موقع الفريد في الفيزياء

الجمهورية العربية السورية
وزارة التربية

الثنائيات والترانزستورات

Diodes
&
Transistors

www.alfreed-ph.com

المهنة: الإلكترونيات الصف: الأول الثانوي المهني الصناعي

2012-2013م

أشرفت على تأليف هذا الكتاب اللجنة التوجيهية المشكلة بالكتاب الوزاري رقم
1900/4/43(4/7) تاريخ 12/4/2011م

المنسق: المهندسة سوزان الجمال

لجنة التأليف:

المهندسة سوزان الجمال — المهندس محمد زيدان

المهندس محمد باري — المهندس محمد ويشو

المهندس كمال دويعر

لجنة التقويم:

الدكتور فؤاد الغالول — الدكتور سعيد خراساني

الدكتور بسام لالا

لجنة المتابعة والتدقيق :

المهندس رياض جباوي — المهندسة سوزان الجمال

المهندس فهمي الأكحل — نعيم أبو عراج

الإخراج الفني:

المهندس محمد ويشو — المهندس كمال دويعر

آلاء سويد — فراس عمورة — رهف جبقجي

التدقيق اللغوي: حنان منصور

التنضيد: المهندس محمد ويشو — المهندس كمال دويعر

آلاء سويد — فراس عمورة

الرسم : المهندس محمد ويشو — آلاء سويد

تصميم الغلاف: المهندس محمد ويشو — آلاء سويد — هشام الحلبي

الإشراف الفني: م. عزت تلجة - م. عماد الدّين برما

محتويات الكتاب

المحتوى	الصفحة
الوحدة الأولى: بناء الدارات الإلكترونية البسيطة باستخدام الثنائيات	5
الوحدة الثانية: بناء دارات التقويم والتنظيم باستخدام الثنائيات	49
الوحدة الثالثة: بناء الدارات الإلكترونية البسيطة باستخدام الثنائيات الخاصة	87
الوحدة الرابعة: بناء الدارات الإلكترونية باستخدام ترانزستورات ثنائية القطبية	133

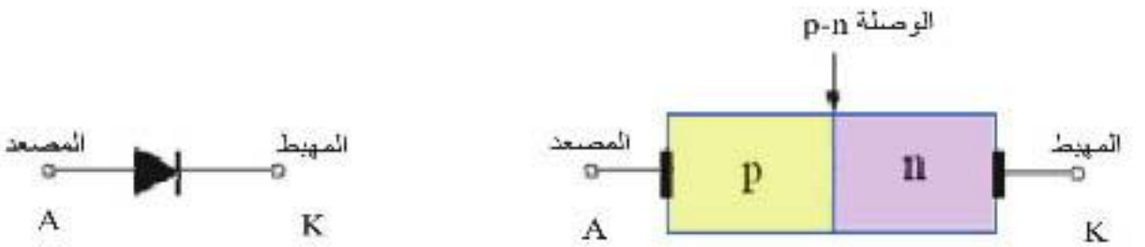
الوحدة الأولى

بناء الدارات الإلكترونية البسيطة باستخدام الثنائيات

موقع الفيزياء في الفيزياء

Building the Electronic Circuit using Diodes

M06-1



www.alfreed-ph.com

قائمة محتويات الوحدة

المحتوى	الصفحة
مقدمة	9
المواد نصف الناقلة	11
إضافة الشوائب للمواد نصف الناقلة	12
الثنائي العادي Diode p-n	15
الثنائي العادي p-n عند الاستقرار	16
الانحياز الأمامي للثنائي العادي	18
الانحياز العكسي للثنائي العادي	19
منحني الخواص للثنائي العادي	20
مواصفات الثنائي العادي	21
أسئلة	23
الثنائي العادي كعنصر في الدارة الإلكترونية	24
خط الحمل ونقطة التشغيل للثنائي	24
طريقة رسم خط الحمل	24
نقطة التشغيل	25
مقاومتا الثنائي الساكنة Rs والحركية Rd	27
الدارة المكافئة للثنائي العادي	28
دارتا القص والتحديد باستخدام الثنائي العادي	29

قائمة محتويات الوحدة

المحتوى	الصفحة
دارة التحديد	30
دارة التحديد من الجانبين الأعلى والأسفل	30
تقييم المعلومات النظرية	32
تمارين عملية	32
فحص الثنائيات	34
بناء دارات الانحياز الأمامي والعكسي للثنائي	38
بناء دارات القص والتحديد باستخدام الثنائيات	44

موقع الفريد في الفيزياء

www.alfreed-ph.com

مقدمة

لمحة عامة و شاملة عن الوحدة وأهميتها

يبنى تقدم الشعوب على دعائم أساسية عدة،أهمها الصناعة التي تعد اليوم المقياس الأول للتطور الحضاري لأي بلد، ويعتمد التطور الحضاري عموماً والصناعي خصوصاً اعتماداً كلياً على الكهرباء، فبوساطتها تدار الآلات والأجهزة الكهربائية والإلكترونية التي تعمل على راحة الإنسان ورفاهيته وتقدمه. وتعد وحدة بناء الدارات الإلكترونية باستخدام الثنائيات من المراحل الأولى في بناء الصناعات الإلكترونية.

سندرس في هذه الوحدة

المواد نصف الناقلة، المواد نصف الناقلة نوع N و P ، الثنائي p-n، الانحياز الأمامي والعكسي للثنائي p-n ، منحنيات الخواص للثنائي العادي في التوصيلين الأمامي والعكسي ، خط الحمل ونقطة التشغيل للثنائي ، مقاومتا الثنائي الساكنة Rs والحركية Rd ، الدارة المكافئة للثنائي، دارتا القص والتحديد باستخدام الثنائي ، تطبيقات عملية للثنائي p-n .

يجب على المتدرب بعد الانتهاء من هذه الوحدة أن يكون قادراً على أن:

1. يحدد أطراف الثنائيات.
2. يختبر صلاحية الثنائيات.
3. يميّز بين أنواع الثنائيات.
4. يبني دارات إلكترونية تستخدم الثنائيات في التوصيلين الأمامي والعكسي.
5. يرسم منحنيات الخواص للثنائيات في التوصيلين الأمامي والعكسي.
6. يميّز بين منحنيات الخواص لثنائي الجرمانيوم والسيليكون.
7. يميّز إشارة الدخل للمحدد عن إشارة الخرج.

المعلومات النظرية

مقدمة:

تنقسم المواد من حيث توصيلها للتيار الكهربائي إلى: مواد ناقلة، مواد عازلة، ومواد نصف ناقلة (Semiconductor)، وقد درست سابقاً خصائص المواد الناقلة والمواد العازلة، وقد يتبادر إلى ذهنك ما خصائص المواد نصف الناقلة ؟ ولماذا سميت بهذا الاسم؟ وما استخداماتها؟

1-1 المواد نصف الناقلة

تنبع أهمية المواد نصف الناقلة من خصائصها التي تجعل من درجة توصيلها للتيار الكهربائي، واتجاه هذا التوصيل من الأمور التي يمكن التحكم بها من قبل المصنّع، ومن أهم هذه المواد الجرمانيوم (Ge) والسيليكون (Si) ، وقد استغلت خصائص هذه المواد لتصنيع عناصر إلكترونية مختلفة وبالتالي إنتاج أجهزة إلكترونية صغيرة تمتاز بصغر حجمها وكفاءتها العالية جداً وانخفاض كلفة تصنيعها،وبأسعار رخيصة نسبياً .

تقع مادتا الجرمانيوم والسيليكون ضمن المجموعة الرابعة (رباعية التكافؤ) في الجدول الدوري وتحتوي ذرة الجرمانيوم على (14) إلكتروناً وذرة السيليكون على (32) إلكتروناً وبالاستعانة بالمعادلة(1-1) التي تبين توزيع الإلكترونات على مدارات الذرة

$$N = 2n^2 \qquad \textbf{(1-1)}$$

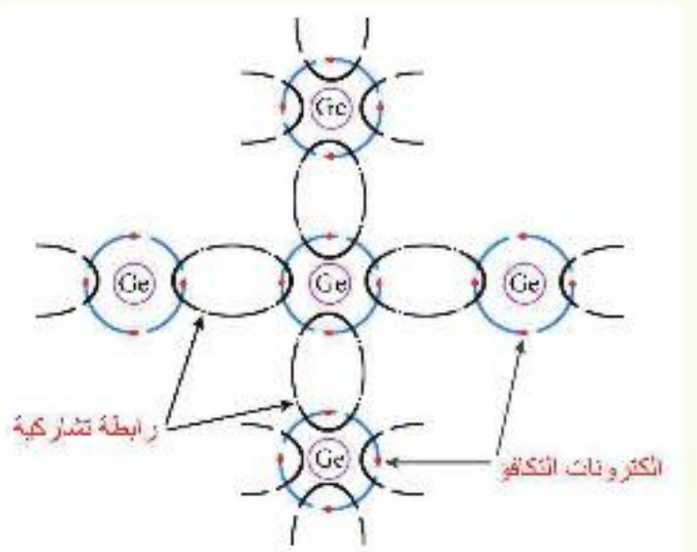
حيث : N : عدد الإلكترونات في كل مدار(مستوى)

n : رقم المدار

نجد أن عدد الإلكترونات في المدار الفرعي الأخير لكل من العنصرين هو(4) إلكترونات.

إن وجود أربعة إلكترونات في المستوى الأخير لكل من ذرتي الجرمانيوم والسيليكون يجعل من الصعب على أي من هاتين الذرتين إعطاء أو أخذ الإلكترونات لإكمال مستواها الأخير، لذلك ترتبط ذرات العنصر معاً في ترتيب خاص، يسمى التركيب البلوري (Crysalline Structure) حيث تنشأ روابط بين الذرات، فتشارك كل ذرة أربع ذرات مجاورة، وتكمل الإلكترونات مستواها الأخير إلى ثمانية إلكترونات، تدعى هذه الروابط بالروابط التشاركية (Bonds Covalent) ويبين الشكل (1-1)

التركيب البلوري لمادة الجرمانيوم عند درجة الصفر المطلق (273- درجة مئوية) .



الشكل (1-1) : التركيب البلوري لمادة الجرمانيوم Ge

تبقى الروابط التشاركية قائمة في بلورة المادة نصف الناقلة وعندما يتم إعطاؤها كمية مناسبة من الطاقة تتحرر بعض إلكترونات التكافؤ، كما تتحطم بعض الروابط نتيجة درجة حرارة الجو العادي، مما يؤدي إلى تحرر عدد من الإلكترونات، التي تسمى عندها الإلكترونات الحرة (Electrons Free) وعندما يتحرر الإلكترون يتحرك في البلورة بشكل عشوائي تاركاً مكانه فراغاً يسمى الفجوة (Hole). وبما أن الإلكترون سالب الشحنة كهربائياً فإن غيابه يعني وجود شحنة موجبة مكافئة لشحنته وهي الفجوة أو (الثقب).

تعد كل من الإلكترونات الحرة والفجوات حاملات للشحنة (Charge Carriers)، إذ قد ينتقل الإلكترون، ويسقط على فجوة مسبباً تعادلها، وتاركاً مكانه فجوة جديدة. وهكذا يمكن القول إن الفجوة تنتقل هي الأخرى و تعد حاملة للشحنة .

يتبين مما سبق أن مادتي الجرمانيوم والسيليكون عازلتان جيدتان للتيار الكهربائي في درجات الحرارة الدنيا، وذلك عندما تكونان نقيتين تماماً .بينما تزداد درجة توصيلها للتيار الكهربائي عند ارتفاع درجة الحرارة .

1-2 إضافة الشوائب للمادة نصف الناقلة

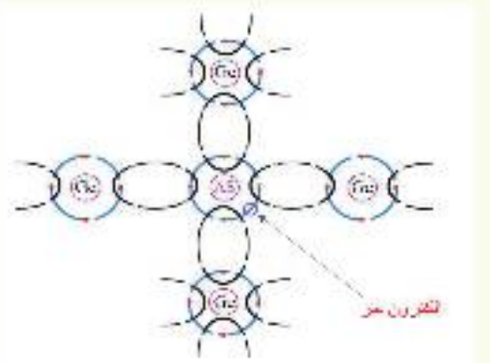
إن من أبرز خصائص أنصاف النواقل إمكانية التحكم بدرجة توصيلها للتيار

الكهربائي ونوعيته، فكيف يتم ذلك ؟

يتم زيادة ناقلية أنصاف النواقل بإضافة الشوائب إليها، وتسمى هذه العملية بالتطعيم أو الإشابة (Doping) ويوجد نوعان من الشوائب، يمكن إضافة أي منهما للمادة نصف الناقلة، حيث يحدد نوع المادة الشائبة المضافة نوع شريحة المادة نصف الناقلة الناتجة . وهذان النوعان هما :

أ- **الشوائب العاطية (Doping Impurities)** تحتوي عناصرها في مستوى ذراتها الأخير على خمسة إلكترونات، لذلك تسمى عناصر المجموعة الخامسة، مثل: الفسفور والزرنيخ والأنتيمون ..... وعند إضافة أحد هذه العناصر إلى المادة نصف الناقلة فإن أربعة من كل خمسة إلكترونات الموجودة على المدار الأخير من ذراتها تتشارك مع أربعة إلكترونات من أربع ذرات من المادة نصف الناقلة وبذلك يبقى الإلكترون الخامس في كل من المادة الشائبة حراً يتحرك في البلورة (Crystal) و يتشكل عدد كبير من حاملات الشحنة السالبة (الإلكترونات) في البلورة . وبهذه الطريقة يمكن صنع شريحة سالبة تعتمد درجة توصيلها على نسبة الشوائب المضافة إلى المادة نصف الناقلة النقية .

ويبين الشكل (1-2) جزءاً من البلورة الناتجة عن إضافة مادة الزرنيخ AS إلى بلورة الجرمانيوم لتشكيل البلورة السالبة .

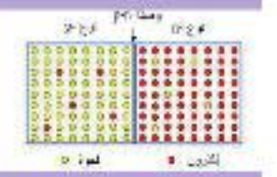


الشكل (1-2) : تطعيم بلورة الجرمانيوم بمادة الزرنيخ

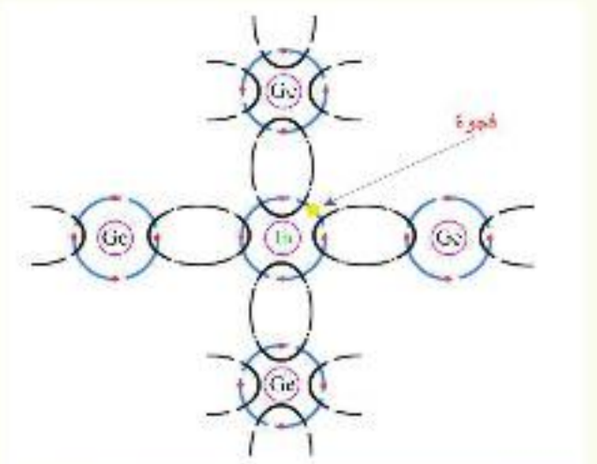
ب- **الشوائب الآخذة (Acceptors Impurities)** تحتوي عناصرها في مستوى ذراتها الأخير على ثلاثة إلكترونات، وتسمى عناصر المجموعة الثالثة، مثل : الأنديوم والألومنيوم والبورون و..... وعند إضافة أحد هذه العناصر إلى المادة نصف الناقلة، فإن كل ذرة من هذه الشوائب ترتبط بأربع ذرات من المادة

نصف الناقلة بطريقة تشاركية، ولكون الذرة الثنائية تحوي في مستواها الأخير ثلاثة إلكترونات فقط، فإن هناك غياباً لإلكترون في الرابطة التشاركية، مما يؤدي إلى تكون فجوة. وبالتالي تكون مجموعة كبيرة من حاملات الشحنة الموجبة (الفجوات) في الشريحة، وبذلك تصبح شريحة موجبة، ويمكن التحكم بدرجة توصيلها للتيار الكهربائي عن طريق التحكم بنسبة الشوائب المضافة. ويبين الشكل (1-3) جزءاً من البلورة الناتجة من إضافة مادة الأنديوم In إلى بلورة الجرمانيوم لتشكيل الشريحة الموجبة.

وتتحطم بعض الروابط التشاركية في المادة نصف الناقلة السالبة في درجة الحرارة العادية، مما ينتج عدد من حاملات الشحنة الموجبة (فجوات) والسالبة (إلكترونات) في آن واحد. وبذلك يوجد عدد قليل من حاملات الشحنة الموجبة في الشريحة السالبة تسمى حاملات الشحنة القليلة(Minority Charge Carrier) بينما تكون الشحنات السالبة هي حاملات الشحنة الأغلبية (Charge Carriers Majority). وبالطريقة نفسها تحوي البلورة الموجبة حاملات الشحنة الموجبة كحاملات الشحنة الأغلبية بينما تكون حاملات الشحنة السالبة هي حاملات الشحنة القليلة.



تركيز الشحنات في الشريحة n و p



الشكل (1-3) : تطعيم بلورة الجرمانيوم بمادة الأنديوم

أسئلة

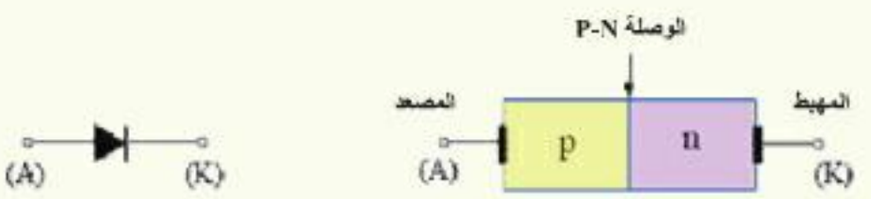
1- كيف تنتج حاملات الشحنة في كل من الشريحتين الموجبة والسالبة ؟

2- ما تأثير درجة الحرارة على المادة نصف الناقلة ؟

3-1 الثنائي العادي (Diode p-n)

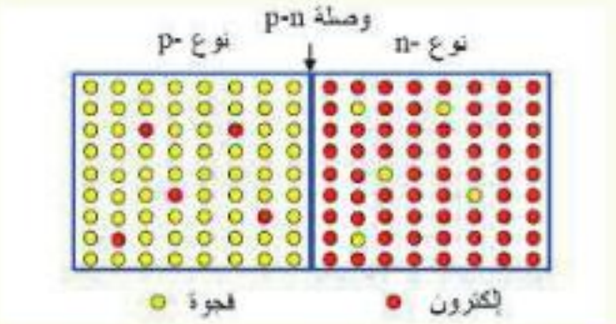
يتم تشكيل الثنائي العادي p-n من مادة نصف ناقلة نقية مثل السيلكون أو الجرمانيوم على بلورة أحادية ومتصلة (Continuous and single crystal) ، يطعّم أحد جانبي هذه البلورة بشـــوائب عاطية (Donor impurities) ويطعم الجانب الآخر بشوائب آخذة (Acceptor impurities) ، والجدير بالذكر أنه لا يمكن تشكيل الثنائي العادي p – n بمجرد وضع قطعة من مادة نصف ناقلة نوع n(n-type)ملاصقة لمادة نوع p (p-type)لأن عدم الاستمرارية في البناء البلوري لمادة نصف ناقلة يؤدي إلى ضياع كل الصفات التي شُكّل الثنائي العادي من أجلها . ويبين الشكل (1-4) البنية والرمز الإلكتروني للثنائي العادي . ونلاحظ أن للثنائـــي طرفين، الأول المتصل بالمادة نوع p ويطلق عليه المصعد أو الأنـــود (anode) ويرمز له A والطرف الثاني يطلق عليه المهبط أو الكاثود (cathode) ويرمز لهK.

(أ) التركيب (ب) الرمز الإلكتروني



الشكل (1-4) : البنية والرمز الإلكتروني للثنائي العادي p-n

ويبين لنا الشكل (1-5) توزيع الشحنات في الثنائي العادي حيث تكون غالبية الشحنات (حاملات التيار) في الجزء الأيسر الذي يحتوي على مادة نوع (p) فجوات (ثقوب) (Holes) وتمثل الإلكترونات (Electrons) أقلية في هذا الجزء بينما تكون غالبية الشحنات في الجزء الأيمن الذي يحتوي على مادة نوع (n) إلكترونات، وتمثل الفجوات أقلية في هذا الجزء .

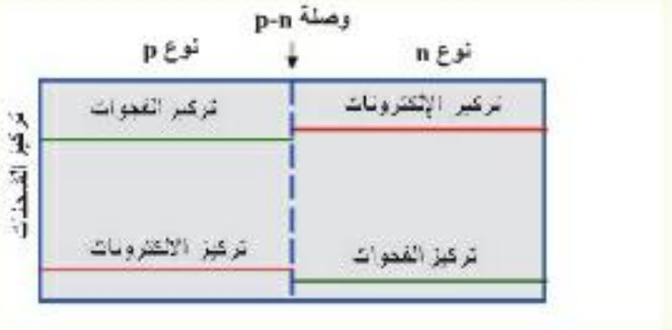


الشكل (1-5) : توزيع الشحنات في الثنائي العادي p-n

4-1 الثنائي العادي p-n عند الاستقرار

The p-n Diode at stability

عند تشكيل ثنائي الوصلة p-n يكون تركيز كل من الإلكترونات والفجوات على جانبي الوصلة بين المادتين p،n كما هو مبين في الشكل (1-6) . ونتيجة لهذا الاختلاف تنتشر الشحنات من الوسط الأكثر تركيزاً إلى الوسط الأقل تركيزاً. فتنتشر الإلكترونات من المادة n إلى المادة p والفجوات من المادة p إلى المادة n . فنجد الإلكترونات القريبة من الوصلة قد اختفت نتيجة انتشارها إلى المادة نوع p واتحادها مع الفجوات التي انتشرت هي الأخرى من المادة نوع p إلى المادة نوع n.

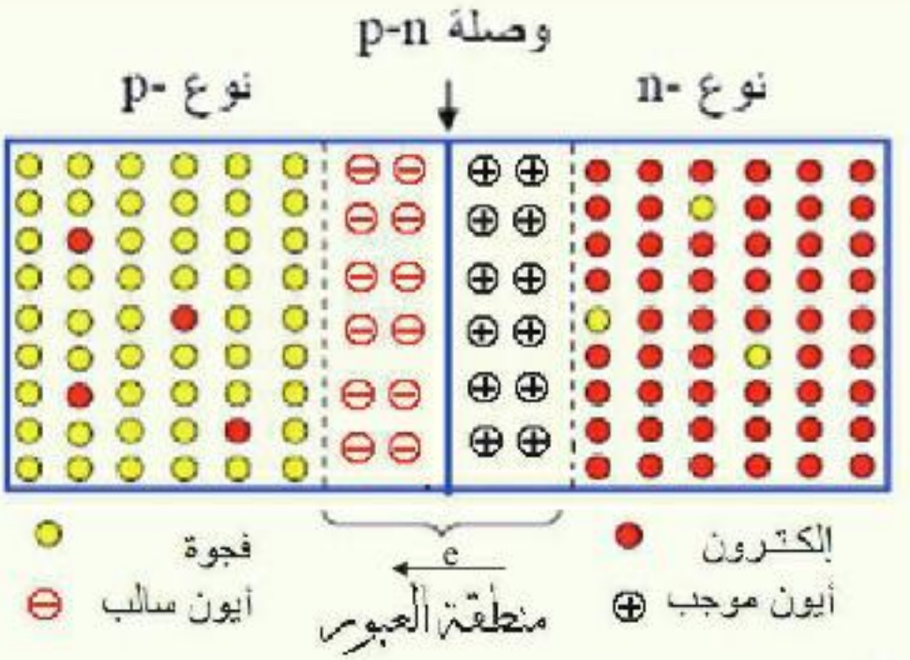


الشكل (1-6) : تركيز الإلكترونات و الفجوات على جانبي الوصلة

ونتيجة لعملية الانتشار والاتحاد هذه نجد أن المنطقة القريبة من الوصلة أصبحت لا تحوي الكترونات أو فجوات حرة، والشحنة في هذه المنطقة أصبحت غير متعادلة لأن الإلكترون الذي يعبر من المنطقة n إلى المنطقة p يترك ذرته على شكل أيون موجب والفجوة التي تعبر من المنطقة p إلى المنطقة n تبقى ذرتها على شكل أيون سالب. وهكذا تتكون شحنة فراغية (space-charge) على جانبي الوصلة ويطلق عليها منطقة العبور (Transition Region) ويبين الشكل (1-7) منطقة العبور في ثنائي الوصلة p-n. ويعتمد عرض منطقة العبور على نسبة تركيز الشوائب في المادة نصف الناقل .

الأيون الموجب ⊕ يتكون نتيجة انتقال إلكترون من المنطقة n إلى المنطقة p و يترك ذرته على شكل أيون موجب ⊕

الأيون السالب ⊖ يتكون نتيجة انتقال الفجوة من المنطقة p إلى المنطقة n و يترك ذرته على شكل أيون سالب ⊖



الشكل (1-7) : منطقة العبور في الثنائي العادي p-n

وحيث إن الشحنة الفراغية داخل منطقة العبور تكون موجبة الشحنة في الجانب n وسالبة الشحنة في الجانب p فانه ينشأ فرق جهد على جانبي الوصلة ويطلق عليه " الكمون الحاجز " ويرمز له بالرمز V_B، حيث يؤدي هذا الكمون إلى تكوين مجال كهربائي يكون اتجاهه من الشحنة الموجبة إلى الشحنة السالبة أي من الجانب n إلى الجانب p، ويؤدي إلى عرقلة انتشار الالكترونات إلى الجانب p والفجوات إلى الجانب n وبذلك نجد أن الشحنة الفراغية في منطقة العبور يستمر تكوينها حتى

تصبح شدة المجال الكهربائي(e) المتولدة عنها كافية لمنع انتشار الشحنات .

5-1 الثنائي العادي p-n عند تطبيق الانحياز

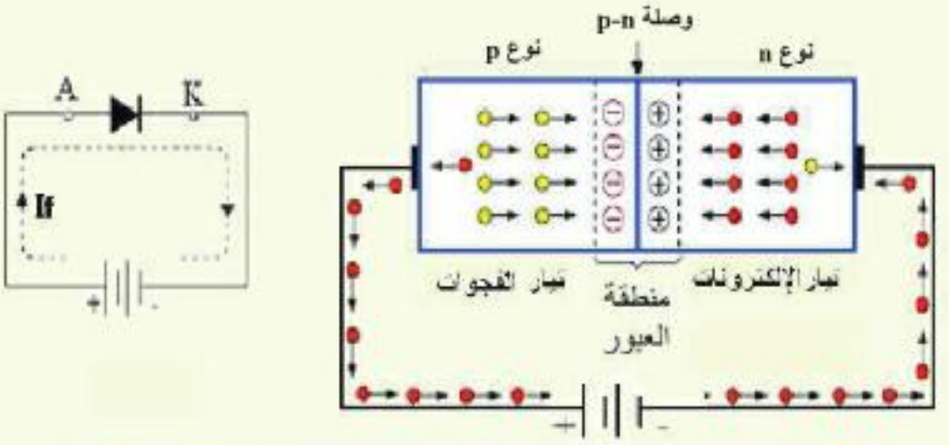
The p-n Diode with Applied Bias

يوجد نوعان من الانحياز هما الانحياز الأمامي(Forward Bias) الذي يكون عنده جهد المنطقة p موجباً بالنسبة للمنطقة n .

والانحياز العكسي(Reverse Bias) الذي يكون عنده جهد المنطقة p سالبا بالنسبة للمنطقة n .

أ- الانحياز الأمامي (Forward Bias)

عند توصيل الثنائي العادي p-n ببطارية، يكون الجانب p للثنائي متصلاً بالقطب الموجب للبطارية والجانب n للثنائي متصلاً بالقطب السالب للبطارية كما هو موضح بالشكل (1-8)، فيكون الثنائي في حالة انحياز أمامي تسمح للثنائي بتوصيل التيار.وفي هذه الحالة تتنافر الإلكترونات في الجانب n مع القطب السالب للبطارية وتندفع لعبور الوصلة إلى الجانب p، بينما الفجوات في الجانب p تتنافر مع القطب الموجب للبطارية وتندفع لعبور الوصلة إلى الجانب n ونتيجة لذلك يقل عدد الأيونات الموجبة في الجانب n من منطقة العبور وعدد الأيونات السالبة في الجانب p من منطقة العبور وتضيق هذه المنطقة.



الشكل (1-8): الثنائي العادي في حالة انحياز أمامي

وعند زيادة قيمة جهد البطارية عن قيمة الجهد الحاجز، فإن عرض منطقة العبور ينقص إلى الحد الذي يسمح باستمرار سريان التيار عبر الوصلة .

مما سبق يتضح لنا أن الثنائي عندما يكون في حالة انحياز أمامي فإن الإلكترونات تنتشر من المادة نوع n إلى المادة نوع p والفجوات من المادة نوع p إلى المادة نوع n . ونتيجة لهذا الانتشار يضيق عرض منطقة العبور ويمر خلال الثنائي تيار كهربائي ناتج عن انتشار الحاملات الأكثرية للتيار وله مركبتان الأولى: المركبة الناتجة عن انتشار الإلكترونات والأخرى: الناتجة عن انتشار الفجوات . تزداد شدة التيار المار بالوصلة بزيادة قيمة الجهد الأمامي المطبق على الثنائي ويسمى التيار في هذه الحالة بالتيار الأمامي(Forward current) ويرمز له بالرمز I_f. و يكون اتجاهه من المصعد إلى المهبط .

ب- الانحياز العكسي (Reverse Bias)

عند توصيل الثنائي العادي p-n ببطارية يكون الجانب p للثنائي متصلاً بالقطب السالب للبطارية والجانب n للثنائي متصلاً بالقطب الموجب للبطارية كما هو موضح بالشكل (1-9)، فيكون الثنائي في حالة انحياز عكسي . حيث تنجذب الإلكترونات في الجانب n إلى القطب الموجب للبطارية وتبتعد عن الوصلة بينما تنجذب الفجوات في الجانب p إلى القطب السالب للبطارية مبتعدة عن الوصلة . فيزداد عدد الأيونات الموجبة في الجانب n من منطقة العبور وعدد الأيونات السالبة في الجانب p من منطقة العبور، ونتيجة لذلك يزداد عرض منطقة العبور وشدة المجال الكهربائي فيها .

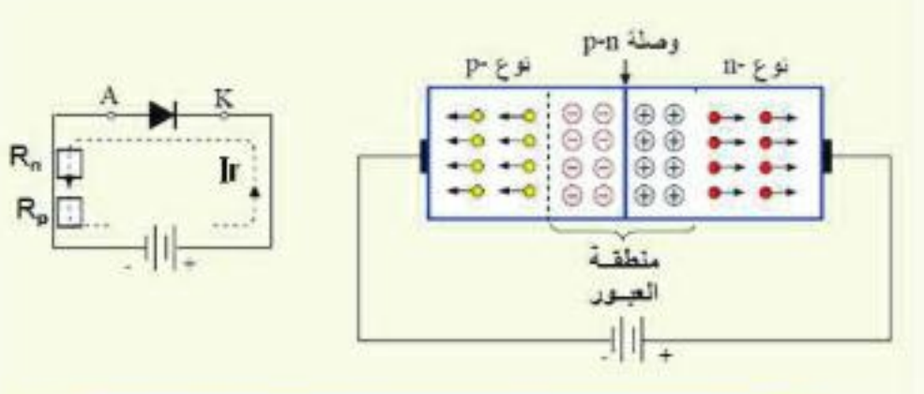
ونتيجة لزيادة شدة المجال الكهربائي في منطقة العبور تنتقل الإلكترونات من الجانب p إلى الجانب n والفجوات من الجانب n إلى الجانب p . نتيجةً لانتشار الحاملات الأقلية للتيار المتمثلة في الإلكترونات في الجانب p والفجوات في الجانبn و عليه سيمر تيار صغير جداً في الاتجاه العكسي (من المهبط إلى المصعد) ويرمز له بالرمز I_r . وعند زيادة قيمة جهد الانحياز العكسي إلى قيمة معينة يصبح التيار العكسي ثابتاً ولا يعتمد على قيمة الجهد ويطلق عليه تيار الإشباع العكسي (Reverse saturation current) ويرمز له بالرمز I_0 ويعتمد هذا التيار على كثافة الحاملات الأقلية للتيار .

سؤال علل سبب زيادة عرض منطقة العبور وزيادة شدة المجال الكهربائي في حـــال التوصيل العكسي .

ونظراً لأن كثافة الحاملات الأقلية للتيار تعتمد على نسبة الشوائب في نصف الناقل ودرجة الحرارة ، ونسبة الشوائب في الثنائي ثابتة ، فإن درجة الحرارة تشكل العامل الأساسي في تحديد قيمة التيار العكسي المار في الثنائي.

R_p و R_n تمثلان مقاومة نصف الناقل p و نصف الناقل n

وبما أن مقاومة الثنائي في حالة الانحياز العكسي تمثل مجموع المقاومتين R_pوR_n، تكون عالية جداً، فإن قيمة التيار العكسي تكون بالميكروأمبير أو بالنانوأمبير.



الشكل (1-9) : الثنائي العادي في حالة انحياز عكسي

1-6 منحني الخواص للثنائي نصف الناقل

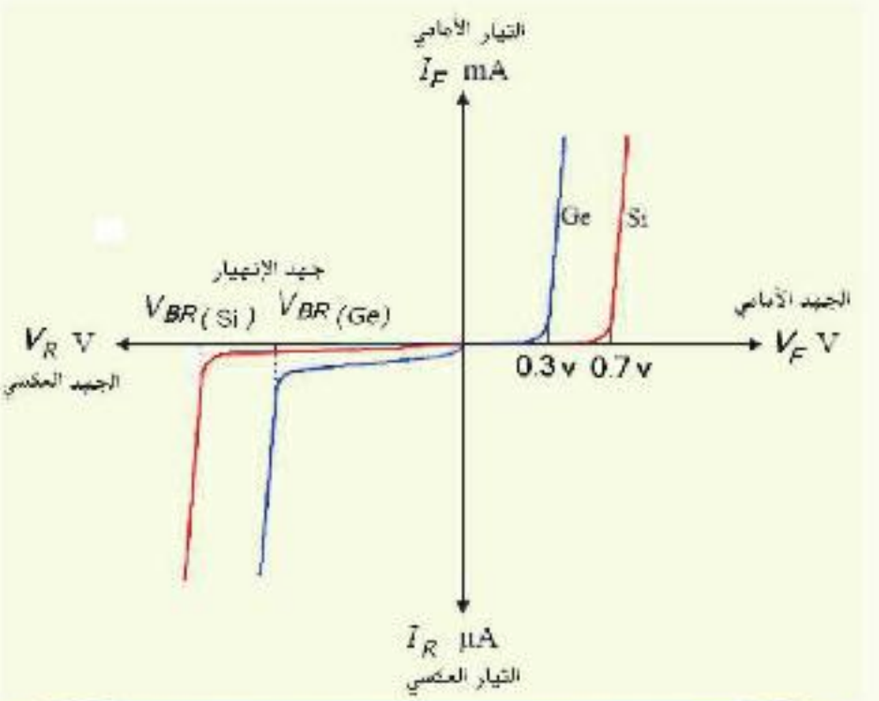
The characteristic curve of the semiconductor diode

يمثل منحني الخواص للثنائي العلاقة بين التيار المار خلال الثنائي وبين الجهد المطبق عليه سواء في حالة الانحياز الأمامي أو الانحياز العكسي. ويبين الشكل(1-10) منحني الخواص لثنائي من السيليكون Si وآخر من الجرمانيوم Ge. وكما هو موضح بالشكل فإن الثنائي يوصل التيار عندما يكون التوصيل في الاتجاه الأمامي، ولا يوصل التيار إذا كان التوصيل في الاتجاه العكسي (تيار صغير جداً يمكن إهماله) طالما كان الجهد المطبق على طرفيه أقل من جهد الانهيار V_{BR} (voltage Breakdown).

يبين الجزء الأيمن من المنحني الموضح بالشكل (1-10) التغير الكبير في قيمة التيار الأمامي عند تغير الجهد الأمامي المطبق على الثنائي، حيث يكون التيار صغير القيمة عندما يكون الجهد المطبق على الثنائي أقل من الجهد الحاجز، والذي تبلغ قيمته حوالي $V_B = 0.7V$ في حالة الثنائي المصنع من السيليكون أو $V_B = 0.3V$ في حالة الثنائي المصنع من الجرمانيوم. وعندما يزيد الجهد المطبق على الثنائي عن الجهد الحاجز فإن التيار يزيد زيادة كبيرة مع زيادة الجهد .

سؤال

هل تعتمد قيمة التيار العكسي على قيمة جهد البطارية ؟



الشكل (1-10) : منحني الخواص للثنائي نصف الناقل

يوضح الجزء الأيسر من منحني الخواص التيار المار في الاتجاه العكسي حيث يكون قريباً من الصفر طالما الجهد المطبق على الثنائي أقل من جهد الانهيار، وعند وصول هذا الجهد إلى جهد الانهيار يزداد التيار زيادة كبيرة تؤدي غالباً إلى تلف الثنائي .

نلاحظ من الشكل (1-10) استخدام مقياس رسم مختلف لكل من التيارين الأمامي والعكسي وذلك لأن التيار العكسي يكون دائماً أقل من التيار الأمامي مئات أو آلاف المرات . وقيمة تيار الإشباع العكسي في حالة الثنائي المصنوع من الجرمانيوم أكبر بضعفين إلى ثلاثة أضعاف منه للثنائي المصنع من السيليكون .

كما نلاحظ من المنحني الأمامي أن المقاومة الأمامية تبدأ بقيمة كبيرة جداً عندما يكون الجهد يساوي الجهد الحاجز أو أقل من ذلك ثم تتناقص قيمتها إلى أن تصبح صغيرة جداً عند جهد العتبة.

أما المقاومة العكسية فتبدأ أيضاً بقيمة كبيرة جداً وتبقى كذلك إلى أن يقترب الجهد من جهد الانهيار العكسي، فتصبح قيمة المقاومة صغيرة جداً، ونلاحظ من الموازنة بين المقاومتين أن المقاومة الأمامية للثنائي أصغر بكثير من المقاومة العكسية له (باستثناء حالة الانهيار) .

1-7 مواصفات الثنائي

تختلف الثنائيات باختلاف المادة التي تصنع منها، فهناك ثنائيات مصنوعة من الجرمانيوم، وأخرى مصنوعة من السيليكون، كما تختلف باختلاف طريقة التصنيع، فمنها الثنائيات البلورية وثنائيات نقطة الاتصال وغيرها، وهي تصنع بأشكال وحجوم مختلفة تبعاً لطبيعة استخدامها، ويبرز من كل منها طرفان (المصعد والمهبط) وأحياناً يرسم رمز الثنائي على الغلاف المعدني الخارجي له، بحيث يبين الرمز اتجاه كل من المصعد والمهبط . أما عندما لا يكون الثنائي داخل غلاف معدني، فترسم حلقة دائرية بلون مميز من جهة طرف المهبط، كما قد تحفر حفرة صغيرة قريبة من طرف المهبط لتمييزه عن المصعد كما في الشكل (1-11).

أما المواصفات الكهربائية للثنائي فتحدد جهد الانهيار الأمـــامي، والجهـــد العكسي الأقصى للثنائي، وتيار الانحياز الأمامي، وتيار التشبع العكسي، وجميعهـــا موجودة في النشرات الفنية التي تصدرها الشركات الصانعة . وتعطـــي الثنائيـــات عادةً مجموعة من الحروف والأرقام تدل في مجموعها على مادة الثنائي وطبيعـــة صنعه واستخدامه والقيم التي يتحملها من التيار والجهد .

الشكل (1-11) : أشكال متعددة من الثنائيات

أسئلة

1- أجب بصح أو خطأ لكل مما يلي :

أ- في حالة الانحياز الأمامي للثنائي، يوصل الطرف الموجب لمصدر الجهـــد بمصعد الثنائي ( ).

ب-الجهد الحاجز في ثنائي الجرمانيوم هو (0.7) فولت ( ).

جـ- يزداد الجهد الحاجز بازدياد الجهد العكسي على الثنائي ( ).

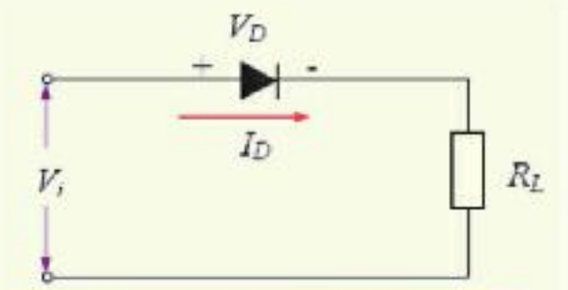
د- تزداد المقاومة الأمامية للثنائي بازدياد جهد الانحياز الأمامي له( ).

2 - ما المواصفات الكهربائية التي تبحث عنها لدى اختيارك ثنائي معين ؟

1-8 الثنائي كعنصر في دارة إلكترونية

The Diode as a Circuit Element

تتكون الدارة الأساسية للثنائي كما هو موضح بالشكل (1-12) من ثلاثة عناصر أساسية هي: الثنائي D ومقاومة الحمل R_L ومنبع الجهد Vi .



الشكل (1-12) : الدارة الأساسية للثنائي

1-9 خط الحمل ونقطة التشغيل

The Load Line and operating Point

لتعيين خط الحمل ونقطة التشغيل يجب دراسة الدارة المبينة بالشكل (1-12) فعند تطبيق قانون كيرشوف للجهد على هذه الدارة نحصل على العلاقة الآتية :

$$V_i = V_D + I_D R_L \qquad (2\text{-}1)$$

وحيث أن هذه العلاقة لا تكفي لتحديد قيمة كل من I_D و V_D لأنها تحوي مجهولين فسوف نلجأ إلى خط الحمل .

أ- طريقة رسم خط الحمل

يلزمنا لرسم خط الحمل تحديد نقطتي تقاطعه مع محوري الجهد والتيار :

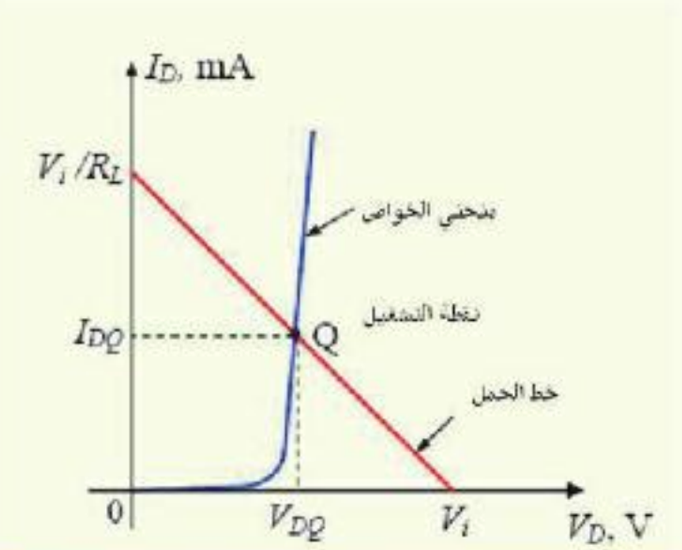
النقطة الأولى: نقوم بتحديدها على المحور العمودي الذي يمثل التيار بالإحداثيات وفق العلاقة (1-3)

$$(\quad I_D=V_i/R_L \, ، \, v_D=0 \quad) \qquad (3\text{-}1)$$

النقطة الثانية: نقوم بتحديدها على المحور الأفقي و الذي يمثل الجهد بالاحداثيات وفق العلاقة (1-4)

$$(I_D=0)\,.\,(V_D=V_i) \qquad (4-1)$$

كما يبين الشكل (1-13)



الشكل (1-13) : منحني الخواص للثنائي وخط الحمل للدارة

ب- نقطة التشغيل

نلاحظ أن خط الحمل يتقاطع مع منحني الخواص عند النقطة Q ويطلق عليها نقطة التشغيل. وعند هذه النقطة يمكن تحديد قيمة التيار المار في الدارة وقيمة فرق الجهد الواقع على الثنائي كما يمكن إيجاد قيمة فرق الجهد الواقع على مقاومة الحمل حيث يساوي:

$$V_L - I_D R_L - V_i - V_D \qquad (5-1)$$

مثال:

بالنسبة للدارة المبينة بالشكل (1-12) إذا كانت قيمة $R_L = 50\ \Omega$ و $V_i = 1.5$ V، أوجد قيمة التيار المار في الدارة ، وقيمة فرق الجهد الواقع على الثنائي، وكذلك قيمة فرق الجهد الواقع على مقاومة الحمل، علماً بأن منحني الخواص للثنائي مبين بالشكل (1-14) .

الحل

نحدد إحداثيات النقطة الأولى بالتعويض عن قيمة R_L و V_i في المعادلة (1-3)، وتكون نقطة تقاطع خط الحمل مع محور التيار عند القيمة :

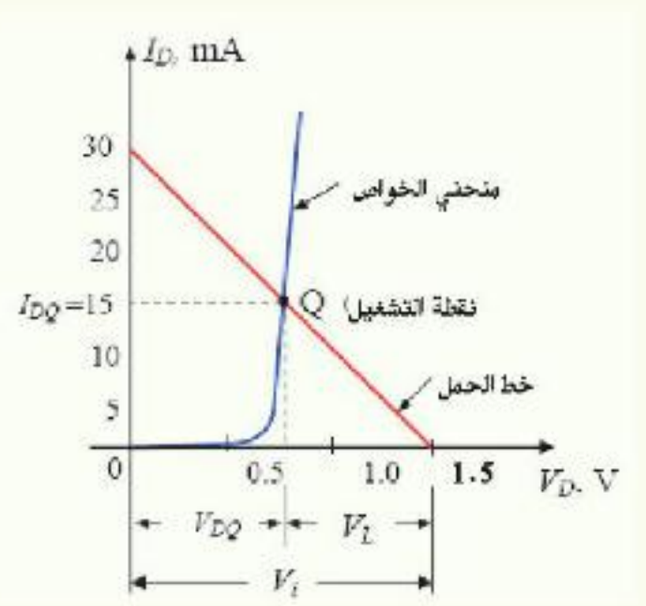
$$I_D = V_i / R_L = 1.5\ V / 50\ \Omega = 0.03\ A = 30\ mA$$

وحسب المعادلة (1-4)، فإن نقطة تقاطع خط الحمل مع محور الجهد تكون عند القيمة :

$$V_D = V_i = 1.5\ V$$

من تقاطع خط الحمل مع منحني الخواص يمكن تحديد نقطة التشغيل Q ومن إحداثيات هذه النقطة يمكن معرفة قيمة التيار I_{DQ} المار في الدارة وتساوي 15 mA وقيمة فرق الجهد الواقع على الثنائي V_D تساوي 0.75V. ويمكن استنتاج قيمة فرق الجهد الواقع على مقاومة الحمل V_L من المعادلة (1-5) وهي تساوي :

$$V_L = V_i - V_D = 1.5V - 0.75\ V = 0.75\ V$$



الشكل (1-14)

1-10 مقاومتا الثنائي Diode Resistance

أ- المقاومة الساكنة R_S (Static Resistance)

تعرّف المقاومة الساكنة R_S للثنائي على أنها النسبة بين فرق الجهد على طرفي الثنائي V_D والتيار المار خلال الثنائي I_D عند نقطة معينة على منحني الخواص، حيث تمثل هذه النقطة نقطة التشغيل للدارة، ويمكن التعبير عن قيمة المقاومة الساكنة بالعلاقة الآتية :

$$R_S = \frac{V_D}{I_D} \qquad (6-1)$$

ونظراً للتغير الكبير في قيمة المقاومة الساكنة مع قيم الجهد والتيار فإنها لا تعتبر من المعاملات المفيدة بالنسبة للثنائي .

ب- المقاومة الحركية Rd (Dynamic Resistance)

تعتبر المقاومة الحركية الأكثر أهمية بالنسبة للثنائي، ويمكن تحديد هذه المقاومة بإيجاد مقلوب ميل المنحني عند نقطة التشغيل Q وتمثل بالعلاقة الآتية :

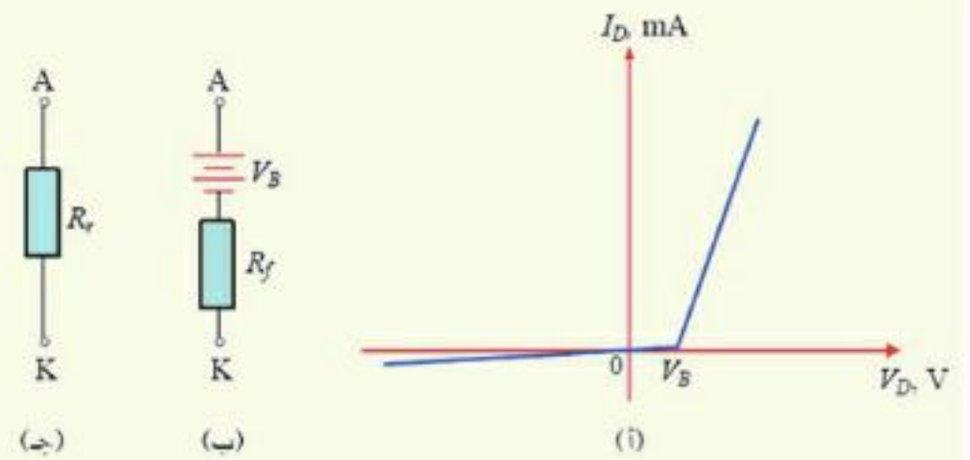
$$r_D = \left.\frac{\Delta V_D}{\Delta I_D}\right|_{Q\ point} \qquad (7-1)$$

تختلف قيمة المقاومة الحركية باختلاف حالة الانحياز للثنائي، حيث تكون قيمة هذه المقاومة صغيرة في حالة الانحياز الأمامي وكبيرة جداً في حالة الانحياز العكسي .

1-11 الدارة المكافئة للثنائي (The Diode Equivalent Circuit)

نظراً لأن منحني الخواص للثنائي هو علاقة غير خطية، فإن عملية تحليل الدارات الإلكترونية التي تحوي الثنائيات صعبة نوعاً ما، لذلك يتم تقريب منحني الخواص للثنائي إلى علاقة خطية كما في الشكل (1-16-أ) . ونلاحظ من العلاقة أن الثنائي يبدأ في توصيل التيار بمجرد زيادة الجهد المطبق عليه عن قيمة الجهد الحاجز V_B ويسلك الثنائي في هذه الحالة سلوك مقاومة، حيث يتناسب التغير في الجهد مع التغير في التيار، وهذه مقاومة صغيرة جداً ويطلق عليها المقاومة الأمامية للثنائي (forward resistance) ويرمز لها بالرمز R_f، وبالتالي فإن الدارة المكافئة للثنائي في حالة الانحياز الأمامي تكون كالموضحة بشكل (1-16-ب) .

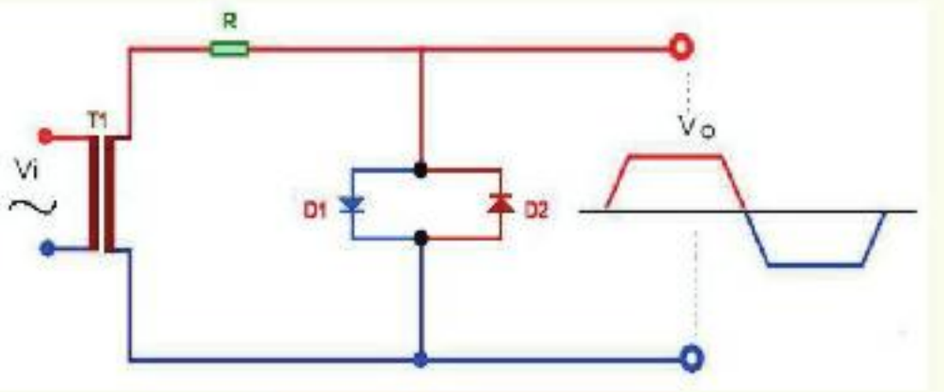
أما في حالة الانحياز العكسي فإن الثنائي يمثل مقاومة كبيرة جداً حيث لا يسمح إلا بمرور تيار صغير للغاية يمكن إهماله، ويرمز لهذه المقاومة بالرمز R_r ، ويطلق عليها المقاومة العكسية للثنائي (Reverse resistance) وتكون الدارة المكافئة للثنائي في هذه الحالة كالموضحة بالشكل (1-16-ج).



الشكل (1-16) : العلاقة الخطية بين الجهد والتيار والدارة المكافئة

1-12 دارات القص والتحديد باستخدام الثنائي العادي

تقوم دارات القص بتحديد اتساع الكمون المتناوب، ويمكن استخدامها للحصول على كمون نبضي من كمون متناوب جيبي وأبسط مثال على ذلك الدارة المبينة في الشكل (1-17).

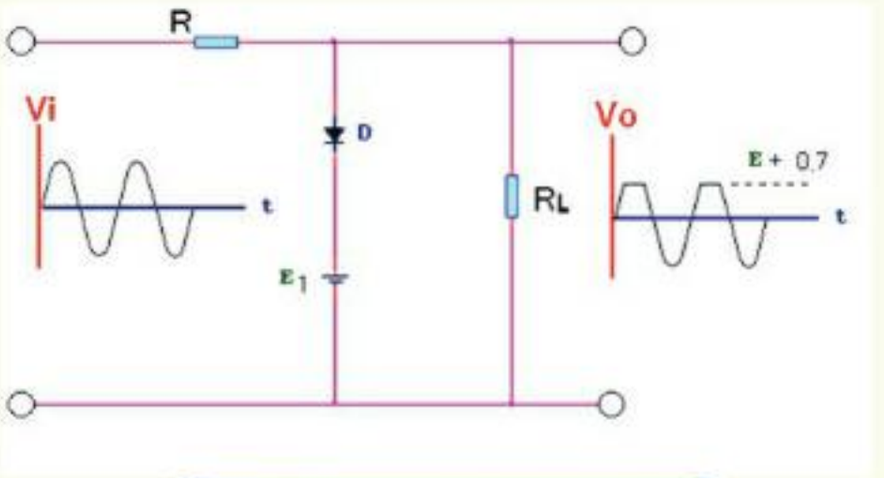


الشكل (1-17) : دارة التحديد

13-1 دارة التحديد (Biased limiter)

إن استخدام منبع جهد E1 على التسلسل مع الثنائي يؤدي إلى رفع سوية جهد التحديد بالقيمة E1. حيث يمكن تحديد الإشارة من الأعلى عند المستوى E1+0.7 v كما في الشكل (1-18).

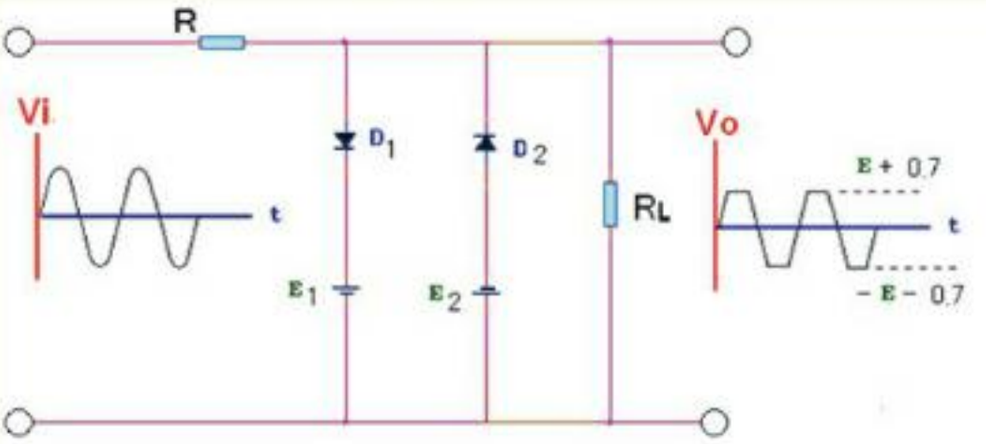
عندما يكون جهد الدخل أقل من E1+0.7 v فإن D1 يكون في حالة إغلاق، وعندما يصبح جهد الدخل أكبر من E1+0.7 v فإن D1 يصبح موصلاً ويثبت جهد الخرج على القيمة E1+0.7 v.



