

الباب الخامس

أشباه الموصلات

5- 1 مقدمة :

5- 2 دراسة تركيب وخواص وإستخدام كل من :

ثنائي الوصلة

ثنائي الزينز

الترانزستور (NPN , PNP)

ترانزستور تأثير المجال MOSTET – JFET

الترانزستور احادى الوصلة UJT

الداياك

الترياك

ثنائي الفاركتور

ثنائي الثيرستور SCR

وصلات أشباه الموصلات

Semiconductor Devices

1-5 مقدمة :

تنقسم المواد من حيث توصيلها للتيار الكهربى إلى ثلاثة أنواع هي :

1- الموصلات Conductors

وهى مواد جيدة التوصيل لوفرة الالكترونات الحرة بها ومن أمثلتها الفضة والنحاس الألومنيوم ، الحديد ، الذهب ... الخ .

2- المواد العازلة Insulators

وهى مواد لا تحتوى إلا على عدد ضئيل من الالكترونات الحرة حيث يصعب التعرف على حركتها عملياً ومن أمثلتها المطاط والخزف والزجاج والورق الخ.

3- المواد الشبه موصلة Semiconductors

وهى مواد تقع بين حدود الموصلات والعوازل ومن أمثلتها الجرمانيوم والسليكون وهذه المواد لها صفات معينة مثل :

أ- تكون عازلة تماماً في حالتها النقية عند درجة حرارة الصفر المطلق .

ب- تكون موصلة بصورة رديئة في حالتها النقية عند درجة الحرارة العادية .

ج- تزداد درجة توصيلها بإضافة مواد أخرى .

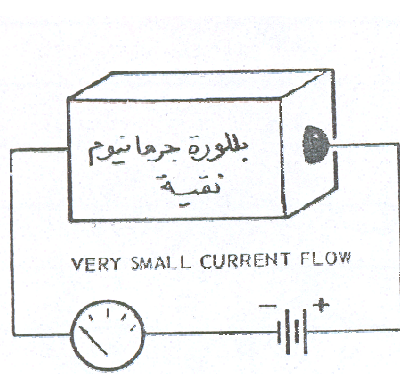
د - تتحسن قابليتها للتوصل بارتفاع درجة حرارتها .

* بللورة شبه الموصلة النقية :

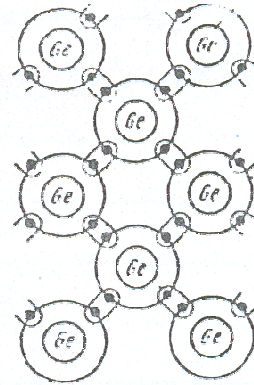
يتبلور كل من الجرمانيوم والسيليكون على هيئة التشابك الإنشائي للماس وكلاهما مادة صلبة قابلة للكسر ويستخدم كل من الجرمانيوم والسيليكون في صناعة الثنائيات والترانزستور والدوائر المتكاملة وسوف نتعرض للجرمانيوم والسيليكون كمادة شبه موصلة واستخداماتها .

* بللورة الجرمانيوم النقية :

تترابط ذرات الجرمانيوم مع بعضها لتكون بللورة جرمانيوم نقية حيث ترتبط كل ذرة مع أربع ذرات مجاورة برابطة تساهمية مشتركة لتأخذ كل ذرة أربع الكترونات من ذرات مجاورة وتعطى الكتروناتها الأربع في أربع روابط كما بالشكل (1-5) وهذه البللورة تكون رديئة التوصيل في درجة الحرارة العادية .



يمر تيار صغير جدا عند درجة حرارة الغرفة



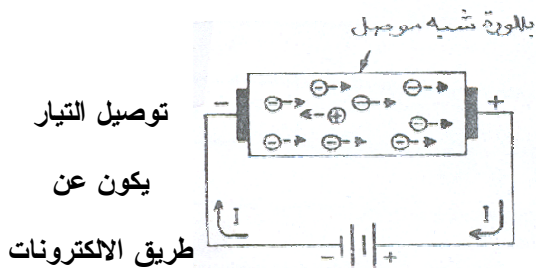
ترابط ذرات الجرمانيوم ببعضها

شكل (1 - 5)

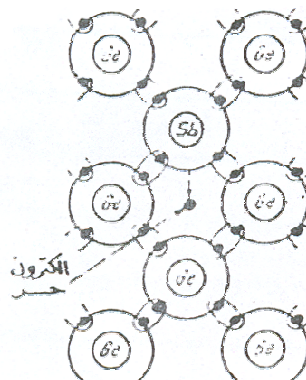
بللورة الجرمانيوم السالبة من النوع N

لزيادة درجة توصيل بللورة الجرمانيوم النقية يضاف الى البللورة قليل من الشوائب فعند إضافة مادة خماسية التكافؤ كالزرنخ أو الفوسفور فإن أربعة ذرات من الجرمانيوم تتشارك مع ذرة الزينج في أربعة روابط مشتركة ويبقى الكترون من ذرة الزرنخ حر هذا الالكترون يكون غير مستقر فيحاول الدخول في رابطة ويطرد الكترون من أحد الروابط وهكذا تصبح هناك حركة للإلكترونات السالبة ويكون عدد الشحنات السالبة اكبر من الموجبة لذا تسمى بللورة

سالبة كما في شكل (2-5) ، شكل (3-5)



شكل (3 - 5)



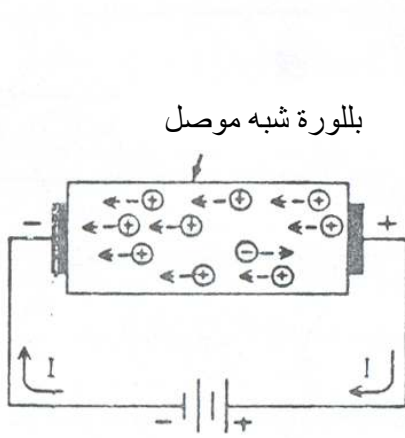
شكل (2 - 5)

بللورة جرمانيوم

نوع P

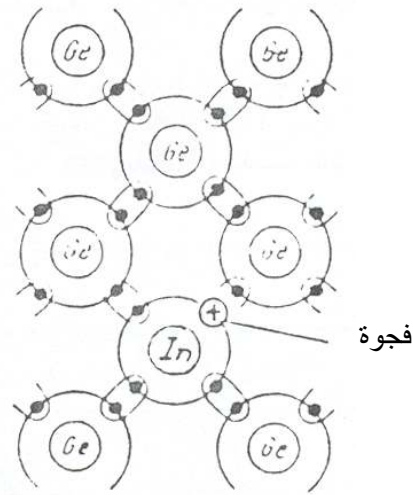
بلورة جرمانيوم موجبة من النوع P :

عند إضافة شائب ثلاثي التكافؤ مثل الانديوم أو الألومنيوم إلى بلورة الجرمانيوم النقية يتحد مع ذرات الجرمانيوم في ثلاث روابط وتبقى الرابطة الرابعة ناقصة الكترون ويصبح مكانه فجوة Hole يحاول احد الالكترونات ملئ هذه الفجوة فيترك مكانه متحركاً اليها تاركاً مكانه فجوة وهكذا تتحرك الفجوات ظاهرياً ويكون عدد الشحنات الموجبة اكبر من السالبة لذا تسمى البلورة الموجبة P ، الشكلان (4-5) ، (5-5) يبينان بلورة جرمانيوم موجبة .



توصيل التيار يكون عن طريق الفجوات

شكل (5-5)



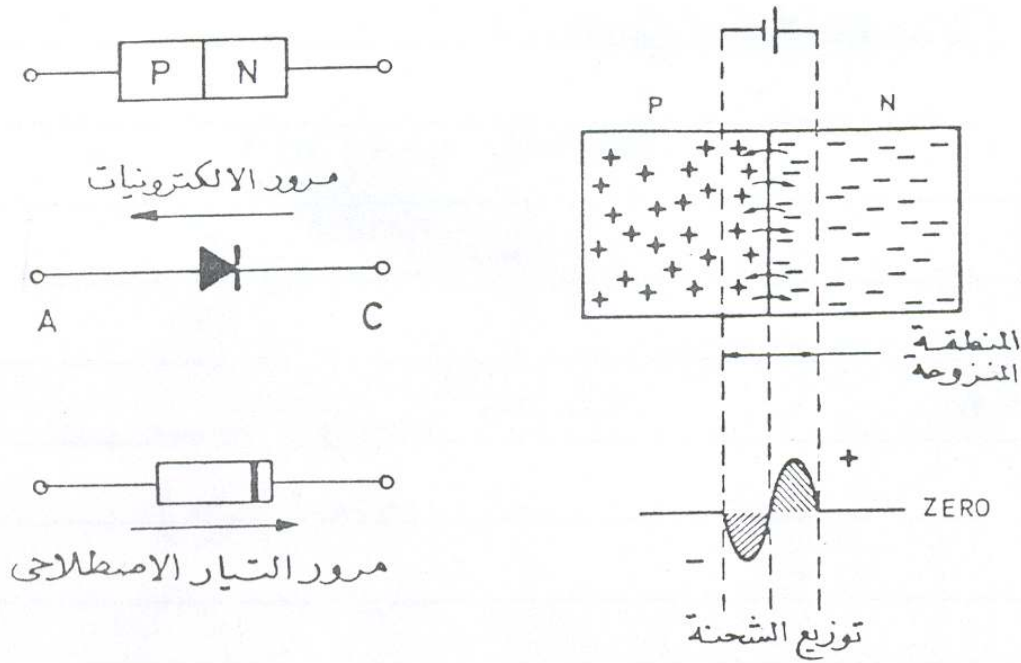
بلورة جرمانيوم نوع P

شكل (4 - 5)

2-5 دراسة تركيب وخواص وإستخدام كل من :

* ثنائي الوصلة : Diode

عند توصيل بلورة جرمانيوم نوع P وبلورة أخرى نوع N كما بالشكل (6-5) ويسمى سطح الاتصال بين البلورتين بالوصلة ، وعندها تتجذب الالكترونات الى الفجوات من البلورة N عبر سطح الإتصال الى البلورة P لمليء الفجوات والعكس بالعكس وينتج منطقة فارغة من حاملات التيار على جانبي الوصلة تسمى المنطقة القاحلة أو المنزوحة Depletion Area ويتكون جهد على طرفي هذه المنطقة يسمى بالجهد الحاجز يكون 0.7 V لوصلة السيليكون و 0.3 V لوصلة الجرمانيوم والشكل (6-5) يبين تكوين الوصلة الثنائية وتكوين الجهد الحاجز عن طرق الانتشار عبر الوصلة والشكل (7-5) يبين رمز ثنائي الوصلة واتجاه مرور التيار والإلكترونات.



