

الوحدة الأولى

مقدمة عن الدوائر المتكاملة

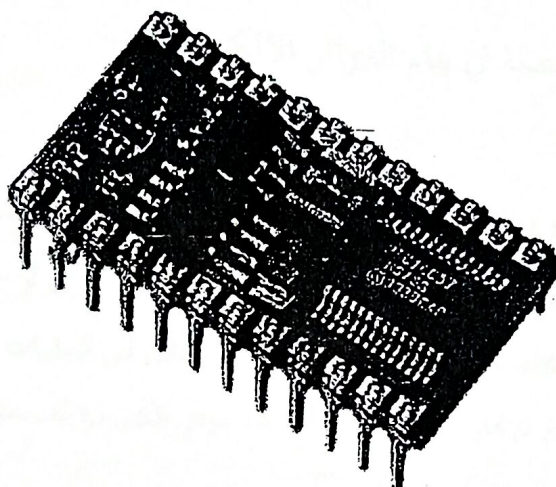
مقدمة

أدى التقدم في مجال الإلكترونيات إلى الظهور الدوائر المتكاملة، حيث كانت الدوائر الإلكترونية تصمم بعناصر منفصلة ويتم توصيل هذه العناصر مع بعضها بواسطة أسلاك. واستخدام الدوائر المتكاملة أدى إلى تصغير الحجم حيث يمكن استبدال رقاقة (شريحة) وحيدة بالآلاف من العناصر المنفصلة.

تعريف الدوائر المتكاملة

الدوائر المتكاملة عبارة شريحة رقيقة من مادة السيليكون تدعى رقاقة Chip تبلغ مساحتها عدة مليمترات وتحتوى على آلاف من المكونات الإلكترونية الدقيقة جداً، مثل الترانزستورات، الدايودات، المقاومات والمكثفات. وهذه القطع الكهربائية متصلة داخلياً مع بعضها داخل الرقاقة مكونة دائرة كهربائية. وتوضع الرقاقة على معدن أو صندوق بلاستيك وتلحم الرضلات إلى نقاط أرجل خارجية (External Pins) لتكون الدائرة المتكاملة، وقد تم إنتاجها لأول مرة بالولايات المتحدة في عام 1958.

وتعرف الدوائر المتكاملة باسم (IC) وهى اختصار لكلمة INTEGRATED CIRCUIT وتختلف عن غيرها من الدوائر الإلكترونية المؤلفة من قطع قابلة للفصل في أن قطع الدائرة المتكاملة لا يمكن فصلها، والدائرة الموجودة داخل IC يمكن الوصول إليها فقط عن طريق الأرجل الخارجية كما هو موضح بالشكل (1.1).



شكل (1.1): شريحة دائرة متكاملة

خصائص الرقائق الإلكترونية الحديثة

الشرائح الإلكترونية التي تستخدم في الوقت الحاضر، تحتوي على عشرات الآلاف من المكونات المختلفة، التي تيجثر في مساحة تبلغ حوالي 30 - 40 ملليمتر مربع يمكنها أن تخزن 64,000 وحدة من المعلومات (bit) يمكن للشرائح الحديثة المتطورة أن تقوم بمعظم العمليات التي تؤديها الحاسبة الإلكترونية ويطلق عليها المعالج المصغر أو الميكروبروسيسور .Microprocessor

يمكن حاليا إنتاج المئات من هذه الرقائق دفعة واحدة وذلك باستخدام وسائل تقنية حديثة مختلفة. تشتمل على عدة عمليات دقيقة متتابعة مثل عمليات التصوير باستخدام قوالب معبنة، والخفر، وترسيب مواد كيميائية تعمل كشوائب (مثل ذرات الفسفور) داخل الشبكة البلورية لعنصر السيليكون وذلك لتصبح الشريحة السيليكونية الواحدة في النهاية تعمل عمل أشباه الموصلات Semiconductors والتي تبني منها الترانزستورات وفي ختام عملية إنتاج الشرائح الإلكترونية، يتم وضع طبقة من مادة الألمنيوم يتكون منها أحزمة ثم تحفر لتكوين الروابط بالدوائر الخارجية.

سليبات استخدام العناصر المنفصلة في بناء الدوائر الإلكترونية

- 1- الحاجة إلى عناصر كثيرة.
- 2- عقد الدائرة واحتمالات كبيرة لحدوث الخطأ عند بناء دائرة إلكترونية تحقق غاية ما باستخدام أكثر من بوابة.
- 3- ضعف إمكانية وصل مخرج الدائرة مع ما يليها سواء كان ذلك دخل لدائرة أخرى أو حمل نريد التحكم بعمله بواسطة هذه البوابة وهذا ما يسمى بخاصية التحميل (Fan out) وغير ذلك من السليبات والتي يكون منها الحجم الكبير والكلفة العالية والزمن اللازم للإنجاز وهذا ما دفع إلى بناء دوائر إلكترونية باستخدام الدوائر المتكاملة والتي سبى الحديث عنها.

أهمية تصميم الدوائر المتكاملة

الأنظمة الإلكترونية تستخدم كثيرا في الحياة اليومية بدل من الأنظمة الميكانيكية والأنظمة الهيدروليكية لذلك الأنظمة الإلكترونية تستخدم في تطبيقات كثيرة بعضها مرئي وبعضها غير مرئي مثل:

- 1- الأنظمة الإلكترونية في السيارة (أنظمة الراديو - أنظمة حقن الوقود - أنظمة التحكم المختلفة (ABS))
- 2- الإلكترونيات الرقمية تستخدم في تجميع وفك البيانات الخاصة بالصور والفيديو
- 3- أنظمة عمليات النقل مثل الماكينات المستخدمة في البنوك أو أجهزة الحاسب الخاصة المستخدمة في البنوك
- 4- الحاسبات الشخصية المحطات التي يقوم عملها على معالجة الكلمات والألعاب الإلكترونية وأجهزة معالجة البيانات وأجهزة العرض السريعة
- 5- الأنظمة الإلكترونية الطبية التي تستخدم في قياس وظائف جسم الإنسان وهي أنظمة معقدة جدا

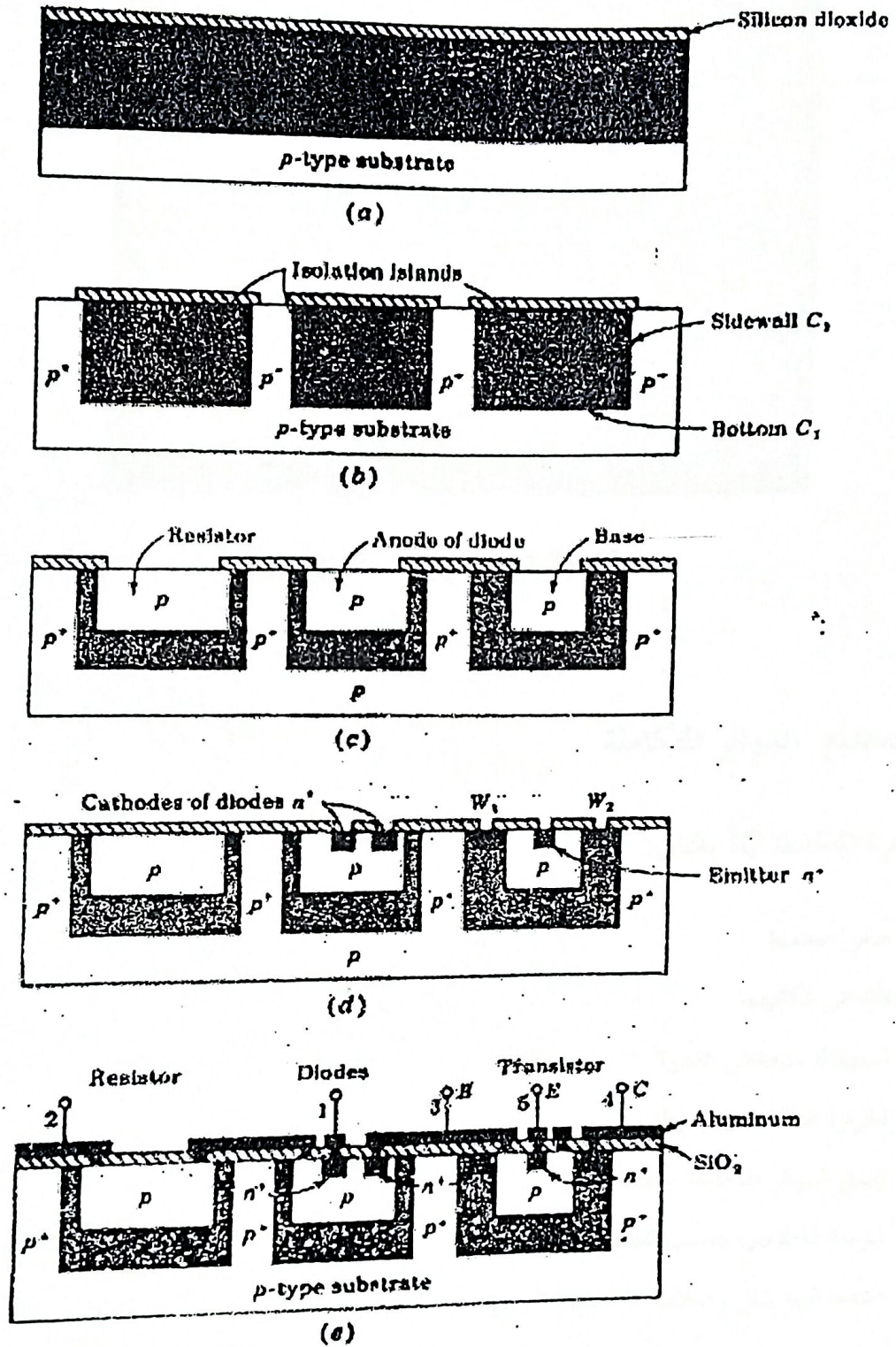
خطوات صناعة الدائرة المتكاملة

1. تكوين شبكة سلكون اسطوانية مصمتة من نوع p
2. تقطيع الاسطوانة إلى أقراص

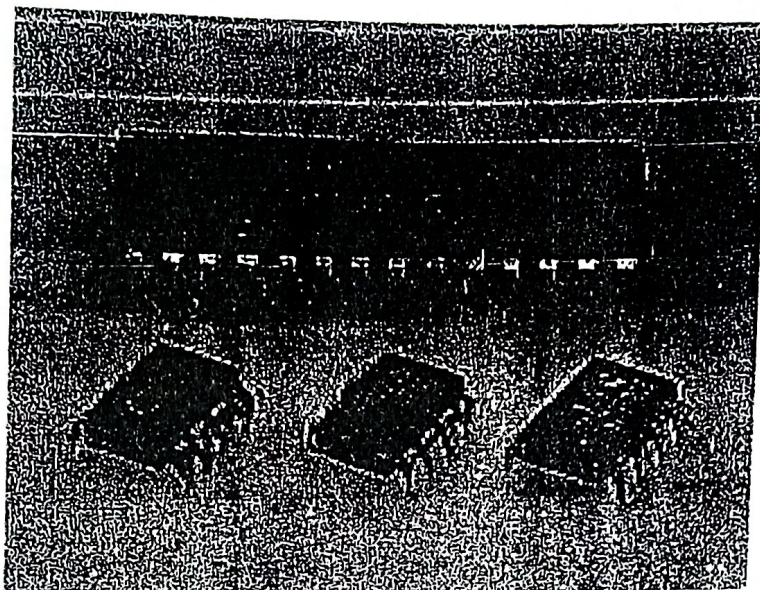
3. ترسيب طبقة رقيقة من نوع n
 4. حقن بنوع p -لصنع قاعدة الترانزستور والمقاومات
 - a. ترسيب طبقة من مادة حساسة للضوء
 - b. تعريض المناطق المراد حقنها للضوء
 - c. حقن بنوع p
 5. تكرار نفس الخطوات ولكن بنوع n -لصنع باعث الترانزستور
 6. تكرار نفس الخطوات للحقن بنوع P^+ للعزل بين الترانزستورات
 7. طبقة اوكسيد للعزل
 8. ثقب طبقة الاوكسيد في أماكن التوصيل وطباعة التوصيلات بالألومنيوم.
- والدائرة المتكاملة عبارة عن دائرة بكاملها موجودة في قطعة صغيرة من السيليسيوم أبعادها محدود ($1.5 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm} \times 0.2 \text{ mm}$) وتحتوي على عدد كبير من العناصر الإلكترونية: ترانزستورات، متصلات ثنائية، مقاومات، مكثفات ويصل عدد العناصر في البعض منها حالياً إلى 106. عنصر وتتصل الدائرة المتكاملة مع الدارة الخارجية بواسطة ما يدعى دبائيس (Pins).

الشكل (2 - 1) يوضح طريقة تشكيل مقاومة وموحد وترانزستور داخل شريحة IC كالتالي:

1. يتم وضع طبقة أساس (قاعدة) من مادة السيليكون نوع P وترسب عليها طبقة أخرى من مادة نوع N ثم توضع عليها طبقة من أكسيد السيليكون كما في الشكل a.
2. يتم حفر خنادق في الطبقة P لتشكيل وصلات الترانزستور والموحد والمقاومة كما بالشكال b, c, d.
3. توضع طبقة لتوصيل الأطراف الخارجية من الألمنيوم على الوصلات كما بالشكل e.
4. تغلف بغلاف أسود لتظهر كما بالشكل (3 - 1).



شكل (1.2) طريقة تشكيل مقاومة وموحد وترانزستور داخل شريحة IC



شكل (1.3) يوضح تغليف الدوائر المتكاملة

مميزات استخدام الدوائر المتكاملة

تتميز الدائرة المتكاملة IC بالتالي:

1. صغر حجمها
2. انخفاض تكاليفها
3. استهلاك منخفض للقدرة
4. الحرارة الناتجة عنها بسيطة
5. تعمل الدوائر المتكاملة بكفاءة عالية
6. سريعة مما يجعلها تناسب العمليات عالية السرعة
7. استخدامها يقلل وصلات الأسلاك الخارجية
8. عدم وجود لحامات داخلية يقلل من حدوث فصل داخلي للأطراف

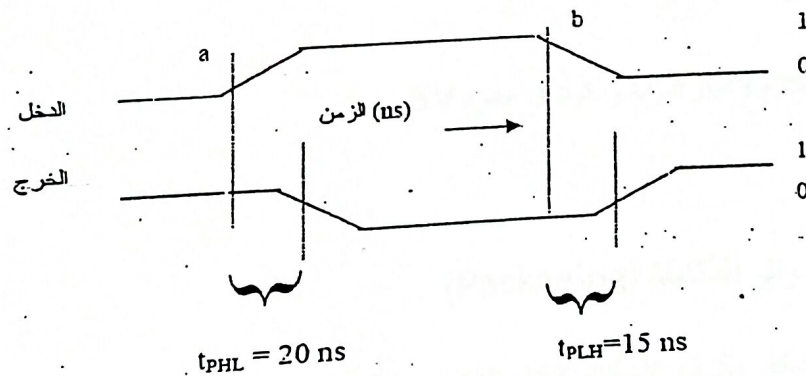
عيوب استخدام الدوائر المتكاملة

1. التأثير الكبير بدرجة الحرارة: فهي تعمل في درجة حرارة تتراوح بين 30 - 80 درجة مئوية وبالتالي فإنه من اللازم استخدام وسيلة للتبريد عند العمل على قدرات عالية.
2. صعوبة تصنيع الملفات داخل الدوائر المتكاملة نظرا لحجم الملف المصنع باستخدام طريقة تصنيع الدوائر المتكاملة وهو غير مناسب من ناحية المساحة المستخدمة.
3. صعوبة تصنيع مكثفات ذات سعة كبيرة نظرا لحجمها الكبير.
4. لا يمكنها العمل بتيارات كهربائية عالية بسبب صغر حجمها.
5. لا يمكن إصلاح الدائرة المتكاملة عند تلف أي جزء منها.

خصائص الدوائر المتكاملة

1. سرعة التشغيل

هو الزمن اللازم لانتقال الإشارة المنطقية إلى الخارج ويقاس بـ ns كما موضح بالشكل (1.4).



شكل (1.4) شكل الموجة عند مدخل و مخرج دائرة عاكس من TTL

2. الممانعة ضد الضوضاء

هي مقياس للدرجة التي تحصن بها البوابة ضد الضوضاء و تقاس بالفولت.

3. عدد تفرعات الدخل: Fan in

هو أقصى عدد من خطوط الدخل المفصلة للبوابه.

4. عدد تفرعات الخرج: Fan out

هو أقصى عدد من البوابات التي يمكن أن تغذيها البوابه بدون التأثير على مستوى الخرج المنطقي للبوابه.

