

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي -

سكيكدة

ENSET



قسم التكنولوجيا

مطبوعة دروس بعنوان: دروس و أعمال موجهة في  
الألكترونيك العامة

تخصص: هندسة كهربائية

من انجاز: تيفوتي عصام

استاذ باحث بالمدرسة العليا لأساتذة التعليم  
التكنولوجي - سكيكدة-

السنة الجامعية 2025/2024

# الفهرس

01	.....المقدمة العامة
	<b>الفصل الأول : أنصاف النواقل</b>
03	.....1.1 مقدمة
03	.....2.1 أنصاف النواقل
03	.....1.2.1 تصنيف المواد من حيث الناقلية
03	.....2.2.1 البنية الذرية للمواد نصف الناقلية
04	.....3.2.1 المادة نصف الناقلية من النوع السالب N
05	.....4.2.1 المادة نصف الناقلية من النوع الموجب P
06	.....3.1 بلورات الجرمانيوم والسيليسيوم
06	.....4.1 التوصيل في الجرمانيوم والسيليسيوم النقيين
07	.....5.1 مفهوم الفجوات
09	.....6.1 الشوائب في أشباه الموصلات
	<b>الفصل الثاني : الصمام الثنائي</b>
12	.....1.2 مقدمة
12	.....2.2 منطقة الأستنزاف
12	.....3.2 جهد العتبة
13	.....4.2 الاستقطاب الأمامي و الاستقطاب العكسي
13	.....1.4.2 الاستقطاب الأمامي
14	.....5.2 خصائص الثنائي
15	.....6.2 توتر العتبة
15	.....7.2 توتر الانهيار
17	.....8.2 ظاهرة الكسر
17	.....9.2 تيار التسرب السطحي
18	.....10.2 الثنائي المثالي والثنائي الحقيقي
18	.....1.10.2 الثنائي المثالي
18	.....2.10.2 الثنائي الحقيقي
20	.....11.2 تطبيقات الصمام الثنائي
20	.....1.11.2 تقويم أحادي النوية
23	.....2.11.2 تقويم ثنائي النوية
29	.....12.2 عملية الترشيح
30	.....1.12.2 حساب معامل التمدج
30	.....2.12.2 حساب سعة المكثفة
31	.....13.2 ثنائي زينر
31	.....1.13.2 منحى الخواص لثنائي زينر
32	.....2.13.2 الدارة المكافئة لثنائي زينر
32	.....3.13.2 معامل الحرارة
32	.....14.2 تثبيت الجهد باستخدام الدارات المندمجة
33	.....1.14.2 مميزات منظمات الجهد المندمجة
33	.....2.14.2 منظمات الجهد المندمجة
33	.....3.14.2 المنظمات المندمجة سلسلة *78XX وسلسلة *79XX
34	.....1.3.14.2 سلسلة *78XX

34	.....	2.3.14.2 سلسلة *79XX
34	.....	15.2 تمارين الفصل الثاني
<b>الفصل الثالث: الترانزستور</b>		
36	.....	1.3 مقدمة
36	.....	2.3 بنية الترانزستور
37	.....	3.3 مبدأ العمل
38	.....	4.3 دارات الترانزستور الأساسية
38	.....	1.4.3 دائرة القاعدة المشتركة
39	.....	2.4.3 دائرة الباعث المشترك
39	.....	3.4.3 دائرة الجامع المشترك
40	.....	5.3 منحنيات خواص الترانزستور
40	.....	1.5.3 منحنى خواص المدخل
41	.....	2.5.3 مقاومة المدخل
42	.....	3.5.3 منحنيات خواص المخرج
42	.....	4.5.3 مقاومة المخرج
43	.....	5.5.3 منحنيات التحكم
44	.....	6.3 تضخيم التيار
45	.....	7.3 مميزات الترانزستور
45	.....	8.3 استقطاب الترانزستور
45	.....	1.8.3 استقطاب الترانزستور باستعمال مقاومة القاعدة
47	.....	2.8.3 استقطاب الترانزستور باستعمال جسر من المقاومات
48	.....	9.3 الترانزستور في النظام الديناميكي
50	.....	10.3 التركيب المكافئ في النظام السكوني
50	.....	11.3 التركيب المكافئ في النظام الديناميكي
52	.....	12.3 مضخمات الاستطاعة
53	.....	1.12.3 مضخم الاستطاعة صنف A
54	.....	2.13.3 مضخم الاستطاعة الصنف (B) والصنف (AB)
57	.....	3.12.3 مضخم الاستطاعة الصنف (C)
57	.....	13.3 الترانزستور ذو الأثر الحقلّي FET
58	.....	1.13.3 ترانزستور الأثر الحقلّي ذو الوصلة JFET
58	.....	1.1.13.3 تركيب الترانزستور JFET
62	.....	2.13.2 ترانزستور الأثر الحقلّي ذو البوابة المعزولة
65	.....	14.2 تمارين الفصل الثالث
<b>الفصل الرابع: المضخم العملي</b>		
68	.....	1.4 مقدمة
68	.....	2.4 نظرية وخصائص المضخم العملي
69	.....	1.2.4 جهد التشبع
69	.....	2.2.4 مقاومة المدخل $R_e$
70	.....	3.2.4 مقاومة المخرج $R_s$
70	.....	4.2.4 التغذية الخلفية في المضخم العملي
72	.....	3.4 تطبيقات مضخم عملي
72	.....	1.3.4 المضخم العاكس
73	.....	2.3.4 المضخم غير العاكس

74	.....	3.3.4 المضحّم المقارن
75	.....	4.3.4 المضحّم الجامع
77	.....	5.3.4 المضحّم التفاضلي
79	.....	6.3.4 المضحّم التكاملي
81	.....	4.4 تمارين الفصل الرابع
82	.....	قائمة المراجع

إن التقدم والتطور التكنولوجي الحاصل في العالم يرجع وبدرجة كبيرة الى علم الالكترونيات ، الذي يعتمد ( علم الالكترونيات ) في تصنيع عناصره على المواد نصف الناقله. هذه الاخيره يعتمد عليها اعتمادا كليا في صناعة الترانزستور و الدارات المندمجة.

يمكن القول العنصر الإلكتروني، هو أي جهاز فيزيائي مادي، يحدث فيه تأثير معين نتيجة مرور تيار من الإلكترونات عبره، وذلك عند وضعه ضمن دائرة كهربائية ذات قيمة محددة للجهد الكهربائي. في عالم الدارات الإلكترونية والكهربائية، فإن أي دائرة تتألف من عددٍ محدد من العناصر الإلكترونية. كل عنصر من هذه العناصر الإلكترونية يقوم بتنفيذ وظيفة معينة، وتكامل وظائف العناصر الإلكترونية كلها سيؤدي للحصول على الوظيفة المطلوبة من الدارة الكهربائية أو الإلكترونية ككل، مهما كان نوع الدارة وطبيعتها، أي سواء كانت دائرة حاسوبية رقمية، أو دائرة تحكم آلي، أو دائرة تغذية كهربائية، أو دائرة تحسس وقياس، وغيرها.

وقد تضمنت هذه المطبوعة مجموعة من الدروس و التمارين العملية لتحقيق الربط والتكامل مع المعلومات النظرية للوحدة وترسيخها.

و هي موجهة خصيصا لطلبة التقني بالمدرسة العليا للأساتذة تخصص هندسة كهربائية و فيزياء أو في الجامعات تخصص إلكترونيك ، الكتروتقني و آليات بحيث يساعدهم على فهم و حل بسلاسة كل الأنشطة بمختلف مستويات الصعوبة ورفع وتحسين المستوى المعرفي لدى الطالب.

هذه المطبوعة تنقسم الى عدة مواضيع من دروس و سلاسل وحلول مقسمة الى أربعة فصول:

- حيث تضمن الفصل الأول مقدمة حول أنصاف النواقل و كيفية الحصول على المادة نصف الناقله نوع P و نوع N.
- و تناول الفصل الثاني دراسة شاملة للصمام الثنائي من تكوين، تشكيل و خصائص بالإضافة الى دارات التقويم أحادي و ثنائي النوبة، كذلك شملت الدراسة لعمليتي الترشيح و تثبيت التوتر بالإضافة إلى ثنائي زينر.
- في الفصل الثالث تم عرض الترانزستور ثنائي القطبية و الترانزستور ذو الأثر الحقلي، من حيث البنية و مبدأ العمل و الدارات الأساسية التي يمكن الحصول عليها من مختلف التراكيب. بالإضافة إلى مضخمات الاستطاعة بمختلف أصنافها و مميزاتها.

## مقدمة عامة

• أما الفصل الرابع فقد استعرض دراسة مفصلة للمضخم العملي، من حيث البنية و الخصائص و كيفية الربط في الدارات الالكترونية، كما تطرقنا أيضا لمختلف التطبيقات و التراكيب التي يمكن تحقيقها باستعمال المضخم العملي و عرض بعض النتائج المتحصل عليها في مخرج كل دارة.

ونأمل أن يعود هذا العمل المتواضع بالنفع والفائدة على طلابنا الأعزاء.

والله ولي التوفيق

# الفصل الأول

---

## أنصاف النواقل

## 1.1 مقدمة

يعد اكتشاف أنصاف النواقل ثورة في مجال تصنيع الأجهزة الإلكترونية، وأصبح لا يمكن الاستغناء عنها لأهميتها القصوى في حياتنا. فكل الأجهزة التي نستخدمها في حياتنا تمثل أنصاف النواقل الجزء الأساسي بها، وسنتعرف في هذا الفصل على بعض المعلومات حول أنصاف النواقل وأنواعها واستخداماتها المختلفة وطرق الحصول عليها.

## 2.1 أنصاف النواقل

### 1.2.1 تصنيف المواد من حيث الناقلية

تصنف المواد من حيث الناقلية إلى :

أ مواد ناقلة: تتميز بناقليتها النوعية الكبيرة مثل المعادن .

ب - مواد عازلة: تتميز بناقليتها النوعية الصغيرة جدا مثل الخشب .

ت - مواد نصف ناقلة: هي مواد عازلة في درجة الحرارة العادية وناقلة عند ارتفاع درجة الحرارة وناقليتها النوعية أقل من ناقلية المواد الناقلة وأكبر بكثير من ناقلية المواد العازلة، وأشهر المواد نصف الناقلة هي السيليسيوم والجرمانيوم، وهما الأكثر استخداما في صناعة العناصر الإلكترونية .

### 2.2.1 البنية الذرية للمواد نصف الناقلة

تتألف الذرة حسب نموذج بوهر ( BOHR ) من :

أ- النواة :وهي ذات شحنة موجبة لأنها تحتوي على النيوترونات والبروتونات N موجبة الشحنة والتي تجذب إليها الإلكترونات.

ب - الإلكترونات: وهي ذات شحنة سالبة وعددها يساوي عدد البروتونات (أي الذرة معتدلة كهربائيا)

تدور الإلكترونات حول النواة في مدارات محددة حيث يستوعب كل مدار عددا محددًا من الإلكترونات يعطى بالعلاقة الاتية:  $Z=2N^2$

حيث:

Z: عدد الإلكترونات

N: رقم المدار

فعلى سبيل المثال :

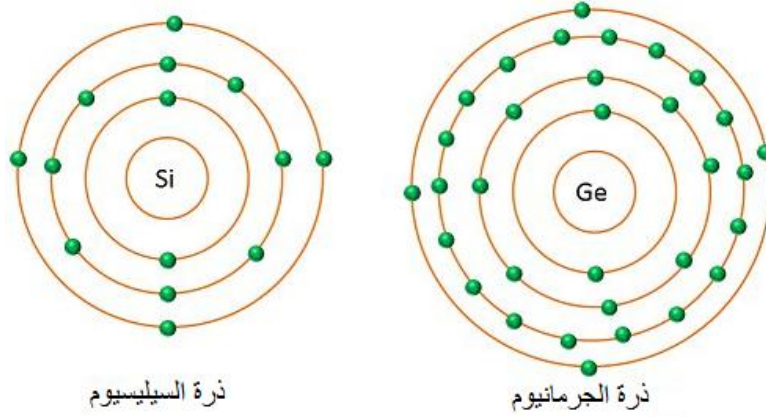
$$Ge|_{Z=32} = 2,8,18,4$$

عنصر الجرمانيوم Ge

$$Si|_{Z=14} = 2,8,4$$

أما السيليسيوم (SI) فيحتوي على (14) إلكترونات موزعة على المدارات كالآتي :

كما هو مبين بالشكل(1.1) .

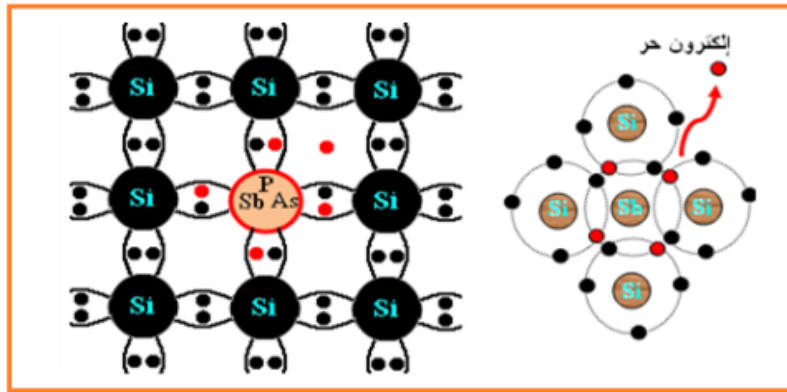


الشكل (1.1): التركيب الذري لعنصر السيليسيوم والجرمانيوم

يسمى المدار الأخير بمدار التكافؤ وهو يحدد الخصائص الكهربائية للمادة ، وتدعى إلكتروناته بإلكترونات التكافؤ، ففي المواد نصف الناقلة يحتوي هذا المدار على أربعة إلكترونات، أما في المواد الناقلة فيحتوي هذا المدار على إلكترون واحد أو إلكترونين حيث يمكن أن تتخلى الذرة عنها بسهولة مما يعطيها خاصية الناقلة، أما في المواد العازلة فمداراتها الخارجية مكتملة بالإلكترونات وارتباطها مع ذراتها قوي جدا مما يصعب تحررها و يعطيها خاصية العازلية .

### 3.2.1 المادة نصف الناقلة من النوع السالب N

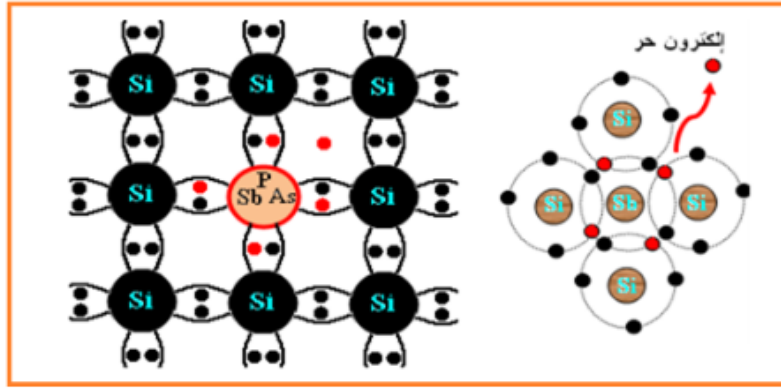
عند إضافة ذرات من مادة شائبة خماسية التكافؤ مثل : (الفوسفور، الزرنيخ والأنتيمون والتي تحتوي في مدارها الأخير على خمسة إلكترونات الشكل(2.1) إلى مادة نصف ناقلة مثل السيليسيوم حيث تضاف ذرة واحدة من المادة الشائبة لكل (  $10^7$  ذرة سيليسيوم أي ، تكون نسبة ذرات السيليسيوم هي الأكثرية و نسبة الشوائب صغيرة جدا .



الشكل(2.1): التركيب الذري للمادة الشائبة خماسية التكافؤ

تتشكل الروابط الثنائية من الذرة المضافة مع أربع ذرات سيليسيوم مجاورة، حيث إن المادة الشائبة تشارك بالإلكترون واحد مع كل من ذرات السيليسيوم الأربعة المجاورة وبالتالي تصبح ثمانية إلكترونات في مدار المادة الشائبة لتصبح الذرة مستقرة .

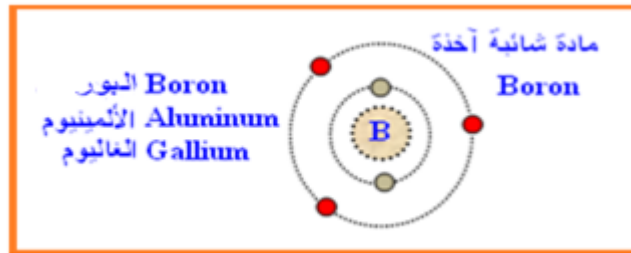
أما إلكترونها الخامس فتتخلى عنه بسهولة (لضعف ارتباطه بذرته) ليصبح الكترونا حرا يشارك في عملية نقل التيار الكهربائي ، ويوضح الشكل (3.1) تشكل الروابط الثنائية بين الذرة المضافة مع أربع ذرات سيليسيوم مجاورة أي كل ذرة شائبة تعطي إلكترونات حرة لذلك تسمى بالشائبة المعطية .



الشكل (3.1): تشكيل المادة نوع (N) باستخدام الإشابة بمادة خماسية التكافؤ.

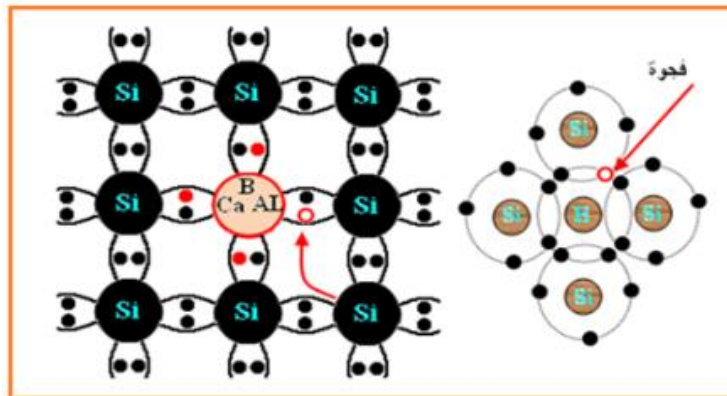
#### 4.2.1 المادة نصف الناقلة من النوع الموجب P

عند إضافة ذرات من مادة شائبة ثلاثية التكافؤ مثل البور، الألمنيوم، الغاليوم والتي تحتوي في مدارها الأخير على ثلاثة إلكترونات كما يوضح الشكل (4.1).



الشكل (4.1) : التركيب الذري للمادة ثلاثية التكافؤ

المادة نصف ناقلة مثل السيليسيوم والتي تكون الأغلبية دائما ونسبة الشوائب تكون صغيرة جدا، فإنها (الذرات المضافة) تتموضع بين أربع ذرات سيليسيوم مجاورة وبالتالي يكون المدار الخارجي (الثاني) للذرة الشائبة والذي يتسع لثمانية إلكترونات غير مكتمل لأنه يحتوي على سبعة إلكترونات وبالتالي يظهر ثقب في الذرة الثلاثية المضافة كما هو مبين في الشكل (5.1)



الشكل (5.1): تشكيل المادة من نوع (P) باستخدام الإشابة بمادة ثلاثية التكافؤ

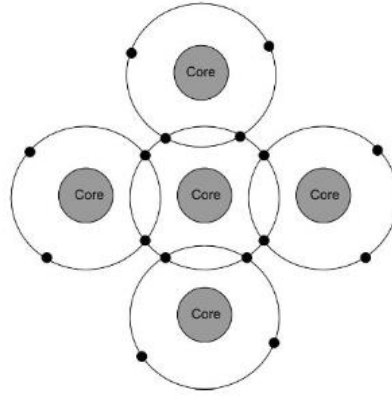
### 3.1 بلورات الجرمانيوم والسيليسيوم

بما أن الغلاف الخارجي لذرة الجرمانيوم يحتوي على أربعة إلكترونات ، فهذا يعني أن الغلاف ينقصه أربعة إلكترونات حتى يصل إلى حالة التشبع (ثمانية إلكترونات) . ومن حقيقة أن ذرات الجرمانيوم أثناء ارتباطها لتكوين المادة فإن غلافها الخارجي سيحتوي على ثمانية إلكترونات ، فإن أربعة من هذه الثمانية ستكون إلكترونات تساهمية من الذرات الأربعة المجاورة. هذا الترتيب للذرات المتجاورة يدعى بالتكوين البلوري.

وأثناء تفحصنا لبلورة الجرمانيوم النقي سنرى أن كل ذرة محاطة بأربعة ذرات مجاورة والتي في الحقيقة تتشارك بالإلكترونات مع الذرة المركزية .

نلاحظ أن الذرة المركزية

الشكل (6.1) يجسد هذا المفهوم بشكل أكثر وضوحا ، حيث تملك ثمانية إلكترونات في غلافها الخارجي، أربعة من هذه الإلكترونات تعود إلى الذرة المركزية ، بينما الأربعة المتبقية فهي تعود إلى الذرات المجاورة لأن كل ذرة مجاورة تشارك بالإلكترون واحد في الغلاف الخارجي للذرة المركزية . وتبعاً لذلك فإن كل ذرة مجاورة لها أربع ذرات مجاورة لها ، وبهذه الطريقة فإن كل ذرة في البلورة ستملك ثمانية إلكترونات في غلافها الخارجي .



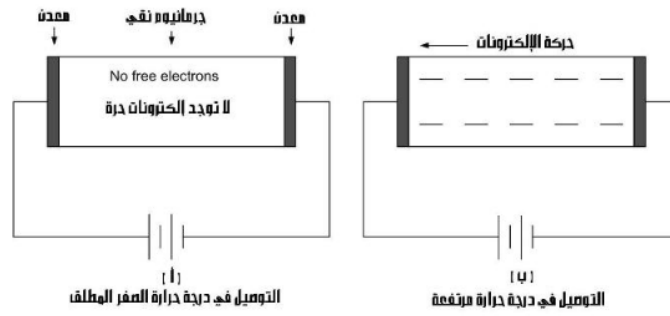
الشكل (6.1) الذرات بداخل البلورة

على نحو مماثل فإن ذرات السيليسيوم ترتبط معاً لتكوين بلورة السيليسيوم ، والتي بها كل ذرة لها أربعة ذرات متجاورة تتشارك معها في الإلكترونات . وأيضاً فإن ذرات السيليسيوم سوف تمتلك ما مجموعه ثمانية إلكترونات في غلافها الخارجي.

وكما قلنا سابقاً أن الغلاف الخارجي لذرتي الجرمانيوم والسيليسيوم ما لم يحتوي على ثمانية إلكترونات فهو مازال ناقصاً ، وبسبب هذا النقص سنجد أن هناك قوة من الجذب تعمل على جذب هذه الإلكترونات باتجاه الذرة ، وتنتهي هذه القوة باكتمال عدد الإلكترونات إلى ثمانية . هذه الإلكترونات ستمسك بإحكام أو بمعنى آخر سنشد نحو الذرة ولا تستطيع الهروب بعيداً عنها ما لم تكن هناك قوة خارجية مطبقة .

### 4.1 التوصيل في الجرمانيوم والسيليسيوم النقيين

نلاحظ من الشكل (4.7.1) حيث نلاحظ أن بلورة الجرمانيوم النقي قد وصلت بالمولد ، فعندما تكون الحرارة في درجة الصفر المطلق سنجد بأنه ليس هناك تيار في الدارة ، وسبب ذلك هو أنه لا توجد إلكترونات حرة بداخل البلورة . إن الإلكترونات التي تكون في الغلاف الخارجي تكون ذات توصيل جيد ضمن الذرات المنفردة ولا يمكنها المساهمة في التيار المار . بينما في البلورة وبسبب هذا التماسك والإحكام للإلكترونات باتجاه الذرة فإنه لا يمكنها المشاركة في التيار المار ، لذلك فإن درجة الصفر المطلق في بلورة الجرمانيوم هي درجة العزل (عدم مرور تيار) .



الشكل (7.1) التوصيل في شبه الموصل

أثناء زيادة درجة حرارة البلورة فإن الطاقة الحرارية ستعمل على إزاحة بعض إلكترونات الغلاف الخارجي للذرة ( وذلك من أجل توفيرها لمرور التيار ) هذه الإلكترونات تدعى بالإلكترونات الحرة. الشكل (7.1ب) يشير إلى هذه الإلكترونات الحرة بالإشارات السالبة ، ونعني بالحرارة أن لهذه الإلكترونات السماحية في الحركة باتجاه واحد وذلك حسب الشكل من اليمين إلى اليسار والتي هي في الحقيقة تمثل مرور التيار ، إن قيمة هذا التيار صغيرة جدا بسبب العدد الذي ربما هو قليل جدا من الإلكترونات المتحررة بفعل الطاقة الحرارية .

وبالطبع فإنه أثناء زيادة درجة الحرارة إلى حد كبير فإنه سيتحرر عدد أكبر من الإلكترونات الحرة من الأغلفة الخارجية للذرات، وهذا يعني مرور تيار أكبر في شريحة البلورة .

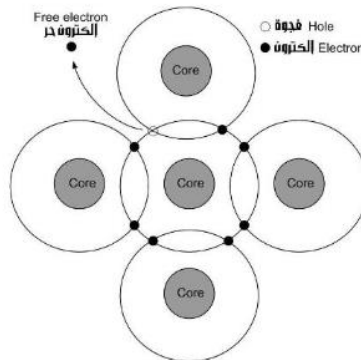
في درجة حرارة الغرفة (حوالي 25<sup>0</sup>م) وجدنا أن كمية التيار المنتجة قليلة جدا لاعتبار الجرمانيوم موصل للتيار ، ولهذا فهو أقرب إلى العازل منه إلى الموصل ، وكان هذا هو سبب تسميتنا لبلورة الجرمانيوم بشبه الموصل .

إن بلورة السيليسيوم تتصرف تقريبا بنفس الشيء عندما يتعلق الأمر بالتيار الكهربائي، ففي درجة حرارة الصفر المطلق فإن كل الإلكترونات تتماسك بإحكام في اتجاه ذراتهم، أي ان بلورة السيليسيوم في هذه الحالة تتصرف كالعازل . أثناء زيادة درجة الحرارة فإن عدد من الإلكترونات المنزوعة من الغلاف الخارجي للذرات تصبح حرة ومتاحة لمرور التيار في البلورة .

إن تماسك الإلكترونات في ذرات السيليسيوم هو أكثر من تماسكها في ذرات الجرمانيوم ، كنتيجة لذلك فإننا نحتاج إلى طاقة حرارية أكبر لإزاحة الإلكترونات من الخارجي للذرة ، لهذا فإننا نلاحظ اختلافا مهما بين السيليسيوم والجرمانيوم ، وهو أنه في نفس درجة الحرارة فإن هناك إلكترونات حرة منتجة في ذرات السيليسيوم أقل من تلك المنتجة في ذرات الجرمانيوم .

### 5.1 مفهوم الفجوات

إن كلمة مفهوم الفجوات أمر يثير الاهتمام ، ولكي نفهم هذا المفهوم بشكل أكثر وضوحا، نلاحظ من الشكل (8.1) نمودجا لذرة الجرمانيوم ( أو ذرة السيليسيوم) محاطة بأربع ذرات متجاورة، وكما علمنا أيضا أن الطاقة الحرارية تعمل على إزاحة إلكترون من الغلاف الخارجي للذرة .



الشكل (8.1) إنتاج الفجوات

عندما يحدث هذا سيصبح الإلكترون المنزوع حر الحركة وقادرا على التحرك في داخل بنية البلورة. وأثناء مغادرته لمكانه الأصلي فإنه سيتترك مكانا شاغرا في الغلاف الخارجي للذرة يدعى بالفجوة Hole ، هذه الفجوة ستنتصرف وكأنها شحنة موجبة تعمل على أسر وجذب أي إلكترون في الجوار بشكل فوري .

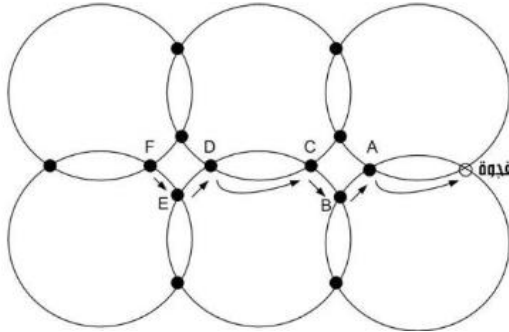
في بلورة الجرمانيوم أو السيليسيوم النقيين فإنه من الطبيعي سينتج عدد متساوي من الإلكترونات الحرة والفجوات بفعل الطاقة الحرارية ، حركة هذه الإلكترونات الحرة تكون حركة عشوائية في كافة أنحاء التركيب البلوري . فمن حين إلى آخر تقترب هذه الإلكترونات من الفجوات كثيرا بما فيه الكفاية لكي تجذب بواسطة الفجوة ، عند حدوث هذا فإن الفجوة ستختفي وعندها يصبح الإلكترون الحر إلكترونًا مقيدًا . ويطلق على هذه العملية بعملية إعادة الارتباط .

إن ما يجري بداخل البلورة في لحظة واحدة يمكننا أن نوجزه في عدة نقاط :-

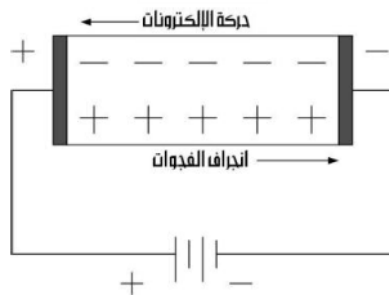
1. ظهور بعض الإلكترونات الحرة والفجوات الجديدة بفعل الطاقة الحرارية .
2. إعادة الارتباط بين الإلكترونات الحرة والفجوات ضمن البلورة .
3. قد توجد بعض الإلكترونات الحرة والفجوات في مرحلة يمكن أن نضعها بين المرحلتين السابقتين ، هذه المرحلة تختلف عن سابقتها إذ أنه لم يحدث ارتباط بين الإلكترونات الحرة والفجوات بعد. يدعى الوقت الذي لم يتم فيه الارتباط بعد بمعدل الحياة . Lifetime

في الحقيقة أنه يوجد نوعان من مكونات التيار في أشباه الموصلات إن صح التعبير، حركة الإلكترونات هي المكون الأول، وحركة الفجوات هي المكون الثاني. وقد تعرضنا بإيجاز لكيفية حركة الإلكترونات.

والفجوات هي الأخرى تتحرك أيضا ، ولتوضيح ذلك من الشكل (9.1) وعند الناحية اليمنى، حيث نرى أن المجاور لهذه الفجوة هو رابطة إلكترون (عند الموضع A)، ستعمل هذه الفجوة على جذب رابطة الإلكترون إليها، وعند حدوث ذلك فإن الفجوة الأصلية ستختفي وتظهر فجوة جديدة في الموضع A ، ومرة أخرى ستعمل الفجوة الجديدة ( التي في الموضع A ) على جذب رابطة الإلكترون التي في الموضع B ، وعند حدوث ذلك فإن الفجوة ستختفي في الموضع A وتظهر في الموضع الجديد B.



الشكل (9.1) حركة الفجوات



الشكل (10.1) مكونات التيار

وتستمر العملية بهذا الشكل بحيث تتحرك رابطة الإلكترونات على طول المسار المتعرج المشار إليه بالأسهم . وبهذه الطريقة يمكن للفجوات أن تنتقل من ذرة إلى أخرى ، مع ملاحظة أن الفجوات تتحرك بعكس اتجاه الإلكترونات .

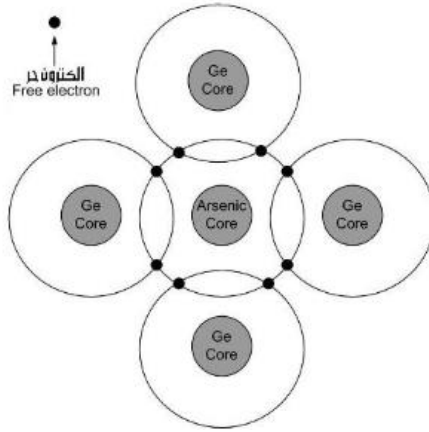
في غياب المجال الكهربائي فإن حركة الفجوات تصبح حركة عشوائية وفي كل الاتجاهات، لذلك لن يكون هناك تيار صافي أو كلي في أي اتجاه . على أية حال إذا كان المجال الكهربائي ضمن البلورة فإن التيار الكلي سيأخذ اتجاه واحد وهو اتجاه المجال الكهربائي، ففي الشكل (10.1) نرى أن المولد موصل بشبه موصل نقي ، فإنه وبسبب الحرارة ظهرت الإلكترونات الحرة التي تمثلها الإشارة السالبة (-) ، والفجوات التي تمثلها الإشارة الموجبة (+). وبسبب قطبية المولد فإن الإلكترونات الحرة ستتجه باتجاه اليسار ، بينما الفجوات ستتحرك باتجاه اليمين . وتستمر الفجوات والإلكترونات الحرة بالتوالد بفعل الطاقة الحرارية ، والتي قد تشارك في مرور التيار .

هناك نقطة يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار وهي أن الفجوات ليست ذات تغيرات موجبة، ولكنها ببساطة عبارة عن موضع شاعر في الغلاف الخارجي للذرة . حيث أشارت بعض الدراسات والتجارب إلى أن الفجوات تتحرك وتتصرف وكأنها ذات شحنة موجبة . ولهذا السبب فإننا سوف نستخدم الإشارة الموجبة (+) لتمثيل الفجوة .