شكل (5-6) تكوين الوصلة الثنائية شكل (5-7) الثنائي البلوري

تكوين الجهد الحاجز عن طريق الانتشار عبر الوصلة واتجاه مرور التيار والالكترونات

* إنحيازات الثنائي Diode Bias

يتم الحصول على إنحيازات الثنائي عن طريق توصيل بطارية (+ ، -) على طرفي

الدايود الثنائي

أ - الإنحياز (التوصيل) الأمامي : Forward Bias

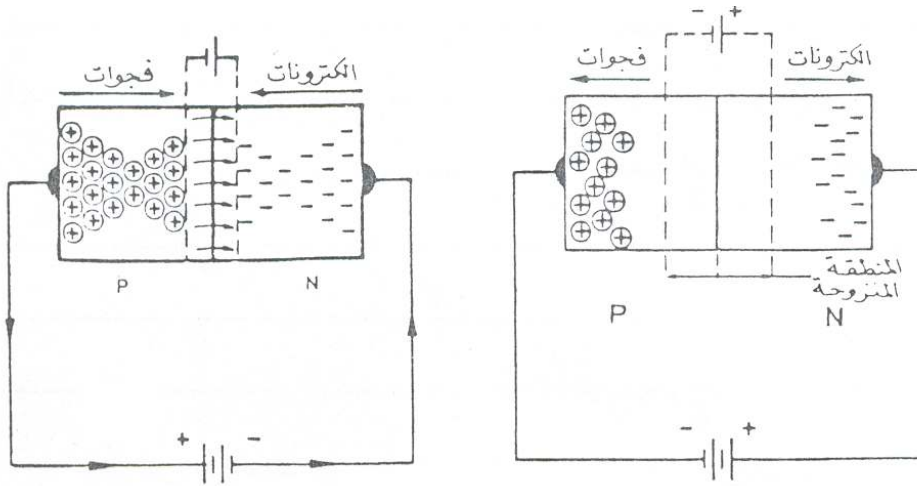
عند توصيل موجب البطارية مع طرف P للدايود ، وسالب البطارية مع طرف N للدايود يكون التوصيل أمامي وفيه تتجذب الإلكترونات إلى القطب السالب للبطارية عبر الوصلة وكذا تتجذب الفجوات إلى قطب البطارية السالب عبر الوصلة . وهنا يقل عرض المنطقة القاحلة ويقل الجهد الحاجز وتقل مقاومة الدايود الثنائي ، فيمر تيار من الإلكترونات إلى الدائرة الخارجية وعليه يمر تيار كهربائي كبير إلى الدائرة الخارجية ويكون فرق الجهد على طرفي الدايود صغير والشكل (5-8) يبين اتجاهات الالكترونات والتيار .

ب - الإنحياز (التوصيل) العكسي : Reverse Bias

وفيه يتم توصيل سالب البطارية بالطرف N للدايود p وموجب البطارية بالطرف N فيحدث تنافر وتتجه الإلكترونات والفجوات بعيداً عن طرفي البطارية وتزيد عرض المنطقة

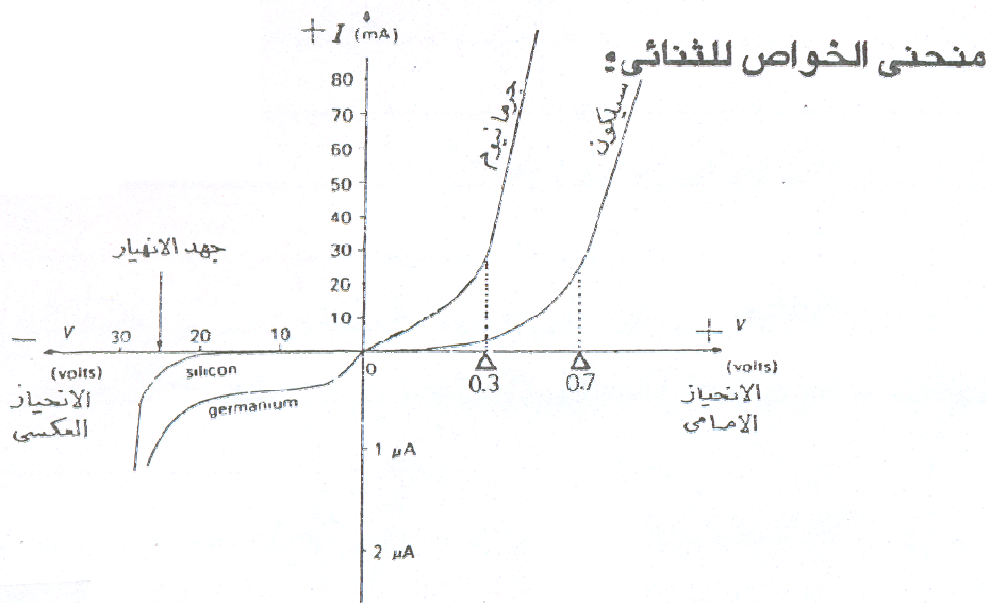
القاحلة فيزيد الجهد الحاجز وتزيد مقاومة الوصلة ويمر تيار صغير جداً وهذا يعنى زيادة فرق الجهد على طرفي الدايمود والشكل (5-9) يبين اتجاهات الالكترونات والتيار

والشكل (5-10) يبين منحنى الخواص للثنائي وفيه يتضح أن التيار في الاتجاه الأمامي كبير عند جهد صغير لصغر مقاومة الدايمود (الثنائي) بينما في الإتجاه العكس يكون التيار صغير جداً عند جهد عالي وعند جهد معين (يسمى جهد الانهيار Breakdown voltage) ينهار الدايمود ويصبح موصل وتختلف قيمة هذا الجهد على حسب نوع المادة للموحد (الثنائي) حيث تكون قيمة التيار العكسي لثنائي الجرمانيوم اكبر بالمقارنة بثنائي السليكون .



شكل (5-8) الانحياز الأمامي

شكل (5-9) الانحياز العكسي



شكل (5-10) منحنى الخواص لثنائي شبه الموصل

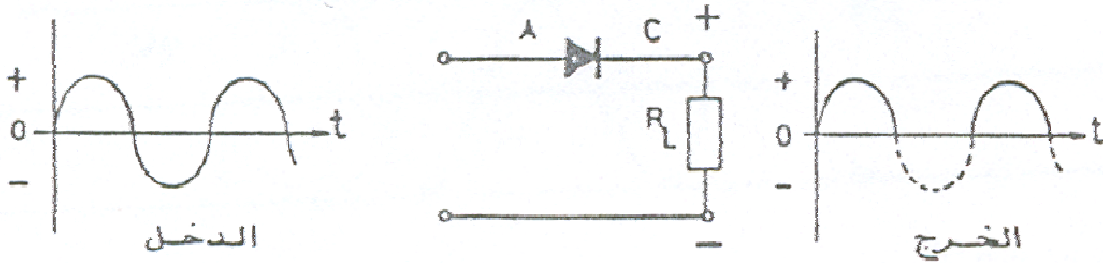
* استخدامات ثنائي الوصلة (الموحد)

يستخدم الموحد في عملية تحويل التيار المتغير الى تيار مستمر (عملية التوحيد) ودوائر مضاعفة الجهد في البوابات المنطقية Logic gates ، قص جزء من إشارة ، وكشف الموجه الحاملة في أجهزة الاتصالات للراديو والتلفزيون .

وسوف نتعرض فقط لدوائر توحيد التيار وهى تحويل التيار المتغير إلى مستمر باستخدام الموحدات .

* دائرة توحيد نصف الموجه : Half wave Rectifier

الشكل (5-11) يبين طريقة توصيل الدايمود للحصول على توحيد نصف موجه وفيه نلاحظ أنه عند نصف الموجه الموجب للدخل يكون الموحد في حالة توصيل أمامي فيمر تيار بالموحد ويكون الخرج نصف موجه موجب وعند نصف الموجه السالب للدخل يكون الموحد في حالة توصيل عكسي فلا يمر تيار ويكون الخرج صفراً وهكذا يمر خلال الموحد نصف الموجه الموجب فقط (وتكون القيمة المتوسطة لجهد الخرج $V_{Av} = \frac{V_P}{\pi}$ أى تساوى 0.6 من القيمة العظمي لجهد الدخل تقريباً) .

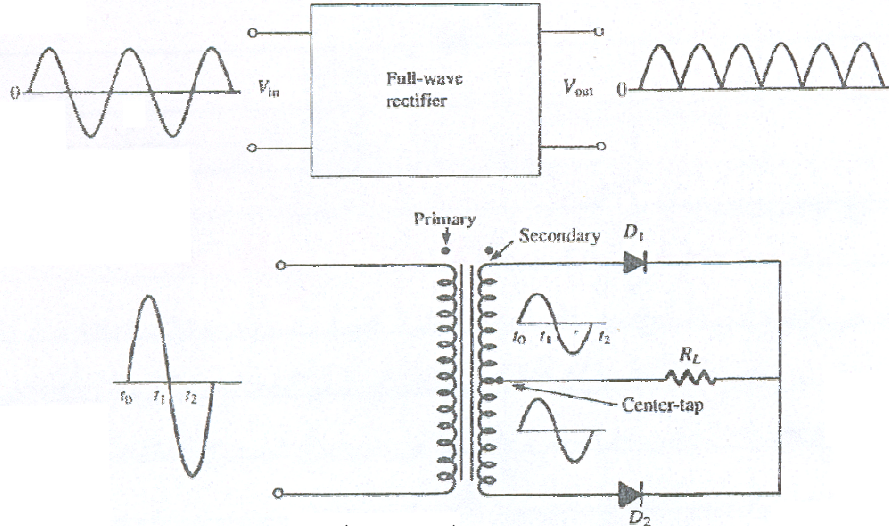


شكل (5-11) استخدام الثنائي في توحيد التيار المتردد

* دائرة توحيد الموجه الكاملة Full Wave Rectifier

الشكل (5-12) يبين دائرة توحيد موجه كاملة وفيها يتم استخدام محول ذو نقطة متوسطة في الثانوى فعند نصف الموجه الموجب للدخل يكون الموحد في توصيل أمامي ويمرر نصف الموجه بينما يكون D_2 في وضع عكسي ويكون خرجه صفراً .

