

الفصل الخامس

الترانزستورات / المحاضرة رقم (١٩)

١-٥ نبذة تاريخية عن الترانزستور :

سجل الفيزيائي "جوليس ادجر لينيفلد" (Julius edgar lilienfeld) أول براءة اختراع للترانزستور في كندا عام ١٩٢٥م وكان هذا الاختراع مشابه لترانزستور تأثير المجال "FET" ولكنه مع ذلك لم ينشر ابحاث عن هذا الترانزستور ولم يحقق عمليا باستخدام نبائط واقعية وفي عام ١٩٣٤م قام الالمانى "اوسكر هيل" (Osker Heil) بتسجيل براءة اختراع لترانزستور مشابه للترانزستور السابق..

في عام ١٩٤٢م قام "هبرت مارتين" (Herbert marten) بعمل بتجربة باستخدام ما يسمى "الديو دايو" (الوصلة الثنائية المزدوجة) أثناء العمل على لاقط بنظام رادار دوبلر وهذه الوصلة الثنائية المزدوجة مكونة من اثنين من الوصلات الثنائية ووصلات معدنية على قاعدة من شبه الموصل ولكنه اكتشف عدد من الظواهر التي لم يتمكن من تفسيرها عن طريق الوصلتين المنفصلتين واستتبع هذا ظهور الفكرة الاساسية لترانزستور التوصيل.

في عام ١٩٤٧م قام "جون باردين" (John Bardeen) و"والتر براتين" في معامل "AT & T bell" في الولايات المتحدة الأمريكية بملاحظة انه عند توصيل مصدر كهربى على بلورة من الجرمانيوم ان الطاقة الناتجة أكبر من طاقة المصدر الكهربى الداخلة وقد قام "وليام شوكلى" بمعرفة السبب في ذلك وعلى مدار شهور قليلة عملوا على التوسع الكبير لعلوم اشباه الموصلات وقد جاء اسم الترانزستور من الكلمة الإنجليزية "Transfer resistor" التي تعنى ناقل المقاومة.

٢-٥ قصة اختراع الترانزستور



صورة لأول ظهور لعنصر الترانزستور الذي تم اختراعه بواسطة مختبرات بيل Bell Labs في سنة ١٩٤٧ أطلق على هذا الترانزستور اسم **point contact transistor**

قبل وجود الترانزستور كانت هناك صمامات الراديو، التي اخترعها السير فلمنغ الذي ساعد ماركوني في تجاربه المبكرة . وقد أنتج صمامه الأول في العام ١٩٠٤ ، عندما اكتشف انه إذا كان بحوزته أنبوب مفرغ بقطبين أحدهما ساخن والآخر بارد فانه بالإمكان الكشف عن موجات لاسلكية. وفي العام ١٩٠٦ في فيينا أضاف روبرت فون ليبن المنكب على مسألة الإشارات الهاتفية، قطبا ثالثا ووجد أن ذلك سيجعل من الإشارات الضعيفة أقوى وأعلى بكثير .

وقد قدر للأمريكي لي دو فورست تحسين ذلك . ومن ناحية أخرى، فان الترانزستور يعمل كل ما تعمله صمامات الراديو، لكنه أكثر موثوقية وامتن واصغر ولا يحتاج إلا لجزء مما تتطلبه الصمامات من كهرباء . وقد أظهرت أولى الترانزستورات للمرة الأولى من قبل ويليام شوكلي، وجون باردين وولتر براتين في مختبرات شركة بل تلفون في الولايات المتحدة الأمريكية في العام ١٩٤٨ .



William Shockley على اليسار John Bardeen ومخترع الترانزيستور Walter Brattain الجالس على اليمين وهم الثلاثة الحائزين على جائزة نوبل سنة 1956

اكتشف هؤلاء المخترعين أن مواد مثل السليكون والجرمانيوم لا توصل الكهرباء ولا تعمل كمقاومات لها . وبالحقيقة، أنها (نصف نواقل) . فالسليكون هو عنصر شائع الوجود في العالم , حيث يوجد في مواد مثل الرمل والصوان والكوارتز . وقد اكتشف شوكلي انه بإضافة مقادير ضئيلة من مادة أخرى إلى السليكون يستطيع أن يظهر الكيفية التي يرد بها السليكون على مرور الكهرباء عبره .