### 6.1 الشوائب في أشباه الموصلات

كما قلنا سابقا أن الإلكترونات الحرة والفجوات تنتج بواسطة الطاقة الحرارية وذلك أثناء تأثيرها في شبه الموصل النقي ، ولكن من ناحية عملية فإن الطاقة الحرارية لن تنتج إلا عدد قليل جدا من الإلكترونات والفجوات ( أي تيار قليل جدا) . وحتى نزيد عدد الإلكترونات الحرة والفجوات فإننا سنعتمد على طريقة جديدة تدعى بعملية إضافة الشوائب إلى شبه الموصل (التطعيم) ، وهي تعني ببساطة أنه يمكننا إضافة شوائب ذرية إلى بلورة الجرمانيوم أو السيليسيوم . إن شبه الموصل الذي تضاف إليه الشوائب يدعى بشبه الموصل الفعلي .

إن الطريقة الوحيدة لتطعيم الجرمانيوم النقي ( أو السيليسيوم النقي) هي بتحطيم البنية التركيبية للبلورة وذلك بصهرها، ثم بإضافة كمية من المادة الشائبة التي تحتوي على خمسة إلكترونات في غلافها الخارجي ( مثل الزرنيخ ، الفسفور ، الأنتيمون ) . فعلى سبيل المثال لو أضفنا كمية صغيرة من عنصر الزرنيخ ، فإن ذرات الزرنيخ سوف تنتشر في كافة أنحاء الجرمانيوم المنصهر ، وأثناء برود الجرمانيوم فإن البلورة الصلبة سوف تتشكل ، ومرة أخرى فإننا سنجد أن كل ذرة داخل التركيب البلوري تحيط بها أربع ذرات متجاورة تشارك معا في الكترونات الغلاف الخارجي. لكن عند فحصنا للبلورة على المستوى الذري فإننا سنجد أن أغلب الذرات هي ذرات جرمانيوم ، ومن حين إلى آخر نجد ذرة زرنيخ ، هذه الذرة الزرنيخية إن جاز القول ستأخذ مكان ذرة الجرمانيوم في التركيب البلوري ، وكننتيجة لذلك فإنه سيكون لها أربع ذرات متجاورة ، ففي الشكل (11.1) نرى أن ذرة الزرنيخ المركزية تمتلك ثمانية إلكترونات في غلافها الخارجي ، هذه الذرة أصلا لها خمس إلكترونات في غلافها الخارجي . وكل ذرة جرمانيوم ستشارك بالإلكترون واحد من غلافها الخارجي مع ذرة الزرنيخ المركزية، وبما أن ذرة الزرنيخ المركزية تملك أصلا خمسة إلكترونات في غلافها الخارجي أي أنها تحتاج إلى ثلاثة إلكترونات لكي تصل إلى مستوى التشبع وهو ثمانية إلكترونات فإنها تحتاج إلى ثلاثة إلكترونات من ذرات مجاورة ، وحيث أنه عندنا أربعة ذرات جرمانيوم مجاورة وكل منها تشارك بالإلكترون وحيد ، عندها سيكون هناك إلكترون زائدا ، هذا الإلكترون سيصبح إلكترون حرا .

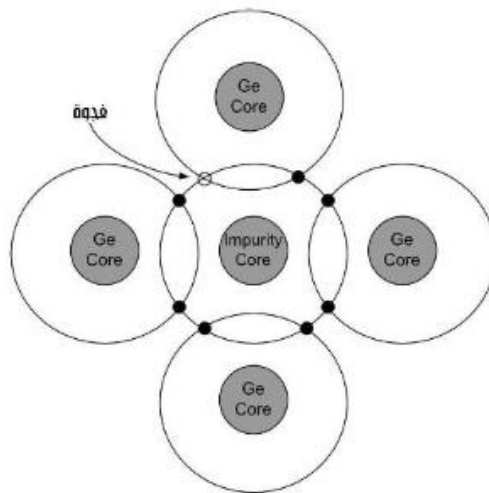


الشكل (11.1) النوع السالب N-type لشبه الموصل

إذا إنه من الواضح أن كل ذرة زرنيخ تضاف إلى شبه الموصل ستكون سببا في إنتاج إلكترون حر جديد ، وبواسطة التحكم في كمية الزرنيخ المضافة يمكننا التحكم بعدد الإلكترونات الحرة المنتجة في البلورة المطعمة .

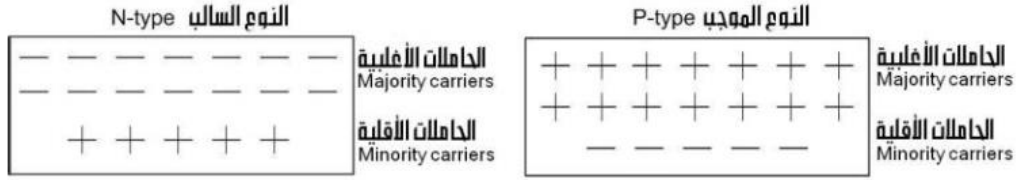
إن شبه الموصل الذي طعم بعنصر له خمس إلكترونات في غلافه الخارجي يسمى بشبه الموصل من النوع السالب-N-Type، حيث N هي الحرف الأول من كلمة Negative وهي تعني السالب، وبالإشارة إلى أن زيادة الإلكترونات الحرة في بلورة الجرمانيوم المطعمة سيغلب على عدد الفجوات التي ربما أنتجت بفعل الطاقة الحرارية ، عندها ستكون الإلكترونات الحرة هي الحاملات الأغلبية بينما الفجوات ستكون هي الحاملات الأقلية .

ولعكس هذه العملية ، أي بجعل الفجوات هي الحاملات الأغلبية والإلكترونات الحرة هي الحاملات الأقلية فالأمر يسير بعدما عرفنا كيف تتم العملية ، في هذه الحالة سنبحث عن عنصر به ثلاثة إلكترونات في غلافه الخارجي ( مثل عنصر البور ، الألمنيوم ، الجاليوم...) ، في البداية وكما عرفنا سابقا سنقوم بصهر بلورة الجرمانيوم ثم إضافة عنصر الشائبة الذي يحتوي على ثلاثة إلكترونات في غلافه الخارجي إلى الصهير ، ففي البلورة المستحصلة بعد التبريد سنجد أن كل ذرة شائبة ستعمل على إزاحة ذرة واحدة من ذرات الجرمانيوم ، ومرة أخرى فإننا سنجد أن أغلب الذرات في التركيب البلوري هي ذرات جرمانيوم ، ومن حين إلى آخر سنجد ذرة عنصر الشائبة ، الشكل (12.1) يوضح أن ذرة عنصر الشائبة في العادة محاطة بأربعة ذرات متجاورة ، وكما هو واضح فإن هناك سبعة إلكترونات فقط في الغلاف الخارجي ( ثلاثة منها هي خاصة بذرة الشائبة ، والأربعة الباقية هي تابعة للذرات الأربعة المجاورة). وكنتيجة لذلك فإنه سيكون هناك فجوة واحدة في الغلاف الخارجي لذرة عنصر الشائبة، وبالتحكم في كمية عنصر الشائبة يمكننا التحكم في كمية الفجوات بداخل البلورة.



الشكل (12.1) النوع الموجب P-type لشبه الموصل

شبه الموصل الذي طعم بثلاثة إلكترونات في غلافه الخارجي والذي نتج عنه ظهور فجوة جديدة يدعى بالنوع الموجب لشبه الموصل P-Type ، حيث أن الحرف p هو الحرف الأول من كلمة موجب Positive . و سمي هذا النوع بالنوع الموجب لغالبية عدد الفجوات على عدد الإلكترونات الحرة في البلورة . وهنا يمكننا أن نعتبر أن الفجوات هي الحاملات الأغلبية ، بينما الإلكترونات الحرة هي الحاملات الأقلية



الشكل (13.1) الحاملات الأغلبية والحاملات الأقلية

الشكل (13.1) يلخص هذان النوعان من أشباه الموصلات . وأخيرا يمكننا القول أن التطعيم يمكننا من الحصول على مستويات صالحة لمرور التيار في شبه الموصل .

# الفصل الثاني

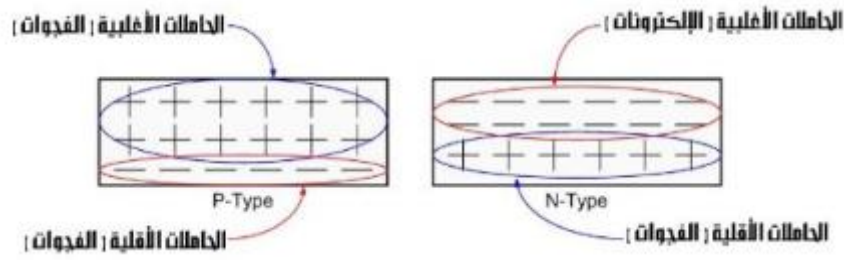
---

## الصيام الثاني

## 1.2 مقدمة

هناك نوعان رئيسيان من أنصاف النواقل يمكن تحديدها بواسطة عملية إضافة الشوائب إلى السيليسيوم النقي وهما :

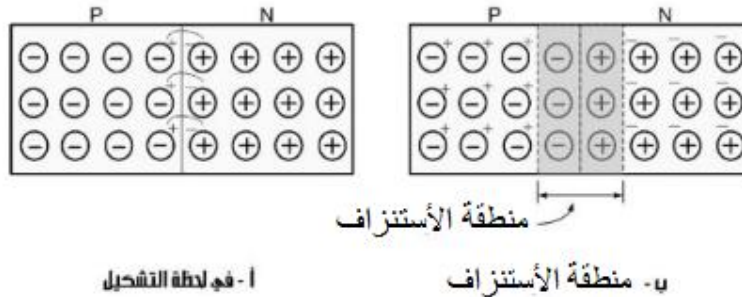
1. **P-type** : وفي هذا النوع فإن حاملات الشحنات الأكثرية هي الفجوات كما موضحة في الشكل (1.2).
2. **N-type** : وفي هذا النوع فإن حاملات الشحنات الأكثرية هي الإلكترونات ، وحاملات الشحنات الأقلية هي الفجوات كما موضحة أيضا بالشكل (1.2).



شكل (1.2): أنواع أنصاف النواقل

## 2.2 منطقة الأستنزاف

في حالة دمج طبقتين من أنصاف النواقل ( طبقة P مع طبقة N ) فينتج عن هذه العملية إعادة ارتباط الإلكترونات القريبة من الحاجز في طبقة N مع الفجوات القريبة من الحاجز في طبقة P ، وتدعى هذه العملية بإعادة الارتباط .



شكل (2.2): منطقة الاستنزاف

وسوف ينشأ عن هذه العملية أيونات موجبة في المنطقة القريبة من الحاجز من جهة N ، وأيونات سالبة في المنطقة القريبة من الحاجز في منطقة P. أي سوف تنشأ منطقة خالية من الإلكترونات الحرة أو الفجوات قريبة من الحاجز تدعى بمنطقة الاستنزاف. إن عمق منطقة الاستنزاف يمتد أكثر باتجاه المنطقة ذات التطعيم أو الشوائب الأقل .

## 3.2 جهد العتبة

بسبب وجود الأيونات في منطقة الاستنزاف فإنها ستمتلك قوة إعاقة بالنسبة للإلكترونات الحرة التي تحاول الانتقال عبر منطقة الاستنزاف من طبقة N إلى طبقة P. وأن قوة الإعاقة هذه تمثل بجهد يسمى

جهد العتبة، وأن قيمة هذا الجهد تساوي 0.7 فولت بالنسبة للثنائي المصنوع من مادة السيليسيوم Si ، و 0.3 فولت بالنسبة للثنائي المصنوع من مادة الجرمانيوم. ويرمز لهذا الجهد بالرمز  $V_0$ ، وأن قيمته تحسب من المعادلة التالية .

$$V_0 = \frac{KT}{q} \ln \left( \frac{N_A \cdot N_D}{ni^2} \right)$$

K: ثابت بولتزمان  $K=1.38 \times 10^{-23} \text{ J/k}$

T: درجة الحرارة بالكلفن  $K273+C^\circ$

q: شحنة الألكترون  $q=1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

$N_A$ : كثافة تطعيم المستقبل

$N_D$ : كثافة تطعيم المانح

ni: تركيز الحامل النقي

كذلك فإن:

$V_t = kt/q$ : الجهد الحراري وهي تتراوح بين (25mV - 40 mV) ، وتساوي تقريبا 25.8 ملي فولت عند درجة حرارة الغرفة  $300^\circ \text{ K}$

**ملاحظة:** إن قيمة جهد الإعاقة تعتمد على ثلاثة متغيرات هي :

1. مستوى التطعيم في الطبقتين N- P (نسبة الشوائب) .

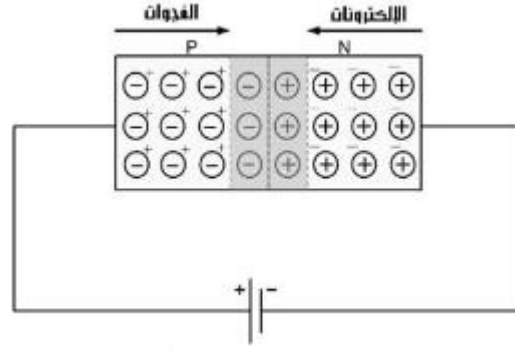
2. نوع نصف الناقل Si أو Ge .

3. درجة الحرارة .

#### 4.2 الاستقطاب الأمامي و الاستقطاب العكسي

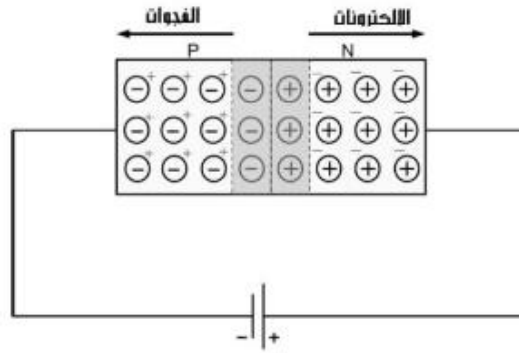
##### 1.4.2 الاستقطاب الأمامي

عند ربط مصدر جهد على طرفي وصلة P-N كما يوضح بالشكل (3.2) فإن الفجوات التي تمثل حاملات الشحنات الأخرية في الطبقة سوف تتحرك مبتعدة عن الطرف الموجب ، كذلك فإن الإلكترونات الحرة التي تمثل حاملات الشحنات الأخرية سوف تتحرك مبتعدة عن الطرف السالب للمصدر. هذا يعني أن حاملات الشحنات الأخرية ( الفجوات والإلكترونات الحرة سوف تتحرك باتجاه الحاجز) ، وفي حالة تسليط جهد (V) أكبر من جهد العتبة فإن هذا يعني أن الإلكترونات سوف تعبر الحاجز نتيجة تغلبها على جهد العتبة ، وينتج عن ذلك مرور تيار كهربائي تعتمد قيمته على قيمة جهد الوصلة .



شكل (3.2): الاستقطاب الأمامي

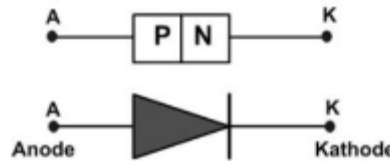
الشكل (4.2) يوضح طريقة ربط المصدر عبر طرفي P-N في حالة الاستقطاب العكسي . يتضح من هذا الشكل أن حاملات الشحنات الأكثرية في طبقة هي الفجوات التي سوف تتحرك باتجاه الطرف السالب للمصدر ( أي مبتعدة عن الحاجز). كذلك فإن حاملات الشحنات الأكثرية في طبقة N وهي الإلكترونات سوف تتحرك باتجاه الطرف الموجب للمصدر ، أي مبتعدة عن الحاجز . هذا يعني أن حاملات الشحنات سواء كانت الفجوات أو الإلكترونات سوف لن تعبر الحاجز وينتج عن ذلك عدم مرور تيار كهربائي . بسبب وجود حاملات الشحنات الأقلية والتي تمثل الإلكترونات في طبقة P والفجوات في طبقة N فإن هذه الشحنات الأقلية سوف تتحرك باتجاه الحاجز وينتج عن عبورها الحاجز مرور تيار كهربائي صغير جدا يسمى بتيار الاستقطاب العكسي .



شكل (4.2): الاستقطاب العكسي

## 5.2 خصائص الثنائي

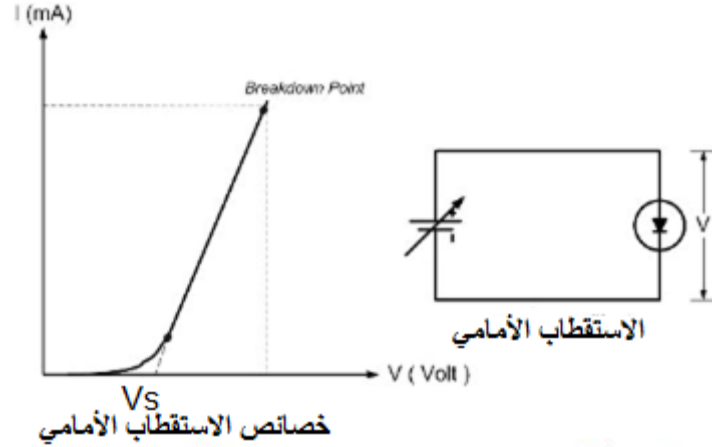
الشكل (5.2) يمثل رمز الثنائي ، حيث أن طبقة P تربط إلى طرف يسمى Anode ، ويرمز له بالرمز A ، وطبقة N تربط إلى المهبط ، ويرمز له بالرمز K.



الشكل (5.2): الرمز التخطيطي للثنائي

## 6.2 توتر العتبة

إن الدارة (6.2 أ) تمثل دارة ثنائي يشتغل في حالة استقطاب أمامي، وبالنسبة لهذا الثنائي عندما يكون جهد المصدر أصغر من جهد العتبة فإن الإلكترونات التي تعبر الحاجز تكاد تكون معدومة ، لذلك يعتبر التيار في هذه الحالة صغير جدا. وعندما نبدأ بزيادة جهد المصدر بحيث يكون مساويا لجهد العتبة أو أكبر قليلا فسوف نلاحظ أن الإلكترونات ستعبر الحاجز بكميات كبيرة، وينتج عن ذلك مرور تيار كهربائي عالي . إن الجهد الذي يتغلب على جهد الإعاقة ( يكون مساويا أو أكبر من جهد العتبة) ويتسبب في مرور تيار كهربائي عالي في حالة الاستقطاب الأمامي يسمى بجهد العتبة.

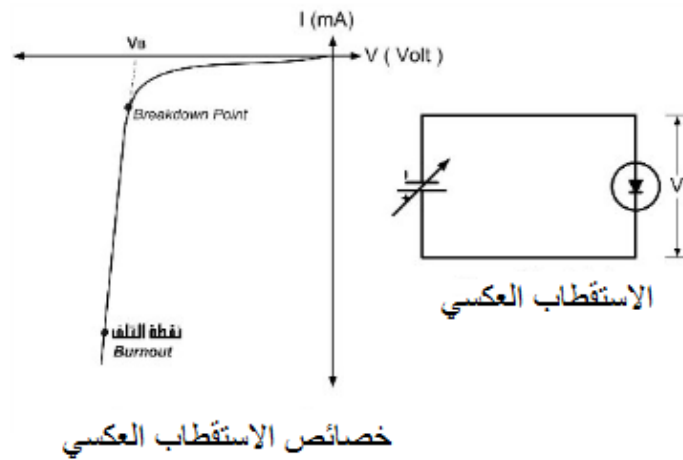


الشكل (6.2): توتر العتبة

### • ملاحظة

يجب تجنب الزيادة غير الطبيعية في جهد المصدر وبعد جهد العتبة وذلك لتجنب مرور تيار عالي جدا خلال الثنائي والذي ينتج عنه تحطم الثنائي .

## 7.2 توتر الانهيار

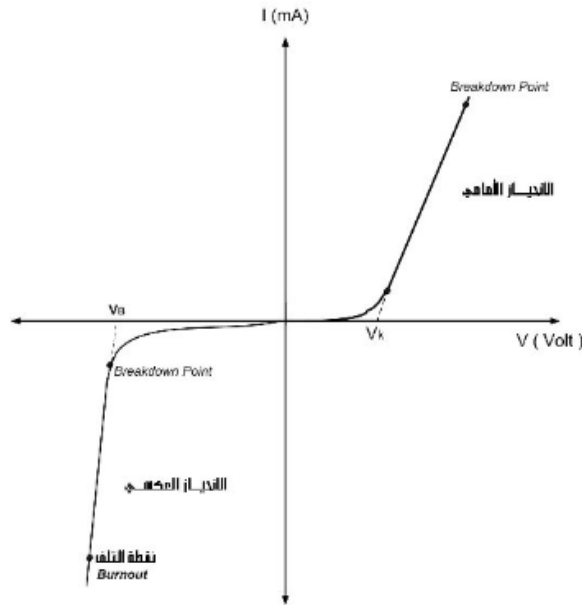


الشكل (7.2): توتر الأنهيار

الشكل (7.2أ) يبين ربط الثنائي في حالة الاستقطاب العكسي، وكما نعرف فإنه في حالة الاستقطاب العكسي سوف لن يعبر أيا من حاملات الشحنات الحاجز الوسطي وإنما الذي يعبر الحاجز هو فقط حاملات الشحنات الأقلية، وبما أن عدد حاملات الشحنات الأقلية يكون صغير جدا لذلك فالتيار العكسي في هذه الحالة يكون صغير جدا أيضا .

وعند زيادة الجهد العكسي المسلط على الثنائي سوف يؤدي ذلك إلى الوصول إلى حالة تحطم في الروابط في التركيب البلوري، وينتج عن ذلك تحرر عدد كبير جدا من الإلكترونات والذي ينتج عنه مرور تيار عكسي عالي جدا استمراره يؤدي إلى تلف الثنائي . إن الجهد المسلط على طرفي الثنائي والذي ينتج عنه مرور تيار عكسي عالي جدا يسمى بجهد الانهيار.

بعد معرفة خصائص الثنائي في حالة الاستقطاب الأمامي أو العكسي فإن الخصائص الكاملة للثنائي موضحة في الشكل (8.2).



الشكل (8.2): الخصائص الكاملة للثنائي

إن المعادلة التي تحمل العلاقة بين التيار في الثنائي والجهد المسلط بين طرفيه هي كالتالي :

$$I_D = I_S (e^{V_D/V_T} - 1)$$

$I_S$ : تيار التشبع العكسي

$I_D$ : تيار الثنائي

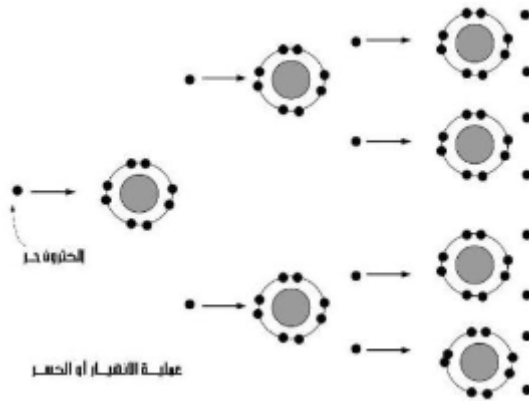
$V_D$ : توتر الثنائي

$V_T$ : الجهد الحراري

إن المقصود بالتيار  $I_S$  هو التيار العكسي الناتج عن عبور حاملات الشحنات الأقلية للحاجز.

## 8.2 ظاهرة الكسر

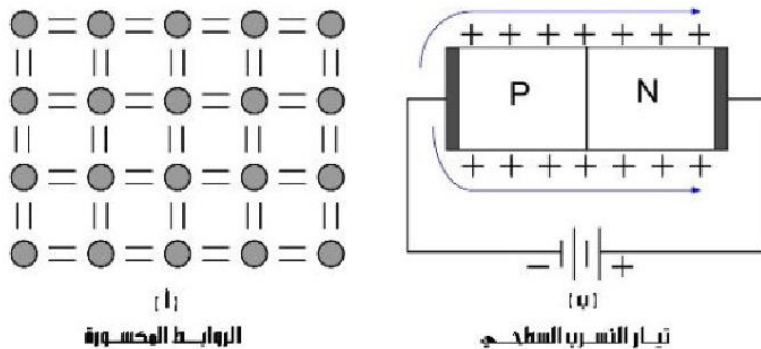
في حالة الاستقطاب العكسي فإن التيار المار في الثنائي يكون صغير جدا وناتج عن عبور حاملات الشحنات الأقلية ، ولكن زيادة الجهد العكسي المسلط على الثنائي ينتج عن هذه العملية اكتساب الإلكترونات الأقلية سرعة عالية جدا ونتيجة اصطدام كل إلكترون من هذه الإلكترونات ببلورة ضمن التركيب البلوري فسوف يحرر إلكترون آخر ، وأن الإلكترونين الجديدين سوف يكسبان نفس السرعة . وباصطدام كل واحد من هذين الإلكترونين ببلورة سوف يحرر إلكترون آخر. ونتيجة لذلك فإن كل إلكترون من حاملات الشحنات الأقلية سوف يحرر عددا هائل من الإلكترونات ضمن التركيب البلوري ، أي مرور تيار عكسي عالي جدا يؤدي إلى تلف الثنائي ، هذه العملية تسمى بظاهرة الكسر أو الانهيار كما يوضح بالشكل (9.2).



الشكل (9.2): عملية الانهيار أو الكسر

## 9.2 تيار التسرب السطحي

نتيجة قطع قطعة نصف ناقل إلى قطع صغيرة فإن هذه القطع الصغيرة المراد صنع الثنائي منها سوف تفقد الإلكترونات الموجودة على السطح ضمن التركيب البلوري ، بمعنى أن السطح سوف يكون مشحون بشحنات موجبة كما موضح بالشكل (10.2.ب). إن وجود هذه الشحنات الموجبة على السطح سوف يسهل من انتقال الإلكترونات من الطرف السالب إلى المصدر عبر سطح الثنائي إلى الطرف الآخر، وهذا يعني أن هناك تيار صغير سوف يمر عبر الثنائي من خلال السطح. هذا التيار يسمى بتيار التسرب السطحي.



الشكل (10.2): تيار التسرب السطحي

إذا في حالة الاستقطاب العكسي هناك تياران يمران من خلال الثنائي، الأول هو التيار الناتج من حاملات الشحنات الأقلية للوصلة أو الحاجز، والثاني هو تيار التسرب السطحي

## 10.2 الثنائي المثالي والثنائي الحقيقي

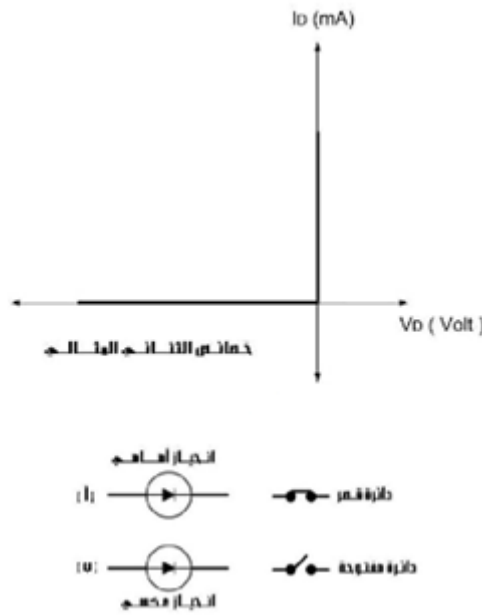
### 1.10.2 الثنائي المثالي

بالنسبة للثنائي المثالي يمكن تمييز حالتين:

أولاً: في حالة الاستقطاب الأمامي نعتبر أن  $V_{seuil}$  يساوي صفر ( $V_s=0v$ ) . وهذا يعني أن الثنائي سيتحول إلى حالة الغلق عند جهد يساوي صفر .

ثانياً: في حالة الاستقطاب العكسي نعتبر أن التيار العكسي يساوي صفر مع استمرار زيادة الجهد العكسي والشكل (11.2) يوضح خصائص الثنائي المثالي .

نستنتج من ذلك بأنه في حالة الاستقطاب العكسي يمكن اعتبار مقاومة الثنائي تساوي ما لا نهاية، أي يمكن تعويض الثنائي بقاطعة مفتوحة. هذا يعني أنه بالتحكم في الجهد المسلط بين طرفي الثنائي يمكن استخدام الثنائي كمفتاح تلقائي.



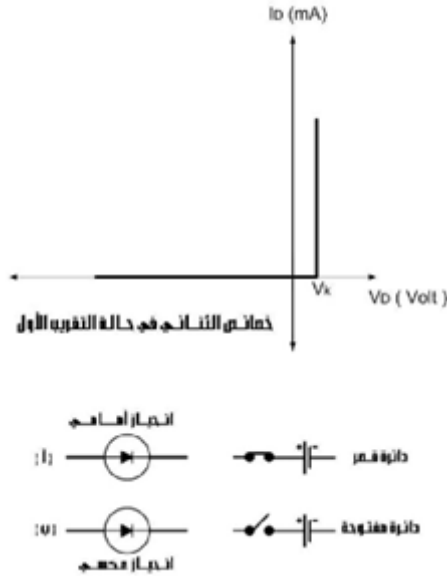
الشكل (11.2): الدارة المكافئة للثنائي المثالي

### 2.10.2 الثنائي الحقيقي

#### أ. التقريب الأول

في هذه الحالة نفترض أولاً: أنه في حالة الاستقطاب الأمامي أن تيار الثنائي يزداد زيادة سريعة عندما يكون الجهد المسلط بين طرفيه يساوي  $V_s$  كما موضح بالشكل (12.2)

ثانيا: في حالة الاستقطاب العكسي فإن التيار العكسي يبقى مساويا للصفر، وهنا يمكن اعتبار الثنائي في هذه الحالة كقاطعة مفتوحة ومربوط على التسلسل مع مصدر جهد قيمته  $V_S$ .



الشكل (12.2): الدارة المكافئة للثنائي الحقيقي في حالة التقريب الأول

### ب. التقريب الثاني

في حالة التقريب الثاني يمكن تمييز دارتين للثنائي .

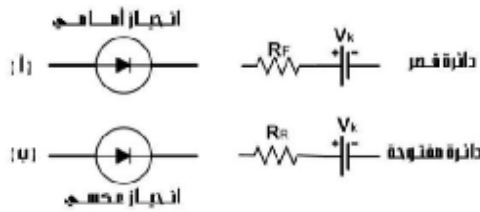
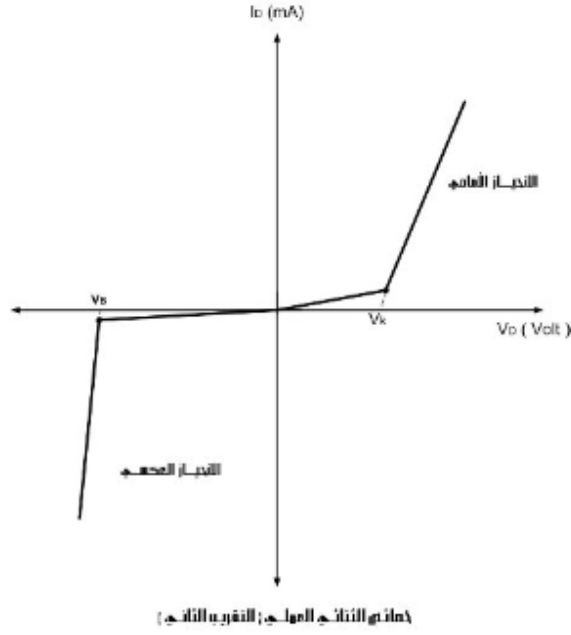
أولا في حالة الاستقطاب الأمامي: نلاحظ أن هناك تغير في الجهد أو زيادة صغيرة في الجهد مقابل زيادة كبيرة في التيار عندما تصل إلى جهد العتبة  $V_S$  ، لذلك في هذه الحالة يمكن اعتبار الثنائي عبارة عن مصدر جهد قيمته  $V_S$  مربوط على التسلسل مع مقاومة صغيرة وهي مقاومة الثنائي في حالة الاستقطاب الأمامي، ويرمز لها بالرمز  $R_D$ ، حيث .

$$R_F = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{\text{كمية صغيرة}}{\text{كمية كبيرة}} = \text{مقاومة صغيرة}$$

كما يوضح بالشكل (13.2) فإن قيمة المقاومة لا تتجاوز عدة أومات .

أما في حالة الاستقطاب العكسي نلاحظ أن هناك زيادة صغيرة بالتيار مقابل زيادة كبيرة في جهد الاستقطاب العكسي ، لذلك يمكن تمثيل الثنائي في هذه الحالة بمصدر جهد قيمته  $V_S$  مربوط على التسلسل مع مقاومة  $(R_F)$  ، وهي مقاومة الثنائي في حالة الاستقطاب العكسي. وأن قيمة هذه المقاومة تكون عالية جدا، أي بالميجا أوم ، حيث :

$$R_F = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{\text{كمية كبيرة}}{\text{كمية صغيرة}} = \text{مقاومة كبيرة جدا}$$



الشكل (13.2): الدارة المكافئة للثنائي الحقيقي في حالة التقريب الثاني

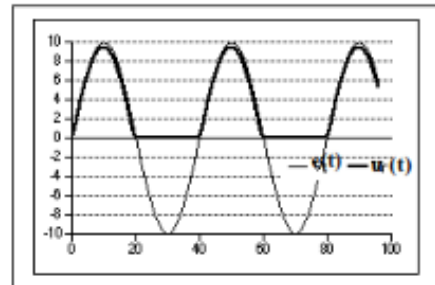
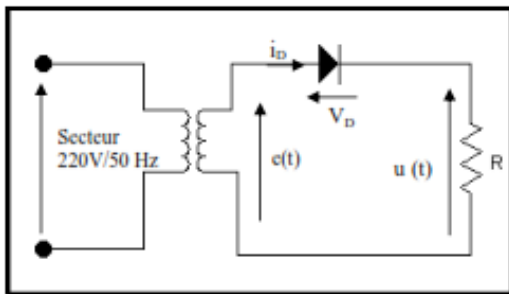
## 11.2 تطبيقات الصمام الثنائي

عند دراسة خواص الصمام الثنائي و الذي يسمح بمرور التيار في اتجاه واحد يمكن استخدام هذه الميزة في تحويل التيار المتناوب إلى تيار مستمر حيث يقوم الثنائي بتمرير جزء واحد فقط من الموجة الجيبية و التي تمثل موجة مصدر التغذية.

