وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة التقنية الشمالية
اسم التشكيل :المعهد التقني الدور

الحقيبة التعليمية

القسم العلمي: تقنيات الاجهزة الطبية

اسم المقرر: الإلكترونيك

المرحلة/المستوى:الاول

الفصل الدراسي:الثاني

السنة الدراسية:2024-2025

معلومات عامة

اسم المقرر:	**الإلكترونيك**						
القسم:	تقنيات الاجهزة الطبية						
الكلية:	المعهد التقني الدور						
المرحلة / المستوى	الاول						
الفصل الدراسي:	الثاني						
عدد الساعات الاسبوعية:	نظري	2	عملي	2			
عدد الوحدات الدراسية:							
الرمز:	MDDI108						
نوع المادة	نظري		عملي		كلهما	*	
هل يتوفر نظير للمقرر في الاقسام الاخرى	كلا						
اسم المقرر النظير	ـــــــ						
القسم	ـــــــ						
رمز المقرر النظير	ـــــــ						

معلومات تدريسي المادة

اسم مدرس (مدرسي) المقرر:	**مهند تحسين حمدي**
اللقب العلمي:	**رئيس مهندسين اقدم**
سنة الحصول على اللقب	2019-2018
الشهادة :	**بكالوريوس هندسة الكهرباء**
سنة الحصول على الشهادة	**1998**
عدد سنوات الخبرة (تدريس)	**18 سنة**

الوصف العام للمقرر

تهتم مادة مبادئ الالكترون بالمكونات الالكترونية ونشأة العناصر الالكترونية وتركيبها الفيزيائي فضلا عن خصائصها وتحليل الدوائر الرياضية الخاصة بها واستخدام هذه العناصر في تطبيقات انظمة الالكترون وتحليل الدوائر الهندسية الخاصة بها.

الاهداف العامة

- **تعريف الطالب على مكونات مبادئ الالكترون.**
  يفهم الطالب مختلف النظريات في الالكترونك.

الأهداف الخاصة

تعليم الطالب:

1-ايكتسب الطالب مهارة التحليل والحساب في الالكترون.

2-يكتسب الطالب مهارة تصميم بعض الدوائر الالكترونية.

الأهداف السلوكية او نواتج التعلم

- يكتسب الطالب مهارة التعلم والتحليل وحساب دوائر الالكترون وتطبيقاتها .
- يكتسب الطالب مهارة تصميم دائرة الالكترون حسب التطبيقات المختلفة.
- **أمثلة أهداف تدريسية:**

بعد الانتهاء من الدرس (المحاضرة) سيكون الطالب قادرا على ان:

- يعرف الدوائر الالالكترونية وتحليلها ومعرفة العناصر الالكترونية .
- يميز بين الدوائر الالكترونية وعملها.
- يميز بين تطبيقات الدوائر الالكترونية.

-

الأهداف السلوكية او مخرجات التعليم الأساسية		
ت	تفصيل الهدف السلوكي او مخرج التعليم	آلية التقييم
1	.تعزيز روح التعاون واختبار سلوكيات الطالب اثناء تواجده مع الطلبة في الصف الواحد وتكوين فرق صغيرة لبيان قابلية الطلبة بالالتزام بنظام المجموعات وتلقي المعلومة من الطرف الآخر، ونبذ روح التعالي واحتكار المعلومة.	((الاختبارات الشفهية/ الاختبارات التحريرية/ التقارير الاسبوعية / الحضور اليومي/ الامتحانات الفصلية والنهائية)).

أساليب التدريس (حدد مجموعة متنوعة من أساليب التدريس لتناسب احتياجات الطلاب ومحتوى المقرر)

الاسلوب او الطريقة	مبررات الاختيار
1.المحاضرات النظرية والعملية من خلال الشرح	محدد وواضح ويطبق بسهولة
2.التعلم التفاعلي المتبادل	التفاعل بين الطلبة
3.التعلم القائم على الامثلة العملية	اكتساب الطالبة المهارات العملية وربط الجزء العملي بالجانب النظري
4.المناقشة في نهاية المحاضرة	تقديم الخلاصة والفهم للموضوع

الفصل الثاني من المحتوى العلمي						
عنوان الفصل	الوقت		العنوان الفرعي	طريقة التدريس	التقنيات	طرق القياس
التوزيع الزمني	النظري	العملي				
الأسبوع الأول				محاضرة	عرض تقديمي، شرح، أسئلة وأجوبة, مناقشة	
الاسبوع السادس عشر	2	2	**الترانزستور كمفتاح- مناطق العمل- الاشباع والقطع- الانحياز.**	محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير
الأسبوع السابع عشر						
	2	2	**الترانزستور في تنظيم الجهد- منظم توالي- منظم توازي- مجهزات القدرة المستمرة بصيغة الترانزستور كمفتاح.**	محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير
الاسبوع ..الثامن عشر والتاسع عشر	2	2	**ترانزستور تأثير المجال- تركيبه –تعريف جهد الضيق - مقارنة بين JFET و BJT.**	محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير
الاسبوع العشرون	2	2	**استخدام FET في تكبير الاشارات الصغيرة- الانواع الاخرى للـ FET – خواصه مقارنة بينهما.**	محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير

الاسبوع الحادي والعشرون			**الموحدات السليكونية ذات التحكم بالتيار (الثايروستور)- التركيب والانواع – الخواص- مقارنة بينهما- القدح والاطفاء.**		محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير
الاسبوع الثاني والعشرون	2	2	**دوائر تطبيقية للتحكم بزاوية الطور بالثايروستور- استخدام الثايروستور في خفت الاضاءة..**		محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير
الاسبوع الثالث والعشرون	2	2	**المذبذبات- مبدأ العمل- الانواع-مقارنة بينهما.**		محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير
الاسبوع الرابع والعشرون	2	2	**مذبذب ازاحة الطور- مذبذبات: كولبتس- هارتلي- كلاب... الخ- امثلة رياضية.**		محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير
الاسبوع الخامس والعشرون	2	2	**الهزازات- مبدأ العمل- انواعها- مقارنة بينهما.**		محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير

الاسبوع السادس والعشرون	2	2	**مذبذبات احادية الاستقرار- ثنائية الاستقرار- غير مستقرة.**		محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير
الاسبوع السابع والعشرون	2	2	**الدوائر المتكاملة- مزاياها ومساوئها- مقارنة بينها وبين المكونات المنفصلة- فكرة عن تصنيعها.**		محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير
الاسبوع الثامن والعشرون	2	2	**مكبر العمليات 741 –رمزه- اطراف توصيله- استخداماته.**		محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير
الاسبوع التاسع والعشرون	2	2	**تطبيقات مكبر العمليات: تكبير الاشارة الصغيرة- جمع الاشارات – طرح الاشارات- امثلة.**		محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير
الاسبوع الثلاثون	2	2	**تطبيقات مكبر العمليات: مفاضل- مقارن- مكامل- قالب**		محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير

				.....الخ			

المحتوى العلمي

- **المصادر** الاساسية :+ **المصادر** الاساسية :+

Robert, Boylestad & Louis, Nashelsky .Electronic Devices and Circuit theory, 7th ed.

- **المصادر المقترحة:**
- **Albert, Malvino, Electronic principles. 2nd ed.**
-
- **روابط مقترحة ذات صلة:**
- من الانترنيت

-
-

الترانزستورات ثنائية القطبية

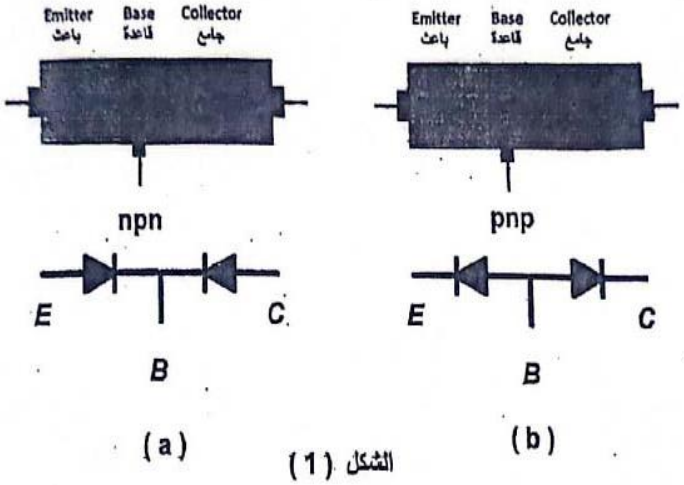
Bipolar Transistors

مثل كلمة ترانزستور مشتقة من الكلمتين (TRANSFER – RESISTOR) بمعنى مقاوم التحويل وهو من أهم العناصر الالكترونية الأساسية . حيث تم إنتاج أول ترانزستور عام 1951 حيث فتح المجال أمام تصنيع الدوائر المتكاملة بتطور الأخير أنتج المعالج الدقيق في عام 1971 . حيث أصبحت الأخيرة أساسا لبناء الحاسبات الالكترونية انتشارها الواسع كما تراه في الوقت الحاضر .

عرف الترانزستور على انه عنصر الكتروني ثلاثي الطبقة ثنائي القطبية أي تشترك الالكترونات والفجوات في ميكانيكية عمل لإنتاج التيارات المختلفة فيه .

مناطق الترانزستور :

بين الشكل (1a) بلورة نوع npn وقد طعم الباعث emitter بغزارة ، وان عمله هو حقن أو بعث الالكترونات إلى لقاعدة base وتكون رقيقه وخفيفة التطعيم وتقوم بتمرير معظم الالكترونات المحقونة إلى الجامع collector والذي كون تطعيمه بين تطعيم الباعث الغزير و تطعيم القاعدة الخفيف ويكون هو الأكبر بين المناطق الثلاث وعليه أن يبدد حرارة أكثر مما يبدده الباعث و القاعدة

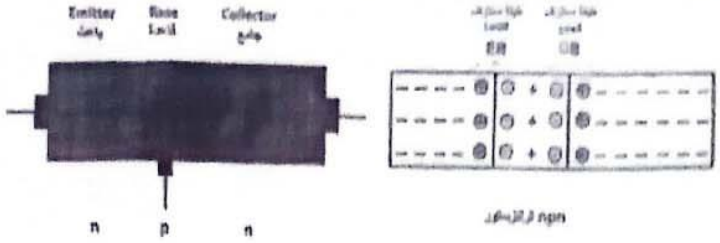


الشكل (1)

الترانزستور عبارة عن ثنائيين ، ندعو الثنائي الواقع إلى اليسار بثنائي الباعث- القاعدة وندعوه للبساطة ثنائي الباعث emitter diode ، أما الثنائي الواقع على اليمين فيسمى ثنائي الجامع- القاعدة وللسهولة ثنائي الجامع collector diode . أما الاحتمال الأخر للترانزستور فهو الترانزستورpnp المتمم للترانزستور npn وهذا يعني اتجاه التيارات والفولتيات في الترانزستور pnp عكس اتجاه التيارات والفولتيات في الترانزستور npn .

الترانزستور الغير المنحاز :

يبين الشكل (2a) الحاملات الغالبية قبل تحرك أي منها عبر الوصلتين . إن الالكترونات الحرة تنتشر عبر الوصلة مما تؤدي إلى تكوين طبقتي استنزاف كما في الشكل (2b) لكل طبقة استنزاف يكون الجهد الحاجز (V) للترانزستورات السليكونية ويساوي (0.3v) في ترانزستورات الجرمانيوم .



(a) (b)

الشكل (2)

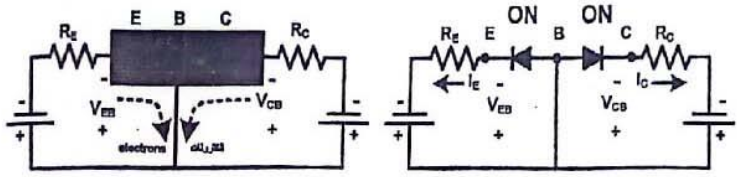
وبما أن المناطق الثلاثة لها مناسيب تطعيم مختلفة لا يكون لطبقتي الاستنزاف نفس العرض ، فطبقة الاستنزاف اقل كلما كان التطعيم أكثر غزارة ، (كلما كان تطعيم منطقة ما غزيرا كان تركيز الايونات قرب الوصلة اعظم هذا يعني أن طبقة الاستنزاف تنفذ فقط قليلا في الباعث ولكنها تنفذ عميقا في القاعدة ، أما طبقة استنزاف الجامع عميقا في القاعدة وتنفذ في الجامع بعمق أقل) .

طرق تحييز الترانزستور :

هناك عدة طرق لتحييز الترانزستور.

انحياز أمامي- أمامي (Forward-Forward) (FF):

إن هذا الانحياز والموضح في الشكل (3a) سمي أمامي - أمامي لأن ثنائي الباعث و ثنائي الجامع منحازان أماميا الحاملات تعبر الوصلتين وتجري نازلة خلال القاعدة إلى سلك التوصيل الخارجي .

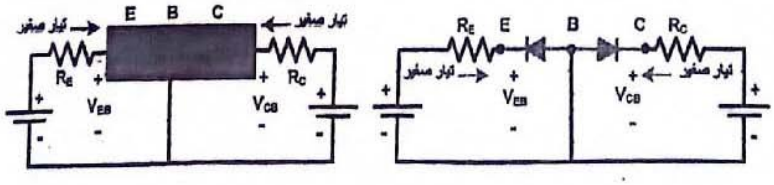


(a) الشكل (3) (b)

الدائرة المكافئة لإنحياز (FF)

انحياز عكسي- عكسي Reverse -Reverse (RR):

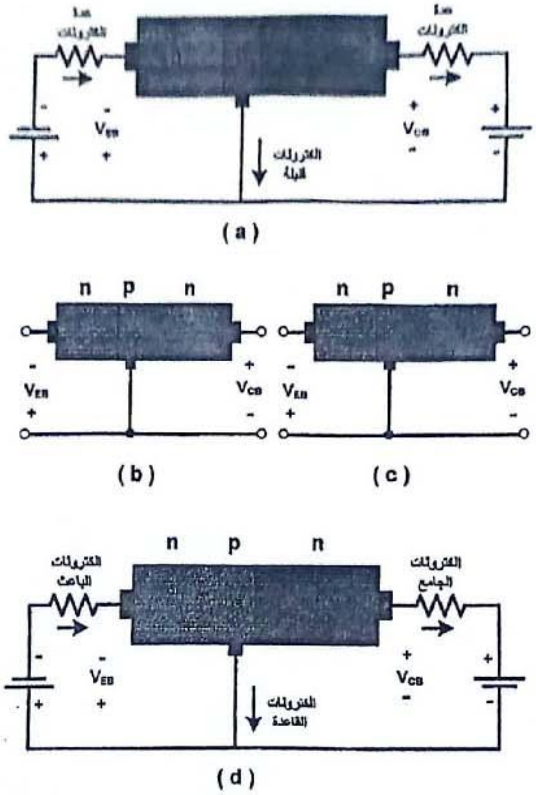
نلاحظ في هذا الانحياز والموضح في الشكل (4a) إن الثنائيان منحازان عكسيا وبذلك تسري تيارات ضعيفة والمتكونة من تيار التشبع المنتج حراريا وتيار التسرب السطحي ويمكن إهمال هذه التيارات العكسية لصغرها .



(a) الشكل (4) (b)

ياز أمامي - عكسي (Forward-Reverse (FR :

ما نحيز ثنائي الباعث أماميا ونحيز ثنائي الجامع عكسيا ، الشكل (5a) فإننا نتوقع تيار باعث كبير ونتوقع تيار جامع غير جدا أو معدوم . ولكن الذي نحصل عليه هو تيار جامع كبير وهذا السبب في كون الترانزستور هو اختراع عظيم فيما يلي صورة توضيحية موجزة عن سبب حصولنا على تيار جامع كبير . نتصور أن تياراً ثابتا من الالكترونات در الطرف السالب من المصدر ويدخل منطقة الباعث . يؤدي الانحياز الأمامي لثنائي الباعث إلى إر غام الكترونات عث هذه على دخول منطقة القاعدة . وتعطي القاعدة الرقيقة والخفيفة التطعيم لمعظم هذه الالكترونات زمن بقاء كاف ح لها الانتشار إلى طبقة استنزاف الجامع وبعد ذلك يقوم مجال طبقة الاستنزاف بدفع تيار ثابت من الالكترونات إلى طقة الجامع . تغادر هذه الالكترونات الجامع داخلة إلى سلك توصيل الجامع الخارجي ثم إلى الطرف الموجب من سدر فولتية الجامع ، الشكل (5b) . إن أكثر من (95%) من الكترونات الباعث المحقونة إلى القاعدة تعبر إلى الجامع ل من (5%) تسقط في فجوات القاعة وتسير خارجة من سلك توصيل القاعدة .



(a) (b) (c) (d)

الشكل(5) إنحياز(FR)

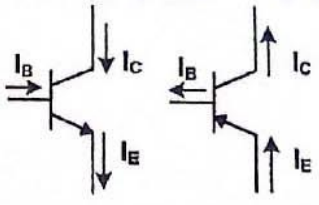
(a) الدائرة الحقيقية (b) الكترونات حرة في الباعث

(c) الكترونات حرة تدخل القاعدة (d) الكترونات حرة تنتشر الى الجامع

ارات الترانزستور :

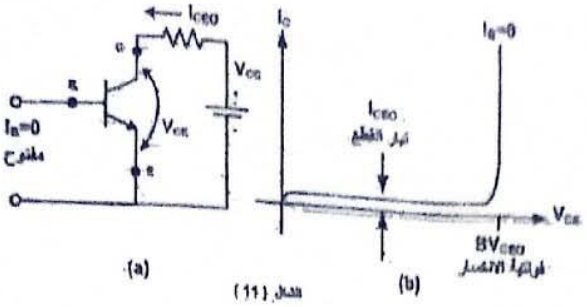
شكل (6) يبين رموز واتجاهات تيارات الترانزستورات نوع npn وpnp ، حيث أن اتجاه تيار الباعث يتبع نفس جاه السهم الموجود على الرمز الخاص بالترانزستور وتياري القاعدة والجامع الاتجاه العكسي .

$$I_E = I_C + I_B$$



الشكل (6)

ولأجل أن يعمل الترانزستور بصورة طبيعية يجب ان يبقى
من 20v إلى أكثر من 200v حسب نوع الترانزستور .

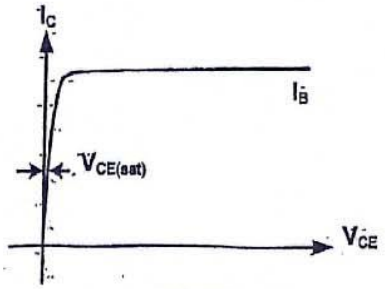


الشكل (11)

فولتية تشبع الجامع :

لأجل أن يعمل الترانزستور بصورة اعتيادية يجب أن يكون ثنائي الجامع منحاز عكسيا و
اكبر من أو في حدود الواحد فولت. وهذا يعتمد على مقدار تيار الجامع المار..

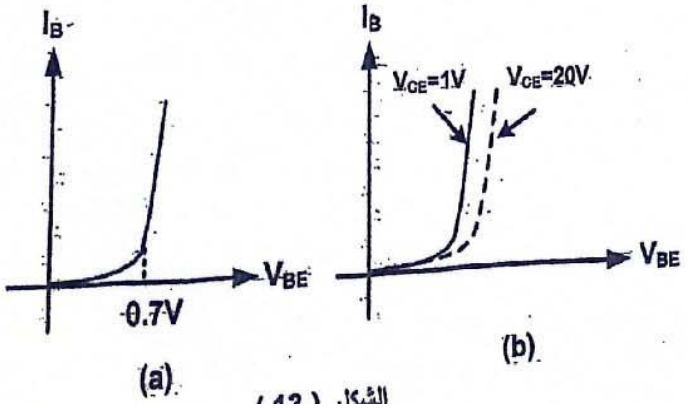
لاحظ الشكل (12) . ماذا تعني $V_{CE(sat)}$ فهي قيمة الفولتية V_{CE} عند نقطة ما تحت الانحناء
نموذجيا بضع أعشار من الفولت وعند تيارات جامع كبيرة جدا تجتاز الواحد فولت إن جزء
يقع تحت المفصل والموضح في الشكل (12) يسمى منطقة التشبع .



الشكل (12)

منحنى القاعدة : (منحنيات خواص الإدخال)

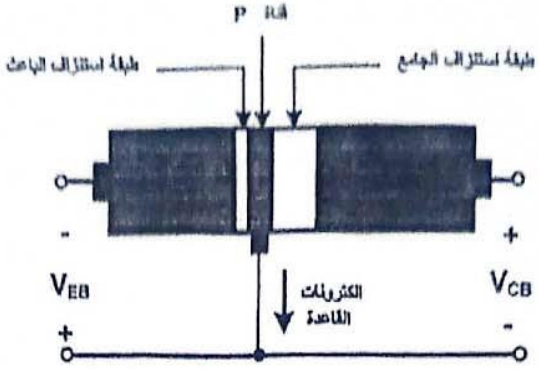
من الشكل (10a) يمكننا الحصول على المعلومات I_B و V_{BE} ليمكننا رسم منحني القاعدة (منحني خ
المبين بالشكل (13a)



الشكل (13)

اومة امتداد القاعدة :

انزستور ثنائي القطبية طريقتي استنزاف تخترقان القاعدة ، وإذا أخذنا ترانزستور npn فان فجوات القاعدة تقتصر ي قناة ضيقة من شبه الموصل نوع p كما موضح في الشكل (7) وبزيادة الانحياز العكسي على ثنائي الجامع أي ادة V_{CB} يزداد عرض طبقة استنزاف الجامع وهذه تقلل عرض القناة التي تحوي فجوات القاعدة وهذا يعني أن هناك د اقل من فجوات القاعدة الجاهزة لإعادة الالتحام . إن مقاومة القناة p تسمى مقاومة امتداد القاعدة ويرمز لها r'_b متد قيمة هذه المقاومة على عرض القناة p وعلى تطعيم القاعدة ونموذجيا تتراوح قيمتها بين Ω (50-150) وفي لات نادرة تصل إلى (1000Ω) .



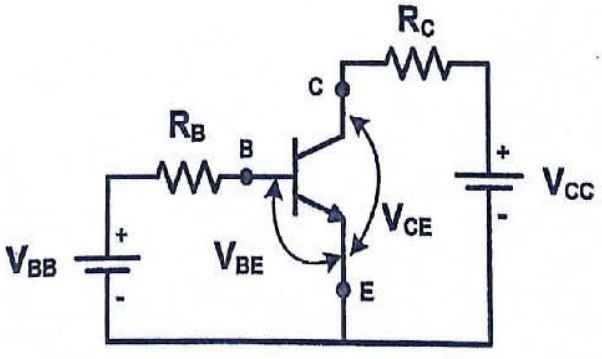
الشكل (7) مقاومة امتداد القاعدة

لتيات الانكسار :

. علمنا من المواضيع السابقة بان الترانزستور عبارة عن ثنائيان . ولذلك بإمكان فولتية عكسية كبيرة على ثنائي امع أن تسبب انكسار . فعندما تكون V_{CB} كبيرة يحصل انكسار في ثنائي الجامع بسبب الانهيار أو ظاهرة التواصل . اصل يعني أن طبقة استنزاف الجامع صارت عريضة بحيث تصل إلى طبقة استنزاف الباعث وفي هذه الحالة تنبعث ترونات الباعث مباشرة إلى طبقة استنزاف الجامع وهذا يؤدي إلى تيار جامع كبير وبالتالي تلف الترانزستور . ولذلك ب أن تبقى فولتية الجامع اقل من فولتية الانكسار المبينة في استمارة المعلومات للمصنع .

بط بطريقة الباعث المشترك (Common Emitter (CE) :

الربط بطريقة الباعث المشترك يعني أن الباعث ومصدرا الفولتية يتصلان بنقطة مشتركة ، الشكل (8) . إن هذه رة تسمى بربط الباعث المشترك (CE) .



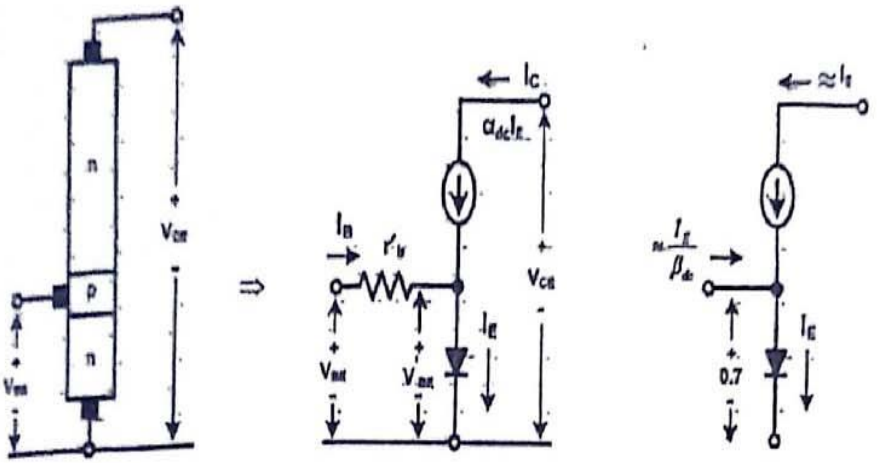
الشكل (8)

الدائرة التي سبق شرحها شكل (5) تسمى ربط القاعدة المشتركة (CB) لان القاعدة ومصدري الفولتية مربوطة بنقطة مشتركة

الدائرة المكافئة للترانزستور :

لأجل توضيح عمل الترانزستور يمكننا استخدام الدائرة المكافئة المبينة بالشكل (9b) فالفولتية V'_{BE} هي الفولتية طريقة استشراف الباعث وعندما تكون هذه الفولتية حوالي (0.7v) أو اكبر يبعث الباعث الكترونات إلى القاعدة التيار في ثنائي الباعث يسيطر على تيار الجامع ولهذا السبب فان مصدر تيار الجامع يجبر تيار مقداره ($\alpha_{dc} I_E$) المرور في دائرة الجامع كل هذا مع فرض أن (V_{CE}) اكبر أو حوالي الفولت وإلا فان ثنائي الجامع لا يكون عكسيا وبذلك لا يعمل الترانزستور بصورة طبيعية . إن الفولتية V'_{BE} تختلف عن الفولتية المسلطة V_{BE} الهبوط عبر r'_b .

$$V_{BE} = V'_{BE} + I_B r'_b$$



الشكل (9)

ولكن هبوط الفولتية عبر r'_b يكون صغيرا بحيث يمكن إهماله لذلك يكون ($V_{BE} \cong V'_{BE}$) ولذلك فان الدائر في الشكل (9c) سنستخدمها في تحليلاتنا الأولية .

مثال:

إذا علمت أن لترانزستور ما تيار باعث ($I_E = 20mA$) ، ($\beta_{dc} = 100$) اوجد ؟

تيار الجامع (I_C) ، تيار القاعدة (I_B) ، (α_{dc}) ؟

$$\alpha_{dc}=\frac{\beta_{dc}}{1+\beta_{dc}}=\frac{100}{1+100}=\frac{100}{101}=0.99$$

$$\alpha_{dc}=\frac{I_C}{I_E}$$

$$I_C=\alpha_{dc}*I_E=0.99*20=19.8mA$$

$$I_B=I_E-I_C=20-19.8=0.2mA$$

منحنيات الترانزستور :

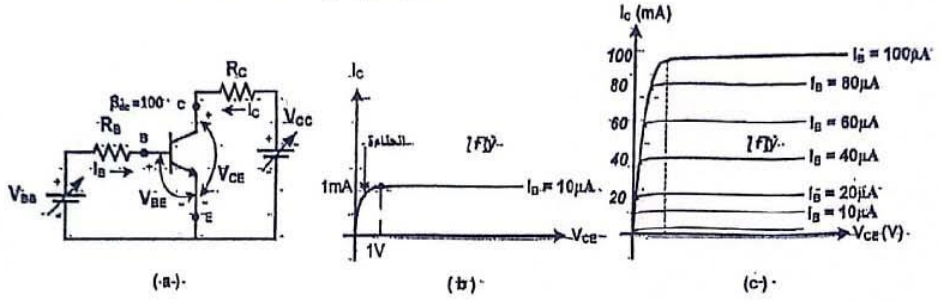
الطرق التي تشرح معظم تفاصيل عمل الترانزستور هي المنحنيات البيانية التي تربط بين تيارات الترانزستور و تياته .

منحنيات الجامع (منحنيات خواص الإخراج)

كننا الحصول على معلومات لمنحنيات الجامع بربط (CE) وذلك ببناء دائرة كما في الشكل (10a) .

الفكرة هي تغيير قيم المجهزين V_{BB} و V_{CC} بأسلوب معين للحصول على فولتيات وتيارات مختلفة للترانزستور .

طريقة العمل الاعتيادية هي إعطاء I_B قيمة معينة وإبقائها ثابتة في أثناء تغيير قيمة Vcc وبقياس قيم Ic و V_{CE} يمكننا حصول على معلومات لرسم Ic مع V_{CE} ولغرض التوضيح نفرض أن (I_B =10μA) في الشكل (10a) الخطوة التي ها نغير V_{CC} ونقيس Ic و V_{CE} الناتجين ولو رسمنا المعلومات لحصلنا الشكل (10b) لاحظ بأننا اشرنا على المنحني كتابة(I_B=10mA) لأننا حصلنا على هذا المنحني بإبقاء I_B ثابتا على (10μA) خلال القياسات .



الشكل (10)

دما تكون (V_{CE}) صفر لايكون ثنائي الجامع منحاز عكسيا لذلك يكون تيار الجامع صغير جدا لقيم V_{CE} المتراوحة بين صفر وحدود الواحد فولت . حيث أن الانحياز العكسي يأخذ حوالي (0.7v) لجعل ثنائي الجامع منحاز عكسيا ، وحال وصول إلى هذا المستوى . يجمع الجامع كل الالكترونات التي تصل إلى طبقة استنزافه . نلاحظ أن هناك زيادة قليلة ي تيار الجامع بعد الانحناءة مع زيادة V_{CE} وسبب زيادة التيار هو زيادة عرض طبقة استنزاف الجامع واعتقال ترونات قليلة أخرى من القاعدة قبل سقوطها في الفجوات .

و بينا عدة منحنيات لقيم مختلفة من (I_B) على نفس المخطط البياني نحصل على منحنيات الجامع البيانية الموضح شكل (10c) وبما إنا استخدمنا ترانزستور له (β_{dc} =100) يكون تيار الجامع مائة مرة اكبر من تيار القاعدة لأية طة فوق المفصل لأي منحني .

ر القطع وفولتية الانكسار :

انخفض منحني من منحنيات الجامع بالشكل (10c) يقابل تيار قاعدة مقداره صفر أي وكأنه فتح سلك القاعدة الموصل حظ الشكل (11a) . ويسمى تيار الجامع عندما يكون طرف القاعدة مفتوحا I_{CEO} . وقد نتج قسم من I_{CEO} بسبب املات المنتجة حراريا وكذلك بسبب تيار السطح التسربي . لاحظ الشكل (11b)

(α_{dc}) :

هو النسبة بين تيار المجامع إلى تيار الباعث وكما ذكرنا سابقا بان (95%) من الكترونات الباعث تصل إلى الم
وهذا يعني أن تيار المجامع يساوي تقريبا تيار الباعث وكلما كانت القاعدة ارق واخف تطعيم كان تيار المجامع أ
اكثر إلى قيمة تيار الباعث

$$\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E} \quad \text{فمثلا لو فرضنا } (I_E = 5mA)\text{ و}(I_C = 4.9mA) \longrightarrow 0.98 = \frac{4.9}{5}$$

(β_{dc}) :

هو النسبة بين تيار المجامع إلى تيار القاعدة

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B}$$

في معظم الترانزستورات اقل من (5%) من الكترونات الباعث المنبعثة تلتحم مع فجوات القاعدة منتجة تيار ا
ولذلك يكون β_{dc} اكبر من (20) ، وهو يتراوح (50-200) وقد تصل إلى (1000) .

يطلق على β_{dc} اسم كسب التيار المستمر ويرمز له في نظام الثوابت الهجينة h_{FE}

العلاقات بين α_{dc} و β_{dc} :

اثبت العلاقة $\alpha_{dc} = \frac{\beta_{dc}}{1+\beta_{dc}}$

$$I_E = I_C + I_B$$

$$\frac{I_E}{I_C} = \frac{I_C}{I_C} + \frac{I_B}{I_C}$$

$$\frac{1}{\alpha_{dc}} = 1 + \frac{1}{\beta_{dc}}$$

$$\frac{1}{\alpha_{dc}} = \frac{\beta_{dc}+1}{\beta_{dc}}$$

$$\alpha_{dc} = \frac{\beta_{dc}}{1+\beta_{dc}}$$

$\beta_{dc} = \frac{\alpha_{dc}}{1-\alpha_{dc}}$

$$I_B = I_E - I_C$$

$$\frac{I_B}{I_C} = \frac{I_E}{I_C} - \frac{I_C}{I_C}$$

$$\frac{1}{\beta_{dc}} = \frac{1}{\alpha_{dc}} - 1$$

$$\frac{1}{\beta_{dc}} = \frac{1-\alpha_{dc}}{\alpha_{dc}}$$

$$\beta_{dc} = \frac{\alpha_{dc}}{1-\alpha_{dc}}$$

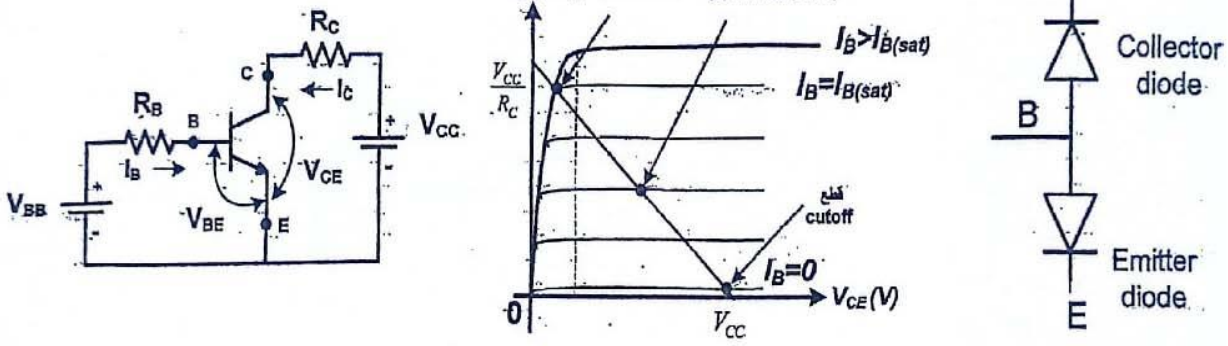
المتوقع أن المنحني يشابه منحني ثنائي في الاتجاه الأمامي لان جزء القاعدة والباعث من الترانزستور عبارة عن
ي . عند زيادة فولتية الجامع فان طبقة استنزاف الجامع يزداد عرضها وهذا يؤدي إلى نقصان قليل في تيار القاعدة
ب اعتقال طبقة استنزاف الجامع لالكترونات قاعدة قليلة أخرى . وعند رسم منحني قاعدة لفولتية جامع مختلفة يظهر
منحني جديد مختلف قليلا عن السابق لاحظ الشكل (13b) . عندما نثبت قيمة V_{BE} للمنحني في الشكل (13a) ونرفع
ية V_{CE} نلاحظ أن تيار القاعدة يكون أصغر لان طبقة استنزاف الجامع تعتقل الكترونات قاعدة قليلة أخرى قبل أن
قط في فجوات القاعدة ، ونتيجة لذلك يكون تيار القاعدة اصغر وكما نلاحظ في الشكل (13b) . إن المسافة بين
حنيين قريبة ولذلك تؤخذ بنظر الاعتبار عند طلب أجوبة دقيقة .

ائر إنحياز الترانزستور :

مل دوائر الترانزستور الخطية *linear* بانحياز أمامي على ثنائي الباعث والحياز عكسي على ثنائي الجامع .
ومن الطرق الشائعة لتحييز الترانزستور للعمل الخطي :-
ا- إنحياز القاعدة . ب- إنحياز مقسم الجهد . ج- إنحياز بالتغذية الخلفية للجامع . د- إنحياز الباعث . . . . . وغيرها

حياز القاعدة *Base-bias*

كل (1-a) عبارة عن مثال على إنحياز القاعدة



(a) Base bias إنحياز القاعدة (b) Dc load line خط الحمل المستمر

الشكل (1)

ث يحيز مصدر فولتية V_{BB} ثنائي الباعث أماميا خلال مقاوم محدد للتيار R_B .
لتية عبر R_B حسب قانون كيرشوف للفولتية هي $V_{BB} - V_{BE}$ ، وبذلك يكون تيار القاعدة حسب قانون اوم للتيار

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

ث أن ($V_{BE} = 0.7v$) لترانزستورات السليكون و ($V_{BE} = 0.3v$) لترانزستورات الجرمانيوم .

الحمل المستمر (dc load line)

دائرة الجامع . يعمل مصدر الفولتية V_{CC} على تحييز ثنائي الجامع عكسيا خلال R_C .

ستعانة بقانون كيرشوف للفولتية $V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$

معظم الدوائر . تكون (V_{CC} ، R_C) ثابتة و (I_C ، V_{CE}) متغيرة

طيع إعادة ترتيب المعادلة السابقة للحصول على

$$I_C = -\frac{V_{CE}}{R_C} + \frac{V_{CC}}{R_C}$$

معادلة خطية تشبه $y = mx + b$

تمثل خطا مستقيم بانحدار مقداره m وتقاطع عمودي مقداره b على محور التيار والممثلة بالشكل (1b) حيث نرى التقاطع العمودي مقداره (V_{CC}/R_C)والتقاطع الأفقي مقداره (V_{CC}) وبانحدار يساوي $(-1/R_C)$. ويسمى هذا الخط م خط الحمل المستمر (*dc load line*) لأنه يمثل جميع نقاط العمل الممكنة . إن نقطة عمل الترانزستور هي نقطة تع خط الحمل المستمر مع تيار القاعدة ويرمز لها بنقطة (Q) .

ع والتشبع cutoff and saturation

ف نقطة تقاطع خط الحمل المستمر بالمنحني ($I_B = 0$) بالقطع *cutoff* .

هذه النقطة ، تيار القاعدة ($I_B = 0$) ويكون تيار الجامع (I_C) صغير جدا (يوجد تيار التسرب I_{CEO} فقط) .

القطع ، يخرج ثنائي الباعث من الانحياز الأمامي ويفقد الترانزستور عمله الطبيعي .

يب دقيق ، تكون فولتية الجامع إلى الباعث : $V_{CE(cutoff)} = V_{CC}$

تقاطع خط الحمل والمنحني ($I_B = I_{B(sat)}$) [تيار القاعدة] يدعى بالتشبع *saturation*

هذه النقطة ، تيار القاعدة يساوي ($I_{B(sat)}$) ويكون لتيار الجامع (I_C) قيمة عظمى .

التشبع ، يخرج ثنائي الجامع من الانحياز العكسي ويفقد الترانزستور عمله الطبيعي

يب دقيق ، يكون تيار الجامع عند التشبع : $I_{c(sat)} \approx \frac{V_{cc}}{R_c}$

تيار قاعدة يحدث التشبع هو : $I_{B(sat)} = \frac{I_{c(sat)}}{\beta_{dc}}$

تية بين الجامع والباعث عند التشبع هي $V_{CE} = V_{CE(sat)}$

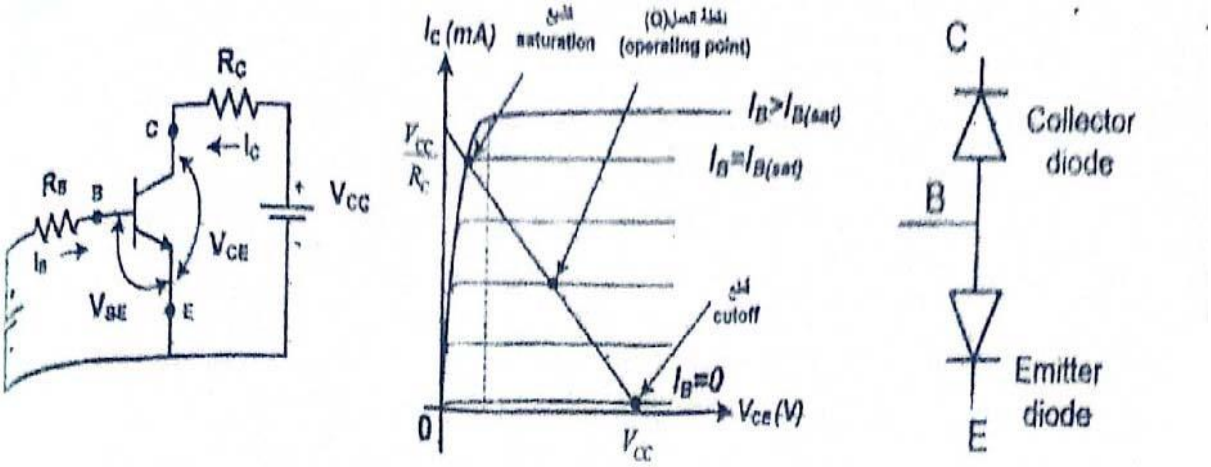
تبين $V_{CE(sat)}$ في استمارة المعلومات . قيمتها (نموذجيا) بضع أعشار من الفولت .

داد تيار الجامع إذا زاد تيار القاعدة عن $I_{B(sat)}$ لأن ثنائي الجامع لم يعد منحازا عكسيا

ارة اخرى ، فإن تقاطع خط الحمل مع منحني قاعدة أعلى ينتج نفس نقطة التشبع ، الشكل (b -1) .

