

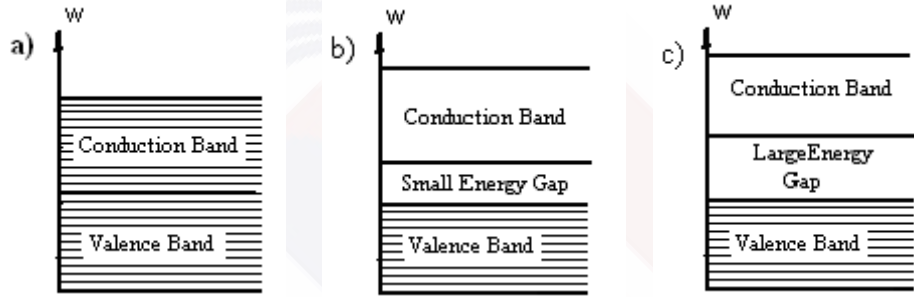
ملحق أسسس الهندسة الكهربائية

د. بديع زريقة

1-1- مدخل إلى أنصاف النواقل [17:19، 20:30]:

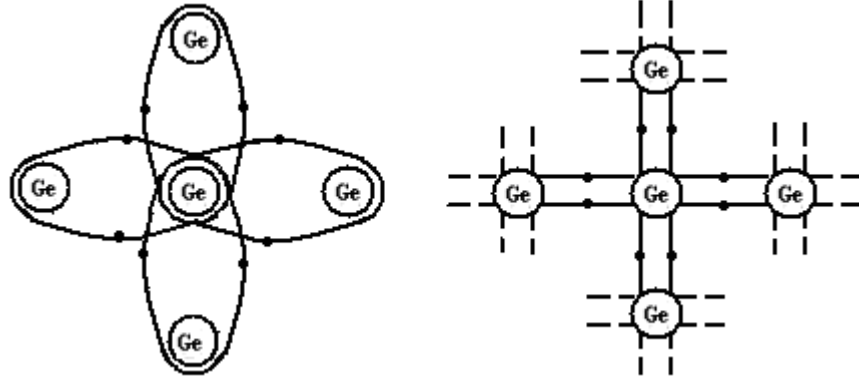
أنصاف النواقل - هي المواد التي تتمتع بمقاومة نوعية كهربائية متوسطة تقع بين المقاومة النوعية للنواقل (أقل من $10^{-6} \Omega m$) والعوازل (أكثر من $10^8 \Omega m$).

المستويات الطاقة: من المعروف، بأنه عندما تتربط الذرات مع بعضها، فإن إلكترونات المدار الخارجي من كل ذرة تشكل مستوى طاقة يسمى حزمة التكافؤ. هذه الحزمة هي التي تشترك في التفاعلات الكيميائية و الكهربائية. في المعادن يوجد عدد كبير من الإلكترونات التي تقع على مستوى طاقة عالٍ يسمى منطقة الحزمة الناقلة. تفصل بين حزمتي التكافؤ والنقل ثغرة طاقة ΔW ، تكون عريضة للعوازل ومتوسطة لأنصاف النواقل ومعدومة للنواقل كما يبين الشكل 1-1.



الشكل 1-1 . مستويات الطاقة للإلكترونات في المعادن (a) وأنصاف النواقل (b) والعوازل (c)

الناقلية الكهربائية في أنصاف النواقل النقية:



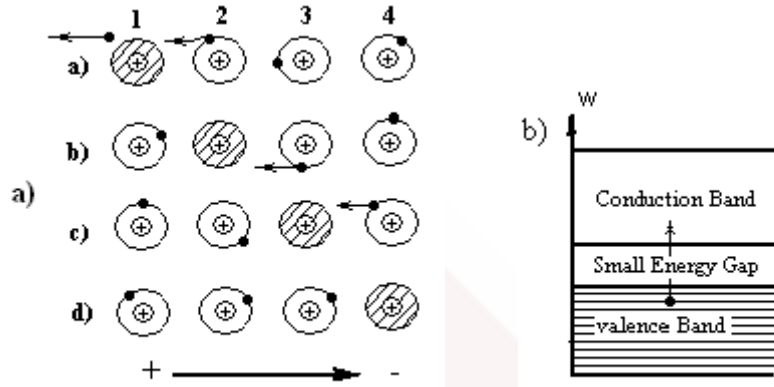
الشكل 2-1 . بلورة الجرمانيوم الكريستالية

إن العناصر المستخدمة في تركيب أنصاف النواقل (الجرمانيوم Ge والسيلكون Si) تحتوي على أربعة إلكترونات تكافؤ في مدارها الخارجي. عندما تتربط هذه الإلكترونات الأربعة، لذرة الجرمانيوم مثلاً مع إلكترونات الذرات المجاورة، تشكل أربعة أزواج إلكترونات تربط، مكونةً بذلك بلورة الجرمانيوم. كما هو واضح في الشكل 1-2.

يؤدي هذا الترابط إلى اكتمال المدار الخارجي للذرات أي جعلها مستقره، ويصبح العنصر عندئذ عازلاً. ولكن عند إعطاء طاقة إلى الذرات (حرارية، ضوئية، إشعاعية) تتحرك بعض الإلكترونات من الذرات إلى الحزمة الناقلة وكلما ازدادت الطاقة (الحرارة مثلاً) يزداد عدد الإلكترونات التي تعبر الثغرة الطاقةية من حزمة التكافؤ إلى الحزمة الناقلة (الشكل 1-3-b) وذلك لأن

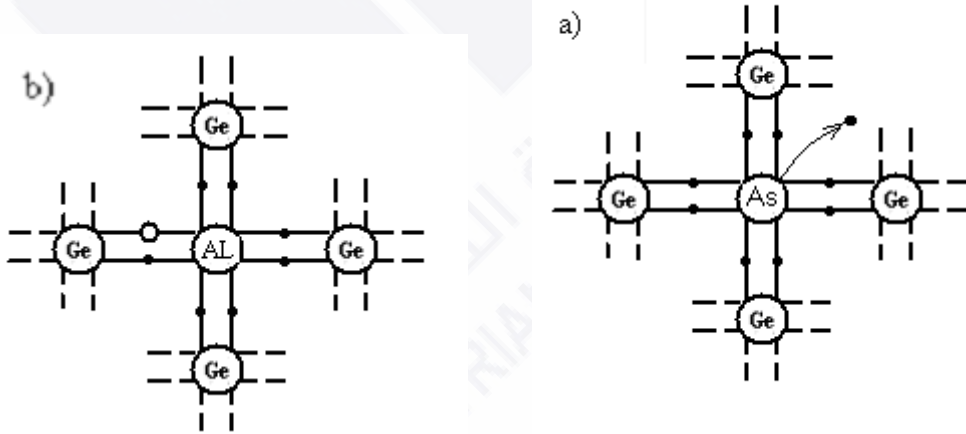
عرض الثغرة الطاقية في أنصاف النواقل صغير ويساوي 0.7 eV للسليكون و 1.12 eV للجرمانيوم . الإلكترون فولت (eV) - هو الطاقة اللازمة لتحريك إلكترون عبر فرق كمون يساوي واحد فولت.

عندما تفقد الذرة إلكترون تكافؤ ، يظهر مكانة ثقب (Hole) ذو شحنة موجبة. إذا انتزعت الذرة ذات الشحنة الموجبة إلكترونًا من الذرة المجاورة، فإن الثقب يتحرك، ويمكن توضيح ما سبق شرحه بالشكل 3-1 .



الشكل 3-1 . ظهور زوج إلكترون - ثقب (a) والتيار الإلكتروني-الثقوبي (b)

أنصاف النواقل المشوبة: لتشكيل وصلة p-n يتم تطعيم مادة نصف الناقل بشوائب. فنحصل على مادة نوع n تُضاف إلى مادة نصف الناقل شوائب مُعطيةً خماسية التكافؤ مثل الفسفور p والزرنيخ As و الأنتيموان Sb والنتروجين N، فنحصل على إلكترون حر في n من كل ذرة مانحة، كما في الشكل 1-4-a. بذلك يكون الإلكترون، ذو الشحنة السالبة، حامل الشحنة الأساسي في المادة نوع n، أما حاملات الشحنة الأقلية فهي الثقوب.



الشكل 4-1 . تشكيل الطبقة n (a) والطبقة p (b).

وللحصول على مادة نوع p تضاف إلى مادة نصف الناقل شوائب قابلة لثلاثية التكافؤ مثل الألمنيوم AL والبور B و الأنديم In والغاليوم Ga فتشكل إلكتروناتها الثلاثة رباطات ذرية مع الإلكترونات المجاورة لذرات الجرمانيوم (أو السيلكون) ويتبقى أحد الرباطات غير كامل فيتكون بذلك الثقب ذو الشحنة الموجبة، كما هو مبين في الشكل 4-1- b.

إن حاملات الشحنة الأساسية في المادة نوع P هي الثقوب، أما الإلكترونات فهي أقلية هنا.

يوجد في أنصاف النواقل نوعان من التيارات :

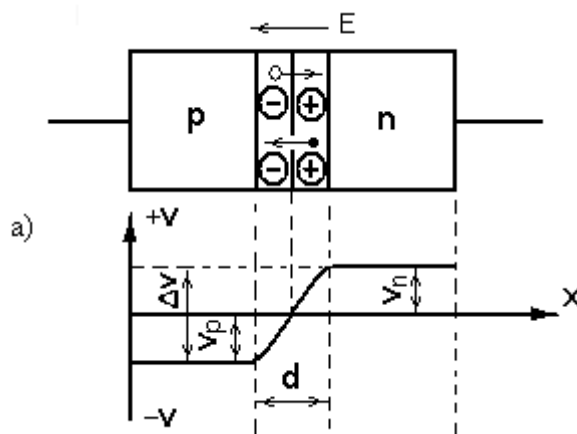
تيار الجرف- وهو عبارة عن تدفق الشحنة- المتولدة حرارياً- بتأثير شدة المجال الكهربائي أو فرق كمون.

وتيار الانتشار- ينتج عن الفرق في تركيز حاملات الشحنة في المادة.

2-1- الثنائي p-n (Diode) :

الثنائي (الموحد، المقوم)- هو عنصر نصف ناقل إلكتروني ذو بنية بلورية ثنائي الطبقات و ثنائي الأقطاب، له (مصعد A و مهبط K أو C) ويتألف من وصلة p-n واحدة ويسمح بتمرير التيار الكهربائي باتجاه واحد فقط.

الثنائي p-n دون تطبيق جهد خارجي: يعتمد مبدأ عمل الثنائي على المعبر p-n، حيث تكون مقاومة هذا المعبر صغيرة في الاتجاه الأمامي وعالية جداً في الاتجاه العكسي. ففي لحظة تشكيل الوصلة p-n (الشكل 5-1- a) تنتشر الإلكترونات من الجانب n، حيث تركيزها فيه كبير، إلى الجانب p وتتحد بالثقوب، وكذلك الثقوب من الجانب p حيث تركيزها فيه كبير إلى الجانب n وتتحد بالإلكترونات الموجودة. فتخسر بذلك الطبقة n عدداً من الإلكترونات ويصبح كمونها موجباً أما p فتخسر ثقوباً ويصبح كمونها سالباً، مما يؤدي إلى ظهور الجهد الحاجز $\Delta V = V_n - V_p$ ، وكذلك مجال كهربائي شدته E يعيق انتشار الثقوب من p والإلكترونات من n (الشكل 5-1).

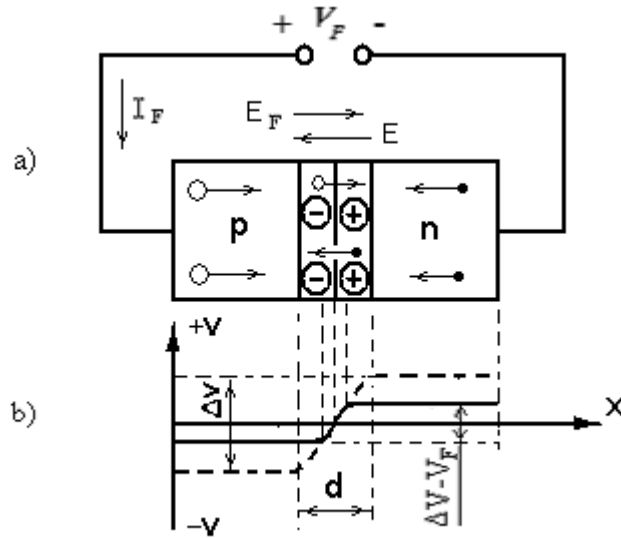


الشكل 5-1 . ظهور الجهد الحاجز على جانبي الوصلة p-n (a) وكثافة الشحنات في الطبقتين p و n (b).