5. القدرة المستهلكة

هي القيمة المتوسطة لكل من القدرة المستهلكة في حالة "1"، "0"، وتستهلك الدوائر المتكاملة قدرة صغيرة جدا حوالي 10 mw للنوع القياسي و 0.1 mw للنوع TTL ذات القدرة المنخفضة ونوع MOS استهلاكه للقدرة منخفض جدا.

6. جهد التغذية

هو الجهد اللازم لأنحياز البوابه ويكون في حدود 5V.

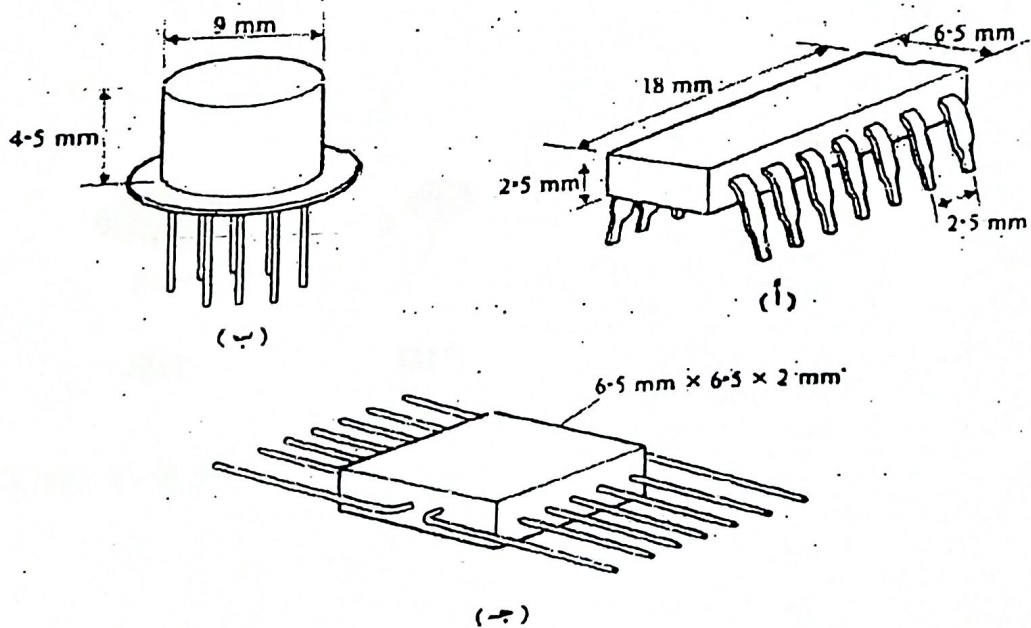
7. تغليف الدوائر المتكاملة (Packaging)

يوضح شكل (1.5) الأشكال الثلاثة الشائعة لمغلفات الدوائر المتكاملة ويوضح الشكل أ أكثر الاشكال شيوعا، وهو دائرة متكاملة مغلفة بالبلاستيك ولها 14 طرفا وتسمى (المغلفة ذات الطرفين Dual-In-Line Package) وتختصر DIP وتوجد سبعة أطراف على كل جانب (DIP) ذات الاطراف الأربعة عشر، ويقع كل زوج من الاطراف على نفس الخط وتبعد الاطراف عن بعضها بمسافة 2.5 mm. يسمح بتركيب الدوائر المتكاملة مباشرة في لوحات الدوائر المطبوعة القياسية.

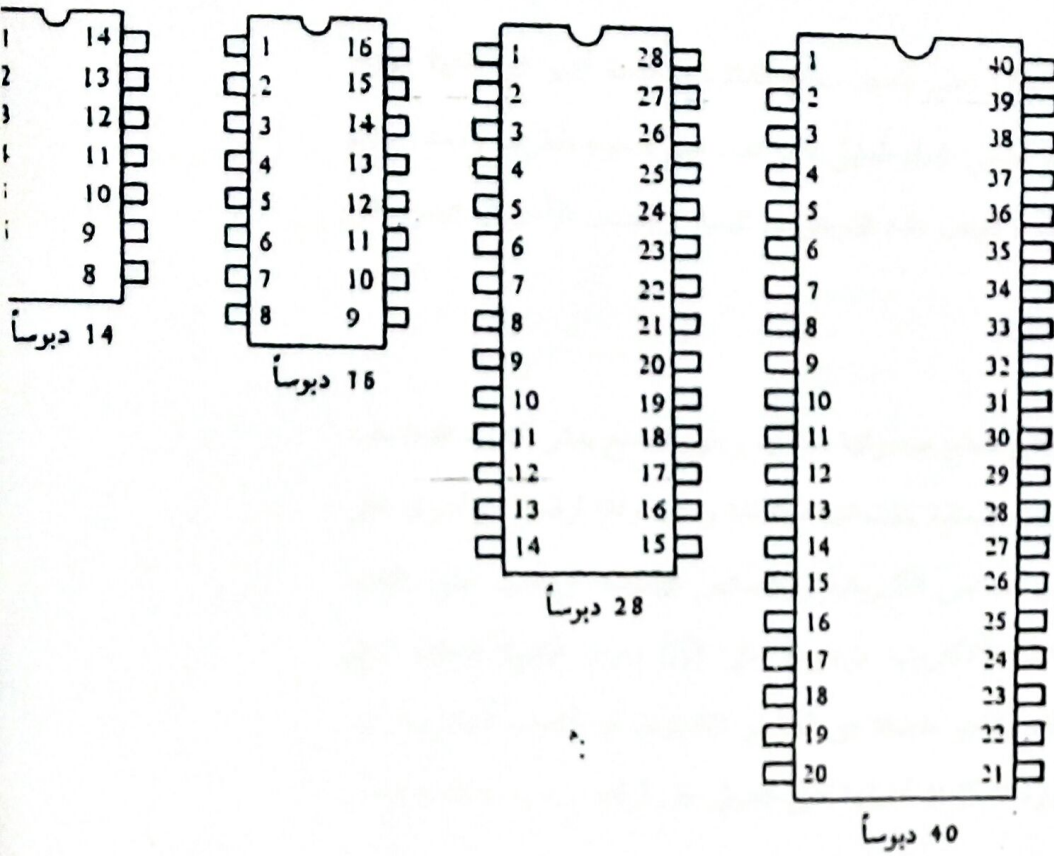
وتوجد عدة اشكال من (DIP) وفقا لدرجة تعقيد القطعة. نموذجيا يتم تصنيع مغلفات لها عدد من الأطراف من 8 وحتى 40 طرفا كما موضح بالشكل (1.6) ويشمل المغلف الأخير 40 طرفا المعالج الدقيق (Microprocessor).

أما النوع في الشكل ب ذو العلبة المعدنية الصغيرة فيحتوى على الدوائر المتكاملة في وعاء معدني صغير مغلق بإحكام. والنوع الثالث في الشكل ج ذو الظهر المسطح (Flat Back) المصنع عادة من السيراميك فهو مغلق بإحكام أيضا.

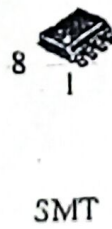
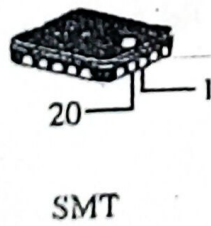
أما بعد التطور الهائل لتقنية تصنيع الشرائح الإلكترونية والحاجة لدوائر معقدة ازداد كثرة فإن المستخدم حاليا في تصنيع أجزاء الحاسب الآلي هو SMT أو تقنية التركيب السطحي. هذه الشرائح يتم وضعها على اللوحات الإلكترونية بدون الحاجة الى وجود ثقب على اللوحة وشكل (1.7) يوضح بعض من هذه الشرائح.



شكل (1.5) الأشكال الثلاثة الشائعة لمغلفات الدوائر المتكاملة



شكل (1.6) يوضح مغلفات لها عدد من الأطراف من 8 وحتى 40.

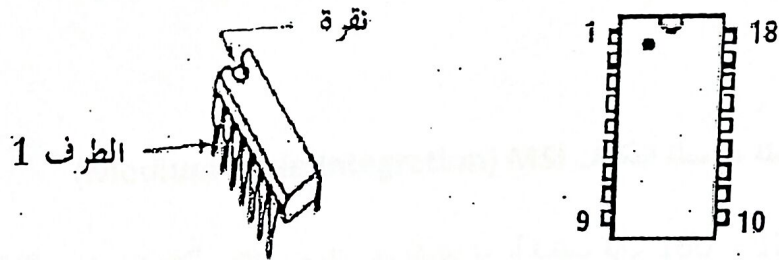


شكل (1.6) يوضح تقنية التركيب السطحي SMT

8. تمييز الأطراف

تميز الدائرة المتكاملة بحفرة على شكل حرف U أعلى وسط سطح الدائرة المتكاملة تشير إلى الجهة العليا، وإلى يسارها نقطة أو حفرة صغيرة مميزة على السطح تسمى نقطة الدليل لأنها تدل على وجود الطرف واحد. ويتم عد الأرجل من اليسار في عكس عقارب الساعة ويكون نصف عدد الأرجل في اليسار والنصف الآخر في اليمين كما موضح بالشكل (1.7).

و كل دائرة متكاملة لها رمز معين مطبوع على سطح صندوقها لمعرفة المصنع بنشر كتاب للتعليمات أو المكافئات (Data Sheet) يحتوي على المعلومات المتعلقة بالمنتجات المختلفة وذلك وفقا لرقمها وتحتوي على ثلاثة أقسام رئيسية ظروف التشغيل التي ينصح بها والخصائص انكهربائية والخصائص التبديلية. وبسبب تطور التقنية المعلوماتية أصبحت Data sheet للملايين العناصر الإلكترونية موجودة على CD حيث بمجرد إعطاء الرقم للكمبيوتر أو دائرة متكاملة وطلب البحث يتم إعطاء بيانات مفصلة عن العناصر الإلكترونية أو العنصر المطلوب أكثر من ذلك يمكن إعطاء نوع الوظيفة التي تريد من الدارة المتكاملة تحقيقها حتى نحصل على أرقام دارات متكاملة بنفس الوظيفة مع شرح مفصل عن الدارة المتكاملة.



شكل (1.7) يوضح تمييز أطراف الدائرة المتكاملة

تصنيف الدوائر المتكاملة

أ- تصنف الدوائر المتكاملة حسب طبيعة عملها إلى:

1. الدوائر المتكاملة الخطية Linear Intergrated Circuits

وهي الدوائر التي تتعامل مع إشارات متصلة لتعطي وظيفة الكترونية كما في المكبرات ومقارنات الجهد.

2. الدوائر المتكاملة الرقمية Digital Integrated Circuits

وهي الدوائر التي تتعامل مع إشارات ثنائية الحالة (binary).

ب- تصنيف الدوائر المتكاملة الرقمية حسب التكثيف

1. الدوائر المتكاملة قليلة التكثيف SSI (Small Scale Integration)

هي أقل الدوائر المتكاملة الرقمية تعقيدا، وتحتوي على ما يصل إلى 12 بوابة منطقية أو ما يعادلها.

2. الدوائر المتكاملة متوسطة التكثيف MSI (Medium Scale Integration)

وتحتوي من 12 - 100 بوابة منطقية أو ما يعادلها وهي تقوم بوظائف أكثر تعقيدا من SSI ومن ضمنها العدادات

(Counters) وفاق الشفرة (Decoders) والمشفّر (Encoders) والذاكرات الصغيرة (Small

Memories) والدوائر الحسابية (Arithmetic Circuits).

3. الدوائر المتكاملة عالية التكثيف LSI (Large Scale Integration)

هذه الدوائر تحتوي على أكثر من 100 بوابة أو ما يعادلها، وتحتوي على ذاكرات كبيرة وميكروبرسورات (Microprocessors).

4. الدوائر المتكاملة عالية التكيف جدا VLSI (Very Large Scale Integration)

تحتوي هذه الدوائر على آلاف البوابات الرقمية أو ما يعادلها، وذلك في صندوق واحد على رقاقة واحدة (Single Chip).

5. وقد ظهر حديثاً الدوائر المتكاملة ذات العدد فوق الكبير جداً

- Ultra Large Scale Integration
- Wafer Scale Integration
- System-on-Chip (SOC)

أسئلة على الوحدة الأولى

س1: اذكر مميزات الدوائر المتكاملة ؟

س2: ما المقصود بكل من :

1 - الدوائر المتكاملة SSI.

2 - الدوائر المتكاملة VLSI.

3 - عائلة TTL.

س3: وجود الحروف LS إلى أرقام IC

س4: كيف تصنع العناصر في الدوائر المتكاملة؟

س5: اذكر عيوب الدوائر المتكاملة؟

س6: أكمل الفراغ:

الدائرة المتكاملة عبارة عن من تدعى وتصنف حسب

طريقة عملها إلى و كما يعبر عن عائلة TTL عن طريق المتسلسلة

..... أو حيث تستخدم الأولى في التطبيقات وتستخدم الثانية

في التطبيقات المعيارية

س6: ما هو الغرض من كتاب التعليمات؟

الوحدة الثانية

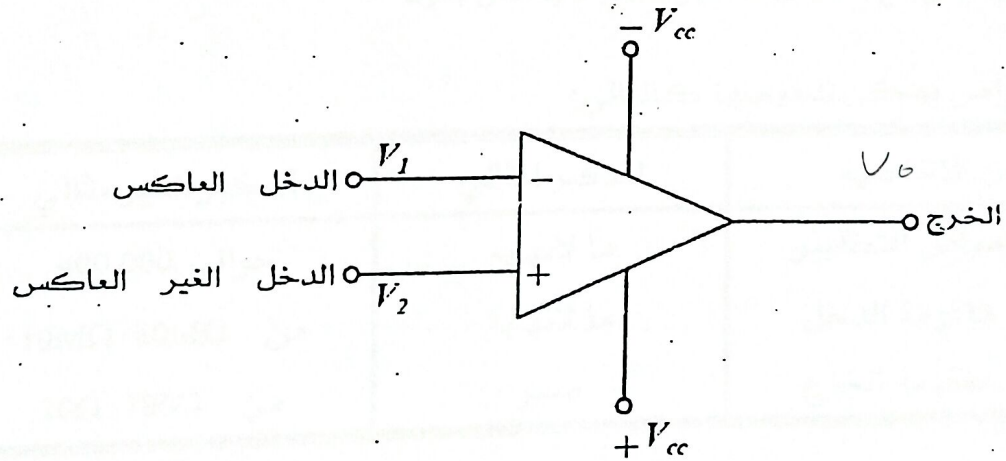
الدوائر المتكاملة التناظرية

مقدمة

من أشهر هذه الدوائر هي مكبرات العمليات ودوائر مثبتات الفولت وكان لانتشار الدوائر المتكاملة الرقمية أثر كبير في محدودية استخدام هذه الدوائر.

تركيب مكبر العمليات

يعتبر مكبر العمليات من أشهر الدوائر التكاملية وأشيعها استخداماً في كثير من الدوائر الإلكترونية المستخدمة في هذه الأيام. ولقد سمي بذلك لكثرة العمليات التي يستخدم فيها. إن مكبر العمليات هو نظام إلكتروني له دخلين V_1 ، V_2 وخرج واحد هو V_o الرمز المشهور له موضح في الشكل (١).