الشكل (1-18) : دارة محدد من الأعلى

14-1 دارة التحديد من الجانبين الأعلى والأسفل

إذا أضفنا ثنائي D2 ومنبع جهد E2 على التفرع مع D1 و E1 وبشكل معاكس عندها نستطيع أن نقص الإشارة من الأعلى والأسفل ونحصل في الخرج على إشارة تشبه الموجة المربعة كما في الشكل (1-19) .



الشكل (1-19) : دارة التحديد من الأعلى والأسفل

تقييم المعلومات النظرية

1. أجب بصح أو خطأ لكل مما يلي:

أ – مادتا الزرنيخ والأنديوم هما مادتان نصف ناقلتين ( ).

ب– المادة نصف الناقلة موصلة جيدة للتيار الكهربائي ( ).

ج – كلما ازدادت نسبة الإشابة للمادة نصف الناقلة يزداد توصيلها للتيار الكهربائي ( ).

د – تزداد المقاومة الأمامية للثنائي بازدياد جهد الانحياز الأمامي ( ).

2. اختر الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية :

أ – تبلغ قيمة الجهد الحاجز في ثنائي السيليكون (بالفولت):

1- 0.3V 3- 1v

2- 0.7V 4- 5V

ب – يعتمد عدد ناقلات الشحنة في المادة نصف الناقلة (بشكل رئيسي) على :

1- نوع المادة نصف الناقلة 3- نسبة الإشابة

2- درجة الحرارة 4- شكل شريحة المادة نصف الناقلة

ج – في حالة الانحياز الأمامي للثنائي :

1- تضيق منطقة العبور 3- يزداد جهد الحاجز

2- تتسع منطقة العبور 4- يزداد تيار الإشباع العكسي

د– يعيق الجهد الحاجز في الثنائي العادي مرور حاملات التيار :

1- الأكثرية 3- الأكثرية والأقلية

2- الأقلية 4- لا شيء مما ذكر

هـ – تعتمد قيمة تيار الإشباع العكسي في الثنائي العادي على :

1- قيمة الجهد العكسي 3- قيمة الجهد الأمامي

2- درجة حرارة الوصلة 4- درجة الإشابة

و- قيمة مقاومة الثنائي في حالة الانحياز العكسي تكون :

1- كبيرة جداً
2- صغيرة جداً
3- تساوي الصفر
4- متوسطة

3. ما المقصود بمنطقة العبور في ثنائي الوصلة ؟

4. وازن بين الانحياز الأمامي والانحياز العكسي للثنائي من حيث :

أ- منطقة العبور

ج- مرور التيار

ب- مقاومة الوصلة

5. ارسم منحني الخواص لثنائي السيليكون (Si) .

6. ما المقصود بالجهد الحاجز وجهد الانحياز العكسي ؟

7. ارسم الدارة المكافئة للثنائي في حالة الانحياز الأمامي والانحياز العكسي.

8 .ما المقصود بخط الحمل ونقطة التشغيل ؟

9.اذكر أهم الفروق بين ثنائي السيليكون وثنائي الجرمانيوم.

10. وازن بين إشارتي الدخل والخرج للمحدد باستخدام ثنائي واحد، وماذا تستنتج ؟

بطاقــة التمريــن العملــي

التمرين الأول: فحص الثنائيات **الزمن: (1) ساعة**

الأهداف الأدائية للتمرين

أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1. يحدد أطراف الثنائيات.
2. يختبر صلاحية الثنائيات.
3. يميز الثنائيات بعضها عن بعض.

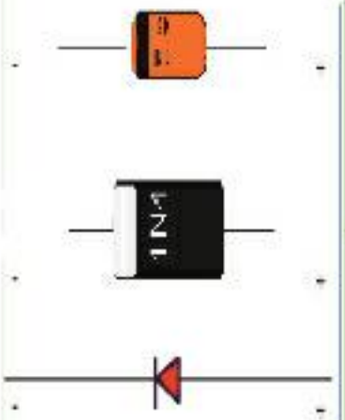
المواد والأدوات والتجهيزات

ثنائيات مختلفة، آفومتر، جداول مكافئات للثنائيات، مخططات تظهر تركيب أنصاف النواقل والمواد العاطية والمواد الآخذة، مخططات تظهر الوصلة (p–n) وحاملات الشحنة وكيفية الحصول على الثنائي، جهاز عرض فوق الرأس (OHP)، جهاز عرض البيانات (Data Show).

معايير الأداء

1. تحديد أطراف الثنائي من مواصفاته الفنية وفق جداول مكافئات الثنائيات .
2. ضبط أجهزة القياس عند استخدامها حسب دليل التشغيل .
3. تحديد أطراف الثنائي (مصعد ومهبط الثنائي) باستخدام الآفومتر حسب مقاومتيه الأمامية والعكسية .
4. التأكد من صلاحية الثنائي باستخدام جهاز الآفومتر حسب المقاومتين الأمامية والعكسية للثنائي.
5. أخذ نوع الثنائي ومواصفاته بعين الاعتبار عند اختباره حسب جداول المكافئات .
6. تطبيق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.

رقم الخطوة	الخطوة والنقطة الحاكمة	الرسم التوضيحي
1	تأكد أن جميع التجهيزات جيدة الأداء وبحالة عمل حسب مستلزمات التمرين.	
2	تفحص مجموعة الثنائيات التي أمامك، وميّز بينها من حيث الشكل والحجم.	
3	ارسم هذه الثنائيات ورموزها على دفترك.	
4	حدد مكان المصعد والمهبط للثنائي من خلال العلامات والرموز المثبتة على طرفي الثنائي.	
5	استخدم جداول مكافئات الثنائيات للحصول على مواصفاتها.	
6	حدّد مصعد الثنائي ومهبطه باستخدام الأفومتر حسب المقاومتين الأمامية والعكسية للثنائي.	
7	حدّد قيمة المقاومتين الأمامية والعكسية للثنائي باستخدام الأفومتر.	
8	حدّد الثنائيات الصالحة والثنائيات التالفة بوساطة الأفومتر بالاعتماد على المقاومتين الأمامية والعكسية للثنائي .	



الشكل (1-20)

التقييم الذاتي

دليل تقييم الأداء

تعليمـــات للمتـــدرب:

1) استخدم دليل تقييم الأداء كدليل إرشادي عند تنفيذك العمل.
2) تجتاز هذا التمرين بنجاح إذا تم تأشير جميع الخطوات الواردة بكلمة (نعم)، ما عدا الخطوات التي لا يمكن تطبيقها.
3) ضع إشارة (x) مقابل الخطوة التي لا يمكن تطبيقها .

خطوات الأداء	نعم	لا	غير قابلة للتطبيق
التأكدُ من أن جميع التجهيزات جيدة الأداء وبحالة عمل حسب مستلزمات التمرين			
تفحصُ مجموعة الثنائيات التي أمامك والتمييز بين كل منها من حيـــث الشكل والحجم.			
رسم هذه الثنائيات ورموزها على دفترك.			
التمييز بين المصعد و المهبط للثنائي من خلال العلامات والرموز المثبتة على طرفي الثنائي.			
استخدام جداول مكافئات الثنائيات للحصول على مواصفاتها.			
تحديد مصعد الثنائي ومهبطه باستخدام الأفومتر حسب المقاومتين الأمامية والعكسية للثنائي.			
تحديد المقاومة الأمامية والمقاومة العكسية للثنائي باستخدام الأفومتر.			
تحديد الثنائيات الصالحة والثنائيات التالفة بوساطة الأفومتربالاعتماد على المقاومتين الأمامية والعكسية للثنائي.			
المحافظة على التجهيزات من حيث النظافة والتخزين.			
تطبيق إجراءات السلامة العامة / شخصية ، تجهيزات ، أمور أخرى .			

الاختبار العملي للتمرين

اسم الاختبار: فحص الثنائيات

الأداء المطلوب في الاختبار:

1. حدد مصعد ومهبط الثنائي.
2. حدد صلاحية الثنائي باستخدام الأفومتر.
3. ارسم رمز الثنائي.

المواد والأدوات والتجهيزات اللازمة:

ثنائيات مختلفة ، أفومتر،جدول مكافئات الثنائي.

الزمن اللازم لإنجاز الاختبار: /30/ دقيقة

إرشادات للطالب:

سيتم تقييم الأداء في ضوء المعايير الآتية :

1. تحديد أطراف الثنائي حسب جداول مواصفاته الفنية.
2. تطبيق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.
3. ضبط جهاز الأفومتر عند استخدامه حسب دليل التشغيل.
4. تحديد صلاحية الثنائي باستخدام الأفومتر وحسب قيمة المقاومتين الأمامية والعكسية للثنائي.

بطاقـــة التمريـــن العملـــي

التمرين الثاني: بناء دارتي الانحياز الأمامي والعكسي للثنائي **الزمن: ساعتان**

الأهداف الأدائية للتمرين

أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

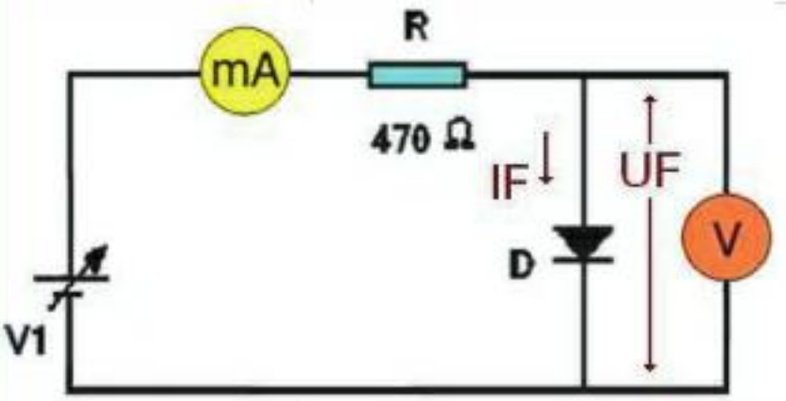
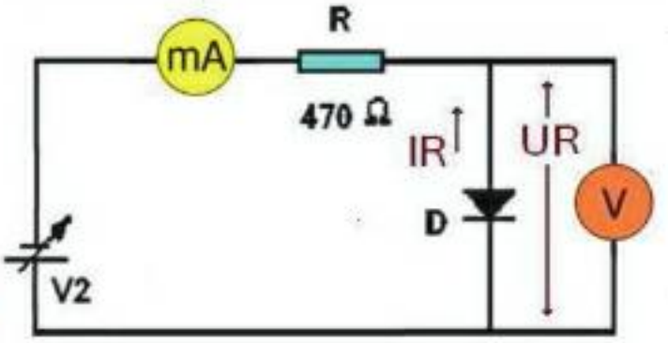
1. يبني دارات إلكترونية تستخدم الثنائي في الانحيازين الأمامي والعكسي.
2. يرسم منحنيات الخواص في حال الانحيازين الأمامي والعكسي.
3. يحدد منحنيات الخواص للثنائي المصنوع من الجرمانيوم والمصنوع من السيليكون في حال التوصيلين الأمامي والعكسي.

المواد والأدوات والتجهيزات (المستلزمات)

ثنائي عادي جرمانيوم و سيليكون ، مقياس ميلي أمبير، مقياس فولت ، وحدة تغذية مستمرة ، راسم إشارة مقاومة 470Ω ، كاوي لحام ، قصدير ، أسلاك توصيل ، لوحة فيبر مثقبة ، لوحة مخبرية ، مخططات تظهر داراتي الانحياز الأمامي والعكسي ، جهاز عرض فوق الرأس (OHP) ، جهاز عرض بيانات DATA SHOW

معايير الأداء

1. تحديد مواصفات الثنائي الفنية حسب جداول مكافئات الثنائي.
2. ضبط أجهزة القياس عند استخدامها حسب دليل التشغيل.
3. تحديد مصعد ومهبط الثنائي باستخدام الأفومتر حسب مقاومتيه الأمامية والعكسية.
4. قياس قيمة التيار المار في الثنائي عند كل قيم الجهد حسب الجدول رقم(1-1).
5. تطبيق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.

رقم الخطوة	الخطوة والنقطة الحاكمة	الرسم التوضيحي
1	تأكد من أن جميع التجهيزات جيدة الأداء وبحالة عمل حسب مستلزمات التمرين.	
2	نفذ الدارة المبينة في الشكل الآتي(حالة التوصيل الأمامي للثنائي).	 الشكل (1-21)
3	اضبط جهد المنبع (V_1) بحيث يزداد الجهد (V_D) المطبق على الثنائي تدريجياً بزيادة مقدارها (0.1) فولت في كل مرة حسب الجدول رقم (1-1).	
4	قس وسجّل في كل حالة قيمة التيار الأمامي (IF) المار في الدارة. في الجدول (1-1) وذلك للثنائي في حال ثنائي السيليكون (Si) وثنائي الجرمانيوم (Ge).	
5	ارسم منحني الخواص للثنائي في حالة الانحياز الأمامي لكل من ثنائي الجرمانيوم وثنائي السيليكون حسب النتائج المدونة بالجدول السابق.	
6	نفّذ الدارة المبينة في الشكل الآتي(حالة التوصيل العكسي للثنائي).	 الشكل (1-22)

UF (V)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
IF (mA) Si										
IF (mA) Ge										

جدول رقم (1-1)

رقم الخطوة	خطوات الأداء والنقاط الحاكمة والرسم	الرسم التوضيحي
7	اضبط جهد المنبع (V2) بحيث يزداد الجهد العكسي المطبق على الثنائي تدريجياً بزيادة مقدارها (5) فولت حسب الجدول (1-2).	
8	قس وسجّل في كل حالة قيمة التيار العكسي المار في الدارة في الجدول(1-2) وذلك في حال ثنائي السيليكون (Si) وثنائي الجرمانيوم (Ge).	
9	ارسم منحني الخواص في حالة الانحياز العكسي لكل من ثنائيي الجرمانيوم والسيليكون.	

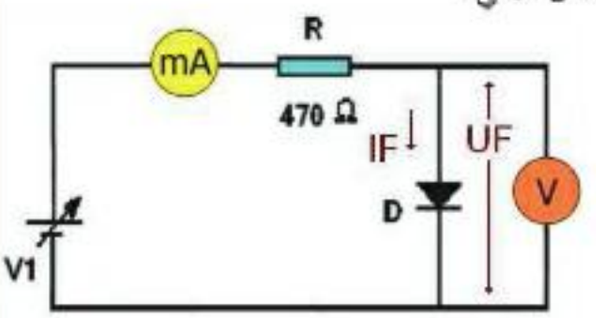
UR (V)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
IR (µA) si										
IR (µA) Ge										

(جدول 1-2)

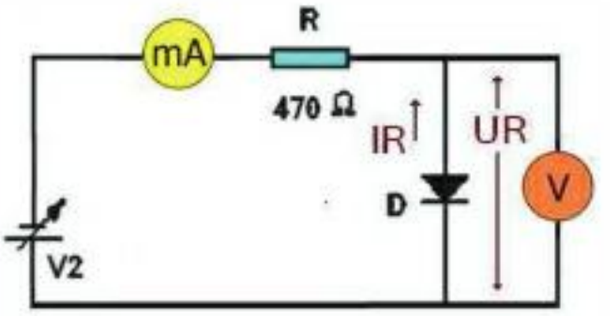
دليل تقييم الأداء

تعليمـــات للمتـــدرب:

1) استخدم دليل تقييم الأداء كدليل إرشادي عند تنفيذك العمل.
2) تجتاز هذا التمرين بنجاح إذا تم تأشير جميع الخطوات الواردة بكلمة (نعم)، ما عدا الخطوات التي لا يمكن تطبيقها.
3) ضع إشارة (x) مقابل الخطوة التي لا يمكن تطبيقها .

خطوات الأداء	نعم	لا	غير قابلة للتطبيق
التأكد من أن جميع التجهيزات جيدة الأداء وبحالة عمل حسب مستلزمات التمرين.			
تنفيذ الدارة المبينة في الشكل الآتي: 			
ضبط جهد المنبع(V_i) بحيث يزداد الجهد (V_o) المطبق على الثنائي تدريجياً بزيادة مقدارها (0.1) فولت في كل مرة حسب الجدول رقم(1-1).			
قياس قيمة التيار الأمامي المار في الدارة في كل حالة وتسجيلها في الجدول (1-1) وذلك لكل من ثنائيي السيليكون (Si) والجرمانيوم (Ge).			

UF (V)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
IF (mA) Si										
IF (mA) Ge										

خطوات الأداء	نعم	لا	غير قابلة للتطبيق
رسم منحني الخواص للثنائي في حالة الانحياز الأمامي لكل من ثنائيي الجرمانيوم والسيليكون حسب النتائج المدونة بالجدول السابق.			
تنفيذ الدارة المبينة في الشكل الآتي: 			
ضبط جهد المنبع (V2) بحيث يزداد الجهد العكسي المطبق على الثنائي تدريجياً بزيادة مقدارها (5) فولت حسب الجدول (1-2).			
قياس قيمة التيار العكسي المار في الدارة في كل حالة، وتسجيلها في الجدول (1-2) وذلك لكل من ثنائي السيليكون (Si) وثنائي الجرمانيوم (Ge).			
رسم منحني الخواص في حالة الانحياز العكسي لكل من ثنائيي الجرمانيوم والسيليكون.			

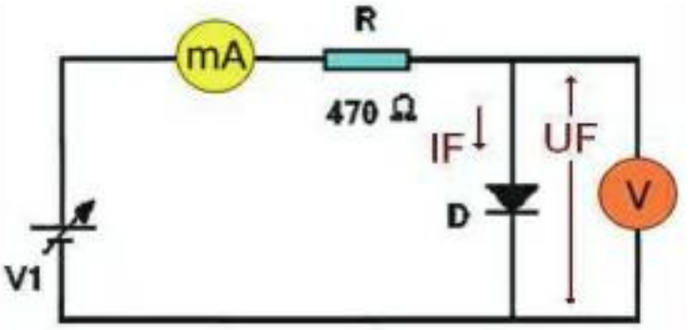
UR (V)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
IR (µA) si										
IR (µA) Ge										

الاختبار العملي للتمرين

اسم الاختبار: بناء دارة الانحياز الأمامي لثنائي السيليكون (Si)

الأداء المطلوب في الاختبار

- تنفيذ دارة الانحياز الأمامي لثنائي السيليكون وفق الدارة الآتية:



- قياس وتسجيل قيمة التيار الأمامي المار في الثنائي لكل حالة وفق الجدول الآتي:

UF (V)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
IF (mA) Si										

- رسم منحني الخواص للثنائي في حالة الانحياز الأمامي وفق النتائج المذكورة في الجدول السابق

المواد والأدوات والتجهيزات (المستلزمات)

ثنائي عادي si، مقياس ميلي أمبير، مقياس فولت، وحدة تغذية مستمرة، راسم إشارة ، مقاومة 470Ω ، كاوي لحام ، قصدير ، أسلاك توصيل ، لوحة فيبر مثقبة ، لوحة مخبرية .

الزمن اللازم لإنجاز الاختبار: /45/ دقيقة

إرشادات للطالب:

سيتم تقييم الأداء في ضوء المعايير الآتية :

1. التأكد من جميع مستلزمات الاختبار صحيحة وبحالة عمل حسب قائمة المستلزمات.
2. تطبيق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.
3. ضبط مقياسي التيار والجهد عند استخدامهما حسب دليل التشغيل.
4. تحديد أطراف الثنائي باستخدام الأفو متر حسب المقاومتين الأمامية والعكسية للثنائي .

بطاقـــة التمريـــن العملـــي

التمرين الثالث: بناء داراتي القص والتحديد باستخدام الثنائي **الزمن:(1) ساعة**

الأهداف الأدائية للتمرين

أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

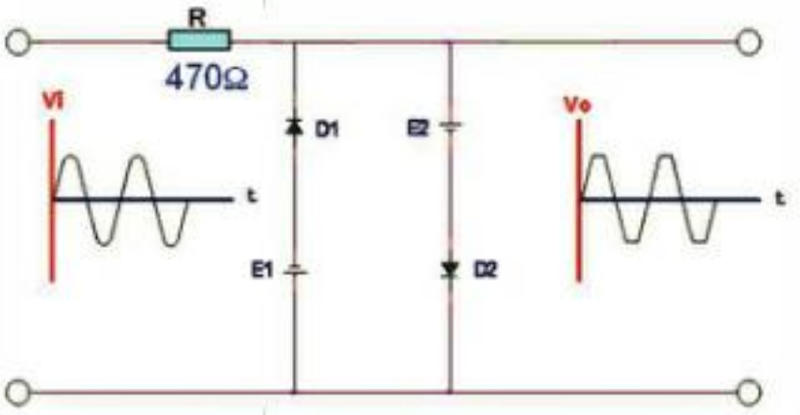
1. يبني دارتي القص والتحديد باستخدام الثنائيات.
2. يحصل على إشارة محددة الاتساع (نبضية).
3. يميز إشارة الدخل عن إشارة الخرج (المحددة).

المواد والأدوات والتجهيزات

ثنائيات (1N4001) عدد 2، آفو متر، راسم إشارة ثنائي الأثر، منبع الجهد المتناوب، وحدة تغذية الكمون المستمر (0–30V) عدد2، مقاومة 270Ω/1W عدد 1، لوحة مخبرية أو لوحات فيبر مثقبة، كاوي اللحام، قصدير، أسلاك التوصيل، جهاز عرض فوق الرأس (OHP) جهاز عرض البيانات (Data Show).

معايير الأداء

1. تحديد المواصفات الفنية للثنائي حسب جداول مكافئات الثنائي.
2. توصيل الثنائي بدارة المحدد حسب مخطط الدارة الإلكتروني.
3. ضبط أجهزة القياس عند استخدامها حسب دليل التشغيل.
4. تحديد القطبية عند توصيل أجهزة القياس في الدارات الإلكترونية حسب مخطط الدارة الإلكترونية.
5. تطبيق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.

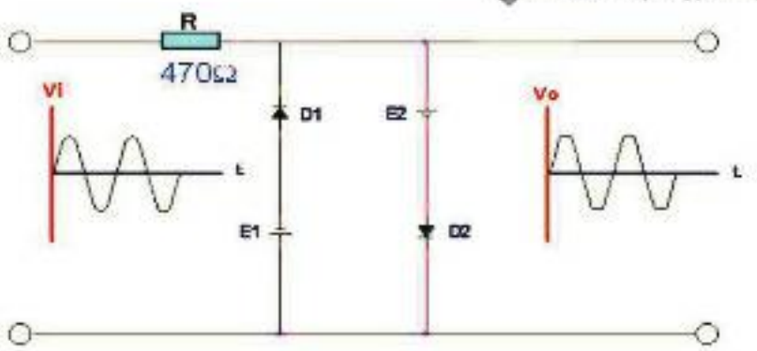
رقم الخطوة	الخطوة والنقطة الحاكمة	الرسم التوضيحي
1	تأكد من أن جميع التجهيزات جيدة الأداء وبحالة عمل وبحالة عمل حسب مستلزمات التمرين.	
2	نفذ الدارة المبينة بالشكل الآتي: 	
3	صل مدخل الدارة إلى مخرج وحدة تغذية للكمون المتناوب.	
4	اضبط وحدتي التغذية المستمرة على كمون أقل من القيمة العظمى لكمون وحدة التغذية المتناوب(كمون الدخل).	
5	أظهر إشارتي الدخل والخرج بوساطة راسم الإشارة.	
6	اضبط وحدتي التغذية المستمرة على كمون أعلى من القيمة العظمى لكمون وحدة التغذية المتناوب(كمون الدخل).	
7	أظهر إشارتي الدخل والخرج بوساطة راسم الإشارة.	
8	وازن بين إشارتي الدخل وإشارة الخرج للمحدد، ماذا تستنتج؟	

التقييم الذاتي

دليل تقييم الأداء

تعليمـــات للمتـــدرب:

1) استخدم دليل تقييم الأداء كدليل إرشادي عند تنفيذك العمل.
2) كي تجتاز هذا التمرين بنجاح يجب تأشير جميع الخطوات الواردة بكلمة (نعم) ما عدا الخطوات التي لا يمكن تطبيقها.
3) إذا كانت هناك خطوة لا يمكن تطبيقها فنضع مقابلها إشارة(x).

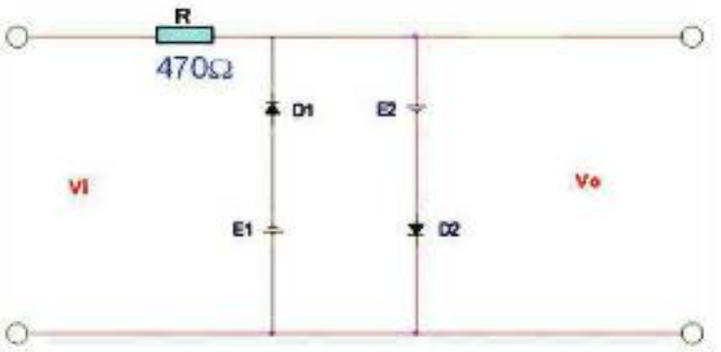
خطوات الأداء	نعم	لا	غير قابلة للتطبيق
التأكد من أن جميع التجهيزات جيدة الأداء وبحالة عمل حسب مستلزمات التمرين.			
تنفيذ الدارة المبينة بالشكل الآتي: 			
توصيل مدخل الدارة إلى مخرج وحدة التغذية للكمون المتناوب.			
ضبط وحدتي التغذية المستمرة على كمون أقل من القيمة العظمى لكمون وحدة التغذية المتناوب(كمون الدخل).			
إظهار إشارتي الدخل والخرج بوساطة راسم الإشارة.			
ضبط وحدتي التغذية المستمرة على كمون أعلى من القيمة العظمى لكمون وحدة التغذية المتناوب(كمون الدخل).			
إظهار إشارتي الدخل والخرج بوساطة راسم الإشارة.			
الموازنة بين إشارتي الدخل والخرج ، ماذا تستنتج؟			
المحافظة على التجهيزات.			
تطبيق إجراءات السلامة العامة(شخصية، سلامة تجهيزات، أمور أخرى).			

الاختبار العملي للتمرين

اسم الاختبار: بناء داراتي القص والتحديد باستخدام الثنائي

الأداء المطلوب في الاختبار

1-تنفيذ الدارة المبينة بالشكل الآتي:



2-إظهار إشارتي الدخل والخرج للمحدد على شاشة الراسم.

3-موازنة بين إشارتي الدخل والخرج للمحدد.

4-رسم شكل إشارتي الدخل والخرج المحدد.

المواد والأدوات والتجهيزات (المستلزمات)

ثنائيات (1N4001) عدد 2، آفو متر، راسم إشارة ثنائي الأثر، وحدة تغذية الكمون المتناوب، وحدة تغذية الكمون المستمر (0-30V) عدد2، مقاومة 270Ω/1W عدد 1، لوحة مخبرية أو لوحات فيبر مثقبة، كاوي اللحام، قصدير، أسلاك التوصيل.

الزمن اللازم لإنجاز الاختبار: /30/ دقيقة

إرشادات للطالب:

سيتم تقييم الأداء في ضوء المعايير الآتية :

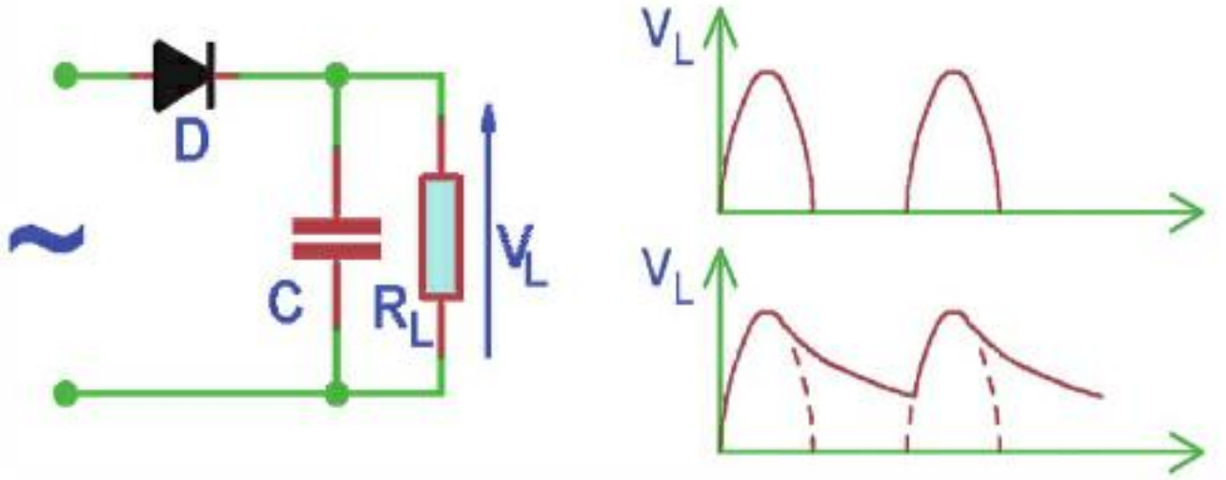
1. التأكد من جميع مستلزمات الاختبار جيدة وبحالة عمل حسب قائمة المستلزمات.
2. تطبيق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.
3. ضبط أجهزة القياس اللازمة عند استخدامها حسب دليل التشغيل.
4. تحديد أطراف الثنائي باستخدام الآفومتر حسب مقاومتيه الأمامية والعكسية.

الوحدة الثانية

بناء دارات التقويم و التنظيم

باستخدام الثنائيات

M06-2



قائمة المحتويات

المحتوى	الصفحة
مقدمة	53
دارات التقويم باستخدام الثنائيات	55
دارة تقويم نصف الموجة	55
دارة تقويم الموجة الكاملة باستخدام الثنائيين	56
دارة التقويم الجسرية	57
دارات التنعيم	57
دارة تثبيت الجهد باستخدام ثنائي زينر	57
تقييم المعلومات النظرية	61
فحص الثنائي	62
بناء دارة تقويم نصف الموجة	66
بناء دارة تقويم الموجة الكاملة باستخدام الثنائيين	70
بناء دارة تقويم الموجة الكاملة باستخدام أربعة ثنائيات (الجسرية)	74
بناء دارات التنعيم	78
بناء دارة تثبيت الجهد باستخدام ثنائي زينر	82

مقدمة

لمحة عامة و شاملة عن الوحدة وأهميتها

تعتبر دارات التقويم من الدارات الإلكترونية الهامة في الأجهزة الإلكترونية كافة، وتتضمن هذه الوحدة مجموعة من المهارات في فحص الثنائيات ، واستخدامها في دارات التقويم والتنعيم ودارة تثبيت الجهد باستخدام ثنائي زينر .

الأهداف التعليمية

فحص الثنائيات، بناء دارات التقويم والتنعيم، بناء دارة تثبيت الجهد باستخدام ثنائي زينر.

أن يكون المتدرب بعد الانتهاء من هذه الوحدة قادراً على أن:

1- يحول التيار المتناوب إلى تيار مستمر (التقويم).
2- يحدد دارات التقويم ، دارات التنعيم ، دارة تثبيت الجهد باستخدام ثنائي زينر.
3- يحدد أطراف الثنائيات ويفحص صلاحيتها
4- يبني دارات التقويم والتنعيم.
5- يبني دارات تثبيت الجهد باستخدام ثنائي زينر.

المعلومات النظرية

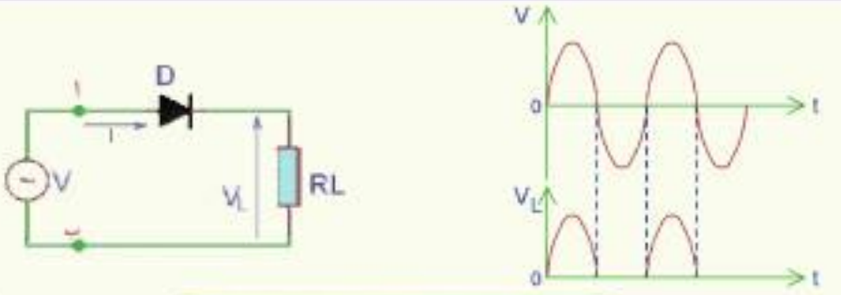
2-1 دارات التقويم باستخدام الثنائيات

تعمل معظم الأجهزة الإلكترونية بالتيار المستمر (Direct Current: DC)، وبما أن التيار الكهربائي المتوافر في المنازل هو تيار متناوب (Alternating Current: AC)، لذلك لا يمكن تشغيل هذه الأجهزة من مصدر التيار المتوافر في المنازل مباشرةً. وقد تستخدم أحياناً بطاريات(Batteries) بجهود مختلفة لتشغيل هذه الأجهزة، ولكن من عيوبها أنها مرتفعة الثمن نسبياً، وتتلف بسرعة، واستخدامها في بعض الأجهزة غير عملي، لأنها تحتاج إلى جهود مختلفة لتشغيل داراتها، فكيف يمكن حل هذه المشكلة؟

أمكن حل هذه المشكلة ببناء دارات إلكترونية بسيطة قادرة على تحويل التيار المتناوب إلى تيار مستمر، وتسمى هذه الدارات دارات التقويم (Rectifying Circuits)، وتعتمد في عملها على الثنائي (Diode) الذي يمرر التيار عندما يكون انحيازه أمامياً، ويمنعه من المرور عندما يكون انحيازه عكسياً.

2-2 دارة تقويم نصف الموجة

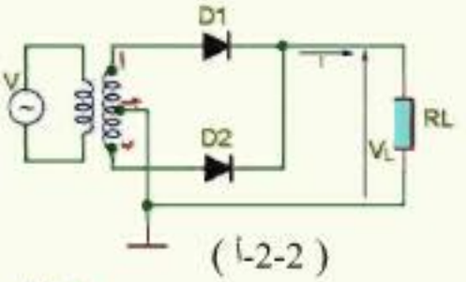
تعد دارة تقويم نصف الموجة (Half Wave Rectifying Circuit) أبسط أنواع دارات التقويم كما يبين الشكل (2-1-أ)، وتتكون هذه الدارة من ثنائي ومقاومة حمل. وعند وصل الدارة بمصدر للجهد المتناوب، فإن الثنائي (D) يكون في حال انحياز أمامي في النصف الموجب من موجة جهد المصدر، وبذلك يمر التيار في الدارة أثناء هذه الفترة، ويهبط جهد على مقاومة الحمل يشبه الجهد أثناء نصف الموجة الموجب للمصدر، إلا أنه أقل منه قليلاً بسبب هبوط الجهد نتيجة المقاومة الأمامية للثنائي. ويكون الثنائي في حالة انحياز عكسي أثناء النصف السالب للموجة، ولذلك لا يمر تيار بالدارة، ولا يهبط أي جهد على مقاومة الحمل، بل يهبط كامل الجهد على الثنائي(ذي المقاومة العكسية العالية) وهكذا تتكرر هذه العملية أثناء الموجات اللاحقة لمصدر الجهد كما في الشكل (2-1-ب).



(أ) (ب)

الشكل (2-1) دارة تقويم نصف الموجة

3-2 دارة تقويم الموجة الكاملة باستخدام الثنائيين



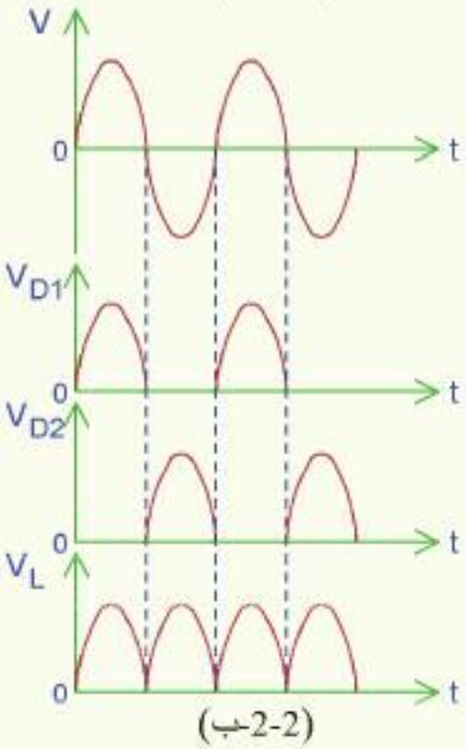
(أ-2-2)

يبين الشكل (2-2-أ) دارة تقويم موجة كاملة (Full Wave Rectifying Circuit) ويستخدم فيها محول ذو نقطة منتصف (Center taped transformer).

في أثناء نصف الموجة الموجب تكون النقطة (أ) موجبة بالنسبة للنقطة (جـ) ويكون الثنائي (D_1) في حالة انحياز أمامي، بينما يكون الثنائي (D_2) في حالة انحياز عكسي. وفي أثناء نصف الموجة السالب، تكون النقطة (ب) موجبة بالنسبة للنقطة (جـ)، بينما تكون النقطة (جـ) موجبة بالنسبة للنقطة (أ)، وفي هذه الحالة يكون الثنائي (D_2) في حالة انحياز أمامي، بينما يكون الثنائي (D_1) في حالة انحياز عكسي.

ونتيجة لهذه العملية يمرر الثنائي (D_1) نصف الموجة الموجب، بينما يمرر الثنائي (D_2) نصف الموجة السالب .

يمر التيار في مقاومة الحمل بالاتجاه نفسه في كل من نصفي الموجتين الموجبة والسالبة ويكون شكل تغير الجهد على مقاومة الحمل كما هو موضح في الشكل(2—2-ب).



(2-2-ب)

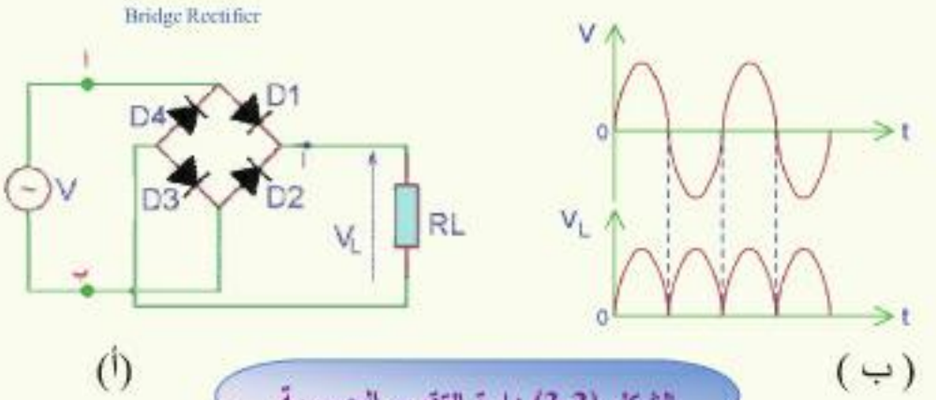
الشكل (2-2) دارة تقويم الموجة الكاملة باستخدام ثنائيين

2-4 دارة التقويم الجسرية

دارة التقويم الجسرية (Bridge Rectifier Circuit) هي دارة تقويم موجة كاملة تستخدم أربعة ثنائيات، كما هو مبين في الشكل (2-3أ) ومن مزاياها أنها لا تستخدم محولاً ذا نقطة منتصف، وهي تعمل كالآتي:

تتوفر مجموعة الثنائيات الأربعة (المستخدمة في الدارة الجسرية) في السوق كقطعة واحدة

في أثناء النصف الموجب للموجة يكون الثنائيان (D_1) و (D_3) في حالة انحياز أمامي، بينما يكون الثنائيان (D_2) و (D_4) في حالة انحياز عكسي، وبذلك يمر تيار عبر (D_1) إلى (R_L) ثم إلى (D_3) ليكمل دورته. وفي أثناء النصف السالب للموجة يكون الثنائيان (D_2) و(D_4) في حالة انحياز أمامي، بينما يكون الثنائيان (D_1) و(D_3) في حالة انحياز عكسي، وبذلك يمر تيار عبر (D_2) إلى (R_L) ثم إلى (D_4) ليكمل دورته. وكما ترى فإن التيار يمر في مقاومة الحمل في أثناء نصفي الموجة بالاتجاه نفسه كما في الشكل (2-3ب).



(أ) (ب)

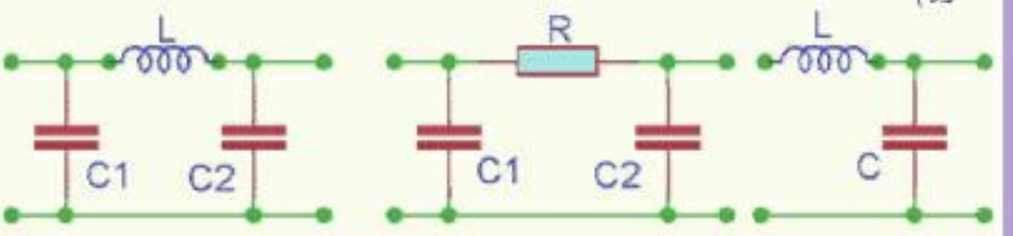
الشكل (2-3) دارة التقويم الجسرية

2-5 دارات التنعيم (Smoothing Circuits)

لاحظنا سابقاً شكل تغير الجهد على مقاومة الحمل، وهذا الجهد ناتج عن تيار وحيد الاتجاه، غير ثابت القيمة، تتغير قيمته من الصفر إلى القيمة العظمى ثم تعود إلى الصفر، وهكذا. وعلى الرغم من أن دارة تقويم الموجة الكاملة أكثر كفاءة من دارة تقويم نصف الموجة، إلا أن القيمة المتوسطة للتيار على الحمل تكون منخفضة، و هنالك هدر للطاقة.

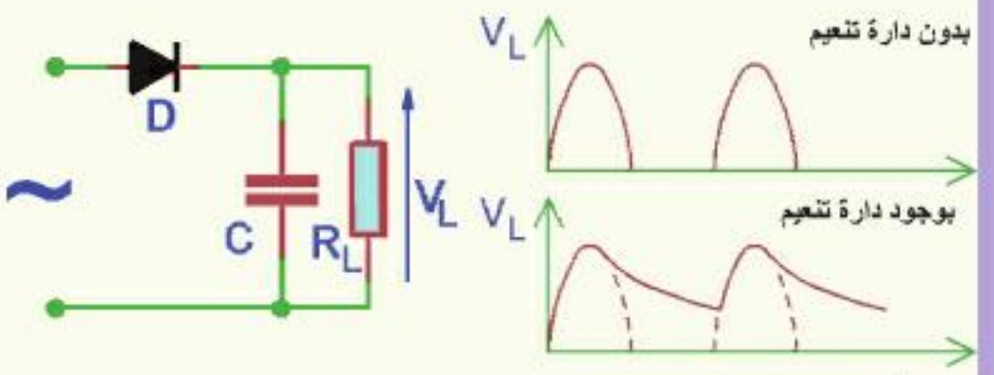
للتغلب على هذه المشكلة تستخدم دارات التنعيم (Smoothing Circuits)، التي توصل بين دارة التقويم والحمل، وتهدف إلى جعل التيار أقرب ما يكون للتيار المستمر من حيث ثبات قيمته. ويعتمد عمل دارة التنعيم على خاصية المكثف في الشحن والتفريغ، وخاصية الملف في إبداء ممانعة عالية للتيار المتناوب.

ويبين الشكل (2-4) نماذج مختلفة من دارات التنعيم التي توصل بعد دارات التقويم.



الشكل (2-4): نماذج مختلفة من دارات التنعيم

كما يبين الشكل (2-5-ب) دارة تقويم نصف موجة متبوعة بدارة تنعيم بسيطة (المكثف C)، وفيها يبدأ المكثف بالشحن في أثناء نصف الموجة الموجب إلى أن يصل إلى القيمة العظمى للجهد، وبعد أن يبدأ الجهد بالتناقص يبدأ المكثف في التفريغ، بحيث لا يسمح بهبوط الجهد على مقاومة الحمل بشكل كبير كما هو مبين في الشكل (2-5-أ) مما يجعل القيمة المتوسطة للجهد أكبر من السابق بكثير ويجعل التغير في قيمته قليلاً نسبياً .



الشكل (2-5): مقوم نصف الموجة مع دارة تنعيم بسيطة

أسئلة

1- ما المقصود بتقويم التيار الكهربائي المتناوب؟ وما أهميته؟

2- أيهما أكثر كفاءة دارة تقويم نصف الموجة أم دارة تقويم الموجة الكاملة، إذا استخدمت دارة التنعيم نفسها في الحالتين ؟ ولماذا؟

6-2 دارة تثبيت الجهد باستخدام ثنائي زينر

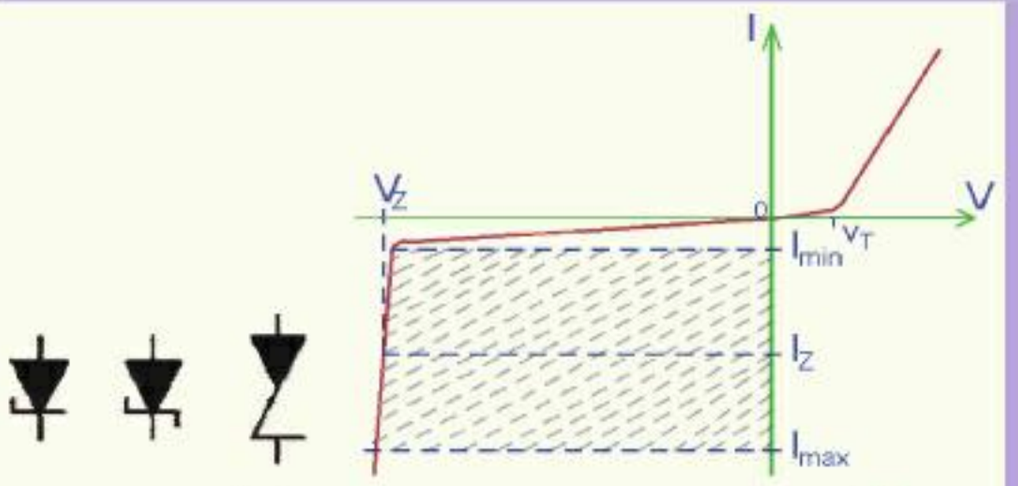
يستخدم ثنائي زينر (وهو ثنائي خاص) في خرج دارة التقويم على التوازي مع مقاومة الحمل، وحسب خواص هذا الثنائي يعمل على تثبيت قيمة جهد خرج الدارة على الرغم من التغيرات التي تحدث في دخلها، وفيما يأتي دراسة حول ثنائي زينر كثنائي خاص ودارة تثبيت الجهد التي يعمل فيها.

يعتمد هذا الثنائي في عمله على ظاهرة زينر (Zener Effect) التي تحدث نتيجة التركيب الخاص لهذا الثنائي. ويصنع هذا الثنائي بتركيز عالٍ للشوائب عند عملية الإشابة ، ويعمل بشكل طبيعي في حالة الانحياز الأمامي كأي ثنائي عادي أما عند الانحياز العكسي فإنه يمرر تياراً عكسياً صغيراً جداً.

ومع زيادة جهد الانحياز العكسي تزداد شدة المجال الكهربائي في منطقة العبور (Depletion Region) مما يؤدي إلى تمزيق الروابط التشاركية، وتوليد أزواج كثيرة من الإلكترونات والفجوات في منقطة العبور، لتزيد التيار العكسي بشكل كبير جداً دون زيادة تذكر في جهد الانحياز العكسي، وهي ما تسمى ظاهرة زينر، كما يسمى الجهد الذي تحدث عنده الظاهرة " جهد زينر " (V_Z)، ويسمى التيار الذي يمرره الثنائي في الاتجاه العكسي تيار زينر (I_Z)، ويكون أعلى بكثير من تيار الإشباع العكسي، وعندها يحافظ الثنائي على الجهد (V_Z) بين طرفيه مهما كانت قيمة التيار المار به.

تعتمد قيمة جهد زينر على نسبة الإشابة، فكلما زادت نسبة الإشابة تقل قيمة هذا الجهد، بسبب ضيق منطقة العبور في الثنائي. وعادةً تصنع ثنائيات زينر بأشكال متعددة لتلائم الاستخدامات المختلفة. ويبين الشكل (2-6-أ) منحني الخواص لثنائي زينر، وبعض رموزه المستخدمة في الدارات الإلكترونية.

وسيرد شرحٌ مفصلٌ عن ثنائي زينر ضمن وحدة الثنائيات الخاصة.

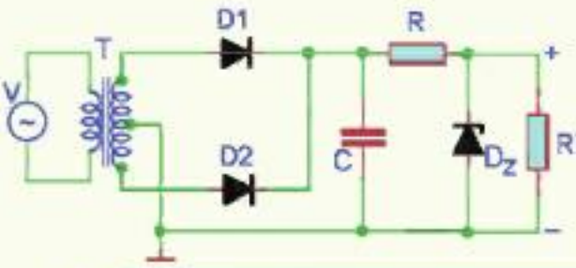


(أ) منحنى الخواص لثنائي زينر (ب) رموز ثنائي زينر

الشكل (2-6): ثنائي زينر

يستخدم ثنائي زينر لتثبيت الجهد ويوصل على التوازي مع مقاومة الحمل .

يبيّن الشكل (2-7) دارة تقويم تستخدم ثنائي زينر لتثبيت جهد الخرج . وفيها نلاحظ أن ثنائي زينر (D_Z) موصول بحيث يكون في حالة الانحياز العكسي باستمرار، ويعمل كدارة مفتوحة،ولا يمرر إلا تياراً صغيراً جداً إذا كان كمون الدخل أقل من Vz أو يساويه.



الشكل (2-7): دارة تثبيت الجهد باستخدام ثنائي زينر

يتوفر ثنائي زينر بقيم Vz :
2 v ~ 200 v

ويتم اختيار الثنائي بحيث يكون جهد زينر مساوياً لجهد خرج الدارة المطلوب.

وعندما يزيد كمون خرج دارة التقويم عن Vz يمر في ثنائي زينر تيار عكسي أكبر مما يسبب زيادة هبوط الكمون على المقاومة R، وتحافظ الدارة على كمون خرج ثابت ويساوي Vz .

من مساوئ ثنائي زينر أنه لا يستطيع تنظيم الكمونات الأقل من Vz .

سؤال

ما قيمة جهد زينر لثنائي زينر الذي يراد استخدامه لتثبيت الجهد في مخرج دارة تقويم بحيث يكون جهد خرج الدارة (6v) فولت دائماً؟

تقييم المعلومات النظرية

أولاً- اختر الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

1- تعمل الثنائيات في دارة التقويم على:

أ- تحويل التيار المستمر إلى تيار متناوب ب- توحيد اتجاه التيار

جـ- جعل التيار ثابت القيمة بالنسبة للزمن د- تثبيت تردد إشارة المدخل

2- تعطي دارة تقويم الموجة الكاملة في خرجها:

أ- جهداً أكثر كفاءة مما تعطيه دارة تقويم نصف الموجة ب- جهداً مستمراً كما في خرج دارة تقويم نصف الموجة.

جـ- جهداً مستمراً منتظماً لا يحتاج إلى تنعيم د- جهداً مستمراً متغيراً مع الزمن

3- تعطي دارات التنعيم في خرجها:

أ- جهداً أقرب ما يكون للتيار المستمر ب- جهداً متغير القيمة مع الزمن

جـ- جهداً موجته لاخطية مع الزمن د- جهداً متغير القيمة والشكل

4- يرمز الشكل التالي إلى:

أ- ثنائي سعوي ب- ثنائي ضوئي

جـ- ثنائي نفقي د- ثنائي زينر

ثانياً- أجب بكلمة (صح) أو(خطأ) وصحح الخطأ إن وجد لكل من العبارات الآتية:

- التقويم هو تحويل التيار المتناوب إلى تيار مستمر( ).
- دارة تقويم الموجة الكاملة هي أقل كفاءة من دارة تقويم نصف الموجة( ).
- التنعيم هو تحويل شكل موجة التيار إلى شكل خطي مع الزمن( ).
- إن استخدام دارة تقويم نصف الموجة قليل جداً( ).

ثالثاً- ارسم دارة تقويم نصف الموجة، واشرح كيفية عمل هذه الدارة مع رسم إشارة الخرج .

رابعاً- أرسم دارة تقويم موجة كاملة تستخدم فيها أربعة ثنائيات ودارة تنعيم من نوع (π - LC) واشرح كيفية عملها .

بطاقــة التمريــن العملــي

التمرين الأول:فحص الثنائيات **الزمن: 30 دقيقة**

الأهداف الأدائية للتمرين

أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1- يختبر ثنائيات مختلفة.

2- يحدد أطراف الثنائيات.

3- يفحص الثنائيات.

4- يحدد صلاحية الثنائيات.

المواد والأدوات والتجهيزات

ثنائيات مختلفة ، آفو متر ، جداول مكافئات للثنائيات.

معايير الأداء

1- فحص الثنائيات حسب جداول المكافئات.

2- التمييز بين الثنائيات حسب الرموز والعلامات المثبتة على الثنائيات.

3- تحديد صلاحية الثنائيات حسب جداول المكافئات.

الرقم	الخطوة والنقطة الحاكمة	الرسم التوضيحي
1	تأكد من أن جميع التجهيزات صالحة الأداء و بحالة عمل حسب أدلة التشغيل.	
2	تفحص مجموعة الثنائيات التي أمامك، وميّز بينها من حيث الشكل والحجم حسب جداول المكافئات كما في الشكل(2-8).	ثنائي شكل قبعة ثنائي أسطواني ثنائي ينتهي بطرف برغي
3	ارسم هذه الثنائيات ورموزها في دفترك حسب جداول المكافئات.	
4	ميّز المصعد من المهبط من خلال العلامات و الرموز المثبتة على الثنائيات.	
5	استخدم كتيب مكافئات الثنائيات للحصول على مواصفاتها حسب المواصفات الفنية للثنائي.	
6	افحص الثنائيات باستخدام جهاز الأفو متر و حسب جداول المكافئات.	ثنائي زينر
7	سجل قيمة مقاومة هذه الثنائيات حسب جداول المكافئات.	
8	اعكس طرفي الأفو متر على طرفي كل من الثنائيات، وسجل قيمة المقاومة لكل منها حسب دليل التشغيل للأفو متر.	
9	حدد الثنائيات الصالحة للعمل والثنائيات التالفة باستخدام الأفو متر حسب دليل جداول المكافئات.	الشكل(2-8) رموز ثنائي زينر
10	طبّق إجراءات السلامة المهنية وحماية البيئة حسب تعليمات مكان العمل.	

التقييم الذاتي

دليل تقييم الأداء

تعليمات للمتدرب:

1- استخدم دليل تقييم الأداء كدليل إرشادي عند تنفيذك العمل.

2- كي تجتاز الواجب بنجاح يجب تأشير جميع الخطوات الواردة بكلمة (نعم) ما عدا الخطوات التي لا يمكن تطبيقها.

3- إذا كانت هناك خطوة لا يمكن تطبيقها ضع مقابلها إشارة (x) في الحقل غير القابل للتطبيق.

خطوات الأداء	نعم	لا	غير قابلة للتطبيق
التأكد من أن جميع التجهيزات جيدة الأداء وبحالة عمل حسب أدلة التشغيل.			
فحص مجموعة الثنائيات التي أمامك والتمييز بينها من حيث الشكل و الحجم حسب جداول المكافئات.			
رسم هذه الثنائيات و رموزها في دفترك حسب جداول المكافئات.			
التميز بين المصعد والمهبط من خلال العلامات و الرموز المثبتة على الثنائيات.			
استخدام كتيب مكافئات الثنائيات للحصول على مواصفاتها حسب المواصفات الفنية للثنائي.			
فحص الثنائيات باستخدام جهاز الأفو متر حسب جداول المكافئات.			
تسجيل قيمة مقاومة هذه الثنائيات حسب جداول المكافئات.			
عكس طرفي الأفو متر على طرفي كل من الثنائيات، وتسجيل قيمة المقاومة لكل منها حسب دليل التشغيل للأفومتر.			
تحديد الثنائيات الصالحة للعمل والثنائيات التالفة باستخدام الأفومتر حسب دليل جداول المكافئات.			
تطبيق إجراءات السلامة المهنية وحماية البيئة حسب تعليمات مكان العمل.			

