دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم العالي

١١
الجزء الثاني

الاتصالات

بسم الله الرحمن الرحيم

دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم العالي

الإتصالات

علم الصناعة

الجزء الثاني

للصف الأول الثانوي

الفرع الصناعي

المؤلفون

د. واصل غانم «منسقاً للاتصالات»
هاشم الشولي

عماد عيد
نعيم نزال

«مركز المناهج»

محمد يوسف حسين
روان خليل حنيحن

قررت وزارة التربية والتعليم العالي في دولة فلسطين
تدريس كتاب الاتصالات للصف الأول الثانوي في مدارسها للعام الدراسي ٢٠٠٥ / ٢٠٠٦م

الإشراف العام

رئيس لجنة المناهج: د. نعيم أبو الحمص

مدير عام مركز المناهج: د. صلاح ياسين

مركز المناهج

إشراف تربوي : د.عمر أبوالحمص

الدائرة الفنية

- **إشراف إداري:** أحمد سياعرة
- **تصميم:** محمد الشافعي
- **تصميم الغلاف:** كمال فحماوي
- **رسومات :** محمد دويكات
- **تدقيق لغوي:** أحمد الخطيب
- **الإعداد المحوسب للطباعة:** حمدان بحبوح

الفريق الوطني لمنهاج الاتصالات للمرحلة الثانوية

د. واصل غانم — رندة هلال — جهاد الدريدي

الطبعة الأولى التجريبية
٢٠٠٦م/١٤٢٧ هـ

© جميع حقوق الطبع محفوظة لوزارة التربية والتعليم العالي/مركز المناهج

مركز المناهج – حي المصيون – شارع المعاهد – أول شارع على اليمين من جهة مركز المدينة
ص.ب ٧١٩ – رام الله – فلسطين
تلفون ٢٩٦٩٣٥٠-٢-٩٧٠+ ، فاكس ٢٩٦٩٣٧٧-٢-٩٧٠+
الصفحة الالكترونية: www.pcdc.edu.ps – العنوان الالكتروني: pcdc@palnet.com

تمهيد

رأت وزارة التربية والتعليم العالي ضرورة وضع منهاج يراعي الخصوصية الفلسطينية؛ لتحقيق طموحات الشعب الفلسطيني حتى يأخذ مكانه بين الشعوب. إن بناء منهاج فلسطيني يعد أساساً مهمّاً لبناء السيادة الوطنية للشعب الفلسطيني، وأساساً لترسيخ القيم والديمقراطية، وهوحق إنساني، وأداة تنمية للموارد البشرية المستدامة التي رسختها مبادئ الخطة الخمسية للوزارة.

وتكمن أهمية المنهاج في أنه الوسيلة الرئيسة للتعليم، التي من خلالها تتحقق أهداف المجتمع؛ لذا تولي الوزارة عناية خاصة بالكتاب المدرسي، أحد عناصر المنهاج؛ لأنه المصدر الوسيط للتعلم، والأداة الأولى بيد المعلم والطالب، إضافة إلى غيره من وسائل التعلم: الإنترنت، والحاسوب، والثقافة المحلية، والتعلم الأسري، وغيرها من الوسائط المساعدة.

أقرت الوزارة هذا العام (٢٠٠٥/ ٢٠٠٦)م تطبيق المرحلة الأولى من خطتها لمنهاج التعليم التقني والمهني، لكتب الصف الأول الثانوي (١١) بفروعه: الصناعي، والزراعي، والتجاري، والفندقي، والاقتصاد المنزلي(التجميل، تصنيع الملابس)وعدد الكتب ٦٤ كتاباً نظري وعملي، وسيتبعها كتب منهاج الصف الثاني الثانوي (١٢) في العام المقبل. وبها تكون وزارة التربية والتعليم العالي قد أكملت إعداد جميع الكتب المدرسية للتعليم العام للصفوف(١-١٢)، وتعمل الوزارة حالياً على توسيع البنية التحتية في مجال الشبكات والتعليم الإلكتروني، وعمل دراسات تقويمية وتحليلية لمناهج المراحل الثلاث، في جميع المباحث (أفقياً وعمودياً)؛ لمواصلة التطوير التربوي، وتحسين نوعية التعليم الفلسطيني.

وتعد الكتب المدرسية وأدلة المعلم التي أنجزت للصفوف الأحد عشر حتى الآن، وعددها يقارب ٣٥٠ كتاباً، ركيزة أساسية في عملية التعليم والتعلم، بما تشتمل عليه من معارف ومعلومات عُرضت بأسلوب سهل ومنطقي؛ لتوفير خبرات متنوعة، تتضمن مؤشرات واضحة، تتصل بطرائق التدريس، والوسائل والأنشطة وأساليب التقويم، وتتلاءم مع مبادئ الخطة الخمسية المذكورة أعلاه.

وتتم مراجعة الكتب وتنقيحها وإثراؤها سنويّاً بمشاركة التربويين والمعلمين والمعلمات الذين يقومون بتدريسها، وترى الوزارة الطبعات من الأولى إلى الرابعة طبعات تجريبية قابلة للتعديل والتطوير؛ كي تتلاءم مع التغيرات في التقدم العلمي والتكنولوجي ومهارات الحياة. إن قيمة الكتاب المدرسي الفلسطيني تزداد بمقدار ما يبذل فيه من جهود، ومن مشاركة أكبر عدد ممكن من المتخصصين في مجال إعداد الكتب المدرسية، الذين يحدثون تغييراً جوهريّاً في التعليم، من خلال العمليات الواسعة من المراجعة، بمنهجية رسخها مركز المناهج في مجالي التأليف والإخراج في طرفي الوطن الذي يعمل على توحيده.

إن وزارة التربية والتعليم العالي لايسعها إلا أن تتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى المؤسسات والمنظمات الدولية، والدول العربية والصديقة وبخاصة حكومة بلجيكا؛ لدعمها المالي لمشروع المناهج.

كما أن الوزارة لتفخر بالكفاءات التربوية الوطنية، التي شاركت في إنجاز هذا العمل الوطني التاريخي من خلال اللجان التربوية، التي تقوم بإعداد الكتب المدرسية، وتشكرهم على مشاركتهم بجهودهم المميزة، كلٌّ حسب موقعه، وتشمل لجان المناهج الوزارية، ومركزالمناهج، والإقرار، والمؤلفين، والمحررين، والمشاركين بورشات العمل، والمصممين، والرسامين، والمراجعين، والطابعين، والمشاركين في إثراء الكتب المدرسية من الميدان أثناء التطبيق.

وزارة التربية والتعليم العالي
مركز المناهج
كانون ثاني ٢٠٠٦ م

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على سيد المرسلين وعلى آله وصحبه وبعد،

فهذا هو الكتاب النظري لتخصص الاتصالات، للصف الأول الثانوي، الجزء الثاني وقد تم تأليف الوحدات حسب الخطوط العريضة التي أعدت لهذا التخصص. وتم مراعاة التدرج في طرح المفاهيم ليتمكن الطلبة من استيعابها وفهمها.

قسم الكتاب إلى أربع وحدات رئيسة، وقسمت كل وحدة إلى مجموعة من الدروس تغطي مفاهيماً محددة. ففي الوحدة الأولى تم التركيز على أساسيات إلكترونيات الإتصالات، وفي الوحدة الثانية تم استعراض الإلكترونيات الرقمية والمبادئ الأساسية لها، وتضمنت الوحدة الثالثة مقدمة عامة لعلم الإتصالات، أما الوحدة الرابعة والأخيرة فقد تعرضت للتضمين التماثلي للإشارات.

وإننا إذ نضع هذا الجهد بين أيدي زملائنا المهندسين والمعلمين، لنرجو الله أن نكون قد أسهمنا في تلبية حاجاتهم في تغطية المواضيع بصورة كاملة. وفي الوقت نفسه فإن هذه طبعة تجريبية ولذلك نتأمل بأن لا تبخلوا علينا باقتراحاتكم وملاحظاتكم والتي من شأنها أن تعزز وتثري محتوى المنهاج.

والله من وراء القصد

المؤلفون

المحتويات

الوحدة الأولى

الإلكترونيات والاتصالات

ترانزستور تأثير المجال ٤
المفتاح الترانزستوري ١٢
الإلكترونيات الضوئية ١٦
المضخمات الإلكترونية ٣١
المذبذبات ٤٩
المرشحات ٥٤

الوحدة الثانية

الإلكترونيات الرقمية

أنظمة العد ٦٣
الجبر البولي ٧٩
الدارات المنطقية التتابعية ٩٣
العائلات المنطقية ١١٣
الدارات المنطقية التجميعية ١١٩

الوحدة الثالثة

مقدمة في علم الاتصالات

لمحة تاريخية ١٢٦
التطور في العصر الحالي ١٢٧
المكونات الاساسية لنظام الاتصالات ١٢٨
أنماط الاتصال ١٢٩
الطيف الكهرومغناطيسي ١٢٩
عرض النطاق ١٣٦
التضمين وكشف التضمين ١٣٧
التشويش ١٣٧

الوحدة الرابعة

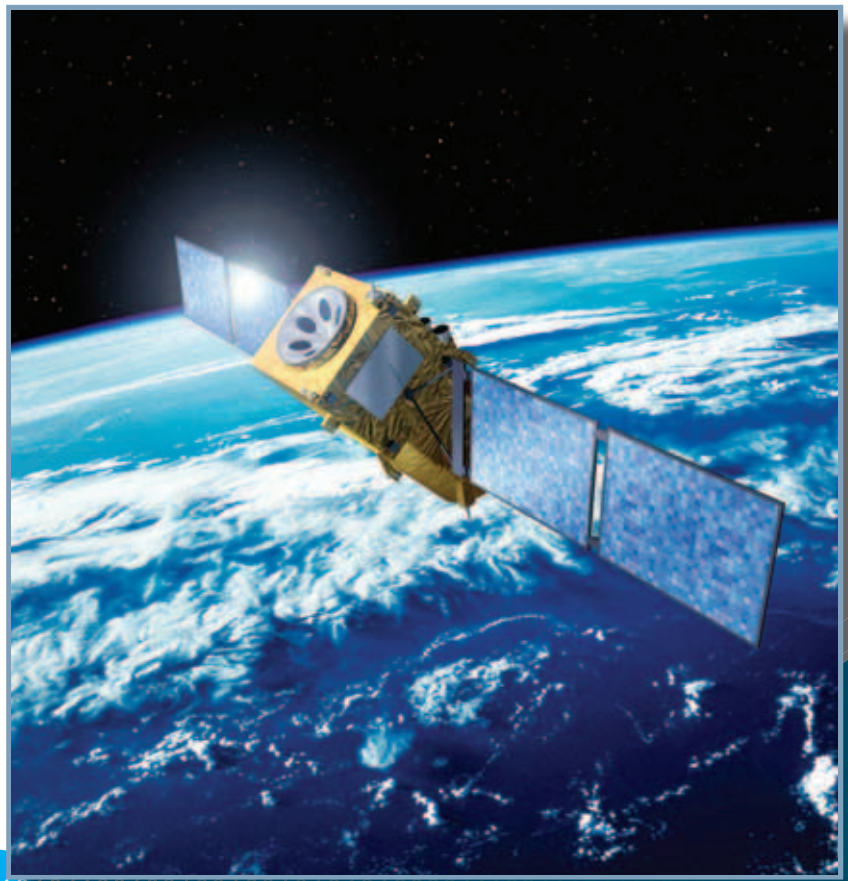
التضمين وأنظمة الاتصالات التمثيلية

مفهوم التضمين ١٤٠
أهمية التضمين ١٤١
كشف تضمين ١٤٢
تضمين الاتساع ١٤٢
المازج ١٤٣
مضمن الاتساع ذو النطاق الجانبي الواحد والحاملة المحذوفة ١٤٦
تضمين التردد ١٤٧
كشف تضمين التردد ١٤٩
الإرسال المتعدد بستخدام التقسيم الترددي ١٤٩

الوحـــدة

١

الإلكترونيات والاتصالات



أهداف الوحدة:

- معرفة مبدأ عمل ترانزستور تأثير المجال ودراسة أهم أنواعها .
- معرفة مبدأ عمل الإلكترونيات الضوئية .
- معرفة مبدأ عمل المضخمات الترانزستورية ودراسة أهم أنواعها .
- معرفة مبدأ عمل المضخمات التشغيلية ودراسة أهم أنواعها .
- معرفة مبدأ عمل المذبذبات الإلكترونية ودراسة أهم أنواعها .
- معرفة مبدأ عمل المرشحات الإلكترونية ودراسة أهم أنواعها .

مقدمـــــة

أصبحت المنتجات الإلكترونية في عصرنا الحاضر من المنتجات الأساسية التي يعتمد عليها الناس في كل مناحي الحياة تقريباً، ففي الاتصالات تربط معظم الاتصالات الإلكترونية بين الناس في كل أرجاء العالم . فبإمكان المذياع نقل الصوت إلى أي مكان في العالم في أجزاء من الثانية . ويستطيع الناس في مختلف دول العالم الاتصال فوراً عبر الهواتف والحواسيب والأقمار الصناعية . كذلك يستطيع مشاهد التلفاز متابعة حدث في قارة أخرى، أثناء حدوثه . ويمكن الهاتف الخلوي – الذي يسمى الهاتف الجوال أو النقال – الشخص من الاتصال بشخص آخر، وهما في الطريق، أو في سيارة، أو في أي مكان آخر من العالم . وترسل أجهزة الفاكس نسخ الوثائق عبر خطوط الهاتف في وقت قصير جداً وتستقبلها .

سابقاً كانت تعتمد الإلكترونيات في تطبيقاتها على ما يسمى بالدوائر التقليدية، والتي تتألف من مكونات إلكترونية منفصلة (كالمقاومات والمكثفات والملفات وغيرها)، يتم وصلها بأسلاك معدنية، بحيث يتم تثبيتها على لوحة الدوائر، وهي لوحة رقيقة من مادة بلاستيكية أو غيرها تطبع عليها الأسلاك النحاسية بعملية كيميائية .

في عصرنا الحاضر وبتطور صناعات أشباه المواصلات Semiconductors أصبح بالإمكان صناعة دوائر الإلكترونية تحتوي ملايين المكونات الإلكترونية المنفصلة على رقاقة إلكترونية صغيرة جداً، تصنع عادة من السيلكون، تعرف بالدوائر المتكاملة (Integrated Circuits)، ويرمز لها بالرمز IC، ولا يتعدى أحجام معظم الرقاقات عدة مليمترات .

الـــــدرس ١

ترانزستور تأثير المجال

يتناول هذا الباب ترانزستور تأثير المجال (FET) من حيث تركيبه، وأنواعه، وظروف تشغيله، وطرق توصيله المختلفة، ومميزة كل وصلة واستعمالاتها.

ويتوقع منك بعد دراسة هذا الباب أن تصبح قادراً على أن:

١ تذكر مميزات ترانزستور تأثير المجال.

٢ تبين مستعيناً بالرسم تركيب ومبدأ عمل ترانزستور تأثير المجال ذي الوصلة JFET.

٣ تبين مستعيناً بالرسم تركيب ومبدأ عمل ترانزستور تأثير المجال نوع الأكسيد المعدني MOSFET.

٤ ترسم دارات ترانزستور تأثير المجال الأساسية، وتذكر مميزة كل دارة واستعمالاتها.

٥ تبين خطر الشحنات الكهربائية الساكنة على ترانزستور تأثير المجال ذي البوابة المعزولة MOSFET وطرق حمايته منها.

١ مميزات وأنواع ترانزستور تأثير المجال

سبق أن أشرنا إلى أن هناك أنواعاً عديدة من الترانزستورات، وقد شرحنا بالتفصيل ترانزستور الوصلة ثنائي القطبية (BJT)، وسنشرح هنا عن نوع آخر هو ترانزستور تأثير المجال(Field Effect Transistor) والذي يختصر بالأحرف (FET) وقد اكتشف هذا الترانزستور من قبل العالم شوكلي عام ١٩٥٢، إلا أن استعمال هذا الترانزستور لم يتحقق إلا في عام ١٩٦٢ وذلك بسبب عدم توفر الإمكانيات التكنولوجية والتقنية في ذلك الوقت.

ترانزستور تأثير المجال هو عنصر ذو ثلاثة أطراف، هي: المنبع (S0URCE) والمصرف (DRAIN) والبوابة (GATE) وهذه الأطراف تقابل الباعث والمجمع والقاعدة، على الترتيب، في الترانزستور العادي.

على كل حال، إن التيار بين المنبع والمصرف في ترانزستور تأثير المجال تتحكم فيه الفولتيه المطبقة على البوابة، في حين يتحكم بالتيار بين الباعث والمجمع تيار القاعدة، أي إن الترانزستور FET يتحكم فيه بالجهد (الفولتية)، بينما الترانزستور العادي يتحكم فيه بالتيار.

يعرف ترانزستور تأثير المجال بالترانزستور أحادي القطبية تميزاً له عن الترانزستور ثنائي القطبية؛ لأن التيار المار خلاله يتكون من نوع واحد من حاملات الشحنة، وهي الإلكترونات في ترانزستور تأثير المجال بالقناة السالبة، أو الفجوات في ترانزستور تأثير المجال بالقناة الموجبة، في حين ترانزستور الوصلة ثنائي القطبية والذي تم شرحه في الوحدة السابقة نجد أن التيار المار خلاله يتكون من كلا النوعين: الإلكترونات والفجوات.

كما ويمتاز ترانزستور تأثير المجال على الترانزستور العادي بما يلي :

١ يبدي مقاومة مدخل عالية (عدة ميجا أوم)، لأنه يعتمد على فولتية المدخل بعكس ترانزستور الوصلة ثنائي القطبية الذي يعتمد على تيار المدخل .

٢ تصنيعه أسهل ، ويحتل مساحة أصغر في الدارات المتكاملة .

٣ مستوى الشوشرة منخفض بالمقارنة مع ترانزستور الوصلة ثنائي القطبية .

٤ لا يتأثر بالحرارة، مثل ترانزستور الوصلة ثنائي القطبية .

هناك صنفان رئيسان من ترانزستورات تأثير المجال ، وهما :

١ ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة (Junction FET:JFET) .

٢ ترانزستور تأثير المجال نوع الأكسيد المعدني (MOSFET) : هذا الاسم يعود إلى بنية الترانزستور حيث يتكون من ثلاث طبقات : طبقة معدنية (Metal)، طبقة من أكسيد السيليكون (Oxide)، طبقة نصف موصل (Semiconductor).

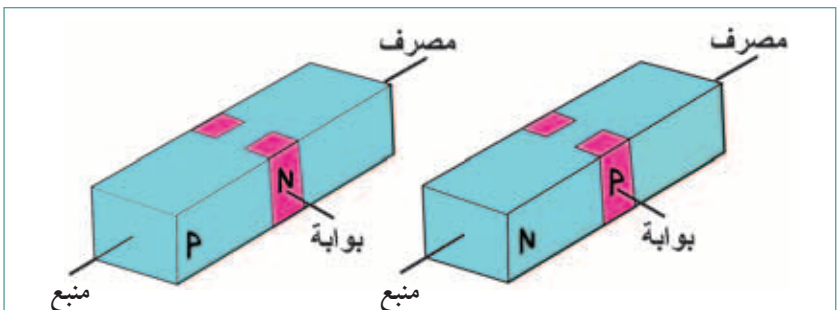
وسندرس في الفقرات الآتية كلا النوعين .

٢ ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة

يوجد صنفان رئيسان من ترانزستور تأثير المجال ذي الوصلة (JFET) وذلك حسب تكوين هذه الترانزستورات ، كما يوضح الشكل (١)، وهما :

١ ترانزستور JFET بالقناة السالبة (N).

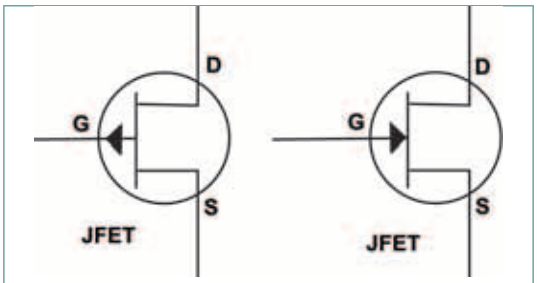
٢ ترانزستور JF ET بالقناة الموجبة(P) .



الشكل (١) : تركيب ترانزستور(JFET)

ويبين الشكل (١) التركيب الأساسي للترانزستور JFET بالقناة السالبة (N)، ويتكون من شريحة من النوع (N)، تتصل بها أسلاك المنبع(**S**: Source) والمصرف (**D**: Drain) تدعى هذه الشريحة باسم القناة (Channel)، ويجري

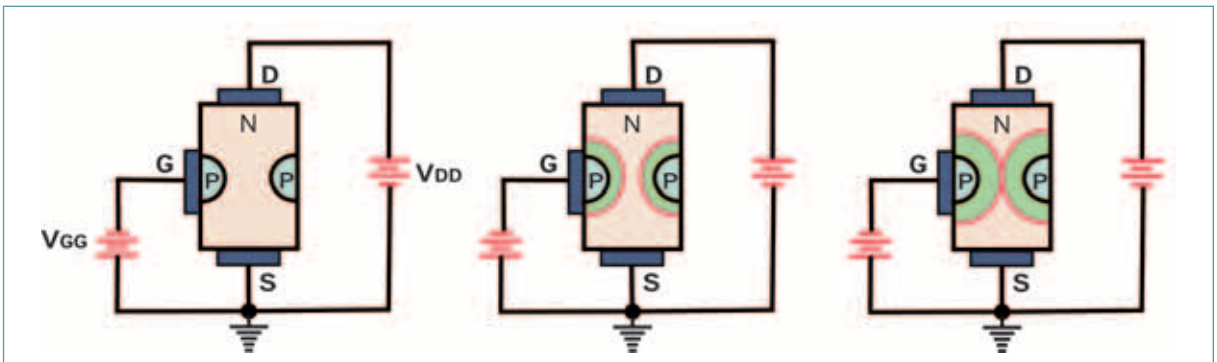
عبرها تيار الإلكترونات من المنبع إلى المصرف . ينشر على جانبي شريحة القناة وبعمق معين مادة من النوع (P)، يتصل بها طرف سلكي يسمى البوابة (**G**: Gate)، وهكذا تتشكل وصلة (PN) بين مادة البوابة (P) ومادة القناة (N)، ويبين الشكل (١) أيضاً التركيب الأساسي لترانزستور تأثير المجال ذي الوصلة بالقناة الموجبة (P)؛ إذ إن مادة القناة من النوع (P) ومادة البوابة من النوع (N) .



الشكل(٢) : الرموز التخطيطية لترانزستورJFET

ويبين الشكل (٢) رمز ترانزستورJFET، وتلاحظ أن رأس السهم على سلك البوابة يتجه داخل الترانزستور بالقناة السالبة، ويتجه خارج الترانزستور بالقناة الموجبة. ونذكر القارئ بأن رأس السهم يشير دائماً إلى المادة من النوع (N)، تماماً كما هو الحال في الترانزستور العادي والدايود. ويمكن توسيط رأس السهم بحيث يقع على منتصف الخط العامودي الذي يمثل القناة، أو رسمه على طرف القناة بالقرب من طرف المنبع .

ولتوضيح مبدأ عمل الترانزستورJFET، يبين الشكل(٣)، فولتيات الانحياز للترانزستورJFET بالقناة السالبة، حيث يؤمن مصدر الفولتية (V_{DD}) الفولتية بين المصرف والمنبع، مما يؤدي إلى جريان تيار المصرف (I_D) عبر القناة من المنبع إلى المصرف . ويوفر مصدر الفولتية(V_{GG}) فولتية الانحياز العكسي لوصلة البوابة المنبع .



الشكل(٣) : عمل الترانزستور JFET بالقناة السالبة .

الفولتية السالبة على البوابة تؤدي إلى توليد منطقة استنزاف عازلة (خالية من الإلكترونات الحرة) في القناة، فيقل عرض القناة وتزداد مقاومتها لتيار المصرف (I_D) . وهكذا يتبين أن تيار المصرف (I_D) المار عبر القناة محكوم بمقدار الانحياز العكسي على وصلة البوابة . وفي الحقيقة يمكن زيادة فولتية البوابة حتى تغطي منطقة الاستنزاف القناة N بأكملها، وبذلك يتوقف جريان التيار عبر القناة .

بينما كانت المناقشة السابقة تناولت عمل الترانزستورJFET بالقناة السالبة، فإن عمل الترانزستورJFET بالقناة الموجبة مماثل له تماماً، والفروق الوحيدة هي في فولتية الانحياز الموجبة اللازمة لجعل انحياز وصلة البوابة المنبع عكسية، كما أن تيار المصرف في القناة يسببه جريان الثقوب الموجبة الشحنة .

٣ ترانزستور تأثير المجال نوع الأكسيد المعدني MOSFET

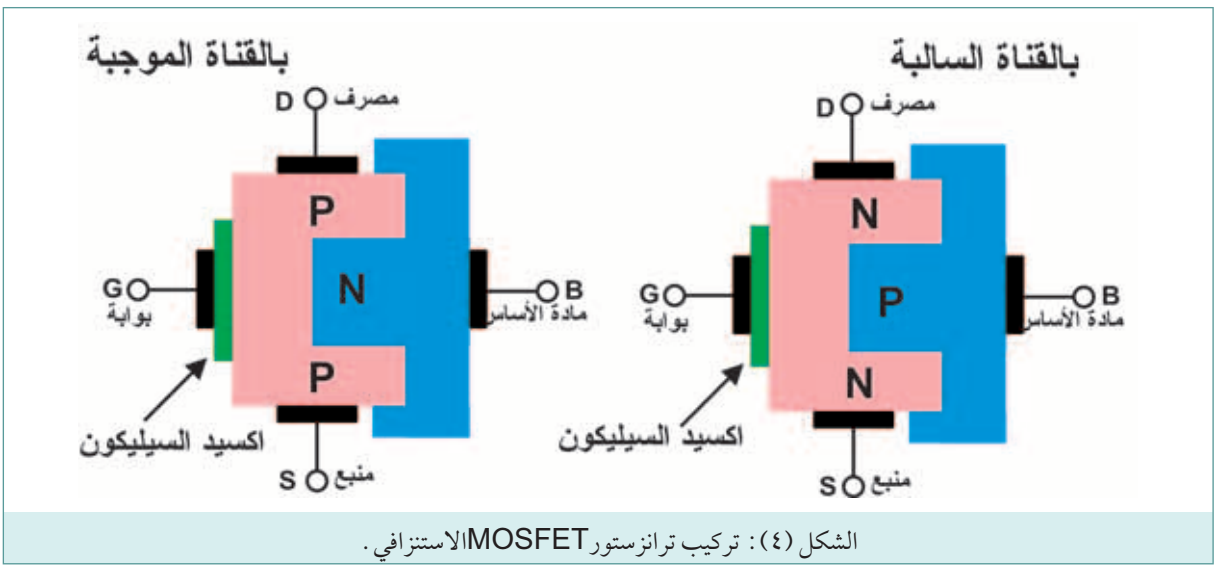
يطلق أيضا على هذا الترانزستور اسم ترانزستور تأثير المجال ذي البوابة المعزولة (Insulated Gate FET)، لأن بوابة الترانزستور المعدنية تكون معزولة عن القناة بطبقة عازلة من أكسيد السيليكون، مما يجعل مقاومة دخل هذا الترانزستور عالية جداً. وهناك نوعان من ترانزستور MOSFET، وهما :

أ ترانزستور MOSFET الاستنزافي (**DEMOSFET** : Depletion Mode MOSFET) .

ب ترانزستور MOSFET التعزيزي (**EMOSFET:** Enhancement Mode MOSFET) .

أ ترانزستور MOSFET الاستنزافي (DEMOSFET):

ويبين الشكل (٤) بناء الترانزستور DEMOSFT بالقناة السالبة (N)، وبناء الترانزستور DEMOSFET بالقناة الموجبة(P) . ونلاحظ أن المنبع والمصرف منتشر في مادة الأساس للترانزستور، ويتصل المنبع والمصرف مع بعضهما بقناة ضيقة ملامسة للبوابة المعزولة، ونلاحظ من الشكل أن البوابة معزولة عن القناة بطبقة من ثاني أكسيد السيليكون (SiO_2) . فالقناة والبوابة تشكلان لوحي مواسع، ويشكل أكسيد السيليكون الطبقة العازلة بينهما .

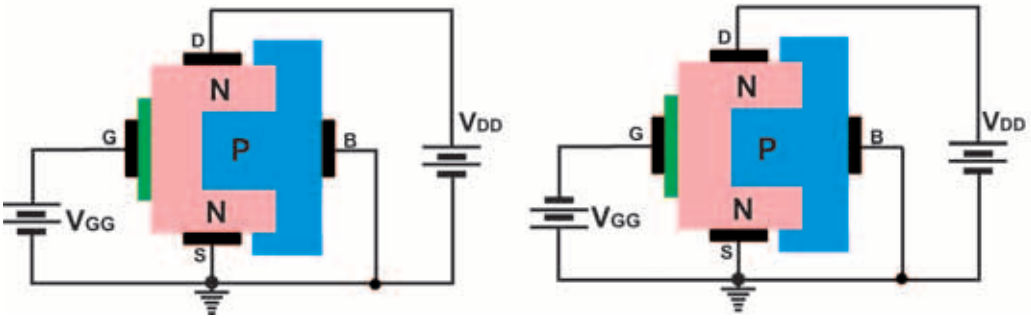


الشكل (٤): تركيب ترانزستور MOSFET الاستنزافي .

وسنتعرف هنا على مبدأ عمل ترانزستور MOSFET الاستنزافي بالقناة السالبة، إذ لا يختلف عن مبدأ عمل ترانزستور (MOSFET) الاستنزافي بالقناة الموجبة غير أن فولتيات الانحياز تكون معكوسة .

أثناء التشغيل المعتاد للترانزستور MOSFET الاستنزافي بالقناة السالبة تطبق فولتية سالبة على المنبع وفولتية موجبة على المصرف، مما يؤدي إلى جريان تيار خلال القناة من المنبع إلى المصرف، لاحظ الشكل (٥) . إذا طبقت فولتية سالبة على البوابة، فإن الشحنة السالبة على البوابة سوف تدفع الالكترونات السالبة في القناة إلى منطقة

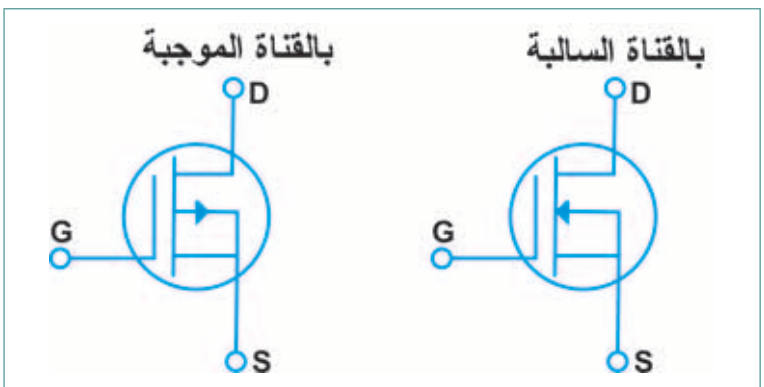
الأساس الموجبة، نتيجة قوة التنافر بين تلك الالكترونات في القناة والشحنات السالبة على البوابة. ويسبب ذلك استنزافاً للإلكترونات في القناة، فتزيد مقاومة تلك القناة، ويقل التيار الذي يسري من مصدر الفولتية الموجب إلى المصرف ثم المنبع ، وزيادة الفولتية السالبة على البوابة ، يؤدي إلى زيادة مقاومة القناة ونقصان التيار وهكذا، وتعرف هذه الحالة بحالة الاستنزاف للترانزستور.



الشكل (٥): تركيب ترانزستور MOSFET الاستنزافي.

أما إذا وصلت فولتية موجبة بالبوابة بدلاً من الفولتية السالبة. فإن ذلك يؤدي إلى زيادة الالكترونات في القناة فتزداد موصليتها (تقل مقاومتها) وبذلك يزداد التيار الجاري بين المصرف والمنبع. وتعرف هذه الحالة بالحالة التعزيزية للترانزستور. وعلى هذا فإن التيار بين المنبع والمصرف في ترانزستورMOSFET الاستنزافي يكون محكوماً بالفولتية السالبة أو الموجبة المطبقة على البوابة.

يبين الشكل(٦) الرمز التخطيطي لترانزستور MOSFET الاستنزافي. لاحظ أن البوابة تظهر معزولة عن القناة، ويميز سلك مادة الأساس بواساطة السهم، وكما هو الحال دائماً يشير السهم نحو المادة السالبة (N) حيث إن اتجاه السهم يكون إلى داخل الترانزستور بالقناة السالبة، ويكون إلى خارج الترانزستور بالقناة الموجبة.

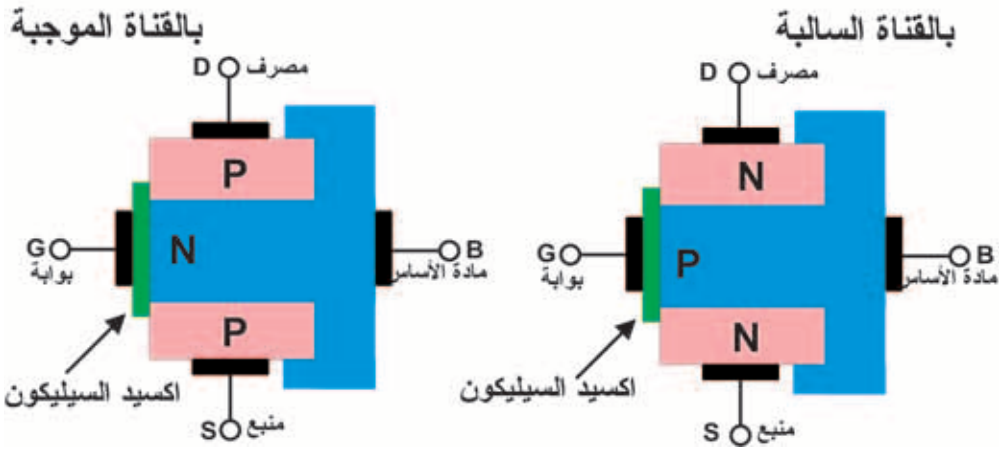


الشكل(٦): الرمز التخطيطي لترانزستور MOSFET الاستنزافي

في الترانزستور المبين نلاحظ أن سلك مادة الأساس موصول مع سلك المنبع من الداخل، إلا أنه في بعض الترانزستورات يكون سلك مادة الأساس منفصلاً.

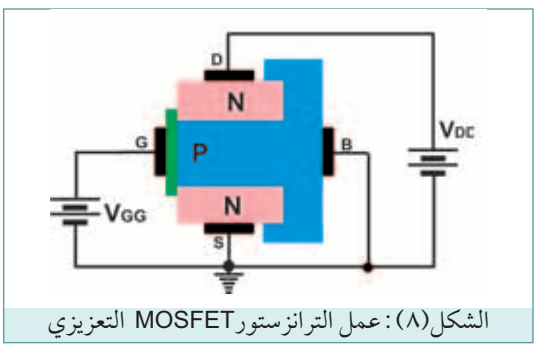
ب ترانزستور MOSFET التعزيزي (EMOSFET):

يختلف ترانزستورMOSFET التعزيزي في بنائه عن ترانزستورMOSFET الاستنزافي في أنه لا يحتوي على قناة فيزيائية. ونلاحظ من الشكل(٧)أن مادة الأساس تمتد لغاية المادة الفاصلة على البوابة(أكسيد السيليكون)، ونلاحظ من الشكل كيفية بناء هذا الترانزستور، ففي الوضع الطبيعي، لا يسري تيار بين المنبع والمصرف إلا بعد أن تتشكل قناة وهمية بين المنبع والمصرف على خلاف ترانزستورMOSFET الاستنزافي الذي يحتوي على قناة فيزيائية ضمن بنائه باستمرار.



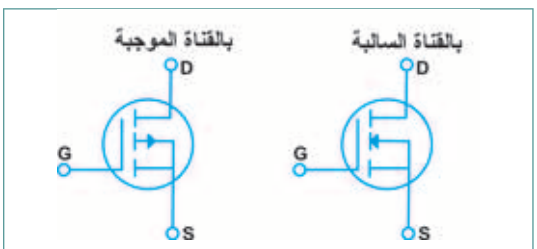
الشكل (٧): تركيب ترانزستور MOSFET التعزيزي.

عند تطبيق فولتية موجبة على البوابة كما هو مبين في الشكل (٨)، فإن هذه الفولتية تجذب الإلكترونات السالبة من مادة الأساس نحو البوابة، وتصبح المنطقة المحاذية للبوابة غنية بالإلكترونات، وتصبح كأنها امتداد للمادة (N) بين المصرف والمنبع مشكلة قناة وهمية، مما يسمح بسريان التيار بين المنبع والمصرف من خلال هذه القناة. وتؤدي زيادة الفولتية على البوابة إلى زيادة عرض القناة الوهمية، وزيادة تدفق التيار الكهربائي خلال القناة.



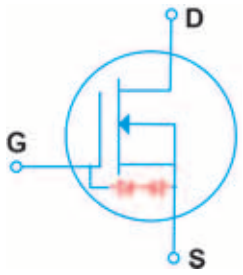
الشكل(٨): عمل الترانزستورMOSFET التعزيزي

يبين الشكل(٩)الرمز التخطيطي لترانزستور MOSFET التعزيزي، لاحظ أنه تم تمثيل القناة الوهمية بخط متقطع، في حين تم تمثيل القناة في الترانزستور الاستنزافي بخط صلب متصل.



الشكل(٩): الرمز التخطيطي لترانزستورMOSFETالتعزيزي.

هناك مشكلة تواجهنا في ترانزستورMOSFET وهي تطبيق فولتية عالية نسبياً على بوابة الترانزستور قد تثقب الطبقة العازلة الرقيقة، مما يؤدي إلى تلف الترانزستور، ونظرا لمقاومة البوابة العالية جداً، فإن مجرد تطبيق شحنة ساكنة من روؤس أصابعك تستطيع أن تخترق طبقة الأكسيد. وكاحتياط أمان تقوم الشركات الصانعة بوصل أطراف الترانزستور معاً بشكل مؤقت للمحافظة عليه أثناء التداول، ويتم ذلك بغرس أطراف الترانزستور بقطعة من المطاط الموصل. وكذلك الحال بالنسبة للدارات المتكاملة التي تصنع بتقنية MOSFET.

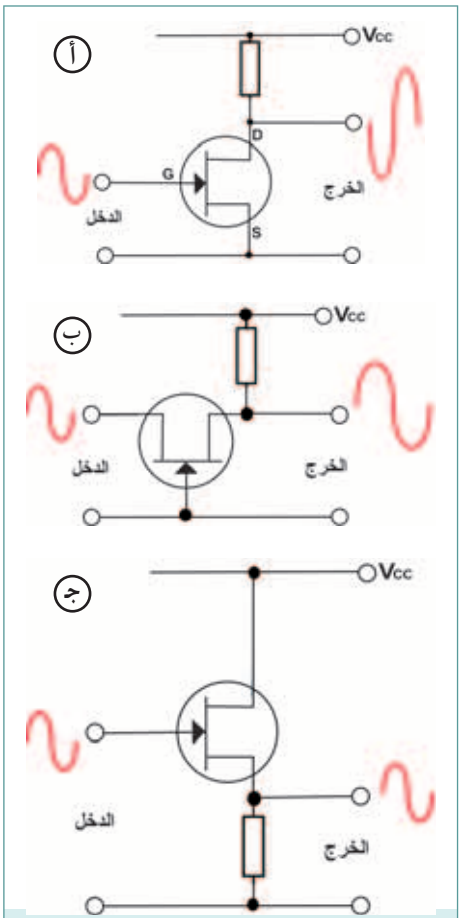


الشكل(١٠): حماية ترانزستور MOSFET من الشحنات الكهربائية الساكنة.

هناك طريقة أخرى لحماية ترانزستور MOSFET من الشحنات الساكنة وهي ربط دايودي زينر ظهراً لظهر بين طرفي توصيل البوابة. يتم عمل ذلك داخليا كما هو مبين في الشكل (١٠)، وهكذا نضمن أن الفولتيه المطبقة على البوابة لن تتجاوز فولتية الزينر أبداً، حيث تقوم دايود الزينر بالتوصيل لدى بلوغ البوابة فولتية الزينر.

٤ دارات ترانزستورات تأثير المجال:

تستعمل ترانزستورات تأثير المجالFET، كما تستعمل الترانزستورات العادية، للحصول على التضخم بشكل أساسي. وهي كالترانزستورات العادية، يمكن أن توصل بثلاث دارات مختلفة، تظهر هذه الدارات الثلاث في الشكل (١١)، وهي:



الشكل(١١): دارات ترانزستورات تأثير المجال.

أ دارة المنبع المشترك:

هي أكثر دارات ترانزستور تأثير المجال المستعملة انتشاراً، وتناظر دارة الباعث المشترك. تطبق إشارة الدخل بين البوابة والمنبع وتظهر إشارة الخرج بين المصرف والمنبع، فالمنبع إذن مشترك بين الدخل والخرج. تمتاز دارة المنبع المشترك بارتفاع مقاومة دخلها؛ إذ إنّ الوصلة بين المنبع والمصرف منحازة عكسياً، وتستخدم لتضخيم فولتيات الإشارات الكهربائية سواء منها منخفضة التردد أو عالية التردد.

ب دارة البوابة المشتركة:

تناظر دارة القاعدة المشتركة، وتستخدم لتضخيم فولتيات الإشارات الكهربائية ذات الترددات العالية.

ج دارة المصرف المشترك:

تناظر دارة المجمع المشترك ، حيث إن مقاومة دخلها عالية جداً ومقاومة خرجها منخفضة ، وهذا يجعل دارة المصرف المشترك ملائمة لربط مصدر اشارة كهربائية ذي مقاومة عالية بحمل ذي مقاومة منخفضة كي نضمن مردوداً جيداً في عملية نقل القدرة .

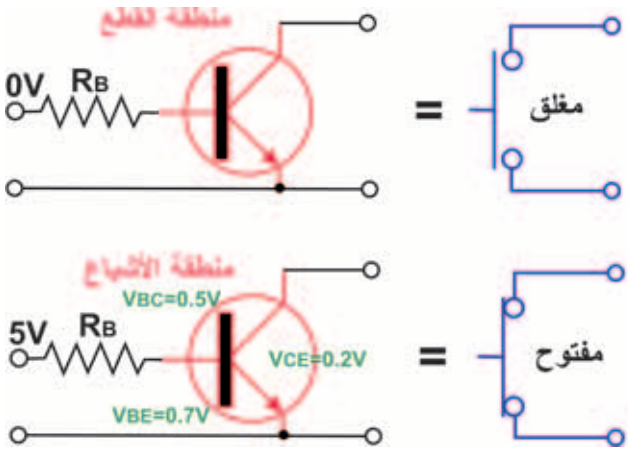
ويمكن تشكيل أية دارة من هذه الدارات باستخدام ترانزستورات من النوعين JFET أوMOSFET على السواء ، ومميزاتها ملخصة في الجدول(١) القيم النموذجية موضوعة بين هلالين .

البارامتر	الـــدارة		
	المنبع المشترك	المصرف المشترك	البوابة المشتركة
كسب الفولتية	متوسطة(40)	واحد	عالٍ (250)
كسب التيار	عالٍ جداً (200,000)	عالٍ جداً (200,000)	واحد
كسب القدرة	عالٍ جداً (8000,000)	عالٍ جداً(200,000)	عالٍ(250)
مقاومة الدخل	عالية جداً 1MΩ	عالية جداً 1MΩ	منخفضة 500Ω
مقاومة الخرج	متوسطة/ عالية	منخفضة	عالية
إزاحة الطور	180درجة	صفر درجة	صفر درجة

الجدول (١)

المفتاح الترانزستوري

إن الترانزستور في منطقة القطع يعادل مفتاح ميكانيكي في حالة القطع (OFF) بينما الترانزستور في حالة التشبع يعادل مفتاح ميكانيكي في حالة التوصيل(ON)، لاحظ الشكل (١).



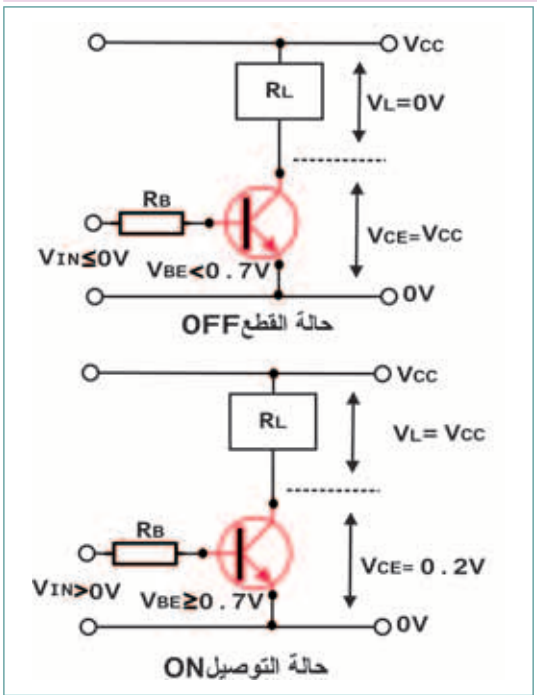
الشكل (١): الترانزستور في حالتي القطع والاشباع

١ دارة المفتاح الترانزستوري:

يبين الشكل (٢) دارة مفتاح ترانزيستوري تعمل على تشغيل حمل كهربائي ، ويمكن وصف عمل هذه الدارة كما يلي :

أ حالة القطع (OFF):

عندما تكون قيمة جهد الدخل (V_{in})صفراً أو صغيرة إلى الحد الذي لا يسمح بمرور تيار القاعدة للترانزيستور (I_B=0) بكون الترانزستور في حالة القطع ويكون جهد مجمعة مساوياً لجهد المصدر (V_{CC})، وبالتالي تكون قيمة فرق الجهد بين طرفي الحمل مساوية لصفر مما يؤدي إلى إطفائه إذا كان مصباحاً أو توقفه عن الدوران إذا كان محركاً .



الشكل (٢): دارة مفتاح ترانزيستوري

ب حالة التوصيل (ON):

عند تطبيق جهد الدخل V_{in} يسري تيار في دارة القاعدة للترانزيستور ، وعندما تكون قيمة هذا التيار مساوية أو أكبر من قيمة تيار القاعدة ألتشبعي للترانزيستور ، يتحول الترانزستور من حالة القطع إلى حالة التشبع وينخفض جهد مجمع الترانزستور إلى قيمة صغيرة جداً (0.2فولت تقريباً) . ويصبح جهد المصدر (V_{CC})مطبق بكامله على الحمل ، ويسري تيار المجمع(I_C) الكبير نسبياً عبر الحمل فيضيء إذا كان مصباحاً أو يدور إذا كان محركاً .

يمكن تحليل هذه الدارة وكتابة المعادلات التي تحكم عملها في حالة التوصيل على النحو الأتي :

١ بالنسبة لدارة المجمع الباعث :

$$V_{CC} = I_C \times R_L + V_{CE}$$

$$V_{CC} = I_C \times R_L + 0.2$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - 0.2}{R_L}$$

حيث أن :

V_{CC} : جهد مصدر التغذية .

R_L : مقاومة الحمل بالأوم .

I_C : تيار المجمع التشبعي .

٢ بالنسبة لدارة القاعدة الباعث :

$$V_{in} = I_B \times R_B + V_{BE}$$

$$V_{in} = I_B \times R_B + 0.7$$

$$I_B = \frac{V_{in} - 0.7}{R_B}$$

$$R_B = \frac{V_{in} - 0.7}{I_B}$$

وتعطى العلاقة بين تيار المجمع التشبعي و تيار القاعدة ألتشبعي بالمعادلة :

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$

حيث: h_{FE} كسب التيار للترانزيستور في حالة التشبع ، وتكون قيمته اقل بكثير من قيمة كسب التيار في منطقة التشغيل الخطية ، وعادة تكون قيمته نصف قيمة كسب التيار الصغرى المعطى في لوحة بيانات الترانزستور .

مـــثـــال

احسب قيمة جهد الدخل(V_{in})اللازم لدفع الترانزستور إلى حالة التشبع في الدارة المبينة في الشكل (٣)، إذا كان معامل كسب التيار في حالة التشبع يساوي 10.

الحـــــل

يمكن حساب تيار المجمع كما يلي:

$$I_C = \frac{V_{CC} - 0.2}{R_C}$$

$$I_C = \frac{5 - 0.2}{100}$$

$$I_C = 50mA$$

ويتم حساب تيار القاعدة كما يلي :

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}}$$

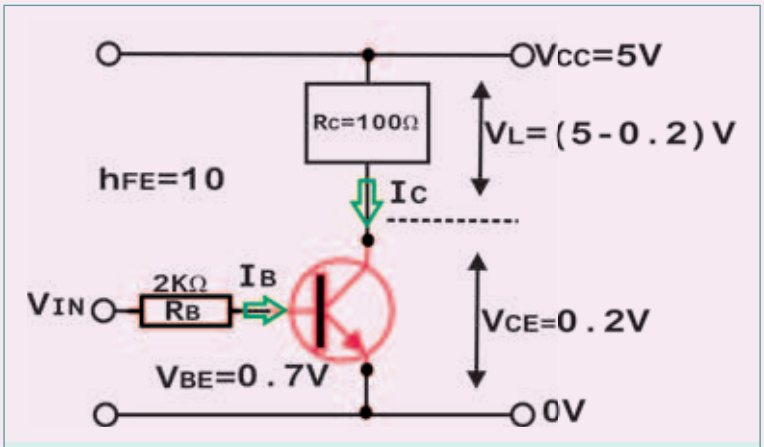
$$I_B = \frac{50mA}{10} = 5mA$$

والآن يمكن حساب قيمة جهد الدخل كما يلي :

$$V_{in} = I_B \times R_B + 0.7$$

$$V_{in} = \frac{5}{1000} \times 2000 + 0.7$$

$$V_{in} = 10.7V$$



الشكل (٣) : دارة المثال

٢ القدرة المبددة في المفتاح الترانزستوري:

بصورة عامة، القدرة المبددة في الترانزستور تساوي حاصل ضرب تيار المجمع(I_C) بجهد المجمع الباعث V_{CE}، أي :

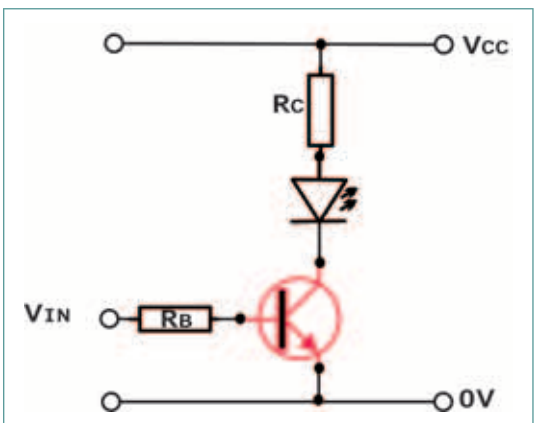
$$P = I_C \times V_{CE}$$

وعندما يكون الترانزستور في حالة القطع تكون قيمة تيار المجمع منخفضة جداً ، وبالتالي تكون قيمة القدرة المبددة في الترانزستور منخفضة جداً أيضاً . وعندما يكون الترانزستور في حالة الوصل تكون قيمة جهد المجمع الباعث منخفضة جداً (0.2فولت تقريباً)، وبالتالي تكون قيمة القدرة المبددة في الترانزستور منخفضة جداً أيضاً . وهكذا نستنتج أن القدرة المبددة في الترانزستور عند عمله كمفتاح منخفضة جداً .

٣ تطبيقات المفاتيح الترانزستورية:

للمفاتيح الترانزستورية تطبيقات واسعة من أهمها تشغيل مصابيح الإشارة، والثنائيات المشعة للضوء (LED)، كما يبين الشكل (٤) .

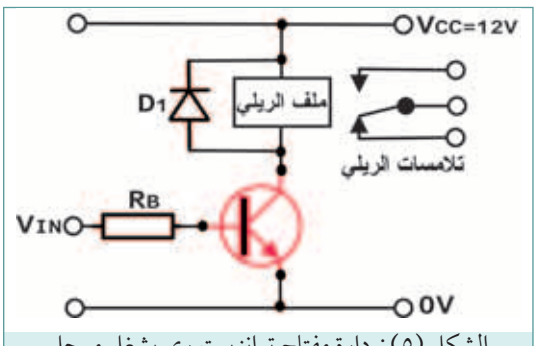
كما تستخدم المفاتيح الترانزستورية لربط دارات القدرة ذات الفولتيات العالية بالدارات الإلكترونية ذات الفولتيات المنخفضة، وكمثال على ذلك يبين الشكل (٥) دارة تحكم بحمل كهربائي عن طريق مفتاح ترانزيستور ومرحل(Re-lay).



الشكل (٤) : مشغل ثنائي مشع للضوء

يمكن أن تعمل الدارة الإلكترونية (ميكروكمبيوتر مثلاً) على توصيل المفتاح الترانزستوري مما يؤدي إلى مرور تيار المجمع عبر ملف المرحل . وينتج عن ذلك غلق ملامسات المرحل ومرور التيار في الحمل الكهربائي، وهو في الغالب حمل صناعي كأن يكون محركاً أو عنصر تسخين أو مصباح إنارة .

يعمل الثنائي(D) على منع تولد جهد عكسي عالي بين طرفي ملف المرحل عندما يقوم الترانزستور بقطع التيار المار في الملف بصورة فجائية . في حالة عدم استخدام هذا الثنائي يتولد جهد عكسي عالي بين طرفي ملف المرحل قد يؤدي إلى تلف الترانزستور .



الشكل (٥) : دارة مفتاح ترانزيستوري يشغل مرحل كهرومغناطيسي

الإلكترونيات الضوئية

مع تطور علم الالكترونيات اضحى الضوء أحد العناصر الرئيسة الفعالة المحركة لكثير من التطبيقات العملية، ولقد أضفى الضوء سهولة في البناء والتشغيل على كثير من التطبيقات ودقة أكثر على عمليات التحكم، التي كانت تتم بصعوبة. واستعمل الضوء والاثر العكسي له في بناء عناصر إلكترونية، مثل المقاومة الضوئية، والثنائي الضوئي، والترانزستور الضوئي، كما استخدم في وحدات العرض الضوئية. ويستخدم في نقل البيانات في أنظمة الاتصالات عن طريق الألياف الضوئية.

