الترانزستور

إعداد : د.ناصر بن عبدالله الرشيد

أحدث الترانزستور ثورة هائلة في عالم الألكترونيات، إذ كان من المستحيل بدونها انتاج حاسبات الجيب أو الحواسيب العملاقة ذات السرعات العالية، كما كان من المستحيل صناعة أجهزة المذياع والتلفاز المتنقلة التي تعمل بالبطارية بهذه الأحجام الصغيرة والتكلفة المتدنية، إضافة إلى أن التطور في صناعة الترانزستورات أدى إلي تطور اقمار الإتصالات الفضائية التي تربط بين القارات.

تم إختراع الترانزستور بواسطة مجموعة من العلماء في مختبرات بل في عام ١٩٤٧م، وهم **جون باردن (J. Bardeen)**، **ولتر براتين (W. Brathin)**، **ووليم شوكلي (W. Shockly)**، وتعود البدايات الحقيقية لإختراعه إلى عام ١٩٢٣م بواسطة العالم الفيزيائي الدكتور **جون إدجر ليلينفيلد (Dr. J.E. Lilienfeld)**.

قادت البحوث على خصائص أشباه الموصلات إلى تطوير الترانزستور، وخلال العام ٢٠٠١م خطت الأبحاث المتعلقة بالترانزستور خطوات واسعة في مجال تطوير الإلكترونيات لإنتاج الحاسبات المستقبلية، وقد أختيرت الدوائر المتناهية الصغر التي لا يزيد حجمها عن حجم الجزيء المنفرد لتكون أهم إنجاز علمي شهده عام ٢٠٠١م.

أشباه الموصلات

قبل الدخول في الحديث عن الترانزستور يجب التعرف على أشباه الموصلات أنواعها وخصائصها ومميزاتها وكيفية الحصول عليها.

من المعلوم أن هناك بعض المواد غير الموصلة للكهرباء مثل السيليكون والجاليوم، ويعود ذلك إلى كون ذرات العنصر مترابطة تساهمياً مع بعضها البعض عن طريق إلكترونات المدار الخارجي، مما لا يسمح بوجود أية إلكترونات حرة، ولكن وجد أن هذه المواد يمكن أن تصبح مواداً موصلة بدرجة محدودة للكهرباء عند إضافة مادة أخرى على هيئة شوائب (Impurity)، ويمكن تصنيف أشباه الموصلات إلى نوعين هما:

- **النوع السالب**

يمكن الحصول على أشباه الموصلات السالبة (n-type) من تطعيم (Doping)السليكون بشوائب من الفسفور أو الزرنيخ، فالسيليكون يحتوي مداره الخارجي على أربعة إلكترونات، بينما يحتوي المدار الخارجي لكل من الفسفور والزرنيخ على خمسة إلكترونات، ولذا فإنه عندما مزج كميات قليلة من الفسفور أو الزرنيخ مع السيليكون فإن أربعة من منهاترتبط بذرة السيليكون، بينما يبقى الخامس حراً وغير مرتبط بشيء، ولذلك يطلق عليه النوع السالب.

- **النوع الموجب**

يمكن الحصول على النوع الموجب(p-type) من أشباه الموصلات بمزج السيليكون بكميات قليلة من البورون أو الجاليوم، وهذان العنصران يحتوي المدار الخارجي لكل منهما على ثلاثة إلكترونات (إلكترونات التكافؤ)، ولذلك فإنه عند إحلال ذرة أي منهما محل ذرة السيليكون فإنه يتكون ما يشبه الثقوب الموجبة في شبيكة السيليكون نتيجة لإرتباط الإلكترونات الثلاثة وبقاء الرابطة الرابعة مكسورة دون أن ترتبط بأي من إلكترونات التكافؤ.