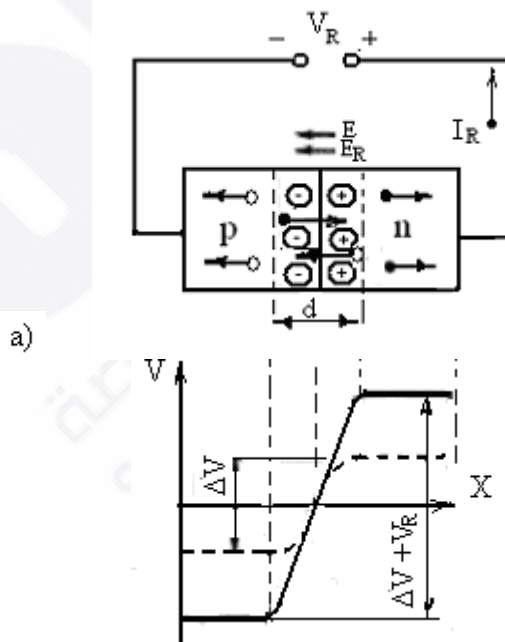
إن قيمة الجهد الحاجز تساوي: للجرمانيوم $\Delta V_{Ge} = 0.3 - 0.4V$ وللسيلكون $\Delta V_{Si} = 0.7V$ وسماكة منطقة

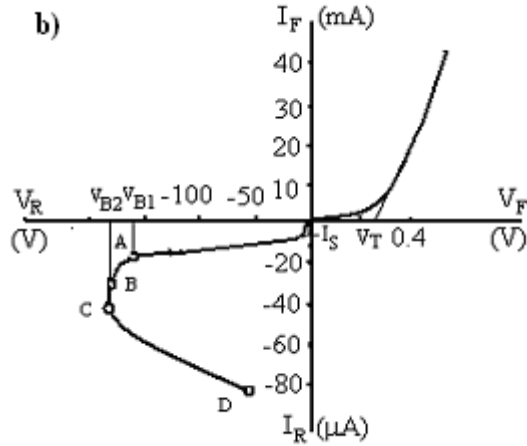
الحجز تساوي: $d = 10^{-4} - 10^{-6} cm$.

عند تسليط جهد خارجي على الثنائي بانحياز أمامي، فإن قطبية الجهد الخارجي تدفع الإلكترونات و الثقوب عبر الوصلة مما يضعف الحاجز الكموني . وكذلك فإن المجال الكهربائي الناتج عن الجهد الخارجي المطبق على الثنائي يُعاكس بالاتجاه المجال الكهربائي للوصلة و يضعفه (الشكل 6-1). فتصبح مقاومة الوصلة صغيرة جداً تسمح بمرور التيار في الدارة الخارجية.



الشكل 6-1. الثنائي p-n في حالة الانحياز الأمامي (a) وجهدده الحاجز (b).





الشكل 7-1. الانحياز العكسي للثنائي (a) وخواص الفولت-أمبير له (b)

وعند تسليط جهد خارجي على الثنائي بانحياز عكسي ، فإن هذا التوصيل يقوي حاجز الكمون ويعززه ، وذلك لأن القطب الموجب للبطارية ينتزع إلكترونات من الطبقة n فيزداد كمونها الموجب وتتحرك الثقوب من p باتجاه القطب السالب وتتحد بالإلكترونات القادمة منه عند نقطة اتصال نصف الناقل بالمصعد ، فيزداد الكمون السالب للطبقة p أيضاً، ويكبر الجهد الحاجز كما هو مبين في الشكل 7-1، وتصبح الوصلة عند ذلك كمقاومة عالية نسبياً، لأن المجال الكهربائي الناتج عن الانحياز العكسي هو مجموع المجال الكهربائي للوصلة والمجال الكهربائي الناتج عن الجهد الخارجي لتطابقهما بالاتجاه. مما يمنع مرور تيار في الدارة الخارجية.

خواص الفولت-أمبير للثنائي: إن المنحني الذي يبين العلاقة بين التيار الذي يمر في الجهاز و الجهد المطبق عليه يسمى خواص الفولت - أمبير، وهي علاقة مهمة لأي جهاز كهربي.

يبين الشكل 7-1 b- خواص الفولت - أمبير للثنائي وهي خواص غير خطية. حيث، في البداية، تكون مقاومة الثنائي الأمامية كبيرة، ولكن عند رفع الجهد إلى قيمة أكبر من جهد العتبة V_T ، يختفي الجهد الحاجز وتنخفض مقاومة الوصلة لتصبح عدة أومات فقط، وهي حاصل جمع مقاومتي الطبقة n و الطبقة p.

أما جهد العتبة- فهو الجهد الذي يكون عنده تدفق التيار مهماً. و قيمته 0.2 للجermanيوم و 0.6 للسيلكون.

في حالة الانحياز العكسي تكون مقاومة الثنائي كبيرة جداً، فعند زيادة الجهد من الصفر حتى جهد الانهيار، لا يتجاوز التيار العكسي عدة مايكرو أمبيرات .ينتج هذا التيار عن تيار الجرف الذي يصل إلى قيمة تيار الإشباع I_S ، وكذلك عن تيار التسرب عبر سطح نصف الناقل I_0 . في الحياة العملية يعتمد التيار العكسي على الحرارة أكثر من اعتماده على الجهد.

عند زيادة الجهد العكسي ليقرب من جهد الانهيار تأخذ الإلكترونات المتحركة سرعة فائقة، وعندما تضرب بذرات نصف الناقل تنتزع إلكترونات جديدة منها ، وهذه بدورها تأخذ سرعة عالية أيضاً بسبب المجال الكهربائي ، وتنتزع

إلكترونات أخرى من الذرات، هذه الضربات تشتد مع زيادة الجهد وتسبب الانهيار.

يوجد نوعان من أنواع الانهيار: انهيار كهربائي و انهيار حراري للوصلة p-n:

أ- الانهيار الكهربائي - وهو انهيار مسموح به، حيث يستعيد الثنائي خواصه بعد إزالة الجهد عنه، أي أن الانهيار الكهربائي لا يتسبب في تخریب الثنائي، وهو يطابق الجزء ABC على المنحني المبين في الشكل 7-1. هناك نوعان للانهيار الكهربائي - انهيار حقلي (نفقي) وانهيار فيضاني كما سنرى لاحقاً.

ب- الانهيار الحراري - (انظر الجزء CD على المنحني في الشكل 7-1) يسبب تخریب الوصلة بسبب الحرارة، أي حرق الثنائي و تعطيله.

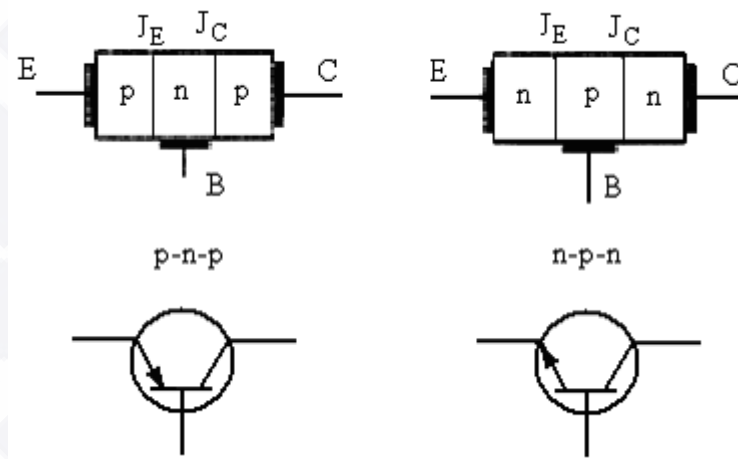
4-1- الترانزستور ذو الوصلة ثنائي القطبية:

Bipolar Junction Transistor – BJT

1-4-1 تركيب وبنية الترانزستور:

يبين الشكل 1 - 19 تركيب طبقات ورمزي نوعي الترانزستورات n-p-n و

p-n-p.



الشكل 1 - 19 . تركيب طبقات الترانزستور ورمزيه

الترانزستور- هو وسيلة إلكترونية تستخدم لتضخيم الاستطاعة أو كقاطع إلكتروني، وهو عبارة عن شريحة من الجرمانيوم أو السيلكون شكلت عليها بالإشابة ثلاث طبقات n-p-n أو p-n-p، تكون الطبقة الوسطى رقيقة جداً وتشكل طبقة القاعدة (Base)، التي تكون أشابته ضعيفة جداً بالمقارنة مع الإشابة المركزة للطبقتين الجانبيتين التي تشكل طبقة الباعث (Emitter) وطبقة المجمع (Collector) وتكون عادة طبقة المجمع أسمك الطبقات.

نلاحظ من الشكل 1 - 19 بأن الترانزستور يتألف من وصلتين (p-n) : الأولى : تقع بين المجمع والقاعدة وتسمى وصلة المجمع J_c ، والثانية- بين الباعث والقاعدة وتسمى وصلة الباعث J_E ، يدل السهم في رمز الترانزستور على اتجاه التيار، عندما تكون وصلة الباعث منحازة أمامياً.

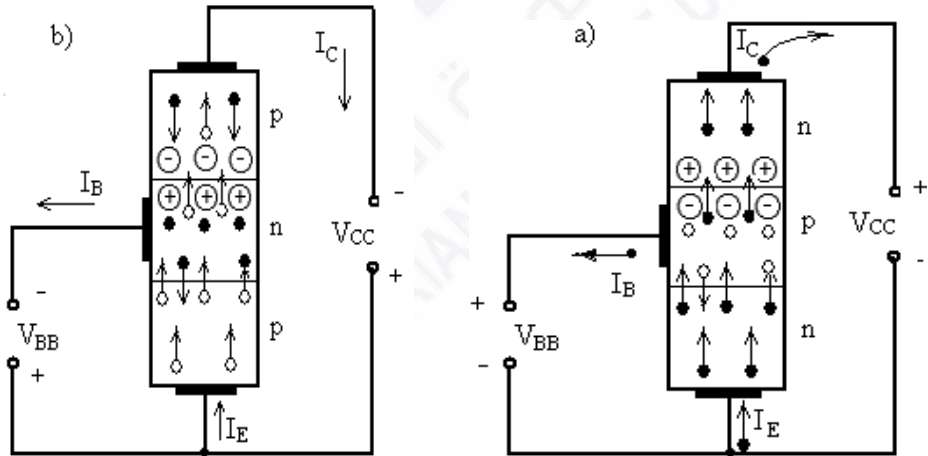
ملاحظة: تسمى الطبقة التي تخرج منها حاملات الشحنة الأساسية بالباعث والطبقة المستقبلية لهذه الحاملات بالقاعدة. فإذا كان عدد الإلكترونات في n أكبر من عدد الثقوب في p تكون n باعثاً و p قاعدةً، فيُهمَل تدفق الثقوب وينظر بتدفق الإلكترونات فقط، وإذا كان عدد الثقوب في p أكبر من عدد الإلكترونات في n ينظر بتدفق الثقوب فقط.

1-4-2- الأسس الفيزيائية لعمل الترانزستور:

لشرح كيفية عمل الترانزستور نأخذ أولاً الترانزستور (n-p-n) المبين بالشكل 1-20- a، عند وصله بشكل مباشر مع منبع تغذية مستمر.

عندما يكون المنبع V_{BB} مفصلاً فإن وصلة المجمع تكون منحازة عكساً مما يزيد اتساع منطقة الاستنزاف والجهد الحاجز على هذه الوصلة أما وصلة الباعث فتكون منحازة أمامياً، ولكن باعتبار دائرة القاعدة مفتوحة فإن هذا الانحياز ليس له تأثير يذكر. عند وصل الجهد V_{BB} ، فإنه يسلط على وصلة الباعث بانحياز أمامي فيتدفق التيار عبر الوصلة وتنطلق الإلكترونات بأعداد كبيرة، من الباعث إلى القاعدة، وينتج عن حقن الإلكترونات في القاعدة تيار الباعث (I_E) وبما أن الإلكترونات في الطبقة p هي حوامل شحنة أقلية، فإن القسم الأعظم منها يعبر القاعدة ووصلة المجمع تحت تأثير المجال الكهربائي لوصلة المجمع وكذلك قوة جذب القطب الموجب للمنبع V_{cc} ذي الجهد العالي نسبياً، وينتج عن هذا التدفق للإلكترونات تيار المجمع I_c قسمٌ ضئيل جداً من هذه الإلكترونات يتحد في القاعدة أو يصل إلى القطب الموجب للمنبع V_{BB} (ذي الجهد المنخفض بالمقارنة مع V_{cc}) وينتج عن ذلك تيار القاعدة I_B . بتطبيق قانون كيرشوف على دائرة الترانزستور نجد بأن تيار الباعث يساوي مجموع تياري القاعدة و المجمع:

$$I_E = I_B + I_c \quad (1-9)$$



الشكل 1 - 20. حركة الإلكترونات والثقوب في الترانزستورات نوع (a) n-p-n و (b) p-n-p.