الضوء:

هل فكرت يوماً بالضوء، وممّ يتكون؟ كيف ينتقل؟ كيف نرى الأشياء؟ للإجابة عن مثل هذه الاستفسارات سنتناول في هذه الفقرة تفسيراً لماهية الضوء وسلوكه، وللحديث عن طبيعة الضوء وتفسيره تناول الفيزيائيون نموذجين أساسيين، وهما:

التفسير الجسيمي Particle theory:

الذي يعدّ الضوء جسيمات صغيرة جدا (فوتونات Photons)تسير بسرعة عالية وبذلك تنقل الطاقة. وترتبط طاقة الفوتون بطول الموجة بالعلاقة الآتية:

طاقة الفوتون = (ثابت × سرعة الضوء) ÷ طول الموجة

$$E = \frac{hv}{\lambda}$$

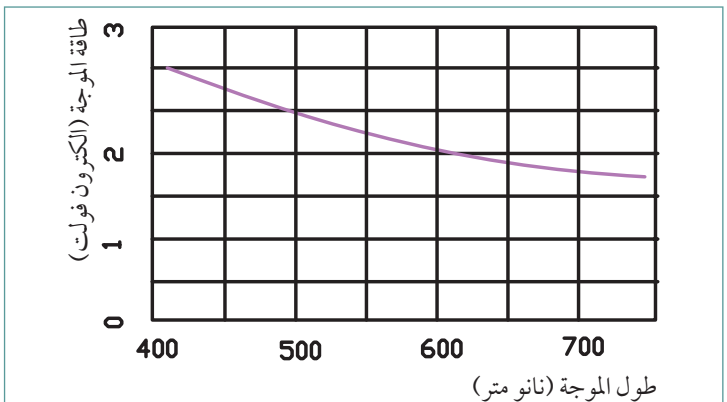
حيث:

h: ثابت بلانك ويساوي 4.136×10^{-15}(الكترون فولت . ثانية)

V: سرعة الضوء (متر/ ثانية)

λ: طول الموجة (بالمتر)

ومن العلاقة نلاحظ ان طاقة الفوتون تتناسب تناسباً عكسياً مع طول الموجة فمثلا الضوء الازرق الخافت لة طاقة أعلى من ضوء احمر متوهج. انظر الشكل (١).



الشكل (١): العلاقة بين طاقة الموجة وطولها

التفسير الموجي (Wave theory):

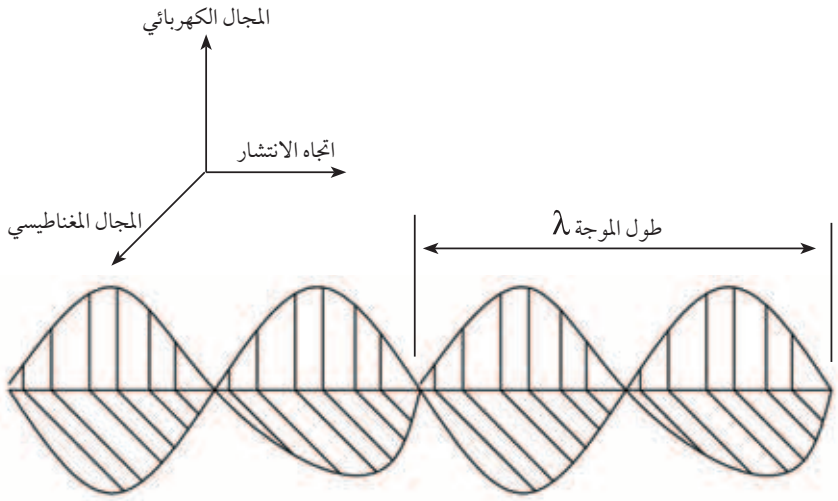
والذي يعدّ الضوء عبارة عن موجات تقوم بنقل الطاقة من مكان إلى آخر، ولتسهيل ذلك نتناول نموذج تشكل الموجات في بركة ماء حيث نلاحظ أن سطح الماء يتموج، لكن دون انتقال الماء من مكانه، بمعنى أنه يحمل الطاقة وينقلها.

ويعتمد العلماء في كثير من الأحيان على كلا النموذجين لتفسير ظاهرة معينة.

تبلغ سرعة انتشار الضوء في الفراغ 300000كيلومتر في الثانية (3×10^8م/ ثانية).

الموجة الضوئية:

تتكون الموجة الضوئية من طاقة مختزنة على شكل مجال كهربائي وآخر مغناطيسي وكلا المجالين متعامدان ويتذبذبان بزوايا عمودية على اتجاه حركة الموجة، انظر الشكل (٢).



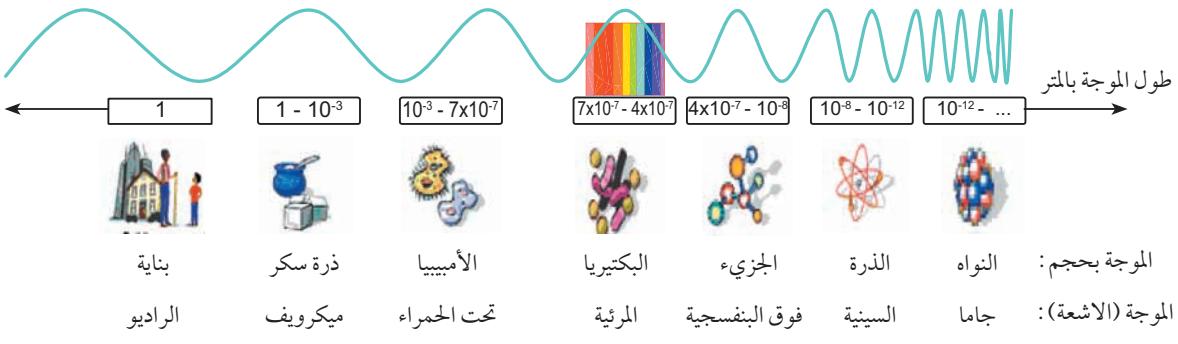
الشكل (٢): الموجة الكهرومغناطيسية

يعدّ الضوء المرئي جزءاً صغيراً من الطيف الكهرومغناطيسي المبين في الشكل (٣)، والذي يتكون من الإشعاعات الآتية:

١. أمواج الراديو الطويلة والقصيرة Radio waves
٢. أمواج الميكروويف Microwave
٣. الأشعة تحت الحمراء Infrared Rays
٤. الأشعة المرئية visible
٥. الأشعة فوق البنفسجية Ultra violet
٦. الأشعة السينية X-rays

٧ أشعة جاما Gamma Ray

٨ الأشعة الكونية Cosmic rays



شكل (٣) : مكونات الطيف الكهرومغناطيسي

وكل الموجات السابقة تنتشر في الفراغ بنفس السرعة وتختلف فيما بينها في التردد (طول الموجة) وذلك حسب العلاقة الآتية :

سرعة الضوء = طول الموجة x ترددها

$$c = f \times \lambda$$

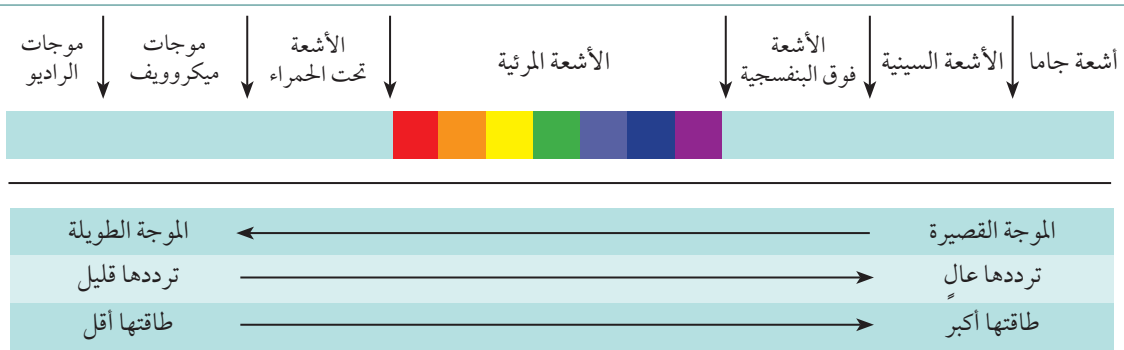
حيث :

c : سرعة الضوء (متر / ثانية)

f : تردد الموجة (بالهيرتز)

λ : طول الموجة (بالمتر)

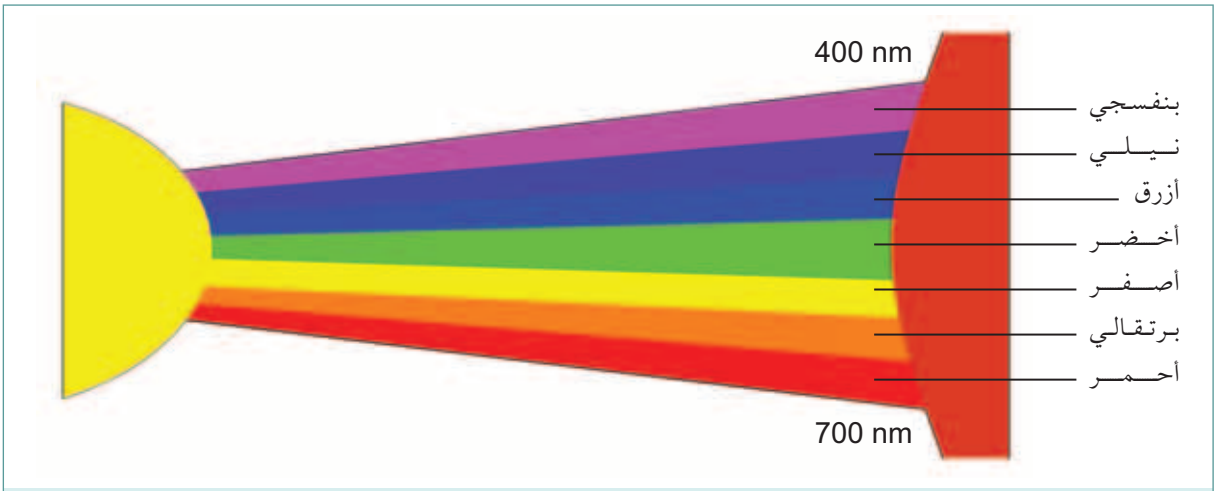
ويلاحظ من العلاقة أن طول الموجة يتناسب عكسياً مع كل من ترددها وطاقتها ؛ فالموجة القصيرة ترددها عالٍ وطاقتها أكبر ، والموجة الطويلة ترددها قليل وطاقتها أقل . يوضح الشكل (٤) الإشعاعات الكهرومغناطيسية .



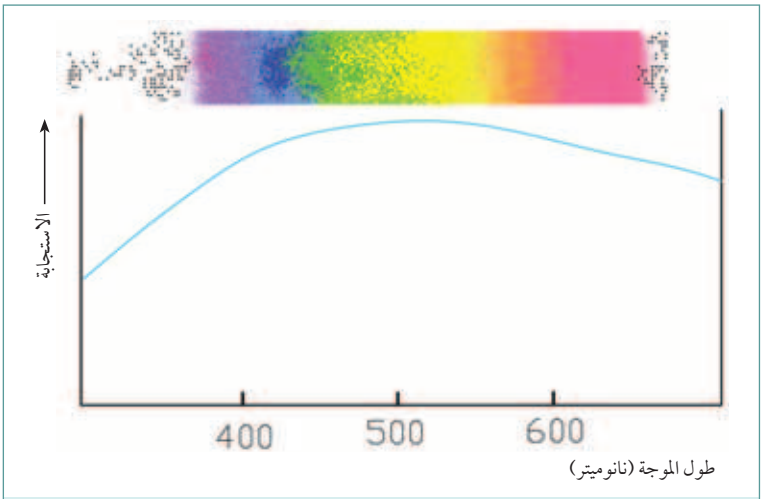
الشكل (٤) : العلاقة التي تربط طول الموجة بالتردد والطاقة

الأشعة المرئية:

هي الإشعاعات التي تسطيع العين البشرية تميزها، وتبدأ بالضوءالبنفسجي بطول موجي ٤٠٠ نانومتر (7.5×10^{14} Hz)، وتنتهي بالضوء الأحمر بطول موجي ٧٠٠ نانومتر (4.28×10^{14} Hz)، كما في الشكل(٥)



الشكل (٥): ألوان الطيف المرئي



الشكل (٦): العلاقة بين استجابة العين البشرية وطول الموجة

وتبدي العين البشرية استجابة أكثر لألوان الطيف كلما اتجهنا من الأطراف إلى الداخل، وتكون أعلى استجابة للعين البشرية عند اللون الأخضر ذي الطول الموجي ٥٤٦ نانوميتر ويوضح الشكل (٦) العلاقة بين مقدار استجابة العين وطول الموجة.

أما بالنسبة للموجات المحاذية لمدى الأشعة المرئية، وهما الأشعة فوق البنفسجية ذات التردد العالي والأشعة تحت الحمراء ذات التردد الأقل.

فإن الإنسان لايستطيع رؤيتهما ولكن باستطاعته تحسسهما، فالأشعة تحت الحمراء يتحسسها كحرارة فمثلاً توجد هناك كاميرا تعمل عل تحويل الأشعة تحت الحمراء إلى أشعة مرئية تسمى أجهز الرؤية الليلية، حيث تعمل على تتبع الأشعة تحت الحمراء التي تشع من الأجسام ، أما بالنسبة للأشعة فوق البنفسجية فإن التعرض لها لفترة طويلة تسبب حروقا في الجلد، وقد تسبب سرطان الجلد.

قيـاس الضـوء:

فيما يأتي بعض الكميات والوحدات المستخدمة في قياس الضوء :

١ السطوع (درجة اللون Brightness) .

٢ الإضاءة، وتقاس بوحدة اللوكس (Lux) .

٣ تدفق الضوء، ويقاس بوحدة اللومن (Lumen) .

٤ شدة الإضاءة، وتقاس بالشمعة (Candela) .

الأثر الكهربائي للضوء في أشباه الموصلات:

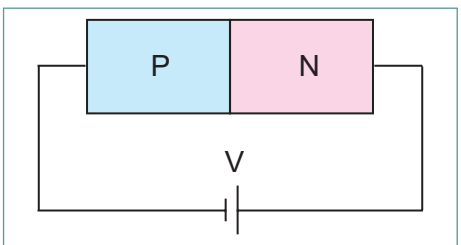
تكلمنا في الفقرةالسابقة عن طبيعة الضوء ولكن كيف يؤثر الضوء في أشباه الموصلات؟

يكمن تفسير الضوء على المواد شبة الموصلة في إحدى الظاهرتين الآتيتين :

١ الظاهرة الكهروضوئية (Photoelectric Effect)

عند تعريض مادة شبه موصلة لحزمة ضوئية، فإن جزءاً من الفوتونات ستخترق المادة في حين أنَّ جزءاً آخر سوف يمتص(يصطدم) مع إلكترونات المادة فاقداً طاقتة لإلكترونات في مدار التكافؤ (الأبعد عن النواة)؛ حيث ينتقل الكترون من مستوى طاقة منخفض إلى مستوى طاقة أعلى، فإذا كانت الطاقة المتصة من الفوتون كافية فإن هذا الإلكترون يفلت من مداره ويصبح حراً ، ويترك مكانه فارغاً (رابطة تساهمية منقوصة «فجوة hole») وبذلك فإن امتصاص فوتون في المادة شبه الموصلة سيكون زوجاً من حاملات الشحنة(فجوة-إلكترون) وبما أن حاملات الشحنة تزداد مع كثافة الضوء الساقط فإن موصلية المادة شبه الموصلة تزداد . فالظاهرة الكهروضوئية تعني «زيادة موصلية المواد شبة الموصلة نتيجة تعرضها للضوء» .

٢ ظاهرة التأثير الكهرو ضوئي (Photovoltaic Effect):



الشكل (٧) : وصلة P-N في حالة انحياز عكسي

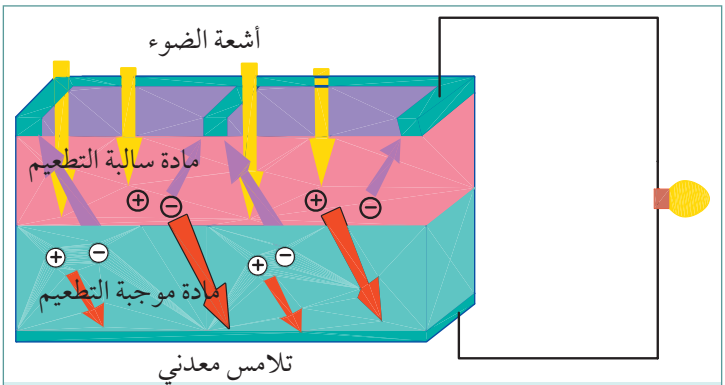
في هذه الظاهرة يتم الحديث عن تَعَرُّض وصلة من مادة ذات تطعيم سالب ومادة ذات تطعيم موجب(p-n) للضوء حيث لاحظ العلماء أن تعرض الوصلة للضوء يولد قوة دافعة كهربائية على أطرافها وإذا وصل حمل كهربائي بين هذه الأطراف فإن تياراً كهربائياً سوف يسري، ولتوضيح ذلك سنفسر سلوك وصلة سالب

-موجب بالاعتماد على ما مر معك في وحدة الثنائيات والظاهرة الكهروضوئية .

إذا كانت الوصلة في حالة انحياز عكسي كما في الشكل (٧) فإن عرض منطقة الاستنزاف يزداد ولا تعبر الوصلة إلا حاملات الشحنة الاقلية المتولدة في كلا الطرفين بفعل درجة الحرارة، حيث تعبر حاملات الشحنة

الأقلية في المادة ذات التطعيم الموجب (الإلكترونات) باتجاة المادة ذات التطعيم السالب ، وفي حين تعبر حاملات الشحنة الأقلية في المادة ذات التطعيم السالب (الفجوات) باتجاة المادة ذات التطعيم الموجب . ويعرف التيار الناتج عن هذه الحركة بتيار الظلام (Dark current) .

عندما تصطدم فوتونات الضوء بشريحة سالب – موجب فإن الطاقة الممتصة من هذه الفوتونات تسبب انفلات بعض إلكترونات مدار التكافؤ مولدة ازواجا من الالكترونات والفجوات (Electron – hole pair) في كل من جزئي الشريحة فتزداد عدد حاملات الشحنة الأكثرية والأقلية بنفس العدد.



الشكل (٨) : أثر سقوط الضوء على وصلة P-N

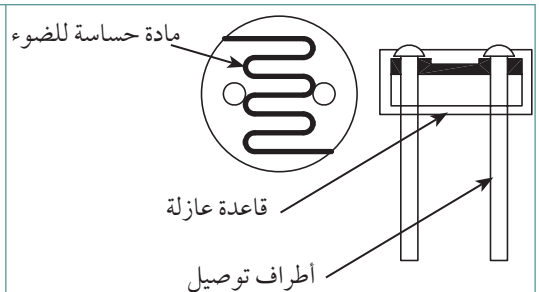
وبذلك تكون نسبة الزيادة أكثر على شحنات الأقلية ولكون الوصلة في حالة انحياز عكسي فإن تيار التسرب العكسي يزداد ، وإذا كانت الوصلة في دارة مفتوحة فإن قوة دافعة كهربائية تتولد على أطراف الوصلة كما في الشكل (٨) .

وبالاعتماد على هاتين الظاهرتين تم بناء العديد من العناصر الإلكترونية الضوئية والتي سنتناول بعضاً منها فيما يأتي :

أ المقاومة الضوئية (Photo Resistor):

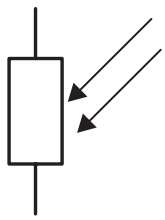
المقاومة الضوئية هي مقاومة تتحدد قيمتها تبعاً لشدة الإضاءة الساقطة على سطحها ، وتتناسب قيمتها تناسباًعكسياً مع شدة الإضاءة ، حيث تتناقص قيمتها عند تعرضها للضوء ، ويمكن تفسير ذلك بالاعتماد على الظاهرة الكهروضوئية .

تركيب المقاومة الضوئية: تصنع المقاومة الضوئية من مادة شبة موصلة حساسة للضوء تطلى بشكل متعرج (لزيادة سطح المقاومة المعرض للضوء) على قاعدة عازلة ، وتغلف بغلاف شفاف يسمح بمرور الضوء ويتصل طرفا المادة شبه الموصلة بتلامسين معدنيين يشكلان أطراف التوصيل الخارجية للمقاومة الضوئية ، كما في الشكل(٩).



الشكل (٩أ) : مقطع لمقاومة ضوئية

الشكل (٩ب) : مقاومة ضوئية


الشكل(٩جـ) : رمز المقاومة الضوئية

يرمز للمقاومة الضوئية بالرمز المبين في الشكل (٩) وتعرف في التطبيقات العملية بمسميات مختلفة كالخلية الكهروضوئية (Photo Electric Cell)، الموصل الضوئي (Photo Conductor)، المقاومة المعتمدة على الضوء (Light Dependent Resistor 'LDR') وتعدّ الأخيرة أكثر شيوعاً.

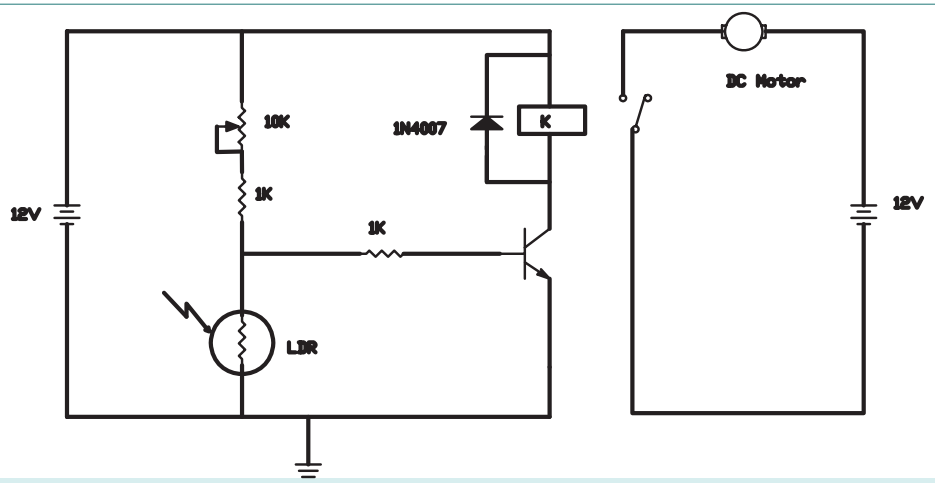
المقاومة الضوئية حساسة لموجات الضوء المختلفة وتعتمد حساسيتها على المادة التي تصنع منها المقاومة الضوئية، ومن أشهر المقاومات الضوئية وأكثرها تداولاً تلك المصنوعة من مادة كبريتيد الكادميوم (CdS)، وهذه المقاومة فعالة في مدى الأشعة المرئية، وهناك مواد أخرى تستعمل لصناعة المقاومات الضوئية، مثل بلورات الرصاص، وكبريتيد الرصاص، وغيرهما.

تستعمل المقاومات الضوئية في كثير من التطبيقات، تشترك جميعاً في أمرين، هما الإحساس بالضوء والإحساس بالظلام، ومن هذه التطبيقات نذكر:

- أنظمة التحكم المعتمدة على وجود الضوء أو عدمه (التحكم في إنارة الشوارع ليلاً).
- أنظمة الإنذار المعتمدة على وجود الضوء أو عدمه (الإنذار بوجود حريق).

وأخيراً لا يفوتنا التذكير بأن المقاومة الضوئية تعامل كالمقاومة العادية من حيث ظروف التشغيل الواجب مراعاتها، خصوصاً القدرة وكذلك من حيث الأعطال.

مثال: الشكل (١٠) يبين دارة تحكم بتشغيل حمل كهربائي باستخدام الضوء.



الشكل (١٠): دارة التحكم في تشغيل محرك باستخدام المقاومة الضوئية

عمل الدارة:

يعدّ الضوء العامل الأساسي للتحكم في تشغيل الدارة فعندما تكون شدة الإضاءة عالية فإنَّ قيمة المقاومة الضوئية تكون منخفضة حيث تحدد قيمة الجهد الكهربائي على قاعدة الترانزستور من خلال مجزئ الفولتية المكون

من المقاومة المتغيرة والمقاومة الثابتة وقيمة المقاومة الضوئية ولكون المقاومة الضوئية في هذه الحالة منخفضة القيمة فإن الجهد عليها يكون منخفض القيمة، وغير كاف لتوفير انحياز للترانزستور الذي يبقى في حالة فصل ولا يعمل الحمل المتصل بالمرحل.

أما عندما تكون شدة الإضاءة منخفضة فإن قيمة المقاومة الضوئية تكون عالية، وتحدد قيمة الجهد الكهربائي على قاعدة الترانزستور من خلال مجزئ الفولتية المكون من المقاومة المتغيرة والمقاومة الثابتة وقيمة المقاومة الضوئية ولكون المقاومة الضوئية في هذه الحالة عالية القيمة فان الجهد عليها يكون عالياً وكافياً لتوفير انحياز للترانزستور الذي يتحول إلى حالة وصل فيمر تيار في ملف المرحل فيغير من وضع تلامساته، وبذلك يعمل الحمل المتصل به.

سـؤال

حدد وظيفة كل من:

- المقاومة المتغيرة.
- المقاومة الثابتة (R1).
- الثنائي الموصول مع المرحل.

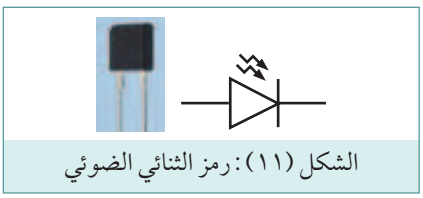
سـؤال

لاحظنا في المثال السابق أن الحمل يعمل عند انقطاع الضوء، كيف يمكن عكس عمل الدارة لتعمل عند وجود الضوء؟

ب الثنائي الضوئي (Photo Diode):

يعدّ الثنائي الضوئي أحد العناصر الضوئية، ويعمل الثنائي على ظاهرة التأثير الكهربائي الضوئي (Photovoltaic Effect)؛ إذ يعمل الضوء على زيادة تيار التسرب العكسي المار في الثنائي الموصول في حالة انحياز عكسي. فالثنائي الموصول في حالة انحياز عكسي له مقاومة عالية، ولكن سرعان ما تتناقص مقاومتة عند سقوط الضوء. ويتناسب تيار التسرب العكسي طردياً مع شدة الإضاءة الساقطة عليه.

للاستفادة من الثنائي الضوئي كمجس ضوئي يتم وصله في حالة انحياز عكسي في الدارات الإلكترونية ونظراً لصغر قيمة تيار التسرب العكسي يوصل الثنائي الضوئي مع دارة تضخيم مناسبة.



الشكل (١١): رمز الثنائي الضوئي

يعمل الثنائي الضوئي عمل الثنائي العادي في الظلام. يشبه الثنائي الضوئي الثنائي العادي من حيث الأعطال ومحددات التشغيل كالقدرة وجهد التشغيل العكسي وطرق الفحص، ويرمز له في الدارات الإلكترونية بالرمز كما في الشكل(١١):

للثنائي الضوئي تطبيقات كتلك التي تستخدم فيها المقاومة الضوئية، ولكن ما يميز الثنائي الضوئي هو أن

استجابتة للضوء تكون بشكل خطي مما يجعله مناسباً للقياسات الدقيقة المتعلقة بالضوء .

ج الترانزستورات الضوئية:

١ مقدمة:

الترانزستورات الضوئية هي ترانزستورات حساسة للضوء، والنوع الشائع للترانزستور الضوئي يشبه الترانزستور ثنائي القطبية ولكن بدون طرف القاعدة الذي يستبدل بسطح حساس للضوء .

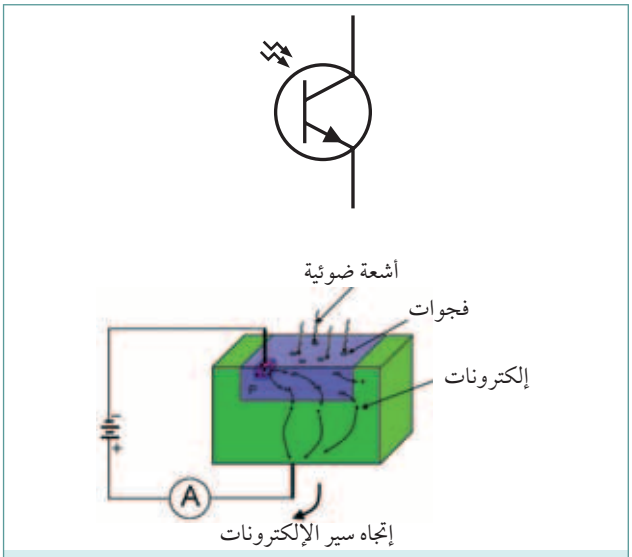
ويشبه عمل الترانزستور الضوئي عمل الترانزستور العادي إلا أنه يعتمد على الظاهرة الفولتية الضوئية حيث إن تيار القاعدة يتولد بالضوء ويتناسب مع شدة الإضاءة على السطح الحساس للضوء .

عند وضع الترانزستور الضوئي في الظلام يصبح في حالة قطع ولا يمر تيار بين المجمع والباعث وعند تعرض السطح الحساس للضوء يمر تيار قاعدة صغير ينتج عن ذلك تيار كبير يمر بين المجمع والباعث . كما توجد أيضا ترانزستورات تأثير المجال الضوئية التي تستخدم التأثير الضوئي في توليد جهد البوابة الذي يتحكم بتيار المصرف(Drain) – المنبع(Source) .

الشكل (١٢): الترانزستور الضوئي

٢ آلية عمل الترانزستور الضوئي:

يبين الشكل(١٣) ترانزستوراً ضوئياً ذا طرفين ثنائي القطبية موصول مع مصدر جهد على طرفيه (المجمع والباعث)وكما ذكرنا سابقاً يشبه عمله عمل الترانزستور ثنائي القطبية نوع NPN العادي إلا أن طبقة القاعدة P كبيرة، وعند تعرضها للضوء تصطدم فوتونات الضوء مع الكترونات المادة P فتكسبها طاقة كافية لتتجاوز حاجز منطقة الاستنزاف لتصل إلى منطقة المجمع N وتترك مكانها أيونات موجبة سرعان ما تجذب إليها إلكترونات الباعث N ونتيجة لذلك يتشكل تيار كهربائي يمر من المجمع إلى الباعث .



الشكل (١٣): رمز الترانزستور الضوئي ذي الطرفين وآلية عمله

٣ أنواع الترانزستورات الضوئية:

الترانزستورات الضوئية ذات الثلاثة أطراف:

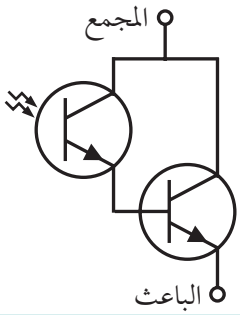
بما أن الترانزستورات الضوئية ذات الطرفين غير قادرة على توليد تيار في القاعدة كافٍ للحصول على تيار مجمع- باعث مناسب، فهناك ترانزستورات ذات ثلاثة أطراف بإضافة طرف القاعدة الذي يستخدم لتثبيت انحياز الترانزستور بحيث يمكن من التحكم في حساسيته للضو . الشكل(١٤) .

الشكل (١٤): رمز الترانزستور الضوئي ذي الثلاثة أطراف

ويمكن أن يستخدم الترانزستور الضوئي ذا الثلاثة أطراف في التطبيقات باستخدام طرفين فقط بدلاً من الترانزستورات الضوئية ذات الطرفين بدون استخدام طرف القاعدة .

ترانزستورات دارلنجتون الضوئية:

يمكن توصيل ترانزستور عادي مع ترانزستور ضوئي ليستفاد من خاصية توصيلة دارلنجتون بالإضافة إلى الخاصية الضوئية بحيث تشبه آلية عمله عمل ترانزستورات دارلنجتون ثنائي القطبية بالإضافة إلى حساسيته للضوء، لكن بزمن استجابة كبير نسبياً، وتتوفر هذه الترانزستورات برجل قاعدة أو بدونها . الشكل(١٥) .

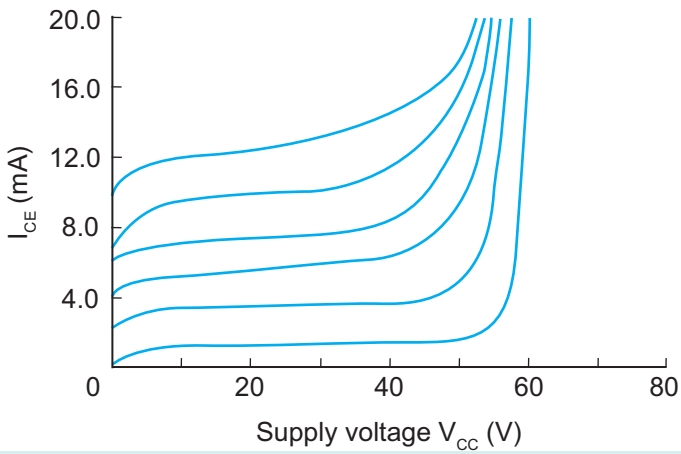


الشكل (١٥): رمز ترانزستورات دارلنجتون الضوئية

المواصفات الفنية للترانزستورات الضوئية:

للترانزستورات الضوئية كما للترانزستورات العادية جهد انهيار ومعدلات جهد وتيار تشغيل ومنحنى خصائص . وكما يعتمد تيار المجمع Ic على كثافة الإشعاع الساقط على قاعدة الترانزستور وعلى كسب التيار (Gain) ، وعلى تيار القاعدة الخارجي في الترانزستورات الضوئية ثلاثية الأطراف .

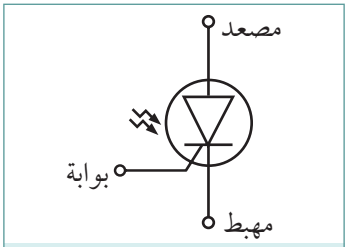
في حالة الظلام التام يمر تيار صغير بين المجمع والباعث يسمى تيار الظلمة (dark Current Id) ويمكن اهماله لصغره (عادة في مجال nA) يبين الشكل الآتي منحنى خصائص الرانزستور الضوئي مبينا العلاقة بين شدة الاشعاع الساقط وتيار المجمع :



الشكل (١٦): منحنى الخصائص لترانزستور ضوئي ثنائي القطبية

الثايرستور الضوئي LASCR:

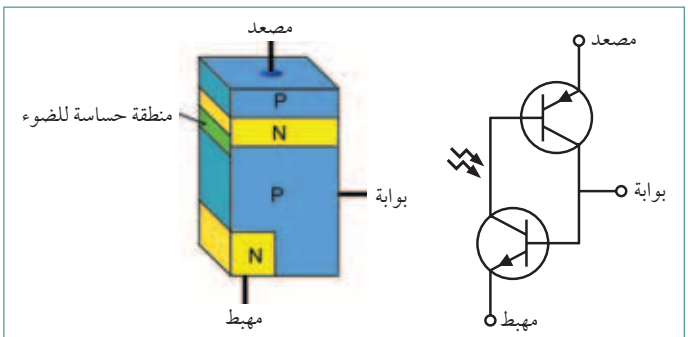
الثايرستور الضوئي هو ثايرستور يفعل ضوئيا، ويعمل كمفتاح يغير حالته بمجرد سقوط نبضة ضوئية عليه، ويبقى في حالة تمرير مكان حجب الضوء عنه ولإيقاف عمله يجب أن تنعكس أقطابه، أو تفصل التغذية بالكامل شكل(١٧).



الشكل (١٧): رمز الثايرستور الضوئي

الية عمل الثايرستور الضوئي:

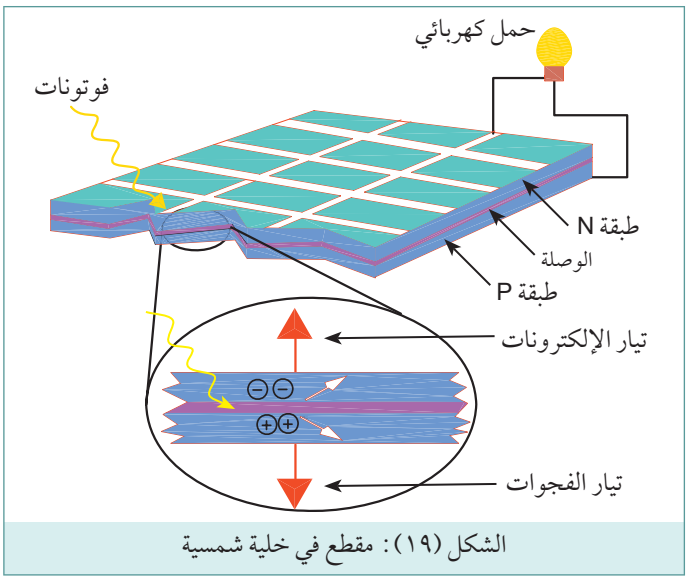
في الشكل(١٨) دارة مكافئة وشكل توضيحي لتركيب الثايرستور الضوئي، عند سقوط الضوء على الجانب P في الوصلة PN فإن الإلكترونات تكتسب طاقة تمكنها من القفز والوصول إلى النوع N فيتولد تيار كافٍ لنقل الثايرستور إلى حالة التشغيل ويبقى في هذه الحالة حتى بعد انقطاع مصدر الضوء.



الشكل (١٨): تركيب الثايرستور الضوئي

الخلايا الشمسية (Solar cells):

تعمل الخلية الشمسية على ظاهرة التأثير الكهربائي الضوئي Photovoltaic Effect حيث تتولد قوة دافعة كهربائية على أطراف وصلة P-N عند تعرضها للضوء، وتشبه الخلية الضوئية الثنائي الضوئي في التركيب وتختلف عنه في أن مساحة سطحها اكبر بكثير حيث يعمل السطح الكبير على جعل الخلية الشمسية أكبر قدرة واكثر حساسية للضوء. انظر الشكل (١٩).



الشكل (١٩): مقطع في خلية شمسية

لقد مرت الخلية الشمسية بمراحل تطوير عديدة وذلك من أجل رفع كفاءة التحويل فيه والتي كانت في المراحل الأولى لخلية السلسينيوم تبلغ ١٪ إلى خلية السيلكون التي تصل فيها كفاءة التحويل لغاية ٢٥٪.

الشكل (٢٠): رمز الخلية الضوئية

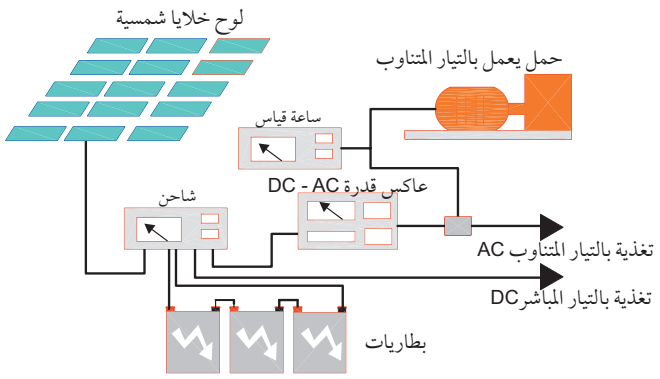
وتتلخص اهمية الخلايا الشمسية في أمرين أولهما التطبيقات التي صنعت لأجلها، مثل تزويد الجهزة بالطاقة الكهربائية كالأقمار الصناعية والآلات الحاسبة والساعات وأجهزة الهاتف وأجهزة الإنارة في المناطق النائية، كما في الشكل(٢١)، وثانيهما كمصدر للطاقة المتجددة.

الشكل (٢١): وحدة انارة تعمل بالطاقة الشمسية

للخلية الشمسية محددان، هما جهد الخلية وتيارها، فالخليةالشمسية تعطي جهداً كهربائياً ما بين (٠ . ٥-٠ . ٥٤) فولتاً في حين تعتمد قيمة التيار على مساحة سطح الخلية وشدة الإضاءة الساقطة عل سطحها، للحصول على الجهد والتيار المطلوبين يتم وصل الخلايا تماماً كما في البطاريات فتوصل على التوالي للحصول على جهد أكبر، وتوصل على التوازي للحصول على تيار اكبر. تعمل الخلية الشمسية في الظلام عمل الثنائي العادي، ويرمز لها في الدارات الإلكترونية كما في الشكل (٢٠).

تستخدم الخلايا الشمسية فى الدارات الإكترونية كمصدر للجهد أو كمجس مستشعر للضوء ويبين الشكل (٢٢) المخطط الصندوقي لنظام يعمل بالطاقة الشمسية.

للخلية الشمسية محددان، هما جهد الخلية وتيارها، ويتم وصل الخلايا بطريقة تضمن الحصول على الجهد والتيار المطلوبين تماماً كما في البطاريات فتوصل على التوالي للحصول على جهد محدد، وتوصل على التوازي للحصول على تيار محدد.



الشكل (٢٢): مخطط لنظام يعمل على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية

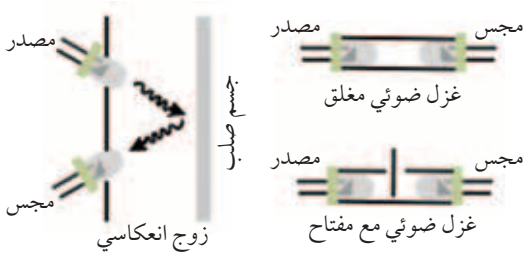
الربط الضوئي (Optocouplers):

الربط الضوئي أو العزل الضوئي هما عنصران توصلان دارتين بعضهما ببعض باستخدام الضوء لغرض العزل الكهربائي، يشبه ذلك إلى حد كبير عمل المحولات والمرحلات الكهربائية، حيث يمكن استخدام دارة للتحكم بعمل دارة أخرى مختلفتين في فولتية التشغيل دون حدوث تغيرات غير مرغوب فيها أو لحماية دارة التحكم من أي خلل كهربائي.

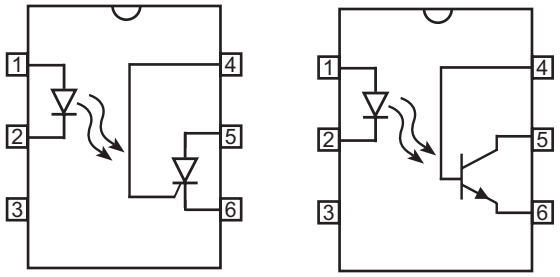
ويستخدم عادة ديود ضوئي LED كمصدر للضوء وترانزستور ضوئي كمجس ضوئي يوضعان في غلاف معتم بحيث يؤدي تشغيل الديود الضوئي إلى تشغيل الترانزستور الضوئي.

يبين الشكل(٢٣) بعض أنواع الربط الضوئي حيث يستخدم الربط المغلق في العزل الكهربائي وفي تحويلات المستوى وفي المفعلات الكهربائية، وكما يستخدم الربط مع مفتاح (الحاجز) لتقطيع الإشارة كمجس لكشف الأجسام والاهتزازات وكمفاتيح، وكما يستخدم زوج الانعكاس في عناصر المراقبة وكشف الحركة.

وتتوفر هذه الدارات كدوائر متكاملة تم فيها دمج الثنائي الضوئي بالترانزستور الضوئي تمكن من الحصول على عزل كهربائي قد يصل إلى أكثر من ٧٠٠٠ فولت. كما في الشكل (٢٤).



الشكل (٢٣): بعض أنواع العزل الضوئي



الشكل (٢٤): بعض أشكال دارات العزل الضوئي المتكاملة

من ميزات دارات الربط الضوئي:

١. الحماية من الفولتيات العابرة.

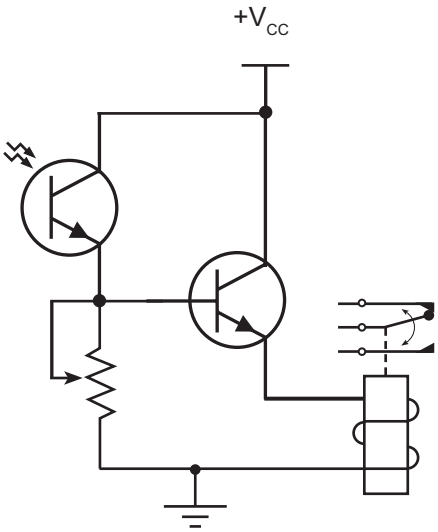
٢. تخفيض مستوى الضجيج.

٣. الربط بين دارات بنقاط أرضية غير مشتركة.

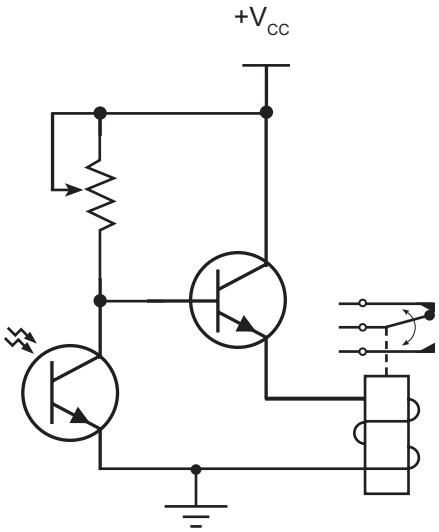
تطبيقات على الإلكترونيات الضوئية:

دارات التفعيل الضوئي:

يستخدم الترانزستور الضوئي في عملية تفعيل دارة ما عن طريق تغير شدة الضوء، وكمثال على ذلك، في الشكل المجاور دارتان تم استخدام الترانزستور الضوئي ليتحكم بتيار القاعدة لترانزستور متصل مع Relay وباختلاف موقع الترانزستور الضوئي نحصل على حالتين للتشغيل تشغيل في حالة الظلام (Dark Activated) كما في الشكل (٢٥)، وتشغيل في حالة الاضاءة (Light Activated) كما في الشكل (٢٦).

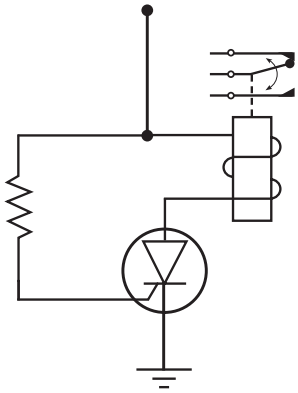


الشكل (٢٥): تشغيل في حالة الاضائة



الشكل (٢٦): تشغيل في حالة الظلام

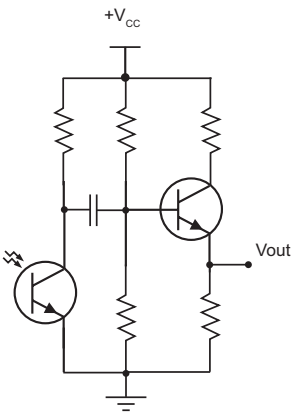
كما يمكن استخدام الترانزستور الضوئي بالتحكم مباشرة بتشغيل Relay ، أو يمكن استخدام ثايرستور ضوئي لذلك كما في الشكل(٢٧) .



الشكل (٢٧) : استخدام الثايرستور الضوئي بالتحكم بـ Relay .

دارات الاستقبال:

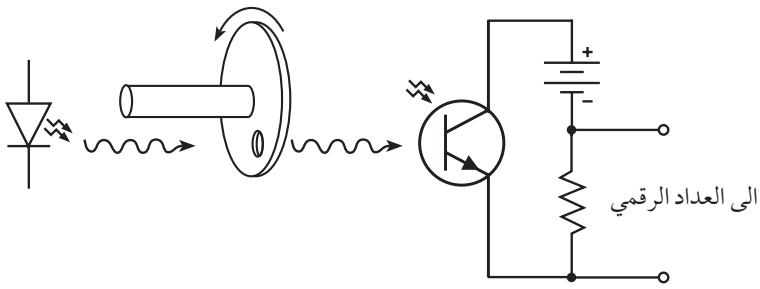
يمكن استخدام الترانزستور الضوئي كدارة استقبال لمرسلات ضوئية في تطبيقات التحكم عن بعد Remote control والتي يستخدم فيها غالباً الأشعة تحت الحمراء Infra Red . يبين الشكل (٢٨) دارة يستخدم فيها ترانزستور ضوئي ككاشف موجة ضوئية مع مضخم ترانزستوري .



الشكل (٢٨) : الترانزستور الضوئي في دارة استقبال .

دارات القياس:

يبين الشكل(٢٩) كيفية استخدام ترانزستور ضوئي كمقياس سرعة دوران أو عدد الدورات، حيث يستخدم قرص دوار فيه ثقب يسمح بمرور الضوء عبره مرة كل دورة، ويؤدي الضوء المار عبر الثقب إلى قدح الترانزستور الضوئي المتصل بدوره إلى عداد يعرض سرعة الدوران أو عدد الدورات الكلي .



الشكل (٢٩) : الترانزستور الضوئي كمقياس سرعة .

شاشات العرض الرقمية 7 Segment Displays:

تستخدم شاشات العرض الرقمية كمؤشر رقمي في العديد من أجهزة القياس وكذلك بعض الأجهزة الكهربائية، وتتكون من ثمانية ثنائيات باعثه للضوء، ويمكن التحكم بإضافة كل ثنائي على حدة، علما بأن الثنائي ذا اللون الأحمر هو أكثر شيوعاً واستخداماً في بناء شاشات العرض .

الثنائيات مرتبه ومرقمة كما يأتي في الشكل (٣٠) وعليه فإن توصيل جميع الثنائيات مع مصدر جهد كهربائي مقداره ٥ فولتات سيظهر الرقم ثمانية، وهكذا بالنسبة لبقية الأرقام من 0 إلى 9 أما بالنسبة للثنائي (d. p) فهو يمثل الخانة العشرية .

ويمكن بناء شاشات العرض بطريقتين :

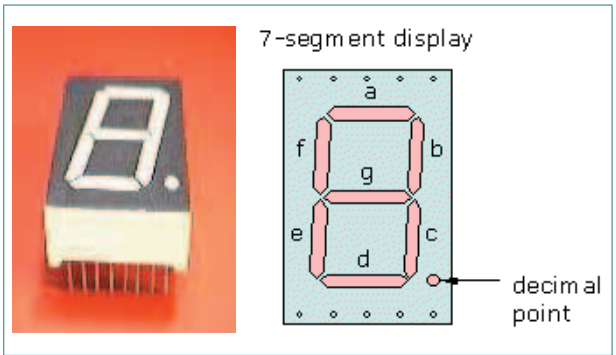
١ توصيلة المصعد المشترك (Common Anode Displays):

في هذه الشاشات جميع المصاعد (Anodes) للثنائيات موصولة مع الطرف الموجبة لمصدر الجهد .

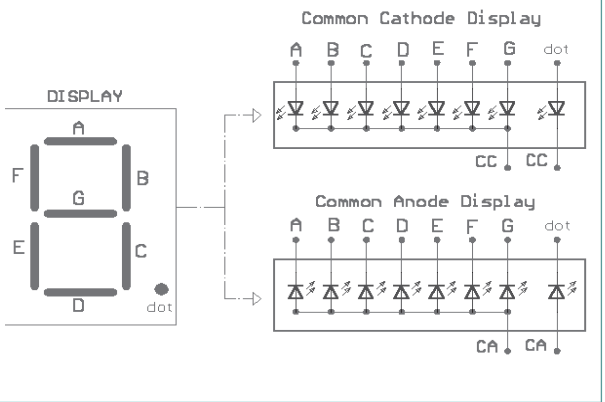
لإضافة أي ثنائي في هذه التوصيلة يجب توصيل المهبط الخاص بالثنائي (a, b, c, d, e, f, g, d. p) بإشارة مقدارها صفر فولت، كما في الشكل (٣١).

عند ربط هذه التوصيلة بمصدر الجهد الموجب يجب مراعاة مواصفات الموحد (2v, 20 mA) ، وعليه يجب إضافة مقاومة مع المهبط كما في الشكل (٣٢).

وعليه تكون قيمة المقاومة مساوية أو أكبر لهذه القيمة من القيم المتواجدة تجارياً للمقاومات، مثل (470 Ω)



شكل (٣٠) : وحدة عرض سباعية الشرائح

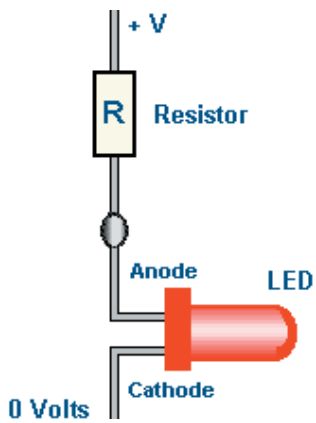


شكل (٣١) : توصيل وحدة العرض سباعية الشرائح

٢ توصيلة المهبط المشترك (Common Cathode Displays):

في هذه الشاشات جميع المهابط (Cathodes) للثنائيات موصولة مع الطرف السالب (جهد يساوي صفر) للمصدر .

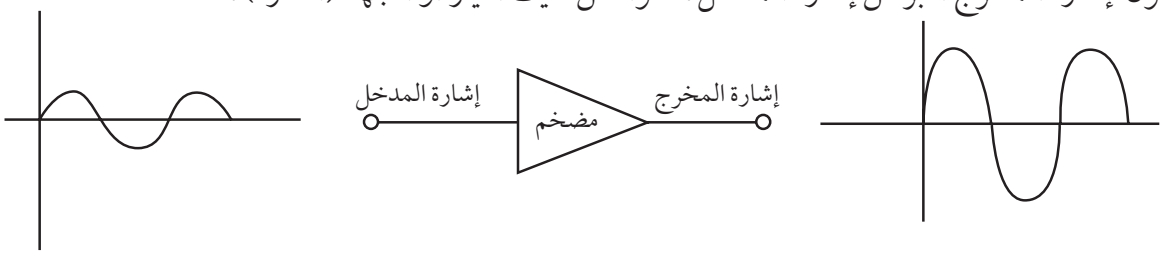
ولإضافة أي ثنائي في هذه التوصيلة يجب توصيل المصعد الخاص بالثنائي (a,b,c,d,e,f,g,d.p) بمصدر الجهد الموجب مع الأخذ بعين الاعتبار مقاومة الحماية للثنائيات كما في الشكل (٣١) .



