

الرقم التسلسلي :

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء



مذكرة : ماستر أكاديمي

تخصص : فيزياء طاغوية والطاقات المتجددة

من إعداد الطالبتين :

الياس الزهرة + حنكة نصيرة

بعنوان :

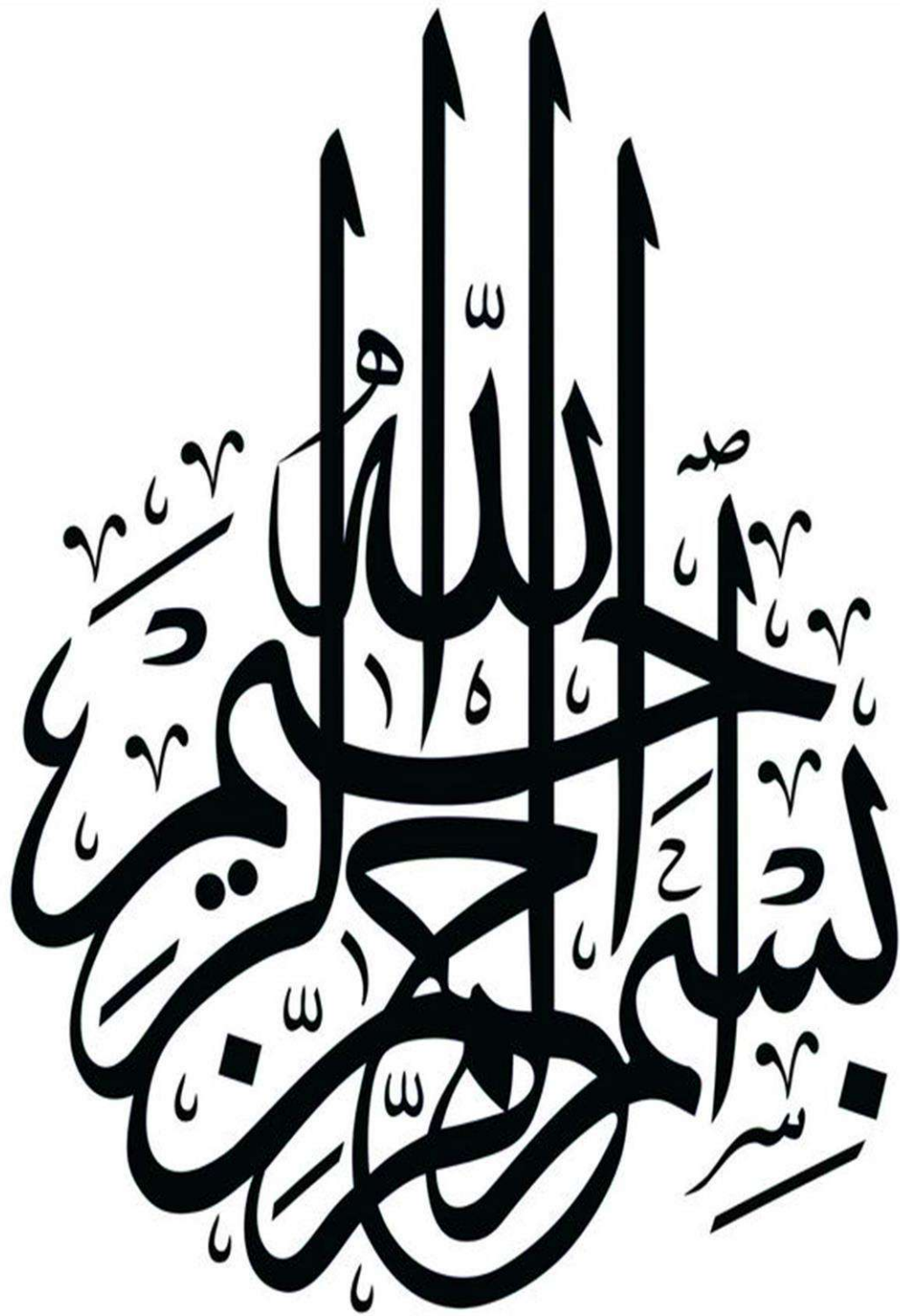
دراسة ومحاكاة الترانزستور ثنائي القطبية سكونياً باستخدام برنامج PSpice

تاريخ المناقشة: 2022/06/08

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة :

مناقشاً	أستاذ محاضر أ	المدرسة العليا للأساتذة	سويقات عبد القادر
مشرفاً ومقرراً	أستاذ محاضر ب	المدرسة العليا للأساتذة	جريوي محمد
رئيساً	أستاذ محاضر أ	جامعة ورقلة	سوداني محمد البار

الموسم الجامعي 2022/2021



شكر و عرفان

اللهم لك الحمد حمداً كثيراً طيباً مباركاً فيه ، نحمدك ربي ونشكرك على
أن يسرت لنا إتمام هذا البحث على الوجه الذي نرجو أن ترضى به عنا
نتوجه بالشكر إلى كل من :

أستاذنا ومشرفنا الفاضل "جريوي محمد " الذي له الفضل على بحثنا
منذ أن كان عنواناً وموضوعاً وفكرة إلى أن صار بحث ومذكرة فله منا
كل الشكر والتقدير والعرفان .

إلى جميع الأساتذة الأفاضل في قسم الفيزياء، والمكلف بالمكتبة
وكذلك نشرك الأستاذ "محسن حسين" الذي ساعدنا وأعاننا في انجاز
هذا البحث و الأستاذة "ال دحراوي نادية " .

والشكر الموصول إلى لجنة الأساتذة المناقشين:

الأستاذ سويقات عبد القادر مناقشاً

الأستاذ سودانى محمد البار رئيساً



الإهداء

الحمد لله وكفى والصلاة والسلام على الحبيب المصطفى وأهله ومن وفى أما
بعد :

وصلت رحلتي الجامعية إلى نهايتها بعد تعب ومشقة وها أنا ذا أختتم بحث
تخرجي وأمتن لكل من كان له فضل في مسيرتي .

إلى الذي ظل يمسك بيدي كلما سقطت ، إلى الذي واجه صعوبة الحياة لأجلي ،
إلى الذي تكبد الغناء ليصنع لي مستقبلي ، إلى الذي وضع الأمل في نجاحي
وأرادني في القمة إلى والدي رحمة الله عليه .

إلى التي سهرت لأجلي وتعبت لنجاحي إلى التي جعل الله الجنة تحت أقدامها
أمي

إلى من قاسموني حنان أمي وعطف أبي إخوتي (عائشة، عبد القادر، محمد
ماهر عيسى، رقية)

إلى أمي الثانية كلثوم عباسي

إلى كل من علمني حرفاً ودلني إلى طريق العلم والاجتهاد



الياس الزهرة

الإهداء

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات حمداً كثيراً طيباً مباركاً فيه كما ينبغي لجلال وجهه ولعظيم سلطانه وكما يليق بعظيم نعمه علينا الحمد لله الذي هدانا إلى طريق العلم والمعرفة الحمد لله الذي وفقنا لإنجاز هذه المذكرة وإتمام هذا البحث العلمي المتواضع والذي اهديه إلى :

إليك أبي وإليك أمي يا من سهرتم على تحفيزي للدراسة يا من علمتموني معنى الصبر والجد وأن لا أستسلم مهما واجهتني الصعوبات

إلى أخواتي ونساء إخوتي وإلى من هم عزوتي وبهم تكتمل فرحتي إخوتي (مصطفى ، عبد الرحمان ، الطاهر ، عبد الحميد ، فرحات ،

(إلياس)

وإلى زوجي الغالي (محمد الحافظ)

وإلى صديقتي العزيزات (رميصاء ، زهرة ، أشواق)

وإلى كل من وقف معي وساندني



حنكة نصيرة

الصفحة	العنوان
.I	بسملة
.II	شكر و عرفان
.III	الإهداء
.V	فهرس المحتويات
.IX	قائمة الأشكال
.XI	قائمة الجداول
.XII	قائمة الرموز
1	مقدمة عامة

الفصل الأول : أشباه الموصلات

الصفحة	العنوان
3	1. تكوين الذرة
3	2. نطاقات الطاقة
3	2.1. نطاق التكافؤ
3	2.2. نطاق التوصيل
3	2.3. النطاق المحظور
3	3. تصنيف المواد
3	3.1. المواد الموصلة
4	2.3. المواد العازلة
4	3.3. المواد شبه الموصلة
6	4. أشباه الموصلات
6	1.4. تعريف أشباه الموصلات
6	5. أنواع أشباه الموصلات
6	1.5. أشباه الموصلات النقية
7	2.5. أشباه الموصلات غير نقية
7	1.2.5. الموصلات من النوع السالب N
7	2.2.5. الموصلات من النوع الموجب p
8	6. حاملات الشحنة الأكثرية والأقلية
8	1.6. كثافة حاملات الشحنة
9	2.6. معادلات الانجراف والانتشار

9	7. طاقة مستوى فيرمي
10	8. معادلة الاستمرارية
10	9. الدابود
11	1.9. الوصلة PN
11	1.1.9. تعريف
11	2.1.9. منطقة الاستنزاف
11	3.1.9. حاجز الجهد
12	4.1.9. مخطط الطاقة للوصلة PN
13	خاتمة الفصل الأول

الفصل الثاني : الترانزستور ثنائي القطبية :

الصفحة	العنوان
15	مقدمة
15	1. تعريف الترانزستور ثنائي القطبية
15	2. تصنيف الترانزستور ثنائي القطبية
15	1.2. الترانزستور تقاطع NPN
16	2.2. الترانزستور تقاطع PNP
16	3. مبدأ عمل الترانزستور ثنائي القطبية
17	4. المميزات الإستاتيكية للترانزستور ثنائي القطبية
17	1.4. دوائر توصيل الترانزستور ثنائي القطبية
17	1.1.4. دائرة الباعث المشترك
18	2.1.4. دائرة القاعدة المشتركة
19	3.1.4. دائرة المجمع المشترك
20	5. خواص الترانزستور
20	1.5. خصائص الوصلات
20	2.5. مفهوم تشغيل الترانزستور ثنائي القطبية
20	6. انحياز الترانزستور ثنائي القطبية
21	1.6. نقطة تشغيل العمل
21	2.6. تحديد نقطة العمل
22	3.6. تحديد منطقة العمل
23	7. نمذجة الترانزستور ثنائي القطبية
24	1.7. النماذج الخطية
24	1.1.7. نموذج r_e
25	2.1.7. النموذج المكافئ الهجين
26	3.1.7. نموذج T
27	4.1.7. نموذج باي الهجين

29	2.7. النماذج غير خطية
29	1.2.7. نموذج ايبرس مول
30	2.2.7. نموذج كوميل بون
31	خاتمة الفصل الثاني

الفصل الثالث :

الصفحة	العنوان
33	مقدمة
33	1. لمحة على برنامج PSpice
34	2. بيانات شبكة المميزات وإيجاد معاملات النموذج الهجين
34	1.2. الخاصية $V_{BE} = f(I_B)$ وحساب معامل h_{11}
35	2.2. الخاصية $I_C = f(I_B)$ وحساب معامل h_{21}
36	3.2. الخاصية $I_C = f(V_{CE})$ وحساب معامل h_{22}
37	4.2. الخاصية $V_{BE} = f(V_{CE})$ وحساب معامل h_{12}
38	3. تأثير درجة الحرارة على المميزات
38	1.3. مميزات الخروج $I_C = f(V_{CE})$
39	2.3. مميزات التحويل $V_{BE} = f(V_{CE})$
39	3.3. مميزات التضخيم $I_C = f(I_B)$
40	4.3. مميزات الدخول $V_{BE} = f(I_B)$
41	4. معالجة تأثير درجة الحرارة على الترانزستور
41	1.4. المقاومة الحرارية للمبرد
43	الخاتمة
45	قائمة المراجع العربية
47	قائمة المراجع الأجنبية
-	الملخص

الصفحة	الشكل	الترقيم
3	أشكال نطاقات الطاقة	الشكل (1-1)
5	معامل التوصيل الكهربائي للعوازل والموصلات وأشباه الموصلات	الشكل (1-2)
5	البناء الذري لذرتي كل من السيلكون و الجرمانيوم	الشكل (1-3)
6	البنية البلورية لذرة السيلكون	الشكل (1-4)
7	شبه الموصل من تطعيم شبه الموصل بذرة الأنتيمون النوع n	الشكل (1-5)
8	شبه الموصل من تطعيم شبه الموصل بذرة الأنتيمون النوع p	الشكل (1-6)
9	حاملات الأقلية والأغلبية في النوعين n- p-type و type	الشكل (7-1)
10	حجم أولي مستخدم لاشتقاق معادلات الاستمرارية	الشكل (1-8)
12	ثنائي الوصلة p-n	الشكل (1-9)
12	منطقة الاستنزاف	الشكل (1-10)
12	مستويات الطاقة قبل وبعد تشكل الوصلة PN	الشكل (1-11)
15	تصنيع وتركيب الترانزستور	الشكل (2-1)
16	بنية الترانزستور PNP و NPN	الشكل (2-2)
17	دائرة الباعث المشترك للترانزستور من النوع npn	الشكل (3-2)
18	منحنى خصائص الخرج لترانزستور الباعث	الشكل (4-2)
18	منحنى خصائص الدخل لترانزستور الباعث	الشكل (5-2)
19	دائرة القاعدة المشترك للترانزستور من النوع npn	الشكل (6-2)
19	منحنى خصائص الخرج لترانزستور القاعدة	الشكل (7-2)
19	منحنى خصائص الدخل لترانزستور القاعدة	الشكل (8-2)
19	دائرة المجمع المشترك للترانزستور من النوع npn	الشكل (9-2)
20	منحنى خصائص الدخل والخرج لترانزستور المجمع	الشكل (10-2)
21	كيفية تحديد نقطة العمل في تقاطع خط الحمل مع خطوط بيانات تيار الدخل في ميزة الخرج	الشكل (11-2)
22	تأثير تغيير قيمة تيار الدخل في دائرة التحيز على موقع نقطة العمل	الشكل (12-2)
22	تأثير تغيير قيمة مقاومات دائرة التحيز على موقع نقطة العمل	الشكل (13-2)
22	تأثير تغيير قيم جهود التغذية في دائرة التحيز على موقع نقطة العمل	الشكل (14-2)
23		الشكل (15-2)

	منطقتا العمل الخطية والغير خطية في ميز الخرج لترانزستور ثنائي القطب	
24	الدارات المكافئة لنموذج آر إي لترانزستور npn	الشكل (16-2)
25	الدارة المكافئة لترانزستور npn	الشكل (17-2)
27	نموذج تي لترانزستور npn بعد إضافة r0	الشكل (18-2)
27	نموذج باي لترانزستور npn و pnp	الشكل (19-2)
27	نموذج باي لترانزستور BJT	الشكل (20-2)
28	نموذج باي لترانزستور npn بعد إضافة r0	الشكل (21-2)
29	نموذج باي الموسع لترانزستور ثنائي القطب من النوع NPN بوصلة الباعث المشترك من أجل الترددات المرتفعة	الشكل (22-2)
29	الدارة الإلكترونية المكافئة لنموذج ايبيرس مول للنوعين NPN PNP	الشكل (23-2)
33	الدارة المكافئة لترانزستور NPN	الشكل (1-3)

الصفحة	العنوان	الشكل
33	الدارة المدروسة	الشكل (3-2)
34	منحنى تغيرات V_{BE} بدلالة I_B في تغيرات V_{CE}	الشكل (3-3)
35	بدلالة I_C في تغيرات I_C منحنى تغيرات	الشكل (3-4)
36	منحنى تغيرات I_C بدلالة I_B في تغيرات V_{CE}	الشكل (3-5)
36	منحنى تغيرات I_C بدلالة V_{CE} في تغيرات I_B	الشكل (3-6)
37	منحنى تغيرات I_C بدلالة V_{CE} في تغيرات درجة الحرارة	الشكل (3-7)
38	منحنى تغيرات V_{BE} بدلالة V_{CE} في تغيرات درجة الحرارة	الشكل (3-8)
39	منحنى تغيرات I_C بدلالة I_B في تغيرات درجة الحرارة	الشكل (3-9)
39	منحنى تغيرات I_B بدلالة V_{BE} في تغيرات درجة الحرارة	الشكل (3-10)

الصفحة	الجدول	الترقيم
5	جدول يبين الفرق بين خصائص كل من العوازل والموصلات وأشباه الموصلات	الجدول (1-1)
20	جدول يبين خواص الوصلات الثلاثية	الجدول (2-1)
25	معاملات النموذج الهجين ومعادلاته	الجدول (2-2)
26	معاملات النموذج المكافئ الهجين	الجدول (2-3)
35	قيم النقطتين A_1 و A_2	الجدول (1-3)
36	قيم النقطتين A_1 و A_2	الجدول (3-2)
37	قيم النقطتين A_1 و A_2	الجدول (3-3)
38	قيم النقطتين A_1 و A_2	الجدول (3-4)

الرمز	التسمية
n	تركيز حاملات الشحنة
p	الفجوة
T	درجة الحرارة
K	تابث بولتزمان
N_V	الكثافة الفعالة للفجوة في نطاق التكافؤ
N_C	الكثافة الفعالة للإلكترونات في نطاق التوصيل
E_F	طاقة مستوى فيرمي
E_V	طاقة عصابة التكافؤ
E_C	طاقة عصابة النقل
m_h	الكتلة الفعالة للثقب
m_n	الكتلة الفعالة للإلكترون
h	تابث بلانك
J_n	كثافة تيار انجراف الإلكترونات
J_p	كثافة تيار انجراف الثقوب
q	شحنة الإلكترون
μ_n	حركية الإلكترونات في نطاق التوصيل
μ_p	حركية الفجوات في نطاق التكافؤ
E	شدة المجال الكهربائي
J	الكثافة الكلية للتيار
σ	التوصيلية
BJT	الترانزستور ثنائي القطبية
BE	وصلة قاعدة-الباعث
CB	وصلة قاعدة-المجمع
I_B	تيار القاعدة
I_E	تيار الباعث
I_C	تيار المجمع
V_{CD}	الجهد بين المجمع والقاعدة
V_{EB}	الجهد بين الباعث والقاعدة
V_{TH}	جهد حراري
β	معامل التكبير
α	نسبة تيار الجامع إلى تيار الباعث
P_{max}	الاستطاعة العظمى
V_{0max}	جهد أعظمي للترانزستور
I_{0max}	تيار الخرج الأقصى
r_e	مقاومة الباعث المتزايدة
h_{11}	عامل مقاومة الدخل

عامل نسبة تحويل الجهد العكسي	h_{12}
عامل نسبة تحويل التيار الأمامية	h_{21}
عامل موصلية الخرج	h_{22}
موصلية منقولة	g_m
مقاومة الخرج	r_0
جهد الخرج	V_0
جهد إيرلي	V_A
عامل ربح الإشارات الصغيرة	β_0

مقدمة عامة

مقدمة

لقد تطورت العلوم الإلكترونية بشكل سريع في السنوات الأخيرة حيث كانت موضوع للعديد من الدراسات مما جعلها في غاية الأهمية حيث أن جميع الميادين تستخدم هذه الأجهزة الإلكترونية في مختلف المجالات.