الاختبار العملي للتمرين

اسم الاختبار: فحص الثنائيات

الأداء المطلوب في الاختبار:

1- اختبار ثنائيات مختلفة.
2- تحديد أطراف الثنائيات.
3- فحص الثنائيات.
4- تحديد صلاحية الثنائيات.

المواد والأدوات والتجهيزات :

ثنائيات مختلفة- آفو متر- جداول مكافئات للثنائيات.

الزمن اللازم لإنجاز الاختبار: (30 دقيقة)

إرشادات للطالب:

سيتم تقييم الأداء في ضوء المعايير الآتية :
1- التأكد من أن جميع التجهيزات صالحة وبحالة عمل حسب دليل التشغيل.
2- تحديد أطراف الثنائي العادي حسب جداول المكافئات.
3- تحديد صلاحية الثنائي حسب نتائج القياس باستخدام الآفومتر.
4- ضبط أجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب دليل التشغيل.
5- تحديد أطراف ثنائي زينر حسب جداول المواصفات الفنية .
6- تحديد أطراف ثنائي زينر و الثنائي العادي باستخدام جهاز الآفومتر وحسب جداول المكافئات.
7- تطبيق إجراءات السلامة المهنية وحماية بيئة العمل حسب تعليمات مكان العمل.

بطاقــة التمريــن العملــي

التمرين الثاني: بناء دارة تقويم نصف الموجة **الزمن:**(45)دقيقة

الأهداف الأدائية للتمرين

أن يصبح المتدرب قادراً على أن :

1- ينفذ دارة تقويم نصف الموجة.

2- يظهر إشارة الجهد على راسم الإشارة عند مدخل الثنائي و على مقاومة الحمل.

3- يقيس الجهد على طرفي المحول و على مقاومة الحمل باستخدام الأفومتر.

4- يوازن بين قيم الجهود و بين أشكال الإشارات على مدخل و مخرج الثنائي.

المواد والأدوات والتجهيزات

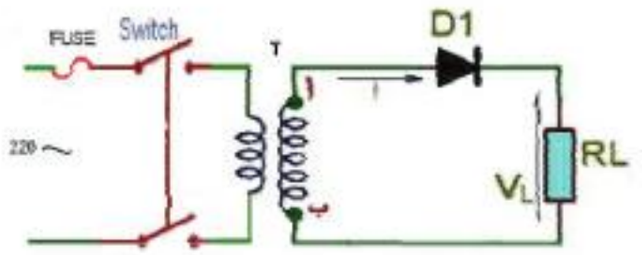
ثنائي 1 N 400 ، محول خافض للجهد 220V/6V ، مصدر تغذية 220V AC ، فاصمة 0.5A ، مفتاح ON-OFF switch ، مقاومة حمل $RL = 4.7\ K\Omega$ ، آفو متر عادي، راسم إشارة .

معايير الأداء

1- بناء دارة تقويم نصف الموجة حسب مخطط الدارة.

2- قياس قيم الجهد في دخل وخرج الدارة حسب مخطط الدارة.

3- الموازنة بين شكل التيار في الدخل والخرج حسب مخطط الدارة.

الرقم	الخطوة والنقطة الحاكمة	الرسم التوضيحي
1	تأكد من أن جميع التجهيزات جيدة الأداء وبحالة عمل حسب أدلة التشغيل.	
2	نفذ الدارة المبينة في الشكل (2-9):  الشكل (2-9)	
3	قس الجهد على طرفي المحول و على مقاومة الحمل باستخدام الآفو متر حسب دليل التشغيل.	
4	أظهر الجهد عند مدخل الثنائي و على مقاومة الحمل باستخدام راسم الإشارة حسب دليل التشغيل.	
5	الموازنة بين قيم الجهود وبين أشكال الإشارات على مدخل ومخرج الثنائي حسب نتائج القياس.	
6	تطبيق إجراءات السلامة المهنية وحماية البيئة حسب تعليمات مكان العمل.	

دليل تقييم الأداء

تعليمات للمتدرب :

1- استخدم دليل تقييم الأداء كدليل إرشادي عند تنفيذ العمل.

2- كي تجتاز هذا التمرين بنجاح يجب تأشير جميع الخطوات الواردة بكلمة (نعم) ما عدا الخطوات التي لا يمكن تطبيقها.

3- إذا كانت هناك خطوة لا يمكن تطبيقها فتضع مقابلها إشارة (x).

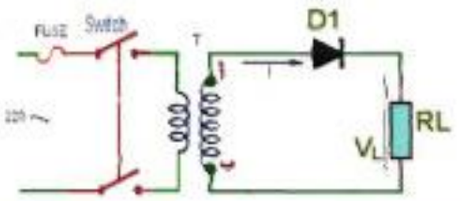
خطوات الأداء	نعم	لا	غير قابلة للتطبيق
التأكد من أن جميع التجهيزات جيدة الأداء وبحالة عمل حسب أدلة التشغيل.			
تنفيذ الدارة المبينة في الشكل(2-9).			
قياس الجهد على طرفي الجهد وعلى مقاومة الحمل باستخدام الأفو متر حسب دليل التشغيل.			
إظهار إشارة الجهد عند مدخل الثنائي وعلى مقاومة الحمل على راسم الإشارة حسب دليل التشغيل.			
الموازنة بين قيم الجهود وبين أشكال الإشارات على مدخل ومخرج الثنائي حسب نتائج القياس.			
تطبيق إجراءات السلامة المهنية وحماية البيئة حسب تعليمات مكان العمل.			

الاختبار العملي للتمرين

اسم الاختبار: بناء دارة تقويم نصف الموجة ورسم شكل موجة الجهد على مقاومة الحمل

الأداء المطلوب في الاختبار:

1- بناء دارة التقويم المبينة في الشكل (2-10) .



الشكل (2-10) دارة تقويم نصف الموجة

2- استخدام جهاز الآفو متر لقياس الجهد على طرفي المحول وعلى مقاومة الحمل.

3- استخدام راسم الإشارة لإظهار إشارة الجهد عند مدخل الثنائي.

4- موازنة بين قيم الجهود وبين أشكال الإشارات على مدخل و مخرج الثنائي.

المواد والأدوات والتجهيزات :

ثنائي 1 N 400 ، محول خافض للجهد 220V/6V ، مصدر تغذية 220V AC مفتاح ON-OFF ، مقاومة حمل RL=4.7K ، آفو متر عادي، راسم إشارة.

الزمن اللازم لإنجاز الاختبار: (45) دقيقة

إرشادات للطالب:

سيتم تقييم الأداء في ضوء المعايير الآتية :

1- تحديد أطراف الثنائي العادي حسب جداول المواصفات الفنية للثنائي.

2- تنفيذ(توصيل) الدارة حسب المخطط المبين في الشكل.

3- استخدام الآفو متر حسب دليل التشغيل.

4- استخدام راسم الإشارة حسب دليل التشغيل.

5- الموازنة بين قيم الجهود وبين أشكال الإشارات على مدخل ومخرج الثنائي حسب مخطط الدارة.

6- تطبيق إجراءات السلامة المهنية وبيئة العمل حسب تعليمات مكان العمل.

7- التأكد من أن جميع التجهيزات صحيحة و بحالة عمل حسب دليل التشغيل.

بطاقـــة التمريـــن العملـــي

التمرين الثالث : بناء دارة تقويم الموجة الكاملة باستخدام الثنائيين **الزمن**:(45)دقيقة

الأهداف الأدائية للتمرين

أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1- ينفذ دارة تقويم الموجة الكاملة باستخدام الثنائيين.

2- يقيس الجهد على طرفي المحول وعلى طرفي مقاومة الحمل.

3- يظهر إشارة الجهد على راسم الإشارة عند مدخل كل ثنائي وعلى مقاومة الحمل.

4- يوازن بين قيم الجهود وبين أشكال الإشارات على مدخل ومخرج الثنائيين.

المواد والأدوات والتجهيزات

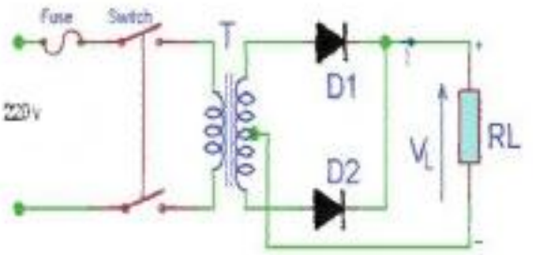
ثنائي 1N 400، محول خافض للجهد 220V/6V ، مصدر تغذية 220V AC ، مفتاح ON-SWICH ، مقاومة حمل RL=4.7K ، آفو متر عادي، راسم إشارة.

معايير الأداء

1- بناء دارة تقويم الموجة الكاملة حسب مخطط الدارة.

2- قياس الجهد على طرفي المحول و على مقاومة الحمل حسب مخطط الدارة.

3- الموازنة بين قيم الجهود وبين أشكال الإشارات على مدخل ومخرج الثنائيين حسب مخطط الدارة.

الرقم	الخطوة والنقطة الحاكمة	الرسم التوضيحي
1	تأكد من أن جميع التجهيزات صالحة وبحالة عمل حسب أدلة التشغيل.	
2	نفذ الدارة المبينة في الشكل رقم(2-11) حسب مخطط الدارة.  الشكل (2-11)	
3	قس الجهد على طرفي مقاومة الحمل باستخدام الأفو متر حسب دليل التشغيل.	
4	أظهر إشارة الجهد عند مدخل الثنائي وعلى مقاومة الحمل باستخدام راسم الإشارة حسب دليل التشغيل.	
5	وازن بين قيم الجهود وبين أشكال الإشارات على مدخل ومخرج الثنائي حسب نتائج القياس والإظهار.	
6	وازن بين قيم وأشكال الإشارات في الدارتين (2-11) و (2-10) حسب مخطط الدارتين.	
7	طبق إجراءات السلامة المهنية وحماية البيئة حسب تعليمات مكان العمل.	

دليل تقييم الأداء

تعليمات للمتدرب :

1- استخدم دليل تقييم الأداء كدليل إرشادي عند تنفيذك العمل.

2- كي تجتاز هذا التمرين بنجاح يجب تأشير جميع الخطوات الواردة بكلمة (نعم) ما عدا الخطوات التي لا يمكن تطبيقها.

3- إذا كانت هناك خطوة لا يمكن تطبيقها فتضع مقابلها إشارة (x).

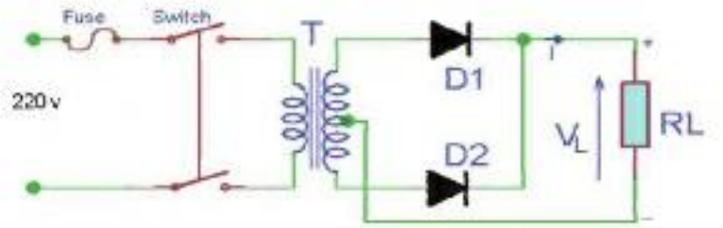
خطوات الأداء	نعم	لا	غير قابلة للتطبيق
التأكد من أن جميع التجهيزات جيدة الأداء وبحالة عمل حسب أدلة التشغيل.			
تنفيذ الدارة المبينة في الشكل (2-11) حسب مخطط الدارة.			
قياس الجهد على طرفي مقاومة الحمل باستخدام الأفو متر حسب دليل التشغيل.			
إظهار إشارة الجهد عند مدخل الثنائي وعلى مقاومة الحمل باستخدام راسم الإشارة حسب دليل التشغيل.			
الموازنة بين قيم الجهود وبين أشكال الإشارات على مدخل ومخرج الثنائي حسب نتائج القياس.			
تطبيق إجراءات السلامة المهنية وحماية البيئة حسب تعليمات مكان العمل.			

الاختبار العملي للتمرين

اسم الاختبار: بناء دارة تقويم الموجة الكاملة باستخدام الثنائيين

الأداء المطلوب في الاختبار

1- تنفيذ دارة تقويم الموجة الكاملة باستخدام الثنائيين.



الشكل (2-12) دارة تقويم الموجة الكاملة باستخدام الثنائيين

2- قياس الجهد على طرفي المحول وعلى طرفي مقاومة الحمل RL .
3- إظهار إشارة الجهد على راسم الإشارة عند مدخل كل ثنائي وعلى مقاومة الحمل.
4- الموازنة بين قيم الجهود وبين أشكال الإشارات على مدخل ومخرج الثنائيين.

المواد والأدوات والتجهيزات :

ثنائي 1N 4001 عدد2 ، محول خافض للجهد 220V/6V ، مصدر تغذية 220V AC ، مفتاح ON-OFF،
مقاومة حمل RL=4.7KΩ ، فاصمة (0.5A) ، أفو متر عادي ، راسم إشارة.

الزمن اللازم لإنجاز الاختبار: (45) دقيقة

إرشادات للطالب :

سيتم تقييم الأداء في ضوء المعايير الآتية :
1- تطبيق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.
2- التأكد من أن جميع التجهيزات جيدة الأداء وبحالة عمل حسب دليل التشغيل.
3- بناء دارة تقويم الموجة الكاملة باستخدام ثنائيين حسب المخطط الموجود في الشكل السابق.
4- قياس الجهد على طرفي المحول وعلى طرفي مقاومة الحمل حسب دليل التشغيل.
5- إظهار إشارة الجهد عند مدخل كل ثنائي وعلى طرفي مقاومة الحمل حسب دليل التشغيل.
6- الموازنة بين قيم الجهود وبين أشكال الإشارات على مدخل ومخرج الثنائيات حسب مخطط الدارة.

بطاقـــة التمريـــن العملـــي

التمرين الرابع :بناء دارة تقويم الموجة الكاملة باستخدام أربعة ثنائيات (الدارة الجسرية) **الزمن**:45 دقيقة

الأهداف الأدائية للتمرين

أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

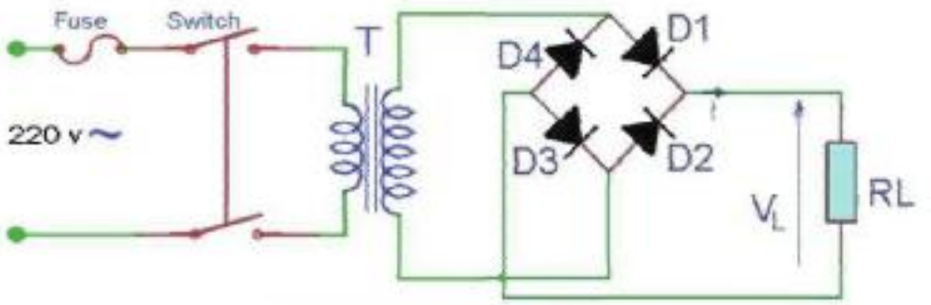
1- ينفذ دارة تقويم الموجة الكاملة باستخدام أربعة ثنائيات (الدارة الجسرية).
2- يظهر إشارة الجهد على راسم الإشارة عند مدخل الثنائيات وعلى مقاومة الحمل.
3- يقيس الجهد على طرفي المحول وعلى مقاومة الحمل.
4- يوازن بين الجهود وبين أشكال الإشارات على مدخل ومخرج الثنائيات.

المواد والأدوات والتجهيزات

ثنائي 1 N 4001 عدد4 ، محول خافض للجهد 220V/6V ، مصدر تغذية 220VAC ،مفتاح ON-OFF ، مقاومة حمل RL=4.7K ، فيوز(0.5A)، أفومتر عادي ، راسم إشارة.

معايير الأداء

1- تنفيذ دارة تقويم الموجة الكاملة باستخدام أربعة ثنائيات (الدارة الجسرية) حسب مخطط الدارة.
2- قياس قيم الجهد على طرفي المحول وعلى طرفي مقاومة الحمل حسب مخطط الدارة.
3- الموازنة بين قيم الجهود وأشكال الإشارات على مدخل ومخرج الثنائيات حسب مخطط الدارة.

الرقم	الخطوة والنقطة الحاكمة	الرسم التوضيحي
1	تأكد من أن جميع التجهيزات جيدة الأداء وبحالة عمل حسب أدلة التشغيل.	
2	نفذ الدارة المبينة في الشكل رقم (2-13) حسب مخطط الدارة:  الشكل (2-13)	
3	قس الجهد على طرفي مقاومة الحمل باستخدم الأفومترحسب دليل التشغيل.	
4	أظهر الجهد عند مدخل الثنائي وعلى مقاومة الحمل باستخدام راسم الإشارة حسب دليل التشغيل.	
5	وازن بين قيم الجهود وبين أشكال الإشارات على مدخل ومخرج الثنائي حسب نتائج القياس والإظهار.	
6	وازن بين قيم وأشكال الإشارات في الدارتين (2-13) و (2-12) حسب مخطط الدارتين.	
7	طبق إجراءات السلامة المهنية وحماية البيئة حسب تعليمات مكان العمل.	

التقييم الذاتي

دليل تقييم الأداء

تعليمات للمتدرب :

1- استخدم دليل تقييم الأداء كدليل إرشادي عند تنفيذك العمل.

2- كي تجتاز هذا التمرين بنجاح يجب تأشير جميع الخطوات الواردة بكلمة (نعم)، ما عدا الخطوات التي لا يمكن تطبيقها.

3- إذا كانت هناك خطوة لا يمكن تطبيقها فنضع مقابلها إشارة (x).

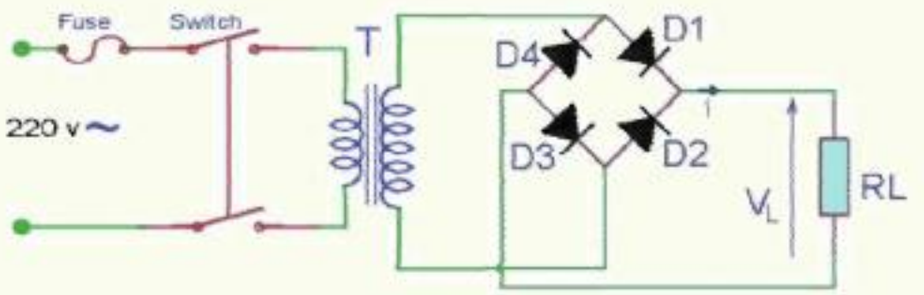
خطوات الأداء	نعم	لا	غير قابلة للتطبيق
التأكد من أن جميع التجهيزات جيدة الأداء وبحالة عمل حسب أدلة التشغيل.			
تنفيذ الدارة المبينة في الشكل (2-13) حسب مخطط الدارة .			
قياس الجهد على طرفي مقاومة الحمل باستخدام الأفو متر حسب دليل التشغيل.			
إظهار إشارة الجهد عند مدخل الثنائي وعلى مقاومة الحمل باستخدام راسم الإشارة حسب دليل التشغيل.			
الموازنة بين قيم الجهود وبين أشكال الإشارات على مدخل ومخرج الثنائي حسب نتائج القياس.			
الموازنة بين قيم وأشكال الإشارات في الدارتين (2-12) و(2-13) حسب مخططي الدارتين.			
تطبيق إجراءات السلامة المهنية وحماية البيئة حسب تعليمات مكان العمل.			

الاختبار العملي للتمرين

اسم الاختبار: بناء دارة تقويم الموجة الكاملة باستخدام أربعة ثنائيات (الدارة الجسرية)

الأداء المطلوب في الاختبار

1- تنفيذ دارة تقويم الموجة الكاملة باستخدام أربعة ثنائيات (الدارة الجسرية) المبينة في الشكل (2-15):



الشكل (2-15)

2- إظهار إشارة الجهد على راسم الإشارة عند مدخل الثنائيات وعلى مقاومة الحمل.
3- قياس الجهد على طرفي المحول وعلى مقاومة الحمل.
4- الموازنة بين الجهود وبين أشكال إشارات الجهد في الدارتين.

- المواد والأدوات والتجهيزات :

ثنائي 1 N 4001عدد/4/، محول خافض للجهد 220V/6V ، مصدرتغذية 20VAC ،مفتاح ON-OFF ، مقاومة حمل $RL=4.7K\Omega$ ، فاصمة (0.5A) ، أفو متر عادي ، راسم إشارة.

الزمن اللازم لإنجاز الاختبار: (45) دقيقة

إرشادات للطالب :

سيتم تقييم الأداء على ضوء المعايير الآتية :

1- تطبيق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.
2- تنفيذ دارة تقويم موجة كاملة باستخدام أربعة ثنائيات حسب المخطط الموجود في الدارة السابقة .
3-قياس الجهد على طرفي المحول وعلى طرفي مقاومة الحمل باستخدام الافومتر حسب دليل التشغيل.
4- إظهار إشارة الجهد عند مدخل كل ثنائي وعلى طرفي مقاومة الحمل باستخدام راسم الإشارة حسب دليل التشغيل.
5- الموازنة بين قيم الجهود وبين أشكال الإشارات على مدخل ومخرج الثنائيات حسب مخطط الدارة .

بطاقــة التمريــن العملــي

التمرين الخامس: بناء دارات التنعيم الزمن:(45) دقيقة

الأهداف الأدائية للتمرين

أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1- ينفذ دارة التنعيم ووصلها إلى مخرج دارة تقويم موجة كاملة.

2- يظهر إشارة الجهد على راسم الإشارة قبل وبعد دارة التنعيم.

3- يوازن بين شكل إشارتي الجهد قبل وبعد دارة التنعيم.

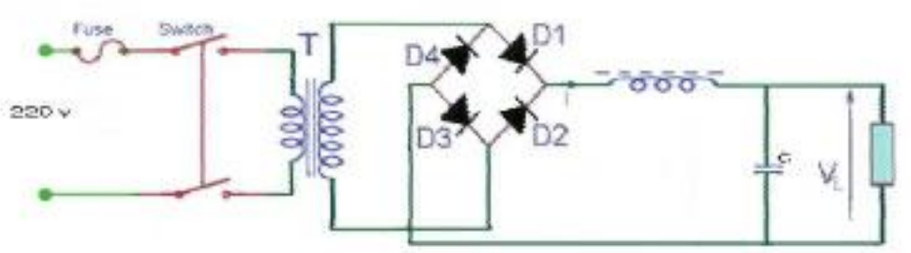
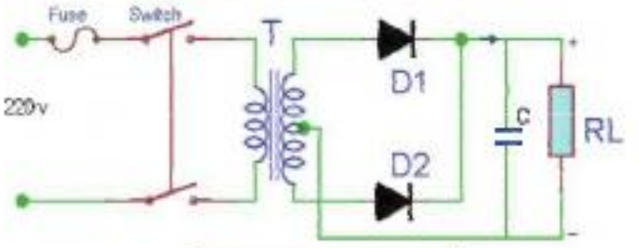
المواد والأدوات والتجهيزات

ثنائي 1 N 4001 ، محول خافض للجهد 220V-6V ، مصدر تغذية 220V AC ، مفتاح ON-OFF ، مقاومة حمل RL=4.7K عدد 2، فاصمة(0.5A)، أفومتر عادي، راسم إشارة ، مكثف كيميائي (عدد 2)، C=470 µF ، ملف ذو قلب حديدي L=50mH .

معايير الأداء

1- تنفيذ دارة تقويم موجة كاملة باستخدام ثنائيين وباستخدام أربعة ثنائيات (جسرية) وحسب مخططي الدارتين.

2- الموازنة بين أشكال الإشارات والجهد قبل وبعد دارتي التنعيم حسب مخططي الدارتين.

الرقم	الخطوة والنقطة الحاكمة	الرسم التوضيحي
1	تأكد من أن جميع التجهيزات جيدة الأداء وبحالة عمل.	
2	نفذ الدارتين المبينتين في الشكلين (2-16) و(2-17):  الشكل (2-16)  الشكل (2-17)	
3	وازن بين شكل إشارتي الجهد قبل وبعد دارتي التنعيم في الشكلين السابقين.	
4	طبق إجراءات السلامة المهنية وحماية البيئة حسب تعليمات مكان العمل.	

دليل تقييم الأداء

تعليمات للمتدرب:

1- استخدم دليل تقييم الأداء كدليل إرشادي عند تنفيذك العمل.

2- كي تجتاز هذا التمرين بنجاح يجب تأشير جميع الخطوات الواردة بكلمة (نعم) ما عدا الخطوات التي لا يمكن تطبيقها.

3- إذا كانت هناك خطوة لا يمكن تطبيقها فنضع مقابلها إشارة (x).

خطوات الأداء	نعم	لا	غير قابلة للتطبيق
التأكد من أن جميع التجهيزات صالحة وبحالة عمل حسب أدلة التشغيل.			
تنفيذ الدارتين المبينتين في الشكلين (2-16) و (2-17) حسب دليل التشغيل.			
الموازنة بين شكل إشارتي الجهد قبل وبعد دارتي التنعيم في الدارتين السابقتين.			
تطبيق إجراءات السلامة المهنية وحماية البيئة حسب تعليمات مكان العمل.			

الاختبار العملي للتمرين

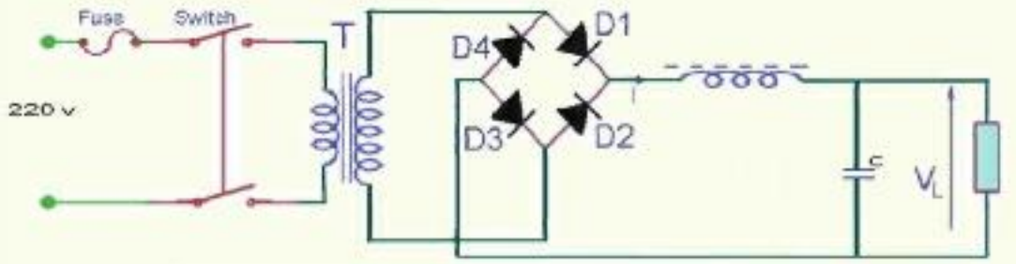
اسم الاختبار: بناء دارات التنعيم

الأداء المطلوب في الاختبار

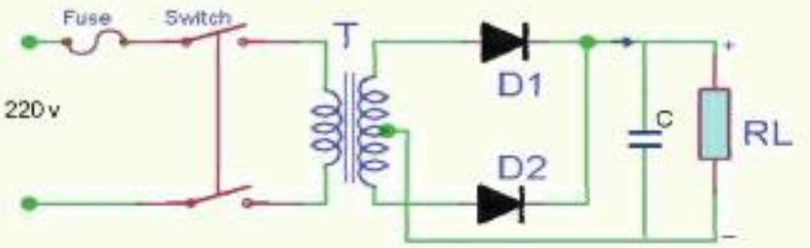
1- تنفيذ دارة التنعيم ووصلها إلى خرج دارة تقويم الموجة الكاملة.

2- إظهار إشارة الجهد على راسم الإشارة قبل وبعد دارة التنعيم.

3- موازنة بين شكل إشارتي الجهد قبل وبعد دارة التنعيم.



الشكل (2-18) دارة تقويم جسرية مع دارة تنعيم



الشكل (2-19) دارة تقويم موجة كاملة بثنائيين مع دارة تنعيم

الزمن اللازم لانجاز الاختبار: (45) دقيقة

المواد والأدوات والتجهيزات :

ثنائيات 1N 4001عدد 6 ، محول خافض للجهد 220V/6V ، مصدر تغذية 220VAC ، مفتاح ON-OFF ، مقاومة حمل $RL = 4.7\ k\Omega$ عدد 2 ، فاصمة(0.5A) ، آفو متر عادي ، راسم إشارة ، مكثف كيميائي عدد 2 ، ملف ذو قلب حديدي L=50mH .

إرشادات للطالب :

سيتم تقييم الأداء في ضوء المعايير الآتية :

1- تطبيق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.

2- تنفيذ دارة تقويم موجة كاملة باستخدام أربعة ثنائيات، ووصل دارة تنعيم حسب مخطط الدارة.

3- تنفيذ دارة تقويم موجة كاملة بثنائيين ووصل دارة تنعيم حسب مخطط الدارة .

4- الموازنة بين شكلي إشارتي الجهد قبل وبعد دارتي التنعيم حسب مخططي الدارتين.

بطاقــة التمريــن العملــي

التمرين السادس: بناء دارة تثبيت الجهد باستخدام ثنائي زينر **الزمن:** 45 دقيقة

الأهداف الأدائية للتمرين

أن يصبح المتدرب قادراً على أن :

1- ينفذ دارة تثبيت الجهد باستخدام ثنائي زينر.

2- يوازن بين قيمة الجهد قبل وبعد دارة تثبيت الجهد.

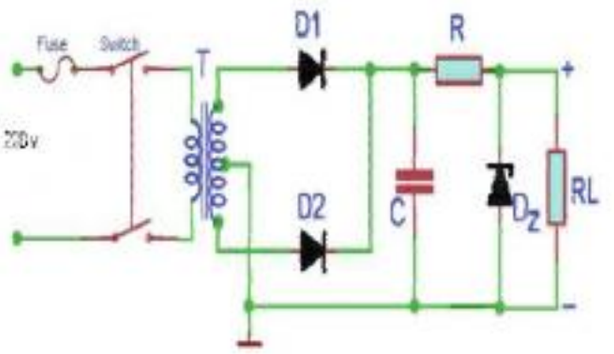
المواد والأدوات والتجهيزات

ثنائيات 1 N 4001 عدد 6 ، محول خافض للجهد 220V- 6V ، مصدر تغذية 220VAC ، مفتاح ON -OFF، مقاومة حمل $RL=4.7k\Omega$ عدد 2 ، فاصمة(0.5A)، أفومتر عادي، راسم إشارة، مكثف كيميائي عدد 2 ، ملف ذو قلب حديدي $L=50mH$ ، ثنائي زينر(6V) ، مقاومة كربونية $R=120\Omega$.

معايير الأداء

1- تنفيذ دارة تثبيت الجهد باستخدام ثنائي زينر حسب مخطط الدارة .

2- الموازنة بين شكل إشارتي الجهد قبل وبعد دارة تثبيت الجهد حسب مخطط الدارة .

الرقم	الخطوة والنقطة الحاكمة	الرسم التوضيحي
1	تأكد من أن جميع التجهيزات جيدة الأداء وبحالة عمل حسب دليل التشغيل.	
2	نفذ الدارة المبينة في الشكل (2-20) حسب مخطط الدارة:  الشكل (2-20)	
3	وازن بين شكل إشارتي الجهد قبل وبعد دارتي تثبيت الجهد حسب مخطط الدارة.	
4	طبق إجراءات السلامة المهنية وحماية البيئة حسب تعليمات مكان العمل.	

دليل تقييم الأداء

تعليمات للمتدرب:

1- استخدم دليل تقييم الأداء كدليل إرشادي عند تنفيذك العمل.

2- كي تجتاز هذا التمرين بنجاح يجب تأشير جميع الخطوات الواردة بكلمة (نعم) ما عدا الخطوات التي لا يمكن تطبيقها.

3- إذا كانت هناك خطوة لا يمكن تطبيقها فتضع مقابلها إشارة(x).

خطوات الأداء	نعم	لا	غير قابلة للتطبيق
التأكد من أن جميع التجهيزات جيدة الأداء وبحالة عمل حسب أدلة التشغيل.			
تنفيذ الدارة المبينة في الشكل (2-20).			
الموازنة بين إشارتي الجهد قبل وبعد دارة تثبيت الجهد حسب مخطط الدارة .			
تطبيق إجراءات السلامة المهنية وحماية البيئة حسب تعليمات مكان العمل.			

الاختبار العملي للتمرين

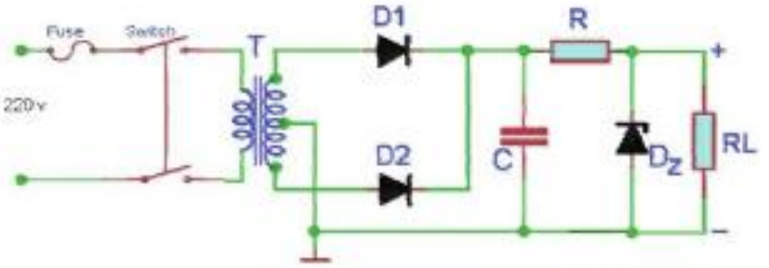
اسم الاختبار: بناء دارة تثبيت الجهد باستخدام ثنائي زينر

الأداء المطلوب في الاختبار

1- تنفيذ دارة تثبيت الجهد باستخدام ثنائي زينر كما في الشكل (2-21).

2- موازنة بين قيمة الجهد قبل وبعد دارة تثبيت الجهد.

3- قياس الجهد قبل وبعد المنظم (ثنائي زينر).



الشكل (2-21)

المواد والأدوات والتجهيزات :

ثنائيات1N 4001 عدد 6، محول خافض للجهد 220V/6V، مصدرتغذية 220VAC، مفتاح ON-OFF ، مقاومة حمل RL=4.7 kΩ عدد 2، فيوز(0.5A)، أفومترعادي، راسم إشارة، مكثف كيميائي عدد 2، ملف ذو قلب حديدي L=50mH ، ثنائي زينر(6V) ، مقاومة كربونية R=120Ω

الزمن اللازم لإنجاز الاختبار:(45) دقيقة

إرشادات للطالب :

سيتم تقييم الأداء في ضوء المعايير الآتية :

1- تطبيق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.

2- تنفيذ الدارة المبينة في الشكل السابق حسب مخطط الدارة .

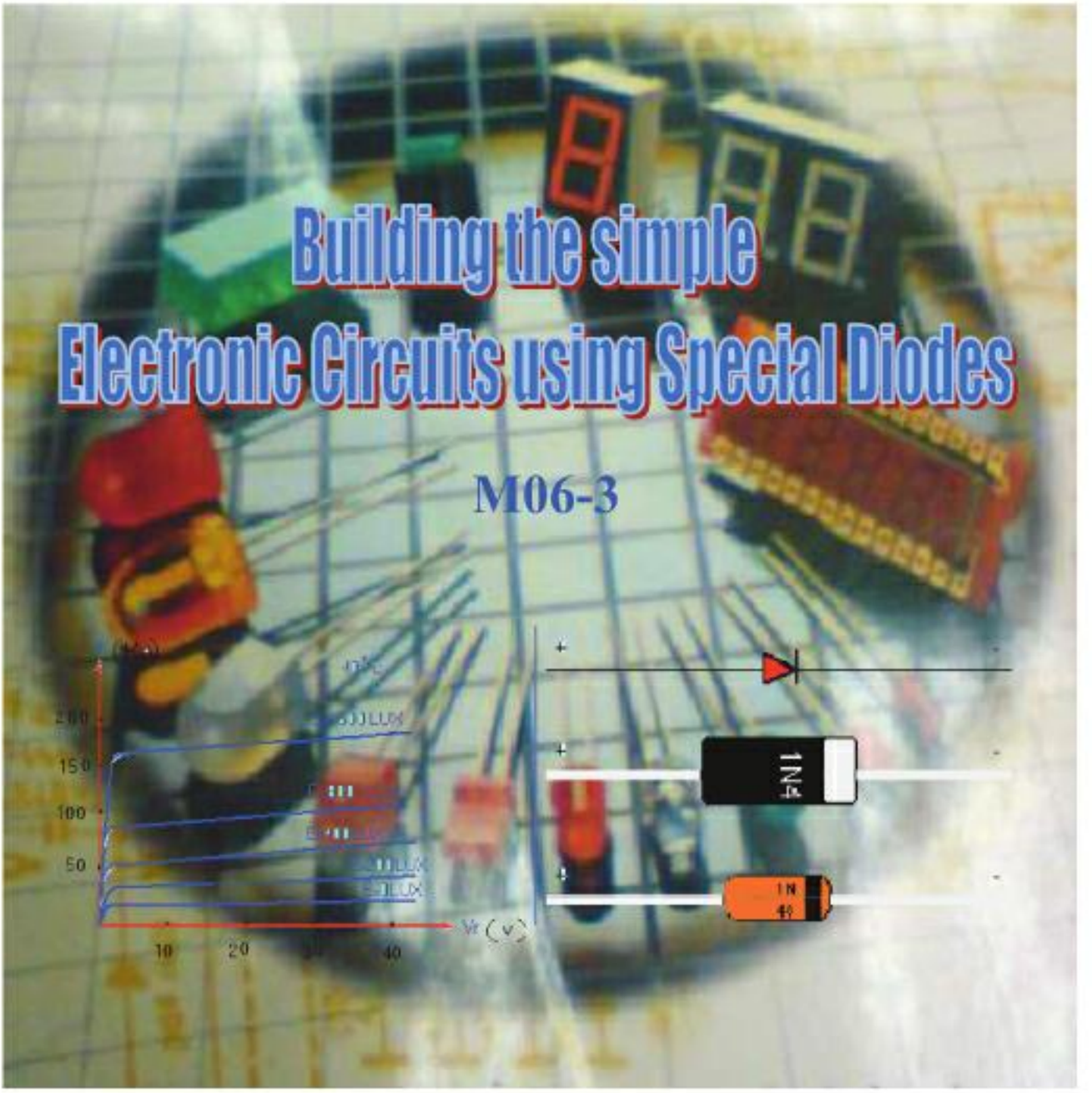
3- قياس قيم الجهد قبل وبعد منظم الجهد(ثنائي زينر) حسب مخطط الدارة .

4- الموازنة بين إشارتي الجهد قبل وبعد دارة تثبيت الجهد حسب دليل التشغيل .

5- إظهار إشارتي الجهد قبل وبعد دارة تثبيت الجهد حسب دليل التشغيل.

الوحدة الثالثة

بناء الدارات الإلكترونية البسيطة
باستخدام الثنائيات الخاصة



قائمة المحتويات

المحتوى	الصفحة
مقدمة	91
ثنائي زينر *Zener Diode*	93
مبدأ عمل ثنائي زينر	93
المقاومة الحركية لثنائي زينر Rd	94
تأثير الحرارة على ثنائي زينر	95
استخدام ثنائي زينر في دارات التنظيم	96
ثنائي الإصدار الضوئي LED	97
بنية ثنائي الإصدار الضوئي LED	97
عملية الإصدار الضوئي	98
مميزات ثنائي الإصدار الضوئي	99
مساوئ ثنائي الإصدار الضوئي	99
مجالات استخدام ثنائي الإصدار الضوئي	99
الثنائي الضوئي *Photo Diode*	100
بنية الثنائي الضوئي	100
منحنيات الخواص للثنائي الضوئي	101
طيف الحساسية الضوئية	102
مجالات استخدام الثنائي الضوئي	103
الثنائي السعوي *Capacitive Diode*	104
منحنيات الخواص للثنائي السعوي	105

قائمة المحتويات

المحتوى	الصفحة
مجالات استخدام الثنائي السعوي	106
الثنائي النفقي *Tunnel Diode*	106
منحني الخواص للثنائي النفقي	106
مجالات استخدام الثنائي النفقي	107
الدارة المكافئة للثنائي النفقي	107
دارة استقطاب الثنائي النفقي	108
ثنائي شوتكي *Schottky Diode*	108
الثنائي النقطي *Point Contact Diode*	109
تقييم المعلومات النظرية	110
التمرين الأول:رسم منحنيات الخواص للثنائيين *LED* و *INFRARED*	113
التمرين الثاني:بناء دارة إلكترونية باستخدام ثنائيات الإصدار الضوئي LEDs	117
التمرين الثالث:رسم منحني الخواص لحساسية الثنائي الضوئي عند تغير الإضاءة	121
التمرين الرابع:بناء دارة بسيطة لمرسل ومستقبل أشعة تحت الحمراء	125
التمرين الخامس:تعرف منحني الخواص للثنائي السعوي في الاتجاه العكسي وقياس مقاومة الثنائي	129

مقدمة

لمحة عامة و شاملة عن الوحدة وأهميتها

يعد اكتشاف أنصاف النواقل ثورة كبرى في عالم الإلكترونيات ، وفي فترة قصيرة وبعد الحصول على الثنائي العادي تم تصنيع أنواع مختلفة من الثنائيات الخاصة ، يتمتع كل منها بمواصفات تفيد في تطبيقات مختلفة ، وقد ساهم هذا في تصميم دارات متنوعة تم استخدامها في العديد من المجالات التكنولوجية الهامة .

الأهداف التعليمية

1- تحديد الثنائيات الخاصة : (ثنائي زينر Zener diod - ثنائي الإصدار الضوئي LED - الثنائي الضوئي Photo diode - الثنائي السعوي Varactor - الثنائي النفقي Tunnel diode- ثنائي شوتكي Schottky diode - الثنائي النقطي Point contact diode).

2-بناء دارات إلكترونية باستخدام الثنائيات الخاصة.

3-تحديد مجالات استخدام كل من هذه الثنائيات.

أن يكون المتدرب بعد الانتهاء من هذه الوحدة قادراً على أن:

1- يحدد أنواع الثنائيات المختلفة.

2- يرسم منحنيات الخواص لهذه الثنائيات.

3- يبني دارات بسيطة تستخدم هذه الثنائيات.

4- يحدد مجال استخدام كل نوع منها.

المعلومات النظرية

يوجد أنواع أخرى من الثنائيات تختلف عن الثنائيات العادية، فمنها ما يستخدم في دارات تنظيم الكمون، ومنها ما يصدر ضوءاً عند مرور تيار أمامي فيه، ومنها ما يمرر تيار عكسي عند تعرضه للضوء، ومنها ما يستخدم في كثير من التطبيقات الحديثة كدارات التوليف الإلكترونية وأنظمة الاتصالات والدارات المنطقية ودارات الإنذار و ..... إلخ.

وفي هذه الوحدة سندرس أهم الثنائيات الخاصة وهي:

ثنائي زينر *Zener diode*، ثنائي الإصدار الضوئي *LED*، الثنائي الضوئي *Photo diode* ، الثنائي السعوي *Varactor*، الثنائي النفقي *Tunnel diode*، ثنائي شوتكي *Schottky diode*، والثنائي النقطي *Point contact diode*.

3-1 ثنائي زينر *Zener Diode*

يشبه في بنيته الثنائي العادي ولكنه يصنع بشكل خاص حيث يكون تركيز الشوائب عالياً جداً في منطقة العبور Depletion Region ، ويعمل كالثنائي العادي في حالة الانحياز الأمامي، أما عند الانحياز العكسي فإنه يتصرف بشكل مختلف .

أ- مبدأ عمل ثنائي زينر

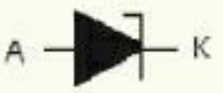
عندما يزداد الكمون العكسي إلى قيمة معينة تساوي V_Z تسمى كمون انهيار زينر يزداد الكمون الحاجز، ويؤدي المجال الكبير الناتج عنه إلى تفكك الروابط الثنائية وينتج عن ذلك إلكترونات وفراغات وهذه تُجرَف بوساطة هذا المجال الكبير بسرعة عالية، مما يؤدي إلى الاصطدام بذرات المادة وتمزيق الروابط الثنائية (وتدعى هذه الظاهرة بظاهرة زينر Zener effect)فتتشكل أزواج كثيرة من الإلكترونات والفراغات في منقطة العبور مما يؤدي إلى مرور تيار عكسي كبير يسمى I_Z ، هذا التيار العكسي لا يؤثر على ثنائي زينر إذا لم يتجاوز الحد المسموح به لأنه يصنع بطريقة تمكنه من تبديد الحرارة ضمنه.

إذا تجاوز التيار العكسي القيمة $I_{Z\,max}$ فعندها تكون الاستطاعة المبددة كبيرة فترتفع حرارة الثنائي وبالتالي تلفه .

تختلف قيمة V_Z باختلاف تركيز الشوائب في منطقة العبور، وتتراوح هذه القيمة بين 2 v و 200 v .

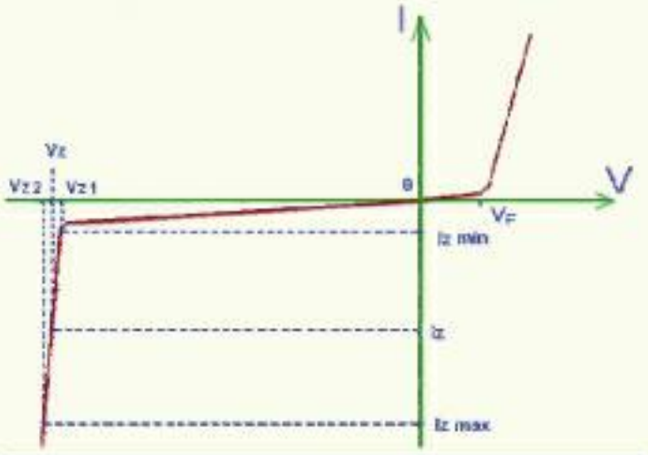
يستفاد من ثنائي زينر في التوصيل العكسي في دارات تنظيم الكمون.

ويرمز لهذا الثنائي بالرمز المبين في الشكل (3-1) .



الشكل (3-1): رمز ثنائي زينر

ويبين الشكل (3-2) منحني الخواص لثنائي زينر.



الشكل (3-2): منحني الخواص لثنائي زينر

ب- المقاومة الحركية لثنائي زينر Rd

عندما يصل الكمون العكسي المطبق على ثنائي زينر إلى كمون الانهيار يزداد التيار العكسي زيادة كبيرة $\Delta I_Z = I_{Zmax} - I_{Zmin}$ مع تغير طفيف في الكمون على طرفي

الثنائي $\Delta V_Z = V_{Z2} - V_{Z1}$ وتعطى المقاومة الحركية بالعلاقة:

$$R_d = \frac{V_{z2} - V_{z1}}{I_{zmax} - I_{zmin}} = \frac{\Delta V_z}{\Delta I_z}$$

وتكون قيمة Rd صغيرة جداً في مجال التنظيم المحصور بين V_{Z1} و V_{Z2} .

ج- تأثير الحرارة على ثنائي زينر

وهنا نميز حالتين:

1- $Vz > 5v$: تزداد مقاومته الحركية مع ارتفاع درجة الحرارة ويبدي مقاومة ذات معامل حراري موجب، ويكون منحني الخواص كما في الشكل (3-3-آ) مشابهاً للمنحني المبين في الشكل(3-2).

2- $Vz < 5v$: يكون الثنائي أكثر تأثراً بارتفاع درجة الحرارة ويبدي مقاومة ذات معامل حراري سالب بعد الانهيار(يزداد التيار مع نقصان الكمون)، ويكون منحني الخواص كما في الشكل (3-3-ب).

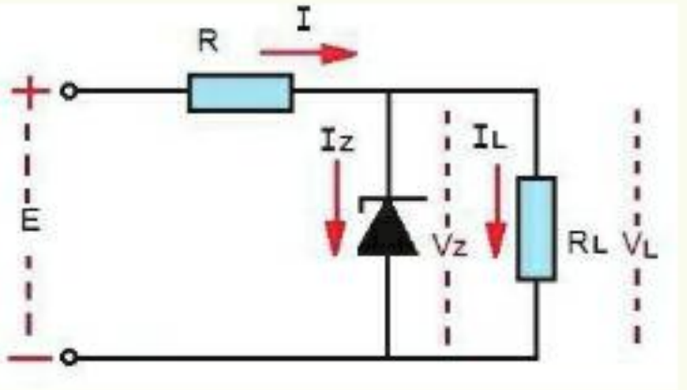
آ- $Vz > 5v$

ب- $Vz < 5v$

الشكل (3-3): منحني الخواص لثنائي زينرفي الاتجاه العكسي

د- استخدام ثنائي زينر في دارات التنظيم

يستخدم ثنائي زينر في التوصيل العكسي كعنصر أساسي في دارات التنظيم البسيطة التي لا تتطلب استطاعات عالية، ويستخدم كعنصر مساعد للترانزستور في دارات أكثر تعقيداً، ويوضح الشكل(3-4) دارة تنظيم بسيطة باستخدام ثنائي زينر تعمل كما يأتي:



الشكل (3-4): دارة تنظيم باستخدام ثنائي زينر

لاحظ أنه

يتم تنظيم الكمون عن طريق التحكم بقيمة التيار المار في مقاومة الحمل لذلك تسمى هذه الدارة بدارة تنظيم تيار.

يوصل ثنائي زينر في الاتجاه العكسي وعلى التوازي مع مقاومة الحمل R_L، وعندما يكون فرق الكمون بين طرفيه أقل من V_Z يكون فرق الكمون على طرفي الحمل V_L معطى بالعلاقة:

$$V_L = E - I.R \quad (1)$$

وكذلك:

$$V_L = I_L \cdot R_L \quad (2)$$

وبتطبيق قانون كيرشوف للتيارات في الدارة:

$$I = I_Z + I_L \quad (3)$$

حيث: I_L تيار الحمل

I_Z التيار المار في ثنائي زينر ويساوي الصفر في هذه الحالة.

نعوض العلاقتين(2) و (3) في العلاقة (1) فنجد:

$$I_L \cdot R_L = E - (I_Z + I_L)\, R$$

بفك الأقواس نجد:

$$I_L \cdot R_L = E - I_Z \cdot R - I_L \cdot R$$

ثم نجد أن:

$$I_L\ (R_L + R) = E - I_Z \cdot R$$

و منه نحصل على معادلة التيار المار في مقاومة الحمل: $I_L = \frac{E - Iz.R}{R_L + R}$

وعند زيادة كمون الدخل E يزداد فرق الكمون بين طرفي ثنائي زينر وعندما يتجاوز هذا الكمون كمون الانهيار العكسي Vz يمر تيار عكسي Iz في الثنائي ويزداد التيار العكسي بازدياد فرق الكمون على طرفيه، وحسب المعادلة الأخيرة نجد أن زيادة كمون الدخل E وزيادة التيار العكسي Iz تؤديان إلى ثبات قيمة تيار الحمل I_L وبالتالي ثبات فرق الكمون على طرفي الحمل.

اعلم أنه

تتراوح قيمة Vz لثنائي زينر بين: 2 v و 200 v

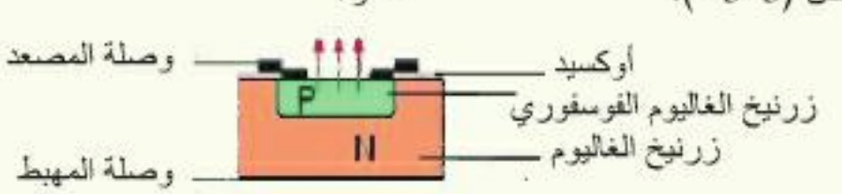
ملاحظة

من مساوئ دارات التنظيم باستخدام ثنائي زينر أنها لا تستطيع تنظيم الكمونات الأقل من Vz .

2-3 ثنائي الإصدار الضوئي LED (*Light Emitting Diode*)

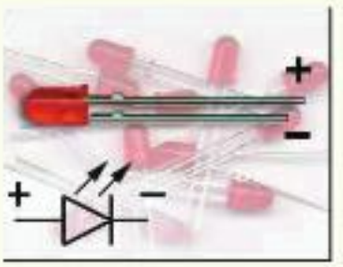
آ- بنية ثنائي الإصدار الضوئي *LED structure*

يصنع ثنائي الإصدار الضوئي من مادة زرنيخ الغاليوم *GaAs* لتشكيل المنطقة *N* ومن زرنيخ الغاليوم الفوسفوري *GaAsP* لتشكيل المنطقة *P* كما هو مبين في الشكل (3-5-آ).



الشكل (3-5-آ): بنية ثنائي الإصدار الضوئي

الشكل (3-5-ب):الشكل الحقيقي للثنائي



الشكل (3-5-ج): رمز و شكل الثنائي

يتصرف ثنائي الإصدار الضوئي في التوصيل العكسي كثنائي عادي.

أما في التوصيل الأمامي فإنه يشع ضوءاً تتناسب شدته طرداً مع شدة التيار الأمامي المار فيه.

توضع مقاومة على التسلسل مع الثنائي حتى لا يزيد التيار الأمامي عن التيار الاسمي المسموح به وإلا فيتلف الثنائي.

ب- عملية الإصدار الضوئي *Light Emitting Process*

عندما يوصل ثنائي الإصدار الضوئي في الاتجاه الأمامي تتدفق الإلكترونات من المنطقة N إلى المنطقة P وكذلك تتحرك الفراغات من المنطقة P إلى المنطقة N ويتم الاتحاد في المنطقتين بين الإلكترونات والفراغات، ونتيجة لذلك تتحرر بعض القدرة وتتحول إلى ضوء يتسرب من المنطقة P الرقيقة إلى خارج الثنائي الذي تحيط به مادة شفافة ملونة بلون الضوء المتسرب الذي يكون عادةً وحيد اللون.

يتوقف لون الضوء على المواد التي يصنع منها ثنائي الإصدار الضوئي ففي الشكل (3-5-آ) نحصل على ضوء لونه أحمر وطول موجته $660\ nm$.

ويعطي ثنائي الإصدار الضوئي المصنوع من فوسفيد الغاليوم $Ga\ P$ لوناً أخضر.

ويجب ألا يتجاوز الكمون الأمامي المطبق في هذا النوع من الثنائيات V 1.5.

ج- ميزات ثنائي الإصدار الضوئي *LED characteristic*

1- قاسٍ لدرجة كبيرة لا يمكن كسره بسهولة بخلاف المصابيح الصغيرة العادية رقيقة الطبقة.

2-استهلاك قليل للطاقة.

3- لا يصدر حرارة.

4- رخيص الثمن.

5- إمكانية تصميمه بحيث يصدر ضوءاً بلون معين أو مجالاً ضيقاً من الترددات بخلاف المصباح المتوهج الذي يعطي ضوءاً يحتوي على مجال واسع من الترددات الضوئية.

لباس مصنع من الثنائيات المصدرة للضوء

د- مساوئ ثنائي الإصدار الضوئي *LED*

1- الضوء الصادر عنه ضعيف.

2- يمكن أن يتلف عند زيادة الجهد أو التيار عن القيمة العظمى المسموح بها .

ه- مجالات الاستخدام

يستخدم كمصباح بيان في الدارات الإلكترونية، وفي المعلنات الرقمية، وفي الحاسبات الإلكترونية، والساعات والرقمية، واستخدامات كثيرة أخرى .

ملاحظة (1)

يوجد ثنائيات أخرى مرسلة للضوء مثل ثنائيات الليزر التي تصدر ضوءاً ذا طـول موجة ثابت وتستخدم في كثير من التطبيقات الحديثة.

ملاحظة (2)

يوجد ثنائيات مرسلة للأشعة تحت الحمراء INFRARED RAYS تستخدم بكثرة في أجهزة التحكم عن بعد مثل الثنائي TiL38

3-3 الثنائي الضوئي *Photo Diode*

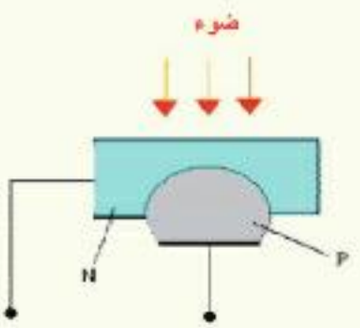
يتكون الثنائي العادي من شريحتين الأولى من نصف ناقل نوع N والأخرى مـن نصف ناقل نوع P وتتشكل بينهما منطقة عبور.

في حالة التوصيل العكسي يمر في الثنائي تيار عكسي صغير ينتج عن تـحـطـم الروابط البلورية بسبب قدرة خارجية مثل الحرارة أو الضوء.

لذلك يستفاد من خاصية الحساسية الضوئية للمواد نصف الناقلة عند منطقة العبور للحصول على تيار يمكن التحكم به بوساطة الضوء .

آ- بنية الثنائي الضوئي *Photo Diode structure*

يصنع الثنائي الضوئي بشكل لا يختلف كثيراً عن الثنائي العادي، وفيه تكون منطقة العبور ظاهرة بحيث ينفذ إليها أكبر كمية من الضوء من خلال عدسة ضوئية (نافذة زجاجية) كما هو مبين في الشكل (3-6)، وتدل الأسهم في الشكل على اتجاه الأشعة الضوئية.

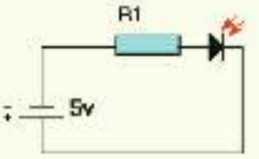


الشكل (3-6): بنية الثنائي الضوئي

يوصل الثنائي الضوئي دائماً في الوضع العكسي حيث يزداد عدد الحاملات الثانوية فيه عند تعرضه للضوء، فيمر تيار عكسي أكبر وهذا التيار العكسي يتناسب طـــرداً مع شدة الضوء المسلط عليه.يرمز له في الدارات الإلكترونية بالرمز المبيـــن فـــي الشكل (3-7).