الفرق بين المواد العازلة والموصلة

يمكن تشبيه المواد الموصلة بأنبوبة مملؤة بالماء، بينما يمكن تشبيه المواد غير الموصلة بإنبوبة مملؤة بالماء المتجمد ، فكلا المادتين العازلة والموصلة تحتوي على إلكترونات، لكن الإلكترنات التي بداخل المادة العازلة لا تستطيع الحركة مثلها مثل الماء المتجمد في الأنبوبة، بينما الإلكترونات التي في المواد الموصلة تستطيع الحركة مثلها مثل الماء في الأنبوبة، وكما أن الماء لا يتحرك في الأنبوبة إلا إذا تعرض لضغط، كذلك فإن الألكترونات لن تتحرك إلا إذا وجد فرق جهد بين طرفي الموصل، ويحدث هذا عند توصيلهما بقطبي بطارية. بمعنى آخر فإن فرق الجهد يسبب حركة الإلكترونات (الشحنات) في المواد الموصلة، ولا يستطيع ذلك في المواد العازلة، ولهذا السبب فإنه لا يمكن أن يقال عن المواد العازلة بأنها لا تحتوي على إلكترونات.

المواد الموصلة وشبه الموصلة

تختلف المواد شبه الموصلة (مثل السيليكون والجرمانيوم المطعمة بشوائب من عنصر آخر) عن المواد الموصلة مثل معظم الفلزات في أن الفلزات تحتوي على كميات ضخمة من الشحنات، أما السيليكون المطعم فلا. وعلى سبيل المثال فإن كل ذرة نحاس يمكنها أن تعطي إلكتروناً واحد، بينما تعطي ذرة واحدة فقط من السيليكون ـ الذرة المطعمة ـ إلكترون واحد بين كل بليون ذرة .

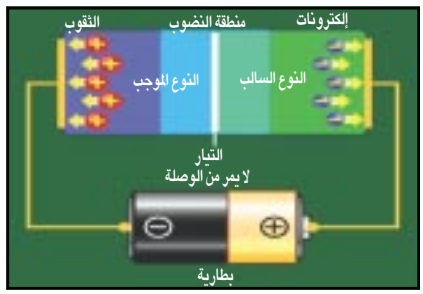
الصمام الثنائي

يقوم الصمام الثنائي (Diode) بإمرار التيار من إتجاه ولا يمرره من الإتجاه الآخر، ويتكون من طبقتين من مواد شبه موصلة إحداهما من النوع الموجب (P-type) والأخرى من النوع السالب (N-type) ، وعند تلامس تلك الطبقتين مع بعضهما البعض فإن الإلكترونات تنتقل ـ من خلال منطقة التلامس ـ من المنطقة السالبة إلى المنطقة الموجبة، فتتعادل مع الفجوات الموجبة، مما يؤدي إلى تكوين منطقة عازلة تسمى منطقة النضوب (Depletion region) .

ويتم توصيل الصمام الثنائي بجهد كهربائي بطريقتين ، هما:

الأولى: توصيل القطب الموجب للبطارية بالمنطقة الموجبة من الصمام الثنائي والقطب السالب إلى المنطقة السالبة، وعند ذلك تبدأ الألكترونات والثقوب الموجبة بالحركة لتنافرها مع أقطاب البطارية، وبالتالي يمر التيار من خلال الصمام، شكل (١).

● شكل (١) الصمام الثنائي في حالة التشغيل.



● شكل (٢)الصمام الثنائي في حالة الإيقاف

الثانية: عند توصيل القطب الموجب للبطارية بالطبقة السالبة من الصمام وقطب البطارية السالب مع الطبقة الموجبة من الصمام فإن الثقوب الموجبة ستنجذب إلى قطب البطارية السالب، وتنجذب الإلكترونات إلى قطب البطارية الموجب، ولن يكون هناك حركة، وبالتالي تتكون منطقة عزل (منطقة نضوب) سميكة تمنع مرور التيار، شكل (٢).

