وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة التقنية الشمالية
اسم التشكيل :المعهد التقني الدور

الحقيبة التعليمية

القسم العلمي:تقنيات الاجهزة الطبية

اسم المقرر: مبادئ الالكترونيك

المرحلة/المستوى:الاول

الفصل الدراسي:الاول

السنة الدراسية:2024-2025

معلومات عامة

اسم المقرر:	مبادئ الالكترونيك						
القسم:	تقنيات الاجهزة الطبية						
الكلية:	المعهد التقني الدور						
المرحلة / المستوى	الاول						
الفصل الدراسي:	الاول						
عدد الساعات الاسبوعية:	نظري	2	عملي	2			
عدد الوحدات الدراسية:							
الرمز:	MDDI101						
نوع المادة	نظري		عملي		كلهما	*	
هل يتوفر نظير للمقرر في الاقسام الاخرى	كلا						
اسم المقرر النظير	ـــــ						
القسم	ـــــ						
رمز المقرر النظير	ـــــ						

معلومات تدريسي المادة

اسم مدرس (مدرسي) المقرر:	مهند تحسين حمدي
اللقب العلمي:	رئيس مهندسين اقدم
سنة الحصول على اللقب	2019-2018
الشهادة :	بكالوريرس هندسة الكهرباء
سنة الحصول على الشهادة	1998
عدد سنوات الخبرة (تدريس)	18 سنة

الوصف العام للمقرر

تهتم مادة مبادئ الالكترون بالمكونات الالكترونية ونشأة العناصر الالكترونية وتركيبها الفيزيائي فضلا عن خصائصها وتحليل الدوائر الرياضية الخاصة بها واستخدام هذه العناصر في تطبيقات انظمة الالكترون وتحليل الدوائر الهندسية الخاصة بها.

الاهداف العامة

- **تعريف الطالب على مكونات مبادئ الالكترون.**
- **يفهم الطالب مختلف النظريات في الالكترونك.**

الأهداف الخاصة

تعليم الطالب:

1-ايكتسب الطالب مهارة التحليل والحساب في الالكترون.

2-يكتسب الطالب مهارة تصميم بعض الدوائر الالكترونية.

الأهداف السلوكية او نواتج التعلم

- يكتسب الطالب مهارة التعلم والتحليل وحساب دوائر الالكترون وتطبيقاتها .
- يكتسب الطالب مهارة تصميم دائرة الالكترون حسب التطبيقات المختلفة.
- **أمثلة أهداف تدريسية:**

بعد الانتهاء من الدرس (المحاضرة) سيكون الطالب قادرا على ان:

- يعرف الدوائر الالالكترونية وتحليلها ومعرفة العناصر الالكترونية .
- يميز بين الدوائر الالكترونية وعملها.
- يميز بين تطبيقات الدوائر الالكترونية.

الأهداف السلوكية او مخرجات التعليم الأساسية		
ت	تفصيل الهدف السلوكي او مخرج التعليم	آلية التقييم
1	.تعزيز روح التعاون واختبار سلوكيات الطالب اثناء تواجده مع الطلبة في الصف الواحد وتكوين فرق صغيرة لبيان قابلية الطلبة بالالتزام بنظام المجموعات وتلقي المعلومة من الطرف الآخر، ونبذ روح التعالي واحتكار المعلومة.	((الاختبارات الشفهية/ الاختبارات التحريرية/ التقارير الاسبوعية / الحضور اليومي/ الامتحانات الفصلية والنهائية)).

أساليب التدريس (حدد مجموعة متنوعة من أساليب التدريس لتناسب احتياجات الطلاب ومحتوى المقرر)

الاسلوب او الطريقة	مبررات الاختيار
1.المحاضرات النظرية والعملية من خلال الشرح	محدد وواضح ويطبق بسهولة
2.التعلم التفاعلي المتبادل	التفاعل بين الطلبة
3.التعلم القائم على الامثلة العملية	اكتساب الطالبة المهارات العملية وربط الجزء العملي بالجانب النظري
4.المناقشة في نهاية المحاضرة	تقديم الخلاصة والفهم للموضوع

الفصل الاول من المحتوى العلمي						
عنوان الفصل	الوقت		العنوان الفرعي	طريقة التدريس	التقنيات	طرق القياس
التوزيع الزمني	النظري	العملي				
الأسبوع الأول				محاضرة	عرض تقديمي، شرح، أسئلة وأجوبة, مناقشة	
الأسبوع الأول	2	2	**مقدمة عن علم الالكترونيك- نظرية اشباه الموصلات- اضافة الشوائب السالبة والموجبة- التيارات في اشباه الموصلات.**	محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير
الأسبوع الثاني						
	2	2	**ثنائي شبه الموصل- وصلة PN – مناطق الوصلة- الانحياز الامامي والانحياز العكسي- اعظم تيار امامي (IF max)- اعظم جهد عكسي (PIV max)- اعظم قدرة مشتتة- المقاومة الاجمالية – الدائرة.**	محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير
الاسبوع الثالث..	2	2	**توحيد الموجه المتناوبة- موحد نصف الموجة- حساب التيارات والجهود المستمرة والفعالة وحساب التردد.**	محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير
الاسبوع الرابع	2	2	**توحيد الموجة الكاملة- باستخدام محولة تفرع وسطي- الموحد القنطري- حساب القيم المستمرة والفعالة للجهود والتيارات- تردد**	محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير

		الخرج.					
الاسبوع الخامس		**مقارنة بين توحيد نصف الموجة والموجة الكاملة- امثلة رياضية.**		محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير	
الاسبوع السادس	2	**المرشحات- مرشحات LCوRC –جهود الخرج- التموج – مضاعفات الجهد.**		محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير	
الاسبوع السابع	2	**التقليم- انواعه: السالب، الموجب، المركب- الالزام- انواعه: الموجب، السالب، المركب.**		محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير	
الاسبوع الثامن	2	**ثنائي الزينر- تركيبه، رمزه، خواصه الامامية والعكسية- جهود الانهيار والانكسار- ممانعة زينر- استخدامه في تنظيم الجهد.**		محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير	

الاسبوع التاسع	2	2	**انواع اخرى للثنائيات: ثنائي متغير السعة- ثنائي باعث للضوء- ثنائي يعتمد على الضوء- لوحة القطع السبعة.**		محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير
الاسبوع العاشر	2	2	**الترانزستور ثنائي القطبية- تركيبه- رمزه- خواصه- مناطقه- وتعريفه - العلاقة بينهما- تعريف المناطق المهمة على منحنيات الخواص.**		محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير
الاسبوع الحادي عشر	2	2	**دوائر انحياز الترانزستور- انحياز القاعدة- انحياز الباعث- انحياز الجامع.**		محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير
الاسبوع الثاني عشر	2	2	**الانحياز الذاتي- انحياز مقسم الجهد- انحياز التغذية الخلفية- امثلة رياضية.**		محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير
الاسبوع الثالث عشر	2	2	**الدائرة المكافئة المستمرة للترانزستور- خط الحمل المستمر- نقاط ومناطق العمل- امثلة.**		محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير

الاسبوع الرابع عشر	2	2	**استخدام الترانزستور في تكبير الاشارات الصغيرة- الدائرة المكافئة المتناوبة- كسب التيار- كسب الجهد – كسب القدرة.**		محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير
الاسبوع الخامس عشر	2	2	**الاستجابة الترددية للترانزستور- عرض الحزمة- مقاومتي ادخال واخراج المكبر- انواع المكبرات: مكبر قاعدة مشتركة- مكبر باعث مشترك- مكبر جامع مشترك- مقارنة بينهما.**		محاضرة	عملي + نظري	الاختبارات والتقارير

المحتوى العلمي

- **المصادر** الاساسية :+

Robert, Boylestad & Louis, Nashelsky .Electronic Devices and Circuit theory, 7th ed.

- **المصادر المقترحة:**
- **Albert, Malvino, Electronic principles. 2nd ed.**
- **روابط مقترحة ذات صلة:**
- من الانترنيت

أشباه الموصلات (Semi-Conductors)

تقسم المواد من حيث قابلية التوصيل للتيار الكهربائي إلى :

- ❖ المواد الموصلة (Conductors) مثل النحاس والحديد
- ❖ المواد العازلة (Insulators) مثل المطاط والخشب
- ❖ المواد شبه الموصلة (Semi Conductors) مثل السليكون ، الجرمانيوم
  - شبه الموصل النقي عديم الفائدة لأنه يكون متعادل الشحنة
  - شبه الموصل الموجب p-type

يتم الحصول عليه بإضافة شوائب ثلاثية التكافؤ مثل الألمنيوم ، والغاليوم إلى شبه الموصل النقي (ويكون حامل للفجوات ذات الشحنة الموجبة).

- شبه الموصل السالب n-type

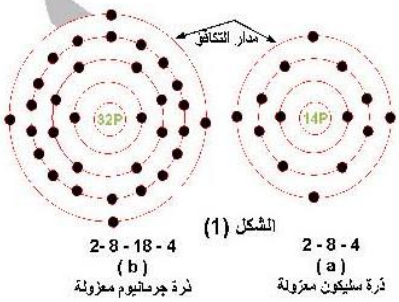
يتم الحصول عليه بإضافة شوائب خماسية التكافؤ مثل الفسفور والانتيمون إلى شبه الموصل النقي (ويكون ذو شحنة سالبة).

ملاحظة : بالإمكان الحصول على شبه موصل بمواصفات مختلفة بالاعتماد على :

كمية الشوائب ، درجة الحرارة ، مدة الإضافة ، حجم القطعة

نظرية أشباه الموصلات (Semi-conductors Theory)

صور بوهر الذرة مثاليا ، فقد رآها نواة محاطة بالكترونات دوارة . تمتلك النواة شحنة موجبة وبذلك تجذب الالكترونات ، ولولا وجود القوة الطاردة عن المركز (Centrifugal Force) والناتجة عن حركتها لسقطت الالكترونات في النواة . عندما ينتقل إلكترون في مدار مستقر (Stable Orbit) ، تكون له السرعة المناسبة التي تجعل القوة الطاردة عن المركز تعادل أو توازن الجذب النووي . الشكل (1-a) يبين ذرة سليكون معزولة لها (14) بروتون في نواتها ، وبذلك سيكون هناك نفس العدد من الالكترونات ، ينتقل إلكترونان في المدار الأول، وثمانية الكترونات في المدار الثاني ، وأربعة في المدار الخارجي أو مدار التكافؤ (Valence Orbit) ، إن الالكترونات الدائرة الأربعة عشر تعادل شحنة النواة ولذلك يكون تأثير الذرة (عن بعد) متعادل كهربائيا .



الشكل (1)

$$N_{(max)} = 2n^2$$

$N_{(max)}$	أقصى عدد من الالكترونات في المدار
n	تسلسل المدار

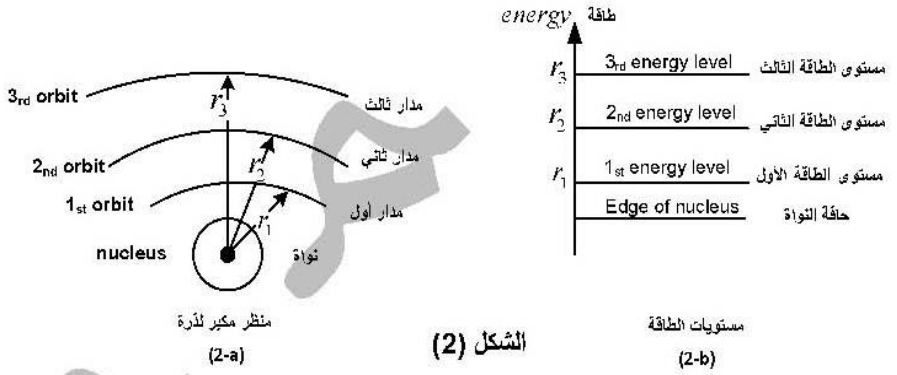
الشكل (1-b) يبين ذرة جرمانيوم معزولة ، أي عدد البروتونات في النواة هو (32) وعدد الالكترونات الدوارة (32) أيضا ، يحتوي المدار الخارجي على أربعة الكترونات . يدعى السليكون والجرمانيوم بالعناصر رباعية التكافؤ (tetravalent elements) (العنصر الرباعي يعني ذلك العنصر الذي يملك أربعة الكترونات تكافؤية)

نصف القطر المداري

لا يستطيع الإلكترون أن ينتقل في مدار له أي نصف قطر ما دامت سرعته مناسبة حيث هناك أحجام مدارية معينة متاحة فقط أي أنه بعض أنصاف الأقطار محظورة (forbidden) ، وسبب ذلك هو امتلاك الإلكترون لطبيعتين جسيميه ، يفعل فعل الجسيم (له كتلة متجمعة في مكان واحد) . وموجية ، لكونه موجة (يصلح فقط لمدار يساوي محيطه طول موجة ذلك الإلكترون أو مضاعفاته) .

مستويات الطاقة (Energy Levels)

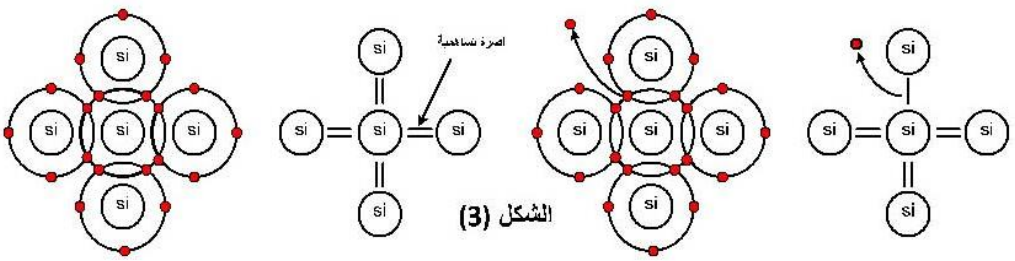
في الشكل (2-a) نحتاج إلى طاقة لتحريك إلكترون من مدار صغير إلى مدار اكبر لأنه يجب إنجاز شغل للتغلب على قوة جذب النواة . لذلك كلما كان مدار إلكترون ما كبيرا ، كبرت طاقته الكامنة نسبة إلى النواة . لتسهيل الرسم نستطيع أن نمثل المدارات المنحنية بخطوط أفقية مستقيمة كما في الشكل (2-b) . المدار الأول يمثل مستوى الطاقة الأول (1_{st} energy level) . المدار الثاني يمثل مستوى الطاقة الثاني . . . الخ . كلما كان مستوى الطاقة عاليا كانت طاقة الإلكترون أعظم وكان مداره أكبر . لو سقطت طاقة خارجية كالحرارة أو الضوء أو إشعاعات أخرى على ذرة ما فإنها تستطيع رفع إلكترون إلى مستوى طاقة أعلى (مدار أكبر) وتوصف الذرة بأنها في حالة استثارة وهذه الحالة لا تدوم طويلا لأن الإلكترون سرعان ما يرتد إلى مستواه الأصلي ويحرر الطاقة المكتسبة عند ارتداده على شكل حرارة أو ضوء أو إشعاعات أخرى .



الشكل (2)

البلورات

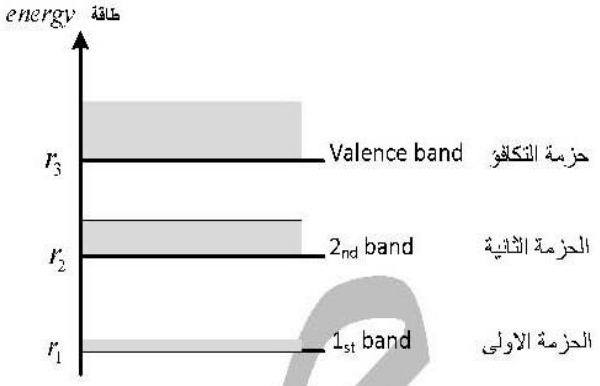
عندما تتحد الذرات لتكون مادة صلبة ، فإنها تنظم نفسها بنسق مرتب يدعى البلورة ، والقوى التي تربط الذرات معا تدعى الأواصر التساهمية (Covalent bonds) . إن ذرة السليكون المعزولة تمتلك أربعة الكترونات في مدارها التكافؤي وتتحد ذرات السليكون بطريقة بحيث تحوي في مداراتها التكافؤية ثمانية الكترونات حيث أن كل ذرة سليكون مجاورة تساهم بإلكترون مع الذرة المركزية ، وبذلك تتشكل الأواصر التساهمية كما في الشكل (3) . وعندما ترفع طاقة خارجية إلكترونا تكافؤيا إلى مستوى طاقة أعلى (مدار أكبر) فإن الإلكترون المغادر يخلف فراغا في المدار الخارجي ، هذا الفراغ يدعى فجوة (hole) ، إن الفجوة تكافئ أصرة تساهمية ممزقة .



الشكل (3)

حزم الطاقة

عندما تتحد ذرات السليكون مكونة بلورة ، لا يتأثر مدار أي إلكترون بالشحنات الموجودة بذرته فقط بل بالنوى والإلكترونات الموجودة في كافة الذرات الأخرى التي تحويها البلورة . إن كل الإلكترونات المنتقلة في المدارات الأولى لها مستويات طاقة مختلفة قليلا عن إلكترونات المدارات الثانية وبذلك فإنها تشكل تجمعا أو حزمة (band) كما في الشكل(4) أدناه حيث يبين حزم الطاقة كمناطق داكنة ، أي أنها حزم ممتلئة أو مشبعة .

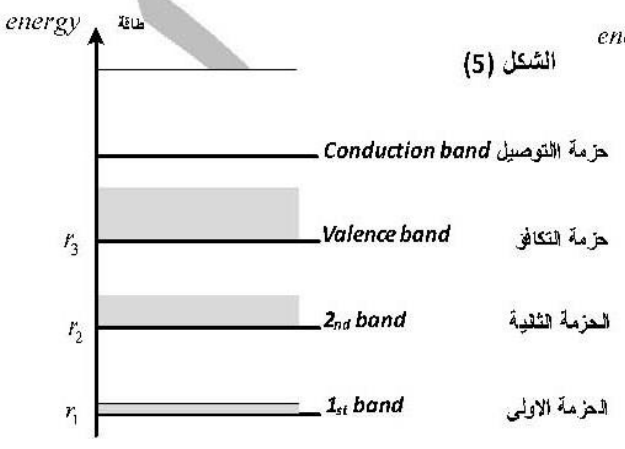


الشكل(4)

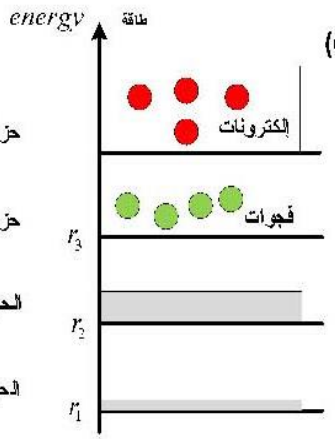
التوصيل في البلورات

عند الصفر المطلق (-273 °C) : عند هذه الدرجة لا تستطيع الإلكترونات التحرك خلال البلورة لأن إلكترونات المدارات الداخلية مطمورة عميقا داخل الذرات أما إلكترونات المدار الخارجي فتشكل جزءا من الربط التساهمي وبذلك لا تستطيع الإفلات ما لم تكتسب طاقة خارجية ، وعليه فإن بلورة السليكون تعمل عمل عازل تام عند درجة الصفر المطلق . حيث تكون حزمة التوصيل فارغة ، وهذا يعني أنه لا توجد طاقة كافية عند أي إلكترون في مدار حزمة التوصيل كما في الشكل (5)

فوق الصفر المطلق : تعمل الطاقة الحرارية على تحطيم بعض الأواصر التساهمية وتدفع الإلكترونات التكافؤية إلى حزمة التوصيل ، وفي كل مرة يرفع إلكترون إلى حزمة التوصيل فإنه يخلف وراءه فجوة في حزمة التكافؤ ويزداد عدد الإلكترونات الحرة بزيادة درجة الحرارة كما في الشكل (6)



الشكل (5)



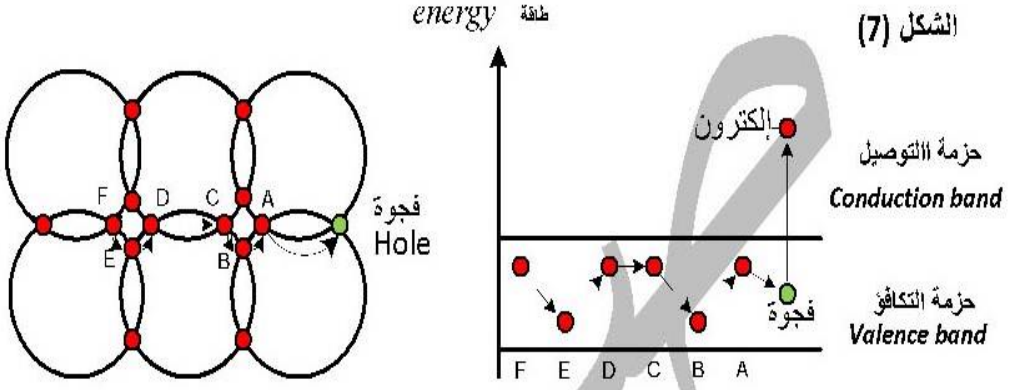
الشكل (6)

عند درجة حرارة الغرفة (25°C) : التيار يكون صغير جدا لا يمكن الاستفادة منه في معظم التطبيقات فتكون قطعة السليكون غير موصلة جيدة ولا عازلة جيدة لذا تدعى شبه موصل (Semiconductor) . وفي درجة حرارة الغرفة تعتبر بلورة الجرمانيوم شبه موصل أيضا ، ولكن هناك فرق كبير بين السليكون والجرمانيوم حيث يكون عدد الإلكترونات الحرة في بلورة السليكون أقل من عددها في بلورة الجرمانيوم ، وهذا واحد من الأسباب التي جعلت السليكون أكثر استخداما .

تيار الفجوة

يوجد في شبه الموصل نوعان من التيار هما تيار حزمة التوصيل وتيار الفجوة .

تقوم الطاقة الحرارية برفع إلكترون من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل حيث تتخلف فجوة في حزمة التكافؤ كما في الشكل (7)



الشكل (7)

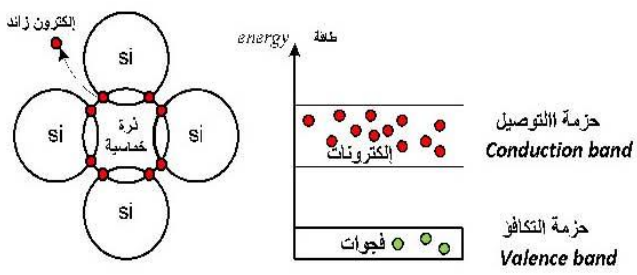
وبتغيير طفيف بالطاقة يستطيع الإلكترون التكافؤي في (A) أن يتحرك إلى الفجوة ، وعندما يتم ذلك تختفي الفجوة الأصلية وتظهر أخرى جديدة في (A) وبعد هذا فإن الإلكترون التكافؤي في (B) يستطيع أن ينتقل إلى الفجوة الجديدة ، وتستطيع الإلكترونات أن تتحرك عبر الطريق المبين بالأسهم ، وهذا سيكافئ فجوة تتحرك خلال حزمة التكافؤ عبر الطريق (ABCDEF) . إن وجود أي إلكترون في مدار التوصيل في شبه موصل نقي يعني وجود فجوة في المدار التكافؤي ، بعبارة أخرى إن الطاقة الحرارية تنتج أزواج (إلكترون – فجوة) ، وتعمل الفجوات عمل الشحنات الموجبة بينما الإلكترونات تعمل كشحنات سالبة .

التطعيم

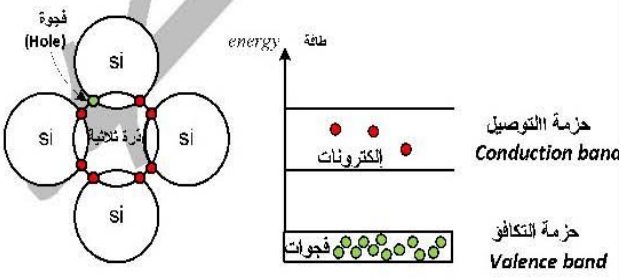
هو إضافة ذرات من الشوائب (ليست رباعية التكافؤ) إلى البلورة من أجل زيادة عدد الإلكترونات الطليقة أو لأجل زيادة عدد الفجوات ، عندما تطعم البلورة تدعى شبه موصل مطعم أو غير نقي. وسنحصل على شبه موصل نوع سالب (n-type) أو شبه موصل نوع موجب (p-type) .

شبه موصل نوع سالب (n-type)

للحصول على إلكترونات حزمة توصيل إضافية ، نضيف خمسة إلكترونات حرة في مدارها التكافؤي ، ستقوم هذه الذرة بتكوين الأواصر التساهمية مع أربعة جيران من السليكون ويبقى إلكترون زائد يستطيع الانتقال إلى مدار حزمة التوصيل ، ويمكن السيطرة على عدد إلكترونات حزمة التوصيل بواسطة السيطرة على كمية الشوائب المضافة . ولكن تبقى الطاقة الحرارية مستمرة في توليد أزواج (إلكترون – فجوة) بأعداد قليلة تقل كثيرا عن عدد إلكترونات حزمة التوصيل الناتجة عن التطعيم ، لذلك تسمى الإلكترونات بالحاملات الأغلبية (majority carriers) ، وتسمى الذرات الخماسية التكافؤ بالذرات المانحة (donor) ، وذلك لأنها تنتج إلكترونات حزمة التوصيل مثل ذرة الزرنيخ ، الانتيمون والفسفور.والشكل(8) يبين كيفية تكوين هذا النوع من أشباه الموصلات



الشكل(8) شبه موصل نوع سالب (n)



الشكل(9) شبه موصل نوع موجب (p)

شبه موصل نوع موجب (p – type)

بإضافة ذرات ثلاثية التكافؤ إلى البلورة النقية ستعمل على تكوين ثلاثة أواصر تساهمية مكتملة مع ذرات السليكون المحيطة بها ، وستظهر فجوة في كل ذرة ثلاثية ، ويمكن السيطرة على عددها بواسطة السيطرة على كمية الشوائب المضافة ، وعليه تكون الفجوات هي الحاملات الأغلبية ، بينما إلكترونات حزمة التوصيل هي الحاملات الأقلية ، وتدعى الذرات الثلاثية التكافؤ بالذرات المتقبلة (acceptor) مثل ذرة الألمنيوم ، الغاليوم والبورون . والشكل(9) يبين كيفية تكوين هذا النوع من أشباه الموصلات

المقاومة الإجمالية (r_b) (bulk resistance)

إن لشبه الموصل المطعم مقاومة إجمالية ، وكلما كان تطعيم شبه الموصل خفيفا كانت له مقاومة إجمالية عالية أما إذا زاد التطعيم فإن المقاومة الإجمالية تقل .

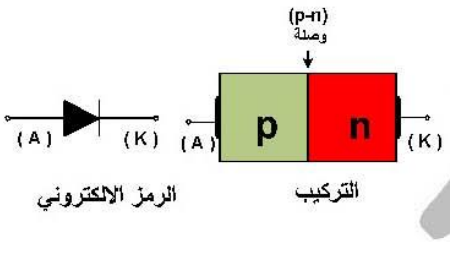
ثنائيات أشباه الموصلات

وصلات (pn)

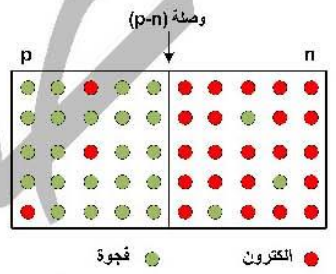
الوصلة junction عبارة عن ملتقى المنطقة من النوع الموجب مع المنطقة من النوع السالب .

ثنائي الوصلة junction diode

يتم تشكيل ثنائي الوصلة p-n على بلورة من مادة شبه موصل نقي مثل السليكون أو الجرمانيوم يطعم أحد جانبي هذه البلورة بشوائب مانحة (خماسية التكافؤ)،ويطعم الجانب الأخر بشوائب متقبلة (ثلاثية التكافؤ)، ويبين الشكل (1) التركيب والرمز الالكتروني لثنائي الوصلة . نلاحظ إن للثنائي طرفين ، الأول المتصل بالمادة نوع p ويطلق عليه (Anode) ويرمز له بالحرف **A** ، والطرف الثاني المتصل بالمادة نوع n ويطلق عليه الكاثود (Cathode) ويرمز له بالحرف K .



التركيب والرمز الالكتروني
الشكل (1)

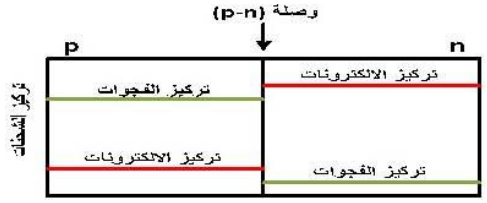


توزيع الشحنات في ثنائي الوصلة p-n
الشكل (2)

الشكل (2) يبين توزيع الشحنات في ثنائي الوصلة حيث تكون غالبية الشحنات (حاملات التيار) في الجزء الأيسر (نوع p) هي الفجوات (Holes) وتمثل الالكترونات (Electrons) أقلية في هذا الجزء ، بينما تكون غالبية الشحنات في الجزء الأيمن (نوع n) الكترونات وتمثل الفجوات أقلية في هذا الجزء .

