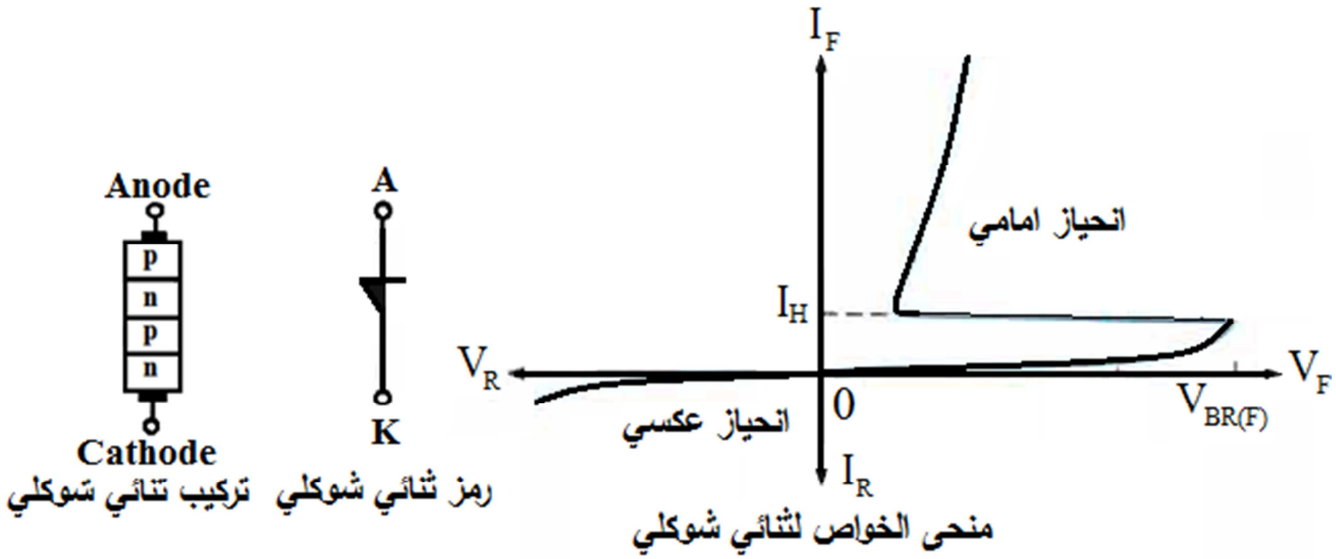
في هذا الفصل سنتناول مجموعة مهمة من نبائط أشباه الموصلات، والتي تسمى عائلة الثايروسترات **Thyristors** التي تختلف عن ثنائي شبه الموصل والترانزستور بكونها مكونة من اربع مناطق (طبقات) من أشباه الموصلات (pnpn). تضم تلك العائلة ثنائي شوكلي، مقوم السليكون المسيطر، الدياك، الترياك، والمفتاح السليكوني المسيطر. وبالإضافة لتلك الثايروسترات سنتناول نوع آخر من نبائط أشباه الموصلات وهو الترانزستور أحادي الوصلة.

١.٧ ثنائي شوكلي Shockley Diode

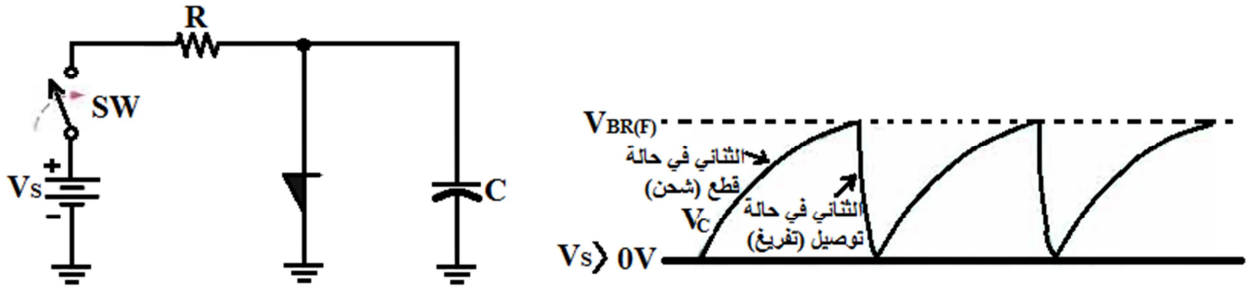
يطلق عليه كذلك "ثنائي رباعي الطبقات" (four-layer diode)، وهو نوع من الثايروسترات له طرفان فقط، الشكل (٧-١) يوضح تركيب ورمز ومنحنى الخواص لثنائي شوكلي، يلاحظ انه في حالة الانحياز الأمامي، يتصرف ثنائي شوكلي كمقاومة عالية (دائرة مفتوحة) لفولتيات تحييز الأقل من جهد الانهيار الأمامي (V_{BR})، وعند وصول جهد التحييز الأمامي إلى تلك القيمة تهبط مقاومة الثنائي بصورة فجائية ويهبط الجهد بين طرفيه ويتصرف كدائرة قصر. يلاحظ من منحنى الخواص ان الثنائي يبقى في حالة التوصيل حتى في حالة انخفاض فولتية التحييز الأمامية عن قيمة جهد الانهيار (V_{BR}) ولا يعود الثنائي إلى حالة القطع إلا عند انخفاض التيار المار عبره إلى قيمة اقل من القيمة التي مرت فيه عند الانهيار (I_H). اما في حالة الانحياز العكسي فسلوكه يشبه سلوك الثنائي الاعتيادي، حيث يتصرف كمقاومة عالية.



