جمهورية العراق
وزارة التربية
المديرية العامة للتعليم المهني

العلوم الصناعية

الأول

تكنولوجيا صناعية

تأليف

المهندس سعد إبراهيم عبدالرحيم

أ. د. نبيل كاظم عبد الصاحب
المهندس يعرب عمر ناجي
المهندس احمد رحمان جاسم
المهندس رعد كاظم محمد
المهندس عادل عباس علي

د. إحسان كاظم عباس
المهندس خالد عبدالله علي
المهندس عبد الكريم ابراهيم محمد
المهندس دريد خليل إبراهيم
المهندس فوزي حسين شوزي

الطبعة الثالثة

1445 هـ — 2023 م

مقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف خلق المرسلين سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين.

لقد سعت المديرية العامة للتعليم المهني إلى تطوير المناهج العلمية والبرامج التدريبية من أجل تأهيل الملاكات القادرة على امتلاك المؤهلات والمهارات العلمية والفنية والمهنية، وكذلك لسد متطلبات سوق العمل وإيجاد فرص العمل على وفق التقدم العلمي الحاصل في ظل التطورات والخطوات التي يخطوها العالم نحو التقدم والانطلاق السريع. فقد خطت المديرية خطوات ايجابية تتفق مع الدول المتقدمة في بناء البرامج على وفق أساليب حديثة وباختصاصات مختلفة، وقد تمثلت هذه الخطوات في تحديث الكتب التربوية والعلمية وفتح الكثير من الاختصاصات الجديدة والحديثة ومنها بوجه الخصوص تخصص الميكاترونكس، تمثل هذه الخطوة الركيزة الأساسية في بناء الوطن على وفق الرؤيا العلمية التي تتوافق مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل الآنية والمستقبلية.

واليوم نضع بين يديك هذا الكتاب الذي يشمل مبادئ الكهرباء والإلكترونيك ومنظومات السيطرة والتحكم الإلكتروني وتطبيقاتها في عمل السيارات لتحسين أداء السيارات من ناحية القدرة والعزم وانخفاض استهلاك الوقود والضوضاء وتحسين نوعية غازات العادم وتقليل تأثيره في البيئة، ، لذلك يكون من المهم على الطالب عبور متطلبات هذا الكتاب.

ولتحقيق متطلبات هذا العمل بالطرق الصحيحة وللوصول إلى الغرض المطلوب من تنفيذ العمل فقد تم وضع مفردات فنية في المنهاج لهذه المادة وتقسيم الكتاب إلى أبواب تضمن الباب الأول علم الإلكترونيك بواقع فصلين عن الكهرباء والإلكترونيات والرقميات وتناول القديم والحديث منها لتكتمل الفائدة ولتكون النواة لكل فني طموح يريد الدخول إلى حقل المعرفة العلمية وبشكلها البسيط والواضح والمدعوم بالصور والأشكال التوضيحية والمعادلات لإكتساب المعلومات والمهارات العلمية اللازمة لهذا التخصص. في حين تضمن الباب الثاني على مدى ثمانية فصول معلومات علمية عن السيارات وتطورها الصناعي ومن ثم التعرف على أجزاء السيارة والدخول في تعريف كل جزء بدءً من المحرك وأجزائه وانتقالاً إلى دورات المحرك ووحدة نقل العزوم والمنظومة الكهربائية ومنظومتي التبريد والتزييت.

نرجو من الله عز وجل أن نكون قد أسهمنا وبشكل متواضع في نشر المعرفة بين أبنائنا الأعزاء من طلبة التعليم المهني وفي خدمة هذا الوطن العزيز.

والله ولي التوفيق.

المحتويات

الموضوع	الصفحة
الفصل الأول (الأسس الكهربائية)	7
مصادر الطاقة	7
طرائق توليد الطاقة الكهربائية	7
القوة الدافعة الكهربائية	9
المقاومة الكهربائية	10
قانون أوم	14
ربط المقاومات	15
الطاقة والقدرة الكهربائية	20
قانونا كيرشهوف	20
التيار المتناوب	22
ممانعات التيار المتناوب	28
دوائر الرنين	32
المحولة الكهربائية	34
أسئلة لفصل الأول	36
الفصل الثاني (أشباه الموصلات)	38
أشباه الموصلات	38
السليكون والجرمانيوم	38
الثنائي البلوري (الثنائي)	40
الإنحياز الأمامي	41
الإنحياز العكسي	42
خواص الثنائي	42
أنواع الثنائي	43
تطبيقات الثنائي	48
الترانزستور	51
تركيب الترانزستور	51
انحياز الترانزستور	51
العلاقة بين تيارات الترانزستور	53
أنواع الترانزستور	53
مكبرات الفولتية ومكبرات التيار	58
طرائق ربط الترانزستور	59
أنظمة التمثيل الرقمي	62
النظام العشري	62
النظام الثنائي	62
البوابات المنطقية	65
الجبر البوليني	69
خارطة كارنوف	72
توافق الدوائر المنطقية	74
الدوائر المتكاملة	75
أسئلة الفصل الثاني	77
	78

الفصل الثالث (خطوط الإنتاج)	78
لمحة تأريخية	78
أجزاء أنظمة التصنيع	79
ماكينات الإنتاج ومعداتها والأجهزة ذات الصلة	79
أجزاء الخط الانتاجي	81
عمليات التصنيع والمعالجة والتجميع	81
عمليات المناقلة	84
معدات مناقلة المواد	85
أنظمة الخزن	90
الفحص والاختبار	93
التنسيق والتحكم	96
أسئلة الفصل الثالث	97
الفصل الرابع (الأجزاء الرئيسة للخط الإنتاجي)	98
المحرك	98
محركات الإحتراق الداخلي	98
محركات الإحتراق الخارجي	101
المحرك الكهربائي	101
أعمدة الإدارة (محاور الدوران)	106
المواد المستعملة لصنع الأعمدة ومحاورالدوران	106
الأشكال التصميمية للأعمدة والمحاور	106
آلية الحركة للأعمدة ومحاور الدوران	107
الأعمدة والمحاور المجوفة	108
الأحزمة الناقلة (السيور)	108
أنواع الأحزمة ومواصفاتها	109
مواصفات وحسابات الأحزمة	110
آلية عمل الأحزمة	112
التروس	115
أنواع التروس	116
آلية عمل التروس	117
قطار التروس	118
السلاسل	124
تركيب السلسلة	125
آلية عمل السلاسل	125
الحدبات	126
أنواع التابع	128
آلية عمل الحدبات	129
أذرع الربط والنقل	130
الموقفات (الكوابح)	131
أنواع الموقفات (الكابح)	132
آلية عمل الكوابح	133
الفواصل	134
أسئلة الفصل الرابع	138

الفصل الأول- الأسس الكهربائية

1-1 مصادر الطاقة Energy Sources

إن عملية توليد أو إنتاج الطاقة الكهربائية هي في الحقيقة عملية تحويل الطاقة من شكلٍ إلى آخر حسب مصادر الطاقة المتوفرة في مواقع الطلب على الطاقة الكهربائية وحسب الكميات المطلوبة لهذه الطاقة، الأمر الذي يحدد أنواع محطات التوليد وكذلك أنواع الاستهلاك وأنواع الوقود ومصادره كلها تؤثر في تحديد نوع المحطة ومكانها وطاقتها.

طرائق توليد الطاقة الكهربائية Generation of Electrical Energy

اولاً: محطات توليد الكهرباء

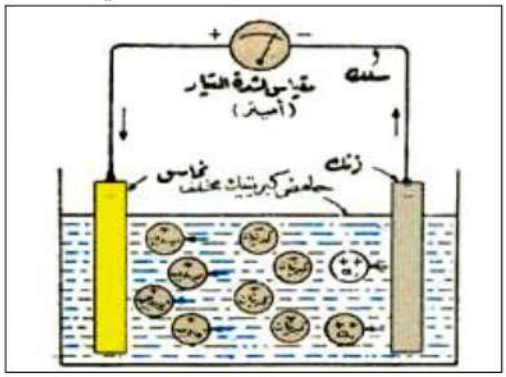
يتم توليد الكهرباء بمحطات كبيرة تصل طاقاتها إلى آلاف الميكاواط بجهد منخفض 11كيلوفولت ذو تيار متردد 50 هيرتز أو 60 هيرتز. وتكون محطات توليد الكهرباء قرب مصادر الطاقة الأساسية على الأكثر وربما بعيداً عن أماكن الحاجة الفعلية لها، حيث يتم تحويل الجهد الكهربائي بواسطة محولات كهربائية رافعة إلى جهد عالي 33 كيلوفولت أو 132 كيلوفولت أو400 كيلو فولت لنقلها من منطقة التوليد إلى منطقة الحاجة لها بواسطة أبراج كبيرة تعلق عليها الاسلاك التي تمرر التيار الكهربائي. حيث يتم تحويلها مرة اخرى قرب المواقع التي يحتاج فيها للطاقة الكهربائية إلى جهد منخفض 400 فولت أو 220 فولت بواسطة محولات كهربائية خافضة أخرى. نذكر هنا أنواع محطات التوليد المستعملة على صعيد عالمي ونركز على الأنواع المستعملة في الدول المتقدمة صناعياً:

1- محطات التوليد البخارية. 2- محطات التوليد النووية. 3-.محطات التوليد المائية. 4- محطات التوليد من المد والجزر. 5- محطات التوليد ذات الاحتراق الداخلي (ديزل – غازية). 6- محطات التوليد بواسطة الرياح. 7- محطات التوليد بالطاقة الشمسية.

ثانياً: الأعمدة الكهربائية

العمود البسيط

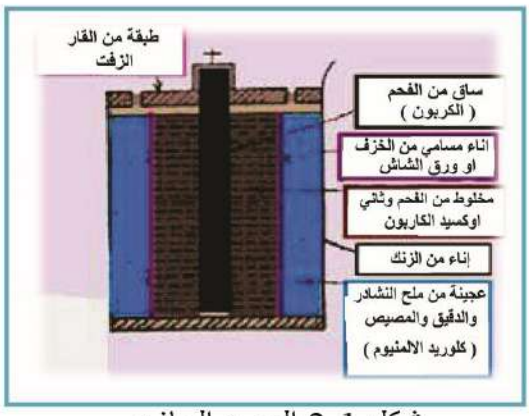
يتركب العمود البسيط من لوحين أحدهما من النحاس والآخر من الزنك ومغمورين في إناء مملوء بحامض الكبريتيك المخفف (الحامض المستعمل في بطاريات السيارات وليس الماء النقي) ويمثل لوح النحاس القطب الموجب ويمثل لوح الزنك القطب السالب وتبلغ القوة الدافعة لهذا العمود 1.2 فولت. لاحظ الشكل (1-1).



شكل 1-1 العمود البسيط

العمود الجاف

يتركب من إناء من الخارصين توضع بداخله عجينة من ملح النشادر والدقيق وكلوريد الالمنيوم وذلك لتبقى العجينة لينة ومساميه طوال مدة عمل العمود، وفي وسط العجينة يوضع إناء من الورق أو الشاش في وسطها ساق كربون حوله مخلوط من مسحوق الفحم وثاني أوكسيد المنغنيز ويمثل ساق الكربون القطب الموجب للعمود وإناء الخارصين القطب السالب له. لاحظ الشكل (1-2).



شكل 1-2 العمود الجاف

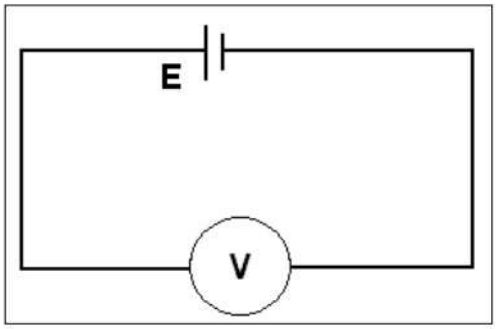
الخلايا الشمسية

تتركب من مجموعة خلايا شمسية صغيرة كل منها عبارة عن قطعة من الحديد رسبت عليها طبقة من السيلينيوم الموجب (يمكن اعتماد مواد أخرى) الذي أضيفت إليه كمية من عنصر البرون وترسب فوق هذه الطبقة طبقة أخرى من عنصر السيلينيوم السالب الذي أضيفت إليه كمية محدودة من عنصر الزرنيخ. لاحظ الشكل (1-3). عند تعرض هذه الوحدات لضوء الشمس تتكون فيها كمية من الشحنات الكهربائية تسري من لوح الحديد إلى الطبقة الخارجية وهي السيلينيوم السالب فيصبح قطب الحديد موجباً والسيلينيوم السالب قطبه سالباً وتخزن الطاقة المتولدة في بطاريات خزن ويستفاد من هذه البطاريات من هُم في المناطق النائية للتزود بالطاقة الكهربائية .

شكل 1-3 الخلايا الشمسية

1-1-1 القوة الدافعة الكهربائية Electromotive Force – E

الكهربائية صورة من صور الطاقة التي يمكن الحصول عليها من عدة مصادر مثل الطاقة الحركية والضوئية والحرارية وعلى سبيل المثال بطارية السيارة، فعند دوران المولد (الداينمو) المتصل بمحرك السيارة يحول الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية تخزن في بطارية السيارة ويدعى فرق الجهد (الفولتية) بين قطبي البطارية عندما تكون غير متصلة بالحمل (Load) بالقوة الدافعة الكهربائية (Electric Motive Force) ويرمز له بالرمز E لاحظ الشكل (1-4).



شكل 1-4 القوة الدافعة الكهربائية

وعند توصيل حمل مثل مصباح أو راديو أو مسجل ....الخ سوف يتم الاستفادة من الطاقة الكهربائية المخزونة وذلك بمرور التيار الإلكتروني من القطب السالب إلى القطب الموجب خلال الحمل، لاحظ الشكل (1-5) ويتكون على طرفي الحمل فرق الجهد (الفولتية) ويرمز لها بالحرف(V).

شكل 1-5 يوضح الفولتية على الحمل

2-1-1 الفولت اجزاؤه ومضاعفاته

تقاس القوة الدافعة الكهربائية بوحدة الفولت وأجزاء الفولت هي الملي فولت والمايكروفولت ومضاعفاته هي الكيلو فولت والميكافولت .

الفولت: هو فرق جهد بين طرفي ناقل مقاومته 1 أوم عندما يمر فيه تيار شدته 1 أمبير.

3-1-1 الأمبير اجزاؤه ومضاعفاته

يقاس التيار بوحدة الأمبير وأجزاء الأمبير هي الملي أمبير والمايكرو أمبير ومضاعفاته هي الكيلو أمبير.

الأمبير: هو شدة تيار في موصل مقاومته 1 أوم وفرق الجهد بين طرفيه 1 فولت.

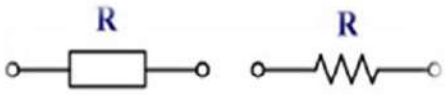
القوة الدافعة الكهربائية: تمثل الطاقة المكتسبة لوحدة الشحنات الكهربائية من المولد بينما **فرق الجهد**: الطاقة المفقودة من وحدة الشحنات الكهربائية بين هاتين النقطتين في الدائرة الكهربائية.

2-1 المقاومة الكهربائية Electrical Resistance

هي خاصية فيزيائية تعني اعتراض أو إعاقة المادة لمرور الشحنات الكهربائية عبرها. وتحدث المقاومة عندما تصطدم الإلكترونات المتحركة في المادة بالذرات. ونتيجة الاصطدام تطلق طاقة على شكل حرارة (أو بمعنى تغير الطاقة الكهربائية إلى حرارة نتيجة الاحتكاك). وتعتبر الموصلات الجيدة مثلاً النحاس ضعيف المقاومة مقارنة بأشباه الموصلات مثل السليكون. أما العوازل مثل الزجاج والخشب فذات مقاومة عالية جداً يصعب معها مرور الشحنات الكهربائية عبرها. بينما لا تشكل الموصلات الفائقة أي مقاومة لمرور الشحنات عبرها.

المقاومة الكهربائية

هي خاصية ممانعة الموصل لمرور التيار الكهربائي فيه مما ينتج عنها ارتفاع في درجة حرارته. وتقاس المقاومة الكهربائية بالأوم ويرمز له بالرمز Ω ويقرأ أوميغا OMEGA، والرمز الهندسي لها كما في الشكل (1-6).



شكل 1-6 رمز المقاومة الكهربائية

1-2-1 أنواع المقاومات الكهربائية Types of Resistance

تختلف نوعية المقاومات على حسب كيفية صنعها والمواد المركبة منها وأهم أنواع المقاومات هي:
1- المقاومة الثابتة 2- المقاومة المتغيرة 3- المقاومة الضوئية 4- المقاومة الحرارية

أولاً : المقاومة الثابتة Fixed Resistor

تتميز هذه المقاومات بثبات قيمتها وتختلف في استخدامها على حسب قدرتها في تمرير التيار الكهربائي فهناك مقاومات ذات أحجام كبيرة تستخدم مع التيارات الكبيرة وأخرى صغيرة للتيارات الصغيرة، لاحظ الشكل (1-7).

شكل 1-7 المقاومة الثابتة

1- المقاومات الكربونية

تعتبر هذه المقاومات من أكثر أنواع المقاومات شيوعاً واستخداماً. يتم تصنيع هذه المقاومات بترسيب طبقة كربونية رقيقة على إسطوانة صغيرة من السيراميك. يشكل اخدود لولبي صغير في طبقة الكربون فيحدد هذا الاخدود مقدار الكربون بين طرفي المقاومة وبالتالي قيمة هذه المقاومة.

2 - مقاومات أوكسيد المعدن

مقاومات أوكسيد المعدن هي أيضاً من المقاومات الشائعة الإستخدام وتتكون من نواة سيراميكية (Ceramic Core) مغطاة بطبقة رقيقة من أوكسيد المعدن. تعتبر هذه المقاومات مستقرة ميكانيكياً وكهربائياً. تطلى هذه المقاومات بدهان خاص لمقاومة اللهب، ولمقاومة المحاليل المذيبة (Solvents) والحرارة والرطوبة (Humidity).

3 - المقاومات المعدنية الدقيقة

يتميز هذا النوع من المقاومات بالدقة العالية جداً. تتكون هذه المقاومات من شريحة سيراميكية مغلفة بطبقة معدنية رقيقة ويغلف كل ذلك بطبقة خارجية كثيفة. تستخدم هذه المقاومات في الأجهزة الدقيقة كأجهزة الإختبار، والأجهزة التماثلية والرقمية وكذلك في الأجهزة الصوتية وأجهزة الفيديو.

4- مقاومات الاسلاك الملفوفة عالية القدرة

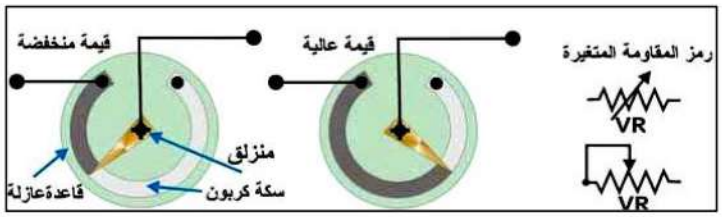
تستخدم هذه المقاومات في التطبيقات عالية القدرة وبعض أنواعها مغلف بطبقة من الزجاج أو مغلف بالألمونيوم. يتكون الجزء المقاوم في هذه المقاومات من سلك مقاوم ملفوف حول أسطوانة من السيراميك، وهذه المقاومات هي أكثر الأنواع متانة وتحملاً لظروف العمل وتمتاز بقدرة عالية على تبديد الحرارة وباستقرارية حرارية عالية.

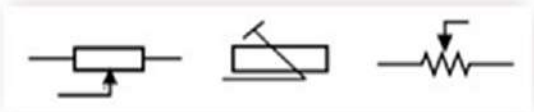
5- المقاومات الحرارية والضوئية

هي أنواع خاصة من المقاومات التي تتغير قيمتها عند تسليط الضوء عليها إذا كانت ضوئية أو عند تعرضها للحرارة إذا كانت حرارية. تصنع المقاومات الضوئية من مواد نصف ناقلة مثل كبريتيد الكاديميوم (Cadmium Sulfide)، وبزيادة مستوى الإضاءة تنخفض المقاومة. المقاومات الحرارية (Thermistros) هي مقاومات حساسة لتغيرات درجة الحرارة وبزيادة درجة الحرارة تنخفض قيم هذه المقاومات في أغلب الحالات.

ثانياً: المقاومة المتغيرة Potentiometer or Variable Resistor VR

وهي المقاومة التي يمكن تغيير قيمتها اذ تتراوح قيمتها بين الصفر وأقصى قيمة لها فمثلاً عندما تقول أن قيمة المقاومة المتغيرة 10KΩ يعني أن قيمة المقاومة تتراوح بين الصفر أوم تزداد بالتدريج عن طريق التغيير يدوياً حتى تصل قيمتها العظمى (0-10KΩ) ويمكن تثبيتها على قيمة معينة. تستعمل في الأجهزة للتحكم في عمل الجهاز أثناء اشتغاله كما في مقاومة التحكم في مقدار شدة الصوت وهي عبارة عن مقاومات كاربونية تصنع بترسيب مركبات الكاربون على لوحة فايبر شبه دائرية وتتصل بها توصيلة نحاسية منزلقة ودوارة تتحكم في قيمة المقاومة، لاحظ الشكل (1-8).

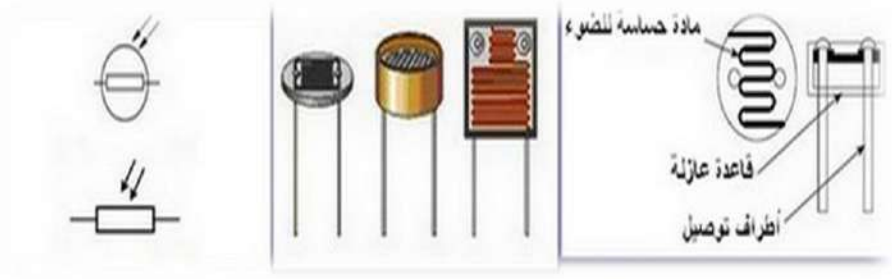




شكل 1-8 المقاومة المتغيرة ورمزها

ثالثاً: المقاومة الضوئية Light Dependent Resisters LDR

وتصنع هذه المقاومة من مادة سلفيد الكادميوم (CdS) وهي تقوم بتحويل الضوء إلى تغير في قيمة المقاومة، وتنخفض قيمتها الأومية عند زيادة شدة الضوء وتزداد قيمتها عند انخفاض شدة الضوء وتصل قيمتها العظمى في الظلام إلى(2MΩ). وفي الضوء الشديد تصل قيمتها إلى (100Ω) وتعتبر حساسة للضوء وسهلة الإستخدام. إن شكل المقاومة الضوئية والرمز الهندسي لها موضح بالشكل (1-9).



شكل 1-9 يوضح المقاومة الضوئية والرمز الهندسي لها

رابعاً: مقاومة الثرمستور Thermistor

وهوعنصر إلكتروني مقاومته تتحسس الحرارة وبالنتيجة تتغير قيمتها طبقاً لدرجة الحرارة المحيطة بها مقاومة هذا العنصر تنقص بزيادة درجة الحرارة، ففي الماء المنجمد $(0\ C^0)$ تكون المقاومة عالية 12 KΩ.وفي درجة حرارة الغرفة $(25C^0)$ تكون المقاومة 5 KΩ وفي الماء المغلي $(100\ C^0)$ تصبح المقاومة 400 Ω.

خامساً: المقاومات الحرارية Thermostat

تتغير مقاومتها مع تغير درجة الحرارة، والشكل (1-10) يبين أشكال المقاومات الحرارية، وهي على ثلاثة أنواع :

1- المقاومة الحرارية الموجبة Positive Temperature Coefficient Thermistor PTC

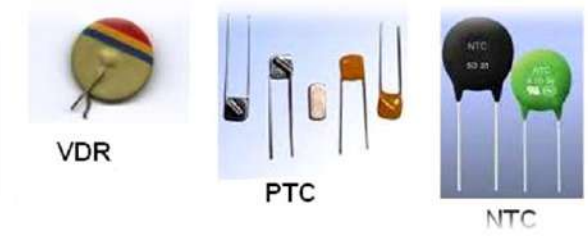
وتزداد قيمة المقاومة الأومية عند ارتفاع درجة الحرارة وتختلف قيم هذه المقاومة حسب نوعها.

2- المقاومة الحرارية السالبة Negative Temperature Coefficient Thermistor NTC

تنقص قيمة المقاومة الأومية فيها عند ارتفاع درجة الحرارة وتختلف قيم هذه المقاومة بحسب نوعيتها.

3- المقاومة الحساسة لتغير الحرارة Critical Temperature Resister Thermistor CTR

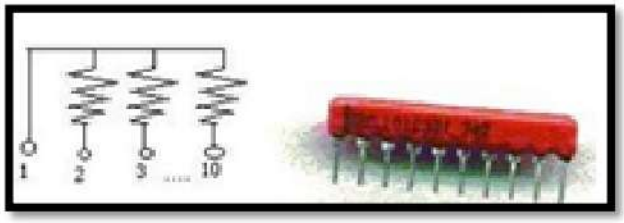
تنقص قيمة هذه المقاومة فجأة عندما ترتفع درجة الحرارة فوق نقطة معينة محددة مسبقاً.



شكل 1-10 أنواع المقاومات الحرارية

سادساً: المقاومة الشبكية

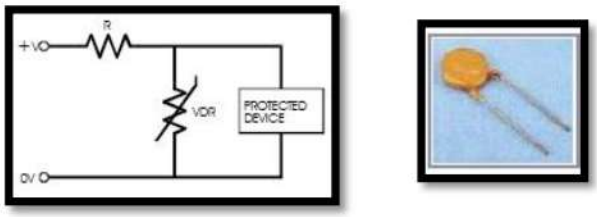
وهذا النوع من المقاومات تكون موضوعة في غلاف واحد وبلون واحد وبأرجل عمودية، وتكون المقاومة موصلة من النهاية بنقطة واحدة مشتركة وبدايتها حرة. وتكون في بعض الاحيان باربع مقاومات أو سبعة أو ثمانية، تستخدم هذه المقاومات لتستغل مساحة أصغر في بناء الدوائر الإلكترونية. لاحظ الشكل (1-11) الذي يوضح المقاومة الشبكية.



شكل 1 - 11 المقاومة الشبكية

سابعاً: المقاومة الجهدية الفايرستور Voltage Dependent Resistors VDR

وهوعنصر يغير قيمته طبقاً للجهد المسلط على طرفيه حيث أنه تنقص قيمة مقاومته كلما ازداد فرق الجهد المسلط على طرفيه، كما إن القطبية على طرفيه غير مهمة بالنسبة إلى هذا العنصر. يستخدم الفايرستور في الدوائر الكهربائية للحماية من ارتفاع الجهد فوق قيمة معينة في دوائر التيار المتناوب والمستمر ويوصل دائماً بالتوازي مع العناصر والأحمال المراد حمايتها. لاحظ الشكل (1-12).



شكل 1-12 المقاومة الجهدية

وتقاس المقاومة بوحدة الأوم وهي أصغر وحدة وليس لها أجزاء ولكن لها مضاعفات وهي الكيلو أوم والميكا أوم.

الأوم: هو مقاومة ناقل يمر به تيار شدته 1 أمبير عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه 1 فولت.

1-2-3 حساب قيمة مقاومة سلك

لغرض حساب قيمة أي مقاومة لسلك موصل يجب التعرف على مجموعة العوامل المؤثرة في ذلك الموصل ومنها:

1- نوع المادة المصنوع منها الموصل ويرمز لها ρ

2- طول الموصل ويرمز له بالحرف L **حيث قيمة المقاومة R تتناسب طردياً مع** L

3- مساحة مقطع الموصل ويرمز لها بالحرف A

4- درجة حرارة الموصل ويرمز لها بالحرف T

فتكون قيمة المقاومة حسب المعادلة التالية

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

تتأثر المقاومة النوعية حسب نوعية المادة التي يصنع منها السلك، وهى خاصية مميزة للعنصر فهى تختلف من مادة إلى أخرى فمقاومة النحاس غير الحديد والفضة، وكما هو واضح بالجدول (1-1) .

جدول 1-1 **المقاومة النوعية للمواد الموصلة**

المـــادة	المقاومة النوعية - أوم .مم٢/متر
الفضة	0.0149
النحاس	0.0178
الذهب	0.021
الألمنيوم	0.0241
الحديد	0.14
سبيكة النيكروم (نيكل، كروم، حديد)	1.9

3-1 قانون أوم Ohms' Law

قانون أوم هو مبدأ أساسي في الكهرباء، أطلق عليه هذا الاسم نسبة إلى واضعه الفيزيائي الألماني "جورج سيمون أوم". وينص هذا القانون على أن فرق الجهد الكهربائي بين طرفي موصل معدني يتناسب طردياً مع شدة التيار الكهربائي المار فيه $V \propto I$. يتم تعريف النسبة الثابتة بين فرق الجهد وشدة التيار بالمقاومة الكهربائية ويرمز إليها بالحرف R. ويلاحظ أن المقاومة لموصل ما، هي قيمة ثابتة ولا تتغير بتغير فرق الجهد بين طرفيه، ويعبر عن هذا المبدأ من خلال المعادلة التالية:

$$R = \frac{V}{I}$$

كما يمكن التعبير عن نفس المعادلة بصيغة أخرى $V = I . R$

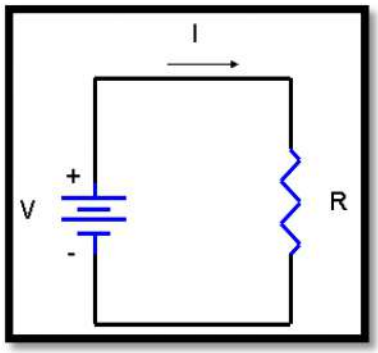
حيث أن:

V: هي فرق الجهد الكهربائي بين طرفي الناقل المعدني (المقاومة) ويقاس بوحدة تسمى بالفولت ويرمز لها بالرمز (v)

I: هي شدة التيار الكهربائي المار في الموصل ويقاس بوحدة تسمى بالأمبير، ويرمز له بالرمز (I)

R: هي مقاومة الناقل للتيار وتقاس بوحدة تسمى بالأوم، ويرمز لها بالرمز (Ω)

الشكل (1-13) يوضح رسم لدائرة بسيطة فيها مصدر للجهد الكهربائي (v)، ويمر تيار كهربائي (I) من خلال المقاومة (R).



شكل 1-13 دائرة كهربائية بسيطة

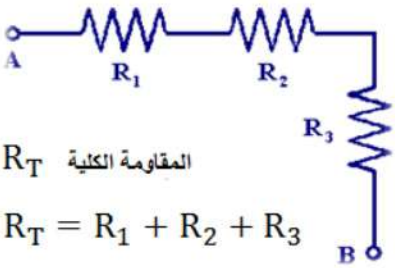
4-1 ربط المقاومات Resistors Connections

يمكن تقسيم طرائق ربط المقاومات إلى ثلاثة أقسام :

أ- ربط المقاومات على التوالي ب- ربط المقاومات على التوازي جـ - الربط المختلط للمقاومات.

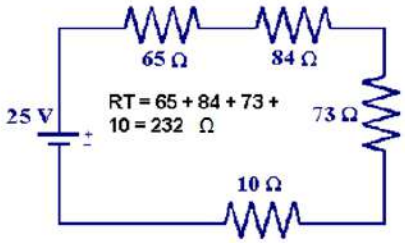
1-4-1 الربط على التوالي Series Connection

إذا وصلنا عدة مقاومات بدائرة كهربائية بحيث توصل نهاية المقاومة الاولى ببداية الثانية ونهاية الثانية ببداية الثالثة وهكذا. نقول أن هذه المقاومات موصلة على التوالي (Series) لاحظ الشكل (1-14).



شكل 1-14 ربط المقاومات المتوالية

مثال (1-1) احسب التيار المار في الدائرة الموضحة بالشكل (1 – 15)، احسب فرق الجهد على طرفي كل مقاومة.



شكل 1-15 حساب المقاومات المتتالية

الجواب:

$$I = \frac{V}{R_t} = \frac{25}{232} = 107.76 \text{ mA } (0.10776A)$$

$$V = I \times R$$

V1 = 0.10776× 65 =7.004 Volt

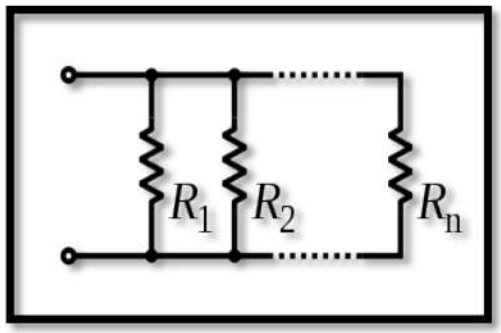
V2 = 0.10776 × 84 = 9. 05 Volt

V3 = 0.10776 × 73 = 7.866 Volt

V4 = 0.10776 ×10 =1.078 Volt

2-4-1 الربط على التوازي Parallel Connection

في ربط المقاومات على التوازي توصل بدايات المقاومات جميعها في نقطة واحدة والنهايات في نقطة أخرى.كما موضح في الشكل (1 - 16).



شكل 1-16 ربط المقاومات على التوازي

القانون العام لحساب المقاومة الكلية لربط التوازي

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

يمكن حساب الجهد في أي جزء من الدائرة المتوازية من خلال معرفة الجهد عند مصدر تغذية الدائرة، والذي يكون بعبارة أخرى هو نفسه على أي من مسارات الدائرة المتوازية.

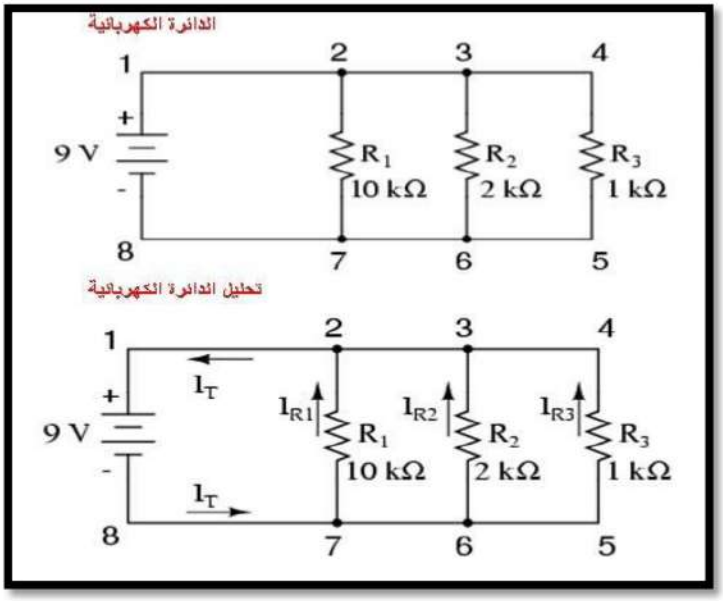
حساب المقاومة الكلية في الدائرة المتوازية يكون باستخدام الصيغة التالية:

المعادلة النهائية للمقاومة الكلية لربط التوازي:

$$R_T = \frac{R_1 . R_2}{R_1 + R_2}$$

حساب التيار الكهربائي الرئيس في الدائرة المتوازية يكون بإضافة (جمع) التيارات الكهربائية لجميع العناصر في المسارات المتوازية. لاحظ الشكل (1-17).

$$I_T = I_{R1} + I_{R2} + I_{R3} + \dots\dots$$



شكل 1-17 حساب التيار الكهربائي الرئيس في الدائرة المتوازية

يمكن حساب التيار المار في كل فرع او في كل مقاومة بتطبيق قانون اوم وحسب الطريقة التالية:

حساب التيار الكهربائي في كل فرع

$$I_{R1} = \frac{V_{R1}}{R_1} \qquad I_{R2} = \frac{V_{R2}}{R_2} \qquad I_{R3} = \frac{V_{R3}}{R_3}$$

$$I_{R1} = \frac{9\ V}{10\ k\Omega} = 0.9\ mA$$ حسب قانون أوم

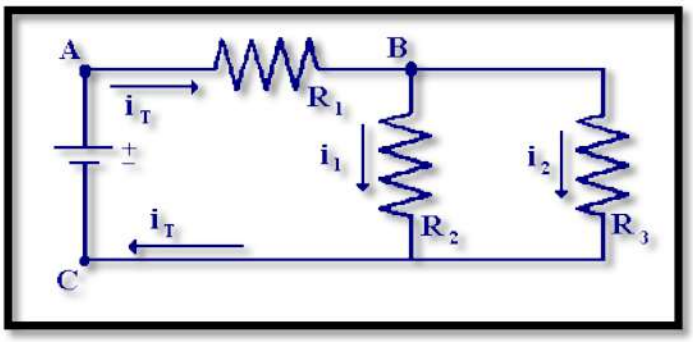
$$I_{R2} = \frac{9\ V}{2\ k\Omega} = 4.5\ mA$$

$$I_{R3} = \frac{9\ V}{1\ k\Omega} = 9\ mA$$

3-4-1 الربط المركب Compound Connection

وهي الدوائر التي تحتوي على مجموعة ربط مقاومات توالي مع مجموعة ربط مقاومات توازي مع بعض. كيفية تحليل الدوائر التي تحتوي على المقاومات متصلة كمجموعات على التوالي والتوازي.

تحديد وتحليل الدوائر المتوازية. يوضح الشكل (1-18) الدائرة الأساسية التي تحتوي على تركيبة من المقاومات متصلة مع بعضها على التوالي والتوازي. المقاومة من النقطة A إلى النقطة B هي R_1 والمقاومة من النقطة B إلى النقطة C هي مجموعة المقاومتين R_2 and R_3 مربوطتين على التوازي.

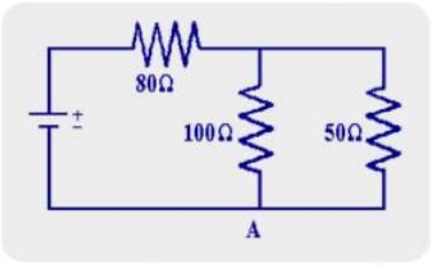


شكل 1-18 الربط المركب للمقاومات

المقاومة الكلية للدائرة من النقطة A to C هي المقاومة R_1 على التوالي مع المجموعة المربوطة على التوازي. لحساب المقاومة الكلية في الدائرة الموضحة بالشكل (1– 19)، يمر التيار من خلال المقاومة 80 أوم قبل أن يقسم إلى جزئيين في تركيبة الوصلة المتوازية ثم يعاد تجمعه ليسير إلى القطب الموجب لمصدر التغذية الكهربائية، ولحساب المقاومة المتوازية الكلية نستخدم المعادلة التالية:

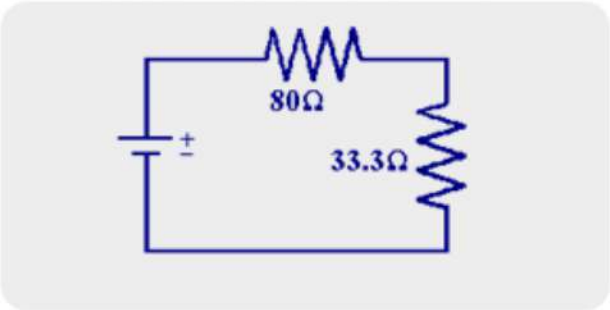
المقاومة المتوازية Rparallel

R = 1/ (1/100 +1/50) =33.3 Ω



شكل 1-19 حساب المقاومة الإجمالية للدائرة الموازية - المتوالية

وسيصبح شكل الدائرة النهائي كما في الشكل (1-20).

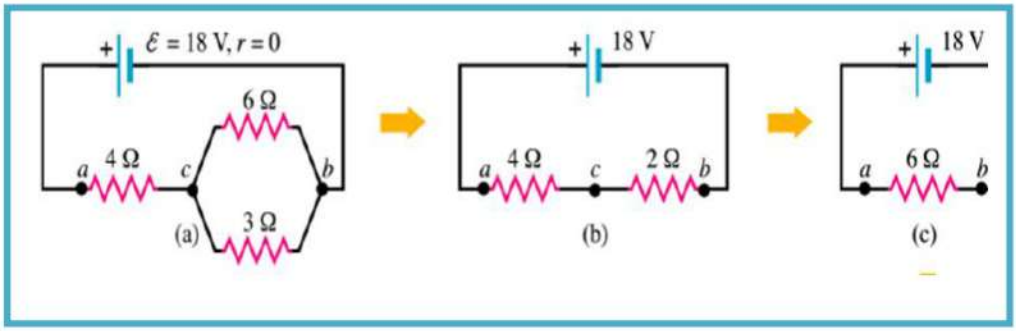


شكل 1-20 الشكل النهائي للدائرة الكهربائية السابقة

يمكن حساب المقاومة الكلية للدائرة أعلاه

$R_t = 80 + 33.3 = 113.3\ \Omega$

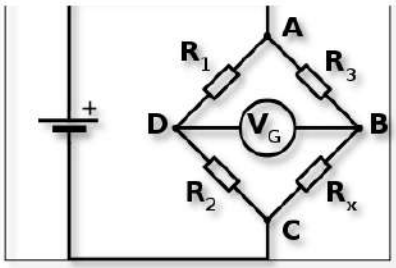
س) لاحظ الشكل (1-21) واستنتج كيفية الحصول على المقاومة الكلية النهائية.



شكل 1-21 حساب المقاومة الكلية

4-4-1 قنطرة وتستون Wheatstone Bridge

هي قنطرة كهربائية لقياس المقاومات، اخترعها الإنجليزي صمويل كريستي عام 1833م، وحسنها وأكملها شارلز وتستون عام 1843م. وتُجرى عملية قياس المقاومة الكهربائية المجهولة بعد تركيبها في دائرة كهربائية ذات فرعين (قنطرة) ثم موازنة التيار فيهما. وهي تعمل مثلما يعمل مقياس الجهد Potentiometer، مع الفرق أن في دائرة مقياس الجهد يستعمل كلفانومتر حساس. لاحظ الشكل (1-22).



شكل 1-22 قنطرة وتستون

في الشكل أعلاه تمثل المقاومة الكهربائية Rx المقاومة المجهولة والمطلوب تعيينها. المقاومات R_1 وR_2 و R_3 معروفي القيمة، في حين أن المقاومة R_2 قابلة للتغيير. فإذا تساوت نسبة المقاومتين الموجودتين في الفرع المعروف ($R1 / R_2$) مع نسبة المقاومتين في الفرع الغير معروف (R_3/ R_x) يصبح فرق الجهد بين النقطتين **B** و **D** صفراً ولا يمر تيار كهربائي في الكلفانومترV_g. لذلك نغير المقاومة المتغيرة R_2 حتى نحصل على حالة الإتزان. وتوضح قراءة الكلفانومتر عما إذا كانت المقاومة R_2 كبيرة أم صغيرة.

ويمكن قراءة الكلفانومتر بدقة عالية. فإذا كانت المقاومات R_1 و R_2 و R_3 معروفة بدقة عالية، أصبح من الممكن تعيين المقاومة المجهولة R_x أيضاً بدقة عالية.

عند الوصول إلى حالة التوازن، تنطبق المعادلة:

$$R_3/ R_X = R_1/R_2$$

وبناءً على ذلك يكون:

$$R_x = (R_2 / R_1) .R_3$$

5-1 الطاقة والقدرة الكهربائية Electrical Energy and Power

إن معظم المُعدات الصناعية والمنزلية والآلات تعمل على تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة يستفاد منها في إنجاز عمل ومنها الطاقة الميكانيكية كما في المحركات والمصاعد والرافعات ومنها الطاقة الحرارية كأجهزة التكييف والسخانات والطاقة الضوئية كمعدات الانارة وغير ذلك من أنواع الطاقة، إنتقال الشحنة الكهربائية في المقاومة خلال مدة من الزمن ينجز شغلاً (حرارة أو حركة أو صور أخرى من صور الطاقة) ويقاس الشغل بالجول. ويعرف الجول بأنه (لو مرت شحنة كهربائية مقدارها كولوم واحد خلال مقاومة على طرفيها فرق جهد مقداره فولت واحد بالشغل المنجز يساوي جولاً واحداً). الطاقة المستهلكة في المقاومة (R) التي تمثل الحمل هي:

$$W = V \times I \times t$$

وتعرف القدرة الكهربائية: بأنها المعدل الزمني للطاقة الكهربائية المجهزة إلى دائرة كهربائية.

$$P = (V \times I \times t) \ / \ t$$

$$P = V \times I$$

حيث أن (P) هي القدرة المصروفة في الدائرة الكهربائية وتقاس بـ (الواط) Watt

$$P = V \times I = I \times R \times I = I^2 \times R$$

$$\mathbf{P = V^2 / R}$$

مثال (1-2)

مصباح كهربائى قدرته 100 واط متصل بمصدر كهربائى ضغط المصدر200 فولت فما شدة التيار الذى يمر بهذا المصباح؟

الجواب

$$P = V \cdot I$$

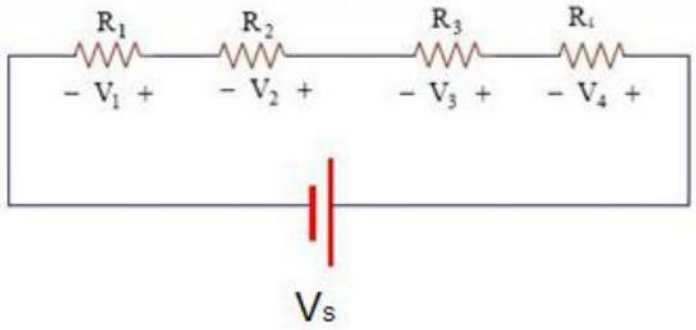
$$I = 100 / 200 = 0.5A$$

6-1 قانونا كيرشوف Kirchhoff's' Two Laws

قانون كيرشوف الاول للجهد

يعتبر قانون كيرشوف من القوانين الرئيسة للدائرة الكهربائية وهو ينص على أن المجموع الجبري للجهود في أي دائرة أو مسار مغلق يساوي صفراً.

يعرف هبوط الجهد (Voltage Drop) بأنه الجهد المسلط على المقاومات ونتيجة مرور التيار في المقاومات فأنه ينشأ جهدمعاكس في القطبية بالنسبة لاتجاه المصدر الرئيس للدائرة وبالتالي فإنه يعمل على هبوط جهد المصدر إلى الصفر. لاحظ الشكل (1-23).



شكل 1-23 دائرة كهربائية متوالية

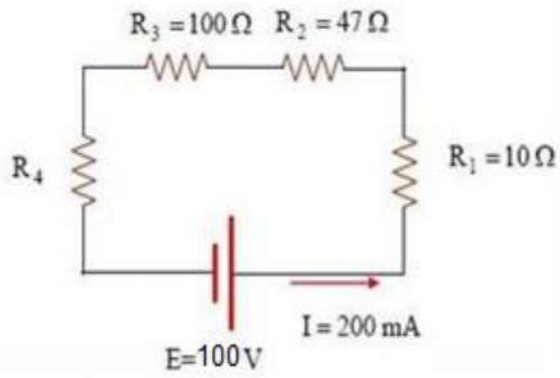
$$V_S = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

إذاً نجد من تطبيق قانون كيرشوف للجهد إن مجموع الجهود في دائرة مغلقة يساوي قيمة مصدر الجهد.

$$V_s = V_1 + V_2 + V_3$$

مثال (1-3)

في الشكل (1-24)، قيمة التيار المار في المقاومات الأربعة المتصلة على التوالي هو 200mA، وإذا علمت أن قيمة المقاومة الأولى 10Ω والمقاومة الثانية 47Ω والثالثة 100Ω، وإن مصدر الجهد 100v، إحسب قيمة المقاومة الرابعة.



شكل 1-24 دائرة كهربائية متوالية

الجواب

في هذه الدائرة سوف نستخدم قانون كيرشوف للجهد وكذلك قانون أوم. ولإيجاد هبوط الجهد على المقاومات المعلومة القيمة نستعمل قانون أوم:

$V_1 = I \times R_1 = 0.2 \times 10 = 2$ Volt

$V_2 = I \times R_2 = 0.2 \times 47 = 9.4$ Volt

$V_3 = I \times R_3 = 0.2 \times 100 = 20$ Volt

لإيجاد قيمة الفولتية على المقاومة الرابعة نستخدم قانون كيرشوف للجهد:

$$V_S = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

$VS - (V1+V2 +V3 +V4) = 0$

نعوض قيم الفولتيات في المعادلة ....

$100 - (2 + 9.4 + 20 + V4) = 0$

$68.6 - V4 = 0$

$V4 = 68.6$ Volt

ولحساب قيمة المقاومة الرابعة نطبق قانون أوم:

$$R4 = \frac{V4}{I}$$

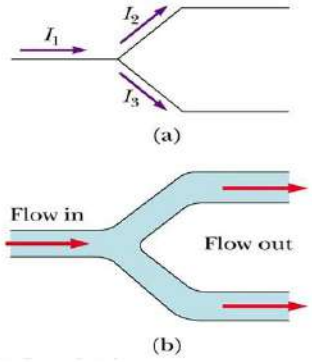
$$R4 = \frac{68.6}{0.2} = 343 \quad \Omega$$

قانون كيرشوف الثاني للتيار

ينص قانون كيرشهوف للتيار على أن المجموع الجبري للتيارات في عقدة (Node) يساوي صفراً.

$$I_{in} = I_{out}$$

Node هي نقطة تجميع لأكثر من فرعين والشكل (1-25- a) يوضح ذلك مع تمثيله المائي (b).



شكل 1-25 العقدة

بتطبيق قانون كيرشوف للتيار KCL نجد أن:

$$I_1 = I_2 + I_3$$

ويمكن التعبير عن قانون كيرشوف للتيار بالنص الآتي:

المجموع الجبري للتيارات الكهربائية عند أي عقدة Node في الدائرة الكهربائية يساوي صفراً.

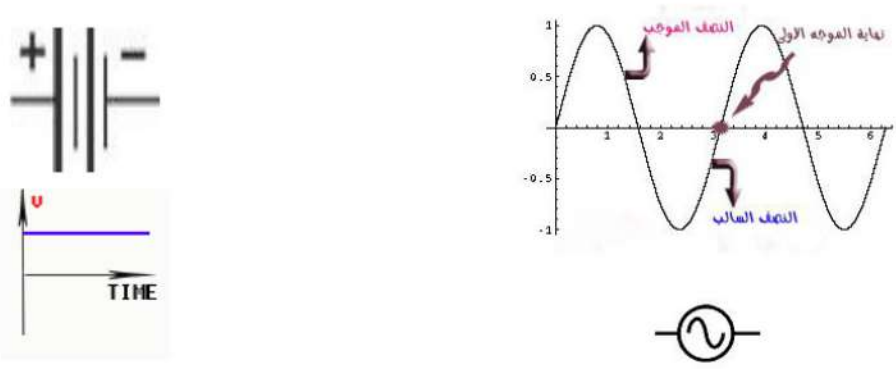
وإذا طبقنا هذه الصورة كما في الشكل السابق نجد أن:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

قانون كيرشهوف للتيار KCL يطبق دائماً في دوائر التوازي أي الدائرة التي تشتمل على مقاومات متصلة على التوازي، فينشأ نقاط التفرع Node وتوزيع التيار، لذلك يمكن إستخدام قانون كيرشوف لإيجاد التيارات في الفروع المختلفة في دوائر التوازي.

7-1 التيار المتناوب Alternating Current

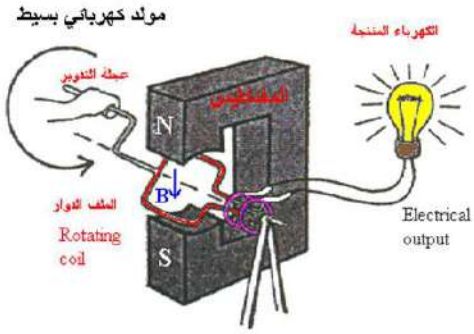
ذكرنا أن التيار المستمر DC هو تدفق التيار باتجاه ثابت من مصدر فولتية ذات قطب موجب وقطب سالب مثل الأعمدة الجافة والبطاريات. وهذا ليس النوع الوحيد في الكهرباء فهناك مصدر آخر ينتج فولتية بقطبية متغيرة تنعكس فيها القطبية الموجبة والسالبة خلال الزمن ويكون هذا التغير دورياً أي يعيد نفسه بين فترة وأخرى ويعرف هذا النوع بالكهربائية بالتيار المتناوب AC. يستخدم الرمز المألوف للبطارية كرمز عام لأي مصدر فولتية للتيار المستمر في حين تستخدم دائرة داخلها خط متموج كرمز عام لأي مصدر فولتية متناوبة للتيار المتغير لاحظ الشكل (1-26).



شكل 1-26 التيار المستمر والتيار المتناوب

1-7-1 مولد التيار المتناوب AC Generator

تكمن فكرة توليد الكهرباء في دوران ملف مصنوع من سلك نحاس بين قطبي مجال مغناطيسي في الوسيلة التي نستخدمها لجعل الملف يدور باستمرار وعادة ما يستخدم التوربين وخير مثال على ذلك ما نراه في محطات توليد الكهرباء. يكون التيار الكهربائي الناتج عن المولد الكهربائي هو تيار متردد ويتغير بدالة جيبية مع الزمن كما في الشكل أدناه وذلك لأن التيار الكهربائي الحثي الناتج من دوران الملف يتغير في قيمته من قيمةعظمى عندما يكون مستوى الملف عمودياً على مستوى المجال المغناطيسي إلى قيمة صفرعندما يكون مستوى الملف موازياً لخطوط المجال وتتكرر هذه الحالة بدوران الملف. لاحظ الشكل (1-27).



