المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

# تخصص تقنية التصنيع الغذائي

## أسس تقنيات هندسية

**١٥١ صنع**

طبعة ١٤٢٩ هـ

# مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي ؛لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل و المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " أسس تقنيات هندسية - نظري " لمتدربي قسم" تقنية التصنيع الغذائي " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه، إنه سميع مجيب الدعاء.

**الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج**

# تمهيد

تأتي هذه الحقيبة في مجال أسس التقنيات الهندسية و قد أعدت خصيصا لمتدربي تخصص تقنية التصنيع الغذائي في الكليات التقنية الزراعية بالمملكه العربية السعودية لتعريف المتدرب بالمفاهيم و المبادئ الأساسية المتعلقة بالتقنيات الهندسية التي يحتاجها كمدخل لدراسة مواد التخصص الأخرى.

وتحتوي هذه الحقيبة على خمس وحدات تدريبية تشمل أساسيات الكهرباء؛ و أساسيات الالكترونيات، و عمليات توصيل المعادن، و عمليات تشكيل المعادن و البرادة، و طرق نقل القدرة..

في الوحدة الأولى أساسيات الكهرباء يدرس المتدرب مكونات الدائرة الكهربائية مثل المقاومات و المكثفات و المحثات كما تتم مراجعة قواعد الكهربائية الأساسية مثل قانون اوم و قانون كيرشوف و الكهرومغناطيسية. كما تشمل الوحدة الأولى موضوع المحولات من ناحية التركيب و الأنواع و الوظائف و القوانين الرياضية التي تحكم عملها. أيضا يتعرف المتدرب على توليد و توزيع الطاقة الكهربائية حيث يدرس توليد التيار المتردد ، و خطوط الضغط العالي ، و محولات الخفض ، و الطور الأحادي و الطور الثلاثي. و ثم تناقش الوحدة الأولى المحركات الكهربائية من ناحية الأنواع و تركيبها و بدء تشغيلها ، حمايتها.

وفي الوحدة الثانية أساسيات الإلكترونيات يدرس المتدرب أسس الأجهزة الإلكترونية حيث يتعرف على أشباه الموصلات و الثنائيات و تعديل التيار، كما يدرس الترانزستورات من ناحية التركيب و الخصائص،و الدوائر المتكاملة حيث يدرس تركيب الدائرة المتكاملة و توصيلاتها و تطبيقاتها.

وفي الوحدة الثالثة عمليات توصيل المعادن يدرس المتدرب المسامير الملولبة وعمليات البرشمة و اللحام بالكاوية الكهربائية و اللحام بالأوكسي إسيتيلين و اللحام بالقوس الكهربائي والقطع بالأوكسجين.

وفي الوحدة الرابعة البرادة يتعرف المتدرب على عمليات تشكيل المعادن حيث يدرس البرادة و السباكة و الدرفلة و الخراطة و التفريز .

وفي الوحدة الخامسة و الأخيرة طرق نقل القدرة ، يتم التعرف على القابضات و سيور التحريك و التروس و القوانين الرياضية التي تحكم عملها.

# أسس تقنيات هندسية

## أساسيات الهندسة الكهربائية

# الوحدة الأولى : أساسيات الهندسة الكهربائية .

**اسم الوحدة:** أساسيات الهندسة الكهربائية.

**الجدارة:** التعرف على أهم أجزاء الدائرة الكهربائية وتركيباتها ،والأنظمة المتعددة فيها.

**الأهداف:**

١. أن يتعرف المتدرب على مكونات الدائرة الكهربائية من مقاومة ومكثف وملف والعلاقات الرياضية الخاصة بكل جزء منها.
٢. أن يتعرف الطالب على قانون أوم وقانون كيرشوف وربط المقاومات الكهربائية على التوالي والتوازي.
٣. أن يتعرف الطالب على الأنظمة المتعددة الأطوار ويتمكن من التفرقة بينها.
٤. أن يتعرف الطالب على كيفية توليد الطاقة الكهربائية والأجهزة المستخدمة فيها وطرق النقل والتوزيع والاستخدام.خاصة المولدات والمحولات الكهربائية.
٥. أن يتعرف الطالب على الأنواع المختلفة من المحركات الكهربائية وتصنيفاتها وأنواعها والتمييز بينها.

**مستوى الأداء المطلوب:**أن يصل الطالب إلى إتقان الجدارة بنسبة ٩٥٪.

**الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة:** ٤ساعات.

**الوسائل المساعدة:** لا يحتاج الطالب إلى أية وسيلة مساعدة

**متطلبات الجدارة:** أن يقوم الطالب بفهم المكونات الرئيسة للدائرة الكهربائية وتوصيلاتها المختلفة وحساباتها وتطبيقاتها المختلفة من خلال الإلمام بالأنواع المختلفة للمولدات والمحولات والمحركات.

## المقدمة:

يستخدم النظام المتري الدولي SI الآن في الهندسة الكهربائية. والوحدة الكهربائية الأساسية هي الأمبير A للتيار الكهربائي، الذي يعرّف بدوره بدلالة القوة F لكل وحدة طول بين موصلين يحملان تياراً كما يلي:

$$F = \frac{KII'}{d}$$

حيث d = المسافة بين موصلين مستقيمين متوازيين لا نهائيين.

I و I` = التياران في الموصلين.

K = ثابت الأبعاد.

ويعرف الأمبير بأنه قيمة التيار الذي لو مر في موصلين مستقيمين متوازيين موضوعين في الفراغ لكانت القوة بين الموصلين $2X10^{-7}N/m$.

## الوحدات المشتقة:

ينساب التيار الكهربائي في موصل عندما تنتقل شحنة q من نقطة إلى أخرى في نفس الموصل. والتيار هو معدل سريان الشحنة بالنسبة للزمن أي إن:

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{coulombs}{\sec ends}$$

### فرق الجهد v:

يقاس فرق الجهد v بين نقطتين بمقدار الشغل اللازم بذله لنقل وحدة الشحنات من نقطة إلى أخرى. والفولت هو فرق الجهد بين نقطتين عندما يكون الشغل المبذول في تحريك شحنة مقدارها واحد كولوم هو جول واحد:

$$1Volt = 1\frac{joule}{coulomb}$$

### القدرة p:

القدرة هي حاصل ضرب فرق الجهد المؤثر في التيار الناتج.

$$P(watt) = \frac{V(volt)}{I(Ampere)}$$

والقدرة هي معدل تغير الطاقة المنتقلة بالنسبة للزمن

$$P = \frac{dw}{dt}$$

عندما نعطي طاقة كهربائية لعنصر دائرة، فإنه يستجيب بطريقة أو أكثر من الطرق الثلاث الآتية:

١. إذا استهلكت الطاقة فإن عنصر الدائرة مقاومة.
٢. إذا اختزنت الطاقة في مجال مغناطيسي فإن عنصر الدائرة ملف.
٣. إذا اختزنت الطاقة في مجال كهربائي فإن عنصر الدائرة مكثف.

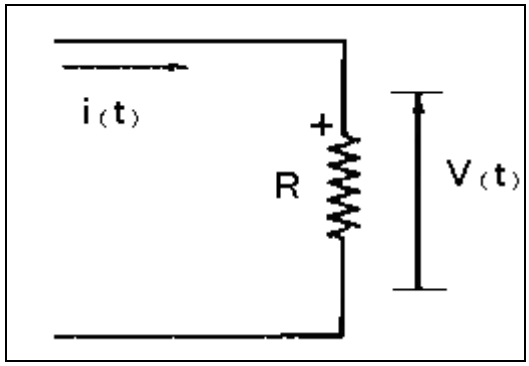
والدوائر العملية تتميز بأكثر من طريقة وربما الطرق الثلاث في وقت واحد ولكن أحدهما ربما يكون سائداً. فربما يصمم الملف على أن يكون له حث كبير ولكن السلك الذي يلف منه الملف له بعض المقاومة. ولذلك فإنه توجد للملف خاصيتان.

**مكونات الدائرة الكهربائية:**

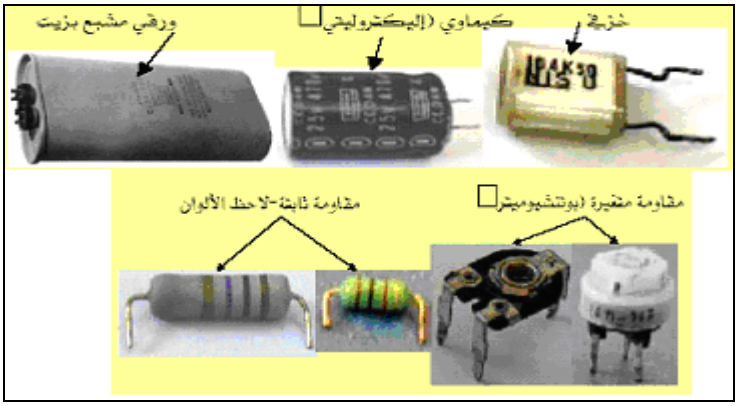
**المقاومة R :**

يتناسب التيار المار I عبر طرفي مقاومة R تناسباً طردياً مع فرق الجهد v ويعرف ثابت التناسب R بأنه مقاومة المقاوم ويعبر عنه بوحدة الأوم أوvolt/Ampere.

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




شكل(١,١)مقاومة كهربائية.




شكل(٢,١)مقاومات مختلفة.

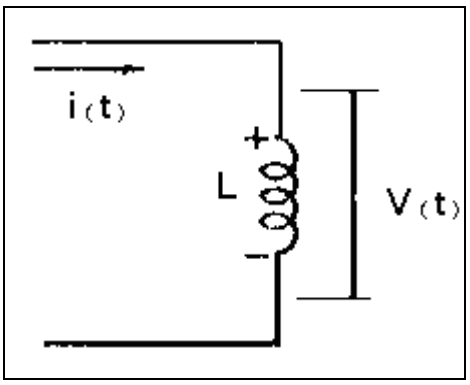
**الملف ذو حث L :**

عندما يتغير التيار في الدائرة، فإنه يتغير الفيض المغناطيسي المار خلال نفس الدائرة. وينتج عن هذا التغير في الفيض قوة دافعة كهربائية مستحثة في الدائرة. وتتناسب القوة الدافعة الكهربائية الناتجة بالحث مع معدل تغير التيار بالنسبة للزمن، ويسمى ثابت التناسب معامل الحث الذاتي أو حث الدائرة.

$$I(t) = \frac{1}{L}\int V dt$$

$$V(t) = L\frac{dI}{dt}$$

وعندما تكون V بالفولت I بالأمبير t بالثانية فإن L تكون بالهنري. ويكون الحث الذاتي لدائرة ما يساوي واحد هنري إذا كانت القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في الدائرة واحد فولت عندما يتغير التيار بمعدل واحد أمبير/ثانية.




شكل(٣,١) ملف كهربائي.

**المكثف ذو سعة C:**

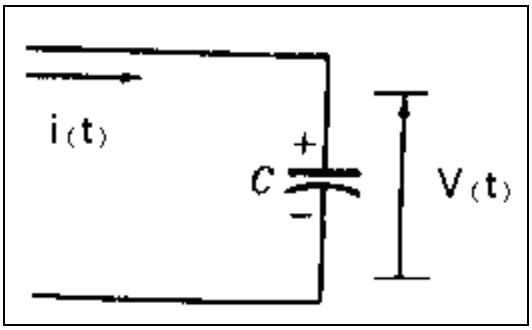
يتناسب فرق الجهد V عبر طرفي مكثف مع الشحنة q على المكثف ويسمى ثابت التناسب C بسعة المكثف.

$$q(t) = CV(t)$$

$$I = \frac{dq}{dt} = C\frac{dV}{dt}$$

$$V(t) = \frac{1}{C}\int I dt$$

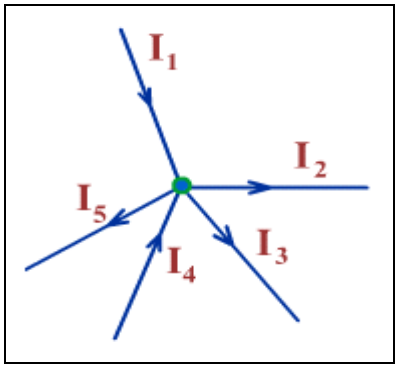
وعندما تكون q بالكولوم و v بالفولت، فإن C تكون بالفاراد. وتكون سعة المكثف واحد فاراد إذا احتاج لشحنة مقدارها واحد كولوم لرفع فرق الجهد بين طرفيه واحد فولت.




شكل(١- ٤)مكثف كهربائي.

## قانونا كيرشوف :

مجموع التيارات الداخلة إلى نقطة اتصال يساوي مجموع التيارات الخارجة منها. فإذا اعتبرنا التيارات الداخلة إلى نقطة موجبة والتيارات الخارجة من نفس النقطة سالبة، فإن هذا القانون ينص على أن المجموع الجبري لجميع التيارات المتلاقية في نقطة مشتركة يساوي صفراً.



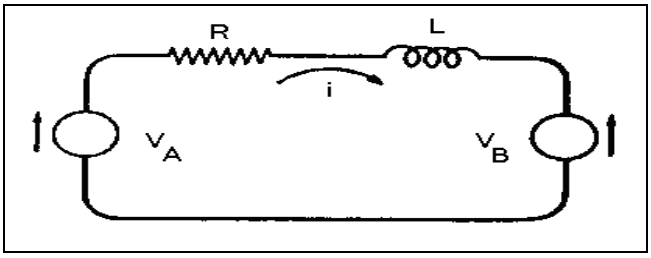

شكل(١- ٥) نقطة التقاء تيارات متعددة.

مجموع التيارات الداخلة = مجموع التيارات الخارجة.

$$I_1 + I_4 = I_3 + I_2 + I_5$$

أو

$$I_1 + I_4 - I_3 - I_2 - I_5 = 0.0$$




شكل(١- ٦)دائرة تحتوي على ملف ومقاومة كهربائية.

مجموع الارتفاع في الجهد = مجموع الهبوط في الجهد

$$V_a - V_b = RI + L\frac{dI}{dt}$$

$$V_a - V_b - RI - L\frac{dI}{dt} = 0.0$$

مجموع الارتفاع في الجهد حول أي دائرة مغلقة يساوي مجموع الهبوط في الجهد في نفس الدائرة.
وبعبارة أخرى، المجموع الجبري لفروق الجهد حول دائرة مغلقة يساوي صفراً.

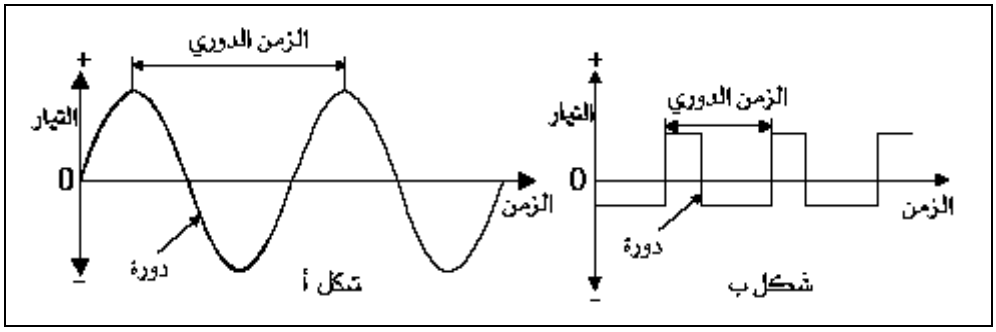
**القيم المتوسطة والقيم الفعالة**

دوال فرق الجهد والتيار عبارة عن صيغ رياضية تأخذ عدة أشكال. وهي دوال دورية حيث:

$$F(t) = F(t + nT)$$

حيث n عدد صحيح.

T زمن الدورة.




شكل(١- ٧)دوال دورية متعددة الأشكال.

**القيم المتوسطة:**

القيمة المتوسطة $Y_{av}$ لدالة دورية $y(t)$ بدورة T يعبر عنها بالمعادلة:

$$Y_{av.} = \frac{1}{T}\int_0^T y(t)dt$$

**جذر متوسط مربع القيمة أو القيمة الفعالة :**

التيار $i(t)$ المار في مقاومة R ينتج قدرة قدرها $p(t)$ قيمتها المتوسطة P. ويمكن أن تنتج نفس القيمة P في R من مرور تيار ثابت I، ونفس الشيء يمكن تطبيقه على دوال فرق الجهد حيث يرمز $Y_{rms}$ للقيمة الفعالة. وعموماً فللدالة $y(t)$ التي لها دورة T قيمة فعالة $Y_{rms}$ تعطى بالمعادلة:

$$Y_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T y(t)^2 dt}$$

**التيارات الجيبية :**

عندما يكون التيار المار في العناصر C, L, R تياراً جيبياً ، فإن الجهد عبر كل عنصر يكون كما هو موضحاً في الجدول (١,١).

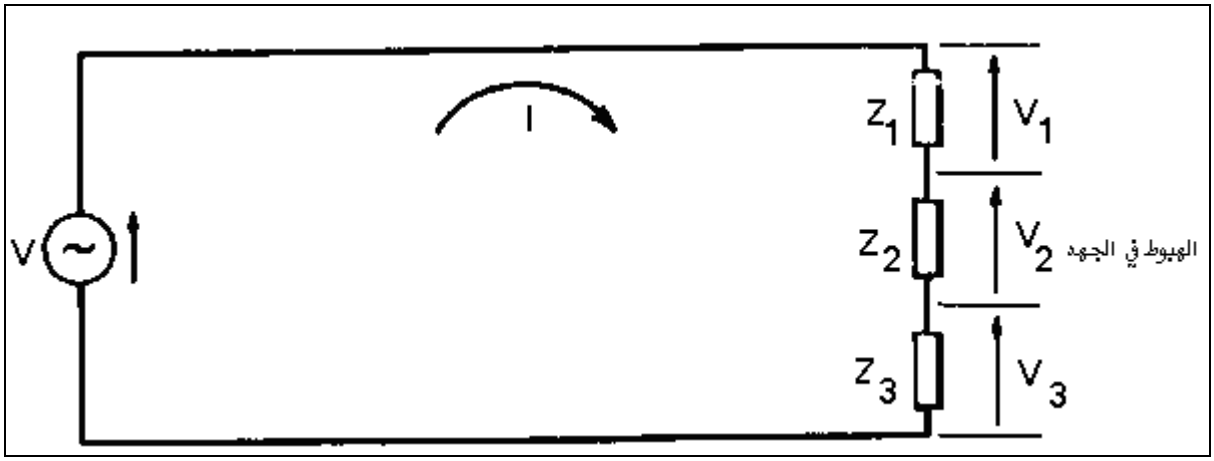
| العنصر | الجهد في حالة تيار عام | الجهد في حالة تيار على شكل $I = I_m \sin(\omega t)$ | الجهد في حالة تيار على شكل $I = I_m \cos(\omega t)$ |
|---|---|---|---|
| مقاومةR | $V = IR$ | $V = RI_m \sin(\omega t)$ | $V = RI_m \cos(\omega t)$ |
| حث L | $V(t) = L\frac{dI}{dt}$ | $V = \omega LI_m \cos(\omega t)$ | $V = -\omega LI_m \sin(\omega t)$ |
| سعة C | $V(t) = \frac{1}{C}\int Idt$ | $V = -\frac{I_m \cos(\omega t)}{\omega C}$ | $V = \frac{I_m \sin(\omega t)}{\omega C}$ |

جدول(١- ١) ملخص يبين قيم الجهد الكهربائي لمقاومة وملف ومكثف عند تيار متغير جيبي.

## الدوائر المتصلة على التوالي والتوازي

### دوائر متصلة على التوالي:

يوضح الشكل أدناه دائرة توالي تتكون من مصدر جهد واحد وثلاث معاوقاتZ. ومصدر الجهد هنا ثابت ويمثل ارتفاعاً في الجهد. ونتيجة لمرور التيار I فإنه ينشأ جهد عبر كل معاوقة يمر فيها التيار. وهذه الجهود هي هبوط في الجهود. وينص قانون كيرشوف للجهد على أنه في أي مسار مغلق يكون مجموع الارتفاع في الجهود يساوي مجموع الهبوط في الجهود.




شكل(١- ٨)ثلاثة معاوقات موصولة على التوالي.

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = IZ_1 + IZ_2 + IZ_3 = I(Z_1 + Z_2 + Z_3) = IZ_{eq.}$$

$$Z_{eq.} = Z_1 + Z_2 + Z_3$$

$$I = \frac{V}{Z_{eq.}}$$

الهبوط في الجهد على أية معاوقة يساوي حاصل ضرب التيار في المعاوقة.

وعلى ذلك وبناءه على الشكل أعلاه نجد أن:

$$V_1 = IZ_1$$

$$V_2 = IZ_2$$

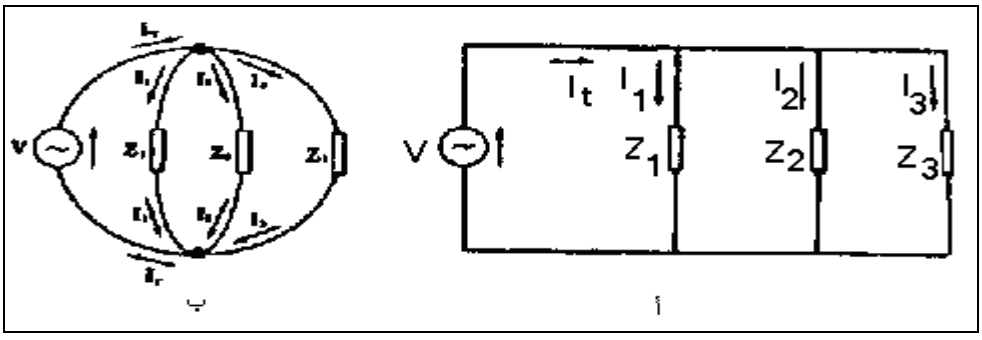
$$V_3 = IZ_3$$

والمعاوقة المكافئة $Z_{eq}$ لأي عدد من المعاوقات متصلة على التوالي تساوي مجموع هذه المعاوقات أي أن:

$$Z_{eq.} = Z_1 + Z_2 + Z_3$$

**دوائر متصلة على التوازي:**

يوضح الشكل(١- ٨) أدناه ثلاثة معاوقات متصلة على التوازي، ويؤثر عليها مصدر للجهد وقد أعيد رسم الدائرة في الشكل ب لتوضيح حقيقة أن المصدر والمعاوقات الثلاث لها نقطتا اتصال مشتركتان. ويطبق قانون كيرشوف للتيار عند إحدى هاتين النقطتين( وربما عند كليهما )، أي إن مجموع التيارات الداخلة عند نقطة ما يساوي مجموع التيارات الخارجة من نفس النقطة.




شكل(١- ٩) ثلاثة معاوقات موصولة على التوازي.

ويظهر مصدر الجهد مباشرة عبر كل فرع من أفرع المعاوقات. وعلى ذلك فإن تيارات الأفرع يمكن حسابها كل على حدة.

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{V}{Z_1} + \frac{V}{Z_2} + \frac{V}{Z_3} = V\left(\frac{1}{Z} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3}\right) = \frac{V}{Z_{eq.}}$$

وبالتالي:

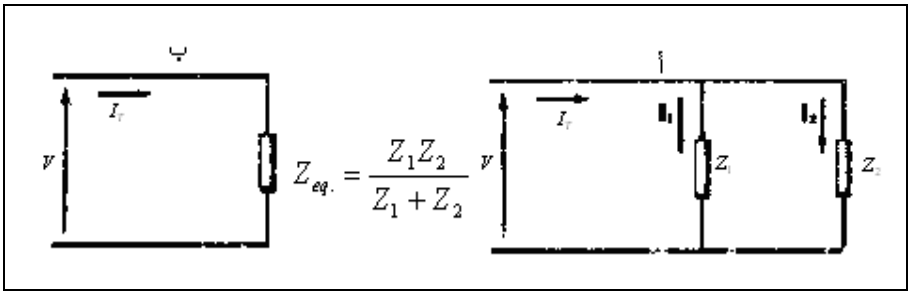
$$\frac{1}{Z_{eq.}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3}$$

وعلى ذلك فإن المعاوقة المكافئة لعدد n من المعاوقات المتصلة على التوازي تعطى بالمعادلة:

$$\frac{1}{Z_{eq.}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + ... + \frac{1}{n}$$

**دائرة بفرعين متصلين على التوازي :**

عادة ما نجد في الدائرة الكهربائية الحالة التي تكون فيها معاوقتان متصلتان على التوازي ولذلك فإن هذه الحالة تستحق مزيداً من الدراسة كما مبين في الشكل أدناه:




شكل(١- ١٠)معاوقتان موصولتان على التوازي.

المعاوقة المكافئة تعطى بالعلاقة:

$$\frac{1}{Z_{eq.}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}$$

أو

$$Z_{eq.} = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$V = I_1 Z_1 = I_2 Z_2 = I_T Z_{eq.} = I_T \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

وبالتعويض نجد:

$$I_1 = \frac{I_T Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

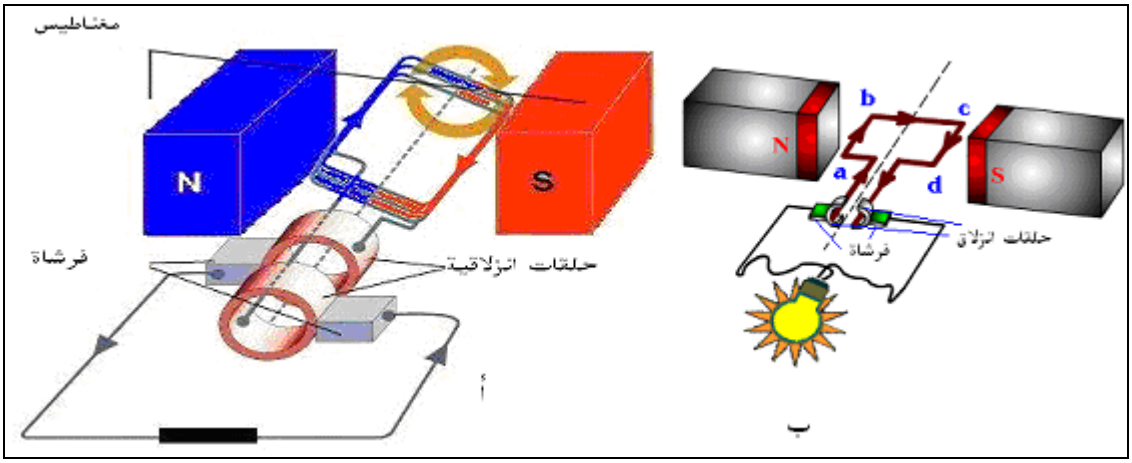
$$I_2 = \frac{I_T Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

### الأنظمة المتعددة الأطوار:

يتكون النظام المتعدد الأطوار الذي يمد الأحمال المتصلة في الفرع بالقدرة من جهدين متساويين أو أكثر بينهما زوايا طور ثابتة. وفي النظام ذي الطورين يوجد جهدان متساويان يختلفان في الطور بزاوية ٩٠° بينما في النظام ذي الأطوار الثلاثة تبلغ زاوية فرق الطور ١٢٠°. والنظام الشائع الاستخدام في توليد وإرسال القدرة الكهربائية هو النظام ذو الأطوار الثلاثة.

### النظام ذي الطورين:

ينتج عن دوران زوج الملفات المتعامدة في مجال مغناطيسي ثابت جهدان تأثيريان زاوية فرق الطور بينهما ثابتة وتساوي 90°. وإذا كان عدد اللفات في الملفين متساو فإن جهد الطور والجهد اللحظي يكون لهما نفس المقدار.




شكل(١- ١١) نظام ذو الطورين.