شكل ٧-١: تركيب ورمز ومنحى الخواص لثنائي شوكلي

واحدة من اهم تطبيقات ثنائي شوكلي هي استعماله في مذبذب الارتخاء (Relaxation Oscillator) الموضح بالشكل (٧-٢)،عند غلق المفتاح (SW) يكون ثنائي شوكلي في حالة انحياز امامي،ويتصرف كدائرة مفتوحة (الجهد الأمامي اقل من جهد الانهيار $V_{BR(F)}$) فتبدأ المتسعة بالشحن تدريجياً عبر المقاومة R فيزداد الجهد اسياً على طرفي المتسعة ويستمر الحال إلى ان تصل قيمة جهد المتسعة إلى جهد الانهيار

للثنائي $V_{BR(F)}$ عندها تنهار مقاومة الثنائي ويتصرف كدائرة قصر، فتفرغ المتسعة شحنتها عبر الثنائي بسرعة (ثابت زمن قصير)، فيهبط جهد وتيار المتسعة بشكل اسي متناقص ويستمر الحال إلى ان تصل قيمة التيار إلى اقل من تيار الانهيار (I_H) فيرجع الثنائي إلى حالة القطع، فيُعاد شحن المتسعة وتتكرر العملية، وهكذا نحصل على إشارة إخراج بالهيئة الموضحة بالشكل (٧-٢).



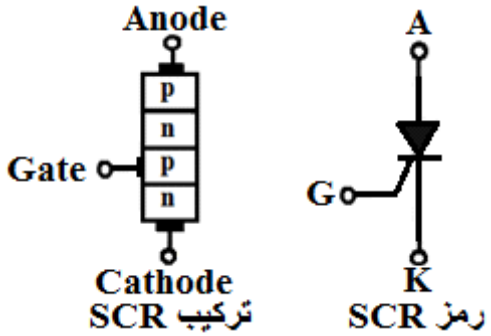
شكل ٧-٢: دائرة مذبذب الارتخاء وشكل الإشارة الخارجة

ان مذبذب الارتخاء يستعمل لتوليد إشارة قدح (Trigger) للتحكم بعمل ثايروسترات من أنواع اكثر تعقيداً وهذا ما سنتناوله في الفقرات التالية.

٢.٧ مقوم سليكون المسيطر SCR Silicon-Controlled Rectifier

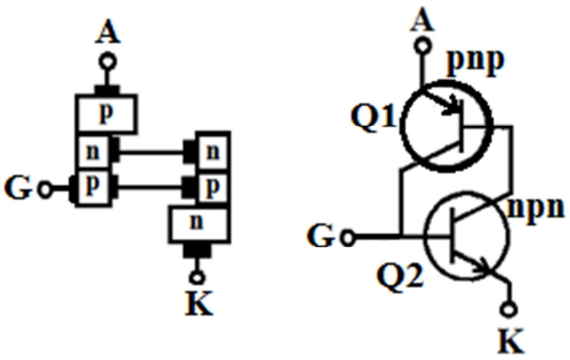
لمقوم السليكون المسيطر (SCR) أهمية كبيرة في التطبيقات العملية حيث يأتي بالمرتبة الثالثة بعد الثنائي والترانزستور، ومن تطبيقاته استعماله في دوائر: التقويم عالي القدرة، العاكسات، منظم الفولتية عالي القدرة، المتحكمات بالطور، التحكم بسرعة المحركات، التحكم بالسخانات، وغيرها من أنظمة التحكم.