يسمى المعامل المستخدم لربط نسبة تيار المجمع إلى تيار الباعث المولد له بنسبة تحويل تيار الباعث (α):

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \quad (1-10)$$

لو أن الترانزستور صنع بقاعدة عريضة وبتكيز كبير للثقوب، لاتحدت جميع الإلكترونات المنطلقة من الباعث مع ثقوب القاعدة فلا تصل إلى المجمع وتكون α صغيرة جداً. ولكن تصنع الترانزستورات كما ذكرنا بقاعدة ضيقة وبتكيز خفيف وبالتالي فإن قيمة α تكون قريبة من الواحد.

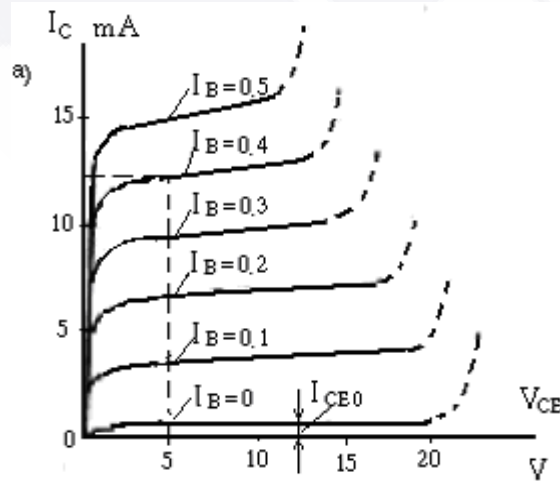
$$\alpha = (0.95 - 0.998)$$

يعمل الترانزستور p-n-p (الشكل 1-20-b) بشكل مشابه للترانزستور

n-p-n، ولكن بدلاً من الإلكترونات تنطلق من الباعث ثقوب تكون للقاعدة n، حوامل شحنة أقلية. وبزيادة تيار الباعث يعبر المزيد من هذه الثقوب القاعدة إلى وصلة المجمع مما يؤدي إلى إنقاص جهدها الحاجز وتخفيض مقاومتها وتتحده هذه الثقوب مع الإلكترونات القادمة من القطب السالب للمنبع مسببة تيار المجمع I_C . وتجدر الملاحظة بأن قطبية الجهود V_{BB} و V_{CC} تكون معاكسة في هذه الحالة لما هو مطبق على الترانزستور n-p-n. باستثناء هذا التغيير في قطبية الجهود، فإنه لا يوجد اختلاف في سلوك الدارة الخارجية وتبقى المعادلات (1-9) و (1-10) وغيرها صحيحة لكلا الترانزستورين.

كما حددنا (α) بأنها نسبة تحويل تيار الباعث يمكن أيضاً تحديد نسبة تيار المجمع إلى القاعدة (β):

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad (1 - 11)$$



الشكل 1 - 25. خواص الخرج للترانزستور ذي الباعث المشترك

1-6-1- الثايرستور Thyristor:

إن العنصر الرئيسي في إلكترونيات القدرة هو الثايرستور، الذي أنتجته لأول مرة شركة (دجنرال إلكتريك الأمريكية "General Electric") عام 1957 . وبدأ الثايرستور منذ ذلك الحين يحل محل الكثير من الأجهزة الكهربائية مثل الصمامات المفرغة من الهواء والمضخمات المغناطيسية والكهربائية وغيرها وانتشر بذلك استعماله بشكل واسع في مجال القيادة الآلية والتحكم بالآلات وفي مختلف التجهيزات والقواطع الكهربائية الآلية. يطلق على الثايرستورات اسم المقومات السيليكونية المقادة وأحيانا المقومات نصف المقادة وذلك إشارة إلى إمكانية التحكم عن طريق البوابة بلحظة الفتح فقط وليس بالإغلاق .

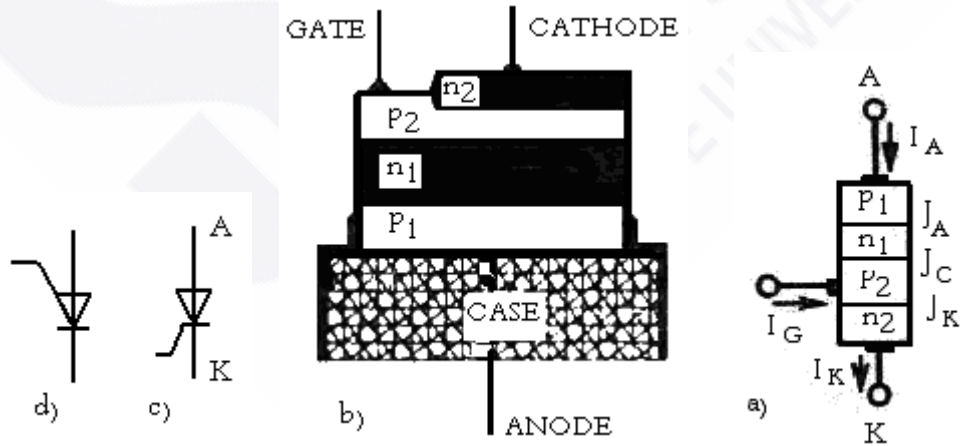
1-1-6-1- بنية الثايرستور:

الثايرستور- هو جهاز إلكتروني ذو بنية بلورية نصف ناقلة، مُقاد بشكل غير كامل، يعمل على حجز الجهد المسلط عليه إلى حين إعطائه نبضة على بوابته، مكون من أربع طبقات $p1-n1-p2-n2$ ومزود بقطب للتحكم (بوابة) وله مصعد ومهبط . الطبقة $p1$ الأولى تشكل طبقة المصعد والطبقة $n2$ الأخيرة تشكل طبقة المهبط والطبقة الداخلية $p2$ هي طبقة التحكم أو القيادة والطبقة $n1$ هي طبقة الحجز (الشكل 1-34). وهو يتألف من ثلاث وصلات $p-n$: وصلة المصعد J_a ووصلة القيادة J_c ووصلة المهبط J_k .

ملاحظة: في بعض الحالات النادرة تكون $n1$ طبقة التحكم و $p2$ طبقة الحجز.

يبين الشكل 1-34-d رمزي الثايرستور في الدارات الكهربائية. أما البنية الداخلة للثايرستور فمبينة في الشكل b-

1 - 34.



الشكل 1 - 34. طبقات الثايرستور (a) وبنيته (b) ورموزه في الدارات الكهربائية (c) و (d)

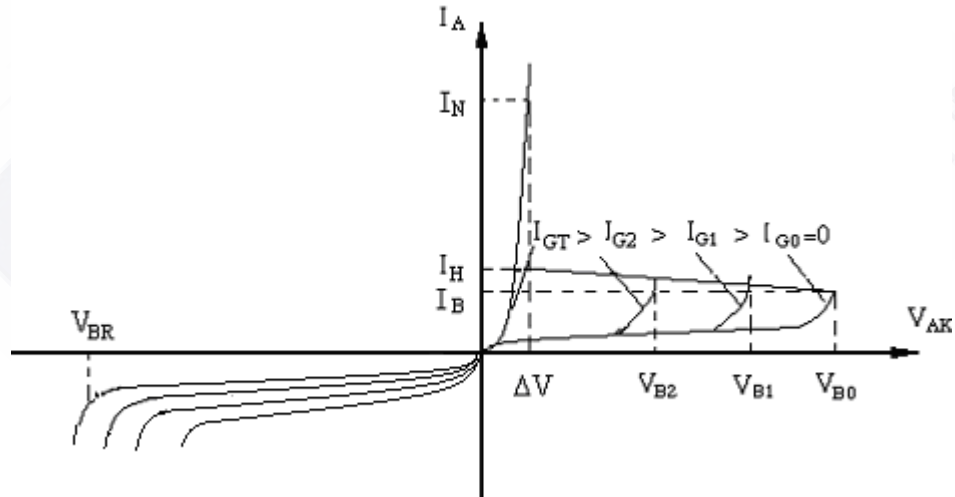
تتميز طبقة الحجز $n1$ بكونها أسمك الطبقات وتكون كثافة الإلكترونات فيها

(أي حاملات الشحنة الأساسية) قليلة جداً، وهي من النوع n وتتكون من السليكون النقي. أما طبقتنا المصعد p1 والقيادة p2 ، فهما من النوع p وتكونان متوسطتي السماكة ومتوسطتي الكثافة. وتتميز طبقة المهبط n2 بصغر سماكتها وبالكثافة العالية للإلكترونات لذلك عند مرور تيار من G إلى K فسوف تبعث هذه الطبقة إلكترونات كثيرة إلى طبقة القيادة مما يسهل جرف هذه الإلكترونات عبر وصله المهبط.

في حال غياب الجهد الخارجي تتكون ثلاث مناطق عبور في أماكن التوصيل الثلاثة للثايرستور، وفي حالة التوصيل الأمامي تكون وصلة القيادة J_C منحازة عكسياً والوصلتان J_A و J_K منحازتين أمامياً. وفي حالة التوصيل العكسي تكونا J_A و J_K منحازتين عكسياً و J_C أمامياً.

1-6-1-2- الخواص الستاتيكية للثايرستور (خواص الفولت - أمبير):

يبين الشكل 1 - 35 خواص الفولت- أمبير للثايرستور . ويوضح المنحني الخارجي خواص الثايرستور عندما يكون تيار البوابة صفراً ($I_G = 0$) عندئذ يعمل الثايرستور كداينستور .
الداينستور (الثايرستور غير المتحكم به) - هو ثايرستور ثنائي الأقطاب رباعي الطبقات وهو عبارة عن ثايرستور بدون قطب تحكم (بوابة) وهو يشبه الثايرستور العادي في حال عدم تطبيق نبضة تحكم ، ويتم فتحه عن طريق تطبيق جهد أمامي كبير (أكبر من جهد الخرق الأمامي V_{BO}) .



الشكل 1 - 35. خواص الفولت-أمبير للثايرستور

عندما يكون الجهد المسلط على الثايرستور موجباً (المصعد موجب بالنسبة للمهبط) يمر تيار أمامي صغير جداً عبر الثايرستور. وعند زيادة هذا الجهد تدريجياً فإن التيار لا يظهر زيادة ملحوظة إلى أن يصل الجهد إلى جهد الخرق (التوصيل) الأمامي V_{BO} ، عند هذه النقطة يقفز الثايرستور إلى حالة التوصيل ويزداد التيار بسرعة وتنخفض مقاومته الأمامية إلى ما يقارب الصفر، كما أن جهد المصعد ينخفض من القيمة المساوية لجهد الخرق الأمامي V_{BO} إلى قيمة صغيرة تسمى

بهبوط الجهد على الثايرستور ΔV وتساوي حوالي $2V - 1$.

تسمى المنطقة التي بضمنها يستطيع الثايرستور تحمل الجهد الأمامي المسلط عليه دون أن يتحول إلى حالة التوصيل بمنطقة الإعاقة الأمامية. عندما يصبح الثايرستور موصلًا فإنَّ التيار المار خلاله يتحدد بمقاومة الدارة الخارجية ، إذ بزيادة هذه المقاومة يقل التيار المار خلاله . وكي يتم إشعال (قدح) الثايرستور ونقله إلى حالة التوصيل يجب ألا يقل تيار الدارة الخارجية عبر مصعد الثايرستور عن قيمة تيار التوصيل I_B ، ولإبقاء الثايرستور في حالة توصيل بعد القدح يجب ألا يقل التيار المار فيه (تيار مصعده) عن قيمة تيار الاستمرار في الاشتعال (I_H Holding Current) ويُعرَّف بأنه أقل قيمة لتيار المصعد، اللازمة لإبقاء الثايرستور في حالة توصيل (وهو أكبر بقليل من تيار التوصيل).

عند تسليط جهد موجب على البوابة (بجعل البوابة موجبة بالنسبة للمهبط) وزيادة قيمة تيار البوابة إلى I_{G1} أو I_{G2} نجد بأنَّ قيمة الجهد الأمامي اللازمة لتوصيل الثايرستور تتناقص مع زيادة I_G ، وعندما يصل تيار البوابة إلى قيمته الاسمية I_{GT} ، تصبح الخواص الأمامية للثايرستور مشابهة تماماً لخواص الثنائي العادي .