طقة الفعالة active region

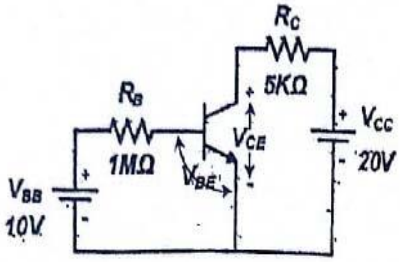
جميع نقاط العمل الواقعة بين القطع والتشبع هي المنطقة الفعالة للترانزستور. ويكون ثنائي الباعث منحازا أماميا في قة الفعالة ، كما يكون ثنائي الجامع منحازا عكسيا . ونستطيع إيجاد تيار القاعدة (I_B) في أية دائرة ذات إنحياز . إن نقطة تقاطع تيار القاعدة هذا مع خط الحمل هي النقطة الهامدة (Q) quiescent point في الشكل (b -1)



(a) Base bias إنحياز القاعدة (b) Dc load line خط الحمل المستمر

الشكل (1)

مثال :



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

الحل:

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

$$I_B = \frac{10 - 0.7}{1 * 10^6} = 9.3\mu A$$

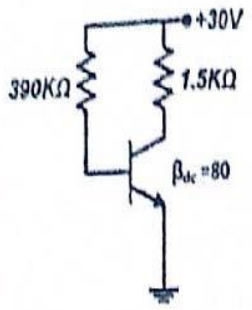
$$I_C = \beta_{dc} * I_B$$

$$I_C = 100 * 9.3\mu A = 0.93mA$$

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

$$V_{CE} = 20 - 0.93 * 10^{-3} * 5 * 10^3 = 15.4v$$

ثال:
ي الدائرة الموضحة أدناه ارسم خط الحمل المستمر وعين إحداثيات نقطة العمل(Q) ؟



حل:

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{30}{1.5*10^3} = 0.002\,A = 20mA$$

$$V_{CE(cutoff)} = V_{CC} = 30v$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{30-0.7}{390*10^3} = 0.0000715\,A$$

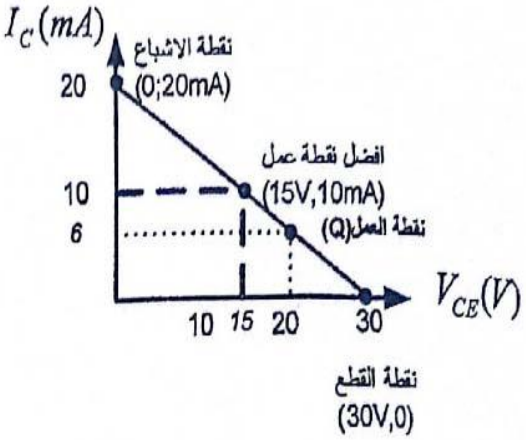
$$I_B = 71.5\mu A$$

$$I_{CQ} = \beta_{dc} * I_B = 80*0.0000715 = 0.006008\,A$$

$$I_{CQ} \cong 6mA$$

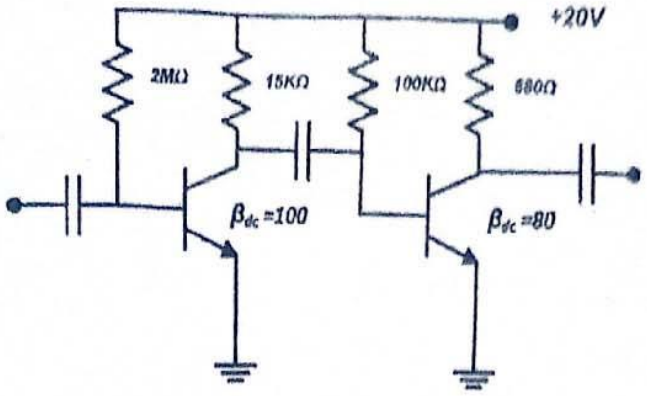
$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} * R_C$$

$$V_{CEQ} = 30 - 0.006*1.5*10^3 = 30-9 = 21v$$



مثال :

اوجد إحداثيات خط الحمل المستمر ونقطة العمل لكل مرحلة في الشكل الموضح أدناه ؟



الحل: في حالة التيار المستمر نتصور أن جميع المتسعات كدوائر مفتوحة.

وبذلك لا تمتلك التيارات المستمرة للترانزستور الأول تأثيرا على الترانزستور الثاني

المرحلة الأولى

$$_{(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{20}{15*10^3} = 0.001333\,A = 1.33mA$$

$$_{E(cutoff)} = V_{CC} = 20v$$

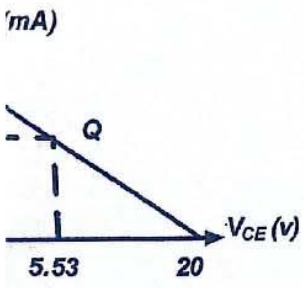
$$_{Q} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{20 - 0.7}{2*10^6} = 0.00000965\,A = 9.65\,\mu A$$

$$_{Q} = \beta_{dc} * I_{BQ} = 100 * 0.00000965 = 0.000965\,A$$

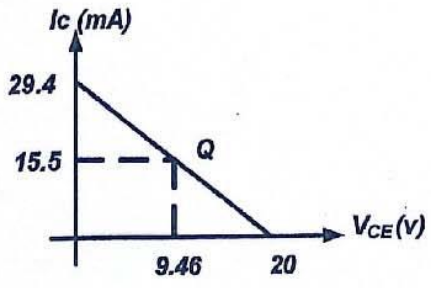
$$_{Q} = 0.965mA$$

$$_{CQ} = V_{CC} - I_{CQ} * R_C = 20 - 0.000965 * 15 * 10^3$$

$$_{CQ} = 5.53v$$



المرحلة الاولى



المرحلة الثانية

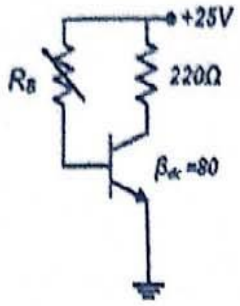
$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{20}{680} = 0.0294A = 29.4mA$$

$$V_{CE(cutoff)} = V_{CC} = 20v$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{20 - 0.7}{100 * 10^3} = 0.000193A = 0.193mA$$

$$I_{CEQ} = \beta_{dc} * I_{BQ} = 80 * 0.193mA = 15.5mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} * R_C = 20 - 15.5 * 10^{-3} * 680 = 9.46v$$



لدائرة الموضحة أدناه إذا كان للترانزستور ($\beta_{dc} = 80$) و ($V_{CE(sat)} = 0.1v$)
ضبطت R_B للحصول على التشبع . احسب قيمة $I_{C(sat)}$ ؟ وما قيمة R_B لذلك ؟

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{25}{220} = 0.114A = 114mA$$ وهذا أقصى تيار جامع يمكن الحصول عليه

$$I_{B(sat)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta_{dc}} = \frac{114mA}{80} = 1.43mA$$ تيار القاعدة عند التشبع

$$R_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{I_{B(sat)}} = \frac{25 - 0.7}{1.43 * 10^{-3}} = 17K\Omega$$ ما قيمة مقاومة القاعدة عند التشبع

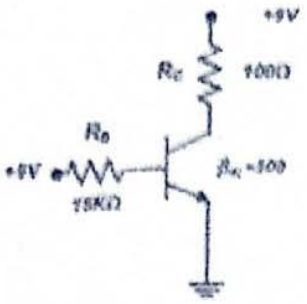
مثال :

في دائرة انحياز القاعدة الموضحة في الشكل أدناه

1- اوجد إحداثيات نقطة العمل Q

2- ارسم خط الحمل المستمر

3- اوجد قيمة مقاومة القاعدة R_B التي تجعل نقطة العمل Q في وسط خط الحمل المستمر



الحل:

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{9}{100} = 0.9A = 90mA$$

$$V_{CE(cutoff)} = V_{CC} = 9v$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{9-0.7}{15*10^3} = 0.0005533A = 0.5533mA$$

$$I_{CQ} = \beta_{dc} * I_{BQ} = 100 * 0.5533mA = 55.33mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} * R_C = 9 - 55.33*10^{-3} * 100 = 3.46v$$

إحداثيات نقطة العمل في منتصف خط الحمل

$$\left(\frac{I_{CQ(sat)}}{2}; \frac{V_{CE(cutoff)}}{2}\right)$$

ولذلك سيكون

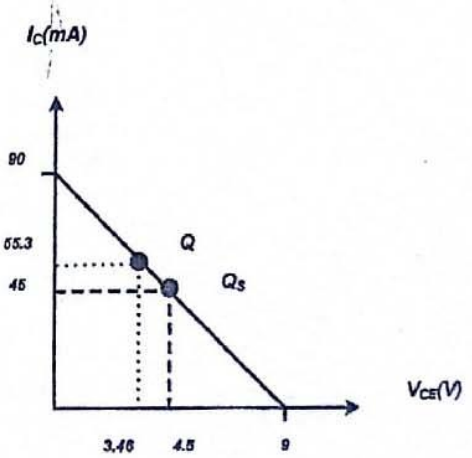
$$I_{CQ(m)} = \frac{I_{C(sat)}}{2} = \frac{90mA}{2} = 45mA$$

$$V_{CEQ(m)} = \frac{V_{CE(cutoff)}}{2} = \frac{9v}{2} = 4.5v$$

الرمز(m) نعني به وسط وهو للتوضيح

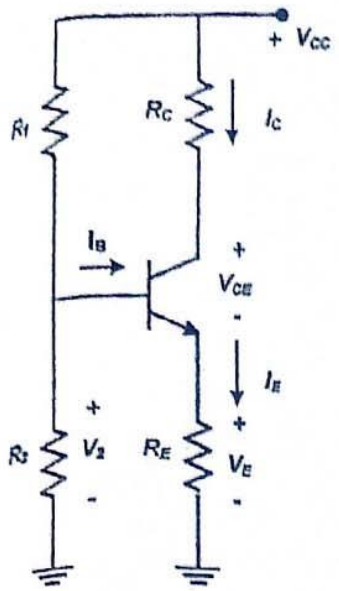
$$I_{BQ(m)} = \frac{I_{CQ(m)}}{\beta_{dc}} = \frac{45mA}{100} = 0.45mA$$

$$R_{B(m)} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{I_{BQ(m)}} = \frac{9-0.7}{0.45*10^{-3}} = 18.44K\Omega$$



انحياز مقسم الفولتية Voltage-divider bias

يبين الشكل (2) انحياز مقسم الفولتية وهو الأوسع انتشارا. إن تسمية مقسم الفولتية جاءت من مقسم الفولتية الـ R_1 و R_2 . إن الفولتية على R_2 تعمل على جعل ثنائي الباعث منحاز أماميا . ويعمل المجهز Vcc على الجامع منحاز عكسيا



الشكل (2)

إن عمل دائرة مقسم الفولتية يتلخص بما يلي
يكون تيار القاعدة صغيرا جدا مقارنة بالتيار في R_1 وبالتيار في R_2
وبذلك نستطيع تطبيق قانون مقسم الفولتية لإيجاد قيمة V_2 عبر المقاومة R_2 :

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

وحسب قانون كيرشوف للفولتية :

$$V_E = V_2 - V_{BE}$$

وبذلك يمكننا حساب قيمة تيار الباعث (I_E)

$$I_E = \frac{V_2 - V_{BE}}{R_E}$$

وان تيار الباعث يساوي تقريباً تيار الجامع

$I_C \cong I_E$ وهذا يمثل الاحداثي الصادي لنقطة العمل

أما الفولتية بين الجامع والأرض $V_C = V_{CC} - I_C R_C$

الفولتية بين الباعث والأرض $V_E = I_E R_E$

وبذلك تكون الفولتية بين الجامع والباعث

$$V_{CE} = V_C - V_E = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E$$

$I_C \cong I_E$

$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$ وهذا يمثل الاحداثي السيني لنقطة العمل

إن تيار تشبع الترانزستور في انحياز مقسم الفولتية يمكن حسابه كما يلي

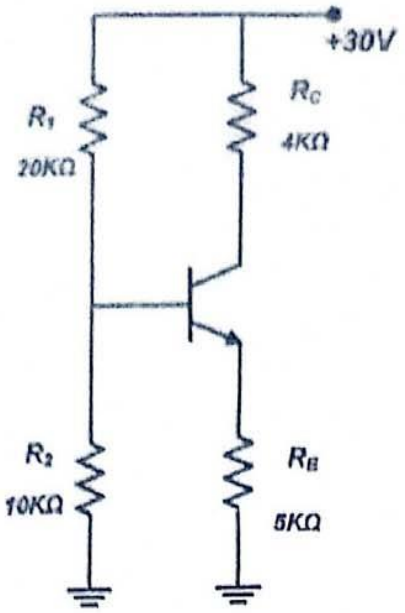
$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

أما فولتية القطع حيث لا يمر تيار في الجامع وبذلك تظهر فولتية المجهز على طرفي الجامع و الباعث

$$V_{CE(cutoff)} = V_{CC}$$

ل :

م خط الحمل المستمر وعين نقطة العمل (Q) للدائرة المبينة أدناه ؟



لرسم خط الحمل المستمر نعين فولتية القطع و تيار التشبع

$$V_{CE(cutoff)} = V_{CC} = 30v$$

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

$$I_{C(sat)} = \frac{30}{(4+5)*10^3}$$

$$I_{C(sat)} = 0.00333A = 3.33mA$$

لتعيين نقطة العمل (Q)

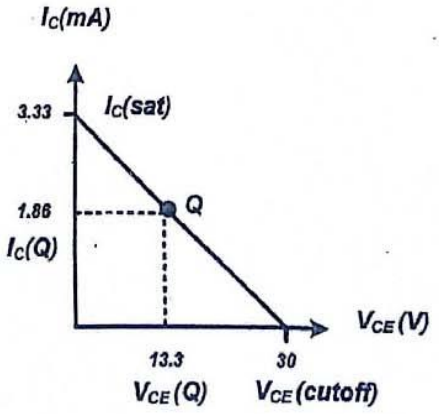
$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{CC} = \frac{10K}{20K + 10K} * 30v = 10v$$

$$I_E = \frac{V_2 - V_{BE}}{R_E} = \frac{10 - 0.7}{5*10^3} = 0.00186\,A = 1.86mA$$

$$I_{CQ} \cong I_E = 1.86mA$$

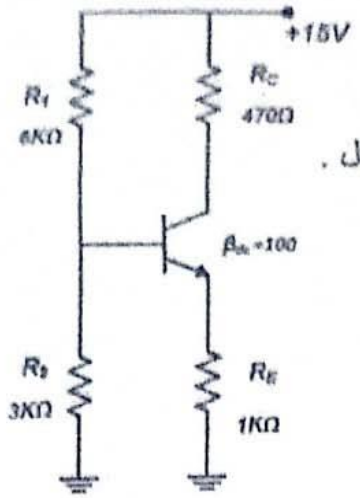
$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E) = 30 - 1.86*10^{-3}*(4+5)*10^3$$

$$V_{CEQ} = 13.3v$$



مثال :

في الشكل أدناه اوجد القيمة الدقيقة لتيار الباعث علما أن ($V_{BE} = 0.7$) ؟



لو فتحنا طرف القاعدة . يكون مقسم الفولتية غير محمل .

نطبق نظرية ثفنن :

$$V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{CC}$$

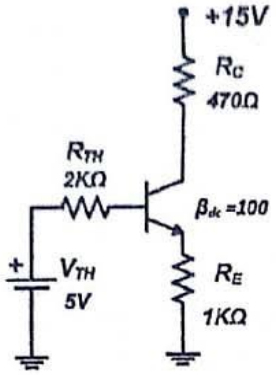
$$V_{TH} = \frac{3K}{6K + 3K} * 15v$$

$$V_{TH} = 5v$$

$$R_{TH} = R_1 // R_2$$

$$R_{TH} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2} = \frac{6*3}{6+3}$$

$$R_{TH} = 2K\Omega$$



لاحظ شكل الدائرة المكافئة

نطبق قانون كيرشوف للفولتية على دارة القاعدة والباعث

$$I_B R_{TH} + V_{BE} + I_E R_E - V_{TH} = 0$$

وبما أن

$$I_C \cong I_E$$

$$I_B \cong I_E / \beta_{dc}$$

وبذلك نستطيع كتابة المعادلة بالصيغة التالية :

$$\frac{R_{TH}}{\beta_{dc}} I_E + I_E R_E + V_{BE} - V_{TH} = 0$$

$$I_E \left(R_E + \frac{R_{TH}}{\beta_{dc}} \right) = V_{TH} - V_{BE}$$

$$I_E = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_E + R_{TH} / \beta_{dc}} = \frac{5 - 0.7}{1000 + 2000/100}$$

$$I_E = \frac{4.3}{1020} = 0.00422A = 4.22mA$$

مثال :

لدائرة مقسم الفولتية المبينة بالشكل ادناه (1- ارسم خط الحمل المستمر 2- اوجد إحداثيات نقطة العمل Q

3- احسب قيم المقاومات R_1 و R_2 التي تجعل نقطة العمل Q تقع وسط خط الحمل المستمر) ؟

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = \frac{15}{(1+2)*10^3}$$

$$I_{C(sat)} = \frac{15}{3000} = 0.005A = 5mA$$

$$V_{CE(cutoff)} \cong V_{CC} = 15v$$

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{CC} = \frac{5K}{10K + 5K} * 15v = 5v$$

$$I_{CQ} \cong I_E = \frac{V_2 - V_{BE}}{R_E} = \frac{5 - 0.7}{2*10^3} = \frac{4.3}{2000} = 0.00215A$$

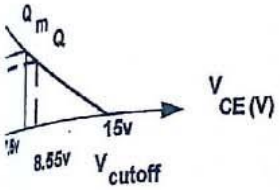
$$I_{CQ} = 2.15mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E) = 15 - 2.15*10^{-3}*(1+2)*10^3$$

$$V_{CEQ} = 8.55v$$

$$I_{CQ(m)} = \frac{I_{C(sat)}}{2} = \frac{5mA}{2} = 2.5mA$$

$$V_{CEQ(m)} = \frac{V_{CE(cutoff)}}{2} = \frac{15v}{2} = 7.5v$$



$$I_C \cong I_E$$

$$V_2 = V_E + V_{BE} = I_E * R_E + V_{BE} = (2.5*10^{-3})(2*10^3) = 5.7v$$

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{CC}$$

$$5.7 = \frac{5000*15}{R_1 + 5000}$$

$$5.7R_1 + 5.7*5000 = 75000 \Rightarrow 5.7R_1 = 75000 - 28500$$

$$R_1 = \frac{46500}{5.7} = 8157\Omega \cong 8.15K\Omega$$

Collector feedback-bias حياز بالتغذية الخلفية للجامع

ضح الشكل (3) انحياز بالتغذية الخلفية للجامع ، ومن صفاته البساطة والاستجابة العالية للترددات الواطئة ، وما يميزه انحياز القاعدة أن مقاومة القاعدة مربوطة إلى الجامع وليس إلى مجهز القدرة .

تعمل فولتية الجامع لسوق مقاومة القاعدة بدلاً من تسليط فولتية مجهز ثابتة على مقاوم القاعدة وهذا يؤدي إلى تقليص ر β_{dc} على نقطة العمل Q .

المعادلات المستخدمة لغرض تحليل دائرة انحياز بالتغذية الخلفية للجامع هي :

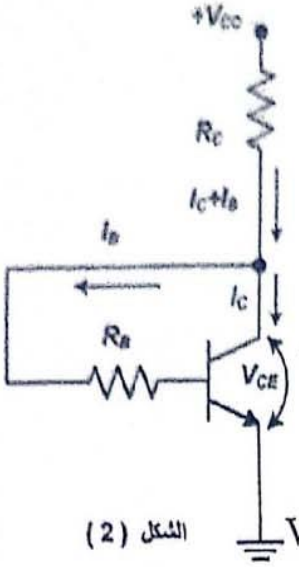
كننا تقريب تيار الجامع لنقطة العمل Q

$$I_C \cong \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + R_B/\beta_{dc}}$$

ا الفولتية بين الجامع والباعث لنقطة العمل Q والتي تمثل الموقع على المحور السيني .

$$V_{CE} \cong V_{CC} - I_C R_C$$ لان تيار القاعدة صغير جدا

رض رسم خط الحمل المستمر يجب تحديد تيار التشبع $I_{C(sat)}$ و فولتية القطع $V_{CE(cutoff)}$



الشكل (2)
انحياز بالتغذية الخلفية للجامع

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} \qquad V_{CE(cutoff)} = V_{CC}$$

قيمة مقاومة القاعدة التي تعطي انحياز عند نقطة وسطى (نقطة العمل Q وسط خط الحمل) يمكن أن تعطى بالمعادلة

$$R_B = \beta_{dc} * R_C$$

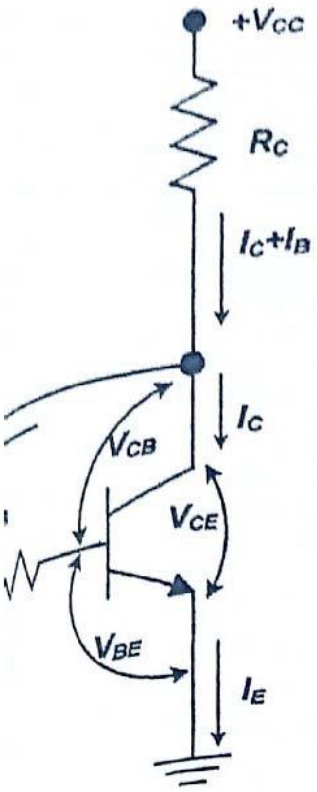
حل الهندسي :

الممكن أن تكون التغيرات في قيمة β_{dc} لنفس النوع من الترانزستور عند استعمال آلاف الترانزستورات من ذاك ع هي (3:1) وقد تصل نسبة التغير إلى (9:1) بسبب التغيرات بدرجات الحرارة ولذلك يمكننا استخدام المعدل دسي كما في المعادلة :

$$\beta_{dc} = \sqrt{\beta_{dc(\min)}\beta_{dc(\max)}}$$

مثال :

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + R_B/\beta_{dc}}$$ في الدوائر التغذية الخلفية للجامع الثبت العلاقة



$$V_{CE} = V_{CC} - (I_C + I_B)R_C$$
$$V_{CE} = V_{CC} - (I_E)R_C$$
$$I_E \cong I_C$$
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \mapsto (1)$$
$$V_{CE} = V_{CB} + V_{EB}$$
$$V_{CE} = I_B R_B + V_{BE}$$
$$V_{CE} = \frac{I_C}{\beta_{dc}} R_B + V_{BE} \mapsto (2)$$

وبحل المعادلتين (1) و (2)

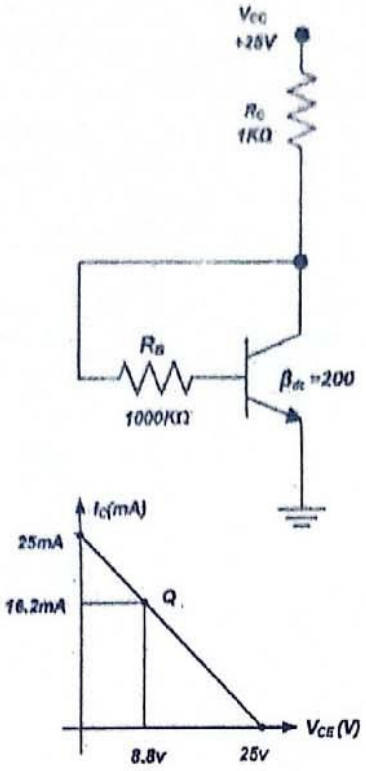
$$V_{CC} - I_C R_C = \frac{I_C}{\beta_{dc}} R_B + V_{BE}$$
$$V_{CC} - V_{BE} = I_C R_C + I_C \frac{R_B}{\beta_{dc}}$$
$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + R_B/\beta_{dc}}$$

ل : ١

الدائرة الموضحة بالشكل أدناه

سب قيمة تيار الجامع (Ic) والفولتية بين الجامع و الباعث (V_{CE})

وارسم خط الحمل المستمر وعين نقطة العمل (Q) عليه ؟



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

$$I_C = \frac{25 - 0.7}{1*10^3 + 100*10^3/200}$$

$$I_C = 0.0162\ A = 16.2mA$$

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

$$V_{CE} = 25 - 0.0162*10^3 = 8.8v$$

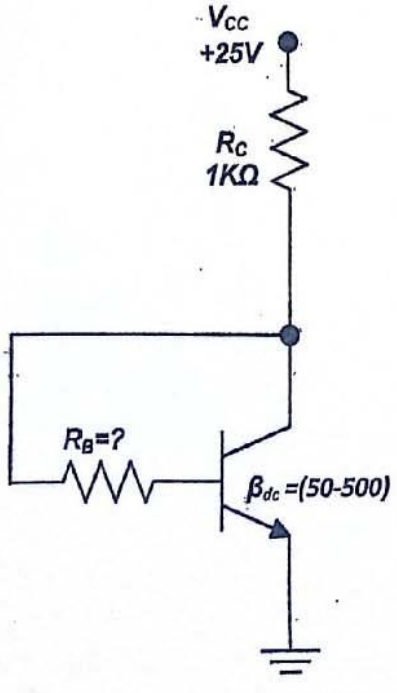
$$V_{CE(cutoff)} = V_{cc} = 25V$$

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{25}{1000} = 0.025\ A = 25mA$$

ل :

الدائرة الموضحة بالشكل أدناه إذا كانت قيمة β_{dc} تتراوح (50–450) احسب قيمة المقاومة R_B للانحياز عند نقطة وسطى ،

اوجد قيمة V_{CE} YIc ؟



$$\beta_{dc} = \sqrt{\beta_{dc\,(min)} * \beta_{dc\,(max)}}$$

$$\beta_{dc} = \sqrt{50 * 450} = 150$$

$$R_{B(m)} = \beta_{dc} * R_C = 150 * 1k\Omega$$

$$R_{B(m)} = 150\ k\Omega$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + R_B/\beta_{dc}}$$

$$I_{CQ} = \frac{25 - .0.7}{1000 + (150000/150)}$$

$$I_{CQ} = 0.01215\ A = 12.15\ mA$$

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

$$V_{CEQ} = 25 - (12.15 * 10^{-3}) * (1 * 10^3)$$

$$V_{CEQ} = 12.58\ v$$

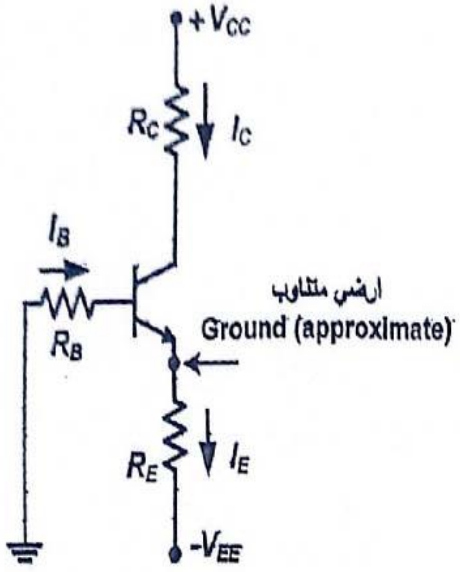
انحياز الباعث Emitter – bias

هو الانحياز الشائع عند وجود مجهز مجزأ وكما مبين بالشكل (4) ، مجهز مجزأ يعني فولتيات موجبة وسالبة نلاحظ ان ثنائي الباعث منحاز أماميا بواسطة مجهز الفولتية السالبة V_{EE} خلال المقاومة R_E . أما ثنائي الجامع فيكون منحاز عكسيا بواسطة مجهز الفولتية الموجب Vcc

تحليل دائرة انحياز باعث نموذجية :

إن الفولتية من الباعث إلى الأرض اقل من (1v) ولان V_{EE} اكبر بكثير من (1v) ، نستطيع معاملة النهاية العليا من المقاومة R_E كنقطة ارضي تقريبية ، الشكل (4) . ولذلك فان فولتية المجهز V_{EE} تظهر جميعها عبر R_E وبذلك :

$$I_E \cong \frac{V_{EE}}{R_E}$$



الشكل (4)

وكتقريب جيد تيار الجامع يساوي تيار الباعث ($I_c = I_E$) وبما أن الباعث يعمل كنقطة ارضي تقريبا ولذلك

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

لو كان الترانزستور في منطقة التشبع فان تيار التشبع

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} + V_{EE}}{R_C + R_E}$$

أما إذا كان الترانزستور يعمل في منطقة القطع فان فولتية القطع

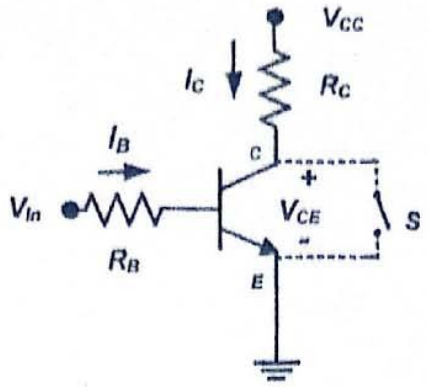
$$V_{CE(cutoff)} = (V_{CC} + V_{EE})$$

دول يوضح بعض المحاسن و المثالب ومكان استخدام كل نوع من أنواع الانحياز:

النوع	الميزة	المثلبة	مكان الاستعمال
انحياز القاعدة	البساطة	حساس للتغيرات في β_{dc}	الدوائر الرقمية ودوائر الغلق والفتح
مقسم الفولتية	استقرار النقطة Q	يحتاج إلى أربعة مقاومات	مكبرات الغاية العامة
التغذية الخلفية للجامع	استجابة للترددات الواطئة	يعتمد على βdc جزئيا	مكبرات الإشارة الصغيرة
انحياز الباعث	استقرار النقطة Q	يحتاج إلى مجهز مجزأ	مكبرات الغاية العامة

تخدام الترانزستور كمفتاح (Transistor as Switch)

دما يعمل الترانزستور في منطقتي القطع والإشباع فانه يشابه عمل المفتاح وكما موضح في الشكل والعلاقات أدناه :



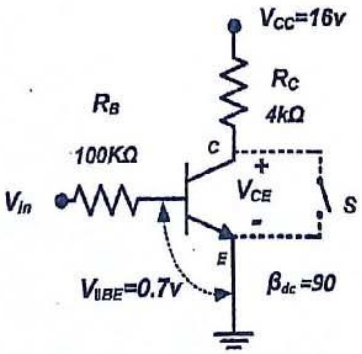
دما تكون $V_{in} = 0$ فان $V_{CE} = V_{CC}$ (علل هذا) ، ويكون المفتاح (S) في حالة (open) .

دما تكون $V_{in} \geq V$ حيث V هي اقل قيمة للفولتية تسبب حالة الإشباع في تيار الجامع (أي تجعل تيار الجامع في لة الإشباع) أي $[I_C = I_C(sat)]$ وعندها يكون $V_{CE} = 0$ (لماذا ؟) ، أي أن المفتاح (S) يكون في حالة(close).

يستفاد من هذه الدائرة في الأنظمة الرقمية التي تعتمد مبدأ الـ (0 و 1) .

ال : في دائرة الترانزستور كمفتاح إذا كانت : $V_{CC} = 16v$, $R_C = 4k\Omega$, $R_B = 100k\Omega$, $\beta = 90$ ترانزستور سليكون. احسب اقل قيمة لفولتية الإدخال تجعل الترانزستور في حالة توصيل .

حل : نرسم الدائرة أولا ثم نوجد تيار $I_C(sat)$ ثم منه تيار $I_B(sat)$ وبعدها نوجد اقل قيمة لفولتية الإدخال وكما الخطوات أدناه :



$$I_C(sat) = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{16}{4*10^3} = 4mA = 0.004Amp$$

$$I_B(sat) = \frac{I_C(sat)}{\beta} = \frac{4}{90} = 0.044mA = 44\mu A$$

$$V_{in} = I_B(sat) * R_B + V_{BE}$$

$$V_{in} = 0.044*10^{-3}*100*10^3 + 0.7 = 5.1volt$$

ي اقل قيمة لفولتية الإدخال تجعل الترانزستور في حالة توصيل (ON) .

خدام الترانزستور في تكبير الإشارات الصغيرة (Small Signal Amplification)

بر مبدأ تكبير الإشارات الالكترونية الصغيرة مهما وواسع الانتشار في المنظومات الالكترونية الصغيرة والكبيرة منها
ما يقوم الميكروفون بتحويل الصوت إلى إشارة الكترونية تكون صغيرة لا بد لها من مكبر لكي يتم الاستفادة منها
سوق السماعة، وعند نقل أي إشارة الكترونية بين مكان وأخر فإنها تقل وتضعف، ولا بد من إجراء عملية التكبير لها

جد أنواع كثيرة من المكبرات ولكنها تشترك بنقاط أساسية بالإمكان توضيحها بالمخطط التالي :

التكبير (الكسب gain) ويتضمن : تكبير الفولتية $A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}}$

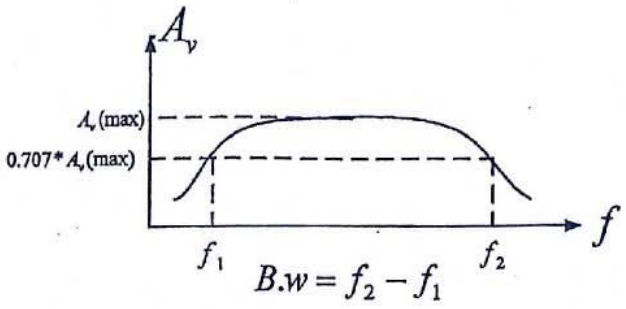
تكبير التيار $A_i = \frac{i_{out}}{i_{in}}$

تكبير القدرة $A_p = A_v * A_i = \frac{P_{out}}{P_{in}}$

الكسب بالـ (dB ديسبل) فيمكن حسابه من العلاقة التالية :

$$A_v[in(dB)] = 20\log_{10}(A_v)$$

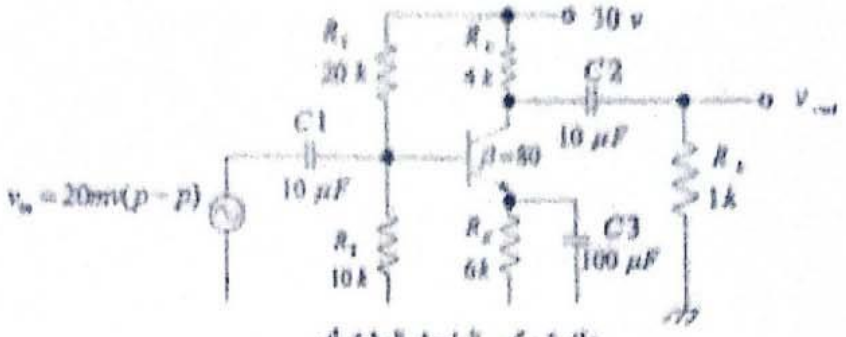
عرض الحزمة (B.W) وهو الترددات التي باستطاعة المكبر تكبير الإشارة فيها كما مبين أدناه في منحني الاستجابة الترددية :



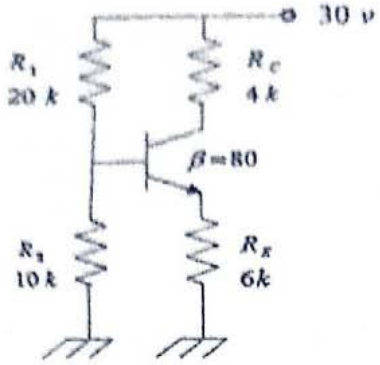
مقاومة الإدخال R_{in} وهي المقاومة التي تواجهها إشارة الإدخال .

مقاومة الإخراج R_{out} وهي المقاومة التي تكون على التوالي مع مقاومة الحمل لإكمال دائرة الإخراج وتكون أفضل ما يمكن عندما يكونان متساويان ،عندها يقال أن الدائرة في حالة موائمة (matching) .

أوجد كسب الفولتية في الدائرة التالية (دائرة مكبر الباعث) .



دائرة مكبر الباعث المشترك



الحل : في البداية نرسم الدائرة المكافئة المستمرة بجعل المتسعات في حالة open وذلك لإيجاد قيمة التيار I_E

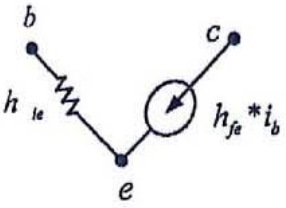
ظة : نحلل الدائرة كما في مثال دائرة انحياز مقسم الجهد الذي تم حله مسبقا ويكون $I_E = 1.458mA$.

سم الدائرة المكافئة
اوبة بجعل المتسعات في
short وكذلك مصدر
D.C . وتعويض
نزستور بدائرته المكافئة
اوبة التقريبية :

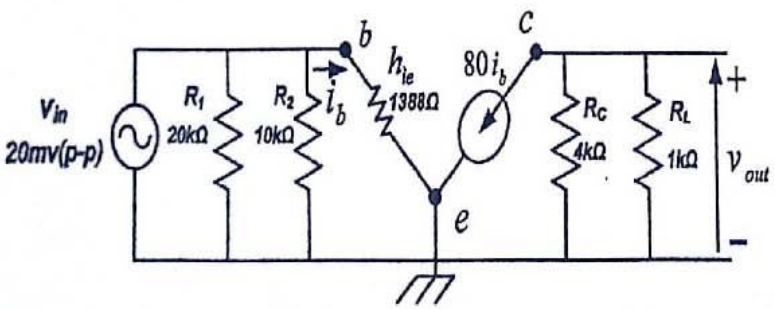
$$h_{fe} = \beta = 80$$

$$h_{ie} = \frac{25}{I_E(mA)} * (h_{fe} + 1)$$

$$h_{ie} = \frac{25}{1.458} * (80 + 1) = 1388\ \Omega$$



الدائرة المكافئة المتناوبة



$$i_b = \frac{v_{in}}{h_{ie}} = \frac{20*10^{-3}}{1388} = 14.4*10^{-6}A = 14.4\mu A$$

$$v_{out} = -80i_b * (R_C // R_L) = -80*14.4*10^{-3}*0.$$

$$v_{out} = -921.6*10^{-3} volt = -921.6mv$$

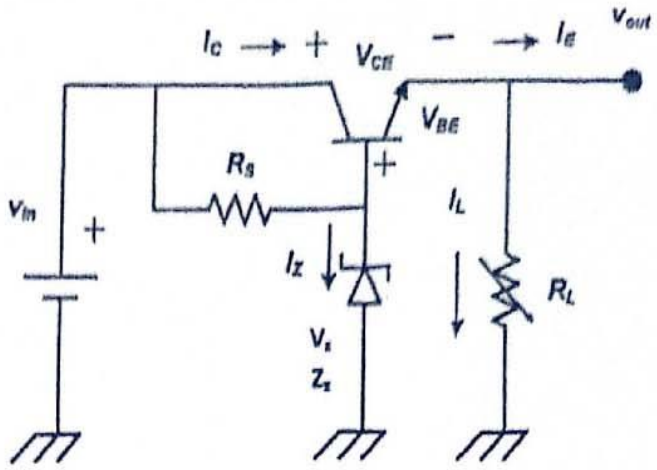
$$|A_v| = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{921.6}{20} = 46$$

$$A_v(dB) = 20\log_{10} 46 = 33.2dB$$

ة : هناك مكبر القاعدة المشتركة وكذلك مكبر الجامع المشترك ولكن دائرة مكبر الباعث المشترك تعتبر من دوائر التكبير واسعة الانتشار .

خدام ترانزستور ثنائي القطبية في تنظيم الفولتية

كان الاستفادة من الترانزستور ثنائي القطبية في تحسين أداء وكفاءة دائرة منظم زينر (التي تم شرحها مسبقا) وبين
طط التالي لدائرة منظم التوالي (series regulator) وتسمى كذلك لان طرفي الترانزستور الجامع والباعث على
لي مع الحمل أي أن $I_E \cong I_C = I_L$ ويسمى الترانزستور في هذه الدائرة ترانزستور العبور (Pass Transistor)



دائرة منظم التوالي

لاحظة : في دائرة منظم زينر تكون ($\Delta I_Z = -\Delta I_L$

ا يعني أن تحسنا بمقدار جيد يحصل على عامل تنظيم الفولتية .

ـ : في دائرة منظم التوالي اذا كانت :

أوجد تيار الحمل . V_{in} =15v , R_S = 220Ω , β = 100 , V_Z = 7.5v , Z_Z = 6Ω , R_L =200

ـل :

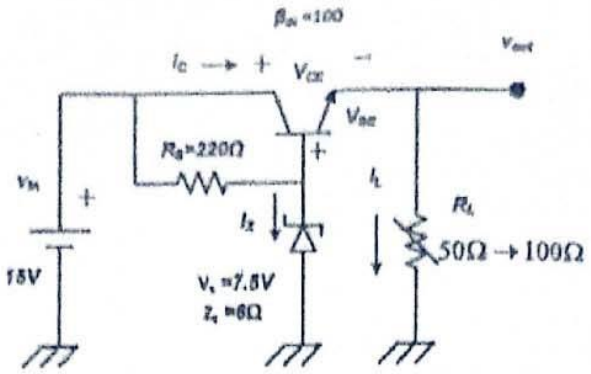
$$V_{out} = V_Z - V_{BE} = 7.5 - 0.7 = 6.8v$$

$$I_L = \frac{V_{out}}{R_L} = \frac{6.8}{200} = 34mA = 0.034A$$

جب أن يكون $I_L < I_{C(max)}$.

ب- في المثال السابق إذا كانت مقاومة الحمل تتغير Ω(100 -> 50) . احسب التغير التقريبي في فولتية الحمل .
وكذلك عامل تنظيم الفولتية المئوي V_R %

ب- نرسم الدائرة



$$V_{out} = V_Z - V_{BE} = 7.5 - 0.7 = 6.8v$$

$$I_L(\min) = \frac{V_{OUT}}{R_L(\max)} = \frac{6.8}{100} = 0.068A = 68mA$$

$$I_L(\max) = \frac{V_{out}}{R_L(\min)} = \frac{6.8}{50} = 0.136A = 136mA$$

$$\Delta I_L = I_L(\max) - I_L(\min) = 136 - 68 = 68mA$$

$$\Delta I_Z = -\frac{\Delta I_L}{\beta} = -\frac{68}{100} = -0.68mA$$

$$\Delta V_{out} = Z_Z * \Delta I_Z = 6 * (-0.68) = -4.08mv$$

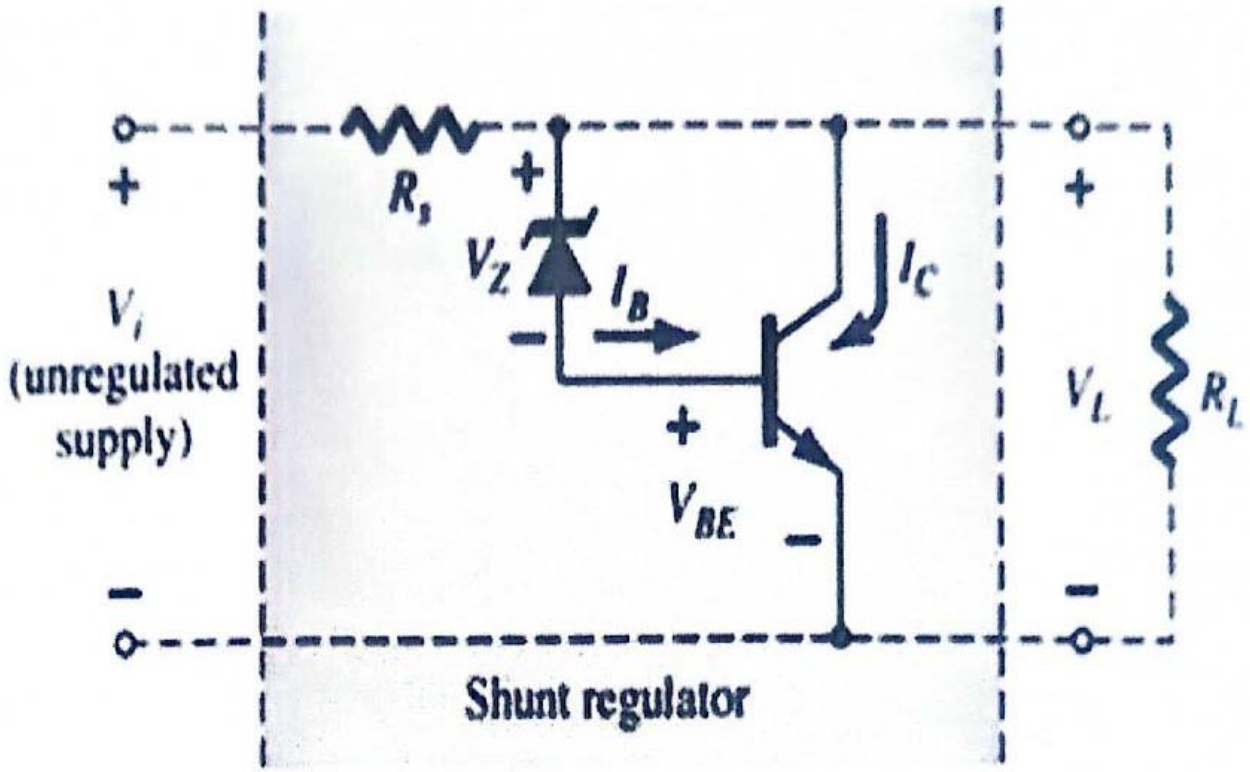
و التغير التقريبي في فولتية الحمل .