و يتم استعمال الثنائيات في دارات التقويم أحادي و ثنائي النوبة.

### 1.11.2 تقويم أحادي النوبة

ليكن التركيب الموالي حيث :  $e(t) = E \sin \omega t$



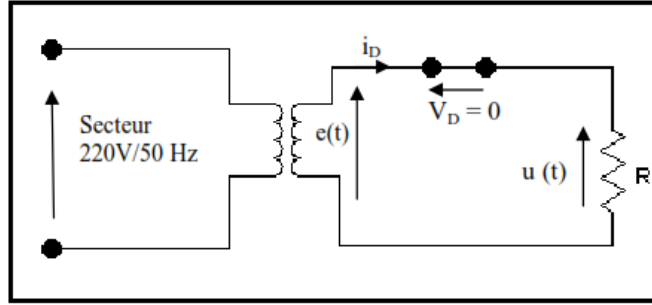
الشكل (14.2): تقويم أحادي النوبة

**\*مبدأ عمل التركيب:**

عندما يجتاز توتر المدخل حاجز العتبة يصبح الثنائي ممر، وبذلك يكون توتر المخرج هو الفرق بين توتر المدخل و توتر العتبة للثنائي (0.3 أو 0.7) ، أما إذا كان توتر المدخل أقل من توتر العتبة يصبح  $V_k > V_A$  و يكون الثنائي قاطع وبذلك يكون التوتر بين طرفي الثنائي يساوي التوتر بين طرفي المولد.

باعتبار الثنائي مثالي:

1. في حالة الاستقطاب المباشر يكون التركيب كالآتي:



الشكل (15.2): استقطاب مباشر للثنائي

لدينا:

$$u(\theta) = e(\theta) = E \sin \theta$$

$$i_D = \frac{e}{R} = \frac{E}{R} \sin \theta = I_M \sin \theta$$

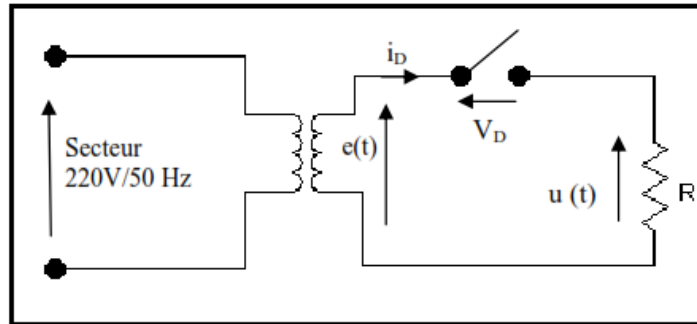
من أجل:  $i_D > 0$  أي أن  $0 < \theta < \pi$  :  $\sin \theta > 0$

ومنه :

$$u(\theta) = R i_D = 0$$

$$v_D = e(t) - u(t) = e(t) = E \sin \theta$$

2. في حالة الاستقطاب العكسي :



الشكل (16.2): استقطاب عكسي للثنائي

ابتداء من اللحظة  $\theta = \pi$  (ينعدم التيار  $i_D$  ، و يتجه ليكون أقل من الصفر) و بذلك يكون الثنائي مستقطب عكسيا ويمثل قاطعة مفتوحة ( $i_D=0$ ) و منه :

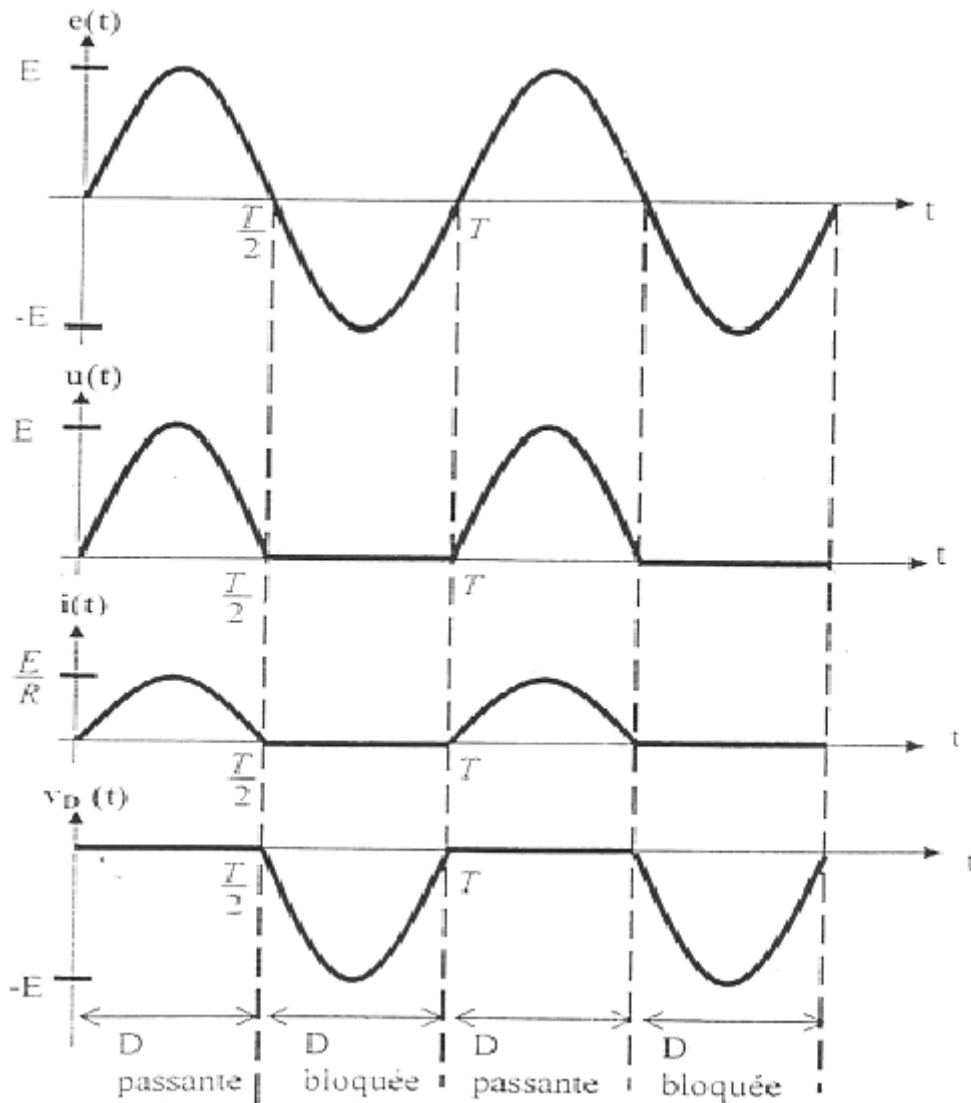
$$u(\theta) = Ri_D = 0$$

$$v_D = e(t) - u(t) = e(t) = E \sin \theta$$

من أجل:  $V_D < 0$  أي  $\pi < \theta < 2\pi$  :  $\sin \theta < 0$

ومنه :  $V_{max} = -E$

- وبذلك يكون توتر المخرج  $U(t)$  بين طرفي الحمولة عبارة عن موجة واحدة فقط من توتر المدخل  $e(t)$



الشكل (17.2): منحنيات توترات و تيار التركيب

يهدف التقويم إلى الحصول على إشارة ثابتة بدلالة الزمن انطلاقاً من أخرى جيبيية ، الإشارة المتحصل عليها في مخرج الدارة لها مركبات مستمرة (قيمة متوسطة  $U_{moy}$  ، بالإضافة إلى توتر التموج  $U_{ond}$ ) حيث:

$$U(t)=U_{moy}+U_{ond}(t)$$

الإشارة  $U(t)$  عبارة عن إشارة دورية دورها  $T$  وقيمتها المتوسطة كالاتي:

$$U_{moy} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u(\theta) d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} e(\theta) d\theta$$

$$U_{moy} = \frac{E}{\pi}$$

القيمة المتوسطة للتيار  $I_{moy}$ :

$$i_{moy} = \frac{E}{\pi R}$$

القيمة الفعالة  $U_{eff}$

$$U_{eff}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u^2(\theta) d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} e^2(\theta) d\theta$$

$$U_{eff} = \frac{E}{2}$$

معامل التموج  $\tau$ : هو النسبة بين القيمة الناتجة عن المركبات المترددة إلى قيمة المركبات المستمرة :

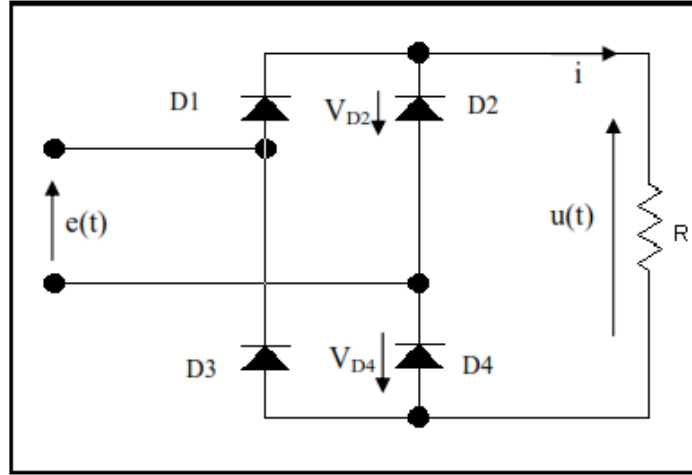
$$\tau = \frac{V_{effond}}{V_{moy}}$$

يحدد معامل التموج كفاءة الدارة في التحويل من التيار المتردد إلى التيار المستمر إذا كان المعامل منخفضاً فإن الدارة تقوم بعملية التحويل بشكل جيد و العكس صحيح .

## 2.11.2 تقويم ثنائي النوية

### أ. باستعمال جسر قرايتز Graetz

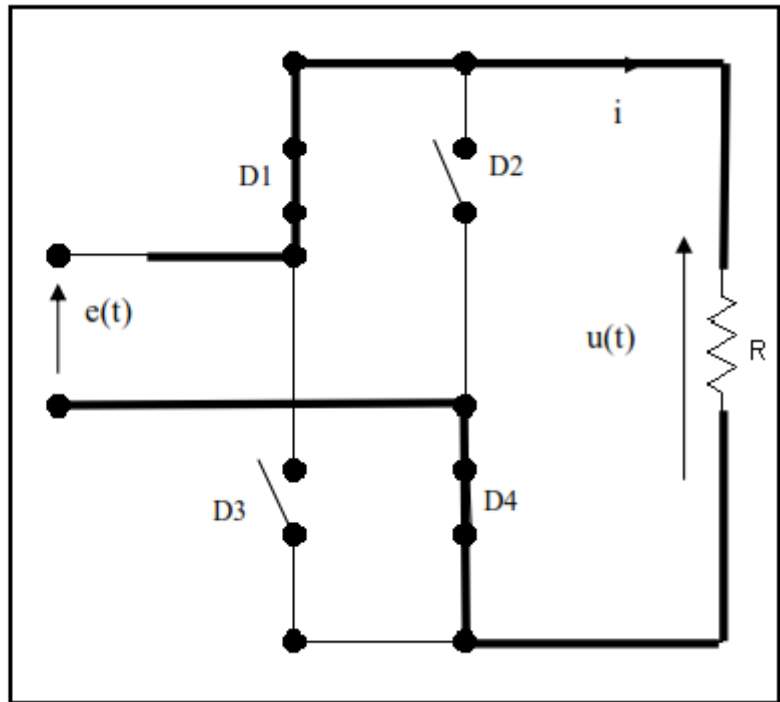
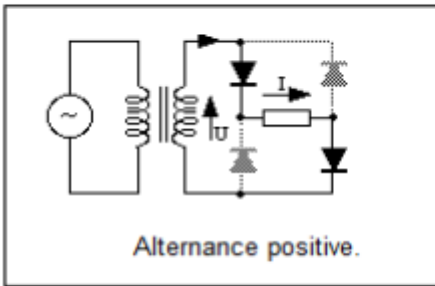
يمكن تحقيق تقويم ثنائي النوية باستعمال محول ذو مخرج واحد مع 4 ثنائيات على شكل جسر قرايتز.



الشكل (18.2): تقويم ثنائي النوية بإستعمال جسر قرايتز Graetz

\* مبدأ عمل التركيب

- أثناء النوبة الموجبة: يكون D1 و D4 في حالة استقطاب مباشر بينما D2 و D3 في حالة استقطاب عكسي ( قاطعة مفتوحة )



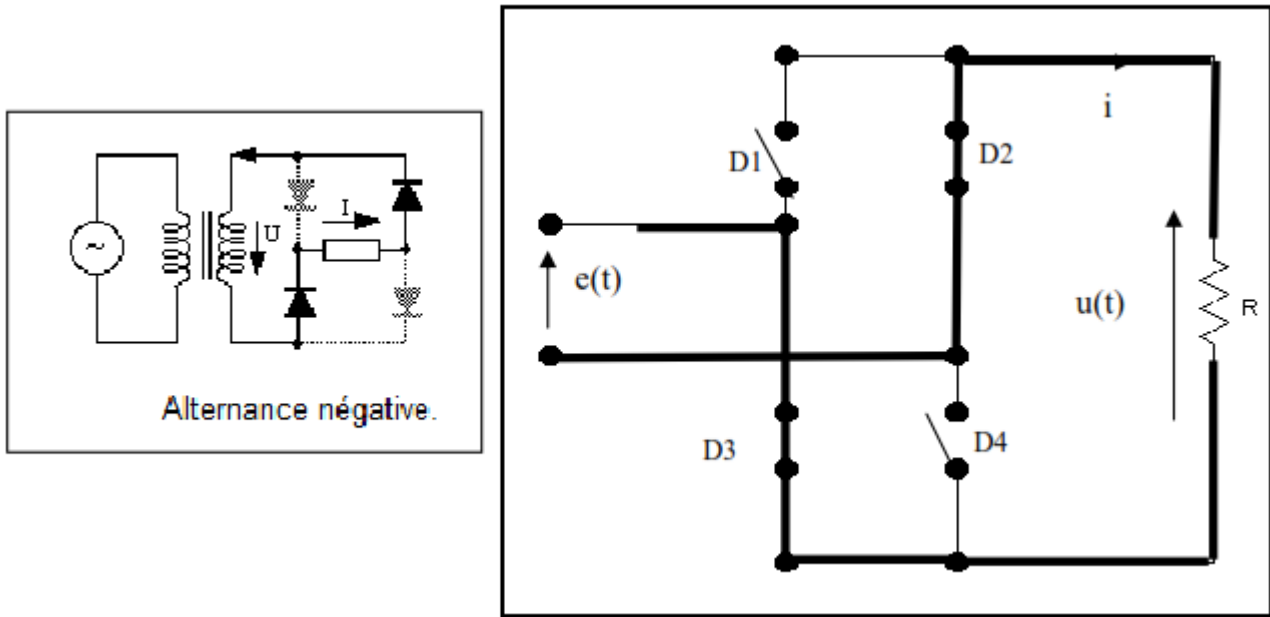
الشكل (19.2): التركيب المكافئ أثناء النوبة الموجبة

$$e(t) - V_{D1} - u(t) - V_{D4} = 0$$

$$\Rightarrow e(t) - u(t) = 0 \Rightarrow u(t) = e(t) \geq 0$$

$$i(t) = i_{D1}(t) = \frac{u(t)}{R}$$

- أثناء النوبة السالبة: يكون D2 و D3 في حالة استقطاب مباشر بينما D1 و D4 في حالة استقطاب عكسي، و يكون التيار المار في الحمولة دائماً في نفس الإتجاه



الشكل (20.2): التركيب المكافئ أثناء النوبة السالبة

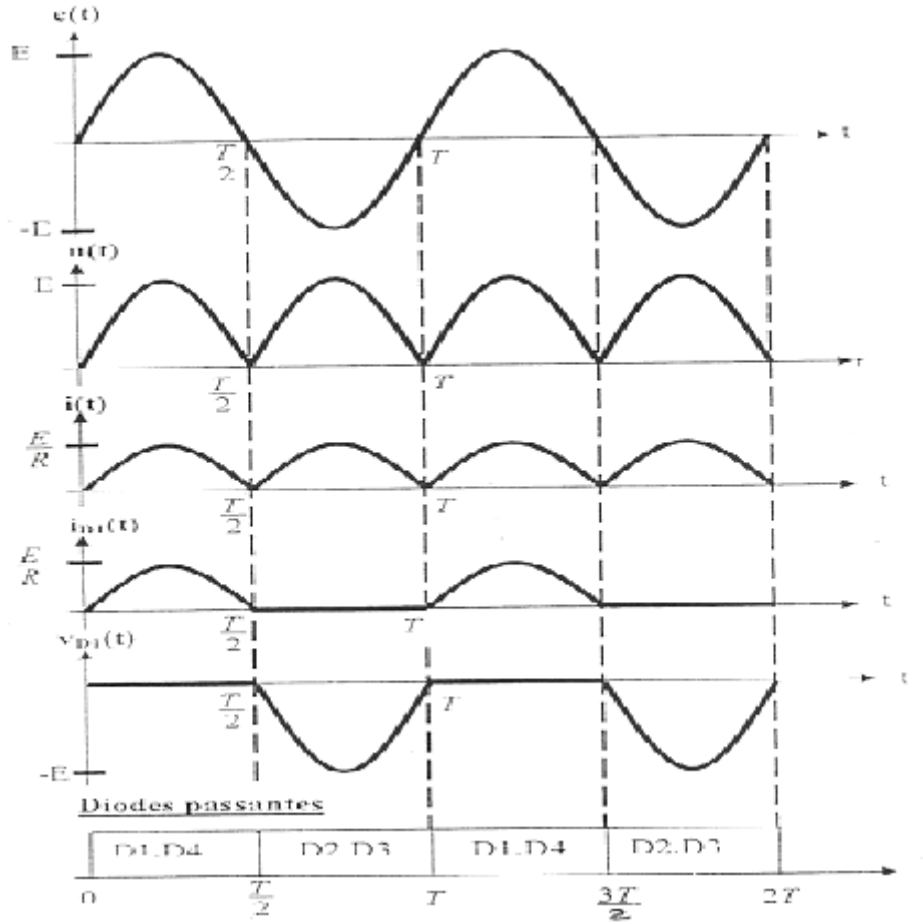
$$e(t) + V_{D2} + u(t) + V_{D3} = 0 \Rightarrow e(t) + u(t) = 0$$

$$\Rightarrow u(t) = -e(t) \geq 0$$

$$i(t) = i_{D2}(t) = \frac{u(t)}{R}$$

$$V_{D1} + u + V_{D3} = 0 \Rightarrow V_{D1}(t) = -u(t) = e(t) \leq 0$$

المنحنيات المتحصل عليها موضحة في الشكل التالي



الشكل (21.2): منحنيات توترات التركيب

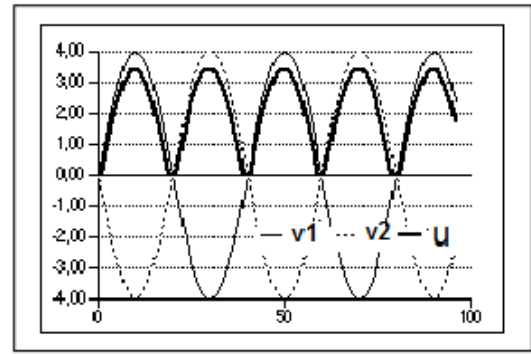
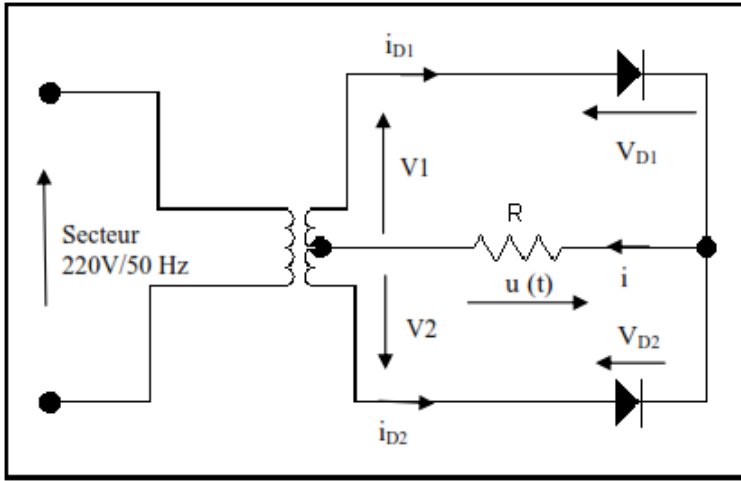
ب. باستخدام محول ذو نقطة وسطية

يُعطى مخرج المحول توترين  $V_1$  و  $V_2$  متعاكسين في الطور حيث :

$$V_1(t) = - V_2(t) = V_m \sin \omega t$$

$$V_m = m \frac{E}{2}$$

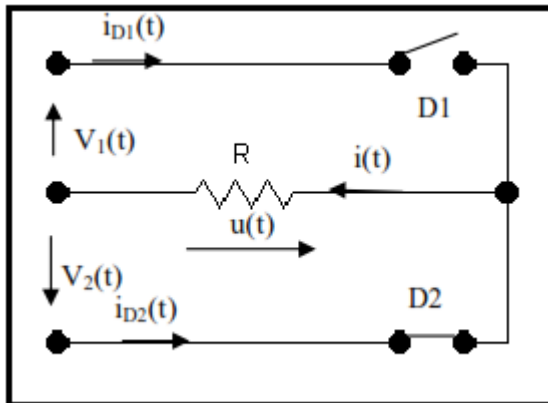
حيث  $m$  : هو معامل التحويل



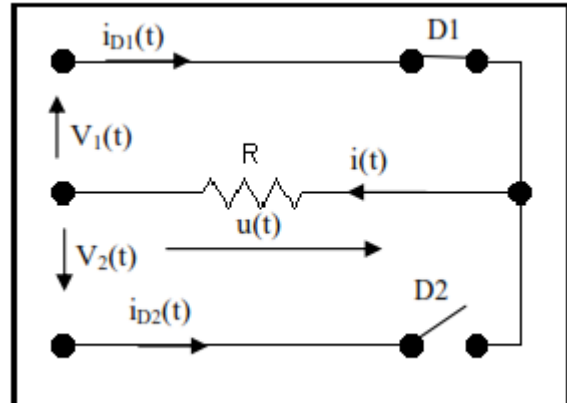
الشكل (22.2): تقويم ثنائي النوبة باستعمال محول ذو نقطة وسطية

**\*مبدأ عمل التركيب**

يتكون التركيب من دارتين للتقويم أحادي النوبة حيث تعمل الدارة الأولى من أجل النوبة الموجبة وتعمل الدارة الثانية من أجل النوبة السالبة و نلاحظ دائما أن تيار الحمولة له نفس الاتجاه



الشكل (24.2)



الشكل (23.2)

أثناء النوبة الموجبة لـ  $e(t)$  (الشكل (23.2)):

$$u(t) = Ri(t) = v_1(t)$$

$$i(t) = i_{D1}$$

أثناء النوبة السالبة (الشكل (24.2)) :

$$u(t) = v_2(t) = -v_1(t)$$

$$i(t) = i_{D2}(t)$$

توتر المخرج  $U(t)$  عبارة عن إشارة دورية دورها  $T/2$  و قيمتها المتوسطة  $U_{moy}$  هي :

$$U_{moy} = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} u(t) dt = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} u(\theta) d\theta = \frac{E}{\pi} \int_0^{\pi} \sin(\theta) d\theta$$

$$U_{moy} = \frac{2E}{\pi}$$

القيمة الفعالة  $U_{eff}$  :

$$U_{eff}^2 = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} u^2(t) dt = \frac{E^2}{\pi} \int_0^{\pi} \sin^2(\theta) d\theta = \frac{E^2}{2\pi} \int_0^{\pi} (1 - \sin 2\theta) d\theta$$

$$U_{eff} = \frac{E}{\sqrt{2}}$$

قيمة التيار المتوسط  $I_{moy}$  :

$$I_{moy} = \frac{2E}{\pi R}$$

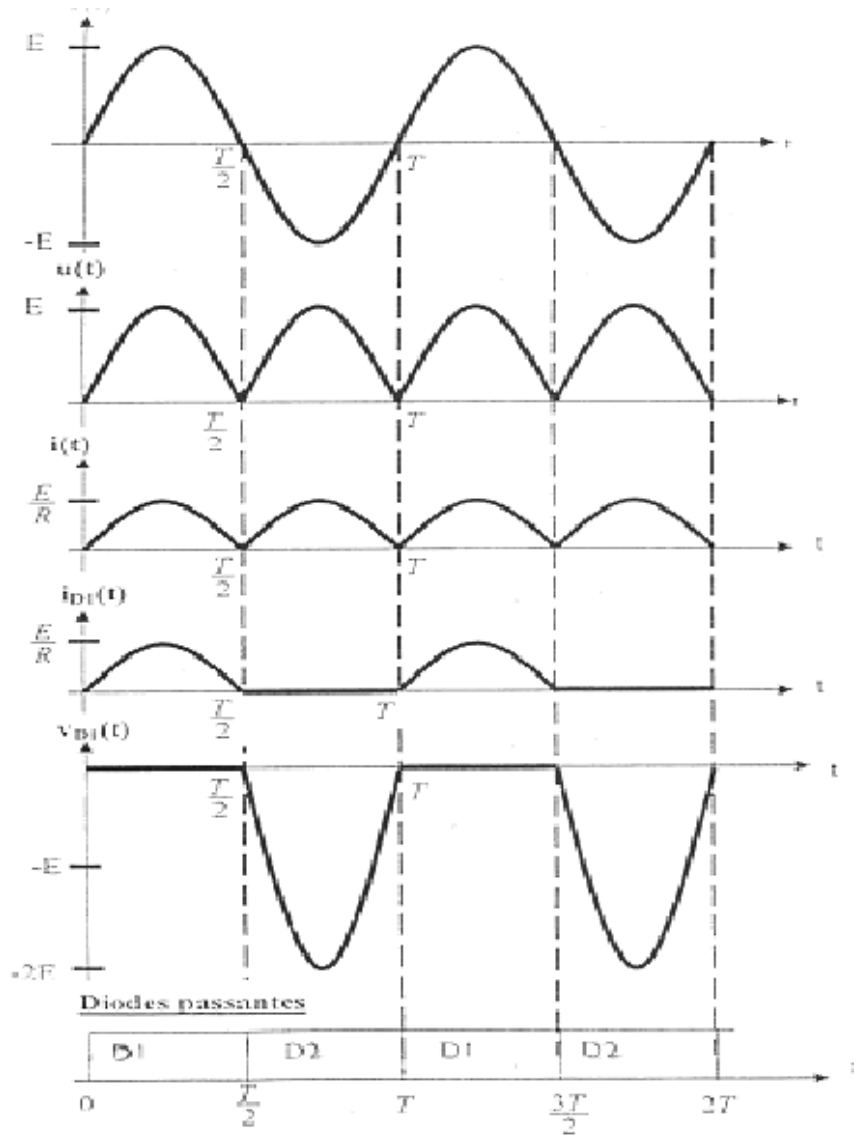
مميزات الثنائيات:

$$v_{D1}(t) = v_1(t) - u(t)$$

$$v_{D2}(t) = v_2(t) - u(t)$$

الثنائي القاطع بين طرفيه توتر مضاعف مقارنة بالتقويم أحادي النوبة.

المنحنيات المتحصل عليها موضحة في الشكل التالي

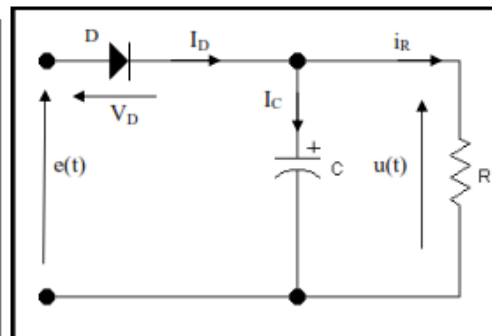
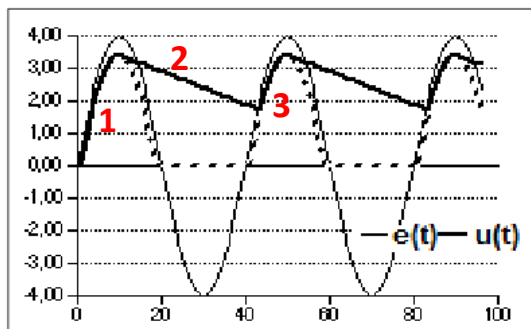


الشكل (25.2): منحنيات توترات و تيار التركيب

### 12.2 عملية الترشيح

يسمح الترشيح بتخفيض سعة تموجات الإشارة المقومة.

\*. التركيب:



الشكل (26.2): دائرة الترشيح

- المرحلة 01: تشحن المكثفة إلى غاية  $V_{e-0.7}$
- المرحلة 02: تبدأ المكثفة عملية التفريغ في الحمولة  $R$  وذلك بفقدان الشحنات المخزنة من قبل
- المرحلة 03: يعاد شحن المكثفة و تعويض الطاقة المفقودة في المرحلة الثانية.
- المرحلة 04: هي إعادة المراحل السابقة .

تغير التوتر بين طرفي المكثفة يعود الى عمليتي الشحن و التفريغ و يسمى التوتر المتوسط  $Umoy$

#### • مبدأ العمل

عندما يكون توتر التغذية أكبر من توتر العتبة للثنائي زائد التوتر بين طرفي المكثفة ، يكون الثنائي في حالة استقطاب مباشر و تشحن المكثفة إلى غاية  $V_{max-0.7}$  و عندما يكون توتر التغذية أقل من توتر الثنائي زائد توتر المكثفة يكون في حالة استقطاب عكسي و يمثل قاطعة مفتوحة ، و بذلك تشكل المكثفة  $C$  و المقاومة  $R$  دارة مفصولة عن المدخل حيث تلعب المكثفة دور المولد و تبدأ بالتفريغ تدريجيا في المقاومة  $R$ .

بعد الانتهاء من عملية ترشيح الموجة الجيبية ينشأ ما يُسمى بالتوتر المتموج.

في بداية الإشارة تشحن المكثفة بسرعة و عند التفريغ، تفرغ ببطئ في المقاومة  $R$  و ذلك عندما يكون الثنائي مستقطب عكسيا و أن الاختلاف في توتر الشحن و التفريغ يسمى بالتوتر المتموج حيث كلما كان التموج أقل كان الترشيح أفضل .

**1.12.2 حساب معامل التموج:** و هو مدى فعالية الترشيح و يعطى بالعلاقة:

$$r = \frac{V_{AC}}{V_{DC}}$$

$$V_{ACeff} = \frac{Vr}{2\sqrt{3}} \text{ القيمة الفعالة لتوتر التموج:}$$

**2.12.2 حساب سعة المكثفة:** تعطى سعة المكثفة في حالة التقويم أحادي النوبة بالعلاقة التالية:

$$c = \frac{Q}{V}, I = \frac{Q}{t} \Rightarrow Q = I * t$$

$$\Rightarrow c = \frac{I * t}{V} \Rightarrow c = \frac{I \Delta t}{\Delta V}$$

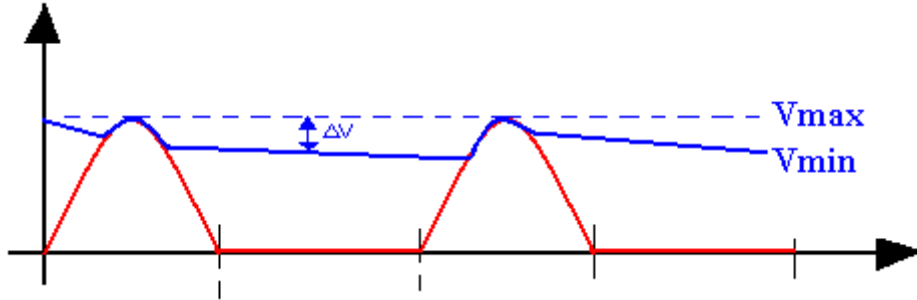
$I$ : تيار التفريغ

$\Delta t$ : الدور بين نبضتي شحن

$\Delta V$ : التوتر بين طرفي المكثفة أثناء عملية الترشيح

$$c = \frac{I_{moy}}{\Delta V * f}$$

- ملاحظة: من أجل تقويم أحادي النوبة نأخذ  $f=50 \text{ Hz}$ ، و من أجل تقويم ثنائي النوبة نأخذ  $f=100 \text{ Hz}$ .



الشكل (27.2): توتر التموج

### 13.2 ثنائي زينر:

هو عبارة عن وصلة PN مصنعة من السيليسيوم Si تختلف عن الثنائي العادي في كونها مصممة للعمل في نقطة الانهيار العكسي دون حدوث أي مشكلة و يمكن التحكم في قيمة جهد الانهيار عن طريق التحكم في نسبة الشوائب المضافة إلى Si لتحويله إلى نوع N أو نوع P ، تتراوح توترات ثنائي زينر من 1.8 إلى 200 فولط .