$VBN = Vcoil \angle 0$ كمحور إسناد وجهد $VAN = Vcoil \angle 0$

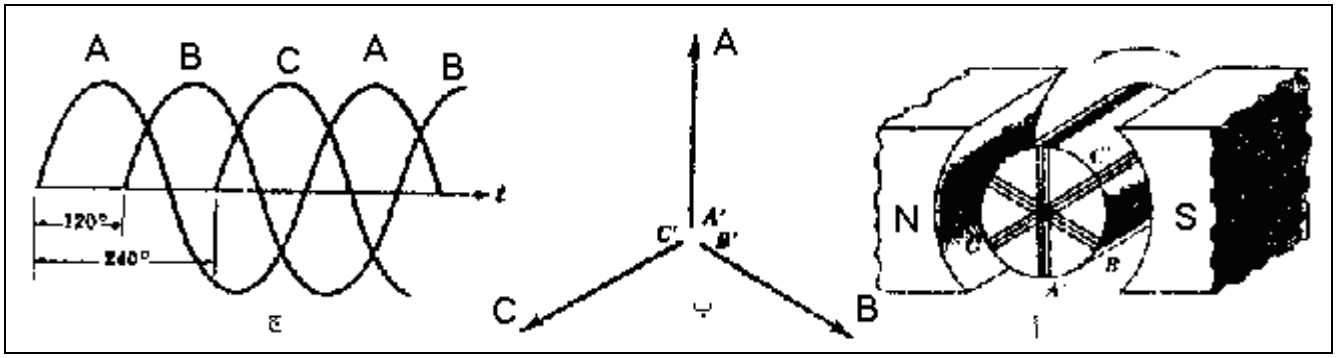
وإذا وصل طرفا B` , A` كفرع N ، فإن النظام ذا الطورين يتكون من الأفرع الثلاثة A, B, N ويكون فرق الجهد بين الفرعين A, B كما يلي :

$$VAB = VAN + VNB = Vcoil \angle 90 + Vcoil \angle 180 = 2\ Vcoil \angle 135$$

### نظام الأطوار الثلاثة:

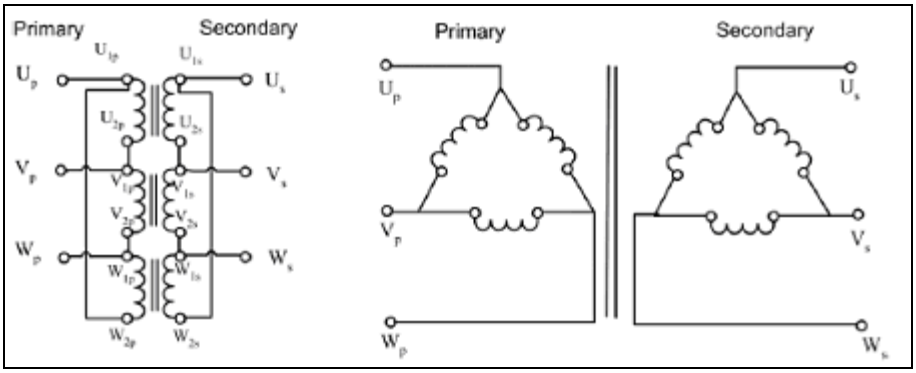
الجهود التأثيرية الناتجة في الملفات الثلاثة المتساوية البعد عن بعضها لها فرق طور مقداره ١٢٠° ويصل الجهد في الملف A إلى نهايته العظمى أولاً، ثم يتبعه جهد الملف B ثم C وذلك حسب التتابع ABC وتتضح هذه المتتابعة من الشكل وذلك مع اعتبار الاتجاه الموجب للدوران في عكس حركة عقارب

الساعة. وعلى ذلك فإن الجهد المطاور يمر بنقطة ثابتة هي على الترتيب من اليسار A-B-C-A-B-C كما يصل الجهد اللحظي للقمة بنفس الترتيب.

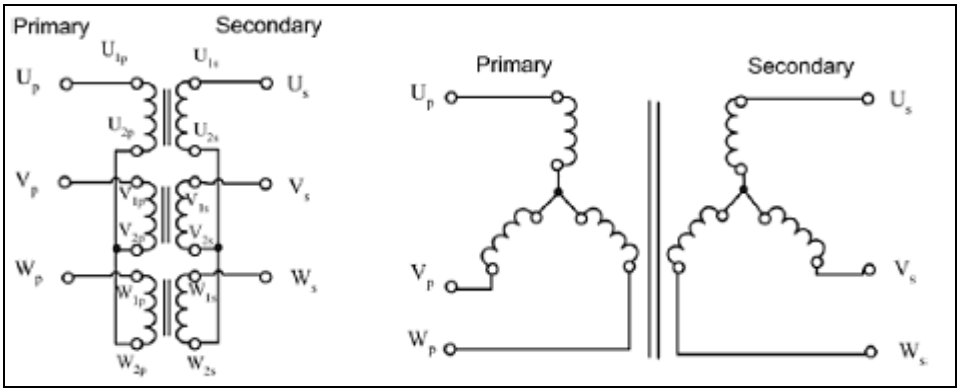



شكلا(١- ١٢) نظام الأطوار الثلاثة.

وعلى الرغم من أن نظرية عمله معروفة جيداً إلا أنه توجد عدة عوامل عملية تمنع استخدامها. والأجهزة العملية المستخدمة حالياً يدور فيها المجال بينما تبقى الملفات الثلاثة ثابتة. وبتوصيل نهايات الملفات A` و B` و C` تنتج جهود متصلة على شكل نجمة بينما بتوصيل A , B` , B , C` , C , A` تنتج جهود مترددة متصلة على شكل دلتا كما في الشكل(١٣,١.أ و ب) أدناه.




شكل(١- ١٣.أ)شكلا دلتا للجهود الكهربائية.

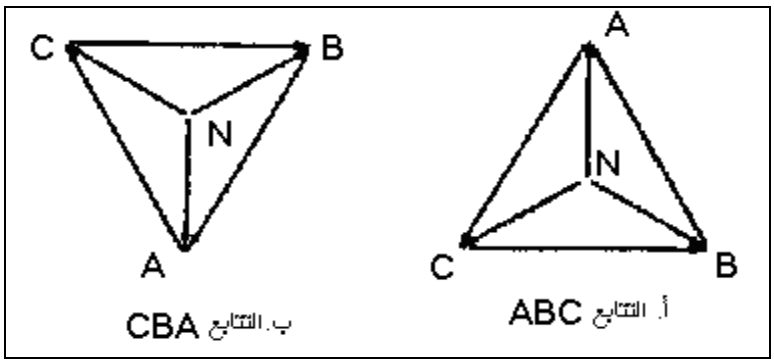



شكل(١- ١٣.ب)شكلي نجمة للجهود الكهربائية.

في توصيلات النجمة تتساوى تيارات الملفات والأفرع والجهد بين فرعين يساوي (جذر تربيعي ٣ في جهد الملف). أما في توصيلات دلتا فإنه يتساوى جهد الملفات والأفرع ولكن تيارات الملفات تساوي (واحد على جذر تربيعي ٣ في تيار الفرع). وفي كلا الاتصالين فإن الأفرع A, B, C تمثل نظام جهد ذي ثلاثة أطوار. ونقطة التعادل في توصيلات النجمة هي نقطة التوصيل الرابعة للأطوار الثلاثة (نظام أربعة أسلاك).

**جهود نظام الأطوار الثلاثة:**

وباختيار أحد الجهود كجهد إسناد بزاوية طور تساوي صفر يمكننا تعيين زوايا الطور للجهود الأخرى في هذا النظام. إذا أخذنا $V_{AB}$ كحد إسناد فإن المثلثين في الشكلين أدناه يبنين جميع الجهود في التتابعين ABC و CBA على الترتيب.



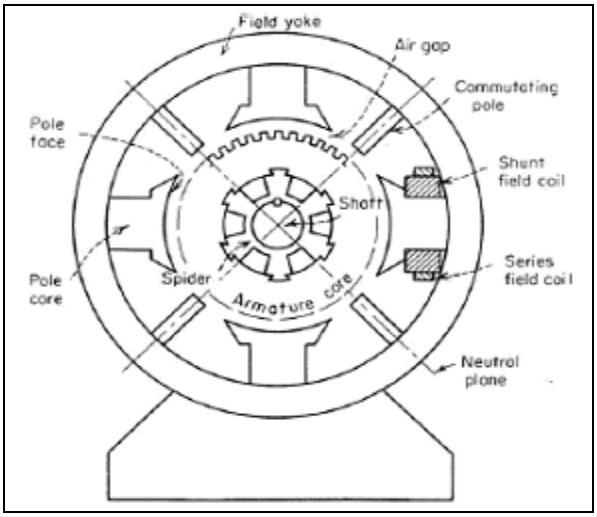

شكل(١- ١٤) زوايا الطور.

ونظام الجهود هو الجهد بين أي زوج من الأفرع A و B أو B و C أو C و A . وفي نظام الأسلاك الأربعة تكون قيمة جهد الفرع بالنسبة للجهد المتعادل هو واحد على جذر تربيعي ٣ في جهد هذا الفرع. فمثلاً في نظام الأطوار الثلاثة وأربعة أسلاك بجهد ٢٠٨ فولت يكون للنظام CBA جهود أفرع ٢٠٨ فولت وجهد الفرع للجهد المتعادل هو ١٢٠ فولت.

# تـوليد الطاقة الكهربـائية Electricity Generation

**المولدات** Generators:

تولّد الطاقة الكهربائية في محطات توليد القدرة بواسطة آلات كهربائية دوارة تسمى المولدات. تتركب جميع أنواع المولدات من عضو ساكن (ثابت) وعضو دوّار. يدار العضو الدوار بواسطة محرك Rotor. وتتبني نظرية المولد على القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية المتولدة بالحث في الملفات الموجودة على عضو الإنتاج (العضو الدوّار)، حيث تقطع هذه الملفات أثناء دورانها خطوط القوى المغناطيسية الناشئة من مغناطيس دائم مثل ذلك المستخدم في حالة الدينامو، أو من مغناطيس كهربائي مثل ذلك المستخدم في حالة المولدات الكبيرة، وتسمى المغناطيسات الكهربائية عادة مغناطيسات المجال.

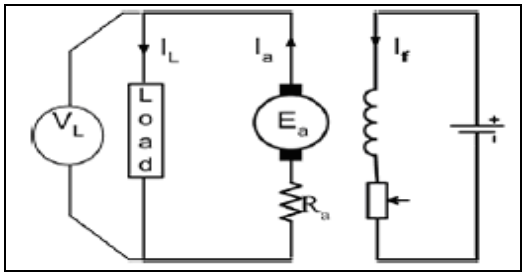



شكل(١٥,١) مكونات مولد التيار

**وتقسّم المولدات عادة تبعاً لكيفية إثارة ملفات مغناطيسات المجال إلى:**

**١. مولدات بإثارة منفصلة:**

الفكرة الأساسية لمولدات الإثارة المنفصلة تتلخص في توصيل ملفات إثارة مغناطيسات المجال بمصدر منفصل للطاقة لتغذيتها بالتيار اللازم لعملية الإثارة. وقد يكون هذا المصدر بطارية أو دينامو أو أي مصدر للتيار المستمر.



شكل(١٦,١)مولد إثارة منفصلة.

**٢. مولدات بإثارة ذاتية تلقائية:**

والفكرة الأساسية للإثارة الذاتية التلقائية، تتلخص في تركيب مولد صغير للتيار المستمر على عمود إدارة المولد الأساسي بحيث يدور المولدان معاً. ويستخدم التيار المستمر الناتج من المولد الصغير لتغذية ملفات الإثارة للمولد الأساسي.

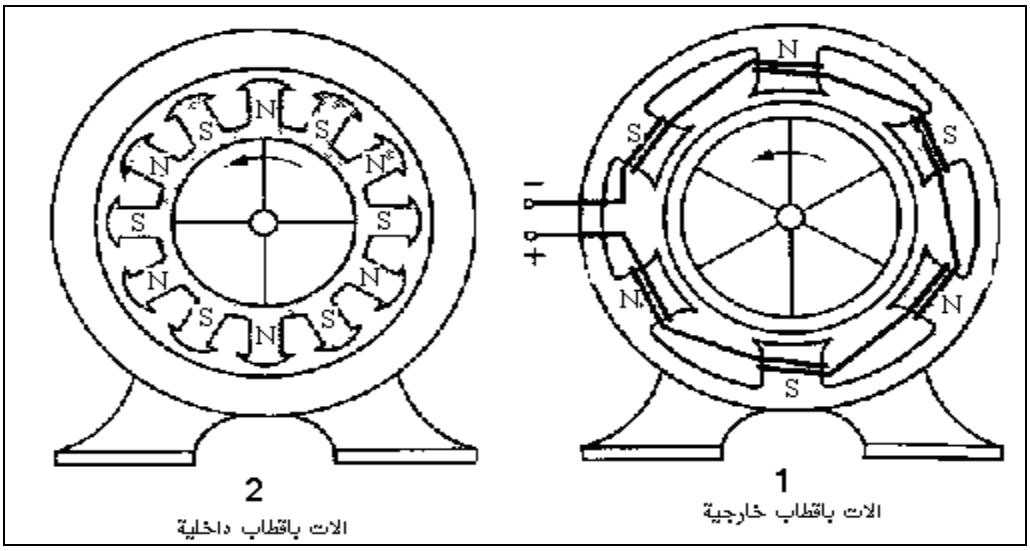
**٣. مولدات بإثارة ذاتية:**

يمكن أن تتم الإثارة الذاتية لمولد تيار مستمر، عندما تكون ملفات عضوه الساكن وملفات عضوه الدوار متصلة معاً على التوازي وموصلة على التوالي بالأجهزة أو التركيبات الكهربائية المطلوب استخدام التيار فيها. وفي هذه الحالة تنتج الإثارة الذاتية عندما يدور العضو الدوار بين المغناطيسات الكهربائية التي لها قلوب حديدية سبق مغنطتها.

ومن المعروف أن القلوب الحديدية تحتفظ بجزء من المغناطيسية يطلق عليها اسم المغناطيسية المتبقية. ويتبقى هذا الجزء بعد عملية المغنطة الأولى وبعد انقطاع التيار عن الملفات المحيطة بها. وتفيد هذه المغناطيسية المتبقية بعد ذلك في إيجاد مجال مغناطيسي يكفي لكي ينتج بالحث قوة دافعة كهربائية منخفضة في ملفات عضو الإنتاج عند بدء دورانه. وتؤدي هذه القوة الدافعة الكهربائية بدورها إلى مرور تيار في ملفات الإثارة الموصلة على التوالي بالأجهزة، الأمر الذي تنتج عنه زيادة الدفق المغناطيسي لمغناطيسات المجال، وبالتالي إلى زيادة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة بالحث في عضو الإنتاج. وهكذا يزداد الدفق المغناطيسي تبعاً لتزايد شدة تيار الإثارة إلى أن تصل الدائرة المغناطيسية إلى حالة التشبع. وتتميز المولدات ذات الإثارة الذاتية بأنها أقل أنواع المولدات تكلفة سواء في صناعتها أو صيانتها.

**٤. المولدات ذات القطب الداخلي والمولدات ذات القطب الخارجي:**

يمكن وضع مغناطيسات المجال للمولدات إما بالعضو الساكن أو بالعضو الدوار. وتعرف المولدات بأنها ذات قطب خارجي إذا كانت ملفات الإثارة موجودة بالعضو الساكن. أما إذا كانت ملفات الإثارة موجودة بالعضو الدوّار، فيعرف المولد بأنه ذو قطب داخلي. وأكثر مولدات التيار المتردد (بما في ذلك مولدات الطور الثلاثي) آلات ذات قطب داخلي. أما مولدات التيار المستمر فهي عادة آلات ذات قطب خارجي حيث يستخدم الجزء الدوّار في توليد التيار المستمر.

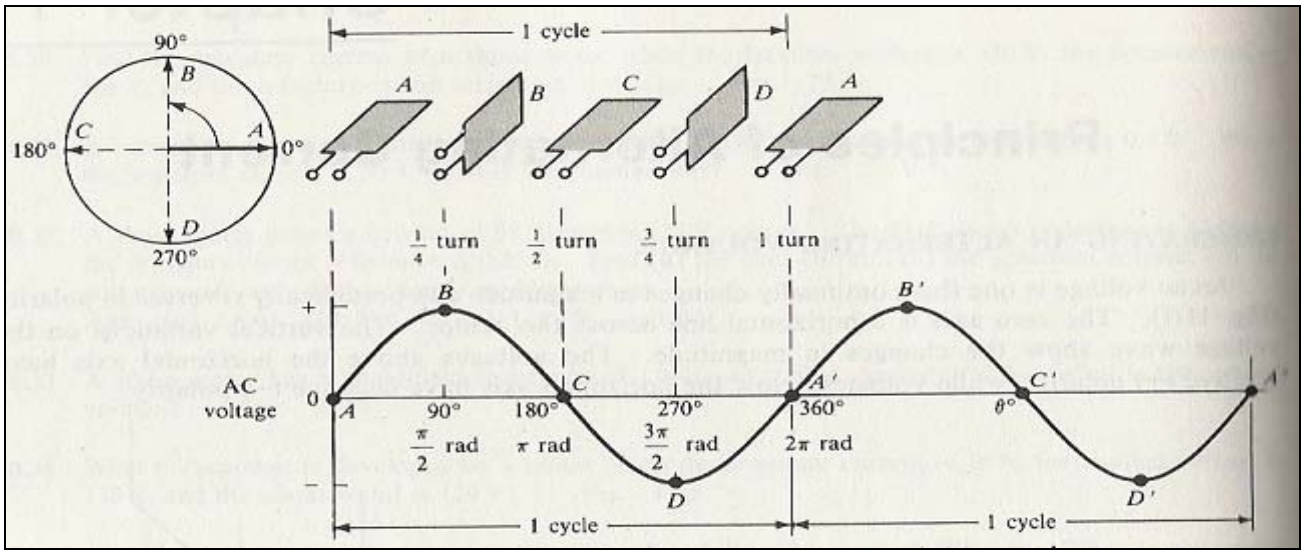



شكل(١- ١٧) المولدات ذات القطب الداخلي والمولدات ذات القطب الخارجي.

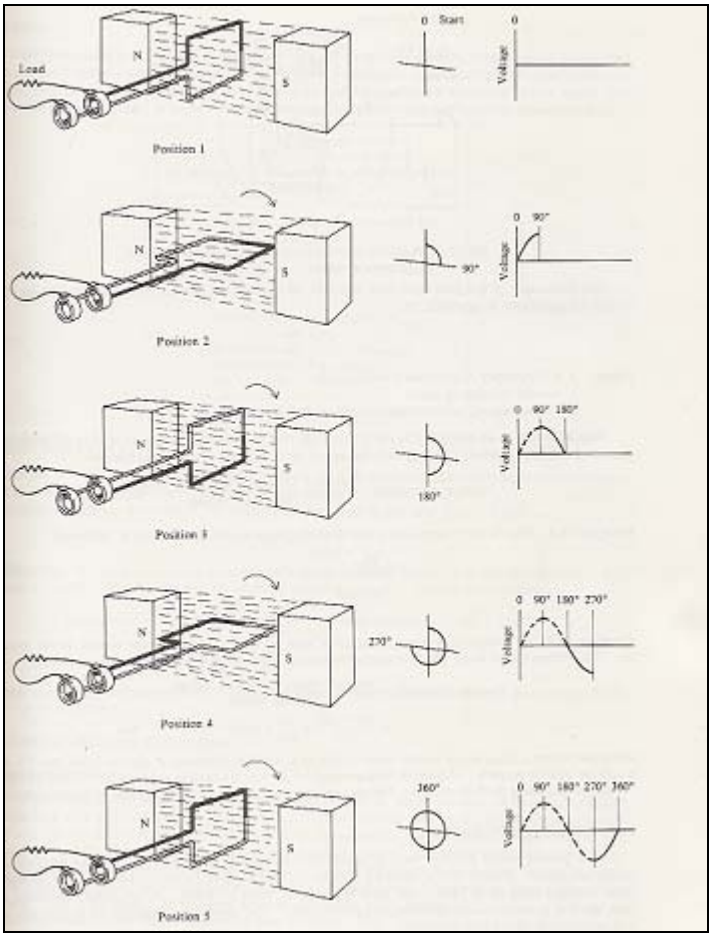
## وتقسم المولدات عادة من حيث نوع التيار الذي تقوم بتوليده إلى :

### أولاً : مولدات التيار المستمر :

يمكن الحصول على التيار المتردد الجيبي من مولدات التيار المتردد بواسطة فرشتين تنتهيان بأطراف تلامسى حلقتي انزلاق. وتتصل حلقتا الانزلاق بنهايتي الملف وتدوران معه على نفس المحور. وللحصول على تيار مستمر من هذه المولدات فإنه يستعاض عن حلقتي الانزلاق بمبدل أو موحد للتيار. والفكرة الأساسية لعملية التوحيد ، حيث يقوم المبدل بتوحيد اتجاه التيار الناتج بالحث في ملف موصل مقفل للحصول على التيار المستمر. ويتكون المبدل من حلقة مشطورة إلى نصفين معزولين أو خوصتين معزولتين يطلق على كل واحدة منها اسم شدفة. وتتصل كل شدفة منهما بإحدى نهايتي الملف. وينزلق المبدل على فرشتين ثابتتين. وعندما يدور الملف تلامس كل فرشة نصفي الحلقة بالتناوب، وبذلك يخرج من الفرشتين تيار مستمر يسري في اتجاه واحد. ويتضح أنه إذا كانت الدائرة الخارجية مقفلة فإن التيار المتولد يمر في اتجاه واحد فقط. أي عند توصيل أي جهاز بين الطرفين (١)،(٢) فإن التيار يكون له قيمة كبيرة، ويمر دائماً من النهاية (١) إلى النهاية (٢) عندما تكون الفرش والشدفات في الوضع الثاني والوضع الرابع.




شكل(١٨,١.أ)توليد التيار المستمر.




شكل(١٨,١.ب)توليد التيار المستمر.

بينما تصبح قيمة التيار صفراً عندما تلامس الفرش نقطة اتصال الشدفتين كما في الوضع الأول والوضع الرابع. وعلى ذلك فإننا نحصل على تيار مستمر بنبضات شديدة إذا استخدم ملف واحد ومبدل بشدفتين. وهذا التيار لا يلائم الاستخدام في الأغراض العامة. ويمكن الحصول على تيار مستمر أملس

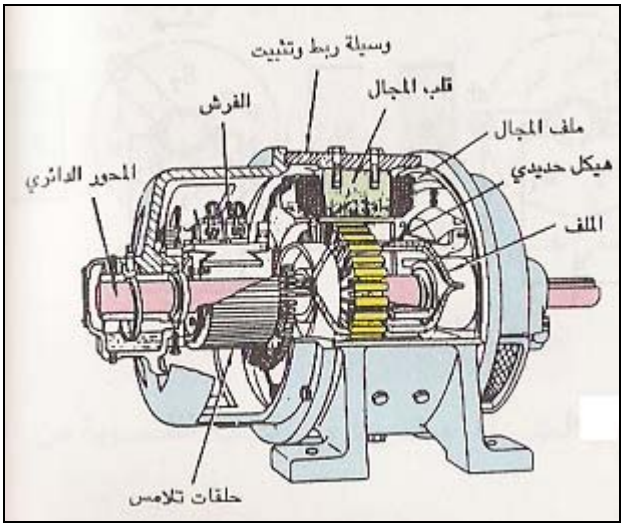
خال من النبضات، يصلح للأغراض العامة، باستخدام مولد له عضو إنتاج به عدة أزواج من الملفات بدلاً من ملف واحد. ويستخدم مع عضو الإنتاج في هذه الحالة مبدل مكون من عدد من الشدفات (الخوصات المعزولة) مساو لعدد الملفات الموجودة في عضو الإنتاج.

**التصميم الميكانيكي لمولد تيار مستمر:**

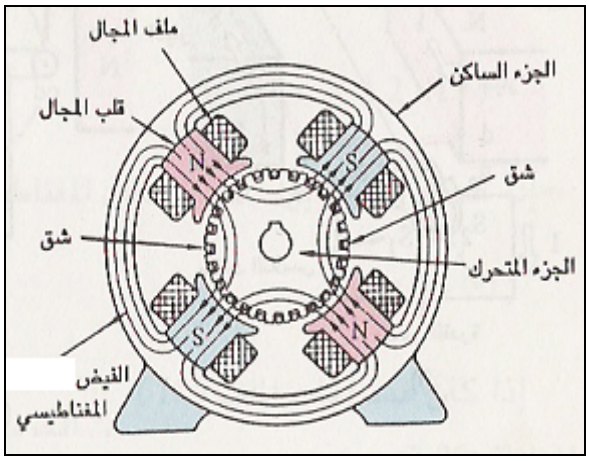
يبين الشكل مولداً للتيار المستمر. ويتكون عادة من الأجزاء الرئيسة التالية:

١. مسندان لكراسي التحميل يرتكز عليهما عمود الإدارة لعضو الإنتاج.
٢. إطار مثبت بداخله العضو الساكن ومغناطيسات المجال وحولها ملفات الإثارة.
٣. عضو إنتاج أسطواني الشكل مصنوع من رقائق من الحديد السيليكوني، فيه مجار توضع بداخلها الملفات التي يتولد بها التيار بالحث الكهرمغناطيسي.
٤. حامل الفرش وبداخله فرش كربونية لتوصيل التيار المتولد إلى الدائرة الخارجية.

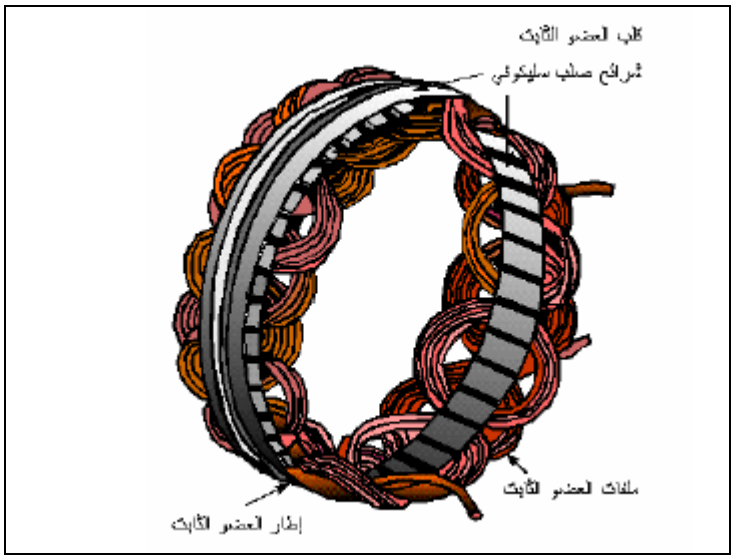
يصنع المسندان عادة من الزهر المسبوك، ويستخدمان في تثبيت كراسي التحميل. أما عضو الإنتاج فيصنع من رقائق من ألواح الدينامو. وألواح الدينامو عبارة عن سبيكة من الصلب الطري المحتوي على نسبة من السيليكون، ويغطي سطحها من الخارج مادة عازلة. ويفيد السيليكون والمادة العازلة في الحد من التيارات الدوامية التي تتولد في الحديد أثناء الدوران. ويزوّد عضو الإنتاج بمجار توضع بداخلها الملفات التي تتولد بها التيارات بالحث الكهرمغناطيسي، كما يزوّد عضو الإنتاج أيضاً بعمود إدارة لتسهيل دورانه. ويحمل عمود الإدارة المبدل (عضو التوحيد)، ومروحة تبريد في بعض الأحيان.




شكل(١٩,١.أ) أجزاء مولد التيار المستمر.




شكل(١,١٩.ب) أجزاء مولد التيار المستمر.

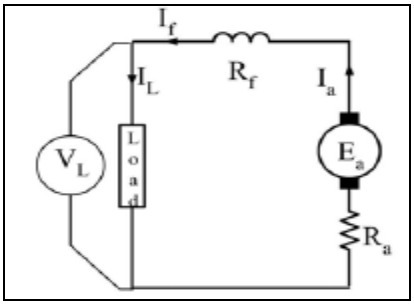



شكل(١,١٩.ج) العضو الثابت لمولد تيار.

**تصنيف الملفات تبعاً لكيفية توصيل ملفات المجال بملفات عضو الإنتاج:**

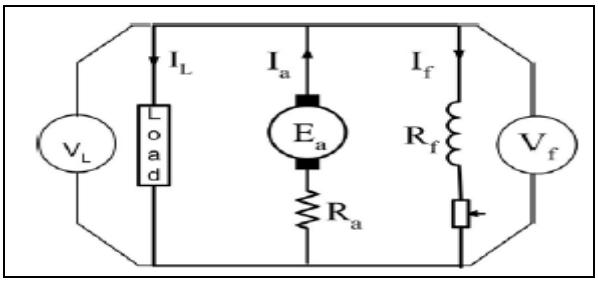
تقسّم مولدات التيار المستمر، تبعاً لكيفية توصيل ملفات مغناطيسات المجال بملفات عضو الإنتاج، إلى الأنواع الأساسية التالية:

١. مولدات ملفاتها على التوالي: وفيها توصل ملفات المجال على التوالي بملفات عضو الإنتاج.



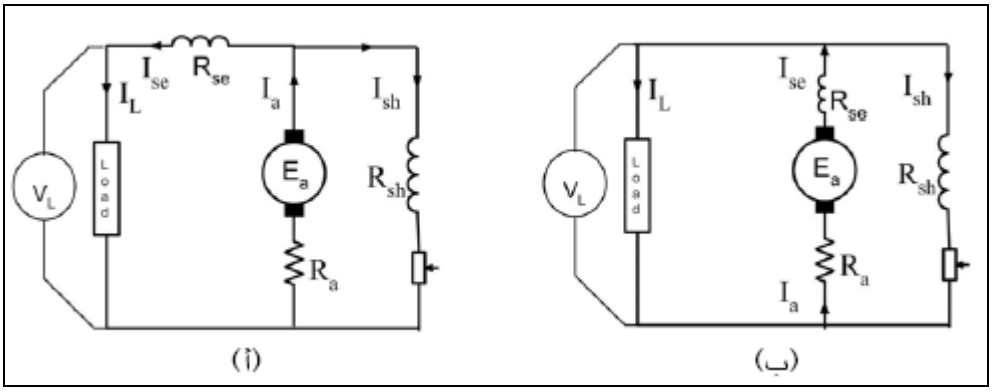

شكل(١,٢٠.أ)

٢. مولدات ملفاتها على التوازي: وفيها توصل ملفات المجال على التوازي بملفات عضو الإنتاج.