عندما يصبح تيار مصعد الثايرستور أكبر من تيار الاستمرار بالاشتعال I_H يمكن الاستغناء عن تيار البوابة، بل من الضروري فصل تيار البوابة عندما يكون الثايرستور منحازاً عكسياً وذلك لأنه عند مرور تيار التحكم عبر البوابة يزداد التيار العكسي مما يؤدي إلى زيادة في سخونة الثايرستور المغلق و انخفاض جهد الانهيار العكسي V_{BR} كما هو مبين في الشكل 1-35.

تشبه الخواص العكسية للثايرستور خواص الثنائي المنحاز عكسياً، حيث يبقى التيار ضعيفاً ومهملاً قبل أن يصل الجهد العكسي إلى جهد الانهيار V_{BR} ، وعند جهد الانهيار يصبح التيار كبيراً جداً ويؤدي إلى توليد حرارة كبيرة وتحطيم الثايرستور . لذلك في التطبيقات العملية يجب مراعاة بأن يكون الجهد العكسي الأعظمي المطبق على الثايرستور أقل بحوالي 1.5 مرة من جهد انهياره.

التغذية الكهربائية المستمرة:

D.C. Power Supply

مقدمة [18،19،25،26،29،31]:

تُستخدم مصادر التيار الكهربائي المستمر لتأمين التغذية للدارات الكهربائية، حيث تعتبر مصادر التغذية هذه الجزء الأكثر أهمية في أية دارة إلكترونية. ومن الناحية العملية، يحتاج أي نظام إلكتروني إلى منبع واحد أو أكثر من منابع التغذية الكهربائية.

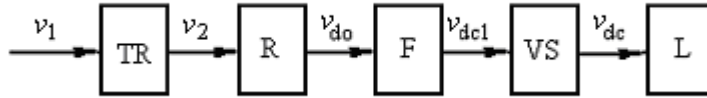
وغالباً ما تتم عملية تقويم للتيار المتناوب من أجل الحصول على تيار مستمر. تتضمن دارات تقويم التيار دارات إلكترونية تقوم

بتوحيد اتجاه التيار وتسمى دارات التوحيد أو دارات تقويم، ودارات ترشيح من أجل الحصول على تيار مستمر. تتم عملية توحيد جهة التيار باتباع نظام توحيد من نوع توحيد نصف الموجة أو توحيد الموجة الكاملة.

7-1- دارات التقويم Rectifier Circuits

دارات التقويم - هي تجهيزات تقوم بتحويل التيار المتناوب إلى تيار مستمر. وتستخدم كمصادر لتغذية التجهيزات التي تعمل على التيار المستمر.

يبين الشكل 1-7 المخطط الصندوقي لدارة تقويم، تشكل مصدر تغذية بالتيار المستمر.



الشكل 1-7. المخطط الصندوقي لدارة التقويم

حيث:

TR - محول لرفع أو خفض الجهد- ويقوم بعملية توافق لجهد دارة التقويم مع جهد الشبكة.
R - المقومات.

F - مرشح يستخدم من أجل الحصول على جهد خرج ناعم (قليل التموج) وهو عبارة عن دائرة تتألف من مكثفات أو من مكثفات وملفات.

VS - مثبت للجهد المستمر المقوم، ويصنع عادة باستخدام ثنائي زينر أو ترانزستور مع تغذية خلفية .
L - الحمل.

أثناء دراستنا التالية لدارات التقويم وللمبدلات الثايرستورية سوف نعتبر بأن عناصر التقويم (الثنائيات أو الثايرستورات) مثالية (أي مقاومتها الأمامية تساوي الصفر والعكسية لانهائية). والمحولات مثالية أيضاً (أي ضياعاتها مهملة). هذه التجاوزات تسهل الحسابات دون خطأ يذكر.

7-1-1- دارات التقويم أحادية الطور Single Phase Rectifier

7-1-1-1- تقويم نصف موجة The half- wave rectifier

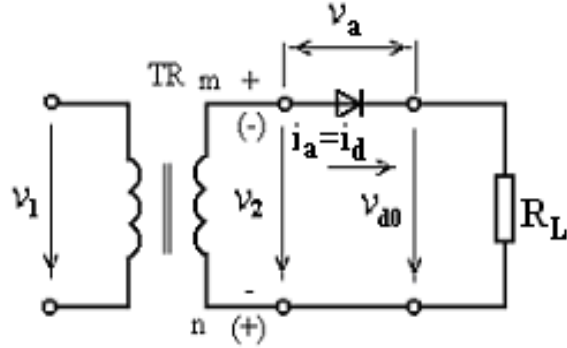
أ- عمل دارة تقويم نصف موجة على حمل أومي صرف :

تبين الدارة في الشكل 2-7 دارة تقويم نصف موجه.

لنعتبر بأن الجهد على طرفي الملف الثانوي للمحول جيبي، أي: $v_2 = V_{2\max} \sin \omega t$ (الشكل 3-7). فخلال

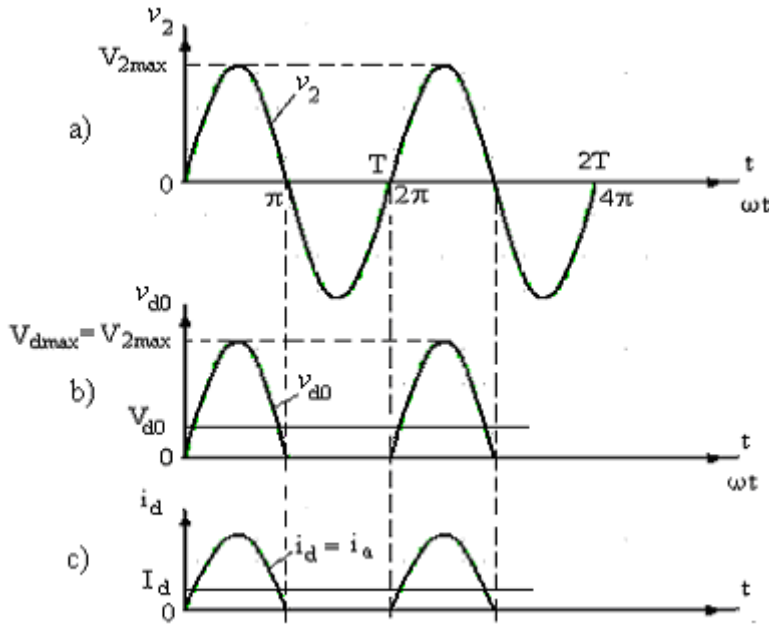
نصف الموجه الموجب تكون النقطة m موجبة بالنسبة إلى n ويصبح الثنائي منحازاً أمامياً، فيمر خلال المقاومة R_L تيار i_d الذي يُنشئ على هذه المقاومة فرق جهد $v_{do} = i_d R_L$ أما في فترة نصف الموجه السالبة فتصبح n موجبة

بالنسبة لـ m ويكون الثنائي منحازاً عكسياً وبالتالي يفصل ولا يمرر التيار وتصبح $v_{do} = 0$ بهذا الشكل يمر عبر الثنائي إلى الحمل تيار نبضي خلال نصف الموجة الموجبة فقط. ويكون اتجاه التيار في الحمل دائماً من جهة مهبط الثنائي إلى الطرف n للمحول. أي للتيار اتجاه واحد، لذلك فهو يعتبر تياراً مستمراً.



الشكل 2-7. دارة تقويم نصف موجة

بما أن دارة تقويم نصف الموجه هي دارة تسلسلية، فإن تيار الثنائي هو نفسه تيار الحمل (الشكل 3-7-c) والجهد على الحمل v_{do} هو النصف الموجب للموجات الجيبية كما في الشكل 3-7-b.



الشكل 3-7. المخططات الزمنية لدارة تقويم نصف موجة

القيمة المتوسطة لجهد الخرج V_{do} :

للجهد على الحمل شكل نبضي ولكنه ذو اتجاه واحد. فلو رسمنا مستطيلاً قاعدته تساوي دور جهد التغذية T وبارتفاع معين بحيث تكون مساحة هذا المستطيل تساوي المساحة المحصورة تحت منحنى $v_{do}(t)$ ، فيكون الارتفاع هو القيمة المتوسطة للجهد المستمر V_{do} .

لإيجاد القيمة المتوسطة لهذا الجهد نأخذ تكامل التابع $v_{do}(t)$ بدلالة الزمن t أو الزاوية $\theta = \omega t$. ونحدد هذا التكامل بطول الموجه المستمرة فنحصل بذلك على المساحة تحت المنحنى $v_{do}(t)$ ولإيجاد المعدل المتوسط نقسم هذه المساحة على طول الدور T .

$$V_{do} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} v_{do}(t) \cdot dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} v_{do} \cdot d(\omega t) \quad \text{إذاً :}$$

$$V_{do} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_{2\max} \sin \omega t \cdot d(\omega t) = -\frac{V_{2\max}}{2\pi} \cos \omega t \Big|_0^{\pi} = \frac{V_{2\max}}{\pi}$$

$$V_{do} = \frac{V_{2\max}}{\pi} = \frac{\sqrt{2} \cdot V_2}{\pi} = 0.45 \cdot V_2$$

ب- عمل دائرة تقويم نصف موجة مع مرشح سعوي:

تستخدم المرشحات عادة لتحسين شكل جهد خرج دارات التقويم، بحيث يصبح مستمراً وخالياً من التعرجات الحادة.

يبين الشكل 5-7 دائرة تقويم نصف موجة مع مكثف ومخططاتها الزمنية.

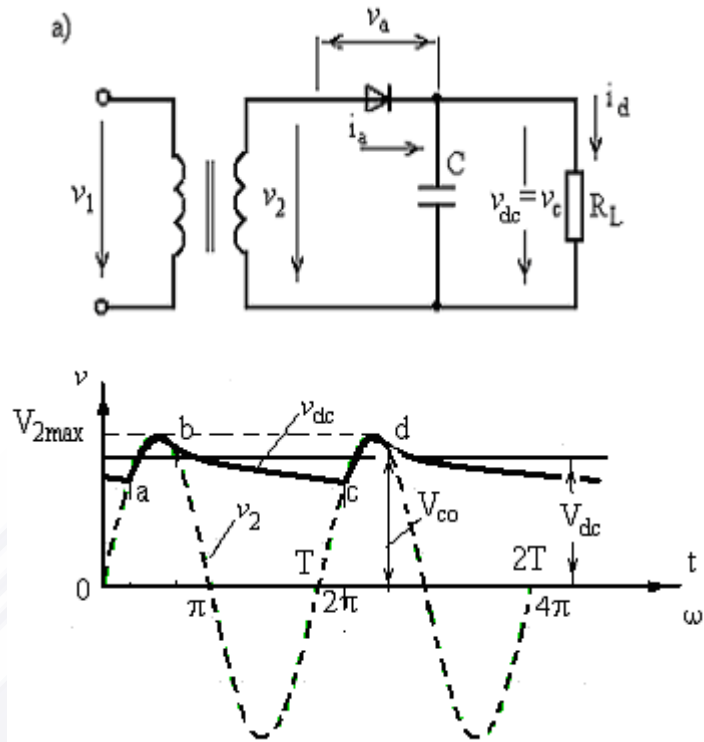
يُشحن المكثف C خلال نصف الموجة الموجب في الفترة الزمنية $t_1 - t_2$ إلى قيمة قريبة من $V_{2\max}$ وعندما تهبط الموجة المتناوبة لأقل من قيمة جهد المكثف (النقطة b في الشكل 5-7- b) يتوقف تيار الشحن عبر الثنائي ويستمر تيار الحمل بالسريان بفعل تفريغ المكثف (بين النقطتين b و c على الشكل 5-7- b) حسب العلاقة:

$$v_c = V_{co} e^{\frac{-t}{R_L C}}$$

في اللحظة التي يتساوى فيها جهد المنبع المتصاعد مع جهد المكثف المتناقص (النقطة c) يبدأ المكثف بالشحن من جديد. في حالة الاحمال ($R_L = \infty$) ينشحن المكثف إلى القيمة $V_{co} = V_{2\max}$ ويحافظ المكثف على هذه القيمة لعدم وجود دائرة تفريغ.

إن الشحن السريع للمكثف عبر الثنائي ذي المقاومة الصغيرة والتفريغ البطيء له عبر الحمل ذي المقاومة العالية يجعل تعرجات جهد الخرج ليست عالية.

مما سبق يتبين بأن المكثف يقوم بتخزين الطاقة الكهربائية أثناء فترة تمرير الثنائي ويعطي الطاقة المخزنة أثناء انقطاع الثنائي عن التمرير.