وهناك ظاهرتان لحدوث الانهيار في حالة الإستقطاب العكسي :

إحدهما تحدث عند تطبيق قيم عالية ( أكبر من 5 فولط ) ويحدث هذا الانهيار عندما تكتسب حاملات الشحنة طاقة كبيرة عند اجتيازها للمجال الكهربائي في منطقة الاستتراف ، و عند اصطدام حاملات الشحنة بذرات البناء البلوري فإنها تؤينها و بالتالي تتولد أزواج جديدة من الإلكترونات- الفجوات مما يؤدي إلى زيادة في التيار الكهربائي دون زيادة في التوتر و تحدث هذه الظاهرة في الثنائيات عندما تكون نسبة الشوائب قليلة.

أما الظاهرة الثانية قد تحدث عند تطبيق توترات منخفضة ( أقل من 5 فولط) في الثنائيات التي تكون نسبة الشوائب فيها عالية حيث تؤدي الزيادة في شدة المجال الكهربائي إلى تمزق الروابط التساهمية بين الذرات مما يولد أزواج من الإلكترونات - الفجوات و يمكن خفض قيمة جهد الإنهيار بزيادة نسبة الشوائب المضافة.

### 1.13.2 منحني الخواص لثنائي زينر

يوضح منحني الخواص لثنائي زينر نفس خواص الثنائي العادي في حالة الإستقطاب المباشر أما في حالة الإستقطاب العكسي فإن التيار لما يكون ضئيلا للتوترات الأقل من توتر الإنهيار  $V_Z$  و عند وصول التوتر إلى توتر  $V_Z$  يزداد التيار دون زيادة في التوتر لذلك يعتبر ثنائي زينر كمتبث أو منظم للجهد.

يمثل التيار IZM أقصى قيمة يمكن أن تمر عبر ثنائي زينر في منطقة الإنهيار و أي زيادة في قيمة التيار عن هذه القيمة تؤدي إلى تدمير الثنائي و ذلك لزيادة الطاقة المبددة و بالتالي ارتفاع درجة الحرارة عن القيمة القصوى التي يتحملها الثنائي

### 2.13.2 الدارة المكافئة لثنائي زينر

#### • الحالة 01 : ثنائي زينر حقيقي

يعمل الثنائي مثل مولد توتر يساوي  $V_Z$  موصل مع مقاومة صغيرة  $r_Z$  تمثل مقاومة الثنائي و و يمكن حساب هذه المقاومة من خلال منحنى الخواص للثنائي في منطقة الإنهيار ، حيث نلاحظ أن التغير في قيمة التيار تؤدي إلى تغير صغير في قيمة التوتر بين طرفي الثنائي و يُعبر عنها بالعلاقة التالية:

$$r_Z = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z}$$

#### • الحالة 02: الثنائي زينر مثالي

يكون التوتر بين طرفي الثنائي ثابت ( $V_Z=0$ ) مع التغير في قيمة التيار المار في ثنائي زينر و بالتالي فإن:

$$r_Z = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z} = \frac{0}{\Delta I_Z} = 0$$

في هذه الحالة يمثل ثنائي زينر مصدر توتر يساوي  $V_Z$

### 3.13.2 معامل الحرارة

يُحدد هذا العامل النسبة المئوية لتغير توتر زينر  $V_Z$  في درجة الحرارة مقداره واحد درجة مئوية، وكمثال على ذلك إذا كان  $V_Z=12v$  وكان المعامل الحراري  $0.1\%/^{\circ}C$  فإن  $V_Z$  يتغير بمقدار  $0.012 V$  عندما تتغير درجة حرارة الوصلة بمقدار  $1^{\circ}C$  و يُعطى التغير في التوتر  $V_Z$  بالعلاقة التالية :

$$\Delta V_Z = V_Z * Tc * \Delta T$$

حيث:

$V_Z$ : توتر زينر عند  $25^{\circ}C$

$Tc$ : المعامل الحراري

$\Delta t$ : مقدار التغير في درجة الحرارة .

### 14.2 تثبيت الجهد باستخدام الدارات المندمجة

نتيجة للتطور في الالكترونيات، تم إنتاج العديد من الدارات المندمجة ( $Ic$ ) التي تعمل كمنظمات للجهد و يوجد أنواع كثيرة منها ولكل نوع تيار وجهد مخرج محدد. وكل دارة مندمجة من هذا النوع تحتوي على

دارة تنظيم بداخلها العديد من الترانزستورات ويحتوي أيضا على دارات حماية ضد الحمولة الزائدة وضد القصر. وتصنف منظمات الجهد المندمجة على أنها دارات مندمجة خطية .

ويوجد منظمات جهد مندمجة تعطي جهد مخرج ثابتا مثل +5V و -5V و +12V وكذلك يوجد منظمات جهد مندمجة تعطي جهد مخرج قابل للتغيير بعد إضافة بعض العناصر الخارجية .

### 1.14.2 مميزات منظمات الجهد المندمجة

1. تحتاج لعدد قليل من العناصر الخارجية .
2. تنتج جهدا جيدا من ناحية الاستقرار .
3. بها دارات حماية ضد القصر وضد زيادة الحمولة وكذلك الحماية من الارتفاع في درجة الحرارة .

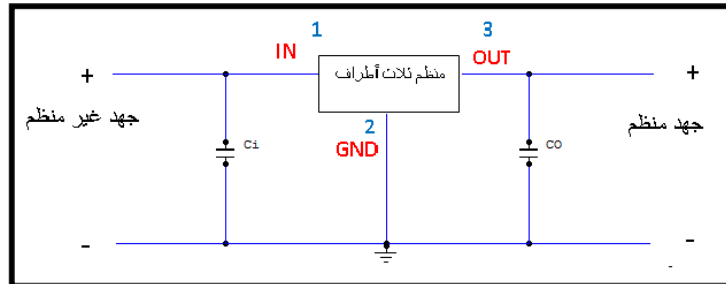
### 2.14.2 منظمات الجهد المندمجة

يوجد منها نوعين :

1. منظمات الجهد الثابتة والتي تعطي جهدا ثابتا في المخرج موجبا أو سالبا .
2. منظمات الجهد المندمجة التي تعطي جهد في المخرج يمكن تغييره .

الشكل (28.2) يوضح الدارة الأساسية لمنظم جهد ذو ثلاث أقطاب:

الطرف IN يوصل بالجهد غير المنظم من مصدر القدرة ، والطرف OUT يؤخذ منه الجهد المنظم، والطرف GND يوصل بالأرضي



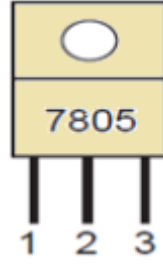
الشكل (28.2): منظم جهد ذو ثلاث أقطاب

ولكل منظم جهد مواصفاته الخاصة به مثل :

1. المقدار المسموح به لتغيير جهد المدخل .
2. أقل قيمة لجهد المدخل التي تجعل المنظم يعمل .
3. مقدار التغيير في جهد المخرج نتيجة للتغيرات في جهد المدخل أو في تيار الحمولة .

### 3.14.2 المنظمات المندمجة سلسلة \*78XX وسلسلة \*79XX :

هي دارات مندمجة لها ثلاثة أقطاب كما في الشكل (29.2). والأطراف الثلاثة يتصل أحدها بمصدر القدرة غير المنظم والطرف الثاني بالأرضي والثالث بالمخرج .



الشكل (29.2): منظم جهد سلسلة 78XX

### 1.3.14.2 سلسلة \*78XX

تعطي جهود موجبة ثابتة من +5V إلى 24 V والحرفان XX يشيران لقيمة الجهد الموجب والعلامة \* قد يكون الحرف A أو B أو C وهو يمثل أقصى تيار حمولة.

الحرف A معناه أن أقصى تيار حمولة يساوي 0.1A

الحرف B معناه أن أقصى تيار حمولة يساوي 0.5 A

الحرف C معناه أن أقصى تيار حمولة يساوي 1.5 A

أمثلة:

المنظم 7805 A يعطي جهد خرج موجبا +5V وأقصى تيار حمولة يساوي 0.1 A

المنظم 7812 B يعطي جهد خرج موجبا +12V وأقصى تيار حمولة يساوي 0.5 A

المنظم 7815 C يعطي جهد خرج موجبا +15V وأقصى تيار حمولة يساوي 1.5 A

### 2.3.14.2 سلسلة \*79XX

تعطي جهود سالبة ثابتة من -5V إلى -24 V والحرفان XX يشيران لقيمة الجهد السالب والعلامة \* قد يكون الحرف A أو B أو C وهو يمثل أقصى تيار حمولة كما سبق .

أمثلة

المنظم 7907 A يعطي جهدا ثابتا -7V - وأقصى تيار حمولة يساوي 0.1 A

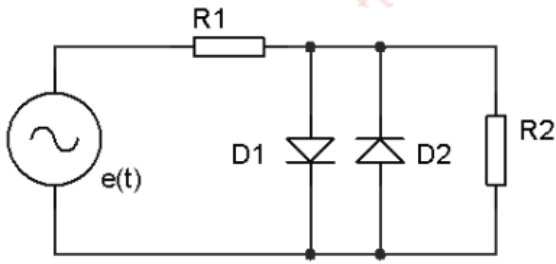
المنظم 7910 B يعطي جهدا ثابتا -10V - وأقصى تيار حمولة يساوي 0.5 A

المنظم 7918 C يعطي جهدا ثابتا -18V - وأقصى تيار حمولة يساوي 1.5 A

## 15.2 تمارين الفصل الثاني

التمرين الأول:

ليكن التركيب التالي حيث:

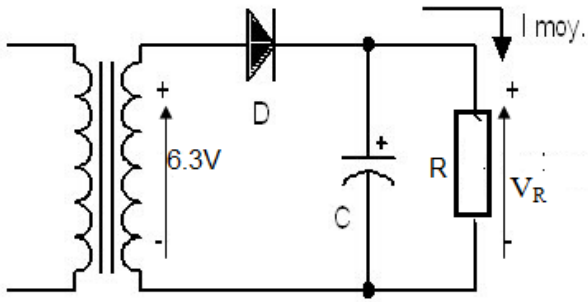


$E(t)=5\sin(2\pi ft)$ ,  $T=20\text{mS}$ ,  $R_1=R_2=1\text{K}\Omega$ ,  
 $V_{D1}=V_{D2}=0.6\text{V}$

1. أحسب التوتر بين طرفي المقاومة  $R_2$
2. أرسم اشارتي المدخل  $V_e(t)$  و المخرج  $V_s(t)$

التمرين الثاني:

ليكن التركيب التالي حيث:



$V_e=6.3\text{V}$ ,  $I_{\text{moy}}=200\text{mA}$ ,  $\tau=0.05$ ,  $V_R(t) = \overline{V_R}$

أحسب:

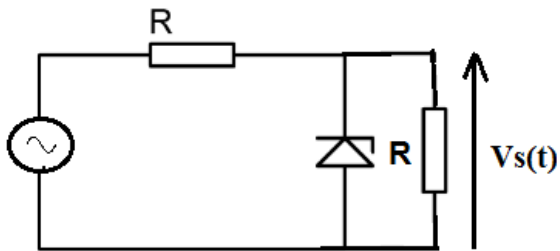
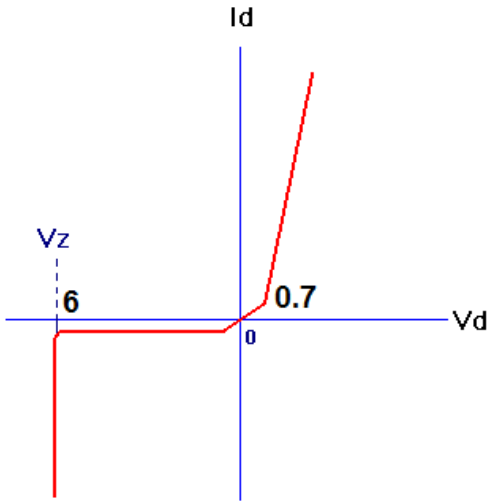
1. التوتر  $V_{R\text{MAX}}$
2. توتر التموج  $\Delta V$
3. التوتر المتوسط بين طرفي المقاومة  $V_{R\text{Moy}}$
4. سعة المكثفة C

التمرين الثالث:

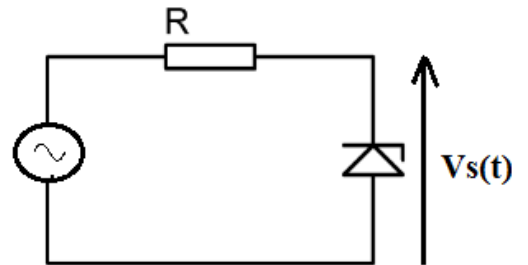
لتكن خاصية ثنائي زينر المبينة في الشكل المقابل.

1. أدرس التركيب ثم أرسم  $V_s(t)$  بالنسبة للأشكال المقابلة  
 علما أن :

$R=10\text{k}\Omega$ ,  $R_1=1\text{k}\Omega$ ,  $R_2=100\text{k}\Omega$ ,  $V_e(t)=10 \sin \omega t$



الشكل 02



الشكل 01

# الفصل الثالث

---

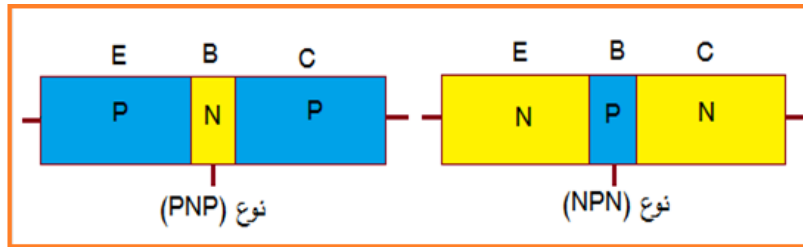
## الترانسفور

### 1.3 مقدمة

الترانزستور أو المقحل (بالإنجليزية) (Transistor): اختصاراً لكلمتي Transfer Resistor أي مُقاومُ النُّقل) و يعتبر أحد أهم مكونات الأدوات الإلكترونية الحديثة مثل الحاسوب، اخترعه العلماء الأمريكيون (والتر براتن) و(جون باردين) و(وليام شوكلي)، هو بلورة من مادة نصف ناقلة مطعمة بالجرمانيوم أو السيليسيوم. و تنطرق في هذا الفصل الى دراسة شاملة للصمام الثنائي من تكوين، تشكيل و خصائص بالإضافة إلى دارات التقويم أحادي و ثنائي النوبة، كذلك شملت الدراسة لعمليتي الترشيح و تثبيت التوتر بالإضافة إلى ثنائي زينر.

### 2.3 بنية الترانزستور

يتألف الترانزستور من ثلاث طبقات نصف ناقلة بجوار بعضها البعض ، وبما انه يوجد لدينا نوعين من انصاف النواقل (P) و(N) ، اذا يمكن الحصول على نوعين من الترانزستورات هما PNP و NPN وتدعى الطبقات الثلاث (الباعث، القاعدة و الجامع)



الشكل (1.3) : بنية الترانزستور ثنائي القطبية

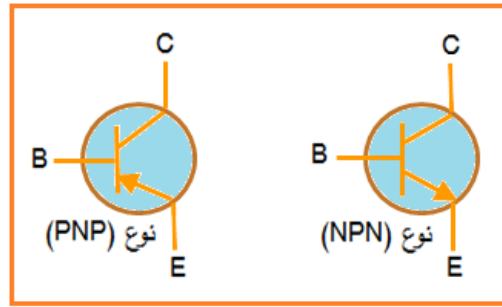
**الباعث:** ويسمى أيضا بطبقة (الحاقن) ويرمز له اختصارا بالحرف (E) وتكون طبقة ذات تركيز عال للشوائب ودورها حقن الحوامل الأكثرية في الطبقة التي تليها وتسمى بطبقة القاعدة (Base) ويرمز لها اختصارا بالحرف (B).

**القاعدة:** وهي الطبقة الوسطى وتكون رقيقة جدا وتركيز الشوائب فيها قليل بالمقارنة مع الطبقات الأخرى، أما دورها فهو إرسال الحوامل المحقونة فيها إلى الطبقة الثالثة والتي تدعى بطبقة الجامع ويرمز لها اختصارا بالحرف (C).

**الجامع:** تكون طبقة الجامع أكبر الطبقات عرضا حيث يتم تجميع الحوامل الأكثرية فيها. والشكل (1.3) يبين بنية الترانزستور ثنائي القطبية.

و قد سمي بثنائي القطبية لأنه يعتمد في مبدأ عمله على حوامل شحنة (الإلكترونات والثقوب) معا بينما الترانزستور أحادي القطبية يعتمد على نوع واحد من حوامل الشحنة إما (الإلكترونات) أو (الثقوب).

ويرمز للترانزستور ثنائي القطبية في الدارات الالكترونية كما هو مبين بالشكل (3-02).

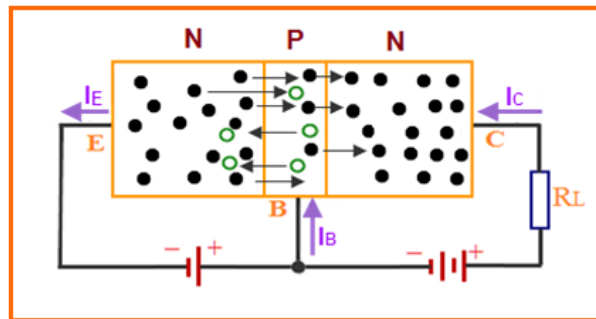


الشكل (2.3): رمز الترانزستور ثنائي القطبية في الدارات الالكترونية

حيث وضع سهم على الباعث للدلالة عليه من جهة ولتحديد نوع الترانزستور من جهة ثانية فإذا كان اتجاه السهم للخارج يكون نوع الترانزستور (NPN) وإذا كان اتجاه السهم للداخل يكون نوع الترانزستور (PNP).

### 3.3 مبدأ العمل

في مادة نصف الناقل (N) تكون الحاملات الأساسية من الإلكترونات الحرة وفي نصف الناقل (P) تكون الحاملات الأساسية من الفجوات ، عند وصل طبقة (N) مع طبقة (P) فان الإلكترونات الحرة والفجوات الحرة تتحرك كل منها باتجاه الأخرى ويتحد عدد قليل من الإلكترونات مع عدد قليل من الفجوات ، ويتشكل لدينا منطقة ذات توتر استقطاب يعاكس حركة حوامل الشحنات وبما ان الترانزستور يتألف من ثلاث طبقات لذلك يوجد منطقتي فصل الأولى بين (الباعث والقاعدة) والثانية بين (القاعدة والجامع).



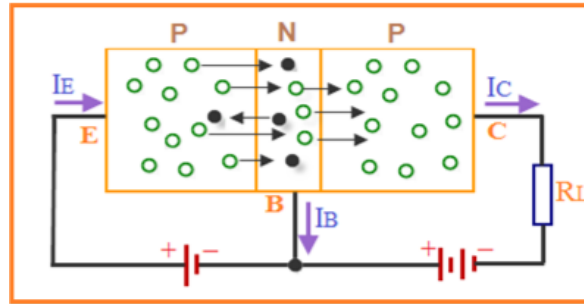
الشكل (3.3): عمل الترانزستور (NPN) ثنائي القطبية

في الترانزستور (NPN) يكون الباعث من نصف الناقل (N) وحتى تستطيع الإلكترونات الحرة في الباعث اجتياز منطقة الفصل بين (الباعث والقاعدة) نصل قطب الباعث الى القطب السالب كما هو موضح بالشكل (3.3).

وبسبب التنافر مع القطب السالب تتلقى الإلكترونات الحرة قوة دفع تستطيع بها اجتياز منطقة الباعث والوصول الى القاعدة المكونة من نصف الناقل (P). إن سماكة القاعدة صغيرة وتركيز الفجوات فيها قليل ، لذلك تحد جزء صغير من الكثرونات الباعث مع فجوات القاعدة ، أما بقية الإلكترونات فتصل إلى منطقة الفصل الثانية بين (القاعدة والجامع) وبذلك يمر تيار ( $I_B$ ) في سلك القاعدة تبقى كمية الفجوات في القاعدة ثابتة لأنه بسبب إعادة الاتحاد تختفي كل ثانية كمية من الفجوات وتظهر فجوات جديدة بسبب مغادرة كمية من الإلكترونات لطبقة القاعدة يوصل الجامع إلى القطب الموجب لمنع التغذية الذي يعمل على جذب

الالكترونات مما يساعدها على اجتياز منطقة الفصل الثانية بين (القاعدة والجامع) وبذلك يمر تيار ( $I_C$ ) في سلك الجامع.

مما سبق نستنتج أن تيار الباعث ( $I_E$ ) اكبر من تيار الجامع بمقدار ما اتحد من الالكترونات القادمة من الباعث مع فجوات القاعدة، وبالتالي فان العلاقة التي تربط بين التيارات الثلاثة هي :  $I_E = I_C + I_B$



الشكل (4.3) : عمل الترانزستور (PNP) ثنائي القطبية

مع الاخذ بعين الاعتبار الملاحظات التالية :

- تيار القاعدة صغير ويصل الى عدة اجزاء بالمائة من تيار الجامع
- المقاومة ( $R_L$ ) الموجودة في الشكل السابق والتالي تمثل مقاومة حمولة الترانزستور
- توتر التغذية بين (الباعث والقاعدة) اصغر بكثير من توتر التغذية بين (الجامع والقاعدة) حيث يبلغ حوالى (0.7V) في الترانزستور المصنوع من السليسيوم و (0.3V) في الترانزستور المصنوع من الجرمانيوم.
- في الترانزستور (PNP) تحدث نفس العمليات الفيزيائية السابقة لكن تتبادل فيه الالكترونات والفجوات دوريهما ، مع عكس قطبي منبعي التغذية وكذلك اتجاهات التيارات المارة في الترانزستور كما هو مبين في الشكل (4.3).

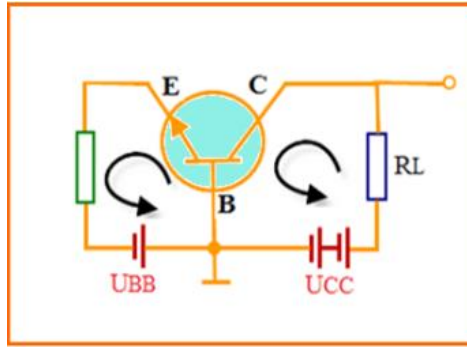
### 4.3 دارات الترانزستور الأساسية

عند توصيل الترانزستور في الدارة يكون له مدخل، حيث تدخل الإشارة ويكون له مخرج حيث تخرج الإشارة ، وبما أن للترانزستور ثلاثة أطراف وهي (الباعث- القاعدة و الجامع) لذلك يستخدم أحد الأطراف للمدخل والثاني للمخرج والثالث يكون مشتركا بينهما، وبناء عليه توجد ثلاث دارات أساسية لتوصيل الترانزستور بالدارة هي :

دارة القاعدة المشتركة - دارة الباعث المشترك - دارة الجامع المشترك

#### 1.4.3 دارة القاعدة المشتركة

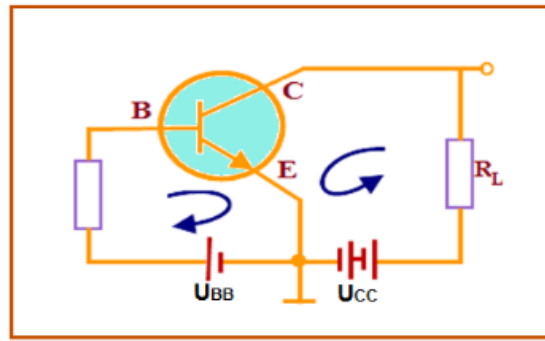
يبين الشكل (5.3) دارة القاعدة المشتركة للترانزستور من النوع (NPN) ، وفيها يكون مدخل الدارة بين (الباعث والقاعدة)، ويكون المخرج بين (الجامع والقاعدة)، وبذلك تكون القاعدة مشتركة بين (الباعث والجامع). يقوم منبع التغذية  $V_{BB}$  بتأمين الاستقطاب بين (الباعث والقاعدة) ومنبع التغذية  $V_{CC}$  يؤمن الاستقطاب بين (الجامع والقاعدة) .



الشكل (5.3) : دائرة القاعدة المشتركة

### 2.4.3 دائرة الباعث المشترك

تعتبر دائرة الباعث المشترك من أكثر دارات الترانزستور استخداما، ويبين الشكل (6.3) دائرة الباعث المشترك، وفيها يكون المدخل بين (القاعدة و الباعث) أما المخرج فيكون بين (الجامع والباعث) وبهذا يكون الباعث مشتركا بين المدخل والمخرج .

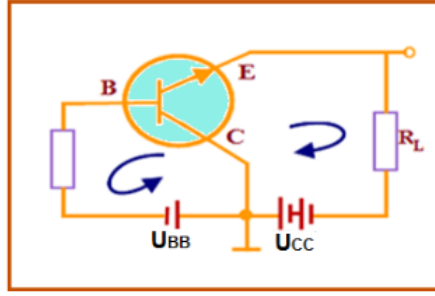


الشكل (6.3) : دائرة الباعث المشترك

يؤمن منبع التغذية  $V_{BB}$  في دائرة الباعث المشترك الاستقطاب بين (القاعدة والباعث) ويؤمن منبع التغذية  $V_{CC}$  الاستقطاب بين (الجامع والقاعدة) وتعتبر دائرة الباعث المشترك من أكثر الدارات أستخدمًا.

### 3.4.3 دائرة الجامع المشترك

وفيها يكون الجامع مشتركا بين المدخل والمخرج ويكون المدخل بين ( القاعدة والجامع) والمخرج بين ( الباعث والجامع) الشكل(7.3)



الشكل (7.3) : دائرة الجامع المشترك

وتستخدم دائرة الجامع المشترك كثيرًا من أجل التوفيق بين الممانعات

### 5.3 منحنيات خواص الترانزستور

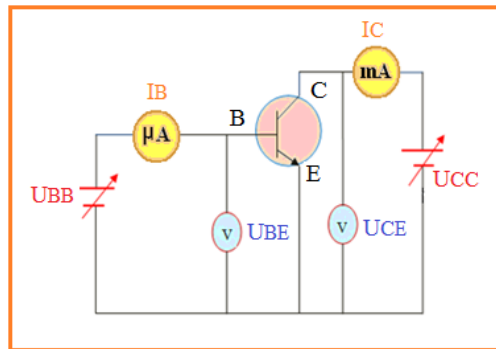
لتسهيل استعمال الترانزستور، وتصميم داراته الأساسية تقدم الشركات الصانعة منحنيات مميزة لكل ترانزستور في دائرة الباعث المشترك الأكثر استخدامًا، والدائرة المبينة بالشكل (8.3) تبين أن هناك أربعة عناصر مهمة يمكن قياسها بطريقة بسيطة وهي:

$I_C$ : تيار الجامع .

$V_{BE}$ : التوتر بين القاعدة والباعث .

$I_B$  : تيار القاعدة .

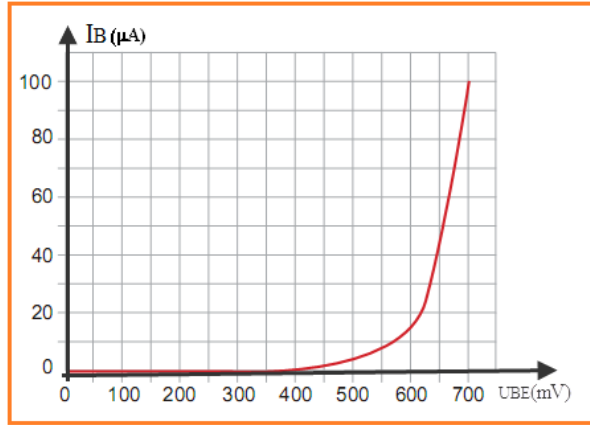
$V_{CE}$ : التوتر بين الجامع والباعث .



الشكل (8.3): قياس التيارات والتوترات في دائرة الباعث المشترك

### 1.5.3 منحنى خواص المدخل

يمثل منحنى خواص المدخل العلاقة بين جهد المدخل  $V_{BE}$  وتيار المدخل  $I_B$  عند ثبات جهد المخرج  $V_{CC}$  كما هو مبين في الشكل (9.3) :



الشكل (9.3) منحنى خواص المدخل للترانزستور

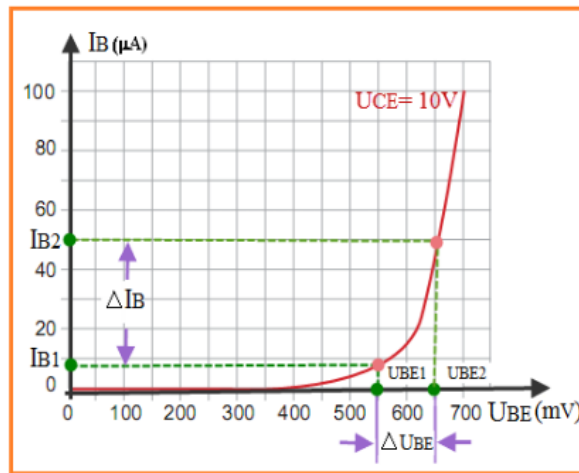
إن منحنى خواص المدخل للترانزستور يشبه منحنى خواص الثنائي

- يمر تيار ( $I_B$ ) في القاعدة في حالة الاستقطاب الأمامي لوصلة (القاعدة - الباعث) أي عند وصول جهد الدخل إلى ( $0.3V$ ) بالنسبة للترانزستور المصنوع من الجرمانيوم و( $0.7V$ ) للترانزستور المصنوع من السيليسيوم

### 2.5.3 مقاومة المدخل

هي النسبة بين تغير توتر المدخل إلى تغير تيار القاعدة عند توتر (جامع باعث) ثابت وتعطى بالعلاقة التالية :

$$R_{in} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} \Big|_{V_{CE}=Const}$$



الشكل (10.3) : حساب قيمة مقاومة المدخل من منحنى خواص المدخل

ويمكن استنتاج قيمة مقاومة الداخل من منحنى خواص المدخل كما هو موضح في الشكل(10.3) أعلاه ونأخذ مثالا على ذلك: بداية نحدد قيمتين لتوتر الدخل

الاولى  $V_{BE1}=550\text{mv}$  فتكون قيمة تيار الدخل المقابلة  $I_{B1}=8\mu\text{A}$

الثانية  $V_{BE2}=650\text{mv}$  وقيمة تيار الدخل المقابلة

$$\Delta V_{BE}=V_{BE2}-V_{BE1}=650-550=100\text{mv}$$

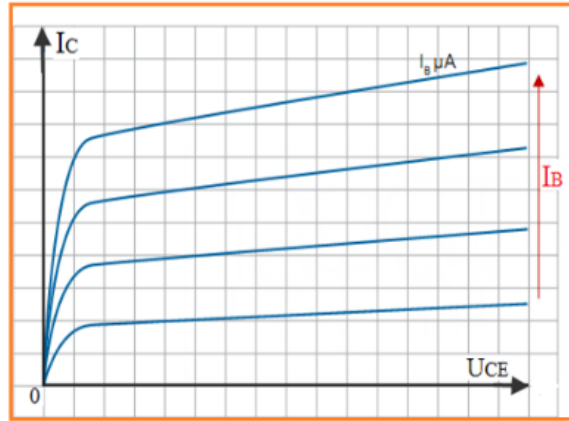
$$\Delta I_B=I_{B2}-I_{B1}=50-8=42\mu\text{A}$$

وبالتعويض نجد :

$$\Delta V_{BE}/\Delta I_B=100\times 10^{-3}/42\times 10^{-6}=2.38\text{K}\Omega$$

### 3.5.3 منحنيات خواص المخرج

تمثل منحنيات خواص المخرج العلاقة بين جهد المخرج  $V_{CE}$  وتيار المخرج  $I_C$  عند ثبات تيار المدخل  $I_B$  ، ويوضح الشكل (11.3) منحنى المخرج للترانزستور في دائرة الباعث المشترك :



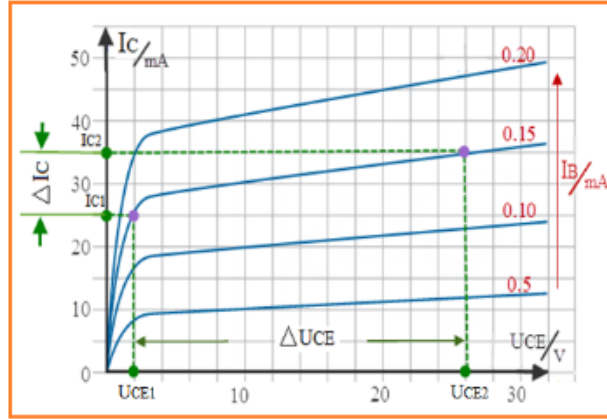
الشكل (11.3) : منحنيات خواص المخرج للترانزستور (BJT)

إن الزيادة في تيار الدخل ( $I_B$ ) تؤدي إلى زيادة كبيرة في تيار الجامع ( $I_C$ )، استمرار الزيادة في تيار المدخل تؤدي إلى استقطاب وصلة (القاعدة - الجامع) أماميا ويصل تيار المخرج (الجامع) إلى قيمته القصوى ويصبح الترانزستور في حالة تشبع. إن استمرار الزيادة في تيار الدخل ( $I_B$ ) بعد حالة التشبع لا تؤدي إلى زيادة ملحوظة في تيار المخرج ( $I_C$ ).

