الذي سنناقشه لاحقًا، في عدم احتوائه على قناة. لاحظ في الشكل 8-34 (أ) أن طبقة الأساس تمتد بالكامل إلى طبقة ثاني أكسيد السيليكون. بالنسبة لجهاز ذي قناة n، يُحفَّز جهد بوابة موجب أعلى من قيمة عتبة قناة عن طريق تكوين طبقة رقيقة من الشحنات السالبة في منطقة طبقة الأساس المجاورة لطبقة ثاني أكسيد السيليكون، كما هو موضح في الشكل 8-34 (ب). تُعزَّز موصلية القناة بزيادة جهد البوابة إلى المصدر، وبالتالي جذب المزيد من الإلكترونات إلى منطقة القناة. أما بالنسبة لأي جهد بوابة أقل من قيمة العتبة، فلا توجد قناة.



▲ FIGURE 8–34

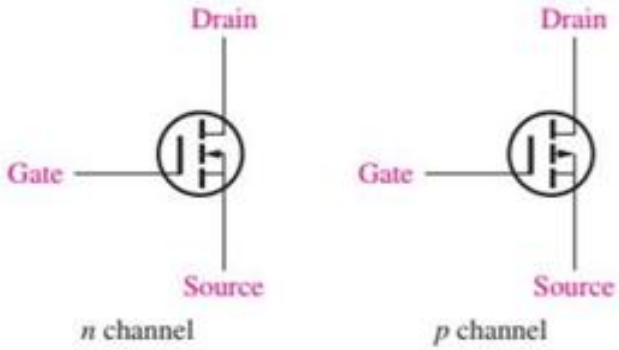
Representation of the basic E-MOSFET construction and operation (*n*-channel).

تظهر الرموز التخطيطية لترانزستورات E-MOSFET ذات القناة n والقناة p في الشكل 8-35. ترمز الخطوط المتقطعة إلى عدم وجود قناة فيزيائية. يشير سهم طبقة الأساس المتجه للداخل إلى القناة

n، بينما يشير سهم الركيزة المتجه للخارج إلى القناة p. بعض أجهزة E-MOSFET لها وصلة طبقة الأساس منفصلة.

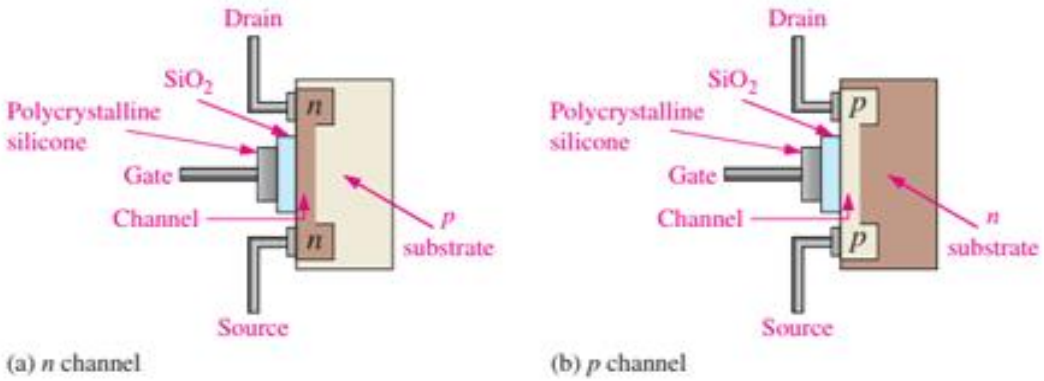
► FIGURE 8–35

E-MOSFET schematic symbols.



ترانزستورات MOSFET المستنفدة (D-MOSFET)

نوع آخر من ترانزستورات MOSFET هو ترانزستورات MOSFET المستنفدة (D-MOSFET)، ويوضح الشكل 8-36 بنيته الأساسية. ينتشر المصرف والمصدر في مادة طبقة الأساس، ثم يتصلان بقناة ضيقة مجاورة للبوابة المعزولة. يوضح الشكل كلا الجهازين n-channel وp-channel. سنستخدم نوع n-channel لوصف آلية عمله الأساسية. آلية عمل p-channel متشابهة، باستثناء أن قطبي الجهد متعاكسان في n-channel.



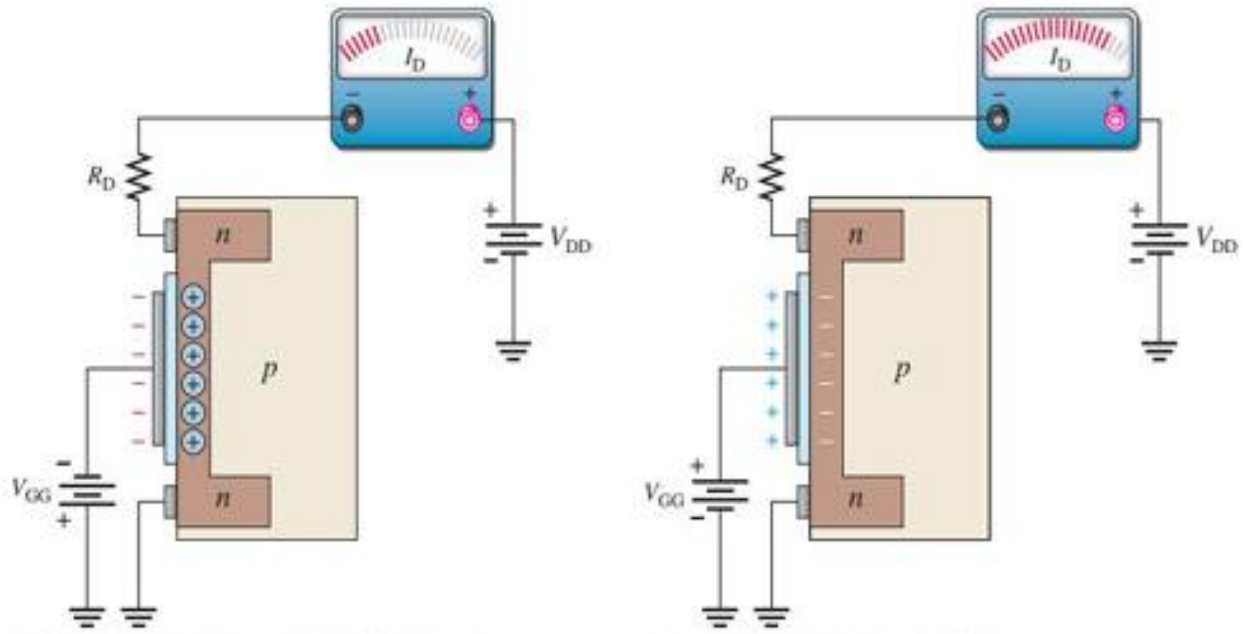
▲ FIGURE 8–36

Representation of the basic structure of D-MOSFETs.

يمكن تشغيل ترانزستور D-MOSFET في وضعين - وضع الاستنفاد أو وضع التعزيز - ويُطلق عليه أحيانًا اسم ترانزستور MOSFET الاستنفاد/التعزيز. ولأن البوابة معزولة عن القناة، يمكن تطبيق جهد بوابة موجب أو سالب. يعمل ترانزستور MOSFET ذو القناة n في وضع الاستنفاد عند تطبيق جهد سالب بين البوابة والمصدر، وفي وضع التعزيز عند تطبيق جهد موجب بين البوابة والمصدر. تعمل هذه الأجهزة عادةً في وضع الاستنفاد.

وضع الاستنفاد:

تخيّل البوابة كأحد صفيحتي مكثف ذي صفيحتين متوازيتين، والقناة كصفيحة أخرى. الطبقة العازلة من ثاني أكسيد السيليكون هي المادة العازلة. عند جهد بوابة سالب، تتنافر الشحنات السالبة على البوابة مع إلكترونات التوصيل من القناة، تاركةً أيونات موجبة مكانها. وبالتالي، تُستنفد القناة n بعض إلكتروناتها، مما يقلل من توصيليتها. كلما زاد الجهد السالب على البوابة، زاد استنفاد إلكترونات القناة n. عند جهد بوابة إلى مصدر سالب بدرجة كافية، $V_{GS(off)}$، تُستنفد القناة تمامًا ويكون تيار الاستنزاف صفرًا. يوضح الشكل 8-37(أ) وضع الاستنفاد هذا. وكما هو الحال مع ترانزستور JFET ذي القناة n، يُوصل ترانزستور D-MOSFET ذي القناة n تيار الاستنزاف لجهدي بوابة إلى مصدر بين $V_{GS(off)}$ والصفر. بالإضافة إلى ذلك، يعمل D-MOSFET عند قيم V_{GS} أعلى من الصفر.



(a) Depletion mode: V_{GS} negative and less than $V_{GS(off)}$ (b) Enhancement mode: V_{GS} positive

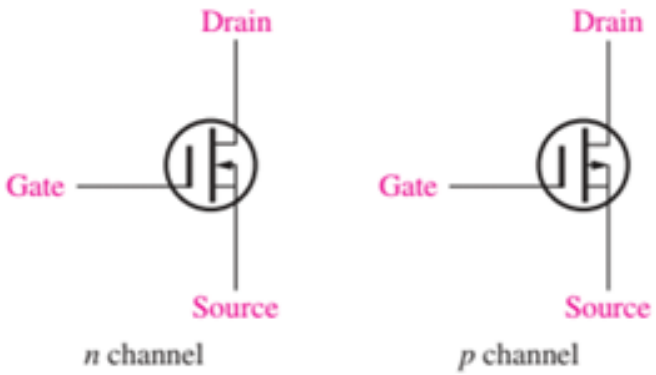
▲ FIGURE 8–37

Operation of *n*-channel D-MOSFET.