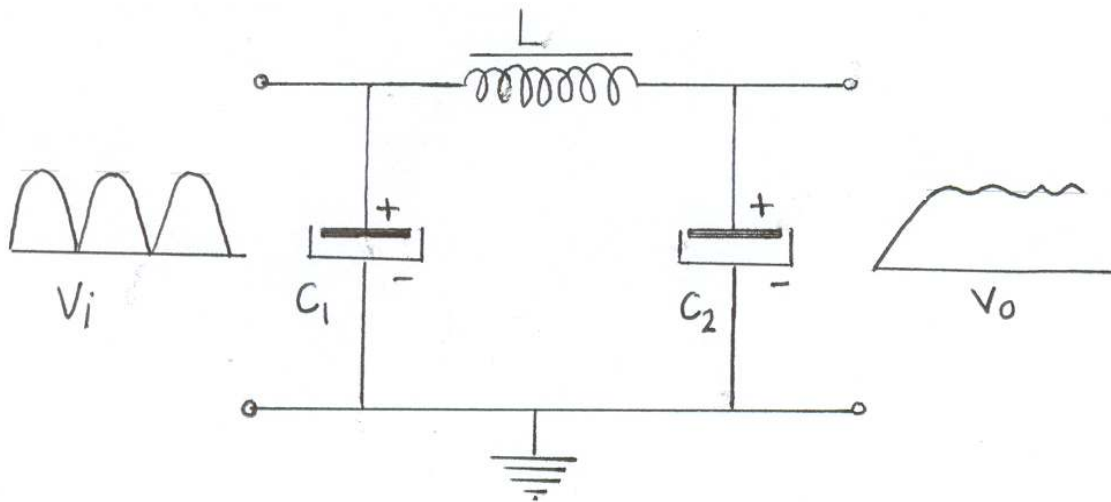
وعند نصف الموجه السالب للدخل يصبح D_2 في توصيل أمامي فيمرر نصف الموجه السالب للدخل ويكون الخرج في إتجاه موجب وهكذا يتم توحيد إتجاه نصفي الموجه . ويمكن استخدام اربعة موحّدات توصل على هيئة قنطرة .



شكل (5-12)

* دوائر التنعيم Smoothing Circuits

يلاحظ أن خرج دوائر التوحيد السابقة عبارة عن انصاف موجات موحدة الإتجاه متغيرة القيمة ولتحويلها الى تيار مستمر موحد القيمة والإتجاه يستخدم لتوحيد القيمة دوائر التنعيم وشكل (5-12) يبين دائرة تنعيم باستخدام مكثفين كيميائيين وملف خانق للتيار المتغير وعن طريق شحن وتفريغ المكثفات والملف يمكن تحويل التيار المتغير القيمة إلى تيار مستمر.

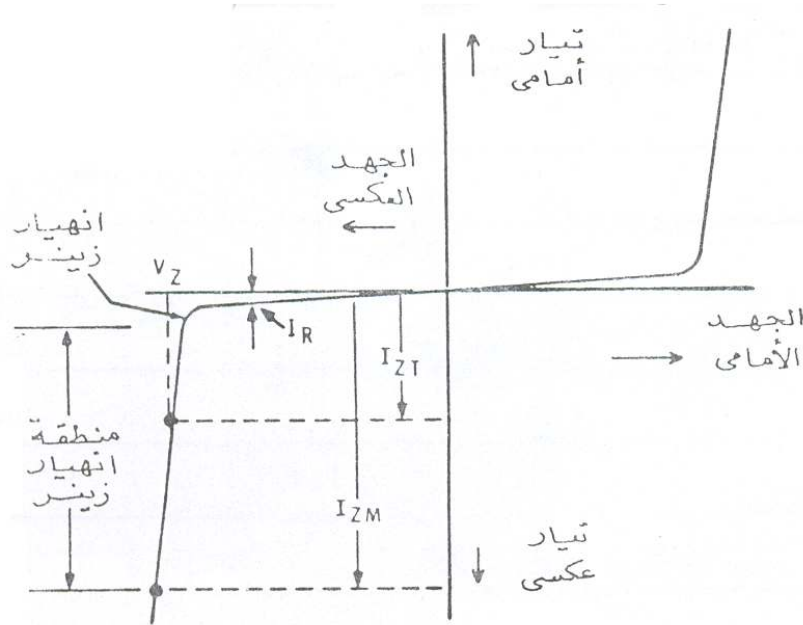


شكل (5-13)

* ثنائي الزينر : Zener Diode

ثنائي الزينر هو وصلة PN مصنوعة من السيليكون تختلف عن دايود التوحيد في أن عملها مسموح به عند نقطة الإنهيار بدون حدوث أى مشاكل . وجهد الإنهيار يضبط عن طريق كمية المادة (الشائبة) المضافة إلى السيليكون لتحويله الى بللورة N أو P أثناء التصنيع .

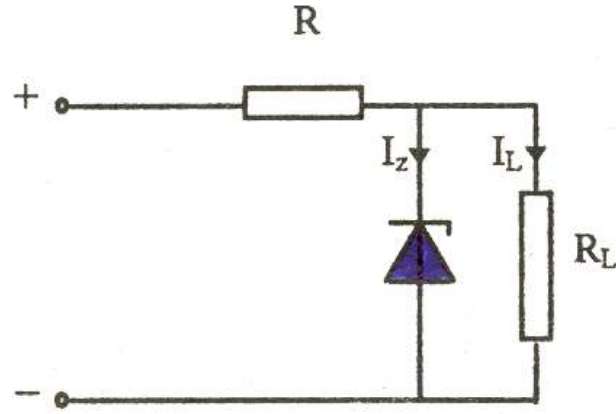
ويوجد نوعين من جهد الانهيار للزير دايود أحدها يحدث عند جهود عالية وهو ما يسمى Avalanche Breakdown والآخر عند جهود منخفضة وهو ما يسمى Zener Breakdown وثنائي الزينر متوفر تجارياً بجهود تتراوح من 1.8 فولت إلى 200 فولت وعند تقليل جهد الإنحياز العكسي يخرج الزينر من مستوى الانهيار الى مستوى التشبع ويحدث ذلك العديد من المرات دون تلف الثنائي ويجب أن لا يزيد التيار المسلط عن التيار المقنن له حتى لا يتلف .



شكل (5-14)

* استخدامات الزينر :

تستخدم ثنائيات الزينر كمنظمات للجهد وتستخدم أيضاً في دوائر تشكيل الموجه .
الشكل (5-15) يبين توصيل الزينر بالتوازي مع الحمل لتنظيم الجهد المغذى للحمل .

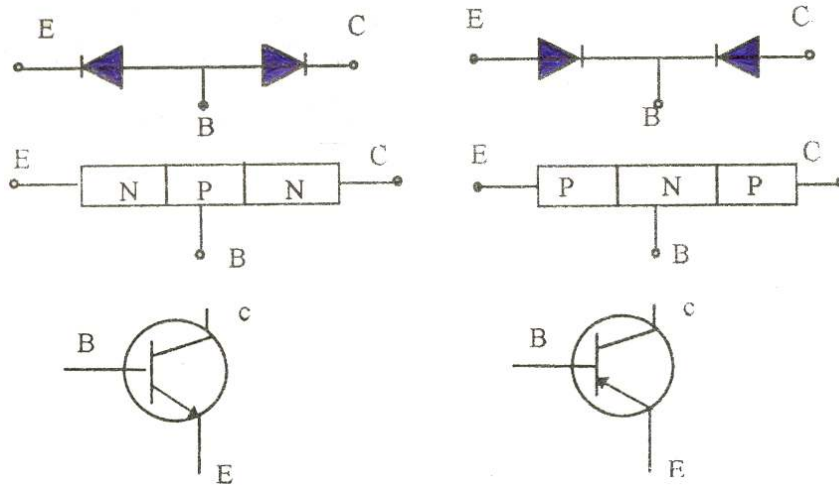


شكل (5-15) يبين توصيل الزينر كمنظم جهد

ويتم تنظيم الجهد كالآتي : في حالة جهد الدخل V_{in} غير ثابت . فإنه عند زيادة جهد الدخل V_{in} يزيد تيار الزينر فيحدث زيادة الجهد المفقود في المقاومة R بما يعادل الزيادة في جهد الدخل V_{in} تقريباً . ويظل الجهد على طرفي الزينر ثابت . ويحدث العكس عند إنخفاض قيمة جهد الدخل V_{in} يقل تيار الزينر ويقل الفقد في R ويظل جهد الخرج ثابت.

* الترانزستور (BJT) Bipolar Junction Trensistor

يتكون الترانزستور من ثلاثة أجزاء من أشباه الموصلات P, N يتم ترتيبها PNP أو NPN للحصول على ترانستور PNP وآخر NPN كما بالشكل (5-16) ومبدأ التشغيل للنوعين واحد ولكن الإختلاف في طريقة توصيل الجهد المستمر اللازم لتوفير جهد الإنحياز والترانزستور يكافئ ثنائيتين متصلتين عكس بعضهما .



ترانزستور NPN

ترانزستور PNP

شكل (5-16) يبين نوعي الترانزستور

ومن الشكل يتضح أن للترانزستور ثلاثة أقطاب

(1) المشع Emitter (E)

(2) القاعدة Base (B)

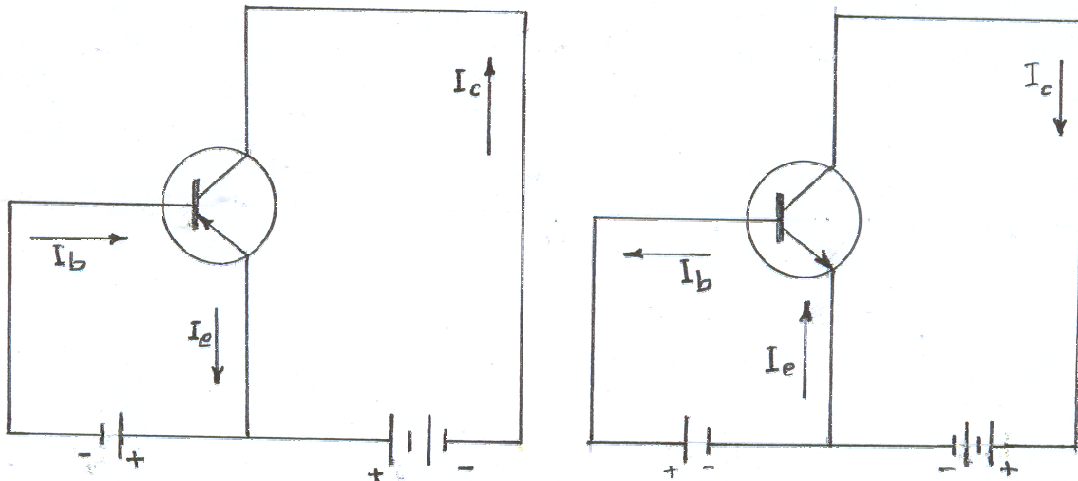
(3) المجمع Collector (C)

والمجمع يكون غالباً أكبر حجماً ومساحة من المشع أما القاعدة فهي رقيقة جداً ويطلق علي هذا النوع إسم الترانزستور ثنائي القطبية bipolar Transistor وذلك لأن طريقة عمله تعتمد على فعل متبادل بين نوعين من حاملات الشحنة (الإلكترونات والفجوات) .