ومن أهم اكتشافات ميدان الإلكترونيات أشباه الموصلات والثورة التي أحدثتها في هذا المجال، حيث كانت دراستها قد بدأت منذ عام 1920م، إذ تعد أجهزة أشباه الموصلات اليوم من أهم أجهزة الطاقة الذكية و تعتبر مكون رئيسي لجميع أنظمة الطاقة الإلكترونية و تتحكم في %50 من الكهرباء المستخدمة في العالم، ومع الانتشار الواسع للإلكترونيات في قطاع المستهلكين والصناعة والنقل والطب فإن أجهزة أشباه الموصلات لها تأثير كبير على الأنظمة وكفاءتها بعد الاستدلال الأولي للأنايبب المفرغة بأجهزة الحالة الصلبة في الخمسينات من القرن الماضي حيث لعبت أجهزة طاقة أشباه الموصلات دور مهم مع استخدام السيلكون كمادة أساسية ، إلا أنه بعد اختراع الترانزستور عام 1947 لم تلقى أشباه الموصلات الاهتمام الفائق، والبحث اليوم يجري لمعرفة أسرار عالم تفاعل درجة الحرارة مع المواد خصوصاً مواد أشباه الموصلات حيث أن أهم ما في أشباه الموصلات هي الصمامات الثنائية و الترانزستورات وأنها أساس للثورة العلمية لما تقوم به من سرعة في الأداء.

لذا تتمحور دراسة موضوعنا على " ظاهرة النقل الإلكتروني في أشباه الموصلات بتطبيق الترانزستور ثنائي القطبية " وهذا البحث في ثلاث فصول حيث تطرقنا في الفصل الأول إلى عموميات على أشباه الموصلات وشرح خصائصها على المستوى الذري وحزم الطاقة التي تحدد الخواص الإلكترونية للمادة والتي تنقسم إلى ثلاث تصنيفات ومنه خصائص أشباه الموصلات في إختلاف درجات الحرارة وأنواعها ومنه إلى حاملات الشحنة والتيارية الانتشار والانجراف وطاقة مستوى فرمي وختاماً بالوصلة PN .

أما الفصل الثالث فهو لمحة عن برنامج PSpice ومن جهة أخرى محاكاة للترانزستور Q2N2222 و ذلك باستخلاص شبكة البيانات المميزة و استعمالها لحساب المعاملات الهجينة ودراسة تأثير تغيير درجة الحرارة على المميزات ثم البحث عن المبرد المناسب من أجل تخفيض درجة الحرارة وحماية الترانزستور من التلف.

الفصل الأول

1. تكوين الذرة :

تتكون الذرة من نواة تحتوي على بروتونات ونيوترونات تدور حولها إلكترونات في مدارات، تحتوي الذرة على عدد من الإلكترونات (شحنات سالبة) يساوي عدد البروتونات (شحنات موجبة) ولذلك الذرة متعادلة كهربائياً.

2. نطاقات الطاقة :

كل ذرة منفردة لها مستويات طاقة محددة تحمل هذه المستويات الصفة الكمية، وعند اقتراب الذرات من بعضها تتداخل هذه المستويات وتتأثر قيم الطاقة الخاصة بها (مكونات نطاقات من الطاقة). وتنقسم هذه النطاقات إلى ثلاث نطاقات:

1.2. نطاقات التكافؤ:

والتي تنشأ من تداخل مستويات التكافؤ للذرات وتكون الإلكترونات الموجودة بها مقيدة بذراتها أي غير حرة ولا تساهم في عملية التوصيل الكهربائي [1] والذي يحتوي على الإلكترونات التي تشكل غالباً الروابط التساهمية [2].

2.2. نطاقات التوصيل:

وهي التي تنشأ من تداخل مستويات التوصيل وتكون الإلكترونات الموجودة بها غير مقيدة بذراتها أي حرة وهي التي تساهم في عملية التوصيل الكهربائي [1] وهو نطاق الطاقة المسموح والذي يوجد أعلى نطاق التكافؤ مباشرة [2].

3.2. النطاق المحظور :

يفصل بين حزم التكافؤ والتوصيل فجوة من الطاقة والتي تنشأ من تداخل المستويات الغير مسموح للإلكترونات أن تشغلها [1] وهو الطاقة اللازمة لنقل الإلكترونات من نطاق التكافؤ لنطاق التوصيل [3].

3. تصنيف المواد: تصنف المواد حسب قابلية توصيلها للكهرباء إلى ثلاثة أصناف:

1.3. المواد الموصلة :

وهي المواد التي تسمح للتيار الكهربائي بالمرور من خلالها حيث يمتاز مدار التكافؤ لذراتها بوجود إلكترونات حرة أكثر من أربعة إلكترونات كما أنه لا توجد فجوة بين نطاقي التوصيل والتكافؤ أي أنها متداخلة فيما بينها كما يبينها الشكل (1-1) [4،5]، حيث تكون حزمة التوصيل مملوءة بهذه الإلكترونات وتتحرك تحت تأثير المجال الكهربائي أو المغناطيسي والمسبب للتداخل الحاصل بين حزم التكافؤ والتوصيل ولذلك فإن جزءاً من الإلكترونات في حزمة التكافؤ تساهم في عملية التوصيل وتجعل المعدن في أعلى توصيلية كهربائية في حدود $(10^3 - 10^8) (\Omega cm)^{-1}$ [6].

والمواد الموصلة مثل الذهب والفضة والنحاس والألمنيوم [4].

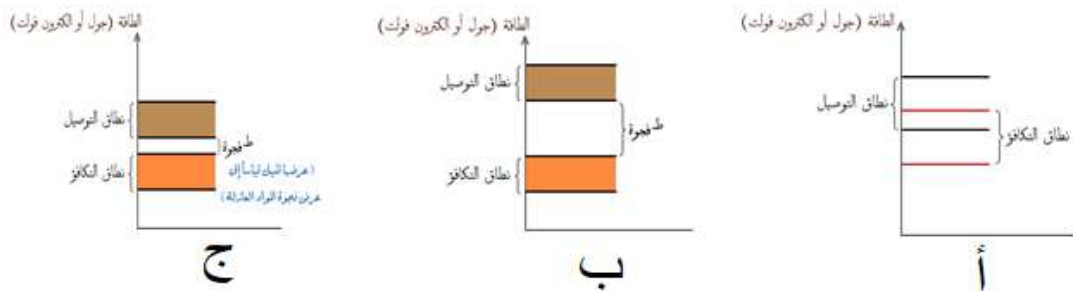
2.3. المواد العازلة :

وهي المواد التي لا تسمح بمرور التيار الكهربائي من خلالها وذلك لانتساع الفجوة بين نطاقي التوصيل والتكافؤ بحيث أنه لا يُمكن للإلكترون من الانتقال من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل أي أن هذا النوع من المواد لا يمتلك إلكترونات حرة [4]، حيث تكون فجوة الطاقة كبيرة جداً وبتحود $5eV$ وتفصل تماماً كل مستويات حزمة التوصيل الفارغة عن حزم التكافؤ المملوءة إذ يكون عرض حزم التوصيل وعرض حزمة التكافؤ صغيراً جداً مقارنة بفجوة الطاقة بين الحزمتين كما يبين الشكل (1-1) [5،7] والتوصيلية الكهربائية في العوازل ضعيفة جداً في حدود $(10^{-18} - 10^{-8}) \Omega \cdot cm$ [6] وتكون الطاقة اللازمة لانتقال الإلكترونات من مستوى (BV) إلى مستوى (BC) بحدود

$$[8]E_g = 10eV$$

3.3 المواد شبه موصلة :

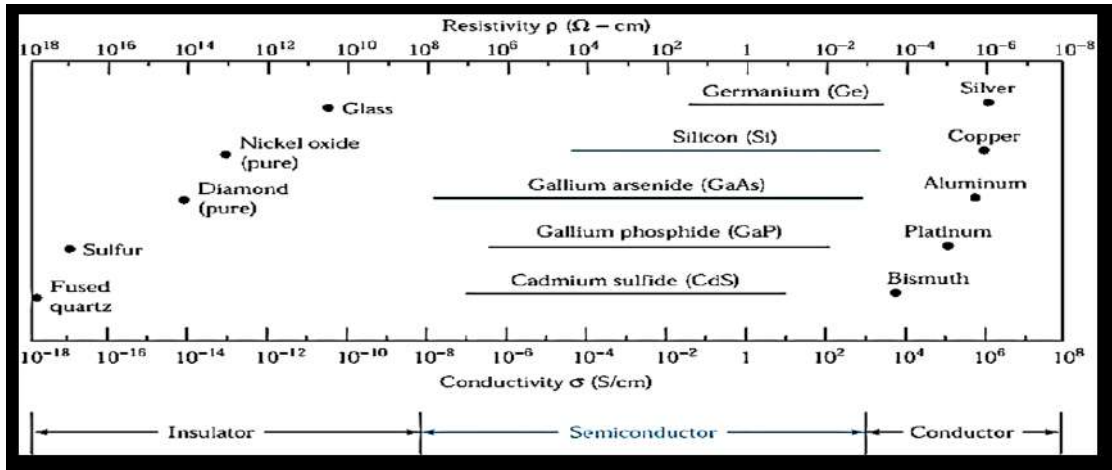
وهي المواد التي تسلك سلوك المواد الموصلة والعازلة حيث تكون الفجوة بين نطاقي التكافؤ والتوصيل صغيرة فهي عند درجة حرارة الصفر المطلق تكون عازلة أما عند زيادة درجة الحرارة فإن الإلكترونات الموجودة في مدار التكافؤ تمتلك طاقة تستطيع بها الوصول إلى نطاق التوصيل [4،9]، وهي المواد التي تكون خصائصها الكهربائية واقعة بين العوازل والموصلات كما في الشكل (1-1)، وذلك بسبب ترتيبها الخاص من الإلكترونات في مستويات الطاقة [9].



الشكل (1-1) أشكال نطاقات الطاقة أ- ناقلة ب- عازلة ج- شبه موصلة [4]

وتتميز أشباه الموصلات بوجود فجوة طاقة صغيرة نسبياً بين قمة حزمة التكافؤ وقعر حزمة التوصيل تتراوح بين $(0 < E_g < 1eV)$ ، لذلك يمكن لبعض إلكترونات التكافؤ عبور فجوة الطاقة المحظورة إلى حزمة التوصيل تاركة ثقب في حزمة التكافؤ، وبفعل المجال الكهربائي المسلط تكتسب الإلكترونات في حزمة التوصيل وكذلك الفجوات في حزمة التكافؤ طاقة حركية تساهم في التوصيل الكهربائي [5] ولهذا فإن التوصيلية الكهربائية في أشباه الموصلات أصغر من الموصلات وأكبر من العوازل في حدود $(10^3 - 10^{-8}) \Omega cm$ [6].

ومن خلال الجدول (1-1) جدول تتبين الفروق بين خصائص كل العوازل والموصلات وأشباه الموصلات من حيث المقاومة النوعية، نطاق التكافؤ، نطاق التوصيل، نطاق الفجوة و تأثير درجة الحرارة.



الشكل (1-2) معامل التوصيل الكهربائي للعوازل ، أشباه الموصلات ، الموصلات [6]

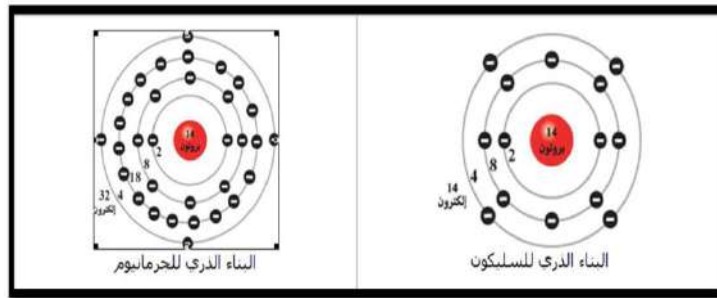
الجدول (1-1) الفرق بين خصائص كل العوازل والموصلات وأشباه الموصلات [10]

وجه المقارنة	المواد الموصلة	المواد شبه الموصلة	المواد العازلة
أمثلة	الفضة - الذهب	السيكون - الجرمانيوم	الزجاج - الخزف
المقاومة النوعية $\sigma(\Omega \cdot m)^{-1}$	من 10^{-8} - 10^{-5}	كبيرة جداً في درجة حرارة الغرفة في المدى من $(10^6 - 10^{16})$	متوسط عند درجة الحرارة العادية
نطاق التكافؤ	مملوء بالإلكترونات	مملوء بالإلكترونات	مملوء بالإلكترونات
نطاق التوصيل	مملوء جزئياً بالإلكترونات عند درجة الحرارة الاعتيادية	خالي من الإلكترونات تماماً في درجة الصفر المطلق	خالي من الإلكترونات الحرة عند درجة الحرارة العادية
طاقة الفجوة	صغيرة جداً (0.01eV)	($2-0.7\text{ eV}$)	كبير جداً (5eV)
تأثير رفع درجة الحرارة على المقاومة	تزداد المقاومة	تنخفض المقاومة بشكل كبير	تنخفض المقاومة ولكنها تبقى كبيرة لدرجة أن المادة الصلبة تنصهر قبل أن تصبح موصلة

4. أشباه الموصلات :

1.4. تعريف أشباه الموصلات :

تتميز ذرات أشباه الموصلات بأربعة إلكترونات في مدار التكافؤ الشكل (1-3) و تكون على شكل عناصر فيزيائية خالصة تقع في العمود الرابع من الجدول الدوري وهي عنصرى الجرمانيوم والسيلكون أو من مواد مركبة ناتجة عن خلط بعض عناصر العمود الثالث كالبورون والألمنيوم والأندنيوم والغالسيوم مع عناصر العمود الخامس كالفوسفور والزرنيخ (الأرسنيد) والبزموت منتجة مواد شبه موصلة كفسفيد الأندنيوم وأرسنيد الغاليوم وغيرها من المركبات التي قد تختلف على العناصر شبه الموصلة الخالصة في بعض خصائصها الكهربائية.

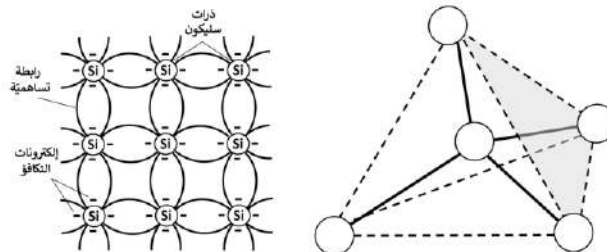


الشكل (1-3) البناء الذري لذرتي السيلكون والجرمانيوم [11]

5. أنواع أشباه الموصلات:

1.5. أشباه الموصلات النقية :

تقع أشباه الموصلات المستخدمة في الأغراض الإلكترونية ضمن المجموعة الرابعة في الجدول الدوري وهذه العناصر رباعية التكافؤ وحتى يكتمل نقاط التكافؤ لابد ان تشارك الأربعة التي حولها بالكتروناتها وتسمى هذه الرابطة بالرابطة التساهمية لتكوين ما يسمى بلورة (Crystal) المادة [12]. يبين الشكل (1-4) تركيباً بلورياً رباعياً لأشباه الموصلات حيث أن وحدة خلية البلورة تتكون من ذرة تحيط بها أربع ذرات وحول كل ذرة توجد أربعة إلكترونات.



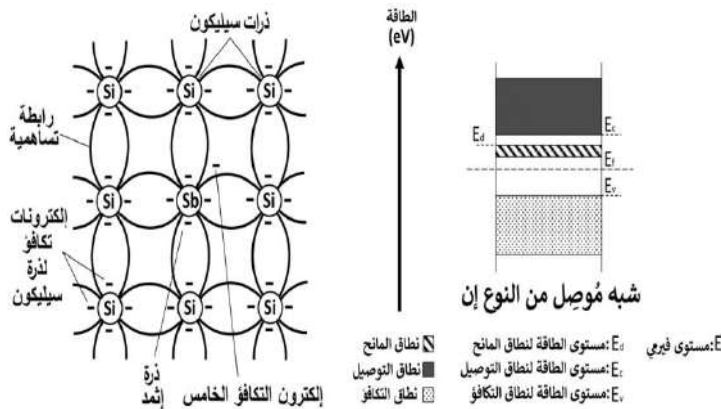
الشكل (1-4) البنية البلورية لذرة السيلكون [4]

5.2. أشباه الموصلات غير نقية :

يصنع هذا النوع عملياً بعملية الحقن (التطعيم) (Dopping) بإضافة كمية محدودة من الشوائب إلى شبه موصل نقي بغرض زيادة عدد حاملات الشحنة بصورة كبيرة، الشوائب المستخدمة هي ذرات عناصر خماسية التكافؤ أو ثلاثية التكافؤ بمعنى وجود خمس أو ثلاث إلكترونات تكافؤ في مدارها الأخير و هو على نوعين سالب N موجب P [13]، حيث النوع الأول يسمى المانح والثاني يسمى النوع القابل [14].

1.2.5. الموصلات من النوع السالب N :

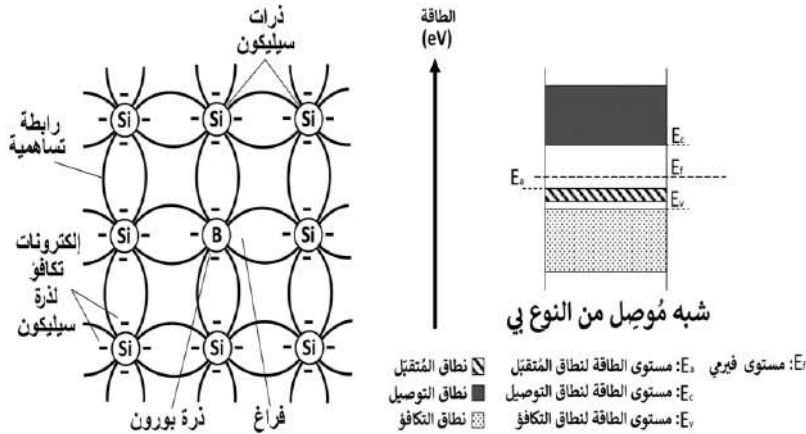
عبارة عن بلورة شبه موصل نقي سيلكون أو جرمانيوم مشوبة ببعض ذرات شائبة خماسية التكافؤ مثل الزرنيخ و التي تحتوي في مستوى الطاقة الأخير على خمس إلكترونات كما في الشكل (1-5)، وكلما زاد عدد ذرات الشائبة زاد عدد الإلكترونات الحرة وبالتالي تزداد قدرة البلورة على توصيل التيار الكهربائي، لأن خاصية التوصيل الكهربائي بها ناتجة عن حركة الإلكترونات السالبة. وينشأ نتيجة لذلك مستوى طاقة جديد قريب جداً من مستوى طاقة التوصيل في شبه الموصل يسمى بالمستوى المانح والذي ينشأ نتيجة لتجمع هذه الإلكترونات في المجال الكهربائي E_g ، ويسمى هذا النوع من أشباه الموصلات الشائبة بالنوع N لأن التيار الناتج سببه حركة الإلكترونات [15].



الشكل (1-5) شبه الموصل من النوع N [16]

2.2.5. الموصلات من النوع الموجب P :

عند إضافة ذرة من مادة شائبة ثلاثية التكافؤ مثل الأنديموم إلى بلورة الجرمانيوم فإنها تشترك مع ثلاثة ذرات جرمانيوم مجاورة مع إيجاد فجوة زائدة تحتاج إلكترون ليمثلها [17] كما في الشكل (1-6)، ويحتاج الإلكترون إلى طاقة قليلة جداً لكي يدخل في فجوة معينة وبذلك يترك خلفه ثقب جديد وعند تسليط مجال كهربائي على بلورة الجرمانيوم الشائبة فإن حركة الثقوب ستتوزع وتتساق نحو القطب السالب مولدة بذلك تيار يدعى بتيار الثقوب current hole [18] والذي ينشأ عنه مستوى طاقة جديد و هو المستوى القابل للشحنات هذا النوع يدعى بشبه موصل شائب من النوع الموجب P-type sehaicarducter لأن الثقوب هي المسؤولة عن حركة التيار [15]، وتدعى الذرات الشائبة الداخلة بالذرات المتقبلة acceptors لتقبلها الإلكترونات من ذرات البلورة الأصلية [18].