يشابه تركيب مقوم السليكون المسيطر SCR تركيب ثنائي شوكلي (ثنائي رباعي الطبقات) مع إضافة طرف ثالث يسمى بالبوابة (Gate)، الشكل (٧-٣) يوضح تركيب ورمز مقوم سليكون المسيطر SCR.



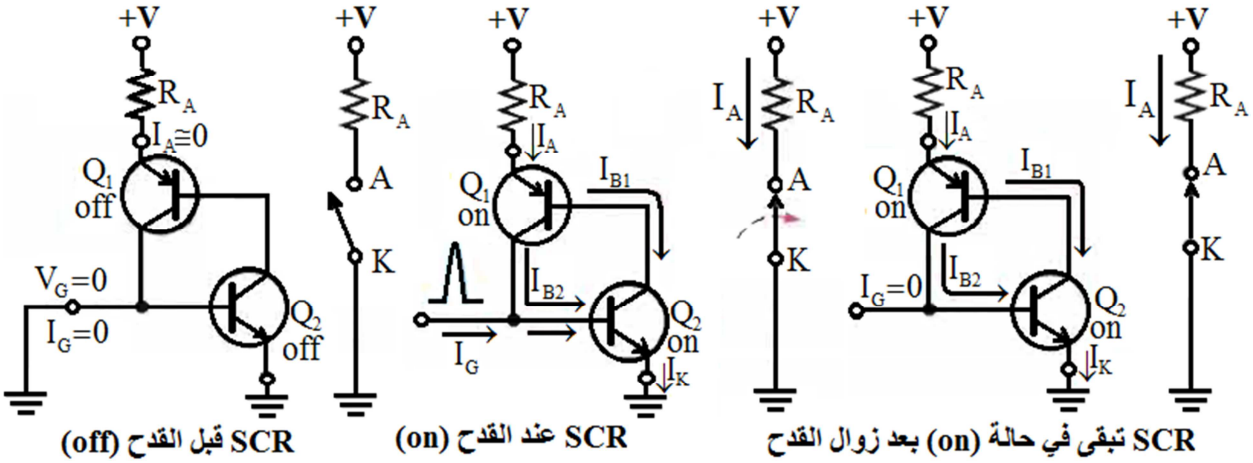
شكل ٧-٣: تركيب ورمز مقوم السليكون المسيطر

لفهم مبدأ عمل SCR يمكن تصوره كترانزستورين احدهما من نوع pnp والثاني من نوع npn مربوطين بالطريقة الموضحة بالشكل (٧-٤)، يلاحظ ان المنطقتين الوسطيتين مشتركتين بين الترانزستورين. عندما يكون تيار البوابة مساوياً للصفر ($I_G=0$) يتصرف SCR كثنائي شوكلي في حالة القطع، وفي هذه الحالة يتصرف SCR كمفتاح مفتوح حيث تكون المقاومة بين طرفي الآنود والكاثود ذات قيمة كبيرة و يلاحظ ان كلا الترانزستورين يكونان في حالة قطع.



شكل ٧–٤: الدائرة المكافئة لمقوم السليكون المسيطر

وعند إدخال نبضة (إشارة) موجبة على طرف البوابة فانها تعمل على قدح (trigger) كلا الترانزستورين فيتحولان من وضعية القطع (off) إلى وضعية التوصيل (on)، حيث تسبب نبضة القدح توليد تيار (I_{B2}) الذي يسوق الترانزستور Q_2 لوضعية التوصيل (التشبع)، وبتشبع الترانزستور Q_2 يمر تيار (I_{B1}) في قاعدة الترانزستور الأول Q_1 فيتحول الترانزستور الأول من وضع القطع إلى التوصيل (التشبع)، وبعد ان يصبح الترانزستور الأول في وضعية التوصيل فانه سيعمل على امرار تيار لقاعدة الترانزستور الثاني، وبالنتيجة فان فعل القدح الأول أدى إلى ان يعمل كل ترانزستور على تشغيل الثاني بوضعية التوصيل، وتستمر الحالة (التوصيل) حتى عند غياب النبضة التي سببت القدح ($I_G=0$)، وبالنتيجة يمكن تصور ان قدح SCR سيحوله من مفتاح مفتوح (مقاومة عالية بين الكاثود والآنود) إلى مفتاح مغلق (مقاومة قليلة بين الكاثود والآنود) وتستمر تلك الحالة حتى بعد غياب الإشارة التي سببت القدح، وكما هو موضح بالشكل (٧–٥).