وقد قاد هذا الاكتشاف إلى تطور كل الدارات الكهربائية الحديثة .



تطور شكل الترانزستور

٣-٥ سبب اختراع الترانزستور:

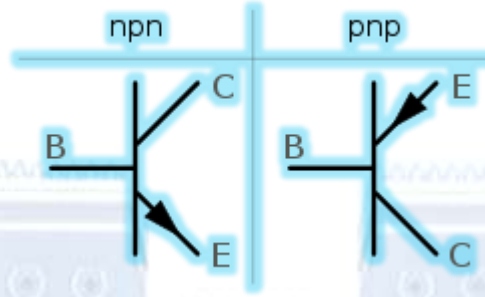
تم اختراعه بسبب عيوب الصمامات المفرغة من استهلاك عالي للقدرة وانعدام الجساءة الميكانيكية وأيضا كبر الحجم والوزن وقد ظهر أول تطبيق له في الحرب العالمية الثانية.

المقحل أو الترانزستور (بالإنكليزية: Transistor) (اختصاراً لكلمتي Transfer Resistor أي مُقاومُ النَقْل) وهي نبیطة تعتبر أحد أهم مكونات الأدوات الإلكترونية الحديثة مثل الحاسوب، اخترعه العلماء الأمريكيون (والتر براتن) و(جون باردين) و(وليام شوكلي)،

هو بلورة من مادة شبه موصل مطعمة كالجرمانيوم أو السيليكون تحتوي على بلورة رقيقة جدا بحيث تكون المنطقة الوسطى منها شبه موصل موجب أو سالب وتسمى القاعدة بينما المنطقتان الخارجيتان من النوعية المخالفة وله قدرة كبيرة على تكبير الإشارات الإلكترونية. ويعرف أيضا على أنه : وصلة ثلاثية من بلورة الجرمانيوم أو السيليكون تحتوي على بلورة رقيقة جدا من النوع الموجب أو السالب تسمى القاعدة توجد في الوسط وعلى جانبيها بلورتان من نوع مخالف هما الباعث والمجمع.

يشغل الترانزيستور بالمقام الأول في الإلكترونيات المعاصرة ويرجع ذلك بشكل كبير إلى كونه جهاز تضخيم ممتاز صغير الحجم يمكن أن يعوّل عليه بالإضافة إلى القدرة الصغيرة التي يتطلبها والترانزيستور كجهاز تضخيم يحول الإشارة الضعيفة التابعة للزمن إلى إشارة قوية. وهناك وظائف مهمة أخرى يستطيع الترانزيستور أن يقوم بها في الدوائر الإلكترونية لكن مقدرته على التضخيم تعد الوظيفة الرئيسية بالنسبة لاستخداماته الأخرى.

للترانزيستور ثنائي القطب وصلتان و ثلاثة أطراف. ويربط طرفان من هذه الأطراف ، في العادة ، الباعث والمجمع إلى دائرة خارجية، بينما يصل الطرف الثالث القاعدة بدائرة داخلية. لكن رفع الجهد المطبقة على القاعدة قليلا يؤدي إلى دخول عدد كبير من الإلكترونات إلى القاعدة عبر الوصلة المنحازة أماميا، ويتفاوت هذا العدد حسب قوة الجهد. ولأن منطقة القاعدة رقيقة جدا، يستطيع مصدر الفولتية في الدائرة الخرجية جذب الإلكترونات عبر الوصلة المنحازة عكسيا. ونتيجة لذلك يسري تيار قوي عبر الترانزيستور وعبر الدائرة الخارجية. وبهذه الطريقة يمكن التحكم في سريان تيار قوي عبر الدائرة الخارجية، بتزويد القاعدة بإشارة صغيرة.



