



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



حقيبة تعليمية: مبادئ الالكترونك

مدرس مساعد: احسان محسن

*Email: e.mahsin@stu.edu.iq*

## الاسبوع الأول- الثالث

### مفهوم الإلكترونيك:

يستعمل هذا المفهوم في تغطية الظواهر المصاحبة للإلكترونات أو انبعاثها في المواد المختلفة كما يشمل الظروف المحيطة بالسيطره على سلوك الإلكترونات بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية.

### نظرية اشباه الموصلات

#### المواد شبه الموصلة:

هي مواد ليست جيدة التوصيل ولا مواد عازلة ، يوجد اربعة إلكترونات في المدار الخارجي لذراتها عند درجة حرارة الصفر المطلق ويمكن اعتبارها مواد عازلة حيث تكون ذراتها مستقره وتعتبر مواد موصلة عند درجة الحرارة العالية حيث تكتسب الإلكترونات التكافؤ طاقة حركية كافية للتخلص من قوة جذب النواة. أما عند درجة حرارة الغرفة ( 25<sup>0</sup>م ) تتكسر بعض الأواصر التي تربط الذرات مثل ذرات الجرمانيوم أو السليكون وتكون المادة ليست موصلة جيدة او عازلة جيدة وتسمى اشباه الموصلات.

#### تركيب الذرة :

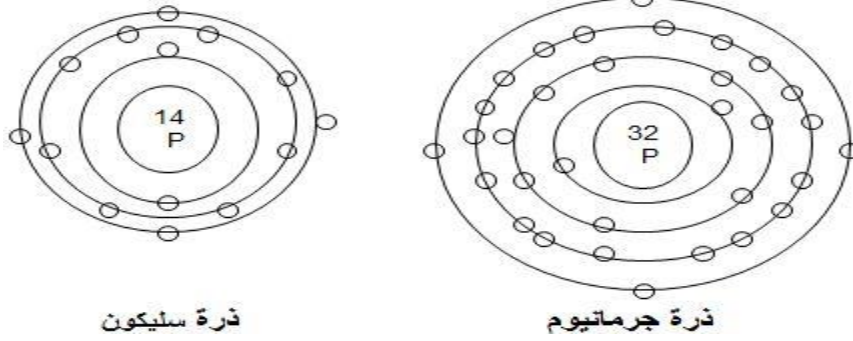
جميع المواد تتكون من جسيمات متناهية في الصغر تدعى الجزيئات وكل جزيئه تتكون من ذرات تحتوي كل ذرة على نواة تتكون من البروتونات الموجبة الشحنة والنيوترونات المتعادلة الشحنة وتدور حول هذه النواة مدارات تحتوي على الإلكترونات سالبة الشحنة

$$\text{العدد الذري} = \text{عدد البروتونات} = \text{عدد الإلكترونات}$$

ويصور الشكل ادناه ذرة سليكون معزولة تحتوي على 14بروتون في نواتها ينتقل إلكترونان في المدار الأول، وثمانية إلكترونات في المدار الثاني، وأربعة إلكترونات في المدار الخارجي أو مدار التكافؤ. إن الإلكترونات الأربعة عشر الدائرة تعادل شحنة النواة ولذلك نسمي هكذا ذرة متعادلة كهربائياً.

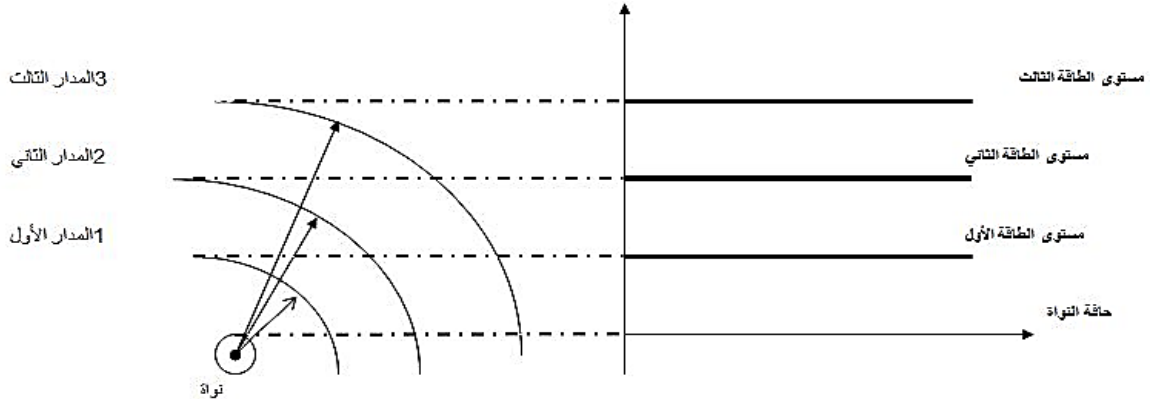
في ذرة جيرمانيوم معزولة، نلاحظ أن عدد البروتونات في النواة هو 32 وعدد الإلكترونات الدوارة هو 32 أيضاً، يدور في المدار الأول إلكترونان ،ويدور في المدار الثاني ثمانية إلكترونات، وثمانية عشر إلكترون في المدار الثالث، أما المدار الخارجي فيحوي على أربعة إلكترونات تماماً كما في ذرة السليكون . ولذا سمي السليكون و الجيرمانيوم بالعناصر رباعية التكافؤ .

العنصر الرباعي التكافؤ: هو عنصر يمتلك أربعة إلكترونات تكافؤية في المدار الخارجي.



### مستويات الطاقة :

كل إلكترون يحتاج إلى طاقة للتحرك والانتقال من مدار صغير إلى مدار أكبر لأنه يجب إنجاز شغل للتغلب على قوة جذب النواة. لذلك كلما كان مدار الإلكترون ما كبراً ، كبرت طاقته الكامنة نسبةً إلى النواة. ويمكن تمثيل المدارات المنحنية حول النواة بخطوط أفقية مستقيمة كما في الشكل أدناه. حيث أن المدار الأول يمثل مستوى الطاقة الأول ، المدار الثاني يمثل مستوى الطاقة الثاني الخ. وكلما كان مستوى الطاقة عالياً كانت طاقة الإلكترون أعظم وكان مداره أكبر.

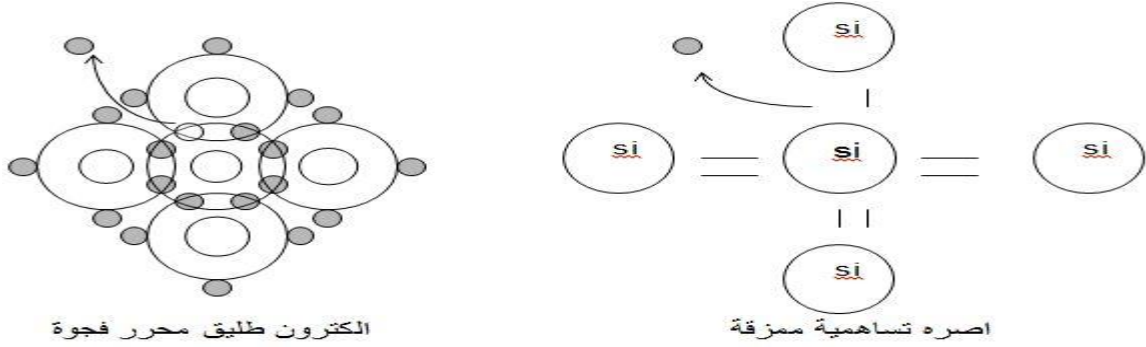


### البلورات:

هي نسق هندسي مرتب ذات ابعاد فراغية ناتج عن اتحاد الذرات مع بعضها يدعى البلورة (crystal) والقوى التي تربط الذرات معاً في البلورة تسمى الأواصر التساهمية (covalent bonds) .

وتتشكل البلورات من اتحاد ذرات السليكون حيث لذرة السليكون المعزولة أربعة إلكترونات في مدارها التكافؤي . ولتكوين بلورة السليكون تتحد ذرات السليكون بطريقة بحيث كل ذرة سليكون تضع نفسها بين أربعة ذرات سليكون أخرى. ان كل ذرة تساهم بالإلكترون مع الذرة المركزية وبذلك تكون الذرة المركزية قد التقطت أربعة إلكترونات جامعه ثمانية إلكترونات في مدارها التكافؤي. ان هذه الإلكترونات لم تعد عانده الى ذرة معينة بل تساهم في تشكيل الاواصر التساهمية بين الذرات.

الشكل ادناه يمثل التساهم المتبادل بين الالكترونات حيث إن كل خط يمثل إلكترون مساهماً. كل الكترون مساهم يكون اصره بين الذرة المركزية وجارتها ولذلك ندعو كل خط بالاصره التساهميه. عندما ترفع طاقة خارجية الكتروناتاً تكافوياً إلى مستوى طاقة أعلى (مدار اكبر) يخلف الإلكترون المغادر فراغ في المدار الخارجي. هذا الفراغ يسمى فجوه أو ثقب (hole). إن تكوين الفجوة يكافئ آصرة تساهميه ممزقة.



### حزم الطاقة:

ان الالكترون في ذرة السليكون المكونة للبلورة لا يتأثر بالشحنات الموجودة بذرته فحسب بل يتأثر بالنوى والالكترونات الموجودة في كافة الذرات الأخرى التي تحويها البلورة لهذا السبب يختلف مدار كل الكترون عن المدارات الأخرى. إن الالكترونات المتحركة في المدارات الأولى والثانية في البلورة لها مستويات طاقة مختلفة قليلاً لذلك وجود مليارات من الالكترونات في المدارات الأولى والثانية تسبب تشكيل حزم الطاقة في المدار الأول والثاني في البلورة.

### حزمة التكافوء:

هي مجموعه من المستويات ذات عدد ضخم من مستويات الطاقة وتكون قريبة جداً من بعضها وتكون فيها الالكترونات مقيدة بالذره ولا تشترك بالتوصيل الكهربائي.

### حزمة التوصيل:

هي مجموعه من مستويات الطاقة وتكون الالكترونات الموجودة فيها غير مقيدة بالذره وتشارك في عملية التوصيل الكهربائي. ويوجد بين حزمة التكافوء وحزمة التوصيل منطقة محظوره حيث لا يوجد فيها مستويات طاقة وتسمى بثغرة الطاقة المحظورة.

التوصيل في البلورات:

عند درجة حرارة الصفر المطلق لا تستطيع الإلكترونات التحرك خلال البلورة وذلك لان جميع الإلكترونات مرتبطة بشده بذرات السليكون . فالكترونات المدارات الداخلية مضمورة عميقاً داخل الذرات إما الكترونات المدار الخارجي فتشكل جزءاً من الربط التساهمي وبذلك لا تستطيع الإفلات ما لم تكتسب طاقة خارجية . ولذلك فان بلورة السليكون تعمل عمل عازل تام عند درجة حرارة الصفر المطلق.

اما عند رفع درجة الحرارة فوق درجة الصفر المطلق فالطاقة الحرارية الداخلة ستكسب بعض الإلكترونات التكافؤية في حزمة التكافؤ طاقة وبذلك تتمكن تلك الإلكترونات من الإفلات وتحطيم بعض الأواصر التساهمية والصعود الى حزمة التوصيل وهكذا نحصل على عدد محدود من الكترونات حزمة التوصيل والممثلة بالإشارة السالبة.

(حزم الطاقة عند  $25^{\circ}\text{C}$ )

(حزم الطاقة عند الصفر المطلق)

تعمل الطاقة الحرارية على رفع بعض الإلكترونات الى حزمة التوصيل حيث يكون ارتباط الإلكترونات بالذرات ضعيفاً مما يتيح لها حرية التنقل بين الذرات بسهولة. ان رفع إلكترون إلى داخل حزمة التوصيل يمكنه من التحرك بحرية من ذرة إلى أخرى ولذلك تسمى الإلكترونات في حزمة التوصيل بالإلكترونات الحرة (free electrons) .

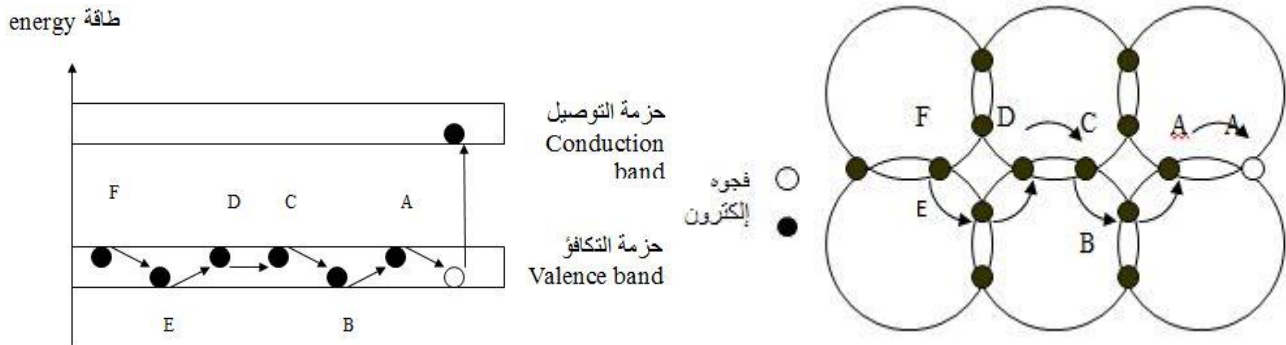
في كل مره يرتفع فيها الكترون من حزمة التكافؤ لحزمة التوصيل يخلف وراءه فجوة في حزمة التكافؤ. كلما ارتفعت درجة الحرارة سوف يزداد عدد الإلكترونات المرفوعة الى حزمة التوصيل وبذلك تزداد قيمة التيار ولكن عند درجة حرارة الغرفة ( $25^{\circ}\text{C}$ ) يكون التيار المتولد صغير جداً ولا يمكن الاستفادة منه وعند هذه الدرجة لاتكون قطعة السليكون عازل جيد كما لاتكون موصل جيد ولهذا تسمى شبه موصل (semiconductor) .

## تيار الفجوة :

عند تحرك الإلكترونات وانتقالها من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل وتوليد تيار سالب الشحنة يقابلها حركة الفجوة ايضاً وتوليد تيار موجب الشحنة او بعبارة أخرى يوجد في شبه الموصل نوعان من التيار هما تيار حزمة التوصيل وتيار الفجوة موجب الشحنة.

## كيف تتحرك الفجوات:

الشكل ادناه يوضح عملية انتقال الفجوة خلال حزمة التكافؤ للذرات حيث تعمل الفجوة في أقصى اليمين على جذب الإلكترون التكافؤي في (A) وبتغيير طفيف بالطاقة يستطيع الإلكترون التكافؤي في (A) أن يتحرك الى الفجوة وعندما يتم هذا تتلاشى الفجوة وتولد فجوة في (A) . إن الفجوة الجديدة في (A) تستطيع أن تجذب الإلكترون التكافؤي في (B) وعندما ينتقل الإلكترون التكافؤي من (B) الى (A) وتتحرك الفجوة من (A) الى (B) وهكذا تستمر حركة الإلكترونات التكافؤية عبر الطريق المبين بالسهم والموضح بالمسار FEDCBA . وبنفس الوقت تتحرك الفجوات داخل حزمة التكافؤ في الاتجاه المعاكس عبر الطريق المبين بالسهم وحسب المسار ABCDEF من اليمين الى اليسار.



## أزواج إلكترون فجوة :

يتولد زوج الكترون فجوة عند تحرك الإلكترونات وانتقالها من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل وان حركة الإلكترونات التكافؤية الى اليمين تعني حركة فجوات متحركة الى اليسار وكذلك وجود أي الكترون في حزمة توصيل في شبه موصل نقي يعني وجود فجوة في المدار التكافؤي لذرة ما . وهذا يعني الطاقة الحرارية تنتج أزواج الكترون- فجوة (electron-hole pairs) التي تقوم بعملية التوصيل الكهربائي

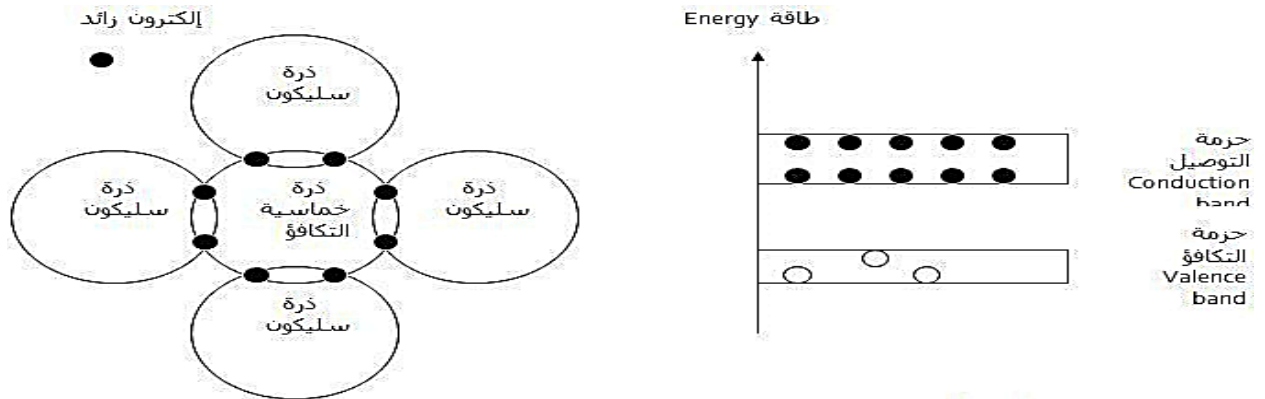
## التطعيم

هي عملية زرع ذرات من مادة في بلورة مادة أخرى أو إضافة نسبة قليلة ومحددة من الشوائب في بلورة شبه الموصل النقي وتكون المادة المضافة غير رباعية التكافؤ وتساهم في زيادة عدد الإلكترونات الطليقة أو عدد الفجوات الطليقة .

ويمكن تصنيف المواد شبه الموصله الى قسمين اعتمادا على نوع الشوائب المضافة الى ذراتها

### شبه الموصل نوع سالب (N):

تستخدم شوائب خماسية التكافؤ مثل الزرنيخ والفسفور التي تحتوي ذراتها على خمسة الكترونات في مدارها التكافؤي حيث يتم إضافة ذراتها الى بلورة شبه موصل نقي مثل السليكون حيث تبقى معظم ذرات البلورة من السليكون ولكن الذرة خماسية التكافؤ تحاط بربع ذرات سليكون حيث تكون اصره تساهميه مع اربع ذرات سليكون مجاوره بينما الاكترون الخامس في الذرة المركزية يبقى طليق وينتقل الى حزمة التوصيل وبذلك تزداد الكترونات حزمة التوصيل بزيادة كمية الشوائب المضافة الى بلورة السليكون. كما هو حال بلورة السليكون النقية فان بلورة السليكون المزوده بالشوائب ستستمر في انتاج ازواج الكترون فجوه وانتاج الكترونات في حزمة التوصيل بالاضافة الى الاكترونات المتولده في حزمة التوصيل بسبب اضافة الشوائب لذلك شبه الموصل السالب تكون فيه عدد الاكترونات في حزمة التوصيل تمثل الحاملات الاغلبية وتشارك بالتوصيل الكهربائي بينما يكون عدد الفجوات في حزمة التكافؤ قليل وتمثل الحاملات الاقلية وتوصيلها الكهربائي مهم.