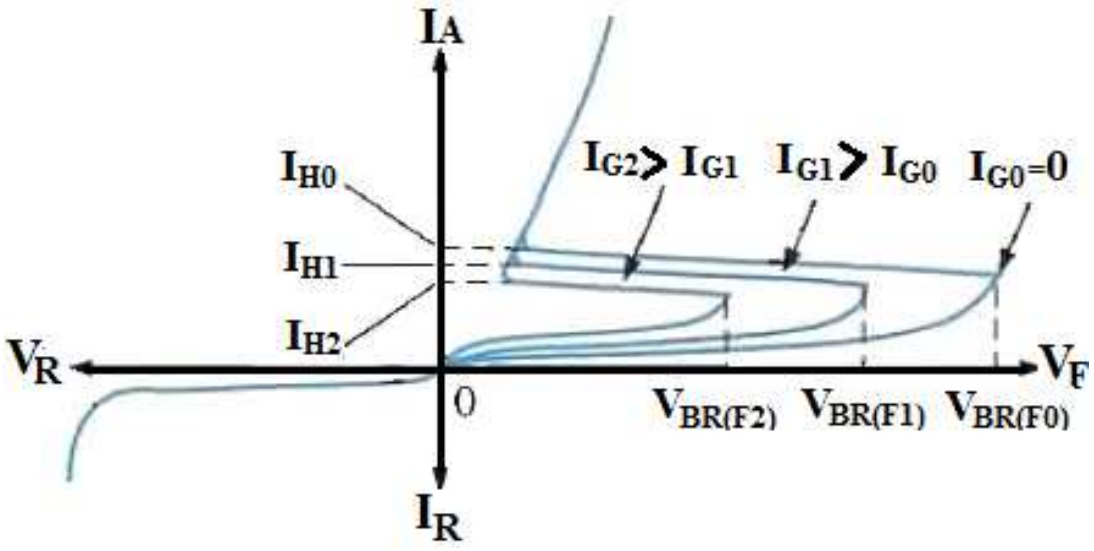


شكل ٧–٥: مبدأ عمل مقوم السليكون المسيطر

لأجل إرجاع SCR إلى حالة القطع لابد من خفض قيمة التيار المار عبره إلى قيمة اقل من (I_H) ولتحقيق ذلك هناك طريقتين: الأولى من خلال إضافة مفتاح يربط اما على التوالي مع المقاومة R_A ليقطع التيار عن SCR فيتحول إلى حالة القطع، أو ان يربط المفتاح على التوازي مع طرفي الآنود والكاثود وعند

غلقه يقوم بقصر الطرفين فيهبط التيار إلى الصفر ويتحول إلى حالة القطع، والطريقة الثانية تتمثل بتسليط جهد عكسي على طرفي SCR ليقلل التيار المار عبره عن القيمة I_H فيتحول SCR إلى حالة القطع.

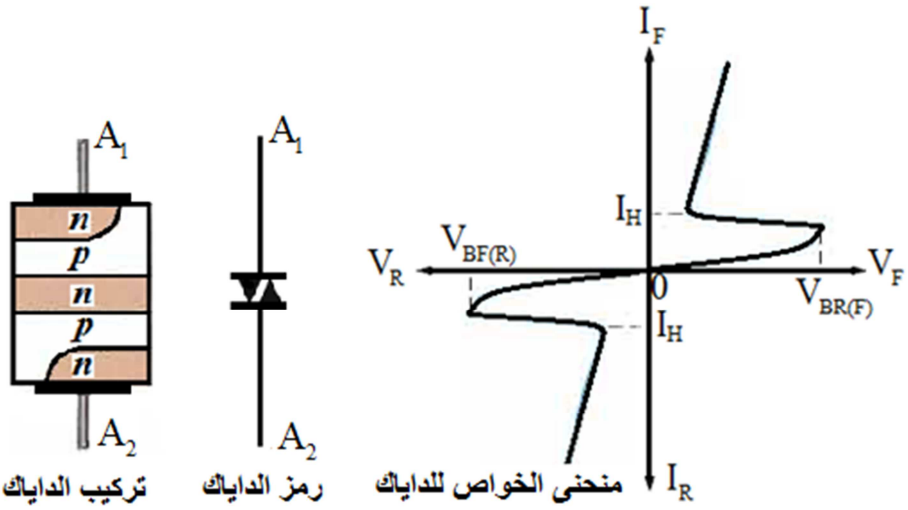
الشكل (٧-٦) يوضح منحنى الخواص لـ SCR. حيث يلاحظ ان تيار البوابة يؤدي إلى التحكم بجهد الانهيار وتياره، حيث نلاحظ انه كلما يزداد تيار البوابة يقل كل من جهد و تيار الانهيار.