شكل(١,٢٠.،ب)

٣. مولدات بلف مركب: وفيها يوصل جزء من ملفات المجال على التوالي بملفات عضو الإنتاج ويوصل الجزء الآخر على التوازي بملفات عضو الإنتاج.




شكل(١,٢٠.ج)أ مركب قصير ب. مركب طويل.

**الاستخدامات:**

وتستخدم المولدات التي ملفاتها على التوالي في الطلاء بالكهرباء واللحام بالكهرباء وفي جميع الأغراض التي يمكن أن تضمن فيها تحميل المولد بصفة منتظمة ومستمرة. وتستخدم الملفات التي ملفاتها على التوازي في محطات توليد القدرة الكهربائية. كما تستخدم المولدات بلف مركب في محطات توليد القدرة الكهربائية وفي المحطات الكبيرة بتشغيل متقطع.

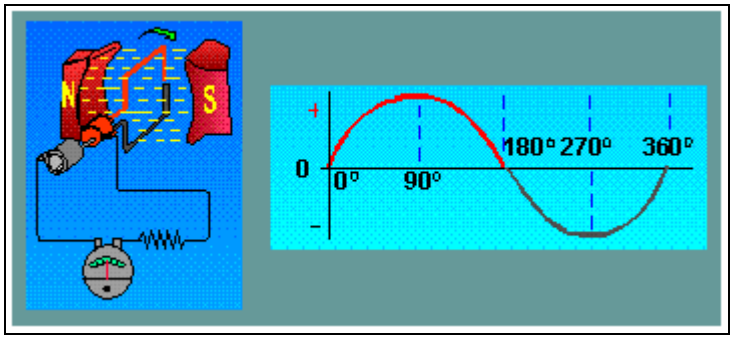
وقد توصل مولدات التيار المستمر مع بعضها على التوالي للحصول على نظام تيار مستمر ثلاثي الأسلاك. ويفيد مثل هذا النظام في إمكان الحصول على جهدين مختلفين بين خطوطه مثل ١١٠/٢٢٠ فولت أو ٢٢٠/٤٤٠ فولت. ويكون الجهد بين أي موصل من الموصلين الخارجيين وبين موصل التعادل مساوياً لنصف الجهد بين الموصلين الخارجيين.

## ثانياً: مولدات التيار المتردد

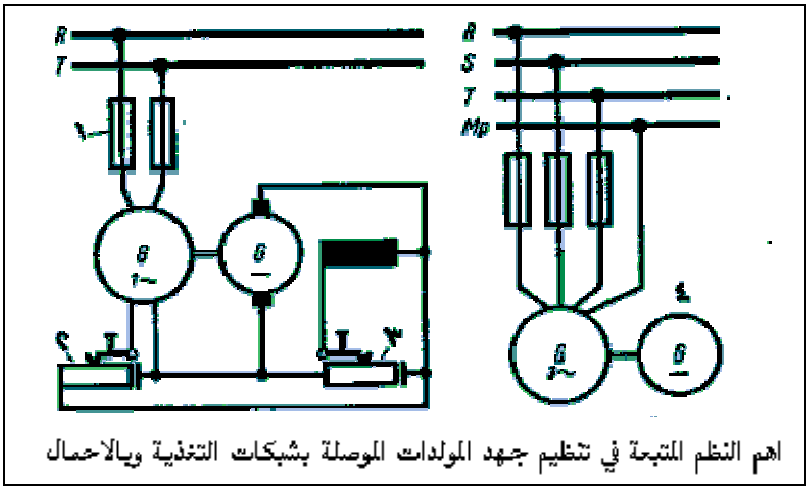
### المولدات وحيدة الطور Single phase والمولدات ثلاثية الطور Three phase:

لا يختلف مولد التيار المتردد في كيفية عمله عن مولد التيار المستمر، حيث تم استبدال عضو التوحيد( المبدل ) بحلقتين تنزلقان على فرشتين ثابتتين ، ويمكن عن طريقهما الحصول على التيار المتردد. وتصنع مولدات التيار المتردد عادة بأقطاب داخلية. وتختلف المولدات ثلاثية الأطوار عن المولدات وحيدة الطور بوجود ثلاثة ملفات بين كل قطبين بدلاً من ملف واحد.

وتستخدم مولدات التيار المتردد بتردد قدره ١٦,٦٧ ذبذبة في الثانية. كما تستخدم أيضاً في توليد الطاقة الكهربائية بجهد يصل إلى ٦٠٠٠ فولت تقريباً. وقد تصنع مولدات لتوليد طاقة بجهد أكبر من ذلك على ألا يتعدى ١٥٠٠٠ فولت، حيث إن ذلك يؤدي إلى الكثير من الصعوبات الخاصة بالعزل اللازم للملفات في الجهود العالية.




شكل(٢١,١)كيفية توليد التيار المتردد.



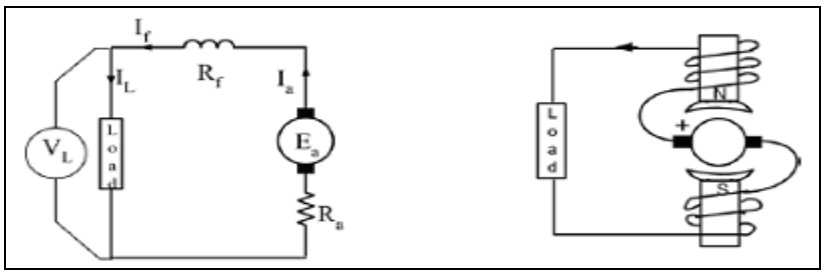

شكل(١- ٢٢)توصيل مولدات التيار المتردد على التوازي.

وتزوّد غالبية محطات التوليد الكهربائي بعدد كبير من المولدات، قد توصل جميعها بالشبكة أو يفصل جزء منها في أوقات معينة، بينما يوصل جزء آخر من هذه المولدات في أوقات الذروة، وذلك تبعاً للقدرة المطلوبة ( الحمل المطلوب ٩)، وتوصيل المولدات يعني توصيل مولد أو أكثر على التوازي بمولد أو

أكثر قائم بالعمل فعلاً، أي موصل بالشبكة ،ولا يتم ذلك إلا إذا توفرت **الشروط الآتية للمولدين لحظة التوصيل:**

١. أن يكون لهما نفس الجهد المقنن.
٢. أن يكون لهما نفس التردد المقنن.
٣. أن يكون لهما نفس الطور لحظة توصيلهما معاً ( يتحدان في تتابع الأطوار).

ويطلق مصطلح " التزامن" على عملية توصيل المولدات لتعمل على التوازي إذا استوفت الشروط السابقة.

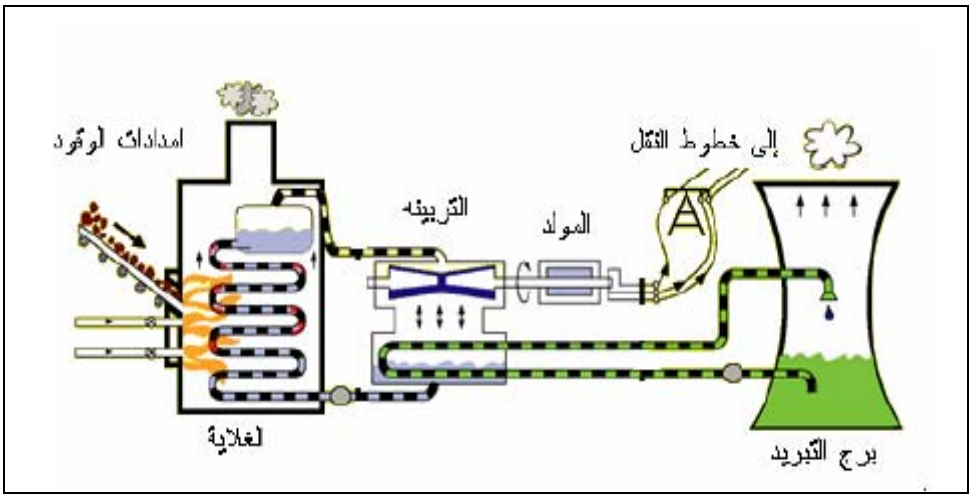



شكل (١- ٢٣) رسم تخطيطي يبين كيفية توصيل مولدين بطور وحيد على التوازي.

ويبين الشكل (١- ٢٣) رسماً تخطيطياً لدائرة تبين كيفية القيام بعملية التوصيل على التوازي لمولدين بطور وحيد. وقد حذفت دوائر الإثارة من الشكل لتسهيل التمثيل التخطيطي للدائرة. ولنفرض أن المولد بالجهة اليسرى قائم بالعمل فعلاً وموصل بقضبان التوزيع، وأن المولد بالجهة اليمنى هو المطلوب توصيله على التوازي. فتحدث عملية التزامن بإدارة المولد الموجود بالجهة اليمنى وضبط جهده بواسطة ريوستات المجال حتى يتساوى تماماً مع قيمة جهد المولد الموجود بالجهة اليسرى.

## محطات توليد القدرة الكهربائية

تولّد الطاقة الكهربائية في محطات توليد القدرة الكهربائية بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية باستخدام المولدات. وتصنّف محطات توليد القدرة الكهربائية تبعاً لعدة أسس مختلفة. وفيما يلي قائمة بأكثر التصنيفات شيوعاً:




شكل(٢٤,١)محطة توليد طاقة كهربائية.

**تصنيف المحطات تبعاً لمصادر الطاقة الأولية التي تدفع المحركات الأولية:**

من المعروف أن المولدات الموجودة بمحطات توليد القدرة الكهربائية تدار بواسطة محركات أولية تدفع بمصادر طاقة مختلفة. وتقسّم المحطات في كثير من الأحيان تبعاً لنوع الطاقة التي تقوم بدفع المحرك الأولي إلى:

١. المحطات الحرارية: وهي المحطات التي يدار فيها المحرك الأولي باستخدام الطاقة الناتجة من احتراق الوقود ( فحم ،أو غاز ،أو بنزين).
٢. المحطات الهيدروليكية: وهي المحطات التي يدار فيها المحرك الأولي بواسطة الطاقة الناتجة من اختلاف منسوبي المياه في مكان ما من أي مجرى مائي.
٣. المحطات الهوائية: وهي المحطات التي يدار فيها المحرك الأولي باستخدام تيار الهواء المنساب(لدفع طواحين الهواء).

**تصنيف محطات توليد القدرة الكهربائية حسب نوع الخدمة:**

سبق أن بينا أنه توجد بمحطات توليد القدرة الكهربائية مولدات تعمل بصفة مستمرة، وأخرى تعمل في أوقات الذروة فقط، أي تعمل على التوازي لتشارك في القيام بجزء من الحمل الزائد في أوقات الذروة ، أو عند زيادة الحمل، أو في أوقات معينة من السنة. ولذلك تصنّف محطات توليد القدرة بالنسبة لنوع الخدمة إلى:

١. **محطات خدمة مستمرة**: وهي التي تعمل على حمل أساسي بصفة مستمرة.
٢. **محطات خدمة مؤقتة**: وهي المحطات التي تعمل وتوصل بصفة إضافية بالشبكة العامة أثناء فترات الذروة، أو زيادة الحمل، أو في أوقات معينة من السنة.

## نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية :

### نظم النقل والتوزيع بجهد عال أو بجهد منخفض:

تنقل الطاقة الكهربائية من محطة توليد القدرة الكهربائية إلى المستهلك بواسطة خطوط أو موصلات يطلق عليها اسم شبكات النقل والتوزيع الكهربائية أو نظم النقل والتوزيع.ويبين الشكل (٢٥,١.أ و ب) رسماً تخطيطياً لشبكة النقل والتوزيع للطاقة الكهربائية، والتي تبدأ من محطة توليد القدرة الكهربائية إلى المستهلك. ويظهر في الرسم وسائل التحكم والإشراف المستخدمة لتحديد الأخطاء وضمان أداء هذه الشبكات بكفاءة عالية. وتنقسم نظم نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية إلى:

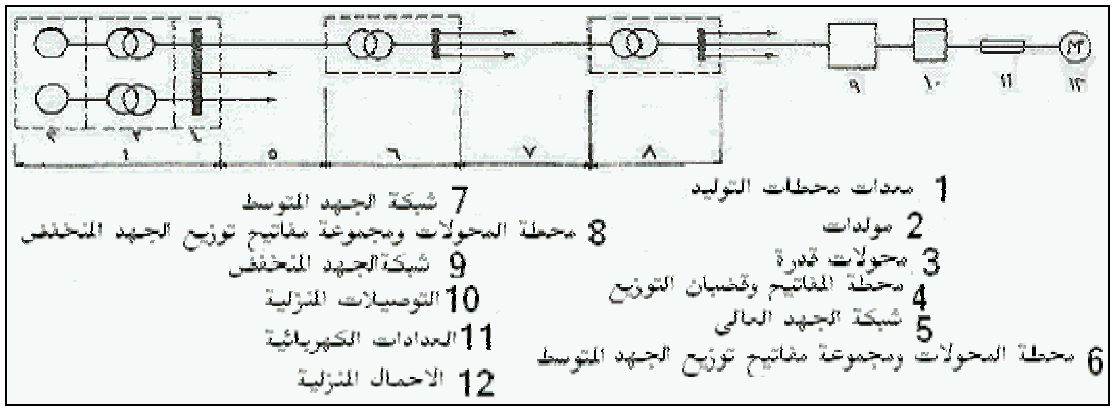
١. **نظم النقل والتوزيع بالجهد العالي:**

وتطلق عادة على الجهود التي تزيد على كيلو فولت واحد اسم "جهود الضغط العالية". وتستخدم الجهود العالية في نقل الطاقة لمسافات بعيدة لتقليل الفقد ثم يخفّض الجهد بواسطة محولات القدرة لتوزيع الطاقة بعد ذلك بشبكات الجهد المنخفض. غير أن الكثير من المصانع الكبيرة تغذى عن طريق شبكات الجهد العالي مباشرة. ويتم في هذه المصانع تحويل الجهد العالي إلى جهد منخفض بواسطة محولات خاصة داخل هذه المصانع.

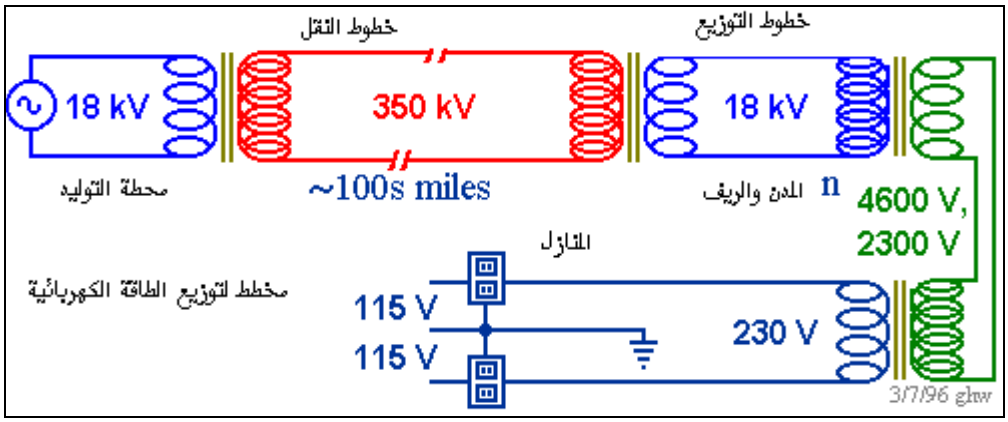
والجهود المقننة المستخدمة في الجهد العالي هي:٣ ، ٥ ، ٦ ، ١٠، ١٥، ٢٠ ، ٣٠ ، ٦٠ ، ١١٠ ، ٢٢٠ ، ٣٠٠ ، ٣٨٠ كيلو فولت. والاتجاه السائد حالياً هو عدم إقامة أية شبكات توزيع بجهد عال يقل جهدها عن ٣٠ كيلو فولت. ومن جهة أخرى لا ينصح بإقامة نظم للنقل والتوزيع يزيد جهدها على ٣٨٠ كيلو فولت، حيث أن مثل هذا النظام يصادف صعوبات كثيرة وخاصة بالنسبة لعزل الموصلات.

٢. **نظم النقل والتوزيع بالجهد المنخفض:**

ويطلق على الجهود التي تقل عن ١٠٠٠ فولت "جهود الضغط المنخفض". وتوزع الطاقة الكهربائية على معظم المستهلكين العاديين بجهود الضغط المنخفض.




شكل(٢٥,١.أ)




شكل(١,٢٥.ب)

ويفضّل عادة أن لا يزيد طول خط التوزيع المستخدم في نظم التغذية بالجهد المنخفض ابتداء من محطة المحولات إلى المستهلك على كيلومتر واحد ، وذلك لتقليل الفقد الناتج في موصلات الجهد المنخفض، حيث إن شدة التيار المار في موصلات الجهد المنخفض كبيرة ومساحة مقطع الموصلات صغيرة نسبياً.

وتعتبر الجهود المقننة التالية أكثر الجهود استخداماً في نظم التغذية بالجهد المنخفض:

١. الجهود المستخدمة في نظام التوزيع بالتيار المستمر ١١٠ ، ٢٢٠ ، ٤٤٠ فولت.

٢. الجهود المستخدمة في نظام التوزيع بالتيار المتردد ١٢٥ ، ٢٢٠ ، ٣٨٠ ، ٥٠٠ فولت.

وقد **تقسم جهود النقل والتوزيع في بعض الأحيان إلى:**

١. جهد منخفض: وهو الذي لا تزيد قيمته على ١ كيلو فولت.

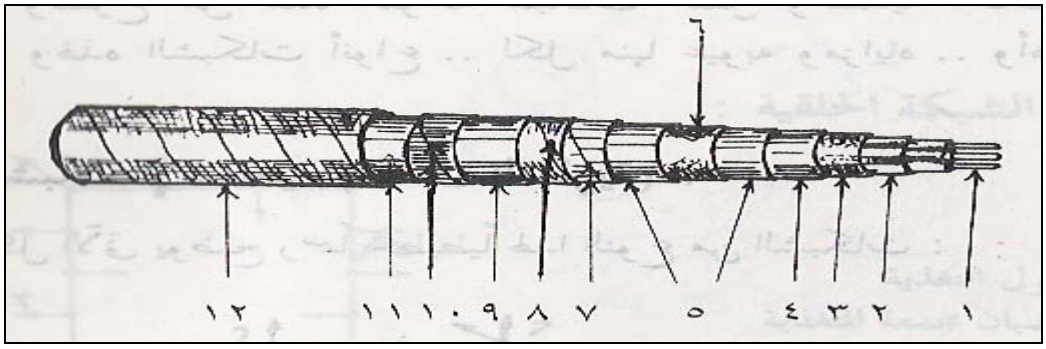
٢. جهد متوسط: وهو الذي تتراوح قيمته بين ١ كيلو فولت ، و٣٠ كيلو فولت

٣. جهد عال: وهو الذي تتراوح قيمته بين ٣٠ كيلو فولت ، و٣٨٠ كيلو فولت.

وتتركب نظم النقل والتوزيع إما من كابلات مدفونة في الأرض أو من موصلات علوية (خطوط هوائية). وتنقل الطاقة الكهربائية في نظام الجهد العالي أساساً بواسطة الخطوط الهوائية، غير أن هناك بعض الأحوال الخاصة التي تنقل تستخدم فيها الكابلات لنقل الطاقة في نظم الجهد العالي.أما في نظم الجهد المنخفض فتستخدم الكابلات أساساً في النقل والتوزيع. وقد تستخدم الخطوط الهوائية في بعض الأحيان خارج المدن وفي الأماكن المكشوفة، وذلك تبعاً لظروف التشغيل المحلية المختلفة.

## الكيبلات الأرضية :

يبين الشكل (١- ٢٦) تصميماً لكيبل أرضي مكون من ثلاثة موصلات. ويستخدم النحاس عادة كموصل في الكابلات الأرضية، وقد يستخدم الألمنيوم حالياً كبديل للموصلات النحاسية في بعض الكابلات.



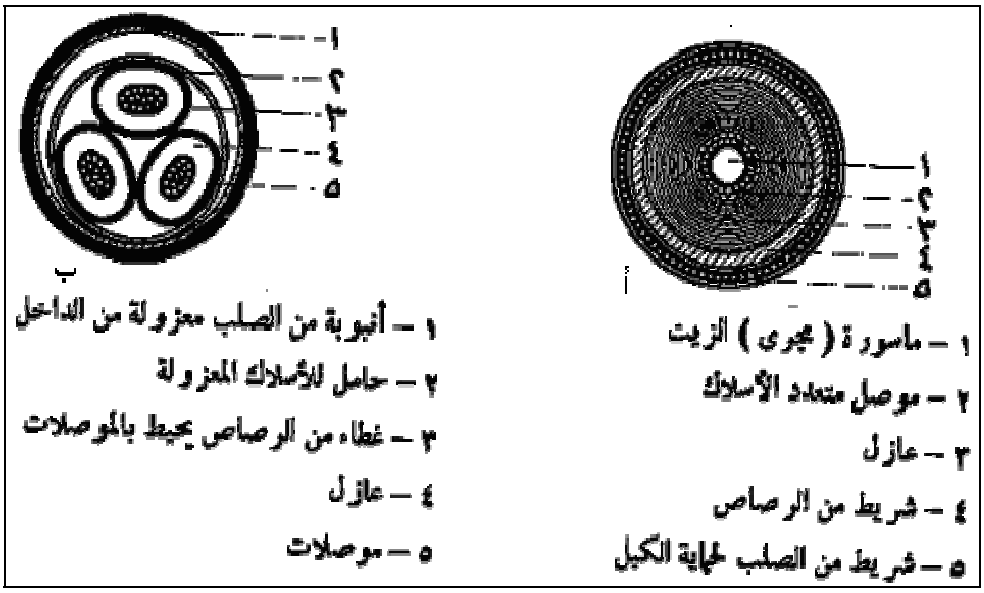

شكل(١- ٢٦)١.قلب الكيبل ٢..ورق مشرب بالزيت ٣.عازل بيتوميني ٤.غطاء من الرصاص
٥.مركب عازل ٦.غطاء مطاطي ٧.ورق مشرب بالزيت ٨. شريط من الصلب للحماية
٩. مركب عازل ١٠.شريط مشرب بالعازل ١١.مركب عازل ١٢. شريط مضفر.

ويلاحظ من الرسم أن جميع الموصلات في الكيبل تكون معزولة تماماً، كما يعزل الكبل من الخارج لمنع حدوث أي تيار قصر أو تيار متسرب بين الموصلات، أو بين الموصلات والأرض. وتتميز كيبلات الجهد العالي عن كيبلات الجهد المنخفض بقوة عزل كهربائية عالية.

**وهناك عدة أنواع من كابلات الجهد العالي أهمها :**

### ١. الكابلات المملوءة بالزيت :

يبين الشكل (١- ٢٧) كيبلاً مملوءاً بالزيت وفيه يلعب الزيت دوراً هاماً في عمل طبقة عازلة رقيقة بين الموصلات تتميز بمستوى عزل عالٍ.



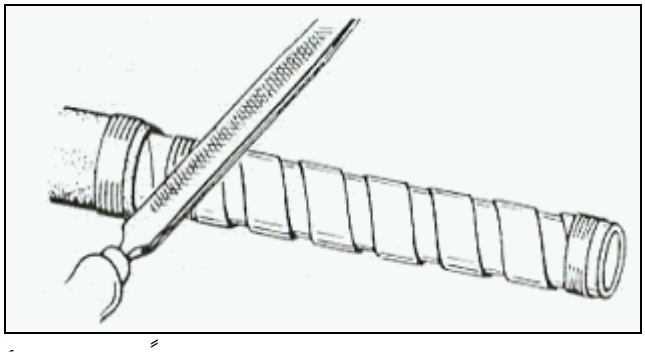

شكل(٢٧,١) مقطع لكيبل أرضي أ).مملوء بالزيت ب).غاز مضغوط.

٢. **كابلات الغاز المضغوط**:

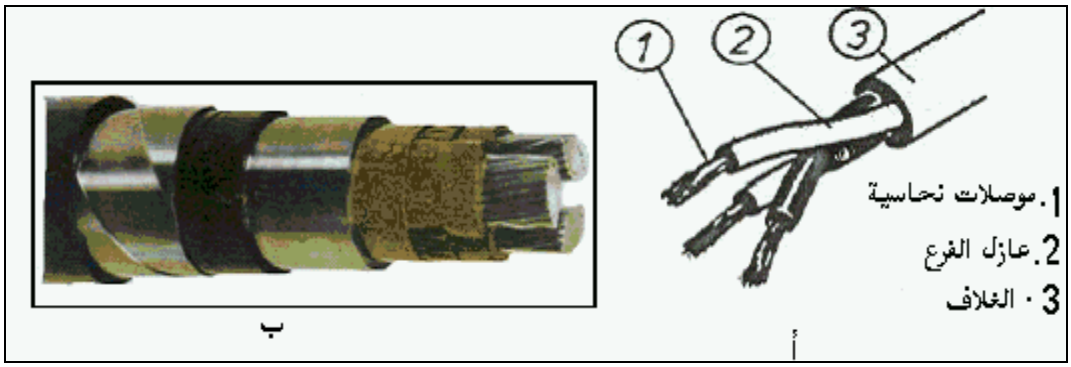
وفيها توضع الموصلات المعزولة داخل أنبوبة من الصلب مملوءة بالهواء (تحت ضغط يتراوح بين ٨ ، ١٥ ضغط جوي)، أو بغاز النيتروجين تحت ضغط يتراوح بين ٤ ، ١٤ ضغط جوي ). ويفيد وضع الموصلات تحت ضغط جوي عال في منع تكون أية فجوات أو فقاعات هوائية في المواد العازلة ، وبذلك يمنع حدوث أي تفريغ بين الموصلات في هذه الكابلات ، ومن المعروف أن مستوى العزل في كابلات الغاز المضغوط يصل إلى ثلاثة أضعاف مستوى العزل في الكابلات العادية.

**طرق وضع الكابلات في الأرض :**

عند وضع الكابلات في الأرض سواء في نظم التوزيع بالجهد المنخفض أو بالجهد العالي يراعى الآتي:يجب دفن الكابلات على عمق يزيد على العمق الذي تصل إليه عمليات الحفر العادية(مد مواسير المياه في الأرض). ويجب حماية الكابلات من التلف الميكانيكي أثناء عمليات الحفر بوضعها داخل غلاف حجري أو في مجار أو خنادق مصممة لهذا الغرض.



شكل(٢٨,١)كيفية إعداد الكابل تمهيداً لتثبيته بالأرض.




شكل(١- ٢٩)تركيب الكابل.

**الخطوط الهوائية :**

وتستخدم موصلات الألمنيوم حالياً في الخطوط الهوائية لشبكات النقل لخفة وزنها وقلة تكاليف تركيب وإنشاء الأبراج الحاملة لها . فمن المعروف أن استخدام الموصلات النحاسية في الخطوط الهوائية يؤدي إلى زيادة كبيرة في تكاليفها وتكاليف إنشاء الأعمدة والأبراج الحاملة لها. ويعيب موصلات الألمونيوم أن مقاومتها النوعية أعلى من المقاومة النوعية للموصلات النحاسية، وأن مقدار الارتخاء في خطوط الألمونيوم يتغير تغيراً كبيراً باختلاف درجات الحرارة وأن قوة شدها صغيرة.

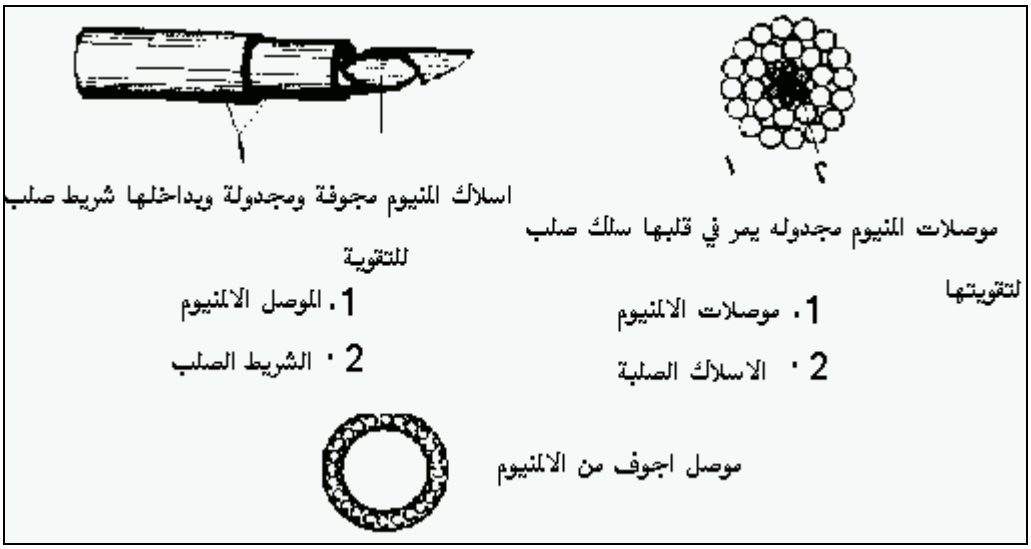
ولذلك **يجب مراعاة ما يلي عند تركيب موصلات الألمونيوم في الخطوط الهوائية:**

١. أن تكون قوة الشد المسلطة على موصلات الألمونيوم صغيرة نسبياً.
٢. أن تكون المسافة بين الموصلات (الخطوط) أكبر ما يمكن وذلك لأسباب اقتصادية.
٣. أن يكون الارتخاء مطابقاً للأبعاد القياسية، علماً بأن هذا الارتخاء يتغير تغيراً كبيراً باختلاف درجات الحرارة.