للترانزستور ثلاثة أطراف تسمى كالآتي:

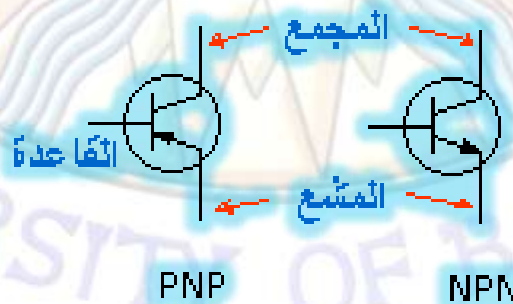
المجمّع (Collector) ويرمز له بالرمز C

القاعدة (Base) ويرمز له بالحرف B

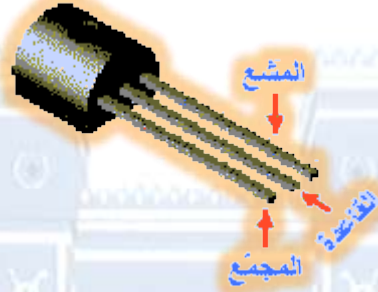
المشع (Emitter) ويرمز له بالحرف E

لو دققت بالصورة ستجد أنه يوجد جهتان للترانزستور واحدة مسطحة و الأخرى منحنية. لو جعلت الجهة المنحنية باتجاهك فسيكون المشع على يمينك ويكون المجمع على يسارك أما القاعدة فتكون في الوسط.

وهناك أنواع من الترانزستورات بحسب طريقة صنعها من أهمها نوع يسمى (NPN) ونوع (PNP) وتمثل هذه الأنواع بالدوائر الكهربائية بالرمزين التاليين:



هل لاحظت الفرق بين النوعين؟ دقق جيداً لترى أن الفرق هو في موقع واتجاه السهم على المشع. وهذا السهم يشير إلى اتجاه سريان التيار في المشع.



٥-٤ أهمية الترانزستور :

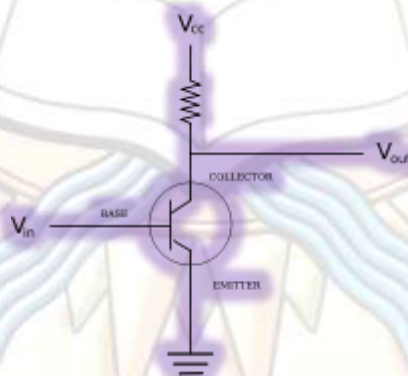
ان الترانزستور هو أهم المكونات الإلكترونية الحديثة ويعتبر من اعظم الاختراعات في القرن العشرين ويعتمد اهميته في حياة المجتمع من القدرة الفائقة على اناجه باستخدام عمليات تلقائية الية "عمليات تصنيع اشباه الموصلات" مما يجعل انتاجه قليل التكلفة.

و على الرغم من أن العديد من الشركات تنتج سنويا ما يزيد عن البليون من الترانزستورات المنفصلة إلا أن الغالبية العظمى من الترانزستورات التي تنتج تكون في الدوائر المتكاملة "Integrated circuit" والتي تختصر إلى "IC" وتحتوى هذه الدوائر المتكاملة على العديد من الترانزستورات والوصلات الثنائية والمقاومات والمكثفات والمكونات الإلكترونية الأخرى والتي تمثل دائرة إلكترونية كاملة تقوم بعمل وظيفة معينة وهناك أيضا "البوابات المنطقية" (Logic gates) والتي تتكون من عدد من الترانزستورات والتي قد تصل إلى العشرين لعمل بوابة منطقية واحدة وفي المعالجات الدقيقة "Microprocessors" المتقدمة وصل عدد الترانزستورات إلى ٣ بلايين في شريحة واحدة في عام ٢٠١١ حيث كان قد وصل إلى ٦٠ مليون في الشريحة في عام ٢٠٠٢ ومن أهم مميزات الترانزستور التكلفة الضئيلة المرونة في الاستخدام والثبات مما جعله واسع الاستخدام والانتشار وقد دخلت الترانزستورات في دوائر التحكم الميكانيكية وحلت محل الأدوات الميكانيكية التي كانت تستخدم في ذلك ويمكن أيضا استخدام متحكم دقيق "Micro controller" في كتابة برنامج صغير لأداء وظيفة التحكم المطلوبة والمكافئة للمهمة التي يقوم بها التصميم الميكانيكي.