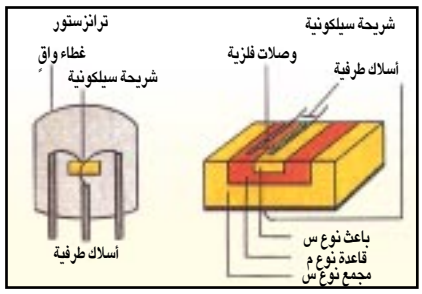
ما هو الترانزستور؟

الترانزستور عبارة عن مفتاح كهربائي متناهي الدقة، يشبه مفتاح الضوء التقليدي الذي يحتوي على وضعين (تشغيل وتوقيف)، ولهذا فإنه يعمل على التحكم في سريان الإلكترونات في البلورات الصلبة، و قد كانت الصمامات المفرغة تستخدم لهذه المهمة، مما أدى إلى إستبدالها في معظم الأجهزة الإليكترونية بالترانزستورات، وهذا بدوره أدى إلى تصغير تلك الأجهزة وتقليل تكاليفها إلى مستوى قياسي.

يختلف الترانزستور عن الصمام الثنائي في كونه يتكون من ثلاث طبقات بدلاً من طبقتين، إضافة إلى إمكانية تكوين النوع س م س (NPN) أو النوع م س م **(PNP)**، وكما أنه يعمل كقاطع **(Switch)** ومضخم (Amplifier).

يشبه الترانزستور صمامين ثنائيين موضوعين بجانب بعضهما البعض ظهر لظهر (Back - to- Back) ، ومن البديهي أن يتبادر إلى الذهن أن الصمامين الثنائيين الموضوعين ظهر لظهر لن يسمحا بمرور التيار في أي من الإتجاهين، وهذه حقيقة، ولكن عندما تتعرض المنطقة الوسطى (منطقة القاعدة) من الترانزستور لتيار كهربي ضعيف فإن تياراً أكبر سيجري خلال الترانزستور ككل، وهذا يعطي الترانزستور وظيفته كمقو للتيار.

تصنع الترنزستورات الأكثر شيوعاً من شرائح رقيقة من السليكون أو الجرمانيوم مخلوط بشوائب قليلة من فلز آخر مثل الأنتيمون أو الزرنيخ، ثم توصل تلك الشرائح بأسلاك ، ثم يوضع الترانزستور الجاهز في وعاء صغير لحمايته، شكل (٣).



● شكل (٣) مكونات الترانزستور.

أنواع الترانزستورات

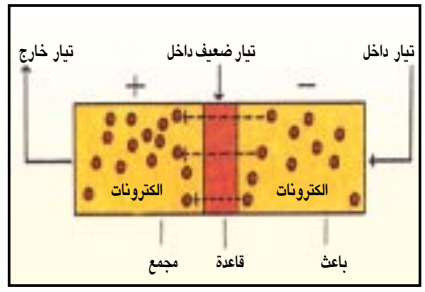
هناك نوعان رئيسان من الترانزستورات، يعمل كل منهما بطريقة مختلفة عن الآخر، ولكن الإستفادة من أي منهما تعود إلى قدرته على التحكم في التيار الكهربائي ذي الجهد الضعيف، وهذان النوعان هما:

● الترانزستور الوصلي

يتكون الترانزستور الوصلي من قطعة من نوع واحد من مادة شبه موصلة بين طبقتين سميكتين من مادة شبه موصلة أخرى تسمى إحدى الطبقات الخارجية الباعث، وتسمى الأخرى بالمجمع ، ويطلق على الوسطي القاعدة، كما يطلق على المناطق التي يلتقي عندها الباعث بالقاعدة والقاعدة بالمجمع الوصلات، ويمكن تصنيفه إلى نوعين كما في الشكل (٤)، هما :

* **ترانزستور القاعدة الموجبة:** وفيه تكون الطبقة الوسطى من النوع الموجب، بينما تكون الطبقات الخارجية من النوع السالب (سالب ـ موجب ـ سالب).

* **ترانستور القاعدة السالبة:** وفيه تكون المنطقة الوسطى (القاعدة) من النوع السالب بينما تكون الطبقتان الخارجيتان من النوع الموجب (موجب ـ سالب ـ موجب)، ويعمل هذا النوع بنفس المبدأ الذي يعمل به النوع السابق،إلا أنه يختلف عنه في ناحية واحدة، وهي التحكم في السريان الرئيسي لتيار قاعدة الترانزستور بتغيير عدد الفجوات بدلاً من عدد الإلكترونات. ويعمل بطريقة سليمة إذا كانت التوصيلات السالبة والموجبة عكس التوصيلات بالترانزستور (س م س).