وفيما يلي وصفاً مبسطاً للأجهزة والمعدات المستخدمة في تركيب الخطوط الهوائية:

**موصلات الألمونيوم المستخدمة في الخطوط الهوائية:**

يفضل دائماً أن تزود موصلات الألمونيوم بأسلاك من الصلب لزيادة قوة شدها. ويبين شكل (٣٠,١) موصلات ألمنيوم مصمتة ومجدولة ، ويوجد بوسطها سلك من الصلب. ويبين الشكل (٣٠,١) موصلات ألمونيوم مفرغة ومجدولة يوجد بداخلها شريط ملولب من الصلب. ويبين الشكل (٣٠,١) موصلات ألمونيوم مفرغة ومجدولة ومقواة بأسلاك من الصلب مدفونة داخل طبقة الألمونيوم التي تشكل محيط الموصل.




شكل(٣٠,١).

**الأبراج والأعمدة المستخدمة في التركيبات الكهربائية للخطوط الهوائية:**

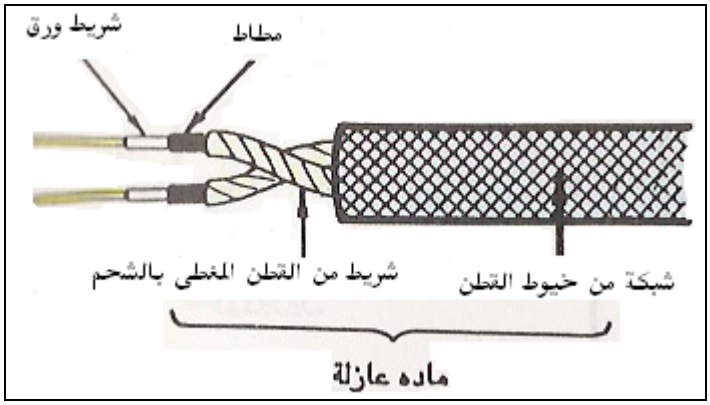
تستخدم الأبراج الحديدية ذات التصميم التشابكي أو الأبراج الحديدية المقواة بدعائم، في حمل الخطوط الهوائية لنقل الطاقة الكهربائية بجهد عال، بينما تستخدم الأعمدة الخشبية والخرسانية عادة في حمل الخطوط الهوائية لنقل الطاقة بجهد منخفض. ويبين الشكل (٣١,١) عدة أنواع من الأبراج الحديدية ذات التصميم التشابكي (المزودة بدعائم تقوية) والمستخدمة في الجهد العالي. وحيث إن هذه الأبراج تستخدم بصفة رئيسة في حمل الموصلات، لذلك يفضل تثبيتها بطريقة تمكنها من تحمل الإجهادات الناتجة من الشد الذي تسببه هذه الموصلات.

شكل(٣١,١).

شكل(٣٢,١)

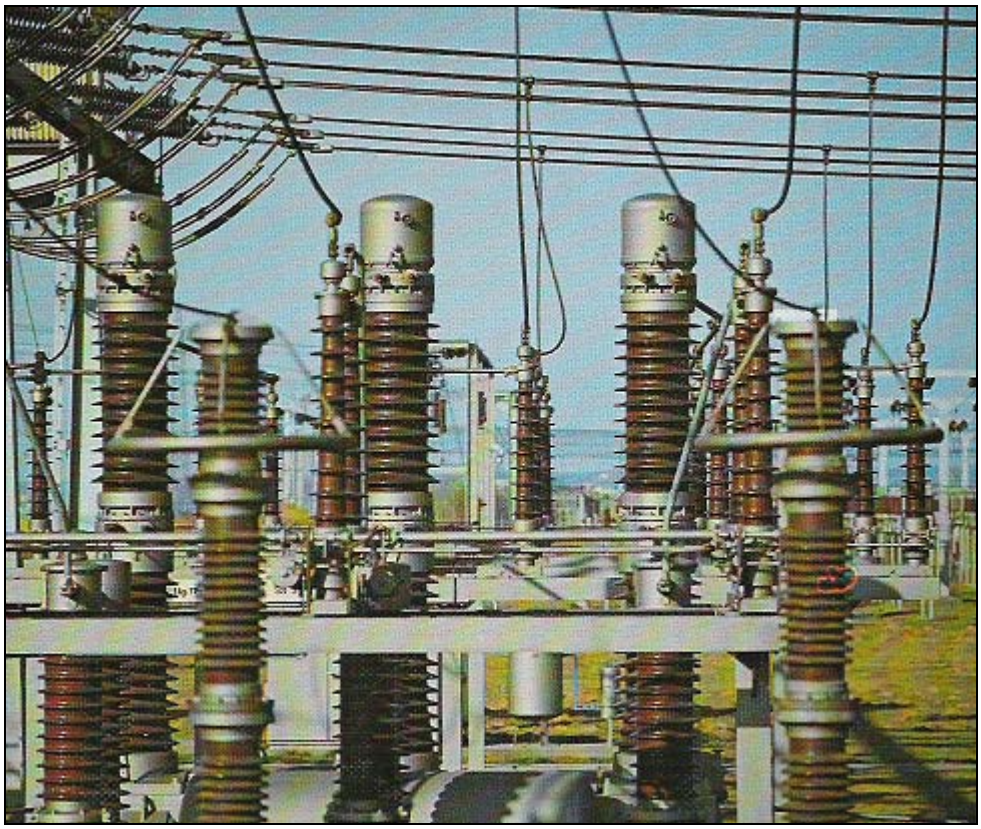
**العوازل وأكمام الكابلات والمعدات المساعدة:**

تستخدم الكثير من المعدات المساعدة في مد الكابلات أو تركيب الخطوط الهوائية. ومن هذه المعدات أكمام الكابلات (الأكمام المقارنة)، وصناديق التوصيل. ونهاية الكابلات، وكذلك عوازل الشد، وعوازل التعليق، ونهايات التفرع.




شكل(٣٣,١.أ)تركيب المادة العازلة.

شكل(٣٣,١.ب)العوازل الكهربائية أثناء تركيبها.

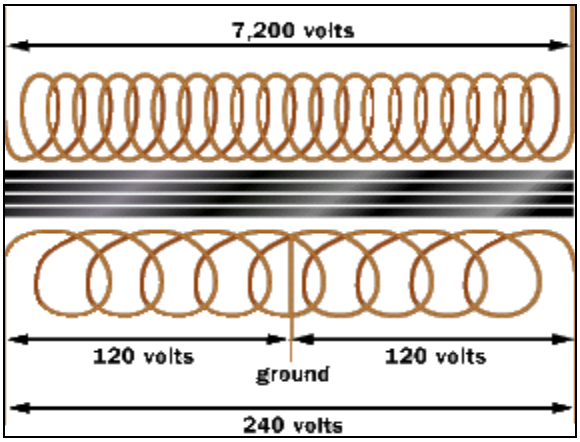


شكل(١,٣٣.ج)العوازل الكهربائية أثناء تركيبها.

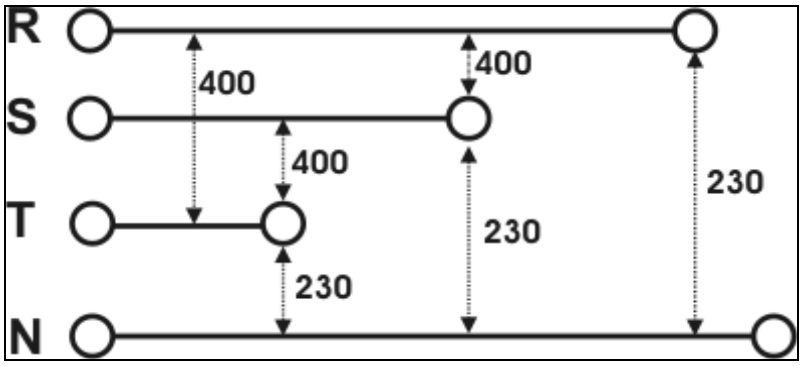
**نظم التوزيع بتيار متردد أو بتيار مستمر :**

توجد من الناحية العملية عدة نظم لنقل وتوزيع الطاقة الكهربائية من المولدات مباشرة. وفيما يلي بعض نظم التوزيع المستخدمة والأكثر شيوعاً، مع ملاحظة أن بعض هذه النظم لا يستخدم حالياً في تركيب أو إنشاء شبكات التغذية الجديدة.

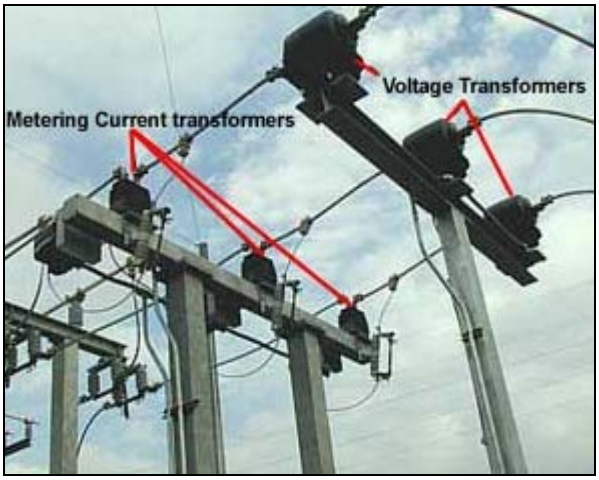
وتبين الأشكال (١- ٣٣) (١- ٣٤) (١- ٣٥)النظم المختلفة لتوزيع التيار المستمر والمتردد.




شكل(١- ٣٤).




شكل(١,٣٥.أ).




شكل(١,٣٥.ب).

**شبكات توزيع الطاقة الكهربائية :**

تنقل الطاقة الكهربائية وتوزع بواسطة شبكات تغذية مكونة من موصلات مركبة بطرق مختلفة. وفيما يلي موجز للمتطلبات اللازم توفرها في شبكات التغذية وأنواعها المختلفة.

يجب أن تتوافر المتطلبات الآتية في شبكات التغذية :

١. أن تكون لديها قدرة عالية للأداء والخدمة المستمرة.
٢. أن تكون مصممة بحيث تقلل من عدد الأخطاء والاضطرابات والخلل والأعطال التي تحدث فيها. وأن يكون بها وسائل للتحكم والإشراف، وأن تصمم بطريقة تسهل تحديد مواقع الأخطاء التي قد تحدث مع إمكان حصرها في أضيق نطاق.
٣. ألا تؤدي إلى هبوط الفولتية (أي أن يبقى جهد التوزيع ثابتاً ما أمكن).
٤. ألا تؤدي إلى زيادة كبيرة في تكاليف نقل الطاقة وتوزيعها(أي تكون تكاليف إنشائها وصيانتها اقتصادية).
٥. أن يكون تصميم الشبكة يسمح بعمليات التوسع في مدها مستقبلاً.

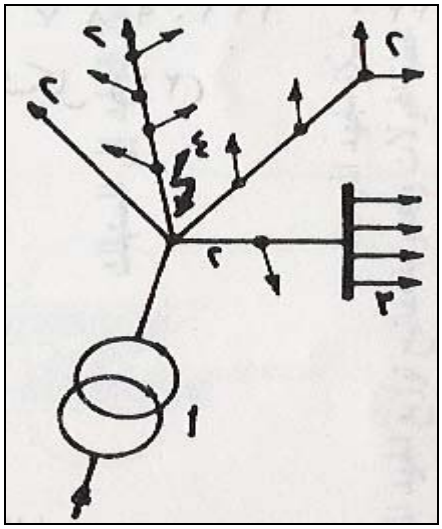
ومن المعروف أن هذه المتطلبات كلها لا يمكن تحقيقها جميعاً في كافة الظروف، لذلك تصمم شبكات التغذية لتفي بهذه المتطلبات كلما أمكن ذلك.

**أنواع شبكات النقل والتغذية:**

فيما يلي شرح لأكثر أنواع الشبكات انتشاراً مع شرح مبسط لمزايا وعيوب كل منها:

**١. نظام التغذية نصف القطري(شبكة التغذية الإشعاعية):**

يبين شكل (٣٦,١.أ) شبكة توزيع إشعاعية(نصف قطرية) وهي إحدى نظم التغذية المفتوحة التي تتم فيها عملية التغذية من جانب واحد وفيها تخرج الخطوط المختلفة إلى مواقع الاستهلاك من نقطة واحدة. ومن عيوب هذا النظام أنه إذا حدث قطع أو خلل أو اضطراب أو قصر دائرة في أية نقطة بالشبكة فإنه يؤدي إلى انقطاع التيار عن جزء كبير من المستهلكين. ويزيد عدد المستهلكين الذين يتأثرون بانقطاع التيار كلما كانت نقطة الخطأ أو الاضطراب قريبة من نقطة التغذية الرئيسة التي تخرج منها خطوط التغذية. ومثل هذه الشبكات لا تستخدم في تغذية المصانع الكبيرة حيث إن انقطاع التيار عن المصانع يؤدي إلى خسائر جسيمة ونقص في الإنتاج ويفضّل استخدام هذه النظم في تغذية المنازل أو المحال التجارية الصغيرة التي لا تتأثر كثيراً عند انقطاع التيار. وتتميز هذه النظم بقلة تكاليف إنشائها وصيانتها.

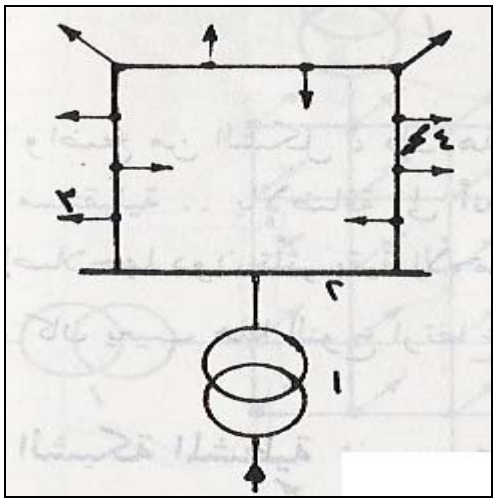



شكل(٣٦,١.أ)نظام التغذية الإشعاعية ١. محول التغذية. ٢. الخطوط ٣. محطة محولات ٤.موضع الخطأ.

**٢. نظام التغذية الحلقية(نظام التغذية بالحلقة المغلقة):**

يبين شكل (٣٦,١.ب) شبكة حلقية مغذاة بواسطة محول وهي إحدى نظم التغذية المغلقة. ويتميز هذا النظام بعدم تأثر عدد كبير من المستهلكين عند حدوث أي عطل أو قطع أو اضطراب يؤدي إلى قطع

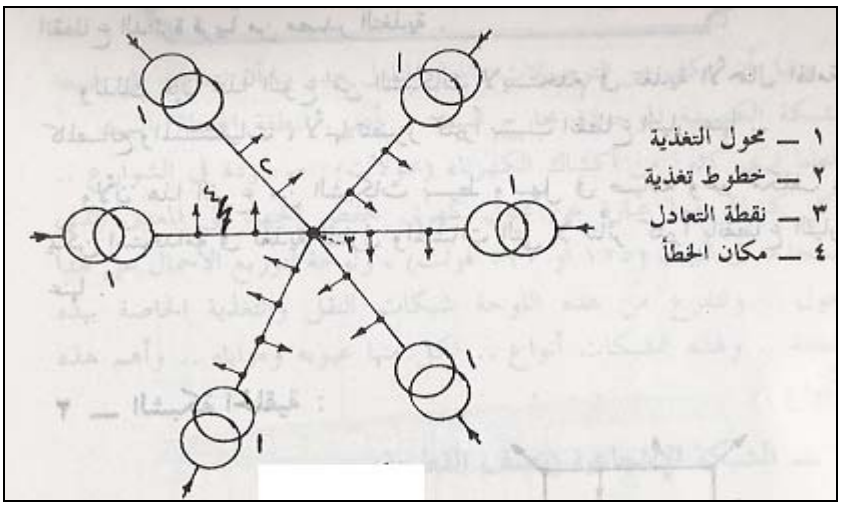
التيار عند أي نقطة من الشبكة. ومن عيوب هذا النظام ارتفاع تكاليف إنشائه وصيانته. ويفضّل في النظام التغذية الحلقي مراعاة أبعاد وأطوال الموصلات المستخدمة فيه وحسابها بدقة بحيث لا يؤدي صغر مساحة مقطع الموصلات إلى انخفاض الجهد لدى المستهلكين الموجودين في نهاية الحلقة وخاصة إذا حدث الخطأ أو القطع عند نقطة من النقط القريبة من القضبان الرئيسية.



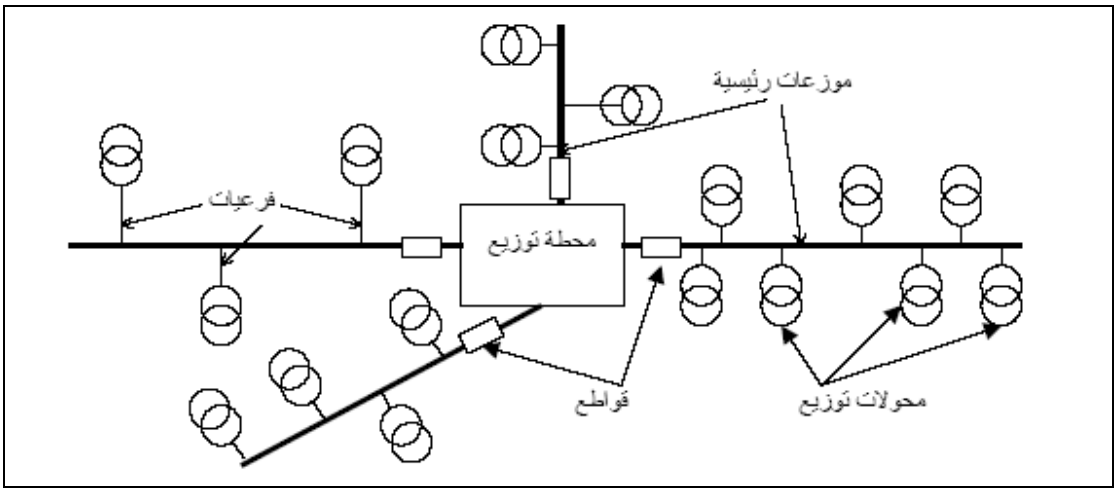

شكل(٣٦,١.ب)نظام التغذية الحلقية ١.محول التغذية ٢.قضبان مجمعة للتغذية ٣.أحد الخطوط ٤.موضع الخطأ.

### ٣. نظام التغذية النجمي:

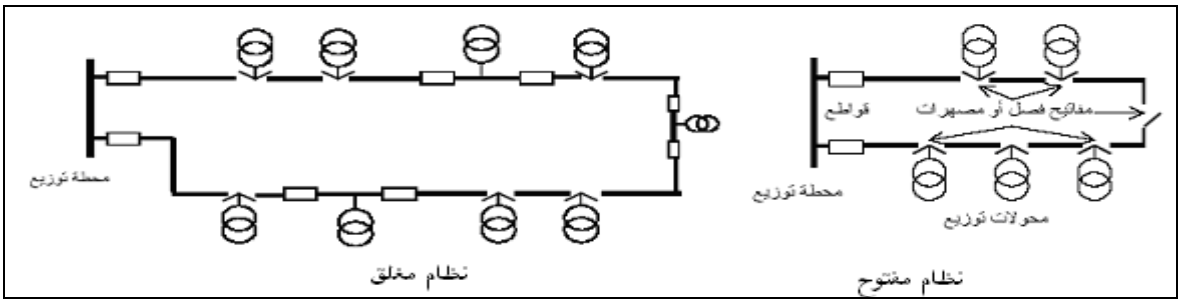
يبين الشكل (٣٦,١.ج و د) نظام التغذية النجمي ، وهذا النظام يجمع بين مميزات الشبكة الحلقية والإشعاعية . ويستخدم مثل هذا النظام لتغذية الأحمال المتغيرة حيث يسمح بإضافة بعض المحولات إلى الشبكة في حالة زيادة الحمل في منطقة معينة ، كما يسمح بفصلها في حالة نقص الحمل . ويعيب هذا النظام زيادة تكاليف إنشائه.




شكل(٣٦,١.ج) نظام التوزيع النجمي(الإشعاعي).



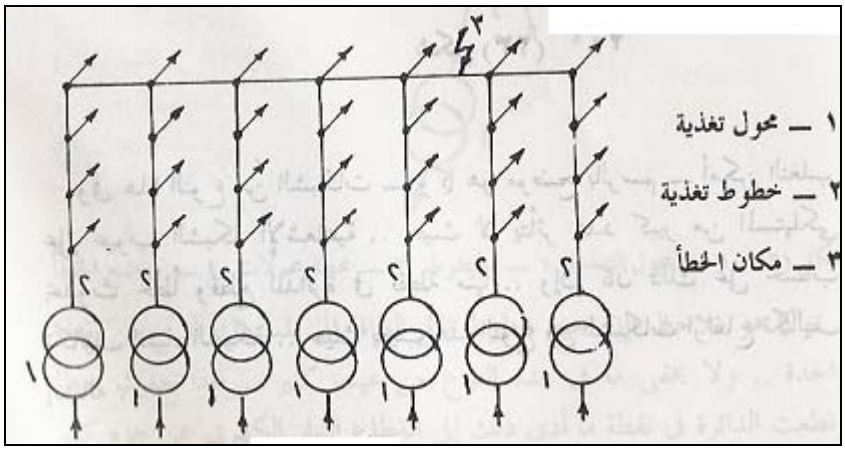

شكل(١,٣٦.د) نظام التوزيع النجمي(الإشعاعي).




شكل(١,٣٦.هـ)نظام التوزيع الشبكي المفتوح والمغلق.

### ٤. نظام التغذية المشطي(نظام تغذية على هيئة مشط):

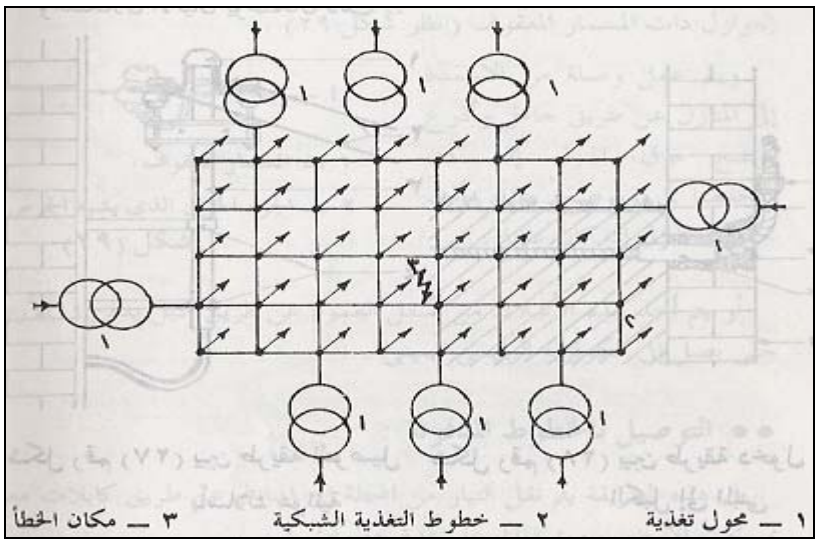
وهذا النظام مشتق من نظام التغذية النجمي. في هذا النظام يستبدل بنقطة التغذية الوحيدة خط به أكثر من نقطة تغذية أو خطوط تغذية متقاطعة. ويستخدم مثل هذا النظام في المناطق الصناعية شكل(١,٣٦.و).




شكل(١,٣٦.و) نظام التوزيع المشطي.

### ٥. نظام التغذية الشبكي:

يبين الشكل (٣٦,١.ز) نظام تغذية شبكي وهذا النظام يعتبر أكثر نظم التوزيع كفاءة. فهو يعطي الحد الأقصى للخدمة المستمرة ويستخدم في المدن الكبيرة والمدن الصناعية. ويتميز النظام الشبكي بعدم تأثر أي مستهلك أو مصنع في حالة حدوث تيار قصر أو اضطراب أو خلل يؤدي إلى انقطاع التيار عند أي نقطة من نقط النظام. ومن عيوب هذا النظام ارتفاع تكاليف إنشائه وصيانته والعناية به هذا بالإضافة إلى أن تعقيد هذا النظام يؤدي إلى صعوبة الوصول إلى موضع الخطأ أو الاضطراب أو قصر الدائرة الذي يحدث بالشبكة.




شكل(٣٦,١.ز) نظام التوزيع الشبكي.

### المصاهر والقواطع الأتوماتيكية:

تستخدم المصاهر في الجهد المنخفض لتقوم بنفس العمل الذي تؤديه في الجهد العالي وهو حماية المعدات والأجهزة الكهربائية وعناصر الدوائر الكهربائية من التيارات الزائدة على اللازم أو من تيار قصر الدائرة وخاصة الذي يستمر لفترة طويلة ولكنه من الشدة بحيث يؤدي إلى تلف هذه الأجهزة. ويتلخص عمل المصهر في أن عنصره ينصهر بمجرد زيادة التيار على حد معين.

وتصنع المصاهر عادة بمقننات مختلفة حتى ٦٠ أمبير. ويتكون المصهر من الأجزاء الرئيسية التالية:

١. قاعدة المصهر.
٢. الحلقة الحاكمة.
٣. وصلة المصهر.
٤. الغطاء اللولبي.

ومن المعلوم أن وصلات المصهر تصمم عادة لتلائم الجهد والتيار اللذين يعمل عليهما المصهر على أن يراعى في تصميمها أيضاً عدم حدوث أي خطر نتيجة للإهمال أو عدم الاكتراث في اختيار المصهر المناسب. ولذلك تصمم قاعدة المصهر بحيث لا يسمح بوضع وصلة مصهر بمقنن أكبر في قاعدة مصهر بمقنن صغير وعلى ذلك لا يمكن لوصلة مصهر ٣٥ أمبير أن تدخل في قاعدة مصهر ١٠ أمبير.

**القواطع الأتوماتيكية:**

تستخدم وسائل القطع الأتوماتيكية لحماية المعدات والأجهزة والمحركات. وتختلف وسائل القطع الأتوماتيكية عن المصاهر في إمكانية استعمالها عدداً غير محدود من المرات دون الحاجة إلى تغيير أي جزء فيها. وتفيد هذه الوسائل في حماية المعدات من التيار الزائد على التيار المقنن ولو بنسبة ضئيلة إذا استمر لفترة طويلة. ويتم تشغيل هذه الوسائل لقطع الدائرة الكهربائية بإحدى الطرق الآتية:

١. **.وسائل القطع بالطرق الحرارية:**

يفضل استخدام الطريقة الحرارية في وسائل القطع الأتوماتيكية وخاصة إذا كانت زيادة التيار تتم بطريقة تدريجية ولمدة طويلة. ويتلخص عمل وسائل القطع بالطريقة الحرارية في الآتي:

تؤدي زيادة تيار التشغيل على حد معين إلى تسخين جزء ثنائي المعدن، يتمدد بالتسخين نتيجة لمرور التيار الزائد فيه بطريقة مباشرة أو بطريقة غير مباشرة. فعندما يتمدد الجزء الثنائي للمعدن حتى يصل إلى حد معين فإنه يدفع أمامه سقاطة تؤدي إلى فتح الدائرة الكهربائية. ولا تفيد هذه الوسائل إلا إذا كانت زيادة التيار تتم تدريجياً. أما إذا تمت فجأة وبسرعة شديدة بحيث لا تعطي للجزء الثنائي للمعدن فرصة للتمدد ليقوم بفتح الدائرة في الوقت المناسب فيفضل في هذه الحالة استخدام الطريقة الكهرومغناطيسية.

٢. **.وسائل القطع بالطرق الكهرومغناطيسية:**

يفضل استخدام الطرق الكهرومغناطيسية في وسائل القطع الأتوماتيكية إذا كانت زيادة التيار تتم بصورة فجائية حيث إن هذه الوسائل تستجيب بسرعة كبيرة لزيادة التيار فتقوم بفتح الدائرة بمجرد زيادته.

