وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة التقنية الجنوبية
المعهد التقني العمارة
قسم التقنيات الكهربائية

الحقيبة التدريسية لمادة
مبادئ الالكترونيك
Principles of Electronics

الصف : الاول

تدريسي المادة
د. اسامة كريم محمد

الفصل الدراسي الاول

جدول مفردات مادة مبادئ الالكترونيك

الاسبوع	المفردات
1	نظرية اشباه الموصلات – التركيب الذري – مستويات الطاقة – البلورات – التوصيل في البلورات – تيار الفجوة – كيفية تحرك الفجوات
2	التطعيم – بلورة موجبة نوع (P) بلورة سالبة من نوع (N) تيار الالكترونات وتيار الفجوات – المقاومة الاجمالية
3 - 4	ثنائيات اشباه الموصلات – وصلة (PN) تكوين منطقة الاخلاء – الجهد الحاجز – تل الطاقة – التأثيرات الحرارية – الثنائي المنحاز – الانحياز الامامي – الانحياز العكسي – منحنيات الخواص في الاتجاهين الامامي والعكسي – تيار العبور الزائل – تيار حاملات الاقلية – تيار التسرب السطحي – جهد الانكسار – جهد الانهيار (PIV) اعظم تيار امامي – اعظم جهد عكسي – (PIVmax) – الدائرة المكافئة للثنائي.
5	الثنائي كموحد للتيار – موحد نصف الموجة – القيمة المستمرة للتيار وحسابها – القيمة الفعالة تردد الخرج
6	توحيد الموجة الكاملة – باستخدام محولة التفرع الوسطي – الموحد القنطري – حساب القيم المستمرة والفعالة للتيار – استخراج تردد الخرج – مقارنة بين موحد نصف الموجة وموحد الموجة الكاملة – مقارنة بين موحدات الموجة الكاملة
7	المرشحات – الترشيح باستخدام المتسعة – مرشح (LC) مرشح (RC) – جهد الخرج المستمر التموج.
8	عامل التموج مضاعف الجهد دوائر التقليم – التقليم الموجب – التقليم السالب – التقليم المركب
9 -10	ثنائي الزينر – تركيبه – رمزن – خواصه – الانكسار الإنهياري انكسار الزينر – جهد الانكسار – تحمل القدرة – ممانعة الزينر – تأثيرات درجة الحرارة – تقريب الزينر تنظيم الجهد المستمر.
11 -12	الترانزستور ثنائي القطبية – تركيبه – مناطقه – رمزه – جهود التحييز – (α dc) – (β dc) العلاقة بين (α dc) – (β dc) انواع الانحياز – صيغ الربط التقريب في الترانزستور والدائرة
13	منحنيات خواص الترانزستور – مناطق العمل تعريف (I_{CBO}) و (I_{CEO}) – منحني كسب التيار – العلاقة بين (I_C) و (I_{CEO}).
14	دوائر الانحياز الترانزستور – انحياز القاعدة – انحياز الباعث
15	انحياز الجامع – الانحياز الذاتي – انحياز التغذية الخلفية – انحياز مقسم الجهد – امثلة تطبيقية

الهدف من دراسة مادة مبادئ الالكترونيك :

الهدف العام: تعريف الطالب بالمكونات الالكترونية المختلفة.

الهدف الخاص: سيكون الطالب قادرا على الالمام : بالمكونات الالكترونية المصنعة من اشباه الموصلات باختلاف انواعها – تركيبها – خواصها – استخداماتها في الدوائر الالكترونية – تطبيقاتها – تحليل الدوائر الالكترونية الخاصة بها بالمكونات الالكترونية الضوئية وتطبيقاتها.

الفئة المستهدفة:

طلبة الصف الاول / قسم التقنيات الكهربائية .

التقنيات التربوية المستخدمة:

1. السبورة والاقلام .
2. السبورة التفاعلية.
3. عارض البيانات Data Show.
4. جهاز حاسوب محمول Laptop.

الاسبوع الأول

نظرية اشباه الموصلات – التركيب الذري – مستويات الطاقة – البلورات – التوصيل في البلورات – تيار الفجوة – كيفية تحرك الفجوات.

الهدف التعليمي (الهدف الخاص لكل للمحاضرة):

تعرف الطالب على نظرية اشباة الموصلات والتركيب الذري لهذه المواد.

مدة المحاضرة: 2 ساعة نظري .

الأنشطة المستخدمة:

1. أنشطة تفاعلية صفية
2. أسئلة عصف ذهني
3. أنشطة جماعية (إذا تطلب الامر)
4. واجب بيتي
5. واجب الكتروني (ويفضل انشاء صفوف الكترونية Classrooms لدمج التعليم الحضوري بالتعليم الالكتروني حسب التوجهات الحديثة للتعليم والتعلم)

أساليب التقويم:

1. التغذية الراجعة الفورية من قبل التدريسي (التقويم البنائي).
2. اشراك الطلبة بالتقويم الذاتي (تصحيح اخطائهم بأنفسهم).
3. التغذية الراجعة النهائية (التقويم الختامي)، ويقصد به حل الأسئلة المعطاة كنشاط صفي في نهاية المحاضرة.

نظرية اشباه الموصلات :

تُعرف أشباه الموصلات بالإنجليزية:(Semiconductor) بأنها مجموعة من المواد الصلبة البلورية، التي تمتلك قدرة متوسطة على توصيل الكهرباء، بحيث لا توصل الكهرباء بكفاءة المواد الموصلة (بالإنجليزية: Conductor) لكنّها ليست أيضًا من المواد العازلة (بالإنجليزية: Insulator)، وتمتاز أشباه الموصلات بكفاءتها في مجال الطاقة، وبانخفاض أسعارها؛ لذلك فهي تستخدم على نطاق واسع في مجال صناعة الأجهزة الإلكترونية، بما في ذلك الديودات (بالإنجليزية: Diodes)، والترانزستورات (Transistors)، والدوائر المتكاملة (Integrated circuits).

التركيب الذري :

تعتمد نظرية أشباه الموصلات على التركيب الذري للمادة، حيث تتكون أشباه الموصلات من ذرات ذات أربعة إلكترونات تكافؤ، مثل السيليكون والجرمانيوم. هذه الذرات تتحد معًا لتشكيل بنية بلورية، حيث تساهم كل ذرة

بإلكتروناتها الأربعة في تكوين روابط تساهمية مع الذرات المجاورة. هذه الروابط التساهمية تخلق هيكلًا قويًا يحافظ على استقرار المادة.

المادة شبه الموصلة، مثل السيليكون والجرمانيوم، تتميز بتركيب ذري فريد يسمح لها بالتوصيل الكهربائي بشكل انتقائي. تتكون من ذرات ذات أربعة إلكترونات تكافؤ (رباعية التكافؤ) ترتبط معًا بروابط تساهمية في بنية بلورية .هذا الترتيب يجعلها قادرة على توصيل الكهرباء عند تعرضها للحرارة أو عند إضافة شوائب إليها.

الذرات المكونة:

أشباه الموصلات النقية (مثل السيليكون النقي والجرمانيوم النقي) تتكون من ذرات لها أربعة إلكترونات في غلافها الخارجي (إلكترونات التكافؤ). هذه الإلكترونات تشكل روابط تساهمية مع الذرات المجاورة.

الروابط التساهمية:

في الروابط التساهمية، تتشارك كل ذرة إلكترونات التكافؤ مع الذرات المجاورة لتشكيل روابط قوية. هذا الترتيب يجعل المادة النقية عازلة للكهرباء في درجات الحرارة المنخفضة.

التوصيل الكهربائي:

عند تسخين المادة شبه الموصلة أو إضافة شوائب إليها، يمكن لبعض الإلكترونات أن تتحرر من الروابط التساهمية وتتحرك بحرية في المادة. هذا يسمح بتدفق التيار الكهربائي.

مستويات الطاقة :

في المواد شبه الموصلة، توجد نطاقات طاقة رئيسية هي نطاق التكافؤ ونطاق التوصيل، بالإضافة إلى مستوى فيرمي الذي يقع بينهما .عند درجة حرارة الصفر المطلق، يكون نطاق التكافؤ ممتلئًا بالإلكترونات، بينما يكون نطاق التوصيل فارغًا، مما يجعل شبه الموصل عازلًا. مع ارتفاع درجة الحرارة، تنتقل بعض الإلكترونات من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل، مما يزيد من موصلية شبه الموصل.

فيما يلي تفصيل لمستويات الطاقة في أشباه الموصلات:

نطاق التكافؤ:(Valence Band)

هذا النطاق هو أدنى مستوى طاقة متاح للإلكترونات في شبه الموصل. عند درجة حرارة الصفر المطلق، يكون هذا النطاق ممتلئًا بالإلكترونات، وهي مرتبطة بالذرات في الشبكة البلورية.

نطاق التوصيل:(Conduction Band)

هذا النطاق هو أعلى مستوى طاقة متاح للإلكترونات في شبه الموصل. عند درجة حرارة الصفر المطلق، يكون هذا النطاق فارغًا. عندما تكتسب الإلكترونات طاقة كافية، يمكنها الانتقال إلى نطاق التوصيل، مما يسمح لها بالتحرك بحرية أكبر والمساهمة في التيار الكهربائي.

مستوى فيرمي:(Fermi Level)

هو مستوى الطاقة الذي يمثل أعلى مستوى طاقة يمكن أن يشغله إلكترون عند درجة حرارة الصفر المطلق. في أشباه الموصلات النقية، يقع مستوى فيرمي في منتصف المسافة بين نطاق التكافؤ ونطاق التوصيل.

الفجوات:(Holes)

عندما ينتقل إلكترون من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل، فإنه يترك وراءه "فجوة" أو مكانًا فارغًا في نطاق التكافؤ. هذه الفجوات تتصرف وكأنها جسيمات موجبة الشحنة وتساهم أيضًا في التوصيل الكهربائي.

باختصار، تعتمد موصلية أشباه الموصلات على درجة الحرارة وحركة الإلكترونات والفجوات بين نطاق التكافؤ ونطاق التوصيل.

تيار الالكترونات وتيار الفجوات :

تيار الإلكترونات والفجوات هو حركة الإلكترونات والفجوات في المواد شبه الموصلة، وهما المسؤولان عن نقل التيار الكهربائي في هذه المواد. الإلكترونات تحمل شحنة سالبة وتتحرك نحو القطب الموجب، بينما الفجوات تحمل شحنة موجبة وتتحرك نحو القطب السالب.

الإلكترونات في أشباه الموصلات، تتحرك الإلكترونات بحرية في نطاق التوصيل، مما يسمح لها بحمل التيار الكهربائي.

الفجوات هي مكان فارغ في نطاق التكافؤ نتيجة لانتقال إلكترون إلى نطاق التوصيل، وتتحرك الفجوات كحاملات شحنة موجبة.

التيار:

عند تطبيق جهد كهربائي على شبه موصل، تتحرك الإلكترونات والفجوات في اتجاهات متعاكسة، مما يولد تيارًا كهربائيًا.

أمثلة:

في أشباه الموصلات من النوع "n" (السالبة)، يكون تركيز الإلكترونات أعلى من تركيز الفجوات، وبالتالي فإن التيار الكهربائي يتدفق بشكل رئيسي عن طريق الإلكترونات.

في أشباه الموصلات من النوع "p" (الموجبة)، يكون تركيز الفجوات أعلى من تركيز الإلكترونات، وبالتالي فإن التيار الكهربائي يتدفق بشكل رئيسي عن طريق الفجوات.

في الوصلة الثنائية (diode)، ينتقل التيار عن طريق حركة الإلكترونات والفجوات عبر الوصلة، حيث تنتشر الإلكترونات من المنطقة "n" إلى المنطقة "p" والفجوات من المنطقة "p" إلى المنطقة "n".

البلورات :

البلورة شبه الموصل التي تتكون من ذرات السيليكون أو الجرمانيوم عن طريق مشاركة كل ذرة بإلكترونات التكافؤ الأربعة مع أربع ذرات مجاورة (رابطة تساهمية).

ومن المواد التي تشكل أشباه الموصلات عناصر رباعية التكافؤ، أي أن لكل ذرة 4 إلكترونات تشترك في الروابط مع جيرانها من الذرات. ومن تلك المواد السيليكون النقي والجرمانيوم النقي. وجميع المواد شبه الموصلة تتسم بأن لها في المتوسط 4 إلكترونات تكافؤ. ومنها عناصر المجموعتين III و .Vمن النظام الدوري للعناصر، مثل سيلينيد

الجاليوم GaAs وأنتيمونيد الإنديوم InSb كذلك عناصر المجموعتين II و VIمن الجدول الدوري، مثل سيلينيد الزنك ZnSe وكبريتيد الكادميوم.CdS .

مستويات الطاقة:

في أشباه الموصلات، توجد مستويات طاقة مميزة للإلكترونات، تُعرف بنطاقات الطاقة. هناك نطاق التكافؤ (valence band)، وهو نطاق الطاقة الممتلئ بالإلكترونات، ونطاق التوصيل(conduction band) ، وهو نطاق الطاقة الفارغ الذي يمكن للإلكترونات أن تنتقل إليه لتوصيل الكهرباء .توجد بينهما فجوة طاقة (energy gap) تسمى فجوة النطاق (band gap) تحدد سهولة توصيل المادة للكهرباء.

في البلورات الصلبة، تتجمع مستويات الطاقة للإلكترونات في نطاقات. في أشباه الموصلات، توجد نطاقات رئيسية هي نطاق التكافؤ ونطاق التوصيل.

نطاق التكافؤ:

هو النطاق الذي توجد فيه الإلكترونات عادةً، وهو ممتلئ بالإلكترونات في درجة حرارة الصفر المطلق.

نطاق التوصيل:

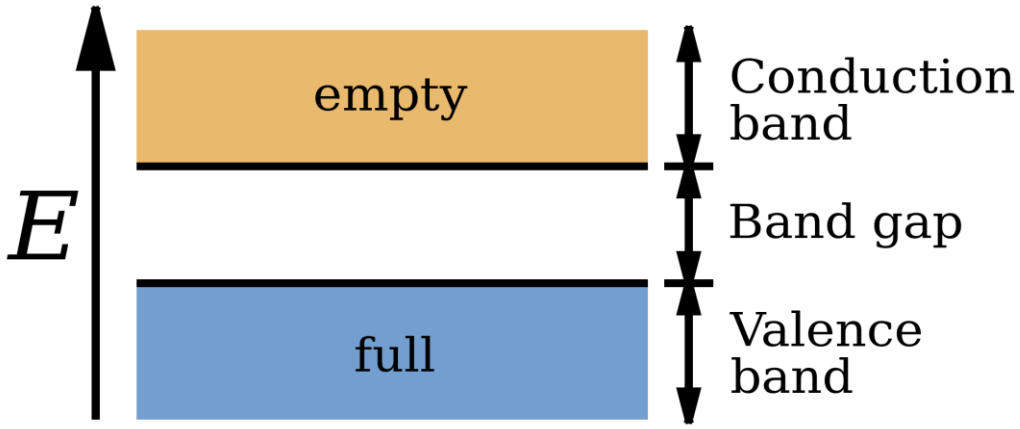
هو النطاق الذي يقع فوق نطاق التكافؤ، ويكون فارغًا عادةً في درجة حرارة الصفر المطلق. إذا اكتسب الإلكترون طاقة كافية، يمكنه الانتقال إلى نطاق التوصيل ليساهم في توصيل التيار الكهربائي.

فجوة النطاق:

هي المنطقة بين نطاق التكافؤ ونطاق التوصيل، وهي تمثل مقدار الطاقة اللازم لنقل إلكترون من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل.

أشباه الموصلات النقية والمدعمة:

في أشباه الموصلات النقية، يكون مستوى فيرمي (Fermi level)، وهو مستوى الطاقة الذي يمثل أعلى مستوى مشغول بالإلكترونات عند درجة حرارة الصفر المطلق، في منتصف المسافة بين نطاق التكافؤ ونطاق التوصيل. أما في أشباه الموصلات المدعمة (المشوبة)، يتم تغيير مستوى فيرمي عن طريق إضافة شوائب، مما يؤثر على خصائص التوصيل.

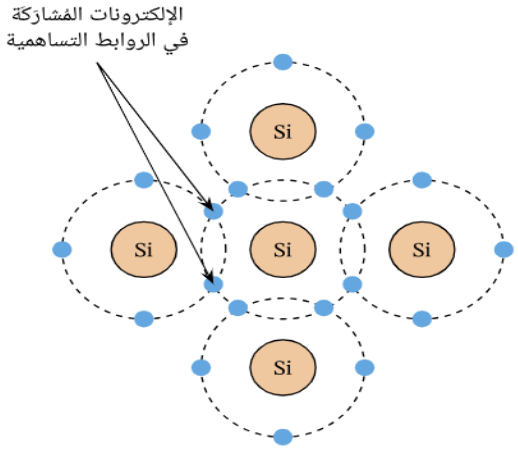


الاسبوع الثاني

التطعيم – بلورة موجبة نوع (P) بلورة سالبة من نوع (N) تيار الالكترونات وتيار الفجوات – المقاومة الاجمالية

أشباه الموصِّلات لها خواصُّ توصيلية تُصنف بين العوازل والموصِّلات. فتسمح لنا الخواصُّ المميِّزة لأشباه الموصِّلات بالتحكم في توصيليَّتها بطرق فريدة ومفيدة. تذكر أن أشباه الموصِّلات النقية تتكون من نوع واحد من العناصر، والأكثر شيوعًا هو السليكون، ولا تحتوي على أي شوائب أخرى.

تحتوي ذرة السليكون المتعادلة على أربعة إلكترونات في غلافها الإلكتروني الخارجي، وعند تجمُّعها معًا، تشكل الذرات شبكة بالمشاركة في روابط تساهمية مع الذرات المجاورة. ويوضح الشكل التالي ترتيب هذه الشبكة. لاحظ أن الإلكترونات الخارجية لكل ذرة هي الموضَّحة فقط.



هو إضافة ذرات من الشوائب ليست رباعية التكافؤ إلى بلورة شبه الموصل النقي من اجل زيادة عدد الإلكترونات الحرة في حزمة التوصيل أو لأجل زيادة عدد الفجوات في حزمة التكافؤ. عندما تطعم بلورة شبه الموصل النقي تسمى شبه موصل مطعم أو شبه موصل غير نقي (extrinsic semiconductor). تسمى الذرات الشائبة المضافة بالذرات المشوبة (Impurity atoms) لتمييزها عن ذرات شبه الموصل (السليكون أو الجرمانيوم) السائدة في التركيب البلوري.

ان إضافة ذرات شائبة إلى أشباه الموصلات النقية بنسب قليلة تعمل على زيادة الموصلية لهذه المواد فمثلاً إذا أضيفت الشوائب بنسبة ذرة واحدة من الشوائب إلى مئة مليون (108) ذرة جرمانيوم فان ذلك يكفي لزيادة الموصلية بمقدار من 10 إلى 15 مرة. كذلك فان إضافة الذرات الشائبة إلى أشباه الموصلات النقية تعطينا إمكانية التحكم في كثافة الإلكترونات الحرة الموجودة في شبه الموصل أو كثافة الفجوات فيه وبصورة مستقلة. تضاف الشوائب عادة بنسبة ذرة شائبة واحدة لكل 108 ذرة شبه موصل نقية وتقل النسبة عن ذلك أو تزيد حسب الخصائص المطلوبة للنبيطة المنتجة.

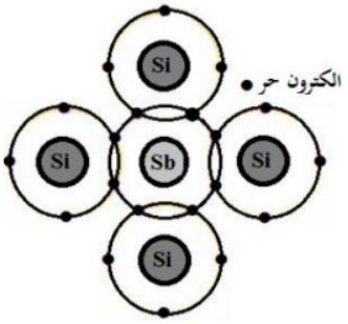
يوجد نوعان من الشوائب، الأول يعمل على زيادة الموصلية بزيادة عدد الإلكترونات في حزمة التوصيل وتكون من عناصر المجموعة الخامسة من الجدول الدوري (خماسية التكافؤ)، والنوع الثاني تعمل على زيادة عدد الفجوات

في حزمة التكافؤ وتكون ضمن عناصر المجموعة الثالثة (ثلاثية التكافؤ) ولهذا السبب فان شبه الموصل المشوب يصنف إلى نوعين رئيسيين وذلك حسب نوع الشوائب المضافة اليه.

أ- شبه موصل من النوع N (N-Type Semiconductor):

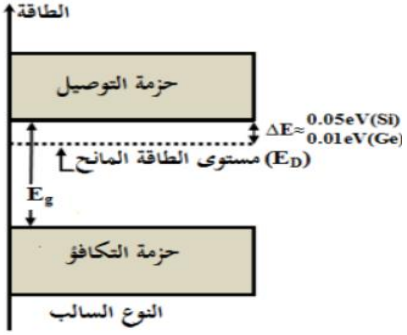
لزيادة عدد الإلكترونات الحرة في حزمة التوصيل في مادة شبه الموصل النقي تتم إضافة شوائب (ذرات) خماسية التكافؤ (غلافها التكافؤي يحتوي على خمسة الكترونات) مثل الزرنيخ Arsenic As، الفسفور Phosphorus P)، البزموث Bi (Bismuth) والانتيمون Sb (Antimony).