* إنحياز الترانزستور Transistor Biasing

يجب عند توصيل الإنحيازات اللازمة لتشغيل الترانزستور مراعاة أن تكون دائرة الدخل (وصلة المشع / قاعدة) ذات إنحياز أمامي . وأن تكون دائرة الخرج (وصلة المجمع / قاعدة) ذات إنحياز عكس .

والشكل (5-17) يوضح طريقة توصيل إنحيازات ترانزستور NPN , PNP . ونتيجة للإنحياز الأمامي لدائرة الدخل يمر تيار I_B في القاعدة ولوجود الجهد العكسي العالي على المجمع فإنه يمر تيار كبير في دائرة المشع المجمع خلال بطاريات التغذية وترتبط تيارات الترانزستور بالعلاقة $I_E = I_B + I_C$ وعادة ما يكون I_B صغير جداً بالميكرو أمبير ومن العلاقة السابقة يتضح أن تيار المجمع كبير وأى تغيير في إنحياز المشع / قاعدة ينتج عنه تغير تيار المشع وبالتالي تيار المجمع .



شكل (5-17) إنحيازات الترانزستور

* توصيل الترانزستور في الدائرة :

عند توصيل الترانزستور في الدائرة يكون أحد أطرافه الثلاثة يمثل الدخل والثاني الخرج والطرف الآخر مشترك وبذلك يوصل الترانزستور بثلاث طرق هي :

(1) القاعدة المشتركة Common Base ، (2) المشع المشترك Common Emitter

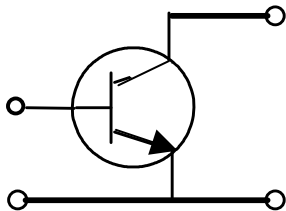
(3) المجمع المشترك Common Collector والشكل (5-18) يبين هذه الطرق وأكثرها انتشاراً هو طريقة المشع المشترك حيث لها كسب قدره أكبر من الحالتين الأخرتين .

كما أن فيها الفرق بين مقاومتي الدخل والخرج أقل وكسب التيار فيها (بيتا β) وهو

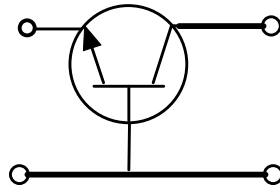
النسبة بين تيار المجمع I_C وتيار القاعدة ($\beta = \frac{I_C}{I_B}$) ويكون أكبر من الواحد الصحيح .

بينما الكسب في حالة القاعدة المشتركة (ألفا α) وهو النسبة بين تيار المجمع وتيار

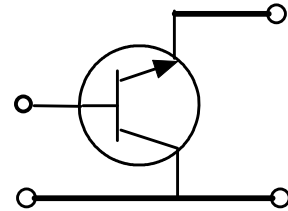
المشع ($\alpha = \frac{I_C}{I_E}$) وتكون أقل من الواحد الصحيح.



طريقة المشع المشترك



طريقة القاعدة المشتركة



طريقة المجمع المشترك

شكل (5-18)

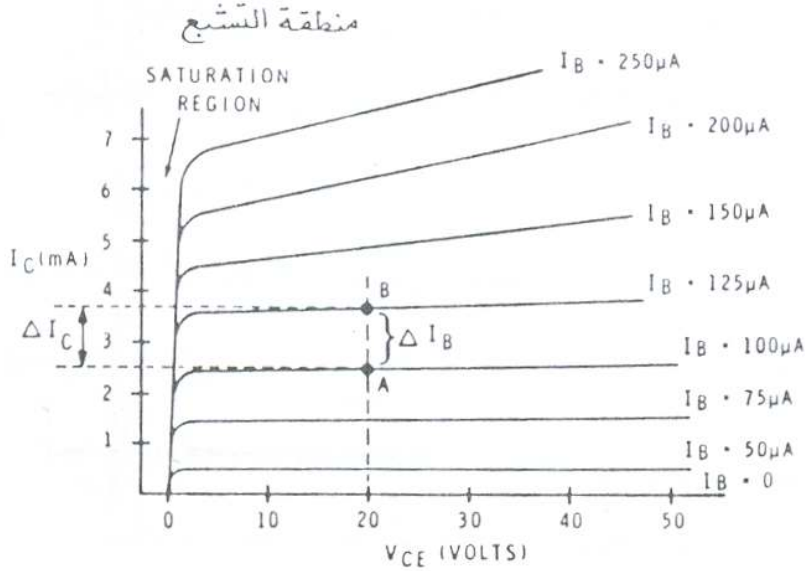
* منحنيات خواص الترانزستور :

سنكتفي بدراسة منحنيات خواص الترانستور الموصل بطريقة المشع المشترك .

منحنيات خواص الخرج :

الشكل (5-19) يبين العلاقة بين الجهد V_{CE} (الجهد بين المجمع والمشع) وبين تيار المجمع (I_C) وذلك عند ثبات تيار القاعدة (I_B) ويتم ذلك بتغيير الجهد V_{CE} وعند كل تغيير يسجل V_{CE} ، I_C .

ومن هذه القيم يتم رسم المنحنى ويمكن رسم منحنيات أخرى عند قيم أخرى لتيار القاعدة كما بالشكل ويلاحظ أنه من المنحنى يمكن حساب التكبير β وكذا حساب ثوابت الترانزستور .

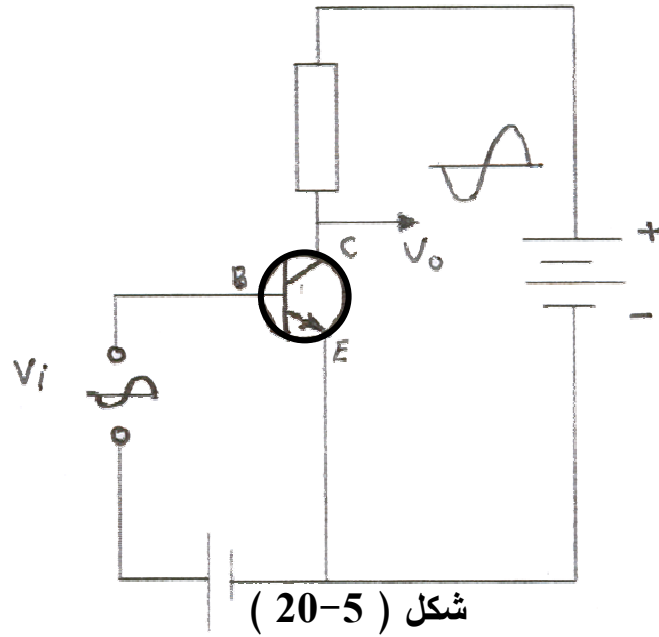


شكل (5-19) مجموعة نمطية لمنحنيات الخواص

إستخدام الترانزستور كمكبر :

يمكن التحكم في تيار المجمع بواسطة تيار القاعدة ويتوقف مدى التحكم في تيار المجمع على قيمة β للترانزستور وشكل (5-20) يبين دائرة مكبر ترانزستور موصل بطريقة المشع المشترك ، فعند توصيل إشارة متغيرة بدائرة القاعدة ، يعمل تيار الإشارة على تعديل تيار الانحياز للقاعدة ، بأن يضاف إليه بالزيادة أو النقصان مما يؤدي إلى زيادة أو نقصان تيار القاعدة ، وبالتالي زيادة أو نقصان في تيار المجمع بدرجة أكبر بنسبة β وبهذا نحصل عند

طرفي مقاومة الحمل R_L على جهد مكبر صورة طبق الأصل من جهد الدخل بفرق في الوجه مقداره 180° .



* ترانزستور تأثير المجال (FET) : Field Effect Transistor

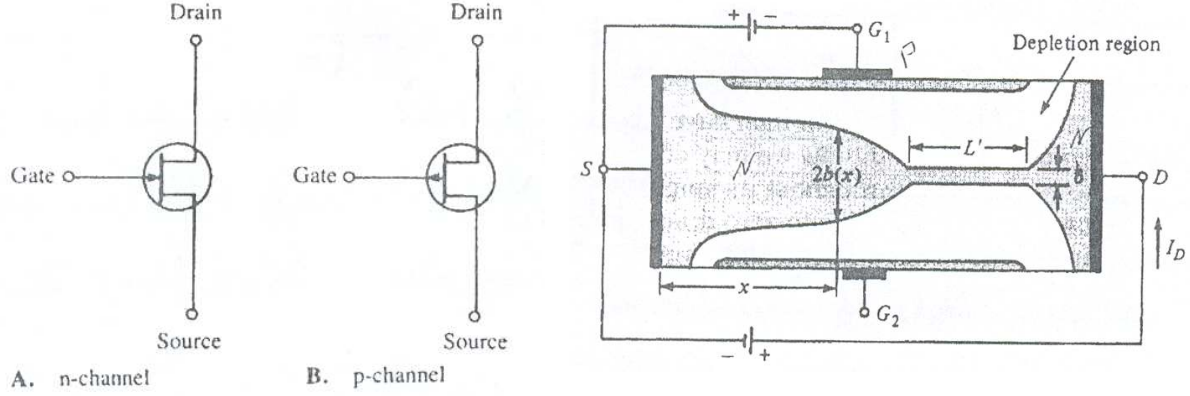
هو عنصر من عناصر أشباه الموصلات ويتكون من ثلاثة أقطاب هي المنبع Source ويرمز له بالحرف (S) ، والبوابة (Gate) ويرمز لها بالحرف (G) والمصرف Drain ويرمز بالحرف (D) وهذه الأقطاب تعادل المشع ، القاعدة ، المجمع على الترتيب في الترانزستور ثنائي القطب .

ويقوم ترانزستور تأثير المجال بتكبير الإشارات الكهربائية ويتم التحكم فيه - عن طريق تأثير المجال بالجهد ، بينما في الترانزستور ثنائي القطب يتم التحكم فيه عن طريق التيار ويوجد نوعان من ترانزستور تأثير المجال هما (1) نوع يتم التحكم فيه عن طريق التحكم في عمق القناة (JFET , MESFET) (2) النوع الآخر ويتم التحكم فيه بالتحكم في قيمة حاملات التيار (MOSFET).

(1) تركيب ترانزستور تأثير المجال JFET (ذو البوابة المتصلة) :

يتم إختيار شريحة من مادة شبه موصلة N مثلاً ، وبإضافة بوابة نوع P بالانتشار على جانب الشريحة ينتج بينهما وصلة P-N وتتواجد منطقة منزوحة القناة على جانبي الوصلة وبالتحكم في الانحيازات يتم التحكم في عرض القناة وبالتالي في مقاومة القناة لمرور

الالكترونيات والشكل (5-21) يبين تركيب ترانزستور JFET والشكل (5-22) يبين الرمز النظري لترانزستور تأثير المجال ذو بوابة P وآخر ذو بوابة N .