شكل ٧-٦: منحى الخواص لمقوم سليكون المسيطر

٣.٧ الدایاك The Diac

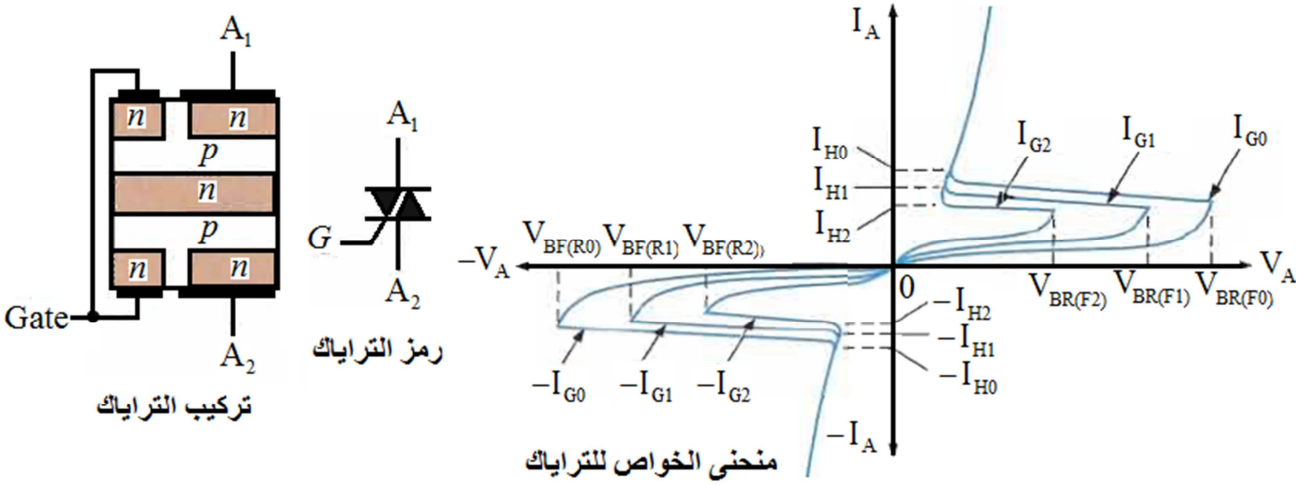
الشكل (٧-٧) يوضح تركيب ورمز ومنحنى الخواص للدایاك (Diac)، والذي يمكن تصوره كثنائيي شوكلي مربوطين على التوازي وباتجاهين متعاكسين. يستعمل الدایاك في العديد من التطبيقات منها: دوائر التحكم، دوائر التوقيت، و دوائر قدح الثايروستورات.



شكل ٧-٧: تركيب ورمز ومنحى الخواص للدایاك

٤.٧ التراياك The Triac

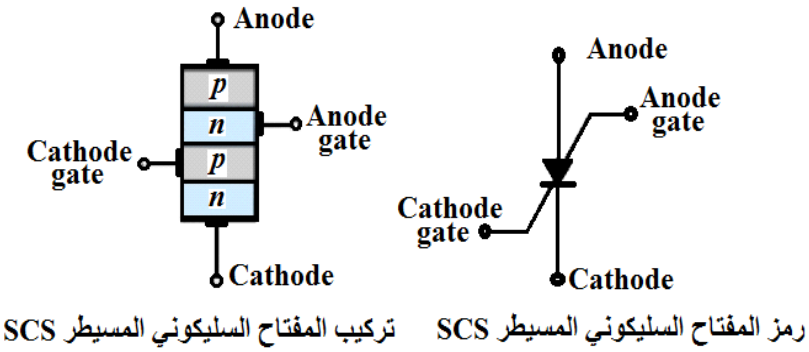
يشابه تركيب التراياك الداياك مع إضافة طرف للبوابة، كما يمكن تصوره كمقومي سليكون مسيطر مربوطين على التوازي وباتجاهين متعاكسين مع طرف بوابة مشترك، يعمل التراياك كمفتاح يكون في حالة غلق عند إدخال نبضة إلى طرف البوابة، ويختلف عن المقوم السليكوني المسيطر بانه يعمل كمفتاح في حالتي الانحياز، ولجعل التراياك يعود لحالة القطع يجب تقليل التيار المار عبره إلى قيمة اقل من قيمة تيار الانهيار (I_H)، الشكل (٧–٨) يوضح تركيب، رمز، ومنحنى الخواص للتراياك.