الشكل 5-7. دائرة تقويم نصف موجة مع مرشح سعوي (a) ومخططاتها الزمنية (b)

يمكن تشبيه عمل دائرة التقويم كما يلي: لنفترض بأنه يجب إعطاء أحد المستهلكين تدفقاً ثابتاً من الغاز أو الماء ولكن الضاغط يعطي الغاز (أو الماء) على دفعات، لأنه يمتص الغاز خلال الشوط الأمامي ويدفعه خلال الشوط العكسي. وهذا يشبه عمل دائرة تقويم بدون مكثف، حيث يقوم الثنائي بدور الصمام. فلو وضعنا بين الضاغط والمستهلك خزاناً يضح إليه الغاز. عندئذ يجري الغاز من الخزان إلى المستهلك بضغط ثابت تقريباً. الخزان هنا يشبه المكثف، فكلما كبرت سعته

قلت التعرجات. يعتبر الترشيح جيداً إذا تحقق الشرط $\frac{1}{wc} \ll R_L$.

7-1-1-2- تقويم الموجة الكاملة Full Wave Rectifier:

يوجد نوعان من دارات تقويم الموجة الكاملة:

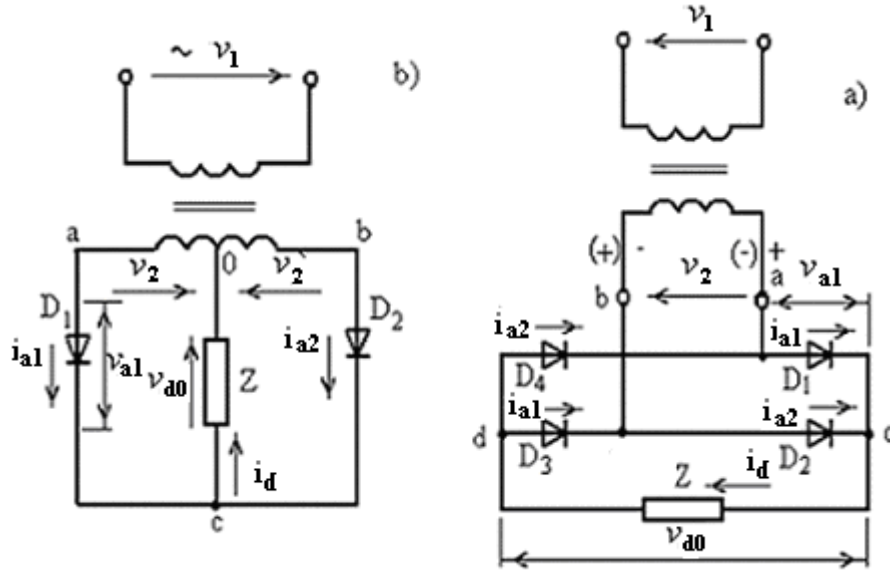
1- دائرة التقويم الجسرية (الشكل 7-7-7a).

2- دائرة التقويم ذات النقطة الوسطية للمحول (الشكل 7-7-7b).

أ- عمل دارات تقويم الموجة الكاملة على حمل أومي صرف وعلى حمل

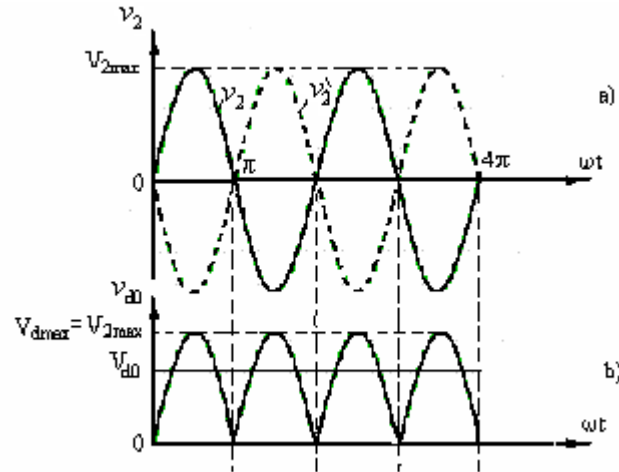
أومي-تحريري:

تقوم الثنائيات في كلتا الدارتين بإمرار أنصاف الموجات السالبة من المنبع بالاتجاه الموجب إلى الحمل، أي بنفس اتجاه التيار الناتج عن أنصاف الموجات الموجبة.



الشكل 7-7. دارات تقويم الموجة الكاملة

ففي الدارة الجسرية، يمر التيار الناتج عن نصف الموجة الموجب للجهد v_2 (الشكل a-7-7) من النقطة a عبر الثنائي D_1 إلى الحمل، ثم عبر D_3 فالنهاية الثانية للمحول b. ويمر التيار خلال نصف الموجة السالب من النقطة b عبر D_2 إلى الحمل، ثم عبر D_4 راجعاً إلى نهاية المحول a. أي أن تيار الحمل i_d يمر دائماً بنفس الاتجاه من c إلى d. (انظر الشكل c-8-7).



الشكل 8-7. المخططات الزمنية لدارات تقويم موجة كاملة

وفي دائرة التقويم ذات النقطة الوسطية للمحول يكون الجهد بين النقطتين o و b (v_2) مساوياً للجهد بين o و a (v_2) ويعاكسه في الاتجاه، أي بين الجهدين إزاحة في الطور مقدارها 180° كما في الشكل (a-8-7). فيمرر الثنائي D_1 أنصاف الموجات الموجبة للجهد v_2 إلى الحمل ($a \rightarrow D_1 \rightarrow c \rightarrow R \rightarrow o$). ويمرر الثنائي D_2 أنصاف الموجات الموجبة للجهد v_2 إلى الحمل ($b \rightarrow D_2 \rightarrow c \rightarrow R \rightarrow o$). فيكون اتجاه التيار في الحمل دائماً من c إلى o (الشكل 8-7 - c). عندما يكون الحمل أومياً صرفاً فإنَّ التيار والجهد يتطابقان في الطور ويكون لهما نفس الشكل.

عندما يكون الحمل أومياً-تحريضياً (المحركات الكهربائية مثلاً)، فإنَّ وجود الملف في دوائر التقويم يقلل من قيمة التموجات في منحنى التيار المقوم

(الشكل e-8-7) وكلما كبرت قيمة عامل التحريض L تقل التعرجات ويصبح الترشيح أفضل، وذلك لأن الملف يعيق تغيرات التيار وبالتالي يبقى متأخراً ولا يستطيع اللحاق بالجهد V_{do} . أما منحنيات الجهد المقوم (الشكل b-8-7) والجهد العكسي (الشكل d-8-7) فهي نفسها للحملين الأومي والأيومي-التحريضي.

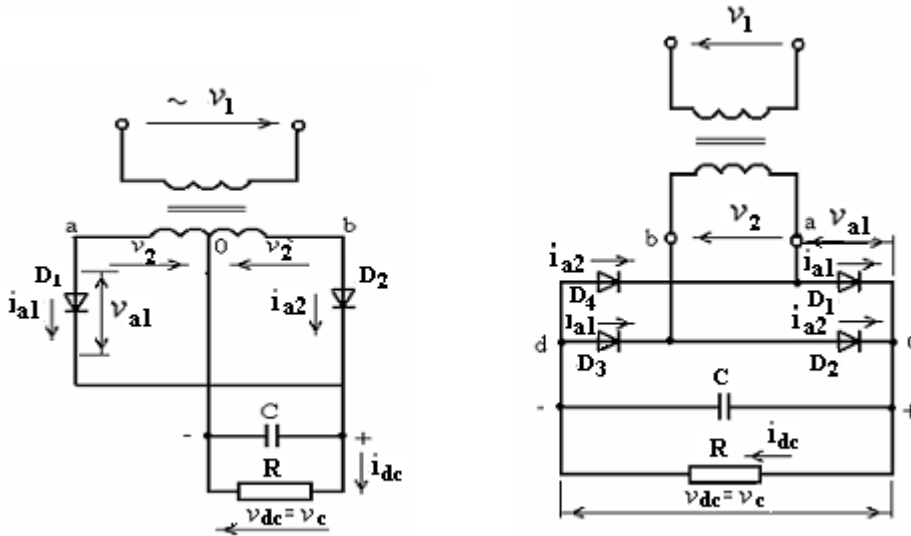
يتم تحديد وسائط غالبية دوائر التقويم بشكل مشابه لدائرة تقويم نصف الموجه، فلتحديد القيمة المتوسطة للجهد المقوم نأخذ التكامل الآتي:

$$V_{do} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_{2\max} \sin wt \cdot d(wt) = \frac{2V_{2\max}}{\pi} = 0.9V_2$$

ب- عمل دائرة تقويم موجة كاملة مع مرشح سعوي:

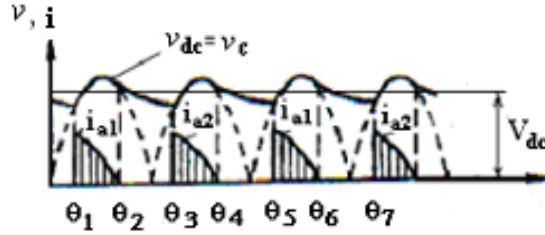
يستخدم المكثف لترشيح تموجات الجهد المقوم. يبين الشكل 9-7 نوعي دوائر التقويم. أما الشكل 10-7 فيبين المنحنيات الزمنية لجهود وتيارات هذه الدارة.

ففي الفترة الزمنية الواقعة بين θ_1 و θ_2 يمر التيار عبر الثنائي D_1 (D_3) إلى الحمل والمكثف فيُشحن المكثف، ويكون التيار المار عبر الثنائي i_{a1} وكذلك تيار شحن المكثف على شكل نبضات، كما في الشكل 10-7.



الشكل 7-9. دارتا تقويم موجة كاملة مع مكثف

في اللحظة θ_2 يتساوى v_{dc} مع v_2 فتفصل الثنائيات جميعها بسبب الانحياز العكسي ويبدأ المكثف بالتفريغ عبر الحمل بمنحنيٍ أسي وتستمر هذه العملية حتى اللحظة θ_3 حيث يتساوى الجهد المقوم على طرفي المكثف مع الجهد على طرفي الملف الثانوي للمحول فيبدأ الثنائي $D_2(D_4)$ ، بالتمرير ويُشحن المكثف من جديد. يمكن تحديد قيم وسائط هذه الدارة بشكل مشابه لدارة تقويم نصف موجة مع مرشح سعوي، ولكن مع الأخذ بالحسبان بأن تردد الجهد المقوم لدارة تقويم موجة كاملة هو ضعف تردد المصدر. ورغم أن التقريب في هذه الحالة كبير لكنه يكون باتجاه التنعيم الأفضل للجهد المقوم.



الشكل 7-10. المخططات الزمنية لدارة تقويم موجة كاملة مع مكثف

عناصر التحسس والمجسات وتطبيقاتها

Transducers and Applications, Sensing Elements

مقدمة [17,14]:

يتم الكشف عن ظاهرة فيزيائية وتحويلها إلى نوع آخر ميكانيكي أو كهربائي حيث يؤدي هذا التحويل إلى الحصول على إشارة مفيدة يمكن استخدامها في عملية قياس مثلاً. ومن أجل عملية الكشف هذه لا بد من وجود عنصر يتحسس المتغير المطلوب قياسه فيعطي إشارة تمثل مقدار هذا المتغير. يعطى هذا العنصر عدة مسميات كمبدّل طاقة أو مجس أو عنصر تحسس أو كاشف. وهذه الأسماء مترادفة تقريباً بالرغم من وجود بعض الاختلافات الطفيفة في معانيها وسنعمد كلمة مجس (Transducer) للدلالة على عنصر التقاط الإشارة وتحويلها.

يتم في أغلب الأحيان تحويل الظاهرة الفيزيائية (درجة حرارة، ضغط، كمية تدفق، قوة، ارتفاع مستوى سائل، انقطاع أو ظهور الضوء،... إلخ) المطبقة على مدخل المجس إلى إشارة كهربائية تظهر عند مخرجه حيث تعدّ الإشارة الكهربائية هي النوع الأسهل للتعامل معه في عمليات القياس.

تقسم المجسات حسب مبدأ عملها إلى قسمين:

- 1- مجسات مولدة (فعالة) - وهي مجسات تنتج قوة محرّكة كهربائية على خرجها عندما تتغير القيمة المقاسة على دخلها (كالمجسات الكهرومغناطيسية، الكهروضغطية، والمزدوجات الحرارية، والخلايا الضوئية وغيرها)
- 2- مجسات بارامترية (غير فعالة) - وفيها يكون متغير الخرج عبارة عن بارامتر الدارة الكهربائية كالمقاومة R، والسعة C، وعامل التحريض الذاتي L، أو المتبادل M. وهي لا تنتج قوة محرّكة كهربائية.
- 3-7- المجسات ذات المقاومة الكهربائية:

تعتمد عملية الكشف عن العديد من الظواهر غير الكهربائية على تغير المقاومة الكهربائية للمادة تحت تأثير الظاهرة المطلوب كشفها. فمن المواد ما تتغير مقاومتها بتغير درجة الحرارة أو بتغير الضغط الواقع عليها أو بتغير شدة الضوء الساقط عليها أو بتغير طول موجة هذا الضوء... إلخ.