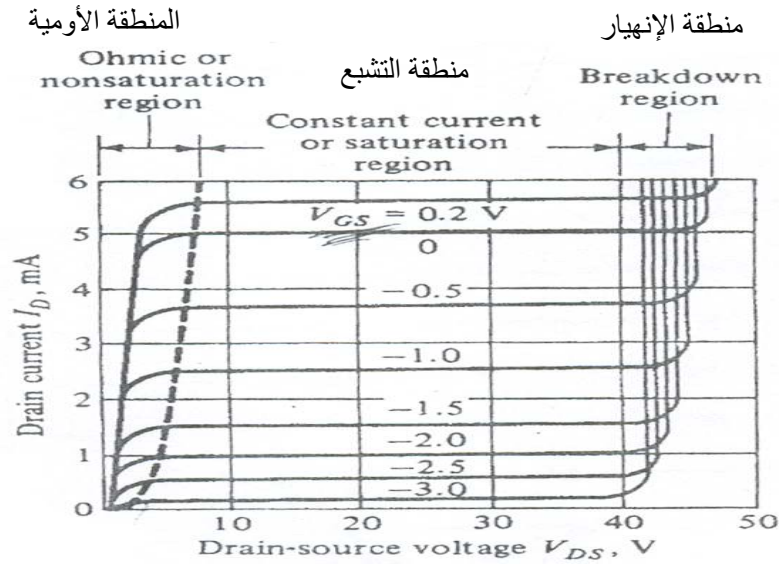
(شكل 5 - 22)

شكل (5-21)

* طريقة عمل ترانزستور JFET :

كما في الشكل (5-21) نرى أنه تم توصيل إنحياز أمامي لدائرة الدخل V_{GS} كما في الترانزستور العادي فعند تطبيق جهد صغير بين المصدر (S) والمصب (D) V_{DS} لا يكون للتيار المار تأثير على عرض القناة حيث يكون عرضها كبير لصغر المنطقة القاحلة المنزوعة ، ويمر تيار كبير يتناسب خطياً مع V_{DS} وتسمى بالمنطقة الأومية ويستمر ذلك إلى أن يصل V_{DS} إلى قيمة كبيرة يقل عندها عرض القناة وتزيد المنطقة المنزوعة (القاحلة) ويقل التيار المار أو يثبت عند قيمة ثابتة مهما زاد V_{DS} وتسمى هذه المنطقة بمنطقة التشبع Saturation Region وباستمرار زيادة V_{DS} نصل إلى منطقة الإنهيار Breakdown Region ويتضح ذلك من الشكل (5-23) الذي يبين منحنى العلاقة بين V_{DS} ، I_D عند قيم مختلفة V_{DS} ويتم توصيل ترانزستور تأثير المجال إلى الدائرة بثلاث طرق هي المنبع (S) مشترك ، البوابة (G) مشترك ، المصرف (D) مشترك وطريقة المنبع المشترك هي الأكثر إستخداماً .

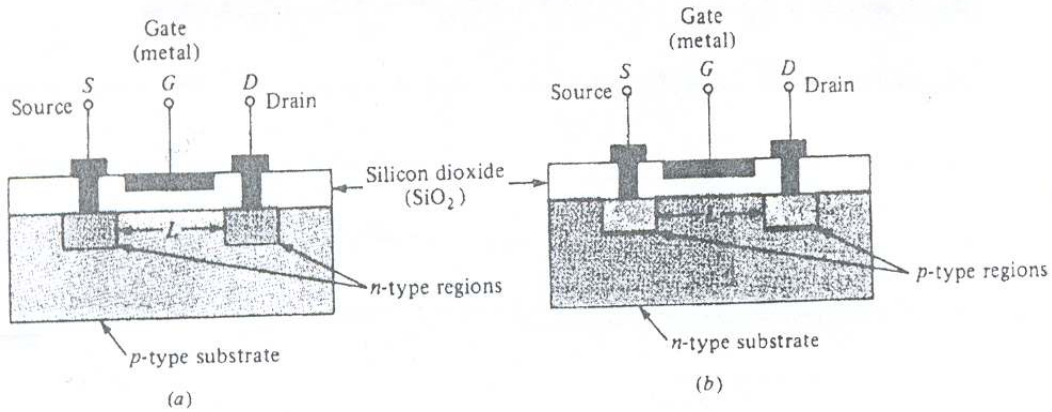
ويستخدم الترانزستور في دوائر التكبير وخاصة في الترددات العالية وكذا يستخدم كمفتاح الكتروني .



شكل (5 - 23)

(2) تركيب ترانزستور تأثير المجال (MOSFET) :

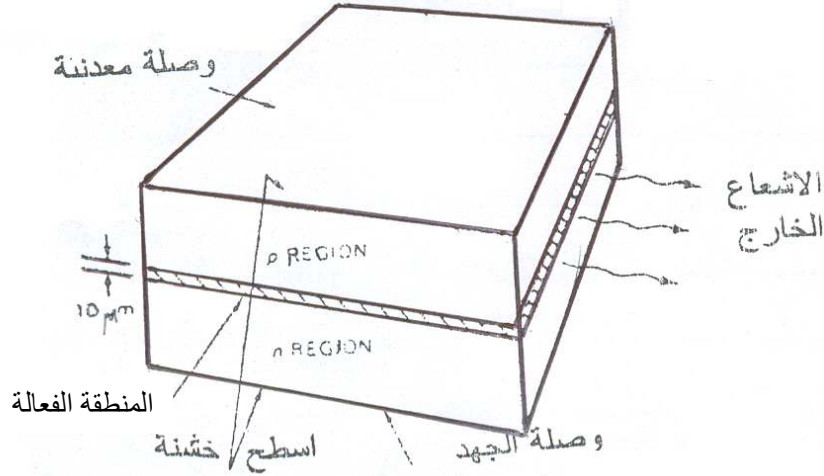
كما هو موضح بالشكل (5 - 24) يتركب الـ MOSFET من قاعدة Substrate إما من نوع N أو P يتم غرس أو تسرب منطقتين من النوع المخالف لنوع القاعدة لتشكيل المصدر S والمصب D وتكون البوابة G من معدن الألمونيوم أو البولي سيليكون Polysilicon وتفصل عن المسافة المحصورة بين المصدر والمصب عن طريق ثاني اكسيد السيليكون (SiO_2)



شكل (5 - 24)

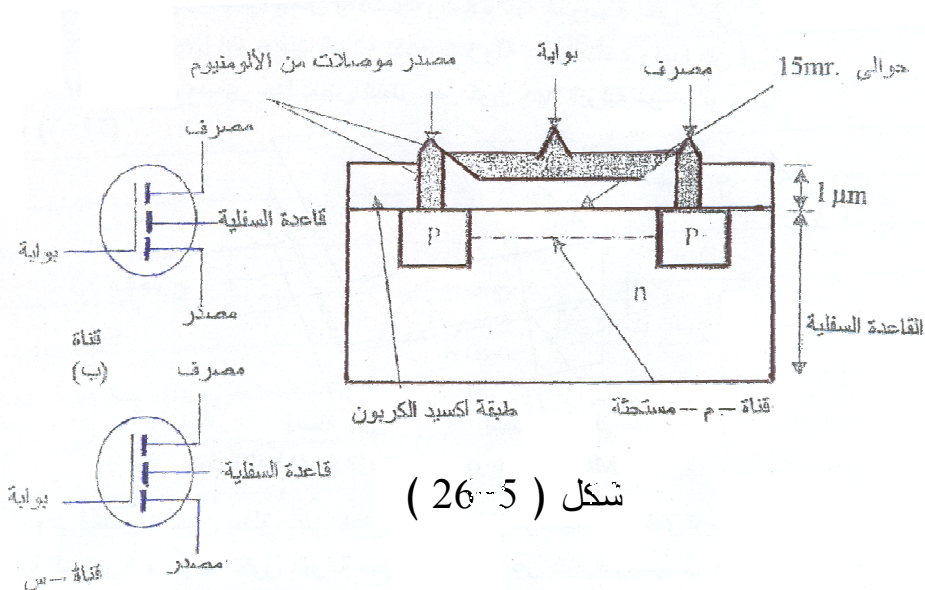
* الترانزستور من النوع تأثير المجال المعدن - الأكسيد MOSFET

فى هذا النوع يستخدم المعدن والأكسيد والمادة شبة الموصلة على شكل MOSFET وفى هذا النوع فإن البوابة تكون معزولة عن القناة ، ولهذا فإن قيمة تيار البوابة I_G يكون صغير جداً بغض النظر عن كون جهد البوابة موجباً أو سالباً كما فى شكل (5-25)



شكل (5-25) الترانزستور من النوع MOSFET

وفى بعض الاحيان يطلق على هذا النوع من الترانزستور اسم الترانزستور ذو البوابة المعزولة ، وفيه تكون البوابة معزولة كهربياً عن قناة التوصيل وتعزل بواسطة طبقة رقيقة جداً من اكسيد السليكون ، أما المصدر والمصرف فيكونا من النوع P-TYPE المنتشرة فى القاعدة السفلية . ويعزل المصدر عن البالوعة عندما تساوى قيمة جهد البوابة $V_{GS} = 0$ بحيث يصبح إنسياب التيار بينهما مستحيلاً شكل (5-26) .



شكل (5-26)

* كيفية عمل الترانزستور MOSFET :