الشكل (3-7) رمز الثنائي الضوئي

ب- منحنيات الخواص للثنائي الضوئي



نلاحظ من الشكل (3-8) أن الجهد المطبق على الثنائي الضوئي يكون في الاتجاه العكسي.

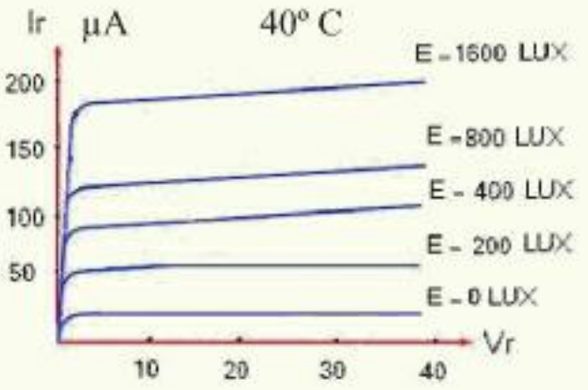
الشكل (3-8):الثنائي الضوئي يكون في الاتجاه العكسي

عند عدم تسليط إضاءة على الثنائي يمر فيه تيار عكسي صغير يسمى تـــيـــار الإغلاق أو تيار الظلمة Id.

وعند تسليط إضاءة على الثنائي يزداد التيار العكسي بشكل متناسب طرداً مع شدة الإضاءة، ويسمى التيار عندئذٍ بالتيار المضيء Ip ، وتعتمد قيمة هذا التيار بشكل رئيسي على شدة الإضاءة المسلطة عليه، وعلى مقدار فرق الكمون العـــكـــســـي المطبق وعلى درجة حرارة الثنائي .

إن الوظيفة الرئيسية للكمون العكسي المطبق هي نقل حاملات الشحنة المتحررة من جراء تطبيق الضوء على الثنائي.

يبين الشكل (3-9) مجموعة منحنيات الخواص للثنائي الضوئي، حيث يبين تغيرات شدة التيار العكسي مقاسة بالميكروأمبير بدلالة تغير الكمون العكسي المطبق وذلك عند قيم مختلفة لشدة الإضاءة مقاسة بواحدة LUX وعند درجة حرارة ثابتة 40° C .



الشكل (3-9): منحنيات الخواص للثنائي الضوئي

ج- طيف الحساسية الضوئية

يبين الشكل (3 - 10) محوراً للطيف المرئي وغير المرئي بدلالة طول الموجة λ .

الشكل (3-10): طيف الحساسية الضوئية

يختلف لون الإضاءة باختلاف تردد اللون أو طول موجته، وتنحصر الأشعة المرئية بين أقل تردد وهو اللون الأحمر وأعلى تردد للون البنفسجي، وبما أن هذه الترددات ذات أرقام عالية لذلك يعبر عنها بأطوال موجاتها حيث أقل تردد وهو تردد اللون الأحمر يكون ذا طول موجة أكبر وذلك وفق العلاقة :

$$\lambda = \frac{C}{f}$$

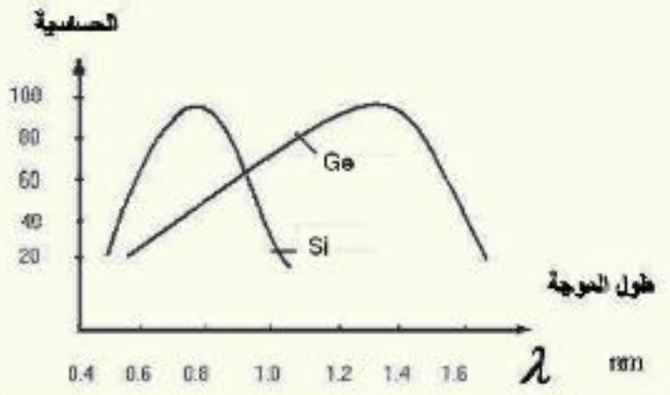
حيث: λ طول الموجة ويقدر بالمتر أو أجزائه.

f التردد ويقاس بالهرتز أو مضاعفاته.

C سرعة الضوء وتساوي $3\times10^{8}\ m/s$

تسمى الأشعة التي أطوال موجاتها أقل من (380 nm) بالأشعة فوق البنفسجية. وتسمى الأشعة التي أطوال موجاتها أعلى من (800 nm) بالأشعة تحت الحمراء ولا تستطيع العين تمييز هذين النوعين من الأشعة.

يبين الشكل (3-11) منحنيي الحساسية لكل من الثنائيات الضوئية المصنوعة من السيليكون Si ولتلك المصنوعة من Ge الجرمانيوم بدلالة طول موجة الضوء λ



الشكل (3-11): منحنيي حساسية الثنائيات

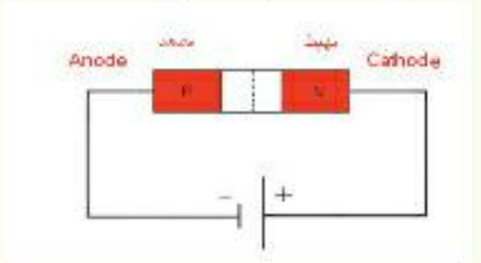
نلاحظ أن أعلى حساسية لثنائي السيليكون تقع في مجال الضوء المرئي وذلك عند اللون الأحمر الغامق ، و نجد أن أفضل طيف لإثارة الثنائيات الضوئية المصنوعة من السيليكون ينتج من مصباح كهربائي عادي، بينما الثنائي الضوئي المصنوع من الجرمانيوم يتأثر بجميع أطوال الموجات بما فيها الأشعة تحت الحمراء من 340 nm وحتى 1600 nm .

د- مجالات الاستخدام

يستخدم الثنائي الضوئي في دارات الإنذار المختلفة، وكذلك يستخدم ثنائي الجرمانيوم كمستقبل للأشعة الحمراء التي تصدر عن أجهزة التحكم عن بعد مثل الثنائي الضوئي TiL100 .

4-3 الثنائي السعوي *Varactor* or *Capacitive Diode*

يتألف من ثنائي نصف ناقل نوع P-N ويعمل كثنائي عادي في الاتجاه الأمامي ولكن عند تطبيق كمون عكسي نحصل في منتصفه على منطقة خالية من الشحنات هذه المنطقة تعتبر منطقة عازلة (منطقة العبور) وتشكل مع الشحنات السالبة والشحنات الموجبة على طرفيها سعة ذاتية، تتغير بتغير الكمون العكسي المطبق على الثنائي كما هو موضح بالشكل (3-12).



الشكل (3-12): الثنائي السعوي

تعطى السعة الذاتية بالعلاقة :

$$C_d = \varepsilon_o \frac{A}{d}$$

حيث:

ε_o : ثابت عزل منطقة العبور .

A : مساحة سطح مقطع الثنائي.

d : عرض منطقة العبور.

عند زيادة الكمون المستمر العكسي المطبق على الثنائي فإن عرض منطقة العبور يزداد وبالتالي تقل السعة الذاتية.

وعند نقصان الكمون العكسي المطبق تزداد السعة الذاتية.

ووجد عملياً أن ثنائيات السيليكون تتراوح سعتها مابين 150~250PF عند تطبيق جهد عكسي 1V ولكن تنخفض إلى 50 PF عند تطبيق جهد عكسي 10V .

يرمز للثنائي السعوي بالرمز المبين في الشكل(3-13) وأكثر الثنائيات السعوية انتشاراً هو النوع N5139 .

الشكل (3-13): رمز الثنائي السعوي

آ- منحنيات الخواص للثنائي السعوي

يبين الشكل (3-14) العلاقة بين تغير السعة بتغير الجهد العكسي المطبق على الثنائي .

الشكل (3-14): منحني الخواص للثنائي السعوي

ب- مجالات الاستخدام

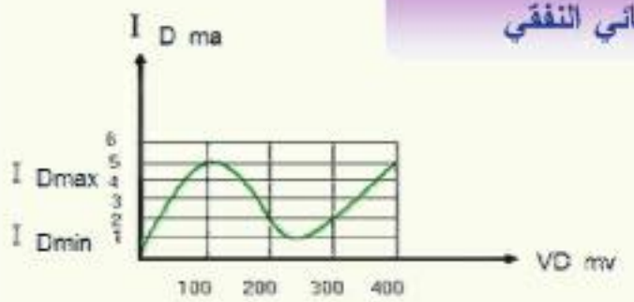
تستخدم الثنائيات السعوية كمكثفات متغيرة في دارات التعديل الترددي، وفي دارات التوليف الإلكترونية في أجهزة الاستقبال الإذاعي والتلفزيوني، وفي أنظمة الاتصالات الأخرى.

5-3 الثنائي النفقي *Tunnel Diode*

يصنع الثنائي النفقي بشكل عام من الجرمانيوم أو من أرسنيد الغاليوم، ولا يصنع من السيليكون، وتكون مساحة الوصلة في منطقة الكمون الحاجز صغيرة ونسبة الشوائب عالية جداً.

يتصرف الثنائي النفقي في التوصيل العكسي كالثنائي العادي، أما في التوصيل الأمامي فإنه يتصرف بطريقة مختلفة يبينها منحني الخواص الموضح في الشكل (3-15).

آ- منحني الخواص للثنائي النفقي



الشكل (3-15): منحنى الخواص للثنائي النفقي

يزداد التيار I_D في البداية طرداً مع ازدياد الكمون الأمامي المطبق V_D إلى أن يصل إلى قيمة عظمى $I_{D\,max}$ ، يتناقص بعدها إلى قيمة دنيا $I_{D\,min}$ ، ثم يعود بعدها إلى التزايد من جديد مع تزايد الكمون الأمامي المطبق ويتصرف الثنائي عندها كالثنائي العادي.

مما سبق نصل إلى النتيجة الآتية

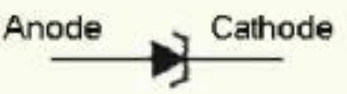
يتناقص التيار الأمامي ضمن مجال محدد مع ازدياد الكمون الأمامي المطبق، أي إن الثنائي النفقي يبدي مقاومة سالبة ضمن هذا المجال المحدد.

ولن نتعمق في تفاصيل عمل الثنائي النفقي إذ يعتمد ذلك إلى حد كبير على معلومات رياضية عالية وسنكتفي بما سبق شرحه.

ب- مجالات الاستخدام

يستخدم الثنائي النفقي كثيراً في دارات المذبذبات ذات الترددات العالية جداً، ويكون دائماً في التوصيل الأمامي .

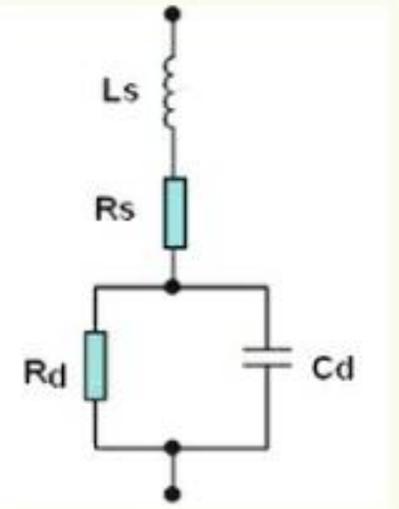
يرمز للثنائي النفقي بالرمز الموضح في الشكل (16-3)



الشكل (3-16): رمز الثنائي النفقي

ج- الدارة المكافئة للثنائي النفقي

يمكن تمثيل الثنائي النفقي باعتبار منطقة المقاومة السالبة منطقة عمل بدارة مكافئة مبينة بالشكل (3-17)حيث:



الشكل (3-17):الدارة المكافئة للثنائي النفقي

C_d سعة وصلة الثنائي.

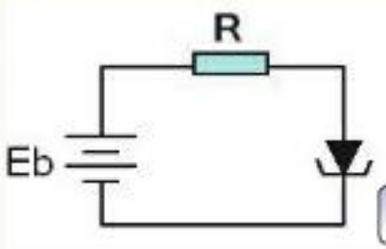
R_s مقاومة تسلسلية تعتمد على نقاط التوصيل والموصلات وتتراوح قيمتها بين $(0.1 \rightarrow 1)\Omega$

L_s ملف تسلسلي يعتمد على الموصلات الداخلية وعلى أبعاد الثنائي، وتقدر قيمته بحدود $(1 \rightarrow 1.5)nH$

-Rd المقاومة السالبة للثنائي وتساوي قيمتها تقريباً -30Ω

د- دارة استقطاب الثنائي النفقي

يبين الشكل (3-18) دارة استقطاب الثنائي النفقي وحسب قيمة كل من (R) و (E_b) تتحدد شروط عمل الدارة.



الشكل (3-18): دارة استقطاب الثنائي النفقي

3-6 ثنائي شوتكي *Schottky Diode*

يرمز له بالرمز الموضح في الشكل (3-19) وهو ثنائي عادي P-N ولكن تركيز الشوائب في المنطقة N عالٍ أي إن عدد حاملات الشحنة فيها عالٍ جداً ولذلك تسمى N^+ .

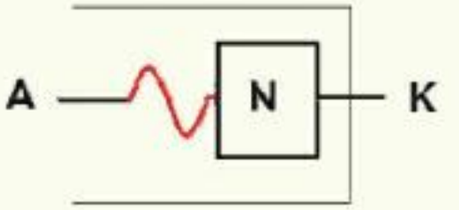
الشكل (3-19): رمز ثنائي شوتكي

حديثاً يصنع ثنائي شوتكي من طبقة معدنية من البلاتينيوم وطبقة نصف ناقلة نوع N بحيث تكون معظم حاملات الشحنة هي الإلكترونات وهذا يساعد على تسريع زمن انتقال الشحنات ، وقد وصل هذا الزمن إلى رتبة 10 PS مما يجعل هذا الثنائي مثالياً من الناحية العملية في التطبيقات التي تتطلب سرعة تقطيع Switching عالية، لذلك يستخدم هذا الثنائي في الدارات المنطقية المتكاملة، كما أن تصنيعه أسهل من تصنيع الثنائي P-N مما يزيد انتشاره في التطبيقات الحديثة التي تعمل في الترددات العالية .

أهم استخداماته: يستخدم كمازج في ناخب التلفزيون UHF وكمازج في اللاقط LNB وفي نواخب أجهزة الاستقبال الفضائي.

7-3 الثنائي النقطي *Point Contact*

يتألف من سلك مصنوع من الذهب أو التنغستين على شكل نابض يضغط على قطعة من الجرمانيوم أو السيليكون من النوع N ، وهذه القطعة صغيرة جداً مساحة مقطعها $1\ mm^2$ ، ويبين الشكل (3-20) ثنائياً نموذجياً من هذا النوع ويقوم الغلاف الزجاجي بحفظ الثنائي من التلوث والرطوبة.



الشكل (3-20):الثنائي النقطي

الثنائي النقطي P-N ذو مساحة صغيرة جداً في نقطة الاتصال بين المعدن (مثل الذهب أو التنغستين) ومادة نصف الناقل (مثل الجرمانيوم أو السيليكون) وعند التصنيع يمر تيار مفاجئ وكبير surge current خلال الثنائي يؤدي إلى وصل المعدن مع نصف الناقل، وتكون السعة في هذا الثنائي أصغر بكثير من تلك الموجودة في الثنائي العادي لذلك يستعمل بكثرة في مجال الترددات العالية .

أهم ميزات الثنائي النقطي : السعة صغيرة جداً (1 ~ 2 PF) فيه .

الاستخدامات:

يستخدم ككاشف للإشارة المرئية المعدلة سعوياً في جهاز التلفزيون.... وفي أنواع أخرى من التطبيقات.

تقييم المعلومات النظرية:

1) أجب بكلمة (صح) أو (خطأ) وصحح الخطأ إن وجد في العبارة الموجودة بين قوسين :

1- يتصرف ثنائي الإصدار الضوئي في التوصيل (الأمامي) كثنائي عادي.

2- شدة الضوء المار في الثنائي الضوئي تتناسب (طرداً) مع شدة التيار الأمامي المار فيه.

3- ثنائي الإصدار الضوئي المصنوع من زرنيخ الغاليوم يعطي لوناً (أحمر).

4- الثنائيات التي تصدر أشعة تحت الحمراء تستخدم (كمصابيح بيان).

5- يتصرف الثنائي الضوئي في التوصيل (الأمامي) كثنائي عادي.

6- التيار المضيء I_p المار في الثنائي الضوئي هو تيار (عكسي) يتناسب مع شدة الضوء المسلط عليه.

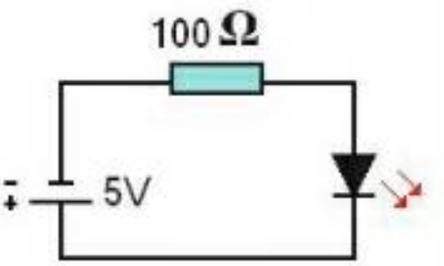
7- تقل السعة الذاتية في الثنائي السعوي عند (زيادة) الكمون المستمر العكسي المطبق عليه.

8- (لا يصنع) الثنائي النفقي من السيليكون.

9- يتصرف الثنائي النفقي في الاتجاه (العكسي) كثنائي عادي.

10- يبدي الثنائي النفقي مقاومة (سالبة) عندما يتناقص التيار الأمامي مع ازدياد الكمون الأمامي المطبق عليه.

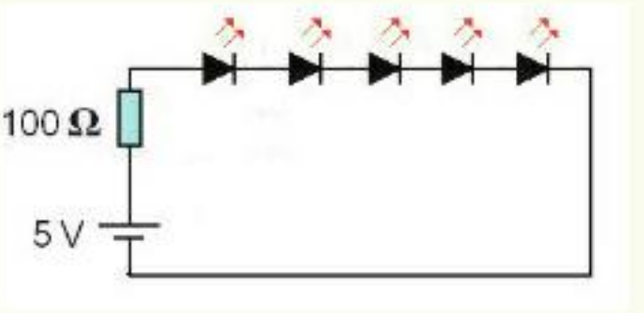
2) لدينا الدارة المبينة في الشكل(3-21) و المطلوب: هل يضيء الثنائي في هذه الدارة؟ و لماذا ؟



الشكل (3-21)

3) لدينا الدارة المبينة في الشكل(3-22):

هل يضيء أحد الثنائيات أو كل الثنائيات في هذه الدارة ؟ و لماذا ؟

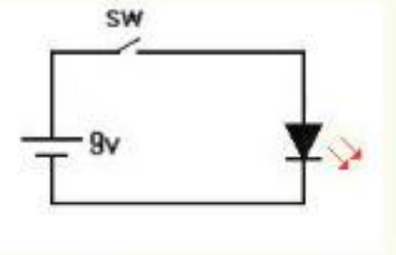


الشكل (3-22)

4) لدينا الدارة المبينة في الشكل(3-23):

آ- ماذا يحدث لو ضغطنا على القاطع SW ؟

ب- ما الذي يجب إضافته إلى الدارة حتى تعمل بشكل صحيح ؟



الشكل (3-23)

5) ارسم رموز العناصر الآتية:

الثنائي الضوئي- الثنائي النفقي - ثنائي شوتكي.

6) هل يمكن الحصول على ألوان مختلفة من الضوء من ثنائيات الإصدار الضوئي؟ وكيف يتم ذلك؟

7) وازن بين ثنائي الإصدار الضوئي والمصباح المتوهج الصغير من حيث استهلاكه للطاقة، والمتانة، وشدة الضوء الصادر.

8) بماذا يختلف ثنائي الليزر عن ثنائي الإصدار الضوئي؟

9) ما تيار الظلمة I_d المار في الثنائي الضوئي؟

10) ما الوظيفة الرئيسية للكمون العكسي المطبق على الثنائي الضوئي؟

11) بين مجالات استخدام الثنائي السعوي.

12) ارسم الدارة المكافئة للثنائي النفقي.

بطاقــة التمريــن العملــي

التمرين الأول: رسم منحنيات الخواص للثنائيين ***LED*** و ***INFRARED*** **الزمن:(1) ساعة**

الأهداف الأدائية للتمرين

أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1- يبني دارة إلكترونية يستخدم فيها ثنائي إصدار ضوئي LED ، ثم يستبدله بثنائي إصدار أشــعة تحت الحمراء INFRARED .

2- يقيس الجهود والتيار في الحالتين.

3- يرسم منحني الخواص في كل مرة.

المواد والأدوات والتجهيزات

ثنائي إصدار ضوئي LED ، ثنائي إصدار أشعة تحت الحمراء TiL38، منبع جهد مــستمر DC متغــير، أفومتر ، راسم إشارة ، مقاومات ، كاوي اللحام ، قصدير ،منبع تغذية كهربائية متناوب AC ، لوحــات فيبر مثقبة.

معايير الأداء

1- تحديد أطراف الثنائي حسب مواصفاته الفنية.

2- تحديد القطبية عند توصيل أجهزة القياس في الدارات الإلكترونية حسب جداول المكافئات.

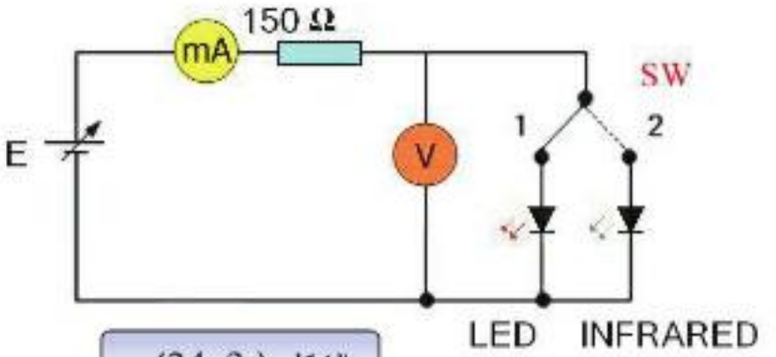
3- تحديد الجهود المناسبة لتغذية الدارة حسب مخطط الدارة.

4- قياس قيمة الجهد على طرفي الثنائي حسب مخطط الدارة.

5- قياس قيمة التيار المار في الدارة حسب مخطط الدارة.

6- ضبط أجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب أدلة التشغيل.

7- تطبيق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.

الرقم	الخطوة والنقطة الحاكمة	الرسم التوضيحي
1	تأكد أن جميع التجهيزات جيدة الأداء وبحالة عمل حسب أدلة التشغيل.	
2	نفذ الدارة المبينة في الشكل (3-24):  الشكل (3-24)	
3	ضع المفتاح SW على الوضعية 1.	
4	اضبط جهد المنبع E حسب الجدول المعطى في الخطوة 10.	
5	سجل قيمة الجهد على طرفي الثنائي، وكذلك قيمة التيار المار في الدارة كل مرة.	
6	ارسم منحني الخواص للثنائي *LED* في الانحياز الأمامي على ورق ميليمتري.	
7	ضع المفتاح SW على الوضعية 2.	
8	أعد الخطوات نفسها 4-5-6 من أجل ثنائي إصدار الأشعة تحت الحمراء INFRARED.	
9	طبق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.	
10		

E(V)	0	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8
V (v)										
I (m A)										

التقييم الذاتي

تقييم دليل الأداء

تعليمات للمتدرب:

1- استخدم دليل تقييم الأداء كدليل إرشادي عند تنفيذك العمل.

2- كي تجتاز هذا التمرين بنجاح يجب تأشير جميع الخطوات الواردة بكلمة (نعم) ما عدا الخطوات التي لا يمكن تطبيقها.

3-إذا كانت هناك خطوة لا يمكن تطبيقها فنضع مقابلها إشارة (x).

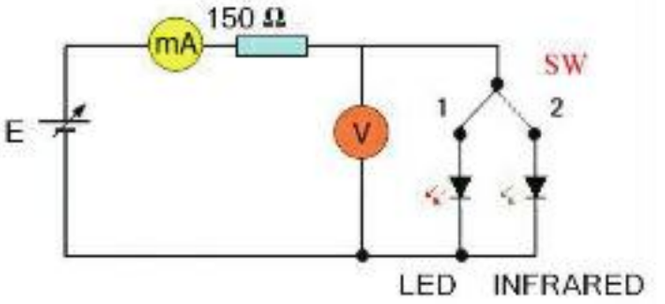
خطوات الأداء	نعم	لا	غير قابلة للتطبيق
التأكد من أن جميع التجهيزات جيدة الأداء وبحالة عمل حسب أدلة التشغيل.			
تنفيذ الدارة المبينة في الشكل (3-24).			
وضع المفتاح SW على الوضعية 1.			
ضبط جهد المنبع E حسب الجدول المعطى في الخطوة 10.			
تسجيل قيمة الجهد على طرفي الثنائي، وكذلك قيمة التيار المار في الدارة كل مرة.			
رسم منحني الخواص للثنائي *LED* في الانحياز الأمامي على ورق ميليمتري.			
وضع المفتاح SW على الوضعية 2.			
إعادة الخطوات نفسها (4-5-6) من أجل ثنائي إصدار الأشعة تحت الحمراء INFRARED.			
تطبيق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.			

الاختبار العملي للتمرين

اسم الاختبار: رسم منحنيات الخواص للثنائيين ***LED*** و ***INFRARED***

الأداء المطلوب في الاختبار:

1- بناء دارة إلكترونية يستخدم فيها ثنائي إصدار ضوئي LED ثم استبداله بثنائي إصدار الأشعة تحت الحمراء INFRARED.



2- قياس الجهود والتيارات لكل ثنائي.

3- رسم منحني الخواص لكل ثنائي.

المواد والأدوات والتجهيزات:

ثنائي إصدار ضوئيLED، ثنائي إصدار الأشعة تحت الحمراء TiL38، منبع جهد مستمر DC متغير، أفومتر ، راسم إشارة ، مقاومات ، كاوي اللحام ، قصدير، منبع تغذية كهربائية متناوب AC ، لوحات فيبر مثقبة.

الزمن اللازم لإنجاز التمرين: نصف ساعة

إرشادات للطالب

سيتم تقييم الأداء في ضوء المعايير الآتية:

1- تحديد أطراف الثنائي حسب مواصفاته الفنية.

2- تحديد القطبية عند توصيل أجهزة القياس في الدارات الإلكترونية.

3- تحديد الجهود المناسبة لتغذية الدارة.

4- قياس قيمة الجهد على طرفي الثنائي حسب كل قيمة من قيم الجهد المستمر المطبق، وكذلك قياس قيمة التيار المار في الدارة حسب كل قيمة من قيم الجهد.

5- ضبط أجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية.

بطاقــة التمريــن العملــي

التمرين الثاني: بناء دارة إلكترونية باستخدام ثنائيات الإصدار الضوئي LEDs **الزمن:(1) ساعة**

الأهداف الأدائية للتمرين

أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1-يبني دارات إلكترونية باستخدام ثنائيات الإصدار الضوئيLEDs موصولة على التسلسل أو علـى التفرع.

2- يقيس التيار والجهد في كل دارة.

3-يحسب هبوط الجهد على المقاومة الموصولة بين المنبع وبين الثنائيات.

المواد والأدوات والتجهيزات

ثنائيات إصدار ضوئي LEDs، منبع جهد مستمر DC متغير، أفومتر، مقياس mA ، مقاومـة $100\ \Omega$ ، كاوي اللحام ، قصدير ، منبع تغذية كهربائية AC متغير، لوحات فيبر مثقبة.

معايير الأداء

1- تحديد أطراف الثنائيات حسب مواصفاتها الفنية.

2- ضبط أجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب أدلة التشغيل.

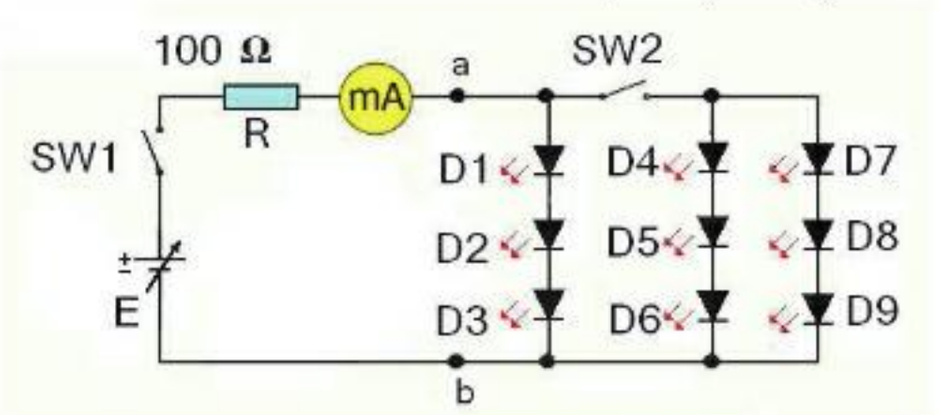
3- تحديد القطبية عند توصيل أجهزة القياس في الدارات الإلكترونية حسب جداول المكافئات.

4- تحديد الجهود المناسبة لتغذية الدارة حسب مخطط الدارة.

5- قياس الجهود حسب مخطط الدارة.

6- قياس التيارات حسب مخطط الدارة.

7- تطبيق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.

رقم الخطوة	الخطوة والنقطة الحاكمة	الرسم التوضيحي
1	تأكد أن جميع التجهيزات صحيحة وبحالة عمل حسب أدلة التشغيل.	
2	نفذ الدارة المبينة في الشكل (3-25):  الشكل (3-25)	
3	اضبط المنبع بحيث يكون E = 3V.	
4	أغلق المفتاح SW1 ، ماذا تلاحظ ؟	
5	غير قيمة جهد المنبع بالتدريج نحو الأعلى حتى يصدر ضوء من الثنائيات.	
6	سجل قيمة التيار المار في الدارة.	
7	قس الجهد على طرفي كل من الثنائيات: D1- D2 - D3	
8	احسب قيمة الجهد الهابط على المقاومة R.	
9	أغلق المفتاح SW2 ، ماذا تلاحظ؟	
10	وازن بين قيمة التيار المار وشدة الإضاءة التي حصلت عليها. ماذا تستنتج ؟	
11	حدد قيمة كمون المنبع اللازم عند وصل ثنائيات الإصدار الضوئي على التسلسل أو على التفرع.	
12	طبق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكـــان العمل.	

التقييم الذاتي

تقييم دليل الأداء

تعليمات للمتدرب:

1- استخدم دليل تقييم الأداء كدليل إرشادي عند تنفيذك العمل.

2- كي تجتاز هذا التمرين بنجاح يجب تأشير جميع الخطوات الواردة بكلمة (نعم)، ما عدا الخطوات التي لا يمكن تطبيقها.

3- إذا كانت هناك خطوة لا يمكن تطبيقها فنضع مقابلها إشارة (x).

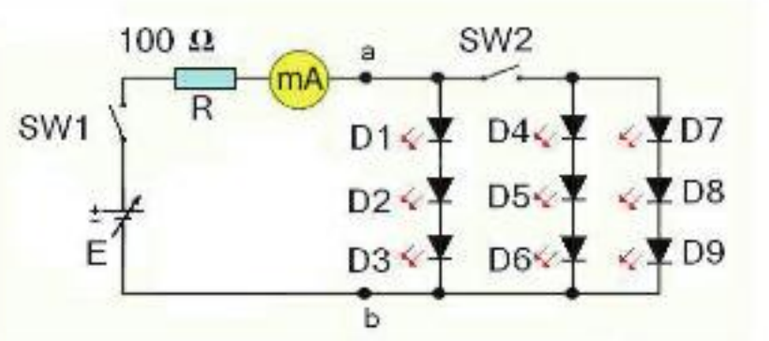
خطوات الأداء	نعم	لا	غير قابلة للتطبيق
التأكد من أن جميع التجهيزات المعدة للتدريب جاهزة وبحالة عمل حسب أدلة التشغيل.			
تنفيذ الدارة المبينة في الشكل (3-25).			
ضبط المنبع بحيث يكون E = 3V.			
إغلاق المفتاح SW1 وملاحظة عدم إضاءة الثنائيات.			
تغيير قيمة جهد المنبع بالتدريج نحو الأعلى حتى يصدر ضوء من الثنائيات.			
تسجيل قيمة التيار المار في الدارة.			
قياس الجهد على طرفي كل من الثنائيات D1- D2 - D3.			
حساب قيمة الجهد الهابط على المقاومة R.			
موازنة قيمة التيار المار وشدة الإضاءة التي حصلت عليها بعد إغلاق المفتاح SW2.			
تطبيق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.			

الاختبار العملي للتمرين

اسم الاختبار: بناء عدة دارات إلكترونية باستخدام ثنائيات الإصدار الضوئي LEDs

الأداء المطلوب في الاختبار:

1. بناء دارات إلكترونية باستخدام ثنائيات الإصدار الضوئيLEDs موصولة على التسلسل أو التفرع.
2. إجراء قياسات للتيار والجهد في كل دارة.
3. حساب هبوط الجهد على المقاومة الموصولة بين المنبع وبين الثنائيات.



المواد والأدوات والتجهيزات:

ثنائيات إصدار ضوئي LEDs، منبع جهد مستمر DC متغير، أفومتر، مقياس mA، مقاومة ***100 Ω***، كاوي اللحام ، قصدير، منبع تغذية كهربائية AC متغير، لوحات فيبر مثقبة.

الزمن اللازم لإنجاز التمرين: نصف ساعة

إرشادات للطالب

سيتم تقييم الأداء في ضوء المعايير الآتية:

1- تحديد أطراف الثنائيات حسب مواصفاتها الفنية.

2- ضبط أجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب أدلة التشغيل.

3- تحديد القطبية عند توصيل أجهزة القياس في الدارات الإلكترونية حسب جداول المكافئات.

4- تحديد جهود تغذية الدارة حسب مخطط الدارة.

5- قياس الجهود حسب مخطط الدارة.

6- قياس التيارات حسب مخطط الدارة.

بطاقـــة التمريـــن العملـــي

التمرين الثالث: رسم منحني الخواص لحساسية الثنائي الضوئي عند تغير الإضاءة **الزمن:(1) ساعة**

الأهداف الأدائية للتمرين

أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1-يبني دارة تستخدم مصباحاً كهربائياً وثنائي إصدار ضوئي.

2-يقيس قيمة التيار المار في الثنائي الضوئي.

المواد والأدوات والتجهيزات

وحدة تغذية جهد مستمر منخفض(0~15v)، مقياس ميلي أمبير mA، مقياس فولـــت إلكترونـــي، ثنائـــي ضوئي، (OAP 12) ، كاوي لحام ، قصدير، مصباح كهربائي (12V/1W) ، قاعدة مصباح كهربـــائي، مقاومة متغيرة $10K\Omega$، لوحة فيبر (10 × 15) سم.

معايير الأداء

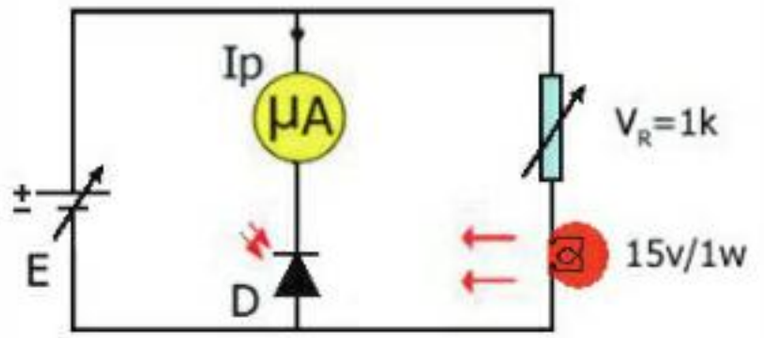
1- تحديد أطراف الثنائي حسب مواصفاته الفنية.

2- ضبط أجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب أدلة التشغيل.

3- وضع المصباح مقابلاً للثنائي حسب مخطط الدارة.

4- تحديد قيم التيار في كل مرة يتم فيها تغيير قيمة الجهد المطبق على المصباح بوســـاطة المقاومـــة المتغيرة وحسب مخطط الدارة.

5- تطبيق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.

رقم الخطوة	الخطوة والنقطة الحاكمة	الرسم التوضيحي
1	تأكد أن جميع التجهيزات المعدة للتدريب جاهزة وبحالة عمل حسب أدلة التشغيل.	
2	نفذ الدارة المبينة في الشكل (3-26):  الشكل (3-26)	
3	اضبط خرج وحدة التغذية المستمرة على الجهد 15V.	
4	اضبط المقاومة المتغيرة حتى يكون الجهد على المصباح أقل ما يمكن.	
5	صل مقياس الفولت إلى طرفي المصباح الكهربائي، ثم اضبط المقاومة المتغيرة حتى يأخذ التوتر V_L على طرفي المصباح القيم المبينة في الجدول المبين في الخطوة رقم /6/، وفي كل مرة سجل قيمة التيار المار في الثنائي.	
6	V_L (v) | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 If (μA) |	
7	ارسم العلاقة بين التيار المار في الثنائي الضوئي والجهد V_L حيث إن تغيرات الجهد V_L يجب أن تكون متوافقة مع تغيرات الإضاءة .	
	طبق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.	

التقييم الذاتي

تقييم دليل الأداء

تعليمات للمتدرب:

1- استخدم دليل تقييم الأداء كدليل إرشادي عند تنفيذك العمل.

2- كي تجتاز هذا التمرين بنجاح يجب تأشير جميع الخطوات الواردة بكلمة (نعم) ما عدا الخطوات التي لا يمكن تطبيقها.

3- إذا كانت هناك خطوة لا يمكن تطبيقها فنضع مقابلها إشارة(x).

خطوات الأداء	نعم	لا	غير قابلة للتطبيق
التأكد من أن جميع التجهيزات جاهزة ومعدّة للعمل حسب أدلة التشغيل.			
تنفيذ الدارة المبينة في الشكل (3-26).			
ضبط خرج وحدة التغذية المستمرة على الجهد 15V.			
ضبط المقاومة المتغيرة حتى يكون الجهد على المصباح أقل ما يمكن.			
وصل مقياس الفولت إلى طرفي المصباح الكهربائي.			
ضبط المقاومة المتغيرة حتى يأخذ التوتر V_L على طرفي المصباح القيم المبينة في الجدول المبين في الخطوة رقم /6/ .			
تسجيل قيمة التيار المار في الثنائي في كل مرة.			
رسم العلاقة بين التيار المار في الثنائي الضوئي والجهد V_L ، حيث إن تغيرات الجهد V_L يجب أن تكون متوافقة مع تغيرات الإضاءة.			
تطبيق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.			

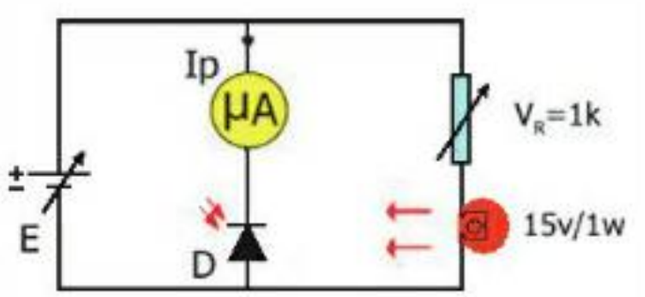
الاختبار العملي للتمرين

اسم الاختبار: رسم منحني الخواص لحساسية الثنائي الضوئي عند تغيير الإضاءة

الأداء المطلوب في الاختبار:

بناء دارة تستخدم مصباحاً كهربائياً

وثنائي إصدار ضوئي.



المواد والأدوات والتجهيزات:

وحدة تغذية جهد مستمر منخفض(0 ~15v) ، مقياس ميلي أمبير mA، مقياس فولت إلكتروني، ثنائي ضوئي، (OAP 12) ، كاوي لحام ، قصدير، مصباح كهربائي (12V/1W)، قاعدة مصباح كهربائي، مقاومة متغيرة $10K\Omega$، لوحة فيبر (10 × 15) سم.

الزمن اللازم لإنجاز التمرين: نصف ساعة

إرشادات للطالب

سيتم تقييم الأداء في ضوء المعايير الآتية:

1- تحديد أطراف الثنائي حسب مواصفاته الفنية.

2- ضبط أجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب أدلة التشغيل.

3- وضع المصباح مقابل الثنائي حسب مخطط الدارة.

4- تحديد قراءة قيم التيار في كل مرة يتم فيها تغيير قيمة الجهد المطبق على المصباح بوساطة المقاومة المتغيرة حسب مخطط الدارة.

بطاقـــة التمريـــن العملـــي

التمرين الرابع: بناء دارة بسيطة لمرسل ومستقبل الأشعة تحت الحمراء الزمن: (1) ساعة

الأهداف الأدائية للتمرين

أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1- يبني دارة إلكترونية تستخدم مرسلاً ومستقبل الأشعة تحت الحمراء مع مصباح بيان.

2- يقيس قيمة التيار المار في كل من الثنائيين المرسل والمستقبل للتأكد من عمل الدارة.

المواد والأدوات والتجهيزات

وحدة تغذية الجهد المستمر، مقياس ميلي أمبير mAعدد/2/، مقاومات،كاوي لحام ، قصدير، مفتاح SW ، ثنائي إصدار ضوئيLED ، ثنائي إصدار الأشعة تحت الحمراء TiL38، ثنائي ضوئي يستقبل الأشعة تحت الحمراء TiL100، لوحة فيبر.

معايير الأداء

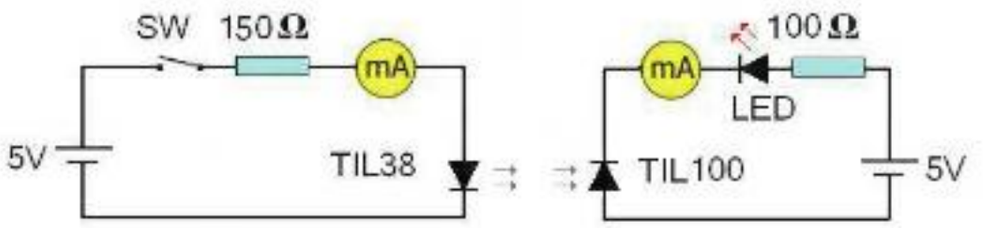
1- تحديد أطراف الثنائيات حسب المواصفات الفنية.

2- ضبط أجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب أدلة التشغيل.

3- وضع مرسل الأشعة تحت الحمراء مقابل مستقبل الأشعة تحت الحمراء حسب مخطط الدارة.

4- تحديد قيمة التيار في كل مرة من دارتي الدخل والخرج عند ضغط المفتاح SW حسب مخطط الدارة.

5- تطبيق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.

رقم الخطوة	الخطوة والنقطة الحاكمة	الرسم التوضيحي
1	تأكد أن جميع التجهيزات معدّة وجاهزة وبحالة عمل حسب أدلة التشغيل.	
2	نفذ الدارة المبينة في الشكل (3-27):  الشكل (3-27)	
3	اضبط جهد التغذية المستمر على 5V.	
4	اضغط المفتاح SW وسجل قياسات التيار في دارتي الدخل والخرج، مع ملاحظة إضاءة ثنائي الإصدار الضوئي LED كدليل على عمل الدارة.	
5	ضع حاجزاً بين الثنائي المرسل والثنائي المستقبل للأشعة تحت الحمراء. ماذا تلاحظ؟	
6	طبّق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.	

التقييم الذاتي

تقييم دليل الأداء

تعليمات للمتدرب:

1- استخدم دليل تقييم الأداء كدليل إرشادي عند تنفيذك العمل.

2- كي تجتاز هذا التمرين بنجاح، يجب تأشير جميع الخطوات الواردة بكلمة (نعم) ما عدا الخطوات التي لا يمكن تطبيقها.

3- إذا كانت هناك خطوة لا يمكن تطبيقها فنضع مقابلها إشارة (x).

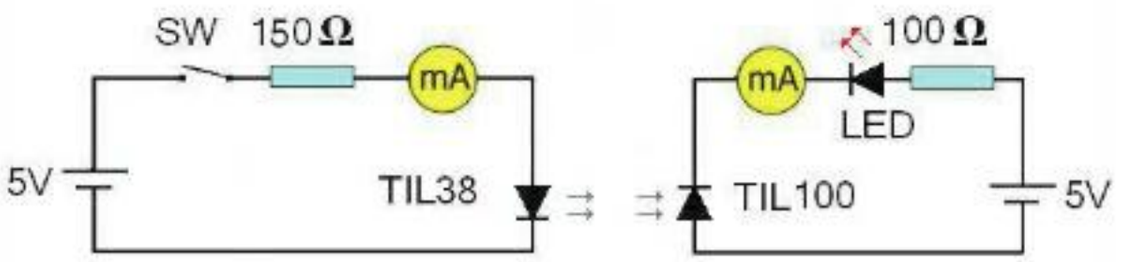
خطوات الأداء	نعم	لا	غير قابل للتطبيق
التأكد من أن جميع التجهيزات معدّة للتدريب وبحالة عمل حسب أدلة التشغيل.			
تنفيذ الدارة المبينة في الشكل (3-27).			
ضبط جهد التغذية المستمر على 5V .			
ضغط المفتاح SW وإضاءة ثنائي الإصدار الضوئي LED .			
تسجيل قياسات التيار في دارتي الدخل والخرج.			
تطبيق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.			

الاختبار العملي للتمرين

اسم الاختبار: دارة بسيطة لمرسل ومستقبل الأشعة تحت الحمراء مع مصباح بيان

الأداء المطلوب في الاختبار:

بناء دارة إلكترونية تستخدم مرسلاً ومستقبل أشعة تحت الحمراء مع مصباح بيان، ومقياسي ميلي أمبير للتأكد من عمل الدارة.



المواد والأدوات والتجهيزات:

وحدة تغذية الجهد المستمر ، مقياس ميلي أمبير mA عدد /2/ ، مقاومات ، كاوي لحام ، قصدير، مفتاح SW ،ثنائي إصدار ضوئيLED ، ثنائي إصدار الأشعة تحت الحمراء TiL38، ثنائي ضوئي يستقبل الأشعة تحت الحمراء TiL100، لوحة فيبر.

الزمن اللازم لإنجاز التمرين: نصف ساعة

إرشادات للطالب

سيتم تقييم الأداء في ضوء المعايير الآتية:

1- تحديد أطراف الثنائيات حسب المواصفات الفنية.

2- ضبط أجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب أدلة التشغيل.

3- وضع مرسل الأشعة تحت الحمراء مقابلاً لمستقبل الأشعة تحت الحمراء حسب مخطط الدارة.

4- تحديد قيمة التيار في كل مرة من دارتي الدخل والخرج، عند ضغط المفتاح SW حسب مخطط الدارة.

بطاقــة التمريــن العملــي

التمرين الخامس:

تعرُّف منحني الخواص للثنائي السعوي في الاتجاه العكسي وقياس مقاومة الثنائي **الزمن:(1) ساعة**

الأهداف الأدائية للتمرين

أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1- يبني دارة إلكترونية تحوي ثنائياً سعوياً وتوصيله في الاتجاه العكسي.

2- يقيس الجهود والتيارات.

3- يرسم منحني الخواص

المواد والأدوات والتجهيزات

مقياس ميلي أمبير، مقياس آفومتر، وحدة تغذية كمون مستمر، مقاومة كربونيــة (100Ω/1W)، ثنائــي BY127 أو 1N4001 ، وكاوي لحام ، قصدير، لوحة مخبرية أو لوحة فيبر.

معايير الأداء

1- تحديد أطراف الثنائي حسب مواصفاته الفنية.

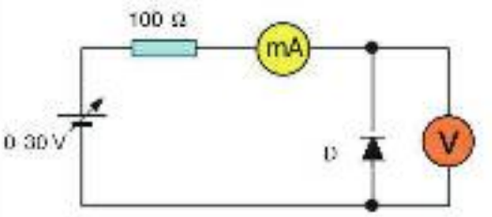
2- ضبط أجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب أدلة التشغيل.

3- تحديد القطبية عند توصيل أجهزة القياس في الدارات الإلكترونية حسب جداول المكافئات.

3- قياس قيمة الجهد على طرفي الثنائي لكل قيمة من قيم الجهد المستمر المطبق العكسي V_R حسب مخطط الدارة.

4- قياس قيمة التيار العكسي المار في الثنائي I_R عند كل قيمة من قيم الجهد المستمر المطبق حسب مخطط الدارة.

5- تطبيق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.

رقم الخطوة	الخطوة والنقطة الحاكمة	الرسم التوضيحي
1	تأكد أن جميع التجهيزات معدّة للتدريب وجاهزة حسب أدلة التشغيل.	
2	نفذ الدارة المبينة في الشكل (3-28):  الشكل (3-28)	
3	اضبط وحدة التغذية على كمون خرج 0.5 v.	
4	حدد قيمة التيار بوساطة مقياس التيار.	
5	أعد الخطوتين السابقتين من أجل الكمونات المذكورة في الجدول المبين في الخطوة رقم /9/، وفي كل مرة سجل قيمة التيار المار في الثنائي.	
6	ارسم منحني الخواص للثنائي في الاتجاه العكسي.	
7	احسب قيمة المقاومة الداخلية للثنائي عند الكمون (8 v) حسب العلاقة: $R_R = \frac{V_R}{I_R}$	
8	طبق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.	
9		

$V_R(V)$	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$I_R(mA)$														

التقييم الذاتي

تقييم دليل الأداء

تعليمات للمتدرب:

1- استخدم دليل تقييم الأداء كدليل إرشادي عند تنفيذك العمل.

2- كي تجتاز هذا التمرين بنجاح يجب تأشير جميع الخطوات الواردة بكلمة (نعم) ما عدا الخطوات التي لا يمكن تطبيقها.

3- إذا كانت هناك خطوة لا يمكن تطبيقها فنضع مقابلها إشارة (x).

خطوات الأداء	نعم	لا	غير قابل للتطبيق
التأكد أن جميع التجهيزات معدّة وجاهزة و بحالة عمل حسب أدلة التشغيل.			
تنفيذ الدارة المبينة في الشكل (3-28).			
ضبط وحدة التغذية على كمون خرج 0.5 v.			
تحديد قيمة التيار بوساطة مقياس التيار.			
إعادة الخطوتين السابقتين من أجل الكمونات المذكورة في الجدول المبين أدناه، وفي كل مرة سجل قيمة التيار المار في الثنائي.			
رسم منحني الخواص للثنائي في الاتجاه العكسي.			
حساب قيمة المقاومة الداخلية للثنائي عند الكمون (8 v) حسب العلاقة: $R_R = \frac{V_R}{I_R}$			
تطبيق إجراءات السلامة المهنية حسب تعليمات مكان العمل.			

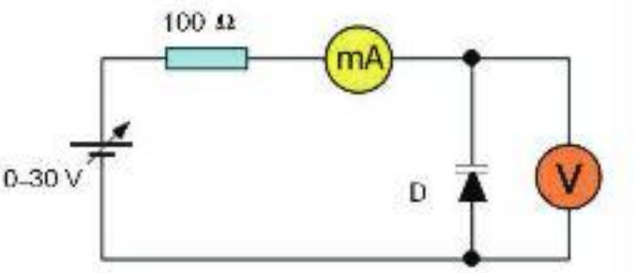
$V_R(V)$	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$I_R(mA)$														

الاختبار العملي للتمرين

اسم الاختبار: تعرُّف منحني الخواص للثنائي السعوي في الاتجاه العكسي وقياس مقاومة الثنائي

الأداء المطلوب في الاختبار:

بناء دارة إلكترونية تحوي ثنائياً سعوياً وتوصيله في الاتجاه العكسي، وقياس الجهود والتيارات، ورسم منحني الخواص.



المواد والأدوات والتجهيزات:

مقياس ميلي أمبير، مقياس آفومتر، وحدة تغذية كمون مستمر، مقاومة كربونية (100Ω/1W)، ثنائي BY127 أو 1N4001 ، كاوي لحام ، قصدير، لوحة مخبرية أو لوحة فيبر.

الزمن اللازم لإنجاز التمرين: نصف ساعة

إرشادات للطالب

سيتم تقييم الأداء في ضوء المعايير الآتية:

1- تحديد أطراف الثنائي حسب مواصفاته الفنية.

2- ضبط أجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب أدلة التشغيل.

3- تحديد القطبية عند توصيل أجهزة القياس في الدارات الإلكترونية حسب جداول المكافئات.

4- قياس قيمة الجهد على طرفي الثنائي لكل قيمة من قيم الجهد المستمر المطبق العكسي V_R حسب مخطط الدارة.

5- قياس قيمة التيار العكسي المار في الثنائي I_R عند كل قيمة من قيم الجهد المستمر المطبق حسب مخطط الدارة.

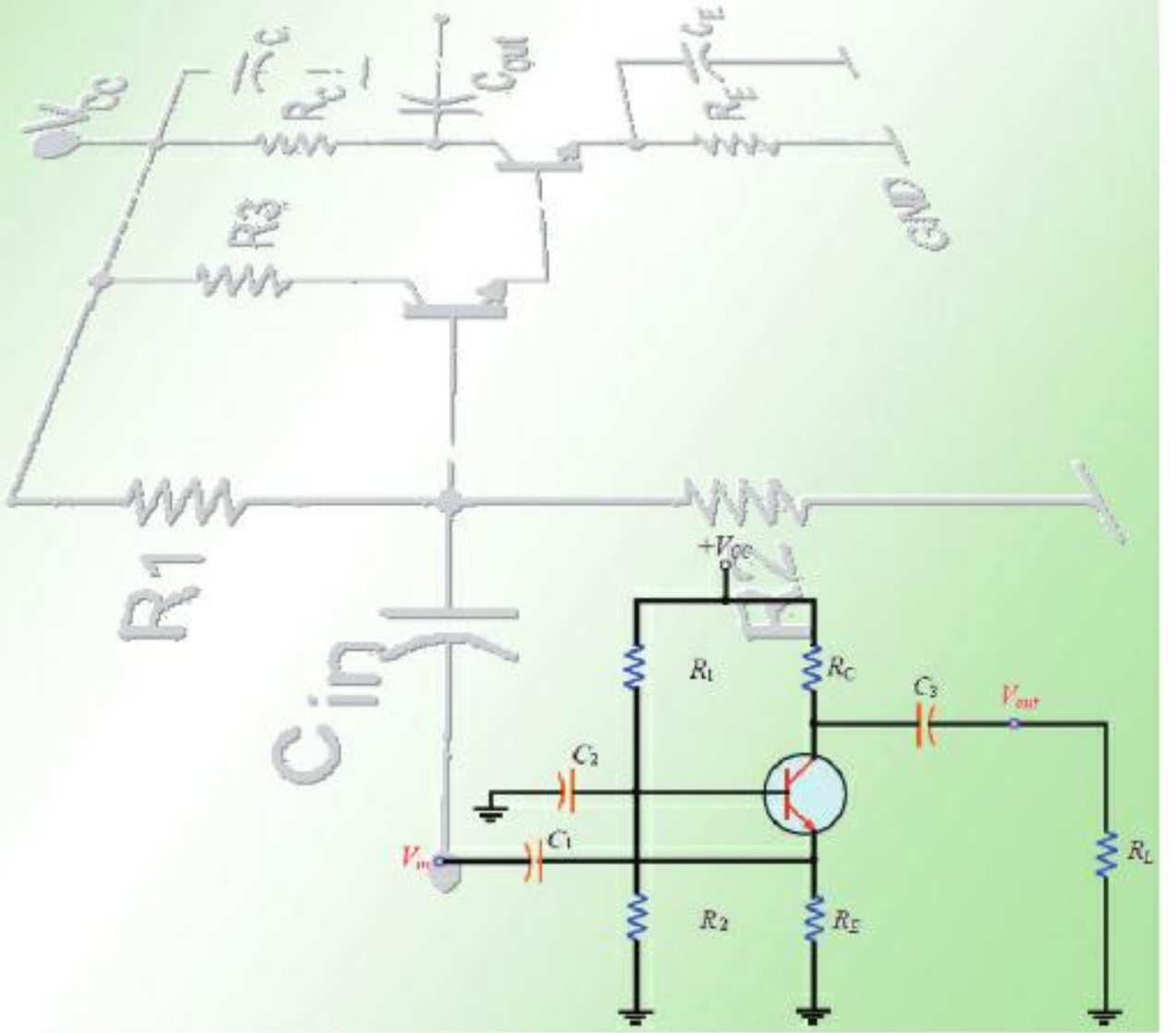
الوحدة الرابعة

M-07-1

بناء الدارات الإلكترونية باستخدام

الترانزستورات ثنائية القطبية

(BJT)



قائمة محتويات الوحدة

المحتوى	الصفحة
مبادئ أولية	139
تركيب الترانزستور ثنائي القطبية	140
العمل الأساسي للترانزستور	141
معاملات وخواص الترانزستور	147
تطبيقات الترانزستور	163
الترانزستور ثنائي القطبية كمكبر	163
دارات الترانزستور الأساسية	173
نقطة العمل في حالة التيار المستمر	173
انحياز القاعدة	176
انحياز الباعث	179
تأمين الانحياز عن طريق مجزئ الجهد	182
توصيلات الترانزستور	190
فحص الترانزستور وتحديد صلاحيته	203
تقييم المعلومات النظرية	206
بطاقة التمرين العملي / فحص الترانزستورات	213
الاختبار العملي للتمرين /فحص الترانزستورات	216
بطاقة التمرين العملي / دراسة العلاقة بين تيار المجمع وتيار القاعدة	217
الاختبار العملي للتمرين/ دراسة العلاقة بين تيار المجمع وتيار القاعدة	220
بطاقة التمرين العملي/ دراسة خصائص دخل الترانزستور لتوصيلة الباعث المشترك	222
الاختبار العملي للتمرين/ دراسة خصائص دخل الترانزستور لتوصيلة الباعث المشترك	225

قائمة محتويات الوحدة

المحتوى	الصفحة
بطاقة التمرين العملي/دراسة خصائص دخل الترانزستور لتوصيلة القاعدة المشتركة	227
الاختبار العملي للتمرين/دراسة خصائص دخل الترانزستور لتوصيلة القاعدة المشتركة	230
بطاقة التمرين العملي /دراسة خصائص خرج الترانزستور لتوصيلة الباعث المشترك	232
الاختبار العملي للتمرين/دراسة خصائص خرج الترانزستور لتوصيلة الباعث المشترك	235
بطاقة التمرين العملي/ بناء دارة تكبير باعث مشترك	237
الاختبار العملي للتمرين/ بناء دارة تكبير باعث مشترك	240
قائمة المصطلحات للكتاب	242
قائمة المراجع للكتاب	252

مقدمة

لو فتحت أحد الأجهزة الإلكترونية، أو ذهبت إلى إحدى ورشات الصيانة، لرأيت العديد من الترانزستورات مختلفة الحجوم والأشكال، والتي تشكل جزءاً مهماً من مكونات هذه الأجهزة. وقد تتساءل، ما هذا الترانزستور الذي أحدث كل هذا التطور في الأجهزة الإلكترونية؟ وما تركيبه؟

سنتعرف في هذه الوحدة على بنية الترانزستور ثنائي القطبية، أنواع الترانزستورات، العمل الأساسي للترانزستور، مبدأ العمل للترانزستور، معاملات وخواص الترانزستور، مناطق تشغيل الترانزستور، الترانزستور ثنائي القطبية كمكبر، الترانزستور ثنائي القطبية كمفتاح، نقطة العمل في حالة التيار المستمر، انحياز القاعدة، انحياز الباعث، تأمين الانحياز عن طريق مجزئ الجهد، طرق توصيل الترانزستور في الدارات الإلكترونية، جداول مكافئات الترانزستور: أهميتها ومحتواها.