على سبيل المثال في حالة إضافة ذرة شائبة خماسية التكافؤ مثل ذرة الانتيمون إلى بلورة السليكون فأنها سوف تزيح ذرة شبه موصل نقية وتحل محلها ضمن التركيب البلوري الجديد، وعندها فان أربعة الكترونات تكافؤية من ذرة الانتيمون تساهم بأربعة أواصر تساهمية مع ذرات السليكون المجاورة ويبقى الإلكترون الخامس لذرة الانتيمون معلقاً بالذرة الأم (الانتيمون) دون ان يدخل ضمن الأواصر التي تربط الذرات وكما هو موضح بالشكل (1).



شكل (1) مخطط لعملية إضافة شائبة خماسية التكافؤ لبلورة شبه الموصل النقي

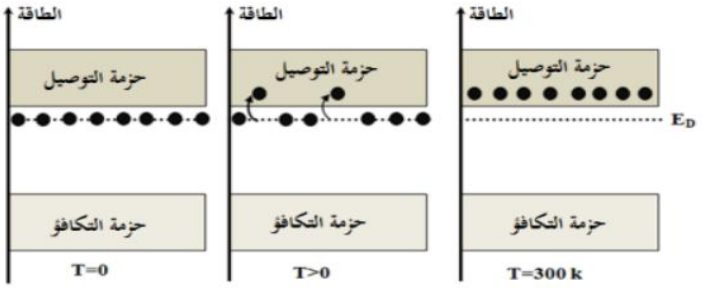
ان ذلك الإلكترون الخامس يكون شبه طليق حيث تكفي طاقة صغيرة بحدود (0.05 eV) للسليكون و (0.01 eV) للجرمانيوم لينتقل إلى حزمة التوصيل حيث يعتمد مقدار الطاقة المطلوبة على طبيعة شبه الموصل النقي والشائبة المضافة، وبتعبير آخر فان إضافة شوائب خماسية التكافؤ يضيف مستوى طاقة جديد (ED) يدعى مستوى الطاقة المانح Donor energy level ضمن فجوة الطاقة للبلورة وبالقرب من حزمة التوصيل وهو يمثل مستوى الطاقة للذرات الشائبة كما هو موضح لمخطط حزم الطاقة لمادة شبه موصل من النوع.. الشكل (2) يمثل مخطط حزم الطاقة لشبه موصل من النوع N ويظهر فيه تأثير الشائبة المانحة المضافة على حزم الطاقة حيث ينشئ مستوى طاقة مانح ضمن فجوة الطاقة وأسفل حزمة التوصيل مباشرة.



الشكل (2) مخطط لحزم الطاقة بعد إضافة شائبة خماسية التكافؤ لبلورة شبه الموصل النقي

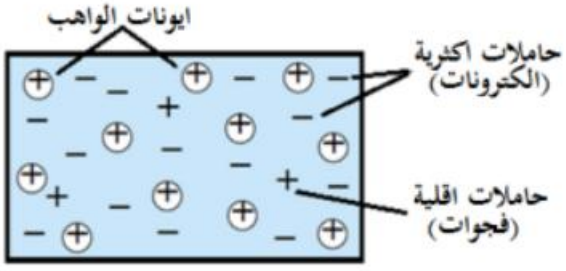
في درجة حرارة الغرفة تكون الطاقة الحرارة المكتسبة كافية لانتقال الإلكترون الخامس من مستوى الطاقة المانح إلى مستوى التوصيل، أي انه في درجة حرارة الغرفة فان لكل ذرة شائبة مضافة سيكون هناك الكترون حر في حزمة التوصيل. وبالنتيجة يمكننا التحكم في عدد الإلكترونات الحرة (وبالتالي توصيلة مادة شبه الموصل النقي من خلال التحكم بنسبة (كمية) ذرات الشائبة المضافة. ولذلك تسمى الذرات الشائبة المضافة في هذه الحالة بالذرات الواهبة (Donors).

ان ظهور الإلكترونات الفائضة في حزمة التوصيل نتيجة لإضافة شوائب خماسية التكافؤ لا يرافقها ظهور الفجوات في حزمة التكافؤ، وذلك لان تلك الإلكترونات لا تنتقل من حزمة التكافؤ كما يحدث ذلك في مادة شبه الموصل النقي (توليد زوج الكترون فجوة بل انها تنتقل من مستويات طاقة واقعة أسفل حافة حزمة التوصيل (المستوى الواهب) كما موضح بالشكل (3).



شكل (3) مخطط لحزم الطاقة لشبه موصل من النوع السالب

ينبغي الإشارة هنا انه في درجات الحرارة الأعلى من الصفر المطلق تستمر الطاقة الحرارية المكتسبة في توليد أزواج الكترون فجوة ولكن ضمن درجات الحرارة الاعتيادية يكون عدد الإلكترونات الحرة المضافة من جراء عملية التشويب اكبر بكثير من عدد الفجوات الناتجة من عمليات توليد (الكترون فجوة) ولذلك تسمى الإلكترونات الحرة في شبه الموصل من النوع N بحاملات الشحنة الأكثرية (majority carrier) وتسمى الفجوات بحاملات الشحنة الأقلية minority carriers) ويكون غالبية التيار المتولد نتيجة لحركة الإلكترونات الحرة ولهذا السبب تسمى مادة شبه الموصل المشوبة بذرات خماسية التكافؤ بشبه موصل من النوع السالب كما هو موضح بالشكل (4).



شكل (4) مخطط لحاملات الشحنة الأكثرية والأقلية لشبه موصل من النوع السالب

ان مادة شبه الموصل من النوع N اجمالاً تعتبر متعادلة كهربائياً كما هو الحال في شبه الموصل النقي بصرف النظر عن مقدار التشويب وذلك لان الشائبة الخماسية متعادلة كهربائياً بالأساس وكذلك ذرات شبه الموصل النقي

وبالتالي فان التركيب الذي يضم الاثنين معاً لابد ان يكون متعادلاً كذلك، والإلكترون الخامس المضاف يكون ضعيف الارتباط بذرته وفي حالة ابتعاده عن ذرته ويصبح الالكتروناً حراً يساهم في عملية التوصيل بينما ذرتها الأم تصبح ايوناً موجباً ولا تساهم في عملية التوصيل لانها مرتبطة بشدة ضمن التركيب البلوري.

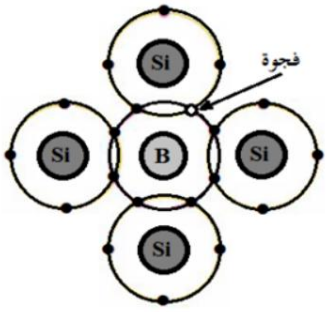
على سبيل المثال ، عند درجة حرارة الغرفة فان مادة السليكون النقية تمتلك الكترون حر واحد لكل (1012) ذرة سليكون (في حالة الجرمانيوم الكترون واحد لكل 109 ذرة) وفي حالة إضافة شوائب بنسبة شائبة لكل (107)، فإن تركيز حاملات الشحنة (الإلكترونات) سوف يزيد بنسبة 100000 مرة.

ان مستوى فيرمي في حالة شبه الموصل من النوع سوف ينزاح مقترباً من حزمة التوصيل وكلما زادت نسبة التشويب اقترب مستوى فيرمي من حزمة التوصيل اكثر كما هو موضح بالشكل (5).

الشمل (5) مخطط مستوى فيرمي لشبة موصل من النوع السالب.

ب شبه موصل من النوع p (P-Type Semiconductor):

لزيادة عدد الفجوات في بلورة شبه الموصل يتم إضافة شوائب ثلاثية التكافؤ (غلافها الخارجي يحتوي على ثلاث الكترونات تكافؤ) مثل الكاليوم Ga (Gallium) والانديوم In (Indium) والبورون B (Boron). عند إضافة شائبة ثلاثية التكافؤ مثل البورون إلى بلورة السليكون النقي فأنها سوف تزيح ذرة سليكون وتحل محلها ان كل ذرة شائبة (بورون) ستكون محاطة بأربعة جيران ذرات سليكون) ، وبما ان كل ذرة ثلاثية التكافؤ قد جلبت معها ثلاثة الكترونات في مدارها التكافؤي، لذلك ستنتقل سبعة الكترونات فقط في مدارها التكافؤي أربعة) من ذرات الجوار وثلاثة منها وبعبارة أخرى تظهر فجوة في كل ذرة شائبة ثلاثية التكافؤ كما هو موضح بالشكل (6)

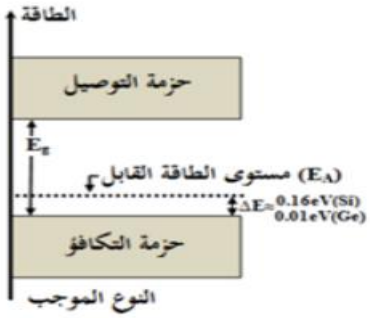


شكل (6) مخطط لعملية إضافة شائبة ثلاثية التكافؤ لبلورة شبه الموصل النقي.

ان الفجوة الناشئة من التشويب ستكون محاطة بالإلكترونات العائدة لذرات شبه الموصل النقي (السليكون)، وتلك الإلكترونات تحتاج إلى طاقة قليلة جداً لكي تدخل في تلك الفجوة وعند انتقال الكترون معين لمليء تلك الفجوة فانه يترك في محله ذرة) (السليكون فجوة جديدة ولذلك تدعى الذرات الشائبة ثلاثية التكافؤ بالذرات المتقبلة

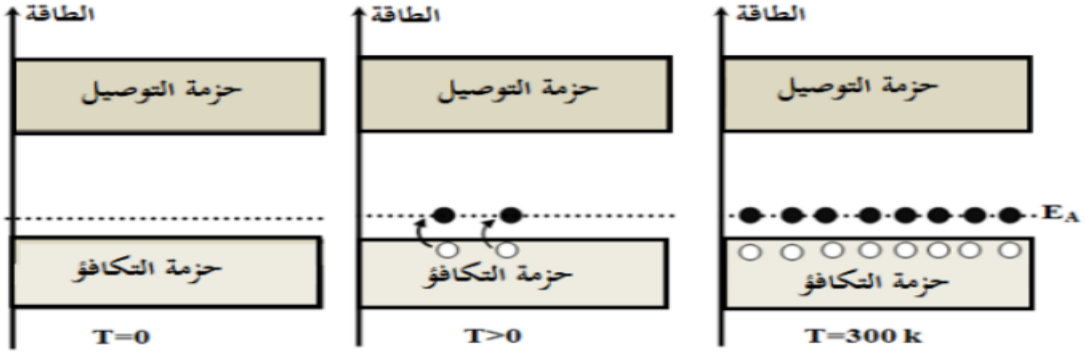
(acceptors) لتقبلها الإلكترونات من ذرات البلورة الأصلية (بلورة شبه الموصل النقي). وكما هو الحال في الشوائب المانحة فان الشوائب القابلة تكون مستوى طاقة جديد (EA) ضمن فجوة الطاقة وعلى مسافة قريبة جداً من حزمة التكافؤ يطلق عليها مستوى الطاقة القابل (Acceptor energy level) وتبلغ قيمته حوالي (0.01 ev) بالنسبة للجرمانيوم و (0.16 ev) بالنسبة للسليكون.

الشكل (7) يمثل مخطط حزم الطاقة لشبه موصل من النوع P ويظهر فيه تأثير الشائبة القابلة المضافة على حزم الطاقة حيث ينشئ مستوى طاقة قابل ضمن فجوة الطاقة واعلى حزمة التكافؤ مباشرة.



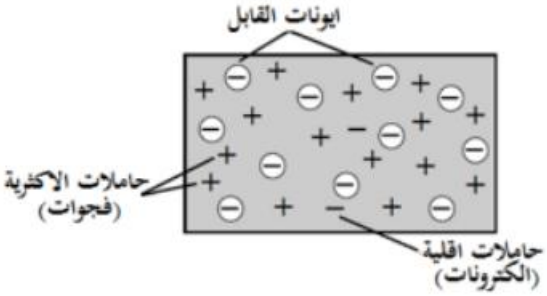
شكل (7) مخطط لحزم الطاقة بعد إضافة شائبة ثلاثية التكافؤ لبلورة شبه الموصل النقي.

ان وجود المستوى القابل يسهل من عملية انتقال الإلكترونات من حزمة التكافؤ اليه وان انتقال الإلكترون يؤدي إلى تخلف فجوة في حزمة التكافؤ من دون أن يرافق ذلك انتقال الكترون إلى حزمة التوصيل كما موضح بالشكل (8)، وبالتالي فان إضافة أي شائبة ثلاثية التكافؤ ستولد فجوة إضافية في حزمة التكافؤ وهذه الفجوات تساعد على سريان التيار (تيار الفجوات). وبالتالي يمكننا السيطرة على عدد الفجوات في حزمة التكافؤ من خلال التحكم بنسبة التشويب بالذرات القابلة.



شكل (8)مخطط لحزم الطاقة لشبه موصل من النوع الموجب.

في درجة الحرارة الاعتيادية تحتوي المادة شبه الموصلة من النوع P على عدد كبير من الفجوات الناتجة من عملية التشويب بالذرات القابلة، وبنفس الوقت تحتوي على عدد بسيط من الإلكترونات الحرة الناتجة من عمليات توليد زوج (الكترون فجوة). أي انه في حالة شبه الموصل من النوع p تكون الفجوات هي حاملات الشحنة الأكثرية بينما تكون الإلكترونات هي حاملات الشحنة الأقلية كما هو موضح في الشكل (9) ويكون اغلب التيار ناتج عن الفجوات ولذلك تسمى مادة شبه الموصل المشوبة بذرات قابلة بشبه موصل من النوع الموجب

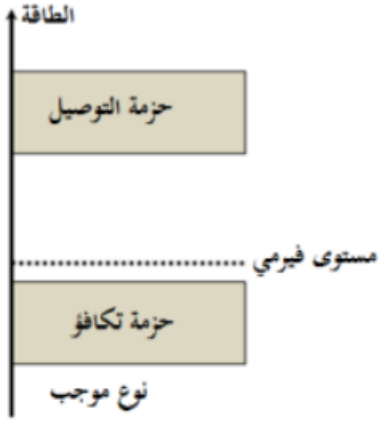


لنوع الموجب.

شكل (9) مخطط لحاملات الشحنة الأكثرية والأقلية لشبه موصل من النوع السالب.

ان بلورة شبه الموصل الموجب تكون أيضا متعادلة كهربائياً. وعند اقتناص الذرة القابلة لاحد الكترونات التكافؤ المحيطة بها تتحول إلى أيون سالب ولا تساهم في عملية التوصيل وينشئ في مكان الكترون التكافؤ المقتنص فجوة جديدة والتي بدورها تحاول اقتناص الكترون تكافوي آخر وهكذا ينشئ تيار الفجوات.

ان مستوى فيرمي في شبه الموصل من النوع P ينزاح مقترباً من حزمة التكافؤ وكلما زادت نسبة التشويب يزداد اقتراب مستوى فيرمي من مستوى حزمة التكافؤ كما هو موضح بالشكل (10).



الشكل (10) مخطط مستوى فيرمي لشبه موصل من النوع الموجب.

ان إضافة الشوائب خماسية أو ثلاثية التكافؤ) إلى مادة شبه الموصل النقي تؤدي إلى وجود حاملات شحنة أكثرية وأخرى اقلية وبالاضافة إلى ذلك فان إضافة الشوائب تؤدي إلى انخفاض نسبة حاملات الشحنة الأقلية الناتجة من عمليات توليد الكترون فجوة ، وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة نسبة حاملات الشحنة الأكثرية (الناتجة من التشويب وعملية توليد ازدواج الكترون فجوة الحرارية)، ولإيضاح ذلك نفرض ان عدد حاملات الشحنة المتولدة حرارياً في مادة شبه الموصل النقى قبل التشويب هي n و p ولنفرض ان معدل انتاج ازواج الكترون فجوة في شبه الموصل النقى هي (g) ، في حالة الاتزان الحراري يكون عدد حاملات الشحنة متساوية لكل من الإلكترونات الحرة والفجوات المتولدة .

الفرق الرئيسي بين النوعين ,في النوع N، الإلكترونات هي حاملات الشحنة الرئيسية، وفي النوع P، الفجوات هي حاملات الشحنة الرئيسية , النوع N يميل إلى جذب الإلكترونات، والنوع P يميل إلى جذب الفجوات.

يستخدم النوعان في صناعة المكونات الإلكترونية مثل الثنائيات والترانزستورات، حيث يتم توصيل منطقتي N و P معًا لتشكيل ما يسمى "وصلة PN".

المقاومة الاجمالية :

المقاومة الإجمالية في أشباه الموصلات تتأثر بعدة عوامل، بما في ذلك درجة الحرارة، ونوع الشوائب (المطاعم)، وحجم وتركيب المادة شبه الموصلة. بشكل عام، تقع مقاومة أشباه الموصلات بين الموصلات والعوازل، وتتغير بناءً على الظروف المحيطة.

عوامل تؤثر على المقاومة في أشباه الموصلات:

1- درجة الحرارة:

مع ارتفاع درجة الحرارة، تزداد مقاومة أشباه الموصلات بسبب زيادة عدد التصادمات بين الإلكترونات الحرة والشوائب في الشبكة البلورية.

2- الشوائب:

إضافة شوائب (عملية التطعيم) إلى مادة شبه الموصلة النقية يمكن أن تغير بشكل كبير من مقاومتها. فمثلاً، إضافة شوائب تحتوي على عدد أكبر من الإلكترونات (مثل الفوسفور في السيليكون) يؤدي إلى زيادة عدد الإلكترونات الحرة وبالتالي زيادة التوصيل وتقليل المقاومة. بينما إضافة شوائب تحتوي على عدد أقل من الإلكترونات (مثل البورون في السيليكون) يؤدي إلى زيادة عدد الفجوات (أماكن فارغة للإلكترونات) وبالتالي زيادة التوصيل أيضًا.

3- الحجم والتركيب:

حجم وتركيب المادة شبه الموصلة يؤثران على المقاومة. فكلما زاد طول المادة شبه الموصلة زادت المقاومة، وكلما زادت مساحة مقطعها قلت المقاومة.

4- المجال الكهربائي:

يمكن للمجال الكهربائي الخارجي أن يؤثر على توزيع الشحنات في أشباه الموصلات وبالتالي على مقاومتها.

أمثلة:

السيليكون النقي:

في درجة حرارة الصفر المطلق، يكون السيليكون النقي عازلاً تماماً، حيث لا توجد إلكترونات حرة. أما عند ارتفاع درجة الحرارة، تزداد المقاومة بسبب زيادة عدد الإلكترونات الحرة.

الدايود شبه الموصل:

الدايود يتكون من منطقتين: منطقة n (غنية بالإلكترونات) ومنطقة p (غنية بالفجوات). عندما يكون الدايود في حالة توصيل، يتدفق التيار من خلاله، وعندما يكون في حالة قطع، تزداد مقاومته.

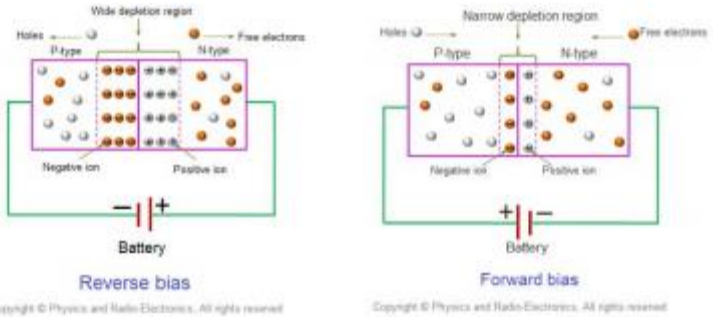
وحدة القياس:

وحدة قياس المقاومة في أشباه الموصلات، مثل أي مادة أخرى، هي الأوم (Ohm).

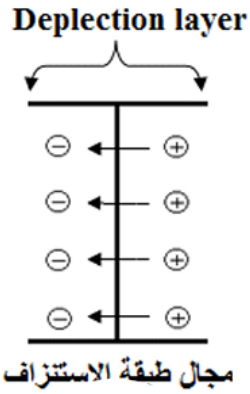
ثنائيات اشباه الموصلات – وصلة (PN) تكوين منطقة الاخلاء – الجهد الحاجز – تل الطاقة – التأثيرات الحرارية – الثنائي المنحاز – الانحياز الامامي – الانحياز العكسي – منحنيات الخواص في الاتجاهين الامامي والعكسي – تيار العبور الزائل – تيار حاملات الاقلية – تيار التسرب السطحي – جهد الانكسار – جهد الانهيار (PIV) اعظم تيار امامي – اعظم جهد عكسي – (PIVmax) – الدائرة المكافئة للثنائي.