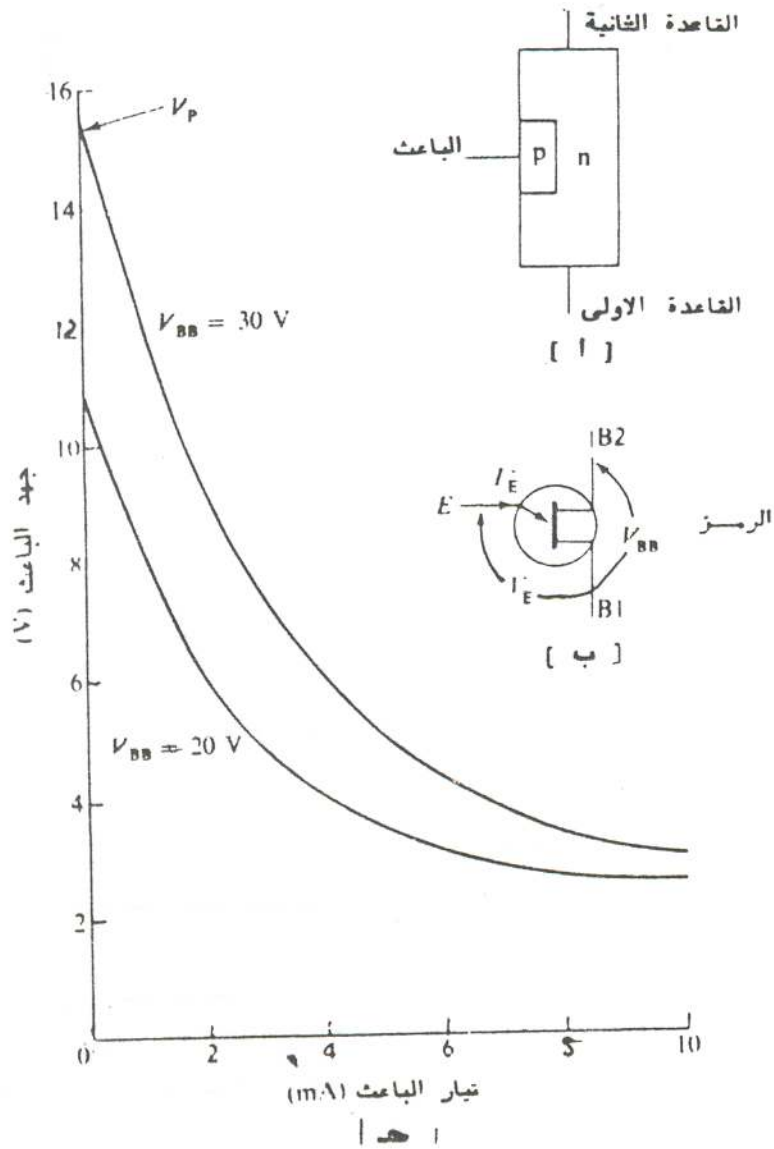
عند تسليط جهد سالب على البوابة ، فإن حاملات الشحنة الموجبة تتجذب من القاعدة السفلية إلى الحافة السفلي لطبقة الاكسيد والتي تقع تحت البوابة مباشرة، وعندما يصل الجهد إلى قيمة معينة تعرف بجهد العتبة V_T يكون هناك قناة من حاملات الشحنة الموجبة تصل بين المصدر والمصرف وبزيادة قيمة جهد البوابة السالب عن قيمة جهد العتبة يزيد تيار المصدر .

* الترانزستور أحادي القطب (UJT) :

لا يعتبر الترانزستور إحادي القطب (أحادية التوصيل) بصفة قاطعة كترانزستور ولكنه دايود مزدوج القاعدة . ويمكن شرح فكرة عمل النبيطة بالرجوع إلى شكل (5-27) يوضح الرسم (أ) من هذا الشكل احدى صور تركيبية الترانزستور اذ يتكون من قضيب من مادة أشباه الموصلات نوع (N) مع وصلة (P- N) في اتجاه مركز القضيب وتعرف المنطقة بباعث الترانزستور أحادي التوصيل وتعرف التوصيلتين إلى نهايتي القضيب بالقاعدة الأولى (B_1) والقاعدة الثانية (B_2) على التوالي وفي حالة عدم وجود إشارة عند الباعث ، تقع قيمة المقاومة فيما بين القاعدتين R_{BB} بين B_1 , B_2 في المدى $4 K\Omega$ إلى $12 K\Omega$ ويعرف الجهد B_2 , B_1 بالجهد بين القاعدتين V_{BB} وتقع قيمة الجهد المقاس بين B_1 ونقطة دخول الباعث في القضيب بين $V_{BB} = 0.4$ و $V_{BB} = 0.8$ ويعرف معامل V_{BB} المعطى بالنسبة الذاتية المباعدة ورمزها (η)

عندما تقل قيمة الجهد الباعث V_E عن (V_{BB}) تكون الوصلة (P-N) بين الباعث والقضيب عكسية الانحياز ولا يمر في الباعث سوى تسرب ضئيل جداً .

وعند زيادة جهد الباعث الى النقطة التي تصبح عندها الوصلة (P-N) أمامية الانحياز تقل المقاومة بين الباعث و B_1 إلى قيمة منخفضة ويعرف هذا الجهد في هذه الحالة بجهد النقطة الذروية V_P والذي يوضحه شكل (5-27) على منحنى الخواص يبين الشكل أيضاً الخواص عند قيمتين للجهد V_{BB} وفي كل حالة $V_P \cong \eta \cdot V_{BB}$



شكل (5-27)

أ- الترانزستور إحادي التوصيلات إحدي صور التركيب

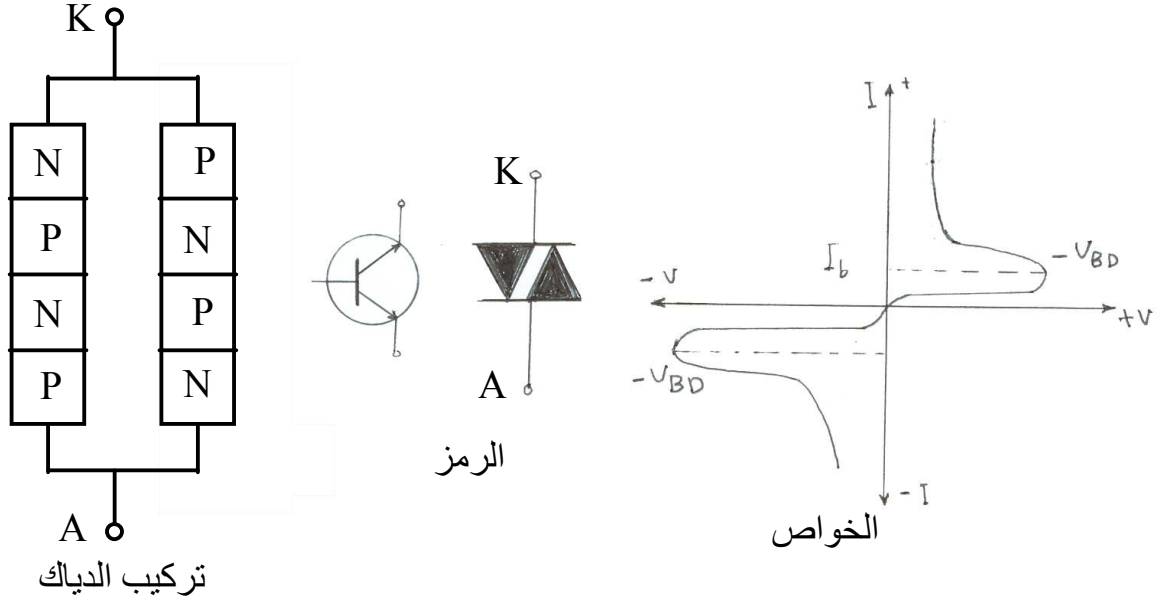
ب- رمز الترانزستور أحادي التوصيل

ج- منحنيات الخواص الأساسية

ويستخدم الترانزستور أحادي التوصيل بكثرة كمكثف تفريغ وفي المذبذبات ومولدات سن المنشار ومولدات النبضات والمؤقتات Timers.

الدياك The Diac :

الدياك هو نبیطة ذات طرفان وتتكون من ثنائیین من رباعیات الطبقات موصلان على التوازی وكل منهما معاكس للآخر ويمكن أن یوصلا في كلا الاتجاهین ، وعلى العكس من الترانزستور ثنائي القطبية فإن وصلة الدياك لهما نفس نسبة تركیز الشوائب مما ینتج عنه تماثل خواص التوصیل على كلا الاتجاهین لقطبية الجهد بین طرفیه ، وشكل (5-28) یوضح تكوين وصلة الدياك والرمز المستخدم له وكذلك خواص العلاقة بین الجهد والتيار.



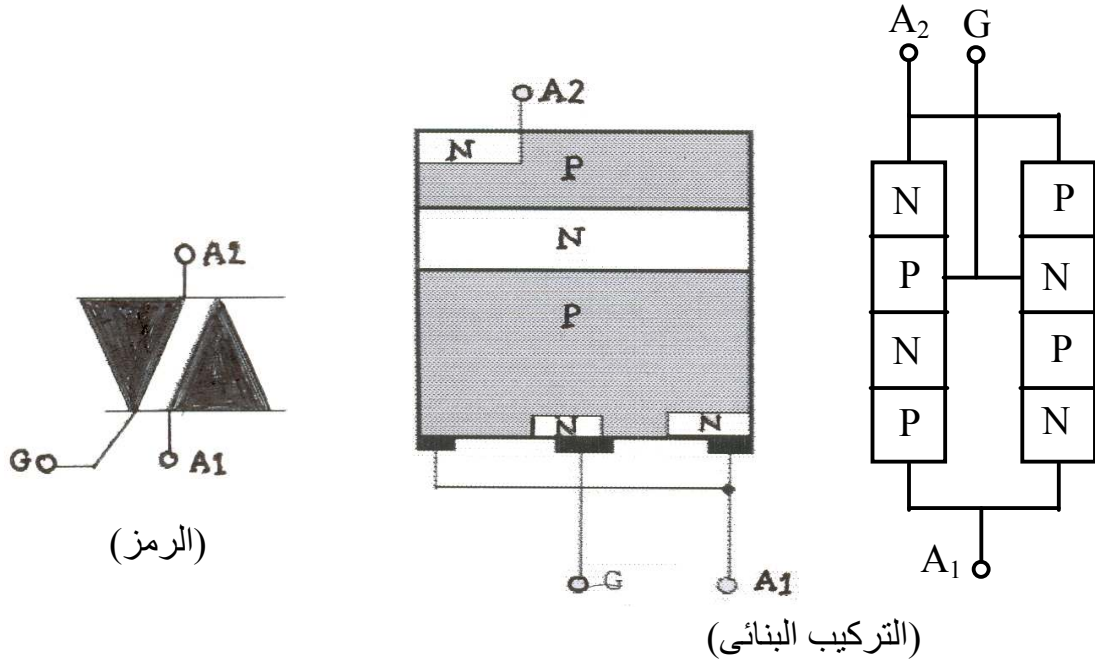
شكل (5-28) تركيب الدياك والرمز والخواص

عند وضع جهد على طرفي الدياك بأى قطبيه تكون أحد وصلة PN معرضه لجهد أمامى والأخرى معرضه لجهد عكسى ، ويمر تيار تسرب ضئيل عبر الوصلة المغذاه عكسيا فإذا زاد الجهد على هذه الوصلة عن جهد الانكسار (Break over Voltage) فإن تيار الدياك یزداد فجأة نتيجة لإنهيار مقاومة الوصلة المغذاه عكسياً ویبدى الدياك مقاومة سالبة حيث یقل فرق الجهد على طرفیه مع زیادة التيار وتستغل خواص الدياك هذه حيث یستخدم كمفتاح سریع جداً في أى من الاتجاهین إذا وصل فرق الجهد على طرفیه لقيمة معينة V_{BB} وتتراوح هذه القيمة ما بین 35 ، 29 فولت للدياك طراز INS 5411 ويمكنه أن یتحمل نبضة تيار 2A تستمر لفترة 30 ميكرو ثانية وهذا یجعله مناسب جداً لإشعال الترياك كما سنرى في الجزء الثاني الخاص بهذه النبیطة الأخری .