يجب بعد الانتهاء من هذه الوحدة أن تكون قادراً على أن:

1. تحدد أنواع وأشكال الترانزستورات، وكذلك مدلولات العلامات والأرقام والحروف الموجودة على جسم كل منها.
2. تستخدم كتيب مكافئات الترانزستور، وتعرف المحددات المختلفة للترانزستورات والبدائل المكافئة لها.
3. تفحص الترانزستورات وتحدد أطرافها ومدى صلاحيتها.
4. تبني دارة تكبير باعث مشترك وتحسب عوامل تكبير التيار والجهد.
5. تبني دارة تكبير قاعدة مشتركة وتحسب عوامل تكبير التيار والجهد.
6. تبني دارة تكبير مجمع مشترك وتحسب عوامل تكبير التيار والجهد.

1-4 مبادئ أولية

يعدّ الترانزستور الأساس في تطوير الإلكترونيات، والذي بدأ في النصف الثاني من القرن الماضي، إذ اكتشف العالمان الأمريكيان باردين وبراتن عام (1948م) أنه لو تم وصل ثنائي في حالة انحياز عكسي مع ثنائي في حالة انحياز أمامي، على أن تكون الجهتان المتصلتان من النوع (p أو n) نفسه لأمكن التحكم في تيار الانحياز العكسي بوساطة تيار الانحياز الأمامي، ولأمكن الحصول على ربح في التيار. وأطلق العالمان على هذا الثلاثي الجديد اسم مقاوم الانتقال (Transfer Resistor)، والذي اختصر إلى ترانزستور (Transistor).

الكلمة Transistor هي اختصار لـ Transfer Resistor أي مقاوم الانتقال.

كما يعدّ الترانزستور أحد أهم عناصر أنصاف النواقل التي تمّ اكتشافها في العصر الحديث، حيث يستخدم بشكل عام في مكبرات الإشارات الكهربائية والمفاتيح الإلكترونية المختلفة، وقد ساعدت عدة عوامل مثل صغر حجمه، وسهولة تصنيعه، وقلة تكاليفه واستهلاكه القليل للطاقة الكهربائية على انتشاره بشكل كبير. وليست الدارات المتكاملة (Integrated Circuits (ICs)) والتي حلّت بصورة كبيرة محل الترانزستورات المفردة (discrete elements) إلا مصفوفة من الترانزستورات وغيرها من العناصر مبنية باستخدام شريحة وحيدة (single chip) من المادة نصف الناقلة.

إن الفهم الجيد للترانزستورات يعدّ أمراً هاماً، حتى لو كانت معظم دارتك مشكّلة بالدارات المتكاملة ICs. لأنك بحاجة إلى فهم خواص الدخل والخرج للدارة المتكاملة بهدف وصلها إلى بقيّة أجزاء الدارة وبالعالم الخارجي. كما يعدّ الترانزستور أقوى العناصر المستخدمة لتحقيق التوافقية (interfacing) بين الدارات . وهناك حالات عديدة لا تتواجد فيها الدارة المتكاملة المناسبة، ولابد عندها من اللجوء إلى الدارات المشكّلة بوساطة الترانزستورات المفردة، وكما سنرى لاحقاً فإن للترانزستورات جواً خاصاً من الإثارة، وتعلّم كيفية عملها يعدّ أمراً ممتعاً حقاً.

نوعا الترانزستورات:
Bipolar Junction Transistors
&
Field Effect Transistors

يوجد نوعان رئيسيان من الترانزستورات هما: الترانزستورات ثنائية القطبية Bipolar Juntion Transistors وترانزستورات تأثير المجال Field Effect Transistors.

4-1-1 تركيب الترانزستور ثنائي القطبية

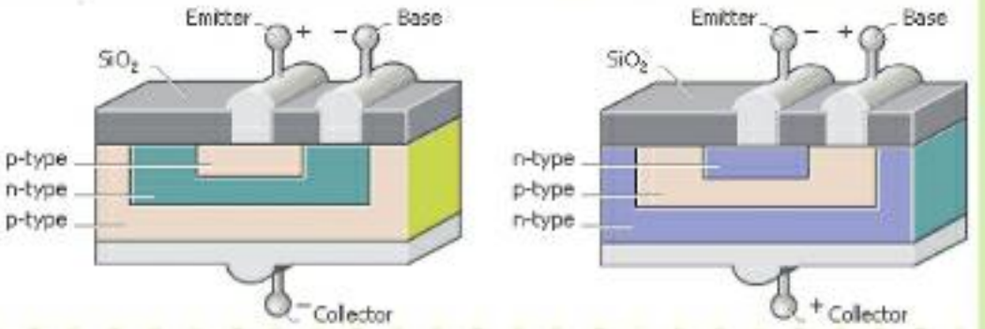
The Structure of a Bipolar Transistor

للترانزستور ثنائي القطبية ثلاثة أطراف: الباعث والقاعدة والمجمع E, B & C.

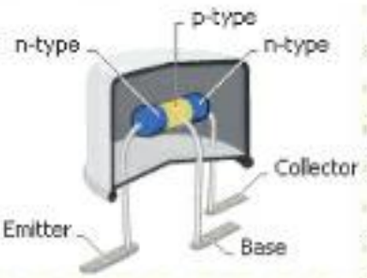
يُصنّع الترانزستور بوضع طبقة رقيقة مصنوعة من نصف ناقل مشوب بين طبقتين سميكتين نسبياً مصنوعتين من أنصاف نواقل متعاكسة في الإشابة مع الطبقة الرقيقة، وبذلك تتشكل وصلتان من النوع p-n.

المنطقة المركزية لتكوين الترانزستور ثنائي القطبية (ذي الوصلة) تكون ذات إشابة خفيفة إضافة إلى كونها رقيقة من الناحية الفيزيائية وتدعى القاعدة (Base) ويرمز لها بالرمز (B)، أما الطرفيتان فتسمى إحداهما الباعث (Emitter) ويرمز لها بالرمز (E)، والأخرى المجمع (Collector) ويرمز لها بالرمز (C)، ويوجد نوعان من الترانزستور ثنائي القطبية هما: npn و pnp كما هو مبين في الشكل (4-1). تتميز منطقة الباعث بنسبة تركيز عالية للشوائب وأعلى بكثير من منطقة المجمع.

نوعا الترانزستور ثنائي القطبية: npn & pnp



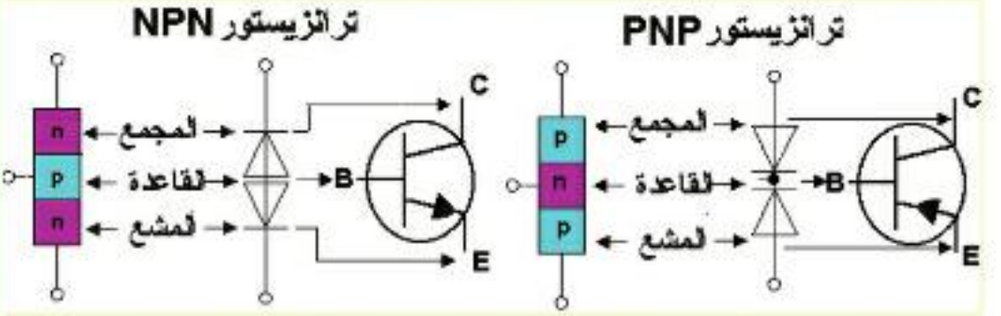
الشكل (4-1) تركيب الترانزستور ثنائي القطبية



الشكل (4-2) مقطع من غلاف الترانزستور

يكون حجم الترانزستور صغيراً جداً، ويوضع داخل غلاف أو حافظة من البلاستيك أو المعدن محكمة الإغلاق حتى لا يتعرض للرطوبة والعوامل الجوية الأخرى كما هو مبين في الشكل (4-2)، وكذلك يجب أخذ الاحتياطات اللازمة للتخلص من الحرارة الزائدة التي تنتج أثناء التشغيل.

كما يمكن اعتبار الترانزستور ثنائي القطبية مكوّناً من ثنائيين على أن تكون الجهتان المتصلتان من النوع نفسه إما (p)أو(n) ،كما هو مبين في الشكل (4-3)، والذي يبين أيضاً الرموز الكهربائية للترانزستور ثنائي القطبية، حيث يُميّز ترانزستور (PNP) عن ترانزستور (NPN) باتجاه السهم، إذ يتجه السهم في النوع الأول من الباعث إلى القاعدة، بينما يتجه في النوع الثاني من القاعدة إلى الباعث.



الشكل (4-3): تمثيل الترانزستور ثنائي القطبية وأنواعه ورموزه الكهربائية

يميّز الرمز الكهربائي لترانزستور PNP عن نظيره NPN باتجاه السهم.

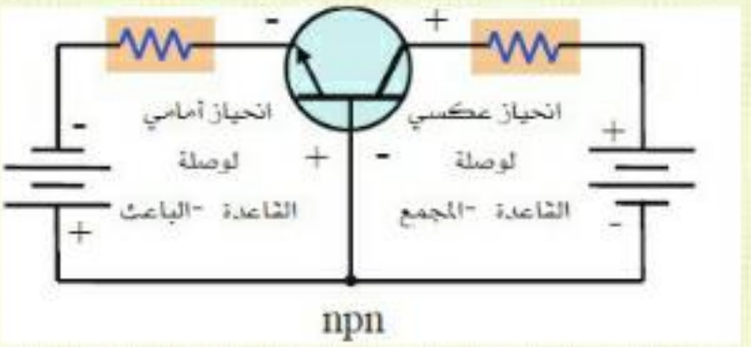
يتواجد الترانزستور ثنائي القطبية في أشكال مختلفة، حيث يبين الشكل (4-4) بعضاً من هذه الأشكال:

الشكل (4-4): أشكال الترانزستور (BJT)

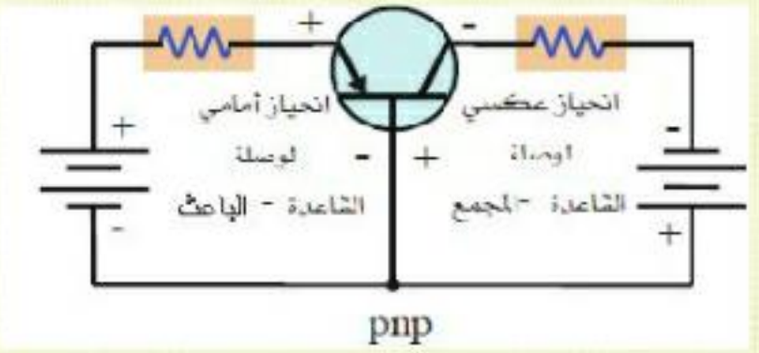
4-1-2 العمل الأساسي للترانزستور

The Basic Transistor Operation

يعمل الترانزستور ثنائي القطبية بشكل أساسي كمكبر، ولجعله يعمل بشكل مناسب لابد من تأمين الانحياز المناسب لكل من وصلتيه بجهد مستمر خارجي، كما هو مبين بالشكل (4-5).



(أ)



(ب)

الشكل (4-5) انحياز الترانزستور ثنائي القطبية

نستنتج من الشكل أن وصلة القاعدة – الباعث يجب أن تكون دائماً منحازة أمامياً، بينما وصلة القاعدة – المجمع منحازة عكسياً وذلك بالنسبة لكل من نوعي الترانزستور في وضع التشغيل كمكبر.

مبدأ العمل:

لتوضيح نظرية عمل الترانزستور، لابد أولاً من استعراض ما يحدث داخله عند توصيله العمل كمكبر.

يأخذ الترانزستور من النوع npn يمكن تلخيص العمل الأساسي له في النقاط الآتية:

كي يعمل الترانزستور كمكبر يجب أن تكون وصلة القاعدة-الباعث منحازة أمامياً ووصلة القاعدة-المجمع منحازة عكسياً.

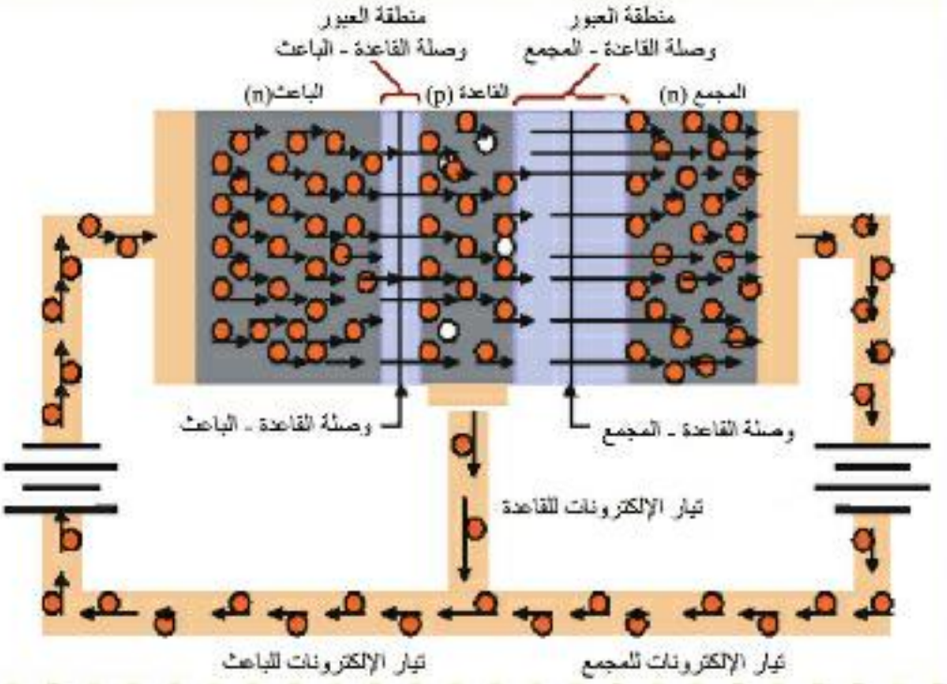
- الانحياز الأمامي لوصلة القاعدة الباعث يجعل منطقة العبور بينهما ضيقة، والانحياز العكسي لوصلة القاعدة-المجمع يؤدي إلى اتساع منطقة العبور بينهما، كما درسنا في الوحدات السابقة، وكما هو موضح في الشكل (4-6).

- الإشابة العالية لمنطقة الباعث من النوع n تؤدي إلى زيادة كبيرة في عدد إلكترونات التوصيل (أو النقل) والتي تشكل الحوامل الأكثرية. يجعل الانحياز الأمامي هذه الحوامل منتشرة من الباعث إلى القاعدة مشكّلة تيار الباعث (I_E)، وما أن تصل إلكترونات الباعث المحفونة إلى القاعدة حتى تصبح حوامل شحنة أقلية بسبب أن القاعدة من النوع p.

- الإشابة الخفيفة لمنطقة القاعدة إضافة إلى كونها رقيقة، تجعل عدد الثقوب فيها محدوداً جداً، ولهذا فإن نسبة صغيرة من الإلكترونات المندفعة من الباعث عبر وصلة القاعدة-الباعث تتحد مع الثقوب المتاحة في القاعدة وتشكل روابط مشتركة (Covalent bonds)، في غضون ذلك إلكترونات التكافؤ (Valence electrons) الموجودة في منطقة القاعدة بالقرب من الدارة الخارجية تكسر أحزمتها وتترك القاعدة مكملة مسارها الخارجي ومشكلة تيار القاعدة (I_B).

- معظم الإلكترونات المندفعة من الباعث إلى منطقة القاعدة الضيقة والتي هي خفيفة الإشابة أيضاً لا تتحد مع ثقوب القاعدة ولكنها تنجذب تحت تأثير الكمون الخارجي الموجب المطبق على المجمع وتعبر وصلة القاعدة – المجمع لتخرج من خلال نهاية المجمع مشكلة تيار المجمع (I_C).

- باختصار: تنتشر إلكترونات الباعث المحقونة (I_E) إلى القاعدة، حيث الجزء الأكبر منها يُجمَّع بوساطة المجمع ليشكل التيار (I_C)، وما تبقى منها يتحد مع ثقوب القاعدة مولداً عدداً مكافئاً من الإلكترونات والتي بدورها تترك طرف القاعدة مشكّلة تيار القاعدة (I_B).



الشكل (4-6) يمثل كيفية عمل الترانزستور ثنائي القطبية

بتطبيق قانون كيرشوف للتيارات على الدارة نجد أن تيار الباعث I_E يساوي مجموع تياري القاعدة I_B والمجمع I_C، أي:

$$I_E = I_C + I_B \qquad (1\text{-}1)$$

ويجب الأخذ بعين الاعتبار أن تيار القاعدة أقل بكثير من تيار المجمع وتيار الباعث كما ذكر من قبل.

المعامل المستخدم لربط نسبة تيار المجمع إلى تيار الباعث المولّد له يدعى بـ (α_{dc})، أي:

$$\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E} \qquad (2\text{-}1)$$

هذه المعادلة صحيحة فقط إذا أهملنا قيمة التيار العكسي المار خلال وصلة القاعدة-المجمع.

القيم النموذجية لـ (α_{dc}) تتراوح بين (0.9) و (0.99). بما أن (α_{dc}) هي نسبة **حوامل** تيار الباعث التي تصل فعلاً إلى المجمع إلى حوامل تيار الباعث الكلية **فإنها يمكن** أن تقترب من الواحد ولا تتجاوزه.

لزيادة قيمة (α_{dc}) يجب زيادة حقن الباعث وإنقاص إعادة الاتحاد في القاعدة. لزيادة حقن الباعث **يُشاب هذا الباعث بشكل كبير**، ولإنقاص إعادة الاتحاد **تُجعل** القاعدة **رقيقة قدر الإمكان وإشابتها خفيفة**.

يمكن تحليل الترانزستور (PNP) من وجهة نظر مختلفة عن الأولى، حيث تكون القاعدة في هذا الترانزستور مشكّلة مادة من النوع (N). تكون قطبيات الجهود لهذا الترانزستور معاكسة لما هو مطبّق في الترانزستور (NPN) السابق، وذلك **كي يبقى** شرط الانحياز (والذي هو: **وصلة** قاعدة باعث منحازة أمامياً **ووصلة** القاعدة ـ المجمع منحازة عكسياً) ساري المفعول.

باستثناء هذا التغير في القطبية والنتيجة العكسية لاتجاهات كل التيارات، فإنه لا يوجد اختلاف في سلوك الدارة الخارجية، وتبقى المعادلتان (1-1) و (1-2) صحيحتين.

ماذا يحدث في هذه الحالة فيزيائياً؟

بعض الإلكترونات تترك القطب السالب لمنبع التغذية المستمرة لدارة الدخل وتتجه **إلى القاعدة، يُنتج تدفق هذه الإلكترونات التيار (I_B)**. حالما يدخل إلكترون إلى القاعدة **فإنها تكتسب شحنة سالبة إضافية. نتيجة لذلك تُحقن ثقوب** من الباعث إلى القاعدة مشكّلة التيار (I_E)، وذلك لمحاولة تحييد (Neutralize) الشحنة السالبة الزائدة. أكثرية **الثقوب** المحقونة (والتي **تساوي إلى** $\alpha_{dc}I_E$) تنتقل عبر القاعدة إلى المجمع. **الاحتمال** في أن ينجح ثقب **بشكل فعلي** بتحييد الشحنة السالبة الزائدة يكون ضعيفاً نسبياً، فلو أنه مثلاً كانت ($\alpha_{dc} = 0.9$) فإن (90%) من كل **ثقوب** الباعث المحقونة تصل إلى المجمع، و(10%) **منها تتحد** في القاعدة، بكلمات أخرى لتحييد كل إلكترون يدخل القاعدة، فإن عشرة ثقوب تُحقن من قبل الباعث، تسعة منها تصل إلى المجمع (90%) وواحد يتحد في القاعدة (10%). **لذلك نقول كل شحنة** واحدة **تدخل القاعدة** ينتج عنها تسع واحدات من **الشحنة تترك المجمع، وهذا هو ما نسميه بالتكبير** (Amplification).

عندما ($\alpha_{dc} = 0.9$) ولتحييد كل إلكترون يدخل القاعدة، فإن عشرة ثقوب تُحقن من قبل الباعث، تسعة منها تصل إلى المجمع وواحد يتحد في القاعدة. لذلك نقول كل شحنة واحدة تدخل القاعدة ينتج عنها تسع واحدات من الشحنة تترك المجمع، وهذا هو ما نسميه بالتكبير.

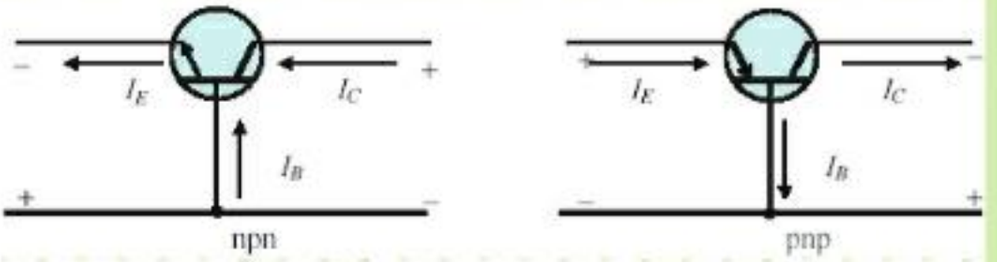
كما حددنا (α_{dc}) بأنها نسبة تيار المجمع إلى تيار الباعث، يمكن أيضاً تحديد نسبة تيار المجمع **إلى** تيار القاعدة بـ (h_{FE})، هذه تدعى بنسبة التيار الأمامي التحويلية المستمرة **لتشكيلة** باعث **مشترك**، أيضاً تدعى ببيتا المستمرة (β_{dc}) والتي هي (ربح الترانزستور في حالة التيار المستمر) والعلاقة الرياضية التي تحددها هي:

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B} \qquad (3\text{-}1)$$

يبين الشكل (4-7) اتجاه تيارات الترانزستور من النوع npn وكذلك pnp، حيث يتبع اتجاه تيار الباعث مسار السهم نفسه الموجود على الرمز الخاص بالترانزستور.

بتطبيق قانون كيرشوف نستنتج العلاقة بين تيارات الترانزستور:

$$I_E = I_C + I_B$$



الشكل (4-7): تيارات الترانزستور

4-1-3 معاملات وخواص الترانزستور

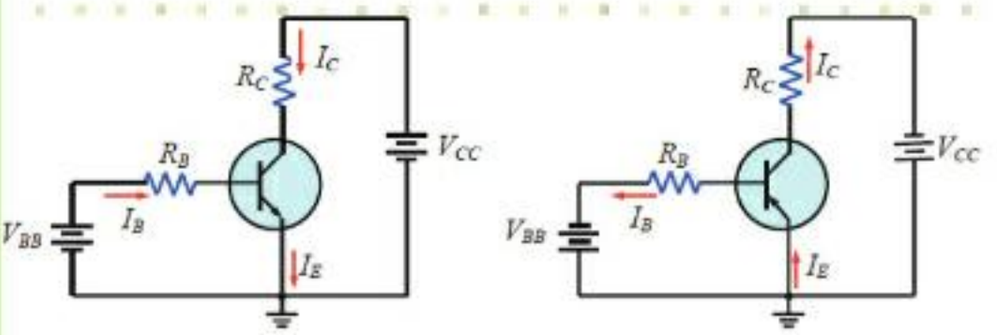
Transistor characteristics and Parameters

سندرس التغذية المستمرة للترانزستور بطريقة مناسبة، وكذلك علاقة المعامل β_{dc} بالمعامل α_{dc} واستخدامهما في تحليل دارة الترانزستور، وسندرس أيضاً منحنيات الخواص للترانزستور واستخداماتها في التعريف بمناطق التشغيل المختلفة للترانزستور.

أ- دارات انحياز الترانزستور

Transistor DC Bias Circuits

عندما يوصل الترانزستور إلى دارة تيار مستمر فإن الجهد V_{BB} يمثّل جهد الانحياز الأمامي لوصل القاعدة-الباعث، والجهد V_{CC} يمثّل جهد الانحياز العكسي لوصلة القاعدة-المجمع كما هو مبين في الشكل (4-8) لكل من نوعي الترانزستور.



الشكل (4-8) دارات انحياز الترانزستور

ب- علاقة المعامل β_{dc} بالمعامل α_{dc}

The Relationship of β_{dc} and α_{dc}

$$I_E = I_C + I_B$$

العلاقة (1-1)

كما ذكرنا سابقاً، يعرف المعامل β_{dc} على أنه النسبة بين تيار المجمع المستمر I_C وتيار القاعدة المستمر I_B والذي يطلق عليه ربح الترانزستور في حالة التيار المستمر.

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

العلاقة (2-1)

وكذلك يعرف المعامل α_{dc} على أنه النسبة بين تيار المجمع المستمر I_C وتيار الباعث المستمر I_E.

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

العلاقة (3-1)

العلاقة بين المعاملين يمكن استنتاجها كما يلي:

بقسمة طرفي المعادلة (1-1) على I_C تصبح:

$$\frac{I_E}{I_C} = 1 + \frac{I_B}{I_C} \qquad (4\text{-}1)$$

من المعادلات (1-2) و (1-3) و (1-4) نحصل على علاقة تربط بين كل من β_{dc} و α_{dc} كما يلي:

$$\beta_{dc} = \frac{\alpha_{dc}}{1 - \alpha_{dc}} \qquad (5\text{-}1)$$

مثال (1-1):

أوجد قيمة كل من I_C و I_B لترانزستور، إذا علمت أن:

$\alpha_{dc} = 0.95$ و $I_E = 1\ \text{mA}$.

الحل:

باستخدام المعادلة (1-2) نجد:

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

$$I_C = 0.95 \times 10^{-3} = 0.95 mA$$

باستخدام المعادلة (1-1) نجد:

$$I_B = I_E - I_C$$

$$I_B = (1 - 0.95) \times 10^{-3} = 0.05 mA = 50\,\mu A$$

مثال (1-2):

أوجد قيمة كل من I_C و α_{dc} و I_E لترانزستور، إذا علمت أن:

$I_B = 40\mu A$ و $\beta_{dc} = 100$.

الحل:

باستخدام المعادلة (1-3) نجد: $I_C = \beta_{dc} I_B$

$$I_C = 100(40\times10^{-6}) = 4mA$$

باستخدام المعادلة (1-5) نجد:

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

باستخدام المعادلة (1-1) نجد: $I_E = I_C + I_B$

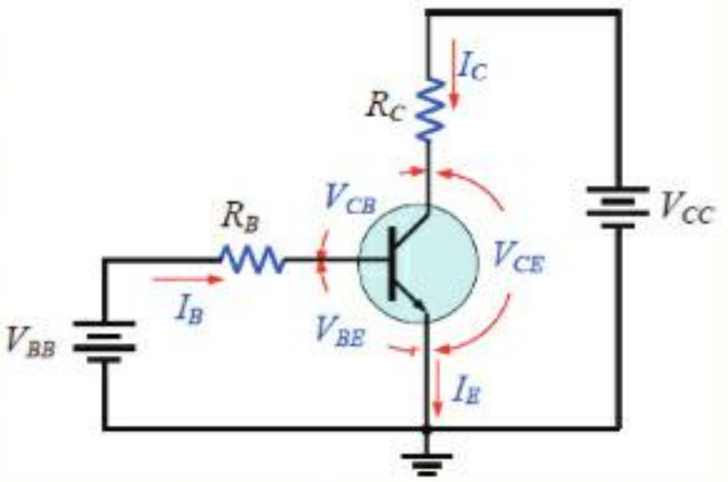
$$I_E = (40\times10^{-6}) + (4\times10^{-3}) = 4.04mA$$

ج- تحليل الجهد والتيار

Current and Voltage Analysis

لتحليل الجهد والتيار نأخذ الدارة الأساسية للترانزستور، والتي يوصل فيها طرف الباعث بالأرضي ويكون هذا الطرف مشتركاً بين الدخل والخرج كما هو مبين في الشكل (4-9)، حيث يوجد ثلاثة تيارات وثلاثة جهود وهي:

- I_B: تيار القاعدة المستمر.
- I_E: تيار الباعث المستمر.
- I_C: تيار المجمع المستمر.
- V_{BE}: الجهد المستمر بين القاعدة والباعث.
- V_{CB}: الجهد المستمر بين المجمع والقاعدة.
- V_{CE}: الجهد المستمر بين المجمع والباعث.



الشكل (4-9) يوضح جهود وتيارات الترانزستور

الانحياز الأمامي لوصلة القاعدة–الباعث يتم عن طريق الجهد V_{BB} والانحياز العكسي لوصلة القاعدة–المجمع يتم عن طريق الجهد V_{CC}، وعندما تكون وصلة القاعدة–الباعث في حالة انحياز أمامي فإنها تعمل كثنائي في حالة الانحياز الأمامي وبذلك يكون الجهد بين القاعدة والباعث مساوياً للجهد الحاجز (Barrier Potential):

$$V_{BE} = 0.7V \qquad (6\text{-}1)$$

وحيث أن جهد الباعث يساوي صفراً لأنه متصل بالأرضي وبتطبيق قانون كيرشوف على دارة الدخل نجد أن الجهد الهابط على المقاومة R_B يساوي:

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

وبالتالي يكون تيار القاعدة I_B:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \qquad (7\text{-}1)$$

يعطى الجهد الهابط على المقاومة R_C بالعلاقة: $V_{Rc} = I_C R_C$

وبالتالي يكون الجهد بين المجمع والباعث:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \qquad (8\text{-}1)$$

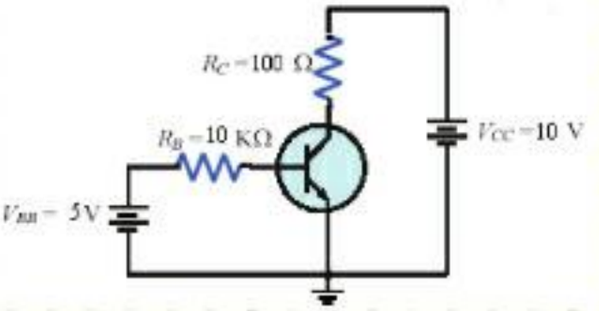
يمكن حساب تيار المجمع كما يلي: $I_C = \beta_{dc} I_B$

كما يمكن حساب جهد الانحياز العكسي عبر وصلة القاعدة–المجمع كما يلي:

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} \qquad (9\text{-}1)$$

مثال (1-3):

أوجد قيمة كل من I_B و I_C و I_E و V_{CE} و V_{CB} في الدارة المبينة في الشكل (10-4)، علماً بأن المعامل β_{dc} للترانزستور يساوي 150.



الشكل (10-4)

الحل:

يمكن حساب التيارات I_B و I_C و I_E كالآتي:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{5V - 0.7V}{10K\Omega} = 430\mu A$$

$$I_C = \beta_{dc} I_B = (150)(430\mu A) = 64.5mA$$

$$I_E = I_C + I_B = 64.5mA + 0.43mA = 64.9mA$$

لحساب كل من V_{CE} و V_{CB} نطبق المعادلات الآتية:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 10V - (64.5mA)(100\Omega)$$
$$= 10V - 6.45V = 3.55V$$

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = 3.55V - 0.7V = 2.85V$$

مثال (1-4):

احسب قيمة R_B لدارة الترانزستور المبينة في الشكل (4-11)، إذا علمت أن:

$V_{BB} = 10V$ $\quad$ $V_{CC} = 10V$

$V_{BE} = 0.7V$ $\quad$ $R_C = 4K\Omega$

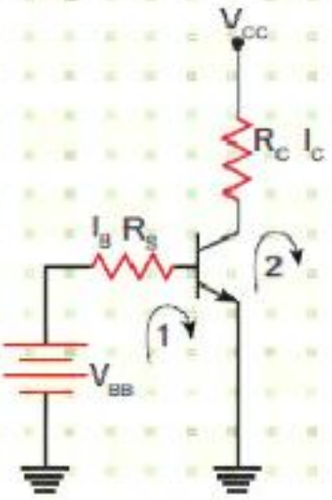
$\beta = 50$

الحل:

من الدارة في الشكل المجاور وحسب قانون كيرشوف (1) نكتب:

المسار الأول:

$$V_{BB} = I_B \times R_B + V_{BE}$$
$$10 = I_B \times R_B + 0.7$$
$$I_B \times R_B = 9.3 \quad .....(1)$$



الشكل (4-11)

المسار الثاني:

$$V_{CC} = R_C \times I_C + V_{CE}$$
$$10 = 4K \times I_C + 5$$
$$I_C = 1.25mA$$

من العلاقة:

$$I_C = \beta \times I_B$$
$$I_B = I_C / \beta$$
$$I_B = 25\mu A$$

نعوض في المعادلة (1)

$$R_B = 9.3 / I_B$$
$$R_B = 9.3 / 25\mu A$$
$$R_B = 372K\Omega$$

من الناحية العملية لا توجد مقاومة بهذه القيمة ولكن أقرب قيمة لها هي:

$R_B = 390K\Omega$.

د- منحنيات خواص الترانزستور

Transistor Characteristic Curves

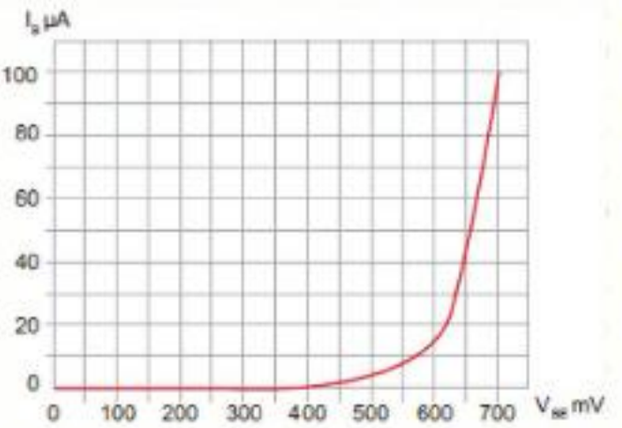
يتم استخدام منحنيات خواص الترانزستور في عمليات تحليل وتصميم الدارات المختلفة، وسندرس نوعين من هذه المنحنيات: - منحنيات خواص الدخل.

- منحنيات خواص الخرج.

تختلف منحنيات الخواص باختلاف توصيل الترانزستور في الدارة، وسيتم شرح منحنيات الدارة الأساسية والمبينة في الشكل (4-9).

- منحنيات خواص الدخل Input Characteristics Curves:

منحنى خواص الدخل: هو العلاقة بين جهد الدخل V_{BE} وتيار الدخل I_B عند ثبوت جهد الخرج V_{CE}. كما هو موضح في **الشكل** (4-12) فإن منحنيات خواص الدخل تشبه منحنيات خواص الثنائي.



الشكل (4-12) منحنى خواص الدخل للترانزستور

عند وصول جهد الدخل إلى 0.7V للترانزستور المصنوع من السيليكون و 0.3V للترانزستور المصنوع من الجرمانيوم تنحاز وصلة القاعدة-الباعث أمامياً وينتقل الترانزستور إلى التوصيل.

- منحنيات خواص الخرج Output Characteristics Curves:

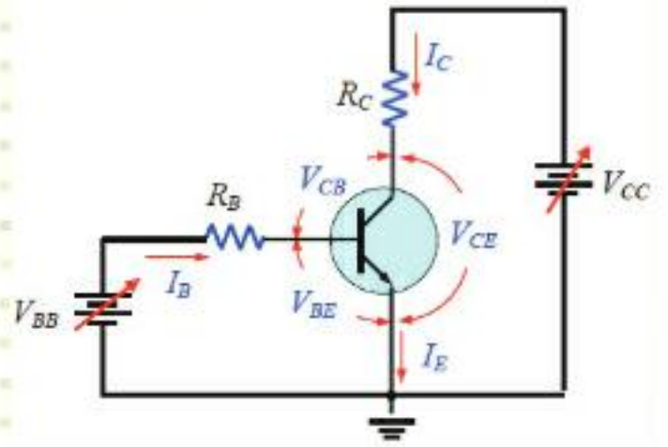
تعطي منحنيات خواص الخرج (ويقال لها منحنيات الخواص للمجمع أيضاً) أهم المعلومات المطلوبة، وتبين **كيفية تغير** تيار المجمع I_C مع الجهد بين المجمع والباعث V_{CE} عند قيم ثابتة لتيار القاعدة I_B.

يمكن استخدام الدارة الموضحة بالشكل (4-13-أ) لرسم مجموعة من منحنيات خواص الخرج ولشرح منحنيات خواص الخرج نوضح **الآتي**:

- أي رسم لـ V_{CE} بعلاقته مع I_C يعتمد على جهد الانحياز الأمامي عبر وصلة القاعدة-باعث V_{BE}. قبل أن يكون هناك تيار قاعدة ذو معنى، يجب التغلب على جهد العتبة لثنائي القاعدة – الباعث. إذا زدنا V_{BE} إلى ما وراء قيمة جهد العتبة، يتدفق تيار القاعدة ويبدأ حقن الباعث، مما ينتج عنه تيار مجمع.

- نلاحظ أنه من النقطة A إلى النقطة B من الشكل (4-13-ب) والتي تسمى **بمنطقة التشبع يتزايد I_C مباشرة مع V_{CE}**، لأنه عندما يكون الجهد العكسي V_{CE} صغيراً **جداً فإن أية زيادة في** V_{CE} ينتج عنها زيادة في احتمال تجميع الحوامل المحفونة.

- نلاحظ أن (من النقطة B وحتى النقطة C والتي تسمى بالمنطقة الفعّالة) أي تزايد بـ V_{CE} **لا ينتج** عنه تزايد ذو **أهمية بـ** I_C. لأنه عندما **يصل** V_{CE} إلى مستوى معين **فإن كل** الحوامل المحفونة **التي** تصل إلى منطقة **المجمع**-القاعدة تندفع عبرها، وبذلك فإن زيادة V_{CE} لن تسبب زيادة ملحوظة في I_C.



(أ) الدارة المستخدمة

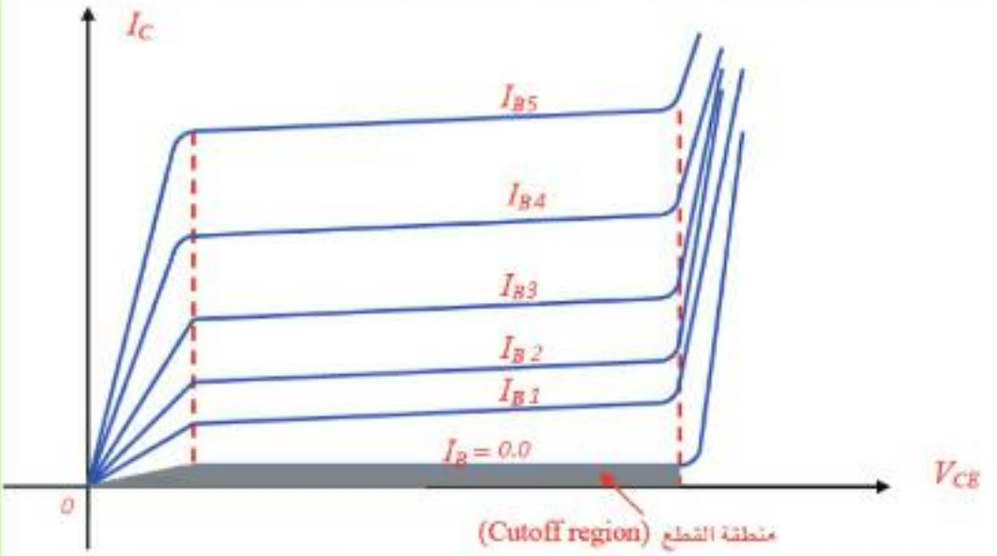
(ب) تغير I_C مع V_{CE} عند قيمة واحدة لـ I_B

الشكل (4-13) الدارة المستخدمة ومنحني الخواص

- لو أن الجهد V_{CE} ازداد أكثر قد ينتج عنه تحطيم لوصلة المجمع-القاعدة. كما هو مبين في الشكل من النقطة C فما فوق، والتي تسمى بمنطقة الانهيار للترانزستور (Breakdown region).

- يبين الشكل (4-14) خواص الخرج بشكل كامل. كل منحني يطابق قيمة معينة لـ I_B والتي يتحكم بها الجهد الأمامي V_{BE}.

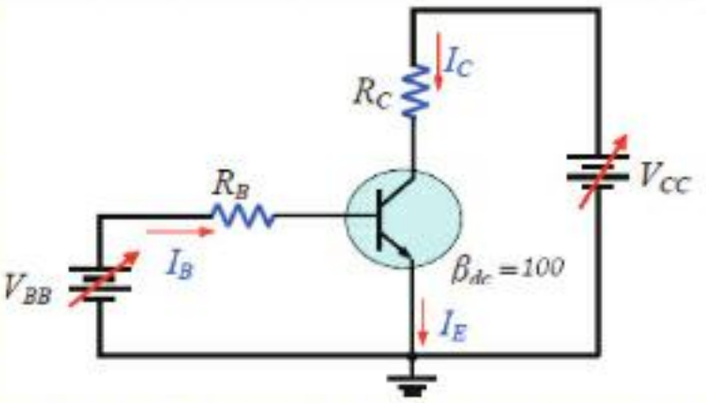
- عندما يكون تيار القاعدة مساوياً الصفر يكون الترانزستور في هذه الحالة في منطقة القطع (Cutoff region) بالرغم من وجود تيار المجمع المتسرب الصغير جداً.



الشكل (4-14) يوضح مجموعة من منحنيات خواص الخرج للترانزستور

مثال (1-5):

ارسم مجموعة المنحنيات المثالية للمجمع، للدارة الموضحة بالشكل (4-15)، عندما يتغير تيار القاعدة I_B من 5μA إلى 25μA بزيادة 5μA في كل مرة مفترضاً أن قيمة المعامل β_{dc} تساوي 100 ولا تزيد قيمة الجهد V_{CE} عن جهد الانهيار.



الشكل (4-15)

الحل:

نستخدم المعادلة (1-2) الآتية $I_C = \beta_{dc} I_B$ لإيجاد تيار المجمع، ثم نعوض بالقيم المختلفة لتيار القاعدة I_B في المعادلة السابقة للحصول على قيم تيار المجمع فنحصل على الجدول (4-1) الآتي:

I_B	I_C
5μA	0.5mA
10μA	1.0mA
15μA	1.5mA
20μA	2.0mA
25μA	2.5mA

الجدول (4-1)

ومن هذا الجدول يمكن رسم المنحنيات المثالية كما هو مبين في الشكل (4-16).

الشكل (4-16) المنحنيات المثالية للمجمع

هـ - مناطق عمل الترانزستور

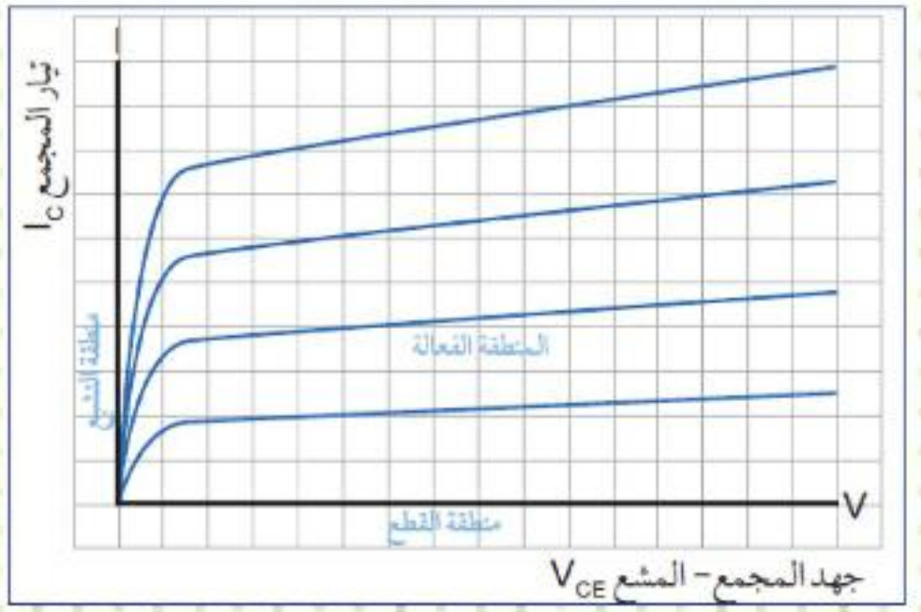
Transistor Operation Regions

سوف نتعرف هنا على مناطق عمل الترانزستور، والشروط الواجب توافرها في انحياز وصلات الترانزستور العمل في هذه المناطق، كما مرّ معنا تقسم مناطق عمل الترانزستور إلى ثلاث مناطق كما هو مبين في الشكل (4-17):

في المنطقة الفعالة تكون وصلة القاعدة-الباعث منحازة أمامياً ووصلة القاعدة-المجمع منحازة عكسياً.

- **المنطقة الفعّالة Active Region:**

في هذه المنطقة تكون وصلة القاعدة-الباعث منحازة انحيازاً أمامياً، ووصلة القاعدة-المجمع منحازة انحيازاً عكسياً. ويتبين من المنحني:



الشكل (4-17) منحنيات خواص الخرج مبين عليها مناطق عمل الترانزستور

- أن تيار المجمع يزداد بزيادة تيار القاعدة.
- تيار القاعدة صغير بالموازنة مع تيار المجمع وتيار الباعث.

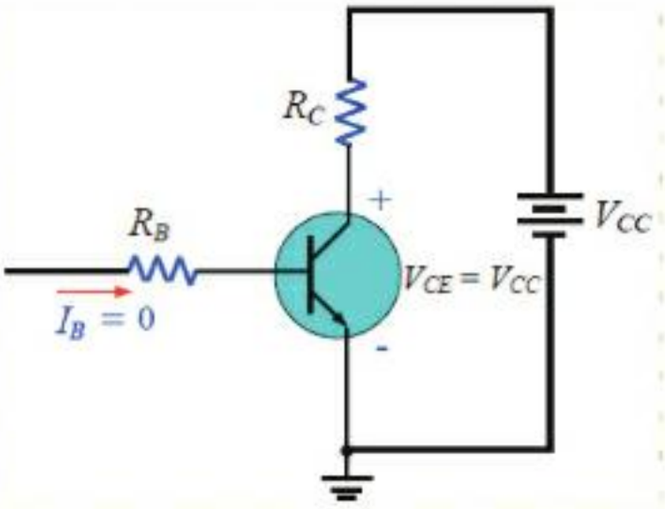
ويستخدم الترانزستور في هذه المنطقة لتكبير الإشارات Amplifier.

- منطقة القطع Cutoff region:

في هذه المنطقة تكون كل من وصلة القاعدة-الباعث منحازة عكسياً ووصلة القاعدة-المجمع منحازة عكسياً. ويحدث ذلك عندما يكون تيار القاعدة I_B مساوياً الصفر، وفي هذه الحالة يكون طرف التوصيل للقاعدة مفتوحاً كما هو مبين في الشكل (4-18) ويتبين من المنحني:

في منطقة القطع يكون كل من وصلتي القاعدة-الباعث والقاعدة-المجمع في حالة انحياز عكسي.

- تيار المجمع I_C يساوي تيار التسريب العكسي عندما يكون تيار القاعدة مساوياً الصفر.
- يستخدم الترانزستور في هذه المنطقة كمفتاح في حالة قطع Off Switch.
- الجهد بين المجمع والباعث يساوي جهد المنبع، أي: $V_{CE}=V_{CC}$.



الشكل (4-18) دارة الترانزستور في حالة القطع

- منطقة التشبع Saturation Region:

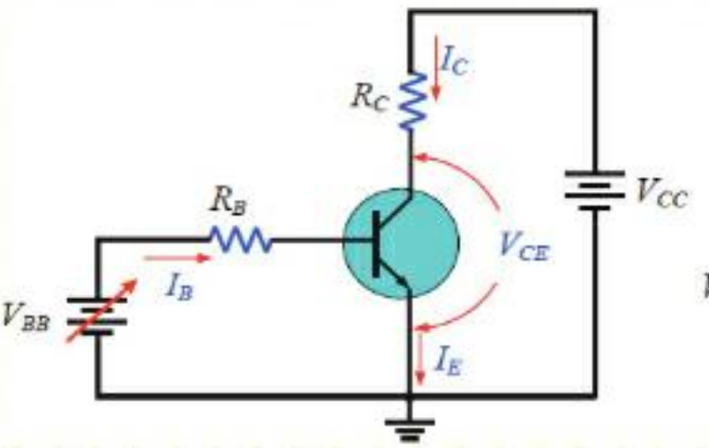
عندما تكون وصلة القاعدة–الباعث في حالة انحياز أمامي يزداد تيار القاعدة I_B، وتبعاً لذلك يزداد تيار المجمع $(I_C = \beta_{dc} I_B)$ وتنخفض قيمة الجهد بين المجمع والباعث (V_{CE}) نتيجة لازدياد الجهد الهابط على مقاومة المجمع

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

كما هو مبين في الشكل (4-19).

عندما تصل قيمة الجهد V_{CE} إلى جهد التشبع $V_{CE(sat)}$، تصبح وصلة القاعدة–المجمع في حالة انحياز أمامي ويكون الجهد عليها 0.5v، وتزداد قيمة تيار المجمع، ولكن ليس نتيجة لزيادة تيار القاعدة I_B حيث العلاقة $I_C = \beta_{dc} I_B$ تكون غير حقيقية في هذه المرحلة.

في منطقة التشبع تكون وصلة القاعدة-المجمع منحازة أمامياً، ووصلة القاعدة-الباعث منحازة أمامياً أيضاً.



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

الشكل (4-19) يبين حالة التشبع للترانزستور

تكون العلاقة:
$I_C = \beta_{dc} I_B$
غير حقيقية في حالة التشبع.

ويتبين من المنحني:

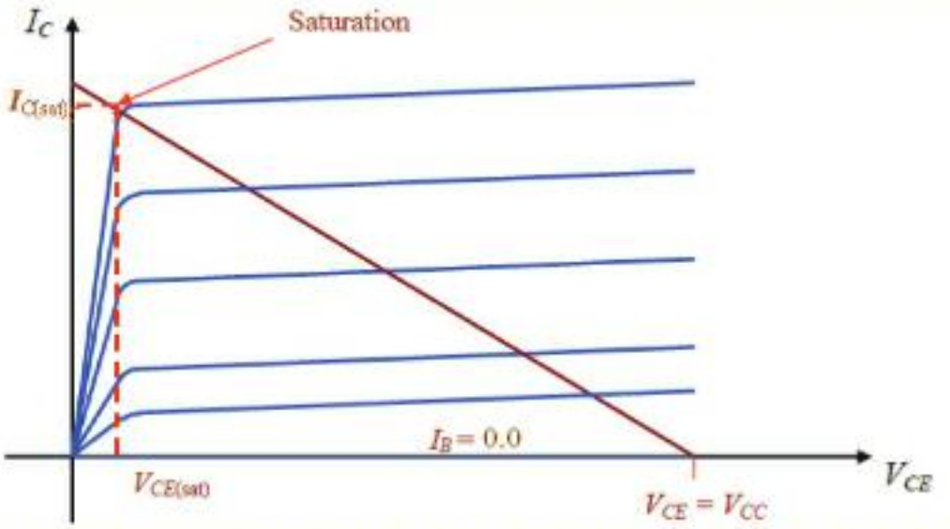
- لا يزيد تيار المجمع I_C بزيادة I_B بشكل ملحوظ.
- يستخدم الترانزستور في هذه الحالة كمفتاح في حالة وصل (On Switch).
- يمكن أن يصل الجهد بين المجمع والباعث إلى 0.1v بالنسبة للجرمانيوم و 0.3v بالنسبة للسيليكون.
- أية زيادة في تيار القاعدة I_B لن تؤدي إلى تغير يذكر في تيار المجمع I_C حيث يبقى تقريباً ثابتاً، ويعتمد فقط على الحمل. ويطلق على تيار القاعدة $I_{B(sat)}$ وعلى تيار المجمع $I_{C(sat)}$.

و- خط الحمل للتيار المستمر

DC Load Line

تسمى المنطقة الواقعة بين منطقتي القطع والتشبع بالمنطقة الفعّالة أو الخطية ويستخدم فيها الترانزستور كمكبر.