حظة : (قارن بين هذا التغير مع ما يناظره بدون ترانزستور) .

امل تنظيم الفولتية المئوي

$$\frac{\Delta V_{out}}{V_{out}} * 100 = \frac{4.08 * 10^{-3}}{6.8} * 100 = 0.0$$

منظم التوازى



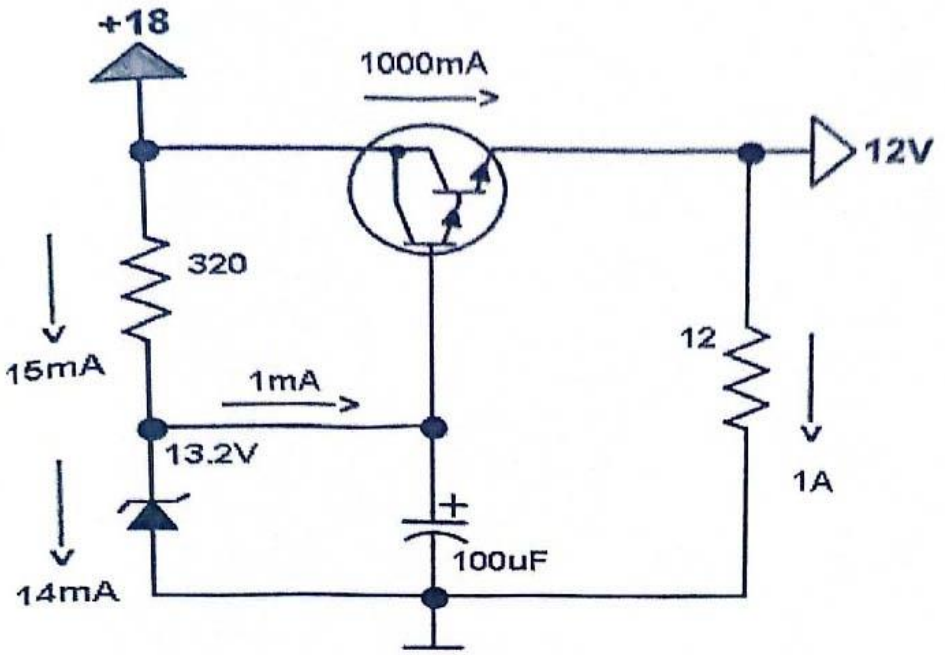
الحمل يربط على التوازي مع الترانزستور المربوط بصيغة الباعث المشترك .

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

يستخدم لتيارات حمل عالية . تغيرات تيار الحمل الكبيرة تسبب تغير قليل في تيار الزنر.

$$I_S=I_B+I_C+I_L$$

منظم التوالي باستخدام ربط دارلنكتون



يستخدم هذا النوع من الترانزستورات لانها تتحمل تيارات عالية

(VL=VZ- 2VBE)

يجب ان يستخدم هذا المنظم في درجات حرارة ثابتة نسبيا لان أي ارتفاع بالحرارة سوف يزيد تيار الزنر مما يسبب زيادة عالية بتيار الدائرة بسبب التكبير العالي للترانزستور .

1.5 تشكيلات الدارة المشتركة

نظرا لأن الترانزستور ثنائي القطبية هوجهاز له ثلاثة أطراف فهناك ثلاثة طرق أساسية لتوصيله ضمن الدارات الإلكترونية معوجود أحد الأطراف كطرف مشترك لكل من المدخل والمخرج . لكل طريقة من طرق التوصيلاستجابة مختلفة لإشارة دخلها في نطاق الدارة حيث أن الخصائص الستاتيكيةللترانزستور تختلف باختلاف ترتيب كل دائرة.

1 ـ دارة القاعدة المشتركة Common Base Configuration

لها ربح في الجهد Voltage Gain وليسلها ربح في التيار .

2 ـ دارة المشع (الباعث) المشترك Common Emitter Configuration

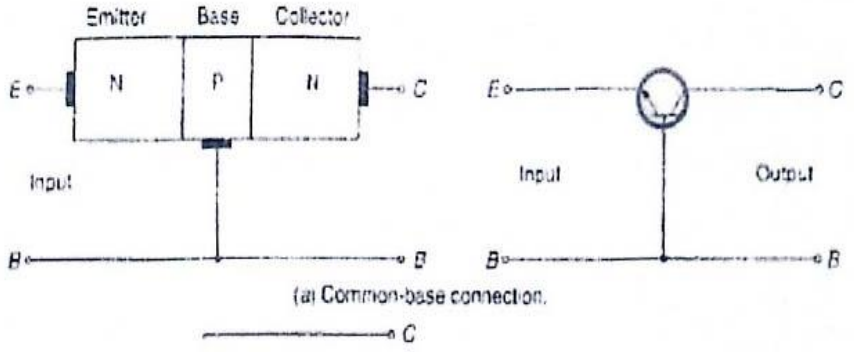
لها ربح في كل من الجهد والتيار .

3 ـ دارة المجمعالمشترك Common Collector Configuration

لها ربح فالتيار Current Gain وليسلها ربح في الجهد.

1.5.1 دارة القاعدة المشتركة The Common Base (CB) Configuration

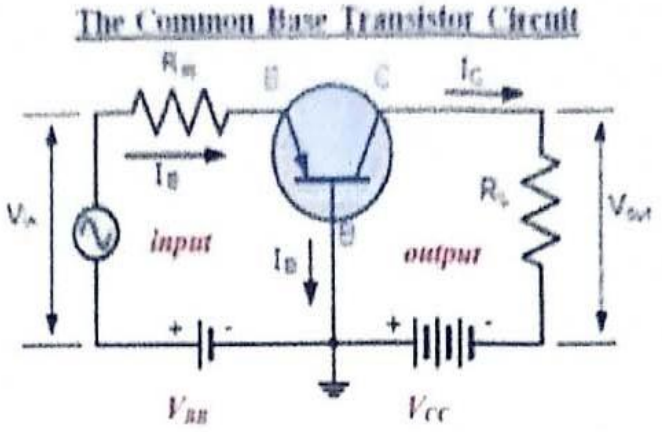
كما هو واضح من المسمى ، في دارة القاعدة المشتركة أوالأرضية يتم توصيل القاعدة BASE بحيث تكونطرف مشترك لكل من أشارة الدخل و أشارة الخرج كما هو مبين بالشكل(1.18)



الشكل (1.18)توصيل الترانزستور في دارة القاعدة المشتركة

وبتطبيق إشارة الدخل بينطرفي القاعدة والمشع ويتم أخذ إشارة الخرج المناظرة من بين طرفي القاعدة والمجمعكما هو موضح بالشكل1.19)(مع توصيل طرف القاعدة بالأرضي أو إلي نقطة جهدمرجعي ثابت.

فتيار الدخل المار خلال الباعث (المشع) كبير لأنهمجموع كل من تيار القاعدة وتيار المجمع ، نتيجة لذلك يكون تيار المجمع أقل من تيار الدخل للباعث و من ثم يكون "ربح التيار" لهذه الدارة يساوى الواحد أو أقل . وبعبارة أخرى فان هذا النوع "يضعف أو يوهن "attenuates" "إشارة الدخل .



الشكل (1.19) دارة القاعدة المشتركة

هذا النوع من دارات المكبرات يكون"دارة مكبر جهد غير عاكس "non-inverting voltage amplifier أى أن جهدى إشارة الدخل V_{in} وإشارة الخرج V_{out} تكونان فى نفسالطور in-phase .
هذا النوع غير شائع نتيجة لخصائص الارتفاع الغير عادي فالربح .

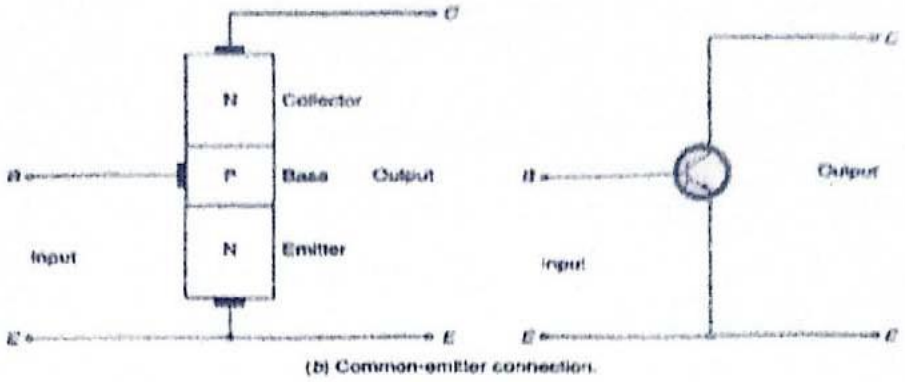
وكذلك هذا النوع له نسبة مرتفعة لمقاومة الخرج بالنسبة لمقاومة الدخل أوبعبارة أكثر أهمية النسبة بين "مقاومة الحمل load" resistance " (R_L) إلى "مقاومةالدخل " input" resistance (R_{in})"تعطى قيمة" ربح المقاومة. ""Resistance Gain"نتيجة لذلك فإن ربح الجهد (A_V) لهذه الدارة يعطى بالعلاقة:

$$A_V = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{I_C R_L}{I_E R_{in}} = \alpha \frac{R_L}{R_{in}}$$

عادة تستخدم هذهالدارة فقط فى دارات المكبر ذات المرحلة الواحدةsingle stage amplifierمثل المكبر الابتدائى للميكروفونmicrophone pre-amplifierأو مكبرات التردد العالى radio frequency (Rf) amplifiers لأن لها استجابةresponseجيدة جداً للترددات المرتفعة .

1.5.2 دارة الباعث المشترك The Common Emitter (CE) Configuration

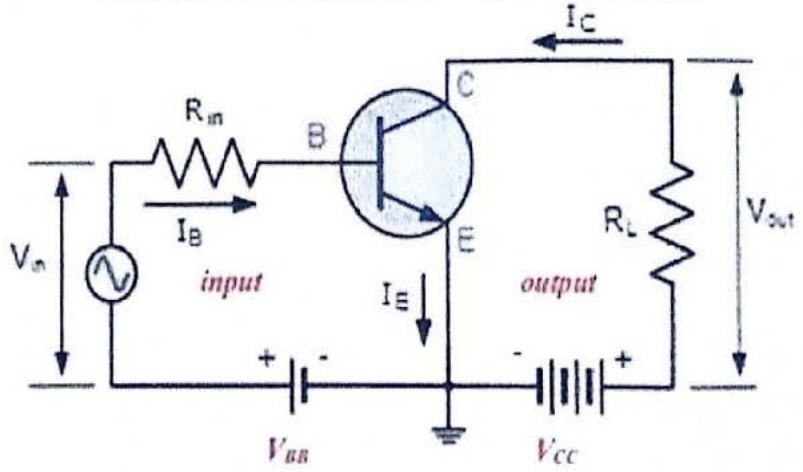
في دارة المشع (الباعث) المشترك يتم تطبيق إشارة الدخل بين القاعدة و الباعث بينما يتم أخذ الخرج بين المجمع والباعث كما هو مبين بالشكل (1.20).



الشكل (1.20) توصيل الترانزستور في دارة الباعث المشتركة

هذه النوع من الدارات هو الأكثر استخداما في المكبرات التي تبنى على أساس الترانزستورات وهي تمثل الطريقة العادية لتوصيل الترانزستور ثنائي القطبية . تنتج دارة مكبر الباعث المشترك أعلى ربح في التيار وفي الجهد من كافة الدارات الأخرى . والسبب الأساسي في ذلك هو أن" ممانعة الدخل تكون منخفضة" بسبب الإنحياز الأمامي للوصلة PN. بينما تكون "ممانعة الخرج مرتفعة" بسبب الإنحياز العكسي للوصلة PN .

The Common Emitter Amplifier Circuit



الشكل (1.21) دارة الباعث المشتركة

في هذه الدارة التيار الخارج من الترانزستور يجب أن تساوي التيارات الداخلة للترانزستور، أي أن: $I_E = I_C + I_B$، ونظرا لأن مقاومة الحمل (R_L) متصلة على التوالي مع المجمع , يكون "ربح التيار" لهذه الدارة كبير جداً(

$$\beta = \frac{I_c}{I_b}$$

ونظرا لان العلاقة بين التيارات الثلاثة I_e ، I_b ، I_c تتحدد بالتركيب الفيزيائي للترانزستور نفسه ، فان اي تغيير صغير في تيار القاعدة I_b سوف يؤدي الى تغيير كبير نسبيا في تيار المجمع I_c بشرط ان تظل "التغيرات صغيرة في التيار المار بالقاعدة" سوف تتحكم في تيار دارة" المجمع المشع "

عادة تكون قيمة بيتا // من 20 و 200 لمعظم الترانزستورات المستخدم

بالجمع بين صيغة كل من α و β والحصول على العلاقة الرياضية بينهما نجد ان التيار المار خلال الترانزستور كما يلي

$$I_e = I_b + I_c$$

$$\alpha = \frac{I_c}{I_e}$$

$$\beta = \frac{I_c}{I_b}$$

نستنتج ان:

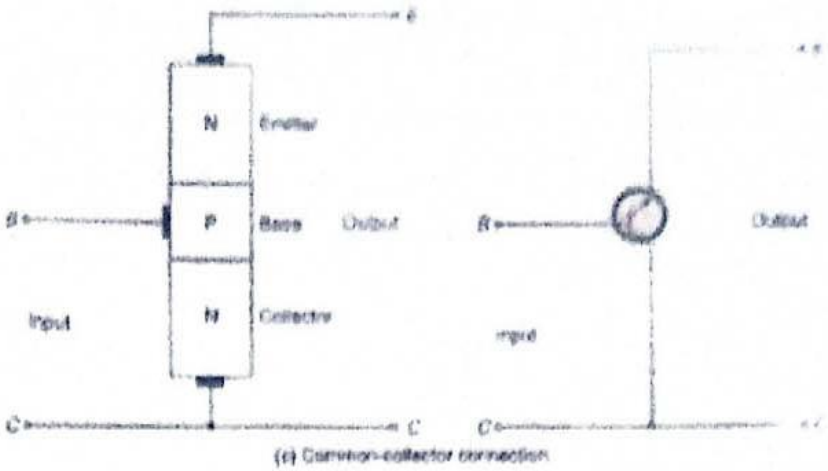
$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

$$\beta = \frac{\alpha}{\alpha - 1}$$

يمكن تلخيص دارة الباعث المشترك في : أن لها مقاومةدخل كبيرة ، وأن ربح التيار و ربح الجهد أكبر من من دارة القاعدة المشتركة ، ولكنربح الجهد لها أقل بكثير . دارة المشع المشترك هي دارة مكبر عاكس أي أن اشارةالخرج تكون مزاحة في الطور بمقدار 180 درجةout-of-phase 180° عن إشارة جهدالدخل.

1.5.3 دارة المجمع المشترك The Common Collector (CC) Configuration

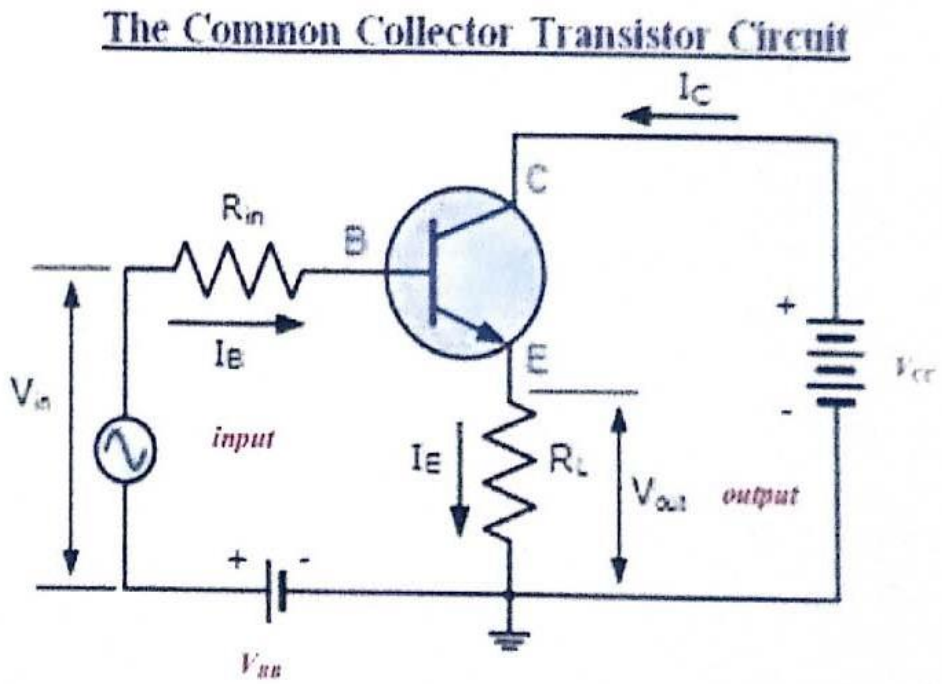
في هذه الدارة يكون المجمع مشترك أو متصل بالأرضي من خلال منبع الجهد . يتم توصيل إشارة الدخل مباشرة الى القاعدة بينما يتم أخذ الخرج من حملالباعث كما هو موضح بالشكل التالي .



الشكل (1.22)توصيل الترانزستور في دارة المجمع المشتركة

هذا النوع من الدارات شائع الاستخدام باسمدارة تابع الجهد Voltage Followerأو دارة تابعالباعث Emitter Follower .

دارة تابع الباعث مفيدة جداً في تطبيقات عمل موائمة للممانعةimpedance matching بسبب أن لها "ممانعة الدخل المرتفعة جدا" ، في مدى مئات الآلاف منالأوم ، بينما لها "ممانعة خرج منخفضة نسبيا . "



الشكل (1.23) دارة المجمع المشتركة

دارة الباعث المشترك لها ربح تيار تقريباً يساوى قيمة بيتاβللترانزستور نفسه .

فى دارة المجمع المشترك تكون مقاومةالحمل على التوالى مع الباعث و من ثم يكون تيار الحمل يساوى تيار الباعث. ونظراً لأنتيار الباعث هو جمع لتيار المجمع و تيار القاعدة ويعطى ربح التيار A_i لهذه الدارةبالعلاقة:

$$I_E = I_B + I_C$$

$$A_i = \frac{I_L}{I_B} = \frac{I_B + I_C}{I_B}$$

$$A_i = \frac{I_C}{I_B} + 1$$

$$A_i = \beta + 1$$

هذه الدارة غير عاكسة أى أن جهود إشارة الدخل V_{in} والخرج V_{out} تكون فى نفس الطور in-phase . هذه الدارة لها "ربح جهد" دائما أقل من الوحدة . مقاومة الحمل تستقبل كل من تيار القاعدة وتيار المجمع لتعطى ربح تيار كبير (كما فى دارة الباعث المشترك) ومن ثم فهيتوفر تكبير جيد للتيار مع ربح جهد ضعيف .

ترانزستور تأثير المجال Field Effect Transistor

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

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

ترانزستور تأثير المجال FET

ترانزستور تأثير المجال (Field Effect Transistors, FET) يتكون من ثلاث طبقات من النوع الموجب والسالب وله ثلاثة أطراف، منبع أو مصدر (source) ويرمز له بالحرف (S) ومنصرف (drain) ويرمز له بالحرف (D) وبوابة (gate) ويرمز له بالحرف (G)،

يتميز ترانزستور تأثير المجال أنه يمكن التحكم بقيمة التيار الكهربائي المار خلاله عن طريق المجال الكهربائي الناشئ من فرق الجهد بين البوابة والمصدر ويكون التيار الداخل لهذه الترانزستورات يساوي صفرًا. ونظرًا لأنه يعمل بتأثير المجال الكهربائي فإن القدرة المفقودة في دائرة البوابة ضئيلة جدًا.

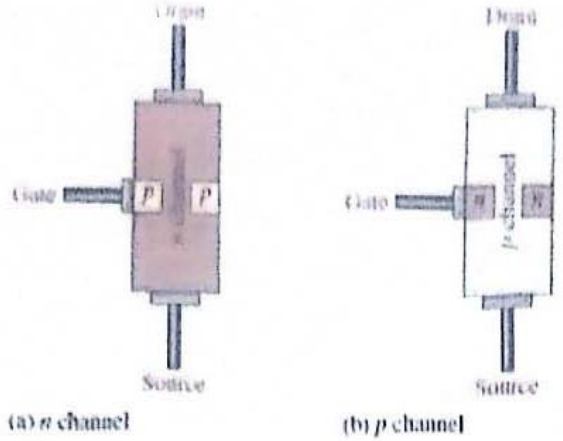
ومما يجب ذكره أن مرور التيار في هذا النوع من الترانزستورات سببه حركة نوع واحد من حاملات التيار (current carriers) وهي إما الإلكترونات أو الفجوات، لذا فإن هذه الترانزستورات هي عناصر أحادية القطبية (unipolar devices)، على عكس الترانزستورات ثنائية القطبية (bipolar devices) والتي تشترك فيها الإلكترونات والفجوات لتشكيل التيار المار فيها.

ترانزستورات تأثير المجال تمتاز بثبات خصائصها عند تغير درجة حرارتها وكذلك صغر حجمها، مما جعلها أكثر ملائمة من الترانزستورات ثنائية القطبية لبناء الدارات المتكاملة (integrated circuits).

وتقسم ترانزستورات تأثير المجال الى نوعين أساسين هلقطبيةما:

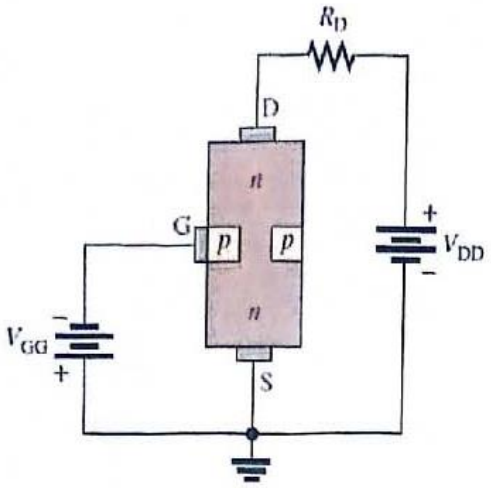
- ترانزستور تأثير المجال الوصلية (junction field effect transistors)، أو إختصارًا (JFET).
- ترانزستور تأثير المجال ذو البوابة المعزولة (MOSFET). وهذه بدوره ينقسم إلى نوعين هما:
- النوع الاستنزافي (depletion type).
- النوع التعزيزي (enhancement type).

ومن الجدير بالذكر أن كل من هذه الترانزستورات تأتي على نوعين بقناة موجبة (P-channel) أو بقناة سالبة (N-channel).

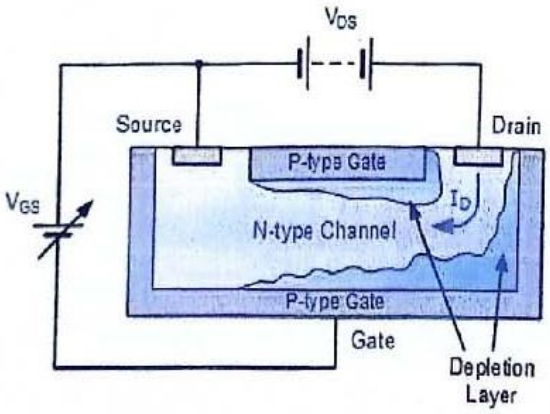


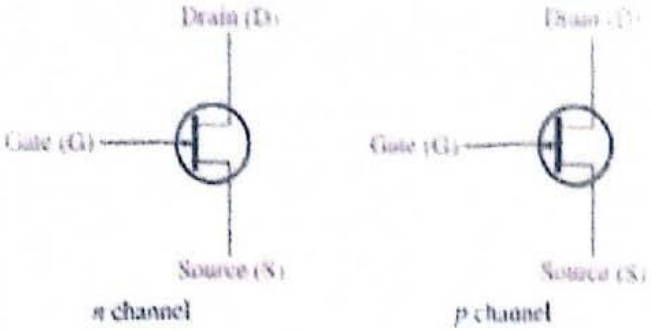
الشكل يوضح نوعي ترانزستور تاثير المجال ذي القناة n والاخر ذي قناة P

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



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

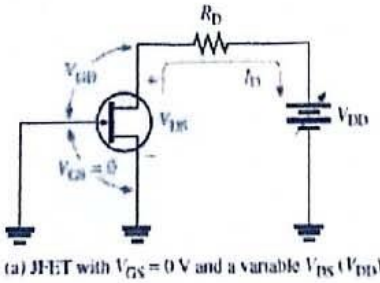




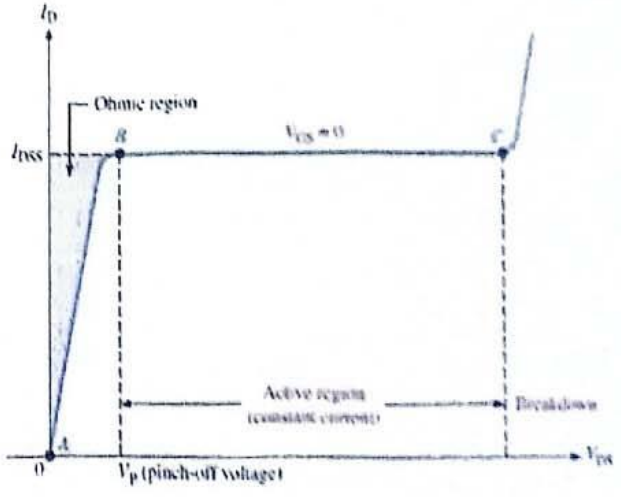
خصائص تيار الاخراج لترانزستور FET

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

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



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



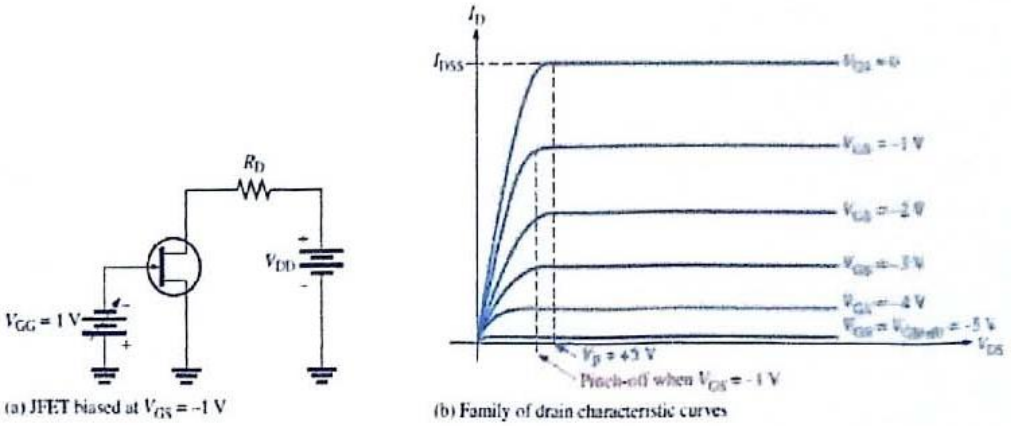
(b) Drain characteristic

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

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

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

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



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

(b) Family of drain characteristic curves

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

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

س/ متى تحدث حالة القطع في ترانزستور تاثير المجال؟

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

ترانزستور تأثير المجال Field- Effect Transistor (FET)

ان احد عيوب الترانزستور الثنائي القطبية الشائعة هو صغر مقاومة الدخول له. وهذا هو السبب الذي ادى الى قلة استعماله في الدوائر الالكترونية ولذلك بدأت المصانع المنتجة للاجهزة الالكترونية بالبدء باستخدام ترانزستورات احادي القطبية (unipolar transistor) بسبب مقاومة الدخول العالية لها ومقاومة الخروج ايضا. ويعمل ترانزستور تأثير المجال على الترانزستور الثنائي القطبية في عدة نواحي منها:

1. سهولة تصنيعه وكذلك صغر المساحة التي يحتلها لذا فانه اكثر استعمالاً وملائمة في الدوائر المتكاملة (IC) وكذلك اطول عمراً واكثر كفاءة من الترانزستور الثنائي القطبية.
2. يمتلك مقاومة ادخال عالية جداً (عادة تكون أكبر من 100MΩ) مقارنة مع مقاومة الادخال الصغيرة للترانزستور الثنائي القطبية وذلك لان دائرة الادخال لهذا الترانزستور (الثنائي القطبية) منحاز امامياً.
3. يكون اقل عرضة للتأثيرات الحرارية.
4. يكون اقل توليداً للضوضاء، ويقصد بالضوضاء هنا الاشارات الغير مرغوب فيها (الناتجة من التغيرات الكهربائية التي تسببها حركة الالكترونات داخل تركيب شبه الموصل) والتي تظهر مع موجة الاخراج.
5. يمكن استعماله عند الترددات العالية وذلك لان حركة الحاملات في القناة لاتتم عن طريق الانتشار بل في مجال معجل بحيث ان تردد القطع لايتحدد عملياً بزمن مرور الحاملات في القناة بل بسعة الملتقى P-N لذا فأن ترانزستور تأثير المجال يفضل على ترانزستور ثنائي القطبية كثيراً في هذا الخصوص.

ان اساس عمل ترانزستور تأثير المجال هو التحكم في قيمة التيار الخارج بواسطة التاثير الذي يحدثه المجال الكهربائي، الناتج عن تسليط جهد على مسار هذا التيار ومن هنا جاءت التسمية بترانزستور تأثير المجال ويسمى ايضاً بالترانزستور الاحادي القطبية وذلك لان التيار الناتج يعتمد على حركة نوع واحد من حاملات الشحنة اما الالكترونات او الفجوات وذلك حسب نوع القناة (channel) المستعملة في الترانزستور.

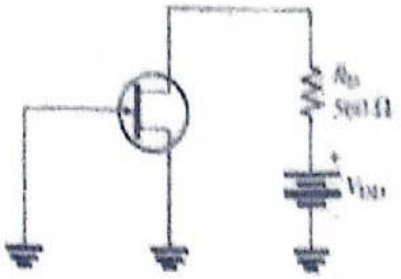
وهناك نوعين رئيسيين من ترانزستور تأثير المجال هما:

1. **ترانزستور تأثير المجال الوصلي** (JFET) (junction field- effect transistor).
2. **ترانزستور تأثير المجال ذو القاعدة المعزولة** (IGFET) (insulated- gate field- effect transistor) ويسمى ايضاً **بالترانزستور تأثير المجال ذو الاوكسيد المعدني** (metal- oxide semiconductor field- effect transistor) (MOSFET). ويعمل كلا النوعين على نفس الاساس وهو التحكم بالتيار بواسطة مجال كهربائي الا ان لهما بعض الخواص المختلفة.

- **ترانزستور تأثير المجال الوصلي (JFET)**

أ- المكونات: يبين الشكل (1) الرسم الاصطلاحي لترانزستور تاثير المجال، وهو عبارة عن لوح من شبه موصل اما سالب (N) او موجب (P) (غالبا ما يكون من السليكون الا في حالات الاستعمال الخاصة- في الترددات العالية- حيث يكون من الكاليوم ارسينايد (GaAs)) ويسمى بالقناة (channel) وتكون نهايتي اللوح مطليتين بمادة موصلة ومتصلة بأسلاك، حيث تسمى النهاية السفلى من القناة بالمنبع او المصدر (source) اما النهاية العليا من القناة فتسمى بالمصرف (drain).

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



الحل/

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

$$V_{DS} = V_p = 4 \text{ V}$$

$$I_D = I_{DSS} = 12 \text{ mA (because } V_{GS} = 0)$$

هبوط الجهد على المقاومة R_D يحسب من

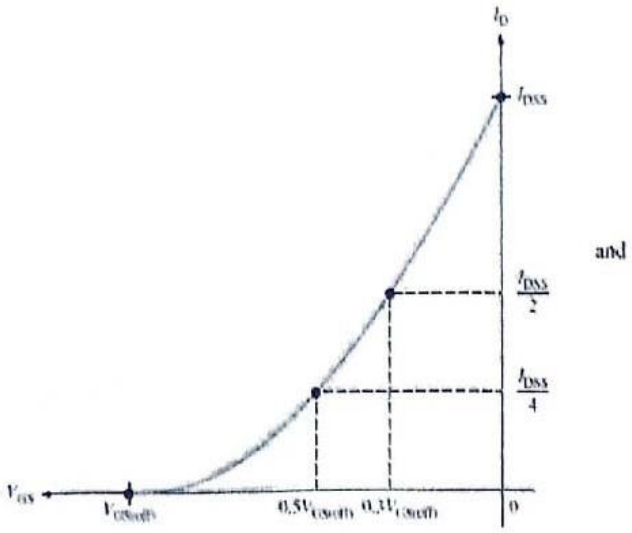
$$V_{RD} = I_D R_D = 12 \text{ mA} \times 560 \ \Omega = 6.72 \text{ V}$$

بتطبيق قانون كيرشوف على دائرة المصرف

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

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

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



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

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

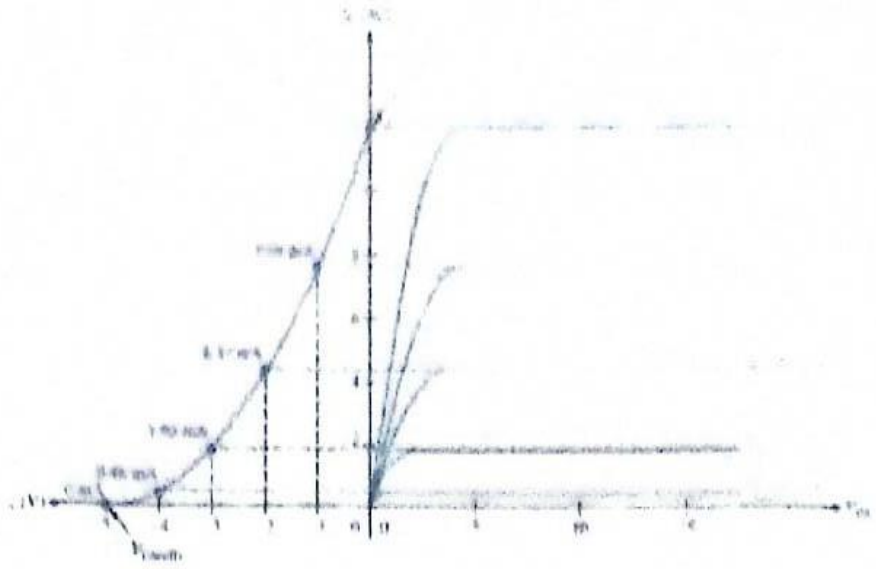
$I_D = \frac{I_{DSS}}{2}$ when $V_{GS} = 0.3V_{GS(off)}$

and

$I_D = I_{DSS}$ when $V_{GS} = 0$

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

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



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

الحل:

For $V_{GS} = 0$ V,

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

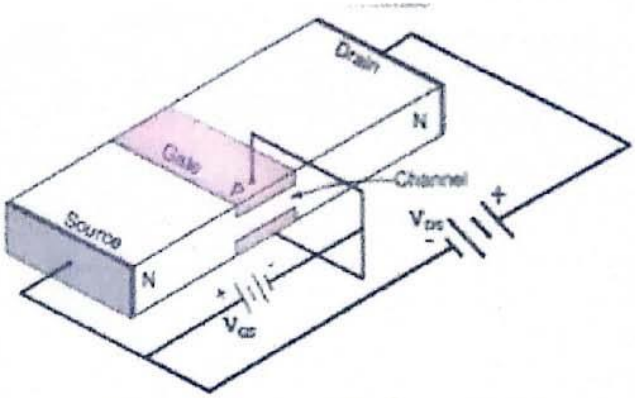
For $V_{GS} = -1$ V, use Equation 8–1.

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

$$= (9 \text{ mA})(1 - 0.125)^2 = (9 \text{ mA})(0.766) = \mathbf{6.89 \text{ mA}}$$

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

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

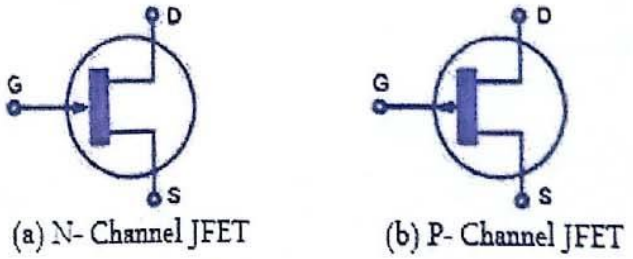


شكل (1) ترانزستور تأثير المجال الوصلي ذي القناة- n مع فولتية الانحياز

كما يلاحظ وجود وصلتين من شبه الموصل (على جهتي القناة) مخالفة لمادة اللوح وتدعى كل من هاتين الوصلتين بالبوابة (gate). وعليه فأن ترانزستور تأثير المجال يحتوي على ثلاثة اطراف وهي:

1. **المنبع او المصدر (S) (source)**: وهو الطرف الذي تدخل من خلاله حاملات التيار الاغلبية (الالكترونات او الفجوات) ويعرف التيار الداخل اليه او الخارج منه بتيار المنبع I_S. ويناظر المنبع (S) في ترانزستور تأثير المجال الباعث (E) في الترانزستور ثنائي القطبية.
2. **المصرف (D) (drain)**: وهو الطرف الذي تخرج منه حاملات التيار الاغلبية مولداً تياراً يعرف بتيار المصرف I_D . وهو يناظر تيار الجامع I_C في الترانزستور الاعتيادي وبذلك فان المصرف (D) في ترانزستور تاثير المجال يناظر الجامع (C) في الترانزستور الثنائي القطبية.
3. **البوابة (G) (gate)**: تكون البوابة من مادة معاكسة لنوع مادة المنبع والمصرف وتركب على وجهتي القناة على شكل حزام توضع حول منتصفه بطريقة السبك او الانتشار. ويناظر طرف البوابة (G) في ترانزستور تأثير المجال طرف القاعدة (B) في الترانزستور الاعتيادي.

واذا كانت مادة اللوح (القناة) تتكون من مادة شبه موصلة سالبة فان الترانزستور يسمى بترانزستور تأثير المجال ذو القناة- N ويرمز له كما في الشكل (2-a) وتكون حاملات الشحنة في هذه الحالة هي الالكترونات. اما اذا كانت مادة اللوح هي مادة شبه موصلة موجبة فان الترانزستور يسمى بالترانزستور تاثير المجال ذو القناة- P ويرمز له كما في الشكل (2-b) وتكون حاملات الشحنة هي الفجوات.

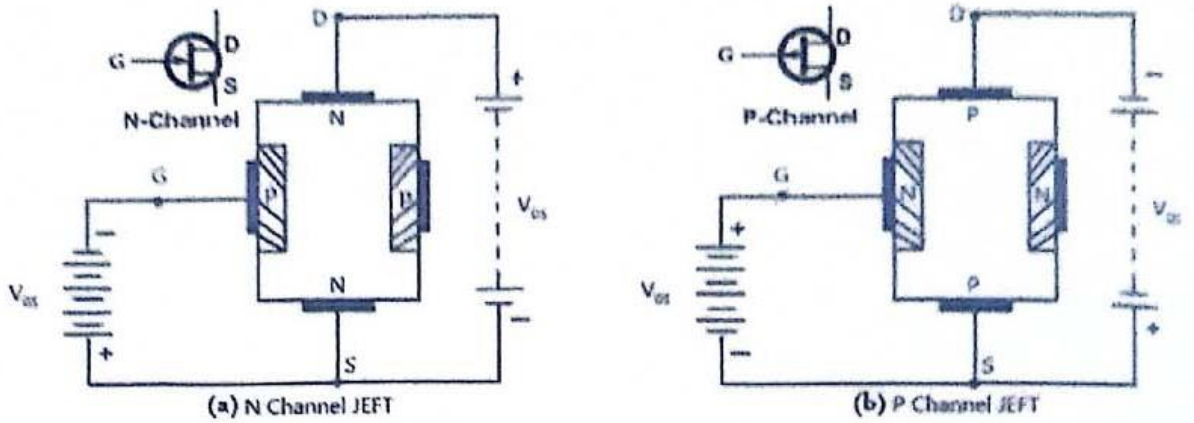


(a) N- Channel JFET (b) P- Channel JFET

شكل (2) الرمز المتداول لترانزستور تأثير المجال

يلاحظ من الشكل ان السهم في كلا النوعين يكون عمودياً على مركز القناة وذلك لامكانية استبدال المنبع مع المصرف في العديد من ترانزستورات تاثير المجال الوصلي بحيث يمكن استعمال اي نهاية كمنبع واستعمال الاخرى كمصرف وهذا ما لا يصح

ب- **ربط ترانزستور تأثير المجال الوصلي:** يكون سريان التيار في الترانزستور تأثير المجال الوصلي خلال القناة خلافاً لما هو عليه في الترانزستور الثنائي القطبية والذي يكون سريان التيار فيه عبر وصلة الـ PN. والشكل (3-a) يبين مبدأ توصيل ترانزستور تأثير المجال الوصلي ذي القناة- n في الدوائر الكهربائية بينما يشير الشكل (3-b) الى كيفية ربط ترانزستور تأثير المجال الوصلي ذي القناة- P.



شكل (3) دائرة الاختبار لترانزستور تأثير المجال

يلاحظ من الشكل (3) ان الجهد بين البوابة والمنبع (V_{GS}) في كلا الحالتين بحيث تكون البوابة منحازة عكسياً وبذلك فان تياراً صغيراً سوف يسري في طرف البوابة بحيث تكون قيمته كتقريب اولي مساوية للصفر.

يتبين لنا ان الفرق الرئيسي بين ترانزستور تأثير المجال الوصلي والترانزستور الثنائي القطبية هو ان البوابة تكون منحازة عكسياً بينما تكون منحازة امامياً (انحياز دائرة الادخال) في الترانزستور الاعتيادي. وبذلك فأن ترانزستور تأثير المجال الوصلي يعمل كجهاز منضبط بالجهد. حيث يسيطر جهد الاخراج (الجهد بين المصدر والمصرف V_{DS}) وحده على تيار الاخراج والذي يختلف عن الترانزستور الثنائي القطبية حيث يعد جهازاً منضبط بالتيار وذلك لان تيار الادخال يتحكم بتيار الاخراج.

كذلك هناك فرق بين الترانزستورين من حيث ممانعة الادخال. ولكون تيار البوابة في ترانزستور تأثير المجال الوصلي صغير جداً هذا يعني ان مقاومة الادخال لهذا الترانزستور تقترب من المالانهاية خلافا لما هو عليه في الترانزستور الثنائي القطبية والذي تكون ممانعة الادخال له قليلة. لذلك يفضل ترانزستور تأثير المجال الوصلي (JFET) في التطبيقات التي نحتاج فيها الى مقاومة ادخال عالية. ان مقاومة الادخال العالية تؤدي الى سيطرة اقل على تيار الاخراج بحيث يكون الـ (JFET) اقل حساسية للتغيرات في جهد الادخال من الترانزستور الثنائي القطبية.