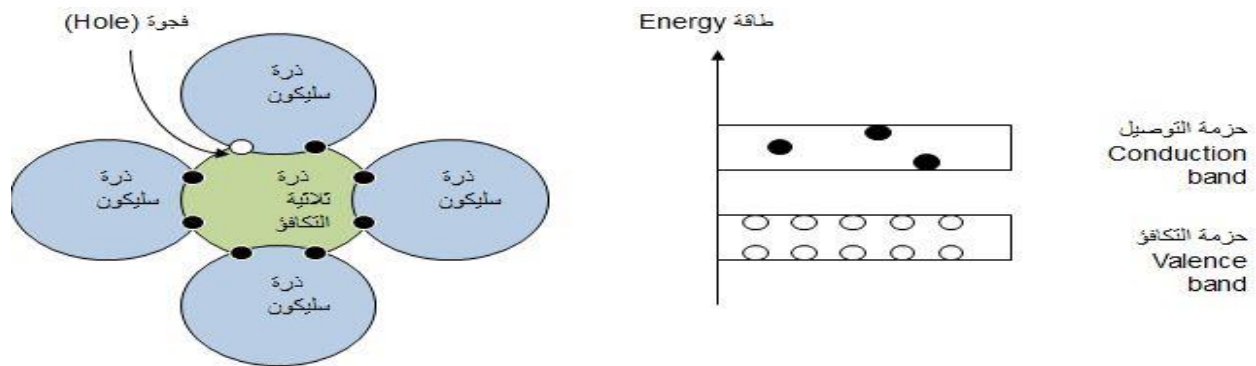


### شبه الموصل نوع موجب (P):

للحصول على بلورة ذات فجوات يجب التطعيم بشوائب ثلاثية التكافؤ مثل الالمنيوم والبورون (والشائبة الثلاثية التكافؤ هي تلك الذرة التي تحوي في مدارها التكافؤ ثلاثة الكترونات). بعد إضافة



الشوائب إلى بلورة الجيرمانيوم أو السليكون نجد كل ذرة ثلاثية التكافؤ محاطة بأربعة ذرات مجاوره من السليكون او الجرمانيوم وبما ان كل ذرة ثلاثية التكافؤ لديها ثلاثة الكترونات في مدارها التكافؤي وبعد تكوين اواصر تساهميه مع الذرات المجاوره فان سبعة الكترونات فقط ستنتقل في المدار التكافؤي للذره المركزية ، وبعبارة أخرى تظهر فجوة في كل ذرة ثلاثية التكافؤ . ويمكننا ان نسيطر على عدد الفجوات في البلورة المطعمة وذلك بواسطة السيطرة على كمية الشوائب المضافة . أن عدد الفجوات في شبه موصل نوع موجب اكبر بكثير من عدد الكترونات حزمة التوصيل ، وعليه تكون الفجوات هي الحاملات الأغلبية بينما تكون الكترونات حزمة التوصيل هي الحاملات الأقلية.

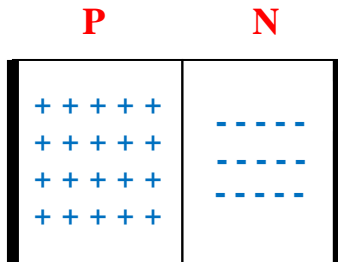


## الثنائي البلوري (PN)

هو التقاء البلوره من النوع السالب (N) مع البلوره من النوع الموجب (P) لتكوين بلورة ثنائية تسمى بلورة (PN).

### الثنائي غير المنحاز:

لتكوين ثنائي غير منحاز اي لاتوجد فولتية خارجية مسلطه عليه تؤخذ قطعتان سالبة (N) تمتاز بكثرة الالكتلاونات حزمة التوصيل وقطعة موجبة (P) تمتاز بكثرة الفجوات يجب الأخذ بنظر الاعتبار الأعداد القليلة من الكترونات حزمة التوصيل في الجهة p والأعداد القليلة من الفجوات في الجهة n وتضغط هذه القطعتان مع بعضهما للاغراض الصناعية فتنشأ بينهما ما يسمى بالوصلة



( قبل الانتشار )



الوصلة junction :

عبارة عن ملتقى المنطقة من النوع الموجب مع المنطقة من النوع السالب اما ثنائي الوصلة فهو اسم يطلق على بلورة pn.

الايون:

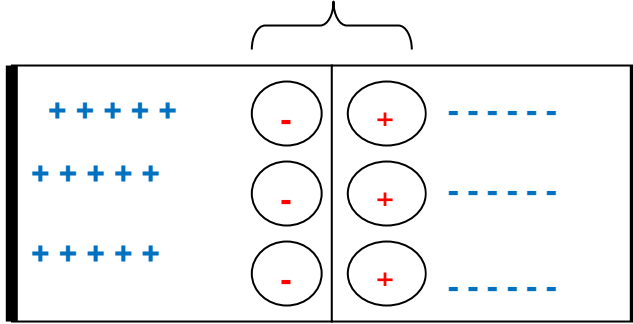
هو اما اتحاد الكترولون مع فجوة فينشأ ايون سالب او انفصال الكترولون عن فجوة فينشأ ايون موجب

ثنائي القطب: (dipole)

هو كل زوج متكون من ايون موجب وايون سالب يولد حولة مجال كهبائي و وجود ثنائي القطب يعني ان الكترولون واحد من حزمة التوصيل وفجوة واحدة قد توقفا عن الحركة.

منطقة الاستنزاف: (depletion layer)

هي المنطقة التي تحتوي على ازواج من الايونات (ثنائي القطب) على طرفي الوصلة وتكون خالية من الشحنات المتحركة (الكترولونات و فجوات) .

منطقة الاستنزاف

(بعد الانتشار)

الجهد الحاجز: (barrier potential)

هو مجال كهربائي ناشيء عن كل ثنائي قطب وتزداد قوة هذا المجال مع زيادة الاكترونات العابره الى منطقة الاستنزاف وعند زيادة قوة هذا المجال يعمل على ارجاع الاكترونات التي تحاول العبور من المنطقة n الى منطقة الاستنزاف وتكون قيمته للسليكون 0.7 V وللجرمانيوم 0.3V عند درجة حرارة الغرفة (T=25°C).

تأثير درجة الحرارة على الجهد الحاجز:

يعتمد الجهد الحاجز على درجة حرارة الوصلة فعند درجة الحرارة العالية يزداد انتاج ازواج الكترولون فجوة وبالتالي يزداد انتقال حاملات الشحنة الاقلية عبر الوصلة حيث تنتقل الاكترونات الاقلية في المنطقة P عبر منطقة الاستنزاف الى المنطقة N مما يؤدي الى نقصان الجهد الحاجز وهذا النقصان يمكن الكترولونات

المنطقة N من العبور الى المنطقة P مسببة اعادة المجال الكهربائي الى قيمته الاصلية وبالتالي وبهذا يعتمد الجهد الحاجز على درجة حرارة الوصلة بحيث يقل الجهد الحاجز بمقدار  $2.5\text{mV}$  عند زيادة درجة الحرارة درجة مئوية واحدة في ثنائيات السليكون والجرمانيوم.

$$\Delta V = -0.0025\Delta T \quad \text{الحرارة في الحرارة}$$

**مثال:** احسب الجهد الحاجز لثنائي سليكون عند درجة حرارة  $(75^\circ\text{C})$  ؟

**الحل:** ان الجهد الحاجز لثنائي سليكون يساوي  $(0.7\text{ V})$  عند درجة حرارة مقدارها  $(25^\circ\text{C})$  . وعند ارتفاع درجة الحرارة يقل الجهد الحاجز

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad , \quad \Delta V = -0.0025(\Delta T)$$

$$\Delta V = -0.0025(75-25) = -0.125\text{V}$$

$$\Delta V = V_2 - V_1$$

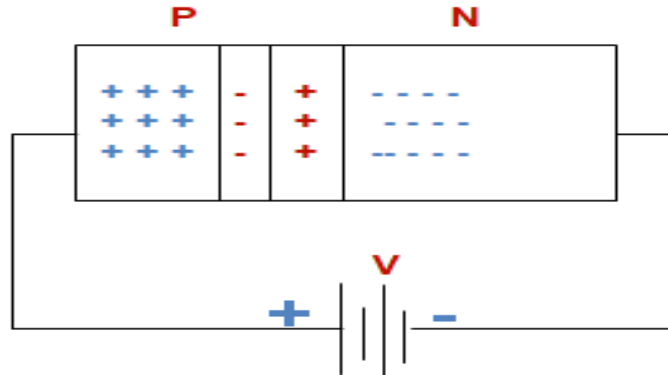
لهذا سيكون الجهد الحاجز عند درجة حرارة  $(75^\circ\text{C})$  هو

$$V_2 = 0.7 - 0.125 = 0.575\text{V}$$

### الانحياز الأمامي: Forward Bias State:

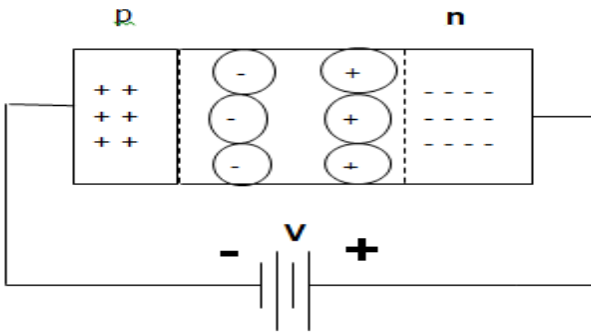
ممكن تحييز الثنائي البلوري بشكل امامي وذلك بتوصيل الوصلة الثنائية مع مصدر مستمر (بطارية) حيث يتم توصيل الطرف السالب للبطارية مع القطعة N من البلوره وكذلك ربط الطرف الموجب للبطارية مع القطعة P للبلوره.

وفي هذا النوع من التوصيل يمر التيار بسهولة ويكون ذات قيمة عالية لان الالكترونات تتحرك من المصدر السالب للبطارية وتدخل المنطقة اليمنى للبلورة N حيث تنتقل الالكترونات خلال المنطقة كالالكترونات حزمة توصيل تعبر الوصلة تاركه مكانها فجوة موجبة تعمل على جذب شحنات البطارية السالية . عندما تنتقل هذه الالكترونات الى المنطقة P تصبح الكترونات تكافؤية وتغادر نهاية البلوره اليسرى وتسير لطرف البطارية الموجب.



**الانحياز العكسي: Reverse bias State:**

يمكن تحييز ثنائي البلوره بشكل عكسي وذلك بربط الطرف الموجب للبطارية مع القطعه N وتوصيل الطرف السالب للبطارية مع القطعة p وبذلك يكون اتجاه المجال الخارجي نفس اتجاه الجهد الحاجز ولهذا السبب تتحرك الالكترونات والفجوات باتجاه نهايتي البلورة بعيدا 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 للمصدر ، ازداد عرض طبقة الاستنزاف ويتوقف نمو طبقة الاستنزاف عندما يساوي فرق جهدها الفولتية العكسية المسلطة .



هناك عدد من التيارات في حالة الانحياز العكسي وهي

**1- تيار العبور الزائل (transient current)**

وهو التيار الذي يمر في الدائرة عندما يتغير عرض طبقة الاستنزاف حيث تتحرك الفجوات بعيداً عن الوصلة هذا يعني ان الالكترونات تجري من طرف البطارية السالب الى النهاية اليسرى للبلورة (p) بينما تغادر الالكترونات النهاية اليمنى للبلورة (n) وتجري الى طرف البطارية الموجب. ان تيار العبور الزائل يصبح صفر بعدما يقف نمو طبقة الاستنزاف ويستغرق هذا التيار بضع نانو ثانيه .

**2- تيار الحاملات الأقلية (saturation current)**

تيار بسيط يسري بعد استقرار عرض طبقة الاستنزاف حيث الطاقة الحرارية تنتج أزواج " الكترون- فجوة " بسبب تواجد حاملات شحنة اقلية على طرفي الوصلة ويعمل جهد البطارية العكسي على دفع الالكترون الى جهة نهاية البلوره n ( الجهة اليمنى ) حيث يغادر البلوره باتجاه قطب البطارية الموجب أما الفجوة فتندفع الى جهة البلوره p (الجهة اليسرى) حيث تعمل على جذب الكترون من طرف البطارية السالب الى المنطقة p . ان انتقال الالكترونات والفجوات الى جهتي البلوره وباتجاه مجال البطارية العكسي ينتج عنه تيار صغير مستمر في الدائرة الخارجية ناتج بسبب درجة الحرارة وتولد ازواج الكترون فجوه والذي يسمى بتيار التشبع ايضا.

### 3- تيار التسرب السطحي ( surface-leakage current )

تيار صغير يجري على سطح بلورة الثنائي المنحاز عكسياً ويكون سببه عدم اكتمال الأواصر أو تمزقها على السطح الخارجي للثنائي مما يؤدي الى وجود فجوات على السطح وبذلك يشبه سطح الثنائي مادة شبه موصل نوع p وبذلك تستطيع الالكترونات ان 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.

### جهد الانكسار: (V.B) break-down voltage

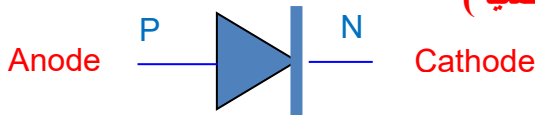
عند الاستمرار في زيادة قيمة الفولتية العكسية نصل أخيراً الى فولتية الانكسار وتكون قيمتها عادة اكبر من (50v) وحال الوصول الى فولتية الانكسار تظهر أعداد كبيرة من الحاملات الأقلية في طبقة الاستنزاف وبذلك يكون توصيل الثنائي غزيراً ،حيث يمر تيار عالي ناشيء من حوامل الشحنة الأقلية المتولده داخل منطقة الاستنزاف بتاثير حراره وبسبب وجود مصدر جهد عكسي يدفع الالكترونات باتجاه يمين البلورة ويدفع الفجوات الى اليسار . كلما زادت فولتية المصدر او البطارية سوف تزداد طاقة الالكترونات في طبقة الاستنزاف وتزداد وسرعتها العشوائية وبالتالي تصدم مع الكترولونات حزمة التكافؤ وتحررها , لذلك تزداد اعداد حاملات الشحنة الأقلية ويتحول الثنائي من حالة القطع الى حالة التوصيل وتسمى فولتية المصدر بفولتية الانكسار.

## الاسبوع الرابع- السادس

### الثنائي المقوم ( أو الموحد):

يمكن تمثيل الثنائي الموحد بالثنائي البلوري حيث تدعى الجهة p بالمصعد (anode) والجهة n بالمهبط (cathode) ويظهر رمز الثنائي كسهم يؤشر من الجهة p الى الجهة n ولذا فهو يذكرنا بان التيار المتعارف عليه يجري بسهولة من الجهة p الى الجهة n

إن الثنائي المنحاز أمامياً يوصل التيار بصوره جيده والمنحاز عكسيا بصوره رديئة (إذا كان اتجاه التيار المتعارف عليه الذي تحاول الدائرة الخارجية أن تدفعه بنفس اتجاه سهم الثنائي يكون الثنائي منحاز أمامياً أما إذا كان التيار عكس سهم الثنائي يكون الثنائي منحاز عكسياً)



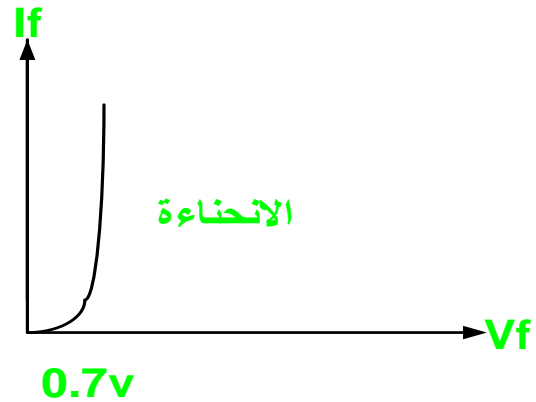
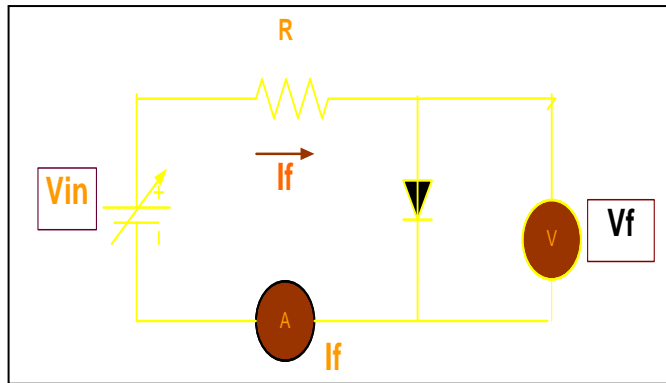
**ملاحظه:**

(1) الثنائي المنحاز أماميا يوصل بسهولة

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

**منحنيات خواص الثنائي****المنحنى الأمامي للثنائي الموحد:**

يمكن بناء دائرة في الاتجاه الامامي عندما يكون المصدر المستمر يدفع تيار في نفس اتجاه سهم الثنائي ، وكلما ازدادت فولتية المصدر نلاحظ زيادة تيار الثنائي ويمكن تمثيل التيار المار بالثنائي وفولتية الثنائي بالمنحنى ادناه لثنائي في حالة انحياز أمامي ، والذي لا يوصل تيار بصورة جيدة حتى التغلب على الجهد الحاجز ومقداره (0.7v) للسليكون وللجيرمانيوم (0.3v)

**فولتية المفصل أو الانحناءة (knee voltage):**

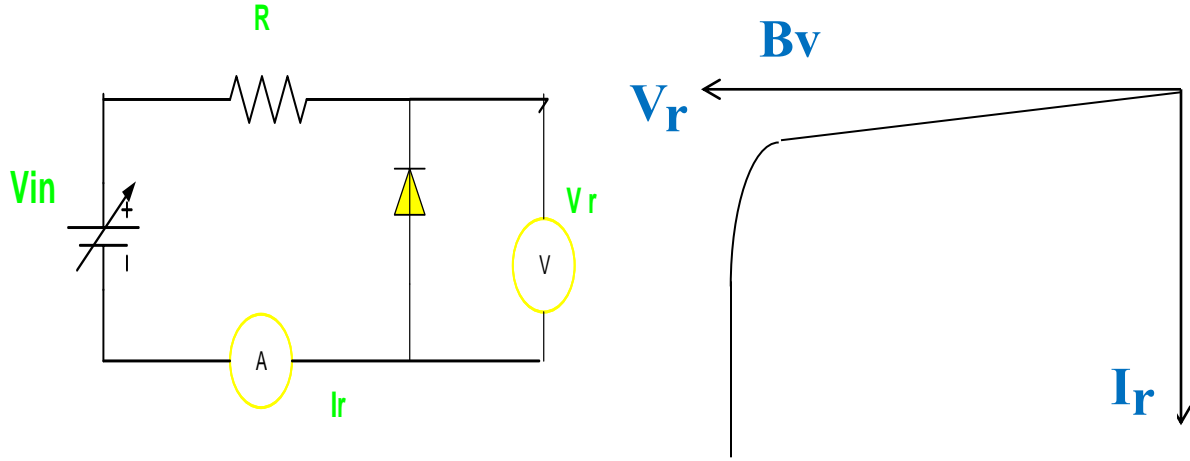
هي الفولتية التي يبدأ التيار عندها بالزيادة السريعة وهي تساوي فولتية الجهد الحاجز . اما فوق فولتية الانحناءة يزداد تيار الثنائي بحده حيث أن زيادة طفيفة في فولتية الثنائي تسبب زيادة كبيرة في تياره.