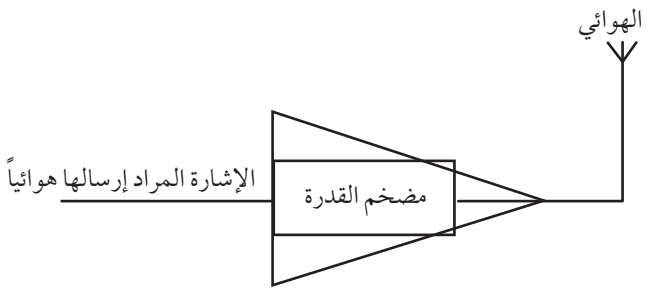
شكل (٣٢) : توصيل مقاومة الحماية مع وحدة عرض الشرائح

المضخمـات الإلكترونية

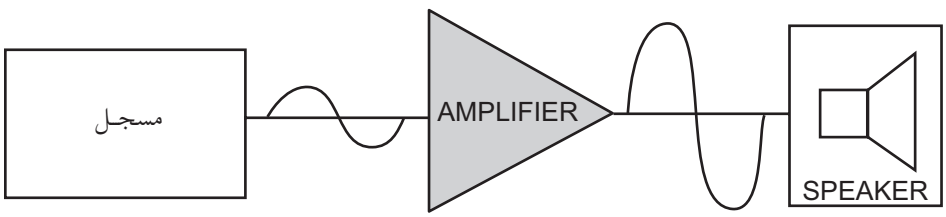
يمكن أن نعرف المضخم الإلكتروني على أنه الأداة الإلكترونية التي تمكننا من التحكم بإشارة مخرجها عن طريق إشارة مدخلها بحيث تحتوي إشارة المخرج على معظم أو جميع خصائص إشارة المدخل، وعادة ما تكون إشارة المخرج أكبر من إشارة المدخل، سواء من حيث التيار أو الجهد (القدرة).



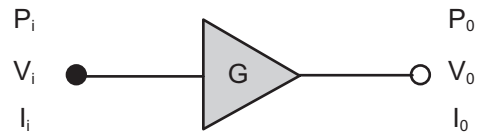
فمثلاً لإرسال إشارة لاسلكية عن طريق هوائي فإننا نحتاج إلى تكبير قدرتها، فكلما زادت القدرة زادت المسافة التي يمكن أن تقطعها الإشارة اللاسلكية.



وكمثال آخر شدة الإشارة الصوتية الصادرة عن رأس القراءة في المسجل صغيرة جداً وغير قادرة على تفعيل السماعة، لذا يلزم تضخيمها لدرجة تمكنها من تفعيل السماعة وبالتالي سماع الصوت.



وتعرف النسبة بين مخرج المضخم ومدخله بكسب المضخم، ويرمز له بالرمز G.



في الشكل أعلاه كانت إشارة المدخل ذات قدرة بمقدار P_i وإشارة المخرج ذات قدر بمقدار P_0 ، لذلك فإن كسب القدرة للمضخم . $G_p = \frac{p_0}{p_i}$

وإذا كانت إشارة المدخل ذات تيار بمقدار I_i وإشارة المخرج ذات تيار بمقدار I_0 فإن كسب التيار للمضخم : $G_i = \frac{I_0}{I_i}$

وإذا كان إشارة المدخل ذات جهد بمقدار V_i وإشارة المخرج ذات جهد بمقدار V_0 فإن كسب الجهد للمضخم : $G_i = \frac{V_0}{V_i}$

مثـال (١)

إذا كانت الإشارة الناتجة عن دارة تسجيل قدرتها 0.5 واط ، وكانت الإشارة اللازمة لتفعيل السماعة مقدارها 5 واط ، احسب كسب المضخم اللازم لتشغيل السماعة .

الحـــل

إشارة مدخل المضخم= 0.5 واط وإشارة مخرجه= 5 واط لذلك فإن كسب المضخم بالنسبة للقدرة هو :

$$G_p = \frac{G_0}{G_i} = \frac{5}{0.5} = 10$$

المضخمـات الترانزستورية

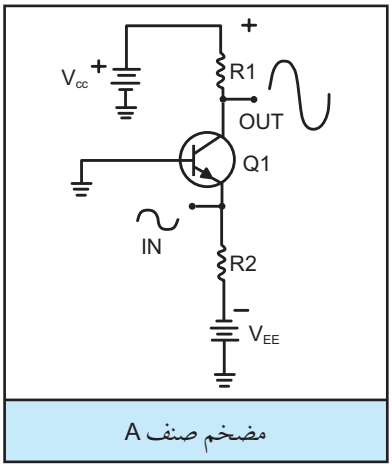
تصنف للمضخم الترانزستوري إلى عدة أصناف من أهمها :

مضخـم صنـف A (Class A):

في هذا الصنف من المضخمات تتطابق إشارة المخرج في خصائصها وشكلها مع إشارة المدخل باستثناء الاتساع بحيث يكون أتساع إشارة المخرج عادة أكبر من اتساع إشارة المدخل كما في الشكل التالي .

وتعرف كفاءة المضخم على أنها النسبة بين قدرة المخرج إلى القدرة المغذية لدارة المضخم، ولأن هذا المضخم يعمل طيلة الوقت فإن كفاءته تكون قليلة .

لذلك يمكننا اعتبار كفاءة هذا المضخم ذا كفاءة منخفضة نسبياً ولكنها مقبولة ؛ لأن هذا النوع من المضخمات يستخدم غالباً في التطبيقات التي لا تهتم بالكفاءة أو في مراحل التضخيم الأولية .



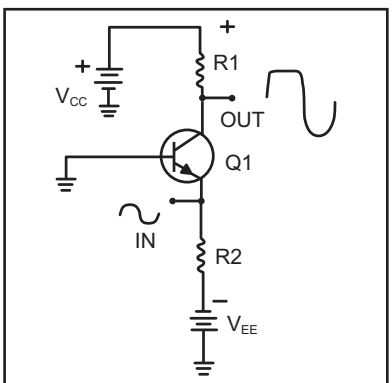
مضخم صنف A

مضخـم صنـف AB (Class AB)

يعمل هذا المضخم بما مدته من 99% - 51% من زمن إشارة المدخل كما في الشكل المجاور .

نلاحظ من الشكل أن إشارة المخرج قد تشوهت ؛ أي أنها لم تعد مشابهه في الشكل لإشارة المدخل . والجزء من إشارة المخرج الذي تعرض للتشوه نتج عن وجود الترانزستور في حالة القطع خلال هذه الفترة .

تمتاز مضخات صنف AB بأن كفاءتها أفضل من مضخمات صنف A ولكنها تشوه الإشارة ، ويستخدم في مضخمات الصوت .



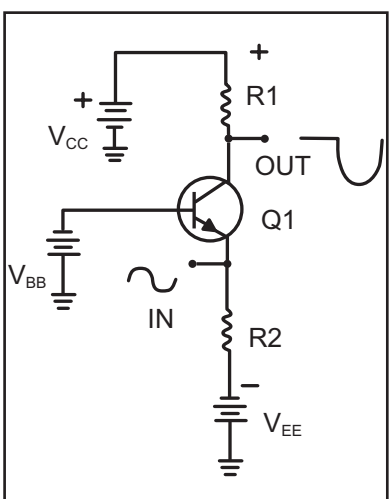
مضخم صنف AB

مضخـم صنـف B (Class B):

يعمل هذا النوع من المضخمات بمدة 50% من زمن إشارة المدخل لذلك فإنه يمرر أحد الجزئين السالب أو الموجب لإشارة المدخل . والشكل أدناه يوضح دارة مضخم صنف B بسيطة .

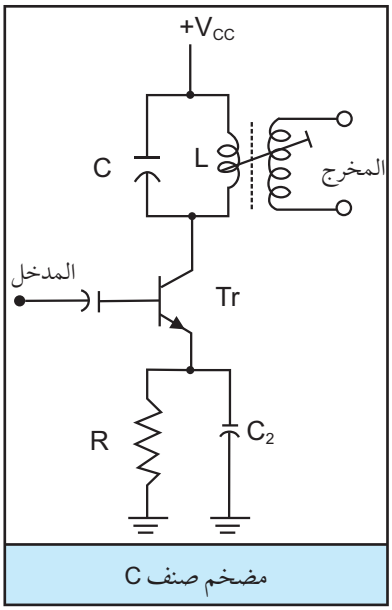
من الشكل أعلاه نلاحظ أن انحياز ملتقى القاعدة المشع لن تسمح للترانزستور أن يمرر تياراً طالما إشارة المدخل موجبة ، لذلك فإن الجزء السالب فقط من إشارة المدخل يظهر على مخرج المضخم مع تغيير اتساعه .

وتمتاز هذه المضخمات بأن كفاءتها تعادل ضعف كفاءة صنف A ويعمل نصف زمن الإشارة ويستخدم هذا النوع في التطبيقات التي تحتاج إلى تضخيم نصف إشارة المدخل بكفاءة عالية نسبياً .



مضخم صنف B

مضخم صنف C (Class C)



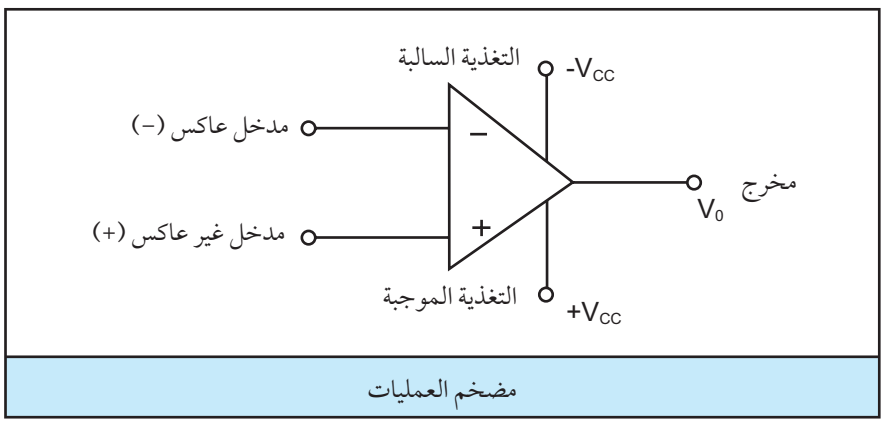
يعمل هذا النوع من الماكنات بمدة زمنية أقل من 50٪ من زمن إشارة المدخل كما في الشكل المجاور بحيث يسمح بمرور التيار خلال أقل من نصف دورة بينما يتم قطع هذا التيار خلال الجزء الآخر لإشارة المدخل في هذه الحالة يعمل الترانزستور في أقل من حد القطع، وبذلك يتم استهلاك جزء من إشارة المدخل في إيصال هذا الترانزستور إلى حد القطع، عندها يبدأ الترانزستور بالتوصيل.

ويمتاز هذا الترانزستور بالكفاءة العالية لأنه يبقى في حالة قطع معظم الوقت وبالتالي يوفر في استهلاك الطاقة، ولكن في المقابل يشوه الإشارة بشكل كبير جداً، ويوصل هذا المضخم مع دارة رنين وتساعد في انتقاء التردد المرغوب. ويستخدم في المراحل ا لنهائية في أجهزة الإرسال الراديوية كمضخم قدرة.

مضخمات العمليـات

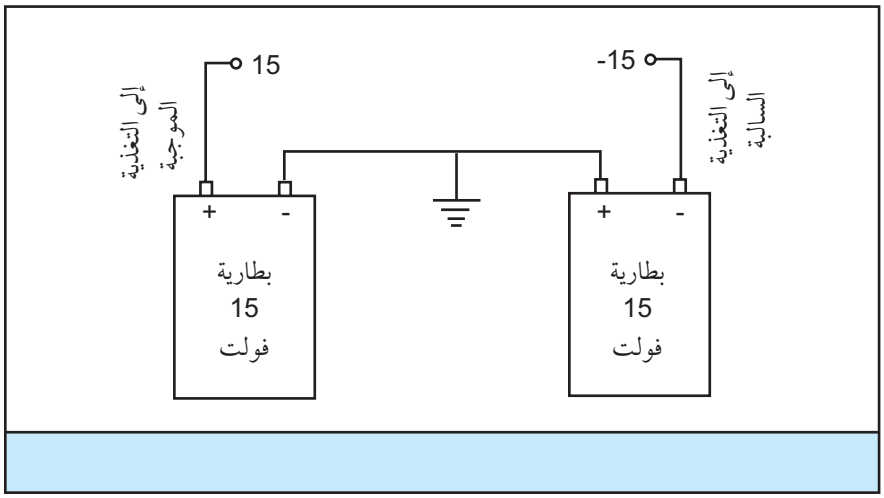
ظهرت مضخات العمليات (Operational Amplifiers) خلال الحرب العالمية الثانية في الأربعينيات، وكانت وظيفتها هي القيام بالعمليات الحسابية، مثل الجمع، الطرح، التفاضل والتكامل، حيث استخدمت في صناعة الحواسيب الموجودة في ذلك الوقت. ولهذا سميت بمضخمات العمليات. وتعتبر مضخمات العمليات أحد أشهر أنواع الدوائر المتكاملة، ومن أشهر أنواع مضخمات العمليات الرقاقة الإلكترونية (741).

ونرمز لمضخم العمليات كما بالشكل الآتي:



كما هو واضح بالشكل فإن لمضخم العمليات مدخلين: مدخل عاكس، ومدخل غير عاكس، وكذلك له مخرج ومدخلان للتغذية، ولكي يعمل مضخم العمليات لا بد من تغذيته بمصدري جهد مستمرين، أحدهما

موجب ويرمز له بالرمز +Vcc ، والآخر سالب ويرمز له بالرمز –Vcc ، فمثلاً يمكن تغذيته بـ 15V+ و 15V- بوصل بطاريتين أو مصدري جهد مستمرين كما في الشكل أدناه .



الخصائص العملية (Typical) لمضخم العمليات (عادة 741)

١ نسبة تكبير جهد عالية جداً تصل إلى (200.000) مرة وقد تزيد .

٢ ممانعة المداخل كبيرة جداً تزيد عن 2MΩ بحيث تقترب قيمة التيارات الداخلة إلى المدخل العاكس وغير العاكس إلى الصفر .

٣ ممانعة المخرج صغيرة جداً، وتساوي تقريباً 75Ω .

٤ جهد المخرج لا يمكن أن يصل إلى V_{cc} +أو V_{cc}–، وغالباً تقل عنها بـ 2V تقريباً .

الخصائص المثالية (Ideal) لمضخم العمليات:

١ له نسبة تكبير تساوي ما لانهاية (∞)

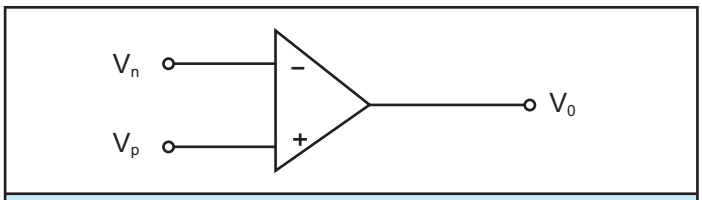
٢ ممانعة المداخل كبيرة جداً وتساوي مالا نهاية (∞) لذلك فإن التيار في المدخلين العاكس وغير العاكس يساوي صفراً .

٣ ممانعة المخرج تساوي صفراً

٤ جهد المخرج لا يمكن أن يزيد عن V_{cc}+أو يقل عن V_{cc}–

٥ جهد المدخل العاكس يساوي جهد المدخل غير العاكس ($V_p = V_n$) .

ويمكن أن يرمز لمضخم العمليات دون الإشارة إلى أطراف التغذية كما في الشكل التالي :



مضخم العمليات بدون أطراف التغذية

المقـــارن (Comparator)

يستخدم مضخم العمليات كمقارن لمقارنة جهد معروف القيمة بجهد آخر غير معروف القيمة فالهدف من المقارن هو مقارنة الجهدين عن المدخلين وإنتاج إشارة تبين أي الجهدين أكبر ، وإذا كانت قيمة الجهد المعروف القيمة تساوي صفراً فإن المقارن يسمى مقارناً مثالياً .

المقـارن المثـالي Ideal Comparator

كما ذكرنا سابقاً فإن قيمة المخرج لا يمكن أن تزيد عن قيمة التغذية الموجبة $+V_{CC}$ أو تقل عن قيمة التغذية السالبة $-V_{CC}$ وقيمة معامل تكبير مضخم العمليات عالية جداً، وفي العادة تكون 200.000 .

الجهد عند المخرج = نسبة التكبير × (الجهد عند المدخل غير العاكس – الجهد عند المدخل العاكس)

$$V_O = G_{OL} (V_p - V_n) \longrightarrow V_p - V_n = \frac{V_0}{G_{OL}}$$

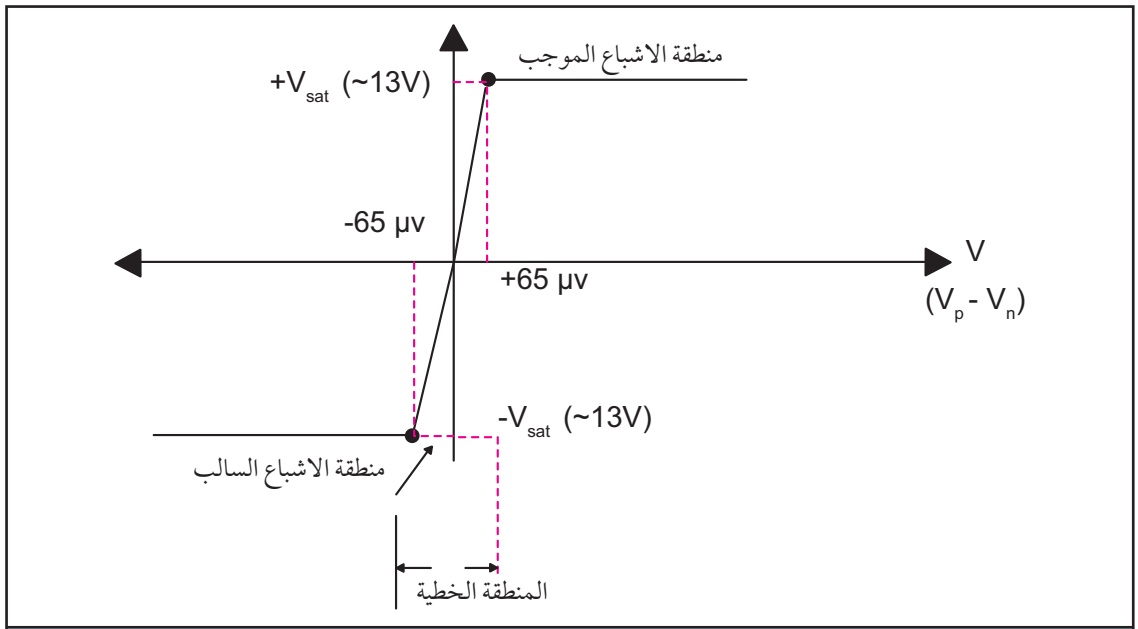
ومن خصائص مضخم العمليات الحقيقي أن V_0 لا تصل في المضخم إلى أكبر من درجة الإشباع (Saturation) ، ويسمى جهد المخرج عندها جهد الإشباع V_{sat} والذي تكون قيمته عادة أقل من قيمة جهد التغذية بما يقارب 2V .

وبتعويض قيمة V_0 وقيمة نسبة التكبير في هذه الحالة

$$\frac{-V_{sat}}{G_{OL}} \leq V_p - V_n \leq \frac{+V_{sat}}{G_{OL}}$$

$$\frac{-13}{200,000} \leq V_p - V_n \leq \frac{13}{200,000}$$

$$-65\ \mu v \leq (V_p - V_n) \leq +65\ \mu v$$



منحنى الخصائص لمضخم العمليات الحقيقي

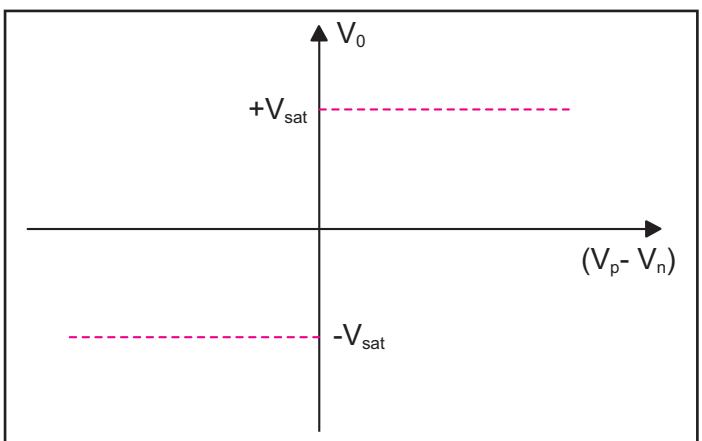
في حالة المضخم المثالي فإن نسبة التكبير تساوي ما لا نهاية

$$\frac{-V_{sat}}{G_{OL}} \leq V_p - V_n \leq \frac{+V_{sat}}{G_{OL}}$$

ولكن $(G_{OL} = \infty)$

$$\frac{-V_{sat}}{\infty} \leq V_p - V_n \leq \frac{+V_{sat}}{\infty} \longrightarrow V_p - V_n = 0 \longrightarrow V_p = V_n$$

المعادلة $V_p = V_n$ تمثل إحدى خصائص مضخم العمليات المثالي ، ونستنتج أنه يمكن تمثيل منحنى الخصائص للمقارن المثالي كما في الشكل التالي :

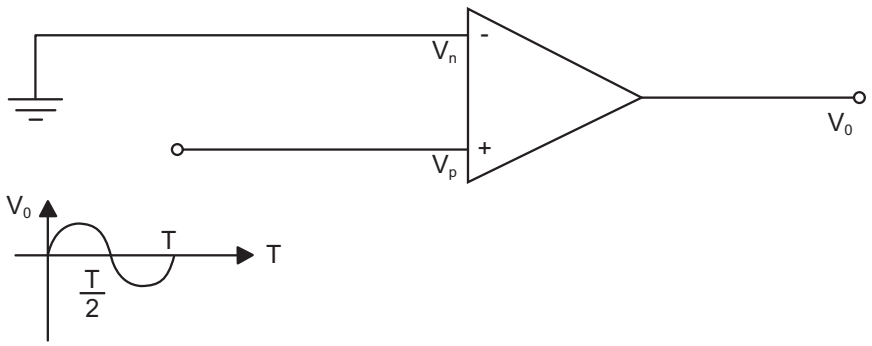


منحنى الخصائص للمقارن المثالي

- وبذلك إذا كان جهد المدخل غير العاكس (V_p) أكبر من جهد المدخل العاكس V_n تصبح إشارة المخرج موجبه ومقدارها $+V_{sat}$
- وإذا كان جهد المدخل غير العاكس V_p أصغر من جهد المدخل العاكس V_n تصبح إشارة المخرج سالبة ومقدارها V_{sat} .

مثـــال (٢)

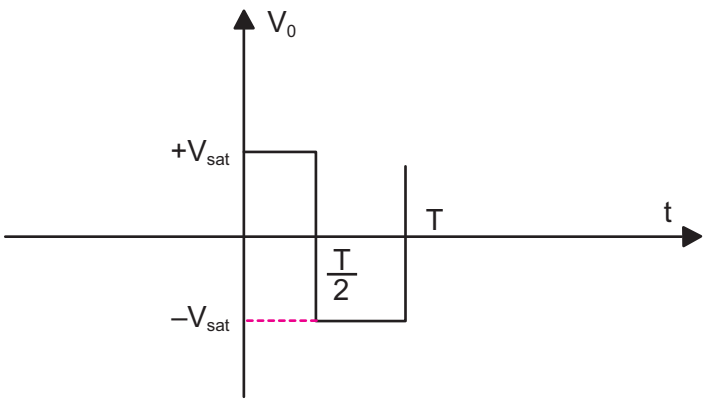
في الشكل الآتي، ارسم إشارة المخرج إذا كانت إشارة المدخل إشارة جيبية .



الحـــل

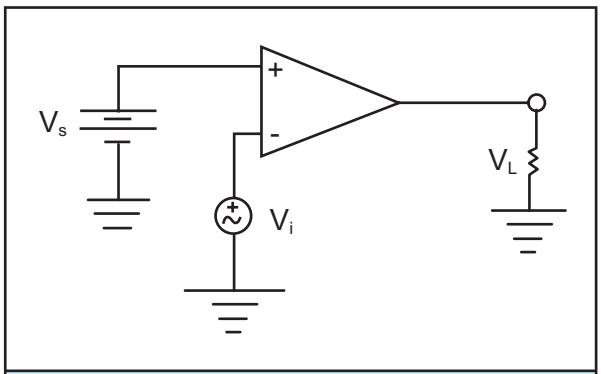
في الفترة ما بين $0 \leq t \leq \frac{T}{2}$ تكون قيمة الجهد موجبة، وبذلك تصبح قيمة الجهد على المدخل غير العاكس أكبر من قيمة الجهد على المدخل العاكس لذلك تكون إشارة الناتجة على المخرج موجبة ومقدارها $+V_{sat}$.

وفي الفترة ما بين $\frac{T}{2} < t \leq T$ تكون قيمة الجهد سالبة، وبذلك تصبح أكبر من قيمة الجهد على المدخل العاكس لذلك تكون الإشارة الناتجة على المخرج سالبة ومقدارها $-V_{sat}$



المقــارن غير المثــالي:

كما ذكرنا سابقاً فإن المقارن المثالي هو أن تقارن قيمة جهد غير معروف بالصفر، أما المقارن غير المثالي فهو يقارن قيمة جهد غير معروف بجهد معروف ولا يساوي صفراً.



رسم بسيط لمقارن غير مثالي

الشكل يوضح رسماً بسيطاً للمقارن غير المثالي :

لنفرض أن $V_d = V_i - V_s$

١ يتضمن أنه عندما تكون $V_d > 0$ ، فإن $V_0 = +V_{sat}$ ، حيث V_{sat} هي حالة الإشباع، وتكون قيمتها قريباً من +13v .

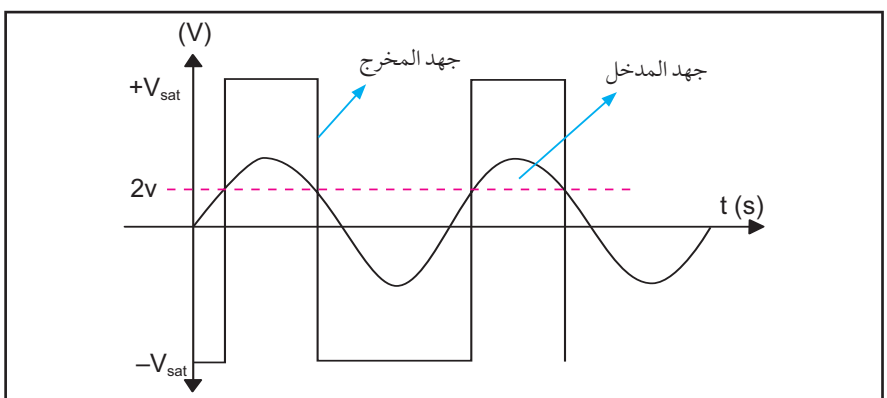
في حال V_s= 2v فإن $V_d = V_i - 2$ ولكي تكون قيمة المخرج هي :

$V_d > 0$ ، $+V_{sat}$ ← $V_i - 2 > 0$ ← $\boxed{V_i > 2v}$

٢ عندما تكون $V_d < 0$ فإن $V_0 = -V_{sat}$ ، ولنفرض أن قيمة V_s= 2v فإن $V_d = V_i - 2$ ولكي تصبح قيمة المخرج مساوية لِـ $-V_{sat}$ يجب أن تكون $V_d < 0$ ← $V_i - 2 < 0$ ← $\boxed{V_i < 2}$

$V_i < 2v$ عندما $V_0 < -V_{sat}$ ← $V_i > 2v$ عندما $V_0 < +V_{sat}$

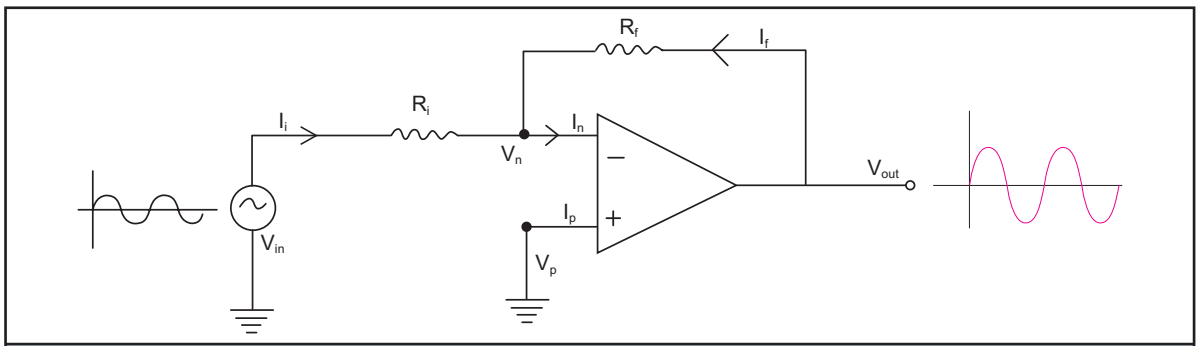
والشكل يوضح مقارنة إشارة جيبية بمصدر جهد ثابت مقداره 2V باستخدام مضخم العمليات كمقارن غير مثالي .



مقارنة إشارة جيبية بمصدر جهد ثابت

المضخم العاكس (INVERTING AMPLIFIER)

المضخم العاكس هو أحد الاستخدامات المعرفة لمضخم العمليات، ويتم التحكم بمعامل التضخيم (gain) عن طريق وصل مقاومة بين المخرج والمدخل العاكس للمضخم وهي ما تسمى بالتغذية العكسية (الراجعة) السالبة (negative Speedball)، وسمي بالمضخم العاكس لأن جهد الإشارة المضخمة يكون مخالفاً للاشارة المراد تضخيمها.



المضخم العاكس

يبين الشكل الدارة الأساسية لمضخم عاكس؛ حيث يوصل المدخل غير العاكس إلى 0v. ويتم تأمين تغذية راجعة عن طريق مقاومة التغذية الراجعة (R_f) التي تعيد جزءاً معيناً من جهد المخرج إلى المدخل العاكس. كما ذكرنا سابقاً فإن من خصائص المضخم المثالي التشغيلي ما يأتي:

١ ممانعة المداخل عالية جداً (∞)، لذلك فإن التيارات الكهربائية المارة في المدخلين العاكس وغير العاكس تساوي صفراً.

٢ قيمة الجهد على المدخلين متساوية في حالة المضخم المثالي.

التيار المار في المقاومة (R_i)

$$I_i = \frac{V_i - V_n}{R_i} \longleftarrow I_i = \frac{V_i}{R_i} \quad \text{.....} \boxed{١}$$

تيار التغذية العكسية (I_f)

$$I_f = \frac{V_0 - V_n}{R_f}$$

جهد المدخل غير العاكس ($V_p = 0$)

بما أن جهد المدخل العاكس يساوي جهد المدخل غير العاكس ($V_n = V_p = 0$) $\longleftarrow V_n = 0$

إذن $I_f = \frac{V_0}{R_f}$ ..... $\boxed{٢}$

نظرية توزيع التيار $\longleftarrow I_i = I_p - I_f$

لكن $I_p = 0 \longleftarrow I_p = -I_f$ ، عوّض (١) و (٢)

$$\frac{V_i}{R_i} = \frac{-V_0}{R_f} \longleftarrow \frac{V_0}{V_i} = \frac{-R_f}{R_i} \quad \text{.....} \quad [٣]$$

من المعادلة (٣) $\frac{V_0}{V_i}$ هي معامل التكبير (gain) للمضخم العاكس ونرمز له بالرمز G_i

$$G_i = \frac{-R_f}{R_i}$$

مثـال (٣)

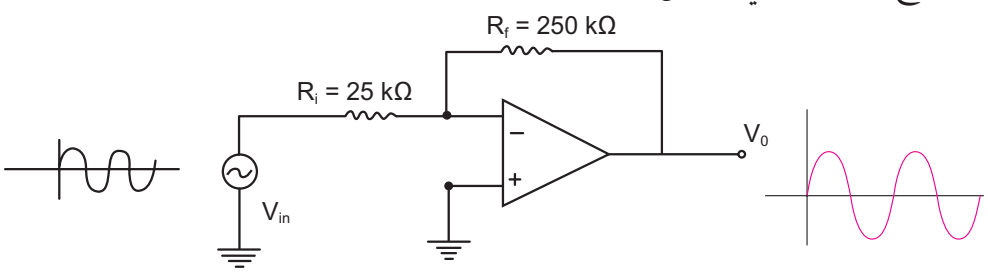
احسب مقاومة التغذية العكسية اللازمة لتكبير إشارة جيبية بمقدار عشرة أضعاف مع عكس إشارة جهدها باستخدام المضخم كما في الشكل أدناه .

الحـــل

حسب المعادل السابقة $G_i = \frac{V_0}{V_i} = \frac{-R_f}{R_i}$

$$G_i = -10 \longrightarrow -10 = \frac{-R_f}{R_i} \longrightarrow -10 = \frac{-R_f}{25} \longrightarrow -R_f = -250\ k\Omega \longrightarrow \boxed{R_f = 250\ k\Omega}$$

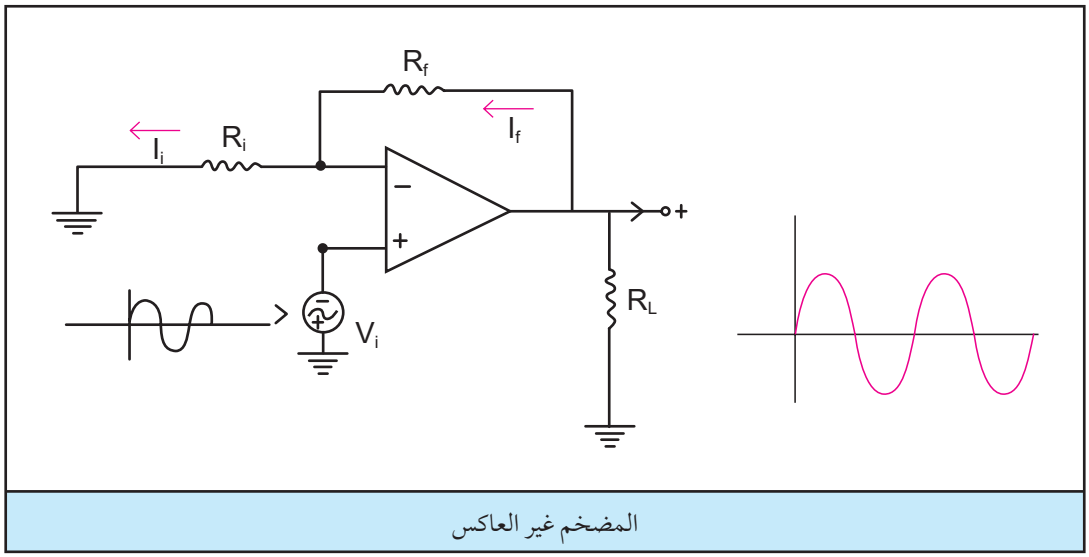
وبذلك تصبح الدارة كما في الشكل



ونلاحظ من المثال أنه للحصول على معامل تكبير عالي فإن قيمة R_f ستكون عالية مقارنة بـ R_i

المضخم غير العاكس (Non Inverting Amplifier)

للحصول على إشارة مضخمة ذات جهد مماثل لإشارة المدخل نستخدم المضخم غير العاكس وكما هو واضح من الاسم فإنه لا يعكس إشارة المدخل فتكون إشارتا المدخل والمخرج متماثلتين والشكل أدناه يمثل طريقة توصيل هذا النوع .



المضخم غير العاكس

يبين الشكل الدارة الأساسية لمضخم عمليات غير عاكس، إذ يتم تطبيق جهد المدخل V_i على المدخل غير العاكس لمضخم العمليات، لذلك يكون جهد المخرج مشابهاً لإشارة جهد المدخل.

ويكون معامل تكبير المضخم غير العاكس:

$$G_n = \frac{V_0}{V_i} = 1 + \frac{R_f}{R_i}$$

مثـال (٤)

أراد فني اتصالات أن يصمم دارة إلكترونية لتكبير إشارة جيبيّة بمقدار 5 أضعاف مع المحافظة على جهدها باستخدام مضخم تشغيلي وأربع مقاومات قيمة كل منها 50k، صمم الدارة الإلكترونية اللازمة لعمل ذلك.

الحـــل

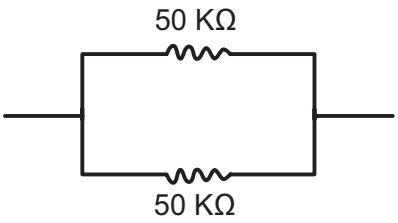
باستخدام معادلة معامل التكبير $G_n = 1 + \frac{R_f}{R_i}$

ومن معطيات السؤال فإن $G_n = 5$

$$G_n = 5 \longrightarrow 1 + \frac{R_f}{R_i} = 5 \longrightarrow \frac{R_f}{R_i} = 4 \longrightarrow \boxed{4R_i = R_f}$$

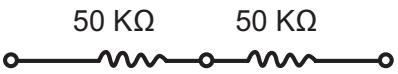
نستطيع استغلال قوانين توصيل المقاومات على التوالي والتوازي للحصول على قيمة لمقاومة التغذية الراجعة تساوي أربعة أضعاف قيمة المدخل $R_f = 4R_i$ كما في الشكلين

❶ نقوم بتوصيل مقاومتين على التوازي للحصول على 25 kΩ



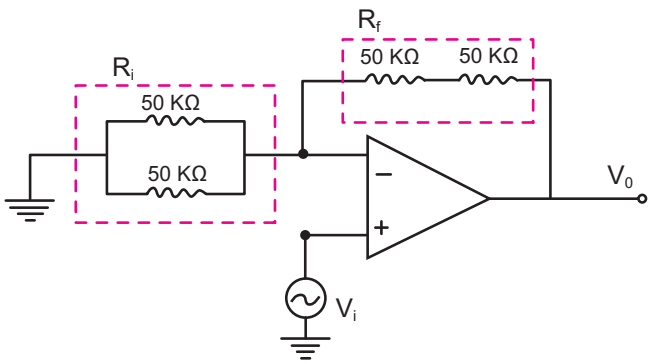
$$\frac{1}{R_i} = \frac{1}{50} + \frac{1}{50} \longrightarrow \frac{1}{R_i} = \frac{2}{50} \longrightarrow 2R_i = 50 \longrightarrow R_i = 25$$

❷ نقوم بتوصيل مقاومتين على التوالي للحصول على 100 KΩ

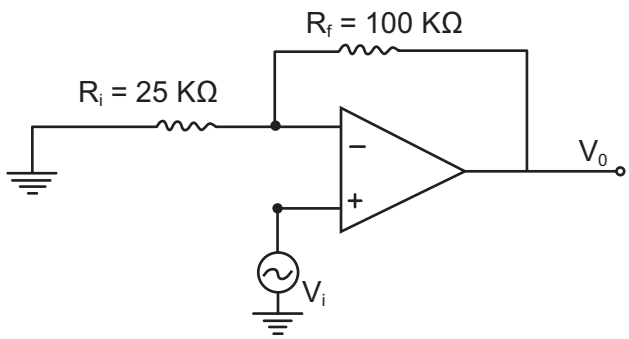


$R_f = 50 + 50 = 100\ K\Omega$

وبذلك يتم التوصيل النهائي كما في الشكل أدناه

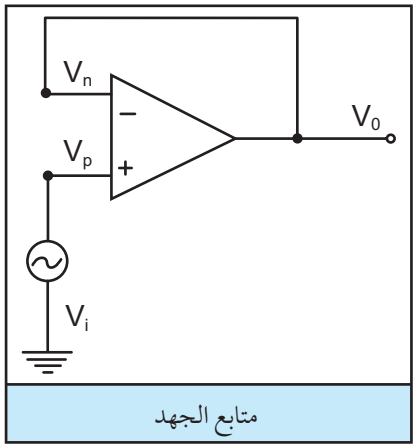


ويتم اختصار الشكل كما في الأسفل :



وبذلك $\boxed{G_n = 4 + 1 = 5} \longleftarrow G_n = 1 + \frac{100}{25} \longleftarrow G_n = 1 + \frac{R_f}{R_i}$

متابع الجهـد Voltage Follwer



متابع الجهد هو حالة خاصة من المضخم غير العاكس يتم فيها الحصول على تغذية راجعة سالبة بنسبة 100% عن طريق وصل المخرج مباشرة مع المدخل العاكس، وبالتالي تصبح قيمة مقاومة التغذية العكسية R_f تساوي صفراً. كما في الشكل الآتي:

$$G_n = 1 + \frac{R_f}{R_i} \longrightarrow G_n = 1 + \frac{0}{R_i} = 1$$

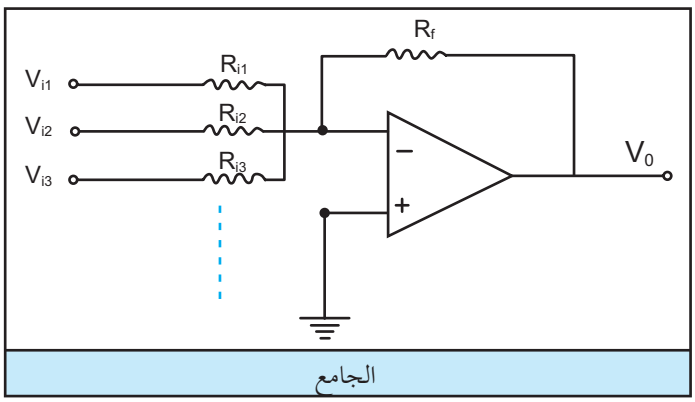
لاحظ R_i غير موجودة ويمكن اعتبارها ما لا نهاية (∞)

$$G_n = 1 = \frac{V_0}{V_i} \longrightarrow V_0 = V_i$$

أي أن جهد المخرج يتساوى مع جهد المدخل، لذلك سمي متابع الجهد. ويستخدم عادة للربط بين مصدر ذي ممانعة عالية مع حمل ذي ممانعة صغيرة ؛ ذلك لأن ممانعة مدخله عالية جداً وممانعة مخرجه صغيرة جداً، فعلى سبيل المثال يمكن استخدامه كمدخل لجهاز قياس جهد تمثالي حيث نكون بحاجة لأكبر ممانعة ممكنة لكي لا يتم التشويش على الدارة قيد الاختبار.

الجامـــع Adder

يمكن استخدام المضخم العاكس كجامع للإشارات، وهي من الاستخدامات المهمة والشائعة في عالم الاتصالات، والشكل الآتي يوضح فكرة الجامع:



نلاحظ أن جهد مخرج مضخم العمليات مساوياً لمجموع المصادر الموصولة على المدخل العاكس مضروباً بمعامل التكبير الخاص به، ويمكن تمثيل ذلك بالمعادلة الآتية:

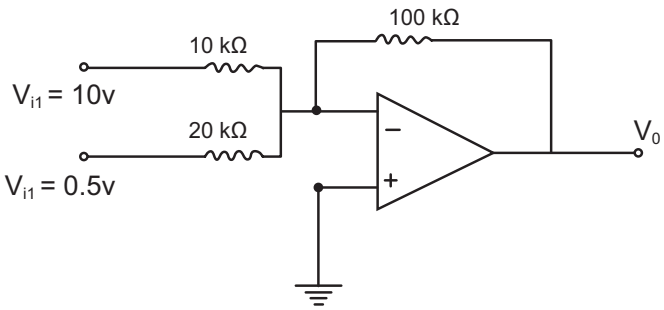
$$V_0 = V_{i1}\left(\frac{-R_f}{R_{i1}}\right) + V_{i2}\left(\frac{-R_f}{R_{i2}}\right) + V_{i3}\left(\frac{-R_f}{R_{i3}}\right)$$

$$V_0 = G_1V_{i1} + G_2V_{i2} + G_3V_{i3}$$

بحيث إن: $G_1 = \frac{-R_f}{R_{i1}}$ ، $G_2 = \frac{-R_f}{R_{i2}}$ ، $G_3 = \frac{-R_f}{R_{i3}}$

مثـال (٥)

احسب مقدار جهد المخرج للشكل أدناه :



الحـــل:

باستخدام القانون السابق فإن :

$$V_0 = V_{i1}\left(\frac{-R_f}{R_{i1}}\right) + V_{i2}\left(\frac{-R_f}{R_{i2}}\right)$$

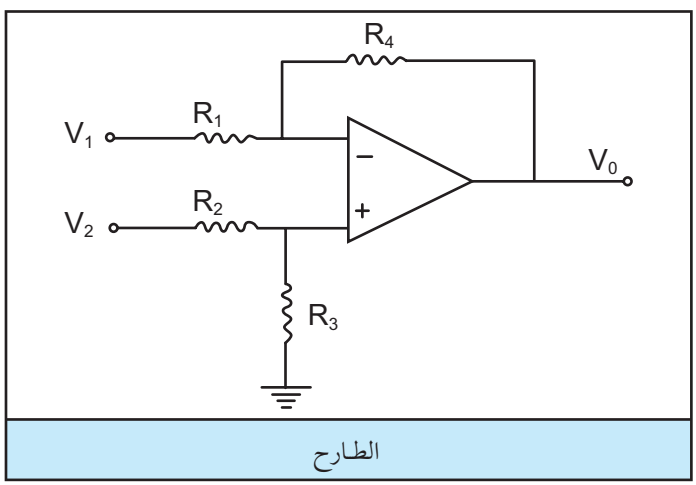
$$V_0 = 10\left(\frac{-100}{10}\right) + 0.5\left(\frac{-100}{20}\right)$$

$$V_0 = -10.0 - 2.5 \longrightarrow \boxed{V_0 = -12.5\ v}$$

ونستطيع استخدام المعادلة : $V_0 = G_1V_{i1} + G_2V_{i2}$

الطـــارح Subtractor

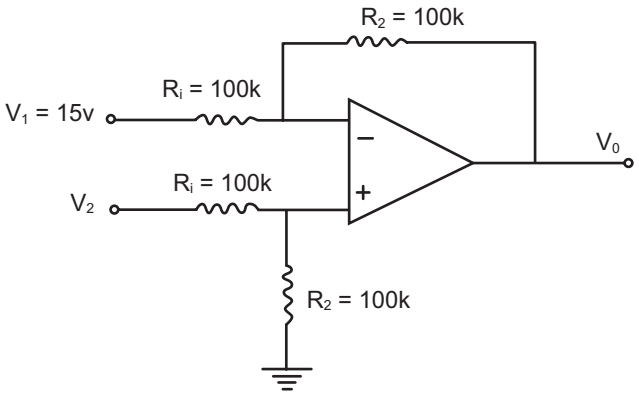
كما ذكرنا سابقاً فإن استخدام المضخم العاكس كجامع للإشارات هو من الاستخدامات الشائعة ، وكذلك من الاستخدامات المعروفة والشائعة للمضخم العاكس هو الطارح ، والشكل الآتي يوضح فكرة الطارح :



في الشكل أعلاه إذا كانت قيمة المقاومات كلها متساوية فإن جهد مخرج مضخم العمليات سيكون مساوياً لحاصل طرح الإشارتين الداخليتين والمعادلة الآتية توضح قيمة جهد المخرج للطارح بالرموز . $V_0 = (V_1 - V_2)$

مثـال (٦)

احسب قيمة V_2 في الشكل أدناه :



الحـــل:

الشكل أعلاه هو طارح، وباستخدام معادلة الطارح السابقة :

$$V_0 = (V_1 - V_2)$$

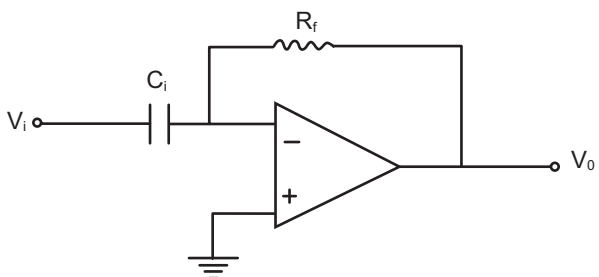
$$10 = (15 - V_2)$$

$$10 = 15 - V_2$$

$$V_2 = 5v$$

المفاضـــل Differentiator

يقوم المفاضل بعملية التفاضل الرياضية، بحيث يقوم بإيجاد ميل المنحنى للإشارة الموصولة على المدخل العاكس، ودارة المفاضل هي دارة مشابهة لدارة المضخم العاكس ولكن باستبدال مقاومة المدخل بمكثف كما الشكل الآتي :

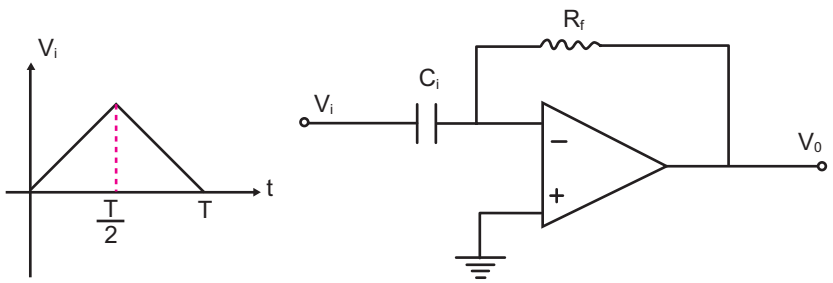


حيث قيمة مخرج المفاضل V_0 كما يأتي : $V_0 = - R_f c_i \frac{dv_i}{dt}$

حيث إن $\frac{dv_i}{dt}$ تمثل ميل المنحنى وهي عملية رياضية تسمى المشتقة الأولى .

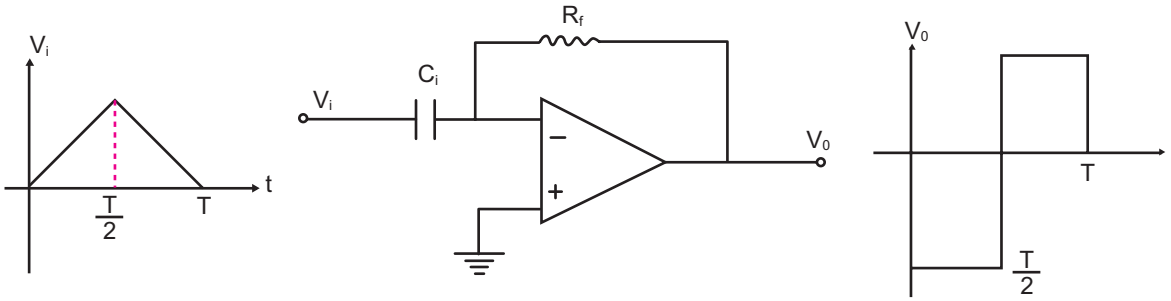
مثـال (٧)

إذا كان للمصدر الدخل كما هو موضح بالشكل، ارسم شكل الإشارة الناتجة على المخرج :



الحـــل:

إذا كان مصدر الدخل عبارة عن خط مستقيم بميلان معين، فإن ناتج التفاضل هو رقم ثابت يعبر عن مقدار الميلان .



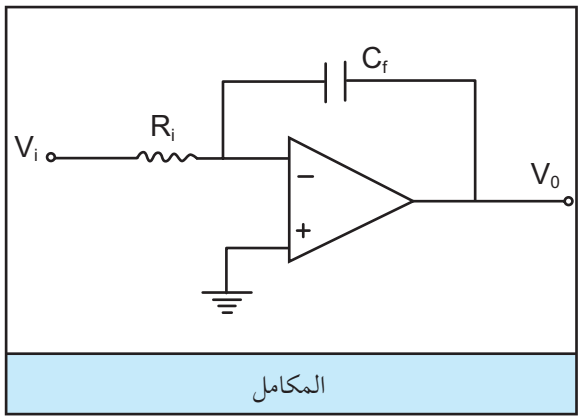
ولذلك يمكن استخدام المفاضل في تحويل الموجه المثلثة إلى موجة مربعة كما في الشكل .

في الفترة :

- $0 \le V \le \frac{T}{2}$ يكون ميل الإشارة الداخلة ثابتاً وموجباً لذلك فإن الإشارة الناتجة تكون ذات قيمة سالبة وثابتة .
- $\frac{T}{2} < V \le T$ يكون ميل الإشارة الداخلة ثابتاً وسالباً لذلك فإن الإشارة الناتجة تكون ذات قيمة موجبة وثابتة .

كما هو واضح من المثال فإن المفاضل ليس كغيره من تطبيقات مضخم العمليات التي تم شرحها سابقاً حيث إنه يقوم بتغير شكل الإشارة الداخلية؛ لأنه يقوم بمفاضلتها، وهي عملية رياضية لا تحافظ على شكل الإشارة وتنتج إشارة جديدة على المخرج .

المكـامــل Integrator



يقوم مضخم التكامل بعملية التكامل الرياضية، بحيث يقوم بإيجاد المساحة تحت المنحنى للإشارة الداخلة على المدخل العاكس، ودارة المكامل هي دارة مشابهة لدارة المفاضل ولكن بتبديل أماكن المقاومة والمكثف كما هو في الشكل المجاور :

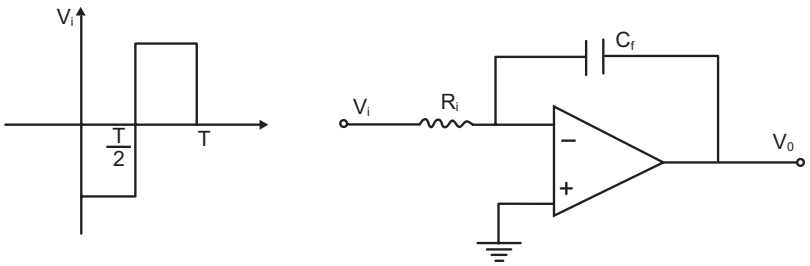
وتكون قيمة مخرج المكامل V_0 كما يلي :

$$V_0 = \frac{-1}{R_i C_f} \int V_i(t).dt$$

بحيث أن $\int V_i(t).dt$ هي التكامل للإشارة $V_i(t)$ وتمثل المساحة تحت المنحى لهذه الإشارة .

