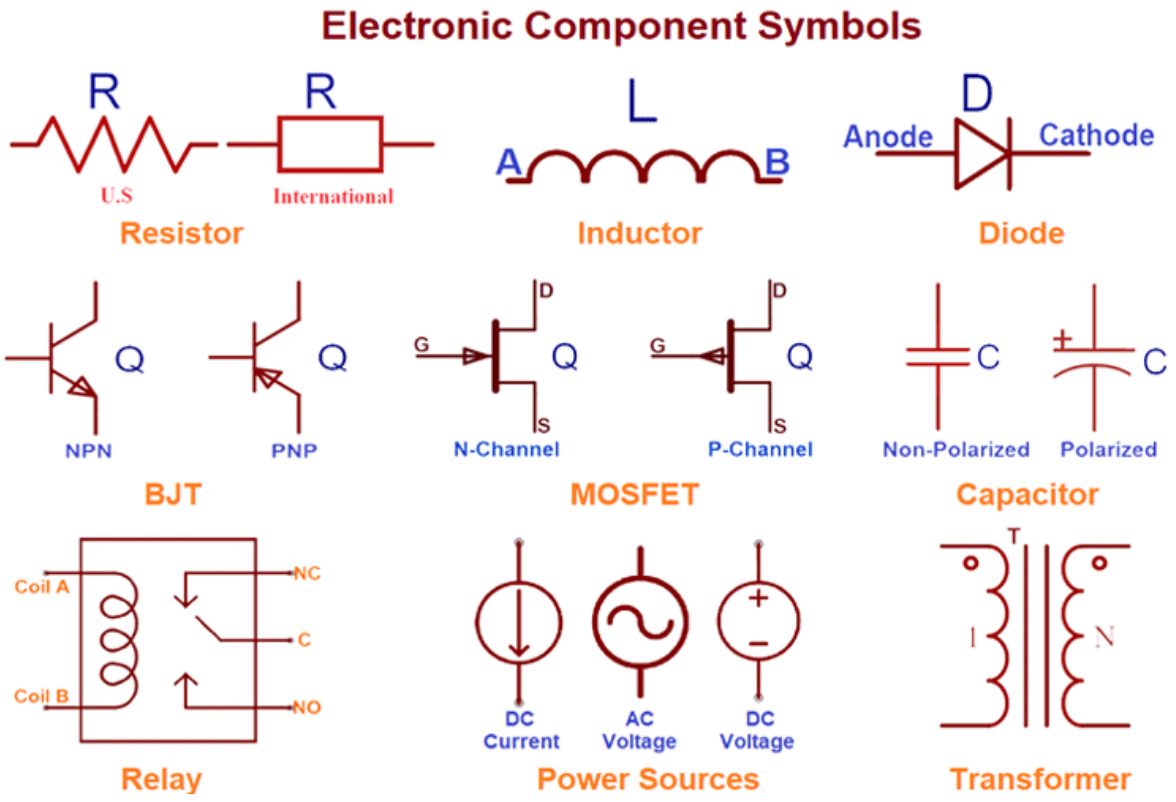
الكترونيك

ELECTRONIC



م.م احمد كريم سمير

م.م أيوب يوسف احمد

كلية التربية الأساسية حديثة

مفردات المنهج:

- الإنبعاث الأيوني الحراري – نسخة الفضاء.
- الصمامات الإلكترونية – مبدأ العمل – الثنائي – الثلاثي – الرباعي – الخماسي.
- الأشعة الكاثودية.
- أشباه الموصلات – التقنية، التوصيل الكهربائي – فجوة الطاقة.
- أنواع البلورات المانح والقابل – الثنائي P-N البلوري، جهد الأتزان – التوصيل الكهربائي والأنحياز الأمامي والخلفي.
- الترانزستور – مفهومه – مبدأ عمله – توصيل الكهربائي – أنواعه – مكوناته – التصميم – طرق ربط المضخمات الأساسية، الدوائر الإلكترونية المطبوعة PC والمتكاملة IC .
- التغذية العكسية – طرق الربط – تأثيرات التغذية العكسية السالبة.
- الدوائر المتكاملة.
- الذبذبات الموجية – المفهوم – مبدأ العمل – أنواعها.

المراجع:

- أساسيات الفيزياء // تأليف :ف.بوش/إستاذالفيزياء بجامعة دايتون /ترجمة د.سعيد الجزيري – د.محمد أمين سليمان.
- الالكترونيات العلمية للمبتكرين // اعداد الدكتور سليم ادريس.
- اساسيات الكهربائية والمغناطيسية // يحيى عبد الحميد الحاج علي.

المحاضرة الأولى

١- الانبعاث الايوني الحراري (Thermal ionic emission)

الانبعاث الايوني الحراري هي ظاهرة اساسية لجميع الصمامات المفرغة . فيمكن اعتبار الكترونات التكافؤ في معدن ما على انها حرة الحركة في اي اتجاه داخل المعدن ولذا فهي تسلك في كثير من الاحيان سلوك جزيئات غازية داخل وعاء . ففي حالة المعدن يكون سطح المعدن هو الوعاء ومن الممكن ان نتعلم الكثير عن سلوك الكترونات التكافؤ في معدن ما اذا ما نظرنا اليهم على انهم غاز الكتروني ، اي غاز مكون من الكترونات بدلاً من جزيئات سنستخدم مفهوم الغاز الالكتروني لنناقش ظاهرة الانبعاث الايوني الحراري وتحرر الكترونات من معدن محمي لدرجة الابيضاض .

يمكننا حساب طاقة الحركة لالكترونات التكافؤ داخل معدن ما بسهولة ، فمن قانون الغازات الذي يمكن ان يكتب بصورتين مختلفتين

$$PV = v_0 kT \quad \text{و} \quad PV = \frac{2}{3} v_0 (\frac{1}{2} m_0 v^2)$$

حيث ان P هي ضغط v_0 من جزيئات الغاز التي تبلغ كتلة كل منها m_0 محصورة في حجم قدرة V عند درجة حرارة مطلقة T . الكمية $(\frac{1}{2} m_0 v^2)$ هي طاقة حركة جزيء غازي ، k ثابت بولتزمان وهو يساوي $1.38 \times 10^{-23} j/k$ بمساواة هاتين المعادلتين ينتج ان :

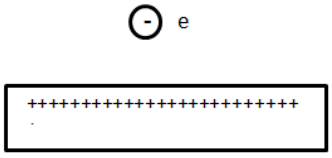
$$\frac{1}{2} m_0 v^2 = \frac{3}{2} kT \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (1)$$

تدل هذه المعادلة على ان متوسط طاقة الحركة الانتقالية لجزيء اي غاز مثالي موجود داخل صندوق هو $\frac{3}{2} kT$ تماماً . وهذا الامر يجب ان يكون صحيحا ايضاً بالنسبة لغاز الكترونات التكافؤ داخل كتلة من المعدن بشرط ان تكون هذه الالكترونات قادرة على ان تطفو بحرية داخل المعدن . اذ ما وصلنا الى هذا الحد من التقريب والتصور فان لدينا تلك النتيجة الهامة وهي ان كل الكترون تكافؤ في معدن ما له متوسط طاقة حركة يساوي $\frac{3}{2} kT$ وبالطبع سيكون لدى بعض هذه الالكترونات طاقة اكبر من هذه والبعض الاخر اقل ولكننا سنستعمل هذا المقدار كأساس للمناقشة .

فاذا تم طرح سؤال مضمونه هل هناك اي امكانية لهروب الالكترون من المعدن ؟

للاجابة على هذا السؤال لابد ان نعرف ما الذي يمسك بالالكترونات داخل المعدن . الجانب الاكبر من هذه القوة التي تمسك بالالكترونات في المعدن ذات اصل الكتروستاتي صرف . لنتصور ما الذي يمكن ان يحدث اذا حاول الكترون ان يغادر كتلة الى خارجها .

يقوم الالكترون السالب بحث شحنة موجبة على سطح المعدن بمجرد وجوده خارج السطح المعدني كما هوموضح في الشكل (١) تقوم الشحنة الموجبة بدورها بالتاثير بقوة جذب على الالكترون محاولة اعادتة مرة اخرى الى المعدن . ولن يكون الالكترون قادر على الهرب مالم يكن لدية من طاقة الحركة ما يكفي ليتغلب على هذا الجذب .



الشكل (١)

يتضح لنا من هذه الاعتبارات ان قدراً معيناً من الشغل ضروري لانتزاع الكترون من المعدن ، مالم يكن لدى الالكترون ما يكفي من طاقة الحرك لبذل هذا الشغل ، فلن يهرب وتسمى **كمية الطاقة اللازمة للتغلب على القوة الممسكة للالكترون داخل المعدن وانتزاع الالكترون ليصبح طليقا (دالة الشغل للمعدن) .**

يجب الاشارة هنا الى ان الطاقة التي تحدثنا عنها هي جزء فقط من طاقة دالة الشغل اما الطاقات المتضمنة فمن الصعب جداً حسابها ولن نتمكن من مناقشتها هنا .

يستطيع الالكترون الهرب من معدن ما بشرط ان تكون لدية طاقة حركة كافية . وبما ان متوسط طاقة حركة الالكترون يتناسب مع درجة حرارة المعدن تناسباً طردياً ، فان من الوضوح انه يجب تسخين المعدن قبل ان يتمكن الالكترون من الهرب . ولمعظم المعادن ، لا يتمكن عدد محسوس من الالكترونات من الهرب من سطح المعدن مالم يسخن المعدن لدرجة الاحمرار.

٢- الصمامات الألكترونية :-

هي عبارة عن أنابيب زجاجية مفرغة من الهواء (Vacuum Tubes) طورها العالم جون امبروز (John Ambrose Fleming) عام ١٩٠٤ . تحتوي في داخلها على أقطاب كهربائية للتحكم في كمية تدفق الألكترونات وتستخدم هذه الأنابيب كمفتاح كهربائي او كمكبر للأشارة في الأجهزة الكهربائية القديمة (الراديو ، التلفزيون ، الرادارات وأجهزة أخرى) حيث بدء استخدامها منتصف عام ١٩٠٠ حتى ظهور الترانزسستور عام ١٩٥٠ الذي ادى لطفرة في عالم الالكترونيات نتج عنها ازالة الصمامات اللأكترونية من الخرائط التصميمية للأجهزة الكهربائية والاستعاضة عنها بالترانزسستور.الشكل (٢) يبين انواع من الصمامات . وتؤدي الترانزستورات نفس وظيفة الصمام الإلكتروني، لكنها تتميز بأنها أصغر حجما وأكثر اعتمادية وأقل استهلاكا للقدرة .

الشكل (٢)

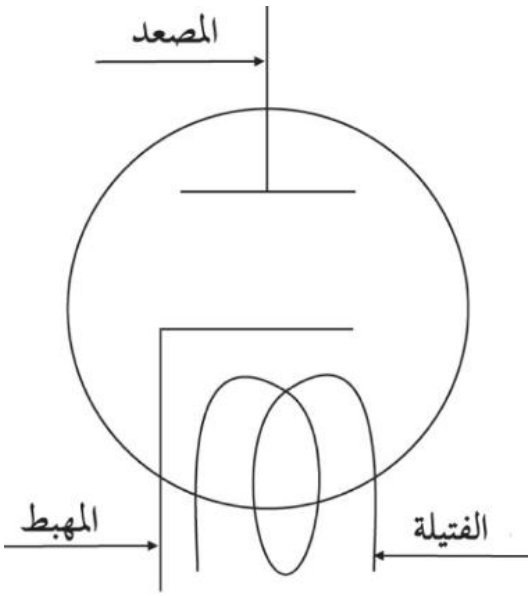
٢,١- مبدأ عمل الصمامات الألكترونية :-

الجزء الخارجي لمعظم الصمامات المفرغة الشائعة الاستعمال وعاء زجاجي أو فلزي يسمى البصيلة أو الغلاف. ويتضمن الغلاف قطعتين فلزيتين ـ أو أكثر ـ يطلق عليهما اسم القطبين الكهربائيين. وتقوم الأقطاب الكهربائية بتوليد سريان الإلكترونات، والتحكم فيه خلال الصمام. ويمثل هذا التيار الإشارة الإلكترونية التي يتم التحكم فيها بوساطة الصمام. وتتصل الأقطاب الكهربائية عادة بدوائر كهربائية خارجة عن الصمام بوساطة أسلاك تمر خلال قاعدة الغلاف. وللصمام المفرغ قطبان رئيسيان هما: الباعث أو الكاثود، والمُجمَّع أو الأنود. ويبث الباعث الإلكترونات التي تسير في اتجاه المجمع الذي يكون مغلفا للباعث في أغلب الصمامات. ويطلى الباعث بطلاء خاص يبعث بالإلكترونات إذا تم تسخينه. ويثبت قرب الباعث، شعيرة (أي سلك رفيع) تشبه تماما، تلك الموجودة داخل المصباح الكهربائي. ويمر تيار كهربائي، من خارج الصمام خلال هذه الشعيرة لتسخينها، حيث يتم بالتالي تسخين الباعث لتجعله يبدأ في بث الإلكترونات. ويحمل الباعث عادة شحنة كهربائية سالبة، بينما يحمل المجمع شحنة كهربائية موجبة. تحصل الأقطاب على شحنتيها من بطارية أو أي مصدر آخر للتيار المستمر. وتساعد الشحنة السالبة للباعث في دفع الإلكترونات التي يولدها خارجا. ويحدث ذلك لأن للإلكترونات شحنة سالبة هي الأخرى، والشحنتان السالبتان ـ وأيضا الموجبتان ـ تتنافران بعيدا، بينما تتجاذب الشحنتان إذا كانت إحداهما موجبة والأخرى سالبة. ولذلك فإن المجمع موجب الشحنة، يجذب الإلكترونات سالبة الشحنة. ويمر بهذه الطريقة، تيار من الإلكترونات بين الباعث والمجمع.

المحاضرة الأولى

القطب الرئيسي الآخر للصمام المفرغ هو الشبكة، وهي عبارة عن شبكة سلكية تتوسط بين الباعث والمجمع. وتتحكم الشبكة في كمية الإلكترونات المارة خلال الصمام. فالشحنة السالبة القوية على الشبكة، تمنع الكثير من الإلكترونات من الوصول إلى المجمع. أما إذا ضعفت الشحنة السالبة على الشبكة، فإن عدداً أكبر من الإلكترونات يستطيع المرور إلى المجمع. وبذلك تتناظر شدة شحنة الشبكة، مع شدة الإشارة الإلكترونية الداخلة إلى الصمام.وقد يحتوي الصمام المفرغ على العديد من الأجزاء الأخري بين الباعث والمجمع. كذلك قد يحتوي على صفائح فلزية مشحونة، تستطيع أن تسبب انحراف تيار الإلكترونات المتولد داخل الصمام. ويستطيع كذلك أي مغنطيس خارجي أن يسبب انحراف تيار الإلكترونات.

يعتمد مبدأ عمل الأنبوب الإلكتروني على حركة حزمة إلكترونات حرة يتم توليدها نتيجة للإصدار الإلكتروني الحراري من أحد مساري الأنبوب المسمى بالمهبط cathode الذي يُسخن إلى درجة عالية لا تقل عن ١٠٠٠ درجة كلفن باستخدام فتيلة تسخين filament تغذى من منبع تيار أو توتر كهربائي مستقل. فعندما يُطبق توتر موجب للمهبط على مسرى آخر يحيط بهذا المهبط، مصدر الإلكترونات الحرة، تنجذب الإلكترونات الحرة إلى هذا المسرى ويمر تيار كهربائي متناسب مع شدة الحقل الكهربائي المتولد بين المسرى الذي تنجذب إليه الإلكترونات والمسمى بالمصعد anode والمهبط الذي يصدر الإلكترونات. وتتناسب شدة التيار الكهربائي المار، أيضاً، مع فعالية الإصدار الإلكتروني الحراري من المهبط التي تتعلق بالمادة التي صنع منها ذلك المهبط وشكله الفيزيائي. الشكل (٣) شكل توضيحي لأحد انواع الصمامات الألكترونية (صمام ثنائي).



الشكل (٣)

المحاضرة الأولى

٢,٢- أنواع الصمامات الألكترونية:-

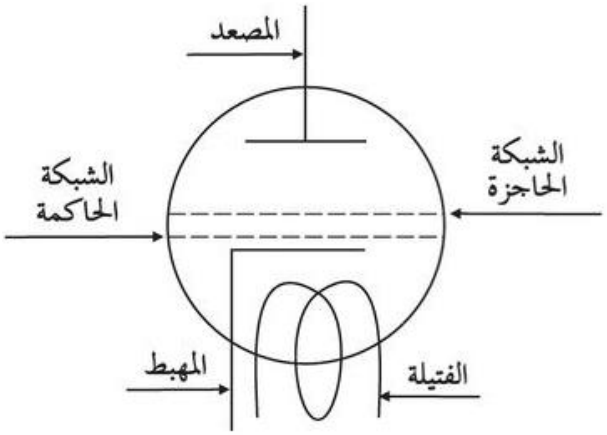
هناك العديد من الصمامات المفرغة المختلفة الأحجام والوظائف. لكن المهندسين الكهربائيين يصنفون جميع هذه الصمامات إلى عدد قليل من الأنواع الرئيسية. وتصنف الصمامات، وهي النوع الذي استخدم بكثرة في أجهزة الاستقبال من مذياع وتلفاز، طبقا لعدد الأقطاب بكل منها كما يلي:

١- الصمام الثنائي (وله قطبان فقط)(شكل (٣).
٢- الصمام الثلاثي (وله ثلاثة أقطاب).
٣- الصمام الرباعي (شكل (٤)).
٤- الصمام الخماسي.
٥- الصمامات متعددة الأقطاب.

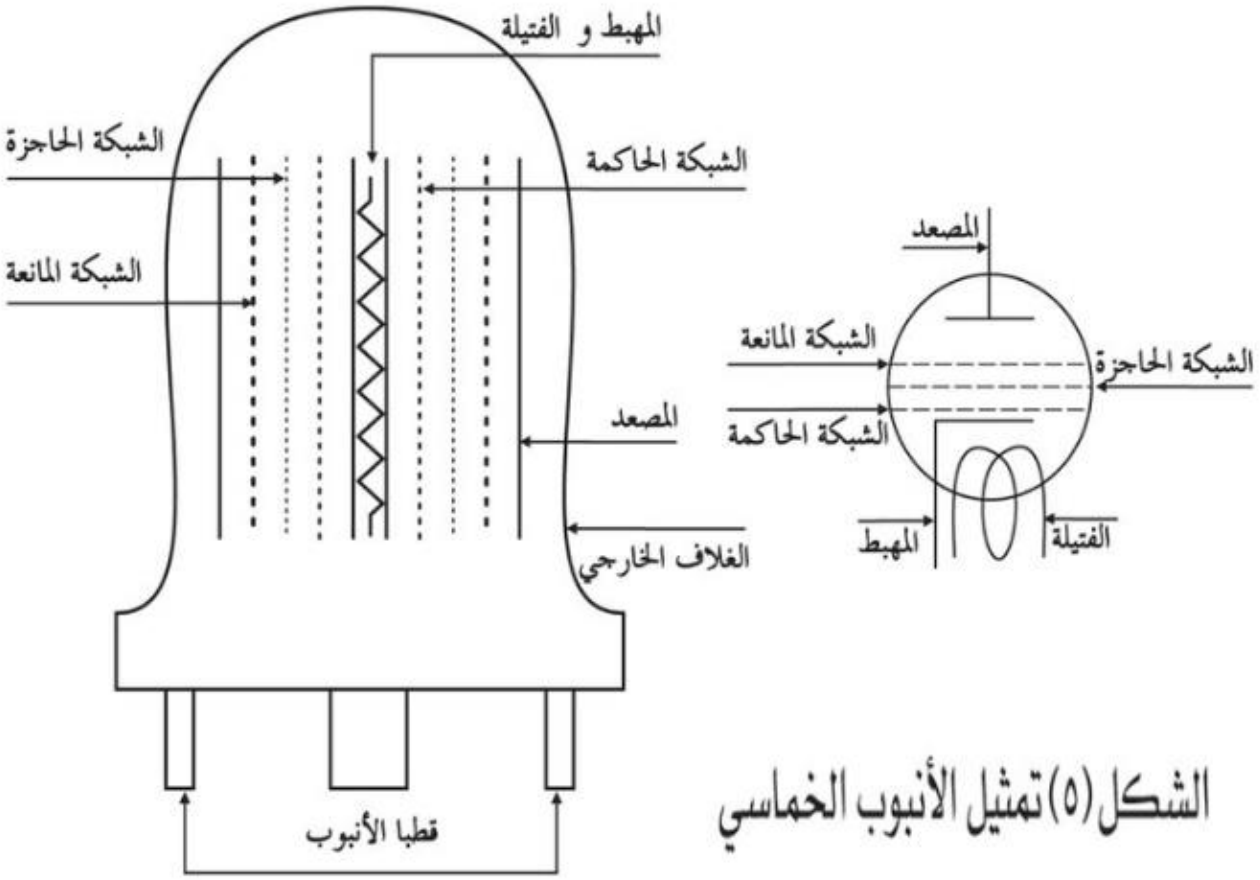
ويوجد أنواع أخرى من الأنابيب الإلكترونية عدد المساري فيها أكثر من خمسة كالأنابيب السداسية والسباعية، كما توجد أنابيب تحوي ضمن الأسطوانة الزجاجية الواحدة أكثر من أنبوب واحد كالأنابيب المزدوجة من نوع واحد (ثنائي مزدوج، أو ثلاثي مزدوج) أو من أنواع مختلفة (ثنائي - ثلاثي، ثلاثي – خماسي).

وهناك أنواع أخرى للصمامات منها:

١- صمام أشعة الكاثود.
٢- صمام الموجة الدقيقة.
٣- الصمام الغازي.



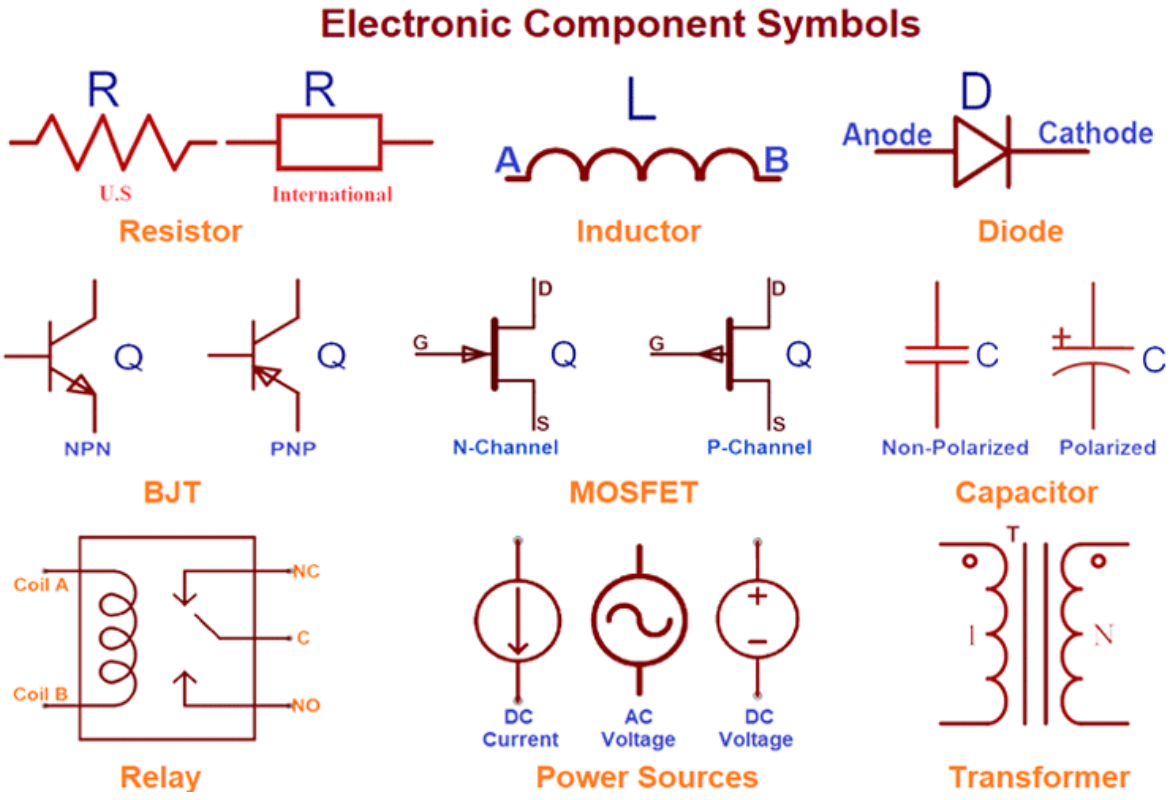
شكل (٤) الصمام الألكتروني الرباعي



الشكل (٥) تمثيل الأنبوب الخماسي

الكترونيك

ELECTRONIC



م.م احمد كريم سمير

م.م أيوب يوسف احمد

كلية التربية الأساسية حديثة

٣ - المواد (materials)

تنقسم المواد من حيث قابليتها على التوصيل الكهربائي الى ثلاث انواع وهي

١- المواد الموصلة (Conductive materials):

وهي المواد التي يمكن لإلكترونات المدار الخارجي فيها أن تتحرر من ذراتها وتتحرك حركة عشوائية بين الذرات، وإذا تعرضت لفرق جهد (أي الالكترونات) يتشكل تيار كهربائي من امثلة المواد الموصلة كهربائياً : الفضة، النحاس،الالمنيوم وعموم المعادن.

٢- المواد العازلة (Dielectric materials):

وهي المواد التي تشتد فيها قوة جذب النواة لإلكترونات المدار الخارجي فلا تستطيع الخروج من الذرة. ومن أمثلة المواد العازلة للكهرباء: الورق، الزجاج، الميكا، البلاستيك، المطاط وغيرها

٣- المواد اشباه الموصلات (Semiconductive materials):

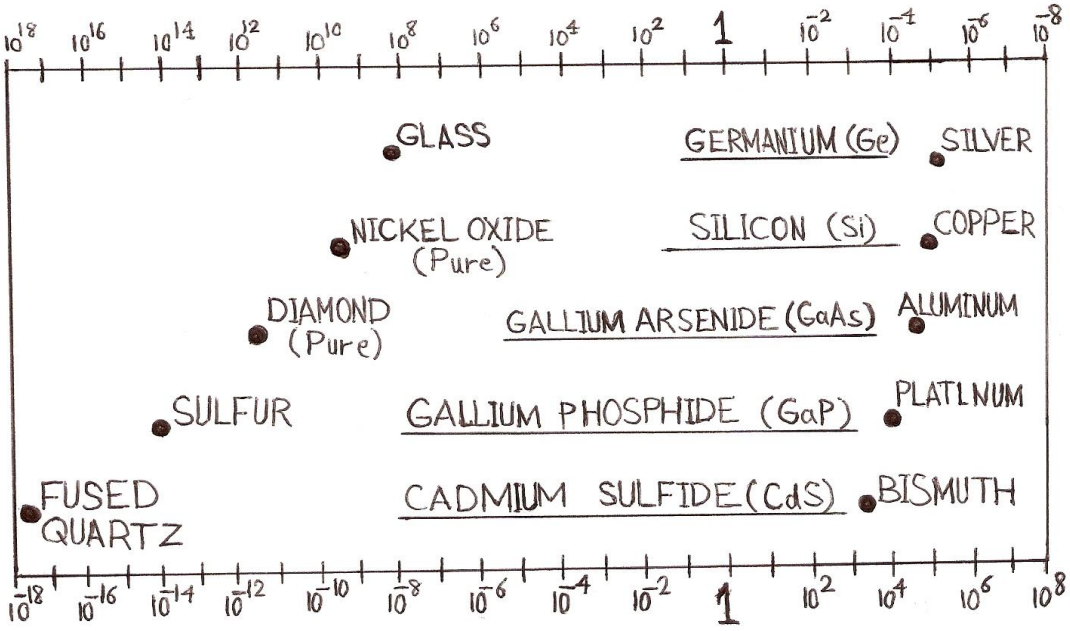
من المعروف أن الذرة هي أصغر جزء في العنصر، وطبقاً نموذج بور (Bohr model) التقليدية فان الذرة (Atom) تحتوى على نواة (Nucleus) مركزية محاطة بسحابة من الالكترونات سالبة الشحنة تدور في مدارات اهليجية حول النواة.

تكوين الذرة: تحتوي النواة على نوعين من الأجسام، أحدها موجب الشحنة ويطلق عليها بروتونات (Protons)، والثاني متعادل الشحنة يطلق عليها نيوترونات (Neutrons) ويدور حول النواة الكترونات (Electrons) سالبة الشحنة في مدارات ثابتة.

كان استخدام شبه الموصل قبل ظهور الترانستور في(١٩٤٦) يقتصرعلى صناعة النبائط ذات الطرفين Two-terminal devices كالمقومات rectifiers والثنائيات الضوئية photodiodes وكان والجرمانيوم في اوائل الخمسينات المادة شبه الموصله الرئيسيه المستخدمة الا ان عدم صلاحياتها ثبت في الكثير من التطبيقات أذ ان النبائط المصنعة منها عانت من تيار تسرب عال عند درجات حرارة ليست عاليه كثيراً . وقد استخدم السليكون منذ بداية الستينات بديلاً عن الجرمانيوم وكاد ان يطغي عليها كلياً بوصفه مادة رئيسية في صناعة شبه الموصلات، ومن الاسباب الرئسية التي جعلت السليكون المادة المستخدمة في النبائط هي الضألة المتناهية لتيار التسرب فيها وسهولة اكسدتها لتكوين ثاني اوكسيد السليكون عالي الجودة عن طريق الانماء الحراري وفضلاً عن ذلك فأن السليكون في الوقت الحاضر هو ارخص المواد الشبه موصلة الداخلة في النبائط مقارنة بالمواد شبه الموصلة الاخرى .