ذكرنا أن المقاومة الكهربائية للمادة تتغير نتيجة تعرضها لتغير في الظواهر الفيزيائية ولتكن تغير درجة الحرارة مثلاً. يكون قياس مقاومة المادة مؤشراً لدرجة حرارة هذه المادة أو لمقدار تغيرها.

1-3-7- تغير المقاومة الكهربائية للمواد بتغير درجة الحرارة:

تزداد بصورة عامة مقاومة المعادن بازياد درجة الحرارة، فنقول إن للمعدن معامل مقاومة حراري (α) موجب. بينما تتناقص مقاومة أنصاف النواقل والمواد العازلة بازياد درجة الحرارة فنقول إن للمادة معامل مقاومة حراري (α) سالب.

يبين الجدول 1-7 قيم معامل المقاومة الحراري لبعض أنواع المواد عند درجة حرارة المحيط علماً أن (α) لا تبقى ثابتة بل تتناقص عادة بارتفاع درجة الحرارة.

يستعمل النيكل حتى درجة حرارة (300 C°) بينما تستعمل خلائط الفوسفور برونز عند درجات الحرارة المنخفضة جداً حيث تتصف هذه المواد بتغير كبير لمعامل المقاومة الحراري لها عند قيم منخفضة جداً من درجات الحرارة ($266 - \text{C}^\circ$).

2-3-7- مجسات درجة الحرارة ذات المقاومة المعدنية:

يعدّ البلاطين مهماً جداً كعنصر تحسس في مجسات درجة الحرارة ذات المقاومة (Resistance Temperature Detectors, RTD) المعدنية، حيث يعدّ كأساس في المجسات المعيارية لدرجات حرارة تقع بين (190 C°) و (+) (660 C°) لكنه يمكن أن يستعمل من أجل مجال يتراوح بين (264 C°) و (1000 C°).

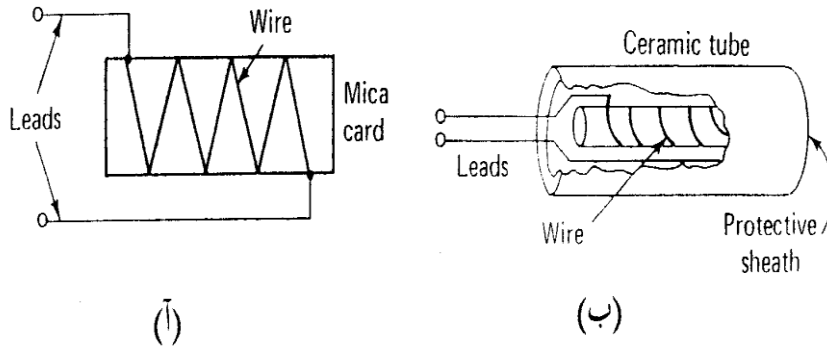
الجدول 1-7

اسم المادة	المقاومية Resistivity $\Omega.cm$	معامل المقاومة الحراري، α Resistive Temperature Coefficient / C°
------------	---	---

$10^{-3} \times 3.92$	$10^{-6} \times 9.8$	بلاتين
$10^{-3} \times 4.1$	$10^{-6} \times 1.5$	فضة
$10^{-3} \times 4.1$	$10^{-6} \times 1.55$	نحاس
$10^{-3} \times 6.8$	$10^{-6} \times 6.8$	نيكل
$10^{-3} \times 4.2$	$10^{-6} \times 19.3$	رصاص
$10^{-3} \times \pm(40 \text{ to } 70)$		أوكسيد معدني (ثيرمستور)

ويعدّ البلاتين أكثر العناصر دقة بالنسبة لجميع عناصر التحسس الحراري. فعند درجة حرارة تقارب الصفر يمكن أن تصل دقة القياس له حتى 10^{-4} درجة مئوية. وعند درجة حرارة 450 درجة مئوية تصل الدقة إلى بضعة أجزاء من مئة من الدرجة. وتهبط الدقة إلى حوالي عُشر الدرجة عند درجة حرارة 1000 درجة مئوية.

يبين الشكل 4-7 بنية مجس حراري ويكون عادة على شكل سلك رفيع من البلاتين أو النيكل أو التنغستين، ملفوف على قالب من الميكا أو السيراميك أو أية مادة أخرى مقاومة للحرارة. ويبين الشكل 5-7 معطيات عن هذه المجسات الحرارية.

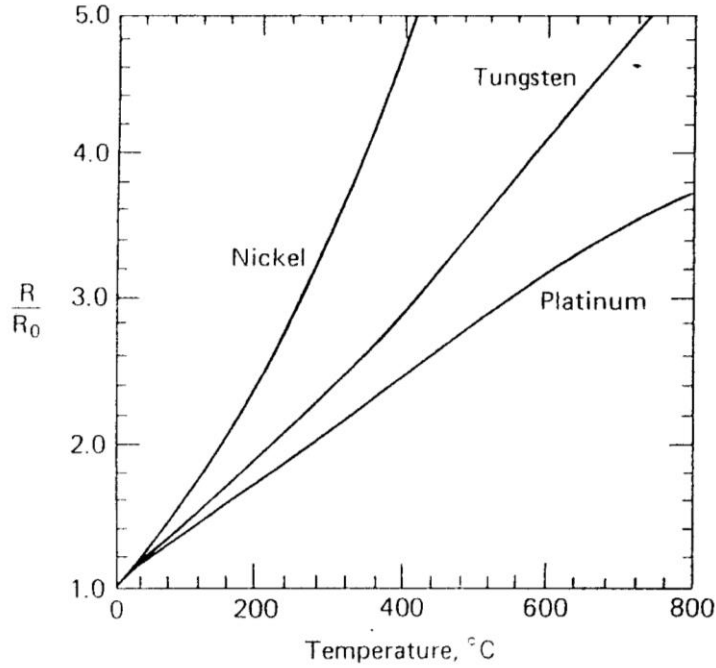


شكل 4-7- مجسات حرارية ذات مقاومة سلكية

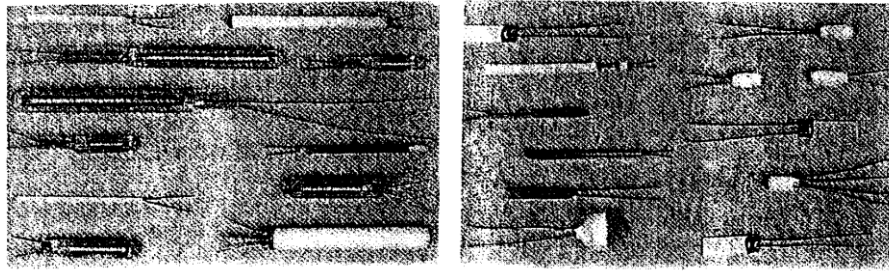
أ- عنصر سلكي مكشوف، ب- عنصر محمي

تتوافر عناصر التحسس الحراري، تجارياً، بأشكال متنوعة كثيرة كما يبينه الشكل 6-7. يتألف أحد الأنواع المستعملة من سلك من البلاتين عالي النقاوة (99.99 %) ملفوف حول نواة من السيراميك ومغلق عليه بإحكام ضمن كبسولة من السيراميك.

يعدّ البلاتين المعدن الأفضل من أجل عمليات القياس الأكثر دقة حيث يتصف بخصائص كهربائية وميكانيكية ثابتة خلال فترات طويلة من الزمن.



شكل 5-7- معطيات حساس مقاومة حراري



(أ)

(ب)

شكل 6-7- مجسات درجة الحرارة ذات المقاومة (RTD)

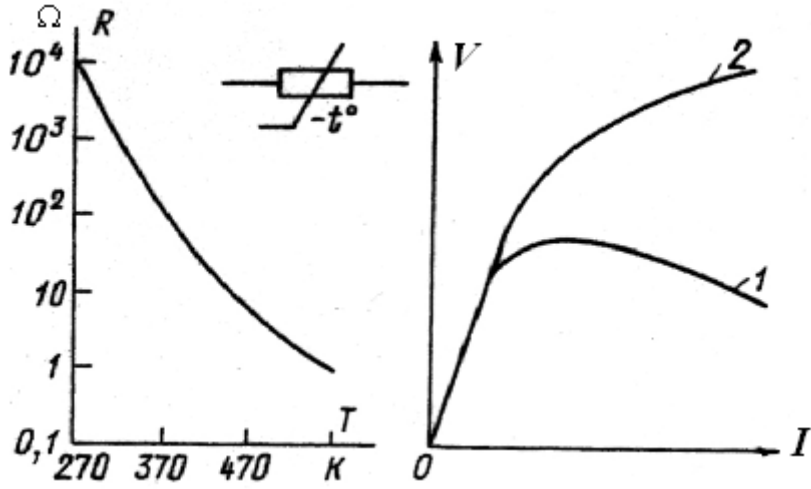
أ- نوع الملف السلكي، ب- نوع الغشاء الرقيق

3-3-7- الثيرمستور Thermistor:

هو مقاومة حساسة لتغيرات درجة الحرارة وتصنع من بعض المواد مثل أكاسيد أو سيليكات أو كبريتات لعناصر (النكل، النحاس، الرصاص، الألمنيوم). حيث إن معامل المقاومة الحراري (α) لهذه المواد هو أكبر بعدة مرات من معامل المقاومة الحراري للمعادن وتسمى العناصر المستعملة من هذه المواد بالثيرمستور (Thermistor).

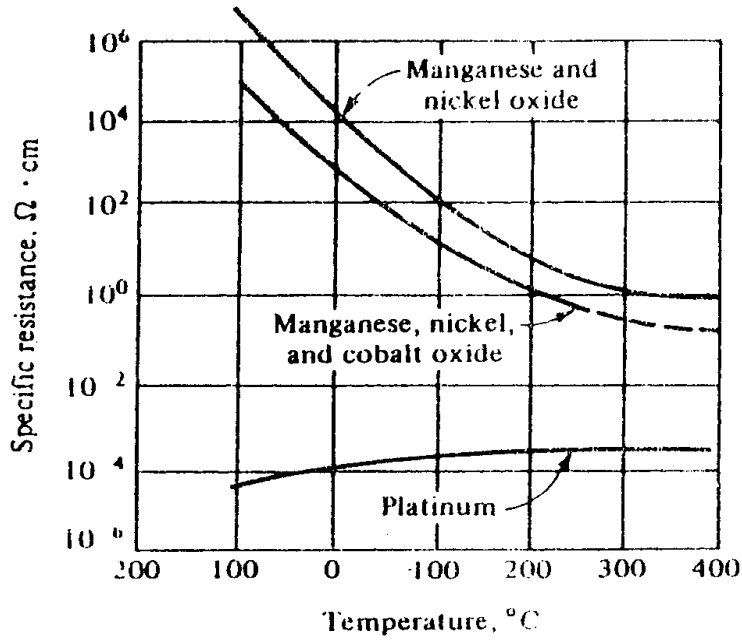
يبين الشكل 9-7 رمز الثيرمستور ومنحني العلاقة بين المقاومة R ودرجة الحرارة بالكلفن T للثيرمستور ذي معامل

المقاومة الحرارية السليبي، وكذلك خواص الفولت-أمبير له، وذلك لحالتي أفضل تبديد لحرارته _ المنحني (1) ولأسوأ تبديد (المنحني 2).



الشكل 7-9. خواص ورمز التيرمستور

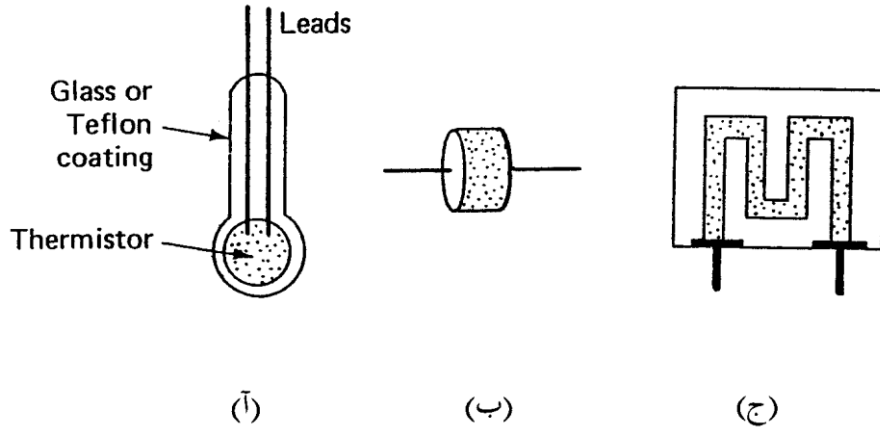
تستخدم التيرمستورات كحساسات للحرارة، وكمقاومات غير خطية في نظم الأتمتة والتحكم، ولقياس الطاقة الإشعاعية (البولومتر).