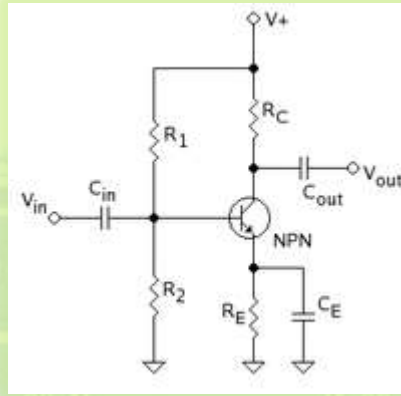
٥-٥ استخدام :

كان استخدام الترانزستور ثنائي القطب (Bipolar Junction Transistor) وإلى تختصر إلى (BJT) هو الأكثر شيوعاً في الستينيات والسبعينيات من القرن الماضي ولكن مع ظهور الترانزستور ثنائي المجال (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) تقلص دور ثنائي القطب إلى الدوائر التناظرية مثل المكبرات البسيطة لكبر منطقة عمله الخطية "Linear Mode Operation" وسهولة تصنيعه وهناك العديد من الخصائص للترانزستور ثنائي المجال مثل استخدامه في الدوائر ذات القدرة المنخفضة باستخدام تقنية ال "C MOS" والتي تعني استخدام المعدن والأكسيد وشبه الموصل المتكامل والتي تجعل مشاركة الدوائر الرقمية سهلة وهناك العديد من ترانزستورات تأثير المجال الحديثة وإلى تجمع بين الاستخدام في دوائر القدرات العالية والدوائر التناظرية المؤقتة "Clocked Analog circuit" مثل معادلات الجهود والمكبرات وناقلات القدرة والمحركات.

٦-٥ العمليات المبسطة:



دائرة مبسطة للترانزستور ثنائي القطب



٥-٦-١ الترانزستور كمكبر :

يستمد الترانزستور أهميته وضروريته في الحياة من قدرته على معالجة الإشارات الصغيرة والتي توضع على اثنين من اطرافه وتنتج إشارات كبيرة على طرفين آخرين وتسمى هذه الخاصية بنسبة التكبير (Gain) ويمكن التحكم في الترانزستور بما يجعل الدخل متناسبا مع الخروج بنسبة معينة وفي هذا الحالة يستخدم الترانزستور كمكبر ويمكن أيضا استخدام الترانزستور كمفتاح لفتح وغلق التيار والذي يمكن التحكم فيه عن طريق بقية عناصر الدائرة..

- استخدام الترانزستور كمكبر:

صمم الترانزستور ذو الباعث المتصل بالأرض لكي يستجيب إلى الإشارات الصغيرة في القاعدة ويقوم بتكبير هذه الإشارات على المخرج عند المجمع، وهناك العديد من تكوينات الدوائر التي تقوم بالتكبير بمميزات مختلفة سواء للتيار أو الجهد أو الاثنين معا.

ففي بعض الهواتف المحمولة والتلفاز هناك العديد من المنتجات التي يدخل فيها الترانزستور كمكبر مثل مكبرات الصوت أو النقل الراديوي أو معالجة الإشارات وكانت أول دائرة ترانزستور ذات قدرات ضعيفة تصل إلى بعض الاجزاء من العشرة من الوات وتم تكبيرها ومع التقدم ازدادت نسبة التكبير ونقائه تدريجيا عندما وجدت ترانزستورات احسن وتم تقويم احداثيات الترانزستور ووصلت القدرات الآن إلى بضع المئات من الوات وبتكلفة صغيرة.

- الترانزستور كمفتاح :

الترانزستور هو أكثر المفاتيح الإلكترونية على حد سواء في الدوائر ذات القدرة المنخفضة مثل البوابات المنطقية أو ذات القدرة العالية مثل مفاتيح مزودات الطاقة ومن أمثلة المفاتيح الخفيفة دوائر الباعث المتصل بالأرض ففي الشكل المقابل عندما يزداد جهد القاعدة يزداد التيار في المجمع وعلى الحمل (المقاومة) زيادة اسية وبالتالي يقل الجهد في المجمع بسبب المقاومة وتكون المعادلة الحاكمة هي :

$$V(Rc) = I_{ce} \cdot Rc$$

$$V(Rc) + V(ce) = V_{cc}$$

: حيث V_{Rc} هو فرق الجهد على المقاومة

I_{ce} التيار المار في المجمع:

V_{ce} الجهد بين المجمع والباعث:

فلو أمكن خفض V_{CE} للصفر (عملية الغلق التام) ولهذا فإن (I_c) لن يزيد عن (V_{cc}/R_c) ، ومع زيادة الجهد على القاعدة والتيار فيها فإن الترانزستور في هذه الحالة يكون في حالة تشبع، ومن ثم يمكن اختيار الجهد الداخل على القاعدة لجعل المخرج مساويا تماما للصفر أو مساويا لقيمة V_{CC} (جهد المصدر) ويستخدم الترانزستور كمفتاح في الدوائر الرقمية حيث توجد القيم فقط فتح وغلق ولا تواجد للقيم بينهما مقارنة بين الصمامات والترانزستورات

قبل وجود الترانزستور كانت الصمامات (Valves) أو انابيب التفريغ (Vacuum Tubes) هو المكون الوحيد في المعدات الإلكترونية ولكن بحلول الترانزستور أصبح هو أكثر استخداما لما له العديد من المزايا.

١:- صغر الحجم والوزن والذي يؤدي إلى تطوير الدوائر الإلكترونية في أن تكون صغيرة جدا

٢:- عمليات التصنيع الآلية والتي تقلل التكلفة لكل وحدة مفردة

٣:- الجهود الصغيرة التي يستطيع العمل عليها مما جعله صالح لتطبيقات الدوائر ذات البطاريات الصغيرة

٤:- لا تحتاج إلى دورة احماء لمسخنات الكاثود بعد تطبيق القدرة

٥:- الاستهلاك الضئيل للطاقة والكفاءة العالية في استخدام الطاقة

٦:- الاعتمادية العالية والتحمل الفيزيائي

٧:- طول العمر الافتراضي حيث يعمل بعضها إلى ما يصل إلى خمسين عاما

٨:- وجود النبائط المكملة وسهولة بناء الدوائر المتكاملة المتماثلة وهو الأمر المستحيل في حالة الصمامات

٩:- عدم الحساسية للصدمات الميكانيكية والاهتزاز مما سهل حل هذه المشكلة مثلا في حالة الميكروفونات

٥ ٧ قيود الاستخدام :

لا تعمل جهود اشباه الموصلات عند جهود أعلي من ١٠٠٠ فولت (على الرغم من أن هناك بعض النبائط تعمل عند ٣٠٠٠ فولت) وعلى نقيض ذلك فهناك بعض الصمامات التي تتحمل جهودا تصل إلى مئات الالاف من الفولتات

عدم قدرته على العمل في حالة القدرات العالية والترددات العالية مثل تلك التي تستخدم في التنبؤ التلفزيوني الهوائي حيث كانت الصمامات أفضل أداءا من الترانزستورات

نتيجة قابلية الحركة العالية للالكترونيات في انابيب التفريغ عنها في الترانزستور واشباه
الموصلات اضعف تحملا بكثير من الصمامات عند تعرضها للنبضات الناتجة من الانفجار
النوى

٨-٥ طريقة عمل الترانزستور :

تعمل القاعدة كمفتاح لتشغيل أو إطفاء الترانزستور فعندما يسري التيار إلى
القاعدة سيكون هناك طريق لسريان التيار من المجمع إلى المشع (فيكون المفتاح بوضع
التشغيل). ولكن إذا لم يوجد تيار يسري إلى القاعدة فإن التيار لن يمكنه السريان من القاعدة
إلى المشع (فيكون المفتاح بوضع الإطفاء).

أولا : توصل القاعدة والباعث بجهد ثابت توصيلا أماميا (جهد الانحياز الأمامي) وبالتالي
يكون حاجز الجهد بين المنطقتين صغيرا جدا وعلى ذلك تكون مقاومة وصلة الباعث - القاعدة
صغيرة.

ثانيا : يوصل المجمع والقاعدة بجهد ثابت توصيلا خلفيا (جهد الانحياز العكسي) وبالتالي
تكون مقاومة وصلة المجمع - القاعدة عالية. لاحظ أن القاعدة تكون موجبة بالنسبة للباعث
ويكون المجمع موجبا بالنسبة للقاعدة.