**تيار الثنائي الاعظم (IF max):**

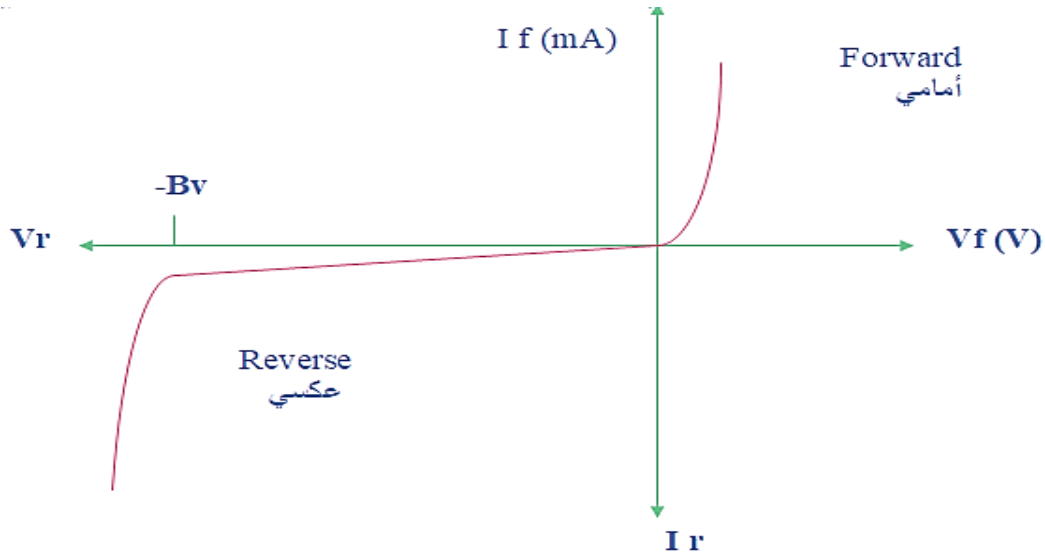
هو اعظم تيار يتحمله الثنائي في حالة الانحياز الامامي عندما تكون فولتية الثنائي اكبر من 0.7v للسليكون واكبر من 0.3v للجرمانيوم وزيادة هذا التيار بقليل يسبب ارتفاع درجة حرارة الثنائي وتلفه

المنحني العكسي للثنائي الموحد:

عندما ينحاز الثنائي عكسيا نحصل على تيار صغير فقط حيث يدفع المصدر المستمر تيار عكس اتجاه سهم الثنائي وبواسطة قياس تيار وفولتية الثنائي نستطيع رسم منحني الانحياز العكسي للثنائي. إن تيار الثنائي المنحاز عكسيا يكون صغيرا جدا عند الفولتيات العكسية وهو ناشيء من تيارات العبور الزائل والتسرب السطحي وحاملات الشحنة الاقلية وعند وصول الى فولتية الانكسار  $BV$  سوف يزداد التيار بسرعة كبيرة بسبب انهيار الثنائي وتلفه.



وباستخدام قيم موجبة للفولتية وللتيار الأمامي . و قيم سالبة للتيار و الفولتية العكسية نستطيع أن نرسم منحني يمثل عمل الثنائي في الاتجاهين الأمامي و العكسي .



## دوائر الثنائي

### التوحيد أو التقويم:

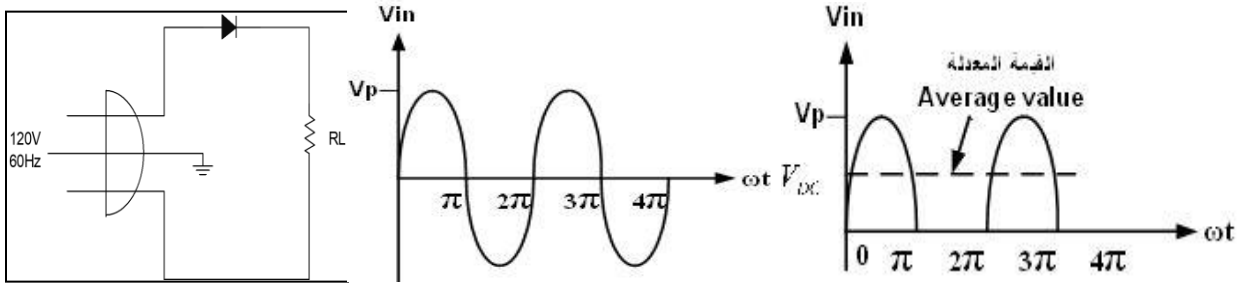
تستخدم دوائر التوحيد في تحويل مصدر القدرة ذي تيار المتناوب (AC) الى مصدر قدرة ذو تيار مستمر (DC) عن طريق الثنائي الموحد ويستخدم مصدر التيار المستمر (DC) في اغلب الدوائر الالكترونية.

### الموحد:

هو ثنائي يستخدم بعملية تحويل الكمية التناوبة الى مستمره حيث يمرر التيار بالاتجاه الامامي ويمنع مروره بالاتجاه العكسي ويوجد عدة دوائر للتوحيد منه منها موحد نصف موجة و موحد موجة كاملة.

## موحد نصف الموجة Half-Wave Rectifier

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 (RL) عبارة عن إشارة نصف موجيه. علما أن موجة الدخل هي جيبيهة المتناوبة .



### \*\* حساب قيمة جهد جذر متوسط التربيع وقيمة جهد الذروه

قيمة جذر متوسط التربيع وتسمى بـ  $(V_{RMS})$  بالقيمة الفعالة المتناوبة  $V_{RMS} = \frac{V_P}{\sqrt{2}}$  , بينما تحسب قيمة فولتية الذروة كالتالي  $V_P = \sqrt{2} * V_{RMS}$

### \*\* حساب قيمة جهد المعدل وتردد الإخراج

إن قيمة المعدل (average value) لجهد الخرج لموحد نصف الموجة تعرف أيضا بالقيمة المستمرة لاشاره نصف موجيه وتحسب كالتالي  $V_{DC} = \frac{V_P}{\pi}$  حيث أن  $\pi$  تساوي تقريبا (3.14).



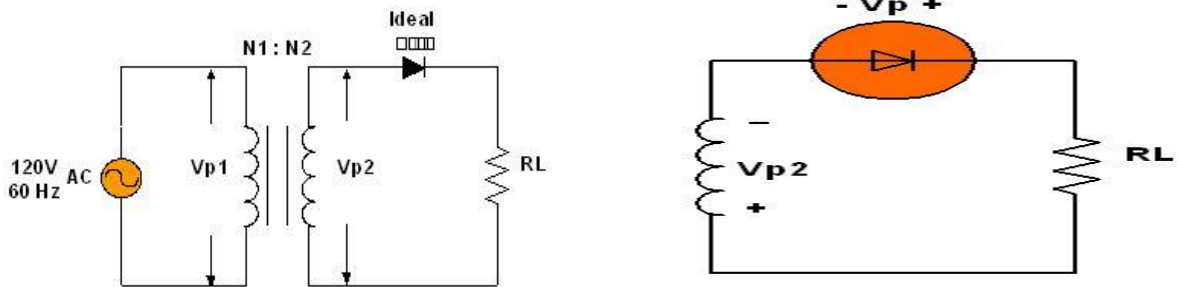
بينما تكون قيمة التيار المستمر على مقاومة حمل في موحد نصف الموجة هي  $I_{DC} = \frac{V_{DC}}{R_L}$

لحساب قيمة تردد الاخراج نلاحظ ان الفترة (زمن الذبذبة) لإشارة الإخراج نفسها فترة إشارة الإدخال في موحد نصف الموجة . فكل ذبذبة في الإدخال تنتج ذبذبة واحدة في الإخراج وهذا هو السبب في إن تردد الإخراج في موحد نصف الموجه يساوي تردد الإدخال اي  $F_{in} = F_{out}$

### \*\*المحول و فولتية الذروة العكسية

يمكن استخدام المحول (transformer) في مدخل الأجهزة الالكترونية ليتيح لنا رفع أو خفض الفولتية وكذلك يقوم بعزل الدائرة عن المصدر الخارجي مما يقلل احتمال الإصابة بصدمة كهربائية . حيث ان  $v_{p1}$  و  $v_{p2}$  تمثل قيمة الجهد على طرفي المحول الابتدائي والثانوي بينما  $N_1$  و  $N_2$  تمثل عدد لفات المحول الابتدائية والثانوية.

يمكن تمثيل فولتية الذروة العكسية في مقوم نصف موجة بذروة نصف الذبذبة السالبة للفولتية الثانوية  $VP_2$ ، وفي هذه الحالة يكون الثانوي في وضع عدم توصيل وبسبب عدم سريان التيار في الثانوي فان الفولتية الثانوية العظمى تظهر عبر الثانوي ، تسمى بفولتية الذروة العكسية (PIV inverse voltage) وهي تمثل الفولتية العظمى التي يجب أن يتحملها الثانوي خلال الجزء العكسي من الذبذبة وتساوي  $PIV=VP_2$



عيوب موحد نصف الموجة:

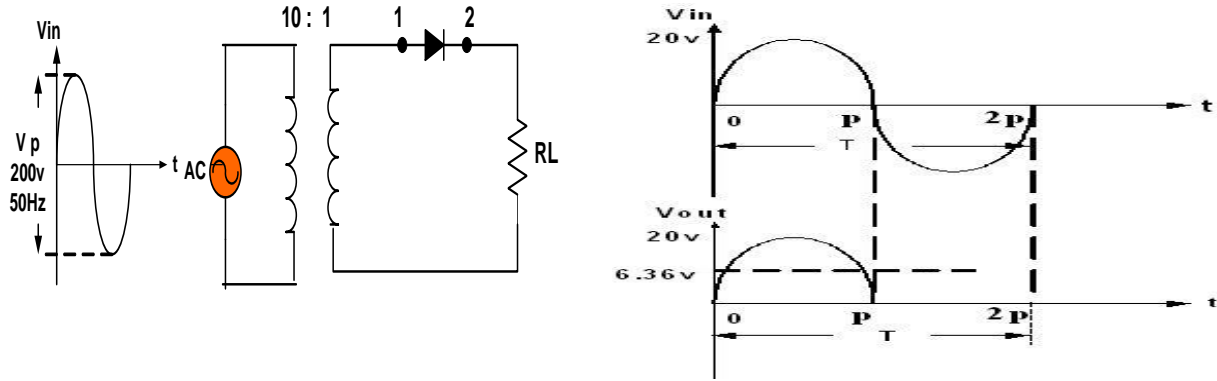
1- يحذف الجزء السالب ويسبب خساره في الطاقة 2- الكمية المستمر فيه قليلة

**مثال:** في دائرة موحد نصف الموجة المبينة في الشكل أدناه أوجد؟ 1- فولتية الذروة في النقطة (1)

2- ارسم شكل الموجة في النقطتين 1 و 2. 3- احسب قيمة الفولتية المستمرة (Vd.c) والتيار المستمر (Id.c) على مقاومة الحمل (RL) 4- احسب فولتية الذروة العكسية (PIV) وتردد الإخراج

fout

الحل:-



$$V_{P1} = 200v$$

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

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

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

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

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

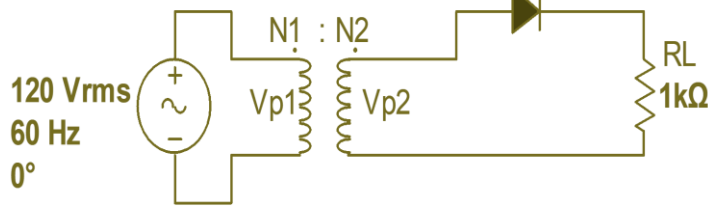
مثال :

في دائرة موحد نصف الموجة المبينة في الشكل أدناه علما أن نسبة الل،  $N_1 : N_2 = 4 : 1$  احسب 1- احسب

فولتية الحمل المستمرة (Vdc) 2- جد تيار الحمل المستمر (Idc) 3- ما مقدار فولتية الذروة العكسية

(PIV) 4- احسب تردد الإخراج 5- ارسم موجة الإدخال و الإخراج

مثالي



الحل:

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

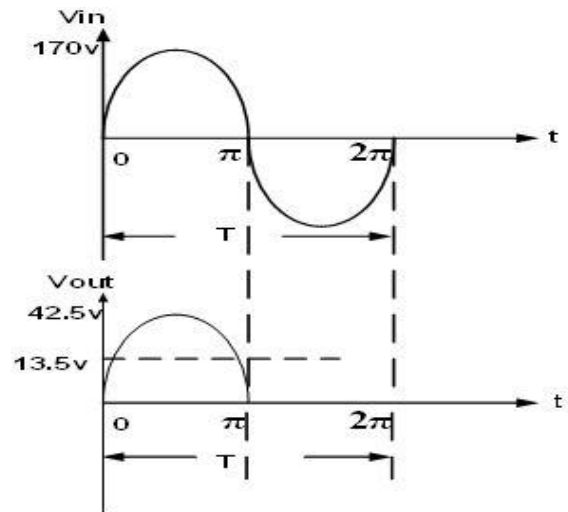
$$\frac{V_{P1}}{V_{P2}} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow V_{P2} = \frac{N_2}{N_1} * V_{P1} \Rightarrow V_{P2} = \frac{1}{4} * 170v = 42.5v$$

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

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

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

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



## الاختبار القبلي

## املاء الفراغات التالية بما يناسبها من الكلمات

- 1- عملية التوحيد يقصد بها تحويل فولتية التيار ----- الى فولتية التيار-----
- 2- دائرة موحد نصف الموجه تستخدم ثنائي مقوم عدد -----
- 3- يتصل طرف المصعد للثنائي بمصدر ----- المراد توحيدة ويتصل طرف المهبط ب-----
- 4- عند النصف الموجب لموجة الدخل يكون الثنائي منحاز ----- بينما يكون الثنائي منحاز ----- عند النصف السالب لموجة الدخل
- 5- في موحد نصف الموجه كل ذبذبة في ----- تنتج ذبذبة واحدة في الإخراج ولذلك يكون تردد الإخراج ----- لتردد الإدخال

## الاختبار البعدي

- 1- ما لغرض من وجود المحول في إدخال معظم الأجهزة الالكترونية؟
- 2- ما المقصود بفولتية الذروة العكسية في موحد نصف الموجه؟

## مفاتيح اجوبة الاختبارات

## الاختبار القبلي

- 1- المتناوب, المستمر
- 2- واحد
- 3- الفولتية المتناوب , مقومة الحمل
- 4- أمامياً , عكسياً
- 5- الدخل , مساوي

## الاختبار البعدي

- 1- المحول يتيح لنا رفع أو خفض الفولتية .كذلك له ميزه أخرى وهي عزل الدائرة عن خط القدرة مما يقلل احتمال الإصابة بصدمة كهربائية.
- 2- فولتية الذروة العكسية تمثل الفولتية العظمى التي يجب أن يتحملها الثنائي خلال الجزء العكسي من الذبذبة
- 3- PIV=-VP

- أ- في حالة استخدام ثنائي من مادة السليكون  $VP(out) = VP(in) - 0.7v$
- ب- في حالة استخدام ثنائي من مادة الجرمانيون  $VP(out) = VP(in) - 0.3 v$

## موحدات الموجة الكاملة:

الفرق بين موحدات الموجة الكاملة وموحدات نصف الموجة وجود تيار عبر الحمل خلال موجة الدخل بأكملها وهناك نوعان من موحدات الموجة الكاملة وهما

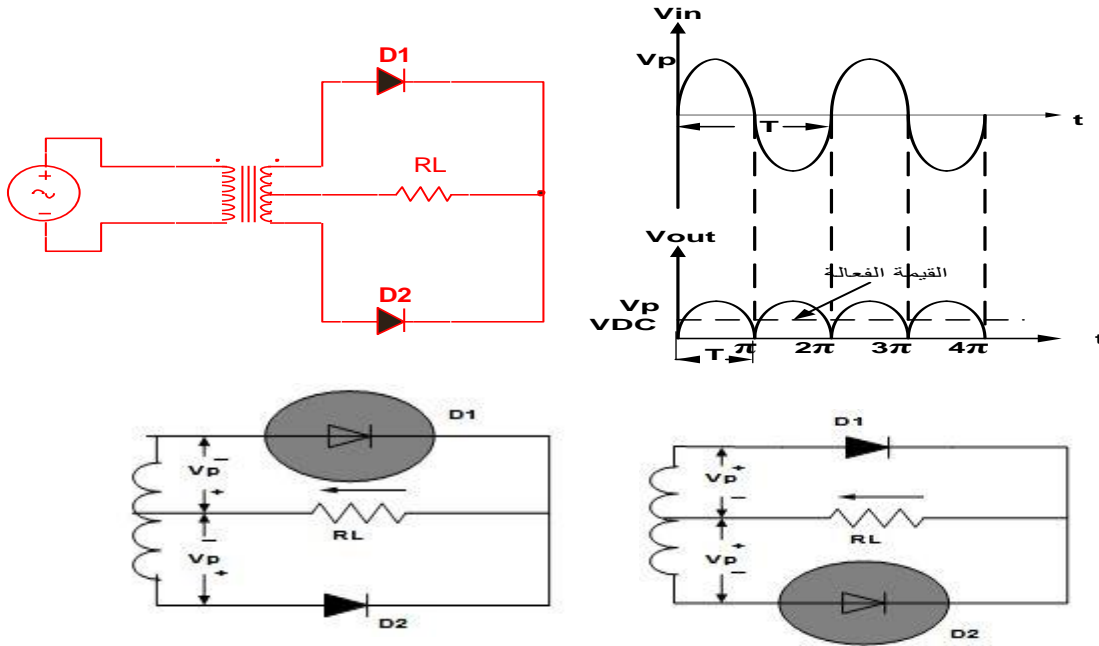
1- موحد الموجة الكاملة بتفرع وسطي 2 - موحد الموجة الكاملة القنطري

### موحد التفرع الوسطي (Center-tap rectifier)

خلال نصف الذبذبة الموجب لفولتية الملف الثانوي يكون الثنائي العلوي (D1) منحاز أماميا . و يكون الثنائي السفلي (D2) منحاز عكسيا . لذلك يمر تيار في الثنائي العلوي ومقاومة الحمل والنصف العلوي من الملف.