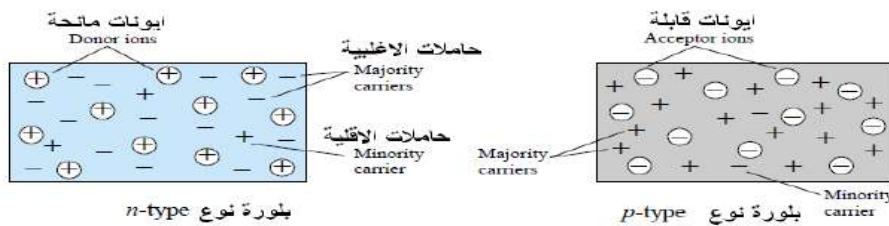
الشكل (1-6) شبه الموصل من النوع P [16]

6. حاملات الشحنة الأكثرية والأقلية :

عند درجة الصفر المطلق تكون حاملات الشحنة هي الإلكترونات فقط لشبه الموصل من النوع الإلكتروني وثقوب فقط لشبه الموصل من النوع الثقبية. أما عند درجة حرارة الغرفة (300°مطلقة) فإنه بالإضافة إلى إلكترونات أو ثقوب الشوائب تكون أزواج إلكترونية-ثقبية ذاتية [19].

شبه الموصل الذي طعم بثلاثة إلكترونات في غلافه الخارجي والذي نتج عنه ظهور ثقب جديد يدعى بشبه الموصل الموجب P-type. وهنا يمكننا أن نعتبر أن الثقوب هي الحاملات الأغلبية Majority Carriers، بينما الإلكترونات الحرة هي الحاملات الأقلية Minority Carriers [20].

شبه الموصل الذي طعم بعنصر له خمس إلكترونات في غلافه الخارجي يسمى بشبه الموصل من النوع السالب N-Type، عندها ستكون الإلكترونات الحرة هي الحاملات الأغلبية Majority Carriers بينما الثقوب ستكون هي الحاملات الأقلية Minority Carriers مثلما يوضح الشكل (1-7) [20].



الشكل (1-7) حوامل الشحنة الأكثرية والأقلية في شبه الموصل (المشوب) [4]

1.6. كثافة حاملات الشحنة :

كثافة الإلكترونات الحرة في عصابة التوصيل وكثافة الثقوب في عصابة التكافؤ تعطى بالعلاقة [18] :

$$P = N_V \exp\left(-\frac{E_F - E_V}{KT}\right) n = N_C \exp\left(-\frac{E_C - E_F}{KT}\right) \quad (1 - 1)$$

N_V الكثافة الفعالة للثقوب في نطاق التكافؤ

$$N_V = 2 \left(\frac{2\pi m_h K T}{h^2} \right)^{3/2} \quad (2 - 1)$$

N_C الكثافة الفعالة للإلكترونات في نطاق التوصيل.

$$N_C = 2 \left(\frac{2\pi m_n K T}{h^2} \right)^{3/2} \quad (3 - 1)$$

m_n, m_h : الكتلة الفعالة للإلكترون والثقب على التوالي، h : ثابت بلانك و K : ثابت بولتزمان.

2.6. معادلات انجراف وانتشار حاملات الشحنة:

كثافة التيار الكلي للفجوات في أشباه الموصلات هي عبارة عن مجموع مركبات تيار الانجراف وتيار الانتشار للفجوات، وكذلك كثافة التيار الكلي للإلكترونات في أشباه الموصلات هي عبارة عن مجموع مركبات تيار الانجراف وتيار الانتشار للإلكترونات حيث [21]:

$$J_n = q n \mu_n E \quad (4 - 1)$$

$$J_p = q p \mu_p E \quad (5 - 1)$$

J_n و J_p كثافة تيار انجراف الثقوب والإلكترونات على التوالي

μ_n : حركية الإلكترونات في نطاق التوصيل $\mu_n = V \cdot E$

μ_p : حركية الفجوات في نطاق التوصيل $\mu_p = V \cdot E$

q شحنة الإلكترون، E شدة المجال الكهربائي

الكثافة الكلية للتيار المار عند أي نقطة:

$$J = J_n + J_p \quad (6 - 1)$$

ومنه الموصلية تساوي إلى:

$$\sigma = \frac{J}{E} = q n_e \mu_n + q p \mu_p \quad (7 - 1)$$

7. طاقة مستوى فيرمي:

يعرف مستوى فيرمي بأنه المستوى الطاقوي الذي يفصل جميع الحالات المشغولة بالإلكترونات في نطاقات الطاقة عن الحالات الفارغة [13]، وهو المستوى الذي من أجله يكون احتمال إشغال حاملات الشحنة مساوياً إلى 50% [22]، بعد مستوى فيرمي E_F مستويًا مرجعيًا نقارن به النسبة بين طاقة الإلكترونات والثقوب في المادة شبه الموصلة. يقع مستوى فيرمي في منتصف المسافة بين حزمة التوصيل والتكافؤ لأشباه النواقل النقية لأن كثافة الإلكترونات في حزمة التوصيل مساوية لكثافة الثقوب في حزمة التكافؤ أي $n=p$ [23].

أما بالنسبة لشبه الموصل من النوع n المطعم بذرات مانحة فإن مستوى فيرمي يقع قريباً من نطاق التوصيل لأن كثافة الإلكترونات في حزمة التوصيل أكبر بكثير من كثافة الثقوب في نطاق التكافؤ

أي $n \gg p$ وهذا ما يعني أنه توجد مستويات طاقة مشغولة بالإلكترونات فوق منتصف نطاق الطاقة، وبالمقابل فإن مستوى فيرمي في نصف الناقل من النوع p يقع فوق نطاق التكافؤ وقريباً منه [22].

$$E_F = \frac{E_C + E_V}{2} + \frac{3}{4} kT \log \left(\frac{m_h}{m_n} \right) \quad (8 - 1)$$

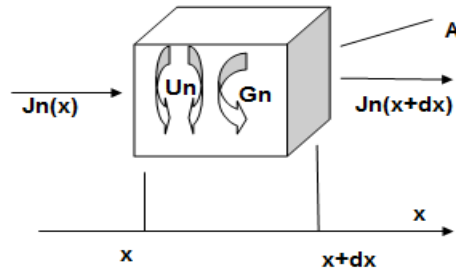
بما أن مستوى فيرمي قريب من منتصف فجوة النطاق وبافتراض أن الكتلة الفعالة للإلكترونات والكتلة الفعالة للثقوب متساوية فإن [8]:

$$E_F = \frac{E_C + E_V}{2} \quad (9 - 1)$$

8. معادلة الاستمرار :

لاشتقاق المعادلات التي تصف تغير حاملات الشحنة نتيجة إحداث إعادة التركيب، نعتبر حجم تفاضلي من مادة شبه موصلة وبفرض أن مساحة المقطع هو A مع طول dx وتكون كثافة التيار الإلكتروني (A/cm^2) داخل الحجم هي $J_n(x)$ وكثافة التيار المتدفق للخارج منه هي $J_n(x + dx)$.

تدفق التيار في بعد واحد في اتجاه x فإن التغير في عدد الإلكترونات الحرة في الحجم $A dx$ يعطى كدالة في الزمن بواسطة عدد الإلكترونات الداخلة للحجم مطروح منه عدد الإلكترونات المتدفقة الخارجة من الحجم زائد عدد من الإلكترونات المتولدة مطروحاً منه عدد من الإلكترونات المعاد اتحادها [5].



الشكل (8-1) حجم أولي مستخدم لاشتقاق معادلات الاستمرارية [20]

$$A \frac{\partial n}{\partial t} dx = A \left(\frac{J_n(x)}{-q} - \frac{J_n(x + dx)}{-q} \right) + A(G_n - U_n) dx \quad (10 - 1)$$

$$J_n(x + dx) = J_n(x) + \frac{dJ_n(x)}{d(x)} dx + \dots \quad (11 - 1)$$

باستخدام النتيجة الأخيرة يمكن كتابة المعادلة (10-1) للحصول على معادلة الاستمرارية للإلكترونات :

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -\frac{1}{q} \frac{\partial J_n(n)}{\partial x} + (G_n - U_n) \quad (12 - 1)$$

بنفس الحسابات نتحصل على معادلة الاستمرارية للفجوات :

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -\frac{1}{q} \frac{\partial J_p(P)}{\partial x} + (G_p - U_p) \quad (13 - 1)$$

9. الدايدود:

1.9 الوصلة PN (PN-Junction):

1.1.9 تعريف: بإدخال المادة الشائبة المناسبة إلى كل من نصفي بلورة يمكن الحصول الوصلة PN كما يبين الشكل (1-8)، وتدعى البلورة عندئذ بالبلورة الثنائية أو الثنائي البلوري وقد اشتهر استعمال نوعين من الثنائيات البلورية هما ثنائي السليكون وثنائي الجرمانيوم و الوصلة تشكل العنصر الأساسي في الخلايا الشمسية وفي المركبات الالكترونية مثل الترانزستور والدارات المتكاملة [24].

2.1.9 . منطقة الاستنزاف Depletionregion:

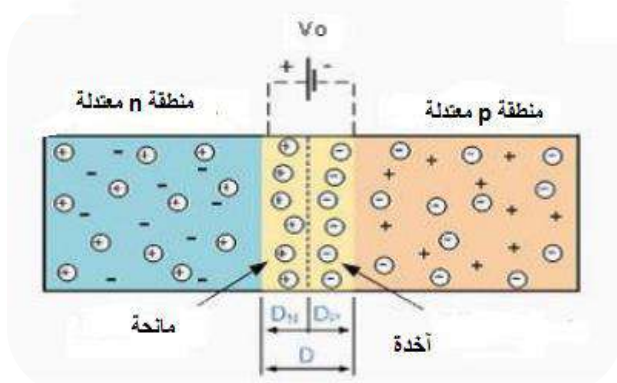
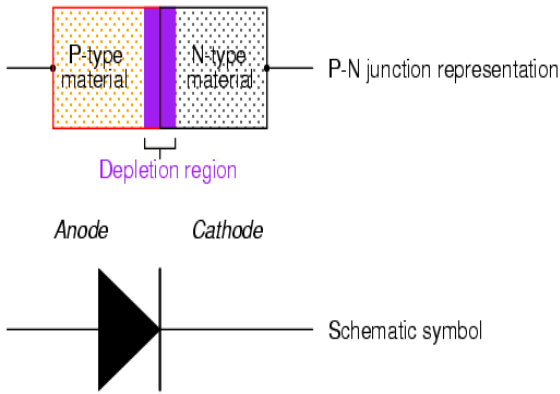
عند جمع نصفي وصلة PN بالطريقة المذكورة أعلاه وبسبب أن تركيز حاملات الشحنة في أي من النوعين (الإلكترونات في النوع السالب والثقوب في النوع الموجب) هو أكبر بكثير مما هو في النوع الآخر مما يشير إلى عدم وجود انتظام في توزيع أي من هذه الحاملات عبر الوصلة أو بعبارة أخرى وجود تحدر في تركيز الإلكترونات ($\frac{dn}{dx}$) في المنطقة السالبة وكذلك تحدر في تركيز الثقوب ($\frac{dp}{dx}$) في المنطقة الموجبة كما يوضحه الشكل (1-9) [18]. وعند ذلك ستتحول منطقة الارتباط تلك إلى ما يسمى بمنطقة الاستنزاف (أو منطقة النضوب) Depletionregion كما يوضحه الشكل (1-9)، ففي هذه المنطقة لن يظهر أي من الإلكترونات الحرة أو الثقوب، ولكن فقط الذي سيظهر هو تلك الذرات المشحونة بالشحنات الموجبة والأخرى المشحونة بالشحنات السالبة [20].

3.1.9 حاجز الجهد The potentialbarrier:

نتيجة لانتقال حاملات الشحنة بين نصفي الوصلة يزداد عدد الإلكترونات في المنطقة (P) وعدد الفجوات في المنطقة (N) وبذلك يتكون فرق جهد بين المنطقتين مولدا مجالا كهربائيا معاكسا لحركة حاملات الشحنة ويستمر انتشار حاملات الشحنة الأغلبية خلال الفاصل إلى أن يصبح المجال الكهربائي المتولد كافيا لإيقاف هذا الانتشار فيحصل التوازن (Equilibrium) حيث أن الإلكترونات الحرة لن تتمكن من العبور من (N) إلى (P) بسبب القوة المعاكسة الناتجة من المجال الكهربائي المتولد، كذلك فإن الفجوات في (P) لن تتمكن من العبور إلى (N) لنفس السبب، إذ يؤدي هذا المجال الكهربائي إلى توليد حاجز جهد (Potentialbarrier) ويدعى الجهد المتولد في حالة التوازن بجهد الوصلة (V_B)، وتعتمد قيمته على نوع المادة فمثلا يكون جهد الوصلة للسليكون ($V_B = 0.7V$) وللجرمانيوم ($V_B = 0.3V$) والشكل (1-11) يبين وصلة ال-PN من السليكون مع تشكل الجهد الحاجز [24].

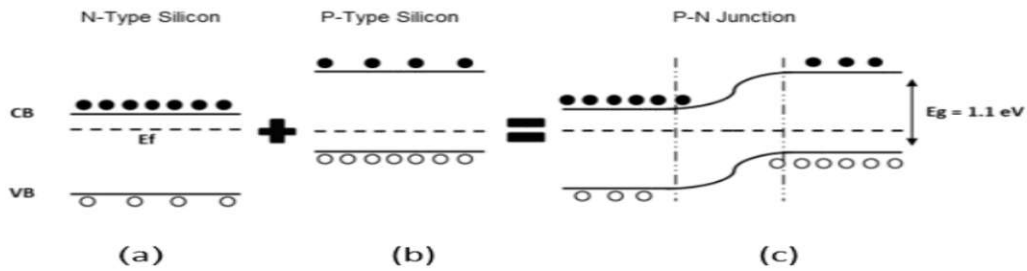
4.1.9. مخطط الطاقة للوصلة PN:

يلاحظ في الشكل (11-1): حزم الطاقة قبل انتشار الإلكترونات عبر الوصلة وقد احتوت الجهة (P) على العديد من الفجوات في حزمة التكافؤ بينما تحتوي الجهة (N) على العديد من الإلكترونات الحرة في حزمة التوصيل وكذلك يلاحظ أن حزم الطاقة للمنطقة (P) قد رسمت أعلى قليلا من حزم الطاقة للمنطقة (N)، وإن سبب ذلك يعود إلى أن ارتباط الإلكترونات بالنواة في ذرات خماسية التكافؤ يكون أقوى من ارتباط الإلكترونات بالنواة في ذرات ثلاثية التكافؤ ومن ثم فإن الطاقة الكامنة للإلكترونات في الذرات الخماسية التكافؤ تكون أصغر من الطاقة الكامنة للإلكترونات في الذرات الثلاثية التكافؤ، أي أن الطاقة اللازمة لتحريرها تكون أكبر، ولهذا فإن المدارات في ذرة ثلاثية التكافؤ في جهة P تكون أكبر بقليل من مدارات ذرة خماسية التكافؤ جهة N وهذا يفسر سبب كون حزم (P) أعلى قليلا من حزم (N).



الشكل (10-1) منطقة الاستنزاف في ثنائي الوصلة p-n [22]

الشكل (9-1) ثنائي الوصلة p-n [25]



الشكل (11-1) مستويات الطاقة قبل و بعد تشكل الوصلة PN [27]

خاتمة الفصل الأول

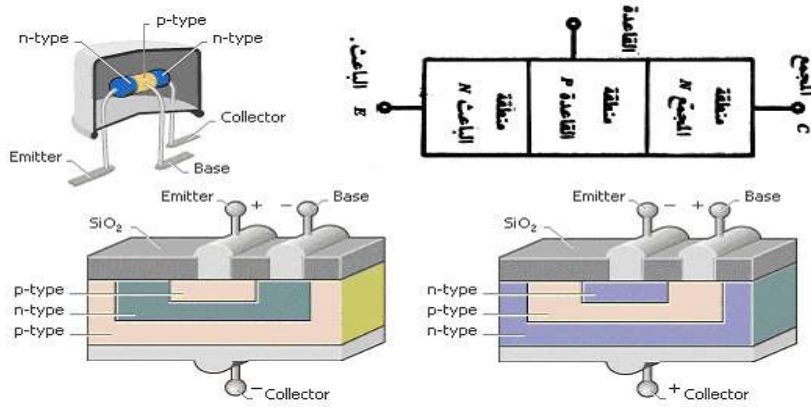
من خلال هذا الفصل تمكنا من معرفة المادة الأساسية لصناعة المركبات و هي أنصاف النواقل و ذلك بالتطرق إلى أشباه النواقل النقية و المشوبة بنوعيها السالبة و الموجبة ثم حزم الطاقة الموافقة و تراكيز حاملات الشحنة و بعد ذلك تطرقنا إلى نوعي التيار الذي ينشأ في نصف الناقل و في الختام تناولنا الوصلة NP و التي تعتبر الحجر الأساس في صناعة المركبات الالكترونية.

الفصل الثاني

مقدمة :

تم تصنيع الترانزستور لأول مرة في عام 1947م في مختبرات Bell، نتيجة للدراسات التي قام بها العلماء الأمريكيون والتر وجون باردين وويليام شوكلي [27].

أصبح الترانزستور ثنائي القطب متاحًا للاستخدام التجاري في منتصف الخمسينيات من القرن العشرين، وكان حجر الأساس والعمود الفقري لصناعة الإلكترونيات، لاستخدامه بدلاً من الصمامات الإلكترونية الشائعة في ذلك الوقت، ويتميز بصغر حجمه ويصنع الترانزستور ثنائي القطب من خلال أخذ ركيزة من السيليكون من النوع P، والتي تنشأ عليها منطقة من النوع N مخدر بشدة تسمى المجمع المدفون، والذي سيكون دوره هو تقليل المقاومة بين التلامس، كلها معزولة عن بعضها البعض بواسطة وصلات PN، كما يتم إنشاء مناطق من أكسيد السيليكون لتوفير عزل جانبي بين الترانزستورات، بعد ذلك يتم تطبيق طبقة من السيليكون يتم فيها تقسيم منطقة الفراغ إلى نوع p (البورون) لتشكيل القاعدة والنوع n لتشكيل الباعث [28].



الشكل (2-1) تصنيع وتركيب الترانزستور [29]

1. تعريف الترانزستور ثنائي القطبية Bipolar Junction Transistor :

هو عنصر إلكتروني فعال شبه موصل ثلاثي الطبقات، يتكون من طبقتين من نفس النوع تفصل بينهما طبقة ثالثة مغايرة [30، 31].