شكل 1-27 التيار الكهربائي الناتج عن المولد الكهربائي

قانون فرداي:

ينص قانون فرداي على أنه إذا تعرض ملف ما ذو عدد لفات N لمجال مغناطيسي أو خطوط قوى مغناطيسية متغيرة مع الزمن تتولد قوة دافعه كهربائية E (جهد كهربائي) بين طرفي هذا الملف. تتناسب مع معدل تغير المجال المغناطيسي مع الزمن وتساوي عدد اللفات N مضروباً في معدل تغير خطوط القوى المغناطيسية بالنسبة للزمن وذلك بإشارة سالبة:

$$E= -N \, d\Phi/dt$$

نظرية عمل المولد الكهربائي:-

إذا تخيلنا قلب حديد غير مغلق تماما وأنه توجد ثغرة هوائية في مسار خطوط القوى المغناطيسية. فإن خطوط القوى المغناطيسية تمر الآن في القلب الحديدي وتكمل مسارها في الهواء ويكون المجال المغناطيسي مركزاً في هذه الثغرة الهوائية وهو ما يعرف بالمغناطيس. حيث له قطب شمالي تخرج منه

الخطوط المغناطيسية وقطب جنوبي تدخل إليه الخطوط المغناطيسية. في هذه الثغرة يمكن استغلال هذا المجال المغناطيسي بطريقة اخرى وهي: إذا تحرك أي موصل في هذه الثغرة الهوائية قاطعاً خطوط القوى المغناطيسية تتولد بين أطرافه قوة دافعة كهربائية تبعاً لقانون فرداي.

أجزاء مولد التيار المتناوب

1- الغلاف الخارجي:- يصنع من سبيكة الألمنيوم ويتألف من غطائين، الغطاء الأمامي والغطاء الخلفي، يثبت على الغطاء الأمامي بكرة نقل الحركة، بالإضافة إلى مروحة التبريد الخاصة بالمولد أما القاعدة الخلفية فيثبت عليها ثنائيات التقويم وحواضن الفرش الكربونية وأطراف توصيل المولد مع البطارية.

2- الجزء الثابت (ملفات الإنتاج):- ويتألف من صفائح من الفولاذ على شكل اسطوانة وتحتوي على مجموعة من الشقوق يوضع في داخلها ملفات وتتكون هذه الملفات من ثلاث مجموعات من الملفات توصل فيما بينها على التوالي، وتوصل كل مجموعة مع الأخرى إما بتوصيل النجمة أو توصيل المثلث حسب نوع المولد.

3- الجزء الدوار:- يصمم الجزء الدوار في مولدات التيار المتناوب بعدة طرائق أكثرها شيوعاً الجزء الدوار ذو القطب المشطور، ويتألف من ملف من النحاس ملفوف حول قلب معدني من الحديد، وعند مرور تيار كهربائي في ملفات الجزء الدوار تتولد حول قلب الجزء الدوار مجال مغناطيسي.

آلية العمل:-

تقسم مولدات التيار المتناوب المستعملة من حيث آلية العمل إلى نوعين هما مولدات تيارمتناوب ذات تغذية منفصلة ومولدات تيار متناوب ذات تغذية ذاتية.

مولد التيار المتناوب ذو التغذية المنفصلة

حيث تعتمد آلية العمل على تغذية ملفات الأقطاب بالتيار المستمر من البطاريات حيث يتولد عند مرور تيار كهربائي في ملفات الأقطاب (ملفات الجزء الدوار) مجالاً مغناطيسياً، وعند دوران الجزء الدوار للمولد فتقطع خطوط المجال المغناطيسي ملفات الجزء الثابت فيتولد فيها قوة دافعة كهربائية حيث نحصل على الكهرباء.

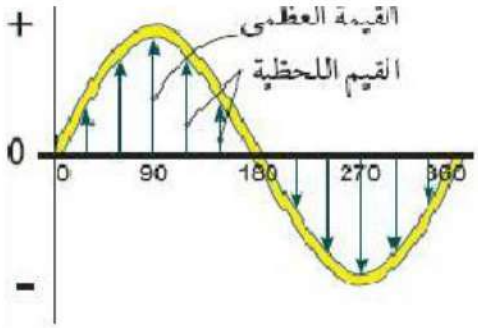
مولد التيار المتناوب ذو التغذية الذاتية

تعتمد آلية العمل في هذا النوع من المولدات على المغناطيسية المتبقية في قلب الأقطاب، فعندما يدور الجزء الدوار للمولد فتقطع خطوط المجال المغناطيسي الناتجة من المغناطيسية المتبقية ملفات المنتج وتولد فيها فولتية منخفضة، وتغذي هذه الفولتية ملفات الأقطاب فتزداد المغناطيسية في ملفات الأقطاب وتزداد خطوط المجال المغناطيسي القاطعة لملفات الجزء الثابت فتزداد الفولتية المتولدة في ملفات الجزء الثابت، حيث نحصل على الكهرباء.

2-7-1 الموجه الجيبية Sine Wave Signal

توليد الموجة الجيبية

عندما يتحرك الموصل حركة دوارة في المجال المغناطيسي أي أنه يتبادل موقعه ما بين القطبين الشمالي والجنوبي باستمرار ونتيجة ذلك نجد أن القوة الدافعة الكهربائية وكذلك التيار بهذا التبادل الحركي للموصل تحت الأقطاب المختلفة تتغير أيضاً اتجاهاتها (قطبيتها)، وهذا هو ما يسمى بالتيار المتناوب. وتسمى هذه الموجة بالموجة الجيبية، لاحظ الشكل (1- 28) لأن القوة الدافعة الكهربائية المتولدة تتغير تبعاً لتغير جيب الزاوية (θ) وهو حرف لاتيني (ثيتا).

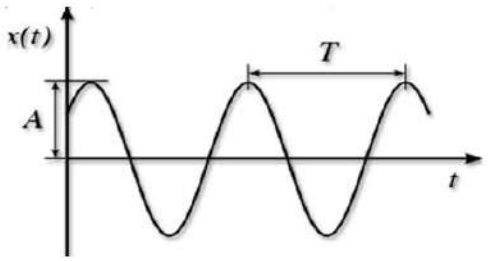


شكل 1-28 الموجة الجيبية

1-7-2 الطور وزاوية الطور Phase and Phase Shift Angle

لغرض فهم الطور وزاوية الطور يجب معرفة الموجة الجيبية أولاً، التي هي عبارة عن حركة اهتزازية Wave Phase، وهو جزء من طول موجة له أهميته من وجهة توافق الموجات ذات طول موجة واحد أو عدم توافقها.

ويمكن اعتبار **طورالموجة** أو طور التردد مثالاً للحركة التوافقية البسيطة. وينطبق نفس النظام على الحركة الموجية الجيبية عند نقطة ما في المكان ولفترة زمنية، أو عبر مسافة معينة وعند نقطة معينة من الزمن. والحركة التوافقية البسيطة ما هي إلا إزاحة تتغير دورياً كما يوضحها الشكل (1-29).



شكل 1-29 الحركة التوافقية البسيطة

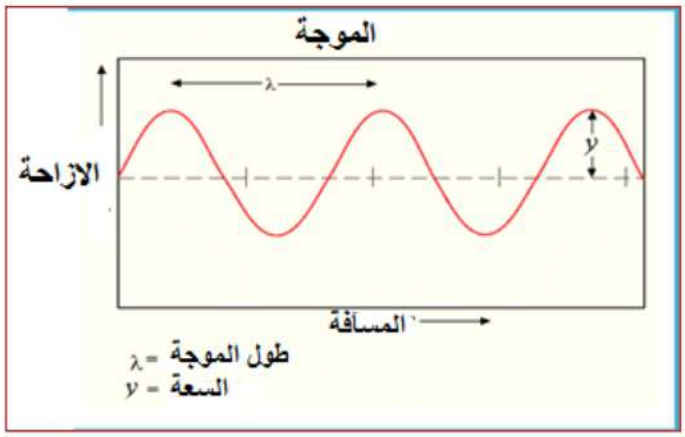
حيث: A السعة وهي النهاية العظمى للإزاحة، T زمن الدورة، f التردد، والحركة بالتردد f يقترن بزمن دورة الموجة.

$$T=1/f$$

- **فرق زاوية الطور**: هو الفرق بين طوري موجتين لهما نفس التردد وبالتالي نفس طول الموجة.

1-7-3 القيمة العظمى Maximum Value

تسمى القيمة العظمى للفولتية والتيار المتناوب بالاتساع، وتتولد في فترة قطع أكبر عدد من خطوط المجال المغناطيسي أثناء دوران ملف أو حلقة وتكون إما موجبة أو سالبة وفي كلا الحالتين فأنهما متساويتين في الموجة الجيبية، لاحظ الشكل (1- 30).



شكل 1-30 القيمة العظمى

إن القوة الدافعة الكهربائية المتولدة هي قيمة لحظية وهي قيمة معينة عند أي لحظه زمنية وتسمى بالقيمة اللحظية للفولتية، ويرمز لها عادةً بحروف صغيرة، والمعادلة تمثل ذلك، إما القيمة العظمى فهي أكبر قيمة تبلغها القيمة اللحظية ويرمز لها عادة بحروف كبيرة. وللقيم الجيبية عادة قيمتان عظمى، وهي عندما تكون الزاوية 90 درجة وتكون موجبة، والثانية عندما تكون الزاوية 270 درجة وتكون سالبة، والقيمة العظمى تمثل بالمعادلة التالية:

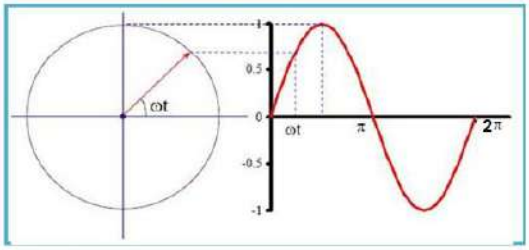
$$E_m = K$$

$$e = E_m \sin\theta$$

إما إذا كانت الموجة الجيبية تتغير زاويتها بدوران المولد للتيار المتغير خلال فترة زمنية كما في الشكل (1-31)، فإنه يمكن التعبير عن الزاوية كما يلي:

$$\theta = 2\pi f$$

$$\omega = 2\pi f$$



شكل 1-31 القيمة العظمى وزاوية الطور

مثال (1-4)

إذا علمت أن القيمة اللحظية للجهد هي ...

v=100 sin 100t

إحسب التردد والقيمة العظمى

الجواب

لحساب التردد

$$\omega = 100$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{100}{2\pi} = 15.92 \text{ Hz}$$

لحساب القيمة العظمى

$$V = V_m \sin \omega t$$
$$V_m = 100 \text{ volt}$$

القيمة الفعالة Effective Value

إن مهمة التيار المتغير والمستمر هي نقل الطاقة الكهربائية من أحد أجزاء الدائرة إلى جزء آخر في نفس الدائرة، ولذلك عند مقارنة هذين التيارين فإن القيمة الفعالة للتيار المتغير هي التي تساوي قيمة التيار المستمر الذي ينتج نفس الكمية من الحرارة عندما يوفر نفس المقاومة لنفس الفترة الزمنية، وإذا كانت القدرة المستهلكة في المقاومة نتيجة مرور التيار المستمر هي:

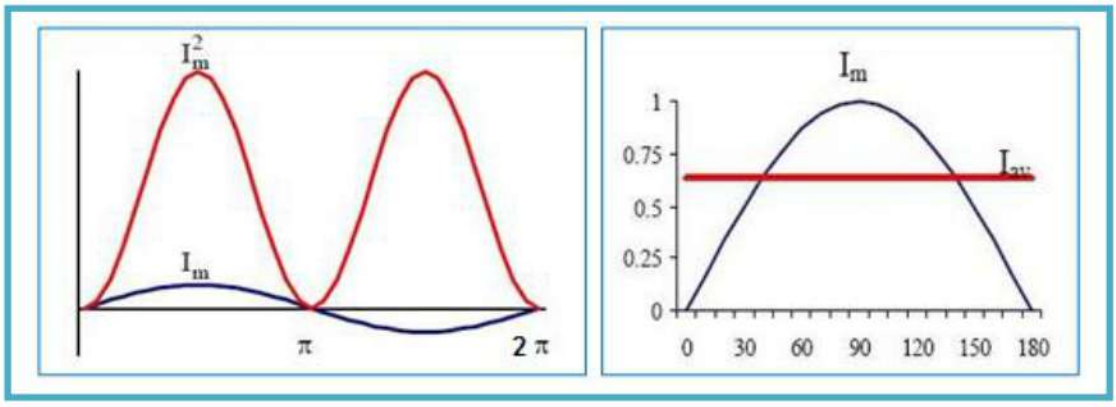
$$P_1 = I^2 R \quad , \quad P_2 = I^2 R$$

ومن مفهوم القيمة الفعالة للتيار المتغير يجب أن تكون القدرتان متساويتين:

$$P_1 = P_2$$
$$I^2 = i^2 = I^2 m \times \sin \theta t$$
$$I_{eff} = \frac{Im}{\sqrt{2}}$$

القيمة المتوسطة للموجة الجيبية (عندما تؤخذ للدورة الكاملة) تساوي الصفر لأن الجزء السالب من الموجة يلغي الجزء الموجب منها. انظر الشكل (1-32). ولغرض المقارنة فإن القيمة المتوسطة لنصف دورة للموجة الجيبية تساوي:

$$V_{avg} = V_{max}$$
$$V_{avg} = 0.637\, V_{max}$$



شكل 1-32 القيمة الفعالة للموجه

1-7-4 قيمة الجذر المتوسط التربيعي Root Mean Square

بالنسبة للتيار المتناوب هو عبارة عن موجة جيبية، وبالتالي فالقيمة المتوسطة له معدومة، لأن الجزء الموجب يساوي الجزء السالب. أما القيمة الفعالة فتعطى بالعلاقة:

Vrms = Vmax/sqrt(2)

حيث: sqrt(2) هو الجذر التربيعي للعدد 2.

ولكن في دائرة القياس نقوم بتحويل التيار المتناوب إلى تيار مستمر(حتى يستطيع المعالج قياسها) باستخدام الثنائي، والذي يمثل دائرة تقويم نصف موجة، فتصبح القيمة المتوسطة للجهد:

Vdc = Vmax/pi

حيث: pi هو 22/7 أو 3.14

وتصبح القيمة الفعالة للجهد:

$\sqrt{2}V_{max}$ V_{rms}

وبالتالي لحساب القيمة الفعالة لموجة كاملة نقوم بقياس القيمة العظمى للجهد (وتكون عادة حوالي 311 فولت)، ونقسمها على جذر 2 (1.41) فيكون الناتج 220 فولت.

8-1 ممانعات التيار المتناوب AC Impedances

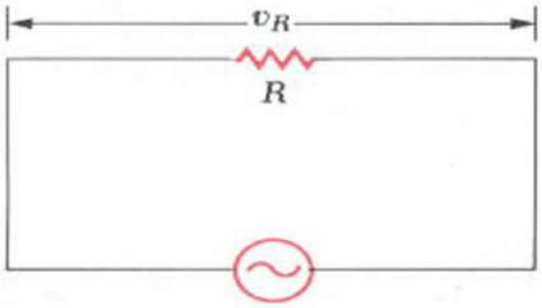
لفهم المبادئ الأساسية لدوائر **التيار المتردد**، سنركز على تأثير التيار المتردد على **المقاومة والمتسعة والملف**. وقد سميت بدوائر التيار المتناوب أو المتردد لأن التأثير الكهربائي يتغير مع الزمن بدالة جيبية، كما لاحظنا في فكرة عمل المولد الكهربائي. سنعتمد في تحليل الدائرةالكهربائية على قانون كيرشهوف لإيجاد علاقة التيار بالجهد الكهربائي على كل عنصر من عناصر الدائرة الكهربائية.

حيث يمثل مصدرالقوة الدافعة الكهربائية في الدائرة بالرمز ويكون فرق الجهد:

$$v = V_m \sin\omega t$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi/T$$

بتطبيق قانون كيرشهوف على الدائرة الموضحة في الشكل (1-33)، التي تتكون من مقاومة ومصدر تيار متردد.



شكل 1-33 دائرة تيار متناوب

$$v = v_R = V_m \sin\omega t$$

حيث أن v_R قيمة فرق الجهد اللحظي المسلط على طرفي المقاومة وV_m القيمة العظمى لفرق الجهد، وتكون قيمة التيار اللحظي:-

$$i_R = v/R = \frac{Vm}{R} \times \sin\omega t = I_m \times \sin\omega t$$

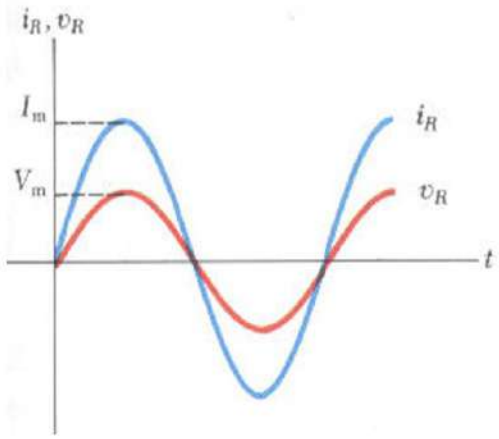
حيث أن I_m القيمة العظمى للتيار المار في المقاومة:

$I_m = V_m/R$

تعطى قيمة فرق الجهد اللحظي بدلالة التيار من خلال المعادلة التالية:

$$v_R = I_m R \sin\omega t$$

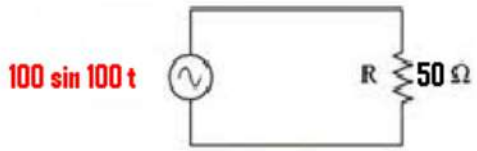
من المعادلة الأخيرة نستنتج أن كلاً من الجهد والتيار يتغيران بدالة جيبية وبنفس الطور، وكما يوضحه الشكل (1-34).



شكل 1-34 تغيرالجهد والتيار بدالة جيبية وبنفس الطور

مثال (1-5)

للدائرة الكهربائية المبينة بالشكل الآتي قيمة المقاومة (50 Ω)، والجهد الجيبي المسلط عليه (100sin100t)، إحسب قيمة التيار الفعال، والتيار الأعظم ومثله جيبياً، واحسب قيمة التردد له.



الجواب

من الشكل يكون التيار (I_{max}) مساوياً إلى

$I_{max}=V_{max}$ /R = 100/50 = 2 A

$\mathbf{I = I_{max} \sin \omega t}$= 2sin100t

$\boldsymbol{I_{rms} = Imax/1.41}$

إما مقدار التردد فحسب المعادلة

$\mathbf{f = \omega/2\pi}$

f =100/2π = 16 Hz

1-8-1 ممانعة المتسعة Capacitor Impedance

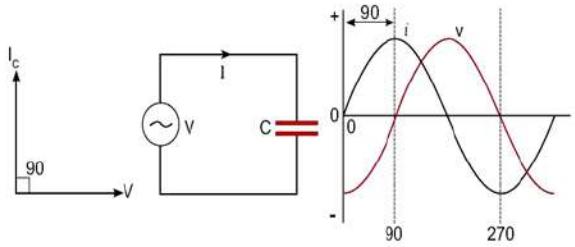
تبدي المتسعة ممانعة للتيار المتناوب وإن ممانعتها تتناسب تناسباً عكسياً مع التردد وتدعى بالممانعة السعوية ويرمز لها (Xc) وتقاس بالأوم وتحسب بالقانون الآتي:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

وفي الدائرة الكهربائية في الشكل (1-35) يوضح كيفية توصيل مكثف إلى مصدر تيار متناوب، ويمكن حساب المفاعلة المكافئة (X_C) كما يلي:

$$X_C = \frac{1}{2\pi.f.C} = \frac{1}{2\times 3.14\times f.c}$$

يتقدم التيار عن الفولتية بزاوية مقدارها 90درجة وهنا يكون الطور بينهما مختلفاً.



شكل 1-35 توصيل متسعة إلى مصدر تيار متناوب

1-8-2 ممانعة الملف Coil Impedance

يقاوم الملف التيار المتناوب وتتناسب ممانعته تناسباً طردياً مع تردد التيار وتدعى بالممانعة الحثية ويرمز لها بالرمز XL وتحسب بالقانون الآتي:

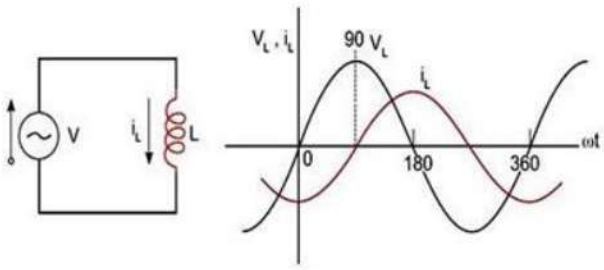
$$X_L = 2\pi f L$$

حيث أن:

f = التردد ، L = معامل الحث الذاتي

ومفهوم الحث الذاتي هو، إذا كانت قيمة التيار المار في الملف تتغير زيادة ونقصان كما هو الحال مع التيار المتردد، فإن قيمة المجال المغناطيسى الناشئ عن التيار تتغير أيضاً زيادة ونقصان، وفي هذه الحالة يتولد على طرفي الملف جهد يعارض الزيادة والنقص في التيار المار في الملف، وكلما زاد معدل تغير التيار كلما زادت قيمة هذا الجهد المعارض لحدوث التغيير، وخاصية المعارضة هذه تسمى "الحث الذاتى".

يتأخر التيار عن الفولتية بزاوية مقدارها 90 درجة، وهنا يكون الطور بينهما مختلف كما يوضحه الشكل (1-36) التالي:

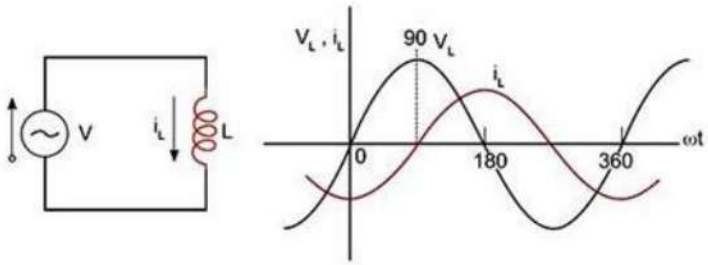


شكل 1-36 مرور تيار متردد في ملف

1-8-3 العلاقة بين التيار وفرق الجهد على الملف والمتسعة

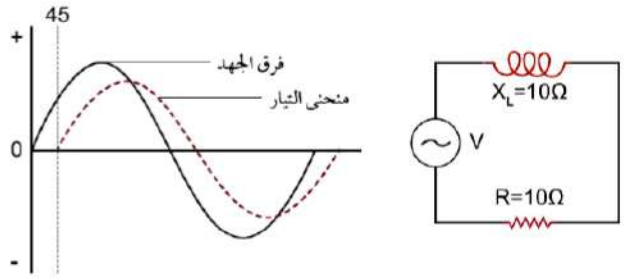
العلاقة بين التياروفرق الجهد على الملف

عند ربط الملف في دائرة تيار متناوب وحسب التأثيرات الحثية فستكون هنالك إزاحة أو فرق بالطور بين التيار وفرق الجهد على الملف، كما في الشكل (1-37).



شكل 1-37 العلاقة بين التيار وفرق الجهد على الملف

من خلال شكل المنحنيات في الرسم أعلاه نشاهد إن الجهد يبدأ من زاوية الصفر، بينما التيار يتأخر عن الجهد، ولا يتغير التيار بنفس الوقت الذي يتغير فيه الجهد في الدائرة الحثية ولكن يتأخر وذلك حسب قيمة المحاثة. في الدائرة الحثية التي تحتوي على ملف فقط، يتأخر التيار عن الجهد بزاوية مقدارها 90 درجة، ومن المعلوم أن جميع الملفات تحتوي على مقاومات، وبذلك يتأخر التيار عن الجهد بزاوية أكبر من الصفر وأصغر من الـ 90 درجة بحيث تقل هذه الزاوية كلما زادت المقاومة وتزيد هذه الزاوية كلما زادت المفاعلة الحثية بحيث تصل في حدها الأعلى إلى 90 درجة عندما تكون المقاومة فيها صفراً، وبالتالي ستكون هناك ممانعة حثية للملف (مقاومة + محاثة)، ووحدة قياس الممانعة الكلية للملف هي الأوم، كما في الشكل (1-38).



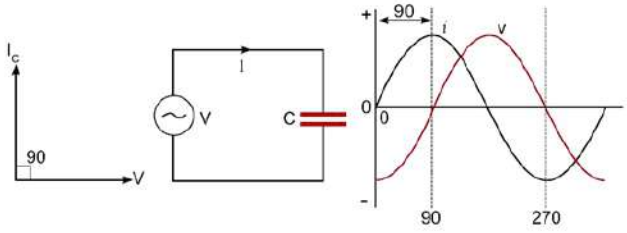
شكل 1-38 الممانعة الكلية للملف

ولحساب الممانعة الكلية للملف (مقاومة + ملف) حسب القانون التالي:

$$Z = \sqrt{R^2 + {X_L}^2}$$

العلاقة بين التيار وفرق الجهد على المتسعة

عند ربط المكثف في دائرة التيار المتناوب وحسب التأثيرات السعوية فسيكون هنالك إزاحة أو فرق طور. إن زاوية الإزاحة بين الجهد والتيارتعني أن التيار يسبق الجهد بزاوية مقدارها 90 درجة، أي أنه إذا بدء منحنى التيار من زاوية الصفر فإن منحني الجهد يتاخر بزاوية مقدارها 90 درجة، وكما هو واضح بالشكل (1-39).



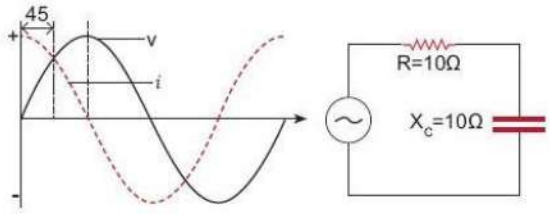
شكل 1-39 العلاقة بين التيار وفرق الجهد على المتسعة

وفي الدائرة السعوية هناك قدر قليل من المقاومة (R) وبذلك يسبق التيار الجهد بزاوية تتراوح بين دائرة تحتوي على مقاومة فقط أي زاوية الازاحة صفر، ودائرة تحتوي على مكثف فقط بزاوية مقدارها 90درجة، وعندما تتساوى المقاومة مع المفاعلة السعوية، ففي هذه الحالة يسبق التيار الجهد بزاوية 45 درجة، وكما هو واضح في الشكل (1-40)، حيث تنتج ممانعة في دائرة التيار المتناوب للمتسعة وتسمى بالممانعة السعوية (مقاومة +محاثة سعوية)

ولحساب الممانعة السعوية نطبق القانون التالي:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$$

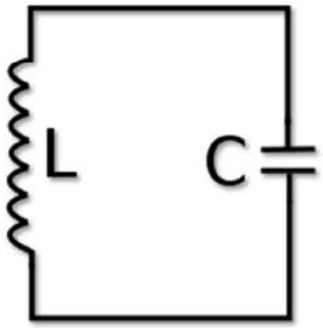
حيث Z هي الممانعة الكلية للمتسعة



شكل 1-40 الدائرة السعوية

1-9 دوائر الرنين Resonance Circuits

رنين الملف والمتسعة في الدوائر الإلكترونية (LC Circuit أو LC Tuner أو Resonant Circuit) هي دائرة كهربائية مكونة من ملف ومكثف يعملان سوياً كرَنان، حيث يتردد فيهما تيار كهربائي عند تردد محدد للرنين. لاحظ الشكل (1-41).



شكل 1-41 دائرة رنين

وتستخدم دائرة الملف والمتسعة لإصدار الإشارات الكهرومغناطيسية عند تردد محدد، أو التقاط موجة كهرومغناطيسية لها تردد محدد من بين حزمة من الموجات. ولتلك الدوائر استخدام متسعة كدائرة رنين وأيضاً كمرشح للإشارات، وكموالف إلكتروني، وكذلك لخلط الموجات الكهرومغناطيسية. وتعتبر دائرة الملف والمتسعة دائرة مثالية إذ توحي بأن مقاومتها تساوي صفراً، إلا أن ذلك ليس واقعياً فكل دائرة كهربائية تحتوي على مقاومة، ولذلك نستعرض هنا دائرة رنين توافقي.

طريقة العمل

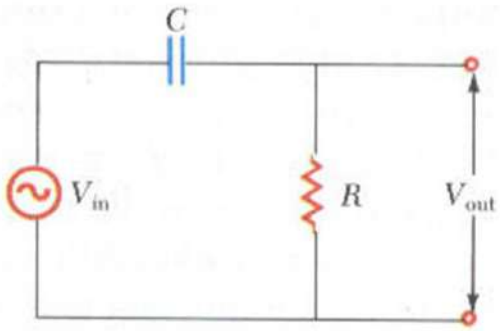
تستطيع الدائرة الكهربائية المكونة من ملف ومتسعة LC Circuit تخزين الطاقة الكهربائية بذبذبتها عند حالة تردد الرنين أو ذبذبة الرنين. ويعتمد تردد الرنين على قيم الملف والمتسعة المختارة. وتخزن المتسعة الطاقة الكهربائية في صورة مجال كهربائي بين لوحتيه، وهذا المجال يعتمد على الجهد الكهربائي المتصل به. ومن ناحية أخرى يخزن الملف أيضاً الطاقة الكهربائية في صورة مجاله المغناطيسي، وهذا يعتمد على شدة التيار المار به. فإذا وصلنا متسعة مشحونة كهربائياً بالتوالي مع ملف، تبدأ شحنة المتسعة في المرور خلال الملف، مما يكوّن مجالاً مغناطيسياً حوله، كما تقل بطبيعة الحال الشحنة على المتسعة. وبعد مدة زمنية قصيرة تتفرغ شحنة المتسعة. ولكن مرور التيار يستمر في الملف بسبب أن الملف يقاوم تغير التيار المار فيه. فتبدأ المتسعة جمع شحنة جديدة على لوحتيها من التيار القادم إليه ولكن شحنتها ستكون هذه المرة عكسية بمقارنتها بشحنتها الأولى. ويكون الجهد عليها عكسياً أيضاً. أي أن اللوح الذي كان في البداية موجباً يصبح سالباً واللوح الآخر بالعكس. وعندما يُستهلك المجال المغناطيسي، يتوقف مرور التيار وتصبح المتسعة مشحونة تماماً (وكما شرحنا بقطبية عكسية). عندئذٍ تبدأ الدورة من جديد بتفريغ شحنة المتسعة في الملف ولكن إتجاه التيار سيكون بالعكس. وبهذا ستتأرجح الشحنة بين لوحي المتسعة والملف مرات ومرات. وستتأرجح بالتالي الطاقة الكهربائية بين المتسعة والملف، حتى تعمل المقاومات الموجودة في الدائرة على تخميد تلك الأرجحة. وتعرف تلك الدورات بالهزاز التوافقي، وهي تشابه من وجهة الرياضيات حركة البندول البسيط. ويمكن أن تكون الذبذبة سريعة بحيث تتردد مئات آلاف المرات في الثانية، حيث تقاس بالكيلوهرتز وهي وحدة قياس التردد. تستخدم دوائر الرنين في أجهزة الإستقبال مثل الراديو والتلفزيون حيث أن لكل محطة إذاعية أو تلفزيونية لها تردد محدد وبجهاز الإستقبال نستقبل التردد الذي يمر في دائرة الرنين والذي تكون مقاومته أقل ما يمكن وباقي الترددات لا تمر لأن إعاقة دائرة الإستقبال لها تكون كبيرة وبتغير سعة المتسعة (عن طريق إدارة ألواح المتسعة لتغير المساحة) يمكن التنقل بين المحطات. وبالتالي كلما كان اتساع منحني التيار والتردد أقل ما يمكن كلما كانت قدرة جهاز الإستقبال أحسن لأنها سوف تفصل بين الترددات المتجاورة. وهذا يلعب دوراً في تقييم أجهزة الإستقبال وتحديد سعرها.

1-9 -1 ربط المتسعة على التوالي مع الدائرة

إن الدائرة المتكونة من مقاومة ومتسعة تحمل مواصفات المرشحات للترددات، ويمكن التحكم في قيم كل من المتسعة والمقاومة وبالتالي نتحكم بالتردد المار في هذه المرشحات، وكذلك من طريقة توصيل المقاومة والمتسعة. تستخدم المرشحات في الدوائرالكهربائية مثل دوائر الإستقبال في الراديو للتخلص من الترددات التي قد تشوش على الإشارة المراد التقاطها وتكبيرها. وتتكون المرشحات الكهربائية من مقاومة ومكثف موصلين على التوالي ويمكنها ترشيح الترددات العالية أو الترددات المنخفضة وذلك من خلال طريقة التوصيل بين المقاومة والمتسعة. إنظر الشكل (1-42). حيث توضح الدائرة الكهربائية المبينة فيه فكرة عمل **مرشح الترددات العالية** High-Pass Filter حيث يكوّن الجهد الناتج على طرفي المقاومة. وقيمة الجهد الناتج على طرفي المقاومة يعطى من خلال قانون أوم:

$$V_{out} = I_{m.} R$$

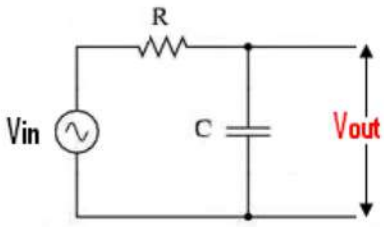
عند الترددات المنخفضة تكون قيمة الجهد Vout أقل بكثير من Vin وعند الترددات المرتفعة تكون قيمتي الجهد متساويتين. Vin=Vout وهذا يعني أن الدائرة تمرر فقط الترددات المرتفعة ولذلك سميت High-Pass Filter بينما الترددات المنخفضة لاتمرر.



شكل 1-42 ربط المتسعة بالتوالي مع الدائرة

1-9-2 ربط المتسعة على التوازي مع الدائرة

في حالة توصيل الخرج على طرفي المتسعة بدلاً من المقاومة يصبح عمل المرشح هو تمرير الترددات المنخفضة وحجب الترددات العالية ويسمى **مرشح الترددات المنخفضة**، إنظر الشكل (1-43).

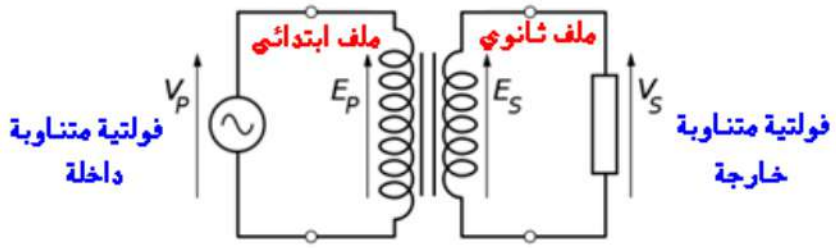


شكل 1-43 ربط المتسعة بالتوازي مع الدائرة

الدائرة الكهربائية المبينة في الشكل(1-43)، عند الترددات المنخفضة تكون قيمتي الجهد Vout و Vin متساويتين، بينما عند الترددات المرتفعة قيمة الجهد Vout أقل بكثير من Vin وهذا يعني أن الدائرة تمرر فقط الترددات المنخفضة، ولذلك سميت Low-Pass Filter بينما لاتمرر الترددات المرتفعة. كما ويمكن استخدام مقاومة وملف RL Filters للحصول على مرشح يعمل بنفس الفكرة. كما يمكن تصميم مرشح يمرر حزمة من الترددات Band-Pass Filter.

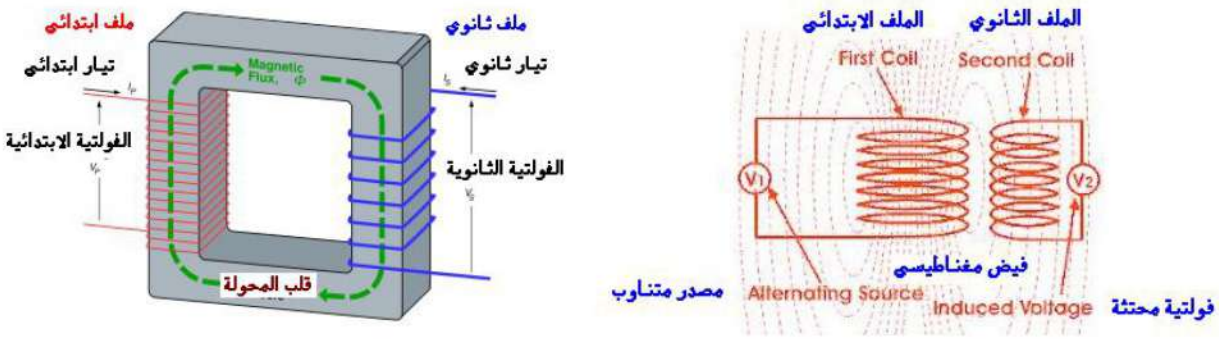
1-10 المحولة الكهربائية Electrical Transformer

يُعدّ الحث المتبادل الأساس الذي تبنى عليه نظرية عمل المحولة الكهربائية المكونة من ملفين إبتدائي وثانوي لاحظ الشكل (1-44) الذي يوضح المحولة الكهربائية المثالية (القدرة الداخلة تساوي القدرة الخارجة). وبزيادة عدد لفات الملف الثانوي على عددها في الملف الابتدائي يمكن الحصول على فولتية أكبر من الفولتية المسلطة على الملف الابتدائي وبالعكس.



شكل 1– 44 المحولة الكهربائية

تستخدم المحولات الكهربائية بشكل منفرد أو تدخل ضمن أجهزة كثيرة وتأتي في مجموعة متنوعة وواسعة من الأحجام والسعات (القدرات) والفولتيات، وتستخدم المحولات الكبيرة لربط شبكات الكهرباء الوطنية بينما تستخدم الصغيرة منها في العديد من التوصيلات والمنظومات الكهربائية والأجهزة الإلكترونية. المبدأ الأولي لعمل المحولة هو أن التيار الكهربائي المتناوب والذي يمر من خلال الملف الإبتدائي يولد مجالاً مغناطيسياً (الذي يعرف بالكهرومغناطيسية)، إما المبدأ الثاني فهو أن تغيرالمجال المغناطيسي يولد تياراً كهربائياً داخل الملفات الثانوية نتيجة الحث المغناطيسي. أنظر الشكل (1-45).



شكل 1-45 مبدأ عمل المحولة

وتشترك المحولات في أنها تحتوي على ثلاثة أجزاء رئيسة داخلة في مكوناتها وكالآتي:

1. الملف الإبتدائي، حيث يستقبل الطاقة الكهربائية من المصدر.
2. قلب المحولة، مادة مغناطيسية يتولد فيها فيض مغناطيسي متردد.
3. الملف الثانوي، حيث يتولد فيه قوة دافعة كهربائية ويتصل بالحمل الكهربائي.

للمحولة نسبة تحويل (للفولتيات أو التيارات حيث أن الزيادة في الفولتية يقابلها نقصان في التيار في كلا الملفين والعكس صحيح أيضاً)،تعتمد على عدد لفات الملف الابتدائي والملف الثانوي وحسب القانون الآتي:

$$V_1 / V_2 = N_1 / N_2$$

N_1= عدد لفات الابتدائي

N_2 = عدد لفات الثانوي

مثال (1-6)

ما مقدار فولتية الملف الثانوي (الخرج) للمحولة الذي عدد لفات ملفه الإبتدائي يساوي 50 لفة وملفه الثانوي يساوي 100 لفة، علماً أن فولتية الملف الابتدائي مساوية إلى 100 volt.

الجواب:

حسب قانون نسبة التحويل تكون فولتية الملف الثانوي V_2 مساوية إلى:

$$V_2=(N_2/N_1)V_1 = (100/50)\ 100 = 200 \text{ volt}$$

أسئلة الفصل الاول

س1: ماهي مصادر الطاقة الشائعة؟ إشرح باختصار عمل كل منها.

س2: إشرح بشكل مفصل آلية عمل العمود الكهربائي البسيط، والعمود الجاف.

س3: ما القوة الدافعة الكهربائية؟

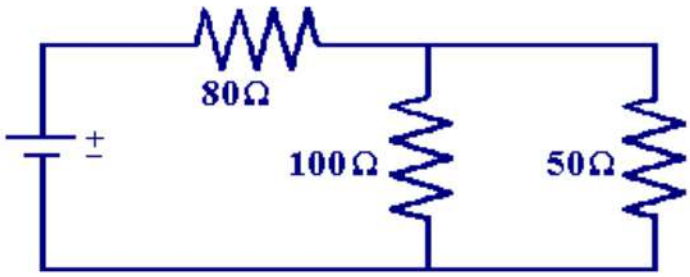
س4: عرف المقاومة الكهربائية، وأذكر أنواعها المختلفة مبيناً كل منها على حدة.

س5: لديك مقاومة سلك مقدارها 20Ω، ومساحة المقطع العرضي محددة بقطر يساوي (¼ mm)، إحسب المقاومة النوعية للسلك إذا علمت أن طوله (5cm).

س6: ربطت ثلاثة مقاومات قيمها 80Ω, 50Ω, 30Ω على التوالي إلى مصدر للتيار المستمر فولتيته تساوي 160Ω. إحسب المقاومة الكلية والفولتية على طرفي كل مقاومة.

س7: ربطت مقاومتان 6Ω , 2Ω على التوازي ووصلت إلى مصدر فولتية 12V. إحسب المقاومة الكلية والتيار المار في كل مقاومة والتيار الكلي المار في الدائرة.

س8: إحسب التيار الكلي المار في الدائرة الآتية إذا كانت فولتية المصدر 100V.



س9: ما الفرق بين القدرة والطاقة الكهربائية؟

س10: إذكر قانونا كيرشهوف موضحاً بأمثلة لكل منهما.

س11: عرف الملف وما أنواعه؟ وضحها.

س12: إشرح قاعدة اليد اليمنى وبين ما الحث الذاتي؟

س13: ماذا نعني بهبوط الجهد؟

س14: عرف الموجة الجيبية، واشرح قانون فارداي.

س15: ماهي نظرية عمل المولد الكهربائي؟ وماهي أجزاء المولد؟

س16: إذا علمت أن الدائرة الكهربائية بالشكل (1-33) يمر بها تيار مقداره ($I=4\sin 50t$)، إحسب القيمة المؤثرة للفولتية المسلطة إذا كانت المقاومة R تساوي 100Ω.

س17: ماهي دائرة الرنين، وما طريقة عملها، وما هي استعمالاتها؟

س18: إشرح بالتفصيل آلية عمل المحولة الكهربائية.

س19: إذا كان عدد اللفات للملف الابتدائي للمحولة يساوي 40 لفة وللثانوي 20 لفة، إحسب قيمة التيار الإبتدائي إذا كان التيار الثانوي يساوي 5A.

الفصل الثاني أشباه الموصلات

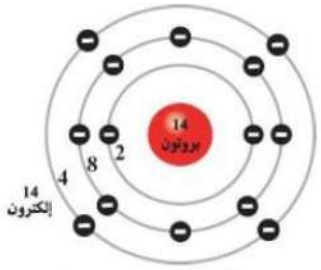
1-2 أشباه الموصلات Semi-Conductors

ربما تكون العناصر الإلكترونية المصنوعة من أشباه الموصلات هي أكثر العناصر الإلكترونية أهمية هذه الايام. العناصر الإلكترونية كالثنائيات والترانزستورات والثايرستورات والمقاومات الحرارية والخلايا الكهروضوئية والمقاومات الضوئية والعناصر الإلكترونية الليزرية والدوائر المدمجة، كل هذه العناصر تصنع من مواد شبه موصلة أو بشكل عام من أشباه الموصلات. والآن نأتي للتعرف على ما هو شبه الموصل (Semi-Conductor). تصنف المواد حسب ناقليتها للتيار الكهربائي إلى:

- مواد (موصلة) ناقلة تمرر التيار الكهربائي بسهولة كالفضة والنحاس وتسمى هذه المواد بالموصلات (Conductors).
- مواد (عازلة) لاتسمح بمرور التيار الكهربائي كالمطاط والزجاج والخشب وغيرها وتسمى هذه المواد بالعوازل (Insulators).
- يوجد في الطبيعة مواد أخرى تقع بين النوعين (المواد الموصلة والمواد العازلة) من حيث توصيلها للكهربائية وتسمى بأشباه الموصلات Semiconductors كما في عنصري الجرمانيوم Ge والسيلكون Si وبعض المركبات الكيماوية الأخرى. ويطلق على تقنية أشباه الموصلات إصطلاح الحالة الصلبة (Solid State)، إذ أن التوصيل يحدث في مواد صلبة وليست سائلة أو غازية. ولاتنقل هذه المواد التيار الكهربائي في درجة حرارة الصفر المطلق، إما في درجة حرارة الغرفة ($20C^0$) فإنها تنقل التيار.

2-2 السيلكون والجرمانيوم

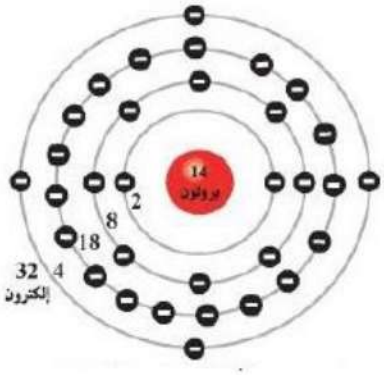
عنصرا السيليكون والجرمانيوم من أهم أشباه الموصلات المستعملة في الأغراض الإلكترونية وهي (رباعية التكافؤ) ويتركب عنصر السيليكون من 14 إلكتروناً في تركيبه الذري بينما تمتلك ذرة الجرمانيوم 32 إلكتروناً، تتوزع الإلكترونات على مدارات ذرة السيلكون وهي، المدار الأول يحتوي على 2 إلكترون، المدار الثاني 8 إلكترونات، المدار الثالث 4 إلكترون، لاحظ الشكل (2-1).



شكل 2-1 البناء الذري للسيلكون

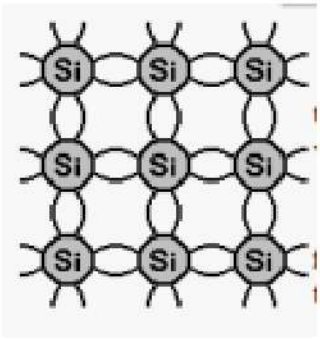
بينما تتوزع الإلكترونات على مدارات ذرة الجرمانيوم كما يلي:

المدار الأول يحتوي على 2 إلكترون، المدار الثاني 8 إلكترونات، المدار الثالث 18 إلكترون، المدار الرابع 4 لاحظ الشكل (2-2).



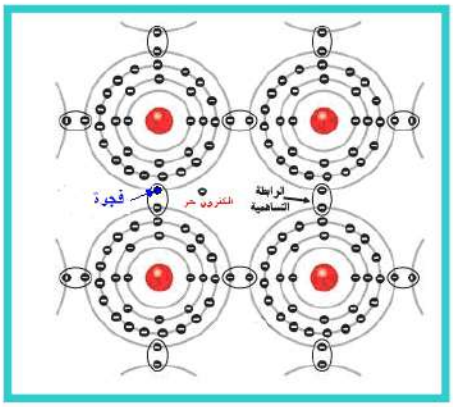
شكل 2 – 2 البناء الذري للجرمانيوم

وكل من هذه الذرات قادرة على الإتحاد فيما بينها عن طريق ترابط إلكترونات التكافؤ للذرات المتجاورة وتسمى بالأواصر التساهمية (Covalent Bond) ويطلق على هذا التركيب بالتركيب البلوري (Crystal Structure)، والشكل (2–3) يوضح تركيب بلورة السيلكون في درجة الصفر المطلق.



شكل 2–3 بلورة السيليكون في درجة الصفر المطلق

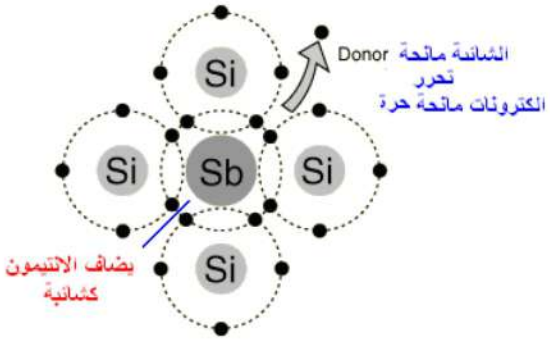
وإذا تعرضت البلورة إلى مؤثرات خارجية ضوئية كانت أو حرارية فإن ارتباط الكترونات التكافؤ يضعف فتتحرر وتكفي درجة حرارة الغرفة لمثل هذا التأثير خصوصاً لبلورة الجرمانيوم، والشكل (2–4) يوضح تحرر الكتروناً من حزمة التكافؤ في بلورة الجرمانيوم وأصبح حراً تاركاً مكانه فجوة (Hole) وأصبح التوصيل الكهربائي ممكناً بعض الشئ، وللفجوة أهمية خاصة حيث يعدَّ حاملاً للكهربائية مثل الإلكترونات الحرة.



شكل 2–4 بلورة الجرمانيوم بدرجة حرارة الغرفة

2-2-1 البلورة من النوع السالب N-Type Crystal

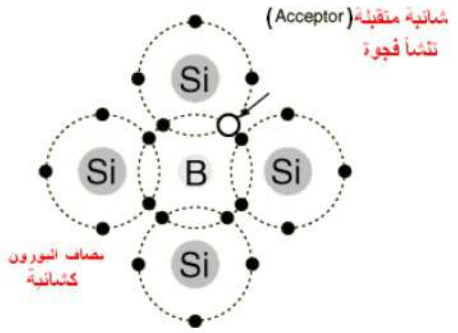
بإضافة شائبة (Impurity) مثل الزرنيخ أو الفسفور أو الأنتيمون خماسية التكافؤ، كما موضح في الشكل (2 -5) إلى بلورة الجرمانيوم أو السيليكون فأن أربع الكترونات تكافؤية من الذرة الشائبة سيرتبط بأواصر تساهمية مع الكترونات البلورة بينما يبقى الالكترون الخامس فائض وطاقة صغيرة تكفي لتحريره وتدعى المواد الشائبة بالواهبة (donors) أو المانحة لأنها تعطي الالكترونات من مدارها الخارجي.



شكل 2- 5 البلورة من النوع السالب

2-2-2 البلورة من النوع الموجب P-Type Crystal

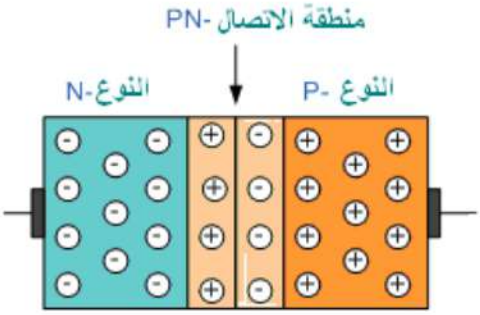
بإضافة شائبة ثلاثية التكافؤ مثل الأنديوم أو البورون إلى بلورة الجرمانيوم أو السيلكون فأن فجوة واحدة سوف تتولد نتيجة كل ذرة من ذرات الشائبة وتكون هذه الفجوات مستعدة لاستقبال الكترونات التكافؤ من ذرات شبه الموصل المجاورة لها تاركة فجوات جديدة في البلورة وينتج عن ذلك حركة عشوائية للفجوات ولاتحتاج هذه العملية سوى طاقة قليلة جداً لتحرير الكترونات التكافؤ. لاحظ الشكل (2– 6).



شكل 2- 6 البلورة من النوع الموجب

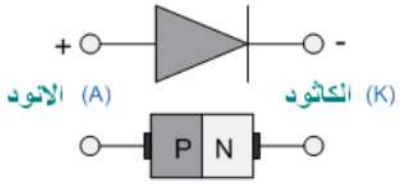
2-3 الثنائي البلوري (الثنائي) The Diode

بعد أن تعرفنا على كيفية تكوين كل من البلورة من النوع الموجب (النوع - P) والبلورة من النوع السالب (النوع - N) من مواد شبه الموصلة وبدمج هاتين القطعتين يتكون بينهما حاجز (Barrier) يفصل بينهما يدعى بمنطقة الاتصال (Junction) لاحظ الشكل (2–7).



شكل 2– 7 الحاجز ومنطقة الإتصال للثنائي

يسمى الطرف المتصل بالمادة شبه الموصلة الموجبة بالأنود، ويسمى الطرف المتصل بالمادة شبه الموصلة السالبة بالكاثود، ويدعى المكوّن شبه الموصل (P-N) بالثنائي (Diode) ويرمز له كما في الشكل (2–8).