● شكل (٤) الترانزستور الوصلي.

● ترانزستور التأثير المجالي

يتكون هذا النوع من طبقتين فقط من المادة شبه الموصلة، إحداهما فوق الأخرى.تمر الكهرباء عبر إحدى الطبقتين (القناة)، ويتداخل الجهد المتصل بالطبقة الأخرى (البوابة) مع التيار المار في القناة، وهكذا فإن الجهد المتصل بالبوابة يتحكم في شدة التيار في القناة. ويوجد نوعان من ترانزستور التأثير المجالي، هما: ترنزستور التأثيرالمجالي ذو الوصلة، وترانز ستور التأثير المجالي ذو شبه الموصل الأكسيدي الفلزي، والنوع الأخير ينتشر ـ في وقتنا ـ في معظم الدارات المدمجة.

طرق توصيل الترانزستور

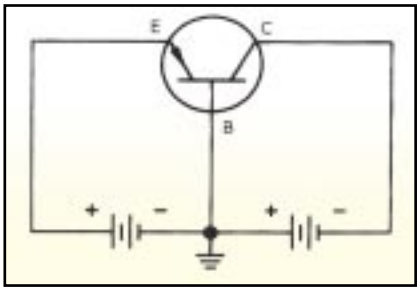
يتم توصيل الترانزستور بثلاث طرق لكل منها خواصها ، هي:

● دارة القاعدة المشتركة

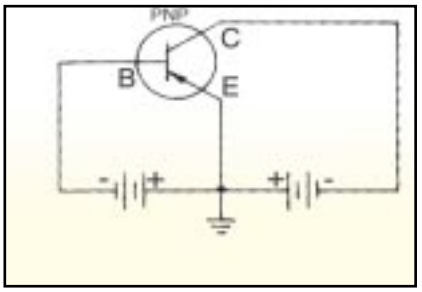
عند توصيل الترانزستور بحيث تكون القاعدة مشتركة بين مدخل ومخرج الدارة فإنه يطلق عليها دائرة القاعدة المشتركة، ويرمز لها بالرمز (CB) كما في الشكل (٥)، وفي هذه الحالة تمر الإشارة الداخلة عبر وصلة الباعث القاعدة (EB)، أما الإشارة الخارجة فتمر عبر وصلة مجمع/قاعدة (CB) ، ويتميز هذا النموذج بأن طور الإشارة الخارجة نفس طور الإشارة الداخلة.

● دارة الباعث المشترك

تعد هذه الطريقة أكثر طرق توصيل الترانزستور شيوعاً، وفيها يكون الباعث



● شكل (٥) دارة القاعدة المشتركة



● شكل (٦) دارة الباعث المشترك

مشتركا بين مدخل ومخرج الدارة، شكل (٦)، حيث يعمل كمقو، وهذه الطريقة تتفوق على طرق التوصيل الأخرى، وفيها تمر إشارة الدخل من خلال وصلة القاعدة /باعث إما إشارة الخرج فتمر عبر وصلة المجمع/الباعث، ويطلق عليها أحياناً دارة وصلة الباعث الأرضية، ويتميز هذا النموذج بأن طور الإشارة الخارجة يتغير وضعه بزاوية مقدارها ١٨٠درجة.

● دارة المجمع المشترك

يشترك المجمع مع مدخل ومخرج الدارة، وبالتالي تكون المقاومة في هذه الدارة عالية إلى حد ما، وتعزل الباعث بفعالية عن الأرض،شكل (٧)، كما أنه يتميز بأن طور الرشارة الخارجة نفس طور الإشارة الداخلة.