تعتمد موصلية أي مادة على عدة الالكترونات الموجودة لكل وحدة حجم من المادة وتزيد الموصلية بزيادة هذا العدد .

المحاضرة الثانية



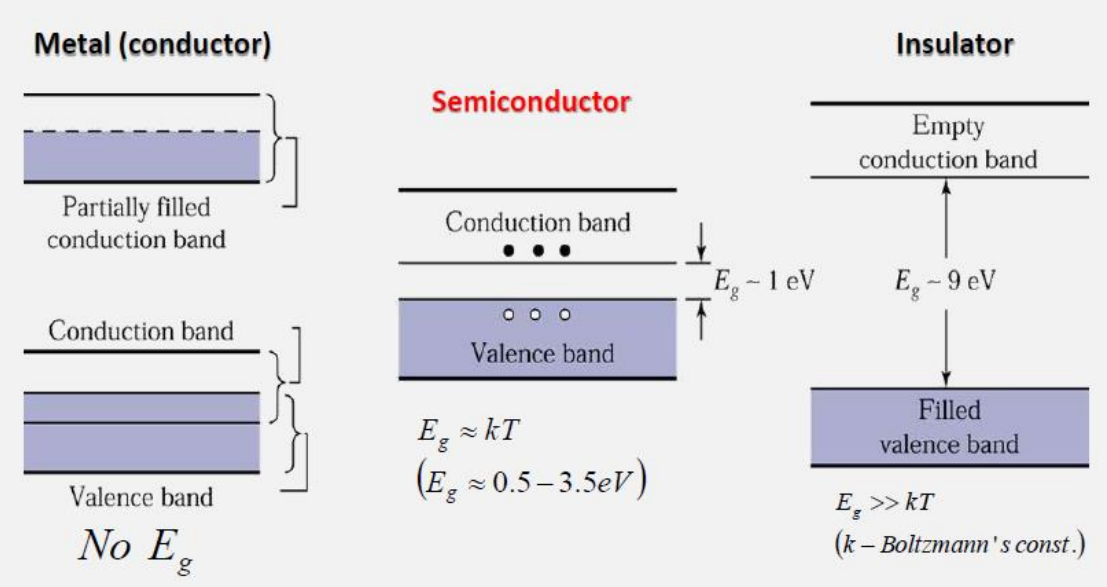
الشكل ١ : التوصيلة الكهربائية للمواد الصلبة .

الخواص العامة للمواد شبه الموصلة

1) تمتلك مقاومة ذات معامل حراري سالب.
2) تكون قيمة مقاومتها النوعية بين (10^{-5} -10^{4}) أوم – متر) .
3) إن القدرة الكهربائية الحرارية التي يمكن أن تولدها هذه المواد عالية جدا.
4) تمتلك المواد شبه الموصلة على نوعين من حاملات الشحنة وهما الفجوات و الألكترونات.
5) يمكن السيطرة على مقاومة(والتوصيلية) وذلك بإضافة شوائب ثلاثية التكافؤ أو خماسية التكافؤ .حيث تعد الخواص الكهربائية لأشباه الموصلات مهمة لأنها أساسية في تشغيل الترانزستور و الدوائر المتكاملة و أجهزة أخرى ، و أشباه الموصلات هي مواد مقاومتها عبارة عن حد وسط بين المعادن الموصلة و العوازل ، مثال على ذلك النحاس له مقاومية بحدود (10^{-6}) Ωcm و مقاومية المايكا و التي هي عبارة عن عازل ممتاز هي بحدود (10^{16}) Ωcm و الجرمانيوم الذي يكون شبه موصل جيد له مقاومية تقريبا 50 Ωcm عند درجة حرارة الغرفة. لأجهزة أشباه الموصلات تأريخا مهما ، فقد استخدمت في الأتصالات الراديوية قبل نشوء الصمام المفرغ الذي أستعيض عنها وعندما أصبح تردد التشغيل عاليا فإن زمن ألأنتقال للصمام المفرغ بدأ بتوليد مشكلات مهمة و سبب أفضلية أشباه الموصلات الثنائية عند الترددات العالية عندئذ بدأت تحل محل الصمامات المفرغة بالضبط لنفس التطبيقات التي سبق وأن أبطلت هذا الأنتعاش في الألكترونيات إلى نمو الكثير من الأجهزة و التي حلت محل الصمامات المفرغة في معظم التطبيقات .

نظرية حزم الطاقة للمواد الصلبة ومفهوم فجوة الطاقة المحظورة Eg

ان التوصيل الكهربائي يتطلب انتقال الالكترون من حزمة التكافؤ المملوءة بالالكترونات الى حزمة التوصيل الفارغة من الالكترونات عبر الفجوة المحظورة بينهما اي انه يجب على الالكترون ان يكتسب طاقة لكي يتمكن من الانتقال ومن حزمة الى حزمة ويطلق على هذه الطاقه (Eg) بفجوة الطاقة اما بالنسبة الى المواد شبه الموصلة فان الفرق الاساس بينهما وبين المواد العازلة يمكن في قيمة فجوة الطاقة التي تكون اقل بكثير من قيمة فجوة الطاقة في المواد العازلة. وكما موضح في الشكل (٢) ان التوصيل الكهربائي في المواد العازله قليل جداً وذلك لكون فجوة الطاقة كبيرة مما تجعل عدد الالكترونات المنقولة الى حزمة التوصيل قليلة في درجات الحرارة الاعتيادية او حتى في درجات الحرارة العالية ان قيمة فجوة الطاقة في الكثير من المواد العازلة تتراوح بين ٣- ١٠ الكترون فولت اما التوصيل الكهربائي في المواد شبه الموصلة فتكون معتدلة نوعاً ما عند درجاة الحرارة العالية.



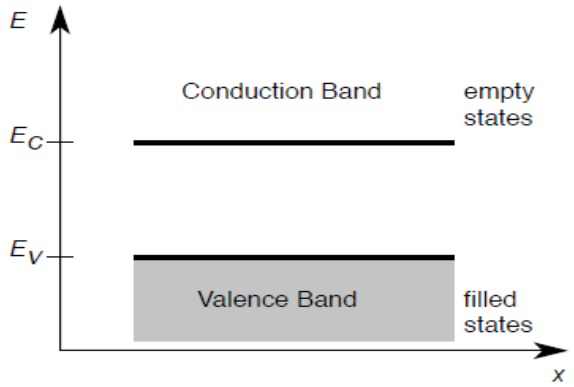
الشكل (2)مخطط حزم الطاقة للمواد الموصلة وأشباه الموصلات والعوازل

اما عند درجات الحرارة الواطئة فيكون التوصيل الكهربائي قليل جداً وذلك لان حزمة التوصيل تكون فارغة عند درجة حرارة الصفر المطلق وكلما ارتفعت درجات الحرارة ينتقل عدد كبير من الالكترونات الى حزمة التوصيل وترفع قيمة التوصيل الكهربائي الى حد كبير.

اشباه الموصلات النقية وغير النقية

١- اشباه الموصلات النقية :

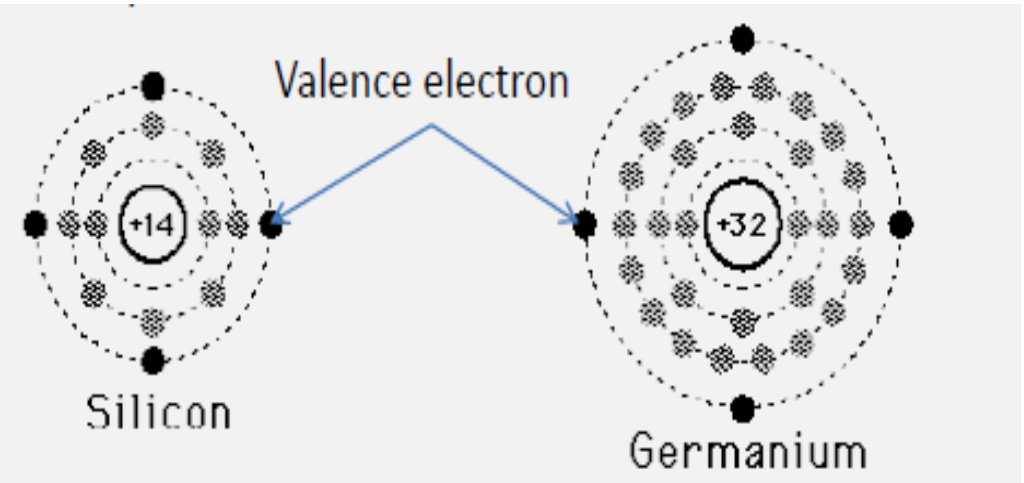
تدعى اشباه الموصلات النقية الخالية من الشوائب باشباه الموصلات الذاتية حيث ان حزمة التكافؤ تكون مملوءة كلياً بالالكترونات بينما تكون حزمة التوصيل فارغة من الالكترونات عند درجات حرارة واطئة. يوضح الشكل (٤) تخطيطاً لحزمة التكافؤ المملوء وحزمة التوصيل الفارغ وفجوة الطاقة Eg لشبه موصل ذاتي. فاذا رفعت درجة حرارة المادة شبه موصلة الى درجات حرارة عالية نوعاً ما فان عدد اً معيناً من الالكترونات الموجودة في حزمة التكافؤ يمكن ان تثار حرارياً وتنتقل الى حزمة التوصيل تاركين مكانهم فجوات ،ان الالكترونات تصل حزمة التوصيل ستملأ هذة الحزمة جزئياً وستكون جاهزة للتوصيل الكهربائي عند تسليط مجال الكهربائي اما بالنسبة الى الفجوات المتكونة في حزمة التكافؤ فانه تحمل شحنة موجبة لانها ناجمة عن فقدان الالكترون. ان وجود هذة الفجوات يسهل للالكترون التحرك لشغلها تاركاً فجوة اخرى في مكانها الاصلي وهكذا تسري الالكترونات متتابعة لتحتل الفجوات وفي كل مرة تترك فجوة اخرى جديدة وهكذا نرى ان للفجوات حركة عشوائية وفي اتجاهات الى الحركة بتجاه المجال وبعكس اتجاه الالكترونات الحرة وذلك بسبب اختلاف الشحنة لكل منهما .



الشكل ٣ :مخطط حزمة الطاقة في مادة شبه موصلة

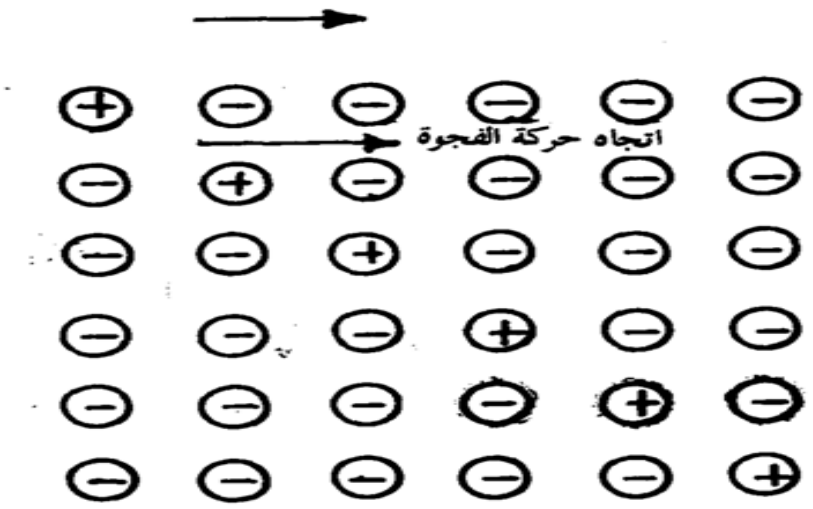
يعد الجرمانيوم والسليكون من اهم انواع اشباه الموصلات التي تستخدم في الاجهزة الالكترونية ان السليكون والجرمانيوم عنصران من عناصر المجموعة الرابعة من الجدول الدوري وان الغلاف الخارجي في كل منهما يحتاج الى اربعة الكترونات لكي يمتلئ والتركيب الالكتروني للغلاف الخارجي للسليكون هو (3s2 3p2)، اي ان الغلاف الثانوي (3p) يحتاج الى اربعة الكترونات لكي يمتلأ فتصبح (3p6) ان الاواصر التي تربط ذرات السليكون في بلورة السليكون هي اواصر تساهمية حيث ان كل ذرة سليكون تكون محاطة باربعة ذرات وتشارك الاربعة هذه في ملئ الغلاف الخارجي للذرة الوسطية وذلك بمساهمة الالكترون من كل واحد منه كما يبدو في الشكل (٥) فعند درجات الحرارة المنخفضة يعتبر السليكون عازلاً بالرغم من تكافؤه الرباعي .

المحاضرة الثانية



التوصيلية الذاتية لأشباه الموصلات النقية

تكمن أهمية الفجوة في أنه يمكن اعتبارها ناقلة للتيار الكهربائي مثل الإلكترون ،لإيضاح ذلك فإننا نتخيل ما يحدث وهو أن إلكترونا في ذرة مجاورة يمكن أن يتحرك ليملأ تلك الفجوة مخلفا وراءه فجوة أخرى ليتحرك إلكترون في ذرة مجاورة أخرى أيضا لملأ تلك الفجوة .



حركة الفجوة في شبه الموصل

وهكذا يمكننا أن نعتبر نظريا أن الفجوة تتحرك بعكس اتجاه حركة الإلكترون ، وعلى ذلك يمكن اعتبار الفجوة تمثل شحنة موجبة مقدارها يساوي مقدار شحنة الإلكترون وتتحرك في اتجاه معاكس لحركة الإلكترون.عند الصفر المطلق 0 ^{o}K, تكون الالكترونات في اوطا مستوى من الطاقة وعليه تكون الاواصر التساهمية ممتلئة وعندما يؤثر مجال كهربائي خارجي صغير فان الالكترونات لن تتحرك ولذلك فان السليكون (شبه الموصل) يعتبر عازلا. وبارتفاع درجة الحرارة فان هذه الطاقة الحرارية تكفي لتحطيم الاصرة التساهمية بإطلاق احد الالكترونات الاصرة التساهمية من مكانة تاركاً فجوة hole .وعند تسليط مجال كهربائي خارجي فان الطاقة المكتسبة سوف تضاف الى طاقتها الحرارية وبذلك تعمل على تعجيلها واكسابها سرعة تصل بعد فترة الى قيمة ثابتة تدعى بسرعة الانجراف (الانسياق)drift velocity حيث ان :

$$V_h = \mu_h E \quad , V_e = \mu_e E \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 1$$

μ_h : القابلية الحركية للفجوات , μ_e : القابلية الحركية للالكترونات بوحدات $m^2/v\ sec$

على أية حال فان كثافة الالكترونات في حزمة التوصيل يمكن حسابها بوساطة دالة function تخضع لاحصاء فيرمي – ديراك Fermi-Dirac statistic وتسمى بدالة التوزيع للطاقة energy distribution fuoction التي تعبر عن الاحتمالية f (E) لاي الكترون لاحتلال مستوى من الطاقة (E) عند درجة حرارة T وتعطى بوساطة دالة فيرمي

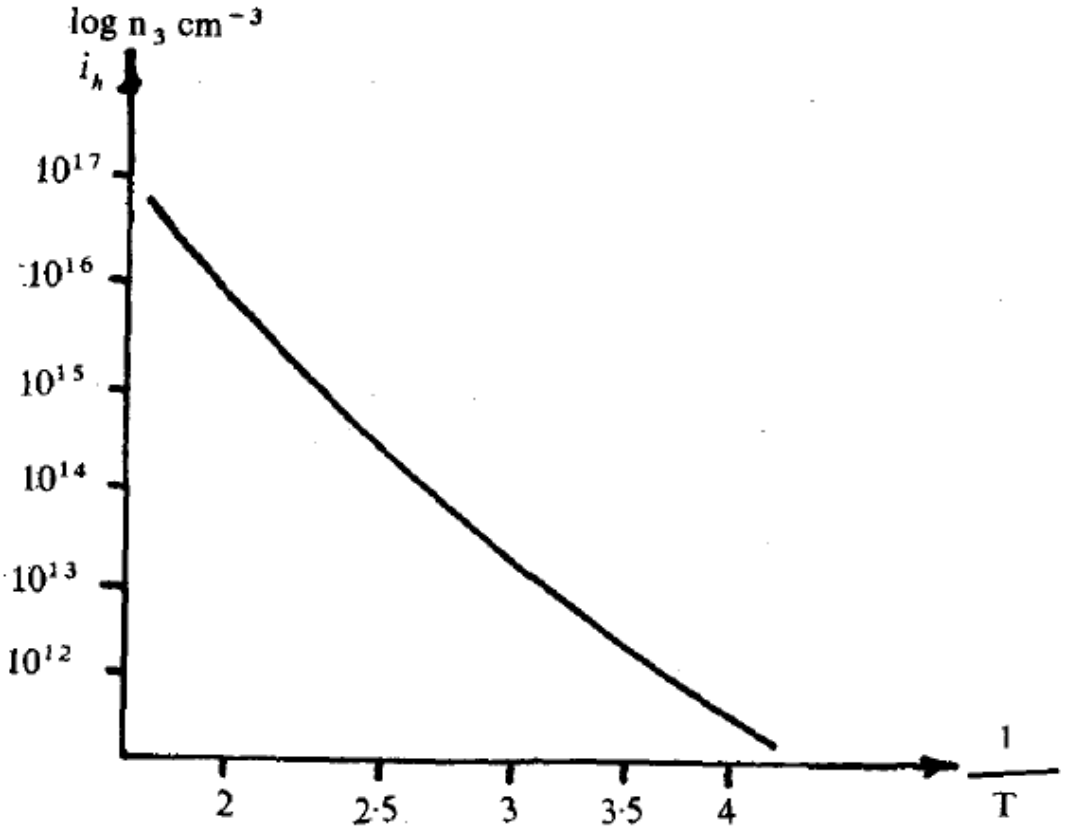
$$f(E) = \frac{1}{1 + ex_p\left(\frac{E - E_f}{KT}\right)} \qquad \ldots (17)$$

في هذه المعادلة اذا كان $E = E_f$ فان $f(E) = \frac{1}{2}$ ومن ثم فان تعريف منسوب فيرمي للطاقة بانه المنسوب الذي تكون احتمالية اشغاله من قبل الكترون مساوية لـ 50% ما بالنسبة لمستويات الطاقة التي تزيد عن E_f بحيث تقترب نتيجة الفرق $(E - E_f)$ من اللانهاية عندئذ يقترب.احتمال اشغال ذلك المستوى من الطاقة من الصفر وبمعنى اخر ان مستويات الطاقة العالية جدا تكون خالية من الالكترونات بينما يصل الاحتمال الى 100% في مستويات الطاقة الواطئة جداً .

المحاضرة الثانية

ومن الجدير بالذكر ان n_i تتغير مع درجة الحرارة بصورة اسية حيث ان

$$n_i^2 \alpha T^3 e^{-E_g/KT}$$

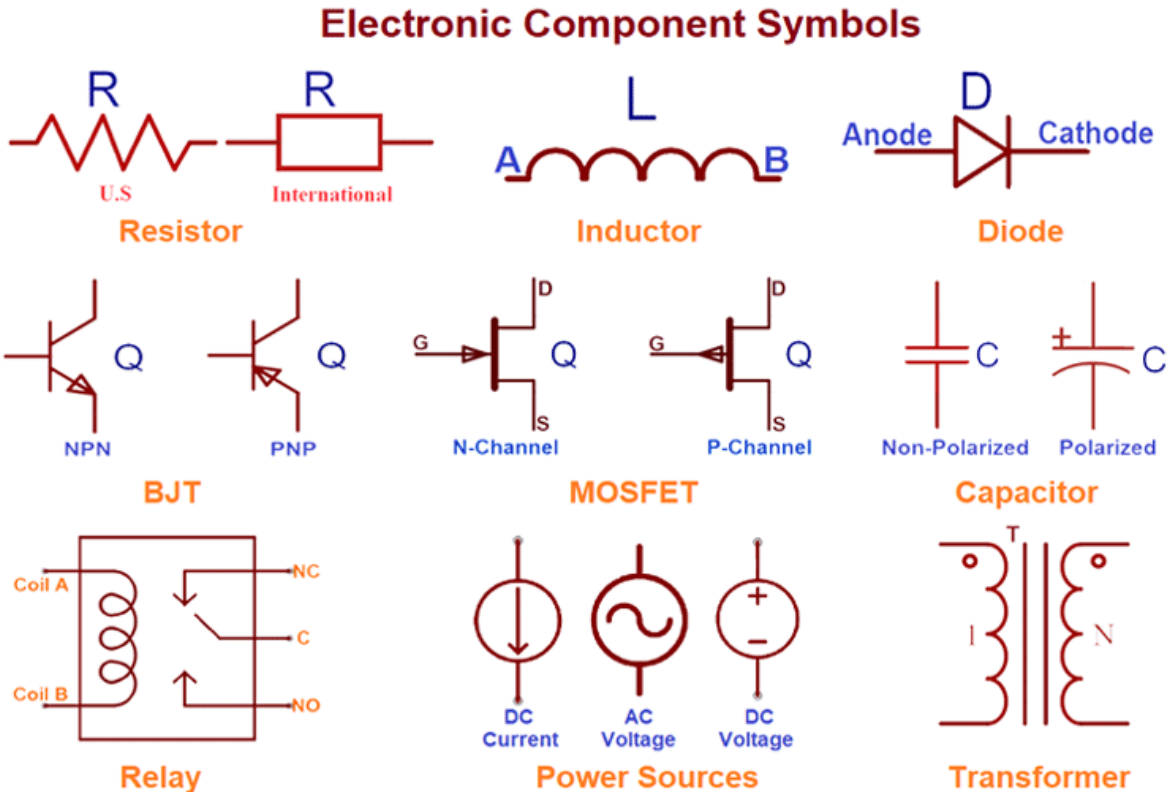


تغير كثافة الالكترونات الحرة في اشباه الموصلات مع درجة الحرارة

هذا وقد وجد ان التوصلية تزداد في الجرمانيوم بنسبة 6 بالمائة تقريبا كلما ازدادت درجة الحرارة درجة واحدة اما في السيلكون فتبلغ الزيادة 8 بالمائة تقريباً وعليه فان الحرارة الزائدة قد تعرقل عمل اشباه الموصلات في بعض الدوائر الالكترونية .

الكترونيك

ELECTRONIC

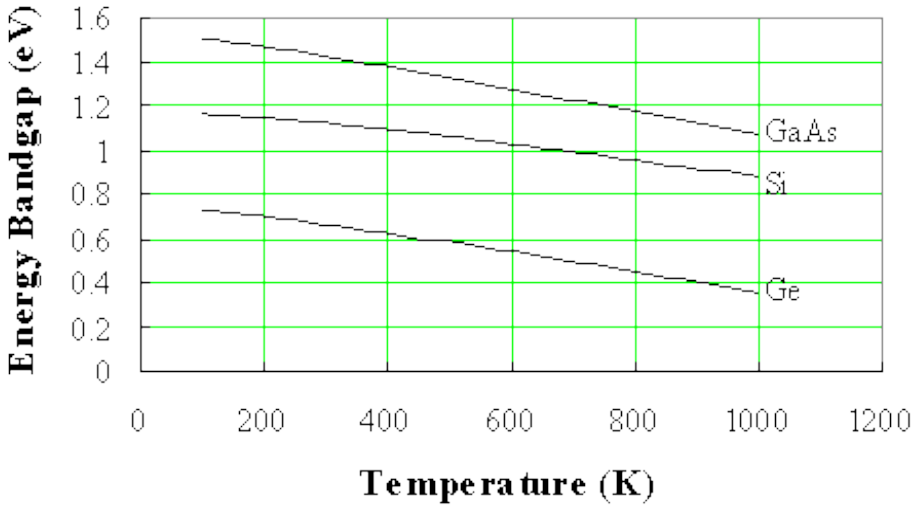


م.م احمد كريم سمير

م.م أيوب يوسف احمد

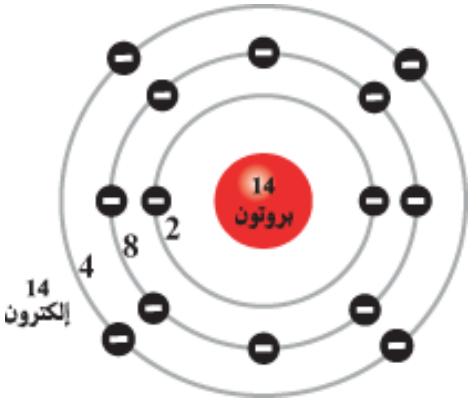
كلية التربية الأساسية حديثة

تاثير الحرارة على فجوة الطاقة المحظورة Eg لاشباه الموصلات



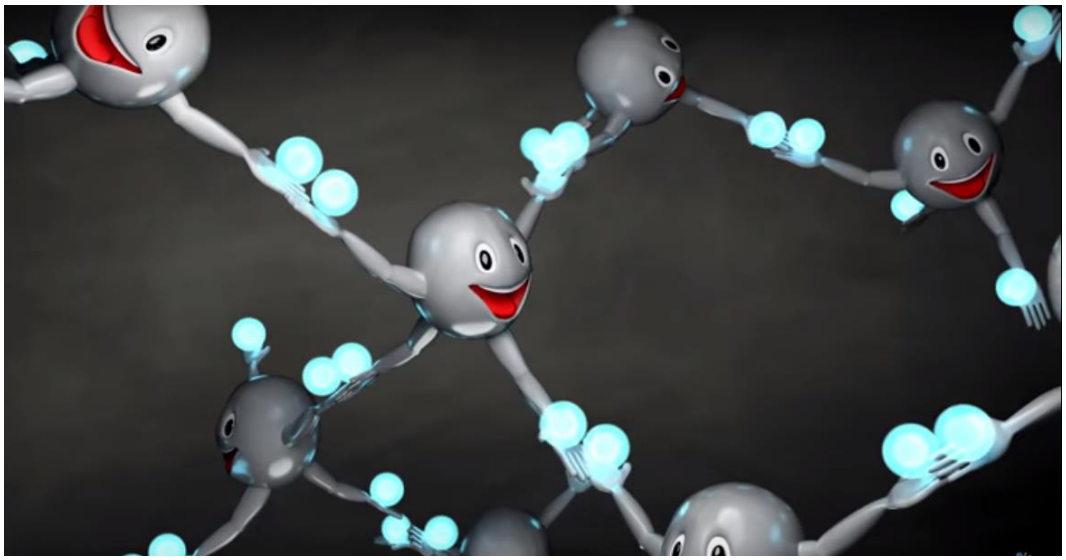
الشكل يبين اعتماد فجوة الطاقة على درجة الحرارة للسليكون والجرمانيوم وارسنيد الكاليوم

تنتمي مادتي السيليكون والجرمانيوم إلى عائلة أشباه الموصلات، تحتوي كل من ذرتي السيليكون والجرمانيوم على أربعة الكترونات تكافؤ(valence electrons) ، (الكترونات التكافؤ هي الكترونات ذات الطاقة الاعلى وتشغل الاغلفة الخارجية (valence shell) الابعد عن النواة لتلك الذرة وتساهم هذه الالكترونات في التفاعلات الكيميائية التي تحدد الخواص الالكترونية للمادة) والاختلاف بينهما هو أن ذرة السيليكون تحتوي على ١٤ بروتون في النواة بينما ذرة الجرمانيوم تحتوي على ٣٢ بروتون وتوزع الالكترونات على المدارات حسب العلاقة $(2n^2)$ حيث ان n تمثل رقم المدار . ويوضح الشكل(٦) التركيب الذري لمادة السيليكون وتوزيع الالكترونات على المدارات الثلاثة .



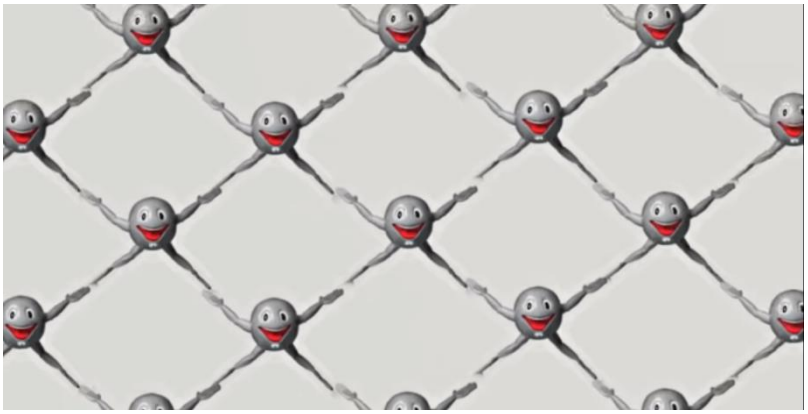
الشكل (٦) التركيب الذري للسليكون

المحاضرة الثالثة



الشكل (٧) شكل توضيحي لترابط ذرات السيلكون مع بعضها

يمكن الحصول على السيليكون Silicon (**Si**) من الرمل (sand) والذي بدوره يكون متوفر ومتاح ويمكن الحصول علية وبسهولة من الارض . يدخل الرمل عمليات تنقية معقدة حيث يمزج الرمل مع الكاربون تحت حرارة (٢٠٠٠ °C) ينتج عنة سليكون خام وبنقاء ٩٨٪ بعد ذلك يتم تحويل السيليكون الخام الى مركب غازي من السيليكون ثم يتم خلطة مع الهيدروجيين للحصول على درجة عالية من النقاء السيليكون متعدد الكريستالات (Polycrystalline Silicon) يتم اعادة تشكيلها على شكل سبائك من السيليكون .