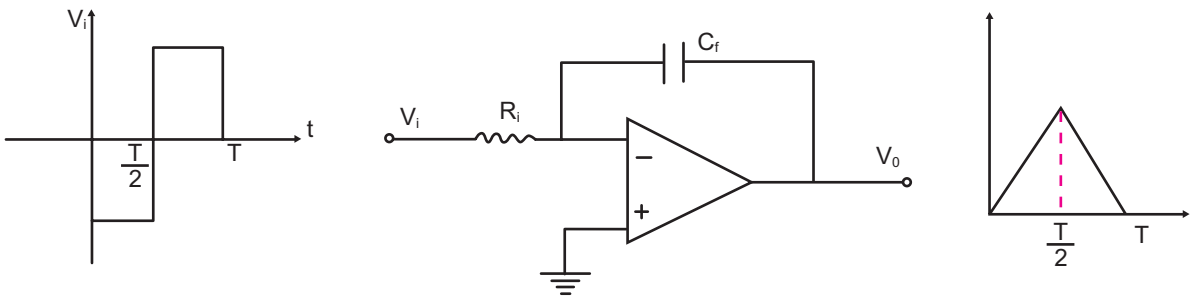
مثـال (٨)

إذا كان مصدر الدخل كما هو موضح بالشكل، أوجد شكل ناتج التكامل .



الحـــل:

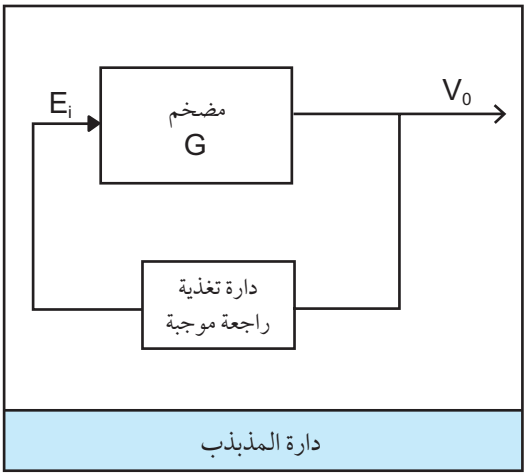
إذا كان مصدر الدخل عبارة عن رقم ثابت كما في الشكل فإن ناتج مخرج المتكامل يكون عبارة عن خط مستقيم بميلان معين كما في الشكل .



لأن المساحة تحت المنحنى تزداد خطياً مع الزمن كما هو موضح بالشكل و عملية التكامل هي عملية عكسية للتفاضل .

المذبذبـــات

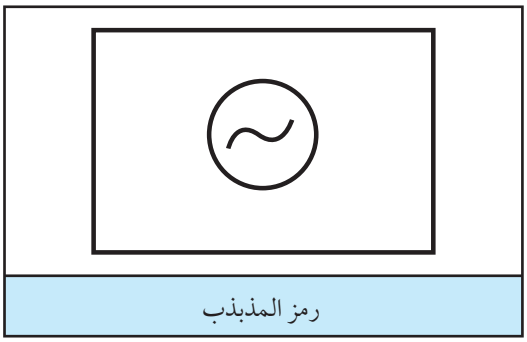
المذبذب : هو دارة إلكترونية تنتج ترددات ذات درجة ثبات عالية ، تستخدم المذبذبات لتوليد موجات مناسبة للبث . وفي أجهزة الراديو تستخدم المذبذبات لاستقبال الموجات والاستماع إلى المحطات المتنوعة ، فيقوم المذبذب بتحويل الجهد الثابت الذي يحصل عليه من مصدر التغذية إلى إشارة ذات تردد ثابت .



دارة المذبذب

المذبذبات ذات المكونات الإلكترونية المنفصلة:

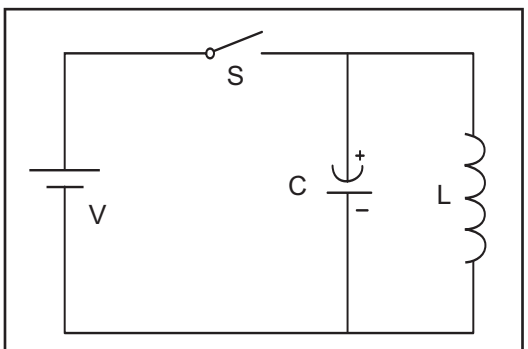
يتألف المذبذب من دارة مضخم ودارة تغذية راجعة موجبة كما في الشكل المجاور :


رمز المذبذب

يبدأ عمل المذبذب مع توصيل التغذية الكهربية له ، ونتيجة للحركة العشوائية للالكترونات تمر مجموعة قليلة ، تمثل تياراً ضئيلاً جداً ، داخل المضخم ، فتزداد قيمة هذه الإشارة ، ويتم إدخالها بالتغذية الراجعة إلى المضخم كإشارة دخل ، وتكون في الدخل الفعلي E_i ، فيتم تكبيرها مرة أخرى لتزداد قيمتها ، وتعود دخلاً مرة أخرى ، ويتكرر حتى تصبح إشارة الدخل كبيرة نسبياً ، فتجعل المضخم في وضع التشبع ، فلا يمكنه تكبير الإشارات أكثر من ذلك ، وعند ذلك يثبت خرج المضخم على قيمة واحدة وتعمل الدارة كمذبذب .

مذبـــذب LC:

يتكون مذبذب LC من مواسع موصول على التوالي مع قفل ، ويستخدم هذا المذبذب في توليد موجة جيبية للترددات المتوسطة ، الشكل المجاور يوضح دارة مذبذب LC بسيطة :



مذبذب LC

في الشكل أعلاه، يبدأ التذبذب عندما يغلق المفتاح S، حيث يشحن المواسع C إلى جهد البطارية V، وعند فتح المفتاح S يفرغ المواسع خلال الملف L وينشأ مجال مغناطيسي حوله يولد قوة دافعة كهربائية تأثيرية ذاتية تقاوم منشأ المجال المغناطيسي (تيار التفريغ المتناقص) فيشحن بشحنة ذات قطبية معاكسة .

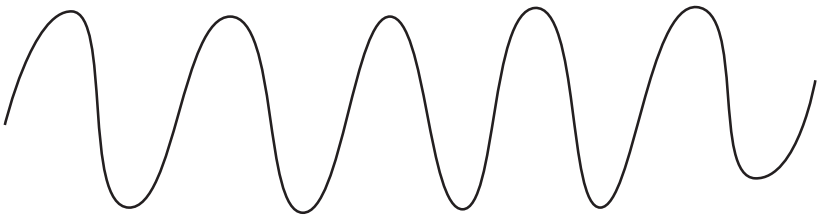
ثم يبدأ المواسع c التفريغ خلال الملف بالقطبية الأولية ، ويستمر التيار في التذبذب مكوناً موجة جيبية مضمحلة كما في الشكل الآتي :

موجة جيبية مضمحلة

وللحصول على موجة متواصلة وغير مضمحلة يتم توصيل البطارية لدارة التذبذب في الوقت المناسب ولا يتم فتح وغلق المفتاح يدوياً ولكن يستخدم لذلك مفتاح إلكتروني مثل الترانزستور ينتقل بين حالتي القطع (OFF) والتشبع (Saturation) بحيث يتم التحكم بإغلاق وفتح المفتاح باستخدام التغذية الراجعة .

ويمكن حساب تردد الموجة الجيبية الناتجة كمال يلي :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$



مذبذب الإزاحة الطورية (Phase Shift Oscillator)

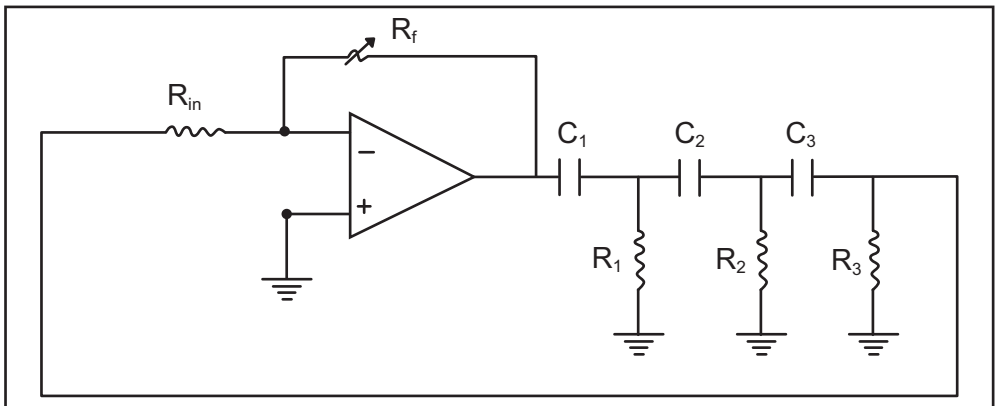
الفولتية البدائية يتم الحصول عليها من وجود تشويش (noise) والذي ينتج عن حركة الالكترونات العشوائية في المقاومات المستخدمة في الدارة، هذه الفولتية تحتوي تقريباً على كل الترددات الجيبية، هذه الفولتية المنخفضة يتم تضخيمها لتظهر على المخرج فتدخل إلى الدارة المغذية (Feed back net work) والتي هي دارة إزاحة طَورية، ولأن الفولتية على هذه الدارة أعلى قيمة عند تردد واحد وهو تردد التذبذب، وتكون الإزاحة الطَورية لدارة التغذية الموجبة (positive feedback network) صحيحة فقط عند هذه القيمة للتردد، ويمكن التعبير عن مقدار الكسب في الدارة بالعلاقة : $A_f = \frac{A}{1 - A\beta}$

ß : مقدار الكسب في دارة الإزاحة الطورية .

A : مقدار الكسب في المضخم .

عند تشغيل المذبذب يكون مقدار الكسب (Aß) أكبر من واحد وبالتالي يتم تشكيل الذبذبات وعند وصولها إلى حد مناسب يقل مقدار الكسب في المضخم ويقل كذلك بمقدار الكسب (Aß) ليصل إلى واحد وبالتالي يتم الحصول على ذبذبات ثابتة . ولكي يتم تحقيق هذه الشروط للذبذبة يجب أن يتم الحصول على إزاحة طورية كلية

بمقدار 180° من خلال دارة الإزاحة الطورية . الشكل (3) يوضح دارة مذبذب الإزاحة الطورية :



مذبذب الإزاحة الطورية

تردد الذبذبة يعطي بالعلاقة : $f_0 = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}}$

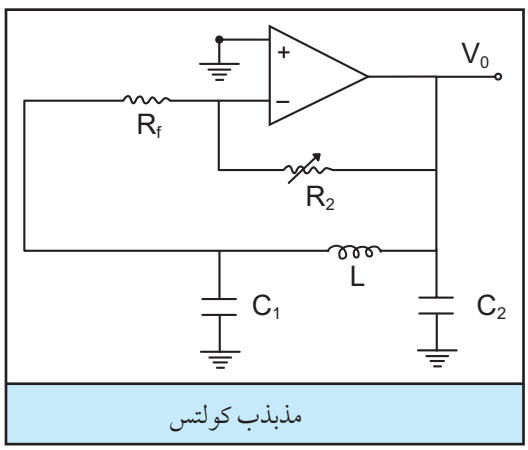
بحيث أن : $R_1 = R_2 = R_3 = R$ و $C_1 = C_2 = C_3 = C$

المذبـذب كولبتس (Colpitts)

يتم انتاج ذبذبات عن طريق دارة تحتوي مضخم ودارة تغذية راجعة (feedback network) وتحتوي دارة التغذية الراجعة على ملف ومواسعين .

ويعطى التردد الناتج من هذا النوع من المذبذبات بالعلاقة : $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\,\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}}}$

الشكل المجاور يبين تركيب هذا المذبذب .



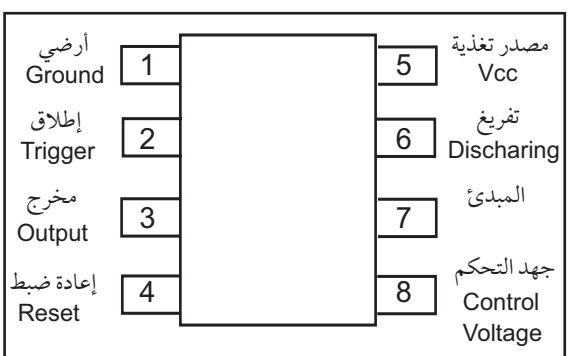
مذبذب كولتس

المؤقـــت 555 (555 Timer)

عرف هذا المؤقت في بداية السبعينيات وتم استخدام هذه الشريحة في الكثير من التطبيقات في توليد النبضات .

الشكل المجاور يمثل شريحة المؤقت 555

تعمل المؤقت 555 (555 timer) بنمطين، النمط الأول أحادي الاستقرار (momastable) والنمط غير المستقر (astable) .



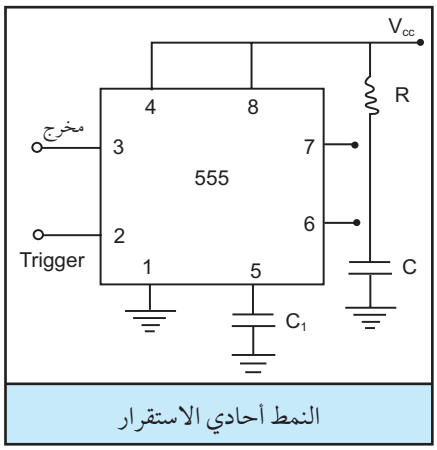
مؤقت 555

النمـط أحـادي الاستقـــرار (Monostable)

في هذا النمط يمكن إنتاج نبضة واحدة في وقت محدد عند تطبيق نبضة إطلاق سالبة على المدخل (2) ويعطي زمن هذه النبضة بالعلاقة :

t (الزمن) =1.1 RC

يمكن إرجاع النبضة على المخرج (3) بإرسال نبضة سالبة عند الطرف (4) . الشكل المجاور يمثل النمط أحادي الاستقرار .



النمط أحادي الاستقرار

مثـال (٩)

إذا كانت قيمة المقاومة 4.7kΩ ومواسعة 10.4 µf احسب زمن النبضة التالية من المؤقت 555 :

الحـــل:

الزمن = 1.1 × قيمة المقاومة × سعة المواسع

$= 1.1 \times (4.7 \times 10^{3}) \times (10 \times 10^{-6})$

= 0.00517 ثانية .

النمط اللامستقـر (Astable)

في هذا النمط يمكن إنتاج نبضات متتابعة بحيث تنتج نبضة لفترة معينة ، ثم تعود إلى الوضع المنخفض ومن ثم تعود من والشكل المجاور يوضح النمط اللا مستقر للمؤقت 555 (555 timer) .

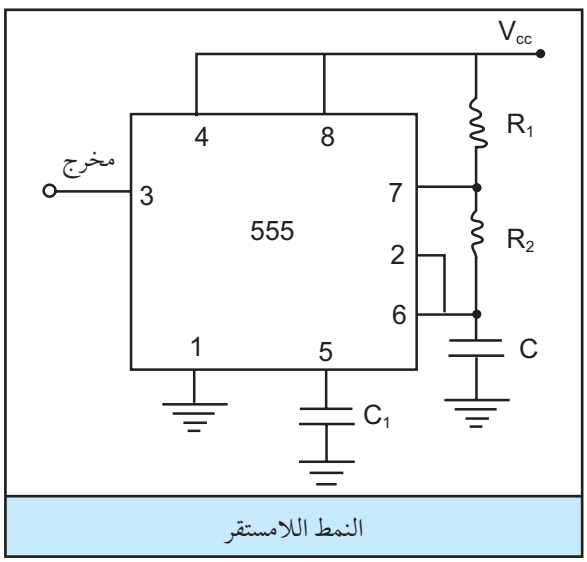
يعطي الزمن الذي تكون فيه النبضة فعالة بالعلاقة :

$T_1 = 0.693 \ (R_1 + R_2) \times C$

وبالتالي يكون زمن الدورة (T)

$T = T_1 + T_2 = 0.693 \ (R_1 + R_2) \ (C)$

ويمكن حساب التردد : التردد = $\frac{1}{\text{الزمن}}$



النمط اللامستقر

وتعرف النسبة بين زمن النبضة إلى زمن الدورة الكاملة بدورة التشغيل (Dutyegcle) = $\frac{T_1}{T} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2}$

مثـال (١٠)

إذا كانت قيمة R_1= 6k وقيمة R_2 = 2k وقيمة المواسع C = 1.4F احسب :

١ الزمن T_1 ٢ الزمن T2 ٣ الفترة الزمنية T ٤ دورة التشغيل

الحـــل:

١ $T_1 = 0.693 \ (R_1 + R_2) \times C$

$T_1 = 0.693 \ (6k\Omega + 2k\Omega) \times 1 \ \mu f$

= 0.00554 ثانية

٢ $T_2 = 0.693 \ (R_2) \ C$

$T_2 = 0.693 \times 2 \ k\Omega \times 1 \ \mu f$

= 0.00138 ثانية

٣ الزمن $T = T_1 + T_2$

= 0.001386 + 0.00554

= 6.93×10^{-3}

= 0.00693 sec ثانية

٤ دورة التشغيل : $\frac{T_1}{T}$

$= \frac{0.00554}{0.00693}$

= 0.8 = 80%

مثـال (١١)

إذا كانت دورة التشغيل = 75% وقيمة المقاومة R_1= 3k وقيمة المواسعة C = 100µf احسب قيمة المقاومة R_2 واحسب الزمن (T) .

الحـــل:

دورة التشغيل $= \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} = \frac{3}{4} = \frac{3k\Omega + R_2}{3k\Omega + 2R_2}$

$4R_2 + 12k\Omega = 6R_2 + 6k\Omega$

$2R_2 = 6k \longrightarrow R_2 = 3k$

الزمن (T) $= C \times (R_1 + 2R_2) \times 0.693 = 0.623$ ثانية .

المرشحـــــات Filters

إن المرشحات عبارة عن دوائر إلكترونية تسمح لإشارات ذات ترددات معينة بالمرور عبرها بينما تمنع أي إشارات ذات ترددات أخرى من المرور، وللمرشحات أهمية كبيرة في عالم الاتصالات ، وتستخدم غالباً لتمرير الإشارات المرغوب بها ومنع الإشارات الأخرى التي قد تكون غالباً إشارات تشويش .

أهم أنواع المرشحات حسب التمرير:

١. مرشح إمرار النطاق المنخفض (Low pass filter)
٢. مرشح إمرار النطاق العالي (high pass filter)
٣. مرشح إمرار النطاق (band pass filter)

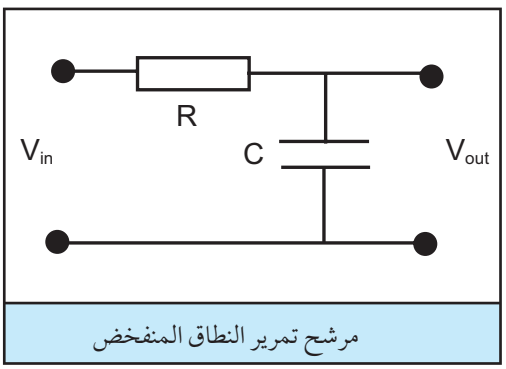
ويمكن تقسيم المرشحات حسب فعاليتها :

١. المرشحات الخاملة Passive Filter
٢. المرشحات الفعالة Active Filters

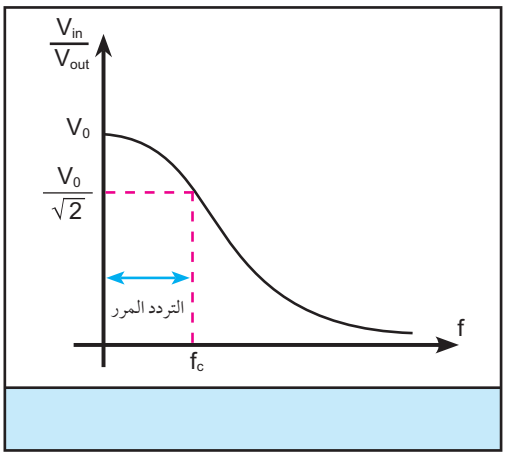
المرشحات الخاملة : تتكون المرشحات الخاملة عادة من مقاومات ومكثفات وأحياناً ملفات بحيث تتحكم قيم المقاومات والمكثفات في اختيار الترددات المرغوب فيها ولا يزيد الكسب في هذه المرشحات عن 1 .

١. مرشح تمرير النطاق المنخفض passive low pass filter

إذا أدخلت مجموعة إشارات مختلفة التردد على دارة مرشح إمرار الترددات المنخفضة فسوف لا تمر سوى الترددات المنخفضة بما في ذلك الجهود المستمرة، أما الترددات العالية فلا تظهر في مخرج هذه الدارة ولذا سمي هذا المرشح مرشح التمرير المنخفض ويمكن بناء مرشح امرار الترددات المنخفضة الخامل باستخدام مقاومة ومكثف كما في الشكل المجاور .



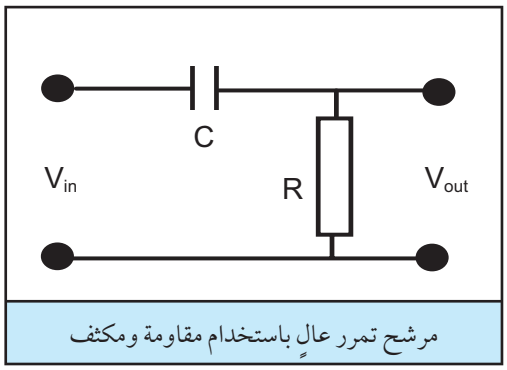
مرشح تمرير النطاق المنخفض



وتستخدم هذه الدارة في تمرير اشارات ترددها أقل من تردد يسمى تردد القطع f_c Cutoff Frequency إلى التردد الذي يساوي صفر (أي الجهد المستمر)، ويمكن إيجاد f_c من العلاقة الرياضية الآتية :

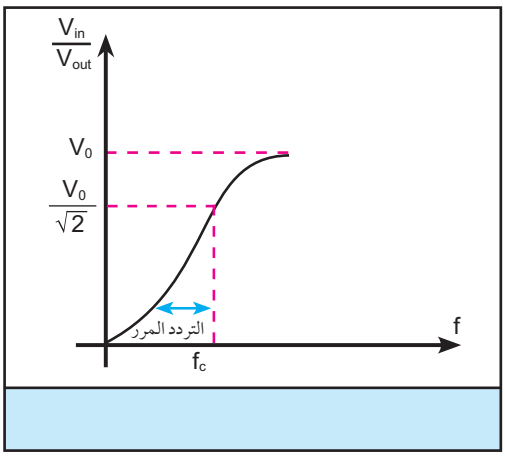
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$ حيث إن R قيمة المقاومة، C سعة المكثف، π مقدار ثابت يساوي 3.14 ويسمى المقدار RC بالثابت الزمني للمرشح .

٢- مرشح تمرير النطاق العالي passive high pass Filter :



مرشح تمرر عالٍ باستخدام مقاومة ومكثف

إذا أدخلت مجموعة إشارات مختلفة التردد على دارة مرشح إمرار الترددات العالية فسوف لا تمر سوى الترددات العالية أما الترددات المنخفضة فلا تظهر في مخرج هذه الدائرة؛ ولذا سميت هذه الدارة مرشح التمرير العالي . ويمكن بناء مرشح إمرار الترددات العالية الخامل باستخدام مقاومة ومكثف كما في الشكل أدناه، وهي نفس دارة مرشح إمرار الترددات المنخفضة ولكن بإبدال أماكن المقاومة والمكثف .

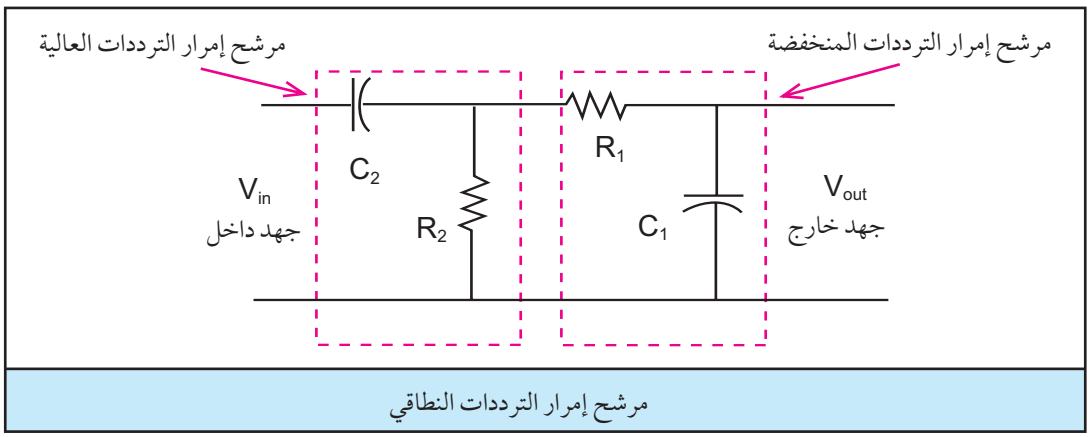


وتستخدم هذه الدارة في تمرير إشارات ترددها أكبر من تردد معين يسمى تردد القطع f_c Cutoff Frequency ويمكن إيجاد f_c من العلاقة الرياضية التالية : $$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

حيث إن R قيمة المقاومة ، C سعة المكثف ، π مقدار ثابت يساوي 3.14 ويسمى المقدار RC بالثابت الزمني للمرشح .

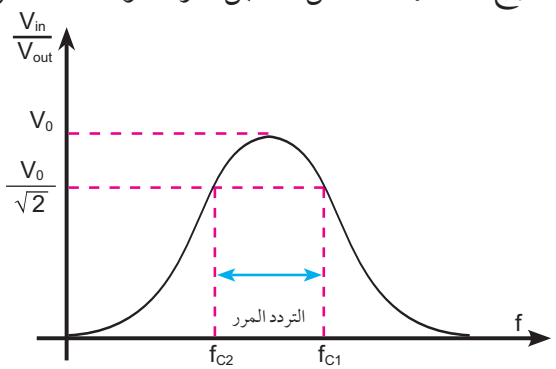
مرشح إمرار النطاق الخامل (Passive Band Pass Filter)

هذا المرشح عبارة عن مرشحين : مرشح إمرار الترددات المنخفضة ومرشح إمرار الترددات العالية مربوطة ببعضها والنتيجة أن هذا المرشح يسمح بمرور نطاق من الترددات بالمرور، ولكن أي تردد خارج هذا النطاق بالمرور كما في الشكل التالي .



وتستخدم هذه الدائرة في تمرير إشارات ترددها بين تردد القطع المنخفض (الأول) f_{C1} وتردد القطع العالي (التالي) f_{C2} ، ويمكن ايجاد قيمة f_C من العلاقة الرياضية الآتية : $f_{C1} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$ وأما f_{C2} فيمكن إيجادها من العلاقة الرياضية الآتية : $f_{C2} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}$

لو رسمنا قيمة (الجهد الخارج / الجهد الداخل) مقابل التردد لوجدنا الشكل الآتي :



مثـال (١٢)

مرشح امرار الترددات المنخفضة مكون من مقاومة بقيمة 160 أوماً ومكثف بسعة 0.1 مايكروفاراد، فما هو تردد القطع؟

الحـــل:

أولا سعة المكثف يجب أن تكون بالفاراد

سعة المكثف (C) = 0.1×10^{-6} فاراد

تردد القطع = $\frac{1}{2\pi RC}$

$$= \frac{1}{2 \times 3.14159 \times 160 \times 0.1 \times 10^{-6}} = 9947.2 \text{ هيرتز}$$

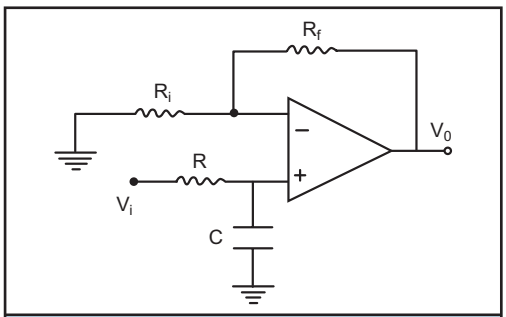
كما تم ذكره فإنّ المرشح الخامل لا يزيد كسبه عن 1 ، وللحصول على مرشح يمرر الترددات المرغوب فيها ويمنع الترددات الغير المرغوب فيها من المرور ويضخم الإشارة حسب الحاجة يستخدم مضخم العمليات في ذلك .

مرشح إمرار النطاق المنخفض الفعال (Active low pass filter)

يمكن بناء مرشح امرار ترددات منخفضة فعال باستخدام دارة مرشح إمرار الترددات المنخضة الخامل ولكن بإضافة دارة كسب باستخدام مضخم العمليات كما في الشكل المجاور .

وتكون معادلة تردد القطع $f_C = \frac{1}{2\pi RC}$ ،

وكسبه يساوي $1 + \frac{R_f}{R_i}$



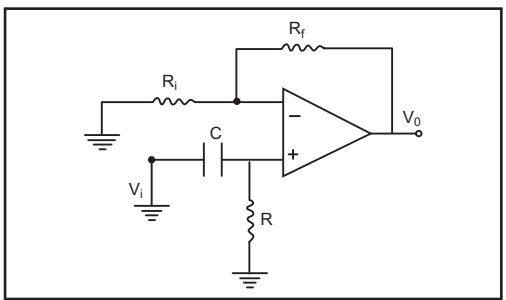
مرشح تمرير النطاق المنخفض الفعال

مرشح إمرار النطاق المرتفع الفعال (Active High pass filter)

بإضافة دارة كسب باستخدام مضخم العمليات يمكن بناء مرشح امرار ترددات العالية ولكن كما يلي :

وتكون معادلة تردد القطع f_C

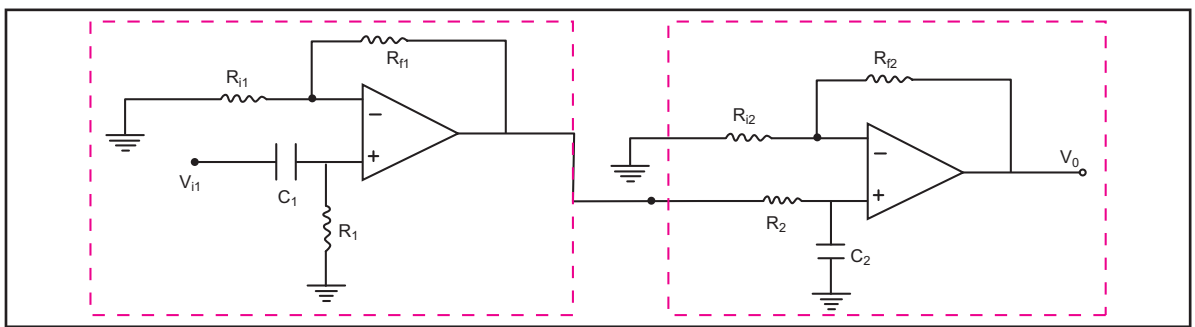
$f_C = \frac{1}{2\pi RC}$ ، وكسبه يساوي $1 + \frac{R_f}{R_i}$



مرشح تمرير الترددات المرتفعة الفعال

مرشح إمرار النطاق الفعال (Active Band pass filter):

هذا المرشح عبارة عن مرشح إمرار نطاق عالي متبوع بمرشح إمرار نطاق منخفض على التوالي (ولا يهم الترتيب) حيث أن مرشح التردد العالي يحدد تردد القطع الأول f_{C1} ، ومرشح إمرار النطاق المنخفض يحدد تردد القطع الثاني f_{C2}، وتكون دارة هذا المرشح كما يأتي :



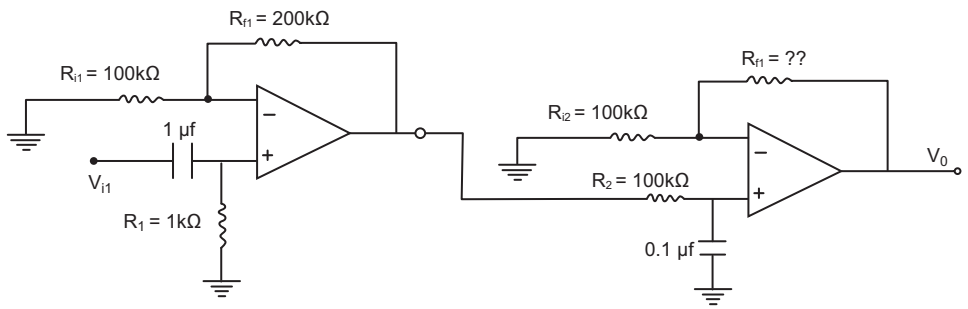
مرشح تمرير ترددات النطاق الفعال

وتكون معادلة تردد القطع الأول $f_{C1} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$ ، ومعادلة تردد القطع الثاني $f_{C2} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}$

أما كسب الدارة هو حاصل ضرب كسب الدائرتين $G = \left(1 + \frac{R_{f1}}{R_{i1}}\right)\left(1 + \frac{R_{f2}}{R_{i2}}\right)$

مثـال (١٣)

في الشكل الآتي احسب مقاومة Rf_2 إذا كان كسب الدارة يساوي 5، ثم احسب f_{C1} و f_{C2}



الحـــل:

$$G = \left(1 + \frac{R_{f1}}{R_{i1}}\right)\left(1 + \frac{R_{f2}}{R_{i2}}\right)$$

$$5 = \left(1 + \frac{200}{100}\right)\left(1 + \frac{R_{f2}}{100}\right) \longrightarrow 5 = 3 \times \left(1 + \frac{R_{f2}}{100}\right)$$

$$\frac{5}{3} = 1 + \frac{R_{f2}}{100} \longrightarrow \left(\frac{5}{3} - \frac{3}{3}\right) = \frac{R_{f2}}{100}$$

$$\frac{2}{3} = \frac{R_{f2}}{100} \longrightarrow 200 = 3R_{f2} \longrightarrow \boxed{R_{f2} = \frac{200}{3}\ k\Omega}$$

$$f_{C1} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = \frac{1}{2\pi(1 \times 10^{3})(1 \times 10^{-6})} = \frac{1}{2\pi \times (1 \times 10^{-3})} = \frac{500}{\pi}\ Hz$$

$$f_{C2} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} = \frac{1}{2\pi(1 \times 10^{3})(0.1 \times 10^{-6})} = \frac{1}{2\pi \times (1 \times 10^{-4})} = \frac{5000}{\pi}\ Hz$$

تطبيقـات المرشحـات :

للمرشحات تطبيقات عديدة فهي تستخدم مثلاً في جهاز المذياع لاختيار الإذاعة المراد ساعها وذلك باستخدام مرشح إمرار ترددات نظامي يمكن إشارة محطة إذاعية معينة من المرور ويمنع غيرها . وتستخدم في أنظمة الاتصالات تستخدم لتحرير الإشارات المرغوبة ومنع إشارات التشويش من المرور .

أسئلـــة الوحـــــدة

١ عــرف المضخــم الإلكترونـــي.

٢ ما هو تعريف كسب المضخم الإلكتروني؟

٣ مضخم إلكتروني له كسب مقداره 10، فإذا علمت أن قدرة إشارة المدخل 3 واط، احسب قدرة إشارة المخرج.

٤ ما هي أهم أنواع المضخمات الترانستورية؟ وما هو أساس تصنيفها؟

٥ إذا كنا نحتاج أن تكون إشارة المخرج تمثل 60% من إشارة المدخل لأحد المضخمات الترانزستورية فما هو صنف المضخم الترانزستوري المناسب لإعطاء هذه القيمة على مخرجه؟

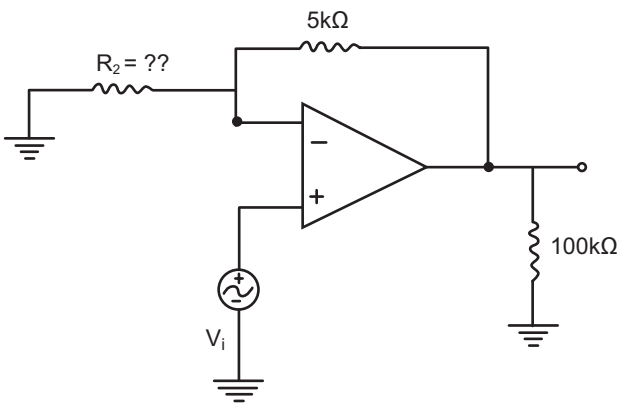
٦ ما هو صنف المضخم الترانزستوري الأكثر فعالية؟ ولماذا؟

٧ ما هي خصائص المضخم التشغيلي المثالي؟

٨ ارسم منحنى الخصائص المقارن المثالي؟

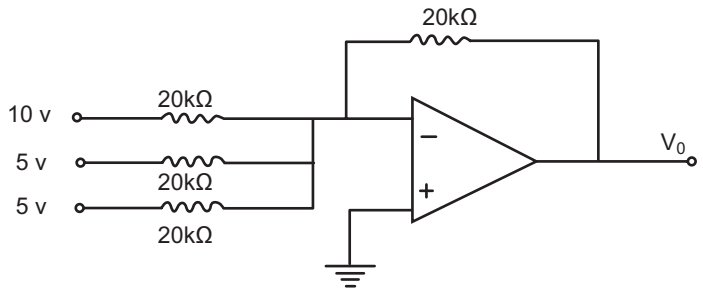
٩ ما هو الفرق بين المضخم العاكس والمضخم غير العاكس؟

١٠ في الشكل أدناه اذكر نوع المضخم واحسب قيمة المقاومة المجهولة لتكون كسب المضخم يساوي 5.



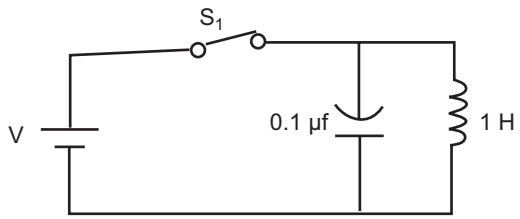
١١ إذا علمت أن قيمة الجهد على مدخل دارة ماحق الجهد تساوي 5 فولت، احسب قيمة الجهد على مخرج ملاحق الجهد . ما كسب ملاح الجهد؟

١٢ احسب مقدار جهد المخرج للشكل أدناه. وماذا تسمى هذه الدارة؟



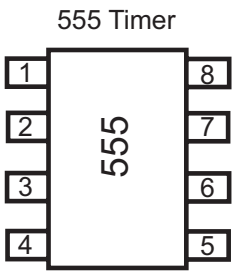
١٣ مـــا هـــو المذبـذب؟

١٤ في الشكل أدناه احسب قيمة تردد الإشارة الناتجة على مخرج المذبذب، واذكر نوع هذا المذبذب؟



١٥ ارسم دارة مذبذب هارتلي، واكتب معادلة إشارة مخرجه؟

١٦ ما هو استخدام الدبوس (Pin) رقم 2 في الشريحة الإلكترونية الآتية؟



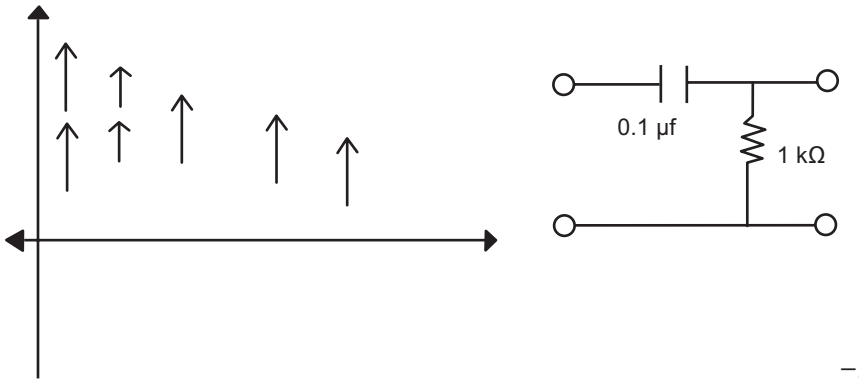
١٧ ما هي أنماط تشغيل المذبذب 555؟ وما هو الفرق بينهما؟

١٨ دارة مذبذب 555 (وضع لا مستقر) لها مكثف بسعة 1µf ومقاومة م 1 مقدارها 200 k ومقاومة م2 مقدارها 100 k احسب دورة الإشارة T والفترة التي يبقى فيها النبض الخارج موجوداً T_1 وارسم الإشارة الناتجة.

١٩ عرف المرشحات الإلكترونية، واذكر أهم أنواعها من حيث التمرير.

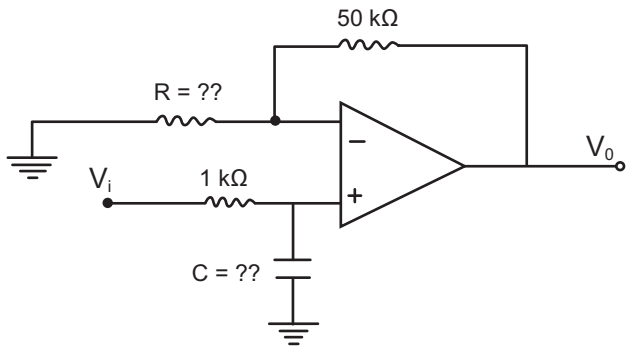
٢٠ ارسم دارة مرشح تمرير منخفض خامل. وما هي معادلة تردد القطع له؟

٢١ **في الشكل أدناه ، ما نوع المرشح؟ احسب تردد القطع وارسم المكونات الترددية لإشارة المخرج إذا كانت المكونات الترددية لإشارة المدخل كما في الشكل.**



ذددددد–

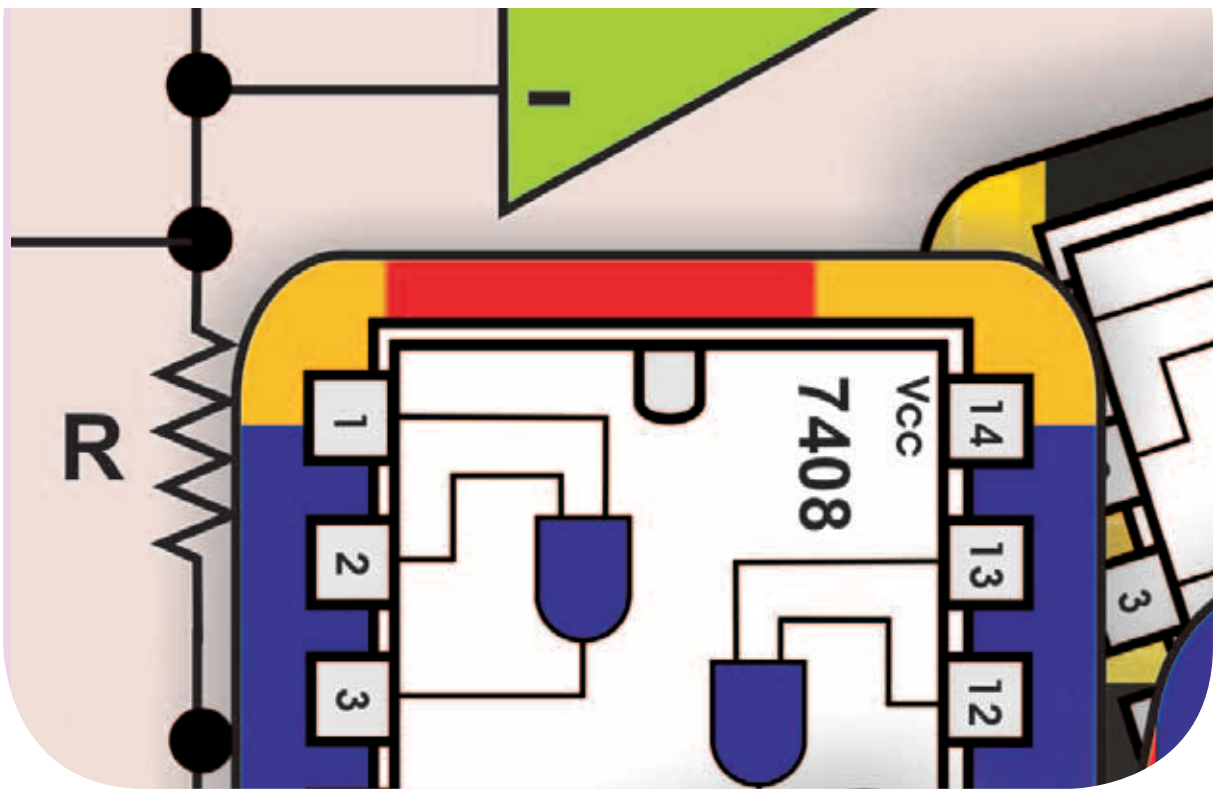
٢٢ **في الشكل أدناه احسب قيمة المواسع المجهول لتمرير المكونات الترددية التي تقع بين 0 إلى 4 KHz من الإشارة الصوتية؟ واحسب قيمة المقاومة المجهولة إذا علمت أن المرشح يضخم الإشارة مرتين أي إن كسب المرشح يساوي 2 .**



٢٣ **في دارة المازج إذا علمت أن f_1 وتساوي f_2 تساوي 150 KHz احسب اقل تردد يمكن الحصول عليه على مخرج المازج.**

الوحدة ٣

الإلكترونيات الرقمية



الـــدرس ١

أنظمة الأعداد

مقـــدمة عامـــة

تمـــهيد

في هذه الوحدة سنتعرف على أنظمة الأعداد الشائعة وكيفية التحويل من نظام الى اخر، كما سنتعرف على العمليات الحسابية التي يمكن اجرائها على تلك الانظمة.

أهداف الوحدة

في نهاية هذه الوحدة يتوقع منك ان تكون قادرا على :

١ معرفة انظمة الأعداد الشائعة (نظام العد العشري ، الثنائي، الثماني، السادس عشر).

٢ التحويل من النظام الثنائي الى النظام العشري وبالعكس.

٣ التحويل من النظام الثنائي الى النظام السادس عشر وبالعكس.

٤ إجراء العمليات الحسابية المختلفة (جمع، طرح، ضرب، قسمة) على نظام العد الثنائي.

أقسام الوحدة

١ مقدمة عامة.

٢ نظام العد العشري.

٣ نظام العد الثنائي.

٤ نظام العد الثماني.

٥ نظام العد السادس عشر.

٦ التحويل من النظام الثنائي الى النظام العشري وبالعكس.

٧ التحويل من النظام السادس عشر الى النظام الثنائي وبالعكس.

٨ اجراء العمليات الحسابية على النظام الثنائي.

قراءات مساعدة

- www.Yazori.com
- أساسيات تكنولوجيا الحاسب . د . ثوار ثابت عارف .

ما تحتاج اليه لدراسة هذه الوحدة

في هذه الوحدة أنت بحاجة فقط الى قدرات ذهنية لاستيعاب الموضوع .

المواضيع الرئيسة

١ نظام العد العشري (Decimal System):

يعتبر هذا النظام من أكثر الأنظمة ألفة وانتشارا ومناسباً بالنسبة للانسان ، ففي الحياة الطبيعة يستعمل الانسان النظام العشري في العمليات الحسابية المختلفة . ويسمي هذا النظام بهذا الاسم لانه يتكون من عشرة أرقام (٠ ، ١ ، ٢ ، . . . ، ٩) ويمكن حساب الرقم على اساس ما يعرف بمرتبة العدد .

مـــثـــال

الرقم 222 = 2 آحاد + 2 عشرات + 2 مئات

$= 2 + 2 \times 10 + 2 \times 100$

$= 2 + 10^{1} \times 2 + 10^{2} \times 2$

$(222)_{2} = 200 + 20 + 2 =$

الحـــــل

ويمكن التعبير عن الرقم باستعمال الاساس ١٠ مرفوعا اليه الاس بحيث يبدأ (٠ ، ١ ، ٢ ، . . .) كما في المثال السابق .

ويمكن معرفة هذا الرقم الى اي نظام ينتمي من خلال الرقم الذي يكتب تحت الأقواس المحيطة بالرقم مثال $(100)_{10}$ يدل على ان هذا الرقم ينتمي الى النظام العشري ، أما الرقم $(100)_{2}$ ينتمي الى النظام الثنائي ، والرقم $(100)_{8}$ ينتمي الى النظام الثماني ، والرقم $(100)_{16}$ ينتمي الى النظام السادس عشر .

٢ نظام العد الثنائي (Binary System):

سمي هذا النظام بهذا الاسم لانه يتكون من رقمين وهما ٠ , ١ ويسمى كل حد منهما الحد الثنائي (Bit) والتي هي مختصرة من كلمة (Binary Digit). وتعتمد الدوائر الالكترونية والحواسيب في تصميها الداخلي على هذا النظام حيث يتم اعطاء قيمة صفر عندما يكون الجهد مساويا للصفر، بينما يعطى الرقم ١ في حالة اذا كان الجهد مساويا (+5V) (انظر الشكل ١). ويمكن التعبير عن الرقم في النظام الثنائي باستعمال الأساس ٢ مرفوعا اليه الاس حسب المرتبة بحيث يبدأ ٠، ١، ٢، . . . ويمكن تمثيلها على خط الاعداد كالتالي.

	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
وتساوي	←					
	32	16	8	4	2	1

٣ نظام العد الثماني (Octal System):

يتكون النظام الثماني من ٨ أرقام (٠، . . ، ٧). ويستخدم هذا النظام في كتابة بعض البرامج الخاصة لانها لو كُتبت بالنظام الثنائي لأدى ذلك الى حدوث العديد من المشاكل بسبب كثرة (٠ . ١).

يشبة النظام الثماني النظام العشري في اول ثماني ارقام (٠، . . ، ٧) ويختلف عنه في كون ان الرقمين ٨، ٩ لا يمكن استخدامها في النظام الثماني.

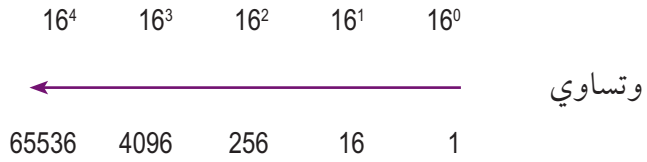
يمكن التعبير عن الرقم كما في الأنظمة الأخرى بطريقة الأس (٠، ١، ٢، . . .) للاساس ٨ ويمكن تمثيلها على خط الاعداد كالتالي.

	8^4	8^3	8^2	8^1	8^0
وتساوي	←				
	4096	512	64	8	1

٤ نظام العد السادس عشر (Hexadecimal System):

يعد النظام العشري مناسباً بالنسبة للبشر ، بينما نظام العد الثنائي يعتبر مناسباً بالنسبة للألة ، ويعتبر نظام العد السادس عشر وسط أو توفيق بينهما . وتعود أهمية النظام الثماني والنظام السادس عشر نظرا لعلاقتهما المباشرة مع النظام الثنائي وسهولة التعبير بواسطتهما عن القيم الكبيرة والصغيرة بدلا من النظام الثنائي (في كل حد في النظام الثنائي يقابلة أربع حدود في النظام السادس عشر). وفيما يلي القيمة المكانية لخانات النظام السادس عشر

، فكل خانة تساوي ١٦ ضعف بالنسبة للخانة التي تقع على يمينها ويمكن التعبير عنها بطريقة الأس بحيث تبدأ من الأس ٠ ، ١ ، ٢ ، . . . للأساس ١٦ ويمكن تمثيلها على خط الاعداد كالتالي .



يتكون النظام السادس عشر من ١٦ رقم بدلاً من ١٠ كما في النظام العشري و هو يحوي كل الأعداد العشرية بالإضافة إلي الحروف (٠ ، ١ ، . . . ، ٩ ، A ، B ، C ، D ، E ، F) كبديل للأعداد ١٠ ، ١١ ، ١٢ ، ١٣ ، ١٤ ، ١٥

F	E	D	C	B	A
15	14	13	12	11	10

وفيما يلي جدول يبين كيفية تمثيل الأعداد العشرية في أنظمة الاعداد المختلفة :

الرقم في النظام العشري	النظام الثنائي	النظام الثماني	النظام السادس عشر
٠	٠٠٠٠	٠	٠
١	٠٠٠١	١	١
٢	٠٠١٠	٢	٢
٣	٠٠١١	٣	٣
٤	٠١٠٠	٤	٤
٥	٠١٠١	٥	٥
٦	٠١١٠	٦	٦
٧	٠١١١	٧	٧
٨	١٠٠٠	١٠	٨
٩	١٠٠١	١١	٩
١٠	١٠١٠	١٢	A
١١	١٠١١	١٣	B
١٢	١١٠٠	١٤	C
١٣	١١٠١	١٥	D
١٤	١١١٠	١٦	E
١٥	١١١١	١٧	F

التحويل من النظام العشري الى النظام الثنائي

يتم التحويل من النظام العشري الى النظام الثنائي بطريقة باقي القسمة ويقسم العدد على (٢) ونستمر في عملية القسمة الى ان يصل ناتج القسمة الى صفر عندها تكون انتهت القسمة ، ونقرأ باقي القسمة من الأسفل الى الأعلى وتكتب من اليسار الى اليمين .

مـــثـــال ١

حول الرقم العشري $(64)_{10}$ الى النظام الثنائي .

الحـــــــل

	ناتج القسمة		باقي القسمة	
	٦٤	٢		
المرتبة الأقل أهمية (LSB)	٣٢	٢	٠	
	١٦	٢	٠	
	٨	٢	٠	
	٤	٢	٠	
	٢	٢	٠	
	١	٢	٠	
المرتبة الأكثر أهمية (MSB)	٠	نتوقف *	١	

* نتوقف عند الحصول على صفر في ناتج القسمة ونقرأ الباقي الصحيح من أسفل الى أعلى ويكتب من اليسار الى اليمين (من المرتبة الأكثر أهمية الى المرتبة الأقل أهمية) . $(64)_{10} = (1000000)_2$

مـــثـــال ٢

حول الرقم التالي الى النظام الثنائي $(77)_{10}$

الحـــــــل

	ناتج القسمة		باقي القسمة
	٧٧	٢	
	٣٨	٢	١
	١٩	٢	٠
	٩	٢	١
	٤	٢	١
	٢	٢	٠
	١	٢	٠
	٠		١

$(77)_{10} = (1001101)_2$

وهناك طريقة أخرى يمكن من خلالها التحويل بسرعة من النظام العشري الى الثنائي وتسمى (نظام الأوزان) :

١ نضع خط الاعداد .

٢ ماهو العدد او العددين او اكثر والتي مجموعها يساوي العدد العشري المطلوب تحويله .