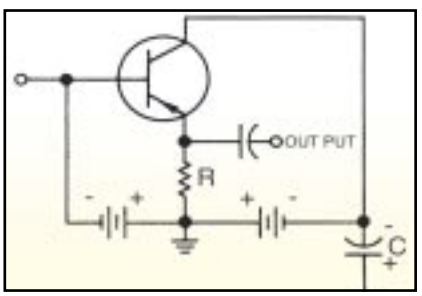
آليـــة عمـل التـرانزستور

عند توصيل الترانزستورفي الدارة الكهربائية فإنه يتكون للباعث جهد سالب وينتج إلكترونات، أما المُجَمِعْ فيكون له جهد موجب يجذب الإلكترونات، وعند توصيل تيار ضعيف إلى القاعدة فإن الإلكترونات تتحرك من الباعث إلى المجمع عبر القاعدة، وبالتالي يحدث سريان للكهرباء.

ومن الجدير بالذكر أن تيار القاعدة الضعيف هو الذي يتحكم في السريان الرئيسي للتيار عبر الترانزستور.

● توصيل القاعدة والباعث

يؤدي توصيل موصلي القاعدة والباعث في ترانزستور من النوع (NPN) بفرق جهد كهربي إلى إبتعاد إلكترونات موصل القاعدة إلى خارج الترانزستور باتجاه مصدر التيار، وهذا بدروه يجذب الألكترونات من منطقة القاعدة الموجبة.



● شكل (٧) دارة المجمع المشترك.

تتحرك الثقوب في منطقة السيليكون الموجب مع بعضها البعض فتتعادل جزئياً مع الإلكترونات الناشئة في منطقة الباعث المكون من النوع السالب (N-type)، مما يشكل طبقة رقيقة بين القسمين السالب والموجب تفتقر إلى الشحنات المتحركة، وتعد أي مادة تفتقر إلى الشحنات المتحركة مادة عازلة (غير موصلة للكهرباء)، وهذا ما يحدث في منطقة النضوب حيث تندمج الشحنات السالبة والموجبة مع بعضها البعض فتتلاشى شحناتها. ومن الملاحظ أن طبقة النضوب تصبح سميكة نوعاً ما عندما لا يوجد فرق جهد بين القاعدة والباعث، وبالتالي يعمل الترانزستور كقاطع في وضع الإقفال.

تنشأ طبقة النضوب بين طبقتي القاعدة والباعث للأسباب التالية:

- لإن منطقة القاعدة تتكون من السيليكون الموجب (P-type).
- لأن السيليكون الموجب مملؤ بالثقوب المتحركة التي تظهر طبيعياً.
- لأن السيليكون الموجب يلامس السيليكون السالب.

أما عندما يؤثر فرق جهد بين القاعدة والباعث فإن منطقة النضوب (الطبقة العازلة) تغير سمكها، فإذا وصل طرف القاعدة بالقطب الموجب والباعث بالقطب السالب فإن المنطقة العازلة تصبح رقيقة، مما يسمح لسحب الإلكترونات والثقوب بالإنتقال من خلالها والإرتباط مع بعضها البعض، ولذلك ينشأ تيار ليس له أهمية في دائرة القاعدة/ الباعث، ولكن المهم هو فرق الجهد بين القاعدة والباعث الذي يجعل منطقة النضوب رقيقة جداً، بحيث تسمح بمرور الشحنات من خلالها. وفي هذه الحالة يبدو الترانزستور وكأنه يحتوي على طبقة زجاجية يتغير سمكها بناءً على تغير فرق الجهد، ويحدث هذا لأن الجهد الكهربي يدفع الثقوب والإلكترونات بإتجاه بعضها البعض مختزلاً سمك منطقة النضوب، مما يسمح للثقوب والإلكترونات النشطة (Stragglers) بالقفز من خلالها، ويعد فرق الجهد مفتاح التحكم في الترانزستور، فيصبح في وضع الإغلاق التام حينما يستخدم فرق الجهد الصحيح، بينما يعمل كمفتاح تناسبي (Proportional Switch) حينما يكون فرق الجهد صغيراً.