### 4.5.3 مقاومة المخرج

هي النسبة بين تغير التوتر بين (الجامع والباعث) الى تغير تيار الجامع عند تيار قاعدة ثابت وتعطى بالعلاقة التالية :

$$R_O = \left. \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} \right|_{I_B = \text{Const}}$$



الشكل (12.3) : حساب قيمة مقاومة المخرج من منحنى خواص المخرج

ويمكن استنتاج قيمة مقاومة المخرج من منحنى خواص المخرج عند قيمة معينة لتيار القاعدة ولتكن 0.15 mA كما هو يوضح الشكل (12.3):

نحدد قيمتين لتيار الخرج

الاولى  $I_{C1}=125\text{mA}$  فتكون قيمة التوتر بين الجامع والباعث المقابلة  $V_{CE}=2\text{V}$

الثانية  $I_{C2}=35\text{mA}$  فتكون قيمة التوتر بين الجامع والباعث المقابلة  $V_{CE}=26\text{V}$

$$\Delta V_{CE}=V_{CE2}-V_{CE1}=26-2=24\text{V}$$

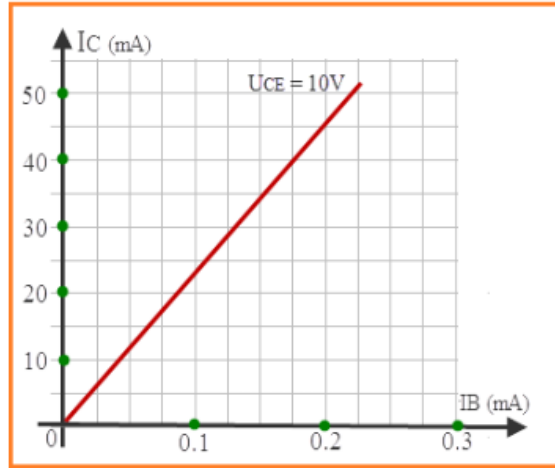
$$\Delta I_C=I_{C2}-I_{C1}=35-25=10\text{mA}$$

$$R_O=\Delta V_{CE} / \Delta I_C= 24/10 \times 10^{-3}=2.4 \text{ K}\Omega \quad \text{وبالتعويض نجد :}$$

إذا كررنا العملية السابقة عند قيمة ثانية لتيار القاعدة (0.2 mA) مثلا نحصل على قيمة مختلفة لمقاومة المخرج أي أن قيمة مقاومة المخرج تتغير مع تغير قيمة تيار القاعدة.

### 5.5.3 منحنيات التحكم

تمثل منحنيات التحكم العلاقة بين تيار المخرج ( $I_C$ ) وتيار المدخل ( $I_B$ ) عند ثبات التوتر بين (الجامع والباعث) وتعطي تيار الجامع  $I_C$  كتابع لتيار القاعدة  $I_B$  وتكون العلاقة بين التيارين المذكورين غير خطية في ترانزستورات الاستطاعة الكبيرة اما في الترانزستورات ذات الاستطاعة الصغيرة فتكون العلاقة خطية كما هو مبين في الشكل (13.3):



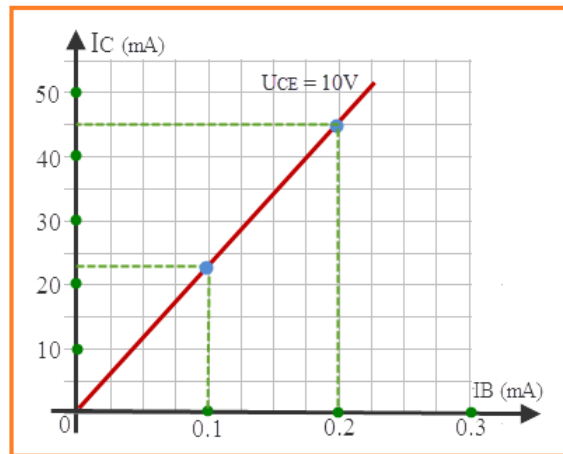
الشكل (13.3): منحنيات التحكم لترانزستور الاستطاعة الصغيرة

ومن منحنيات التحكم يمكن استنتاج تضخيم التيار

### 6.3 تضخيم التيار

يعرف تضخيم التيار بأنه النسبة بين التغير في تيار الجامع  $I_C$  الى التغير في تيار القاعدة  $I_B$  عند توتر (جامع - باعث) ثابت يرمز له  $(\beta)$  ويعطى بالعلاقة التالية :

$$\beta = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{V_{CE} = \text{Const}}$$



الشكل (14.3) : حساب تضخيم التيار من منحنى التحكم

ويمكن استنتاج قيمة تضخيم التيار من منحنى التحكم عند قيمة معينة للتوتر بين (الجامع والباعث) ولتكن (10V) كما هو موضح في الشكل (14.3).

نحدد قيمتين لتيار القاعدة  $I_B$

الاولى  $I_{B1}=0.1\text{mA}$  فتكون قيمة تيار الجامع المقابلة  $I_{C1}=23\text{mA}$

الثانية  $I_{B2}=0.2\text{mA}$  فتكون قيمة تيار الجامع المقابلة  $I_{C2}=45\text{mA}$

$$\Delta I_C = I_{C2} - I_{C1} = 45 - 23 = 22 \text{ mA}$$

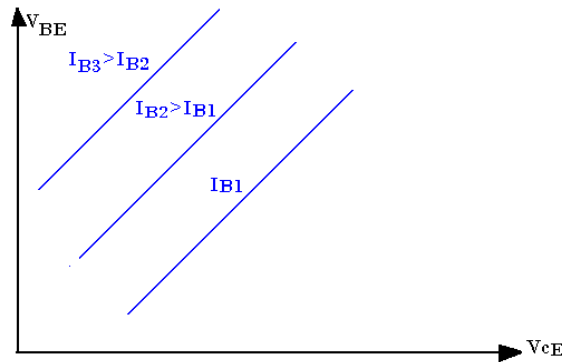
$$\Delta I_B = I_{B2} - I_{B1} = 0.2 - 0.1 = 0.1 \text{ mA}$$

$$\beta = \Delta I_C / \Delta I_B = 22 / 0.1 = 220 \quad \text{وبالتعويض نجد :}$$

### 7.3 مميزات الترانزستور

الميزة  $V_{BE} = f(V_{CE})$  : تسمى هذه الميزة ميزة التحويل للتوتر والتي تسمح بحساب معدل التفاعل الداخلي للترانزستور للترانزستور من أجل قيم مختلفة لتيار المدخل  $I_B$  حيث :

$$\eta = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta V_{CE}}$$

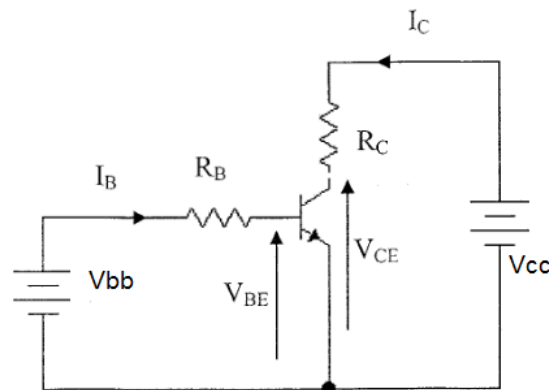


الشكل (15.3): ميزة التحويل للتوتر

### 8.3 استقطاب الترانزستور

#### 1.8.3 استقطاب الترانزستور باستعمال مقاومة القاعدة

\* مستقيم الهجوم: في هذه الحالة يستقطب المولد  $V_{BB}$  الوصلة  $BE$  في الإتجاه المباشر عبر المقاومة  $R_B$ .



الشكل (16.3): استقطاب الترانزستور باستعمال مقاومة القاعدة

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

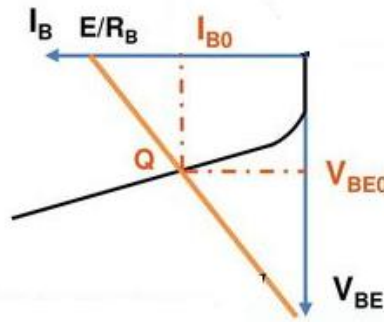
هذه المعادلة تمثل معادلة مستقيم الدخول حيث.

في حالة ترانزستور مصنوع من ال Si يكون  $V_{BE}=0.7V$  ، في حالة ترانزستور مصنوع من ال Ge يكون  $V_{BE}=0.3V$ .

نقاط التقاطع مع محور التيار  $I_B$  و محور التوتر  $V_{BE}$  لميزة  $V_{BE}=f(I_B)$  و التي تمثل ميزة الدخول هما:

$$I_B = 0 \Rightarrow V_{BE} = V_{BB}$$

$$V_{BE} = 0 \Rightarrow V_{BB} = R_B I_B \Rightarrow I_B = \frac{V_{BB}}{R_B}$$



الشكل (17.3): ميزة الدخول للترانزستور

$V_{BE0}$  و  $I_{B0}$  هما احدائيات نقطة التقاطع  $Q$  لمستقيم الدخول مع ميزة الدخول للترانزستور .

\* مستقيم الحمولة السكوني في التيار المستمر

مصدر التوتر  $V_{CC}$  يستقطب الوصلة  $BC$  في الاتجاه المعاكس عبر المقاومة  $R_C$  حيث:

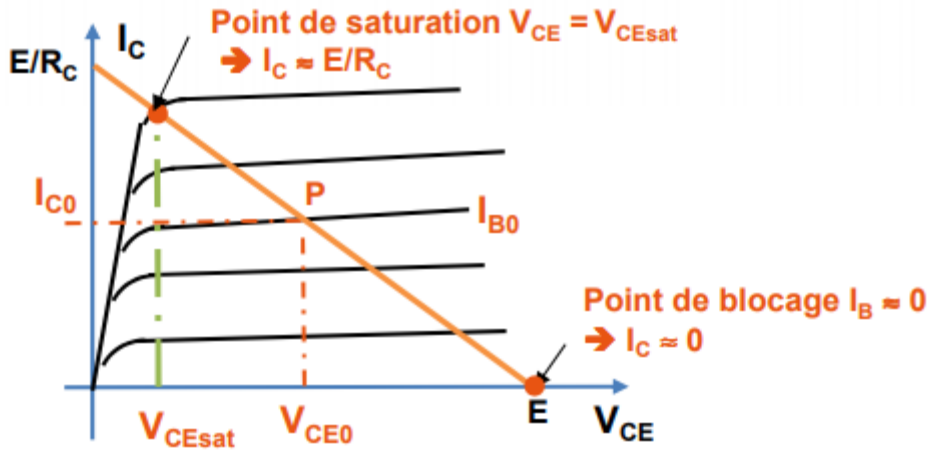
$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C$$

هذه المعادلة هي معادلة مستقيم الحمولة .

نقاط التقاطع مع محور التيار  $I_C$  و محور التوتر  $V_{CE}$  لميزة  $V_{CE}=f(I_C)$  و هما:

$$I_C = 0 \Rightarrow V_{CE} = V_{CC}$$

$$V_{CE} = 0 \Rightarrow V_{CC} = R_C I_C \Rightarrow I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$$



الشكل (18.3): ميزة الخروج للترانزستور

•  $I_{C0}$  و  $V_{CE0}$  هما إحدائيات نقطة التقاطع P لمستقيم الحمولة مع مميزات مخرج الترانزستور. تشبع و توقف الترانزستور

نقطة التقاطع من أجل  $I_B=0$  مع مستقيم الحمولة تسمى نقطة التوقف حيث:

$$I_{CBLOC} \approx 0, V_{CEBLOC} \approx V_{CC}$$

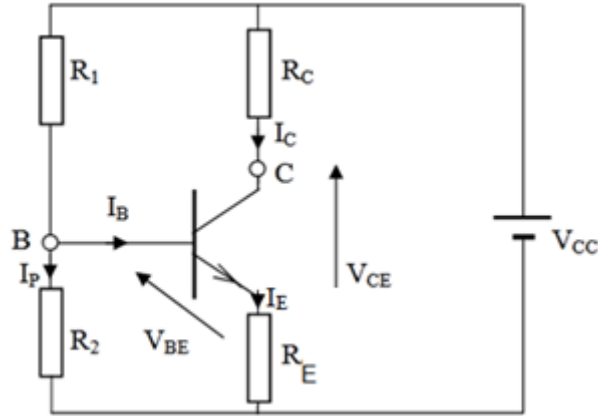
نقطة التقاطع بين مستقيم الحمولة مع الميزة  $I_B=I_{Bsat}$  تسمى نقطة التشبع

$$I_{CSAT} = \frac{V_{CC}}{R_C}, V_{CESAT} \approx 0V$$

كل النقاط الموجودة بين نقطة التوقف و نقطة التشبع تنتمي إلى المنطقة الفعالة.

### 2.8.3 إستقطاب الترانزستور باستعمال جسر من المقاومات

وهي الطريقة الأكثر استعمالاً حيث يوجد مولد توتر واحد  $V_{CC}$  يستقطب الوصلة BE مباشرة ، و الوصلة BC عكسياً ، و يكون قاسم للتوتر بين المقاومتين  $R_1$  و  $R_2$  بحيث يستقطب التوتر بين طرفي  $R_2$  الوصلة BE.



الشكل (19.3): إستقطاب الترانزستور باستعمال جسر من المقاومات

التوتر بين طرفي المقاومة  $R_2$  هو:

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

نضع  $I_C = I_E$

$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} + R_E I_C$$

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

تمثل هذه المعادلة معادلة مستقيم الحمولة السكوني.

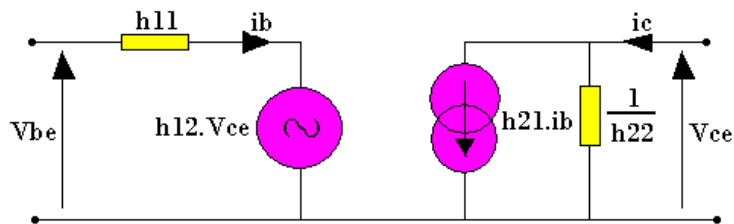
نقاط التقاطع مع المحور  $V_{CE}$  و  $I_C$  هما:

$$I_C = 0 \Rightarrow V_{CE} = V_{CC}$$

$$V_{CE} = 0 \Rightarrow I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

### 9.3 الترانزستور في النظام الديناميكي

يمثل الشكل الموالي الدارة المكافئة للترانزستور في الترددات المنخفضة



الشكل (20.3): التصميم المكافئ في للترانزستور في النظام الديناميكي

$$\begin{cases} V_{BE} = h_{11}i_b + h_{12}V_{ce} \\ i_c = h_{21}i_b + h_{22}^{-1}V_{ce} \end{cases}$$

تمثل  $h_{11}, h_{12}, h_{21}, h_{22}$  الوسائط الهجينية للترانزستور.

يسمح التركيب السابق بحساب :

- 1- الكسب في الجهد و الكسب في التيار
- 2- ممانعة المدخل و ممانعة المخرج

**الوسيط  $h_{11}$** : يعرف في الخاصية  $i_b=f(V_{be})$  برسم مماس هذه الخاصية مع نقطة التشغيل و ذلك بحساب الميل حيث :  $h_{11}=tg C$

**الوسيط  $h_{12}$** : يعرف في الخاصية  $V_{be}=f(V_{ce})$  برسم مماس هذه الخاصية مع نقطة التشغيل و ذلك بحساب الميل حيث:  $h_{12}=tg D$ .

باعتبار هذه الخواص متوازية مع المحور  $V_{ce}$  يكون عادة  $h_{12} \approx 0$  ( $h_{12} < 10^{-4}$ )

**الوسيط  $h_{21}$** : يعرف في الخاصية  $i_c=f(i_b)$  برسم مماس هذه الخاصية و حساب الميل حيث:

$$\beta \rightarrow h_{21} = tg B$$

**الوسيط  $h_{22}$** : يعرف في الخاصية  $i_c=f(V_{ce})$  برسم مماس هذه الخاصية و حساب الميل حيث :  $h_{22}=tg A$

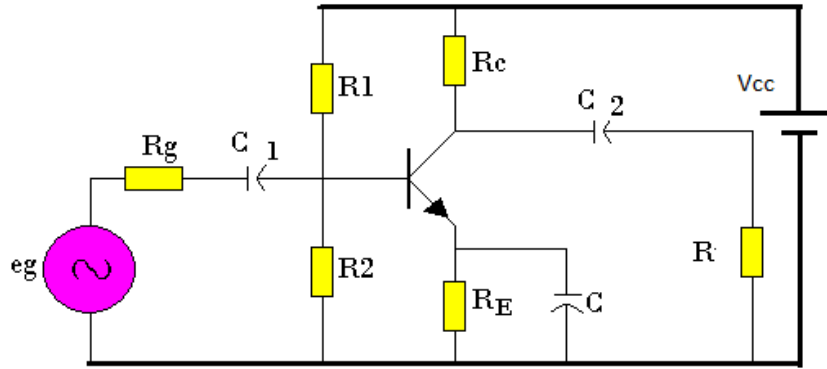
### مكثفات الربط و القطع

1. **مكثفات الربط**: تستعمل هذه المكثفات في نقل الإشارات الدورية بين نقطتين تختلفان عن الأرضي و تكون ممانعة هذه المكثفات صغيرة حيث تلعب دور قاطعة مغلقة في التيار المتناوب ومالا نهائية في التيار المستمر ( قاطعة مقترحة)

2. **مكثفات القطع**: تكون هذه المكثفات موصولة بين الأرضي و نقطة أخرى و تعمل كقاطعة مفتوحة في التيار المستمر و مغلقة في التيار المتناوب.

• مثال:

ليكن التركيب التالي:



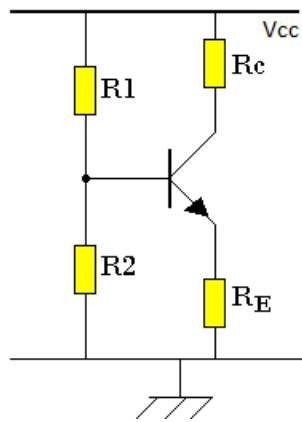
الشكل (21.3): دائرة باعث مشترك

في هذا التركيب لدينا مصدرين للجهد ، مصدر متناوب  $eg$  و مصدر مستمر  $V_{cc}$  ، لتحليل التركيب يتم تقسيم الدارة إلى جزئين

- 1 تحليل في النظام السكوني
- 2 تحليل في النظام الديناميكي

### 10.3 التركيب المكافئ في النظام السكوني

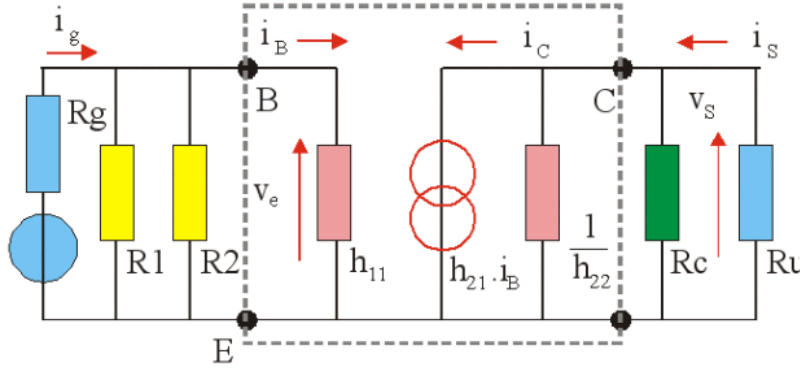
نقوم بعزل مصدر التوتر المتناوب و فتح المكثفات ليصبح التركيب كالتالي:



الشكل (22.3): التركيب المكافئ للترانزستور في النظام السكوني

### 11.3 التركيب المكافئ في النظام الديناميكي

نقوم بإلغاء مصدر التيار المستمر وقصر المكثفات ليصبح التركيب كالتالي:



الشكل (23.3): التركيب المكافئ للترانزستور في النظام الديناميكي

### 1. حساب التضخيم في التيار

$$Ai = \frac{i_s}{i_e}$$

$$i_b = \frac{R_B}{R_B + h_{11}} i_e \Rightarrow i_e = \frac{R_B + h_{11}}{R_B} i_b$$

$$i_s = h_{21} i_b + \frac{V_s}{R_C // h_{22}^{-1}}$$

$$V_s = -R_L i_s$$

$$i_s = h_{21} i_b - \frac{R_L}{R_C // h_{22}^{-1}} i_s$$

$$i_s \left(1 + \frac{R_L}{R_C // h_{22}^{-1}}\right) = h_{21} i_b$$

$$i_s = \frac{h_{21}}{1 + \frac{R_L}{R_C // h_{22}^{-1}}} i_b$$

$$Ai = \frac{h_{21} * R * R_B}{(R + R_L)(R_B + h_{11})}$$

### 2. حساب التضخيم في الجهد

$$Av = \frac{V_s}{V_e}$$

$$V_s = -(R_L // R_C // h_{22}^{-1}) h_{21} i_b$$

$$V_e = h_{11} i_b$$

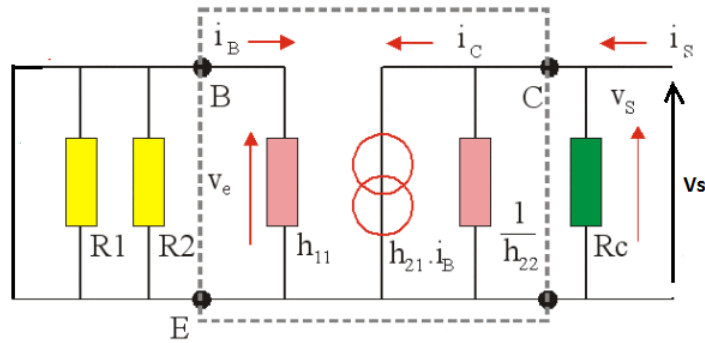
$$Av = -\frac{(R_L // R_C // h_{22}^{-1}) h_{21}}{h_{11}}$$

### 3. حساب مقاومة الدخول $Z_e$

$$\begin{cases} Z_e = \frac{V_e}{i_e} \\ V_e = (h_{11} // R_B) i_e \end{cases} \Rightarrow Z_e = h_{11} // R_B$$

### 4. حساب مقاومة الخروج $Z_s$

لحساب مقاومة الخروج نقوم بقصر مولد المدخل ونزع الحمولة ووضع مولد افتراضي يمثل  $V_s$



الشكل (24.3): التركيب المكافئ لحساب مقاومة الخروج

$$Z_s = \frac{V_s}{i_s}$$

$$V_s = (RC // h_{22}^{-1}) i_s \Rightarrow Z_s = RC // h_{22}^{-1}$$

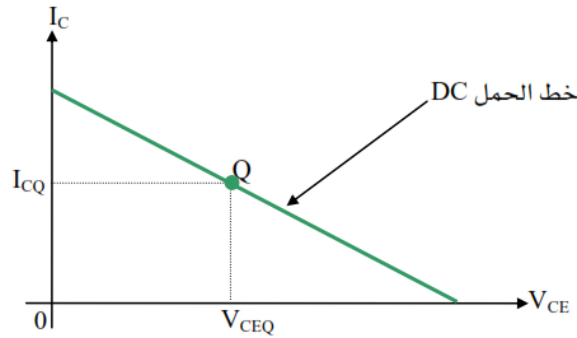
### 12.3 مضخمات الاستطاعة

عندما تحدثنا عن دارات الترانزستور تجنبنا أن نصل بنقطة التشغيل إلى حالة التشبع أو القطع. جميع المضخمات التي تحدثنا عنها إشارة المخرج فيها مشابهة لإشارة المدخل. وتصنف مضخمات الاستطاعة حسب نسبة موجة المدخل والتي يعمل خلالها المضخم بصورة خطية.

يمكن كذلك تصنيف المضخمات على حسب تردد الإشارات التي تضخمها ولذا نسمي بعض المضخمات مضخمات التيار المباشر ومضخمات الإشارات الصوتية ومضخمات تردد الراديو مضخمات ذات المدى الترددي المتسع. المضخمات على حسب الاستخدامات المتاحة وعلى حسب نوعية التضخيم فنجد مضخمات الجهد (مضخم القاعدة المشتركة). ومضخمات التيار (مضخم المجمع المشترك) ومضخمات الاستطاعة (مضخم الباعث المشترك) بعض المضخمات تعطي تيارا كإشارة مخرج لإشارة جهد كهربائي ويكون الكسب هو تيار مقسوما على الجهد وينتج عن ذلك التوصيلية ويسمى هذا النوع من المضخمات مضخم التوصيلية المنقولة. كل المضخمات باختلاف تصنيفاتها لها خصائص معينة.

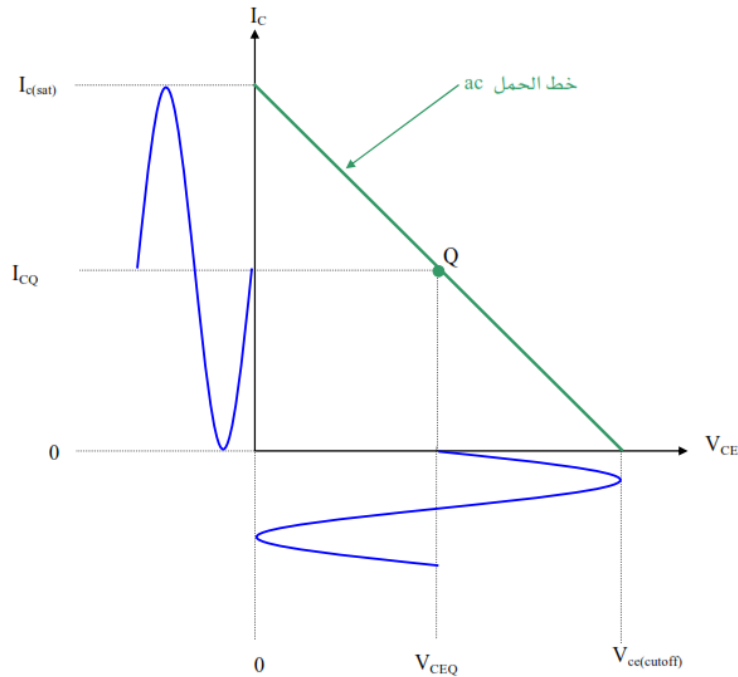
### 1.12.3 مضخم الاستطاعة صنف A

في هذا الصنف نختار نقطة التشغيل في منتصف مستقيم الحمولة تقريبا (الشكل 1-12) وتكون إشارة المدخل صغيرة بحيث لا تؤدي لإدخال الترانزستور لمنطقة القطع أو منطقة الأشباع في منحنى خواص المخرج .



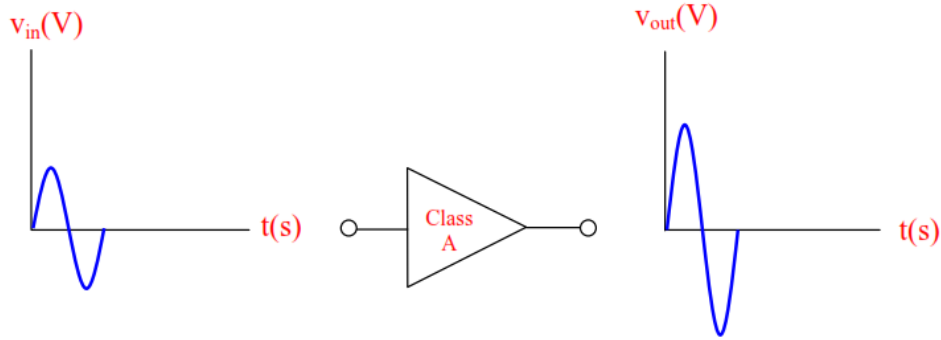
الشكل (24.3): نقطة التشغيل لمضخم الاستطاعة صنف A

الشكل 25.3 يوضح عدم تشوه إشارة المخرج إذا كانت نقطة التشغيل Q في وسط مستقيم الحمولة ويوضح كذلك هذا الشكل أكبر إشارة مخرج يمكن الحصول عليها بدون تشوه .



الشكل (25.3): مستقيم الحمولة لمضخم الاستطاعة صنف A

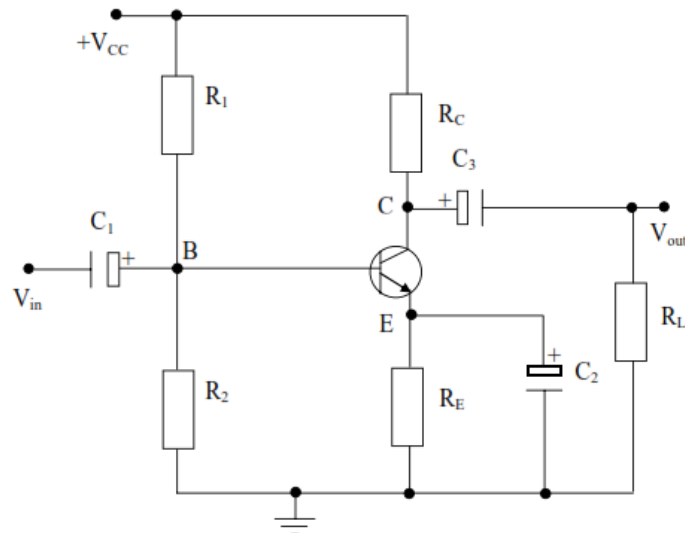
يعمل هذا المضخم في الحالة الخطية خلال جميع فترات موجة المدخل كما في الشكل 26.3 ولذا يسمى بمضخم الاستطاعة صنف A.



الشكل (26.3): شكل إشارة المدخل ( $V_e$ ) وإشارة المخرج ( $V_s$ ) لمضخم صنف A

أهم ميزة لمضخم صنف (A) هي أنه لا يوجد تشوه في إشارة المخرج تقريبا أما عيبه فهو أننا نحتاج دائما لاستطاعة كهربائية لتشغيل المضخم وهذه الاستطاعة تأتي من مصدر جهد مباشر وتستخدم في تحديد نقطة التشغيل ولا يظهر منها إلا جزء محدود في إشارة المخرج. يظل مضخم صنف (A) محتاجا لاستطاعة كهربائية طوال تشغيله وهو لذلك غير مناسب لتضخيم الاشارات عندما نحتاج لاستطاعة عالية من المضخم. وتكون الطاقة المهدرة عالية جدا في هذه الحالة. يكبر هذا المضخم الاشارة لكل 360 درجة من طور الإشارة .

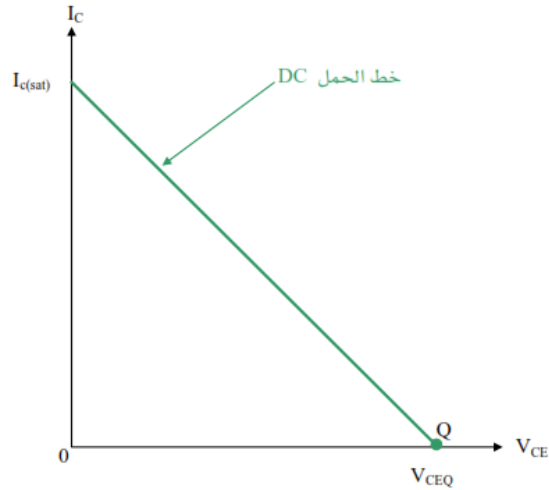
مثال: مضخم استطاعة من صنف (A) هو مضخم باعث مشترك الذي سبق دراسته وهو موضح في الشكل 27.3



الشكل (27.3): دائرة مضخم صنف A

### 2.13.3 مضخم الاستطاعة الصنف (B) والصنف (AB)

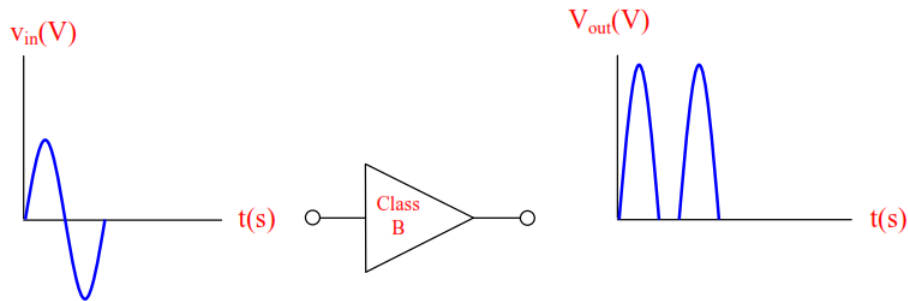
مضخم آخر أكثر كفاءة هو مضخم الصنف (B) (وهذا النوع تكون نقطة تشغيله على حافة منطقة القطع تماما كما يوضح الشكل 28.3).



الشكل (28.3): مستقيم الحمولة DC وموقع نقطة التشغيل لمضخم صنف B

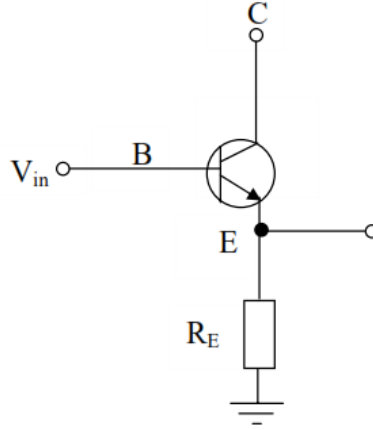
في هذا النوع تستهلك الطاقة الكهربائية فقط عند حالة التوصيل ( 180 درجة من طور الداخل).  
في النصف الآخر من الإشارة يكون الترانزستور في حالة قطع ويكون المخرج عبارة عن نصف موجة جيبيية. مخرج هذا المضخم يؤدي إلى تشوه كبير في إشارة المخرج بالنسبة لإشارة المدخل حيث يختفي نصف إشارة المخرج .

شكل إشارة المدخل ( $V_e$ ) وإشارة المخرج ( $V_s$ ) لمضخم صنف (B) موضحة في الشكل 29.3 .