وفي خلال نصف الذبذبة السالب لفولتية الملف الثانوي يكون الثنائي العلوي (D1) منحاز عكسيا . ويكون الثنائي السفلي D2 منحاز أماميا ولذلك سيمر تيار خلال الثنائي السفلي ومقاومة الحمل والنصف السفلي من الملف ، ويكون تيار الحمل بنفس اتجاه تيار الذبذبة الموجب لذلك تكون محصلة التيار الكلي هي مجموعهما وهذا السبب في إن فولتية الحمل هي الإشارة الموجبة الكاملة (full-wave) لاحظ الشكل في

ادناه



### قيمة فولتية المعدل وتردد الإخراج لموحد بتفرع وسطي

1- إن عدد النبضات الموجبة التي نحصل عليها في موحد موجة كاملة هي ضعف عدد النبضات في اخراج

موحد نصف الموجة لذلك فإن قيمة الفولتية المستمرة لإشارة الموجة الكاملة تتضاعف أيضا  $V_{DC} = \frac{2V_P}{\pi}$

2- موحد الموجة الكاملة يسمح بمرور التيار عبر الحمل خلال نصفي إشارة الإدخال الموجبة والسالبة بينما موحد نصف الموجة يسمح بمرور التيار خلال النصف الموجب فقط، وبعبارة أخرى فإن كل ذبذبة إدخال لموحد موجة كاملة تنتج ذبذبتين في الإخراج نتيجةً لذلك فإن تردد موجة الإخراج في موحد موجة كاملة هو ضعف تردد موجة الإدخال  $f_{out} = 2f_{in}$

### فولتية الذروة العكسية لموحد بتفرع وسطي (PIV)

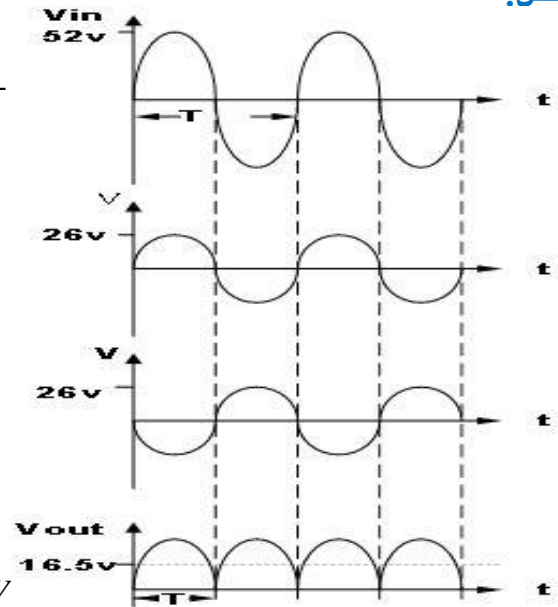
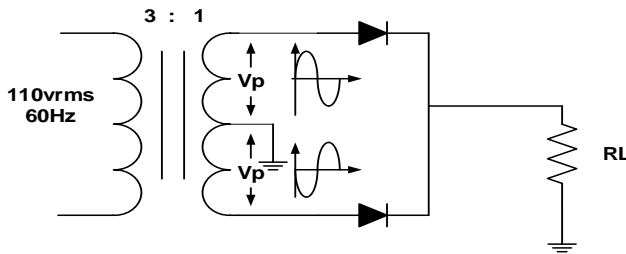
إن الفولتية العكسية المسلطة على الثنائي الغير موصل هي ضعف قيمة الإدخال  $PIV = 2V_p$

### \*مميزات وعيوب موحد الموجة الكاملة؟

- 1- يعطي فولتية مستمره ضعف ما هو موجود في موحد نصف الموجة
- 2- لا يحذف الجزء السالب من الاشارة اي لايسبب خساره في الطاقة
- 3- يستخدم محول التفرع الوسطي ولايعمل في حالة عطلها
- 4- يستخدم دايود عدد اثنان مما يسبب خساره في الطاقة

**مثال:** في دائرة الموحد الموضحة في الشكل المجاور إذا كانت مقاومة الحمل هي  $(68\Omega)$  احسب القدرة المستمرة المبددة على الحمل، PIV، تردد الخرج  $f_{out}$ . ارسم الموجة على نصفي الملف الثانوي و الحمل ؟

الحل:-



$$V_{P1} = \sqrt{2} * 110V_{rms} = 155.5v$$

$$\frac{V_{P1}}{V_{P2}} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow V_{P2} = V_{P1} * \frac{N_2}{N_1}$$

$$V_{P2} = 155.5 * \frac{1}{3} = 51.833v$$

$$V_P = \frac{V_{P2}}{2} = \frac{51.833}{2} \approx 26v$$

$$V_{DC} = \frac{2V_P}{\pi} = \frac{2 * 26}{3.14} = 16.56v$$

$$I_{DC} = \frac{V_{DC}}{R_L} = \frac{16.56}{68} = 0.2435A$$

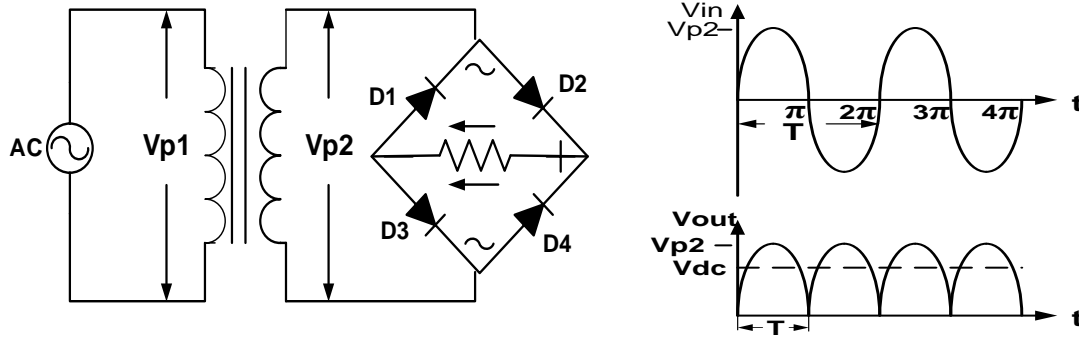
$$P_{DC} = V_{DC} * I_{DC} \rightarrow P_{DC} = 16.56 * 0.2435 = 4W$$

$$PIV = 2V_P = 2 * 26 = 52v$$

$$f_{out} = 2f_{in} = 2 * 60 = 120Hz$$

المقوم القنطري (Bridge rectifier):

المقوم (موحد) قنطري وهو أكثر المقومات استعمالاً. في خلال نصف الذبذبة الموجب من الفولتية الثانوية يكون الثنائيان (D2&D3) منحازين أمامياً بينما الثنائيان (D1&D4) منحازين عكسياً ولذلك يمر التيار خلال D2,D3 ومقاوم الحمل. أما خلال نصف الذبذبة السالب فإن الثنائيان (D1&D4) منحازين أمامياً بينما الثنائيان (D2&D3) منحازين عكسياً فيمر التيار عبر D1,D4 ومقاوم الحمل وبنفس اتجاه التيار السابق وهذا السبب بان فولتية الحمل هي إشارة الموجة الكاملة المبينة بشكل موجة الإخراج.

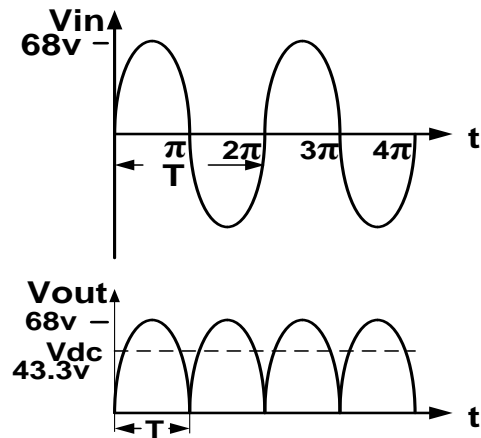
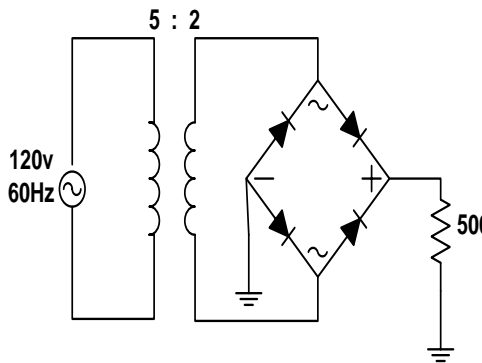


إن القيمة المعدل أو القيمة المستمرة للفولتية (VDC) للفتطرة هي :  $V_{DC} = \frac{2V_{P2}}{\pi}$

يكون تردد الإخراج ضعف تردد الإدخال  $f_{out} = 2f_{in}$

أما قيمة فولتية الذروة العكسية فهي  $PIV = V_{P2}$

**مثال:** في دائرة الموحد القنطري والمبينة بالشكل أدناه أوجد مقدار فولتية الحمل المستمرة (Vdc). احسب تيار الحمل المستمر، جد القدرة المبذدة على الحمل، ما مقدار تردد الإخراج وفولتية الذروة العكسية، ارسم شكل موجة الإدخال والإخراج؟



**الحل:**

$$V_{P1} = \sqrt{2} * V_{RMS}$$

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

$$\frac{V_{P1}}{V_{P2}} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow V_{P2} = \frac{N_2}{N_1} V_{P1}$$

$$V_{P2} = \frac{2}{5} * 170v = 68v$$

$$V_{DC} = \frac{2V_{P2}}{\pi} = \frac{2 * 68}{3.14} = 43.3v$$

$$I_{DC} = \frac{V_{DC}}{R_L} = \frac{43.3}{500} = 0.0866A$$

$$P_{DC} = I_{DC} * V_{DC}$$

$$P_{DC} = 0.0866 * 43.3 = 3.75W$$

$$f_{out} = 2f_{in} = 2 * 60Hz = 120Hz$$

$$PIV = V_{P2} = 68v$$

### \*مميزات وعيوب المقوم القنطري

المميزات: يعطي فولتية مستمرة مضاعفة والحمل المستخدم معه ليس ضروري لذلك يكون الأكثر استخداماً  
العيوب:

1- يستخدم 4 ثنائيات مما يسبب كلفة اقتصادية

2- في كل نصف موجة ينحاز ثنائي أمامياً بالحالة العملية ويستهلك المصدر على كل ثنائي 0.7 فولت إذ يكون هناك ضياع بالجهد مقداره 1.4 V من فولتية الملف الثانوي لذلك لا يستخدم الموحد القنطري مع الفولتيات القليلة

## الاسبوع السابع - العاشر

### المرشحات (FILTERS)

إن اخراج دوائر التوحيد هو الفولتية المستمرة النبضية التي تستخدم في شحن البطاريات وتحريك المحركات المستمرة. إما ما نحتاجه فعلاً فهي الفولتية المستمرة ثابتة القيمة التي تشبه فولتية البطارية، ولتحويل إشارات نصف موجة أو إشارات موجة كاملة إلى فولتيات مستمرة يجب أن نرشح filter أو نسمح smooth المتغيرات المتناوبة باستخدام المرشحات الحثية والسعوية.

انواع المرشحات

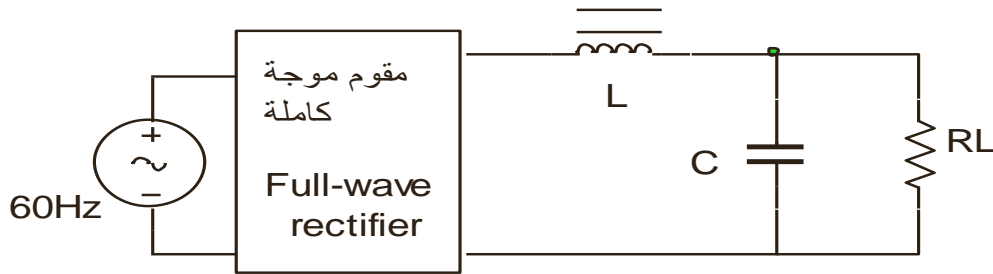
1- مرشح الإدخال الخائق

2- مرشح الإدخال السعوي



## مرشح الإدخال الخائق LC : (Choke-input filter)

يعمل موحد الموجة الكاملة بتغذية ملفاً خانقاً choke (ملف محاثة ذو قلب حديدي) وامتسعة ومقاومة حمل حيث تربط المحاثة والامتسعة قبل الحمل. تكون الموجة الخارجة من الموحد لها مركبتان إحداها مركبة مستمرة (نريدها) ومركبة متناوبة (غير مرغوب فيها). يسمح الملف الخائق للمركبة المستمرة بالمرور خلاله لأن  $X_L$  تساوي صفر بالنسبة للتيار المستمر (التردد=0) وبما إن الامتسعة تمثل دائرة مفتوحة (مالانهاية) عند تردد مقداره صفر ولذلك فإن كل التيار المستمر الخارج من الملف الخائق يمر خلال المقاومة  $R_L$ .



أما المركبة المتناوبة الخارجة من الموحد فلها تردد مقداره 120Hz ويقوم الخائق بحجز هذه المركبة المتناوبة لأن  $X_L$  تكون كبيرة عند هذا التردد كذلك تقوم الامتسعة بتمرير أي مركبة متناوبة استطاعة المرور خلال الملف الخائق بدلاً من المرور خلال  $R_L$  لأن  $X_C$  قليلة بالنسبة للتيار المتناوب (دائرة قصر). وبذلك فإن الملف الخائق والامتسعة يعملان عمل مقسم فولتية متناوبة الذي يوهن أو يقلص المركبة المتناوبة.

### حساب الأخراج المستمر

إخراج المرشح هو مركبة مستمرة كبيرة وأخرى متناوبة صغيرة. وتحسب المركبة المستمرة بالمعادلة التالية:

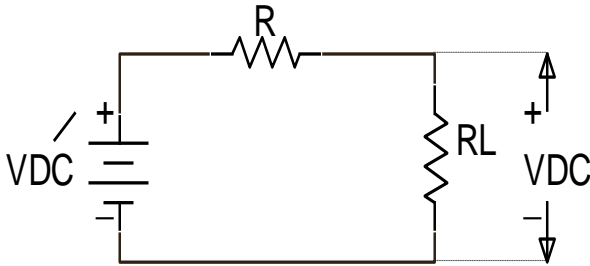
$$V_{DC} = \frac{R_L}{R + R_L} V'_{DC}$$

حيث إن:

$R$  مقاومة الخائق المستمرة

$V'_{DC}$  الفولتية المستمرة على مقاومة الحمل  $R_L$

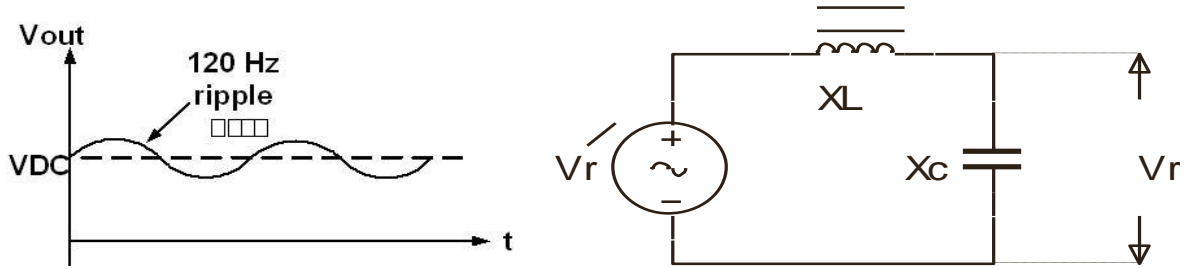
$V_{DC}$  هي الفولتية المستمرة الخارجة من موحد الموجة الكاملة.



إن مقاومة الحمل ومقاومة الخائق يشكلان مقسم فولتية عند تردد مقداره صفر حيث تكون  $R$  اصغر بكثير من  $R_L$  لذلك فإن معظم الفولتية المستمرة تصل إلى الحمل

## تموج الإخراج

الشكل ادناه يبين تردد الإشارة المتناوبة الخارجة من موحد الموجة الكاملة مقداره (120Hz) ويكون توهين هذه الإشارة شديداً. إن هذه التذبذبات الغير مرغوب فيها والموجودة فوق المركبة المستمرة 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 التالية:  $V_r = \frac{X_C}{X_L} V_r$

وفي هذه المرحلة يمكننا استخدام المعادلة التالية في تحاليلنا  $V_r = 5.28(10^{-7}) \frac{V_P}{LC}$  ويفضل استخدام مقومات موجة كاملة لان تردداتها مضاعف وهذا يعني قيم (C و L) اصغر

## عامل التموج

عامل التموج **ripple factor**: هو رقم يستخدم للمقارنة بين أجهزة القدرة ويعرف كنسبة مئوية ويستخدم لغرض المقارنة بين أجهزة القدرة حيث كلما كانت قيمة  $r$  اصغر كان ذلك الجهاز أفضل

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

## المحاثة الحرجة

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

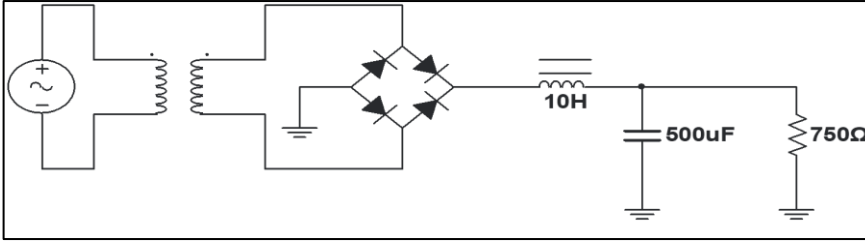
$$L_{critical} \cong \frac{R_L}{1000}$$

وكما كبرت المحاثة عن تلك القيمة كان الترشيح طبعياً.

**مثال:** للدائرة التالية إذا كانت إشارة الموجة الكاملة عند مدخل الخانق فولتية ذروة مقدارها 25.7v. فلو

كان للخانق مقاومة مستمرة مقدارها  $25\Omega$ . فما مقدار فولتية الإخراج المستمرة؟ وما مقدار تموج

الإخراج؟ وما مقدار عامل التموج؟



الحل:

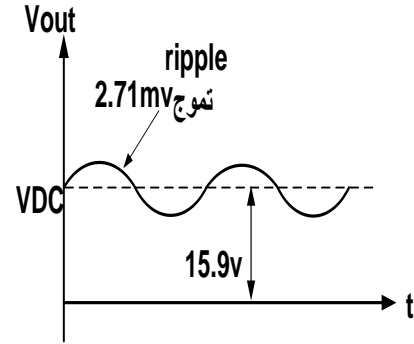
$$V'_{DC} = \frac{2V_P}{\pi} = \frac{2 * 25.7}{3.14} = 16.4v$$

$$V_{DC} = V'_{DC} * \frac{R_L}{R + R_L} = 16.4 * \frac{750}{25 + 750} = 15.9v$$

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

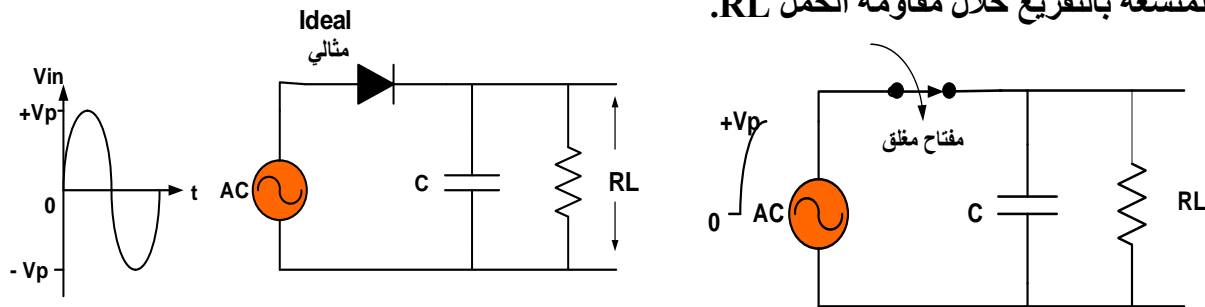
$$V_r = \frac{0.528 * 25.7}{5000} = 0.00271v = 2.71mv$$

$$r\% = \frac{V_r}{V_{DC}} * 100\% = \frac{0.00271}{15.9} * 100\% = 0.017\%$$



### مرشح الإدخال السعوي RC (Capacitor-input filter)

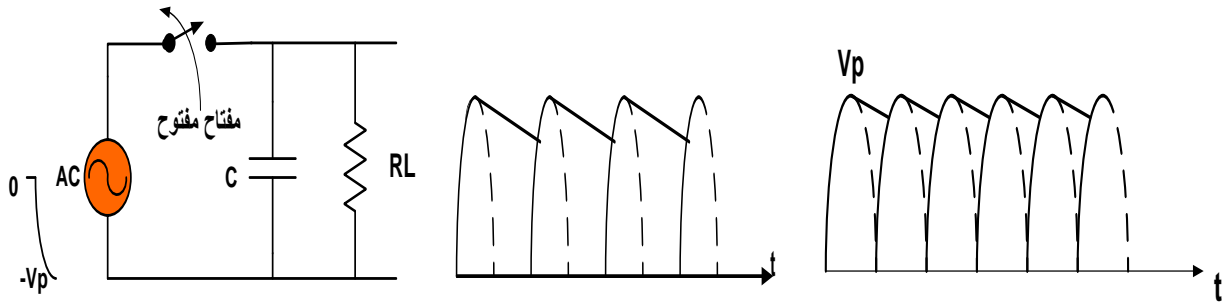
مرشح الإدخال السعوي يعتمد على كشف الذروة بدلاً من كشف القيمة المعدلة كما في مرشح الإدخال الخائق حيث يتم استخدام المتسعة عوضاً عن الملف الخائق وبالتالي يتغير عمل المرشح من كشف القيمة المعدلة إلى كشف الذروة. الشكل ادناه يبين دائرة مرشح الادخال السعوي. خلال ربع الذبذبة الأول من فولتية الإدخال يكون الثنائي في وضع انحياز أمامي يظهر كمفتاح مغلق لذا فإن المتسعة تنشحن إلى  $V_p +$  حال عبور الذروة يتوقف الثنائي عن التوصيل وكان المفتاح قد أنفتح. والسبب في ذلك لان المتسعة انشحنة إلى فولتية  $+V_p$  وعندما يصبح مصدر الفولتية اقل من  $+V_p$  تحاول المتسعة أن ترغم تيار 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 RL.