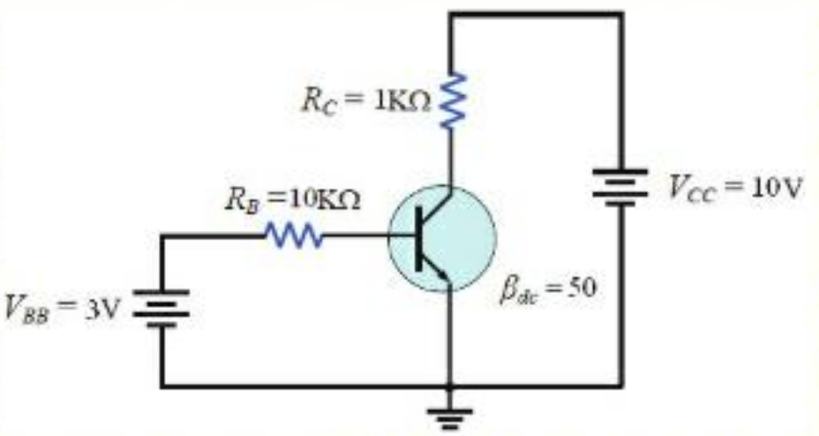
من الممكن توضيح علاقة منطقتي القطع والتشبع بمنحنيات خواص الخرج باستخدام خط الحمل كما في الشكل (4-20) الذي يبين رسم خط حمل التيار المستمر على مجموعة من منحنيات خواص الخرج، حيث يربط بين نقطة القطع التي عندها تيار المجمع يساوي الصفر، والجهد بين المجمع والباعث يساوي قيمة جهد المنبع ($I_C = 0$ و $V_{CE} = V_{CC}$) ونقطة التشبع التي عندها تيار المجمع يساوي تيار التشبع والجهد بين المجمع والباعث يساوي جهد التشبع ($I_C = I_{C(sat)}$ و $V_{CE} = V_{CE(sat)}$)، والمنطقة الواقعة بين النقطتين تسمى بالمنطقة الفعّالة أو الخطية والتي يستخدم فيها الترانزستور كمكبر.



الشكل (4-20) خط الحمل على مجموعة منحنيات الخواص

مثال (1-6):

هل الترانزستور المبين في الشكل (4-21) في حالة تشبع أم لا؟ افتـــرض أن جهد التشبع ($V_{CE(sat)} = 0.2v$).



الشكل (4-21)

الحل:

أولاً- نوجد قيمة تيار التشبع $I_{C(sat)}$ كما يلي:

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} = \frac{10V - 0.2V}{1K\Omega} = \frac{9.8V}{1K\Omega} = 9.8\,mA$$

ثانياً- نوجد قيمة تيار القاعدة I_B كما يلي:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{3V - 0.7V}{10K\Omega} = \frac{2.3V}{10K\Omega} = 0.23mA$$

ثالثاً- نوجد قيم تيار المجمع I_C المناظر لتيار القاعدة I_B:

$$I_C = \beta_{dc}\, I_B = (50)(0.23mA) = 11.5mA$$

من التحليل السابق نجد أن تيار المجمع الناتج عن تيار القاعدة والمعامل β_{dc} أكبر من تيار التشبع، حيث لا يمكن الوصول إلى قيمته (11.5 mA) ونتيجـــة لذلـــك فالترانزستور في حالة تشبع.

ز- التأثيرات الحرارية على الترانزستور

Thermal Effect

من عيوب الترانزستورات حساسيتها للحرارة وذلك بسبب:

- مرور التيار الكهربائي في الترانزستور مما يؤدي إلى توليد حرارة، ومع ارتفاع **قيمة** التيار المار ترتفع كمية الحرارة الناتجة. وكما مرّ سابقاً فإن الحرارة تعمل على توليد أزواج من حاملات الشحنة "الثقوب والإلكترونات"، مما يؤدي إلى خفض قيمة المقاومة الداخلية للترانزستور، وبالتالي **زيادة التيار المار** والحرارة. لو استمرت **هذه الحالة** في زيادة الحرارة **الناتجة**، فإن الترانزستور سيصل إلى حالة من **الانفلات** الحراري وسيتلف في الحال.
- يمكن معالجة ارتفاع **درجة الحرارة** بتصميم دارة انحياز، بحيث تراعي الاستقرار الحراري وتمنع تزايد تيار المجمع مع الحرارة.
- كما يساعد على تشتيت (تبديد) الحرارة أن يركب الترانزستور عند الاستطاعات العالية على مبرد حراري (Heat Sink) أو يركب على جسم الجهاز.

2-4 تطبيقات الترانزستور

يعتبر الترانزستور ثنائي القطبية من أهم العناصر التي تستخدم في تصميم وبناء الدارات **الإلكترونية**، حيث **يتميز** بخاصية **هامة** هي تكبير **الإشارات**. وقد لاحظنا أن الترانزستور يظهر تكبيراً للتيار عندما يعمل في المنطقة الفعالة أو الخطية، وذلك عندما يكون انحياز وصلة القاعدة-الباعث أمامياً وانحياز وصلة القاعدة-المجمع عكسياً.

وسندرس تطبيقات الترانزستور في مناطق تشغيله المختلفة:

- الترانزستور ثنائي القطبية كمكبر يعمل في المنطقة الفعّالة أو الخطية.
- الترانزستور ثنائي القطبية كمفتاح إلكتروني، حيث يعمل الترانزستور في منطقتي القطع و التشبع.

4-2-1 الترانزستور ثنائي القطبية كمكبر

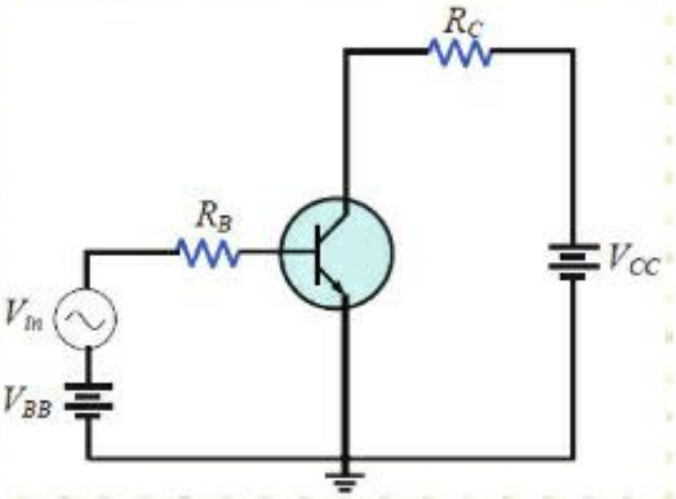
The Bipolar Transistor as an Amplifier

أ- تكبير الترانزستور Transistor Amplification

من الدراسة السابقة علمنا أن الترانزستور ثنائي القطبية يكبر التيار لأن تيار المجمع يساوي تيار القاعدة مضروباً في ربح التيار ($I_C=\beta_{dc}I_B$)، وحيث إن تيار القاعدة صغير جداً بالموازنة مع تياري المجمع والباعث فإن تيار المجمع يساوي تقريباً تيار الباعث.

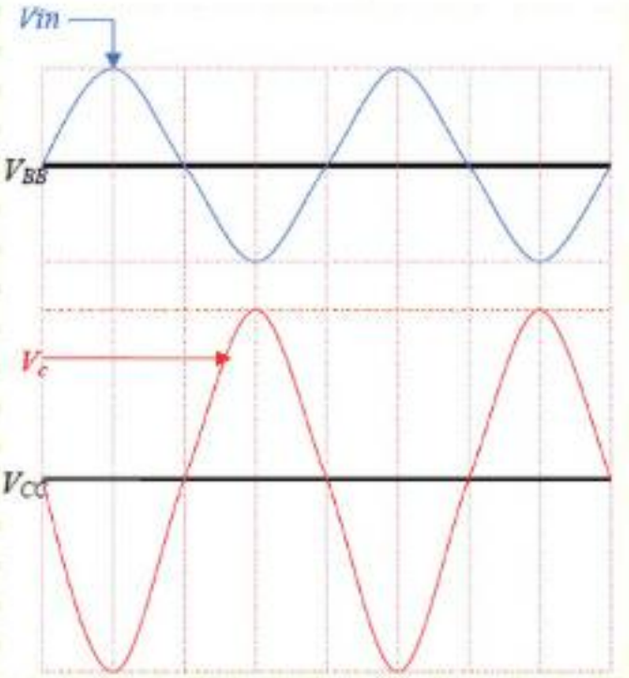
من هذا المنطلق سندرس الدارة الأساسية للترانزستور كمكبر والموضحة بالشكل (4-22)، حيث تم إضافة منبع إشارة متناوبة V_{in} إلى جهد المنبع

المستمر V_{BB} وتوصيلهما على التسلسل مع مقاومة القاعدة R_B وتوصيل جهد المنبع المستمر V_{CC} إلى المجمع عن طريق مقاومة المجمع R_C.



الشكل (4-22) الدارة الأساسية للمكبر مع جهد

ينتج عن الإشارة المتناوبة للدخل تيار القاعدة المتناوب، ونتيجة لذلك نحصل على تيار المجمع المتناوب عالي القيمة، وبذلك تتكون إشارة متناوبة عبر المقاومة R_C حيث تكون مكبرة وبزاوية طور مقدارها 180° ، أي عكس اتجاه إشارة الدخل المتناوبة كما هو مبين في الشكل (4-23).



الشكل (4-23) إشارتا الدخل والخرج

ب- الدارة المكافئة في حالة التيار المتناوب

Ac Equivalent Circuit

في هذه الحالة يظهر الجهد المستمر كدارة قصر بالنسبة للجهد المتناوب، وبالتالي يمكن تمثيل الدارة المكافئة في حالة التيار المتناوب كما هو موضح بالشكل (4-24).

تبدي وصلة القاعدة–الباعث ذات الانحياز الأمامي مقاومة منخفضة جداً لتيار الإشارة المتناوبة تسمى **بالمقاومة** الداخلية للباعث، وتمثل بالرمز r'_e وبالتالي يمكن إيجاد تيار الباعث المتناوب كما يلي:

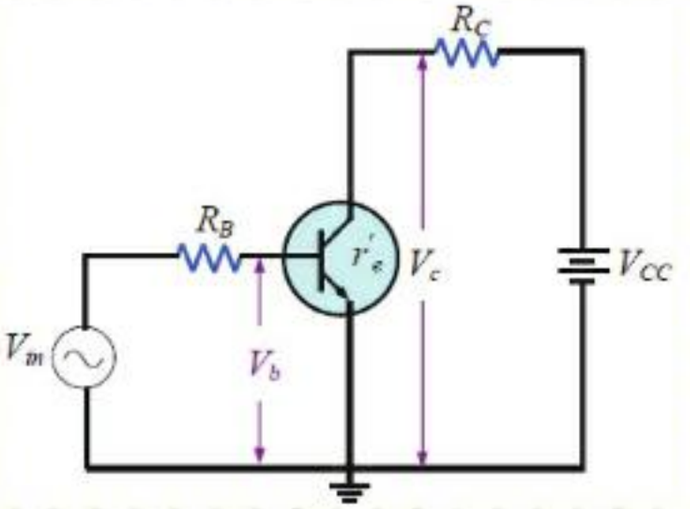
$$I_e = \frac{V_b}{r'_e} \qquad (1\text{-}2)$$

جهد المجمع المتناوب V_C يساوي الجهد المتناوب الهابط على المقاومة R_C ويعطى **بالمعادلة**:

$$V_c = I_c R_C \qquad (2\text{-}2)$$

وبما أن تيار الباعث I_e يساوي تقريباً تيار المجمع I_C فإن جهد المجمع المتناوب يساوي:

$$V_c \cong I_e R_C \qquad (3\text{-}2)$$



الشكل (4-24) الدارة المكافئة في حالة التيار المتناوب

جهد القاعدة V_b يمكن اعتباره جهد الدخل المتناوب للترانزستور، ويمكن حسابه كما يأتي:

$$V_b = V_{in} - I_b R_B \qquad (4\text{-}2)$$

الجهد V_C هو جهد الخرج المتناوب بالنسبة للترانزستور وبالتالي يمكن تعريف ربح الجهد المتناوب A_v على أنه النسبة بين الجهد V_C والجهد V_b.

$$A_v = \frac{V_c}{V_b} \cong \frac{I_e R_C}{I_e r'_e} \qquad (5\text{-}2)$$

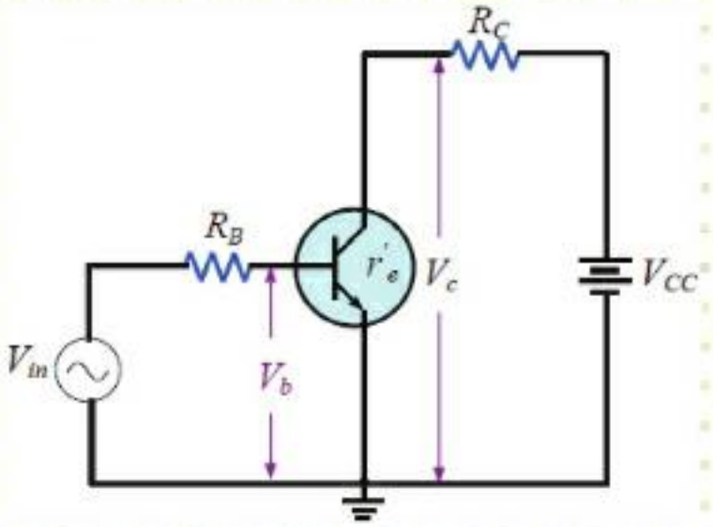
وبالتالي:

$$A_v = \frac{R_C}{r'_e} \qquad (6\text{-}2)$$

تشير المعادلة (6-2) إلى أن التكبير أو ربح الجهد للترانزستور الموجود بالشكل (24-4) يعتمد على كل من المقاومتين R_C والمقاومة الداخلية للباعث r'_e، وحيث إن قيمة المقاومة R_C عادة أكبر من المقاومة r'_e، فإن جهد الخرج يكون دائماً أعلى من جهد الدخل.

مثال 2-1:

أوجد قيمة ربح الجهد وجهد الخرج المتناوب في الشكل (4-25)، إذا علمت أن: $r'_e = 50\Omega$, $R_C = 1K\Omega$, $V_b = 100mv$.



الشكل (4-25)

الحل:

ربح الجهد المتناوب:

$$A_v \cong \frac{R_C}{r'_e} = \frac{1\text{K}\Omega}{50\Omega} = 20$$

وبالتالي يكون جهد الخرج المتناوب:

$$V_{out} = A_v V_b = (20)(100\text{mV}) = 2\text{V } rms$$

2-2 الترانزستور ثنائي القطبية كمفتاح

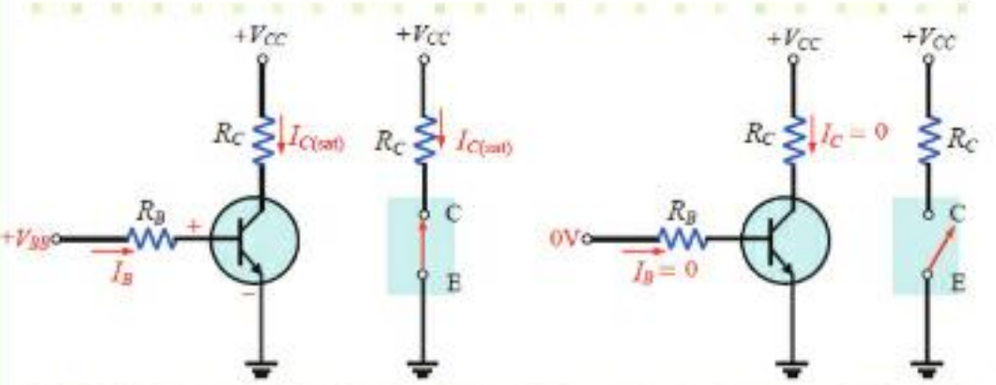
The Bipolar Transistor as a Switch:

يعتبر تشغيل الترانزستور كمفتاح إلكتروني من أهم تطبيقات الترانزستور في الدارات الإلكترونية وخصوصاً الدارات الرقمية، حيث يعمل الترانزستور في منطقتي القطع والتشبع.

أ- تحليل الترانزستور كدارة تحويل للقطع والتشبع:

يوضح الشكل (4-26) العمل الأساسي للترانزستور كمفتاح، والجزء (أ) من هذا الشكل يوضح أن الترانزستور في منطقة القطع، لأن وصلة القاعدة-الباعث ليست في حالة انحياز أمامي، وتمثل هذه الحالة بمفتاح في حالة الفتح، كما هو موضح بالشكل.

في الجزء (ب) يعمل الترانزستور في منطقة التشبع، لأن وصلة القاعدة-الباعث ووصلة القاعدة-المجمع في حالة انحياز أمامي، وتيار القاعدة عالٍ بما يكفي لوصول تيار المجمع إلى التشبع، وتمثل هذه الحالة بمفتاح مغلق، كما هو موضح بالشكل.



(أ) حالة القطع-مفتاح مفتوح (ب) حالة التشبع-مفتاح مغلق

الشكل (4-26) الترانزستور كمفتاح مثالي

ب- شروط القطع Conditions in Cutoff:

مما سبق دراسته نجد أن الترانزستور يصل إلى منطقة القطع عندما تكون وصلة القاعدة–الباعث في حالة عدم انحياز أمامي، وبإهمال تيار التسريب فإن جميع التيارات تساوي الصفر والجهد V_{CE} يساوي جهد المنبع V_{CC}.

$$V_{CE(cutoff)} = V_{CC} \qquad (7\text{-}2)$$

ج- شروط التشبع Conditions in Saturation:

من دراستنا السابقة نجد أن الترانزستور يصل إلى منطقة التشبع إذا كانت وصلة القاعدة–الباعث في حالة انحياز أمامي، وقيمة تيار القاعدة عالية بما يكفي لوصول تيار المجمع إلى أقصى قيمة، وتيار التشبع يعطى بالمعادلة الآتية:

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} \qquad (8\text{-}2)$$

تكون قيمة الجهد $V_{CE(sat)}$ صغيرة جداً بالموازنة مع قيمة جهد المنبع V_{CC} وعادة يتم إهمالها. تعطى القيمة الصغرى لتيار القاعدة التي ينتج عنها التشبع بالعلاقة الآتية:

$$I_{B(min)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta_{dc}} \qquad (9\text{-}2)$$

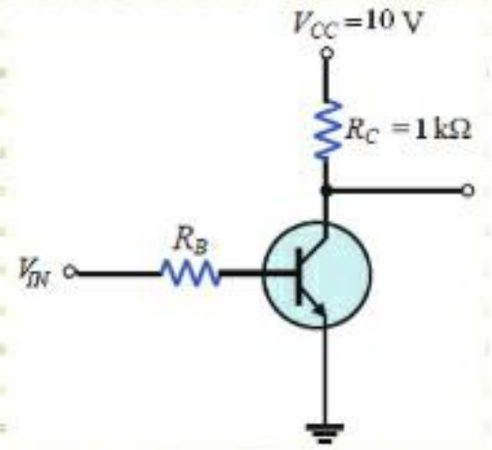
للتأكد من الوصول إلى التشبع لا بد أن يكون I_B أعلى من $I_{B(min)}$.

مثال 2-2:

(أ) ما قيمة V_{CE} للترانزستور الموجود في الدارة شكل (4-27)، عندما تكون قيمة $V_{IN} = 0v$؟

(ب) ما القيمة الصغرى للتيار I_B المطلوبة لتشبع الترانزستور عندما تكون $\beta_{dc}=200$ مع إهمال قيمة $V_{CE(sat)}$؟

(جـ) احسب أقصى قيمة للمقاومة R_B عندما يكون $V_{IN}=5v$.



الشكل (4-27)

الحل:

(أ) عندما يكون $V_{IN}=0v$ يصبح الترانزستور في منطقة القطع ويعمل كأنه مفتاح مفتوح وبالتالي:

$$V_{CE}=V_{CC}=10V$$

(ب) بما أن $V_{CE(sat)}$ مهملة أي تساوي الصفر فإن:

$$I_{C(sat)}=\frac{V_{CC}}{R_C}=\frac{10V}{1K\Omega}=10mA$$

$$I_{B(min)}=\frac{I_{C(sat)}}{\beta_{dc}}=\frac{10mA}{200}=50\mu A$$

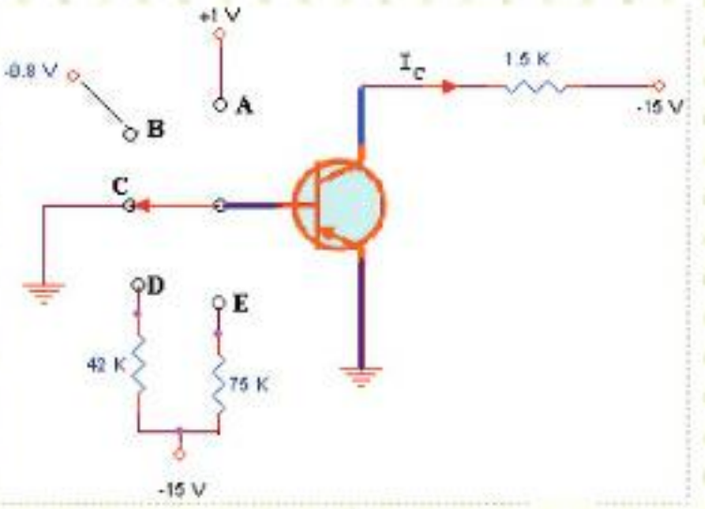
(جـ) لحساب أقصى قيمة للمقاومة R_B للحصول على أقل قيمة للتيار وهي $50\mu A$:

$$V_{R_B}=V_{IN}-V_{BE}=5V-0.7V=4.3V$$

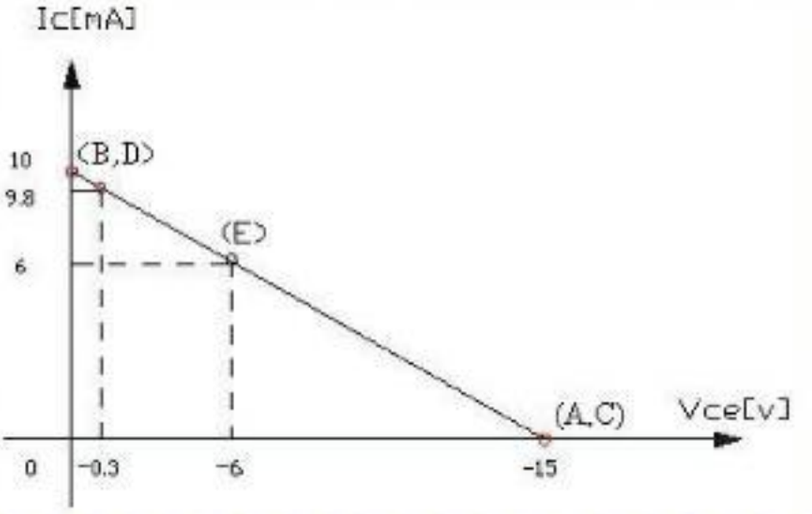
$$R_{B(max)}=\frac{V_{R_B}}{I_{B(min)}}=\frac{4.3V}{50\mu A}=86k\Omega$$

مثال 2-3:

الترانزستور المصنوع من السيليكون (Si) المبين بالشكل (4-28 أ) لديه تيار القطع العكسي يساوي الصفر، وربح التيار (β_{dc}=30). احسب I_C و V_{CE} للترانزستور عند كل وضع من أوضاع المفتاح المبينة بالشكل.



(أ)



(ب)

الشكل (4-28)

الحل:

(A) في هذا الوضع تكون وصلة القاعدة—الباعث منحازة عكسياً، لـذا يكون الترانزستور في حالة قطع (Off) وبالتالي:

$I_C = 0, V_{CE} = V_{CC} = -15v$ والنقطة (A) مبينة على الشكل (4-28 ب).

(B) في هذا الوضع يكون $V_{BE} = -0.8v$، وهذا الانحياز الأمامي كاف لإشباع الترانزستور، معطياً: $V_{CE(sat)} = -0.3v$. وبالتالي يكون:

$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = -0.3 + 0.8 = 0.5v$ والتي تمثل وصلة وصلة مجمع قاعدة منحازة أمامياً، ويكون عندها تيار المجمع:

$$I_C = \frac{15 - 0.3}{1.5 \times 10^3} = 9.8mA$$

(C) في هذا الوضع تكون القاعدة مؤرضة أي: $V_{BE} = 0$، والترانزستور يكون في حالة قطع، وبالتالي الحل المطبق في الحالة (A) يكون نفسه مطبقاً على النقطة (C).

(D) عند هذا الوضع يكون هبوط الجهد (V_{RE}) مهملاً بسبب صغره موازنة مع التغذية (15v-). وبالتالي فإن تيار القاعدة يساوي:

$$I_B \cong \frac{15}{42 \times 10^3} = 0.357mA$$

لو أن الترانزستور في المنطقة الفعّالة (لا يمكن التأكيد من ذلك إلا بفحص ذلك)، فإن I_C يجب أن يحدد كما يلي:

$$I_C = \beta_{dc} I_B = 30(0.357 \times 10^{-3}) = 10.71\,mA$$

لكن:

$$\frac{V_{CC}}{R_L} = \frac{15}{1.5 \times 10^3} = 10\ mA$$

وهذا هو أعظم تيار ممكن لـ (I_C) وذلك عندما يكون $V_{CE(sat)} = 0$. فالجواب على السؤال أعلاه يكون إذاً بالنفي، والترانزستور ليس في في المنطقة الفعّالة، وإنما في منطقة التشبع. وبالتالي فإن الوضع

المطبّق على النقطة (B) يُطبّق على النقطة (D) نفسها.

(E) نتّبع هذا البداية التي اتبعت بالنسبة للوضع (D) نفسها، ونكتب:

$$I_B \cong \frac{15}{75 \times 10^3} = 0.2mA$$

لنفترض الآن أن الترانزستور في المنطقة الفعّالة، يكون لدينا:

$$I_C = \beta_{dc} I_B$$
$$I_C = 30(0.2\times10^{-3}) = 6\ mA$$
$$V_{CE} = -15 + (6\times10^{-3})(1.5\times10^{3})$$
$$V_{CE} = -6\ \text{v}$$

النقطة $(I_C = 6\ mA)$ و$(V_{CE} = -6\ \text{v})$ مبينة على الشكل البياني بالنقطة (E). وهي واقعة في المنطقة الفعّالة وبالتالي فإن تحليلنا سليم.

4-3 دارات الترانزستور الأساسية

في هذه الفقرة سندرس عدداً من دارات الانحياز للترانزستور التي من خلالها يمكن تحديد **الوظيفة التي يؤديها الترانزستور** في الدارة. والمقصود بعملية الانحياز هو اختيار مكان **نقطة التشغيل** للترانزستور وذلك عن طريق تحديد القيم الثابتة للجهد والتيار. وسوف نتعرف أيضاً على الأنواع المختلفة لتوصيلات الترانزستور.

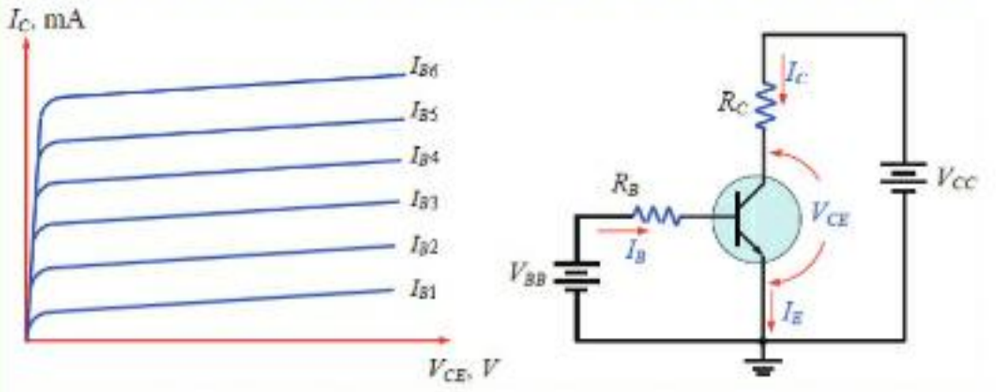
4-3-1 نقطة العمل في حالة التيار المستمر

DC Operating Point

كما ذكرنا سابقاً أن المقصود بعملية الانحياز هو **تحقيق شرط معين** بالنسبة للجهد والتيار، وتحديد المكان السليم لنقطة العمل يتحقق بالاختيار الدقيق لقيمة التيار I_C والجهد V_{CE}، وهذه القيم تعتمد على منابع الجهد ذات التيار المستمر الموجودة في دارة الترانزستور. ونقطة العمل في حالة التيار المستمر غالباً ما يرمز لها بالنقطة Q.

خط الحمل للتيار المستمر DC Load Line:

يبين الشكل (4-29) دارة ترانزستور ومنحنيات خواص الخرج له.



(ب) (أ)

الشكل (4-29) دارة الترانزستور مع منحنيات الخواص له

عند تطبيق قانون كيرشوف للجهد على دارة المجمع-الباعث نحصل على العلاقة الآتية:

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} \qquad (1\text{-}3)$$

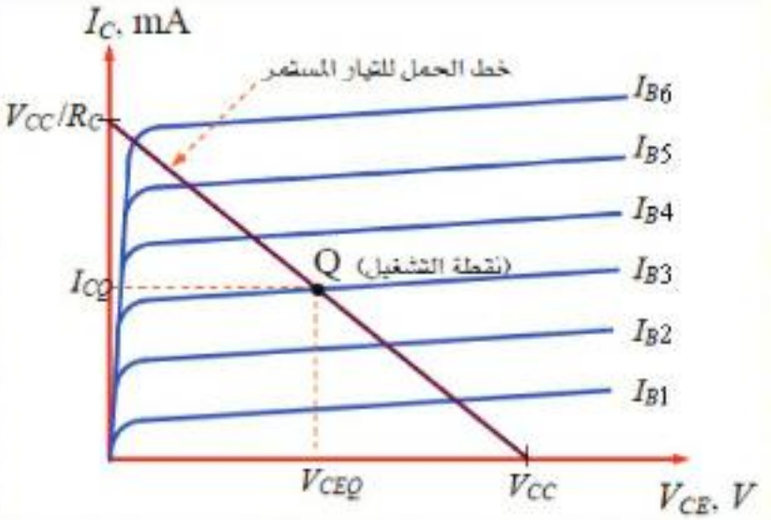
ولرسم خط الحمل المعطى بالمعادلة (3-1) على منحني الخواص الموضح بالشكل (4-29)، نجعل قيمة $V_{CE} = 0$ لنحصل على نقطة تقاطع خط الحمل مع المحور الذي يمثّل التيار I_C وتكون قيمتها:

$$I_C = V_{CC} / R_C \qquad (2\text{-}3)$$

كما نجعل قيمة $I_C = 0$ لنحصل على نقطة تقاطع خط الحمل مع المحور الذي يمثّل الجهد V_{CE} وتكون قيمتها:

$$V_{CE} = V_{CC} \qquad (3\text{-}3)$$

برسم خط الحمل على منحني الخواص، نلاحظ أن نقطة تقاطع الخط مع المنحني تعتمد على قيمة التيار I_B والتي تحدد من خلال ضبط قيمة الجهد V_{BB}. بفرض أن قيمة الجهد V_{BB} قد ضبطت لجعل قيمة التيار I_B تساوي القيمة I_{B3}، فإن موقع نقطة العمل يكون كالمبين بالشكل (4-30).



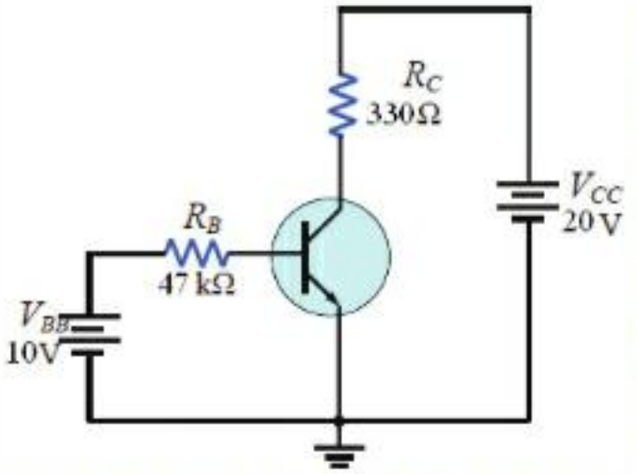
الشكل (4-30) خط الحمل للتيار المستمر ونقطة العمل

في حالة استخدام الترانزستور كمكبر يجب ضبط قيمة الجهد V_{BB} للحصول على قيمة التيار I_B اللازمة لوضع **نقطة العمل في** منتصف خط الحمل، وذلك للحصول على **أقصى** أرجحة **متماثلة لنقطة العمل** عند تطبيق الإشارة المراد تكبيرها على دخل دارة الترانزستور، وبالتالي الحصول على أقصى تكبير ممكن **دون أي تشوهات في** شكل إشارة الخرج. **ولذلك يجب مراعاة** عدم تأثر موضع **نقطة العمل إلا بالتغيرات** التي تحدث **في الإشارة** المراد **تكبيرها**.

للحصول على أقصى تكبير ممكن دون أي تشوهات في شكل إشارة الخرج يجب جعل نقطة العمل في منتصف خط الحمل.

مثال (3-1):

حدّد نقطة العمل للترانزستور المبين في الشكل (4-31) بفرض أن $\beta_{dc} = 200$.



الشكل (4-31)

الحل:

تعرف نقطة العمل بقيم كل من I_C ، V_{CE}. ويمكن الحصول على هذه القيم كالآتي:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{10\text{V} - 0.7\text{V}}{47\text{k}\Omega} = 198\mu\text{A}$$

$$I_C = \beta_{dc} I_B = (200)(198\mu\text{A}) = 39.6\text{mA}$$

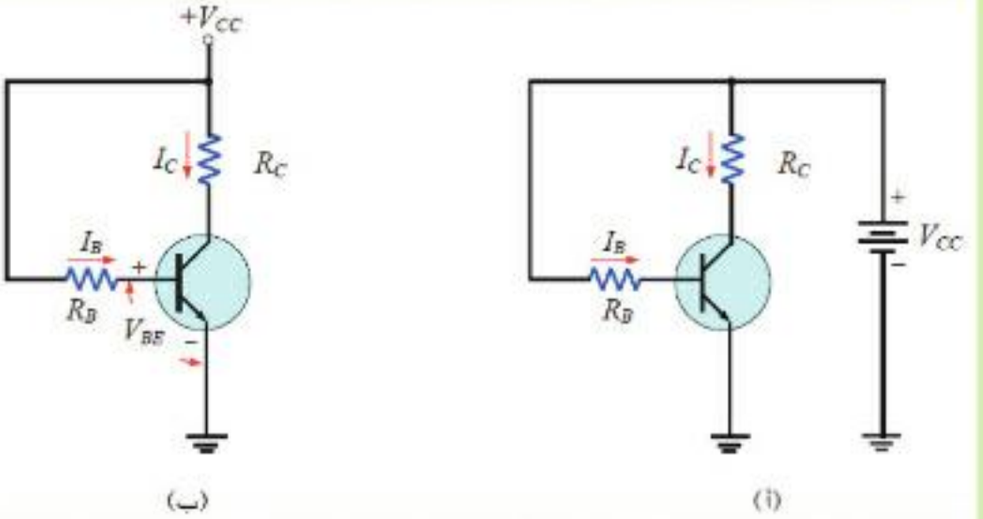
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 20\text{V} - 13.07\text{V} = 6.93\text{V}$$

2-3-4 انحياز القاعدة

Base Bias

وجدنا أن منبع الجهد المستمر V_{BB} قد استخدم لانحياز وصلة القاعدة-الباعث وذلك لتحديد نمط تشغيل الترانزستور، وبالتالي يجب التحكم في قيمة هذا الجهد دون تأثير الجهد V_{CC}.

وهناك طريقة، وهي الأكثر استخداماً في الحياة العملية، حيث يستخدم الجهد V_{CC} كمنبع جهد انحياز وحيد كما هو مبين في الشكل (4-32)(أ). ولتبسيط رسم الدارة، يمكن حذف رمز البطارية ويوضع بدلاً منه خط في نهايته دائرة صغيرة، كما هو موضح بالشكل (4-32)(ب).



الشكل (4-32) انحياز القاعدة

يمكن تحليل الدارة كما يلي:

الجهد المطبق على المقاومة R_B يكون $V_{CC} - V_{BE}$ وبناءً على ذلك:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \qquad (4\text{-}3)$$

وبتطبيق قانون كيرشوف للجهد على دارة المجمع في الشكل (4-32)(أ) نجد:

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

وبحل هذه المعادلة بالنسبة إلى V_{CE} نحصل على:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \qquad (5\text{-}3)$$

باستخدام المعادلة (4-3) للتعويض عن قيمة التيار I_B بالمعادلة $I_C = \beta_{dc} I_B$ نحصل على:

$$I_C = \beta_{dc}\left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}\right) \qquad (6\text{-}3)$$

تأثير β_{dc} على نقطة العمل (Q) Effect of β_{dc} on the Q-point:

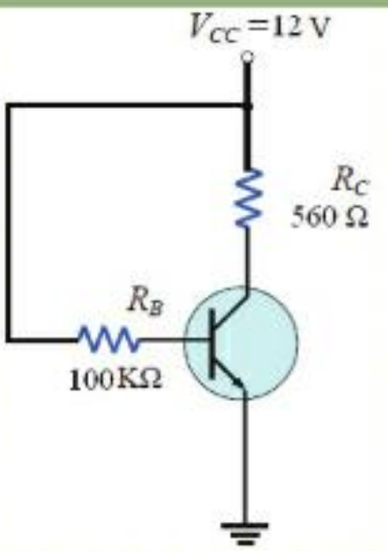
بالنظر إلى المعادلة (6-3) نجد أن التيار I_C يعتمد على القيمة β_{dc}، وبالتالي فإن أي تغير في β_{dc} يُحدث تغيراً في كل من I_C، V_{CE}، وبناءً على ذلك تتغير نقطة العمل للترانزستور.

والمعروف أن β_{dc} تتغير مع درجة الحرارة وتيار المجمع، إضافة إلى تغير قيمة β_{dc} من ترانزستور إلى آخر من النوع نفسه نتيجة لعملية التصنيع. وبناءً على ذلك فإن الدارة التي تستخدم انحياز القاعدة ربما تعطي تشويهاً للخرج ناتجاً عن عطل بالترانزستور، أو استبدال ترانزستور بآخر له β_{dc} مختلفة أو نتيجة لتغير درجة الحرارة والتي تسبب إزاحة كافية لقيمة β_{dc}.

مثال (3-2):

دارة انحياز القاعدة الموضحة في الشكل (4-33)، معرّضة لزيادة درجة الحرارة من 25°C إلى 75°C. إذا كانت $\beta_{dc} = 100$ عند درجة حرارة 25°C، وتساوي 150 عند درجة حرارة 75°C، حدد النسبة المئوية للتغير في نقطة العمل (I_C, V_{CE}) في مدى تغير في درجة الحرارة. أهمل أي تغير في الجهد V_{BE}، وكذلك أي تأثير لتيار التسريب.

تحذير: لا يعد β_{dc} محدداً جيداً من محددات الترانزستور، فقيمته تتراوح بين 50 و 250 من أجل عينات مختلفة لنوع الترانزستور نفسه. كما أنه يعتمد على تيار المجمع، وعلى جهد المجمع-الباعث، وعلى الحرارة. والدارة التي تعتمد على قيمة معينة لـ β_{dc} تعد دارة سيئة التصميم.



الشكل (4-33)

الحل:

عند درجة حرارة 25°C، قيمة كل من I_C , V_{CE} يمكن حسابها كما يلي:

$$I_C=\beta_{dc}\left(\frac{V_{CC}-V_{BE}}{R_B}\right)=100\left(\frac{12V-0.7V}{100K\Omega}\right)=11.3mA$$

$$V_{CE}=V_{CC}-I_CR_C=12V-(11.3mA)(560\Omega)=5.67V$$

عند درجة حرارة 75°C، يمكن حساب قيمة كل من I_C , V_{CE} كما يلي:

$$I_C=\beta_{dc}\left(\frac{V_{CC}-V_{BE}}{R_B}\right)=150\left(\frac{12V-0.7V}{100K\Omega}\right)=17mA$$

$$V_{CE}=V_{CC}-I_CR_C=12V-(17mA)(560\Omega)=2.48V$$

وعلى ذلك تكون النسبة المئوية في تغير التيار I_C تساوي:

$$\Delta I_C\%=\frac{I_{C(75^\circ)}-I_{C(25^\circ)}}{I_{C(25^\circ)}}\times 100\%$$

$$=\frac{17mA-11.3mA}{11.3mA}\times 100\%\cong 50\% \qquad \text{(زيادة)}$$

لاحظ أن التيار I_C يتغير بنسبة التغير نفسها في β_{dc}. النسبة المئوية في تغير الجهد V_{CE} تساوي:

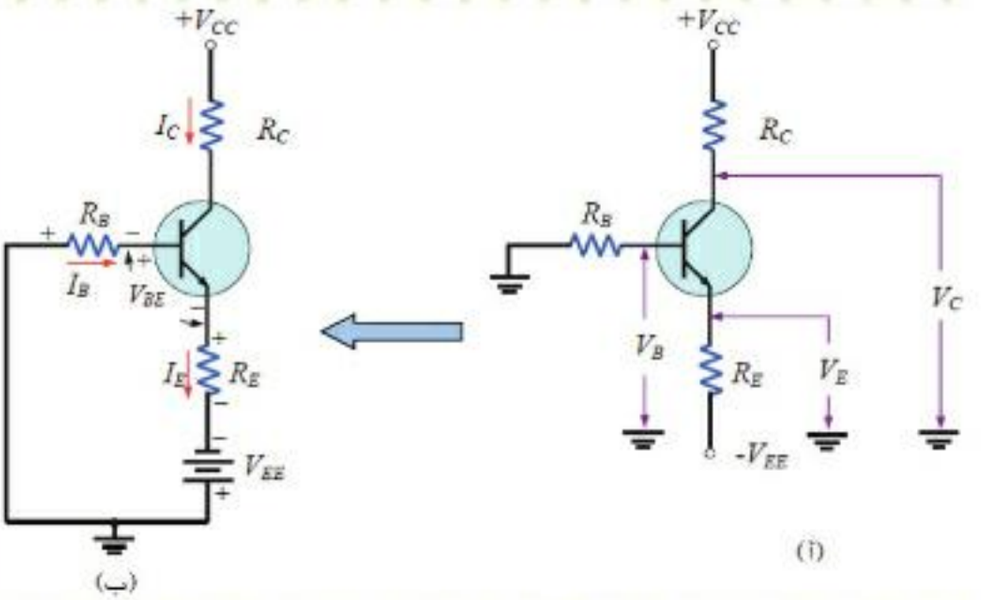
$$\Delta V_{CE}\% = \frac{V_{CE(75^\circ)} - V_{CE(25^\circ)}}{V_{CE(25^\circ)}} \times 100\%$$

$$= \frac{2.48\,\text{V} - 5.67\text{V}}{5.67\text{V}} \times 100\% \cong -56.3\% \qquad \text{(انخفاض)}$$

3-3-4 انحياز الباعث

Emitter Bias

تستخدم دارة انحياز الباعث جهدي المنبع: أحدهما موجب والآخر سالب كما هو مبين في الشكل (4-34). في هذه الدارة جهد المنبع V_{EE} يتسبب في جعل وصلة القاعدة–الباعث منحازة انحيازاً أمامياً.



الشكل (4-34) انحياز الباعث

وبتطبيق قانون كيرشوف للجهد على دارة القاعدة–الباعث في الشكل (4-34)(أ) والتي أعيد رسمها في الشكل (4-34)(ب) لسهولة التحليل، نجد أن:

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

وبحل المعادلة بالنسبة إلى الجهد V_{EE} نحصل على:

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

وبما أن:

$$I_C \cong I_E$$

وكذلك:

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

فإن:

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

وبالتعويض عن قيمة I_B نحصل على:

$$\left(\frac{I_E}{\beta_{dc}}\right) R_B + I_E R_E + V_{BE} = V_{EE}$$

إذاً:

$$I_E \left(\frac{R_B}{\beta_{dc}} + R_E\right) + V_{BE} = V_{EE}$$

وكذلك:

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E + (R_B / \beta_{dc})} \qquad (7\text{-}3)$$

وبما أن:

$$I_C \cong I_E$$

فإن:

$$I_C \cong \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E + (R_B / \beta_{dc})} \qquad (8\text{-}3)$$

ويكون جهد الباعث بالنسبة للأرض:

$$V_E = -V_{EE} + I_E R_E \qquad (9\text{-}3)$$

ويكون جهد القاعدة بالنسبة للأرض:

$$V_B = V_E + V_{BE} \qquad (10\text{-}3)$$

ويكون جهد المجمع بالنسبة للأرض:

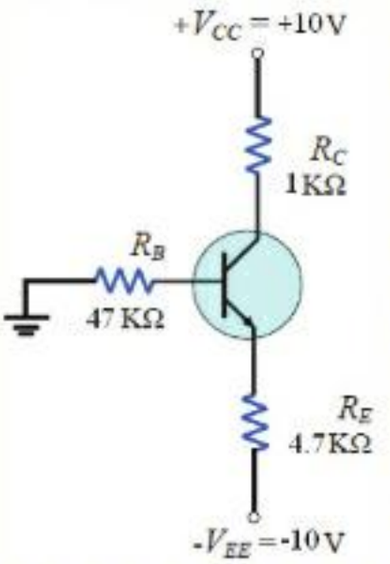
$$V_C = V_{CC} - I_C R_C \qquad (11\text{-}3)$$

وبطرح V_E من V_C وباستخدام التقريب $I_E \cong I_C$ نحصل على:

$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CC} - I_C R_C - (-V_{EE} + I_E R_E) \\ &\cong V_{CC} + V_{EE} - I_C (R_C + R_E) \end{aligned}$$

مثال (3-3):

أوجد قيمة كل من التيار I_C , I_E والجهد V_{CE} للدارة الموضحة في الشكل (35-4) إذا كانت $\beta_{dc} = 100$ والجهد $V_{BE} = 0.7\text{v}$.



الشكل (35-4)

الحل:

يمكن حساب قيمة التيار I_E كما يلي:

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E + (R_B / \beta_{dc})} = \frac{-(-10\text{V}) - 0.7\text{V}}{4.7\text{K}\Omega + (47\text{K}\Omega/100)} = \frac{9.3\text{V}}{5.17\text{K}\Omega} = 1.8\text{mA}$$

وحيث أن:

$$I_C \cong I_E = 1.8\text{mA}$$

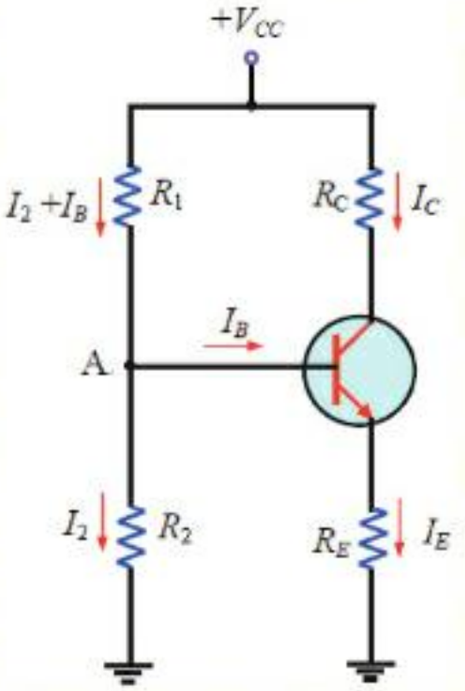
فيكون الجهد V_{CE}:

$$\begin{aligned} V_{CE} &\cong V_{CC} + V_{EE} - I_C (R_C + R_E) \\ &\cong 10\text{V} - (-10\text{V}) - 1.8\text{mA}(5.7\text{K}\Omega) = 9.74\text{V} \end{aligned}$$

4-3-4 تأمين الانحياز عن طريق مجزئ الجهد

يوضح الشكل (4-36) دارة ترانزستور يؤمن انحياز جهد القاعدة فيها عن طريق مجزئ أومي للجهد مكون من مقاومتين R_1, R_2.

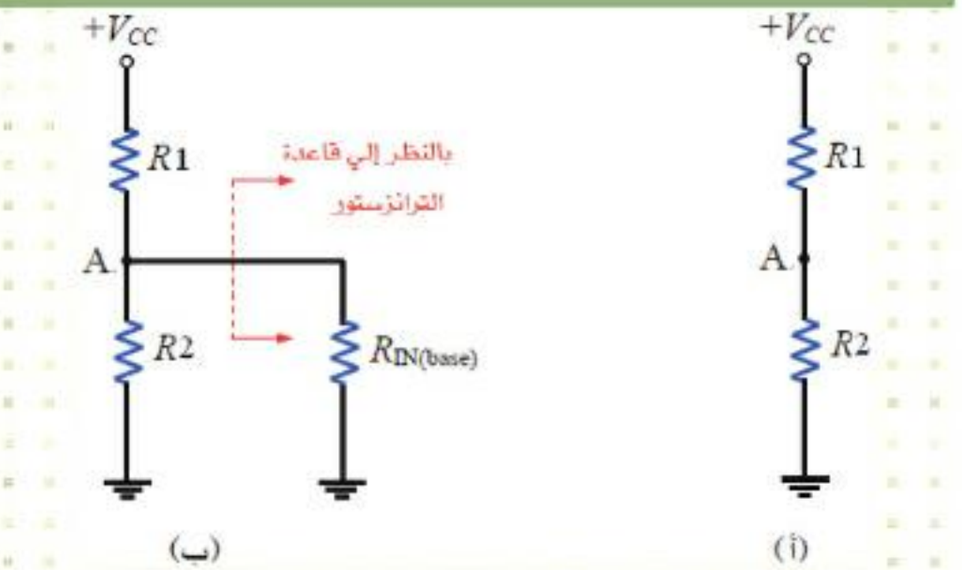
عند النقطة A، يوجد مساران للتيار إلى الأرض: المسار الأول خلال المقاومة R_2 والثاني خلال وصلة القاعدة–الباعث للترانزستور.



الشكل (4-36) تأمين الانحياز عن طريق مجزئ الجهد

إذا كان تيار القاعدة I_B أقل بكثير من التيار المار بالمقاومة R_2، فيمكن اعتبار دارة الانحياز كمجزئ جهداً مكوناً من مقاومتين R_2 , R_1 كما هو مبين في الشكل (4-37)(أ).

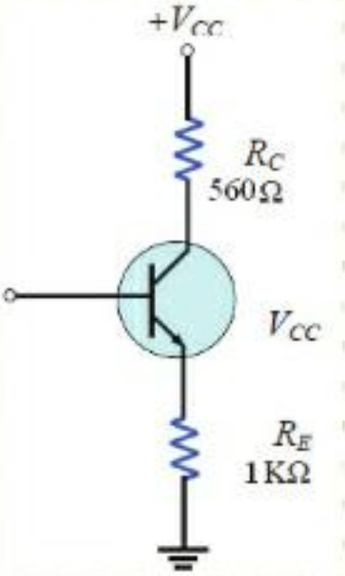
أما إذا كان تيار القاعدة I_B ليس صغيراً ولا يمكن إهماله بالنسبة للتيار I_2، فإن المقاومة الداخلية بين القاعدة والأرض للترانزستور $(R_{IN\,(base)})$ يجب أخذها بعين الاعتبار. وهذه المقاومة تظهر على التوازي مع المقاومة R_2، كما هو مبين في الشكل (4-37)(ب).



الشكل (4-37) مجزئ الجهد البسيط

مقاومة الدخل عند القاعدة Input Resistance at the Base:

لاستنتاج صيغة لمقاومة الدخل عند القاعدة للترانزستور، نستخدم الدارة الموضحة بالشكل (4-38). يطبق الدخل V_{IN} بين القاعدة والأرض، والتيار I_{IN} هو التيار الداخل إلى القاعدة.



الشكل (4-38) استنتاج صيغة لمقاومة الدخل عند القاعدة

باستخدام قانون أوم نحصل على:

$$R_{IN(base)} = \frac{V_{IN}}{I_{IN}}$$

وبتطبيق قانون كيرشوف على دارة القاعدة–الباعث نحصل على:

$$V_{IN} = V_{BE} + I_E R_E$$

وبفـــرض أن $V_{BE} << I_E R_E$ ، فإن المعادلة السابقة تصبح:

$$V_{IN} \cong I_E R_E$$

وبمـــا أن $I_E \cong \beta_{dc} I_B$ فإن:

$$V_{IN} \cong \beta_{dc} I_B R_E$$

وبالتعويض نحصل على:

$$R_{IN(base)} = \frac{V_{IN}}{I_{IN}} \cong \frac{\beta_{dc} I_B R_E}{I_B}$$

وبحذف التيار I_B نحصل على:

$$R_{IN(base)} \cong \beta_{dc} R_E \qquad (12\text{-}3)$$

مثال (3-4):

حدد قيمة مقاومة الدخل لدارة الترانزستور المبينة في الشكل (4-38) إذا علمت أن $\beta_{dc} = 125$.

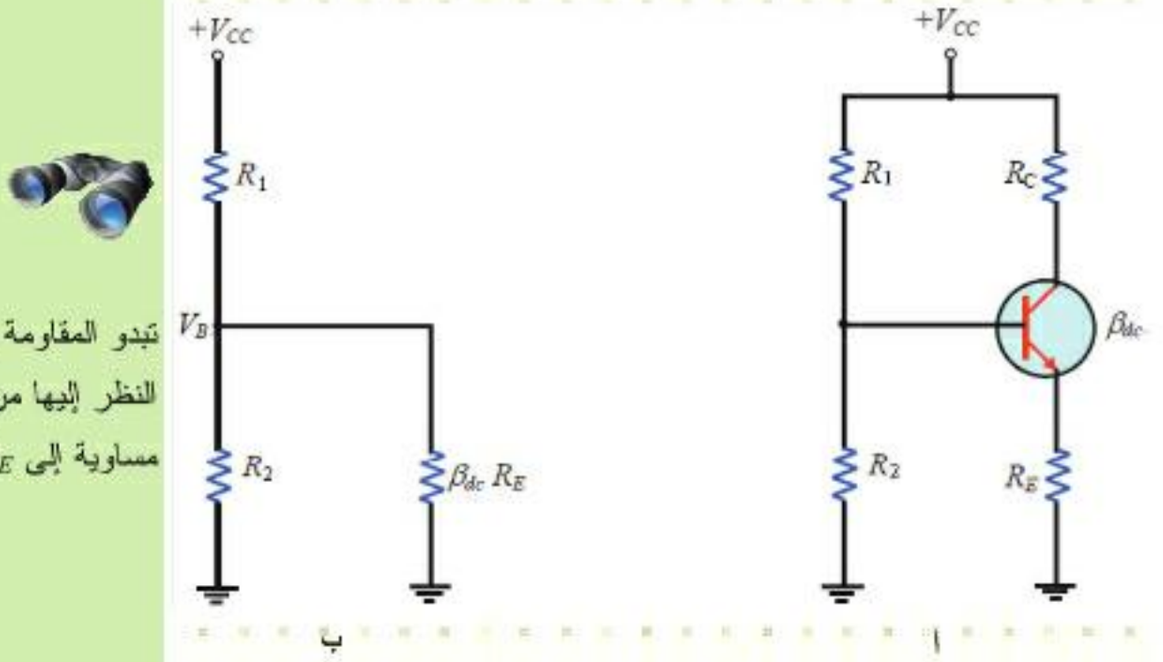
الحل:

$$R_{IN(base)} \cong \beta_{dc} R_E = (125)(1K\Omega) = 125K\Omega$$

تحليل دارة مجزئ الجهد Analysis of Voltage-Divider Circuit:

يبين الشكل (4-39)(أ) دارة تأمين انحياز الترانزستور عن طريق مجزئ الجهد، سنبدأ بتحليل الدارة بتحديد قيمة الجهد عند القاعدة باستخدام صيغة مجزئ الجهد، مع الأخذ بعين الاعتبار أن:

$$R_{IN(base)} \cong \beta_{dc} R_E$$



ب أ

الشكل (4-39) تأمين الانحياز عن طريق مجزئ الجهد

المقاومة الكلية من القاعدة إلى الأرض تساوي:

$$R_2 // \beta_{dc} R_E$$

يتكون مجزئ الجهد من المقاومة R_1 على التسلسل مع المقاومة بين القاعدة والأرض ($\beta_{dc} R_E$)، والتي هي على التوازي مع المقاومة R_2 كما هو مبين في الشكل (4-39)(ب).