٣ نضع واحد امام الخانة التي نريد ان نضيفها وصفر اما الخانة التي لانريد ان نضيف مجموعها .

مـــثـــال ٣

أوجد $(39)_{10} = (\quad)_2$.

الحـــــــل

	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
وتساوي	←					
	32	16	8	**4**	**2**	**1**
	1	0	0	1	1	1

$(100111)_2 = (39)_{10}$

مـــثـــال ٤

أوجد $(77)_{10} = (\quad)_2$.

الحـــــــل

	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
وتساوي	←						
	1	0	0	1	1	0	1
	64	32	16	**8**	**4**	2	**1**
	1	0	0	1	1	0	1

$(1001101)_2 = (77)_{10}$

تـــدريـــب ١

- حول الارقام التالية الى النظام الثنائي بطريقتين مختلفتين؟

١ $(100)_{10} = (\quad)_2$ ( )

٢ $(55)_{10} = (\quad)_2$ ( )

٣ $(90)_{10} = (\quad)_2$ ( )

التحويل من النظام الثنائي الى النظام العشري

للتحويل من النظام الثنائي الى النظام العشري يتم بضرب كل رقم من أرقام العدد في وزن الخانة الموجود فيها ثم بجمع هذه المضاريب نحصل على الرقم العشري .

مـــثـــال ٥

حول الرقم الثنائي $(101)_2$ الى مكافئة العشري؟

الحـــــــل

$$2^2 \times 1 + 2^1 \times 1 + 2^0 \times 0 = (101)_2$$

$$4 \times 1 + 2 \times 0 + 1 \times 1 =$$

$$5 = 4 + 0 + 1 =$$

$$(5)_{10} = (101)_2$$

مـــثـــال ٦

حول الرقم الثنائي $(1110)_2$ الى مكافئة العشري؟

الحـــــــل

$$2^3 \times 1 + 2^2 \times 1 + 2^1 \times 1 + 2^0 \times 0 = (1110)_2$$

$$8 \times 1 + 4 \times 1 + 2 \times 1 + 1 \times 0 =$$

$$14 = 8 + 4 + 2 + 0 =$$

$$(14)_{10} = (1110)_2$$

تـــدريـــب ٢

- حول الارقام الثنائية التالية الى مكافأتها العشرية؟

١ $(1111001)_2 =$ ($)_{10}$

٢ $(10101010)_2 =$ ($)_{10}$

٣ $(11111)_2 =$ ($)_{10}$

التحويل من النظام الثنائي الى النظام السادس عشر

للتحويل من النظام الثنائي الى النظام السادس عشر نعتبر كل أربع ارقام (خانات) تمثل رقم (خانة واحدة) في النظام السادس عشر بحيث نبدأ من المرتبة الأقل أهمية (LSB) .

مـــثـــال ٧

حول الرقم التالي $(011011110011)_2$ = ( )$_{16}$ ؟

الحـــــــل

$(0110\mathbf{1111}0011)_2$

6 F 3

$(011011110011)_2 = (F\ 6\ 3)_{16}$

مـــثـــال ٨

حول الرقم التالي $(1111110000101011100)_2$ = ( )$_{16}$ ؟

الحـــــــل

$(\mathbf{0011}1111\mathbf{0000}1010\mathbf{1100})_2$

C A 0 F 3

$(1111110000101011100)_2 = (\ F0AC3\ )_{16}$

التحويل من النظام السادس عشر الى النظام الثنائي

للتحويل من النظام السادس عشر الى النظام الثنائي نعتبر كل رقم في النظام السادس عشر يمثل أربعة أرقام (خانات) في النظام الثنائي .

مـــثـــال ٩

حول الرقم التالي $(1000)_{16}$ = ( )$_2$ ؟

الحـــــــل

$(1 \quad 0 \quad 0 \quad 0)_{16}$

0001 0000 0000 0000

$(1000000000000)_2 = (0001000000000000)_2 = (1000)_{16}$

مـــثـــال ١٠

حول الرقم التالي $(A29)_{16}$ = ( )$_2$ ؟

الحـــــــل

$(A \quad 2 \quad 9)_{16}$

1010 0010 1001

$(101000101001)_2 = (A29)_{16}$

العمليات الحسابية على النظام الثنائي

١ عملية الجمع

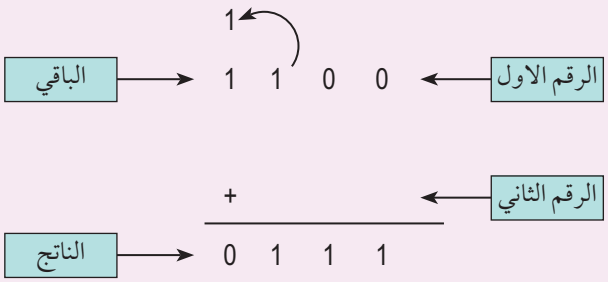
لجمع رقمين ثنائيين يوجد أربع حالات :

1	1	0	0
+	+	+	+
1	0	1	0
1 0	1	1	0

مـــثـــال ١١

اجمع الرقمين التاليين $(1100)_2$ و $(0111)_2$؟

الحـــــــل



$(10011)_2 = (0111) +_2 (1100)_2$

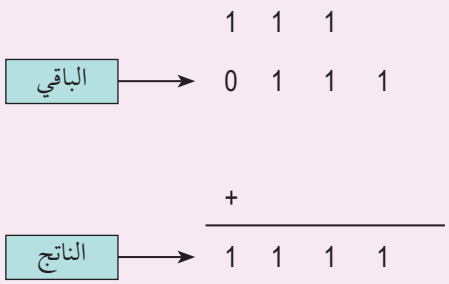
وللتاكد من صحة الحل يتم تحويل الاعداد الى مكافئاتها العشرية ومن ثم التاكد من ناتج الجمع

$(1100)_2 = (12)_{10}$ ، $(0111)_2 = (7)_{10}$ وحاصل الجمع $(19)_{10}$ وتكافئ $(10011)_2$

مـــثـــال ١٢

اجمع الرقمين التاليين $(111)_2$ و $(1111)_2$؟

الحـــــــل



$(10110)_2 = (1111)_2 + (111)_2$

تـــدريـــب ٣

- اجمع الارقام الثنائية التالية وتأكد من صحة الحل؟

١ $(10011)_2 +_2 (111110) =$ $)_2$ (

٢ $(11001110)_2 + (11001010101)_2 =$ $)_2$ (

٢ عملية الطرح:

لطرح رقمين ثنائيين يوجد أربع حالات :

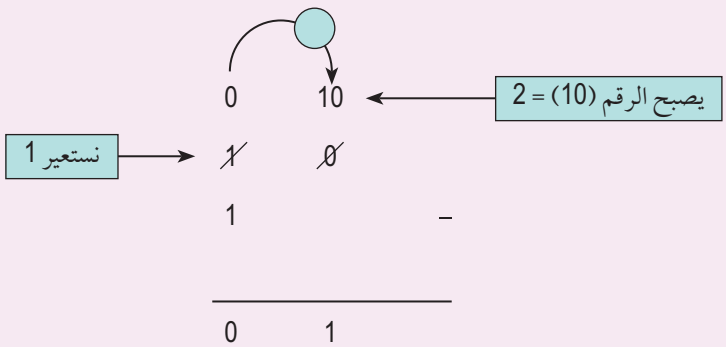
0	1	1	0
−	−	−	−
1	0	1	0
لا يجوز	1	0	0

في حالة ٠ – ١ فاننا نستعير ١ من الحد الذي يلية ليصبح الرقم (١٠) وهو ما يعادل (٢) ليصبح حاصل الطرح (١)

مـــثـــال ١٣

أوجد حاصل طرح $(101)_2 - (011)_2$؟

الحـــــــل

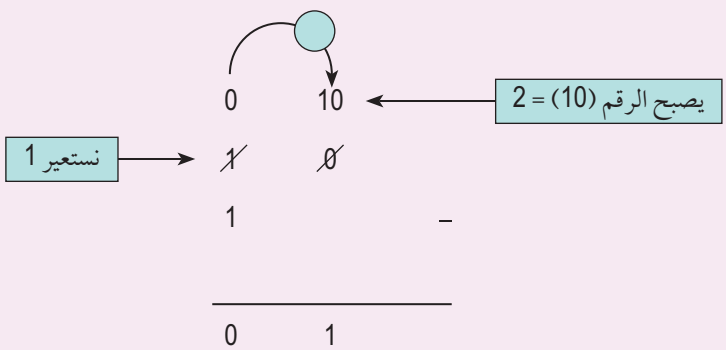


$(010)_2 = (011)_2 - (101)$

مـــثـــال ١٤

أوجد حاصل طرح $(101)_2 - (011)_2$؟

الحـــــــل



$(010)_2 = (011)_2 - (101)$

مـــثـــال ١٥

أوجد حاصل طرح $(111)_2 - (010)_2$ ؟

الحـــــــل

$$\begin{array}{r} 1 \quad 1 \\ 1 \quad\quad - \\ \hline 0 \quad 1 \end{array}$$

$$(111)_2 - (010)_2 = (\ 101\ )_2$$

تـــدريـــب ٤

- اطرح الارقام الثنائية التالية وتأكد من صحة الحل؟

١ $(11101)_2 - (11101)_2 = (\quad)_2$ ( )

٢ $(10001111)_2 - (10001001)_2 = (\quad)_2$ ( )

٣ عملية الضرب:

لضرب رقمين ثنائيين يوجد أربع حالات :

1	1	0	0
x	x	x	x
1	0	1	0
1	0	0	0

مـــثـــال ١٦

أوجد حاصل ضرب $(110)_2 \times (100)_2$؟

الحـــــــل

$$\begin{array}{r} 1\ 1\ 0 \quad \times \\ 1\ 0\ 0 \\ \hline 0\ 0\ 0 \\ 0\ 0\ 0 \quad + \\ 1\ 1\ 0 \\ \hline 1\ 1\ 0\ 0\ 0 \end{array}$$

$$(110)_2 \times (100)_2 = (11000)_2$$

مـثـال ١٧

أوجد حاصل ضرب $(11)_2 \times (11)_2$؟

الحـــــل

$$\begin{array}{r} 1\ 1 \\ \times\ 1\ 1 \\ \hline 1\ 1 \\ 1\ 1\ + \\ \hline 1\ 0\ 0\ 1 \end{array}$$

$(1001)_2 = (11)_2 \times (11)_2$

تـدريـب ٥

- أوجد حاصل ضرب الارقام الثنائية الثالية :

١ $(11101)_2 \times (11101)_2 =$ ($)_2$

٢ $(110011)_2 \times (101)_2 =$ ($)_2$

٤ عملية القسمة:

عملية القسمة في النظام الثنائي تشبه عملية القسمة في النظام العشري .

مـثـال ١٨

أوجد حاصل قسمة $(20)_{10} \div (4)_{10}$ في النظام الثنائي؟

الحـــــل

$(10100)_2 = (20)_{10}$

$(100)_2 = (4)_{10}$

$$\begin{array}{r|l} & 1\ 0\ 1 \\ \hline 100 & 1\ 0\ 1\ 0\ 0 \\ & 1\ 0\ 0\ - \\ \hline & 0\ 0\ 1\ 0\ 0 \\ & \quad 1\ 0\ 0\ - \\ \hline & 0\ 0\ 0\ 0\ 0 \end{array}$$

ويمكن التأكد من صحة الحل :

20/ 4 في النظام العشري تساوي 5

$(101)_2 = (5)_{10}$

وبالتالي الاجابة صحيحة .

مـــثـــال ١٩

اوجد حاصل قسمة العددين $(10111100)_2 \div (101111)_2$؟

الحـــــــــل

$$
\begin{array}{rr|cccccccc}
 & & 1 & 0 & 0 & & & & & \\
\hline
101111 & & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
 & & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & - & \\
\cline{3-8}
 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \\
 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \\
\cline{2-9}
 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 &
\end{array}
$$

ويمكن التاكد من صحة الحل :

$(188)_{10} = (10111100)_2$

$(47)_{10} = (101111)_2$

$(188)_{10} \div (47)_{10} = (4)_{10}$ وتكافئ $(100)_2$

تـــدريـــب ٦

- أوجد حاصل قسمة الارقام العشرية التالية بعد تحويلها الى مكافاتها الثنائية :

١ $(50)_{10} \div (10)_{10}$

٢ $(100)_{10} \div (5)_{10}$

تقويم ذاتي

السؤال الأول أكمل الفراغات التالية :

- يعتبر النظام .....أكثر ألفة وانتشارا ومناسبا بالنسبة للانسان .
- يتكون النظام الثماني من ..... أرقام وهي ..... .
- عند التحويل من النظام العشري الى النظام الثنائي يتم .....(الضرب في ، القسمة على) ٢ .
- تشبة عملية القسمة في النظام الثنائي عملية القسمة في النظام ..... .

السؤال الثاني قم بتحويل الارقام العشرية التالية الى مكافاتها الثنائية .

١ $(15)_{10}$ = ($)_2$

٢ $(70)_{10}$ = ($)_2$

٣ $(88)_{10}$ = ($)_2$

السؤال الثالث قم بتحويل الارقام الثنائية التالية الى مكافاتها العشرية .

١ $(101100101010)_2$ = ($)_{10}$

٢ $(111001010)_2$ = ($)_{10}$

٣ $(0011010101010)_2$ = ($)_{10}$

السؤال الرابع قم باجراء العمليات التالية :

١ $(101100101010)_2$ = ($)_{16}$

٢ $(111001010)_2$ = ($)_{16}$

٣ $(0011010101010)_2$ = ($)_{16}$

٤ $(4A55)_{61}$ = ($)_2$

٥ $(FEC)_{61}$ = ($)_2$

٦ $(25893)_{16}$ = ($)_2$

السؤال الخامس قم باجراء العمليات التالية :

١ $(1100110100101)_2 + (010101010)_2$

٢ $(11001101010)_2 + (10101010101)_2$

٣ $(1111)_2 - (1111111)_2$

٤ $(101111)_2 - (10111100)_2$

٥ $(111)_2 \times (110101)_2$

٦ $(1101)_2 \times (00000001)_2$

٧ $(101)_2 \div (111011)_2$

٨ $(1010)_2 \div (10000010)_2$

السؤال السادس قم بتحويل الارقام العشرية التالية الى مكافاتها الثنائية واجري عليها العمليات الحسابية المطلوبة ثم تاكد من صحة الحل .

١ $(55)_{10} + (99)_{10}$

٢ $(20)_{10} - (130)_{10}$

٣ $(2)_{10} \times (60)_{10}$

٤ $(8)_{10} \div (80)_{10}$

الـــدرس ٢

الجبر البولي

في هذا الدرس سنتعرف على البوابات المنطقية الأساسية والمشتقة ومن ثم نتعرف على قوانين الجبر البولي وكيفية اثبات صحتها باستخدام الجداول المنطقية .

١ البوابات المنطقية:

تحتاج البوابات المنطقية الى مدخلين او اكثر لتعطي مخرج واحد، وتكون القيم المدخله لها (٠ أو ١) بحيث تعطى قيمة الصفر للتعبير عن خطا (وتعطى فرق جهد مساوي للصفر (0 V))، اما واحد تعبر عن قيمة الصواب (تعطى فرق جهد مقدارة (+5 V)) .

ويمكن تمثيل هذه البوابات باستخدام جداول خاصة تسمى جداول الصواب (Truth Tables)، وبحسب عدد المتغيرات يكون عدد الاحتمالات الناتجة حسب العلاقة (2^n)، حيث n عدد المدخلات .

مثال : بوابة منطقية لها مدخلين (A,B) تكون عدد الاحتمالات لهذه المتغيرات بحسب القانون السابق $2^2 = 4$.

ويمكن تقسيم البوابات المنطقية الى:

١ **البوابات المنطقية الأساسية** : وتشمل بوابة و (AND)، أو (OR)، لا (NOT)، بوابة مصد (Buffer) .

٢ **البوابات المنطقية المشتقة** : وتشمل (لا/ و NAND)، (لا/ أو NOR)، (استثناء/ أو XOR)، (استثناء/ لا/ أو XNOR) .

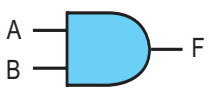
أ البوابات المنطقية الأساسية:

١ بوابة (و-AND):

بوابة (و) لها مدخلين او اكثر ومخرج واحد وتمثل هذه البوابة عملية الضرب بحيث أنها تعطي قيمة واحد عندما يكون جميع المدخلات مساوية للواحد ويمكن تمثيلها بالعلاقة التالية :

$$F = A \cdot B$$

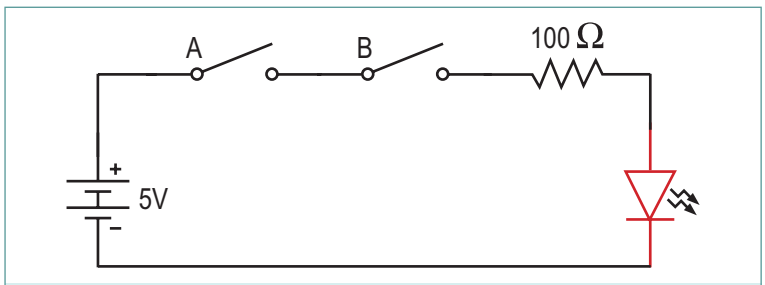
ويرمز لها :



ويمكن تمثيلها بجدول الصواب التالي :

المخرجات	المدخلات	
F = A . B	B	A
0	0	0
0	1	0
0	0	1
1	1	1

يمكن تمثيل مبدأ عمل البوابة باستخدام المفاتيح كما في الشكل التالي :



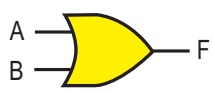
الشكل (١)

٢ بوابة (أو-OR):

بوابة (أو) لها مدخلين او اكثر ومخرج واحد وتستخدم هذه البوابة رمز عملية الجمع في اقترانها . ويمكن تمثيلها بالعلاقة التالية :

$$F = A + B$$

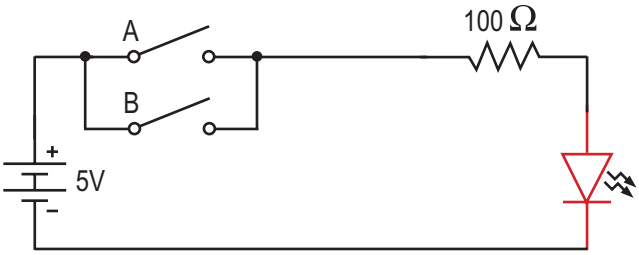
ويرمز لها :



ويمكن تمثيلها بجدول الصواب التالي :

المخرجات	المدخلات	
F = A + B	B	A
0	0	0
1	1	0
1	0	1
1	1	1

يمكن تمثيل مبدأ عمل البوابة باستخدام المفاتيح كما في الشكل التالي :



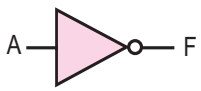
الشكل (٢)

٣ بوابة (لا-NOT):

تختلف هذه البوابة عن الاثنتين السابقتين بأنها تحتاج فقط الى مدخل واحد لتعطي النتيجه، وتقوم هذه البوابة بعكس النتيجه لذا تسمى بالعاكس او المتممه بحيث تكون النتيجه ١ عندما يكون المدخل صفر، ويمكن تمثيلها بالعلاقة التالية :

$$F = \bar{A}$$

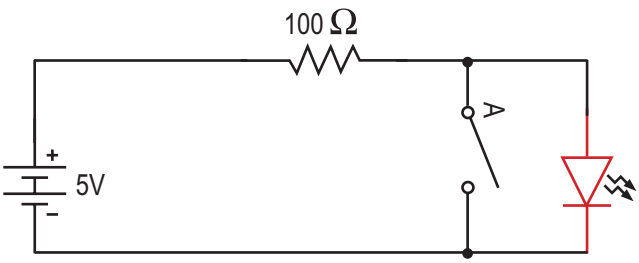
ويرمز لها :



ويمكن تمثيلها بجدول الصواب التالي :

المدخلات	المخرجات
A	$F = \bar{A}$
0	1
1	0

يمكن تمثيل مبدأ عمل البوابة باستخدام المفاتيح كما في الشكل التالي :



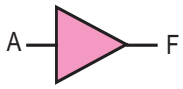
الشكل (٣)

٤ بوابة (مصد-BUFFER):

هذه البوابة لها مدخل واحد ويمكن تمثيلها بالعلاقة التالية :

$$F = A$$

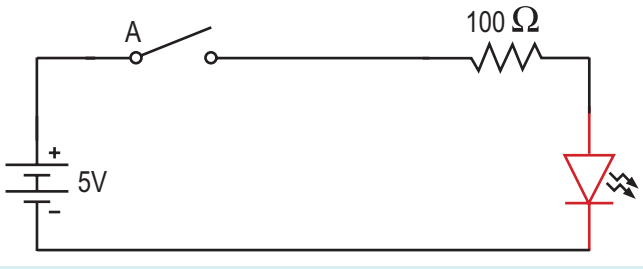
ويرمز لها :



وتستخدم هذه البوابة في إعادة تقوية الإشارة . ويعبر عنها بالجدول التالي :

المخرجات	المدخلات
F= A	A
0	0
1	1

يمكن تمثيل مبدأ عمل البوابة باستخدام المفاتيح كما في الشكل التالي :



الشكل (٢)

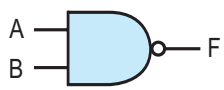
ب البوابات المنطقية المشتقه:

١ بوابة (لا/و-NAND):

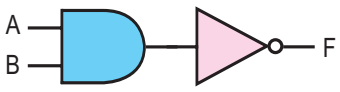
تتكون هذه البوابة من بوابة (و) يتبعها بوابة (لا) وتكون النتيجه مساوية للصفر اذا كان المدخلات مساوية للصفر وتمثل بالعلاقة التالية :

$$F = \overline{A.B}$$

ويرمز لها :



والتي يمكن تمثيلها بالشكل التالي :



وتمثل بالجدول التالي :

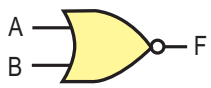
المدخلات		المخرجات
A	B	F
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

٢ بوابة (لا/أو- NOR):

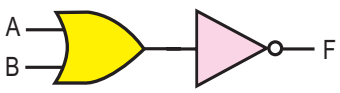
تتكون هذه البوابة من بوابة (أو) يتبعها بوابة (لا) وتكون النتيجه مساوية للواحد اذا كان جميع المدخلات مساوية للصفر وتمثل بالعلاقة التالية :

$$F = \bar{A} + \bar{B}$$

ويرمز لها :



والتي يمكن تمثيلها بالشكل التالي :



وتمثل بالجدول التالي :

المدخلات		المخرجات
A	B	F
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

* أينما وردت الدائرة في مقدمة البوابة ترمز الى عملية النفي .

٣ بوابة (استثناء/أو-XOR):

تكون نتيجة هذه البوابة مساوية للواحد اذا كانت مدخلاتها مختلفة وتمثل بالعلاقة التالية :

$$F = \bar{A}B + A\bar{B}$$
$$= A \oplus B$$

ويرمز لها :

وتمثل بالجدول التالي :

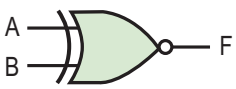
المدخلات		المخرجات
A	B	F
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

٤ بوابة (استثناء/لا/ أو-XNOR):

هي عبارة عن بوابة (استثناء/ أو) متبوعه ببوابة (لا)، تكون نتيجة هذه البوابة مساوية للواحد اذا كانت مدخلاتها متشابه، وتمثل بالعلاقة :

$$F = A.B + \bar{A}.\bar{B}$$
$$= \overline{A \oplus B}$$
$$= A \odot B$$

ويرمز لها :



وتمثل بالجدول التالي :

المدخلات		المخرجات
A	B	F
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

الخلاصة :

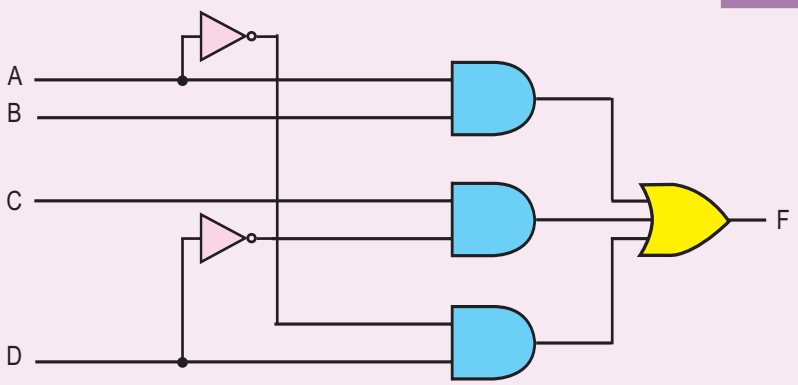
INPUT		AND	OR	NOT	NAND	NOR	XOR	XNOR
A	B	A . B	A + B	$\bar{A}$	$\overline{AB}$	$\bar{A} + \bar{B}$	$A \oplus B$	$A \otimes B$
0	0	0	0	1	1	1	0	1
0	1	0	1	1	1	0	1	0
1	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0	0	0	1

مـــثـــال ١

ارسم الاقتران التالي باستخدام البوابات المنطقية؟

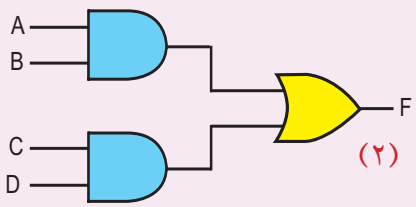
$F = AB + C\bar{D} + \bar{A}D$

الحـــــــل

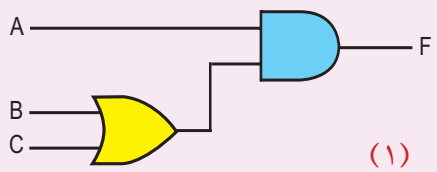


مـــثـــال ٢

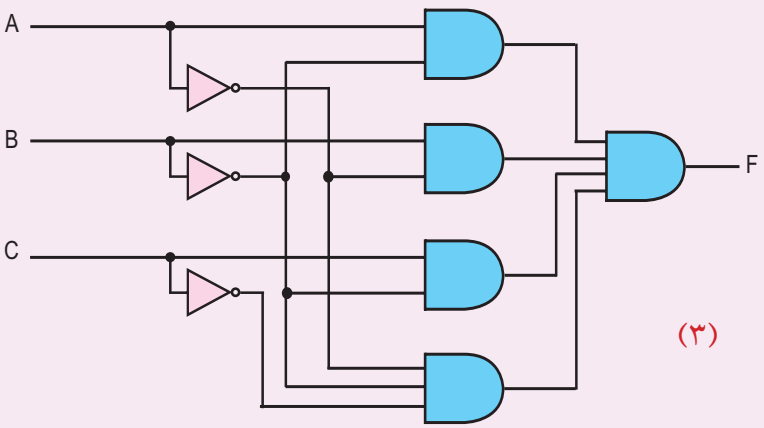
اكتب الاقتران المناسب للدوائر التالية؟



(٢)



(١)



(٣)

الحـــــــل

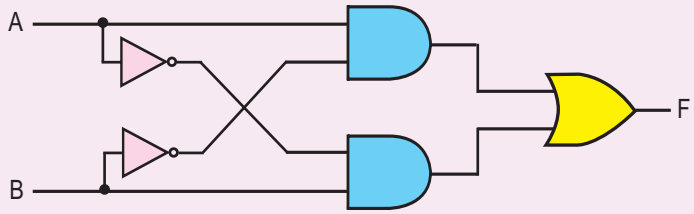
شكل (١) : $F = A.(B + C)$

شكل (٢) : $F = AB + CD$

شكل (٣) : $F = A\bar{B} + B + CB' + A'B'C'$

مـــثـــال ٣

في الرسمة المقابلة اذا كانت A=1, B= 0



١ ماهي قيمة F؟

٢ اكتب الاقتران المناسب لهذه الدائرة؟

٣ ماهو جدول الصواب لهذه الدائرة؟

الحـــــــل

١ F = 1

٢ لمعرفة قيمة الاقتران نتتبع الدائرة ابتداء من المخرجات الى ا ن نصل الى المدخلات مرورا بالنقاط الوسطية

$$Y_1 = Y_2 \cdot Y_3$$

$$Y_2 = Y_5 \cdot A$$

$$Y_3 = Y_4 \cdot B$$

$$Y_4 = \bar{A}$$

$$Y_5 = \bar{B}$$

وبالتعويض نحصل على الاقتران

$$F = \bar{A}B + A\bar{B} = A \oplus B$$

٣ جدول الصواب الخاص بهذه الدائرة :

مداخل		نقاط فحص (وسطيه)				مخارج
A	B	$\bar{A}$	B'	$\bar{A}B$	$A\bar{B}$	F
0	0	1	1	0	0	0
0	1	1	0	1	0	1
1	0	0	1	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0

مـــثـــال ٤

اكتب اقتران يمثل جدول الصواب التالي؟

A	B	C	F
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	0

الحـــــــل

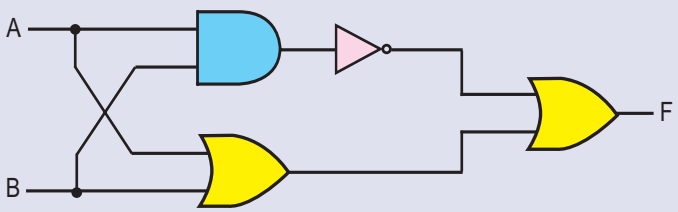
لاستنتاج الاقتران من جدول الصواب نقوم بتحديد المخرجات التي ناتجها مساويا للواحد (المظلله)

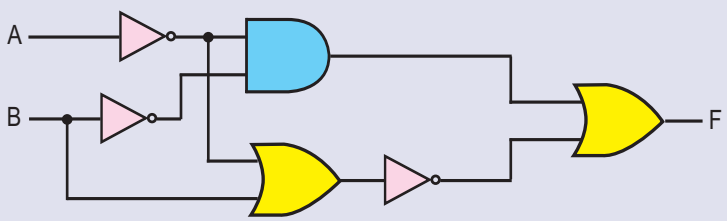
ومن ثم نبدا باستنتاج المدخلات حيث يتم التعبير A =1, A' = 0 وهكذا :

$$F = \overline{ABC} + \bar{A}\,B\,C + A\bar{B}\,C$$

تـدريـبـات

١ في الداوئر التالية ، أوجد الاقتران المناسب واكتب جدول الصواب المناسب؟





٢ ارسم الدوائر المناسبة للاقترانات التالية :

أ $F = \overline{AB} + \bar{A}\,B + AB$

ب $F = AC + B\,D$

٢ الجبر البولي وقوانينه

تساعد قوانين الجبر البولي المصمم للدوائر المنطقية كي يختصر الاقترانات الى أبسط صورة ممكنة، وبالتالي تقليل عدد الرقاقات المطلوبة لتنفيذ الاقتران الى الحد الأدنى، كما تساعد عملية الاستبدال للبوابات ببوابات مكافئة على تقليل التنوع للرقاقات المستخدمة، فيما يلي سرد لقوانين الجبر البولي :

١ قانون التبديل:

- $A + B = B + A$
- $A . B = B . A$

٢ قانون التجميع:

- $(A + B) + C = A + (B + C)$
- $(A . B) . C = A . (B . C)$

٣ قانون التوزيع:

- $A . (B + C) = A . B + A . C$
- $A + (B . C) = (A + B) . (A + C)$

٤ قانون التماثل:

- $A + A = A$
- $A . A = A$

٥ قانون النفي المزدوج:

- $\bar{\bar{A}} = A$

٦ قانون الانفراد للمتغير المنطقي:

- اذا كانت $A \neq 0$ فإن $A = 1$
- اذا كانت $A \neq 1$ فإن $A = 0$

٧ قانون الاختزال:

- $A + A.B = A$
- $A.(A + B) = A$

٨ قانون عمليات الواحد:

- $1 + A = 1$
- $1.A = A$

٩ قانون عمليات الصفر:

- $0 + A = A$
- $0.A = 0$

١٠ قانون التكملة:

- $\bar{A} + A = 1$
- $\bar{A}.A = 0$

١١ قانوني دي مورجان:

- $\overline{(A+B)} = \bar{A}.\bar{B}$
- $\overline{(A.B)} = \bar{A} + \bar{B}$

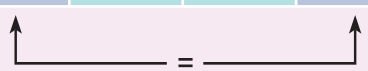
ويمكن اثبات صحة هذه القوانين بعدة طرق منها استخدام جداول الصواب :

مـــثـــال ٥

اثبت ان : $A.(B + C) = A.B + A.C$ باستخدام جداول الصواب؟

الحـــــــل

A	B	C	B +C	A.(B+C)	A.B	A.C	A.B+A.C
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	1	0	1	1
1	1	0	1	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	1	1



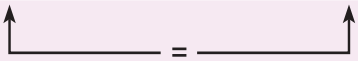
أي أن : $A.(B+C) = A.B + A.C$

مـــثـــال ٦

باستخدام جداول الصواب اثبت ان : $(\overline{A+B}) = (\overline{A}.\overline{B})$

الحـــــــل

A	B	A + B	$\overline{A+B}$	$\overline{A}$	$\overline{B}$	$\overline{A}.\overline{B}$
0	0	0	1	1	1	1
0	1	1	0	1	0	0
1	0	1	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0



أي أن : $\overline{A+B} = \overline{A}.\overline{B}$

مـــثـــال ٧

باستخدام قوانين الجبر البولي اختزل الاقتران التالي :

$F = \overline{A}.B.C + A.C$

الحـــــــل

$F = \overline{A}.B.C + A.C$

$= C.(\overline{A}.B + A)$

$= C.(A + B + (A + \overline{A}))$

$= C.(A + B) . 1$

$= C.(A + B)$

$F = \overline{A}.B.C + A.C = C.(A+B)$

مـــثـــال ٨

باستخدام قوانين الجبر البولي اختزل الاقتران التالي :

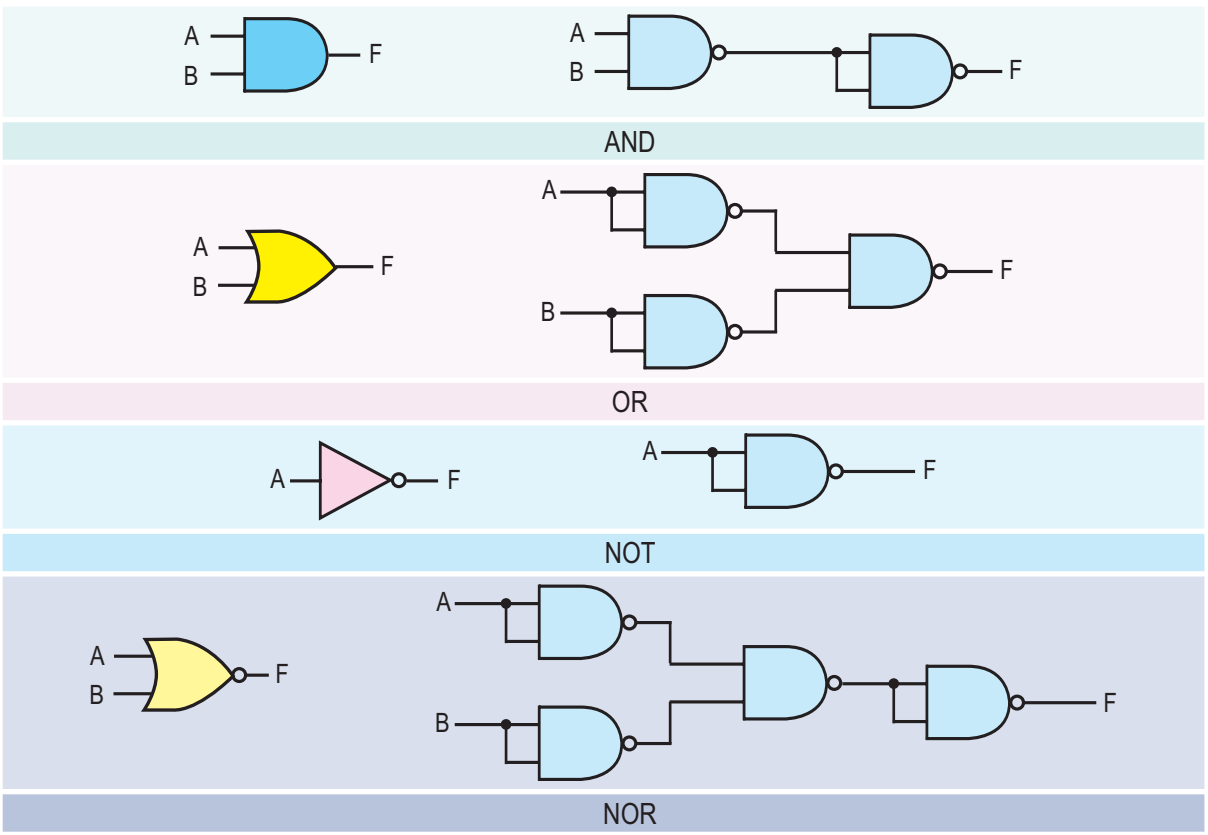
$F = \bar{A}.B.(\bar{D} + \bar{C}.D) + B.(A + \bar{A}.C.D)$

الحـــــــل

$$F = \bar{A}.B.(\bar{D} + \bar{C}.D) + B.(A + \bar{A}.C.D)$$
$$= \bar{A}.B.\bar{D} + \bar{A}.B.\bar{C}.D + A.B + \bar{A}.B.C.D$$
$$= \bar{A}.B.\bar{D} + A.B + \bar{A}.B.D\,(C + \bar{C})$$
$$= \bar{A}.B.\bar{D} + A.B + \bar{A}.B.D$$
$$= \bar{A}.B.(\bar{D} + D) + A.B$$
$$= \bar{A}.B + A.B$$
$$= B.(\bar{A} + A) = B \cdot 1$$
$$F = \bar{A}.B.(\bar{D} + \bar{C}.D) + B.(A + \bar{A}.C.D) = B$$

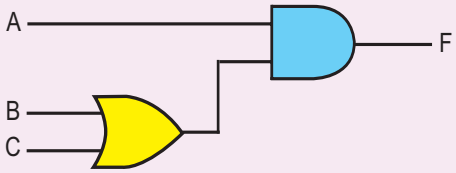
٣ تمثيل البوابات المنطقية الأساسية AND, OR, NOT استخدام بوابة NAND:

يمكن استبدال البوابات الأساسية باستخدام بوابة NAND فقط كما يلي :

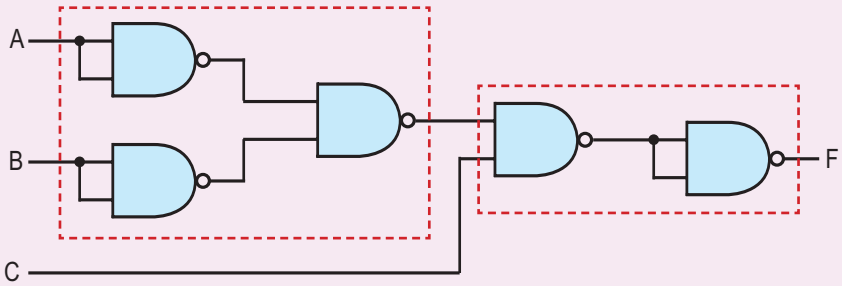


مـــثـــال ٩

أعد بناء الدارة التالية باستخدام بوابات لا/ و NAND فقط .



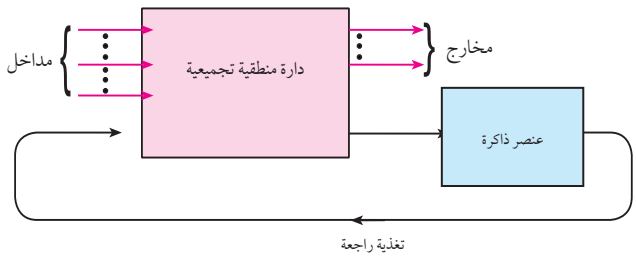
الحـــــــل



الـــدرس ٣

الدارات المنطقية التتابعية

الدارة المنطقية التتابعية Sequential Logic Circuit ، عبارة عن دارة مبنية باستخدام البوابات المنطقية (دارة منطقية تجميعية) بالإضافة إلى عنصر أو عناصر ذاكرة ، قيم مخارجها في أي لحظة تحسب من خلال مجموعة قيم المداخل في تلك اللحظة و من خلال القيم السابقة لهذه المداخل . لا يمكن وصف عمل هذا النوع من الدارات باستخدام دالة أو مجموعة دالات الاقتران ، ولكن من خلال جدول يتتبع زمنيا التغيرات على المخارج اعتمادا على كل من قيم المداخل الحالية و الحالة السابقة لهذه المداخل .



الشكل (١) : دارة منطقية تتابعية

النطاطات Flip Flops:

عندما نتحدث عن وجود عنصر ذاكرة في الدارة المنطقية التتابعية ، فاننا نتحدث عن النطاط الذي يمثل هذا العنصر . يمكن تعريف النطاط بأنه عنصر ذاكرة قادر على تخزين رقم ثنائي واحد (أي يتذكر الحالة السابقة لمداخله) . يتم بناء النطاطات باستخدام البوابات المنطقية مع وجود تغذية راجعة . فيما يلي ، سوف ندرس عدة أشكال من النطاطات بهدف التعرف على رموزها ، مبدأ عملها و استخداماتها .

الأشكال المختلفة للنطاطات:

يوجد اربعه اشكال مختلفة للنطاطات هي :

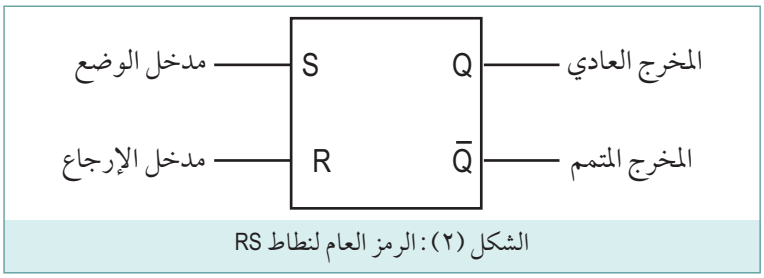
١. نطاط RS
٢. نطاط JK
٣. نطاط D
٤. نطاط T

النطاط RS يعتبر النطاط الأساسي في بناء النطاط JK بينما يبنى النطاط D من نطاط RS أو نطاط JK ، أما النطاط

T فيبنى من نطاط JK وهكذا نرى أن جميع النطاطات مبنية من خلال نطاط أساسي واحد هو نطاط RS .

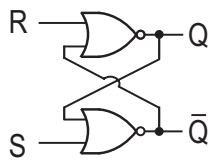
١ نطاط RS:

أُخذ اسم هذا النطاط من الأحرف الأولى لكلمتي Set و Reset وتعنيان بالترتيب «الوضع» -أي جعل قيمة المخرج Q مساوية للواحد- و «الإرجاع» -أي جعل قيمة المخرج Q مساوية للصفر-، ويرمز لهذا النطاط بالرمز التالي .



الشكل (٢) : الرمز العام لنطاط RS

يمكن بناء النطاط RS باستخدام بوابتي لا/ أو NOR بوجود تغذية راجعة، كما في الشكل (٣) .



الشكل (٣) : نطاط RS باستخدام بوابتي لا/ أو NOR

يمكن تحليل عمل النطاط RS من خلال جدول الصواب التالي الى أربع حالات :

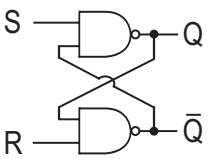
S	R	Qn	Q_{n+1}	ملاحظات
0	0	1	1	حالة التذكر
0	0	0	0	
0	1	1	0	حالة الارجاع
0	1	0	0	
1	0	1	1	حالة الوضع
1	0	0	1	
1	1	1	غير معرفة	حالة المنع
1	1	0	غير معرفة	

* الرمز Qn يعني الحالة السابقة للمخرج Q
* الرمز Q_{n+1} يعني الحالة الجديدة للمخرج Q

يمكن اختصار جدول الصواب أعلاه ألى الجدول التالي :

S	R	Q_{n+1}
0	0	Qn
0	1	0
1	0	1
1	1	غير معرفة

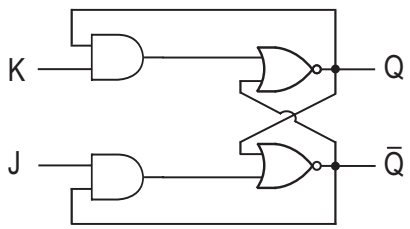
كما يمكن بناء النطاط RS باستخدام بوابتي لا/ و NAND بوجود تغذية راجعة ، كما في الشكل (٤) .



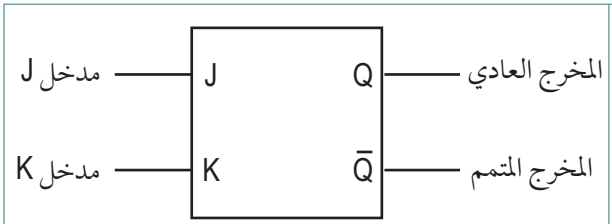
الشكل (٤) : نطاط RS باستخدام بوابتي لا/ و NAND

٢ نطاط JK:

للتخلص من مشكلة الحاله غير المعرفة في نطاط RS تم اضافة مجموعة من البوابات المنطقية على نطاط S-R المبني باستخدام بوابات لا/ أو NOR كما بالشكل (٥ أ) لنحصل على نطاط جديد سمي نطاط JK . الشكل (٥ب) يوضح رمز هذا النطاط .



الشكل (٥/ أ) : بناء نطاط JK باستخدام نطاط RS



الشكل (٥/ ب) : الرمز العام لنطاط JK

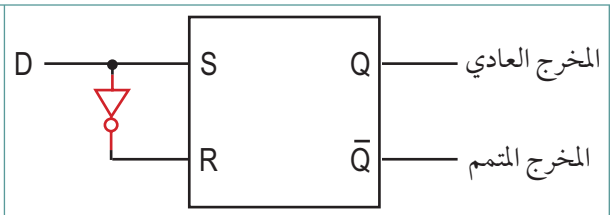
جدول الصواب التالي يوضح عمل النطاط JK :

J	K	Q_{n+1}
0	0	Qn
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q_N}$

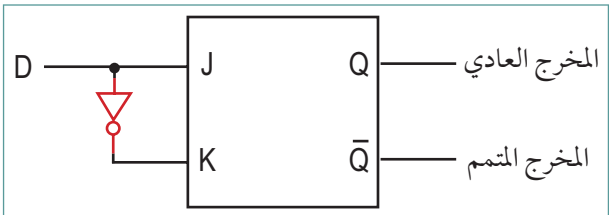
لاحظ أن مشكلة الحالة غير المعرفة تم حلها .

٣ نطاط D:

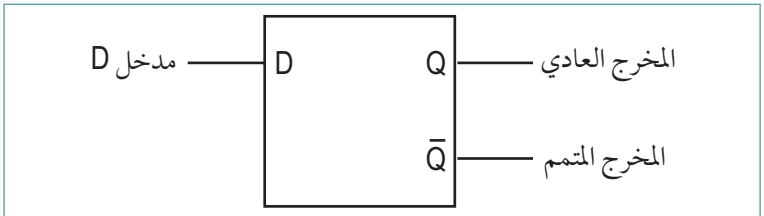
في حالة وضع بوابة «لا» Not بين مدخلي نطاط RS أو نطاط JK كما في الشكل(٦)، نحصل على نطاط له القدرة على تخزين رقم ثنائي أي بيانات ولذا أطلق عليه اسم D الحرف الأول لكلمة Data وتعني البيانات . الشكل (٧) يمثل الرمز العام لنطاط D .



الشكل (٦/ أ) : بناء نطاط D باستخدام نطاط RS



الشكل (٦/ ب) : بناء نطاط D باستخدام نطاط JK



الشكل (٧) : الرمز العام لنطاط D

يمكن استنتاج جدول الصواب للنطاط D من جدول الصواب للنطاط RS او JK كما يلي :

S	R	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	غير معرفة

جدول الصواب للنطاط RS

J	K	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q_n}$

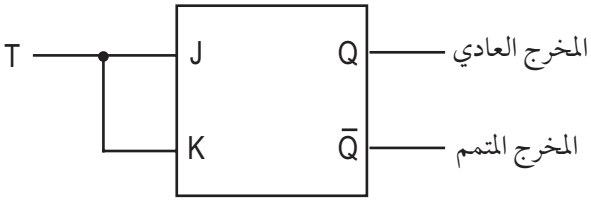
جدول الصواب للنطاط JK

D	Q_{n+1}
0	0
1	1

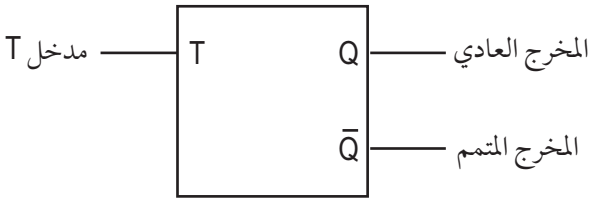
جدول الصواب للنطاط D

4 نطاط T:

في حالة توصيل كلا مدخلي النطاط JK معا، فإننا نحصل على مدخل واحد كما في الشكل (٨). اطلق الاسم T على هذا المدخل حيث أن الحرفT يمثل الحرف الاول لكلمة Toggle وتعني القلاب. لان قيمة Q تتقلب ما بين (٠) و (١) مع التقلب في قيمة المدخل T كما هو موضح في جدول الصواب للنطاط T المشتق من جدول الصواب للنطاط JK. الشكل (٩) يمثل الرمز العام لنطاط T.



الشكل (٨): بناء نطاط T باستخدام نطاط JK



الشكل (٩): الرمز العام لنطاط T

J	K	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q_n}$

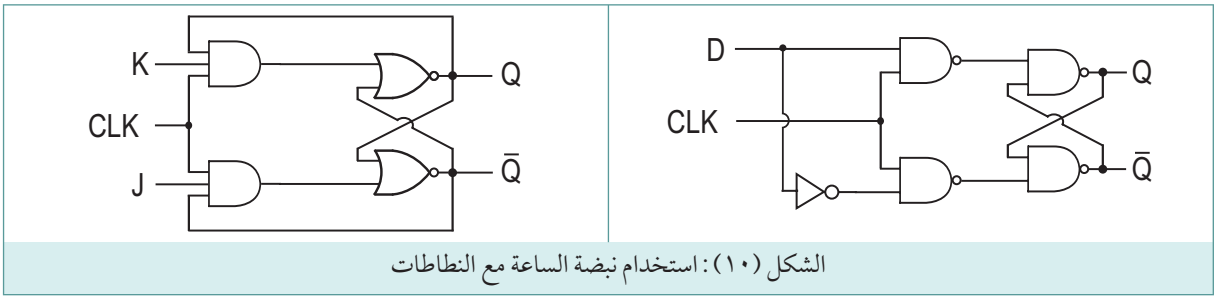
جدول الصواب للنطاط JK

T	Q_{n+1}
0	Q_n
1	$\overline{Q_n}$

جدول الصواب للنطاط T

٥ استخدام نبضة الساعه مع النطاطات Clocked Flip-Flops:

أحيانا نحتاج الى وجود تزامن في عمل النطاط مع الأجزاء الأخرى من الدائرة الالكترونية. أي اننا لا نرغب في حدوث تغيير على مخارج النطاط بعد حدوث تغيير على مدخله/ مداخله مباشرة ولكن فقط في اللحظة التي نرغب في حدوث ذلك فيها. لتحقيق ذلك يتم اضافة مدخل اخر للنطاط ، يطلق عليه اسم مدخل «نبضة الساعه» ويرمز له بالرمز CP أو CLK كما هو موضح بالشكل(١٠).



الشكل (١٠) : استخدام نبضة الساعة مع النطاطات

من خلال هذا المدخل يتم اعطاء نبضة لتنقل التغيير الذي حدث على مدخل/ مداخل النطاط على مخارجه . نبضة الساعه تفعل التغيير للنطاط عندما يحدث تغير في قيمة اشارتها (النبضة الداخلة) من قيمة عظمى الى قيمة دنيا أو العكس كما في الشكل(١١) .

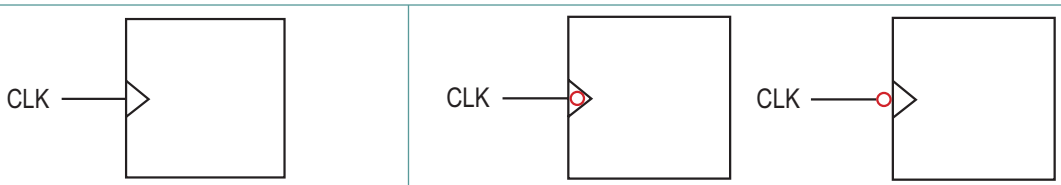
الشكل (١٠/ أ) : قدح الحافة السالبة

الشكل (١٠/ ب) : قدح الحافة الموجبة

١ **تقدح الحافة السالبة** : في هذا النوع من القدح يستجيب النطاط عند حدوث تغيير من القيمة العظمى الى القيمة الدنيا لنبضة الساعة مؤديا لحدوث تغيير على مخارجه .

٢ **تقدح الحافة الموجبة** : في هذا النوع من القدح يستجيب النطاط عند حدوث تغيير من القيمة الدنيا الى القيمة العظمى لنبضة الساعة مؤديا لحدوث تغيير على مخارجه .