وصلة PN :

يتكون الدايود الثنائي من مادتين شبه موصلتين أحدهما من النوع الموجب والآخر من النوع السالب واللتان تمثلان الإلكترونات والثقوب، عموماً ينتج في منتصف المادتين الموجبة والسالبة منطقة تسمى منطقة التدهور وهذه المنطقة تساهم كما ذكرنا في تدفق التيار وأيضا يمكن تحديد خواص الدايود عن طريق كيفية توصيل الدايود في الدائرة الكهربائية إما أن يسمح الدايود بمرور التيار أو لا يسمح بمروره في الحاليتين التالية



الجهد الحاجز :



في لحظة تكوين وصلة pn فان انتقال الإلكترونات من جهة N إلى جهة P يولد أيونات موجبة وسالبة على طرفي الوصلة (ثنائي قطب) والتي بدورها تولد مجال كهربائي يعاكس اتجاه حركة الإلكترونات، ويزداد ذلك المجال بزيادة عدد الإلكترونات المنتقلة إلى ان تصبح قيمة المجال من الكبر بحيث تمنع انتقال أي الكترونات إضافية عبر الوصلة فيحدث الاتزان

ان المجال المتولد على طرفي طبقة الاستنزاف والتي تكون عادة بسمك عدة مايكرومترات يكافئ فرق جهد كهربائي (**E=V/d**) والذي يزداد تدريجياً إلى ان يصل إلى اعظم قيمة له عند الاتزان ويسمى عندها بجهد الحاجز (Barrier Potential) ويرمز له بالرمز (V_J) أو (V_B). يعتمد مقدار جهد الحاجز على كل من طبيعة شبه الموصل النقي (السليكون أو الجرمانيوم)، نسبة التشويب المعتمدة عند تطعيم جهة N و P ودرجة الحرارة. فمثلاً جهد الحاجز في درجة حرارة الغرفة تكون بحدود (0.7V) للوصلة المصنوعة من السليكون بينما تكون بحدود (0.3V) للوصلة المصنوعة من الجرمانيوم.

الإنحياز الأمامي يسمح بمرور التيار:

يكون الأنود متصلاً بالوصلة السالبة والكاثود متصلاً بالوصلة الموجبة. عندما يُطبق فرق جهد موجب على الأنود وجهد سالب على الكاثود، يقل عرض منطقة التدهور (أو المنطقة المحظورة) بين الوصلتين الموجبة والسالبة وهذا التقلص في عرض منطقة التدهور يحدث لأن الجهد المطبق يعزز حركة الشحنات: الإلكترونات من الوصلة السالبة تتحرك نحو الوصلة الموجبة، بينما الثقوب في الوصلة الموجبة تتحرك نحو الوصلة السالبة. نتيجة لذلك، تصبح منطقة التدهور أقل سمكا، مما يسمح بمرور التيار الكهربائي بشكل أسهل

الإنحياز عكسي لا يسمح بمرور التيار:

في حالة الإنحياز العكسي، يكون الأنود متصلا بالوصلة الموجبة والكاتود متصلا بالوصلة السالبة. هذا يؤدي إلى تطبيق جهد موجب على الوصلة السالبة وجهد سالب على الوصلة الموجبة. نتيجة لذلك، يتم توسيع منطقة التدهور بين الوصلتين الموجبة والسالبة، وهذا التوسع يحدث لأن الجهد العكسي يجذب الإلكترونات (من الوصلة السالبة) نحو الكاثود ويدفع الثقوب (من الوصلة الموجبة) نحو الأنود ليتسبب في زيادة عرض منطقة التدهور، مما يمنع مرور التيار بشكل فعال، حيث تصبح منطقة التدهور أكثر سمكا، وبالتالي لا يمكن للإلكترونات والثقوب عبورها.

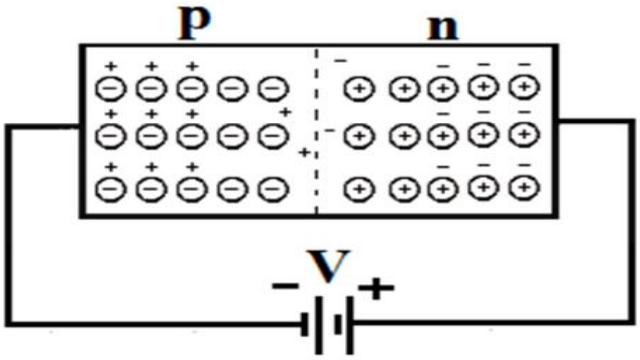
في حالة الانحياز العكسي هناك عدة ثلاث أنواع رئيسية من التيار المار عبر الثنائي وهي:

أ- تيار العبور الزائل (Transient Current):

وهو تيار مؤقت يجري في الدائرة الخارجية للوصلة أثناء توسع طبقة الاستنزاف عند الانحياز العكسي، ويتوقف سريان التيار عند توقف توسع طبقة الاستنزاف، ومدته قصيرة جداً إذ يستغرق عادة بضع نانو ثانية. ويمكن تجاهل تأثيرها عملياً عند العمل ضمن ترددات اقل من (10MHz).

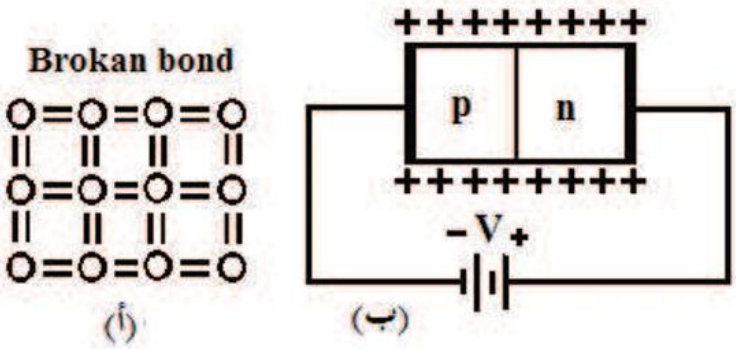
ب – تيار التشبع العكسي (Reverse Saturation Current):

وهو تيار صغير ينتج عن حاملات الشحنة الأقلية المتولدة حرارياً (الإلكترونات الحرة في جهة p والفجوات في جهة n) ويرمز له بالرمز (I_S). ان الإلكترونات الحرة والفجوات المتولدة على جهتي الوصلة غالباً ما يُعاد التحامها مع حاملات الشحنة الأكثرية المتواجدة في جهتها، غير ان حاملات الشحنة الأقلية المتولدة داخل طبقة الاستنزاف يكون لها زمن بقاء اكبر مما يمكنها من عبور طبقة الاستنزاف، ونتيجة لذلك يتولد تيار ضعيف يمر عبر الدائرة الخارجية



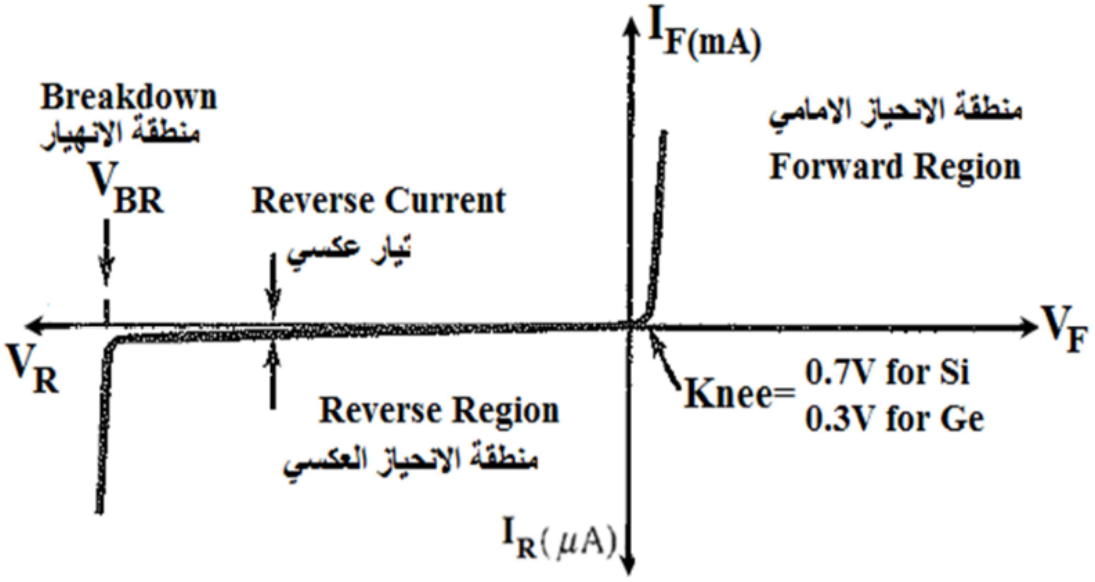
جـ – تيار التسرب السطحي (Surface-Leakage Current)

وهو تيار ضعيف ناتج عن عدم اكتمال الاواصر التساهمية على سطح البلورة والشوائب الموجودة عليه،



منحني الخواص:

باستعمال قيم موجبة للفولتية والتيار في حالة الانحياز الأمامي وقيم سالبة للفولتية والتيار في حالة الانحياز العكسي يمكننا ان نرسم المنحني الأمامي والعكسي في رسم بياني واحد



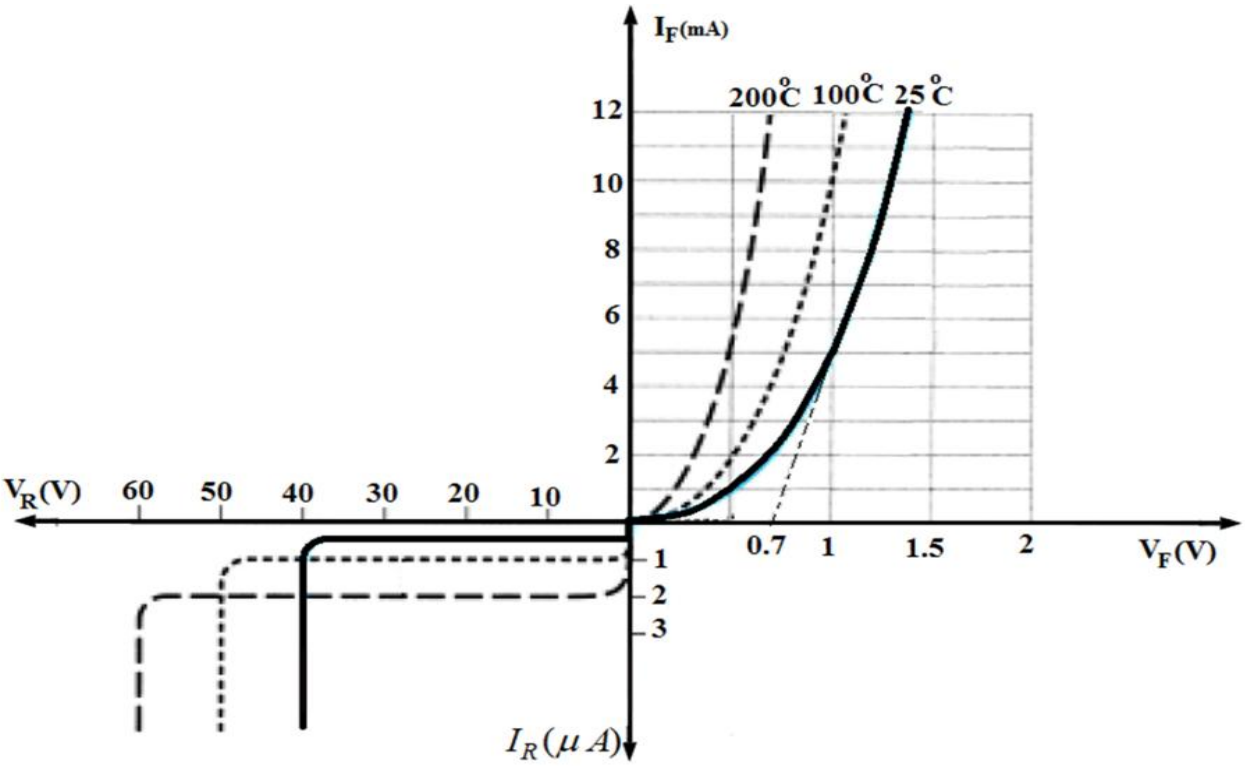
تاثير درجة الحرارة على الثنائي البلوري:

في حالة الانحياز الأمامي فان زيادة درجة الحرارة ستؤدي إلى زيادة التيار الأمامي عند جهد أمامي معين، وكذلك فان زيادة درجة الحرارة تؤدي إلى التقليل من جهد الحاجز للوصلة. وقد وجد عملياً ان جهد الحاجز للسليكون يقل بمقدار (2mV) عند زيادة درجة الحرارة درجة مئوية واحدة، حيث يعطى مقدار التغير في جهد الحاجز نتيجة للتغير في درجة الحرارة بالعلاقة:

$$\Delta V_B = -0.002\Delta T$$

اما في حالة الانحياز العكسي فان ارتفاع درجة سيزيد من عدد حاملات الشحنة الاقلية المتولدة حرارياً وبالتالي يزداد مقدار تيار التشبع العكسي اما جهد الانهيار فيزداد بزيادة درجة الحرارة.

اما في حالة الانحياز العكسي فان ارتفاع درجة سيزيد من عدد حاملات الشحنة الاقلية المتولدة حرارياً وبالتالي يزداد مقدار تيار التشبع العكسي اما جهد الانهيار فيزداد بزيادة درجة الحرارة.



مثال : على فرض ان جهد الحاجز لثنائي سليكون هو (0.7V) عند درجة حرارة (25^oC)، أوجد جهد الحاجز لنفس الثنائي عند درجة حرارة (100^oC) وكذلك عند (0^oC).

الحل:

في حالة درجة الحرارة (100^oC) لدينا:

$$\Delta V_B = -0.002\Delta T\ ,\ \Delta T = (100\ ^oC - 25\ ^oC)$$
$$\Delta V_B = -0.002(100\ ^oC - 25\ ^oC) = -0.15V$$

وهذا معناه ان جهد الحاجز قد نقص بمقدار (0.15V) وبالتالي فان جهد الحاجز للثنائي عند درجة حرارة (100^oC) سيكون:

$$V_B = 0.7 - 0.15 = 0.55V$$

وبنفس الطريقة يمكننا ان نجد جهد الحاجز عند (0^oC) وكما يلي:

$$\Delta V_B = -0.002\Delta T\ ,\ \Delta T = (0\ ^oC - 25\ ^oC)$$
$$\Delta V_B = -0.002(0\ ^oC - 25\ ^oC) = 0.05V$$

اي ان جهد الوصلة في هذه الحالة قد زاد بمقدار (0.05V) وقيمة جهد الحاجز يكون:

$$V_B = 0.7 + 0.05 = 0.75V$$

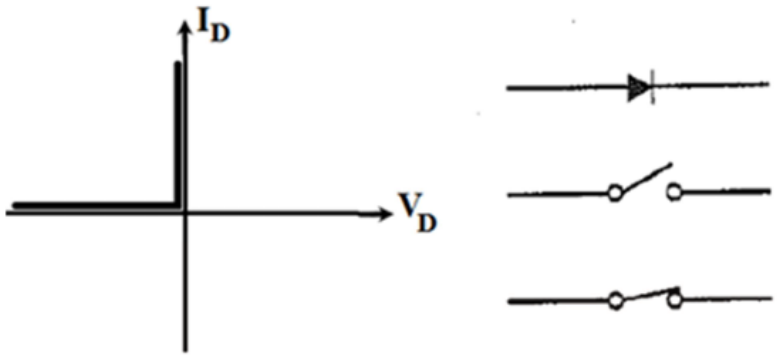
الدائرة المكافئة لثنائي أشباه الموصلات

تعرف الدائرة المكافئة بانها تركيب معين يضم مجموعة من العناصر مختارة بعناية لتكافئ بعملها عمل عنصر (او دائرة) معينة. وبتعبير آخر فانه بالإمكان الاستعاضة عن عنصر معين بوضع دائرة مكافئة تقوم مقامه ولا يؤثر ذلك على عمل او سلوك النظام.

في حالة ثنائي أشباه الموصلات هناك ثلاث تقريبات اساسية وهي كالتالي:

التقريب الأول (الثنائي المثالي) Ideal Diode

حسب التقريب الأول يعامل الثنائي معاملة مفتاح تلقائي، ففي حالة الانحياز الأمامي يكون بمثابة دائرة مغلقة (مقاومة صفر) وفي حالة الانحياز العكسي يكون بمثابة دائرة مفتوحة (مقاومة مالانهاية)، وكما هو موضح بالشكل

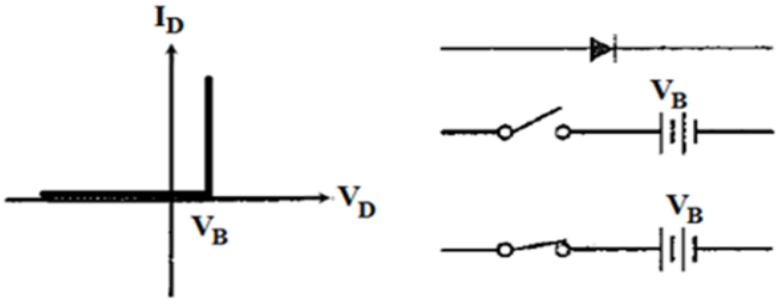


شكل التقريب الأول لثنائي أشباه الموصلات

ان التقريب المثالي (التقريب الأول) له اهمية كبيرة لانه يبسط دوائر الثنائي، غير انه لا يصلح في جميع الحالات (فالثنائي الواقعي او العملي يختلف عن الثنائي المثالي) ولهذا نحتاج إلى انواع اخرى من التقريب (الثاني والثالث)، ولكن في كل التحليلات الابتدائية في دوائر الثنائي يعتبر التحليل المثالي ملائم.

التقريب الثاني

في التقريب الثاني يتم اخذ تأثير جهد الحاجز بنظر الاعتبار، فالثنائي العملي لا يمرر التيار في حالة الانحياز الأمامي إلا بعد ان تتغلب الفولتية المسلطة على جهد الحاجز، لذا تضاف بطارية جهد يساوي جهد الحاجز وبقطبية بحيث يكون قطبها الموجب باتجاه الانود



التقريب الثاني لثنائي أشباه الموصلات

حسب هذا التقريب فان الثنائي في الانحياز الأمامي سوف لن يمرر التيار الا بعد ان تتغلب الفولتية المسلطة على جهد الحاجز للثنائي، فيصبح الثنائي بمثابة دائرة مغلقة (ولحساب تيار الدائرة في هذه الحالة يطرح جهد الحاجز من فولتية التحييز ويقسم الناتج على المقاومة الكلية للدائرة)، ان التقريب الثاني يكون ضروريا في حالة كون فولتية التحييز الصغيرة ، اما عند تسليط فولتيات تحييز كبيرة بالمقارنة مع جهد الحاجز فيمكن تجاهل تأثير جهد الحاجز.

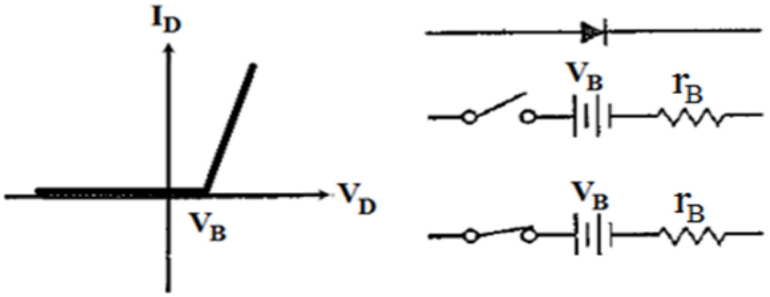
التقريب الثالث :

في هذا التقريب يتم الاخذ بنظر الاعتبار تأثير المقاومة الاجمالية (r_B) في حالة الانحياز الامامي، فبالرغم من ان للثنائي مقاومة امامية صغيرة الا انها ليست كدائرة مغلقة، وبمرور التيار عبر الثنائي يتولد على طرفي المقاومة الاجمالية فرق جهد ، وكلما كان التيار الأمامي كبيراً كلما زاد فرق الجهد على طرفيها.