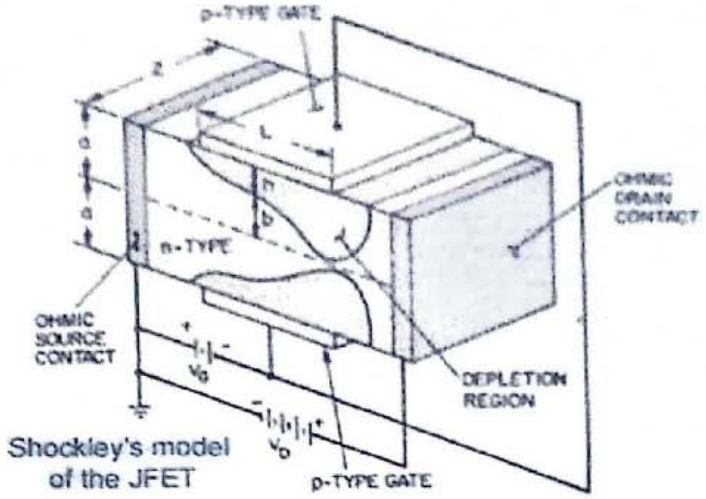
كذلك يلاحظ من الشكل (3) ان الجهد بين المصرف والمنبع V_{DS} قد اختير بحيث ان حركة حاملات الشحنة (الالكترونات او الفجوات) تكون باتجاه المصرف (منحازة امامياً).

- **مبدأ عمل ترانزستور تأثير المجال الوصلي**

لفهم عمل ترانزستور تأثير المجال الوصلي سنأخذ ترانزستور بقناة من نوع n ونفترض ان المنبع والبوابتين عند الجهد الصفري، ثم ندرس تسليط جهد موجب صغير على المصرف كما في الشكل (4). ان وجود مثل هذا الجهد الموجب بين المصرف والمنبع

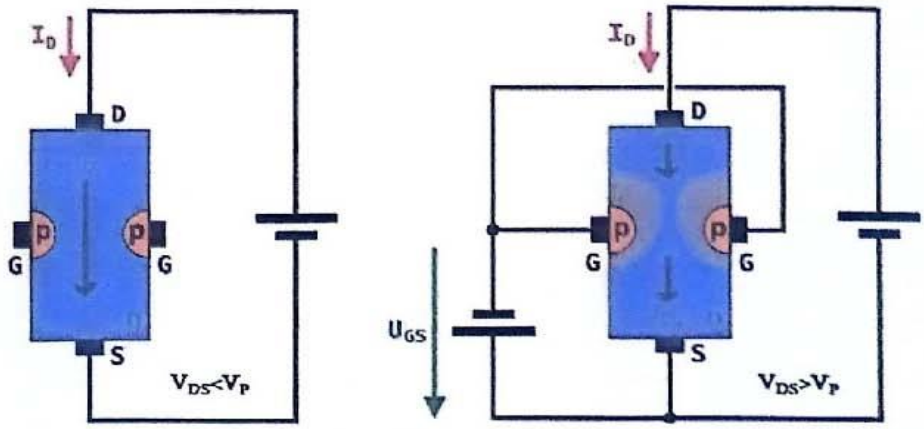
ترانزستور تأثير المجال (J

حتى الى سريان الالكترونات من المنبع الى المصرف (اي يسري التيار من المصرف الى المنبع) وان قيمة هذا التيار تعتمد البداية على الاقل على قيمة هذا الجهد المسلط وكذلك على قيمة مقاومة القناة (مقاومة القناة هي دالة لمنسوب التطعيم في المادة وكذلك لعرضها وطولها وسمكها). ومن جهة اخرى فأن تسليط جهد موجب على المصرف سيؤدي الى احداث جهد انحياز سالب على وصلة الـ PN التي يكونها كل من المصرف او المنبع (اي جسم القناة) مع البوابة، وبذلك فأن تياراً صغيراً يسري في دائرة البوابة.



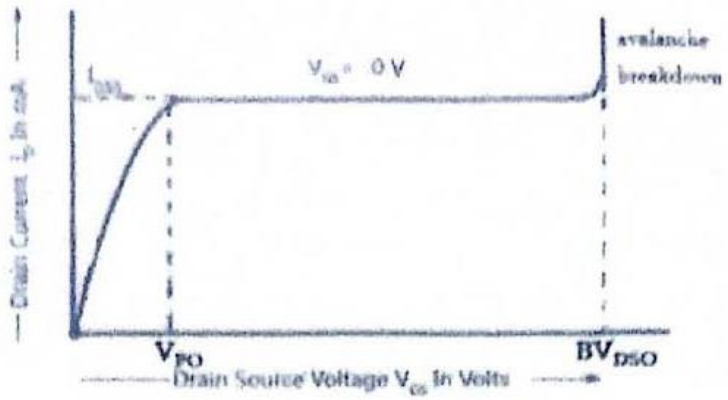
شكل (4) تأثير الجهد الموجب للمصرف على عمل ترانزستور تأثير المجال

يتضح لنا ان زيادة جهد المصرف V_{DS} سوف يؤدي الى الى زيادة جهد القناة العكسي وبالتالي زيادة مساحة منطقة الاستنزاف (الموجودة عادة في وصلة الـ PN) حول البوابة نتيجة لاندفاع الالكترونات نحو الطرف الموجب من مصدر الجهد واندفاع الفجوات نحو الطرف السالب منه مؤدياً بذلك الى احداث منطقة خالية من الشحنات الحرة حول البوابة وكلما زاد الجهد المعاكس كلما زاد اتساع منطقة الاستنزاف انظر الشكل (5).



شكل (5) تأثير زيادة V_{DS} على عرض القناة

ان زيادة عرض منطقة الاستنزاف نتيجة زيادة الجهد V_{DS} سيؤدي الى تقليل عرض القناة التي يمر خلالها التيار من المنبع الى المصرف وبذلك تكبر المقاومة التي يجب على التيار ان يواجهها عند مروره فيها وبالتالي من المتوقع ان يقل التيار I_D. ومن جهة اخرى فأنه عند زيادة V_{DS} يجب ان تزداد قيمة I_D - ونتيجة لهذا التأثير المضاد لاحدهما الاخر- فأنه عند زيادة V_{DS} فأن التيار I_D يبقى ثابتاً تقريباً. كما في الشكل (6)

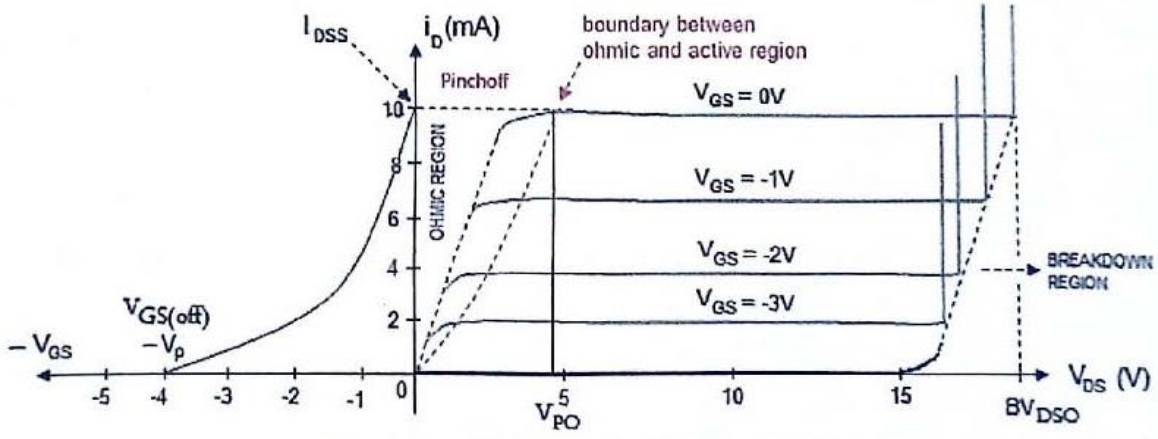


شكل (6) منحنى الخواص لترانزستور تأثير المجال الوصلي

من الشكل (6) يلاحظ ان التيار I_D يثبت بعدما يصل الجهد V_{DS} الى قيمة معينة يعرف بجهد الضيق او القرص (pinch-off voltage) ويرمز لها عادة بـ V_P ويعرف بأنه جهد المصرف الذي يكون تيار المصرف بعده ثابتاً تقريباً وعندما يساوي جهد المصرف V_{DS} جهد الضيق او القرص V_P تصبح القناة ضيقة وتوشك طبقتا الاستنزاف على التلامس. ومن الجدير بالذكر انه لا يمكن لعملية تضييق القناة ان تصل الى حد اغلاق القناة لان فرق الجهد الذي ادى الى حدوث هذه الظاهرة سينعدم، كما يلاحظ في الشكل (6). ان عرض طبقة الاستنزاف ليس متجانساً حيث انها تكون عريضة من جهة المصرف وضيقة نوعاً ما من جهة المنبع والسبب في ذلك ان جهد المصرف هو موجب بينما يكون المنبع عند الجهد الصفري وبالتالي فأن ثنائي المصرف- البوابة يكون منحازاً عكسياً بصورة أكبر مما هو عليه من ثنائي المنبع- البوابة. ولكل ترانزستور تأثير مجال (FET) جهد ضيق V_P خاص به كما هو الحال مع β بالنسبة للترانزستور الاعتيادي.

- **منحنيات الخواص للترانزستور المجال الوصلي**

وتدعى ايضاً بمنحنيات الاخراج لانها تمثل العلاقة بين التيار الخارج I_D مع جهد الاخراج V_{DS} عند قيم مختلفة ولكنها ثابتة لجهد الادخال (البوابة) V_{GS} كما في الشكل (7) ويمكن من خلاله ملاحظة النقاط التالية:



شكل (7) منحنيات الخواص لترانزستور تأثير المجال الوصلي (JFET)

اولاً- وجود ثلاث مناطق متميزة وهي:

أ- **المنطقة الاومية (ohmic region):** وتسمى ايضاً بالمنطقة الخطية وذلك لان مقاومة الترانزستور (القناة) تكون ثابتة في هذه المنطقة ومن ثم فأن تيار التوصيل I_D يزداد بزيادة الجهد V_{DS} عند ثبوت جهد البوابة V_{GS}. في هذه المنطقة

أ- مقاومة المصرف الحركية (dynamic drain resistance)

ويرمز لها بالرمز (r_d) وتعرف بانها النسبة بين التغير في جهد المصرف- المنبع الى التغير في تيار المصرف عند ثبوت جهد البوابة- المنبع وتعطى كما يلي:

$$r_d = \left(\frac{\partial V_{DS}}{\partial I_D}\right)_{V_{GS}} \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

وتتراوح قيمة r_d ما بين $1K\Omega$ في المنطقة الاومية وترتفع الى حد $1M\Omega$ في منطقة الضيق حيث يتساوى التيار في هذه المنطقة ويكون تغيره عند ثبوت V_{GS}، صغيراً مقابل التغير في V_{DS}. ولا تتضمن استمارة المواصفات قيمة r_d وانما تعطى عوضاً عن ذلك مقلوبها: اما g_o (توصيلية الاخراج) او y_o (مسامحة الاخراج) وتكون العلاقة بين r_d وهاتين القيمتين كما يلي:

$$r_d = \frac{1}{g_o} \quad \ldots\ldots\ldots (7) \qquad r_d = \frac{1}{y_o} \quad \ldots\ldots\ldots (8)$$

ب- التوصيلية التبادلية (mutual conductance)

ويرمز لها بالرمز g_m وتشير الى مقدار التحكم الذي يفرضه جهد البوابة على تيار المصرف وهي مشابهة لنظيراتها في الصمامات المفرغة ويمكن لذلك تعريفها: بأنها النسبة بين التغير في تيار المصرف الى التغير في جهد البوابة- المنبع عند ثبوت جهد المصرف- المنبع وكما يلي:

$$g_m = \left(\frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}}\right)_{V_{DS}} \quad \ldots\ldots\ldots (9)$$

وباستخدام هذا التعريف لـ g_m مع المعادلة (5) بعد التعويض عن قيمة V_{GS} بالسالب نحصل على:

$$g_m = -\frac{2\,I_{DSS}}{V_P}\left\{1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (10)$$

او ان:

$$g_m = g_{mo}\left\{1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (11)$$

حيث تمثل g_{mo} قيمة g_m عندما تكون ($V_{GS} = 0$) وتكون مساوية لـ:

$$g_{mo} = \frac{2\,I_{DSS}}{V_P} \quad \ldots\ldots\ldots (12)$$

تشير المعادلة (11) الى وجود علاقة خطية بين g_m وV_{GS} وان g_m تقل بزيادة الجهد العكسي V_{GS} وتصل قيمة g_m الى الصفر عندما تكون $V_{GS} = V_P$

ان معرفة سيؤدي بنا الى معرفة وذلك من خلال المعادلة (12) حيث ان:

$$V_{GS(off)} = \frac{2\,I_{DSS}}{g_{mo}} \quad \ldots\ldots\ldots (13)$$

وان وحدات g_m هي السيمنس (Siemens).

جـ- عامل التكبير (amplification factor)

ويرمز له بالرمز μ ويعرف بأنه النسبة بين التغير في جهد المصرف- المنبع الى التغير في جهد البوابة- المنبع ويعطى على النحو الاتي:

$$\mu = \left(\frac{\partial V_{DS}}{\partial V_{GS}}\right)_{I_D} \quad \ldots\ldots\ldots (14)$$

والعلاقة التي تربط بين الثوابت الثلاثة (μ، g_m، r_d) هي:

$$\mu = r_d\, g_m \quad \ldots\ldots\ldots (15)$$

ثوابت JFET

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

$$V_{GS(off)} = \frac{-2I_{DSS}}{g_{mo}}$$ ← g_{mo} هي: عندما تكون $V_{GS}=0$

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

ايجاد المعادلة السابقة
حيث تعطي قيمة g_m
اي تقطعه على البيانية (ص)

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}}$$

تقاس بالمتر وهو قيمة
(ثابت)

$$V_{GS} = \frac{V_{GS(off)}}{4}$$ فولتية الدخول عند النقطة

(ب) (أ)

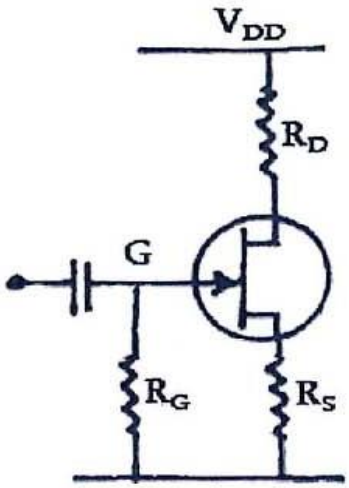
منحنيات الخواص لترانزستور *MOSFET* (أ) التعزيزي – الاستنزافي، (ب) التعزيزي فقط.

- **طرق انحياز ترانزستور FET**

يقصد بالانحياز اختيار نقطة عمل مناسبة لمكبر FET على خط الحمل ويتم ذلك بنفس الطريقة التي تم شرحها بالنسبة لمكبر ترانزستور BJT اخذين بنظر الاعتبار حجم الاشارة الخارجة والتشويه والقدرة المستهلكة والكسب في الجهد وتيار المصرف وسنتناول بعض دوائر التغذية في مكبرات الـ FET بنوعيها الاستنزافي والتعزيزي.

أ- **الانحياز الذاتي:** يتم فيهذه الطريقة تغذية مكبر الـ FET بالجهد المطلوب بطريقة غير مباشرة ودون الاستعانة بمصدر خارجي في دائرة البوابة. ففي الشكل (17) نلاحظ ان $V_{GS} = 0$ بينما تكون V_{DS} في حالة مرور التيار I_D تساوي:

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



شكل (17) الانحياز الذاتي

اما جهد المنبع V_S فتكون مساوية لـ $V_S = I_S R_S$ وعليه فان الفرق في الجهد بين البوابة والمنبع يكون:

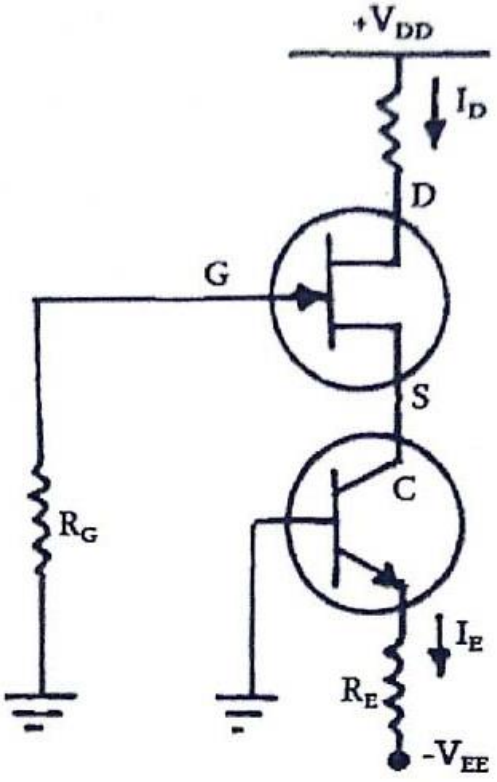
$$V_{GS} = V_G - V_S = 0 - I_S R_S = -I_S R_S$$

وهذا هو جهد الانحياز السالب المطلوب لترانزستور FET بقناة نوع – n. وعليه فأنه تم الحصول على هذا الجهد السالب ذاتياً ولكن عن طريق ادخال المقاومة R_S.

- **الانحياز عن طريق مجهز قدرة ومصدر للتيار:** يستخدم في هذا النوع من الانحياز ترانزستور ثنائي القطبية يقوم مقام مصدر التيار ولكن بعد ربط الباعث لهذا الترانزستور الى مجهز القدرة V_{EE} كما في الشكل (18). يكون التيار I_D في هذه الحالة مساوياً لـ I_E حيث ان:

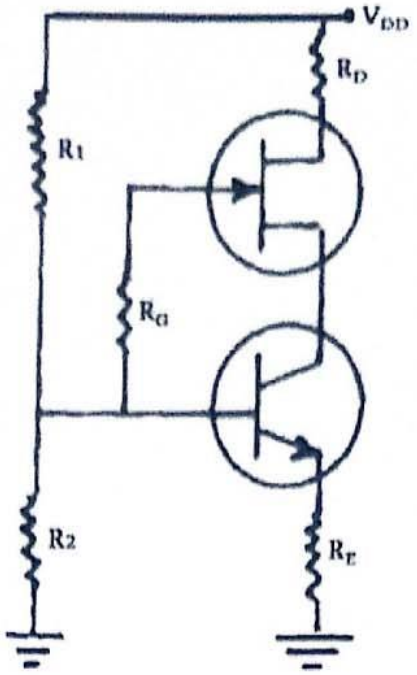
$$I_D = I_C \approx I_E = \frac{V_{EE}}{R_E}$$

في هذا النوع من التغذية يكون V_{GS} سالباً ما دام I_D اصغر من I_{DSS}. وهذا في الواقع متحقق لان قاعدة الترانزستور الثنائي القطبية مربوطة اللا الارض. لذا فأن المتغير الوحيد هنا هو V_{BE}. وبما ان تغير هذا الجهد يكون عادة قليلاً مع تغير درجات الحرارة لذا فأنه يصبح لدينا قيمة ثابتة لـ I_D من خلال ثبوت I_E.



شكل (18) الانحياز مجهز القدرة ومصدر التيار

جـ- **الانحياز بمصدر تيار فقط:** بالامكان الاستغناء عن مجهز القدرة السابق V_{EE} والاقتصار على المجهز V_{DD} لتغذية ترانزستور ثنائي القطبية عن طريق استخدام مجزىء الجهد R_1 و R_2 كما في الشكل (19) مرة ثانية يعمل ثنائي المجمع مثل مصدر تيار مرغماً تيار المصرف على ان يساوي تيار المجمع.



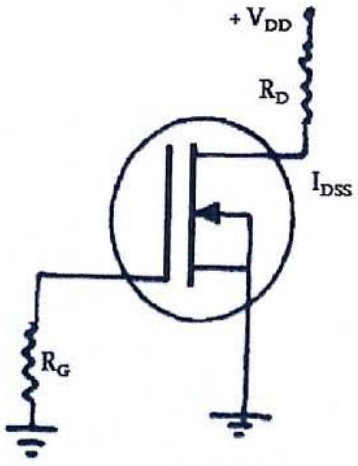
شكل (19) الانحياز بمصدر التيار

ان الطرق المذكورة اعلاه تخص ترانزستور JFET اما للانواع الاخرى من ترانزستور FET فهناك:

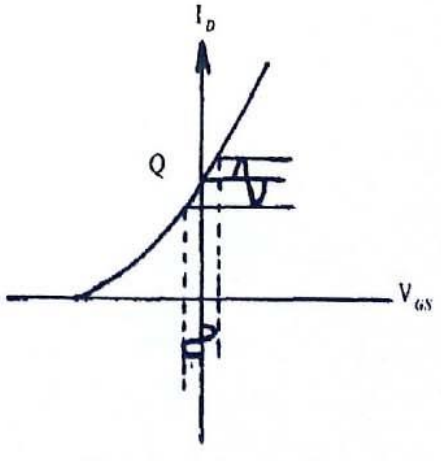
د- **انحياز الصفر:** يستخدم هذا النوع من التغذية شكل (20) مع ترانزستور MOSFET-D ذلك لان هذا الترانزستور وكما هو معلوم يستطيع ان يعمل بالاسلوبين الاستنزافي والتعزيزي وعليه فانه يمكن اختيار نقطة تشغيل لهذا المكبر عند ($V_{GS} = 0$) انظر الشكل (21) عندئذ تستطيع اشارة الادخال المتناوبة عند البوابة ان تنتج تغيرات فوق وتحت النقطة Q في هذه الدائرة. عندما يكون $V_{GS} = 0$ فان $I_D = I_{DSS}$ وبذلك فان:

$$V_{DS} = V_{DD} - I_{DSS} R_D$$

وطالما ان اكبر من يكون الاداء على الجزء المستوي من منحنى المصرف وبذلك يعمل في المنطقة الفعالة. وان انحياز الصفر يقتصر فقط على الترانزستور من نوع D-MOSFET.



شكل (20) الانحياز الصفري



شكل (21) منحنى التوصيلية التبادلية

يستطيع منطقة الاستنزاف احاطة جسم بشكل كامل [illegible] على معاوضة بشكل فاعل مما يشير الى تأثير [illegible] يكون اقل فاعلية من V_{GS}.

ب. **منطقة الضيق او القرص (pinch- off region)** وتسمى ايضاً بالمنطقة الفعالة (active region) ويكون التيار I_D في هذه المنطقة غير حساس بالنسبة للتغير في V_{DS} ويلاحظ في هذه المنطقة وجود حالتين مميزتين هما:

1. حالة قصر البوابة: في هذه الحالة تكون $(V_{GS} = 0)$ وبهذا فان I_D تكون مقاسة تحت شروط قصر البوابة ولتقل قيمه التيار المصرف ويرمز له بـ I_{DSS}.
2. حالة القطع: وهي الحالة التي يكون فيها I_D مساوياً للصفر اي عند تلامس طبقتا الاستنزاف بفعل تسليط الجهد العاكس V_{GS} ان قيمة V_{GS} التي تولد حالة القطع يرمز لها بالرمز $V_{GS(off)}$ وان قيمة $V_{GS(off)}$ تساوي دائما نفس قيمة جهد الضيق اي ان:

$$|V_{GS(off)}| = |V_P| \ldots\ldots (1)$$

ج. **منطقة الانهيار التضاعفي (avalanche breakdown region):** ويلاحظ في هذه المنطقة ان التيار I_{DS} يزداد بشكل كبير الى زيادة طفيفة في V_{DS} ، شأنه شأن تيار الانهيار في الترانزستور الاعتيادي، ويسمى الجهد الذي يحدث عنده الانهيار (حدوث الكسار في منحنيات الخواص) بجهد الانهيار التضاعفي ويرمز له بالرمز BV_{DS} ويلاحظ ان قيمة هذا الجهد تقل (الى يظهر عند قيم اقل لـ V_{DS}) عند ازدياد V_{GS}، ولكن في الاتجاه السالب كما في العلاقة:

$$BV_{DS} = BV_{DSO} + V_{GS} \ldots\ldots\ldots (2) \quad \text{(حيث ان قيم } V_{GS} \text{ سالبة)}$$

حيث BV_{DSO} ان جهد الانهيار في حالة قصر البوابة

ثانياً- يلاحظ على هذه المنحنيات ان قيمة V_P تقل هي الاخرى مع الزيادة السالبة لـ V_{GS} مما يشير ايضا الى وجود علاقة بينها وتكون من نفس العلاقة (2) اي ان:

$$V_P = V_{PO} + V_{GS} \ldots\ldots (3)$$

حيث تمثل V_{PO} جهد الضيق في حالة قصر البوابة.

ثالثاً- تظهر المنحنيات قريبة من بعضها الاخر عندما تقترب V_{GS} من $-V_P$ ولكنها تتباعد عندما تقترب V_{GS} من الصفر مما يشير الى ان I_D دالة غير خطية لـ V_{GS} عند ثبوت V_{DS}. وفي معظم ترانزستورات تأثير المجال يكون تغير I_D مع V_{GS} قطع مكافئ كما في الشكل (7) بحيث ان:

$$I_D \propto (V_P + V_{GS})^2 \ldots\ldots (4)$$

$$I_D = I_{DSS}(1 + \frac{V_{GS}}{V_P})^2 \ldots\ldots (5)$$

حيث ان المعادلة اعلاه تشير الى ان $(I_D = 0)$ عندما تكون $(-V_P = V_{GS})$ وان I_D يكون مساوياً لـ I_{DSS} عندما يكون $(V_{GS} = 0)$ وان المعادلة (5) تسمى بمعادلة تيار المصرف.

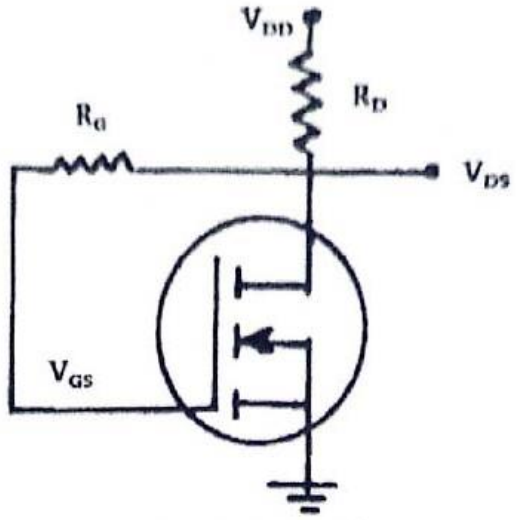
- **ثوابت ترانزستور تأثير المجال (parameters of FET)**

كما هو الحال في الصمامات المفرغة والترانزستورات الاعتيادية فأن ترانزستور FET يمتلك ثوابت معينة تعمل على تحديد طبيعة عمله في الدوائر ومن هذه الثوابت:

- **انحياز التغذية الخلفية:** يتم استخدام هذا النوع (كما هو الحال في ترانزستورات ثنائي القطبية) التغذية في دوائر ترانزستور من نوع E-MOSFET كما في الشكل (22). يلاحظ في هذا الشكل انه تم ربط البوابة بنقطة المصرف وحيث ان تيار البوابة يكون مهملاً لذا فأن:

$$V_{GS} = V_{DS}$$

وحيث ان عمل الترانزستور كمكبر يجب ان يكون في المنطقة الفعالة (فوق منطقة الصبق) لذا فأن V_{DS} وبالتالي V_{GS} يجب ان تحفظ عند قيمة نموذجية فوق (10V). ومن الجدير بالذكر ان طريقة التغذية الخلفية ليست الوحيدة في مكبر ترانزستور E-MOSFET ويمكن استخدام اي من الطرق المستعملة لتحيز ترانزستور ثنائي القطبية.



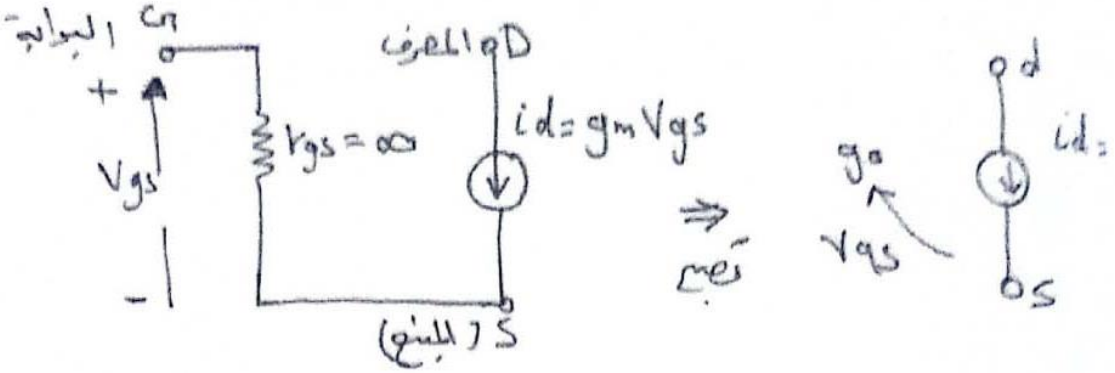
شكل(22) انحياز التغذية الخلفية

رنة بين ترانزستور ثنائي القطبية BJT وترانزستور تاثير المجال FET.

ترانزستور تاثير الحقل (FET)	ترانزستور ثنائي القطبية (BJT)
ربح جهد منخفض	ربح جهد عالي
ربح تيار مرتفع	ربح تيار منخفض
ممانعة دخل عالية جداً	ممانعة دخل منخفضة
ممانعة خرج عالية	ممانعة خرج منخفضة
ضجيج منخفض	ضجيج متوسط
زمن تبديل سريع	زمن تبديل متوسط
سهلة العطب عند تعرضها لشحنة كهربائية ساكنة	متينة ولا تتأثر بالشحنة الكهربائية الساكنة
بعضها يتطلب جهد دخل لتحويلها لحالة الفصل	تتطلب دخلاً صفرياً (0V) لتحويلها لحالة الفصل
عنصر مقاد بواسطة الجهد ويملك خواص المقاومة	عنصر مقاد بواسطة التيار
أغلى ثمناً من الـ BJT	رخيصة الثمن
عملية انحيازه صعبة	عملية انحيازه سهلة

مكبر المنبع المشترك : (Cs)

Commen -source Amp.



المكافئة المتناوبة المثالية .
ربية) لترانزستور JFET

MOSFET

يستعمل عادة مكبر FET لتكبير الفولتية

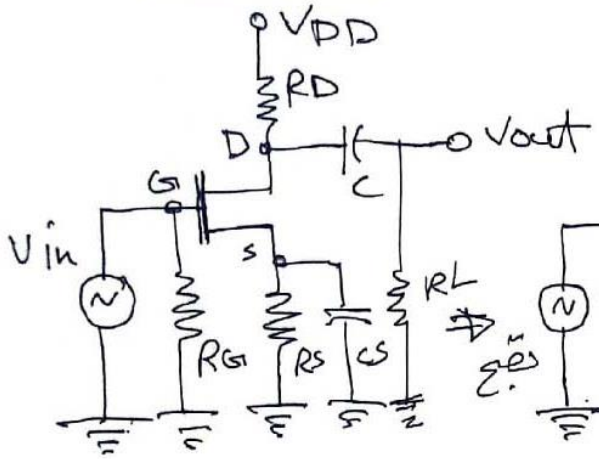
ر دائرة المكبر المتبع المشترك (CS)

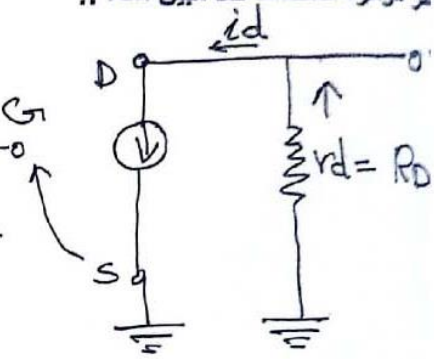
ثر دوائره استخداما كما مبين ادناه :.

تظهر فولتية الادخال المتناوبة عبر مقاومة ادخال متناوبة قيمتها $r_{gs} = \infty$

ويعمل المصدر مثل مصدر للتيار قيمته

$$id = gm\ Vgs$$





تظهر فولتية للهدر جميعها على

$Vin = Vgs$

$Vout = vd = -id\ .rd$

$Vout = -gm.\ Vgs.\ r$

$Vout = -gm.\ Vin.\ r$

{ مكبر المنبع المشترك (Cs) }

Vg _ الفولتية المتناوبة بين البوابة و المنبع

gm – الموصلة التبادلية

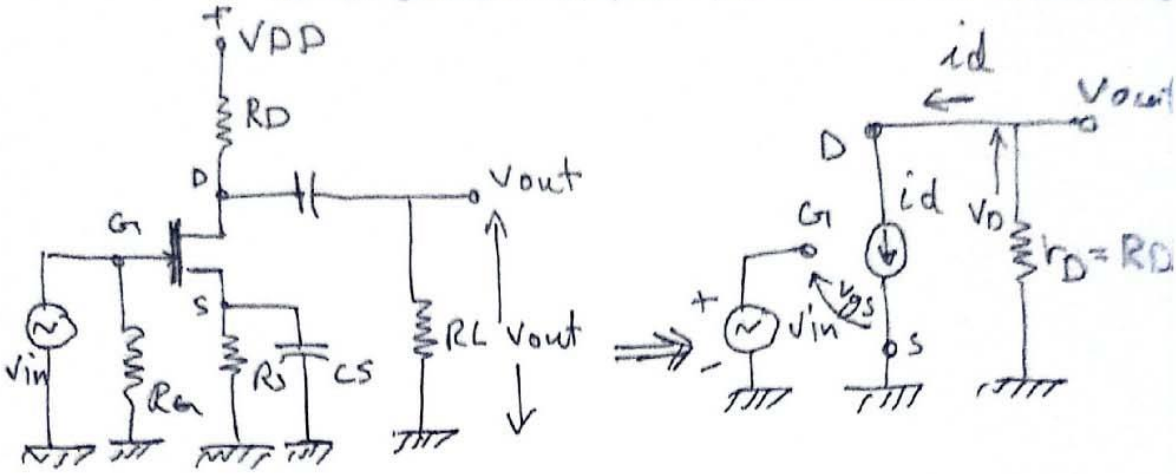
كسب الفولتية $Av = \frac{Vout}{Vin} = gm.\ rd$

الإشارة السالبة لفولتية الإخراج تعني وجود فرق في الطور مقداره (180)
بين اشارتي الإخراج والادخال (مكبر Cs يقلب الإشارة دائماً)

ب الفولتية في مكبر (Cs) :

حصول على الدائرة المكافئة المتناوبة نتبع مايلي :-

- اختزل كافة مصادر القدرة المستمرة الى الصفر
- اقصر كافة مشعات الأقران والأضرار
- استبدل الترانزستور بدائرته المكافئة المثالية (التقريبية) ثم بسط الدائرة بتطبيق نظرية ثفنن .



(الدائرة المكافئة المتناوبة)

دائرة ومكبر المتبع المشترك

(Sc)

خلال النصف الموجب لموجة فولتية الادخال يجري تيار المصدف (id) الى الاعلى خلال المقاومة rd وهذا ينتج نصف ذبذبة سالب في الاخراج بعبارة اخرى يقوم مكبر المنبع المشترك (Cs) بقلب الاشارة دائماً .

Vout = Va _ id.rD, id =gm.Vgs , Vin=Vgs

Vout= -gm . Vgs . rD = gm . vin. rD

الاشارة المثالية تعني وجود فرق في الطور مقارن (180) بين اشارتي الادخال و الاخراج

كسب الفولتية

$$Av = \frac{Vout}{Vin} = -gm \cdot rD$$

تأثير rds على كسب الفولتية :-

rds – مقاومة المصرف المتناوبة (الداخلية)

Av= gm (rD//rds)

كسب الفولتية المثالي :.

$$Av = \frac{gm \cdot rD}{1+gm\ rs}$$

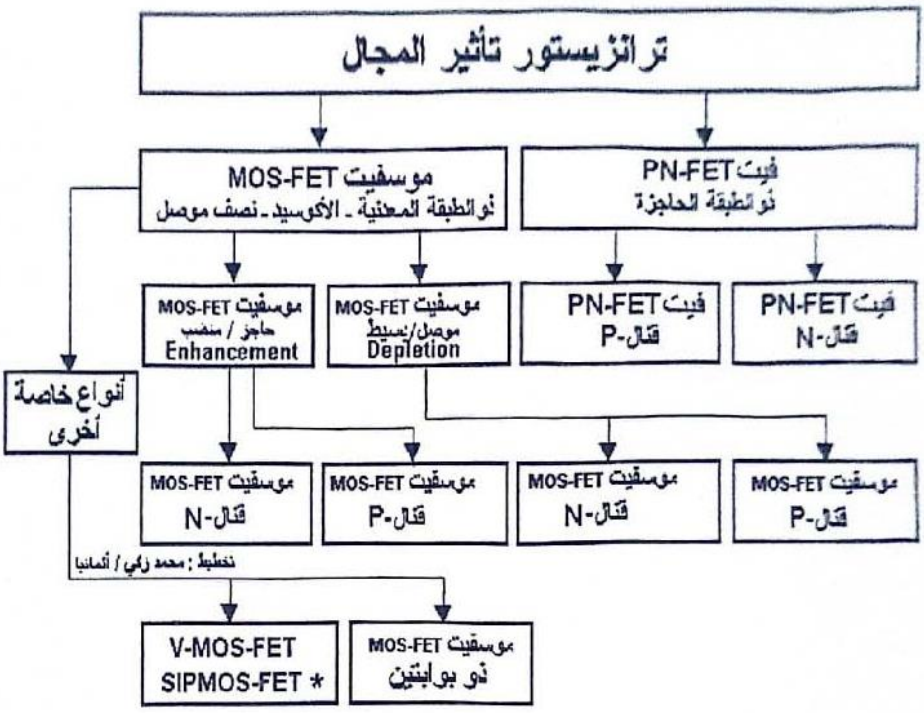
الترانزستورات أحادية القطبية
MOSFET- FET

ترانزستور تأثير المجال FET(Field-Effect):

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

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

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



البنية الداخلية وطريقة العمل:

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

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

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

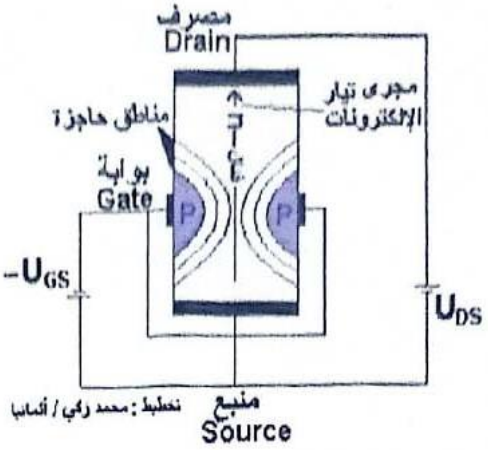
وعلى جوانب القضيب تم مزج "منطقتان" من مادة P موصلتين ومرتبطتين ببعضهم البعض، وتشكلا البوابة (Gate) ومن هنا تأتي تسمية "الترانزيستور PN-FET ..

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

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

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

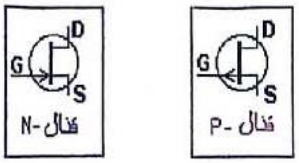
ترانزيستور فيت
أحادي القطبية
نوعية قنال-N

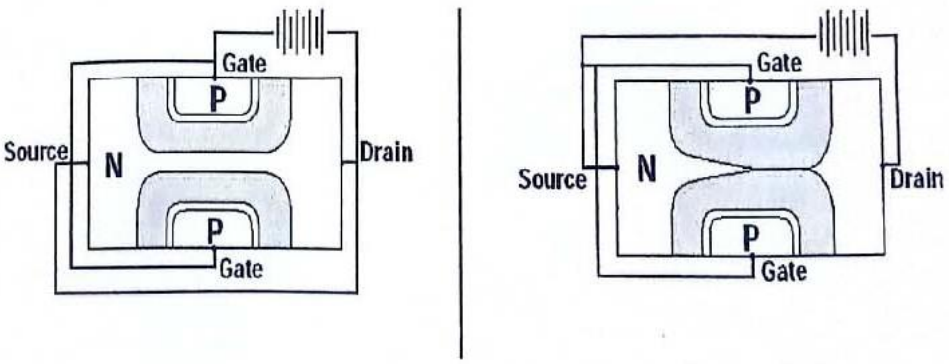


تخطيط: محمد زكي / أساسيا

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

المقارنة مع الترانزيستور ثنائي القطبية المعتاد فلترانزستور الأحادي القطبية ميزات إيجابية كثيرة :
- اقتصادي أكثر..
- يعمل بجهد تشغيل منخفض ..
- أحجام صغيرة وتركيبه يتوافق مع ترانزيستور ثنائي القطبية ..
- يكفي توجيهه بالجهد باختلاف ثنائي القطبية الذي يوجه بقدرة..
- مقاومة المدخل عالية ما بين (9^10)لـ FET ذي.
- ليس هناك أهمية لقطبية التوجيه..
- صفاء ونقاء عالي في تقنية الموجات لا يصلها ثنائي القطبية المألوف ..





currents of the circuit.