الشكل(١٢) يمثل الرموز التي تستخدم مع مدخل النبضة في النطاطات للتمييز بين قدح الحافة السالبة وقدح الحافة الموجبة :

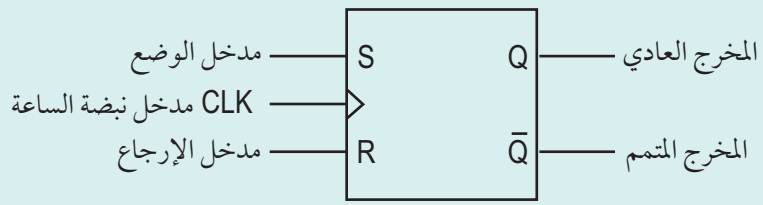
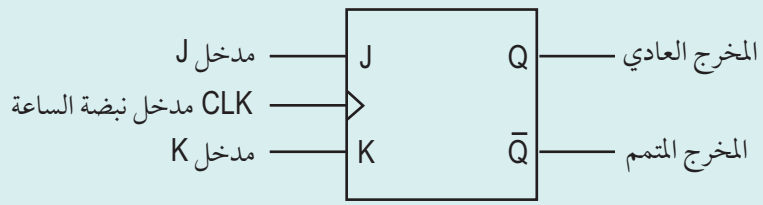
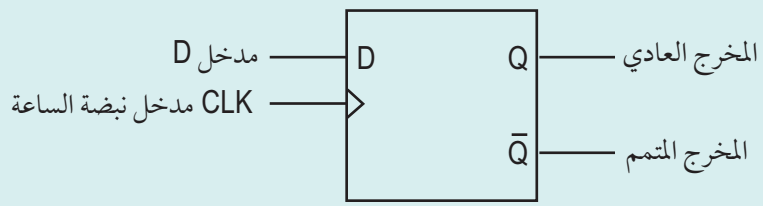
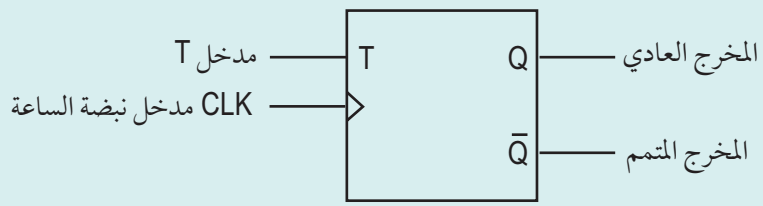


الشكل (١١/ أ) : رمز مدخل قدح الحافة السالبة للنطاط

الشكل (١١/ ب) : رمز مدخل قدح الحافة الموجبة للنطاط

٦ النطاطات مع مدخل نبضةالساعه:

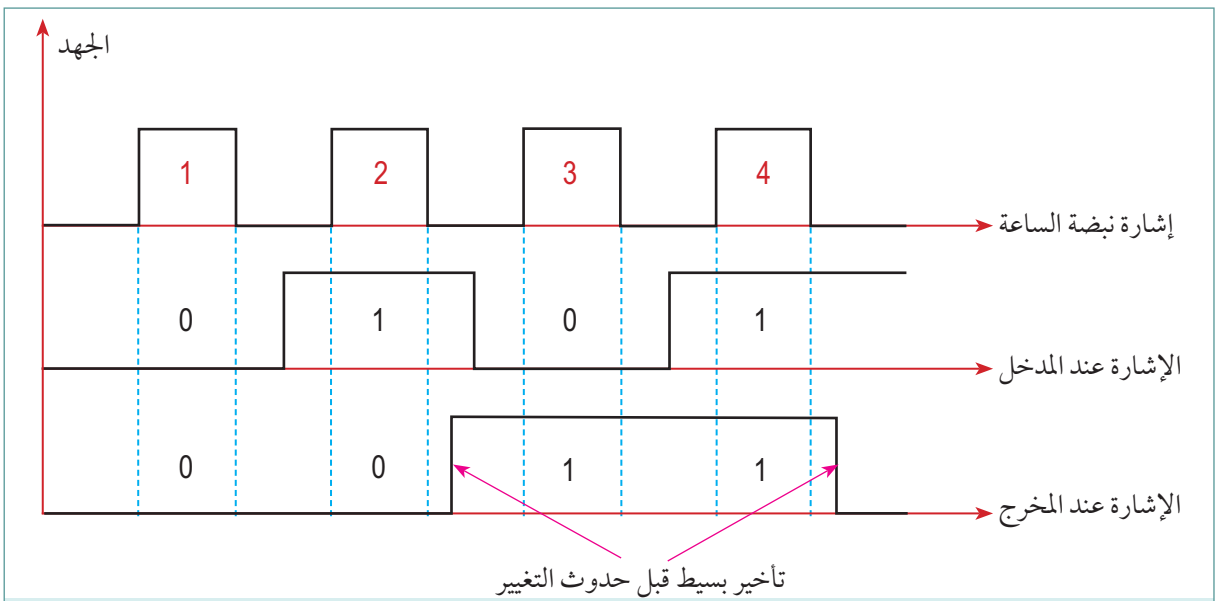
للاستفادة من النطاطات في الدوائر الالكترونية وكما سبق ذكره، فاننا نحتاج الى وجود تزامن في عمل النطاط مع الأجزاء الأخرى من الدائرة الالكترونية و يتم ذلك من خلال توفير مدخل نبضة ساعة للنطاط. الجدول التالي يحتوي على رموز النطاطات مع مدخل نبضة الساعة.

النطاط	الرمز العام
RS	
JK	
D	
T	

لفهم كيفية عمل النطاط ذو مدخل نبضة الساعة سنتناول نطاط T . كمثال، لاحظ مدخل نبضة الساعة والتي تعني أن النطاط يعمل مع نبضة قدح الحافة السالبة.

والآن لنتتبع كيفية عمل هذا النطاط، انظر الشكل (١٣) والذي يسمى المخطط الزمني لعمل النطاط والموضح الية عمله بالجدول التالي:

الاشارة عند المخرج Q	الاشارة عند المدخل T	التغير على نبضة الساعة	رقم نبضة الساعة
٠	٠	↑	١
٠	٠	↓	١
٠	١	↑	٢
١	١	↓	٢
١	٠	↑	٣
١	٠	↓	٣
١	١	↑	٤
٠	١	↓	٤



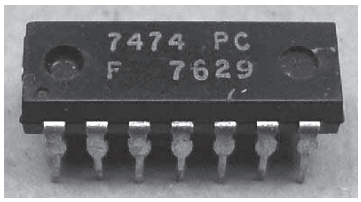
الشكل (١٣) : المخطط الزمني لعمل النطاط

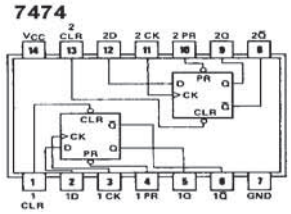
نلاحظ أن التغير على حالة مخرج النطاط تحدث فقط عند توفر الشرطان التاليان معا :

- قيمة الاشارة عند المدخل (T) = 1.
- حدوث تغير من (١) الى (٠) على قيمة نبضة الساعة .

٧ النطاطات مع مدخلي الاعداد PRESET والتصفير CLEAR:

النطاط الحقيقي المستخدم في بناء الدوائر المنطقية يحتوي على مدخلين اضافيين هما مدخل الاعداد ومدخل التصفير ، يستخدم مدخل الاعداد لجعل قيمة المخرج Q للنطاط مساوية للواحد ، بينما يستخدم مدخل التصفير لجعل قيمة المخرج Q للنطاط مساوية للصفر . الشكل (١٤) يوضح رمزا لنطاط D مع هذه المداخل .





الشكل (١٤) : الرقاقة ٧٤٧٤ التي تحوي نطاطين من نوع D مع مدخلي إعداد وتصفير

نلاحظ أن كلا المدخلين احتويا على رمز الدائرة والتي تعني :

١ المدخل يفعل عندما تكون قيمته مساوية صفرا .

أي CL=0 تجعل Q=0 و PR=0 تجعل Q=1 .

٢ عند جعل قيمة المدخل مساوية للواحد أو ترك المدخل دون ربط في الدائرة ، فانه لا يحدث أي تغيير على قيمة Q بسبب هذا المدخل .

٨ تطبيقات النطاطات:

تستخدم النطاطات في العديد من التطبيقات كلبنة بناء كما هو الحال في العدادات والمسجلات باعتبارها عنصر الذاكرة للدارة المنطقية التتابعية .

- **مسجلات الازاحة** : يعتبر المسجل من التطبيقات المهمة لاستخدام النطاطات حيث يبنى باستخدام مجموعه من نطاطات D او نطاطات JK (في الحالة المكافئة لعمل نطاط D) بهدف حفظ البيانات الرقمية .
- **تصنيف المسجلات** : تتميز جميع المسجلات بأنها تحتاج إلى نبضة ساعة تعمل على تسجيل القيمة الموجودة على مدخل النطاط D الى مخرجه Q . يمكن تصور هذه العملية بانها بمثابة انزياح للرقم الثنائي من المدخل إلى المخرج . وبناء على ذلك أطلقت تسمية مسجلات الازاحه على هذه المسجلات .

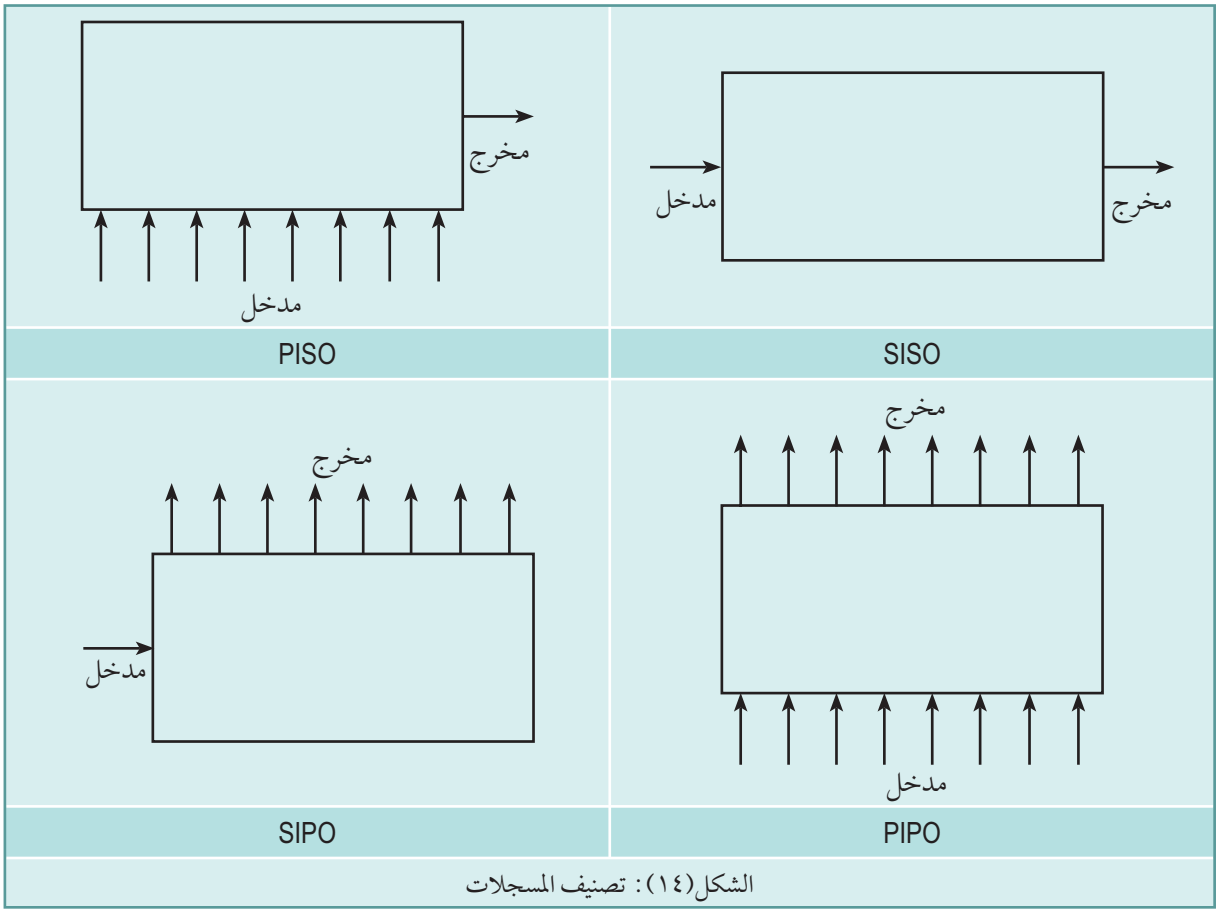
اعتمادا على طريقة دخول البيانات الى مسجل الازاحه وطريقة خروجها تم تصنيف المسجلات الى أربعه انواع هي :

١ مسجل ادخال متوالي / اخراج متوالي SISO .

٢ مسجل ادخال متوالي/ اخراج متوازي SIPO .

٣ مسجل ادخال متوازي/ اخراج متوالي PISO .

٤ مسجل ادخال متوازي/ اخراج متوازي PIPO .

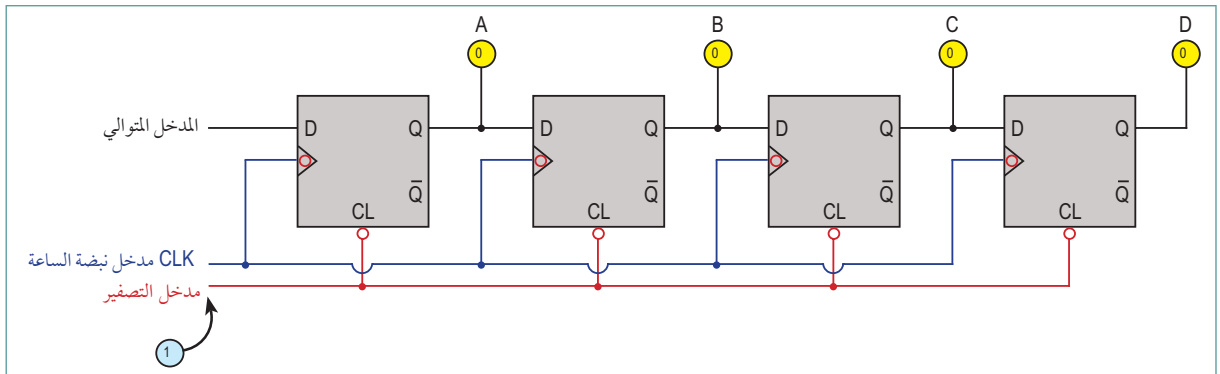


الشكل(١٤) : تصنيف المسجلات

مسجل الازاحه ذو الادخال المتوازي/ الاخراج المتوازي SIPO:

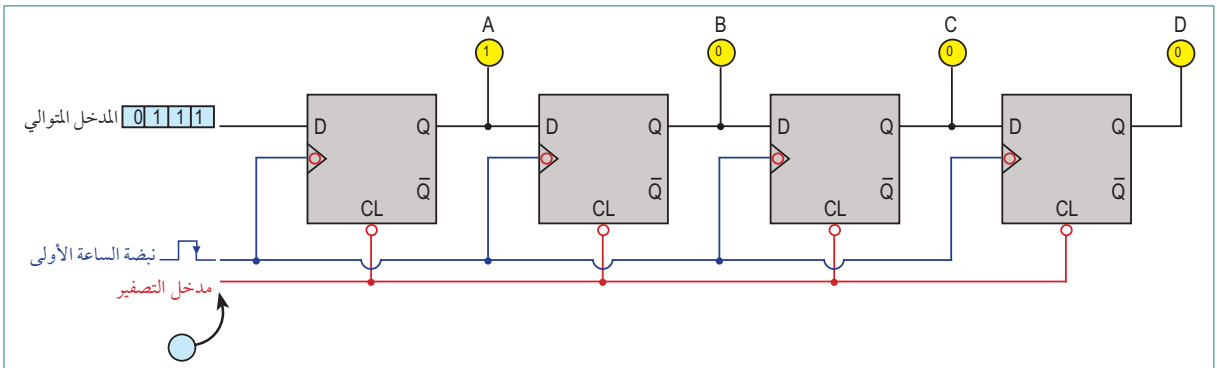
لنتعرف على مبدأ عمل المسجلات بشكل عام، سوف نتناول في دراستنا هذه مثال لمسجل ازاحه ذو ادخال متوالي واخراج متوازي يتكون من اربع خانات .

١ لنبدأ بتصفير محتويات المسجل لتصبح «٠٠٠٠»، كما في الشكل ومن خلال اعطاء جهد 5V على مدخل التصفير CL لجميع النطاطات نحصل على قيم لتصبح صفرا .



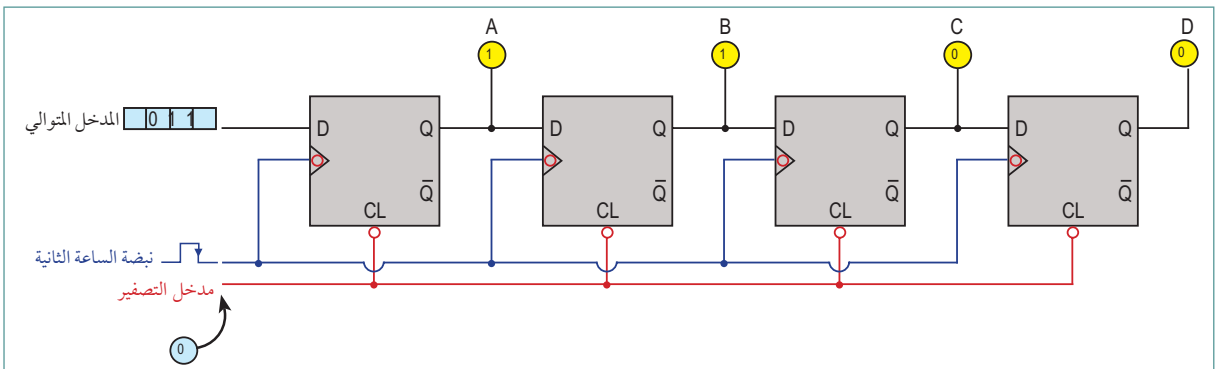
الشكل (١٥/ أ) : تصفير محتويات المسجل

٢ على افتراض اننا نرغب في تسجيل البيانات «١١١٠» داخل المسجل، سوف نبدأ بادخال الرقم الثنائي الاول «البت الاول» (من اليمين) عبر المدخل ثم تطبيق نبضة ساعه .



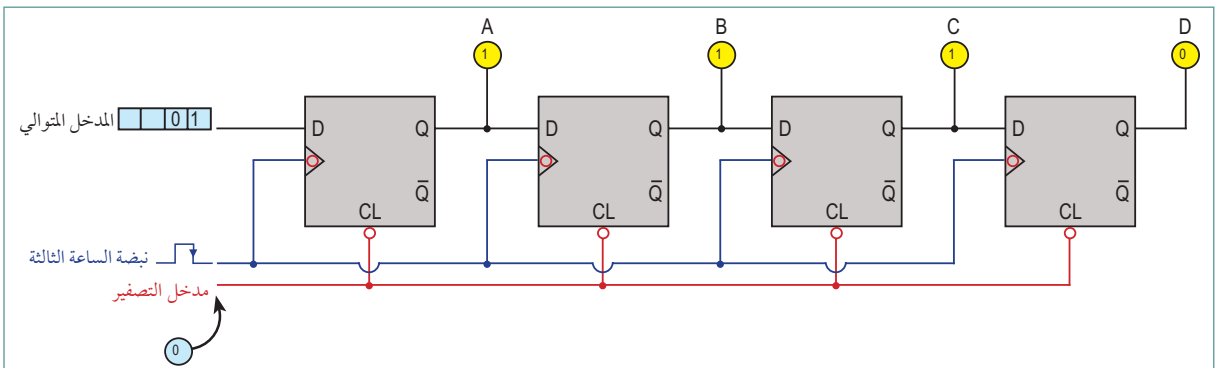
الشكل (١٥/ ب) : إدخال البت الأول

٣ نضع البت الثانية وهي ١ على المدخل ونطبق نبضة الساعه الثانية .



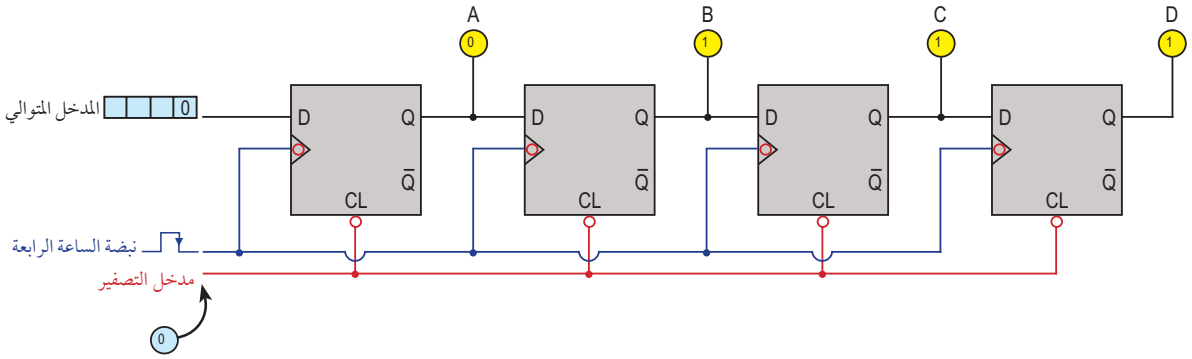
الشكل (١٥/ جـ) : إدخال البت الثاني

٤ نضع البت الثالثة وهي ١ على الدخل ونطبق نبضة الساعة الثالثة .



الشكل (١٥/ د) : إدخال البت الثالث

٥ وأخيرا، لادخال البث الرابعه والاخيره • نضعها على المدخل و نطبق نبضة الساعة الرابعة .



الشكل (١٥/ هـ) : إدخال البت الرابع

نلاحظ ان بعد تطبيق اربع نبضات تمكنا من ادخال العدد «١١١٠» الى المسجل . الان نستطيع قراءة محتوى المسجل بشكل اخراج متوازي .

هذا النوع من المسجلات يستخدم عادة لاحداث توافق في شكل البيانات بين وحدتين او جهازين كما هو الحال مثلا في لوحة المفاتيح التي ترسل بياناتها الى جهاز الكمبيوتر بشكل متوالي ثم يتم استقبالها من خلال مسجل ازاحه ادخال متوالي موجود على اللوحه الام يعمل على اخراجها الى المعالج على شكل بيانات متوازية .

يمكن تمثيل عمل المسجل أعلاه من خلال جدول كما يلي :

رقم النبضة	QD	QC	QB	QA	العدد المراد ادخاله
في البداية	0	0	0	0	011
بعد النبضة الأولى	0	0	0	1	01
بعد النبضة الثانية	0	0	1	1	0
بعد النبضة الثالثة	0	1	1	1	
بعد النبضة الرابعة	1	1	1	0	

استخدامات المسجلات:

تعتبر المسجلات جزء اساسي في تركيب المعالجات المايكروية والعديد من الرقاقات المسخدمة في الاجهزة الالكترونية . كما يمكن ان تتواجد المسجلات بشكل منفرد لتستخدم في العديد من التطبيقات الالكترونية المختلفة . الرقاقة ٧٤٩٥ تمثل مسجل ازاحة من اربع منازل من نوع ادخال متوازي/ اخراج متوازي PIPO والرقاقة ٤٠١٤ تمثل مسجل ازاحه من ثماني منازل من نوع ادخال متوازي/ اخراج متوالي .

العدادات:

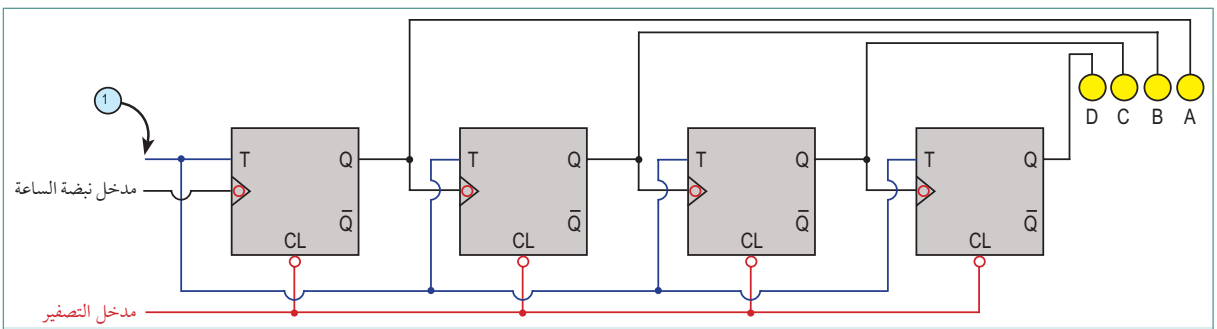
يعتبر العداد من التطبيقات المهمة للنطاطات . حيث يبنى العداد باستخدام نطاطات T او نطاطات JK في الحالة المكافئة لعمل نطاط T بهدف العد من قيمة معينة تصاعديا او تنازليا الى قيمة أخرى .

تصنيف العدادات:

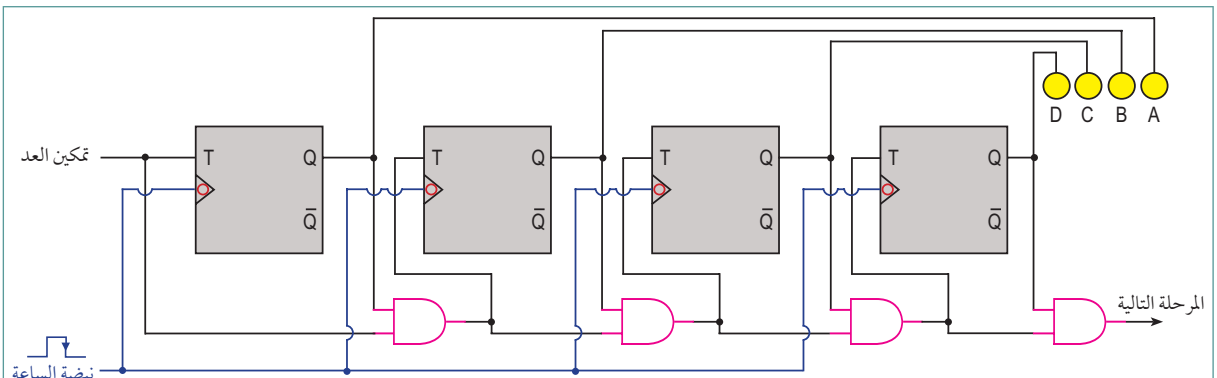
اعتمادا على وجود تزامن او عدم تزامن في وصول نبضة الساعة الى البوابات المكونة للعداد ثم تصنيف العدادات الى :

١ **العدادات الغير متزامنه Asynchronous Counters** : في هذا النوع من العدادات التغير في مخرج النطاط يخدم كمصدر بنبضة للنطاط التالي، ما عدا النطاط الأول يحصل على نبضة ساعه خارجية . من مساويء هذا العداد أنه يؤدى الى حدوث تأخير delay في عملية العد خاصة عندما يكون عدد النطاطات المستخدمة كبيرا .

٢ **العدادات المتزامنة Synchronous Counters** : في هذا النوع تصل نبضة الساعه الى جميع النطاطات المكونة للعداد في نفس اللحظة . التغير في حالة النطاط تعتمد على الحالة الحالية لجميع النطاطات الأخرى . وعليه فان مشكلة التأخير التي تحدث في العدادات الغير متزامنه غير موجودة هنا .



الشكل (١٦/ أ) : عداد ثنائي غير متزامن مكون من أربع خانات



الشكل (١٦/ ب) : عداد ثنائي متزامن مكون من أربع خانات

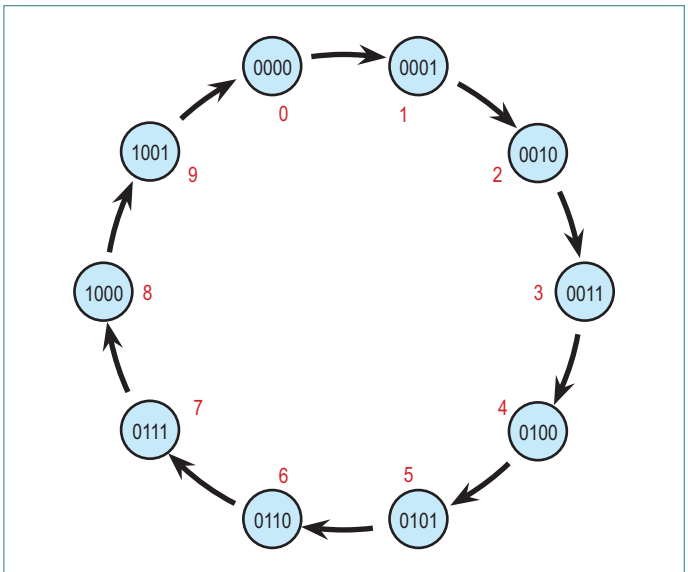
الشكل(١٦) يوضح طريقة بناء عدادان ثنائيان يقومان بالعد من «٠٠٠٠» الى «١١١١» أحدهما عداد متزامن والأخر عداد غير متزامن .

اعتمادا على مبدأ عمل العداد والهدف المطلوب تحقيقه يمكن بناء الاشكال التالية من العدادات :

١ **العداد الثنائي** : يتكون العداد الثنائي من مجموعه من النطاطات، كل نطاط يمثل أحد خانات العدد الثنائي . بعد تصفير العداد . يبدأ العداد بالعد من القيمة الدنيا تصاعديا بزيادة مقدارها «١» في كل مرة يتلقى العداد فيها نبضة ساعة حتى يصل الى القيمة العظمى ليعود تلقائيا الى القيمة الدنيا مكملا نمطه في العد . الشكل (١٦) يمثل عدادان ثنائيان مكونان من اربع خانات .

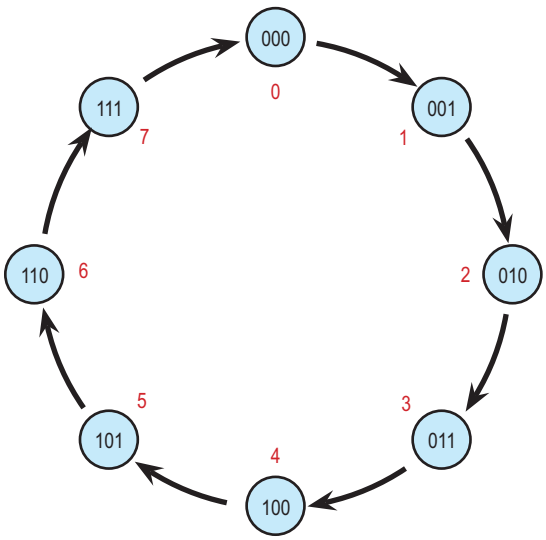
يمكن استخدام العداد الثنائي كعداد تنازلي في حالة استخدام $\bar{Q}$ بدلا من Q لتمثل قيم خانات العدد . أو يمكن استخدام $\bar{Q}$ لاعطاء النبضة للنطاط التالي بدلا من Q للحصول على نفس النتيجة .

٢ **العداد المرمز عشريا BCD Counter** : يعمل هذا العداد تماما مثل العداد الثنائي التصاعدي ولكن عند الوصول الى القيمة «١٠٠١» والتي تكافئ الرقم «٩» في النظام العشري يعود الى ادنى قيمة «٠٠٠٠» وهكذا فان الاعداد التي يعدها هذا العداد تمثل الارقام في النظام العشري من «٠» الى «٩»، الشكل (١٧) يوضح مخطط الحالة لهذا العداد .

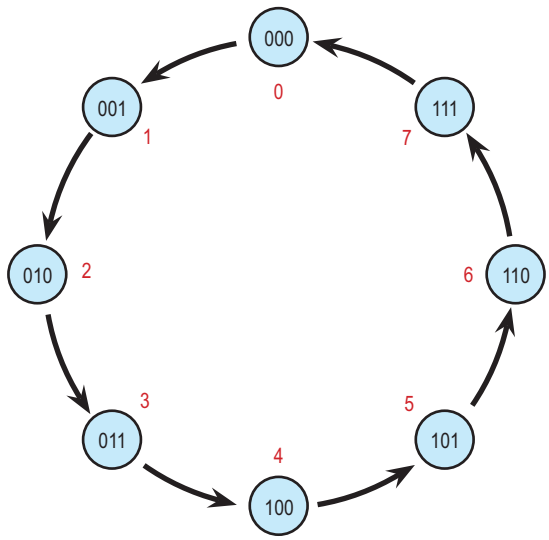


الشكل (١٧) : مخطط الحالة للعداد المركز عشرياً

٣ **العداد التصاعدي/ التنازلي**: هو عداد يمكن التحكم في طريقة العد فيه لتكون تصاعدية او تنازلية باستخدام نفس المخارج مع اضافة بعض البوابات، الشكل (١٨) يوضح مخططات الحالة لهذا النوع من العدادات.



الشكل (١٨/ أ): مخطط الحالة للعداد التصاعدي المكون من ثلاث خانات



الشكل (١٨/ ب): مخطط الحالة للعداد التنازلي المكون من ثلاث خانات

مبدأ عمل العداد الثنائي:

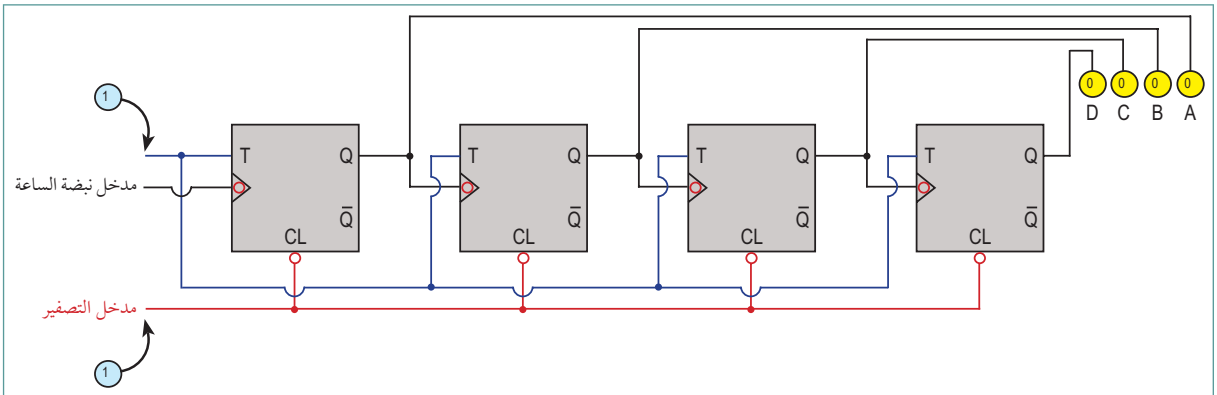
عندما نرغب في بناء عداد ما علينا أن نحدد الامور التالية:

١ تحديد عدد الخانات و التي تمثل عدد النطاطات اللازمة.

٢ تحديد العدد الاول و العدد النهائي للعد.

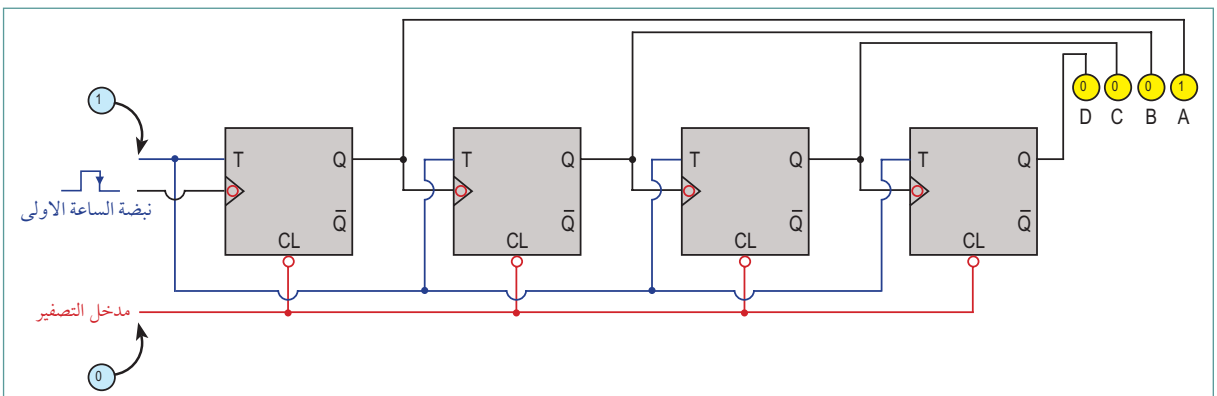
الشكل (١٦) يمثل عداد ثنائيان مكونان من اربع خانات الاول غير متزامن والثاني متزامن. لفهم مبدا عمل العداد سوف نتناول العداد غير المتزامن المكون من اربع نطاطات و لنحدد العدد الاول لبدأ العد «٠٠٠٠» والعدد النهائي «١١١١».

١ عند تصفير العداد نحصل على قيم كما في الشكل (١٩/ أ).



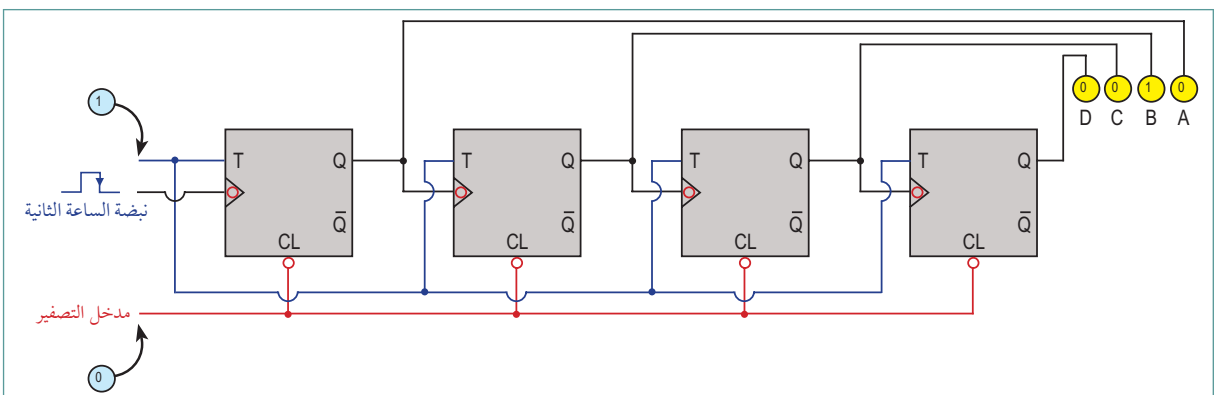
الشكل (١٩/ أ) : تصفير العداد

٢ عندما يتلقى مدخل النبضة A نبضة ساعه ذات الحافة السالبة (التغير من «١» الى «٠») بؤدي الى تغيير قيمة QA من ٠ الى ١ كما في الشكل (١٩/ ب) .



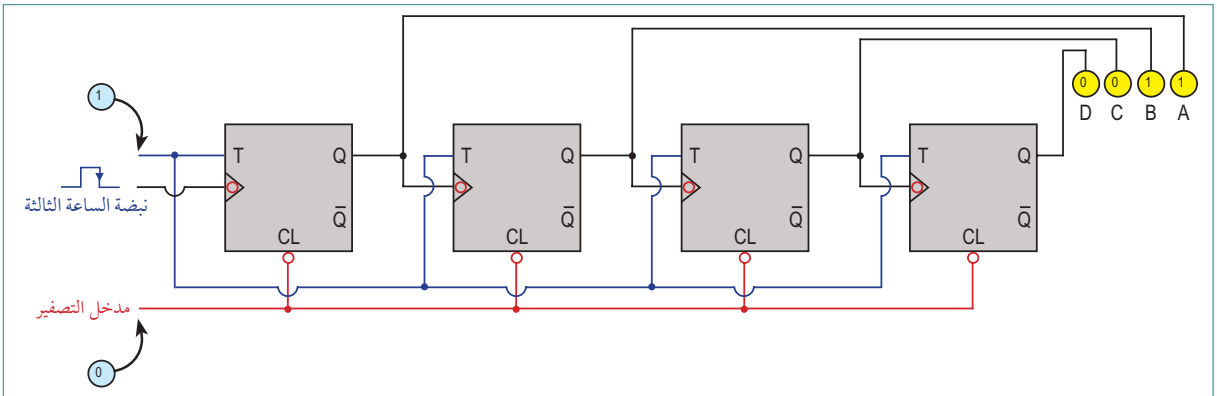
الشكل (١٩/ ب) : بعد نبضة الساعة الأولى

٣ عندما تاتي النبضة الثانية على مدخل نبضة ساعة للنطاط A سوف يؤدي ذلك الى تغيير QA من ١ الى ٠ . هذا التغير ينعكس على مدخل الساعه للنطاط B وهو بمثابة تلقي نبضة ساعه ذات حافة سالبة مؤديا الى تغير قيمة QB من ٠ الى ١ . كما في الشكل (١٩/ جـ) .



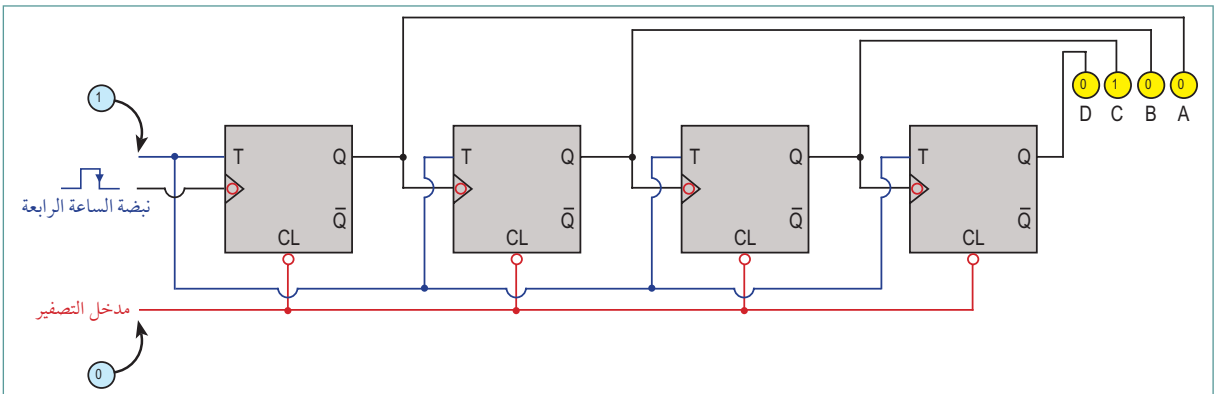
الشكل (١٩/ جـ) : بعد نبضة الساعة الثانية

٤ عندما تاتي نبضة الساعه الثالثة على مدخل الساعه للنطاط A سوف يؤدي ذلك الى تغير قيمة QA من ٠ الى ١ فقط كما في الشكل (١٩/ د).



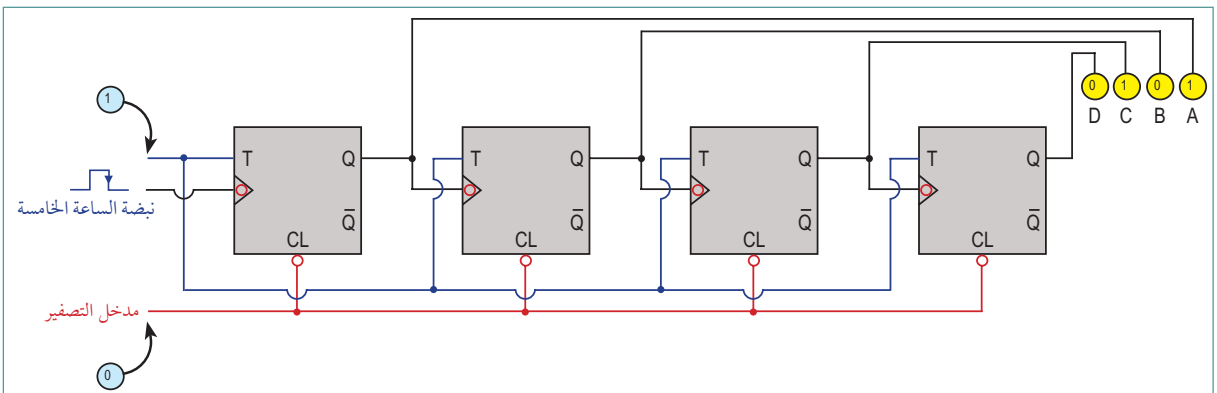
الشكل (١٩/ د): بعد نبضة الساعة الثالثة

٥ عند وصول نبضة الساعه الرابعه سوف يؤدي ذلك الى تغير قيمة QA من ١ الى ٠ وبالتالي الى تغير قيمة QB من ١ الى صفر مؤديا الى تغيير قيمة QC من ٠ الى ١ . كما في الشكل (١٩/ هـ).

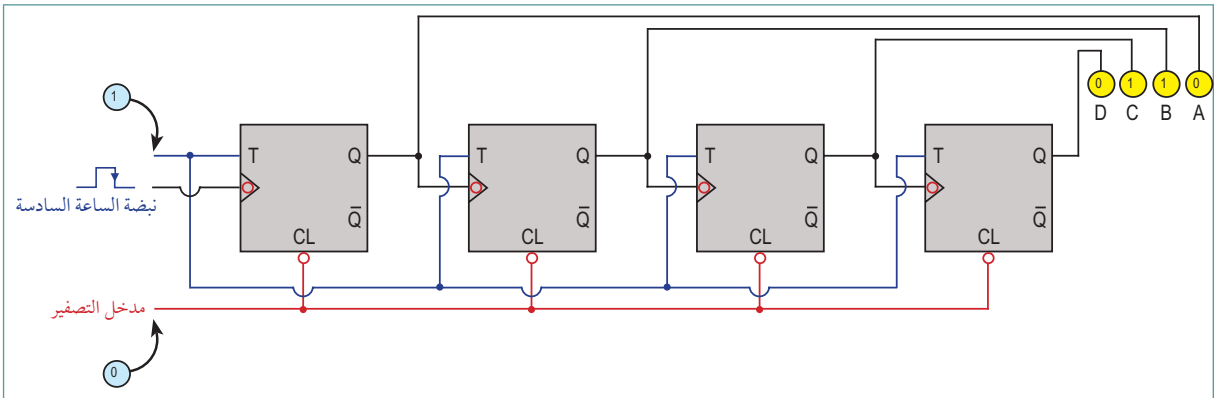


الشكل (١٩/ هـ): بعد نبضة الساعة الرابعة

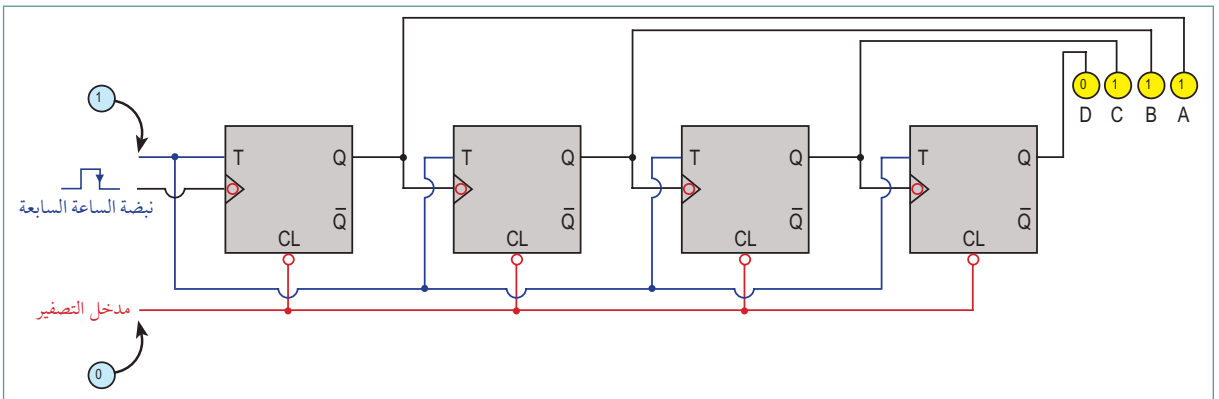
الاشكال (١٩/ و – ١٩/ ي) توضح ما يحدث عند ورود النبضات الاخرى:



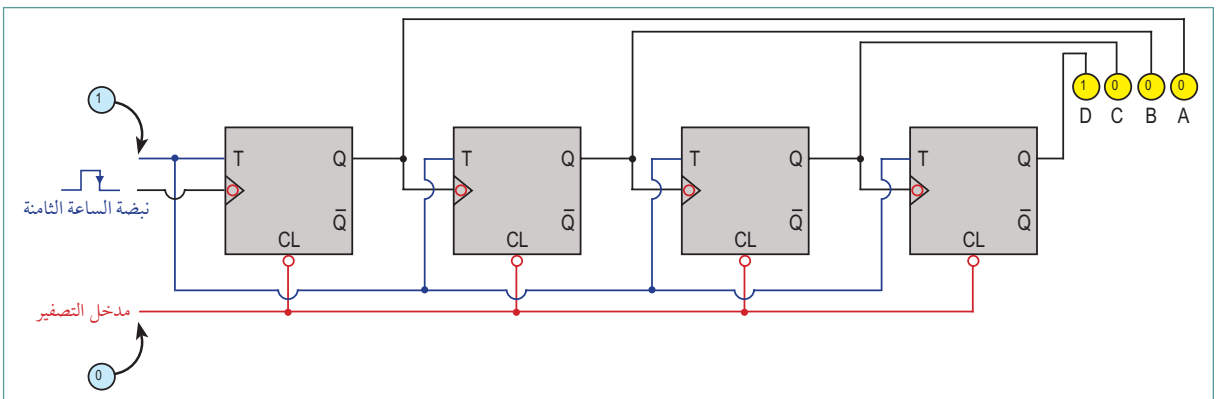
الشكل (١٩/ و): بعد نبضة الساعة الخامسة



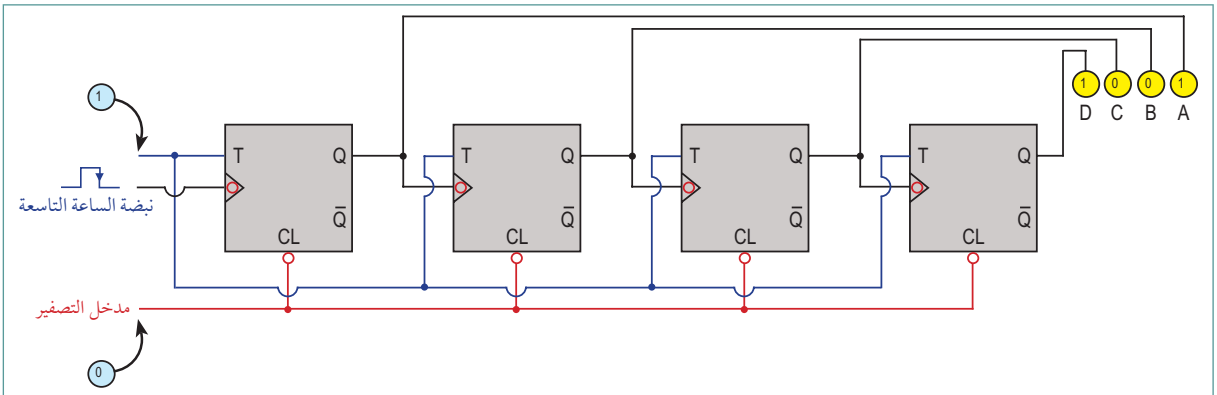
الشكل (١٩/ ز): بعد نبضة الساعة السادسة



الشكل (١٩/ ح): بعد نبضة الساعة السابعة

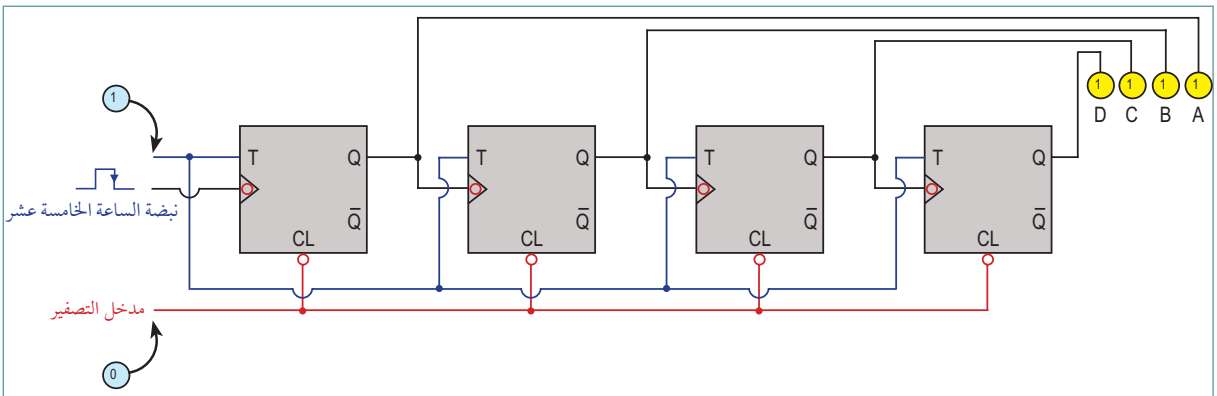


الشكل (١٩/ ط): بعد نبضة الساعة الثامنة

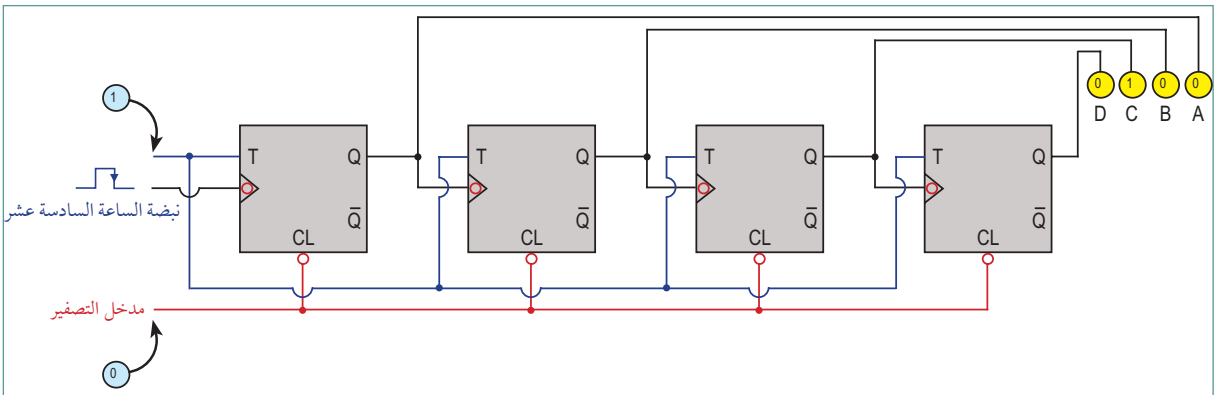


الشكل (١٩/ ي): بعد نبضة الساعة التاسعة

وتستمر هذه العملية حتى نصل الى اعادة تصفير العداد كما يظهر في الاشكال التالية :



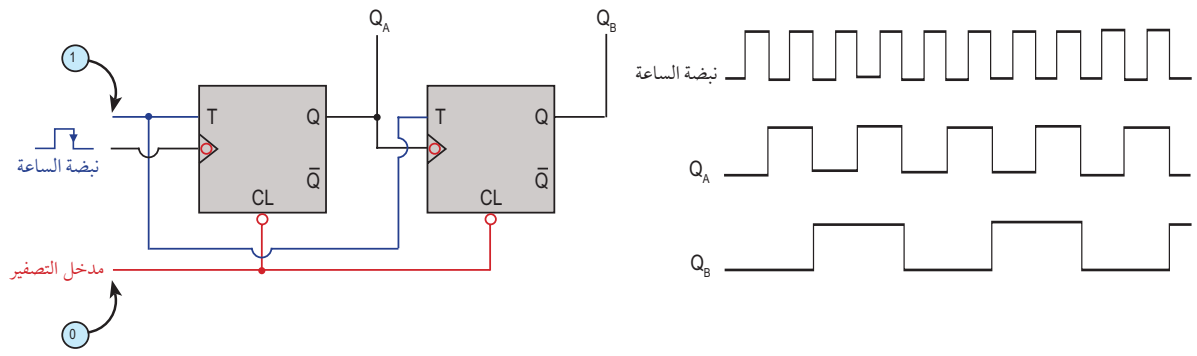
الشكل (١٩/ ك): بعد نبضة الساعة الخامسة عشر



الشكل (١٩/ ل): بعد نبضة الساعة السادسة عشر

استخدامات العدادات:

يوجد تطبيقات كثيرة ومتنوعه للعدادات مثل تتبع الأحداث وعدها، توليد الذبذبات وقسمة التردد.