الترياك : The Triac

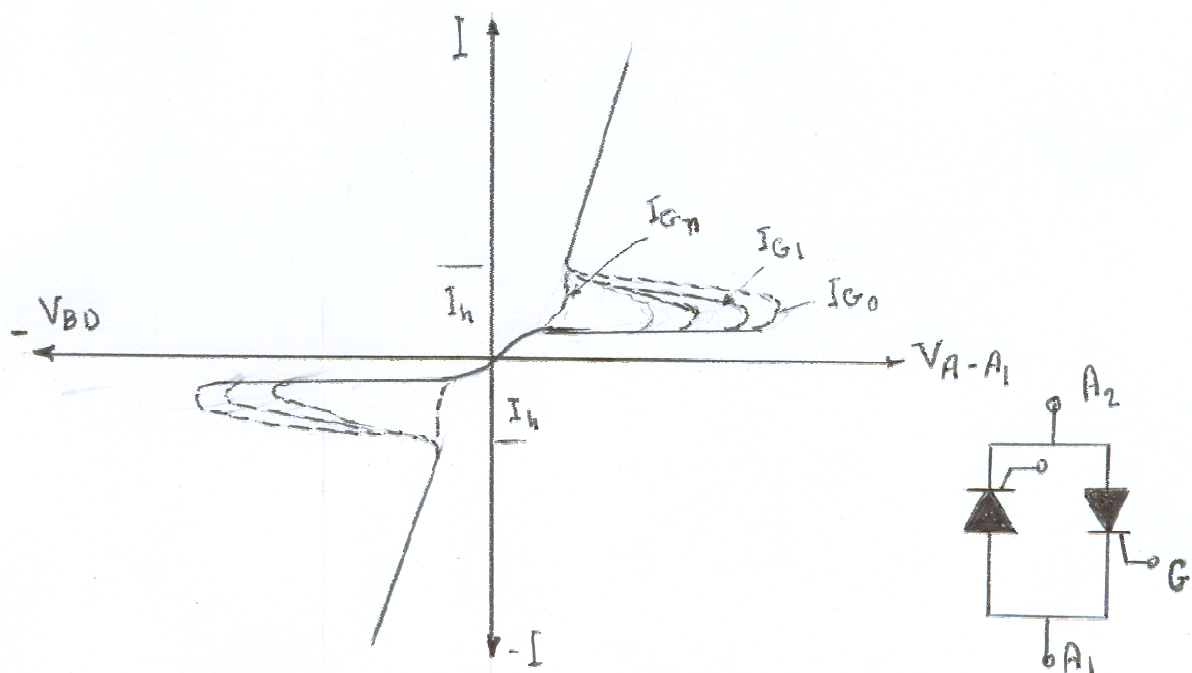
شكل (5-29) يوضح ترتيب الوصلات في الترياك . كل من الطرفين الرئيسيين

(A_1, A_2) يتصلان إتحالاً كهربائياً مباشرة بباعث من نوع N وآخر من نوع P الباعث N عند A_2 يقابل الباعث P عند الطرف A_1 مباشرة ، هذا ويتضح أن الترياك يتكون من نبيتان ذات أربعة طبقات (PNPN, NPNP) متوازيتان وبالتعكس ، أى إثنان من الثيرستور متصلان بالتوازي المتضاد . ولهما طرفان رئيسيان (A_2, A_1) وبوابة واحدة G وعلى ذلك فإن الترياك يمكنه أن يوصل التيار بين الطرفين الرئيسيين في أى من الاتجاهين . وبالنظر إلى طرفا البوابة (A_1, G) فإننا نجد أن الطرف G يتصل مع كل من P ، N كما أن الطرف A_1 يتصل مع كل من P ، N وعلى ذلك فإن بوابة الترياك يمكن أن تتقبل نبضة إشعال Firing Pulse ذات تيار موجب (أى من G إلى A_1) أو سالب أى من A_1 إلى G



شكل (5-29) ترتيب الوصلات للترياك والرمز الخاص به

شكل (5-30) يوضح الخصائص الإستاتيكية للترياك عند الأطراف وهى متماثلة في كل من الربع الأول والربع الرابع وهى تماثل خواص الثايرستور فى الربع الأول وخواص ثايرستور معكوس في الربع الثالث ولذلك فإن الترياك لا يصلح كنبطة لتوحيد التيار المتردد مثل نبيطة اخرى تسمى الثايرستور وإنما تستخدم للتحكم في أحمال التيار المتردد وفي هذا الاستخدام فإنه يكافئ إثنان من الثايرستور متوازيين ومتعكسين ، كما في شكل (5 - 30) .



شكل (5- 30)

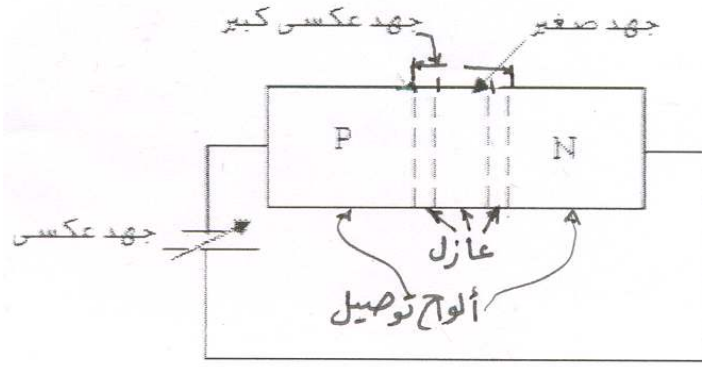
ومن شكل (5- 30) نرى أنه إذا وصل فرق الجهد على طرفي الترياك إلى حد الإنهيار (V_{BD}) فإن الترياك يتحول إلى حالة التوصيل دون الحاجة إلى نبضة إشعال على البوابة ، وعملياً يتم إشعال الترياك عن طريق البوابة لأن (V_{BD}) وهو جهد الإنهيار يكون اعلى من الجهد المقنن . وإذا كانت نبضة التيار على البوابة غير كافية فإن الترياك (مثل الثايرستور) يحتاج إلى جهد بين الأطراف لكي يتحول إلى حالة التوصيل ، ويتوقف فرق الجهد اللازم على مدى عدم كفاية نبضة الإشعال $I_{G2} > I_{G1} > I_{G0}$ فإذا كانت نبضة التيار كافية فإن الترياك يحتاج الى فرق جهد قليل (أقل من 10 فولت) لكي يتحول إلى حالة التوصيل (المنحنى المناظر لـ I_{Gn}) وإذا تحول الترياك إلى حالة التوصيل فإن التيار (I) يتحدد بمكونات الدائرة إذ أن فرق الجهد على طرفي الترياك ينخفض الى قيمة صغيرة جداً (من 1 فولت إلى 2 فولت) ، ولا يكون للبوابة أى سيطرة على الترياك ولا يتحول إلى عدم التوصيل إلا إذا قل التيار I عن تيار الامساك (Holding Current) وتكون قيمة I_h صغيرة (عشرات مللي أمبير) وتحدد الجهة المنتجة المعلومات الخاصة بالترياك في ورقة البيانات Data sheet () والتي يجب الاسترشاد بها عند أى استعمال لأي طراز .

* استخدام الترياك :

- 1- يستخدم للتحكم في جهد الحمل : ويتحقق ذلك بالتحكم في زاوية اشعال الترياك .
- 2- يستخدم في التحكم في أحمال التدفئة .
- 3- يستخدم في التحكم في سرعة المحركات مثل التي تستخدم في المكانس الكهربائية .
- 4- يستخدم كلامس الكتروني لتوصيل الحمل المتردد بالمصدر وفصله .

* ثنائى الفاركتور : The Varactor diode

هذا الثنائى هو أيضا وصلة ثنائية P – N ولكن تستغل فيه السعة الناشئة بالوصلة نتيجة لوجود المنطقة الفارغة حيث تتغير هذه السعة بتغيير عرض المنطقة الفارغة مع تغير جهد الانهيار في الاتجاه العكسي.



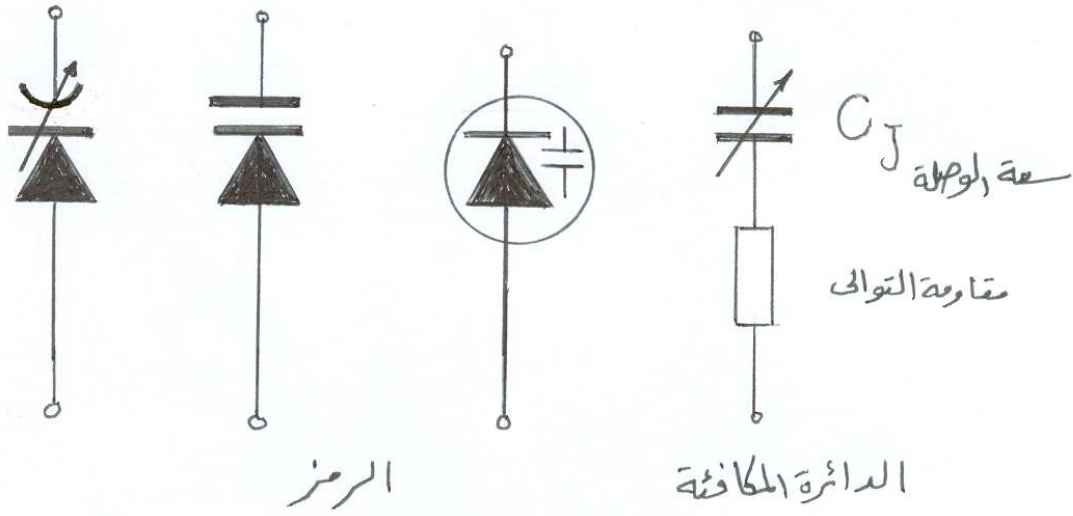
شكل (5-31)

وشكل (5-31) يوضح فكرة استغلال هذه النبيطة كسعة تتغير مع قيمة جهد التغذية العكسية حيث تعتبر المنطقة الفارغة كعازل بين المناطق (P , N) التى تعتبر ألواح المكثف وبتغيير سمك هذا العازل تتغير السعة كما هو الحال في المكثفات المتغيرة السعة، فإن السعة الناتجة (C_{PN}) تتناسب عكسياً مع جهد التغذية العكسية.

وقد وُجد أن:

$$C_{PN} \propto \frac{I}{V.N}$$

حيث V هو جهد التغذية العكسية ، N تتوقف على كثافة الشوائب في الوصلة الثنائية. تصنع الوصلة الثنائية التقليدية بحيث يكون تركيز الشوائب موزع بانتظام خلال P , N وعلى ذلك تتغير سعة الوصلة تغيراً قليلاً مع تغير جهد التغذية العكسية ، أما في ثنائي فاركتور فإن تركيز الشوائب لا يكون منتظماً خلال كل من P , N وإنما يكون تركيز الشوائب متدرجاً بحيث يتناقص التركيز في اتجاه الوصلة ويكون خفيفاً عندها ، وينتج عن ذلك إمكانية الحصول على تغير كبير في السعة مع تغير صغير في جهد التغذية العكسية ، وبذلك يمكن استخدام هذا الثنائي كسعة متغيرة حساسة وشكل (5-32) يبين الدائرة المكافئة وكذلك الرموز لثنائي الفراكاتور.