٣. **وسائل القطع الميكانيكية(مفاتيح التلامس):**

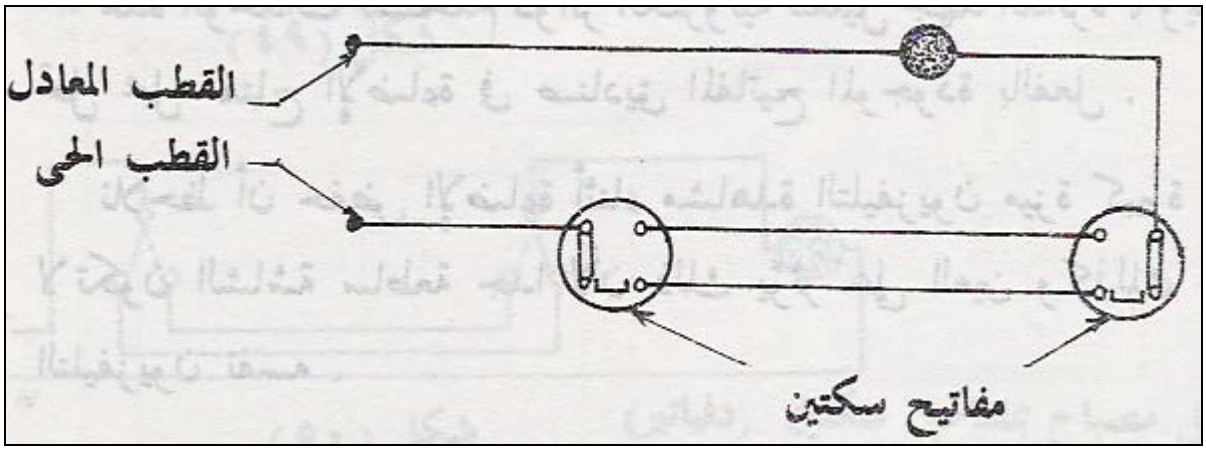
ويطلق على مفاتيح القطع الميكانيكية اسم "مفاتيح التلامس"، ويستخدم فيها ذراع أو زر عند الضغط عليه يدوياً أو بأي وسيلة أوتوماتيكية، يقوم بتشغيل المفتاح، لقطع الدائرة فوراً عند حدوث عطل

أو خلل. وتمتاز هذه الوسائل بإمكان إعادتها إلى وضع التشغيل العادي بعد إصلاح الخلل دون الحاجة إلى تغيير أي جزء منها، على غير ما يحدث في المصاهر التي تحتاج إلى تغيير المصهر بعد حدوث العطل.

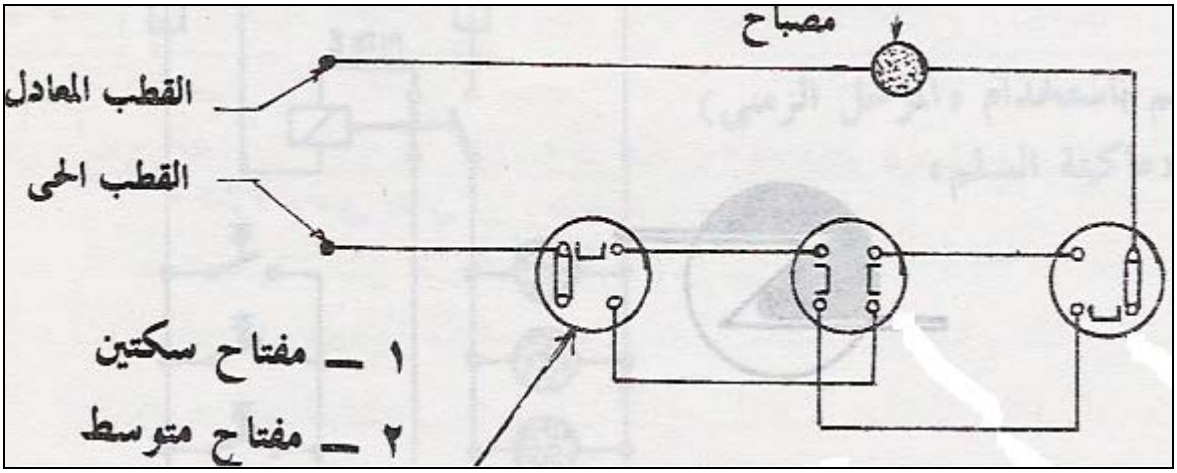
## طرق توصيل الطاقة الكهربائية إلى المباني:

### ١. دوائر التمديدات والتوصيلات:

يبين الشكل (٣٧,١أ و ب) عدة دوائر للتمديدات والتوصيلات الكهربائية المستخدمة في الجهد المنخفض، كما يبين هذا الشكل كيفية توصيل المفاتيح في دوائر الإنارة أو دوائر القدرة بجهد منخفض داخل المباني.




شكل(٣٧,١أ)دائرة بمفتاحين (قطع ووصل) بحيث يمكن وصل وقطع عناصر الدائرة.




شكل(٣٧,١ب) دائرة بمفتاح قطع ووصل.

### ٢. التوصيلات الكهربائية إلى المباني:

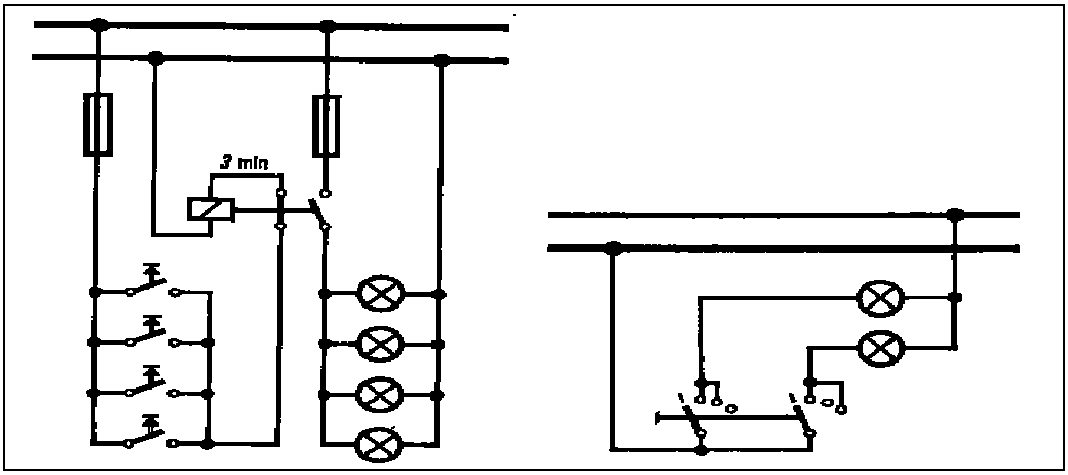
يمكن توصيل الطاقة الكهربائية بجهد منخفض إلى المباني بواسطة خطوط هوائية محمولة على أعمدة خشبية أو بواسطة كابلات مدفونة تحت الأرض.

## التوصيلات الكهربائية داخل المباني:

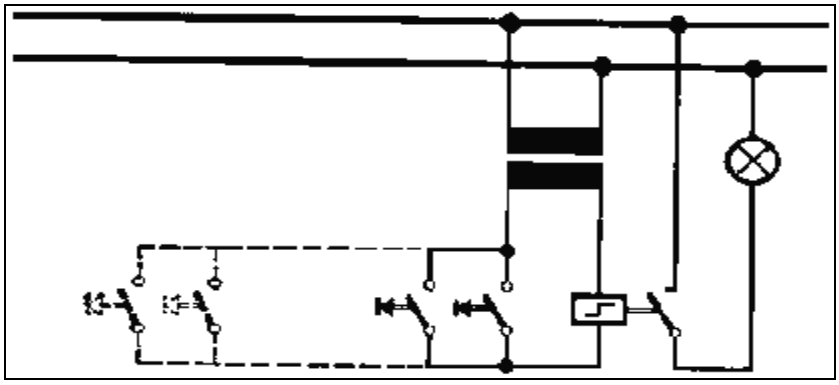
### ويمكن تصنيف التوصيلات الكهربائية داخل غرف المباني إلى:

١. توصيلات كهربائية خاصة بالغرف الرطبة.
٢. توصيلات كهربائية خاصة بالغرف الخاصة.
٣. توصيلات بأسلاك معزولة وموضوعة تحت الجبس مباشرة.
٤. توصيلات بأسلاك معزولة مدفونة داخل الحائط.
٥. توصيلات سطحية بأسلاك موضوعة على سطح الحائط.
٦. توصيلات بأسلاك داخل مواسير صلب أو مواسير مطاط.

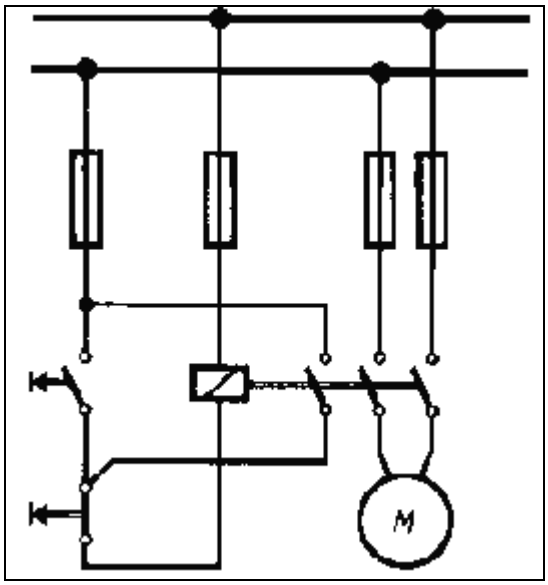
ويبين الشكل(١- ٣٨)،(١- ٣٩)،(١- ٤٠) الطرق المختلفة المستخدمة في تركيب التوصيلات الكهربائية داخل غرف المباني.




شكل(١- ٣٨) دائرة توالي يمكن من خلالها قطع ووصل عناصر دائرتين معا أو كل على حدة وكذلك دائرة مفاتيح مزودة بمرحل زمني يستخدم للإنارة لفترة محددة

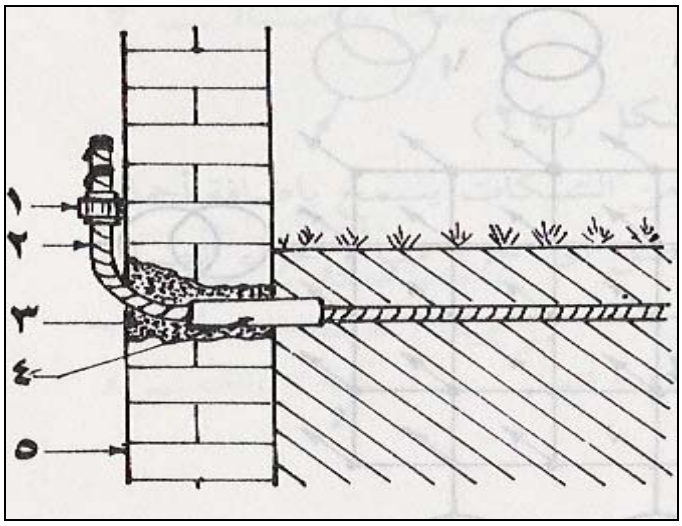


شكل(١- ٣٩)التحكم من بعد في التركيبات والمعدات الكهربائية.

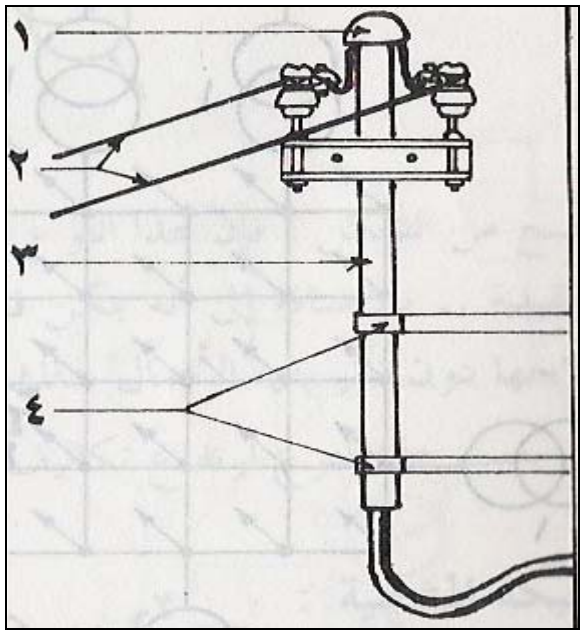



شكل(١- ٤٠)معدات القطع والوصل المستخدمة في المحركات(مفاتيح التلامس).

يستخدم لهذا الغرض معدات القطع والوصل التي تعود تلقائياً إلى وضعها الأصلي بعد إجراء عملية القطع أو الوصل. ففي الشكل عندما يتم تشغيل مفتاح المحرك بالضغط على زر التشغيل يمر التيار عن طريق الزر خلال ملف المفتاح، فيتولد بالملف مجال مغناطيسي يؤدي إلى تحريك ثلاثة ملامسات: يستخدم ملامسان منها لغلق دائرة المحرك، بينما يستخدم الملامس الثالث لتغذية الملف بالتيار اللازم بدلاً من ملامسات الزر الذي يعود إلى مكانه الأصلي تلقائياً بعد عملية الضغط عليه مباشرة. وعند الضغط على زر الإيقاف يقطع التيار عن ملف المفتاح وينقطع المجال المغناطيسي وبذلك تنفصل الملامسات ويتوقف دوران المحرك ويعود زر الإيقاف إلى مكانه الأصلي. وعندما يراد تشغيل المحرك مرة ثانية يضغط على زر التشغيل وهكذا. وتمتاز مفاتيح التلامس بإمكان تشغيلها لعدد كبير جداً من المرات.



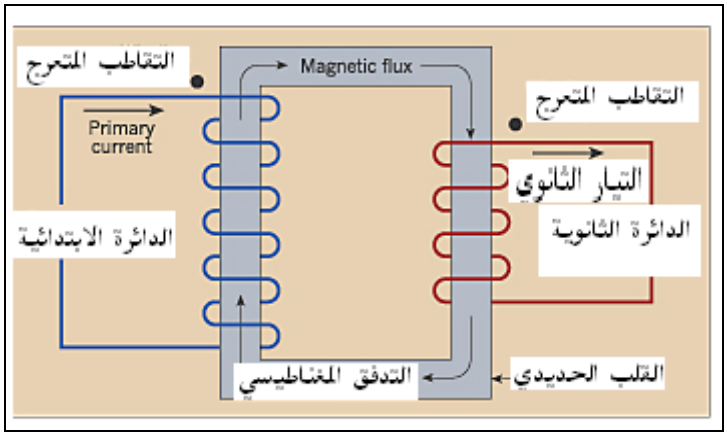

شكل(١,٤١.أ)كيفية إمداد المنازل بالطاقة الكهربائية بواسطة الكابلات الأرضية.



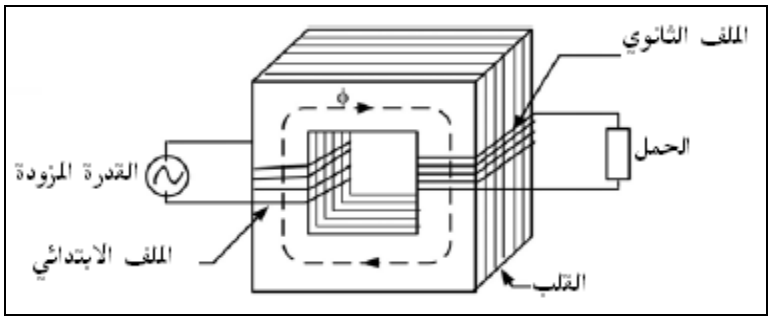

شكل(٤١,١.ب)كيفية إمداد المنازل بالطاقة الكهربائية بواسطة الخطوط الهوائية.

## المحولات Transformers :

وتستخدم المحولات لتحويل التيارات والجهود المترددة بقيم معينة (الداخلة إلى ملفاتها الابتدائية) إلى تيارات وجهود مترددة بقيم أخرى(تخرج من ملفاتها الثانوية).




شكل(١,٤٢.أ)محول كهربائي.

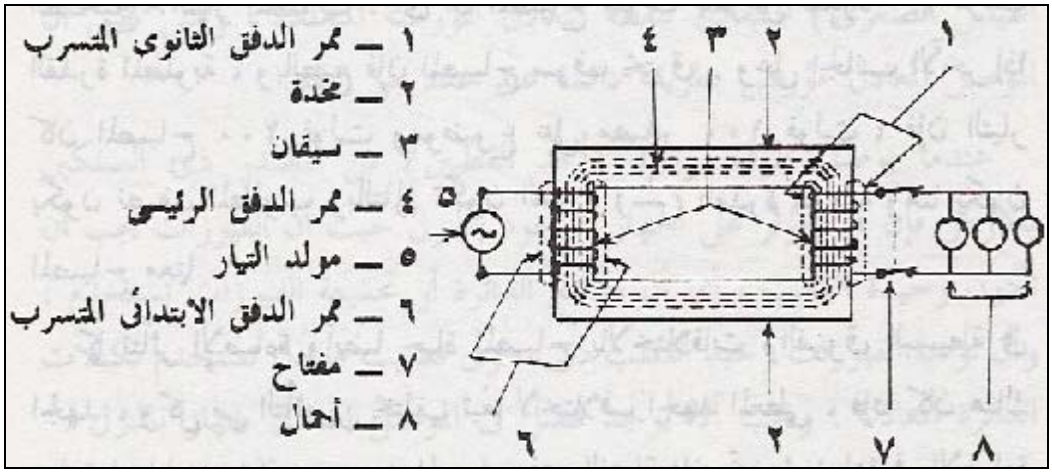



شكل(١,٤٢.ب)محول كهربائي.

### التعريف بأساسيات المحول:

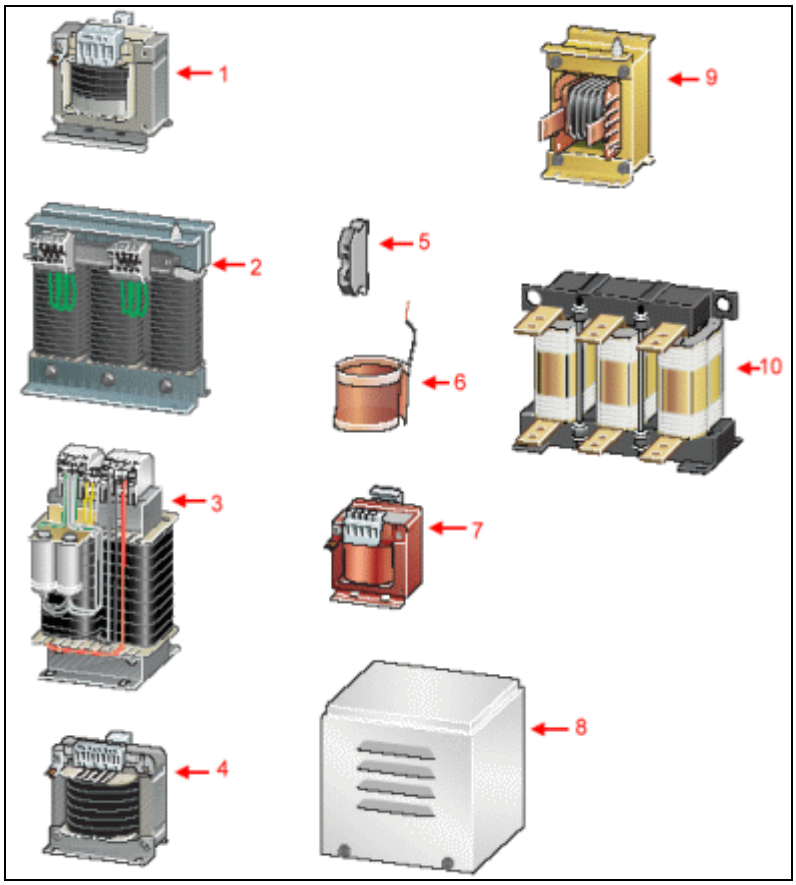
ويستخدم المحول المثالي عادة لشرح المحول العادي وكيفية عمله بطريقة مبسطة. والمحول المثالي هو محول عادي افترض فيه عدم وجود بعض حقائق أو ظواهر معينة من جانب التسهيل(مثل إهمال الفقد في الحديد والنحاس). ويبين الشكل (١,٤٢.أ و ب) رسماً تخطيطياً للمحول المثالي، وهو يتكون من ملف ابتدائي وملف ثانوي. ولتركيز الخطوط المغناطيسية في الملفات وزيادة كفاءة المحول توضع الملفات عادة حول قلب حديدي مصنوع من رقائق من الألواح المعزولة المصنوعة من الحديد السيليكوني. وتسمى هذه الألواح (ألواح الدينامو). وتتكون الدائرة المغناطيسية للمحول من القلوب الحديدية والملفات المرتبة حولها، ومن جزء حديدي آخر من نفس نوع الحديدي يستخدم في قفل الدائرة المغناطيسية وهذا الجزء الحديدي الذي لا توجد حوله ملفات يسمى(المقرن).

وإذا سلط جهد متردد جـ١ على الملفات الابتدائية فإنه يمر بها تيار متردد ت١ يؤدي إلى تولد مجال مغناطيسي متردد تتجمع كل خطوطه داخل الحديد ، وتخترقه الملفات الثانوية ، فتولد فيها قوة دافعة كهربائية مترددة جـ٢ وعند تحميل الملف الثانوي يمر به تيار متردد ت٢ .

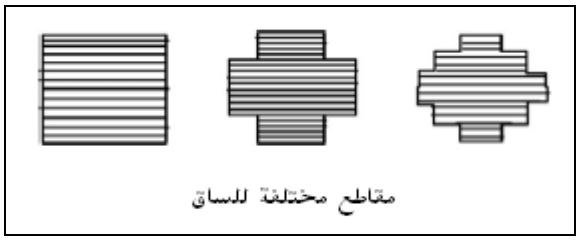



شكل(١,٤٣.أ) رسم تخطيطي لمحول

شكل(١,٤٣.ب)محول كهربائي.




شكل(١,٤٣.ج)أشكال مختلفة من المحولات.




شكل(١,٤٣.د)أشكال مختلفة لساق المحول.

ومن الممكن تعريف المحول بأنه أداة تستخدم لرفع أو خفض جهد تيار متردد بدون فقد كبير أي القدرة الداخلة فيه تساوي القدرة الخارجة تقريباً

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

**نسبة التحويل في المحول:**

وتعرف النسبة بين الجهد الثانوي جـ٢ إلى الجهد الابتدائي جـ١ بأنها"نسبة التحويل في المحول"، وهي تساوي النسبة بين عدد لفات الملف الثانوي ن٢ إلى عدد لفات الملف الابتدائي ن١ .

$$\text{نسبة التحويل} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

$$\frac{V_2}{V_1}=\frac{N_2}{N_1}$$

وحيث إن:

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

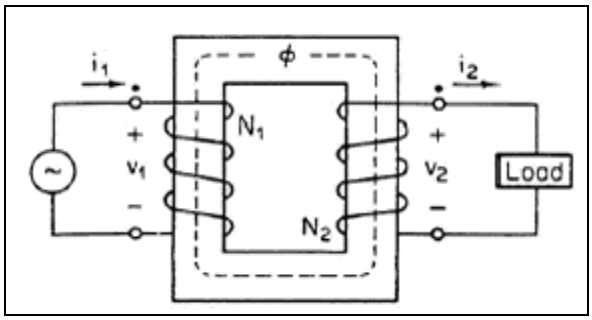
فإن:

$$\frac{V_2}{V_1}=\frac{I_1}{I_2}=\frac{N_2}{N_1}$$

ويبين المثال التالي كيفية حساب الجهد الثانوي أو التيار الثانوي بمعرفة التيار الابتدائي أو الجهد الابتدائي مع معرفة نسبة التحويل.

مثال:

إذا كان عدد ملفات الملف الابتدائي ١٥٠٠ لفة والجهد الابتدائي المسلط على هذا الملف ٢٢٠ فولت. وكان عدد لفات الملف الثانوي مساوياً لعدد لفات الملف الابتدائي فإن الجهد الذي يظهر بين أطراف الملف الثانوي يساوي ٢٢٠ فولت أيضاً شكل(٤٤,١).




شكل(٤٤,١)

$$\frac{V_2}{V_1}=\frac{N_2}{N_1}$$

$$\frac{V_2}{220}=\frac{N_2}{N_1}=1\Rightarrow V_2=220$$

أما إذا كان عدد لفات الملف الثانوي ٧٥٠ لفة فإن الجهد الذي يظهر بين أطراف الملف الثانوي يساوي:

$$\frac{V_2}{V_1}=\frac{N_2}{N_1}$$

$$\frac{V_2}{220}=\frac{750}{1500}\Rightarrow V_2=\frac{220*750}{1500}=110volt$$

أي إن النسبة بين الجهد الابتدائي إلى الجهد الثانوي تتناسب تناسباً طردياً مع النسبة بين عدد لفات الملف الابتدائي إلى عدد لفات الملف الثانوي. أما النسبة بين شدة التيار المار في الملف الابتدائي إلى

شدة التيار المار في الملف الثانوي فإنها تتناسب تناسباً عكسياً مع النسبة بين عدد لفات الملف الابتدائي إلى عدد لفات الملف الثانوي.

فإذا كانت شدة التيار المار في الملف الابتدائي ٥ أمبير وكان الجهد الابتدائي ٢٢٠ فولت وعدد لفات الملف الابتدائي ١٥٠٠ لفة وعدد لفات الملف الثانوي ٧٥٠ لفة فباستخدام نسبة التحويل

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

$$\frac{V_2}{220} = \frac{5}{I_2} = \frac{750}{1500}$$

$$\Rightarrow V_2 = \frac{220 * 750}{1500} = 110 volt$$

$$\Rightarrow I_2 = \frac{5 * 1500}{750} = 10A$$

**الفقد في المحول:**

يلعب الفقد في المحول دوراً هاماً في تحديد كفاءة المحول. وينقسم الفقد في المحول إلى قسمين:

**أ.الفقد في النحاس:**

ينشأ الفقد في النحاس نتيجة لمرور التيار الابتدائي في الملفات الابتدائية ومرور التيار الثانوي في الملفات الثانوية. وهو يساوي حاصل ضرب مربع التيار الابتدائي في مقاومة الملف الابتدائي مضافاً إليه حاصل ضرب مربع التيار الثانوي في مقاومة الملف الثانوي.

الفقد في النحاس = $I_2{}^2 R_2 + I_1{}^2 R_1$

ويسبب هذا الفقد انخفاض الجهد عند تشغيل المحول ، كما أن الفقد يتحول إلى حرارة، وقد تؤدي زيادة هذه الحرارة على حد معين إلى حرق ملفات المحول.

**ب.الفقد في الحديد :**

تستخدم القلوب الحديدية والمقارن لتركيز خطوط القوى المغناطيسية في الملفات كما أنها تمنع تسرب أو هروب هذه الخطوط المغناطيسية ، وبذلك تزيد من كفاءة المحول. إلا أن هذا الحديد يتسبب في وجود فقد يطلق عليه اسم الفقد في الحديد. وينقسم الفقد في الحديد إلى قسمين:

١. الفقد بالتيارات الدوامية: يستخدم في القلوب الحديدية وفي القارن حديد سيليكوني من أهم مميزاته مقاومته العالية للتيارات الدوامية وذلك لتقليل الفقد الناتج عن مرور التيارات الدوامية المتولدة بالحث بسبب تغير المجال المغناطيسي المتردد المار في الحديد. والفقد بالتيارات الدوامية يساوي حاصل ضرب مربع التيار الدوامي في مقاومة الحديد السيليكوني.

٢. الفقد بالتخلف المغناطيسي: يتسبب مرور التيار المتردد في ملفات المحول في إيجاد منحنيات تمغنط في الحديد السيليكوني. ولهذه المنحنيات اتجاهان متضادان نتيجة لمرور التيار المتردد في اتجاه معين وانخفاضه ثم مروره في الاتجاه العكسي. لذلك تتغير أقطاب الجزيئات المغناطيسية كلما تغير اتجاه المغنطة. وهذه العملية تؤدي إلى فقد في قدرة المحول يعرف باسم "الفقد بالتخلف المغناطيسي". وترجع كلمة "التخلف" إلى أن تغير قطبية الجزيئات المغناطيسية لا يتم لحظياً بمجرد تغير اتجاه التيار وإنما يتخلف عنه بزمن معين. ويتناسب الفقد بالتخلف المغناطيسي تناسباً طردياً مع عدد ذبذبات التيار المتردد في الثانية ومع كثافة الفيض المغناطيسي.