ان ثابت الزمن (RLC) اكبر بكثير من فترة نبضية إشارة الإدخال (T) ، ولهذا السبب فان المتسعة ستفقد جزء صغير من شحنتها. وبالقرب من ذروة الإدخال الموجبة التالية يتحول الثنائي إلى وضع التوصيل لفترة وجيزة ويعيد شحن المتسعة .

الشكل ادناه يبين موجة الإخراج لمرشح الإدخال السعوي مع مقوم نصف موجة ولفولتية ذروة  $V_p$ . إن فولتية إشارة الخرج ثابتة تقريبا واختلافها الوحيد عن الفولتية المستمرة ألسرفه هي التموج الصغير الناتج عن شحن وتفريغ المتسعة ، وكلما كان التموج صغيرا كان ذلك أفضل.

ان الزمن الذي تستغرقه المتسعة بشحن وتفريغ شحنتها يسمى ثابت الزمن ويمتاز بانه طويل لذلك يستخدم مقوم موجة كاملة (قنطري أو مأخذ وسطي ) مربوط مع متسعة ينتج تقويم ذروة أفضل لان المتسعة تنشحن مرتين خلال زمن النبضية الواحده لذا يكون التموج اصغر



### ثابت الزمن

إذا كان تردد الإدخال لدائرة موجة كاملة مقداره (60Hz) يكون تردد الإخراج (120Hz) ولذلك فإن فترة

$$\text{الإخراج تكون : } T = \frac{1}{f} = \frac{1}{120} = 8.33ms$$

وللحصول على ثابت زمن طويل يجب أن يكون حاصل ضرب RL في C اكبر بكثير من (8.33ms) ولكن

$$R_L * C \geq 83.3ms \text{ السؤال كم اكبر ؟ على الأقل عشر مرات اكبر وهذا يعني}$$

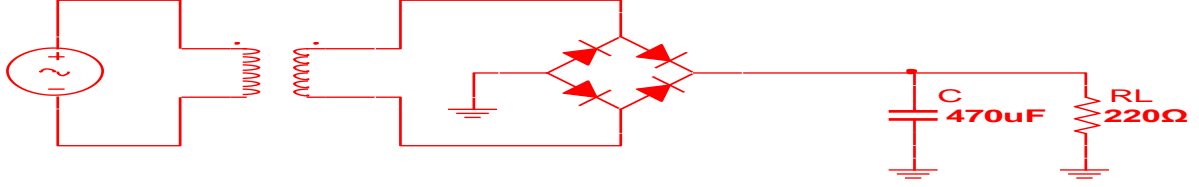
وعندما يتحقق هذا الشرط نستطيع استخدام التقارب التالي مع مقومات ذروة الموجة الكاملة

$$V_{DC} = \left(1 - \frac{0.00417}{R_L * C}\right) * V_P \dots V_r = \frac{0.0024 * V_P}{R_L * C} \text{ حيث أن } V_r \text{ هي الفولتية الفعالة للموج}$$

$$\text{قيمة عامل التموج تحسب بالمعادلة } r = \frac{V_r}{V_{DC}} 100\%$$

$$\text{إن اصغر قيمة لسعة المتسعة التي تعطي ترشياً جيداً تحسب بالمعادلة } C_{\min} = \frac{0.24}{r * R_L}$$

**مثال:** في الدائرة الموضحة أدناه إذا كانت ذروة الفولتية الثانوية تساوي (30v) . احسب فولتية الإخراج المستمرة وما مقدار التموج وما مقدار عامل التموج ؟ علما أن الثنائيات مثالية



**الحل:** يجب أن نتأكد من أن عامل الزمن أكبر من  $83.3ms$   $R_L * C = 220 * 470 * 10^{-6} = 103ms$

$$V_{DC} = \left(1 - \frac{0.00417}{R_L * C}\right) * V_P = \left(1 - \frac{0.00417}{0.103}\right) * 30 = 28.8v$$

$$Vr = \frac{0.0024}{R_L * C} * V_P = \frac{0.0024}{0.103} * 30 = 0.699v$$

$$r\% = \frac{Vr}{V_{DC}} * 100\% = \frac{0.699}{28.8} * 100\% = 2.427\%$$

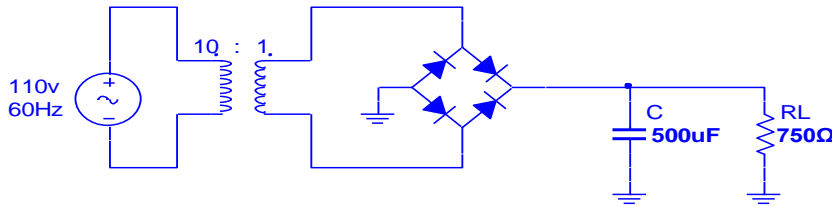
**مثال:** على مقوم ذروة موجة كاملة أن يواجه المواصفات التالية،  $r=2\%$ ،  $RL=10K\Omega$ ، احسب

القيمة الصغرى لسعة الترشيح التي يحتاجها ؟

$$C_{min} = \frac{0.24}{r * R_L} = \frac{0.24}{2 * 10 * 10^3} = 0.000012F = 12\mu F$$

**الحل:**

**مثال:** في الدائرة الموضحة بالشكل أدناه اوجد عامل التموج ؟



**الحل:**

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

$$375ms > 83.3ms$$

$$V_{P1} = \sqrt{2} * 110 \approx 155v$$

$$\frac{V_{P1}}{V_{P2}} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow V_{P2} = \frac{N_2}{N_1} * V_{P1} \rightarrow V_{P2} = \frac{1}{10} * 155 = 15.5v$$

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

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

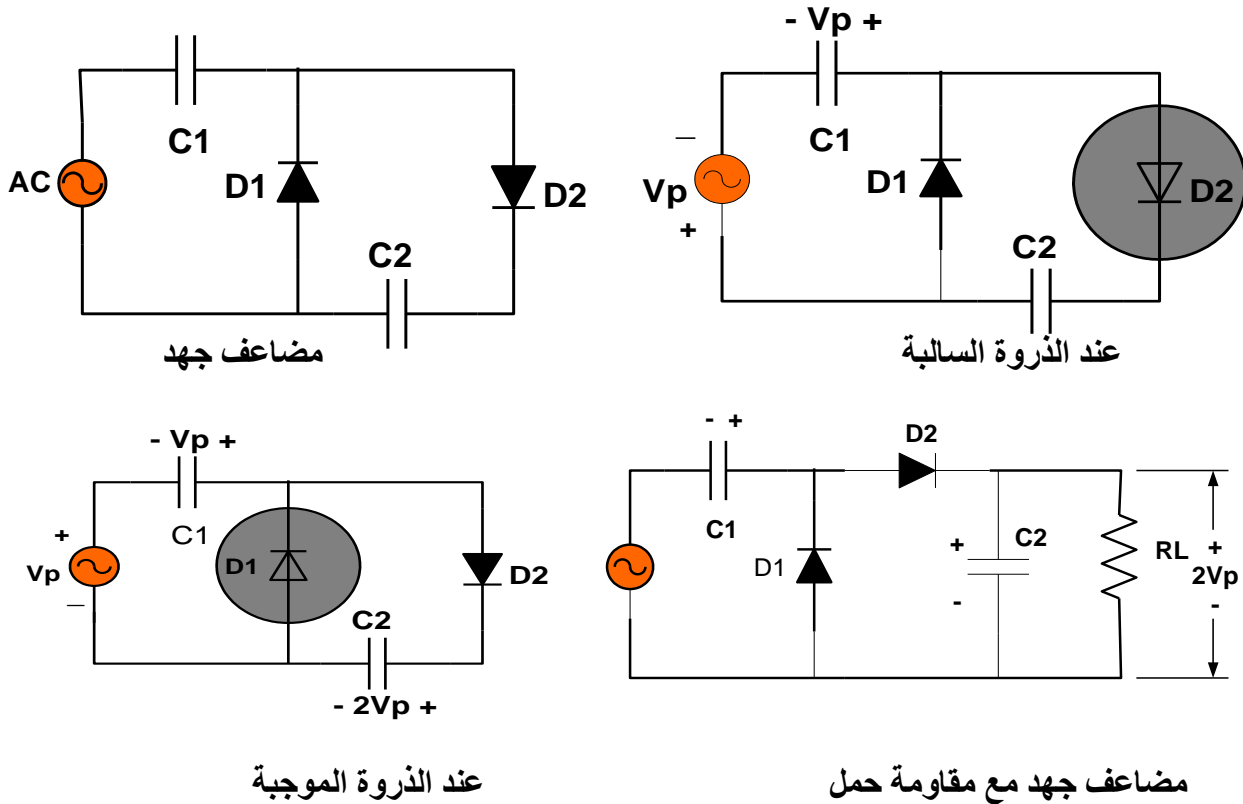
$$r\% = \frac{Vr}{V_{DC}} * 100\% = \frac{0.099}{15.327} * 100\% = 0.647\%$$

## مضاعفات الفولتية (Voltage multiplier)

هو عبارة عن مقومي ذروة أو أكثر لغرض إنتاج فولتية مستمرة تساوي قيمتها أضعاف قيمة فولتية الإدخال {  $(2V_p)$  أو  $(3V_p)$  أو  $(4V_p)$  وهكذا } إن هكذا مجهزات قدرة تستخدم لتجهيز فولتية عالية والتيار قليل مثل تجهيز أنبوب الأشعة المهبطية .

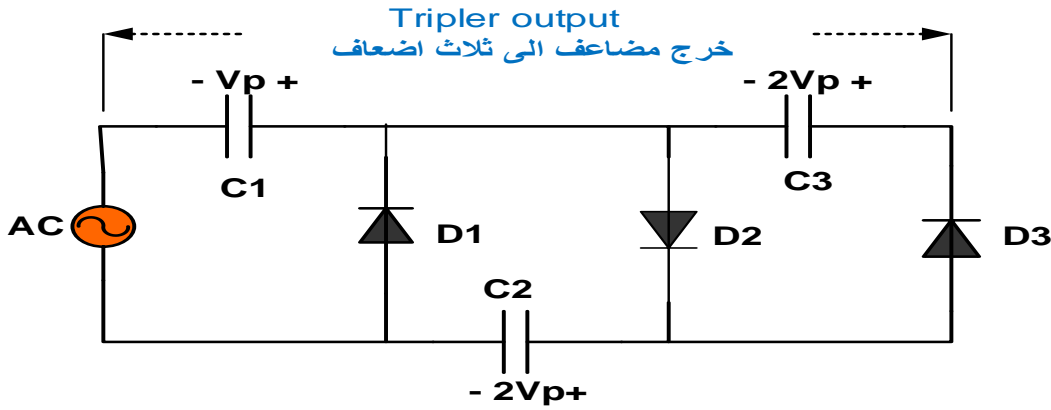
### مضاعف الفولتية إلى الضعف (Voltage Doubler):

وهو ناتج عن ربط موحدي ذروة معاً ، عند الذروة السالبة يكون (D1) منحاز أمامياً أما (D2) فيكون منحاز عكسياً ، وهذا يؤدي إلى شحن المتسعة C1 إلى فولتية الذروة  $V_p$  . أما عند الذروة الموجبة يكون (D1) منحاز عكسياً ويكون الثنائي (D2) منحاز أمامياً وبما أن المصدر والمتسعة (C1) مربوطان على التوالي ، ستشحن المتسعة (C2) إلى  $(2V_p)$  وبعد عدة نبضات تبلغ الفولتية على (C2) المقدار  $(2V_p)$  . ويمكن إعادة رسم دائرة مضاعف الفولتية إلى الضعف مع ربط مقاومة الحمل مع مراعاة قيمة مقاومة الحمل كلما كانت كبيرة بقية فولتية الإخراج تساوي تقريباً  $(2V_p)$  ، 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 مقوم الذروة . إن مقومي الذروة الأوليين يعملان عمل مضاعف فولتية إلى الضعف حيث يكون الثنائيات (D1) مع (D3) منحازان اماميا عند نصف الذبذبة السالب مما يؤدي الى شحن المتسعة (C1) الى  $V_p$  وكذلك تشحن المتسعة (C3) الى  $(2V_p)$ . اما عند نصف الذبذبة الموجب فيكون الثنائي (D2) منحاز اماميا فيؤدي الى شحن المتسعة (C2) الى  $(2V_p)$ . إخراج الدائرة يظهر عبر (C1) و (C3) ويربط الحمل عبر إخراج الدائرة . وطالما كان ثابت الزمن طويلاً كان الإخراج تقريباً  $(3V_p)$



## دوائر التقليم Clipping

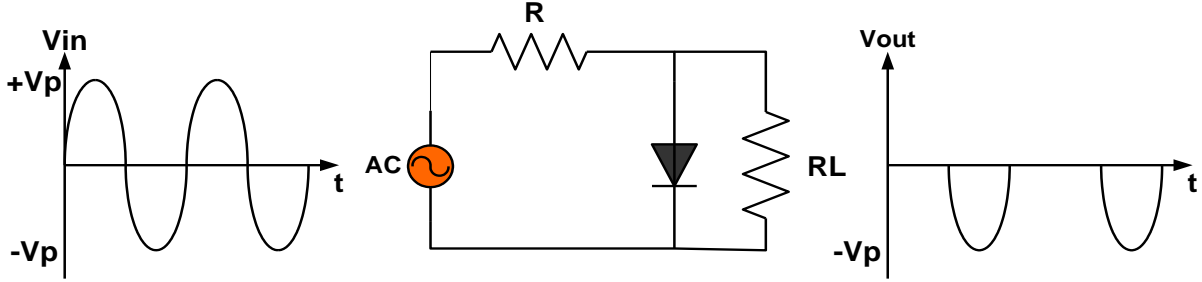
في بعض المنظومات الالكترونية نرغب أحيانا بإزالة فولتيات الإشارة فوق أو تحت مستوى فولتية معين وباستخدامنا الثنائيات المقلمة يمكننا الحصول على الإزالة.

### المقلم الموجب: (Positive Clipper)

تعمل هذه الدائرة على إزالة الأجزاء الموجبة من الموجة والمبينة بالشكل ادناه والذي نلاحظ فيه إن جميع الأجزاء الموجبة لإشارة الإدخال قد أزيلت من إشارة الإخراج . خلال نصف الذبذبة الموجب لفولتية الإدخال يكون الثنائي منحاز اماميا ويعمل كمفتاح مغلق وكتقريب أولي الفولتية على دائرة القصر تساوي صفر. لذلك تكون فولتية الإخراج تساوي صفر لكل نصف ذبذبة موجب لإشارة إدخال الدائرة . وتكون كل الفولتية قد هبطت على المقاومة R. اما خلال نصف الذبذبة السالب لإشارة الإدخال يكون الثنائي منحاز عكسيا وكأنه مفتاح مفتوح وبالتالي تعمل الدائرة كمقسم فولتية وبإخراج قدره  $V_{out} = \frac{R_L}{R+R_L} V_p$  وتكون RL اكبر بكثير من R ولذلك  $V_{out} \cong -V_p$

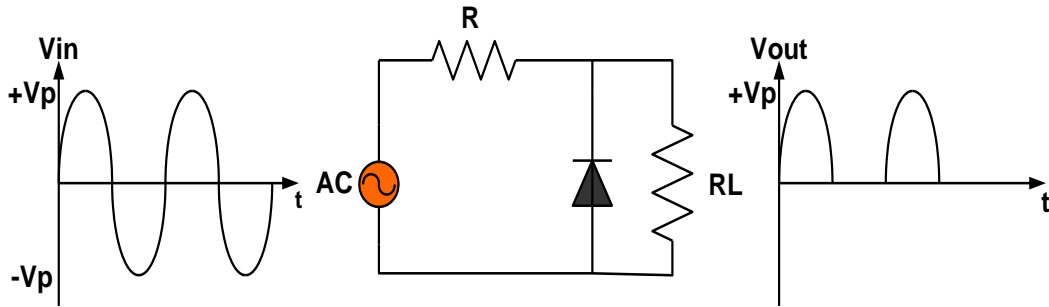


أما في التقريب الثاني ، يقطع ثنائي السليكون الموصل فولتية (0.7v) للتغلب على الجهد الحاجز ولذلك تقطع إشارة الإخراج الموجبة قرب (+0.7v) وليس قرب الصفر أما إذا استخدم ثنائي الجيرمانيوم فتقطع قرب (+0.3v).



### المقلم السالب (Negative Clipper):

تعمل هذه الدائرة على إزالة الأجزاء السالبة من الموجة والذي نلاحظ إن جميع الأجزاء السالبة لإشارة الإدخال قد أزيلت من إشارة الإخراج ولو عكسنا أقطاب الثنائي الموضح في الشكل ادناه سنلاحظ بأن الثنائي سيكون منحاز عكسيا خلال نصف الموجة الموجب وبالتالي يكون اخراج الدائرة هو نصف الموجة الموجب ويتم حساب قيمة الاخراج من خلال مقسم الجهد . اما عند نصف الاشارة السالبة سيكون الدايمود منحاز اماميا ويكون مقدار الجهد السالب صفر عند الاخراج وبذلك سنحصل على مقلم سالب حيث انه يقوم بإزالة جميع الإشارة تحت مستوى الصفر فولت

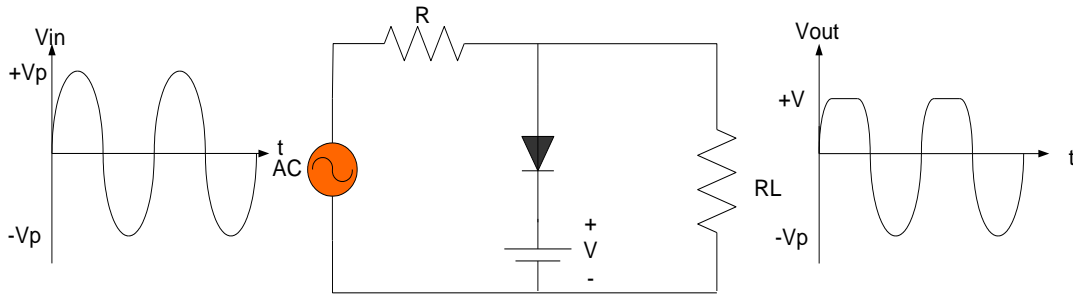


### المقلم المنحاز (Biased clipper):

في بعض التطبيقات قد تحتاج مستوى تقليم مختلف عن الصفر. باستخدامنا المقلم المنحاز نستطيع تحريك مستوى التقليم إلى مستوى موجب أو سالب.