وضع التعزيز:

عند جهد بوابة موجب، ينجذب المزيد من إلكترونات التوصيل إلى القناة، مما يزيد (يعزز) توصيلها، كما هو موضح في الشكل 8-37 (ب).

رموز ترانزستورات MOSFET-D: تظهر الرموز التخطيطية لكل من ترانزستورات MOSFET المستنفدة للقناة n والقناة p في الشكل 8-38. عادةً (ولكن ليس دائمًا) تكون الركيزة، المشار إليها بالسهم، متصلة داخليًا بالمصدر. في بعض الأحيان، يوجد دبوس ركيزة منفصل.



◀ FIGURE 8–38
D-MOSFET schematic symbols.

هياكل ترانزستورات MOSFET المُحسَّنة التقليدية

تتميز ترانزستورات MOSFET المُحسَّنة التقليدية بقناة جانبية طويلة ورفيعة، كما هو موضح في الشكل 8-39. ينتج عن ذلك مقاومة عالية نسبيًا بين المصرف والمصدر، ويحصر استخدام ترانزستور E-MOSFET في تطبيقات الطاقة المنخفضة. عندما تكون البوابة موجبة، تتشكل القناة بالقرب من البوابة بين المصدر والمصرف، كما هو موضح.

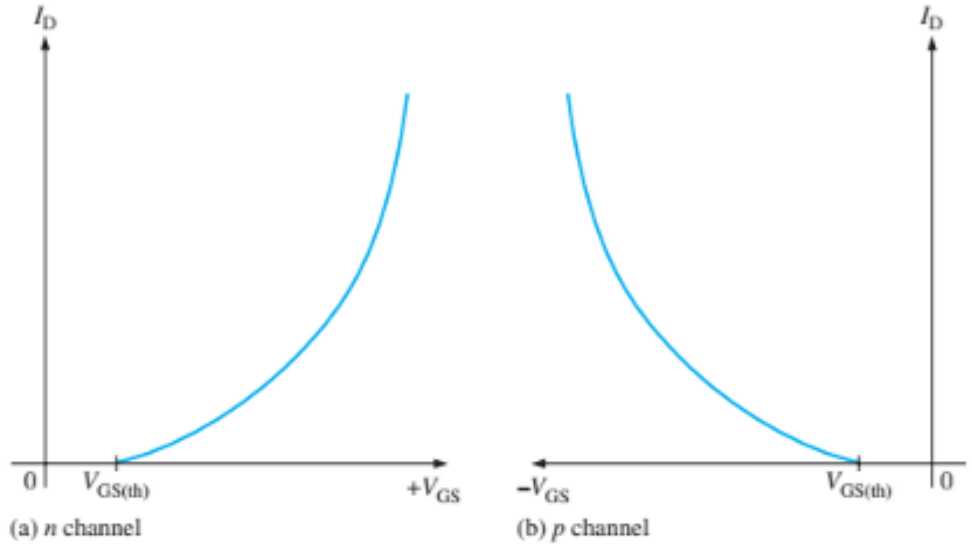
ترانزستور MOSFET المُنتشر جانبيًا (LDMOSFET):

يتميز ترانزستور LDMOSFET بقناة جانبية، وهو نوع من ترانزستورات MOSFET المُحسَّنة المُصممة لتطبيقات الطاقة. يتميز هذا الجهاز بقناة أقصر بين المصرف والمصدر مقارنةً بترانزستور E-MOSFET التقليدي. ينتج عن القناة الأقصر مقاومة أقل، مما يسمح بزيادة التيار والجهد.

خواص MOSFET

يستخدم E-MOSFET تعزيز القناة فقط. لذلك، يتطلب ترانزستور القناة n جهد بوابة إلى مصدر موجب، بينما يتطلب جهاز القناة p جهد بوابة إلى مصدر سالب. يوضح الشكل 8-44 منحنيات الخواص لكلا نوعي E-MOSFET. كما ترى، لا يوجد تيار تصريف عند قيمة $V_{GS}= 0$. لذلك، لا يمتلك E-MOSFET معامل I_{DSS} هام، كما هو الحال مع JFET وD-MOSFET.

لاحظ أيضًا أنه من الناحية المثالية، لا يوجد تيار مصرف حتى يصل VGS إلى قيمة غير صفرية معينة تُسمى جهد العتبة، $V_{GS\,(th)}$.



▲ **FIGURE 8–44**

E-MOSFET general transfer characteristic curves.

تختلف معادلة منحنى الخواص المكافئ لترانزستور E-MOSFET عن معادلة ترانزستور JFET وترانزستور D-MOSFET، لأن المنحنى يبدأ عند $V_{GS\,(th)}$ بدلاً من $V_{GS\,(off)}$ على المحور الأفقي، ولا يتقاطع مع المحور الرأسي. معادلة منحنى خاصية النقل لترانزستور E-MOSFET هي:

Equation 8–4

$$I_D = K(V_{GS} - V_{GS(th)})^2$$

يعتمد الثابت K على نوع MOSFET، ويمكن تحديده من ورقة البيانات عن طريق أخذ القيمة المحددة لـ I_D، والتي تسمى $I_{D(on)}$، عند القيمة المعطاة لـ V_{GS}، واستبدال القيم في المعادلة 8-4 كما هو موضح في المثال 8-16.

مثال 8-16

تشير ورقة بيانات N7002 E-MOSFET2 إلى أن $I_{D(on)}$= 500 mA (كحد أدنى) عند V_{GS}= 10 V و$V_{GS(th)}$= 1V فولت. حدد تيار الاستنزاف لـ VGS = 5 فولت.

Solution First, solve for K using Equation 8–4.

$$K = \frac{I_{D(on)}}{(V_{GS} - V_{GS(th)})^2} = \frac{500\text{ mA}}{(10\text{ V} - 1\text{ V})^2} = \frac{500\text{ mA}}{81\text{ V}^2} = 6.17\text{ mA/V}^2$$

Next, using the value of K, calculate I_D for $V_{GS} = 5$ V.

$$I_D = K(V_{GS} - V_{GS(th)})^2 = (6.17\text{ mA/V}^2)(5\text{ V} - 1\text{ V})^2 = \mathbf{98.7\text{ mA}}$$

ان قانون التربيع في المعادلة 8-1 لمنحنى JFET ينطبق أيضًا على منحنى D-MOSFET، كما يوضح المثال 8-17.

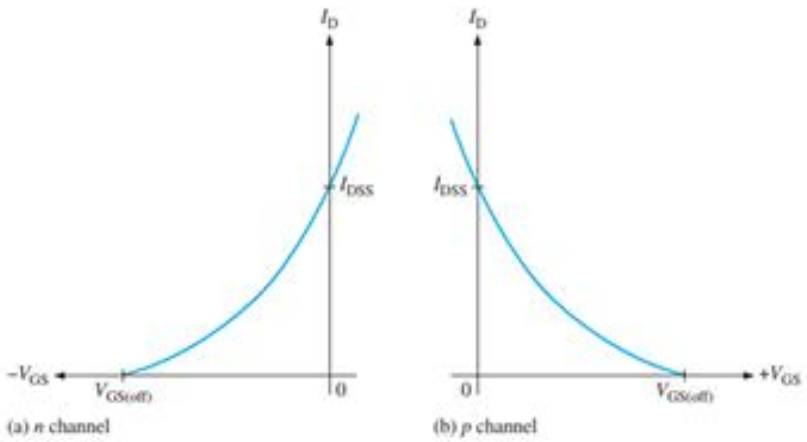


FIGURE 8–45
D-MOSFET general transfer characteristic curves.

مثال 8-17

بالنسبة لترانزستور D-MOSFET معين، I_{DSS} =10 mA و $V_{GS(off)}$= -8 V

(أ) هل هذا الترانزستور قناة n أم قناة p؟

(ب) احسب I_D عند VGS= - 3 فولت.

(ج) احسب I_D عند VGS=+ 3 فولت.

Solution **(a)** The device has a negative $V_{GS(off)}$; therefore, it is an ***n*-channel** MOSFET.

(b) $$I_D \cong I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2 = (10\,\text{mA})\left(1 - \frac{-3\,\text{V}}{-8\,\text{V}}\right)^2 = \mathbf{3.91\ mA}$$

(c) $$I_D \cong (10\,\text{mA})\left(1 - \frac{+3\,\text{V}}{-8\,\text{V}}\right)^2 = \mathbf{18.9\ mA}$$

الاختبار البعدي

1. اذكر النوعين الأساسيين من ترانزستورات MOSFET
2. إذا تم رفع جهد البوابة إلى المصدر في ترانزستور E-MOSFET ذي القناة n إلى قيمة موجبة، فهل يزداد تيار الاستنزاف أم ينخفض؟
3. إذا تم رفع جهد البوابة إلى المصدر في ترانزستور MOSFET ذي القناة n إلى قيمة سالبة، فهل يزداد تيار الاستنزاف أم ينخفض؟

المحاضرة التاسعة / مقارنة بين FETوMOSFETو BJT

الفئة المستهدفة :

طلبة المرحلة الأولى – المعهد التقني التكنولوجي – قسم التقنيات الكهربائية

الدوافع:

- **فهم الاختلافات الأساسية بين أنواع الترانزستورات لاختيار الأنسب في تصميم الدوائر الإلكترونية.**
- **تحسين أداء الأجهزة من خلال معرفة مميزات وعيوب كل نوع.**
- **تطوير مهارات التحليل والمقارنة في التطبيقات العملية.**

الفكرة الرئيسية :

الترانزستورات تختلف في طريقة عملها، خصائصها، وكفاءتها. BJT يعتمد على التحكم بالتيار، بينما FET وMOSFET يعتمدان على التحكم بالجهد. فهم هذه الفروق يساهم في اختيار المكون المناسب في التطبيقات المختلفة.