خرج مكبر العمليات هو عبارة عن الفرق بين قيمة كل من الجهدين V_1 ، V_2 ، الموجودين على طرفي الدخل مضروباً في معامل التكبير لهذا المكبر A_o ويمكن كتابة هذا الخرج كالتالي:

$$V_o = A_o(V_2 - V_1)$$

في المعادلة رقم (١) إذا وضعنا $V_1 = 0$ فإن الخرج يصبح

$$V_o = A_o V_2$$

أما إذا وضعنا $V_2 = 0$ فإن الخرج يصبح

$$V_o = -A_o V_1$$

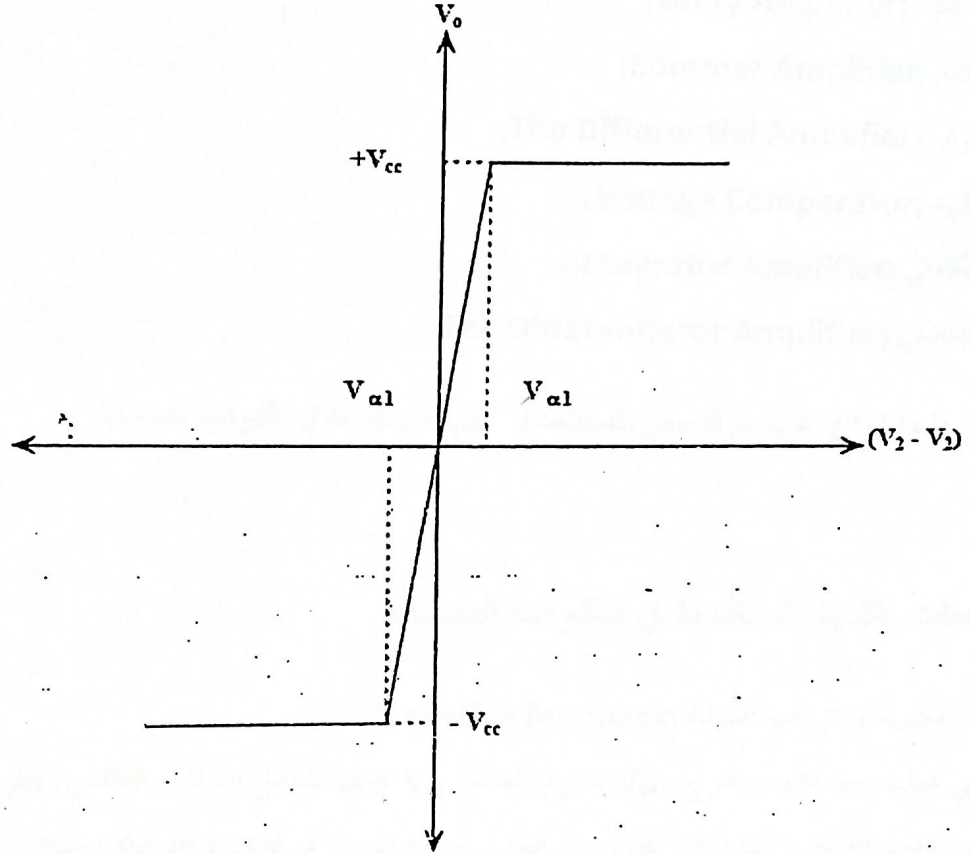
المعادلتان 2 ، 3 معناهما أن أي جهد موجب على الطرف V_2 يعطي في الخرج جهد موجب أيضاً. أما المعادلة (3) فمعناها أن أي جهد موجب على الدخل V_1 يعطي جهد سالب في الخرج نتيجة لوجود الإشارة السالبة لذلك فإن الدخل V_1 عادة يسمى الدخل العاكس والدخل V_2 يسمى الدخل غير العاكس. و عندما نتكلم عن خواص مكبر العمليات فإننا فسوف نفرق بين مكبر العمليات المثالي ومكبر العمليات الغير مثالي مع العلم أن المكبر المثالي لا يمكن بناؤه.

وهذه الخواص يمكن تلخيصها كالتالي:

الخاصية	المكبر المثالي	المكبر الغير مثالي
معامل التكبير	ما لانهاية	حوالي 400.000
مقاومة الدخل	ما لانهاية	من $10M\Omega : 80M\Omega$
مقاومة الخرج	صفر	من $10\Omega : 100\Omega$

والشكل يوضح الطرفين المستخدمين لتوصيل مصدر الطاقة.

مكبر العمليات يمتاز بأن خرج V_o يتغير تغيراً خطياً بالنسبة لتغير الفرق بين الدخلين $(V_2 - V_1)$ كما هو موضح بالشكل



وفي هذا الشكل تلاحظ أن V_o يتغير خطياً مع $(V_2 - V_1)$ طالما أن الأخير له قيمة صغيرة جداً (حوالي واحد مللي فولت) أما إذا زاد الفرق $(V_2 - V_1)$ عن V_{ol} أو $-V_{ol}$ فإن خرج المكبر يصل إلى درجة التشبع ويثبت عند قيمة جهد مصدر الطاقة الخاص به وهو إما $+V_{cc}$ أو $-V_{cc}$ وذلك حسب إشارة $(V_2 - V_1)$. كما نعلم فإن كل نوع من أنواع التطبيقات يحتاج إلى معامل تكبير معين، وكما رأينا فإن مكبر العمليات له معامل تكبير محدد وكبير جداً وغير قابل للتغيير. وللتغلب على ذلك فإنه من الضروري إضافة بعض المكونات الخارجية مثل المقاومات والمكثفات على حسب التطبيقات التي سيستخدم فيها مكبر العمليات.

انواع المكبرات التشغيلية (Operational Amplifiers' types):

1. مكبر العمليات غير العاكس (Non Inverting Amplifier)
2. مكبر العمليات العاكس (Inverting Amplifier)
3. مكبر الوحدة (Unity Amplifier)
4. المكبر الجامع (Summer Amplifier)
5. المكبر الفرقى (The Differential Amplifier)
6. مقارن الجهد (Voltage Comparator)
7. المكبر التكاملى (Integrator Amplifier)
8. المكبر التفاضلى (The Differentiator Amplifier)

وقبل التحدث عن هذه الانواع يجب معرفة بعض المصطلحات الفنية المستخدمة في المكبرات التشغيلية.

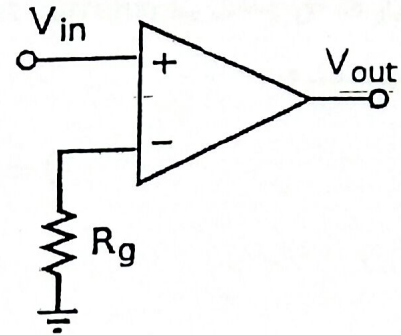
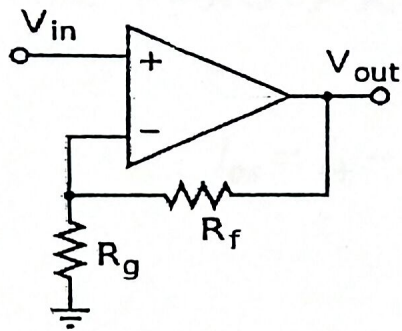
بعض المصطلحات الفنية المستخدمة في المكبرات التشغيلية

1- التغذية العكسية او الرجعية السالبة (Negative feedback):

وهي عملية ربط الجهد الخارج V_{out} بالجهد الداخلى V_{in} (وهنا المدخل السالب العاكس) بطريقة تمكن من حذف جزء من الجهد الداخلى. ولها فوائد كثيرة مثل التقليل من التشويش في الاشارة الداخلة وبالتالي الخارجة ومنها ينقسم المكبر لنوعين حسب وجود التغذية العكسية:

- أ- مكبر الدائرة المفتوحة (Open Loop Amplifier) : لا يوجد لهذا المكبر تغذية عكسية سالبة
- ب- مكبر الدائرة المغلقة (Close Loop Amplifier) : يوجد لهذا المكبر تغذية عكسية سالبة

الشكل المكبر العمليات لغير عاكس (الايمن لمكبر دائرة مفتوحة والايسر لمكبر دائرة مغلقة لها تغذية عكسية).
في بعض الحالات مثل مكبر المقارن لجهد يوجد تغذية عكسية موجبة (توصل مع المدخل الموجب غير العاكس



2- جهد الدخل الفرقي V_{ID} (Differential Input Voltage) : وهو فرق الجهد الأقصى بين المدخلين العاكس وغير العاكس

$$V_{ID} = V_- - V_+$$

2- مقاومة الدخل R_i (Input Resistance) : وهي المقاومة عند أحد المدخلين أو كلاهما.

3- مقاومة الخرج R_f (Output Resistance) : وهي المقاومة عند الخرج وتسمى في بعض الأحيان مقاومة التغذية العكسية feedback resistance.

4- تيار الدخل الانحيازي I_{IB} (Input Bias Current) : وهو متوسط تيارات المدخلين عندما يكون الخرج في حالة جهد صفري

$$I_{IB} = \frac{I_+ + I_-}{2} \rightarrow V_{out} = 0$$

5- جهد الدخل المعادل V_{os} (Input Offset Voltage) : وهو الجهد الواجب تطبيقه بين المدخلين لنحصل على جهد خرج صفري.

6- تيار الدخل المعادل I_{os} (Input Offset Current) : وهو الفرق بين تيارات المدخلين عندما يكون الخرج في حالة جهد صفري

$$I_{os} = I_+ - I_- \rightarrow V_{out} = 0$$

7- كسب الجهد ($Voltage Gain A_v$) : وهو النسبة بين جهد الخرج وجهد الدخل

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

وهناك نوعين من كسب الجهد إحداها للدائرة المفتوحة A_{ol} والأخرى للدائرة المغلقة A_{cl} والعلاقة بينهما

$$A_{cl} = \frac{A_{ol}}{1 + \beta A_{ol}}$$

حيث β معامل التغذية العكسية.

8- معدل الامالة SR (Slew Rate) : ويساوي النسبة بين التغير في جهد الخرج إلى زمن هذا التغير عندما تكون مقاومة الحمل $2 K\Omega$

$$SR = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta t}$$

9- النطاق العرضي للترددات ($Band Width$) BW : وهو حدود الترددات التي يعمل عندها باستقرار

10- (GBW) : وهو حاصل ضرب النطاق العرضي في الكسب

$$GBW = A_v \times BW$$

11- نسبة رفض النمط المشترك (Common – mode rejection ratio) CMRR

نموذجيا في حالة الجهدين متساويين $V_+ = V_-$ فإن جهد الخرج $V_{out} = 0$ ولكن بسبب وجود إشارة على طرفي الدخول تسمى إشارة النمط المشترك وهي عادة إشارة ضوضاء غير مرغوبة.

بالتالي مقدرة المكبر على إخماد إشارات النمط المشترك تقاس بنسبة تسمى نسبة رفض النمط المشترك

$$CMRR \left(\frac{A_d}{|A_{cm}|} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{A_d}{A_{cm}} \right)^2 dB = 20 \log_{10} \left(\frac{A_d}{|A_{cm}|} \right) dB$$

حيث الكسب الأول هو الكسب الفرقي النموذجي

$$A_d = \frac{V_{out}}{V_{ID}} = \frac{V_{out}}{(V_+ - V_-)}$$

والكسب الآخر لنمط المشترك

$$A_{com} = \frac{V_{out}}{V_{com}} = \frac{V_{out}}{\frac{(V_+ + V_-)}{2}}$$

مكبر العمليات العاكس (Inverting Amplifier)

الشكل يبين مكبر العمليات العاكس ونلاحظ ان جهد الدخل متصل بالطرف العاكس السالب والطرف الغير عاكس الموجب متصل بالأرضي بالتالي $V_+ = 0$ و $V_- = V_{in}$. ايضا نلاحظ وجود التغذية العكسية السالبة ومقاومتها بالإضافة الى مقاومة الدخل موصلة بين طرف العاكس وإشارة الدخل.

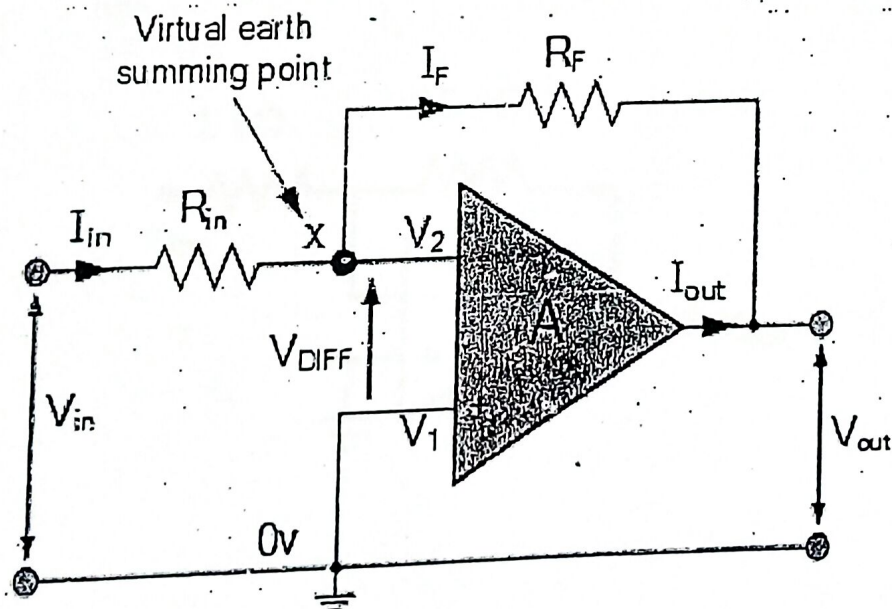
معامل كسب الجهد

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = - \frac{I_F R_F}{I_i R_i} = - \frac{R_F}{R_i}$$

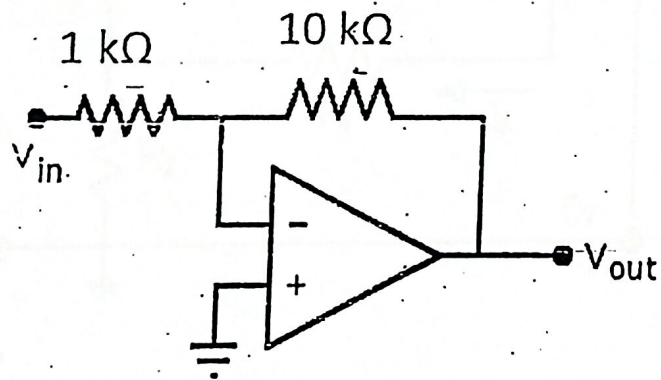
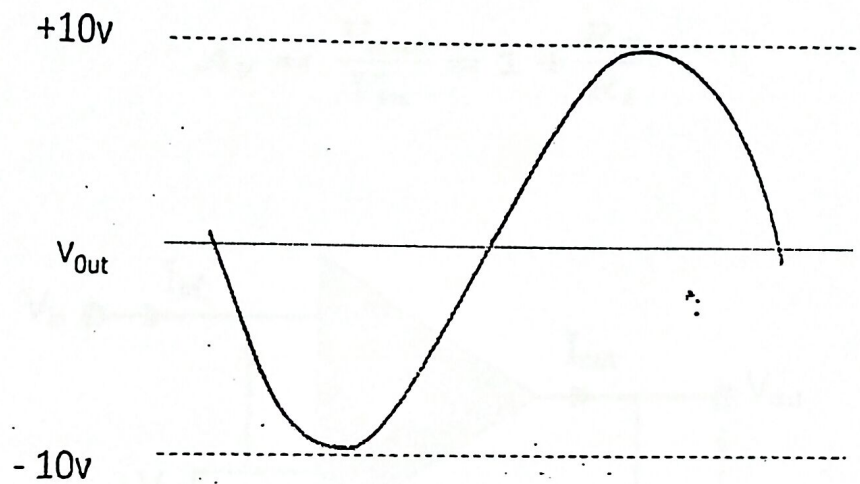
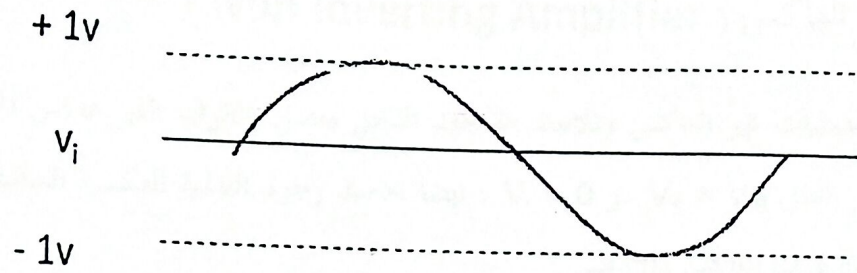
ونلاحظ ان تيار التغذية او الخرج هو نفسه تيار الدخل