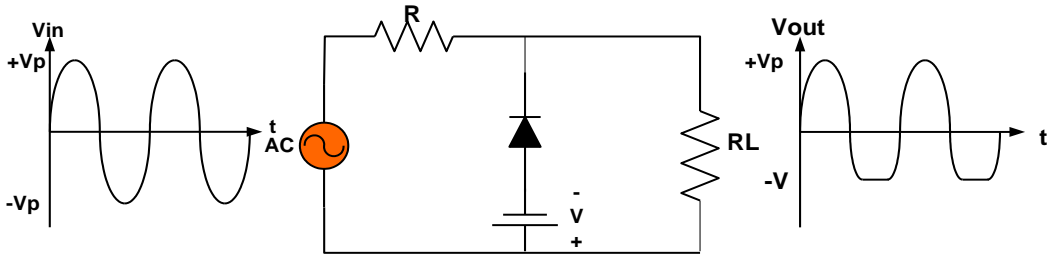
## المقلم المنحاز الموجب: (positive biased clipper)

يبين الشكل ادناه 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 مثاليا 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  $RL$  عادةً اكبر بكثير من قيمة المقاومة  $R$  ولذلك فإن معظم فولتية الإدخال تظهر في الإخراج



## المقلم المنحاز السالب: (Negative biased clipper)

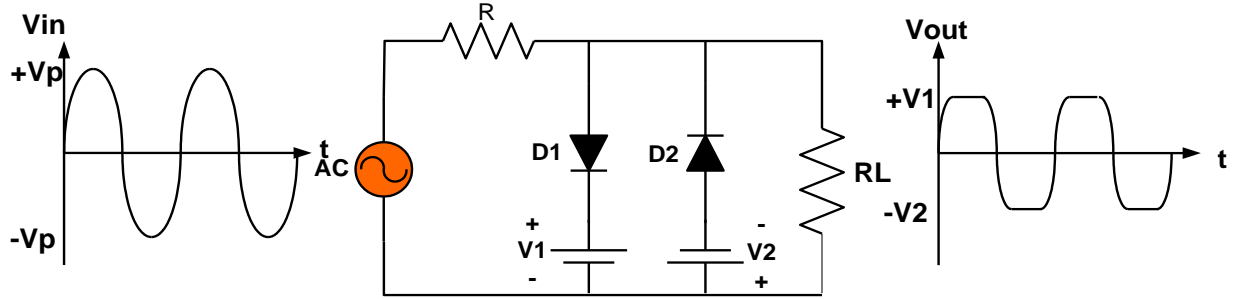
إذا عكسنا الثنائي وكذلك عكسنا البطارية كما في الشكل في هذه الحالة نحصل على مقلم منحاز سالب **Negative biased clipper** والذي تعمل دائرته عكس عمل دائرة المقلم المنحاز الموجب حيث يكون تحديد فولتية القطع في الجزء السالب  $(-V)$  ويكون الثنائي في حالة توصيل عندما تكون فولتية الإدخال اكبر من  $(-V)$  حيث يعمل الثنائي عمل مفتاح مغلق وتساوي فولتية الإخراج  $(-V)$  وتستقر على هذه القيمة طالما كانت فولتية الإدخال اكبر من  $(-V)$  . عندما تقل فولتية الإدخال عن  $(-V)$  يصبح الثنائي مفتاح مفتوح (**غير موصل**) وبذلك تصبح الدائرة مقسم فولتية . وبما أن قيمة مقاومة الحمل  $RL$  عادةً اكبر بكثير من قيمة المقاومة  $R$  ولذلك فإن معظم فولتية الإدخال تظهر في الإخراج كما نلاحظ في رسم شكل موجة الإخراج ادناه.



## المقلم المركب: (Compound Clipper)

وهو عملية جمع مقلم منحاز موجب و مقلم منحاز سالب ، لاحظ الشكل ادناه .يتحول الثنائي D1 إلى حالة التوصيل عندما تكون فولتية الإدخال اكبر من (+V1) ولهذا فان فولتية الإخراج تساوي (+V1) عندما تكون (Vin) اكبر من (+V1) ومن جهة أخرى وعندما تكون فولتية الإدخال Vin أكثر سالبية من (-V2) يتحول الثنائي (D2) إلى حالة التوصيل.

ولذلك فان فولتية الإخراج تساوي (-V2) طالما كانت فولتية الادخال أكثر سالبية من (V2) ، وعندما تقع Vin بين (-V2) و (+V1) لا يوصل أي من الثنائيين وبما أن اكبر RL اكبر بكثير من R ولذلك فان معظم فولتية الإدخال تظهر عبر الإخراج . في حالة أن إشارة الإدخال كانت كبيرة أي أن Vp أكبر بكثير من مستويي القطع ( الموجب و السالب) ستظهر موجة الإخراج تشابه الموجة المربعة .



## 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 الأنهياري: (Avalanche effect)

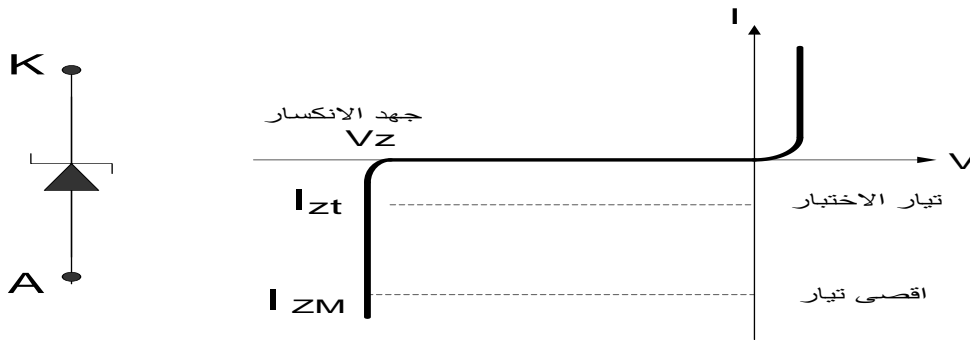
عندما تصل الفولتية العكسية إلى قيمة الانكسار فان الحاملات الأقلية في منطقة الاستنزاف تتعجل وتصل إلى سرع عالية تمكنها من زحزحة الكترونات تكافؤية في المدارات الخارجية . إن هذه الالكترونات المتحررة حديثا يمكنها أن تكتسب سرع عالية وبذلك تطلق الكترونات تكافؤية أخرى ، ويحصل الانهيار عند فولتية اكبر تقريبا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

**انكسار زينر : (Zener effect)**

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

**منحني الخواص لثنائي زينر**

الشكل ادناه يوضح منحني الخواص لثنائي زينر والرمز المستخدم له ، ونلاحظ من الشكل أن ثنائي زينر له نفس خواص الثنائي المقوم في حالة الانحياز الأمامي أما في حالة الانحياز العكسي فإن تيار الثنائي يكون ضعيف جداً لحد الإهمال حتى نصل فولتية الانكسار  $V_Z$  . وعند الوصول إلى جهد الانكسار يزداد التيار بسرعة دون زيادة ملحوظة في الفولتية وتبقى ثابتة تقريباً وتساوي  $V_Z$  في معظم منطقة الانكسار .

**تبديد القدرة power dissipation**

تبديد القدرة في ثنائي زينر تحسب بالمعادلة  $P_Z = V_Z \times I_Z$

ويحددها المصنع بأقصى قدرة تحمل  $P_Z (max)$  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

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

**ممانعة زينر : (Zener impedance)**

عندما يعمل زينر في منطقة الانكسار فإن زيادة صغيرة في الفولتية تنتج زيادة كبيرة في التيار . وهذا يعني

$$Z_Z \approx \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

أن ممانعة زينر صغيرة ، ويمكن حساب هذه الممانعة بالمعادلة التالية

معامل درجة الحرارة: (Temperature coefficient)

يحدد هذا المعامل النسبة المئوية لتغير جهد زينر  $V_Z$  لكل درجة مئوية واحدة. ويرمز له  $T_c$

يمكن حساب التغير في فولتية زينر بالمعادلة التالية:  $\Delta V_Z = T_c \times \Delta T \times V_Z$

حيث أن  $\Delta Z$ : مقدار التغير في فولتية زينر,  $\Delta T$ : مقدار التغير في درجة الحرارة,

$V_Z$ : فولتية زينر عند  $25^\circ\text{C}$

**مثال:** إذا كان معامل درجة الحرارة لثنائي زينر  $T_c$  يساوي (0.004) بالمائة و فولتية زينر (15v) عند

درجة حرارة ( $25^\circ\text{C}$ ) كم يكون التغير في فولتية زينر عندما تصبح درجة الحرارة ( $100^\circ\text{C}$ ) ؟

**الحل:**

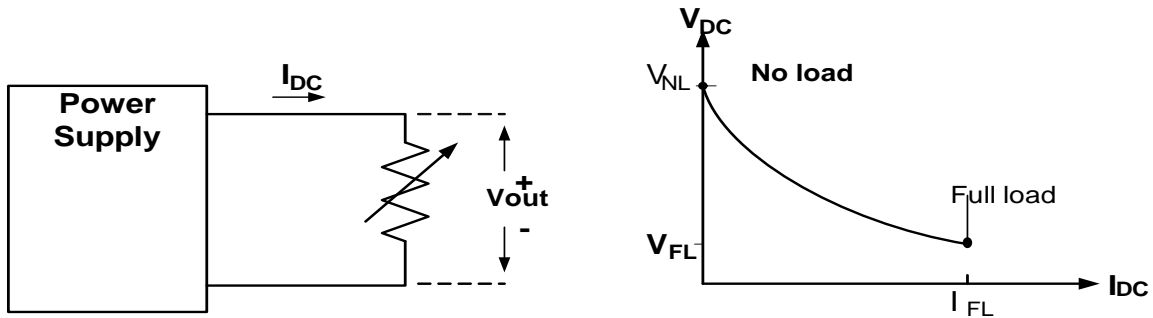
$$\Delta V_Z = T_c \times \Delta T \times V_Z$$

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

ولذلك فان فولتية زينر عند  $100^\circ\text{C}$  هي:  $V_Z = 15\text{v} + 0.045\text{v} = 15.045\text{v}$

تنظيم الفولتية Voltage Regulation

إن مقاومة الحمل المربوطة على جهاز قدرة عادةً تكون متغيره ويمكن أن تتغير من قيمة صغيرة إلى قيمة عالية, فعندما يمر تيار الحمل ( $I_{dc}$ ) خلال مقاومة الحمل  $RL$  المتغيرة. فعندما تتغير  $RL$  من قيمة ما لانهاية إلى قيم أقل يزداد التيار  $I_{dc}$  من الصفر إلى قيم أعلى وان هذه العلاقة موضحة في الشكل ادناه.



ولغرض إجراء مقارنة بين مجهزات القدرة نستخدم رقم الاستحقاق المسمى تنظيم الفولتية.

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

حيث ان

$-V_R$  - تنظيم الفولتية بالمائة

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

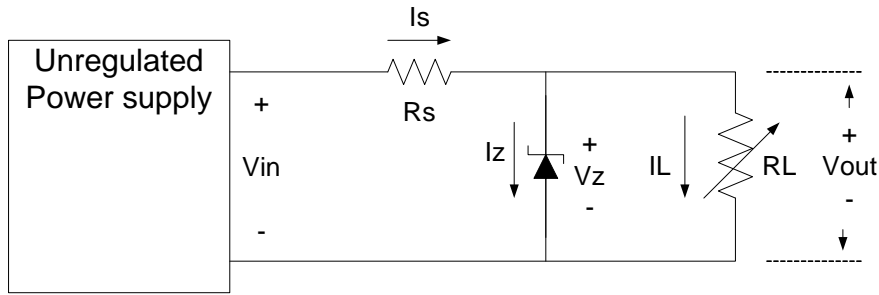
$-V_{FL}$  - فولتية الإخراج المستمرة عند حمل كامل

(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  $(V_R)$  تقترب من الصفر لمجهرات القدرة المصممة بصورة جيدة وذلك لأن فولتية الحمل الكامل تقل قليلاً عن فولتية عدم وجود حمل.

## منظم زينر Zener regulator

يستخدم ثنائي زينر كإحدى الطرق لغرض تنظيم الفولتية ، حيث أن الفولتية الخارجة من مجهر قدرة غير منظم تستخدم كفولتية إدخال  $(V_{in})$  لمنظم زينر و طالما  $V_{in}$  أكبر من  $V_Z$  فإن ثنائي زينر يعمل في منطقة الانكسار ، المقاومة  $R_S$  تمنع تيار زينر من تجاوز قيمة التحمل العظمى  $I_{ZM}$ .



قيمة التيار المار خلال المقاومة المحدده يمكن حسابه بالقانون  $I_s = \frac{V_{in} - V_{out}}{R_s}$

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

وعند اهمال ممانعة زير الصغيره  $V_{out} \approx V_Z$  فان  $I_L = \frac{V_{out}}{R_L}$

وعند حسابات أدق يجب الأخذ بنظر الاعتبار ممانعة زينر  $V_{out} = V_Z + I_Z Z_Z$

## المقاومة المحدده 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 المحدده القصوى المتواليه

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

المسموح بها :

حيث ان:

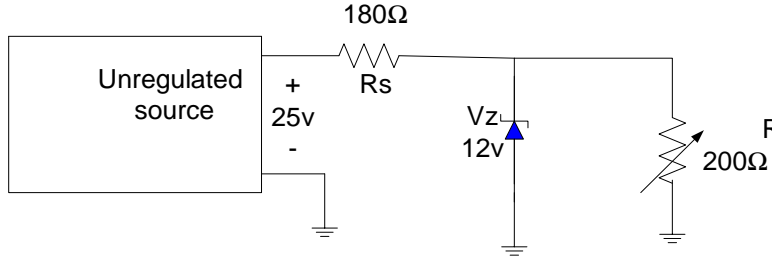
**$R_S(max)$**  - اكبر مقاومة محددة مسموح بها

**$V_{in(min)}$**  - اصغر فولتية مصدر ممكنة

**Vout** - تساوي تقريبا فولتية زينر **Vz**  
**IL(max)** - اكبر تيار حمل ممكن

وفي حالة استخدام مقاومة اكبر من **Rs(max)** فان منظم زينر سيتوقف عن التنظيم لفولتيات المصدر المنخفضة و لتيارات الحمل العالية .

**مثال:** في الدائرة الموضحة بالشكل أدناه أوجد أدنى و أقصى فولتية حمل وأوجد كذلك نسبة التنظيم **VR** ؟



علماً أن  $V_z = 12\text{V} : Z_z = 7\Omega$

$$I_s = \frac{V_{in} - V_{out}}{R_s} = \frac{25 - 12}{180} = 0.072\text{A} = 72\text{mA}$$

$$I_{L(\min)} = \frac{V_{out}}{R_{L(\max)}} = \frac{12}{\infty} = 0$$

$$I_{L(\max)} = \frac{V_{out}}{R_{L(\min)}} = \frac{12}{200} = 0.06\text{A} = 60\text{mA}$$

$$I_z(\max) = I_s - I_{L(\min)} = 0.072 - 0 = 0.072\text{A} = 72\text{mA}$$

$$V_{out(\min)} = V_z + I_{z(\min)} \times Z_z = 12 + 0.012 \times 7 = 12.084 \approx 12.1\text{V}$$

$$V_{out(\max)} = V_z + I_{z(\max)} \times Z_z = 12 + 0.072 \times 7 = 12.5\text{V}$$

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

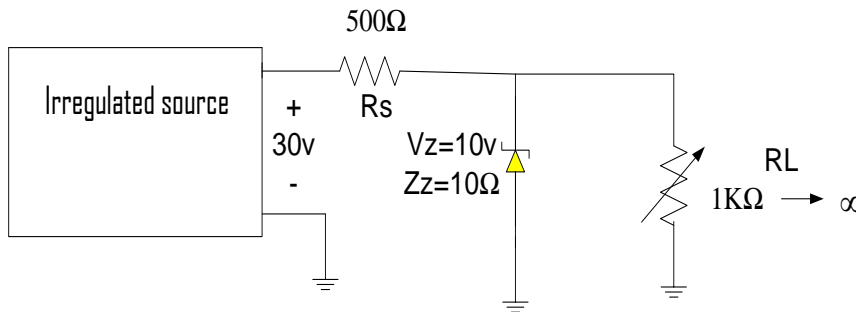
**الحل:**

ادنى فولتية حمل  
 اقصى فولتية حمل

تنظيم الفولتية

**مثال:** في دائرة منظم زينر الموضحة في الشكل أدناه إذا كانت فولتية زينر  $V_z = 10\text{V}$  و ممانعة زينر  $Z_z$

$= 10\Omega$  احسب قيمة تنظيم الفولتية  $VR\%$  إذا كانت مقومة الحمل تتغير من  $1\text{K}\Omega$  إلى  $\infty$  ؟





$$I_S = \frac{V_{in} - V_Z}{R_S} = \frac{30 - 10}{500} = 0.04A = 40mA$$

الحل:

$$I_{L(\min)} = \frac{V_Z}{R_{L(\max)}} = \frac{10}{\infty} = 0$$

$$I_{(\max)} = \frac{V_Z}{R_{L(\min)}} = \frac{10}{1 \times 10^3} = 0.01A = 10mA$$

$$I_{z(\max)} = I_S - I_{L(\min)} = 40 - 0 = 40mA$$

$$I_{z(\min)} = I_S - I_{L(\max)} = 40 - 10 = 30mA$$

$$V_{out(\min)} = V_Z + I_{Z(\min)} * Z_Z = 10 + 30 * 10^{-3} * 10 = 10.3v$$

$$V_{out(\max)} = V_Z + I_{Z(\max)} * Z_Z = 10 + 40 * 10^{-3} * 10 = 10.4v$$

$$VR\% = \frac{V_{out(\max)} - V_{out(\min)}}{V_{out(\min)}} * 100\% = \frac{10.4 - 10.3}{10.3} * 100\% \approx 1\%$$

## الاسبوع الحادي عشر – الخامس عشر

### Bipolar Transistor الترانزستورات ثنائية القطبية

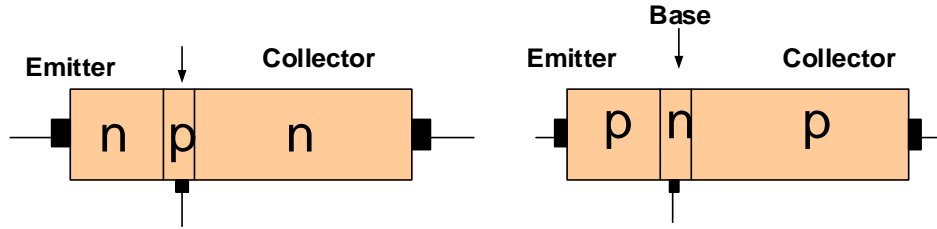
يمكن تطعيم شبه الموصل للحصول على بلورة نوع NPN أو بلورة نوع PNP. إن مثل هذه البلورة تسمى ترانزستور الوصلة ، تمتلك مناطق N الكترونات حزمة التوصيل بكثرة بينما تمتلك مناطق P فجوات كثيرة ولذلك غالباً ما يسمى ترانزستور ثنائي القطبية.