الأهداف السلوكية:

بعد انتهاء المحاضرة يُتوقع من الطالب أن يكون قادرًا على:

- **أن يميز الطالب بين BJT وFET وMOSFET من حيث المبدأ والعمل.**
- **أن يقارن الطالب بين الترانزستورات باستخدام جداول ومخططات.**
- **أن يُقدّر الطالب أهمية اختيار الترانزستور المناسب للتطبيق.**

الاختبار القبلي

السؤال الأول: قارن بين الترانزستور BJT و FETمن حيث مبدأ التشغيل وطبيعة التحكم.

الإجابة النموذجية: يعمل ترانزستور BJT بالاعتماد على التحكم في التيار، حيث يتحكم تيار القاعدة في تيار المجمع.

أما FET فيعتمد على التحكم في الجهد، إذ يتحكم الجهد بين البوابة والمصدر في تدفق التيار.

BJTيتطلب تيارًا مستمرًا في القاعدة، بينما FET يستهلك طاقة أقل لأنه لا يحتاج إلى تيار في البوابة.

السؤال الثاني: ما الفرق بين FET و MOSFETمن حيث التركيب وكفاءة الأداء؟

الإجابة النموذجية:

MOSFETهو نوع خاص من FET يحتوي على طبقة أكسيد بين البوابة والقناة لعزلها كهربائيًا، ما يجعل المعاوقة بين البوابة والمصدر عالية جدًا.

هذا التركيب يقلل من استهلاك الطاقة ويجعل MOSFET أكثر كفاءة وسرعة في التطبيقات العالية التردد مقارنةً بـ FET التقليدي.

كما أن MOSFET أكثر استخدامًا في الأنظمة الرقمية ودارات التحكم الدقيقة.

مقارنة بين أنواع الترانزستور (BJT , FET , MOSFET)

جدول يوضح مقارنة بين الترانزستورات (BJT , FET , MOSFET)

المقارنة	BJT	FET	MOSFET
نوع التحكم	تيار (القاعدة تتحكم في التيار)	جهد (الجهد على البوابة يتحكم في التيار)	جهدي أكثر حساسية للجهد من FETالعادي
الاستهلاك في القاعدة	يستهلك تياراً نسبياً عند التشغيل	لا يستهلك تياراً في البوابة تقريبًا	لا يستهلك تيارًا في البوابة (بفضل طبقة الأكسيد)
الكفاءة الحرارية	أقل كفاءة حرارية	BJT أعلى من	بفضل BJTو FET أفضل من تصميمه
سرعة الاستجابة	جيدة لكن أبطأ نسبيًا	BJT أسرع من	الأسرع على الإطلاق، مثالي للتطبيقات العالية التردد
الاستخدام الشائع	مكبرات الصوت، الدوائر التناظرية	مكبرات الجهد، التطبيقات ذات الجهد العالي	المعالجات، دوائر الطاقة، الإلكترونيات الرقمية
(المقاومة)	مقاومة دخل منخفضة	مقاومة دخل عالية	مقاومة دخل عالية جدًا
السهولة في التصميم	سهل نسبيًا	أسهل بسبب التحكم بالجهد	أكثر تعقيدًا قليلاً لكنه الأكثر شيوعًا

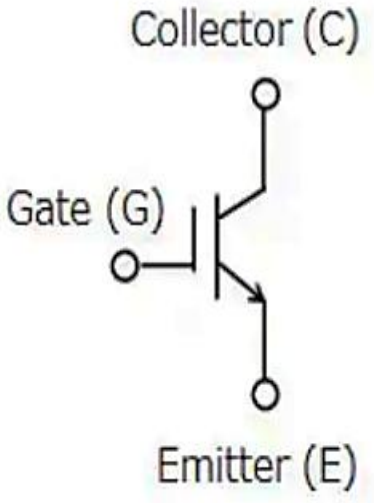
ما هوIGBT ؟

IGBT لتقف علي الترانزستور ثنائي القطب ذو البوابة المعزولة. يوضح الشكل (أ) رمز IGBTإنه ترانزستور طاقة يجمع بين مدخل MOS وترانزستور ثنائي القطب للإخراج. يوضح الشكل (ب) مثالاً على بنية IGBT يتم تشكيل منطقة AP على جانب التصريف من MOSFET.تتناقص مقاومة منطقة الانجراف N عالية المقاومة عندما يتم حقن الثقوب من منطقة P هذه عند التشغيل. وتسمى هذه الظاهرة تعديل الموصلية. وبالتالي، فإن IGBT هو ترانزستور تبديل ذو جهد تشغيل منخفض حتى عند جهد الانهيار العالي.

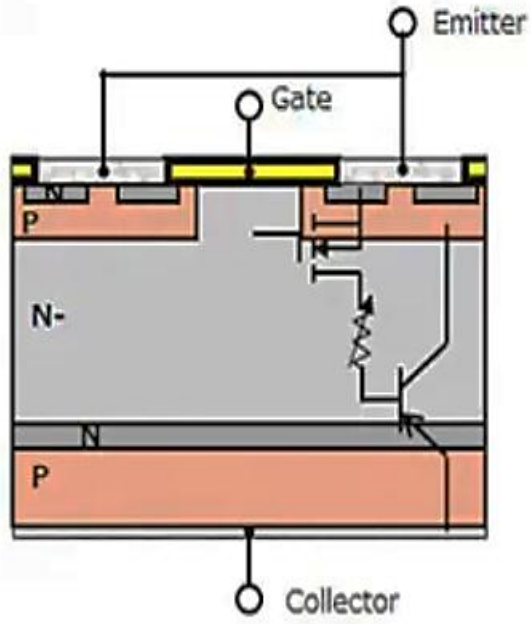
على الرغم من أن دائرتها الداخلية المكافئة معقدة، إلا أنه يمكن تبسيطها بحيث تتكون من MOSFETذات قناة N مع مقاومة متغيرة وصمام ثنائي متصل على التوالي كما هو موضح في الشكل (ج).

يعتبر IGBT ترانزستورًا مثاليًا لتطبيقات الجهد العالي والتيار العالي. يتوفر IGBT بمعدل جهد يتراوح من 400 فولت إلى 2000 فولت ومعدل تيار يتراوح من 5 أمبير إلى 1000 أمبير ويستخدم على نطاق واسع في التطبيقات الصناعية مثل أنظمة العاكس وإمدادات الطاقة غير المنقطعة(UPS) ، وتطبيقات المستهلك مثل مكيفات الهواء وأجهزة الطبخ التعريفي، وتطبيقات السيارات مثل وحدات التحكم في محرك السيارة الكهربائية (EV) .

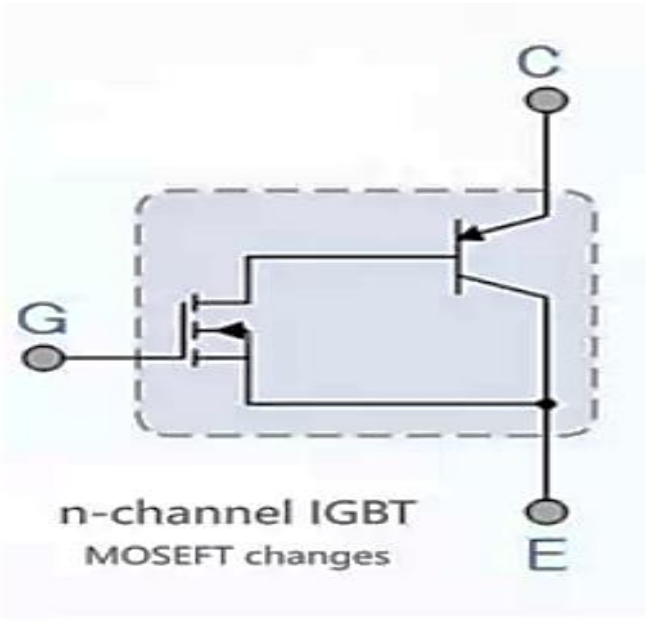
تتوفر أيضًا IGBTs بجهد يصل إلى 6 كيلو فولت وما يصل إلى 4500 أمبير للسكك الحديدية ونقل التيار المباشر عالي الجهد (HVDC) والتطبيقات الكبيرة الأخرى.