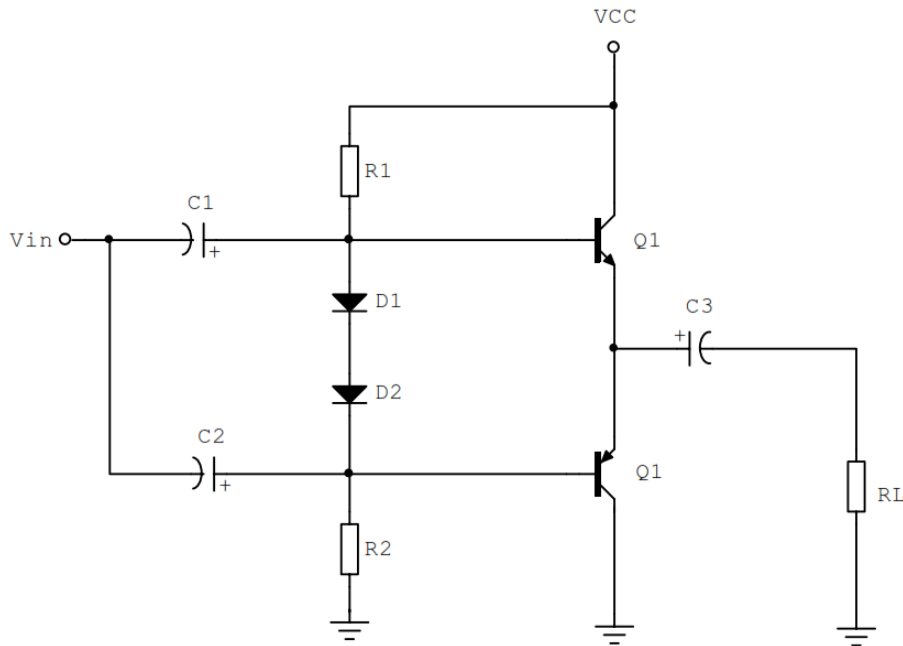
الشكل (29.3): إشارة المدخل وإشارة المخرج لمضخم صنف (B)

الشكل 1-18 يوضح دائرة مضخم الاستطاعة صنف (B) وهي دائرة مضخم جامع مشترك .



الشكل (30.3): دائرة جامع مشترك وهي دائرة مضخم صنف (B)

مع مضخمات الدفع والجذب نجعل الترانزستور مستقطبا فوق القطع بقليل للتخلص من تشوه الانتقال . إشارة المخرج الناتجة أكبر بـ 180 درجة من طور المدخل وهذا النوع يسمى مضخم صنف (AB) حيث إشارة المخرج أكبر من 180 من إشارة المدخل ولكنها أقل من 360 منها .



الشكل (31.3): دائرة مضخم الدفع والجذب وهي دائرة مضخم صنف (AB)

يقوم الترانزستور  $Q_1$  بالتوصيل خلال النصف الموجب، ويقوم الترانزستور  $Q_2$  بالتوصيل خلال النصف السالب من إشارة المدخل. ويستخدم الثنائيان  $D_1$  و  $D_2$  والمقاومتان  $R_1$  و  $R_2$  لاستقطاب الترانزستور . وتكون قيم المقاومات متساوية. ويحسب مقدار تضخيم الاستطاعة كالتالي :

$$P_{out} = \frac{1}{4} I_{Csat} V_{CC}$$

حيث أن :

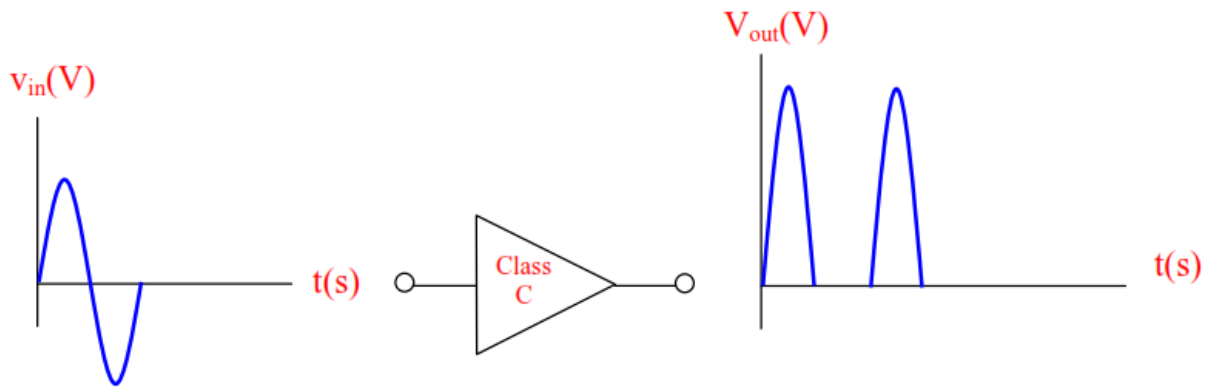
$$I_{C_{sat}} = \frac{0.5V_{CC}}{R_L}$$

وبالتعويض عن قيمة  $I_{C_{sat}}$  في قانون الاستطاعة، فإن :

$$P_{out} = \frac{1}{8} \frac{V_{CC}^2}{R_L}$$

### 3.12.3 مضخم الاستطاعة الصنف (C)

النوع الأخير من المضخمات هو صنف (C) وفي هذا النوع نضخم أقل من 180 درجة من إشارة المدخل لأن الترانزستور يكون في حالة القطع معظم الوقت مما يوفر طاقة التشغيل ويرفع كفاءة المضخم. المخرج الناتج من هذا الصنف من المضخمات مشوه جدا بالطبع ولكن لبعض التطبيقات فإن هذا النوع من المضخمات مفيد جدا. إشارة المدخل وإشارة المخرج لمضخم صنف (C) موضحة في الشكل 32.3.



الشكل (32.3): إشارة المدخل وإشارة المخرج لمضخم الاستطاعة الصنف (C)

13.3

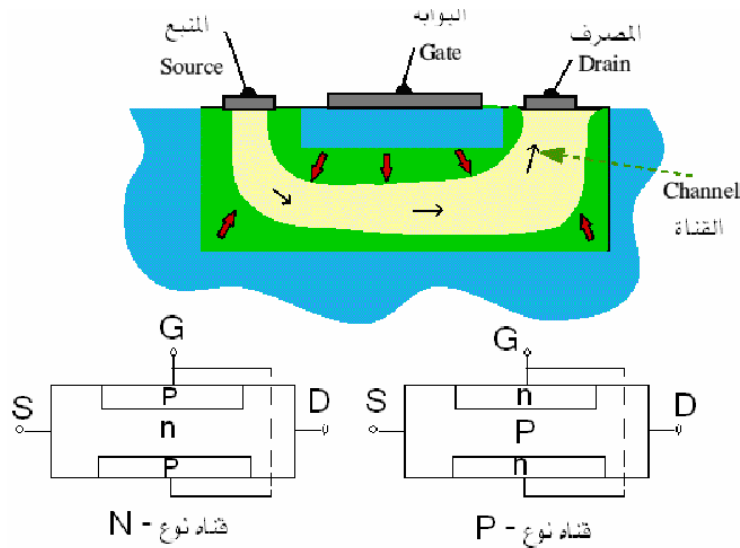
### 13.3 الترانزستور ذو الأثر الحثلي FET

هو عبارة عن عنصر أحادي القطبية وذلك لأنه يعتمد على نوع واحد الشحنات سواء كانت إلكترونات أو فجوات. ويتم التحكم في التيار المار عن طريق المجال الكهربائي. ويختلف عن الترانزستور ثنائي القطبية BJT الذي يعتمد على نوعين من الشحنات وهي الإلكترونات والفجوات في نفس الوقت وتقسّم عائلة FET إلى نوعين هما .

- ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة (JFET (FET Junction
- ترانزستور تأثير المجال ذو البوابة المعزولة MOSFET أو IGFET

### 1.13.3 ترانزستور الأثر الحثلي ذو الوصلة JFET

#### 1.1.13.3 تركيب الترانزستور JFET



الشكل (33.3): تركيب ترانزستور JFET

يتركب ترانزستور JFET كما بالشكل (33.3) من قضيب من مادة شبه موصل من نوع n أو نوع p وعلى جانبي القضيب توجد منطقتان من مادة شبه الموصل من نوع معاكس. ويسمى الترانزستور بترانزستور تأثير المجال ذي القناة N إذا كانت مادة القضيب من نوع N أما إذا كانت مادة القضيب من نوع P فيطلق عليه ترانزستور تأثير المجال ذو القناة P.

ويتكون التيار من نوع واحد فقط من حاملات الشحنة وهي إلكترونات في حالة القناة n أو فجوات في حالة القناة p. ولترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة ثلاثة أطراف توصيل هي :

#### 1. المنبع (S).

وهو قطب القضيب الذي تدخل من خلاله حاملات الشحنة الغالبة ( إلكترونات في القناة n وفجوات في القناة N) مكونة بذلك تيار المنبع  $I_S$ . وقطب المنبع S يماثل قطب الباعث في ترانزستور ثنائي القطبية BJT

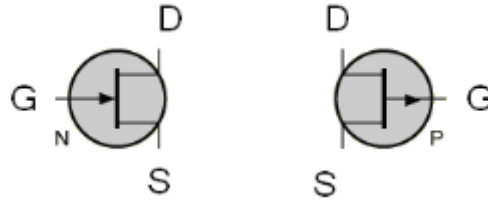
#### 2. المصرف (D).

وهو قطب القضيب الذي تخرج من خلاله حاملات الشحنة الغالبة مكونة بذلك تيار المصرف  $I_D$  وقطب المصرف يماثل قطب الجامع في ترانزستور BJT

#### 3. البوابة (G).

وهي عبارة عن المنطقتين الجانبيتين للقناة ويكون استقطاب البوابة G استقطابا عكسيا بالنسبة للمنبع وقطب البوابة يماثل قطب القاعدة في ترانزستور BJT

### 2.1.13.3 الرمز المنطقي للترانزستور JFET



الشكل (34.3): الرمز المنطقي للترانزستور JFET

السهم للداخل يدل على أن القناة n والخارج يدل على القناة p كما يوضح الشكل 34.3

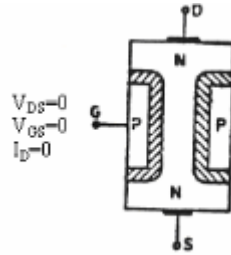
#### مبدأ العمل:

لفهم مبدأ عمل JFET يجب أن نأخذ في الاعتبار .

- توصيل البوابة بحيث يكون استقطابها عكسي دائما
- يوصل قطب المنبع دائما بقطب المصدر الذي يمدّه بحاملات التيار الضرورية حسب نوع القناة
- أي أن JFET قناة نوع N يوصل قطب المنبع بالقطب السالب لمصدر الجهد المغذي لقطب المصرف D والمصرف بالقطب الموجب. وفي قناة P تعكس الأقطاب .

أ - عندما يكون  $V_{DS}=0$  ،  $V_{GS}=0$ .

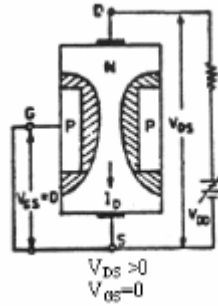
في هذه الحالة يكون تيار المصرف  $I_D=0$  لان  $V_{DS}=0$  وفي منطقة التقاء المادة شبة الموصلة نوع N بالمادة نوع P تتكون منطقتان لا تحتويان على حاملات حرة للشحنة وتعرف بمنطقة الاستنزاف وتكونان متساويتين في السمك



الشكل (35.3): حالة الترانزستور عندما يكون  $V_{DS}=0$  ،  $V_{GS}=0$

ب - عندما يكون  $V_{GS}=0$  وزيادة  $V_{DS}$  ( $V_{DS}>0$ )

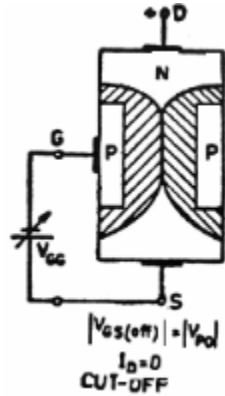
في هذه الحالة يمر تيار من المنبع S إلى المصرف D ويتناسب طرديا مع قيمة  $V_{DS}$  حسب قانون أوم إلى أن يصل إلى قيمة تعرف بقيمة جهد اختناق قناة التوصيل  $V_{p0}$  وعندها يثبت تيار المصرف وهذه القيمة هي أقصى تيار المصرف يطلق عليها  $I_{DSS}$  .



الشكل (36.3): حالة الترانزستور عندما يكون  $V_{GS}=0$  و  $V_{DS}>0$

ج -  $V_{DS}=0$  ،  $V_{GS}<0$  (جهد  $V_{GS}$  قيمة سالبة)

في هذه الحالة يكون جهد البوابة عكسياً وبزيادة جهد الاستقطاب العكسي تزداد منطقتنا الاستنزاف وتستمر الزيادة إلى أن يتلامسا وفي هذه الحالة تكون القناة قد وصلت إلى الانغلاق cutoff كما بالشكل (4-5) وجهد  $V_{GS}$  الذي يؤدي إلى حالة الانغلاق يطلق عليه  $V_{GS}(FF)$  و عندها يكون  $I_D=0$

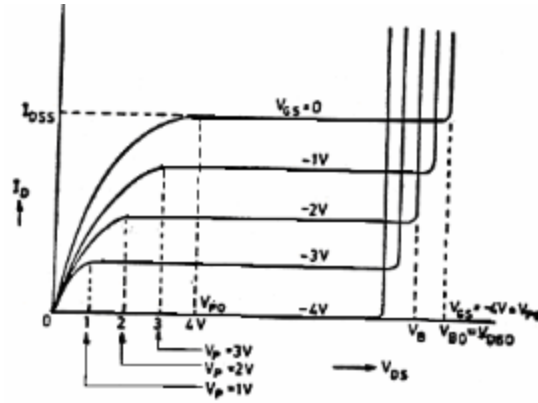


الشكل (37.3): حالة الترانزستور عندما يكون  $V_{DS}=0$  و  $V_{GS}<0$

### 3.1.13.3 منحنى الخواص لترانزستور JFET:

نلاحظ من الشكل (4-6) أن جهد الاختناق  $V_P$  الذي عنده تثبت قيمة التيار  $I_D$  مهما زاد الجهد  $V_{DS}$  ويستمر الثبات إلى أن تصل إلى جهد انهيار الوصل عندها يمر تيار عالي جداً) يقل كلما زاد جهد  $V_{GS}$  السالب وكذلك ينخفض تيار المصرف  $I_D$  و عليه يمكن حساب تيار المصرف من العلاقة :

$$I_D = I_{DSS} \left[ 1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS_{OFF}}} \right]^2$$



الشكل (38.3): منحنى خصائص مخرج الترانزستور JFET

### التوصيلية gm

التوصيلية عبارة عن معدل تغير تيار المصرف إلى تيار البوابة عند ثبوت الجهد V\_DS وتساوي :

$$gm = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} \rightarrow V_{DS} = Const$$

وتقاس التوصيلية بوحدة السيمنز (s)

التوصيلية المقاسة عند  $I_D = I_{DSS}$  أو عند  $V_{GS} = 0$  يرمز لها بالرمز  $g_{m0}$  ويمكن استنتاجها من العلاقة الرياضية :

$$I_D = I_{DSS} \left[ 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right]^2$$

وبإجراء التفاضل لطرفي المعادلة بالنسبة لـ  $V_{GS}$  نحصل على قيمة gm :

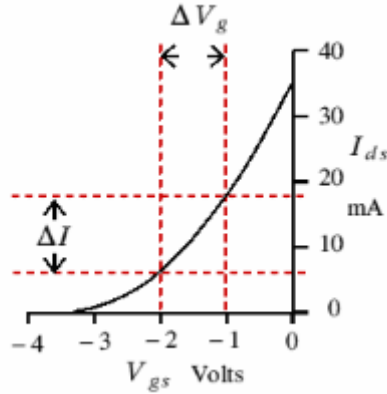
$$gm = \frac{-2I_{DSS}}{V_P} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)$$

وعندما  $V_{GS}$  تساوي الصفر فإن:

$$gm = g_{m0}$$

وبالتعويض عن قيمة  $V_{GS} = 0$  في المعادلة أعلاه نحصل على :

$$g_{m0} = \frac{-2I_{DSS}}{V_P}$$



الشكل (39.3): منحنى التوصيلية

### 2.13.2 ترانزستور الأثر الحقلّي ذو البوابة المعزولة

يصنف ترانزستور الأثر الحقلّي ذو البوابة المعدنية إلى نوعين هما :

#### أ - نوع استنزاف – تعزيز DE-MOSFET

وقد أطلق عليه هذا الاسم لأنه يكون نوع استنزاف أو نوع تعزيز بتغيير قطبية  $V_{GS}$  حيث:

1. عند تطبيق جهد سالب  $V_{GS}$  على DE-MOSFET قناة N فإنه يعمل كنوع استنزاف
2. عند تطبيق جهد موجب  $V_{GS}$  على DE-MOSFET قناة N فإنه يعمل كنوع تعزيز

#### ب - نوع تعزيز فقط E-MOSFET

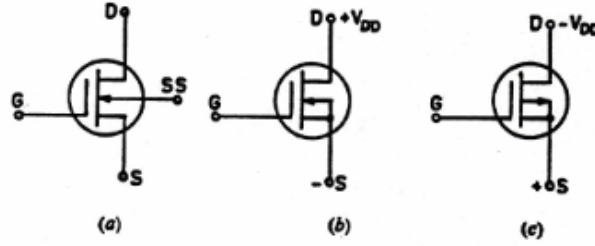
وهذا النوع يعمل كنوع تعزيز فقط ويعمل عند تطبيق جهد كبير  $V_{GS}$  ويختلف في تركيبه عن النوع DE-MOSFET في عدم وجود قناة بين المصرف والمنبع

وعندما يكون  $V_{GS}=0$  فإنه لا يمر تيار  $I_D$  بين المصرف والمنبع ولذلك يطلق عليه اسم OFF MOSFET

#### ج - نوع استنزاف - تعزيز DE-MOSFET

الرمز :

يرمز للترانزستور DE-MOSFET بالرمز الموضح في الشكل (40.3) حيث عندما يكون السهم متجه للداخل كما بالشكل (a.40.3) تكون القناة نوع n عندما تكون للخارج يدل على أن القناة نوع p. عندما نوصّل قطب SS لحمولة خارجية يكون هناك أربعة أطراف كما بالشكل (a.40.3) وعندما توصل مع المنبع يكون هناك ثلاثة أطراف فقط كما بالشكل (b.a.40.3)

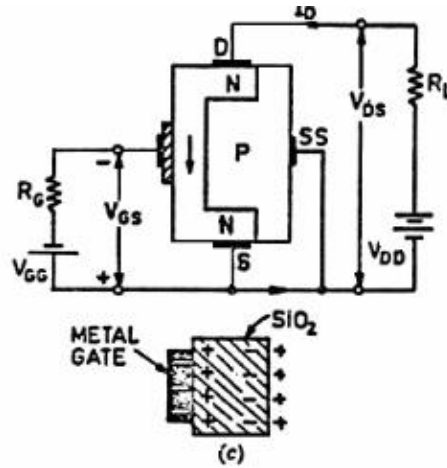


الشكل (40.3): رمز ترانزستور DE-MOSFET

مبدأ العمل

أ - نوع استنزاف قناة n

1. في حالة عدم تطبيق أية جهد بين البوابة والمنبع أي أن  $V_{GS} = 0$  تمر الإلكترونات بين المنبع والمصرف مكونة تيار المصرف  $I_D$
2. بتطبيق جهد سالب على البوابة يحدث استنزاف للإلكترونات الموجودة بالقناة N وذلك نتيجة لحقن شحنات موجبة خلال القناة تتحد مع الإلكترونات الموجودة بالقناة كما بالشكل (c.40.3)
3. بزيادة الجهد العكسي على البوابة تقل عدد الإلكترونات الحرة بالقناة فتقل التوصيلية ويقل تيار المصرف  $I_D$
4. بزيادة الجهد العكسي زيادة كبيرة والتي تسمى  $V_{GSOFF}$  يؤدي إلى زيادة كبيرة جدا في مقاومة القناة فلا يمر تيار



الشكل (41.3): استقطاب الترانزستور نوع استنزاف قناة n

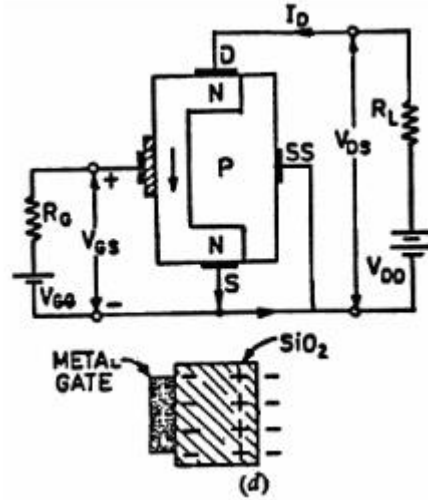
ب - نوع تعزيز قناة N

مبدأ العمل

1. عندما يكون  $V_{GS} = 0$  تمر الإلكترونات من المنبع إلى المصرف خلال قناة التوصيل مكونة تيار المصرف  $I_D$

2. عند تطبيق جهد موجب على البوابة تحقن الكترونات حرة في القناة نتيجة للمكثف المتكون كما بالشكل (d.40.3)

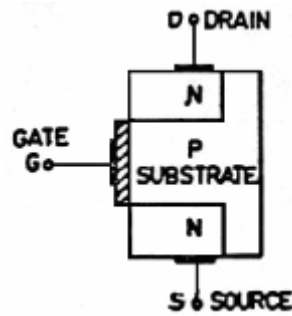
3. تضاف الكترونات حرة إلى الالكترونات الموجودة بالقناة وهذا يؤدي إلى زيادة الالكترونات (تعزيز الالكترونات) وبذلك تزيد توصيلية القناة ويزيد تيار المصرف  $I_D$



الشكل (42.3): استقطاب الترانزستور نوع تعزيز قناة N

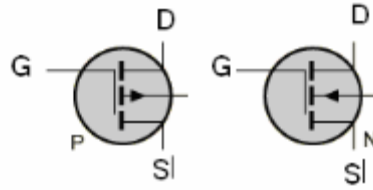
### ج - نوع التعزيز فقط

نفس التركيب لترانزستور DE-MOSFET إلا أن طبقة القاعدة P تمتد إلى أن تصل إلى طبقة أوكسيد السيليسيوم  $SiO_2$  وبذلك لا توجد قناة بين المصرف والمنبع. وهذا النوع لا يعمل إلا إذا طبق جهد موجب كبير على البوابة G



الشكل (43.3): ترانزستور نوع التعزيز فقط

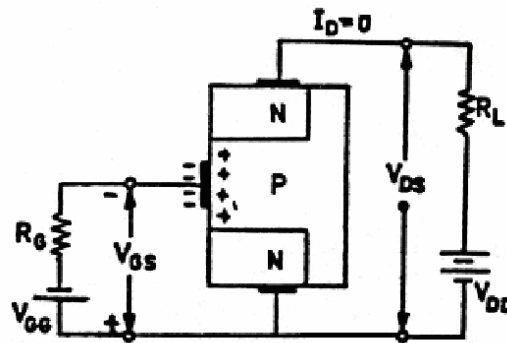
وإذا طبق جهد سالب على البوابة لا يمكن أن يعمل وذلك لأنه بتطبيق جهد سالب على البوابة يؤدي إلى حقن شحنات موجبة في الحيز بين المصرف والمنبع وبالتالي لا يسمح بمرور الكترونات بين المنبع والمصرف  $I_D=0$



الشكل (44.3):رمز ترانزستور نوع تعزيز فقط

مبدأ عمل ترانزستور نوع تعزيز فقط :

1. عندما يكون  $V_{GS}=0$  فان  $I_D=0$  على الرغم من تطبيق جهد  $V_{DD}$  ويرجع السبب في عدم وجود قناة توصيل
2. للحصول على تيار مصرف عالي لابد من تطبيق جهد موجب على البوابة. وهذا الجهد سوف يؤدي إلى تكوين طبقة رقيقة ملامسة لأوكسيد السيليسيوم بها إلكترونات حرة لتكون المكثف وهذه الطبقة الرقيقة تمثل قناة لمرور الإلكترونات من المنبع إلى المصرف مكونة تيار المصرف  $I_D$
3. اقل جهد  $V_{GS}$  يلزم تطبيقه لخلق قناة توصيل  $N$  يسمى بجهد الحدية  $V_{GS_{Th}}$
- 4 عندما يكون  $V_{GS} < V_{GS_{Th}}$  فانه لا يمر تيار المصرف  $I_D=0$  وعندما يكون  $V_{GS} > V_{GS_{Th}}$  فان قناة التوصيل تتكون وتصل المنبع بالمصرف ونحصل على تيار  $I_D$  كما بالشكل 45.3



الشكل (45.3):استقطاب ترانزستور نوع تعزيز فقط

## 14.2 تمارين الفصل الثالث

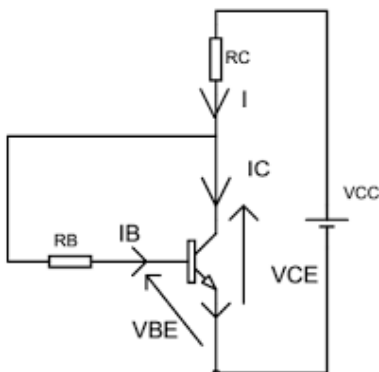
التمرين الأول:

ليكن الترانزستور NPN موصول حسب الشكل التالي حيث:

$$R_B=1M\Omega, V_{cc}=20V, R_c=10k\Omega, B=100$$

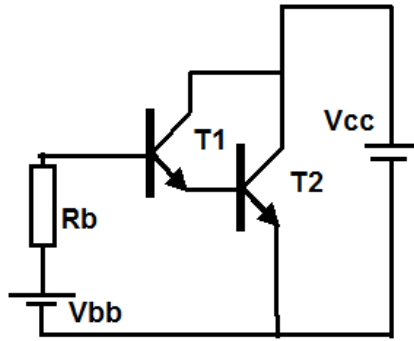
1. أحسب التيارات  $I_B, I_C, I_E$  ( $V_{cc} \gg V_{BE}$ )

2. أحسب التوتر  $V_{ce}$ ، ماذا تستنتج؟



**التمرين الثاني:**

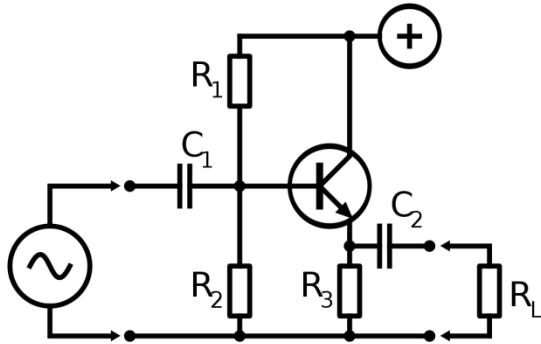
ليكن التركيب التالي:



1. أحسب معامل التضخيم السكوني B المكافئ بدلالة  $B_1$  و  $B_2$  حيث  $I_c = B I_b$
2. ماذا تستنتج؟

**التمرين الثالث:**

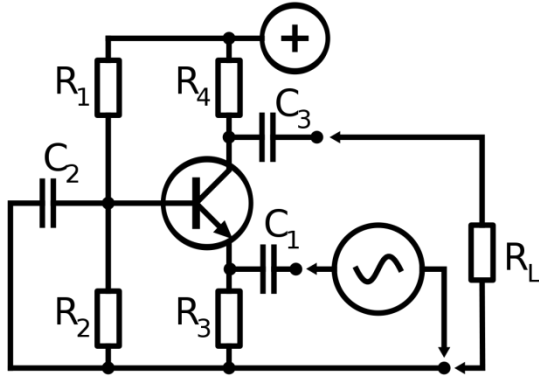
ليكن التركيب الموالي:



1. ارسم التصميم المكافئ في النظام الديناميكي
2. أحسب التضخيم في التوتر و التضخيم في التيار
3. أحسب مقاومتي الدخول و الخروج

**التمرين الرابع:**

ليكن التركيب الموالي:



1. ارسم التصميم المكافئ في النظام الديناميكي
2. أحسب التضخيم في التوتر و التضخيم في التيار
3. أحسب مقاومتي الدخول و الخروج

**التمرين الخامس:**

ليكن تركيب الترانزستور ذو الأثر الحقلّي مستقطب بجسر مقاومات (قاسم التوتر) حيث :

$$R_s = 3k\Omega, R_d = 1.8k\Omega, R_{g2} = 300k\Omega, R_{g1} = 700k\Omega, V_{DD} = 20V, V_p = -6V, I_{DSS} = 8mA$$

1. أحسب قيم التيار  $I_D$  و التوتر  $V_{GS}$

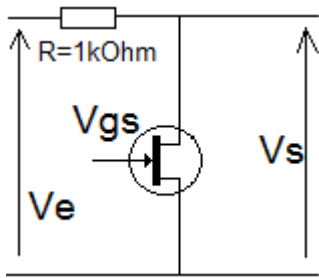
التمرين السادس:

باستعمال ترانزستور ذو الأثر الحثلي و الذي يملك الخصائص الموضحة في الشكل 1 المقابل

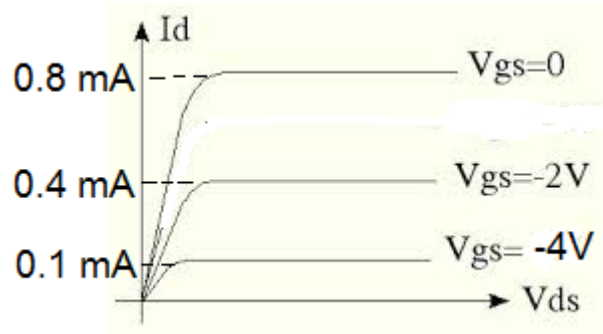
1. أحسب مقاومة القناة  $R_{ds}$  بين المصرف و المنبع لمختلف قيم  $V_{GS}$

ليكن التركيب التالي (الشكل 2) حيث توتر المدخل هو توتر جيبى سعته  $50mV$

1. أوجد قيم توتر المخرج  $V_s$  من أجل كل قيمة للتوتر  $V_{GS}$



الشكل 2



الشكل 1

# الفصل الرابع

---

المضخم العملي

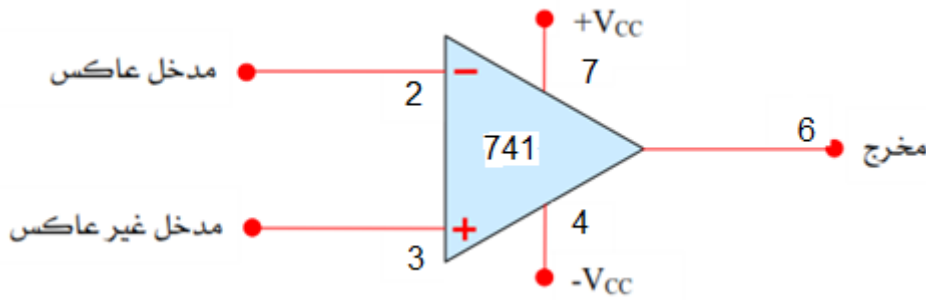
## 1.4 مقدمة

المضخم العملي عبارة عن دائرة مندمجة تستخدم بكثرة في الأجهزة الإلكترونية في مجالات التحكم والاتصالات والحاسبات ومولدات الاشارة وخلاف ذلك. ولقد أطلق عليه اسم مضخم عملي لأنه في البداية للقيام بالعمليات الحسابية من جمع وطرح وضرب وقسمة وغيرها من تكامل وتفاضل. وهو عبارة عن دائرة مندمجة مكونة من العديد من الدوائر بداخلها .

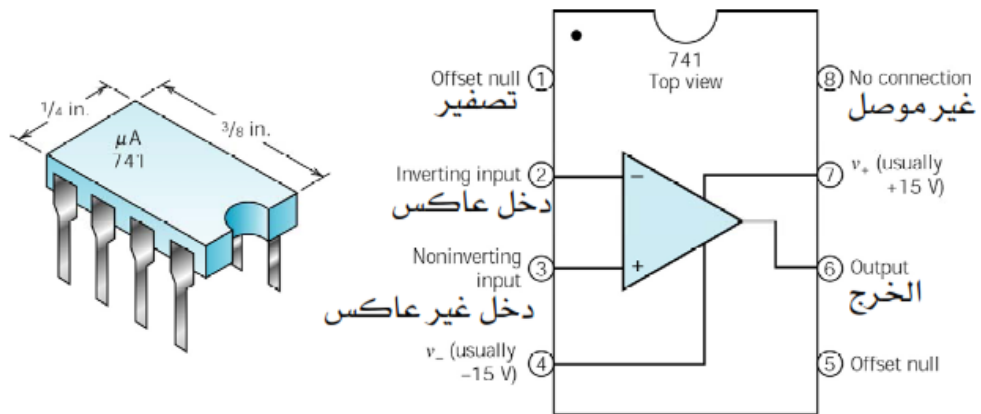
## 2.4 نظرية وخصائص المضخم العملي

للمضخم العملي مخرج واحد ومدخلان: الأول يسمى المدخل العاكس (-) والآخر يسمى مدخل غير عاكس (+). وإذا طبقنا إشارة عند المدخل العاكس فإن قطبيتها سوف تنعكس عند المخرج. أما الإشارة المطبقة عند المدخل غير العاكس فإن قطبيتها لا يحدث لها أي تغيير عند المخرج. ومن خواص المداخل أنها تمتاز بمقاومة عالية .