$$I_F = I_i$$

السالب هنا لانه عاكس ويبين وجود فرق في الطور



بالنسبة لشكل الموجة الخارج سوف تكون مكبر وعكس موجة الإدخال 180 درجة كما في الشكل

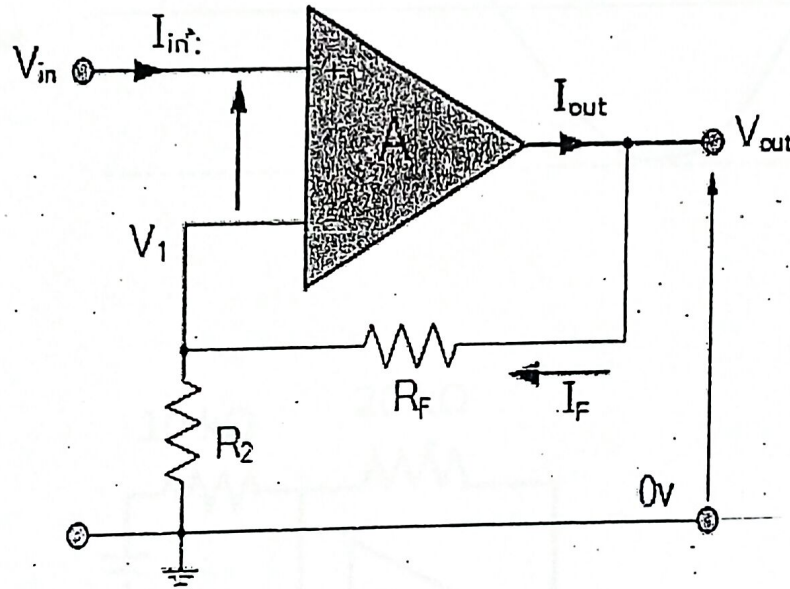


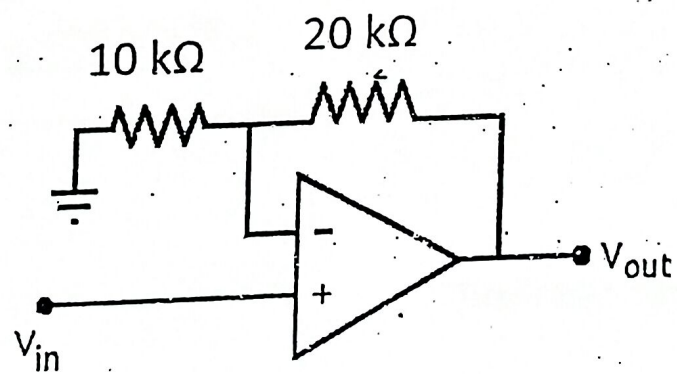
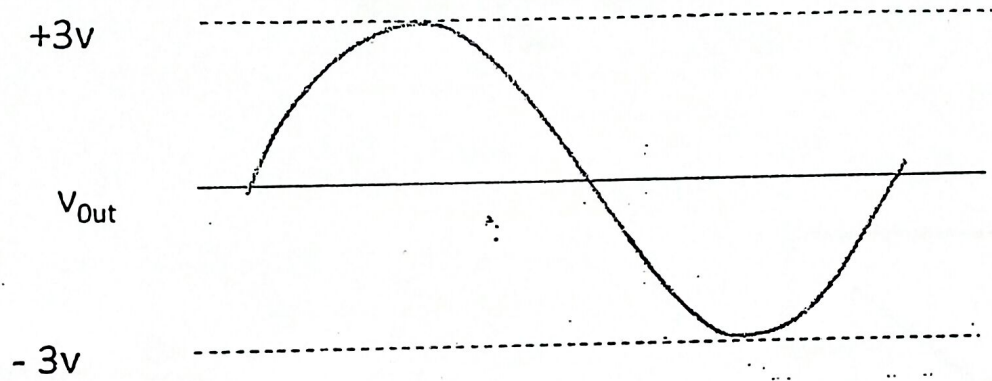
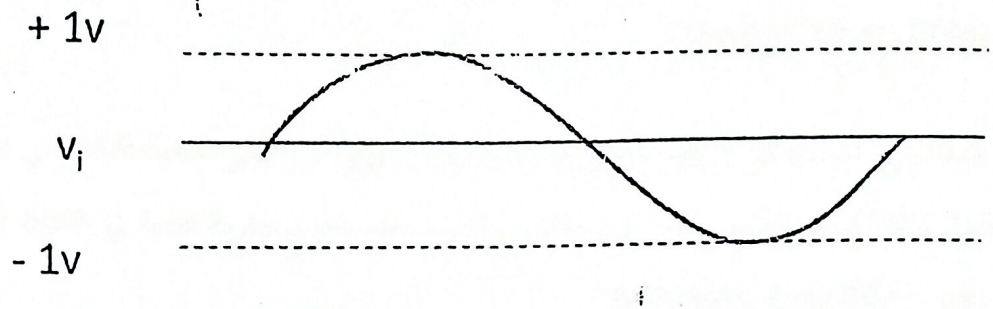
مكبر العمليات غير العاكس (Non Inverting Amplifier)

الشكل يبين مكبر العمليات غير العاكس ونلاحظ ان جهد الدخل متصل بالطرف الغير عاكس الموجب والطرف العاكس السالب متصل بالأرضي بالتالي $V_+ = V_{in}$ و $V_- = 0$. ايضا نلاحظ وجود التغذية العكسية السالبة ومقاومتها بالإضافة الى مقاومة الدخل موصلة بين طرف العاكس والأرضي .

معامل كسب الجهد

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 + \frac{R_F}{R_2}$$



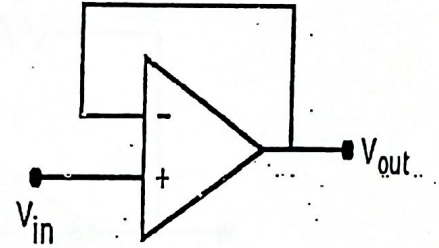
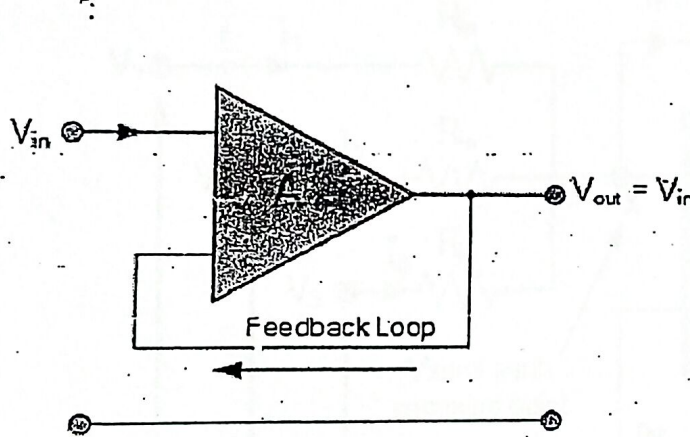


مكبر الوحدة Unity Amplifier

هو المكبر يعطي جهد الخرج مساويا تقريبا لجهد الدخل في القيمة $V_{out} \approx V_{in}$ وله نفس القطبية لذلك سمي بمكبر الوحدة وهو يستخدم عادة في العزل والشكل بين مكبر وحدة غير عاكس ونلاحظ عدم وجود مقاومة تغذية في التغذية الرجعية السالبة .
ويسمى ايضا بمكبر التابع Follower Amplifier

ومعامل كسب الجهد

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} \approx 1$$



المكبر الجامع (Summer Amplifier)

في الشكل نلاحظ مكبر عاكس ولكن بدل من دخول اشارة واحدة دخول عدة اشارات فكل اشارة دخل لها جهد و تيار ومقاومة دخل تتجمع في نقطة واحدة قبل دخول المكبر. تسمى هذا النوع بالمكبر الجامع لانه يجمع اشارات الدخل.

وقمة جهد الخرج للمكبر الجامع هو

$$V_{out} = -\left(\frac{R_F}{R_1}V_1 + \frac{R_F}{R_2}V_2 + \frac{R_F}{R_3}V_3 + \dots + \frac{R_F}{R_N}V_N\right)$$

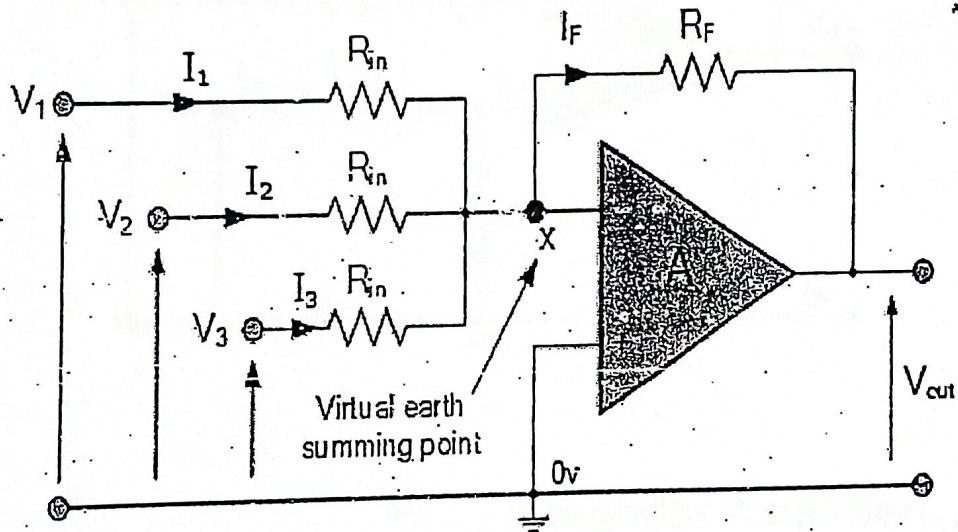
وفي حالة تساوي المقاومات

$$R_F = R_1 = R_2 = \dots R_N$$

يكون جهد الخرج يساوي مجموع جهود الدخل

$$V_{out} = -(V_1 + V_2 + V_3 \dots \dots \dots + V_N)$$

يجب ملاحظ السالب لانه مكبر عاكس جامع



المكبر الفرقى (The Differential Amplifier)

في انواع المكبرات السابقة لاحظنا وجود جهد دخل من طرف واحد بينما الطرف الاخر موصل بالأرضي ولكن عندما يكون جهود الدخل او شارة الدخل متصل بالطرفين العاكس والغير عاكس كما في الشكل نأخذ الفرق بين جهود الدخل لذلك سمي بمكبر العمليات الفرقى (او الطراح) وهو يكبر الفرق بين اشارتين الدخل.

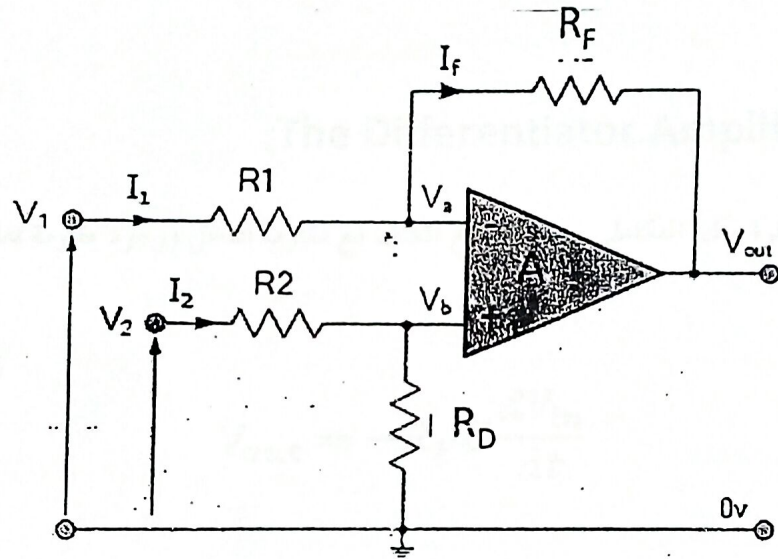
وجهد الخرج لمكبر الفرقى

$$V_{out} = \frac{R_F}{R_1} (V_+ - V_-) = \frac{R_F}{R_1} V_{ID}$$

ودائما في هذا المكبر

$$R_1 = R_2$$

$$R_F = R_D$$

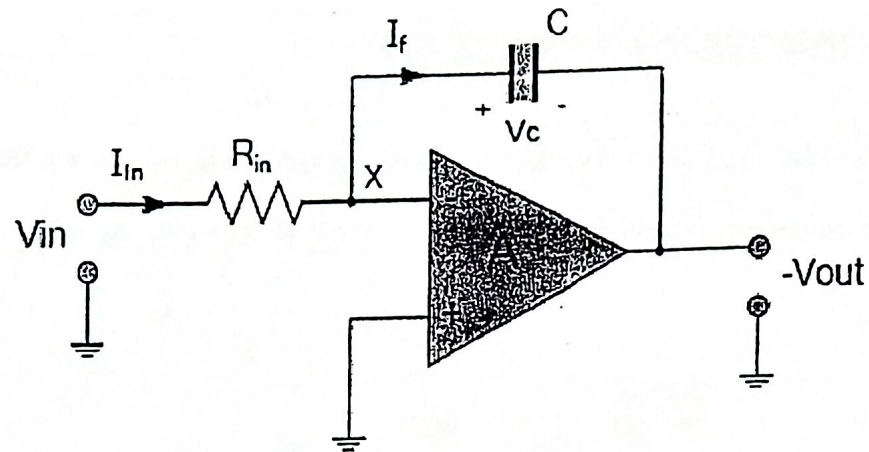


المكبر التكافلي (Integrator Amplifier)

وبين الشكل أن مكبر عاكس ذو تغذية رجعية سالبة واستبدل مقاومة الخرج او مقاومة التغذية بمكثف . وبالمطبع وجود مقاومة دخل. وهنا إشارة الخرج عبارة عن تكامل إشارة المدخل بالنسبة للزمن.

جهد الخرج يساوي

$$V_{out} = -\frac{1}{R_{in}C} \int_0^t V_{in} dt$$

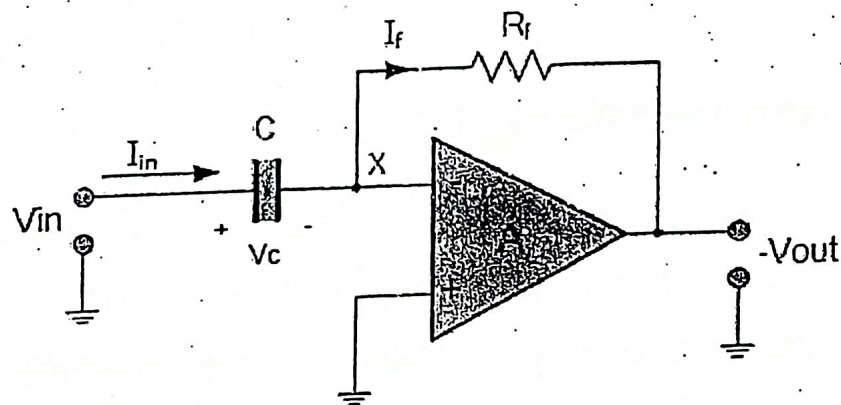


المكبر التفاضلي (The Differentiator Amplifier)

المكبر التفاضلي يشبه دائرة مكبر التكامل مع تغير وضع المكثف مع مقاومة الدخل ووجود مقاومة تغذية

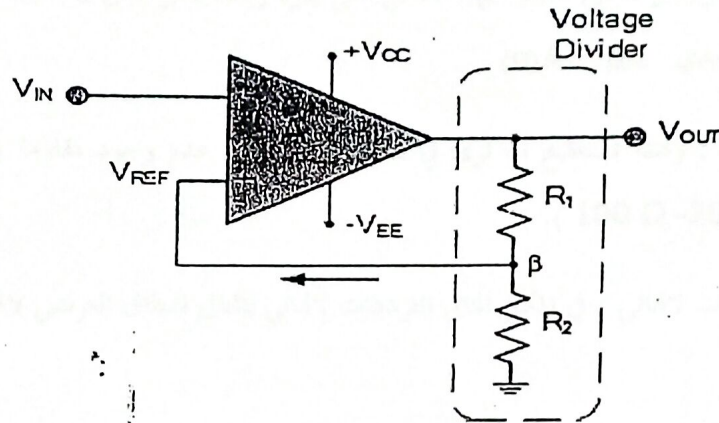
وجهد الخرج يساوي

$$V_{out} = -R_F C \frac{dV_{in}}{dt}$$



مكبر مقارن الجهد (Voltage Comparator)

يستخدم المكبر كمقارن لجهد بحيث يقارن الجهد على أحد المداخل مع جهد الاساس الموجود عند المدخل الاخر وهناك نوعان من المقارنات وهما مقارن لجهد عاكس (عند دخول اشارة الجهد على المدخل العاكس) واخر غير عاكس (عند دخول اشارة الجهد على المدخل الغير عاكس)



والجدير بالذكر أن المقارن يتعرض لتأرجح في خرجه لوجود جهود صغيرة يفعل الضوضاء في المداخل ولتجنب ذلك يضاف مقاومة تغذية عكسية موجبة (أي متصلة بالطرف الموجب الغير عاكس).