ان الدائرة المكافئة للتقريب الثالث عبارة عن مفتاح على التوالي مع بطارية قيمتها (V_B) ومقاومة مقدارها (r_B)، وبعد ان تتغلب الدائرة الخارجية على جهد الحاجز ترغم تياراً اعتيادياً على المرور بنفس اتجاه سهم الثنائي، وتكون حصيلة الفولتية على طرفي الثنائي (V_D) بالمعادلة

$$V_D = V_B + I_F r_B$$

الشكل يوضح دائرة التقريب الثالث:



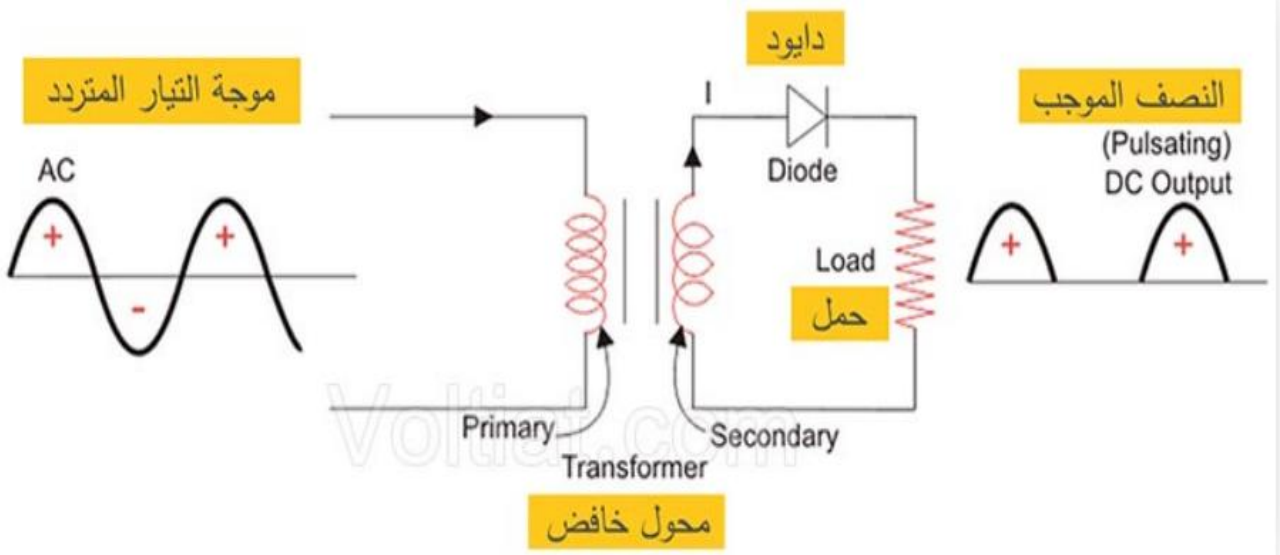
الثنائي كموحد للتيار – موحد نصف الموجة – القيمة المستمرة للتيار وحسابها – القيمة الفعالة تردد الخرج

موحد نصف الموجة:

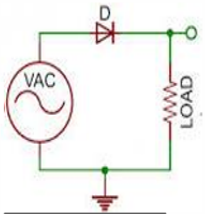
من المعلوم أن الموجة الجيبية الكاملة للتيار المتردد تتكون من نصف الموجة موجبة ونصف الموجة سالبة، والذي يحدث في دائرة مقوم نصف الموجة كالتالي:

عند مرور النصف الموجب للموجة الجيبية عبر الدايود، يكون جهد الأنود أكبر من جهد الكاثود، وهذا يجعل الدايود في حالة انحياز أمامي، وبالتالي يسمح بمرور التيار إلى المقاومة أو الحمل. ولا ننسى بأن الدايود يستهلك قيمة معينة من جهد المصدر وهي 0.7 Vللسليكون.

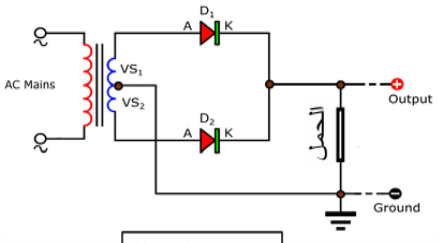
عند تغيير اتجاه موجة الجهد (التيار) المتردد إلى النصف السالب، فإن الجهد الواصل لأنود الدايود يكون أقل من جهد الكاثود، وبالتالي فإن الدايود لا يمرر تيار من خلاله للحمل، وذلك لأنه في حالة انحياز عكسي، وبالتالي يعمل على إلغاء نصف الموجة السالبة.



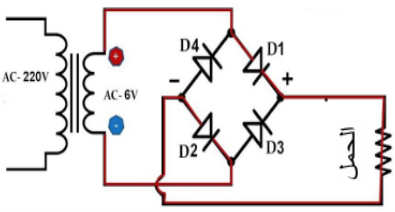
يستخدم الثنائي كموحد للتيار حين يحول طاقة المصدر المتناوب AC الى طاقة مستمرة تستخدم لتشغيل الدوائر الألكترونية. هنالك عدة انواع لربط الثنائي ما تجعله موحد نصف موجة و موحد لموجة كاملة و الموحد القنطري. معظم هذه الدوائر تعتمد على مرشح سعوي لتنعيم شكل الموجة المعدلة



موحد نصف موجة

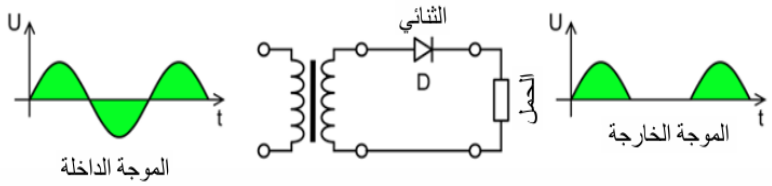


موحد موجة كاملة

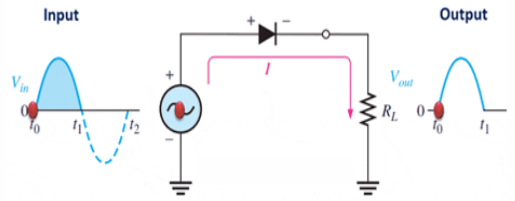


موحد موجة كاملة - القنطري

موحد نصف موجة The Half-Wave Rectifier

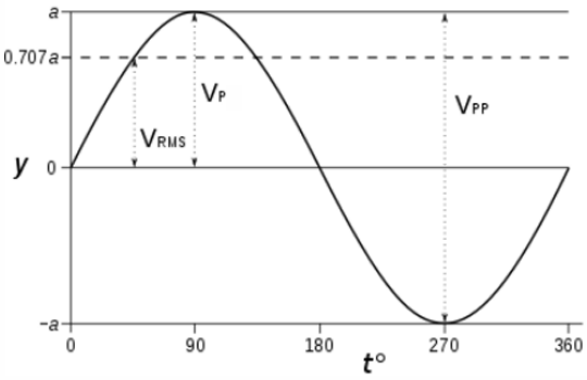


- عند ربط ثنائي و مقاومة (الحمل) على التوالي الى مصدر قدرة متناوبة فأن الدائرة تسمى موحد نصف موجة.
- اذا وصل الثنائي على التوالي مع حمل كما في الشكل فإنة يكون بمثابة مفتاح مغلق ومن ثم سيمرر التيار وذلك في نصف الموجة الموجبة للجهد فقط أي عندما يكون الجهد المسلط على الثنائي في الاتجاه الأمامي أما في نصف الموجة السالب فان الثنائي سوف لا يمرر التيار لأن الجهد المسلط علية يكون في اتجاه الانحياز العكسي.



حساب قيمة V_{RMS} و قيمة V_P

V_{RMS} **(جذر متوسط التربيع)** هو قيمة التيار المستمر الذى بمروره بمقاومة معينه يحدث نفس الأثر الحرارى للتيار المتردد الذى يمربنفس المقاومة ونفس الزمن وتسمى ايضاالقيمة الفاعلة Active Value



$$V_{RMS} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = 0.707\ V_p$$

V_p: فولتية الذروة

القيمة المستمرة للفولتية و التيار

$$V_{dc} = \frac{V_p}{\pi} \qquad I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R_L}$$

$$\pi = 3.14$$

حساب تردد الأخراج

إن الفترة الزمنية لإشارة الإخراج هي نفس الفترة الزمنية لإشارة الإدخال في موحد نصف الموجة. فكل موجة واحدة في الأدخال تنتج موجة واحدة في الإخراج. ولذلك فإن تردد الإخراج يساوي تردد الأدخال.

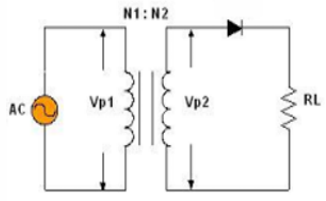
$$F_{in} = F_{out}$$

المحولة

يمكن استخدام المحولة Transformer في الأجهزة الألكترونية لغرض رفع او خفض قيمة الفولتية المسلطة على الأجهزة. حيث إن V_{p1} و V_{p2} تمثل قيمة الفولتية على طرفي المحولة الأبتدائي والثانوي بينما N_1 و N_2 تمثل عدد لفات المحولة الأبتدائي والثانوي.

$$\frac{V_{P1}}{V_{p2}} = \frac{N_1}{N_2}$$

فولتية الذروة العكسية
Peak Inverse Voltage (PIV)

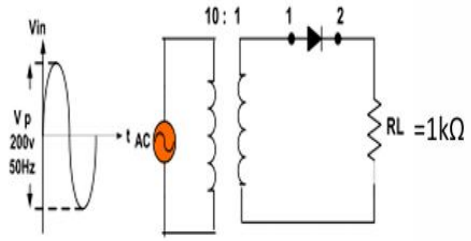


تعرف الفولتية العظمى عبر الثنائي في الأتجاه العكسي بفولتية الذروة العكسية.

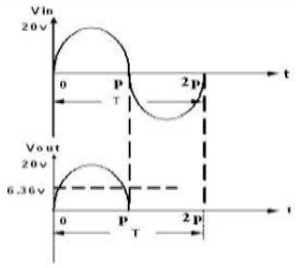
$$PIV = V_{P2}$$

مثال1: في دائرة موحد نصف الموجة المبين في الشكل. احسب

1. احسب فولتية الذروة في النقطة 1
2. ارسم شكل الموجة عند النقطتين 1 و 2
3. احسب قيمة الفولتية المستمرة V_{dc} و التيار المستمر I_{dc} على مقاومة الحمل R_L
4. احسب فولتية الذروة العكسية و تردد الأخراج



$$\frac{V_{P1}}{V_{p2}} = \frac{N_1}{N_2}$$



$$V_{P1} = 200v$$

$$\frac{V_{P1}}{V_{P2}} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow V_{P2} = \frac{V_{P1} * N_2}{N_1} \Rightarrow V_{P2} = \frac{200*1}{10} = 20v$$

$$V_{DC} = \frac{V_{P2}}{\pi} = \frac{20}{3.14} = 6.369v$$

$$I_{DC} = \frac{V_{DC}}{R_L} = \frac{6.369}{1*10^3} = 0.006369A \Rightarrow I_{DC} = 6.369mA$$

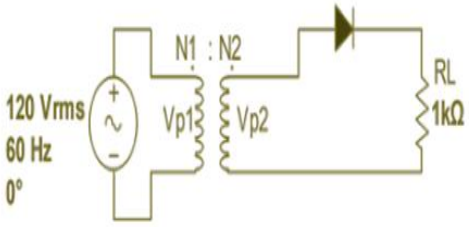
$$P.I.V = V_{P2} = 20v$$

$$f_{out} = f_{in} = 50HZ$$

مثال2: في دائرة موحد نصف الموجة المبين في الشكل علما ان نسبة N1:N2=4:1.

احسب

1. احسب قيمة الفولتية المستمرة V_{dc} و التيار المستمر I_{dc} على مقاومة الحمل R_L
2. احسب فولتية الذروة العكسية و تردد الأخراج
3. ارسم شكل الموجة الداخلة و الخارجة



$$V_{P1} = \sqrt{2} * V_{rms} = \sqrt{2} * 120v = 170v$$

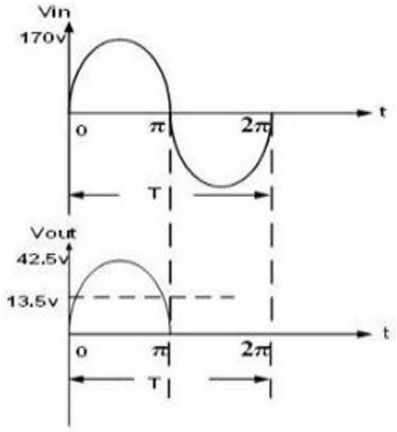
$$\frac{V_{P1}}{V_{P2}} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow V_{P2} = \frac{N_2}{N1} * V_{P1} \Rightarrow V_{P2} = \frac{1}{4} * 170v = 42.5v$$

$$V_{DC} = \frac{V_{P2}}{\pi} = \frac{42.5}{3.14} = 13.5v$$

$$I_{DC} = \frac{V_{DC}}{R_L} = \frac{13.5}{1*10^3} = 13.5mA$$

$$PIV = V_{P2} = 42.5v$$

$$f_{out} = f_{in} = 60Hz$$



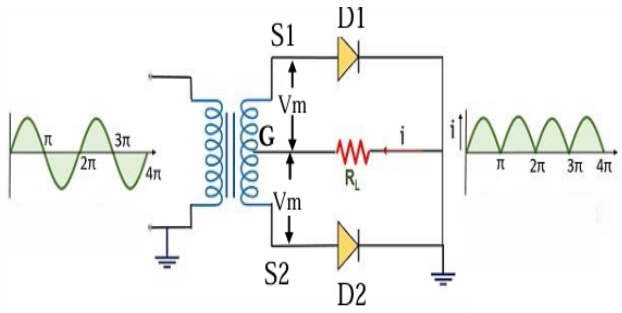
توحيد الموجة الكاملة – باستخدام محولة التفرع الوسطي – الموحد القنطري – حساب القيم المستمرة والفعالة للتيار– استخراج تردد الخرج – مقارنة بين موحد نصف الموجة وموحد الموجة الكاملة – مقارنة بين موحدات الموجة الكاملة

تعتبر دائرة تقويم الموجة الكاملة من أشهر الدوائر التي لا تخلو من اللوحات الإلكترونية، مثل: شواحن الهواتف الخلوية، وشواحن البطاريات، ومصادر الباور، والتلفاز وغيرها من الأجهزة التي تحتوي على لوحات إلكترونية. موحد الموجة الكاملة (Full-wave rectifier) هو دائرة إلكترونية تقوم بتحويل التيار المتردد (AC) إلى تيار مستمر (DC) عن طريق استغلال كلا نصفي الموجة الداخلة (الجزء الموجب والسالب). على عكس موحد نصف الموجة الذي يستخدم نصف الموجة فقط، يقوم موحد الموجة الكاملة بمعالجة الموجة كاملة، مما يؤدي إلى خرج تيار مستمر أكثر استقرارًا.

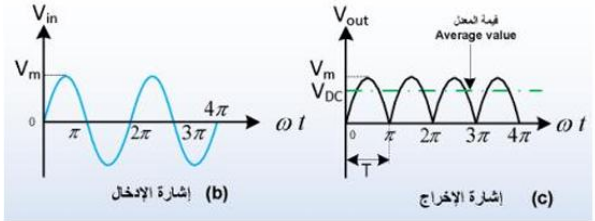
هناك نوعان رئيسيان من موحدات الموجة الكاملة:

1- موحد الموجة الكاملة باستخدام محول ذو طرف مركزي:(Center-tapped transformer)

يتكون هذا النوع من محول ذو طرف مركزي واثنين من الثنائيات (diodes). يقوم المحول بتقسيم الجهد المتناوب إلى نصفين متساويين، وتقوم الثنائيات بتمرير نصف الموجة الموجب من أحد النصفين، ونصف الموجة السالب من النصف الآخر إلى الحمل.



- في دائرة موحد الموجة الكاملة المبينة في الشكل الملف الثانوي للمحولة له مأخذ وسطي **G** يمثل نقطة المرجع المشترك لدائرة الموحد. تقاس فولتية الملف الثانوي من **b** الى **S2** و من **G** الى **S1** و ليست من **S2** الى **S1**. كما ان الفولتية من **S1** الى **S2** هي مقدار جمع الفولتيتن اي Vm +Vm
- خلال نصف الذبذبة الموجب لفولتية الملف الثانوي **يكون الثنائي العلوي D1 منحاز اماميا** ويكون الثنائي السفلي منحاز عكسيا لذلك يمر تيار في النصف العلوي D1 ومقاومة الحمل R_L .
- خلال نصف الذبذبة السالبة لفولتية الملف الثانوي يكون الثنائي العلوي D1 منحاز عكسيا ويكون **الثنائي السفلي D2 منحاز اماميا** لذلك يمر تيار في النصف السفلي D2 ومقاومة الحمل R_L .
- إن قيمة الفولتية المعدلة او المستمرة لاشارة الموجة الكاملة هي $V_{DC} = \frac{2 \times V_m}{\pi}$ حسب الأشتقاق المبين ادناه



$$V_{DC}=\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} V_o\, d_\theta \longrightarrow V_{DC}=\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} V_m \times \sin\theta\, d_\theta$$

$$V_{DC}=\frac{V_m}{\pi}\,[-\cos\theta]_0^{\pi} \longrightarrow V_{DC}=\frac{V_m}{\pi}\,\{-(\cos\pi-\cos 0)\}$$

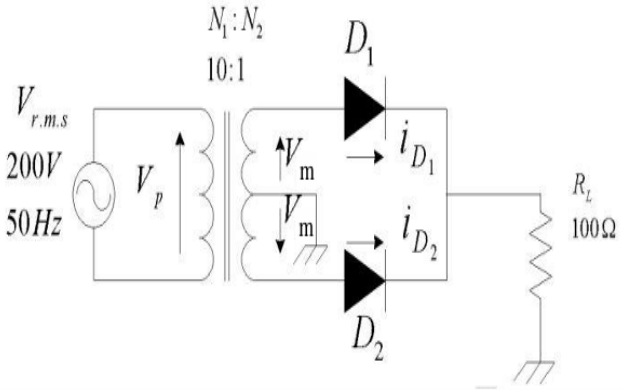
$$V_{DC}=\frac{V_m}{\pi}\,\{-(-1-1)\} \longrightarrow V_{DC}=\frac{V_m}{\pi}\,\{2\} = V_{DC}=\frac{2\times V_m}{\pi}$$

- تكون فترة إشارة الإخراج نصف فترة اشارة الأدخال اي بمعنى ان تردد اشارة الأخراج هو ضعف تردد اشارة الأدخال. $f_{out} = 2f_{in}$
- فولتية الذروة العكسية PIV

PIV= 2Vm

مثال رقم (1):

- موحد بمأخذ وسطي يتغذى من مصدر فولتية جيبية مقدارها 200v و ترددها 50Hz عن طريق محولة نسبة لف الملف الاولى الى الثانوي 10:1 ربط مع حمل مقداره 100Ω. أرسم الدائرة الكهربائية ثم اوجد :
- 1. فولتية وتيار الحمل المستمر
- 2. التيار الذي يمر في الثنائي الأول D1
- 3. تردد اشارة الأخراج



$$V_{r.m.s} = \frac{V_P}{\sqrt{2}}$$

$$V_P = V_{r.m.s} * \sqrt{2} = 200 * \sqrt{2} = 282.8v$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_P}{V_{in}} \Rightarrow V_{in} = \frac{V_P * N_2}{N_1} = \frac{282.8 * 1}{10} = 28.2v$$

الفولتية على نصف الملف الثانوي

$$V_m = \frac{V_{in}}{2} = 14.14v$$

$$V_{D.C} = \frac{2V_m}{\pi} = \frac{2 * 14.14}{3.14} = 9v$$

$$I_{D.C} = \frac{V_{D.C}}{R_L} = \frac{9}{100} = 0.09A = 90mA$$

$$I_{D_1} = \frac{I_{D.C}}{2} = \frac{90}{2} = 45mA$$

$$f_{out} = 2f_{in} = 2 * 50 = 100Hz$$

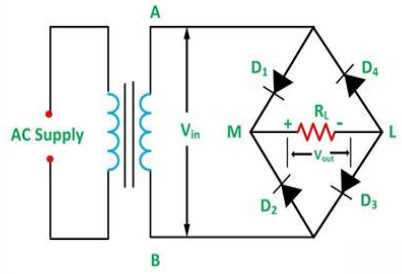
$$PIV = 2V_m = 2 * 14.14 = 28.28v$$

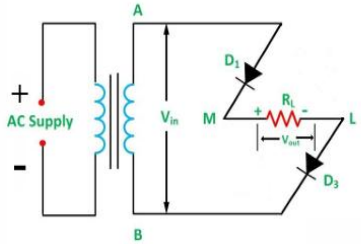
2- موحد الموجة الكاملة باستخدام قنطرة:(Bridge rectifier)

يتكون هذا النوع من أربعة ثنائيات مرتبة في شكل قنطرة. تقوم القنطرة بتمرير نصف الموجة الموجب والسالب إلى الحمل في نفس الاتجاه، مما يتيح استغلال الموجة كاملة.

موحد الموجة الكاملة القنطري
Full-Wave Bridge Rectifier

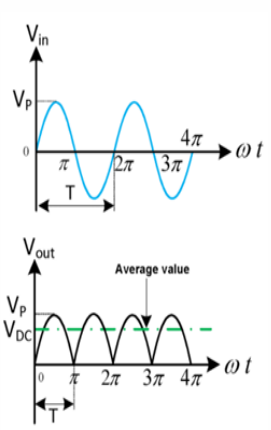
- في حال لا يوجد مأخذ وسطي للمحولات فيكون الحل هو استخدام دائرة موحد الموجة الكاملة القنطري.