الثنائي غير المنحاز

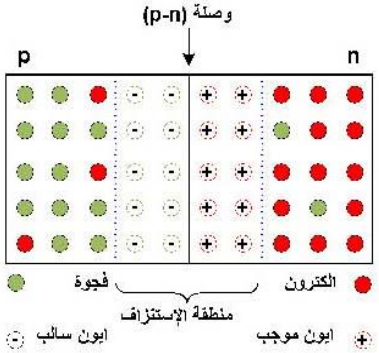
عند تشكيل ثنائي الوصلة (p-n) يكون تركيز كل من الالكترونات والفجوات على جانبي الوصلة بين المادتين (p&n) كما في الشكل (3) ، ونتيجة لهذا الاختلاف في التركيز على جانبي الوصلة فإن الشحنات سوف تنتشر من الوسط الأكثر تركيز إلى الوسط الأقل تركيز ، حيث تنتشر الالكترونات من المادة n إلى المادة p ، كما تنتشر الفجوات من المادة p إلى المادة n ، لذا فإن الالكترونات القريبة من الوصلة قد اختفت نتيجة انتشارها إلى المادة p واتحادها مع الفجوات التي انتشرت هي الأخرى من المادة p إلى المادة n . (ثنائي وصلة غير منحاز أي لا توجد فولتية خارجية مسلطه عليه) .



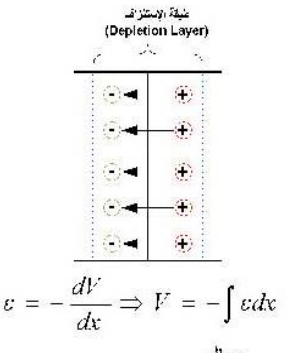
تركيز الالكترونات والفجوات على جانبي الوصلة p-n
الشكل (3)

طبقة الاستنزاف

نتيجة لعملية الانتشار والاتحاد هذه فإن المنطقة القريبة من الوصلة أصبحت لا تحتوي على الكترونات أو فجوات حرة ، كما أن الشحنة في هذه المنطقة أصبحت غير متعادلة لان الإلكترون الذي يعبر إلى المنطقة p يترك ذرته على شكل ايون موجب ، كما أن الفجوة التي تعبر من المنطقة p إلى المنطقة n تبقى ذرته على شكل ايون سالب ، وهكذا تتكون منطقة خالية من الشحنات على جانبي الوصلة ويطلق على هذه المنطقة(منطقة الاستنزاف Depletion Region) إن كل زوج متكون من ايون موجب وايون سالب يسمى ثنائي القطب (dipole) ، الشكل (4) يبين منطقة الاستنزاف في ثنائي الوصلة p-n ، ويعتمد عرض منطقة الاستنزاف على نسبة تركيز الشوائب في مادة شبه الموصل .



بعد الإنتشار الشكل (4)



مجال طبقة الإستنزاف الشكل (5)

الجهد الحاجز

إن كل ثنائي قطب له مجال كهربائي يكون اتجاهه من الشحنة الموجبة إلى الشحنة السالبة ، الشكل (5) ، ووجود مجال كهربائي بين ايونات يكافئ فرق جهد (جهد إعاقة) ، يسمى فرق الجهد هذا بالجهد الحاجز أو الفاصل (barrier potential) . عند درجة حرارة (25°C) يساوي الجهد الحاجز (0.3V) تقريباً في ثنائي الجرمانيوم و (0.7V) في ثنائي السليكون .

تأثيرات درجة الحرارة

يقل الجهد الحاجز بمقدار (٢,٥ ملي فولت لكل ارتفاع في درجة الحرارة قدره درجة مئوية واحدة) حيث تكون $\Delta V = -0.0025\Delta T$

مثال : احسب الجهد الحاجز لثنائي سليكون يعمل في درجة حرارة 75°C .

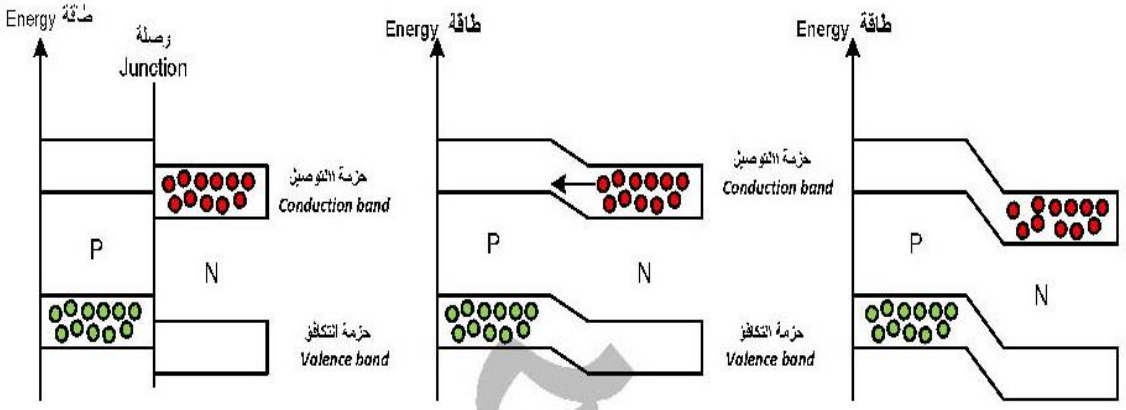
$$\Delta V = -0.0025\Delta T = -0.0025 * (T_2 - T_1)$$
$$\Delta V = -0.0025 * (75 - 25) = -0.125 volt$$
$$V_2 - V_1 = -0.125$$
$$V_2 - 0.7 = -0.125$$
$$V_2 = 0.7 - 0.125 = 0.575 volt$$

ΔV التغيير في فولتية الجهد الحاجز ، ΔT التغيير في درجة حرارة شبه الموصل

تل الطاقة :

عند إلقاء نظرة على ثنائي غير منحاز من وجهة نظر الطاقة . هذا سيمنحنا إدراكا اكبر لما يحدث عند الوصلة

قبل الانتشار: نفرض وجود وصلة فجائية(وهي تلك الوصلة التي تتغير فجأة من مادة p الى مادة n)، سيظهر مخطط الطاقة كما في الشكل (6-a) الذي يبين حزم الطاقة قبل انتشار الالكترونات عبر الوصلة . تحوي الجهة p على العديد من الفجوات في حزمة التكافؤ . بينما تحوي الجهة n العديد من الالكترونات في حزمة التوصيل ولكن لماذا حزم p أعلى قليلا من حزم n ؟ وذلك لان الجهة p فيها ذرات ثلاثية التكافؤ لها شحنة لب مقدارها (+3) بينما الجهة n لها شحنة لب مقدارها (+5) .وبذلك فان لب شحنته (+3) يجذب الكترونات اقل من لب شحنته (+5) .



6-a حزم الطاقة قبل الإنتشار 6-b الحزم قبل الإنتشار 6-c الحزم بعد الإنتشار

عند التوازن: عندما تعبر الكترونات حزمة التوصيل الوصلة فان حزم p تتحرك إلى أعلى نسبة إلى حزم n هذا يعني إن الالكترونات الموجودة في جهة n لم تعد لها الطاقة الكافية لكي تعبر الوصلة . إن سبب ذلك عندما يعبر إلكترون ما الوصلة يملأ فجوة إحدى الذرات الثلاثية التكافؤ (حسب ظاهرة الانتشار ، أي لا يحتاج إلى طاقة) . إن هذا الإلكترون يرفع مدار حزمة التوصيل بعيداً عن الذرة ثلاثية التكافؤ ، لأنه أضاف طاقته التي يحملها إلى حزمة التوصيل . ولذلك فان أي إلكترون آخر يريد العبور يحتاج إلى طاقة أعلى من السابق ليدخل إلى نطاق مدار التوصيل. وهذا يطابق القول إن حزم p تحركت إلى الأعلى نسبةً إلى حزم n بعد إن تكون طبقة الاستنزاف قد تكونت.

الشكل(6-b,c) يبين مخطط الطاقة بعد أن يتم التوازن. بعبارة أخرى إن الالكترونات في الجهة n لا تمتلك الطاقة الكافية لكي تعبر الوصلة فان الطريق الذي يسلكه الإلكترون حين محاولته عبور الوصلة يظهر كتل للطاقة لاحظ الشكل(6-c) . ولذلك لا يستطيع الإلكترون إن يتسلق هذا التل ما لم يتسلم طاقة من مصدر خارجي

الانحياز الأمامي:

لتحقيق الانحياز الأمامي

i. توصيل ثنائي الوصلة p-n ببطارية بحيث يكون الجانب p للثنائي متصل بالقطب الموجب للبطارية الجانب n للثنائي متصل بالقطب السالب للبطارية ، وهي الحالة التي تسمح بمرور التيار .

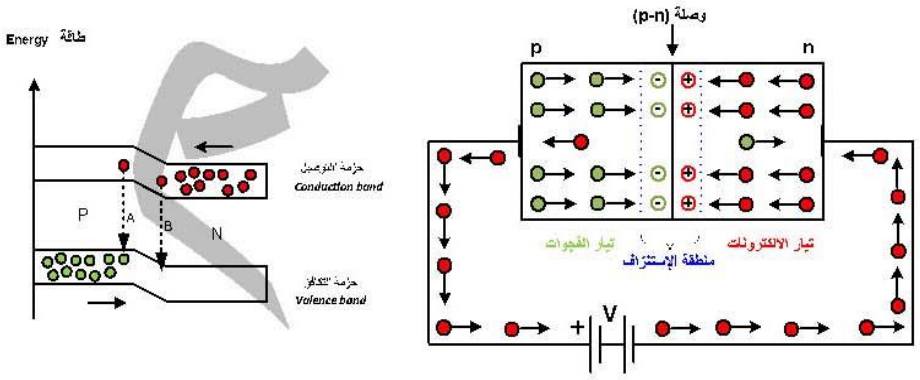
ii. جهد البطارية الخارجية (جهد الانحياز) اكبر من الجهد الحاجز .

لأن الشحنات المتشابهة تتنافر، فإن الطرف السالب للبطارية يدفع الالكترونات الحرة والتي هي الحاملات الأكثرية في المنطقة n باتجاه الوصلة ، هذا السريان للإلكترونات الحرة يسمى تيار الإلكترونات ، ويقوم الطرف السالب للبطارية بتزويد المنطقة n بالإلكترونات بصورة مستمرة عبر أسلاك التوصيل الخارجية .

تقوم البطارية بإعطاء الإلكترونات طاقة كافية لكي تتمكن من اجتياز الجهد الحاجز لمنطقة الاستنزاف والتحرك خلالها إلى المنطقة p ، وفي المنطقة p وفي حزمة التوصيل تكون هذه الالكترونات الحرة قد فقدت طاقة كافية لتلتحم حالا مع الفجوات في حزمة التكافؤ . الشكل (7)

بما أن الشحنات المختلفة تتجاذب ، فإن الطرف الموجب للبطارية يقوم بجذب إلكترونات حزمة التوصيل باتجاه النهاية اليسرى للمنطقة p ، الفجوات في المنطقة p توفر الوسط أو الطريق لالكترونات التكافؤ هذه للتحرك خلال المنطقة p (الالكترونات تتحرك من فجوة إلى أخرى باتجاه اليسار) .

الفجوات والتي هي الحاملات الأكثرية في المنطقة p تبدو وكأنها تتحرك إلى اليمين باتجاه الوصلة هذا السريان للفجوات يدعى تيار الفجوات ، وتستمر الالكترونات التكافؤية بالسريان خارج المنطقة p ومنها عبر الأسلاك الخارجية ، وفي الأسلاك الخارجية هذه الالكترونات تصبح الكترونات حزمة توصيل ، لأنه في الموصلات تتداخل حزمة التوصيل مع حزمة التكافؤ .

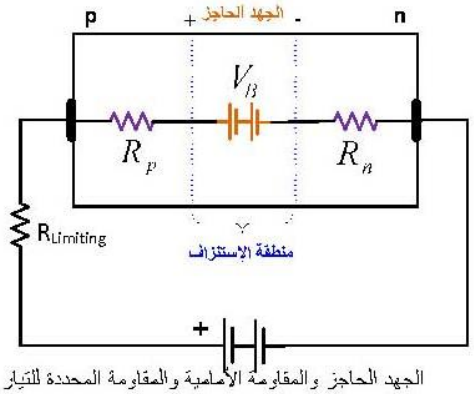


الشكل (7) الانحياز الامامي

وهذا يعني أن الانحياز الأمامي يؤدي إلى

- السماح لمرور حاملات التيار الأغلبية بالمرور خلال وعبر الوصلة pn .
- أن يقل الجهد الحاجز V_B إلى أن يصل الصفر .
- مرور تيار يسمى تيار الانحياز الأمامي I_f .
- أن يكون للثنائي مقاومة أمامية (إجمالية) $(r_B ; R_f)$ قليلة $R_f \leq 25\ \Omega$

المقاومة الإجمالية للثنائي : بعد التغلب على الجهد الحاجز ، فإن كل ما يعيق التيار هو مقاومتي المنطقتين p;n وحاصل جمعهما تدعى المقاومة الإجمالية bulk resistance وتعتمد قيمة هذه المقاومة على ❶ حجم المنطقتين p;n ❷ نسبة الشوائب الموجودة فيها .



الجهد الحاجز والمقاومة الأمامية والمقاومة المحددة للتيار

ويمكن حساب قيمة هذه المقاومة من العلاقة التالية $r_B \approx \frac{0.3}{I_f}$ لثنائي السليكون

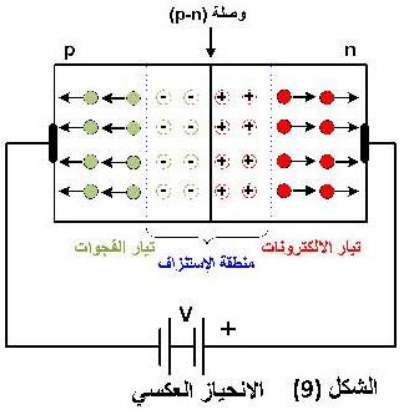
حيث يمثل I_f التيار الأمامي المقاس عند (1v) .

المقاومة المحددة للتيار الأمامي : هي المقاومة التي تربط على التوالي مع الثنائي لغرض تحديد التيار المار خلاله ،وللمحافظة على الثنائي من التلف يتم اختيار قيمتها بحيث يكون دائما $I_f < I_f(\max)$.

الانحياز العكسي:

في حالة استدارة المصدر المستمر الموصول بالثنائي نحصل على ثنائي في حالة انحياز عكسي الشكل (9)، نلاحظ بان المجال الخارجي يكون له نفس اتجاه طبقة الاستنزاف ، لهذا السبب تتحرك الفجوات والالكترونات باتجاه نهايتي البلورة (بعيداً عن الوصلة)، تخلف الالكترونات الهاربة وراءها ايونات موجبه ، بينما تخلف الفجوات المغادرة ايونات سالبة . ولهذا السبب نلاحظ ازدياد عرض طبقة الاستنزاف ، وكلما ازداد الانحياز العكسي ، ازداد عرض طبقة الاستنزاف .

ولكن إلى أي حد يزداد عرض طبقة الاستنزاف ؟ في الشكل (9) عندما تتحرك الالكترونات والفجوات بعيداً عن الوصلة فان الايونات الجديدة تزيد من فرق الجهد على طبقة الاستنزاف . وكلما زاد عرض طبقة الاستنزاف كبر فرق الجهد ، ويتوقف نمو طبقة الاستنزاف عندما يساوي فرق جهدها الفولتية العكسية المسلطة



الشكل (9) الانحياز العكسي

هناك عدد من التيارات في حالة الانحياز العكسي وهي

- ***تيار العبور الزائل :*** وهو التيار الذي يمر في الدائرة لحين أن تكيف طبقة الاستنزاف عرضها إلى العرض الجديد . حيث تتحرك الفجوات بعيداً عن الوصلة هذا يعني إن الالكترونات تجري من طرف المصدر السالب إلى النهاية اليسرى للبلورة (p) وفي نفس الوقت تغادر الالكترونات النهاية اليمنى للبلورة (n) وتجري إلى طرف المصدر الموجب إن تيار العبور الزائل (transient current) يصبح صفر بعدما يقف نمو طبقة الاستنزاف ،ويستغرق هذا التيار بضع نانو ثانيه .

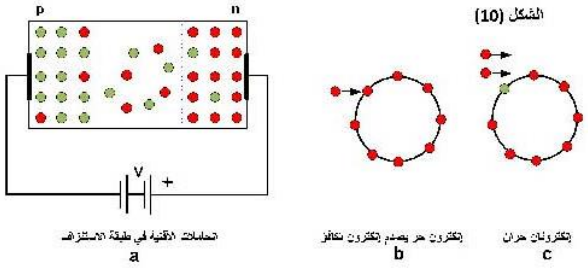
- ***تيار الحاملات الأقلية :*** هناك أيضا تيار بسيط يسري بعدما يستقر عرض طبقة الاستنزاف فالطاقة الحرارية تنتج أزواج " إلكترون - فجوة " أي انه هنالك عدد قليل من الحاملات الأقلية على طرفي الوصلة . فعندما يتولد زوج " إلكترون - فجوة " داخل طبقة الاستنزاف فان المجال يدفع الإلكترون إلى جهة n (الجهة اليمنى) مرغماً إلكترونا واحداً على مغادرة نهاية البلورة n باتجاه القطب الموجب للمصدر أما الفجوة في طبقة الاستنزاف فتندفع إلى جهة p (الجهة اليسرى) ،هذه الفجوة الزائدة تتيح المجال لإلكترون للدخول إلى الجهة p من قطب المصدر السالب . وبما أن الحرارة تنتج أزواج "إلكترون- فجوة " قرب الوصلة باستمرار فهناك تيار صغير مستمر والذي يسمى بتيار التشبع (saturation current) .

- ***تيار التسرب السطحي :*** تيار صغير يسري في الثنائي المنحاز عكسياً والذي يجري على سطح البلورة وذلك بسبب عدم اكتمال الأواصر أو تمزقها على السطح الخارجي للثنائي مما يؤدي إلى وجود فجوات على السطح وبذلك يشبه سطح الثنائي مادة شبه موصل نوع p وبذلك تستطيع الالكترونات أن تدخل من نهاية البلورة نوع p (الجهة اليسرى) وتنتقل خلال فجوات السطح ثم تغادر نهاية البلورة n (الجهة اليمنى) ويزداد تيار التسرب السطحي (surface-leakage current) بازدياد الفولتية العكسية

فولتية الانكسار :

عند الاستمرار في زيادة قيمة الفولتية العكسية نصل أخيرا إلى فولتية الانكسار break-down voltage وتكون عادة اكبر من (50v) لثنائيات التقويم (rectifier) وهي الثنائيات التي صنعت لتوصل باتجاه أحسن من الاتجاه الأخر، وحال الوصول إلى فولتية الانكسار تظهر أعداد كبيرة من الحاملات الأقلية في طبقة الاستنزاف وبذلك يكون توصيل الثنائي غزيراً ،

من أين جاءت الحاملات فجأة ؟ الشكل (10-a) يبين زوج " إلكترون – فجوة " داخل طبقة الاستنزاف قد نتج عن الحرارة وبوجود انحياز عكسي يندفع الإلكترون إلى اليمين و تندفع الفجوة إلى اليسار وأثناء حركته تزداد سرعة الإلكترون وكلما اشتد مجال طبقة الاستنزاف تسارعت حركة الإلكترون . وعند فولتية عكسية كبيرة يصل الإلكترون إلى سرع عاليه . إن هذا الإلكترون ذو السرعة العالية قد يتصادم مع إلكترون تكافؤي ، انظر الشكل (10-b) إذا كانت طاقة الإلكترون ذو السرعة العالية كافية ، يستطيع أن يطلق الإلكترون التكافؤي إلى مدار التوصيل بذلك يصبح إلكترونان في نطاق التوصيل كما مبين في الشكل (10-c) وهكذا فان هذين الإلكترونين سيتعجلان وقد يستمران في زحزحة إلكترونين تكافؤيين آخرين وبهذه الطريقة قد يصبح عدد الحاملات الأقلية كبيرا جدا ويصبح توصيل الثنائي غزيرا .

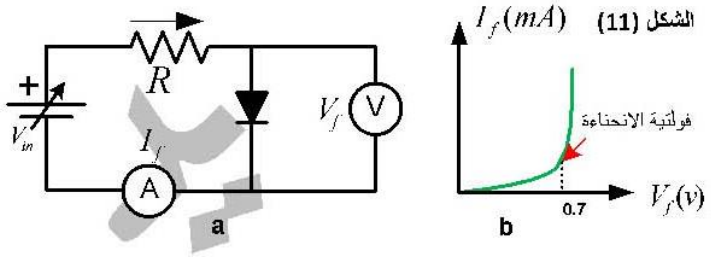


إن معظم الثنائيات لا يسمح لها الوصول إلى الانكسار ، وبعبارة أخرى ، فان الفولتية العكسية المسلطة على الثنائي يجب أن تبقى اقل من فولتية الانكسار . $PIV < V_B$

ملاحظه : (1) الثنائي المنحاز أماميا يوصل بسهولة . (2) الثنائي المنحاز عكسيا يوصل بضعف وكتقريب مثالي يعمل الثنائي المقوم يعمل عمل مفتاح مغلق ON في حالة الانحياز الأمامي و يعمل مفتاح مفتوح OFF في حالة الانحياز العكسي .

المنحنى الأمامي للثنائي :

الشكل (11-a) يبين دائرة يمكن بنائها في المختبر وبما أن المصدر المستمر يدفع تيار في نفس اتجاه سهم الثنائي يكون الثنائي منحاز أماميا ، وكلما ازدادت فولتية المصدر نلاحظ زيادة تيار الثنائي والذي يمكن قياسه بواسطة استخدام اميتر على التوالي . وقياس فولتية الثنائي بواسطة ربط جهاز فولتميتر بالتوازي على الثنائي . وبرسم قيم التيارات والفولتيات المتقبلة نحصل على الرسم البياني لتغير التيار مع فولتية الثنائي .



في الشكل (11-b) يظهر الرسم البياني لثنائي سليكون في حالة انحياز أمامي ، إن الرسم يخبرنا إن الثنائي لا يوصل بصورة جيدة حتى التغلب على الجهد الحاجز ومقداره (0.7v) للسليكون و للجرمانيوم(0.3v) وهذا هو السبب أن التيار يكون صغيرا لبضعة الأعشار الأولى من الفولت ،إن الفولتية التي يبدأ التيار عندها بالزيادة السريعة تسمى فولتية المفصل أو الانحناءة (knee voltage) وهي تساوي فولتية الجهد الحاجز . فوق فولتية الانحناءة يزداد تيار الثنائي بحدة حيث أن زيادة طفيفة في فولتية الثنائي تسبب زيادة كبيرة في تياره . وكل ما يعيق التيار بعد التغلب على الجهد الحاجز هو المقاومة الإجمالية $r_B = R_p + R_n$ (bulk resistance)

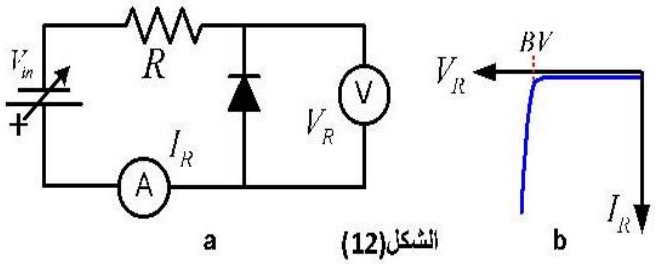
ملاحظة: مقاومة الثنائي غير خطية وتتغير عند تسليط فولية متناوبة وتسمى بالمقاومة الديناميكية أو الحركية (r_d) وتحسب بالمعادلة التالية

$$r_d = \frac{25\ mv}{I_F\ (mA\ )}$$

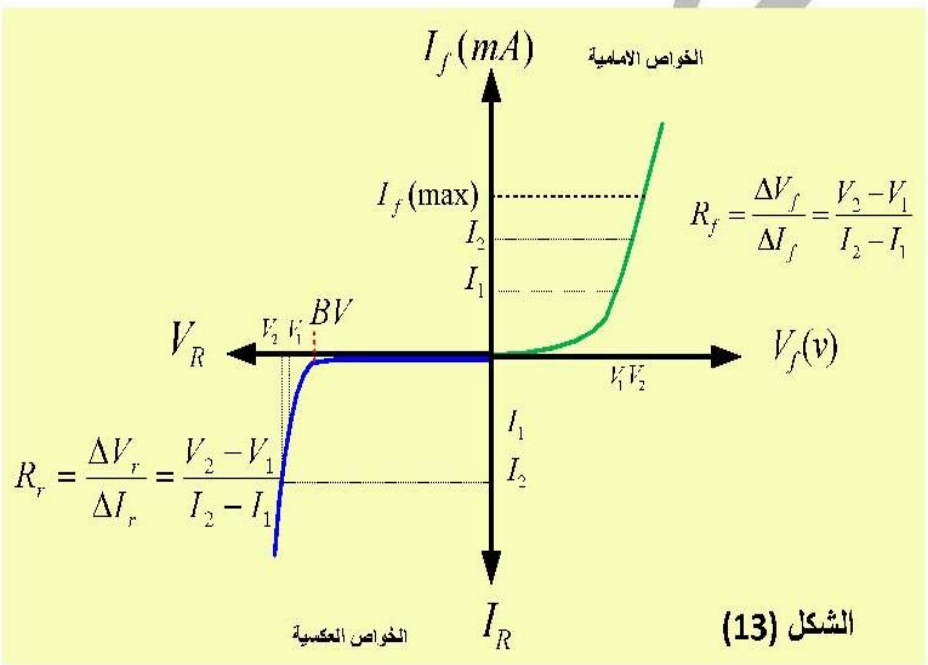
أقصى تيار أمامي مستمر $I_{F(\max)}$: وهو يمثل اكبر تيار أمامي يمكن أن يتحمله الثنائي قبل أن يتلف أو تتغير صفاته ولذلك فان استمارة معلومات المصنع تبين أقصى تيار يستطيع الثنائي تحمله دون أن يقصر عمره أو تضعف خصائصه أو تتلفه . وهذا يفسر استخدام مقاومة على التوالي مع الثنائي وهي المقاومة المحددة للتيار (current – limiting resistor) وكلما كبرت قيمة R كان تيار الثنائي اقل .

منحنى الثنائي العكسي :

عندما ينحاز ثنائي عكسيا الشكل(12-a) نحصل على تيار صغير فقط وبواسطة قياس تيار وفولتية الثنائي نستطيع رسم منحني الانحياز العكسي للثنائي الشكل (12-b) . إن تيار الثنائي يكون صغيرا جدا لكل الفولتيات العكسية التي تقل قيمتها عن فولتية الانكسار BV . عند الانكسار يزداد التيار بسرعة كبيرة نتيجة لزيادات قليلة في الفولتية



وباستخدام قيم موجبه للفولتية وللتيار الأمامي . وقيم سالبه للتيار والفولتية العكسية نستطيع أن نرسم منحني يمثل عمل الثنائي في الاتجاهين الأمامي والعكسي كما في الشكل (13)



الدائرة المكافئة للثنائي

الثنائي المثالي(ideal-diode) :

يعمل الثنائي المثالي (التقريب الأول) عمل موصل تام (فرق الجهد عليه يساوي صفر) في حالة الانحياز الأمامي وعمل عازل تام (التيار يساوي صفر) في حالة الانحياز العكسي . لاحظ الشكل . وبمفهوم آخر يعمل الثنائي المثالي عمل مفتاح ذاتي automatic switch فعندما يحاول تيار المرور بنفس اتجاه سهم الثنائي يكون المفتاح مغلقا . وعندما يحول تيار المرور عكس اتجاه سهم الثنائي يكون المفتاح مفتوح . إن هذا التقريب لا يصلح في بعض الحسابات الأكثر دقة ولذلك نحتاج إلى تقاريب أخرى .

التقريب الثاني (Second-Approximation) :

في حالة التقريب الثاني فولتية الجهد الحاجز تؤخذ بنظر الاعتبار وذلك في حالة أن لفولتية الدخل قيمه ليست كبيرة ونحن نحتاج تقريبا(0.7v) لاجتياز الجهد الحاجز لثنائي السليكون و(0.3v) لثنائي الجرمانيوم وهذا يعني إن تيار لا يمر خلال الثنائي حتى تجتاز قيمة فولتية الدخل قيمة الجهد الحاجز ، الدائرة المكافئة للتقريب الثاني ، نتصور الثنائي مفتاح على التوالي مع بطارية قيمتها (0.7v) للسيلكون و (0.3v) للجرمانيوم .