(a) Symbol of an N-channel IGBT



(b) Typical IGBT structure

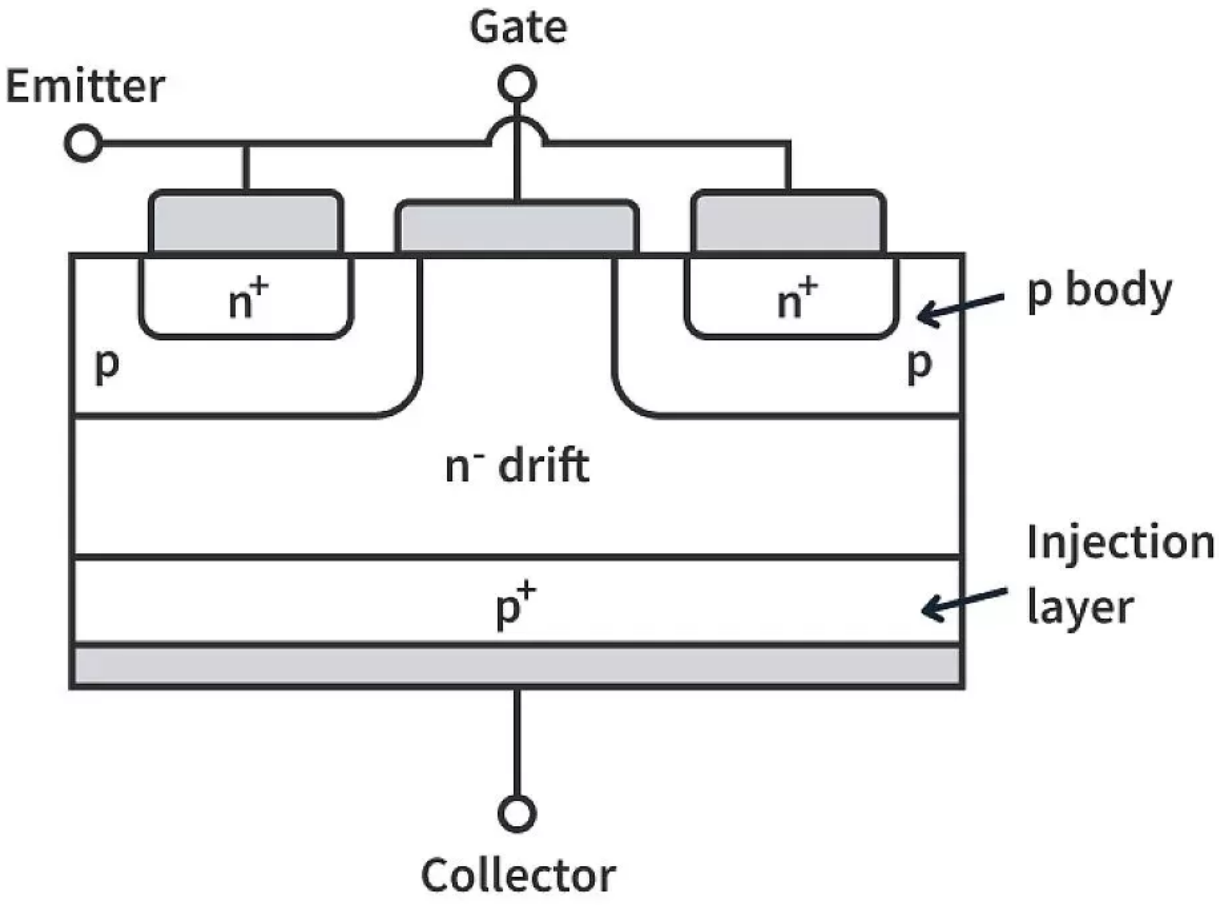


(ج) دائرة مكافئة مبسطة لـ IGBT

هيكلIGBT

تحتوي IGBTs على طبقة معدنية متصلة بجميع المحطات الثلاث (المجمع والباعث والبوابة). ومع ذلك، فإن المادة المعدنية الموجودة على طرف البوابة تحتوي على طبقة ثاني أكسيد السيليكون.

هيكل IGBT عبارة عن جهاز أشباه الموصلات من أربع طبقات. يتم تحقيق الجهاز ذو الأربع طبقات من خلال الجمع بين ترانزستورات PNP وNPN، والتي تشكل ترتيبPNPN .



كما هو موضح أعلاه، فإن الطبقة الأقرب إلى منطقة المجمع هي الركيزة(+p) ، منطقة الحقن؛ وفوقها توجد منطقة الانجرافN ، والتي تتضمن الطبقة N تقوم منطقة الحقن بحقن معظم الموجات الحاملة (تيارات الثقب) من (+p) إلى الطبقة N .

يحدد سمك منطقة الانجراف قدرة حجب الجهد لـ .IGBT فوق منطقة الانجراف توجد منطقة الجسم الرئيسية، والتي تتكون من الركيزة (p) بالقرب من الباعث، وداخل منطقة الجسم الرئيسية، الطبقة(+n) .

التقاطع بين منطقة الحقن ومنطقة N-drift هو .J2 وبالمثل، فإن التقاطع بين المنطقة N ومنطقة الجسم الرئيسية هو التقاطعJ1 .

عملIGBT

تعمل IGBTs عن طريق التشغيل أو الإيقاف عن طريق تنشيط أو إلغاء تنشيط محطات البوابة الخاصة بها. إذا مر جهد دخل إيجابي عبر البوابة، يتم تشغيل دائرة محرك تثبيت الباعث. من ناحية أخرى، إذا كان جهد طرف بوابة IGBT صفرًا أو سالبًا قليلاً، فسيتم إيقاف تشغيل تطبيق الدائرة. نظرًا لأنه يمكن استخدام IGBT كأنبوب BJT وأنبوبMOS ، فإن مقدار التضخيم الذي يحققه هو النسبة بين إشارة الخرج وإشارة دخل التحكم.

بالنسبة لـ BJT التقليدي، فإن مقدار الكسب هو تقريبًا نفس نسبة تيار الخرج إلى تيار الإدخال، والذي نسميه ونشير إليه بـ .β من ناحية أخرى، بالنسبة لأنبوبMOS ، لا يوجد تيار دخل لأن أطراف البوابة هي عزل القناة الرئيسية التي تحمل التيار. نحدد كسب IGBT عن طريق قسمة التغير في تيار الخرج على التغير في جهد الدخل.

يتم تنفيذ IGBT للقناة N عندما يكون المجمع في جهد موجب بالنسبة إلى الباعث وتكون البوابة أيضًا في جهد موجب بدرجة كافية (V GET>) فيما يتعلق بالباعث. يؤدي هذا الوضع إلى تكوين طبقة من النوع العكسي مباشرة أسفل البوابة، مما يخلق قناة، ويبدأ التيار بالتدفق من المجمع إلى الباعث.

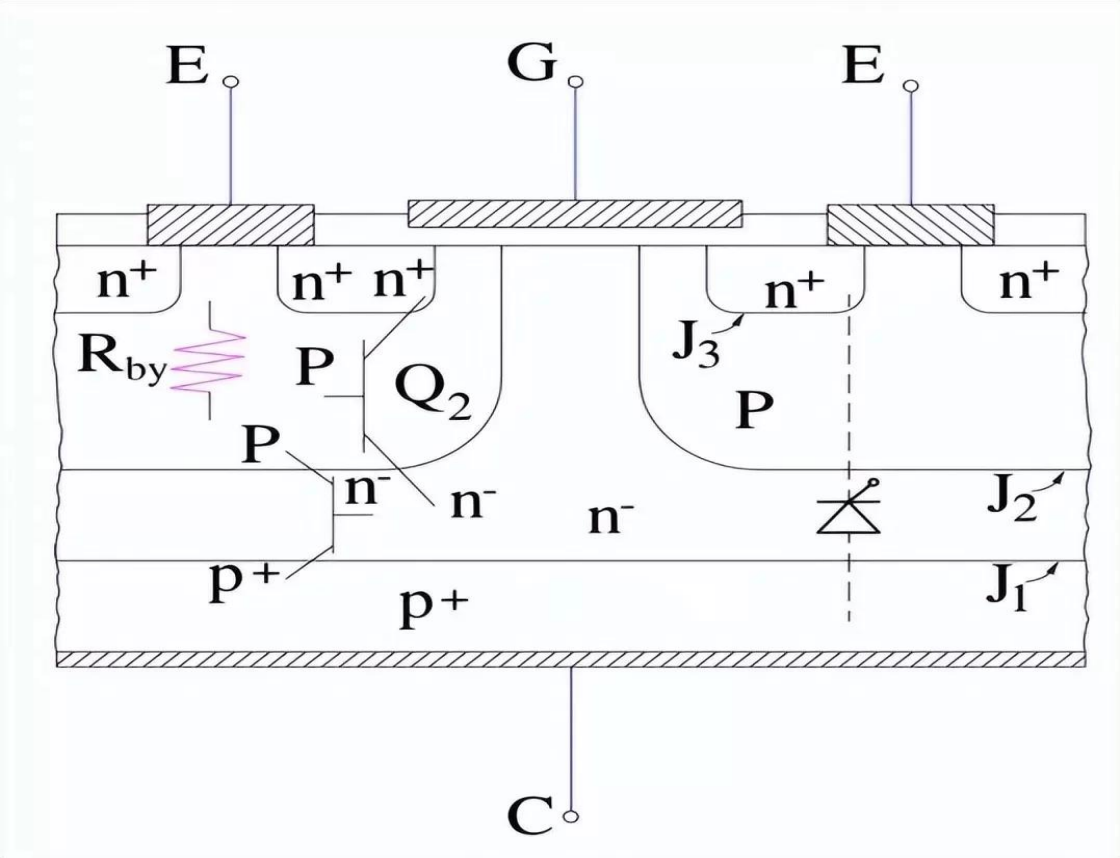
يتكون تيار المجمع Ic في IGBT من مكونين، Ieو .Ihأي هو التيار الذي يتدفق من المجمع إلى الباعث بسبب الإلكترونات المحقونة عبر طبقة الحقن والطبقة المنجرفة وفي النهاية القناة، و Ihهو تيار الثقب الذي يتدفق من المجمع إلى الباعث عبر Q1 والجسم المقاومة روبية وبالتالي، على الرغم من أن Ih لا يكاد يذكر، فمن ثمIe ≈ Ic .

لوحظت ظاهرة خاصة في IGBTs تسمى IGBT latch-up. يحدث هذا عندما يتجاوز تيار المجمع عتبة معينة (ICE). في هذه الحالة، يتم إغلاق الثايرستور الطفيلي وتفقد محطة البوابة السيطرة على تيار المجمع، مما يمنع IGBT من إيقاف التشغيل، حتى لو انخفض جهد البوابة إلى ما دون VGET .