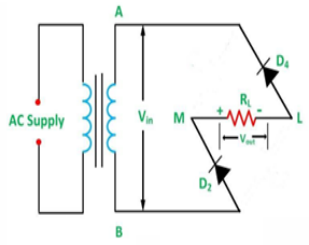




- في النصف الموجب لموجة الأدخال Vin فأن D1 وD3 في حالة انحياز امامي. D2 و D4 يكونان في حالة انحياز عكسي. لذلك يمر تيار في الدائرة عبر D1 و D3 و مقاومة الحمل R_L وهذا ينتج نصف موجة موجبة لموجة الأخراج Vout

a





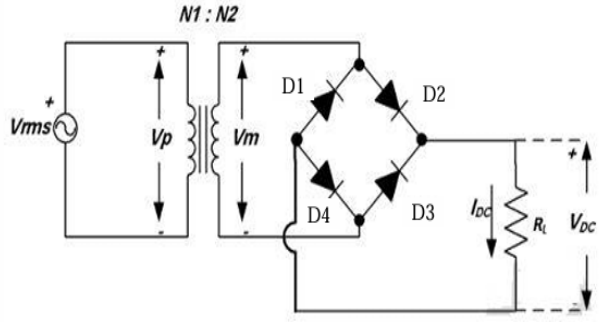
b

- اما في النصف السالب لموجة الأدخال Vin فأن D2 وD4 في حالة انحياز امامي. D1 و D3 يكونان في حالة انحياز عكسي. لذلك يمر تيار في الدائرة عبر D2 و D4 و مقاومة الحمل R_L وهذا ينتج نصف موجة موجبة لموجة الأخراج Vout

- إن قيمة الفولتية المعدلة او المستمرة لاشارة الموجة الكاملة هي $V_{DC} = \frac{2 \times V_{in}}{\pi}$
- تكون فترة إشارة الإخراج نصف فترة اشارة الأدخال اي بمعنى ان تردد اشارة الأخراج هو ضعف تردد اشارة الأدخال.
- فولتية الذروة العكسية PIV

PIV= Vm

مثال 1: في دائرة الموحد القنطري, اذا كانت الفولتية العظمى على الملف الثانوي للمحولة هو 68v اوجد الفولتية المستمرة في مقاومة الحمل 100Ω و كذلك التيار المستمر



القيمة العظمى لفولتية الحمل $V_{in} = 68v$

القيمة المستمرة لفولتية الحمل $V_{DC} = \frac{2\,V_{in}}{\pi} = \frac{2 \times 68}{\pi} = 43.3\ v$

تيار الحمل المستمر $I_{DC} = \frac{V_{DC}}{R_L} = \frac{43.3}{100} = 0.433\ A$

تيار كل ثنائي $I_{D1} = I_{D2} = I_{D3} = I_{D4} = \frac{I_{DC}}{2}$

مثال 2: في دائرة الموحد القنطري, اذا كانت فولتية المصدر 210V/50Hz و نسبة تحويل المحولة N1:N2=3:1 و مقاومة الحمل هي 100Ω.

- ارسم الدائرة ثم جد التيارالمستمر في كل ثنائي.
- اوجد القدرة الفعالة المستهلكة في الحمل.
- ارسم شكل فولتية الأخراج مبينا عليها القيمة و الزمن.

$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$

$V_p = V_{rms} \times \sqrt{2} = 210 \times \sqrt{2} = 296.98v$

$V_{in} = \frac{V_p \times N_2}{N_1} = \frac{296.98 \times 1}{3} = 98.99v$

القيمة المستمرة لفولتية الحمل $V_{DC} = \frac{2\,V_{in}}{\pi} = \frac{2 \times 98.99}{\pi} = 63\ v$

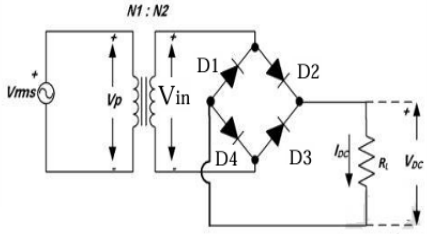
تيار الحمل المستمر $I_{DC} = \frac{V_{DC}}{R_L} = \frac{63}{100} = 0.63\ A$

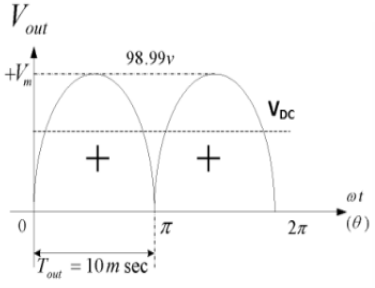
$I_{D1} = I_{D2} = I_{D3} = I_{D4} = \frac{I_{DC}}{2} = \frac{0.63}{2} = 0.315A$

$V_{rms\,(out)} = \frac{V_{in}}{\sqrt{2}} = \frac{98.99}{\sqrt{2}} = 70v$

$P_{L,rms} = \frac{V_{rms\,(out)}^2}{R_l} = \frac{70^2}{100} = 49W$

$T_{out} = \frac{1}{f_{out}} = \frac{1}{2 * f_{in}} = \frac{1}{2*50} = \frac{1}{100} = 10ms$





سلبيات أو عيوب مقوم الموجة الكاملة ذو الدايودين:

- أحد عيوب تصميم المقوم الكامل للموجة الوسطي هو ضرورة وجود محول ذو لف ثانوي مركزي . في تصحيح الطاقة العالية ، ومع ذلك ، فإن تكلفة وحجم هذه المحولات تمثل زيادة كبيرة . لهذا السبب ، لا يظهر تصميم مقوم الصنبور المركزي إلا في التطبيقات منخفضة الطاقة.
- عيب آخر هو أنه بسبب نقطة الملف الثانوي المركزي ، يتم استخدام نصف الجهد الثانوي فقط لتصحيح.

للتغلب على هذه العيوب ، ترتبط أربعة ثنائيات معًا في تكوين "جسر" لإنتاج مقوم جسر الموجة الكاملة .

مقارنة بين موحد نصف الموجة وموحد الموجة الكاملة:

موحد نصف الموجة:

يستخدم نصف الموجة فقط، مما يؤدي إلى تيار مستمر غير مستقر وتذبذب عالي.

موحد الموجة الكاملة:

يستخدم الموجة كاملة، مما يؤدي إلى تيار مستمر أكثر استقرارًا وتذبذب أقل، ويوفر كفاءة أعلى.

تطبيقات موحد الموجة الكاملة:

تستخدم دوائر موحد الموجة الكاملة في العديد من التطبيقات، بما في ذلك: شواحن الهواتف المحمولة والبطاريات, مصادر الطاقة في الأجهزة الإلكترونية المختلفة, أجهزة التلفزيون.

المرشحات – الترشيح باستخدام المتسعة – مرشح (LC) مرشح (RC) – جهد الخرج المستمر التموج.

المرشحات (Filters) :هي دوائر كهربائية تستخدم لإزالة المكونات غير المرغوب فيها من الإشارات الكهربائية، مثل التموج (Ripple) في جهد الخرج لمصادر الطاقة. تستخدم المرشحات على نطاق واسع في العديد من التطبيقات، بما في ذلك مصادر الطاقة، والدوائر الإلكترونية، وأنظمة الاتصالات.

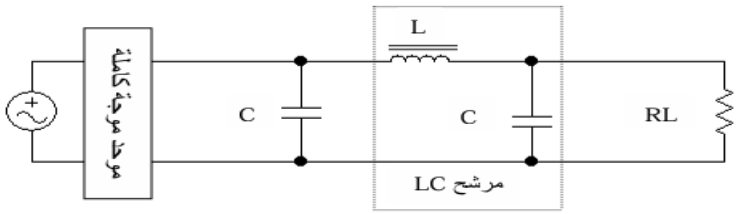
أنواع المرشحات:

1- مرشح (LC) :(Inductor-Capacitor Filter)

يتكون من ملف (L) ومكثف (C) مرتبطان على التوالي ,يعمل الملف على تخزين الطاقة في المجال المغناطيسي، بينما يعمل المكثف على تخزين الطاقة في المجال الكهربائي.

ويستخدم لتقليل التموج بشكل أكبر من مرشح المتسعة وحده.

يستخدم هذا النوع في الأحمال التي ممانعتها صغيرة (RL صغيرة) أي عندما يكون تيار الحمل كبيرا.



يجب أن تكون XC << XL لكي يكون التوهين جيدا ونموذجيا XL = 10 * c

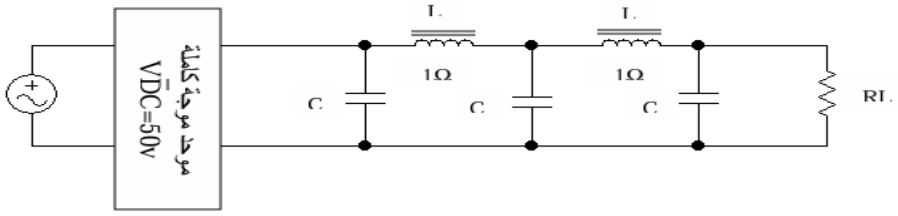
ويمكن استخدام أكثر من مقطع ويمتاز هذا النوع بعدم وجود خسارة في الفولتية المستمرة لكون مقاومة الملف صغيرة جدا. ولكنه ذو كلفة تصنيعية عالية.

مثال1 :

مرشح LC ذو مقطعين اذا كانت المقاومة في كل ملف خانق تساوي 1Ω اما فولتية الاخراج المستمرة من مقوم الموجة الكاملة تساوي 50v اوجد:-

1- فولتية الاخراج المستمرة .

2- اذا كانت XL= 10*C لكل مقطع مامقدار التوهين الكلي ؟



$$VDC= \frac{RL}{2R+RL} * \overline{VDC} = \frac{1000}{1002} *50 = 49.9V$$

التوهين الكلي 10*10=100 مرة

مثال2 :

مرشح LC ذو مقطعين يحتوي على (هنري 1 = L), 68 = C, ما مقدار التوهين الكلي إذا كان التوهين لمقطع واحد يساوي √1400 لتردد تموج مقداره 120 HZ وما مقدار فولتية الإخراج المستمرة؟ إذا كانت المقاومة في كل ملف تساوي 1Ω, وأن 1 KΩ = RL, 50 v = VDC.

$$LC = 1 * 68 * 10^{-6} = 68 * 10^{-6}$$

$$\sqrt{1400} * \sqrt{1400} = 1400$$

$$VDC = \frac{RL}{2R+RL} * \overline{VDC}$$

$$= \frac{1000}{(2*1)+1000} * 50 = 49.9V$$

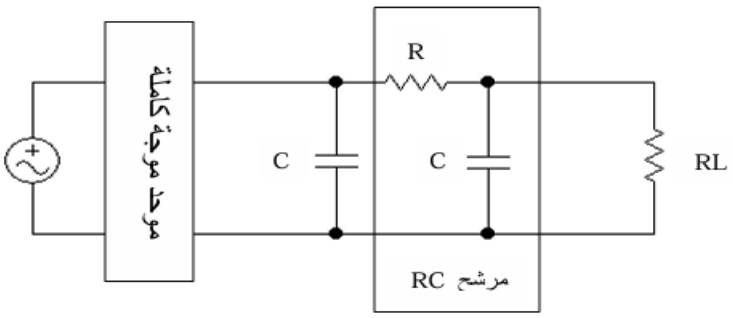
2- مرشح (Resistor-Capacitor Filter): (RC)

يتكون من مقاومة (R) ومكثف (C)، ويستخدم لتشكيل مرشحات بسيطة.

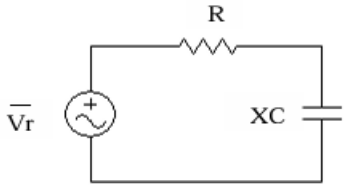
يعمل المكثف على تخزين الطاقة وتفريغها، مما يقلل من التموج.

يستخدم في تطبيقات بسيطة حيث لا تكون هناك حاجة لخفض كبير في التموج.

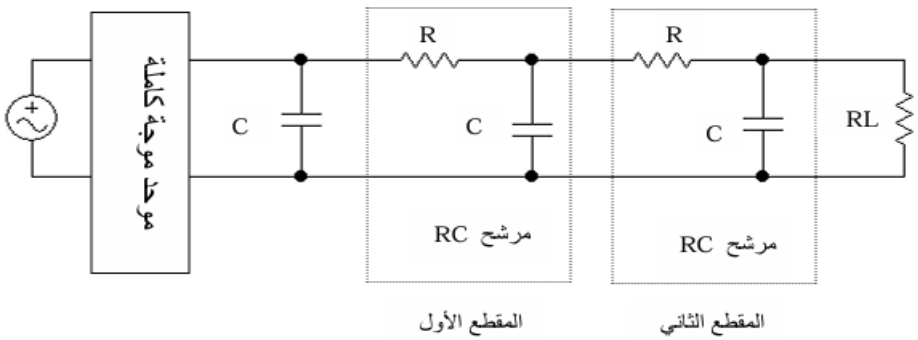
مرشح RC



تبين الدائرة أعلاه مرشح RC , يقع هذا المرشح بين متسعة الإدخال ومقاومة الحمل, ولكي يكون التصميم جيد يجب أن تكون R أكبر بكثير من XC (R >> XC) , ولذلك فإن الدائرة تعمل عمل مقسم فولتية متناوبة كما في الدائرة (a).



ولأن R >> XC فإن تموج الإخراج (Vr) يكون أقل بكثير من تموج الإدخال ($\overline{Vr}$) أي أن (Vr << $\overline{Vr}$). وتكون قيمة R نموذجيا تساوي **R = 10 * C** وهذا يعني توهين أو تقليل تموج الإخراج بعامل (10) مرات على الأقل, ويمكن استخدام أكثر من مقطع واحد كما في الدائرة أدناه.



وللحصول على ثابت زمن طويل يجب أن يكون $(R_L * C)$ أكبر بكثير من **(8.33ms)** على الأقل بعشر مرات وهذا يعني أن

$$R_L * C \geq 83.3ms$$

وعندما يتحقق هذا الشرط يمكن استخدام التقاريب التالية على موحدات الموجة الكاملة

$$\%\, r = \frac{v_r}{V_{D.C}} * 100\ \%$$

حيث

فولتية التموج الفعالة $v_r = \frac{0.0024\ V_P}{R_L C}$ (فولت)

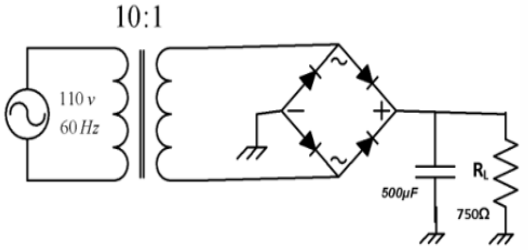
الفولتية المستمرة $V_{D.C} = (1 - \frac{0.00417}{R_L C})V_P$ (فولت)

المتسعة الصغرى : هي اصغر قيمة لسعة المتسعة التي تعطي ترشيحاً جيداً وتحسب بالمعادلة

$$C_{\min} = \frac{0.24}{r * R_L}$$

مثال :

في الدائرة الموضحة بالشكل أدناه اوجد عامل التموج ؟ $r\% = \frac{Vr}{V_{DC}} * 100\%$



$R_L * C = 750 * 500 * 10^{-6} = 0.375s = 375ms$

$375ms > 83.3ms$

$V_P = \sqrt{2} * 110 \approx 155v$

$\frac{V_P}{V_m} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow V_m = \frac{N_2}{N_1} * V_P$

$V_m = \frac{1}{10} * 155 = 15.5v$

$V_{DC} = \left(1 - \frac{0.00417}{R_L * C}\right) * V_P = \left(1 - \frac{0.00417}{0.375}\right) * 15.5 = 15.327v$

$V_r = \frac{0.0024}{R_L * C} * V_P = \frac{0.0024}{0.375} * 15.5 = 0.099v$

$r\% = \frac{Vr}{V_{DC}} * 100\% = \frac{0.099}{15.327} * 100\% = 0.647\%$

مثال في المثال السابق إذا كانت $R_L = 10K\Omega$ ، ما مقدار القيمة الصغرى لمتسعة الترشيح التي نحتاجها لكي نضمن عامل تموج قدره 2% ؟

الحل :

$$C_{\min} = \frac{0.24}{r * R_L}$$

$$C_{\min} = \frac{0.24}{rR_L} = \frac{0.24}{2 * 10 * 10^3} = 12 * 10^{-6} F = 12\mu F$$

تموج الاخراج:

- ان المركبة الموجودة فوق المركبة المستمرة و الغير مرغوب فيها تدعى التموج Ripple. ان هذا التموج يكون صغير لان ممانعة الملف X_L اكبر بكثير من ممانعة المتسعة X_C كما ان X_C اصغر بكثير من مقاومة الحمل R_L

- فولتية تموج الاخراج:

ممانعة المتسعة

$$V_r = \frac{X_C}{X_L} \times V_P = 5.28 \times 10^{-7} \times \frac{V_p}{L \times C}$$

ممانعة الملف

عامل التموج:

يستخدم عامل التموج للمقارنة بين اجهزة القدرة فكلما كان عامل التموج اصغر كان الجهاز افضل

$$r = \frac{V_r}{V_{DC}} \times 100\%$$

جهد الخرج المستمر والتموج (DC Output Voltage with Ripple):

عند استخدام مقوم (Rectifier) لتوليد جهد مستمر (DC) من جهد متردد (AC)، غالبًا ما يظهر جهد الخرج تموجًا. هذا التموج هو عبارة عن تغيرات في الجهد حول القيمة المستمرة المطلوبة.

أهمية المرشحات:

1- تقليل التموج:

تساعد المرشحات على تقليل التموج في جهد الخرج، مما يجعل الجهد المستمر أكثر استقرارًا.

2- تحسين أداء الدوائر:

يؤدي تقليل التموج إلى تحسين أداء الدوائر الإلكترونية التي تعتمد على جهد مستمر نظيف.

3- تطبيقات متنوعة:

تستخدم المرشحات في العديد من التطبيقات، بما في ذلك مصادر الطاقة، وأجهزة الصوت، وأجهزة الاتصالات، وغيرها.

عامل التموج مضاعف الجهد دوائر التقليم – التقليم الموجب – التقليم السالب – التقليم المركب

ما هي دوائر التقليم؟

دوائر التقليم هي دوائر إلكترونية تستخدم الثنائيات (الدايودات) لقص أو إزالة جزء من شكل الإشارة الكهربائية (عادةً الجهد)، بحيث يتم تمرير أو حجب جزء معين من الإشارة اعتمادًا على قيم الجهد المحددة.

1- المقلم الموجب (Positive Clipper) :

يقوم المقلم الموجب بقص الجزء الموجب من الإشارة, عند تجاوز الجهد قيمة معينة، يُحذف الجزء الموجب.

-يستخدم دايود في وضعية توصيل أمامي.

دوائر التقليم الموجب تعمل عن طريق السماح بمرور التيار في اتجاه واحد فقط باستخدام ديود. عندما يكون جهد الدخل أكبر من جهد التقليم (الجهد الذي يتم عنده قطع الإشارة)، يمر التيار عبر الديود ويشحن المكثف. عندما يكون جهد الدخل أقل من جهد التقليم، يكون الديود في حالة انحياز عكسي ولا يمر التيار، مما يحافظ على شحنة المكثف. وبالتالي، يتم "تقليم" الجزء الموجب من الإشارة، أي يتم إزالة الجزء الذي يتجاوز الجهد المحدد.

-مثال :إشارة → ±10V الناتج بدون الجزء الموجب.

إشارة الدخل :موجة جيبية.±10V الدائرة تحذف القمم الموجبة.

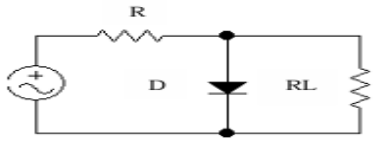
المقلم الموجب غير منحاز

وهي الدائرة التي تزيل جميع الأجزاء الموجبة.

1- في النصف الموجب من الموجة يكون D on انحياز أمامي اي ان الثنائي مفتاح مغلق .

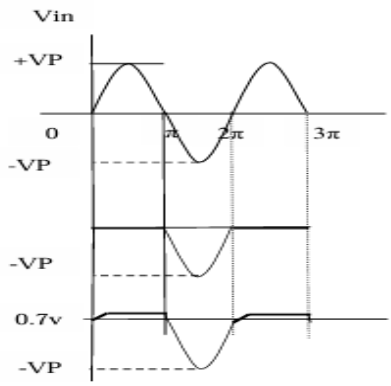
➢ الفولتية الخارجة صفر

2- في النصف السالب من الموجة يكون D off انحياز عكسي



➢ $Vout = \frac{RL}{R+RL} * VP$

وتكون عادة RL>>R لذلك Vout ≈ -VP



إذ كان الثنائي مثالي

في التقريب الثاني تكون الإشارة كالأتي

الثنائي سيلكون Si

2- المقلم السالب (Negative Clipper) :

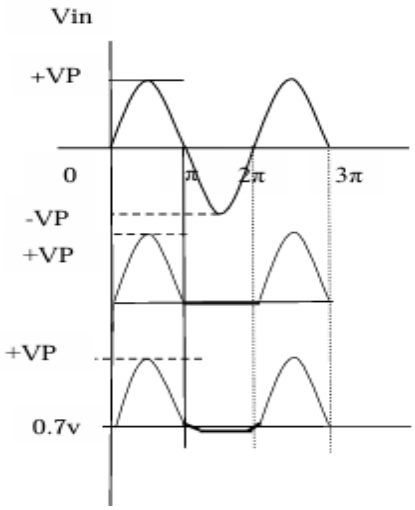
يقوم بحذف الجزء السالب من الإشارة, يستخدم دايود في الاتجاه المعاكس.