شكل (5-32)

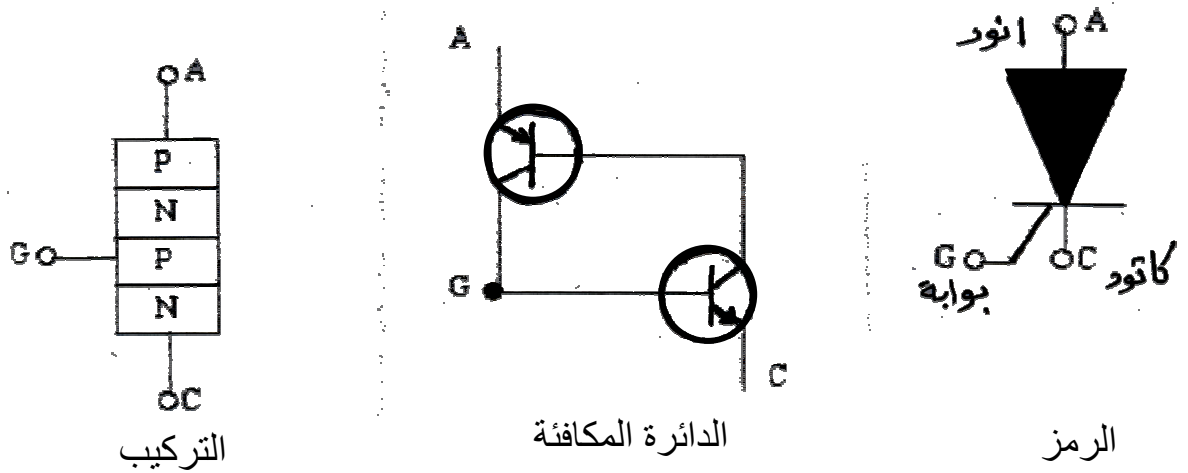
* ثنائي الثايرستور SCR :

تضم عائلة الثايرستور كل النبائط التي تتكون من أربع طبقات من شبه الموصل (P-N-P-N) ويعتبر كل من الموحد السليكوني المحكوم والدياك والترياك أشهر عناصر هذه العائلة .

* الموحد السليكوني المحكوم (SCR) Silicom Controlled Rectifier :

وهو يتكون من أربع طبقات من شبه الموصل P-N-P-N وله ثلاث أقطاب هي :

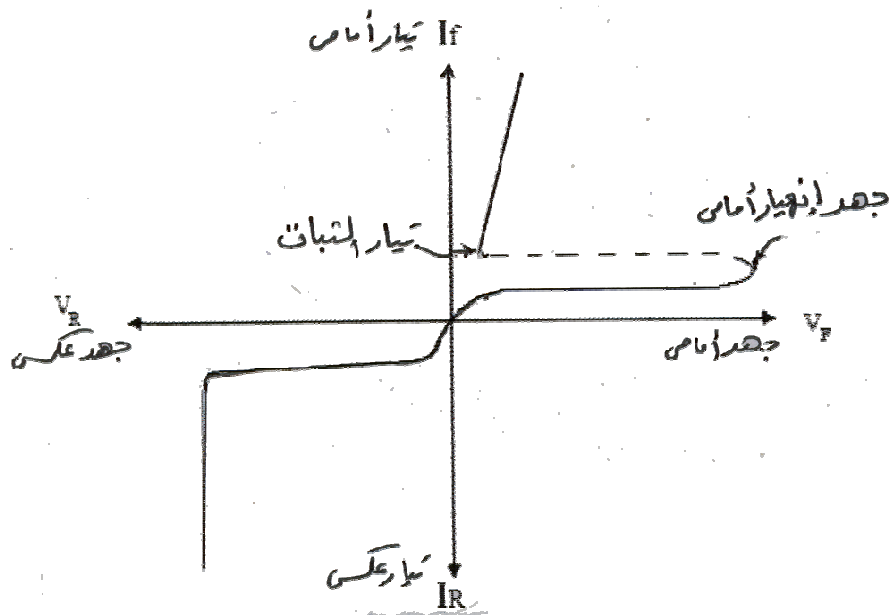
الأنود A والكاثود C والبوابة G التي تؤثر كقطب تحكم حيث يمكن التحكم عن طريق قيمة صغيرة جداً لتيار البوابة في قيمة تيار الأنود (حمل) عالي جداً والشكل (5-33) يبين التركيب والرمز وكذلك الدائرة المكافئة للموحد السليكوني المحكوم .



شكل (5 - 33)

* منحنى الخواص للتأثيرستور :

شكل (5-34) يبين منحنى الخواص للموحد السليكونى المحكوم وذلك فى حالة فتح دائرة البوابة ، أى عدم تغذيتها بجهد انحياز أمامي ، ومن المنحنى نرى أنه عند توصيل دائرة الأنود - كاثود للموحد بجهد انحياز عكسي فإنه يتصرف مثل الموحد العادي ذو الطرفين، أما عند توصيله بجهد أمامي فإنه يسمح بمرور تيار تسرب أمامي صغير القيمة ، ويظل كذلك حتى يصبح الجهد الأمامي مساوياً أو يزيد عن قيمة معينة تسمى جهد الانهيار الأمامي V_{BD} وعند هذا الجهد يزيد التيار فجأة .



شكل (5 - 34) منحنى خواص SCR فى حالة فتح البوابة .

وهنا تصبح مقاومة الأنود كاثود صغيرة جداً ويهبط الجهد على طرفي الموحد الى قيمة منخفضة تكون عملياً في حدود من (0.75 إلى 1.5) فولت .

وخلاصة القول هي أن حالتى التشغيل للموحد المحكوم تشبه نفس حالتى مفتاح On-Off فعندما يكون الجهد الأمامي الموصل للموحد أقل من قيمة جهد الانهيار الأمامي، فإن الموحد لا يوصل أى يكون المفتاح في وضع off ، وعندما يصل جهد الانهيار الامامي الى قيمة تساوى أو أكبر من هذا الجهد فإن الموحد يتحول الى التوصيل أى يصبح المفتاح في وضع on .

* استخدام S C R :

1- يُستخدَم على نطاق واسع كمفتاح الكتروني (فصل وتوصيل) ذو سرعة عالية وكفاءة عالية أيضاً .

2- يُستخدَم للتحكم في قيمة القدرة الكهربائية الموصلة الى حمل معين .

3- يُستخدَم في دوائر تنظيم الجهد المستمر المعروفة باسم "مصادر التغذية بالتيار طراز سويتش".

4- يُستخدَم للتحكم في سرعة المحركات عن طريق التحكم في القيمة الفعالة للجهد المسلط.

تذكر (أشباه الموصلات)

- المواد الموصلة بها وفرة من الإلكترونات الحرة ، بينما المواد العازلة تحتوى على عدد ضئيل من الإلكترونات الحرة ، فى حين أن المواد أشباه الموصلات تقع بين المواد الموصلة والعازلة .
- لزيادة توصيلية بلورة الجرمانيوم النقية تضاف إليها قليلا من الشوائب ثلاثية التكافؤ أو رباعية التكافؤ فنحصل على بلورة P أو N
- عند توصيل بلورتين P-N نحصل على ثنائى الوصلة (الموحد) ، عند توصيل الطرف N بالسالب ، الطرف P بالموجب للبطارية يكون الثنائى فى حالة توصيل أمامى والعكس بالعكس .
- يستخدم ثنائى الوصلة فى توحيد التيار المتغير (نصف موجه - الموجه الكاملة)
- تقوم دائرة التنعيم بتحويل التيار المتغير الموحد الإتجاه إلى تيار مستمر
- ثنائى الزينر يستخدم لتنظيم الجهد ، ويختلف عن الثنائى العادى فى أنه فى الزينر مسموح بعمله عند نقطة الإنهيار بدون مشاكل
- يتكون الترانزستور ثنائى الوصلة من ثلاثة أجزاء من أشباه الموصلات P ، N ، كل منها القاعدة والمشع والمجمع .
- يوصل الترانزستور بالدائرة بطريقة المشع المشترك - المجمع المشترك - القاعدة المشتركة
- ترانزستور تأثير المجال يتكون من ثلاثة أقطاب هى المنبع S ، البوابة G ، المصرف D
- يعتبر الترانزستور أحادى الوصلة دايود مزدوج القاعدة
- يستخدم الداياك والترياك فى التحكم
- يستخدم الفاركتور كمكثف متغير
- يستخدم الثايرستور كمفتاح الكترونى للتحكم

أسئلة على الباب الخامس

- 1- ما هي المواد الشبه موصلة ؟
- 2- ما هي الصفات الخاصة بالمواد الشبه موصلة ؟
- 3- متى يتم الانحياز الامامي لوصلة الثنائي ومتى يحدث الانحياز العكسي ؟
- 4- اذكر استخدامات ثنائي الوصلة (الموحد)
- 5- اشرح مع الرسم دائرة التعيم للحصول على تيار مستمر
- 6- ما هو الفرق بين ثنائي الزينر ودايود التوحيد ؟
- 7- اذكر استخدامات ثنائي الزينر
- 8- اشرح مع الرسم تركيب الترانزستور وما هي انواعه المختلفة
- 9- ما هي الطرق المتبعة في توصيل الترانزستور في الدائرة ؟
- 10- اشرح مع الرسم كيف يمكن استخدام الترانزستور كمكبر
- 11- وضح شكل موجه التيار المتغير الداخلة والخارجة للترانزستور
- 12- اذكر ما تعرفه عن ترانزستور تأثير المجال
- 13- اشرح مع رسم بسيط تركيب ترانزستور تأثير المجال
- 14- اذكر تركيب ترانزستور من نوع تأثير المجال
- 15- اشرح كيفية عمل ترانزستور MOSFET
- 16- اذكر تركيب الترانزستور احادى القطب UJT
- 17- فيم يستخدم الترانزستور احادى القطب ؟
- 18- مم يتركب الداياك وفيما يستخدم ؟
- 19- وضح بالرسم ترتيب الوصلات في الترياك
- 20- ارسم شكل يوضح الخصائص الاستاتيكية للترياك
- 21- اذكر استخدامات الترياك

22- اذكر تركيب ثنائي الفاركتور مع رسم رمز الفاركتور

23- اشرح مع الرسم المبسط تركيب ثنائي الثايرستور SCR مع رسم منحنى الخواص له .

24- اذكر استخدامات ثنائي الثايرستور SCR