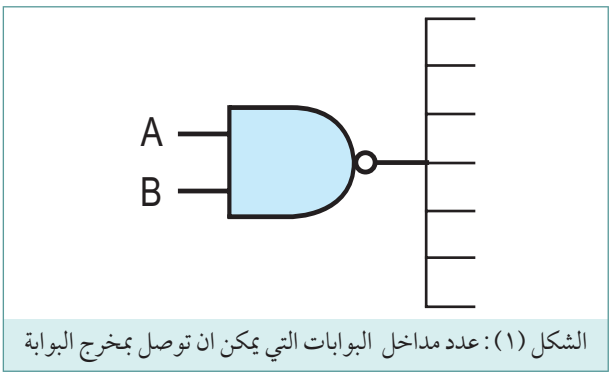
الشكل (٢٠): قسمة التردد

العائلات المنطقية Logic families

يمكن تقسيم الدارات الرقمية المتكاملة ليس بناء على الوظيفة فقط ، ولكن اعتمادا على تكنولوجيا التصنيع المستخدمة وذلك إلى عائلات منطقية . تختلف العائلة عن الأخرى من حيث تركيبها وجهود الدخل المناسبة لها والتى تمثل المستويان المنطقيان صفر و واحد بالاضافة الى سرعة أدائها ومقدار القدرة التى يمكن أن تقدمها فى خرجها والقدرة التى تستهلكها لأداء عملها ، و بشكل عام يمكن المقارنة بين العائلات و تقييمها بناء على العناصر التالية :

١ قدرة المخرج Fan-out:

ويعرف بعدد الاحمال القياسية التي يمكن لمخرج بوابة تغذيتها بالتيار دون الاخلال بعمله بشكل اعتيادي . الحمل القياسي هو مقدار التيار الذي يسحبه مدخل بوابة أخرى .



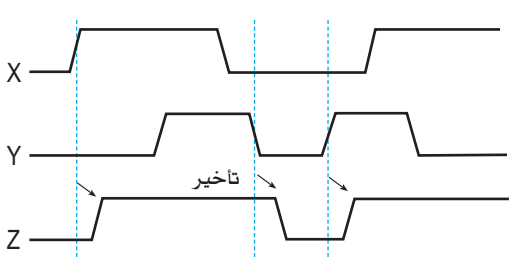
الشكل (١) : عدد مداخل البوابات التي يمكن ان توصل بمخرج البوابة

٢ تبديد القدرة:

مقدار القدرة التي تبدد داخل البوابة والتي يجب توفيرها من قبل مصدر التغذية للدارة .

٣ زمن التأخير Propagation Delay:

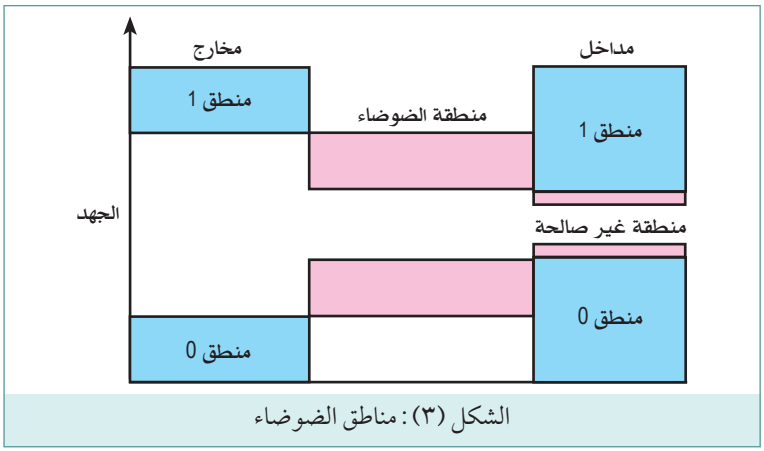
مقدار متوسط الزمن اللازم لاحداث تغيير على مخرج البوابة عند حدوث تغيير على مدخلها .



الشكل (٢) : زمن التأخير

٤ منطقة الضوضاء Noise margin:

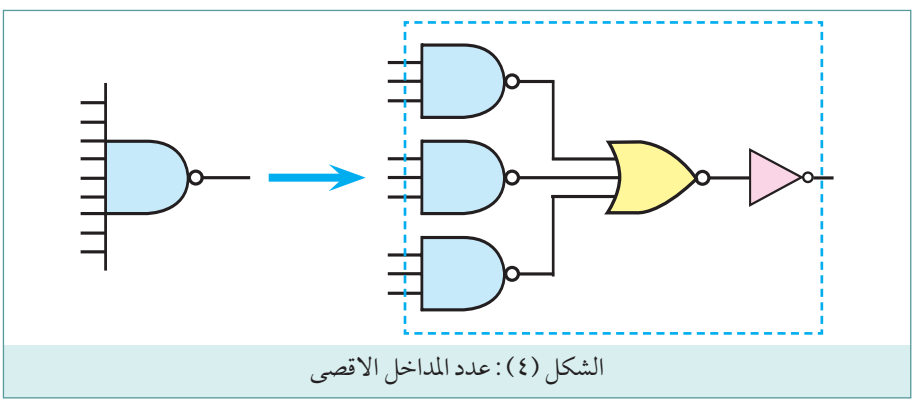
الحد الادنى من جهد الضوضاء الذي يمكن أن يسبب تغييرا غير مرغوب فيه على المخرج .



الشكل (٣) : مناطق الضوضاء

٥ عدد المداخل Fan-in:

أقصى عدد لمداخل البوابة يمكن توفيرها .



الشكل (٤) : عدد المداخل الاقصى

تتميز العائلة الواحدة بتوافقها مع بعضها البعض . أما الرقاقات التى تنتمى إلى عائلات مختلفة فتعتبر بصورة عامة غير متوافقة ويلزم إضافة بعض الدارات لضبط توافقها مع بعضها البعض (أى فيما يخص جهود التغذية ومستويات الدخل والخرج) .

تكنولوجيا بناء العائلات المنطقية:

يوجد ستة عائلات منطقية مشهورة اخذت أسمائها من العناصر الالكترونية المستخدمة في بنائها وهى :

١ عائلة منطق مقاومة–ترانزستور RTL

٢ عائلة منطق دايود – ترانزستور DTL

٣ عائلة منطق العتبة العليا TL - High Threshold Logic

٤ عائلة منطق الترانزستور–ترانزستور TTL- Transistor Transistor Logic

٥ عائلة منطق ربط الباعث ECL - Emitter Coupled Logic

٦ عائلة منطق السيموس Complementary Metal-Oxide Semiconductor CMOS Logic

عند السؤال عن أي العائلات افضل، فان اجابتنا ستكون بأنه لا توجد عائلة واحدة تحتوى على كل المميزات، فكل عائلة تكون أفضل فى بعض الخصائص وأسوء فى خصائص أخرى. ونلاحظ أنه لا يمكن تحسين أحد الخصائص الا على حساب خاصية أخرى . فإذا حسنا السرعة فسنزيد من إستهلاك القدرة للدارة . لذا يلجأ المصنعون الى الموازنة بين الخصائص المختلفة بحسب التطبيق المطروح لاستخدام تلك الدارات .

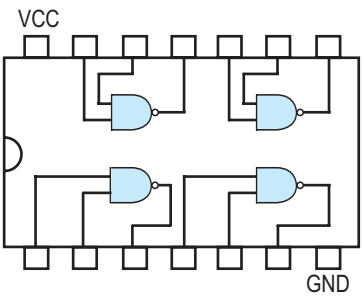
سوف نتعرض في هذا الدرس لأكثر عائلتان شيوعا و استخداما وهما :

١ عائلة منطق الترانزستور – ترانزستور TTL- Transistor Transistor Logic

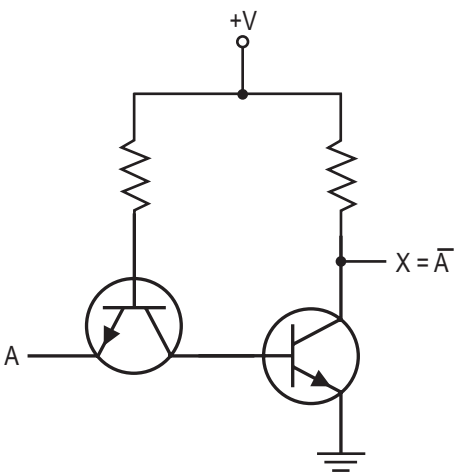
٢ عائلة منطق السيموس CMOS

١ عائلة منطق الترانزستور-ترانزستور TTL- Transistor Transistor Logic

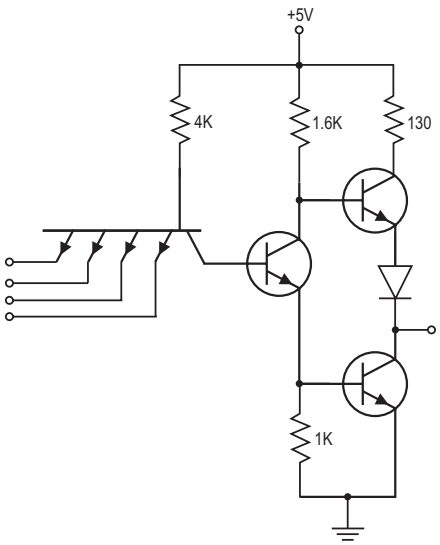
الشكل (٥) : رقاقة مصنوعة بتكنولوجيا TTL



الشكل (٦) : محتويات الرقاقة 7400



الشكل (٧) : بوابة لا NOT المبنية باستخدام تكنولوجيا TTL



الشكل (٨) : بوابة لا / و NAND ذات الاربع مداخل المبنية باستخدام تكنولوجيا TTL

وهى العائلة الأكثرشيوعا و إستخداما، الرقاقات التي تنتمي لعائلة TTL تتميز بانها تنتمي لسلسلة 7400 أو سلسلة 5400 .

- **البادئة** 74 : تعني أن الرقاقة تستطيع أن تعمل ضمن نطاق درجات حرارة من 0 س الى 70س .
- **البادئة** 54 : تعني أن الرقاقة تستطيع أن تعمل ضمن نطاق درجات حرارة من 55- س الى 125س (التطبيقات العسكرية) .

الأحرف (أن وجدت) تستخدم لتمييز العائلة الفرعية للرقاقة أما الأرقام الأخرى تستخدم لتمييز الدائرة التي تمثلها الرقاقة . فمثلا الرقاقة 74L00 تمثل رقاقة مكونة من أربع بوابات NAND تنتمي لعائلة TTL منخفضة القدرة .

بنيت رقاقات TTL بمواصفات و خصائص مختلفة لنحصل على مجموعة من العائلات الفرعية، فيما يلي اسماء هذه العائلات و أهم مواصفاتها :

١ العائلة القياسية Standard TTL :

لا يستخدم أي أحرف مع اسم الرقاقة . مثال : ٧٤٠٠، ٧٤٠٨

٢ العائلة المنخفضة القدرة Low power TTL :

يستخدم الحرف (L) مع اسم الرقاقة . مثال : 74L00 ، 74L08

٣ العائلة عالية السرعة speed TTL High

يستخدم الحرف (H) مع اسم الرقاقة . مثال : 74H00، 74H08

٤ عائلة الشوتكى Schottky TTL Clamped

استخدمت ثنائي شوتكي لمنع الترانزستور من الوصول لحالة التشبع و بالتالي زيادة التردد .

يستخدم الحرف (S) مع اسم الرقاقة . مثال : 74S00

٥ عائلة الشوتكى منخفضة القدرة power Schottky Low

يستخدم الحرف (LS) مع اسم الرقاقة . مثال : 74LS00

٦ عائلة شوتكي المتقدمة Advanced Schottky

يستخدم الحرف (AS) مع اسم الرقاقة . مثال : 74AS00

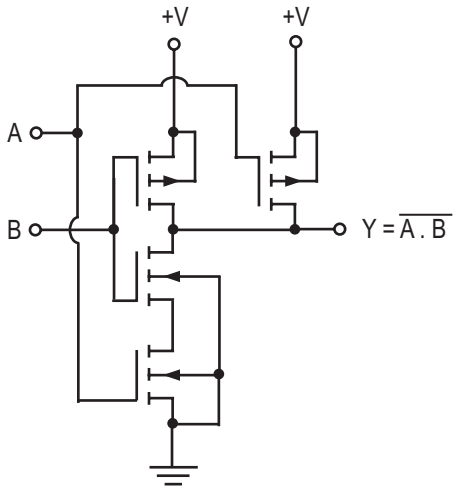
٧ عائلة شوتكي المتقدمة منخفضة القدرة Advanced Low Power Schottky

يستخدم الحرف (ALS) مع اسم الرقاقة . مثال : 74ALS00

الاســـم	زمن التأخير (ns)	القدرة المبددة (mW)
العائلة القياسية TTL Standard	10	10
العائلة المنخفضة القدرة Low power TTL	33	1
العائلة عالية السرعة speed High TTL	6	22
عائلة الشوتكى Clamped Schottky TTL	3	19
عائلة الشوتكى مخفضة القدرة Low power Schottky	9.5	2

٢ عائلة منطق السيموس CMOS:

الشكل (٩): رقاقة مصنوعة بتكنولوجيا CMOS



الشكل (١٠): بوابة لا / و NAND المبنية باستخدام تكنولوجيا CMOS

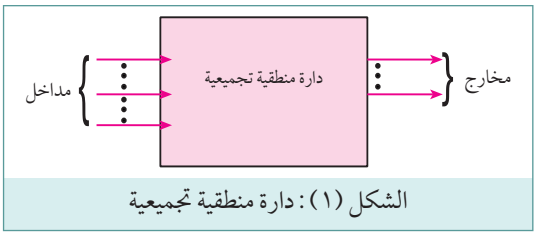
عائلة الـ CMOS كما في الشكل تبنى باستخدام ترانزستورات من نوع CMOS . الرقاقات التي تنتمي لعائلة CMOS يتم تمييزها باعطائها أرقام في سلسلة 4000 كما أنه من الممكن أن نجد رقاقات CMOS مكافئة تماما لرقاقات عائلة TTL من حيث الوظيفة و ترتيب الأطراف و تتميز باعطائها ارقام في سلسلة يطلق عليها سلسلة 74C00 وسلسلة 54C00 .

عائلة الـ CMOS تختلف عن العائلات الأخرى بعدد من الخصائص أهمها :

١. إستهلاكها القليل للقدرة حيث تستهلك فقط 0.01 ملى واط (فى حالة الثبات على حالة منطقية) و ترتفع إلى 10 ملى واط (أثناء التغير من حالة لأخرى فى الترددات العالية من 5 ميجا هرتز إلى 10 ميجا هرتز) . لذلك فهى تستخدم بكثرة فى الأجهزة التى تعمل على بطاريات لقدرتها على جعل عمر البطارية طويلا .
٢. إمكانية إستخدام نطاق واسع من جهود التغذية حيث يمكن أن تغذى بجهود تتراوح من 3 إلى 18 فولت دون أن يؤثر ذلك على عملها . (ولكن كلما زاد جهد منبع التغذية زادت سرعة البوابة) .
٣. مقاومتها للضوضاء .
٤. من سيئات عائلة الـ CMOS أنها حساسة جدا للكهرباء الساكنة .

الـــدرس ٥

الدارات المنطقية التجميعية



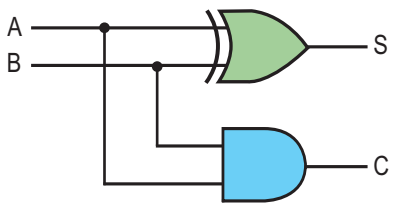
الشكل (١) : دارة منطقية تجميعية

الدارة المنطقية التجميعية Combinational Logic Cir-cuit، عبارة عن دارة مبنية باستخدام البوابات المنطقية، قيم مخارجها في أي لحظة تحسب من خلال مجموعة قيم المداخل في تلك اللحظة .

يمكن وصف عمل هذا النوع من الدارات باستخدام دالة أو مجموعة دالات الاقتران. نصف الجامع، الجامع الكامل، دارة فك الترميز، دارة الاختيار متعددة المداخل ودارة الاختيار متعددة المخارج تعتبر من الأمثلة التطبيقية للدارات المنطقية التجميعية .

١ نصف الجامع Half Adder:

نصف الجامع عبارة عن دارة منطقية لها مدخلان (A) و(B) و مخرجان (S) و(C)، تستخدم لجمع رقمين ثنائيين لتعطي رقمين، أحدهما المجموع (S) والآخر الباقي(C) . الشكل(٢) يمثل طريقة بناء الدارة باستخدام البوابات أما الشكل(٣) يمثل المخطط الصندوقي لنصف الجامع .



الشكل (٢) : دارة نصف الجامع

الشكل (٣) : رمز نصف الجامع

إقترانات نصف الجامع :

$$S = A \oplus B$$

$$C = A \cdot B$$

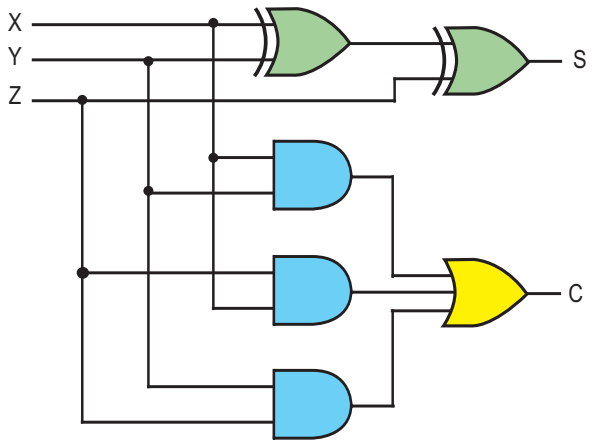
جدول الصواب التالي يمثل آلية عمل نصف الجامع :

A	B	S	C
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

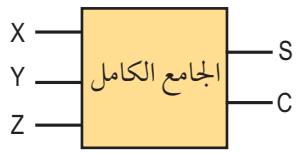
يكون حاصل الجمع مساويا للواحد اذا كان مداخل البوابة مختلفة ، بينما يكون الباقي مساويا للواحد اذا كان مدخليها مساوية للواحد .

٢ الجامع الكامل Full Adder:

الجامع الكامل عبارة عن دارة منطقية لها ثلاث مداخل (X) ، (Y) و (Z) ومخرجان (S) و (C)، تستخدم لجمع رقمين ثنائيين مع الباقي من مرحلة الجمع السابقة ، لتعطي رقمين ، أحدهما المجموع (S) و الآخر الباقي الجديد (C) . الشكل(٤) يمثل طريقة بناء الدارة باستخدام البوابات أما الشكل(٥) يمثل المخطط الصندوقي للجامع الكامل .



الشكل (٤) : دارة الجامع الكامل



الشكل (٥) : رمز الجامع الكامل

إقترانات الجامع الكامل :

$$S = X \oplus Y \oplus Z$$

$$C = X.Y + X.Z + Y.Z$$

جدول الصواب التالي يمثل آلية عمل الجامع الكامل :

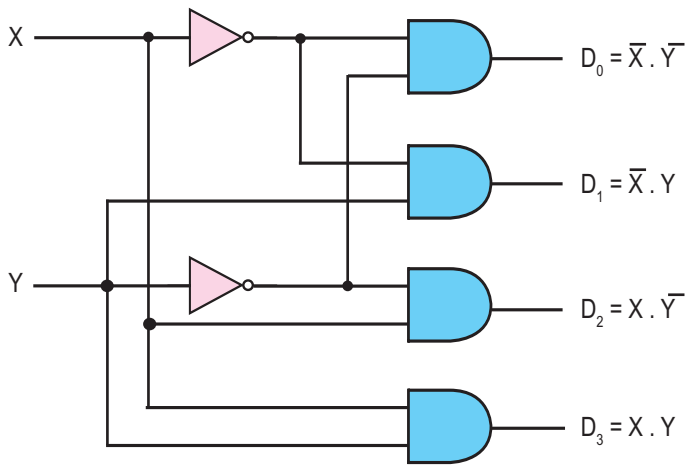
X	Y	Z	S	C
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

٣ دارة فك الترميز Decoder:

دالرة فك الترميز تعتبر من الدارات المهمة المستخدمة للتحويل من نظام ترميز معين الى نظام ترميز اخر، الشكل (٦) يمثل دارة فك ترميز لها مدخلان (x،y) و اربع مخارج (D0،D1،D2،D3). الحد الأقصى لعدد المخارج في دارة الترميز يعتمد على عدد المداخل من خلال العلاقة التالية :

عدد المخارج = $٢^{ن}$ ، حيث ن = عدد المداخل

لاحظ من خلال جدول الصواب، أنه اعتمادا على حالة المداخل سوف يتم اختيار مخرج واحد ليتم تفعيله (يأخذ القيمة واحد). هذا و يمكن بناء دارة فك الترميز باستخدام بوابات NAND او NOR بدلا من بوابة AND، وفي هذه الحالة يأخذ المخرج المفعل القيمة صفر في حين تأخذ المخارج الأخرى القيمة واحد.



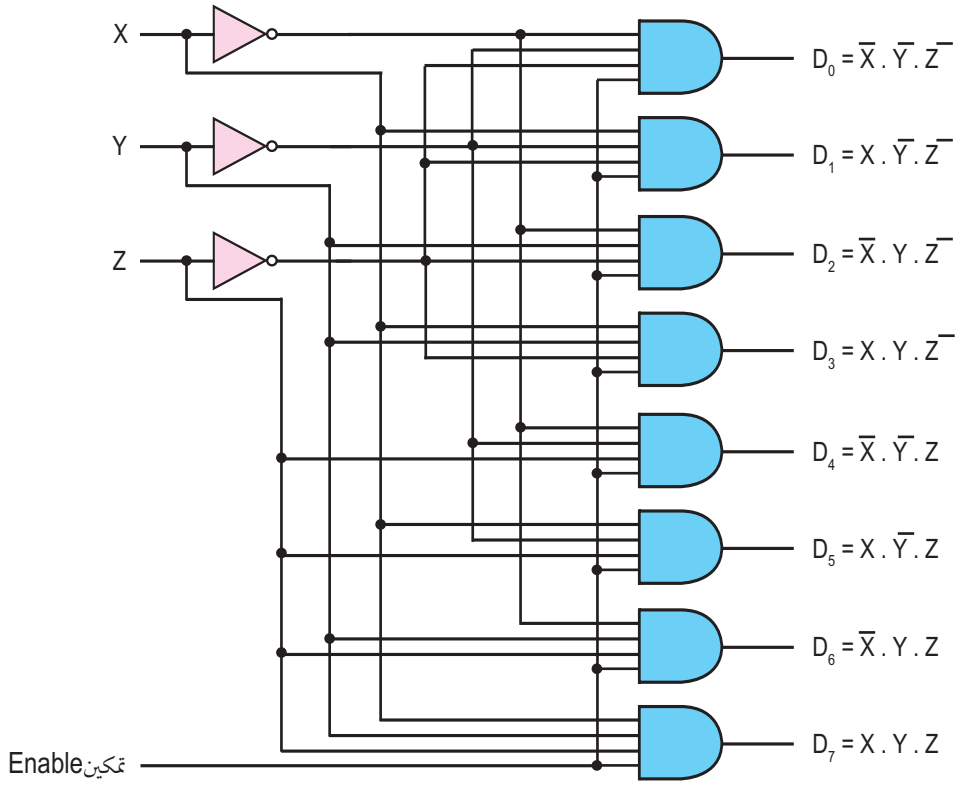
الشكل (٦) : دارة فك الترميز

X	Y	D_0	D_1	D_2	D_3
0	0	1	0	0	0
0	1	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0
1	1	0	0	0	1

جدول الصواب

الشكل (٧) يمثل المخطط التمثيلي لدارة فك ترميز تستقبل العدد الثنائي من خلال المداخل x y z ليتم تفعيل مخرج واحد من مخارجها الثمانية D0 --- D7 ليمثل الرقم بالنظام الثماني. لاحظ وجود مدخل enable الذي يستخدم لتمكين مخارج الدارة من العمل.

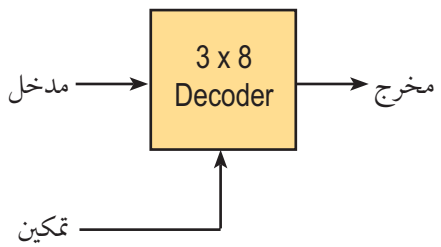
الشكل(٨) يمثل رمز دارة فك ترميز ذات ثلاث مداخل و ثمان مخارج مع مدخل تمكين. تعطى هذه الدارة الاسم 3 – to - 8 line Decoder.



الشكل (٧) : المخطط التمثيلي لدارة فك الترميز

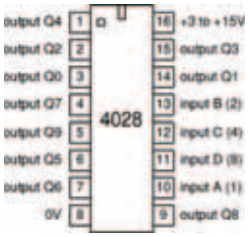
المداخل			المخارج							
z	y	x	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

جدول الصواب



الشكل (٨ : رمز دارة فك الترميز

الشكل (٩) يمثل الرقاقة ٤٠٢٨ التي تحوي في داخلها دارة فك ترميز تستقبل العدد الثنائي المرمز عشريا من خلال المداخل A B C D ليتم تفعيل مخرج واحد من مخارجها العشر Q0 --- Q9 ليمثل الرقم العشري المختار . تعطى هذه الدارة الاسم :



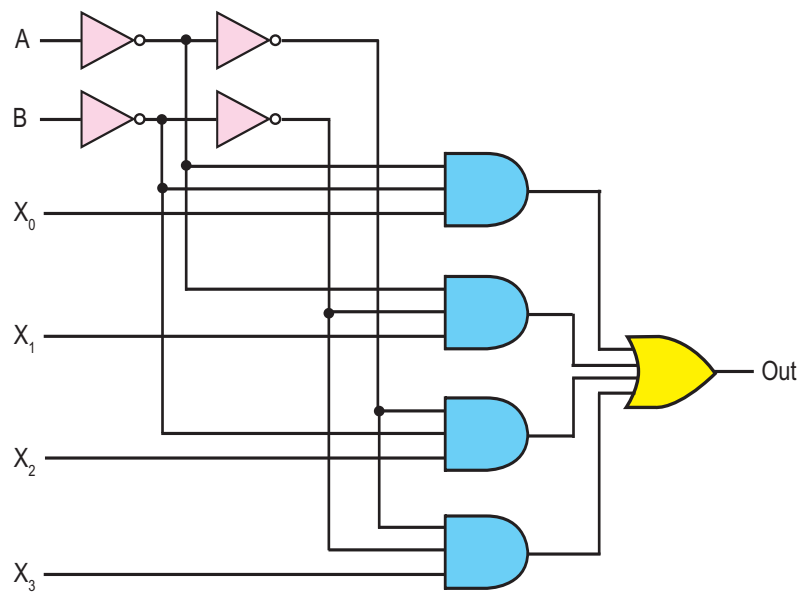
الشكل (٩): رقاقة فك الترميز 4028

٤ دارة الاختيار متعددة المداخل Multiplexer:

هي دارة لها عدة مداخل و مخرج واحد، يتم اختيار أحد المداخل لربطه بالمخرج من خلال خطوط خاصة باختيار المدخل control lines . العلاقة بين عدد خطوط الأختيار و عدد المداخل تعطى من خلال العلاقة التالية :

عدد المداخل = $2^{ن}$ ، حيث ن = عدد خطوط الاختيار

الشكل (١٠) يمثل دارة اختيار متعددة المداخل لها أربع مداخل X4، X3، X2، X1 ومخرج واحد X يتم التحكم بعملها من خلال خطان اختيار A، B . تعطى هذه الدارة الاسم : 4-Input Multiplexer .



الشكل (١٠): دارة اختيار متعددة المداخل

المدخل المختار	خطوط الاختيار	
	B	A
X0	0	0
X1	1	0
X2	0	1
X3	1	1

جدول الصواب

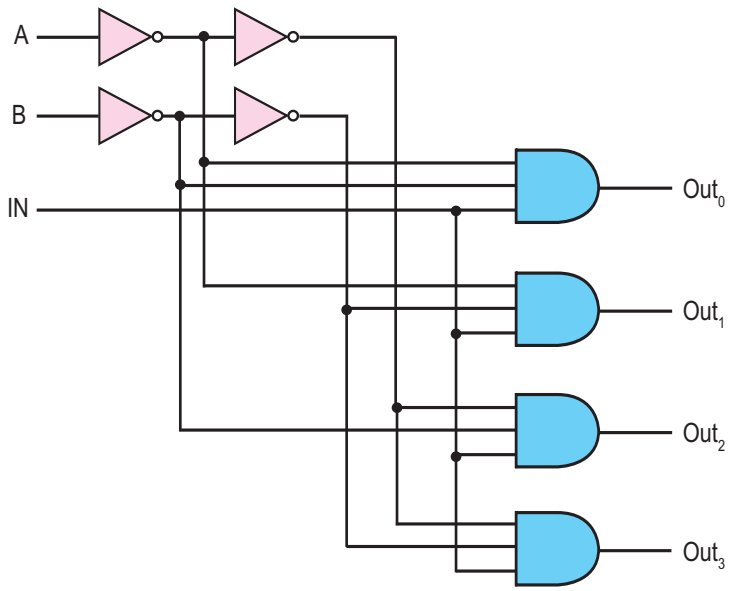
٥ دارة الاختيار متعددة المخارج Demultiplexer:

هي دارة لها عدة مخارج و مدخل واحد، يتم اختيار أحد المخارج لربطه بالمدخل من خلال خطوط خاصة باختيار المخرج control lines . العلاقة بين عدد خطوط الأختيار وعدد المخارج تعطى من خلال العلاقة التالية :

عدد المخارج = $2^{ن}$ ، حيث ن = عدد خطوط الاختيار

الشكل (١١) يمثل دارة اختيار متعددة المخارج لها أربع مخارج OUT0,OUT1,OUT2,OUT3 ومدخل واحد IN يتم التحكم بعملها من خلال خطان اختيار A,B تعطى هذه الدارة الاسم : 4-Output Multiplexer.

الجدير بالذكر أنه اذا قمنا بتغذية المدخل IN في دارة الاختيار متعددة المخارج باشارة ثابتة تمثل المنطق-١ ، فان الدارة سوف تتصرف كدارة فك ترميز .



الشكل (١١) : دارة اختيار متعددة المخارج

المخرج المختار	خطوط الاختيار	
	B	A
OUTO	0	0
OUTO1	1	0
OUTO2	0	1
OUTO3	1	1

جدول الصواب

الوحـــدة

٣

مقدمة في علـــم الاتصـــالات

مقدمة في علم الاتصالات

في كل يوم، سواء في عملنا أو في أوقات فراغنا، لا بد لنا من استخدام أنظمة ووسائل الاتصالات الحديثة، و أشهرها التلفون ، المذياع ، التلفاز و الإنترنت .

هل يمكن أن تتخيّل عالمًا بدون التّليفونات، المذياع و التلفاز ؟

كما ان الاتصالات هي عصب التطور الاقتصادي في العصر الحالي، إذ تعتمد الشركات و البنوك و أسواق المال على التطور في عالم الاتصالات .

هل تعلم أن معظم أنظمة الاتصالات الحديثة اُخْتُرِعَتْ و تَطَوَّرَتْ أثناء القرن الماضي ؟

لمحــة تاريخيــة

إن كثرة الاختراعات وتنوعها في عالم الاتصالات وعصر المعلومات جعلت العالم يبدو أصغر من قرية، إذ يمكنك الاتصال مع الشخص الذي تريد مهما ابتعدت المسافات، وكذلك يمكنك أن تتبادل المعلومات مع أي شخص في أي بقعة من سطح الأرض مهما كانت المسافة بينكما، مما يجعل المسافات في هذا العالم تبدو متقاربة وكاننا نعيش في قرية صغيرة، فعالم الاتصالات يسهل طرق التواصل والاتصال ونقل المعلومات من مكان الى اخر منذ بداية فكرته . هنا نقدّم مراجعةً تاريخيّةً قصيرةً للتّطوّرات الرئيسية خلال آخر قرنين كان لهما دور رئيس في تطوّر نظم الاتّصال الحديثة .

- في عام ١٨٣٧ طور مورس أول نظام للاتصالات
- بحلول عام ١٨٦٦ تمت أول محاولة للربط بين أوروبا وأمريكا بواسطة الكوابل البحرية بنجاح . ولقد اقتصرت قدرة هذه الكوابل على نقل البيانات التلغرافية فحسب .
- في عام ١٨٧٦ أصبح الاتصال الصوتي عبر مسافات بعيدة أمراً متاحاً عندما أجرى ألكساندر جراهام بيل أول مكالمة هاتفية مع مساعده توماس واتسون، وأصبح الهاتف يتبوأ مكانة كأهم أداة اتصال على الإطلاق .
- بحلول عام ١٩٠١ تم الوصول على وسيلة لنقل الرسائل عبر مسافات بعيدة دون الحاجة إلى أسلاك، وتحقق هذا الحلم عندما وقف كل من جولييمو ماركوني واثنين من مساعديه على قمة تل يسترقون السمع إلى جهاز استقبالهم، فقد سمعوا شفرة "مورس بالكاد" والتي تمثل الحرف س، فانتقلت هذه الإشارة لمسافة ١٧٠٠ ميل من "كورنوول" في إنجلترا، ومثلت بذلك أول انتقال لاسلكي ناجح . ، وأدت تجربة شركة ماركوني إلى اختراع الراديو .
- في عام ١٩٢٠ بدأ البث الإذاعي باستخدام موجات AM وبدأت محطة راديو في ولاية بنسلفانيا أول بث لها على الهواء مباشرة . وبحلول عام ١٩٢٢ بلغ عدد المحطات الإذاعية التي تقدم بثها على الهواء مباشرة ٥٦٤ محطة .

- عام ١٩٣٣ تم تطوير نظام بث موجات FM وبدأ البث الإذاعي باستخدامها سنة١٩٣٦ .
- في عام ١٩٤٦ تم تشغيل أو ل خدمة للهواتف المتنقلة في ٢٥ مدينة في الولايات المتحدة الأمريكية من قبل شركة AT&T وكانت تستخدم نظام الخلية الواحدة .
- في عام ١٩٧٧ ظهر أول نظام هاتف خليوي بعد أن طورت فكرته شركة Bell Labs عام ١٩٤٨ وظهرت بعده عدة انظمة مختلفة .
- عام ١٩٩١ ظهر نظام GSM بعد أن وضعت أسسه خلال عشر سنوات من البحث و التطوير من قبل بعض الشركات الأوروبية .

التطور في العصر الحالي

تعدّ الاتصالات الثابتة من أقدم أنظمة الاتصالات و أكثرها انتشاراً و أهمية في جميع أنحاء العالم و حتى مع دخول أنظمة الهاتف المتنقل في حياتنا اليومية إلا أنّ الاتصالات الثابتة مازالت تتطور لتواكب متطلبات العصر الحديث والذي تطور فيه الحاسب الآلي بشكل كبير ؛ مما أدى الى التطور الكبير في أنظمة الاتصالات .

ومن ابرز ملامح هذا التطور خلال العصر الحالي هو التحول من البدالات اليدوية إلى البدالات الكهروميكانيكية ثم إلى البدالات الإلكترونية ، كما تحول المقسم من النظام التماثلي إلى النظام الرقمي ، لكن هذا ليس هو التطور الوحيد حيث ظهرت العديد من الأنظمة ، مثل ISDN و SDH و ATM .

كما تطورت شبكات الحاسوب و ازدادت سرعته وانتشرت شبكة الإنترنت بشكل كبير وأصبحت جزءاً من حياتنا اليومية .

كما انتشرت أنظمة الاستقبال التلفزيوني وازدادت أعداد المحطات الفضائية و الأقمار الصناعية متعددة الأغراض .

بعد انتشار الأنظمة الخليوية ، ومنها GSM وتطور الدوائر المتكاملة التي أدت إلى صغر حجم الهاتف الخليوي وزيادة الخدمات التي يوفرها ، مثل الرسائل القصيرة SMS و GPS و GPRS و WAP وغيرها .

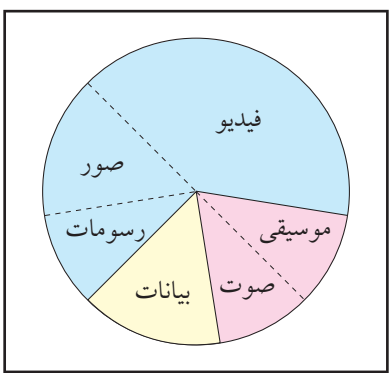
كما ظهرت أنظمة حديثة تلت أنظمة ال AMPS و D-AMPS و GSM ، مثل : CDMAONE و الجيل الثالث و منها ما يستخدم الأقمار الصناعية بدلاً من المحطات الأرضية .

وأدى الطلب المتزايد على نقل مختلف أنواع المعلومات ، مثل :

١ الفيديو .
٢ الموسيقا .
٣ الصوت .
٤ البيانات .
٥ الصور و الرسومات .

أدى إلى التوجه نحو تكامل أنظمة الاتصالات وأمكن ذلك ظهور وتطور أنظمة البدالات وظهور نظام ISDN و B-ISDN وتحول مفهوم الاتصالات إلى مفهوم نقل المعلومات و الشبكات .

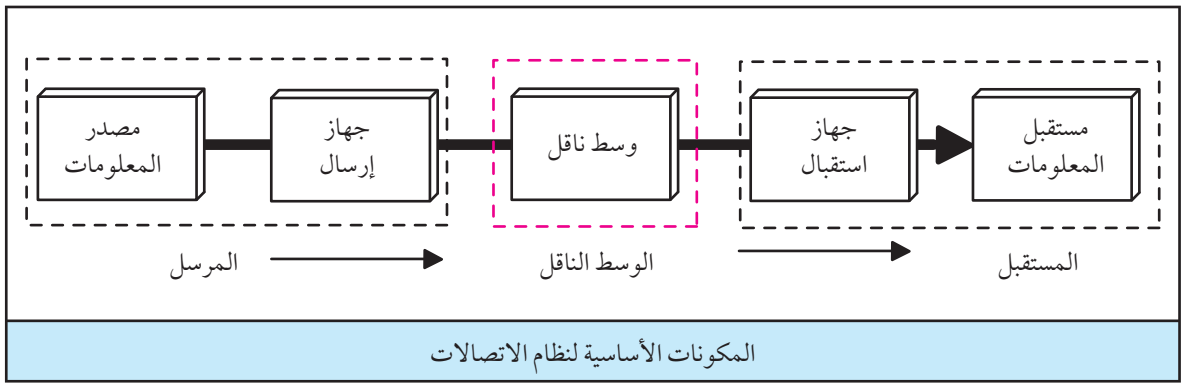
يمثل الشكل (١) نسبة احتياجات نقل المعلومات خلال شبكات الاتصالات .



شكل (١)

المكونات الأساسية لنظام الاتصالات

هناك مكونات أساسية يجب أن تتوفر لتكوين نظام اتصال وهي مرسل ،وسط ناقل ومستقبل والرسم التوضيحي أدناه يوضح فكرة المكونات الأساسية لأي نظام اتصالات .



المكونات الأساسية لنظام الاتصالات

مصدر المعلومات : الأداة التي يصدر عنها المعلومة المراد نقلها، وقد تكون قياسية كالصوت أو رقمية كالمعلومات المتناقلة بين شبكات الحاسوب .

جهاز إرسال : الجهاز الذي يقوم بتحويل المعلومة المراد نقلها إلى إشارة مناسبة قابلة للانتقال عبر الوسط الناقل .

الوسط الناقل : الوسط الذي يحمل الإشارة بعد خروجها من المرسل بالشكل المناسب، وقد يكون هذا الوسط سلكياً كما في أنظمة الهاتف الثابت، وقد يكون لا سلكياً كما في أنظمة الاتصالات الخلوية وأنظمة الأقمار الاصطناعية، وقد تكون عبر المياه .

جهاز استقبال : الجهاز الذي يقوم بتحويل الإشارة الستقبلة من الوسط الناقل إلى معلومة مفهومة .

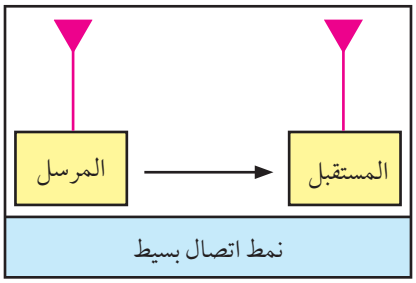
مستقبل المعلومات : الأداة المراد نقل المعومات إليها كمشاهدين التلفاز أو مستمعي المذياع .

ويعدّ الكلام من أبسط أنظمة الاتصالات؛ إذ إنه يحتوي كل المكونات الأساسية لنظام الاتصال فعندما يتحدث الشخص (المرسل) فإنه يعبر عن أفكاره بتحريك أحباله الصوتية والتي بدورها تنتج ذبذبات متغيرة بالهواء (الوسط الناقل) وتنتهي الإشارة عند وصولها لشخص آخر (المستمع او المستقبل) وبذلك نستطيع تقسيم عملية الاتصال إلى مكوناتها الأساسية، وهي :

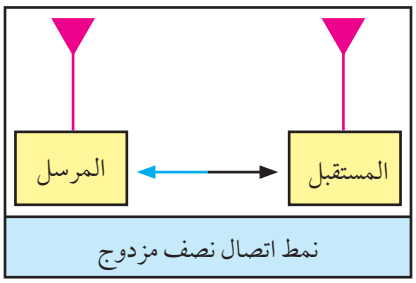
- مصدر المعلومات : دماغ الشخص المتحدث .
- جهاز الإرسال : الجهاز الصوتي للشخص المتحدث .
- الوسط الناقل : الهواء .
- جهاز الاستقبال : أذن الشخص المستقبل .
- مستقبل المعلومات : دماغ الشخص المستقبل .

أنماط الاتصـال

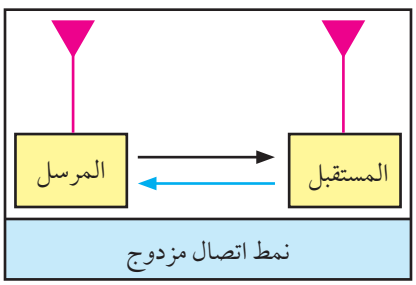
يمكن تصنيف أنظمة الاتصالات حسب اتجاه نقل المعلومات إلى ما يأتي :



١ نمط اتصال بسيط (Simplex) : ويتم فيه الاتصال باتجاه واحد فقط ، من المرسل إلى المستقبل كما في أنظمة الراديو والتلفاز .



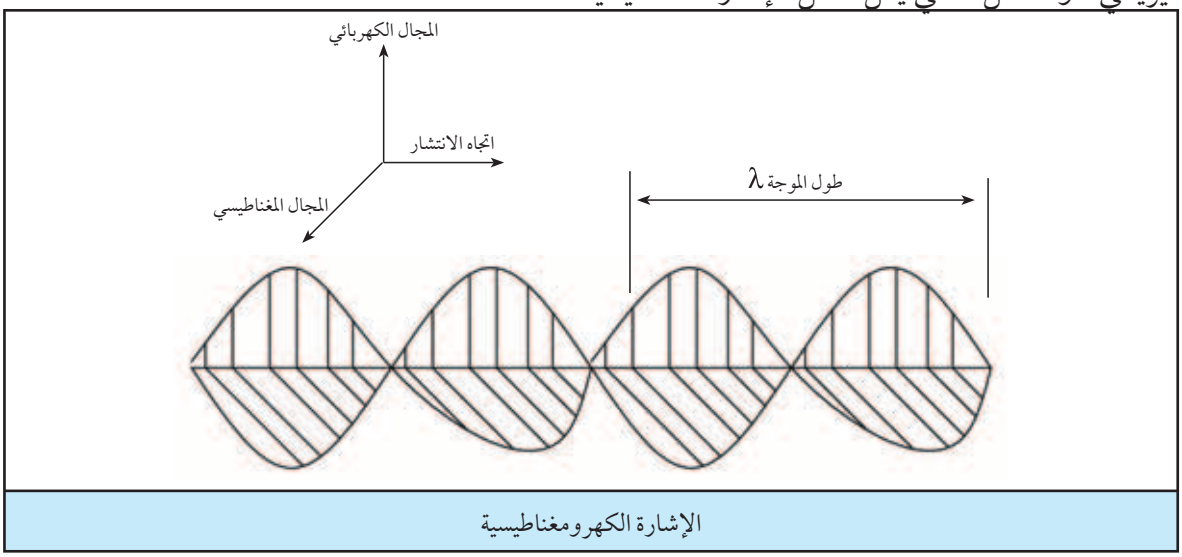
٢ نمط اتصال نصف مزدوج (Half duplex) : يتم فيه الاتصال باتجاهين بحيث يمكن لكل طرف أن يرسل أو يستقبل لكن ليس في نفس الوقت ، فعنما يكون الطرف الأول مرسلاً لا يمكنه أن يستقبل ، ويكون الطرف الآخر مستقبلاً والعكس صحيح ومن أمثلة هذا النظام نظام الدفع للكلام (push to talk) .

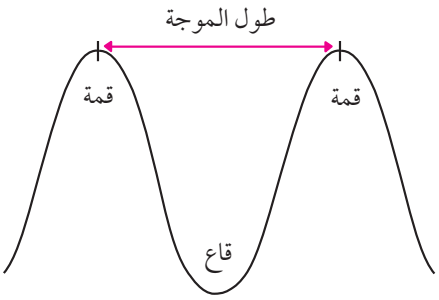


٣ نمط اتصال مزدوج (Full duplex) : يتم فيه الاتصال بالاتجاهين في آن واحد بحيث يمكن لكل طرف أن يكون مرسلاً ومستقبلاً في نفس الوقت كما في أنظمة الهاتف الخلوي الحديث .

الطيف الكهرومغناطيسي

الطيف الكهرومغناطيسي أو الإشارةالكهرومغناطيسية أو الأمواج الكهرومغناطيسية كلها تحمل نفس المعنى الفيزيائي . والشكل التالي يمثل شكل الإشارة المغناطيسية .





وحين نتحدث عن جزء خاص من هذا الطيف مثل الضوء المرئي، المايكروويف، إشارة إكس، إشارةجاما، موجات التلفزيون والراديو كلها عبارة إشارة تعرف باسم الإشارة الكهرومغناطيسية Electromagnetic Radiation وكلها لها نفس الخصائص ولكنها تختلف في الطول الموجي λ (Wavelength) أو التردد f (Frequency).

ويعدّ طول الموجة الضوئية عبارة عن المسافة بين قمتين متتاليتين للموجة كما هو موضح بالشكل.

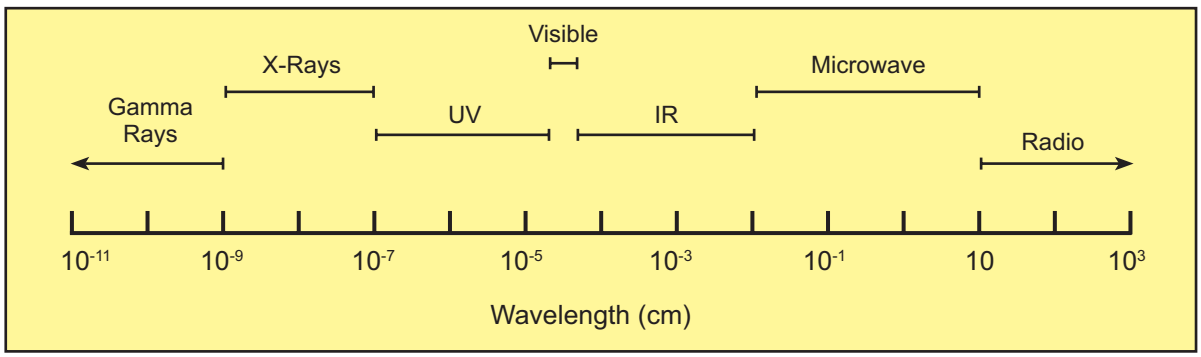
والتردد عبارة عن عدد تكرار الموجة في الثانية الواحدة.

وكما نعلم فإن الأمواج المتكونة في وسط مثل الماء تتكون من جزيئات الوسط (الماء) التي تتذبذب فتنتج تموجات تنتشر في وسط الماء.

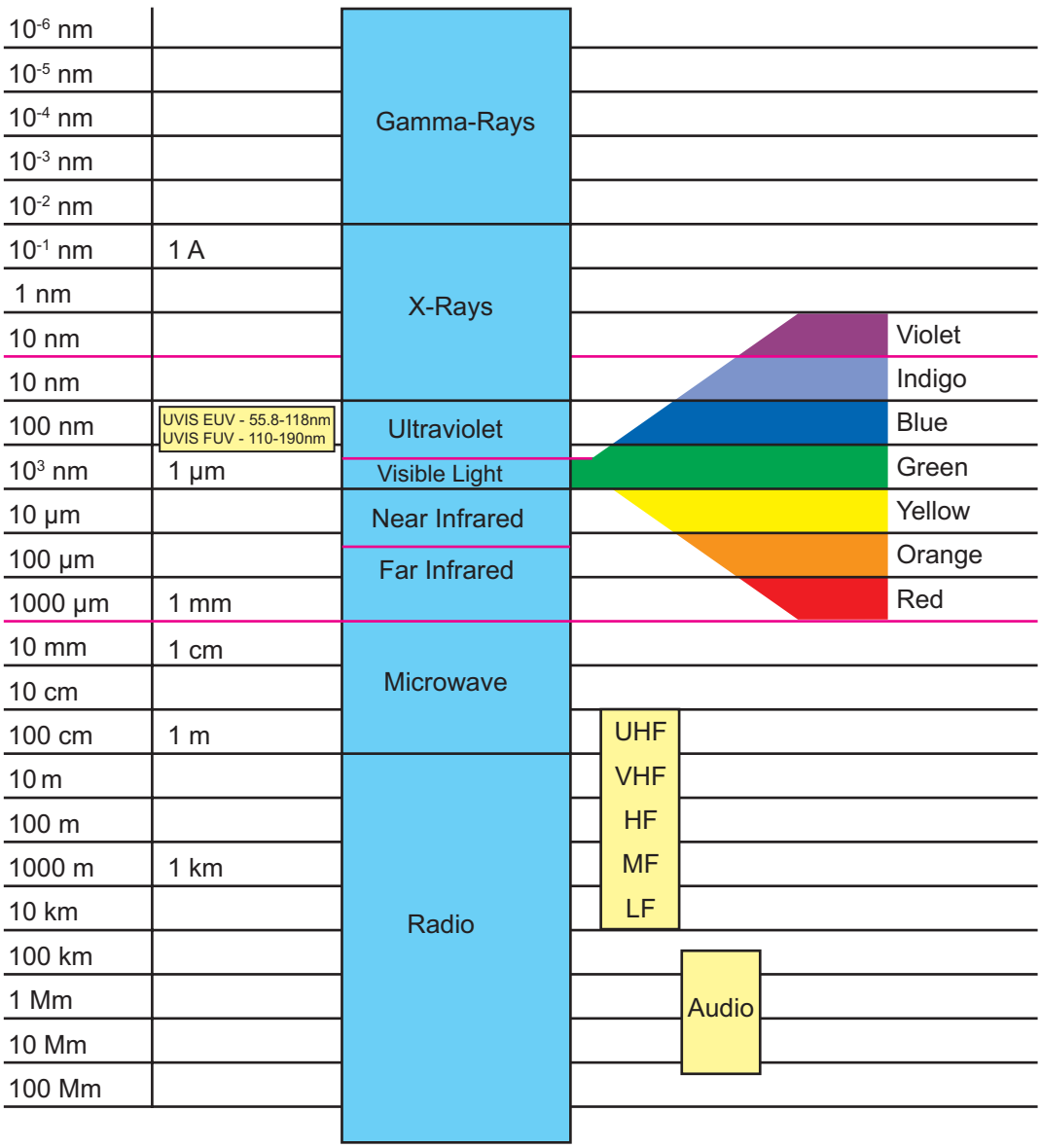
وكذلك الحال في الأمواج الصوتية؛ إذ إن الصوت ينتقل من خلال اضطراب في جزيئات الهواء على شكل تضاغط وتخلخل ينتشر في الفراغ.

ولكن الحال مختلف في الأمواج الكهرومغناطيسية حيث أن الذي يتموج (يتذبذب) في هذه الحالة هو المجال الكهربي الذي ينشئ من تذبذب الجسيمات المشحونة، مثل الإلكترون ذي الشحنة السالبة أو البروتون ذي الشحنة الموجبة.

ويعتمد الطول الموجي للإشارة الكهرومغناطيسية على درجة إثارة الشحنة، ومن هنا نجد أن الطيف الكهرومغناطيسي له مدى واسع، وللتميز بين الأطوال الموجية أعطيت أسماء مختلفة، مثل إشارة الراديو وإشارة المايكروويف والإشارة المرئية وإشارة إكس وإشارة جاما، وهكذا كما نلاحظ في الشكل الآتي.