مكبر مقارن الجهد (Voltage Comparator)

الشكل يبين شكل موجة داخلية جيبة وخارجية مربعة (لمكبر مقارن للجهد غير عاكس يقارن موجة جيبة جهدها 5V بجهد اساسي مستمر يساوي 3V بحيث الموجة الخارجة المربعة تحمل قيمتان حالة التشبع الموجب $V_{sat} + 15V$ (تقريبا) عندما يكون اكبر من الجهد الاساسي 3V وحالة قيمتان حالة التشبع السالبة $V_{sat} - 15V$ (تقريبا) عندما يكون اصغر من الجهد الاساسي

3V

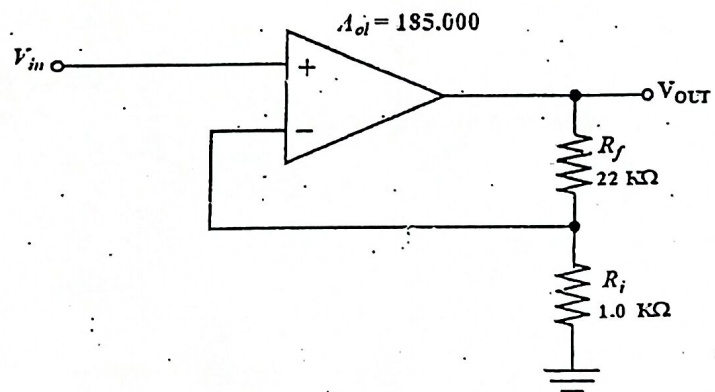
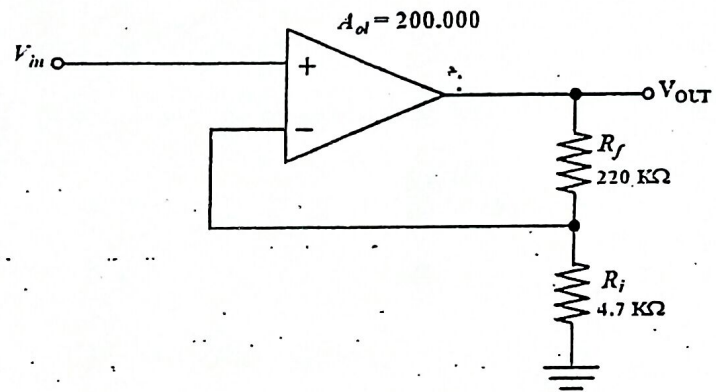
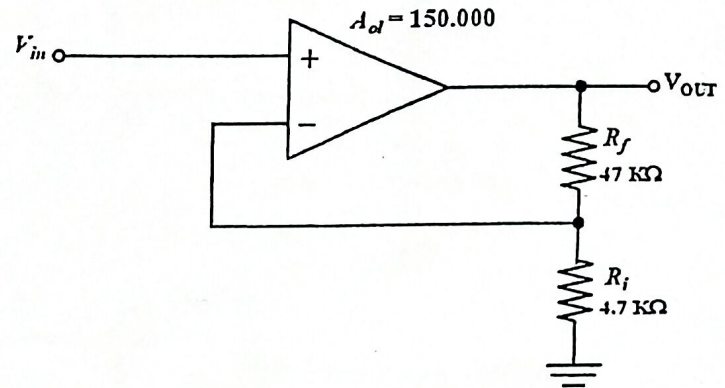
المكبر المثالي والمكبر العملي (Ideal & Real Amplifiers)

الانواع السابقة كانت لمكبرات عملية ولكن هناك بعض الشروط التي تجعل من المكبر مكبر مثالي

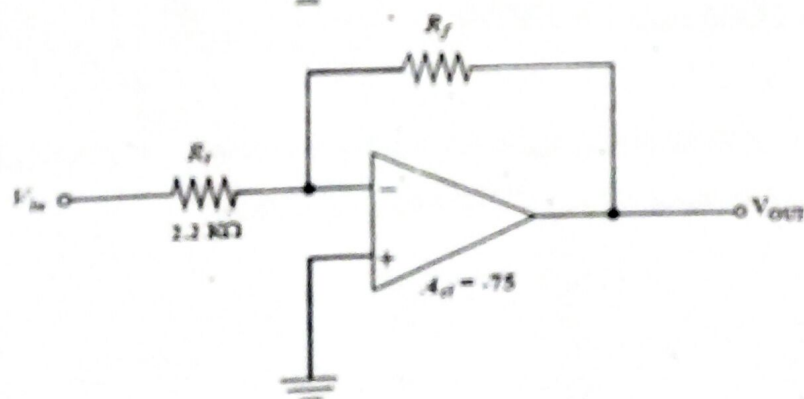
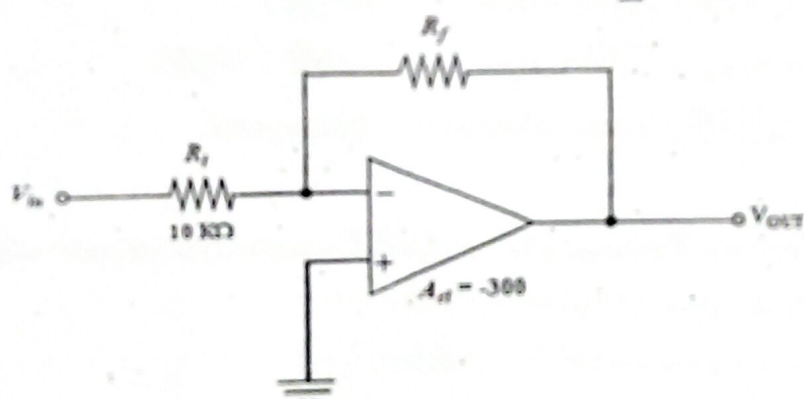
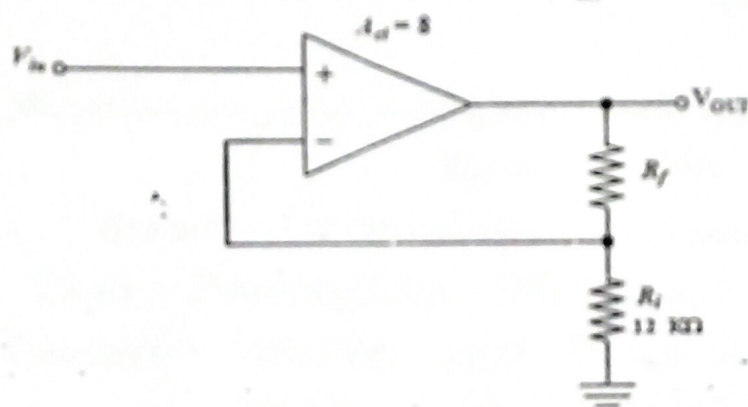
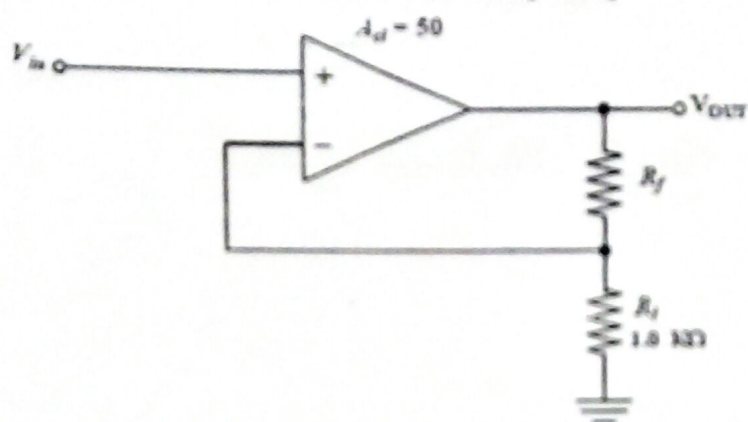
1. كسب الجهد لدائرة المفتوحة لانهائي : (القيمة لمكبر حقيقي في مدى 20000 إلى 200000).
2. مقاومة الدخل لانهائي : والمقاومة هي قسمة جهد الدخل على تياره وعند مكبر مثالي $I_{in} = 0$ ولكن (القيمة لتيار الدخل لمكبر حقيقي صغير في مدى $pA \sim mA$).
3. مقاومة الخرج صفري : وهذا نستطيع ان نرى في مكبر الوحدة عند عدم وجود مقاومة (ولكن مقاومة الخرج لمكبر حقيقي في مدى $100 \Omega - 20-K\Omega$).
4. نطاق العرضي الترددات لانهائي : في المكبر المثالي الترددات لانهائي بالتالي النطاق العرضي لانهائي وهذا ينطبق على مكبر الوحدة او التابع.
5. جهد الدخل المعادل صفري: ويكون صفر لمكبر مثالي عندما يكون الفرق بين جهد المدخلين صفر او المدخلين موصلين ارضي (ولكن في المكبر الحقيقي جهد الدخل المعادل يكون له قيمة).
6. معدل الامالة لانهائي
7. نسبة الرفض لنمط المشترك صفري و الضوضاء صفري

أسئلة على الوحدة الثانية

١. أوجد معامل الكسب لمكبر العمليات في الدوائر التالية:



٢. أوجد قيمة المقاومة R_f لكي يعطي مكبر العمليات الكسب المطلوب A_d



الوحدة الثالثة

الدوائر المتكاملة الرقمية

فصائل الدوائر المتكاملة الرقمية

تتوفر العديد من الفصائل للدوائر المتكاملة الرقمية ونذكر فيما يلي بعض هذه الفصائل :

1 - الفصائل ثنائية القطبية : Bipolar Families

- أ - منطق المقاومة - الترانزستور (RTL) Resistor - Transistor Logic
- ب - منطق النبيلة الثنائية - الترانزستور (DTL) Diode - Transistor Logic
- ت - منطق الترانزستور - الترانزستور (TTL) Transistor - Transistor Logic
- ث - منطق اقتران الباعث (ECL) Emitter - Coupled Logic
- ج - منطق ذو المستوى الخد الرفيع (HTL) High - Threshold Logic
- ح - منطق الحقن المتكامل (IIL) Integrated - Injection Logic

2- فصائل أشباه الموصلات ذات الأوكسيد والمعدن (MOS) Metal Oxide Semiconductor

- أ - شبه الموصل ذو الأوكسيد والمعدن (قناة N) (NMOS)
- ب - شبه الموصل ذو الأوكسيد والمعدن (قناة P) (PMOS)
- ت - شبه الموصل من النوع MOS المتتام (CMOS)

أما الفصائل الأكثر شيوعاً في الوقت الحالي هي فصيلة (منطق الترانزستور - والترانزستور) TTL من فصائل ثنائية القطبية (شبه الموصل من نوع MOS المتتام) CMOS .

عائلة TTL تستخدم في وظائف رقمية عديدة وهي أكثر عائلات المنطق شيوعاً

عائلة CMOS تستخدم في النظم التي تتطلب استهلاك قليل للطاقة

ويُعبّر عن TTL عن طريق ترقيمها بـ 74XXX أو 54XXX حيث إن الأولى تستخدم ضمن واسع لذلك تناسب الاستخدامات العسكرية . والثانية (74XXX) مداها الحراري للاستخدام الصناعي .

وكذلك CMOS تميز عن طريق المتسلسلة 40XX مثل 4050 و 4002 .

أولاً: الدوائر المتكاملة الرقمية عائلة TTL

تستخدم في بناء هذه الدوائر المتكاملة ترانزستورات ثنائية القطبية BJT ولكنها تحتوي على أكثر من باعث وتنتج عدة سلاسل أكثرها انتشاراً سلسلة 54 وتستخدم في الاستخدامات العسكرية وسلسلة 74 وتستخدم في الاستحدا كان تعقيد الدوائر المتكاملة الرقمية فأما بسيطة تتكون من بوابات منطقية Gates والبوابات المنطقية لما حالة الواحد المنطقي أو حالة 0 الصفر المنطقي.

مميزات عائلة TTL

1. لا تتأثر بالشحنات الكهربائية الساكنة (الاستاتيكية) لأنها مصنوعة من ترانزستورات عادية
2. سعرها زهيد بالمقارنة مع العناصر الإلكترونية الأخرى
3. لها تردد قطع عالي

عيوب عائلة TTL

1. جهد دخل التغذية لها صغير يجب أن لا يقل عن 4,5 - فولت ولا يزيد عن 5 فولت ولهذا يفضل تغذيتها بدائرة متكاملة منظمة للجهد Voltage Regulator مثل 7805 التي تقوم بتنظيم الجهد وتثبيتته عند 5 فولت.
2. ومن عيوبها المدى الحراري لها صغير.

ثانياً: الدوائر المتكاملة الرقمية عائلة CMOS

CMOS هي اختصار لـ Complementary Metal Oxide Semiconductor - أي شبه موصل أكسيد الفلز المكمل، ويعد فئة كبيرة من الدوائر المدمجة. تحتوي شريحة CMOS على معالج دقيق ومتحكم دقيق وذاكرة عشوائية ساكنة ودوائر أخرى للمنطق الرقمي. الطابع المركزي للتكنولوجيا هو أنها تستخدم طاقة هائلة عندما تتغير حالة الترانزستور بما بين وضع التشغيل والإغلاق. بالتالي فإن CMOS يستخدم قدر صغيرة من الطاقة ولا تنتج قدراً هائلاً من الحرارة كالذي تنتجه دوائر منطقية أخرى. يستطيع CMOS أيضاً أن يحزن سعة عالية من الوظائف المنطقية على الشريحة.

تشير كلمة "المكمل" إلى أن تصميمه يستخدم ترانزستورين للوظائف المنطقية، ويتم استخدام أحدهما فقط في المرة الواحدة. العبارة "شبه موصل أكسيد الفلز" تشير إلى طبيعة عملية التصنيع التي تستخدم أصلاً لبناء شرائح CMOS. أنتجت هذه العملية ترانزستور متأثراً بالجال (Field Effect Transistors) له سرى (إلكترون) ذو بوابة فلزية (معدنية)، توضع بأعلى العازل المؤكسد والذي في المقابل يوجد بأعلى المادة الخام لشبه الموصل. أما اليوم فتصنع أقطاب البوابات من مادة مختلفة وهي البولي-سيلكون، وذلك بدلاً من استخدام المعادن، وبالرغم من ذلك فما زال الاسم CMOS يستخدم لوصف السلاسل الحديثة للعملية الأصلية.

أحياناً تعرف الشريحة التي تحتوي على عدد كبير من CMOS والتي يتم تجميعها بإحكام بـ CHDMOS وهو اختصار Complementary High-Density Metal Oxide Semiconductor أي شبه موصل أكسيد الفلز المكمل العالي السعة.

تستخدم في بناء هذ الدوائر المتكاملة ترانزستورات MOSFET (ترانزستور تأثيري المجال) وتنقسم هذه العائلة إلى عدة سلاسل وهي سلسلة CD40xx - سلسلة CD45xx - سلسلة 54cxx - سلسلة 74cxx والجدير بالذكر أن سلسلة 74cxx تتشابه مع سلسلة 74xx لعائلة TTL في ترتيب الأرجل وفي وظائف جميع الدوائر المتكاملة لهذه السلسلة وأكثر السلاسل من عائلة CMOS انتشارا هي سلسلة CD40xx التي تستخدم في الاستخدامات العامة.

مميزات الدوائر المتكاملة عائلة CMOS

تميز بالمدى الكبير لجهد الدخل الذي يتراوح ما بين (+3v - +12v)
تستهلك طاقة صغيرة
المدى الحراري لها كبير

عيوب الدوائر المتكاملة عائلة CMOS

السرعة المنخفضة
ضعف تيار الخرج
ارتفاع أسعارها
تأثر بالشحنات الكهربائية الساكنة (الاستاتيكية).

قانون مور (Moore's law)

قانون مور هو القانون الذي ابتكره غوردون مور أحد مؤسسي إنتل عام 1965. حيث لاحظ مور أن عدد الترانزستورات على شريحة المعالج يتضاعف تقريبا كل عامين في حين يبقى سعر الشريحة على حاله. وأدت هذه الملاحظة إلى بدأ عملية دمج السيليكون بالدوائر المتكاملة على يد شركة إنتل مما ساهم في تنشيط الثورة التكنولوجية في شتى أنحاء العالم. وفي عام 2005، تبأ الباحثون أن هذه النظرية من الممكن تطبيقها لعقد آخر من الزمان على الأقل.

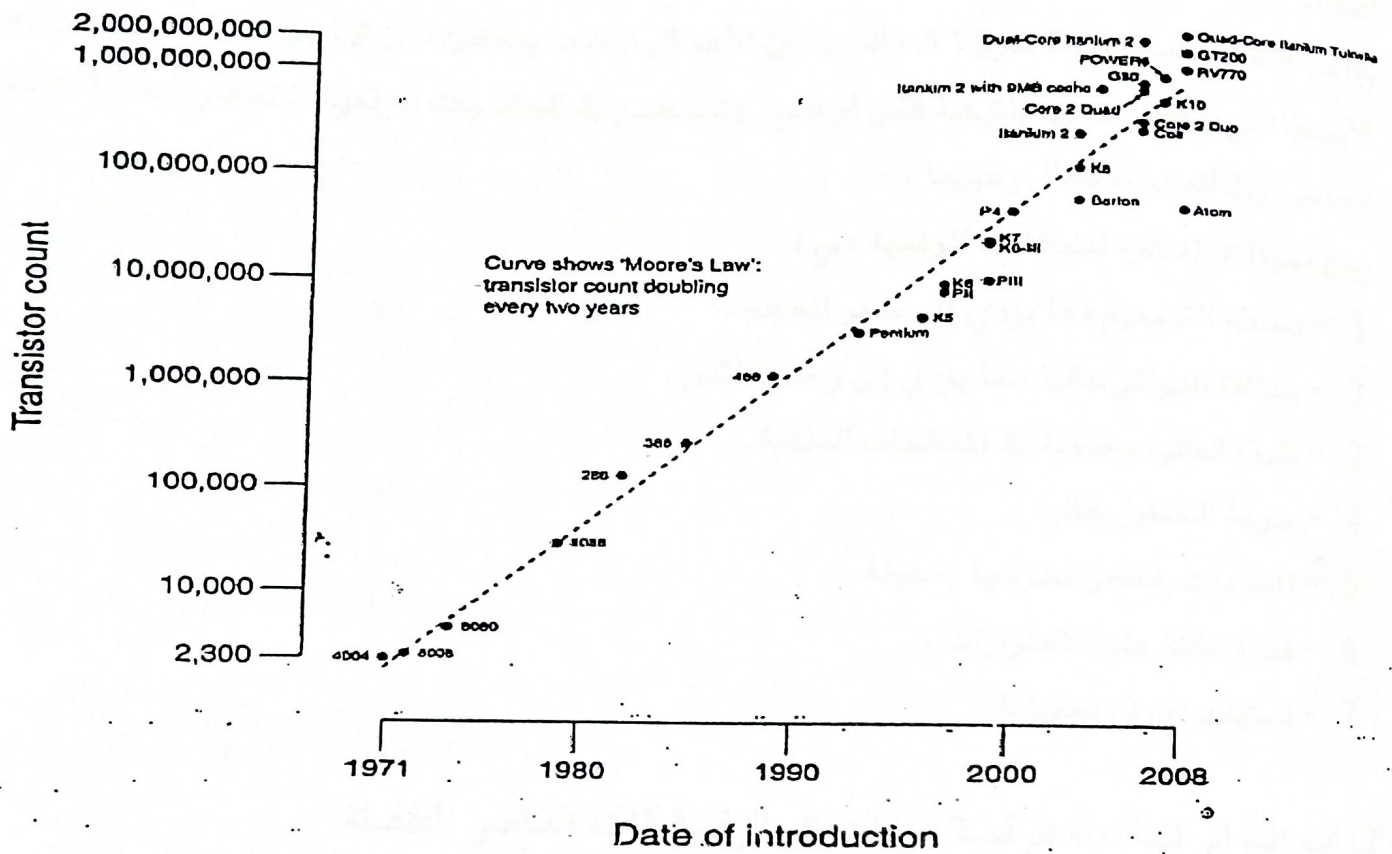
يدرك الكثيرون أن الزيادات الفارقة لأعداد الترانزستورات المدججة في المعالجات وغيرها من المكونات الرائدة لمنصات العمل، وهذه الزيادات عملت بشكل ثابت وحقيقي تؤدي إلى المزيد من الأداء الحاسوبي وفقا لقياسه بملايين العمليات في الثانية الواحدة.