2. تصنيف الترانزستور ثنائي القطبية :

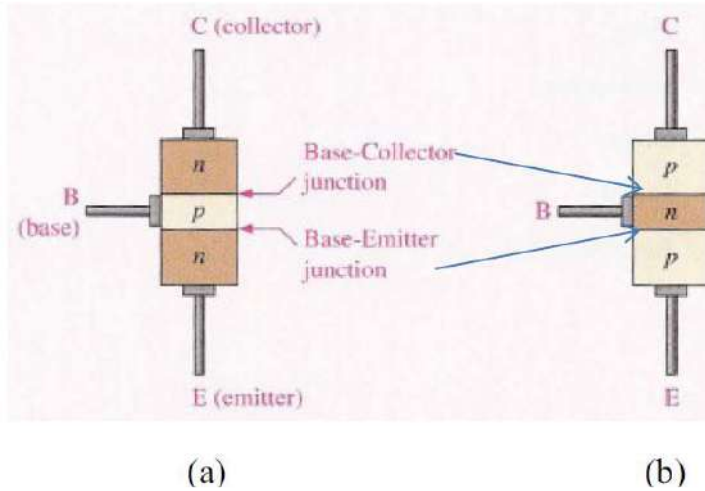
1.1.2. ترانزستور NPN:

حيث يتكون الترانزستور NPN من نوعين من أشباه الموصلات النوع الأول (N) الذي يسمى الباعث أو الجامع. كما تفصل بينهم طبقة من النوع (P) وتسمى القاعدة الشكل (2-2)، حيث تتميز منطقة الباعث من النوع n المطعم بشدة بكثافة توصيل عالية جداً حيث تنتشر إلكترونات النطاق الحرة بسهولة من خلال وصلة BE في منطقة القاعدة من النوع p المطعم بنسبة قليلة [32، 33].

2.2. ترانزستور PNP:

حيث يتكون الترانزستور PNP من نوعين من أشباه الموصلات النوع الأول (P) الذي يسمى الباعث أو الجامع، كما تفصل بينهم طبقة من النوع (N) وتسمى القاعدة الشكل (2-2).

يمكن التمييز بينهما من خلال التركيبة الثلاثية كما هو واضح و من الإسم ونوعية الحاملات الأكثرية التي تسبب التيار الرئيسي، فهي الإلكترونات في الترانزستور NPN بينما هي الثقب (الفجوات) في ترانزستور PNP وبالتالي تكون اتجاهات التيار أيضاً معكوسة، ويطلق نفس الأمر على إشارات الخرج وجهود الإنحياز [34، 35].



الشكل (2-2) بنية الترانزستور (a) -NPN و (b) -PNP [29]

3. مبدأ عمل الترانزستور ثنائي القطبية :

يتألف الترانزستور من ثلاثة أطراف هي: المجمع والقاعدة والباعث، يتم وصل أحد أطرافه بإشارة الدخول والطرف الآخر يوصل بإشارة الخروج، أما الطرف الثالث فيكون مشتركاً ما بين إشارتي الدخول والخروج، أما القاعدة فتعمل كمفتاح للتشغيل أو للإطفاء، وعندما يسري التيار الكهربائي باتجاه القاعدة سيسري التيار من المجمع إلى الباعث، هنا يكون المفتاح بوضع التشغيل، وفي حال عدم سريان التيار إلى القاعدة سيكون المفتاح بوضع الإطفاء كونه لا يوجد تيار يسري من القاعدة للباعث [36].

يوضح الشكل الترانزستور n-p-n منحازاً في المنطقة النشطة (انظر انحياز الترانزستور)، يكون الانحاء BE متحيزاً للأمام بينما يتم عكس انحراف CB عرض منطقة استنفاد الوصلة BE صغيرة بالمقارنة مع وصلة CB ويقل التحيز للأمام عند نقطة التوصيل BE من احتمالية الحاجز ويؤدي إلى تدفق الإلكترونات من الباعث إلى القاعدة. ونظراً لأن القاعدة رقيقة ومخدر قليلاً فإنها تتكون من ثقوب قليلة جداً، لذا فإن بعض الإلكترونات من الباعث (حوالي 2٪) تعيد التواء مع الثقوب الموجودة في منطقة القاعدة وتتدفق من القاعدة الطرفية. وبشكل هذا التيار الأساسي، ويتدفق بسبب إعادة تجميع الإلكترونات والثقوب (لاحظ أن اتجاه تدفق التيار التقليدي هو عكس اتجاه تدفق الإلكترونات). العدد الكبير المتبقي من الإلكترونات سيعبر تقاطع المجمع المتحيز العكسي لتشكيل تيار المجمع.

$$I_E = I_B + I_C \quad (1 - 2)$$

التيار الأساسي صغير جداً بالمقارنة مع التيار و الباعث جامع وهنا، غالبية حاملات الشحنة هي إلكترونات. إن عملية الترانزستور p-n-p هي نفس طريقة n-p-n، والفرق الوحيد هو أن غالبية حاملات الشحنة هي ثقوب بدلاً من الإلكترونات. يتدفق تيار جزء صغير فقط بسبب ناقلات الأغلبية ومعظم التدفقات الحالية بسبب ناقلات الشحنة الأقلية في BJT. ومن ثم يطلق عليهم اسم أجهزة الناقل للأقلية[36].

4. المميزات الإستاتيكية للترانزستور ثنائي القطبية :

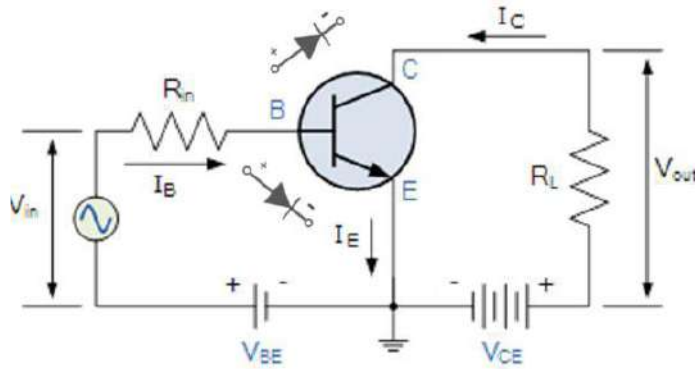
في الترانزستورات أربع متغيرات (تيار المجمع I_C وفرق الجهد بين المجمع والقاعدة V_{CB} و تيار الباعث I_E وفرق الجهد بين الباعث والقاعدة V_{EB}) ولصعوبة دراسة العلاقات بين هذه المتغيرات الأربعة في نفس الوقت لذا يجب تثبيت متغيرين عند قيم محددة ودراسة علاقة المتغير الثالث بالمتغير الرابع. و توجد ثلاث طرق لتوصيل الترانزستور في الدارة الإلكترونية والتي تحوي أحياناً دارتين صغيرتين ، حيث تعتبر إحداهما دارة الدخل والأخرى دارة الخرج، ولكن إذا كان الباعث هو المشترك في الدارتين يكون التوصيل ذا باعث مشترك، وكذلك بالنسبة للمجمع والقاعدة. وفي كل طريقة من هذه الطرق الثلاثة يمكن دراسة منحنيات الخواص (المميزات الإستاتيكية للترانزستور) وذلك بتقسيمها إلى مجموعتين (منحنيات خواص الخرج ومنحنيات خواص الدخل) [37].

1.4.1 دوائر توصيل الترانزستور ثنائي القطبية :

للترانزستور ثلاث دارات أساسية تعتمد على طرف الترانزستور المشترك بين مدخل الدارة ومخرجها، وتعطي كل دارة بعض الفوائد أو المميزات لكنها لا تخلو من بعض المساوئ أو القصور، ويتم اختيار الدارة المناسبة حسب التطبيق المراد ، هي دارات تضخيم الترانزستور وهي ثلاث دارات [36].

1.1.4.1 دارة الباعث المشترك Common Emitter:

يبين الشكل (2-3) دارة الباعث المشترك، حيث يكون الباعث هو الطرف المشترك بين مدخل الدارة ومخرجها:



الشكل (2-3) دارة الباعث المشترك للترانزستور من أنواع npn [38]

ومن مميزات أن التيار الخارج من الترانزستور يكون مساوي للتيار الداخل أي $I_E = I_B + I_C$

معامل تكبير التيار ($\frac{I_C}{I_B}$) في هذا التوصيل كبير جداً ، ويرمز له بالرمز β

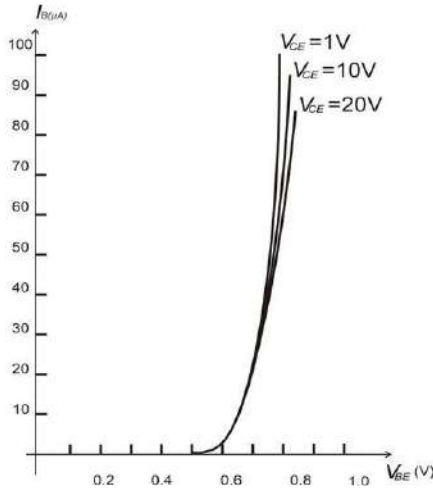
$$20 \leq \beta \leq 200$$

نسبة التيار الجامع إلى تيار الباعث ($\frac{I_C}{I_E}$) قيمتها أقل من الواحد ، ويرمز لها بالرمز α ،

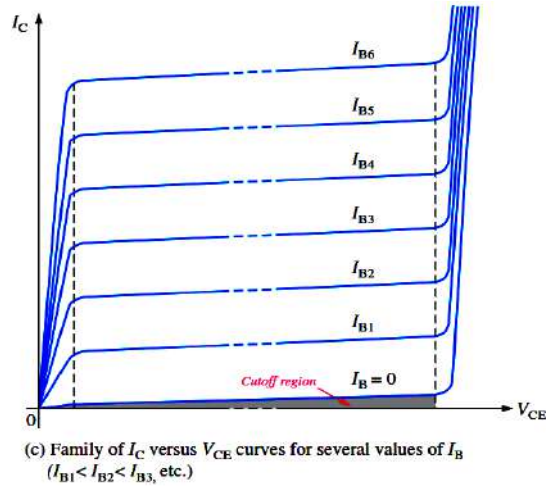
تيار القاعدة المتدفق يتحكم في تيار (الجامع - الباعث)

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}, \beta = \frac{I_C}{I_B}, I_C = \alpha I_E = \beta I_B, \alpha = \frac{\beta}{\beta-1}, \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

وهذا النوع من التوصيل ذا ربح في التيار والقدرة أعلى من تيار القاعدة المشتركة، وذا ربح في الفولتية، كما أنه دائرة مضخمة عاكسة أي تغيير الإشارة في المخرج 180 درجة عن الإشارة في المدخل [38] .



الشكل (5-2) منحنى خصائص الدخل لترانزستور الباعث المشترك [39]

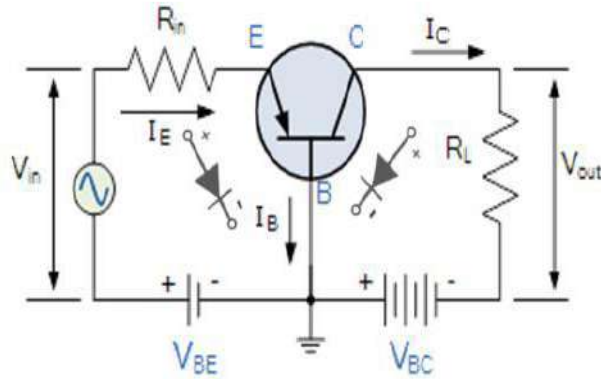


الشكل (4-2) منحنى خصائص الخرج لترانزستور الباعث المشترك [38]

2.1.4. دائرة القاعدة المشتركة Common base :

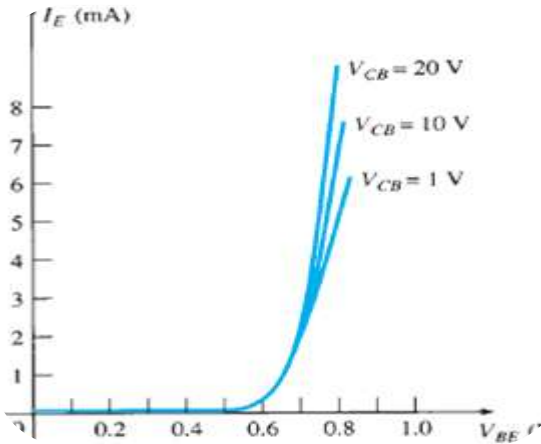
يكون في هذه الدارة طرف الترانزستور القاعدة كما هو مبين في الشكل (5-2) هو الطرف المشترك بين المدخل والمخرج ومن ميزاتنا :

تيار الدخل المار خلال الباعث كبير لأنه يساوي إلى مجموع كل من تيار القاعدة والمجمع وتيار المجمع أقل من تيار الدخل للباعث أي ربح التيار للدائرة يساوي الواحد أو أقل وهذا ما يقلل من إشارة الدخل و دائرة جهد غير عاكس أي جهد إشارة الدخل V_{in} مساوي لجهد إشارة الخرج V_{out} [38] .

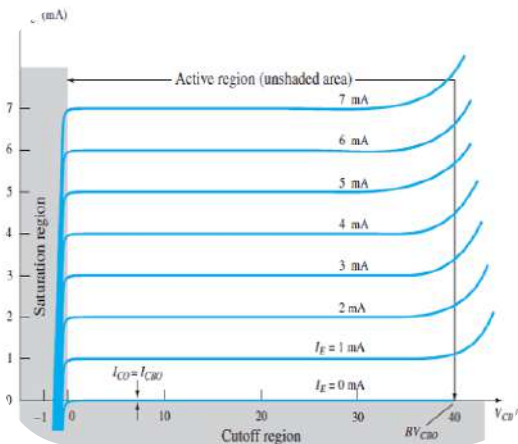


الشكل (6-2) دائرة القاعدة المشتركة للترانزستور pnp [38]

المنحنيات المميزة للخواص في حالة توصيل الترانزستور قاعدة مشتركة :



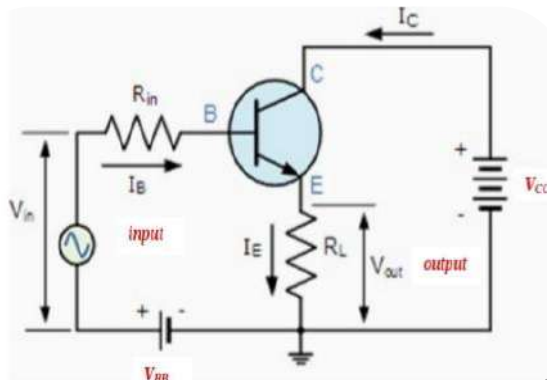
الشكل (8-2) منحنى خصائص الخرج للترانزستور القاعدة المشتركة [38]



الشكل (7-2) منحنى خصائص الخرج للترانزستور القاعدة المشتركة [38]

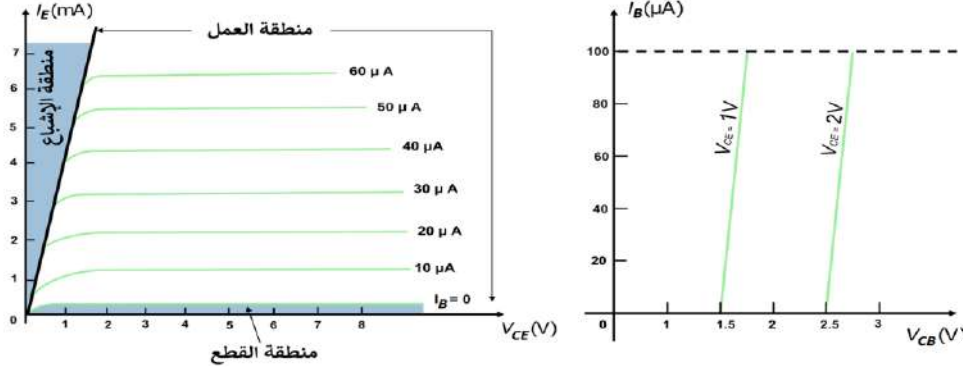
3.1.4. دائرة المجمع المشترك Common Collector :

تسمى أيضاً تابع الباعث (Emitter Follower) يكون في هذه الدارة المجمع هو الطرف المشترك بين مدخل الدارة ومخرجها كما هو مبين في الشكل (9-2) :



الشكل (9-2) دائرة المجمع المشترك [38]

من ميزات الحصول على كسب عال (أعلى من الباعث المشترك) ولا يوجد كسب للجهد (معامل التضخيم أقل من واحد) ولا يوجد فرق في طور الموجة الداخلة مع الموجة الخارجة وذات ممانعة دخل عالية و ممانعة خرج منخفضة [36].



الشكل (2-10) مميزات الدخل والخرج لترانزستور ذو وصلة المجمع المشترك [16]

5. خواص الترانزستور :

5.1. خصائص الوصلات :

من خلال الجدول (2-1) يمكن ان نميز بين التوصيلات الثلاث للترانزستور:

الجدول (2-1) خواص الوصلات الثلاثة [40]

المجمع المشترك	الباعث المشترك	القاعدة المشتركة	الخاصية
أقل من الواحد	مرتفع	مرتفع	ربح الجهد
مرتفع	مرتفع	أقل من الواحد	ربح التيار
مرتفع	مرتفع	معتدل	ربح الاستطاعة
لا	نعم	لا	انعكاس في الطور
مرتفعة	معتدلة	منخفضة	معاوقة الدخل
منخفضة	معتدلة	مرتفعة	معاوقة الخرج

2.5. مفهوم تشغيل الترانزستور ثنائي القطبية :

يتم التحكم فيه عن طريق التيار المطبق على القاعدة فإنه يتناسب طردياً مع التيار المار بين المجمع و الباعث، ومن شروط تشغيله يكون على الانود $0.7V$ (الجهد على المصعد أكبر من المهبط بقيمة $0.7V$ على الأقل) ومنه شرط تشغيل الترانزستور أن يكون هناك فرق جهد بين القاعدة والمشع 0.7 فولت وأكبر لكي يشتغل تشبيهه بصنبورة مياه [41].

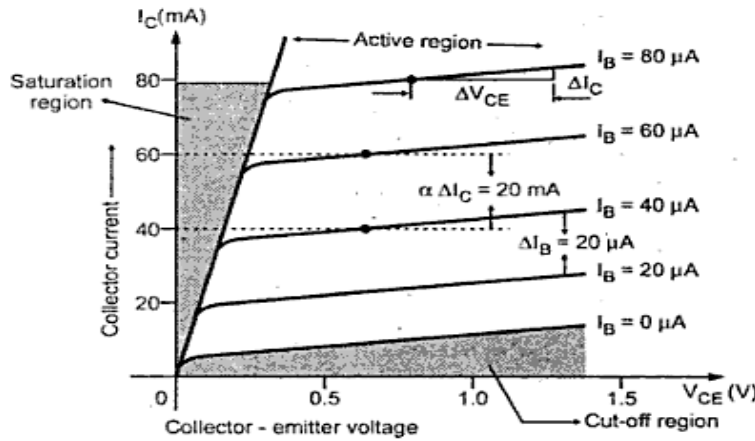
6. انحياز الترانزستور ثنائي القطبية :

انحياز الترانزستور هو عبارة عن جهود كهربائية مستمرة وخارجية بقطبية معينة تطبق على وصلي الترانزستور بهدف تشغيله في منطقة معينة، وبما أن الجهود المطبقة مستمرة فإن التحيز يسمى

تحيز مستمر، والهدف من التحيز هو الحصول على تيار جامع معين عند جهد معين ونسبي قيم التيار والجهد بنقطة التشغيل [42].

1.6. نقطة التشغيل العمل :

هي ثنائي من القيم التي تمثل جهد وتيار الخرج وترتبط نقطة عمل الترانزستور بطريقة عمله، حيث يعمل الترانزستور في المنطقة النشطة لخصائصه في حال عمله كمضخم للإشارات الصغيرة أما في حال عمله كقاطع إلكتروني فيجب أن يحقق نقطة عمل تنتقل بين منطقتي القطع والإشباع، ويتم اختيار نقطة العمل بتحيز وصلتي PN أي باختيار العناصر الالكترونية التي تتوافق مع الغرض من الدارة (التضخيم أو العمل كقاطع إلكتروني) [42].