ومن الجدير بالذكر أنه كلما زاد فرق الجهد زادت شدة التيار المار بالترانزستور، وأن التحكم بالترانزستور لا يتم بواسطة شدة التيار، ولكن بواسطة فرق الجهد بين القاعدة والباعث.

● توصيل الباعث والمجمع

للحصول على ترانزستور ذي نشاط عادي فإنه يجب توصيل قطبي المصدر الكهربائي بموصلي الباعث والمجمع لإحداث فرق جهد بينهما. فإذا كانت المنطقة العازلة بين منطقتي الباعث والقاعدة رقيقة جداً فإن الالكترونات في جميع مناطق الترانزستور الثلاث تبدأ في التدفق، ومن الملاحظات المدهشة أن فرق الجهد المستخدم بين الباعث والمجمع لايؤثر على سمك طبقة النضوب بين القاعدة والباعث، ولكن الذي يؤثر عليها هو فرق الجهد بين القاعدة والباعث. وتحتاج دائرة المجمع لكي تعمل بشكل فاعل إلى بطارية ـ مهما كان جهدها ـ بين الباعث والمجمع، وبالتالي حدوث تيار ـ له نفس الشدة ـ بين المجمع والباعث، وفي هذه الحالة تنتهك قوانين أوم (Ohms, Law) نظراً لأن الزيادة في فرق الجهد بين المجمع والباعث لا تؤدي إلى زيادة شدة التيار المار في الترانزستور، كما هو الحال بين القاعدة والباعث.

ومع أن فرق الجهد بين القاعدة والباعث هو الذي يتحكم في عمل الترانزستور، إلا أن شدة التيار في القاعدة له فائدة أيضاً ، حيث توجد علاقة تناسب بين التيار في دارة القاعدة/الباعث وشدة التيار في دارة المجمع/الباعث ، وهكذا فإنه عند معرفة شدة التيار في موصل القاعدة، فإنه يمكن تحديد شدة التيار في موصل المجمع.

واخيراً فإن الترانزستور يعمل كمضخم للتيار، حيث تؤدي تغييرات صغيرة في فرق الجهد إلى حدوث تغييرات كبيرة في التيار، وهكذا فإن هذا الجهاز يسلك إلى حدما سلوك المقاومة. وقد إشتق إسمه من هذه الخاصية.

مميزات وعيوب الترانزستور

يعد الترانزستور من أهم إكتشافات القرن العشرين،ومع ذلك فإنه كغيره من الأجهزة يوجد له مميزات، كما يوجد له عيوب من أهمها تعرضه الدائم للتلف إذا تم توصيله بالبطارية بطريقة خاطئة، أي بطريقة عكسية. أما مميزاته فهي كالتالي:

١- حجمه صغير جداً وبهذه الصفة يتفوق على الصمامات المفرغة، حيث لا يتجاوز حجمه رأس عود الكبريت، ومع ذلك يقوم بجميع الوظائف التي يقوم بها الصمام المفرغ، وهذا ما جعل إمكانية تصغير الأجهزة الإلكترونية ممكنة، بعد أن كانت مستحيلة قبل سنوات قليلة.

٢- لا يحتوي بداخله على فتيلة، ولذلك فإنه لا يحتاج إلى تيار كبير، فبينما يحتاج صمام الرادير النموذجي إلى فرق جهد عال بين المصعد والمهبط يقدر بعدة مئات الفولتات، فإن الترانزستور لا يحتاج لأكثر من عدة فولتات.

٣- أكثر نشاطاً وفعالية من الصمام المفرغ.

٤- لا يؤدي إلى هدر الطاقة، وذلك لعدم إحتوائه على عناصر تسخين، وهذا مما يجعله أكثر كفاءة من الصمامات.

٥- يعيش لفترة أطول من الصمامات المفرغة.

المصدر:

الموسوعة العربية العالمية، الجزء السادس، مؤسسة أعمال الموسوعة للنشر، ١٩٩٦م.

- www.howstuffwork.com/diode.2htm.
- www.amasci.com/amateur/trasis.htm.
- www. islamonline.net/arabic/science/2002/10/article7.shtm
- Understanding Seience, No, 12 PP 184-187