ثالثا : بما أن القاعدة تحتوي على عدد قليل من الشوائب إذا عدد الفجوات بها يكون منخفضا
وبالتالي يكون عدد الالكترونيات التي يملأ هذه الفجوات منخفضا.

رابعا : تمر معظم الالكترونيات من الباعث إلى المجمع عبر القاعدة ولا يمر في القاعدة إلا
عدد قليل من الالكترونيات.

خامسا : بتطبيق قانون كيرشهوف على الترانزيستور يكون

$$[شدة تيار الباعث = شدة تيار المجمع + شدة تيار القاعدة]$$



٥-١٠ أنواع الترانزستور :

الأول : ترانزستور bipolar ثنائي القطبية (PNP).

الثاني : ترانزستور unipolar أحادي القطبية (NPN).

حيث اعتمد في هذا التصنيف على آلية مرور التيار , ففي الترانزستور ثنائي القطبية يعتمد مرور التيار على نوعي حاملات الشحنة (إلكترونات وفجوات) أما الترانزستور أحادي القطبية فإن مرور التيار يعتمد على نوع واحد من حاملات الشحنة (إلكترونات أو فجوات).

وبكلام آخر فإن النوع الأول (ثنائي القطبية) يعمل بفعل حاملات الشحنة من النوعين الأكثرية والأقلية معاً أما النوع الثاني فإنه يعمل بفعل حاملات الشحنة الأكثرية فقط. وللترانزستور ثنائي القطب وصلتان np وثلاثة أطراف. ويربط طرفان من هذه الأطراف، في العادة، الباعث والمجمع إلى دائرة خارجية، بينما يصل الطرف الثالث القاعدة بدائرة داخلية. لكن رفع الجهد المطبقة على القاعدة قليلاً يؤدي إلى دخول عدد كبير من الإلكترونات إلى القاعدة عبر الوصلة المنحازة أمامياً، ويتفاوت هذا العدد حسب قوة الجهد. ولأن منطقة القاعدة رقيقة جداً، يستطيع مصدر الفولتية في الدائرة الخارجية جذب الإلكترونات عبر الوصلة المنحازة عكسياً.

ونتيجة لذلك يسري تيار قوي عبر المقحل، وعبر الدائرة الخارجية. وبهذه الطريقة يمكن التحكم في سريان تيار قوي عبر الدائرة الخارجية، بتزويد القاعدة بإشارة صغيرة.

٥-١٠-١ الترانزستورات أحادية القطبية:

- ١- المنبـع (source).
- ٢- المصـرف (drain).
- ٣- البوابـة (gate).



على الرغم من المردود الكبير للترانزيستور وماله من محاسن وميزات إيجابية إلا أن هناك سلبية أساسية وهي كونه حساس جداً لارتفاع درجة الحرارة ذلك أن مكوناته قابلة للعطب في حال ارتفاع درجة الحرارة إلى حدود معينة فعلى سبيل المثال درجة الحرارة الأعظمية المسموح بها لترانزيستور جرمانيوم تقع بين (٦٠-١٠٠) درجة مئوية ولترانزيستور سليكون بين (١٢٥-٢٠٠) مئوية، وهذا أحد أسباب تفضيل استخدام السليكون في تصنيع الترانزيستور وللتغلب على هذا العائق تم إضافة المبردات للترانزيستور تعمل هذه المبردات على امتصاص الحرارة الزائدة الناتجة عن عمل الترانزيستور والتي يمكن أن تخرب البنية الداخلية للترانزيستور.

٥-١-٢ الترانزستورات ثنائية القطبية :

- ١- الباعث (emitter) :- بلورة شبه موصل من النوع السالب بها نسبة شوائب عالية وذات حجم متوسط صممت لتبعث الالكترونات.
- ٢- القاعدة (base) :- بلورة شبه موصل من النوع الموجب بها نسبة شوائب قليلة وذات حجم صغير تتوسط الباعث والمجمع صممت لتمرير الالكترونات.
- ٣- المُجمّع (collector) :- بلورة شبه موصل من النوع السالب بها نسبة شوائب أقل من الباعث وذات حجم كبير صممت لتجميع الالكترونات.