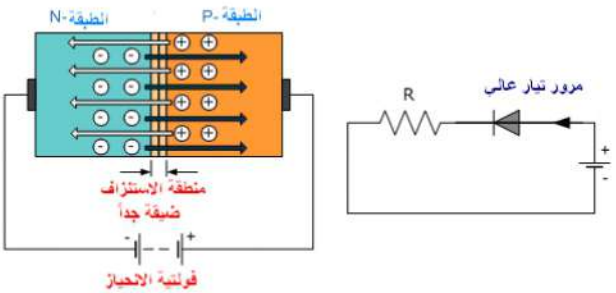


شكل 2 -8 الثنائي ورمزه

تستخدم الثنائيات عادة في دوائر تحويل الفولتيات أو التيارات المتناوبة (AC) إلى فولتيات أو تيارات مستمرة (DC)، كما هي الحال في مصادر التغذية (AC/DC Power Supply)، كذلك تستخدم الثنائيات في دوائر مضاعفات الجهد (Voltage Multiplier Circuit) وفي دوائر تحديد الفولتية (Voltage-LimitingCircuits)، وكذلك في دوائر تنظيم الفولتية (Voltage-Regulator Circuit).

2-3-1 الإنحياز الأمامي Forward Bias

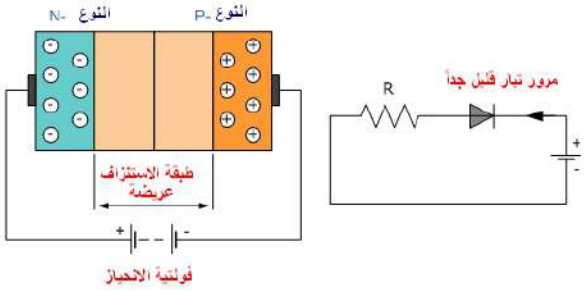
في هذه الطريقة يوصل القطب الموجب للبطارية إلى القطعة شبه الموصلة الموجبة (P) للثنائي في حين يوصل القطب السالب للبطارية بالقطعة شبه الموصلة السالبة، (N) كما موضح بالشكل (2–9). عندما تزداد فولتية المصدر عن الصفر فولت تضيق منطقة الإستنزاف فتتجه الالكترونات نحو القطب الموجب للبطارية بينما تنجذب الفجوات موجبة الشحنة نحو القطب السالب للبطارية فيسري تيار كهربائي ونستنتج من ذلك إن مقاومة الثنائي عند توصيله بالإنحياز الأمامي تكون قليلة.



شكل 2–9 الانحياز الامامي

2-3-2 الإنحياز العكسي Reverse Bias

في هذه الطريقة يوصل القطب الموجب للبطارية بالقطعة شبه الموصلة السالبة N – Type والقطب السالب للبطارية بالقطعة شبه الموصلة الموجبة P- Type. تندفع الإلكترونات نحو القطب الموجب للبطارية وتنجذب الفجوات نحو القطب السالب للبطارية فلا يسري تيار كهربائي في الدائرة، أي أن مقاومة الثنائي تكون عالية جداً، وبسبب تجمع الإلكترونات والفجوات حول منطقة الإتصال بين القطعتين سوف تتنافر الفجوات القليلة جداً الموجودة في النوع N مع القطب الموجب للبطارية وتنجذب نحو القطب السالب وتتنافر الالكترونات القليلة جداً الموجودة في النوع p مع القطب السالب متجهة نحو القطب الموجب للبطارية، وهذا يسبب مرور تيار قليل جداً في الثنائي عند توصيله بالاتجاه العكسي. عند زيادة الإنحياز العكسي يكون الجهد الكهربائي للفولتية العكسية كافياً لكسر الآصرة التساهمية فيمر تيار يدعى بتيار الإنهيار(Avalanche Current) وتدعى قيمة الفولتية التي تنتج تيار الانهيار بفولتية الإنكسار (Breakdown Voltage)، لاحظ الشكل (2 - 10)

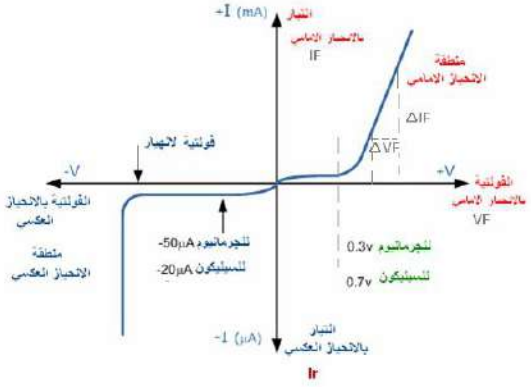


شكل 2–10 الإنحياز العكسي

3-3-2 خواص الثنائي Diode Characteristics

يبين الشكل (2–11) منحني خواص الثنائي شبه الموصل الذي يمثل العلاقة بين التيار والفولتية عندما يكون الثنائي موصلاً بالإنحياز الأمامي والانحياز العكسي. عندما تصل فولتية الإنحياز الأمامي إلى قيمة أكبر من جهد الحاجز وتصل هذه القيمة 0.7V إذا كان الثنائي مصنوع من السيليكون و 0.3V إذا كان الثنائي مصنوع من الجرمانيوم، وهذا سوف يسبب زيادة بمرور تيار بالإتجاه الأمامي (I_F) كلما تزداد فولتية الإنحياز الأمامي (V_F) ويمكن ملاحظته في الجزء الأيمن للمنحني. ويمكن استخراج مقاومة الثنائي الأمامية من العلاقة الرياضية الآتية:

$$r_B = \frac{\Delta V_F}{\Delta I_F}$$



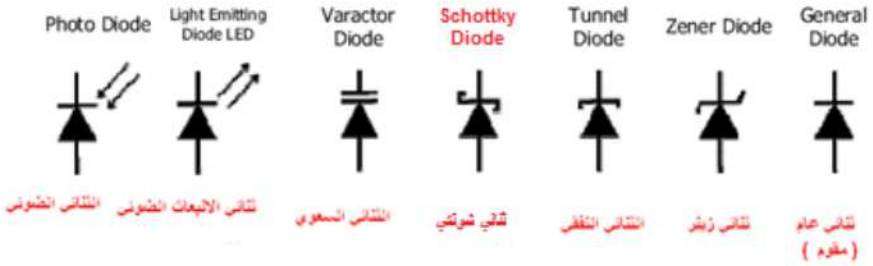
شكل 2–11 منحني الخواص للثنائي

ويمثل المنحني منطقة الإنحياز العكسي للثنائي ومنه نلاحظ أن تيار الانحياز العكسي يكون قليلاً ولا يتأثر بزيادة الفولتية (Vr) على طرفي الثنائي بالإتجاه العكسي. وعندما تصل قيمة فولتية الإنحياز العكسي إلى قيمة معينة تسمى بفولتية الإنهيار (Break Down) تتكسر الأواصر التساهمية فيزداد التيار بالإتجاه العكسي (Ir) فجأة إلى قيمة كبيرة جداً.

2-3-4 أنواع الثنائي Diode Types

بعد أن تعرفنا على تركيب وخواص الثنائيات وهي عبارة عن مكونات صلبة مصنوعة من مواد شبه موصلة وتتكون من طبقتين من النوع (P- Type) والنوع (N- Type) التي يمكن صنعها من بلورات الجرمانيوم أو السيليكون وطريقة توصيل هاتين الطبقتين تختلف من ثنائي إلى آخر، ولذا فإن خصائصها وطريقة ومكان استعمالها تتغير حسب صنعها ونوعها. ومن الأنواع الشائعة الإستعمال نذكر منها مايلي:

ثنائي عام (المقوم) (General Diode) - ثنائي زينر(Zener Diode)– الثنائي النفقي (Tunnel Diode) ثنائي شوتكي (Schottky Diode)- الثنائي السعوي (Varactor Diode) - ثنائي الانبعاث الضوئي (Light Emitting Diode)– الثنائي الضوئي (Photo Diode)، لاحظ الشكل (2–12) الذي يوضح أنواع مختلفة من الثنائيات.

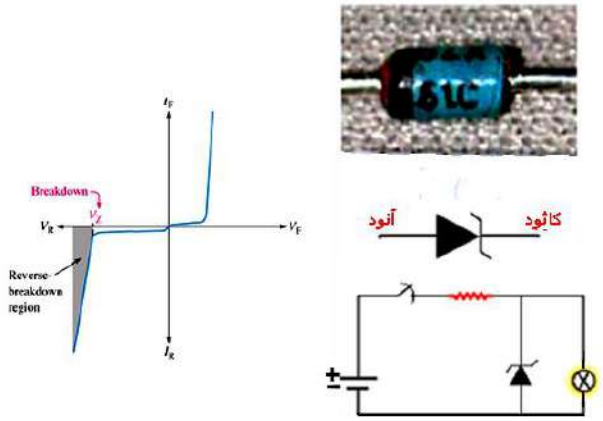


شكل 2-12 أنواع مختلفة من الثنائيات

2-3-4-1 ثنائي الزينر Zener Diode

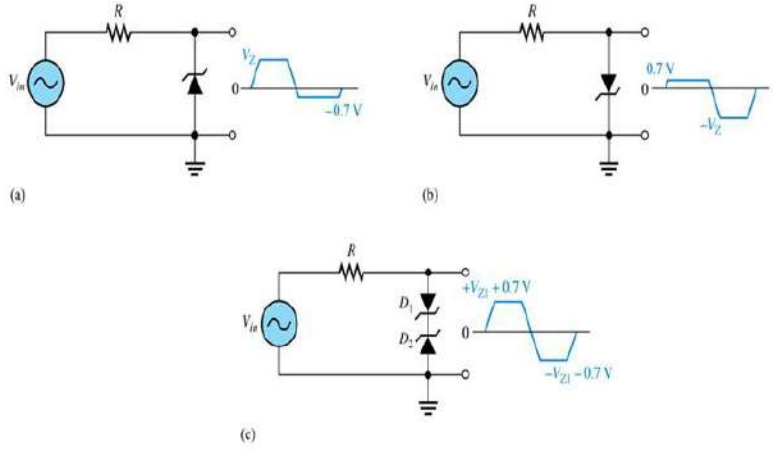
يتكون ثنائي الزينر من نفس مكونات الثنائي الإعتيادي عدا أن نسبة الشوائب في القطعتين (N) و(P) تكون أكثر من نسبتها في الثنائي الإعتيادي. إن زيادة الشوائب يؤثر على عمل وخواص الثنائي وخاصة عند توصيله بالإنحياز العكسي فيبدي مقاومة عالية جداً، ولكن الإستمرار في زيادة الفولتية العكسية على طرفيه تؤدي إلى هبوط مقاومته بشكل مفاجيء وكبير فيمر به تيار عالٍ، وتسمى الفولتية التي تتغير فيها

مقاومة الثنائي من قيمة عالية جداً إلى قيمة قليلة بفولتية الإنهيار (Break Down Voltage) ويبقى فرق الجهد على طرفي ثنائي الزينر خلال فترة الانهيار ثابتاً. وإن مقدارها يتوقف على نسبة الشوائب في القطعتين المكونتين للثنائي، لاحظ الشكل (2- 13) الذي يوضح رمز ثنائي الزينر ومنحني خواصه.



شكل 2-13 رمز ثنائي الزينر ومنحني خواصه

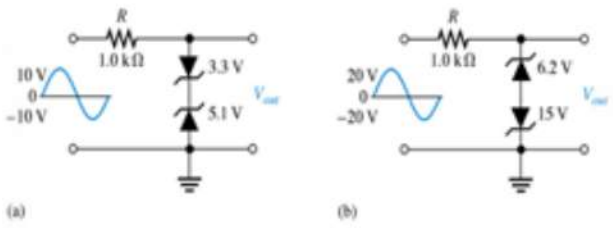
إذاً فإن ثنائي الزينر تم تصميمه أساساً للعمل في منطقة الإنحياز العكسي ولهذه الخاصية أهمية كبيرة في تطبيقات الزينر فلو لاحظنا الشكل (2- 14) نجد أنه ممكن الحفاظ على فولتية متناوبة معينة من الإرتفاع فوق مستوى معين أو دائرة حماية وتنظيم للفولتية المتناوبة المحولة إلى فولتية مستمرة.



شكل 2- 14 تطبيقات ثنائي زينر

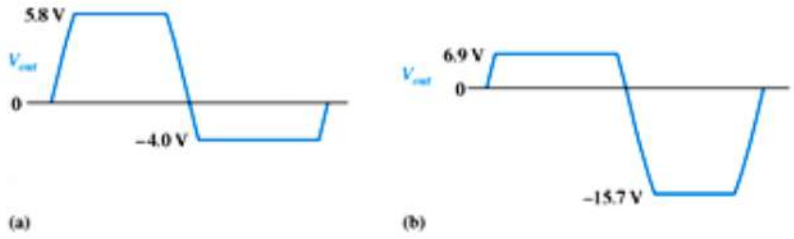
مثال (2-1)

ارسم شكل الإشارة الخارجة للدائرتين المبينتين بالشكل (2-15) موضحاً قيم حدود الفولتية الخارجة.



شكل 2 -15 دائرة عمل ثنائي الزينر

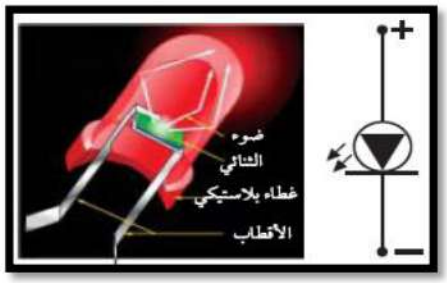
الاشاره الناتجة واضحة بالشكل (2 - 16) الآتي:



شكل 2 -16 يمثل شكل اشارة الخرج من الزينر

2-4-3-2 ثنائي الإنبعاث الضوئي IR Diode & Light Emitting Diode (LED)

إن الثنائي الباعث للضوء (LEDs) هو عنصر له طرفان ويشبه ثنائي المتصلات (Pn)، إلا أنها مصممة لإصدار ضوء مرئي أو أشعة تحت الحمراء (IR). عندما يكون جهد مصعد الـ (LED) أكبر من جهد مهبطه بحوالي (0.6 V إلى 2.2 V) فإن تياراً يمر من المصعد إلى المهبط ويتم إصدار الضوء، أما إذا كانت القطبية معكوسة، أي المهبط أكثر ايجابية من المصعد فإن الـ (LED) لايمرر ولايصدر ضوء. يبين الشكل (2-17) رمز الثنائي المصدر للضوء وشكله العام.

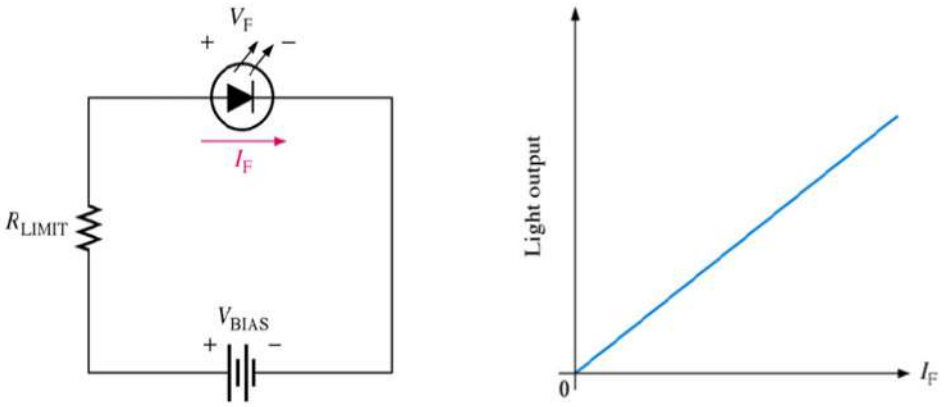


شكل 2 -17 رمز وشكل الثنائي المصدر للضوء

يعطي الـ (LED) إضاءة محددة اللون (فوتونات ذات لون خاص) وذلك بعكس المصابيح العادية التي تعطي فوتونات متعددة الألوان تتداخل مع بعضها لتعطي اللون الابيض، والألوان الشائعة التي تصدرها الـ LEDs هي الأحمر والأخضر والأصفر هذا طبعاً بالإضافة إلى الأشعة تحت الحمراء (IR). انظر الشكل (2 - 18).

شكل 2 - 18 الألوان الشائعة التي تصدرها الـ LEDs

تستخدم الـ LEDs عادة لإعطاء إضاءة دلالة، وكذلك بعض التطبيقات التي تحتاج إلى إضاءات ضعيفة (كاضواء إشارة دراجة مثلاً)، أما الثنائيات المصدرة للأشعة تحت الحمراء فتستخدم كعناصر مرسلة في دوائر التحكم عن بعد كما في جهاز التحكم بالتلفزيون مثلاً، وكذلك في تحديد مسار الروبوتات الجوالة (Mobile Robotics) لتلافي العوائق. والعنصر المستقبل للإشارة المرسلة ممكن أن يكون ترانزستوراً ضوئياً يستجيب لتغيرات ضوء LED مرسل ويغير بذلك تيار دائرة الاستقبال وفقاً للإشارة المرسلة. إن شدة الضوء الصادر من LED ترتبط بعلاقة خطية مع مقدار التيار المار بالثنائي I_F كما هو واضح بالشكل (2 - 19).



شكل 2 - 19 خاصية ثنائيLED

2-3-4-3 الثنائي الضوئي Photo Diode

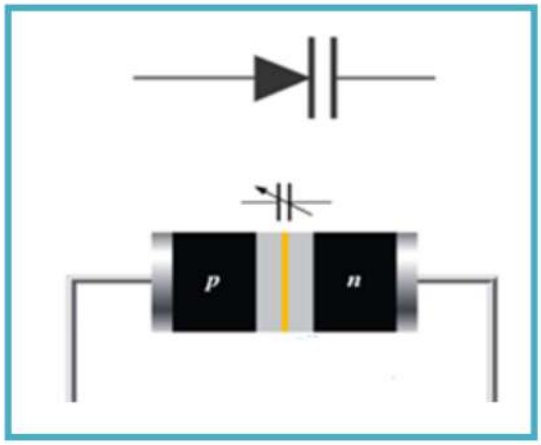
الثنائيات الضوئية هي عناصر ذات طرفين تحول الطاقة الضوئية (الفوتون) إلى تيار كهربائي. إذا تم وصل طرفي الثنائي الضوئي مع بعض ووضع الثنائي في الظلام لايمر تيار في دائرة الثنائي، ولكن وعند إضاءة الثنائي، فإن هذا الثنائي يصبح مصدراً لتيار صغير ويضخ التيار من المهبط عبر السلك إلى المصعد. يبين الشكل (2 - 20) رمز الثنائي الضوئي.

شكل 2 -20 رمز الثنائي الضوئي

تستخدم الثنائيات الضوئية عادة لكشف نبضات الأشعة تحت الحمراء التي تستخدم في الإتصالات اللاسلكية، كما توجد أيضاً في دوائر مقاييس الضوء (مثل مقياس الضوء في الكاميرات وفي أجهزة الإنذار وغيرها)، وذلك لأنها ذات استجابة ضوئية- تيارية خطية.

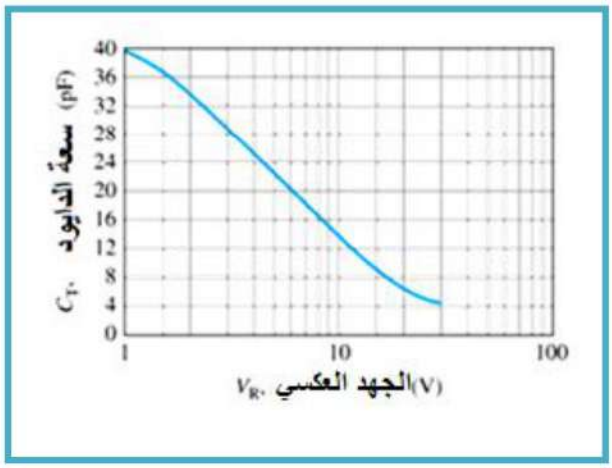
2-3-4-4 الثنائي السعوي VAR Diode

الثنائي السعوي المبين بالشكل (2 -21) هو نوع من أنواع الثنائيات يعمل كمتسعة متغيرة بتغير الفولتية على طرفيه، وهو يعمل بالانحياز العكسي.



شكل 2 - 21 الثنائي السعوي

حيث تقل قيمة سعة المتسعة بزيادة الفولتية العكسية، كما مبين بالشكل (2 - 22).



شكل 2 -22 خاصية الثنائي السعوي

يستخدم هذا النوع من الثنائيات في دوائر التنغيم كالموجودة في التليفزيون لتحديد ووضع التردد المطلوب. وتوجد أنواع أخرى من الثنائيات لم يتم التطرق لها مثل ثنائي شوتكي (Schottky Diode) المبين بالشكل (2 -23). وهو ثنائي يعمل بالإنحياز الأمامي وفولتية انحيازه 0.3 V يستخدم بالتطبيقات التي تحتاج إلى عمليات فتح وغلق سريعة أو ترددات سريعة.

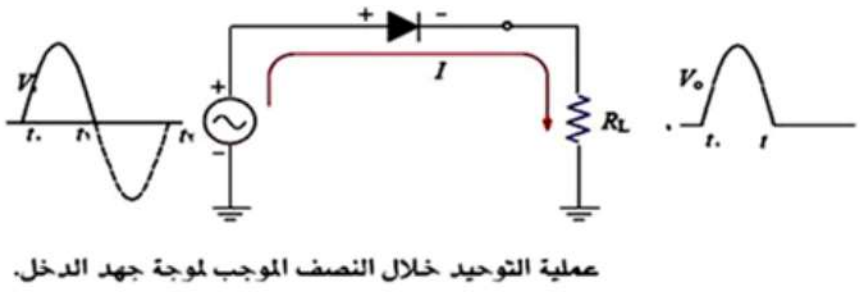
شكل 2- 23 ثنائي شوتكي (Schottky Diode)

5-3-2 تطبيقات الثنائي Diode Applications

تستخدم الثنائيات في دوائر التقويم أو التوحيد (Rectifier Circuits) التي تحوّل الجهد المتناوب (AC) إلى جهد مستمر (DC)، كما تستخدم الثنائيات أيضاً في تطبيقات عديدة وكما يأتي:

1-5-3-2 مقوّم (موَحد) نصف موجة Half Wave Rectifier

يقصد بعملية التوحيد (التقويم) هي تحويل التيار المتناوب إلى تيار مستمر موحد في الإتجاه كما في الشكل أدناه الذي يوضح استعمال الثنائي في دائرة التوحيد لنصف الموجة .حيث يتصل طرف الأنود للثنائي (الثنائي) بمصدر الجهد المتناوب ويتصل الطرف الثاني الكاثود بمقاومة الحمل، خلال النصف الموجب لموجة جهد الدخل يكون الثنائي في حالة إنحياز أمامي ويسمح لمرور التيار خلال مقاومة الحمل، ويكون الجهد على المقاومة مساوي إلى جهد المصدر إذا اعتبرنا الثنائي مثالياً. إما عند وصول الجزء السالب من الموجة فيكون الثنائي في حالة إنحياز عكسي حيث لايسمح بمرور التيار خلال مقاومة الحمل، وبالتالي فإن شكل الخرج سيكون على شكل أنصاف الموجات الموجبة فقط. الشكل (2 – 24) يوضح الإشارة الداخلة والخارجة من الثنائي. وهذه الطريقة في التقويم تسمى تقويم نصف موجة لانها تقوم بإخراج نصف الموجة الأصليه. وإلغاء للنصف الآخر.



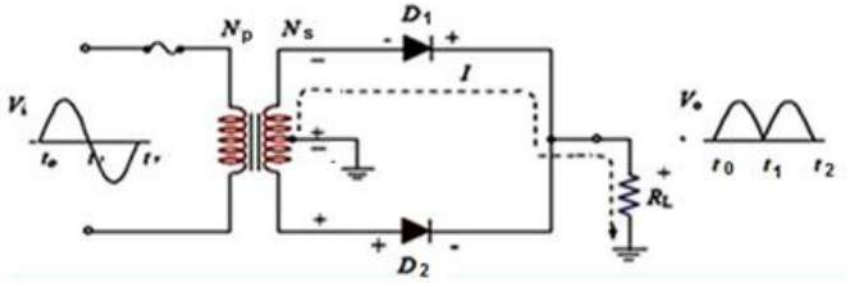
عملية التوحيد خلال النصف الموجب لموجة جهد الدخل.

شكل 2 - 24 دائرة توحيد نصف موجة

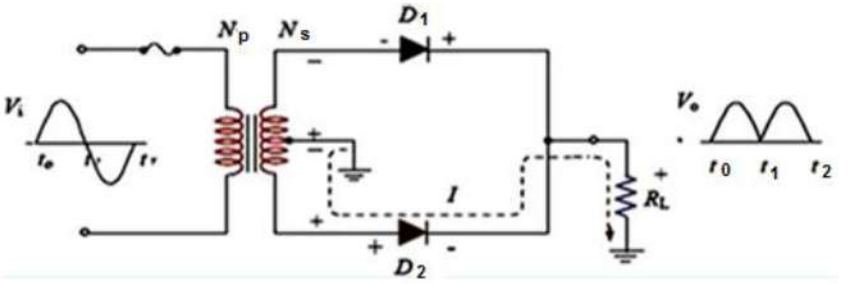
2-5-3-2 موَحد الموجة الكاملة Full Wave Rectifier

الشكل(2 –25) يبين موَحد موجة كاملة مع محولة ذو نقطة وسطية حيث تشترك قيمة الجهد بين النقطة الوسطية وكل طرف من أطراف الملف الثانوي المتصل مع الثنائي (D1) والثنائي (D2). خلال النصف الموجب لموجة الجهد تكون قطبية الجهد في النقطة الوسطية موجبة بالنسبة إلى الطرف الأعلى للملف الثانوي وسالبة بالنسبة إلى الطرف الأسفل، وبالتالي يكون الثنائي (D1) في حالة انحياز أمامي والثنائي (D2) في حالة انحياز عكسي، فيمر التيار خلال الثنائي (D1) وإلى مقاومة الحمل.

أما خلال النصف السالب لموجة الجهد المتناوب فإن قطبية الجهد على أطراف الملف الثانوي سوف تنعكس ليكون جهد النقطة الوسطية للملف الثانوي سالبة بالنسبة إلى الطرف الأعلى وموجبة بالنسبة إلى الطرف الأسفل ويكون الثنائي (D1) في حالة إنحياز عكسي والثنائي (D2) في حالة إنحياز أمامي فيمر التيار خلال الثنائي (D2) وإلى مقاومة الحمل، لاحظ الشكل (2-26).

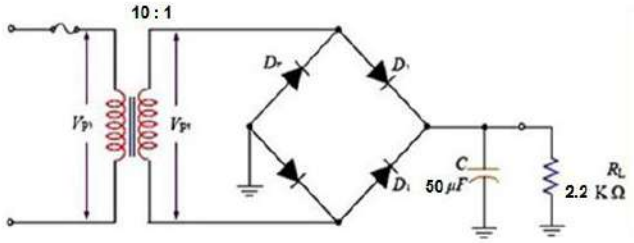


شكل 2 – 25 مرور التيار خلال الثنائي D1 ومقاومة الحمل



شكل 2 - 26 مرور التيار خلال الثنائي D2 ومقاومة الحمل

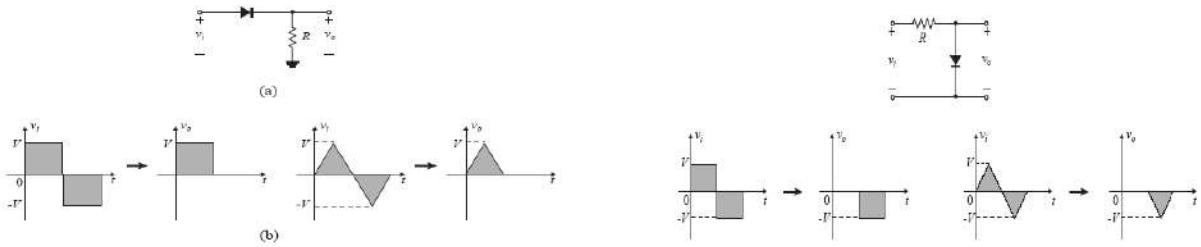
أما الطريقة الثانية والأكثر كفاءة والتي تستفيد من كامل إشارة التيار المتردد الداخلة هي دائرة تقويم موجة كاملة، والشكل يوضح طريقة استخدام القنطرة والمتكونة من" أربع ثنائيات " للحصول على نفس النتيجة المطلوبة، لاحظ الشكل (2 -27).



شكل 2 - 27 دائرة توحيد الموجة الكاملة باستخدام القنطرة

3-5-3-2 دائرة قص Clipping Circuit

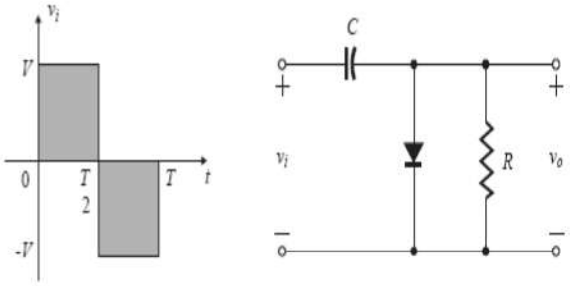
تعطى في الشكل (2-28) دوائر قص، وهي نوعان (قص توالي وقص توازي)، وتستخدم هذه الدائرة عادة لحماية عناصر الدائرة الأخرى من الضرر بسبب الجهود الزائدة، كما تستخدم أيضاً لتوليد موجات بأشكال خاصة.



شكل 2 -28 دوائرالقص

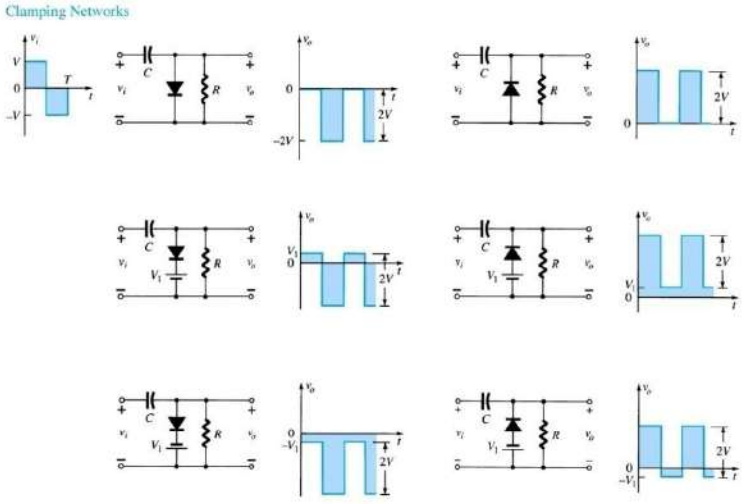
4-5-3-2 دائرة التسلق Clamping Circuit

إن دائرة التسلق تقوم برفع مستوى الإشارة إلى مستوى مستمر مختلف مع تغير شكل الموجة الاصلي. تتكون دائرة التسلق من مقاومة ومتسعة والثنائي، كما هو واضح بالشكل (2 -29).



شكل 2 - 29 دائرة التسلق

مهم جداً الإنتباه إلى عملية اختيار قيم المقاومة R والمتسعة C حيث يجب أن يكون الثابت الزمني (t=RC) كبير بما فيه الكفاية لضمان عدم تفريغ المكثف من الفولتية بشكل لحظي عندما يكون الثنائي في حالة عدم توصيل. يوضح الشكل (2 - 30) طرائق ربط مختلفة لدوائر التسلق باستخدام الثنائي.



شكل 2 -30 طرائق ربط مختلفة لدوائر التسلق باستخدام الثنائي

4-2 الترانزستور Transistor

مقدمة

يعتبر الترانزستور أحد أهم عناصر أشباه الموصلات التي تم اكتشافها. والآن تستخدم الترانزستورات في أغلب الدوائر الإلكترونية كدوائر التضخيم ودوائر الاهتزاز، ودوائر تنظيم الجهد، ودوائر مصادر التغذية، وكذلك في بناء الدوائر المتكاملة (IC)، وكذلك في دوائر التحكم وخاصة عندما يتم استخدام تيار صغير للتحكم بتيار كبير. كما تستخدم الترانزستورات أيضاً كمفاتيح الكترونية مختلفة. وقد ساعدت عوامل كثيرة مثل صغر حجمه وسهولة تصنيعه وقلة كلفته واستهلاكه القليل للطاقة على انتشاره بشكل واسع.

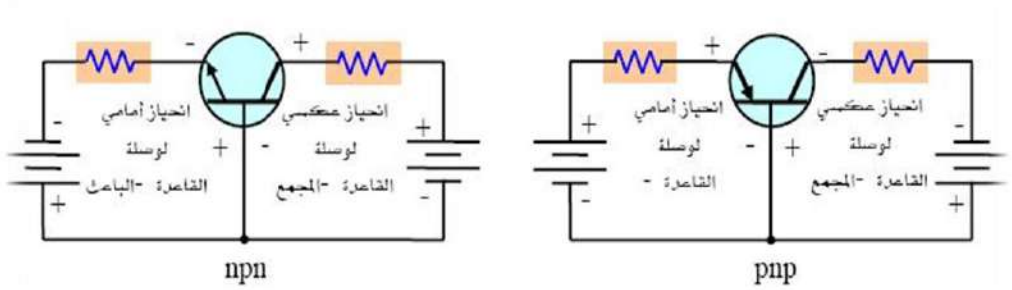
1-4-2 تركيب الترانزستور

يتركب الترانزستور الثنائي القطبية من ثلاثة مناطق شبه الموصلة المطعمة بالشوائب، مفصولة بوصلتين من نوع P-N كما هو موضح بالشكل وتسمى هذه المناطق بالباعث Emitter والقاعدة Base والجامع Collector، كما ويوجد نوعان من الترانزستور هما npn ,pnp، الوصلة Pn التي تربط منطقة القاعدة ومنطقة الباعث تسمى وصلة القاعدة – الباعث، والوصلة التي تربط منطقة القاعدة ومنطقة الجامع تسمى وصلة القاعدة – الجامع، كما ويرمز للمشع بالحرف E والجامع بالحرف **C** والقاعدة بالحرف **B.** لاحظ الشكل (2 -31).

شكل 2- 31 أطراف الترانزستور الثنائي القطبية بنوعيه

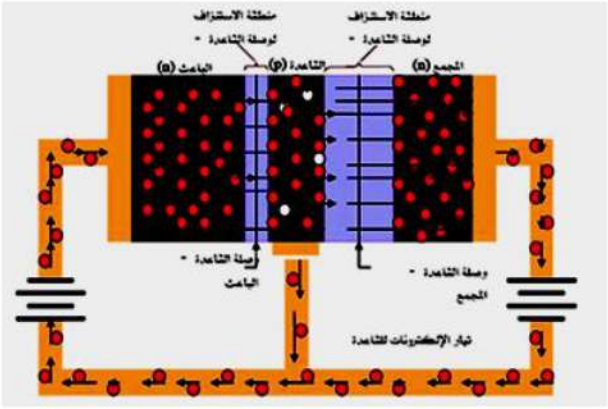
2-4-2 انحياز الترانزستور Transistor Biasing

من الشكل (2 -32) نلاحظ أن **الإنحياز الأمامي** دائماً لوصلة القاعدة – الباعث **والإنحياز العكسي** لوصلة القاعدة – الجامع، ومن كلا النوعين للترانزستور، عندما يكون في وضع تشغيل كمكبر.



شكل 2 -32 يوضح انحياز الترانزستور نوع NPN – PNP

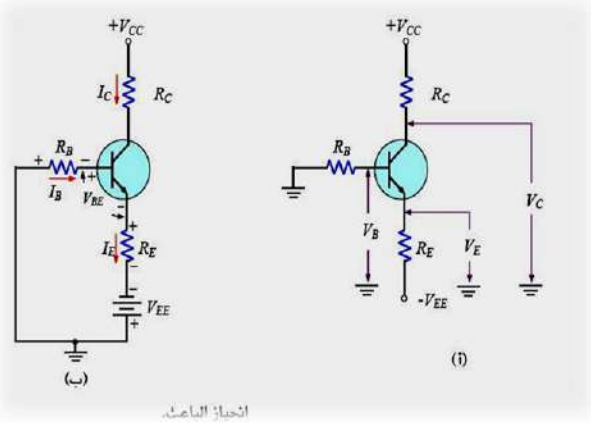
في الإنحياز الأمامي من القاعدة إلى الباعث يجعل هذه الحالة منطقة الإستنزاف أو منطقة الإستنفاذ بينهما تضيق، والإنحياز العكسي من القاعدة إلى الجامع يؤدي إلى اتساع منطقة الاستنزاف بينهما. وفي منطقة الباعث من النوع **n** تكون زيادة كبيرة في عدد الإلكترونات وتستطيع الإنتشار بسهولة من خلال وصلة القاعدة –الباعث ذات الإنحياز الأمامي. أما منطقة القاعدة ذات النوع **p** حيث تصبح حاملات الشحنة الموجبة قليلة كما في الثنائي عندما يكون في حالة الإنحياز الأمامي .في منطقة القاعدة يكون عدد الفجوات فيها محدود جداً ولهذا فإن نسبة قليلة جداً من الإلكترونات تندفع من وصلة القاعدة – الباعث وتتحد مع الفجوات المتاحة في القاعدة،لاحظ الشكل (2 – 33).



شكل 2 -33 مبدأ عمل الترانزستور

الإلكترونات المتحدة القليلة نسبياً تندفع خارج توصيل القاعدة وتشكل تيار القاعدة الصغير جداً. إن معظم الإلكترونات المندفعة من الباعث إلى منطقة القاعدة الضيقة، لاتتحد ولكن تنتشر إلى منطقة الإستنزاف بين القاعدة والجامع، وفي هذه المنطقة يحدث انجذاب بفعل المجال الكهربائي المتكون من قوة التجاذب بين الآيونات السالبة والموجبة نتيجة الانحياز العكسي لوصلة القاعدة والجامع، تتحرك الإلكترونات خلال منطقة الجامع خارجة من خلال الجامع إلى الطرف الموجب لمنبع الجهد للجامع وتشكل تيار الجامع، كما في الشكل (2 –34) نلاحظ أن الإنحياز الأمامي لوصلة القاعدة الباعث يتم عن طريق الجهد V_{BB}والانحياز العكسي لوصلة القاعدة – الجامع عن طريق الجهد V_{CC} وعندما تكون وصلة القاعدة – الباعث في حالة إنحياز أمامي تعمل كثنائي في حالة الإنحياز الأمامي وبذلك يكون الجهد بين القاعدة والباعث مساوياً للجهد 0.7 فولت.

$$V_{BE} = 0.7 \text{Volt}$$



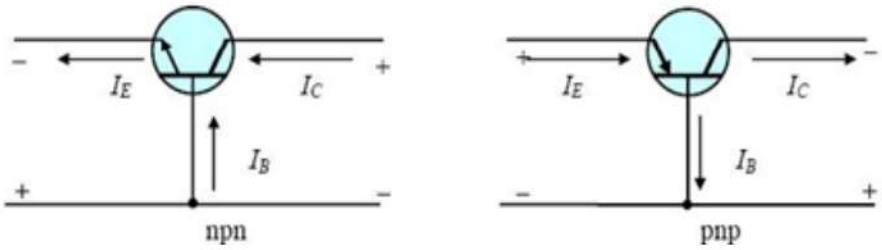
شكل 2 - 34 انحيازات الترانزستور

2- 5 العلاقة بين تيارات الترانزستور

الشكل (2 -35) يبين الترانزستور نوع **pnp، npn** حيث يتبع اتجاه تيار الباعث نفس مسار السهم الموجود على الرمز الخاص بالترانزستور، وتياري القاعدة والجامع بالاتجاه العكسي.

من الشكل أدناه الذي يوضح أن تيار الباعث I_E يساوي مجموع تياري الجامع I_C وتيار القاعدة I_B

$$I_E=I_C+I_B$$



شكل 2 – 35 تيارات الترانزستور نوع NPN - PNP

2-5-1 أنواع الترانزستور Transistor Types

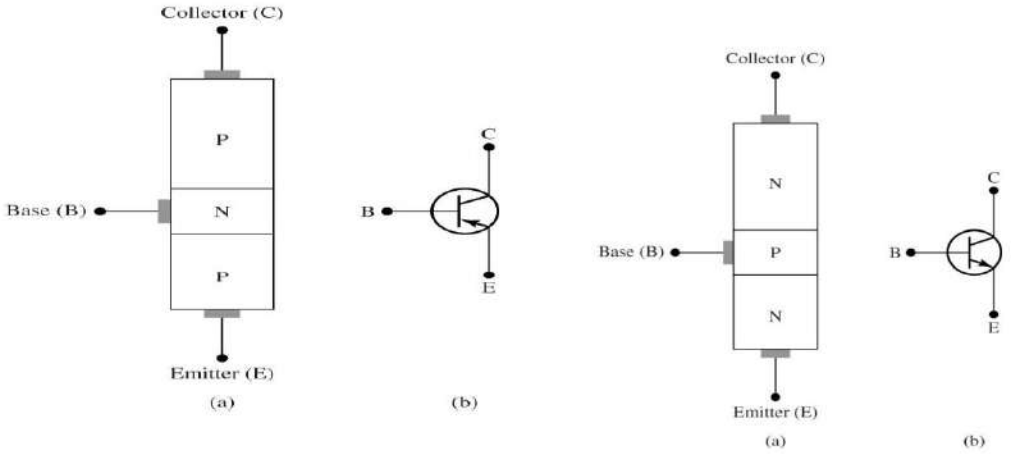
تتوفر أنواع مختلفة من الترانزستورات، وتختلف الترانزستورات عن بعضها بمواصفاتها التيارية والتحكمية، فبعض الترانزستورات تمتلك ميزة التحكم التياري المتغير، وبعضها الآخر لايملك هذه الميزة، وبعض الترانزستورات تكون عادة في حالة قطع حتى يسلط جهد على قاعدة الترانزستور أو على بوابته، أما البعض الآخر فبالعكس يكون في حالة عمل حتى يسلط جهد على قطب التحكم. وعندما يكون الترانزستور في حالة عمل (on) يمر تيار عبر الترانزستور ولكن مقدار هذا التيار يختلف من حالة إلى أخرى. تحتاج بعض الترانزستورات كي تصبح في حالة عمل إلى تسليط جهد على رجل التحكم وبنفس الوقت لابد من مرور تيار في طرف (رجل) التحكم مع وجود الجهد المسلط على طرف التحكم، بينما يكفي تسليط جهد على طرف التحكم كي يعمل الترانزستور في أنواع أخرى، كما أن جهد التحكم المطلوب موجب في بعض الأنواع وسالب في أنواع أخرى.

العائلات الأساسية للترانزستورات هي عائلة الترانزستورات ثنائية القطبية (Bipolar Transistors) والترانزستورات الحقلية (Field-Effect Transistors) والتي يرمز لها بشكل مختصر(FETs). الفرق الأساس بين هاتين العائلتين هو أن الترانزستورات ثنائية القطبية تحتاج إلى تيار استقطاب في الدخل، أما

ترانزستورات الـFET فتحتاج فقط إلى جهد، وعملياً لاتحتاج إلى تيار في الدخل، وتعتمد الترانزستورات ثنائية القطبية في عملها على حركة نوعي حوامل الشحنات (الالكترونات والثقوب) ولذلك تسمى ترانزستورات ثنائية القطبية، أما الترانزستورات الحقلية فتعتمد في مبدأ عملها على حركة نوع واحد من حوامل الشحنات. بما أن الترانزستورات الحقلية لاتستهلك تيارفي الدخل، لذلك يمكن إعتبار ممانعة دخلها (Input Impedance) عالية جداً، من مرتبة $10^{14}\Omega$وهذا يعني أن قطب التحكم للترانزستور الحقلي لن يكون له أي تاثير على مصادر القيادة الذي يقود الترانزستور الحقلي. في الترانزستورات ثنائية القطبية يمكن أن يستهلك طرف التحكم تياراً صغيراً من دارة القيادة فيؤثر ذلك على ديناميكية عمل دارة القيادة. كما أن ترانزستور FET تكون له سرعة تفعيل عالية (Switching) كما وتعمل في مجال الترددات العالية.

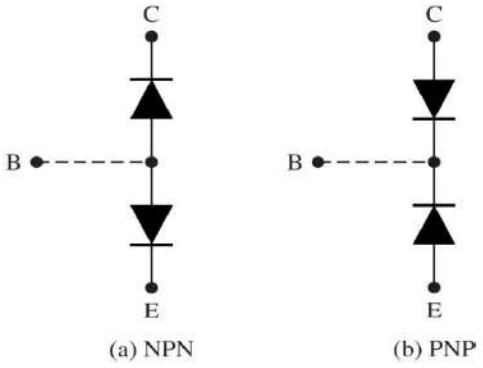
1-1-5-2 ترانزستور ثنائي القطبية BJT- Bipolar Junction Transistor

يبين الشكل (2- 36) نموذجين لترانزستور ثنائي القطبية BJT بنوعيه (PNP) و (NPN) مبيناً رموزها المتعارف عليها.



شكل 2-36 نموذجين لترانزستور ثنائي القطبية BJT

ومن أجل تصور عمل الترانزستور يبين الشكل (2 - 37) الثنائيات المكافئة لكل نوع من الترانزستورين.

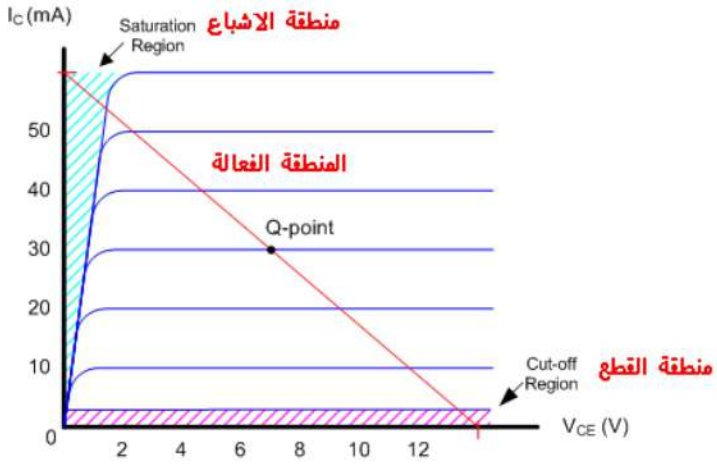


شكل 2 - 37 الثنائيات المكافئة لكل نوع من الترانزستورين

الترانزستور BJT بنوعيه ثلاث مناطق اشتغال وهي:

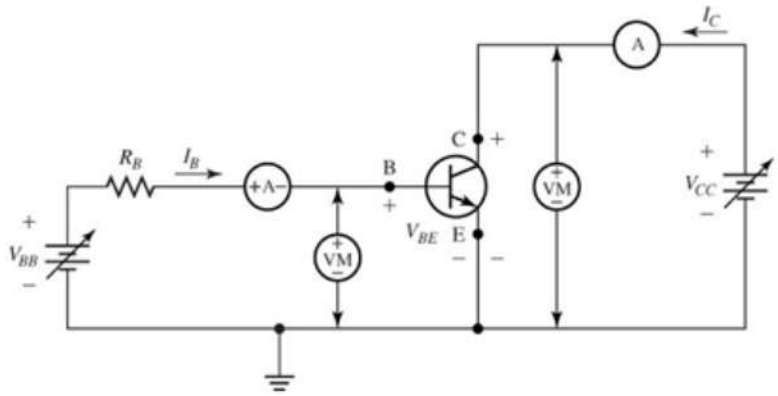
1. **منطقة القطع (Cutoff Region).**
2. **منطقة الاشباع (Saturation Region).**
3. **المنطقة الفعالة (Active Region).**

يبين الشكل (2-38) مناطق اشتغال الترانزستور والرموز المكافئة لكل منطقة.



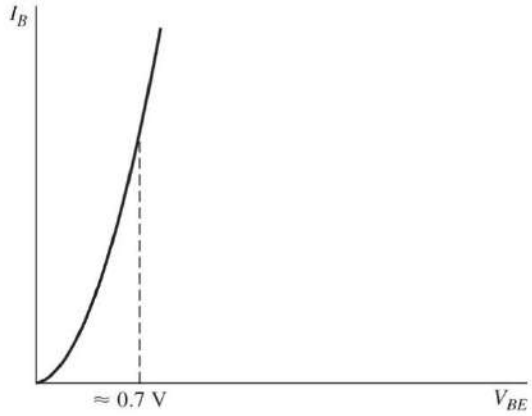
شكل 2 - 38 مناطق اشتغال الترانزستور والرموز المكافئة لكل منطقة

يوضح الشكل أعلاه أيضاً خصائص التيار- فولتية لجامع الترانزستور المثالي والتي يمكن الحصول عليها عملياً من خلال الربط المبين بالشكل (2 - 39).



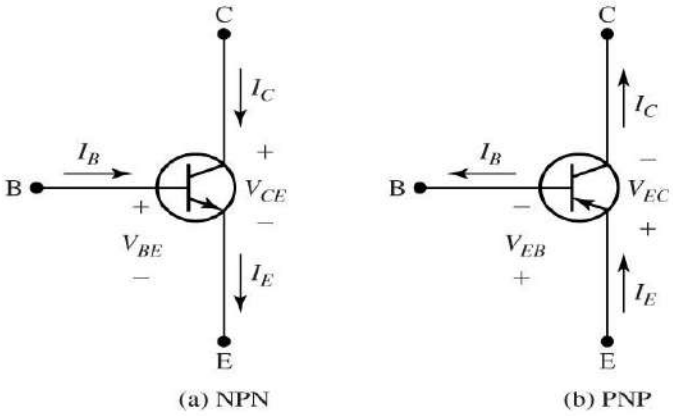
شكل 2 - 39 ربط الترانزستور

ومن الشكل أيضاً نستطيع الحصول على خاصية أخرى للترانزستور ألا وهي خاصية القاعدة بثبوت فولتية المجمع – الباعث (V_{CE}) والتي توضح كما بالشكل (2 - 40) علاقة تيار القاعدة بفولتية القاعدة – الباعث.



شكل 2 - 40 علاقة تيار القاعدة بفولتية القاعدة – الباعث

الشئ المهم الآخر هو اتجاه التيارات لكل نوع لترانزستور BJT وهذا واضح بالشكل (2-41).



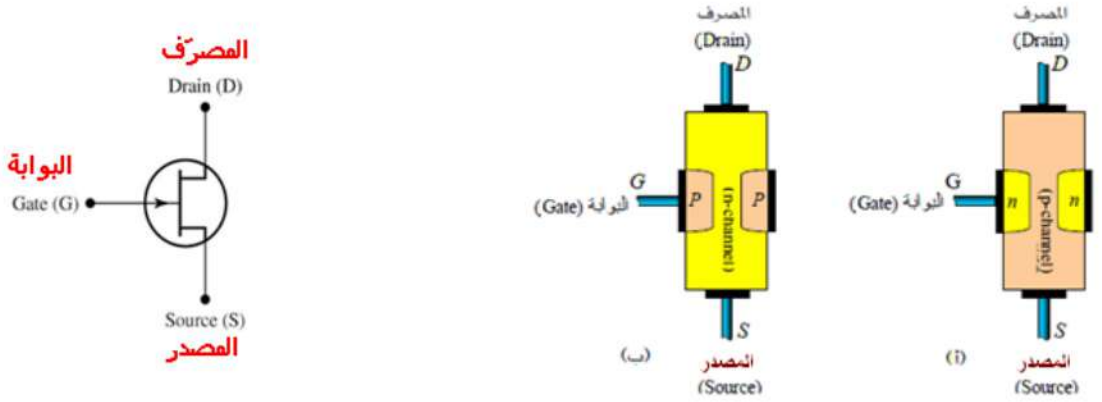
شكل 2-41 اتجاه التيارات لكل نوع لترانزستور

2-1-5-2 ترانزستور تأثير المجال Field Effect Transistor FET

ترانزستورات تأثير المجال(FET) عبارة عن عناصر مصنوعة من مواد شبة الموصلة. ترانزستور FET وسيلة جهد وليس وسيلة تيار، كما هو الحال في ترانزستور الـ (BJT) أي أن الجهد هو الذي يقوم بعملية السيطرة. ويتكون من ثلاثة أطراف هي المصدر S(Source) والمصرّف D(Drain)، والبوابة G(Gate) لكلا النوعين وهما:

ترانزستور ذو القناة السالبة (N –Channel FET)، ترانزستور ذو القناة الموجبة (P –Channel FET) كما موضح في الشكل (2-42).

فعند تسليط جهد كهربائي على البوابة يحدث مجال كهربائي في القناة الحاملة للتيار ويحصل تغير في حجم الممر للتيار. وكلما زاد جهد الإنحياز العكسي بين البوابة والقناة ازداد المجال الكهربائي وبالتالي قل حجم المرور في القناة وبذلك يقل التيار المار بين المصدر والمصرّف (Source-DrainCurrent) أي أن العلاقة عكسية بين جهد البوابة والتيار المار بين المصدر والمصرّف.