الشكل (2-11) كيفية تحديد نقطة العمل في تقاطع خط الحمل مع خطوط بيانات تيار الدخل في ميزة الخرج [43]

2.6. تحديد نقطة العمل :

لتحديد نقطة العمل أولاً يجب معرفة إحداثياتها الديكارتية على مخطط ميزة الخرج الخاصة بالترانزستور أي يجب دراسة دارتي الدخل والخرج حسب الوصلة المدروسة بمعنى إيجاد وحساب معادلة تيار الدخل والمعادلة التي تربط جهد الخرج بتيار الخرج، ثم تحديد قيم العاملين α و β لعناصر الدارة. ولتحديد نقطة العمل الخاصة بترانزستور تم تحييزه نتبع الخطوات التالية :

$$\text{أولاً : نقوم بدراسة دارة الدخل وحساب تيار الدخل } I_i = \frac{f(V)}{f(R)}$$

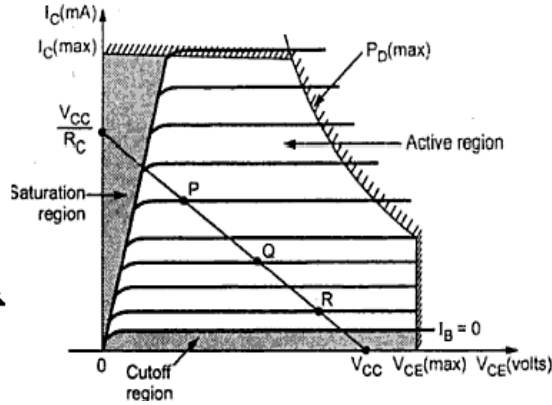
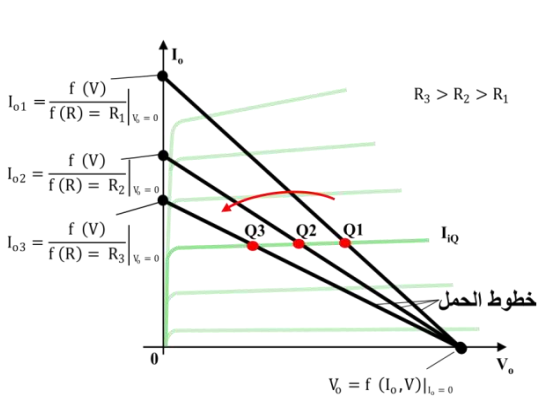
حيث $f(V)$ هي العلاقة بين الجهود الكهربائية في دارة الدخل و $f(R)$ هي العلاقة بين المقاومات في دارة الدخل.

ثانياً : نقوم بتحديد الخط البياني المتوافق مع قيمة تيار الدخل في ميزة الخرج إذا كانت قيمة تيار الدخل أصغر من الصفر في منطقة القطع.

ثالثاً : نقوم بدراسة دارة الخرج، ونجد العلاقة بين تيار الخرج I_0 وجهد الخرج V_0 باستخدام قانون كيرشوف الثاني $V_0 = f(I_0)$ وهذه المعادلة من الدرجة الأولى.

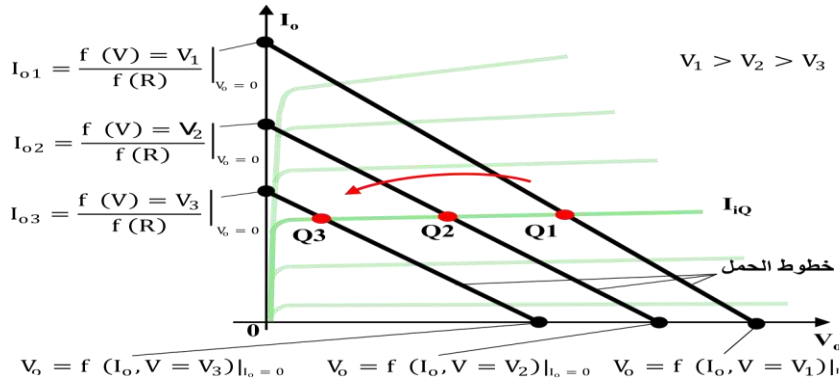
رابعاً : نقوم برسم المستقيم السابق على ميزة الخرج ونسميه خط الحمل، وهو المستقيم الذي يربط بين جهد الخرج وأعظم تيار خرج ممكن موافق.

خامساً : نقوم بتحديد نقطة العمل التي هي نقطة تقاطع خط الحمل مع الخط البياني المتوافق مع قيمة تيار الدخل.



الشكل (12-2) تأثير تغيير قيمة تيار الدخل في دائرة التحيز على موقع نقطة العمل [43]

الشكل (13-2) تأثير تغيير مقاومات دائرة التحيز على موقع نقطة العمل [16]



الشكل (14-2) تأثير تغيير قيم جهود التغذية في دائرة التحيز على موقع نقطة العمل [16]

3.6. تحديد منطقة العمل :

لعمل الترانزستور في الدارة الإلكترونية حدود فيزيائية لا يمكن تجاوزها كما يبين الشكل (15-2)، وتحدد هذه الحدود منطقة عمل تسمى منطقة العمل الخطية، فإذا كانت نقطة العمل في هذه المنطقة يكون التشوه في الإشارة صغير جداً، أما إذا كانت هذه النقطة في المنطقة الغير خطية فإن التشوه يكون كبير. فشرط العمل في المنطقة الغير خطية قد تسبب أضراراً للترانزستور [44].

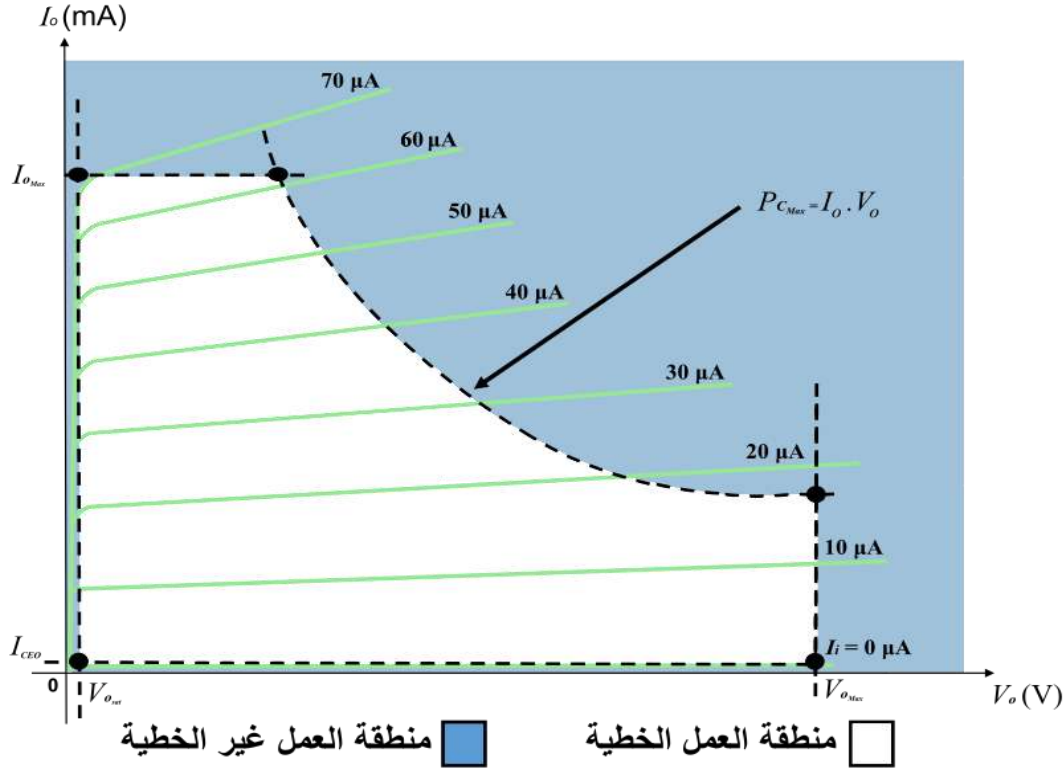
I_{0max} هو الحد الأقصى لتيار الخرج الذي يمكن أن يتحملة الترانزستور ويحافظ على خصائصه الخطية، بينما يحمل تيار التسريب العكسي المحدد بواسطة الوصلة أقل تيار في المنطقة الخطية ويقابله:

- أقل جهد خرج في المنطقة الخطية V_{0sat} إذا كانت قيمة جهد الخرج أقل من هذه العتبة، يعمل الترانزستور في وضع التشبع،

- والجهد الأعظمي V_{0max} هو جهد الحد الأقصى للترانزستور الناتج للحفاظ على نقطة التشغيل في هذه المنطقة الخطية.
تم تحديد قيم هذه العتبات في ورقة عمل الترانزستور ولا يمكن أن تتجاوز القيمة الحرارية للترانزستور حدًا معينًا أي:

$$P_{0max} = I_0 \cdot V_0 \quad (2 - 2)$$

جميع النقاط التي تحقق العلاقة في خاصية الإخراج تشكل حدود منطقة العمل الخطية العلوية [45].



الشكل (2-15) منطقتا العمل الخطية وغير خطية في ميز الخرج لترانزستور ثنائي القطب [44]

7. نمذجة الترانزستور ثنائي القطبية :

يعرف نموذج الترانزستور Transistor model بأنه مجموعة من عناصر الدارة التي تحاكي بشكل تقريبي السلوك الفعلي لأشباه الموصلات المشكلة للترانزستور باستعمال نماذج خطية أو غير خطية، في الأولى تستعمل الدارات الخطية Linear Circuit فقط أما في الثانية فتستعمل عناصر غير خطية، حيث تصنف نماذج الترانزستور بحسب طبيعة الإشارات التي تضخمها إلى نماذج إشارات صغيرة ونماذج إشارات كبيرة [16].

أشهر النماذج الخطية هي :

- ✓ نموذج آر إي r_e model
- ✓ النموذج المكافئ الهجين Hybrid éivalent model
- ✓ نموذج تي T model
- ✓ نموذج باي الهجين Hybrid-pi model

أما أشهر النماذج غير خطية للترانزستور ثنائي القطب هي :

- ✓ نموذج إيبيرس مول Ebers-Moll model
- ✓ نموذج كوميل بون Gummel-Poon model

1.1.7 النماذج الخطية :

1.1.7.1 نموذج آر إي r_e :

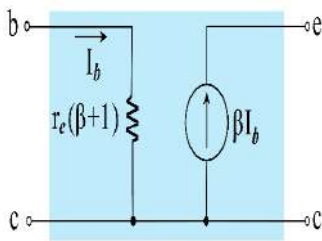
في هذا النموذج، يتم استبدال الترانزستور برباعي القطب لأنه يحتوي على صمام ثنائي ومصدر تيار ترتبط قيمته بمحدد آخر في الدائرة، حيث يُمثل الثنائي في حالة التحيز الأمامي بمقاومة تسمى مقاومة الباعث المتزايدة Emitter incremental resistance ويرمز لها بالرمز r_e وتحسب قيمته بالعلاقة :

$$r_e = \frac{V_{TH}}{I_E} \quad (3 - 2)$$

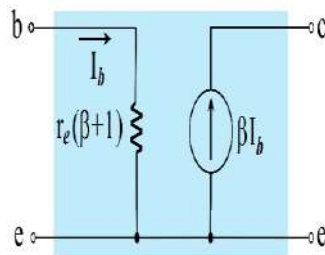
حيث V_{TH} هو الجهد الحراري وتساوي قيمته (26 mV) في درجة حرارة الغرفة وتحسب باستخدام العلاقة :

$$V_{TH} = \frac{KT}{q} \quad (4 - 2)$$

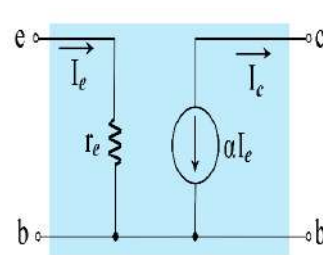
و I_E هو تيار الباعث يستعمل هذا النموذج في دراسة الترانزستور في نمط التيار المتناوب من أجل تضخيم الإشارات الصغيرة .



المجمع المشترك



الباعث المشترك



القاعدة المشتركة

الشكل (2-16) الدارات المكافئة لنموذج آر إي لترانزستور npn [44]

2.1.7. النموذج المكافئ الهجين Hybrid equivalent model :

هو نموذج خطي للترانزستور ثنائي القطب ويوصف بالهجين لأن معادلاته تحوي خليطاً من عوامل الدخل والخرج معاً ومنها أشتق الرمز h المشتق من كلمة هجين Hybrid. وفي هذا النموذج يستبدل الترانزستور برباعي أقطاب يضم عنصرين متحكم بهما واللذان يربطان الجهود والتيارات بين المدخل والمخرج في الرباعي حيث يرمز لجهود وتيار دخل الرباعي بالرمزين V_i و I_i وجهد وتيار الخرج بالرمزين V_o و I_o [16].

بما أن نموذج r_e المكافئ للترانزستور حساس جداً للقيم المباشرة للترانزستور فإن مقاومة الدخل تتغير تبعاً لتغير نقطة التشغيل، ومعاملات النموذج الهجين يتم حسابها عند نقطة تشغيل والقيم h_{11} و h_{12} و h_{21} و h_{22} تسمى المعاملات الهجينة وهي مكونات الدارة المكافئة للإشارات الصغيرة يتم تحديد معاملات الدارة المكافئة الهجينة باستخدام المعادلتين :

$$V_i = h_{21}I_i + h_{22}V_o \quad (5 - 2)$$

$$I_o = h_{21}I_i + h_{22}V_o \quad (6 - 2)$$

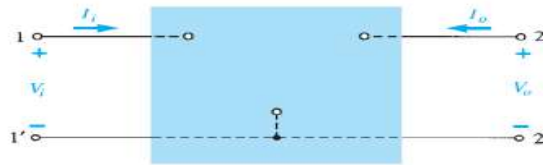


FIG. 5.93
Two-port system.

الشكل (2-17) الدارة المكافئة [46]

وتحسب قيم العوامل كما يبين الجدول (2-2)

حيث المعاملات التي تربط المتغيرات الأربع تسمى معاملات h من الكلمة هجين (خليط من المتغيرات V و I) الموجودة في كل المعادلات لتنتج وحدة قياس هجينة .

الجدول (2-2) معاملات النموذج الهجين ومعادلاته [46]

$h_{11} = \frac{V_i}{I_i} _{V_o=0}$	الأوم	العامل h_{11} وهو عامل مقاومة الدخل ، ويرمز له h_i
$h_{12} = \frac{V_i}{V_o} _{I_i=0}$	بلا وحدة	العامل h_{12} وهو عامل نسبة تحويل الجهد العكسية ، ويرمز له h_r
$h_{21} = \frac{I_o}{I_i} _{V_o=0}$	بلا وحدة	العامل h_{21} وهو عامل نسبة تحويل التيار الأمامية ، ويرمز له h_f
$h_{22} = \frac{I_o}{V_o} _{I_i=0}$	السيمنس	العامل h_{22} وهو عامل موصلية الخرج ، ويرمز له h_o

يبين الجدول (2-3) معاملات النموذج الهجين المكافئ لدارات ترانزستور NPN للتوصيلات الثلاثة الشهيرة مع النموذج الكامل و المختصر.

الجدول (2-3) معاملات النموذج الهجين المكافئ دارات ترانزستور NPN [44]

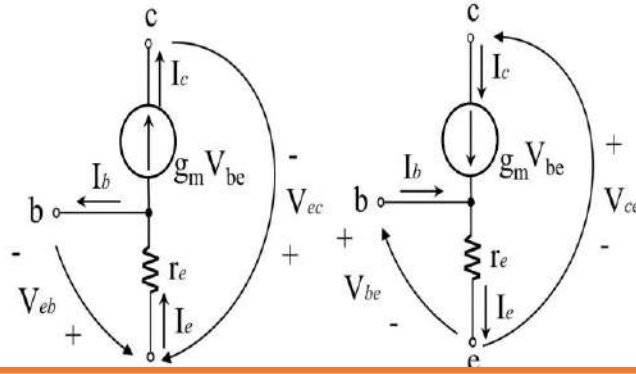
العامل	القاعدة المشتركة	الباعث المشترك	المجمع المشترك
مقاومة الدخل h_i	$h_{ib} = \frac{V_{eb}}{I_e}$	$h_{ie} = \frac{V_{eb}}{I_e}$	$h_{ic} = \frac{V_{bc}}{I_b}$
نسبة تحويل الجهد العكسية h_r	$h_{rb} = \frac{V_{eb}}{V_{cb}}$	$h_{re} = \frac{V_{eb}}{V_{cb}}$	$h_{rc} = \frac{V_{bc}}{V_{ec}}$
نسبة تحويل التيار الأمامية h_f	$h_{fb} = \frac{I_c}{I_e}$	$h_{fe} = \frac{I_c}{I_e}$	$h_{fc} = \frac{I_e}{I_b}$
موصلية الخرج h_o	$h_{ob} = \frac{I_c}{V_{cb}}$	$h_{oe} = \frac{I_c}{V_{cb}}$	$h_{oc} = \frac{I_e}{V_{ec}}$
الدارة المكافئة الكاملة			
الدارة المكافئة المختصرة			

3.1.7 نموذج تي T model :

تمتاز الثوابت الهجينة بكونها قابلة للقياس بسهولة، تظل الدوائر الهجينة تحليلية بسبب عدم وجود مصدري التيار المربوط بالتيار ومصدر الفولتية المربوط بالفولتية، مما يجعلها غير معرضة للخصائص الكهربائية لتقاطع الترانزستور [18]، ونموذج تي هو نموذج خطي لدراسة الإشارات الصغيرة في الترانزستور ثنائي القطب حيث يستبدل الترانزستور بشبكة من العناصر على شكل حرف T والذي أعطى للشبكة الاسم، وتحوي مقاومة ومنبع تيار متحكم به، وتضبط قيمة المقاومة بحسب مقاومة الباعث المتزايدة r_e والتي تحسب وفق العلاقة (2-7) في حين تؤثر الموصلية المنقولة g_m على قيمة المنبع وتحسب قيمتها بالعلاقة التالية :

$$g_m = \frac{I_0}{V_{TH}} \quad (7 - 2)$$

حيث I_0 هو تيار الخرج و V_{TH} هو الجهد الحراري، وتساوي قيمته (26mV) في درجة حرارة الغرفة، وتحسب باستخدام العلاقة (2-4)، حيث تؤثر الموصلية على قيمة منبع التيار المتحكم به، حيث يؤثر نوع الترانزستور على جهة التيارات فيه [16].