لتشغيل المضخم نحتاج إلى مصدر للتغذية قادر على إعطاء جهد موجب (+Vcc) وجهد سالب (-Vcc) كما هو موضح في الشكل 1.4 .



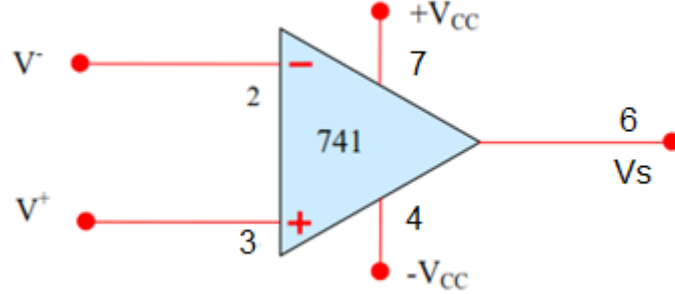
شكل (1.4): رمز مضخم عملي



شكل (3.4): الشكل الخارجي لمضخم عملي

شكل (2.4): الشكل الداخلي للمضخم العملي

يمكن إضافة قطبين آخرين لضبط المخرج على الجهد صفر عندما تكون إشارة المدخل صفرا (أقطاب المدخل مترابطة مع بعضها) تسمى هذه الأقطاب أقطاب تصفير الإزاحة . لضبط المخرج على الصفر عندما يكون المدخلان متساويين. الأقطاب الرئيسية لمضخم العملي موضحة في الشكل 4.4 .



شكل (4.4): الأقطاب الرئيسية للمضخم العملي

#### 1.2.4 جهد التشبع

يشتغل المضخم العملي بجهدين متساويين ومتعاكسين مثل (+15V, -15V)، (+18V, -18V). في بعض الأحيان نستخدم جهدين غير متناظرين مثل (+18V, -12V)، هذه المصادر للجهد توفر القدرة اللازمة للتشغيل وتحدد أقصى مستوى لإشارة المخرج، هذه الأخيرة تسمى جهود التشبع وتحسب كالتالي :

$$+V_{sat}=+V_{cc}-2V$$

$$-V_{sat}=-V_{cc}+2V$$

حيث  $V_{cc}$  يمثل جهد تغذية مضخم العملي  $V_{sat}$  يمثل جهد التشبع .

جهد التشبع يكون دائما أقل من جهد التغذية بحوالي 2V بسبب ضياع قدرة على شكل حرارة داخل المضخم العملي. مما يعني أن مخرج المضخم العملي يكون في الحدود :

$$-V_{sat}<V_{out}<+V_{sat}$$

نعرف جهد إشارة المدخل بالفرق بين جهد المدخل ( $V^+$ ) وجهد المدخل ( $V^-$ ) ويسمى جهد المدخل الفرقي .

المدخل الفرقي  $V_d$  يعطى بالعلاقة :

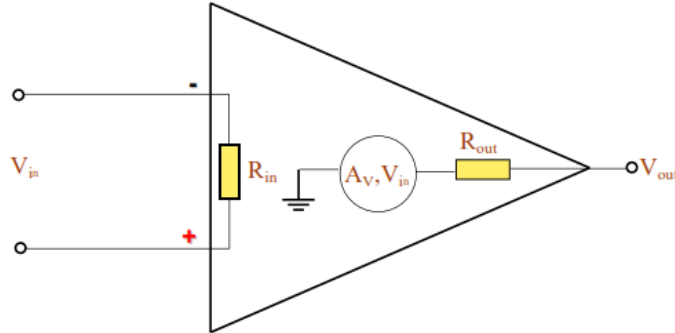
$$V_d= V^+-V^-$$

#### 2.2.4 مقاومة المدخل $R_e$

مقاومة المدخل الكبيرة تعني أن هذا المضخم لن يؤثر على مصدر إشارة المدخل حيث إن مقاومة المدخل عمليا في حدود ( $1M\Omega$ ) مما يجعل التيار يؤول الى الصفر. الشكل 5.4 يوضح مقاومة المدخل ( $R_e$ ) في الدارة المكافئة .

### 3.2.4 مقاومة المخرج $R_s$

مقاومة المخرج هي المقاومة المرئية من عقدة المخرج وتكون صغيرة جدا. الشكل 5.4 يوضح مقاومة المخرج ( $R_s$ ) في الدارة المكافئة .



شكل (5.4): الدارة المكافئة للمضخم العملي

### 4.2.4 التغذية الخلفية في المضخم العملي

التغذية الخلفية هي عبارة عن أخذ كل أو جزء من إشارة المخرج وإعادتها إلى المدخل .

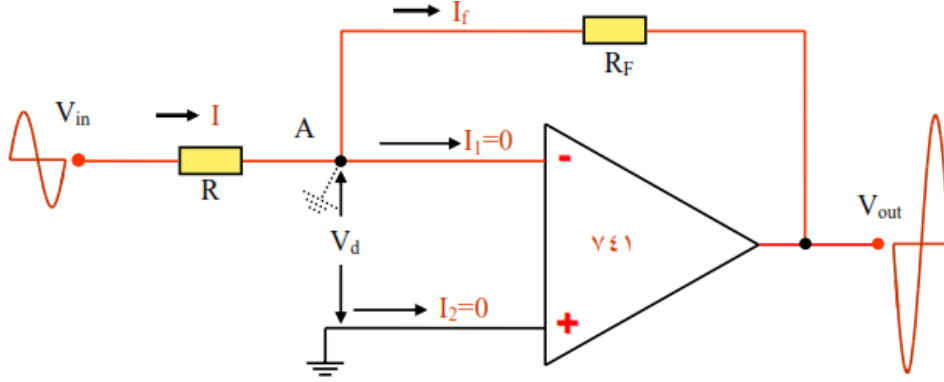
هناك نوعان من التغذية الخلفية: تغذية خلفية سالبة وأخرى موجبة. التغذية الخلفية الموجبة تؤدي لزيادة إشارة المدخل والتغذية الخلفية السالبة تؤدي لتناقص إشارة المدخل. في دارات المضخم العملي نستخدم التغذية الخلفية السالبة حيث إن دخلا قليلا جدا كاف لايجاد مخرج كبير من المضخم ولذا فان التغذية الخلفية الموجبة ستدفع إشارة المخرج للتشبع بسرعة وهذا لن يكون ذا فائدة في التضخيم ويؤدي إلى زيادة عدم الاستقرار .

الشكل 6.4 يوضح مثالا للتغذية الخلفية السالبة. سنفترض أن الإشارة ففي المخرج خارج التشبع ولذا تكون الإشارة  $V_d$  أقل من  $65\mu V$

بما أن المدخل غير العاكس على مستوى جهد الأرض فإن المدخل على النقطة A يكون :

$$-65\mu V < V_A < +65\mu V$$

هذا الجهد لصغره المتناهي يمكن افتراض أنه يساوي صفرا وهذه النقطة زسمى نقطة الأرض الافتراضي . لذا سنفرض دائما  $V_A=0V$



شكل (6.4): التغذية الخلفية السالبة

بما أن مقاومة المدخل لهذه المضخمات كبيرة جدا فيمكن القول أن  $R_e \gg R_F$  و هذا يعني أن كل التيار الذي يمر بمقاومة المدخل  $R_e$  يمر أيضا بمقاومة التغذية الخلفية  $R_F$  تقريبا حيث إن التيار الذي يدخل إلى المضخم يساوي صفرا تقريبا. إذا كتبنا معادلة التيارات سنجد :

$$I = \frac{V_e - V_A}{R_e}$$

$$I_f = (V_A - V_{out}) / R_F$$

بتطبيق قانون التيار في العقدة A نحصل على المعادلة التالية:

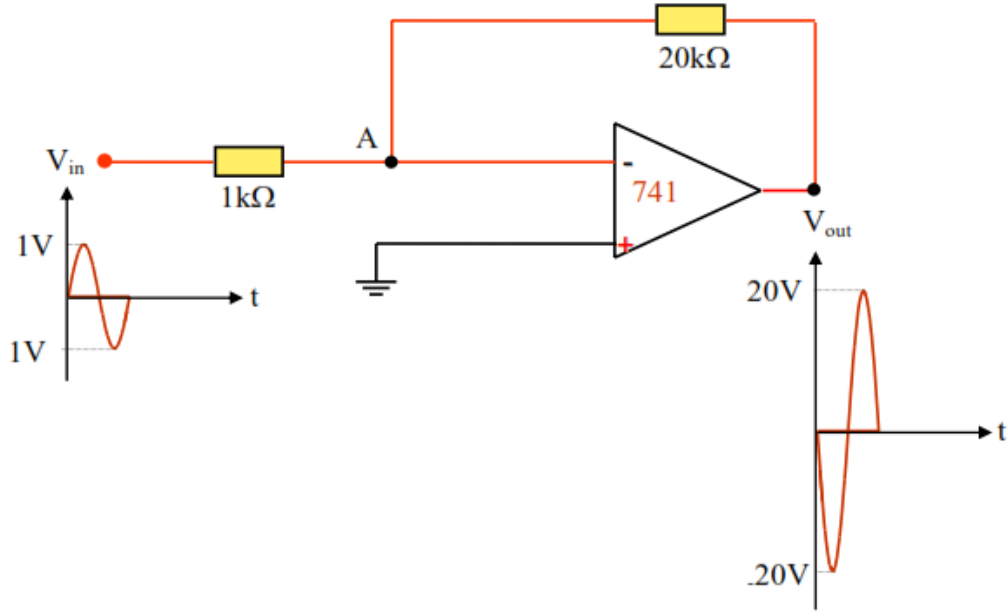
$$V_A = 0 \Rightarrow \frac{V_e}{R_e} = -\frac{V_s}{R_F}$$

$$A_v = \frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_F}{R_e}$$

ومنه نحصل على العلاقة بين جهد المخرج  $V_s$  وجهد المدخل  $V_e$  حيث  $V_s = A_v * V_e$

**مثال**

أحسب جهد المخرج للدارة التالية:



شكل (7.4): دائرة المضخم العاكس

الحل:

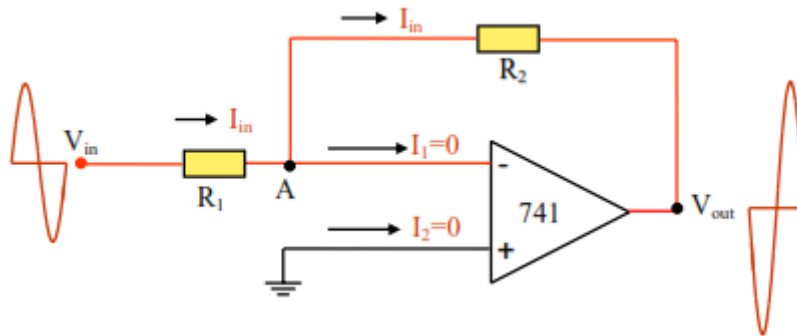
$$A_v = V_s / V_e = -R_F / R_e = -20k\Omega / 10k\Omega$$

$$V_s = A_v * V_e = -20 * 1V = -20V$$

### 3.4 تطبيقات مضخم العملي

#### 1.3.4 المضخم العاكس

دائرة المضخم العاكس باستعمال مضخم عملي موضحة في الشكل 8.4



شكل (8.4): دائرة المضخم العاكس

تعتبر دائرة مضخم عاكس باستعمال مضخم عملي التطبيق الأساسي لمضخم العملي .

- مفهوم الأرض الافتراضي: للمضخم العملي المثالي كسب جهد دائرة مفتوحة لانتهائي ومقاومة مدخل لانتهائية. من هذا نستطيع القول :

أ. بما أن مقاومة المدخل كبيرة جدا  $Re = \infty$  و منه  $I_1 = I_2 = 0$

ب. إذا فرق الجهد على طرفي المدخلين يساوي صفر (عدم وجود تيار يؤدي إلى عدم وجود جهد).

وبما أن المدخل الغير عاكس موصل بالأرضي فالجهد يساوي صفر وبالتالي الجهد في العقدة A يساوي صفر فولط

بما أن التيار الذي يدخل المضخم من الإشارة السالبة (-) يساوي صفرا إذا التيار الذي يمر في المقاومة  $R_1$  ، يساوي التيار الذي يمر في المقاومة  $R_2$  كما هو موضح في الشكل 8.4 .

#### • كسب الجهد

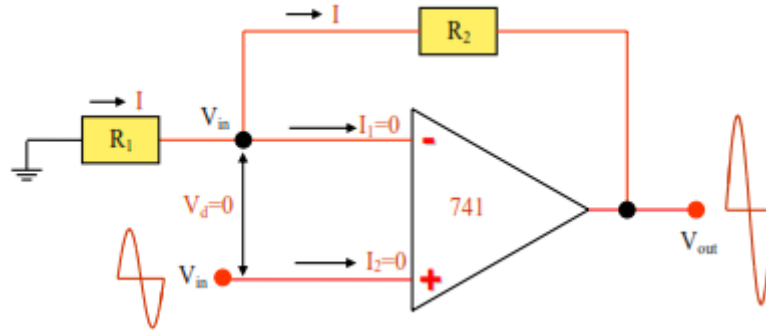
بما أن  $(V_A = 0)$  إذا  $V_e = R_1 I_e$  وكذلك  $V_s = -R_2 I_e$

بقسمة  $V_s$  على  $V_e$  نحصل على كسب الجهد  $A_v$  للدارة المغلقة الموضحة في الشكل 8.4

$$A_v = \frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_2 I_e}{R_1 I_e} = -\frac{R_2}{R_1}$$

#### 2.3.4 المضخم غير العاكس

دارة مضخم غير عاكس موضحة في الشكل 9.4



شكل (9.4): دارة مضخم غير عاكس

ف حالة مضخم مثالي، التيار الذي يدخل مضخم العملي من القطب (+) يساوي صفر والتيار الذي يدخل من القطب (-) يساوي صفر. فرق الجهد بين مدخلي مضخم العملي يساوي صفر. إذا جهد المدخل  $V_e$  يساوي الجهد بين المقاومتين  $R_1$  و  $R_2$  والتيار الذي يمر في المقاومة  $R_1$  يساوي التيار الذي يمر في المقاومة  $R_2$  ليكون هذا التيار 1 .

#### • كسب الجهد :

بتطبيق قانون قاسم التوتر على مقاومتين نحصل على المعادلة التالية:

$$V_e = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_s$$

و منه نحصل على كسب الجهد  $A_V$  لامضخم العملي لدارة مغلقة (شكل 9.4) لمضخم غير عاكس .

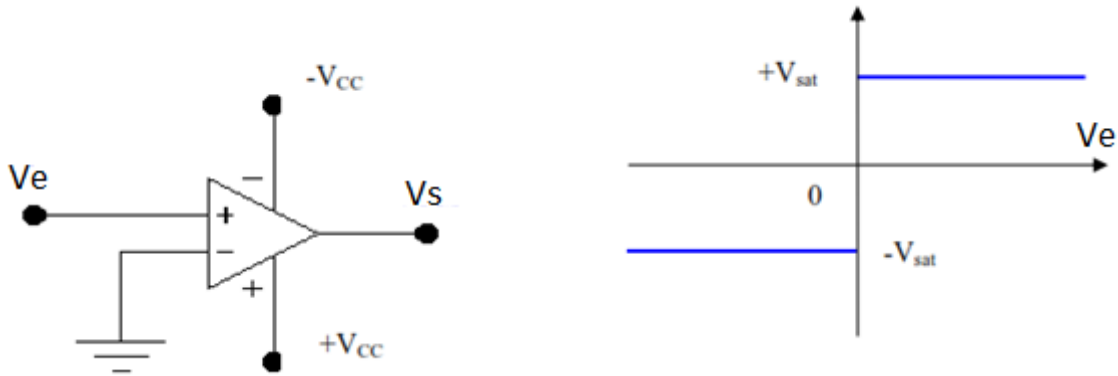
$$A_V = \frac{V_s}{V_e} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_2}{R_1} + 1$$

$$A_V = \frac{R_2}{R_1} + 1$$

### 3.3.4 المضخم المقارن

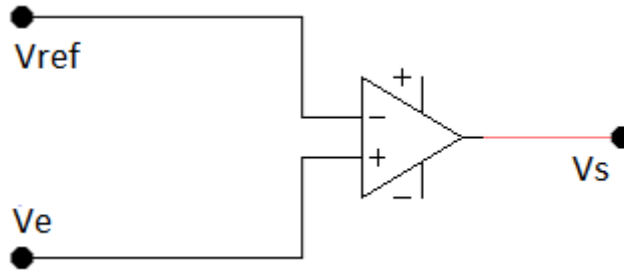
الهدف من المقارن هو مقارنة جهدين عند المدخلين وإنتاج إشارة تدل على أي الجهدين أكبر . حيث في المدخل الأول إشارة جهد وفي المدخل الثاني إشارة جهد مرجعية كما يوضح الشكل 10.4

مقارن بسيط: مخرج مقارن الشكل 18-2-19-2



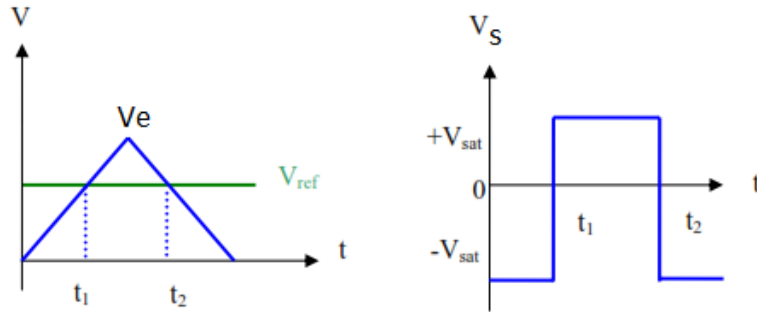
شكل (10.4): دارة المقارن

نلاحظ أن مقاومة التغذية الخلفية لا تستخدم في هذه الدارة . الاستخدام الأساسي لدارة مفتوحة باستخدام مضخم عملي هي مقارنة جهدي المدخل . بدون استخدام التغذية الخلفية يقوم المضخم بمقارنة جهد المدخل المطابق بجهد المدخل العاكس ويوجد الفرق بينهما ويقوم بتضخيمه بنسبة كسب الدارة المفتوحة للمضخم . المخرج الناتج هو مخرج التضخيم إذا لم يصل لجهد التشبع فإذا وصل جهد التشبع يصبح جهد التشبع هو المخرج . أحد التطبيقات التي تستخدم هذه الحقيقة هو كاشف الجهد الموضح بالشكل 11.4 . نستخدم لهذا التطبيق جهداً ثابتاً نسميه جهد المرجع  $V_{ref}$



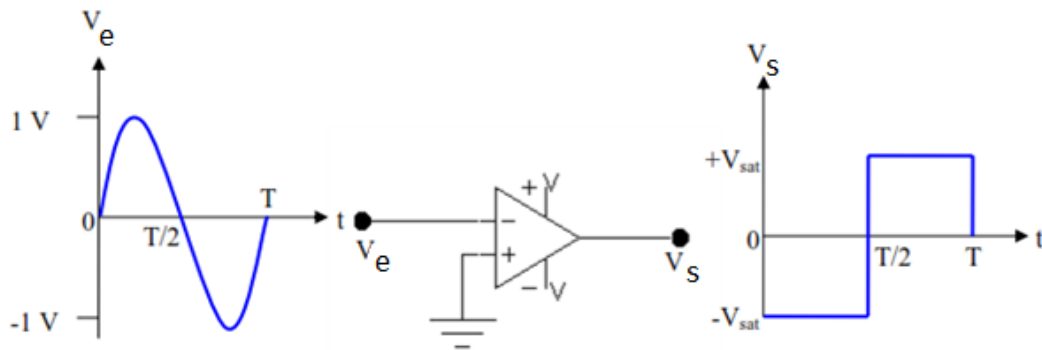
شكل (11.4): دائرة مضخم مقارن مع جهد

عندما يكون جهد المدخل أقل من جهد المرجع يكون الجهد الفرقي سالبا وتكون إشارة المخرج هي جهد التشبع السالب. عندما تكون إشارة المدخل أكبر من جهد المرجع يكون الجهد الفرقي موجبا وتكون إشارة المخرج هي جهد التشبع الموجب. الشكل 2-21 يوضح إشارة المدخل والمخرج ليذه ال دائرة .



شكل (12.4): إشارات مضخم مقارن مع جهد مرجعي

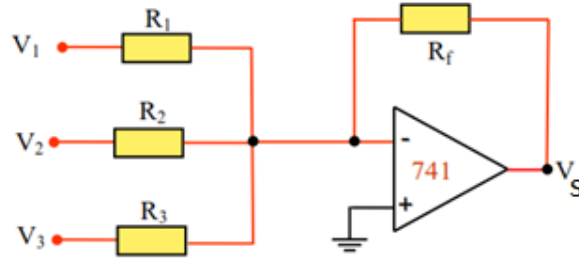
نحصل على نفس النتيجة عند استخدام مدخل جيبي لل دائرة مما يدل على إمكانية استخدام دائرة كمولد إشارات مربعة (الشكل 13.4) وذلك من إشارة جيبيية .



شكل (13.4): جهد المدخل إشارة جيبيية وجهد المخرج إشارة مربعة

#### 4.3.4 المضخم الجامع

يقوم المضخم الجامع بجمع الجهود الموجودة عند المدخل. بالإضافة للتضخيم لذلك فإن مضخم العملي يستخدم أيضا في بعض العمليات الرياضية. مثال ذلك دائرة الجامع المبينة بالشكل 14.4 .



شكل (14.4): دائرة مضخم جامع عاكس

ليكن  $AV_1$  كسب الجهد في حالة وجود جهد مدخل  $V_1$  فقط .

ليكن  $AV_2$  كسب الجهد في حالة وجود جهد مدخل  $V_2$  فقط .

ليكن  $AV_3$  كسب الجهد في حالة وجود جهد مدخل  $V_3$  فقط .

باستعمال مبرهنة التراكب نجد :

$$V_S = AV_1V_1 + AV_2V_2 + AV_3V_3$$

حيث  $AV_1 = -R_F/R_1$  يمثل كسب جهد مضخم عاكس و  $AV_2 = -R_F/R_2$  ،  $AV_3 = -R_F/R_3$

و منه نحصل على عبارة كسب جهد المخرج :

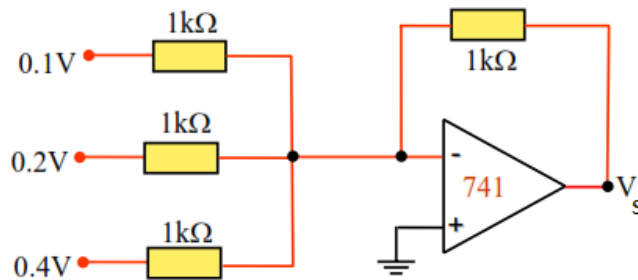
$$V_S = \left( -\frac{R_F}{R_1} V_1 \right) + \left( -\frac{R_F}{R_2} V_2 \right) + \left( -\frac{R_F}{R_3} V_3 \right)$$

إذا كانت كل المقاومات متساوية أي  $R_1 = R_2 = R_3$  تأخذ معادلة  $V_S$  الشكل التالي :

$$V_S = -(V_1 + V_2 + V_3)$$

تبين هذه المعادلة أن إشارة جهد المخرج تساوي جمع إشارات المدخل .

**مثال 1:** حدد جهد المخرج للدائرة الموضحة في الشكل 15.4 :



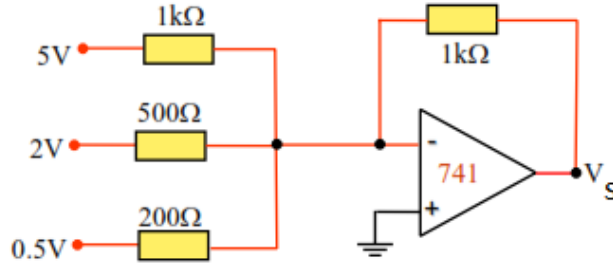
شكل (15.4): مضخم جامع

**الحل:** هناك ثلاثة إشارات مدخل كل منها يعطي جهد مخرج جزئي .  
الجهد الكلي هو مجموع الجهود الجزئية :

$$V_s = -(V_1 + V_2 + V_3) = -(0.1 + 0.2 + 0.4) = -0.7 \text{ V}$$

**مثال 2 :**

حدد جهد المخرج للدارة الموضحة في الشكل 15.5 .



شكل (16.4): مضخم جامع

**الحل:**

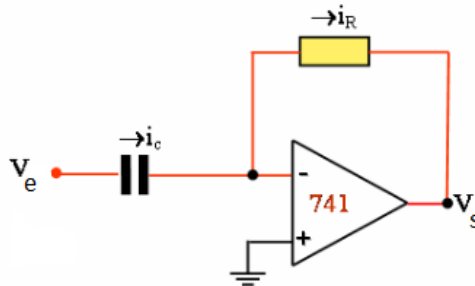
هناك ثلاث إشارات مدخل كل منها يعطي جهد مخرج جزئي .  
الجهد الكلي هو مجموع الجهود الجزئية :

$$V_s = \left( -\frac{R_F}{R_1} V_1 \right) + \left( -\frac{R_F}{R_2} V_2 \right) + \left( -\frac{R_F}{R_3} V_3 \right) = \left( -\frac{1k\Omega}{1k\Omega} 5V \right) + \left( -\frac{1k\Omega}{0.5k\Omega} 2V \right) + \left( -\frac{1k\Omega}{0.2k\Omega} 0.5V \right)$$

$$= -5V - 4V - 2.5V = -11.5V$$

#### 5.3.4 المضخم التفاضلي

بالإضافة للعمليات الحسابية فان للمضخم العملي استخدامات أيضا في عمليات أخرى مثل التكامل والتفاضل. عملية التفاضل عملية رياضية وهي إيجاد معدل التغيير لكمية ما. يظهر هذا المعدل في شكل إشارة المخرج. هنا أيضا للمكثفة دور في العملية مع المضخم العملي.



شكل (17.4): دارة المفاضل باستعمال المضخم العملي

نحسب جهد المخرج بدلالة جهد المدخل أي  $V_s=f(V_e)$

فرق الجهد بين طرفي المقاومة هو :  $V_s = -Ri_R$

فرق الجهد بين طرفي المكثفة هو :  $dq = CdV_e$

قانون التيار هو:  $i_c = \frac{dq}{dt} \Rightarrow dq = i_c dt$

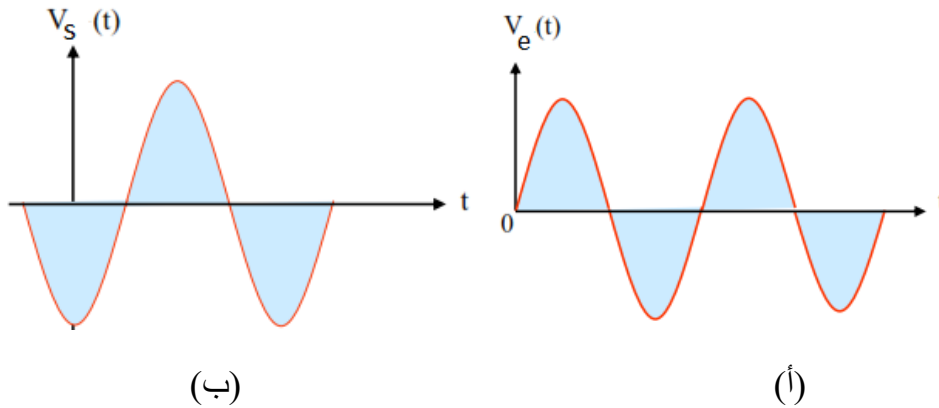
$$i_R = i_c$$

$$V_s = -Ri_R = -R \frac{dq}{dt} = -RC \frac{dV_e}{dt} = -\tau \frac{dV_e}{dt}$$

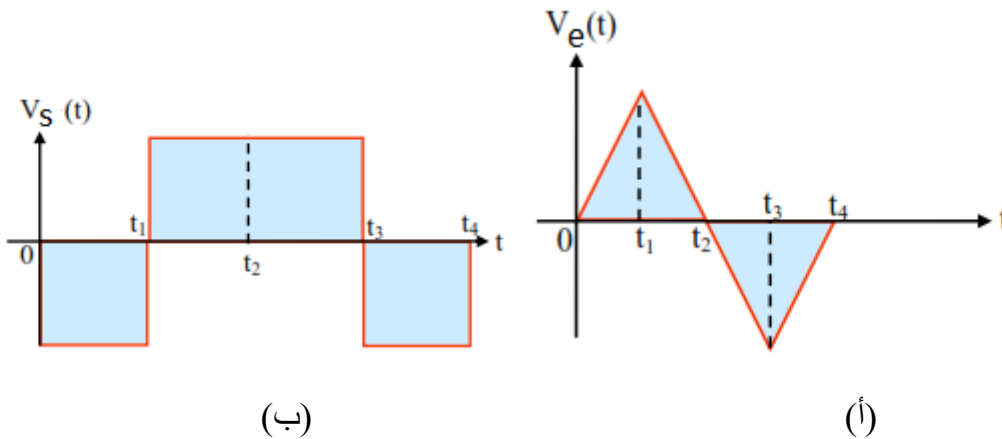
حيث:  $\tau = RC$

هذه العلاقة تبين أن جهد المخرج هو تفاضل جهد المدخل مضروب في  $\tau$ -

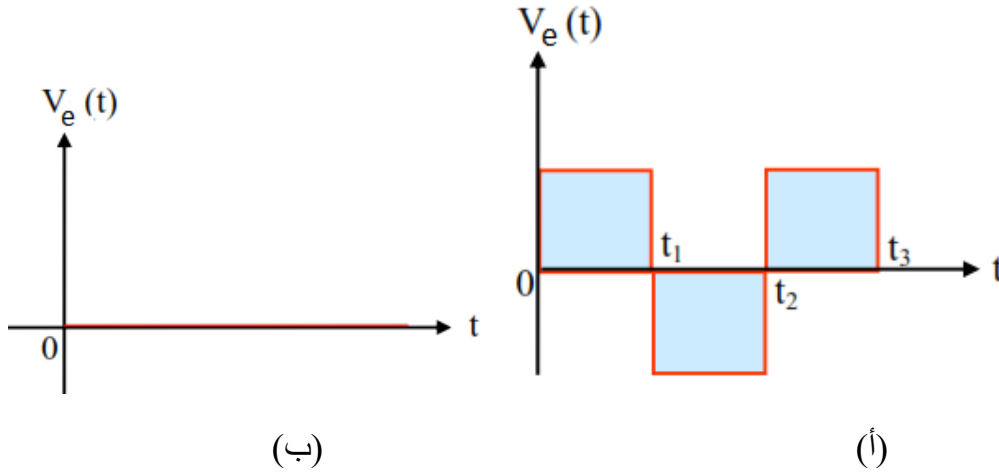
الأشكال 18.4 و 19.4 و 20.4 توضح شكل إشارة المخرج لبعض أشكال إشارات المدخل .



شكل (18.4): إشارة مدخل جيبيية (أ) وشكل إشارة المخرج (ب)



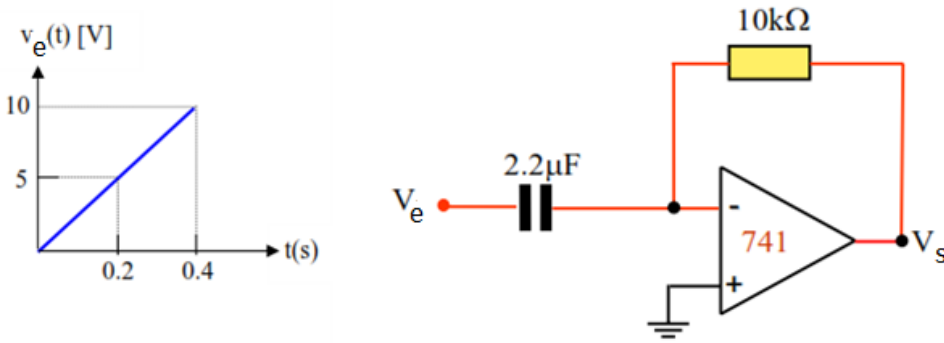
شكل (19.4): إشارة مدخل مثلثية (أ) و شكل إشارة المخرج (ب)



شكل (20.4): إشارة مدخل مربعة (أ) و شكل إشارة المخرج (ب)

مثال :

أوجد جهد المخرج إذا كان المدخل يتغير خطيا من 0V إلى 10 V خلال زمن  $t=0.4$  Sec



شكل (21.4): تغير خطي لإشارة المدخل

الحل :

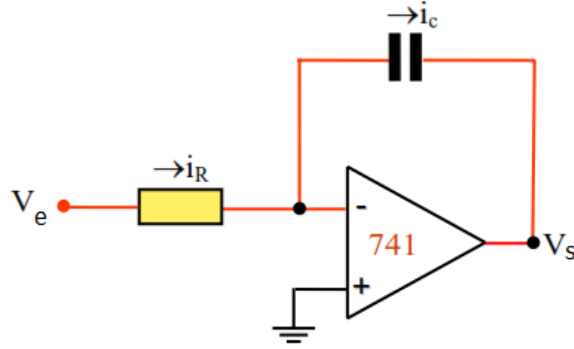
إذا فرضنا أن المدخل يتغير بمعدل ثابت. نجد أن

$$V_s = -RC \frac{DV_s}{dt} = -(10K\Omega)(2.2\mu F) \times \frac{10V - 0V}{0.4Sec} = -0.55V$$

إشارة المخرج تكون ثابتة .