كما يعني قانون مور أيضا خفض التكاليف، ففي الوقت الذي تحقق فيه العناصر القائمة على السيليكون ومكونات منصات العمل المزيد من الأداء، فلها تصبح أقل كلفة عند إنتاجها، وتصبح أكثر وفرة وقوة وأكثر تواجدا في حياتنا اليومية. وتعمل المعالجات اليوم على تشغيل كل شيء تقريبا، بدء بالألعاب وحتى الإشارات الضوئية، فعلى سبيل المثال، تستخدم بطاقة عيد الميلاد التي تكلف بضع دولارات اليوم قدرة حاسوبية تفوق أسرع أجهزة الكمبيوتر التي استخدمت قبل عقود قليلة.

ترتبط قدرات العديد من الأجهزة الإلكترونية الرقمية ارتباطا وثيقا مع قانون مور: سرعة المعالجة وسعة الذاكرة والحساسات وحتى عدد وحجم البكسل في الكاميرات الرقمية كل هذه آخذة في التحسن بمعدلات أسية (تقريبا) أسعار. وهذا قد زاد بشكل كبير من فائدة الإلكترونيات الرقمية في كل قطاع تقريبا من الاقتصاد العالمي. قانون مور ينصف بدقة قوة الدفع للتغير التكنولوجي والاجتماعي في أواخر القرن 20 وأوائل 21. إن نوع العلاقة في قانون مور هي علاقة أسية وتصور مدي الزيادة لو افترضنا أنك ستحصل علي مبلغ واحد قرش كمرتب أول يوم في وظيفتك واليوم الثاني ستحصل علي ضعف المرتب 2 قرش والثالث الضعف 4 قروش ففي اليوم الثلاثين سيصل مرتبك الي أكثر من نصف مليون جنيه وكذلك قانون مور يخضع لعلاقة أسية من الدرجة الثانية . ولكن تُتوقع نهاية التطور في عام 2020 تقريبا حيث ستصل ابعاد أنترانستور في الدائره الكهربية الي تقريبا ابعاد الذرة مما سيترب عليه عدم استطاعتنا لإنشاء حالتين صفر وواحد . ومازال سعي العلماء لايجاد حلول جديده لاستمرار التطور في تصنيع الاجهزة الذكية.

شكل 4 يوضح التقدم في القدرة الصناعية حيث يبين أنه على مدى السنوات الثلاثين الماضية، تضاعف عدد الترانزستورات في الشريحة مرة واحدة في السنة.

CPU Transistor Counts 1971-2008 & Moore's Law



شكل 4 يوضح التقدم في القدرة الصناعية

٤. حتى يتحقق قانون مرورى يجب أن يحتوى التصميم على شرائح كبيرة معقدة التركيب وأن تكون سرعة عمل الشريحة عالية جداً.

خصائص ومميزات الدوائر المتكاملة الرقمية

الدوائر المتكاملة الرقمية هي الأكثر استخداماً في هذه الأيام . وتعرف فقط على حالتين (1 , 0) صفر وواحد فقط وبسبب سهولة طريقة الحالتين فإن الأعمال المعقدة يمكن تجزئتها إلى سلسلة من القرارات الأبسط التي يمكن عملها بنتيجة قفل أو فتح . وتستخدم في الحاسبات الرقمية الإلكترونية وفي الآلات الحاسبة وفي ألعاب الأطفال وغيرها .

ومن مميزات الدائرة المتكاملة الرقمية هي :

- 1 - بساطة التصميم مما يؤدي إلى صغر الحجم .
- 2 - كثافة الدوائر عالية مما يؤدي إلى رخص الثمن .
- 3 - الدقة العالية وخاصة في المعالجات العددية .
- 4 - سرعة التشغيل عالية .
- 5 - المعلومات يمكن تخزينها بسهولة .
- 6 - قدرة عالية على الاهتزازات .
- 7 - تستهلك قدرة منخفضة .

مميزات الدوائر المتكاملة الرقمية عن الدوائر الرقمية ذات العناصر المنفصلة

أ- الحجم:

- الدوائر المتكاملة صغيرة جداً (ميكرومتر)
- الدوائر الرقمية ذات العناصر المنفصلة (ملليمتر أو سنتيمتر).

ب- السرعة:

- سرعة عالية: الإشارة تتغير من 0 إلى 1 بسرعة عالية داخل الرقاقة (chip) أسرع من تغيرها بين الرقائق.
- الاتصال داخل الشريحة الواحدة أسرع بحوالي 100 مرة من الاتصال بين الشرائح المنفصلة.

ت- استهلاك القدرة:

- استهلاك قدرة أقل: عمل البوابات داخل الشريحة الواحدة يستهلك قدرة أقل.

العلاقة بين الدوائر المتكاملة و مستوى الأنظمة الالكترونية

بميزات الدوائر المتكاملة أدت إلى:

- 1- صغر الحجم المادي للأجهزة الإلكترونية (التلفزيون و التلفون ...)
- 2- استهلاك قدرة اقل (نحتاج مصادر قدرة صغيرة - و اقل تكلفة - الطاقة المفقودة اقل - لا يوجد احتياج الى مراوح تبريد في أغلب الأحيان).
- 3- خفض التكلفة (عدد المكونات اقل - عدد مصادر القدرة و قدرتها).

الوحدة الرابعة

الترانزستور

مقدمة

الاسم ترانزستور هو اختصار لكلمتي تحويل المقاومة ، ويمكن تصنيف الترانزستورات إلى نوعين أساسيين هما : -

١ - الترانزستور ثنائي القطبية

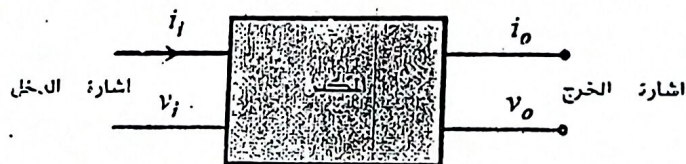
٢ - ترانزستور تأثير المجال

مهما كان نوع الترانزستور فإنه يعمل كمكبراً أو كمفتاحاً . والمكبر مطلوب منه أن يكبر الشكل الموجي لإشارة الدخل بأمانه وبأقل تشوه ممكن .

التكبير يكون لجهد الإشارة أو لتيار الإشارة أو لهما معاً ويعبر عن الزيادة التي طرأت للدخل عن طريق المكبر بالكسب وبالرجوع للشكل (٨ - ١) يمكن تعريف الكسب كالاتي : -

$$\text{كسب الجهد} = \frac{\text{جهد إشارة الخرج}}{\text{جهد إشارة الدخل}}$$

$$\text{كسب التيار} = \frac{\text{تيار إشارة الخرج}}{\text{تيار إشارة الدخل}}$$



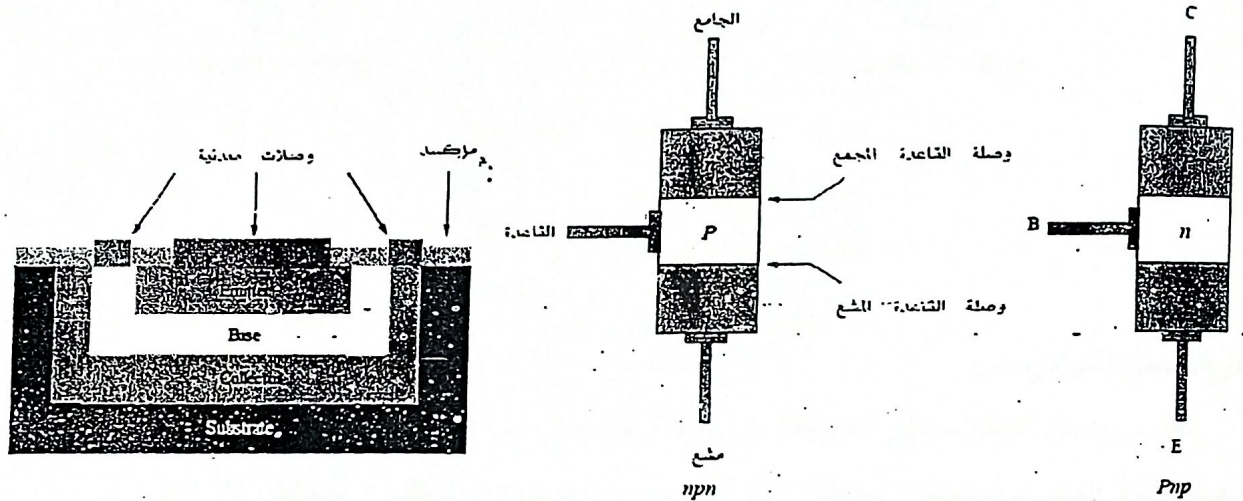
شكل (٨ - ١)

الترانزستور ثنائي القطبية

يسمى هذا النوع بثنائي القطبية لأن التيار فيه يتكون من الإلكترونات الحرة والفجوات معاً ، ولأنه أيضاً يتكون من موحدتين .

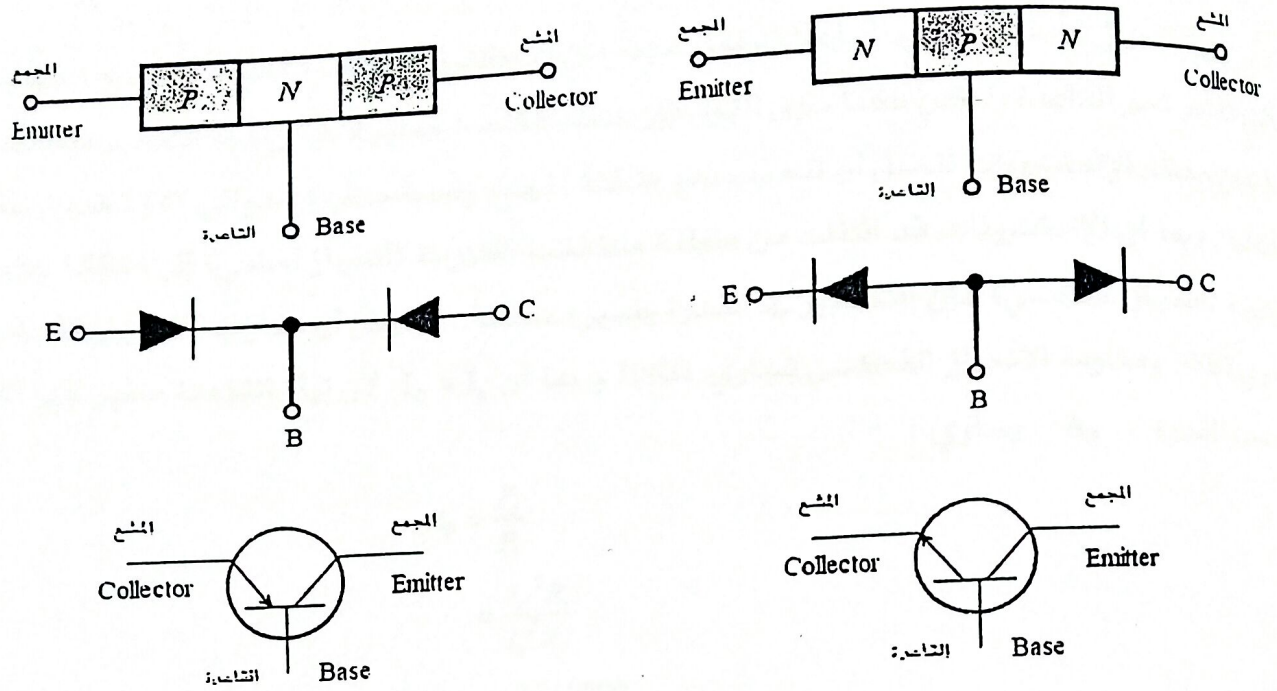
الشكل (٨- ٢) يبين تركيب الترانزستور وهو بشكل ساندوتش منطقتي N بينهما منطقة P رقيقة . منطقتي N تسميان بالباعث والمجمع بينما المنطقة الوسطى P تسمى القاعدة نسبة التطعيم عالية في الباعث ومنخفضة في المجمع والقاعدة . هذا النوع يسمى بالـ NPN والنوع الآخر هو PNP

حيث تكون القاعدة سالبة.



شكل (٨- ٢)

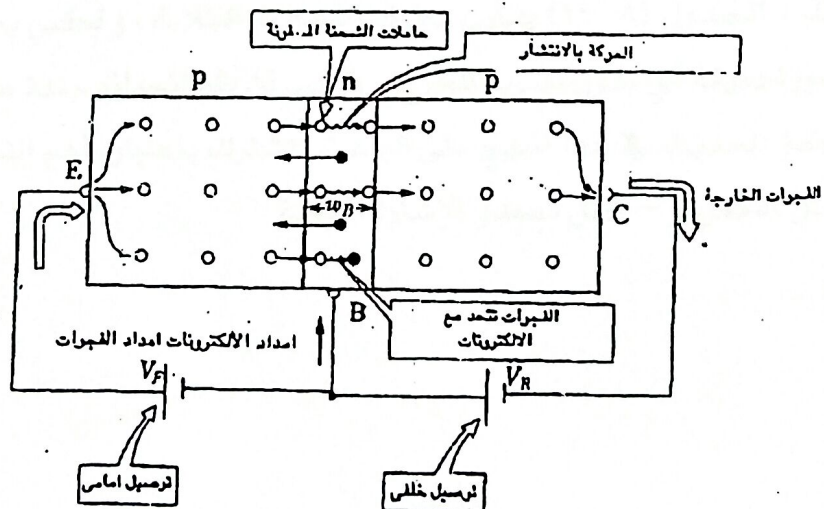
ويلاحظ أن الترانزستور يتكون من موحدتين موصولان ظهراً لظهر أو وجهاً لوجه كما يبين الشكل (٨- ٣) . الذي يبين أيضاً نوعي الترانزستور مع الدائرة المكافئة



شكل (٨-٢)

طريقة عمل الترانزستور

لكي يعمل الترانزستور بطريقة صحيحة يجب توصيل مصادر الجهد المستمر بحيث يكون انحياز داوود الباعث أمامية وانحياز داوود المجمع عكسياً كما يظهر بالشكل (٨-٤)



شكل (٨-٤)

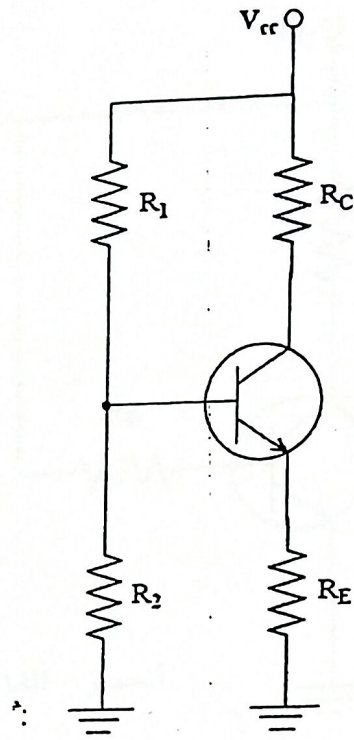
إن الانحياز الأمامي لدايود الباعث يجعل عدداً من الإلكترونات الحرة المتواجدة نسبة التطعيم العالي تغادر نحو القاعدة ولكن كما سبق القول فإن سمك القاعدة صغير للغاية ونسبة التطعيم منخفضة ولذا فإن معظم الإلكترونات تفضل أن تنجذب نحو منطقة المجمع ونسبة صغيرة (حوالي ٢٪) تكون تيار القاعدة . وبما أن الإلكترونات قد انتقلت من منطقة منخفضة المقاومة (انحياز أمامي) إلى منطقة عالية المقاومة (انحياز عكسي) فإن التكبير في القدرة يصير ممكناً . افترض أن مقاومه الانحياز الأمامي تساوي 100Ω ومقاومة الانحياز العكسي تساوي $10K\Omega$ و بما أن $I_c = I_e$ لأن تيار القاعدة صغير جداً فإن كسب القدرة A_p يساوي :

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{P_o}{P_i} \\ &= \frac{I_c^2 R_f}{I_e^2 R_f} \\ &= \frac{I_c^2 10000}{I_e^2 100} \\ &= 100 \end{aligned}$$

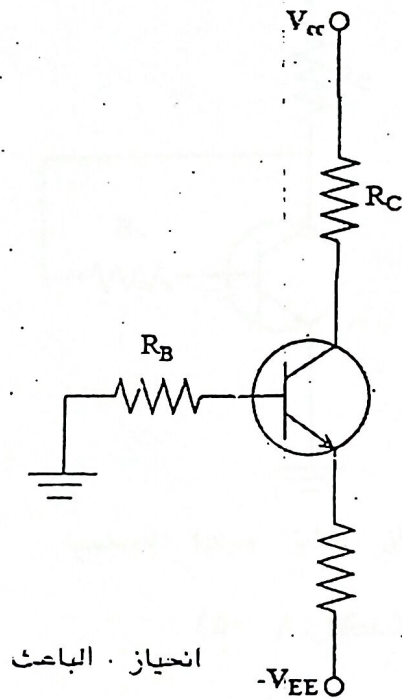
النوع PNP يعمل بنفس الطريقة والاختلاف الوحيد هو أن حاملات الشحنة هنا فجوات بدلاً من إلكترونات حرة .