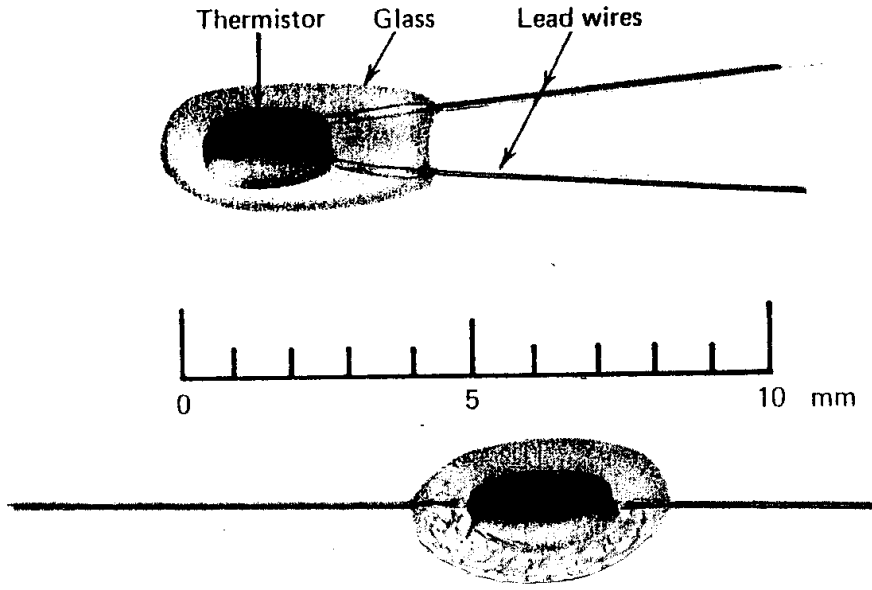
شكل 7-10 - مقارنة بين خواص التيرمستور والبلاتين

يبين الشكل 10-7 مقارنة بين خواص الثيرمستور والبلاطين حيث يبدو أنه من أجل تغير في درجة الحرارة من صفر إلى 300 درجة مئوية تنقص مقاومة الثيرمستور أكثر من 1000 مرة بينما تزيد مقاومة البلاطين بحدود مرتين. يمتاز الثيرمستور عن مقاييس الحرارة (Thermometers) ذات المقاومة المعدنية بارتفاع معامل المقاومة الحراري (α) له وهو ذو حجم صغير يسهل إجراء عملية القياس في النقاط ذات التركيز الحراري. ويمكن الحصول منه على قيم مقاومة عالية تفيد في التغلب على أثر تغير مقاومة أسلاك التوصيل ومقاومات التماس. وبحسب نوع المادة التي يتركب منها الثيرمستور يمكن أن تأخذ المقاومة النوعية قيماً بحدود ($10^{-1} - 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$). وعند استخدام الثيرمستورات لقياس درجات الحرارة، تكون الأخطاء الناتجة من تأثير أسلاك التوصيل صغيرة بما فيه الكفاية بحيث يمكن إهمالها حتى في حال استخدام أسلاك توصيل طويلة. إن حساسية الثيرمستورات كبيرة، لذلك فإن التغير في المقاومة (ΔR_T) الناتج عن تغير درجة الحرارة هو أكبر بكثير من التغير الصغير في مقاومة الأسلاك الناتج عن تغير درجة الحرارة. وكذلك فإن مقاومة الثيرمستورات كبيرة جداً بالمقارنة مع مقاومة أسلاك التوصيل ($R_T / R_L \approx 1000$)، وبالنتيجة فإن أي انخفاض في دقة القياس، بسبب مقاومة سلك التوصيل، يكون مهملًا. يمكن أن تأخذ بنية الثيرمستور أشكالاً مختلفة (كروية مغلقة، أو قرص، أو غشاء...) يوصل إليها سلكان خارجيان كما يبدو في الشكل 11-7.

ويمكن أن تتوفر أشكال من الثيرمستور تبدو كحبيبات ذات أقطار تبلغ بحدود (0.125–1.5 mm) كما يبينه الشكل 12-7. تتعدد بذلك أشكال الثيرمستور من أجل الحصول على عناصر تناسب مجالاً واسعاً من التطبيقات.



شكل 11-7 - أشكال مختلفة من الثيرمستور
 أ - كروية مغلقة، ب - قرص، ج - غشاء



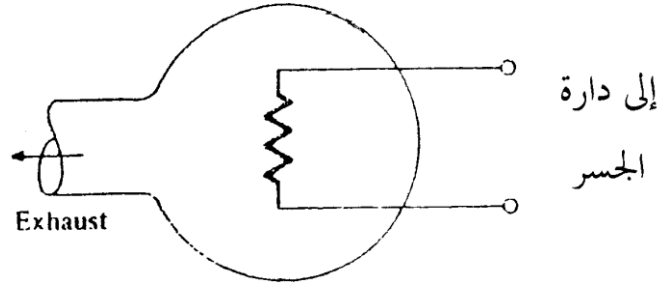
شكل 7-12- ثيرمستورات حُبيبية الشكل

4-3-7- تطبيق تغير المقاومة بتغير درجة الحرارة في قياس ضغط منخفض جداً (مقياس بيراني Pirani):

يمكن بالاعتماد على تغير المقاومة بتغير درجة الحرارة قياس ضغط منخفض جداً لنظام مفرغ ويسمى الجهاز هذا بمقياس بيراني (Pirani) ويتألف كما يبدو من الشكل 7-14 من سلك رفيع يتراوح قطره بحدود (0.025 mm) مركب في أنبوب زجاجي أو معدني. يوصل الأنبوب إلى النظام المفرغ ويسخن السلك إلى درجة حرارة تتراوح بين (100 C° و 400 C°) ويتم التبريد نتيجة للتوصيل الحراري خلال الغاز الذي يحيط بالسلك.

عند الضغط الجوي لا تعتمد التوصيلية الحرارية (Thermal Conductivity) للغاز على ضغطه. لكن عندما ينخفض الضغط حتى يصل إلى حوالي (10 mm Hg) يبدأ التوصيل الحراري للغاز عندئذ بالانخفاض مع استمرار نقصان الضغط.

إن ذرات الغاز التي تصطدم بالسلك الساخن تنقل الطاقة الحرارية من السلك إلى جدران الوعاء. ستتأثر درجة حرارة السلك بالتالي بمتوسط عدد الذرات المصطدمة به، ومنه فإن انخفاض ضغط الغاز سينقص من سرعة فقدان السلك لحرارته بسبب تناقص عدد الذرات المصطدمة به والناقلة للحرارة مما يؤدي ذلك إلى ارتفاع درجة حرارة السلك و بالتالي ارتفاع

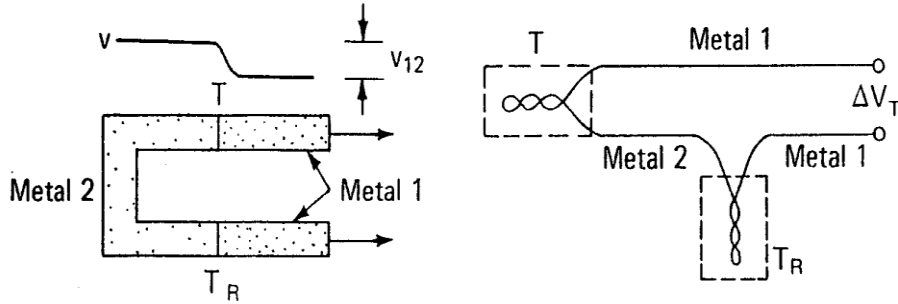


شكل 7-14 - مقياس بيراني

7-3-6- المزدوجات الحرارية Thermocouples :

أ- المزدوجة الحرارية المعدنية:

المزدوجة الحرارية هي عنصر حساس لدرجة الحرارة وتُصنع من مُوصِلين غير متماثلين يكونان على تماس حراري وكهربائي، وعادة ما يكونان سلكين معدنيين. وعند تسخين الوصلة ينتج جهد كهروحراري صغير يزداد خطياً تقريباً مع درجة حرارة الوصلة. وفي الواقع يكون هناك وصلتان، وصلتا القياس ووصلة مرجعية كما يبينه الشكل 7-18.



شكل 7-18- وصلات مزدوجة حرارية

آ- المخطط الكموني

ب- ترتيب مرجعي للقياس

عند أية وصلة بين معدنين، يوجد فرق كمون (V_{12}) كنتيجة للفروقات في التركيز الفعال للإلكترونات في المعدنين. تعرف هذه الظاهرة الكهروحرارية بتأثير سيبك (Seebeck Effect).

من الواضح أن الوصلتين في الشكل 7-18 موصلتان إلى الدارة بقطبيتين متعاكسة. وعندما تكون الوصلتان بنفس

درجة الحرارة، فإن كموني الوصلتين يلغيان بعضهما:

$$(\Delta V_T = v_{12} - v_{21} = 0)$$

إلا أنه من جهة أخرى، يمكن أن تأخذ (ΔV_T) قيمة موجبة أو سالبة، ويعتمد هذا على فيما إذا كانت T أكبر أو أصغر من T_R . في المخابر الفيزيائية تستعمل درجة الحرارة صفر $(0^\circ C)$ غالباً كدرجة حرارة مرجعية. تتضمن تركيبات المزدوجات الحرارية الشائعة المواد الآتية:

Iron/Constanan	حديد/كونستانتان
Chromel/Alumel	كرومبل/ألومل
Chromel/ Constanan	كرومبل/كونستانتان
Copper/Constanan	نحاس/كونستانتان
Platinum/Platinum-Rhodium	بلاتين/بلاتين-روديوم

ويبين الجدول 3-7 الحساسيات الكهروحرارية $(\mu V/C^\circ)$ لعدد من المواد المختلفة المتصلة مع البلاتين. إن المعطيات التي يقدمها الجدول 3-7 يمكن استخدامها لتحديد حساسية أية وصلة مزدوجة حرارية بملاحظة، مثلاً، أن:

$$S_{\text{Chromel/Alumel}} = S_{\text{Chromel/Platinum}} - S_{\text{Alumel/Platinum}} \quad (7-9)$$

$$= + 25.8 - (- 13.6) = 39.4 \mu V/C^\circ$$

يبين الشكل 19-7 توضيحاً آخر لدائرة مزدوجة حرارية، ونكتب من الدارة قيمة جهد الخرج (V_o) ويتعلق بدرجة حرارة كل وصلة وفق المعادلة الآتية:

$$V_o = S_{A/B} (T_1 - T_2) \quad (7-9a)$$

حيث:

$S_{A/B}$ - هي حساسية تركيبية المادتين A و B

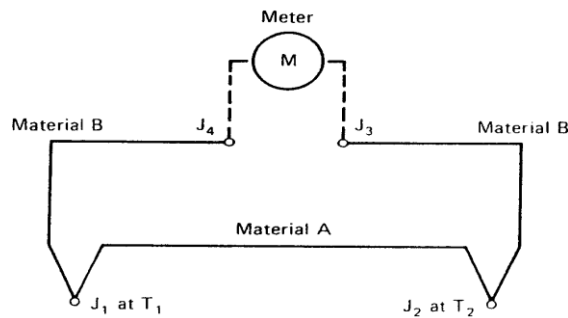
T_1 - هي درجة الحرارة عند الوصلة 1

T_2 - هي درجة الحرارة عند الوصلة 2

الجدول 3-7

المادة	الحساسية ($\mu\text{V}/\text{C}^\circ$)	المادة	الحساسية ($\mu\text{V}/\text{C}^\circ$)
Constantan	- 35	Copper	+ 6.5
Nickel	- 15	Gold	+ 6.5
Alumel	- 13.6	Tungsten	+ 7.5
Carbon	+ 3	Iron	+ 18.5
Aluminum	+ 3.5	Chromel	+ 25.8
Silver	+ 6.5	Silicon	+ 440

من الناحية العملية، تكون الوصلة (J_2) هي الوصلة المرجعية التي تبقى عند درجة حرارة مرجع مضبوطة بدقة. أما الوصلة (J_1) فإنها توضع على تماس مع الجسم في النقطة التي يطلب قياس درجة حرارتها. وعندما نوصل جهاز القياس إلى دائرة المزدوجة الحرارية، فإنه تتشكل وصلتان (J_3) و (J_4) عند نقطتي التماس بين الأسلاك (المادة B) وطرفي جهاز القياس. فإذا كانت نقطتا التماس هذه عند نفس درجة الحرارة و أي ($T_3 = T_4$)، فإن الوصلتان الإضافيتان (J_3) و (J_4) لن تؤثر في جهد الخرج (V_0). إن المزدوجة الحرارية، كعنصر حساس، يمكن أن تصنع من سلك ذي قطر صغير جداً (0.0005 in.) وذلك من أجل إنقاص الكتلة والحجم. إن المزدوجات الحرارية المصغرة هذه تتميز بزمن استجابة سريع جداً (بضع ميلي ثانية) وبإمكانية الحصول على قياسات نقطية لدرجة الحرارة. يمكن للمزدوجة الحرارية أن تغطي مجالاً واسعاً من قياس درجات الحرارة، إلا أن تغيرات الخرج ليست خطية تماماً مع تغيرات درجة الحرارة، ونحتاج من أجل تحسين الخطية إلى دارات خاصة. وبالإضافة إلى جهد الخرج غير الخطي، فإن هناك سيئة أخرى وهي أن جهد إشارة الخرج صغير جداً، وكذلك الحاجة الماسة إلى ضبط درجة الحرارة المرجعية عند الوصلة J_2 .