The Electromagnetic Spectrum



nm=nanometer, A=angstrom, µm=micrometer, mm=millimeter,
cm=centimeter, m=meter, km=kilometer, Mm=Megameter

خصائص الإشارة الكهرومغناطيسية:

الإشارةالكهرومغناطيسية تنتشر في الفراغ بسرعة ثابتة هي سرعة الضوء ، وتنتقل هذه الإشارة في الفراغ وتنقل الطاقة من المرسل إلى المستقبل .

الإشارة الكهرومغناطيسية لها طول موجي λ وتردد f يحدد خصائصها وترتبط سرعة الإشارة الكهرومغناطيسية مع التردد والطول الموجي من خلال العلاقة

$$C = f \times \lambda \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (١)$$

λ : طول الموجة ويقاس بالمتر .

f : هو تردد الموجة ويقاس بالهيرتز .

C : هو سرعة الضوء ويساوي 300000000 م\ث .

مثـــال

إذا علمت أن إشارة الهاتف الخلوي تسير بسرعة الضوء ولها تردد 900 MHz ، أحسب طول الموجة .

الحـــل:

$$300000000 = 900000000 \times \lambda$$

$$\lambda = \frac{300000000}{900000000} = 0.33 \text{ m}$$

نستنتج أن طول موجة الإشارات المستخدمة في نظام GSM 900 كما في نظام شبكة الاتصالات الخلوية الفلسطينية– جوال هو 33 سم .

كما هو واضح في الشكل أعلاه مخطط لكامل الطيف الكهرومغناطيسي حيث يبدأ من أمواج الراديو ذات الطول الموجي الطويل والتردد المنخفض ، ثم منطقة إشارة المايكروويف ، ومنطقة الإشارة تحت الحمراء ، ثم منطقة الإشارة المرئية ، ثم منطقة الإشارة فوق البنفسجية ، ثم منطقة إشارة إكس ، ثم منطقة إشارة جاما .

وهذا التسلسل هو تبعاً لزيادة تردد هذه الموجات . ولكل منطقة من مناطق الطيف الكهرومغناطيسي خصائص تميز بعضها عن بعض ، وبناء عليه نتجت تطبيقات مختلفة لهذه الإشارة ، وللعلم فإن منطقة الطيف المرئي هي التي منحنا الله سبحانه وتعالى القدرة على رؤيتها ، وهي المنطقة التي تستجيب لها شبكية العين لتتمكن من رؤية الأشياء من حولنا .

الإشارة الكهرومغناطيسية لها طاقة تعطى بالمعادلة $E = hf$

حيث إن الثابت h هو ثابت بلانك $h = 6.6 \times 10^{-34}$ J.s

وتستخدم وحدة الإلكترون فولت للتعبير عن طاقة الإشارة الكهرومغناطيسية $1 \text{ e.v.} = 1.6 \times 10^{-19}$ J

نستنتج من ذلك أنه كلما زاد التردد ازدادت الطاقة، وعليه فإن طاقة إشارة جاما أكبر ما يمكن في الطيف الكهرومغناطيسي.

وكما نعلم إن جسم الإنسان يتحمل طاقة أقصاها طاقة الطيف المرئي، وتعدّ طاقة الطيف فوق الأزرق ضارة وتسبب حرقاً لخلايا الجسم، وكذلك طاقة إشارة إكس تستطيع اختراق جلد البشري والتعرض لها يسبب خطورة كبيرة.

وجدير بالذكر أن إشارة الراديو المستخدمة في الاتصالات اللاسلكية في فلسطين هي إشارة لها طول موجي 0.33 متر أي أكبر بكثير من قطر خلية الإنسان البالغ 0.000001 متر وبذلك لا يمكنها أن تخترق جسم الإنسان أو أن تتسبب في أية أضرار للخلايا البشرية ويتم ترخيص عملها في كل دول العالم.

إشارة الراديو:

كان لتجارب العلماء مثل هيرتز Hertz ومإكسويل Maxwell وفرادي Faraday واختراع التلجراف بوساطة العالم ماركوني Marconi الفضل في اكتشاف أمواج الراديو (إشارةالراديو) وفهمها واستخدامها في العديد من التطبيقات.

أمواج الراديو هي التي لها أكبر طول موجي في الطيف الكهرومغناطيسي، وتستخدم في نقل الأصوات كما في إشارة التلفزيون.

حيث إن طول الموجة في إشارة الراديو يزيد عن 10 cm وبذلك يكون التردد أقل 3×10^9 حسب العلاقة

$$C = f \times \lambda$$

إشارة المايكروويف:

إشارةالمايكروويف هي جزء من الإشارة الكهرومغناطيسية ذات طول موجي طويل يقاس بالسنتمتر في المدى من 0.3 إلى 30 سنتمتر، ولهذه الإشارة استخدامات عديدة، في طهي الطعام، وهو ما يعرف بفرن المايكروويف، كما تستخدم في الاتصالات ونقل المعلومات، وأجهزة الاستشعار عن بعد، وأجهزة الرادار.

الإشارة تحت الحمراء Infrared:

تعني كلمة "Infra" تحت وهذا يعني أننا في منطقة الإشارة تحت الحمراء، والتي ترددها أقل من تردد الإشارةالحمراء في الطيف الكهرومغناطيسي المرئي.

الأجهزة التي تستخدم الإشارة تحت الحمراء يمكنها الرؤية في الظلام الدامس؛ لأنها تعتمد على الإشعاع الحراري المنطلق من الأجسام.

يقع طيف الإشارة تحت الحمراء بين الطيف المرئي وطيف إشارة المايكروويف.

الإشارة تحت الحمراء هي إشارة حرارية وتنبعث من كافة الأشياء من حولنا مثل الفرن أو المصباح الحراري أو من الاحتكاك أو من تسخين أي جسم وتنبعث كذلك من أجسامنا، وهي الإشارة التي تصلنا من الشمس ويشعر الجلد بالدفء عند التعرض إلى أشعة الشمس.

يجب التأكيد على نقطة مهمة، وهي أن الإشارة تحت الحمراء القريبة لا تعد ساخنة ولا يمكن الشعور بها وهي التي تستخدم في أجهزة الرموتكنترول للتحكم بالأجهزة عن بعد.

العديد من الأشياء تصدر إشارة تحت الحمراء مثل جسم الإنسان والحيوان والنباتات، وكذلك الكرة الأرضية والشمس والأجرام السماوية، هذه الإشارة لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة، وباستخدام أجهزة خاصة تمكن الإنسان من الرؤية في الظلام الدامس باستخدام هذه الأشعة.

الإشـــارة المرئيـــة:

وهو الجزء من الطيف الكهرومغناطيسي الذي نراه ونرى بوساطته.

نرى هذا الطيف على شكل ألوان كالتي تظهر في السماء بعد سقوط المطر، وتعرف بقوس قزح.

لكل لون من هذه الألوان طول موجي خاص يكون فيها اللون الأحمر أطول طولٍ موجيٍّ في الطيف المرئي ويكون اللون الأزرق أقصر الأطوال الموجية.

واجتماع هذه الألوان بعضها مع بعض يعطي اللون الأبيض. ولتحليل الضوء الأبيض إلى ألوان الطيف نستخدم منشوراً كما في الشكل حيث ينحرف (ينكسر) كل لون بزاوية خاصة حسب طوله الموجي.

وتعدّ الشمس المصدر الأساسي للإشارة المرئية وبدونها لا نتمكن من رؤية الأشياء من حولنا، إذ إن النظر يعتمد على انعكاس هذا الطيف الكهرومغناطيسي من الأجسام وسقوطها على العين.

فاللون الأحمر يعكس اللون الأحمر ويمتص باقي الألوان ولذلك نراه أحمر، وهكذا بالنسبة لبقية الألوان وتتكون الصورة المرئية بتجميع هذه الانعكاسات على شبكية العين . كذلك تعمل كاميرا التصوير الفوتوغرافية أو الفيديو بنفس الآلية. ولكن يجب التنويه هنا إلى أن العين غير مبصرة لبقية الطيف الكهرومغناطيسي لحكمة يعلمها سبحانه وتعالى وقد طور الإنسان كاميرات تستطيع استخدام نطاقات أخرى من الطيف الكهرومغناطيسي غير المرئي.

الإشارة فوق البنفسجية:

الإشارة فوق البنفسجية لها طول موجي أقصر من الطول الموجي للضوء الأزرق، والإشارة فوق البنفسجية غير مرئية للإنسان. كما أن هذه الإشارة تساعد على تنشيط التفاعلات الكيميائية في النباتات ولكن التعرض لها أكثر من اللازم يقتل الخلايا النباتية.

تشع شمسنا كافة الأطياف الكهرومغناطيسية ولكن الإشعاع الذي يسبب اسمرار الجلد عند التعرض لإشارة الشمس هو الإشارة فوق البنفسجية؛ إذ إن جزءاً غير بسيط من هذه الإشارة يستطيع اختراق الغلاف الجوي، ولا شك في أننا قد لاحظنا لسعة إشارة الشمس على الجلد عند تعرضنا مباشرة لها، هذه اللسعة لا نشعر بها في حالة سقوط إشارة الشمس من خلال نافذة من الزجاج؛ لأن الزجاج يمتص الإشارة فوق البنفسجية.

إشارة إكس : X-rays

تنتج إشارة إكس عندما تفقد الإلكترونات طاقتها فجأة عند اصطدامها بذرات أخرى . الجهاز الذي ينتج إشارةإكس يعمل على تعجيل الإلكترونات المنبعثة من فتيلة إلى سرعات عالية لتصطدم بمعدن يسمى الهدف Target . وعندما تعطي الإلكترونات المعجلة جزءاً من طاقتها إلى ذرات المعدن لإثارته والجزء الباقي ينبعث على صورة إشارة كهرومغناطيسية (إشارةإكس) .

بعد دراسة طيف إشارةإكس وتحليله تبين أن له طولاً موجياً أقصر من الطول الموجي للإشارة فوق البنفسجية ، وهذا يعني أن طاقتها أكبر .

ولهذا السبب تستطيع إشارة إكس اختراق جسم الإنسان ولكنها لا تخترق العظم ولهذا استخدمت في تصوير العظام حيث يوضع فيلم حساس لإشارة إكس خلف ساق شخص ما وتسليط إشارة إكس لفترة زمنية قصيرة على الجانب الآخر من الساق فيمكن تصوير ظل إشارة إكس على الفيلم ورؤية صورة واضحة لشكل العظم .

خطورة إشارة إكس والحماية منها:

بالرغم من الاستخدامات العديدة لإشارةإكس فإن التعرض لها اكثر من اللازم يؤدي إلى الإصابة بمرض السرطان أو حرق لخلايا الجلد أي أنها إشارة خطيرة على الخلايا الحية ، وللحماية منها حين استخدامها في أحد التطبيقات سابقة الذكر يستخدم جدار حاجز من الرصاص ؛ لأنّ الرصاص أكثر المواد امتصاصاً لهذه الأشعة .

كما أن الغلاف الجوي يحمي الكرة الأرضية من هذه الإشارة المنبعثة من الشمس أو النجوم فيقوم بامتصاصها قبل وصولها إلى سطح الأرض وخطورة ثقب الأوزون تكمن من وجود ثغرة يمكن لهذه الإشارة النفاذ منها إلى سطح الأرض .

إشارةجاما: Gamma-rays

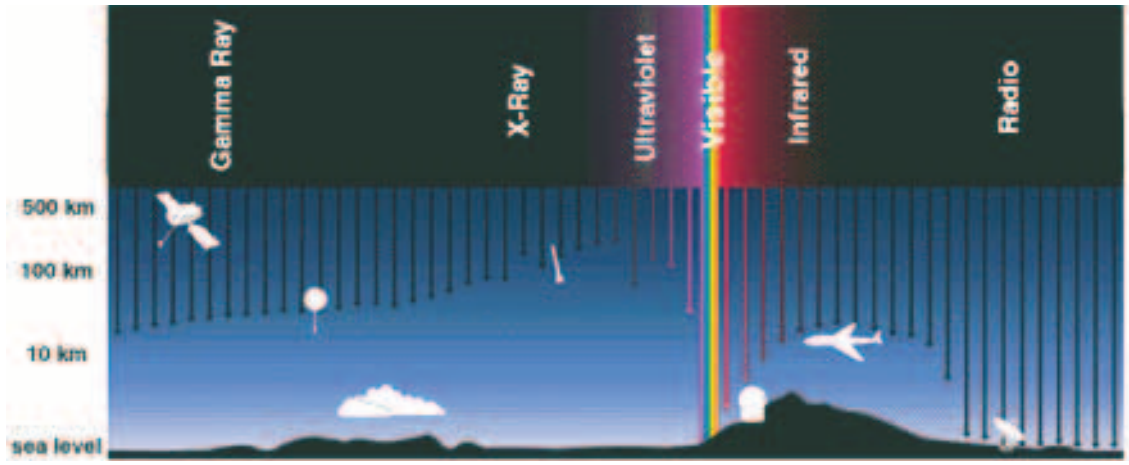
هذه الإشارة ذات الطول الموجي الأقصر في الطيف الكهرومغناطيسي وذات الطاقة الأعلى ؛ ذلك لأنها تنتج من التصادمات النووية وكذلك من العناصر المشعة .

وكما هو الحال في إنتاج إشارة إكس تم تعجيل الإلكترونات في فرق جهد عالٍ هنا يتم تعجيل الأنوية بطاقة عالية جداً باستخدام المعجلات ، مثل السيكلترون cyclotron والسنكلترون synchrotron .

في الطبيعة تنتج إشارة جاما من الشمس نتيجة للتفاعلات النووية ، وتصل طاقة إشارةجاما إلى مليون إلكترون فولت . تقطع إشارة جاما مسافات فلكية في الفضاء وتمتص هذه الإشارة فقط عند اصطدامها بالغلاف الجوي للكرة الأرضية .

وبهذا يشكل الغلاف الجوي حماية للمخلوقات الحية من هذه الإشارة المدمرة ، والشكل التالي يبين تأثير الغلاف الجوي للأرض على الطيف الكهرومغناطيسي .

نلاحظ أن الإشارة المرئية فقط هي التي تعبر الغلاف الجوي بينما الأطوال الموجية الأقصر تمنع من الوصول لسطح الأرض ؛ وذلك لأنها تمتص بوساطة طبقة الأوزون في الغلاف الجوي .



تأثير الغلاف الجوي للأرض على الطيف الكهرومغناطيسي

خطورة إشارةجاما والحماية منها:

التعرض لإشارةجاما يسبب تأين للخلايا البشرية وتتسبب بصورة رئيسة في الإصابة بالسرطان. ولوقاية الأشخاص الذين يعملون في مجال إشارةجاما يستخدم حاجز سمكه ١ سم من الرصاص حيث إن له أكبر معامل امتصاص لهذه الأشعة.

عرض النطاق (Band Width)

هناك نوعان من عرض النطاق ، عرض نطاق إشارة المعلومات (BW_{inf}) وعرض نطاق قناة الارسال أو عرض قناة النقل (BW_{ch}) . ويعرف عرض نطاق إشارة المعلومات أنه عبارة عن الفرق بين التردد الأعلى والتردد الأدنى المحتويين ضمن إشارة المعلومات . أما عرض نطاق القناة فهو عبارة عن الفرق بين التردد الأعلى والأدنى اللذين تسمح لهما القناة بالمرورز وبالتالي نخلص إلى القاعدة الآتية : "حتى تنتقل المعلومات عبر أيّ قناة فلا بد أن يكون عرض نطاق إشارة المعلومة اقل او يساوي عرض نطاق القناة" أي BWinf < BWch

BW_{inf} : عرض نطاق إشارة المعلومة BW_{ch} : عرض نطاق قناة النقل

مثـــال

إذا كان نظام إرسال تلفزيوني يستخدم كوابل نقل له عرض نطاق من 200 ال 5000 كيلو هيرتز

أ : احسب عرض نطاق القناة

ب : هل هذه القناة تسمح بمرور الإشارات الصوتية علماً بأن تردد الصوت المنقول يتراوح ما بين 300 إلى 3400 هيرتز .

الحـــل

أ : عرض نطاق القناة $BW_{ch} = 5000 - 200 = 4800$ KHz

ب : عرض نطاق الإشارة الصوتية $BW_{inf} = 3400 - 300 = 3100$ KHz

من الواضح أنَّ هذه القناة تسمح للإشارات الصوتية بالمرور؛ لأن عرض نطاق هذه القناة أكبر من عرض نطاق الإشارة الصوتية .

التضمين و كشف التضمين

إن الأشارات الصادرة عن مصادر المعلومات، مثل الصوت أو الصورة أو البيانات لاتكون مناسبة عادة للنقل عبر الوسط الناقل، لذا تعدل هذه الإشارة لتناسب الوسط الناقل وذلك بتغير خصائص الإشارة، (مثل التردد)، و تدعى هذه العملية بالتضمين Modulation .

وفي المستقبل يتم إعادة هذه الإشارة إلى طبيعتها الأصلية في عملية عكسية تدعى كشف التضمين Demodulation

التشويش NOISE

هو إشارات كهربائية عشوائية تؤثر في إشارة المعلومات، وتقلل من وضوحها واستقبالها بشكل صحيح وينقسم حسب مصدره إلى قسمين :

١- تشويش الغلاف الجوي (Atmospheric Noise):

و هو الناتج عن الظواهر الطبيعية، مثل الصواعق التي ينتج عنها توليد إشارات كهرومغناطيسية عشوائية ذات نطاق ترددي عريض يؤثر في النطاق الترددي الإذاعي و تنتقل بشكل مشابه لانتقال الموجات الإذاعية ولمسافات بعيدة ، وتؤثر بشكل كبير في الترددات الأقل من 30MHz

٢. تشويش من خارج الغلاف الجوي وينقسم إلى:

أ. التشويش الشمسي:

لأن الشمس عبارة عن جسم ملتهب تصل درجة حرارة سطحه الى ٦٠٠٠ درجة مئوية، ولأنها كوكب نشط تحدث فيه انفجارات نووية ضخمة، لذا ينتج عنها إشارات كهرومغناطيسية بنطاق ترددي عريض ، وتزيد شدة هذا التشويش و تظهر في فترات دورية . (كل ١١ عاماً تقريباً)

ب. التشويش الكوني:

ما تحدثه الشمس من تشويش تحدثه النجوم أيضا إذ تعدّ النجوم شموساً بعيدة وهذا البعد يضعف الإشارة الكهرومغناطيسية الواصلة إلى الأرض ولكن كثرة أعداد النجوم ينتج الكثير من التشويش حتى يصبح تاثيرها ملموساً .

جـ. التشويش الصناعي:

هو التشويش الناتج عن المنشآت الصناعية و التطور الصناعي ، فتنتج إشارات كهرومغناطيسية من أنظمة الإشعال، ومن المفاتيح الكهربائية في الآلات الصناعية في المصانع و عن السيارات و الطائرات .

كما تعدّ مصابيح الفلوروسنت من مصادر التشويش وينصح بإبعادها عن أجهزة الاتصالات .

كما أن أية الآت يصاحبها تفريغ كهربائي (شرارة) ينتج عنها تشويش .

يؤثر التشويش الصناعي في المدى الترددي حتى 600MHz تقريباً .

د. التشويش الداخلي:

ينتج هذا التشويش في أجهزة الاتصالات نفسها، و ينتج عن ارتفاع حرارة العناصر الإلكترونية مما يؤثر في مقاومتها الداخلية وبالتالي ظهور فرق جهد عشوائي على أطراف العنصر . ولايمكن عادة التخلص منه .

هـ. التداخل بين أنظمة الاتصالات:

يحدث أن تستخدم أجهزة الاتصالات نفس النطاق الترددي فيعاد استخدام نفس الترددات في المناطق الجغرافية المختلفة إلا أن هذه الإشارات المتشابهة في التردد قد تصل إلى جهاز الاستقبال مما يؤدي إلى صعوبة التفريق بينها ، ويمكن ملاحظة ذلك احيانا في استقبال بعض المحطات الإذاعية .

معامل التشويش:

يعد معامل التشويش مقياساً يمكن بوساطته تحديد مقدار ما يتعرض له نظام اتصالات ما من تشويش ، وذلك بحسب المعادلة الآتية : $F = \frac{(S / N)_{in}}{(S / N)_{out}}$

حيث :

F : معامل التشويش .

S : شدة الإشارة .

N : شدة التشويش .

أي إن معامل التشويش هو النسبة بين طاقة الإشارة إلى التشويش في مدخل نظام اتصالات ما إلى النسبة بين طاقة الإشارة والتشويش على مخرج ذلك النظام .

نلاحظ من القانون أن معامل التشويش سيكون دائماً أكبر من 1

وكلما ازداد معامل التشويش دل ذلك على ازدياد نسبة التشويش في النظام و العكس .

الوحـــدة

٤

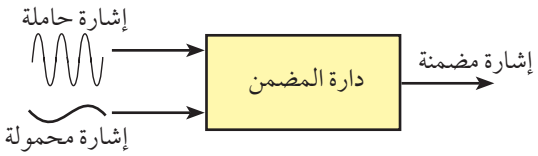
التضمين

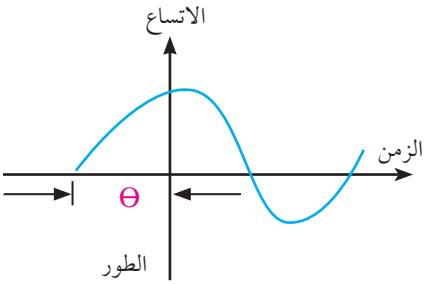
وأنظمة الاتصالات التمثيلية

مفهوم التضمين (Modulation)

إن معظم الإشارات الناشئة عن مصادر المعلومات المختلفة (كالإشارات الصوتية مثلاً) لا تكون مناسبة للنقل عبر الوسط الناقل، لذلك نقوم بتحميل هذه الإشارة التي تحمل المعلومات، وتسمى بالإشارة المحمولة على إشارة أخرى ذات خواص مناسبة للنقل عبر وسائط النقل المختلفة، وتسمى بالإشارة الحاملة (Carrier)، وتعرف هذه العملية بالتضمين (Modulation).

وبذلك نستطيع تعريف التضمين على أنه تلك العملية التي يتم بواسطتها تغيير خواص الإشارة الحاملة تبعاً لتغيرات الإشارة المحمولة، وتتم هذه العملية باستخدام دارة إلكترونية تعرف بدارة المضمن.





وتمتاز الإشارة الحاملة بأنها إشارة ذات تردد عال ومنتظمة كالإشارة الجيبية، وغالباً ما يتم توليد هذه الإشارة باستخدام دوائر المذبذبات التي تم دراسة جزء منها سابقاً.

ومن أهم الخصائص للإشارة الجيبية التي يمكن تعديلها خلال عملية التضمين هو التردد، الاتساع، والطور.

ويمكن تمثيل هذه الإشارة رياضياً كما يأتي:

$$C(t) = A_c \times \cos(2\pi f_c t + \Theta)$$

حيث إن Ac هو اتساع الموجة الحاملة، وfc هي تردد الموجة الحاملة وΘ هي طور الموجة الحاملة

ومن خلال تعديل إحدى هذه الخصائص الثلاث نحصل على أحد أنواع التضمين الآتية:

١ **تضمين الاتساع** ("AM "Amplitude Modulation) : هو عبارة عن تغيير اتساع الموجة الحاملة تبعاً لتغيرات الإشارة المحمولة (إشارة المعلومات) لتنتج إشارة جديدة تدعى إشارة تضمين الاتساع.

٢ **تضمين التردد** ("FM "Frequency Modulation) : هو عبارة عن تغيير تردد الموجة الحاملة تبعاً لتغيرات الإشارة المحمولة (إشارة المعلومات) لتنتج إشارة جديدة تدعى إشارة تضمين التردد.

٣ **تضمين الطور** ("PM "Phase Modulation) : هو عبارة عن تغيير طور الموجة الحاملة تبعاً لتغيرات الإشارة المحمولة (إشارة المعلومات) لتنتج إشارة جديدة تدعى إشارة تضمين الطور.

أهميـــة التضمين

هناك تساؤل مهم جداً وهو لم إذا عملية التضمين في الاتصالات؟

إن لعملية التضمين أهمية كبيرة في عالم الاتصالات، ويمكننا أن نستخلص منها ما يأتي :

١ **طول الهوائيات (Antenna) وإمكانية التطبيق :** لكي يتم بث الموجات الكهرومغناطيسية بكفاءة فإن طول هوائي الإرسال أو الاستقبال يكون عادة ربع الطول الموجي للموجة $\frac{\lambda}{4}$.

فمثلاً الإشارة الصوتية تتركز في الترددات 100Hz إلى 3400KHz وهذا يُعدّ تردداً منخفضاً نسبياً، وتكون طول موجتها :

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{3400} = 88235 \text{ meters}$$

لذلك فان الهوائي اللازم لبث هذه الإشارة هو 25% من الطول الموجي ويساوي 22058 متراً ، وهذا مكلف جداً وغير قابل للتطبيق، فتخيل مثلاً أنك تحتاج هذا الهوائي في منزلك لتستمع إلى محطتك المفضلة! لذلك فإن التضمين يحل مشكلة طول الهوائي اللازم لاستقبال الإشارة أو إرسالها عن طريق حمل الإشارة الصوتية على إشارة حاملة ذات تردد مرتفع، فمثلاً لو قمنا بتحميل هذة الإشارة بوساطة إشارة حاملة ذات تردد 900 MHz فإن طول موجة الإشارة الناتجة يكون :

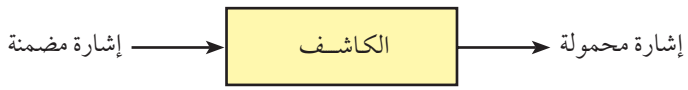
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{9 \times 10^8} = 0.33 \text{ meters}$$

ويكون طول الهوائي $\frac{\lambda}{4}$ ويساوي $\frac{0.33}{4}$ ويساوي 8.25 سم، وهذا يُعدّ اقتصادياً بالإضافة إلى أنه قابل للتطبيق .

٢ **نقل عدد من إشارات المعلومات محملة على إشارات حاملة :** بحيث يمكن نقلها معاً بدون حدوث تداخل بينها . فمثلاً لو أن محطات الإذاعة تبث إشاراتها الأصلية دون أي تعديل فإن هذه الإشارات سوف تتداخل ؛ لأن طيفها الترددي يشغل النطاق نفسه تقريباً ولهذا فلن يكون بالإمكان بث عدة قنوات إذاعية في الوقت نفسه، ولكن باستعمال التضمين حيث يمكن حمل هذه الإشارات فوق حوامل ذات ترددات مختلفة بحيث يكون تردد الموجات الحاملة بعيدة عن بعضها بما فيه الكفاية لمنع تداخل هذه المحطات، وفي جهاز الاستقبال يستخدم مرشح إمرار نطاقي قابل للتغيير لاختيار الإشارة أو المحطة المرغوبة كما في المذياع .

كشف التضمين (Demodulation)

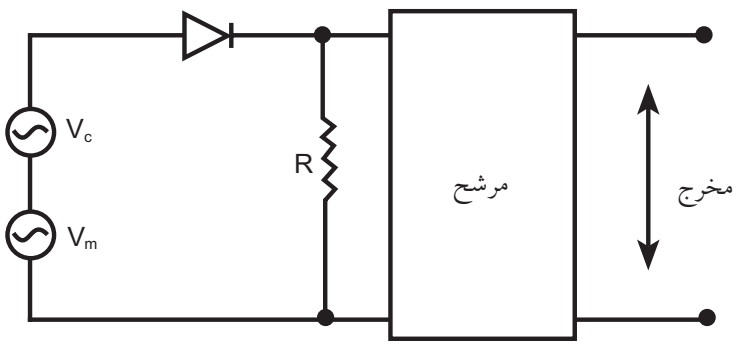
هي عملية إزالة التضمين وذلك عن طريق فصل الإشارة المحمولة (إشارة المعلومات) عن الإشارة الحاملة بعد وصولها إلى المكان المطلوب، وتتم هذه العملية في جهاز الاستقبال لاسترجاع إشارة المعلومات بحيث تعرف بالإشارة المستخلصة (Demodulated Signal)، وتسمى الدارة المستخدمة بدارة الكاشف (Detector).



تضمين الاتساع (Amplitude Modulation)

تضمين الاتساع هو تلك العملية التي يتم من خلالها تغيير اتساع الإشارة الحاملة تبعاً لتغيرات الإشارة المحمولة (إشارة المعلومات) مع المحافظة على تردد الإشارة الحاملة ثابتاً بلا تغيير.

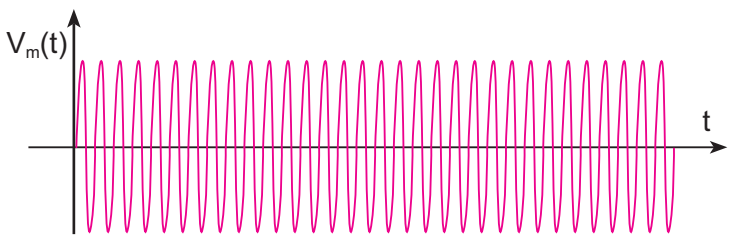
وبذلك يكون الناتج من العملية هو إشارة مضمنة اتساعياً (Amplitude Modulated Signal) تحتوي الإشارة الحاملة (carrier Signal) والإشارة المحمولة التي تعرف أيضاً بإشارة التضمين (modulating Signal)، ويستخدم هذا النوع من التضمين في أنظمة المذياع (Radio) وأبسط دوائر التضمين تتكون من ثنائي ومقاومة ومرشح كما في الشكل الآتي:



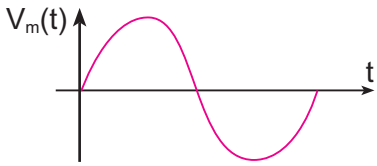
وبالنظر إلى الشكل إذا كانت الإشارة الحاملة هي $v_c(t) = V_c \cos(2\pi f_c t)$ حيث إن:

V_c : هو الاتساع الأقصى للإشارة الحاملة.

f_c : هو تردد الإشارة الحاملة.



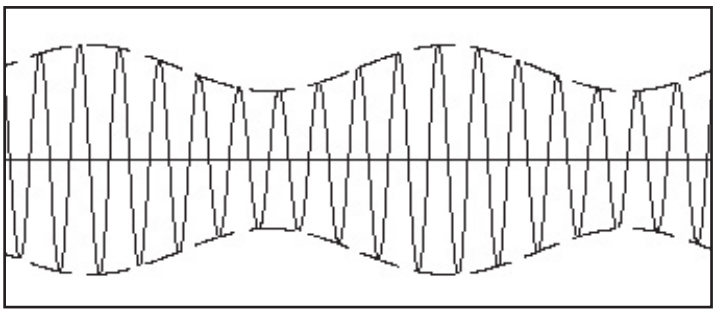
وإذا كانت الإشارة المحمولة هي $v_m(t) = V_m \cos(2\pi f_m t)$ حيث إن :



V_m : هوالاتساع الأقصى للإشارة الحاملة .

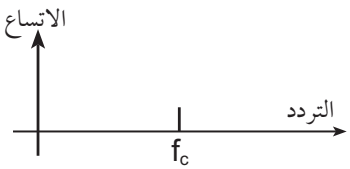
f_m : هو تردد الإشارة الحاملة .

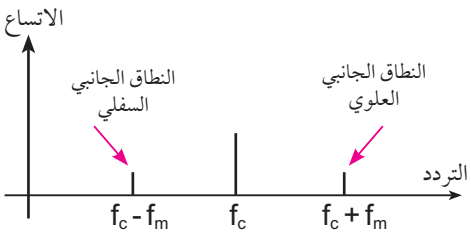
وعند دخول الإشارتين الحاملة والمحمولة على دارة التضمين فإن الشكل على المخرج يكون بالشكل أدناه والتي تعرف بالإشارة المضمنة .



وتعرف النسبة بين الاتساع الأقصى للإشارة المحمولة V_c والاتساع الأقصى للإشارة المحمولة V_m بمعامل التضمين . $m = \frac{V_m}{V_c}$ وعادة تكون قيمة معامل التضمين أقل من واحد صحيح .

مكونات التردد للإشارة المضمنة اتساعياً:





للإشارة الحاملة الجيبية مكون ترددي واحد كما في الشكل أدناه أما الإشارة المحمولة فقد تكون ذات مكون ترددي واحد أو نطاق يحتوي أكثر من تردد واحد .

وإذا كانت الإشارة المحمولة تحتوي مكوناً ترددياً واحداً فإن الإشارة المضمنة اتساعياً تحتوي ثلاثة مكونات ترددية أساسية كما في الشكل :

وهذه المكونات هي:

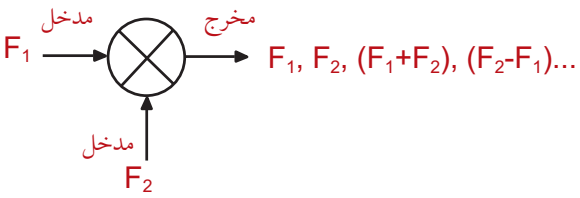
١ . تردد الإشارة الحاملة (f_c)

٢ . مكونة جديدة ترددها مجموع الترددين ($f_c + f_m$) وتسمى النطاق الجانب العلوي (Upper Side Band- USB).

٣ . مكونة جديدة ترددها فرق الترددين ($f_c - f_m$) وتسمى النطاق الجانب السفلي (Lower Side Band- LSB)

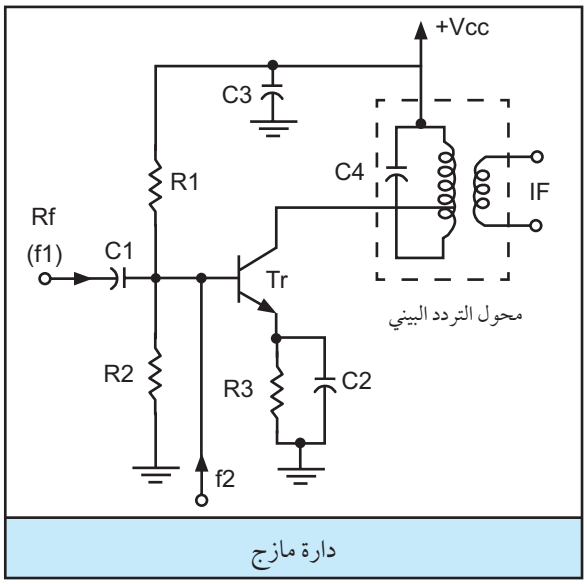
المـــازج Mixer

يستخدم المازج لمزج إشارتين بترددين مختلفين ، ونظراً للخواص غير الخطية للمازج فإن مخرجه يحتوي على ترددات عدة ، بحيث يتم الحصول على التردد المناسب باستخدام المرسح المناسب ، ويرمز للمازج كما في الشكل الآتي :



فإذا كانت ترددات الإشارتين المراد مزجهما F_1 , F_2 فإن ترددات مخرج المازج ستكون $(f_2, f_1),....)$, $(f_1+ f_2)$ بالإضافة إلى مضاعفات كل من f_1, f_2 ونظراً لظهور F_1, F_2 ترددات جديدة على المخرج فيمكن استخدام المازج في تطبيقات أخرى كالحصول على ترددات عالية وذلك باختيار (f_1+f_2) أو لخفض تردد إشارة وذلك باختبار (f_2, f_1) .

ويستخدم المازج بشكل أساسي في البث الإذاعي في دوائر الإرسال حيث يتم توليد إشارات تضمين لإرسال إشارات المعلومات لبثها عبر الهوائيات، وفي دوائر الاستقبال يتم الحصول على تردد يسمر " التردد البيني " من الإشارة المضمنة، كما في الشكل المجاور :



مثـــال (١)

إذا علمت أن تردد الإشارة الحاملة هو 1000Khz وتردد الإشارة المحمولة هو 2000Hz ، احسب تردد نطاق الجانب العلوي والسفلي وارسم شكلاً توضيحياً للمكونات الترددية للإشارة الناتجة عن عملية التضمين (الإشارة المضمنة).

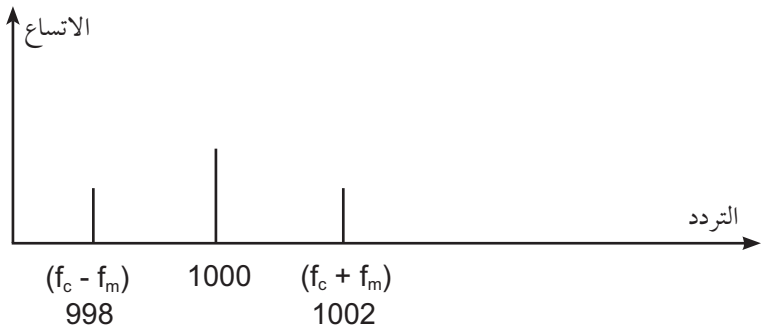
الحـــل:

تردد الإشارة الحاملة (f_c) =1000 Khz

تردد الإشارة المحمولة (f_m) =2000 Hz

تردد النطاق الجانبي العلوي هو مجموع الترددين $(f_c + f_m) = 2 + 1000 = 1002$ Khz

تردد النطاق الجانبي السفلي هو حاصل طرح الترددين $(f_c + f_m) = 1000 - 2 = 998$ Khz



مثـــال (٢)

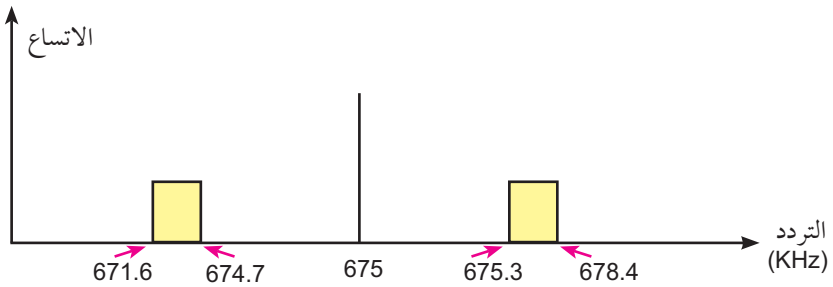
إذا كانت محطة إذاعة تستخدم التردد الحامل مقداره 675 Khz ، ومخرج المايكروفون الإذاعي يحتوي النطاق 300 - 3400 Hz ، أوجد المكونات الأساسية للإشارة المضمنة اتساعياً .

الحـــل:

ترددات النطاق الجانبي العلوي هي : 675 + 0.3 = 675.3KHz ، 675 + 3.4 = 678.4KHz

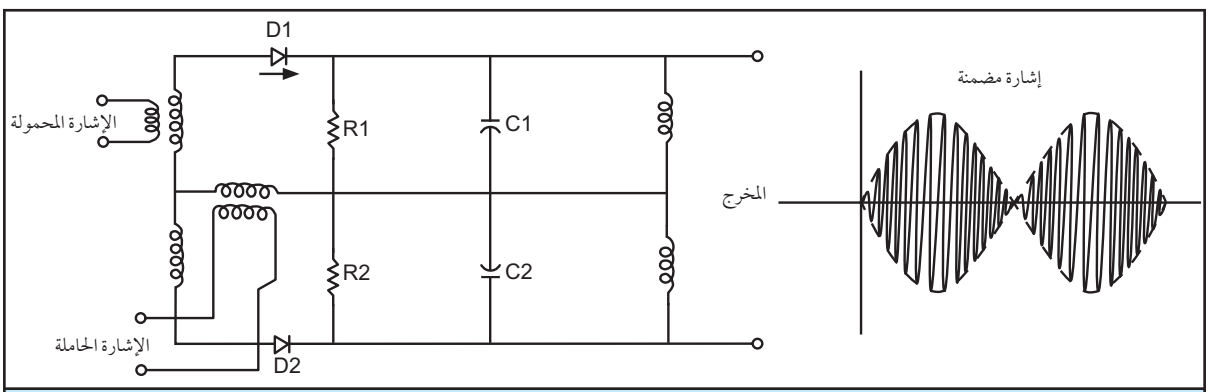
ترددات النطاق الجانبي السفلي هي : 675 - 0.3 = 674.7KHz ، 675 - 3.4 = 671.6KHz

تردد الإشارة الحاملة 675KHz



وبما أن الإشارة الحاملة لاتتضمن بمحتواها أية معلومات فإن حذفها من الإشارة المضمنة لا يؤثر في نقل الإشارة المحمولة

بل يوفر قدراً كبيراً من الطاقة المستهلكة . ويسمى المضمن الذي يقوم بحذف الإشارة الحاملة بالمضمن المتوازن (Balanced Modulator) والشكل أدناه يمثل دارة هذا المضمن .

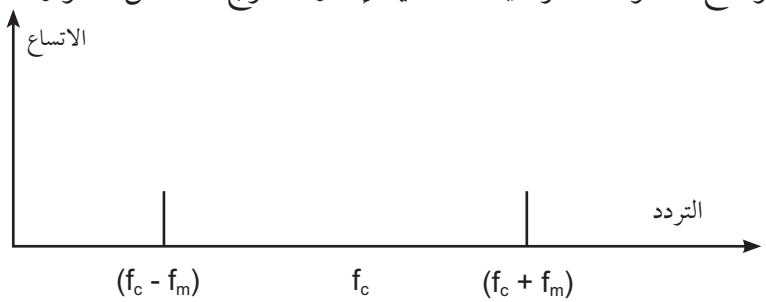


المضمن المتوازن

نلاحظ في الشكل أعلاه أن الإشارة الحاملة موصولة بطريقة متماثلة إلى الثنائيين D1 وD2 لذلك فان مخرج المضمن يساوي صفراً إذا كانت الإشارة المحمولة غير موجودة، ذلك لأن المواسعين C1، C2 يشحنان بشحنتين متساويتين ومختلفتين . أما إذا كانت الإشارة المحمولة موصولة بالمضمن فإن فرق الجهد بين طرفي أي ثنائي يعتمد على المجموع الجبري للإشارتين الحاملة والمحمولة . وبسبب طريقة ربط الإشارة المحمولة

فإن الثنائيين لا يمرران تيارات متساوية الأمر الذي يؤدي إلى ظهور إشارة على مخرج المضمن تحتوي ترددات النطاقين الجانبيين العلوي والسفلي ولا تحتوي على تردد الإشارة الحاملة .

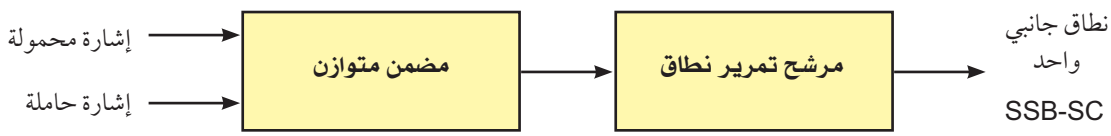
و الشكل أدناه يوضح المكونات الترددية الأساسية لإشارة مخرج المضمن المتوازن :



نلاحظ من الشكل أعلاه أن المكونات الأساسية الترددية للإشارة المضمنة اتساعياً باستخدام المضمن المتوازن تتكون من النطاقين الجانبيين العلوي والسفلي وأن هذه الإشارة لا تحتوي على الإشارة الحاملة لذلك فإن هذا النوع من تضمين الاتساع يعرف بتضمين الاتساع ذي النطاقين الجانبيين والحاملة المحذوفة (Double Side Band-Suppressed Carrier: DSB-SC) .

مضمن الاتساع ذو النطاق الجانبي الواحد والحاملة المحذوفة

في النوعين السابقين كان عرض نطاق الإشارة المضمنة يساوي ضعف عرض نطاق الإشارة المحمولة (BW=2fm)، ولكن لنقل الإشارة المحمولة يكفي أن يكون مقدار عرض النطاق مساوياً لعرض نطاق الإشارة المحمولة أي(BW=fm) ويتم ذلك باستخدام مرشح تمرير ذي نطاق مناسب يسمح بمرور النطاق المطلوب بينما يحجب النطاق الآخر . ويوضح الشكل أدناه مضمن اتساع لنطاق جانب واحد والحاملة المحذوفة :



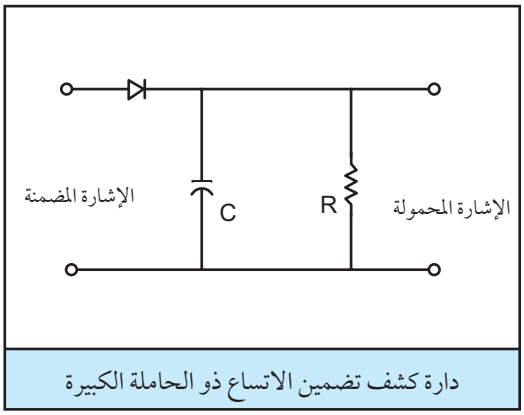
في الشكل أعلاه يعمل المرشح على تمرير نطاق جانبي واحد بينما يحجب النطاق الآخر لذلك فإن المكونات الترددية للإشارة المضمنة تحتوي فقط على نطاق جانبي واحد ولا تحتوي على الإشارة الحاملة، ولذلك سمي هذا النوع من التضمين تضمين الاتساع ذي النطاق الجانبي الواحد والحاملة المحذوفة (Single Side Band -Suppressed Carrier :SSB-SC) .

كشف تضمين الاتساع (Amplitude De-Modulation)

درست سابقاً أن كشف عملية التضمين هو عملية إزالة التضمين وذلك عن طريق فصل الإشارة المحمولة (إشارة المعلومات) عن الإشارة الحاملة بعد وصولها إلى المكان المطلوب، وهي عملية معاكسة لعملية التضمين .

والشكل أدناه يمثل إحدى دوائر كشف تضمين الاتساع التي تستخدم في كشف تضمين الاتساع ذي الحاملة الكبيرة وتعرف هذه الدارة بكاشف تضمين الاتساع ذي الحاملة الكبيرة (Large Carrier Amplitude Modulation Detector) .

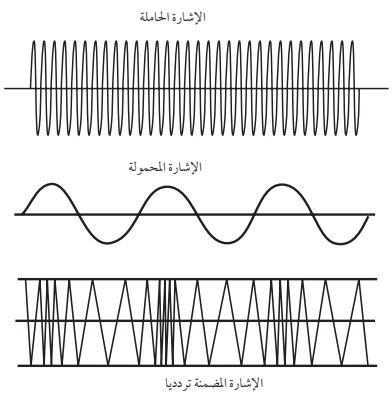
كما هو ملاحظ فإن الدارة تتكون من ثنائي ومقاومة ومواسع ، فالثنائي يقوم بتمرير الأجزاء الموجبة من الإشارة المراد كشفها في حين يمنع مرور الأجزاء السالبة ، أما المقاومة والمواسع فإنهما يقومان بدور دارة الشحن والتفريغ وعادة تكون قيمة المقاومة عالية نسبياً وذلك لزيادة وقت تفريغ شحنة المواسع ، وذلك للحصول على جهد مخرج يتغير بطريقة تشبه تغيرات الإشارة المحمولة ، كما ويعمل المواسع كدارة قصر بالنسبة للإشارة الحاملة وبالتالي يمنع مرور هذه الإشارة إلى المخرج وبذلك نكون قد استخرجنا الإشارة المحمولة فقط .



دارة كشف تضمين الاتساع ذو الحاملة الكبيرة

تضمين التردد (Frequency Modulation: FM)

تضمين التردد هو تلك العملية التي يتم من خلالها تغيير تردد الإشارة الحاملة تبعاً لتغيرات الإشارة المحمولة (إشارة المعلومات) مع المحافظة على اتساع الإشارة الحاملة ثابتاً ، وبذلك يكون الناتج من العملية هو إشارة مضمنة ترددياً (Frequency Modulated Signal) تحتوي كلا من الإشارة الحاملة والمحمولة ، ويستخدم هذا النوع من التضمين في انظمة المذياع والتلفاز وغيرهما .



إذا كانت الإشارة الحاملة هي $v_c(t)=V_c \cos(2\pi f_c t)$ حيث ان :

V_c : هو الاتساع الأقصى للإشارة الحاملة .

f_c : هو تردد الإشارة الحاملة .

و إذا كانت الإشارة المحمولة هي $v_m(t)=V_m \cos(2\pi f_m t)$ حيث أن :

V_m : هوالاتساع الأقصى للإشارة الحاملة .

f_m : هو تردد الإشارة الحاملة .

فإن ناتج عملية تضمين التردد كما في الشكل المجاور .

نلاحظ من الشكل أعلاه أن تردد الإشارة الحاملة يزداد بزيادة اتساع الإشارة المحمولة ويتناقص بتناقص اتساع الإشارة المحمولة بحيث يكون تردد الإشارة المضمنة ترددياً أكبر ما يمكن عند الاتساع الأقصى الموجب للإشارة المحمولة .

ويعرف مقدار التغير في تردد الإشارة الحاملة بانحراف التردد (Frequency Deviation: Δf) ، وتعرف النسبة بين انحراف التردد وتردد الإشارة المحمولة بمعامل تضمين التردد m_f حيث إن : $m_f = \frac{\Delta f}{f_m}$

مكونات التردد للإشارة المضمنة ترددياً

إذا كانت الإشارة المحمولة تحتوي مكوناً ترددياً واحداً فإن الإشارة المضمنة ترددياً تحتوي المكونات الأساسية الآتية :

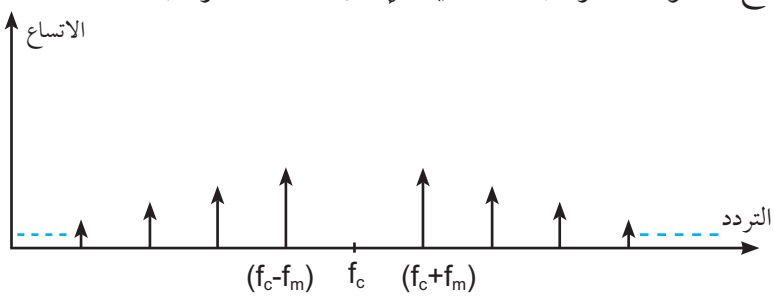
١ الإشارة الحاملة الأصلية .

٢ إشارتين متساويتين بالاتساع وبتردد $(f_c - f_m)$و $(f_c + f_m)$.

٣ إشارتين متساويتين بالاتساع وبتردد $(f_c - 2f_m)$و $(f_c + 2f_m)$.

٤ إشارتين متساويتين بالاتساع وبتردد $(f_c - 3f_m)$و $(f_c + 3f_m)$ . . . وهكذا بحيث يعتمد اتساع الإشارات الجديدة على معامل التضمين .

والشكل أدناه يوضح المكونات الترددية الأساسية للإشارة المضمنة ترددياً .



مثـــال (١)

إذا علمت أن تردد الإشارة الحاملة 100MHZ وأن تردد الإشارة المحمولة 100KHZ ، أحسب المكونات الترددية للإشارة المضمنة ترددياً وارسم شكلاً توضيحياً للمكونات الترددية للإشارة الناتجة عن عملية التضمين .

الحـــل:

١ تردد الإشارة الحاملة = 100KHz

٢ إشارتان احداهما بتردد 100100 KHz = 100 + 100000

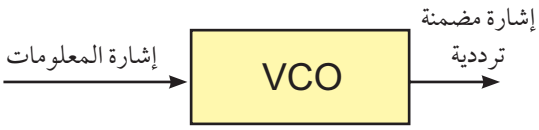
والأخرى بتردد 99900 KHz = 100 - 100000

٣ إشارتان إحداهما بتردد 100200 KHz = 200 + 100000

والأخرى بتردد 99800 KHz = 200 – 100000 وهكذا .

وأبسط مضمن تردد هو مذبذب يتم التحكم بتردد مخرجه (الإشارة المضمنة) عن طريق جهد إشارة مدخلة (الإشارة المحمولة) .

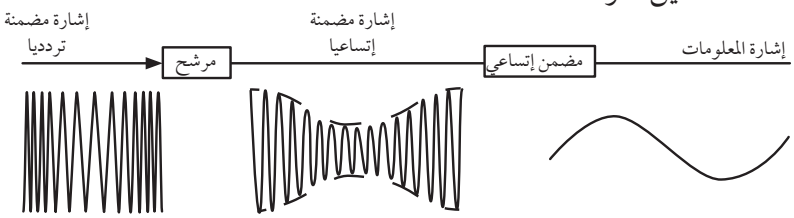
والشكل الآتي يوضح عمل هذا المضمن البسيط :



كشف تضمين التردد (Frequency Modulation Demodulation)

تستخدم طرق عديدة لكشف تضمين التردد وبتقدم صناعات الدوائر المتكاملة وأشباه الموصلات أصبحت الدوائر المتكاملة تستخدم في بناء المستقبلات لكشف تضمين التردد .

ويتم عادة كشف تضمين التردد عن طريق تحويل تغيرات التردد إلى تغيرات بالاتساع ومن ثم يستخدم كاشف تضمين الاتساع لكشف تلك التغيرات وبالتالي استخلاص الإشارة المحمولة من الإشارة المضمنة ترددياً ، والشكل أدناه يوضح آلية كشف تضمين التردد .



الإرسال المتعدد باستخدام التقسيم الترددي (Frequency Division Multiplexing)

افرض أن عدداً من المحطات الاذاعية تبث إشارتها الصوتية مباشرة وبدون أي تعديل فإن هذه الإشارات سوف تتداخل ؛ لأن طيفها الترددي يشغل النطاق نفسه ، لذاك فلن يكون من الممكن بث أكثر من قناة إذاعية في الوقت نفسه .

يستخدم الإرسال المتعدد (Multiplexing) لإرسال عدة إشارات على قناة نقل واحدة وذلك للاستفادة من سعة النطاق الترددي لقناة النقل التي تكون عادة أكبر بكثير من النطاق الترددي للإشارات المراد نقلها بحيث يتم تقسيم النطاق الترددي للقناة الناقلة إلى عدة نطاقات اصغر منها بحيث يكون كل نطاق من هذه النطاقات كافياً لنقل لنقل الإشارة المطلوبة وعدم تداخلها مع بقية الإشارات ، ويستخدم التقسيم الترددي في النقل المتزامن والمتعدد للإشارات وذلك عن طريق تضمين الإشارات الصوتية فوق حوامل ذات ترددات مختلفة ومتباعدة لمنع التداخل ، وفي جهاز الاستقبال يستعمل مرشح امرار نطاقي قابل للتغيير لاختيار الإشارة أو المحطة المطلوبة .

والشكل أدناه يوضح مبدأ عمل الإرسال المتعدد باستخدام التقسيم الترددي .