بما أن للترانزستور ثلاثة أطراف فلا بد أن نجعل أحدهما مشتركاً بين الدخل والخرج ليعمل الترانزستور كمكبر، والاحتمالات الثلاثة المستخدمة عملياً هم الباعث المشترك، المجمع المشترك، والقاعدة المشترك، الجدول (٨ - ١) يقارن بين التوصيلات الثلاث . ولكي يكون الترانزستور قادراً على التكبير بصورة دقيقة أي بدون تشويه للخرج ، فيجب أن يتم انحياز دة بعدة طرق و الموضحة بالشكل (٨ - ٥) . وسيتركز الحديث في هذا المنهج على الباعث المشترك باعتباره أهم التوصيلات الثلاث .

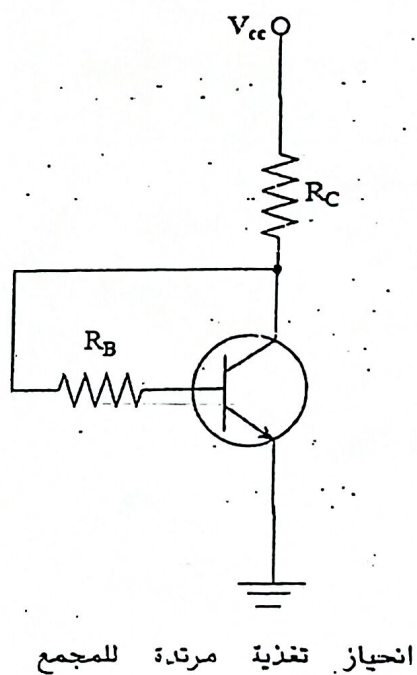
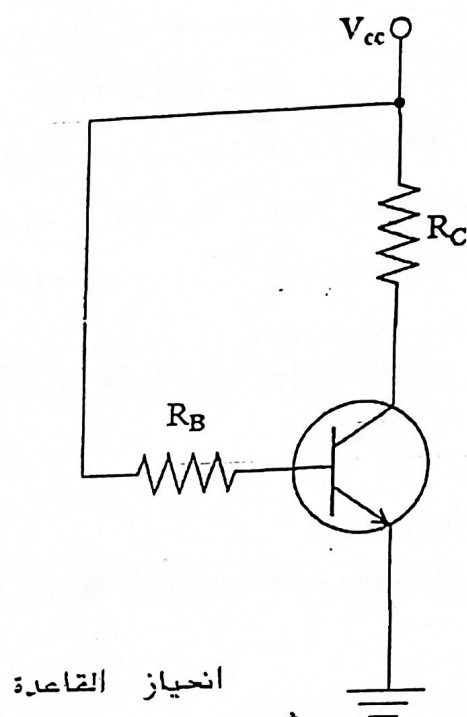
ملحوظة RL تمثل الحمل و ~ تمثل مصدر الإشارة الموجبة .



انحياز مقسم الجهد



انحياز الباعث



شكل (٨-٥)

الباعث المشترك	المجمع المشترك	القاعدة المشترك	
نعم	لا	نعم	هل هناك كسب للجهد؟
نعم β	نعم	$\alpha = \gamma$	هل هناك كسب تيار؟
نعم (عالية)	نعم	نعم	هل هناك كسب قدرة؟
نعم	لا	لا	هل الخرج مقلوب؟

جدول (٨ - ١) : مقارنة بين توصيلات الترانزستور الثلاث

العلاقة بين β و α بالنسبة للتيار المستمر

نعرف بأنها α كسب التيار في توصيلة القاعدة المشتركة و β بأنها كسب التيار في توصيلة

الباعث المشترك . إذن

أما المعادلة الأساسية لتيارات الترانزستور فهي :

$$\beta = \frac{I_c}{I_b}$$

$$\alpha = \frac{I_c}{I_e}$$

أما المعادلة الأساسية لتيارات الترانزستور فهي :

$$I_e = I_c + I_b$$

$$\beta = \frac{I_c}{I_e - I_c}$$

بقسمة البسط والمقام على I_c نحصل على :

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

بلاحظ أن قيمة α دائما أصغر من الواحد الصحيح بقليل بينما قيمة β أكبر بكثير جداً من الواحد الصحيح.

مثال (٨- ١) :
أوجد قيمة β لكل من قيم α التالية :

$$\alpha = 0.9765, 0.9875, 0.99, 0.995$$

الإجابات:

$$\beta = 42, 79, 99, 199$$

مثال (٨- ٢) :

إذا كان تيار القاعدة لترانزستور يساوي $20\mu A$ عندما يكون تيار الباعث $6.4mA$ ما هي قيمة كل

من α و β

أ:

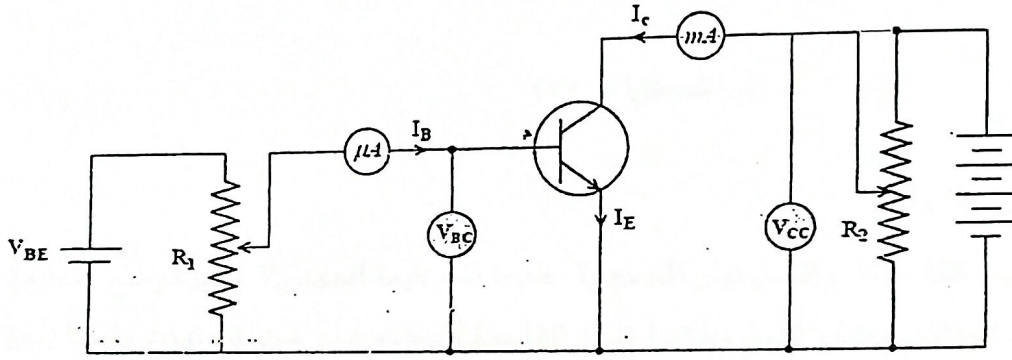
الإجابات :

$$\beta = 319, \alpha = 0.99687$$

منحنيات خواص الترانزستور :

الخواص هي منحنيات ترسم بواسطة التجارب العملية توضح العلاقة بين التيارات والجهود للترانزستور، والشكل (٨-٦) يبين دائرة معملية لتوصيلة الباعث المشترك لدراسة خواص الترانزستور. المقاومة R_2 في هذا الشكل الغرض منها حماية الترانزستور من مرور تيار كبير في القاعدة. الخاصيتان ذات الاهتمام هما : -

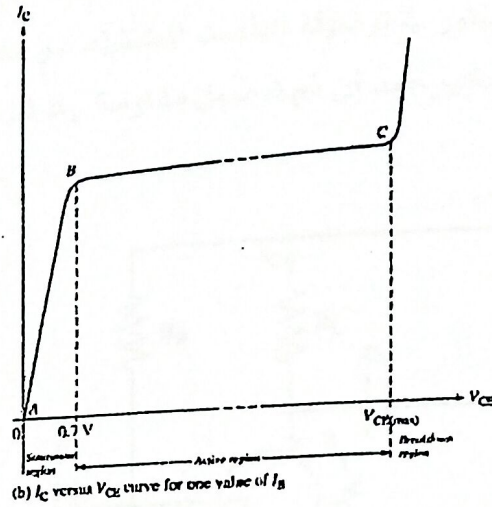
- خاصية الدخل $I_B - V_{BE}$
- خاصية الخرج $I_C - V_{CE}$



شكل (٨-٦)

(١) خاصية الدخل $I_B - V_{BE}$

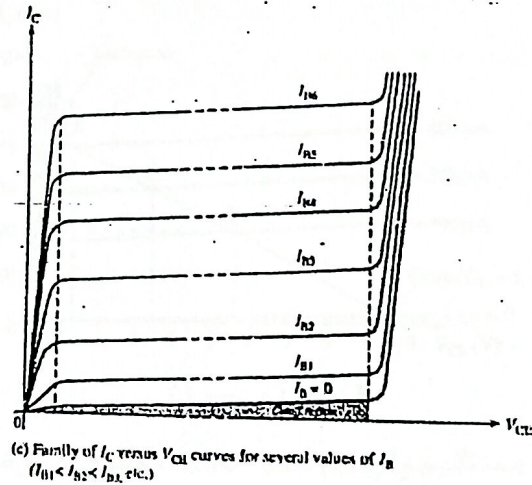
هنا يثبت قيمة جهد الباعث - المجمع V_{CE} ، مثلاً على قيمة البطارية ٦V ويقاس قيمة الجهد لقيم مختلفة لتيار القاعدة I_B الشكل (٨-٧) يبين خاصية الدخل لترانزستور سيلكوني.



شكل (٨- ٧)

(٢) خاصية الخرج $I_C V_{CE}$

هنا تثبت تيار القاعدة ونقيس تيار المجمع I_C عندما نغير قيمة الجهد V_{CE} بتغير موضع المقاومة المتغيرة R_3 وهذه العملية تكرر لقيم مختلفة لتيار القاعدة لإعطاء عدد من المنحنيات كما يبين الشكل (٨- ٨).

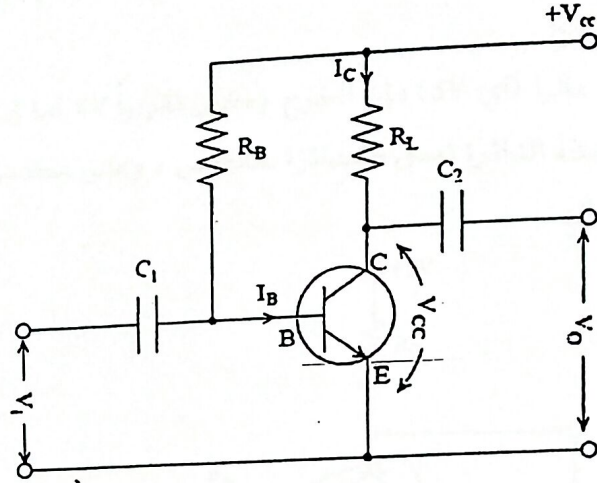


شكل (٨- ٨)

يمكن أن نلاحظ في هذه الخاصية بأن تيار الخرج I_C يعتمد أساساً على قيمة تيار الدخل I_B ولا يعتمد على قيمة الجهد V_{CE} إلا في حوالى المرحلة الأولى عن المنحنى.

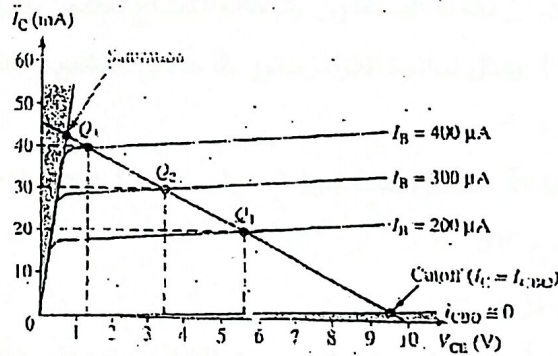
خط الحمل

بالرغم من أن الترانزستور في توصيلة الباعث المشترك هو مكبر للتيار يحدد كسبة قيمة β إلا أنه يمكن أن يعمل كمكبر جهد أن تم توصيل مقاومة R_L تدعى الحمل في دائرة المجمع كما يظهر بالشكل (٨ - ٩).



شكل (٨ - ٩)

ولفهم عملية التكبير يجب أولاً رسم خط الحمل فوق منحنيات خواص الخرج كما يظهر بالشكل (٨ - ١٠). الشكل (٨ - ٩) يبين أيضاً المقاومة R_B وهي تسمى بمقاومة الانحياز مع مكثفات الربط.



شكل (٨ - ١٠)

خط الحمل هو خط مستقيم ولرسم هذا الخط نحتاج إلى وضع نقطتين فقط وهما النقطتان

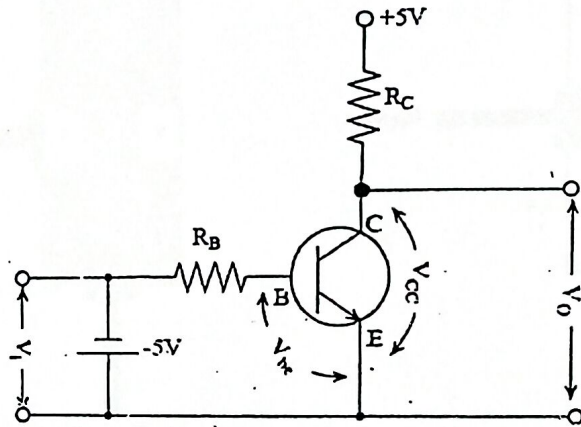
عند إحداثيات الجهد و النقطتان عند إحداثيات التيار حيث :

$$\begin{aligned} I_C &= 0 & V_{CE} &= V_{CC} \\ V_{CE} &= 0 & I_C &= \frac{V_{CC}}{R_L} \end{aligned}$$

الترانزستور كمفتاح

البوابات المنطقية هي بالضرورة مفاتيح إلكترونية ويستخدم الترانزستور لعمل هذه المفاتيح. والمفتاح الإلكتروني كمفتاح الميكانيكي يكون في إحدى الحالتين إما مقفلاً OFF أو مفتوحاً ON الشكل (٨- ١١) يبين دائرة ترانزستور ذات باعث مشترك تعمل كمفتاح مع خصائص الخرج ونقاط السكون في حالتي القفل والفتح.

عندما يكون الدخل عالياً (أي 5V) فإن الخرج يكون تقريباً 0V أما إذا كان الدخل صفراً فإن الخرج يكون 5V واضح أن هذه الدائرة تعمل كدائرة عاكس ، وعلى عكس دوائر التكبير ، حيث يتطلب وجود نقطة Q على حوال



شكل (٨- ١١)

منتصف خط الحمل نجد أن نقطه السكون في حالة المفتاح تكون على ضريفي خط الحمل (التشبع والقطع). الشكل (٨- ١١) يمثل لدائرة الترانزستور في حالتي التشبع و القطع.