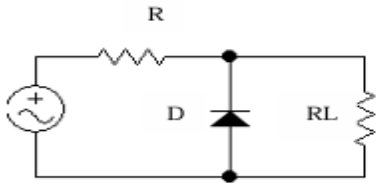
-عند انخفاض الجهد عن قيمة معينة، يُقص الجزء السالب.

-مثال :إشارة → ±10V الناتج بدون الجزء السالب.

إشارة الدخل :موجة جيبية.±10V الدائرة تحذف القمم السالبة.

هذه الدائرة تعمل على إزالة الأجزاء السالبة او تحت الصفر





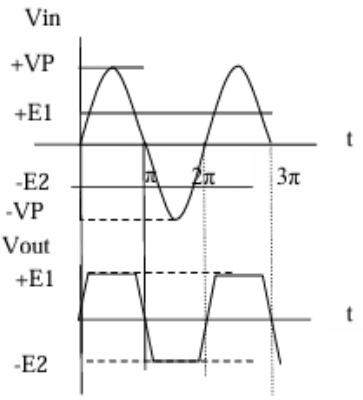
اذ كان الثنائي مثالي

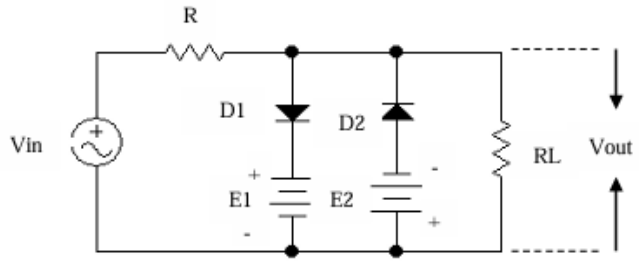
في التقريب الثاني تكون الإشارة كالأتي

الثنائي سيلكون Si

3- المقلم المركب (Biased Clipper) :

إشارة الدخل.10V± :الدائرة تحذف القمم فوق 5V+ وتحت.5V- الناتج يبقى بين 5V- و +V.5 .





يمكن جمع مقلم منحاز موجب ومقلم منحاز سالب كما في الشكل أعلاه.

عندما تكون E1+< Vin يكون D1 on وتكون E1+= Vout

عندما E2-<Vin- يكون D2 on وتكون فولتية الاخراج E2-=Vout

وعندما تقع Vinبين E1+ و E2- فان فولتية الإخراج تساوي Vout ≈Vin لان R<< RLوتكون الإشارة الخارجة تقريبا مربعة.

تطبيقات دوائر التقليم :

-حماية الدوائر من الجهد الزائد.

-تعديل شكل الإشارات.

-توليد إشارات مقيدة.

-إزالة التشويش من الإشارات.

الاسبوع التاسع والعاشر

ثنائي الزينر – تركيبه – رمزن – خواصه – الانكسار الإنهياري انكسار الزينر – جهد الانكسار – تحمل القدرة – ممانعة الزينر – تأثيرات درجة الحرارة – تقريب الزينر تنظيم الجهد المستمر.

ثنائي الزينر :

بالإنجليزية (Zener Diode):هو نوع خاص من الدايودات مصمم ليعمل في حالة الإنحياز العكسي عندما يكون فرق الجهد المطبق عليه أعلى من جهد معين يُعرف باسم جهد الإنهيار أو جهد الزينر، ويمتاز بثبات فرق الجهد بين طرفيه بالرغم من تغير التيار المار خلاله.

عندما ينحاز الثنائي عكسيا, كنا نتجنب الاقتراب من فولتية الانكسار وذلك حفاظا على خاصية الثنائي للتوصيل باتجاه واحد. ولكن هناك ثنائي يدعى (Zener) وهو ثنائي سيلكون يصنع خصيصا للعمل في منطقة الانكسار. وهو يعتبر الاساس لعمل منظمات الفولتية وهي الدوائر التي تحافظ على فولتية الحمل ثابتة تقريبا رغم تغيير فولتية المصدر ومقاومة الحمل .

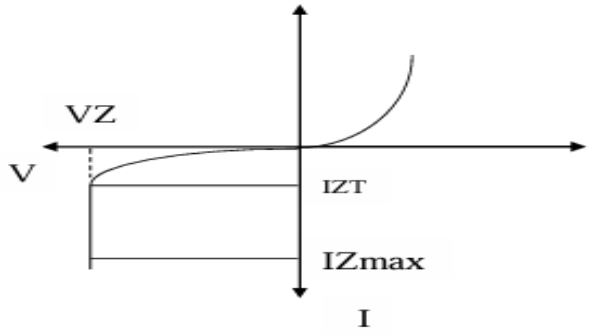
ظاهرة الانكسار : هناك ظاهرتان تحدثان الانكسار

1- تاثير زينر :تحدث ظاهرة زينر في الثنائيات التي يكون مستوى التطعيم فيها عالي جدا.وتحدث هذه الظاهرة في فولتية انكسار تقل عن 5v.

2- ظاهرة الانهيار :تحدث هذه الظاهرة عندما يكون مستوى التطعيم خفيفا.وتحدث هذه الظاهرة في الفولتيات اعلى من 8v

اما الانكسار الذي يحدث بين 5v و8v ناتج من اشتراك الظاهرتين. وتتراوح فولتيات الانكسار للثنائيات من 2v الى 200v

خواص ثنائي الزينر ومدى تحمل القدرة



يبين المنحني خواص ثنائي الزينر. التيار العكسي يكون قليل لحد الاهمال قبل فولتية الانكسار VZ حيث يزداد التيار بصورة عمودية تقريبا. وتعطي VZ من استمارة المعلومات عند تيار يسمى IZT يسمى تيار الاختبار (Test Current)

تبديد القدرة في ثنائي الزينر متساوي Pz=IzVz ويجب ان تكون Pz ضمن مدى تحمل القدرة للثنائي وبعكسه يتلف الثنائي .

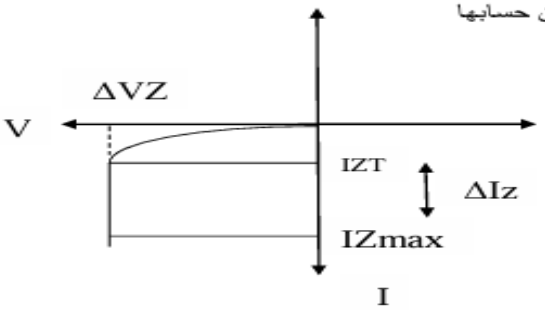
I_ZMax: هو أقصى يتحمله الثنائي دون عبور مدى تحمل القدرة ويحسب في المعادلة التالية:

$$I_ZMax = \frac{PzMax}{VZ}$$

حيث ان PzMax أقصى تحمل للقدرة

ممانعة الزينر : عند حدوث تغير طفيف في الفولتية سوف يحدث زيادة كبيرة في التيار .هذا يعني وجود ممانعة صغيرة يمكن حسابها

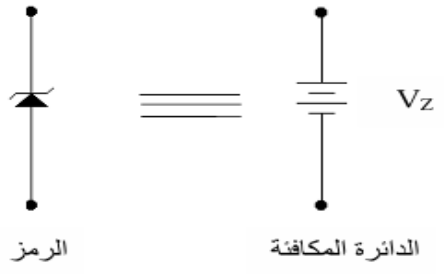
$$Zz = \frac{\Delta Vz}{\Delta Iz}$$



تقاريب الزينر

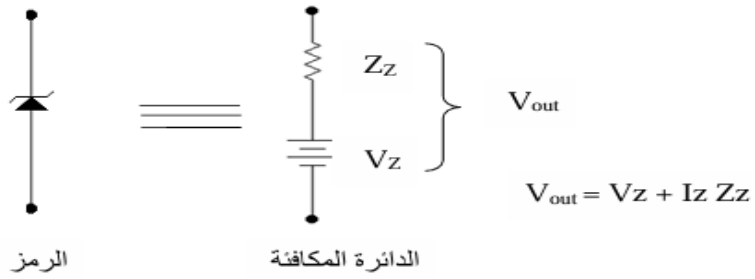
1- التقريب الاول (الحالة المثالية)

في التقريب الاول يكون الثنائي كبطارية قيمتها فولتية الانكسار



2- التقريب الثاني

لتحسين التحليل ناخذ بنظر الاعتبار انحدار منطقة الانكسار اي يوجد ممانعة زينر صغيرة Zz مع مصدر فولتية Vz



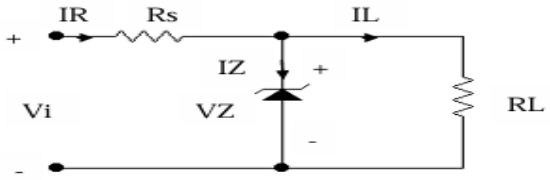
تطبيقات الزينر Zener Diode Appliation

منظم الفولتية Zener Diode Regulation

1- ***Regulation with a varying Input Voltage:***

تنظيم الفولتية عندما تكون فولتية الادخال متغيرة

فولتية الادخال متغيرة مع ثبوت مقاومة الحمل Fixed RL, Variable Vi



Zener Regulation of a variable (DC) Input this is called input or liner Regulation

تنظيم فولتية الادخال

Vi Changes ⟹ IZ Change

عندما تكون فولتية الادخال متغيرة يكون IZ متغير مع ثبوت تيار الحمل IL

VZ Change= Vo = constant (ثابتة)

Vi (min) =IL (RL+Rs)

The Maximum Value of input voltage is limited by IZmax

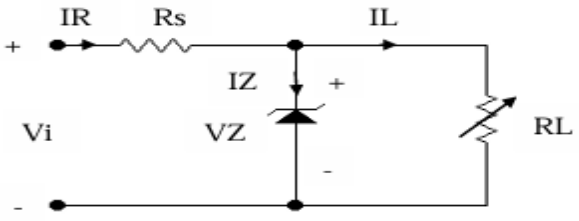
IR (max) = IZ (max) +IL

Vi (max) = VRs (max) +VZ

= IR (max) Rs +VZ

2- *Regulation with a varying load:*

التنظيم عندما يكون الحمل متغير



Zener Regulation With a variable Load is called load Regulation

تنظيم الفولتية عندما يكون الحمل متغير يدعى تنظيم الحمل

ثبوت Vi عندما يكون الحمل متغير Fixed Vi, Variable RL

IR تبقى ثابتة IR Remains Fixed

$$IR = \frac{VRs}{Rs} = \frac{Vi-Vz}{RS}$$

IL (max) $\Longrightarrow$ IZ (min)

IL (min) $\Longrightarrow$ IZ (max)

IL (max) = IR - IZ (min)

$$RL\ (min) = \frac{VZ}{IL(max)}$$

$$RL\ (max) = \frac{VZ}{IL(min)}$$

س1: ان الثنائي زينر في الدائرة له $Zz=7\Omega,\ VZ = 10V$

1- استخدم التقريب المثالي لحساب :

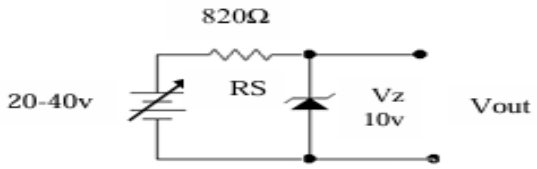
a) Vout

b) اقصى تيار IZmin

2- استخدام التقريب الثاني لحساب :

a) اقصى فولتية اخراج Vout(max)

b) ادنى فولتية اخراج Vout(min)



1)

A. Vout = VZ = 10V

B. $IZ(\max) = \frac{Vin(max)-ZV}{R} = \frac{40-10}{820} = 36.6\ mA$

C. $IZ(\min) = \frac{Vin(min)-ZV}{R} = \frac{20-10}{820} = 12.2\ mA$

2)

A. Vout (max) = VZ + IZ(max) * Zz

$= 10 + 36.6 * 10^{-3} * 7 = 10.25$ V

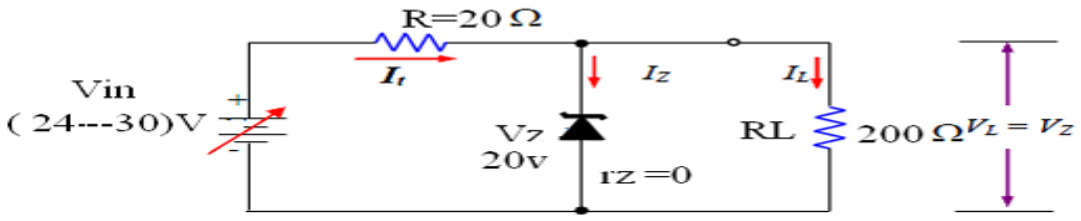
B. Vout (min) = VZ + IZ (min) *Zz

$= 10 + 12.2 * 10^{-3} * 7 = 10.09$ V

مثال / دائرة منظم جهد بالشكل ادناه احسب

١ ـ اقل واكبر قيمة لتيار الزنير $(I_{Max} \ , \ I_{Min})$

٢ ـ اعظم قدرة مبدده في المقاومة (R) و الزنير $(P_{Z(max)})$



$$I_{Z(\min)} = I_{t(\min)} - I_L = 0.2\text{A} - 0.1\text{A} = 0.1\text{A}$$
$$I_{Z(\max)} = I_{t(\max)} - I_L = 0.5\text{A} - 0.1\text{A} = 0.4\text{A}$$

$$I_L = \frac{V_Z}{R_L} = \frac{20\text{V}}{200\Omega} = 0.1\text{A}$$

$$P_{R(\max)} = I_{t(\max)}{}^2 \ \text{R}$$
$$= (0.5)^2 * 20 = 10W$$

$$I_t = \frac{V_{in} - V_Z}{R}$$

$$P_{Z(\max)} = V_Z \, I_{Z(\max)}$$
$$= 20v * 0.4A = 8W$$

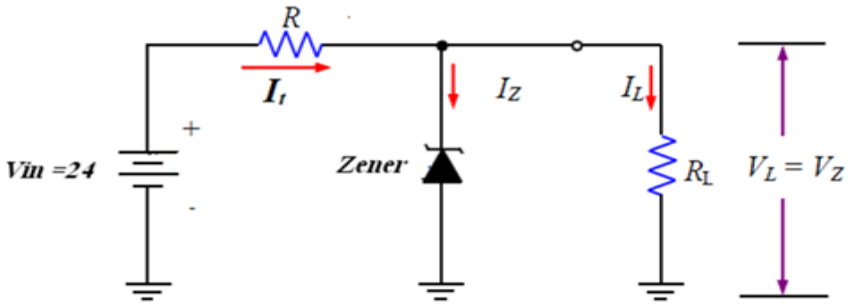
$$I_{t(\min)} = \frac{24\text{V} - 20\text{V}}{20\Omega} = 0.2\text{A}$$

$$I_{t(\max)} = \frac{30\text{V} - 20\text{V}}{20\Omega} = 0.5\text{A}$$

$$I_t = I_Z + I_L$$

في الدائرة الموضحة بالشكل ادناه اذا علمت ان $\text{Vz} = 12\text{v}$ $I_{zk} = 1\text{mA}$ $Iz_{max} = 50\text{mA}$ $\text{rz} = 0$

احسب اعظم واقل قيمة لتيار الحمل واقل مقاومة حمل يعمل عندها الزنير كمنظم فولتية



$$I_{Z(\max)} = I_t = \frac{V_{in} - V_Z}{R} = \frac{24\text{V} - 12\text{V}}{470\Omega} = 25.5\text{mA}$$

$$\because I_t = I_{ZK} + I_{L(\max)}$$

$RL = \infty$ اقل قيمة لتيار الحمل تكون عندما تكون عندما

$$\therefore I_{L(\min)} = 0$$

$$\therefore I_{L(\max)} = I_t - I_{ZK} = 25.5\text{mA} - 1\text{mA} = 24.5\text{mA}$$

$$R_{L(\min)} = \frac{V_Z}{I_{L(\max)}} = 490\Omega$$

الاسبوع الحادي عشر والثاني عشر

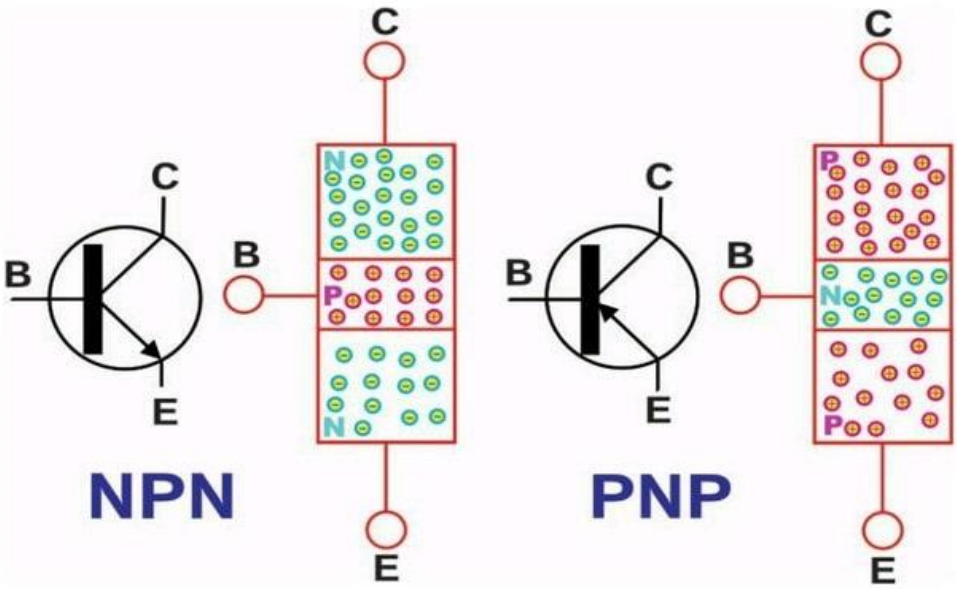
الترانزستور ثنائي القطبية – تركيبه – مناطقه – رمزه – جهود التحييز – (α dc) – (β dc) العلاقة بين (α dc) – (β dc) انواع الانحياز – صيغ الربط التقريب في الترانزستور والدائرة

الترانزستور ثنائي القطبية (BJT) :هو عنصر إلكتروني يتكون من ثلاث طبقات من المواد شبه الموصلة، وله ثلاثة أطراف: الباعث (E)، والقاعدة (B)، والمجمع (C). يعمل الترانزستور في ثلاث مناطق أساسية: القطع، والنشاط (أو التكبير)، والتشبع. يعتمد رمز الترانزستور على نوعه (NPN أو PNP)، ويتم تحديد جهد التحيز لضمان عمله بشكل صحيح في الدائرة.

التركيب:

يتكون الترانزستور ثنائي القطبية من طبقتين من مادة شبه موصلة (إما من النوع N أو P) تفصل بينهما طبقة من النوع الآخر.

هناك نوعان أساسيان: NPN و PNP.

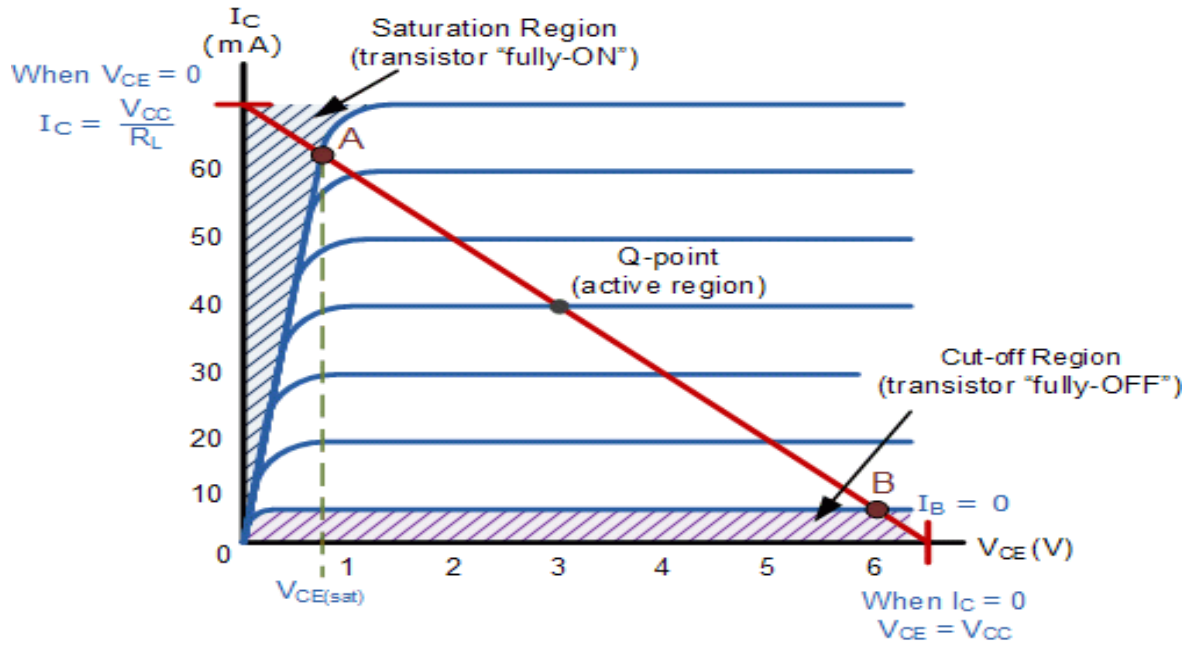


في الترانزستور NPN، تكون الطبقة الوسطى من النوع P (القاعدة)، محاطة بطبقتين من النوع N (الباعث والمجمع).