لإيقاف تشغيل IGBT الآن، نحتاج إلى دارات تبديل التيار النموذجية، كما هو الحال في حالة تبديل التيار القسري للثايرستور. إذا لم يتم إيقاف تشغيل الجهاز في أسرع وقت ممكن، فقد يتعرض للتلف.

دائرة مكافئة لـIGBT

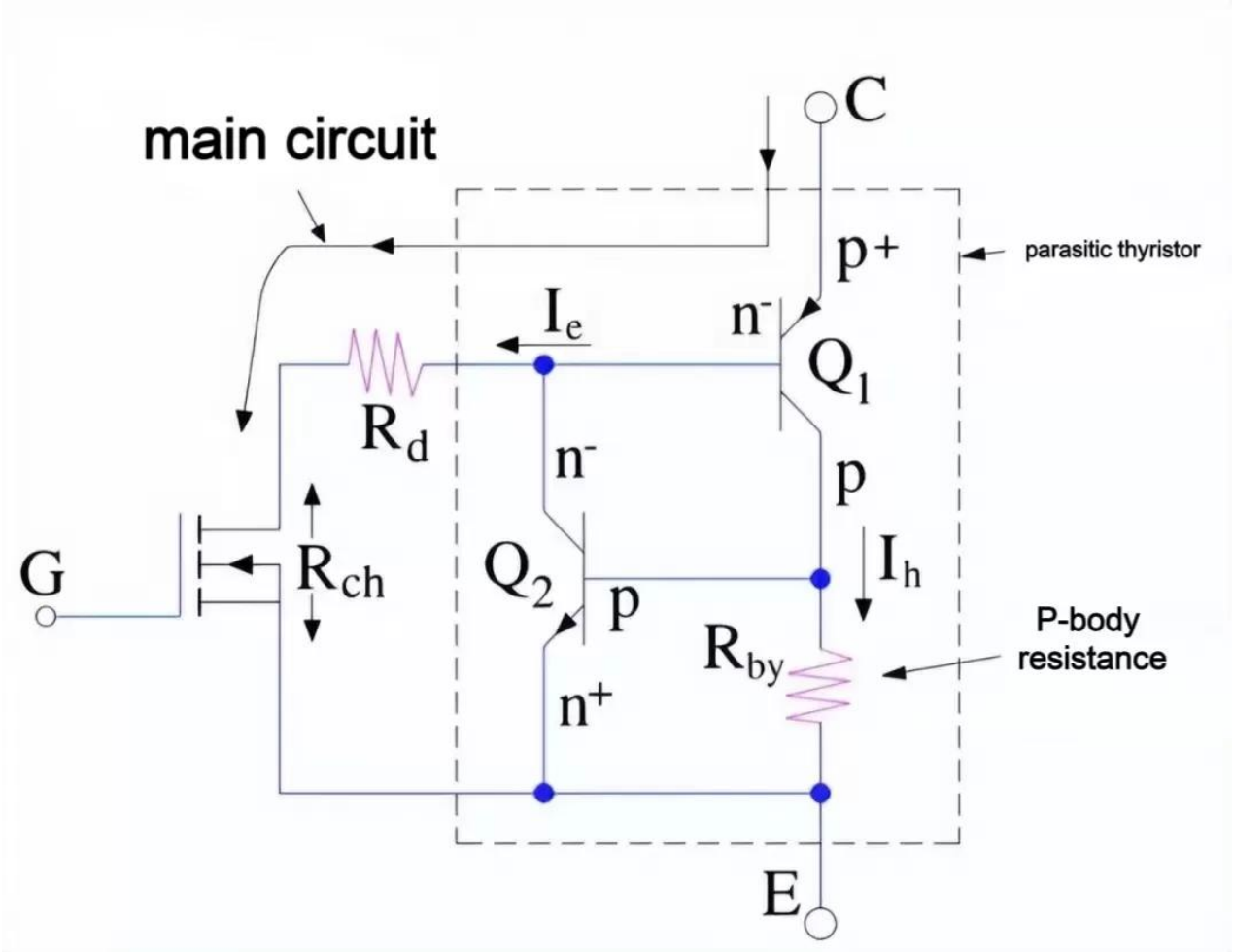
تتكون الدائرة المكافئة التقريبية لـ IGBT من أنبوب MOS وترانزستور PNP (Q1). بالنظر إلى المقاومة التي توفرها منطقةn-drift ، فإن طريق المقاوم قد تم تضمينه بالفعل في الدائرة، ويمكن استخلاص هذه الدائرة المكافئة من خلال فحص الهيكل الأساسي لـIGBT ، والذي يظهر في الشكل أدناه.



IGBTالتمريري، PT-IGBT: IGBTالتمريري، PT-IGBTله منطقة +N عند جهة اتصال المرسل.

بمراقبة البنية الأساسية لـ IGBT الموضحة أعلاه، يمكن ملاحظة أن هناك مسارًا آخر من المجمع إلى الباعث، وهو المجمع، +p، -n، p (n-channel)، +nوالباعث.

لذلك، يوجد ترانزستور Q2 آخر مثل +pn – n في بنيةIGBT ، لذلك نحتاج إلى تضمين هذا الترانزستور Q2 في الدائرة المكافئة التقريبية للحصول على الدائرة المكافئة بالضبط.



أنواعIGBT

يمكن تقسيم IGBT إلى حزم IGBT و IPM(وحدة الطاقة الذكية) وأنواع أخرى من الحزم.

- **IGBTواحد: يشير IGBT الفردي إلى جهاز IGBT مستقل، يتم توفيره عادةً في حزمة منفصلة. إنها مناسبة للتطبيقات التي تتطلب التحكم الفردي والتكامل، ويمكن اختيار حزم ومواصفات مختلفة بناءً على الاحتياجات المحددة.**
- **IPM وحدة الطاقة الذكية: IPM عبارة عن حزمة معيارية تدمج العديد من أجهزة الطاقة الإلكترونية مثل IGBTs ودوائر القيادة ودوائر الحماية. تحتوي IPMs عادةً على شريحة IGBT واحدة أو أكثر، ودوائر التشغيل، ووظائف الحماية، مما يبسط التصميم ويحسن موثوقية النظام. تُستخدم أجهزة IPM على نطاق واسع في محركات المحركات والعاكسات وغيرها من التطبيقات عالية الطاقة.**

بالإضافة إلى IGBT و IPMالمفرد، هناك أنواع أخرى من الحزم، مثل:

- **IGBTالرقمي Digital IGBT :عبارة عن حزمة IGBT تتمتع بقدرات تحكم ومراقبة متكاملة. أنها توفر واجهات ووظائف رقمية إضافية لتحقيق قدرات التحكم والمراقبة المتقدمة.**
- **IGBTالمعياري: عادةً ما تكون Modular IGBT عبارة عن وحدة IGBT عالية الطاقة تدمج شرائح IGBT المتعددة ودوائر القيادة وأنظمة تبديد الحرارة. تعتبر IGBTsالمعيارية مناسبة للتطبيقات عالية الطاقة، مثل محركات الأقراص الصناعية الكبيرة وأنظمة تحويل الطاقة.**

توفر هذه الأنواع المختلفة من حزم IGBT المرونة والتنوع، مما يسمح باختيار نوع الحزمة الأكثر ملاءمة بناءً على متطلبات التطبيق المحددة.

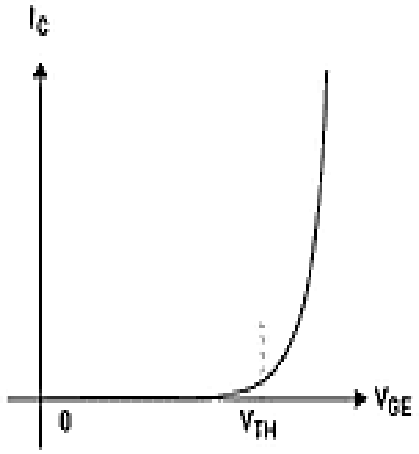
خصائصIGBTs

السمات الأساسية لـ IGBT هي خصائص النقل والإخراج.

- **خصائص الإرسال**

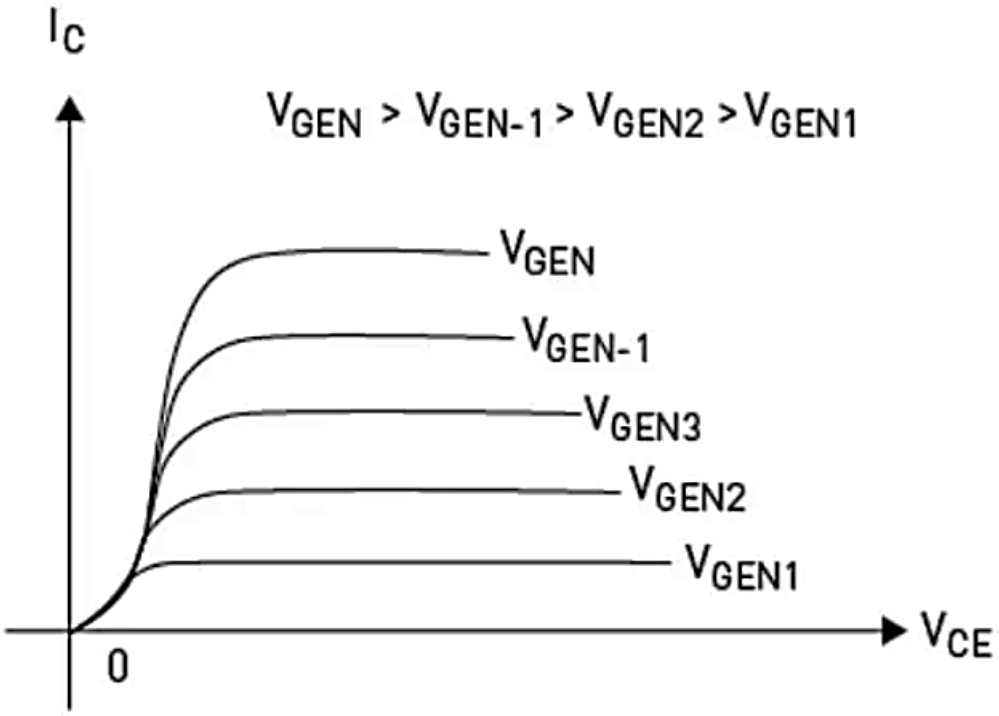
خصائص نقلIGBT

توضح خصائص النقل لـ IGBT العلاقة بين Ic وVGE. تتشابه خصائص النقل بين IGBTs وMOSFETs. يتطلب تدفق تيار المجمع حدًا أدنى لجهد العتبة VTH بين البوابة والباعث. يظل IGBT في حالة خارج الحالة عندما تكون إمكانات باعث البوابة أقل من جهد العتبة.