بتطبيق صيغة مجزئ الجهد نحصل على:

$$V_B = \left(\frac{R_2 // \beta_{dc} R_E}{R_1 + (R_2 // \beta_{dc} R_E)} \right) V_{CC}$$

إذا كانت $\beta_{dc} R_E >> R_2$، فإن الصيغة السابقة يمكن تبسيطها إلى:

تبدو المقاومة R_E عند النظر إليها من القاعدة مساوية إلى $\beta_{dc} R_E$.

$$V_B \cong \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) V_{CC} \qquad (13\text{-}3)$$

وبمعرفة جهد القاعدة V_B، يمكن الحصول على جهد الباعث ويساوي:

$$V_E = V_B - V_{BE} \qquad (14\text{-}3)$$

كما يمكن إيجاد تيار الباعث I_E وكذلك جهد الباعث V_E باستخدام قانون أوم:

$$I_E = V_E / R_E \Longleftrightarrow V_E = I_E R_E \qquad (15\text{-}3)$$

وبما أن:

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C \qquad (16\text{-}3)$$

وبمعرفة V_C و V_E يمكن تحديد V_{CE} كما يلي:

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

وبالتعويض عن V_C و V_E بما يساويهما من المعادلتين (16-3) و (15-3) نجد:

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

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

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

وبما أن $I_E \cong I_C$ نحصل على:

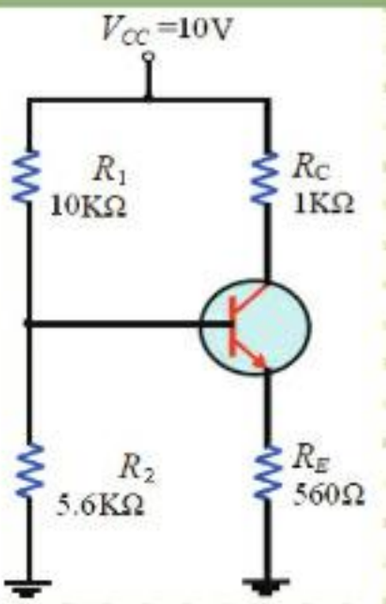
$$V_{CE} \cong V_{CC} - I_C R_C - I_C R_E$$

وبالتالي:

$$V_{CE} \cong V_{CC} - I_C (R_C + R_E) \qquad (17\text{-}3)$$

مثال (3-5):

أوجد قيمة كل من الجهد V_{CE} والتيار I_C في الدارة الموضحة في الشكل (4-40) علماً بأن $\beta_{dc} = 100$.



الشكل (4-40)

الحل:

نحدد أولاً قيمة مقاومة الدخل:

$$R_{IN(base)} \cong \beta_{dc} R_E = (100)(560\Omega) = 56K\Omega$$

نلاحظ أن قيمة المقاومة $R_{IN\,(base)}$ تساوي عشرة أضعاف المقاومة R_2 وعليه يمكن إهمال المقاومة $R_{IN\,(base)}$. وبالتالي فإن الجهد V_B يساوي:

$$V_B \cong \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) V_{CC} = \left(\frac{5.6K\Omega}{15.6K\Omega}\right) 10V = 3.59V$$

والجهد V_E يساوي:

$$V_E = V_B - V_{BE} = 3.59V - 0.7V = 2.89V$$

وكذلك:

$$I_E = V_E / R_E = 2.89V/560\Omega = 5.16\ mA$$

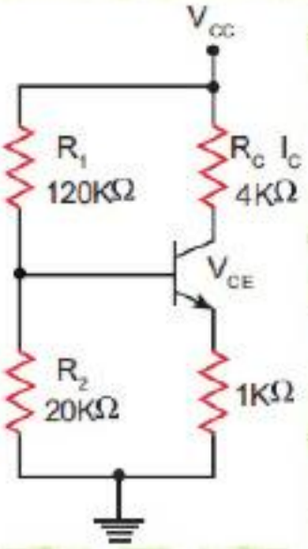
وبناءً على ذلك:

$$I_C \cong 5.16mA$$

وأيضاً:

$$V_{CE} \cong V_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 10V - 5.16mA(1.56K\Omega) = 1.95V$$

مثال (3-6): أوجد قيمة V_{CE} للدارة المبينة في الشكل (4-41) مع مراعاة أن الترانزستور مصنوع من الجرمانيوم وأن: $\beta = 50$,$V_{BB} = 0.3$, $V_{CC} = 10v$.



الشكل (4-41)

الحل:

تكون الخطوة الأولى بتطبيق قانون مجزئ الكمون، وبالاستعانة بالشكل (4-42) المكافئ نكتب:

$$V_{BB} = V_{CC}\frac{R_2}{R_1+R_2} = 10\,\frac{20K}{20K+120K} =$$

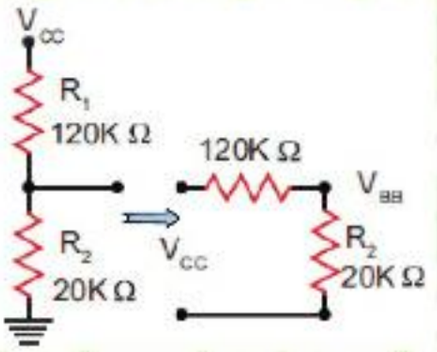
$$V_{BB} = 1.43V$$

المقاومة المكافئة (على التفرع):

$$R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2} = \frac{20K \times 120K}{20K+120K} = 17.1K\Omega$$

وتصبح الدارة كما في الشكل (4-43).

بتطبيق قانون كيرشوف على الدارة:



الشكل (4-42)

$$V_{BB} = R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E$$

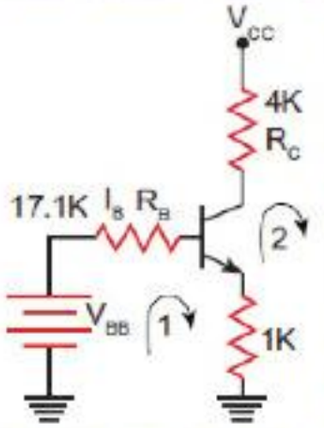
$$1.43 = 17.1K\, I_B + 0.3 + 1K\, I_E$$

$$1.13 = 17.1K\, I_B + 1K\, I_E \quad .. (1)$$

$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E$$

$$10 = 4K\, I_C + V_{CE} + 1K\, I_E \quad .. (2)$$

وأيضاً:



الشكل (4-43)

$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = (1 + 50) I_B$$

$$I_E = 51 I_B \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

$$I_C = 50 I_B \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

بالتعويض في (1) نجد:

$1.13 = 17.1K\ I_B + 1K \times 51\ I_B$

$1.13 = 68.1K\ I_B$

$I_B = 16.6\mu A$

وبالتعويض في (4) نجد:

$I_C = 50 \times 16.6\mu = 0.830\ m A$

بالتعويض في (3) ثم في (2) نجد:

$10 = 4K \times 0.83\ m + V_{CE} + 1K \times 0.846\ m$

$V_{CE} = 5.83\ V$

4-3-5 توصيلات الترانزستور

Transistor Configurations

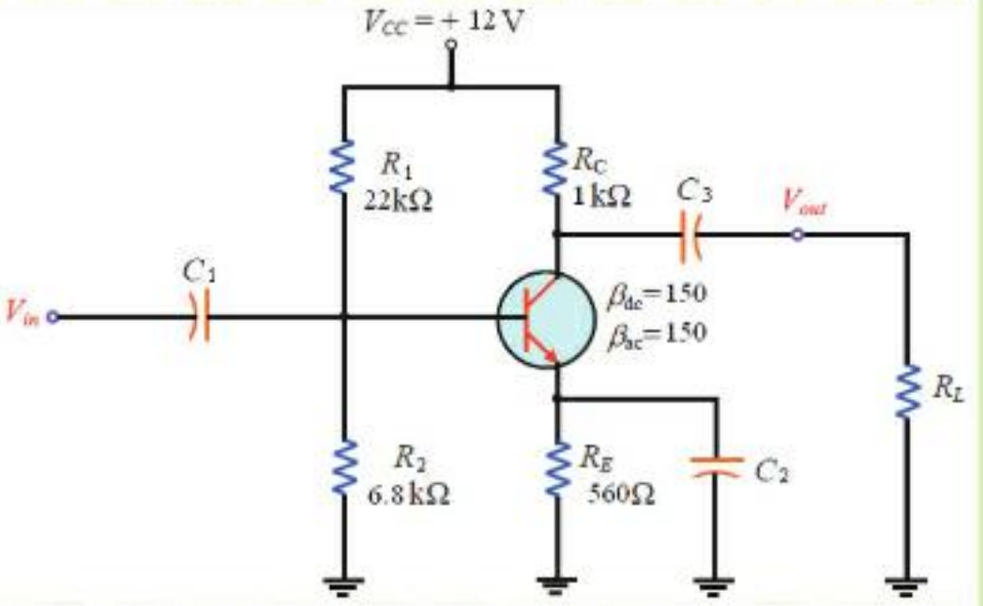
في هذه الفقرة نتعرف على توصيلات الترانزستور عندما يستخدم كمكبر في الدارات الإلكترونية وتتم وفق ثلاثة أنواع:

- توصيلة الباعث المشترك (Common-Emitter Configuration)
- توصيلة المجمع المشترك (Common-Collector Configuration)
- توصيلة القاعدة المشتركة (Common-Base Configuration)

أ- مكبرات الباعث المشترك

The Common Emitter Amplifiers

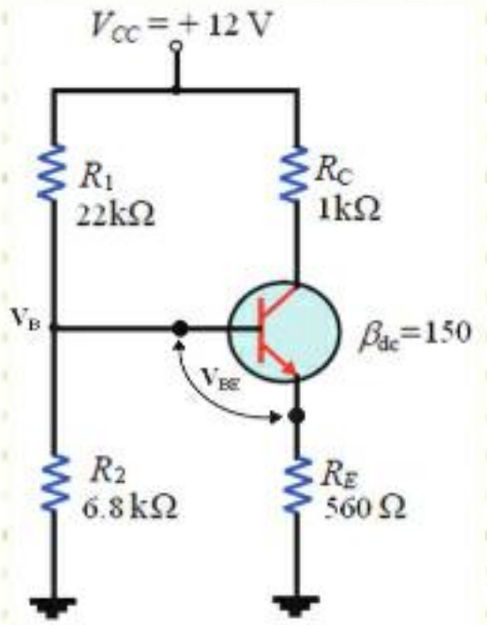
يوضح الشكل (4-44) دارة مكبر الباعث المشترك مع تأمين الانحياز لـه عن طريق مجزئ جهد ومكثفات الربط C_1، C_3 في الدخل والخرج، ومكثف التسريب C_2 من الباعث إلى الأرض. الواضح أن الدارة تعمل في حالتي التيار المتناوب والتيار المستمر، وسحلل الدارة من حيث العمل في هاتين الحالتين.



الشكل (4-44) مكبر الباعث المشترك

التحليل في حالة التيار المستمر DC Analysis:

لتحليل المكبر المبين في الشكل (4-44)، يجب أن نحدد قيم انحياز التيار المستمر أولاً، ونستنتج الدارة المكافئة في حالة التيار المستمر ويتم ذلك بحذف جميع المكثفات من الدارة (لأن المكثف لا يمرر تياراً مستمراً) كما هو مبين في الشكل (4-45).



الشكل (4-45) الدارة المكافئة في حالة التيار المستمر

علمنا سابقاً أن مقاومة دخل القاعدة تعطى بالعلاقة الآتية:

$$R_{IN(base)} \cong \beta_{dc} R_E = (150)(560\Omega) = 84K\Omega$$

وبما أن المقاومة $R_{IN(base)}$ أكبر بكثير من المقاومة R_2، يمكن إهمال المقاومة $R_{IN(base)}$ عندما نحسب قيمة جهد القاعدة المستمر:

$$V_B \cong \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) V_{CC} = \left(\frac{6.8K\Omega}{28.8K\Omega}\right) 12V = 2.83V$$

وبالتالي فإن:

$$V_E = V_B - V_{BE} = 2.83V - 0.7V = 2.13V$$

تكون المقاومة الكلية في الدارة التفرّعية أصغر من أصغر مقاومة جزئية في الدارة.

وكذلك: $I_E = V_E / R_E = 2.13\text{V} / 560\Omega = 3.8\ \text{mA}$

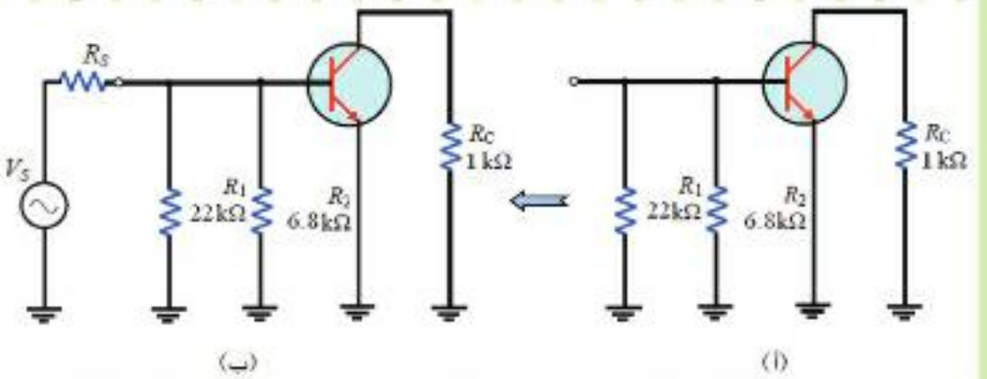
وبناءً على ذلك فإن: $I_C \cong 3.8\text{mA}$

وأيضاً: $V_C \cong V_{CC} - I_C R_C = 12\text{V} - (3.8\text{mA})(1\text{K}\Omega) = 8.2\text{V}$

وأخيراً: $V_{CE} = V_C - V_E = 8.2\text{V} - 2.13\text{V} = 6.07\text{V}$

التحليل في حالة التيار المتناوب AC Analysis:

لتحليل الدارة في حالة التيار المتناوب، يعاد رسم الدارة بعد عمل قصر على المكثفات C_1, C_2, C_3 وعلى منبع الجهد المستمر V_{CC}. فتصبح الدارة المكافئة كما هو مبين في الشكل (4-46)(أ). وعند توصيل منبع الجهد المتناوب على دخل الدارة، تصبح الدارة المكافئة كما هو مبين في الشكل (4-46)(ب).



الشكل (4-46) الدارة المكافئة في حالة التيار المتناوب

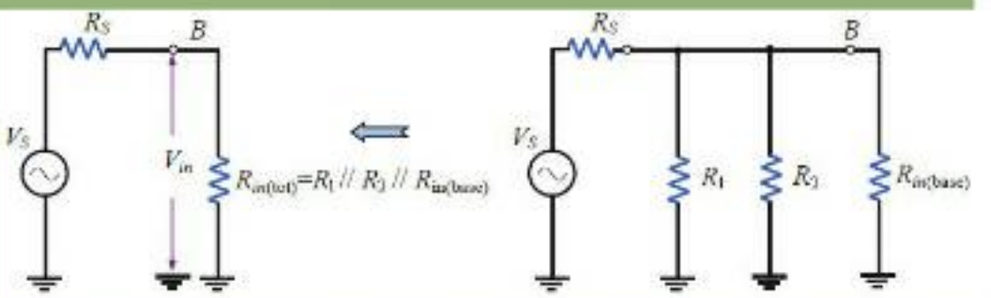
يمكن حساب جهد القاعدة V_B باستخدام الشكل (4-47)(أ) والذي تم تبسيطه بالشكل (4-47) (ب) كالآتي:

$$V_b = \left(\frac{R_{in(tot)}}{R_s + R_{in(tot)}} \right) V_s$$

إذا كانت $R_S << R_{in(tot)}$ فإن جهد القاعدة يصبح:

$$V_b \cong V_s$$

حيث V_b هو جهد القاعدة أو جهد الدخل V_{in} للمكبر.



ب ا

الشكل (4-47) دارة القاعدة المكافئة في حالة التيار المتناوب

مقاومة الدخل Simple Te is an

لحساب مقاومة الدخل للمكبر بمعرفة الدخل المتناوب، نتبع الآتي:

$$R_{in(base)} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{V_b}{I_b}$$

وحيث إن:

$$V_b = I_e r'_e$$

وكذلك:

$$I_e \cong I_c$$

فإن:

$$I_b \cong \frac{I_e}{\beta_{ac}}$$

وبالتعويض عن قيمة كل من الجهد V_b والتيار I_b نحصل على:

$$R_{in(base)} = \frac{V_b}{I_b} = \frac{I_e r'_e}{\left(\frac{I_e}{\beta_{ac}}\right)}$$

وبحذف التيار I_e من المعادلة نحصل على:

$$R_{in(base)} = \beta_{ac} r'_e \qquad (18\text{-}3)$$

وتكون المقاومة الكلية:

$$R_{in(tot)} = R_1 // R_2 // R_{in(base)} \qquad (19\text{-}3)$$

مقاومة الخرج Output Resistance:

مقاومة الخرج لدارة مكبر الباعث المشترك تساوي تقريباً قيمة مقاومة المجمع، وبالتالي فإن:

$$R_{out} \cong R_C \qquad (20\text{-}3)$$

ربح الجهد لدارة الباعث المشترك:

Voltage Gain of the Common-Emitter Amplifier

يمكن حساب قيمة ربح الجهد لدارة الباعث المشترك كالآتي:

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{V_c}{V_b}$$

حيث:

V_c جهد الخرج المتناوب عند المجمع.

V_b جهد الدخل المتناوب عند القاعدة.

وبما أن $V_c = a_{ac} I_e R_C \cong I_e R_C$ وكذلك $V_b = I_e r'_e$ فإن:

$$A_v = \frac{I_e R_C}{I_e r'_e}$$

وبحذف I_e من المعادلة نحصل على:

$$\boxed{A_v = \frac{R_C}{r'_e}} \qquad (21\text{-}3)$$

ربح التيار Current Gain:

ربح التيار من القاعدة إلى المجمع هو (I_c/I_b) أو β_{ac}. وعلى ذلك يكون الربح الكلي للتيار لدارة المكبر هو:

$$\boxed{A_i = \frac{I_c}{I_s}} \qquad (22\text{-}1)$$

حيث I_S هو التيار الكلي ويتكون من مركبتين: المركبة الأولى هي تيار القاعدة والمركبة الثانية هي التيار المار في دارة تأمين الانحياز $(R_1 // R_2)$، و يكون

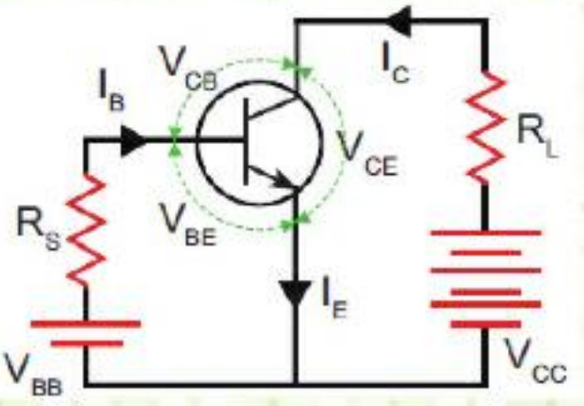
التيار الكلي الناتج من المنبع يساوي:

$$I_s = \frac{V_s}{R_{in(tot)} + R_s}$$

ميزات دارة الباعث المشترك:

كما رأينا يكون الباعث في دارة الباعث المشترك هو الطرف المشترك بين مدخل الدارة ومخرجها، كما هو مبين في الشكل (4-48)، من ميزاتها:

- الحصول على معامل ربح للجهد والتيار عال نسبياً.
- يوجد فرق في الطور بين إشارتي الدخل والخرج مقدارها 180°.
- ممانعة الدخل متوسطة (تقاس بوحدة $K\Omega$).
- ممانعة الخرج متوسطة أيضاً، ولكنها أعلى من ممانعة الدخل.



الشكل (4-48) دارة الباعث المشترك

ب- مكبرات المجمع المشترك

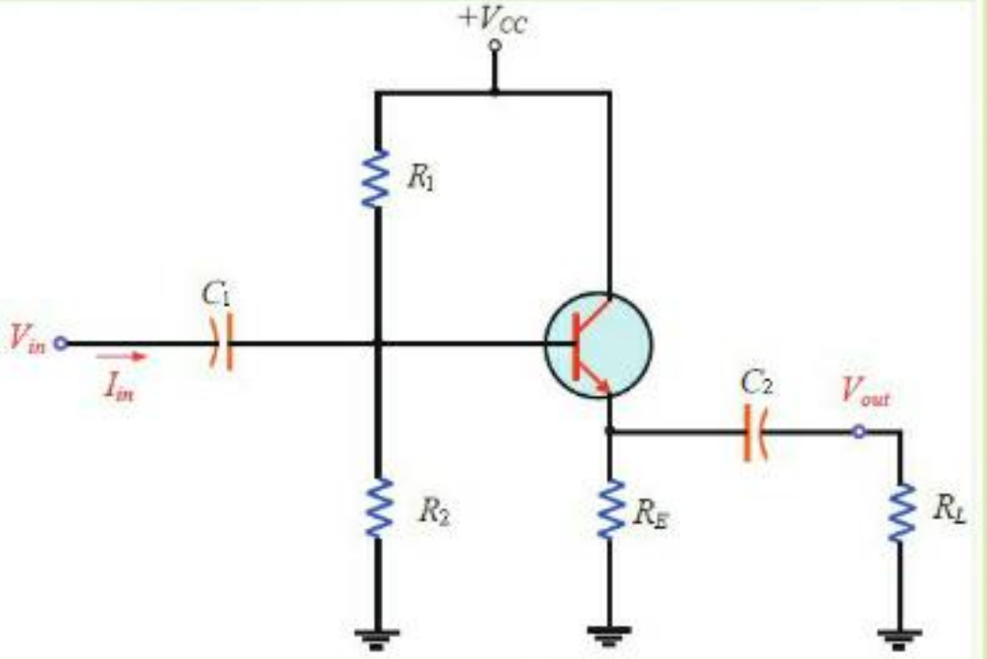
The Common Collector Amplifiers

تسمى دارة المجمع المشترك عادة باسم التابع الباعثـــي (the emitter follower)، ويدعى كذلك لأن نقطة الخرج هي الباعث الذي يتبـــع الـــدخـــل (القاعدة) مع نقص بمقدار هبوط الجهد على الثنائي:

$$V_E \cong V_B - 0.6 \text{ volt}$$

والخرج هو نسخة طبق الأصل عن الدخل، ولكنه أقل إيجابية بمقدار 0.6 أو 0.7 فولت. ربح الجهد لدارة مكبر المجمع المشترك يساوي تقريباً الواحد (1). من أهم مميزاتها أن لها مقاومة دخل عالية جداً، وربحاً عالياً للتيار.

يبين الشكل (4-49) دارة تابع باعثي مع مجزئ جهد، لاحظ أن الدخل مرتـــبـــط بالقاعدة عن طريق مكثف الربط C_1، وكذلك الخرج متصل بالباعث عن طريـــق مكثف الربط C_2.



الشكل (4-49) دارة التابع الباعثي مع مجزئ جهد

ربح الجهد Voltage Gain:

كما هو الحال في جميع المكبرات، فإن ربح الجهد يساوي $A_v = V_o / V_{in}$.

وبفرض إهمال المفاعلة السعوية (capacitance reactance)، نحصل على:

$$V_{out} = I_e R_e$$

وكذلك:

$$V_{in} = I_e (r'_e + R_e)$$

وبالتالي يكون ربح الجهد:

$$A_v = \frac{I_e R_e}{I_e (r'_e + R_e)}$$

وبحذف I_e من المعادلة نحصل على:

$$A_v = \frac{R_e}{(r'_e + R_e)} \qquad (23\text{-}3)$$

حيث المقاومة R_e هي محصلة التوازي بين المقاومتين R_E, R_L، وفي حالة عدم وجود حمل فإن $R_e = R_E$. نلاحظ أن الكسب دائماً أقل من (1).

إذا كانت $R_e >> r'_e$، فإن $A_v \cong 1$ ويكون هذا أفضل تقريب.

مقاومة الدخل Input Resistance:

تتميز دارة الباعث المشترك بأن لها مقاومة دخل عالية جداً، مما يجعلها تستخدم كدارة عزل (Buffer) وذلك لتقليل تأثير الحمل عندما تكون مقاومة الحمل صغيرة.

يماثل استنتاج مقاومة الدخل لدارة التابع الباعثي استنتاج مقاومة الدخل لدارة الباعث المشترك، وعلى ذلك:

$$R_{in(base)} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{V_b}{I_b} = \frac{I_e (r'_e + R_e)}{I_b}$$

وحيث إن:

$$I_e \cong I_c = \beta_{ac} I_b$$

نجد:

$$R_{in(base)} = \frac{\beta_{ac} I_b (r'_e + R_e)}{I_b}$$

وبحذف التيار I_b من المعادلة نحصل على:

$$R_{in(base)} \cong \beta_{ac} (r'_e + R_e) \qquad (24\text{-}3)$$

فإذا كانت $R_e >> r'_e$، تصبح المعادلة:

$$R_{in(base)} \cong \beta_{ac} R_e$$

وعلى ذلك تكون المقاومة الكلية:

$$R_{in(tot)} = R_1 // R_2 // R_{in(base)} \qquad (25\text{-}3)$$

مقاومة الخرج Output Resistance

مع عدم وجود مقاومة حمل، يمكن حساب مقاومة الخرج لدارة التابع الباعثي، كما يلي:

$$R_{out} \cong \left(\frac{R_s}{\beta_{ac}} \right) // R_E \qquad (26\text{-}3)$$

ربح التيار Current Gain

ربح التيار الكلي لدارة التابع الباعثي هو (I_e/I_{in}). ويمكن حساب قيمة التيار I_{in} من العلاقة:

$$I_{in} = \frac{V_{in}}{R_{in(tot)}}$$

فإذا كانت مقاومة التوازي المكونة من مجزئ الجهد R_1, R_2 أكبر بكثير من المقاومة $R_{in(base)}$ فإن معظم تيار الدخل يذهب إلى القاعدة. وعلى ذلك يكون ربح التيار للمكبر هو ربح التيار للترانزستور β_{ac} تقريباً والذي يساوي I_c/I_b.

وعلى ذلك إذا كانت: $R_1 // R_2 >> \beta_{ac} R_e$

فإن: $A_i \cong \beta_{ac}$

وبشكل آخر:

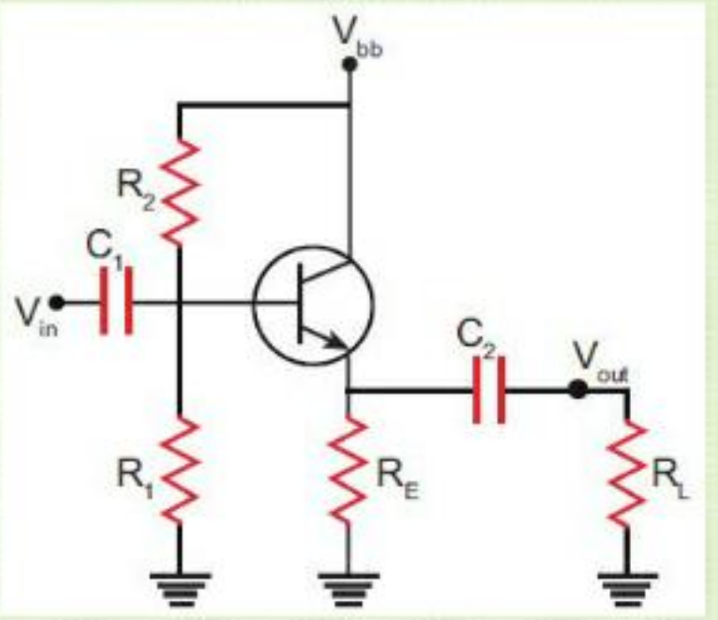
$$A_i = \frac{I_e}{I_{in}} \qquad (27\text{-}3)$$

ميزات دارة المجمع المشترك:

كما رأينا يكون المجمع في دارة المجمع المشترك هو الطرف المشترك بين مدخل الدارة ومخرجها، كما هو مبين في الشكل (4-50)، من ميزاتها:

- الحصول على ربح للتيار عالٍ (أعلى من ربح الباعث المشترك).
- لا يوجد ربح للجهد (معامل التكبير أقل من واحد).
- لا يوجد فرق في الطور بين إشارتي الدخل والخرج.
- ممانعة الدخل عالية.
- ممانعة الخرج منخفضة.

تستخدم كدارة فصل بين مقاومة خرج عالية ومقاومة دخل منخفضة (Buffer).

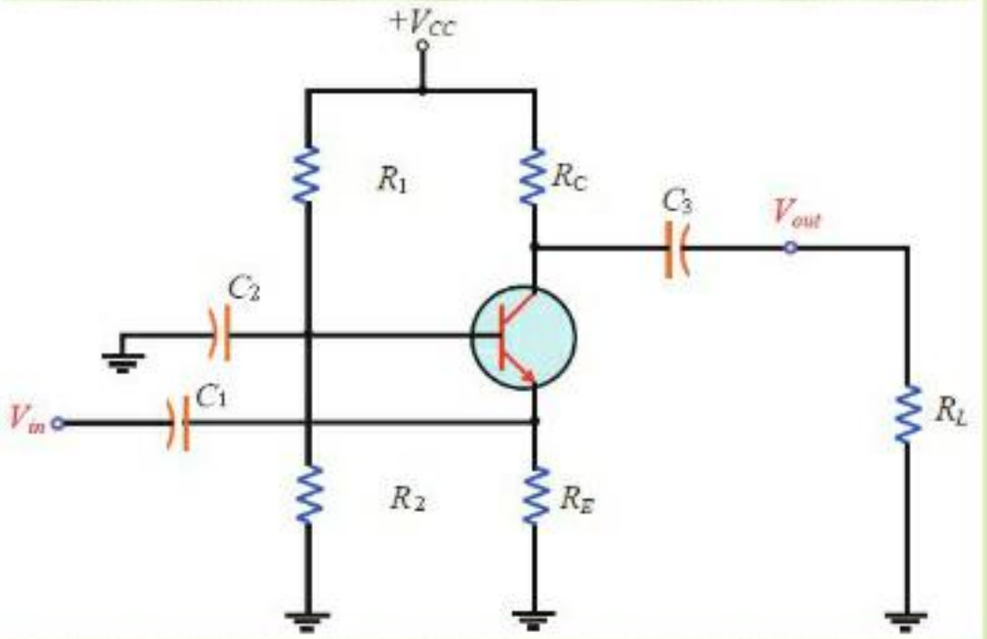


الشكل (4-50) دارة المجمع المشترك

ج- مكبرات القاعدة المشتركة

The Common Base Amplifiers

يوضح الشكل (4-51) دارة مكبر القاعدة المشتركة، حيث القاعدة هي الطـرف المشترك، وإشارة الدخل موصلة بالباعث عن طريق المكثف C_1، والـخـرج موصل مع المجمع عن طريق المكثف C_3 إلى الحمل.



الشكل (4-51) دارة مكبر القاعدة المشتركة

ربح الجهد Voltage Gain

يمكن استنتاج ربح الجهد من الباعث إلى القاعدة كما يلي:

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{V_c}{V_e} = \frac{I_c R_C}{I_e (r'_e // R_E)} \cong \frac{I_e R_C}{I_e (r'_e // R_E)} = \frac{R_C}{(r'_e // R_E)}$$

فإذا كانت $R_E >> r'_e$، فإن:

$$\boxed{A_v \cong \frac{R_C}{r'_e}} \qquad (28\text{-}3)$$

مقاومة الدخل Input Resistance

المقاومة التي يمكن رؤيتها عن طريق الباعث هي:

$$R_{in(emitter)} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{V_e}{I_e} = \frac{I_e (r'_e // R_E)}{I_e}$$

وبما أن $R_E >> r'_e$، فإن:

$$\boxed{R_{in(emitter)} \cong r'_e} \qquad (29\text{-}3)$$

مقاومة الخرج Output Resistance

بالنظر من خلال المجمع فإن مقاومة المجمع في حالة الدخل المتناوب r'_c تظهر على التوازي مع المقاومة R_C، وتكون مقاومة الخرج:

$$\boxed{R_{out} \cong R_C} \qquad (30\text{-}3)$$

ربح التيار Current Gain:

ربح التيار هو عبارة عن تيار الخرج مقسوماً على تيار الدخل. التيار I_c هو تيار الخرج، والتيار I_e هو تيار الدخل المتناوب. وبما أن $I_c \cong I_e$، فإن ربح التيار يساوي تقريباً الواحد، أي أن:

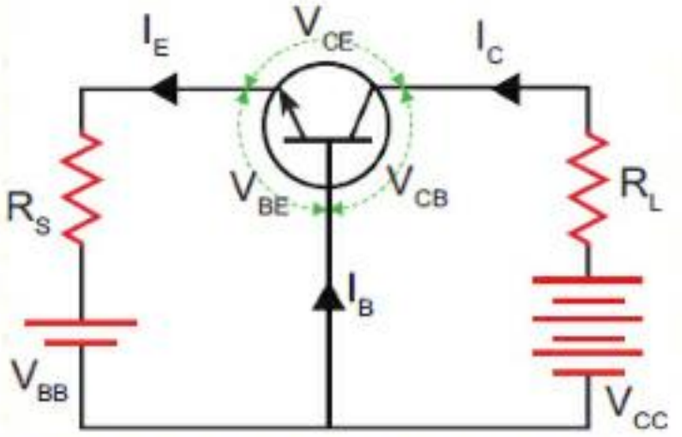
$$\boxed{A_i \cong 1} \qquad (31\text{-}3)$$

ميزات دارة القاعدة المشتركة:

كما رأينا تكون القاعدة في دارة القاعدة المشتركة هي الطرف المشترك بين مدخل الدارة ومخرجها، كما هو مبين في الشكل (4-52)، من ميزاتها:

- ربح جهد عالٍ جداً (أعلى من الباعث المشترك).
- لا يوجد فرق في الطور بين إشارتي الدخل والخرج.
- لا يوجد ربح للتيار. (معامل تكبير التيار أقل من واحد).
- ممانعة الدخل منخفضة.
- ممانعة الخرج عالية.

تستخدم لربط دارتين، حيث تكون ممانعة خرج الأولى منخفضة وممانعة دخل الثانية عالية، وتسمى هذه الطريقة من الربط موافقة الممانعة (Impedance Matching).



الشكل (4-52) دارة القاعدة المشتركة

4-4 فحص الترانزستور وتحديد صلاحيته

للترانزستور محددات كثيرة درست بعضها، وستتعرف بعضها الآخر لاحقاً، مثل: نوع مادة الترانزستور، هل هو جرمانيوم أم سيليكون؟ وأين يستخدم؟ وهل هو (pnp) أم (npn)؟ وكيف تميّز بين أطرافه؟ وغير ذلك من المعلومات الضرورية، فكيف يتم تعرف هذه المحددات ؟

يمكنك تعرف بعض محددات الترانزستور بقراءة الكتابات والرموز الموجودة على العلبة المغلّفة للترانزستور، إذ يمكنك قراءة رقم الترانزستور، وهذا الرقم يُحدد بعض محددات الترانزستور لأن أجزاءه ترمز لبعض هذه المحددات. وفي بعض الأحيان تُكتب الرموز (C، B ، E) للدلالة على أطراف الترانزستور أو يوضع مثلث صغير أو تجويف صغير قرب الباعث للدلالة عليه.

الطريقة السابقة تعطي دلالات عامة، ولا تشير إلى المواصفات الفنية للترانزستور، لذلك تقوم الشركات الصانعة بإصدار كتيّبات تضم جداول بيانات تحوي على رقم الترانزستور ومادة تصنيعه، وقطبيته، وجهد تشغيله والتيارات المختلفة، والتكبير والاستطاعة ودرجة الحرارة التي يعمل ضمنها، واستخدامه الأمثل، والبدائل المكافئة له في العمل، وتحوي كذلك شكل الترانزستور وأطرافه المختلفة.

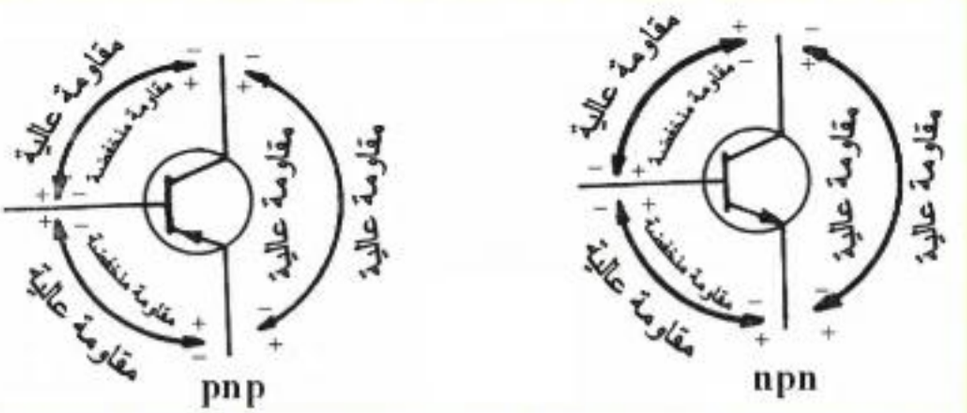
ويتم في كتيّبات مكافئات الترانزستور ترتيب الترانزستورات ضمن سلاسل تبدأ ببعض الأرقام والأحرف، وتحتوي في نهاية الرمز على أرقام متسلسلة، وتكون هذه الرموز مطبوعة في الغالب على غلاف الترانزستور. فمثلاً الترانزستور المطبوع عليه الرمز (B635) يُضاف إليه المقطع (2S) فيصبح الرمز (2SB 635)، وبالرجوع إلى كتيب المكافئات، افتح على السلسلة (2SB)، تجد أمام رمز الترانزستور ما يلي:

- **MAT**: تشير إلى اسم الشركة الصانعة وهي شـــركة ماتسوشـــيتا اليابانية.
- **Ge-pnp**: تشير إلى أن الترانزستور مصنوع من الجرمـــانيوم و نوعه (pnp).

- يستخدم الترانزستور عند تردد متوسط، ويتحمل (32) فولط، و (0.15) أمبير.
- استطاعة الترانزستور (0.15) واط.
- الترانزستورات البديلة لهذا الترانزستور AC125 , AC122 .
- رقم الشكل الذي يبين ترتيب أطراف الترانزستور.

بعد أن درست بعض المعلومات الضرورية عن الترانزستور، قد يتبادر إلى ذهنك، هل يمكن تحديد أطراف الترانزستور وفحص صلاحيته باستخدام الآفومير؟ ويقصد بتحديد صلاحية الترانزستور، تحديد إذا كان تالفاً أم صالحاً، كما يقصد بتحديد أطراف الترانزستور، التمييز بين الباعث والقاعدة والمجمع، وهذا ممكن باستخدام جهاز فاحص الترانزستور. إلا أن هذا الجهاز لا يكون متوافراً في أغلب الأحيان، فيلجأ إلى استخدام جهاز الآفومير.

باستخدام جهاز الآفومير يتم قياس المقاومات بين أطراف الترانزستور الثلاثة، بحيث تقاس قيمتا المقاومة بين كل طرفين (تعكس قطبية الجهاز في كل مرة)، مراعياً أن الترانزستور يتكون من ثنائيين متعاكسين، وأن لكل ثنائي مقاومة أمامية منخفضة ومقاومة عكسية عالية جداً. ومن خلال القيم المقاسة وقطبيات القياس في الحالات المختلفة، يتم تحديد صلاحية الترانزستور، وتحديد نوعه (pnp) أو (npn) وأطرافه. ويبين الشكل (4-53) حالة المقاومات بين أطراف الترانزستور عندما يكون صالحاً، وأي اختلاف في قيم المقاومات المقاسة عن الأوضاع المبينة في الشكل يعني تلف الترانزستور .



الشكل (4-53) طريقة فحص الترانزستور ثنائي القطبية

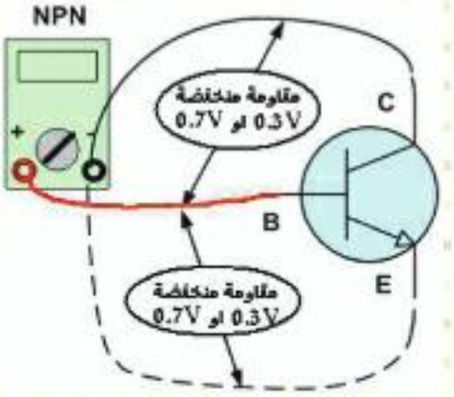
مثال (4-1):

باستخدام مقياس الأوم يتم قياس المقاومة على أطراف الترانزستور، وكانت نتيجة الفحص كما في الجدول (4-2) الآتي:

الطرف 1	الطرف 2	الطرف 3	نتيجة الفحص
+	-		مقاومة عالية
-	+		مقاومة منخفضة
+		-	مقاومة عالية
-		+	مقاومة عالية
	+	-	مقاومة منخفضة
	-	+	مقاومة عالية

الجدول (4-2)

المطلوب: استنتج طرف القاعدة ونوع الترانزستور من الجدول السابق.



الشكل (4-54) طريقة فحص الترانزستور باستخدام الأفومتر

الحل:

1) الطرف 2 هو القاعدة لأنه يعطي قراءة منخفضة مع كل من الطرفين 1 و 3.
2) القاعدة هي شريحة نصف ناقل من النوع P ، لأن القياس بين الطرف 2 وكل من الطرفين 1 و 3 يعطي قيمة مقاومة منخفضة عند وصل الطرف 2 إلى السلك الأحمر الموجب من المقياس، وتكون الشريحتان الطرفيتان من النوع N، وبالتالي فإن الترانزستور يكون من النوع: NPN.

سؤال:

ارجع إلى كتيّب مكافئات الترانزستور، وحدد مواصفات الترانزستورات الآتية: AC 127, 2N 1086, BD 137.

هناك أنواع من الترانزستورات لا تنطبق عليها طريقة الفحص السابقة وذلك لاحتوائها على ثنائي بين المجمع والباعث، أو تحتوي على مقاومة بين القاعدة والباعث، وكذلك لا تنطبق على ترانزستورات دارلنغتون

تقييم المعلومات النظرية للوحدة

1- عرّف نوعي الترانزستور ثنائي القطبية نسبة إلى تركيبه.

2- عرّف الأطراف الثلاثة لترانزستور ثنائي القطبية.

3- اشرح مبدأ عمل الترانزستور ثنائي القطبية، وارسم رموزه.

4- عرّف كلاً من β_{dc} و α_{dc}.

5- اشرح التأثيرات الحرارية على الترانزستور.

6- عرّف ربح الجهد.

7- متى يستخدم الترانزستور كمفتاح؟ وفي أي الحالات يعمل؟

8- متى تكون قيمة تيار المجمع أكبر ما يمكن؟

9- تحت أية شروط تكون $V_{CE} = V_{CC}$؟

10- متى تصل قيمة تيار المجمع تقريباً إلى الصفر؟

11- متى تكون قيمة V_{CE} أقل ما يمكن؟

12- ارسم التوصيلات الثلاث للترانزستور ثنائي القطبية، واذكر ميزات كل منها.

13- ما العيوب الرئيسية لدارة المكبر ذي القاعدة المشتركة موازنة بدارة المكبر ذي الباعث المشترك والمكبر ذي الباعث التابعي.

14- اختر الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

(1) أكبر التيارات قيمة للترانزستور ثنائي القطبية هو:

أ. تيار الباعث (I_E). ب. تيار المجمع (I_C).

جـ. تيار القاعدة (I_B). د. تيار التسريب العكسي.

(2) شرط الانحياز للترانزستور العمل كمكبر يسمى:

أ. أمامي – عكسي. ب. أمامي – أمامي.

جـ. عكسي – عكسي. د. انحياز القاعدة.

(3) إذا كان جهد خرج مكبر الترانزستور 5v(rms) وجهد الدخل 100mv يكون ربح الجهد:

أ. 5 ب. 500

جـ. 50 د. 100

(4) عندما يعمل الترانزستور في منطقتي القطع والتشبع فإنه يمثّل:

أ. مكبراً خطياً. ب. مفتاحاً.

جـ. مكثفاً متغيّراً. د. مقاومة متغيّرة.

(5) في منطقة القطع يكون الجهد V_{CE} :

أ. 0v. ب. يساوي V_{CC}.

جـ. أقل ما يمكن. د. أكبر ما يمكن.

هـ. الإجابات (أ) و (جـ) و. الإجابات (ب) و (د).

(6) في منطقة التشبع يكون الجهد V_{CE} :

أ. 0.7v ب. يساوي V_{CC}.

جـ. أقل ما يمكن. د. أكبر ما يمكن.

(7) للوصول إلى منطقة التشبع في الترانزستور ثنائي القطبية يجب أن يكون:

أ. $I_B = I_{C(sat)}$ ب. $I_B > I_{C(sat)} / \beta_{dc}$.

جـ. V_{CC} على الأقل 10v د. الباعث متصلاً بالأرضي.

(8) عندما نصل إلى منطقة التشبع فإن الزيادة في تيار القاعدة تؤدي إلى:

أ. حدوث زيادة في تيار المجمع. ب. لا تؤثر في تيار المجمع.

جـ. حدوث نقصان في تيار المجمع. د. الانتقال إلى منطقة القطع

(9) إذا كانت وصلة القاعدة–الباعث مفتوحة يكون جهد المجمع:

أ. V_{CC}. ب. 0v.

جـ. 0.2v. د. عائم (Floating).

(10) من عيوب طريقة انحياز القاعدة أنها:

أ. معقدة جداً. ب. تعطي ربحاً منخفضاً.

جـ. تعتمد على β. د. تعطي تيار تسريب مرتفعاً.

(11) تعتمد مقاومة الدخل عند قاعدة الترانزستور على:

أ. β_{dc}. ب. R_B

جـ. R_E. د. β_{dc} وكذلك R_E.

(12) إذا كان $V_B = 2.95v$ في دارة الترانزستور npn التي تستخدم طريقةانحياز مجزئ الجهد، فإن جهد الباعث المستمر يساوي تقريباً:

أ. 2.25v ب. 2.95v

جـ. 3.65v د. 0.7v

(13) في دارة المجمع المشترك، إذا كان: $R_E = 100\Omega, r'_e = 10\Omega,$ $\beta_{dc} = 150$ فإن مقاومة الدخل للتيار المتناوب عند القاعدة تساوي:

أ. 1500Ω ب. 15KΩ

جـ. 110Ω. د. 16.5KΩ

(14) مقاومة الدخل لدارة المكبر ذي القاعدة المشتركة تكون:

أ. صغيرة جداً. ب. عالية جداً.

جـ. مثل المقاومة في حالة الباعث المشترك. د. مثل المقاومة في حالة المجمع المشترك.

(15) في دارة مكبر الباعث المشترك المؤمن انحيازه عن طريق مجزئ الجهد، إذا كان: $R_{in(base)} = 68K\Omega, R_1 = 33K\Omega, R_2 = 15K\Omega$، فإن مقاومة الدخل الكلية تساوي:

أ. 68KΩ ب. 8.59KΩ

جـ. 22.2KΩ د. 12.3KΩ

(16) في دارة مكبر الباعث المشترك ، إذا كانت مقاومة الحمل تساوي 10KΩ و $R_C = 2.2K\Omega, r'_e = 10\Omega$، يكون ربح الجهد مساوياً تقريباً:

أ. 220 ب. 1000

جـ. 10 د. 180

15- إذا كان تيار المجمع يساوي 1mA وتيار القاعدة يساوي 10μA ، أوجد قيمة تيار الباعث.

16- ترانزستور له $\beta_{dc} = 200$ أوجد قيمة تيار المجمع عندما يكون تيار القاعدة يساوي 50μA ، واحسب قيمة المعامل α_{dc}.

17- أوجد قيمة كل من $I_B, I_C, I_E, V_{CE}, V_{CB}$ في الشكل (4-9) إذا علمت أن:

$R_B = 22K\Omega, R_C = 220\Omega, V_{BB} = 6v, V_{CC} = 9v, \beta_{dc} = 90.$

18- أوجد ما إذا كان الترانزستور المبين بالشكل (4-19) في حالة تشبع أم لا إذا علمت أن:

$\beta_{dc} = 125, V_{BB} = 1.5v, R_B = 6.8K\Omega, R_C = 180\Omega, V_{CC} = 12v.$

19- إذا كان معامل الربح للتيار المستمر للترانزستور يساوي 100، أوجد α_{dc}.

20- ما ربح الجهد لمكبر ترانزيستوري له جهد خرج يساوي 5v وجهد دخل يساوي 250 mv؟

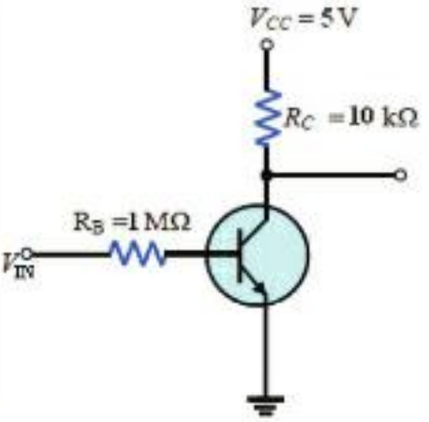
21- أوجد قيمة ربح الجهد للترانزستور المبين في الشكل (4-25)، إذا علمت أن: $r'_e = 20\Omega$ و $R_C = 1200\Omega$.

22- مكبر ترانزستوري له ربح جهد مقداره 50، ما قيمة جهد الخرج إذا كان جهد الدخل يساوي 100mv ؟

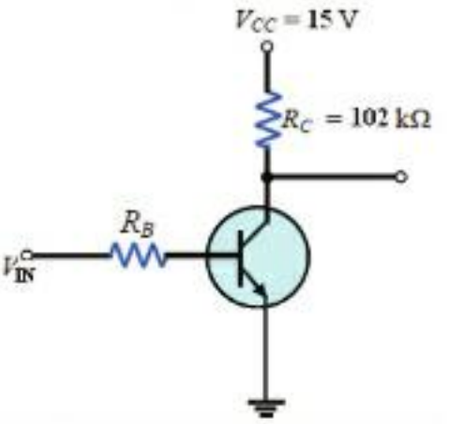
23- ما ربح الجهد المطلوب للحصول على خرج مقداره 10v إذا كان جهد الدخل يساوي 300mv ؟

24- أوجد قيمة إشارة الجهد على مجمع ترانزيستور له مقاومة داخلية للباعث $r'_e = 10\Omega$ ومقاومة $R_C = 560\Omega$ عند تطبيق إشارة مقدارها 50mv على القاعدة .

25- أوجد قيمة $I_{C(sat)}$ للترانزستور المبين في الشكل (4-55). ما قيمة التيار I_B الضروري لوصول الترانزستور إلى منطقة التشبع؟ وما القيمة الصغرى لجهد الدخل V_{IN} الضرورية للوصول إلى هذه المنطقة؟ افترض أن قيمة $V_{CE(sat)} = 0v$ ، $\beta_{dc} = 50$.



الشكل (4-55)

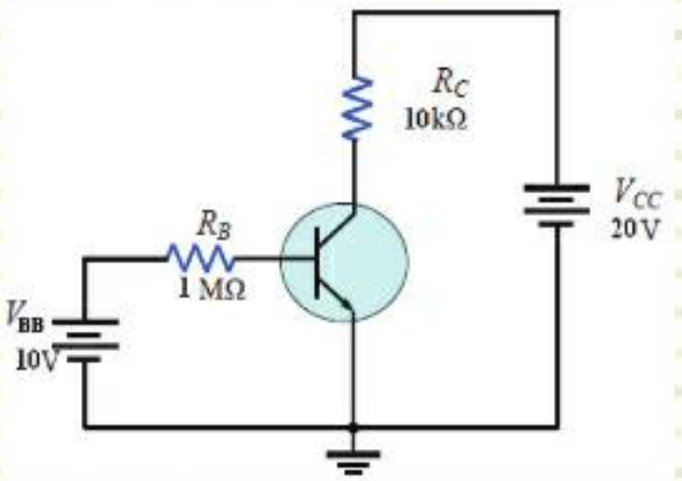


الشكل (4-56)

26- أوجد قيمة المقاومة R_B المطلوبة لوصول الترانزستور المبين في الشكل (4-56) المبين في الصفحة السابقة إلى منطقة التشبع والذي له: $\beta_{dc} = 50$، إذا علمت أن:

$V_{IN} = 5v$. افترض أن قيمة $V_{CE(sat)} = 0v$.

27- حدد نقاط تقاطع خط الحمل المستمر على المحاور الأفقية والشاقولية لمنحنيات الخواص للمجمع للدارة المبينة في الشكل (4-57).



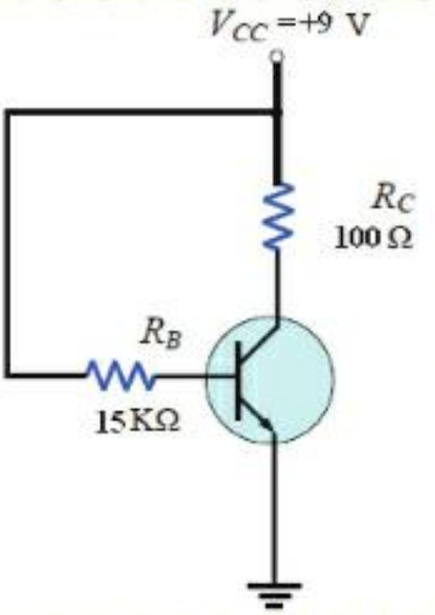
الشكل (4-57)

28- احسب قيمة كل من التيار I_B والتيار I_C والجهد V_{CE} لدارة ترانزستور ذي انحياز القاعدة، إذا علمت أن:

$\beta_{dc} = 90, V_{CC} = 12v, R_B = 22k\Omega, R_C = 100\Omega$.

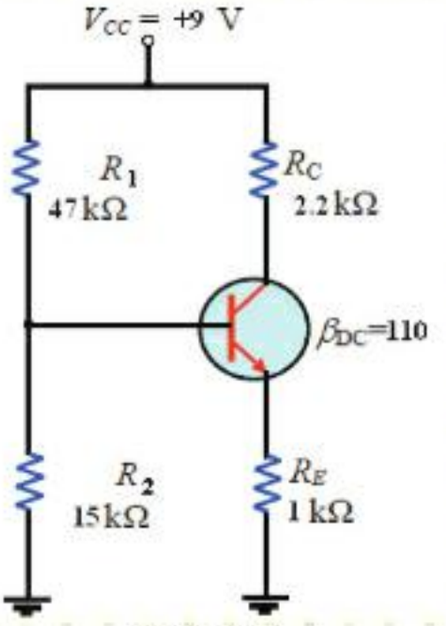
29- إذا تضاعفت قيمة المعامل β_{dc} في المسألة السابقة نتيجة ارتفاع درجة الحرارة فما قيمة نقطة العمل؟

30- إذا تعرّضت دارة انحياز القاعدة المبينة في الشكل (4-58) إلى تغيّر في درجة الحرارة من $0°C$ إلى $70°C$، فإن β_{dc} ستقل بمقدار 50% عند درجة الحرارة $0°C$، وستزيد بمقدار 75% عند درجة الحرارة $70°C$ من القيمة الاسمية 110 عند درجة الحرارة $25°C$. ما مقدار التغيّر في التيار I_C والجهد V_{CE} عند تغير درجة الحرارة من $0°C$ إلى $70°C$.