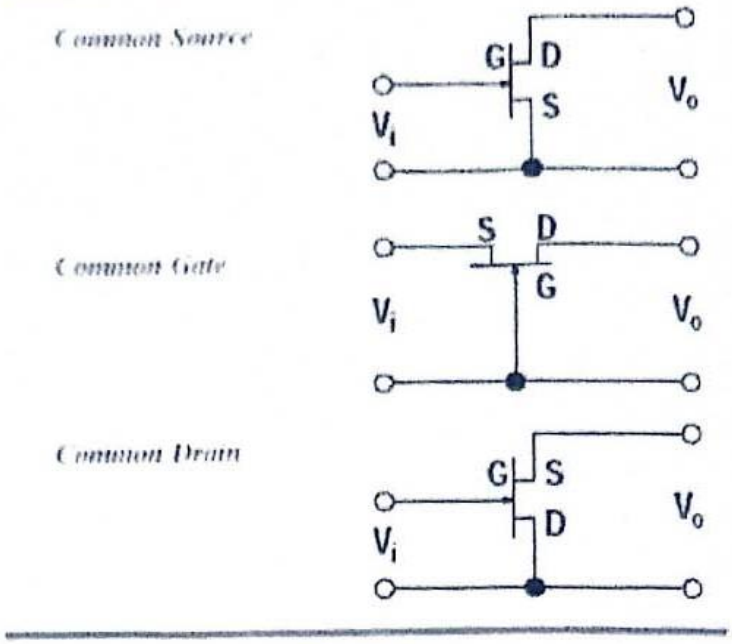
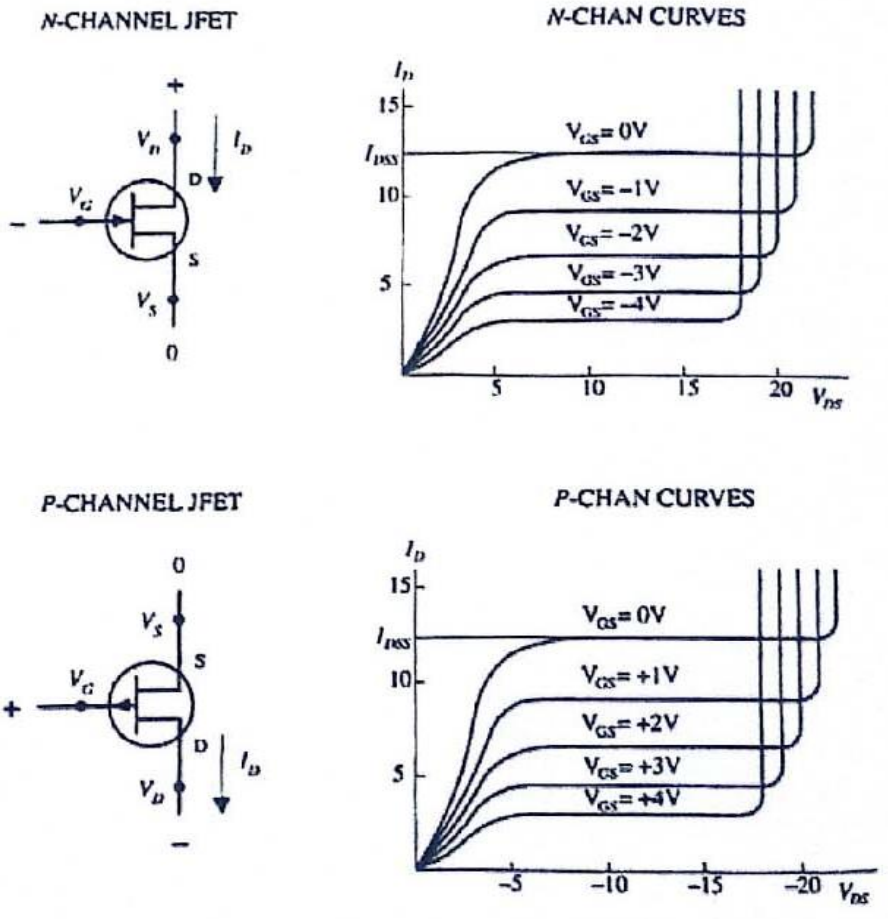


Figure 1

Basic JFET Amplifier Circuit Configurations

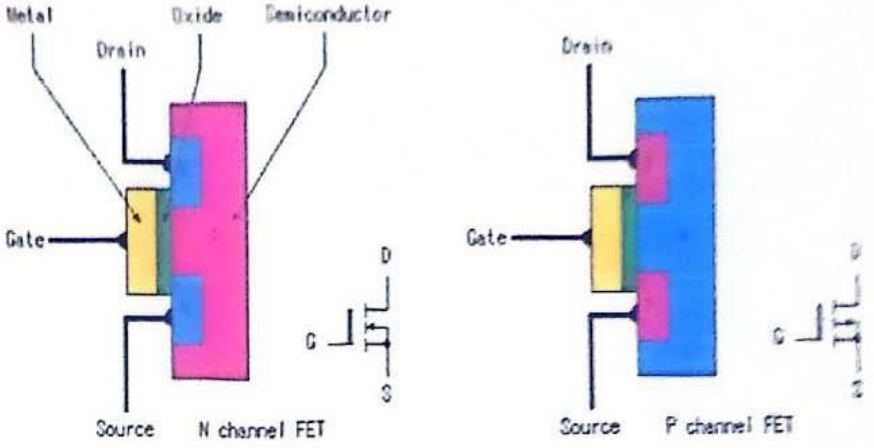


ترانزستور التأثير المحالي والمصنوع من أشباه الموصلات وأكسيد المعادن MOSFET

ترانزستور التأثير المحالي من :

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

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

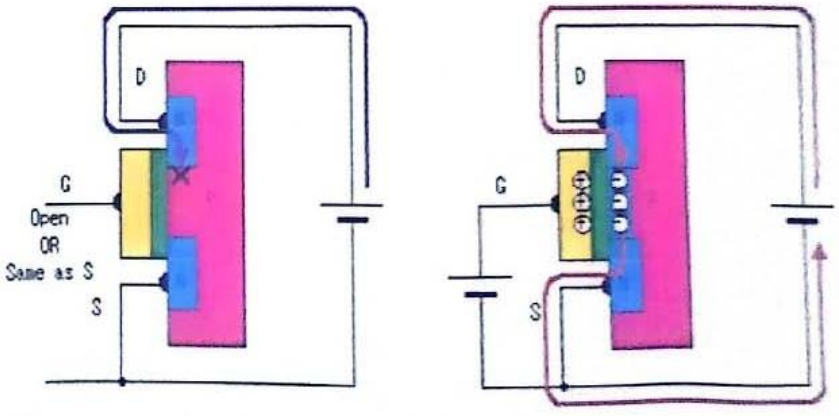


عمل ترانزستور MOSFET :

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

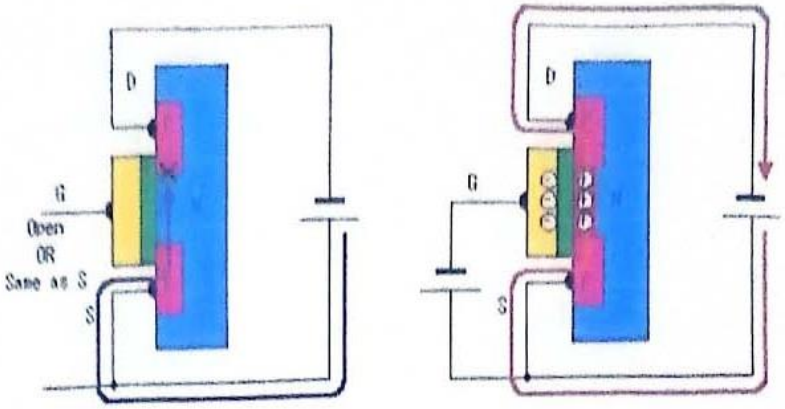
1. في حالة عدم وضع جهد على البوابة Gate فإنه لن يمر أي تيار بين المنبع والمصرف (الشكل الأيسر)..
2. في حالة وضع جهد موجب على البوابة (في الشكل الأيمن) لاحظ أن الترانزستور من نوع القناة N فإن الإلكترونات الحرة الموجودة في بلورتي المنبع والمصرف ستنجذب للمجال الكهربائي الموجب المتكون عند البوابة مكونة قناة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

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



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

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



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

ترانزستور MOSFET المتمم (CMOS) :

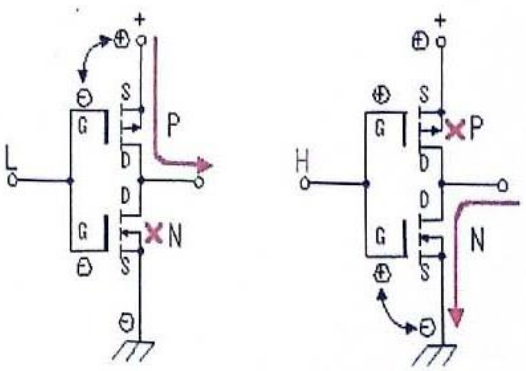
مصطلح الـ CMOS هو اختصار للجملة :

Complementary Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

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

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

أي أنه في دارة الـ CMOS يعمل الـ N-MOS و الـ PMOS بصورة عكسية (أحدهما يمرر والآخر لا).
ويستفاد من هذه الحالة عند التعامل مع تيارات عالية (قدرات عالية) فيخفف ذلك من تسخين كلا من الترانزستورين حيث يعمل كلا منهما نصف الوقت بينما يريح الأخر مع الحفاظ على حالات الخرج وذلك بإدخال نبضة ساعة على البوابة .



الأنواع الخاصة:

:Dual-Gate MOSFET

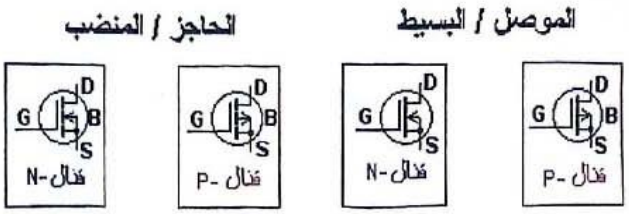
ترانزيستور MOSFET ذو البوابتين، وهو من التصميمات الخاصة لترانزيستور تأثير المجال ذو الطبقة المعدنية، وهو من النوعية الموصلة، وكما تعبر التسمية فله وصلتين للبوابة، وذلك لكي يدخل تيار التوجيه بوابتيه على التوالي (بالتسلسل) وتكون مستقلتين عن بعضهن البعض..
يمكن تغيير كفاءة أو قدرة التوصيل بين المصرف (D)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

:(Vertical Metal-Oxide-Semiconductor) VMOSFET

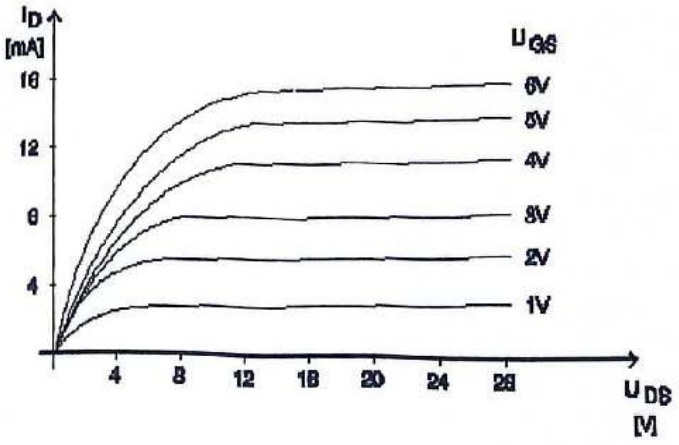
جميع أنواع ترانزيستور "FET" التي عالجناها حتى الآن تصلح للقدرات المنخفضة نسبياً وذلك يرجع للمسافة الموصلة نسبيا في "القنال" (5 مايكرو متر تقريبا) ، حيث تكون مقاومة الاختراق فيه (من 1 كيلو أوم حتى 10 كيلو أوم) ولذلك تبقى محدودة القدرة ..
مع الإمكانيات الحاضرة لتقنية التصنيع فتسمح بجهد وتيار أكبر ، وبناء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

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

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



منحنى خصائص المخرج من النوع الموصل وصنف قنال N :



خاتمة:

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

طريقة فحص ترانزيستور MOSFET:

ترانزستورات MOSFET وخصوصاً القناة n كثيرة الاستخدام في دارات التغذية العاملة في نمط التقطيع سواء بشكل فردي (أي بشكل ترانزستور مستقل) أو كترانزستور مبني ضمن دارة متكاملة مثل عائلة الـ STR الترانزستورات والشاشات وغيرها من وحدات التغذية ..

من المهم أن نتعرف على طريقة الفحص الستاتيكي لهذا الترانزستور عندما يكون خارج الدارة وباستخدام مقياس رقمي بسيط و هام جداً ، لأن الكثير لا يعرفون طريقة فحص هذه الترانزستورات الشائعة في الأجهزة الحديثة ..

نصل الطرف الموجب للمقياس إلى المصرف و الطرف السالب إلى المصدر، بينما نترك البوابة حرة والمقاومة يجب أن تكون المقاومة عالية جداً أو لا نهاية..

الآن نصل الطرف الموجب للمقياس إلى البوابة مع المحافظة على الطرف السالب للمقياس على المصدر أي سوف نشحن مكثفة البوابة..

الآن نعيد الاختبار في الخطوة الأولى يجب أن نحصل على ممانعة صغيرة للغاية..

نفرغ البوابة بلمس قطبي المصدر و البوابة فيعود الترانزستور لحالته الأساسية ..

فحص ترانزيستور MOSFET (طريقة ثانية):

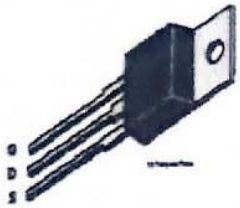
يجرى هذا الفحص باستخدام مقياس فآو رقمي موضوع على مجال فحص الديود وعلى مجال يُطبّق فيه جهد أكبر من 3.3 فولت ..

وصّل "المسبر" في الترانزيستور إلى الطرف السالِب من المقياس ..

أمسك الترانزيستور من غلافه و لا تلمس الأجزاء المعدنيّة من مجسّات القياس بأي من أطراف الترانزيستور إلا عند الحاجة لذلك و لا تجعل الترانزيستور يُلامس ملابسكَ أو الأشياء المصنوعة من البلاستيك.. لأنّ هذه المواد تولّد جهود ساكِنة مرتفعة..

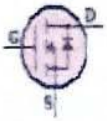
في البدء ضع سلك المجس الموجب بـ"بوابة " الترانزيستور ثم ضَع المجس السالِب على "المصرف" يجب أن يُعطي المقياس قراءة منخفضة، وبهذا تكون المكثفة الداخليّة على بوابة الترانزيستور قد شحِنَت عن طريق المقياس و يكون الترانزيستور "مشغّلاً "..

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



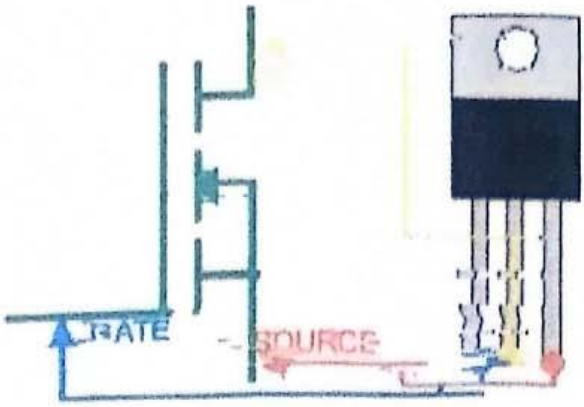
المقياس السابق هو عبارة عن فحص جهد القطع في الترانزيستور، الذي يكون في العادة أكبر جهد يُطبق على البوابة بدون أن تصبح ناقِلة.
هذا الإجراء ليس دقيقاً 100% إلا أنّه كافٍ..

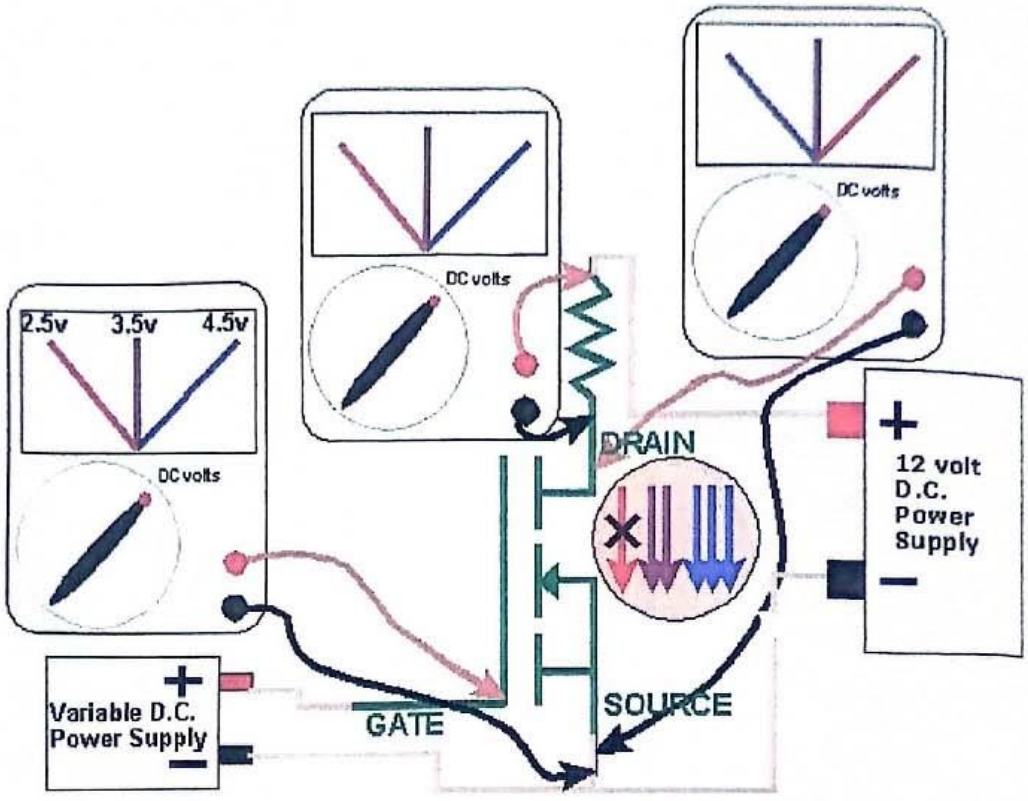
عندما يتعطّل ترانزيستور MOSFET فعادةً يكون السبب هو قصر المصرف إلى البوّابة ،
هذا يؤدي إلى إعادة جهد المصرف إلى البوابة ومنها إلى التغذية التي تأتي عن طريق مقاومة البوابة ، وقد يؤدي إلى تخريب منبع التغذية وأي ترانزستورات MOSFET مربوطة بواباتها معه على التفرّع ..



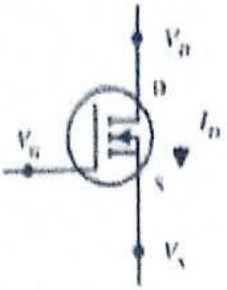
هذا عندما يتعطل ترانزيستور MOSFET يفضل فحص منبع التغذية أيضاً ، لهذا السبب يضاف عادةً ديود زينر بين البوابة والمنبع ، سوف يعمل هذا الترانزيستور قصر دارة و يحد من الأخطار الناتجة عن الأعطال .. يمكن أيضاً إضافة مقاومات صغيرة إلى القاعدة التي ستعمل دارة مفتوحة عندما تتعطّل مثل عمل الفاصمة المنصهرة) بنتيجة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

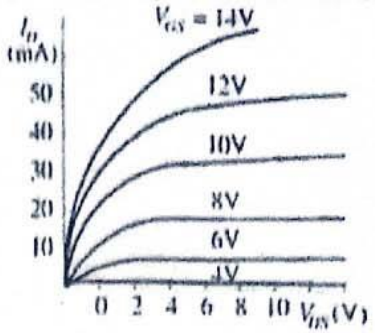
عادةً يعطي ترانزيستور MOSFET ناراً أو ينفجر عندما يتعطّل حتى في دارات الهواة ، و هذا يعني أنّ الترانزيستور المعطوب يمكن كشفه بالنظر ، حيث سيكون مكان الثقب فيه على لوحة الدارة محروقاً أو ستلاحظ وجود السواد في مكانٍ ما حوله ، لقد رأيت هذهِ الأشكال كثيراً في وحدات التغذية التي لا تنقطع UPS التي قد تحوي أكثر من عشرة ترانزستورات MOSFET على التوازي ، وعادةً ما نحتاج إلى استبدالِهم جميعاً بالإضافة إلى دارة قيادتِهم ..
أخيراً .. لا تستخدم كاوي لحام عادي في لحام ترانزستورات MOSFET ، بل استخدم منصّة لِحام احترافية ESD

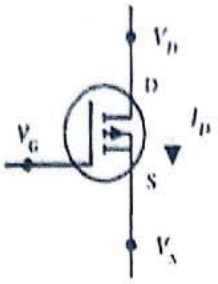


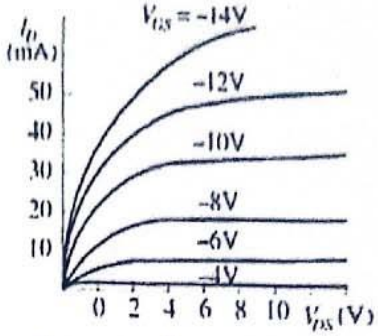


Voltage applied to gate	Voltage across resistor	Voltage across transistor
2.5 volts	no voltage	approximately 12 volts
3.5 volts	less than 12 volts	less than 12 volts
4.5 volts	approximately 12 volts	virtually no voltage



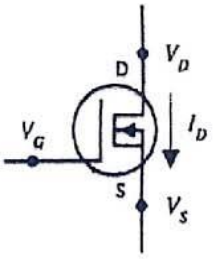


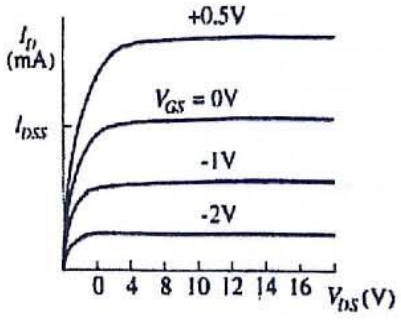




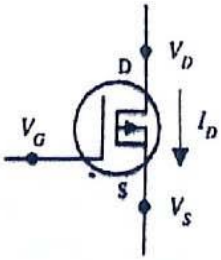
رموز ومميزات خرج ترانزستورات MOSFET نوع معزز

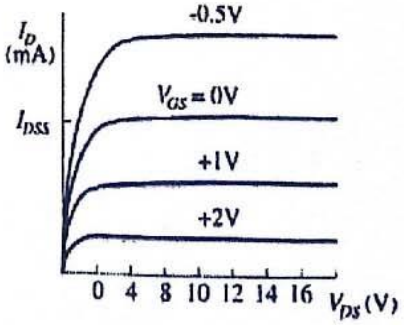
N-CHANNEL DEPLETION-TYPE MOSFET





P-CHANNEL DEPLETION-TYPE MOSFET

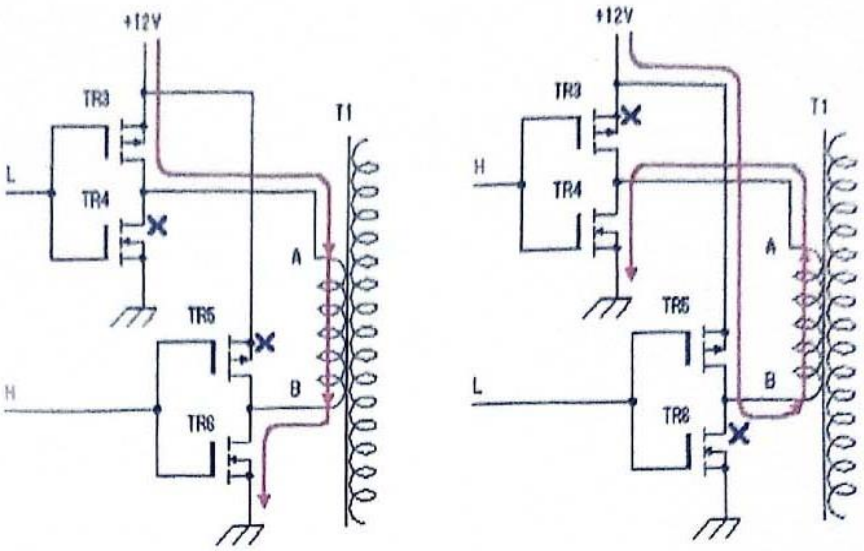




رموز ومميزات خرج ترانزستورات MOSFET نوع مقلل

The power MOS FET switching circuit

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

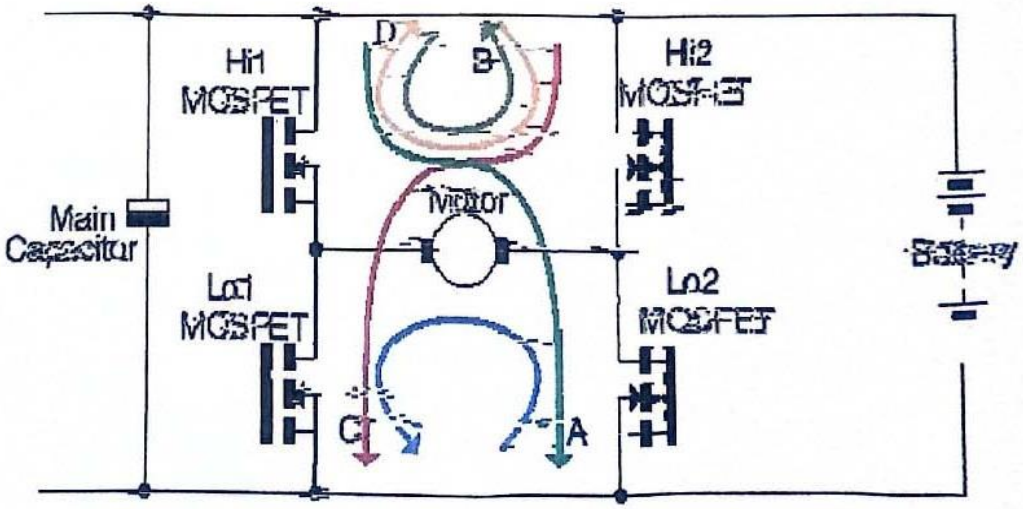


يل الترانزستوران (TR3 and TR6) عندما تكون إشارة التحكم (L) على (TR3 and TR4) و (H) على
.. (TR5 and TR
يل الترانزستوران (TR4 and TR5) عندما تكون إشارة التحكم (H) على (TR3 and TR4) و (L) على
.. (TR5 and TR

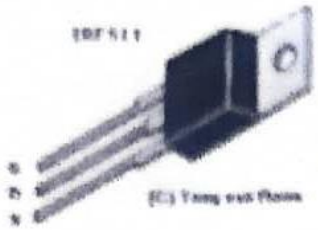
H Bridge Motor control

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

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



IRF511 TMOS Power FET
Data sheet

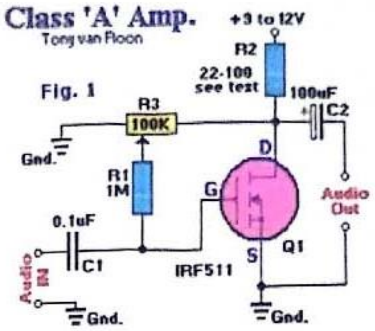


هو من نوع (N-Channel) ذو بوابة مصنوعة من السليكون (IRF511)
مصممة من أجل تطبيقات تحتاج لسرعات تحويل عالية مثل المنظمات
في حالة الأحمال التحريضية ..

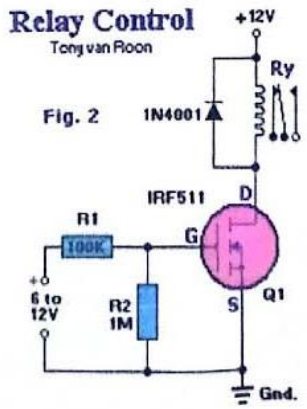
Device	Vds	rds(on)	Id
IRF510	100V	0.6 Ohm	4.0 A
IRF511	60V	0.6 Ohm	4.0 A
IRF512	100V	0.8 Ohm	3.5 A
IRF513	60V	0.8 Ohm	3.5 A

بعض التطبيقات التي تستخدم الترانزستورات IRF511

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



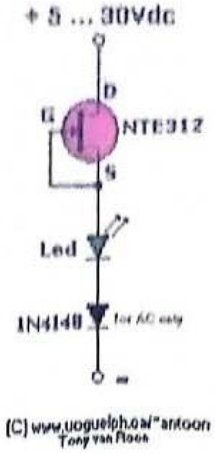
هي دارة قيادة حمل (ريليه) ، حيث تعمل الريليه عند تطبيق جهود على البوابة من (6 to 12)
تحتاج قاعدة الترانزستور حتى يعمل تياراً أقل من (10uA) ..

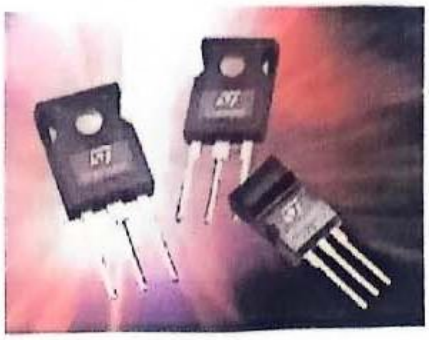


عبارة عن هزاز عديم الاستقرار يعمل فيه المصباحان بالتناوب على نحو متقطع ..

يمكن بمجال جهد من 5 فولت إلى 30 فولت دون الحاجة إلى تغير قيمة المقاومة..

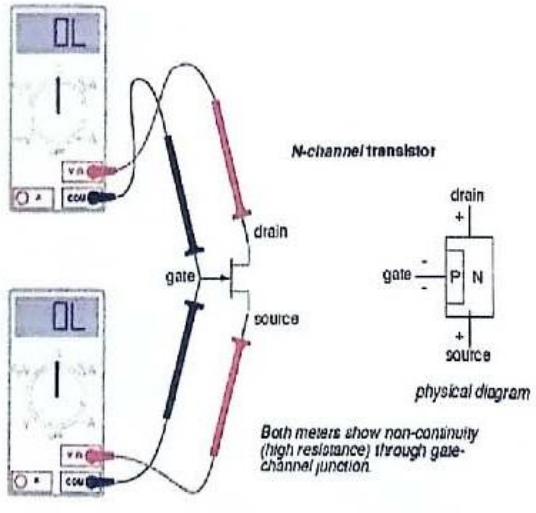
يقوم فيها الترانزستور FET بوظيفة منع مثالي للتيار ، حيث يكون التيار في هذه الحالة بحدود (1N4148) بحمي الدارة من عكس القطبية ..

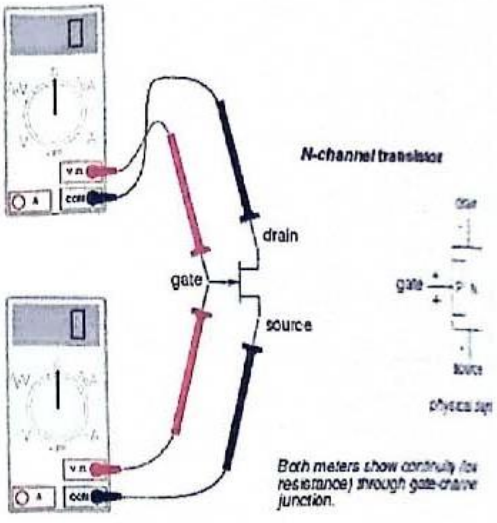


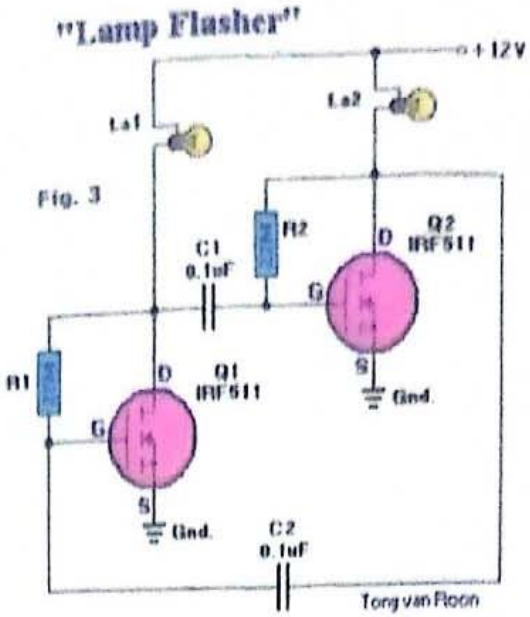


Meter check of a JFET transistor

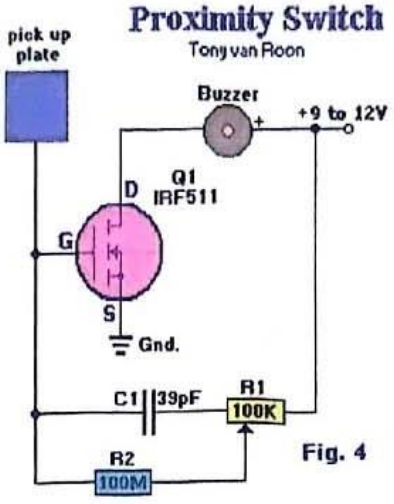
Testing a JFET with a multimeter might seem to be a relatively easy task, seeing as how it has only one PN junction to test: either measured between gate and source, or between gate and drain.







دارة هي دارة مفتاح يستغل المعاوقة الداخلية العالية للترانزستور وقابلية المعالجة الكهربائية لعمل دارة
وتكن حساسة وهي داره حساس اقتراب وجرس إنذار السائق .



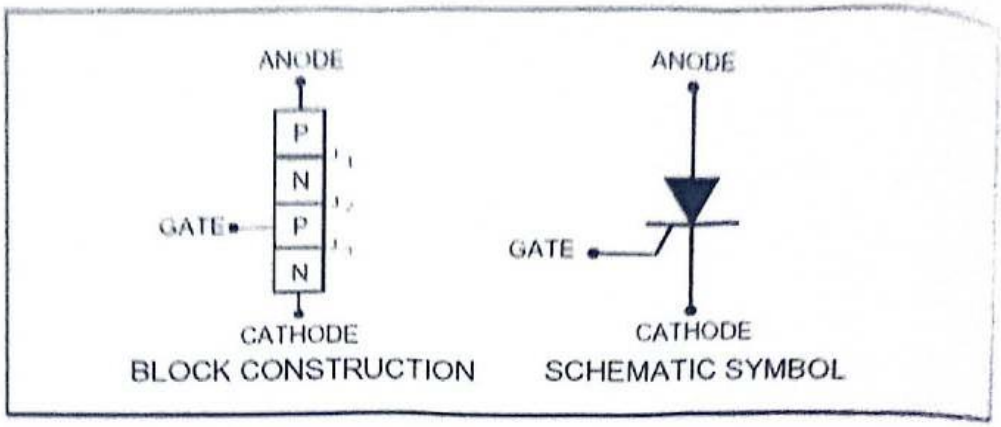
A 3x3-inch piece of circuit board (or similar size metal object), which functions as the pick-up sen
is connected to the gate of Q1. A 100 Mega Ohm resistor, R2, isolates Q1's gate from R1, allo
the input impedance to remain very high. If a 100-MegaOhm resistor cannot be located, just
22-MegaOhm resistors in series and use that combination for R2. In fact, R2 can be made
higher in value for added sensitivity.
Potentiometer R1 is adjusted to a point where the piezo buzzer just begins to sound off and
carefully backed off to the point where the sound ceases. Experimenting with the setting of R1
help in obtain in the best sensitivity adjustment for the circuit. Potentiometer R1 may be set
point where the pick-up must be contacted to set of the alarm sounder. A relay or other cur
hungry component can take the place of the piezo sounder to control almost any external circuit.

مقوم التحكم السيليكوني SCR

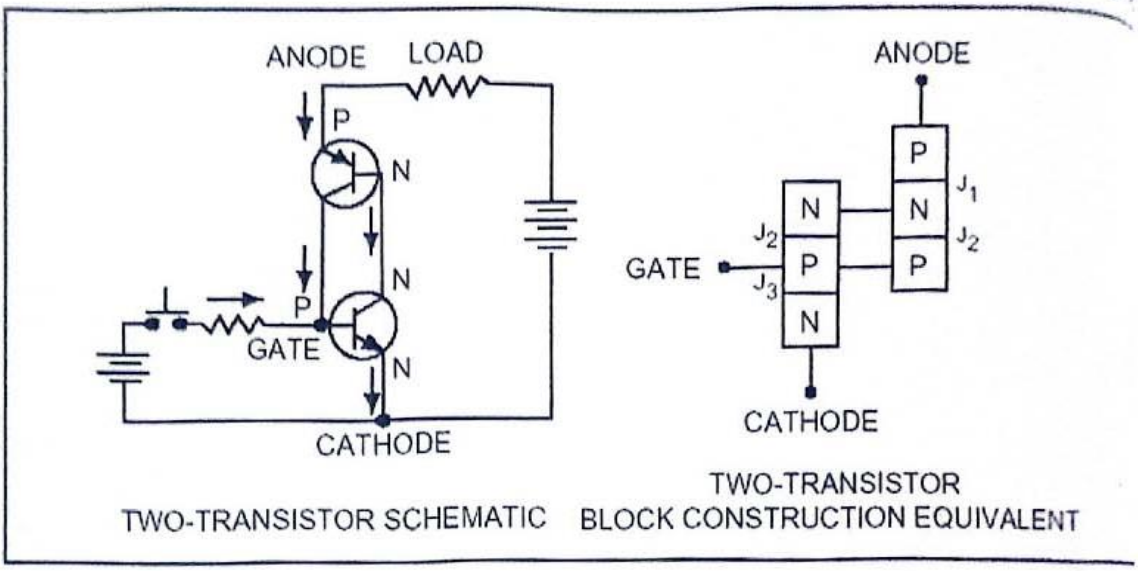
The Silicon-Controlled Rectifier

(Thyristors):

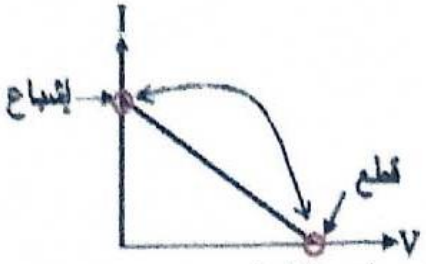
هو عنصر إلكتروني مصنوع من مواد نصف ناقلة وتالف من أربع طبقات و هي على التسلسل P1 إلخ ، و له ثلاثة أقطاب (مصعد A ومهبط K وبوابة G) .



يمكن عمل SCR عن طريق تمثيله بترانزستورين احدهما من نوع NPN والأخر من نوع PNP موصولين على التعاكس كما في الشكل التالي :



نجد أن هذه التوصيلة للترانزستورين تعتمد مبدأ يسمى بالتغذية العكسية الموجبة Positive Feedback
الذي يتوارد للذهن...ما هي **التغذية العكسية الموجبة**؟
نلخصها إلكترونياً بأنها توصيلة معينة بين خرج و دخل دارة إلكترونية تقوم بزيادة ربح الدارة (سواء جهد أو تيار) بشكل كبير..
من هذا على الدارة المجاورة، فإنه عند مرور تيار في قاعدة الترانزيستور Q1 فإن هذا التيار سيظهر أثره مباشرة على مجمع Q1 الموصول مع قاعدة الترانزستور Q2 وبالتالي عند مرور التيار في قاعدة Q2 يفتح الترانزستور Q2 ويمرر التيار من باعث Q2 إلى مجمع الترانزستور نفسه والموصول مع قاعدة Q1 وبالتالي يزداد التيار القاعدة للترانزستور Q1 وهكذا نلاحظ أن الترانزستورين ينتقلان بسرعة كبيرة نحو الإشباع.



مما سبق؟
يعامل معاملة المفتاح، أي ياخذ وضعين (قطع أو
وهو ما إذا لم نؤثر عليه أي قوة خارجية.
في الثايرستور Q2 يجب أن يكون الجهد المطبق
الجهد المتصل المحرر عكسياً (P2-N1) وبالتالي يسمى
عنده الثايرستور بجهد الفتح وعندها ينتقل
حالة الإشباع بسرعة كبيرة.

الثالث دون توصيله في الدارة فإن العنصر SCR يعمل كثنائي رباعي الطبقات .

ثايرستور تقاطع الكتروني للتيار المتناوب وهو يمرر في اتجاه واحد فقط وله قطب تحكم ، يتم قدح
جهد من 0.5 إلى 2 فولت ، وله ثلاثة أقطاب A: المصعد ، K : المهبط ، G : البوابة /قطب التحكم / .

عمل الثايرستور بشكل عام (بأنه يشبه عمل الديود) :

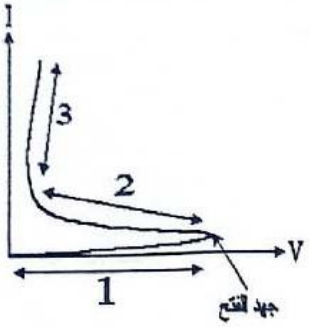
يمرر أماميا : لا يمرر الثايرستور أي تيار إلاّ عندما يكون الجهد المطبق عليه أكبر من جهد الفتح .
يمرر عكسياً : يكون في حالة قطع ولا يمرر أي تيار .

ثايرستورات تفتح بواسطة الإشعاع الضوئي وهذا النوع من العناصر يعرف بـ LASCR ..
ثايرستورات ثنائية الاتجاه أي تمرر في كلا الاتجاهين في نظام الوصل مثل التريك TRIAC ..

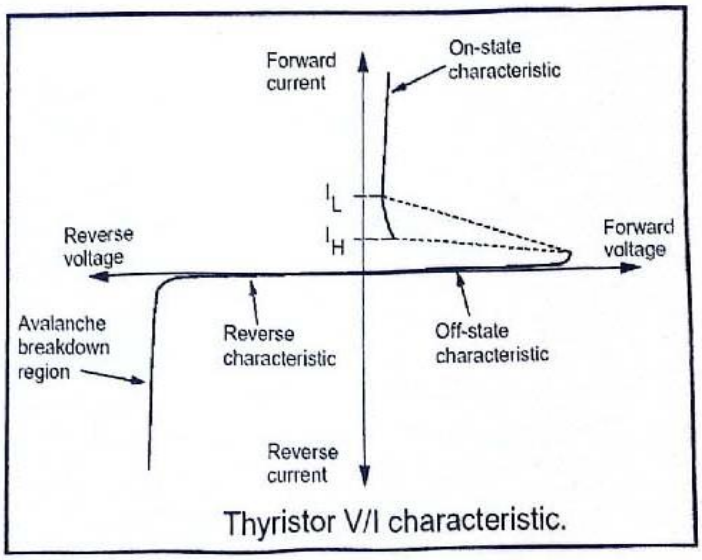
يمكن التعبير عنه بالعلاقة التالية:

$$I = \frac{I_{CBO1} + I_{CBO2}}{1 - \alpha_1 - \alpha_2} V$$

تكون مقاومة الثايرستور بين المهبط و المصعد عالية جداً ، وعندما تطبق الإشارة على البوابة فان
في نظام الوصل ويكون قادر على تمرير تيار عالي (ضمن حدود مجال الاستطاعة) في اتجاه واحد فقط
إلى المهبط ..



على مميزة الفولت - أمبير ثلاث مناطق:
منطقة القطع: نلاحظ عند ازدياد الجهد لا يمر أي تيار حتى قيمة جهد
الفتح.
منطقة المقاومة السالبة: نلاحظ انخفاض الجهد بشكل كبير مع زيادة
التيار ولا يمكن أن تكون نقطة العمل في هذه المنطقة لأنها حالة
غير ة بين القطع والإشباع وعادة ترسم في كثير من المراجع بخط
منقط .
منطقة العمل : وهي منطقة الإشباع يمر عندها التيار في الثايرستور
وهي المنطقة المرغوب العمل فيها .



Thyristor V/I characteristic.

رستور إلا في حال :

طبيق نبضة قدح ٢ فولت على البوابه
رفع الجهد على طرفيه إلى قيمة أكبر من جهد الفتح
التغير السريع في الجهد بين المصعد و المهبط .
رفاع درجة الحرارة .

بضة القدح يعمل الثايرستور ولا يتوقف إلا في حال قطعه بإحدى الطرق :

فصل التغذية نهائيا عن أقطابه .
قصر المصعد و المهبط بواسطة مقاومة وصل .
تطبيق نبضة قدح معاكسه للنبضة السابقة .

رستور نظامي عمل هما:

وفيه تكون مقاومة الثايرستور بين المهبط و المصعد صغيرة جداً بمقدار عدة أومات أو أقل ، وفي هذا عمل الثايرستور كقاطع مغلق ..

وفيه تكون مقاومة الثايرستور بين المهبط و المصعد عالية جداً تتراوح من عشرات إلى مئات الميغا ي هذا النظام يعمل الثايرستور كقاطع مفتوح ..

يرستور عن غيره من القواطع بما يلي :

- يتحمل الاهتزازات القوية والضجيج بعكس القاطع الآلي .
- عند فصله ووصله لا يصدر أي شرارة كهربائية .
- لا يصدر أي صوت .
- سرعات عالية جداً تصل حتى النانو ثانية وخاصة في المبدلات الترددية .
- تحمل جهود كبيرة وتيارات عالية تصل حتى ٣٠٠٠ أمبير مع العلم أن حجمه صغير.
- سهولة التحكم به وذلك عن طريق نبضة قدح .

ستخدامات الثايرستورات:

١ - زواحل التحكم .
٢ - دارات التأخير الزمني .
٣ - مغذيات الاستطاعة.
٤ - دارات الحماية .
٥ - شواحن البطاريات .
٦ - المبدلات(التبديل بين AC-AC , DC-AC , AC-DC , DC-DC) .