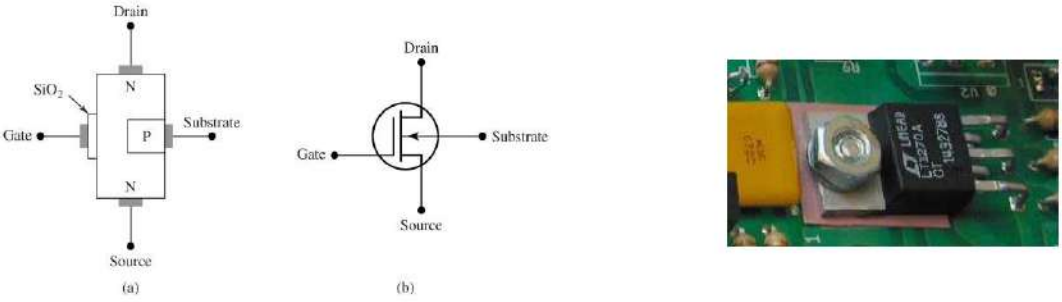
شكل 2-42 ترانزستور تاثير المجال FET

ويمتاز ترانزستور تاثير المجال FET بالخصائص الآتية:

1. **له مقاومة دخول عالية جداً تصل إلى 100 ميكا أوم وحصانة للأشعاع.**
2. **أقل ضوضاء من الـ BJT ولذلك يكون أكثر استقرارية لمراحل الدخول في مكبرات الإشارة الصغيرة.**
3. **باستطاعته العمل ضمن استقرارية حرارية أكثر من الـ BJT .**

3-1-5-2 ترانزستورMOSFET

إن ترانزستورات MOSFET كما في الشكل (2-43) واسعة الانتشار جداً وكثيرة الاستخدام وهي نوعاً ما تشبه ترانزستوات FET.



شكل 2-43 ترانزستورات MOSFET

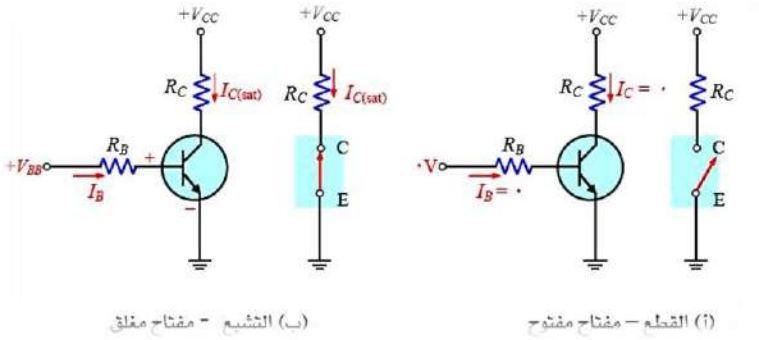
عندما يطبق جهد صغيرعلى بوابة هذه الترانزستورات يتغير التيار الذي يمر فيها، ولكن ترانزستوراتFET لها ممانعة دخل عالية جداً في طرف البوابة، إذ تزيد هذه الممانعة عن(100MΩ)، وهذا يعني أن ترانزستورات MOSFET لاتستهلك تيارات في طرف البوابة. ويعود سبب إرتفاع ممانعة (مقاومة) دخل طرف البوابة لترانزستورات MOSFET إلى هذه القيم إلى استخدام مادة من العازل مكون من أوكسيد معدني فوق منطقة البوابة، وهناك ثمن لمقاومة الدخل العالية هذه وهو سعة صغيرة جداً بين البوابة والقناة، فإذا تكونت شحنات ساكنة كثيرة على بوابة بعض أنواع ترانزستورات MOSFET بسبب لمسها أو التعامل معها فإن الشحنة المتراكمة يمكن أن تعبر البوابة وتؤدي إلى تخريب الترانزستور FET (بعض الترانزستورات FET من نوع MOSFET مصممة لتكون محمية من هذا التأثير، ولكن ليس كل الأنواع). إن ترانزستورات MOSFET هي أكثر أنواع الترانزستورات استخداماً هذه الايام وذلك للأسباب التالية:

1– استهلاكها المنخفض جداً للتيار في طرف الدخل.
2– سهولة تصنيعها.
3– استهلاكها المنخفض للطاقة.

استخدام الترانزستور كمفتاح الكتروني

يعتبر تشغيل الترانزستور كمفتاح إلكتروني من أهم تطبيقات الترانزستور في الدوائر الالكترونية وخصوصا الرقمية منها، حيث يعمل الترانزستور في منطقة القطع والتشبع.

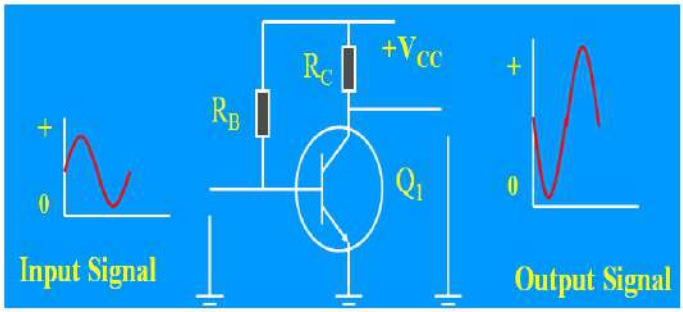
الشكل (2-44) (أ) يوضح عمل الترانزستور كمفتاح إلكتروني حيث يوضح الشكل أن الترانزستور في منطقة القطع لأن وصلة القاعدة – الباعث ليست في حالة انحياز أمامي، وتمثل هذه الحالة كمفتاح في حالة فتح. في الجزء الآخر من الشكل (ب) يعمل الترانزستورفي منطقة التشبع لأن وصلة القاعدة –الباعث في حالة إنحياز أمامي، وتيار القاعدة عالي بما يكفي لوصول تيار الجامع إلى التشبع وتمثل هذه الحالة بمفتاح في حالة غلق.



شكل 2 –44 يوضح استخدام الترانزستور كمفتاح إلكتروني

6-2 مكبرات الفولتية ومكبرات التيار Voltage and Current Amplifiers

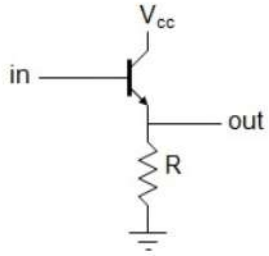
يمكن أن يستخدم الترانزستور كمكبر للفولتية أو التيار، وذلك حسب الطريقة المربوط بها الترانزستور. فمثلاً إذا أردنا تكبير الفولتية يتم ربط الترانزستور كما مبين في الشكل (2- 45).



شكل 2- 45 مكبر للفولتية

من الشكل أعلاه ولزيادة الفولتية الداخلة (in) يكون ذلك ضمن مجال محدود حيث بالإمكان الحصول على فولتية خارجة (out) ضمن مجال محدد يحدده العلاقة بين فولتية الجامع- الباعث (Collector-Emitter Voltage) مع تيار القاعدة وهكذا.

أما إذا أردنا استخدام الترانزستور كمكبر للتيار، فنربط الدائرة كما في الشكل (2- 46).



شكل 2- 46 استخدام الترانزستور كمكبر للتيار

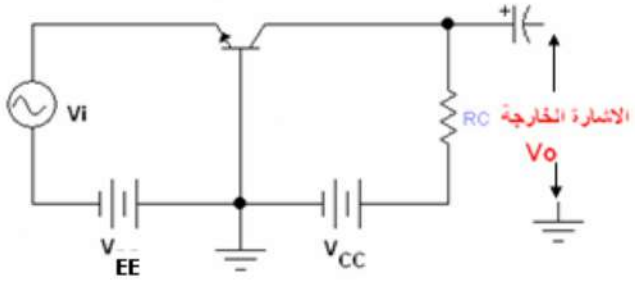
هنا واضح من الشكل وحسب مبدأ اشتغال الترانزستور فإن الفولتية الداخلة (in) مساوية تقريباً للفولتية الخارجة (out) ولكن التيار الداخل للقاعدة يمكن تكبيره حسب الربح الخاص بالترانزستور المعني للحصول على التيار الخارج من الباعث (Emitter).

7-2 طرائق ربط الترانزستور Transistor Connection Methods

للترانزستور طرائق ربط عديدة وكل منها له هدف معين وتطبيقات معينة، وكما موضح هنا بالتفصيل الآتي:

1. ربط القاعدة المشتركة (Common Base)

في هذه الطريقة يتم ربط الترانزستور بحيث تكون القاعدة مشتركة بين الإشارتين الداخلة والخارجة كما موضح بالشكل (2–47 أ). يجهز مصدر التيار المستمر (V_{EE}) الإنحياز الأمامي بين وصلة (الباعث إلى القاعدة) للترانزستور NPN ويصبح الباعث سالب بالنسبة إلى القاعدة بينما يجهز مصدر التيار المستمر (V_{CC}) الإنحياز العكسي بين وصلة (الجامع إلى القاعدة) فيصبح الجامع موجب بالنسبة إلى القاعدة.



شكل 2–47 أ مكبر القاعدة المشتركة

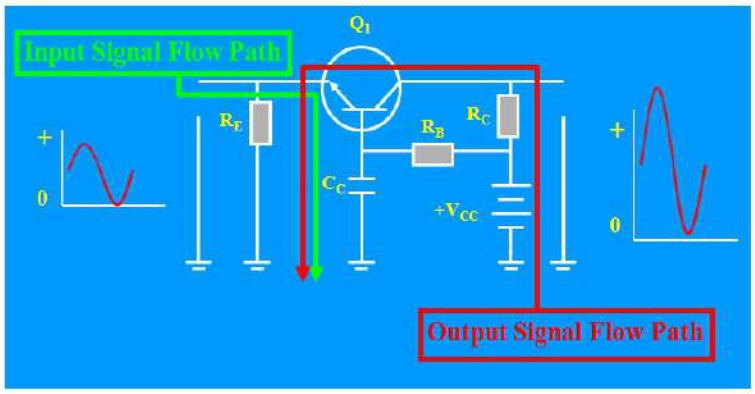
وتمتاز دائرة مكبر القاعدة المشتركة بما يلي:

1- مقاومة الدخول قليلة تتراوح بين Ω (300 – 100).
2- المقاومة الخارجية عالية وتتراوح بين KΩ(500 – 100).
3- ربح الفولتية يكون عالياً ويساوي:

$$G_v = \frac{V_o}{V_i}$$

ربح الفولتية = الفولتية الخارجة / الفولتيــة الداخلــة

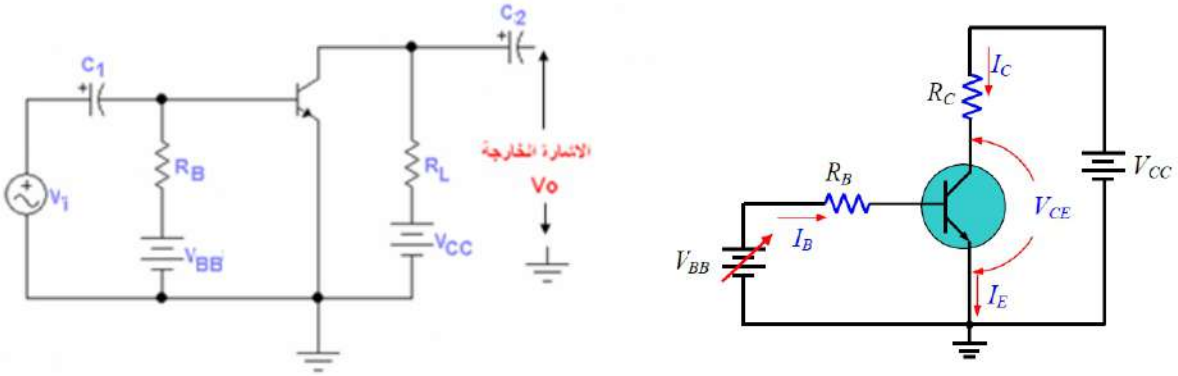
4- يكون طور الإشارة الخارجة بنفس طور الإشارة الداخلة. لاحظ الشكل (2- 47 ب)



شكل 2- 47 ب ربط القاعدة المشتركة (Common Base)

2. ربط الباعث المشترك (Common Emitter)

في هذا المكبر يكون باعث الترانزستور مشتركاً بين الإشارتين الداخلة والخارجة، كما موضح بالشكل (2–48 أ). تقوم المقاومة (R_B) بتحديد تيار الإنحياز الأمامي بين الباعث والقاعدة، أما مقاومة الحمل (R_L) فتعمل على التغير في تيار الجامع المار خلالها إلى فولتية متغيرة على طرفيها تمثل فولتية الإشارة الخارجة. تعمل المتسعة (C1) على منع مرور تيار البطارية (V_{BB}) المستمر في مصدر الإشارة في حين تسمح للإشارة بالمرور إلى قاعدة الترانزستور. تقوم المتسعة (C2) بمنع مرور التيار المستمر مع الإشارة الخارجة.

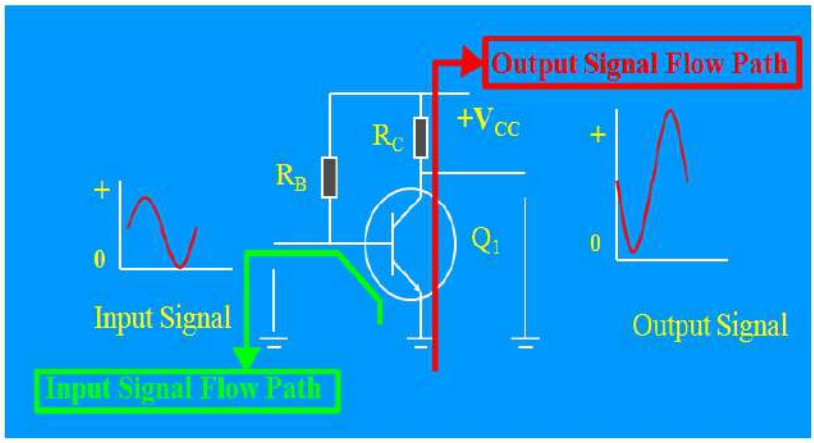


شكل 2–48 أ مكبر الباعث االمشترك

ويمتاز هذا المكبر بما يلي:

1- مقاومة الدخول عالية وتقع في حدود kΩ (100 – 300).
2- المقاومة الخارجية قليلة تقع بين kΩ (40 – 5).
3- ربح الفولتية عالٍ.

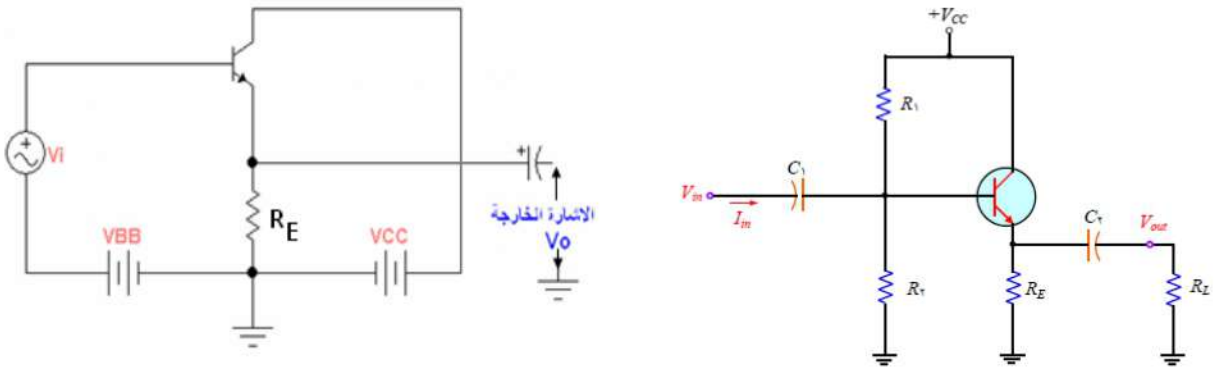
4- ربح التيار عالٍ ويقع بحدود (150 – 50) ويساوي βdc.
5- طور الإشارة الخارجة يكون مختلفاً عن طور الإشارة الداخلة بزاوية مقدارها 180 درجة، لاحظ الشكل (2 – 48 ب).



شكل 2-48 ب ربط الباعث المشترك (Common Emitter)

3. ربط الجامع المشترك (Common Collector)

يوصل الترانزستور بحيث يكون الجامع مشتركاً بين الإشارتين الداخلة والخارجة، كما موضح بالشكل (2–49 أ). تنقل مقاومة الحمل من طرف الجامع إلى طرف الباعث (R_E) ويصبح مصدر التيار المستمر (V_{CC}) في حالة دورة قصر (Short) بالنسبة للإشارة وهذا يعني إن الجامع متصل بالارضي.



شكل 2–49 أ مكبر الجامع المشترك

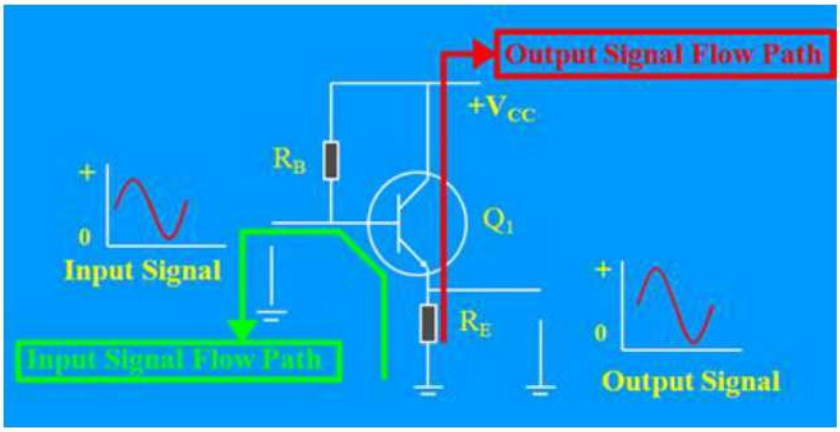
يمتاز مكبر الجامع المشترك بمايلي:

1- مقاومة الدخول فيه عالية جداً وتقع بين KΩ (800 – 150).
2- المقاومة الخارجية قليلة في حدود KΩ (5 – 0.2).
3- ربح الفولتية فيه قليل (أقل من الواحد) لأن $V_i = V_{BE} + V_O$

أي أن الفولتية الداخلة تزيد بمقدار V_{BE} عن الفولتية الخارجة فإذا أهملنا V_{BE} وهي 0.7V للسيليكون فإن الفولتية الخارجة سوف تساوي الفولتية الداخلة وهذا يدل على أن ربح الفولتية يساوي واحد تقريباً.

4- يكون ربح التيار في هذا المكبر عالياً ويساوي βdc.

5- لايحدث أي اختلاف في طور الإشارة الخارجة عن طور الإشارة الداخلة، الشكل (2-49 ب).



شكل 2 -49 ب ربط الجامع المشترك (Common Collector)

2-8 أنظمة التمثيل الرقمي

في أنظمة التمثيل الرقمي هناك طريقتان لتمثيل أي كمية وهما:

- **الطريقة التماثلية (Analog)**
- **الطريقة الرقمية (Digital)**

ولكن ماهو الفرق بينهما؟ الفرق بينهما هو نفس الفرق بين الساعة العادية (ذات العقارب) والساعة الرقمية. كما نعلم أن الوقت يتغير باستمرار والساعة العادية تعكس هذا التغير في الوقت بحركة العقارب **المستمرة**. أما الساعة الرقمية فلا يكون التغير فيها مستمراً وإنما على درجات، كل درجة تمثل ثانية أو دقيقة. إذاً الفرق بين الكميات التماثلية والكميات الرقمية هو ببساطة هاتين المعادلتين:

التماثلية = مستمر

الرقمية = غير مستمر(درجة درجة)

في عالم التكنولوجيا يوجد هناك عدة طرائق لتمثيل الكميات بالأرقام من أهمها الطريقة **الثنائية**. ولكي نفهم هذه الطريقة سوف نشرح الطريقة العشرية لكي تسهل علينا فهم الطريقة الثنائية.

2-8-1 النظام العشري Decimal

كلنا نعرف الطريقة العشرية لأننا نستخدمها في حياتنا اليومية وفيها نستخدم عشرة أرقام هي:

0 ، 1 ، 2 ، 3 ، 4 ، 5 ، 6 ، 7 ، 8 ، 9

بهذه الأرقام يمكن أن نمثل أي كمية بطريقة الآحاد والعشرات و المئات ...الخ

10^3	10^2	10^1	10^0
=1000	=100	=10	=1

2-8-2النظام الثنائي Binary

في الطريقة الثنائية يوجد رقمان فقط وهما: 0 و 1 ولذلك سميت بالثنائية ونقول أن قاعدتها هي 2 (في الطريقة العشرية القاعدة هي 10). إذاً كيف يمكننا تمثيل أي كمية باستعمال القاعدة الثنائية؟. تماماً كما فعلنا سابقاً في الطريقة العشرية ولكننا هذه المرة سنستعمل القاعدة 2 بدلاً من 10 كما هو موضح.

2^3	2^2	2^1	2^0
=8	=4	=2	=1

والآن أنظر جيداً للجدول (2-1) لتعرف كيف نحول الأرقام من النظام العشري إلى النظام الثنائي:

جدول (2 – 1) التحويل من النظام العشري إلى الثنائي

$2^3 = 8$	$2^2 = 4$	$2^1 = 2$	$2^0 = 1$	المقابل بالأرقام العشرية
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
1	0	1	0	10
1	0	1	1	11
1	1	0	0	12
1	1	0	1	13
1	1	1	0	14
1	1	1	1	15

مثال

(2-2) ماهو الرقم العشري المعادل لهذا الرقم الثنائي 1 0 1 1 0 1 0 1

الجواب

$2^7+0^6+2^5+2^4+0^3+2^2+0^1+2^0$

$= 128+0+32+16+0+4+0+1$ = بالأرقام العشرية 181

سؤال: ماهو الرقم العشري المعادل للرقم الثنائي 1 1 0 1 1

الجواب 27

في عالم الأنظمة الرقمية تتم معالجة المعلومات بالطريقة الرقمية الثنائية أي **صفر** و**واحد** ولكن تذكر دائماً أن صفروواحد هذه لاتعني الأرقام المعروفة وإنما تعني الآتي:

0 تعني لا
1 تعني نعم

وهذه بعض المعاني الأخرى والتي تصب في نفس المفهوم:

0	1
خطأ	صواب
مطفأ	متوهج
منخفض	مرتفع

ولتقريب ذلك تخيل المفتاح الكهربائي حيث يمكن أن يكون في إحدى حالتين إما مطفأ أو متوهج. فإذا كان مطفأ فيمثل هذا **الصفر** الرقمي وإذا كان متوهجاً فيمثل هذا **الواحد** الرقمي.

ملاحظة مهمة: في الدوائر الإلكترونية تم التعارف على الآتي:

0	**أي جهد بين 0 فولت و 0.8 فولت**
1	**أي جهد بين 2 فولت و5 فولت**

لاحظ أن الفولتية بين **0.8** فولت و **2** فولت غير مستخدمة.

2-8-3 النظام الثماني Octal System

وهو من الأنظمة المستخدمة في الحاسبات الإلكترونية أساسه العدد (8)، الرموز المستخدمة في هذا النظام هي (0 ، 1 ، 2 ، 3 ، 4 ، 5 ، 6 ، 7) مثال على إعداد النظام الثماني.

$(0.513)_8$, $(721.5)_8$, $(203.62)_8$, $(110.013)_8$

مثال (2-3) حلل العدد $(203.65)_8$ إلى مراتبه

الجواب

$$(203.65)_8 = 3 \times 8^0 + 0 \times 8^1 + 2 \times 8^2 + 6 \times 8^{-1} + 5 \times 8^{-2}$$
$$= 3 \times 1 + 0 \times 8 + 2 \times 64 + 6 \times 1/8 + 5 \times 1/64$$

2-8-4 النظام السادس عشري Hexadecimal System

وهو من الأنظمة المهمة المستخدمة في الحاسبات الإلكترونية أساسه العدد (16) أي إن عدد الرموز المستخدمة في تشكيل أعداد النظام هي 16 رمز وهي:

(0 ، 1، 2 ، 3 ، 4 ، 5 ، 6 ، 7 ، 8 ، 9 ، A ، B ، C ، D ، E ،F)

ومثال على أعداد بالنظام السادس عشري :

$(0.257)_{16}$, $(FFF)_{16}$, $(10011.1)_{16}$, $(2D6.F3)_{16}$

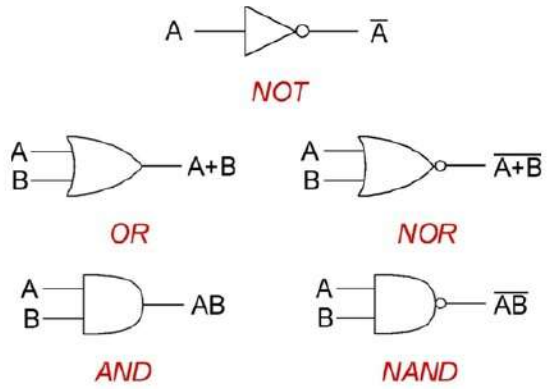
مثال (2-4) حلل العدد $(3A1.7F)_{16}$ إلى مراتبه

$$(3A1.7F)_{16} = 1 \times 16^0 + 10 \times 16^1 + 3 \times 16^2 + 7 \times 16^{-1} + 15 \times 16^{-2}$$
$$= 1 \times 1 + 10 \times 16 + 3 \times 256 + 7 \times 1/16 + 15 \times 1/256$$

ملاحظة : عند مقارنة الرموز السادس عشرية بالنظام العشري فان الرموز(A --- F) تساوي في النظام العشري (10 --- 15).

9-2 البوابات المنطقية

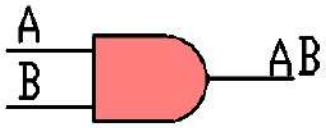
إن البوابات الرقمية هي مكونات البناء الأساسية للألكترونيات الرقمية والبوابة هي دائرة إلكترونية تأخذ 1,0 أي volt (5,0) في المدخل وتنتج 1,0 في المخرج والبوابات الرقمية الأساسية هي بوابة العاكس NOT بوابة AND بوابة NAND بوابة OR بوابة NOR وبوابات XOR وXNOR وتنجز كل واحدة من هذه البوابات عملية منطقية تختلف عن البوابات الأخرى. يبين الشكل (2 - 50) رموز كافة البوابات المنطقية المعروفة.



شكل 2 -50 رموز البوابات المنطقية

2-9-1 بوابة (و) AND GATE

بوابة (و)(AND) نوع أساسي من البوابات ولها خرج واحد ومدخلين أو أكثر. تكون لهذه البوابة إشارة خرج (Y) في حالة واحدة فقط وهي عندما تكون هناك إشارات لجميع مداخل البوابة في آن واحد (أي عندما تكون جميع المداخل في حالة1)، **لاحظ الشكل (2 – 51).**



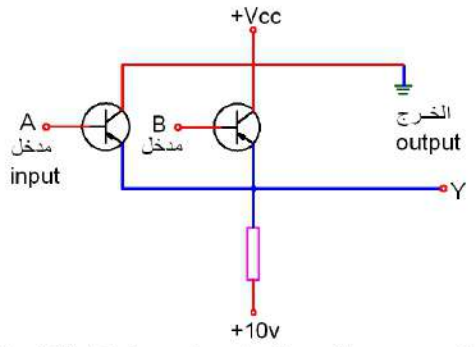
شكل 2 - 51 رمز بوابة AND

وإن جدول الحقيقة الموضح بالجدول (2 – 2) الخاص بهذه البوابة هو

جدول رقم 2 – 2 جدول الحقيقة للبوابة AND

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

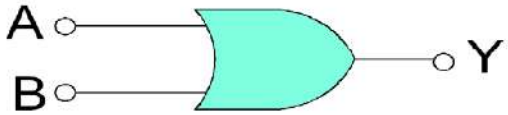
الشكل (2–52) يبين بوابة (و) باستعمال الترانزستورات نوع (PNP). إذا كان جهد الدخول لأي من المتغيرات B،A صفراً (0) فإن ثنائي الباعث – القاعدة لذلك الترانزستور يكون بحالة قصر (short) ويكون الخرج Y=0. أما إذا كان جهد الدخول لجميعها B،A بقيمة (1) فإن ثنائيات الباعث – القاعدة تكون في حالة فتح Open وبذلك لن يسري تيار في المقاومة مما يؤدي بالمخرج Y أن يكون ذو جهد موجب Y=1.



شكل 2-52 دائرة الترانزستور المكافئة لبوابة AND

2-9-2 بوابة أو OR GATE

بوابة (أو) لها خرج واحد وإدخالان أو أكثر. في هذا النوع من البوابة سيكون هناك إشارة خرج عندما تكون هناك إشارة دخول واحدة أو أكثر. الشكل (2-53) يبين بوابة من نوع (أو) ذات مدخلين هما (B،A) بينما يمثل (Y) خرج الدائرة.



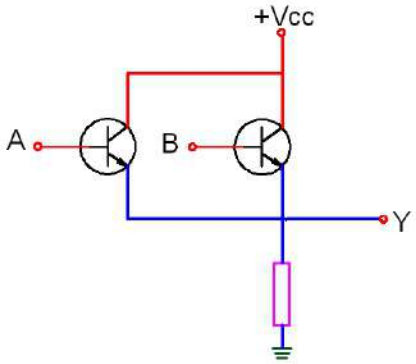
الشكل 2 - 53 رمز بوابة OR

وإن جدول الحقيقة الموضح بالجدول (2 – 3) الخاص بهذه البوابة هو:

جدول رقم 2- 3 جدول الحقيقة

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

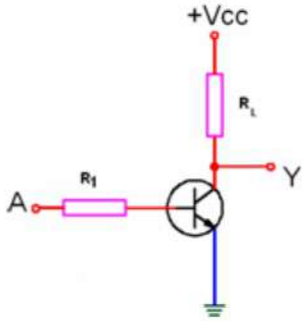
الشكل (2 – 54) يمثل بوابة (أو) باستعمال الترانزستورات من نوع NPN ذات قيم للدخول B،A عندما يكون الدخل واطئاً (0) للترانزستورات يكون الخرج واطئاً أيضاً (Y=0). وعندما يكون الدخل (الجهد) عالياً لترانزستور واحد أو أكثر يكون خرج الدائرة عالياً أيضاً.



شكل 2-54 دائرة الترانزستور المكافئة لبوابة OR

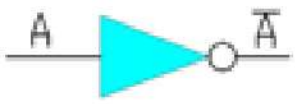
2-9-3 الدائرة المنطقية (لا) (بوابة نفي) NOT GATE

هذه دائرة أو بوابة أخرى أساسية ولها مدخل واحد وخرج واحد أيضاً. تعمل هذه البوابة على عكس الإشارة الداخلة فإذا كان الدخول (1) يكون الخرج (0) وإن كان الدخول (0) يكون الخرج (1). الدائرة المبينة في الشكل (2-55) يمكن أن تؤدي المهمة المذكورة باستعمال ترانزستور من نوع NPN.



شكل 2 – 55 دائرة الترانزستور المكافئة لبوابة NOT

من الشكل نلاحظ إذا كان جهد الإدخال عالياً (A=1) لإيصال الترانزستور إلى حد الإشباع سوف يمر تيار في المقاومة RL (يصبح الطرف Y ارضي أي صفر فولت) أي الخرج واطئا (Y=0). أما إذا كان الإدخال واطئاً (A=0) فلا يعمل الترانزستور ولا تيار في المقاومة RL ويصبح الخرج عالياً لأن الفولتية بين الطرف (Y) والأرضي يساوي الفولتية (VCC) (Y=1) سُميت هذه البوابة (لا) أو (نفي)، لأنها تعكس الإدخال. يرمز لبوابة NOT كما في الشكل (2- 56).



شكل 2-56 رمز البوابة NOT

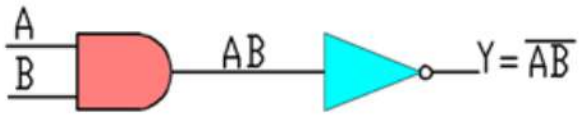
تعني الإشارة (-) فوق المتغير A عملية النفي لاحظ الجدول (2 – 4)

جدول رقم (2 – 4) جدول الحقيقة

A	$\overline{A}$
0	1
1	0

2-9-4 الدائرة المنطقية (نفي و) NAND GATE

إن عمل هذه البوابة هو عكس عمل البوابة (و) التي سبق ذكرها. يمكن بناء هذه البوابة باتجاه بوابة (و) مع بوابة (نفي) كما هو مبين الشكل (2-57).



شكل 2–57 الدائرة المنطقية NAND

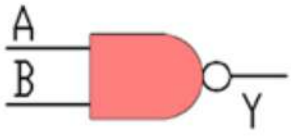
الجدول (2 – 5) يوضح عملها:

جدول (2 – 5) عمل الدائرة المنطقية NAND

A	B	A . B	Y
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

قارن هذا الجدول مع الجدول المماثل لبوابة (و) ليتضح لك بأن عمل البوابتين متعاكس.

يرمز لهذه البوابة للاختصار بالرمز الموضح بالشكل (2–58).

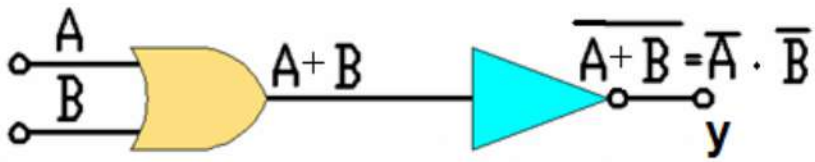


شكل 2–58 رمز للبوابة المنطقية NAND

وهنا أيضاً يمكن أن يكون للبوابة أكثر من مدخلين.

2-9-5 الدائرة المنطقية (نفي أو) NOR GATE

يدل اسم البوابة إن عملها هو عكس عمل بوابة (أو) أي إنها (نفي) عمل بوابة (أو). يمكن بناء هذه البوابة باتحاد بوابة (أو) مع البوابة (نفي) بحيث يكون خرج البوابة (أو) دخولاً للبوابة (نفي)، كما هو موضح في الشكل (2-59).



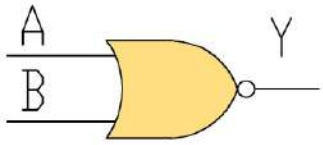
شكل 2– 59 الدائرة المنطقية NOR

الجدول (2 - 6) يوضح عمل هذه البوابة

جدول 2 – 6 عمل بوابة NOR

A	B	A+B	Y
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

وبمقارنة هذا الجدول مع الجدول المماثل لبوابة (أو) نجد أن عمل البوابتين متعاكس. يرمز لهذه البوابة للاختصار بالرمز الموضح بالشكل (2–60) ويمكن أن يكون لهذه البوابة أكثر من مدخلين.



شكل 2-60 رمز للبوابة المنطقية NOR

10-2 الجبر البوليني Boolean Algebra

إن أي عملية في المنطق ينتج عنها فقط إحتمال قيمتين وهما أما 0 أو 1، وليست هنالك مشكلة بعدد الأرقام الثنائية المضافة سواء كانت كثيرة أم قليلة وكالآتي:

```
0 + 1 + 1 = 1
1 + 1 + 1 = 1
0 + 1 + 1 + 1 = 1
1 + 0 + 1 + 1 + 1 = 1
```

وهو ليس بالشيء المشابه لجبر الاعداد الحقيقية الآتية:

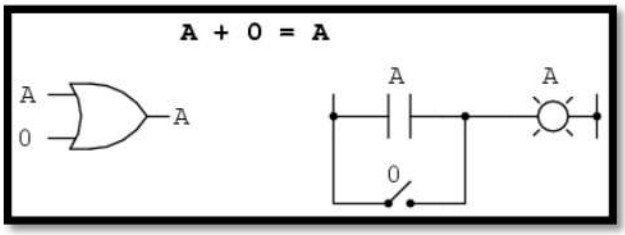
```
0 + 0 = 0
0 + 1 = 1
1 + 0 = 1
1 + 1 = 1
```

التشابه الوحيد مع جبر الأعداد الحقيقية هو فقط في عملية الضرب، حيث أنه حاصل ضرب أي عدد بالرقم 0 يساوي 0 وحاصل ضرب أي عدد بالرقم 1 يكون نفسه وكالاتي:

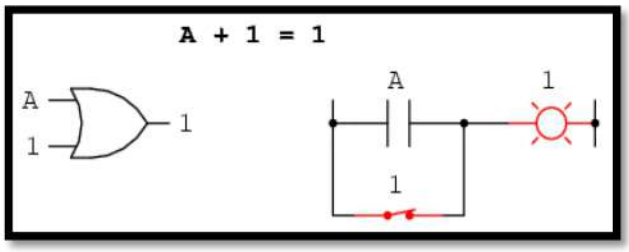
$$0 \times 0 = 0$$
$$0 \times 1 = 0$$
$$1 \times 0 = 0$$
$$1 \times 1 = 1$$

إن ما ذكر أعلاه بالنسبة للعمليات الحسابية للأرقام الثنائية يسمى بالجبر البوليني، وللجبر البوليني قواعد وكما يلي:

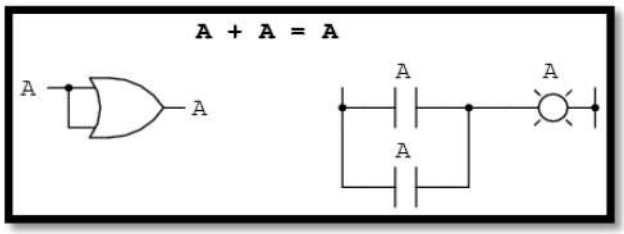
إن جمع أي رقم مع الصفر يكون نفس الأصل وبدون تغيير.



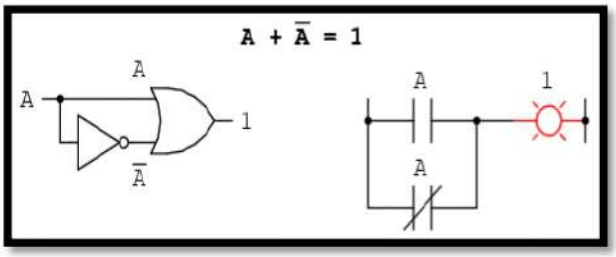
مجموع أي رقم مع الواحد يساوي واحد.



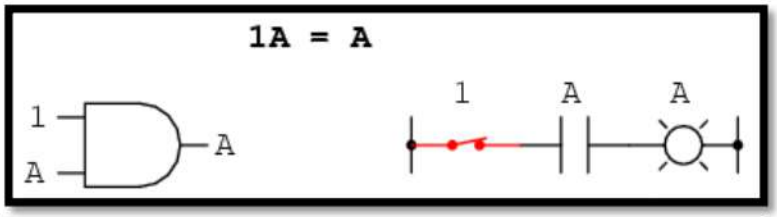
إضافة أي رقم ثنائي مع نفسه يساوي الرقم نفسه

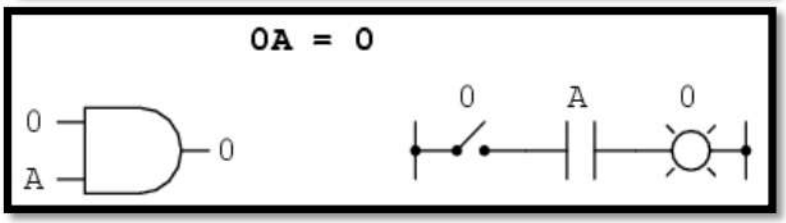


مجموع متغير مع مقلوبه يساوي واحد.

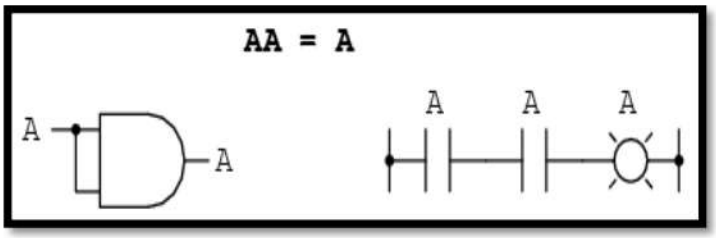


في عملية الضرب، حاصل ضرب أي متغير بالصفر يساوي صفر وضربه بالواحد ينتج المتغير نفسه.

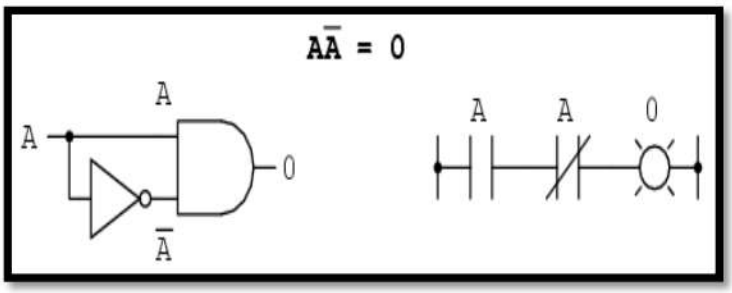




ضرب المتغير في نفسه ينتج المتغير نفسه.

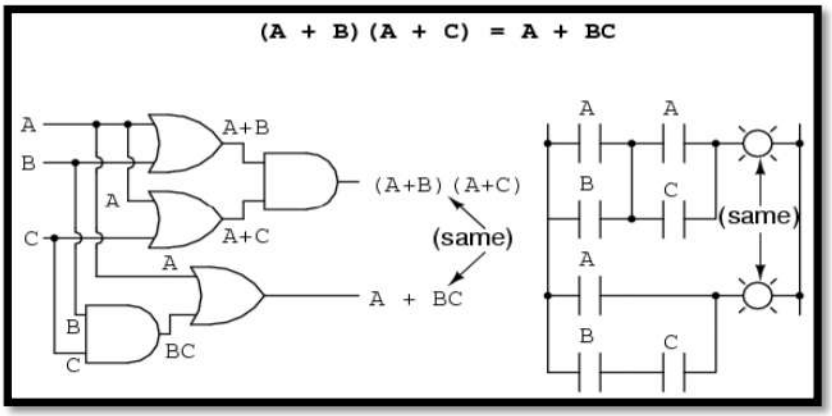


ضرب المتغير في مقلوبه يساوي صفر.



مثال (2-5)

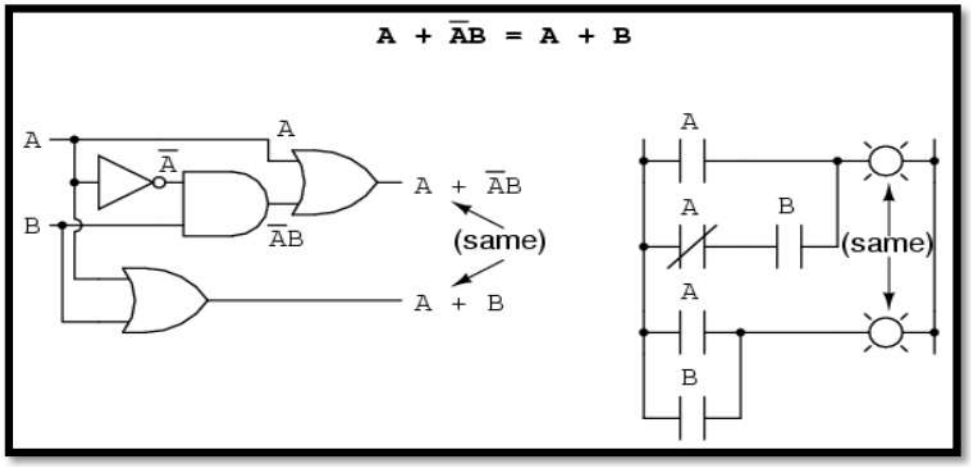
المثال يوضح تمثيل دائرة رقمية تقوم بعملية ضرب مجموع تعبيرين كالآتي:



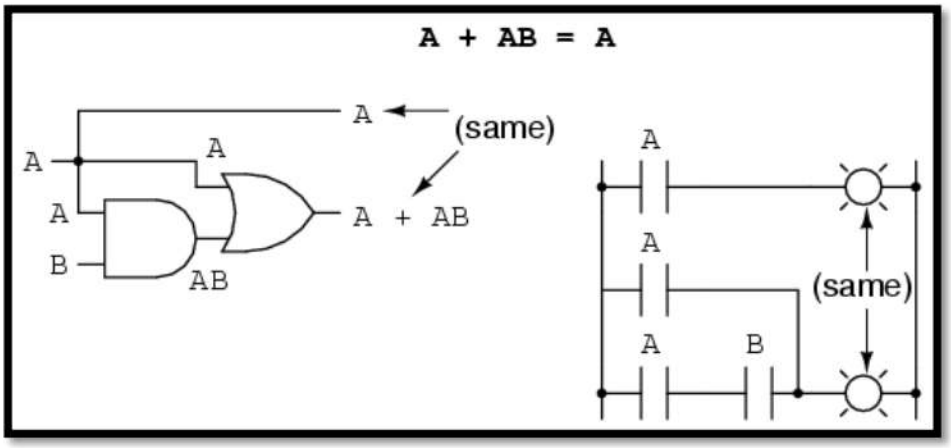
مثال (2-6)

دائرتين لجمع تعبيرين مختلفين

الدائرة الاولى:

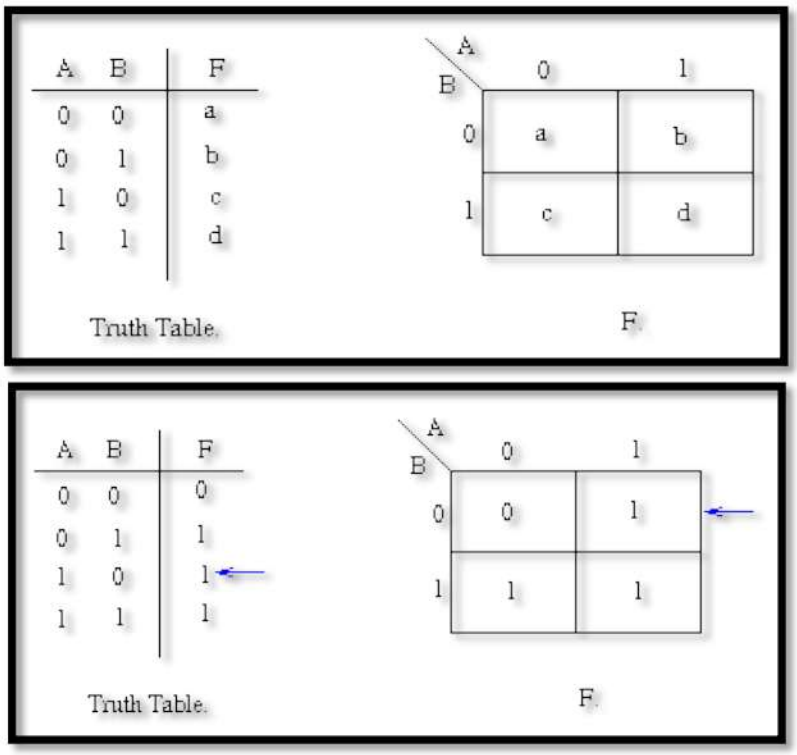


الدائرة الثانية:

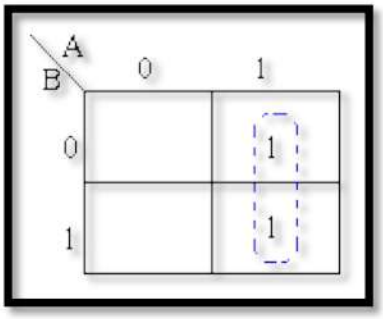


11-2 خارطة كارنوف Karnaugh Map

من المهم ملاحظة أنه إذا أردنا تطبيق الجبر البوليني لتبسيط دائرة رقمية فإن العملية ستكون كبيرة ومعقدة نوعاً ما، ولهذا السبب تم وضع ما يسمى بخارطة كارنوف لتبسيط الدوائر الرقمية وبسهولة. وهذه الخارطة ممكن تمثيلها بجدول الحقيقة. ويمكن إيضاح خارطة كارنوف بالشكل الآتي:



بالنسبة لجزء الخارطة الآتي:



فإن الدالة المرسومة هي: $Z = f(A,B) = A\,B' + AB$

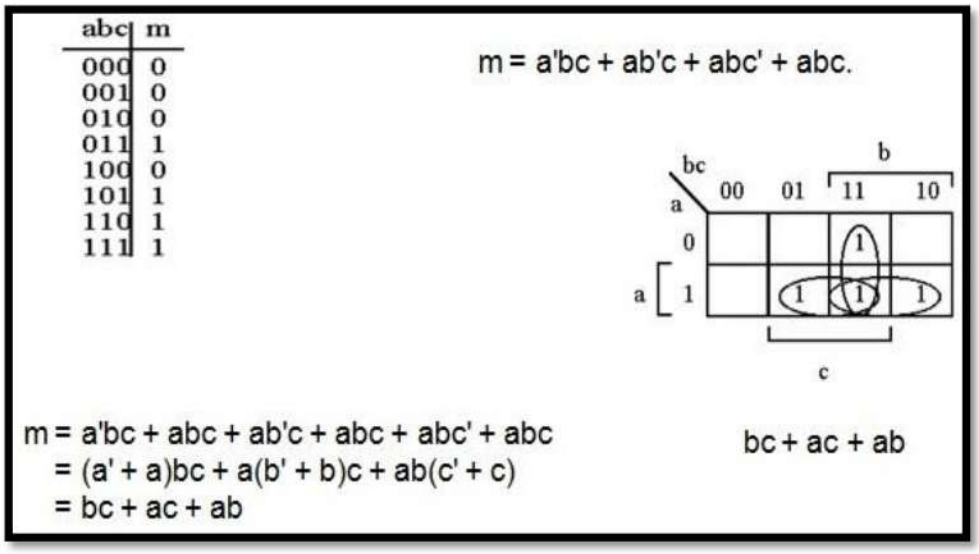
بالإشارة إلى الخارطة نلاحظ أن كلا الواحدين تم جمعهما سوياً، ولنفس المجموعة المتغير B له قيمتان True ، Fuels وحسب قانون الخارطة يختصرB ويبقي A الذي يملك فقط قيمتان من نوع True. أي أنه في خارطة كارنوف يتم اختصار أو حذف أي متغير يحمل قيمتين مختلفتين.
ويمكن تفسير أعلاه من تبسيط الجبر البوليني كالآتي:

$$Z = A\bar{B} + AB$$
$$Z = A(\bar{B} + B)$$
$$Z = A$$

والآن لنأخذ مثال توضيحي يبين استخدام كل من الجبر البوليني وخارطة كارنوف في اختصار الدائرة المنطقية المطلوب إنشائها من خلال جدول الحقيقة وكما يأتي:

مثال (2-6)

التعبير الجبري البوليني



12-2 توافق الدوائر المنطقية Logic Gate Matching

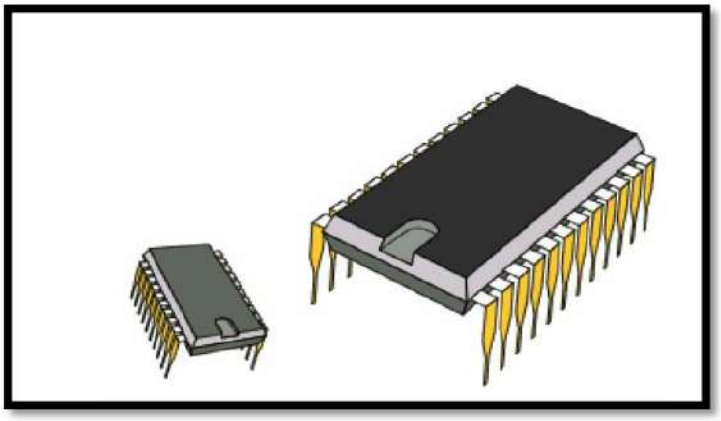
إن توافق الدوائر المنطقية هو ليس بالشيء المعقد كما في الدوائر الإلكترونية المعقدة وإنما يتم وببساطة من خلال الاختيار الأنسب لأجزاء الدائرة المنطقية المعقدة ويكون ذلك إما بالبحث على الأجزاء الرقمية للدوائر التي تنتمي إلى نفس العائلة الرقمية (حيث أن الدوائر المنطقية كذلك هي عوائل كالثنائيات والترانزستورات وغيرها) حيث أن لكل عائلة مقادير وقيم محددة من الفولتيات والتيارات القصوى التي تتعامل معها وكذلك ما يسمى بالتحصين ضد الضوضاء الممكن حصولها أثناء تشغيل الدائرة الرقمية المكونة من عدة دوائر منطقية. وكمثال على ذلك إن بعض العوائل للدوائر المنطقية تتعامل مع تيارات خرج معينة لا تتناسب مع تيارات دخل عوائل منطقية أخرى لكي تربط السابقة معها وهكذا. فيجب الإنتباه الحذر بالاختيار لأجزاء الدائرة الرقمية وليس كما في الدوائر الإلكترونية تصميم دائرة تناسب بين الدوائر المطلوب ربطها.

من المفيد عدم استخدام عدة عوائل منطقية عند بناء منظومة منطقية لأسباب عديدة منها اختلاف المستويات المنطقية للدخل والخرج، واختلاف جهود التغذية وكذلك اختلاف إمكانيات المخارج على قيادة مداخل الدوائر المنطقية التالية هذا بالإضافة إلى الاختلاف في سرعات العمل فعند استخدام دوائر متكاملة بطيئة مع دوائر متكاملة سريعة تظهر مشكلة توقيت في الدائرة، إلا إنه في بعض الأحيان يكون استخدام دوائر متكاملة من عوائل مختلفة إجبارياً.