الشكل (4-58)

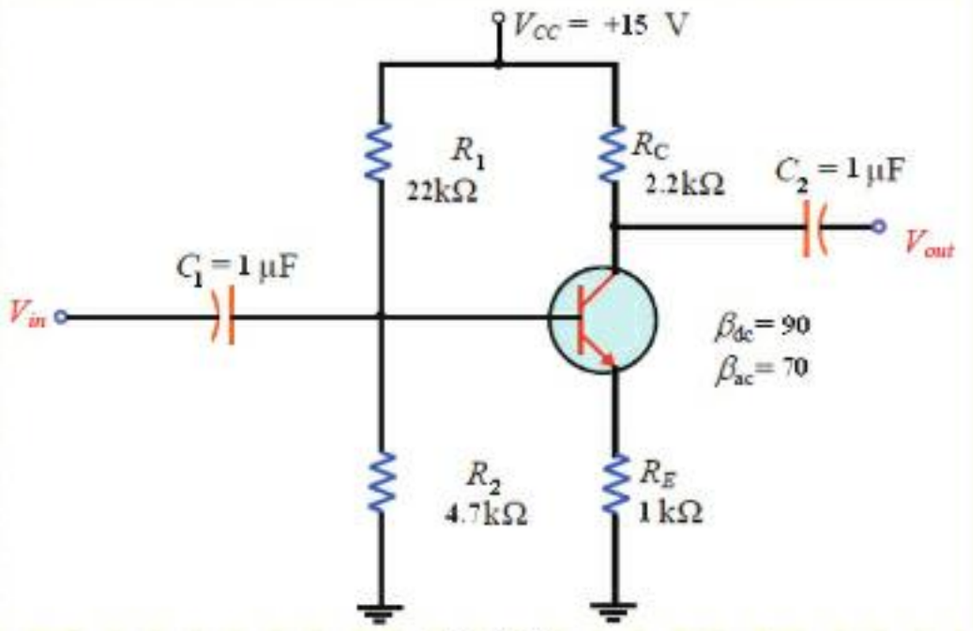
31- احسب قيم جميع الجهود للترانزستور بالنسبة للأرض في الدارة الموضحة في الشكل (4-59)، لا تهمل مقاومة الدخل عند القاعدة أو الجهد V_{BE}.



الشكل (4-59)

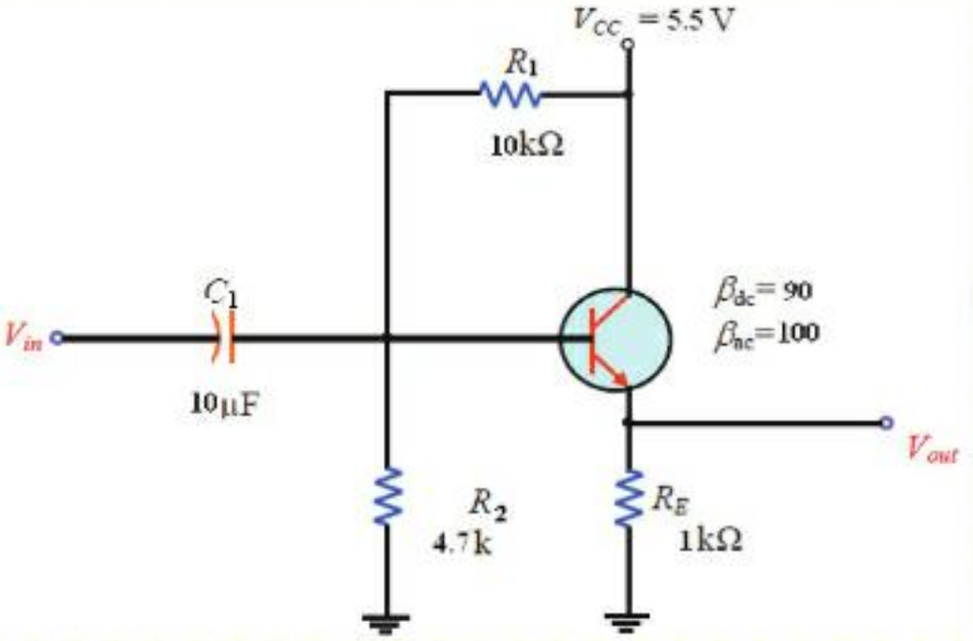
32- احسب القيم الآتية لدارة المكبر المبينة في الشكل (4-60):

(أ) $R_{in(base)}$ (ب) $R_{in(tot)}$ (جـ) A_v



الشكل (4-60)

33- ما مقاومة الدخل الكلية للدارة المبينة في الشكل (4-61)؟ وما قيمة جهد الخرج المستمر؟



الشكل (4-61)

بطاقة التمرين العملي

التمرين الأول: فحص الترانزستورات	الزمن: 2 ساعة

الأهداف الأدائية للتمرين (مضمون الأداء)

أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1- يحدد أطراف الترانزستورات باستخدام الأفومتر وجداول المكافئات.

2- يفحص أطراف الترانزستورات باستخدام الأفومتر وجداول المكافئات.

3- يحدد صلاحية الترانزستورات.

المواد والأدوات والتجهيزات (مستلزمات الأداء)

مقياس أفوميتر، ترانزستورات ثنائية القطبية، فاحص الترانزستورات، جداول مكافئات الترانزستور.

معايير الأداء

- تحديد نوع الترانزستور ومواصفاته عند اختياره حسب جداول المكافئات.
- تحديد أطراف الترانزستور باستخدام الأفومتر حسب دليل التشغيل.
- تحديد أطراف الترانزستور باستخدام جداول المكافئات.
- فحص صلاحية الترانزستور باستخدام الأفومتر وحسب دليل التشغيل.
- ضبط جهاز الأفومتر عند استخدامه لقياس القيم الكهربائية حسب دليل التشغيل.
- تحديد صلاحية الترانزستورات باستخدام فاحص الترانزستورات حسب دليل التشغيل.

خطوات الأداء، والنقاط الحاكمة، والرسم

الرقم	الخطوة والنقطة الحاكمة
1	تأكد من أن جميع التجهيزات صالحة وتعمل.
2	تفحص الترانزستورات الموجودة أمامك، واعمل جدولاً تبيّن فيه الشكل والرموز والأرقام الموجودة على كل منها.
3	استخدم جداول مكافئات الترانزستور، واعمل جدولاً آخر تبيّن فيه: رقم كل منها، ورمزه، ونوعه، والمادة المصنوع منها، ومواصفاته (الجهد، التيار، الاستطاعة، التردد)، واستخداماته، وبدائله، وشكل توزيع أطرافه.
4	استخدم الأفومتر، وقس المقاومات بين أطراف كل من الترانزستورات، وأعمل جدولاً تبيّن فيه: رقم الترانزستور، رمزه، نوعه، قيم المقاومات (بين الباعث القاعدة، والقاعدة المجمع، والمجمع الباعث)، ومنها استنتج إن كان صالحاً أم لا، معللاً ذلك.
5	استخدم فاحص الترانزستورات، وأعد فحص الترانزستورات التي بحوزتك، وحدّد أطراف وقطبية وصلاحية وتيار التشرب لكل منها.
6	وازن بين النتائج التي حصلت عليها.

التقييم الذاتي

دليل تقييم الأداء

تعليمات للمتدرب:

1. استخدم دليل تقييم الأداء هذا كدليل إرشادي عند تنفيذك العمل.
2. كي تجتاز هذا الواجب بنجاح، يجب تأشير جميع الخطوات الواردة بكلمة 'نعم'، ما عدا الخطوات التي لا يمكن تطبيقها.
3. إذا كانت هناك خطوة لا يمكن تطبيقها، ضع مقابلها إشارة "×'.

خطوات الأداء المطلوب	نعم	لا	غير قابلة للتطبيق
التأكد من أن جميع التجهيزات صالحة وتعمل.			
تفحص الترانزستورات الموجودة أمام الطالب، وعمل جدول يبيّن فيه الشكل والرموز والأرقام الموجودة على كل منها.			
استخدام جداول مكافئات الترانزستور، وعمل جدول آخر يبيّن فيه: رقم كل منها، ورمزه، ونوعه، والمادة المصنوع منها، ومواصفاته (الجهد، التيار، الاستطاعة، التردد)، واستخداماته، وبدائله، وشكل توزيع أطرافه.			
استخدام الأفومتر، والقيام بقياس المقاومات بين أطراف كل من الترانزستورات، وعمل جدول يبيّن فيه: رقم الترانزستور، رمزه، نوعه، قيم المقاومات (بين الباعث القاعدة، والقاعدة المجمع، والمجمع الباعث)، ومنها استنتاج إن كان صالحاً أم لا، مع التعليل.			
استخدام فاحص الترانزستورات، وإعادة فحص الترانزستورات التي بحوزة الطالب، وتحديد أطراف وقطبية وصلاحية وتيار التسرب لكل منها.			
موازنة بين النتائج التي تم الحصول عليها.			

الاختبار العملي للتمرين

اسم الاختبار: فحص الترانزستورات

- الأداء المطلوب في الاختبار (السؤال العملي)

- تفحص الترانزستورات الموجودة أمامك، واعمل جدولاً تبيّن فيه الشكل والرموز والأرقام الموجودة على كل منها.
- استخدم جداول مكافئات الترانزستور، واعمل جدولاً آخر تبيّن فيه: رقم كل منها، ورمزه، ونوعه، والمادة المصنوع منها، ومواصفاته (الجهد، التيار، الاستطاعة، التردد)، واستخداماته، وبدائله، وشكل توزيع أطرافه.
- استخدم الأفومتر، وقس المقاومات بين أطراف كل من الترانزستورات، واعمل جدولاً تبيّن فيه: رقم الترانزستور، رمزه، نوعه، قيم المقاومات (بين الباعث القاعدة، والقاعدة المجمع، والمجمع الباعث)، ومنها استنتج إن كان صالحاً أم لا، معللاً ذلك.
- استخدم فاحص الترانزستورات، وافحص الترانزستورات التي بحوزتك، وحدد أطراف وقطبية وصلاحية وتيار التسرب لكل منها.
- وازن بين النتائج التي حصلت عليها.

- المواد والأدوات والتجهيزات

مقياس الأفومتر، ترانزستورات ثنائية القطبية، فاحص الترانزستورات، جداول مكافئات الترانزستور.

- الزمن اللازم لإنجاز الاختبار: 1 ساعة

- إرشادات للطالب

سيتم تقييم الأداء في ضوء المعايير الآتية:

- تحديد نوع الترانزستور ومواصفاته عند اختياره حسب جداول المكافئات.
- تحديد أطراف الترانزستور باستخدام الأفومتر حسب دليل التشغيل.
- تحديد أطراف الترانزستور باستخدام جداول المكافئات.
- فحص صلاحية الترانزستور باستخدام الأفومتر وحسب دليل التشغيل.
- ضبط جهاز الأفومتر عند استخدامه لقياس القيم الكهربائية حسب دليل التشغيل.
- تحديد صلاحية الترانزستورات باستخدام فاحص الترانزستورات حسب دليل التشغيل.

بطاقة التمرين العملي

التمرين الثاني: دراسة العلاقة بين تيار المجمع وتيار القاعدة | **الزمن:** 2 ساعة

الأهداف الأدائية للتمرين (مضمون الأداء)

أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1- يبني دارة إلكترونية باستخدام الترانزستور ثنائي القطبية.

2- يقيس التيارات في الدارات الإلكترونية التي تستخدم ترانزستورات ثنائية القطبية.

3- يحسب تكبير التيار في الدارات الإلكترونية التي تستخدم ترانزستورات ثنائية القطبية.

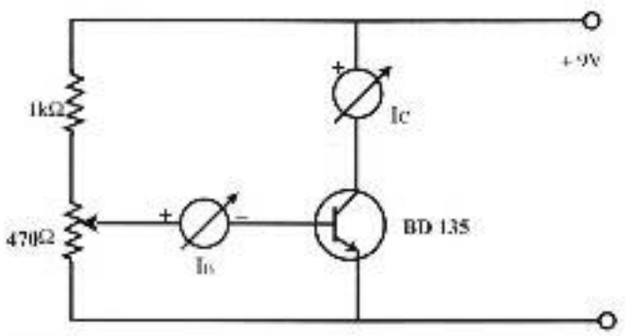
المواد والأدوات والتجهيزات (مستلزمات الأداء)

مقياس أفوميتر، مولد إشارة، راسم إشارة، وحدة تغذية DC، فاحص الترانزستورات، ترانزستورات ثنائية القطبية، جداول مكافئات الترانزستورات، أسلاك توصيل، مخبر ولوحات فيبر.

معايير الأداء

- اختيار الترانزستور المناسب للتطبيق، حسب مخطط الدارة.
- توصيل الدارة حسب المخطط.
- استخدام التدريج والقطبية المناسبة لأجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب دليل التشغيل.
- ضبط أجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب دليل التشغيل.
- ضبط وحدة التغذية حسب دليل التشغيل.
- رسم منحني خصائص الترانزستور ثنائي القطبية حسب نتائج القياسات.
- حساب الربح في التيار لدارة التكبير حسب نتائج القياسات.
- تطبيق إجراءات السلامة المهنية عند توصيل دارة الترانزستور.

خطوات الأداء، والنقاط الحاكمة، والرسم

الرقم	الخطوة والنقطة الحاكمة	الرسم التوضيحي
1	تأكد من أن جميع التجهيزات صالحة وتعمل.	
2	نفّذ الدارة كما في الشكل (4-62):	 الشكل (4-62)
3	اضبط منبع الجهد الكهربائي المستمر على الجهد المناسب، ثم صل جهد التغذية للدارة.	
4	اضبط المقاومة المتغيرة (470 أوم) للحصول على القيم الآتية لتيار القاعدة: (صفر، 0.02 ، 0.05 ، 0.1 ، 0.2 ، 0.4 ، 0.6 ، 0.8 ، 0.9) ميلي أمبير، وفي كل مرّة قس تيار المجمع (I_C)، وسجّل النتائج.	
5	ارسم منحني العلاقة بين تيار المجمع وتيار القاعدة على الشكل (4-63).	الشكل (4-63)
6	احسب عامل التكبير عند تيار المجمع (60) ميلي أمبير علماً بأن: $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\Big\|_{V_{CE}\ -\ Const}$	

التقييم الذاتي

دليل تقييم الأداء

تعليمات للمتدرب:

1. استخدم دليل تقييم الأداء هذا كدليل إرشادي عند تنفيذك العمل.
2. كي تجتاز هذا الواجب بنجاح، يجب تأشير جميع الخطوات الواردة بكلمة "نعم"، ما عدا الخطوات التي لا يمكن تطبيقها.
3. إذا كانت هناك خطوة لا يمكن تطبيقها، ضع مقابلها إشارة "×".

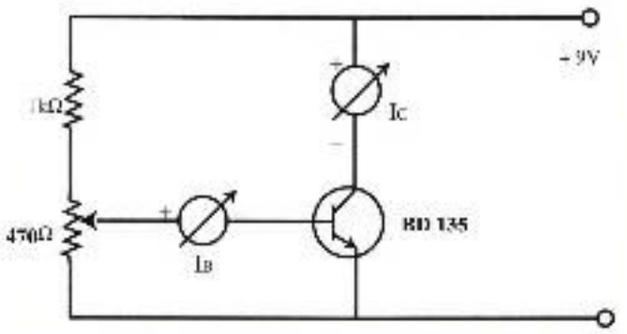
خطوات الأداء المطلوب	نعم	لا	غير قابلة للتطبيق
التأكد من أن جميع التجهيزات صالحة وتعمل.			
تنفيذ الدارة كما في الشكل (4-62).			
ضبط منبع الجهد الكهربائي المستمر على الجهد المناسب، ثم وصل جهد التغذية للدارة.			
ضبط المقاومة المتغيرة (470 أوم) للحصول على القيم الآتية لتيار القاعدة: (صفر، 0.02، 0.05، 0.1، 0.2، 0.4، 0.6، 0.8، 0.9) ميلي أمبير، وفي كل مرّة قياس تيار المجمع (I_C)، وتسجيل النتائج.			
رسم منحنى العلاقة بين تيار المجمع وتيار القاعدة.			
حساب عامل التكبير عند تيار المجمع (60) ميلي أمبير علماً بأن: $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\Big\vert_{V_{CE}=Const}$			

الاختبار العملي للتمرين

اسم الاختبار: دراسة العلاقة بين تيار المجمع وتيار القاعدة

- الأداء المطلوب في الاختبار (السؤال العملي)

- نفّذ الدارة المبينة في الشكل الآتي:



- قس تيار المجمع (I_C) المقابلة لكل قيمة من قيم (I_B) المذكورة في الجدول الآتي، وسجل النتائج:

I_B(mA)	0.02	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9
I_C(mA)								

- ارسم منحني العلاقة بين تيار المجمع وتيار القاعدة.

- احسب عامل التكبير عند تيار المجمع 60mA.

- **المواد والأدوات والتجهيزات**

مقياس أفومتر، موك إشارة، راسم إشارة، وحدة تغذية DC، فاحص ترانزستورات، ترانزستورات ثنائية القطبية، جداول مكافئات الترانزستورات، أسلاك توصيل، مخبر ولوحات فيبر.

- **الزمن اللازم لإنجاز الاختبار:** 1 ساعة

- **إرشادات للطالب**

سيتم تقييم الأداء في ضوء المعايير الآتية:

- اختيار الترانزستور المناسب للتطبيق، حسب مخطط الدارة.
- توصيل الدارة حسب المخطط.
- استخدام التدريج والقطبية المناسبة لأجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب دليل التشغيل.
- ضبط أجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب دليل التشغيل.
- ضبط وحدة التغذية حسب دليل التشغيل.
- رسم منحنى خصائص الترانزستور ثنائي القطبية حسب نتائج القياسات.
- حساب الربح في التيار لدارة التكبير حسب نتائج القياسات.
- تطبيق إجراءات السلامة المهنية عند توصيل دارة الترانزستور.

بطاقة التمرين العملي

التمرين الثالث: دراسة خصائص دخل الترانزستور لتوصيلة الباعث المشترك | **الزمن:** 2 ساعة

الأهداف الأدائية للتمرين (مضمون الأداء)

أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1- يبني دارة إلكترونية باستخدام ترانزستور توصيلة باعث مشترك.

2- يقيس الجهود والتيارات في الدارات الإلكترونية التي تستخدم ترانزستورات ثنائية القطبية.

3- يرسم منحني خواص الدخل لدارة باعث مشترك.

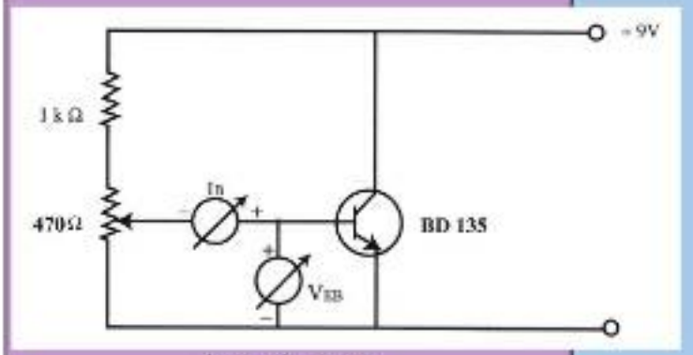
المواد والأدوات والتجهيزات (مستلزمات الأداء)

مقياس أفوميتر، مولد إشارة، راسم إشارة، وحدة تغذية DC، فاحص الترانزستورات، ترانزستورات ثنائية القطبية، جداول مكافئات الترانزستورات، أسلاك توصيل، مخبر ولوحات فيبر.

معايير الأداء

- اختيار الترانزستور المناسب للتطبيق، حسب مخطط الدارة.
- توصيل الدارة حسب المخطط.
- استخدام التدريج والقطبية المناسبة لأجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب دليل التشغيل.
- ضبط أجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب دليل التشغيل.
- ضبط وحدة التغذية حسب دليل التشغيل.
- رسم منحني خواص الدخل للترانزستور حسب نتائج القياسات.
- تطبيق إجراءات السلامة المهنية عند توصيل دارة الترانزستور.

خطوات الأداء، والنقاط الحاكمة، والرسم

الرقم	الخطوة والنقطة الحاكمة	الرسم التوضيحي
1	نفّذ الدارة المبيّنة في الشكل (4-64) الآتي:  	الشكل (4-64)
2	اضبط منبع الجهد الكهربائي المستمر على الجهد المناسب، ثم صل جهد التغذية للدارة.	
3	اضبط المقاومة المتغيرة (470 أوم) للحصـــول على القيم الآتية للجهد (V_{BE}): (صفر، 0.1 ، 0.2 ، 0.3 ، 0.6 ، 0.7 ، 0.8) فولط، وفي كل حالة قس تيار القاعدة (I_B)، وسجّل النتائج.	
4	ارسم منحني العلاقة بين تيار القاعدة وجهد القاعدة–الباعث على الشكل (4–65) . 	الشكل (4-65)
5	كرر الخطوات السابقة عند تغير جهد المجمع الباعث إلى: (4، 6، 8) فولط.	

التقييم الذاتي

دليل تقييم الأداء

تعليمات للمتدرب:

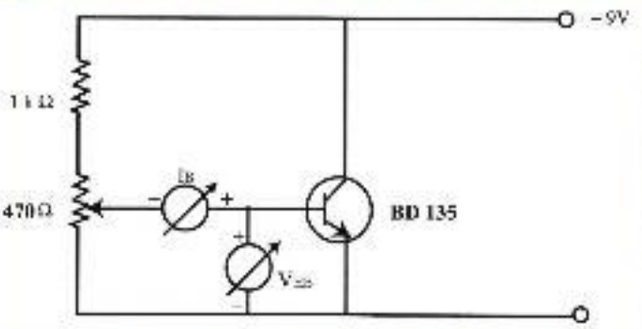
1. استخدم دليل تقييم الأداء هذا كدليل إرشادي عند تنفيذك العمل.
2. كي تجتاز هذا الواجب بنجاح، يجب تأشير جميع الخطوات الواردة بكلمة "نعم"، ما عدا الخطوات التي لا يمكن تطبيقها.
3. إذا كانت هناك خطوة لا يمكن تطبيقها، ضع مقابلها إشارة "×".

خطوات الأداء المطلوب	نعم	لا	غير قابلة للتطبيق
تنفيذ الدارة المبينة في الشكل (4-64).			
ضبط منبع الجهد الكهربائي المستمر على الجهد المناسب، ثم وصل جهد التغذية للدارة.			
ضبط المقاومة المتغيرة (470 أوم) للحصول على القيم الآتية للجهد (V_{BE}): (صفر، 0.1 ، 0.2 ، 0.3 ، 0.6 ، 0.7 ، 0.8) فولط، وفي كل حالة قياس تيار القاعدة (I_B)، وتسجيل النتائج.			
رسم منحني العلاقة بين تيار القاعدة وجهد القاعدة–الباعث.			
تكرار الخطوات السابقة عند تغير جهد المجمع الباعث إلى: (4، 6، 8) فولط.			

الاختبار العملي للتمرين

اسم الاختبار: دراسة خصائص دخل الترانزستور لتوصيلة الباعث المشترك

- نفّذ الدارة المبينة في الشكل الآتي:



- قس تيار القاعدة (I_B) المقابلة لكل قيمة من قيم (V_{BE}) المذكورة في الجدول الآتي وسجل النتائج.

V_{BE}(v)	0.1	0.2	0.3	0.6	0.7	0.8
I_B(mA)						

- ارسم منحني العلاقة بين تيـــار القاعـــدة وجهد القاعدة–الباعث.

- كرّر الخطوات السابقة عند تغير جهد المجمع–الباعث إلى v (4,6,8).

- **المواد والأدوات والتجهيزات**

مقياس أفومتر، موك إشارة، راسم إشارة، وحدة تغذية DC، فاحص ترانزستورات، ترانزستورات ثنائية القطبية، جداول مكافئات الترانزستورات، أسلاك توصيل، مخبر ولوحات فيبر.

- **الزمن اللازم لإنجاز الاختبار:** 1 ساعة

- **إرشادات للطالب**

سيتم تقييم الأداء في ضوء المعايير الآتية:

- اختيار الترانزستور المناسب للتطبيق، حسب مخطط الدارة.
- توصيل الدارة حسب المخطط.
- استخدام التدريج والقطبية المناسبة لأجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب دليل التشغيل.
- ضبط أجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب دليل التشغيل.
- ضبط وحدة التغذية حسب دليل التشغيل.
- رسم منحني خواص الدخل للترانزستور حسب نتائج القياسات.
- تطبيق إجراءات السلامة المهنية عند توصيل دارة الترانزستور.

بطاقة التمرين العملي

التمرين الرابع: دراسة خصائص دخل الترانزستور لتوصيلة القاعدة المشتركة | **الزمن:** 2 ساعة

الأهداف الأدائية للتمرين (مضمون الأداء)

أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1- يبني دارة إلكترونية باستخدام ترانزستور توصيلة قاعدة مشتركة .

2- يقيس الجهود والتيارات في الدارات الإلكترونية التي تستخدم ترانزستورات ثنائية القطبية.

3- يرسم منحني خواص الدخل ويحسب تكبير التيار لدارة قاعدة مشتركة.

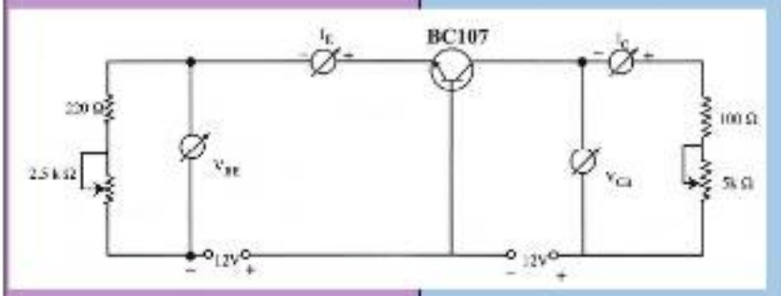
المواد والأدوات والتجهيزات (مستلزمات الأداء)

مقياس أفوميتر، مولد إشارة، راسم إشارة، وحدة تغذية DC، فاحص الترانزستورات، ترانزستورات ثنائية القطبية، جداول مكافئات الترانزستورات، أسلاك توصيل، مخبر ولوحات فيبر.

معايير الأداء

- اختيار الترانزستور المناسب للتطبيق، حسب مخطط الدارة.
- توصيل الدارة حسب المخطط.
- استخدام التدريج والقطبية المناسبة لأجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب دليل التشغيل.
- ضبط أجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب دليل التشغيل.
- ضبط وحدة التغذية حسب دليل التشغيل.
- رسم منحنيات خصائص الترانزستور ثنائي القطب حسب نتائج القياسات.
- حساب الربح في التيار لدارة التكبير حسب نتائج القياسات.
- تطبيق إجراءات السلامة المهنية عند توصيل دارة الترانزستور.

خطوات الأداء، والنقاط الحاكمة، والرسم

الرقم	الخطوة والنقطة الحاكمة	الرسم التوضيحي
1	نفّذ الدارة المبيّنة في الشكل (4-66) الآتي:	 الشكل (4-66)
2	اضبط منبع الجهد الكهربائي المستمر على الجهد المناسب، ثم صل جهد التغذية للدارة.	
3	اضبط جهد المجمع-القاعدة عند (9) فولط بوساطة المقاومة المتغيرة (5 كيلو أوم).	
4	اضبط المقاومة المتغيرة (2.5 كيلو أوم) للحصول على القيم الآتية لجهد الباعث-القاعدة (V_{BE}): (صفر، 0.3 ، 0.5 ، 0.7 ، 0.8) فولط، وفي كل حالة قس تيار الباعث (I_E)، وتيار المجمع (I_C)، وسجل النتائج.	
5	ارسم منحني العلاقة بين جهد الباعث-القاعدة وتيار الباعث.	
6	كرر الخطوات السابقة عند تغير جهد المجمع-القاعدة إلى: (8، 7، 6) فولط.	
7	احسب عامل تكبير التيار (α) عند جهد الباعث-القاعدة (0.5) فولط.	

التقييم الذاتي

دليل تقييم الأداء

تعليمات للمتدرب:

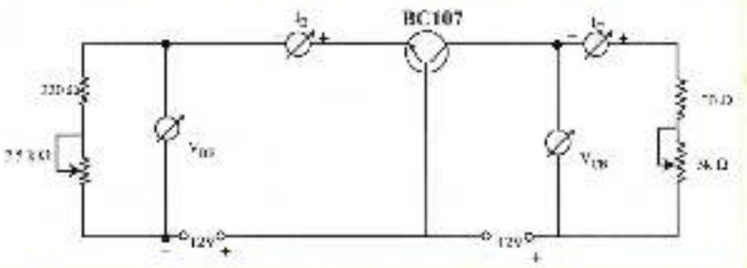
1. استخدم دليل تقييم الأداء هذا كدليل إرشادي عند تنفيذك العمل.
2. كي تجتاز هذا الواجب بنجاح، يجب تأشير جميع الخطوات الواردة بكلمة "نعم"، ما عدا الخطوات التي لا يمكن تطبيقها.
3. إذا كانت هناك خطوة لا يمكن تطبيقها، ضع مقابلها إشارة "×".

خطوات الأداء المطلوب	نعم	لا	غير قابلة للتطبيق
تنفيذ الدارة المبيّنة في الشكل (4-66) :			
ضبط منبع الجهد الكهربائي المستمر على الجهد المناسب، ثم وصل جهد التغذية للدارة.			
ضبط جهد المجمع–القاعدة عند (9) فولط بوساطة المقاومة المتغيرة (5 كيلو أوم).			
ضبط المقاومة المتغيرة (2.5 كيلو أوم) للحصول على القيم الآتية لجهد الباعث–القاعدة (V_{BE}): (صفر، 0.3 ، 0.5 ، 0.7 ، 0.8) فولط، وفي كل حالة قياس تيار الباعث (I_E)، وتيار المجمع (I_C)، وتسجيل النتائج.			
رسم منحني العلاقة بين جهد الباعث–القاعدة وتيار الباعث.			
تكرار الخطوات السابقة عند تغير جهد المجمع–القاعدة إلى: (8، 7، 6) فولط.			
حساب عامل تكبير التيار (α) عند جهد الباعث–القاعدة (0.5) فولط.			

الاختبار العملي للتمرين

اسم الاختبار: دراسة خصائص دخل الترانزستور لتوصيلة القاعدة المشتركة

- نفّذ الدارة المبينة في الشكل الآتي:



- قس تيار الباعث (I_B) وتيار المجمع (I_C) المقابلة لكل قيمة من قيم (V_{BE}) المذكورة في الجدول الآتي وسجل النتائج.

V_{BE}(v)	0	0.3	0.5	0.7	0.8
I_E(mA)					
I_C(mA)					

- ارسم منحني العلاقة بين جهد الباعث–القاعدة وتيار الباعث.
- كرر الخطوات السابقة عند تغير جهد المجمع–القاعدة إلى: (8، 7، 6) فولط.
- احسب عامل تكبير التيار (α) عند جهد الباعث–القاعدة (0.5) فولط.

- **المواد والأدوات والتجهيزات**

مقياس أفومتر، موك إشارة، راسم إشارة، وحدة تغذية DC، فاحص ترانزستورات، ترانزستورات ثنائية القطبية، جداول مكافئات الترانزستورات، أسلاك توصيل، مخبر ولوحات فيبر.

- **الزمن اللازم لإنجاز الاختبار:** 1 ساعة

- **إرشادات للطالب**

سيتم تقييم الأداء في ضوء المعايير الآتية:

- اختيار الترانزستور المناسب للتطبيق، حسب مخطط الدارة.
- توصيل الدارة حسب المخطط.
- استخدام التدريج والقطبية المناسبة لأجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب دليل التشغيل.
- ضبط وحدة التغذية حسب دليل التشغيل.
- استخدام كاوي اللحام المناسب عند لحام العناصر الإلكترونية حسب دليل التشغيل.
- رسم منحنيات خصائص الترانزستور ثنائي القطب حسب نتائج القياسات.
- حساب الربح في التيار لدارة التكبير حسب نتائج القياسات.
- تطبيق إجراءات السلامة المهنية عند توصيل دارة الترانزستور.

بطاقة التمرين العملي

التمرين الخامس: دراسة خصائص خرج الترانزستور لتوصيلة الباعث المشترك | **الزمن:** 2 ساعة

الأهداف الأدائية للتمرين (مضمون الأداء)

أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1- يبني دارة إلكترونية باستخدام ترانزستور توصيلة باعث مشترك.

2- يقيس الجهود والتيارات في الدارات الإلكترونية التي تستخدم ترانزستورات ثنائية القطبية.

3- يرسم منحني خواص الخرج لدارة باعث مشترك.

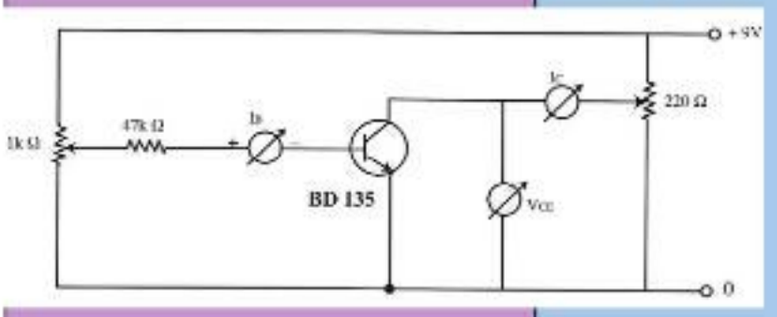
المواد والأدوات والتجهيزات (مستلزمات الأداء)

مقياس أفوميتر، مولد إشارة، راسم إشارة، وحدة تغذية DC، فاحص الترانزستورات، ترانزستورات ثنائية القطبية، جداول مكافئات الترانزستورات، أسلاك توصيل، مخبر ولوحات فيبر.

معايير الأداء

- اختيار الترانزستور المناسب للتطبيق، حسب مخطط الدارة.
- توصيل الدارة حسب المخطط.
- استخدام التدريج والقطبية المناسبة لأجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب دليل التشغيل.
- ضبط أجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب دليل التشغيل.
- ضبط وحدة التغذية حسب دليل التشغيل.
- رسم منحنيات خواص الخرج للدارة حسب نتائج القياسات.
- تطبيق إجراءات السلامة المهنية عند توصيل دارة الترانزستور.

خطوات الأداء، والنقاط الحاكمة، والرسم

الرقم	الخطوة والنقطة الحاكمة	الرسم التوضيحي
1	نفّذ الدارة المبيّنة في الشكل (4-67) الآتي: 	الشكل (4-67)
2	اضبط منبع الجهد الكهربائي المستمر على الجهد المناسب، ثم صل جهد التغذية للدارة.	
3	اضبط تيار القاعدة على (10 ميكرو أمبير) بوساطة مجزئ الجهد (1 كيلو أوم).	
4	اضبط المقاومة المتغيرة (220 أوم) للحصول على القيم الآتية لجهد المجمع-الباعث (V_{CE}): (صفر، 0.1 ، 0.2 ، 0.3 ، 0.4 ، 0.6 ، 0.7 ، 0.8) فولط، وفي كل حالة قس تيار المجمع (I_C)، وسجل النتائج.	
5	كرر الخطوات السابقة (3)و(4) عند تيار القاعدة: (20، 30، 40) ميكرو أمبير.	
6	ارسم منحني العلاقة بين (V_{CE}) و (I_C) لجميع قيم تيارات القاعدة.	

التقييم الذاتي

دليل تقييم الأداء

تعليمات للمتدرب:

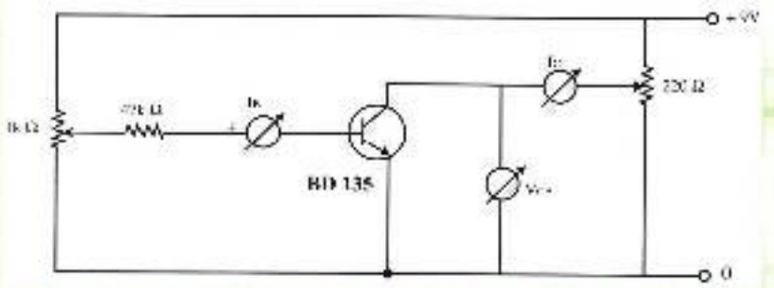
1. استخدم دليل تقييم الأداء هذا كدليل إرشادي عند تنفيذك العمل.
2. كي تجتاز هذا الواجب بنجاح، يجب تأشير جميع الخطوات الواردة بكلمة "نعم"، ما عدا الخطوات التي لا يمكن تطبيقها.
3. إذا كانت هناك خطوة لا يمكن تطبيقها، ضع مقابلها إشارة "×".

خطوات الأداء المطلوب	نعم	لا	غير قابلة للتطبيق
تنفيذ الدارة المبيّنة في الشكل (4-67) .			
ضبط منبع الجهد الكهربائي المستمر على الجهد المناسب، ثم وصل جهد التغذية للدارة.			
ضبط تيار القاعدة على (10 ميكرو أمبير) بوساطة مجزئ الجهد (1 كيلو أوم).			
ضبط المقاومة المتغيرة (220 أوم) للحصول على القيم الآتية لجهد المجمع–الباعث (V_{CE}): (صفر، 0.1 ، 0.2 ، 0.3 ، 0.4 ، 0.6 ، 0.7 ، 0.8) فولط، وفي كل حالة قياس تيار المجمع (I_C)، وتسجيل النتائج.			
تكرار الخطوات السابقة (3)و(4) عند تيار القاعدة: (20، 30، 40) ميكرو أمبير.			
رسم منحني العلاقة بين (V_{CE}) و (I_C) لجميع قيم تيارات القاعدة.			

الاختبار العملي للتمرين

اسم الاختبار: دراسة خصائص خرج الترانزستور لتوصيلة الباعث المشترك

- نفّذ الدارة المبينة في الشكل الآتي:



- اضبط تيار القاعدة على ($10\mu A$)، ثم قس تيار المجمع (I_C) المقابلة لكل قيمة من قيم (V_{CE}) المذكورة في الجدول الآتي وسجل النتائج.

V_{CE}(v)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8
I_C(mA)								

- كرر الخطوات السابقة عند كل من تيارات القاعدة: μA (20, 30, 40).
- ارسم منحني العلاقة بين (V_{CE}) و (I_C) لجميع قيم تيارات القاعدة.

- **المواد والأدوات والتجهيزات**

مقياس أفوميتر، مولد إشارة، راسم إشارة، وحدة تغذية DC، فاحص ترانزستورات، ترانزستورات ثنائية القطبية، جداول مكافئات الترانزستورات، أسلاك توصيل، مخبر ولوحات فيبر.

- **الزمن اللازم لإنجاز الاختبار:** 1 ساعة

- **إرشادات للطالب**

سيتم تقييم الأداء في ضوء المعايير الآتية:

- اختيار الترانزستور المناسب للتطبيق، حسب مخطط الدارة.
- توصيل الدارة حسب المخطط.
- استخدام التدريج والقطبية المناسبة لأجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب دليل التشغيل.
- ضبط أجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب دليل التشغيل.
- ضبط وحدة التغذية حسب دليل التشغيل.
- رسم منحنيات خواص الخرج للدارة حسب نتائج القياسات.
- تطبيق إجراءات السلامة المهنية عند توصيل دارة الترانزستور.

بطاقة التمرين العملي

التمرين السادس: بناء دارة تكبير باعث مشترك | **الزمن:** 2 ساعة

الأهداف الأدائية للتمرين (مضمون الأداء)

أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1- يبني دارة تكبير باعث مشترك.

2- يقيس الجهود والتيارات في الدارات الإلكترونية التي تستخدم ترانزستورات ثنائية القطبية.

3- يحسب تكبير الجهد للدارة.

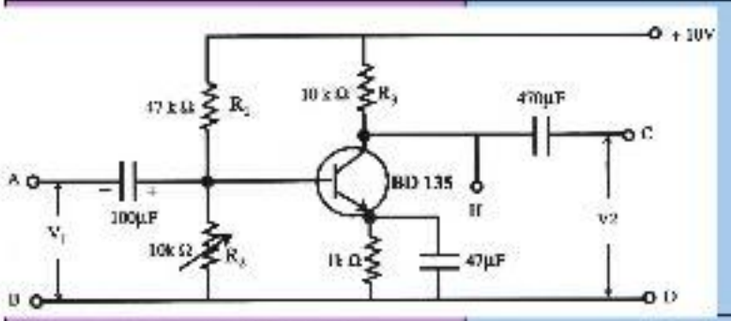
المواد والأدوات والتجهيزات (مستلزمات الأداء)

مقياس أفوميتر، مولد إشارة، راسم إشارة، وحدة تغذية DC، فاحص الترانزستورات، ترانزستورات ثنائية القطبية، جداول مكافئات الترانزستورات، أسلاك توصيل، مخبر ولوحات فيبر.

معايير الأداء

- اختيار الترانزستور المناسب للتطبيق، حسب مخطط الدارة.
- توصيل الدارة حسب المخطط.
- استخدام التدريج والقطبية المناسبة لأجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب دليل التشغيل.
- ضبط أجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب دليل التشغيل.
- ضبط وحدة التغذية حسب دليل التشغيل.
- إظهار أشكال إشارات الدخل والخرج على شاشة راسم الإشارة حسب دليل التشغيل.
- حساب الربح في الجهد لدارة التكبير حسب نتائج القياسات.
- تطبيق إجراءات السلامة المهنية عند توصيل دارات الترانزستور.

خطوات الأداء، والنقاط الحاكمة، والرسم

الرقم	الخطوة والنقطة الحاكمة	الرسم التوضيحي
1	نفّذ الدارة المبيّنة في الشكل (4-68) الآتي:	
2	صل جهد التغذية المناسب.	الشكل (4-68)
3	اضبط جهاز راسم الإشارة كما يأتي: القناة الأولى: 0.1 ms/cm, 10 mV/cm, AC القناة الثانية: 0.1 ms/cm, 2V/cm, AC	
4	اضبط مولد الإشارة على موجة جيبية (20) ميلي فولط، وتردد (1000) هرتز، وصله إلى مدخل الدارة.	
5	صل راسم الإشارة بحيث تكون القناة الأولى بين النقطتين (A, B) والقناة الثانية بين النقطتين (C, D).	
6	اضبط الأفومتر على الجهد المستمر وصله بين النقطتين (H, D).	
7	اضبط المقاومة المتغيرة حتى تصبح قراءة الأفومتر (5) فولط.	
8	وازن بين الإشارتين الظاهرتين على شاشة راسم الإشارة من حيث الشكل والاتساع وفرق الصفحة.	
9	احسب قيم جهد إشارتي الدخل (V_1) والخرج (V_2) وفرق الصفحة بينهما.	
10	احسب عامل تكبير الجهد. $\left(A_v = \frac{V_2}{V_1} \right)$	

التقييم الذاتي

دليل تقييم الأداء

تعليمات للمتدرب:

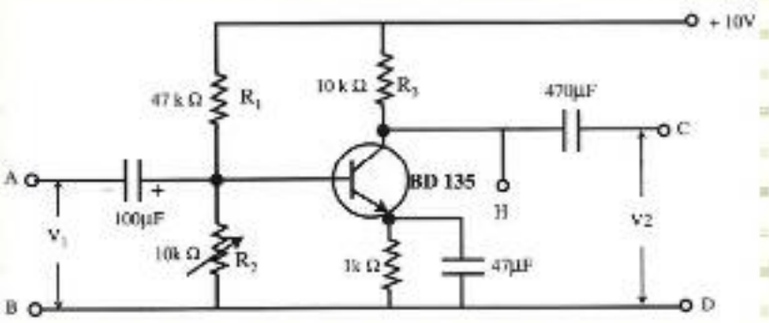
1. استخدم دليل تقييم الأداء هذا كدليل إرشادي عند تنفيذك العمل.
2. كي تجتاز هذا الواجب بنجاح، يجب تأشير جميع الخطوات الواردة بكلمة "نعم"، ما عدا الخطوات التي لا يمكن تطبيقها.
3. إذا كانت هناك خطوة لا يمكن تطبيقها، ضع مقابلها إشارة "×".

خطوات الأداء المطلوب	نعم	لا	غير قابلة للتطبيق
تنفيذ الدارة المبيّنة في الشكل (4-68).			
وصل جهد التغذية المناسب.			
ضبط جهاز راسم الإشارة كما يأتي: القناة الأولى: 0.1 ms/cm, 10 mV/cm, AC القناة الثانية: 0.1 ms/cm, 2V/cm, AC			
ضبط مولد الإشارة على موجة جيبية (20) ميلي فولط، وتردد (1000) هرتز، ووصله إلى مدخل الدارة.			
وصل راسم الإشارة بحيث تكون القناة الأولى بين النقطتين (A, B) والقناة الثانية بين النقطتين (C, D).			
ضبط الآفومتر على الجهد المستمر ووصله بين النقطتين (H, D).			
ضبط المقاومة المتغيرة حتى تصبح قراءة الآفومتر (5) فولط.			
موازنة بين الإشارتين الظاهرتين على شاشة راسم الإشارة من حيث الشكل والاتساع وفرق الصفحة.			
حساب قيم جهد إشارتي الدخل (V_1) والخرج (V_2) وفرق الصفحة بينهما.			
حساب عامل تكبير الجهد $\left(A_v = \frac{V_2}{V_1} \right)$			

الاختبار العملي للتمرين

اسم الاختبار: بناء دارة تكبير باعث مشترك

- نفّذ الدارة المبينة في الشكل الآتي:



- اضبط جهاز راسم الإشارة كما يأتي:

القناة الأولى: 0.1 ms/cm, 10 mV/cm, AC

القناة الثانية: 0.1 ms/cm, 2V/cm, AC

- اضبط مولد الإشارة على موجة جيبية (20mA) وتردد (1000Hz)، وصله إلى مدخل الدارة.
- صل راسم الإشارة بحيث تكون القناة الأولى بين النقطتين (A, B) والقناة الثانية بين النقطتين (C, D).
- اضبط الأفومتر على الجهد المستمر وصله بين النقطتين (H, D).
- اضبط المقاومة المتغيرة حتى تصبح قراءة الأفومتر (5) فولط.
- لاحظ شكل الإشارتين الظاهرتين على شاشة راسم الإشارة، ولاحظ الاختلاف بينهما.
- احسب قيم جهد إشارتي الدخل (V_1) والخرج (V_2).
- احسب عامل تكبير الجهد: $\left(A_v = \frac{V_2}{V_1} \right)$.

- **المواد والأدوات والتجهيزات**

مقياس أفومتر، موك إشارة، راسم إشارة، وحدة تغذية DC، فاحص ترانزستورات، ترانزستورات ثنائية القطبية، جداول مكافئات الترانزستورات، أسلاك توصيل، كاوي لحام وقصدير، مخبر ولوحات فيبر.

- **الزمن اللازم لإنجاز الاختبار:** 1 ساعة

- **إرشادات للطالب**

سيتم تقييم الأداء في ضوء المعايير الآتية:

- اختيار الترانزستور المناسب للتطبيق، حسب مخطط الدارة.
- توصيل الدارة حسب المخطط.
- استخدام التدريج والقطبية المناسبة لأجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب دليل التشغيل.
- ضبط أجهزة القياس عند استخدامها لقياس القيم الكهربائية حسب دليل التشغيل.
- ضبط وحدة التغذية حسب دليل التشغيل.
- إظهار أشكال إشارات الدخل والخرج على شاشة راسم الإشارة حسب دليل التشغيل.
- حساب الربح في الجهد لدارة التكبير حسب نتائج القياسات.
- تطبيق إجراءات السلامة المهنية عند توصيل دارات الترانزستور.

قائمة المصطلحات للكتاب

AC Equivalent circuit	الدارة المكافئة في حالة التيار المتناوب
Acceptors	القابلة
Accuracy	الدقة
Active	فعّال
Active components	العناصر الفعّالة
Active region	المنطقة الفعّالة
Alternating current	تيار متناوب
Amplification	تكبير
Amplification coefficient	معامل التكبير
Amplifier	مكبّر
Amplifying circuits	دارات التكبير
Amplitude	المطال
Analyzer	محلل
Angular frequency	التردد الزاوي
Anode	مصعد
Atom	ذرّة
Audio amplifier	المكبّر السمعي
Band width	عرض المجال
Barrier potential	الكمون (الجهد) الحاجز
Barrier voltage	الجهد الحاجز
Base	القاعدة
Bias	انحياز

قائمة المصطلحات للكتاب

Bipolar transistor	الترانزستور ثنائي القطبيّة
Bonds	أربطة
Break down	الانهيار
Breakdown voltage	جهد الانهيار
Bridge rectifying circuit	دارة تقويم جسرية
Building	بناء
Capacitive diode	ثنائي سعوي
Cathode	مهبط
Cascaded stages	المراحل المتتالية
Cavity	فجوة
Center taped transformer	محول ذو نقطة منتصف
Characteristic curve	منحني الخواص
Charge generation	عملية توليد الشحنة
Circuit	دارة
Circuit element	عنصر دارة
Circuit loading	تحميل الدارة
Collector	مجمّع
Common Base Amplifier	مكبّر القاعدة المشتركة
Common Collector Amplifier	مكبّر المجمّع المشترك
Common Emitter Amplifier	مكبّر الباعث المشترك
Compound	مركّب
Conditions in Cut off	شروط القطع

قائمة المصطلحات للكتاب

Conditions in Saturation	شروط التشبّع
Conduction band	الحزمة الناقلة
Conduction electron	إلكترون نقل
Conductors	النواقل
Covalent bond	رباط مشترك
Crossover region	منطقة العبور
Crystal	بلورة
Crystalline structure	البنية البلورية
Current	التيار
Current Gain	ربح التيار
Cut off currents	تيارات القطع
Cut off region	منطقة القطع
DC load line	خط الحمل الساكن
Depletion region	المنطقة المحرّمة (الفقيرة)
Detector	كاشف
Diffusion current	تيار الانتشار
Diode	ثنائي
Direct current	تيار مستمر
Distortion	تشويه
Donor impurities	الشوائب المعطية
Doping	إشابة
Doped semiconductors	أنصاف النواقل المشوبة

قائمة المصطلحات للكتاب

Double	مضاعف
Drift currents	تيارات الجرف
Dynamic resistance	مقاومة حركية
Early effect	إثر ايرلي
Electric charge	الشحنة الكهربائية
Electromotive	القوة المحركة الكهربائية
Emitter	باعث
Emitter follower	التابع الباعثي
Energy gaps	الثغرات الطاقية
Equivalent	مكافئ
Field Effect Transistor	ترانزستور تأثير المجال
Filtering	ترشيح
Floating	عائم
Flow	يتدفق
Forbidden energy bands	حزم الطاقة الممنوعة
Forward Bias	انحياز أمامي
Forward current	تيار أمامي
Free electrons	إلكترونات حرة
Frequency multiplication	مضاعف التردد
Frequency response	الاستجابة الترددية
Frequency spectrum	الطيف الترددي
Full wave	موجة كاملة

قائمة المصطلحات للكتاب

Gallium arsenide	زرنيخ الجاليوم
Grown	النمو
Half wave	نصف موجة
Harmonic distortion	التشويه التوافقي
High-fidelity	عالي الأمانة
Hole	ثقب
Ideal	مثالي
Ideal Amplifiers	المكبرات المثالية
Ideal Diode	الثنائي المثالي
Impedance matching	موافقة (مواءمة) الممانعات
Impurities	شوائب
Infrared rays	الأشعة تحت الحمراء
Injection	حقن
Input characteristics curves	منحنيات خواص الدخل
Input resistance	مقاومة الدخل
Insulators	العوازل الكهربائية
Intrinsic conduction	النقل الكهربائي
Ionized	متأينة
Junction	وصلة
Junction capacitance	مكثفة الوصلة
Junction Transistor	الترانزستور ذو الوصلة
Large-signal	الإشارة الكبيرة

قائمة المصطلحات للكتاب

Layer	طبقة
Life time	زمن البقاء
Light emitting diode	ثنائي الإصدار الضوئي
Light emitting process	عملية الإصدار الضوئي
limiter	محدد
Linear	خطي
Load line	خط الحمل
Majority carriers	الحوامل الأكثريّة
Mid frequency	الترددات المتوسطة
Minority carriers	الحوامل الأقليّة
mixer	مازج
Mobility	حركيّة
Models	نماذج
Monolithic IC	الدارات المتكاملة وحيدة البلّورة
Negative	سالبة
Negative-impedance converter	مبدّل الممانعات السالبة
Neutralize	تحييد
Neutralized	متعادلة الشحنة
Neutrons	نيترونات
Noise	ضجيج
Noise factor	معامل الضجيج
Noise figure	رقم الضجيج

Nominal conditions	الظروف الاسمية
nonlinear	غير خطي
Nucleus	نواة
Off region	منطقة القطع
Open circuit	دارة مفتوحة
Operating point	نقطة العمل
Output characteristics curves	منحنيات خواص الخرج
Output resistance	مقاومة الخرج
Parameters	محددات
Particles	جزئيات
Passive	غير فعال
Performance measures	قياسات منجزة
Photo diode	ثنائي ضوئي
Planar diffused transistor	الترانزستور المنتشر المستوي
Point contact diode	الثنائي النقطي
Positive	موجب
Potential difference	فرق الكمون
Power	استطاعة
Power transfer	نقل الاستطاعة
Protons	بروتونات
Quadruple	أربعة أضعاف
Quiescent point	نقطة العمل الساكنة

قائمة المصطلحات للكتاب

Randomly	بشكل عشوائي
Reactive	الرَدَيَة
Recombination	إعادة الاتحاد
Rectification	تقويم
Rectifier	مقوّم
Rectifying circuit	دارة تقويم
Reverse Bias	انحياز عكسي
Reverse resistance	مقاومة عكسية
Reverse saturation current	تيار الإشباع العكسي
Saturation current	تيار الإشباع
Saturation region	منطقة الإشباع
Schottkey diode	ثنائي شوتكي
Selective	انتقائي
Semiconductors	أنصاف النواقل
Single crystal	بلورة أحادية
Sensing current	تيار التحسس
Sinusoidal signal	الإشارة الجيبية
Small-signal	الإشارة الصغيرة
Smoothing circuit	دارة تنعيم
Solid state	الحالة الصلبة
Space charge	الشحنة الفراغية
Stability	استقرار

Straight-line	الخطوط المستقيمة
Substrate	طبقة قاعديّة
Switch	قاطع
Switching	تقطيع
Thermal effect	التأثيرات الحرارية
Thin film	غشاء رقيق
Threshold voltage	جهد العتبة
Tolerance	تسامح
Transducer Gain	ربح التحويل
Transfer function	تابع التحويل
Transistor characteristics curves	منحنيات خواص الترانزستور
Transistor Configuration	تشكيلات (توصيلات) الترانزستور
Transistor operation regions	مناطق تشغيل الترانزستور
Transistor parameters	معاملات الترانزستور
Transit time	زمن العبور
Transition region	منطقة العبور
Transverse	المقاومة العرضانية
Triple	ثلاثة أضعاف
Tunnel diode	ثنائي نفقي
Tuning element	عنصر توليف
Type	نوع
Uncovered	غير مغطّاة

Unilateral	وحيد الجانب
Valence band	حزمة التكافؤ
Valence electrons	إلكترونات التكافؤ
Varactor	ثنائي سعوي
Voltage	الجهد
Voltage Gain	ربح الجهد
Voltage reference diodes	ثنائيات المرجع
Voltage-Divider Circuit	دارة مجزئ الجهد
Zener diode	ثنائي زينر
Zener effect	ظاهرة زينر

قائمة المراجع للكتاب

البند	العنوان	التأليف
1	مبادئ الإلكترونيات	Albert Paul Malvino ترجمة م. محمد بشار كعدان
2	مبادئ الإلكترونيات وزارة التربية	إعداد:م.سوزان الجمال د.يحيى بري م.محمد الزيدان
3	Microelctronics	Jacob Millman ترجمة المهندس وجيه السمان
4	الدوائر الإلكترونية: تصميمها، اختبارها، تركيبها	شبكة سراب للمشاريع التقنية
5	هندسة الإلكترونيات	د. علي عادل كيالي– جامعة حلب
1	**Electronic Devices**	**Merrill**
3	هندسة إلكترونية "1"	الدكتور عبد الرزاق البدوية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق
4	نظرية الدارات الكهربائية – فرع الكهرباء "الجزء العملي"	الدكتور عبد الوهاب الترجمان – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق
5	فن الإلكترونيات – الدارات التماثلية	Pual Horowitz—Winfield Hill ترجمة المهندس عصام مصطفى
6	www.geocities.com/antar	
7	www.arabbelect.net/learns/217.htm	
8	http://Cdd.tvtc.gov.sa/	
9	www.kpsec.freeuk.com	
10	www.karicom/vb/t3253.html	