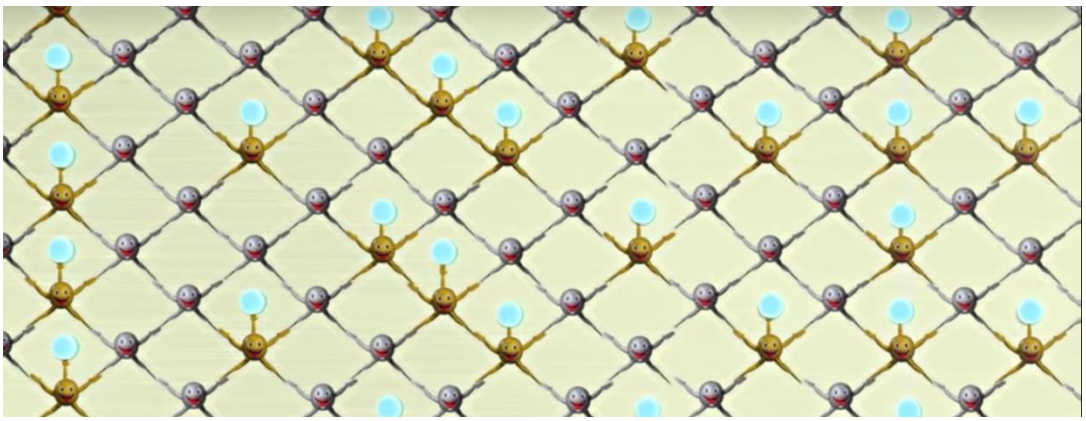
شكل توضيحي للتركيب الذري للسيلكون النقي صورة لعنصر السيليكون

الشكل (٨)

المحاضرة الثالثة

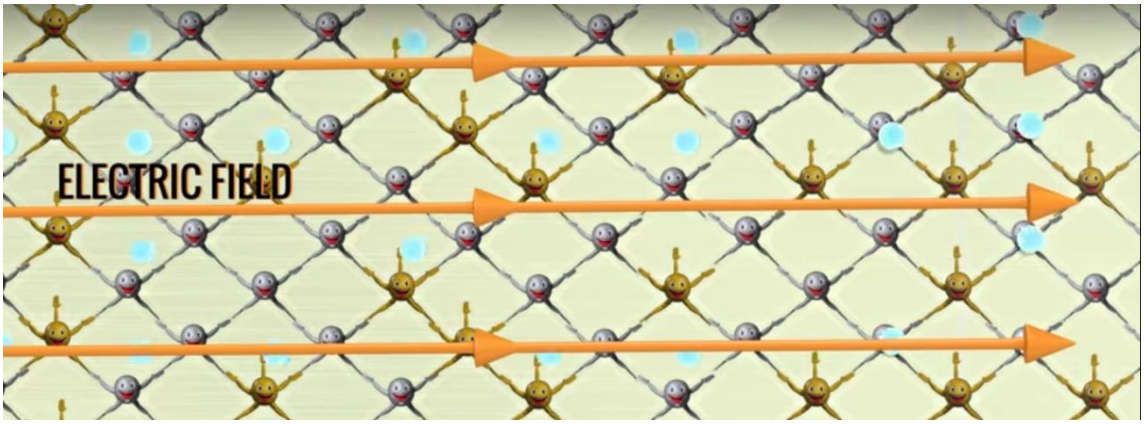
٣,١- الاشابة (Doping)

في الحقيقة ان السيليكون النقي يكون اقرب الى المواد العازلة من المواد الموصلة كون التركيب الذري لا يوجد فية أي الكترون حر لذلك يتطلب عمل اشابة (Doping) وهي عملية حقن مادة ما (مانحة) الى مادة أخرى (قابلة) وعلية نضيف الفسفور (P) خماسي الكترونات التكافؤ (المانحة) الى مادة السيليكون (القابلة) وبهذا نحصل على مادة من نوع N اي لديها الكترون حرواحد لكل ذرة قابل للحركة والانتقال بحرية اذا تاثر بموثر خارجي. وكما موضح في الصورة التالية.



الشكل (٩) شكل توضيحي لعملية الاشابة (Doping) N-type

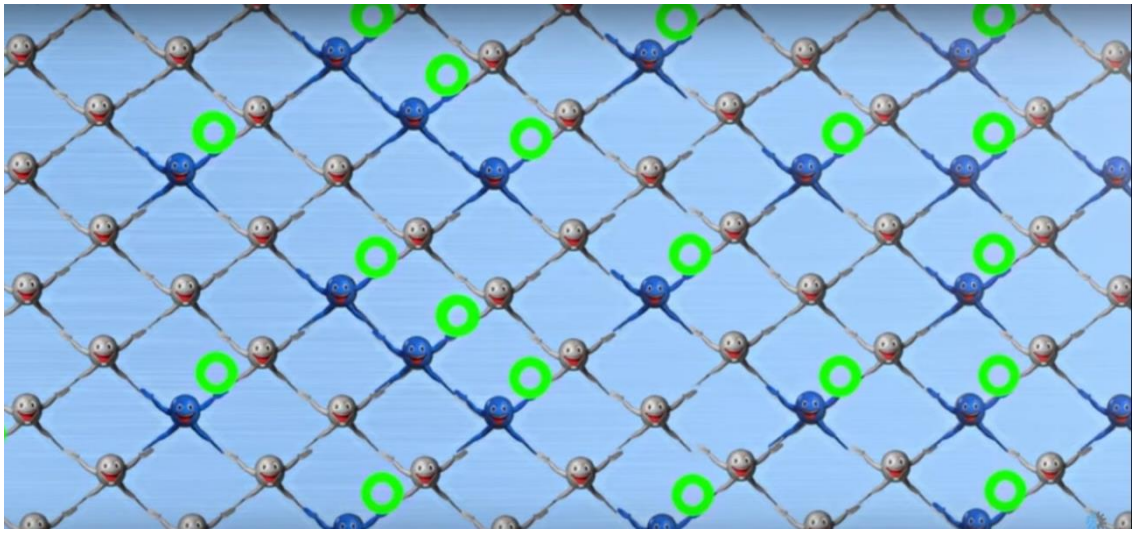
فاذا تم تسليط مجال كهربائي خارجي على هذه النوع من السيلكون المشاب فان الالكترونات الحرة سوف تتحرك بشكل عشوائي لا ينتج عنة اي تيار يمر في الحمل لا اذا تم تسليط علية قوة دافعة لتوجية الالكترونات للحركة باتجاه محدد كما في الشكل (١٠).



الشكل (١٠)

المحاضرة الثالثة

وفي حالة مشابهة للحصول على سيليكون من نوع P-type يتوجب اشابة السيليكون بمادة البرون (B) ثلاثية الكترونات التكافؤ والذي ينتج عنه فجوه (Hole) واحدة لكل ذرة وكما موضح في الشكل (١١).



الشكل (١١) شكل توضيحي لعملية الاشابة (Doping) P-type

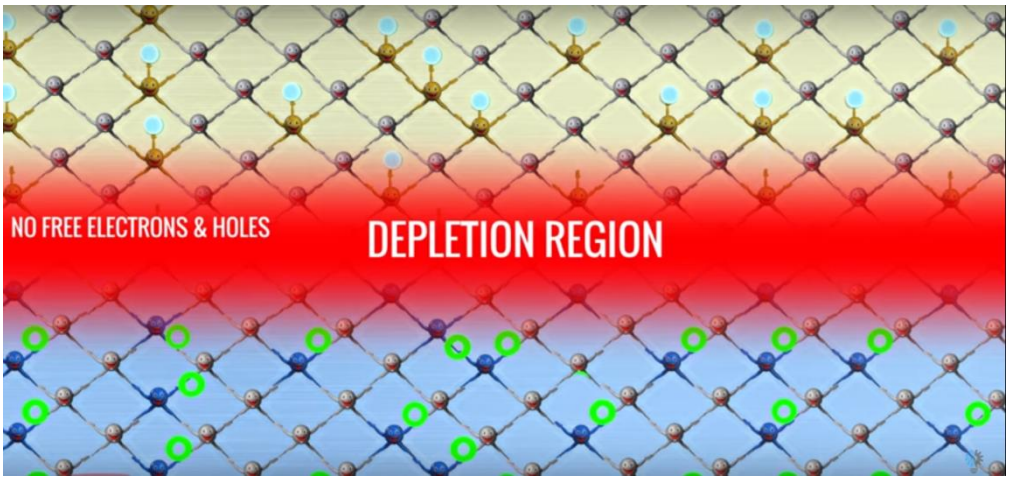
قد تتسائل لماذ هذا النوع الجديد من السيليكون ؟ سسليكون نوع (n) وسيليكون نوع (p) ، وما فائدة هذا الانواع الجديدة في تصنيع العناصر الالكترونية ؟ ولماذا كل هذا الحديث عن هذا الانواع الجديدة ؟

ان البلورات السيليكونية الجديدة المشابة هي نواقل وبالتالي فان لدينا نوعين من النواقل ، الاول وهو السيليكون نوع (n) يحقق الناقلية من خلال حركة الالكترونات والثاني وهو نوع (p) يحقق الناقلية من خلال حركة الثقوب ، وهذا الشيء هام جدا ،

لان اسلوب نقل التيار الكهربائي في النوعين هام جداً في تصميم العناصر الالكترونية كالدايود والترانزستورات والخلايا الشمسية (solar cells) .

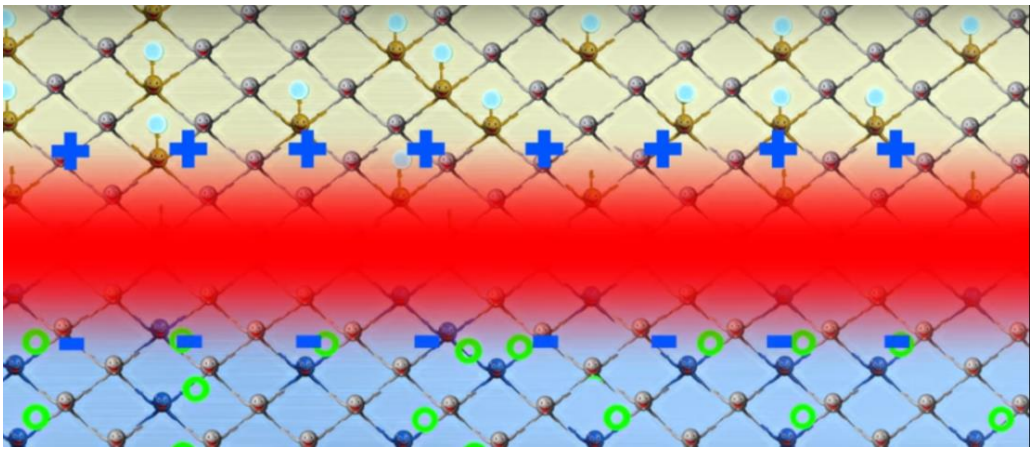
PN – junction -٣،٢

بعد ان حصلنا على النوعيتين لمادة السيليكون(P-type , N-type) نعمل على ايجاد وصلة بينهما (PN-junction) حيث نلاحظ ظهور منطقة فاصلة بين النوعيتين تسمى (depletion region) او منطقة الاستنزاف وكما موضح في الشكل (١٢) .



الشكل (١٢) شكل توضيحي يظهر به منطقة النضوب بعد وصلة نوعيتين من السيليكون

حيث تنتقل الالكترونات الحرة القريبة لملئ الفجوات القريبة منها وبذلك تكون هذة المنطقة خالية من حاملات الشحنة الاغلبية (الالكترونات في منطقة N-type والفجوات الحرة في منطقة P-type) بسبب هذه الهجرة او الانتقال للالكترونات من المنطقة المحاذية PN-junction ستظهر حال التأين (ionization) ستكون بعض الشيء موجبة الشحنة في منطقة N-type وسالبة الشحنة في منطقة P-type وكما موضحة في الشكل (١٣) . حيث يتولد فرق جهد بين النوعتين من السيليكون المشاب حيث يعمل فرق الجهد هذا على منع عبور او هجرة الكترونات إضافية عبر وصلة (PN-junction) ويسمى هذا الجهد (بحاجز الجهد Potential Barrier) ويعتمد مقدار حاجز الجهد الدايود على نوع مادة شبة الموصل المستعملة ونسبة الشوائب المطعمة بها ودرجة حرارة المادة . وتتوقف هجرة انتقال الالكترونات عبر وصلة (PN-junction) عندما تحصل حالة التوازن .

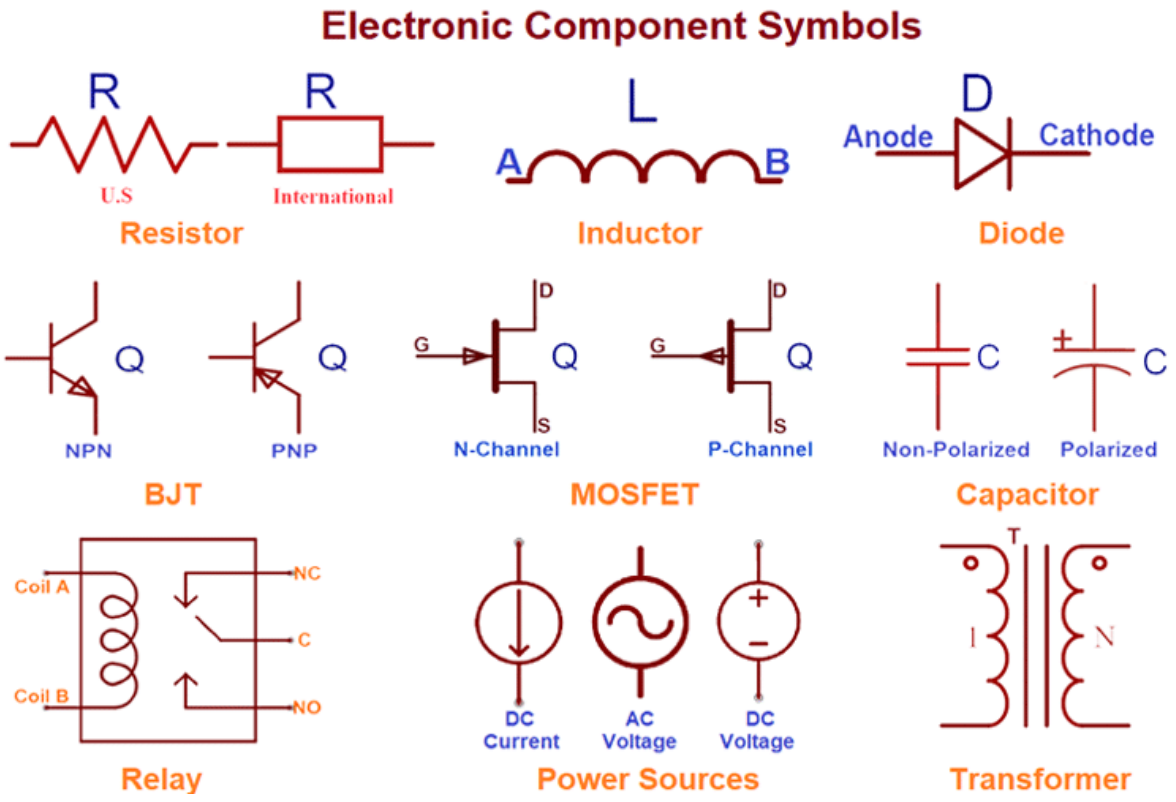


الشكل (١٣) شكل توضيحي يظهر به هجرة الالكترونات وظهور حالة التأين

المحاضرة الثالثة

الكترونيك

ELECTRONIC



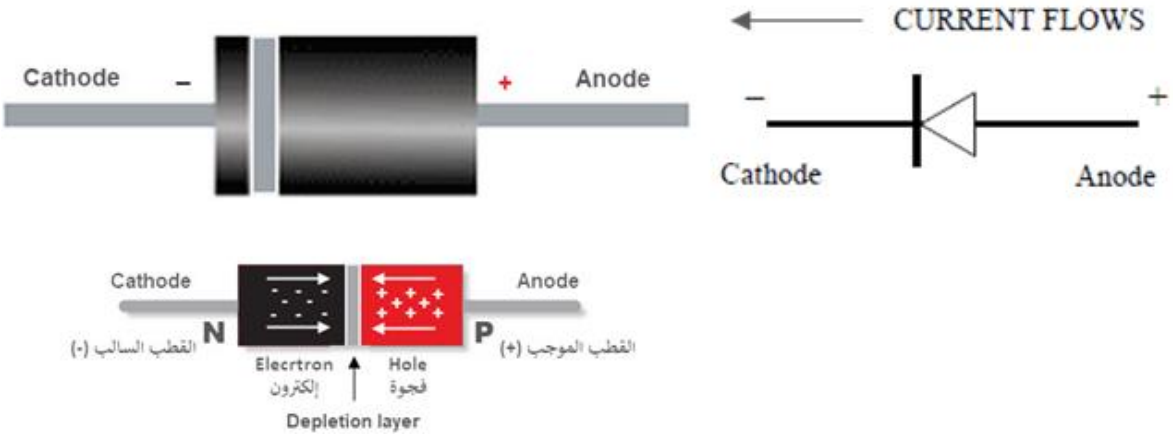
م.م احمد كريم سمير

م.م أيوب يوسف احمد

كلية التربية الأساسية حديثة

٣,٣- الدايود (Diode)

هو عنصر الكتروني يمرر التيار الكهربائي باتجاه واحد ، وعندما يكون جهد مصعد (anode) الدايود اكثر ايجابية من مهبطه (cathode) ، فان التيار يمر عبر الدايود من المصعد الى المهبط ويسمى هذا النوع من استقطاب الدايود بالاستقطاب الامامي (forward biasing) ، اما اذا كان جهد مصعد الدايود اقل ايجابية من جهد المهبط ، فان الدايود لا يمرر التيار الكهربائي ويسمى هذا النوع من الاستقطاب بالاستقطاب العكسي (reversed biasing) ويبين الشكل (١٤) رمز الدايود وتسمية اطرافة (leads) .

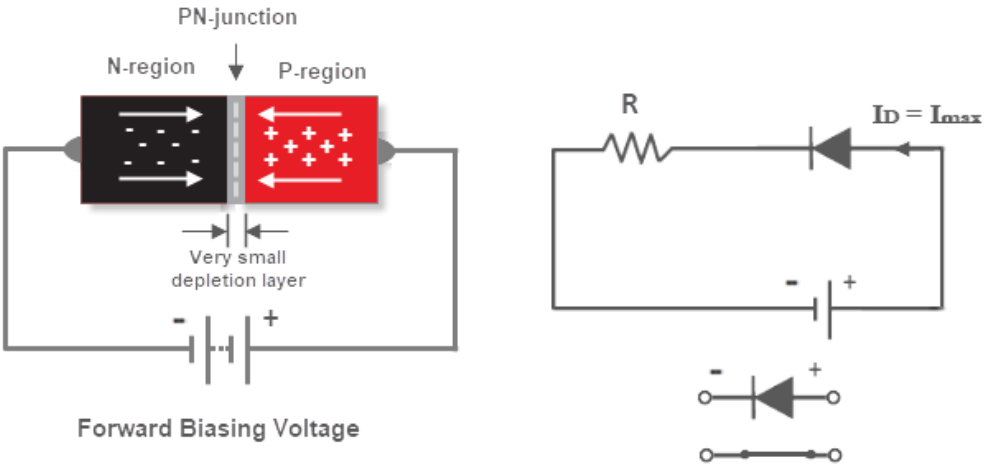


الشكل (١٤)

تستخدم الدايودات عادة في دوائر تحويل الجهود او التيارات المتناوبة (ac) الى جهود او تيارات مستمرة (dc) كما هي الحال في مصادر التغذية (ac/dc power supply) . وكذلك تستخدم في دوائر تنظيم الجهد (voltage - regulator) ، وفي دوائر تحديد الجهود (voltage – limiting circuits) ودوائر اخرى .

- **الانحياز (الاستقطاب) الامامي (forward biasing)**

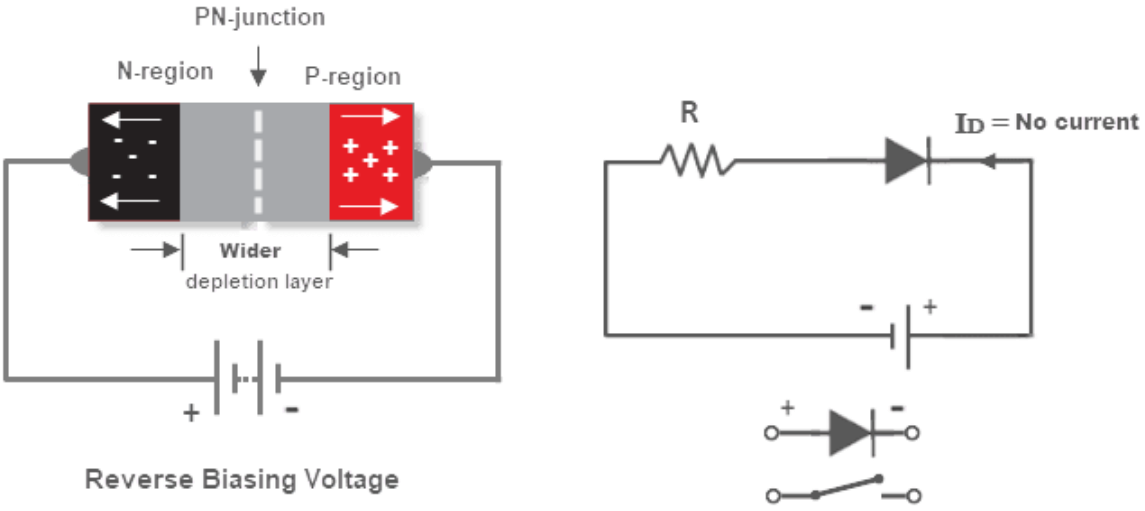
عند وصل دايود الى مصدر فولتية (dc power supply) كما في الشكل (١٥) بحيث يكون القطب الموجب للمصدر موصولاً مع الطرف (p) او ما يسمى (anode) والقطب السالب موصولاً مع الطرف (n) او ما يسمى (cathode) ، فان الالكترونات في المنطقة (n) تتوجة الى موجب المصدر والفجوات في المنطقة (p) تتوجه الى سالب مصدر الفولنية فتلتقي الفجوات والالكترونات في منطقة المتصل (منطقة التصاق مادتي p ، n) وعند التقاء الكترون مع فجوة فانه يعدله كهربائياً ويحدث اختفاء للفجوة ويصبح الالكترون الذي ملأ الفجوة مرتبطاً بالذرة ولا يشارك في التيار الكلي المار عبر الدايود ولكن لا يحدث ذلك لكل الالكترونات ولكل الفجوات وبذلك يتشكل تيار عبر الدايود من الالكترونات التي تصل موجب المصدر ومن الفجوات التي تصل سالب المصدر .تنتج هذه الحركة لحوامل الشحنات بتاثير الحقل الكهربائي الخارجي الناتج عن المصدر . ان طريقة توصيل اقطاب المصدر مع اطراف الديود بهذا الشكل (+ موجب على p و- سالب على n) تسمى طريقة الاستقطاب الامامي (يكون فية الدايود كانما short circuit) .



الشكل (١٥)

- **الانحياز (الاستقطاب) العكسي (reverse biasing)**

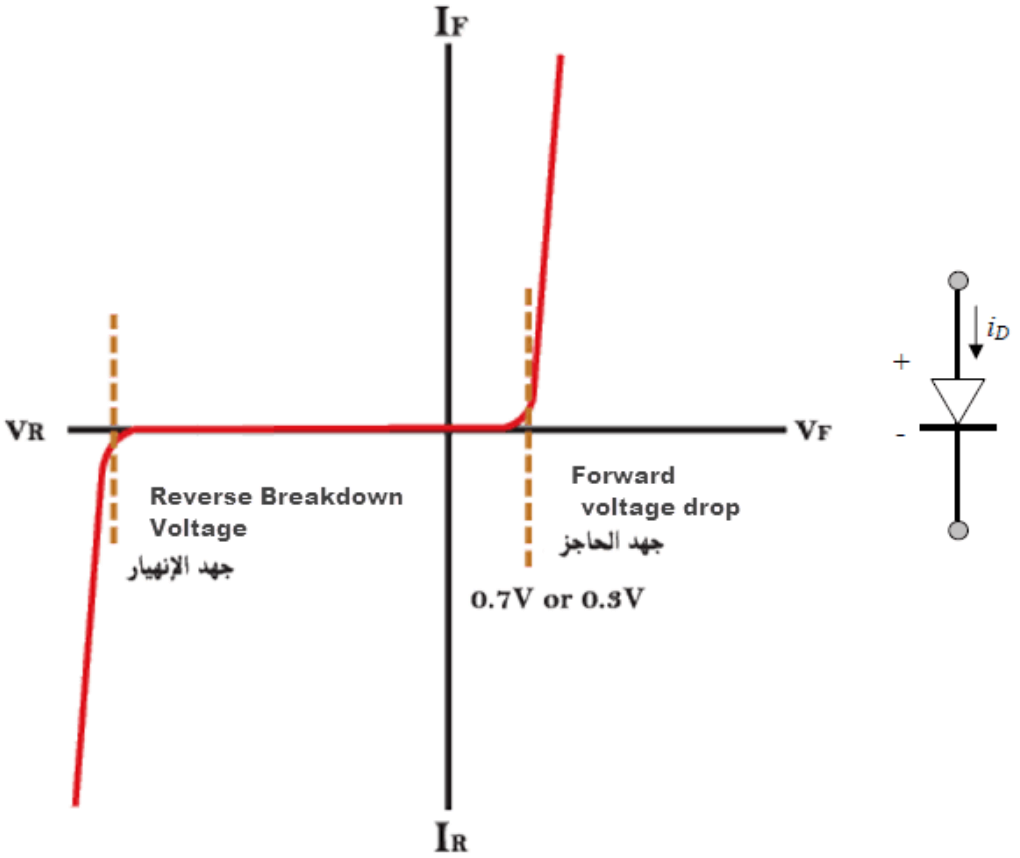
لا يسمح الدايود بمرور التيار عبره في حالة عكس توصيل مصدر الفولتية بحيث يوصل الطرف السالب للمصدر بطرف المصعد (Anode) للدايود وتوصيل الطرف الموجب للمصدر بطرف المهبط (Cathode) للدايود ، فيعمل كأنه مفتاح مفتوح ولا يمرر التيار وتسمى هذه العملية بالتوصيل العكسي (reverse biasing) والشكل (١٦) يوضح ذلك .



الشكل (١٦)

وهنا لابد ان نذكر انه لا تتحقق ميزة تمرير التيار في اتجاه واحد في الدايود عندما يكون الانحياز الامامي الا اذا كان جهد المصدر الموصول مع الدايود اكبر من قيمة معينة وهذه القيمة تختلف مع اختلاف المادة المصنوع منها الدايود ففي الدايودات المصنوعة من السيليكون تكون هذة القيمة تساوي (0.7v). فاذا كان جهد المصدر الموصول مع الدايود اصغر من هذه القيمة فان الدايود لن يمررالتيار حتى اذا كان انحيازاً امامياً، تسمى هذه القيمة للجهد باسم جهد **عتبة التمرير** وقد يبدو للوهلة الاولى ان جهد عتبة التمرير هو احدى سلبيات الدايود، الا ان هذا الجهد يصبح مفيداً جداً في التطبيقات حيث يعمل الدايود كمفتاح حساس للجهد (voltage – sensitive switch). تحتاج الدايودات المصنعة من الجرمانيوم الى جهد اصغر قدرة تقريباً (0.2v) كي تمرر التيار اذا كان انحيازها امامياً ، اي ان جهد عتبة التمريرللدايود الجرمانيوم يساوي (0.3v) . والشكل (١٧) يبين العلاقة بين التيار والجهد في دايودات السيليكون والجرمانيوم .

المحاضرة الرابعة



الشكل (١٧)

الدايود من الناحية العملية في معظم التطبيقات يتم تجاهل 0.7v (voltage drop) عند توصيلة في الانحياز الامامي ويتم التركيز على خصائص التيار والجهد الكهربائي له في كلاً من حالتي الانحياز الامامي والانحياز االعكسي حيث يعتبر في الانحياز الامامي (ON) وفي الانحياز العكسي (OFF).