قد تضطر أحياناً إلى استخدام دوائر متكاملة معينة لا تتوفر إلا في إحدى العوائل (كذاكرة مثلاً متوفرة من عائلة CMOS أما باقي الدوائر المنطقية فهي من عائلة TTL وهذا النوع من الربط شائع الاستخدام كأن تكون دائرة TTL تستخدم كأداة ربط بين دائرة CMOS والأحمال الخارجية مثل المرحلات Relays وذلك كون دوائر CMOS لا تؤمن التيارات اللازمة لتشغيل الحاكمة والتي ممكن تأمينها من دوائر TTL).

13-2 الدوائر المتكاملة Integrated Circuits

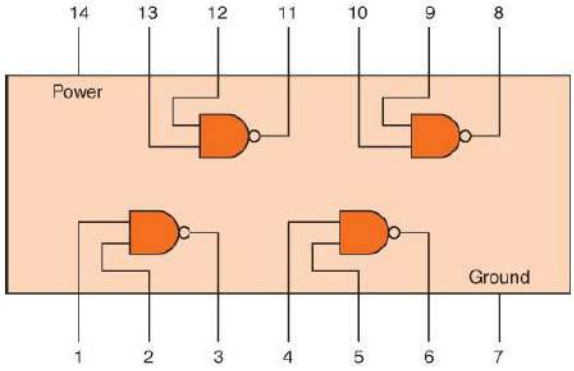
إن الدوائر المتكاملة (Integrated Circuits) هي عبارة عن مجموعة دوائر الكترونية مصغرة ومدمجة مع بعضها ومؤلفة من أعداد مختلفة من الترانزستورات وحسب نوع الدائرة المتكاملة، الشكل (2 -61) يبين شكل دائرتين متكاملتين مختلفتين.



شكل 2 -61 دائرتان متكاملتان مختلفتان

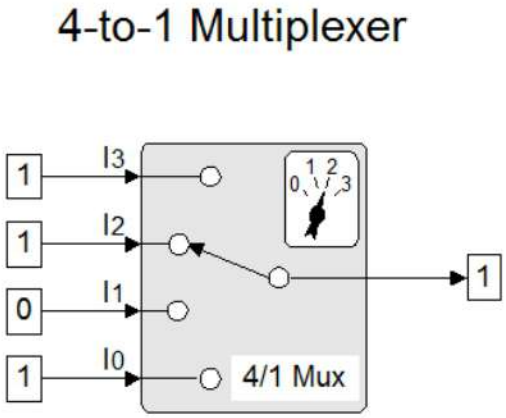
توجد أصناف مختلفة للدوائر المتكاملة ابتداءً من الدوائر ذات الحجم الصغير وانتهاءً بالدوائر ذات الحجم الكبير جداً وكما يأتي:

1. الدوائر المتكاملة ذات الحجم الصغير (Small Scale ICs SSI): وتشمل الدوائر المتكاملة من نوع (AND, OR, NOT, NAND, NOR,...). الشكل (2-62) يوضح دائرة NAND المتكاملة.



شكل 2 - 62 دائرة NAND المتكاملة

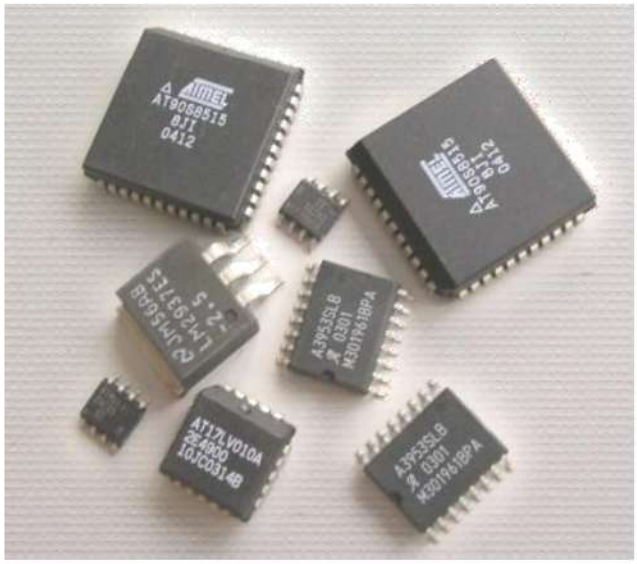
2. الدوائر المتكاملة ذات الحجم المتوسط (Medium Scale ICs MSI): وتشمل الدوائر المتكاملة من نوع (ADDER, Multiplexer,Decoder, Encoder,....). الشكل (2 -63) يوضح دائرة عداد (74LS93 Counter).



شكل 2 -63 دائرة عداد (74LS93 Counter)

3. الدوائر المتكاملة ذات الحجم الكبير(Large Scale ICs LSI): وتشمل الدوائر المتكاملة من نوع (Processors, programmable memomry,…..).

4. الدوائر المتكاملة ذات الحجم الكبير جداً (Very Large Scale ICS VLSI) وتشمل الدوائر المتكاملة من نوع (Micro-Controllers). أنظر الشكل (2 - 64).



شكل 2- 64 دوائر المتكاملة ذات الحجم الكبير جداً VLSI

أسئلة الفصل الثاني

س1 : ماذا نعني بأشباه الموصلات؟ وماهي المواد التي تصنع منها.

س2 : عرف الثنائي البلوري (الثنائي) وماهي خواصه.

س3 : بين بشكل تفصيلي ما هوالمقصود بالإتجاه الأمامي والإتجاه العكسي للثنائي.

س4 : أذكر أنواع الثنائيات المختلفة واشرح كل واحد منها بالتفصيل مع ذكر الرموز الخاصة بها.

س5 : مقوم نصف موجة،أو موجة كاملة هي إحدى تطبيقات الثنائي الشائعة، وضحها بالتفصيل من خلال الرسومات؟

س6 : ارسم مخطط توضح من خلاله دائرة القص.

س7 : اشرح عمل دائرة الحماية من الحالة العابرة.

س8: عرف الترانزستور وماهي أنواعه من حيث اتجاه التيار.

س9 : ماهي الأنواع المتعارف عليها للترانزستورات، ومالفرق بينها؟

س10 : أذكر تطبيقين للترانزستور موضحاً مع الرسوم.

س11 : ماهي طرائق ربط الترانزستور وضحها بالتفصيل.

س12 إرسم مخطط لدائرة مجهز قدرة مع مرشح واستقرارية موضحاً عمل كل مرحلة.

س 13: ماهو الرقم العشري المعادل للرقم الثنائي 1 0 0 1 1 0 0 1

س 14: إذكر الأنواع المحتلفة للبوابات المنطقية مبيناً طريقة عمل كل منها بالتفصيل.

س 15: استنتج الفرق بين استخدام الجبر البوليني وخارطة كارنوف.

س 16: ما هي قواعد الجبر البوليني؟

س 17: استخدم الدوائر المنطقية لتمثيل المعادلة الآتية:

AB+A+BA

الفصل الثالث- خطوط الانتاج

Production Lines

تمهيد

إنّ كلمة الميكاترونكس Mechatronics متكوّنة من "Mecha" وتعني الآلية و "tronics" تعني الإلكترونيات، وهو علم تطبيقي لتقنيات ومنتجات متطورة يدمجان الإلكترونيات مع الآليات بشكل طبيعي ومتكامل بين الهندسة الميكانيكية وسيطرة الحاسوب الذكية في عمليات تصميم وتصنيع المنتج الصناعي بشكل مثالي.

وتحوي معامل الإنتاج عدد كبير من الماكينات والمعدات المتخصصة بإنتاج معين. وهذه المعدات لا يمكنها أداء العمل إذا لم يتوفر فيها مصدر القدرة الذي قد يكون محركاً كهربائياً أو محرك احتراق داخلي. إن هذه القدرة يجب نقلها أو تحويلها إلى الأجزاء العاملة التي تقوم بانجاز العمل. لذلك لابد من استخدام إحدى الوسائل اللازمة لنقل تلك القدرة أو تحويلها. نستنتج من ذلك إن إنجاز العمل في المعامل يتطلب توفر عدة عناصر هي مصدر الطاقة ووسيلة نقلها والجزء الشغال الذي يقوم بانجاز العمل إضافة لنوع السيطرة على الخط الإنتاجي، إما أن يكون يدوياً أو آلياً مسيطر عليه إلكترونياً.

1-3 لمحة تاريخية

إن السبب الرئيس لتطور خطوط الإنتاج وتجميع الأجزاء هو ظهور مبدأ الأتمتة (التشغيل الآلي Automation)، وتطلق التسمية على كل شيء يعمل ذاتياً، بدون تدخل بشري، فيمكن تسمية الصناعة الآلية بالأتمتة الصناعية والتي تشمل أيضاً أتمتة الأعمال الإدارية وأتمتة البث التلفزيوني وغيرها، وهي عملية تهدف إلى جعل المعامل أكثر اعتماداً على الآلات بدلاً من الإنسان. إذ يستعمل الروبوت كعنصر رئيس فيها، لكنها ما زالت بحاجة إلى الإنسان لإكمال عملية الإنتاج في المعامل والمصانع المختلفة. تهدف الأتمتة إلى زيادة الإنتاج إذ تستطيع الآلة العمل بسرعة ودقة أكثر ووقت أقل من الإنسان بمئات المرات، ففي السابق وبالرغم من وجود الآلات لكنها كانت تحتاج إلى وقت طويل للإنتاج فضلاً عن انخفاض مستوى الدقة للمنتج على يد الإنسان.

إن طريقة الروماني هيرو Hero لفتح باب المعبد عن بعد من أقدم المحاولات لإنجاز نظام مؤتمت وفق المعايير الحالية. وبعد قرون كثيرة استطاع الأمريكي (أوليفر إيفانز1784 Oliver Evans) بناء مطحنة حبوب مؤتمتة باستعمال أدوات ميكانيكية لنقل الحبوب. مع تطور المنظومات المطلوب أتمتتها وازدياد تعقيدها بدأت الحاجة إلى استعمال التغذية الخلفية (الراجعة) Feedback وهي أسلوب مستعمل في أنظمة التحكم الأوتوماتيكية الغرض منها التعرف على استجابة النظام المؤتمت من قبل منظومة التحكم لغرض متابعة سير العمل وتحسين استجابة المنظومات واستقرارها. ويمكن أن تُعد منظومة التحكم بسرعة المحرك التي اخترعها (جيمس واط 1788 James Watt) أولى المنظومات المؤتمتة التي استعملت نظريات التحكم ذي التغذية الخلفية، واستمر العمل بهذا المبدأ لعام 1868 على يد (ماكسويل Maxwell)، ومن أهم الإسهامات التي قُدمت إلى التحكم الآلي ذي التغذية الخلفية والأتمتة هي تلك التي قدمها (هازين Hazen) سنة 1934 إذ طور ما يسمى بالآلية المؤازرة Servomechanism. أما بعد الحرب العالمية الثانية فقد تسارع انتشار الأتمتة وتطورها بسبب اختراع الحاسوب وتطور التقنيات الإلكترونية واستعمالها في هذا المجال. وتعتمد معظم المنظومات المؤتمتة اليوم اعتماداً كلياً على الحاسوب وتطبيقاته.

2-3 أجزاء أنظمة التصنيع Parts of Manufacturing systems

أنظمة التصنيع الحديثة تتكون من عدة أجزاء، إذ تتألف عادة من:-

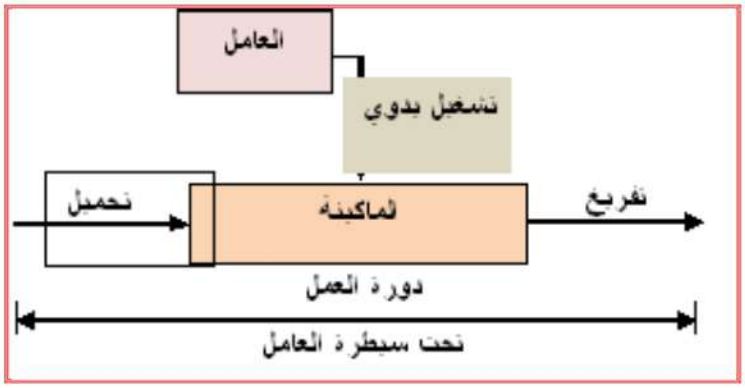
1- ماكينات الإنتاج ومعداتها والأجهزة ذات الصلة.
2- نظام إدارة ونقل وحركة المنتج بين عمليات التصنيع والتجميع والشحن.
3- نظام حاسوبي للتنسيق والسيطرة على المواد السابقة (الفقرة الأولى والثانية).
4- أيدي عاملة لتشغيل النظام والسيطرة عليه.

1-2-3 ماكينات الإنتاج ومعداتها والأجهزة ذات الصلة

أغلب العمليات التصنيعية الأساسية أو الأعمال البسيطة تنجز عملياً في جميع أنظمة التصنيع الحديثة، عن طريق آلات وماكينات مع استعمال الأدوات المساعدة، وتصنف العلاقة بين الأيدي العاملة والآلات إلى التشغيل اليدوي، التشغيل شبه الآلي، والتشغيل الآلي.

1) ماكينات تعمل يدوياً Manual Machines

تتحكمُ الأيدي العاملة في هذا النوع من الماكينات أو تُديرها وتشرف عليها، والماكينة توفر الطاقة لعملية التصنيع، والأيدي العاملة توفر السيطرة، وتصنف الماكينات التقليدية مثل ماكينة التثقيب والخراطة اليدوية وآلات القطع اليدوية ضمن هذه المجموعة، ويجب أن تحافظ الأيدي العاملة على استمرارية التصنيع والإنتاج عن طريق استمرارية التجهيز بالمواد المطلوب إنجاز العمليات عليها، فضلاً عن تحديد مواقع العمل عليها وعمليات التحميل والتفريغ للأجزاء، وإنجاز المهام الأخرى المرتبطة بعملية التصنيع، كما هو موضح في الشكل(3-1).

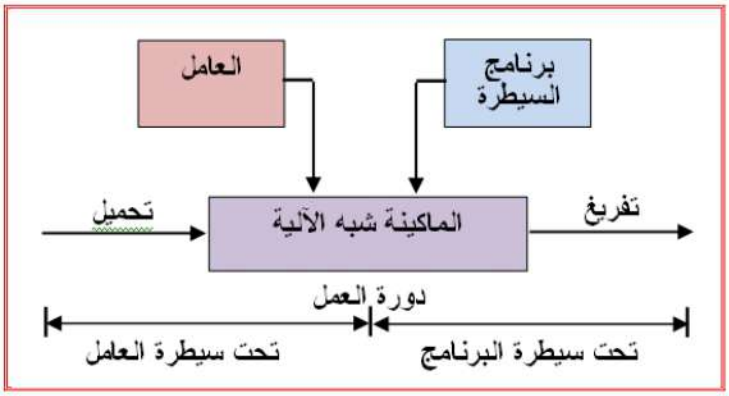


شكل 3-1 مخطط الماكينة التي تعمل يدوياً

2) ماكينات شبه مؤتمتة Semi-Automatic machines

تقوم الماكينات في هذا النوع بإنجاز جزء من دورة العمل بأمر أو إشراف برنامج سيطرة، والأيدي العاملة تقوم بإدارة الماكينة في الجزء المتبقي من دائرة العمل، مثال ذلك ماكينة الخراطة ذات التحكم الرقمي (CNC) أو ماكينات إنتاج أخرى قابلة للبرمجة والتي يسيطر على إدارتها برنامج في معظم دورة العمل، لكنها تتطلب يداً عاملة لتفريغ الأجزاء الكاملة وتحميل الأجزاء الجديدة في نهاية كل دورة عمل من الجزء المبرمج عليه.

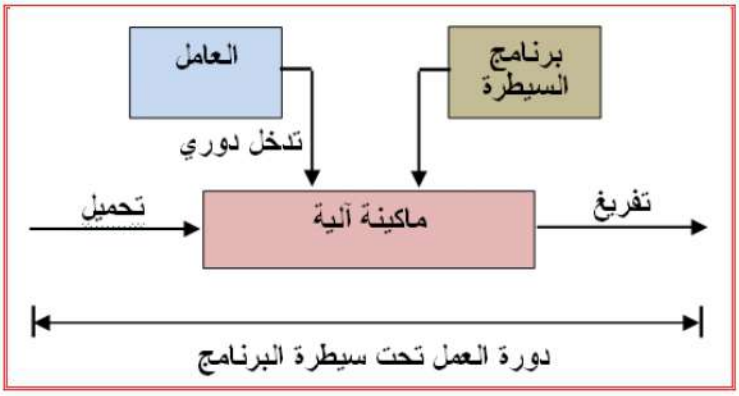
في هذه الحالة يتطلب حضور الأيدي العاملة إلى الماكينة في كل دورة عمل من دون الحاجة إلى وجوده خلال الدورة الكاملة، فمثلاً إذا كانت دورة العمل الآلية تستغرق عشر دقائق وعملية التحميل والتفريغ تستغرق دقيقة واحدة فقط سيتمكن العامل من التنقل بين عدة ماكينات، كما مبين في الشكل(3-2).



شكل 3-2 مخطط للماكينات شبه الآلية أو شبه المؤتمتة.

3) ماكينات مؤتمتة كلياً Full Automatic Machines

تتميز هذه الماكينات عن سابقاتها بقدرتها على العمل دون الحاجة إلى تدخل الإنسان لمدة زمنية طويلة نسبياً تتجاوز دورة العمل الواحدة فتدخّل العامل ليس مطلوباً خلال كل دورة عمل، لكن يتطلب حضوره بشكل دوري بعد عدد محدد من الدورات، لإعادة تحميل مواد عمل جديدة إلى الماكينة المؤتمتة، كما هو موضح في الشكل (3-3).



شكل 3-3 مخطط ماكينات مؤتمتة كليّاً.

يستعمل في أنظمة التصنيع مصطلح محطة عمل (Workstation) للإشارة إلى موقع معين في المصنع أو المعمل، إذ أنّ بعض العمليات أو المهام المعروفة مسبقاً تنجز عن طريق ماكينات آلية، ومحطة العمل تكون خليطاً مابين العامل والماكينة، وفي بعض الأحيان يستعمل العامل عُدداً يدوية أو مُعدات متنقلة، وفي هذه الحالة لا توجد ماكينة إنتاج محددة في الموقع، فنظام التصنيع يمكن أن يتكون من محطة عمل واحدة أو أكثر، والنظام الذي يحتوي على عدد من المحطات يسمى خط الإنتاج أو نظام التجميع أو خلية الماكينة أو أي تسمية أخرى اعتماداً على آلية العمل.

3-3 أجزاء الخط الانتاجي Production Line Parts

لتحويل المواد الأولية إلى المنتج النهائي يتطلب تنفيذ العديد من الفعاليات التصنيعية الأساسية داخل المصنع، وعند تشغيل المعمل أو المصنع يكون تصنيع المُنتَجات بشكل منفصل لكل منها أو بشكل مستمر، وفي ما يأتي أهم فعاليات المصنع:-

1. عمليات الإنتاج (عمليات التصنيع والمعالجة والتجميع).
2. عمليات مناولة ونقل وحركة المنتج بين عمليات التصنيع والمعالجة والتجميع والخزن.
3. الخزن المؤقت.
4. التقييس والفحص والتفتيش.
5. التنسيق والتحكم.

علماً أن الفعاليات الثلاث الأولى هي الفعاليات الفيزياوية والتي تكون بتماس مع المنتج أثناء عملية تصنيعه.

1-3-3 عمليات التصنيع والمعالجة والتجميع Processing and Assembly Operation

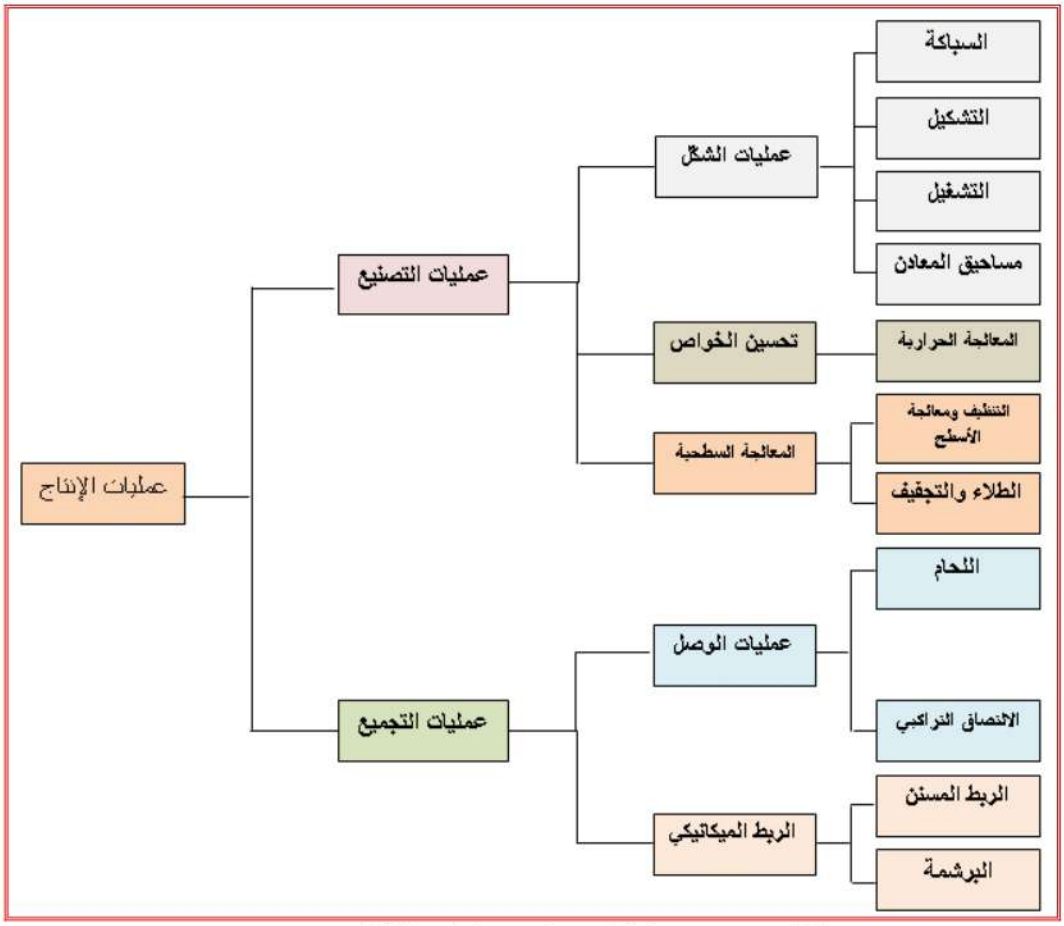
عملية تغيير أو تبديل للشكل والخواص والمظهر لقطعة العمل يتم خلالها إضافة قيمة معينة للمنتج، مما يوجب تحريك ونقل المنتج من عملية إلى العملية التي تليها في السلسلة التصنيعية ويجب تقييس وفحص المنتج للحصول على أفضل جودة ممكنة، وأحياناً توجد عمليات مناولة ونقل وحركة للمنتج بين عمليات المعالجة والتجميع وعمليات الفحص بحيث لا تضيف قيمة للمنتج، لكنها مطلوبة لإكمال المعالجات الضرورية وعمليات التجميع، وتقسم عمليات الإنتاج إلى نوعين أساسيين هما عمليات التصنيع وعمليات التجميع، الشكل (3-4).

أ) عمليات التصنيع

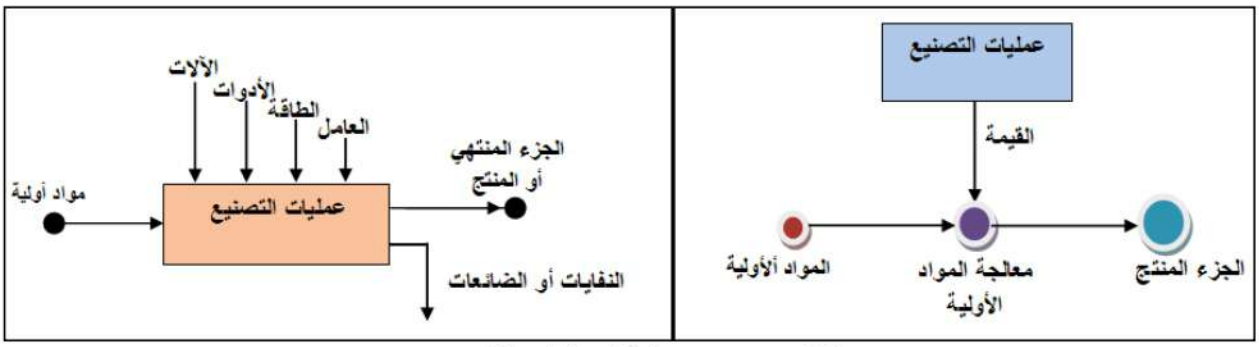
تحويل المواد الأولية من حالتها الإبتدائية إلى حالة متقدمة تكون أقرب إلى الصيغة النهائية للمنتج، بإضافة قيمة معينة من تغيير للشكل الهندسي والصفات والمظهر، باستعمال طاقة مسيطر عليها من قبل الماكينات والآلات والأدوات المختلفة والتي تشمل الطاقة الميكانيكية، الحرارية، الكهربائية، والكيميائية. أما الطاقة البشرية فمطلوبة أيضاً لكنها تستعمل للسيطرة على الماكينات والإشراف على العمليات ولتحميل وتفريغ الأجزاء قبل كل دورة عمل وبعدها وبصورة عامة فإن عمليات التصنيع تنجز على مواد العمل بصورة منفصلة ولكنّ بعضاً من هذه العمليات قابلة للتطبيق على الموادِ المُجمّعةِ وخير مثال على ذلك هو طلاء هيكل مُجّمع وملحوم لسيارة.

أغلب عمليات التصنيع تولد نفايات أو ضائعات، إما كناتج عرضي طبيعي مثل إزالة المواد المعدنية عند التشغيل الميكانيكي مثل (عمليات التثقيب أو الخراطة أو القطع)، أو بسبب القِطَع التالفة عرضياً، وأكثر من عملية تصنيعية تتم عادة لتحويل المواد الأولية للصيغة النهائية للمنتج. تنجز العمليات عن طريق سلسلة صناعية محددة مسبقاً للوصول للشكل والمواصفة المطلوبة والمعروفة عن طريق التصاميم والمواصفات.

يوضح الشكل (3-5) نموذجاً عاماً لعملية التصنيع، فالمواد الأولية تضخ للمعالجة، والطاقة تسلط عن طريق الآلات أو الماكينات والأدوات لتحويل المواد الأولية إلى منتج نهائي يخرج من العملية التصنيعية.



شكل 3-4 مخطط تصنيف عمليات الإنتاج.



شكل 3-5 مخطط لعمليات التصنيع

توجد ثلاث تصنيفات للعمليات التصنيعية وهي:-

أولاً: عمليات إنتاج الشكل Shape Processes

ثانياً: عمليات تحسين الخواص Properties Improvement Processes

ثالثاً: المعالجة السطحية Surface Treatment

أولاً: عمليات انتاج الشكل

تتم هذه العمليات بتسليط قوة ميكانيكية أو طاقة حرارية أو الإثنين معاً أو أي شكل آخر من أشكال الطاقة لتغيير الشكل الهندسي لقطعة العمل Work Piece، وهناك عدة طرائق لتصنيف هذه العمليات. والتصنيف المستعمل هنا مبني على حالة المادة الأولية، ويشمل أربعة طرائق هي:-

1) السباكة Casting: تدعى عمليات السباكة في بعض الأحيان بعمليات الانجماد Solidification Processes وهي من العمليات المهمة في عمليات التصنيع، وتشمل المواد المعدنية وكذلك اللدائن والزجاج وتسمى العملية لتلك المواد بالمقالبة Molding، إذ تكون المواد الأولية بشكل سائل أو شبه سائل وتصب بطريقة معينة لتتدفق في تجويف قالب الصب إذ تبرد ومن ثم تتجمد لتأخذ شكلاً مشابهاً لتجويف القالب، وطرائق السباكة عديدة ومختلفة تعتمد على حجم قطعة العمل وتعقيد الشكل وكذلك نوع المادة فضلاً عن الدقة المطلوبة للمسبوكة، ومن هذه الطرائق السباكة الرملية، السباكة بالضغط، السباكة بالشمع المفقود، سباكة الرغوة المفقودة، والسباكة بالطرد المركزي.
2) التشكيل Forming: تتم عمليات التشكيل المختلفة للمواد الأولية بحالتها الصلبة وفي أغلب الحالات تكون المواد الأولية مطيلية، إذ يتم تشكيلها عن طريق تسليط قوى ضغط تتجاوز مقاومة الخضوع للمادة. ولزيادة المطيلية واللدونة للمادة يتم بالغالب تسخينها قبل التشكيل، وعمليات التشكيل تتضمن الدرفلة، البثق، الحدادة، سحب الأسلاك، والثني، ويتضمن هذا التصنيف عمليات الألواح المعدنية مثل عمليات السحب والسحب العميق للصفائح، والتشكيل والانحناء وغيرها.
3) التشغيل Machining: تشغل المواد الأولية الصلبة (ذات الصلادة غير العالية) والتي تزال منها المادة الفائضة (الرايش) للحصول على النموذج بالشكل الهندسي المرغوب وتشمل عمليات الخراطة، التثقيب، التفريز، التجليخ، والقشط. وتنجز العمليات باستعمال أدوات قطع حادة أكثر صلادة وقوة من مادة قطعة العمل، وهناك عمليات تشغيلية أخرى تعرف بالعمليات غير المألوفة (غير التقليدية) لأنها لا تستعمل الأدوات التقليدية في القطع وإزالة المادة بل تعتمد على تقنيات حديثة باستعمال الليزر، الحزم الالكترونية، التآكل الكيمياوي، والشرارة الكهربائية أو الطاقة الكهروكيميائية.
4) مساحيق المعادن Powder Metallurgy: المادة الأولية في هذه الطريقة على هيأة مسحوق، والتقنية الرئيسة تتضمن كبس المسحوق في تجويف تحت ضغط عالٍ لجعل المسحوق يأخذ شكل التجويف، ويفتقر الجزء المضغوط إلى المقاومة الكافية لاستعماله في تطبيق مفيد، ولهذا يتم زيادة مقاومته عن طريق تسخينه إلى درجة حرارة أدنى من درجة حرارة الانصهار بقليل، مما يؤدي إلى ترابط الحبيبات الفردية مع بعضها البعض. وتستعمل هذه العمليات خصوصاً عند خلط مواد ذات درجة انصهار عالية مع مادة ذات درجة انصهار واطئة ومثال على ذلك خلط مادة الكرافيت (درجة انصهار عالية) مع معدن البراص (درجة انصهار واطئة نسبياً) لتشكيل الحلقات الإنزلاقية (المحامل).

ثانياً: عمليات تحسين الخواص

تصمم لتحسين الخواص الميكانيكية أو الفيزيائية لقطع العمل. أبرز عمليات تحسين الخواصوتشمل المعالجة الحرارية Heat Treatment والتي تتضمن تأثير لدرجات الحرارة المتغيرة لعمليات تقوية أو تقسية أو تصليب المعادن والزجاج، وعمليات تحسين الخواص في أغلب الأحيان لا تؤثر في الشكل الهندسي للقطعة المعمول عليها.

ثالثاً: المعالجة السطحية

وتشمل المعالجات السطحية عمليات التنظيف، معاملة الأسطح، وطلاء وترسيب الغشاء الرقيق، ويشمل التنظيف والعمليات الميكانيكية والكيميائية لإزالة الزيوت والأوساخ والشوائب الأخرى من الأسطح، عملية المعاملة السطحية تشمل عمل ميكانيكي مثل التنظيف بالفرشاة وبالهواء أو بسوائل تنظيف معينة أو بالرمل، وعمليات فيزيائية مثل الانتشار والترسيب الآيوني. أما عملية الترسيب فتتضمن ترسيب البخار الطبيعي وترسيب البخار الكيميائي لتكوين طلاء فائق الرقة، وهناك عدد من عمليات المعالجة السطحية يتم استعمالها لصناعة معادن أشباه الموصلات (أكثرها شيوعاً السليكون) في الدوائر الإلكترونية المتكاملة المايكروالكترونيك.

ب) عمليات التجميع

النوع الأساس الثاني لعمليات الإنتاج هي عمليات التجميع وهي عملية ربط قطعتين أو أكثر لإنتاج مكون جديد يطلق عليه الجزء المركب أو المركب الثانوي، إذ يتم ربط جزأين منفصلين أو أكثر لتكوين قطعة جديدة. مكونات القطعة الجديدة تربط مع بعضها أما بصورة مؤقتة أو شبه دائمية.

عملية الربط الدائمي تشمل اللحام، الالتصاق التراكبي، تجمع الأجزاء عن طريق تكوين رابط لا يمكن فصله بسهولة. طرائق التجميع الميكانيكي متوافرة بكثرة إذ تربط قطعتين أو أكثر مع بعضها البعض برابط يمكن فتحه بصورة مناسبة كاستعمال الروابط المسننة مثل (البراغي والصامولات والمسامير) هي من الطرائق التقليدية المهمة في هذا التصنيف.

2-3-3 عمليات المناقلة Handling Processes

وسائل مناولة ونقل وحركة وتخزين قطع العمل بين العمليات والمعالجات، تكون مطلوبة في معظم خطط الإنتاج، إذ يقضي المنتج مدّة زمنية في المناولة والتنقل والخزن أطول من مدّة المعالجة أو التصنيع. أغلبية زمن العملِ في المعمل يتمثل بنقل وحركة وخزن المواد والمنتجات النهائية، إذ تقضي مدّة زمنية بنسبة 95% والزمن المتبقي 5% يستثمر في التصنيع (قطعة العمل على الماكينة)، وفي معظم المعامل تكون نسبة وقت العمل الفعلي (التشغيل) على الماكينة أقل من نصف زمن التصنيع أما الوقت المتبقي فيصرف في التحميل والتفريغ لقطعة العمل من الماكينة، لهذا فإنّ هذه النسبة المئوية الضئيلة للوقت الفعلي المستغرق للعمل على الماكينة توضح لنا وبشكل جلي أن معظم الوقت يكون لعمليات المناقلة والحركة للمواد بين خطوط الإنتاج فضلاً عن وقت التحميل والتفريغ من الماكينة.

مما تقدم أعلاه يتبين أنَّ على المخططين والمصممين لعمليات الإنتاج أن تكون تصاميمهم لمبنى المعمل أو المصنع وتوزيع خطوط العمل وطريقة تنقل المواد وتحميلها على الماكينات بشكل يؤدي إلى التقليل من حركة مواد العمل والزمن المستغرق لها بأقل ما يمكن فضلاً عن الاسلوب العلمي المدروس في طريقة خزن المواد لغرض تقليل كلف الإنتاج.

إن المواد المستعملة في عمليات الإنتاج والتي تخضع للمناقلة متنوعة وعديدة وهي:-

- المواد الأولية (الخام) Raw Materials
- الأجزاء الجاهزة المشتراة Purchased Components
- القُطع في أثناء عملية التصنيع Work-in-Progress
- البضائع المُصنعة (المنتجات) Finished Goods
- مواد التغليف Packaging Materials
- مواد الصيانة، التصليح، وعُدد العمل Maintenance. Repair. and Tools

يعد نظام مناولة المواد الشبكة الداخلية المتكاملة في حركة وتعبئة وخزن المواد من تسلمها وخزنها في المخازن ومن ثَمّ حركتها بين محطات العمل ولغاية شحن المنتجات النهائية، وإرسالها إلى الزبائن والمستهلكين. إنَّ مناولة وحركة المواد يجب أن تدرس جميع العوامل المؤثرة في تحريك وتعبئة وخزن المواد وبصورة شاملة، وهنالك عدد من الأسس تستعمل في تصميم عمليات مناقلة ومناولة المواد، وهي كما يأتي:-

1. المحافظة على مسارات بسيطة (بصورة مستقيمة وبدون انحراف وتراجع).
2. تقليل الجهد البشري.
3. حركة المواد الثقيلة والكبيرة في أقصر الطرق.
4. تقليل عدد مرات المناقلة لنفس المادة.
5. وسائل مناولة المواد يجب أن تكون مرنة وتؤمن سرعة منتظمة للنقل.
6. المحافظة على معدل ثابت في انسيابية المواد.
7. المحافظة على كميات ساندة من المواد بصورة متقدمة لكل عملية.
8. مُعدات النقل المتحرك يجب أن تُحمل تحميلاً كاملاً.
9. تحريك المواد إلى العملية التالية بأقصى سرعة ممكنة.
10. عدم إعطاء العمال المشغلين أعمال مناولة ونقل للمواد.

1-2-3-3 معدات مناقلة المواد Material-Handling Equipments

مُعدات مناولة ونقل المواد تستعمل لحركة المواد وقطع العمل المذكورة سابقاً داخل المعمل، أو المخزن، أو أي محطة أخرى. توجد أنواع مختلفة وعديدة من مُعدات مناولة المواد وأهمها هي كما يأتي:

1. أجهزة النقل الآلية Automated Transfer Devices
2. الحاويات والعربات اليدوية Containers and Hand Cart
3. الناقلات Conveyors
4. المناضد الدوّارة Turntables
5. خطوط الأنابيب Pipelines
6. الشاحنات الصناعية Industrial Trucks
7. الرافعات والمصاعد Hoists and Cranes
8. العربات المسيرة والمؤتمتة Automated Guided Vehicles
9. العربة الموجهة عن طريق السكة Rail-Guided Vehicles
10. الروبوت Robotics

والشكل (3 – 6) يوضح أمثلة لمّعدات حركة ونقل المواد.

شكل 3-6 أمثلة لمّعدات حركة ونقل المواد

3-2-3-2 تشكيلات نماذج مناولة ونقل المواد

أنظمة الإنتاج متعددة ومختلفة، فكُل شركة إنتاج تعتمد نظام معين يفي بمُتطلبات الإنتاج ويحقق الهدف المرسوم من ناحية الإنتاجية والموثوقية لمرحلة معينة من مراحل تطور الشركة. ويُعدَ نظام التصنيع المرن من أنظمة الإنتاج المهمة التي تعتمدها الشركات التصنيعية في الوقت الحاضر إذ يتميز هذا النظام بالحرية والمرونة الفائقة في حالات التغيير المطلوب بالعملية الإنتاجية فيما إذا كان التغيير متوقعاً أو حتى غير متوقع.

هناك حالتان للمرونة في نظام الإنتاج المرن وهي:-

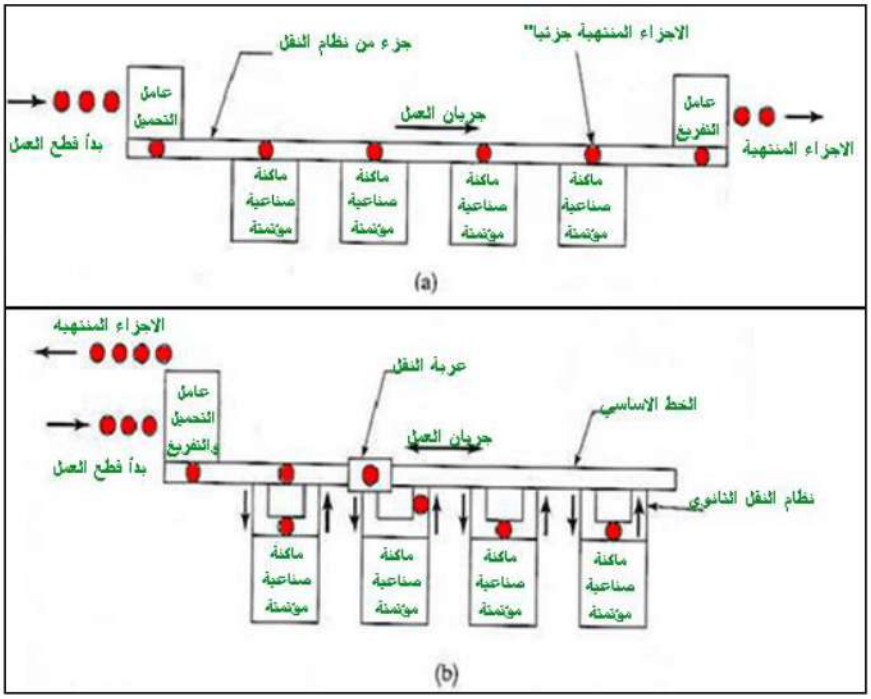
1. الماكينات التي لها القابلية في تغيير حالاتها لتصنيع أنواع جديدة من المنتجات.
2. مسالك الإنتاج (الروتين) التي لها القابلية بالتغير الكبير في حجم الإنتاج ونوعيته.

لغرض الوصول وتحقيق نظام الإنتاج المرن تتطلب تشكيلات معينة من نماذج مناولة ونقل المواد المختلفة. أغلب تشكيلات النماذج الموجودة في أنظمة التصنيع المرنة في الوقت الحاضر ممكن تصنيفها إلى خمسة أصناف من النماذج هي النموذج المستمر، الحلقي، السلمي، الحقل المفتوح، وخلية روبوت متمركز، ويوضح الجدول (3-1) أنواع مُعدات نقل المواد المستعملة في هذه النماذج.

جدول 3-1 نماذج وأنظمة مناولة ونقل المواد

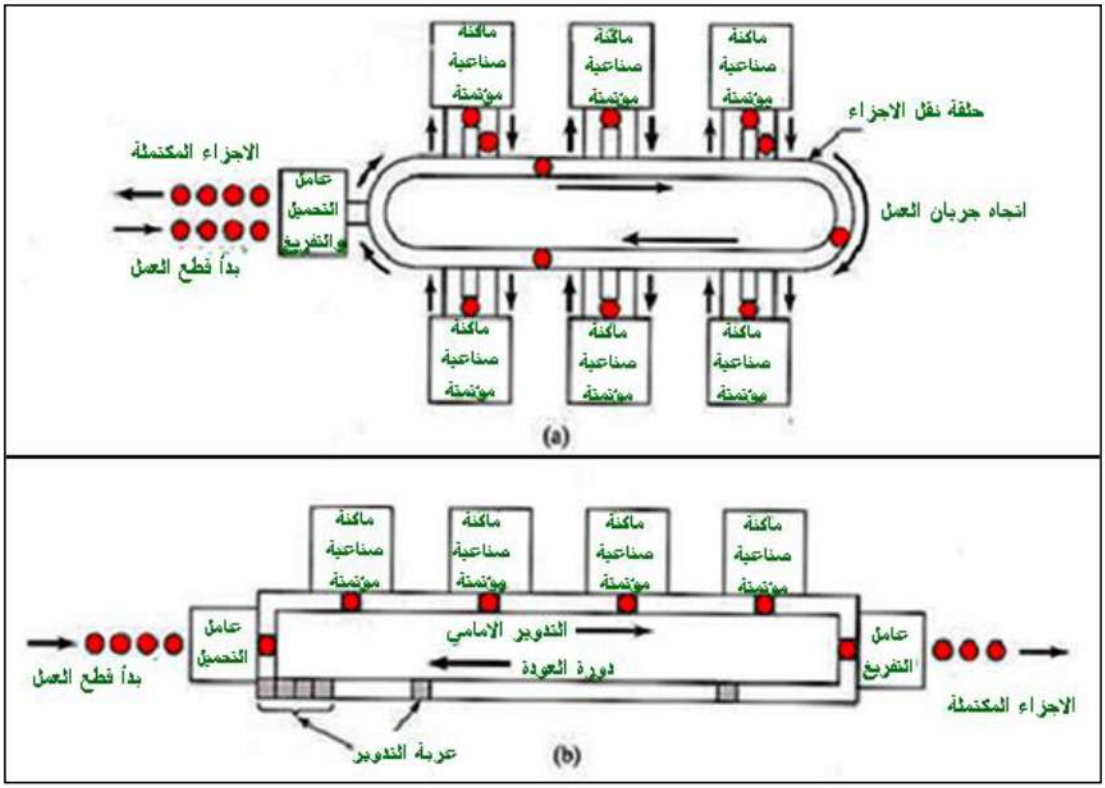
التشكيل النموذجي	نظام مناولة ونقل المادة
نموذج مستمر	نظام النقل المستمر نظام النقل الشريطي نظام العربة المسيرة بسكك
نموذج حلقي	نظام النقل الشريطي بطاقات خطين سطحين
نموذج سلّمي	نظام النقل الشريطي نظام العربة المسيرة الآلية نظام العربة المسيرة بسكك
نموذج حقل مفتوح	نظام العربة المسيرة آلياً بطاقات خطين سطحين
خلية روبوت متمركز	الروبوت الصناعي

1- نموذج خطي مستمر: في حالة النموذج المستمر تكون الماكينات ونظام المناولة والنقل مرتبة على خط مستقيم، وفي أبسط حالاتها تُقدم الأجزاء من محطة عمل إلى محطة العمل الآتية في تسلسل واضح ومع الشغل، غالباً ما ينتقل باتجاه واحد دون الرجوع، كما هو مبين في الشكل (3-7).



شكل 3-7 نموذج مستمر لمناولة ونقل المواد

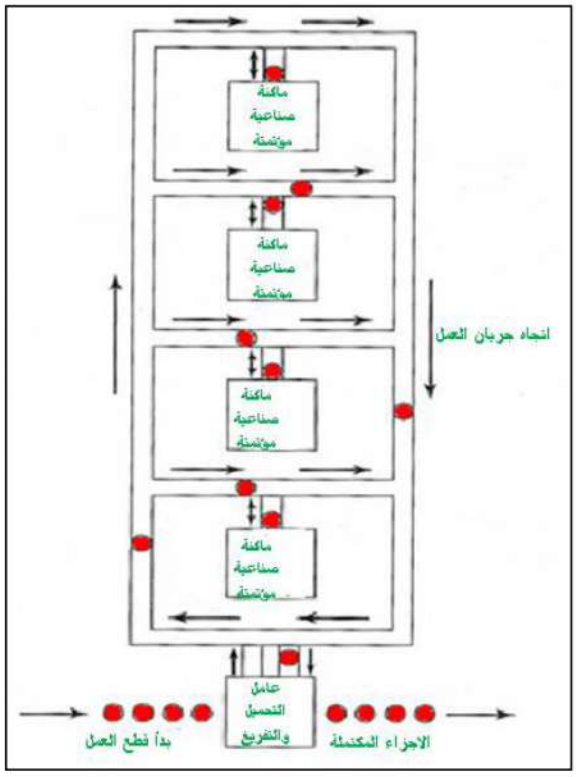
2- **نموذج حلقي:** تكون المحطات مرتبة في حلقة محفوظة بواسطة أجزاء نظام المناولة والنقل في الشكل نفسه كما هو موضح في الشكل (3-8).



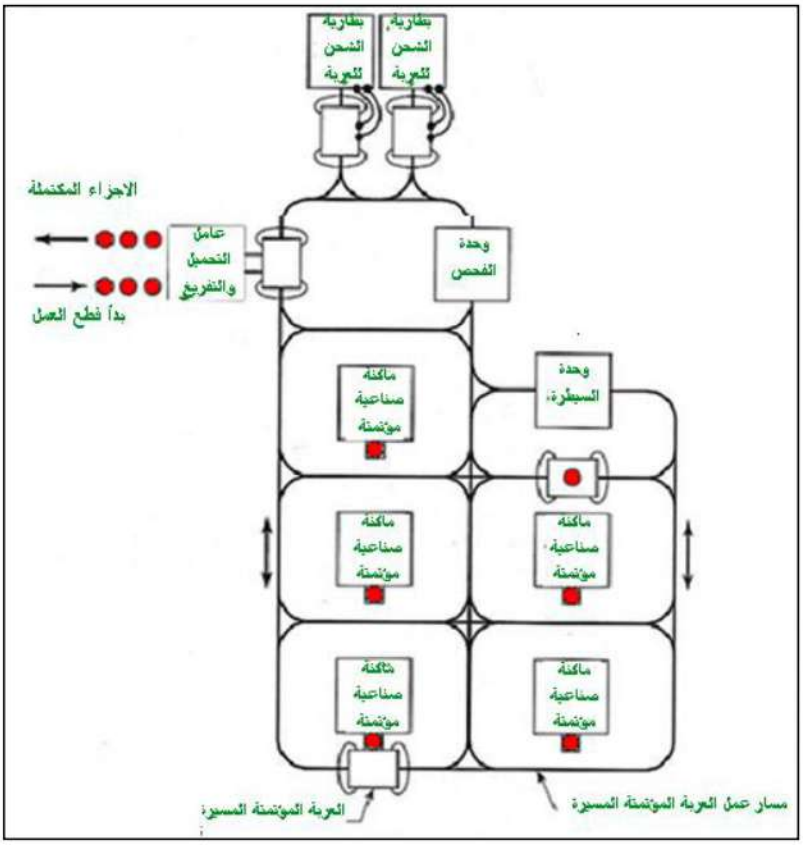
شكل 3-8 نموذج حلقي لمناولة ونقل المواد

3- نموذج سُلَمي: حلقة بشكل سلالم بين المقاطع الخطية، وقد تكون الحلقة الواحدة بها عدد من محطات العمل منصوبة فيها، الشكل (3-9). إن هذه السلالم تزيد من عدد المسالك بحيث تكون هناك إمكانية للانتقال من ماكينة إلى أخرى دون الحاجة إلى نظام نقل ثاني، ومن مميزات هذا النموذج إنه يحتاج إلى مساحة أرض صغيرة كما ويستفاد من عامل الجاذبية في تحريك ونقل المواد وخصوصاً الثقيلة منها وبذلك سيتم تقليل الازدحام في نظام المناقلة واختصار الوقت في تحريك المواد بين المحطات.

4 - نموذج حقل مفتوح: عدد من الحلقات والسلالم بضمنها محطات عمل جانبية، الشكل (3-10)، وهذا النموذج ملائم لمعالجة طيف واسع من الأجزاء وقُطع العمل، وعدد من الماكينات مختلفة الأنواع، ويمكن تحديد الأجزاء بتوزيعها إلى مختلف المحطات اعتماداً على أي منها متوافر في البداية.

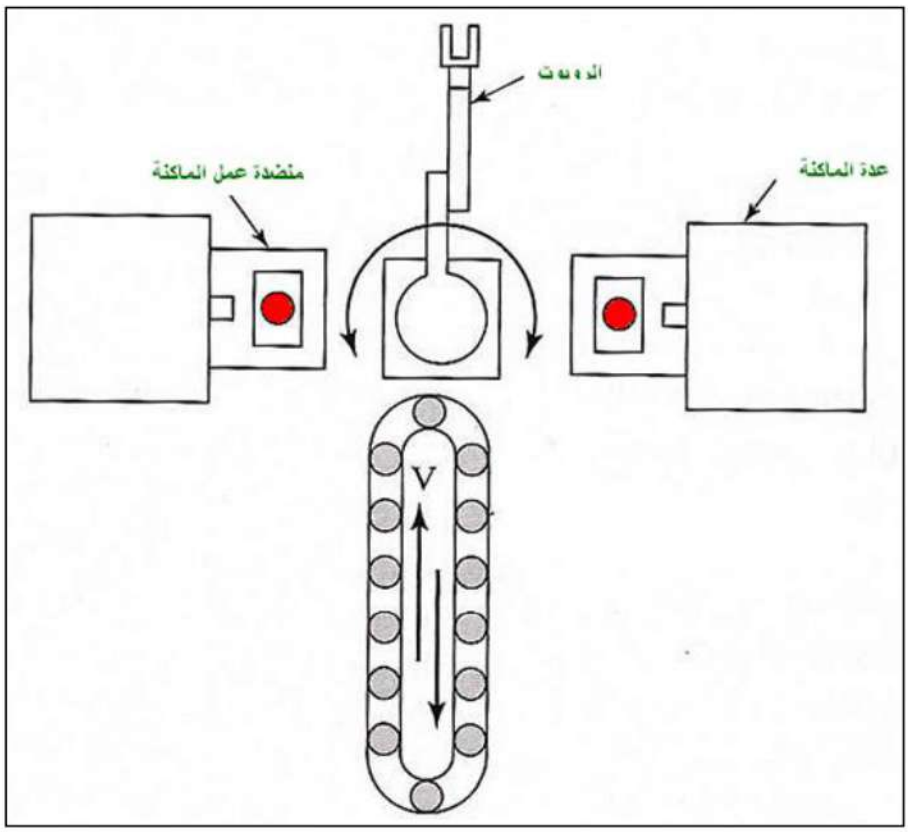


شكل 3-9 نموذج سُلَمي لمناولة ونقل المواد



شكل 3-10 نموذج حقل مفتوح لمناولة ونقل المواد

5- **خلية روبوت متمركز:** يستعمل روبوت واحد أو أكثر كنظام لنقل المواد، والروبوتات الصناعية يمكن أن تُعد مع ماسكات (Grippers) والتي تجعله ملائم بشكل جيد لمناولة ونقل الأجزاء الدائرية والروبوت المتمركز، غالباً ما يستعمل لمعالجة الأجزاء ذات الشكل الأسطواني أو القرصي، إذ يتم نصب الماكينات حول روبوت متمركز في الوسط يقوم بنقل المواد من ماكينة إلى أخرى، الشكل (11-3).