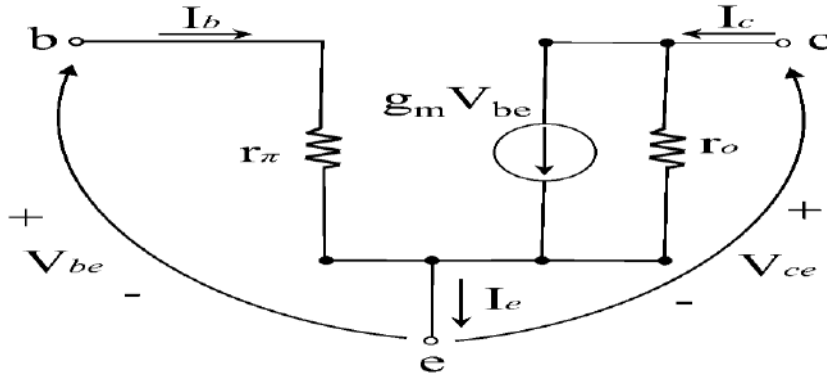


الشكل (18-2) نموذج تي لترانزستور ثنائي القطب

اليمن النوع NPN واليسار النوع PNP [16]

يمكن أيضاً إضافة مقاومة الخرج r_o بين القطبين اللذان يشكلان دائرة الخرج حيث يكون فرق الجهد بينهما هو جهد الخرج V_o ، ويهدف ذلك لإدخال أثر جهد إيرلي إلى النموذج حيث تحسب قيمته بالعلاقة:

$$r_o = \frac{V_A + V_o}{V_{TH}} \quad (8 - 2)$$



الشكل (19-2) نموذج تي لترانزستور ثنائي القطب من النوع NPN بعد إضافة مقاومة الخرج r_o [16]

4.1.7. باي الهجين Hybrid -Pi model :

تم اقتراحه سنة 1969م من قبل لورانس جياكو ليتو و هو نموذج يعمل في نمط الإشارات الصغيرة والكبيرة حيث يجري فيه استبدال الترانزستور برباعي أقطاب ويحتوي مجموعة من العناصر الخطية التي تحاكي في أدائها عمل الترانزستور حيث تسمى إحدى هذه العناصر r_{π} والتي سمي عليها النموذج.

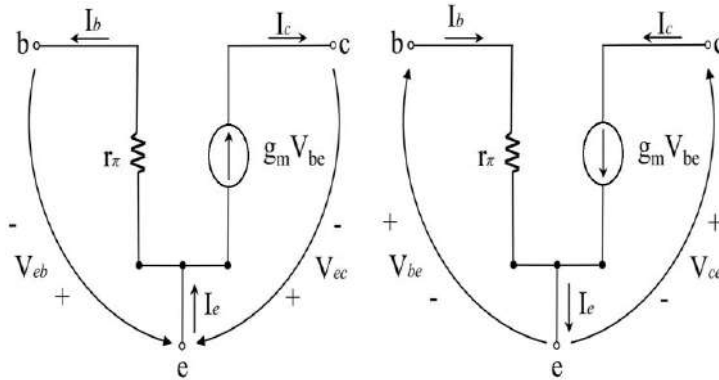
نقوم بتعويض الترانزستور بمقاومة متزايدة تسمى مقاومة باي في دائرة الدخل. بينما دائرة الخرج فتحتوي منبع تيار تساوي قيمته جهد دائرة الدخل مضروب بالموصلية المنقولة g_m حيث تحسب المحددات بالعلاقات التالية :

$$g_m = \frac{I_0}{V_{TH}} \quad (9 - 2)$$

حيث V_{TH} هو الجهد الحراري، وتساوي قيمته 26 mV في درجة حرارة الغرفة، و I_0 هو تيار دارة الخرج.

$$r_{\pi} = \frac{\beta_0}{g_m} \quad (10 - 2)$$

حيث r_0 هو عامل ربح الإشارات الصغيرة.

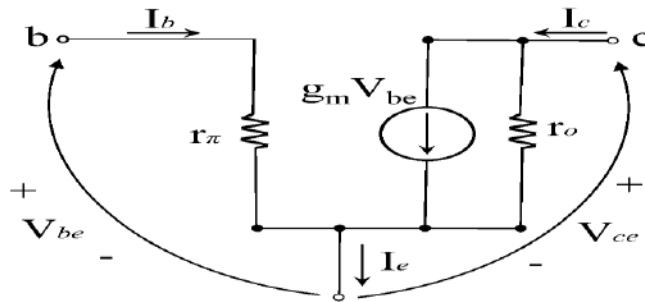


الشكل (20-2) نموذج باي لترانزستور ثنائي القطب

في اليمين النوع NPN وفي اليسار النوع PNP [16]

تضاف مقاومة r_0 على التفرع مع منبع التيار لإدخال الجهد V_A في النموذج وتحسب قيمتها:

$$r_0 = \frac{V_A + V_0}{I_0} \quad (11 - 2)$$

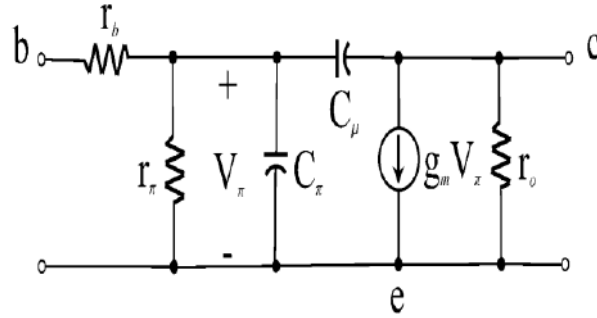


الشكل (21-2) نموذج باي لترانزستور ثنائي القطب من

النوع NPN بعد إضافة مقاومة الخرج r_0 [16]

حيث يستعمل هذا النموذج من أجل الإشارات الصغيرة. ويمكن تمثيل نموذج باي الهجين في وصلة الباعث المشترك عندما يعمل الترانزستور في المنطقة الأمامية وذلك بإضافة مكثفتين حيث نسمي الأولى C_{π} والتي تصل القاعدة والباعث، ونسمي الثانية C_{μ} والتي تصل القاعدة والمجمع. ويشمل هذا

النموذج مقاومة r_{μ} على التفرع مع المكثفة C_{μ} وتسمى مقاومة الانتشار المحيز عكسياً وتكون قيمتها كبيرة جداً لذلك تهمل وتعرض بدارة مفتوحة .



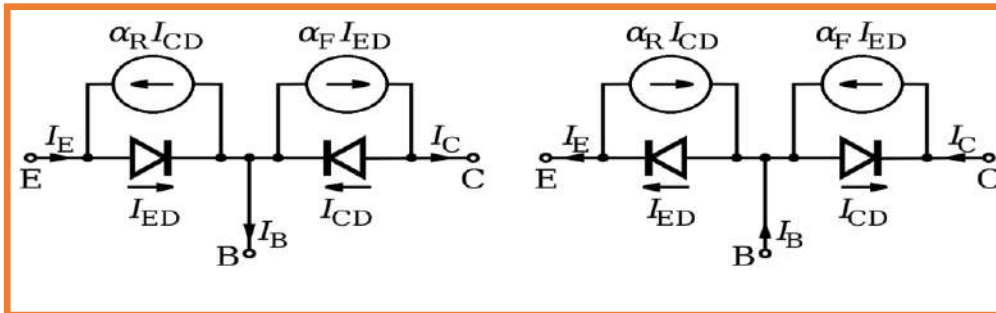
الشكل (22-2) نموذج باي الموسع لترانزستور ثنائي القطب من النوع NPN بوصلة الباعث المشترك من أجل الترددات المرتفعة [16]

2.7. النمذج غير خطية:

أول من قدم نموذج غير خطي للترانزستور ثنائي القطب كان جويل ايبيرس مول Jewell Ebers وجون مول John Moll، وتبعهم Gummel Hermann وواتش سيون H.C.Poon بعد عدة سنوات حيث طور أنموذجا موسعاً يتضمن ظاهرتين غير مشمولتين في النموذج الخطي، وهما جهد إيرليو الحقن عاليا لمستوى High-level injection. وبعد ذلك وُسع نموذج كوميل باستعمال سبائس لينتج نموذج سبائس كوميل -بون Gumme-Poon Model SPICE الذي يستعمل لمحاكاة عمل الترانزستور ثنائي القطب في البرمجيات الحاسوبية [16].

1.2.7. نموذج ايبيرس مول :

هو نموذج وظيفي للترانزستور BJT ويستخدم في الصمام الثنائي لنمذجة وصلة القاعدة-الباعث، وهو مصدر للتيار المتحكم فيه والموجود في قاعدة المجمع، وهو كاف لتحقيق نتائج تحليل جيدة في دارات مختلفة ولكنه يختلف مع التغيير في درجة الحرارة والتيار المجمع وجهد الباعث. ويمكن استخدام نموذج ايبيرس مول في دوائر انحياز DC الأساسية لتحيز BJT بشكل صحيح حيث نحتاج لجعل قاعدة - مجمع منحازة عكسياً وباعث - قاعدة منحاز أمامياً [47].



الشكل (23-2) الدارة الإلكترونية المكافئة لنموذج ايبيرس مول للنوعين PNP و NPN [16]

يرتبط تيار الإشباع الخاصين بكل وصلة مع بعضهما البعض بالعلاقة [48] :

$$\alpha_F \cdot I_{ES} = \alpha_R \cdot I_{CS} \quad (12 - 2)$$

حيث α_R و α_F هما عاملا ألفا الأمامي والعكسي .

ومن أجل نوعي الترانزستور تكون قيمة منبع التيار في وصلة الباعث والقاعدة هي: $\alpha_F \cdot I_{ES}$ وفي وصلة المجمع والقاعدة هي $\alpha_R \cdot I_{CS}$.

وبالتالي تكون قيمة تيار الباعث I_E والمجمع I_C

$$I_E = I_{ED} - \alpha_R \cdot I_{CD} \quad (13 - 2)$$

$$I_C = -I_{CD} - \alpha_F \cdot I_{ED} \quad (14 - 2)$$

ومنه تيار القاعدة يحسب كفرق بين تيار الباعث والمجمع أي: $I_B = I_E - I_C$

نموذج كوميل- بون:

بناءً على نموذج ايبيرس مول، اقترح كوميل وبون في عام 1970 نموذجاً جديداً لمحاكاة عمل الترانزستور عند تضخيم الإشارات الكبيرة [49]. في هذه الحالة يصبح تردد الإشارات ذا قيمة كبيرة، ولا بد من إدخال الأثر السعوي في النموذج. حيث يتصف هذا النموذج بالتعقيد والدقة، وهو يحتوي على مصفوفة من الثنائيات و أخرى من المكثفات بالإضافة لثلاث مقاومات تمثل مقاومات تسلسلية مربوطة مع كل نهاية من نهايات الترانزستور ومنبعي تيار، وهذا النموذج يحتوي على حوالي 40 معامل يستعمل لوصف سلوك الترانزستور وتفاعله مع الإشارات الكبيرة، وبسبب ذلك يمكن للنموذج وصف ظواهر فيزيائية لم تكن مشمولة في نموذج ايبيرس مول الأساسي مثل (أثر إيرلي وأثر ساه نويس شوكلي، أثر ويبستر، أثر كيرك) [17].

خاتمة الفصل الثاني:

من خلال هذا الفصل تمكنا من معرفة الترانزستور من حيث التركيب و مبدأ
الاشتغال و التوصيلات المناسبة . و للتمكن من تحليل الدارات التي تحتوي
الترانزستورات تناولنا النماذج المكافئة الخطية و غير الخطية .

الفصل الثالث

مقدمة :

من أجل التمكن من دراسة الدارات المحتوية على الترانزيستور وجب استبدال المركب الالكتروني بأحد النماذج المكافئة . من أجل ذلك اخترنا نموذج رباعي القطب الهجين h و هو النموذج الأكثر استعمالاً. ثم تناولنا تأثير تغيير درجة الحرارة على المميزات. و في الأخير تطرقنا للمبرد المناسب من أجل تمكين الترانزيستور من الاشتغال دون تلف .

اعتمدنا في دراستنا على المحاكاة لأنها تقدم تجارب حية في بيئات آمنة و ذات دقة عالية. لا نتمكن من الحصول عليها عن طريق المخابر التقليدية. عند تغيير المدخلات في المحاكاة نلاحظ تغيير فوري للخرج، و كان الاختيار على برنامج PSpice لتوفره و لأنه من الأكثر استعمالاً في هذا المجال.

1- لمحة على برنامج PSpice:

برنامج PSpice من أهم البرامج في محاكاة الدوائر الإلكترونية، و يعني الحرف P Personal SPICE و كلمة SPICE هي اختصار للكلمات التالية Integrated Circuit Emphasis. من خلال برنامج PSpice يمكن إجراء التحليل لأنواع مختلفة من الدوائر الكهربائية والإلكترونية بما في ذلك الاستجابة في نطاق الزمن، الاستجابة لتردد الإشارة الصغيرة، وتبديد الطاقة الكلي، وتحديد الجهد العقدي وتفرع التيار في الدائرة والتحليل العابر، وتحديد نقطة التشغيل في الترانزستورات وتحديد انتقال الوظائف... الخ . صمم هذا البرنامج بهذه الطريقة بحيث يمكنه محاكاة تشغيل العديد من الدوائر المختلفة والتي تشمل الترانزستورات ، والمكبرات العملية وغيرها . وكذلك يحتوي البرنامج على نماذج لعناصر الدائرة الخاملة وكذلك النشطة [50].

PSPICE هو برنامج محاكاة بمساعدة الكمبيوتر يمكّنك من تصميم دائرة ثم محاكاة التصميم على الكمبيوتر. قام مختبر أبحاث الإلكترونيات بجامعة كاليفورنيا بتطويره وجعله متاحاً للجمهور في عام 1975.

PSPICE هو برنامج للأغراض العامة مصمم لمجموعة واسعة من محاكاة الدوائر بما في ذلك محاكاة الدوائر غير الخطية وخطوط النقل والضوضاء والتشويه والدوائر الرقمية والدوائر الرقمية والتناظرية المختلطة. يمكنه إجراء تحليل التيار المستمر، وتحليل الحالة الجيبية المشتق (AC) ، والتحليل العابر، وتحليل سلسلة فورييه.

يعتمد العمل باستخدام PSPICE على 3 خطوات أساسية متتالية:

الخطوة 1 :

يرسم المستخدم الدائرة في شكل تخطيطي أو برنامج يريد محاكاته.

الخطوة 2 :

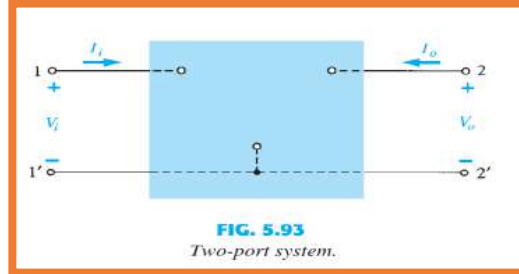
يحدد المستخدم نوع التحليل المطلوب، ويوجه PSPICE لإجراء هذا التحليل. يمكن أن يكون هذا على سبيل المثال تحليل التيار المستمر وتحليل التيار المتردد والتحليل العابر.

الخطوة 3:

يوجه المستخدم الكمبيوتر لطباعة أو رسم نتائج التحليل في هذه الخطوة يرى المستخدم أن النتائج الرسومية للتحليل قد تم إجراؤها. على سبيل المثال يمكنه رؤية الرسم البياني لجهد الخرج مقابل تيار الخرج (V مقابل I) ، أو أي بيانات يريد تحليلها.

2. بيانات شبكة المميزات و إيجاد معاملات النموذج الهجين:

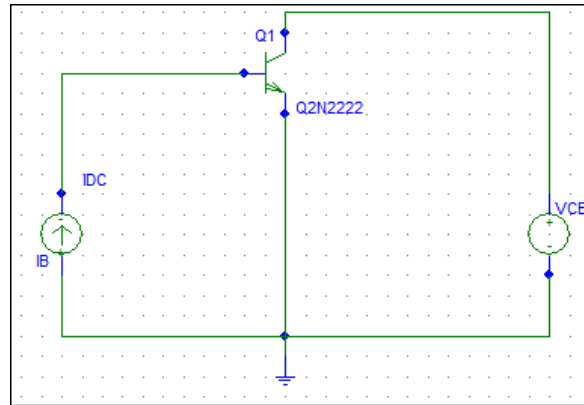
من أجل استعمال الترانزستور في دارة وتحليل الدارة لإيجاد مميزات وخواص الدارة يجب دراسة الترانزستور استاتيكيًا وإيجاد المعاملات لتعويض الترانزستور برباعي قطب هجين .



الشكل (1-3) الدارة المكافئة للترانزستور NPN

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ V_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (1 - 3)$$

$$\begin{cases} I_1 = I_B , & I_2 = I_C \\ V_1 = V_{BE} , & V_2 = V_{CE} \end{cases} \quad (2 - 3)$$



الشكل (3-2) الدارة المدروسة

1.2 الخاصية $I_B = f(V_{BE})$ وحساب المعامل h_{11}

نقوم بالذهاب إلى Analysis ثم Setup ننقر على Dc Sweep الخيار الأول Start SweepVar.Type، نختار Current Source نكتب I_B ثم نقوم بإدخال قيمة البداية (0) value وقيمة النهاية End value (150) والخطوة Increment (0.1)، و ننقر على Nested sweep نذهب إلى SweepVar.Type ثم نختار Voltages source ثم نكتب V_{CE} نقوم بإدخال قيمة البداية (0.4) قيمة النهاية (2) والخطوة (0.4) ثم نختار Enable Nested sweep ثم OK ثم close .

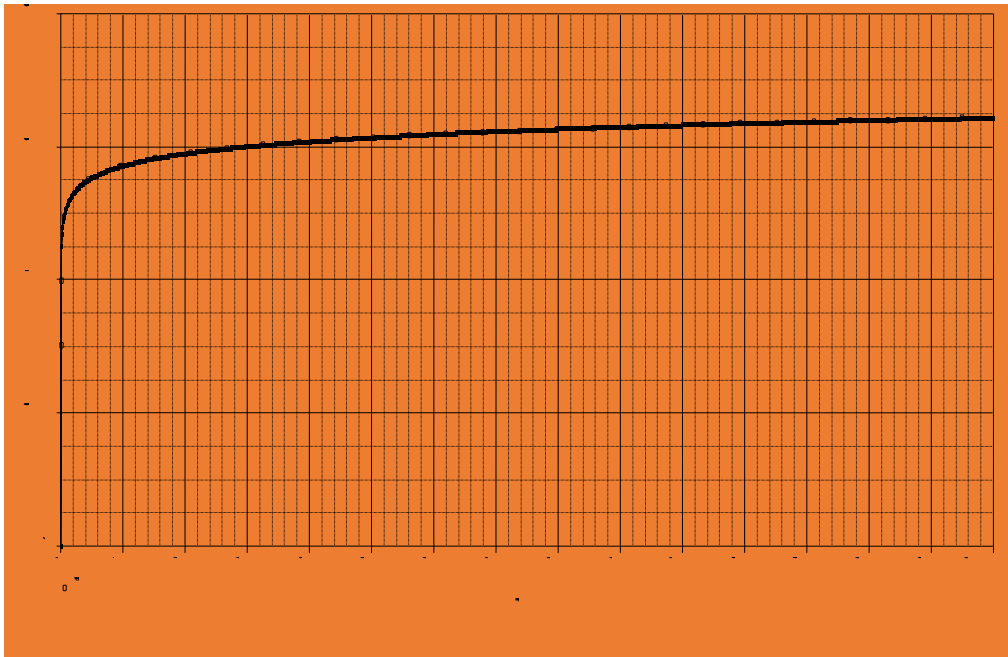
الخطوة الثانية بالذهاب إلى Analysis ثم Simulate. نحصل على بيان الشكل (3-3) و الذي من خلاله نختار نقطتين A_1 ; A_2 و نجري الحساب التالي :