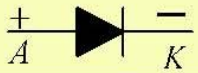
التقريب الثالث(Third-Approximation) :

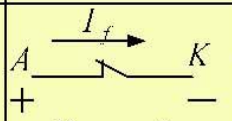
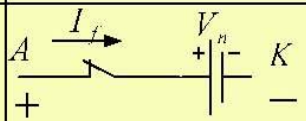
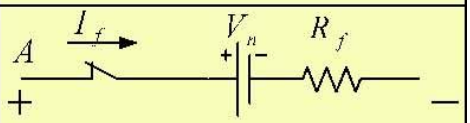
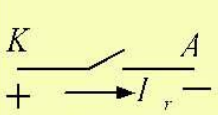
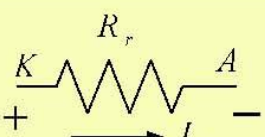
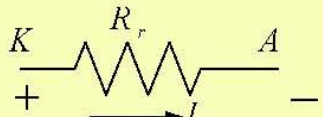
في هذا التقريب ندخل المقاومة الإجمالية r_B ضمن حساباتنا فعندما يكون الثنائي منحاز أماميا فان التيار ينتج فولتية على المقاومة r_B ، وكلما كبر التيار كبرت قيمة الفولتية ، الدائرة المكافئة للتقريب الثالث عبارة عن مفتاح و وبطارية قيمتها (0.7v) لثنائي السليكون و (0.3v) لثنائي الجرمانيوم ومقاومة مقدارها r_B

فولتية الذروة العكسية (PIV):

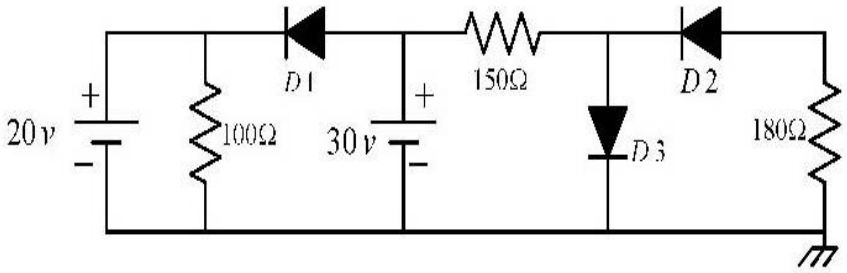
وهي تلك الفولتية العكسية التي يجب أن يتحملها الثنائي دون حدوث الانكسار والتي يجب يبينها المصنع في استمارة المواصفات

جدول تقاريب الثنائي (الدائرة المكافئة)



حالة الانحياز	التقريب الاول (الحالة المثالية)	التقريب الثاني	التقريب الثالث
الامامي فولتية الانود اكبر من فولتية الكاثود	 $V_f = 0\,v$ $I_f = I$	 $V_f = V_n$ $I_f < I$	 $V_f = V_n + I_f R_f$ $I_f << I$
العكسي فولتية الانود أقل من فولتية الكثود	 $I_r = 0$ $V_r = V$	 $I_r > 0$ $V_r < V$	 $I_r = 0$ $V_r < 0$

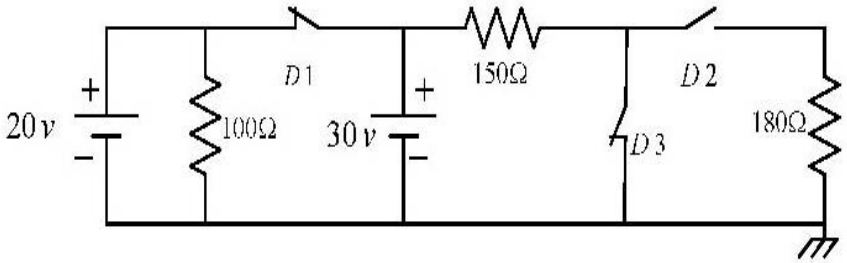
مثال : ارسم الدائرة المكافئة للدائرة الالكترونية المبينة أدناه ، علما بان الثنائيات سليكون في الحالة المثالية.



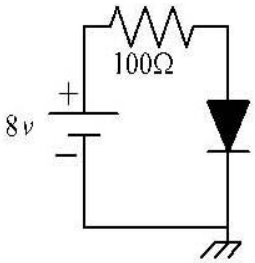
الحل : لرسم الدائرة المكافئة في أي من التقاريب الثلاثة التي تم ذكرها في جدول تقاريب الثنائي ، علينا أولا تحديد حالة كل ثنائي في الدائرة هل هو منحاز أماميا أم عكسيا ، وعليه فإن الدائرة أعلاه سيكون فيها :

D3 & D1 ذو انحياز أمامي D2 ذو انحياز عكسي

ولهذا ستكون الدائرة المكافئة لها في الحالة المثالية كما مبين أدناه :



مثال : في الدائرة المرسومة أدناه إذا كان الثنائي المستخدم جرمانيوم يعمل في درجة حرارة 25°C والمقاومة الأمامية له 10Ω والمقاومة العكسية 200MΩ . أوجد الفولتية على طرفيه والتيار المار فيه ، في كل من حالات التقاريب الثلاثة .

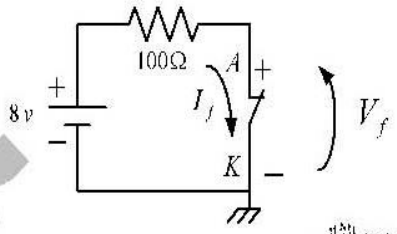


الحل : واضح من الدائرة ان الثنائي منحاز أماميا وعليه سيكون التيار والفولتية في :

التقريب الاول (الحالة المثالية)

$$V_f = 0v$$

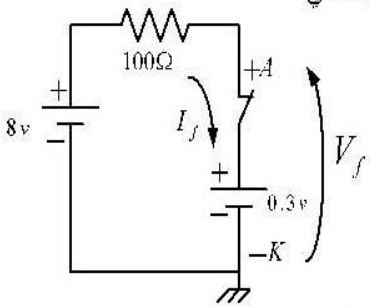
$$I_f = \frac{8}{100} = 0.08A = 80mA$$



التقريب الثاني

$$V_f = 0.3volt$$

$$I_f = \frac{8-0.3}{100} = 0.077A = 77mA$$

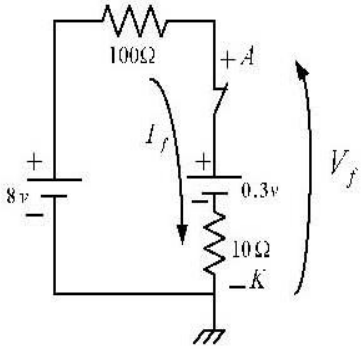


التقريب الثالث

$$I_f = \frac{8-0.3}{100+10} = 0.07A = 70mA$$

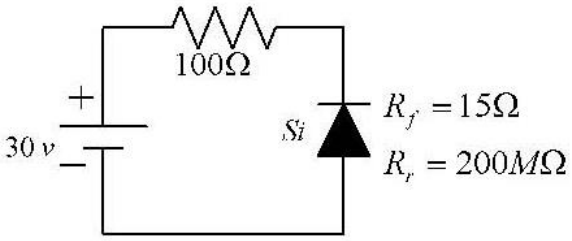
$$V_f = 0.3 + 70 * 10^{-3} * 10$$

$$V_f = 0.3 + 0.7 = 1volt$$

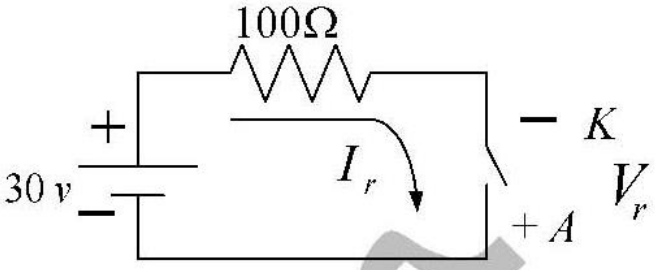


مثال : أوجد فولتية الثنائي والتيار المار فيه في الدائرة التالية .

الحل : في هذه الدائرة الثنائي ذو إنحياز عكسي



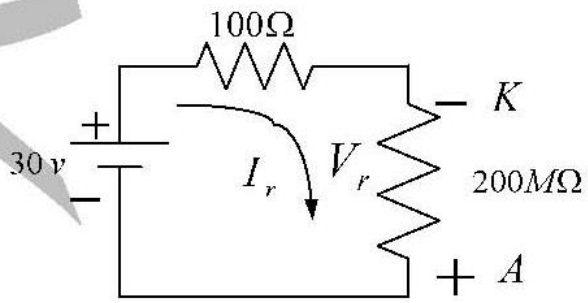
الحالة المثالية



$$I_r = 0$$

$$V_r = -30\ volt$$

التقريب الثاني & التقريب الثالث



$$I_r = \frac{30}{100 + 200*10^{+6}} \approx 0.15*10^{-6}\ A = 0.15\mu A$$ قليل جدا

$$V_r = -200*10^{6}*0.15*10^{-6} = -30volt$$

Diode Circuit دوائر الثنائي

(A.C Rectification) توحيد الموجة المتناوبة

نظراً لمقدرة الثنائي على السماح للتيار للمرور في اتجاه واحد ومنع مروره في الاتجاه العكسي فان الثنائيات تستخدم في دوائر التوحيد أو التقويم (Rectification Circuits) والموجودة بمصادر القدرة ذات التيار المستمر(D.C) والتي تعمل على مصادر الجهد المتناوب (A.C) وان مصدر القدرة ذو التيار المستمر جزء ضروري في كل الأنظمة الالكترونية .

$(A.C)$ { التيار المتناوب } [Alternating Current] ويكون على شكل موجة جيبية

$(D.C)$ { التيار المستمر } [Direct Current] ويكون على شكل خط مستقيم

{ الإنحياز الأمامي / الإنحياز العكسي } (طرق تجهيز الفولتية للثنائي)

فولتية الإدخال الفعالة $(V_{r.m.s})$ = فولتية المصدر المتناوبة (v_s)

$(V_{r.m.s})$ { فولتية متوسط جذر التربيع } [root mean square voltage]

(v_s) { فولتية المصدر } [source voltage]

(V_P) { فولتية الذروة ، الفولتية الابتدائية العظمى } [peak voltage]

(V_{P-P}) { الفولتية العظمى الى العظمى } [peak to peak voltage]

N_1 { عدد لفات الملف الابتدائي }

N_2 { عدد لفات الملف الثانوي }

(V_m) { الفولتية الثانوية العظمى } [maximum voltage] = (V_{in}) فولتية الإدخال للثنائي

(i_D) { التيار المار في الثنائي } [Diode current]

(i_L) { التيار المار في الحمل } [Load current]

(v_{out}) { فولتية الإخراج } [Output voltage] وهي الفولتية المتولدة على الحمل

(PIV) { فولتية الذروة العكسية } [Peak Inverse Voltage]
وهي الفولتية المتولدة على طرفي الثنائي (المفتاح المفتوح) في الإنحياز العكسي

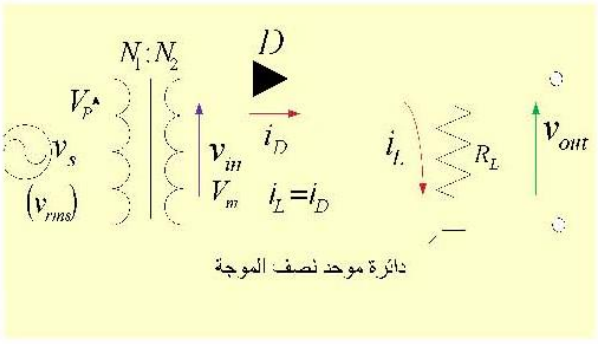
(T) { زمن الموجة } (زمن الإشارة)

$T_{in} = T_{out}$ (كل دورة في الإدخال تنتج دورة واحدة في الإخراج)

(R_F) { المقاومة الأمامية } [Front Resistance]

(R_R) { المقاومة العكسية } [Front Resistance]

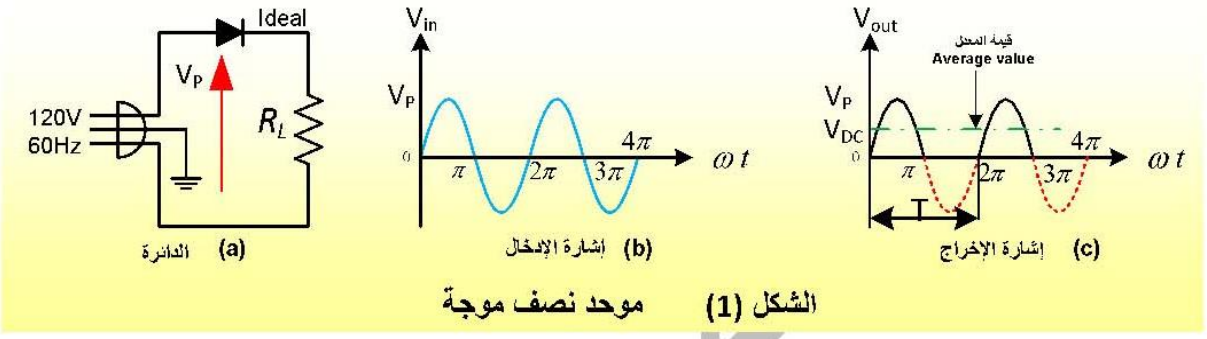
(R_L) { مقاومة الحمل } [Load Resistance]



دائرة موحد نصف الموجة

موحد نصف الموجة Half-Wave Rectifier

الشكل (1-a) عبارة عن موحد (مقوم) نصف موجة ، وهي تلك الدائرة التي تحول فولتية التيار المتناوب (Ac) إلى فولتية تيار مستمر(Dc) نبضية. خلال نصف الذبذبة الموجب لفولتية الدخل يكون الثنائي منحاز أماميا و يسمح للتيار بالمرور خلاله إلى مقاومة الحمل ، أما خلال نصف الذبذبة السالب فيكون الثنائي منحاز عكسياً ولا يسمح للتيار بالمرور خلاله إلى مقاومة الحمل . هذا هو السبب إن الفولتية على مقاومة الحمل (R_L) عبارة عن إشارة نصف موجيه كما مبين في الشكل (1-c) . علما أن الشكل (1-b) هو موجة الدخل الجيبية المتناوبة .



الشكل (1) موحد نصف موجة

ملاحظـــــة: إن العلاقـــــة بـــــين قيمتـــــي جـــــذر متوســـــط التربيـــــع والـــــذروة :

$$Vrms = \frac{V_P}{\sqrt{2}} \Rightarrow V_P = V_{rms} * \sqrt{2}$$

قيمة المعدل و تردد الإخراج:

إن قيمة المعدل (average value) لجهد الخرج لموحد نصف الموجة وتعرف أيضا **بالقيمة المستمرة** لإشارة نصف موجية وهي :

$$V_{DC} = \frac{V_P}{\pi}$$

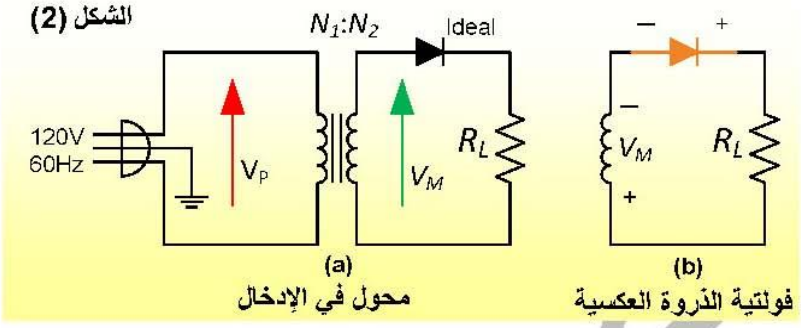
حيث أن π تساوي تقريبا (3.14) . نلاحظ في الشكل (1-c) حيث تكون فترة(زمن الذبذبة) (**period {T}**) إشارة الإخراج نفس فترة إشارة الإدخال . فكل ذبذبة في الإدخال تنتج ذبذبة واحده في الإخراج وهذا هو السبب في إن تردد الإخراج في موحد نصف الموجه يساوي تردد الإدخال .

$$f_{out} = f_{in}$$

المحول و فولتية الذروة العكسية:

إن فوائد استخدام المحول (transformer) في مدخل الأجهزة الالكترونية وكما موضح في الشكل (2-a)

- رفع أو **خفض** الفولتية
- يقوم بعزل الدائرة عن المصدر الخارجي مما يقلل احتمال الإصابة بصدمة كهربائية .



الشكل(2-b) يبين مقوم نصف موجه عند ذروة نصف الذبذبة السالبة للفولتية الثانوية ، وفي هذه الحالة يكون الثنائي في وضع عدم توصيل وبسبب عدم سريان التيار في الثنائي فان الفولتية الثانوية العظمى تظهر عبر الثنائي ، تسمى هذه الفولتية بفولتية الذروة العكسية PIV (peak inverse voltage) وهي تمثل الفولتية العظمى التي يجب أن يتحملها الثنائي خلال الجزء العكسي (النصف السالب) من الذبذبة

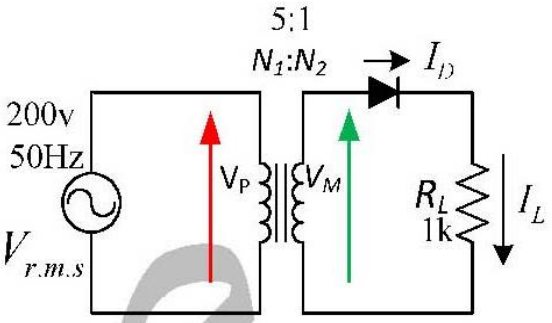
$$PIV = V_M$$

القيمة	الإدخال V_{in}	الإخراج V_{out}
العظمى V_P	V_m	V_m
الفعالة $V_{r.m.s}$	$\frac{V_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{V_m}{2}$
المستمرة $V_{D.C}$	0	$\frac{V_m}{\pi}$
العظمى إلى العظمى V_{P-P}	$2V_m$	V_m
التردد f	$\frac{1}{T}$	$\frac{1}{T}$
المعدل الزمني للتكرار/ ثا	$f_{out} = f_{in}$	

مثال: في دائرة موحد نصف الموجة إذا كانت فولتية المصدر 200v/50Hz ونسبة لف المحولة 5:1 .

احسب القيمة المستمرة لفولتية الإخراج وكذلك القدرة الفعالة المستهلكة في مقاومة حمل 1kΩ .

الحل:



$$V_{r.m.s} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \Rightarrow \left[V_p = V_{rms} * \sqrt{2}\right]$$

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

$$\left[V_m = \frac{V_{rms} * \sqrt{2}}{N_1}\right]$$

$$V_m = \frac{200 * \sqrt{2}}{5} = 56.56volt$$

$$V_{DC(out)} = \frac{V_m}{\pi} = \frac{56.56}{3.14} = 18volt$$

$$P_L(r.m.s) = I_L{}^2(r.m.s) * R_L = \frac{V^2{}_{rms(out)}}{R_L}$$

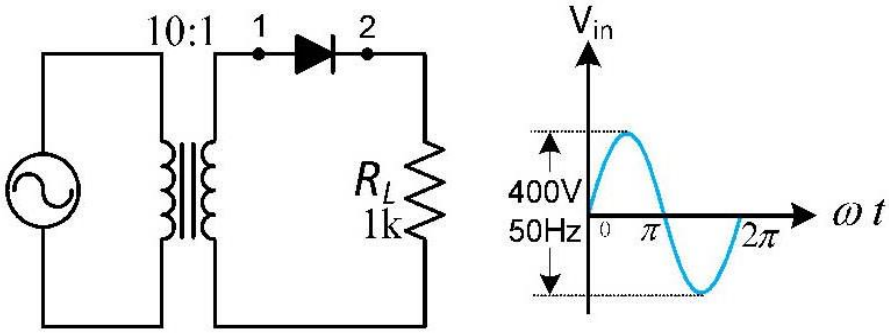
$$I_L(r.m.s) = \frac{V_{rms(out)}}{R_L}$$

$$V_{rms(out)} = \frac{V_m}{2} = \frac{56.56}{2} = 28.28volt$$

$$I_L(r.m.s) = \frac{28.28}{1*10^3} = 0.028A$$

$$\therefore P_L(r.m.s) = (0.028)^2 * 1*10^3 = 0.78\omega att$$

س : في دائرة موحد نصف الموجة المبينة في الشكل أدناه

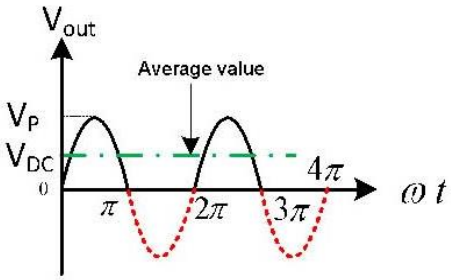


المطلوب

فولتية الذروة في النقطة(1) ، احسب قيمة الفولتية المستمرة ($V_{d.c}$) والتيار المستمر($I_{d.c}$)على مقاومة الحمل(R_L) ، احسب فولتية الذروة العكسية(PIV) ، احسب تردد الإخراج (f_{out}) وزمن الموجة T، ارسم شكل الموجة في النقطتين 1&2.

اشتقاق القيمة المستمرة للفولتية (V_{DC}) في موحد نصف الموجه :

$$V_{dc} = \frac{1}{T}\int_0^T V_o d\theta = \frac{1}{2\pi}\left[\int_0^{\pi} V_o d\theta + \int_{\pi}^{2\pi} zero\right]$$



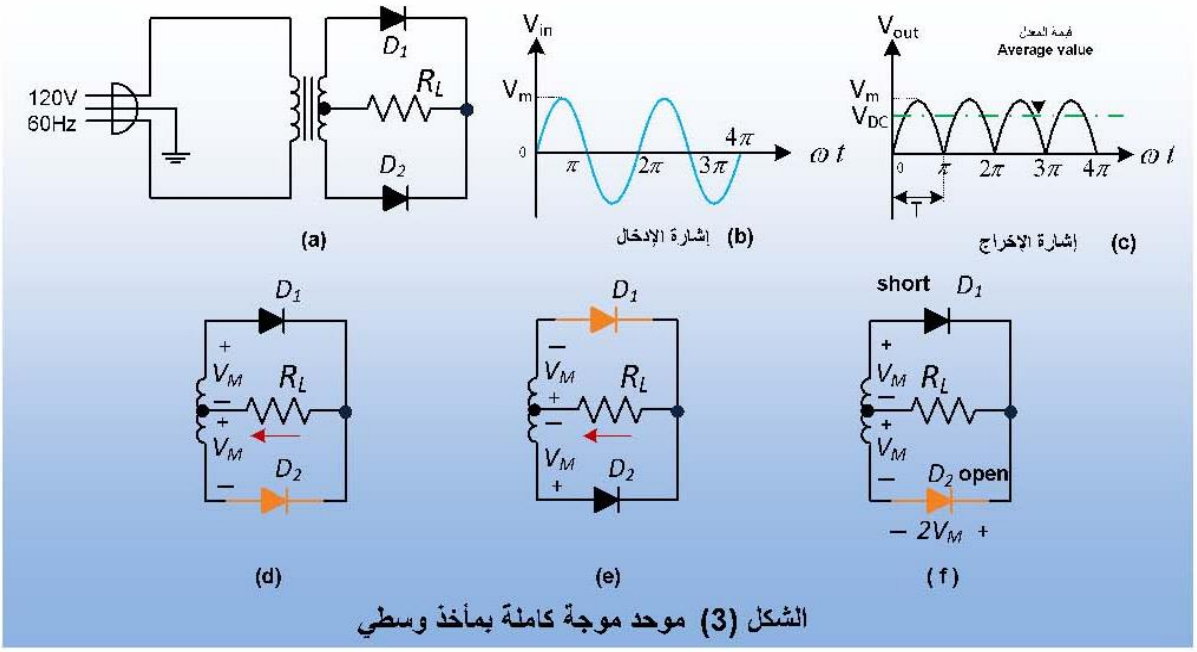
$$V_{dc} = \frac{V_p}{2\pi}\int_0^{\pi} \sin\theta d\theta = \frac{V_p}{2\pi}\left[-\cos\theta\right]_0^{\pi}$$

$$V_{dc} = \frac{V_p}{2\pi}\left[-(\cos\pi - \cos 0)\right] = \frac{V_p}{2\pi}\left[-(-1-1)\right]$$

$$V_{dc} = \frac{V_p}{\pi}$$

موحد الموجة الكاملة ذو محولة المأخذ الوسطي (Full-Wave Centre-tapped Rectifier)

الشكل (3) يبين موحد بمأخذ وسطي



الشكل (3) موحد موجة كاملة بمأخذ وسطي

خلال نصف الذبذبة الموجب لفولتية الملف الثانوي يكون الثنائي العلوي (D_1) منحاز أماميا . و يكون الثنائي السفلي (D_2) منحاز عكسيا . لذلك يمر تيار في الثنائي العلوي ومقاومة الحمل والنصف العلوي من الملف . لاحظ الشكل (3-d).

وفي خلال نصف الذبذبة السالب لفولتية الملف الثانوي يكون الثنائي العلوي(D_1) منحاز عكسيا . ويكون الثنائي السفلي (D_2) منحاز أماميا ولذلك سيمر تيار خلال الثنائي السفلي ومقاومة الحمل والنصف السفلي من الملف ، الشكل (3-e) ، ويكون تيار الحمل بنفس الاتجاه ، وهذا السبب في إن فولتية الحمل هي الإشارة الموجية الكاملة (full-wave) لاحظ الشكل (3-c)

قيمة المعدل وتردد الإخراج لموحد بمأخذ وسطي :

إن قيمة الفولتية المعدلة أو المستمرة لإشارة الموجة الكاملة (full-wave) هي : $V_{DC} = \frac{2V_m}{\pi}$

تكون فترة إشارة الإخراج لموحد إشارة الموجة الكاملة نصف فترة إشارة الإدخال لاحظ الشكل (3-c) وبعبارة أخرى فان كل ذبذبة إدخال تنتج ذبذبتين في الإخراج وهذا هو سبب كون تردد الإخراج في موحد الموجة الكاملة يساوي ضعف تردد الإدخال . $f_{out} = 2f_{in}$

فولتية الذروة العكسية لموحد بمأخذ وسطي (PIV)

إن الفولتية العكسية على الثنائي الغير موصل تساوي ($2V_m$) أي $PIV = 2V_m$

القيمة	V_{in} الإدخال	V_{out} الإخراج
العظمى V_P	V_m	V_m
الفعالة $V_{r.m.s}$	$\frac{V_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{V_m}{\sqrt{2}}$
المستمرة $V_{D.C}$	0	$\frac{2V_m}{\pi}$
العظمى إلى العظمى $V_{P\ P}$	$2V_m$	V_m
التردد f	$\frac{1}{T_{in}}$	$\frac{1}{T_{out}}$
المعدل الزمني للتكرار/ ثا	$f_{out} = 2\ f_{in}$	

اشتقاق قيمة الفولتية المستمرة (V_{DC}) لموجة الموجة الكاملة :

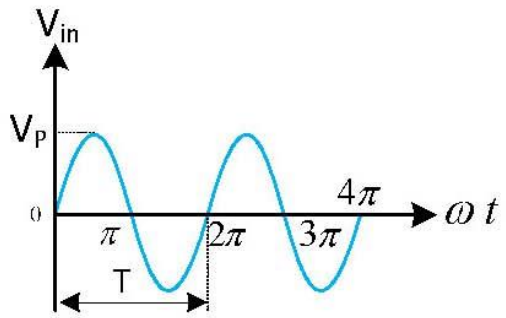
$$V_{DC} = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} Vod\ \theta$$

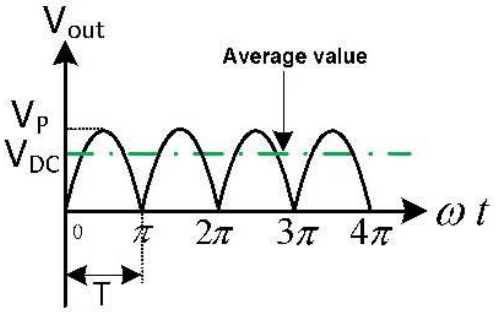
$$V_{DC} = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} V_P\ Sin\ \theta d\theta$$

$$V_{DC} = \frac{V_P}{\pi}[-\ Cos\ \theta\ ]_0^{\pi}$$

$$V_{DC} = \frac{V_P}{\pi}[-\ (-1-1)]$$

$$V_{DC}\ \frac{2V_P}{\pi}$$

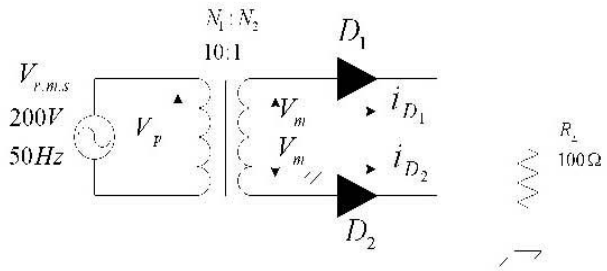




مثال : موحد بمأخذ وسطي يتغذى من مصدر فولتية جيبية مقدارها 200v وترددها 50Hz عن طريق محولة نسبة اللف فيها (10:1) . ربط مع حمل مقداره (100Ω) ، ارسم الدائرة الكهربائية ثم جد :

فولية وتيار الحمل المستمرة . التيار المعدل في كل ثنائي . تردد إشارة الإخراج . قيمة PIV .
شكل إشارتي الإدخال والإخراج

الحل :



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

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

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

$$V_m = V_{in} = \frac{V_m}{2} = 14.14v$$ الفولتية على نصف الملف الثانوي

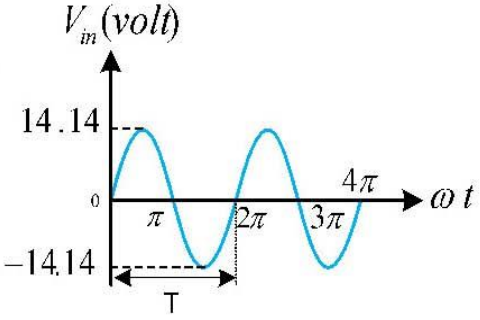
$$V_{D.C} = \frac{2V_m}{\pi} = \frac{2V_P}{\pi} = \frac{2 * 14.14}{3.14} = 9v$$

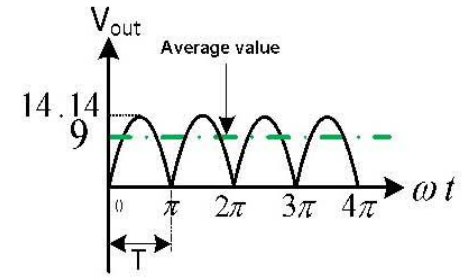
$$I_{D.C} = \frac{V_{D.C}}{R_L} = \frac{9}{100} = 0.09A = 90mA$$

$$I_D = \frac{1}{2} I_D = \frac{90}{2} = 45mA$$

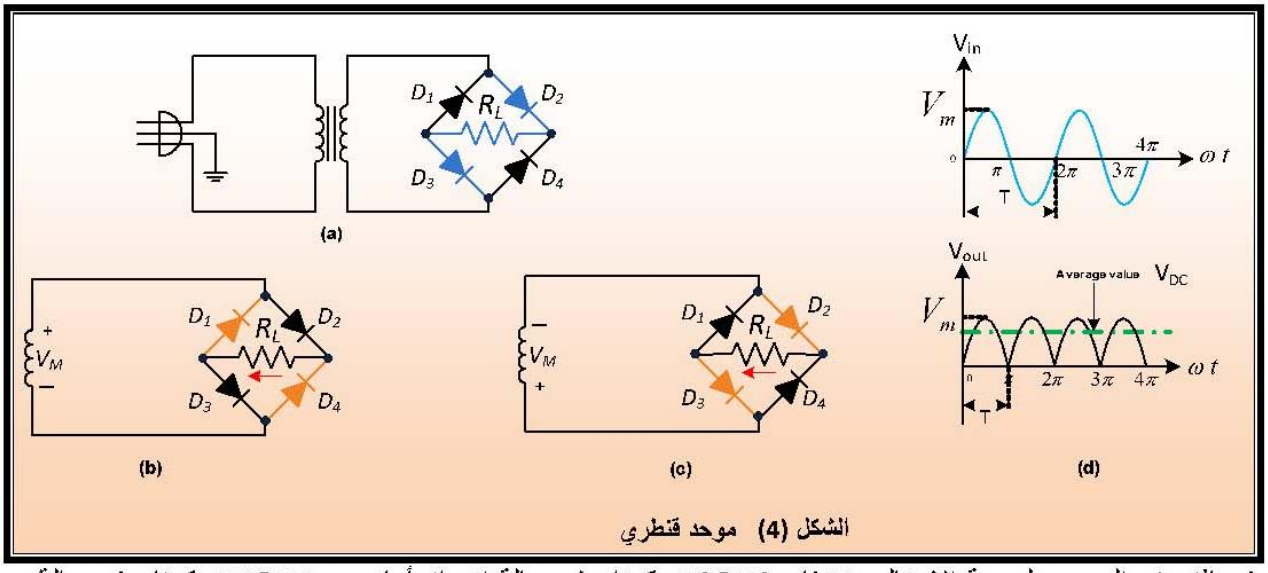
$$f_{out} = 2f_{in} = 2 * 50 = 100Hz$$

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





موحد الموجة الكاملة القنطري (Full-wave Bridge Rectifier) :



الشكل (4) موحد قنطري

في النصف الموجب لموجة الإدخال V_{in} فإن D2&D3 يكونان في حالة انحياز أمامي و D4&D1 يكونان في حالة انحياز عكسي فيمر تيار في D3&D2 ومقاومة الحمل R_L ، وهذا ينتج نصف موجة موجب لفولتية الإخراج V_{out} .