شكل 3-11 خلية روبوت متمركز

3-3-3 أنظمة الخزن Storage Systems

بالرغم من الرغبة العامة لتقليل خزن المواد التصنيعية لتقليل الكُلف الإنتاجية، يَبْدو من المستحيل تجنب صرف المواد والعمل على عمليات الإنتاج في الوقت نفسه، وإلا فسوف يؤدي إلى زيادة الوقت وعدم إنتظام العملية التصنيعية، لذلك يفضل للمنتجات أن تقضي بعض الوقت في المخزن أو مركز التوزيع قبل تجهيزها إلى المستخدم النهائي، على هذا الأساس يجب أن تضع الشركات الإنتاجية اعتبارات معينة للطرائق الملائمة لخزن المواد والمنتجات قبل وخلال وبعد التصنيع.

طرائق الخزن ومعداتها يمكن أن تصنف إلى صنفين رئيسين هما طرائق الخزن التقليدية وطرائق الخزن الآلية، تتضمن الأولى خزين ضخم (خزن عناصر أو مواد في مساحات طوابق مفتوحة) وعلى شكل رفوف ومجرات، بصورة عامة طرائق الخزن التقليدية مستعملة بشكل أوسع إذ يضع العمال المواد في المخازن ويسترجعونها من المخازن. في حين صممت أنظمة الخزن الآلية لتقليل أو اختصار العمل اليدوي الذي يشمل هذه الوظائف فإما تكون تلك الأنظمة آلية أو شبه مؤتمتة.

1-3-3-3 مُعدات التوحيد Unitizing Equipment

إن مصطلح مُعدات التوحيد يشير إلى:-

- الحاويات المستعملة لخزن مواد موحدة في أثناء التحريك والنقل.
- مُعدات مستعملة لتحميل وتعبئة الحاويات.
- الحاويات تحتوي على صناديق، سلال، أسطوانات، وبراميل

تُعدّ الحاويات مهمة جداً في نقل المواد بكفاءة كوحدة تحميل بدلاً من حمل المواد الموحدة (المتشابهة) بشكل منفصل، فالفرش والحاويات تستعمل بشكل موسع في الإنتاج والتوزيع. أغلب المصانع ومراكز التوزيع تستعمل عربات أو رافعات شوكية لنقل الأحمال على الفرش. تسهيلات معينة يجب أن توضع بشكل قياسي على نوع خاص وحجم خاص من الحاويات فيما لو استعمل النقل الآلي، أو مُعدات الخزن لنقل الأحمال، إما مُعدات التحميل والتعبئة فتحتوي على فرش صُممت للتحميل الآلي للحاويات الكارتونية وشرائح بلاستيكية ملفوفة لأجل التحميل والتفريغ والتي صُممت لتفريغ الحاويات الكارتونية من الفرش. أنواع أخرى من ماكينات اللف والتعبئة مشمولة بهذا الصنف من المُعدات، ويوضح الشكل (3-12) بعضاً من تلك المعدات.

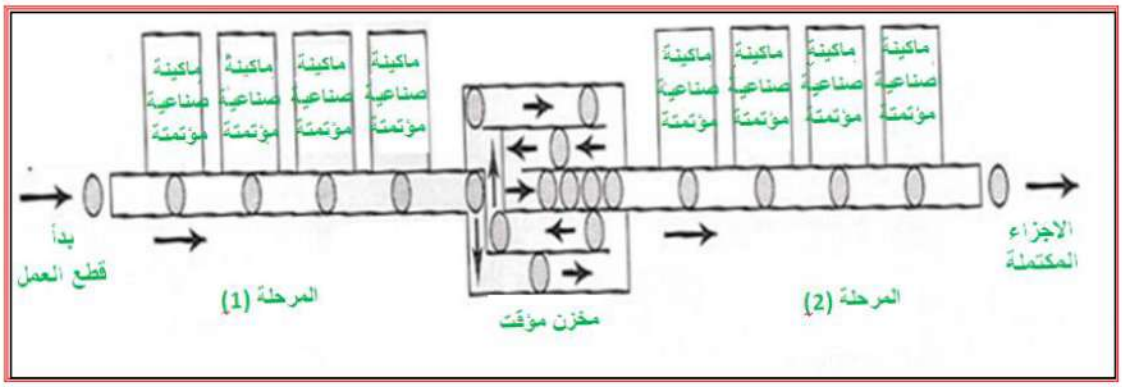
شكل 3-12 بعض من مُعدات التوحيد

2-3-3-3 أنظمة التعريف والتتبع Identification Systems

نقل المواد يجب أن يتضمن الحفاظ على تتبع المواد المنقولة أو المخزونة، عادة يمكن أن يوضع عنوان على المادة المنقولة أو المعبئة أو وحدة التحميل التي تعرفها بشكل صحيح، أغلب العناوين وأكثرها عمومية المستعملة في الوقت الحالي هي عبارة عن شفرة شريطية Bar Code التي يمكن قراءتها بسرعة وبشكل آلي عن طريق قارئات الشفرات، وهي التقنية البسيطة نفسها المستعملة في خزن المواد الغذائية، وهناك تقنية تعريف أخرى مختلفة وجديدة ومهمة هي (RFID) وتعني: Radio Identification Frequency تعمل بالترددات الراديوية.

3-3-3-3 المخزن المؤقت Temporary Storage

خطوط الإنتاج المؤتمتة يمكن أن تُصمم بحيث تحتوي مخازن للخزن المؤقت، فالمخزن المؤقت موقع في خط الإنتاج يمكن أن يجمع ويخزن بصورة مؤقتة الأجزاء قبل الاستمرار أو المواصلة لاحقاً في العمليات الصناعية، المخزن المؤقت يمكن أن يعمل يدوياً أو آلياً، في الحالة الآلية يتكون الخزن المؤقت من آلية تتقبل الأجزاء من مجرى علوي في المحطة الصناعية، ومكان لخزن الأجزاء، وآلية تجهيز الأجزاء للمجرى أسفل المحطة الصناعية. العامل الرئيس للمخزن المؤقت هو سعة الخزن والذي يتمثل بعدد قُطع العمل القادر على احتوائها. المخازن المؤقتة يمكن أن تقع بين كل زوج من المحطات المتجاورة أو بين خطوط المراحل التي تحتوي على محطات متعددة، الشكل (3-13).



شكل 3-13 المخزن المؤقت

هنالك عدة أسباب تدعو لاستعمال المخازن المؤقتة في خطوط الإنتاج المؤتمتة منها:

1- لتقليل تأثير توقف محطة العمل: إذ أن المخزن المؤقت بين المراحل لخط الإنتاج تسمح لمرحلة واحدة بالاستمرار بالعمل في حال كون المرحلة الأخرى خاضعة للتصليح.
2- لتوفير مستودع مُجهز للقطع للخط الصناعي: الأجزاء ممكن أن تُجمع في وحدة تخزين ثم تغذي آلياً خط التصنيع السفلي. وهذا يساعد في استمرارية عمل النظام خلال إعادة التحميل.
3- توفير مكان لوضع المخرجات للخط الصناعي.
4- يسمح بوقت إضافي للمعالجة أو أي تأخير في الوقت للعمليات الأخرى، وقت المعالجة مطلوب في بعض العمليات كالطلاء أو تطبيقات اللصق. المخزن المؤقت مصمم لتوفير الوقت اللازم لانتهاء المعالجة قبل تزويد الأجزاء للمحطة السفلى.
5- تقليل اختلاف وقت الدورة على الرغم من كونها ليست مشكلة في الخطوط المؤتمتة إلا أنها ذات صلة بخط الإنتاج اليدوي لكون اختلاف وقت الدورة صفة من صفات أداء العامل المتلازمة.

4-3-3 الفحص والاختبار Inspection and Testing

التحقق والفحص هو من نشاطات السيطرة النوعية Quality Control، وتكمن الغاية من الفحص لبيان مدى مطابقة المنتج للمواصفات القياسية المطلوبة، فعلى سبيل المثال يتم فحص الأبعاد الحقيقية للجزء الميكانيكي والتأكد من كونها ضمن السماحات المشار إليها في الرسم الهندسي للجزء المعني.

أما الاختبار فهو يتعلق بالمواصفات الوظيفية للمُنتج النهائي بدلاً من الأجزاء المستقلة المكونة لهذا المُنتج،على سبيل المثال، يتم الفحص النهائي للمُنتج ويتم التأكد بمطابقة جميع المواصفات الفنية ويضمن عمله وحسب التصاميم المُعدة لهذا الغرض.

أساسيات الفحص Inspection Fundamentals: إنَّ مصطلح الفحص يشير إلى نشاط تحري المنتج، أجزائه، أشباه المركبات، أو المواد الخام لإيجاد فيما لو أنها مطابقة لمواصفات التصميم، والتي يتم تعريفها وتحديدها عن طريق مُصمم المُنتج نفسه.

خطوات الفحص Inspection Procedure: إنّ خطوات الفحص يتم وضعها على المادة المفردة مثل جزء، أو مُنتج نهائي وهي كما يأتي :

1- العرض (Presentation): وتعني تعريض المادة للفحص.

2- التدقيق (Examination): تدقق المادة على هيئتها غير المشكلة، ويتضمن التدقيق قياس الأبعاد أو أية أمور أخرى في المُنتج.

3- القرار (Decision): يعتمد على الفحص إذ أنّ صناعة القرار تبّين إن كانت المادة مطابقة للمواصفات القياسية أم لا ؟ أبسط حالات القرار تتضمن قرارات ثنائية (Binary) أي أنّ المادة إما أن تكون مقبولة أو مرفوضة، وفي أعقد الحالات ممكن أن يتخذ القرار طابع التدريج (Grading) والتي تعني وضع المادة بأكثر من مواصفة قياسية واحدة (مثلاً المواصفة من درجة A ، B ، أو غير مقبولة).

4- الفعل (Action): لابد للقرار أن ينتج عنه فعلاً معيناً، مثلاً القبول أو الرفض للمادة أو تصنيف المادة إلى أكثر الدرجات ملائمة، وممكن أن يكون الفعل بتصحيح عملية الإنتاج لاختصار العيوب المستقبلية التي يمكن أن تحدث.

إن خطوات الفحص بشكل تقليدي تتم عن طريق الإنسان القائم بالعمل (التي يشار إليها بالتحقق أو الفحص اليدوي) ولكن نظم الفحص الآلي أصبحت تستعمل بشكل أوسع وذلك كون تقنيات الحاسوب والمتحسسات تم تحسينها وتطويرها بشكل كبير لهذا الغرض. في بعض حالات الإنتاج يتم إنتاج مادة واحدة فقط مثلاً (نوع واحد من الماكينات أو النماذج القابلة للتعديل وخطوات الفحص تُطبق فقط على المادة الواحدة)، وفي حالات أخرى مثل الإنتاج الكمي فخطوات الفحص تُكرّر إمّا على كل المواد في المنتج (فحص 100%، بعض الأحيان يسمى عرض كامل Screening) أو على نموذج Sample واحد مأخوذ بشكل اختياري من بين المواد (فحص نموذجي). أما الفحص اليدوي فيمكن استعماله فقط على مادة واحدة أو نموذج من بين مجموعة مواد أو عدد كبير تم فحصها بينما الفحص المؤتمت شائع الاستعمال لفحص 100% من الإنتاج الكمي.

دقة الفحص Inspection Accuracy : بعض الأحيان تحصل أخطاء في خطوات الفحص خلال التدقيق وخطوات اتخاذ القرار فمثلاً المواد المطابقة للمواصفات يتم تصنيفها بشكل غير صحيح على أنها غير مطابقة للمواصفات والمواد غير المطابقة يتم تصنيفها بشكل خاطئ على أنها مطابقة للمواصفات. هذان النوعان من الأخطاء يسميان نوع: TYPE I و TYPE II.

الفحص التقني Inspection Technology: تقنيات الفحص يمكن تقسيمها على نوعين هما الفحص التماسي والفحص غير التماسي.

في فحص التماس يكون هناك تماس فيزيائي بين المادة المفحوصة وجهاز القياس ومثال على ذلك عملية فحص أبعاد القطع المنتجة عن طريق أخذ قياساتها يدوياً بينما في الفحص غير التماسي فلا يوجد هنالك أية أداة تماس فيزيائي ومثال على ذلك عملية فحص وجود الشقوق في المعادن عن طريق الموجات الصوتية ففي هذه الحالة يكون الفحص بعدم التلامس مع الجزء المراد فحصه.

هنالك طريقتان أو أداتان للفحص، التماثلي (Analog)، والرقمي(Digital)، بالنسبة لأجهزة القياس التماثلية تكون مخرجاتها تماثلية بمعنى أن الإشارة الخارجة من الجهاز تتغير بشكل مستمر مع المتغير المطلوب قياسه. عندما تستعمل أجهزة القياس التماثلية في السيطرة على العمليات فإن إخراجها العام عبارة عن إشارة فولتية. وبما أن عمليات التحكم الحديثة وأجهزة التحكم تعتمد على الحاسوب الرقمي فإن إشارة الفولتية لابد من تحويلها إلى إشارة رقمية باستعمال ما يسمى (المبدل التماثلي إلى رقمي (Analog-to-Digital Converter).

بالنسبة لجهاز القياس الرقمي فهو يعطي إشارة خرج رقمية وهذا معناه أنه يعطي عدد محدد من القيم المتزايدة المقابلة للمتغير المطلوب قياسه على اعتبار أن عدد القيم الخارجة الممكنة محدود، إن الإشارة الرقمية ممكن أن تكون مجموعة من الأرقام الثنائية المتوازية (Parallel Bits) في سجلات خزن (Memory Register) أو سلسلة من النبضات (Pulses) الممكن عدها.

1-4-3-3 المعايرة Calibration

يجب تعيير أجهزة القياس بشكل دوري، والمعايرة مقصود بها التأكد من دقة قراءات جهاز القياس بالمقارنة مع قراءات قياسية، على سبيل المثال لمعايرة مقياس حرارة (ثرموميتر) يجب أن يكون الفحص بقراءته في ماء نقي ومغلي وتحت الضغط الجوي القياسي الذي به تكون درجة الحرارة معلومة ومساوية إلى 100 درجة سيليزية.

1) تقنيات الفحص التماسية

إن هذه التقنية تتضمن استعمال مجس ميكانيكي أو أي جهاز آخر والذي يقوم بالتماس مع المادة المطلوب التحقق منها، والغرض من المجس هو قياس أو ضبط المادة بطريقة ما. وبطبيعة الحال فحص التماس غالباً ما يتعامل مع بعض الأبعاد الفيزيائية للمادة، وعليه فإن هذه التقنيات تستعمل بشكل واسع بالمصانع وبشكل خاص في إنتاج المواد المعدنية، وكذلك إن فحص التماس يستعمل أيضاً في فحص الدوائر الكهربائية مثال على ذلك استعمال جهاز الأوميتر لقياس قيمة مقاومة كهربائية وأيضاً استعمال جهاز قياس الضغط (مقياس بوردان) لفحص ضغط الهواء في إطارات السيارات، ويكون مبدأ تقنيات فحص التماس هو:

1- الفحص التقليدي وأجهزة القياس.
2- ماكينات فحص الاحداثيات والتقنيات المرافقة لقياس الأبعاد الميكانيكية.
3- إسلوب خاص في أجهزة قياس الأبعاد من أجل قياس خصائص الأسطح مثل التموجات والخشونة.
4- مجسات التماس الكهربائية لفحص الدوائر المتكاملة (IC) وألواح الدوائر المطبوعة (بوردات) (PCB).

2) تقنيات الفحص غير التماسي

طرائق الفحص غير التماسية تستعمل حساسات موضوعة على مسافة معينة من الجسم أو المادة لقياس الهيأة أو الشكل المطلوب، وعليه فإن تقنيات الفحص غير التماسية تصنف إلى صنفين بصرية وغير بصرية.

تقنيات الفحص البصرية تستعمل الضوء لإجراء عملية القياس. أكثر الأنواع المهمة بالتقنيات البصرية هي إبصار الماكينة والمقصود بإبصار الماكينة هو وجود أدوات إبصار في الماكينة نفسها مثل (كاميرات المراقبة، الدايودات الضوئية، أجهزة إرسال الموجات فوق الصوتية وغير ذلك كثير).

تقنيات الفحص غير البصري تستعمل الطاقة بدلاً من الضوء لإتمام الفحص، وهذه تتضمن مجالات كهربائية مختلفة، إشعاعات (تختلف عن الضوء)، موجات فوق الصوت.

للفحوصات غير التماسية مميزات تجعلها مختلفة عن تقنيات الفحوصات التماسية وهذه المميزات تشمل:

1- تجنب العطل أو التخريب للأسطح المطلوب فحصها.
2- عدد مرات الفحص أسرع بكثير.
3- يُكمل الفحص على خطوط الإنتاج دون الحاجة إلى أجزاء أو وسائط نقل أخرى على عكس الفحص التماسي الذي يتضمن استعمال أجهزة خاصة لنقل أدوات القياس.
4- أنه أكثر قبولاً بالفحوصات المؤتمتة وبنسبة 100% وذلك لكونها سريعة التكرار وتقلل الحاجة لأجهزة النقل الثانوية.

3-3-4-2 تقنيات القياس التقليدية

تقنيات القياس التقليدية تستعمل أجهزة يدوية للأبعاد الخطية مثل الطول والعمق والقطر بشكل جيد كقياس الزوايا والخطوط المستقيمة. تعطي أجهزة القياس قّيم لأشكال المادة المعنية. يأخذ القياس زمن طويل ولكن يجهز بمعلومات كاملة عن شكل المادة. بعض هذه الأجهزة يكون محمول ويمكن استعماله في عمليات الإنتاج وبعضها الآخر يكون منصوباً وبعيداً عن العمليات.

سهولة ودقة القياس للأجهزة حُسّنت مؤخراً بواسطة الإلكترونيات الرقمية، بحيث يتم تحويل القيمة المطلوب قياسها (درجة الحرارة، الضغط، القوة، السرعة، ....الخ) إلى إشارة كهربائية وهذه الإشارة تكون عادةً إشارة ضعيفة تحتاج إلى تكبير، إذ تُكبّر وتُحّول إلى صيغة رقمية يمكن قراءتها، على سبيل المثال: المقاييس الدقيقة الحديثة متوافرة مع شاشات رقمية من أجل القياس وهذه الأجهزة سهلة القراءة مما يقلل من الأخطاء البشرية الناتجة من أجهزة القياس التقليدية. مثال على ذلك: القدمة الرقمية DIGITAL VERNIER CALIPIER المبينة في شكل (3-14).

شكل 3-14 القدمة الرقمية

5-3-3 التنسيق والتحكم Coordination and Control

التنسيق والتحكم في التصنيع يتضمن جميع الترتيبات التي تسبق عمليات التجميع والإدارة (مثل تحديد نوع الماكينات المستعملة في الخط الإنتاجي) وجميع الترتيبات اللاحقة مثل التحكم بمستويات المعالجة لغرض الحصول على أداء معين معد مسبقاً والحصول على الجودة العالية، ويكون ذلك عن طريق معالجة المدخلات التي تمثل القيم المقاسة.

التحكم بمستويات المعمل يتضمن استعمال فعال للمعمل، صيانة المعدات، ونقل المواد في المصنع، وأسلوب التحكم (مثل التحكم اليدوي عن طريق العامل أو التحكم الآلي عن طريق الماكينة)، منتجات البيع، لأفضل نوعية في الجدول ويبقى محافظاً على ديمومة العمل في المصنع وبأقل التكاليف.

السيطرة على الإنتاج في المعمل تمثل نقطة رئيسة بين العمليات الجارية في المصنع وطرائق معالجة البيانات التي تخص المنتج.

أسئلة الفصل الثالث

س 1) عدد أنظمة التصنيع واشرحها باختصار.

س 2) صحح الخطأ إن وجد:-

1. الآلات التي تعمل يدوياً: يتم التحكم أو إشراف الآلة عليها.
2. الآلات الشبه آلية أو شبه المؤتمتة: تقوم بإنجاز جزء من دائرة العمل بأمر وإشراف الأيدي العاملة.
3. عمليات التصنيع تجمع جزأين أو أكثر لإنتاج مكون جديد يطلق عليه الجزء المركب.
4. عمليات التشكيل هي عملية صب المعادن وعملية تشكيل اللدائن والزجاج.
5. النموذج الحلقي عبارة عن حلقة بسلالم بين المقاطع الخطية من الحلقة التي بها محطات عمل موضوعة.
6. في معظم خطوط الإنتاج يقضي المُنتج مدّة زمنية في المناولة والتنقل والخزن أطول من مدّة المعالجة أو التصنيع.

س 3) إشرح بالتفصيل عمليات التجميع في الخطوط الإنتاجية.

س 4) عرف المصطلحات الآتية:ـ التنسيق والتحكم، التحقق والفحص، مُعدات التوحيد.

س 5) عدد أسباب استعمال الخزانات المؤقتة في الخطوط الإنتاجية.

س 6) إملأ الفراغات الآتية بما يناسبها:

1- التغذية الخلفية (الراجعة) Feedback :هي عبارة عن إسلوب مستعمل في أنظمة ----------

2- يُتحّكم بالماكينات التي تعمل يدوياً ----------

3- تدعى عمليات السباكة في بعض الأحيان بعمليات ---------

4- عملية المعالجة السطحية تشمل عمل ميكانيكي مثل ------- و ---------- و -------

5- في حالة ---------- الماكينات ونظام المناولة والنقل مرتبة في خط مستقيم.

6- أغلب العناوين وأكثرها عمومية والمستعملة في الوقت الحالي هي عبارة عن -------

7- -------- هو موقع في خط الإنتاج يمكن أن يجمع ويخزن بصورة مؤقتة الأجزاء قبل الاستمرار أو المواصلة لاحقاً في العمليات الصناعية.

8- الغاية من الفحص هو لبيان مدى مطابقة المنتج للـ ---------- المطلوبة.

الفصل الرابع

الأجزاء الرئيسة للخط الانتاجي

Main Parts of Product Line

تمهيد

يتضمن هذا الفصل الأجزاء الرئيسة للخط الإنتاجي والتي غالباً ما يحتويها لإنجاز الغرض المطلوب منه وهو الإنتاج، ومن أهم الأجزاء تلك هو المحرك (الاحتراق الداخلي والكهربائي) ومبدأ حركته وأجزائه الرئيسة، إضافة لأعمدة الإدارة التي تُعد من وسائل نقل الحركة في تلك الخطوط، وكذلك الأحزمة الناقلة والتروس والسلاسل من الوسائل والأجزاء التي غالباً ما يكون الخط الإنتاجي معتمداً عليها في حركته، وتُعد الحدبات من التطبيقات التي يمكن الاستفادة منها في تنظيم الحركة المؤقتة أو المتزامنة (كما هو الحال في محركات الاحتراق الداخلي) إضافة للموقفات وفواصل الحركة التي تتحكم في حركة الخطوط الناقلة ضمن الخط الإنتاجي.

1-4 المحرك Engine

جهاز يقوم بتحويل أشكال الطاقة المتنوعة إلى طاقة حركية، ومن أشكال الطاقة المستعملة: الطاقة الحرارية (كما في محرك الاحتراق الداخلي)، والطاقة الكهربائية (في المحركات الكهربائية)، والطاقة البخارية (المستعملة في المحرك البخاري)، وهنالك كذلك المحركات النفاثة والصاروخية المستعملة في الطيران، ويتنوع حجم وسعة المحركات تنوعا كبيراً، فقد يكون جهازاً صغيراً يقوم بوظائفه داخل ساعة يد أو محركاً ضخماً يمد قاطرة ثقيلة بالقدرة.

المحرك العادي Normal Engine: ويقصد به المحرك الذي يستعمل الوقود السائل في اشتغاله إذ يحّول الطاقة الحرارية إلى طاقة حركية، بحرق الوقود إما في داخل المحرك فيسمى حينذاك بمحرك الاحتراق الداخلي أو في خارجه فيسمى بمحرك الاحتراق الخارجي، ويشيع استعمال محركات الاحتراق الداخلي في الوقت الحاضر كالمحركات التي تستعمل وقود البنزين وكذلك التي تستعمل زيت الغاز (الديزل).

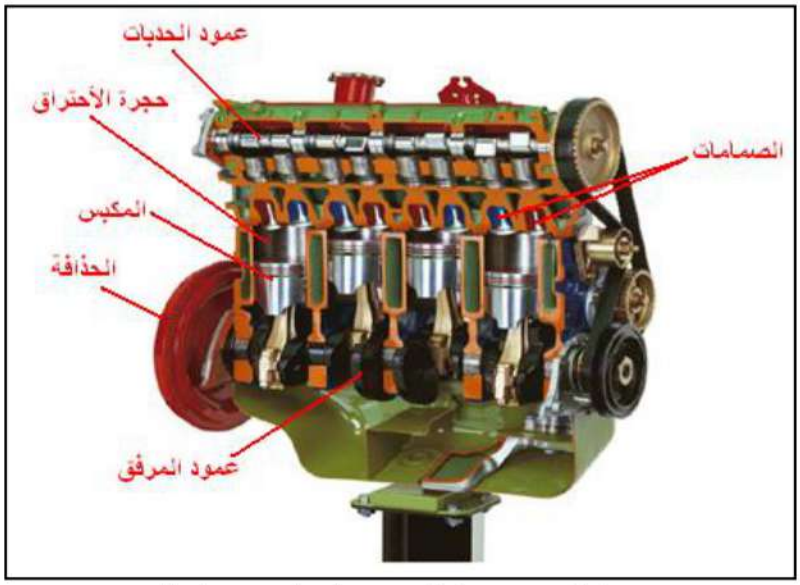
1-1-4 محركات الاحتراق الداخلي Internal Combustion Engine

محرك الاحتراق الداخلي هو محرك يحترق فيه الوقود والمادة المساعدة للاحتراق (المادة المؤكسدة) وعادة ما تكون الهواء داخل حيز محكوم يطلق عليه غرفة الاحتراق، وناتج هذا التفاعل غازات بدرجات حرارة عالية وبضغط كبير نسبياً، ويُسمح لهذه الغازات بالتمدد، والأمر الرئيس الذي يميز محرك الاحتراق الداخلي هو أن الشغل المفيد تبذله الغازات الحارة المتمددة التي تضغط مباشرة لتسبب حركة أجزاء المحرك الصلبة، وذلك بالضغط على المكبس أو الجزء الدوار أو حتى بتحريك المحرك بأكمله.

مصطلح "محرك الاحتراق الداخلي" كان دائماً يستعمل للإشارة إلى المحركات ذات المكبس الترددي (Reciprocating Piston Engines) التي يحدث فيها الاحتراق على نحو متقطع. ومع ذلك، فإن المحركات ذات الاحتراق المستمر مثل المحركات التوربينية الغازية وأغلب الصواريخ هي أيضاً محركات احتراق داخلي. وسنتطرق باختصار لعمل كل من محركي البنزين والديزل.

أ) محرك البنزين

هو مصطلح يستعمل للدلالة على محرك الاحتراق الداخلي يعمل بوقود البنزين والذي يتم فيه إشعال خليط الوقود والهواء بواسطة شرارة، الشكل (4-1) يبين مقطعاً يوضح الأجزاء الرئيسة للمحرك.



شكل 4-1 مقطع يبين أجزاء محرك البنزين

قد يكون المحرك ذو شوطين أو ذو أربعة أشواط، وسنعرض الأشواط الأربعة الحاصلة في عملية الاحتراق الداخلي وإنتاج القدرة الميكانيكية، وكما يأتي:

1) شوط السحب: يسحب خليط الوقود والهواء نتيجة حركة المكبس (داخل الأسطوانة) إلى الأسفل، فيحدث التخلخل (انخفاض في الضغط)، فيفتح صمام الدخول ليمر الخليط المكون من الوقود والهواء، بينما يكون صمام الخروج (العادم) مغلقاً وينتهي شوط السحب بوصول المكبس لنهاية الشوط الذي يتحرك فيه المكبس ضمن الأسطوانة.
2) شوط الضغط: يتحرك المكبس من النقطة التي كان قد وصلها في نهاية شوط السحب إلى أعلى نقطة ممكن أن يصلها المكبس ضمن الأسطوانة، ضاغطاً بذلك الخليط ورافعاً درجة حرارته نتيجة الضغط، مع الملاحظة بأن الصمامين في حالة الضغط يكونان مغلقين.
3) شوط القدرة: عند نهاية الشوط السابق تقوم شمعة الاشتعال بإرسال شرارة الاشعال، بتوقيت وقوة معينين مع الملاحظة بأن الصمامان في شوط القدرة يكونان مغلقين أيضاً ونتيجة للضغط وتوافر عوامل الاشتعال من (هواء + بنزين + ضغط وفي النهاية شرارة) يحدث الاشتعال الذي ينتقل بسرعة بين جزيئات الخليط مولداً قوة ضغط كبيرة مؤثرة على سطح المكبس فتقوم بدفعه إلى أقصى مدى للأسفل، وهذا الشوط يسمى بالشوط الفعال أو شوط القدرة لأن المحرك يعتمد في عمله على القوة التي يولدها شوط القدرة وبذلك تنتقل الحركة الدورانية عبر ذراع التوصيل إلى المحور الرئيس (عمود المرفق).
4) شوط العادم: بعد انتهاء شوط القدرة، يرتفع المكبس إلى الأعلى، مع فتح صمام الخروج سامحاً بخروج العادم المتولد عن احتراق الخليط، طارحاً إياه إلى الهواء الخارجي.

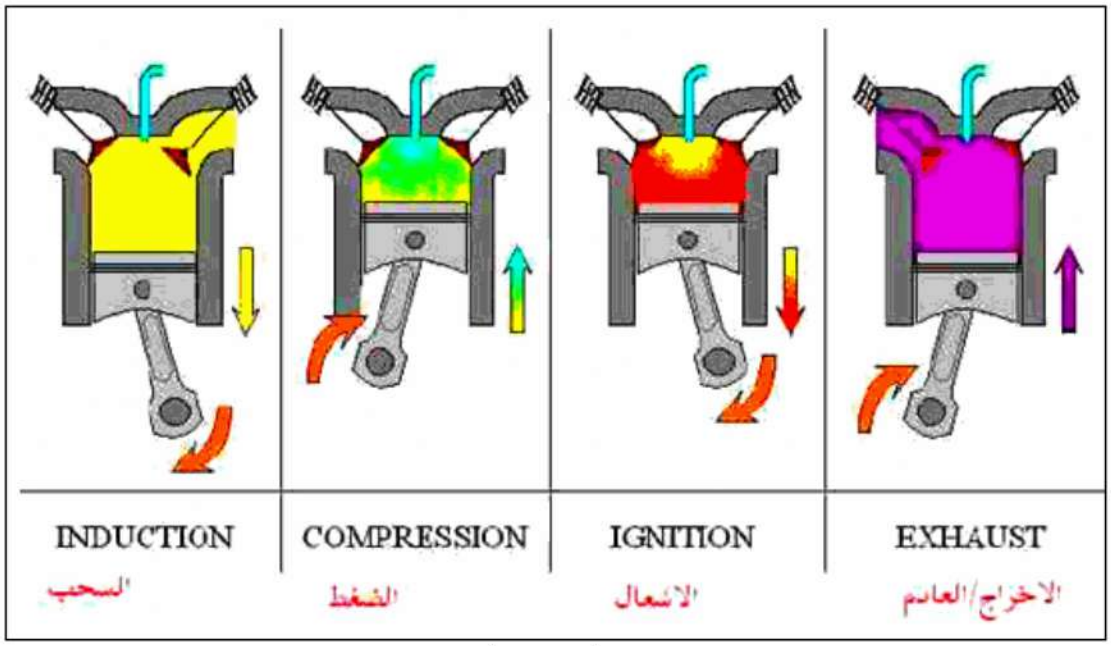
وبنهاية شوط العادم تكون قد تمت دورة الأشواط الأربعة وعملية الاحتراق كاملة في المحرك، إذ يأخذ المحرك استمرارية الحركة المتسلسلة لأنه يتكون من عدد من الأسطوانات، أي أنه دائماً تكون أحد المكابس في حالة قدرة والأخرى في سحب وآخر في دفع وآخر في ضغط وهكذا.

ب) محرك الديزل Diesel Engine

يقوم بتحويل الطاقة الكيميائية الكامنة في الوقود (زيت الغاز) إلى طاقة حركية، وهو ذو كفاءة أعلى من كفاءة محرك البنزين. وتأتي الزيادة في الكفاءة من ارتفاع نسبة الانضغاط (Compression Ratio) في محركات الديزل إذ تتراوح ما بين 1:14 إلى 1:25، أما البنزين فيتراوح ما بين 1:8 إلى 1:12، إذ تتناسب كفاءة المحرك طردياً مع نسبة الانضغاط، وبذلك فلا يحتاج محرك الديزل إلى شمعة احتراق لتوليد الشرارة بل يتم اشتعال الوقود تلقائياً من خلال نظام لحقن خليط الوقود والهواء ونتيجة ارتفاع ضغط الخليط الذي يترتب عليه ارتفاع درجة الحرارة وصولاً إلى الحد اللازم لاشتعاله.

مميزات ومساوئ محرك الديزل (بالمقارنة مع محرك البنزين)

1. ذو كفاءة عالية مقارنة بمحرك البنزين، لنفس حجم المحرك يكون محرك الديزل ذو قدرة وعزم دوران أعلى.
2. يُعّد وقود الديزل ذو تكلفة منخفضة مقارنة بباقي أنواع الوقود، كما أن الطاقة الكامنة فيه أعلى من الطاقة الكامنة في وقود البنزين.
3. إن نسبة الضغط العالية في محركات الديزل والتي تصل إلى 1:25 يجبر المصمم على زيادة حجم ووزن المحرك مما يؤدي إلى ارتفاع أسعار محركات الديزل نسبياً.
4. تستعمل محركات الديزل بكثرة في المعدات التي تحتاج قدرة وعزم عاليين، على سبيل المثال مولدات الكهرباء ذات السعات العالية والآليات الكبيرة. وبسبب الكتلة الكبيرة لمحركات الديزل تجعل من التعجيل التسارعي للمحرك قليلاً مقارنة بمحرك البنزين مما يقلل من الرغبة في استخدامها في التطبيقات التي تحتاج للتسارع. ويبين الشكل (4-2) الأشواط الأربعة لمحرك الديزل.



شكل 4-2 الأشواط الأربعة لمحرك الديزل

2-1-4 محركات الاحتراق الخارجي

محرك الاحتراق الخارجي هو محرك حراري إذ يُسخّن مائع ما خارج المحرك عن طريق عملية احتراق خارجية - أي من مصدر خارجي- فيتمدد أو يتحول هذا المائع من حالة إلى أخرى بالحرارة ويولد طاقة حركية تُفعّل آلية المحرك، بعد ذلك يتم تبريد المائع فينكمش وتتغير حركة المحرك مع انكماشه، ثم تعاد العملية مرة أخرى في دورة مكررة لتشغيل المحرك.

عادة ما يكون المائع المستعمل غازياً كما في محرك "ستيرلينغ" أو سائل في المحرك البخاري الذي يعمل بالبخار المضغوط لتوليد الحركة ومثال على ذلك في المحركات القديمة المستعملة في القطارات إذ يُولّد البخار باستعمال غرفة احتراق خارجية تستعمل فيها مادة الفحم كوقود لأجل تحويل الماء إلى البخار المسؤول عن إدارة المحرك ومن ثم العجلات.

3-1-4 المحرك الكهربائي Electric Motor

بدأ تطوير المحركات الكهربائية في بداية القرن التاسع عشر باكتشاف المغانط الكهربائية. ففي عام 1820م، اكتشف الفيزيائي الدنماركي هانز كريستيان أورستد أن السلك الذي يمر فيه تيار كهربائي يولد حوله مجالاً مغناطيسياً. وفي أواخر العشرينيات من القرن التاسع عشر، أوضح الفيزيائي الأمريكي جوزيف هنري أنه يمكن ابتكار مغناطيس كهربائي أكثر قوة بلف عدة طبقات من الأسلاك المعزولة حول قطعة من الحديد، وفي عام 1831م قام الكيميائي الفيزيائي الإنجليزي مايكل فارادي بالعديد من التجارب التي تضمنت مغانط وتيارات كهربائية. وفي إحدى التجارب، قام بتدوير قرص نحاسي بين قطبين مغناطيسيين على هيأة حدوة حصان. وعملت هذه المعدات مولداً بسيطاً، إذ ولدت جهداً كهربائياً بين المركز وحافة القرص النحاسي. ثم عرَّض فارادي مركز القرص وحافته لجهد كهربائي بينهما حينما كان القرص في حالة السكون، فبدأ القرص بالدوران، كانت هذه الآلة البسيطة أول محرك كهربائي، ولكنها لم تكن ذات قوة كافية لتقوم بعمل مفيد، وكانت غير مجدية على الإطلاق. ولكن على الرغم من ذلك كان فارادي قد أسس بها مبدأ المحرك الكهربائي - وهو أن الحركة المستمرة يمكن إنتاجها بإمرار تيار كهربائي خلال موصل بوجود مجال مغنطيسي قوي.

وفي عام 1873م، ظهر أول محرك تيار مستمر ناجح تجارياً، إذ عرضه مهندس كهربائي بلجيكي يُدعى زينوب ثيوفيل جرام في فيَنا، وقدم جرام أيضاً حافظة من شأنها تحسين كفاءة المحركات والمولدات الكهربائية البدائية. وفي عام 1888م، اخترع مهندس صربي الأصل يدعى نيقولا تسلا محرك التيار المتناوب. وفي بداية القرن العشرين، طُوّرت الكثير من المحركات الكهربائية المتقدمة.

وفي العقد الأول من القرن العشرين، أجرى العديد من المهندسين والمخترعين تجارب على المحركات الكهربائية الخطية. فبدلاً من الدوران تنتج مثل هذه المحركات موجة كهرومغناطيسية تستطيع مباشرة تسيير عربة. وأصبح استعمال المحرك الخطي أكثر شيوعاً بفضل العمل الرائد للمهندس الكهربائي أيريك ليثويت في الخمسينيات والستينيات من القرن العشرين.

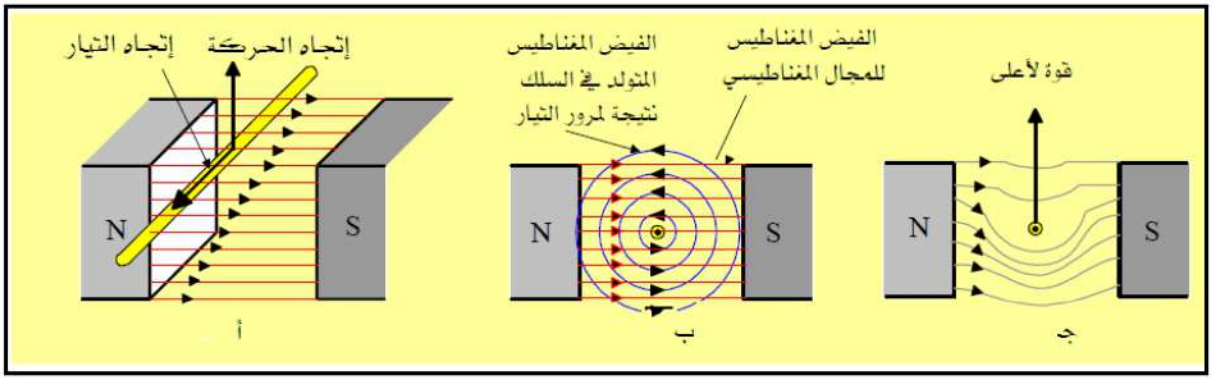
1-3-1-4 تعريف المحرك الكهربائي

تُعدَ المحركات الكهربائية جزءاً مهماً وأساسياً في تمويل الخطوط الإنتاجية بالطاقة الحركية فهي تستعمل في إدارة البكرات والتروس والمراوح والسلاسل فضلاً عن أذرع النقل والأحزمة الناقلة عموماً. ومن المناسب التعرف على أنواع وأجزاء وعمل المحركات الكهربائية بصورة مفصلة وكما يأتي:

2-3-1-4 مبدأ عمل المحركات الكهربائية

يتذكر الطالب في دراسته السابقة (المرحلة المتوسطة) وفي موضوع الكهرومغناطيسية، المحرك الكهربائي الذي هو آلة تحول الطاقة الكهربائية إلى قدرة ميكانيكية بوجود مجال مغناطيسي وبحسب النظرية "عند سَرَيان التيار في سلك فإنه يتولد حوله عدد من خطوط القوى المغناطيسية في صورة مجال مغناطيسي" لإنجاز عمل. وتستعمل المحركات الكهربائية لتشْغيل عدة آلات ومُعدات ميكانيكية. وتشغل أنواع شتى من المحركات الأدوات الميكانيكية، والروبوتات، وأيضاً المعدات التي تسهِّل العمل داخل المصانع.

حينما يمر تيار كهربائي في سلك موصل موضوع في مجال مغناطيسي ومتعامد على اتجاهه فإن السلك يتحرك إما للأعلى أو للأسفل بحسب اتجاه مرور التيار وذلك يتضح من الشكل (4-3- أ) وهذه الحركة سببها قوة كهرومغناطيسية عمودية على كل من التيار والمجال المغناطيسي تقوم بدفع السلك إلى أعلى، إذ أن محصلة الفيض المغناطيسي تنخفض كلما اتجهنا إلى أعلى، الشكل (4-3 - ب، ج).



شكل 4-3 القوى الكهرومغناطيسية

تصنف المحركات الكهربائية تبعاً لمصدر التغذية، فهناك محركات تعمل بالتيار المستمر ومحركات تعمل بالتيار المتردد (المتناوب)، ومنها أحادية الوجه (الطور) تستعمل تياراً كهربائياً أحادي الطور Single phase وثلاثية الأطوار Three Phase وتمتاز الأخيرة بذاتية الحركة وعزم بدء كبير في حين تحتاج المحركات من النوع الأول إلى وسيلة لبدء حركتها، وتستعمل في التطبيقات الصغيرة بينما تستعمل محركات ثلاثية الأطوار في الأحمال الكبيرة.

أ) محركات التيار المستمر

المصدر الشائع لقدرة المحرك هو التيار المستمر "من البطارية ". ولأن التيار المستمر يسير باتجاه واحد، فإن محركات التيار المستمر تعتمد على مبدلات ذات حلقات مشقوقة لتعكس اتجاه سريان التيار، وهناك ثلاثة أنواع رئيسة من محركات التيار المستمر وهي: محركات توالي، توازي، ومُركبة. والاختلاف الرئيس فيما بينها هو في ترتيب الدائرة بين الجزء الثابت والجزء الدوار.

(1) محركات التوالي: يتصل كل من ملفات الجزء الدوار وملفات الجزء الثابت كهربائياً على التوالي، ويسري التيار في محركات التوالي خلال ملفات (المغنطة) للجزء الثابت ومن ثم ملفات الجزء الدوار. وعندما يسري التيار بهذا الترتيب يزيد من قوة المغانط وتبدأ محركات التوالي العمل سريعاً، حتى وإن كانت تعمل على حمل ثقيل على الرغم من أن هذا الحمل سيقلل من سرعة المحرك.

(2) محركات التوازي: يُوصَّل كل من الجزء الدوار والثابت كهربائياً على التوازي. ويسري جزء من التيار خلال المغناطيس بينما يسري الجزء الآخر خلال الجزء الدوار، ويلف سلك رفيع حول مغناطيس المجال عدة مرات من أجل زيادة المغناطيسية. وينشئ المجال المغناطيسي بهذه الطريقة مقاومة للتيار، وتعتمد قوة التيار ودرجة المغناطيسية تبعاً لذلك على مقاومة السلك بدلاً من حمل المحرك.

ويعمل محرك التوازي بسرعة ثابتة بغض النظر عن الحمل، ولكن إذا كان الحمل كبيراً جداً تحدث مشاكل للمحرك عند بدء التشغيل.

(3) المحركات المركبة: للمحرك المُرَكَّب مجالان مغناطيسيان متصلان بالجزء الدوار، أحدهما على التوالي والآخر على التوازي، وللمحركات المركبة مميزات كلٌ من محرك التوالي ومحرك التوازي، إذ يسهل بدء تشغيلها مع حمل كبير وتحافظ على سرعة ثابتة نسبياً حتى ولو زاد الحمل فجأة.

ب) محركات التيار المتردد (المتناوب)

لا تحتوي معظم محركات التيار المتردد على مبدلات، لأن التيار يعكس نفسه تلقائياً. وفي بعض تلك المحركات، يسري التيار القادم من المصدر الخارجي إلى الأجزاء المتحركة من المحرك وبالعكس، عبر مجموعة من الفرش تعمل متصلة بحلقات انزلاق بدلاً من حلقات منفصلة. وتستقبل معظم هذه المحركات القدرة من مخارج الكهرباء. ويعكس التيار اتجاه سريانه تلقائياً. ويسمى الموصل الدوار في محرك التيار المتناوب عادة بالجزء الدوار. أما الجزء الساكن (الثابت) الذي يشمل على مغناطيس المجال وملفات المجال فيشار له أحياناً باسم الجزء الساكن.

3-3-1-4 نظرية عمل محركات التيار المتردد

يعتمد عمل محركات التيار المتردد على التفاعل المتبادل بين مجالين مغناطيسيين متعاكسين، أحدهما في عضو ثابت والآخر في عضو حر الحركة مما يسفر عنه دوران هذا الجزء. ويتولد مجال الجزء الثابت نتيجة لمرور تيار متردد في ملفاته بطريقة تجعل أقطاب هذه الملفات متغيرة ويسمى بالمجال الدوار (Rotating field)، أما المجال الآخر المعاكس فيتولد إما بالحث المغناطيسي في ملفات الجزء الدوار، أو نتيجة لمرور تيار مستمر في ملفاته يغذى من مصدر تيار خارجي .

محركات التيار المتناوب سهلة الصنع، ومريحة في الاستعمال ولا تحتاج إلى مبدلات، وتشمل معظم محركات التيار المتناوب الشائعة محركات حثية ومحركات متزامنة.

1) المحركات الحثية

يتكون العضو الدوار في المحرك الحثي من قلب حديدي أسطواني به فتحات في جانبه الطولي. وتثبت قضبان من النحاس في هذه الفتحات وتُربط بحلقة نحاسية سميكة في كل طرف، ولا يتصل الجزء الدوّار بمصدر التيارالكهربائي، بل يسري التيار المتناوب حول ملفات المجال في الجزء الثابت ويولد مجالاً مغناطيسياً دواراً، ويولد بالحث مجال مغناطيسي في الجزء الدوار مما ينتج عنه مجال مغناطيسي آخر. ويتفاعل المجال المغناطيسي الناشئ من الجزء الدوار مع المجال المغناطيسي الآتي من الجزء الساكن، مسبباً حركة الجزء الدوار.

2) المحركات المتزامنة

يولِّدُ الجزء الساكن في المحرك التزامني مجالاً مغناطيسياً دواراً. ولكن الجزء الدوار يستقبل التيار مباشرة من مصدرالتيار الكهربائي الخارجي (متردد) بدلاً من اعتماده على المجال المغناطيسي الناشئ من الجزء الساكن لتوليد تيار كهربائي. ويتحرك العضو الدوار بسرعة ثابتة متزامنة مع المجال الدوار للجزء الساكن. وتتناسب السرعة مع التردد الذي ينعكس به التيار المتناوب الناشئ من الجزء الساكن. وإذ إن التردد ثابت دائماً فإن المحركات التزامنية، مثلها مثل محركات التيار المركبة، لها سرعة ثابتة حتى في وجود حمل متغير، وتستهلك تلك المحركات أيضاً طاقة أقل، وتُعد مثالية للأجهزة التي تتطلب توقيتا دقيقاً ودوراناً هادئاً.

4-3-1-4 المحركات العامة Universal Engines

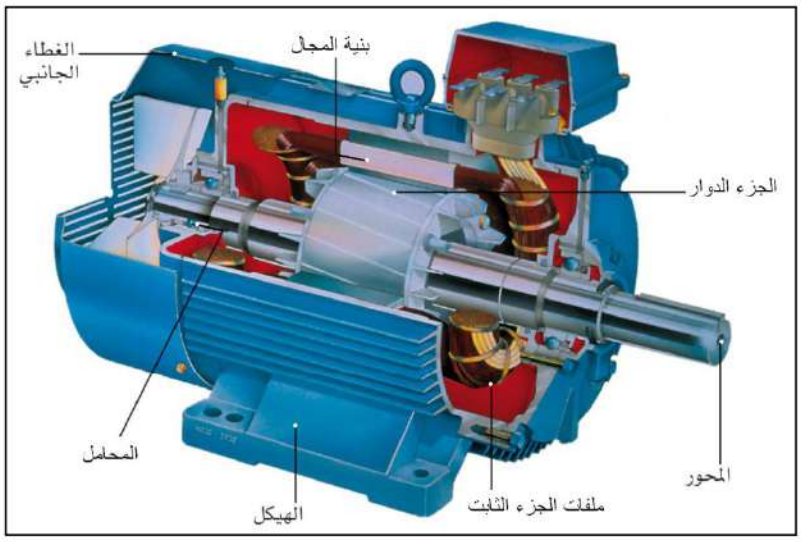
تصنع المحركات العامة بحيث تعمل إما على التيار المستمر وإما على التيار المتناوب، ويستعمل المحرّك العام المُبدِّل ويشبه تكوينه الأساس تصميم محرك التوالي ذي التيار المستمر. ففي حالة التيار المستمر، تعمل وكأنّها محرك تيار مستمر على التوالي. وإذا استعمل التيار المتناوب تنعكس الأقطاب المغناطيسية للجزء الدوار ولملفات المجال مع انعكاس تردد التيار مثال على ذلك المحركات الكهربائية المستعملة لإدارة بعض الأحزمة الناقلة في خطوط التجميع.

4-3-1-5 محركات أحادية الوجه

تعّد هذه المحركات مصدر القوة الرئيس لأغلب عناصر الخطوط الإنتاجية البسيطة نظراً لعدم حاجتها إلى وسيلة لبدء حركتها، وعندما تصل سرعتها المقررة فإنها تعمل تماماً كالمحركات ثلاثية الأوجه، إذ أن الطبيعة المتغيرة للتيار المتردد تغير من قطبية الملفات في الدورة الواحدة وفيما يأتي شرح مبسط لهذه الأنواع:

أ) محرك ذو ملف بدء الحركة عالي المقاومة

يُعدَ هذا النوع من أقدم محركات الوجه الواحد، جزءه الدوار من النوع القفصي إذ يحتوي على مجموعة من القضبان النحاسية تشبه القفص متصلة مع بعضها البعض من الطرفين بواسطة حلقتين من النحاس وتتخذ تلك القضبان مكانها في جسم الجزء الدوار الذي يصنع من رقائق الحديد المطاوع المجمعة مع بعضها البعض لتأخذ شكلاً أسطوانياً فيه مجاري طولية توضع بها تلك القضبان، ويأخذ الجزء الدوار مكانه داخل الجزء الثابت بحيث يفصل بينهما خلوص صغير يسمح بالدوران الحر، أما الجزء الثابت فيتكون من ملفين أحدهما رئيس والآخر لبدء الحركة، إذ تصنع الملفات الرئيسة من سلك سميك له مقاومة صغيرة بينما يصنع ملف البدء من سلك رفيع عالي المقاومة مما يؤدي لحدوث اختلاف في زاويتي وجهي التيار في الملفين فينتج عن ذلك ما يشبه المجال الدوار الذي يساعد على بدء حركة الجزء الدوار، وعندما تصل سرعة المحرك إلى 75% من سرعة الحمل الكامل يقوم مفتاح مرحلة بدء الحركة بفصل ملف البدء من دائرة الجزء الدوار فتزداد سرعته ويُعد هذا النوع العام للمحركات، كما هو مبين في الشكل (4- 4).



شكل 4- 4 الجزء الثابت والجزء الدوار في المحرك الكهربائي

ب) المحرك ذو مكثف بدء الحركة

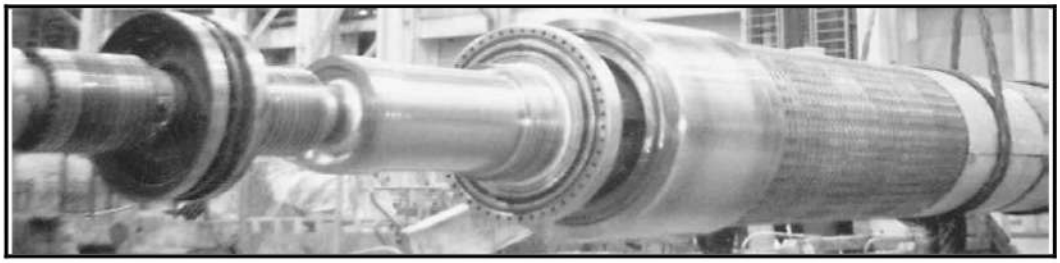
يستعمل في هذا النوع من المحركات مكثف، الشكل(4-5)، لزيادة عزم المحرك في بداية التشغيل ويركب في دائرة الجزء الدوار وعادة ما يكون هذا المكثف من النوع الكيمياوي ويتم فصله من الدائرة بعد وصول سرعة المحرك إلى 75% من سرعة الحمل الكامل بفعل مفتاح طرد مركزي أو مُرحّل (Relay).