(أ) عند 0V من الدخل :-

تكون الوصلة E منخازة عكسياً $I_C = 0$, $I_B = 0$ ويكون جهد المجمع -المشع كبيراً و

بالتالي يكون الخرج 5V

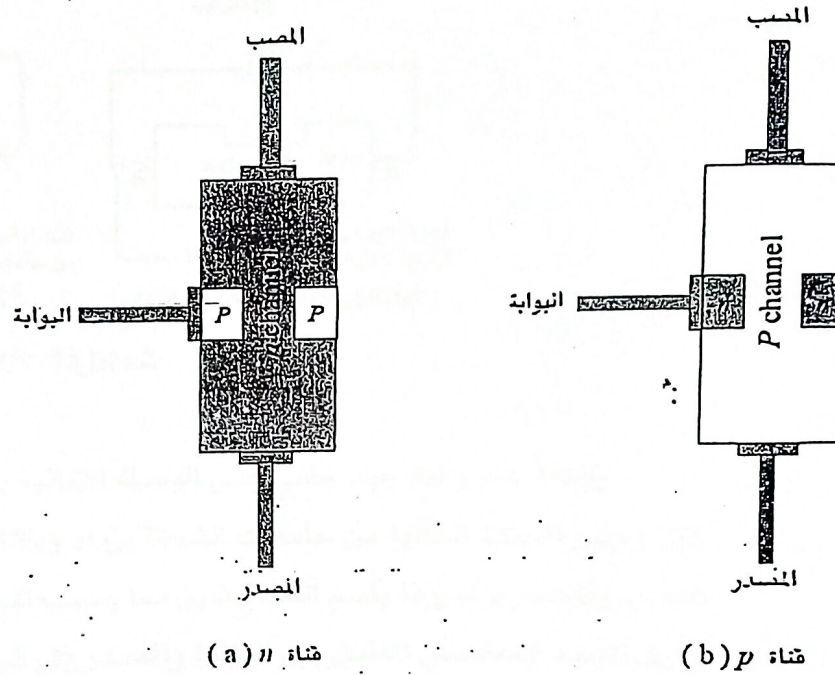
(ب) عند 5V من الدخل :-

يكون التيار I_B كبيراً و كافياً لوصول الترانزستور إلى حالة التشبع (في حالة توصيل)

ويكون جهد المجمع -المشع صغيراً أو جهد الأرض والخرج = 0

ترانزستور تأثير المجال

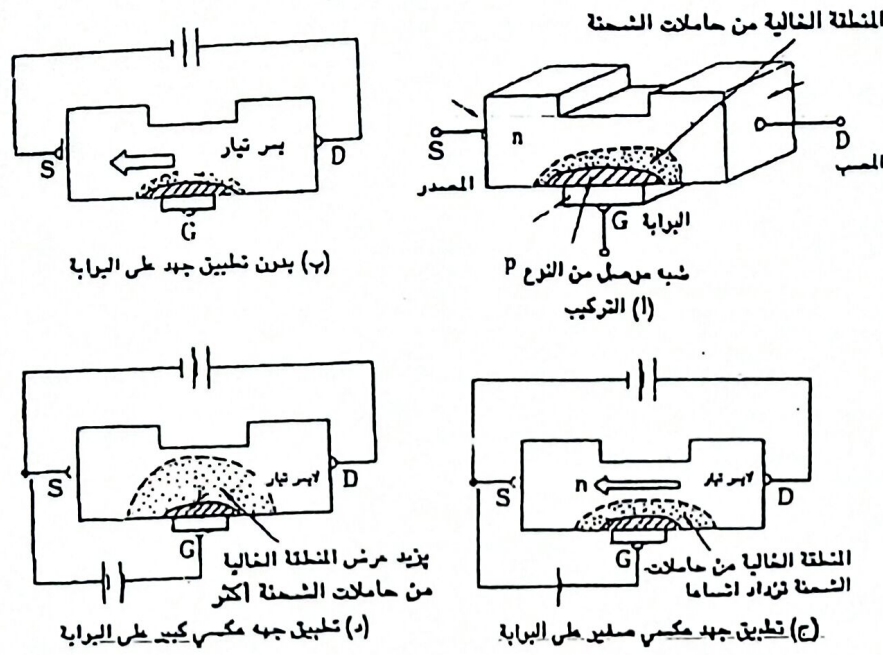
تعمل الترانزستورات ثنائية القطبية NPN و PNP على تيار الفجوات الإلكترونية وتيار الإلكترونات ولذلك تسمى بترانزستورات ثنائية القطب، بينما تعمل ترانزستورات تأثير المجال على سريان تيار الإلكترونات أو سريان تيار الفجوات الإلكترونية فلهاذا يسمى ترانزستور أحادي القطب.



شكل (٩-١)

٩-١ تركيب ترانزستور تأثير المجال

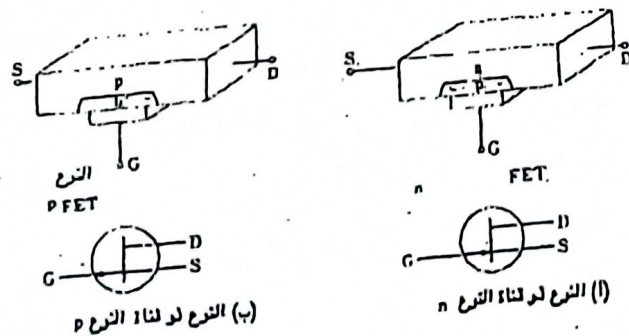
تتكون ترانزستورات تأثير المجال من ثلاثة أطراف هي البوابة (G) والمصدر (S) والمصب (D). وعند وضع جهاز. بين المصب والمصدر مقداره V_{DS} فإنه يمر تيار يسمى تيار المصب I_D بين المصب والمصدر كما هو موضح بالشكل (٩-١).



شكل (٩- ٢)

وأيضاً عند وضع جهد خلفي على الوصلة الثنائية بين البوابة والمصدر كما في الشد فإن عرض المنطقة الخالية من حاملات الشحنة يزداد وبالتالي فإن عرض المنطقة التي يمر فيها المصب والمصدر والمعروفة باسم القناة يضيق مما يسبب نقصاً في التيار المار بين المصب والمصدر. يزداد الجهد العكسي المطبق بين البوابة والمصدر إلى قيمة تساوي V_p فإن التيار I_D يصل كما هو موضح بالشكل.

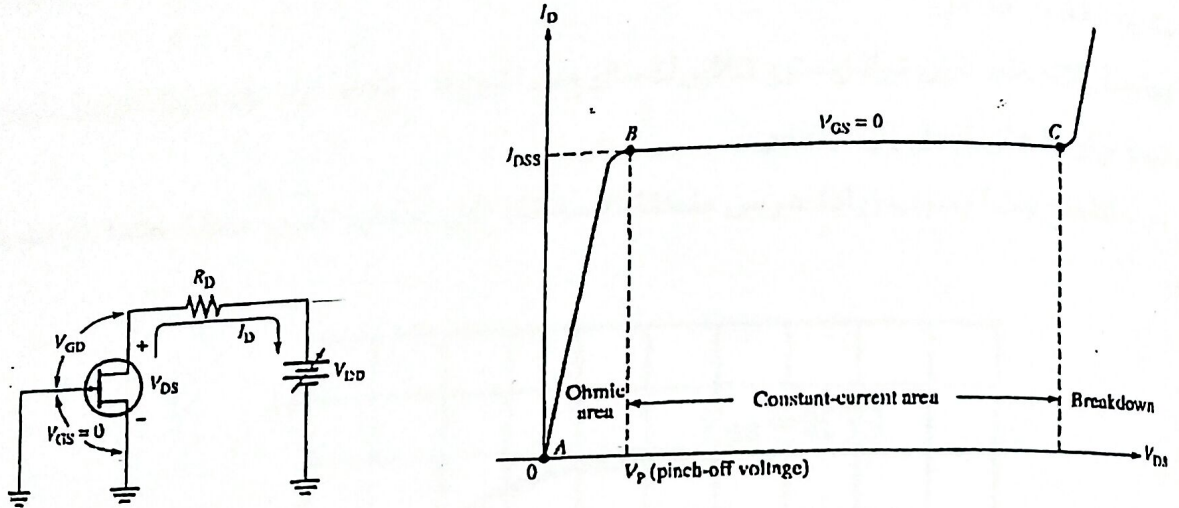
والجهد V_p يسمى جهد التضيق حيث يكون ترانزستور تأثير المجال من نوع قناة I المنطقة الفتي يمر فيها التيار من المصب إلى المصدر هي شبه موصل من النوع N ويكون مر إذا كانت المنطقة التي يسري فيها التيار من المصب إلى المصدر من شبه موصل من النوع P . ويوضح الشكل (٩- ٢) تركيب كل من النوعين والرمز المستخدم في الدوائر الإلكترونية.



شكل (٩- ٣)

٩-٢ خصائص ترانزستور تأثير المجال

دعنا ننظر إلى الحالة عندما يكون الجهد من البوابة إلى المصدر يساوي صفر، ويكون هذا الجهد عندما نضع دائرة قصر بين البوابة والمصدر كما في شكل (٩-٤).



شكل (٩-٤)

وبينما V_{DD} يزداد من الصفر فولت فإن التيار I_D يزداد كذلك كما هو موضح بالشكل (٩-٤) بين النقطتين A, B وفي هذه المنطقة تكون مقاومة القناة ثابتة لأن منطقة الاستنفاد ليست كبيرة بالكفاية لعمل تأثير واضح. وعند النقطة B فإن التيار I_D يصبح ثابتاً، وبينما V_{DS} يزداد من النقطة B إلى النقطة C فإن جهد الانحياز العكسي يكون منطقة استنفاد كبيرة لتعويض الزيادة في V_{DS} ولذا يظل التيار I_D ثابتاً.

٩-٢ جهد التضيق Pinch - off Voltage

عندما يكون $V_{GS} = 0$ فإن القيمة لجهد V_{DS} والتي يكون فيها التيار I_D ثابتاً تسمى جهد التضيق. ولكل ترانزستور تأثير المجال فإن هذه القيمة تكون ثابتة، وكما يمكن ملاحظته، فإن كل زيادة ثابتة في جهد V_{DS} فوق جهد التضيق فإن التيار I_D يكون ثابتاً وهذه القيمة تكون محددة في دليل خصائص الترانزستور المعطاة من قبل المصنع.

وعند ملاحظة المنحنى فإن تغير مفاجئ في التيار يبدأ عند النقطة C عندما يزيد بشكل كبير مما يسبب تلفاً كبيراً للترانزستور. ولذا يجب أن يعمل ترانزستور تأثير المجال تحت هذا الجهد. في الشكل (٩-٥) يتم توضيح عدة منحنيات خصائص ترانزستور تأثير المجال لعدة جهود بين البوابة والمصدر.

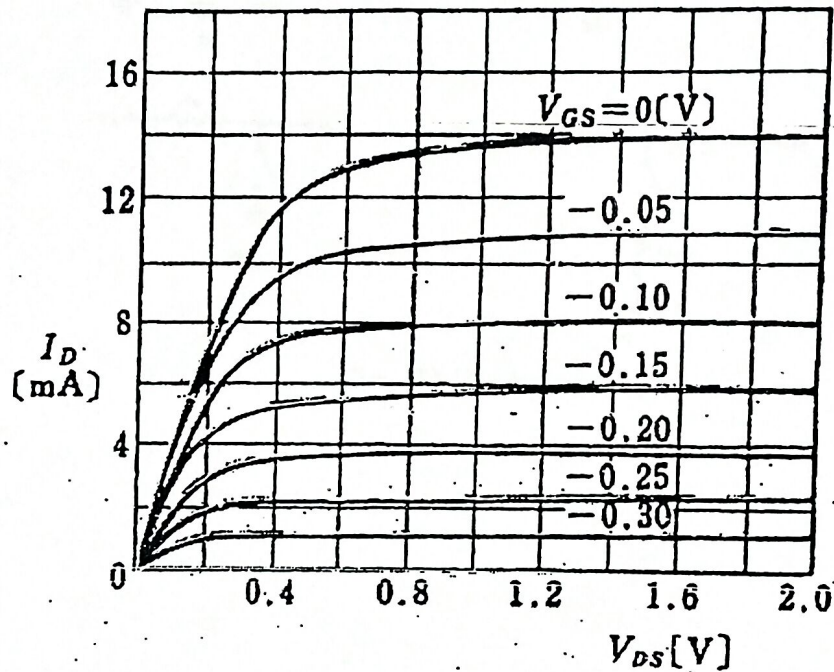
٩- جهد القطع Cut - off Voltage

هو القيمة لجهد V_{GS} والتي تجعل تيار I_D يساوي تقريباً صفر فولت، ولذا فإن ترانزستور تأثير المجال يجب أن يعمل بين $V_{GS} = 0$ و $V_{GS}(off)$ وبهذا فإن التيار I_D سوف يعمل بين القيمة القصوى I_{DSS} وقيمة صفرية مقاربة للصفر.

وكما نلاحظ، فإن ترانزستور تأثير المجال من النوع N، كلما زاد جهد V_{GS} السالب كلما صغرت قيمة تيار I_D حتى تصل إلى الصفر.

جهد القطع ينشأ بسبب زيادة عرض منطقة الاستفاد التي تجعلها تقريباً مغلقة كما في الشكل

(٩- ٥).

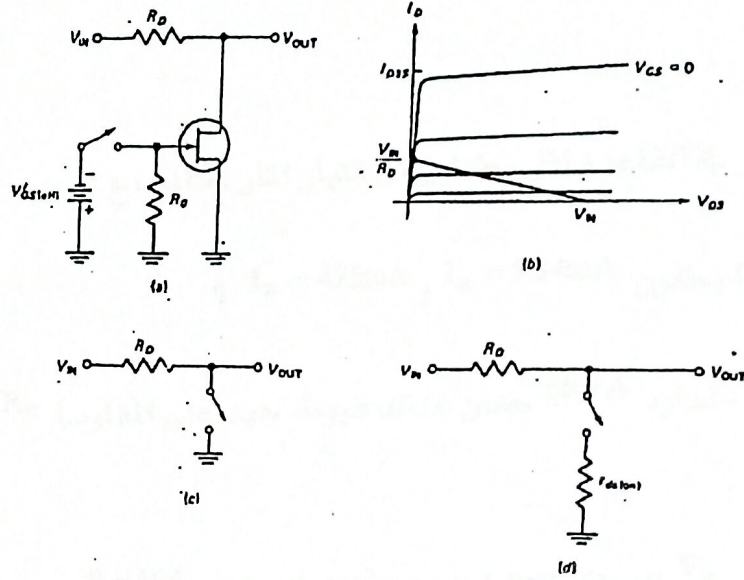


شكل (٩- ٥)

٩- ٥ ترانزستور تأثير المجال كمفتاح

تمثل الدائرة في الشكل (٩- ٦) ترانزستور تأثير المجال كمفتاح حيث عندما يكون المفتاح مفتوحاً في الجهد V_{GS} يكون صفراً وبالتالي فإن التيار المار في الترانزستور يكون أكبر مما يمكن، ويصبح كأنه مقاومة ذات قيمة صغيرة جداً (أقل من 10Ω).

أما إذا تم قفل المفتاح، فإن الجهد V_{GS} السالب يكون أكبر ما يمكن وبالتالي يصبح الترانزستور في حالة قطع ويكون التيار I_D مساوي تقريباً للصفر وتكون مقاومة الترانزستور كبيرة جداً (أكبر من $1M\Omega$).

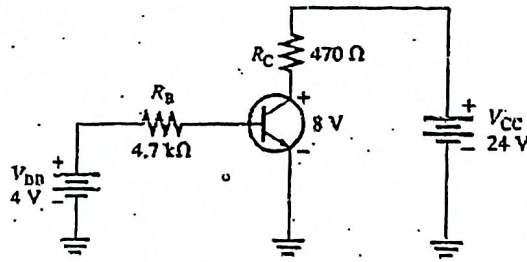


شكل (٩-٦)

أسئلة على الوحدة الرابعة

الترانزستور ثنائي القطبية

١. لماذا يكون التيار المار في القاعدة أقل بكثير من التيار المار في المجمع ؟
٢. ما هي قيمة I_C عندما يكون $I_E = 5.34mA$ و $I_B = 475mA$ ؟
٣. عندما مر تيار قاعدة مقداره $50\mu A$ كان هناك هبوط جهد على المقاومة R_C يساوي $5V$ ، ما هي قيمة β ؟
٤. أوجد قيمة I_B و I_C و V_{BC} للدوائر التالية حيث معامل التكبير $\beta = 100$:



الترانزستور تأثير المجال

١. تم زيادة جهد V_{GS} لترانزستور تأثير المجال ذو قناة P من 1V إلى 3V
- (أ) هل تضيق أم تتسع منطقة الاستفاد؟
- (ب) هل تزيد أم تنقص مقاومة القناة؟

٢. لماذا يجب أن تكون قيمة الجهد من البوابة إلى المصدر في ترانزستور تأثير المجال ذو قناة n صفر أو سالب؟

٣. ترانزستور تأثير المجال له جهد تضيق يساوي 5V. وعندما يكون جهد $V_{GS} = 0$ ما هي قيمة جهد V_{DS} عندما يصبح تيار المصب ثابتاً؟

٤. ترانزستور تأثير المجال من نوع P له $V_{GS(Off)} = 6V$ ، ما هو تيار المصب I_D عندما يكون $V_{GS} = 8V$ ؟