أما في النصف السالب لموجة الإدخال V_{in} فإن D4&D1 يكونان في حالة انحياز أمامي و D3 &D2 يكونان في حالة انحياز عكسي وهذا ينتج أيضا نصف موجة موجب لفولتية الإخراج V_{out} بسبب مرور تيار الحمل i_L بنفس المسار الذي سلكه خلال النصف الموجب لموجة الإدخال V_{in} . وعليه ستكون موجة الإخراج V_{out} الكلية مشابهة تماما لدائرة موحد المأخذ الوسطي . الشكل (4)

إن القيمة المعدل أو القيمة المستمرة للفولتية (V_{DC}) للقنطرة هي :

$$V_{DC} = \frac{2V_m}{\pi}$$

يكون تردد الإخراج ضعف تردد الإدخال

$$f_{out} = 2f_{in}$$

أما قيمة فولتية الذروة العكسية فهي

$$PIV = V_m$$

مقارنة بين دوائر التوحيد

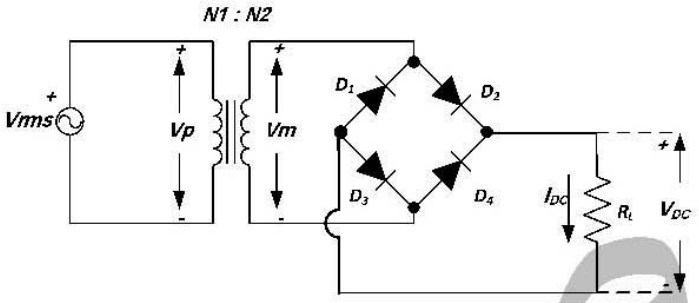
بالإمكان عمل جدول مقارنة يوضح نقاط الاختلاف بين أنواع الموحدات التي تم شرحها .
(ملاحظة: بإمكان الطالب إضافة أي نقطة أخرى إلى الجدول يراها مناسبة) .

عامل المقارنة	موحد نصف الموجة	موحد الموجة الكاملة ذو المأخذ الوسطي	موحد الموجة الكاملة القنطري
عدد ثنائيات القدرة اللازمة	1	2	4
ضرورة المحولة	نوعا ما	ضرورية ومن نوع التفرع الوسطي	غير ضرورية
الفولتية المستمرة للإخراج	$\frac{V_m}{\pi}$	$\frac{2V_m}{\pi}$	$\frac{2V_m}{\pi}$
القيمة العظمى لفولتية الإخراج	مثاليا V_m بالتقريب الثاني $V_m - V_n$	V_m $V_m - V_n$	V_m $V_m - 2V_n$
القيمة الفعالة $V_{r.m.s}$	$\frac{V_m}{2}$	$\frac{V_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{V_m}{\sqrt{2}}$
الفولتية العكسية العظمى على الثنائي الواحد	V_m	$2V_m$	V_m
التردد	$f_{out} = f_{in}$	$f_{out} = 2f_{in}$	$f_{out} = 2f_{in}$

مثال: في دائرة الموحد القنطري ، إذا كانت الفولتية العظمى على الملف الثانوي للمحولة 68v .

المطلوب : إيجاد التيار المستمر في مقاومة الحمل 100Ω وكذلك التيار المستمر في كل ثنائي في حالة التقريب الأول والثاني .

الحل :



القيمة العظمى لفولتية الإدخال(في الحالة المثالية): $V_m = 68volt$:

القيمة المستمرة لفولتية الحمل : $V_L(D.C) = V_{out}(D.C) = \frac{2V_m}{\pi} = \frac{2*68}{3.14} = 43.3volt$

القيمة العظمى لفولتية الإخراج (في حالة التقريب الثاني) : $V_m - 2V_n = 68 - (2*0.7) = 66.4v$

(حيث V_n الجهد الحاجز)

القيمة المستمرة لفولتية الحمل (التقريب الثاني) : $V_L(D.C) = \frac{2*66.4}{3.14} = 42.4volt$

تيار الحمل المستمر (مثاليا) : $I_L(D.C) = \frac{V_L(D.C)}{R_L} = \frac{43.3}{100} = 0.433A$

تيار الحمل المستمر (بالتقريب الثاني): $I_L(D.C) = \frac{42.4}{100} = 0.424volt$

وبما أن تيار كل ثنائي يساوي نصف تيار الحمل

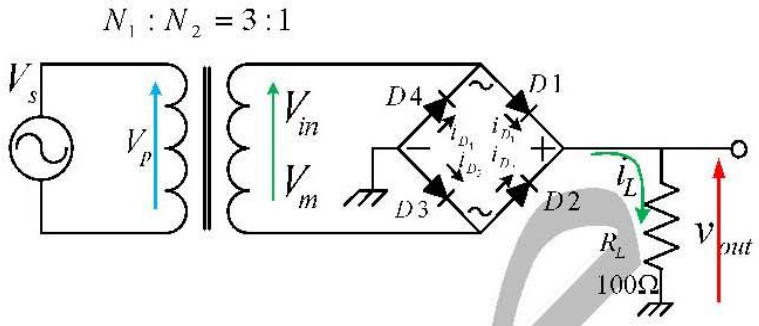
(مثاليا) $\therefore I_{D_1} = I_{D_2} = I_{D_3} = I_{D_4} = \frac{I_L(D.C)}{2} = \frac{0.433}{2} = 0.2165A$

(بالتقريب الثاني) $= \frac{0.424}{2} = 0.212A$

مثال: في دائرة الموحد القنطري ، إذا كانت فولتية المصدر (210v/50Hz) ونسبة تحويل المحولة (N1:N2=3:1) ومقاومة الحمل (100Ω) . ارسم الدائرة ثم جد : التيار المستمر في كل ثنائي . القدرة الفعالة المستهلكة في الحمل . ارسم شكل فولتية ألإخراج مبينا عليها القيمة والزمن .

ملاحظة : اعتبر الدائرة تعمل في الحالة المثالية .

الحل :



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

$$V_p = V_{r.m.s} * \sqrt{2} = 210 * \sqrt{2} = 296.98v$$

$$V_m = \frac{V_p * N2}{N1} = \frac{296.98 * 1}{3} = 98.99v$$

$$V_{D.C} = \frac{2V_m}{\pi} = \frac{2 * 98.99}{3.14} = 63v$$

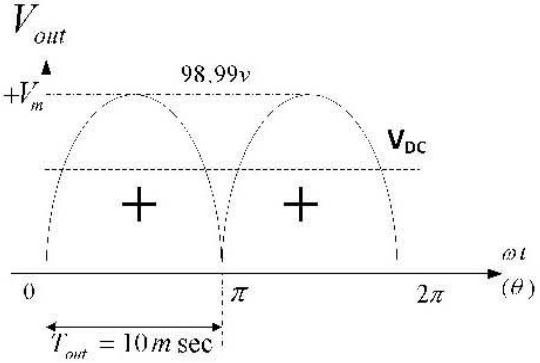
$$I_{D.C} = \frac{V_{D.C}}{R_L} = \frac{63}{100} = 0.63A$$

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

$$V_{r.m.s}(out) = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{98.99}{\sqrt{2}} = 70v$$

$$P_L(r.m.s) = \frac{V^2{}_{r.m.s}(out)}{R_L} = \frac{(70)^2}{100} = 49watt$$

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

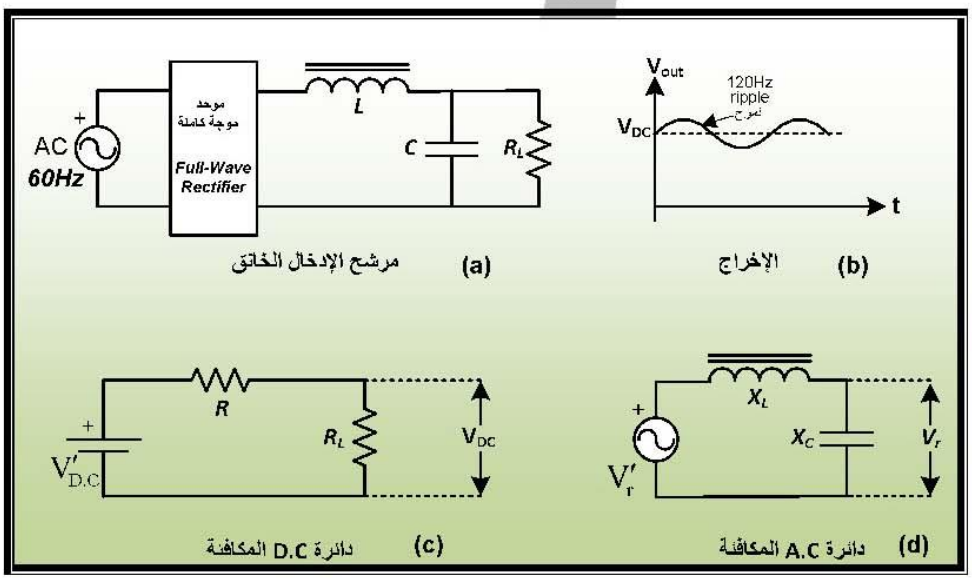


الترشيح (Filtering)

إن استخدام الفولتية المستمرة النبضية مقتصر على شحن البطاريات وتحريك المحركات المستمرة وعلى تطبيقات قليلة أخرى . أما ما نحتاجه فعلاً فهي فولتية مستمرة ثابتة القيمة تشبه فولتية البطارية ، وللحصول على ذلك يجب أن نرشح filter أو ننعم smooth التغيرات المتناوبة .

مرشح الإدخال الخانق Choke-input filter

الشكل (a) يبين موحد (مقوم) موجة كاملة يغذي ملفاً خانقاً choke (ملف محاثة ذو قلب حديدي) ومتسعة ومقاومة حمل . الموجة الخارجة من الموحد لها مركبتان إحداهما مركبة مستمرة (مرغوب فيها) ومركبه متناوبة (غير مرغوب فيها) . يسمح الملف الخانق للمركبة المستمرة بالمرور لان ***X_L تساوي صفر بالنسبة للتيار المستمر*** وبما إن المتسعة تمثل دائرة مفتوحة عند تردد مقداره صفر ولذلك فان كل التيار المستمر الخارج من الخانق يمر خلال المقاومة R_L . أما المركبة المتناوبة الخارجة من الموحد فلها تردد مقداره 120Hz ويقوم ***الخانق بحجز هذه المركبة المتناوبة لان X_L تكون كبيرة عند هذا التردد*** . كذلك تقوم المتسعة بتمرير أي مركبة متناوبة استطاعة المرور خلال الخانق لان ***X_C قليله بالنسبة للتيار المتناوب*** (دائرة قصر) بدلاً من المرور خلال R_L . وبذلك فان الخانق والمتسعة يعملان عمل مقسم فولتية متناوبة الذي يوهن أو يقلص المركبة المتناوبة .



الإخراج المستمر :

نلاحظ في الشكل (b) إخراج المرشح والذي يبين مركبة مستمرة كبيرة وأخرى متناوبة صغيرة . تحسب المركبة المستمرة بالمعادلة :

$$V_{DC} = \frac{R_L}{R + R_L} * V'_{DC}$$

حيث إن V_{DC} الفولتية المستمرة على مقاومة الحمل R_L

R مقاومة الخانق المستمرة

V'_{DC} هي الفولتية المستمرة الخارجة من موحد الموجة الكاملة .

إن مقاومة الحمل ومقاومة الخانق يشكلان مقسم فولتية عند تردد مقداره صفر لاحظ الشكل (c) حيث تكون R اصغر بكثير من R_L لذلك فان معظم الفولتية المستمرة تصل إلى الحمل .

تموج الإخراج :

إن تردد الإشارة المتناوبة الخارجة من مقوم الموجة الكاملة مقداره (120Hz)، إن المركبة الموجودة فوق المركبة المستمرة والغير مرغوب فيها تدعى التموج ripple . إن التموج يكون صغير لان X_L اكبر بكثير من X_c كما إن X_c اصغر بكثير من R_L . ويمكن حساب قيمة فولتية التموج V_r بالمعادلة :

$$V_r = \frac{X_C}{X_L} * V'r$$

وفي هذه المرحلة يمكننا استخدام المعادلة التالية في تحاليلنا :

$$V_r = 5.28(10^{-7}) * \frac{V_P}{LC}$$

يفضل استخدام مقومات موجة كاملة لان تردده مضاعف وهذا يعني قيم (L و C) اصغر

عامل التموج :

إن عامل التموج ripple factor هو رقم يستخدم للمقارنة بين أجهزة القدرة ويعرف كنسبة مئوية وكما يلي :

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

لغرض المقارنة بين أجهزة قدرة كلما كانت قيمة r اصغر كان ذلك الجهاز أفضل

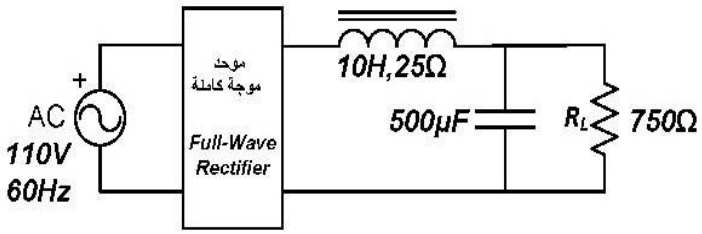
المحاثة الحرجة :

تعرف المحاثة الحرجة critical inductance بالمحاثة الصغرى التي تعطي ترشيحا جيداً . تحسب قيمة المحاثة الحرجة لمقوم موجة كاملة عند تردد دخل مقداره (60Hz) بالمعادلة :

$$L_{critical} \cong \frac{R_L}{1000}$$

وكلما كبرت المحاثة عن تلك القيمة كان الترشيح طبيعي .

مثال : في الدائرة التالية ، احسب عامل التموج المئوي إذا كانت قيمة الفولتية العظمى الخارجة من الموحد هي 25.7v .



الحل :

$$V_r = 5.28*10^{-7}\frac{V_P}{LC}$$

$$\Rightarrow V_r = 5.28*10^{-7}\frac{25.7}{10*500*10^{-6}}$$

$$\Rightarrow V_r = 0.00271volt = 2.71*10^{-3}volt$$

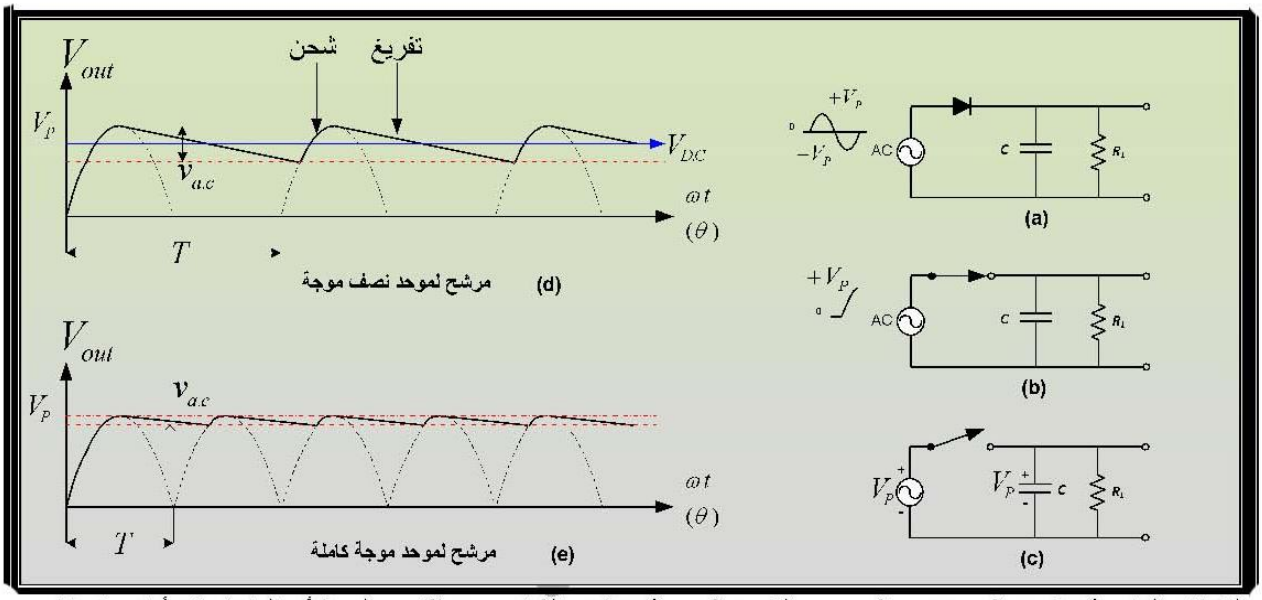
$$V'_{D.C} = \frac{2V_m}{\pi} = \frac{2*25.7}{3.14} = 16.4v$$

$$V_{D.C} = \frac{R_L}{R_L+R}V'_{D.C} = \frac{750}{750+25}*16.4 = 15.9volt$$

$$\%r = \frac{V_r}{V_{D.C}}*100 = \frac{2.71*10^{-3}}{15.9}*100 = 0.017\%$$

مرشح الإدخال السعوي Capacitor-input filter

إن مرشح الإدخال السعوي يعتمد على كشف الذروة بدلاً من كشف القيمة المعدلة كما في مرشح الإدخال الخانق . الشكل(a) يبين مرشح إدخال سعوي ،نلاحظ استخدام المتسعة عوضا عن الملف الخانق وبالتالي يتغير عمل المرشح من كشف القيمة المعدلة إلى كشف الذروة . في خلال ربع الذبذبة الأول من فولتية الإدخال يكون الثنائي في وضع انحياز أمامي ، ويظهر مثاليا كأنه مفتاح مغلق لاحظ الشكل (b) .



لذا فان المتسعة تتشحن إلى V_p . حال عبور الذروة الموجبة يتوقف الثنائي عن التوصيل وكأن المفتاح قد أنفتح كما في الشكل (c) والسبب في ذلك ، لان على المتسعة فولتية Vp+ وعندما يصبح مصدر الفولتية اقل من Vp+ تحاول المتسعة أن ترغم تيارا على الرجوع خلال الثنائي مما يجعل الثنائي في وضع انحياز عكسي .

وبما أن الثنائي في حالة عدم توصيل لذلك تبدأ المتسعة بالتفريغ خلال مقاومة الحمل R_L . إن ثابت الزمن (R_LC) اكبر بكثير من فترة ذبذبة إشارة الإدخال (T) ، ولهذا السبب فان المتسعة ستفقد جزء صغير من شحنتها . وبالقرب من ذروة الإدخال الموجبة التالية يتحول الثنائي إلى وضع التوصيل ويعيد شحن المتسعة . الشكل (d) يبين شكل موجة الإخراج لمرشح الإدخال السعوي مع موحد نصف موجة ولفولتية ذروة V_p . إن فولتية إشارة الخرج هذه ثابتة تقريبا واختلافها الوحيد عن الفولتية المستمرة ألصرفه هي التموج الصغير الناتج عن شحن وتفريغ المتسعة ، وكلما كان التموج صغيرا كان ذلك أفضل .

إن المرشح السعوي يسمى أيضا كاشف الذروة أو مقوم الذروة

إن مقوم موجة كاملة (قنطري أو بمأخذ وسطي) مربوط مع متسعة ينتج تقويم ذروة أفضل لان المتسعة تتشحن مرتين لاحظ الشكل (e) لذا يكون التموج اصغر وتقترب فولتية الإخراج المستمرة من فولتية الذروة ، لذلك تكون موحدات ذروة الموجة الكاملة أكثر استعمالا . وفي دوائر الموجة الكاملة المساقة بتردد (60Hz) تكون فترة الإخراج

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{120} = 8.33ms$$

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)

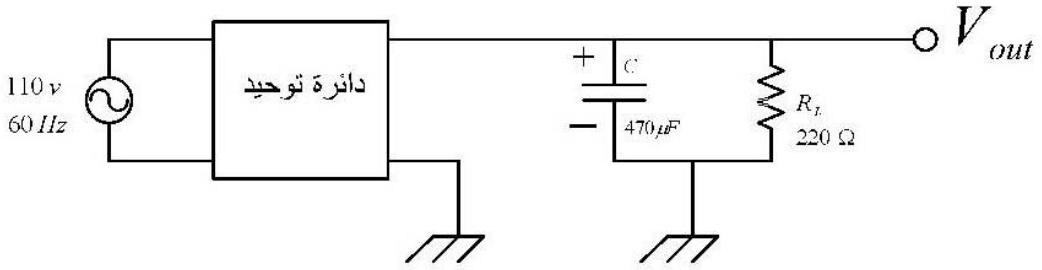
الفولتية المستمرة $V_{D.C} = (1 - \frac{0.00417}{R_L C}) V_P$ (فولت)

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

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

مثال: في الدائرة المرسومة أدناه ، إذا كانت القيمة العظمى للفولتية الخارجة من الموحد هي 30v .

احسب عامل التموج المئوي r % .



الحل : لما كان تردد الإدخال 60Hz فهذا يعني أن تردد الإخراج 120Hz و T له يساوي 8.33msec

أي أن **10T** يساوي **83.33ms = 0.0833sec** .

$$R_L * C = 220 * 470 * 10^{-6} = 0.103\text{sec}$$

وعليه فإن الشرط $R_L C \geq 10T$ قد تحقق لأن $0.103 > 0.0833$

$$V_r = \frac{0.0024 * 30}{0.103} = 0.699volt$$

$$V_{D.C} = (1 - \frac{0.00417}{0.103}) * 30 = 28.8volt$$

$$\%r = \frac{V_r}{V_{D.C}} * 100 = \frac{0.699}{28.8} * 100 = 2.43\%$$

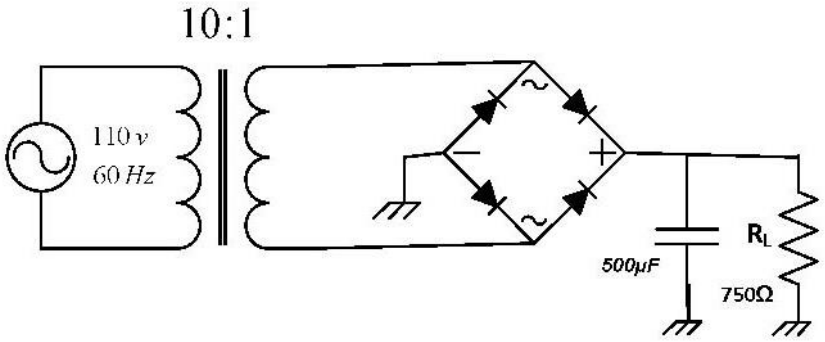
مثال اخر : في المثال السابق إذا كانت $R_L = 10K\Omega$ ، ما مقدار القيمة الصغرى لمتسعة الترشيح التي نحتاجها نضمن عامل تموج قدره 2% ؟

الحل :

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

مثال :

في الدائرة الموضحة بالشكل أدناه اوجد عامل التموج ؟



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

$$375ms > 83.3ms$$

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

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

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

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

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

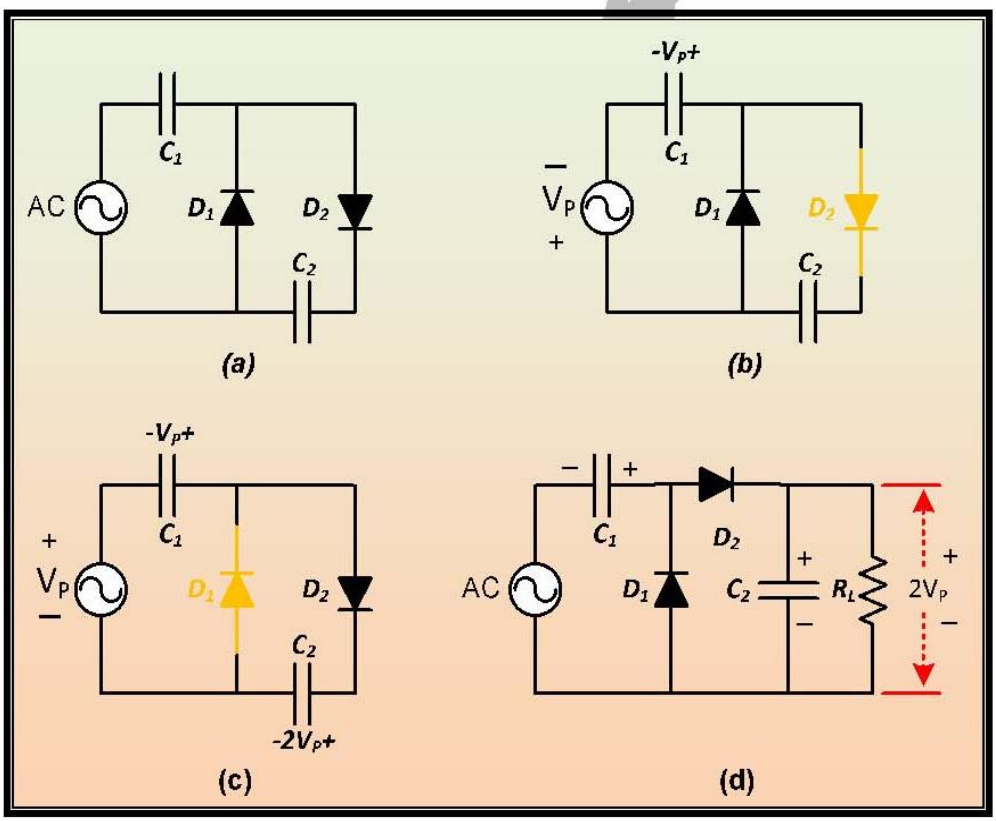
$$r\% = \frac{Vr}{V_{DC}} * 100\% = \frac{0.099}{15.327} * 100\% = 0.647\%$$

مضاعفات الفولتية المستمرة (D.C Voltage Multipliers)

إن مضاعفات الفولتية تجمع في تركيبها وفي مبدأ عملها كل من الموحدات والمرشحات حيث تتألف دوائرها من ثنائيات القدرة ومتسعات الترشيح، وتكون مناسبة للاستخدامات التي تحتاج إلى فولتيات مستمرة عالية الجهد قليلة التيار مثل تجهيز أنبوب الأشعة المهبطية . ومنها مضاعف الفولتية إلى الضعف والى الثلاثة أضعاف والى الأربعة أضعاف ، وفي حالة زيادة المقاطع لأكثر من أربعة يصبح تنظيم الفولتية ردئ .

مضاعف الفولتية إلى الضعف Voltage doubler

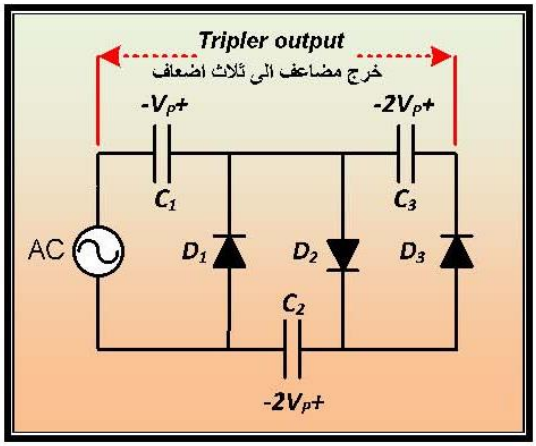
تتألف هذه الدائرة من متسعتين وثنائيي قدرة كما في الشكل (a) ، عند الذروة السالبة يكون (D_1) منحاز أمامياً أما **(D_2)** فيكون منحاز عكسياً ، وهذا يؤدي إلى شحن المتسعة **C_1** إلى فولتية الذروة ***V_p*** وبالقطبية المبينة بالشكل (b) ، عند الذروة الموجبة يكون **(D_1)** منحاز عكسيا ويكون الثنائي **(D_2)** منحاز أماميا كما في الشكل (c) وبما أن المصدر والمتسعة **(C_1)** مربوطان على التوالي ، ستتشحن المتسعة **(C_2)** إلى ***(2Vp)*** وبعد عدة ذبذبات تبلغ الفولتية على **(C_2)** المقدار ***(2Vp)*** . ويمكن إعادة رسم دائرة مضاعف الفولتية إلى الضعف مع ربط مقاومة الحمل ، لاحظ الشكل (d) مع مراعاة قيمة مقاومة الحمل كلما كانت كبيرة بقيت فولتية الإخراج تساوي تقريباً ***(2Vp)*** ، وهكذا تكون فولتية الإخراج ضعف ذروة فولتية الإدخال مع بقاء تيار الحمل خفيفاً وثابت الزمن طويل .