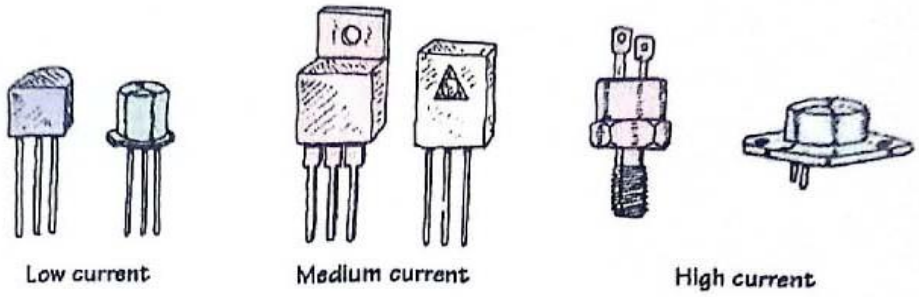
ل استخدامات SCR تتوقف على مخيلة ومقدرة المصمم، كما أن التطبيقات الأكثر شيوعاً عديدة وسيكون ا ذكرنا العناصر الالكترونية و الكهربائية التي استطاع SCR إن يحل محلها في معظم التطبيقات وهي كما

١) استطاع SCR بنجاح إن يحل محل الصمام الالكتروني الثلاثي والصمام المفرغ أو ترانزستور الاستطاعة في الدارات الالكترونية .
٢) في الدارات الكهرومغناطيسية حل SCR محل كل أنواع المفاتيح والزواجل والمقاومات المتغيرة .
٣) في دارات الحماية حل محل الفواصم وقواطع الدارة .
٤) حل محل المضخمات المغناطيسية في دارات تضخيم الاستطاعة .
٥) ولاشك إن الاستخدام الرئيسي لـ SCR اليوم في حقول التحكم بالطاقة وأيضا كعنصر تفرعي أو تسلسلي، وتكمن أفضليته في المردود العالي الناتج عن التبديد المنخفض للطاقة.مثل:ل: التحكم بالطاقة المقدمة لتسخين العناصر، تعيين سرعة الموتورات الكهربائية، تعتيم الضوء، الخ.....

عيوب الثايرستور أنه عند الانتقال إلى الإشباع لا يمكن التحكم فيه وبالتالي لا يمكن إيقاف تمريره التيار إلا عند انخفاض التيار المار فيه إلى الصفر وعندها يقطع . فنلجأ عادة إلى دارة مساعدة (عادة مؤلفة من مكثفة و مقاومة) تقوم هذه الدارة بتمرير التيار باتجاه معاكس وبالتالي قطع الثايرستور. تتميز الثايرستورات باستطاعتها الكبيرة وتحملها للتيارات الكبيرة فلذلك تستخدم في التطبيقات الصناعية والتي تحتاج إلى استطاعات كبيرة.

الثايرستورات خصيصاً من أجل تطبيقات التحكم الصفحي، أما بعضها الآخر فيصمم من أجل تطبيقات (التقطيع) عالي السرعة. ربما تكون أهم ميزة في الثايرستور هي التيار الذي يتحمله الثايرستور.

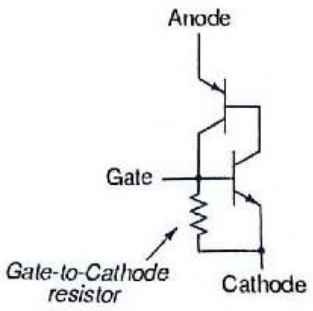
ثايرستورات منخفضة التيار بمعدلات تيار/جهد لا تتجاوز 100/1A فولت. أما الثايرستورات المتوسطة التيار فتتوفر بمعدلات جهد بحدود 10A/100V. تبلغ المعدلات الأعظمية للتيار والجهد في الثايرستورات عالية التيارات عدة آلاف من الأمبيرات وعدة آلاف الفولت. يُصنع غلاف الثايرستورات منخفضة التيارات من البلاستيك أو المعدن، أما الثايرستورات عالية التيارات فإنها تكون مزودة بمبدد حرارة ذاتي (مصنوع مع الثايرستور)، وقد لا يكفي هذا المبدِّد بمفرده في بعض التطبيقات، وعندها لا بد من استخدام مبدِّد حرارة خارجي إضافي.



أشكال الثايرستورات.

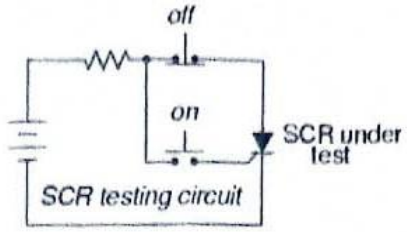
الثايرستور : بمقياس الأوم يكون :
- بين G , K : يمرر في الاتجاه الأمامي ولا يمر في الاتجاه العكسي .
- بين K , A : لا يمرر في الاتجاهين .
- بين G , K : لا يمرر في الاتجاهين .

في قياس الوصلة بوابة-مهبط على إنها وصلة N-P (كالدايود العادي) فبذلك جزء من الخطأ وخصوصاً في التيارات الكبيرة والتي تستخدم مع الجهود العالية ، حيث تضاف مقاومة بين طرفي الوصلة (بوابة-مهبط) في الثايرستور.



مقاومة فائدتها جعل الثايرستور أقل تأثرا بالنبضات الخاطئة التي ربما تصله عن طريق شرارة كهربية أو كهربية أو تفريغ لشحنة ستاتيكية . وكما ذكرنا فهذه المقاومة (في الثايرستورات الكبيرة فقط ستمنعنا من الوصلة Gate-Cathode على أنها ديود عادي) .

سورات التي لا تحتوى هذه المقاومة (غالباً التي تعمل في دارات ذات جهود صغيرة) تسمى sensitive gate وذلك لحساسيتها للإشعال Triggered بجهود صغيرة جداً . والدارة العملية المستخدمة لفحص الـ كالتالي :

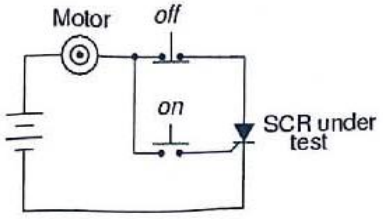


غلق المفتاح (الموجود في حالة فتح طبيعيا Normally opened) يصل لطرف البوابة تيار يكفي لجعل التيار
المنبط والمصعد.
ترك هذا المفتاح released فإن الثايرستور سيظل في حالة الغمل latched وسيظل التيار يمر بالدارة .
غلق المفتاح (الموجود في حالة غلق طبيعياً Normally closed) فإن التيار سيتوقف عن المرور في
حمراً الثايرستور على الدخول في حالة فتح OFF .
يستطيع الثايرستور الدخول في حالة العمل Latched بعد ضغط المفتاح (الموجود في حالة فتح طبيعيا
Normally o) فذلك لا يعنى بالضرورة عطل الثايرستور ولكن ربما المقاومة (أو الحمل) كبيرة مما يجعلها لا
ع إمرار تيار كافي لبدأ عملية الإشعال .

التيار لبدأ عملية الإشعال Firing يسمى holding current وهو في الأغلب يقع بين ١ ملي أمبير إلى ٥٠
مبير أو أكبر للثايرستورات الأكبر .

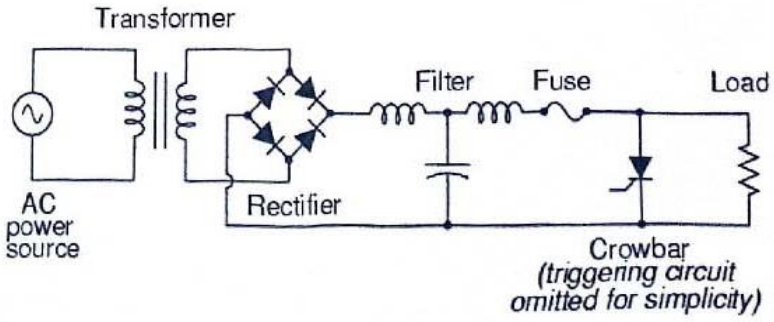
ستخدامات للثايرستور هو استخدامه كمفتاح On/Off (للتحكم في محرك كهربائي) كما يلي :

DC motor start/stop control circuit



تطبيق عملي أخر يستخدم الثايرستور كعتلة crowbar للحماية من الجهد الزائد وخصوصا في دارات مصادر
ة المستمرة DC . حيث يقوم بعمل دارة قطع Short Circuit في حالة زيادة الجهد عن مستواه الطبيعي
ه من الوصول للحمل وإيقاع الضرر به .

Crowbar as used in an AC-DC power supply

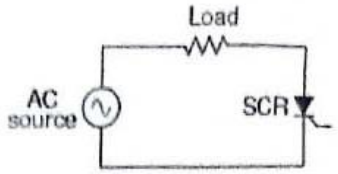


قبل الثايرستور منصهر Fuse لحماية الثايرستور ودارة التغذية من التيار في حالة القطع Short Circuit .

Gate (والتي لم توصل الدارة المتصلة بها في الرسم السابق للتسهيل) فإن الدارة المتصلة بها
الثايرستور بنبضة في حالة ارتفاع الجهد عن الحد المسموح وعندها يصبح الثايرستور كوصلة سلكية
بين طرفي الدارة مانعا التيار من المرور في بقية الدارة (الحمل).

الثايرستور SCR هو عنصر وحيد الاتجاه Unidirectional ولاستخدامه في دارات التيار المتردد AC فإننا
نوع من الثايرستورات ولكن بالإضافة إلى شرط الوصول لجهد الانهيار يجب أن توفر نبضة على البوابة
لتزويدنا من الثايرستور العمل وتوصيل التيار عبر طرفيه المهبط و المصعد .

: حيث وصل الثايرستور في دارة تيار متناوب للتحكم في القدرة الواصلة للحمل .

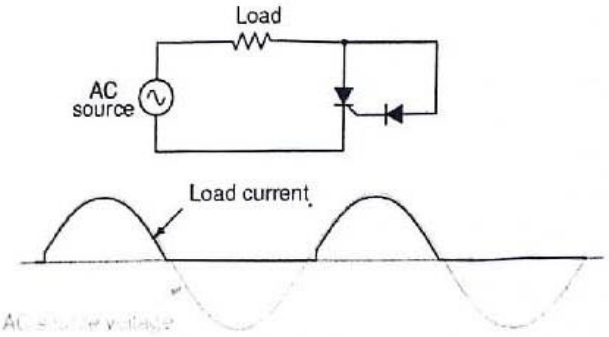


ثايرستور عنصرا وحيد الاتجاه (يوصل في طريق ذو اتجاه واحد) فإنه في أحسن حال سيوفر نصف القدرة
تقريبا المصدر للحمل .

وضع نبضة على بوابة الثايرستور أو لم يصل الجهد المسلط على طرفيه (المهبط والمصعد) إلى جهد
فإنه لن يعمل .

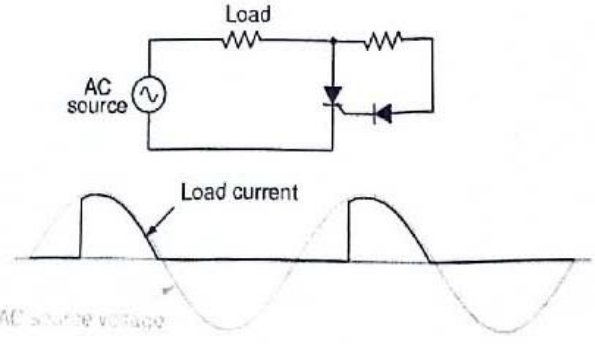
بين طرف البوابة gate بالمصعد عن طريق موحد diode (لمنع التيار من المرور بالعكس في حالة وجود
داخلية - كما ذكر من قبل- داخل الثايرستور) فإن ذلك سيجعل الثايرستور يعمل في بداية كل نصف موجة

Gate connected directly to anode through a diode;
nearly complete half-wave current through load

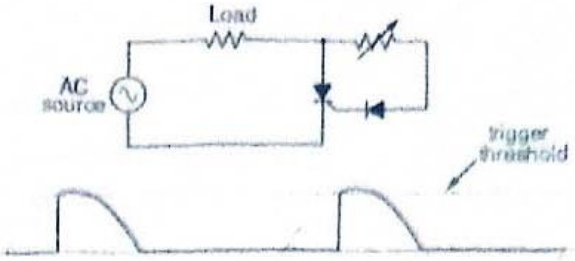


كما عمل تأخير لتلك النبضة بوضع مقاومة في دارة البوابة مما يزيد من قيمة الجهد اللازمة حتى يحدث
في للثايرستور وستكون النتيجة على الشكل التالي :

Resistance inserted in gate circuit;
less than half-wave current through load



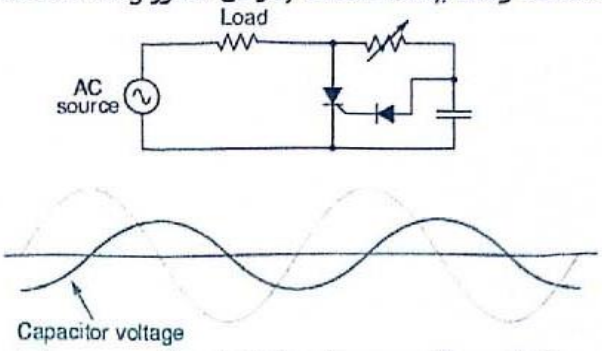
ذلك يتم التحكم في زاوية القطع للموجة الجيبية المدعومة من المصدر مما يمكننا من التحكم
المتوسطة للقدرة average power الواصلة للحمل .
متغيرة بدلا من المقاومة الثابتة يمكننا التحكم في زاوية القطع (وبالتالي متوسط القدرة على



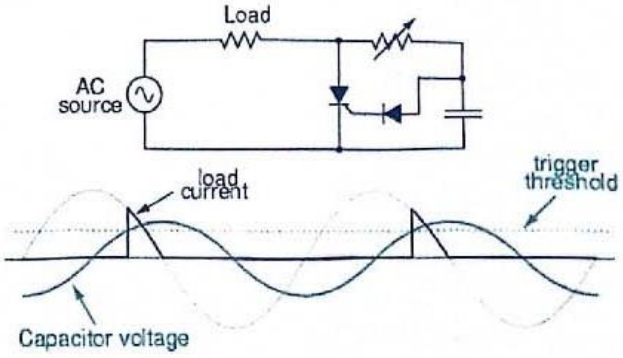
Increasing the resistance raises the threshold level, causing less power to be delivered to the load.

Decreasing the resistance lowers the threshold level, causing more power to be delivered to the load.

وفي هذا النوع من التحكم له حد مسموح به (عند التعامل مع التيار المتردد) وهو النصف الأول لنصف
الموجب فقط.
أن trigger threshold أكثر من ذلك (وضع تأخير أكبر بمقاومة أكبر) فإن ذلك لن يحدث أي إشعال
ولن يصبح هناك خرج واصل للحمل .
الحل ذكي لهذه المشكلة وذلك بإضافة مكثف (مرحل للطور phase-shifting) للدارة كما يلي :



يرسوم باللون الأخضر يمثل الجهد الموجود على المكثف . (لتوضيح عملية ترحيل الطور تم وضع المقاومة
يرة بحيث لن يحدث إشعال للثايرستور كما سبق) وسيتم شحن المكثف بذلك التيار البسيط المار في
(والذي لا يكفى لإشعال الثايرستور) مما ينتج عنه ذلك الجهد المرحل في الطور (عن طور منبع التغذية)
وح من ٠ إلى ٩٠ درجة.
ل ذلك الترحيل phase-shifting إلى قيمة مناسبة سيبدأ المكثف في التفريغ ليدعم تيار المقاومة
إشعال الثايرستور وتشغيله.

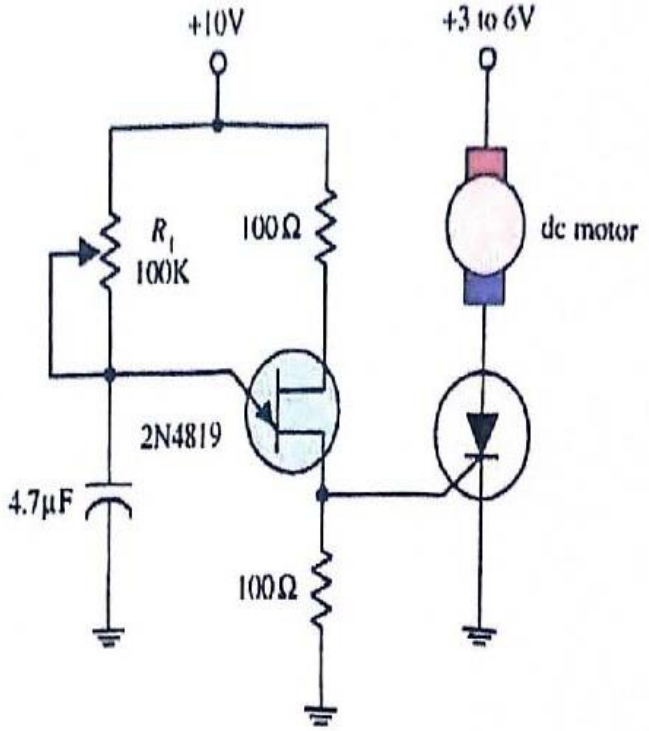


السابقة نظرية إلى حد كبير حيث (في الحقيقة) يتشوه المنحنى الممثل للجهد على المكثف عندما
رستور في مرحلة العمل Latched ولن يكون جيبي الشكل تماما .

الدارات السابقة لإشعال الثايرستور كافية وقابلة للعمل في الدارات البسيطة كالتحكم في مصباح أو صاعق كبير إلا أنه يمكن إشعالها fired بدارات أكثر تعقيدا تحقيقا لمطالب بعض التطبيقات .

بسرعة محرك تيار مستمر .

و كما هو واضح في الشكل (93.4) استخدام ثايرستور (SCR) وترانزستور (UJT) مع مكثف ومجموعة مقاومات دارة تحكم بسرعة دوران محرك تيار مستمر. الدارة المكونة من الـ UJT والمكثف والمقاومات هي عبارة عن دارة نبضات وهذه النبضات تُطبق على بوابة الثايرستور. عندما يتجاوز الجهد المطبق على البوابة عتبة القدح ينتقل ثور إلى حالة (on) فيمر تيار عبر المحرك. يمكن تغيير تردد اهتزاز مولد النبضات بتغيير المقاومة (R1) ويتغير مع تغير عدد المرات التي تُقدح بها بوابة الثايرستور وتتغير سرعة دوران المحرك. أثناء العمل يبدو لك أن المحرك يدور بشكل مستمر على الرغم من أن جهد التغذية يُطبق على المحرك بشكل نبضي (on) و(off). تتحدد سرعة المحرك بمتوسط عدد الحالات التي يكون فيها المحرك (on) خلال فترة زمنيّة. قد يخطر ببالك استخدام مقاومة متغيرة على التسلسل مع المحرك للتحكم بسرعة دورانه، ولكن تذكر دوماً ضياعات الاستطاعة على هذه المقاومة.



متحكم بسرعة دوران محرك تيار مستمر.

[illegible]

[illegible] (gate trigger current) وهو تيار القدح الأصغري اللازم لنقل الثايرستور إلى حالة [illegible]

[illegible] (gate trigger voltage) وهو جهد القدح الأصغري اللازم لتأمين التيار الأصغري الضروري للقدح

[illegible] (Holding Current) وهو التيار الأصغري الذي يجب أن يمر بين المصعد والمهبط كي يبقى الثايرستور في [illegible]

[illegible] الاستطاعة الأعظمي على البوابة (peak gate power dissipation)، الاستطاعة الأعظمية التي يمكن أن تبدد [illegible] والمهبط في الثايرستور.

[illegible] جهد حالة القطع الأعظمي التكراري (Repetitive peak off-state voltage)، القيمة اللحظية الأعظمية للجهد على [illegible] عندما يكون في حالة قطع متضمناً كافة الجهود العابرة التكرارية وغير متضمن للجهود العابرة غير التكرارية.

[illegible] تيار حالة القطع الأعظمي التكراري (Repetitive peak off-state current)، القيمة اللحظية العظمى لتيار حالة [illegible] والذي ينتج عن تطبيق جهد قطع أعظمي تكراري على الثايرستور.

[illegible] جهد عكسي أعظمي تكراري (Repetitive peak reverse voltage)، القيمة اللحظية العظمى للجهد العكسي [illegible] على الثايرستور متضمنة كافة الجهود العابرة التكرارية، دون أن تتضمن الجهود العابرة غير التكرارية.

[illegible] التيار العكسي الأعظمي التكراري (Repetitive peak reverse current)، القيمة اللحظية العظمى للتيار العكسي [illegible] عن تطبيق جهد عكسي أعظمي تكراري على الثايرستور.

[illegible] تعطى قيم هذه البارامترات لثايرستور محدَّد.

[illegible] **عينة من جدول مواصفات الثايرستورات.**

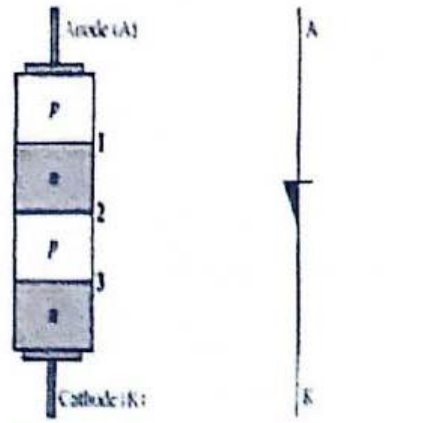
MNFR#	V_{DRM} (MIN) (V)	I_{DRM} (MAX) (mA)	I_{RRM} (MAX) (mA)	V_T (V)	I_{GT} (TYP/MAX) (mA)	V_{GT} (TYP/MAX) (V)	I_H (TYP/MAX) (mA)	[illegible]
2N6401	100	2.0	2.0	1.7	5.0/30	0.7/1.5	6.0/40	5

الثايرستور

الثايرستورات عبارة عن وسيلة الكترونية تتكون من اربع قطع سليكونية (PNPN) ولها استخدامات واسعة في مجالات الكترونيات القدرة ودوائر السيطرة

تشمل عائلة الثايرستور عدة عناصر منها :

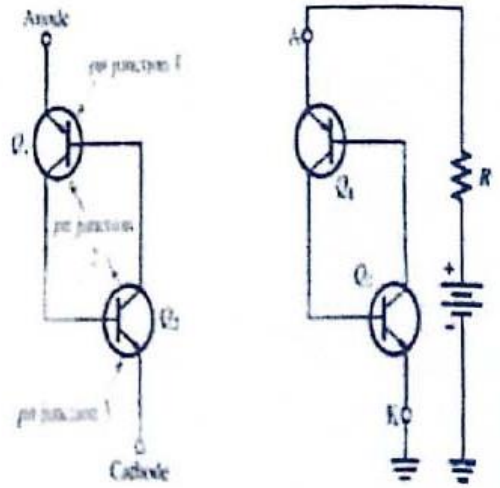
١. ثنائي شوكلي
٢. المعدل السليكوني المتحكم SILICON CONTROLLED Rectifier (SCR)
٣. المفتاح السليكوني المتحكم Silicon controlled switch (SCS)
٤. الدياك (Diac)
٥. الترياك (Triac)
٦. ترانزستور احادي الوصلة (Unijunction Transistor)



(a) Basic construction (b) Schematic symbol

FIGURE 11-1

The 4-layer diode.



(a) (b)

FIGURE 11-2

A 4-layer diode equivalent circuit.

تركيب ثنائي شوكلي ورمزة التخطيطي

وتمثيلة بترانزستورين احدهما نوع (NPN) والثاني نوع (PNP)

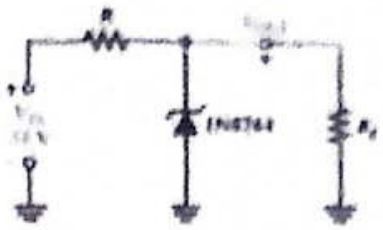
For the circuit in Figure 3–14:

(a) Determine V_{OUT} at I_{ZK} and at I_{ZM}.

(b) Calculate the value of R that should be used.

(c) Determine the minimum value of R_L that can be used.

FIGURE 3–14



Solution First, review Example 3–6. The 1N4744 zener used in the regulator circuit of Figure 3–14 is a 15 V diode. The data sheet in Figure 3–7(a) gives the following information: $V_Z = 15$ V @ I_{ZT}, $I_{ZK} = 0.25$ mA, $I_{ZT} = 17$ mA, and $Z_{ZT} = 14\ \Omega$.

(a) For I_{ZK}:

$$V_{OUT} = V_Z = 15\text{ V} - \Delta I_Z Z_{ZT} = 15\text{ V} - (I_{ZT} - I_{ZK})Z_{ZT}$$
$$= 15\text{ V} - (16.75\text{ mA})(14\ \Omega) = 15\text{ V} - 0.235\text{ V} = 14.76\text{ V}$$

Calculate the zener maximum current. The power dissipation is 1 W.

$$I_{ZM} = \frac{P_{D(max)}}{V_Z} = \frac{1\text{ W}}{15\text{ V}} = 66.7\text{ mA}$$

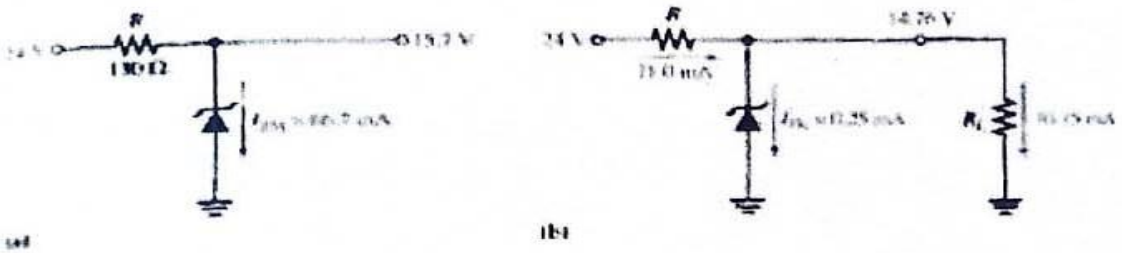
For I_{ZM}:

$$V_{OUT} = V_Z = 15\text{ V} + \Delta I_Z Z_{ZT}$$
$$= 15\text{ V} + (I_{ZM} - I_{ZT})Z_{ZT} = 15\text{ V} + (49.7\text{ mA})(14\ \Omega) = 15.7\text{ V}$$

(b) Calculate the value of R for the maximum zener current that occurs when there is no load as shown in Figure 3–15(a).

$$R = \frac{V_{IN} - V_Z}{I_{ZM}} = \frac{24\text{ V} - 15.7\text{ V}}{66.7\text{ mA}} = 124\ \Omega$$

$R = 130\ \Omega$ (nearest larger standard value).



(a) (b)

(c) For the minimum load resistance (maximum load current), the zener current is minimum ($I_{ZK} = 0.25$ mA) as shown in Figure 3–15(b).

$$I_T = \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{R} = \frac{24\text{ V} - 14.76\text{ V}}{130\ \Omega} = 71.0\text{ mA}$$
$$I_L = I_T - I_{ZK} = 71.0\text{ mA} - 0.25\text{ mA} = 70.75\text{ mA}$$
$$R_{L(min)} = \frac{V_{OUT}}{I_L} = \frac{14.76\text{ V}}{70.75\text{ mA}} = 209\ \Omega$$

Related Problem Repeat each part of the preceding analysis if the zener is changed to a 12 V device (1N4742).

يضاف بوابة ثانية على قاعدة الترانزستور الأول ويكون التحكم بعمل (SCS) امابنبضة قدح موجبة على قاعدة الترانزستور الثاني او سالبة على قاعدة الترانزستور الأول

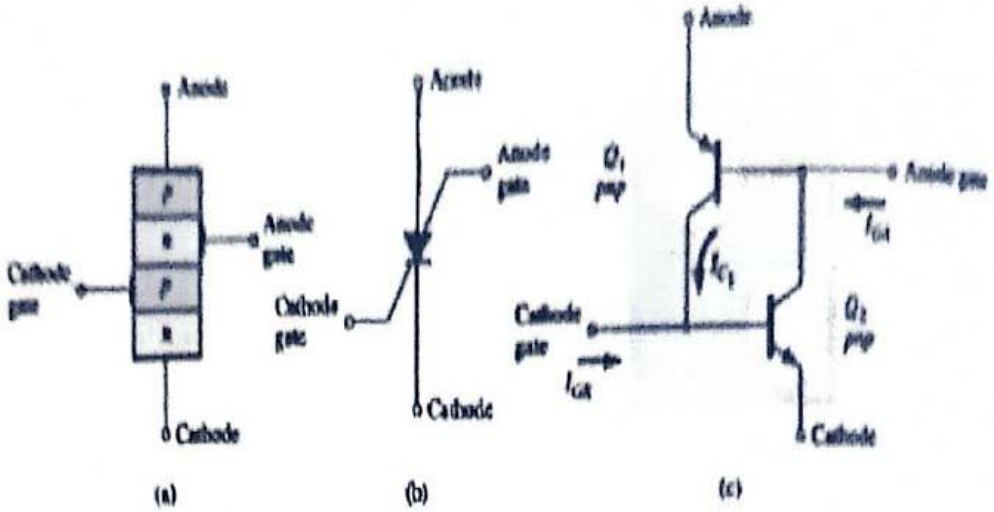
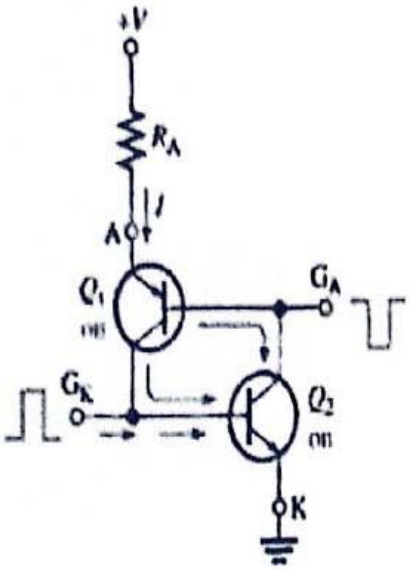
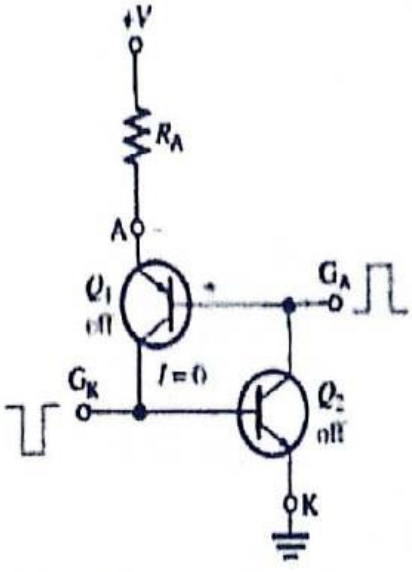


Figure 21.16 Silicon-controlled switch (SCS): (a) basic construction; (b) graphic symbol; (c) equivalent transistor circuit.



(a) *Turn-on*: Positive pulse on G_K *or* negative pulse on G_A



(b) *Turn-off*: Positive pulse on G_A *or* negative pulse on G_K

الداياك (DIAC)

يعمل بالاتجاهين ويمكن تمثيلة بأربعة ترانزستورات ويعمل عندما يصل الجهد الى فولتية الانهيار وهي بين (28-40V) تقريبا ويستخدم غالبا لقدح الترياك

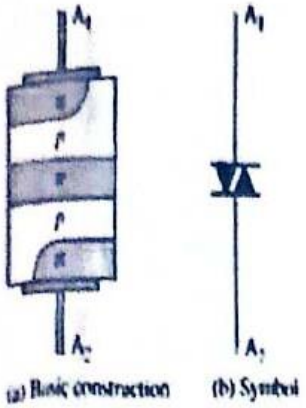


FIGURE 11-21

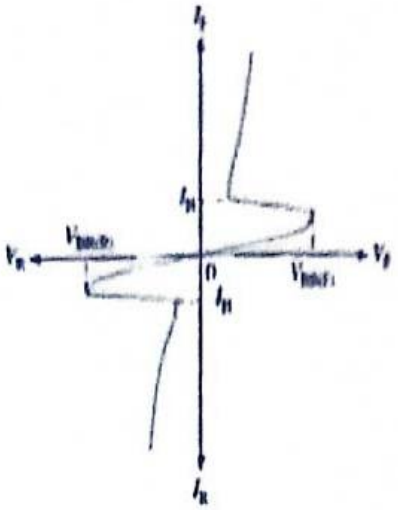
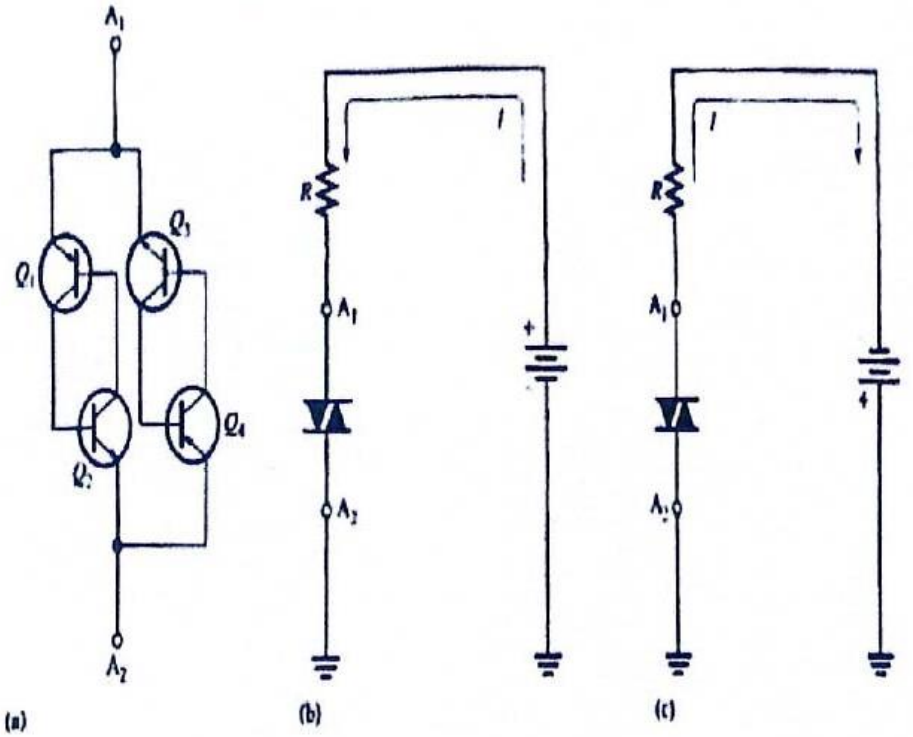
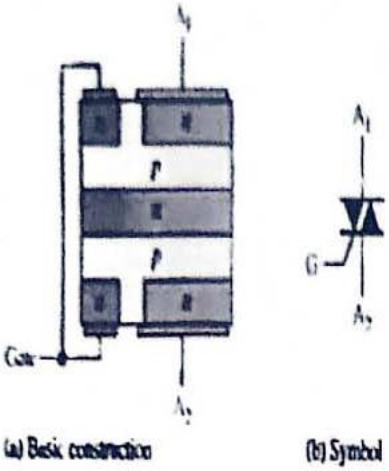


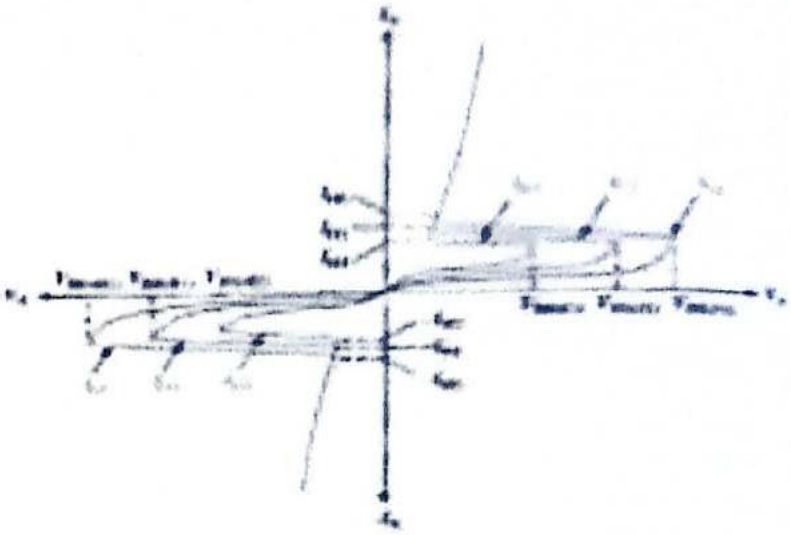
FIGURE 11-22



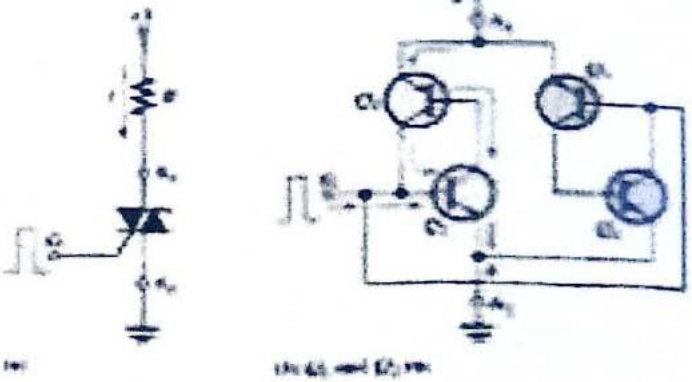
التراياك (TRIAC)

عندما نضيف بوابة للسيطرة

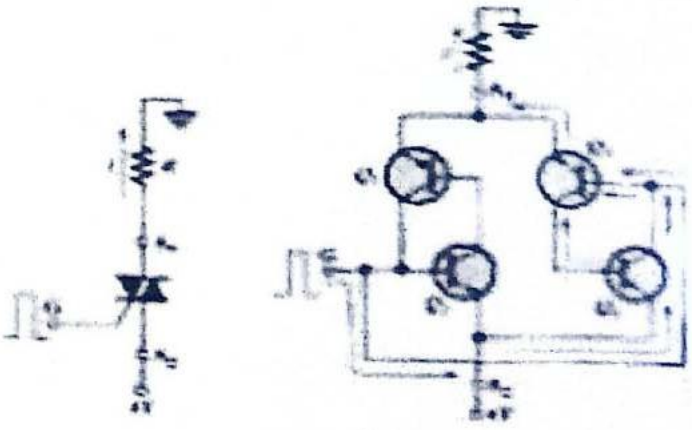




على عمل الدایاك فاننا نحصل على مكون جديد يسمى التراياك



تسمى اطراف توصيل الدایاك والتراياك الانود الأول والانود الثاني وهو يعمل بالاتجاهين ويمكن السيطرة على عمل التراياك من خلال البوابة



I_G=50ma

I_H=75ma

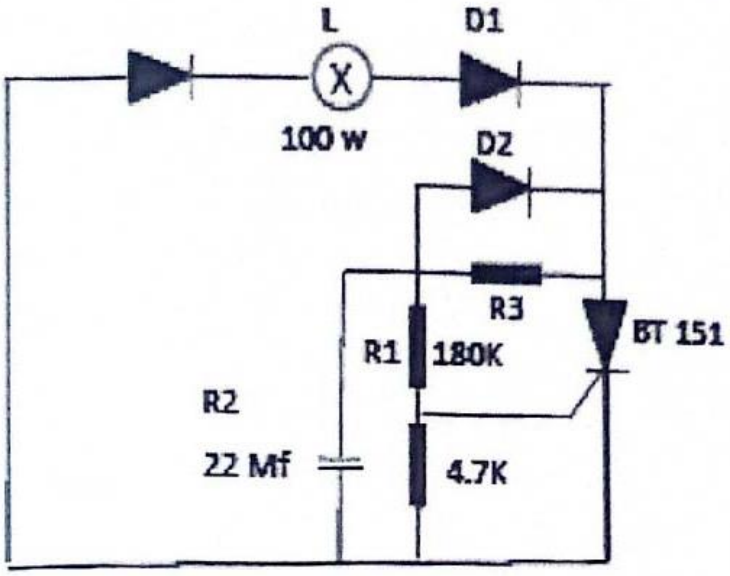
I_{TOTAL}=25A

V_{ON}=1.5V

تطبيقات عملية على الثيرستور Practical Application cct

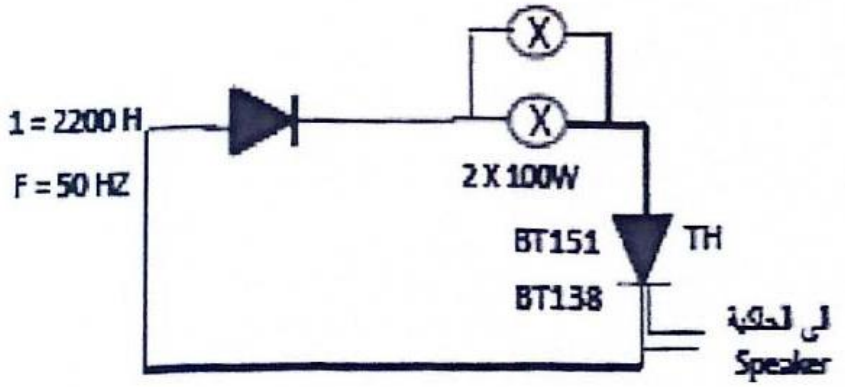
1 - دائرة حماية المركبات الفضائية واليدايات المترفعه :-

إشارة القدح تعتمد على قيم R1 , R2 والمتسعه (C) حيث يقدح الثيرستور من خلال الاشارة عبر المقاومة (R2) (D2) يساعد على التفريغ المتسعة قبل بداية الضعف اللاحق لاشارة المصدر يمكن الاستفادة من هذه الدائرة لتاشير ارتفاع المبانات ليلا وفي المصانع على الضجيج تؤثر عمل ماكنة معينة او توقفها .

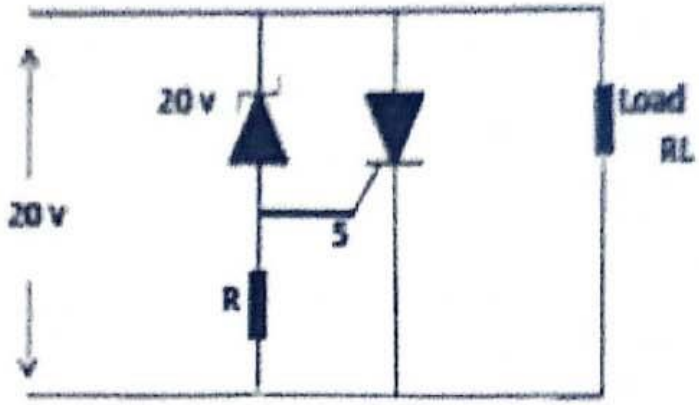


٢- دوائر ومضية :-

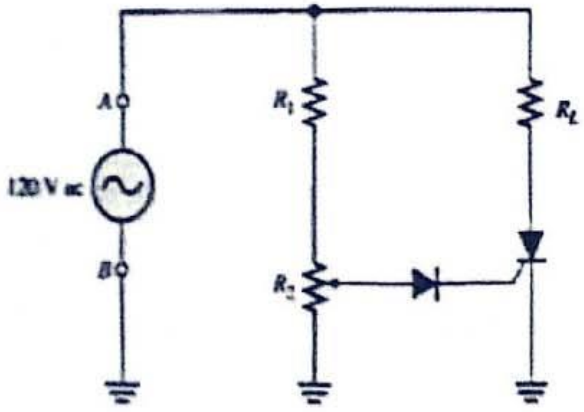
الدائرة الومضية المبينة بالرسم يمكن ان تربط مع اطراف جاكية جهاز التسجيل بحيث تم اضاءة المصباح (L) تبعا لمستوى الاشارة الظاهرة على طرفي ملف الجاكية . وتلك الاشارة تعتمد على نوع ومستوى النغمة المسجلة على شريط التسجيل يقوم المقوم القنطري بتحويل تيار (AC) الى (DC) يسلط على طرفي الـ SCR بحيث يجعله امامي الانحياز ، وعند توافر نبضة من بوابة ومهبط الثيرستور فانه يوصل ويمرر تيار خلال المصباح فيتوهج . ثم نجيز الثيرستور من خلال اشارة الخط .