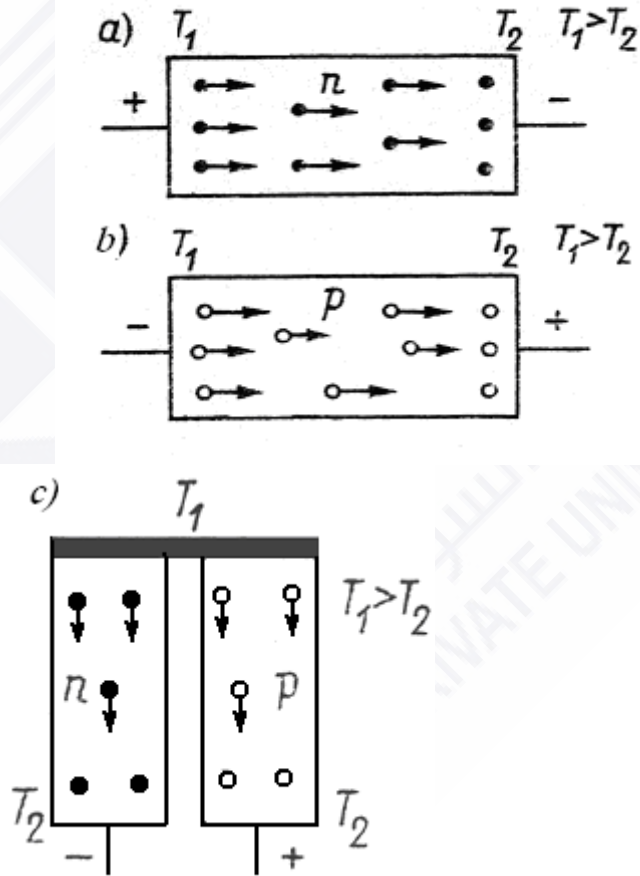


شكل 7-19 - دائرة مزدوجة حرارية نموذجية

ب-المزدوجة الحرارية نصف الناقلية:

تعمل المزدوجة الحرارية نصف الناقلية بشكل مشابه للمزدوجة الحرارية المعدنية. فلو فرضنا إنه لدينا نصف ناقل من النوع n (الشكل 20-7 a) وأحد جوانبه (الأيسر على الرسم) أسخن من الجانب الآخر (الأيمن). عندئذ يصبح تركيز حاملات الشحنة المتحركة (الإلكترونات) على الجانب الساخن أكبر من تركيزها في الجانب الآخر (البارد)، فيحصل انتشار الإلكترونات من الجانب الساخن إلى الجانب البارد.

ونتيجة لذلك تتشكل شحنة سالبة على الجانب البارد وشحنة موجبة على الجانب الساخن. بين هاتين الشحنتين يتشكل مجال كهربائي، يعيق حركة الإلكترونات ويحاول دفعها بالاتجاه المعاكس، مما يحقق التوازن عند فرق جهد معين على طرفي نصف الناقل، فتتشكل بذلك القوة المحركة الكهربائية الحرارية. وتصل قيمتها إلى (0.5mV) لكل درجة مئوية. بشكل مماثل تنشأ قوة محرقة كهربائية حرارية على طرفي نصف الناقل نوع p (الشكل 20-7 b)، ولكن عوضاً عن الإلكترونات تنتشر الثغوب وتتشكل شحنات معاكسة بالقطبية للشحنات المتشكلة على جانبي نصف الناقل نوع n.



الشكل 20-7. بنية المزدوجة الحرارية نصف الناقلية

في التطبيقات العملية تستخدم المزدوجة الحرارية نصف الناقل المبينة في الشكل 7-20-c، وفيها يتم تسخين نقطة الوصل بين المادة n و المادة p للحصول على قوة محرك كهربائية حرارية.

إن المزدوجات الحرارية المصنوعة من أنصاف النواقل تعطي قيم قوة محرك كهربائية حرارية أكبر بكثير من القيم التي تعطيها المزدوجات الحرارية المعدنية. فعند تسخين المزدوجة حتى الدرجة 600 K تصل قوتها المحركة الكهربائية الحرارية إلى 0.3V.

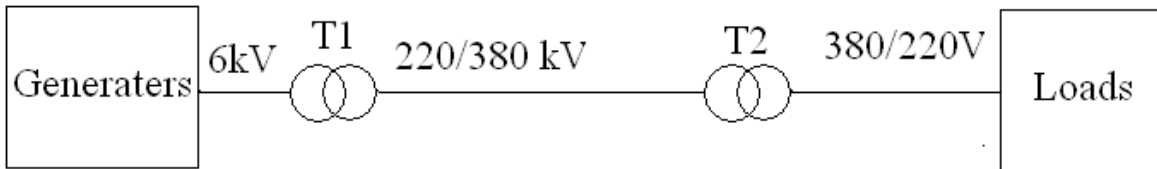
تستخدم المزدوجات الحرارية بنجاح ليس فقط في قياس درجات الحرارة، وإنما كمولدات تيار مستمر صغيرة. ففي الحرب العالمية الثانية استخدم الروس فانوساً يعمل على الكيروسين (الكاز) وضع عليه عدد كبير من المزدوجات الحرارية تولد تياراً مستمراً لتغذية أجهزة الاتصالات.

في عام 1834م اكتشف الفيزيائي الفرنسي "بيلتي" الظاهرة العكسية للمزدوجات الحرارية، فعند مرور تيار كهربائي عبر مزدوجة حرارية تسخن الوصلة بين المادتين المختلفتين أو تبرد وذلك حسب اتجاه التيار. وعلى هذا الأساس تصنع البرادات الكهروحرارية الصغيرة. وهي عبارة عن وحدة تبريد تضم عدداً كبيراً من المزدوجات الحرارية الموصولة على التسلسل.

المحول TRANSFORMATER

مبدأ عمل المحول:

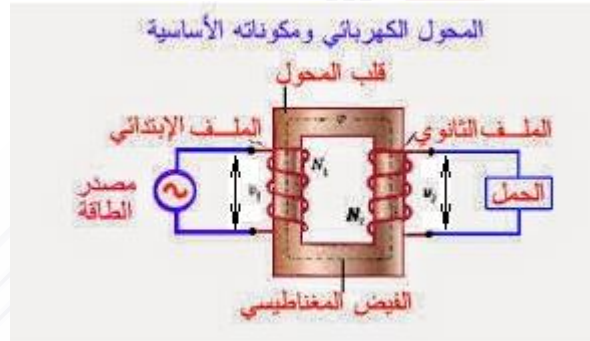
المحول- هو جهاز كهرومغناطيسي ستاتيكي، يقوم بتحويل طاقة التيار المتناوب الكهربائية ببارامترات معينة (تيار، توتر، زاوية الطور الابتدائية) إلى طاقة كهربائية ذات بارامترات أخرى (توتر وتيار مختلفين) مع المحافظة على نفس التردد . كلما ارتفع التوتر ينخفض التيار وتنخفض مقاطع أسلاك التوصيل (إذا كانت الاستطاعة ثابتة)، لذلك يتم عادة رفع التوتر الناتج من المحطات الكهربائية إلى مئات آلاف الفولتات ليتم النقل بواسطة أسلاك ذات مقاطع صغيرة، ومن ثم يتم في مناطق الاستهلاك تخفيض التوتر إلى $(3,6,11)kV$ من أجل تغذية المحركات ذات الاستطاعة العالية وكذلك إلى $(220,380,500)V$ من أجل تغذية المنازل والمحركات متوسطة وصغيرة الاستطاعة، وهذا يتحقق بواسطة المحولات كما هو مبين بالشكل 1.



الشكل 1

لا يوجد في المحول اتصال كهربائي بين الدارة الابتدائية والدارة الثانوية، بل يوجد اتصال مغناطيسي فقط.

يبين الشكل 2 دارة محول كهربائي أحادي الطور، حيث يتألف من قلب حديدي يتكون من صفائح الفولاذ وثبتت عليه وشيعتين: أحدها تمثل الملف الابتدائي (عدد لفاته N_1) والثاني تمثل الملف الثانوي (عدد لفاته N_2). يوصل الملف الابتدائي إلى المنبع أما الملف الثانوي فيوصل إلى الحمل ويغذيه بالتوتر. إن مرور تيار متناوب في الدارة الابتدائية للمحول، يؤدي إلى ظهور فيض مغناطيسي جيبي في القلب الحديدي. يخرق هذا الفيض كلا الملفين ويؤدي إلى ظهور ق.م.ك. E_1 في الملف الابتدائي و E_2 في الملف الثانوي، لذلك يصبح الملف الثانوي منبع توتر متناوب يعطي تيار للحمل عند توصيله. إن المحول المبين في الشكل 2 هو محول ذو ملفين، إلا أنه يمكن أن يكون ذو ملفات ثانوية متعددة تعطي توترات كهربائية مختلفة بحسب عدد لفاتها N .



من خلال مبدأ عمل المحول يتبين بأنه يعمل فقط على التيار المتناوب (أو التيار المتغير زمنياً)، لأن الفيض المغناطيسي الثابت لا يمكن أن يولد ق.م.ك. في الملفات. إن قيمة الق.م.ك. المتحرضة في لفة واحدة من الملفات الابتدائية والثانية تُحدد بحسب قانون التحريض الكهرومغناطيسي:

$$e = -\frac{d\Phi}{dt}$$

للفيض المغناطيسي المتغير جيبياً العلاقة الآتية:

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t$$

حيث Φ و Φ_m - القيمتان اللحظية والعظمى للفيض المغناطيسي.

ومنها:

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -\Phi_m \omega \cos \omega t = \omega \Phi_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

نرمز للقيمة العظمى للقوة المحركة الكهربائية E_m :

$$E_m = \omega \Phi_m$$

فتصبح:

$$e = E_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

نلاحظ أن الق.م.ك. تتأخر عن الفيض المغناطيسي بزاوية قدرها $\frac{\pi}{2}$.

نحدد القيمة الفعالة للق.م.ك. بتقسيم القيمة العظمى على $\sqrt{2}$.

إذا كان عدد لفات الملف الابتدائي وعدد لفات الملف الثانوي N_2 فإن القيمتين الفعاليتين للق.م.ك. تكون:

$$E_1 = 4.44N_1f\Phi_m$$

$$E_2 = 4.44N_2f\Phi_m$$

نسمي النسبة $K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \cong \frac{U_1}{U_2}$ بعامل تحويل المحول.

يكون عامل تحويل المحولات الخافضة أكبر من الواحد ($K > 1$) وللمحولات الرافعة أصغر من الواحد ($K < 1$).
الاستطاعة الظاهرية، التي يأخذها المحول من الشبكة تساوي:

$$S_1 = U_1I_1$$

والاستطاعة التي يعطيها المحول للحمل تساوي:

$$S_2 = U_2I_2$$

عند أهمل الضياعات في المحول تكون $S_1 \cong S_2$ وبالتالي:

$$U_1I_1 \cong U_2I_2 \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} \cong \frac{U_2}{U_1} \cong \frac{E_1}{E_2} \cong \frac{1}{K}$$

عند خفض توتر الملف الثانوي K مرة يرتفع التيار، الذي يعطيه الملف الثانوي K مرة والعكس بالعكس.