- **انواع الدايود (Types of diode)**

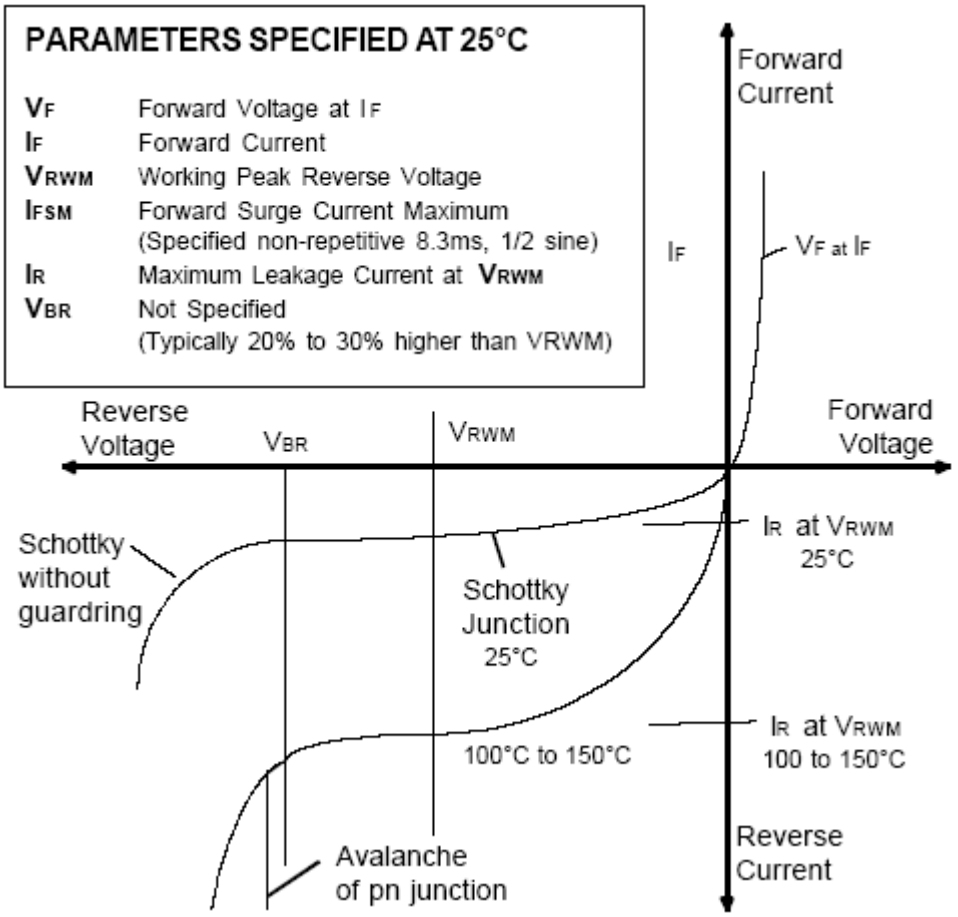
يوجد انواع اخرى من الدايودات والتي لها تطبيقات واستعمالات خاصة تختلف في خواصها عن الدايود شبة الموصل العادي منها :

١- دايود زينر (Zener Diode) : يستخدم لتثبيت الجهد .
٢- دايود ذات السعة المتغيرة (Varactor Diode) : يستخدم مع الدوائر الالكترونية ككشاف متغير السعة .
٣- الدايود النفقي (Tunnel Diode) : يستخدم مع الترددات العالية حيث يستخدم كمكبر ومولد اشارات .
٤- الدايود الضوئي (Photo Diode) : يستخدم في كاشفات الضوء .
٥- الدايود الباعث للضوء LED (Light Emitting Diod): يستخدم كمصدر لارسال معلومات للاتصالات الضوئية وكذلك اظهار الارقام والاحرف والاشارات والرموز .

وهناك انواع اخرى من الدايودات تستخدم في مجال الترددات العالية لتوليد اشارات في مجال الترددات التي تصل الى 100GHz وهناك ايضا دايودات القدرة المنخفضة والمرتفعة .

PARAMETERS SPECIFIED AT 25°C

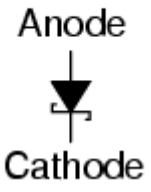
V_F	Forward Voltage at I_F
I_F	Forward Current
V_{RWM}	Working Peak Reverse Voltage
I_{FSM}	Forward Surge Current Maximum (Specified non-repetitive 8.3ms, 1/2 sine)
I_R	Maximum Leakage Current at V_{RWM}
V_{BR}	Not Specified (Typically 20% to 30% higher than VRWM)



ثنائي شوتكي :

هـذه الثنائيـات تُسـتَعملُ لتقويم التيار المتناوبِ إلى التيـارِ المسـتمر . وذلـك عنـدما يكـون تـردّدَ التيـار المتناوبِ عالي جدا

Schottky diode



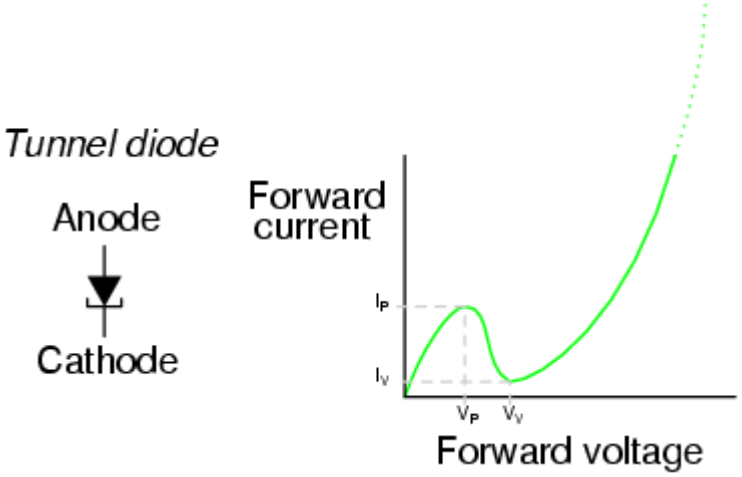
الثنائي النفقي Tunnel diodes :

يصنع الثنائي النفقي بشكل عام من الجرمانيوم وتكون مساحة الوصلة في منطقة الكمون الحاجز صغيرة .

يتصرف الثنائي النفقي في التوصيل العكسي تماماً كالثنائي العادي ، أما في التوصيل العكسي فانه يتصرف بطريقة مختلفة يبينها منحني الخواص .

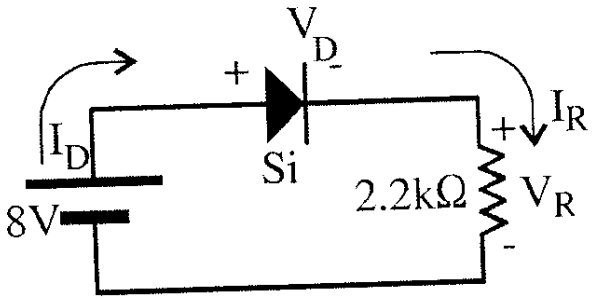
ضمن مجال محدد يتناقص التيار الأمامي مع ازدياد الكمون الأمامي المطبق أي أن الثنائي النفقي يبدي مقاومة سالبة ضمن هذا المجال المحدد .

يستخدم الثنائي النفقي كثيراً في دارات المذبذبات ذات الترددات العالية جداً ويكون دائماً في التوصيل الأمامي ، وتراعى كثيراً قيمة الكمون العكسي المطبق للحصول على مقاومة سالبة .



مثال (١)

من دائرة الموضحة في الشكل لدايود مصنوع من مادة السيليكون . اوجد I_D , V_R , V_D

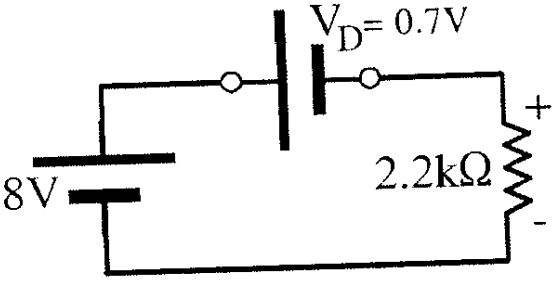


الحل:

الفولتية على الدايود المصنوع من السيليكون كما هو معروف لدينا هو ($V_D = 0.7$ V) .

وبتطبيق قانون كيرشوف الثاني على الدائرة نحصل على

$$E - V_D - V_R = 0$$



$$V_R = E - V_D = 8 - 0.7 = 7.3 \text{ V}$$

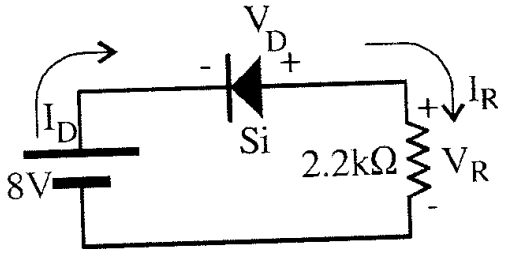
وبتطبيق قانون اوم $I = \frac{V}{R}$ نحصل على

$$I_D = I_R = \frac{7.3}{2.2\times10^3} = 3.32\text{mA}$$

مثال (2)

اذا تم استبدال اتجاة توصيل الدايود في المثال السابق كيف ستكون نتائج المطاليب ؟

الحل:



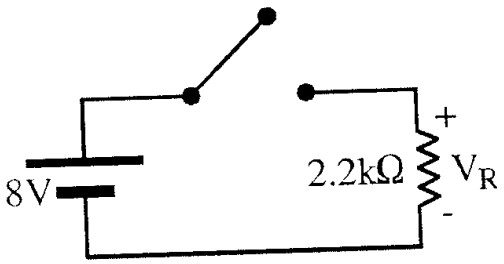
بما ان الدايود بحالة الانحياز العكسي فأنه لا يمرر التيار اي انة كأنما تكون الدائرة مفتوحه (*open circuit*)

$$I_D = 0\ A\ , I_R = 0A$$

$$V_D = E - V_R = E - I_R R$$

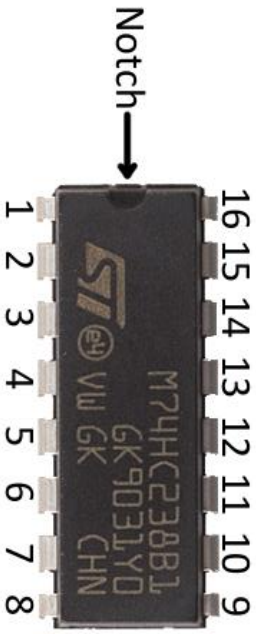
$$=8 - (0)(2.2)= 8V$$

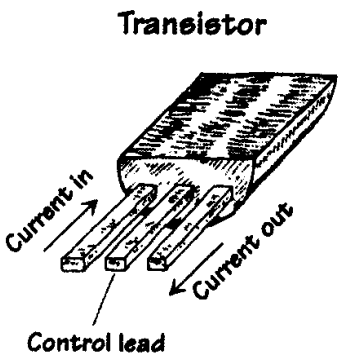
$$\therefore V_D = E = 8V$$

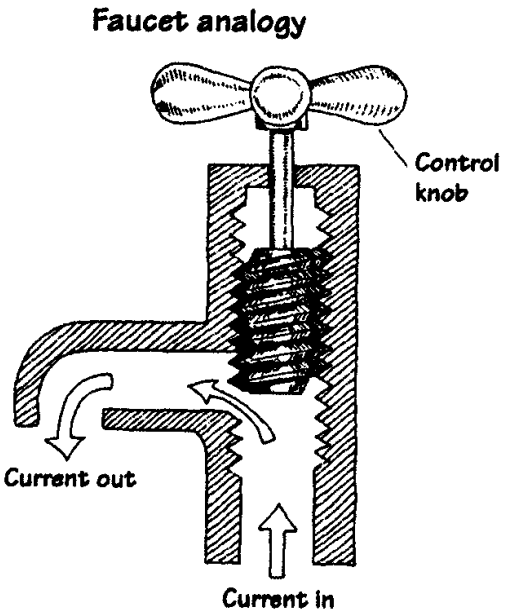


٣,٤- الترانزستور (Transistor)

هو عنصر اليكتروني يصنع من اشباه الموصلات (وهي التكنولوجيا الصغيرة التي غيرت العالم) ويستخدم اما كمفتاح متحكم به كهربائياً او كمضخم ويمكن التحكم بالتيار المار في الترانزستور بطريقة مشابهة لطريقة التحكم بالماء المتدفق عبر صنبور (حنفيه) . يمكن التحكم بالماء المتدفق عبر الصنبور بواسطة لولب الصنبور ، اما في الترانزستور فيتم التحكم بالتيار بواسطة جهد او تيار تحكم صغير يسلط على طرف (lead) التحكم القاعدة (base) (B) وتكون قليلة التشويب (lightly doped) فيتم التحكم بتيار كبير يمر بين الطرفين الاخرين للترانزستور الجامع (collector) (C) ويكون متوسط التشويب (moderately doped) والباعث (emitter) (E) ويكون عالي التشويب (heavily doped) . كما يمكن ان تجمع مجموعة من الترانزستور بصورة مخفية بقطعة الكترونية واحدة وتكوين دائرة الكترونية متكاملة (Integrated Circuit) (IC) كما موضح في الشكل (١٨) .







Integrated Circuit

الشكل (١٨)

تتوفر انواع مختلفة من الترانزستور وتختلف فيما بينها في بعض مواصفات تيار التحكم فبعض الترانزستورات تمتلك ميزة التحكم التياري المتغير وبعضها الاخر لا يمتلك هذه الميزة وبعض الترانزستورات تكون عادة في حالة قطع حتى يسلط على طرف تحكم الترانزستور جهد، اما البعض الاخر فبالعكس يكون في حالة عمل حتى يسلط جهد على طرف التحكم . وعندما يكون الترانزستور في حالة عمل يمر تيار عبر الترانزستور ولكن مقدار هذا التيار يختلف من حالة الى اخرى . تحتاج بعض الترانزستور كي تصبح في حالة عمل الى تسليط جهد على طرف التحكم وبنفس الوقت لابد من مرور تيار في طرف التحكم مع وجود الجهد المسلط على طرف التحكم بينما يكفي تسليط الجهد على طرف التحكم كي يعمل الترانزستور في انواع اخرى ، كما ان جهد التحكم المطلوب يكون موجب في بعض الانواع وسالب في انواع اخرى .

العائلات الأساسية للترانزستورات هي عائلة الترانزستورات ثنائية القطبية (bipolar junction transistors) والتي تختصر (BJT) والترانزسترات الحقلية (field-effect transistors) والتي يرمز لها بشكل مختصر بالرمز (FETs) .الفرق الأساسي بين هاتين العائلتين هو ان الترانزستورات ثنائية القطبية تحتاج الى تيار انحياز في الدخل ، اما ترانزستورات FET فتحتاج فقط الى جهد ، وعملياً لا تحتاج الى تيار في الدخل،

المحاضرة الرابعة

وتعتمد الترانزستورات ثنائية القطبية في عملها على حركة نوعي حوامل الشحنات (الالكترونات والجوات) ولذلك تسمى ترانزستورات ثنائية القطبية، اما الترانزستورات الحقلية فتعتمد في مبدأ عملها على حركة نوع واحد من حوامل الشحنات . بما ان الترانزستورات الحقلية لا تستهلك في الداخل اي تيار، لذلك يمكن اعتبار ممانعة دخلها (input impedance) عالية جداً، وهذا يعني ان قطب التحكم للترانزستور الحلقي لن يكون له اي تأثيرعلى مصدر القيادة الذي يقود الترانزستور الحلقي (لان التاثير يكون ناتجا عن التيار المستهلك وهنا كما ذكرنا لا يوجد تيار مستهلك). في الترانزستورات ثنائية القطبية يمكن ان يستهلك طرف التحكم تياراً صغير من دائرة القيادة فيؤثر على ديناميكية عمل دائرة القيادة .

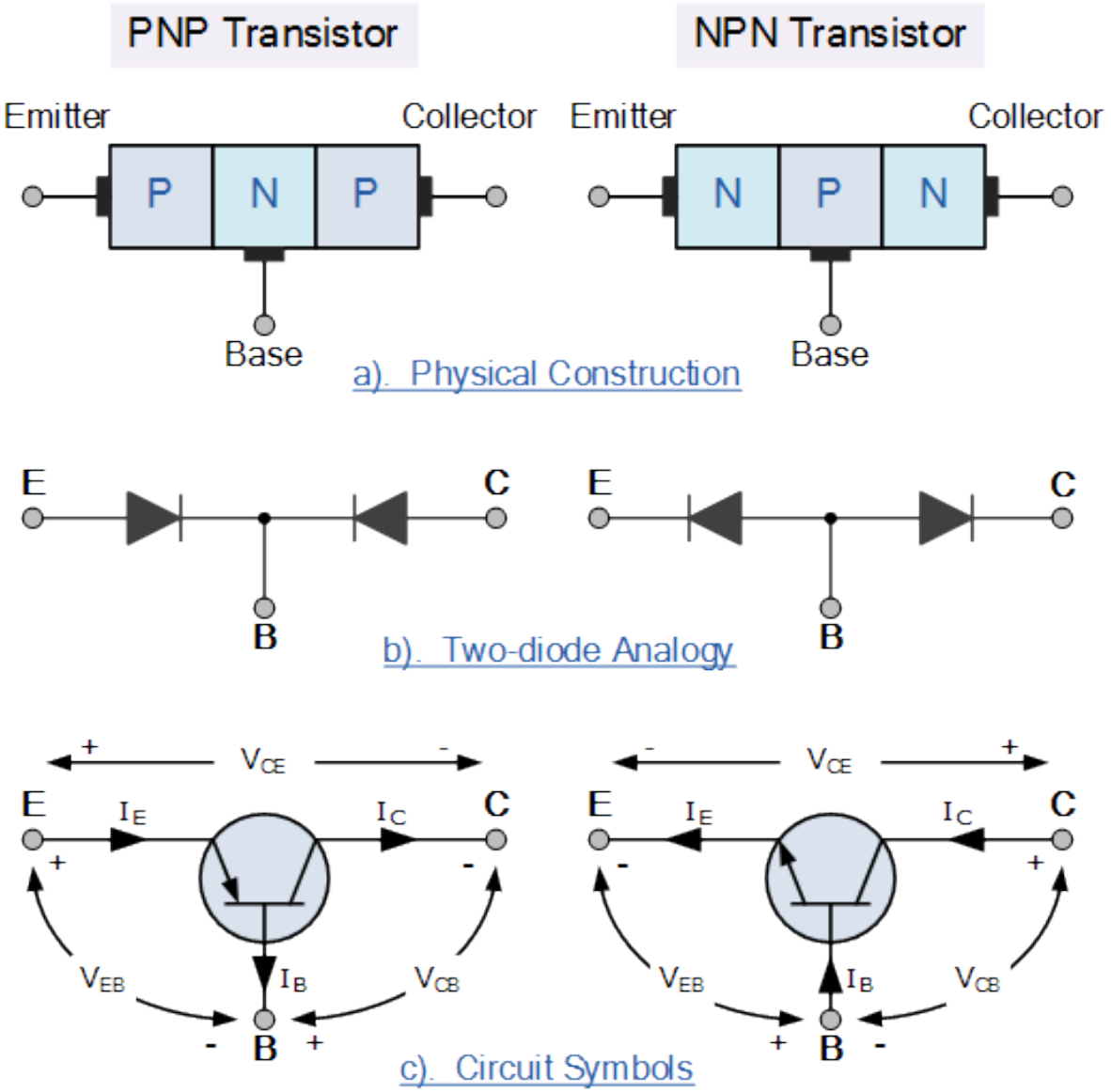
تعتبر ترانزستورات FET اكثر انتشارا في التطبيقات هذه الايام وذلك بالمقارنة مع ترانزستورات ثنائية القطبية وذلك بسبب ميزات الترانزستورات الحقلية ، فالترانزستورات الحلقية تمتاز عن ترانزستورات ثنائية القطبية بالميزات التالية:

- لا تستهلك تياراً في طرف الدخل.
- عملية انتاجها اسهل من الترانزستورات ثنائية القطبية.
- كلفة انتاجها ارخص (لانها تحتاج حجماً اقل من السيليكون) وبالتالي فان حجمها يمكن ان يكون صغيراً جداً مما يجعلها ملائمة لتصنيع الدوائر الالكترونية المتكاملة (IC).

احد ابرز سلبيات الترانزستورات الحقلية هو انخفاض قيمة ناقليتها التبادلية (tranceconductance) مقارنة مع الترانزستورات ثنائية القطبية وذلك عند نفس مستويات التيارات ، ولذلك فان ربح الجهد لن يكون كبيراً كما هي الحال عند استخدام ترانزستورات ثنائية القطبية . نادراً ما تستخدم الترانزستورات الحقلية في دوائر المضخمات البسيطة (simple amplifiers)، الا اذا كان ممانعة الدخل العالية جداً وتيار الدخل المنخفض من اهم المتطلبات الواجب تحقيقها في المضخم .

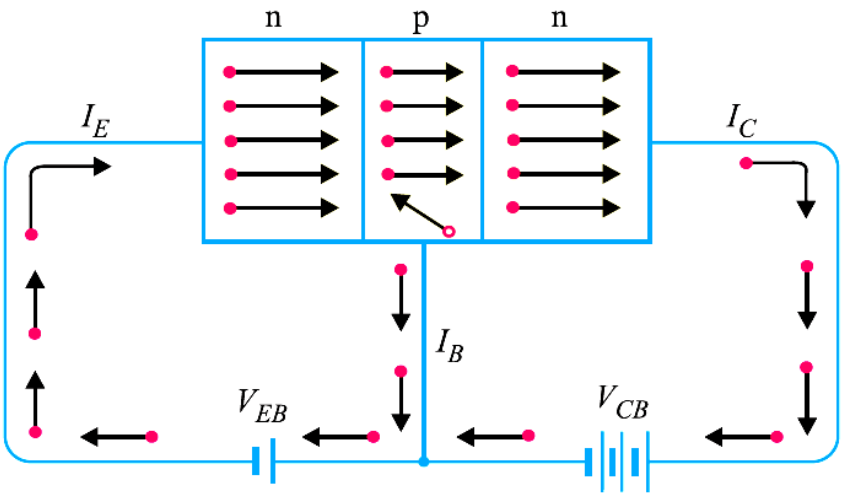
A .3.4- ترانزستورات ثنائية القطبية (Bipolar junction transistors)

هي عبارة عن عناصر ذات ثلاث اقطلب ويمكن استخدامها كمفاتيح يتحكم بها كهربائياً او كمضخمات وتتوفر هذه الترانزستورات بنوعين (npn) و (pnp) كما في الشكل (١٩) .وجاءت تسمية ثنائي القطبية اي انة يعتمد في مبدأ عمله على الالكترونات والفجوات معاً .



الشكل (١٩)

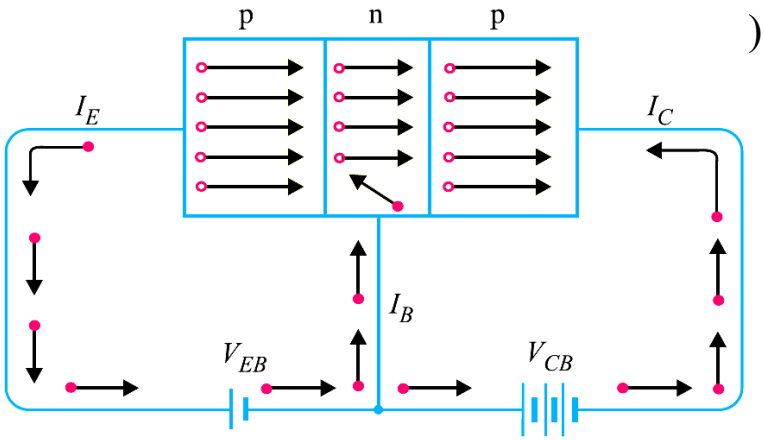
مبدأ العمل لكلاهما واحدى فقط الاختلاف في الانحياز (biasing) وقطبية مصدر الطاقة المسلطة عليها . ففي الترانستور **(npn)** تكون حاملات الاغلبية للشحنة التي تقوم بعملية التوصيل الكهربائي هي **الالكترونات التي تتحرك من الباعث الى الجامع** . فاذا سلط جهد انحياز موجب على طرف قاعدة الترانزستور (B) بحيث تصبح القاعدة (B) موجبة بالنسبة للباعث (E) فيمر التيار عبر القاعدة ويسمح هذا التيار الصغير بالتحكم بتيار اكبر يمر في دائرة الباعث (emitter) - المجمع (collector). كما موضح في الشكل (٢٠) .



Basic connection of *npn* transistor

الشكل (٢٠)

اما في الترانزستور **(pnp)** تكون حاملات الاغلبية للشحنة التي تقوم بعملية التوصيل الكهربائي هي ***الفجوات التي تتحرك من الباعث الى الجامع*** . كما موضح في الشكل (



Basic connection of *pnp* transistor

الشكل (٢١)

المحاضرة الرابعة

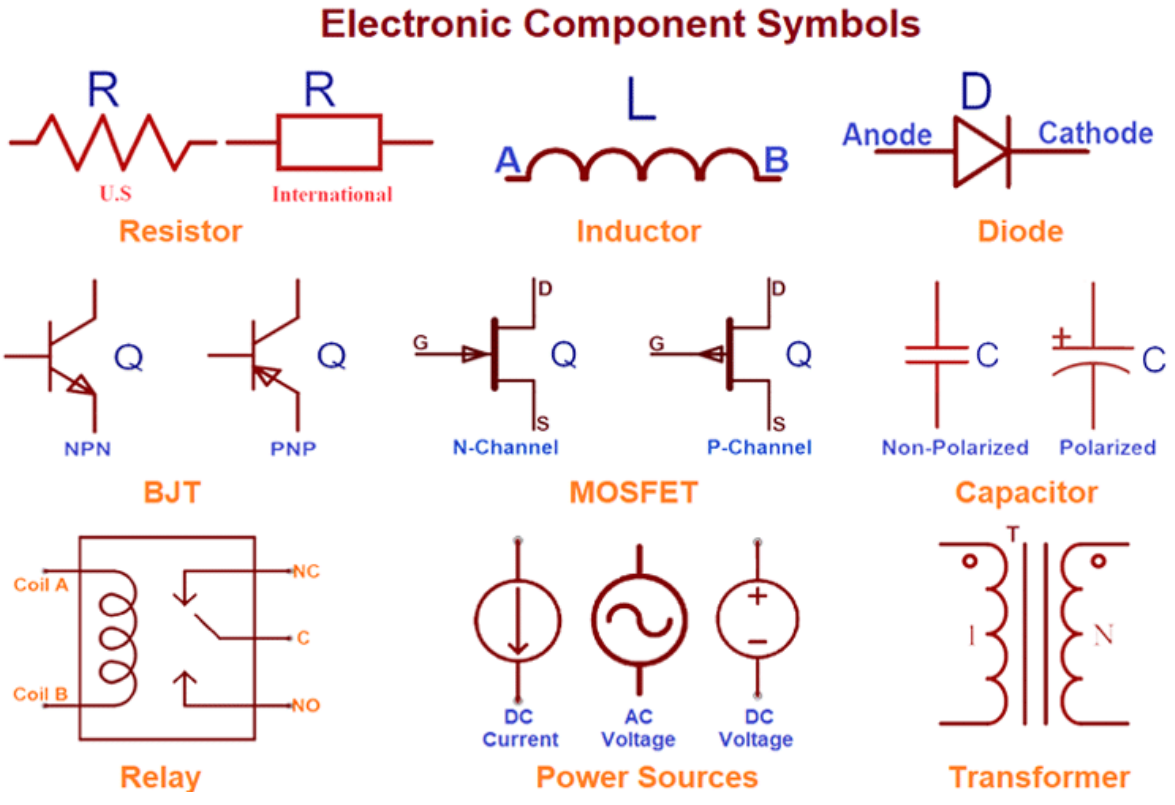
ملاحظة (١)

- تيار الجامع (I_C) يكون دائماً اقل من تيار الباعث (I_E) بمقدار تيار القاعدة (I_B) وذلك بسبب حصول عملية اعادة الالتحام التي تحصل في منطقة القاعدة بين الفجوات والالكترونات .
- تيار القاعدة (I_B) يكون صغيراً جداً نسبة لتيار الباعث (I_E) لان منطقة القاعدة رقيقة ونسبة تطعيمها بالشوائب قليلة .
- اذا كان تيار القاعدة (I_B) يساوي مثلاً ١٪ من تيار الباعث (I_E) فيكون تيار الجامع (I_C) حوالي ٩٩٪ من تيار الباعث (I_E) .
- انحياز طرف الباعث يكون انحياز امامي . اما انحياز طرف الجامع فيكون انحياز عكسي .
- الانحياز الامامي للباعث نسبة للقاعدة ينتج عنة ممانعة واطئة (الباعث – القاعدة) وذلك بسبب تضيق منطقة الاستنزاف وتقليل جهد الحاجز بينهما .

الانحياز العكسي للجامع نسبة للقاعدة ينتج عنة ممانعة عالية (الجامع– القاعدة) وذلك بسبب اتساع منطقة الاستنزاف ويزداد جهد الحاجز بينهما .

الكترونيك

ELECTRONIC



م.م احمد كريم سمير

م.م أيوب يوسف احمد

كلية التربية الأساسية حديثة

- **طرق توصيل الترانزستور(Bipolar junction Transistor (Connections**

الترانزستور ثنائي القطب هو عنصر له ثلاث اطراف فمن البديهي ان تكون هناك ثلاث طرق لربط هذا الترانزستوربحيث يكون احد الاطراف مشترك بين المدخل (inlet) والمخرج (outlet) للدائرة الالكترونية وهي :

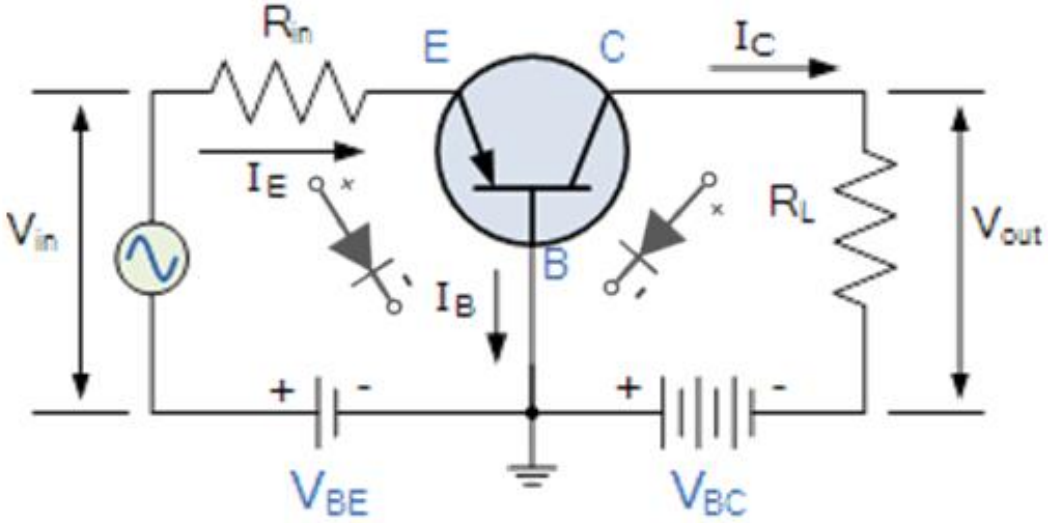
- القاعدة المشتركة (Common Base Connection) .
- الباعث المشترك (Common Emitter Connection) .
- الجامع المشترك (Common Collector Connection) .