### 6.3.4 المضخم التكامل

التكامل لإشارة إلكترونية هو عبارة عن الجمع في الزمن لقيمة إشارة مدخل الجهد. العنصر الإلكتروني الذي يقوم بهذه العملية هو المكثفة (الشكل 22.4) .



شكل (22.4): دائرة المكامل باستعمال المضخم العملي

فرق الجهد بين طرفي المكثفة C :  $dVs = -dVc$

فرق الجهد بين طرفي المقاومة R :  $Ve = Ri \Rightarrow i = \frac{Ve}{R}$

قانون تعريف الشحنة :  $dq = CdVc \Rightarrow dVc = \frac{dq}{C}$

قانون تعريف التيار :  $i_c = \frac{dq}{dt} \Rightarrow dq = idt$

بالتعويض نجد :  $dVs = -dVc = \left(-\frac{dq}{C}\right) = \left(\frac{idt}{C}\right) = \left(-\frac{dt}{C}\right)\frac{Ve}{R} = -\frac{Ve dt}{RC}$

وبعد القيام بالتكامل نحصل على المعادلة التالية :

$$\Delta Vs(t) = -\frac{1}{RC} \int Vs(t) dt = -\frac{1}{\tau} \int Ve(t) dt$$

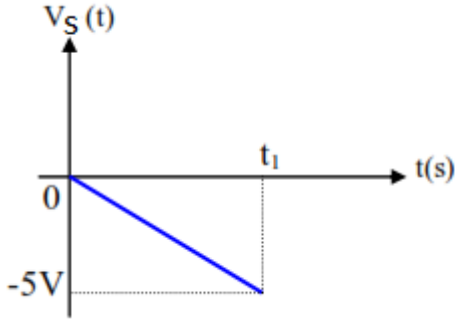
جهد المخرج يساوي تكامل جهد المدخل مضروب في  $(-1/\tau)$

إذا كان جهد المدخل ثابت نحصل على المعادلة التالية :

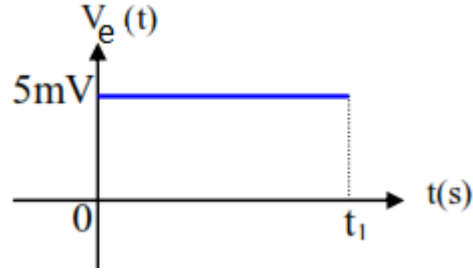
$$\frac{\Delta Vs}{\Delta t} = -\frac{Ve}{\tau}$$

مثلا نفرض أن :  $Ve=5mV, R=1K\Omega, C=1\mu F$  فنجد أن  $Vc(t)=(-5V)t$

هذه النتيجة موضحة بالشكل 23.4.



(ب)



(أ)

شكل (23.4): إشارة المدخل (أ) وإشارة المخرج (ب)

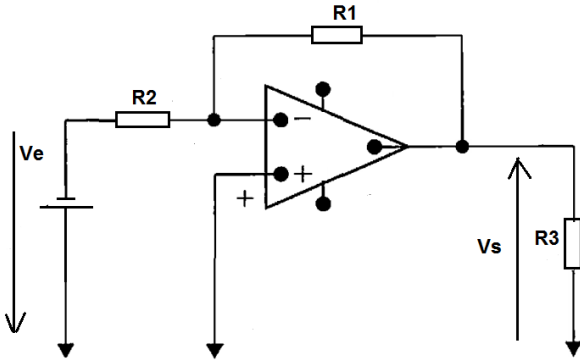
#### 4.4 تمارين الفصل الرابع

##### التمرين الأول:

ليكن التركيب المقابل علماً أن:

$$V_e=0.8V, R_1=15k\Omega, R_2=2.7k\Omega, R_3=22k\Omega$$

1. أحسب التيار المار في المقاومة  $R_3$



##### التمرين الثاني:

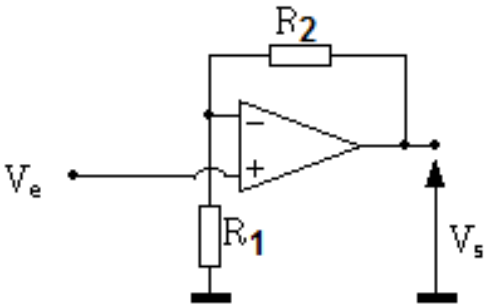
ليكن التركيب المقابل:

1. ماذا يسمى التركيب؟ علل اجابتك

2. أحسب التضخيم في التوتر  $A_v$  اذا اعتبرنا أن توتر

المدخل  $V_e$  إشارة جيبية سعتها  $0.8V$  و  $V_s$  سعتها  $4V$ .

3. اذا كانت  $R_1=1k\Omega$  ، أحسب  $R_2$  و قيمة التيار الفعال  $I_{eff}$

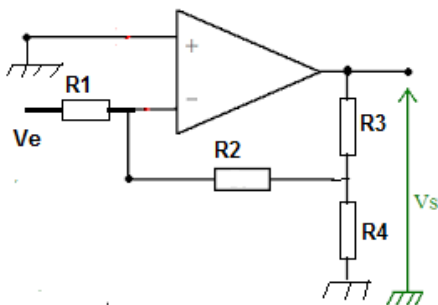


##### التمرين الثالث:

ليكن المضخم العملي العاكس الموضح في الشكل المقابل

1. أوجد عبارة التضخيم في التوتر بدلالة المقاومات.

2. استنتج عبارة التضخيم في حالة  $R_3=0$  و  $R_4=\infty$



حلول التمارين المقترحة

الفصل الثاني: الصمام الثنائي

التمرين الأول:

1. حساب التوتر بين طرفي المقاومة  $R_2$

- من أجل :  $e(t) \geq 0.6V$  ، يكون الثنائي

$D_1$  ممر و  $D_2$  قاطع

و منه:  $V_{R2} = V_{D1} = 0.6V$

- من أجل :  $e(t) < -0.6V$  ، يكون الثنائي

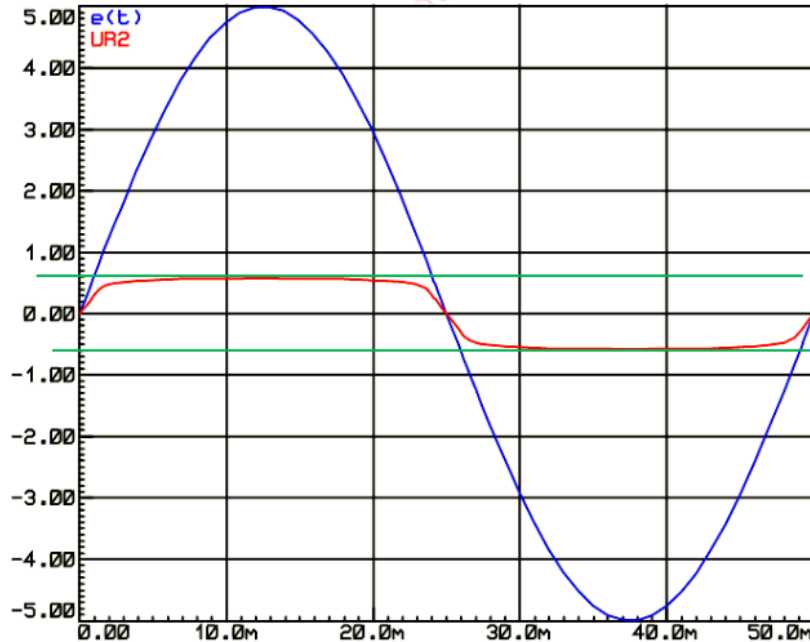
$D_1$  ممر و  $D_2$  قاطع

و منه:  $V_{R2} = -V_{D2} = -0.6V$

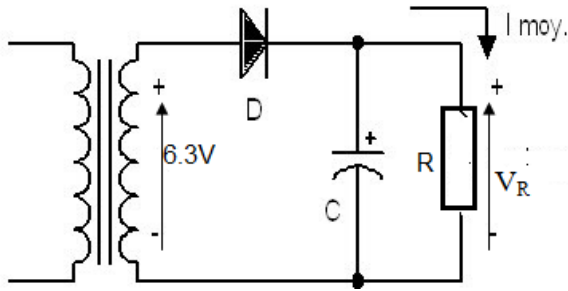
- من أجل :  $-0.6V \leq e(t) < 0.6V$  ، الثنائيان في حالة قطع

و منه :  $V_{R2} = e(t) \times R_2 / (R_1 + R_2)$

2. رسم إشارتي المدخل  $e(t)$  و المخرج  $V_s(t)$



التمرين الثاني:



1. حساب التوتر  $V_{RMAX}$

لدينا:

$$V_{emax} - V_D - V_{RMAX} = 0$$

و منه:  $V_{RMAX} = V_{emax} - V_D$

$$V_{RMAX} = 6.3 \times \sqrt{2} - 0.7 = 8.2V$$

2. حساب توتر التموج  $\Delta V$

لدينا:  $\Delta V = \tau * V_{RMAX}$

$$\Delta V = 0.05 \times 8.2 = 0.41V$$

3. حساب التوتر المتوسط بين طرفي المقاومة  $V_{RMOY}$

$$V_{RMOY} = V_{RMAX} - \Delta V / 2$$

$$V_{RMOY} = 8.2 - 0.41 / 2 = 8V$$

4. حساب سعة المكثفة C

$$C = \frac{I_{moy}}{\Delta V \cdot f} = \frac{200 \cdot 10^{-3}}{0.41 \cdot 50} = 9756 \mu F$$

التمرين الثالث:

1. دراسة التركيب و رسم منحنى توتر المخرج  $V_s(t)$ :

• الشكل 01:

✓ أثناء النوبة الموجبة:

- من أجل  $V_e(t) \leq V_Z$  الثنائي Dz يمثل قاطعة مفتوحة، و منه

$$V_s(t) = V_e(t)$$

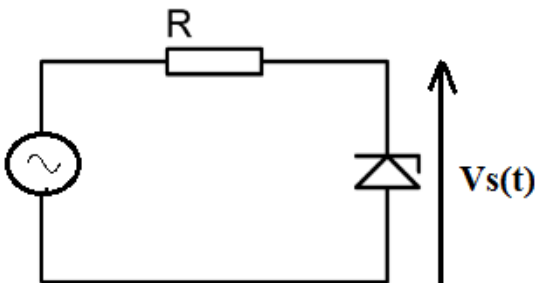
- من أجل  $V_e(t) > V_Z$  الثنائي Dz يمثل مولد مستمر قيمته  $V_Z$

$$V_s(t) = V_Z = 6V$$

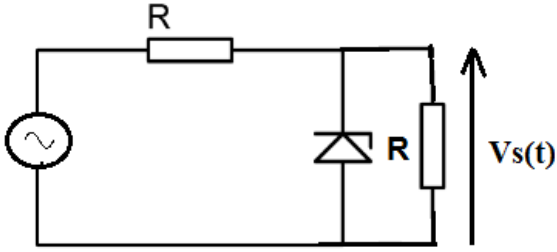
✓ أثناء النوبة السالبة:

- الثنائي Dz مستقطب مباشر و يمثل مولد مستمر قيمته  $0.7V$

$$V_s = -0.7V$$



الشكل 01

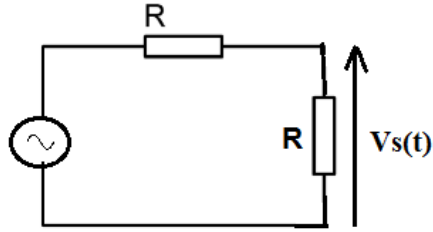


الشكل 02

• الشكل 02:

✓ أثناء النوبة الموجبة:

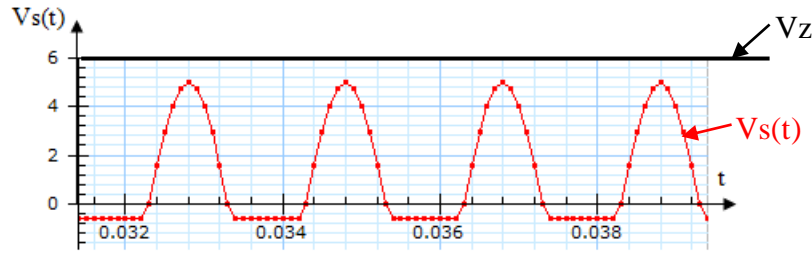
- من أجل  $V_e(t) \leq V_Z$  الثنائي Dz يمثل قاطعة مفتوحة، ويصبح التركيب كالتالي:



$$V_s(t) = \frac{R}{R+R} V_e(t) = \frac{1}{2} V_e(t) = \frac{10}{2} = 5V$$

✓ أثناء النوبة السالبة:

- الثنائي Dz مستقطب مباشر و يمثل مولد مستمر قيمته  $0.7V$  ومنه  $V_s = -0.7V$

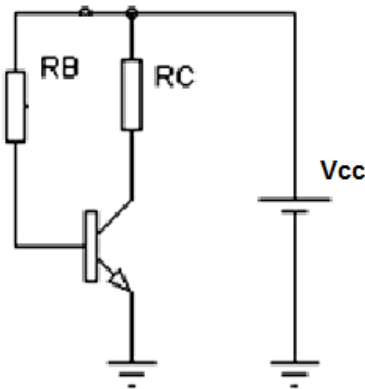


الفصل الثالث: الترانزستور

التمرين الأول:

1. حساب التيارات  $I_C, I_B, I_E$

لدينا:



$$V_{cc} - R_B I_B - V_{BE} = 0$$

$$I_B = \frac{V_{cc} - V_{BE}}{R_B} = \frac{20}{10^6} = 0.02mA$$

$$I_C = \beta I_B = 100 \times 0.02 = 2mA$$

$$I_E = I_C + I_B = 2 + 0.02 = 2.02mA$$

## 2. حساب التوتر Vce

لدينا:

$$V_{CC} - R_C I_C - V_{CE} = 0 \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C = 20 - 10^4 \times 2 \times 10^{-3}$$

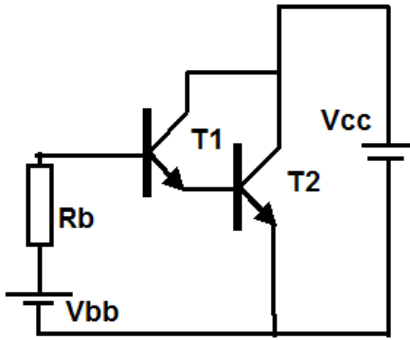
$$V_{CE} = 0V$$

و منه نستنتج أن الترانزستور في حالة تشبع.

التمرين الثاني:

### 1. حساب معامل التضخيم السكوني B المكافئ بدلالة B<sub>1</sub> و B<sub>2</sub>

لدينا:



$$I_C = I_{C1} + I_{C2}$$

$$\beta I_B = \beta_1 I_{B1} + \beta_2 I_{B2}$$

$$\begin{cases} I_{B2} = I_{E1} = I_{B1} + I_{C1} \\ I_{B1} = I_B \\ I_{C1} = \beta_1 I_{B1} \end{cases} \Rightarrow I_{B2} = I_B + \beta_1 I_B$$

$$\beta I_B = \beta_1 I_B + \beta_2 (I_B + \beta_1 I_B)$$

$$\beta = \beta_1 + \beta_2 + \beta_1 \beta_2$$

بما أن:

$$\begin{cases} \beta_1 \beta_2 \ll \beta_1 \\ \beta_1 \beta_2 \ll \beta_2 \\ \beta_1 \beta_2 \ll \beta_1 + \beta_2 \end{cases} \Rightarrow \beta = \beta_1 \beta_2$$

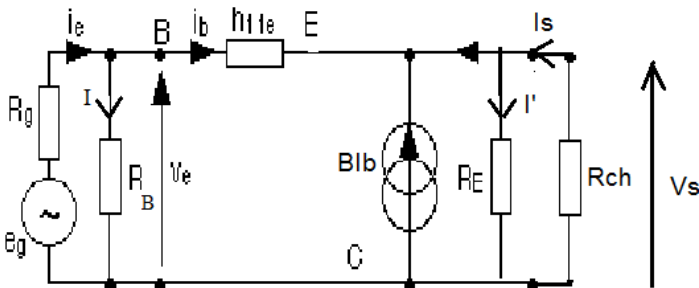
2. يمكن اعتبار هذين الترانزستورين كترانزستور واحد قاعدته هي قاعدة T1 و باعثة هو باعث T2 و جامع مشترك بين جامع T1 و جامع T2 و التوتر V<sub>BE</sub> هو مجموع التوترين V<sub>BE1</sub> و V<sub>BE2</sub>.

التمرين الثالث:

### 1. التصميم المكافئ في النظام الديناميكي:

$$R_b = R_1 // R_2$$

$$B = h_{21}$$



$$R=R_E/R_{ch}$$

2. حساب التضخيم في التوترب Av و التضخيم في التيار Ai :

• التضخيم في التوترب Av

$$A_v = \frac{V_s}{V_e}$$

$$V_e = h_{11}I_B + V_s$$

$$V_s = R(B+1)I_B$$

$$V_e = h_{11}I_B + R(B+1)I_B = [h_{11} + R(B+1)]I_B$$

$$A_v = \frac{R(B+1)}{h_{11} + R(B+1)}$$

• التضخيم في التيار Ai

$$A_i = \frac{I_s}{I_e}$$

$$I_s = -\frac{R_E}{R_E + R_{CH}}(B+1)I_B$$

$$I_e = I + I_B$$

$$R_B I = [h_{11} + R(B+1)]I_B \Rightarrow I = \frac{h_{11} + R(B+1)}{R_B} I_B$$

$$I_e = \left[ \frac{R_B + h_{11} + R(B+1)}{R_B} \right] I_B$$

$$A_i = -\frac{R_E}{R_E + R_{CH}}(B+1) \frac{R_B}{R_B + h_{11} + R(B+1)}$$

3. حساب مقاومتي الدخول Ze و الخروج Zs

• حساب مقاومة الدخول Ze

$$Z_e = \frac{V_e}{V_s}$$

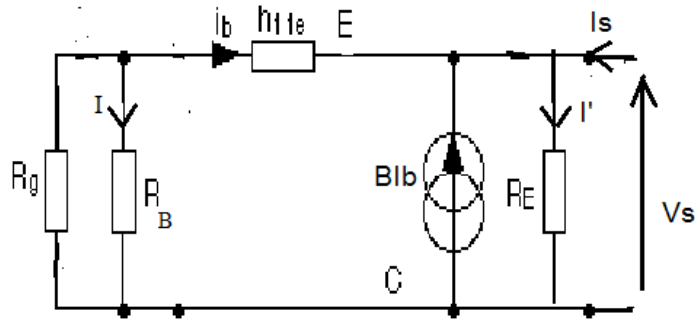
$$V_e = h_{11}I_B + R(B+1)I_B = [h_{11} + R(B+1)]I_B$$

$$I_e = \left[ \frac{R_B + h_{11} + R(B+1)}{R_B} \right] I_B$$

$$Z_e = \frac{R_B[h_{11} + R(B+1)]}{R_B + h_{11} + R(B+1)}$$

• حساب مقاومة الخروج  $Z_S$

لحساب مقاومة الخروج، نقوم بنزع الحمولة و قصر مولد المخرج فيصبح التركيب كالتالي:



$$Z_S = \frac{V_S}{I_S}$$

$$V_S = R_E I'$$

$$V_S = R_E (I_S + (B+1)I_B)$$

$$V_S + (h_{11} + R')I_B = 0 \Rightarrow I_B = -\frac{V_S}{h_{11} + R'}$$

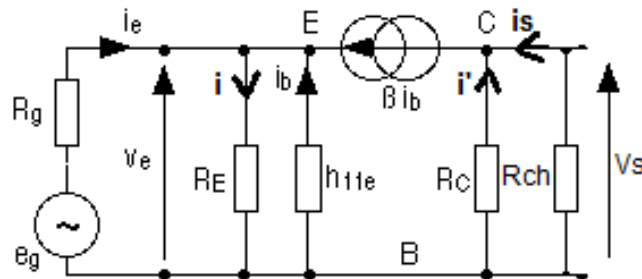
$$V_S = R_E \left( I_S - (B+1) \frac{V_S}{h_{11} + R'} \right) \Rightarrow V_S \left( 1 + R_E (B+1) \frac{V_S}{h_{11} + R'} \right) = R_E I_S$$

$$V_S \left( \frac{h_{11} + R' + R_E (B+1)}{h_{11} + R'} \right) = R_E I_S$$

$$Z_S = \frac{R_E (h_{11} + R')}{h_{11} + R' + R_E (B+1)}$$

التمرين الرابع:

1. التصميم المكافئ في النظام الديناميكي:



نضع:

$$B = h_{21}$$

$$R = R_C // R_{ch}$$

2. حساب التضخيم في التوتر  $A_V$  و التضخيم في التيار  $A_i$  :

- التضخيم في التوتر  $A_V$

$$\begin{cases} V_s = -R_B I_B \\ V_e = -h_{11} I_B \end{cases} \Rightarrow A_V = \frac{R_B}{h_{11}}$$

- التضخيم في التيار  $A_i$

$$A_i = \frac{I_s}{I_e}$$

$$I_s = \frac{R_C}{R_C + R_{CH}} B I_B$$

$$\begin{cases} I_e = I - (B+1) I_B \\ R_E I = -h_{11} I_B \Rightarrow I = -\frac{h_{11}}{R_E} I_B \end{cases} \Rightarrow I_e = -\left( \frac{h_{11}}{R_E} + (B+1) \right) I_B$$

$$A_i = -\frac{B R_C R_E}{(R_C + R_{CH})(h_{11} + R_E (B+1))}$$

3. حساب مقاومتي الدخول  $Z_e$  و الخروج  $Z_s$

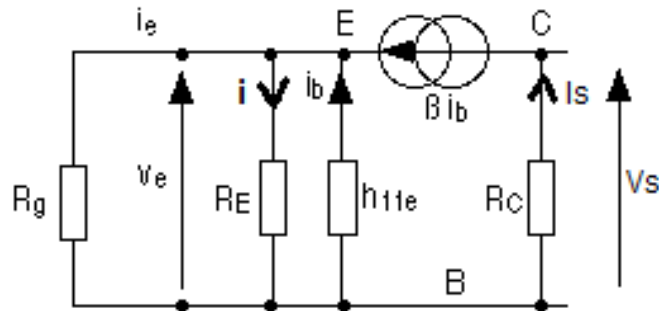
- حساب مقاومة الدخول  $Z_e$

$$Z_e = \frac{V_e}{I_e}$$

$$\begin{cases} V_e = -h_{11} I_B \\ I_e = -\left( \frac{h_{11}}{R_E} + (B+1) \right) I_B \end{cases} \Rightarrow Z_e = \frac{h_{11} R_E}{h_{11} + R_E (B+1)}$$

- حساب مقاومة الخروج  $Z_s$

لحساب مقاومة الخروج، نقوم بنزع الحمولة و قصر مولد المخرج فيصبح التركيب كالتالي:

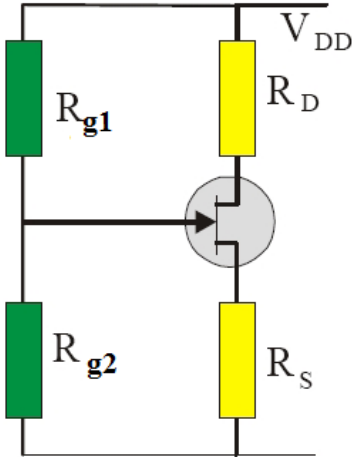


$$\begin{cases} Z_s = \frac{V_s}{I_s} \Rightarrow Z_s = R_C \\ V_s = R_C I_s \end{cases}$$

التمرين الخامس:

حساب قيم التيار  $I_D$  و التوتر  $V_{GS}$

لدينا:



$$V_{GG} = \frac{R_{g2}}{R_{g2} + R_{g1}} V_{DD} = \frac{300}{300 + 700} 20 = 6V$$

$$R_g = R_{g1} // R_{g2} = 210K\Omega$$

$$V_{GG} = R_g I_g + V_{GS} + R_S I_D = V_{GS} + R_S I_D$$

$$I_D = \frac{6 - V_{GS}}{3 * 10^3} = \left( 2 - \frac{V_{GS}}{3} \right) 10^{-3} \rightarrow 1$$

و لدينا:

$$\begin{aligned} I_D &= I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right)^2 = 8 * 10^{-3} \left( 1 + \frac{V_{GS}}{6} \right)^2 \\ &= 8 * 10^{-3} \left( 1 + \frac{V_{GS}}{3} + \frac{V_{GS}^2}{36} \right) = 8 * 10^{-3} + \frac{2}{9} V_{GS}^2 10^{-3} + \frac{8}{3} V_{GS} 10^{-3} \rightarrow 2 \end{aligned}$$

بمساواة 1 و 2 نجد:

$$\left( 2 - \frac{V_{GS}}{3} \right) 10^{-3} = 8 * 10^{-3} + \frac{2}{9} V_{GS}^2 10^{-3} + \frac{8}{3} V_{GS} 10^{-3} \Rightarrow 6 + 3V_{GS} + \frac{2}{9} V_{GS}^2 = 0$$

$$2V_{GS}^2 + 27V_{GS} + 54 = 0 \Rightarrow \Delta = 27^2 - 4 * 2 * 54 = 297$$

$$V_{GS1} = \frac{-27 - \sqrt{297}}{4} = -11.05V$$

$$V_{GS2} = \frac{-27 + \sqrt{297}}{4} = -2.44V$$

بما أن  $V_{GS}$  لا يجب أن يكون أقل من  $V_p$  فإن:  $V_{GS} = -2.44V$

$$I_D = \left( 2 - \frac{V_{GS}}{3} \right) 10^{-3} = \left( 2 + \frac{2.44}{3} \right) 10^{-3} = 2.81 * 10^{-3} A$$

$$\Rightarrow I_D = 2.81mA$$

التمرين السادس:

1. حساب مقاومة القناة  $R_{ds}$  بين المصرف و المنبع لمختلف قيم  $V_{GS}$

$$r_{ds} = \frac{\partial V_{DS}}{\partial I_D} \text{ لدينا:}$$

$$V_{GS} = 0 \text{ V إذا كان } r_{ds} = 125 \Omega$$

$$V_{GS} = -2 \text{ V إذا كان } r_{ds} = 250 \Omega$$

$$V_{GS} = -4 \text{ V إذا كان } r_{ds} = 1K\Omega$$

2. إيجاد قيم توتر المخرج  $V_s$  من أجل كل قيمة للتوتر  $V_{GS}$

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{r_{ds}}{r_{ds} + R}$$

$$V_{GS} = 0V \Rightarrow V_s = \frac{125}{125 + 10^3} 50 * 10^{-3} \Rightarrow V_s = 5.55mV$$

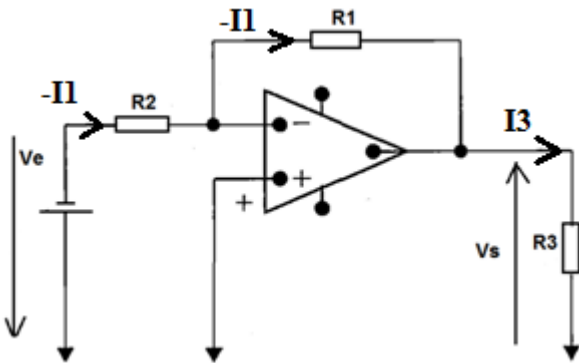
$$V_{GS} = -2V \Rightarrow V_s = \frac{250}{250 + 10^3} 50 * 10^{-3} \Rightarrow V_s = 10mV$$

$$V_{GS} = -4V \Rightarrow V_s = \frac{10^3}{10^3 + 10^3} 50 * 10^{-3} \Rightarrow V_s = 25mV$$

الفصل الرابع: المضخم العملي

التمرين الأول:

1. حساب التيار المار في المقاومة  $R_3$ :



$$V_e = R_2 I_1$$

$$V_s = -R_1 I_1$$

$$\frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_1}{R_2} \Rightarrow V_s = -V_e \frac{R_1}{R_2}$$

$$V_s = -(-0.8) \times \frac{15}{2.7} \Rightarrow V_s = 4.44V$$

$$V_s = R_3 I_3 \Rightarrow I_3 = \frac{V_s}{V_e} = \frac{4.44}{22 \times 10^3} = 0.2mA$$

$$I_3 = 0.2mA$$

التمرين الثاني:

1. يسمى التركيب بالمضخم غير العاكس لأن التوتر  $V_e$  مطبق على المدخل الموجب للمضخم العملي.
2. حساب التضخيم في التوتر  $A_v$  إذا اعتبرنا أن توتر المدخل  $V_e$  إشارة جيبيية سعتها  $0.8V$  و  $V_s$  سعتها  $4V$

$$A_v = \frac{V_s}{V_e} = \frac{4}{0.8} = 5$$

3. حساب قيمة  $R_2$  و قيمة التيار الفعال  $I_{eff}$

• حساب قيمة المقاومة  $R_2$

$$\begin{cases} V_s = (R_1 + R_2)I \\ V_e = R_1 I \end{cases} \Rightarrow \frac{V_s}{V_e} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \Rightarrow \frac{V_s}{V_e} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$\Rightarrow R_2 = \left( \frac{V_s}{V_e} - 1 \right) R_1 \Rightarrow R_2 = (5 - 1)1 = 4K\Omega$$

$$R_2 = 4K\Omega$$

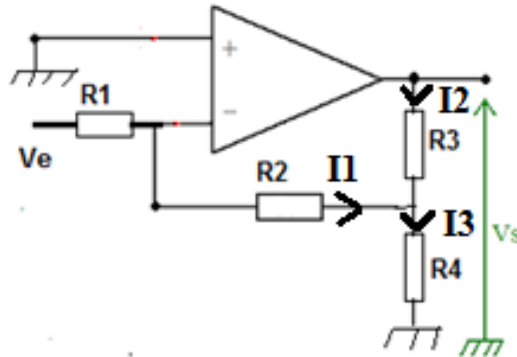
• حساب التيار الفعال  $I_{eff}$

$$I_{max} = \frac{V_s}{R_1 + R_2} \Rightarrow I_{eff} = \frac{V_s}{\sqrt{2}(R_1 + R_2)} = 0.56mA$$

$$I_{eff} = 0.56mA$$

التمرين الثالث:

1. ايجاد عبارة التضخيم في التوتر بدلالة المقاومات.



$$A_v = \frac{V_s}{V_e}$$

$$V_e = (R_1 + R_2)I_1 - R_3I_2 + V_s$$

$$V_e = R_1I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{V_e}{R_1}$$

$$I_3 = I_1 + I_2 \Rightarrow I_2 = I_3 - I_1$$

$$V_e = (R_1 + R_2)\frac{V_e}{R_1} - R_3(I_3 - I_1) + V_s$$

$$V_e = (R_1 + R_2 + R_3)\frac{V_e}{R_1} + V_s - R_3I_3$$

$$R_4I_3 = -R_2\frac{V_e}{R_1} \Rightarrow I_3 = -\frac{R_2}{R_1R_4}V_e$$

$$V_e = (R_1 + R_2 + R_3)\frac{V_e}{R_1} + V_s + R_3\frac{R_2}{R_1R_4}V_e$$

$$A_v = \frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_2R_4 + R_3R_4 + R_2R_3}{R_1R_4} +$$

2. عبارة التضخيم في حالة  $R_3=0$  و  $R_4=\infty$ :

• عبارة التضخيم في حالة  $R_4=\infty$ :

$$A_v = \frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_2R_4 + R_3R_4 + R_2R_3}{R_1R_4} = -\left(\frac{R_2R_4}{R_1R_4} + \frac{R_3R_4}{R_1R_4} + \frac{R_2R_3}{R_1R_4}\right) = \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_3}{R_1} = \frac{R_2 + R_3}{R_1}$$

• عبارة التضخيم في حالة  $R_3=0$ :

$$A_v = \frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_2R_4 + R_3R_4 + R_2R_3}{R_1R_4} = -\left(\frac{R_2R_4}{R_1R_4} + \frac{R_3R_4}{R_1R_4} + \frac{R_2R_3}{R_1R_4}\right) = -\frac{R_2}{R_1}$$

## المراجع

### المراجع

1. م فواز عامر، م سعد الله عقيل، " الألكترونيات"، مهنة التقنيات الكهربائية، الصف الأول المهني الصناعي، الجمهورية العربية السورية، 2013-2014.
2. أسامة عمر مسعود العشي، "مقدمة عن أشباه الموصلات من كتاب تقريبات دوائر الترانزستور"، مكتبة أسامة العشي، ليبيا.
3. أسامة عمر مسعود العشي، "أشباه الموصلات من كتاب تقريبات دوائر الترانزستور"، مكتبة أسامة العشي، ليبيا.
4. مكتبة البخاري "كتاب العناصر الألكترونية، ثنائي شبه موصل"، الكترولنيات صناعية و تحكم، المملكة العربية السعودية.
5. مكتبة البخاري "كتاب العناصر الألكترونية، الموحدات و دوائر التنعيم"، الكترولنيات صناعية و تحكم، المملكة العربية السعودية.
6. Adel SAID, "Support de cours, ELECTRONIQUE GENERALE", Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Nabeul, Tunisie, 2013-2014.
7. Chelbi Hassen, " Utilisation de la Diode à Jonction en Redressement", Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Nabeul, Tunisie.
8. مكتبة البخاري "أساسيات الكهرباء و الألكترونيات، ترانزستور تأثير المجال"، المؤسسة العامة للتدريب الفني و التعليم المهني، المملكة العربية السعودية.
9. "كتاب العناصر الألكترونية، المضخم العملياتي"، الكترولنيات صناعية و تحكم، المملكة العربية السعودية.
10. الكهربائية السنة الثانية و الثالثة من التعليم الثانوي . وزارة التربية الوطنية 1998