مضاعف الفولتية إلى ثلاثة أضعاف Voltage Tripler

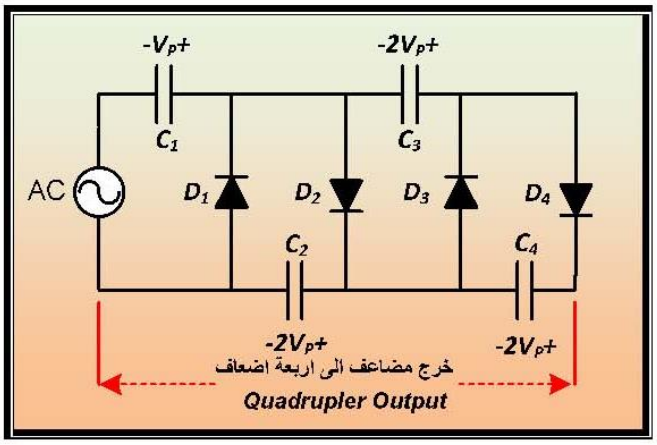
ويتكون من ربط ثلاث مقاطع من ثنائيي قدرة كما في الشكل . إن ثنائيي القدرة الأوليين يعملان عمل مضاعف فولتية إلى الضعف الذي سبق شرحه ، عند الذروة السالبة من نصف الذبذبة يكون الثنائي ***(D3)*** منحاز أماميا وهذا يعمل على شحن المتسعة ***(C3)*** إلى ***(2Vp)*** وبالقطبية المبينة في الشكل.

إخراج الدائرة يظهر عبر ***(C1)*** و ***(C3)*** ويربط الحمل عبر إخراج الدائرة . وطالما كان ثابت الزمن طويلا كان الإخراج ***(3Vp)*** تقريبا .



مضاعف الفولتية إلى أربعة أضعاف Voltage quadrupler

هو أربعة ثنائيات قدرة متسلسلة كما في الشكل ، الثلاثة الأولى منها تمثل مضاعف الفولتية إلى ثلاثة أضعاف والذي سبق شرحه ، وبعد إضافة الثنائي الرابع إلى الدائرة يتكون مضاعف الفولتية إلى أربعة أضعاف ، نلاحظ في الشكل بأن المتسعة الأولى تتشحن إلى ***(Vp)*** أما بقية المتسعات تتشحن إلى ***(2Vp)*** ويؤخذ الإخراج عبر المتسعتين ***(C2 و C4)*** المربوطتين على التوازي . وهنا نحتاج إلى مقاومة حمل كبيرة (ثابت زمن طويل) للحصول على فولتية إخراج تساوي تقريبا ***(4Vp)*** .

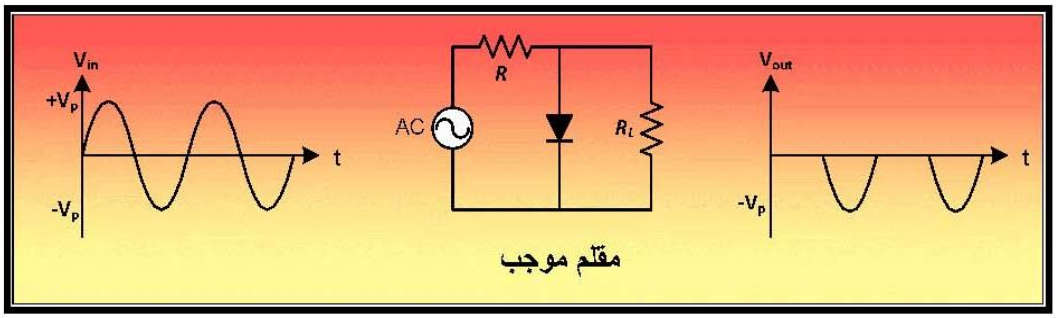


المقلم Clippers

في بعض المنظومات الالكترونية نرغب أحيانا بإزالة فولتيات الإشارة فوق أو تحت مستوى فولتية معين ، وباستخدامنا الثنائيات المقلمة يمكننا الحصول على الإزالة .

المقلم الموجب Positive Clipper

هي تلك الدائرة التي تزيل الأجزاء الموجبة من الموجة والمبينة بالشكل والذي نلاحظ فيه إن جميع الأجزاء الموجبة لإشارة الإدخال قد أزيلت في إشارة الإخراج . خلال نصف الذبذبة الموجب لفولتية الإدخال يكون الثنائي منحاز أماميا ويعمل كمفتاح مغلق كتقريب أولي ، الفولتية على دائرة قصر تساوي صفر . لذلك تكون فولتية الإخراج تساوي صفر لكل نصف ذبذبة موجب لإشارة إدخال الدائرة . كل الفولتية قد هبطت على المقاومة R



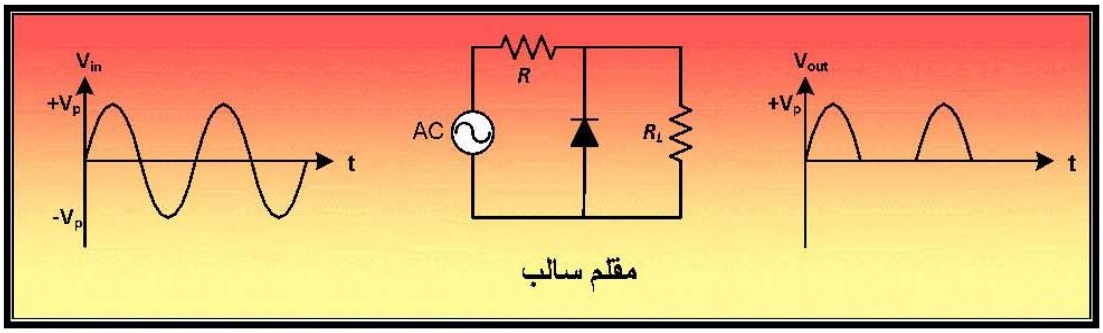
خلال نصف الذبذبة السالب لإشارة الإدخال يكون الثنائي منحاز عكسيا وكأنه مفتاح مفتوح وبالتالي تعمل الدائرة كمقسم فولتية وبإخراج قدره $V_{out} = \frac{R_L}{R + R_L} V_P$ تكون RL اكبر بكثير من R عادة

ولذلك $V_{out} \cong -V_P$

أما في التقريب الثاني ، يسقط ثنائي السليكون الموصل فولتية (0.7v) للتغلب على الجهد الحاجز ولذلك تقطع إشارة الإخراج الموجبة قرب (0.7v+) وليس قرب الصفر أما إذا استخدم ثنائي الجرمانيوم فتقطع قرب (0.3v+) .

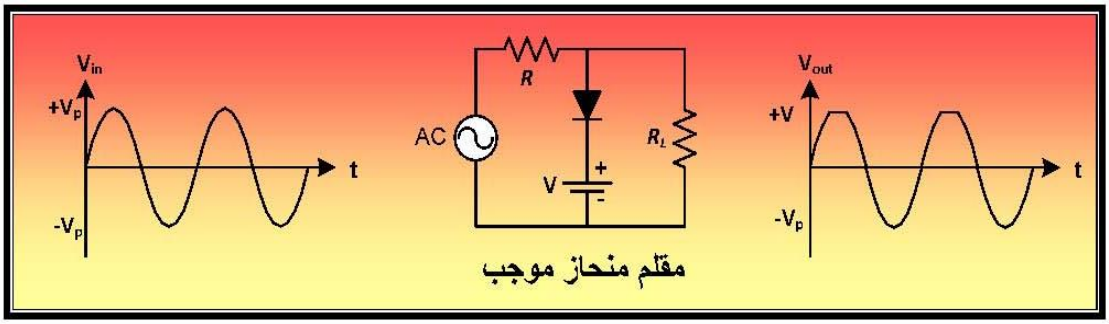
المقلم السالب Negative Clipper

لو عكسنا أقطاب الثنائي الموضح في الشكل السابق ، سنلاحظ بأن الثنائي سيوصل في الأنصاف السالبة لموجة الإدخال وبذلك سنحصل مقلم سالب حيث انه يقوم بإزالة جميع الإشارة تحت مستوى الصفر فولت كما في الشكل



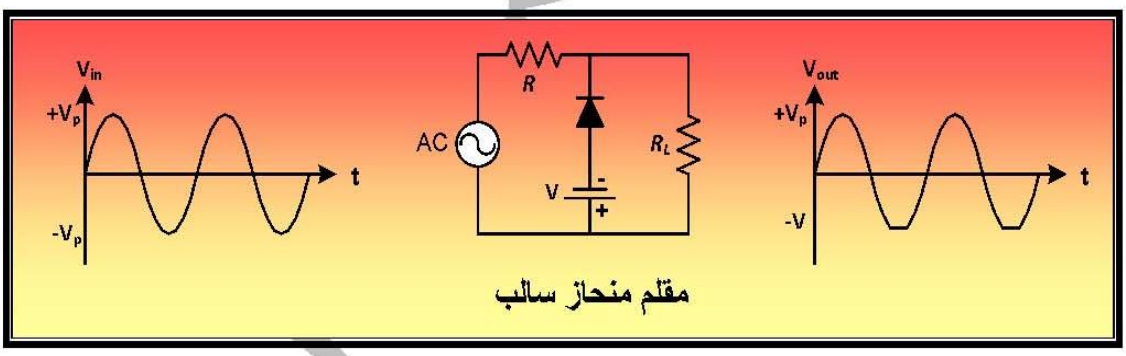
المقلم المنحاز Biased clipper

في بعض التطبيقات قد تحتاج مستوى تقليم مختلف عن الصفر . باستخدامنا المقلم المنحاز نستطيع تحريك مستوى التقليم إلى مستوى موجب أو سالب . يبين الشكل التالي مقلم منحاز موجب positive biased clipper ولكي يكون الثنائي في حالة توصيل يجب على فولتية الإدخال أن تكون اكبر من **(+V)** . وعندما تكون فولتية الإدخال **(V_{in})** اكبر من **(+V)** يعمل الثنائي مثالياً عمل مفتاح مغلق وتساوي فولتية الإخراج **(+V)** ويبقى مستوى فولتية الإخراج **(+V)** طالما زادت فولتية الإدخال عن مستوى **(+V)** .



عندما تقل فولتية الإدخال عن **(+V)** يصبح الثنائي مفتاح مفتوح (غير موصل) وبذلك تصبح الدائرة مقسم فولتية . وبما أن قيمة مقاومة الحمل **R_L** عادةً اكبر بكثير من قيمة المقاومة **R** ولذلك فان معظم فولتية الإدخال تظهر في الإخراج .

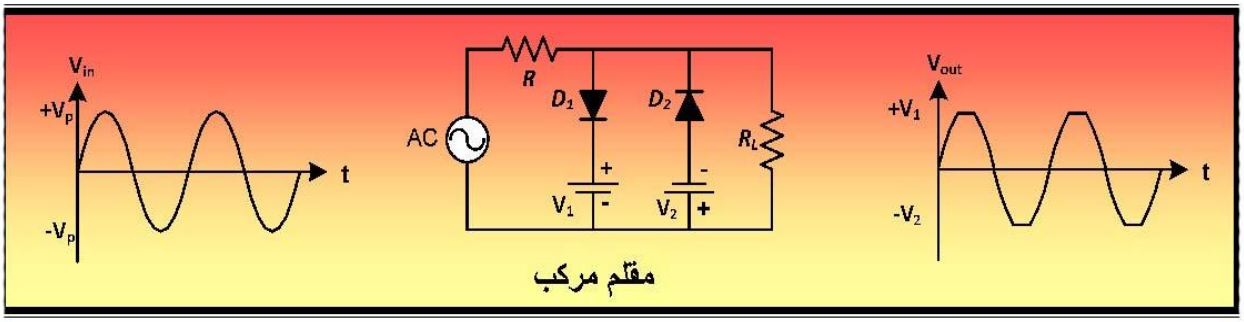
لو عكسنا الثنائي وكذلك عكسنا البطارية كما في الشكل التالي



في هذه الحالة نحصل على مقلم منحاز سالب Negative biased clipper والذي تعمل دائرته عكس عمل دائرة المقلم المنحاز الموجب حيث يكون تحديد فولتية القطع في الجزء السالب **(-V)** وكما نلاحظ في رسم شكل موجة الإخراج

المقلم المركب Compound Clipper

وهو عملية جمع مقلم منحاز موجب و مقلم منحاز سالب ، كما في الشكل



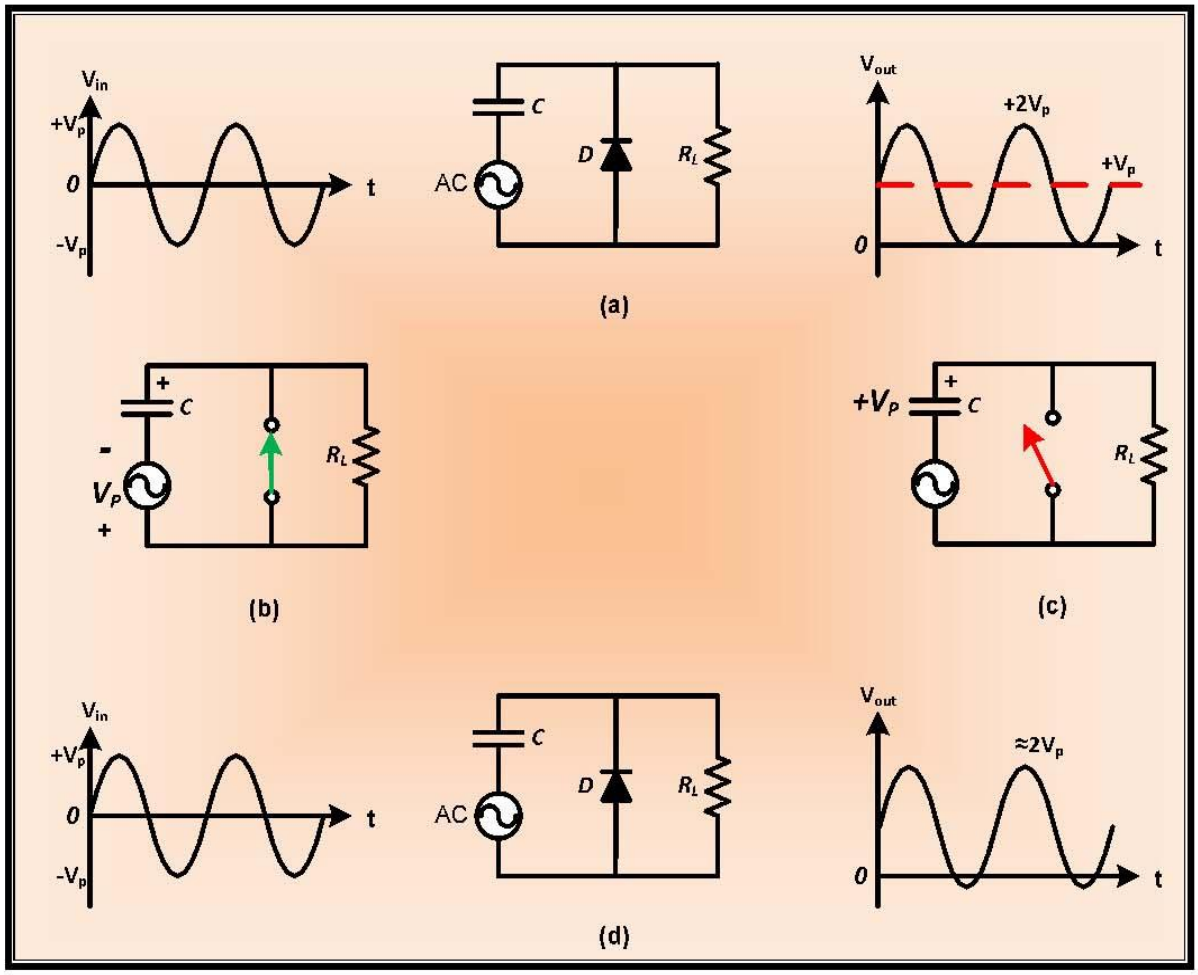
يتحول الثنائي D_1 إلى حالة التوصيل عندما تكون فولتية الإدخال اكبر من $(+V_1)$ ولهذا فان فولتية الإخراج تساوي $(+V_1)$ عندما تكون (V_{in}) اكبر من $(+V_1)$ ، ومن جهة أخرى وعندما تكون فولتية الإدخال V_{in} أكثر سالبيه من $(-V_2)$ يتحول الثنائي (D_2) إلى حالة التوصيل ولذلك فان فولتية الإخراج تساوي $(-V_2)$ طالما كانت فولتية الإخراج أكثر سالبيه من (V_2) ، وعندما تقع V_{in} بين $(-V_2)$ و $(+V_1)$ لا يوصل أي من الثنائيين وبما أن R_L اكبر بكثير من R ولذلك فان معظم فولتية الإدخال تظهر عبر الإخراج . في حالة أن أشارة الإدخال كانت كبيرة أي أن V_p أكبر بكثير من مستويي القطع (الموجب و السالب) ستظهر موجة الإخراج تشابه الموجة المربعة .

Clamper الملزم

إن عمل الملزم هو إضافة مركبة DC إلى الإشارة ،أي أن شكل الإشارة الأصلي يبقى كما هو وكل ما يحدث هو انحراف عمودي بالاتجاه الأعلى (إلزام موجب) أو بالاتجاه الأسفل (إلزام سالب) .

positive clamper الملزم الموجب

يبين الشكل (a) ملزما موجبا والذي يكون عمله مثاليا كما يلي :

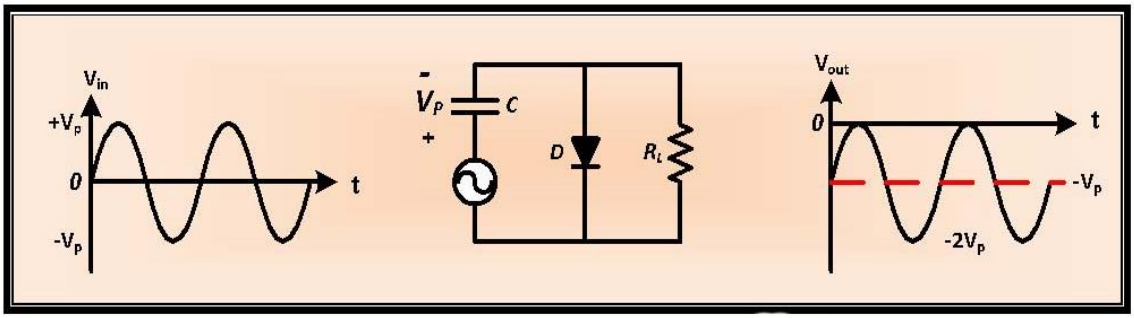


في نصف الذبذبة السالب الأول من فولتية الإدخال يكون الثنائي في حالة توصيل لاحظ الشكل (b) وبذلك تتشحن المتسعة إلى أعلى قيمة فولتية **(Vp)** وبالقطبية المبينة ، وبعد الذروة السالبة للمصدر بقليل ، يتوقف الثنائي عن التوصيل (مفتاح مفتوح) ، الشكل (c) . لقد جعل ثابت الزمن في هذه الدائرة **(R_LC)** اكبر بكثير من فترة إشارة الدخل **T** ولهذا السبب فان المتسعة تبقى تقريبا كاملة الشحنة خلال الوقت الذي يتوقف فيه الثنائي عن التوصيل . إن المتسعة تعمل عمل بطارية وبالقطبية الموضحة في الشكل (c) وهذا هو السبب بان فولتية الإخراج في الشكل (a) تكون إشارة موجبة اللزم .

أما في حالة التقريب الثاني فان الثنائي يسقط بضع أعشار من الفولت (حسب نوع مادته) ولذلك فان المتسعة لا تتشحن إلى قيمة **Vp** ولهذا السبب يكون اللزم غير تام ، ينخفض الإخراج عن مستوى الصفر قليلا ، الشكل (d) .

ملزم سالب *Negative clamper*

في حالة عكس الثنائي فإننا نحصل على ملزم سالب (Negative clamper) ، إن قطبية فولتية المتسعة تنعكس وهذا السبب بان هذه الدائرة تعطي إلزاما سالبا كما في الشكل



ثنائي زينر Zener diode

هو عبارة عن ثنائي (وصلة p-n)مصنعة من مادة السليكون ويختلف عن الثنائي المقوم كونه مصمم للعمل في منطقة الانكسار ، ولذلك يسمى أحيانا بثنائي الانكسار breakdown diode ويعتبر ثنائي زينر العمود الفقري لمنظمات الفولتية voltage regulators . ويمكن التحكم في قيمة جهد الانكسار وذلك بتغيير مستوى التطعيم حيث تتراوح فولتيات الانكسار من(2v) إلى(200v) ، **وعند تسليط فولتيات عكسية تجتاز فولتية انكسار زينر نحصل على مكون يعمل عمل مصدر فولتية ثابتة**

الانكسار ألانهياري :Avalanche effect

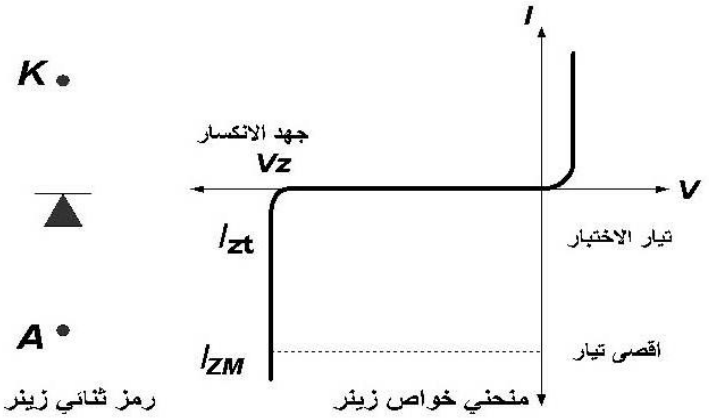
عندما تصل الفولتية العكسية إلى قيمة الانكسار فان الحاملات الأقلية في منطقة الاستنزاف تتعجل وتصل إلى سرع عاليه تمكنها من زحزحة الكترونات تكافؤية في المدارات الخارجية . إن هذه الالكترونات المتحررة حديثا يمكنها أن تكتسب سرع عالية وبذلك تطلق الكترونات تكافؤية أخرى ، ويحصل الانهيار عند فولتية اكبر تقريبا من (6v) .

انكسار زينر: Zener effect

عند تطعيم ثنائي ما بغزارة تكون طبقة الاستنزاف ضيقة جداً ولذلك فان المجال الكهربائي يكون شديداً على طبقة الاستنزاف . وعندما تصل شدة المجال إلى حولي (300,000v) لكل سنتمتر فإن هذه الشدة تكفي لسحب الالكترونات من مدارات التكافؤ ، إن توليد الكترونات حرة بهذه الطريقة تدعى انكسار زينر .

منحني الخواص لثنائي زينر

الشكل يوضح منحني الخواص لثنائي زينر والرمز المستخدم له ، ونلاحظ من الشكل أن ثنائي زينر له نفس خواص ثنائي القدرة في حالة الانحياز الأمامي أما في حالة الانحياز العكسي فان تيار الثنائي يكون ضعيف جدا لحد الإهمال حتى نصل فولتية الانكسار **Vz** . وعند الوصول إلى جهد الانكسار يزداد التيار بسرعة دون زيادة ملحوظة في الفولتية وتبقى ثابتة تقريبا وتساوي **Vz** في معظم منطقة الانكسار . استمارة المصنع تبين عادةً قيمة ***Vz*** عند تيار معين هو تيار الاختبار ***(I_{ZT})*** ويكون بعد انكسار المنحني . لاحظ الشكل



تبديد القدرة power dissipation

تبديد القدرة في ثنائي زينر تحسب بالمعادلة **Pz = Vz×Iz**

يحددنا المصنع بأقصى قدرة تحمل **Pz(max)** وعلى المستخدم أن لا يتعدى تلك القيمة حتى لا يعطب الثنائي أو تتغير خواصه . وتبين لنا استمارة المصنع أقصى تيار يتحمله ثنائي زينر **(I_{ZM})** دون عبور تحمل القدرة .

$$I_{ZM} = \frac{P_{z(\max)}}{V_Z}$$

ممانعة زينر Zz

عندما يعمل زينر في منطقة الانكسار فان زيادة صغيرة في الفولتية تنتج زيادة كبيرة في التيار .وهذا يعني أن ممانعة زينر صغيرة ، ويمكن حساب هذه الممانعة بالمعادلة التالية :

$$Zz \approx \frac{\Delta v}{\Delta i}$$

مثال :

إذا كان التغير في فولتية زينر(80mv) وتغير للتيار مقداره (20mA) احسب ممانعة زينر؟

الحل:

$$Zz = \frac{\Delta v}{\Delta i} = \frac{80mv}{20mA} = \frac{0.08v}{0.02A} = 4\Omega$$

معامل درجة الحرارة Temperature coefficient

يحدد هذا المعامل النسبة المئوية لتغير جهد زينر **Vz** لكل درجه مئوية واحده . ويرمز له **Tc**

يمكن حساب التغير في فولتية زينر بالمعادلة التالية : $\Delta Vz = Tc \times \Delta T \times Vz$ حيث أن:

ΔVz – مقدار التغير في فولتية زينر ، **ΔT** - مقدار التغير في درجة الحرارة ، **Vz** - فولتية زينر عند 25°C

مثال : إذا كان معامل درجة الحرارة لثنائي زينر Tc يساوي (0.004) بالمائة و فولتية زينر (15v) عند درجة حرارة (25°C) كم يكون التغير في فولتية زينر عندما تصبح درجة الحرارة (100°C) ؟

الحل:

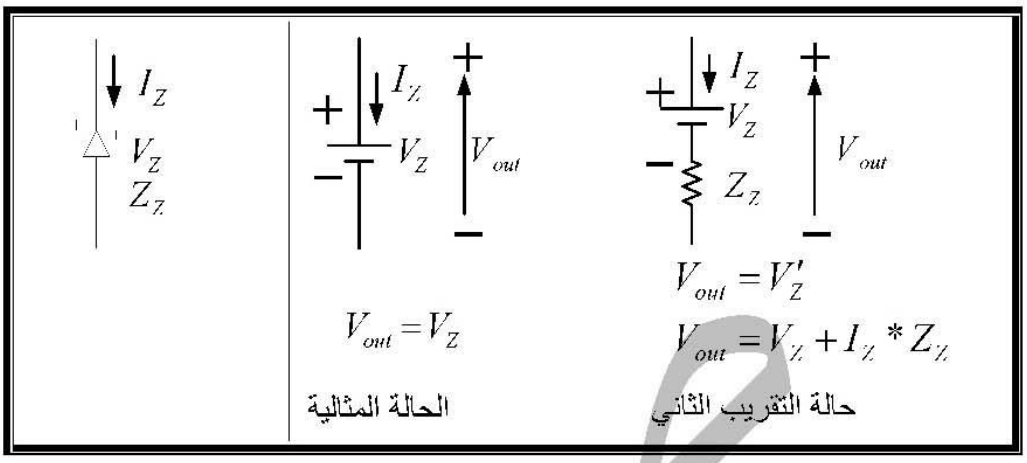
$$\Delta Vz = Tc \times \Delta T \times Vz$$

$$\Delta Vz = 0.004 \times 10^{-2} \times (100 - 25) \times 15 = 0.045v$$

ولذلك فان فولتية زينر عند 100°C هي $V_Z = 15v + 0.045v = 15.0.045v$

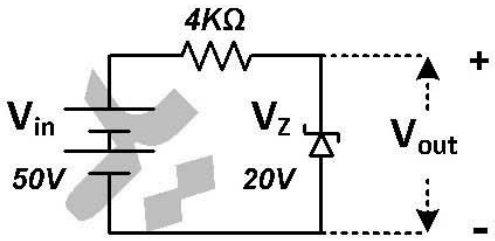
تقاريب زينر (الدائرة المكافئة لثنائي زينر)

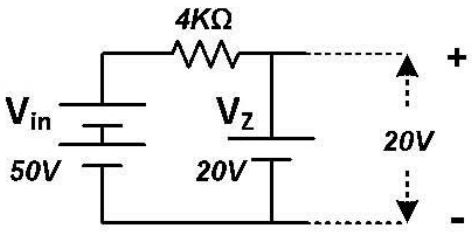
لثنائي زينر عندما يعمل في منطقة الانكسار تقريبان ... 1- التقريب الأول (الحالة المثالية) ، 2- التقريب الثاني .
وكما مبين في الرسم أدناه :



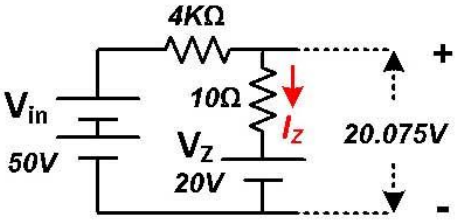
مثال: في الدائرة أدناه احسب فولتية الخرج إذا كانت (Vz =20v) و(Zz = 7Ω)

a- باستخدام التقريب المثالي للزينر ، b- باستخدام التقريب الثاني للزينر





a - مثاليا
في التقريب المثالي يعمل ثنائي زينر كبطارية ذات فولتية مقدارها Vz
$Vout = Vz = 20v$



b - في حالة التقريب الثاني

$$Iz = \frac{Vin - Vz}{Rs} = \frac{50-20}{4*10^3} = 0.0075A = 7.5mA$$

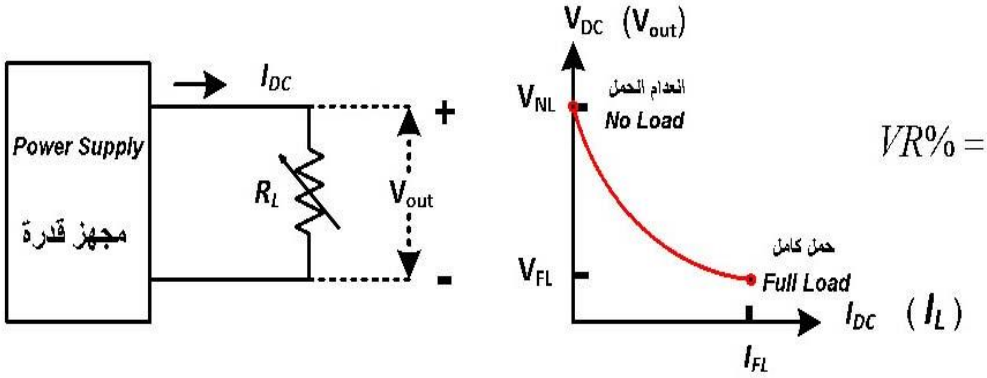
$$Vout = Vz + Iz * Zz$$

$$Vout = 20 + 0.0075 * 10 = 20.075v$$

تنظيم الفولتية Voltage Regulation

المقصود بتنظيم الفولتية هي المحافظة على قيمة ثابتة تقريبا لفولتية الإخراج عند تغير تيار الحمل(تغير مقاومة الحمل) أو فولتية المصدر أو كليهما .