ملاحظة (٢)

من اساسيات عمل الترانزيستور كمضخم (as amplifier) يجب ان نحقق شرطين معاً . اولهما ان تكون وصلة القاعدة الجامع في حالة الانحياز العكسي (BC-Junction in reversed biasing) . الشرط الثاني ان تكون وصلة القاعدة الباعث في حالة الانحياز الامامي (BE-Junction in forward biasing).

ـ القاعدة المشتركة (Common Base Connection)

من اسمها توحي ان القاعدة مشتركة التوصيل بين اشارة الداخلة للدائرة مع الاشارة الخارجة من الدائرة . حيث ان الاشارة الداخلة تسلط بين طرفي القاعدة و طرف الباعث. بينما بالمقابل تاخذ الاشارة الخارجة بين طرفي القاعدة وطرف الجامع .



الشكل (٢٢) دائرة ترانزستور نوع pnp ذوالقاعدة المشتركة

المحاضرة الخامسة

حيث يتميز هذا انوع بان ممانعة دائرة الدخول تكون صغيرة جداً كونها بحالة (الانحياز الامامي) اما ممانعة دائرة الخروج فتكون كبيرة جداً كونها بحالة (الانحياز العكسي) وبهذا ينتج ان التيار الداخل يمر خلال طرف الباعث كبير لحد ما بنسبة لمجموع تياري القاعدة والجامع اي ان $(I_E = I_C + I_B)$. التيار الخارج من الجامع اقل من التيار الداخل للباعث وهذا ينتج ان يكون الربح"١" وحدوي او اقل اي انة لا يوجد ربح للتيار بهذا النوع من التوصيل .فاذا طبقنا الشرطين في الملاحظة (٢) السابقة نلاحظ ان الشرطين متحققة وبهذا يكون عمل الترانزستور بهذه الحالة هو كمضخم . بينما يمكن ايجاد ربح الفولتية (A_v voltage gain) من العلاقة التالية ويكون كبيراً.

$$A_v(voltage\ gain) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{I_C \times R_L}{I_E \times R_{in}}$$

معامل تكبير التيار (current amplification factor) او ربح التيار ويرمز له بالرمز (α)

$$\alpha(current\ gain) = \frac{I_C}{I_E} < 1$$

$$G(power\ gain) = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

وتكون ربح القدرة متوسط القيمة وذلك لان

$$G(power\ gain) = \alpha(current\ gain) \times A_v(voltage\ gain)$$

حيث ان

$(\frac{R_L}{R_{in}})$ هو ربح المقاومة (resistance gain)

هذا النوع من التوصيل للترانزستور يستخدم بصورة عامة في مراحل تضخيم الاشارة مثل المايكرفون او تضخيم الترددات الراديوية لان لها استجابة عالية وجيدة للترددات .

المحاضرة الخامسة

مثال (٣)

في دائرة الترانزستور كمضخم ذي القاعدة المشتركة اذا علم ان : ربح القدرة G=768 ، تيار الباعث 3mA ، وربح الفولتية $A_v = 784$ جد تيار القاعدة ؟ مع اهمال تيار التسريب للجامع .

الحل:

$$G = \alpha \times A_v \implies \alpha = \frac{G}{A_v} = \frac{768}{784} = 0.98$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \implies I_C = \alpha \times I_E = 0.98 \times 3 = 2.94\text{mA}$$

$$I_E = I_C + I_B \implies I_B = I_E - I_C = 3 - 2.94 = 0.06\ \text{mA}$$

مثال (٤)

في دائرة الترانزستور ذي القاعدة المشتركة اذا علم ان : تيار الباعث 3mA وتيار الجامع 2.98mA ومقاومة الدخول 500Ω ومقاومة الخروج 400KΩ جد ربح التيار وربح الفولتية ؟ مع اهمال تيار التسريب للجامع .

الحل:

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{2.94}{3} = 0.98$$

$$\text{V}_{in} = I_E R_{in} = 3 \times 10^{-3} \times 500 = 1.5\ \text{volt}$$

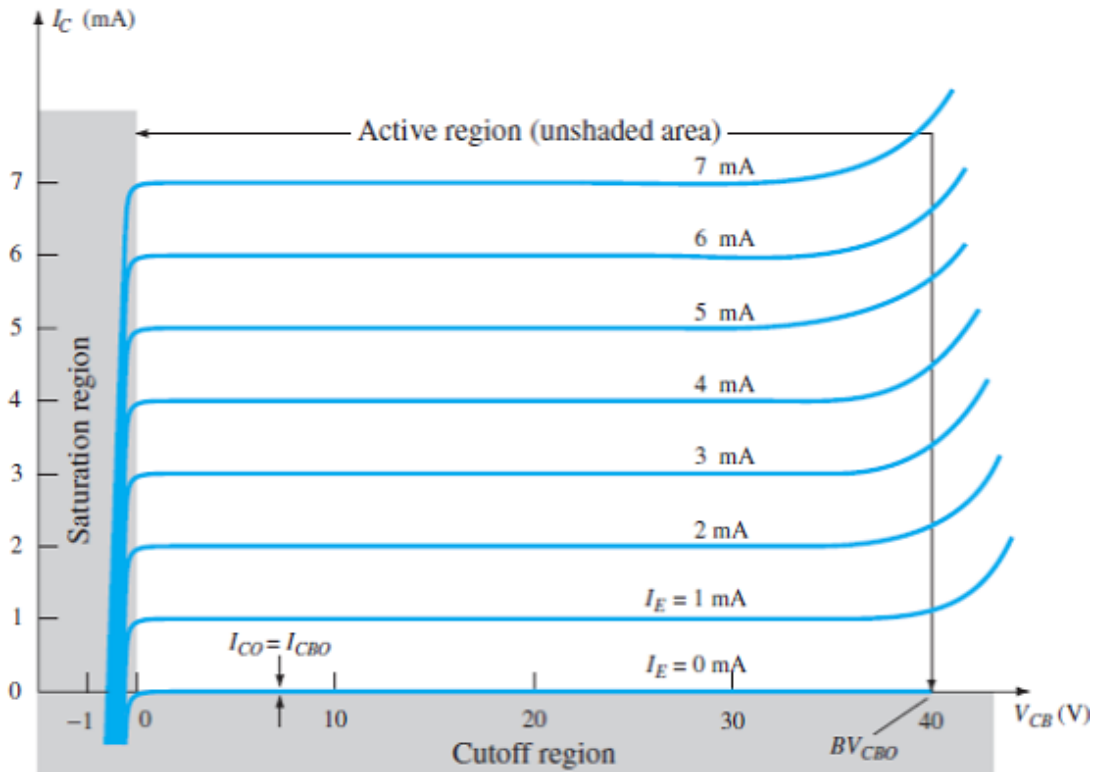
$$\text{V}_{out} = I_C R_{out} = 2.94 \times 10^{-3} \times 400 \times 10^{3} = 1176\ \text{volt}$$

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1176}{1.5} = 784$$

لدراسة خصائص الترانزستور(characteristics of transistor) في الدائرة نحتاج معرفة مجموعتين من الخصائص :

a- منحنى خصائص الخرج (Output Characteristics)

وهي رسم بياني يمثل العلاقة بين فولتية الخرج (V_{CB}) وتيار الخرج عند قيم ثابتة لتيار الدخل (I_E) وتقسم خصائص الخرج الى ثلاث مناطق :



الشكل (٢٣) منحنى خصائص الخرج لترانزستور مشترك القاعدة

- **المنطقة الفعالة (Active Region)**

في هذه المنطقة تكون وصلة الجامع – القاعدة (دائرة الخرج) منحازة عكسياً . ووصلة الباعث – القاعدة (دائرة الدخل) منحازة امامياً. نلاحظ من المنحنى ان تيار الجامع يزداد بزيادة تيار الباعث كما نلاحظ ان تاثير(V_{CB}) على تيار الجامع (I_C) صغير جداً يمكن اهماله ويستخدم الترانزستور في هذه المنطقة لتكبير الاشارات .

- **منطقة القطع (Cut-off Region)**

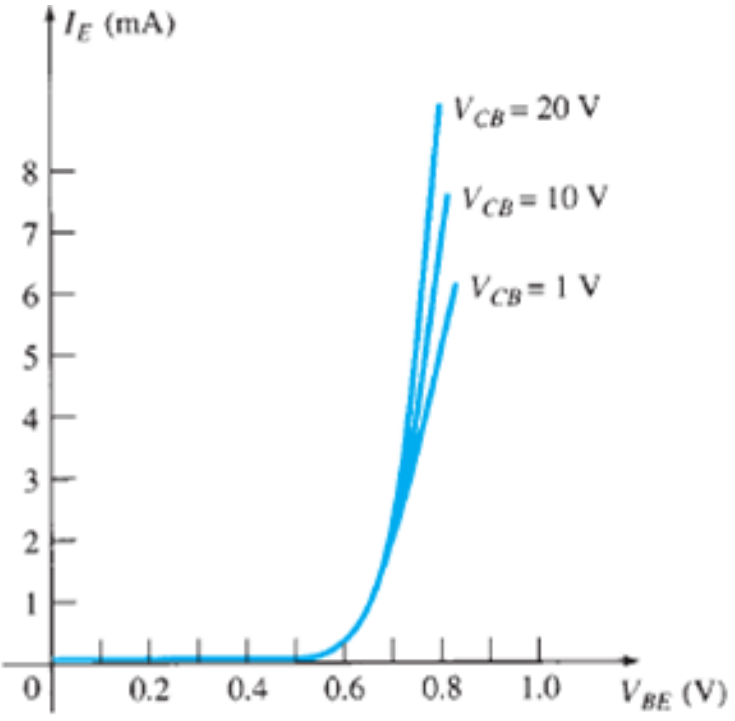
في هذه المنطقة تكون وصلة الباعث – القاعدة (دائرة الدخل) منحازة عكسياً . ووصلة الجامع – القاعدة (دائرة الخرج) منحازة عكسياً . تيار الجامع (I_C) يساوي تيار التشبع العكسي عندما يكون تيار الباعث (I_E) مساوياً للصفر . يستخدم الترانزستور في هذه المنطقة كمفتاح قطع (Switch Off) .

- **منطقة التشبع (Saturation Region)**

في هذه المنطقة تكون وصلة الباعث – القاعدة (دائرة الدخل) منحازة امامياً . ووصلة الجامع – القاعدة (دائرة الخرج) منحازة امامياً ايضاً. لا يزداد تيار الجامع (I_C) بزيادة تيار الباعث (I_E) . ويستخدم الترانزستور في هذه المنطقة كمفتاح وصل (Switch On) .

b- منحنى خصائص الدخل (Input Characteristics)

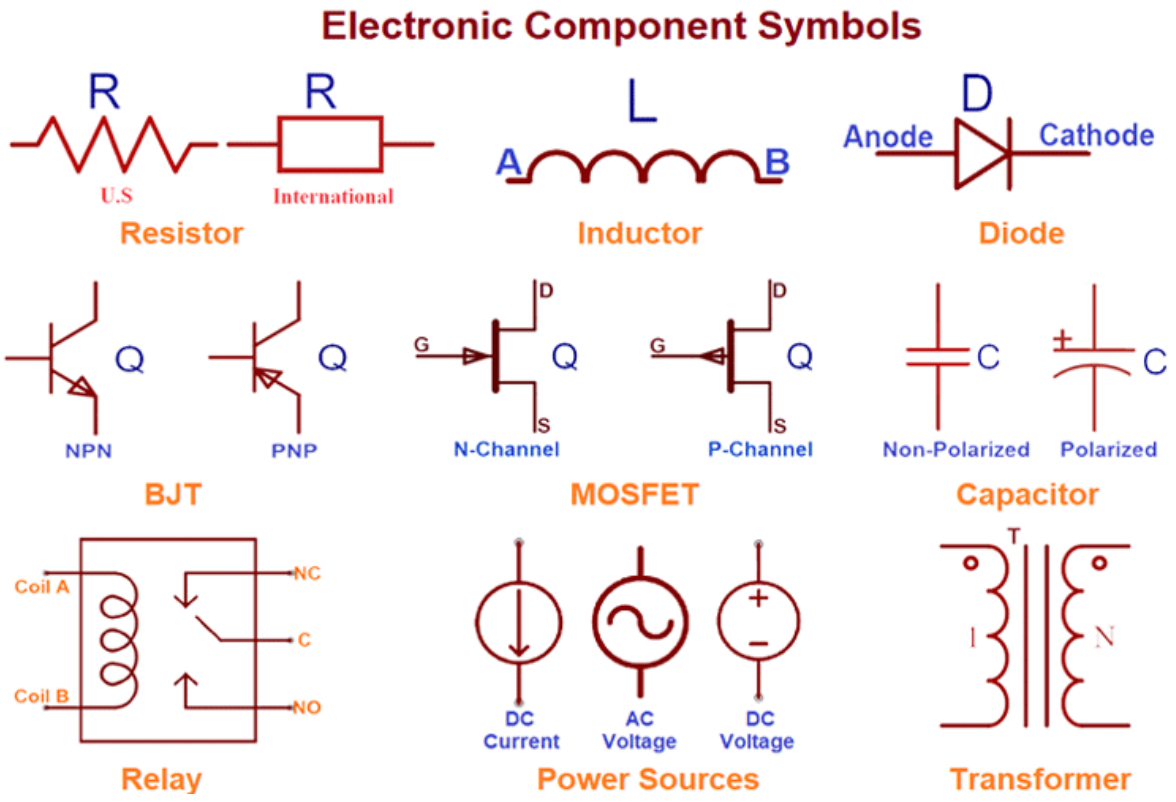
وهو رسم بياني يمثل العلاقة بين فولتية الدخل (V_{EB}) وتيار الدخل (I_E) عند قيم ثابتة لفولتية الخرج (V_{CB}) يظل تيار الباعث (I_E) صغير جداً الى ان تتغلب فولتية الدخل (V_{EB}) على جهد الحاجز وبعدها يزداد تيار الباعث بزيادة فولتية انحياز دائرة الخرج (V_{CB}) بزيادة تيار الباعث (I_E) عند ثبوت (V_{EB}) كما موضح في الشكل (٢٤) .



الشكل (٢٤) منحنى خصائص الدخل لترانزستور مشترك القاعدة

الكترونيك

ELECTRONIC



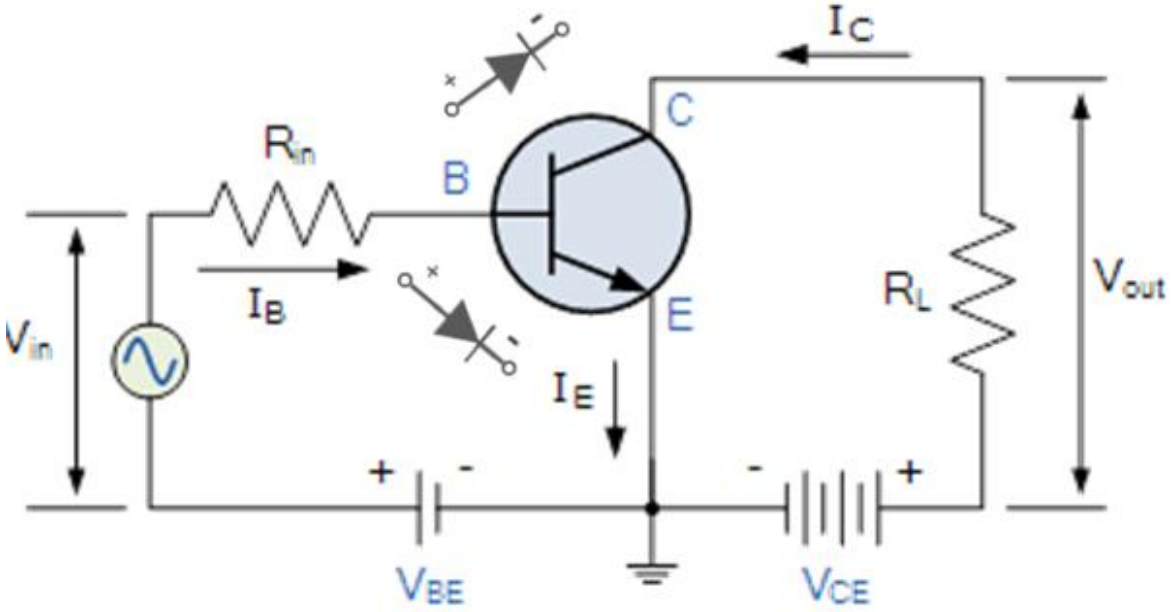
م.م احمد كريم سمير

م.م أيوب يوسف احمد

كلية التربية الأساسية حديثة

- الباعث المشتركة (Common Emitter Connection)

في هذا النوع من التوصيل يكون الباعث مشتركة التوصيل بين الاشارة الداخلة للدائرة مع الاشارة الخارجة من الدائرة . حيث ان الاشارة الداخلة تسلط بين طرفي القاعدة و طرف الباعث. بينما بالمقابل تاخذ الاشارة الخارجة بين طرفي الباعث وطرف الجامع . وكما موضح في الشكل (٢٥) .



الشكل (٢٥) دائرة ترانزستور نوع npn ذوالباعث المشتركة

ان التيار الخارج من الترانزستور يجب ان يساوي للتيارات الداخلة له اي ان

$$I_E = I_C + I_B$$

المقاومة (R_L) الموصولة على التوالي مع طرف الجامع تمثل مقامة الحمل . ربح التياراو معامل تكبير التيار $(\frac{I_C}{I_B})$ في التوصيل(الباعث المشترك) للترانزستور كبير جداً ويرمزله بالرمز الاغريقي Beta (β) . اما نسبة تيار الجامع الى تيار الباعث $(\frac{I_C}{I_E})$ فتسمى Alpha (α) كما يمكن ان نلاحظ ان قيمتها دائما اقل من الواحد. في حين ان العلاقة بين تلك التيارات الثلاثة $(I_B\ ,I_C\ ,I_E)$ تحسب بواسطة البناء المادي للترانزستور نفسة ، فاي تغير في تيار القاعدة (I_B) سوف ينتج عنه تغير كبير في تيار الجامع (I_C) ، بعد ذلك ، سوف تتحكم التغيرات الطفيفة في التيار المتدفق في طرف القاعدة بتيار دائرة (الجامع - الباعث) . عادة بيتا (β) تتراوح قيمتها (٢٠ - ٢٠٠) في معظم عمل الترانزستور للاغراض العامة .

المحاضرة السادسة

لذلك اذا كانت قيمة (β) تساوي (١٠٠) هذا يعني انه يتطلب ان يمر الكترون واحد في طرف القاعدة لكل (١٠٠) الكترون يمر بين طرفي الجامع – الباعث. وادنا ملخص رياضي لعلاقة الفا مع بيتا والتيارات الاخرى .

$$\boldsymbol{\alpha}(\mathbf{Alpha}) = \frac{\boldsymbol{I_C}}{\boldsymbol{I_E}} \qquad , \qquad \boldsymbol{\beta}(\mathbf{Beta}) = \frac{\boldsymbol{I_C}}{\boldsymbol{I_B}}$$

$$\therefore \quad \boldsymbol{I_C = \alpha\, I_E = \beta I_B}$$

كذلك

$$\boldsymbol{\alpha = \frac{\beta}{\beta+1}} \quad , \quad \boldsymbol{\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}}$$

الملخص لما سبق ، ان هذا النوع من التوصيل يمتلك ربح في التيار والقدرة اعلى من توصيل القاعدة المشتركة وكذلك ربح الفولتية عالي . وبذلك يفضل هذا النوع من التوصيل على توصيل القاعدة المشتركة .كما يجدر بالذكر ان هذا النوع هو دائرة مضخمة عاكسة وهذا يعني ان الاشارة التي سنحصل عليها في المخرج تتغير في الطور (١٨٠) درجة عن الاشارة في المدخل .

مثال (5)

في دائرة الترانزستور ذي الباعث المشتركة اذا علم ان : تيار الباعث 0.4mA وتيار القاعدة40μA ومقاومة الدخول 100Ω ومقاومة الخروج 50KΩ جد ربح التيار وربح الفولتية وربح القدرة ؟

الحل:

$$I_C = I_E - I_B = 0.4 \times 10^{-3} - 40 \times 10^{-6} = 360\mu\text{A}$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{360}{40} = 9$$

$$\text{V}_{in} = I_B R_{in} = 40 \times 10^{-6} \times 100 = 4\text{mV}$$

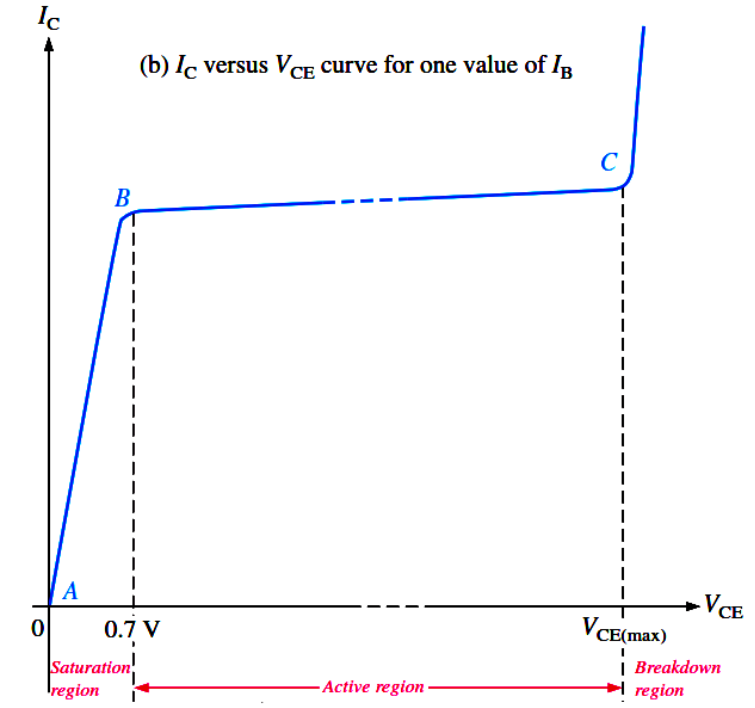
$$\text{V}_{out} = I_C R_{out} = 360 \times 10^{-6} \times 50 \times 10^{3} = 18\,\text{V}$$

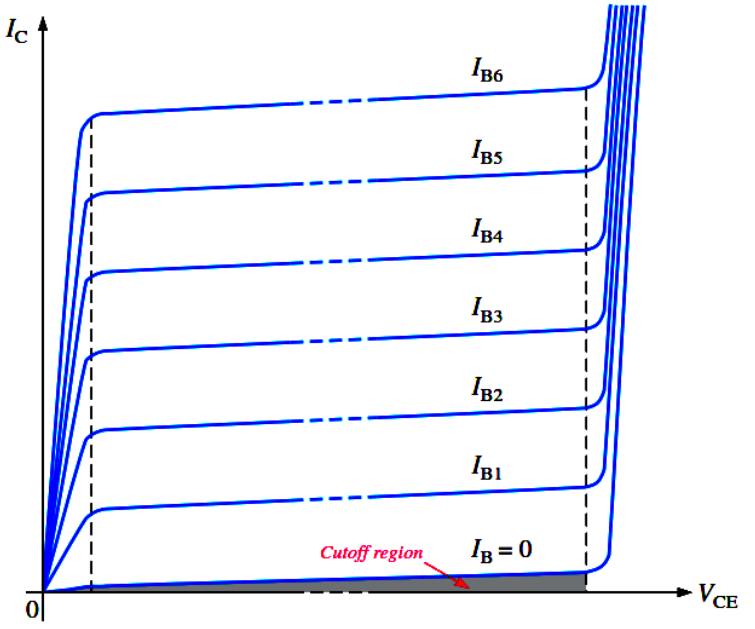
$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{18}{0.004} = 4500$$

$$G = \beta \times A_v = 9 \times 4500 = 40500$$

المحاضرة السادسة

a- منحنى خصائص الخرج (Output Characteristics)





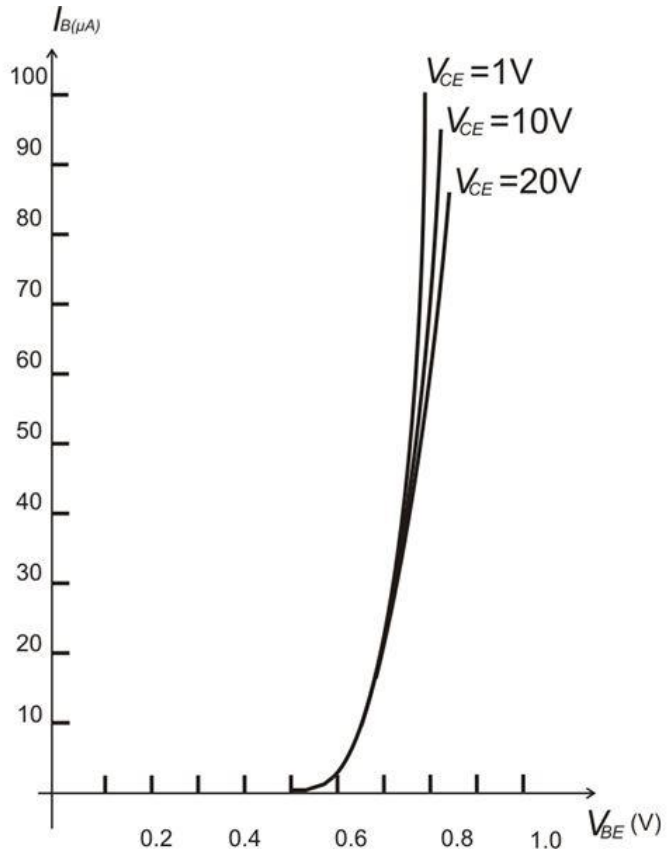
(c) Family of I_C versus V_{CE} curves for several values of I_B ($I_{B1} < I_{B2} < I_{B3}$, etc.)

الشكل (٢٦) منحنى خصائص الخرج لترانزستور مشترك الباعث

- **المنطقة الفعالة :** يعمل فيها الترانزستور كمكبر اشارة .
- **منطقة القطع :** يعمل فيها الترانزستور كمفتاح قطع (Off) .
- **منطقة التشبع :** يعمل فيها الترانزستور كمفتاح وصل (On) .

b- منحنى خصائص الدخل (Input Characteristics)

هو رسم بياني يمثل العلاقة بين فولتية الدخل (V_{BE}) وتيار الدخل (I_B) عند ثبوت فولتية الخرج (V_{CE}) .



الشكل (٢٧) منحنى خصائص الدخل لترانزستور مشترك الباعث

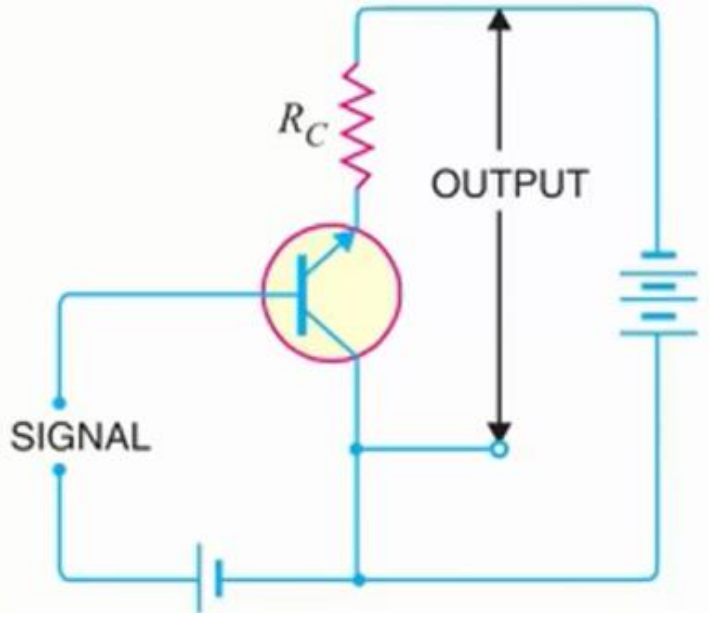
حيث يمكن ان نستنتج من رسمة المنحنى ان

١- المنحنى نفس منحنى خواص الدايود المنحاز انحياز امامي ، فيمكن القول ان وصلة قاعدة – الباعث تعمل عمل الدايود المنحاز امامياً .
٢- تيار القاعدة يزداد مع زيادة فولتية الباعث .

المحاضرة السادسة

- **الجامع المشترك (Common Collector Connection)**

في هذا النوع من التوصيل يكون الجامع مشتركة التوصيل بين الاشارة الداخلة للدائرة مع الاشارة الخارجة من الدائرة . حيث ان الاشارة الداخلة تسلط بين طرفي القاعدة و طرف الجامع . . بينما بالمقابل تاخذ الاشارة الخارجة بين طرفي الباعث وطرف الجامع . وكما موضح في الشكل (٢٨) .