٣- حماية الحمل من الزيادة المفاجئة التي تحدث في فولتية الحمل :-
عندما يكون مجهز القدرة يعمل الدائرة ـ (20 v) عندئذ يكون الثايرستور بمثابة مفتاح مفتوح والزينر دايود يكون ايضا فرعه مفتوح لايمر تيار اعتيادي حالة زيادة الفولتية المجهزة الى الدائرة عندئذ سيتحول الزينر دايود الى مايشبه البطارية تسمح بمرور تيار عبر فرعها وبسبب وجود المقاومة (R) تتمثل الاح للثايرستور تجعله في وضع (On) ليمرر الزيادة الحاصلة في التجهيز ويحمي الحمل .



٤ .دائرة السيطرة على القدرة خلال نصف الموجة(Halfe wave power control)



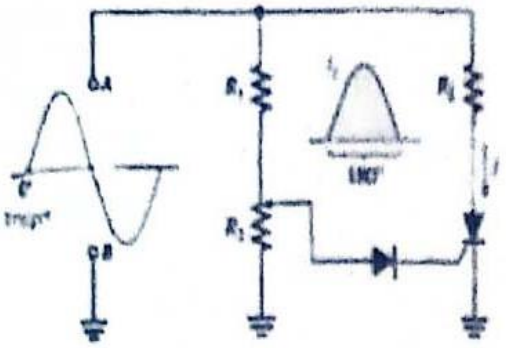
المقاومة الأولى للسيطرة على كمية التيار

المقاومة المتغيرة للسيطرة على عمل الثايرستور

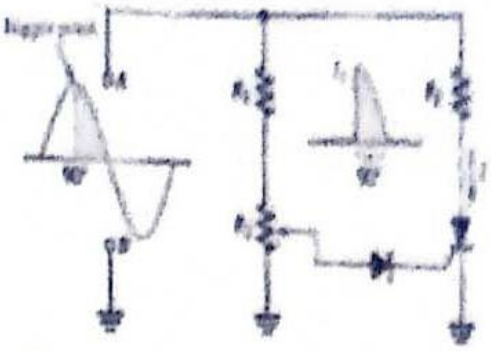
R_L-تمثل الحمل(مصباح,سخان كهربائي)

نستطيع ان نتحكم من خلال هذه الدائرة بالوقت الذي يعمل بة الحمل ان كان زمن الموجة الموجبة كاملا اواقل حسب الحاجة

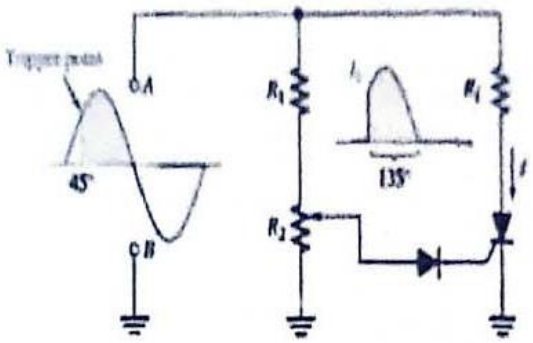
كما موضح في المخططات ادناة.



(a) 180° conduction

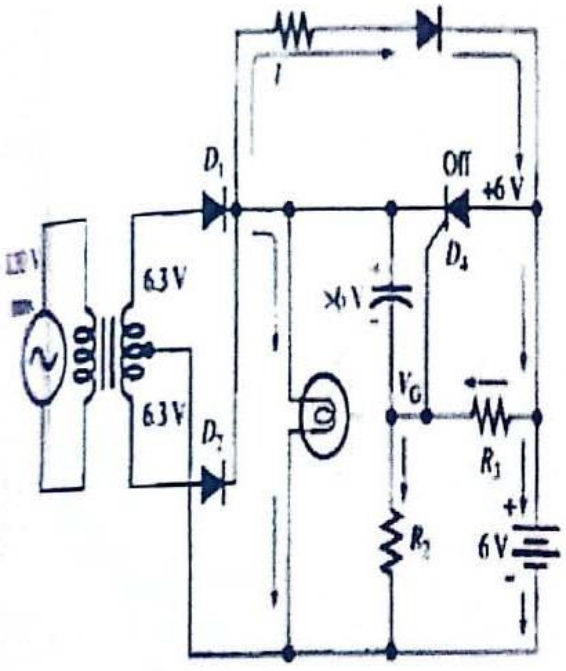


(b) 90° conduction

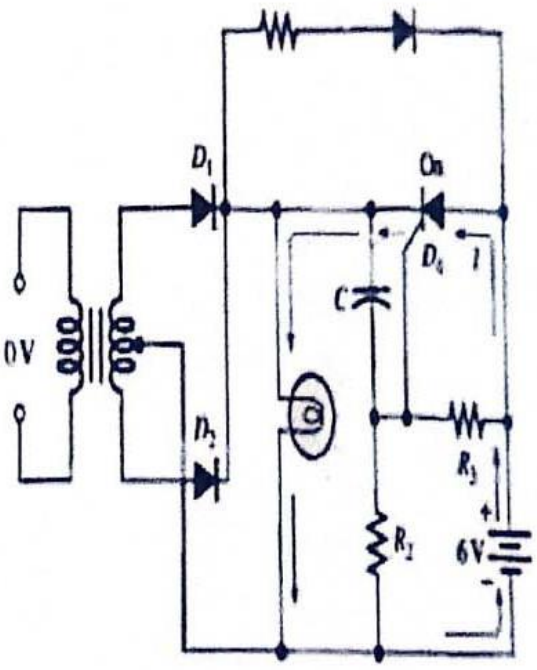


(c) 135° conduction

٥. دائرة اضاءة الطوارئ .



(a) ac power on



(b) Back-up battery power (ac power off)

عند توفر مصدر قدرة فان المصباح يجهز بالقدرة من خلال معدل الموجة الكاملة وتشحن البطارية من خلال (R1 ,D3)

الجهد على الكاثود يكون اعلى من الجهد على الانود واعلى من جهد البوابة لان الكاثود مربوط الى المتسعة المشحونة الى (6.3v) والانود الى البطارية

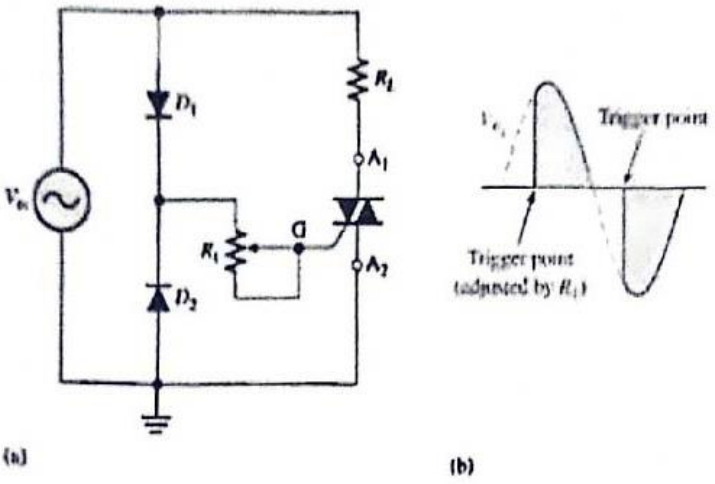
عند انطفاء مصدر الطاقة المتناوب فان المتسعة تبدا بالتفريغ عبر دائرة مغلقة (R1,D3,R3)

يبدأ الجهد بالتناقص على الكاثود وعندما يصل الثايرستور الى جهد الانكسار او من خلال نبضة القدح فانة يبدأ بالعمل ويوصل البطارية الى المصباح ليستمر بالتوهج .

٦. استخدام الترياك للتحكم بزاوية الطور.

من خلال الدايودات التي تسلط نبضات القدح من خلالها نستطيع التحكم بزاوية طور الإشارة التي تمر خلال الحمل .

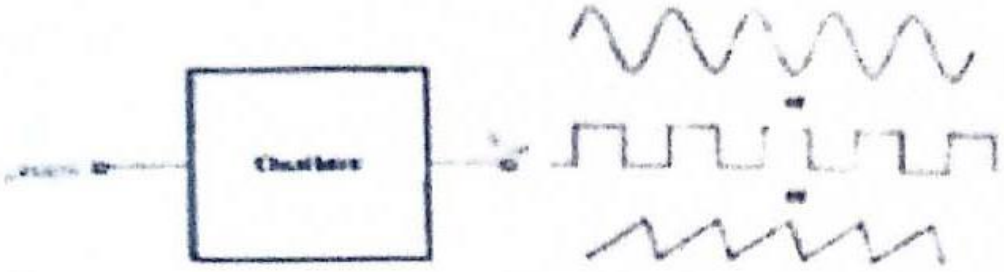
كما موضح في الشكل المجاور.



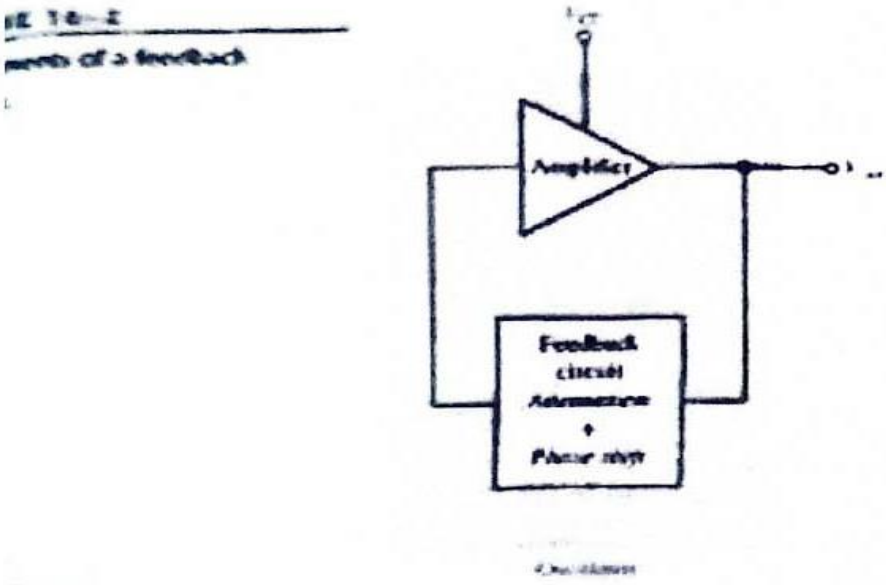
(a) (b)

المذبذبات (oscillators)

دوائر الكترونية تولد موجات جيبية من دون إشارة دخل وتتكون من مكبر + تغذية عكسية موجبة .



) Oscillators One type of oscillator is the feedback oscillator, which returns a of the output signal to the input with no net phase shift, resulting in a reinforcement gen signal. After oscillations are started, the loop gain is maintained at 1.0 to maintillations. A feedback oscillator consists of an amplifier for gain (either a discrete r on an op-amp) and a positive feedback circuit that produces phase shift and pro- generation, as shown in Figure 16–2.



دائرة المذبذب تتكون من مكبر مع دائرة تغذية عكسية موجبة تكون على شكل دائرة مرشح لاختيار التردد المطلوب .

المذبذبات

Oscillators

هو الجزء الأكثر أهمية في أي نظام اتصال، فهو يحدد تردد القناة أو التوقيت والتزامن في نظام رقمي تكون ضوضاء الطور لأي مذبذب لها حد أدنى أساسي، وإنه يحد من الكفاءة التي يمكن تحقيقها لاستخدام الطيف من معدل الخطأ في التطبيقات العملية، كما يمكن وصف أي مذبذب منخفض الضوضاء على أنه دائرة ذات عالية (Q) مضاعف.

المذبذب Oscillator – ؟

(Oscillator) هو الدائرة التي تنتج إشارة مستمرة ومتكررة أي دورية وتكون إمّا موجة جيبية أو موجة وتقوم بتحويل التيار المباشر (DC) من مصدر طاقة إلى إشارة تيار متردد (AC) حيث يتم استخدامها على واسع في العديد من الأجهزة الإلكترونية التي تتراوح من أبسط مولدات الساعة إلى الأدوات الرقمية مثل الآلات وأجهزة الكمبيوتر والأجهزة الطرفية المعقدة ومن الأمثلة الشائعة للإشارات التي تم إنشاؤها بواسطة الإشارات التي يتم بثها عن طريق أجهزة الإرسال الإذاعية والتلفزيونية وإشارات الساعة التي تنظم أجهزة وتر والكوارتز الساعات والأصوات التي تصدرها أجهزة التنبيه الإلكترونية وألعاب الفيديو.

عمل المذبذبات :

لية عمل المذبذبات على تحويل تدفق التيار أحادي الاتجاه (DC) من مصدر التيار المستمر إلى شكل موجة ية تكون بالتردد المطلوب ووفقاً لما تحدده مكونات دائرته، كما يمكن فهم المبدأ الأساسي وراء عمل المذبذبات لال تحليل سلوك دائرة(LC) ، والتي تستخدم المحرّض (L) ومكثف مشحون بالكامل (C) في مكوناتها حيث مكثف في التفريغ عبر المحرّض ممّا يؤدي إلى تحويل طاقته الكهربائية إلى المجال الكهرومغناطيسي والذي تخزينه في المحرّض، وبمجرد تفريغ المكثف تماماً فلن يكون هناك تدفق تيار في الدائرة.

ذلك، يكون الحقل الكهرومغناطيسي المخزن قد أنتج قوة (e .m.f) خلفية ينتج عنها تدفق التيار عبر الدائرة في الاتجاه الذي كان عليه من قبل حيث يستمر تدفق التيار عبر الدائرة حتى ينهار المجال الكهرومغناطيسي ممّا إلى التحويل العكسي للطاقة الكهرومغناطيسية إلى شكل كهربائي، وممّا يتسبب في تكرار الدورة، ومع ذلك فإنّ ف الآن سيشحن بالقطبية المعاكسة بسبب حصول المرء على شكل موجة متذبذبة كناتج.

ذلك، فإن التذبذبات التي تنشأ بسبب التحويل البيني بين شكلي الطاقة لا يمكن أن تستمر إلى الأبد لأنّها ستتعرض فقدان الطاقة بسبب مقاومة الدائرة، نوتيجة لذلك يتناقص اتساع هذه التذبذبات بشكل مطرد لتصبح صفراً، ممّا ها مغمورة في الطبيعة حيث يشير هذا إلى أنّه من أجل الحصول على التذبذبات المستمرة وذات السعة الثابتة،

ع المرء إلى تعويض فقد الطاقة ومع ذلك يجب التحكم في الطاقة الموردة بدقة ويجب أن تكون مساوية للطاقة
دة من أجل الحصول على التذبذبات ذات الاتساع الثابت.

ناحية العملية في مكبرات الصوت، لا تُعد المذبذبات سوى دوائر مكبر للصوت يتم تزويدها بتعليقات إيجابية أو
ة حيث يتم تغذية جزء من إشارة الناتج إلى المدخلات وهنا يتكون مكبر الصوت من عنصر نشط مضخم يمكن
ون ترانزستور أو أمبير، وتكون الإشارة في الطور ذات التغذية الخلفية مسؤولة عن مواكبة أي الحفاظ على
ات من خلال تعويض الخسائر في الدائرة، وبمجرد تشغيل مصدر الطاقة ستبدأ التذبذبات في النظام بسبب
ضاء الإلكترونية الموجودة فيه حيث تنتقل إشارة الضوضاء هذه حول الحلقة، ويتم تضخيمها وتتقارب إلى
جيبية أحادية التردد بسرعة كبيرة.

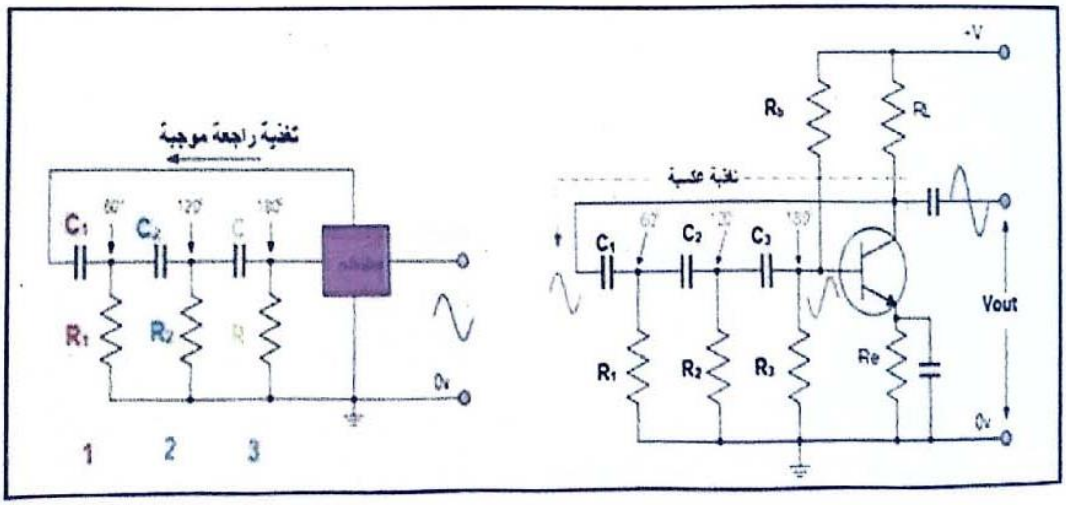
المذبذبات Oscillators

أنواع عديدة من المذبذبات، ولكن يمكن تصنيفها على نطاق واسع إلى فئتين رئيسيتين، هما: المذبذبات التوافقية
وفة أيضاً باسم المذبذبات الخطية ومذبذبات الاسترخاء.

مذبذب التوافقي، يكون تدفق الطاقة دائماً من المكونات النشطة إلى المكونات السلبية ويتم تحديد وتيرة التذبذبات
ة مسار التغذية المرتدة، بينما في مذبذب الاسترخاء يتم تبادل الطاقة بين المكونات النشطة والمكونات السلبية
تحديد تواتر التذبذبات بواسطة ثوابت وقت الشحن والتفريغ المتضمنة في العملية، وعلاوة على ذلك تنتج
ات التوافقية مخرجات موجة جيبية منخفضة التشوه بينما تولد مذبذبات الاسترخاء أشكال موجية غير جيبية
شكل سن المنشار أو مثلثة أو مربعة.

ات فرق الطورPhase Shift Oscillators

م هذا المذبذب لتوليد إشارات في نطاق الترددات السمعية، ويمكن الإفادة منه في المختبرات والمشاغل لفحص
المضخمات السمعية في مختلف الأجهزة الإلكترونية، تتكون دارة التغذية الراجعة الموجودة في دارة مذبذب
طور، من ثلاثة أجزاء، يتكون كل منها من مقاومة ومواسع (R1C1) و (R2C2) و(R3C3)



يعمل فرق طور من صفر حتى أقل من 90 درجة وباختيار القيم المناسبة لكل من(R)، و(C)، تنتج طور الإشارة الراجعة مقدارها (60) .

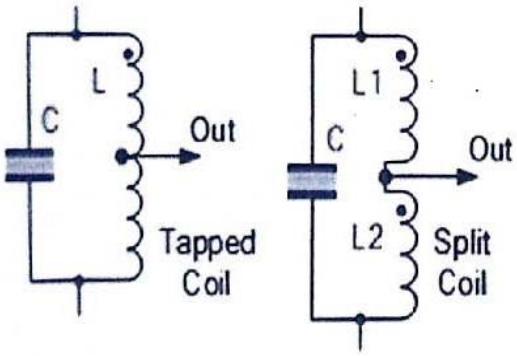
(R3= R2=R1) ، وكذلك (C3=C2=C1) ، فإن محصلة الإزاحة في الطور تكون 180 درجة إضافة لمجموعها 180 درجة ناتجة من استخدام دارة الباعث المشترك، وبذلك تكون التغذية الراجعة موجبة

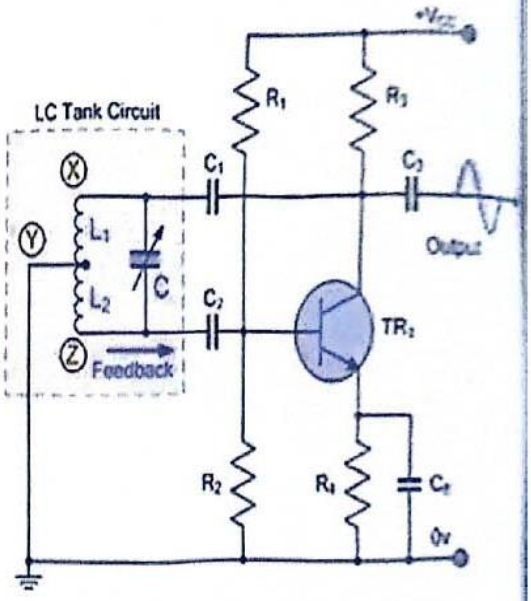
الإشارة الناتجة على قيم كل من(R) ، و(C)، ويمكن إيجاد التردد في حالة استخدام ثلاثة أجزاء (RC) من الكيفية : $N = 3$ و $P = \pi$

$$f_o = \frac{1}{2p\,RC\sqrt{2N}}$$

Hartley Oscillators : هارتلي

هذا النوع من المذبذبات لتوليد ترددات ذوات قيم مختلفة، بدءا بالترددات العالية، وانتهاء بالترددات فوق





هارتلي هو أحد أنوع المذبذبات التوافقية، وهي من مذبذبات الدارات المضبوطة التي تستخدم لإنتاج موجات في نطاق الترددات الراديوية، ويشار إليها أيضا بمذبذبات التردد الراديوي يحدد تردد المذبذب عن طريق دارة رنين التوازي المكونة من المواسع (C) الموصول على التوازي بالملفين (L2,L1) المتصلين ببعضهما

تقوم دارة رنين التوازي بعمل التغذية الراجعة الموجبة؛ لأن الملفين (L2,L1) يعملان بوصفهما محولا له نقطة وسط فتكون الإشارة على (L1) عند النقطة (X) معاكسة في الطور للإشارة على الملف (L2) عند النقطة (Z)

ب دارة الرنين على تحديد تردد إشارة الخرج التي يمكن إيجاد ترددها بالمعادلة الآتية :

$$f_o = \frac{1}{2p\sqrt{LC}}$$

$$P = \pi$$

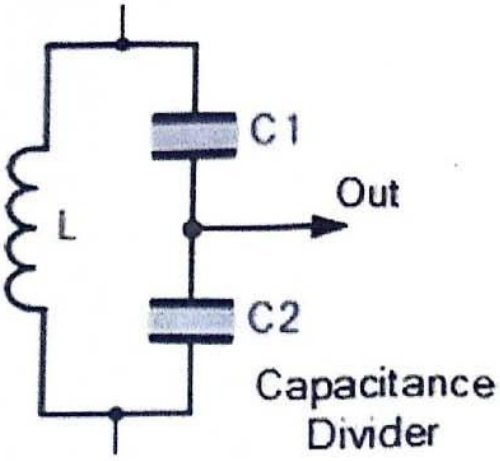
ث أن (L=L1+L2+2M) ;وتعرف (M) بالحثية المتبادلة بين(L1) ، و(L2)

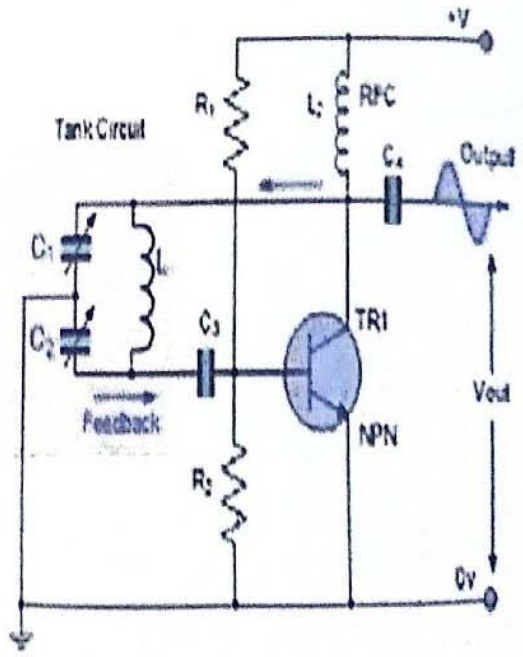
ل تغيير قيمة تردد إشارة الخرج عن طريق المواسع المتغير(C) ؛ لذا يناسب هذا النوع من المذبذبات أجهزة ستقبال الراديوية .

ذبذبات كولبتس Colpitts Oscillators

ر هذا المذبذب من أنواع مذبذب (LC) التي تصنف ضمن فئة المذبذبات التوافقية، وتشبه دارة مذبذب كولبتس دارة ذبذب هارتلي،

كن دارة الرنين في هذا المذبذب تتكون من مواسعين(C2 ،(C1، وملف(L) ، وفيها يوصل الملف على التوازي مواسعين(C2) ، (C1الموصولين على التوالي ببعضهما





بوصيل التغذية الكهربائية (DC) لدارة المذبذب يبدأ الترانزستور بالعمل؛ ما يزيد من تيار المجمع، ويشحن
يحتان (C1) ، و (C2) وبعد الحصول على أقصى شحنة ممكنة، فإنها تبدأ في التفريغ عن طريق الملف (L) ،
ثناء هذه العملية تحول الطاقة الكهروستاتيكية المخزنة في المتسعة إلى تدفق مغناطيسي يخزن داخل دارة الرنين
شكل طاقة كهرمغناطيسية، بعد ذلك يبدأ الملف التفريغ، فيشحن المواسعان مرة أخرى، وهكذا تستمر الدورة؛ ما
ي التي تتذبذبات في دارة الرنين ويوضح الشكل السابق أن خرج المضخم يظهر عبر المتسعة (C1) ، من ناحية
ي فإن التغذية الراجعة إلى الترانزستور تنتج عن طريق المكثف (C2) ؛ ما يعني أن إشارة التغذية الراجعة تكون
لة الطور مع فولتية الإشارة في الترانزستور بمقدار 180 درجة، تحدد قيمة تردد الخرج المعادلة الآتية

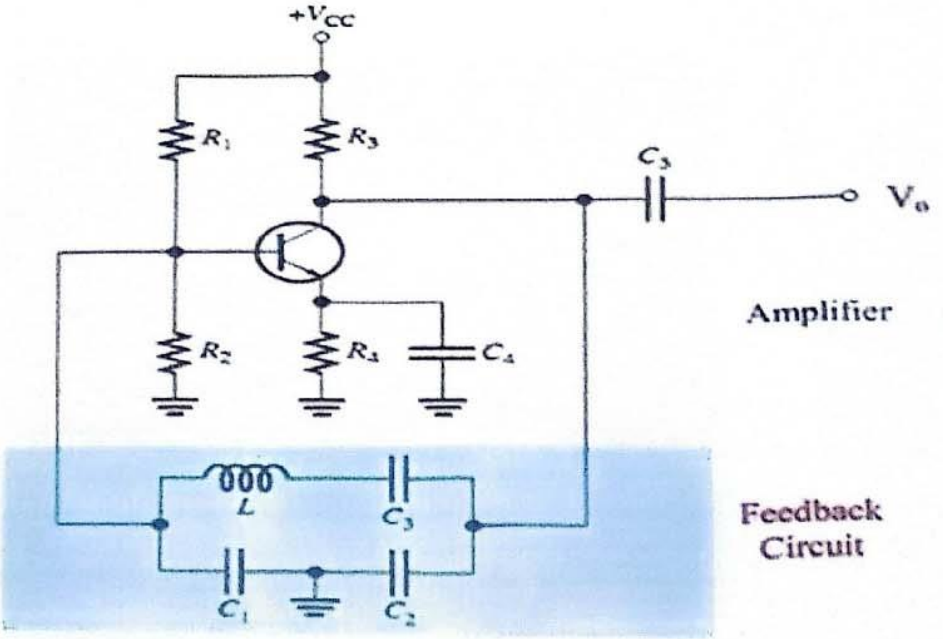
$$f_o = \frac{1}{2p\sqrt{\frac{LC_1.LC_2}{C_1 + C_2}}}$$

$$P = \pi$$

ناءً على هذه المعادلة، يمكن تغيير قيمة تردد إشارة الخرج عن طريق تغيير قيم المواسعين (C1) ، و(C2).

ذبذبات كلاب Clapp Oscillators

ب كلاب شبيه جدا بمذبذب كولبتس، ويظهر الاختلاف بينهما فقط في أن مذبذب كلاب يحتوي على مكثف إضافي
C)على التوالي مع الملف (L) في دائرة التغذية الراجعة يتميز مذبذب كلاب عن مذبذب كولبت بدقة واستقرارية
ل .



المكثف (C3) متصل على التوالي مع المكثفين(C2 ، (C1فتكون المواسعة الكلية (CT) من خلال المعادلة

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}$$

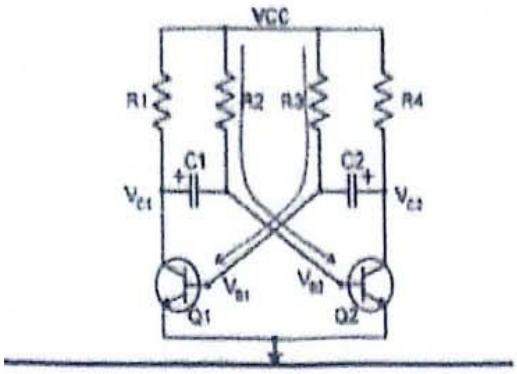
تردد الرنين للمذبذب يمكن حسابه من خلال المعادلة التالية

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_T L}}$$

في حال أن سعة المكثف (C3) أقل بكثير من سعة كل من المكثفين(C2 ، (C1تصبح عملية التحكم بقيمة تردد الرنين للمذبذب من خلال المكثف (C3) وبالتالي يمكن حسابها من خلال المعادلة التالية

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_3 L}}$$

المهتز غير المستقر (Astable multivibrator)



تتكون دائرة المهتز غير المستقر من مكبرين هنا نستخدم الترانزستور ثنائي القطبية (bipolar) وتتحقق التغذية العكسية الموجبة من خلال المتسعات (C1, C2) التي تربط خرج كل مكبر الى دخل المكبر الثاني .

بما ان جهد المتسعة لايتغير لحظيا فان أي تغير في جهد الخرج ينقل مباشرة الى دخل الترانزستور الثاني وبالعكس.

عند تجهيز الدائرة بالجهد تتوفر الشروط اللازمة لعمل كلا الترانزستورين وكما موضح بالرسم ولكن لاختلاف مواصفات الترانزستورات فان احدهما سوف يسحب تيار اكثر من الاخر .

عندما يسحب احد الترانزستورات تيار اعلى من الثاني فان جهد الخرج سوف يقل وينقل هذا التغير عن طريق المتسعة مباشرة الى قاعدة الترانزستور الثاني الذي هو أساسا سحبة للتيار اقل مما يسبب تناقص تيارة اكثر وزيادة جهد خرجة Vc تنقل هذه الزيادة مباشرة الى قاعدة الترانزستور الأول عن طريق المتسعة ونحصل على الحالة شبة المستقرة الأولى التي فيها (Q1) يعمل في حالة اشباع و(Q2) في حالة إطفاء

تشحن المتسعة C2 عن طريق المقاومة R4 عبر وصلة قاعدة-باعث Q1

وتفرغ C1 عبر المقاومة R2 ممايسبب جهد سالب على قاعدة (Q2) يحافظ علية في حالة إطفاء.

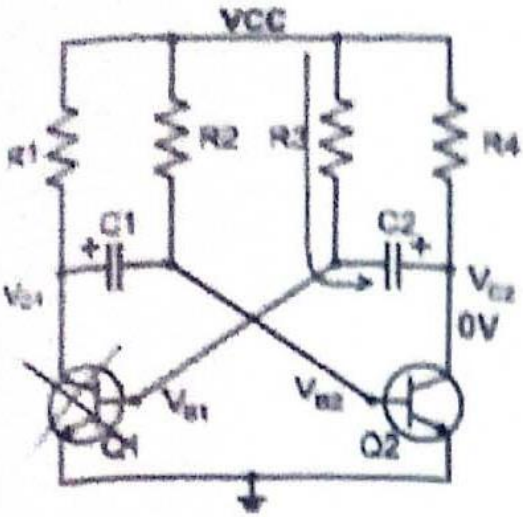
نلاحظ ان قاعدة (Q2) تحت تاثير جهد التغذية الموجب والجهد السالب الذي يسببة تفريغ المتسعة .في بداية التفريغ يكون الجهد السالب اعلى الا انة يتناقص تدريجيا حتى اذا وصل جهد قاعدة (Q2) الى جهد الحاجز (0.7v) فانة يبدا

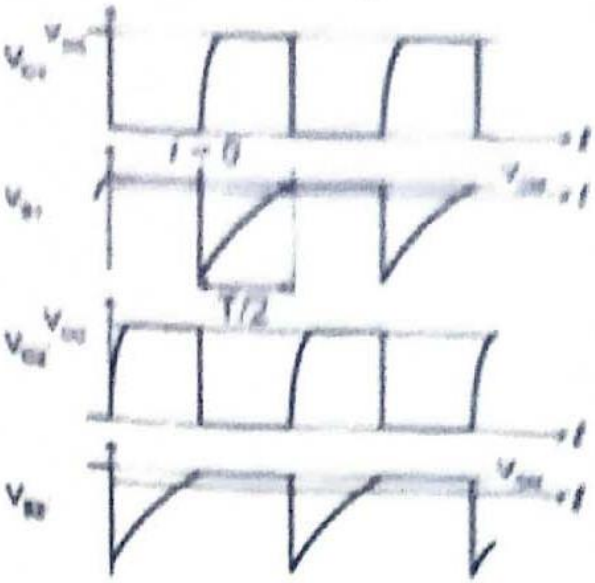
بالعمل ويتناقص الجهد على جامعة مما يسبب انتقال الدائرة الى الحالة غير المستقرة او شبة المستقرة الثانية التي فيها (Q1-off ,Q2-on)

وهنا تبدأ المتسعة C1 بالشحن والمتسعة C2 بالتفريغ .

زمن التفريغ أطول من زمن الشحن لان قيمة مقاومة (Rb) أكبر بكثير من قيمة مقاومة (Rc)

Multivibrator Frequency





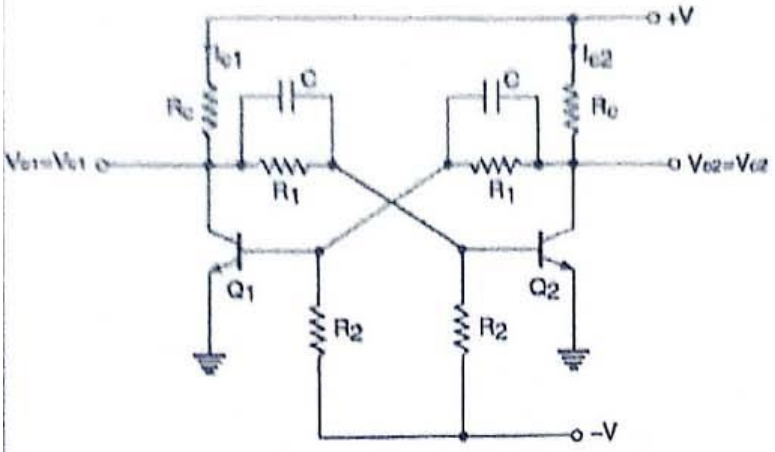
$$v_{B1} = (V_{ON} - V_{CC}) + (2V_{CC} - V_m)(1 - e^{-t/R_3C_2})$$
$$\approx -V_{CC} + 2V_{CC}(1 - e^{-t/R_3C_2}) \quad \text{for } V_{ON} << V_{CC}$$

At $t = T/2$, $v_{B1} = V_{ON}$: $V_{ON} = -V_{CC} + 2V_{CC}(1 - e^{-T/2R_3C_2})$

$$V_{ON} = -V_{CC} + 2V_{CC}(1 - e^{-T/2R_3C_2})$$
$$\therefore V_{CC} \approx 2V_{CC}(1 - e^{-T/2R_3C_2}) \quad \text{for } V$$
$$\therefore 1 = 2(1 - e^{-T/2R_3C_2})$$
$$\therefore e^{-T/2R_3C_2} = 0.5$$
$$\therefore -\frac{T}{2R_3C_2} = -\ln 2$$
$$\boxed{\therefore T = 2(\ln 2)R_3C_2}$$

or $$\boxed{f = \frac{1}{2(\ln 2)R_3C_2}}$$

المهتز ثنائي الاستقرارية (Bistable Multivibrator)



هي دوائر توليد نبضات لها حالتي استقرار الاولى

(Q1 – on ,Q2 –off)

والثانية بالعكس .

(Q1-off ,Q2 –on)

الدائرة الاصلية من دون المتسعات لكن هذه المتسعات وضعت لتسريع عمل المهتز

تستخدم هذه الدائرة لأغراض السيطرة والتعديل.

وفي الالكترونيك الرقمي لأغراض الخزن والعدادات

يمكن ان يعمل الثناي من دون الجهد السالب لكن فائدتها أولا للتاكد من ان الترانزستور المتوقف لايعمل بحالة عشوائية بسبب الحرارة .

ثانيا زيادة سرعة تحول الدائرة لانه يساعد في زيادة تيار القطع .

عندما يكون الثناي في احد حالات الاستقرار فانة لايتحول الى الحالة الثانية الا بتسليط نبضة قدح على قاعدة احد الترانزستورات .بحيث تكون اما موجبة على قاعدة المتوقف لتشغيلة او سالبة على قاعدة الترانزستور الشغال لاطفاءة .

التغذية العكسية الموجبة تتحقق هنا عن طريق المقاومات (R1) حيث تنتقل التغيرات من خرج كل مكبر الى دخل المكبر الثاني . وتكفي نبضة تحفيز قصيرة مع جهد كافي لتغيير حالة الدائرة ولذلك وضعت متسعات الإسراع (speed up capacitor) لتسريع عملية التحول

$$T_r = 2.2\ C\ (R_2 + R_1)$$

$$-V > 5\ R_2\ I_{CBO}$$

يمكن حساب زمن التردد

عن طريق المعادلات

والمخطط أعلاه يبين اشكال الموجات التي يمكن الحصول عليها عند خرج ودخل كل ترانزستور

$$T = 1.4\ R_B \cdot C$$

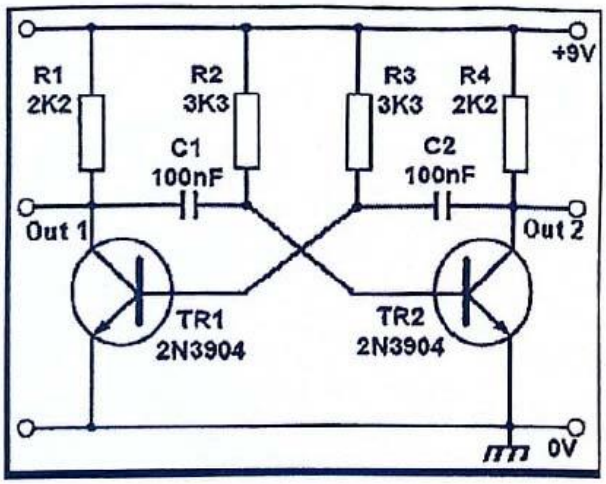
$$F = 1/T$$

$$RB / Rc > 5$$

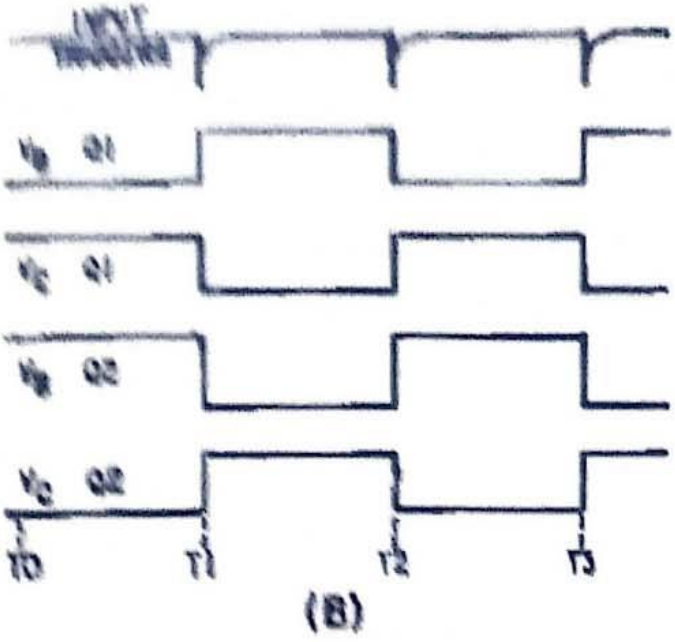
شرط العمل في منطقة الاشباع

$$R_B/Rc < h_{fe}$$

دائرة عملية للمهتز



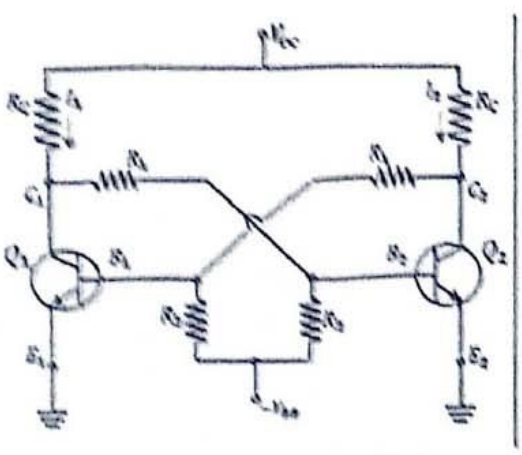
من خلال مخططات اشكال موجات الخرج نلاحظ انا لسيطر على تحويل حالة الدائرة وعرض نبضات الخرج من خلال نبضات التحفيز (TRIGGER PULSES)

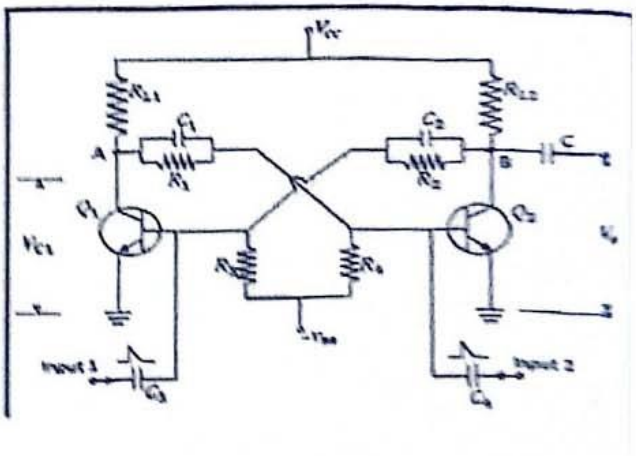


(B)

هذه المخططات تبين شكل موجات الخرج لكل مكبر وكيفية السيطرة على سرعة عمل الدائرة من خلال نبضات التحفيز.