الجدول (3-1) قيم النقطتين A_1 و A_2

A_1	77.002u	715.35m
A_2	78.004	715.503m
dif	-1.002u	-367.953u

$$h_{11} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} \quad (3 - 3)$$

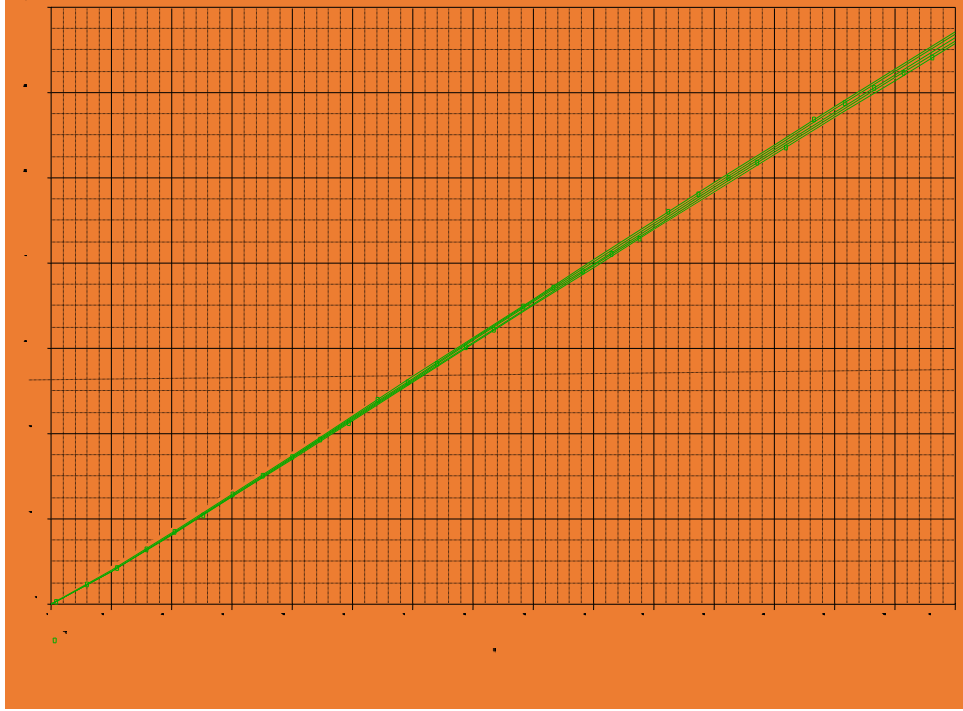
$$h_{11} = \frac{-368.953}{-1.002} = 368.21 \approx 368 \quad (4 - 3)$$



الشكل (3-3) تغيرات V_{BE} بدلالة I_B في ثبوت V_{CE}

2.2 الخاصية $I_C = f(I_B)$ و حساب المعامل h_{21}

نقوم باستخراج ميزة الصمام الثنائي قاعدة باعث



الشكل (3-4) تغيرات I_C بدلالة I_B في تغيرات V_{CE}

الجدول (3-2) قيم النقطتين A_1 و A_2

A_1	94.005	16.879
A_2	90.972	15.972
dif	3.033	907.507

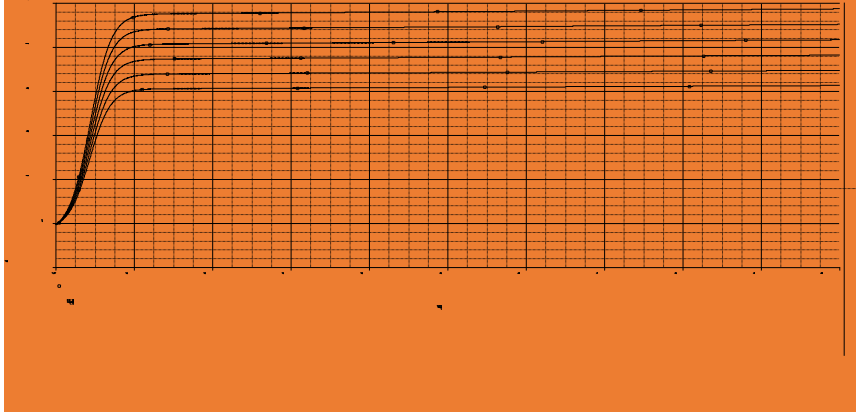
$$h_{21} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad (4 - 3)$$

$$h_{21} = 0 \quad (5 - 3)$$

3.2 الخاصية $I_C = f(V_{CE})$ وحساب المعامل h_{22}

الخطوة الأولى : نقوم بالذهاب إلى Analysis ثم Setup ننقر على Dc Sweep الخيار الأول SweptVar.Type، نختار Voltages source نكتب V_{CE} ثم نقوم بإدخال قيمة البداية (0)Start value وقيمة النهاية (2)End value والخطوة (1)Increment، و ننقر على Nested sweep نذهب إلى SweptVar.Type ثم نختار Current Source ثم نقوم بإدخال قيمة البداية (30u) قيمة النهاية (150u) والخطوة (30u) ثم نختار Enable Nested sweep ثم OK ثم close

الخطوة الثانية: بالذهاب إلى Analysis ثم Simulate



الشكل (3-5) تغيرات I_C بدلالة V_{CE} في تغيرات I_B

الجدول (3-3) قيم النقطتين A_1 و A_2

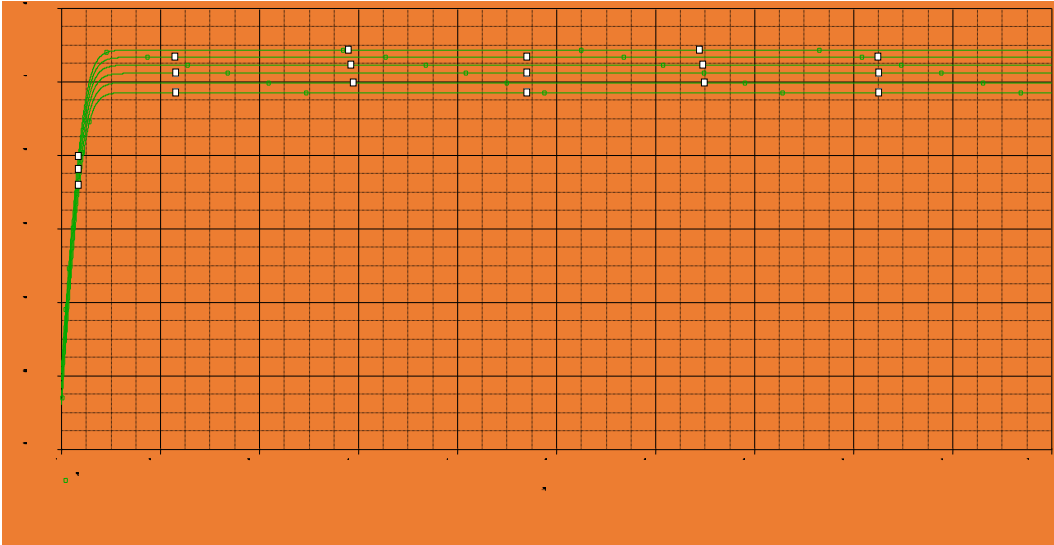
A_1	1.2000n	10.506n
A_2	800.00n	15.884n
dif	400.00n	82.456n

$$h_{22} = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CE}} \quad (6 - 3)$$

$$h_{22} = \frac{82.851}{400} = 4.851 \approx 5 \quad (7 - 3)$$

4.2 الخاصية $V_{BE} = f(V_{CE})$ و حساب المعامل h_{12}

بنفس الطريقة نحصل على المنحنى المشاهد على الشكل (3-6) حيث نلاحظ علاقة خطية بين V_{CE} و V_{BE}



الشكل (3-6) تغيرات V_{BE} بدلالة V_{CE} في تغيرات I_B

الجدول (3-4) قيم النقطتين A_1 و A_2

A_1	800.00n	719.58n
A_2	1.2000n	727.815n
dif	-400n	0.000n

$$h_{12} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta V_{CE}} \quad (8 - 3)$$

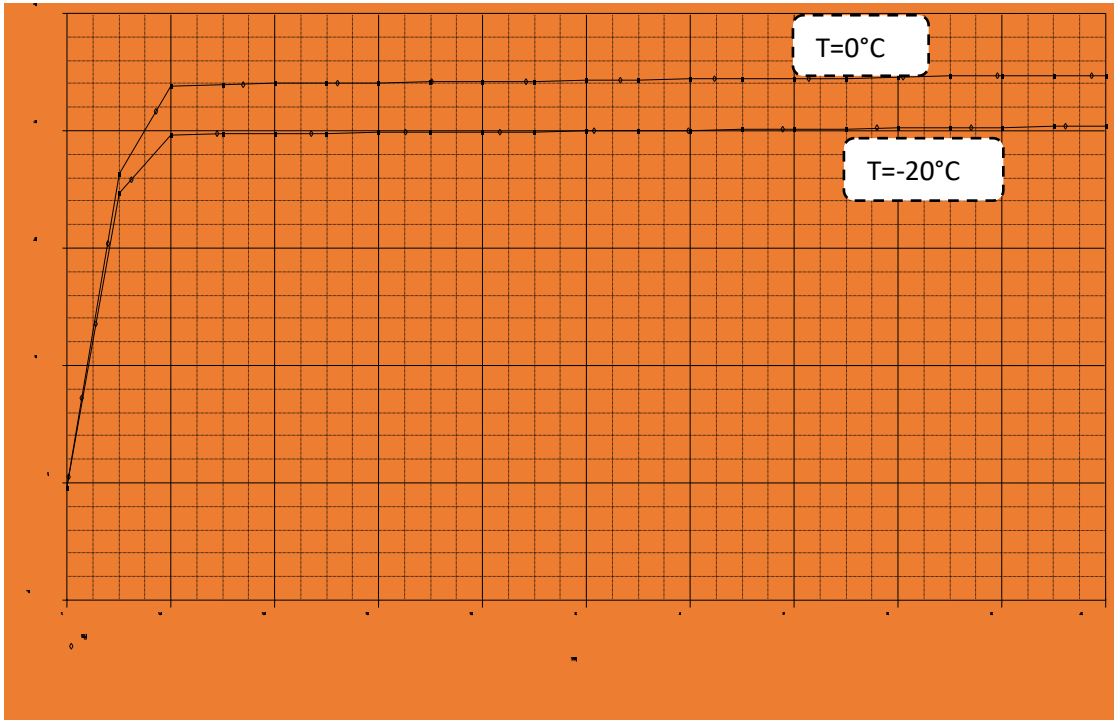
$$h_{12} = 0 \quad (9 - 3)$$

3. تأثير تغير درجة الحرارة على المميزات :

1.3 مميزات الخروج $I_C = f(V_{CE})$:

الخيار Dc Sweep ننقر على Setup ثم Analysis الخطوة الأولى نقوم بالذهاب إلى ثم نقوم بإدخال قيمة البداية V_{CE} نكتب Voltages source، نختار SweepVar.Type الأول (0.1)، و ننقر على Increment (2) والخطوة End value (0) وقيمة النهاية Start value ثم نقوم بإدخال Temperature ثم نختار SweepVar.Type نذهب إلى Nested sweep ثم OK ثم Enable Nested sweep (قيمة النهاية (0) والخطوة (20) ثم نختار 20-قيمة البداية) close

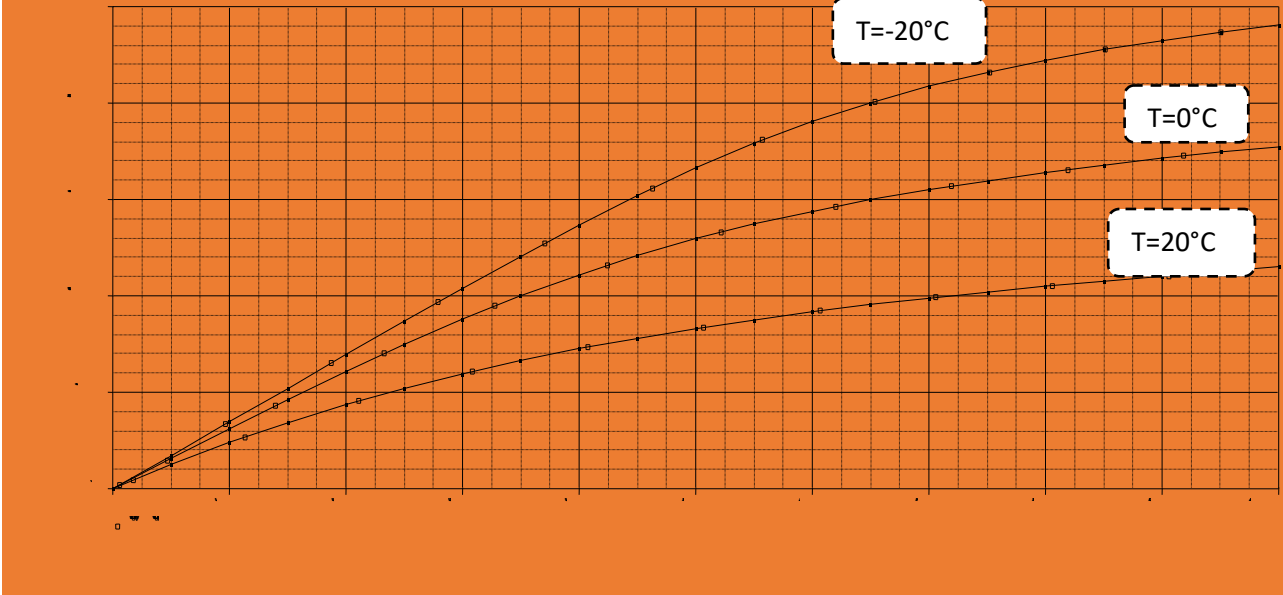
الخطوة الثانية بالذهاب إلى Analysis ثم Simulate، نقوم بإعطاء قيمة ثابتة لل I_B نحصل على منحنى الشكل (3-7) و من خلال النتائج المتحصل عليها أن بازياد V_{CE} يزداد I_C وذلك بازياد درجة الحرارة.



الشكل (7-3) تغيرات I_C بدلالة V_{CE} في تغيرات درجات الحرارة

2.3 مميزات التحويل : $V_{BE} = f(V_{CE})$

بنفس الطريقة نحصل على منحنى الشكل (3-8) حيث نلاحظ من خلال النتائج المتحصل عليها أن الجهد يزداد مع نقصان درجة الحرارة علاقة عكسية .



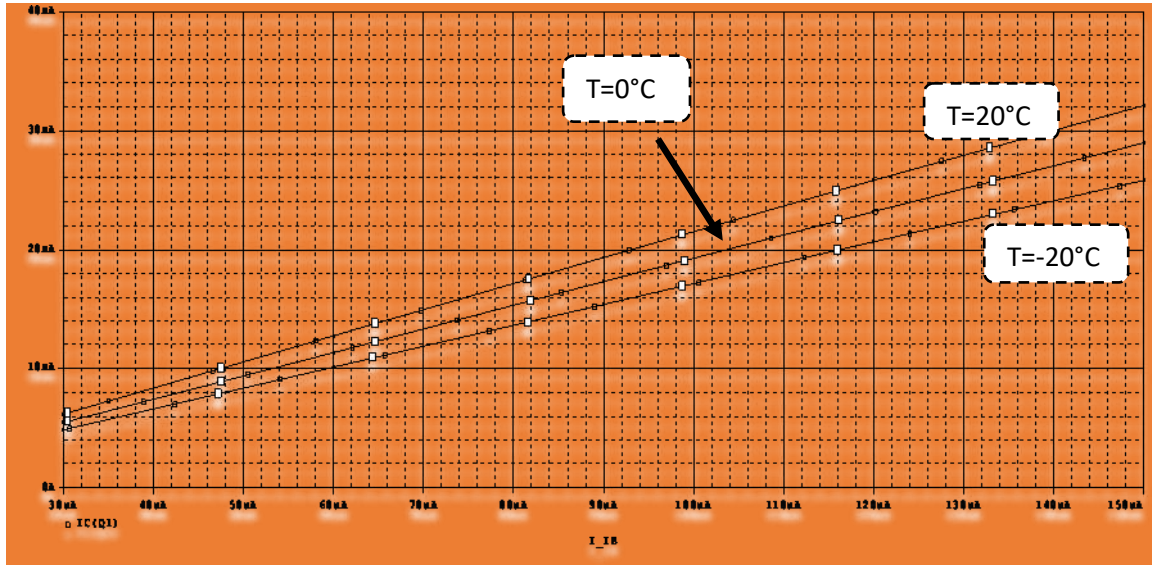
الشكل (3-8) تغيرات V_{BE} بدلالة V_{CE} في تغيرات درجات الحرارة

3.3 مميزات التضخيم : $I_C = f(I_B)$

الخطوة الثانية نقوم بالذهاب إلى Analysis ثم Setup ننقر على Dc Sweep الخيار الأول SweptVar.Type، نختار Voltages source نكتب I_B ثم نقوم بإدخال قيمة البداية Start value (0.4) وقيمة النهاية End value (2) والخطوة Increment (0.4)، وننقر على Nested sweep نذهب إلى SweptVar.Type ثم نختار Temperature ثم نقوم بإدخال قيمة البداية (-20) قيمة النهاية (0) والخطوة (20) ثم نختار Enable Nested sweep ثم OK ثم close

الخطوة الثانية بالذهاب إلى Analysis ثم Simulate، نقوم بإعطاء قيمة ثابتة ل V_{CE}

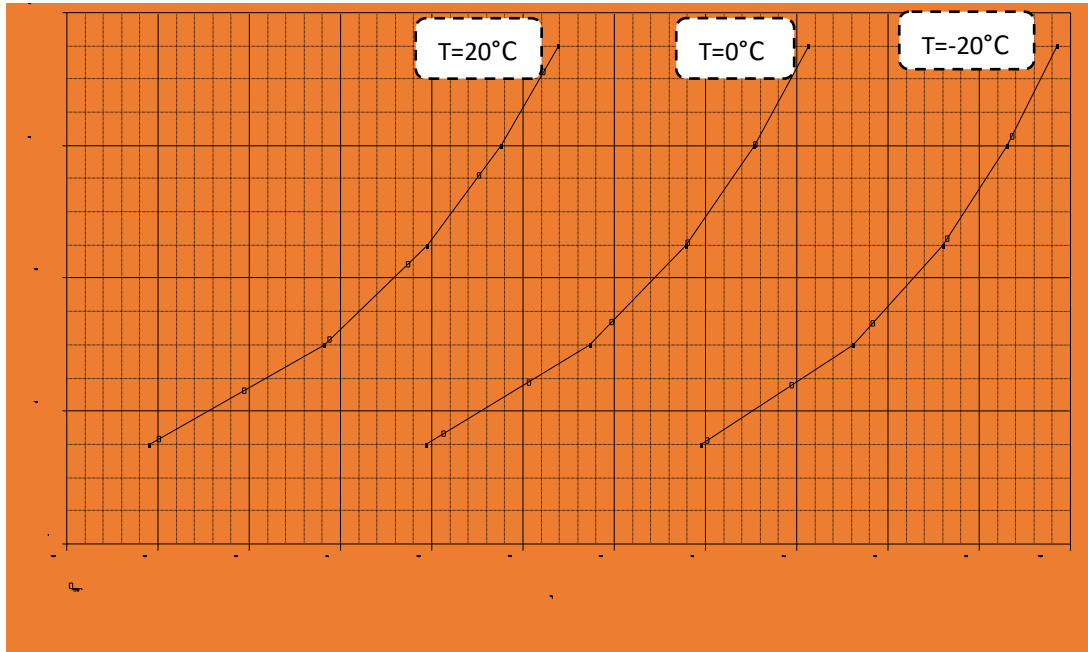
نحصل على منحنى الشكل (3-9) و الذي يمثل تغيرات تيار الخروج I_C بدلالة تيار الدخول I_B مع تغيرات درجة الحرارة حيث نلاحظ تناسب طردي بين التيار درجة الحرارة.