الشكل (٢٨) دائرة ترانزستور نوع npn ذوالجامع المشتركة

وبذلك سيكون معامل التكبير للتيار (ربح التيار) في هذا التوصيل والذي يرمز لة بالرمز الاغريقي كاما (γ) Gamma كما في العلاقة ادناه .

$$\boldsymbol{\gamma(\text{Gamma}) = \frac{I_C}{I_B}}$$

وهنا يمكن ان نلاحظ ان $\boldsymbol{\gamma \cong \beta}$ وذلك لان $\boldsymbol{I_E \cong I_C}$

ولايجاد العلاقة بين $\boldsymbol{\gamma, \alpha}$

$$I_B = I_E - I_C\gamma = \frac{I_C}{I_B} \quad , \quad \alpha = \frac{I_C}{I_E} \quad ,$$

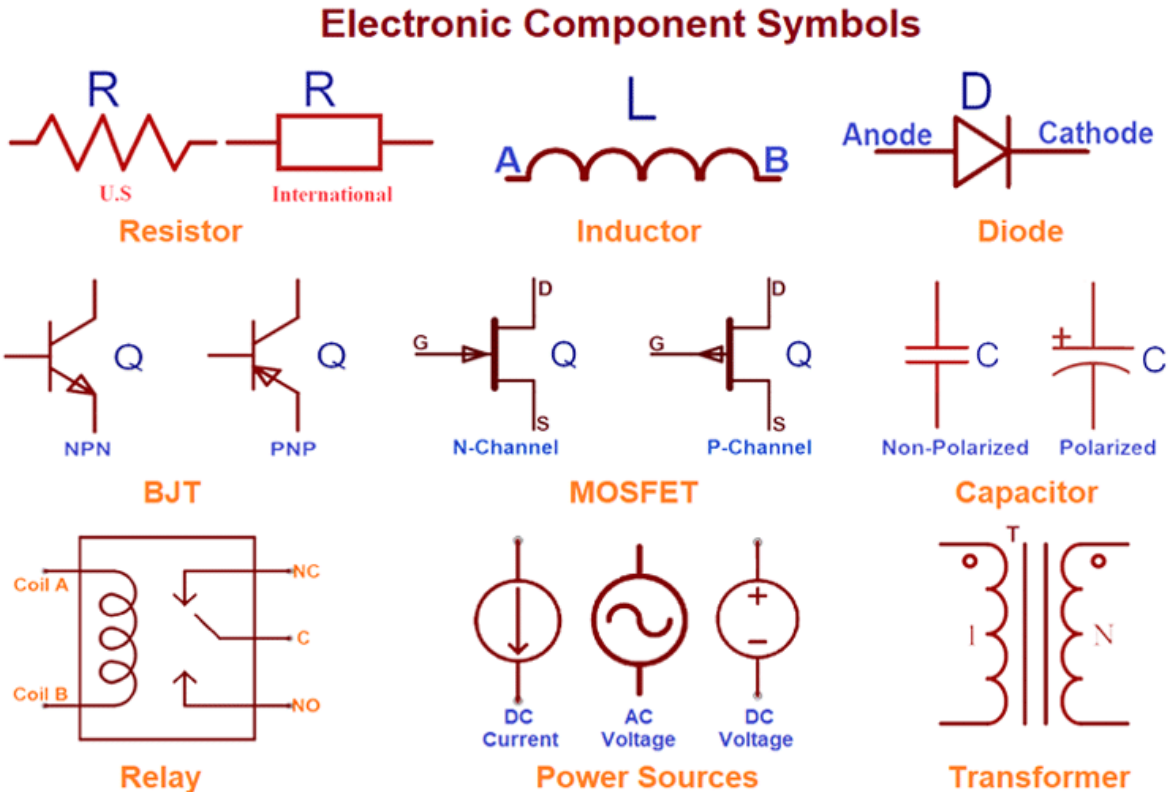
$$\gamma = \frac{I_C}{I_B} = \frac{I_E}{I_E - I_C} = \frac{\frac{I_E}{I_E}}{\frac{I_E}{I_E} - \frac{I_C}{I_E}} = \frac{1}{1-\alpha}$$

$$\boldsymbol{\gamma = \frac{1}{1-\alpha}}$$

تطبيقات توصيل الترانزستور بطريقة الجامع المشترك قليلة جداً وذلك لان مقاومة الدخل تكون عالية جدا بينما مقاومة الخرج تكون واطئة جداً . لذلك الربح في هذة النوع من التوصيل يكون اقل من واحد . لذلك هذا النوع نادراً ما يستخدم لتكبير الاشارة . ولكن يستخدم هذا التوصيل بالدرجة الاولى في دوائر تطابق الممانعات (impedance matching) .

الكترونيك

ELECTRONIC



م.م احمد كريم سمير

م.م أيوب يوسف احمد

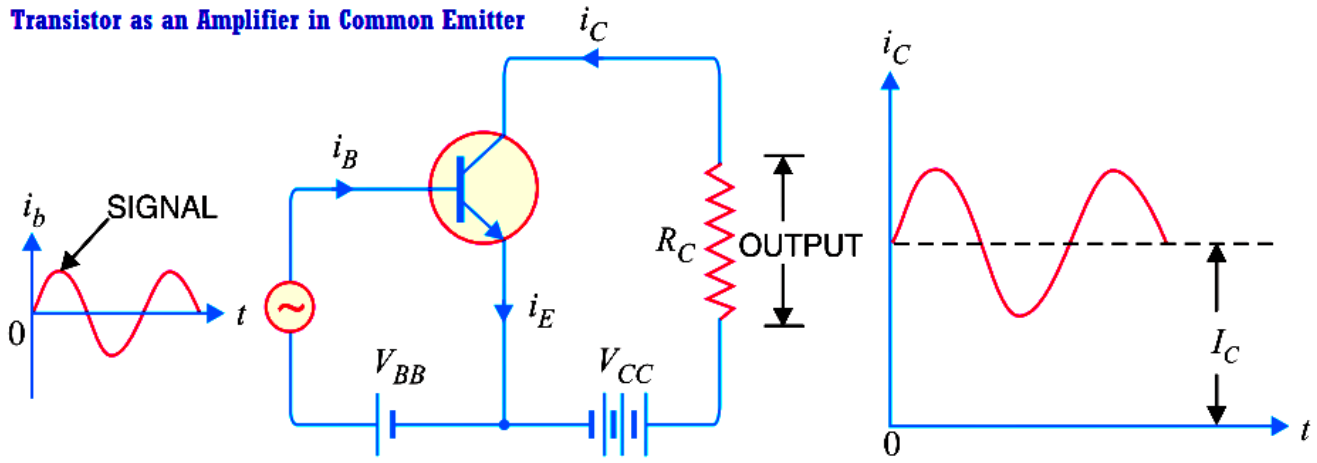
كلية التربية الأساسية حديثة

مقارنة بين توصيلات الترانزستور الثلاث

جامع مشترك	باعث مشترك	قاعدة مشتركة	الخاصية
عالية جداً تقريباً ٧٥٠ اوم	واطئة تقريباً ٧٥ اوم	واطئة تقريباً ١٠٠ اوم	مقاومة الدخل (input resistance)
واطئة تقريباً ٥٠ اوم	عالية تقريباً ٤٥ كيلو اوم	عالية جداً تقريباً ٤٥٠ كيلو اوم	مقاومة الخرج (output resistance)
اقل من واحد	تقريباً ٥٠٠	تقريباً ١٥٠	ربح الفولتية (voltage gain)
تستخدم في تطابق الممانعة for impedance) (matching	تستخدم في تطبيقات الترددات الصوتية	تستخدم في تطبيقات الترددات العالية	التطبيقات
مقبول	عالي (β)	اقل من واحد لايوجد تكبير	التيار

نلاحظ من جدول المقارنة بين التوصيلات الثلاث للترانزستور ان التوصيل الباعث المشترك الاكثر فعالية وكفاءة . حيث انة يتميز بربح عالي للتيار وربح عالي للفولتية وبالتالي ربح عالي للقدرة . ولا ننسى ان نذكر ان نسبة الممانعة بين الدخل والخرج تكون معتدلة .

بعض الملاحظات عن الترانزستور المضخم الموصول بطريقة الباعث المشترك



الشكل (٢٩)

المحاضرة السابعة

- نلاحظ ان مصدر الفولتية المستمرة V_{BB} موصول في دائرة الدخل بالاضافة الى اشارة الفولتية المتناوبة . الفولتية المستمرة تسمى فولتية الانحياز (biase voltage) ومقدارها يجب ان يجعل وصلة الباعث – القاعدة بالانحياز الامامي دائماً (اي اكبر من فولتية العتبة 0.7V) بغض النظر عن قطبية اشارة الفولتية المتناوبة .

- **الية التشغيل التي ستحدث في الدائرة اعلاه .**

خلال مرور النصف العلوي الموجب من اشارة الدخل فان الانحياز الامامي خلال وصلة الباعث – القاعدة سوف يزداد . لذلك الكثير من الالكترونات ستمر من الباعث الى الجامع وبهذه الحالة سيزداد تيار الجامع وبدوره يزداد فرق الجهد خلال مقاومة حمل الجامع R_C . وهذا يعني حدوث التكبير . اما خلال مرور النصف السفلي السالب من الاشارة فأن الانحياز الامامي سينقل خلال وصلة الباعث – القاعدة (يبقى اكبر من 0.7V) لذلك تيار الجامع سيقل وهذا ينتج عنة انخفاض في فولتية الخرج (في الاتجاه المعاكس) وبالتالي حدوث التكبير خلال دائرة الخرج للنصف السفلي للاشارة .

- **مناقشة وتحليل تيارات الجامع**

عندما لا توجد اشارة مسلطة ودائرة الدخل في حالة الانحياز الامامي بواسطة المصدر V_{BB} لذلك فان تيار الجامع المستمر I_C سيمر في دائرة الجامع وهذا يسمى تيار الجامع للاشارة الصفرية (Zero signal collector current) .

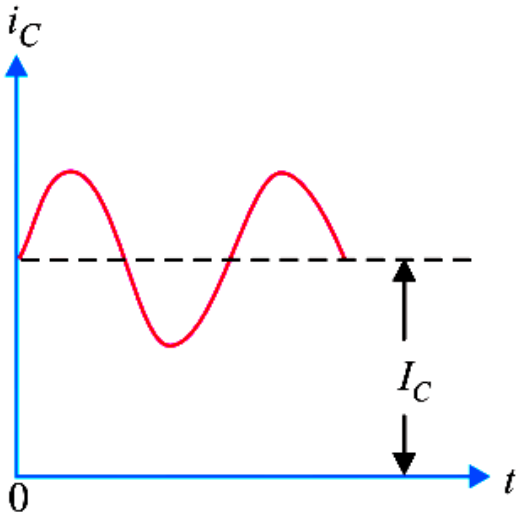
بينما اذا تم تسليط اشارة فولتية فأن وصلة الانحياز الامامي الباعث – القاعدة ستزداد او تقل اعتماداً على الاشارة المتناوبة (موجبة وسالبة) .

بالمحصلة النهائية فأن تيار الجامع الكلي يتضمن مركبتين هما ، (i_c) الناتج عن الاشارة الداخلة ، (I_C) الناتج من تيار الجامع للاشارة الصفرية (Zero signal collector current) . الشكل (٣٠) يوضح ذلك .

اي ان

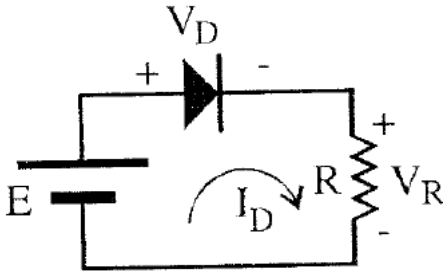
$$i_C = i_c + I_C$$

المحاضرة السابعة



الشكل (٣٠)

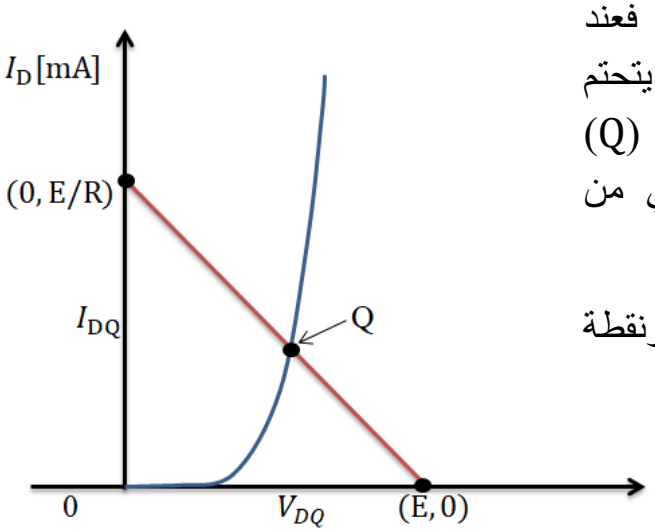
خط الحمل ونقطة التشغيل



- **خط الحمل ونقطة التشغيل للدايود**

عند استعمال الدايود في دوائر التيار المستمر (DC) فالدائرة هي من يحدد نقطة تشغيل الدايود، وقد درسنا سابقاً أن للدايود منحنى خصائص يبين العلاقة بين الجهد(V_D) والتيار (I_D)، فعند استعمال الدايود في دوائر الكترونية معينة يتحتم تحديد نقطة تشغيل معينة يرمز لها بالرمز (Q) والتي تمثل أفضل قيم للجهد والتيار التي من الممكن أن يعمل عندها الدايود.

الدائرة والمنحني يوضحان خط الحمل ونقطة تشغيل الدايود.



نوضح الأن الخطوات التي تم اعتمادها للحصول على خط الحمل وموقع نقطة التشغيل حيث نطبق (KVL) على الدائرة اعلاه فنحصل على

$$E - V_D - V_R = 0$$

هذه المعادلة تمثل معادلة خط الحمل للدائرة. وبرسم هذه المعادلة على نفس منحنى الخاصية للدايود نجد أن نقطة التقاطع لخط المعادلة مع منحنى الخاصية للدايود تسمى نقطة التشغيل (Q) كما موضح بالرسم.

$$E = V_D + V_R = V_D + I_D R$$

١- عند التعويض في المعادلة السابقة عن قيمة تيار الدايود $(I_D = 0A)$ نحصل على أن $E = V_D$

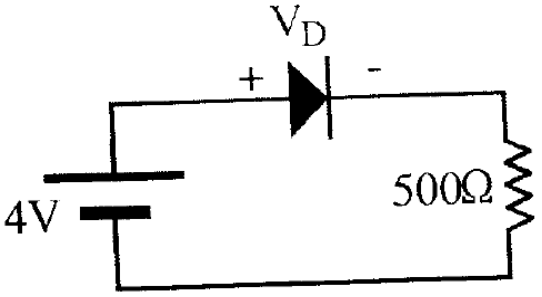
وهذا يظهر على الرسم كنقطة تقاطع مع محور السينات $(E, 0)$.

٢- أما عند التعويض عن قيمة جهد الدايود $(V_D = 0V)$ فنحصل على المعادلة

$$E = I_D R \quad \Rightarrow \quad I_D = E/R$$

وهذا يظهر في المنحنى كنقطة تقاطع مع محور الصادات $(0, E/R)$.

مثال (٦):



في الدائرة بالشكل المجاور:

١- ارسم خط الحمل موضح علية نقطة التشغيل.
٢- اوجد قيمة كل من I_{DQ} و V_{DQ} التي تعمل عندها الدائرة.

الحل :

الدائرة في حالة التوصيل لأن الدايود في وضع أنحياز أمامي، من قانون (KVL) نحصل على خط الحمل.

$$E - V_D - V_R = 0$$

$$E - V_D - I_D R = 0$$

$$E = V_D + I_D R$$

$$4V = V_D + I_D(500\Omega)$$

تقاطع خط الحمل مع محور السينات يعني ان $I_D = 0$

المحاضرة السابعة

$$\therefore V_D = 4\text{V}$$

تقاطع خط الحمل مع محور الصادات يعني ان $V_D = 0$

$$\therefore 4\text{V} = I_D(500\Omega)$$

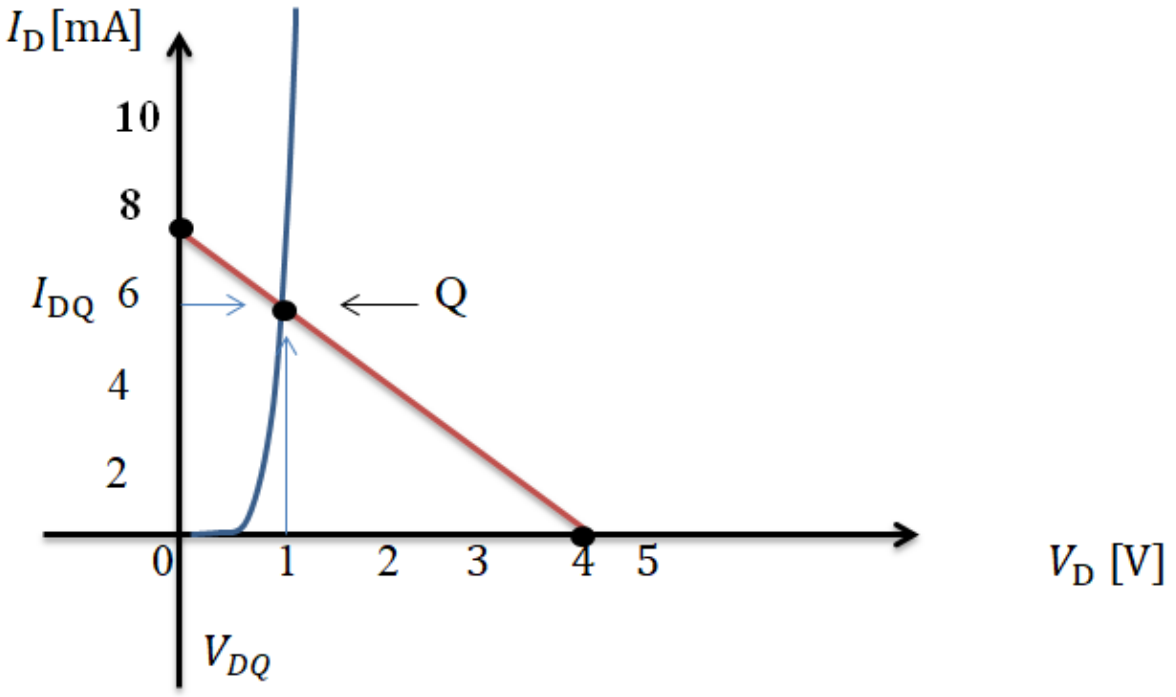
$$I_D = \frac{4\text{V}}{500\Omega} = 8\text{ mA}$$

نرسم العلاقة في المنحنى ونحدد نقطة التشغيل حسب النتائج التي حصلنا عليها.

وبذلك نحصل على قيم I_{DQ} و V_{DQ} من الرسم .

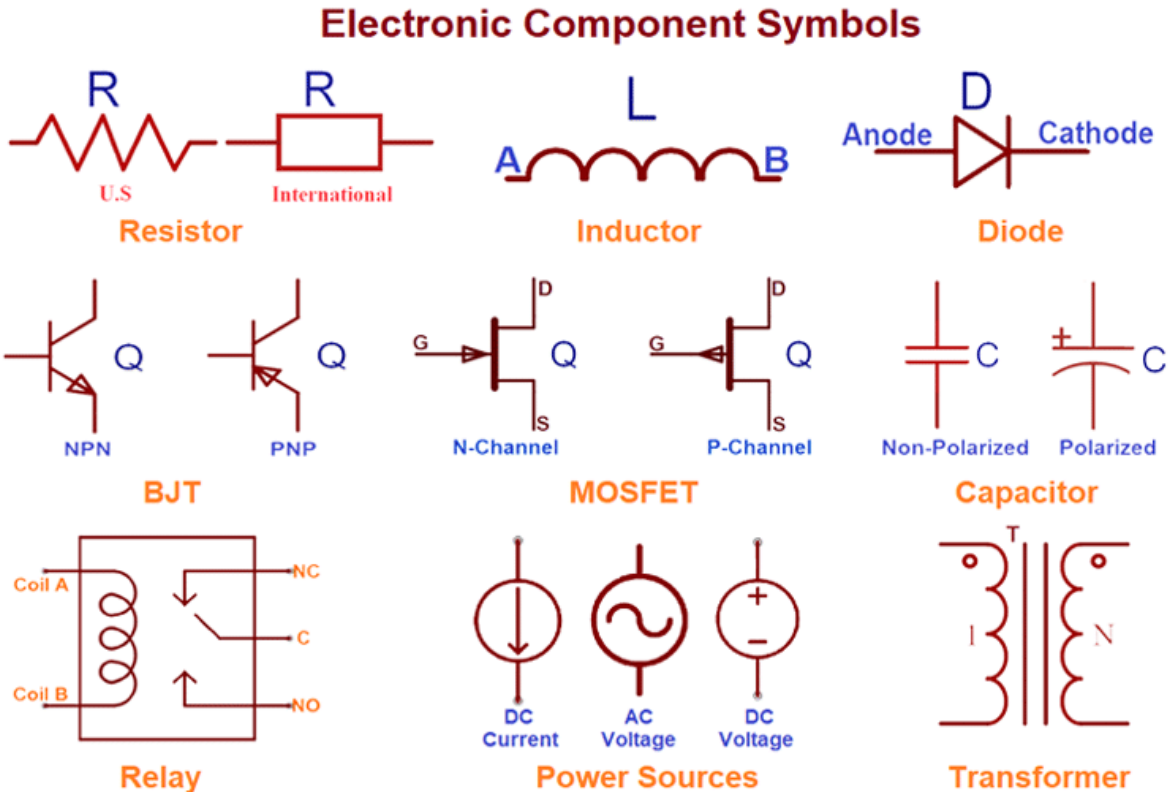
$$I_{\text{DQ}} \approx 5.9\text{ mA}$$

$$V_{DQ} \approx 1\text{V}$$



الكترونيك

ELECTRONIC



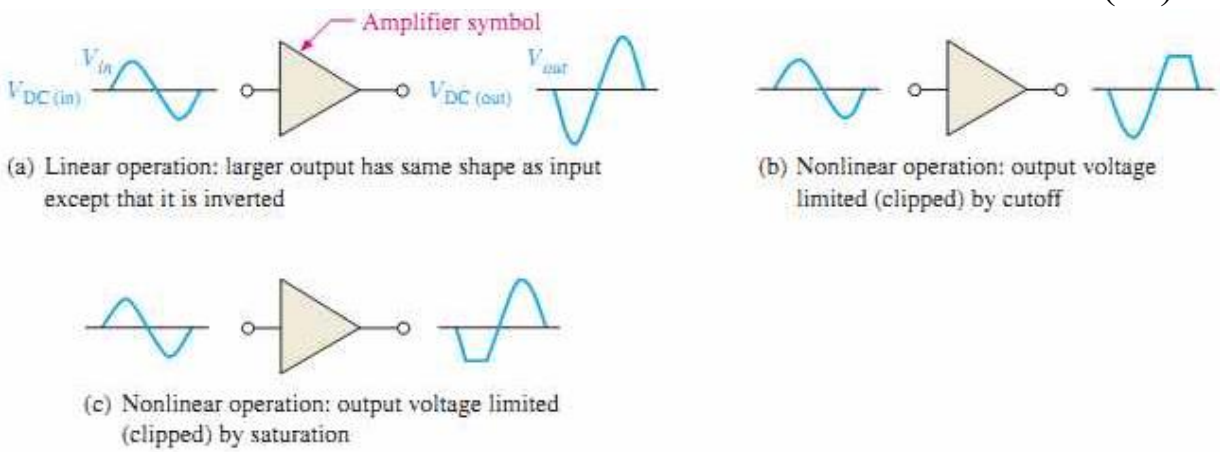
م.م احمد كريم سمير

م.م أيوب يوسف احمد

كلية التربية الأساسية حديثة

- **خط الحمل ونقطة التشغيل للترانزستور**

من متطلبات عمل الترانزستور هو وجود فولتية الانحياز الامامي (دائرة الدخل) V_{BB} وفولتية الانحياز العكسي (دائرة الخرج) V_{CC} . ونقطة التشغيل (Q-point) يجب ان نختارها بحيث تكون في موقع (المنطقة الفعالة) يحدث فية التكبير ويمكن ان تتغير بتغير اشارة الدخل ولكن تغيرها يكون محكوم بان تكون في المنطقة الفعالة وعلى خط يسمى خط الحمل (DC Load Line) . وقبل ذلك لابد لنا اختيار فولتيات الانحياز بدقة بحث تبعد نقطة التشغيل عن منطقة التشبع ومنطقة القطع كي لا نحصل على التكبير اللاخطي في الاشارة الخارجة من الدائرة . كما موضح في الشكل (٣١).



(a) Linear operation: larger output has same shape as input except that it is inverted

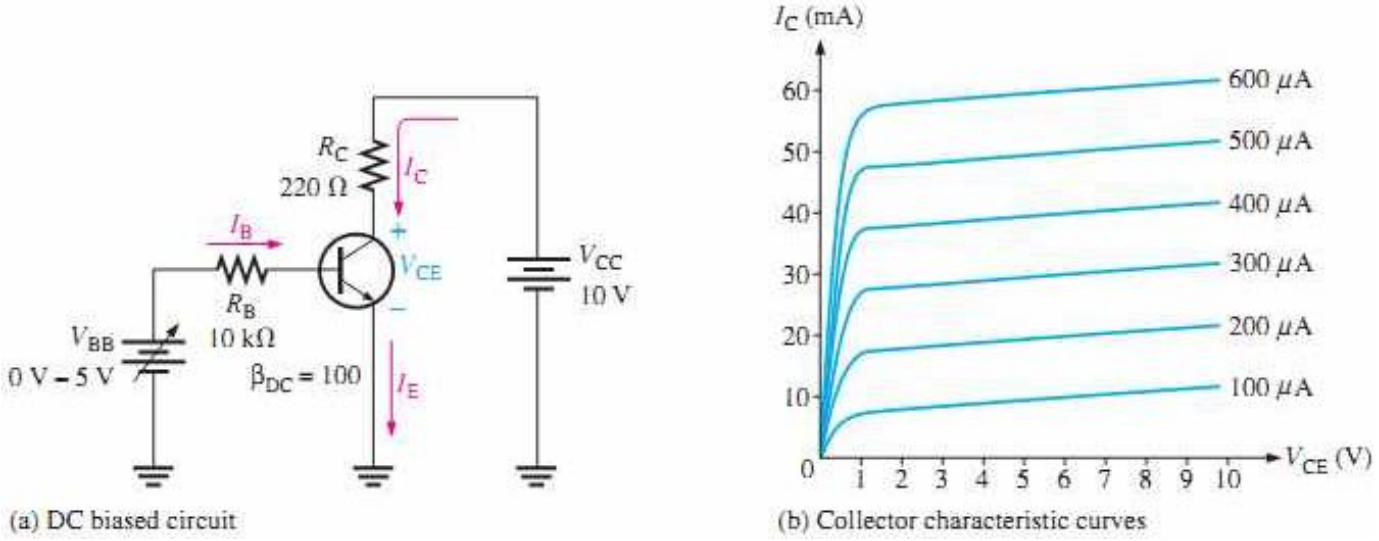
(b) Nonlinear operation: output voltage limited (clipped) by cutoff

(c) Nonlinear operation: output voltage limited (clipped) by saturation

الشكل (٣١)

- **التحليل الرسمي او البياني (Graphical Analysis)**

الترانزستور في الشكل (٣٢a) منحاز بفولتيتين V_{BB} و V_{CC} كي نحقق متطلب عمل الترانزستور ونحصل على I_B , I_C , I_E وكذلك V_{CE} وفي الشكل (٣٢b) يبين منحنى خصائص الخرج سنستخدمة لتوضيح تاثير فولتية الانحياز .



الشكل (٣٢)

ولتوضيح حصولنا على الشكل (٣٢b) نذكر الخطوات التي نتجت ذلك الشكل .