في الترانزستور PNP، تكون الطبقة الوسطى من النوع N (القاعدة)، محاطة بطبقتين من النوع P (الباعث والمجمع).

لكل نوع من الترانزستور ثلاثة أطراف: الباعث (Emitter) ويرمز له بالرمز (E)، والقاعدة (Base) ويرمز لها بالرمز (B)، والمجمع (Collector) ويرمز له بالرمز (C).

مناطق الترانزستور ثنائي القطبية:



منطقة القطع:(Cut-off Region)

في هذه المنطقة، يكون الترانزستور في حالة إيقاف (مثل المفتاح المفتوح)، ولا يمر تيار كبير بين الباعث والمجمع.

منطقة النشاط:(Active Region)

هذه هي المنطقة التي يعمل فيها الترانزستور كمكبر للتيار أو الجهد، حيث يتحكم جهد القاعدة في تيار المجمع.

منطقة التشبع:(Saturation Region)

في هذه المنطقة، يكون الترانزستور في حالة تشبع (مثل المفتاح المغلق)، ويكون التيار بين الباعث والمجمع عند أقصى قيمة له.

الرمز:

يختلف رمز الترانزستور ثنائي القطبية حسب نوعه (NPN أو PNP).

يتم رسم سهم على خط الباعث للإشارة إلى اتجاه التيار الاصطلاحي.

في الترانزستور NPN، يشير السهم إلى الخارج من القاعدة.

في الترانزستور PNP، يشير السهم إلى الداخل نحو القاعدة.

رمز الترانزستور

جهد التحيز:

لجعل الترانزستور يعمل بشكل صحيح، يجب توفير جهد تحيز مناسب عند أطرافه.

في حالة NPN، يجب أن يكون جهد القاعدة أعلى من جهد الباعث، وجهد المجمع أعلى من جهد القاعدة.

في حالة PNP، يجب أن يكون جهد القاعدة أقل من جهد الباعث، وجهد المجمع أقل من جهد القاعدة.

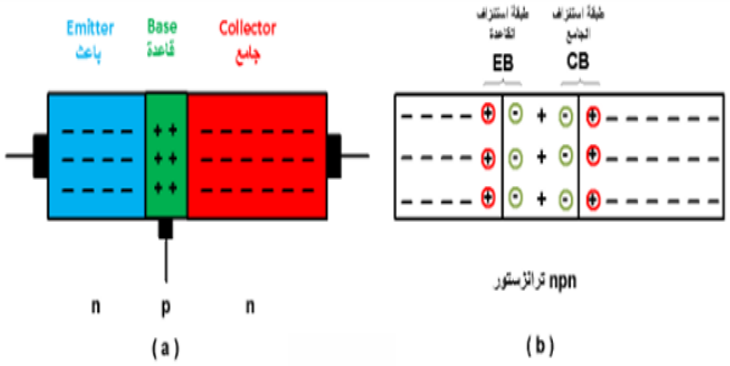
يتم تحقيق جهد التحيز باستخدام مقاومات أو دوائر تحيز أخرى.

يجب أن يكون جهد التحيز كافياً لضمان عمل الترانزستور في المنطقة المطلوبة (النشاط عادةً).

الترانزستور غير المنحاز

يُبين الشكل ادناه الشحنات الأغلبية في طبقات الترانزستور قبل تحرك اي منها عبر الوصلتين.

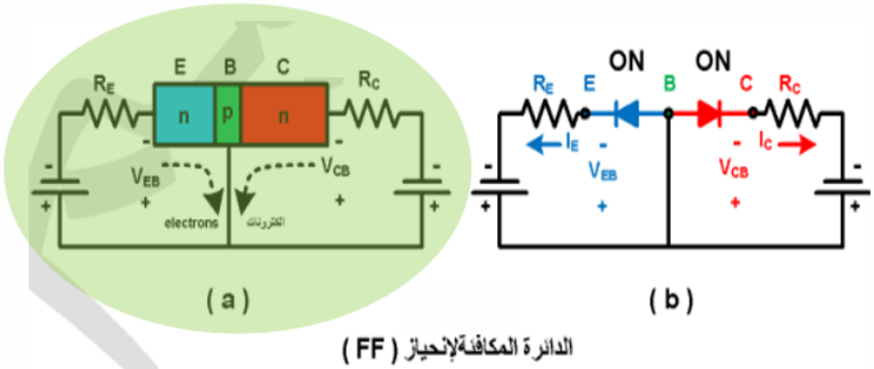
أن الالكترونات الحرة تنتشر عبر الوصلتين مما يؤدي الى طبقتي الاستنزاف لكل طبقة استنزاف جهد 0.3v في ترانزستور الجرمانيوم و 0.7v لترانزستور السليكون . ويعتبر ترانزستور السليكون ذو أهمية كبيرة . وبما أن المناطق الثلاث ذات نسب تطعيم مختلفة لذلك لا يكون لطبقتي الاستنزاف نفس العرض فكلما كان التطعيم غزيرا كلما كان تركيز الأيونات قرب الوصلة أعظم . أن هذا يعني أن طبقة الاستنزاف تنفذ قليلا في مناطق الباعث (فهو غزير التطعيم) ولكنها تنفذ بعمق في القاعدة الخفيفة التطعيم (طبقة الاستنزاف الثانية) وتنفذ بعمق أقل في منطقة الجامع .



1- الترانزستور المنحاز امامي-امامي:

يوضح الشكل أدناه الترانزستور حينما يكون في حالة انحياز أمامي-أمامي FF وقد سمي هكذا لأن **ثنائي الباعث وثنائي الجامع منحازان أماميا** .

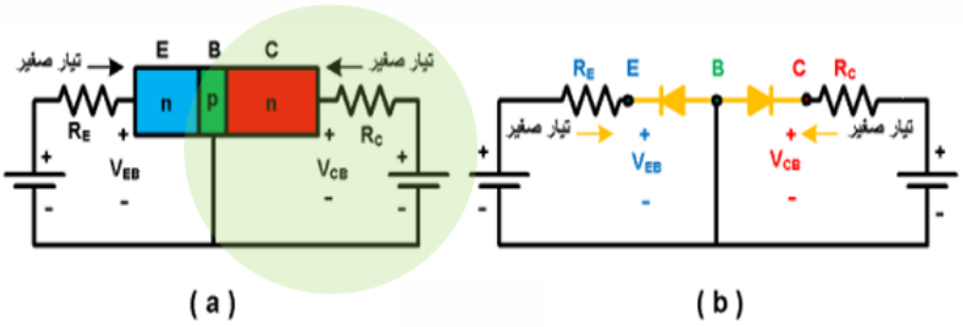
أن الإلكترونات تعبر الوصلتين وتجري نازلة خلال القاعدة الى سلك التوصيل الخارجي . ويبين الشكل (b) الدائرة المكافئة للانحياز FF فالفولتية بين الباعث و القاعدة V_{EB} تجعل الثنائي الباعث منحازا اماميا وتنتج تيارا اعتيادي المرور I_E وبالمثل فأن الفولتية بين الجامع و القاعد V_{CB} تجعل ثنائي الجامع في وضع انحياز أمامي مسببة مرور تيار اعتيادي I_C



الدائرة المكافئةلإنحياز (FF)

2- الترانزستور المنحاز عكسي- عكسي:

يوضح الشكل ادناه الترانزستور عندما يكون في حالة انحياز عكسي - عكسي . تسريفقط تيارات صغيرة متكونة من تيار التشبع المنتج حراريا ومن تيار التسرب السطحي . أن المركبة المنتجة حراريا تعتمد على الحرارة وتتضاعف تقريبا لكل زيادة قدرها (10°) أما من الناحية الأخرى فأن مركبة التسرب السطحي تزداد مع زيادة الفولتية ويمكن إهمال هذه التيارات العكسية عادة.



(a) (b)

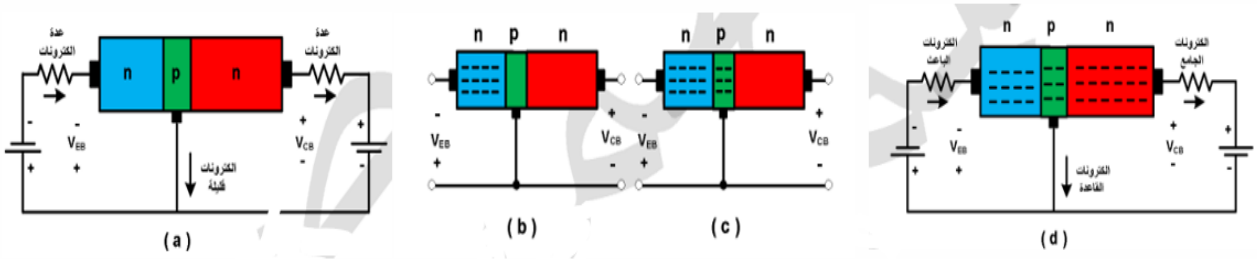
الدائرة المكافئة لإنحياز (RR)

3- الترانزستور المنحاز امامي-عكسي:

يعتبر هذا النوع من الانحياز اهم انواع الانحياز و اكثرها شيوعا, و فيه يتم تحييز وصلة الباعث اماميا بينما يتم تحييز وصلة الجامعة عكسيا كما هو موضح في الشكل ادناه. في هذه الحالة نتوقع تيار باعث كبير (انحياز امامي) و تيار جامع صغير (انحياز عكسي), غير انه و خلافا لذلك التوقع, فإننا نحصل على تيار جامع كبير (أقل بقليل من تيار الباعث) على الرغم من الإنحياز العكسي المسلط. وهذه الميزة هي التي تجعل الترانزستور اختراع عظيم. و في ما يلي شرح لما يحصل:

- نظرا لكون وصلة الباعث منحازة اماميا فإنه سوف يسري تيار امامي كبير عبر الباعث بإتجاه القاعدة I_E وذلك متى ما تغلب فولتية التحيز الامامية على جهد الوصلة الباعث V_{BE} .

- نظرا لكون منطقة القاعدة ضعيفة التطعيم و رقيقة فإن معظم (حوالي 95%) الالكترونات الحرة المحقونة من جهة الباعث سوف تتمكن من عبور منطقة القاعدة الى طبقة استنزاف الجامع وعندها يقوم مجال طبقة استنزاف الجامع بدفع تيار ثابت من الاكترونات الى منطقة الجامع و من ثم تغادر تلك الالكترونات الى سلك توصيل الجامع الخارجي ثم تجري الى الطرف الموجب من مصدر فولتية تحييز الجامع (V_{CC}). بالنتيجة نحصل على تيار جامع كبير على الرغم من الانحياز العكسي له.



(a) (b) (c) (d)

معاملات الترانزستور :

1 - معامل كسب التيار β (BETA)

يحدد العلاقة بين تيار الجامع I_C وتيار القاعدة I_B كما يلي $\beta = I_C/I_B$

وتتراوح قيمة β للترانزستورات العادية من 20 إلى 200 باستثناء بعض الترانزستورات الخاصة والتي تصل فيها β حوالي 10000 . في معظم لوحات بيانات الترانزستور يرمز لهذا المعامل بالرمز الهجيني h_{FE}

2 - معامل كسب التيار Alpha_ α

يحدد العلاقة بين تيار الجامع I_C إلى تيار الباعث I_E كما يلي :

حيث تتراوح α عادة من 0.90 إلى 0.995 . $\alpha = I_C/I_E$

العلاقة بين $\alpha_{d.c}$ و $\beta_{dc.}$

IE=IC+IB

$\frac{IC}{IB}=1+\frac{IC}{IB}$ ---------- بالقسمة على IC

$\frac{1}{\alpha d.c}=1+\frac{1}{\beta d.c}$ ---------- (1)

$\frac{1}{\alpha d.c}=\frac{\beta d.c+1}{\beta d.c}$

$\alpha_{d.c}=\frac{\beta d.c}{\beta d.c+1}$ ----------$\beta_{d.c}$ بدلالة $\alpha_{d.c}$

بالعودة إلى المعادلة رقم (1)

$\frac{1}{\alpha d.c}=1+\frac{1}{\beta d.c}$

$\frac{1}{\beta d.c}=\frac{1}{\alpha d.c}-1$

$\frac{1}{\beta d.c}=\frac{1-\alpha d.c}{\alpha d.c}$

$\beta_{d.c}=\frac{\alpha d.c}{1-\alpha d.c}$ ----------$\alpha_{d.c}$ بدلالة $\beta_{d.c}$

مثال:- افرض تيار القاعدة IB=1mA وتيار الباعث IE=200mA جد βd.c

IE=IC+IB

IC=IE-IB

=200-1

=199mA

$\beta_{d.c}=\frac{IC}{IB}=\frac{199mA}{1mA}=199$

الاسبوع الثالث عشر

منحنيات خواص الترانزستور – مناطق العمل تعريف (I_{CBO}) و (I_{CEO}) – منحني كسب التيار – العلاقة بين (I_C) و (I_{CEO}).

منحنيات خواص الترانزستور ثنائي القطبية (BJT)هي رسوم بيانية تصف العلاقة بين تيارات وجهود أطراف الترانزستور المختلفة، وتُستخدم لتحديد سلوك الترانزستور في الدوائر الإلكترونية.

ما هي منحنيات الخواص؟

هي سلسلة من الرسوم البيانية التي توضح العلاقة بين تيار المجمع (IC) وجهد المجمع-الباعث (VCE) عند مستويات مختلفة من تيار القاعدة (IB).

كيف يتم الحصول عليها؟

يتم إنشاء هذه المنحنيات عن طريق تشغيل طرف القاعدة بمصدر تيار ثابت وتغيير جهد المجمع-الباعث، مع تسجيل قيم تيار المجمع.

ماذا توضح؟

توضح المنحنيات سلوك الترانزستور في ثلاث مناطق رئيسية:

منطقة القطع :(Cut-off) حيث يكون الترانزستور في حالة إيقاف (مفتاح مفتوح).

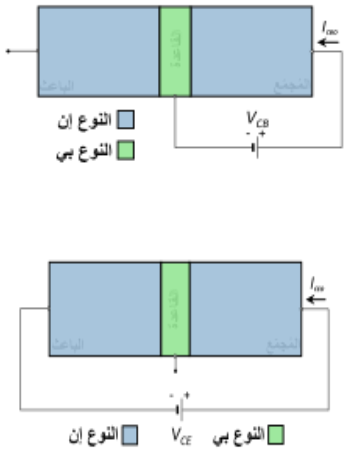
منطقة النشاط :(Active) حيث يعمل الترانزستور كمكبر للإشارة.

منطقة التشبع :(Saturation) حيث يعمل الترانزستور كمفتاح مغلق.

أهميتها:

تسمح هذه المنحنيات بفهم كيفية تصرف الترانزستور في مختلف الحالات وتحديد المعلمات المناسبة لتطبيقاته المختلفة، مثل التضخيم والتبديل.

تيارا التسريب العكسيان:



تيار التسريب العكسي هو تيار كهربائي ناجم عن حركة الشحنات الأقليّة عند التحييز العكسيّ لوصلة شبه موصل. ويُوصف هذا التيار بأنّه عكسيّ لأن أثره يصبح واضحاً عند التحييز العكسيّ للوصلة، وترتبط قيمته بحوامل الشحنة المتولدة في منطقة العبور، لا بالجهد الكهربائي المُطبق على الوصلة.

في ترانزستور ثنائي القطب من النوعNPN ، يمرّ تيارا تسريب عكسيّان الأوّل بين المُجمّع والقاعدة والثاني بين المُجمّع والباعِث، ويُمكن قياسهما من خلال تطبيق جهد كهربائي مناسب على الدبوسين المعنيين، وترك الدبوس الثالث بدون تطبيق أي جهد، أي ترك دارته مفتوحة. وهذان التياران هما:

1- تيار التسريب العكسي بين المجمع والقاعدة مع باعث مفتوح . ICBO

2- تيار التسريب العكسي بين المجمع والباعث مع قاعدة مفتوحة . ICEO

يلعب كل من التيارين دوراً رئيسياً في تحديد الحدود التي تفصل بين منطقة القطع ومنطقة العمل الفعال في ميزة

خرج الترانزستور. تكون قيمة تيار التسريب العكسي بين المجمع والقاعدة مع باعث مفتوح ICBOصغيرة من رتبة النانو أمبير،وتتبع درجة الحرارة.

يرتبط تيارا التسريب العكسيان مع بعضهما البعض بالعلاقة الرياضية:

$ICEO=ICBO(\beta+1)$

منحنى كسب التيار في الترانزستور يوضح العلاقة بين تيار المجمع (IC) وتيار القاعدة (IB) في دائرة الباعث المشترك. ICEO يشير إلى تيار التسرب العكسي في دائرة الباعث المشترك، وهو تيار المجمع عندما تكون القاعدة مفتوحة ($IB = 0$). العلاقة الأساسية بينهما هي أن تيار المجمع (IC) يساوي حاصل ضرب كسب التيار (β) في تيار القاعدة (IB) بالإضافة إلى تيار التسرب العكسي (ICEO).

IC (Collector Current): هو التيار الذي يتدفق عبر المجمع (collector) في الترانزستور.

IB (Base Current): هو التيار الذي يتدفق عبر القاعدة (base) في الترانزستور.

ICEO (Collector Cut-off Current): هو التيار الذي يتدفق عبر المجمع عندما تكون القاعدة مفتوحة (لا يوجد تيار في القاعدة). هذا التيار هو نتيجة لحركة حاملات الشحنة الأقلية عبر وصلة المجمع-القاعدة.

β (Beta): هو كسب التيار في دائرة الباعث المشترك، وهو نسبة تيار المجمع إلى تيار القاعدة.

العلاقة:

يمكن التعبير عن العلاقة بين هذه القيم بالمعادلة التالية: $IC = \beta * IB + ICEO$.

تفسير منحنى كسب التيار:

يظهر منحنى كسب التيار كيف يتغير تيار المجمع (IC) مع تغير تيار القاعدة (IB).

في منطقة التشغيل الخطية، يزداد تيار المجمع خطيًا مع زيادة تيار القاعدة.

عندما يكون تيار القاعدة صفرًا ($IB = 0$)، يتدفق تيار المجمع بسبب ICEO.

كلما زاد تيار القاعدة، يزداد تيار المجمع أيضًا، ويكون التأثير الرئيسي هو زيادة تيار المجمع بمقدار $\beta * IB$.

في منطقة التشبع، يزداد تيار المجمع مع زيادة تيار القاعدة حتى يصل إلى قيمة قصوى.

في منطقة القطع، لا يتدفق تيار المجمع بشكل كبير.

أهمية ICEO:

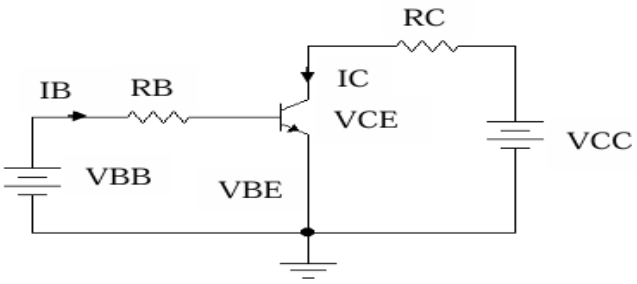
ICEO هو تيار تسرب صغير، ولكن يمكن أن يكون له تأثير كبير في بعض التطبيقات، خاصة في درجات الحرارة العالية أو عندما يكون تيار القاعدة صغيرًا جدًا.

يجب أن يؤخذ ICEO في الاعتبار عند تصميم الدوائر التي تتطلب دقة عالية أو حساسية للتيار.