الشكل (3-9) تغيرات I_C بدلالة I_B مع تغيرات درجة الحرارة

4.3 مميزات الدخول $I_{BE} = f(V_{BE})$

بنفس الطريقة تمكننا من الحصول البيان $I_C = f(I_B)$ على الشكل (3-9) و منه نشاهد تغيرات I_B بدلالة V_{BE} بتغير درجة الحرارة و زيادة التيار مع نقصان درجة الحرارة فهي علاقة عكسية



الشكل (3-10) تغيرات V_{BE} بدلالة I_B في تغيرات درجات الحرارة

4. معالجة تأثير درجة الحرارة على الترانزستور:

للحرارة تأثير على خصائص الترانزستور (البارامترات) حيث وأن الحرارة تؤثر على تركيز الحوامل الحرارية ويؤدي ذلك إلى وجود أو نشأة التيار لكل (10°C) حيث يمكن للترانزستور المصنوع من (Si) الاستخدام كحد أقصى من الحرارة مقدارها (200 °C)، ويؤدي اختلاف درجة الحرارة إلى اختلاف في كسب تيار المجمع حيث يؤثر ذلك على مقاومة المجمع (Rc) مما يؤدي إلى اختلاف في خصائص الخرج للترانزستور نوع (NPN) في دارة الباعث المشترك، وأن زيادة درجة الحرارة تؤدي إلى زيادة تيار المجمع وذلك عند ثبات تيار القاعدة.

يمكن لبعض ترانزستورات الطاقة التعامل مع التيارات بعشرات الأمبير و الجهد حتى 1000V. يصعب حساب الدوائر المكافئة باستخدام هذه الترانزستورات لأن معاملات h_{12} ، h_{22} منخفضة وغير معروفة، مما يقلل من التكبير المعتاد (h_{11} و β)، يكون الكسب في التيار لهذه المكونات منخفضاً بشكل عام حتى 50 أو أكبر من أجل تيار قدره 1A، وعدد قليل من الوحدات من أجل 10A بالإضافة إلى ذلك تتمتع هذه الترانزستورات عموماً بتردد قطع منخفض، ويعمل 2N3055 الشهير خارج النطاق الصوتي (20 كيلو هرتز).

المشكلة الدائمة في هذا النوع من الترانزستورات هو التبريد حيث لا يمكن تتعدى درجة حرارة الوصلة 185° ولا يحدث تلف للمركب.

يمكن للتبريد أن يتحقق بمبردات على شكل ألواح تثبت على هيكل المركب و الذي من خلاله يحدث تبريد للحرارة عن طريق الإشعاع أو الانتقال.

1.4. المقاومة الحرارية للمبرد :

بين وجهين للجدار المخترق بتدفق حراري $p(w)$ يوجد فرق في درجة الحرارة :

$$\Delta T = R_{th} \cdot P \quad (10 - 3)$$

حيث R_{th} هي المقاومة الحرارية للجدار في ترانزستورات الاستطاعة الحرارية $P = V_{CE} \cdot I_C$ تنشأ في وصلة المجمع، هذه الاستطاعة يمكنها أولاً أن تنتقل من الوصلة إلى الهيكل ثم من الهيكل إلى المبرد وأخيراً من المبرد إلى الهواء للمحيط والسطوح الفاصلة الثلاثة تخترق بنفس الاستطاعة ويمكن أن يكتب:

$$T_{\text{jonction}} - T_{\text{ambiante}} = (T_{\text{jonction}} - T_{\text{boitier}}) + (T_{\text{boitier}} - T_{\text{radiateur}}) + (T_{\text{radiateur}} - T_{\text{ambiante}})$$

$$T_{\text{jonction}} - T_{\text{ambiante}} = \Delta T = (R_{jb} + R_{br} + R_{ra}) \cdot P \quad (11 - 3)$$

R_{jb} : المقاومة الحرارية للسطح الفاصل وصلة-هيكل

R_{br} : المقاومة الحرارية للسطح الفاصل هيكل-مبرد

R_{ra} : مقاومة السطح الفاصل مبرد-هواء

الاستطاعة العظمى المشار إليها هي دائماً الاستطاعة المستهلكة عند 25°C للهيكل

الفصل الثالث المحاكاة

مثال: الترانزستور 2N3055 حيث $P_{max} = 80W$ أي لو يحافظ الهيكل على $25^{\circ}C$ يمكن للوصلة أن تصل حرارتها القيمة العظمى $185^{\circ}C$ من أجل استطاعة مستهلكة $R_{jb} = \frac{185-25}{80} = 2^{\circ}C/W$ ، وبذلك يمكن تثبيت الترانزستور على المبرد ويمتاز بمقاومة حرارية $2^{\circ}C/W$ وإذا اعتبرنا التماس بين الهيكل والمبرد مثالياً من الناحية الحرارية أي $R_{br} = 0$ ومنه الاستطاعة المستهلكة عند الدرجة المحيطة $50^{\circ}C$ هي :

$$P = \frac{(185 - 50)}{2 + 2} = 33.75W \quad (12 - 3)$$

هذه الطريقة في الحساب صالحة لكل المركبات .

غالباً يتميز ترانزستور الطاقة بالاستطاعة العظمى المستهلكة والتي تساوي $P_{max} = V \cdot I$ بين طرفين وعلى شبكة المميزات نقطة تشغيل الدارة سكسونياً يجب أن تتواجد أسفل القطع الزائد والذي معادلته $P_{max} = V \cdot I$ وهذا لا يتحقق في ترانزستور الطاقة إلا من أجل توتر أصغر من (50V). مثلاً يمكن للترانزستور أن يتحمل 500V والاستطاعة 100W ويمكنه أن يستقطب بتيار 10A و $V_{CE} = 10V$ ولكنته يتلف من أجل 1A و 100V وعند هذا الجهد التيار الأعظمي يمكنه أن يكون (200mA فقط) من أجل (500V) وهذا التخريب يعد ظاهرة حرارية محلية سريعة .

مثال : تحت 100 V و 0.9A يتلف الترانزستور في بعض أعشار (μs) في حين أن الاستطاعة المستهلكة تأخذ القيمة 90 w فقط.

مجموع المواد المشكلة للترانزستور تتدخل وثابت الزمن الحراري لا يتعدى الثانية ومنه نستنتج أنه بوضع فاصم على التسلسل مع الترانزستور وتحت توتر 50V الفاصم يحمي الترانزستور ولكن تحت 100V الترانزستور هو الذي يتلف قبل الفاصم.

خاتمة

إن التقدم التكنولوجي الذي تم إحرازه منذ إنشاء أول ترانزستور قد مكّن من تطوير القطاعات الاقتصادية المختلفة مما مكن من نطاقات النمو العالية، مثل تكنولوجيا المعلومات والاتصالات اليوم تتطور تطبيقات الهاتف المحمول بقوة وأصبحت قضية مهمة لأنشطتنا اليومية. وبالتالي يجب أن تلبي صناعة الإلكترونيات الدقيقة الطلب على المنتجات المصممة بعدد متزايد من الوظائف ، تبادل كميات كبيرة من المعلومات مع الخارج، ومستقل للغاية وكل ذلك بسعر منخفض.

حاولنا في هذه الدراسة استخراج البيانات المميزة للترانزستور Q2N2222 من النوع NPN و ذلك باستعمال برنامج PSPICE حيث تمكننا من رسم شبكة البيانات المميزة للمركب و استغلالها في حساب العوامل الهجينة h ثم تأثير درجة الحرارة على المميزات و في الاخير تمكننا من دراسة المعالجة العلمية لتأثير درجة الحرارة من خلال حساب المقاومة الحرارية للمبرد.

و كأفاق للبحث في هذا الميدان يمكن تناول الدراسة الديناميكية ليصبح مهياً للاستعمال ثم دراسة زرعه في دارات تماثلية، رقمية، أو مختلطة.

قائمة
المراجع

قائمة المراجع العربية

- [1] بحث لنيل درجة الماجستير جامعة أم درمان الإسلامية، تأثير أشعة جاما المنبعثة من الكوبالت CO^{60} على الترانزستور AC129، خالد محمد الحاج مصلح، يناير 2008، ص13
- [4] الحقبة الدراسية لمادة الإلكترونيك المرحلة الأولى إعداد المهندس حسن عبد الكاظم بجاي 2012/2011 وزارة التعليم العالي والبحث العلمي هيئة التعليم التقني المعهد التقني النجف الأشرف قسم تقنيات الاتصال، ص8-9
- [5] مقدمة في فيزياء أشباه الموصلات ، ديسرى مصطفى، د. الحسيني الطاهر ،النوارس للدعاية والنشر، 2017، ص27-35
- [6] رسالة من متطلبات نيل شهادة الماجستير في علوم الفيزياء ، دراسة الخصائص التركيبية والبصرية والكهربائية لأغشية كبريتيد الكادميوم Cds النقية والمطعمة بالليثيوم والألمنيوم المحضرة بطريقة الحمام الكيميائي ، داخل عباس عبد زيد ، جامعة القادسية 2017 ، ص2-3
- [8] مدخل في علم الإلكترونيات الحديثة ، د.فاروق محمد الطويل البطاينة ، جامعة البلقاء التطبيقية كلية عمان للهندسة والتكنولوجيا، مكتبة المجتمع العربي للنشر عمان1999ص17
- [9] فيزياء الحالة الصلبة ، جريس سلامة عواد ، المنهل للنشر 2018 ، ص111
- [10] لإلكترونيات التماثلية ، الفصل الثاني، المحاضرة 9 ، م. إحسان ضياء البيرماني ، جامعة بابل (2011-2012) ص61
- [11] الإلكترونيات ببساطة ،مؤسسة الأمة العربية للنشر والتوزيع ، وفاء السواح الطبعة الأولى 2015-1436هـ
- [12] الفيزياء النظرية الأساسية ،الطبعة الثانية ،د.مروان بن أحمد الفهد ،مكتبة العبيكان 2004 ص566-567.
- [13] مبادئ فيزياء الحالة الصلبة ،د. أحمد سالم صالح، أستاذ الفيزياء جامعة اليرموك ،الطبعة الأولى 2014 ، دار صفاء للنشر والتوزيع -عمان ،ص283
- [14] أشباه الموصلات. م. مؤيد فايز القواسمية .مكتبة المجتمع العربي طبعة 2006-1426 ، ص10
- [15] الفيزياء الأساسية ، الطبعة الثالثة ،د. مروان بن أحمد بن محمد الفهد ،العبيكان للنشر 2012 ص437،442،443
- [16] الترانزستور ثنائي القطب القواعد والفوائد ، الإصدار الأول (2019)،ميشيل نوقلا بكني مراجعة وتدقيق ساندر هانبو
- [17] تصميم أجهزة راديو ترانزستور عملياً ، فاروق محمد العامري، الطبعة الأولى 1992 ص29
- [18] فيزياء الإلكترونيات ، هندسة السيطرة والنظم ،الجامعة التكنولوجية ، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي جامعة الموصل ، د. صبحي سعيد الراوي ص167-168-158
- [19] أسس الإلكترونيات د.محمد فاروق أحمد د. محمد خضر كاتب ، قسم الفيزياء ،كلية العلوم ،جامعة الملك سعود وجون وايلي وأولاده نيويورك. شيشستر. تورنتو .سنغافورة ، ص.ب : 2454 الرياض المملكة العربية السعودية1984

قائمة المراجع

- [20] ترجمة الفصل الأول من كتاب p-n أسامة عمر مسعود العشي وصلة تقريبات دوائر الترانزستور للمؤلف مالفينو (الطبعة الثانية) الجميل ليبيا2017
- [22]الإلكترونيات الأساسية (الإلكترونيات 1) الدكتور محمد قعقع جامعة دمشق 1435-1436
2014-2015، ص312-313
- [24] ع. م. سمير، ح. خ. إيمان، ه. ح. بشرى، أ. ص. أحمد، ر. م. علي، "مفردات مادة
الإلكترونيات"، جامعة بغداد، 2018
- [29]الإلكترونيات محمد أسعد البعبع ، الفيرا الكسندروفنا الدويري ، صفاء توفيق المقبل الطبعة الأولى
1435-2014هـ مكتبة المجمع العربي للنشر والتوزيع
- [30] محاضرة العناصر والدرارات الإلكترونية (1) ، لطلاب كلية الهندسة والتكنولوجيا-جامعة قرطبة
الخاصة ، الفصل الثاني الترانزستور ثنائي القطبية Bipolar Junction Transistor، إعداد
الدكتور محمد عمايا(3May2020) ، ص42-43
- [32] الدارات الكهربائية والإلكترونية ،جامعة المنارة قسم الهندسة المعلوماتية ، الدكتور المهندس علاء
الدين أحمد حسام الدين.
- [33] مقالة ما لا تعرفه عن الترانزستور أمينة عزمي 31مايو 2021
- [34] سلسلة محاضرات أساسيات علم الإلكترونيات ، د. حازم فلاح سكيك ، جامعة الأزهر – غزة
2015
- [35] تقرير نهائي عن بحث علمي قسم الخدمات العلمية ، الجمهورية العربية السورية هيئة الطاقة
الذرية ، دمشق-ص.ب.2091 تأثير الإشعاع النووي على الترانزستورات الوصلية ثنائية القطبية
وداراتها المتكاملة ، د.جمال الدين عساف أيلول 2016 ، ص6
- [36]الإلكترونيات الصناعية علم الصناعة الجزء الثاني جهاد دريدي (منسقاً) ، عثمان إرفاعية ، باسل
عبد الحق ، يوسف شقير ، إبراهيم محمود قذح (مركز المناهج) ، دولة فلسطين وزارة التربية والتعليم
العالي ، 1427هـ -2006م
- [37] محاضرات في الاللكترونيات التماثلية ، جامعة سومر ،كلية التربية الأساسية ، م.م. فؤاد نمر
عجيل 2015-2016 ، ص56-60
- [38]محاضرة إلكترونيك (نظري) مستوى 3، م.م. أيوب يوسف ، كلية التربية الأساسية /حديثة
(2020-2019)
- [41] مبادئ الترانزستور TRANSISTOR نظرة بسيطة للعمق Mahmoud elhady
- [49]مدخل في علم الإلكترونيات الحديثة ، د.فاروق محمد الطويل البطاينة ، جامعة البلقاء التطبيقية كلية
عمان للهندسة والتكنولوجيا (مكتبة المجتمع العربي للنشر) عمان 1999 ص99-100

قائمة المراجع الأجنبية

[2]Jean-pierre Colinge, Cynthia A.Colinge, “Physics of Semiconductor Devices”, Kluwer Academic Publishers , New York , Boston , Dordrecht , London , Moscow 2002

[3]Kirkuk University Journal-Scientific Studies.Vol 8,No.1.2013

تأثير التلدين التشويب على بعض الخواص البصرية لأغشية كبريتيد الخارصين الرقيقة ، عبد المجيد عيادة إبراهيم ، زهير ناجي مجيد ، سوزان عبد الله حسن .

[7]S.MSze , ‘semiconductor Devices physics and Technology’ ,2nd ,1985, 2002By John wiley&Sons,Ins ,Printed in the United States of America

[21] Olivier Bonnaud Professeur à l'Université de Rennes1 , “Physique des Solides , des Semi-conducteurs et Dispositifs ”, Juin 2003,p60

[23] Christian Ngô , Hélène Ngô , « physique des semi-conducteurs » ,4^e édition , Dunod ,Paris,1998,2003,2007,2012, p107

[24] « Composants à semi-conducteurs De la physique du solide aux transistors » ,Olivier BONNAUD, Ellipses édition Marketing S.A , 2006

[25]James.M.Fiore, « Semiconductor Devices Theory and Application » , Version 1.1.12 ,(30April 2021)

[26] Imran Mohammed Sofi, "PL and EL Investigation of Cerium, Europium and Ytterbium Doped Silicon for Active Silicon Photonic Devices", PhD in Electronics Engineering, University of surrey, London, 2016.

[27]Shuji Hasegawa , François Grey “Electronic transport at semiconductor surfaces –from point-contact transistor to micro –four-point probes” ,Received 27 July 2000 ; accepted for publication 24 April 2001

[28] Jean-Pierre COLINGE. Fernand VAN DE WIELE , « Physique Des Dispositifs Semi-conducteurs » , De Boeck-Wesmael s.a.1996 , Département De Boeck Université, Paris, Bruxelles

[29]J.Blot , « Les transistors éléments d'intégration des circuits analogiques» ,écoles d'ingénieurs/2^e cycle universitaire ,Dunod , Paris,1995

[31] D.J Dumin ,Larotory Manual, Ver. 1.5, “Department of Electrical and Computer Engineering” , Clemson University Clemson , July2011, J E Harriss1995,p6

[33] Christopher Siu , “Electronic Devices ,Circuits ,and Application ” , Springer Nature Switzerland AG 2022

[39]StephanJ.G.Gift ,Brent Maundy ,“Electronic Circuit Design and Application” ,Springer Nature Switzerland AG2021

[40]B. Jayant Baliga,“Fundamentals of Power Semiconductor Devices ” ,Second Edition ,Springer 2007

[42]N.N.Bhargava ,D.C.Kulshreshtha ,S.C.Gupta, ” Basic Electronics and Linear Circuits” ,2e ,McGraw Hill Education (India) Private Limited , NEW DELHI 2013

[43]U.A.Bakshi ,A.P.Godse , “Electronics Engineering ” , Premier12,Technical Publication Pune , First Edition -2008

[44]Robert .L. Boylestad ,Louis Nashelsky, “ electronic devices and circuit theory” ,Copyright 2013,2009,2006 by Pearson Education

[45] I.J.NAGRATH, “Electronic Devices and Circuits”,Prentice-Hall of India Private Limited ,New Delhi 2007

[46] Dr. Ahmed El-Banna,ECE-312 Electronic Circuits (A) ,Lecture(5) Hybrid Equivalent Model, BENHA UNIVERSITY FACULTY OF ENGINEERING AT Shoubra17 November 2014

[47]James .M.Fiore ,“Semiconductor Devices Theory and Application, Version 1.1.12, 30 April 2021

[48]Aide-mémoire électronique 5^{ème} édition , Bogdan Grabowski Christian Ripoll et coll 2008

[50] <http://www.s-PSpice.martelectron.com/2014/03/pspice.html#ixzz7VGic8NdX>

[51][http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/Introduction-to-
pspice.php](http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/Introduction-to-pspice.php)

الملخص:

إن العمل المقدم في هذا البحث الهدف منه محاكاة الترانزستور ثنائي القطبية من النوع NPN باستعمال برنامج PSpice ورسم شبكة بياناته المميزة واستغلالها في حساب العوامل الهجينة h وتأثير درجة الحرارة على المميزات وفي الأخير تمكنا من دراسة المعالجة العلمية لتأثير درجة الحرارة من خلال حساب المقاومة الحرارية للمبرد. ولإنجاز هذا العمل اعتبرنا مجموعة من المعايير معامل تكبير الترانزستور β وحدود عمل الترانزستور، وقيمة درجة حرارة التبريد لا تتعدى (185°C) .

أشباه الموصلات، حاملات الشحنة، الدايمود، الترانزستور BJT، الباعث، المجمع، القاعدة.

Résumé :

Le travail présenté dans cet article vise à simuler le transistor bipolaire NPN à l'aide du programme PSpice et à dessiner son réseau de données caractéristique et l'exploiter dans le calcul des facteurs hybrides h et l'effet de la température sur les caractéristiques. Enfin, nous avons pu étudier le traitement scientifique de l'effet de la température en calculant la résistance thermique de la plaque de refroidissement. Pour accomplir ce travail, nous avons considéré un ensemble de critères, le facteur d'amplification du transistor β et les limites du travail du transistor, et la valeur de la température de refroidissement ne dépasse pas (185°C) .

Semi-conductors, diode, transistor BJT, émetteur, Collecteur , Base.