الخطوه الاولى هو تغير في الفولتية V_{BB} الى ان نحصل على قيمة I_B تساوي $200\ \mu A$ ومعلوم لدينا ان $I_C = \beta I_B$ وبذلك نحصل على ان $I_C = 20\text{mA}$ ومن ثم ننتقل للخطوة الثانية

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 10 - (20\text{mA})(220\Omega) = 5.6\ \text{V}$$

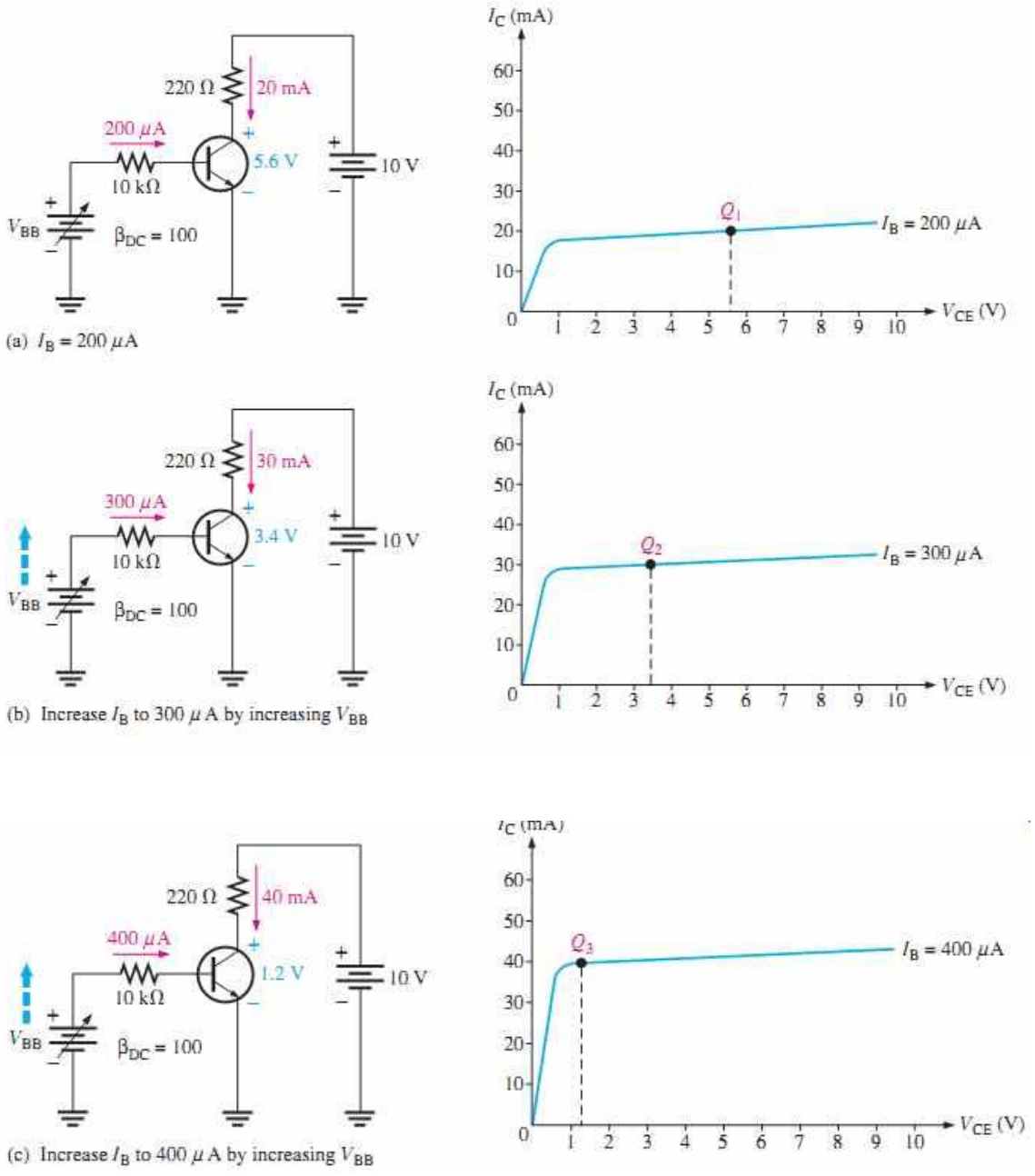
وبذلك نحصل على نقطة التشغيل الاولى Q_1

وبنفس الخطوات السابقة يمكن ان نحصل على Q_2

$(V_{CE} = 3.4\ \text{V} ,\ I_C = 30\text{mA} ,I_B = 300\ \mu A)$

وكذلك نحصل على Q_3 $(V_{CE} = 1.2\ \text{V} ,\ I_C = 40\text{mA} ,I_B = 400\ \mu A)$

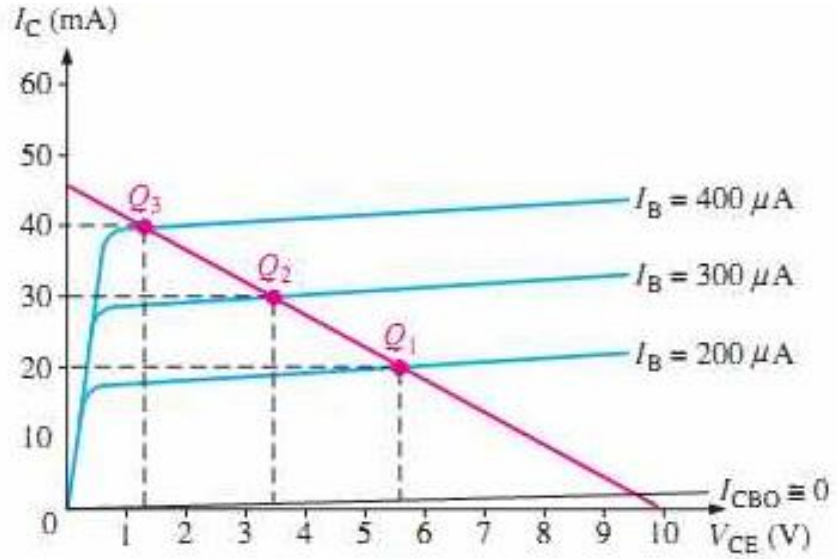
وهذا موضح في الشكل (٣٣a) ، (٣٣b) ، (٣٣c) وعلى التوالي .



الشكل (٣٣) تم اختيار ثلاث قيم I_B ورصد ماذا يحدث لقيم I_C و V_{CE}

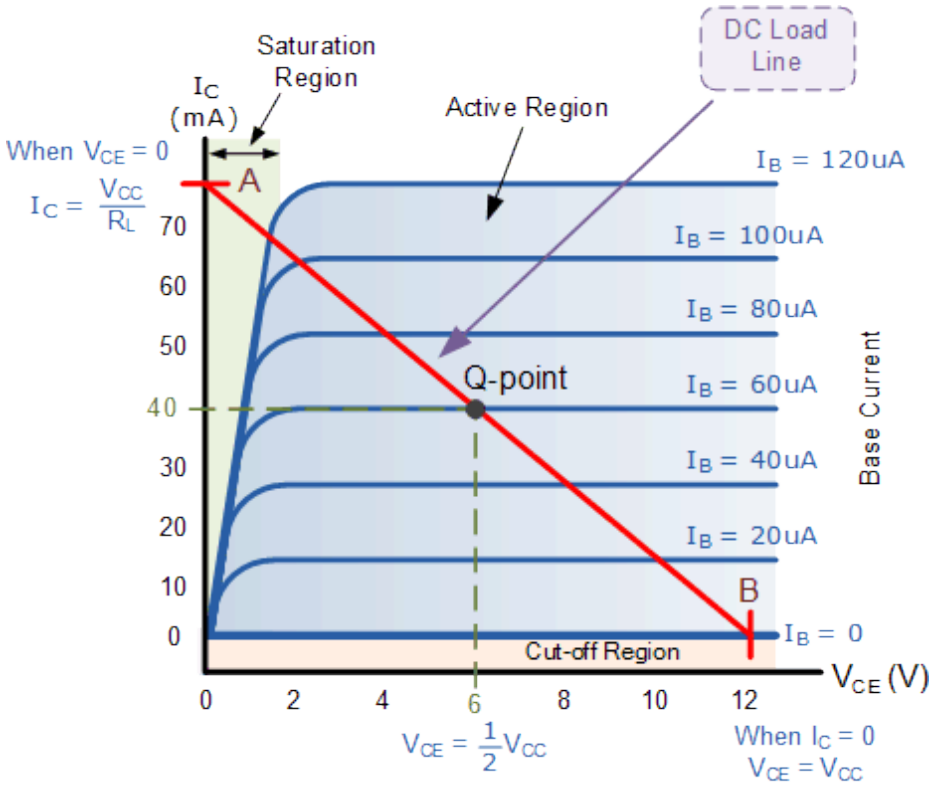
فاذا تم جمع نقاط الشغل الثلاثة برسمة واحدة والتوصيل بينهما بخط مستقيم فسنحصل على خط الحمل وكما موضح في الشكل (٣٤) . ولكن هذه الطريقة لايجاد خط الحمل مطولة . لذلك لابد من ايجاد طريقة اسهل واسرع ، لذلك سنفكر بطريقة اخرى .

المحاضرة الثامنة



الشكل(٣٤)

حيث يمكن ان نقول ان خط الحمل (DC Load Line) هو الخط المستقيم المرسوم على منحنى خصائص الترانزستور والواصل بين نقطة الاشباع (Saturation Point) عندما يكون ($I_C = I_{C(sat)}$)على محور الصادات ونقطة القطع (Cut-off Point) عندما يكون ($V_{CE} = V_{CC}$) على محور السينات. كما موضح في الشكل (٣٥).

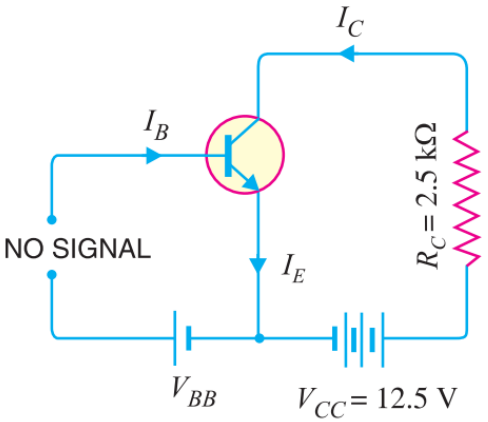


الشكل (٣٥)

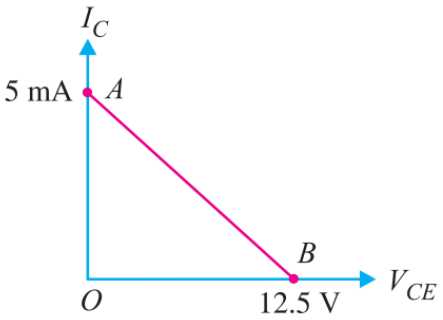
المحاضرة الثامنة

مثال (٦)

في الدائرة المبينة ادناه ، اذا كان $V_{CC} = 12.5\text{V}, R_C = 2.5\text{k}\Omega$ ارسم خط الحمل وحدد نقطة التشغيل (Q-point) اذا علمت ان تيار القاعدة للاشارة الصفرية (Zero signal base current) $20\mu\text{A}$ ، $\beta = 50$ ؟



(i)



(ii)

الحل:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

عندما $I_C = 0$ لذلك $V_{CE} = V_{CC}$ اي ان $V_{CE} = 12.5\ \text{V}$

وعندما $V_{CE} = 0\ \text{V}$ لذلك $I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$

اي ان $I_C = \frac{12.5}{2.5} = 5\text{mA}$

بتثبيت تلك النقطتين (A , B) على المحور السيني والمحور الصادي والايصال بينهما نحصل على خط الحمل .

تيار القاعدة للاشارة الصفرية (Zero signal base current) $I_B = 20\mu\text{A}$
وكذلك $\beta = 50$

لذلك نستطيع ان نجد النقطة المهمة على خط الحمل .

$$I_C = \beta I_B = 50 \times 0.02 = 1\text{mA}$$

ومن العلاقة

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

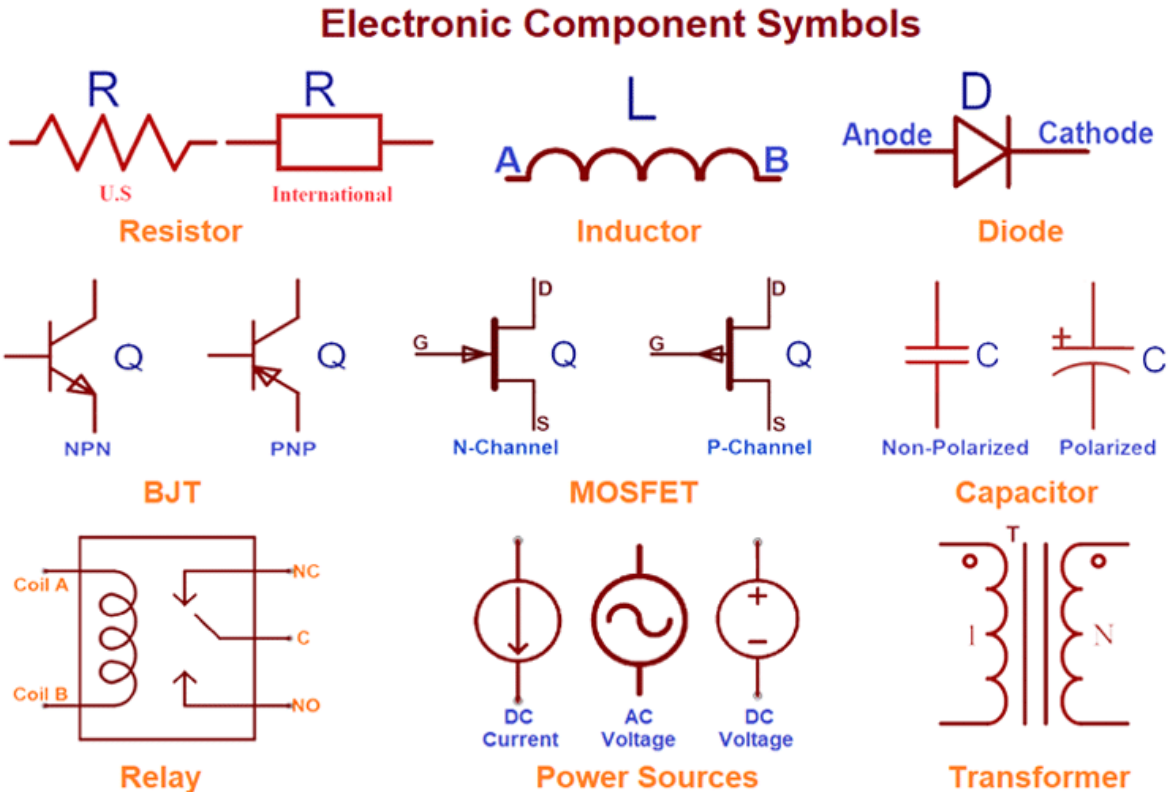
نجد قيمة V_{CE}

$$V_{CE} = 12.5 - (1 \times 2.5) = 10\text{V}$$

اي ان نقطة التشغيل (Q- point) $(I_C\ , V_{CE})$هي (1mA , 10 V)

الكترونيك

ELECTRONIC



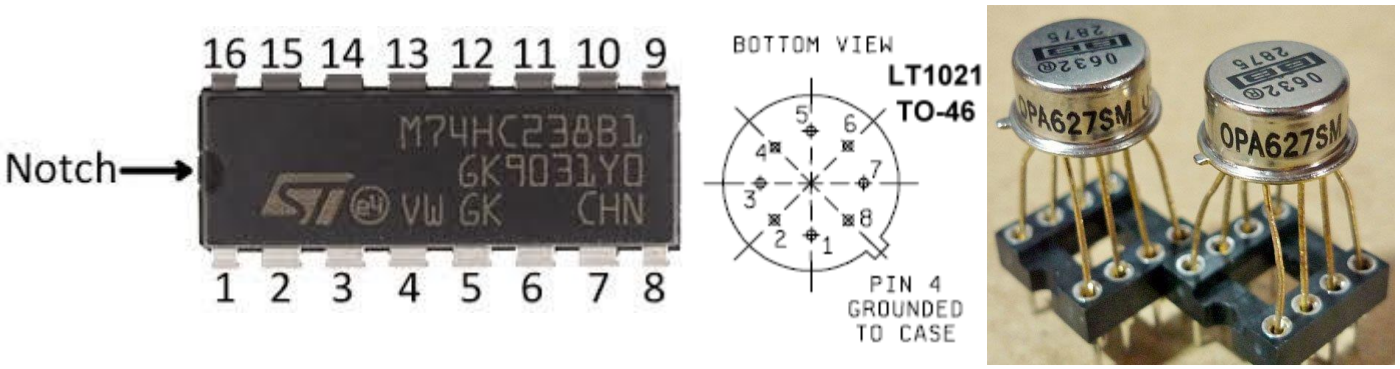
م.م احمد كريم سمير

م.م أيوب يوسف احمد

كلية التربية الأساسية حديثة

• الـدارات المتكاملة (Integrate Circuit (IC))

الدارة المتكاملة (Integrate Circuit) هي دارة مصغرة تحتوي عدداً من المقاومات، والمكثفات، والدايودات، والترانزستورات الموصولة مع بعضها على شريحة سليكون واحدة ليست أكبر من ظفر الأصبع، يتراوح عدد المقاومات والمكثفات والترانوزستورات في الـدارات المتكاملة من بضعة عناصر إلى مئات الآلاف والسر في حشر هذا العدد الهائل من العناصر على شريحة صغيرة هو تكوين العناصر كافة من تراكيب نوع (n) ونوع (p) بالغة الصغر على شريحة السليكون الواحدة بخطوات تصنيع مختلفة. من أجل وصل هذه العناصر مع بعضها لتكوين الدارة المطلوبة، حيث تستخدم طرق تكنولوجية خاصة يتم فيها ترسيب المعدن الناقل المستخدم للوصل ضمن حفرة مصنوعة بطريقة الحفر الضوئي كما يتم وصل أطراف العناصر إلى العالم الخارجي بواسطة أرجل تظهر من غلاف الدارة المتكاملة.



الشكل (٣٦)

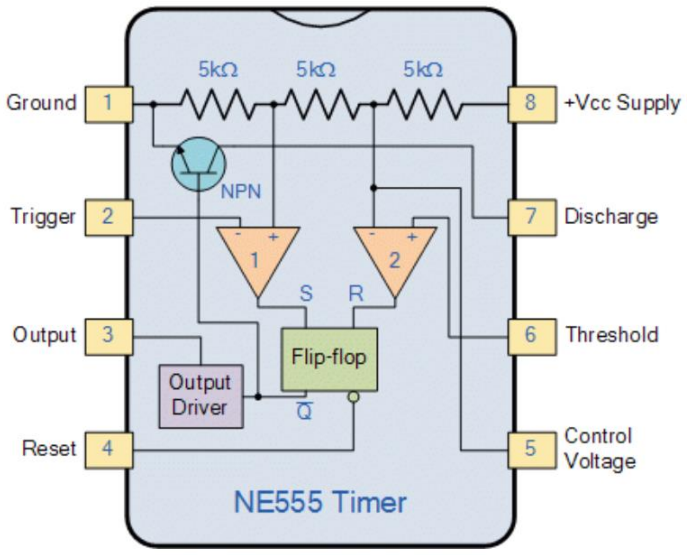
حيث يبين الشكل (٣٦) نوعين مختلفين من الـدارات المتكاملة ويظهر فيها الطريقة المعتمدة عالمياً في ترقيم أرجل الـدارات المتكاملة.

تتوفر الـدارات المتكاملة بأنواع منها التشابهية (Analog) ومنها الرقمية (Digital)، تستخدم الـدارات المتكاملة التشابهية والتي تسمى أيضاً خطية (Linear) في التضخيم، أما الـدارات المتكاملة الرقمية فتتعامل مع إشارات ذات مستويات جهود إما عالية أو منخفضة، أما الـدارات المتكاملة المختلطة التشابهية/الرقمية فتتشارك بصفات مشتركة بين النوعين.

تعتبر المضخمات العملياتية (Operational Amplifier) ، منظمات الجهد (Voltage Regulators)، المقارنات (Comparators)، المؤقتات (Timers) والهزازات(Oscillators) نماذج وأمثلة عن الدارات المتكاملة التشابهية أما الدارات المتكاملة الرقمية الشائعة فتتضمن البوابات (مثل AND, OR, NOR.....الخ) والقلابات (Flip-Flops) والذواكر (Memories) والمعالجات (Processors) والعدادات الثنائية (Binary Counters) ومسجلات الإزاحة (Shift Registers) والمرمزات (Encoders) وفاكات الترميز (Decoders) والنواخب (Multiplexers) وغيرها. الدارات المتكاملة الرقمية/التشابهية يمكن أن تأخذ أشكالاً مختلفة فيمكن مثلاً أن تصمم كمؤقت تشابهي (Analog Timer) ولكنها قد تحتوي عداداً رقمياً (Digital Counter) يمكن للدارة المتكاملة الرقمية التشابهية أيضاً أن تقرأ إشارة رقمية وتولد خرجاً خطياً يستخدم لقيادة محرك خطوة مثلاً أو لقيادة إظهار بواسطة دايودات مصدرة للضوء (LED).

- **بعض الدارات المتكاملة الأساسية**
  - **المؤقت(Timer) (٥٥٥)**

دارة المؤقت ٥٥٥ هي دارة متكاملة متعددة الأستخدامات، ويمكن استخدامها لتشكيل هزازات نبضية عديمة الأستقرار، أو وحيدة الأستقرار وذلك بوصل مقاومات ومكثفات بين أرجل الدارة وجهد التغذية الأرضي. يمكن مثلاً استخدام مولد النبضات عديم الأستقرار للتحكم بفتح مفتاح وإغلاقة وفق معدل معين. تستخدم دارة الـ ٥٥٥ أيضا كدارة مؤقت، أو كمولد نبضات (Clock)، أو كمولد نغمات. والشكل (٣٧) يبين التركيب الداخلي للمؤقت ٥٥٥.

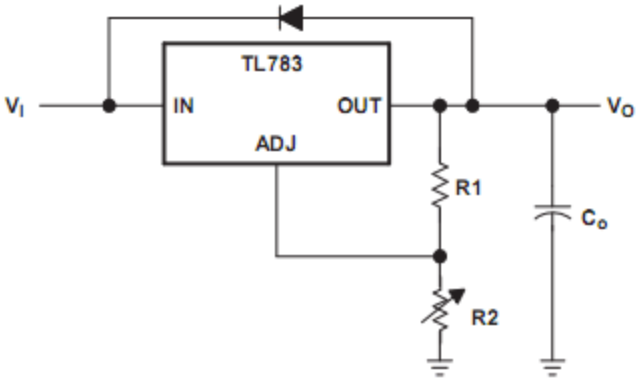


الشكل (٣٧) شكل المؤقت (٥٥٥) ومكوناته الداخلية.

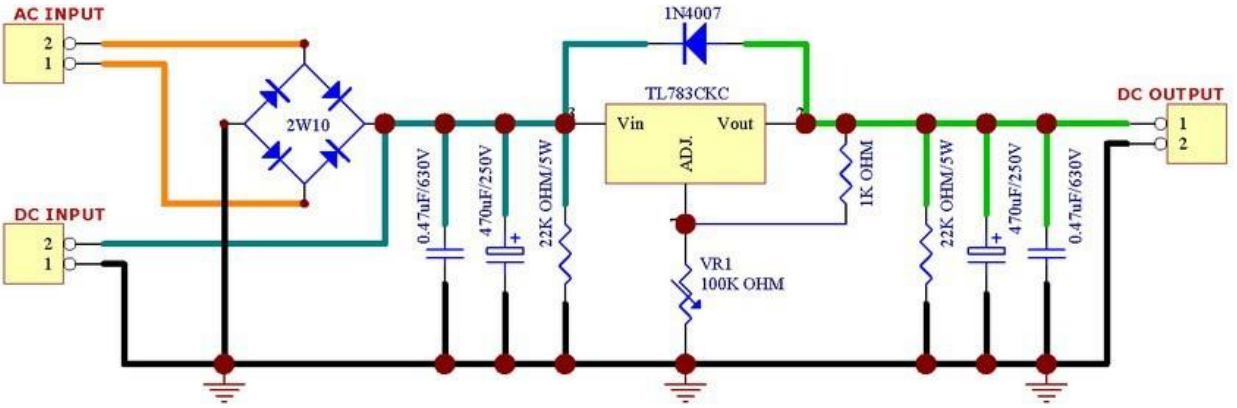
- منظم جهد قابل للضبط ثلاثي الأطراف TL783

يستخدم هذا العنصر كمنظم جهد قابل للضبط في تطبيقات الجهود العالية، ويمكن ضبط جهد الخرج بين (1.2V – 125V) بتيار خرج أعظمي (700mA). نحتاج إلى مقاومتين خارجيتين من أجل ضبط جهد الخرج. الشكل (٣٨) يمثل صورة خارجية لمظم الجهد (TL783) وطريقة توصيلة والاستفادة منة في الدارات الإلكترونية.

(أ)



(ب)

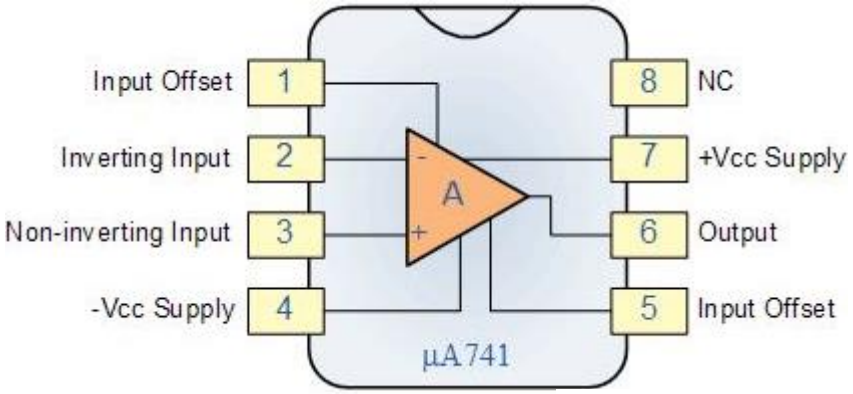


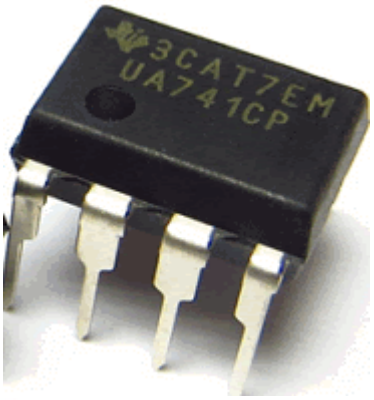
(ج)

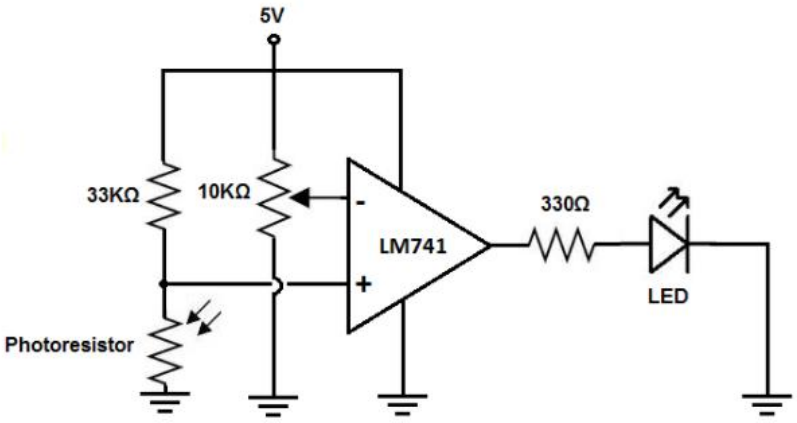
الشكل(٣٨) شكل منظم الجهد (TL783) ودارته.

- المضخم العملياتي(Operational Amplifier)(741CD)

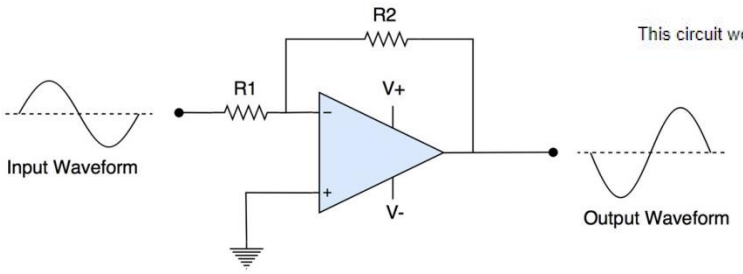
المضخم العملياتي (741CD) هو أكثر أنواع المضخمات العملياتة استخداماً ويمتاز بأداء عال وهو عبارة عن دارة متكاملة خطية يمكن استخدام هذا المضخم العملياتي في تشكيل دارات مختلفة منها المضخم العاكس(Inverting)، المضخم غير العاكس (Noninverting)، هزاز(Oscillators)، مكامل(Integrators)، مفاضل (Differentiators)، دارة جمع (Adders)، طارح (Subtractors) وغيرها وفي كل هذه التطبيقات لابد من وجود تغذية عكسية كما في تطبيقات المضخم العاكس وغير العاكس ودارة الجمع والطرح والمفاضل. في حال عدم استخدام التغذية العكسية يمكن ان يعمل المضخم (٧٤١) كمقارن.







This circuit works by exploiting the fact that an LM741 operational amplifier can function as a comparator.



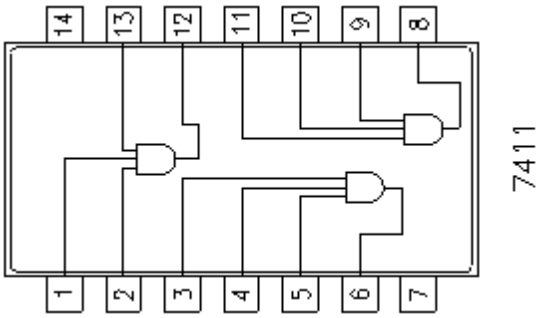
Inverting Voltage Amplifier using IC 741

الشكل(٣٩) شكل المضخم العملياتي (741CD) ومكوناته الداخلية وداراته.

المحاضرة التاسعة

- **بوابات (AND) ثلاثية المداخل LM7411**

تحتوي الدارة المتكاملة LM7411 بداخلها على ثلاثة بوابات AND ولكل بوابة ثلاث مداخل وخرج واحد. تتغذى كافة هذه البوابات من رجل الدارة المتكاملة رقم (١٤). الشكل (٤٠)

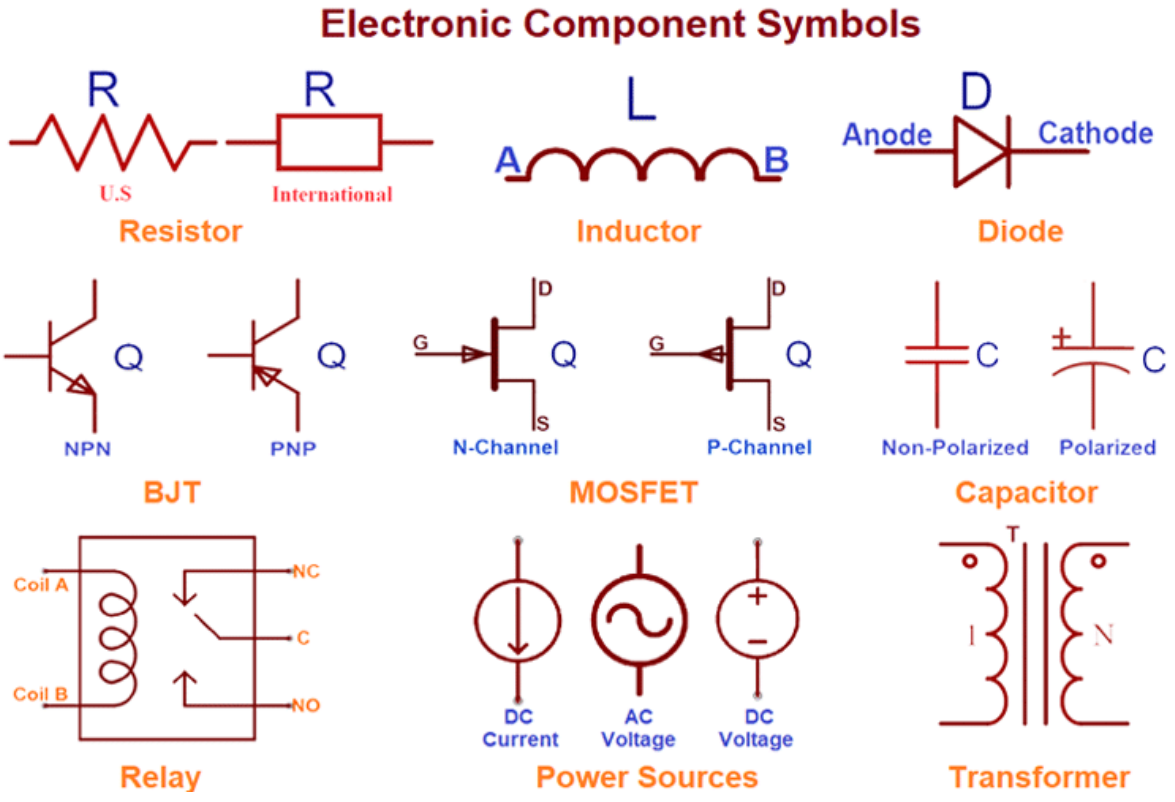


الشكل (٤٠) شكل بوابات (AND) ثلاثية المداخل (7411) ومكوناته الداخلية

في النهاية يمكن أن نقول أن هناك دارات متكاملة متنوعة الأشكال والأستخدامات والأحجام والتكوين الداخلي حيث تصنع حسب الحاجة اليها في الدارات الإلكترونية.