### مناطق الترانزستور

يبين الشكل ادناه بلورة نوع NPN وقد طعم الباعث **Emitter** بغزارة ، وان عمله هو حقن أو بعث الالكترونات إلى القاعدة **Base** الرقيقة وخفيفة التطعيم التي تقوم 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 والقاعدة

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 يسمى ثنائي الجامع **Collector diode**. أما الاحتمال الآخر للترانزستور فهو الترانزستور PNP المتمم للترانزستور NPN. وهذا يعني اتجاه التيارات والفولتيات في الترانزستور PNP عكس اتجاه التيارات والفولتيات في الترانزستور NPN.

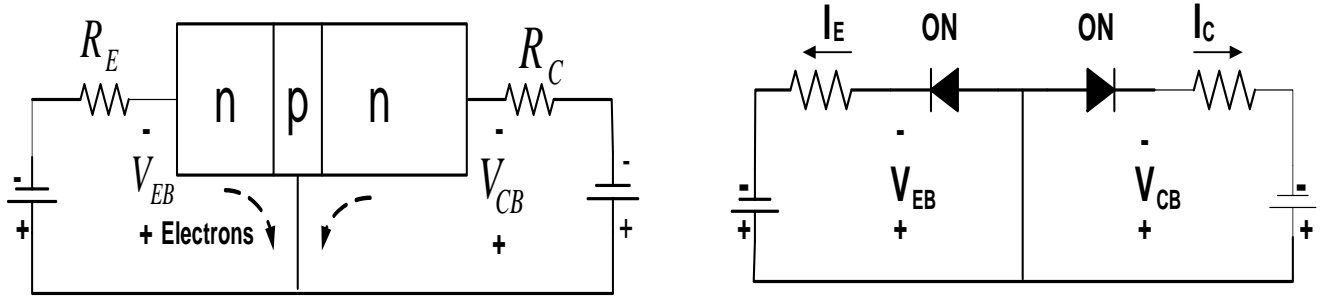


### طرق تحيز الترانزستور

هناك عدة طرق لتحيز الترانزستور وهي انحياز امامي , امامي وعكسي , عكسي

### انحياز أمامي- أمامي (FF) (Forward-Forward)

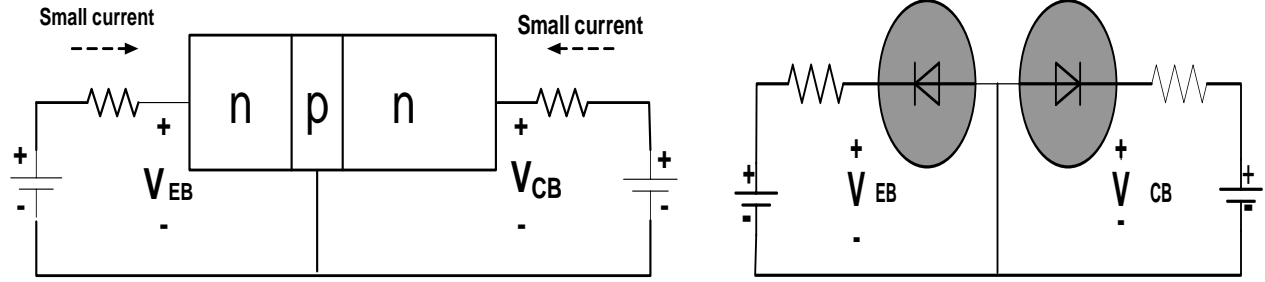
إن هذا الانحياز والموضح في الشكل ادناه سمي ( أمامي - أمامي لأن ثنائي الباعث و ثنائي الجامع منحازان أماميا) ، إن الحاملات تعبر الوصلتين وتجري نازلة خلال القاعدة إلى سلك التوصيل الخارجي



وتوضح الدائرة المكافئة للانحياز (FF) الانحياز الامامي للثنائي الباعث والثنائي الجامع حيث الفولتية بين الباعث والقاعدة  $V_{EB}$  تجعل ثنائي الباعث منحاز اماميا وينتج تيار امامي  $I_E$ . وبالمثل فان الفولتية بين الجامع والقاعدة  $V_{CB}$  تجعل الثنائي الجامع منحاز اماميا مسببا مرور تيار امامي  $I_C$ .

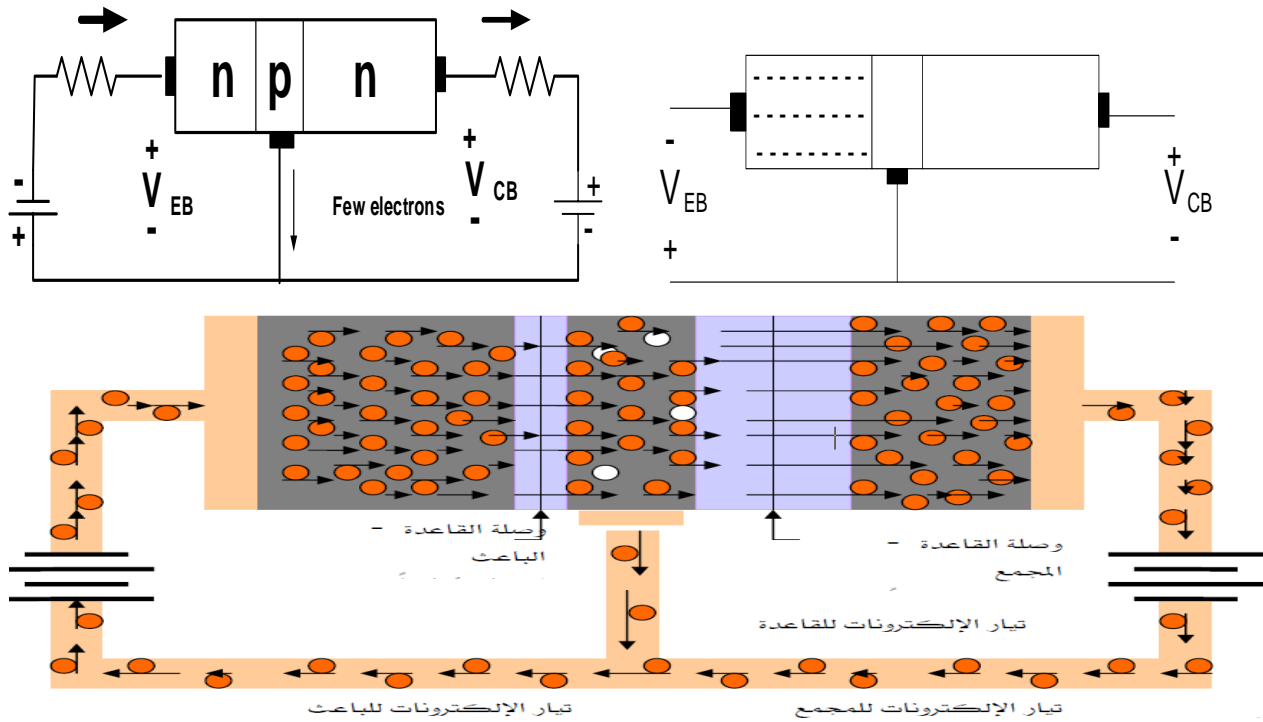
### انحياز عكسي- عكسي (RR) (Reverse-Reverse)

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



### انحياز أمامي - عكسي (FR) Forward-Reverse

عندما نحيز ثنائي الباعث أمامياً ونحيز ثنائي الجامع عكسياً فإننا نتوقع تيار باعث كبير ونتوقع تيار جامع صغير جداً 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 ثابتاً من الإلكترونات يغادر الطرف السالب من المصدر ويدخل منطقة الباعث



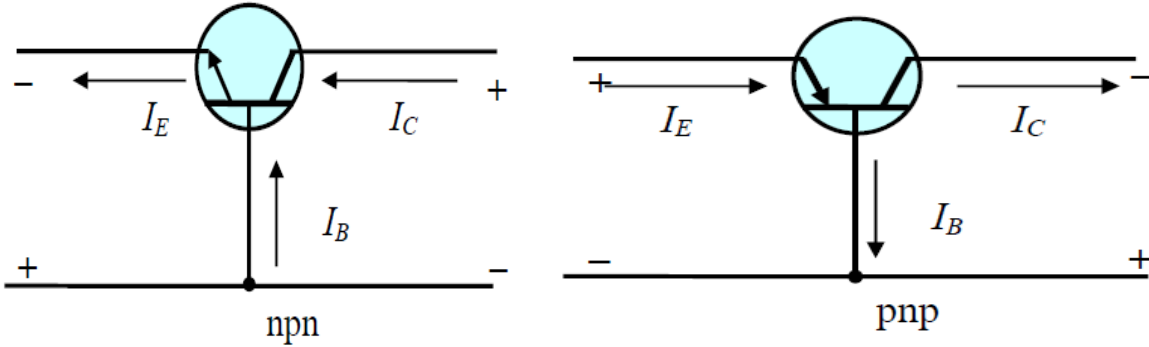
يؤدي الانحياز الأمامي لثنائي الباعث إلى إرغام الكترولونات الباعث هذه على دخول منطقة القاعدة. وتعطي القاعدة الرقيقة والخفيفة التطعيم لمعظم هذه الكترولونات زمن بقاء كاف يتيح لها الانتشار إلى طبقة استنزاف الجامع وبعد ذلك يقوم مجال طبقة الاستنزاف بدفع تيار ثابت من الكترولونات إلى منطقة الجامع. تغادر هذه الكترولونات الجامع داخلة إلى سلك توصيل الجامع الخارجي ثم إلى الطرف الموجب من مصدر

فولتية الجامع . إن أكثر من (95%) من الكترونات الباعث المحقونة إلى القاعدة تعبر إلى الجامع وأقل من (5%) تسقط في فجوات القاعدة وتسير خارجة من سلك توصيل القاعدة

### تيارات الترانزستور

الشكل ادناه يبين رموز واتجاهات تيارات الترانزستورات نوع npn و pnp ، حيث نلاحظ أن اتجاه تيار الباعث يتبع نفس اتجاه السهم الموجود على الرمز الخاص بالترانزستور وتيار القاعدة والجامع الاتجاه العكسي. ومن الواضح من الشكل أن تيار الباعث  $I_E$  يساوي مجموع تيار القاعدة  $I_B$  والجامع  $I_C$

$$I_E = I_C + I_B$$



### ألفا dc ( $\alpha_{dc}$ )

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 إلى قيمة تيار الباعث

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

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

### بيتا dc ( $\beta_{dc}$ )

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

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

يتعلق على  $\beta_{dc}$  اسم كسب التيار المستمر ويرمز له في نظام الثوابت الهجينة  $h_{FE}$

العلاقات بين  $\alpha_{dc}$  و  $\beta_{dc}$ 

$$\alpha_{dc} = \frac{\beta_{dc}}{1 + \beta_{dc}} \quad \text{اثبت العلاقة}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

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

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

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

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

$$\beta_{dc} = \frac{\alpha_{dc}}{1 - \alpha_{dc}} \quad \text{أثبت العلاقة}$$

$$I_B = I_E - I_C$$

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

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

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

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

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

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

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

( $I_C$ ) ، تيار القاعدة ( $I_B$ ) ،  $\alpha_{dc}$

الحل:

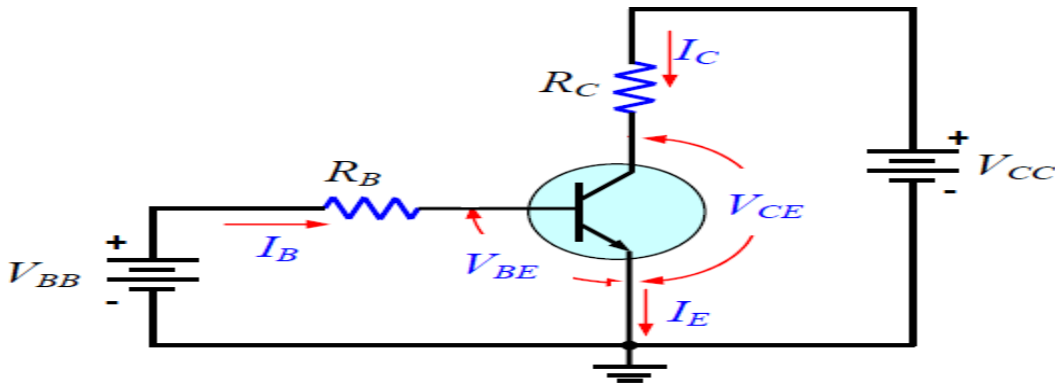
$$\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E} \Rightarrow I_C = \alpha_{dc} * I_E = 0.99 * 20 = 19.8\text{mA}$$

$$I_B = I_E - I_C = 20 - 19.8 = 0.2\text{mA}$$

الربط بطريقة الباعث المشترك ( CE ) Common Emitter

إن الربط بطريقة الباعث المشترك يعني أن الباعث ومصدرا الفولتية يتصلان بنقطة مشتركة لاحظ الشكل

بالاسفل . إن هذه الدائرة تسمى بربط الباعث المشترك (CE)



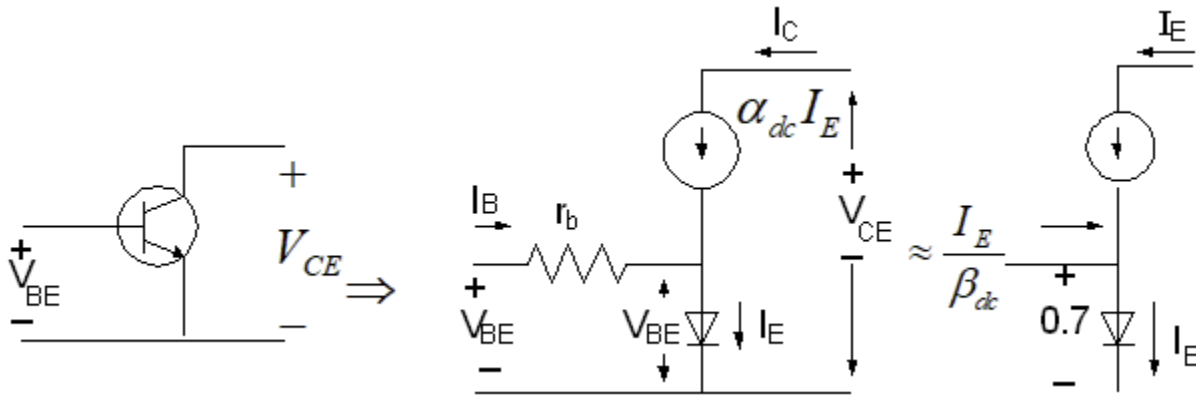
الدائرة المكافئة للترانزستور

لأجل توضيح عمل الترانزستور يمكننا استخدام الدائرة المكافئة المبينة بالشكل ادناه 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 (VCE) 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  $r'b$  .

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

ولكن هبوط الفولتية عبر  $r'b$  يكون صغيرا بحيث يمكن إهماله لذلك يكون  $V_{BE} \cong V'_{BE}$  ولذلك فان الدائرة المكافئة في الشكل الاخيرة تستخدم في التحليلات الأولية



**مثال:** إذا علمت أن لترانزستور ما تيار باعث (( $\beta_{dc} = 100$  ،  $I_E = 20mA$ )) اوجد؟ تيار الجامع  $I_C$  ، تيار القاعدة ( $I_B$ ) ،  $\alpha_{dc}$

**الحل:**

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

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

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

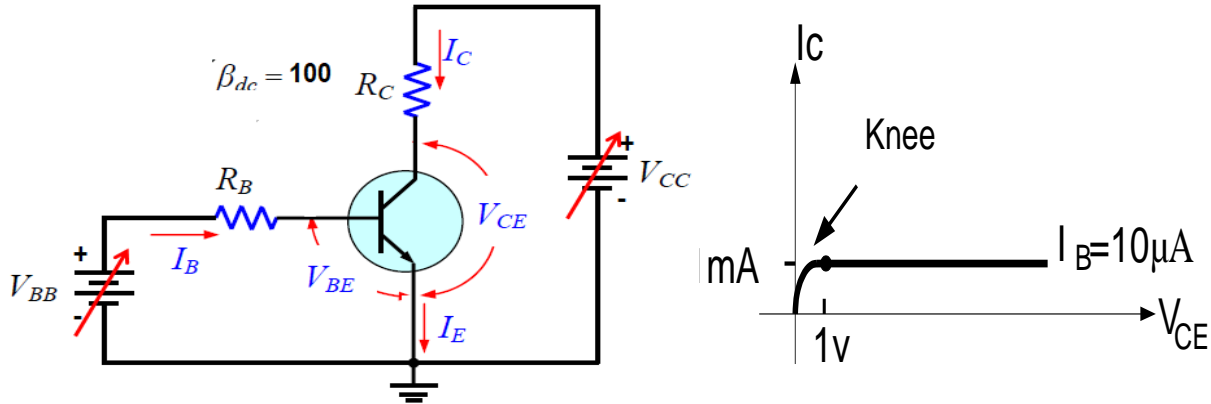
$$I_B = I_E - I_C = 20 - 19.8 = 0.2mA$$

## منحنيات الترانزستور

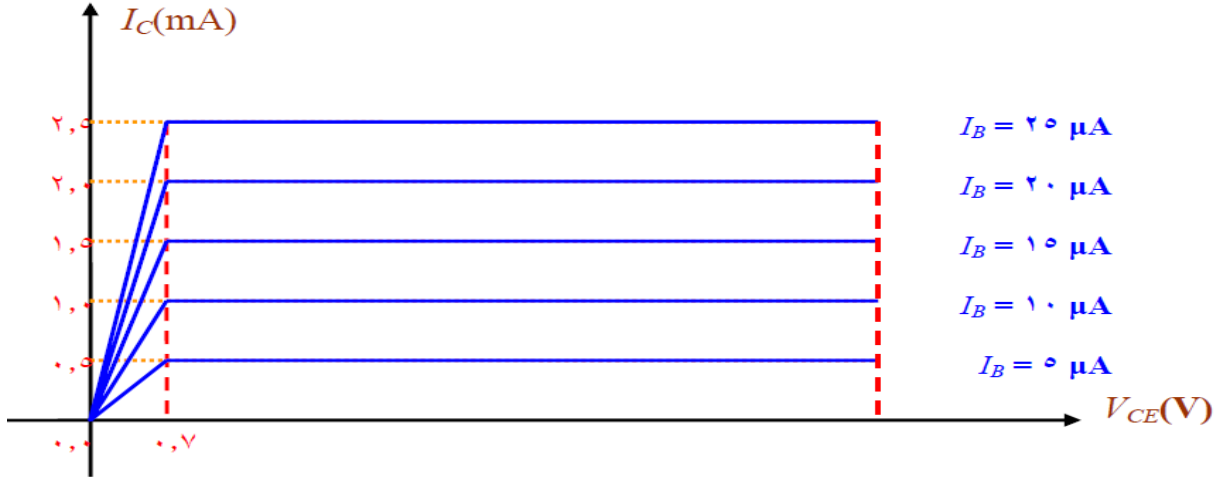
من الطرق التي تشرح معظم تفاصيل عمل الترانزستور هي المنحنيات البيانية التي تربط بين تيارات الترانزستور و فولتياته