الاسبوع الرابع عشر

دوائر الانحياز الترانزستور – انحياز القاعدة – انحياز الباعث

انحياز القاعدة



في دائرة انحياز القاعدة حيث يحيز مصدر الفولطية VBB ثنائي الباعث خلال المقاومة RB حيث $IB = \frac{VBB-VBE}{RB}$

حيث VBE تساوي (Ge = 0.3V , Si = 0.7V)

خط الحمل المستمر

في دائرة الجامع يعمل المصدر VCC على تحيز ثنائي الجامع عكسيا

$VCE = VCC - IC\ RC$ وبالقسمة على RC

$$IC = -\frac{VCC}{RC} + \frac{VCC}{RC} \quad \text{.....(1)}$$

حيث VCC . RC ثابت IC, VCE متغير

نستطيع ان نتصور المعادلة رقم (1) كمعادلة خطية

$$Y = mx + b$$

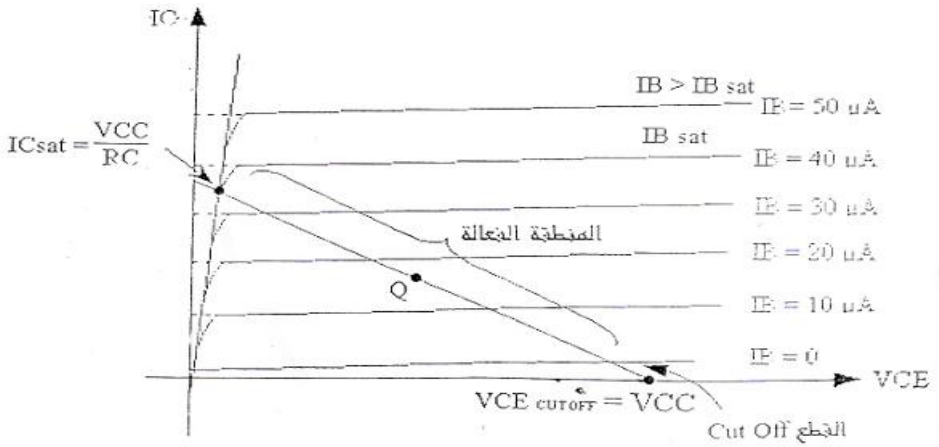
$Y = IC$

$x = VCE$

$b = \frac{VCC}{RC}$

$m = -\frac{1}{RC}$ ميل المعادله

وعند ميل هذا الخط على منحنيات الجامع نحصل على خط الحمل المستمر والذي يمثل نقاط عمل الترانزستور



تعرف نقطة تقاطع خط الحمل بالمنحني IB=0 بالقطع Cut Off حيث تيار الجامع تيار صغير جدا

VCE = VCC

وتسمى VCE في هذه النقطة VCE Cut Off

وتعرف نقطة تقاطع خط الحمل والمنحني IB Sat بالتشبع Saturation وهذا يعني مثاليا دائرة قصر بين طرفي الجامع والباعث اي VCE = 0 وبالتعويض بالمعادلة رقم (1) نحصل على قيمة IC Sat

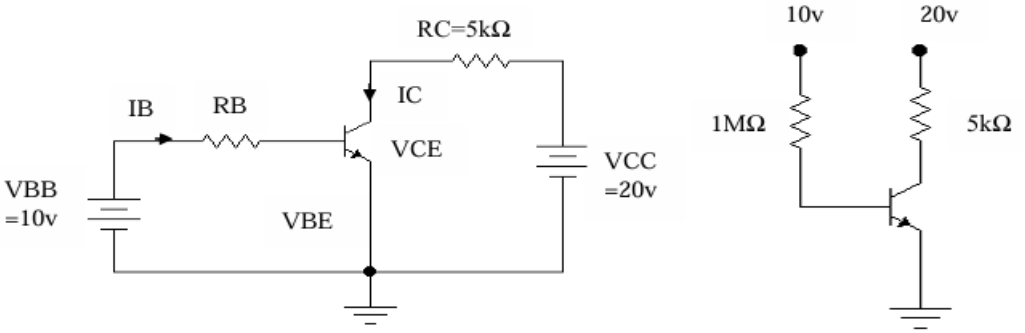
$$\text{IC Sat} = \frac{VCC}{\text{RC}}$$

واقل تيار قاعدة يحدث التشبع هو

$$\text{IB Sat} = \frac{IC\ Sat}{\beta\ \text{d .c}}$$

تعرف جميع نقاط العمل الواقعة بين القطع والتشبع بالمنطقة الفعالة للترانزستور حيث ثنائي الباعث منحاز أمامي وثنائي الجامع منحاز عكسيا ، وتسمى نقاط تقاطع تيار القاعدة مع خط الحمل Q point نقطة العمل او النقطة الهامدة آو نقطة السكون .

مثال 1: لترانزستور سليكون في الشكل أدناه $\beta_{d.c} = 100$ ما مقدار الفولتية بين الجامع والباعث VCE مع رسم خط الحمل وإيجاد نقطة العمل Q point



VCE =VCC –IC RC

IC = IB * β dc

$$IB = \frac{VBB-VBE}{RB} = \frac{10-0.7}{1*10^6}$$

=9.3μΩ

IC = 100* 9.3 *10 ^{6}

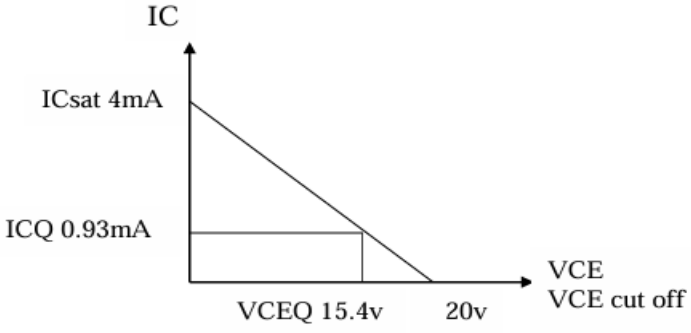
=0.93mA

VCE = 20- 0.93 *10 $^{-3}$ * 5* 10 ^{3}

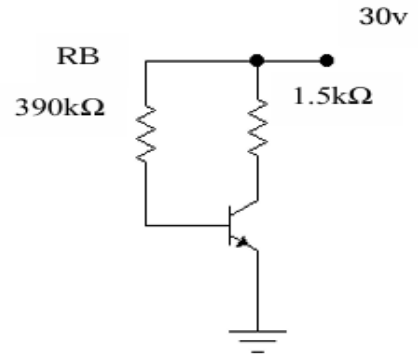
=15.4V

$$\text{IC Sat} = \frac{VCC}{\text{RC}} = 4\text{mA}$$

VCE Cut off = VCC



مثال2: لترانزستور $\beta_{d.c} = 80$ ارسم خط الحمل واين تقع نقطة العمل Q اذا كانت $RB = 390K\Omega$



$$IC\ Sat = \frac{VCC}{RC} = \frac{30v}{1.5k\Omega} = 20mA$$

$VCE\ Cut\ off = VCC = 30v$

$$IB = \frac{VBB - VBE}{RB} = \frac{30 - 0.7}{3901 * 10^3}$$

$= 75.1\mu\Omega$

$IC = IB * \beta\ dc$

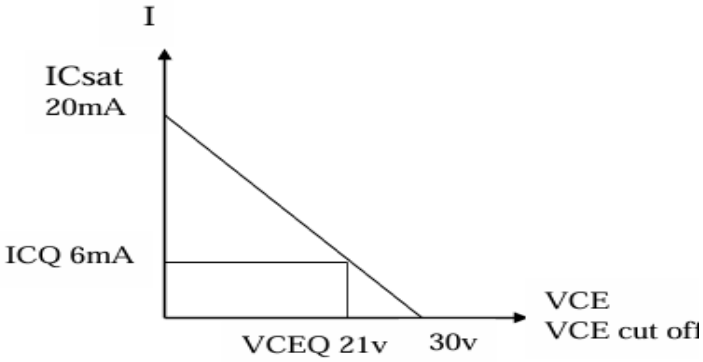
$IC = 75.1 * 10^{-6} * 80$

$= 6mA$

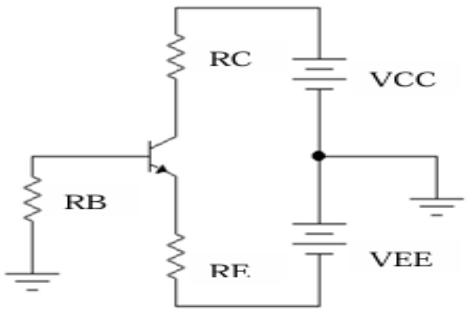
$VCE = VCC - IC\ RC$

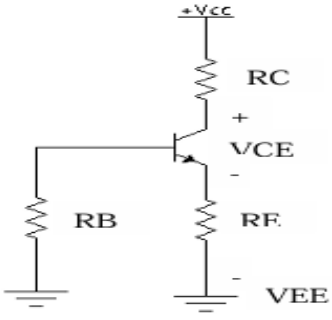
$VCE = 30 - 6 * 10^{-3} * 1.5 * 10^{3}$

$= 21V$



انحياز الباعث :





نحتاج في هذا الانحياز الى مجهز قدرة مجزء فولتية اي فولتية موجبة VCC وفولتية سالبة VEE ثناني الباعث ينحاز اماميا بواسطة مجهز الفولتية VEE خلال المقاومة RE وثناني الجامع ينحاز عكسيا بواسطة مجهز الفولتية VCC

ان الفولتية بين الباعث والارضي قليلة جدا (اقل من 1V) لذا نستطيع ان نعامل نقطة VE تقريبا ارضي

$$VEE - IE * RE = 0$$

$$IE \approx IC = \frac{VEE}{RE}$$

وباستخدام قانون كيرشوف للفولتية لدائرة الجامع الباعث

$$VEE - IE * RE - VCE - IC * RC + VCC = 0 \text{ ---------- (1)}$$

$$VEE - IE * RE = 0$$

$$VCE \approx VCC - IC * RC$$

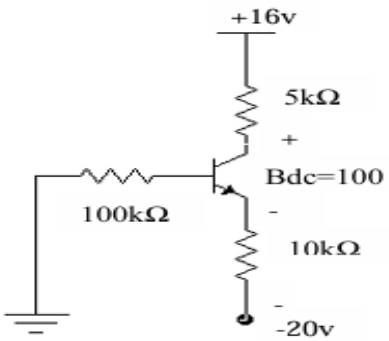
وبالعودة الى المعادلة رقم (1) وعند التعويض $IE \approx IC$

$$IC = \frac{(VCC+VEE)-VCE}{RE+RC}$$

$$IC = \frac{VCC+VEE}{RE+RC}$$

VCE cut off =VCC + VEE

مثال : احسب IC_{sat} , VCE_Q , IC_Q للدائرة التالية



$$\text{ICQ} \approx \text{IE} = \frac{VEE}{RE} = \frac{20}{10*10^3} = 2mA$$

VCE = VCC – IC * RC

= 16 – 2 * 10 $^{-3}$* 5* 10 ^{3} = 6V

$$ICsat = \frac{VCC+VEE}{RE+RC}$$

$$ICsat = \frac{16+20}{5*\ 10^3+10*\ 10^3} = 2.4\ mA$$

الاسبوع الخامس عشر

انحياز الجامع – الانحياز الذاتي – انحياز التغذية الخلفية – انحياز مقسم الجهد – امثلة تطبيقية

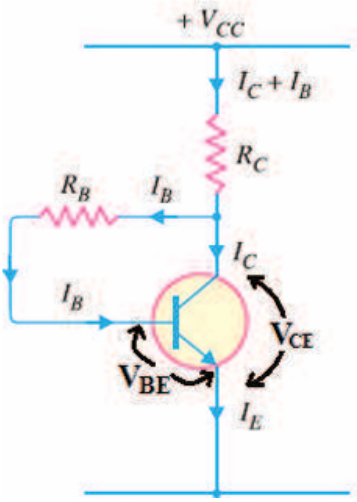
انحياز الجامع :

في الترانزستور ثنائي القطبية (BJT)، يتم تحيز الجامع (Collector) بشكل عكسي لضمان عمل الترانزستور في منطقة التشغيل النشطة، حيث يعمل كأداة تضخيم. هذا التحيز العكسي يعني أن جهد المجمع (VCE) يكون موجبًا لـ NPN و سالبًا لـ PNP، مما يسمح للجامع بجمع الإلكترونات (أو الثقوب في حالة PNP) من القاعدة.

في الترانزستور ثنائي القطبية، يتم تطبيق جهد عكسي على وصلة المجمع والباعث (Collector-Base junction). بالنسبة لترانزستور NPN، يكون هذا الجهد موجبًا، بينما يكون سالبًا لترانزستور PNP.

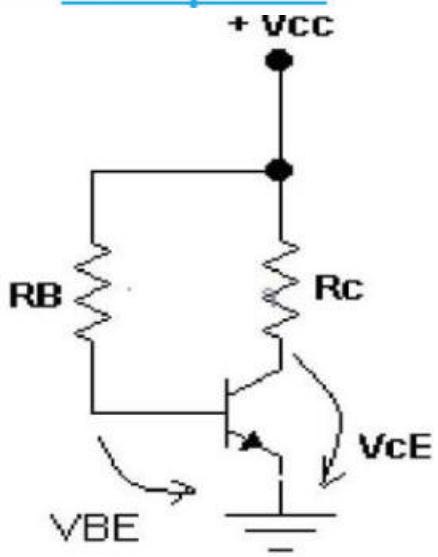
يهدف هذا التحيز العكسي إلى دفع الترانزستور إلى العمل في منطقة التشغيل النشطة. في هذه المنطقة، يتم تضخيم التيار المار عبر القاعدة (Base) وتكبيره عند المجمع (Collector)، مما يجعل الترانزستور يعمل كمضخم.

الانحياز الذاتي



دائرة الانحياز الذاتي Self-Biasing Circuit

تسمى هذه الدائرة ايضا انحياز التغذية الخلفية Feedback biasing ، تختلف دائرة الانحياز الذاتي عن دائرة الانحياز الثابت بكون طرف مقاومة القاعدة R_B مرتبط بطرف الجامع بدلاً من فولتية التحييز V_{CC} كما هو موضح بالشكل المجاور. وهذا الترتيب يتيح ارجاع جزء من فولتية الاخراج الى ادخال الدائرة عبر المقاومة R_B وهو ما يطلق عليه بالتغذية الخلفية.



K . v . l :

$$vcc = Ic\ Rc + VcE$$

$$VcE = Vcc - Ic\ Rc$$

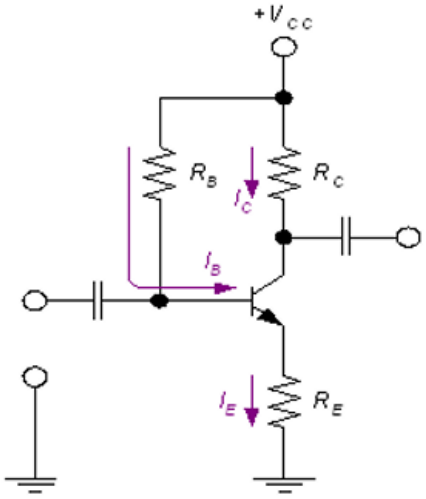
$$K . V . L : Vcc = IB\ RB + VBE$$

$$IB = \frac{VCC - VBE}{RB}$$

Q – Point (VcE ; Ic)

انحياز التغذية الخلفية :

في هذا النوع من الانحياز ، تيار الجامع اقل اعتماد على المعاملβdc والتغير في درجات الحرارة.اي تبقى نقطة العمل ثابتة .عند ارتفاع درجة الحرارة تزداد قيمة $\beta\, dc$ وكذلك تزداد قيمة تيار الجامع Ic وهذه الزيادة تؤدي الى زيادة الجهدعلى مقاومة الباعث RE مما يؤدي الى نقصان في تيار القاعدة IB وبالتالي تزداد قيمة Ic بمقدار قليل .



تحديد نقطة العمل :-

1- تيار القاعدة

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1) R_E}$$

2- تيار الجامع

$$I_{CQ} = \beta \times I_B$$

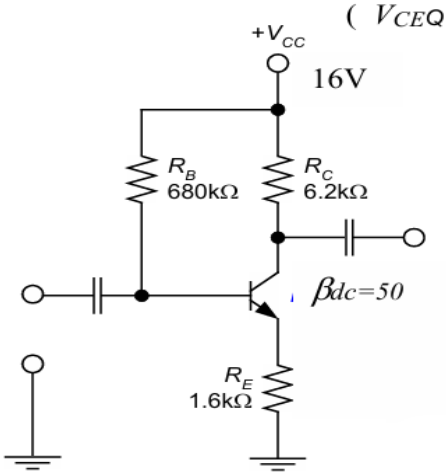
$$I_E = (\beta + 1) I_B$$

3- جهد الجامع

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E$$

$$\cong V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E)$$

مثال / في الدائرة الموضحة احسب قيمة (V_{CEQ} , I_{CQ} , I_{BQ})



$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta_{dc} + 1) R_E} = \frac{16V - 0.7V}{680k\Omega + 51 \times 1.6k\Omega}$$

$$= 20.09\mu A$$

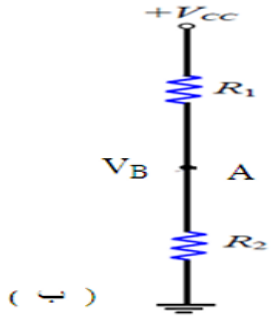
$$I_{CQ} = \beta_{dc}\, I_B = 50 \times 20.09\mu A = 1mA$$

$$V_{CEQ} \cong V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E)$$

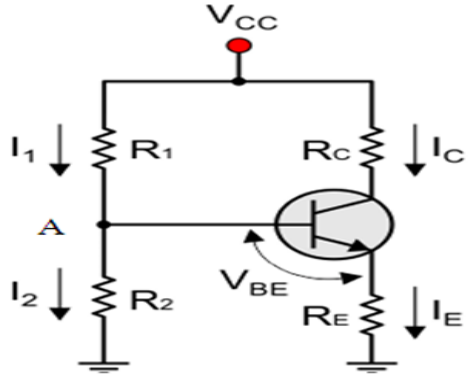
$$= 16V - (1mA)(7.8k\Omega) = 8.2V$$

انحياز مقسم الجهد:

الشكل (أ) ادناه يوضح دائرة انحياز ترانزستور، يتم توفيرانحيازالقاعدة عن طريق مجزئ جهد أومي مكون من مقاومتين R_1 , R_2 . عند النقطة A يوجد مساران للتيار ، الاول خلال المقاومة R_2 والى الارضي والثاني خلال وصلة القاعدة – الباعث للترانزستور.



(ب)



(أ)

اذا كان تيار القاعدة I_B اقل بكثير من التيار المار بالمقاومة R_2 فان دائرة الانحياز يمكن اعتبارها كمجزئ جهد مكون من مقاومتين R_1 , R_2 كما هو موضح بالشكل (ب) اعلاه .
سوف نبدا تحليل الدائرة (فرض قيمة تيار القاعدة صغيرة) بتحديد قيمة الجهد عند القاعدة باستخدام صيغة مجزئ الجهد والتي يمكن استنتاجها كالاتي:

$$V_B \cong \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{CC}$$

وبمعرفة جهد القاعدة V_B يمكن الحصول على جهد الباعث والذي يساوي:-

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

وتيار الباعث I_E يمكن ايجاده باستخدام قانون اوم:-

$$I_E = V_E / R_E$$

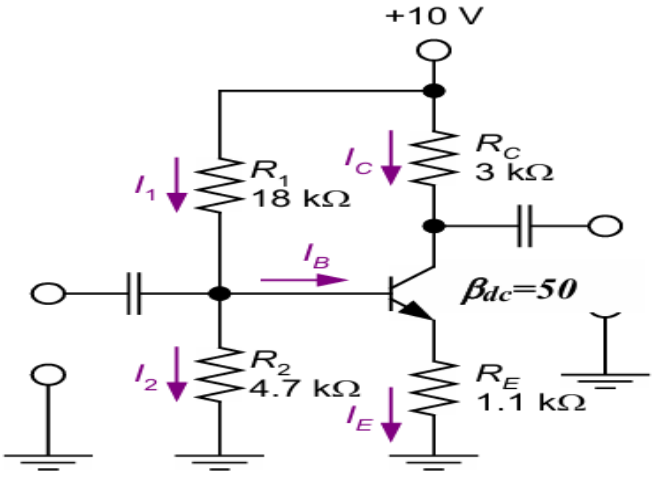
ويمكن التعبير عن الجهد V_{CE} بدلالة التيار I_C باستخدام قانون كيرشوف للجهد كما يلي:-

$$V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E - V_{CE} = 0$$

وبما ان $I_C \cong I_E$ نحصل على قيمة

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_C \ (R_C + R_E)$$

مثال : لدائرة انحياز مجزء الجهد ، ارسم خط الحمل ثم حدد نقطة عمل الترانزستور .



1- رسم خط الحمل

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = \frac{10}{(3+1.1)\ K} = 2.44mA$$

$$V_{CE(off)} = V_{CC} = 10V$$

2- تحديد نقطة العمل

1- $$V_B = V_{CC}\frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$= (10V)\frac{4.7k\Omega}{22.7k\Omega} = 2.07V$$

2- $$V_E = V_B - 0.7V$$

$$= 2.07V - 0.7V = 1.37V$$

3- $$I_{CQ} \cong \frac{V_E}{R_E} = \frac{1.37V}{1.1k\Omega} = 1.25mA$$

4- $$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E)$$

$$= 10V - (1.25mA)(4.1k\Omega) = 4.87V$$