إن مقاومة الحمل R_L المربوطة على مجهز قدرة عادةً تكون متغيره ويمكن أن تتغير من قيمة صغيرة $R_{L(min)}$ إلى قيمة عالية $R_{L(max)}$ لاحظ الشكل ، تيار الحمل (I_{DC}) يمر خلال مقاومة الحمل R_L المتغيرة . فعندما تتغير R_L من قيمة ما لانهاية إلى قيم أقل يزداد التيار (I_{DC}) من الصفر إلى قيم أعلى وان هذه العلا قه موضحة ضمن الشكل ، ولغرض إجراء مقارنة بين مجهزات القدرة نستخدم رقم الاستحقاق المسمى تنظيم الفولتية **VR**.



$$VR\% = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} * 100\%$$

حيث أن **VR**- تنظيم الفولتية بالمائة

V_{NL}- فولتية الإخراج المستمرة عند عدم وجود حمل

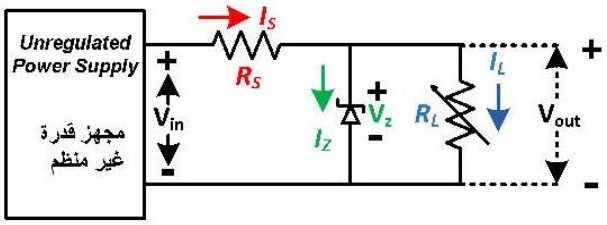
V_{FL}- فولتية الإخراج المستمرة عند حمل كامل

عدم وجود حمل يعني تيار حمل يساوي صفر يعني $(R_L=\infty)$ ، أما الحمل الكامل يعني أعظم تيار حمل يعني R_L قيمتها صغيرة .

ملاحظة : إن قيمة (VR) تقترب من الصفر لمجهزات القدرة المصممة بصورة جيدة وذلك لان فولتية الحمل الكامل تقل قليلاً عن فولتية عدم وجود حمل .

منظم زينر Zener regulator

يستخدم ثنائي زينر كإحدى الطرق لغرض تنظيم الفولتية ،لاحظ الشكل ، حيث أن الفولتية الخارجة من مجهز قدرة غير منظم تستخدم كفولتية إدخال (V_{in}) لمنظم زينر و طالما V_{in} اكبر من V_z فان ثنائي زينر يعمل في منطقة الانكسار ، المقاومة R_S تمنع تيار زينر من تجاوز قيمة التحمل العظمى I_{ZM} .



قيمة التيار المار خلال المقاومة ألمحدده يمكن حسابه بالقانون $$Is = \frac{Vin - Vout}{Rs}$$

إن التيار Is يتجزأ عند نقطة ارتباط مقاومة الحمل (R_L) مع ثنائي زينر، وحسب قانون كيرشوف $I_S = I_Z + I_L$

وعند إهمال ممانعة زينر الصغيرة $V_{out} \approx V_z$

$$I_L = \frac{V_{out}}{R_L}$$

وعند حسابات أدق يجب الأخذ بنظر الاعتبار ممانعة زينر $V_{out} = V_z + I_z Z_z$

المقاومة ألمحدده القصوى

لأجل أن يحافظ منظم زينر على فولتية الاخراج ثابتة يجب أن يكون هناك تيار زينر لجميع فولتيات المصدر وتيارات الحمل . إن أسوء حالة تحدث عندما تكون فولتية المصدر عند اقل قيمه وتيار الحمل عند أعظم قيمه لان تيار زينر يهبط إلى اقل قيمة . ولغرض الحصول على قيمة المقاومة المحددة القصوى المتوالية المسموح بها :

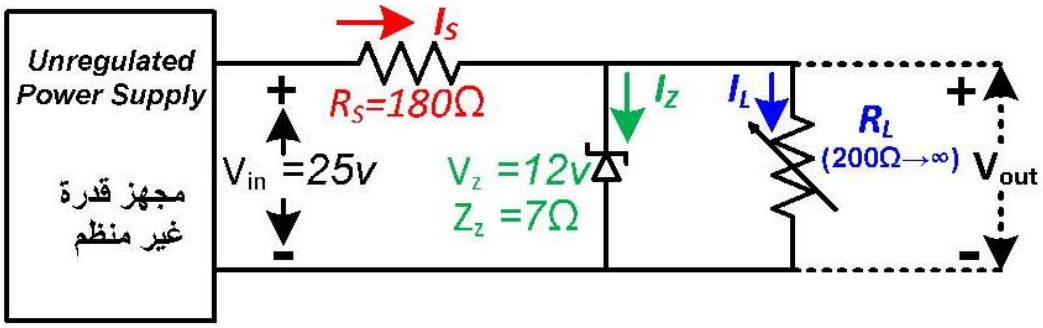
$$R_{S(\max)} = \frac{V_{in(\min)} - V_{out}}{I_{L(\max)}}$$

حيث أن :

- $R_{s(max)}$ - اكبر مقاومة محددة مسموح بها
- $V_{in(min)}$ - اصغر فولتية مصدر ممكنة
- V_{out} - تساوي تقريبا فولتية زينر Vz
- $I_{L(max)}$ - اكبر تيار حمل ممكن

وفي حالة استخدام مقاومة اكبر من $R_{s(max)}$ فان منظم زينر سيتوقف عن التنظيم لفولتيات المصدر المنخفضة ولتيارات الحمل العالية .

مثال : احسب عامل تنظيم الفولتية VR % للدائرة المرسومة أدناه : وهل قيمة R_S مناسبة ؟



الحل: بما أن مصدر ذو فولتية ثابتة فهذا يعني أن :

$$I_S(\min) = I_S(\max) = I_S = \frac{V_{in} - V_Z}{R_S} = \frac{25-12}{180} = 72mA$$

$$I_L(\min) = \frac{V_Z}{R_L(\max)} = \frac{12}{\infty} = 0mA$$

$$I_L(\max) = \frac{V_Z}{R_L(\min)} = \frac{12}{200} = 60mA$$

$$I_Z(\min) = I_S - I_L(\max) = 72 - 60 = 12mA$$

$$I_Z(\max) = I_S - I_L(\min) = 72 - 0 = 72mA$$

$$V_{out}(\min) = V_Z + I_Z(\min) * Z_Z = 12 + 12 * 10^{-3} * 7 = 12.1volt$$

$$V_{out}(\max) = V_Z + I_Z(\max) * Z_Z = 12 + 72 * 10^{-3} * 7 = 12.5volt$$

$$\%V_R = \frac{V_{out}(\max) - V_{out}(\min)}{V_{out}(\min)} * 100 = \frac{12.5-12.1}{12.1} * 100 = 3.3\%$$

وهو عامل تنظيم الفولتية ، وهو المطلوب أولا .

وأما المطلوب الأخر : نعم قيمة R_S مناسبة لأنها أقل من قيمة $R_S(\max)$ التي سوف نجدها من العلاقة التالية :

$$R_S(\max) = \frac{V_{in}(\min) - V_Z}{I_L(\max)} = \frac{25-12}{60 * 10^{-3}} = 216\Omega$$

$$R_S < R_S(\max) \qquad \text{أي أن}$$

س: في دائرة منظم زينر ، أوجد العامل المئوي لتنظيم الفولتية مع رسم الدائرة إذا كانت :

$V_{in} = 30v$, $R_S = 500\Omega$, $V_Z = 10v$, $Z_Z = 10\Omega$, $R_L = (1K\Omega \rightarrow \infty)$

مثال: في دائرة منظم زينر ، احسب قيمة المقاومة R_S مع رسم الدائرة إذا كانت :

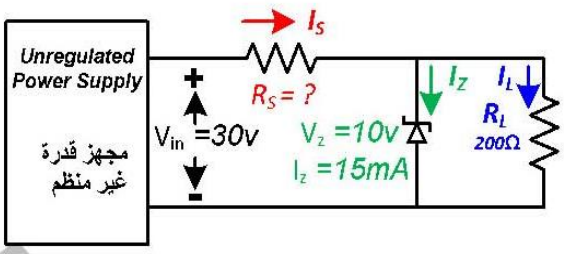
$V_{in} = 30v$, $V_Z = 10v$, $I_Z = 15mA$, $R_L = 200\Omega$

الحل:

$$I_L = \frac{V_Z}{R_L} = \frac{10}{200} = 0.05A = 50mA$$

$$I_S = I_Z + I_L = 15 + 50 = 65mA$$

$$R_S = \frac{V_{in} - V_Z}{I_S} = \frac{30-10}{65*10^{-3}} = 307.6\Omega \approx 300\Omega$$



مثال:

منظم زينر له فولتية إدخال تتغير من (15v →20v) وتيار حمل يتغير من (20mA → 100mA) ، احسب قيمة مقاومة التوالي المحددة إذا كانت (Vz =10v) من اجل إبقاء فولتية الحمل ثابتة تحت جميع الظروف ؟

الحل:

إن أسوأ حالة يمر فيها المنظم عند أصغر فولتية مصدر و أعظم تيار حمل

$$R_{S\,(max)} = \frac{V_{in\,(min)} - V_{out}}{I_{L\,(max)}}$$

$$Vout \cong Vz = 10\ v$$

$$R_{S\,(max)} = \frac{15 - 10}{100 * 10^{-3}} = 50\ \Omega$$

ولذلك يجب اختيار ($Rs<50\Omega$) لكي يعمل المنظم

الترانزستورات ثنائية القطبية

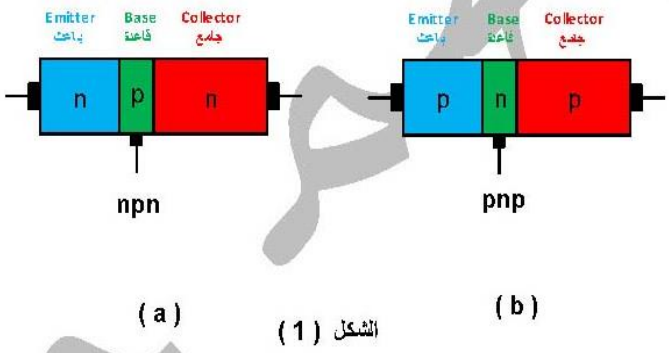
Bipolar Transistors

أصل كلمة ترانزستور مشتقة من الكلمتين (TRANSFER – RESISTOR) بمعنى مقاوم التحويل وهو من أهم العناصر الالكترونية الأساسية . حيث تم إنتاج أول ترانزستور عام ١٩٥١ حيث فتح المجال أمام تصنيع الدوائر المتكاملة وبتطور الأخير أنتج المعالج الدقيق في عام ١٩٧١ . حيث أصبحت الأخيرة أساسا لبناء الحاسبات الالكترونية وانتشارها الواسع كما تراه في الوقت الحاضر .

يعرف الترانزستور على انه عنصر الكتروني ثلاثي الطبقة ثنائي القطبية أي تشترك الالكترونات والفجوات في ميكانيكية عمل لإنتاج التيارات المختلفة فيه .

مناطق الترانزستور :

يبين الشكل (1a) بلورة نوع npn وقد طعم الباعث emitter بغزارة ، وان عمله هو حقن أو بعث الالكترونات إلى القاعدة base وتكون رقيقه وخفيفة التطعيم وتقوم بتمرير معظم الالكترونات المحقونة إلى الجامع collector والذي يكون تطعيمه بين تطعيم الباعث الغزير و تطعيم القاعدة الخفيف ويكون هو الأكبر بين المناطق الثلاث وعليه أن يبدد حرارة أكثر مما يبدده الباعث و القاعدة

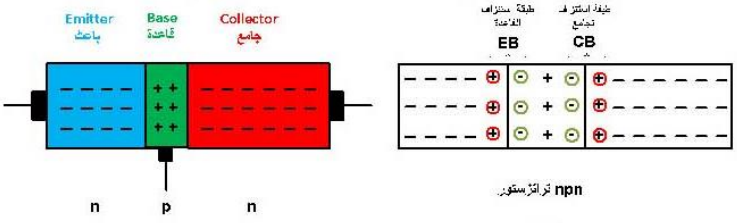


(a) الشكل (1) (b)

الترانزستور عبارة عن ثنائيين ، ندعو الثنائي الواقع إلى اليسار بثنائي الباعث- القاعدة وندعوه للبساطة ثنائي الباعث emitter diode ، أما الثنائي الواقع على اليمين فيسمى ثنائي الجامع- القاعدة وللسهولة ثنائي الجامع collector diode . أما الاحتمال الأخر للترانزستور فهو الترانزستور pnp المتمم للترانزستور npn وهذا يعني اتجاه التيارات والفولتيات في الترانزستور pnp عكس اتجاه التيارات والفولتيات في الترانزستور npn .

الترانزستور الغير المنحاز :

يبين الشكل (2a) الحاملات الغالبية قبل تحرك أي منها عبر الوصلتين . إن الالكترونات الحرة تنتشر عبر الوصلتين مما تؤدي إلى تكوين طبقتي استنزاف كما في الشكل (2b) لكل طبقة استنزاف يكون الجهد الحاجز (0.7v) للترانزستورات السليكونية ويساوي (0.3v) في ترانزستورات الجرمانيوم .



الشكل (2)

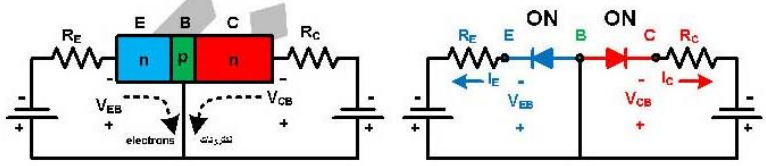
وبما أن المناطق الثلاثة لها مناسيب تطعيم مختلفة لا يكون لطبقتي الاستنزاف نفس العرض ، فطبقة الاستنزاف تنفذ اقل كلما كان التطعيم أكثر غزارة ، (كلما كان تطعيم منطقة ما غزيرا كان تركيز الايونات قرب الوصلة أعظم ، إن هذا يعني أن طبقة الاستنزاف تنفذ فقط قليلا في الباعث ولكنها تنفذ عميقا في القاعدة ، أما طبقة استنزاف الجامع فتنفذ عميقا في القاعدة وتنفذ في الجامع بعمق أقل) .

طرق تحييز الترانزستور :

هناك عدة طرق لتحييز الترانزستور .

انحياز أمامي- أمامي (Forward-Forward) (FF):

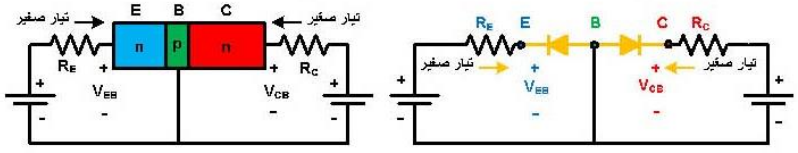
إن هذا الانحياز والموضح في الشكل (3a) سمي أمامي - أمامي لأن ثنائي الباعث و ثنائي الجامع منحازان أماميا ، إن الحاملات تعبر الوصلتين وتجري نازلة خلال القاعدة إلى سلك التوصيل الخارجي .



الشكل (3)
الدائرة المكافئةلإنحياز (FF)

انحياز عكسي- عكسي Reverse -Reverse (RR):

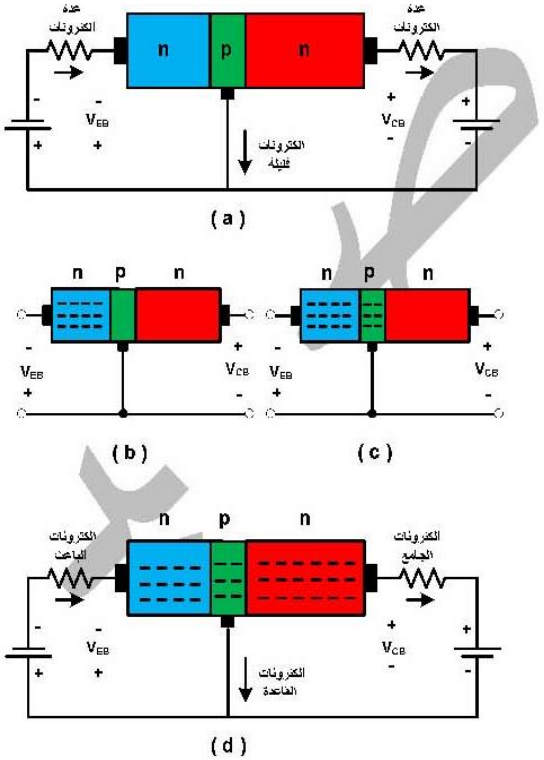
نلاحظ في هذا الانحياز والموضح في الشكل (4a) إن الثنائيان منحازان عكسيا وبذلك تسري تيارات ضعيفة جدا والمتكونة من تيار التشبع المنتج حراريا وتيار التسرب السطحي ويمكن إهمال هذه التيارات العكسية لصغرها .



الشكل (4)
الدائرة المكافئة لإنحياز (RR)

انحياز أمامي - عكسي *Forward-Reverse (FR)* :

عندما نحيز ثنائي الباعث أماميا ونحيز ثنائي الجامع عكسيا ، الشكل (5a) فإننا نتوقع تيار باعث كبير ونتوقع تيار جامع صغير جدا أو معدوم . ولكن الذي نحصل عليه هو تيار جامع كبير وهذا السبب في كون الترانزستور هو اختراع عظيم . وفيما يلي صورة توضيحية موجزة عن سبب حصولنا على تيار جامع كبير . نتصور أن تياراً ثابتا من الالكترونات يغادر الطرف السالب من المصدر ويدخل منطقة الباعث . يؤدي الانحياز الأمامي لثنائي الباعث إلى إرغام الكترونات الباعث هذه على دخول منطقة القاعدة . وتعطي القاعدة الرقيقة والخفيفة التطعيم لمعظم هذه الالكترونات زمن بقاء كاف يتيح لها الانتشار إلى طبقة استنزاف الجامع وبعد ذلك يقوم مجال طبقة الاستنزاف بدفع تيار ثابت من الالكترونات إلى منطقة الجامع . تغادر هذه الالكترونات الجامع داخلة إلى سلك توصيل الجامع الخارجي ثم إلى الطرف الموجب من مصدر فولتية الجامع ، الشكل (5b) . إن أكثر من (95%) من الكترونات الباعث المحقونة إلى القاعدة تعبر إلى الجامع واقل من (5%) تسقط في فجوات القاعة وتسير خارجة من سلك توصيل القاعدة .



الشكل (5) إنحياز (FR)

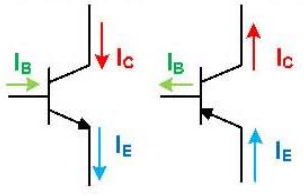
(a) الدائرة الحقيقية (b) الكترونات حرة في الباعث

(c) الكترونات حرة تدخل القاعدة (d) الكترونات حرة تنتشر الى الجامع

تيارات الترانزستور :

الشكل (6) يبين رموز واتجاهات تيارات الترانزستورات نوع npn وpnp ، حيث أن اتجاه تيار الباعث يتبع نفس اتجاه السهم الموجود على الرمز الخاص بالترانزستور وتياري القاعدة والجامع الاتجاه العكسي .

$$I_E = I_C + I_B$$



الشكل (6)

ألفا dc : (α_{dc})

هو النسبة بين تيار الجامع إلى تيار الباعث . وكما ذكرنا سابقا بان (95%) من الكترونات الباعث تصل إلى الجامع وهذا يعني أن تيار الجامع يساوي تقريبا تيار الباعث وكلما كانت القاعدة ارق واخف تطعيم كان تيار الجامع اقرب أكثر إلى قيمة تيار الباعث .

$$\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E} \quad \text{فمثلا لو قسنا } (I_C = 4.9mA) \text{ و} (I_E = 5mA) \longrightarrow \alpha_{dc} = \frac{4.9}{5} = 0.98$$

بيتا dc : (β_{dc})

هو النسبة بين تيار الجامع إلى تيار القاعدة

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B}$$

في معظم الترانزستورات اقل من (5%) من الكترونات الباعث المنبعثة تلتحم مع فجوات القاعدة منتجة تيار القاعدة I_B ولذلك يكون β_{dc} اكبر من (20) ، وهو يتراوح (50-200) وقد تصل إلى (1000) .

يطلق على β_{dc} اسم كسب التيار المستمر ويرمز له في نظام الثوابت الهجينة h_{FE}

العلاقات بين α_{dc} و β_{dc} :

اثبت العلاقة

$$\alpha_{dc} = \frac{\beta_{dc}}{1+\beta_{dc}} \qquad \beta_{dc} = \frac{\alpha_{dc}}{1-\alpha_{dc}}$$

$$I_E = I_C + I_B \qquad I_B = I_E - I_C$$

$$\frac{I_E}{I_C} = \frac{I_C}{I_C} + \frac{I_B}{I_C} \qquad \frac{I_B}{I_C} = \frac{I_E}{I_C} - \frac{I_C}{I_C}$$

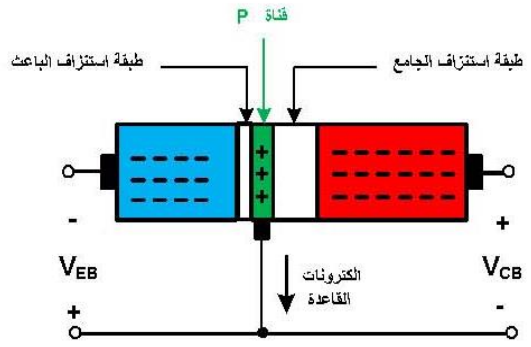
$$\frac{1}{\alpha_{dc}} = 1 + \frac{1}{\beta_{dc}} \qquad \frac{1}{\beta_{dc}} = \frac{1}{\alpha_{dc}} - 1$$

$$\frac{1}{\alpha_{dc}} = \frac{\beta_{dc}+1}{\beta_{dc}} \qquad \frac{1}{\beta_{dc}} = \frac{1-\alpha_{dc}}{\alpha_{dc}}$$

$$\alpha_{dc} = \frac{\beta_{dc}}{1+\beta_{dc}} \qquad \beta_{dc} = \frac{\alpha_{dc}}{1-\alpha_{dc}}$$

مقاومة امتداد القاعدة :

لترانزستور ثنائي القطبية طبقتي استنزاف تخترقان القاعدة ، وإذا أخذنا ترانزستور npn فان فجوات القاعدة تقتصر على قناة ضيقة من شبه الموصل نوع p كما موضح في الشكل (7) وبزيادة الانحياز العكسي على ثنائي الجامع أي زيادة V_{CB} يزداد عرض طبقة استنزاف الجامع وهذه تقلل عرض القناة التي تحوي فجوات القاعدة وهذا يعني أن هناك عدد اقل من فجوات القاعدة الجاهزة لإعادة الالتحام . إن مقاومة القناة p تسمى مقاومة امتداد القاعدة ويرمز لها r'_b وتعتمد قيمة هذه المقاومة على عرض القناة p وعلى تطعيم القاعدة ونموذجيا تتراوح قيمتها بين Ω (50-150) وفي حالات نادرة تصل إلى (1000Ω) .



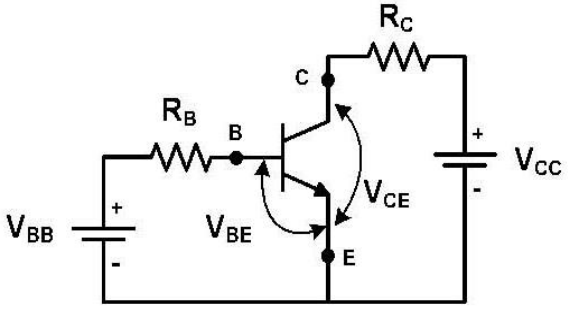
الشكل (7) مقاومة امتداد القاعدة

فولتيات الانكسار :

لقد علمنا من المواضيع السابقة بان الترانزستور عبارة عن ثنائيان . ولذلك بإمكان فولتية عكسية كبيرة على ثنائي الجامع أن تسبب انكسار . فعندما تكون V_{CB} كبيرة يحصل انكسار في ثنائي الجامع بسبب الانهيار أو ظاهرة التواصل . التواصل يعني أن طبقة استنزاف الجامع صارت عريضة بحيث تصل إلى طبقة استنزاف الباعث وفي هذه الحالة تنبعث الكترونات الباعث مباشرة إلى طبقة استنزاف الجامع وهذا يؤدي إلى تيار جامع كبير وبالتالي تلف الترانزستور . ولذلك يجب أن تبقى فولتية الجامع اقل من فولتية الانكسار المبينة في استمارة المعلومات للمصنع .

الربط بطريقة الباعث المشترك (*Common Emitter (CE)*) :

إن الربط بطريقة الباعث المشترك يعني أن الباعث ومصدرا الفولتية يتصلان بنقطة مشتركة ، الشكل (8) . إن هذه الدائرة تسمى بربط الباعث المشترك (*CE*) .



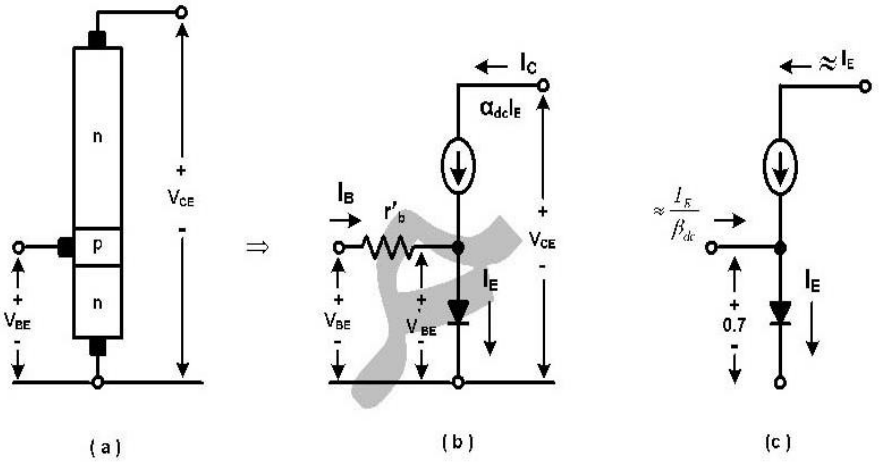
الشكل (8)

الدائرة التي سبق شرحها شكل (5) تسمى ربط القاعدة المشتركة (CB) لان القاعدة ومصدري الفولتية مربوطة إلى نقطة مشتركة .

الدائرة المكافئة للترانزستور :

لأجل توضيح عمل الترانزستور يمكننا استخدام الدائرة المكافئة المبينة بالشكل (9b) فالفولتية V'_{BE} هي الفولتية عبر طبقة استنزاف الباعث وعندما تكون هذه الفولتية حوالي (0.7v) أو اكبر يبعث الباعث الكترونات إلى القاعدة وبما أن التيار في ثنائي الباعث يسيطر على تيار الجامع ولهذا السبب فان مصدر تيار الجامع يجبر تيار مقداره ($\alpha_{dc} I_E$) على المرور في دائرة الجامع كل هذا مع فرض أن (V_{CE}) اكبر أو حوالي الفولت وإلا فان ثنائي الجامع لا يكون منحاز عكسيا وبذلك لا يعمل الترانزستور بصورة طبيعية . إن الفولتية V'BE تختلف عن الفولتية المسلطة V_{BE} بمقدار الهبوط عبر r'_b .

$$V_{BE} = V'_{BE} + I_B r'_b$$



الشكل (9)

ولكن هبوط الفولتية عبر r'_b يكون صغيرا بحيث يمكن إهماله لذلك يكون ($V_{BE} \cong V'_{BE}$) ولذلك فان الدائرة المكافئة في الشكل (9c) سنستخدمها في تحليلاتنا الأولية .

مثال:

إذا علمت أن لترانزستور ما تيار باعث ($I_E = 20mA$) ، ($\beta_{dc} = 100$) اوجد ؟

تيار الجامع (I_c) ، تيار القاعدة (I_B) ، (α_{dc})

$$\alpha_{dc} = \frac{\beta_{dc}}{1+\beta_{dc}} = \frac{100}{1+100} = \frac{100}{101} = 0.99$$

$$\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E}$$

$$I_C = \alpha_{dc} * I_E = 0.99 * 20 = 19.8mA$$

$$I_B = I_E - I_C = 20 - 19.8 = 0.2mA$$

منحنيات الترانزستور :

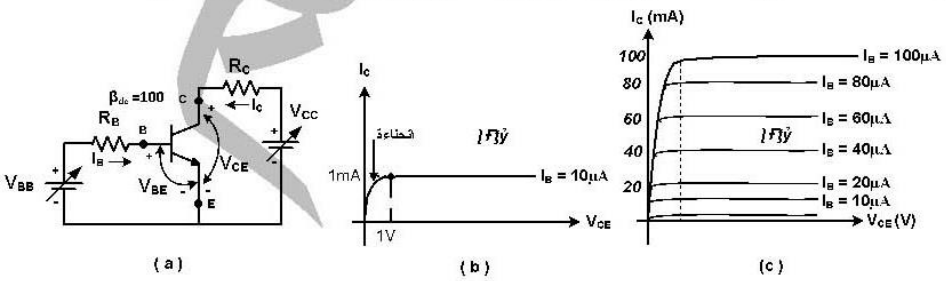
من الطرق التي تشرح معظم تفاصيل عمل الترانزستور هي المنحنيات البيانية التي تربط بين تيارات الترانزستور و فولتياته .