**كفاءة المحول:**

يحدد الفقد في النحاس والفقد في الحديد كفاءة المحول لأن كفاءة المحول = قدرة خرج المحول ق٢ مقسوماً على قدرة دخل المحول ق١

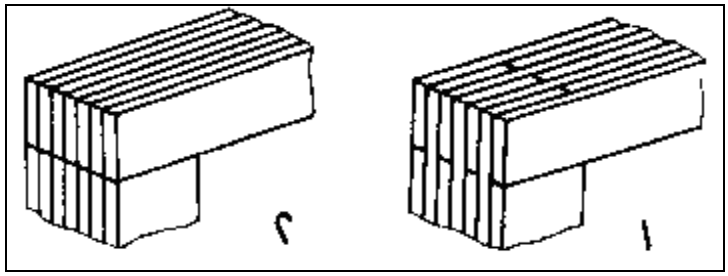
وأن الفقد الكلي في المحول = قدرة دخل المحول ق١ ناقصاً منها قدرة خرج المحول ق٢

وتصل كفاءة المحولات ذات التصميم المتقن إلى ٩٩٪.

**أنواع المحولات وطرق تصميمها :**

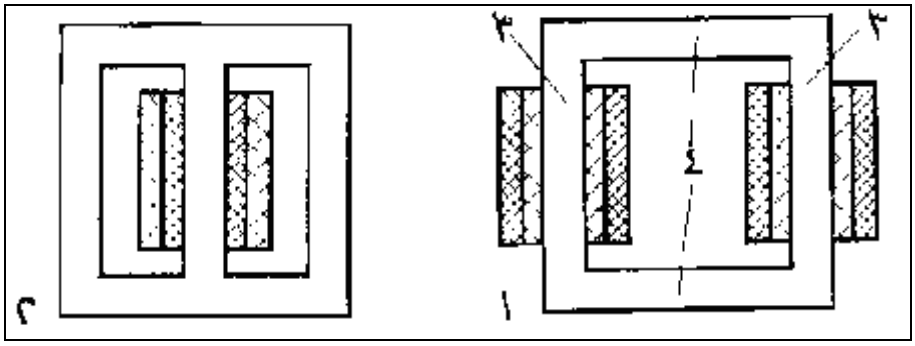
**تصميم المحول:**

لتحسين أداء المحولات وزيادة كفاءتها تستخدم في تصنيع المحولات أنواع معينة من رقائق الحديد السيليكوني التي تصنع بأشكال مختلفة لتلائم التصميم والأداء المطلوبين للمحول. ويتميز الحديد السيليكوني بمقاومته العالية للتيارات الدوامية لتقليل الفقد في الحديد. ويتكون المحول في معظم الأحيان من ملفين معزولين عن بعضهما كهربائياً ويتكون كل منهما من عدد كبير من الملفات. وفي بعض الأحيان يزود أحد الملفين بعدة نقط توصيل بينية، وتفيد نقط التوصيل البينية الموجودة في الملفات الثانوية في الحصول على جهود ثانوية بقيم مختلفة. أما نقط التوصيل البينية الموجودة في الملفات الابتدائية فتفيد في استخدام المحول على جهود ابتدائية مختلفة.



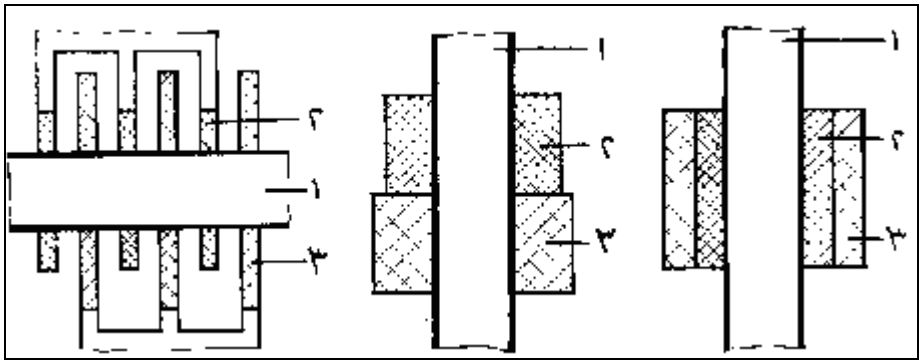

شكل(٤٥,١)رقائق القلب الحديدي للمحول.

١. رقائق منفرجة ( متداخلة )
٢. رقائق منتظمة

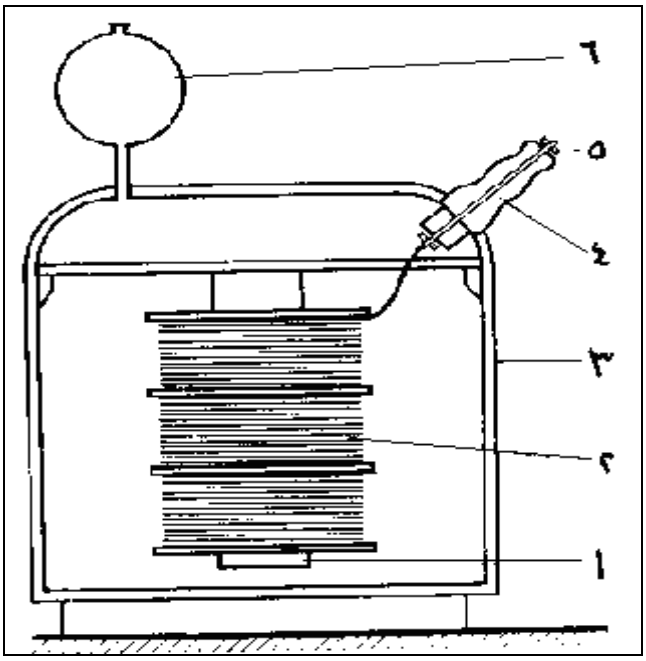



شكل(٤٦,١)أشكال القلب الحديدي

١. محول ذو قلب حديدي
٢. محول ذو دائرة مغنطيسية محيطة
٣. القلوب الحديدية ( السيقان )
٤. المقارن

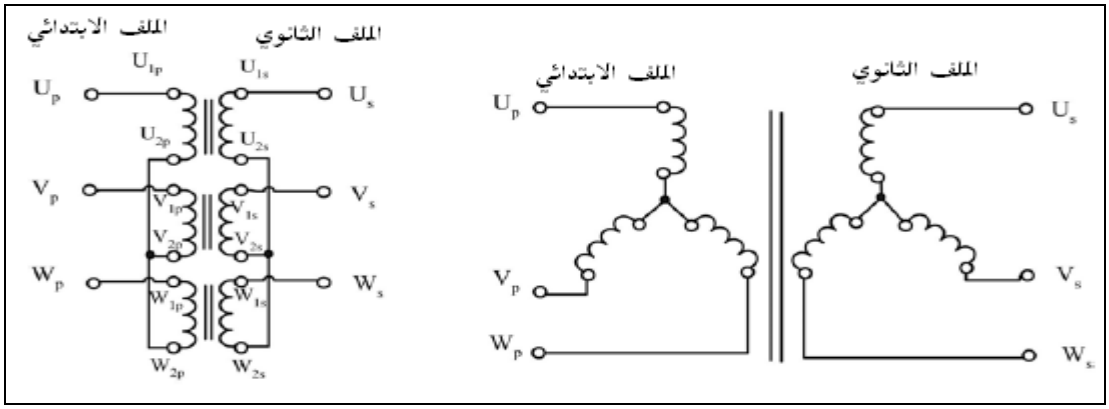



شكل(٤٧,١)أشكال لف مختلفة أحدها لف عادي بشكل قرص وأحدها لف بشكل غرفة وآخر بشكل طيات مبيناً عليها القلب الحديدي والملفان الابتدائي والثانوي.

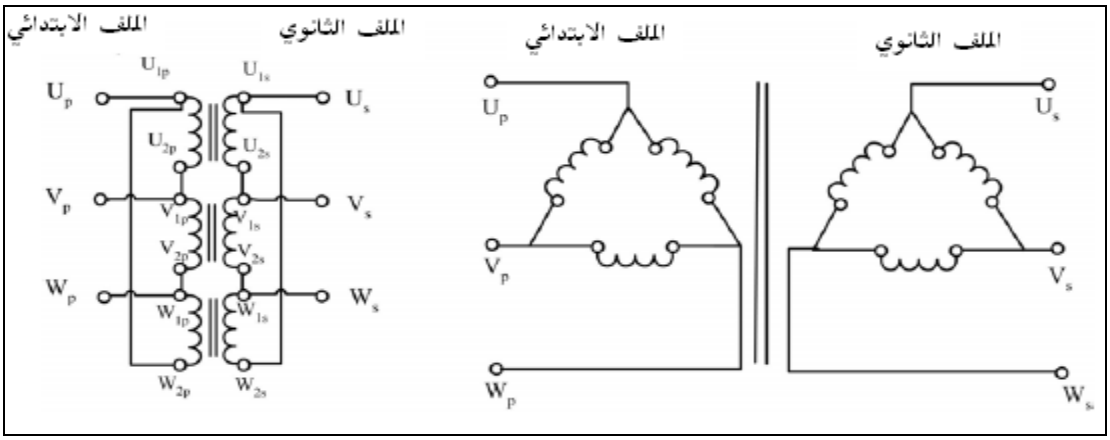



شكل(٤٨,١) رسم تخطيطي للمحول.

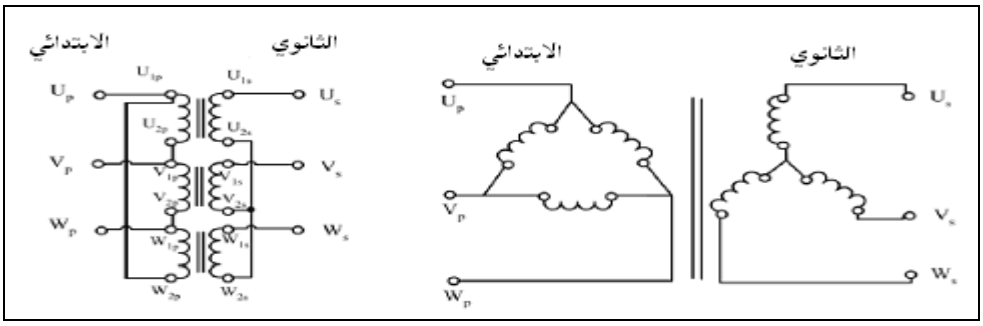
١. القلب الحديدي
٢. الملفات
٣. خزان المحول
٤. عازل النهايات الداخلية ( العازل الصيني )
٥. النهايات
٦. خزان تمدد الزيت.



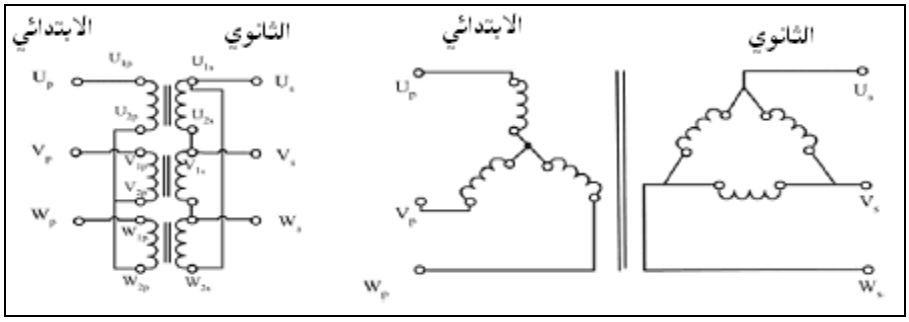

شكل(٤٩,١أ) توصيل الملفات الابتدائية والملفات الثانوية بتوصيلة النجمة.




شكل(٤٩,١.ب) توصيل الملفات الابتدائية والملفات الثانوية بتوصيلة دلتا.




شكل(٤٩,١.ج) توصيل الملفات الابتدائية بتوصيلة دلتا بينما توصل الملفات الثانوية بتوصيلة نجمة.




شكل(٤٩,١.د) توصيل الملفات الابتدائية بتوصيلة نجمة بينما توصل الملفات الثانوية بتوصيلة دلتا.

### أنواع محولات القدرة:

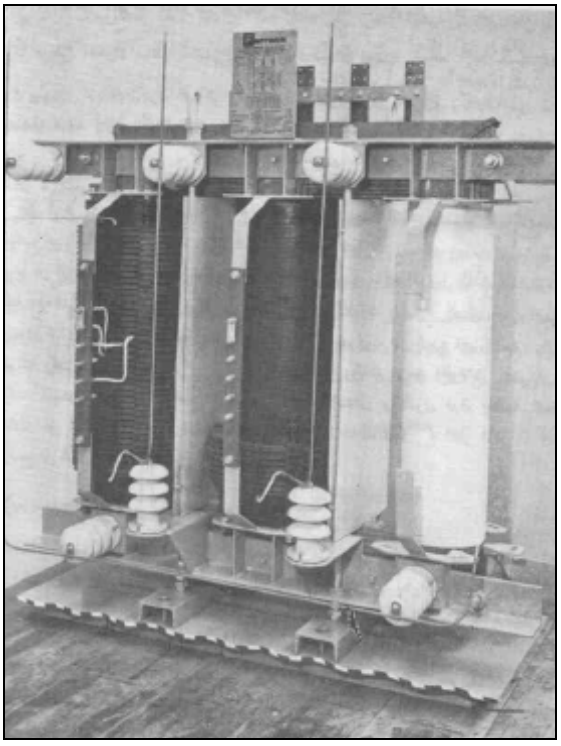
يمكن تقسيم محولات القدرة إلى:

١. **محولات وحيدة الطور**: تصمم هذه المحولات بقدرات مختلفة لتلائم العمل في نظم التوزيع بالجهد المنخفض ، كما تستخدم أحياناً في نظم التوزيع بجهد عال.

٢. **محولات ثلاثية الطور**: تستخدم المحولات ثلاثية الطور ذات القدرة الكبيرة في تغذية المصانع وكبار المستهلكين بالطاقة الكهربائية بعد تحويل جهد التغذية العالي إلى جهد منخفض. وهذا النوع من المحولات يستخدم بدلاً من ثلاثة محولات وحيدة الطور.

ويكثر استعمال المحولات التي تعمل على الجهود ١٠، ٢٠، ٣٠ كيلو فولت في نظم الجهد العالي. أما في الجهد المنخفض فتستعمل عادة المحولات التي تعمل على جهد ٤٠٠ فولت. وهناك محولات ثلاثية الأطوار مصممة لكي تعمل في نظم الجهد العالي حتى جهد ١١٠ كيلو فولت. أما بالنسبة للجهود التي تزيد على ذلك، أي بالنسبة للجهود ٢٢٠ ، ٣٨٠ كيلو فولت فتستخدم عادة ثلاثة محولات وحيدة الطور، أي بوضع محول بكل طور من الأطوار الثلاثية، ويبين الشكل (٥٠,١) المحول ثلاثي الأطوار. وتعتمد طرق اختبار وتركيب وتوصيل المحولات ، على كيفية استخدامها ونوع شبكة التغذية التي سيوصل بها المحول كما تعتمد أيضاً على نوع الحمل ومقداره.

ومن أكثر الموصلات استخداماً في المحولات توصيلة النجمة، وتوصيلة الدلتا. ولإجراء عملية توصيل الملفات بطريقة سليمة تعلّم النهايات بحروف لتمييزها وفي العادة تعلّم نهايات الملفات الابتدائية بحروف كبيرة بينما تعلّم نهايات الملفات الثانوية بحروف صغيرة.



شكل(٥٠,١)محول ثلاثي الأوجه.

## المحركات الكهربائية:

### تصنيف المحركات:

يتم تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية عادة بواسطة آلات دوارة يطلق عليها اسم المحركات. وتغذى هذه المحركات بالطاقة الكهربائية. ونحصل على الطاقة الميكانيكية المطلوبة نتيجة لدوران العضو الدوّار للمحرك. وقد استخدمت المحركات في بادئ الأمر بحيث تكون كل آلة إنتاج محرك منفصل، ثم أدخل العديد من التحسينات على أداء المحرك بحيث أصبح المحرك الواحد يقوم بإدارة أكثر من آلة إنتاج. وفي الوقت الحالي تستخدم عدة محركات لتقوم بإدارة أكثر من عمود تشغيل في ماكينة إنتاج واحدة، ويطلق عليها اسم "الماكينات ذات الأعمدة المتعددة". ولاختيار نوع من أنواع المحركات الكهربائية المختلفة ليلائم حملاً معيناً له ظروف تشغيل خاصة **يجب مراعاة الاعتبارات الآتية**:

١. نوع الجهد الذي يعمل عليه الحمل وقيمة الجهد.
٢. نوع التيار وشدته (تيار مستمر أو تيار متردد).
٣. نوع الحمل والقدرة اللازمة له والسرعة الملائمة لأدائه ونوع الخدمة المطلوبة.

ويعتبر البند الثالث أكثر البنود أهمية عند اختيار المحرك المناسب للحمل. لذلك تقسم المحركات تبعاً **للمتطلبات اللازم توفرها في المحركات** لتلائم الأحمال المختلفة تبعاً لمايلي:

أ- نوع الخدمة التي يمكن أن يعمل على أساسها المحرك.
ب- نوع الوقاية التي يجب توافرها بالمحرك ليلائم التشغيل مع الأحمال المختلفة.
ت- تصميم المحرك وطريقة تثبيته.
ث- سرعة المحرك وطريقة تغير السرعة بتغير الحمل.

### تصنيف المحركات تبعاً لنوع الخدمة:

يعرف نوع الخدمة للمحرك بأنه الأداء الذي يجب أن يقوم به المحرك في زمن تشغيل معين ليناسب الحمل على ألا تتعدى درجة حرارة المحرك في نهاية فترة التشغيل الحد الأقصى لدرجة الحرارة المسموح بها والتي إذا زادت عنه قد تؤدي إلى تلف المحرك.

وتنقسم المحركات تبعاً لنوع الخدمة إلى:

**١. محركات بخدمة مستمرة :**

وتعتبر المحركات بخدمة مستمرة أهم مجموعة المحركات على الإطلاق. وتصمم هذه المحركات بحيث لا يتعدى الحد الأقصى لارتفاع درجة حرارة المحرك إذا استمر تشغيله بصفة مستمرة الحد المسموح به والذي قد يؤدي إلى تلفه. ومن عيوب هذه المحركات ارتفاع ثمن تصنيعها.

**٢. محركات بخدمة لفترة قصيرة:**

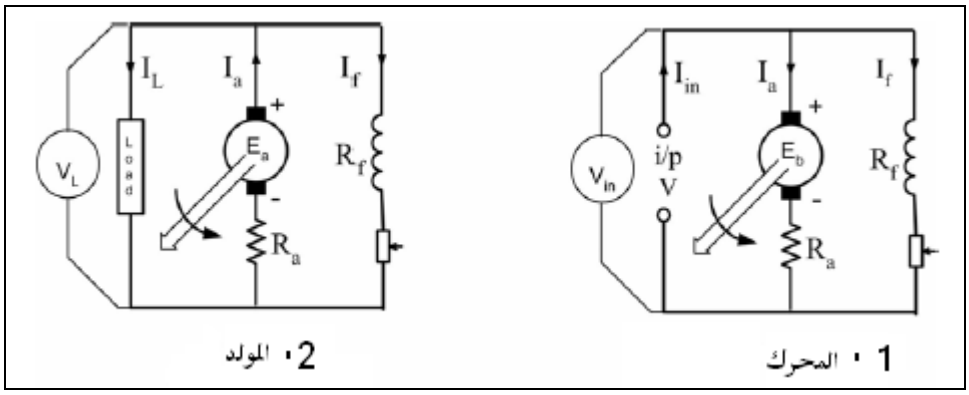
تصمم هذه المحركات بحيث لا يتعدى الحد الأقصى لارتفاع درجة الحرارة فيها عن قيمة معينة عند تشغيلها لفترة زمنية محددة. ويراعى في هذه الحالة أن يكون طول الفترة الزمنية التي تلي عملية التشغيل، والتي يبقى فيها المحرك ساكناً، كافياً لتبريد المحرك أو الآلة بحيث تعود درجة حرارتها إلى درجة حرارة الغرفة (باستخدام وسط مبرد أو بدونه).

**٣. محركات تعمل بصفة مستمرة غير أن تحميلها لا يستغرق إلا فترات قصيرة فقط:**

هذه المحركات يتم تحميلها لفترات قصيرة كما في النوع السابق، إلا أنها تختلف عن محركات الخدمة لفترة قصيرة، من حيث إن هذه المحركات تستمر في الدوران بدون حمل خلال فترات عدم التحميل.

**٤. محركات بخدمة متقطعة:**

ويتم تحميل هذه المحركات بنفس الكيفية التي تحمل بها محركات الخدمة لفترة قصيرة، غير أنه في هذه الحالة يكون طول الفترة الزمنية التي تلي فترة التشغيل، والتي تبقى فيها المحركات ساكنة بدون عمل ، غير كاف لإعطاء المحركات فرصة لكي تبرد وتعود درجة حرارتها إلى درجة حرارة الغرفة. وينطبق على هذه المحركات نفس مميزات وخواص المحركات التي تعمل بصفة مستمرة، إلا أن تحميلها لا يستغرق إلا فترات قصيرة فقط.




شكل(٥١,١) الفرق بين المولد والمحرك الكهربائي.

**تصنيف المحركات تبعاً لدرجة الوقاية المتوفرة فيها:**

تصنف المحركات تبعاً لنوع الوقاية المتوفرة فيها كالآتي:

١. محركات مزودة بوسائل لوقاية الأفراد من الصدمات الكهربائية.

٢. محركات مزودة بوسائل للوقاية من دخول الماء والرطوبة عليها.

٣. محركات مزودة بوسائل للوقاية من دخول الأتربة والمواد الغريبة إليها.

ولكل نوع من أنواع الوقاية رمز أو علامة تدل عليه، وتوضع هذه العلامة على المحرك من الخارج.ويبين الجدول التالي المميزات التي تتمتع بها المحركات تبعاً لدرجة الحماية المتوفرة فيها.

| الوقاية من المواد الغريبة | الوقاية من الصدمات الكهربائية | الوقاية من الماء والرطوبة |
|---|---|---|
| تتم وقاية المحرك الذي يحمل هذا الرمز من دخول الجسيمات التي يصل قطرها حتى ٥٠ مم إلى المحرك. أو دخول الجسيمات التي يصل قطرها 8mm أو الغبار الخشن أو أية أتربة أخرى | تتم وقاية المحرك الذي يحمل هذا الرمز بحيث لا يسمح بلمس أية مساحة كبيرة منه بالإصبع أو بالأدوات أو ما شابه ذلك أو بأية وسيلة أخرى من وسائل اللمس | الوقاية من الماء المتناثر ومن الماء المندفع ومن ماء الرش ومن الماء المضغوط (النافوري) ومن الماء عموماً. |

جدول(١- ٢).

**تصنيف المحركات تبعاً لتصميمها وطرق تثبيتها:**

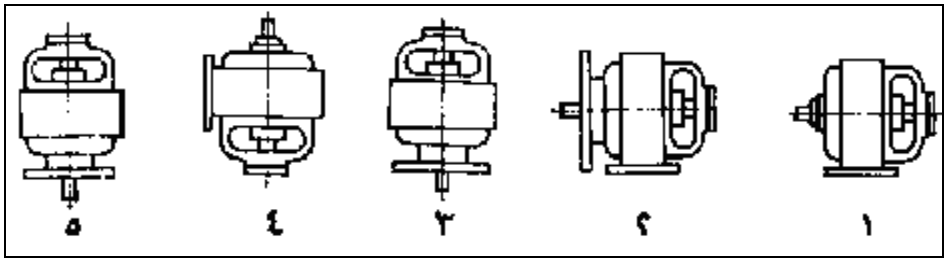
تقسم المحركات عادة تبعاً لتصميمها وطرق تثبيتها لتناسب نوع الحمل. ويبين الجدول التالي الطرق المختلفة لكيفية تركيب وتثبيت أكثر أنواع المحركات شيوعاً والرقم المميز لكل منها.

**تصنيف المحركات تبعاً لتغير سرعتها بتغير الحمل:**

تقسم المحركات تبعاً لتغير سرعتها نتيجة لزيادة أو نقص الحمل إلى:

**أولاً- المحركات ذات السرعة الثابتة:**

توجد الكثير من محركات التيار المتردد ومحركات التيار المستمر ذات السرعة الثابتة التي لا تتغير بتغير الحمل. وقبل أن نتعرض لمحركات التيار المتردد بسرعة ثابتة، يجب أولاً أن نعرف ما تعنيه سرعة المجال الدوار للتيار المتردد. ويتضح من الشكل (٥٢,١) أن توحيد الطرق المختلفة المتبعة في تركيب المحركات يؤدي إلى تسهيل التبادلية واستخدام محرك من نوع معين مكان محرك من نوع آخر.




شكل(١- ٥٢).

الجدول المرفق يبين خصائص كل نوع من هذه المحركات.

| التصميم | نوع المحرك | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ١ | ٢ | ٣ | ٤ | ٥ |
| تصميم كراسي التحميل | يحمل العضو الدوار على كرسيين من كراسي التحميل | يحمل العضو الدوار على كرسيين من كراسي التحميل | يحمل العضو الدوار على كرسيين من كراسي التحميل | يحمل العضو الدوار على كرسيين من كراسي التحميل | يحمل العضو الدوار على كرسيين من كراسي التحميل |
| تصميم الإطار والغلاف | يوجد للإطار أرجل تثبيت | يوجد للإطار أرجل تثبيت | الإطار بدون أرجل تثبيت | الإطار بدون أرجل تثبيت | الإطار بدون أرجل تثبيت |
| تصميم عمود الإدارة | عمود الإدارة حر الحركة من الطرفين | عمود الإدارة حر الحركة من الطرفين | عمود الإدارة حر الحركة من النهاية السفلى | عمود الإدارة حر الحركة من النهاية العليا | عمود الإدارة حر الحركة من النهاية السفلى |
| التصميم العام | يمكن تركيب المحرك بواسطة أرجل التثبيت | للمحرك ألواح وصل ملاصقة لكراسي التحميل بحيث يمكن وصل المحرك بأي محرك جانبي | للمحرك ألواح وصل ملاصقة لكراسي التحميل بحيث يمكن وصل المحرك بأي محرك جانبي | للمحرك ألواح وصل ملاصقة لكراسي التحميل بحيث يمكن وصل المحرك بأي محرك جانبي | للمحرك ألواح وصل ملاصقة لكراسي التحميل بحيث يمكن وصل المحرك بأي محرك جانبي |
| كيفية تثبيت المحرك | يمكن تثبيت المحرك على القاعدة أو على قضبان منزلقة | يثبت على حوامل لإمكان تركيبها على ألواح ربط | يمكن تثبيت المحرك على ألواح ربط سفلية | يمكن تثبيته بواسطة ألواح ربط علوية | يمكن تثبيته بالحائط عن طريق أرجل التثبيت |

جدول(١- ٣).

**سرعة المجال الدوّار وكيفية تولد عزم الدوران في محركات التيار المتردد:**

يمكن حساب سرعة المجال الدوار لأي محرك، بمعرفة تردد جهد المنبع، وعدد أزواج الأقطاب في المحرك أو المولد، من المعادلة الآتية: $N = 60 * \frac{f}{P}$

حيث إن:

$f$ :تردد المنبع.

P: عدد أزواج الأقطاب.

N: عدد دورات الآلة في الدقيقة.

ويتم توليد عزم الدوران للمحرك عند توصيل العضو الساكن بالمنبع، حيث يتولد بالحث في العضو الدوار جهد له قيمة معينة يؤدي إلى وجود مجال مغناطيسي بالعضو الدوار. ويتولد عزم الدوران المطلوب نتيجة لتفاعل المجال المغناطيسي الموجود في العضو الساكن مع المجال المغناطيسي المتولد بالحث في العضو الدوار. وكلما زادت سرعة العضو الدوار، يقل الجهد المتولد بالحث فيه، حتى يصل هذا الجهد إلى صفر، ولا تحدث هذه الحالة الأخيرة إلا إذا دار بسرعة مساوية تماماً لسرعة المجال الدوار في العضو الساكن. وتسمى سرعة المحرك في هذه الحالة الأخيرة السرعة المتزامنة. غير أن سرعة العضو الدوار لا يمكن أن تصل إلى هذه السرعة في المحركات اللاتزامنية، نتيجة لوجود قوى احتكاك في كراسي التحميل. ويجب التنويه هنا بأن قيمة النقص في سرعة دوران العضو الدوار عن سرعة المجال، منسوبة إلى سرعة المجال، تسمى بـ الانزلاق. وتتراوح قيمة الانزلاق بين ٢٪ و ٦٪ من سرعة المجال الدوار. ويقال في هذه الحالة أن العضو الدوار يدور بسرعة لا تزامنية.

وفيما يلي جدول يبين سرعة العضو الدوار لبعض الآلات اللاتزامنية، بالمقارنة بسرعة المجال، عندما يكون عدد الأقطاب ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤.