شكل ٧–٨: تركيب ورمز ومنحى الخواص للترياك

٥.٧ المفتاح السليكوني المسيطر The Silicon-Controlled Switch (SCS)

هو ثايروستر رباعي الأطراف تركيبه يشابه مقوم السليكون المسيطر مع إضافة بوابة ثانية تسمى الأولى بوابة الآنود والثانية بوابة الكاثود، يمكن جعل SCS في وضعية الأغلاق (on) من خلال قدح أي من البوابتين (نبضة موجبة لبوابة الكاثود، وسالبة لبوابة الآنود)، ولتحويل SCS لوضعية الفتح (off) يتم تسليط نبضة موجبة لبوابة الآنود. الشكل (٧–٩) يوضح تركيب ورمز المفتاح السليكوني المسيطر SCS.



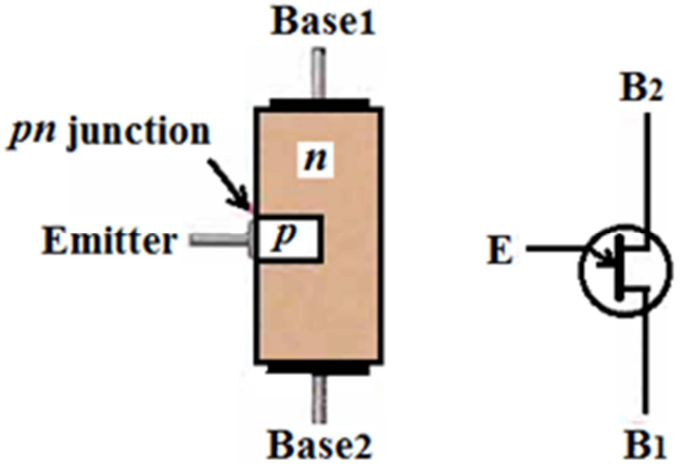
شكل ٧–٩: تركيب ورمز المفتاح السليكوني المسيطر

يستعمل SCS في مجالات مشابهة لاستعمال SCR وبالإضافة لذلك تستعمل في التطبيقات الرقمية مثل العدادات.

٦.٧ الترانزستور أحادي الوصلة (UJT) The Unijunction Transistor

لا يعتبر الترانزستور الأحادي الوصلة من عائلة الثايروسترات وذلك لان تركيبه لا يتضمن الطبقات الأربعة المميزة للثايروسترات، وسميت بأحادية الوصلة لانها تحتوي على وصلة شبه موصل واحدة فقط.

الشكل (٧-١٠) يوضح تركيب ورمز ترانزستور أحادي الوصلة، حيث نلاحظ ان له ثلاثة اطراف باعث E وقاعدة أولى B_1 وقاعدة ثانية B_2. لترانزستور أحادي الوصلة تطبيقات عديدة منها استعماله في دوائر قدح الثايروسترات، مذبذبات اللاجيبية، مذبذب سن المنشار، متحكمات الطور، ودوائر التوقيت.



شكل ٧-١٠: تركيب ورمز ترانزستور أحادي الوصلة

أسئلة الفصل السابع

س١: ما هي الميزة التي تجمع عائلة الثايروسترات، ثم اذكر اسم وتركيب ورمز النبائط التي تشملها؟

س٢: اشرح مع الرسم منحنى الخواص لثنائي شوكلي؟

س٣: مستعيناً بالدائرة المكافئة، اشرح مبدأ عمل SCR.

س٤: قارن بين Diac و Triac من حيث: ١- التركيب. ٢- الرمز. ٣- منحنى الخواص.