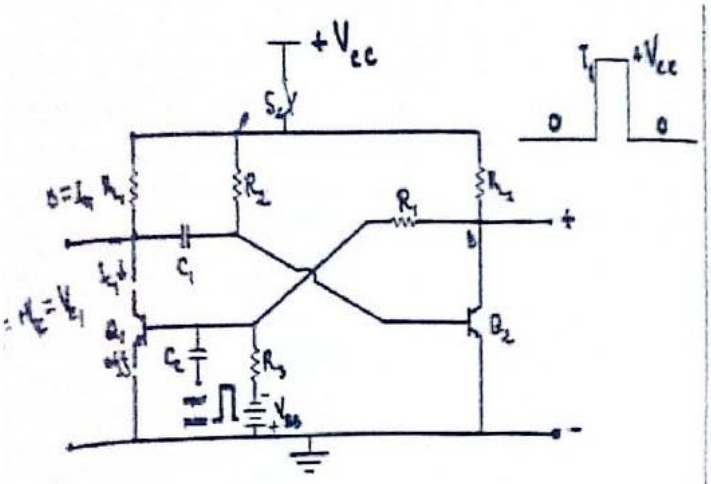
يجب معرفة سرعة كل ترانزستور من خلال معلومات المنتج حتى تستطيع الدائرة العمل بصورة صحيحة .





المهتز احادى الاستقرارية (Astable multivibrator)

دائرة هجينة نصفها تعمل كلحادي الاستقرارية لان التغذية العكسية عن طريق المتسعة اما النصف الثاني فيعمل كثنائي الاستقرارية لان التغذية العكسية تتحقق عن طريق المقاومة



لدينا حالتي عمل احدهما مستقرة يكون فيها

(Q2-on &Q1-off)

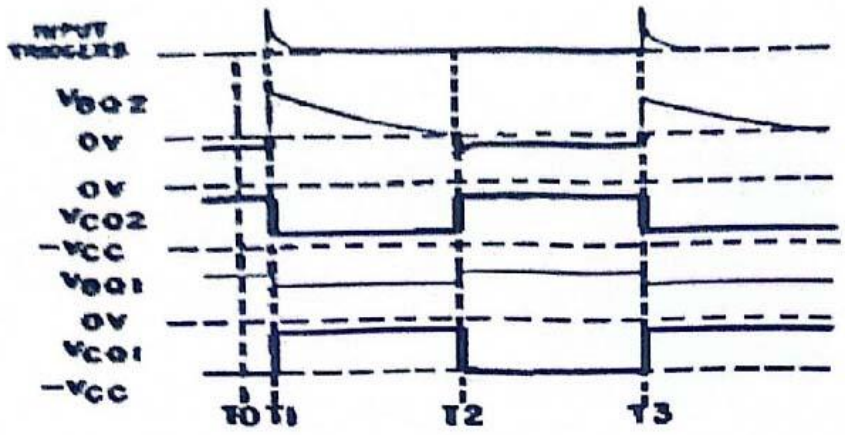
وحالة عمل غير مستقرة يحدد زمنها وقت تفريغ المتسعة .

عندما نريد تغيير حالة المهتز فاننا نسلط نبضة تحفيز موجبة على قاعدة الترانزستور الأول الذي يبدأ بالعمل وبسبب وجود التغذية العكسية الموجبة فان الترانزستور الثاني يبدا بالتوقف لنصل الى الحالة شبة المستقرة حيث تبدا المتسعة بالتفريغ لتحافظ على الترانزستور في حالة إطفاء . وقت تفريغ المتسعة قصير وعندما يقل تاثير تيار تفريغ المتسعة على قاعدة الترانزستور فانة يبدأ بالعمل مما يؤدي الى توقف الترانزستور الأول والعودة الى حالة الاستقرار.

ونعود لتسليط نبضة تحفيز موجبة أخرى لتغيير حالة ادائرة .

شكل موجات الخرج

توضح حاتي الاستقرار وشبة الاستقرار التي تعتمد على تفريغ المتسعة

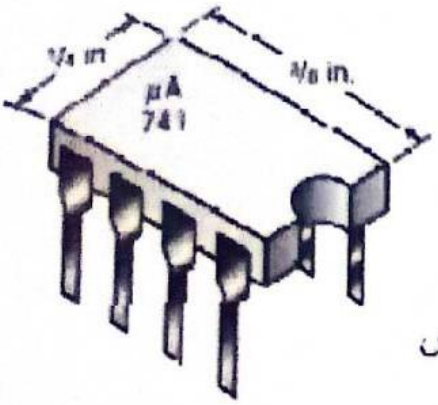


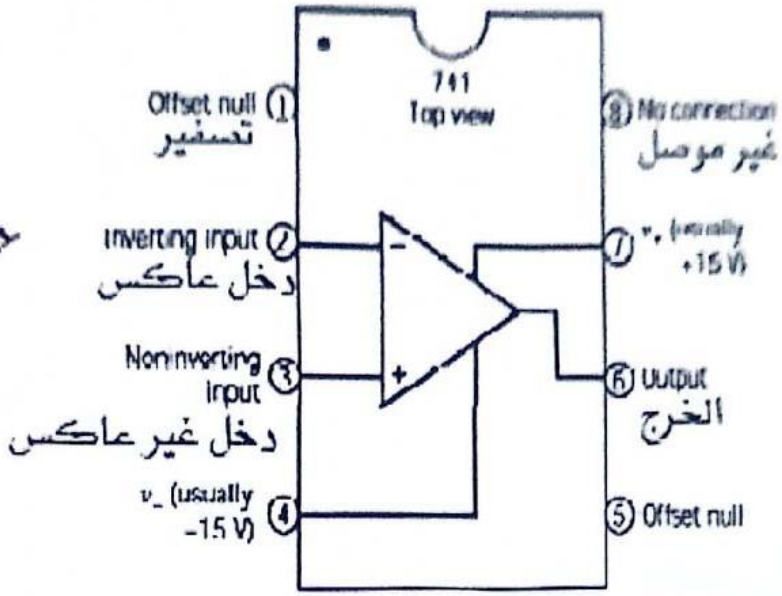
(B) WAVESHAPES

OPERATIONAL AMPLIFIER

مكبر العمليات التشغيلي

OPERATIONAL AMPLIFIER





شكل2-2: الشكل الخارجي لمكبر عمليات 741

شكل2-3:الشكل الداخلي لمكبر عمليات 741

مواصفات مكبر العمليات

١. ممانعة الدخل عالية جدا مثاليا مالانهاية

٢. ممانعة الخرج قليلة جدا مثاليا صفر

٣. التكبير عالي جدا مثاليا مالا نهاية

٤. يكبر الإشارات المستمرة والمتناوبة

٥. التيارات الداخلة الى المكبر = صفر

٦. جهد الخرج يجب الا يزيد عن فولتية التجهيز (V_{cc})

٧. تم تسميتة بمكبر العمليات لانة يقوم باجراء عمليات حسابية مثل عمليات (الجمع والطرح والتفاضل والتكامل الخ)

٨. المكبر يكبر الفرق بين اشارتي الدخل ($Vi = V^+ - V^-$)

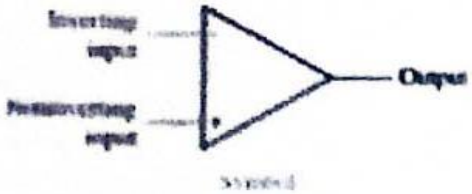
٩. المكبر دائما يحاول ان يساوي بين فولتيات الدخل ($V^+ = V^-$)

١٠. التيارات الداخلة والخارجة = صفر وذلك لكبر ممانعة الدخل

١١. عرض حزمة واسع

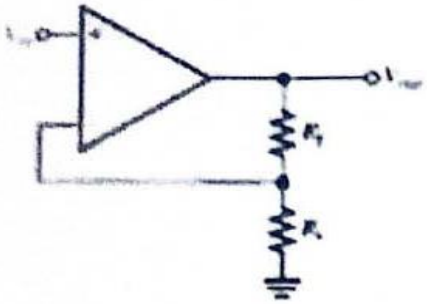
١٢. رفض صيغة مشتركة عالي (يستفاد من هذه الخاصية للتخلص من إشارات الضوضاء) .

١٣. معدل انحدار عالي .



- Very high open-loop voltage gain
- Very high input impedance
- Very low output impedance

NONINVERTING AMPLIFIER



- Voltage gain:

$$A_{v(NI)} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

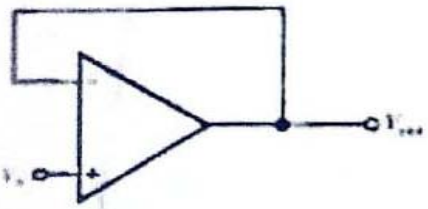
- Input impedance:

$$Z_{in(NI)} = (1 + A_{vol}\beta)Z_{in}$$

- Output impedance:

$$Z_{out(NI)} = \frac{Z_{out}}{1 + A_{vol}\beta}$$

VOLTAGE-FOLLOWER



- Voltage gain:

$$A_{v(VF)} = 1$$

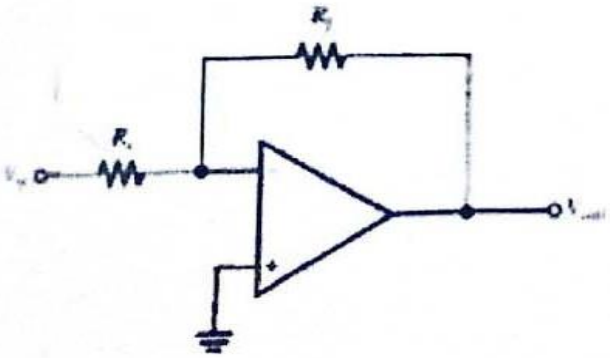
- Input impedance:

$$Z_{in(VF)} = (1 + A_{vol})Z_{in}$$

- Output impedance:

$$Z_{out(VF)} = \frac{Z_{out}}{1 + A_{vol}}$$

INVERTING AMPLIFIER



- Voltage gain:

$$A_{v(I)} = -\frac{R_f}{R_1}$$

- Input impedance.

$$Z_{in(I)} \cong R_1$$

- Output impedance:

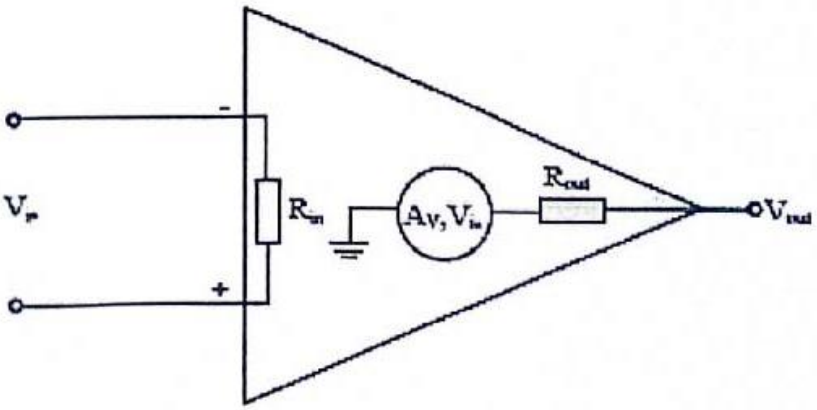
$$Z_{out(I)} = \frac{Z_{out}}{1 + A_{vol}\beta}$$

٢-٢-٤. مقاومة الدخل (R_{in}):

مقاومة الدخل الكبيرة تعني أن هذا المكبر لن يؤثر على مصدر إشارة الدخل حيث إن مقاومة الدخل عملياً في حدود (1 MΩ) مما يجعل الحمل على إشارة الدخل (التيار) صفراً. الشكل 2-6 يوضح مقاومة الدخل (R_{in}) في الدائرة المكافئة.

٢-٢-٥. مقاومة الخرج (R_{out}):

مقاومة الخرج هي المقاومة المرئية من عقدة الخرج وتكون صغيرة جداً. الشكل 2-6 يوضح مقاومة الخرج (R_{out}) في الدائرة المكافئة.



شكل2-6: الدائرة المكافئة لمكبر العمليات 741

٢-٢-٨. المكبر المثالي والمكبر الحقيقي:

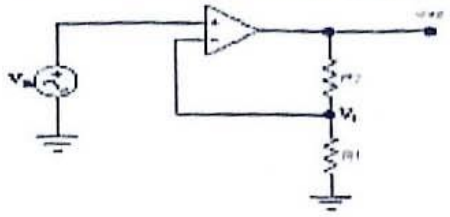
بعض القيم لمكبر عمليات مثالي وحقيقي لدائرة مفتوحة نلخصها في الجدول2-1.

مثالي Ideal	LH0003	OP-07	LF351	LM741C	المنصر Device	الخاصية
	Hybrid BJT	BJT	BiFET	BJT	Technology	
∞	40 k	400 k	100 k	200 k	A_{OL}	مكسب مكبر العمليات مكسب دائرة مفتوحة
∞	100 kΩ	8 MΩ	10 TΩ	2 MΩ	R_{in}	مقاومة الدخل
0	50 Ω	60 Ω	30 Ω	50 Ω	R_{out}	مقاومة الخرج
0	70 V/µs	0.3 V/µs	13 V/µs	0.5 V/µs	SR	معدل تغير جهد إشارة الخرج
∞	90 dB	110 dB	100 dB	90 dB	CMRR	نسبة رفض النمط المشترك

جدول2-1: قيم مكبر عمليات مثالي وحقيقي

في حالة دائرة مغلقة هذه القيم تختلف وتتعلق بالطبع بالدائرة.

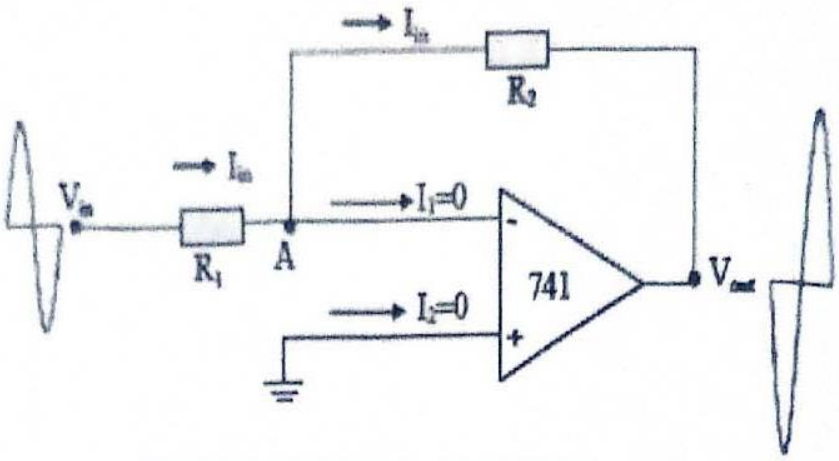
مثال2-5: في الشكل2-11 حدد كسب الجهد للدائرة في حالة مكبر مثالي وفي حالة مكبر حقيقي



٢-٩-٢. تطبيقات مكبر العمليات:

٢-٩-٢-١. مكبر عاكس (Inverting Amplifier)

دائرة مكبر عاكس باستعمال مكبر عمليات موضحة في الشكل2-12.



شكل2-12: دائرة مكبر عاكس

نعتبر دائرة مكبر عاكس باستعمال مكبر عمليات التطبيق الأساسي لمكبر العمليات.

مفهوم الأرض الافتراضي: لمكبر عمليات مثالي كسب جهد دائرة مفتوحة لانهائي ومقاومة دخل لانهائية. من هنا نستطيع القول (شكل2-12):

أ- بما أن مقاومة الدخل كبيرة جدا ($R_{in}=\infty$) إذن $I_1=0$ و$I_2=0$

ب- إذا فرق الجهد على طرفي الدخلين يساوي صفر (عدم وجود تيار يؤدي إلى عدم وجود جهد).

وبما أن الدخل الغير عاكس موصل بالأرضي فالجهد يساوي صفر وبالتالي الجهد في العقدة A يساوي بالطبع صفر ($V_A=0$).

بما أن التيار الذي يدخل المكبر من الإشارة السالبة(-) يساوي صفراً إذا التيار الذي يمر في المقاومة R_1 يساوي التيار الذي يمر في المقاومة R_2 كما هو موضح في الشكل2-12.

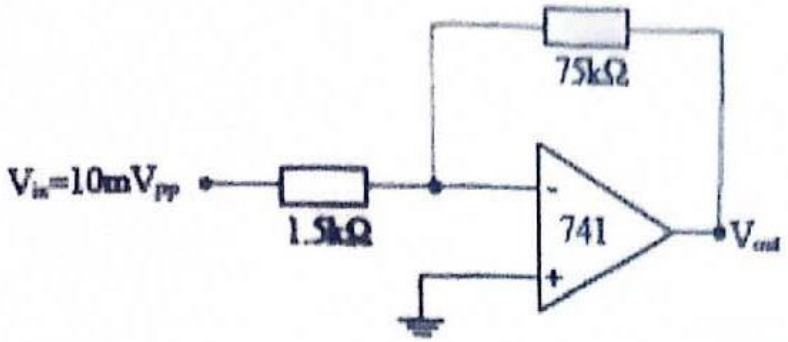
كسب الجهد:

بما أن ($V_A=0$) إذا $V_{in}=I_{in}R_1$ وكذلك $V_{out}=-I_{in}R_2$.

بقسمة V_{out} على V_{in} نحصل على كسب الجهد A_{CL} للدائرة المغلقة الموضحة في الشكل2-12.

$$A_{CL}=\frac{V_{out}}{V_{in}}=-\frac{R_2I_{in}}{R_1I_{in}}=-\frac{R_2}{R_1} \qquad (9\text{-}2)$$

لاحظ أن الإشارة الخارجة عكس الإشارة الداخلة.



شكل2-13: دائرة مكبر عاكس للمثال2-6

الحل:

باستعمال المعادلة (2-9) كسب جهد الدائرة المغلقة يساوي: $A_{CL} = -75k\Omega/1.5k\Omega = -50$

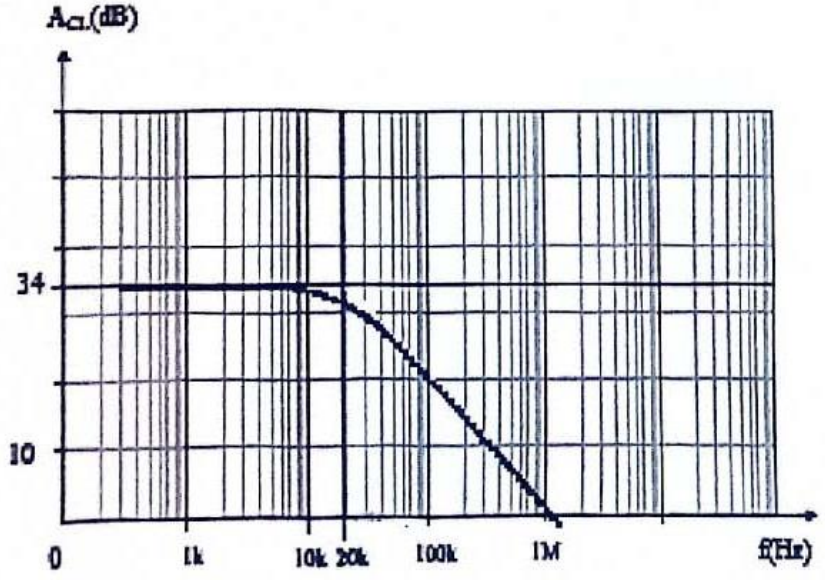
باستعمال المعادلة (2-10) عرض نطاق الدائرة المغلقة يساوي: $f_{0(CL)} = 1MHz/50 = 20kHz$

جهد الخرج عند 1 kHz هو: $V_{out} = -50(10mV_{pp}) = -500mV_{pp}$

بما أن 1MHz هو كسب التردد الوحيد $A_{CL} = 1 = 0dB$ فإن جهد الخرج عند 1MHz يساوي:

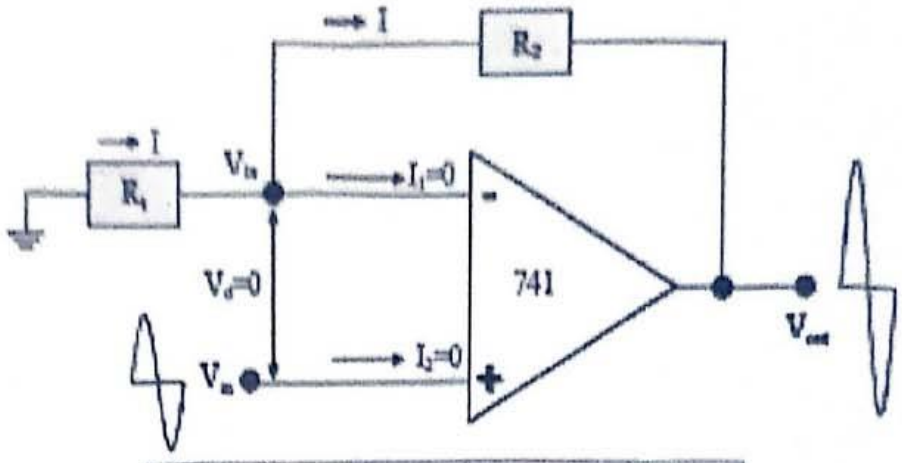
$V_{out} = 10\ mV_{pp}$

الشكل2-14 يبين رسم الاستجابة الترددية (Bode) المثالي لكسب جهد لدائرة مغلقة. القيمة المكافئة بالديسبل (Decibel) لـ 50 هي 34dB (بطريقة مختصرة: 50 هي نصف 100، أو أقل بـ 6 dB من 40dB).



٢- ٢- ٩- ٢. مكبر غير عاكس (Noninverting Amplifier):

دائرة مكبر غير عاكس موضحة في الشكل2-15.



شكل2-15 : دائرة مكبر غير عاكس

في حالة مكبر مثالي، التيار الذي يدخل مكبر العمليات من الطرف(+) يساوي صفر والتيار الذي يدخل من الطرف(-) يساوي صفر. فرق الجهد بين مدخلي مكبر العمليات يساوي صفر. إذا جهد الدخل V_{in} يساوي الجهد بين المقاومتين R_1 وR_2. والتيار الذي يمر في المقاومة R_1 يساوي التيار الذي يمر في المقاومة R_2. ليكن هذا التيار I.

كسب الجهد:

بتطبيق قانون توزيع الجهد على مقاومتين نحصل على المعادلة التالية:

$$V_n = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times V_{out} \qquad (11\text{-}2)$$

و منه نحصل على كسب الجهد(A_{cl}) لمكبر العمليات لدائرة مغلقة (شكل2-15) لمكبر غير عاكس.

$$A_{cl} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2 + R_1}{R_1} = \frac{R_2}{R_1} + 1$$

$$A_{cl} = \frac{R_2}{R_1} + 1 \qquad (12\text{-}2)$$

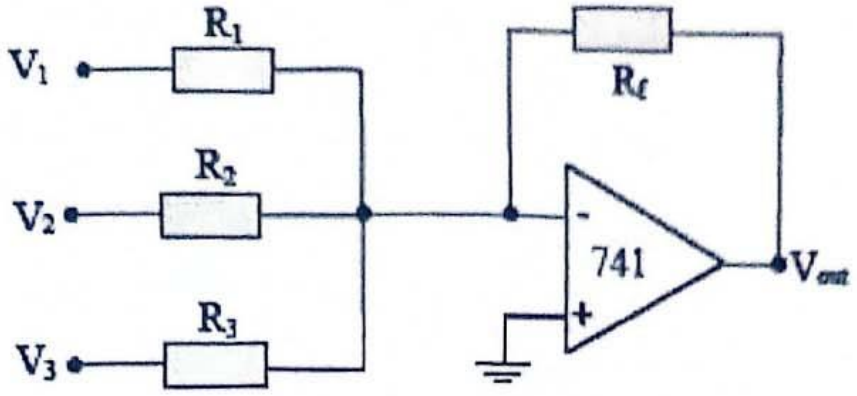
جهد الخرج: $V_{out} = A_{cl} V_{in}$

لاحظ أن الإشارة الخارجة والإشارة الداخلة غير متعاكستين.

٢- ٢- ٩- ٨ دائرة المكبر الجامع (Summing Amplifier):

يقوم المكبر الجامع بجمع الجهود الموجودة عند الدخل.

بالإضافة للتكبير ومقارنة الجهد فإن مكبر العمليات يستخدم أيضا في بعض العمليات الرياضية. مثال ذلك دائرة الجامع المبينة بالشكل2-23.



الشكل2-23: دائرة مكبر عاكس جامع

ليكن A_{cl1} كسب الجهد في حالة وجود جهد دخل V_1 لوحده.

ليكن A_{cl2} كسب الجهد في حالة وجود جهد دخل V_2 لوحده.

ليكن A_{cl3} كسب الجهد في حالة وجود جهد دخل V_3 لوحده.

باستعمال مبرهنة التراكم (Theorem Superposition) نجد:

$$V_{out} = A_{cl1}V_1 + A_{cl2}V_2 + A_{cl3}V_3 \qquad (14\text{-}2)$$

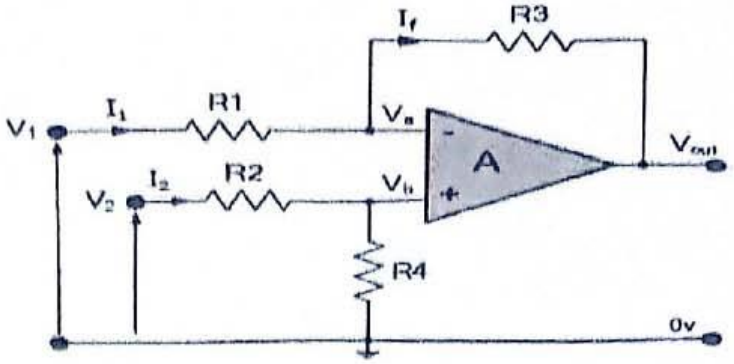
حيث $A_{cl1} = -R_f/R_1$ (كسب جهد مكبر عاكس) و $A_{cl2} = -R_f/R_2$ و $A_{cl3} = -R_f/R_3$

و منه نحصل على عبارة كسب جهد الخرج :

$$V_{out} = \left(-\frac{R_f}{R_1}V_1\right) + \left(-\frac{R_f}{R_2}V_2\right) + \left(-\frac{R_f}{R_3}V_3\right) \qquad (15\text{-}2)$$

إذا كانت كل المقاومات متساوية أي $R_f = R_1 = R_2 = R_3 = R$ تأخذ المعادلة (15-2) الشكل التالي:

$$V_{out} = -(V_1 + V_2 + V_3) \qquad (16\text{-}2)$$



By connecting each input in turn to 0v ground we can use superposition to solve for the output voltage Vout. Then the transfer function for a **Differential Amplifier** circuit is given as:

$$I_1 = \frac{V_1 - V_a}{R_1}, \quad I_2 = \frac{V_2 - V_b}{R_2}, \quad I_f = \frac{V_a - (V_{out})}{R_3}$$

$$\text{Summing point } V_a = V_b$$

$$\text{and } V_b = V_2\left(\frac{R_4}{R_2 + R_4}\right)$$

$$\text{If } V_2 = 0, \text{ then: } V_{out(a)} = -V_1\left(\frac{R_3}{R_1}\right)$$

$$\text{If } V_1 = 0, \text{ then: } V_{out(b)} = V_2\left(\frac{R_4}{R_2 + R_4}\right)\left(\frac{R_1 + R_3}{R_1}\right)$$

$$V_{out} = -V_{out(a)} + V_{out(b)}$$

$$\therefore V_{out} = -V_1\left(\frac{R_3}{R_1}\right) + V_2\left(\frac{R_4}{R_2 + R_4}\right)\left(\frac{R_1 + R_3}{R_1}\right)$$

When resistors, R1 = R2 and R3 = R4 the above transfer function for the differential amplifier can be simplified to the following expression:

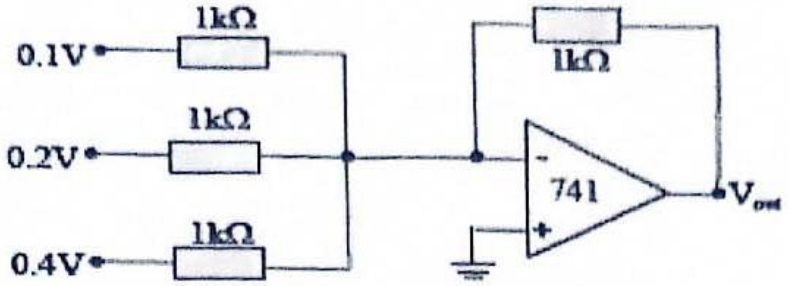
Differential Amplifier Equation

$$V_{OUT} = \frac{R_3}{R_1}\left(V_2 - V_1\right)$$

في حال تساوي المقاومات تصبح المعادلة كالاتي .

تبين هذه المعادلة أن إشارة جهد الخرج تساوي جمع إشارات الدخل.

مثال2-8: حدد جهد الخرج للدائرة بالشكل2-24.



الشكل2-24: مكبر جامع (مثال2-8)

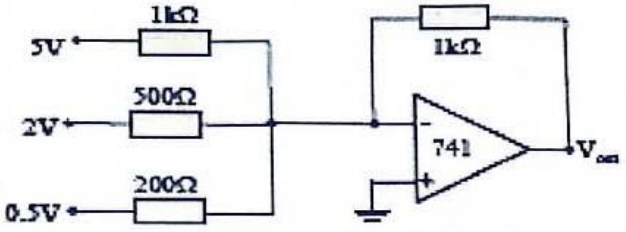
الحل: هناك ثلاثة إشارات دخل كل منها يعطي جهد خرج جزئي.

الجهد الكلي هو مجموع الجهود الجزئية:

$$V_{out} = -(V_1 + V_2 + V_3) = -(0.1\ V + 0.2\ V + 0.4\ V) = -0.7\ V$$

مثال2-9:

حدد جهد الخرج للدائرة بالشكل2-25.



الشكل2-25: مكبر جامع (مثال2-9)

الحل:

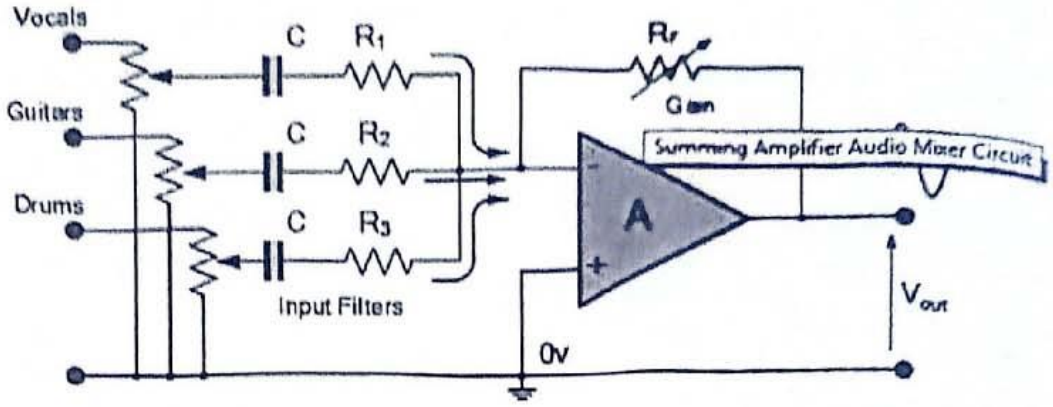
هناك ثلاث إشارات دخل كل منها يعطي جهد خرج جزئي .

الجهد الكلي هو مجموع الجهود الجزئية:

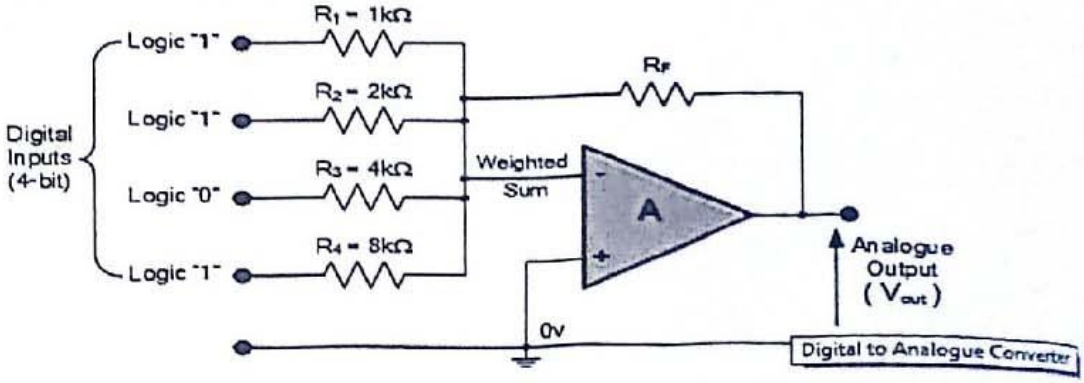
$$V_{out} = -\left(\frac{R_f}{R_1}\right)V_1 + \left(\frac{-R_f}{R_2}\right)V_2 + \left(\frac{-R_f}{R_3}\right)V_3 = -\left(\frac{-1k\Omega}{1k\Omega}\right)5V + \left(\frac{-1k\Omega}{0.5k\Omega}\right)2V + \left(\frac{-1k\Omega}{0.2k\Omega}\right)0.5V$$

$$= -5V - 4V - 2.5V = -11.5V$$

Summing Amplifier Audio Mixer



Digital to Analogue Converter



$$I_F = I_1 + I_2 + I_3 = -\left[\frac{V1}{Rin} + \frac{V2}{Rin} + \frac{V3}{Rin}\right]$$

$$\text{Inverting Equation: } Vout = -\frac{Rf}{Rin} \times Vin$$

$$\text{then, } -Vout = \left[\frac{R_E}{Rin}V1 + \frac{R_E}{Rin}V2 + \frac{R_E}{Rin}V3\right]$$

However, if all the input impedances, (Rin) are equal in value, we can simplify the abov equation to give an output voltage of:

Summing Amplifier Equation

$$-Vout = \frac{R_E}{R_{IN}}\left(V1 + V2 + V3 \ldots . etc\right)$$

الجامع غير العاكس

$$Vin = \frac{R2\ V1}{R1+R2}$$

$$V_{O1} = \left(\frac{R2\ \ V1}{R2+R1}\right)\ (1\ + \frac{Rf}{R})$$

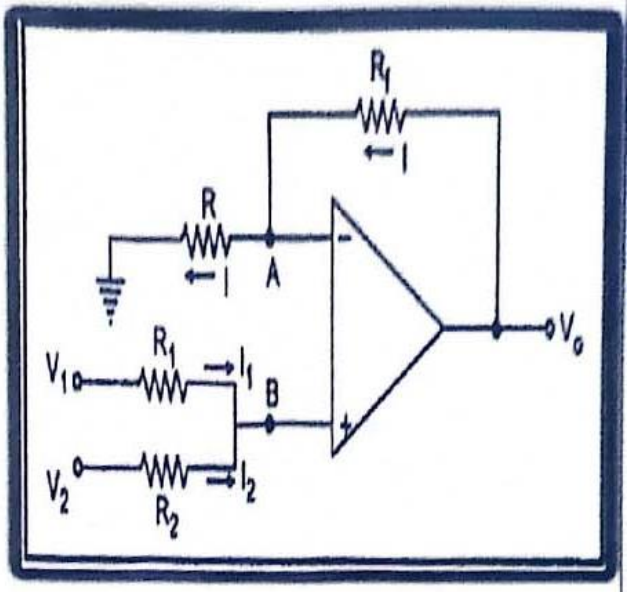
$$V_{O2} = \left(\frac{R1\ V2}{R1+R2}\right)\left(1 + \frac{Rf}{R}\right)$$

$$V_{TOTAL} = V_{O1} + V_{O2} = (1 + \frac{Rf}{R})$$

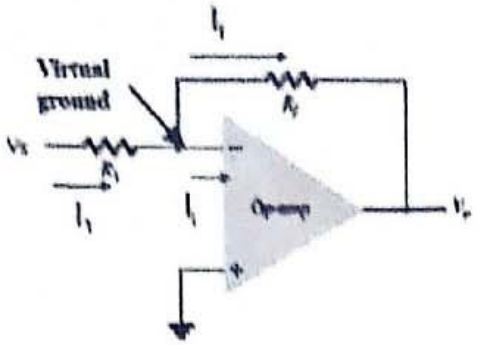
$$\left(\frac{R2\ V1}{R2+R1} + \frac{R1\ V2}{R1+R2}\right)$$

IF $R_1 = R_2$

$$V_{OT} = (\ + \frac{Rf}{R})\ (\frac{V1}{2} + \frac{V2}{2})$$



Analysis of inverting amplifier



$$V^+ = 0 \qquad I_i = 0$$

$$I_1 = I_f + I_i$$

$$\frac{V_s - V^-}{R_1} = \frac{V^- - V_o}{R_f}$$

$$V^- = V^+ = 0$$

$$\frac{V_o}{V_s} = -\frac{R_f}{R_1} \qquad V_o = -\frac{R_f}{R_1} V_s$$

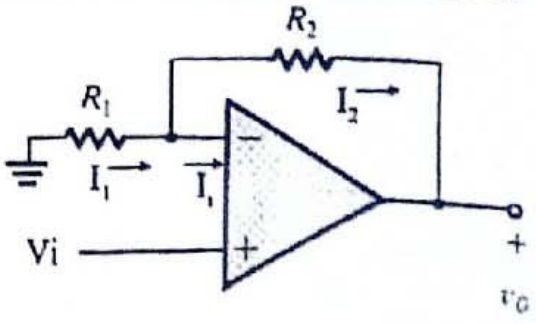
Non-inverting configuration

$$V_i = V^+ = V^-$$

use KCL:

$$I_1 = I_i + I_2$$

while $I_i = 0$;

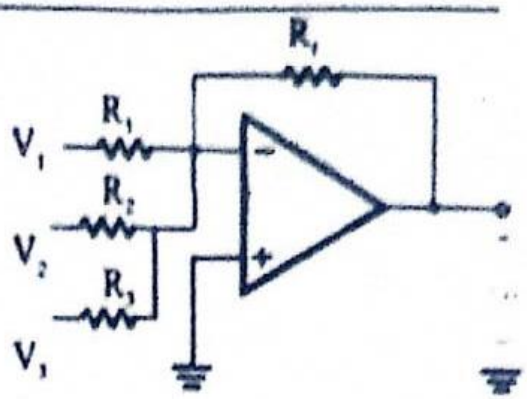


so: $$\frac{0 - V^-}{R_1} = \frac{V^- - V_o}{R_2}$$

insert $V^- = V_i$; $$\frac{0 - V_i}{R_1} = \frac{V_i - V_o}{R_2}$$

$$V_o = V_i\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

Summing Amplifier



$V^+ = V^- = 0$

use KCL:

$I_{R1} + I_{R2} + I_{R3} = I_i + I_{Rf}$

while $I_i = 0$;

so: $$\frac{V_1 - V^-}{R_1} + \frac{V_2 - V^-}{R_2} + \frac{V_3 - V^-}{R_3} = \frac{V^- - V_o}{R_f}$$

This circuit is called a weighted summer

insert $V^- = 0$; $$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} = \frac{-V_o}{R_f}$$

$$V_o = -R_f\left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}\right)$$

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{20}{680} = 0.0294\,A = 29.4mA$$

$$V_{CE(cutoff)} = V_{CC} = 20v$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{20 - 0.7}{100 * 10^3} = 0.000193\,A = 0.193mA$$

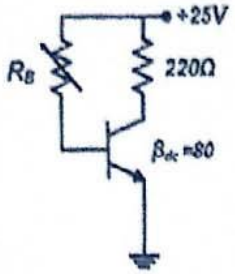
$$I_{CEQ} = \beta_{dc} * I_{BQ} = 80 * 0.193mA = 15.5mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} * R_C = 20 - 15.5 * 10^{-3} * 680 = 9.46v$$

لـ:

الدائرة الموضحة أدناه إذا كان للترانزستور ($\beta_{dc} = 80$) و ($V_{CE(sat)} = 0.1v$)

ضبطت R_B للحصول على التشبع . احسب قيمة $I_{C(sat)}$ ؟ وما قيمة R_B لذلك ؟

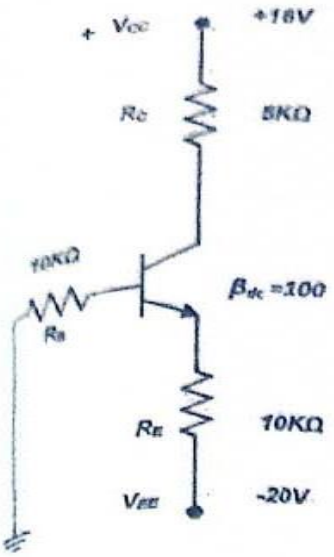


لـ:

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{25}{220} = 0.114A = 114mA$$ وهذا أقصى تيار جامع يمكن الحصول عليه

تيار القاعدة عند التشبع $$I_{B(sat)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta_{dc}} = \frac{114mA}{80} = 1.43mA$$

أما قيمة مقاومة القاعدة عند التشبع $$R_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{I_{B(sat)}} = \frac{25 - 0.7}{1.43 * 10^{-3}} = 17K\Omega$$



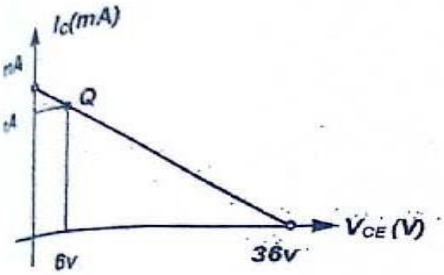
$$I_C \cong I_E = \frac{V_{EE}}{R_E} = \frac{20}{10*10^3}$$

$$I_{CQ} = 0.002A = 2mA$$

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

$$V_{CE} = 16 - 2*10^{-3}*5*10^3$$

$$V_{CEQ} = 16 - 10 = 6v$$



$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} + V_{EE}}{R_C + R_E}$$

$$I_{C(sat)} = \frac{16+20}{(5+10)*10^3}$$

$$I_{C(sat)} = 0.0024A = 2.4mA$$

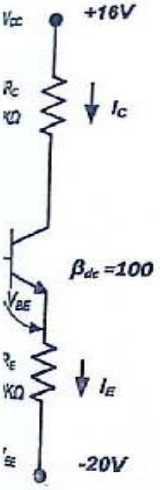
$$V_{CE(cutoff)} = V_{CC} + V_{EE}$$

$$V_{CE(cutoff)} = 16 + 20 = 36v$$

مثال :

احسب القيمة الدقيقة لتيار الباعث I_E لدائرة انحياز الباعث الموضحة بالشكل أدناه ؟

نطبق قانون كيرشوف للفولتية على دائرة الباعث – القاعدة



$$I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E - V_{EE} = 0$$

$$I_B R_B + I_E R_E = V_{EE} - V_{BE}$$

$$\because I_C \cong I_E \Rightarrow\Rightarrow I_B = \frac{I_E}{\beta_{dc}}$$

$$R_B \frac{I_E}{\beta_{dc}} + I_E R_E = V_{EE} - V_{BE}$$

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E + R_B/\beta_{dc}} = \frac{20 - 0.7}{10000 + \frac{10000}{100}}$$

$$I_E = \frac{19.3}{10100} = 0.00191A = 1.91mA$$