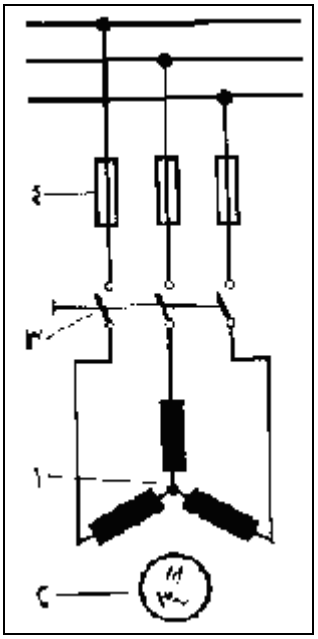
| عدد أزواج الأقطاب | ١ | ٢ | ٣ | ٤ |
|---|---|---|---|---|
| سرعة المجال(لفة في الدقيقة) | ٣٠٠٠ | ١٥٠٠ | ١٠٠٠ | ٧٥٠ |
| السرعة المقننة للعضو الدوار (لفة في الدقيقة) | ٢٨٧٥ | ١٤٢٥ | ٩٢٥ | ٧٢٠ |

جدول(١- ٤).

وفيما يلي شرح مبسط لأهم أنواع المحركات ذات السرعة الثابتة.

**محركات ثلاثية الأطوار بعضو دوار على هيئة قفص سنجابي:**

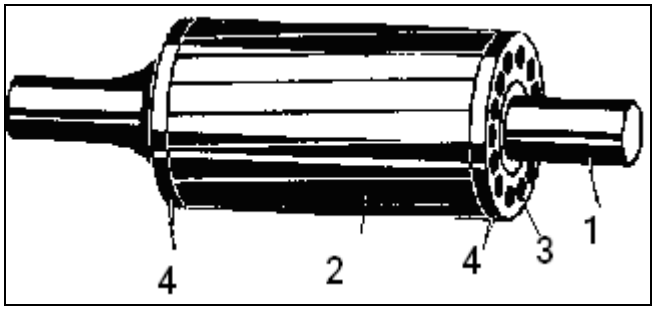
الشكل(١- ٥٣) لمحرك ثلاثي الأطوار حثي بعضو دوار على هيئة قفص سنجابي. هذا النوع من المحركات يعتبر أكثر أنواع المحركات استخداماً في إدارة آلات الإنتاج. وتتميز هذه المحركات بتصميم يفوق ما عداها من المحركات من حيث التحميل، كما أنها لا تحتاج إلا لأقل مجهود لصيانتها، هذا بالإضافة إلى أن تكلفة تصنيعها اقتصادية للغاية. ويتكون العضو الساكن من شرائح من الحديد السيليكوني توضع بها الملفات بطريقة معينة، بحيث يتولد بالعضو الساكن مجال دوار بمجرد توصيل الملفات بمنبع تيار متردد. ويتكون العضو الدوار من عمود إدارة، عليه شرائح من الصلب السيليكوني، مجموعة مع بعضها بأشكال مختلفة، بها مجار توضع بها قضبان موصلة (من الألمونيوم أو النحاس). وتوصل نهايات القضبان ببعضها بواسطة حلقتين موصلتين لتقصير دائرة هذه القضبان. وينتج عزم الدوران من تفاعل المجال المغناطيسي الدوار في العضو الساكن مع المجال المغناطيسي المتولد بالحث في قضبان العضو الدوار. ويتم اختيار مقطع هذه القضبان الموصلة بحيث يبقى تيار بدء التشغيل أقل ما يمكن، مع المحافظة على بقاء عزم الدوران ثابتاً عند التحميل. وتتميز هذه المحركات ببدء تشغيل عال، وبسرعة دوران ثابتة، تعتمد على سرعة المجال الدوار. غير أن من عيوب هذه المحركات زيادة شدة تيار بدء التشغيل حتى أنه يصل في بعض الأحيان إلى خمسة أو ستة أضعاف التيار المقنن. وقد تؤدي زيادة شدة تيار بدء التشغيل إلى تلف الملفات أو حرقها. ولذلك يفضل تقليل تيار بدء التشغيل، كلما أمكن ذلك. وفيما يلي موجز لكيفية توصيل هذه المحركات بالمنبع عند بدء تشغيلها لتقليل تيار بدء التشغيل.




شكل(١- ٥٣) دائرة توصيل محرك ثلاثي الأطوار لا متزامن بعضو دوار على هيئة قفص سنجاب.

١. ملفات العضو الساكن
٢. العضو الدوار
٣. مفتاح تحكم ثلاثي الأقطاب
٤. مصاهر

شكل(١,٥٤.أ)عضو دوار على هيئة قفص سنجاب.




شكل(١,٥٤.ب)عضو دوار على هيئة قفص سنجاب.

١. عمود الإدارة.
٢. الشرائح الحديدية.
٣. القضبان الموصلة.
٤. حلقات لتقصير دائرة القضبان الموصلة.

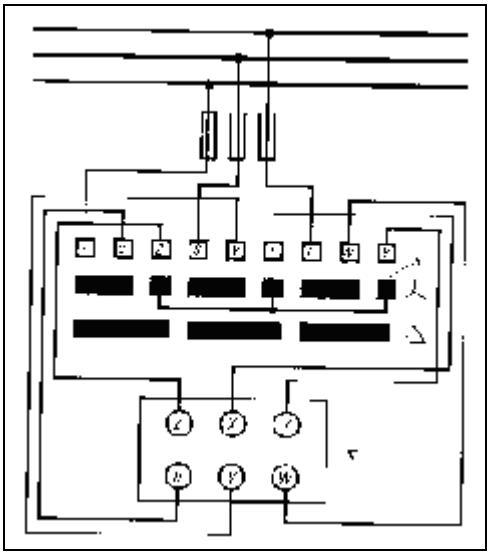
**طرق توصيل المحركات الثلاثية الأطوار ذات القفص السنجابي:**

المحركات التي لا تتعدى قدرتها المقننة ٣ كيلووات، توصل مباشرة بالمنبع، حيث إن تيار بدء التشغيل لهذه المحركات لا يتعدى ٤٨ أمبير إذا كان جهد المنبع ٣٨٠ فولت. أما في المحركات التي تتعدى قدرتها ٣ كيلووات، فيفضل استخدام وسيلة مناسبة لتخفيض تيار بدء التشغيل عند توصيلها بالمنبع، كوسيلة النجمة–دلتا مثلاً. ويلاحظ في هذه الحالة أن استخدام مثل هذه الوسائل يؤدي بالتالي إلى خفض

عزم الدوران. ولتوصيل وسيلة بدء التشغيل، النجمة- دلتا بهذه المحركات، يجب أن ترتب ملفات هذه المحركات بحيث يمكن توصيلها بطريقة التوصيل النجمي عند بدء التشغيل، وعندما تصل سرعة المحرك إلى السرعة المقننة يلغى التوصيل النجمي وتوصل بطريقة توصيل دلتا ويكتب على هذه المحركات مقننان للجهد، المقنن الأول للتوصيل النجمي، والمقنن الثاني للتوصيل دلتا. فالمحرك ٣٨٠ فولت يكتب عليه ٦٦٠/٣٨٠ فولت والمحرك ٢٢٠ فولت يكتب عليه ٣٨٠/٢٢٠ فولت.

ويوصل المحرك بالمنبع عند بدء التشغيل بالتوصيل النجمي، لأن مقاومة العضو الساكن في حالة التوصيل النجمي أكبر منها في حالة التوصيل دلتا. وهذا يقلل من تيار بدء التشغيل، ويؤدي بالتالي إلى خفض عزم الدوران. ولذلك يفضل تحويل التوصيل النجمي إلى توصيل دلتا بمجرد وصول سرعة دوران المحرك إلى السرعة المقننة.

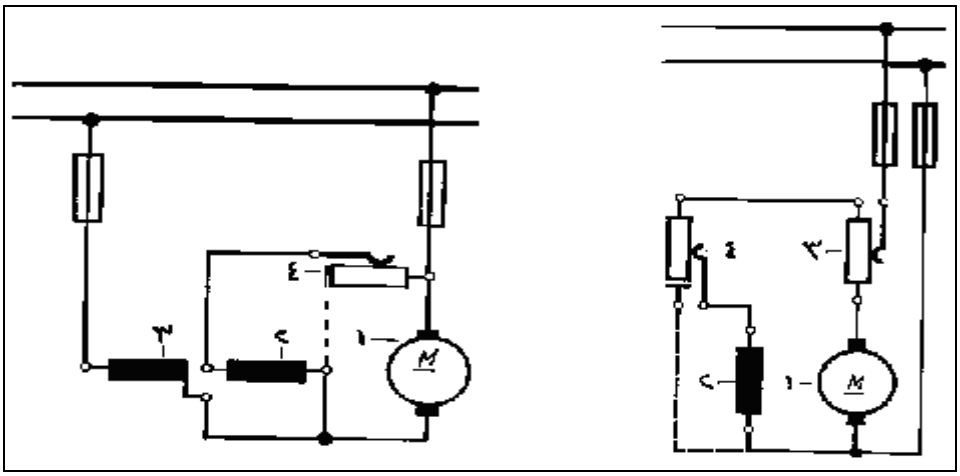
ويبين شكل(٥٥,١) رسماً تخطيطياً لدائرة التوصيل النجمة- دلتا لأحد المحركات. وبالرجوع إلى هذا الشكل نجد أن ترتيب الملفات للمحرك، وكيفية ترقيم لوحة النهايات تتم بطريقة معينة، لتسهيل عملية تغيير توصيل هذه الملفات من التوصيل النجمي إلى توصيل دلتا، وفي حالة تعذر استخدام هذه الطريقة لبدء تشغيل بعض المحركات تستخدم بدلا منها مقاومات توضع على التوالي مع ملفات المحرك عند بدء التشغيل، ويتم فصلها عندما تصل سرعة العضو الدوار إلى السرعة المقننة.



شكل(٥٥,١) أساس عمل مفتاح التوصيل النجمة–دلتا.

١. ملامسات بشكل قناطر.

٢. علبة توصيل نهايات المحرك.




شكل(١- ٥٦) رسم تخطيطي لدائرة محرك تيار مستمر بلف على التوازي وآخر بلف مستمر.

١. العضو الدوار.
٢. الملفات الموصلة على التوازي.
٣. الملفات الموصلة على التوالي.
٤. ريوستات المجال لتنظيم السرعة.

ويلاحظ في هذه الحالة عدم تحميل المحركات عند بدء تشغيلها لانخفاض عزم الدوران. ويعيب هذه الطريقة الأخيرة زيادة الفقد على هيئة حرارة مبددة في هذه المقاومات. وتمتاز المحركات على هيئة قفص سنجابي بثبات سرعة دورانها ، ويمكن تغيير سرعتها فقط بتغيير تردد المنبع أو بتغيير عدد الأقطاب. أما تغيير اتجاه الدوران فيتم بتغيير تتابع توصيل الأطوار المختلفة بأطراف المحرك.

**محركات تيار مستمر بلف على التوازي:**

وفي هذه المحركات توصل ملفات المجال على التوازي بملفات عضو الإنتاج. وتستخدم هذه المحركات في إدارة آلات الإنتاج التي تحتاج لسرعة دوران ثابتة. وتوصل المحركات بالمنبع بوضع ريوستات(مقاومة متغيرة) (٣) على التوالي بملفات عضو الإنتاج لتخفيض شدة تيار بدء التشغيل. ولا ينصح باستخدام هذه المقاومة لتخفيض سرعة دوران المحرك وذلك لزيادة القدرة المبددة على هيئة حرارة في هذا الريوستات.

ولتغيير سرعة دوران المحرك يوصل على التوالي بملفات المجال ريوستات(٤) يمكن بواسطته التحكم في سرعة المحرك في حدود ٢٥٪ من السرعة المقننة. أما تغيير اتجاه دوران المحرك فيتم بتغيير طريقة توصيل نهايات المحرك بالمنبع.

**محركات التيار المستمر بلف مركب:**

وفي هذه المحركات تقسم ملفات المجال إلى قسمين أحدهما يوصل على التوازي بملفات العضو الدوار، أما القسم الآخر فيوصل على التوالي بملفات العضو الدوار.

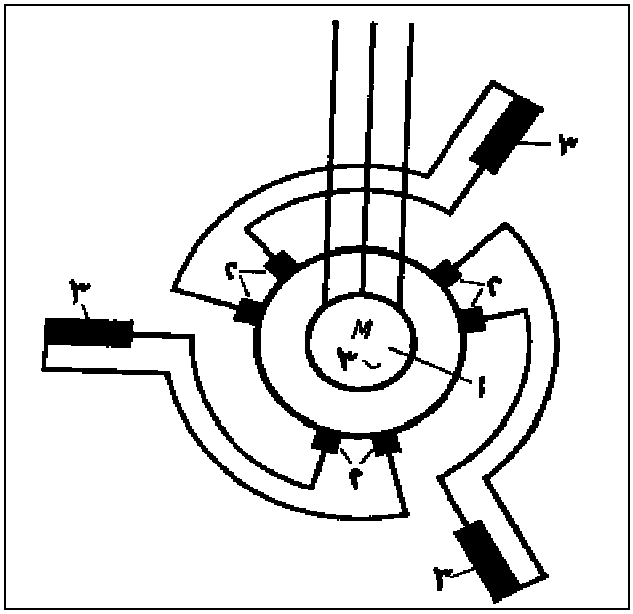
ويتميز المحرك ذو اللف المركب بأنه يدور بسرعة ثابتة عند التشغيل بدون حمل فقط، أي إن خواصه في هذه الحالة تكون مشابهة تماماً للمحرك بلف على التوازي، أما عند تحميله فإن سرعته تنخفض وتستمر في الانخفاض كلما زاد التحميل. وتستخدم مثل هذه المحركات في المصاعد وآلات الإنتاج المزودة بأثقال حذافة، مثل المكابس والمثاقب والمقصات.

**محركات ثلاثية الأطوار بلف على التوازي:**

ومن مميزات هذه المحركات إمكان تغيير سرعتها بدقة متناهية داخل حدود مجال واسع. وتتميز هذه المحركات بثبات سرعة دورانها عند الأحمال المتغيرة. وتوجد مجموعتان من المحركات بلف متواز:

١. محركات تغذى بالتيار المتردد عن طريق العضو الدوار.
٢. محركات تغذى بالتيار المتردد عن طريق العضو الساكن.

وتعتبر المحركات من النوع الأول أكثر المحركات استخداماً. ويبين شكل(٥٧,١) رسماً تخطيطياً لدائرة توصيل محرك بلف متواز، تجري تغذيته عن طريق العضو الدوار. ولا يتضمن الرسم التخطيطي ملفات العضو الساكن.




شكل(٥٧,١) رسم تخطيطي لمحرك ثلاثي الأطوار بلف على التوازي وبعضو دوار مغذى بالكهرباء.

١. ملفات العضو الدوار.
٢. مجموعة المبدل.
٣. ملفات المبدل.

وتوجد بهذه المحركات ثلاثة أنواع من الملفات: الملفات الأولى خاصة بالعضو الدوار، والثانية خاصة بالعضو الساكن، والثالثة خاصة بالفرش الموجودة على المبدل ويطلق عليها اسم"ملفات المبدل". ويغذى العضو الدوار من الشبكة، وعندما يدور العضو الدوار يتولد بالحث في ملفات العضو الساكن جهد تتغير قيمته بتغير سرعة العضو الدوار، كما يتولد أيضاً جهد آخر بالحث في ملفات المبدل، هذا الجهد الأخير يؤثر تأثيراً عكسياً على الجهد المتولد في ملفات العضو الساكن. ومن الممكن تغيير قيمة الجهد المتولد بالحث في ملفات المبدل، بتغيير نظام وضع الفرش بالمبدل (عضو التوحيد) وذلك باستخدام وسيلة ميكانيكية تعمل بطريقة يدوية لتحريك الفرش على المبدل للتحكم في الجهد المتولد بالحث في العضو الساكن. ويتم تغيير سرعة المحرك بتغيير وضع الفرش بالنسبة لبعضها في كل طور من الأطوار بالكيفية التالية:

في حالة تقريب الفرش بحيث يقع زوج من الفرش على شدفة واحدة من شدفات المبدل، أي عند عمل قصر دائرة لملفات المبدل المحصورة بين كل زوج من الفرش، فإن المحرك يدور تماماً كمحرك لا تزامني (وتفيد هذه الحالة عند بدء التشغيل). أما إذا حركت الفرش بحيث تكون بين الفرشة والأخرى شدفة واحدة، بدون عكس توصيل ملفات المبدل، فإن سرعة دوران المحرك تقل عن سرعة التزامن ويظل المحرك لا تزامنياً.

وأما إذا حركت الفرش بحيث يكون بين كل فرشة والأخرى شدفة واحدة، ولكن بكيفية مختلفة عن الطريقة السابقة، بحيث تعكس طريقة توصيل ملفات المبدل، فإن سرعة دوران المحرك تزيد على سرعة التزامن. ومن مميزات هذه المحركات، إمكان تغيير سرعتها تدريجياً دون أن يحدث بها أي فقد في القدرة. وتستخدم هذه المحركات في إدارة آلات الغزل ومكابس الطباعة الدوارة وآلات صناعة الورق.

**محركات لا تزامنية وحيدة الطور:**

توجد أنواع مختلفة من المحركات وحيدة الطور بسرعة ثابتة أهمها :

- محركات وحيدة الطور بدون وسيلة بدء حركة: هذه المحركات لا تستخدم حالياً. وتتكون من عضو دوار على هيئة قفص سنجابي تغذى ملفاته بتيار متردد فيتولد بها مجال دوار. وهذا المجال غير كاف لإنتاج عزم الدوران المطلوب عند بدء التشغيل. لذلك يفضل إدارة المحرك يدوياً عند بدء

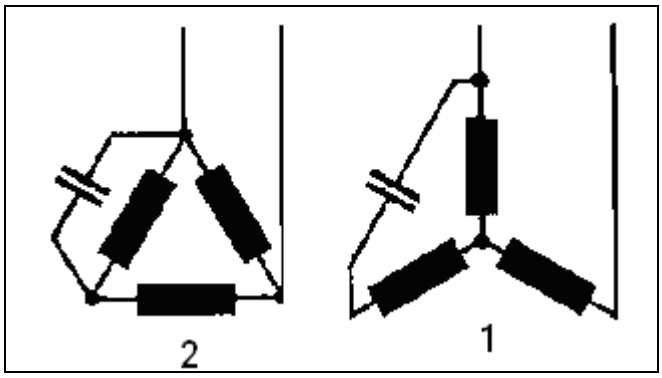
التشغيل. ويحدد اتجاه بدء التشغيل اتجاه دوران المحرك بعد ذلك.. وهي تستخدم في تشغيل الأجهزة الكهربائية المنزلية (مثل الغسالات والثلاجات) بقدرة مقننة صغيرة تسمح بتوصيلها توصيلاً مباشراً بالمنبع.

- محركات وحيدة الطور بمكثف: وهذا المحرك يشبه في كثير من النواحي المحرك وحيد الطور بدون وسيلة بدء حركة. عدا أنه مزود بوسيلة لبدء تشغيله أوتوماتيكياً دون الحاجة إلى تحريكه يدوياً. كما أن له اتجاه دوران محدد لا يعتمد على اتجاه بدء الحركة. وهذا المحرك يطلق عليه أيضاً اسم محرك بطور مشطور. ويرجع ذلك إلى أن ملفاته مقسمة إلى قسمين يطلق على أحدهما اسم الملفات الرئيسة ويطلق على الأخرى اسم الملفات المساعدة. ويوصل على التوالي بالملفات المساعدة مكثف للحصول في هذه الملفات على تيار مزاح (متأخر)بحوالي٩٠، ْ يتقدم التيار المار في الملفات الرئيسية ب حوالي $90^0$ وبهذه الكيفية يتكون بالمحرك مجالان مغناطيسيان بينهما زاوية، يؤدي التفاعل بينهما إلى بدء تشغيل المحرك تلقائياً.

ويوجد نوعان من المحركات وحيدة الطور بمكثف:النوع الأول: وفيه تزود الملفات المساعدة بمفتاح (يعمل يدوياً أو بالطرد المركزي)، لفصل الملفات المساعدة والمكثف من الدائرة عندما يصل المحرك إلى السرعة المقننة، وفي هذه الحالة تصمم الملفات المساعدة والمكثف لتعمل لفترة قصيرة فقط (فترة بدء التشغيل). والنوع الثاني: وفيه تظل الملفات المساعدة والمكثف موصلة بالدائرة حتى بعد وصول المحرك إلى السرعة المقننة. وتصمم الملفات المساعدة والمكثف في هذه الحالة الأخيرة لتعمل طوال فترة تشغيل المحرك.

محركات ثلاثية الأطوار تعمل كمحركات وحيدة الطور:

تستخدم المحركات ثلاثية الأطوار بقفص سنجابي والتي لا تتعدى قدرتها المقننة ٣ كيلووات لتعمل كمحركات وحيدة الطور، وبسرعة ثابتة. ومن عيوب هذه المحركات أن قدرة حرجها لا تتعدى ٨٠٪ فقط من قدرتها المقننة. وتستخدم المكثفات أيضاً في هذا النوع من المحركات لبدء التشغيل. ويتم تحديد قيمة المكثف تبعاً لقيمة الجهد المستخدم عليه المحرك. وتقدر قيمة المكثف في حالة محرك يعمل على جهد ٢٢٠ فولت بحوالي ٧٠ ميكروفاراد. ويبين شكل(٥٨,١) رسماً تخطيطياً لدوائر محركات ثلاثية الأطوار تعمل كمحركات وحيدة الطور بسرعة ثابتة.




شكل(٥٨,١) كيفية توصيل المحركات الثلاثية لتعمل كمحركات وحيدة الطور بمكثف.

١. محرك ثلاثي الأطوار بتوصيلة النجمة.

٢. محرك ثلاثي الأطوار بتوصيلة الدلتا.

**أ- المحركات التزامنية:**

لا يختلف تصميم المحركات التزامنية عن تصميم المولدات التزامنية التي سبق شرحها. غير أنه من النادر استخدام المولدات التزامنية ذات المقننات الكبيرة لتشغيلها كمحركات لأن:

١. هذه المحركات تحتاج إلى مصدر دائم للتيار المستمر لتغذية ملفات الإثارة لمغناطيسات المجال. لذلك يقرن مع عمود إدارة المولدات المتزامنة، مولد صغير لتغذية ملفات الإثارة بالتيار المستمر.

٢. صعوبة بدء تشغيل هذه المحركات. لذلك تزود المحركات المتزامنة الحديثة بعضو دوار آخر على هيئة قفص سنجاب بالإضافة إلى العضو الدوار الرئيس. ويستخدم العضو الدوار على هيئة قفص السنجاب في عملية بدء التشغيل للمحرك التزامني. وفي بعض الأحيان يقرن التزامني بمحرك لا تزامني يستخدم في عملية بدء الحركة، ويتم فصله عند وصول المحرك التزامني إلى السرعة المقننة.

وتتميز المحركات التزامنية بثبات سرعتها ودقتها. حيث إنها تساوي سرعة المجال الدوار. إلا أن من عيوب هذه المحركات انخفاض سرعتها عند تعرضها للتحميل الزائد، فتخرج عن سرعة التزامن، مما يؤدي إلى توقفها تماماً. كما أن زيادة التحميل تؤدي إلى زيادة التيار في هذه المحركات بدرجة كبيرة جداً مما يؤدي إلى تلفها.

**ب_ محركات بسرعة محكومة بالحمل:**

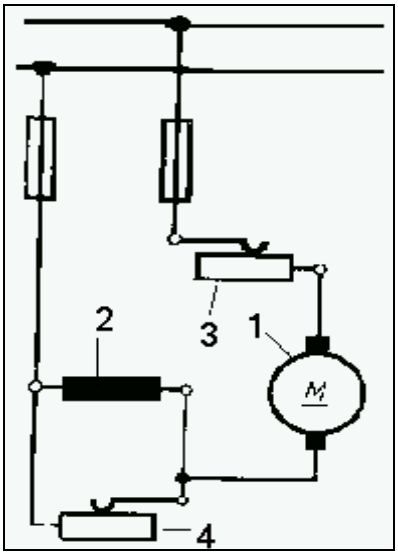
وتسمى المحركات التي تعتمد سرعتها على مقدار الحمل محركات بسرعة محكومة بالحمل.

ومن أهم أنواع هذه المحركات:

١. محركات التيار المستمر بلف على التوالي:

وفي هذه المحركات توصل ملفات المجال على التوالي بملفات عضو الإنتاج. وتتميز هذه المحركات بأن سرعتها وعزم دورانها يتغيران بطريقة معينة، بحيث يتناسبان مع الحمل الذي تقوم به هذه المحركات. ومن أهم مميزات المحركات بلف على التوالي أنه كلما زادت شدة التيار المار في ملفات العضو الدوار تزيد أيضاً شدة التيار في ملفات الإثارة، حيث إنها متصلة على التوالي بملفات عضو الإنتاج.

وتمتاز هذه المحركات بإمكان قيامها بالحمل عند بدء التشغيل. ويجب أن يراعى عند تشغيل هذه المحركات ألا يرفع عنها الحمل فجأة أو أن تعمل بدون حمل، وإلا أدى ذلك إلى زيادة كبيرة في عزم الدوران، وخاصة في السرعات العالية، مما يترتب عليه تحطيم المحرك. ولتلافي تحطيم المحركات الصغيرة ذات القدرة الكسرية (أقل من حصان واحد) من هذا النوع، تستخدم عادة ريش مروحة تبريد المحرك المركبة على عمود إدارته، كحمل دائم لحمايته من زيادة السرعة عند بدء التشغيل أو عند رفع الحمل الأساسي عليه. ومن أمثلة المحركات الصغيرة التي تستخدم فيها وسائل الحماية هذه: محركات تجفيف الشعر، والمراوح الصغيرة والمكانس الكهربائية. لذلك يراعى عند تصميم مراوح تبريد هذه المحركات أن يكون تغير مقدار مقاومة الهواء لريش هذه المراوح مناسباً بحيث تمنع أية زيادة غير عادية في سرعة المحرك. ويبين شكل (٥٩,١) رسماً تخطيطياً لدائرة محرك من هذا النوع. وتصلح المحركات الكبيرة من هذا النوع للتشغيل الثقيل مثل الجر الكهربائي (السكك الحديدية الكهربائية)، والآلات المستخدمة في مصانع إنتاج المعادن (ماكينات الدرفلة). وتصمم هذه المحركات أيضاً في بعض الأحيان بقدرة حرجة صغيرة لتعمل على التيار المتردد والتيار المستمر في نفس الوقت.

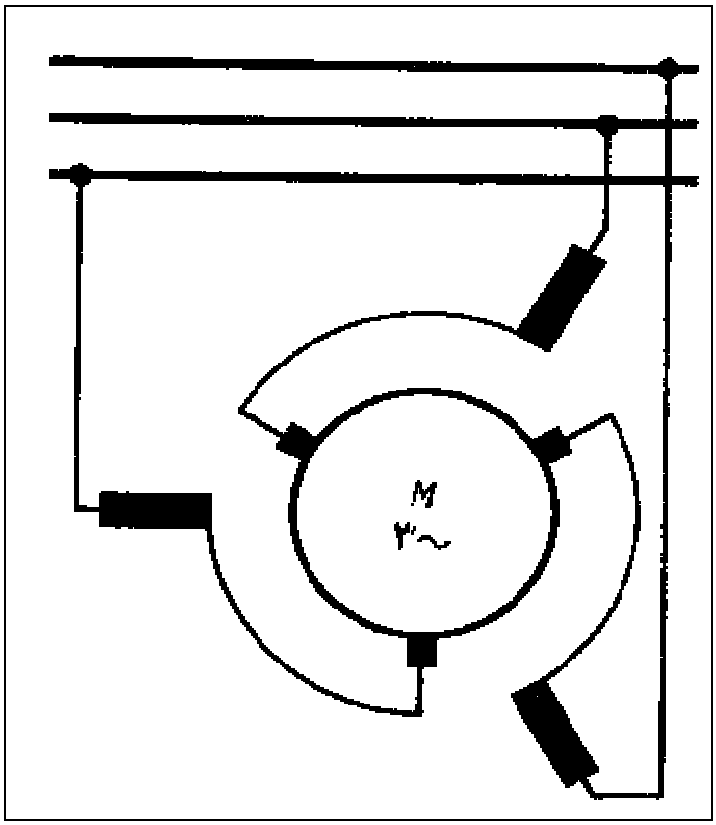



شكل(٥٩,١)رسم تخطيطي لمحرك تيار مستمر بلف على التوالي.

١. العضو الدوار.
٢. مبديء التشغيل.
٣. ملفات المجال.
٤. ريوستات المجال.

**محركات ثلاثية الأطوار بلف على التوالي:**

وهذا المحرك له نفس مزايا محرك التيار المستمر بلف على التوالي، كما أنه يمتاز بإمكان قيامه ببدء الحركة ذاتياً بإزاحة الفرش، وبذلك يمكن تجنب وجود أي فقد عند بدء الحركة. ويبين شكل (٦٠,١) رسماً تخطيطياً لدائرة إحدى هذه المحركات. ومن عيوب مثل هذه المحركات انخفاض قدرتها المقننة.