منحنيات الجامع (منحنيات خواص الإخراج)

يمكننا الحصول على معلومات لمنحنيات الجامع بربط (CE) وذلك ببناء دائرة كما في الشكل (10a) .

إن الفكرة هي تغيير قيم المجهزين V_{BB} و V_{CC} بأسلوب معين للحصول على فولتيات وتيارات مختلفة للترانزستور .

إن طريقة العمل الاعتيادية هي إعطاء I_B قيمة معينة وإبقائها ثابتة في أثناء تغيير قيمة Vcc وبقياس قيم Ic وV_{CE} يمكننا الحصول على معلومات لرسم Ic مع V_{CE} ولغرض التوضيح نفرض أن (I_B =10μA) في الشكل (10a) ألخطوه التي تليها نغير V_{CC} ونقيس Ic و V_{CE} الناتجين ولو رسمنا المعلومات لحصلنا الشكل (10b) لاحظ بأننا اشرنا على المنحني بالكتابة(I_B=10mA) لأننا حصلنا على هذا المنحني بإبقاء I_B ثابتا على (10μA) خلال القياسات .



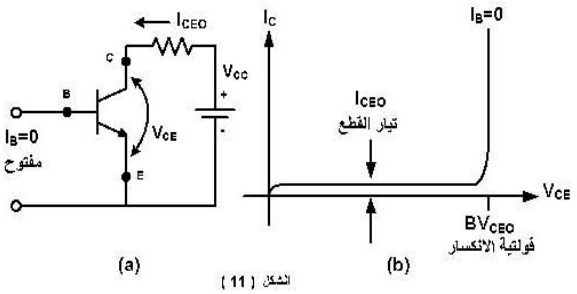
الشكل (10)

عندما تكون (V_{CE}) صفر لايكون ثنائي الجامع منحاز عكسيا لذلك يكون تيار الجامع صغير جدا لقيم V_{CE} المتراوحة بين الصفر وحدود الواحد فولت . حيث أن الانحياز العكسي يأخذ حوالي (0.7v) لجعل ثنائي الجامع منحاز عكسيا ، وحال الوصول إلى هذا المستوى . يجمع الجامع كل الالكترونات التي تصل إلى طبقة استنزافه . نلاحظ أن هناك زيادة قليلة في تيار الجامع بعد الانحناءة مع زيادة V_{CE} وسبب زيادة التيار هو زيادة عرض طبقة استنزاف الجامع واعتقال الكترونات قليلة أخرى من القاعدة قبل سقوطها في الفجوات .

ولو بينا عدة منحنيات لقيم مختلفة من (I_B) على نفس المخطط البياني نحصل على منحنيات الجامع البيانية الموضح بالشكل (10c) وبما إنا استخدمنا ترانزستور له (β_{dc} = 100) يكون تيار الجامع مائة مرة اكبر من تيار القاعدة لأية نقطة فوق المفصل لأي منحني .

تيار القطع وفولتية الانكسار :

إن اخفض منحني من منحنيات الجامع بالشكل (10c) يقابل تيار قاعدة مقداره صفر أي وكأنه فتح سلك القاعدة الموصل لاحظ الشكل (11a) . ويسمى تيار الجامع عندما يكون طرف القاعدة مفتوحا I_{CEO} . وقد نتج قسم من I_{CEO} بسبب الحاملات المنتجة حراريا وكذلك بسبب تيار السطح التسربي . لاحظ الشكل (11b)
وعند زيادة فولتية الجامع إلى قيم عالية تصل إلى فولتية الانكسار المعنونة BV_{CEO} .
ولأجل أن يعمل الترانزستور بصورة طبيعية يجب أن تبقى V_{CE} اقل من BV_{CEO} وعادة تكون قيم فولتية الانكسار من اقل من 20v إلى أكثر من 200v حسب نوع الترانزستور .

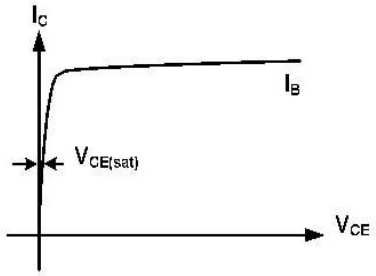


الشكل (11)

فولتية تشبع الجامع :

لأجل أن يعمل الترانزستور بصورة اعتيادية يجب أن يكون ثنائي الجامع منحاز عكسيا ويتطلب ذلك V_{CE} اكبر من أو في حدود الواحد فولت وهذا يعتمد على مقدار تيار الجامع المار .

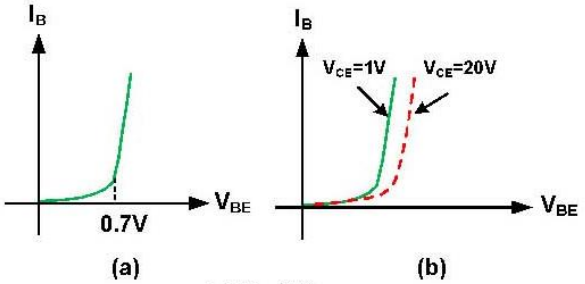
لاحظ الشكل (12) . ماذا تعني $V_{CE(sat)}$ فهي قيمة الفولتية V_{CE} عند نقطة ما تحت الانحناءة وهي تساوي نموذجيا بضع أعشار من الفولت وعند تيارات جامع كبيرة جدا تجتاز الواحد فولت إن جزء المنحني الذي يقع تحت المفصل والموضح في الشكل (12) يسمى منطقة التشبع .



الشكل (12)

منحنى القاعدة : (منحنيات خواص الإدخال)

من الشكل (10a) يمكننا الحصول على المعلومات I_B و V_{BE} ليمكننا رسم منحني القاعدة (منحني خواص الإدخال) والمبين بالشكل (13a)



الشكل (13)

من المتوقع أن المنحني يشابه منحني ثنائي في الاتجاه الأمامي لان جزء القاعدة والباعث من الترانزستور عبارة عن ثنائي . عند زيادة فولتية الجامع فان طبقة استنزاف الجامع يزداد عرضها وهذا يؤدي إلى نقصان قليل في تيار القاعدة بسبب اعتقال طبقة استنزاف الجامع لالكترونات قاعدة قليلة أخرى . وعند رسم منحني قاعدة لفولتية جامع مختلفة يظهر لنا منحني جديد مختلف قليلا عن السابق لاحظ الشكل (13b) . عندما نثبت قيمة V_{BE}للمنحني في الشكل (13a) ونرفع فولتية V_{CE} نلاحظ أن تيار القاعدة يكون أصغر لان طبقة استنزاف الجامع تعتقل الكترونات قاعدة قليلة أخرى قبل أن تسقط في فجوات القاعدة ، ونتيجة لذلك يكون تيار القاعدة اصغر وكما تلاحظ في الشكل (13b) . إن المسافة بين المنحنيين قريبة ولذلك تؤخذ بنظر الاعتبار عند طلب أجوبة دقيقة .

دوائر انحياز الترانزستور :

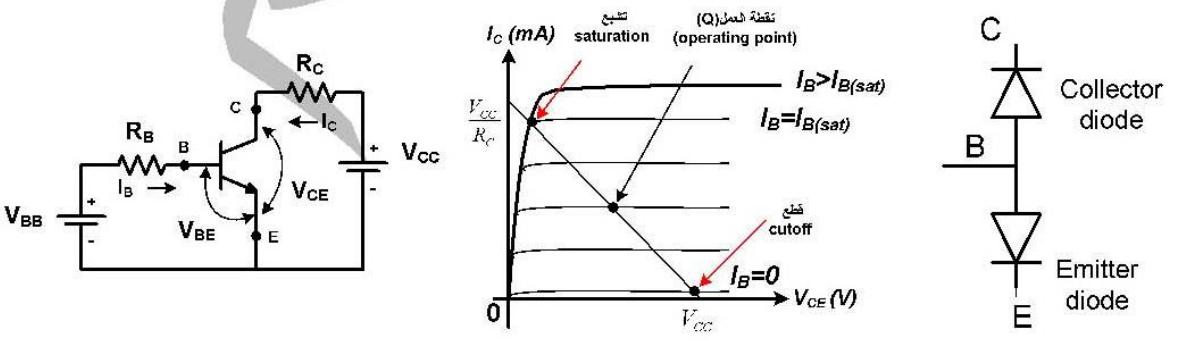
تعمل دوائر الترانزستور الخطية *linear* بانحياز أمامي على ثنائي الباعث وانحياز عكسي على ثنائي الجامع .

ومن الطرق الشائعة لتحييز الترانزستور للعمل الخطي :-

أ- إنحياز القاعدة . ب- إنحياز مقسم الجهد . ج- إنحياز بالتغذية الخلفية للجامع . د- إنحياز الباعث . . . . . وغيرها

انحياز القاعدة *Base-bias*

الشكل (1-a) عبارة عن مثال على إنحياز القاعدة



(a) Base bias إنحياز القاعدة

(b) Dc load line خط الحمل المستمر

الشكل (1)

حيث يحيز مصدر فولتية V_{BB} ثنائي الباعث أماميا خلال مقاوم محدد للتيار R_B .

الفولتية عبر R_B حسب قانون كيرشوف للفولتية هي $V_{BB} - V_{BE}$ ، وبذلك يكون تيار القاعدة حسب قانون اوم للتيار

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

حيث أن ($V_{BE} = 0.7v$) لترانزستورات السليكون و ($V_{BE} = 0.3v$) لترانزستورات الجرمانيوم .

خط الحمل المستمر (dc load line)

في دائرة الجامع . يعمل مصدر الفولتية V_{CC} على تحييز ثنائي الجامع عكسيا خلال R_C .

بالاستعانة بقانون كيرشوف للفولتية $\boxed{V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C}$

في معظم الدوائر . تكون (V_{CC} ، R_C) ثابتة و (V_{CE} ، I_C) متغيرة

نستطيع إعادة ترتيب المعادلة السابقة للحصول على

$$I_C = -\frac{V_{CE}}{R_C} + \frac{V_{CC}}{R_C}$$

هذه معادلة خطية تشبه $y = mx + b$

التي تمثل خطا مستقيم بانحدار مقداره m وتقاطع عمودي مقداره b على محور التيار والممثلة بالشكل (1b) حيث نرى أن التقاطع العمودي مقداره (V_{CC}/R_C)والتقاطع الأفقي مقداره (V_{CC}) وبانحدار يساوي ($-1/R_C$) . ويسمى هذا الخط بإسم خط الحمل المستمر (*dc load line*) لأنه يمثل جميع نقاط العمل الممكنة . إن نقطة عمل الترانزستور هي نقطة تقاطع خط الحمل المستمر مع تيار القاعدة ويرمز لها بنقطة (Q) .

القطع والتشبع cutoff and saturation

تعرف نقطة تقاطع خط الحمل المستمر بالمنحني ($I_B = 0$) بالقطع *cutoff* .

في هذه النقطة ، تيار القاعدة ($I_B = 0$) ويكون تيار الجامع (I_C) صغير جدا (يوجد تيار التسرب I_{CEO} فقط) .

عند القطع ، يخرج ثنائي الباعث من الانحياز الأمامي ويفقد الترانزستور عمله الطبيعي .

كتقريب دقيق ، تكون فولتية الجامع إلى الباعث : $\boxed{V_{CE(cutoff)} = V_{CC}}$

إن تقاطع خط الحمل والمنحني ($I_B = I_{B(sat)}$) [تيار القاعدة] يدعى بالتشبع *saturation*

في هذه النقطة ، تيار القاعدة يساوي ($I_{B(sat)}$) ويكون لتيار الجامع (I_C) قيمة عظمى .

عند التشبع ، يخرج ثنائي الجامع من الانحياز العكسي ويفقد الترانزستور عمله الطبيعي

كتقريب دقيق ، يكون تيار الجامع عند التشبع : $\boxed{I_{c(sat)} \approx \frac{V_{cc}}{R_c}}$

وأقل تيار قاعدة يحدث التشبع هو : $\boxed{I_{B(sat)} = \frac{I_{c(sat)}}{\beta_{dc}}}$

الفولتية بين الجامع والباعث عند التشبع هي $V_{CE} = V_{CE(sat)}$

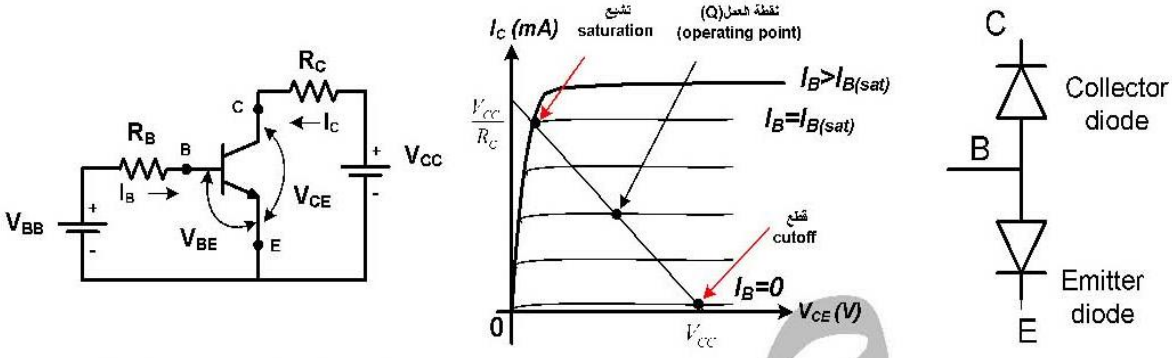
حيث تبين $V_{CE(sat)}$ في استمارة المعلومات . قيمتها (نموذجيا) بضع أعشار من الفولت .

لا يزداد تيار الجامع إذا زاد تيار القاعدة عن $I_{B(sat)}$ لأن ثنائي الجامع لم يعد منحازا عكسيا

وبعبارة اخرى ، فإن تقاطع خط الحمل مع منحني قاعدة أعلى ينتج نفس نقطة التشبع ، الشكل (1- b) .

المنطقة الفعالة active region

تعتبر جميع نقاط العمل الواقعة بين القطع والتشبع هي المنطقة الفعالة للترانزستور. ويكون ثنائي الباعث منحازا أماميا في المنطقة الفعالة ، كما يكون ثنائي الجامع منحازا عكسيا . ونستطيع إيجاد تيار القاعدة (I_B) في أية دائرة ذات إنحياز قاعدة. إن نقطة تقاطع تيار القاعدة هذا مع خط الحمل هي النقطة الهامدة (Q) quiescent point في الشكل (1- b)

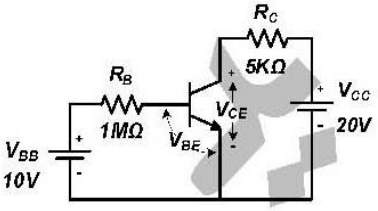


(a) Base bias إنحياز القاعدة

(b) Dc load line خط الحمل المستمر

الشكل (1)

مثال :



للترانزستور السليكوني في الدائرة أدناه ($\beta_{dc} = 100$) احسب الفولتية بين الباعث والجامع V_{CE} ؟

الحل:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_B = \frac{10 - 0.7}{1*10^6} = 9.3\mu A$$

$$I_C = \beta_{dc} * I_B$$

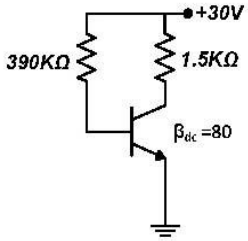
$$I_C = 100 * 9.3\mu A = 0.93mA$$

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

$$V_{CE} = 20 - 0.93*10^{-3} * 5*10^3 = 15.4v$$

مثال:

في الدائرة الموضحة أدناه ارسم خط الحمل المستمر وعين إحداثيات نقطة العمل(Q) ؟



الحل:

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{30}{1.5*10^3} = 0.002\,A = 20mA$$

$$V_{CE(cutoff)} = V_{CC} = 30v$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{30 - 0.7}{390*10^3} = 0.0000715\,A$$

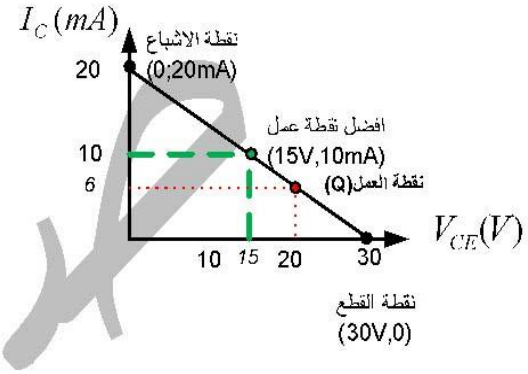
$$I_B = 71.5\mu A$$

$$I_{CQ} = \beta_{dc} * I_B = 80 * 0.0000715 = 0.006008\,A$$

$$I_{CQ} \cong 6mA$$

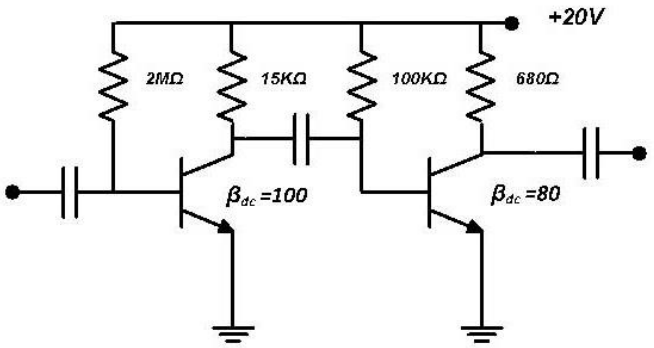
$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} * R_C$$

$$V_{CEQ} = 30 - 0.006 * 1.5*10^3 = 30 - 9 = 21v$$



مثال :

اوجد إحداثيات خط الحمل المستمر ونقطة العمل لكل مرحلة في الشكل الموضح أدناه ؟



الحل: في حالة التيار المستمر نتصور أن جميع المتسعات كدوائر مفتوحة.

وبذلك لا تمتلك التيارات المستمرة للترانزستور الأول تأثيرا على الترانزستور الثاني .

المرحلة الأولى

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{20}{15*10^3} = 0.001333\,A = 1.33mA$$

$$V_{CE(cutoff)} = V_{CC} = 20v$$

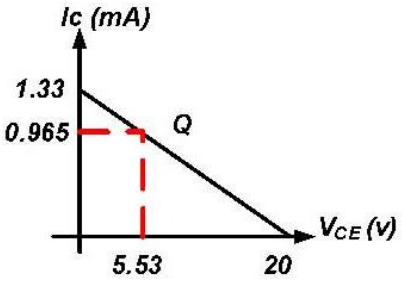
$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{20 - 0.7}{2*10^6} = 0.00000965\,A = 9.65\mu A$$

$$I_{CQ} = \beta_{dc} * I_{BQ} = 100 * 0.00000965 = 0.000965\,A$$

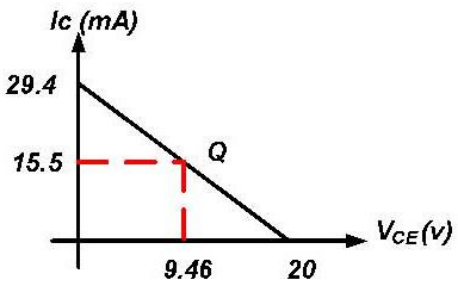
$$I_{CQ} = 0.965mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} * R_C = 20 - 0.000965 * 15 * 10^3$$

$$V_{CEQ} = 5.53v$$



المرحلة الاولى



المرحلة الثانية

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{20}{680} = 0.0294\,A = 29.4mA$$

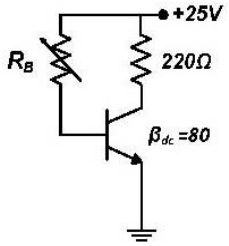
$$V_{CE(cutoff)} = V_{CC} = 20v$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{20 - 0.7}{100 * 10^3} = 0.000193\,A = 0.193mA$$

$$I_{CEQ} = \beta_{dc} * I_{BQ} = 80 * 0.193mA = 15.5mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} * R_C = 20 - 15.5 * 10^{-3} * 680 = 9.46v$$

مثال:



في الدائرة الموضحة أدناه إذا كان للترانزستور ($\beta_{dc} = 80$) و ($V_{CE(sat)} = 0.1v$) وقد ضبطت R_B للحصول على التشبع . احسب قيمة $I_{C(sat)}$ ؟ وما قيمة R_B لذلك ؟

الحل:

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{25}{220} = 0.114\,A = 114mA$$ وهذا أقصى تيار جامع يمكن الحصول عليه

$$I_{B(sat)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta_{dc}} = \frac{114mA}{80} = 1.43mA$$ تيار القاعدة عند التشبع

$$R_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{I_{B(sat)}} = \frac{25 - 0.7}{1.43 * 10^{-3}} = 17K\Omega$$ أما قيمة مقاومة القاعدة عند التشبع

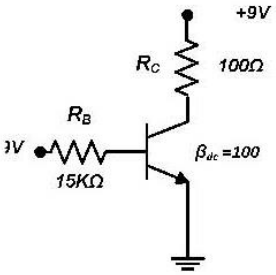
مثال :

في دائرة انحياز القاعدة الموضحة في الشكل أدناه

1- اوجد إحداثيات نقطة العمل Q

2- ارسم خط الحمل المستمر

3- اوجد قيمة مقاومة القاعدة R_B التي تجعل نقطة العمل Q في وسط خط الحمل المستمر



الحل:

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{9}{100} = 0.9A = 90mA$$

$$V_{CE(cutoff)} = V_{CC} = 9v$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{9 - 0.7}{15 * 10^3} = 0.0005533\,A = 0.5533mA$$

$$I_{CQ} = \beta_{dc} * I_{BQ} = 100 * 0.5533mA = 55.33mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} * R_C = 9 - 55.33 * 10^{-3} * 100 = 3.46v$$

$$(\frac{I_{CQ(sat)}}{2}; \frac{V_{CE(cutoff)}}{2})$$

إحداثيات نقطة العمل في منتصف خط الحمل

$$I_{CQ(m)} = \frac{I_{C(sat)}}{2} = \frac{90mA}{2} = 45mA$$

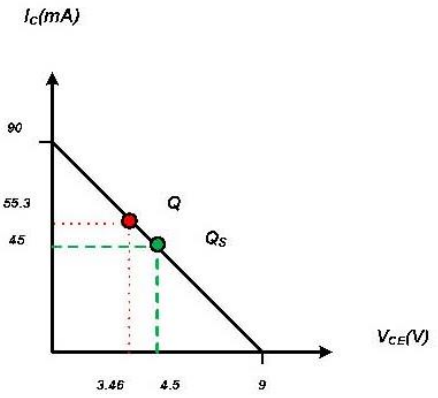
$$V_{CEQ(m)} = \frac{V_{CE(cutoff)}}{2} = \frac{9v}{2} = 4.5v$$

ولذلك سيكون

الرمز(m) نعني به وسط وهو للتوضيح

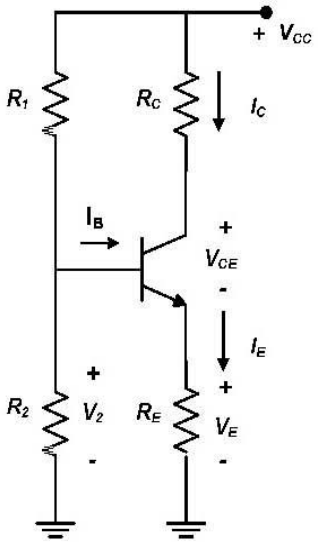
$$I_{BQ(m)} = \frac{I_{CQ(m)}}{\beta_{dc}} = \frac{45mA}{100} = 0.45mA$$

$$R_{B(m)} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{I_{BQ(m)}} = \frac{9 - 0.7}{0.45 * 10^{-3}} = 18.44K\Omega$$



انحياز مقسم الفولتية Voltage-divider bias

يبين الشكل (2) انحياز مقسم الفولتية وهو الأوسع انتشارا. إن تسمية مقسم الفولتية جاءت من مقسم الفولتية المتكون من R_1 و R_2 . إن الفولتية على R_2 تعمل على جعل ثنائي الباعث منحاز أماميا . ويعمل المجهز Vcc على جعل ثنائي الجامع منحاز عكسيا



الشكل (2)

إن عمل دائرة مقسم الفولتية يتلخص بما يلي
يكون تيار القاعدة صغيرا جداً مقارنة بالتيار في R_1 وبالتيار في R_2
وبذلك نستطيع تطبيق قانون مقسم الفولتية لإيجاد قيمة V_2 عبر المقاومة R_2 :

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

وحسب قانون كيرشوف للفولتية :

$$V_E = V_2 - V_{BE}$$

وبذلك يمكننا حساب قيمة تيار الباعث (I_E)

$$I_E = \frac{V_2 - V_{BE}}{R_E}$$

وان تيار الباعث يساوي تقريباً تيار الجامع

$$I_C \cong I_E$$ وهذا يمثل الاحداثي الصادي لنقطة العمل (Q)

أما الفولتية بين الجامع والأرض $V_C = V_{CC} - I_C R_C$

الفولتية بين الباعث والأرض $V_E = I_E R_E$

وبذلك تكون الفولتية بين الجامع والباعث

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

$$I_C \cong I_E$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E)$$ وهذا يمثل الاحداثي السيني لنقطة العمل (Q)

إن تيار تشبع الترانزستور في انحياز مقسم الفولتية يمكن حسابه كما يلي

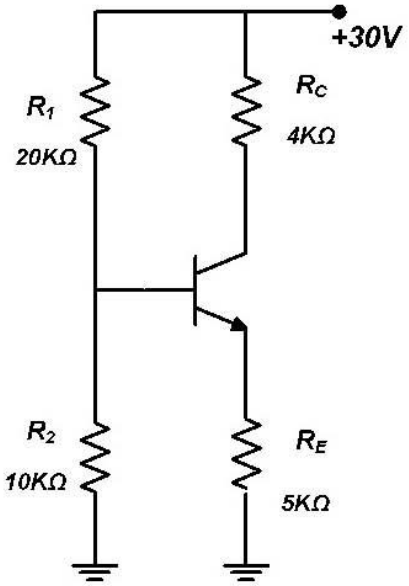
$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

أما فولتية القطع حيث لا يمر تيار في الجامع وبذلك تظهر فولتية المجهز على طرفي الجامع و الباعث

$$V_{CE(cutoff)} = V_{CC}$$

مثال :

ارسم خط الحمل المستمر وعين نقطة العمل (Q) للدائرة المبينة أدناه ؟



لرسم خط الحمل المستمر نعين فولتية القطع و تيار التشبع

$$V_{CE(cutoff)} = V_{CC} = 30v$$

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

$$I_{C(sat)} = \frac{30}{(4+5)*10^3}$$

$$I_{C(sat)} = 0.00333A = 3.33mA$$

لتعيين نقطة العمل (Q)

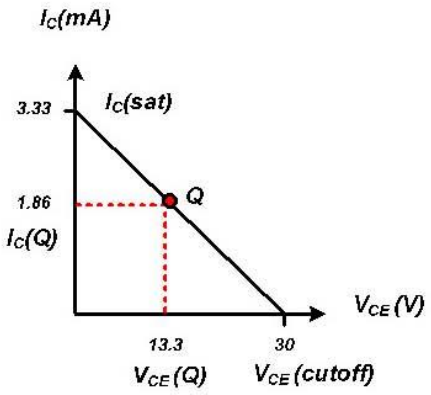
$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{CC} = \frac{10K}{20K + 10K} * 30v = 10v$$

$$I_E = \frac{V_2 - V_{BE}}{R_E} = \frac{10 - 0.7}{5*10^3} = 0.00186\,A = 1.86mA$$

$$I_{CQ} \cong I_E = 1.86mA$$

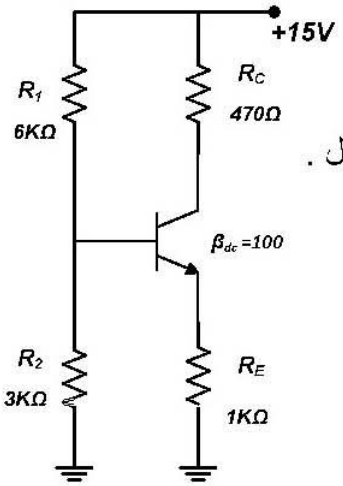
$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E) = 30 - 1.86*10^{-3} * (4+5)*10^3$$

$$V_{CEQ} = 13.3v$$



مثال :

في الشكل أدناه اوجد القيمة الدقيقة لتيار الباعث علما أن ($V_{BE} = 0.7$) ؟



لو فتحنا طرف القاعدة . يكون مقسم الفولتية غير محمل .