شكل 4-5 أجزاء محرك كهربائي ذو مكثف

هناك أنواع أخرى كثيرة من المحركات أحادية الطور أو ثلاثية الأطوار لا مجال للتوسع في عرضها في هذه المرحلة.

2-4 أعمدة الإدارة (محاورالدوران) Drive Shafts (Axles)

ظهر تعبير عمود أو محور الدوران في منتصف القرن التاسع عشر، للإشارة إلى محور يقاد من حزام ليدور ماكينة ويرتبط به قطار تروس لتشغيل آلية معينة ومن ثم شاع استعمال التعبير ليشمل أعمدة الدوران الرئيسة في القاطرات، وفي نهاية القرن التاسع عشر استعمل تعبير عمود الإدارة للإشارة إلى المحور الذي يربط بين المحور القلاب (عمودالمرفق) وبين المحور الخلفي وفي بداية القرن العشرين صار عمود الدوران يطلق على المحور الذي يقوده ترس من خلال مفصل للربط في السيارة المشتغلة بالبخار. وتحمل الأعمدة والمحاور أجزاء الماكينات المختلفة مثل التروس – بكرات الأحزمة – الأقراص الاحتكاكية، وغيرها المثبتة بها أو التي تدور عليها تبعاً لحركة الأعمدة والمحاور لتنقل القوى من جزء إلى آخر، وللأعمدة والمحاور استعمالات وتطبيقات عديدة ويبين الشكل (4-6) عمود إدارة متصل بالجزء الدوار لمولد كهربائي.



شكل 4-6 عمود دوران لمولد كهربائي في محطة توليد

1-2-4 المواد المستعملة لصنع الأعمدة ومحاورالدوران

تصنع أعمدة ومحاور ماكينات الإنتاج ومكائن الاحتراق الداخلي والآلات ذات القدرات الكبيرة من مواد تتميز بمواصفات معينة مثل المتانة ومقاومة الكِلال العاليتين وكذلك تقبلها للمعاملات الحرارية بهدف زيادة مقاومة التآكل الناتج عن الاحتكاك، فضلاً عن قابليتها الجيدة بتصنيعها بطريقة التشغيل. ويتوقف اختيار المواد التي تصنع منها الأجزاء الميكانيكية المختلفة على مدى تحمل هذه المواد للاجهادات المختلفة. لذلك يستعمل الصلب الكربوني (الفولاذ) في صنع الأعمدة والمحاور، إذ يتميز بقابليته الجيدة للتشغيل فضلاً عن إجراء المعاملات الحرارية اللازمة له لإعطائه خواص ميكانيكية وصلادة عالية، كما يستعمل الصلب السبائكي في صنع الأعمدة والمحاور ذات التحميل العالي والذي يجري معاملته بمختلف أنواع المعاملات الحرارية، كما تصنع المحاورالقلابة (الأعمدة المرفقية) من صلب المطروقات أو المسبوكات وكذلك من حديد الزهر العالي المتانة، وتتميز هذه المواد بالمتانة الكافية والمقدرة العالية على إخماد الاهتزازات.

2-2-4 الأشكال التصميمية للأعمدة والمحاور

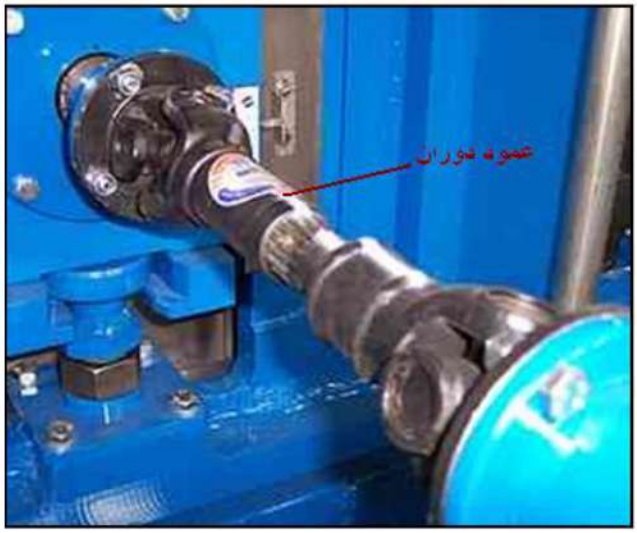
تتخذ الأشكال التصميمية للأعمدة والمحاور من واقع الغرض من هذه الأجزاء وظروف تجميع الوحدة، وتختلف تسمية كل منهما بحسب وظيفة العمل القائم به ونوعه، وتصمم الأعمدة والمحاور في العادة بصورة قضبان ذات مقطع دائري بأقطار متدرجة مختلفة، وأبسط الأعمدة والمحاور هي التي تصنع بصورة قضبان أسطوانية ذات قطر واحد والتي تُعد من الأمور النادرة، إذ تزداد صعوبة تثبيت الأجزاء المركبة عليها، كما تجعل عمليات فكّ وتجميع الوحدة أكثر تعقيداً، وتنقسم الأعمدة من حيث الشكل والتصميم لتناسب نقل القدرة (الحركة) لجميع المتطلبات إلى ما يأتي:

1- **أعمدة أسطوانية Cylindrical Shafts:** يُعّد العمود الأسطواني المستقيم من أبسط أنواع الأعمدة ولكن إنتاجه من الأمور النادرة إذ يزيد من صعوبة تثبيت الأجزاء المركبة عليه، كما تجعل عمليات الفك والتركيب أكثر تعقيداً لعدم احتوائه على زوايا وتخصرات تثبيت أو أخاديد كما موجود في الأنواع الأخرى.
2- **محاور بتدريجات مخروطية Conical Graded Shafts:** تكون الأعمدة ذات أقطار أو تدريجات مخروطية تستعمل لتطبيقات معينة كمحور لبعض آلات التشغيل (كمحاور دوران المخارط)، تمتاز هذه المحاور بسهولة تثبيت الأجزاء المركبة عليها.
3- **محاور بأقطار متدرجة Graded Diameters Shafts:** تتيح تلك الأقطار المتدرجة بامكانية تثبت الركائز والتروس المختلفة على تلك الأقطار.
4- **المحاورالقلابة والأعمدة المرفقية Crank Shafts:** هي محاور تحمل مجموعة أقطار غير مركزية أي بمحاور مختلفة تقع حول المحور الأساس، ويعّد المحور القلاب أوعمود المرفق أحد أنواع محاور الدوران. ويستعمل عمود المرفق في جميع محركات الاحتراق الداخلي والمكابس الترددية لتحويل الحركة المستقيمة الترددية إلى حركة دورانية أو بالعكس.
5- **عمود الحدبات Cam Shaft:** عمود أسطواني موجود به مجموعة حدبات (كامات) بيضاوية الشكل بعدة مواضع باتجاهات مختلفة. تصنع الأعمدة ذات الحدبات من الصلب العالي الجودة بدقة فائقة، صممت لاستعمالها لتحويل الحركة الدورانية إلى حركة مستقيمة ترددية، وتستعمل بجميع آلات الاحتراق الداخلي للتحكم في حركة فتح وغلق الصمامات.
6- **الأعمدة المتداخلة:** وتسمى أيضاً بالأعمدة التلسكوبية، وتركب بأوضاع مائلة قابلة للحركة، تستعمل الأعمدة المتداخلة لنقل الحركة بين الأجزاء التي تقع محاور دورانها في أوضاع منحرفة، كما تستعمل في الحالات التي تتغير فيها المواضع النسبية بين هذه المحاور في أثناء عمليات التشغيل.
7- **المحاورذات الاخاديد Splined Shafts:** وتدعى أيضاً بالأعمدة المسننة وهي عبارة عن محور أسطواني محفور على سطحه الخارجي عدة أخاديد طولية تعمل بمثابة مجاري خوابير لنقل عزم الدوران بعد تعشيقها مع جزء آخر مقابل لها، ذو أخاديد من الداخل بنفس الشكل.

3-2-4 آلية الحركة للأعمدة ومحاور الدوران

تستعمل أعمدة الإدارة في كثير من التطبيقات وأهمها نقل القدرة على شكل عزم دوراني، وتتنوع أشكال وأحجام (أقطار وأطوال) تلك الأعمدة بحسب التطبيق المطلوب، فإما أن تكون تلك الأعمدة محاور للحركة تثبت عليها الأجزاء الدوارة أو تقوم بنقل القدرة بين مجموعة الأجزاء الميكانيكية كأن تكون من صندوق التروس إلى الوحدات الإنتاجية في خطوط الإنتاج أو التجميع الرئيسة التي تتطلب مقداراً معيناً من قدرة المحرك وعلى مسافة معينة من هذا المحرك.

وأحياناً ما يكون عمود الإدارة طويلاً ويحتاج في الغالب إلى وجود دعامات في أرضية المعمل من أجل تثبيته بإحكام كي لا تتولد اهتزازات ناتجة عن سوء تمركزه ومن ثم تؤدي إلى فشل أو تحطيم أجزاء الوحدة الإنتاجية أو الماكينات المجاورة لها. وتتكون المساند (Supports) من كراسي تحميل (Bearings) تصمم بحسب الحالة الميكانيكية، وفي أحيان أخرى يتكون العمود من قطعتين أو أكثر في حالة كونه طويل نسبياً أو عدم وقوع الحمل على استقامة مع مصدر الحركة، وكما هو مبين في الشكل (4-7).



شكل 4-7 عمود دوران بنهايات مفصلية

4-2-4 الأعمدة والمحاور المجوفة

تنتج الأعمدة والمحاور لتكون مصمتة أو مجوفة. وقد لجأت المصانع أخيراً إلى إنتاج الأعمدة والمحاور المجوفة التي انتشر استعمالها في شتى المجالات الهندسية، وأقرب مثال هو استعمال الأعمدة المجوفة بآلات التشغيل مثل مكائن التفريز ومكائن الخراطة، وللأعمدة المجوفة العديد من الفوائد منها:-

1. التقليل الملموس في الكتلة، مع الاحتفاظ بنفس ظروف العمل.
2. انزلاق الأجزاء المختلفة للآلة من خلال مرور الزيت بتجويف الأعمدة والمحاور.
3. تثبيت أجهزة التحكم الدقيق داخل تجويف الأعمدة والمحاور وخاصة في آلات التشغيل الآلية.
4. إمكانية تثبيت القطع الطويلة المراد تشغيلها، كما هو الحال في أعمدة دوران مكائن الخراطة.

4-2-5 مرتكزات المحاور والأعمدة Shaft Journals

مرتكزات المحاور والأعمدة وتسمى أيضاً (كراسي الأعمدة) تمثل مواضع تحميل المحاور والأعمدة، تختلف المرتكزات من حيث أشكالها وأوضاعها واستخداماتها، ويمكن تمييز بعضها البعض من موضعها على الأعمدة (في الأطراف أو الوسط) أو من خلال اتجاه القوى المؤثرة فيها، إذ توجد المرتكزات المرفقية والمخروطية والكروية وذات الحلقات وغيرها كل مصمم لحالة اسناد محددة.

4-3 الأحزمة الناقلة (السيور) Converting Belts

الأحزمة وسيلة تستعمل لنقل وعكس الحركة الدورانية من عمود لآخر يبعد عنه بمسافة كبيرة نسبياً، حينما لا يُحَتم الأمر المحافظة على نسبة نقل حركة دقيقة بينهما، ويمكن بواسطة الأحزمة نقل الحركة بالسرعة نفسها أو بسرعات مختلفة باستعمال بكرات بسيطة، أو بكرات مدرجة تثبت بين المحاور المتوازية والمتقاطعة والمتعامدة، ويكون الحزام على شكل حلقة مغلقة مصنوع من مادة مرنة تستعمل لربط اثنين أو أكثر من محاور الدوران (والتي لا يشترط أن تكون على استقامة) بطريقة ميكانيكية سلسة وبدون ضوضاء، لنقل الحركة الدورانية والقدرة بين محاور الدوران بواسطة البكرات (Pulleys) المثبتة على تلك المحاور وتدور معها، ويتم النقل "بكفاءة" من مصدر الحركة، بالتفافها على بكرات تدورها بالاتجاه نفسه أو بعكسه، وبعدد دورات (سرعات) مختلفة تعتمد على قطر تلك البكرات ومعامل الاحتكاك بين الحزام وسطح البكرة، الشكل (4-8).

شكل 4-8 التفاف الحزام الناقل حول البكرات

ويعتمد مقدار القدرة المنقولة على العوامل الآتية:

1. سرعة الحزام.
2. مقدار الشد الموضوع به الحزام على البكرة.
3. قوس التماس بين الحزام والبكرة الصغيرة.
4. الظروف التي يستعمل بها الحزام.

4-3-1 أنواع الأحزمة ومواصفاتها Belts Types & Specification

تستعمل البكرات المتعددة الأشكال والأحزمة المختلفة التي تناسبها على وفق المسافات بين محاور البكرات، وقوى الشد وعزوم اللَّيِّ المنقولة، ويمكن تقسيم الأحزمة بحسب الشكل الهندسي لمقاطعها إلى أربعة أقسام، كما مبين في الشكل (4-9)، وهي:

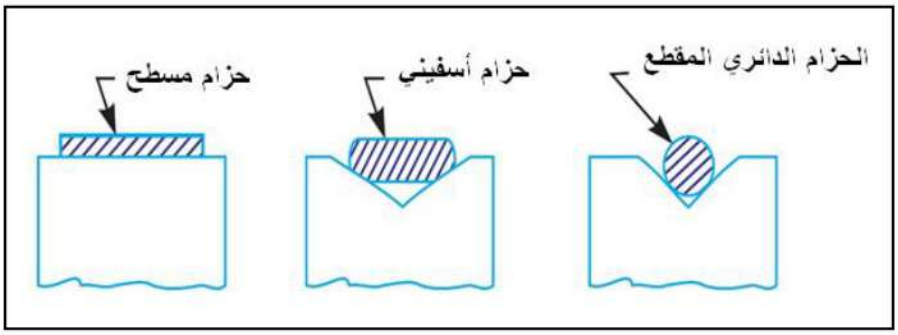
1. **الحزام المسطح Flat belts:** قطاع الحزام المسطح على شكل مستطيل وينتج من مواد مختلفة لتتناسب والقدرات المختلفة لنقل الحركة الدورانية ولمسافات طويلة نسبياً. وأنواع الأحزمة المسطحة هي كالآتي :

أ- الأحزمة الجلدية: تعَدّ من أجود أنواع الأحزمة، ولها مقدرة على الشدّ.

ب- الأحزمة شبه مطاطية: تصنع من عدة طبقات، الطبقة الاحتكاكية تصنع من جلد مدبوغ بالكروم، أو من أنسجة من الأقمشة المكسوة بكلوريد الفينيل مما يتيح التصاق الحزام جيداً على البكرة، وتخفيض الانزلاق إلى حد كبير، أما الطبقة الوسطى فإنها تصنع من النايلون على شكل عدة أشرطة متلاصقة فوق بعضها البعض أو متجاورة، أو تصنع من خيوط مجدولة من البوليستر مما يزيد من متانة الحزام ويميزه بتحمله قوة شد عالية، وقابلية جيدة للثني.

ج- الأحزمة المصنوعة من الأقمشة القطنية والصوفية: تتميز هذه الأحزمة بنقل الحركة الهادئة بدون ارتجاجات، ومن ثم فإنها تفضل لإدارة المخارط الدقيقة، ومحاوردوران ماكينات التجليخ الداخلي.

2. **الحزام المستدير The Rop Belt :** يكون مقطعه دائرياً وهو قليل الاستعمال لكثرة انزلاقه، ويستعمل في نقل العزوم المنخفضة كما هو الحال بمكنات الخياطة.
3. **الحزام الإسفيني المقطع V- belts :** يكون مقطعه على شكل شبه منحرف ويحتاج إلى بكرات متخندقة بشكل إسفيني وهو شائع الاستعمال في المصانع والماكينات لقلة حدوث الانزلاق فيه، ويسمى أيضا بالحزام حرف (V)، زاويته مقدارها (32 – 36) درجة. ينتج بشكل مغلق بدون وصلات أو لحام،ويستمد الحزام متانته من مواد تكون بعدة طبقات من النسيج المخيطي المتين المحاط بالمطاط فضلاً عن غلاف شبه مطاطي، إن شكل المقطع يزيد من معامل الاحتكاك لكبر مساحة التماس بين الحزام والبكرة.

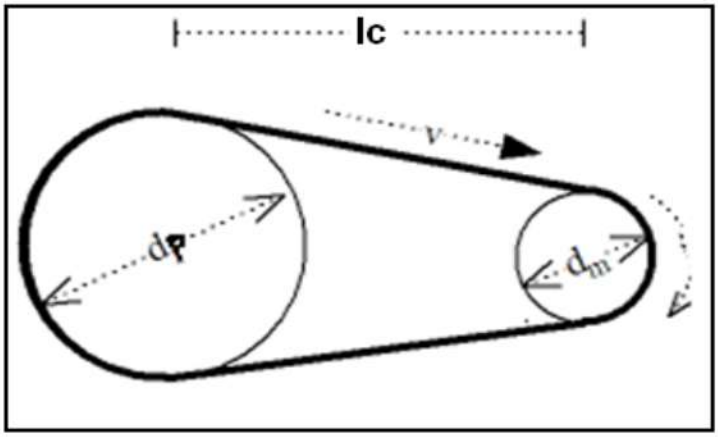


شكل 4-9 الأنواع الثلاثة للأحزمة الناقلة

4-3-2 مواصفات وحسابات الأحزمة

على الرغم من كونها رخيصة وبسيطة فإنها تساعد على حماية الماكينات من الحمل الزائد والتعطل وتقلل من الاهتزازات، ويمكن فصلها وتركيبها بسهولة، تتحدد مواصفات الحزام بالمادة المصنع منها، الطول، الشكل، ومساحة المقطع إضافة لحجم السن (في الأحزمة المسننة)، ولا تحتاج صيانة معقدة ويمكن أن تعمل في درجات حرارة تتراوح بين الصفر المئوي و 85 درجة سيليزية. فضلاًعن أن هذا النوع من وسائل نقل الحركة يتسم بالمرونة وبقلة الضوضاء الناجمة عن دورانها وتمنع زيادة الحمل أكثر من الحد المسموح به نظراً لحدوث الانزلاق وكذلك فإن تصليح الأجزاء المتكاملة من هذه الوسائل لا يكلف كثيراً ويتم بسهولة.

ويمكن حساب طول الحزام بالمعادلة الآتية وحسب الاختصارات المبينة بالشكل (4-10).



شكل 4-10 مختصرات لتمثيل الحزام

$$L_b = ((d_p + d_m)\ 1.5708\ ) + (2\ l_c\ )$$

إذ أن:

L_b : طول الحزام (ملم، إنج)

d_p : قطر البكرة المقادة (ملم، إنج)

d_m : قطر بكرة المحرك (ملم، إنج)

l_c : المسافة بين مركزي البكرتين (ملم، إنج)

ولحساب السرعة الخطية للحزام نستعين بالمعادلة الآتية:

$$V = \pi \, d_m \, n_m / 2400$$

إذ إن:

V : السرعة الخطية للحزام (م/ثا)

n_m : سرعة المحرك (دورة/دقيقة)

المحرك الكهربائي الذي يدير آلة تشغيل يعمل بسرعة أكبر بكثير مما تلزم متطلباتها، (لأسباب تتعلق بقواعد علم الكهرباء)، لهذا السبب يوضع بين المحرك والآلة جهاز لنقل الحركة بالأحزمة وظيفته تخفيض السرعة، وتسمى نسبة نقل الحركة بينهما هي نسبة تخفيض السرعة. كما يمكن انتقال الحركة بين الأعمدة المختلفة بتساوٍ أو بزيادة السرعة، فإذا تساوى قطر البكرة القائدة مع قطر البكرة المنقادة فإن السرعة المنقولة بينهما تكون متساوية أي بنسبة 1:1.

يمكن التعبير عن سرعة نقل الحركة بارتفاع أو انخفاض السرعة بين العمود القائد والعمود المنقاد، علماً بأنه قد يحدث انخفاض طفيف في سرعة البكرة المنقادة بسبب انزلاق الحزام.

ويعبر عن نسبة السرعة Velocity Ratio عند نقل حركة دائرية من بكرة قائدة Driver وبكرة منقادة Driven، الشكل (4-11)، من العلاقة الآتية :

مع إهمال سمك الحزام $V_r = N_1/N_2 = d_2/$

إذ ان:

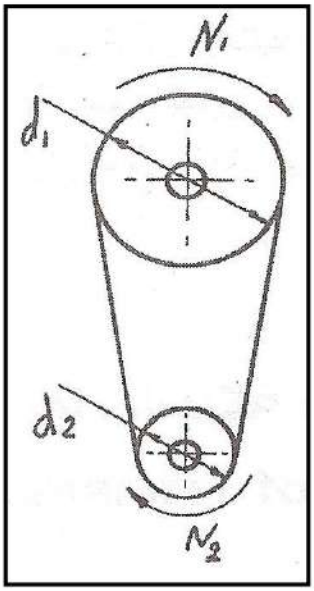
V_r نسبة السرعة أو نسبة نقل التخفيض

N_1 عدد دورات البكرة القائدة في الدقيقة (r.p.m)

N_2 عدد دورا ت البكرة المنقادة في الدقيقة (r.p.m)

d_1 قطر البكرة القائدة بالمليمترات (mm)

d_2 قطر البكرة المنقادة بالمليمترات (mm)



شكل 4-11 نقل حركة بسيطة بالأحزمة

3-3-4 آلية عمل الأحزمة Mechanism of Belts Working

يعتمد مبدأ عمل الأحزمة على الاحتكاك الحاصل بين سطح الحزام وسطح البكرة، تصنع الأحزمة من الجلد أو الألياف أو اللدائن إذ تتراوح كفاءة النقل بحدود 95%، نتيجة حدوث ظاهرة الانزلاق، ويمكن تقليل الانزلاق بواسطة استعمال الأحزمة المسننة أو إضافة بكرة وسيطة لزيادة الشد في الحزام، وفي حالة القدرات الكبيرة تحتاج إلى مساحة مقطع سير كبيرة مما يستعاض عنه بعدد من الأحزمة بمجموعها تقابل المساحة المطلوبة، ويمكن إضافة ألياف من الصُلب أو البولستر لمادة الأحزمة (المطاط) لزيادة متانتها. وتوجد أنواع من تصاميم الأحزمة تستعمل للتطبيقات الخاصة كالأحزمة ذات الأسنان (Timing Belts) المستعملة في نقل الحركة المرتبطة بزمن ثابت لا يسمح بالانزلاق إذ تكون البكرات مسننة أيضاً وكذلك الأحزمة ذات الأخاديد (5-6 أخاديد) التي تقابلها بكرات بنفس الشكل (تحتوي على الأخاديد) لضمان كفاءة أكبر في النقل. ويتم حساب القدرة المنقولة من محرك عن طريق المعادلة الرياضية الآتية:-

$$P\,(kW) = T\,(N.m) \times n_m\,(rpm) \times \frac{(2\pi)}{(60\,sec)} \times \frac{1}{1000\,W}$$

إذ إن:

P : القدرة المنقولة (كيلو واط)

T : عزم المحرك (نيوتن. متر)

π : النسبة الثابتة 3.14

تُصّمم مواصفات كل من الحزام والبكرات تبعاً للقدرة المطلوب نقلها، مع الأخذ بنظر الإعتبار نوع المحرك (كهربائي، احتراق داخلي) وبيئة العمل (زيوت، رطوبة، أتربة) ونوع الحمل (متردد، صدمات، منتظم)، وعند التوصل إلى مساحة المقطع المناسب يتم التفكير في إيجاد عدد الصفوف الأفضل واختيار أقطار البكرات المناسبة للسرعات المنقولة مع التقيد بزاوية التفاف الحزام حول البكرة، التي ربما تكون أقل من 180 درجة والتي توفر فرصة لحدوث الانزلاق، مع الأخذ بنظر الاعتبار الجانب الاقتصادي من حيث المادة المصنعة وعدد الأحزمة.

مثال 4-1

بكرة قطرها 250 mm تنقل الحركة لبكرة قطرها 125 mm، أوجد نسبة السرعة أو نسبة التخفيض.

الحل:

$V_r = d_2/d_1 = 125/250 = 1/2$

∴ نسبة نقل الحركة أو نسبة زيادة السرعة هي : 2:1

مثال 4-2

بكرة قائدة قطرها 250 mm وسرعتها 210 r.p.m وقطر البكرة المنقادة 140 mm أوجد عدد لفات البكرة المنقادة في الدقيقة.

الحل:

$$N_1 \times d_1 = N_2 \times d_2$$

$$N_2 = N_1 \times d_1 / d_2$$

$$= 210 \times 250 / 140 = 375 \text{ r.p.m}$$

مثال 4-3

بكرة منقادة قطرها 140 mm وسرعتها 375 r.p.m وسرعة البكرة القائدة 210 r.p.m ، والمسافة بين البكرتين 260 mm. أوجد قطر البكرة القائدة وطول الحزام.

الحل:

$$N_1 \times d_1 = N_2 \times d_2$$

$$d_1 = N_2 \times d_2 / N_1$$

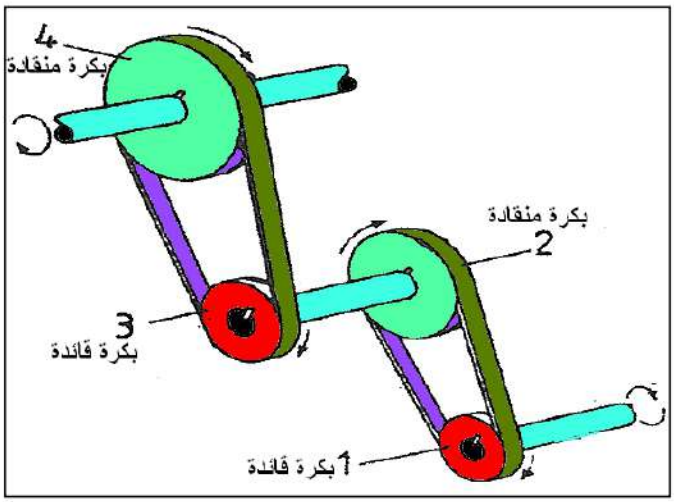
$$= 375 * 140 / 210 = 250\text{mm}$$

$$L_{(\text{طول الحزام})} = ((d_p + d_m)\ 1.5708\ ) + (2\ l_c)$$

$$L=((250+140)\times 1.5708)+(2\times 260)=1132.6 \text{ mm}$$

حسابات نقل الحركة المزدوجة بالأحزمة

تستعمل وسائل نقل الحركة المزدوجة بالأحزمة، الشكل (4-12)، في إدارة معظم الآلات. تحمل البكرات القائدة Drivers أرقاماً فردية، كما تحمل البكرات المنقادة Driven أرقاماً زوجية.



شكل 4-12 وسائل نقل الحركة المزدوجة بالأحزمة

ويعبر عن نسبة السرعة الكلية لنقل الحركة المزدوجة بالأحزمة بالمعادلات التالية:

$$V_r = N_1 \times N_3 / N_2 \times N_4 = d_2 \times d_4 / d_1 \times d_3$$

$$\therefore\ V_r = N_1 / N_4 = d_2 \times d_4 / d_1 \times d_3$$

إذ أن:

V_r النسبة الكلية للسرعة

N_1 عدد لفات البكرة القائدة الأولى في الدقيقة (r.p.m)

N_2 عدد لفات البكرة المنقادة الأولى في الدقيقة (r.p.m)

N_3 عدد لفات البكرة القائدة الثانية في الدقيقة (r.p.m)

N_4 عدد لفات البكرة المنقادة الثانية في الدقيقة (r.p.m)

d_1 قطر البكرة القائدة الأولى بالملليمترات (mm) ويرمز لها برقم 1.

d_2 قطر البكرة المنقادة الأولى بالملليمترات (mm) ويرمز لها برقم 2.

d_3 قطر البكرة القائدة الثانية بالملليمترات (mm) ويرمز لها برقم 3.

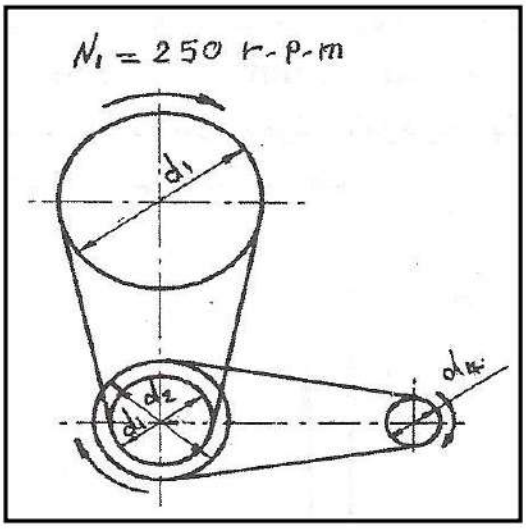
d_4 قطر البكرة المنقادة الثانية بالملليمترات (mm) ويرمز لها برقم 4.

مثال 4-4

وجد بمجموعة نقل مزدوجة بالأحزمة، الشكل (4-13)، أنّ سرعة البكرة القائدة الأولى $N_1 = 250$ r.p.m واقطار البكرات $d_4 = 80mm$، $d_3 = 200mm$، $d_2 = 150mm$، $d_1 = 300mm$. أوجد الآتي:

أ) النسبة الكلية للسرعة (نسبة نقل الحركة المزدوجة بالأحزمة).

ب) سرعة دوران البكرة المنقادة الأخيرة في الدقيقة.



شكل 4-13

الحل:

a) $V_r = d_2 \times d_4 / d_1 \times d_3$

$= 150 \times 80 / 300 \times 200 = 1/5$

النسبة الكلية للسرعة أو نسبة الزيادة في سرعة نقل الحركة المزدوجة بالأحزمة هي : 5:1

b) $V_r = N_1 / N_4$

$1/5 = 250 / N_4$

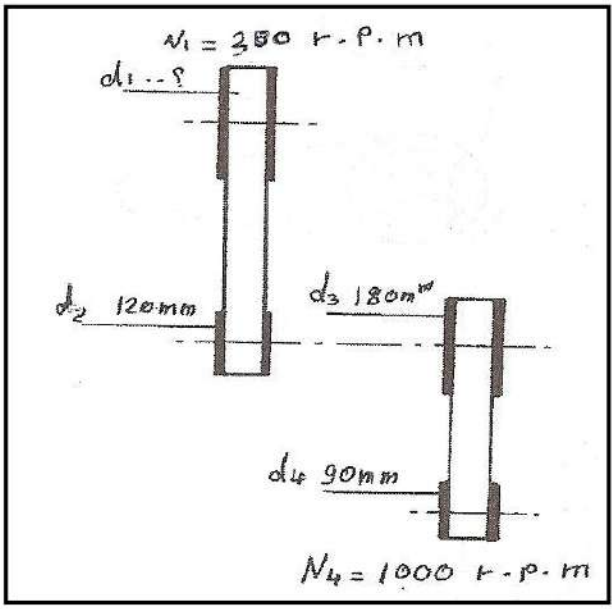
$N_4 = 5 \times 250 = 1250$ r.p.m

مثال 4-5

وجد بمجموعة نقل مزدوجة بوساطة الأحزمة، الشكل (4-14)، ان سرعة البكرة القائدة الأولى N_1 300 r.p.m وسرعة البكرة المنقادة الأخيرة N_4 1000r.p.m وأقطار البكرات d_3 180mm، d_2 120mm، d_4 90mm، أوجد الآتي:

أ) النسبة الكلية للسرعة (نسبة نقل الحركة المزدوجة بالأحزمة).

ب) قطر البكرة القائدة الأولى بالمليمترات.



شكل 4-14

الحل:

a) $V_r = N_1/N_4 = 300 / 1000 = 3/10$

النسبة الكلية للسرعة أو نسبة الزيادة في سرعة نقل الحركة المزدوجة بالأحزمة هي : 10:3

b) $V_r = d_2 \times d_4 / d_1 \times d_3$

$3/10 = 120 \times 90 / d_1 \times 180$

$d_1 = 10 \times 120 \times 90 / 3 \times 180 = 200$ mm

4-4 التروس Gears

الترس أداة نقل الحركة الدائرية والقدرة من جزء في الآلة إلى آخر، ويتكون الترس البسيط من عجلة أو قرص بنتوءات تسمى الأسنان على طول الحافة الخارجية. وتعمل التروس دائماً في ازدواج إذ تتشابك أسنان أحد الترسين مع أسنان الترس الآخر (تتعشق)، ولكل ترس محور في مركزه. ويتصل محور أحد التروس بمصدر للقدرة، كالمحرك الكهربائي، وعندما يدور المحور المتصل بمصدر القدرة يدير معه ترسه الذي يقوم بإدارة الترس الآخر في الاتجاه المعاكس. ويؤدي هذا إلى دوران محور الترس الآخر ليقوم بعمله.

تصنع معظم التروس من الفولاذ، ولكن قد تستعمل مواد أخرى كالبرونز والبلاستيك في صناعتها. وعادةً ما تزيّت التروس بالزيت أو الشحم للحفاظ عليها باردة في أثناء الدوران. وتصمم أسنان التروس بتقوسات خاصة للتقليل من الاحتكاك والتذبذب والضجيج.

1-4-4 أنواع التروس

تصنع التروس بأحجام متعددة، وتتباين استخداماتها، وتتدرج من تروس دقيقة كاللتي تحرك عقارب الساعة إلى تروس كبيرة كاللتي تحرك مروحة الدفع في ناقلات النفط العملاقة، أما أنواع التروس من حيث الشكل فهي:

1 – تروس مستقيمة (عدلة) Spure Gears

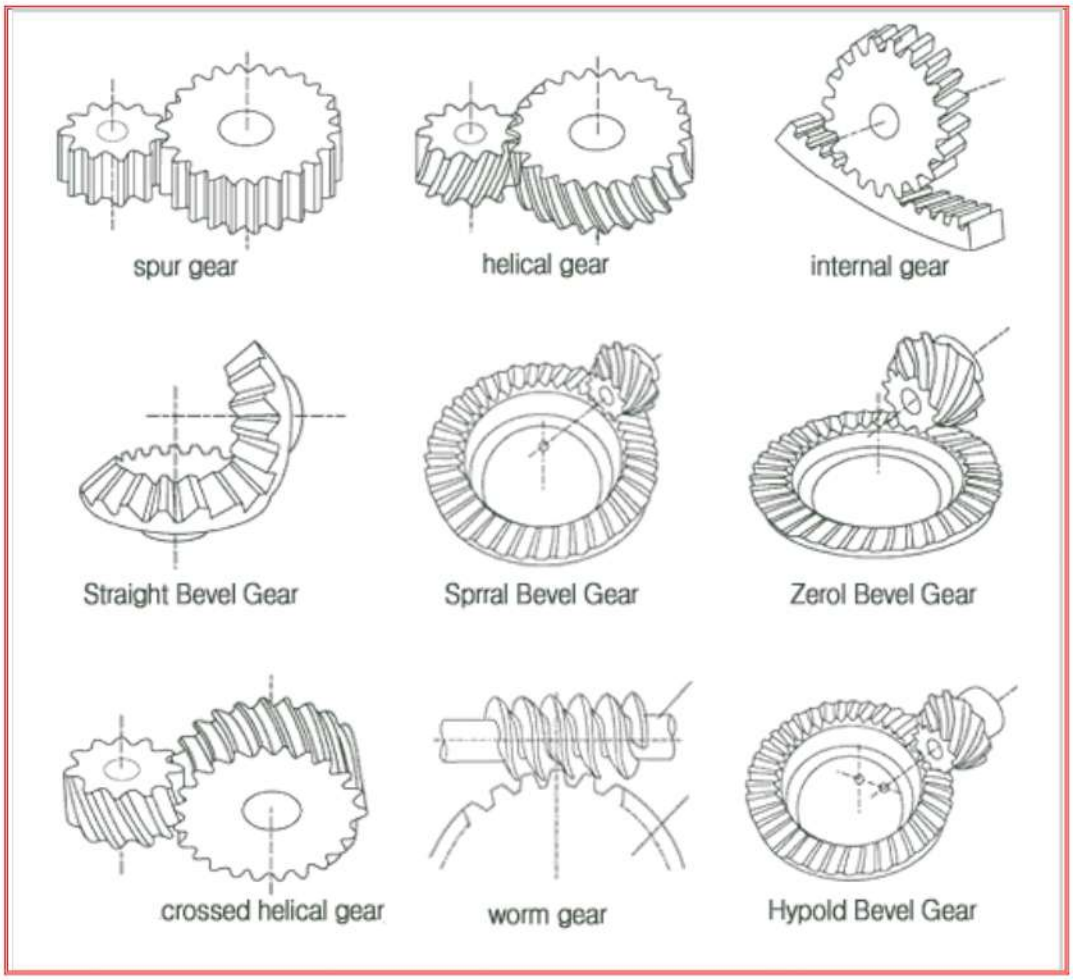
2 – تروس حلزونية (مائلة) Helical Gears

3 - تروس مخروطية Bevel Gears

4- تروس دودية Worm Gears

5- تروس جريدية Racks Gears

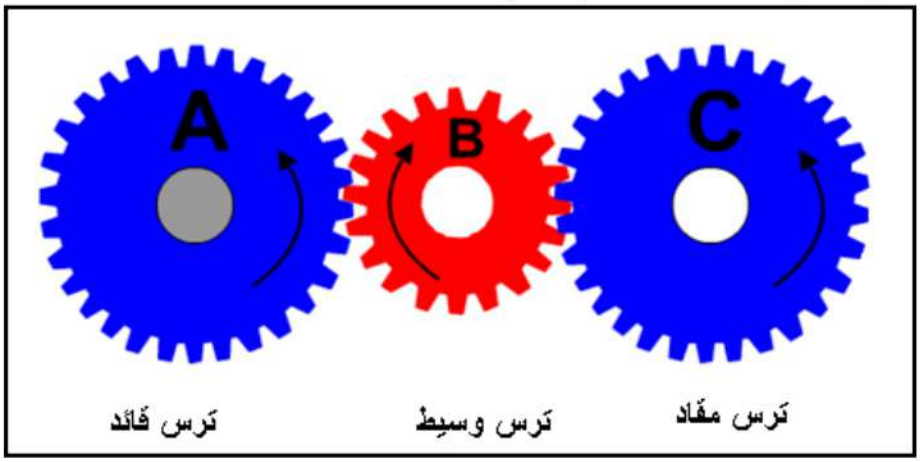
وتصنف التروس كذلك من حيث السرعة إلى تروس: سرعات بطيئة جداً، سرعات بطيئة، سرعات متوسطة وسرعات عالية. وتبين النماذج في الشكل (4-15) مجموعة من التروس الأكثر استخداماً.



شكل 4-15 بعض أنواع التروس

2-4-4 آلية عمل التروس

تستعمل التروس لزيادة أو تخفيض سرعة الدوران والعزوم، فتمكّن أجزاء مختلفة من الآلة من العمل بسرعات وعزوم مختلفة، يكون أحد الترسين في كل زوج من التروس أصغر من الآخر. كذلك يسمى أحد الترسين (بالقائد)، والآخر (المقاد)، ويكون بينهما أحياناً ترس، الغرض منه توحيد اتجاه الدوران، ويسمى بالترس الوسيط أو العاطل، الشكل (4-16).



شكل 4-16 التروس المعشقة

فعلى سبيل المثال، إذا كان عدد أسنان الترس القائد 20 سن والترس المقاد 60 سن فإن النسبة هي 3:1، ويدور الترس الكبير دورة واحدة عندما يدور الترس الصغير 3 دورات، لذلك عندما يدير الترس الصغير الترس الكبير، فإنه يقلل من سرعة الدوران بمقدار الثلثين، ولكنه يضاعف عزم التدوير (Torque) ثلاثة أضعاف. وفي هذه الحالة، يعرف الترس الصغير بأنه ترس التخفيض. وعندما يُدِير الترس الكبير الترس الصغير، فإنه يزيد سرعة الدوران ولكنه يخفض عزم التدوير. وتحدد نسبة عدد الأسنان في الترس الصغير إلى عدد الأسنان في الترس الكبير السرعات النسبية لكل ترس، ومقدار عزم التدوير المنقول من ترس إلى آخر.

والعلاقة الرياضية الآتية تبين كيفية احتساب عدد دورات التروس في أثناء نقل الحركة بالاعتماد على عدد الأسنان:

$$V_r = \frac{T_2}{T_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$T_1 \times N_1 = T_2 \times N_2$$

إذ أن:

V_r نسبة نقل الحركة.

T_1 عدد أسنان الترس القائد.

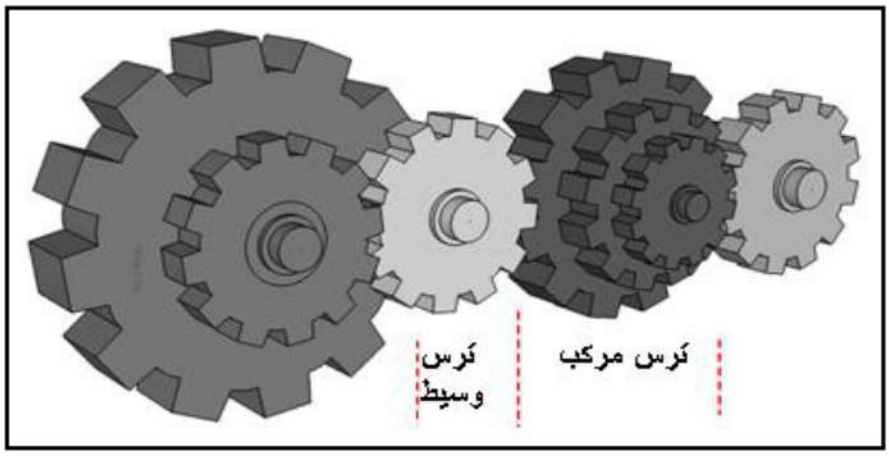
T_2 عدد أسنان الترس المنقاد.

N_1 عدد دورات الترس القائد في الدقيقة (r.p.m).

N_2 عدد دورات الترس المنقاد في الدقيقة (r.p.m).

3-4-4 قطار التروس Gears Train

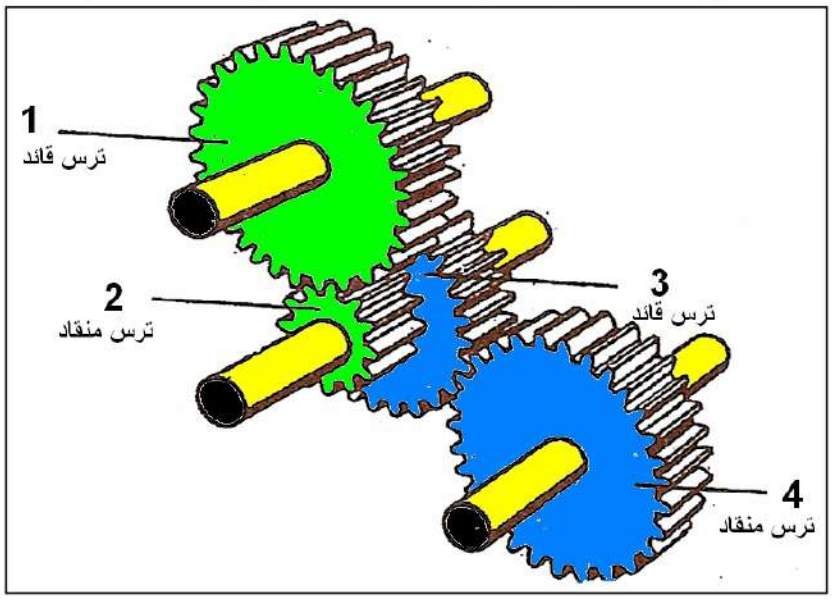
يتكون قطار التروس من ترسين أو أكثر على عدة محاور للحركة مرتبطة مع بعضها بشكل متسلسل ضمن حاوية تسمى صندوق السرعات، الغرض منه لتثبيت أعمدة ومحاور الدوران وتصنع أنواع أخرى من التروس لهذا الغرض تسمى بالتروس المركبة بمختلف الأحجام وعدد الأسنان لغرض الحصول على سرعة وعزم مختلف كناتج نهائي لكل ترس. كما في الشكل (4-17).



شكل 4-17 قطار التروس والتروس المركبة

حسابات نقل الحركة بمجموعة تروس مركبة

عادة ما تستعمل مجموعة تروس مركبة، كما هو موضح في الشكل (4-18) في أكثر أنواع آلات التشغيل والإنتاج. تحمل التروس القائدة أرقاماً فردية، كما تحمل التروس المنقادة أرقاماً زوجية.



شكل 4-18 مجموعة تروس مركبة

تتشابه العلاقة في حالة نقل الحركة بالسيور مع حالة نقل الحركة بالتروس، كما تتشابه معادلات كل منهما، ويمكن الوصول إلى ذلك باستبدال أقطار البكرات بعدد أسنان التروس، ويمكن إيجاد النسبة الكلية لنقل الحركة بمجموعة تروس مركبة من خلال العلاقة التالية:

$$V_r = \frac{T_2 \times T_4}{T_1 \times T_3} = \frac{N_1 \times N_3}{N_2 \times N_4}$$

$$V_r = \frac{N_1}{N_4} = \frac{T_2 \times T_4}{T_1 \times T_3}$$

إذ أن:

V_r النسبة الكلية لنقل الحركة أو نسبة السرعة

T_1 عدد أسنان الترس القائد الأول

T_2 عدد أسنان الترس المنقاد الأول

T_3 عدد أسنان الترس القائد الثاني

T_4 عدد أسنان الترس المنقاد الثاني

N_1 عدد دورات الترس القائد الأول في الدقيقة (r.p.m)

N_2 عدد دورات الترس المنقاد الأول في الدقيقة (r.p.m)

N_3 عدد دورات الترس القائد الثاني في الدقيقة (r.p.m)

N_4 عدد دورات الترس المنقاد الثاني في الدقيقة (r.p.m)

مثال 4-6

صندوق تروس ذو أربعة سرعات، عدد أسنان تروسه كما يلي 25 ،40، 20، 40، 25، 35، 30 و 35 على التوالي، المطلوب حساب نسبة التخفيض لهذا الصندوق.

الحل:-

$$V_r^{st} = \frac{T_2}{T_1} \times \frac{T_4}{T_3} = \frac{40}{25} \times \frac{40}{20} = \frac{3.2}{1}$$

$$V_r^{nd} = \frac{T_2}{T_1} \times \frac{T_6}{T_5} = \frac{40}{25} \times \frac{35}{25} = \frac{2.24}{1}$$

$$V_r^{rd} = \frac{T_2}{T_1} \times \frac{T_8}{T_7} = \frac{40}{25} \times \frac{35}{30} = \frac{1.87}{1}$$

$$V_r^{th} = 1:1$$

مثال 4-7

محرك قدرته 200 حصان عند 4000 دورة /دقيقة ونسبة التخفيض في التروس للسرعات كما في المثال السابق فإذا كان عزم المحرك يساوي (150 نيوتن.متر)، أوجد العزم عند كل سرعة، إذا علمت أن العزم M يتناسب عكسيا مع نسبة التخفيض.

الحل:

$$\frac{M_{out}}{M_{in}} = V_r$$

M1 = 150×(3.2) = 480 (N.m)

M2 = 150× (2.24) = 336 (N.m)

M3 = 150 × (1.87) = 280.5 (N.m)

M4 = 150 × (1) = 150 (N.m)

مثال 4-8

إذا كان عدد أسنان ترس قائد 120 سن وسرعة دورانه 240 r.p.m، وعدد أسنان الترس المنقاد 40 سن. أوجد سرعة دوران الترس المنقاد في الدقيقة.

الحل:

$T_1 \times N_1 = T_2 \times N_2$

$120 \times 240 = 40 \times N_2$

$\therefore N_2 = 120 \times 240 / 40 = 720$ r.p.m

مثال 4-9

إذا كان عدد أسنان ترس قائد 100 سن وعدد أسنان الترس المنقاد 50 سن وسرعته 600r.p.m. أوجد الآتي :

أ) سرعة دوران الترس القائد في الدقيقة.

ب) نسبة السرعة أو نسبة التخفيض.

الحل:

a) $T_1 \times N_1 = T_2 \times N_2$

$100 \times N_1 = 50 \times 600$

$\therefore N_1 = 50 \times 600 / 100 = 300$ r.p.m

b) $V_r = T_2 / T_1 = 50 / 100 = 1/2$

∴ نسبة نقل الحركة أو نسبة زيادة السرعة هي: 2:1

مثال 4-10

إذا كان عدد أسنان ترس قائد 100 سن وسرعة دوران الترس المنقاد 600 r.p.m ونسبة نقل الحركة (نسبة السرعة بينهما) هي 2:1 . أوجد الآتي:

أ) سرعة دوران الترس القائد في الدقيقة.

ب) عدد أسنان الترس المنقاد.

الحل:

a) $V_r = N_1 / N_2$

$1:2 = N_1 / 600$

$1/2 = N_1 / 600$

$\therefore \quad N_1 = 600 \times 1 / 2 = 300$ r.p.m

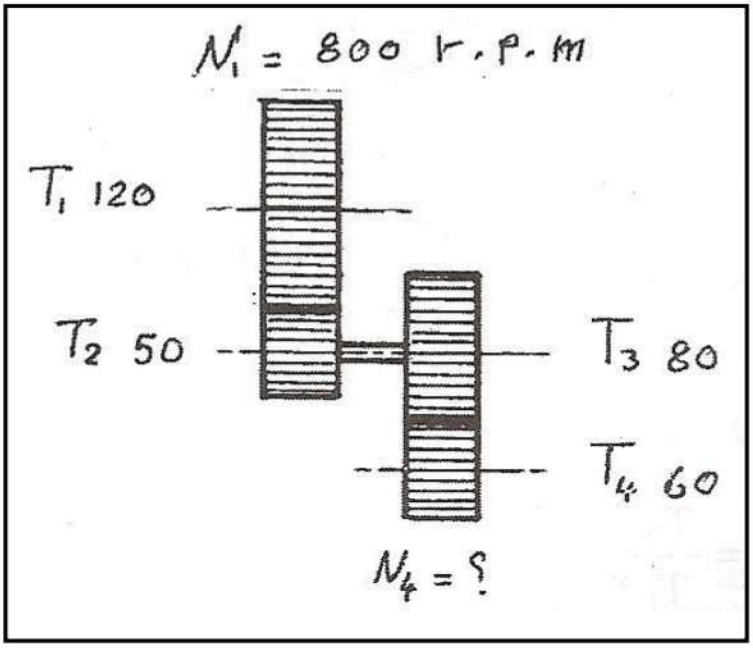
b) $T_1 \times N_1 = T_2 \times N_2$

$100 \times 300 = 600 \times T_2$

$\therefore \quad T_2 = 100 \times 300 / 600 = 50$ teeth

مثال 4-11

في مجموعة تروس مركبة والموضحة في الشكل (4-19)، إذا كان عدد أسنان التروس القائدة (1،3) هي 120 سن، 80 سن. وعدد أسنان التروس المنقادة 2،4 هي 50 سن، 60 سن وسرعة دوران الترس القائد الأول 800r.p.m. أوجد سرعة دوران الترس المنقاد الأخير.



شكل 4-19

الحل:

$N_1 / N_4 = T_2 \times T_4 / T_1 \times T_3$

$800 / N_4 = 50 \times 60 / 120 \times 80$

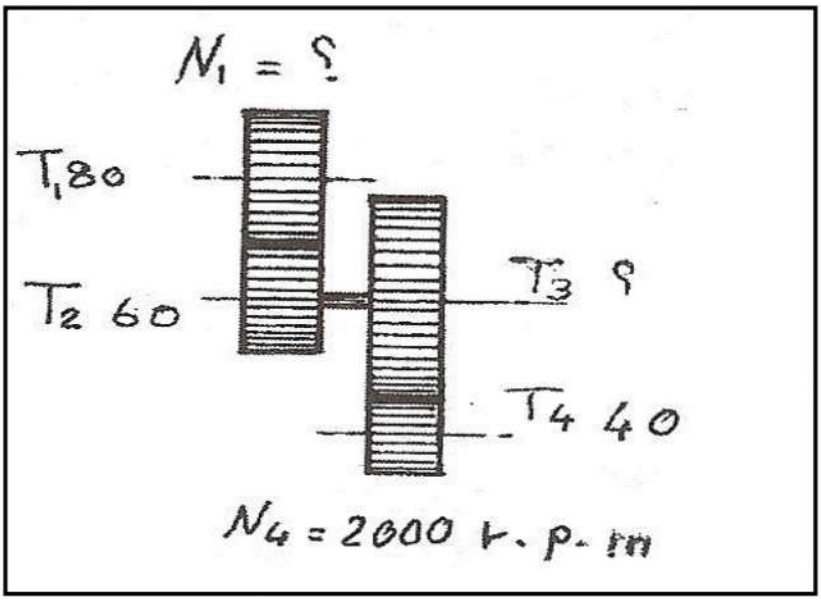
$\therefore \quad N_4 = 800 \times 120 \times 80 / 50 \times 60 = 2560$ r.p.m

مثال 4-12

في مجموعة تروس مركبة والموضحة في الشكل (4-20)، إذا كان عدد أسنان الترس القائد الأول 80 سن. وعدد أسنان التروس المنقادة 2،4 هما 60 سن، 40 سن على التوالي وسرعة دوران الترس المنقاد الأخير 2000r.p.m، والنسبة الكلية للسرعة هي 4:1. أوجد الآتي:

أ) عدد أسنان الترس القائد الثاني.