على العكس من ذلك، عندما يتجاوز جهد البوابة جهد العتبة، يعرض منحنى النقل الخطية عبر جزء كبير من تيار التصريف.

- **خصائص إخراجIGBT**



نظرًا لأن IGBTs تعتمد على الجهد، فلا يلزم سوى كمية صغيرة جدًا من الجهد عند طرف البوابة لإبقائها قيد التشغيل، على عكس ترانزستورات الطاقة ثنائية القطب، والتي تتطلب تدفقًا مستمرًا للتيار الأساسي في منطقة القاعدة لإبقائها مشبعة.

IGBTsهي أجهزة أحادية الاتجاه، مما يعني أنها لا يمكنها التبديل إلا في الاتجاه "الأمامي" (من المجمع إلى الباعث) IGBTs .هي عكس أنابيبMOS ، التي لديها عملية تبديل تيار ثنائية الاتجاه؛ يمكن التحكم في أنابيب MOS في الاتجاه الأمامي، ولا يمكن التحكم في الجهد العكسي. في ظل الظروف الديناميكية، عند إيقاف تشغيلIGBT ، قد يتعرض لتيار الإغلاق، والذي يحدث عندما يبدو أن تيار محرك الأقراص المستمر في الحالة يتجاوز القيمة الحرجة.

بالإضافة إلى ذلك، تتدفق كمية صغيرة من تيار التسرب عبر IGBT عندما يكون جهد باعث البوابة أقل من جهد العتبة، وعند هذه النقطة يكون جهد باعث المجمع مساويًا تقريبًا لجهد الإمداد، وبالتالي يعمل جهاز IGBT ذو الأربع طبقات في منطقة القطع.

تطبيقات IGBT

تُستخدم IGBTs على نطاق واسع في مجموعة متنوعة من التطبيقات عالية الطاقة.

1) **محركات السيارات :تعد IGBTs مكونات أساسية في تنظيم سرعة المحرك الكهربائي والتحكم فيها عبر مجموعة واسعة من الصناعات، بما في ذلك السيارات والفضاء والأجهزة الاستهلاكية.**

2) **أنظمة الطاقة المتجددة: في أنظمة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، تستخدم العواكس ترانزستورات ثنائية القطب ذات بوابة معزولة (IGBTs) لتحويل طاقة التيار المستمر المتقلبة الناتجة عن الألواح الشمسية أو توربينات الرياح إلى طاقة تيار متردد. إن استخدام IGBTs في هذه التطبيقات يسهل التنظيم السريع والدقيق للجهد وأشكال الموجات الحالية، وهو أمر بالغ الأهمية للحفاظ على الحد الأقصى لتتبع نقطة الطاقة (MPPT)وتحقيق تحويل فعال للطاقة.**

3) **السيارات الكهربائية: تُستخدم IGBTs في محولات الجر للسيارات الكهربائية(EVs) ، حيث تكون هذه العاكسات مسؤولة عن تنظيم الطاقة التي يتم توفيرها للمحركات التي تدفع السيارة. إن الجهد العالي والتقييمات الحالية لـ IGBTs تمكنهم من إدارة متطلبات الطاقة العالية لأنظمة دفع المركبات الكهربائية بشكل فعال.**

المحاضرة العاشرة والحادي عشر / المقاوم المعتمد على الضوء (LDR) – الثنائي الباعث للضوء والثنائي الضوئي لوحة القطع السبعة تركيبها وتطبيقاتها

الفئة المستهدفة :

طلبة المرحلة الأولى – المعهد التقني التكنولوجي – قسم التقنيات الكهربائية

الدوافع:

- تعزيز الفهم العملي لمكونات الدوائر الإلكترونية المستجيبة للضوء والإشارات البصرية.
- تمكين الطلاب من تصميم دوائر بسيطة تعتمد على عناصر ضوئية.
- ربط المفاهيم النظرية بالتطبيقات الحياتية مثل أنظمة الإنارة الآلية، وشاشات العرض الرقمية.

الفكرة الرئيسية :

تستخدم المكونات الإلكترونية البصرية كالـ LDR وLED والثنائي الضوئي و7-Segment Display في تصميم أنظمة تعتمد على الضوء والإشارات البصرية لأداء وظائف مثل الكشف، العرض، والتحكم الآلي. فهم تركيبها وطريقة عملها يمكّن الطلاب من توظيفها في تطبيقات حقيقية متعددة.

الأهداف السلوكية:

بعد انتهاء المحاضرة يُتوقع من الطالب أن يكون قادرًا على:

- أن يقوم الطالب بتوصيل دائرة بسيطة تحتوي على هذه المكونات ويشرح طريقة عملها.
- أن يُبدي الطالب اهتمامًا باستخدام الإلكترونيات الضوئية في التطبيقات اليومية والابتكارية.

الاختبار القبلي

السؤال الأول: اشرح تركيب الثنائي الضوئي واذكر تطبيقين يستخدم فيهما هذا العنصر.

الثنائي الضوئي هو عنصر شبه موصل يتكوّن من وصلةP-N ، يعمل على تحويل الضوء الساقط عليه إلى تيار كهربائي .عند تعرضه للضوء، يتم توليد أزواج من الإلكترونات والفجوات تؤدي إلى تيار في الدائرة إذا كانت الوصلة منحازة عكسياً. يُستخدم في عدة تطبيقات، منها:

- **أنظمة التحكم في الإنارة تلقائياً حسب شدة الإضاءة.**
- **أجهزة الكشف عن الحركة أو الحساسات الضوئية في الروبوتات.**

السؤال الثاني: صف تركيب لوحة القطع السبعة Segment Display 7-واذكر استخدامين لها في الحياة اليومية.

تتكوّن لوحة القطع السبعة من سبعة شرائح(LED تُدعى مقاطع أو Segments)مرتبة على شكل الرقم 8 .كل شريحة تمثل جزءًا من الرقم، ويمكن تشغيلها أو إطفاؤها لإظهار الأرقام من 0 إلى 9 وبعض الحروف .يوجد نوعان رئيسيان: الكاتود المشترك والآنود المشترك، حسب طريقة التوصيل.

تُستخدم في:

- **شاشات الأجهزة الإلكترونية مثل الساعات الرقمية والآلات الحاسبة.**
- **عدادات السرعة أو الوقت في الأجهزة الصناعية أو الرياضية.**

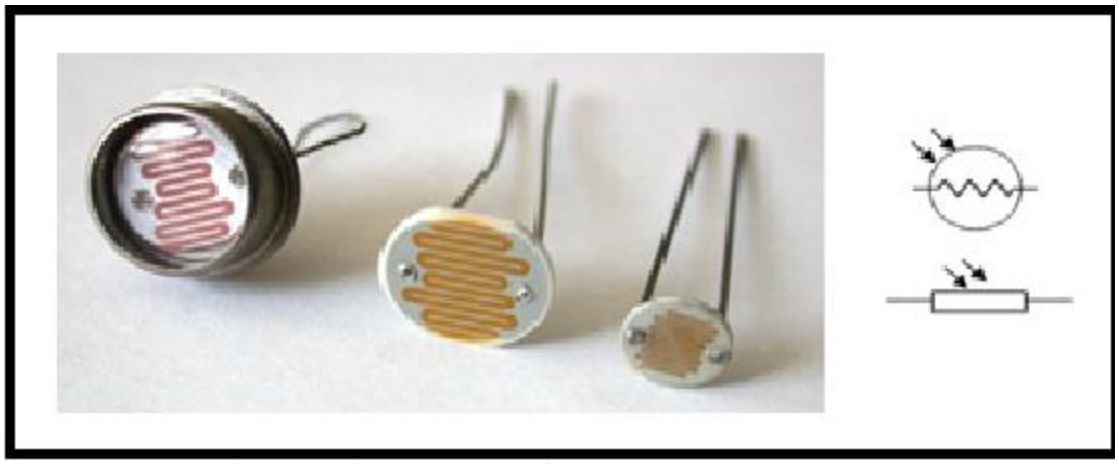
.

تعريف المقاومة الضوئية

المقاومة الضوئية يطلق عليها (LDR - Light Dependent Resistor) حيث تتغير قيمة مقاومتها نتيجة تعرضها للضوء ، فعند تعرضها للضوء الساطع تنخفض قيمتها إلى قيمة قليلة ،بينما فى الظلام ترتفع قيمتها إلى قيمة كبيرة. وهذه القيم تعتمد على مساحة سطح المقاومة الضوئية ومدى حساسيتها للضوء وكمية الضوء الساقط عليها وشدة الإضاءة .