نطبق نظرية ثفنن :

$$V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{CC}$$

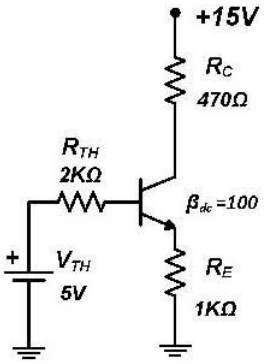
$$V_{TH} = \frac{3K}{6K + 3K} * 15v$$

$$V_{TH} = 5v$$

$$R_{TH} = R_1 // R_2$$

$$R_{TH} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2} = \frac{6 * 3}{6 + 3}$$

$$R_{TH} = 2K\Omega$$



لاحظ شكل الدائرة المكافئة

نطبق قانون كيرشوف للفولتية على دارة القاعدة والباعث

$$I_B R_{TH} + V_{BE} + I_E R_E - V_{TH} = 0$$

وبما أن

$$I_C \cong I_E$$

$$I_B \cong I_E / \beta_{dc}$$

وبذلك نستطيع كتابة المعادلة بالصيغة التالية :

$$\frac{R_{TH}}{\beta_{dc}} I_E + I_E R_E + V_{BE} - V_{TH} = 0$$

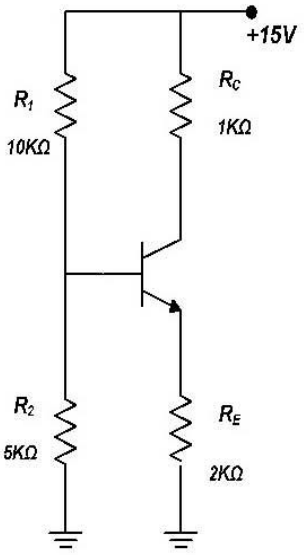
$$I_E \left(R_E + \frac{R_{TH}}{\beta_{dc}} \right) = V_{TH} - V_{BE}$$

$$I_E = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_E + R_{TH} / \beta_{dc}} = \frac{5 - 0.7}{1000 + 2000/100}$$

$$I_E = \frac{4.3}{1020} = 0.00422A = 4.22mA$$

مثال :

لدائرة مقسم الفولتية المبينة بالشكل أدناه (1- ارسم خط الحمل المستمر 2- اوجد إحداثيات نقطة العمل Q
3- احسب قيم المقاومات R_1 و R_2 التي تجعل نقطة العمل Q تقع وسط خط الحمل المستمر) ؟



$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = \frac{15}{(1+2)*10^3}$$

$$I_{C(sat)} = \frac{15}{3000} = 0.005A = 5mA$$

$$V_{CE(cutoff)} \cong V_{CC} = 15v$$

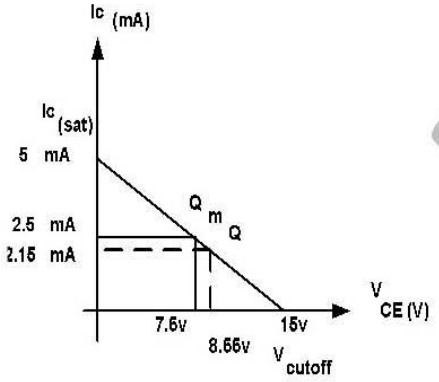
$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{CC} = \frac{5K}{10K + 5K} * 15v = 5v$$

$$I_{CQ} \cong I_E = \frac{V_2 - V_{BE}}{R_E} = \frac{5 - 0.7}{2*10^3} = \frac{4.3}{2000} = 0.00215A$$

$$I_{CQ} = 2.15mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E) = 15 - 2.15*10^{-3} * (1+2)*10^3$$

$$V_{CEQ} = 8.55v$$



$$I_{CQ(m)} = \frac{I_{C(sat)}}{2} = \frac{5mA}{2} = 2.5mA$$

$$V_{CEQ(m)} = \frac{V_{CE(cutoff)}}{2} = \frac{15v}{2} = 7.5v$$

$$I_C \cong I_E$$

$$V_2 = V_E + V_{BE} = I_E * R_E + V_{BE} = (2.5*10^{-3})(2*10^3) = 5.7v$$

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{CC}$$

$$5.7 = \frac{5000*15}{R_1 + 5000}$$

$$5.7R_1 + 5.7*5000 = 75000 \Rightarrow 5.7R_1 = 75000 - 28500$$

$$R_1 = \frac{46500}{5.7} = 8157\Omega \cong 8.15K\Omega$$

انحياز بالتغذية الخلفية للجامع Collector feedback-bias

يوضح الشكل (3) انحياز بالتغذية الخلفية للجامع ، ومن صفاته البساطة والاستجابة العالية للترددات الواطئة ، وما يميزه عن انحياز القاعدة أن مقاومة القاعدة مربوطة إلى الجامع وليس إلى مجهز القدرة .

نستعمل فولتية الجامع لسوق مقاومة القاعدة بدلاً من تسليط فولتية مجهز ثابتة على مقاوم القاعدة وهذا يؤدي إلى تقليص تأثير β_{dc} على نقطة العمل Q .

إن المعادلات المستخدمة لغرض تحليل دائرة انحياز بالتغذية الخلفية للجامع هي :

يمكننا تقريب تيار الجامع لنقطة العمل Q

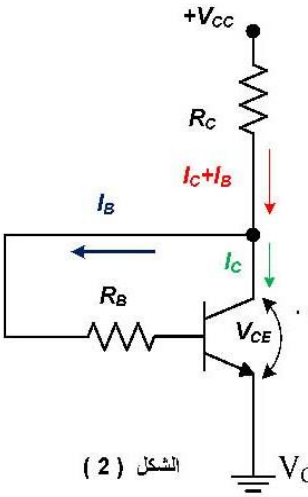
$$I_C \cong \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + R_B/\beta_{dc}}$$

أما الفولتية بين الجامع والباعث لنقطة العمل Q والتي تمثل الموقع على المحور السيني .

$$V_{CE} \cong V_{CC} - I_C R_C$$ لان تيار القاعدة صغير جدا

لغرض رسم خط الحمل المستمر يجب تحديد تيار التشبع $I_{C(sat)}$ و فولتية القطع $V_{CE(cutoff)}$

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} \qquad V_{CE(cutoff)} = V_{CC}$$



الشكل (2)

انحياز بالتغذية الخلفية للجامع

إن قيمة مقاومة القاعدة التي تعطي انحياز عند نقطة وسطى (نقطة العمل Q وسط خط الحمل) يمكن أن تعطى بالمعادلة

$$R_B = \beta_{dc} * R_C$$

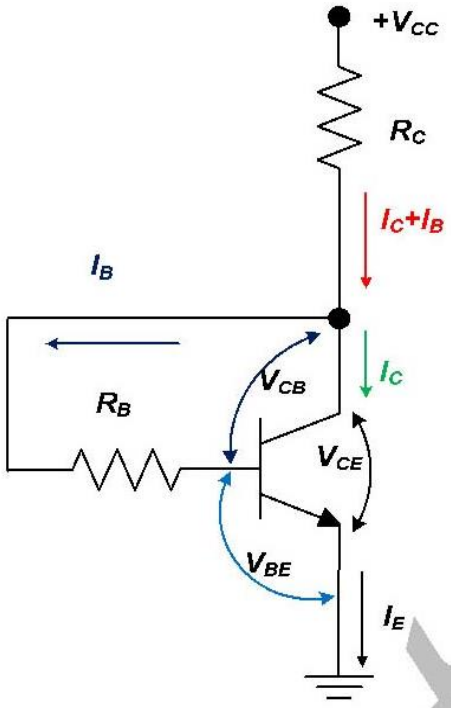
المعدل الهندسي :

من الممكن أن تكون التغيرات في قيمة β_{dc} لنفس النوع من الترانزستور عند استعمال ألاف الترانزستورات من ذاك النوع هي (3:1) وقد تصل نسبة التغير إلى (9:1) بسبب التغيرات بدرجات الحرارة ولذلك يمكننا استخدام المعدل الهندسي كما في المعادلة :

$$\beta_{dc} = \sqrt{\beta_{dc(\min)}\beta_{dc(\max)}}$$

مثال :

في انحياز التغذية الخلفية للجامع اثبت العلاقة $I_C = \dfrac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + R_B / \beta_{dc}}$



$$V_{CE} = V_{CC} - (I_C + I_B)R_C$$

$$V_{CE} = V_{CC} - (I_E)R_C$$

$$I_E \cong I_C$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \mapsto (1)$$

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{EB}$$

$$V_{CE} = I_B R_B + V_{BE}$$

$$V_{CE} = \frac{I_C}{\beta_{dc}} R_B + V_{BE} \mapsto (2)$$

وبحل المعادلتين (1) و (2)

$$V_{CC} - I_C R_C = \frac{I_C}{\beta_{dc}} R_B + V_{BE}$$

$$V_{CC} - V_{BE} = I_C R_C + I_C \frac{R_B}{\beta_{dc}}$$

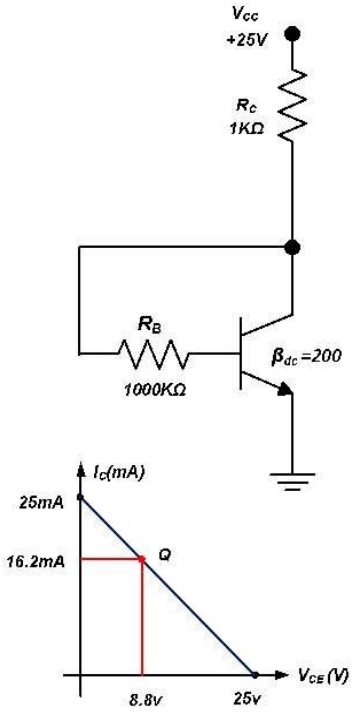
$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + R_B / \beta_{dc}}$$

مثال :

في الدائرة الموضحة بالشكل أدناه

احسب قيمة تيار الجامع (Ic) والفولتية بين الجامع و الباعث (V_{CE})

وارسم خط الحمل المستمر وعين نقطة العمل (Q) عليه ؟



$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + R_B/\beta_{dc}}$$

$$I_C = \frac{25 - 0.7}{1*10^3 + 100*10^3/200}$$

$$I_C = 0.0162\ A = 16.2mA$$

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

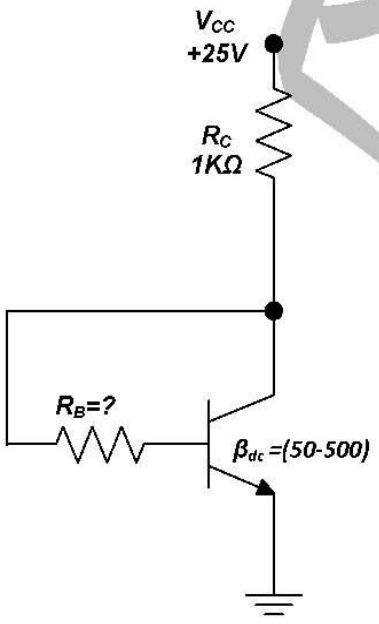
$$V_{CE} = 25 - 0.0162*10^3 = 8.8v$$

$$V_{CE(cutoff)} = V_{cc} = 25V$$

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{25}{1000} = 0.025\ A = 25mA$$

مثال :

في الدائرة الموضحة بالشكل أدناه إذا كانت قيمة β_{dc} تتراوح (50–450) احسب قيمة المقاومة R_B للانحياز عند نقطة وسطى ، اوجد قيمة V_{CE} و Ic ؟



$$\beta_{dc} = \sqrt{\beta_{dc\,(min)} * \beta_{dc\,(max)}}$$

$$\beta_{dc} = \sqrt{50 * 450} = 150$$

$$R_{B(m)} = \beta_{dc} * R_C = 150 * 1k\Omega$$

$$R_{B(m)} = 150\ k\Omega$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + R_B/\beta_{dc}}$$

$$I_{CQ} = \frac{25 - 0.7}{1000 + (150000/150)}$$

$$I_{CQ} = 0.01215\ A = 12.15\ mA$$

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

$$V_{CEQ} = 25 - (12.15 * 10^{-3}) * (1 * 10^3)$$

$$V_{CEQ} = 12.58\ v$$

انحياز الباعث Emitter – bias

وهو الانحياز الشائع عند وجود مجهز مجزأ وكما مبين بالشكل (4) ، مجهز مجزأ يعني فولتيات موجبة وسالبة . نلاحظ أن ثنائي الباعث منحاز أماميا بواسطة مجهز الفولتية السالبة V_{EE} خلال المقاومة R_E . أما ثنائي الجامع فيكون منحاز عكسيا بواسطة مجهز الفولتية الموجب Vcc

تحليل دائرة انحياز باعث نموذجية :

إن الفولتية من الباعث إلى الأرض اقل من (1v) ولان V_{EE} اكبر بكثير من (1v) ، نستطيع معاملة النهاية العليا من المقاومة R_E كنقطة ارضي تقريبية ، الشكل (4) . ولذلك فان فولتية المجهز V_{EE} تظهر جميعها عبر R_E وبذلك :

$$I_E \cong \frac{V_{EE}}{R_E}$$

وكتقريب جيد تيار الجامع يساوي تيار الباعث ($I_c = I_E$) وبما أن الباعث يعمل كنقطة ارضي تقريبا ولذلك

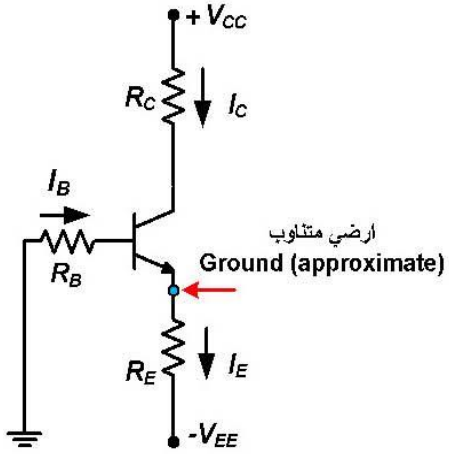
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

لو كان الترانزستور في منطقة التشبع فان تيار التشبع

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} + V_{EE}}{R_C + R_E}$$

أما إذا كان الترانزستور يعمل في منطقة القطع فان فولتية القطع

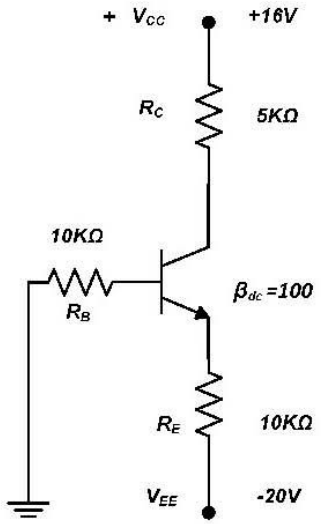
$$V_{CE(cutoff)} = (V_{CC} + V_{EE})$$



الشكل (4)

مثال :

للشكل الموضح أدناه احسب I_c و V_{CE} ، ارسم خط الحمل المستمر ، عين نقطة العمل Q عليه ؟



$$I_C \cong I_E = \frac{V_{EE}}{R_E} = \frac{20}{10*10^3}$$

$$I_{CQ} = 0.002A = 2mA$$

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

$$V_{CE} = 16 - 2*10^{-3} * 5*10^3$$

$$V_{CEQ} = 16 - 10 = 6v$$

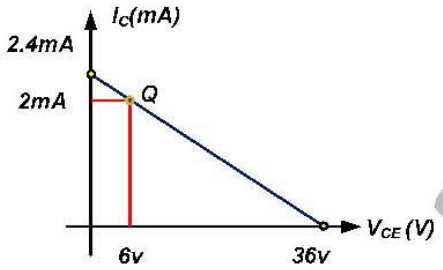
$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} + V_{EE}}{R_C + R_E}$$

$$I_{C(sat)} = \frac{16+20}{(5+10)*10^3}$$

$$I_{C(sat)} = 0.0024A = 2.4mA$$

$$V_{CE(cutoff)} = V_{CC} + V_{EE}$$

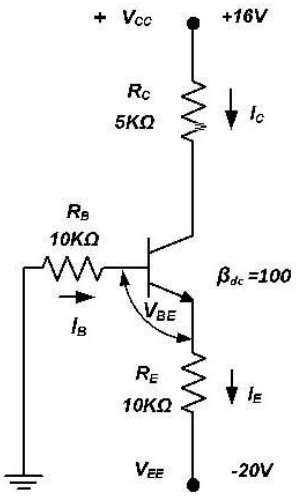
$$V_{CE(cutoff)} = 16 + 20 = 36v$$



مثال :

احسب القيمة الدقيقة لتيار الباعث I_E لدائرة انحياز الباعث الموضحة بالشكل أدناه ؟

نطبق قانون كيرشوف للفولتية على دارة الباعث – القاعدة



$$I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E - V_{EE} = 0$$

$$I_B R_B + I_E R_E = V_{EE} - V_{BE}$$

$$\because I_C \cong I_E \Rightarrow\Rightarrow I_B = \frac{I_E}{\beta_{dc}}$$

$$R_B \frac{I_E}{\beta_{dc}} + I_E R_E = V_{EE} - V_{BE}$$

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E + R_B/\beta_{dc}} = \frac{20 - 0.7}{10000 + \frac{10000}{100}}$$

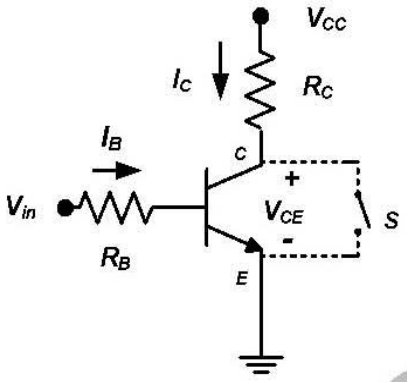
$$I_E = \frac{19.3}{10100} = 0.00191A = 1.91mA$$

جدول يوضح بعض المحاسن و المثالب ومكان استخدام كل نوع من أنواع الانحياز:

النوع	الميزة	المثلبة	مكان الاستعمال
انحياز القاعدة	البساطة	حساس للتغيرات في β_{dc}	الدوائر الرقمية ودوائر الغلق والفتح
مقسم الفولتية	استقرار النقطة Q	يحتاج إلى أربعة مقاومات	مكبرات الغاية العامة
التغذية الخلفية للجامع	استجابة للترددات الواطئة	يعتمد على βdc جزئيا	مكبرات الإشارة الصغيرة
انحياز الباعث	استقرار النقطة Q	يحتاج إلى مجهز مجزأ	مكبرات الغاية العامة

استخدام الترانزستور كمفتاح (Transistor as Switch)

عندما يعمل الترانزستور في منطقتي القطع والإشباع فانه يشابه عمل المفتاح وكما موضح في الشكل والعلاقات أدناه :



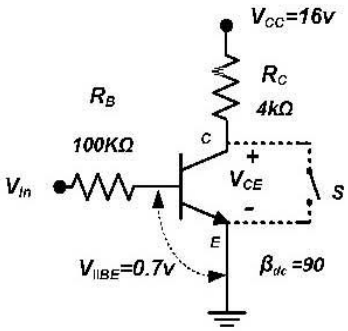
عندما تكون $V_{in} = 0$ فان $V_{CE} = V_{CC}$ (علل هذا) ، ويكون المفتاح (S) في حالة (open) .

عندما تكون $V_{in} \geq V$ حيث V هي اقل قيمة للفولتية تسبب حالة الإشباع في تيار الجامع (أي تجعل تيار الجامع في حالة الإشباع) أي $[I_C = I_C(sat)]$ وعندها يكون $V_{CE} = 0$ (لماذا ؟) ، أي أن المفتاح (S) يكون في حالة(close).

ويستفاد من هذه الدائرة في الأنظمة الرقمية التي تعتمد مبدأ ألـ (٠ و ١) .

مثال : في دائرة الترانزستور كمفتاح إذا كانت : $V_{CC} = 16v$, $R_C = 4k\Omega$, $R_B = 100k\Omega$, $\beta = 90$ والترانزستور سليكون. احسب اقل قيمة لفولتية الإدخال تجعل الترانزستور في حالة توصيل .

الحل : نرسم الدائرة أولا ثم نوجد تيار $I_C(sat)$ ثم منه تيار $I_B(sat)$ وبعدها نوجد اقل قيمة لفولتية الإدخال وكما في الخطوات أدناه :



$$I_C(sat) = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{16}{4*10^3} = 4mA = 0.004Amp$$

$$I_B(sat) = \frac{I_C(sat)}{\beta} = \frac{4}{90} = 0.044mA = 44\mu A$$

$$V_{in} = I_B(sat) * R_B + V_{BE}$$

$$V_{in} = 0.044*10^{-3}*100*10^3 + 0.7 = 5.1volt$$

وهي اقل قيمة لفولتية الإدخال تجعل الترانزستور في حالة توصيل (ON) .

استخدام الترانزستور في تكبير الإشارات الصغيرة (Small Signal Amplification)

يعتبر مبدأ تكبير الإشارات الالكترونية الصغيرة مهما وواسع الانتشار في المنظومات الالكترونية الصغيرة والكبيرة منها فعندما يقوم المايكروفون بتحويل الصوت إلى إشارة الكترونية تكون صغيرة لا بد لها من مكبر لكي يتم الاستفادة منها في سوق السماعة، وعند نقل أي إشارة الكترونية بين مكان وأخر فإنها تقل وتضعف، ولا بد من إجراء عملية التكبير لها

ويوجد أنواع كثيرة من المكبرات ولكنها تشترك بنقاط أساسية بالإمكان توضيحها بالمخطط التالي :

1- التكبير (الكسب gain) ويتضمن : تكبير الفولتية $A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}}$

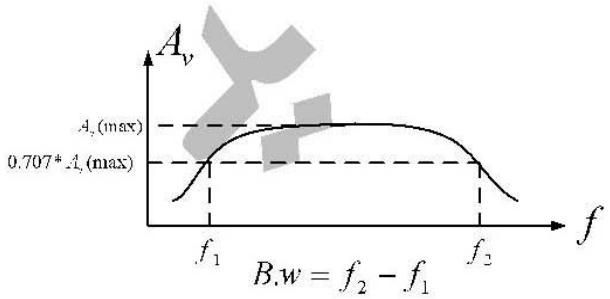
تكبير التيار $A_i = \frac{i_{out}}{i_{in}}$

تكبير القدرة $A_p = A_v * A_i = \frac{p_{out}}{p_{in}}$

أما الكسب بالـــ (dB ديسبل) فيمكن حسابه من العلاقة التالية :

$$A_v[in(dB)] = 20\log_{10}(A_v)$$

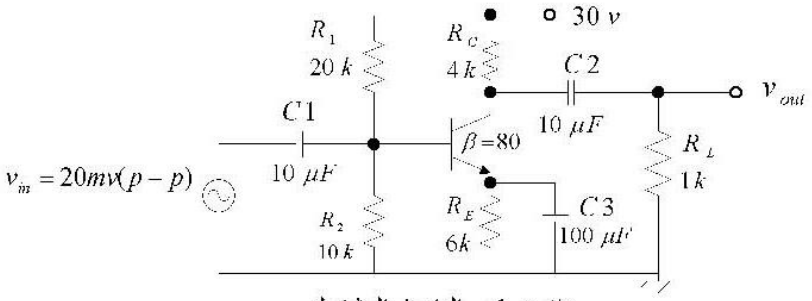
2- عرض الحزمة (B.W) وهو الترددات التي باستطاعة المكبر تكبير الإشارة فيها كما مبين أدناه في منحني الاستجابة الترددية :



٣- مقاومة الإدخال R_{in} وهي المقاومة التي تواجهها إشارة الإدخال .

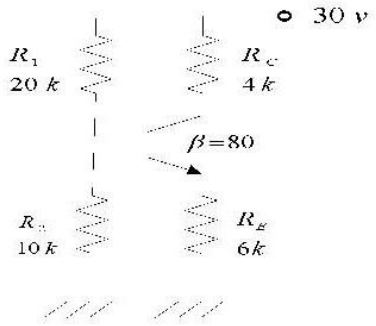
4- مقاومة الإخراج R_{out} وهي المقاومة التي تكون على التوالي مع مقاومة الحمل لإكمال دائرة الإخراج وتكون أفضل ما يمكن عندما يكونان متساويان ،عندها يقال أن الدائرة في حالة موائمة (matching) .

مثال : أوجد كسب الفولتية في الدائرة التالية (دائرة مكبر الباعث) .



دائرة مكبر الباعث المشترك

الحل : في البداية نرسم الدائرة المكافئة المستمرة بجعل المتسعات في حالة open وذلك لإيجاد قيمة التيار I_E



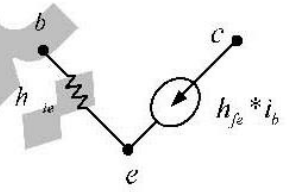
ملاحظة : نحلل الدائرة كما في مثال دائرة انحياز مقسم الجهد الذي تم حله مسبقا ويكون $I_E = 1.458mA$.

ثم نرسم الدائرة المكافئة المتناوبة بجعل المتسعات في حالة short وكذلك مصدر الـــ D.C . وتعويض الترانزستور بدائرته المكافئة المتناوبة التقريبية :

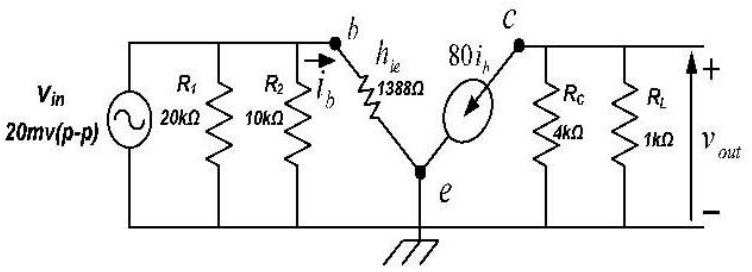
$$h_{fe} = \beta = 80$$

$$h_{ie} = \frac{25}{I_E(mA)} * (h_{fe} + 1)$$

$$h_{ie} = \frac{25}{1.458} * (80 + 1) = 1388\ \Omega$$



دائرة المكافئة المتناوبة



$$i_b = \frac{v_{in}}{h_{ie}} = \frac{20*10^{-3}}{1388} = 14.4*10^{-6}A = 14.4\mu A$$

$$v_{out} = -80 i_b * (R_C // R_L) = -80*14.4*10^{-3}*0.8*10^{3}$$

$$v_{out} = -921.6*10^{-3} volt = -921.6mv$$

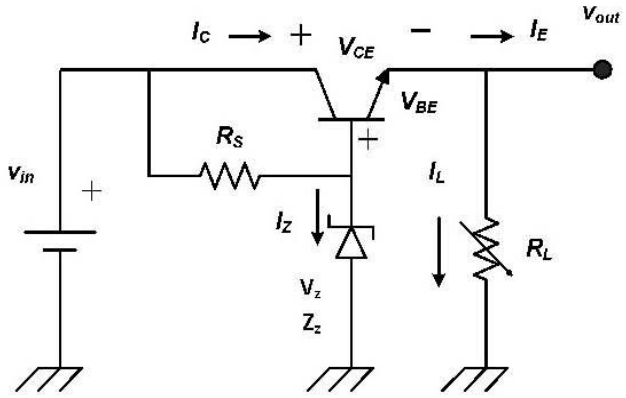
$$|A_v| = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{921.6}{20} = 46$$

$$A_v(dB) = 20\log_{10} 46 = 33.2dB$$

ملاحظة : هناك مكبر القاعدة المشتركة وكذلك مكبر الجامع المشترك ولكن دائرة مكبر الباعث المشترك تعتبر من دوائر التكبير واسعة الانتشار .

استخدام ترانزستور ثنائي القطبية في تنظيم الفولتية

بالإمكان الاستفادة من الترانزستور ثنائي القطبية في تحسين أداء وكفاءة دائرة منظم زينر (التي تم شرحها مسبقا) وبين المخطط التالي لدائرة منظم التوالي (series regulator) وتسمى كذلك لان طرفي الترانزستور الجامع والباعث على التوالي مع الحمل أي أن $I_E \cong I_C = I_L$ ويسمى الترانزستور في هذه الدائرة ترانزستور العبور (Pass Transistor)



دائرة منظم التوالي

(ملاحظة : في دائرة منظم زينر تكون $\Delta I_Z = -\Delta I_L$)

وهذا يعني أن تحسنا بمقدار جيد يحصل على عامل تنظيم الفولتية .

مثال : في دائرة منظم التوالي اذا كانت :

V_{in} =15v , R_S = 220Ω , β = 100 , V_Z = 7.5v , Z_Z = 6Ω , R_L =200Ω أوجد تيار الحمل .

الحل :

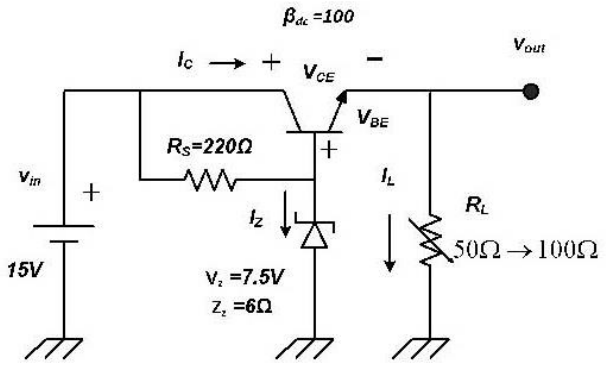
$$V_{out} = V_Z - V_{BE} = 7.5 - 0.7 = 6.8v$$

$$I_L = \frac{V_{out}}{R_L} = \frac{6.8}{200} = 34mA = 0.034A$$

ويجب أن يكون $I_L < I_{C(max)}$.

مثال : في المثال السابق إذا كانت مقاومة الحمل تتغير Ω(100 → 50) . احسب التغير التقريبي في فولتية الحمل .
وكذلك عامل تنظيم الفولتية المئوي $\%\ V_R$

الحل : نرسم الدائرة .



$$V_{out} = V_Z - V_{BE} = 7.5 - 0.7 = 6.8v$$

$$I_L(\min) = \frac{V_{OUT}}{R_L(\max)} = \frac{6.8}{100} = 0.068A = 68mA$$

$$I_L(\max) = \frac{V_{out}}{R_L(\min)} = \frac{6.8}{50} = 0.136A = 136mA$$

$$\Delta I_L = I_L(\max) - I_L(\min) = 136 - 68 = 68mA$$

$$\Delta I_Z = -\frac{\Delta I_L}{\beta} = -\frac{68}{100} = -0.68mA$$

$$\Delta V_{out} = Z_Z * \Delta I_Z = 6*(-0.68) = -4.08mv$$

وهو التغير التقريبي في فولتية الحمل .

ملاحظة : (قارن بين هذا التغير مع ما يناظره بدون ترانزستور) .

عامل تنظيم الفولتية المئوي

$$\frac{\Delta V_{out}}{V_{out}} * 100 = \frac{4.08*10^{-3}}{6.8} * 100 = 0.06$$