ب) سرعة دوران الترس القائد الأول.



شكل 4-20

الحل:

a) $V_r = N_1 / N_4 = T_2 \times T_4 / T_1 \times T_3$

$1:4 = 60 \times 40 / 80 \times T_3$

$1/4 = 60 \times 40 / 80 \times T_3$

$\therefore \quad T_3 = 4 \times 60 \times 40 / 1 \times 80 = 120$ teeth

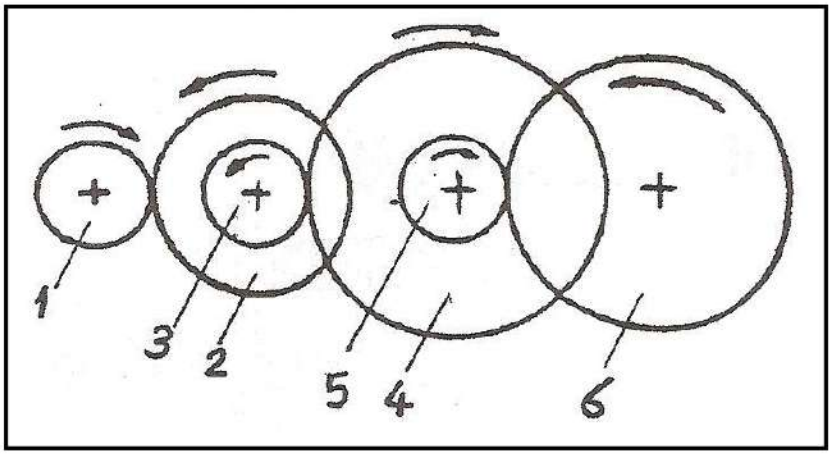
b) $V_r = N_1 / N_4$

$1/4 = N_1 / 2000$

$\therefore \quad N_1 = 2000 \times 1 / 4 = 500$ r.p.m

مثال 4-13

مجموعة تروس مركبة مكونة من 6 تروس، الشكل (4-21)، إذا كانت عدد أسنان التروس القائدة 1،3،5 هي 26، 25، 20 سن على التوالي. وأعداد أسنان التروس المنقادة 2،4،6 هي 50، 75، 65 سن على التوالي وسرعة دوران الترس القائد الأول 975 r.p.m. أوجد سرعة دوران الترس المنقاد الأخير في الدقيقة.



شكل 4-21

الحل :

$$\frac{\text{سرعة الترس الأول}}{\text{سرعة الترس الأخير}} = \frac{\text{حاصل ضرب عدد أسنان التروس المنقادة}}{\text{حاصل ضرب عدد أسنان التروس القائدة}}$$

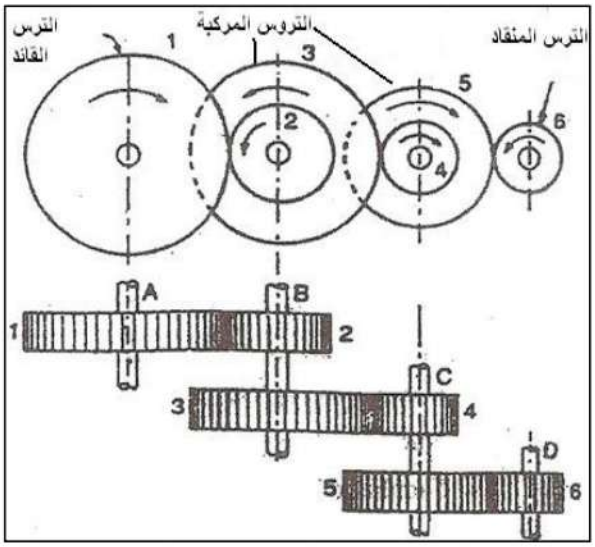
$$N_1 / N_6 = T_2 \times T_4 \times T_6 / T_1 \times T_3 \times T_5$$

$$975 / N_6 = 50 \times 75 \times 65 / 26 \times 25 \times 20$$

$$\therefore \quad N_6 = 975 \times 26 \times 25 \times 20 / 50 \times 75 \times 65 = 52 \text{ r.p.m}$$

مثال 4-14

مجموعة تروس مركبة مكونة من 6 تروس شكل (4-22)، إذا كان عدد أسنان التروس القائدة 1،3،5 هي 75، 70، 60 سن على التوالي، وأعداد أسنان التروس المنقادة 2،6 هما 50، 30 سن على التوالي وسرعة دوران الترس القائد الأول 360 r.p.m وسرعة دوران الترس المنقاد الأخير 2160 r.p.m. أوجد عدد أسنان الترس المنقاد 4.



شكل 4-22

الحل:

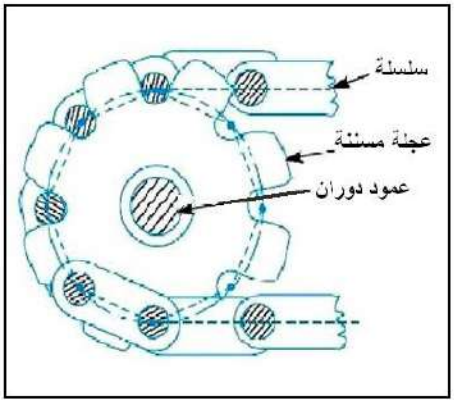
$N_1 / N_6 = T_2 \times T_4 \times T_6 / T_1 \times T_3 \times T_5$

$360 / 2160 = 50 \times T_4 \times 30 / 75 \times 70 \times 60$

$\therefore \quad T_4 = 360 \times 75 \times 70 \times 60 / 2160 \times 50 \times 30 = 35$ teeth

5-4 السلاسل Chains

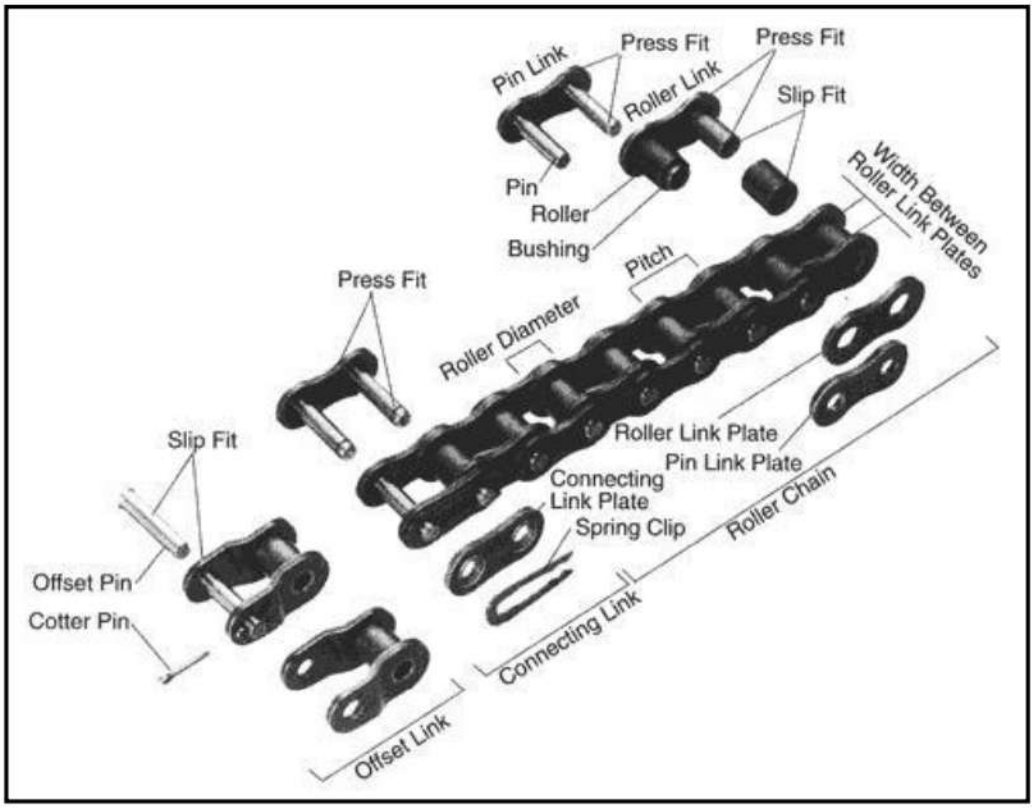
تستعمل السلاسل عند صعوبة نقل الحركة بوساطة الأحزمة، كوجود مواد تمنع استعمالها كالرطوبة والحرارة وبخار الزيت. السلاسل الأسطوانية، الشكل (4-23) هي أكثر أنواع السلاسل استعمالاً في نقل القدرة الميكانيكية في الخطوط الإنتاجية، كما هو في الدراجات الهوائية والبخارية والمعدات الصناعية والزراعية، وذلك لكونها كفوءة وموثوقة وبسيطة. تتكون السلاسل من حلقات متصلة ببعضها البعض مفصلياً. تصمم هذه الحلقات بأشكال مختلفة لتناسب قدرة وسرعة الأجزاء الناقلة للحركة بالآلات، إذ تكون ذات أبعاد ومواد وخواص ميكانيكية بمواصفات قياسية بجودة ودقة عالية. تصنع أجزاء السلاسل من الصلب الكربوني أو الصلب السبائكي الذي سبق أن تعرض للمعاملات الحرارية للحصول على صلادة ومقاومة عالية للتآكل والاحتكاك.



شكل 4-23 سلسلة حول عجلة مسننة

1-5-4 تركيب السلسلة

هناك نوعان من التوصيلات المتتالية في تركيبة السلاسل، على شكل صفائح داخلية Roller link plates وأخرى خارجية Pin link plates تجمع المدحرجات أو الخرزات مع بعضها، كما موضح بالتفصيل في شكل (4-24). إن الأسطوانات تقلل من الاحتكاك الحاصل بين وصلات السلسلة وأسنان العجلة الحاملة لها طالما يوجد تنظيف وتزييت كافي لمجموعة نقل الحركة.



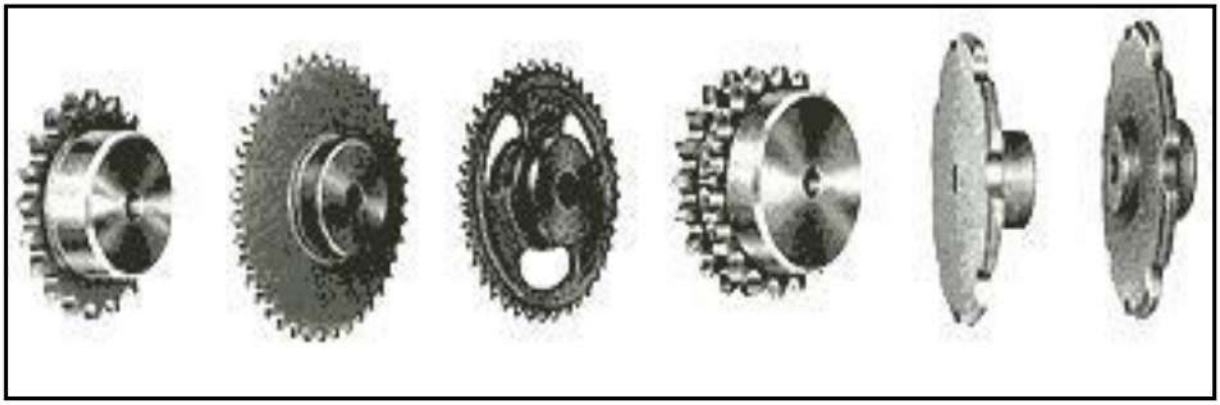
شكل 4-24 الترتيب المثالي لمكونات سلسلة ذات المدحرجات الأسطوانية

وتوجد تصاميم للسلاسل تختلف من حيث الشكل وطول الخطوة Pitch (المسافة بين حلقة وأخرى) أو قد تصنع مزدوجة في حالة نقل القدرات الكبيرة.

2-5-4 آلية عمل السلاسل

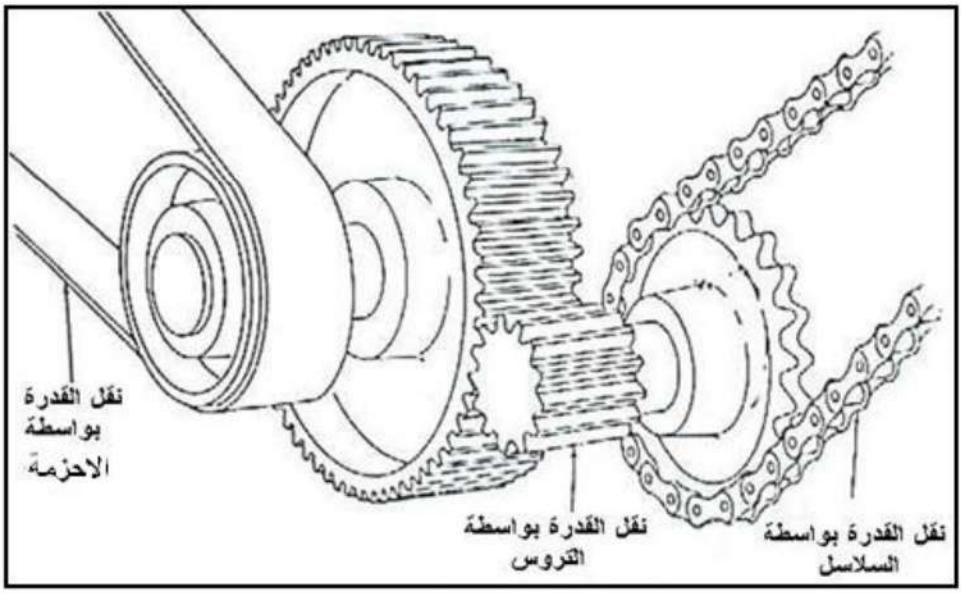
تستعمل في الغالب السلاسل في نقل الطاقة للسرعات القليلة والأحمال الكبيرة (عند التزييت الجيد تستعمل في السرعات العالية كما في عمود الحدبات للسيارة)، ويمكن أن تخفض أو تزيد من السرعة المنقولة بنسبة تصل إلى سبعة أمثال، مع مسافة للنقل تصل إلى أقل من أربعة أمتار، كما يمكن استعمالها لتدوير أكثر من عمود دوران، يمكن للعجلة المسننة (Sprocket) وذات قطر أصغر من البكرة (في الأحزمة) أن تنقل نفس عزم اللي.

السلاسل تحول القوة التدويرية (عزم الدوران) من العجلة المسننة إلى قوة سحب أو بالعكس، وقد تبدو العجلة المسننة كالترس لكنها تتميز عنه بالشكل فضلاً عن أنَّ أسنانها تتلامس (في أثناء الحمل) مع العديد من حلقات السلسلة في حين أنَّ التروس تتعشق بسن واحد أو اثنين، وفي الشكل (4-25) نماذج متعددة للعجلة المسننة.



شكل 4-25 نماذج من العجلات المسننة

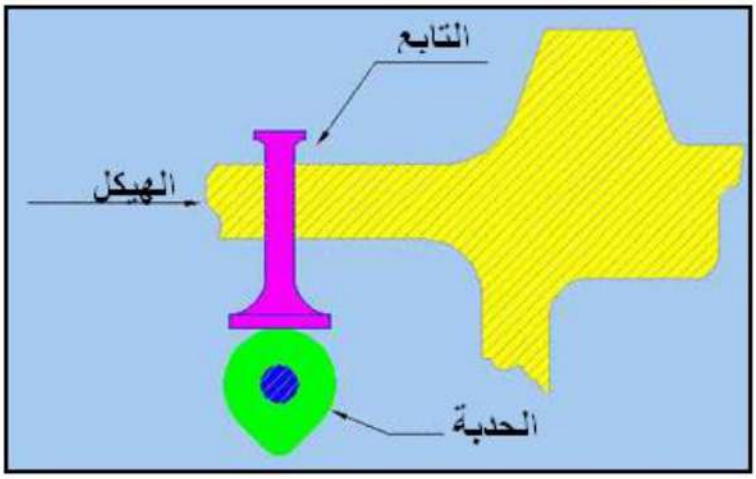
وتتميز السلاسل عن الأحزمة أو السيور بكونها تنقل حركة موقوتة مناسبة وخاصة في خطوط الإنتاج والماكينات (خصوصا المؤتمتة) من أجل ضبط توقيتات عمل الخط الإنتاجي بدقة متناهية، وعادة ما تصنع السلاسل من معدن الحديد المقسى غير القابل للصدأ (Stainless Steel) وذلك لتحمل القوى المتسببة عن نقل القدرة وكذلك لتقليل نسبة التآكل التي قد تحصل في أثناء الحركة. ويبين الشكل (4-26) آلية تجمع عدة طرائق لنقل القدرة.



شكل 4-26 آلية لنقل القدرة بعدة طرائق

6-4 الحدبات Cams

الحدبة جزء ميكانيكي على شكل انبعاج في شكل دائري يستعمل لنقل الحركة إلى جزء آخر يسمى بالتابع (Follower) ليعطي حركة معينة مرسومة مسبقا" بالتماس المباشر مع الحدبة وتشمل آلية الحركة ثلاثة عناصر: الحدبة، التابع (أو نظام التابع)، والهيكل الذي يضمهما، الشكل (4-27).



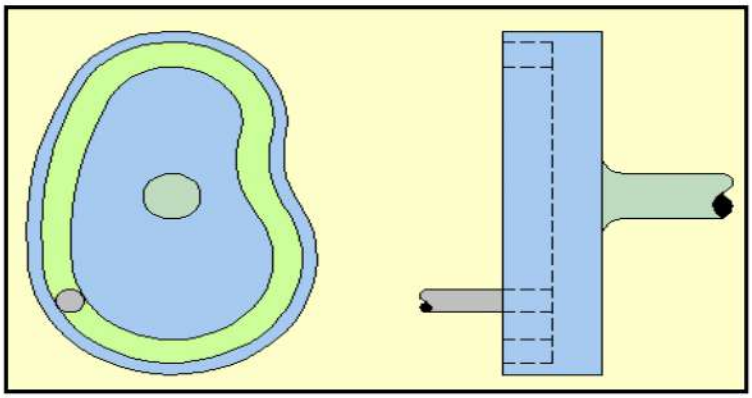
شكل 4-27 عناصر الحركة في الحدبة

للحدبة استعمالات متعددة ومن الممكن تصميم حركات غير محدودة للتابع إذ يتم فيها تحويل الحركة الدورانية إلى حركة خطية ترددية (متذبذبة)، وفي تطبيقات مثل ماكينات النسيج، الحاسبات، آلات الطباعة، محركات الاحتراق الداخلي، وللسيطرة على حركة الأجزاء في الماكينات الحديثة.

4-6-1 أنواع الحدبات وأماكن استعمالها

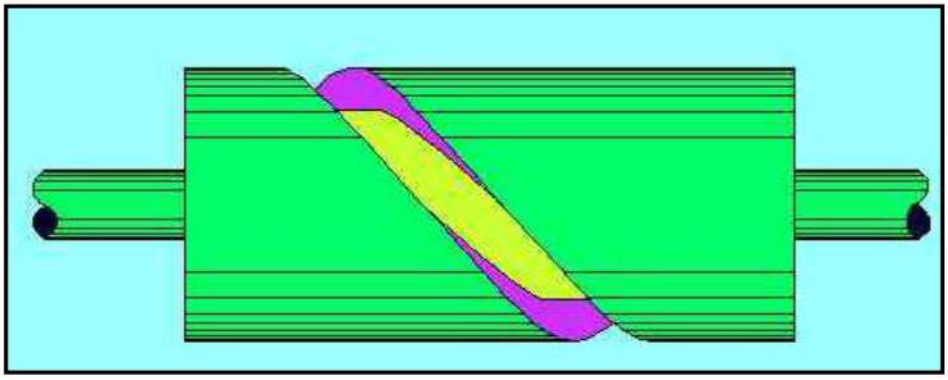
يمكن أن تصنف الحدبات الدائرية (اللامركزية) بشكل مبسط إلى مجموعتين رئيستين وكما يأتي:

أ) الحدبة التي تحرك تابع يقع في مستوى محور دورانها (الحدبة الأسطوانية)، توجد تطبيقات للنوع الأول للحدبات مثل الحدبة الصندوقية، شكل (4-28)، والتي تتكون من أسطوانة تحتوي على أخدود أو مجرى محفور في وجهها، وفي أثناء دورانها يدور التابع داخل الأخدود بينما الحدبة تدور.



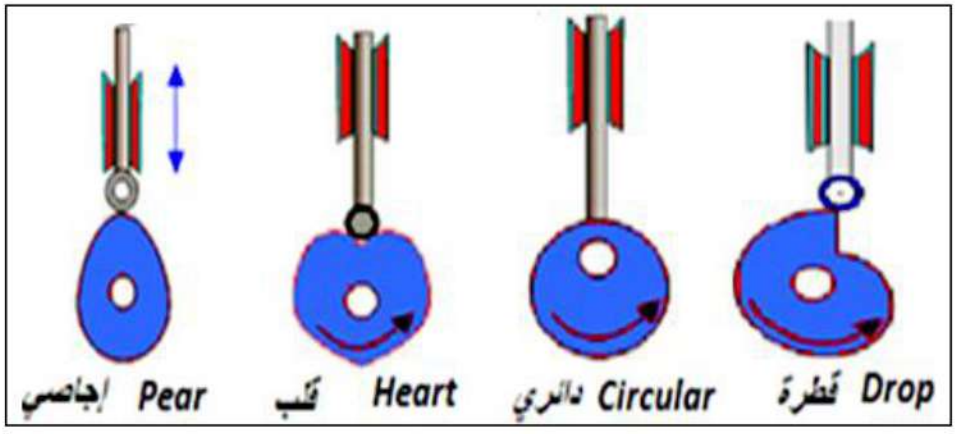
شكل 4-28 الحدبة الصندوقية

وكذلك الحدبة الأسطوانية تُعدّ من تلك التطبيقات لذلك النوع من الحدبات، الشكل (4-29)، وتحتوي على مجرى حلزوني حول الأسطوانة، وتستعمل لتحريك تابع باتجاه موازٍ لمحور الحدبة.



شكل 4-29 الحدبة الأسطوانية

ب) الحدبة التي تحرك تابع يقع في مستوى عمودي على محور دورانها، وبموازاة وجه الحدبة، وهي أكثر الأنواع شيوعاً، ويبين الشكل (4-30) أنواع مختلفة لهذا النوع وتطبيقاتها.



شكل 4-30 أنواع الحدبات ذات التابع العمودي على محورها

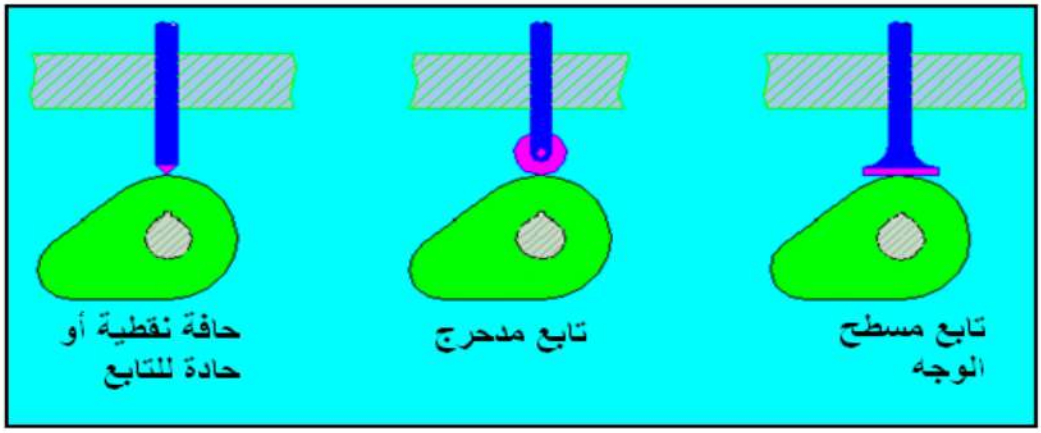
4-6-2 أنواع التابع

توجد ثلاثة أنواع رئيسة لنقطة اتصال التابع بالحدبة والذي يؤثر في شكل مباشر على عمر اشتغالها، الشكل (4-31)، وكما يأتي:-

أ- النقطي (الحاد) (The knife edge- Point): أبسط الأنواع وقليل الاستعمال لحدوث تآكل سريع في نقطة تماسه مع الحدبة.

ب- الكروي (Roller): هذا النوع لا تحدث فيه مشكلة التآكل لفعل انزلاق المدحرج في نقطة تلامسه مع الحدبة، لكن المدحرجات تكون معرضة لإجهاد متغير لاختلاف الأقطار المتغيرة بشكل مستمر بين المدحرج والحدبة وخاصة عند استعمال مدحرجات صغيرة.

ج- المسطح (Flat Faced): يحدث فيه التلامس على جانبه المسطح، ونتيجة الاحتكاك يحصل التآكل بنسبة أقل من النوع الأول.

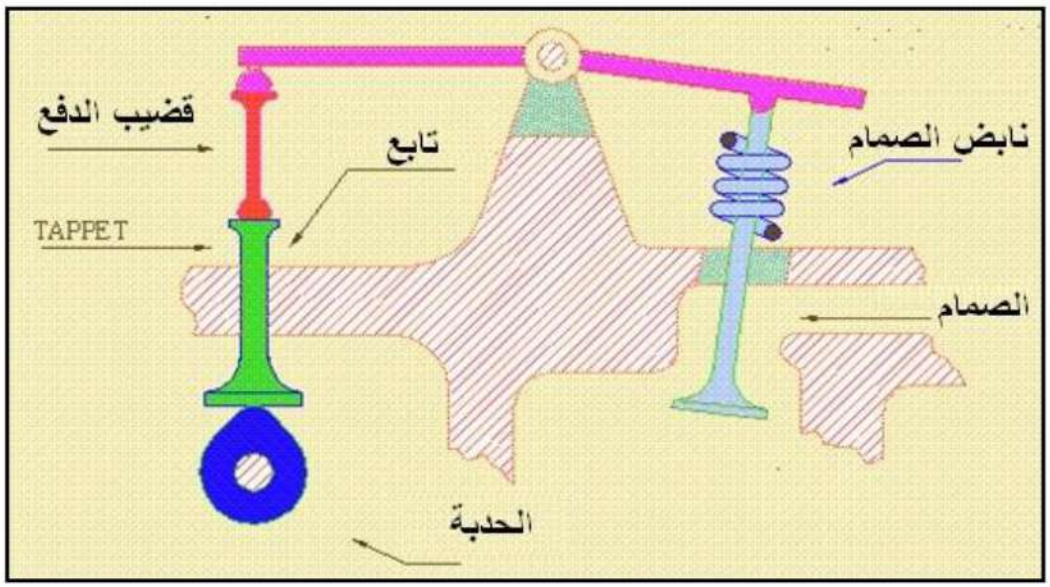


شكل 4-31 أنواع التابع

3-6-4 آلية عمل الحدبات Work Mechanism of Cams

حين تدور الحدبة خلال دورة واحدة، فإنَّ التابع ينفّذ سلسلة من العمليات التي تشمل الصعود، السكون، والنزول باتجاه مركز الحدبة. وعند التصميم يتم حساب التوقيت المطلوب بموجب عدد الدورات والقطر لاستخراج سرعة وتعجيل التابع، ومن الضروري تركيب نابض يقوم بالضغط المستمر على التابع لضمان التماس المستمر مع الحدبة.

لتوضيح آلية عمل الحدبة والتابع نلاحظ الاستعمال الأكثر شيوعاً هو في محركات السيارة لتشغيل نظام الصمامات بدمج عدد من الحدبات في عمود واحد يسمى عمود الحدبات (Camshaft)، لغرض التحكم بدخول الوقود وخروج غازات العادم، والشكل (4-32) يوضح طريقة نقل الحركة وآلية عمل الحدبة.



شكل 4-32 تحكم الحدبة في نظام حركة الصمامات

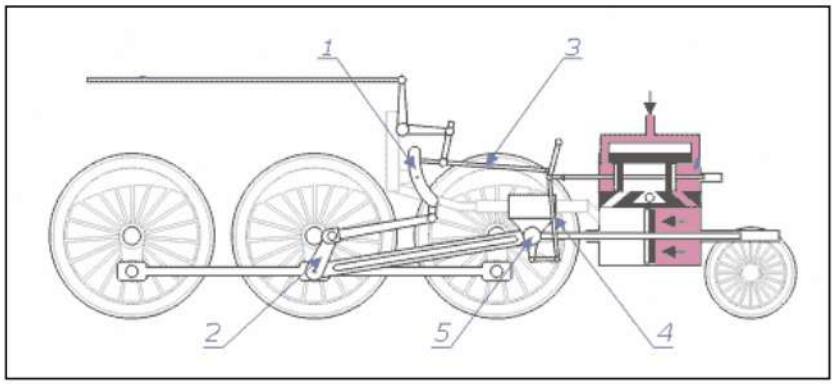
7-4 أذرع الربط والنقل Connecting Rods

وهي أعمدة تقوم بربط أو توصيل الأجزاء الميكانيكية المتحركة لتؤدي وظيفة نقل الحركة، وغالباً ما تقوم بتحويل الحركة الدورانية إلى حركة خطية، وأفضل تطبيق لها في الوقت الحاضر في مكبس محركات الاحتراق الداخلي كمحركات السيارة، وهذا التطبيق مختلف تماماً عن التطبيق القديم لأذرع التوصيل المستخدمة في الماكينات البخارية والقاطرات.

4-7-1 مبدأ عمل الأذرع

إن أول تطبيق ظهر لذراع التوصيل في القرن الثالث الميلادي لدى الرومان في الطواحين والنواعير بتحويل الحركة الدوارة إلى حركة خطية. في القرن الحادي عشر وصف العالم العربي الجزاري لآلية دمجت بين ذراع التوصيل وعمود دوار لماكينة رفع الماء. أما في عصر نهضة أوربا، فوجد تركيبة لذراع التدوير وذراع التوصيل في مخططات الرسام الايطالي (D. Pisanello 1455) توضح مكبس مضخّة مقاد من دولاب مائي يعمل بعمودين بسيطين وذراعي توصيل. وفي القرن السادس عشر، أصبحت أذرع التوصيل شائعة في التطبيقات التقنية المتنوّعة والماكينات.

في الماكينات البخارية الثابتة، الشكل(4-33)، تقوم الأعمدة وأذرع التوصيل (الخمسة) بنقل الحركة من المكبس ذو التأثير المزدوج إلى العجلات التي تعمل كالعمود المرفق (Crankshaft) لتتحول الحركة الخطية للمكبس إلى حركة دورانية للعجلات.



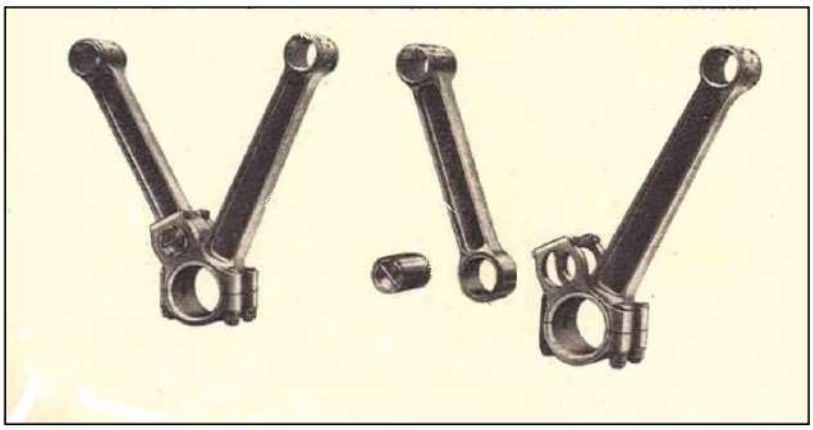
شكل 4-33 ماكينة بخارية تتحرك بفعل خمسة أذرع للتوصيل

4-7-2 المواد التي تصنع منها الأذرع

في آلية محرّكات الاحتراق الداخلي، تصنع أذرع التوصيل عادة من الفولاذ، لكن يمكن أن تصنع من الألمنيوم (خفة الوزن وقدرة لامتصاص الصدمات على حساب المتانة) أو تيتانيوم (قوة وخفة وزن وكلفة عالية) للمحرّكات العالية الأداء، أو من الحديد الصلب للتطبيقات الأخرى مثل الدراجات البخارية.

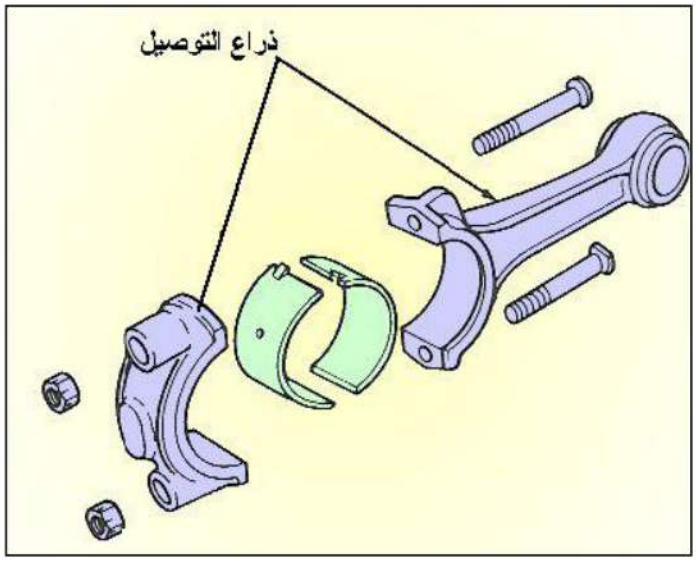
تثبت نهاية ذراع التوصيل بشكل مرن في نهايته لكي تتغير الزاوية بينه وبين المكبس بواسطة محور المكبس (Gudgeon Pin) أثناء صعود ونزول المكبس ودوران عمود المرفق الذي تتصل به النهاية الكبيرة للذراع، وتحتاج التوصيلات إلى التزييت المستمر أثناء الحركة.

يتحمل الذراع اجهادات مختلفة من شد وضغط والتواء لكل دورة حيث يراعى ذلك عند التصميم وحسب التطبيق المستخدم له وفي بعض التطبيقات في المحركات تتم صناعة أذرع توصيل مزدوجة، الشكل (4-34). ويجب أن يكون ذراع التوصيل ذو مقاومة عالية للانبعاج.



شكل 4-34 ذراع توصيل مزدوج

يتكون الذراع من جسم الذراع (الساعد) والنهاية الصغرى (المرتبطة بمصدر الحركة مثل المكبس، والنهاية الكبرى مع الغطاء والمرتبطة بالجزء الدوار مثل العمود المرفق. الشكل (4-35) يبين أجزاء ذراع التوصيل المستخدم في محركات الاحتراق الداخلي.



شكل 4-35 أجزاء ذراع التوصيل

4-8 الموقفات (الكوابح) Breaks

وتعدّ من الأجزاء الثابتة في الخط الإنتاجي، إذ بدأت أولى تجارب الكابحات مع بدايات حركة العجلة، أما تطبيقاتها الميكانيكية في الخطوط الإنتاجية، السيارات، الدراجات الهوائية، والقاطرات فتختلف في بداياتها، وعلى العموم فقد كان الاحتكاك هو المعوَل عليه في صنع أنظمة التوقف والتغلب على قوى الاستمرارية الناشئة من الحركة الخطية أو الدورانية.

بدأت أولى تجارب الكابحات لعجلات السيارات في انكلترا (1902) من قبل المخترع F. W. Lanchester، وطُبقت عملياً في بداية الخمسينيات من القرن الماضي، إلى أن تطورت أنظمة الكبح لتصبح أنظمة مؤتمتة تدار إلكترونياً. أمّا في القاطرات، فقد أسست أول شركة للكابحات العاملة بالهواء (Westinghouse) في بداية القرن العشرين لتحسن من أداء وسرعة القاطرات، وكانت تتضمن مضخة هواء وخزان رئيس وصمامات مع أسطوانات كبح، وقد تطور نظام الكبح في القاطرات الكهربائية الحديثة لضاغط هواء يعمل بالطاقة الكهربائية يزود المنظومة بالهواء المضغوط، فضلاً عن الإفادة من الطاقة الحرارية المتحررة من الاحتكاك في الكبح بتحويلها إلى طاقة كهربائية تخزن في البطاريات، أما في الدراجات الهوائية فنظام الكبح قد تطور في تقنيات وآليات عمل الكابحات لكنها ومنذ ظهور الإطار المطاطي لم تتغير من حيث اعتمادها على مبدأ الاحتكاك.

4-8-1 أنواع الموقفات(الكابح)

تصنف الكابحات إلى نوعين أساسيين من حيث الطريقة المستعملة في الكبح وكما يأتي:

1.الكابح الأسطواني Drum Break: ويتكون من أسطوانة تربط بمحور الجزء الدوار (العجلة) ويتم الكبح عن طريق وسائد الكبح (Brake Pads)، الشكل (4-36)، والتي تتمدد داخل الأسطوانة، ليتم الضغط على السطح الداخلي الذي يدور مع العجلة.

شكل 4-36 وسائد الكبح في الكابحات الأسطوانية

والنوع الآخر للكابح الأسطواني يتكون من حزام احتكاكي، الشكل (4-37)، يلف حول السطح الخارجي للأسطوانة، وفي نظام إيقاف الأعمدة الدوارة، بوضع أسطوانة على عمود الدوران تحاط بوسادة كبح حلقية الشكل يتم تشغيلها إما يدوياً أو هيدروليكياً أو بمنظومة حركة مسيطر عليها كهربائياً، وتتعرض الوسائد إلى التآكل مما يستوجب استبدالها دورياً.

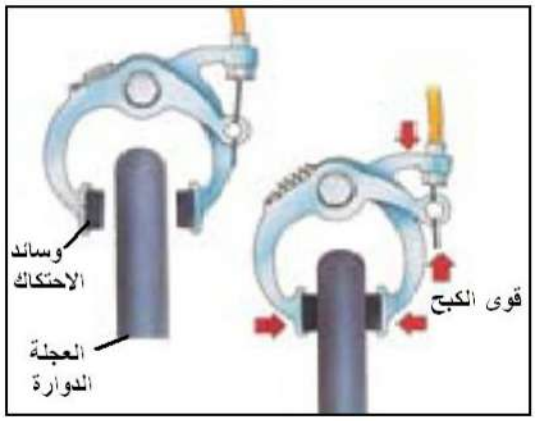
شكل 4-37 حزام احتكاكي

2. الكابح القرصي Disc Break : يتكون من قرص مصنوع من الفولاذ يثبت على محور الدوران ويكون الكبح بواسطة وسادتين مصنوعتين من مادة احتكاكية تضغطان على جانبي القرص، كما مبين في الشكل (4-38)، ولإحتياج هذا النوع إلى قوة كبيرة يمكن مضاعفتها عن طريق منظومة هيدروليكية (باستخدام زيت لنقل القوة).

شكل 4-38 الكابح القرصي

4-8-2 آلية عمل الكوابح

كمثال على القابض القرصي تم اختيار نظام الكبح لعجلة الدراجة الهوائية ليوضح آلية عمل الكابحات. في الشكل (4-39)، يتكون من وسائد للضغط على قرص دوار لإيقافه عن الحركة، مع ملاحظة إن المادة المصنوع منها الوسائد تكون أنعم وأخف من مادة القرص الدوّار، وذلك من أجل أن يكون التآكل بسبب الاحتكاك فيها وليس في القرص الدوار الذي هو جزء من الماكينة المطلوب إيقاف حركتها. هذا الاحتكاك بين الحذاء والقرص الدوّار يسبب قوة كبح مماسية تؤثر في العمود المربوط عليه القرص الدوار ومن ثمّ يقوم بتقليل الحركة تدريجياً إلى حد السكون، بطرائق ميكانيكية أو بنظام العتلات أو بمنظومة هيدروليكية كما مر آنفاً.



شكل 4-39 آلية عمل الكابحات

9-4 الفواصل Clutches

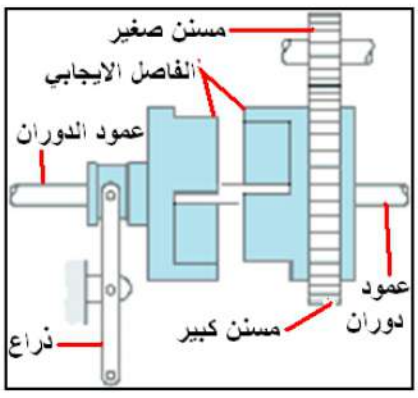
أحد أجهزة نقل الحركة في الخط الإنتاجي (خصوصاً عندما يتطلب تغير في السرعات لإجراء إنتاجي معين)، الفاصل جهاز يوفر سهولة توصيل أو فصل زوج من الأعمدة المحورية الدوارة، وعادة ما يوضع بين مصدر الحركة وبين الأجزاء المتحركة ليسمح بنقل عزم الدوران باتجاه واحد بشكل سلس بالاعتماد على الاحتكاك، كما يسمح بإدارة المحرك بدون حمل (كما في السيارة). الفواصل الميكانيكية يمكنها تقليل السرعة تدريجياً، وصولاً لإيقاف الحركة.

1-9-4 أنواع الفواصل / آلية الحركة

توجد تصاميم وأنواع متعددة للفواصل الميكانيكية تختلف بحسب التطبيق المناسب لها، ولكنها في الأغلب تعتمد على قرص احتكاكي (أو أكثر) يضغط على قرص (مثبت على المحور المقاد) باستعمال نابض، وفي ما يأتي بعض الأنواع شائعة الاستعمال للفواصل:

1. الفاصل الايجابي Positive Clutch

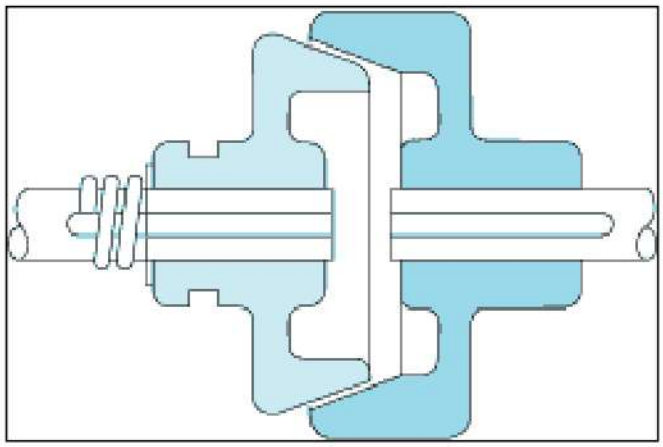
وهو تعبير يطلق على الفاصل الذي ينقل الحركة بدون انزلاق (بالتداخل)، إذ يعتبر من أبسط أنواع التصاميم إذ ينزلق على جزء من عمود بواسطة ذراع، ولكونه لا يحدث فيه انزلاق فلا توجد فيه حرارة متولدة، ولا يمكن توصيله عند السرعات العالية لحدوث صدمة عند التوصيل، والشكل (4-40) يبين الجزئيين المتقابلين والمتناظرين إذ يتصلان مع بعضهما عند التوصيل.



شكل 4-40 فاصل ايجابي

2. الفاصل المخروطي

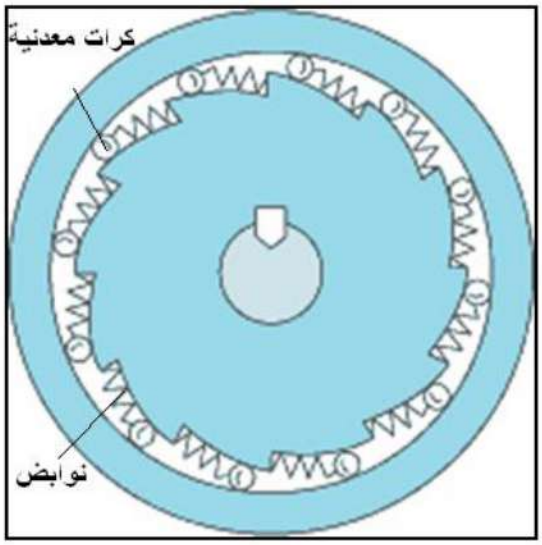
وهو فاصل قرصي يتكون من جزأين لهما سطح مخروطي لنقل عزم الدوران بواسطة الاحتكاك، الشكل (4-41)، ويعدّ من الفواصل القرصية ذات الكفاءة العالية وذلك لحدوث تداخل متزايد بين الجزأين مما يزيد من المساحة السطحية للأجزاء المتماسة، ويستعمل في السرعات القليلة وفي الماكينات المترافقة الحركة.



شكل 4-41 الفاصل المخروطي

3. الفاصل الحر

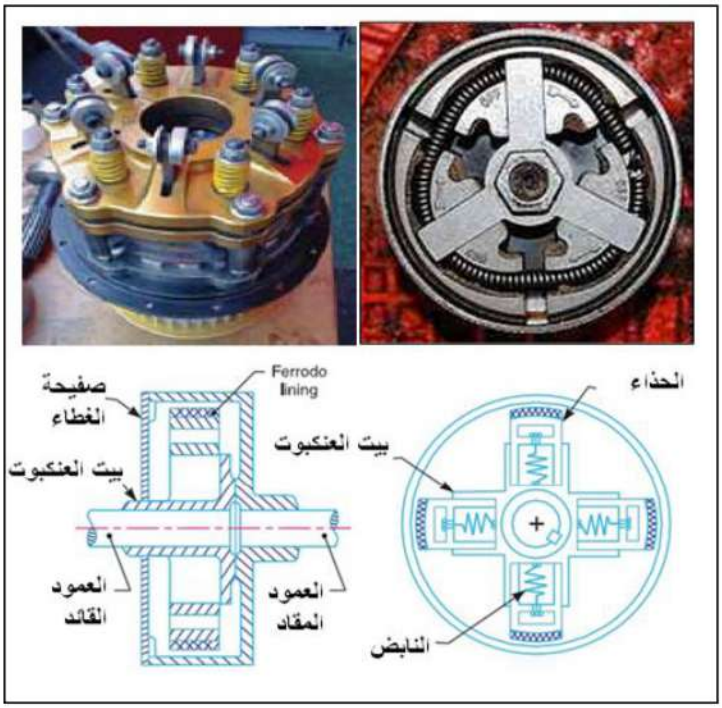
جهاز لنقل الحركة يفصل بين محورين، الشكل (4-42)، بينما يدور المحور المقاد أسرع من المحور القائد، يقوم الفاصل بعزل المحور القائد لكي لا يحدث عزم أكبر على مصدر الحركة.



شكل 4-42 الفاصل الحر

4. فاصل الطرد المركزي Centrifugal Clutch

يستعمل في ماكينات الخط الإنتاجي عندما يراد لجزء أن يدور في حالة وصول سرعة دوران جزء آخر لسرعة معينة، إذ يستعمل قوة الطرد المركزية للتوصيل بين عمودين مركزيين مع العمود القائد المتداخل مع العمود المقاد، والذي يمكن أن تركب عليه سلسلة أو حزام ناقل، فعندما تزداد سرعة دوران العمود القائد (المحرك) فإنّ الأذرع الموجودة داخل الفاصل، الشكل (4-43)، تندفع للخارج (بفعل وزنها) وتحرك معها الوسائد الاحتكاكية (مرتبة بشكل شعاعي) لتضغط على القرص الخارجي المتصل بالعمود المقاد لتدويره، فحينما تنخفض سرعة الدوران تعود الأذرع بفعل قوة سحب النوابض لتبطل عمل الفاصل، ولهذا النوع العديد من التطبيقات منها المناشير وقاطعات العشب.



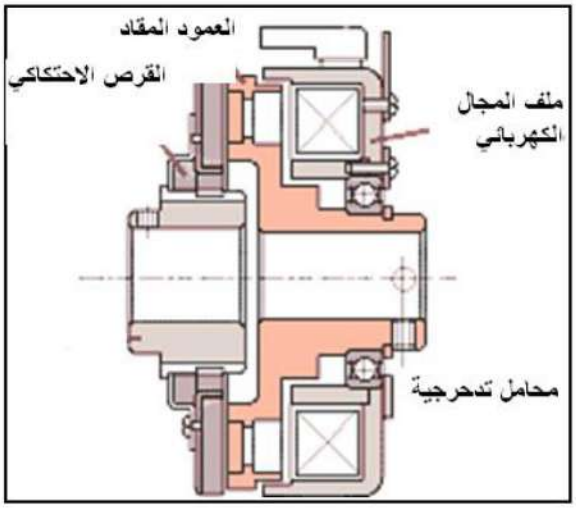
شكل 4-43 فاصل الطرد المركزي

5. الفاصل الهيدروليكي Hydraulic Clutch

ويستعمل فيه السوائل أو الزيت في نقل القوة الميكانيكية، وله تطبيقات واسعة الانتشار كبديل عن الفواصل الميكانيكية في حالة السرعات المتغيرة أو بدء الحركة بدون صدمة، ويتكون من السائل الهيدروليكي والحاوية مع عجلتين فيها زعانف (كالمروحة) الأولى مرتبطة مع العمود القائد والأخرى على العمود المقاد، ويوجد تصميم مناسب لحركة المراوح التي تدار بواسطة حزام تستجيب تلك الفواصل للحرارة إذ يفصل بين الجزأين القائد والمقاد بواسطة مادة السليكون السائل يتحكم بكميته صمام ونابض، فعند انخفاض درجة الحرارة يقوم النابض بغلق الصمام مؤدياً إلى دوران المروحة بنسبة 20% من سرعة محور الدوران، وعند ارتفاع درجة الحرارة يقوم النابض بفتح الصمام ليسمح بمرور السائل مؤدياً لسرعة بنسبة 90% من سرعة محور الدوران.

6. الفاصل الكهرومغناطيسي Electromagnetic Clutch

تشغّل الفواصل الكهرومغناطيسية بشكل كهربائي، لنقل عزم دوران بشكل ميكانيكي. ولهذا النوع تطبيقات عديدة في الماكينات والخطوط الإنتاجية والتي تتطلب نقل حركة فجائية وبنسبة انزلاق منخفضة، يتكون الفاصل من قرص احتكاكي (من الصُلب الكربوني) مثبت على العمود المقاد يقابله قرص يحتوي على ملف كهربائي (Field Coil) من النحاس (ملف أو أكثر)، الشكل (4-44)، يمر فيها تيار كهربائي لتولد قوة مغناطيسية تجذب القرص الاحتكاكي (Armature) ليقوم بتدوير العمود المقاد (Rotor).



شكل 4-44 الفاصل الكهرومغناطيسي

أسئلة الفصل الرابع

س1) ما المحرك؟ أذكر أنواعه.

س2) اذكر أشواط عمل المحرك رباعي الأشواط. وضّحها بالتفصيل.

س3) ما آلية عمل محرك الديزل؟

س4) ما الفرق بين محرك الديزل ومحرك البنزين؟

س5) ما المحرك الكهربائي؟ وما آلية عمله؟ وضّحها بالتفصيل.

س6) وضح بالتفصيل مبدأ عمل عمود الإدارة وأماكن استعماله.

س7) وضح بالتفصيل آلية عمل الأحزمة الناقلة وأنواعها والفرق بينها.

س8) علام يعتمد مقدار القدرة المنقولة بالأحزمة الناقلة؟

س9) ما التروس؟ وما أنواعها؟ اذكر آلية عملها.

س10) إذا كان عدد أسنان ترس قائد 120 سناً وسرعة دوران الترس المنقاد (720 rpm) ونسبة نقل الحركة (نسبة السرعة بينهما) هي 3:1 أوجد الآتي :

أ- سرعة دوران الترس القائد في الدقيقة ؟ ج/ 240 rpm

ب- عدد أسنان الترس المنقاد ؟ ج/ 40

س11) صندوق سرعات يحتوي على مجموعة تروس بعدد أسنان كما يلي: 16 ، 25 ، 19 ، 40 ، 21 و28، احسب نسبة التخفيض والسرعات الثلاثة وعزومها إذا كان عزم عمود المحرك 100 (نيوتن.متر).

س12) عرف الحدبة واذكر أنواع الحدبات وآلية عملها بالتفصيل.

س13) ما الأمور التي يعتمد عليها تصميم عمود الحدبات؟

س14) ما القوابض؟ وما أنواعها وآلية عملها؟

س15) أربعة بكرات مثبتة على ثلاث محاور، تدور عن طريق حزامين، وجد أنّ سرعة البكرة القائدة الأولى N_1=300 r.p.m، وأقطار البكرات d_4=105mm، d_3= 225mm، d_2= 175mm، d_1=325mm. أوجد الآتي:

أ) النسبة الكلية للسرعة (نسبة نقل الحركة المزدوجة بالأحزمة). ج/ 0.253

ب) سرعة دوران البكرة المنقادة الأخيرة في الدقيقة. ج/ 1194

س16) أملأ الفراغات الآتية:

أ- يعّد محرك الديزل ذو كفاءة عالية مقارنة بمحرك ---------

ب- يتكون المحرك الكهربائي أساساً من -------- ، موضوع بين قطبين.

ت- تستعمل الأعمدة في نقل ------- الدوران.