### منحنيات الجامع (منحنيات خواص الإخراج)

يمكن الحصول على معلومات لمنحنيات الجامع بربط (CE) وذلك ببناء دائرة كما في الشكل ادناه .إن الفكرة هي تغيير قيم المجهزين  $V_{BB}$  و  $V_{CC}$  بأسلوب معين للحصول على فولتيات و تيارات مختلفة للترانزستور .إن طريقة العمل الاعتيادية هي إعطاء  $I_B$  قيمة معينة وإبقائها ثابتة في أثناء تغيير قيمة  $V_{CC}$  و بقياس قيم  $I_C$  و  $V_{CE}$  يمكننا الحصول على معلومات لرسم  $I_C$  مع  $V_{CE}$  ولغرض التوضيح نفرض أن  $(I_B = 10\mu A)$  في الشكل .أخطوه التي تليها نغير  $V_{CC}$  ونقيس  $I_C$  و  $V_{CE}$  الناتجين ولو رسمنا المعلومات لحصنا المنحنى ادناه.لاحظ بأننا اشرنا على المنحنى بالكتابة  $(I_B = 10\mu A)$  لأننا حصلنا على هذا المنحنى بإبقاء  $I_B$  ثابتا على  $(10\mu A)$  خلال القياسات

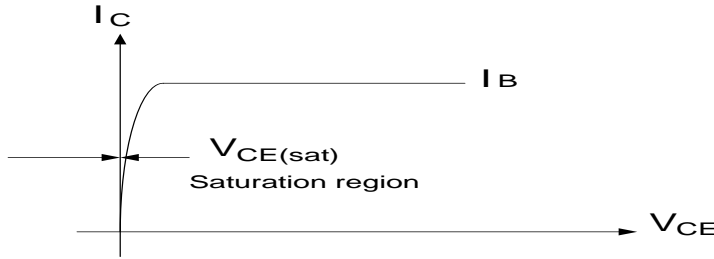


فعندما تكون  $(V_{CE})$  صفر لا يكون ثنائي الجامع منحاز عكسيا لذلك يكون تيار الجامع صغير جدا لقيم  $V_{CE}$  المتراوحة بين الصفر وحدود الواحد فولت . حيث أن الانحياز العكسي يأخذ حوالي  $(0.7V)$  لجعل ثنائي الجامع منحاز عكسيا ، وحال الوصول إلى هذا المستوى يجمع الجامع كل الإلكترونات التي تصل إلى طبقة استنزافه ونلاحظ أن هناك زيادة قليلة في تيار الجامع بعد الانحناء مع زيادة  $V_{CE}$  وسبب زيادة التيار هو زيادة عرض طبقة استنزاف الجامع واعتقال الكترولونات قليلة 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 ادناه وبما إننا استخدمنا ترانزستور له  $(\beta_{dc} = 100)$  يكون تيار الجامع مائة مرة اكبر من تيار القاعدة لأية نقطة فوق المفصل لأي منحنى



### فولتية تشبع الجامع

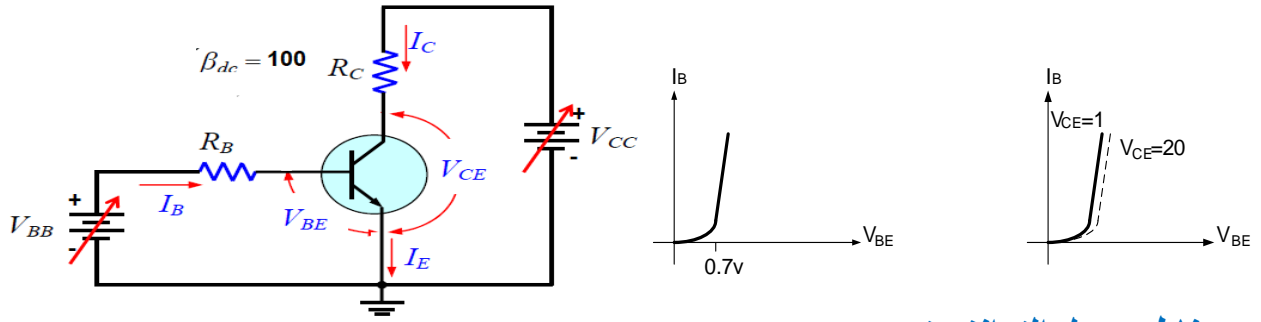
لأجل أن يعمل الترانزستور بصورة اعتيادية يجب أن يكون ثنائي الجامع منحاز عكسياً ويتطلب ذلك  $V_{CE}$  أكبر من أو في حدود الواحد فولت وهذا يعتمد على مقدار تيار الجامع المار . ماذا تعني  $V_{CE(sat)}$  فهي قيمة الفولتية  $V_{CE}$  عند نقطة ما تحت الانحناءة وهي تساوي نموذجياً بضع أعشار من الفولت وعند تيارات جامع كبيرة جداً تجتاز الواحد فولت إن جزء المنحني الذي يقع تحت المفصل والموضح في الشكل يسمى منطقة التشبع .



### منحني القاعدة (منحني خواص الإدخال)

يمكننا الحصول على المعلومات  $I_B$  و  $V_{BE}$  يمكننا رسم منحني القاعدة (منحني خواص الإدخال) من المتوقع أن المنحني يشابه منحني ثنائي في الاتجاه الأمامي لأن جزء القاعدة والباعث من الترانزستور عبارة عن ثنائي . عند زيادة فولتية الجامع فإن طبقة استنزاف الجامع يزداد عرضها وهذا يؤدي إلى نقصان قليل في تيار القاعدة بسبب اعتقال طبقة استنزاف الجامع للإلكترونات قاعدة قليلة أخرى . وعند رسم منحني قاعدة لفولتية جامع مختلفة يظهر لنا منحني جديد مختلف قليلاً عن السابق . عندما نثبت قيمة  $V_{BE}$  للمنحني ونرفع فولتية  $V_{CE}$  نلاحظ أن تيار القاعدة يكون أصغر لأن طبقة استنزاف الجامع تعتقل الإلكترونات قاعدة أخرى قبل أن تسقط في فجوات القاعدة ، ونتيجة لذلك يكون تيار القاعدة أصغر وكما تلاحظ في الشكل . إن المسافة بين المنحنيين قريبة ولذلك تؤخذ بنظر الاعتبار عند طلب أجوبة دقيقة





### مناطق عمل الترانزستور

#### القطع و التشبع:

إن نقطة تقاطع خط الحمل المستمر بالمنحني ( $I_B=0$ ) تعرف بالقطع والتي يكون عندها تيار القاعدة يساوي صفر وتيار الجامع صغير جدا . عند نقطة القطع يخرج ثنائي الباعث من الانحياز الأمامي ويخرج الترانزستور عن عمله الطبيعي وبذلك تكون  $V_{CE}(\text{cutoff}) = V_{CC}$  بينما تقاطع خط الحمل المستمر والمنحني ( $I_B = I_{B(\text{sat})}$ ) يعرف بالتشبع وعند هذه النقطة يكون لتيار الجامع قيمة عظمى .

ويخرج ثنائي الجامع من الانحياز العكسي ويفقد الترانزستور عمله الطبيعي

$$I_{C(\text{sat})} \cong \frac{V_{CC}}{R_C} \quad \text{ويكون تيار الجامع عند التشبع}$$

$$I_{B(\text{sat})} = \frac{I_{C(\text{sat})}}{\beta_{dc}} \quad \text{واقل تيار قاعدة يحدث التشبع}$$

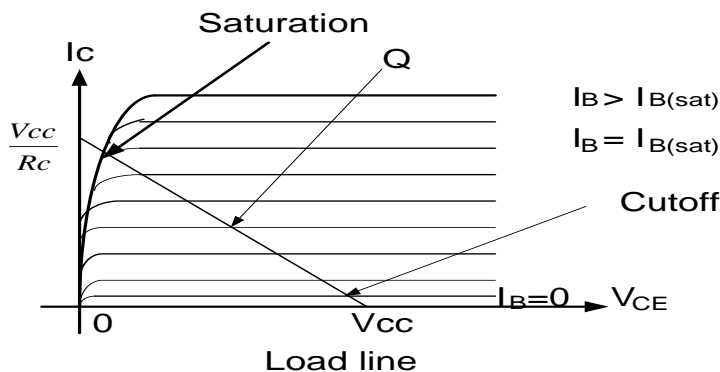
أما الفولتية بين الجامع والباعث عند التشبع وتكون بضع أعشار الفولت  $V_{CE} = V_{CE(\text{sat})}$

#### المنطقة الفعالة:

تعتبر جميع نقاط العمل الواقعة بين القطع والتشبع هي المنطقة الفعالة للترانزستور حيث يكون ثنائي الباعث منحاز أماميا وثنائي الجامع منحاز عكسيا في هذه المنطقة ولغرض إيجاد تيار القاعدة في أية دائرة

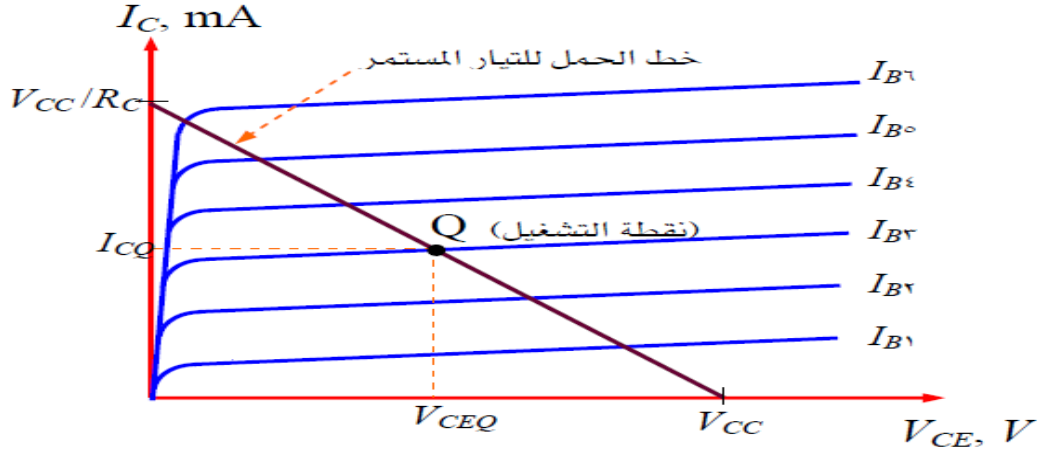
$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad \text{ذات انحياز قاعدة بالاستعانة بالمعادلة}$$

إن نقطة تقاطع تيار القاعدة هذا مع خط الحمل هي النقطة الهامدة (Q) quiescent point



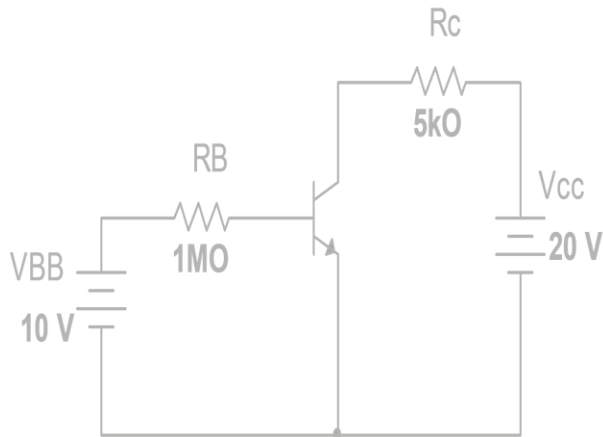
## خط الحمل المستمر:

يعمل المجهز  $V_{CC}$  في دائرة الجامع على تحييز ثنائي الجامع عكسيا من خلال المقاومة  $R_C$  وبذلك يمكننا حساب الفولتية ( $V_{CE}$ ) وحسب قانون كيرشوف للفولتية  $V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$ . في معظم الدوائر تكون  $V_{CC}$  و  $R_C$  ثابتة و  $V_{CE}$  و  $I_C$  متغيرة ومن ترتيب المعادلة السابقة نحصل  $I_C = -\frac{V_{CE}}{R_C} + \frac{V_{CC}}{R_C}$  ويبين الشكل ادناه معادلة خطية تشبه  $Y = mx + b$  التي تمثل خطا مستقيما بانحدار مقداره  $m$  وتقاطع عمودي مقداره  $b$  على محور التيا (حيث نرى أن التقاطع العمودي مقداره  $(V_{CC}/R_C)$  والتقاطع الأفقي مقداره  $(V_{CC})$ ) وبانحدار يساوي  $(-1/R_C)$ . ويسمى هذا الخط باسم 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)



مثال: للترانزستور السليكوني في الدائرة أدناه ( $\beta_{dc} = 100$ ) احسب الفولتية بين الباعث والجامع VCE

الحل:



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

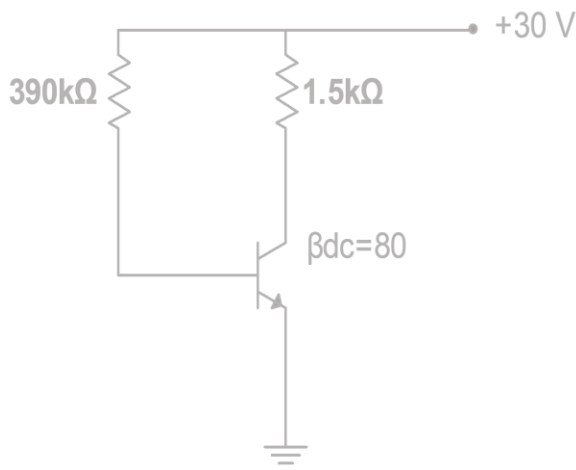
$$I_B = \frac{10 - 0.7}{1 * 10^6} = 9.3 \mu A$$

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

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

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C * R_C = 20 - 0.93(10^{-3})5(10^3) = 15.4V$$

مثال: في الدائرة الموضحة أدناه ارسم خط الحمل المستمر و عين إحداثيات نقطة العمل (Q) ؟



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

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

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

$$I_B = 75.1\mu A$$

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

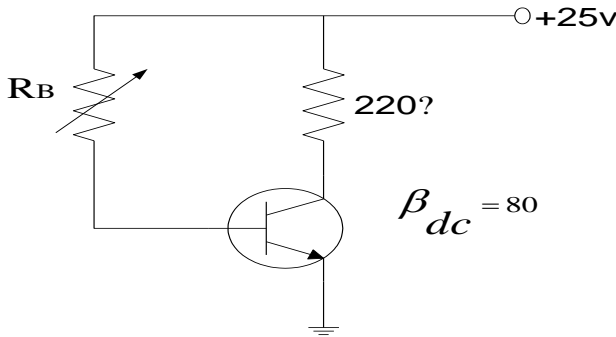
$$I_{CQ} \cong 6mA$$

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

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

مثال: 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 ؟



$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{25}{220} = 0.114A$$

$$I_{C(sat)} = 114mA$$

وهذا أقصى تيار جامع يمكن الحصول عليه

تيار القاعدة عند التشبع

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

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

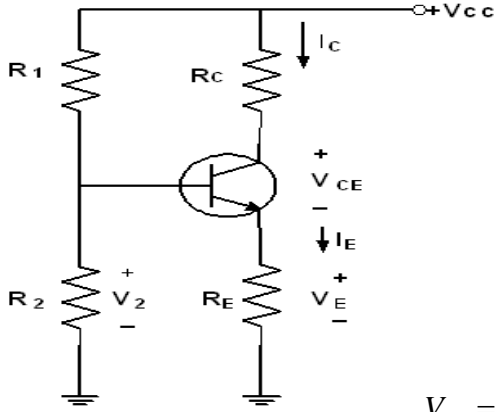
أما قيمة مقاومة القاعدة عند التشبع

### انحياز مقسم الفولتية Voltage-divider bias

انحياز مقسم الفولتية هو الأوسع انتشارا في الدوائر الخطية المنفصلة . 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  $V_{cc}$  على جعل ثنائي الجامع منحاز عكسيا .

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  $I_C \cong I_E$

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

والفولتية بين الباعث والأرض  $V_E = I_E R_E$

وبذلك تكون الفولتية بين الجامع والباعث

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

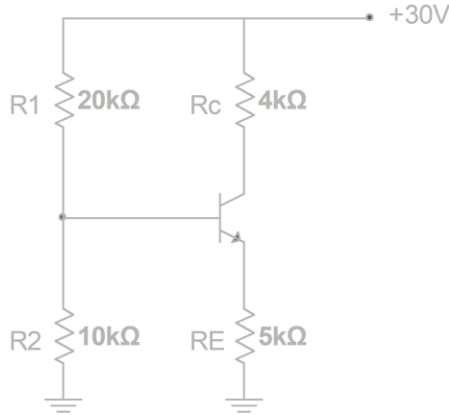
$$I_C \cong I_E \gg \gg V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E)$$

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



**الحل:** لرسم خط الحمل المستمر نعين فولتية القطع و تيار التشبع

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

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

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

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

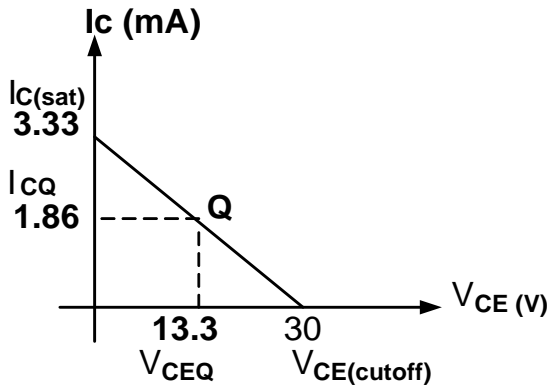
$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{CC} = \frac{10K}{20K + 10K} * 30v = 10v$$

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

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

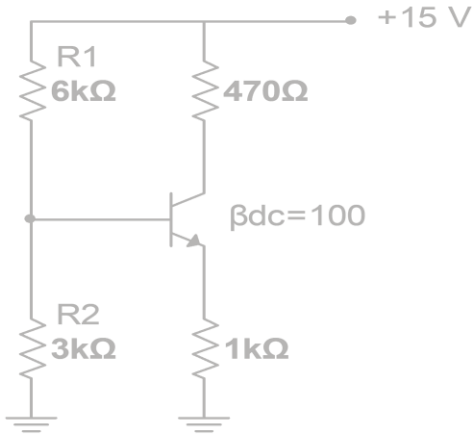
$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} (R_C + R_E) = 30 - 1.86 * 10^{-3} * (4 + 5) * 10^3$$

$$V_{CEQ} = 13.3v$$



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

الحل: 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 دائرة القاعدة و الباعث

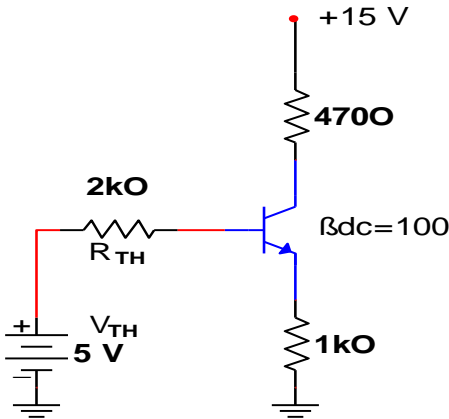
$$I_B R_{TH} + V_{BE} + I_E R_E - V_{TH} = 0$$

$$I_C \cong I_E$$

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

وبما ان

وبذلك نستطيع كتابة المعادلة بالصيغة التالية



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

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

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

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