بعض الأنواع من المقاومات الضوئية تصل قيمتها في الظلام إلى(200MΩ) وفى الضوء الساطع(200Ω) يتم الاستفادة من هذه الخاصية حيث بتغير قيمة المقاومة اثناء تغير الضوء الساقط عليها فان التيار المار من خلالها سيتغير وبذلك يتغير الجهد الواقع على المقاومة حسب شدة الضوء الساقط عليها وذلك تبعا لقانون أوم. وهذا يعطي نتائج وتطبيقات مهمة فى العديد من الدوائر الكهربية والالكترونية.

يستخدم هذا النوع من المقاومات فى دوائر التحكم، الشكل (1) يوضح رموز وأشكال هذه المقاومة .

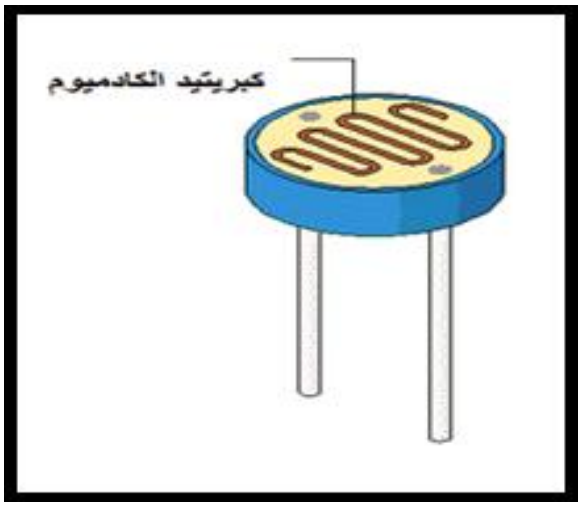


الشكل(1) يوضح رموز وأشكال المقاومة الضوئية

تركيب المقاومة الضوئية

تتركب المقاومة الضوئية من طبقة من كبريتيد الكاديميوم (cds)أو سيلينيد الكاديميوم (cdse)تتميز تلك المادتين بحساسيتهما للضوء حيث يعملان في نفس نطاق الطيف الضوئي لرؤية العين البشرية أو أفلام التصوير تغطى مادة عازلة مثل السيراميك بطبقة رقيقة من مادة شبه موصلة حساسة للضوء حيث توضع فوق سطح المقاومة الضوئية .تتكون توصيلات المقاومة من طرفين معدنيين على هيئة مشطين متقابلين مثبتان عليها توصل هذه الأطراف

بأسلاك التوصيل وتغطى المقاومة الضوئية بالراتنج الصناعي الشفاف ,وأحيانا تحفظ المقاومة في حافظة معدنية ذات نافذة من الزجاج ويخرج منها سلكي توصيل معزولين .الشكل(2)يوضح تركيب المقاومة الضوئية.



الشكل(2) يوضح تركيب المقاومة الضوئية

كيفية عمل المقاومة الضوئية

عند سقوط الضوء على المقاومة الضوئية تقل قيمتها , وفي حال عدم وجود الضوء تزداد قيمة المقاومة .لتفسير ذلك تصنع المقاومة الضوئية من مواد شبه موصلة لذلك قبل سقوط الضوء عليها أغلب الإلكترونات تكون مقيدة(غير حرة الحركة)وقد توجد بعض الإلكترونات الحرة وبالتالي يكون توصيل التيار ضعيف أي المقاومة عالية, ولكن في حالة سقوط الضوء تمتص المقاومة الضوئية الطاقة الموجودة في الفوتونات وتتحرر بعض الإلكترونات مما يزيد من التوصيل الكهربائي وبالتالي كلما زادت شدة الإضاءة زاد عدد الالكترونات المتحررة وبالتالي يزداد التوصيل الكهربائي وتقل المقاومة الضوئية.

استخدامات المقاومة الضوئية

نظرا الأهمية المقاومة الضوئية توجد العديد من الاستخدامات والتي منها :-

1-في أجهزة قياس شدة الإضاءة (الفوتومترات).

2-في دوائر التحكم الضوئية مثل دوائر التحكم في إضاءة الشوارع والميادين.

3-في دوائر الكشف عن الدخان والإنذار باندلاع الحريق.

أنواع المقاومة الضوئية

للمقاومة الضوئية عدة أنواع منها:-

1-مقاومة مصنوعة من مادة كبريتيد الكاديوم (cds)أو من بلورات الرصاص التي تستجيب للطيف المرئي.

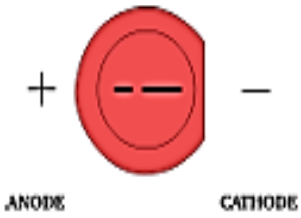
2-مقاومة مصنوعه من بلورات سيلنيد الكاديوم (cdse)التي تستجيب للأشعة الحمراء والأشعة تحت الحمراء.

3-مقاومه مصنوعة من كبريتيد الكاديوم التي تستجيب للأشعة تحت الحمراء.

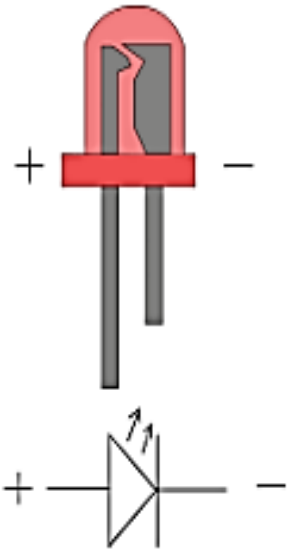
المقاومة المستخدمة فى هذه الدراسة من نوع كبريتيد الكاديوم (cds).

Light Emitting Diode - LED الثنائيات باعثة الضوء

هي عبارة عن اشباه موصلات (وصلة PN) تبعث ضوئا عندما تكون منحازه أماميا . حيث تعبر الكترونات حزمة التوصيل وتسقط في الفجوات . عند سقوط الالكترونات من حزمة التوصيل الى حزمة التكافؤ تشع طاقة . في الثنائي المقوم تنطلق هذه الطاقة على شكل حرارة أما في ثنائي باعث الضوء فأن الطاقة تشع على شكل ضوء .



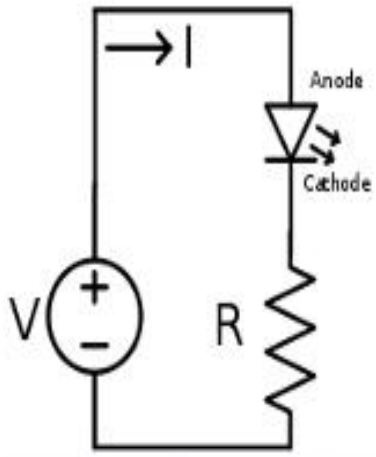
ولثنائيات باعثة الضوء ذات وصلة PN نفس الخصائص الكهربائية للثنائي العادي . إذ هي تمرر تيارا حينما تكون منحازة اماميا ولا تسمح بمرور التيار عندما تكون منحازة عكسيا . ولكنها تنتج طاقة ضوئية بكفاية عندما تنحاز أماميا . ويظهر شكل الثنائي باعث الضوء واطرافه ورمزه الكهربائي في الصورة جانبا . ومن الجدير بالاشارة ان هذه الثنائيات تختلف عن الثنائي العادي بكون فرق الجهد عبرها عند الانحياز الامامي يزيد عادة عن واحد فولت كما ان فولتية زنر في حالة الانحياز العكسي لهذه الثنائيات تحدث عادة بقيم قليلة .



ويتوفر الثنائي باعث الضوء بالوان مختلفة وحسب المادة المستعملة في تصنيعه .

ان إضاءة هذه الثنائيات تزداد بازدياد التيار الامامي الساري فيه وهناك انواع من الثنائيات يتغير لونها مع شدة التيار . ويكثر استعمال هذه الثنائيات في حاسبات الجيب الالكترونية وذلك باظهار الارقام بواسطة سبع قطع من الثنائيات لكل رقم (7 segment display) . وهناك ثنائيات مرتبة على شكل مصفوفة يمكن بواسطتها إظهار الارقام والحروف والاشارات وكافة الرموز المتداولة .

دائرة الثنائي باعث الضوء LED circuit



يظهر المخطط المجاور دائرة الانحياز الامامي للثنائي باعث الضوء ويلاحظ وجود مقاومة على التوالي مع الثنائي الغرض منها تحديد قيمة تيار الدائرة في الحدود االمسموح بها والتي تحددها مواصفات الثنائي الصادرة عن المصنع .

ان القيم المتداولة لجهد الثنائي هي مابين 1.8 فولت و 3.3 فولت . فبالنسبة للثنائي الاحمر يكون الجهد 1.8 فولت ويزداد حسب تدرج اللون ويصبح الجهد مع الازرق 3.3 فولت .

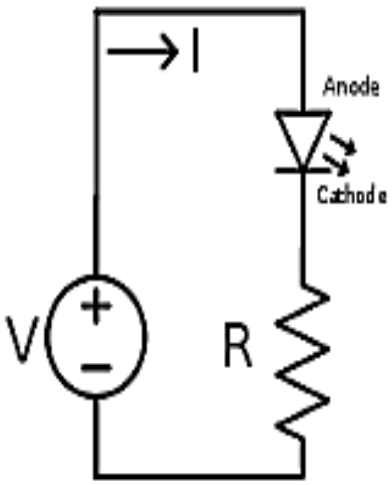
وتحسب قيمة مقاومة التوالي من خلال العلاقة التالية :

$$R = Vs - Vf / If$$

الثنائي باعث للضوء -واختصاره ***LED*** - له ميزات كثيره يتفوق بها عن الوسائل المعتادة للإضاءة . فهو يستهلك قليلا من الطاقة الكهربائية ويمكن تشغيله ببطاريات صغيرة ، وعمره طويل ويتحمل الصدمات وصغير الحجم فهو لايزيد عن 5 مليمتر في مقاييسه . إلا أنه مايزال باهظ الثمن نسبيا ، كما أنه يحتاج إلى مصدر كهربائي ذو تيار ثابت ، وأنظمة لتشتيت الحرارة المنبعثة منه .