الكترونيك

ELECTRONIC



م.م احمد كريم سمير

م.م أيوب يوسف احمد

كلية التربية الأساسية حديثة

الدوائر المتكاملة Integrated Circuits

1- المقدمة

2- انواع الدوائر المتكاملة

3- الدوائـــر المتكاملـــة احاديـــة البلـــورة

1- المقدمة

تُستخدم الدوائر المتكاملة integrated circuits (او اختصاراً IC) بكثرة في الحاسبات الالكترونية بسبب صغر حجمها واستهلاكها القليل للقدرة وكذلك الدقة والجودة التي تمتاز بهما هذه الدوائر في عملها كذلك تستعمل في المركبات الفضائية وفي الاجهزة السمعية وغيرهما من الاجهزة حيث يشكل خفة الوزن للدوائر الالكترونية المستعملة عاملا حاسماً في جودة عمل هذه الاجهزة ومن هنا فان خفة وزن الدوائر المتكاملة يمنحها المركز الاول في الاستخدام في مثل هذه الاجهزة .

من ناحية اخرى تمتاز الدوائر المتكاملة برخص ثمنها وذلك بسبب من امكانية انتاج الآلاف من الوحدات المعقدة في زمن واحد وبعملية تصنيع واحدة . فعلى سبيل المثال يمكن انتاج ما يساوي او يزيد عن الف شريحة chip على رقاقة wafer (قطرها 1.5 سم وسمكها 300 مايكروميتر) تحتوي كل شريحة على 50 عنصراً أو مايزيد دفعة واحدة وعليه فانه يبدو واضحا بان كلفة العنصر الواحد من مكونات الشريحة سيكون رخيصا مقارنة مع كلفة تصنيع هذه المكونات بصورة منفصلة وبالطرق العادية .

من المعروف ان معظم العطلات failures التي تحدث في الدوائر المعقدة ذات العناصر المنفصلة discrete compnents يكون اما بسبب حدوث قطع في الاسلاك التي تربط بين هذه العناصر او بسبب من عدم احكام نقاط الربط وحيث ان هذا الربط في الدوائر المتكاملة يتم عن طريق ترسيب المعادن بين اطراف عناصر الدائرة

وعلى بلورة واحدة - كما سنرى لاحقا – لذا فانه يصبح بالامكان الاعتماد على هذه الدوائر ولفترات طويلة . وما الاقمار الصناعية والمركبات الفضائية الا أدلة جيدة على جودة واحكام عمل هذه الدوائر المتكاملة .

واخيراً وعلى الرغم من كل ماقيل عن مميزات الدوائر المتكاملة الا انه يجدر بنا الاشارة هنا الى ان من الصعوبة السيطرة على دقة قيم العناصر غير الفعالة المصنعة بطريقة التكامل (ومنها المقاومات والمتسعات مثلاً) حيث ان قيم هذه العناصر تكون دالة لكل من الجهد المستعمل ودرجة الحرارة . من جهة اخرى فان المتسعات التي تنتج عرضا – اثناء التصنيع – وبشكل غير مقصود قد يؤدي الى اقران عناصر الدائرة الواحدة مع بعضها الآخر مما يؤثر على عمل هذه الدوائر ولابد من المعالجة الصحيحة .

2- انواع الدوائر المتكاملة Types of integrated circiuts :

تصنف الدوائر المتكاملة عادة ، الى ثلاثة انواع هـــي :

1 – الدوائر المتكاملة احادية البلورة Monolithic IC$_s$
2 – الدوائر الغشائية Film circuits
3 – الدوائر المختلطة Hybrid circuits

على الرغم من أن الدوائر الاحادية البلورة هي من اكثر الانواع انتشاراً لحد الآن ومن ثم فان التركيز عليها سيكون اكثر من غيرها ، الا ان استخدام الدوائر الغشائية الرقيقة سيكون هو الافضل عندما تكون النسبة بين عدد العناصر غير الفعالة الى عدد العناصر الفعالة عاليا وعليه فاننا سنشير الى طبيعة هذه الدوائر ولكن من خلال التطرق للدوائر المتكاملة المختلطة وباختصار .

3- الدوائـــر المتكاملـــة احاديـــة البلـــورة : – Monolithic integrated circuits

ان كلمة monoli thic مشتقة من اللغة الاغريقية وتعني الحجر الواحد وعليه فان مصطلح monolithic IC يشير الى دائرة متكاملة تم تصنيع كل عناصرها على شريحة chip منفردة من رقاقة wafer السيلكون . هذا وان عملية التصنيع هذه

تعتمد على مايسمى بعملية تقنية الانتشارفي المستوى الواحد diffused planar process حيث يتم في هذه العملية تنفيذ جميع الخطوات اللازمة على سطح واحد لشريحة السيلكون وكذلك تعمل كل التوصيلات اللازمة بين المكونات على نفس السطح .

وعلى الرغم من ان جل اهتمامنا ينحصر في التعرف على الدوائر المتكاملة من حيث الاستخدام الا انه من المفيد جداً التعرف ايضا على كيفية تصنيعها حيث أن عملية التصنيع هذه تعدّ فريدة من نوعها في عالم الالكترونات .

في أوائل الخمسينات عندما كانت صناعة اشباه الموصلات semiconductor technology في بدايتها ، كان الجرمانيوم (Ge) أهم العناصر المعتمدة في هذه الصناعة ، من بين العناصر الاخرى وذلك لسهولة تنقيته وتنميته للحصول على بلورة جرمانيوم كبيرة وكذلك للسرعة العالية التي تتم فيها عملية التصنيع الخاصة بكل من الترانزستورات والثنائيات .

في عام 1960 اصبح واضحا ان السيلكون (Si) بدأ يستبدل الجرمانيوم وفي معظم التطبيقات تقريباً . ان السبب الكامن وراء هذا الاستبدال يشير الى ان للسيلكون مميزات تتلخص فيما يأتي :

أ) انه عنصر شائع ومتوافر حيث انه يكون 20 % من قشرة الارض ويمكن لذلك استخراجه بسهولة ويسر مما يعني رخص صناعته .

ب) تمتلك ذراته طاقة ترابط عالية مما يجعل استعماله افضل بكثير من الجرمانيوم عند العمل في درجات الحرارة العالية او بعبارة اخرى صغر تيار التسرب فيه وارتفاع جهد الانهيار التابع له .

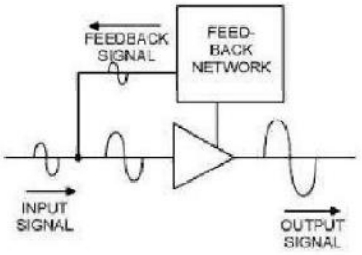
جـ- يمتلك اوكسيداً خاملاً ومستقراً يمكن استخدامه كقناع ضوئي photo-mask – كما سنرى لاحقا – في عملية تصنيع الدوائر المتكاملة اوكعازل جيد يكون طبقة منيعة تحمي البلورة من التلوث والرطوبة . اضف الى ذلك ان هذه الطبقة يمكن ازالتها بسهولة حيث انها تذوب في حامض الهيدروفلوريك الذي لايذوب فيه السيلكون .

المكبرات ذات التغذية الخلفية Feedback Amplifiers

1- التغذية الخلفية في المكبرات

2- معامل كسب المكبر في حالة وجود تغذية خلفية

3- أثر التغذية الخلفية على إستقرار معامل الكسب



١ _ التغذية الخلفية في المكبرات

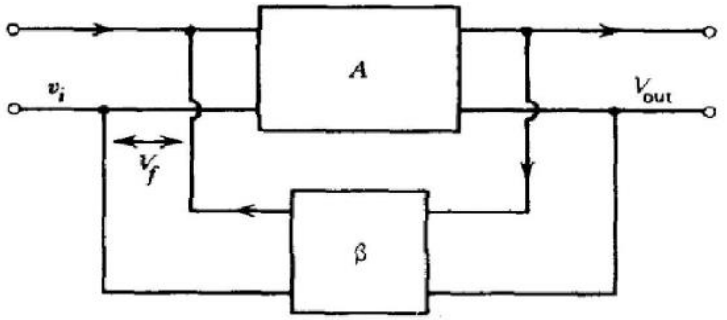
التغذية الخلفية في المكبرات عبارة عن إعادة جزء من نبضة خرج المكبر إلى مدخله من جديد . وهذا الجزء المعاد يمكن أن يكون جزءاً متناسباً من جهد الخرج وتعرف التغذية الخلفية عندئذ بالتغذية الخلفية بالجهد Voltage Feedback ، كذلك يمكن أن يكون المعاد جزءا متناسباً من تيار الخرج وتعرف التغذية الخلفية في تلك الحالة بالتغذية الخلفية بالتيار Current Feedback . وتنقسم التغذية الخلفية . من حيث طور الجزء المعاد إلى المدخل — إلى موجبة وسالبة . فعندما ينطبق طور الجزء المعاد إلى المدخل مع طور نبضة الدخل الأصلية فإن هذا يؤدي إلى زيادة قيمة نبضة الدخل الفعلية وتعرف التغذية الخلفية عندئذ بالتغذية الخلفية الموجبة Positive Feedback . إما إذا كان طور الجزء المعاد إلى المدخل مخالفاً لطور نبضة الدخل الأصلية (أي يوجد بينهما فرق طور مقداره ١٨٠°) فإن هذا يؤدي إلى إنخفاض قيمة نبضة الدخل الفعلية وتعرف هذه الحالة بالتغذية الخلفية السالبة Negative Feedback .

وتعرف نسبة الجزء المعاد من جهد أوتيار الخرج إلى القيمة الكلية لهذا الجهد أو التيار بإسم معامل التغذية الخلفية β Feedback Coefficient · وتؤثر التغذية الخلفية على خصائص المكبر مثل معامل كسبه للجهد أو التيار ومعاوقات الدخل والخرج له وعلى إستجابته لتكبير الترددات المختلفة وكذلك على مستوى الضوضاء المتولدة في المكبر وعلى التشويه اللاخطي للمكبر . وعند توفر شروط معينة للتغذية الخلفية الموجبة يتحول المكبر إلى مولد للذبذبات دونما إدخال أي نبضات للمدخل .

٢ _ معامل كسب المكبر في حالة وجود تغذية خلفية

يوضح شكل (1) مبدأ التغذية الخلفية بالجهد حيث A يرمز لمكبر معامل كسبه للجهد A بدون التغذية الخلفية ، β عبارة عن دارة التغذية الخلفية والتي تحقق معامل تغذية خلفية مقداره β . فإذا كان جهد نبضة الدخل الأصلية هو v_i فإنها تكبر خلال المكبر وينتج عنها نبضة خرج مقدارها v_o ، ثم يعاد جزء من هذا الجهد مقدار v_f إلى المدخل . وقيمة الجزء المعاد هي

$$v_f = \beta v_o \qquad \text{..... (1)}$$



شكل (1)

لذا يصبح جهد الدخل الفعلي للمكبر هو

$$v_i' = v_i + v_f = v_i + \beta v_o \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

وبالتالي يكون جهد الخرج الفعلي للمكبر هو

$$v_o = v_i' A = v_i A + \beta A v_o$$

أي

$$v_o(1-\beta A) = v_i A \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

ولما كان معامل الكسب للجهد هو عبارة عن النسبة بين جهد الخرج وجهد الدخل فإننا نجد أن معامل كسب المكبر A_f في حالة وجود تغذية خلفية هو

$$A_f = \frac{v_o}{v_i} = \frac{A}{1-\beta A} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

وهكذا يلاحظ أن معامل الكسب A_f في حالة وجود تغذية خلفية قد يزيد أو ينقص عن نظيره في حالة عدم وجود تغذية خلفية . فإذا كانت إشارة β سالبة يصبح المقام $(1-\beta A) > 1$ وبالتالي يكون معامل الكسب A_f أصغر من معامل الكسب A بدون التغذية الخلفية . وهكذا نجد أن التغذية الخلفية السالبة تؤدي إلى إنخفاض معامل كسب المكبر A_f . أما إذا كانت إشارة β موجبة يصبح المقام $(1-\beta A) < 1$ وعندئذ يكون $A_f > A$. أي أن التغذية الخلفية الموجبة تؤدي إلى زيادة معامل الكسب A_f عن نظيره بدون التغذية الخلفية . وعند زيادة المعامل βA بحيث تصل قيمته إلى الواحد الصحيح يصبح المقام في العلاقة (4) مساوٍ للصفر $(1-\beta A = 0)$ وعندئذ يصبح معامل الكسب للمكبر ذي التغذية الخلفية الموجبة مساوٍ لمالا نهاية أي $A_f = \infty$ وعندئذ يتحول المكبر إلى مولد للذبذبات .

وتستخدم التغذية الخلفية السالبة في المكبرات إستخداماً واسعاً . فعلى الرغم من أنها تؤدي إلى إنخفاض معامل كسب المكبر إلا أنها تؤثر على خصائص المكبر الأخرى وتكسبه مزايا عديدة مثل :

أ ـــ زيادة إستقرار معامل الكسب بالنسبة لتغير ظروف التشغيل .
ب ـــ الإقلال من التشوية اللاخطي لموجة الخرج .
جـ ـــ زيادة إتساع شريحة الترددات التي يكون عندها معامل الكسب ثابتا .
د ـــ خفض نسبة الضوضاء للمكبر .
هـ ـــ التأثير على كل من معاوقتي الدخل والخرج .

أما التغذية الخلفية الموجبة فعلى الرغم من أنها تؤدي إلى زيادة معامل الكسب للمكبر إلى أنها تؤثر على

خصائص المكبر في عكس إتجاه تأثير التغذية الخلفية السالبة لذا فهي لا تستخدم عادة في المكبرات وإنما تستخدم في المذبذبات .

٣ ـ أثر التغذية الخلفية على إستقرار معامل الكسب

ينشأ عدم الإستقرار في قيمة معامل الكسب عن عدة عوامل مختلفة منها على سبيل المثال تغير الجهود أو درجة الحرارة بالنسبة للترانزستورات أو تغير الجهود (خاصة جهد تسخين الكاثود) والتقادم بالنسبة للصمامات. وتؤدي هذه العوامل إلى تغير معامل الكسب تبعاً لظروف التشغيل . فإذا كان معامل الكسب بدون تغذية خلفية هو $A \pm dA$ حيث dA هو قيمة عدم الإستقرار في المعامل فإنه يسهل حساب قيمة معامل عدم الإستقرار في معامل الكسب في حالة وجود تغذية خلفية كالتالي :

حيث أن معامل الكسب عند وجود تغذية خلفية يعطى بالعلاقة (4) فإنه يمكن إيجاد قيمة عدم الإستقرار في هذا المعامل بتفاضل هذه العلاقة أي أن

$$dA_f = \frac{dA}{(1-\beta A)^2} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

وبقسمة العلاقة (5) على (4) نجد أن

$$\frac{dA_f}{A_f} = \frac{1}{(1-\beta A)} \frac{dA}{A} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

في حالة التغذية الخلفية السالبة يكون المعامل $(1/1-\beta A) < 1$. وبالتالي تصبح نسبة عدم الإستقرار في حالة التغذية الخلفية السالبة (dA_f/A_f) أقل من نسبة عدم الإستقرار بدونها (dA/A) . وهكذا فإنه في حالة التغذية الخلفية السالبة كلما زادت قيمة (β) إنخفض معامل الكسب طبقاً للعلاقة (4) وإنخفضت نسبة عدم الإستقرار طبقاً للعلاقة (6) . فإذا أصبحت قيمة$(1/1-\beta A) \ll 1$تتخذ العلاقة (4) الشكل الآتي

$$A_f = \frac{A}{-\beta A} = -\frac{1}{\beta} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

وهكذا نجد أن معامل كسب المكبر ذي التغذية الخلفية السالبة $-A_f$ لم يعد يعتمد على معامل كسب المكبر بدون التغذية الخلفية وإنما يتوقف أساساً على قيمة المعامل β .أي أن معامل كسب المكبر لم يعد يتوقف على قيم بارامترات الترانزستور أو الصمام والتي تتغير بتغير الظروف المختلفة وإنما يتوقف فقط على المعامل β أي على عناصر دارة التغذية الخلفية . فإذا كانت عناصر هذه الدارة (وهي عبارة عن مقاومات أو مقاومات ومكثفات) لا تتغير بتغير الظروف أصبح معامل الكسب ثابتاً تقريباً وعدم الإستقرار فيه أصغر ما يمكن .

أما في حالة التغذية الخلفية الموجبة يكون المعامل $(1/1-\beta A) > 1$ وبالتالي تصبح نسبة عدم الإستقرار في حالة التغذية الخلفية الموجبة $(-dA_f/+A_f)$ أكبر من نسبة عدم الإستقرار بدونها (dA/A) .

مثال :

إذا كان معامل الكسب لمكبر بدون تغذية خلفية $A = 100$ ونسبة عدم الإستقرار في هذا المعامل يمكن أن تصل إلى $\pm$ ١٠٪ بتغير ظروف التشغيل . ثم نفذت تغذية خلفية لهذا المكبر بمعامل $\beta = \frac{1}{200}$ (أي أنه يتم إعادة

١/٢٠٠ من نبضة الخرج إلى المدخل) . إحسب معامل الكسب A_f ومعامل عدم الإستقرار عندما تكون هذه التغذية سالبة مرة وموجبة مرة أخرى . وإذا أصبح معامل التغذية الخلفية $\beta=\frac{1}{5}$ فما هو مقدار معامل الكسب في هذه الحالة .

الحل :

قيمة عدم الإستقرار في معامل الكسب بدون تغذية خلفية

$$10\pm=\frac{10\times 100}{100}$$

أي أن معامل الكسب يتغير في حدود مقدارها (٩٠-١١٠)

معامل الكسب في حالة التغذية الخلفية السالبة

$$A_{f-}=\frac{100}{1+\frac{1}{200}\times 100}=\frac{100}{1,5}=66.7$$

قيمة عدم الإستقرار في حالة التغذية الخلفية السالبة

$$dA_{f-}=\frac{1}{1.5}\ \frac{10}{100}\times 66.7=4.44$$

نسبة عدم الإستقرار في هذه الحالة هي

$$\frac{dA_{f-}}{A_{f-}}\%=\frac{4.44}{66.7}\simeq 6.6\%$$

معامل الكسب في حالة التغذية الخلفية الموجبة

$$A_{f+}=\frac{100}{1-\frac{1}{200}\times 100}=\frac{100}{0.5}=200$$

عدم الإستقرار للتغذية الموجبة هو

$$dA_{f+}=\frac{1}{0.5}\ \frac{10}{100}\times 200=40$$

نسبة عدم الإستقرار

$$\frac{dA_{f+}}{A_{f+}}=\frac{40}{200}=20\%$$

معامل الكسب عند زيادة التغذية الخلفية السالبة هو

$$A_{f-}=\frac{100}{1-\frac{1}{5}\times 100}=-\frac{100}{19}=-5.2\approx -5=\frac{-1}{\beta}$$

ومعامل عدم الإستقرار

$$dA_{f-}/A_{f-}=0.5\%$$

Sinusoidal Oscillators المذبذبات الجيبية

1- المقدمة

2- انواع التذبذب الجيبي

3- شروط التذبذب

1- المقدمة

تعرف المذبذبات بانها دوائر الكترونية تقوم بتوليد اشارات التيار المتناوب ذات الأشكال الموجية المختلفة ذاتيا – اي دون الحاجة الى اشارة ادخال – وفي مدى من الترددات تمتد من الترددات المسموعة (20 الى 20000 هرتز) مروراً بالترددات الراديوية (100 كيلوهرتز الى 30 ميكاهرتز) حتى اقصى مدى للترددات العالية.

ان توليد الاشارات يجب ان لايفهم على انه خلق للطاقة وانما هو في الحقيقة تحويل للقدرة المستمرة المجهزة بوساطة مصدر القدرة المستمرة المستخدم مع المذبذب الى قدرة متناوبة ذات خصائص مرغوبة من حيث السعة والتردد .

وعلى الرغم من ان الاشارات المتولدة تشترك في كونها دورية : تعيد نفسها بانتظام في فترات زمنية متساوية . الا ان اشكالها الموجية تكون اما جيبية ويدعى المولد عندئذ بالمذبذب الجيبي (sinusoidal oscillator) واما ان تكون الاشارة الناتجة مربعة ويدعى المولد حينذاك بمذبذب الموجات المربعة (square wave oscillator) او بمتعدد الاهتزازات (multivibrator) . بينما سنقوم هنا بالتعرف على النوع الاول من هذه المذبذبات .

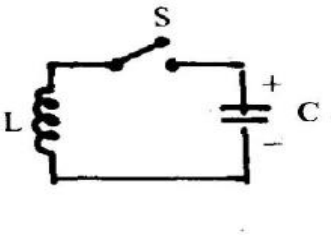
من الجدير بالذكر ان المذبذبات تستخدم بشكل كبير في اجهزة الراديو والتلفزيون والرادار والحاسبات الالكترونية وغيرها وكذلك في توليد الموجات ذات الترددات العالية بقصد استعمالها في تحميل الموجات . لذا فانه يصبح من الضروري ان تكون

سعة الموجات المتولدة وكذلك ترددها غير متغيرة مع الزمن . ولعل اكثر الاشياء ضرورة العمل المذبذب بشكل مرضي هو الاستقرارية اوالثبوتية في تردد الموجة المتولدة عند القيمة المطلوبة . كذلك يجب العمل على زيادة كفاءة المذبذب من خلال زيادة النسبة بين قدرة الموجة المتولدة الى القدرة المستمرة اللازمة لعمل المذبذب .

2- انواع التذبذب الجيبي :- Types of Sinusoidal Oscillations

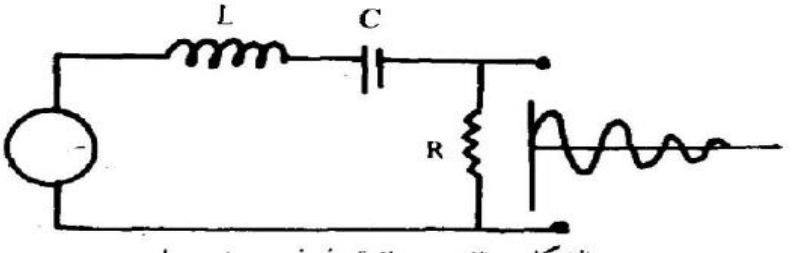
ينقسم التذبذب الكهربائي الجيبي قسمين رئيسين هما : -

أ - التذبذب المضمحل damped oscillations : - هو ذلك النوع من التذبذب الجيبي الذي تقل سعة ذبذبته مع الزمن - انظر الشكل (١) الذي يمثل الشكل الموجي للتذبذب الكهربائي المضمحل . من الواضح ان الجهاز الكهربائي المولد لهذا النوع من التذبذب يحتوي على عنصر يسبب ضياع الطاقة ومن ثم فان فقدان الطاقة يحدث مع كل ذبذبة كذلك فان هذا الفقدان في الطاقة لا يتم تعويضه وبهذا فان النقصان في سعة الذبذبة يحدث تدريجياً ، يبين الشكل (٢) الدائرة اللازمة لحدوث مثل هذا النوع من التذبذب عو فرض ان المتسعة C هي مشحونة بالاساس وان المفتاح (s) يتم غلقه وفتحه بصوره منتظمة هذا ويمكن الحصول على نفس النتيجة من دون الحاجة الى متسعة مشحونة او استعمال المفتاح (s) ، عند تسليط موجة مربعة على دائرة C , L , R مربوطة على التوالي واخذ الموجة الناتجة على المقاومة انظر الشكل (٣) .



الشكل (٢) دائرة تذبذب .

الشكل (١) التذبذب المضمحل .



الشكل (٣) دائرة تذبذب مضمحل .

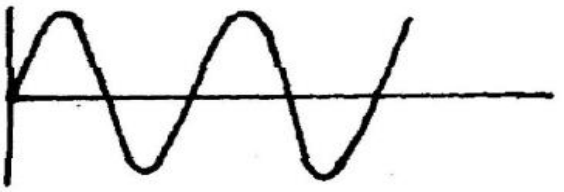
المحاضرة العاشرة

ومن الجدير بالذكر ان تردد التذبذب يبقى ثابتاً حيث ان التردد يعتمد على ثوابت خاصة بالدائرة الكهربائية ويكون مساويا في هذه الحالة ، لـ

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

ب – التذبذب الجيبي غير المضمحل : undamped oscillation

هو ذلك النوع من التذبذب الجيبي الذي لا تتغير سعته مع التذبذب او بعبارة اخرى ثبوت سعة التذبذب مع الزمن – انظر الشكل (٤) – الذي يمثل الشكل الموجي للتذبذب الكهربائي غير المضمحل .



الشكل (٤) التذبذب الجيبي غير المضمحل .

يحدث هذا النوع من التذبذب بنفس الطريقة التي يحدث بها التذبذب المضمحل مع فارق واحد ان هناك تعويض دائماً للطاقة الضائعة بسبب من مرور التيار في المقاومة المرافقة لكل من المتسعة والملف في الدائرة الشكل (٢) . كذلك فان تردد الموجة الناتجة يكون هو التردد في المعادلة (١) .

3- شروط التذبذب

رأينا فيما سبق (في التغذية الخلفية) انه بالامكان جعل المكبر يصل الى حالة التذبذب عندما تكون التغذية الخلفية المستخدمة مع دائرة المكبر . من النوع الموجب . وبهذا فانه يصح التكلم عن المذبذب باعتباره مكونا من مكبر مع دائرة تغذية خلفية موجبة – انظر الشكل (٥) . حيث نلاحظ دائرة المكبر A مع دائرة التغذية الخلفية التي تقوم بتجهيز مدخل المكبر بجهد الادخال اللازم بحيث ان

$$v_i - \beta v_o = +A\beta v_i \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

او ان

المحاضرة العاشرة

$$v_i\ (1 - \beta A) = 0 \qquad \ldots\ldots\ldots (3)$$

وحيث ان v_i لا يساوي صفراً في حالة وجود v_o لذا فان

$$1 - \beta A = 0 \qquad \ldots\ldots\ldots (4)$$

او ان

$$\boxed{\beta A = 1} \qquad \ldots\ldots\ldots (5)$$

ان تحقق الشرط اعلاه . المعادلة (٥/ – في دائرة المكبر عن طريق التغذية الخلفية الموجبة يعني ظهور التذبذب التلقائي في هذه الدائرة سواء اكانت اشارة الادخال موجودة او غير موجودة . وعندئذ تدعى الدائرة بدائرة المذبذب .

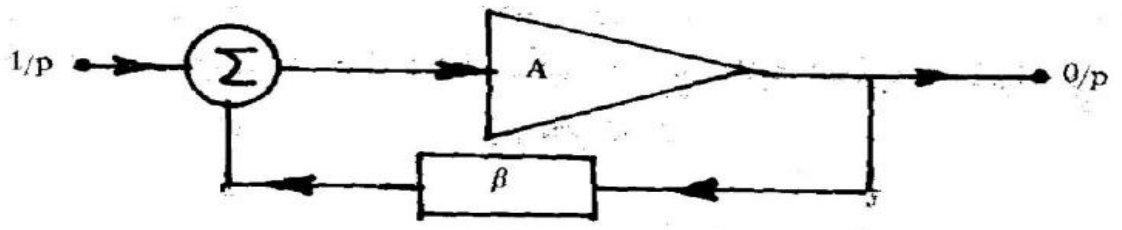
على اية حال تعامل الكمية βA . عند تحليل دائرة المذبذب ، على انها كمية معقدة complex quantity او بعبارة اخرى انها تمتلك مقداراً واتجاهاً وتكتب بالصيغة الآتية :

$$\beta A = 1 + j\,0 \qquad \ldots\ldots\ldots (6)$$

وبهذا يتضح لنا ان الشرطين الاساسين واللازمين لظهور التذبذب هما :

1 – ان قيمة عامل التغذية الخلفية $\beta A = 1$

2 – ان محصلة الازاحة الطورية للاشارة الداخلة تساوي $2n\pi$ حيث ان n عدد صحيح ويساوي $0, 1, 2, 3 \ldots$



الشكل (٥) مكبر التغذية الخلفية .

المحاضرة العاشرة