كل تلك الميزات أفسحت المجال لاستخدام الديود باعث الضوء فى مجالات لا تستطيع وسائل الإضاءة التقليدية القيام بها ، وعلى الأخص تلك التطبيقات القائمة على مصادر صغيرة للطاقة . و على الرغم من ارتفاع ثمنه نسبيا فتُجرى البحوث في تطويره للقيام بوظائف خاصة عدا مجرد الإضاءة ، و مايزال طريق تطويره مفتوحاً .

الثنائيات الضوئية Photo Diode



الثنائي الضوئي هو ذلك النوع من الثنائيات الذي يحول الضوء الساقط عليه الى طاقة كهربائية. وهي مصممة للعمل بالاتجاه العكسي . عندما تسقط الطاقة الضوئية على وصلة الثنائي الضوئي تتولد ازواج (الكترون فجوة) داخل طبقة الاستنزاف وكلما كان الضوء قويا زاد عدد الحاملات المنتجة ضوئيا وكبر التيار العكسي ولهذا السبب يمكن عمل كاشفات ضوئية ممتازة من الثنائيات الضوئية . والدائرة المبينة جانبا توضح ربط الثنائي الضوئي .

لوحة القطع السبعة – التركيب والتطبيقات

أولاً: مقدمة عامة

لوحة القطع السبعة (7-Segment Display) تُعد من أشهر وسائل العرض الرقمية البسيطة في الأجهزة الإلكترونية. تستخدم لعرض الأرقام وبعض الحروف، وتتميز بسهولة التشغيل، وانخفاض استهلاك الطاقة، وصغر الحجم، مما يجعلها مثالية في العديد من التطبيقات مثل الآلات الحاسبة، الساعات الرقمية، وأجهزة القياس.

ثانيًا: التركيب المادي والإلكتروني

- مكونات العرض السباعي:

تتكون من سبعة مقاطع (segments) مرتبة على شكل رقم 8، كل قطعة تأخذ رمزًا من A إلى G.

يمكن لبعض الأنواع أن تحتوي على نقطة عشرية (Dot أو DP) لعرض القيم الكسرية.

- **نوعا التوصيل:**

التوصيف	النوع
جميع الكاثودات للمقاطع متصلة سويًا بالأرضي (GND)	الكاثود المشترك (CC)
جميع الآنودات للمقاطع متصلة بمصدر جهد (Vcc)	الآنود المشترك (CA)

- طريقة العمل:

كل قطعة (segment) عبارة عن LED صغير يُضيء عند تمرير تيار كهربائي.

يتم تشغيل المقاطع المناسبة لتكوين الرقم المطلوب، مثلاً لإظهار الرقم 2 يتم تشغيل المقاطع A, B, G, E, D.

ثالثًا: آلية تشغيل لوحة القطع السبعة

- **متطلبات التشغيل:**

مقاومات مناسبة (عادة من 220 أوم إلى 470 أوم) توصل على التوالي مع كل Segment.

يمكن استخدام ميكروكنترولر) مثل Arduino أو) (PIC للتحكم الديناميكي بالمقاطع.

- **واجهات التحكم:**

يتم التحكم عادة باستخدام منافذ رقمية (Digital I/O Pins)

إذا استُخدمت عدة شاشات معًا، فيُنصح باستخدام مُفكك ترميز (Decoder) أو مصفوفة التعدد (Multiplexing)لتقليل عدد الأطراف المستخدمة.

رابعًا: التطبيقات العملية

- **مجالات الاستخدام:**

التطبيق	التوضيح
الساعات الرقمية	عرض الوقت بالتنسيق الرقمي (ساعات، دقائق، ثواني).
الآلات الحاسبة	عرض الأرقام الناتجة عن العمليات الحسابية.
عدادات إلكترونية	مثل عداد الأشخاص، عدادات المسافة، أو السرعة في بعض الأجهزة.
أنظمة العرض الصناعية	مثل أجهزة الفحص أو لوحات قياس الجهد/التيار في اللوحات الكهربائية.

المحاضرة الثانية عشر / الترانزستور الضوئي – تركيبه – عمله – تطبيقاته العملية

الفئة المستهدفة :

طلبة المرحلة الأولى – المعهد التقني التكنولوجي – قسم التقنيات الكهربائية

الدوافع:

الدوافع التعليمية

- زيادة وعي الطلاب حول تقنيات التحسس الضوئي المستخدمة في الحياة اليومية.
- إكساب الطلاب مهارات تحليل وفهم الأنظمة التي تعتمد على الضوء في التشغيل والتحكم.
- توفير أساس عملي لاستخدام الترانزستور الضوئي في مشاريع الإلكترونيات والروبوتات.

الفكرة الرئيسية :

الترانزستور الضوئي هو عنصر إلكتروني يستشعر الضوء ويحوّله إلى تيار كهربائي، ويعمل على مبدأ تكبير التيار الناتج عن امتصاص الفوتونات. تركيبُه المشابه للترانزستور التقليدي، مع فرق استبدال التيار القاعدي بالإضاءة، يجعله عنصرًا فعالًا في تصميم أنظمة الكشف، التحكم، والأمان الضوئية.

الأهداف السلوكية:

بعد انتهاء المحاضرة يُتوقع من الطالب أن يكون قادرًا على:

- أن يشرح الطالب تركيب الترانزستور الضوئي ويصف مبدأ عمله.
- ان يُوظف الطالب الترانزستور الضوئي في دائرة للكشف عن الضوء أو الحركة.

الاختبار القبلي

السؤال الأول: اشرح تركيب الترانزستور الضوئي، وبيّن كيف يختلف عن الترانزستور العادي.

يتكوّن الترانزستور الضوئي من نفس البنية الأساسية للترانزستور ثنائي القطبية(BJT) ، حيث يحتوي على وصلتين من نوع.P-N

الفرق الرئيسي هو أن القاعدة (Base) في الترانزستور الضوئي تكون مكشوفة للضوء أو تحل محلها منطقة حساسة للضوء.

عند تعرض هذه المنطقة للضوء، يتم تحرير إلكترونات، مما يولد تيارًا بدون الحاجة إلى تيار قاعدي خارجي كما في الترانزستور التقليدي.

السؤال الثاني:وضح مبدأ عمل الترانزستور الضوئي، وكيف يتولد فيه التيار الكهربائي عند سقوط الضوء عليه.

عند تسليط الضوء على الترانزستور الضوئي، تمتص المادة شبه الموصلة الفوتونات، مما يؤدي إلى إنتاج أزواج من الإلكترونات والفجوات. هذه الأزواج تتحرك بفعل الانحياز العكسي بين القاعدة والمجمع، فتتولد تيارات كهربائية مضخّمة عبر الباعث والمجمع.إذًا، يعمل الترانزستور الضوئي كمضخّم للتيارات الناتجة عن الضوء، دون الحاجة إلى إشارة كهربائية في القاعدة.

السؤال الثالث: اذكر ثلاث تطبيقات عملية للترانزستور الضوئي في الحياة اليومية ووضّح أهميته في كل منها.

- **أجهزة الأمان وكشف الحركة :يُستخدم للكشف عن وجود الأشخاص أو الأجسام في نطاق معين، كما في الأبواب الأوتوماتيكية.**
- **عدّاد الأجسام المتحركة :في خطوط الإنتاج الصناعية لحساب عدد المنتجات المارة.**
- **التحكم في الإنارة :لتفعيل الإضاءة تلقائيًا عند انخفاض مستوى الإضاءة في المكان، مثل المصابيح الذكية الخارجية.**

الترانزستور الضوئي (optical transistor)

ما هو الترانزستور الضوئي؟

يعرف بأنه عنصر إلكتروني يعمل 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 الفولتية 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.

مبدأ عمل الترانزستور الضوئي

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 ، تكسبها طاقة كافية لتتجاوز حاجز منطقة الاستنزاف لتصل إلى طبقة المجمع ، وتترك مكانها أيونات موجبة سرعان ما تجذب إليها إلكترونات الباعث ، بالتالي يسمح بمرور التيار من طرف المجمع إلى الباعث.

أنواع الترانزستورات الضوئية

ترانزستورات ضوئية بثلاث أطراف: يستخدم في تثبيت انحياز الترانزستور بحيث يمكن من التحكم في حساسيته للضوء، ويستخدم في تطبيقات مختلفة ومهمة.

ترانزستورات دارلنجتون الضوئية: ويتوفر بطرف قاعدة أو بدونها، وما يميزه بزمن الاستجابة العالي.

المواصفات الفنية للترانزستور الضوئي

لكل عنصر إلكتروني مواصفاته خاص به، كذلك الأمر مع الترانزستور الضوئي له جهد انهيار ومعدلات جهد وتيار تشغيل ومنحنى خصائص، كما ويعتمد تيار المجمع على كثافة الضوء الساقط على قاعدة الترانزستور، وعلى كسب التيار، وتيار القاعدة الخارجي في الترانزستور الضوئي ثلاثي الأطراف.

تطبيقات الترانزستور الضوئي

يستخدم في الكثير من التطبيقات، أهمها:

دارات التفعيل الضوئي.

دارات الاستقبال.

دارات القياس.

أنظمة العد.

أنظمة الإنذار.

أجهزة الكشف.

الدارات المنطقية الحاسوبية.

أنظمة الحماية.