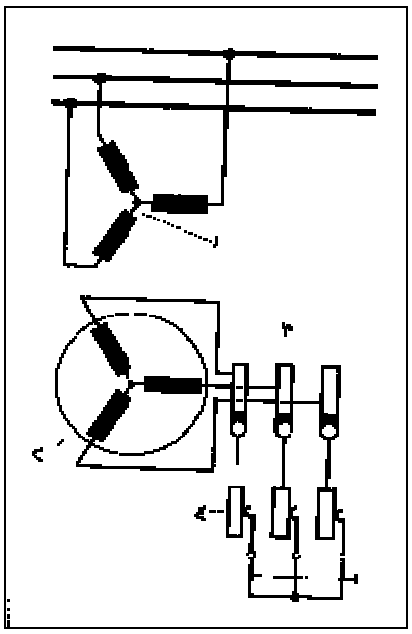



شكل(٦٠,١) رسم تخطيطي لدائرة محرك ثلاثي الأطوار بلف على التوالي.

**محركات ثلاثية الأطوار بحلقات انزلاق:**

تتميز هذه المحركات بعزم بدء تشغيل عال، وبأن بدء حركتها يتم بطريقة سهلة وتدريجية. كما يمكن تنظيم وضبط سرعة هذه المحركات حتى تصل إلى السرعة اللاتزامنية المقننة. وفي هذه

المحركات يكون لكل من العضو الساكن والعضو الدوار ملفات خاصة به، وترتب هذه الملفات بحيث يمكن توصيها بطريقة التوصيل النجمي، على أن توصل نهايات الملفات المتصلة بحلقات الانزلاق المركبة على عمود إدارة المحرك بمقاومات للحد من تيار بدء التشغيل. وتستخدم في هذه المحركات عادة وسيلة تقوم بقصر دائرة ملفات العضو الدوار، وفصل الفرش بمجرد وصول المحرك إلى السرعة المقننة. وبهذه الكيفية تعمل هذه المحركات بعد بدء الحركة كما لو كانت محركات ثلاثية الأطوار بعضو دوار على هيئة قفص سنجاب. ويفضل عادة توصيل وسيلة بدء الحركة (المقاومات) بملفات المحرك، على أن تفصل من الدائرة بمجرد وصول العضو الدوار إلى السرعة المقننة.



شكل(١- ٦١) رسم تخطيطي لدائرة محرك حثي ثلاثي الأطوار بحلقة انزلاق.

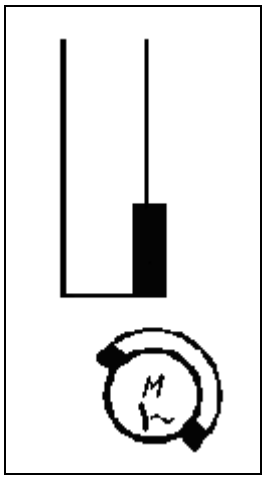
١. العضو الساكن
٢. العضو الدوار
٣. حلقات الانزلاق
٤. مبديء التشغيل ( مقاومة متغيرة )

ويبين شكل (١- ٦١) رسماً تخطيطياً لدائرة محرك من هذا النوع. ويستعمل هذا النوع من المحركات بصفة خاصة، عندما يتطلب التشغيل القيام بالحمل مباشرة عند بدء الحركة مع إمكان الوصول إلى سرعة الدوران المطلوبة بطريقة تدريجية. ولذلك فهي ملائمة للتشغيل في الأوناش وما شابه ذلك.

## محركات تنافرية وحيدة الطور:

تزود هذه المحركات بعضو دوار به ملفات ومبدل (عضو توحيد). ولهذه المحركات نفس مميزات الأداء التي تتميز بها المحركات بلف على التوالي، وهي سهولة بدء الحركة بالحمل مع إمكان الوصول على السرعة المطلوبة تدريجياً.

ويفضل وضع الفرش على المبدل في وضع معين ليبدأ المحرك في الدوران بأقل قدرة دخل ممكنة. وعند وصول سرعة المحرك إلى السرعة المقننة، تقوم وسيلة تعمل بالقوة المركزية الطاردة، بفصل الفرش وقصر ملفات العضو الدوار، وعندئذ يعمل المحرك التنافري كما لو كان محركاً حثياً بعضو دوار على هيئة قفص سنجاب بسرعة ثابتة. ويتم تغيير سرعة المحرك بعد ذلك بتغيير وضع الفرش على شدفات المبدل. ويصلح هذا المحرك لتشغيل المكابس، وكباسات الهواء وأجهزة التكييف التي تحتاج إلى عزم بدء تشغيل عال.




شكل(١- ٦٢) رسم تخطيطي لدائرة محرك تنافري.

# أسس تقنيات هندسية

## أساسيات الهندسة الإلكترونية

## الوحدة الثانية : أساسيات الهندسة الإلكترونية .

**اسم الوحدة:** أساسيات الهندسة الإلكترونية.

**الجدارة:** التعرف على أهمية الدوائر الإلكترونية ومكوناتها الرئيسية.

**الأهداف:**

١. أن يتعرف الطالب على الذرة وتركيبها ومكوناتها.
٢. أن يتعرف الطالب على أشباه الموصلات وأنواعها والوصلات الثنائية ودورها في التحكم بالتيار الكهربائي.
٣. أن يتعرف الطالب على الثنائي من حيث التركيب والقيم القصوى له وأنواعه المختلفة.
٤. أن يتعرف الطالب على الترانزيستور والثيريستور ويقوم بالتفريق بينهما. ويتعرف على دورهما في الدوائر الكهربائية المتكاملة.

**مستوى الأداء المطلوب:** أن يصل الطالب إلى إتقان الجدارة بنسبة ٩٥٪.

**الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة:** ١٠ساعات.

**الوسائل المساعدة:** لا يحتاج الطالب إلى أية وسيلة مساعدة.

**متطلبات الجدارة:** أن يقوم الطالب بفهم أجزاء الدوائر الالكترونية والتعرف على أهميتها ودور كل جزء منها في التطبيقات العملية ولا سيما في عملية التحكم بالتيار.

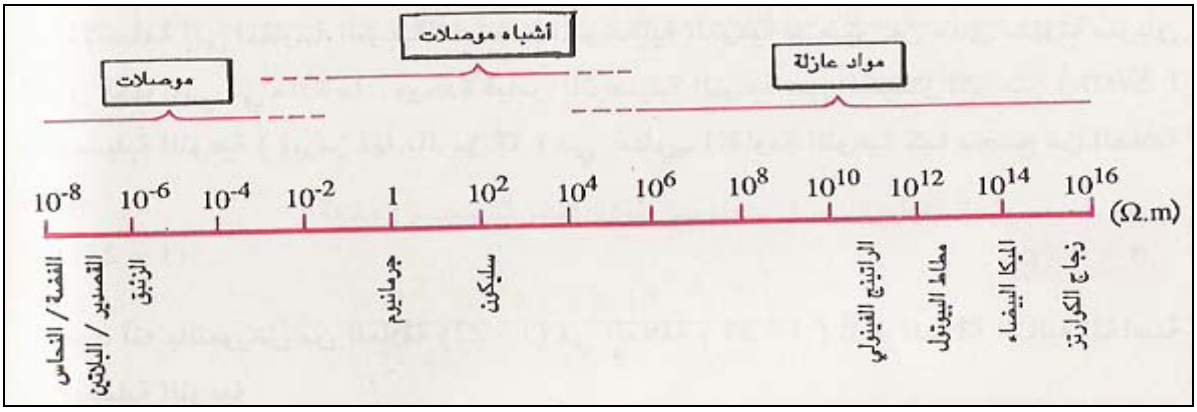
## المقدمة :

### أجهزة أشباه الموصلات Semiconductor Devices :

تنتج الثنائيات والترانزستورات والدوائر المتكاملة من أشباه الموصلات وينشر استخدامها في معدات الاتصالات عن بعد والحواسيب الإلكترونية. وهي تقوم بالوظائف الأساسية لتقنية الإلكترونيات مثل التقويم والتكبير والتوصيل.

### شبه الموصل Semiconductor

تم تقسيم المواد من حيث خصائصها الكهربائية (مقاومتها النوعية) إلى موصلات وعوازل وأشباه موصلات وذلك على أساس مدى مقاومتها لسريان التيار الكهربائي خلالها. ويوضح شكل ١ المقاومة النوعية لبعض هذه المواد.

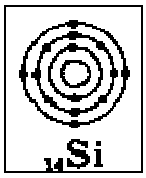



شكل(٢- ١) المقاومة النوعية لبعض المواد.

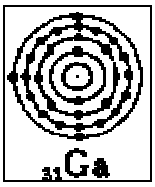
وتتأثر المقاومة النوعية بالعوامل الخارجية مثل درجة الحرارة وبمدى نقاوة شبه الموصل من الشوائب الموجودة فيه والطرق المستخدمة في معالجته وتصنيعه. والأمثلة الرئيسية لأشباه الموصلات هي السيليكون $S_I$ والجرمانيوم $G_e$ . ويلاحظ أن ذرة واحدة من النحاس إذا ما شردت داخل مليون ذرة جرمانيوم تجعل المقاومة النوعية للجرمانيوم تتغير تغيراً كبيراً.ولكي نستطيع فهم الخواص الكهربائية لشبه الموصل فإنه يجب علينا أولاً دراسة تركيب الذرة ووظائف الإلكترون وكيفية سريان التيار في الكهربائي في مادة معينة.

### الذرة:

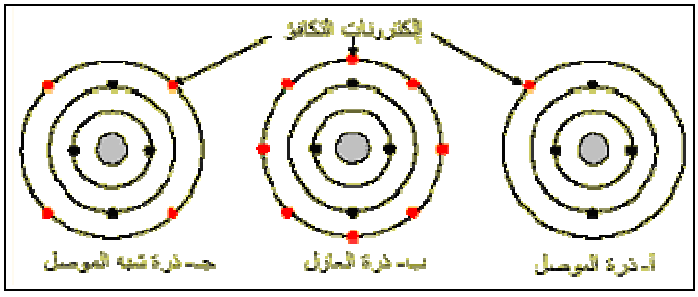
بفرض أن الذرة كروية الشكل فإن قطرها يساوي تقريباً $10^{-10}$m. والذرة ليست مملوءة ولكن أغلبها عبارة عن فراغ ويبلغ قطر النواة ما بين واحد على عشرة آلاف إلى واحد على مئة ألف من قطر الذرة، ومن هذا يتضح أن هناك فراغاً كبيراً في الذرة تسري فيه الإلكترونات. وتوجد على مدارات حول النواة وكل مدار يسمح بوجود عدد معين وثابت من الإلكترونات لكل من ذرة السيليكون والجرمانيوم.




شكل(٢,٢.أ)ذرة السيليكون.



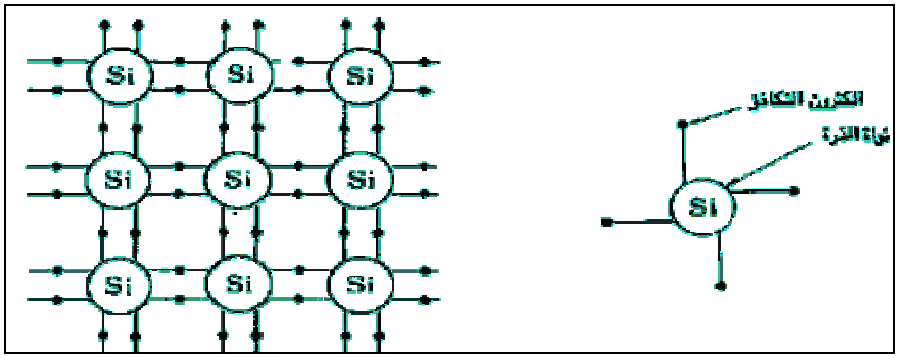

شكل(٢,٢.ب)ذرة الجرمانيوم.




شكل(٢,٢.ج)أشكال الذرات حسب توصيلها.

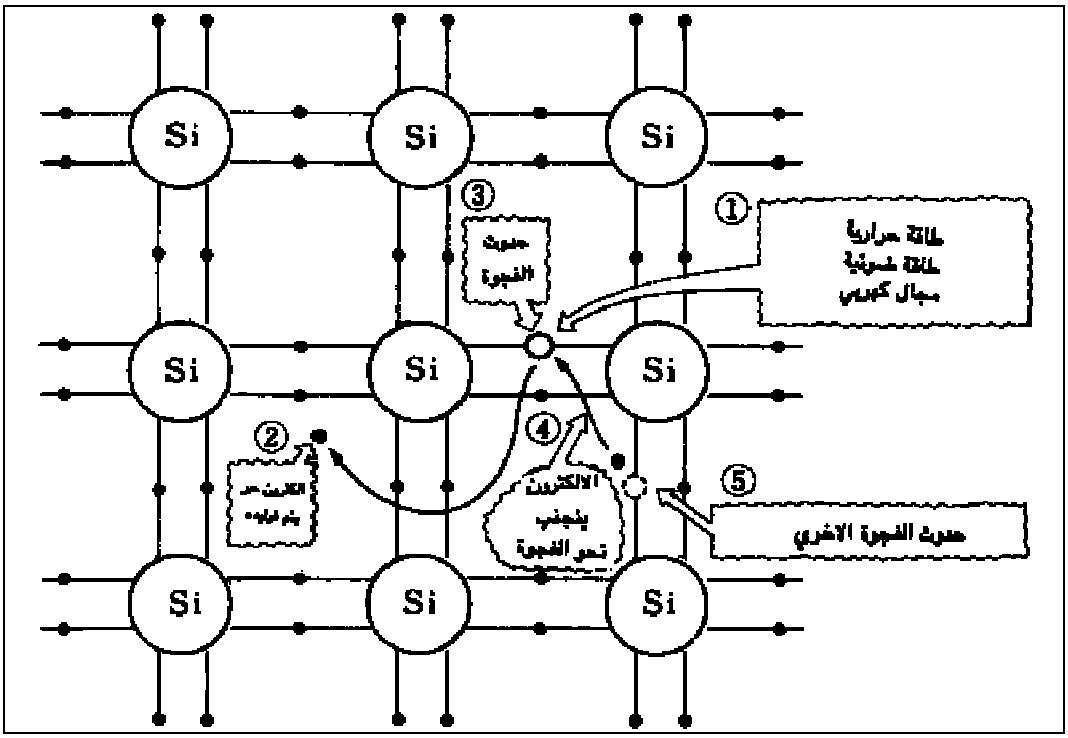
**وظائف الإلكترونات والفجوات:**

تكون الإلكترونات الواقعة على مدارات قريبة من النواة مرتبطة ارتباطاً قوياً بالنواة حيث توجد قوة جذب كبيرة بينها. أما إلكترونات المدار الخارجي (إلكترونات التكافؤ) والبعيدة عن النواة فإنهما تكون أقل انجذاباً إلى النواة ويمكنها الهروب من قوة جذب النواة بسهولة ولذلك تعرف هذه الإلكترونات بالإلكترونات الحرة. ويوضح الشكل(٢- ٢) نموذجاً لذرة السيليكون في بلورة السيليكون الأحادية وهي البلورة التي تترتب فيها الذرات بشكل منتظم وحيث تكون كل ذرة مرتبطة بالذرات الأخرى بواسطة إلكترونات التكافؤ فيما يعرف بالرابطة التساهمية Covalent Bond.




شكل(٢- ٤)ذرة السيليكون وبلورتها الأحادية.

وعند تزويد بلورة السيليكون بطاقة حرارية أو ضوئية أو نتيجة لتعرضها لمجال كهربائي فإن إلكترونات التكافؤ تتغلب على قوة جذب النواة لها وتصبح إلكترونات حرة. وعندما تترك الإلكترونات مكانها في الذرة فإنها تترك وراءها مكاناً شاغراً يعرف بالفجوات ذات الشحنة الموجبة. وتقوم هذه الفجوات ذات الشحنة الموجبة بجذب إلكترونات التكافؤ من الذرات المجاورة لها. وعندما تتحرك إلكترونات متجهة إلى الفجوات التي تجذبها فإنها تترك وراءها فجوات في ذراتها الأصلية مما يعطي انطباعا بأن الفجوات تتحرك في اتجاه معاكس لاتجاه حركة الإلكترونات. وبذلك فإنه يتضح بأن التيار الكهربائي (وهو عبارة عن حركة شحنات كهربائية) يسري في شبه الموصل بواسطة نوعين من حاملات الشحنة هما الإلكترونات الحرة والفجوات.




شكل(٢- ٥) توليد الإلكترونات الحرة والفجوات.

**أنواع أشباه الموصلات:**

تنقسم أشباه الموصلات إلى الأنواع التالية:

١. أشباه موصلات نقية.

٢. أشباه الموصلات ذات الشوائب وتنقسم إلى نوعين هما:

أ- شبه الموصل نوع n

ب- شبه الموصل نوع p.

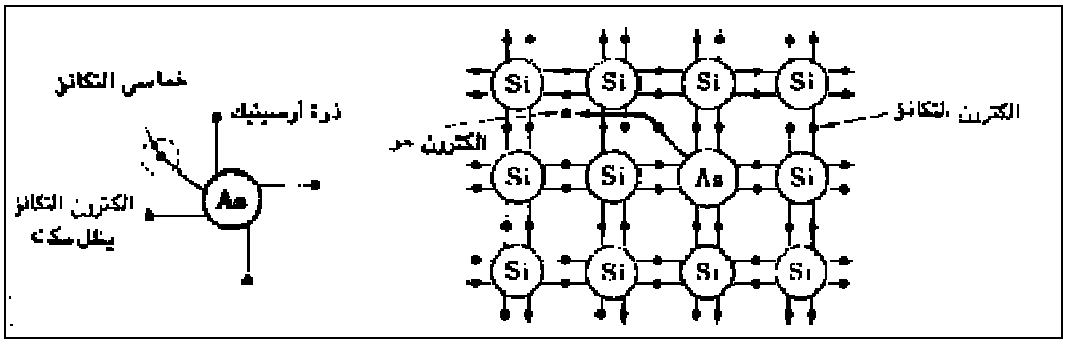
**شبه الموصل النقي** Intrinsic Semiconductor:

بإضافة نسبة من الشوائب إلى مادة شبه موصلة، فإن خصائص شبه الموصل الكهربائية تتغير تغيراً ملحوظاً. وشبه الموصل النقي هو شبه موصل خال من الشوائب لدرجة تصل إلى ٩٩,٩٩٩٩٩٩٩٩٪ وهي النسبة المعروفة بنسبة الأحد عشر تسعة. ومن خصائص شبه الموصل النقي أن عدد الإلكترونات الحرة يساوي عدد الفجوات. ويسير التيار الكهربائي في شبه الموصل النقي عند زيادة درجة الحرارة أو سقوط ضوء، حيث تتولد إلكترونات حرة جديدة وكذلك فجوات مما يسبب حركة هذه الشحنات ومرور التيار.

**شبه الموصل ذو الشوائب** Impurity Semiconductor:

**شبه الموصل من النوع- n:**

ويتم الحصول على شبه موصل من النوع n بإضافة شوائب من مادة خماسية التكافؤ مثل الإستاتين As أو الفسفور P أو الأنتيمون إلى شبه الموصل النقي (مثل السيليكون أو الجرمانيوم) بنسبة معينة. وبسبب خصائص السيليكون (ذو التكافؤ الرباعي) فإن ذرة السيليكون ترتبط بذرة الإستاتين مثلاً عن طريق أربعة إلكترونات فقط تاركة الإلكترون الخامس حر الحركة داخل البلورة إذا ما أضيف إليه طاقة ضئيلة جداً.




شكل(٢- ٦)شبه موصل من النوع- n.

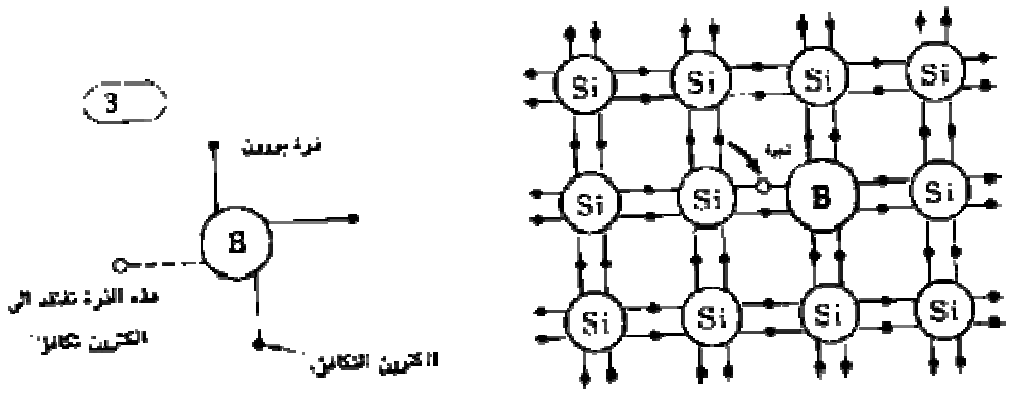
يسمى العنصر الممثل للشوائب في هذه الحالة بالمعطي Donor حيث إنه يقوم بإعطاء بلورة السيليكون إلكتروناً وبالتالي فإن عدد الشحنات السالبة يزيد ولذلك يعرف هذا النوع من أشباه الموصلات بالنوع n إشارة إلى زيادة عدد حاملات الشحنة السالبة (الإلكترونات). وتسمى الإلكترونات الحرة ذات الأعداد الكبيرة "حاملات الأغلبية" أما الحاملات ذات الأعداد الصغيرة مثل الفجوات فتسمى

"حاملات الأقلية". وتبقى المادة ككل متعادلة كهربائياً لأن ذرة الإستاتين تصبح أيوناً ذا شحنة موجبة مساوية لشحنة الإلكترون الحر المضاف وذلك لأنها تفقد هذا الإلكترون إلى البلورة.

**شبه الموصل من النوع- p:**

في حالة إضافة شوائب من مادة ثلاثية التكافؤ مثل البورون B أو الجاليوم Ga أو الإنديوم In إلى مادة السيليكون النقية فإنه ولارتباط ذرة السيليكون بذرة ثلاثية التكافؤ يلزم أن يتم الارتباط بواسطة أربعة إلكترونات تكافؤ. ولكن العنصر ثلاثي التكافؤ يفتقد إلى إلكترون رابع مما يسبب وجود فجوة في البلورة. هذه الفجوة حرة الحركة وقد تسبب تياراً عند سريانها بفعل طاقة خارجية صغيرة للغاية. ولأن الفجوة الناشئة عن إضافة العنصر ثلاثي التكافؤ تقوم بجذب أو قبول إلكترون حر من ذرة قريبة فإن المادة التي أضيفت كشائبة تسمى المستقبل أو المتقبل Acceptor.

ويتميز شبه الموصل من النوع p بأن حاملات الشحنة الموجبة (الفجوات) تمثل الأغلبية بالنسبة لحاملات الشحنة السالبة (الإلكترونات الحرة) التي تمثل الأقلية.




شكل(٢- ٧)شبه موصل من النوع- p.

**سلوك حاملات الشحنة Behaviour of The Carrier:**

**الانجراف Drift:**

عند تطبيق مجال كهربائي على شبه موصل فإن حاملات الشحنة من إلكترونات حرة تتحرك في عكس اتجاه المجال الكهربائي في حين أن حاملات الشحنة من الفجوات تتحرك في اتجاه المجال الكهربائي وذلك نتيجة للقوة التي يؤثر بها هذا المجال الكهربائي على حاملات الشحنة وبالتالي فإن تياراً كهربائياً يمر في اتجاه المجال الكهربائي. وهذه الظاهرة تسمى ظاهرة الانجراف. والتيار الكهربائي الذي يمر نتيجة حركة حاملات الشحنة بالانجراف يسمى تياراً جارفاً Drift Current.

**الانتشار Diffusion :**

في شبه الموصل فإن اختلاف تركيز حاملات الشحنة من منطقة إلى أخرى في شبه الموصل يسبب حركة حاملات الشحنة من المنطقة ذات التركيز الأعلى إلى تلك ذات التركيز المنخفض وهذا يسمى انتشارا. والتيار الكهربائي الذي يسري نتيجة حركة حاملات الشحنة يسمى تيار الانتشار Diffusion Current وتتناسب قيمته مع الاختلاف في التركيز.

**توليد واتحاد حاملات الشحنة Generation and Recombination:**

إن الفجوة والإلكترون الحر اللذاين يمثلان حاملات الشحنة في شبه الموصل يتم توليدهما بواسطة طاقة معينة مثل الطاقة الحرارية أو الطاقة الضوئية أو المجال الكهربائي. وعندما تتحد الفجوة والإلكترون الحر فإننا نسمي هذه العملية بعملية اتحاد أو إعادة التئام حاملات الشحنة Recombination. وتتم كل من عمليتي التوليد والاتحاد لحاملات الشحنة في الوقت نفسه داخل شبه الموصل ولكن هناك عدد متوسط لحاملات الشحنة الكلي وهو ثابت لأن كلاً من التوليد والاتحاد يحدثان بالنسبة نفسها.

**الوصلة الثنائية p-n Junction:**

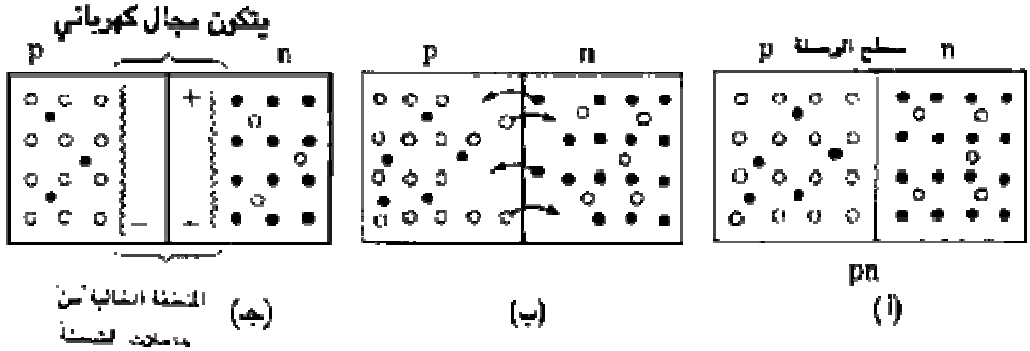
**المنطقة الخالية من حاملات الشحنة Depletion Layer:**

عند إضافة مادة قابلة Acceptor إلى بلورة من السيليكون أو الجرمانيوم في منطقة معينة فإننا نحصل على شبه الموصل من نوع p وعند إضافة مادة معطية Donor إلى منطقة مجاورة فإننا نحصل على موصل من نوع n . وتسمى البلورة التي تحتوي على نوعي شبه الموصل، النوع p والنوع n بالوصلة الثنائية. ولأن تركيز الإلكترونات الحرة في منطقة النوع n أعلى من تركيز الإلكترونات الحرة في منطقة النوع p ، فإن الإلكترونات الحرة سوف تنتشر من منطقة النوع n إلى منطقة النوع P ويحدث العكس بالنسبة لانتشار الفجوات من منطقة النوع p إلى منطقة النوع n.

وتسمى حاملات الشحنة التي تنتقل من منطقة من نوع معين إلى منطقة من نوع مخالف بحاملات الشحنة المحقونة Injected Carriers ونتيجة لانتقال الفجوات من منطقة النوع p إلى منطقة النوع n فإن الجزء القريب من سطح الوصلة والموجود داخل منطقة النوع p يصبح سالب الشحنة (لإنه فقد شحنات موجبة متمثلة في الفجوات المنتقلة).

وكذلك فإن انتقال الإلكترونات الحرة من منطقة النوع n إلى منطقة النوع p يؤدي إلى تكون شحنات موجبة في المنطقة القريبة من سطح الوصلة والموجودة داخل منطقة النوع n. هذه الشحنات المتولدة تعمل على وجود مجال كهربائي يؤثر على انتقال الفجوات أو الإلكترونات الحرة بالانتشار مما يؤدي إلى

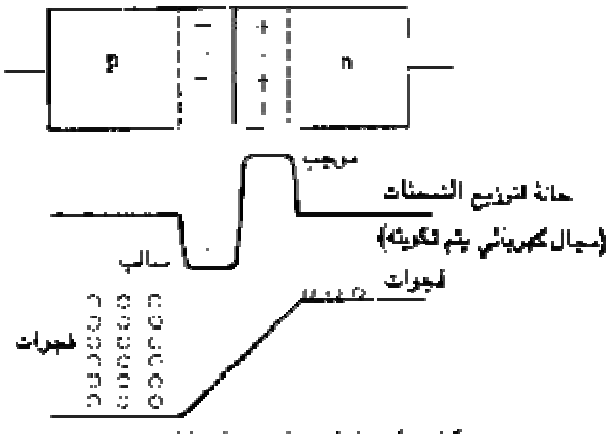
وجود عدد متزن من حاملات الشحنة في كل من منطقتي الوصلة الثنائية. والمنطقة التي يتولد فيها المجال الكهربائي تسمى بالمنطقة الخالية من حاملات الشحنة Depletion Layer




شكل(٢- ٨)حقن حاملات الشحنة.

**حاجز الجهد Potential Barrier:**

بسبب تكون المجال الكهربائي في المنطقة الخالية من حاملات الشحنة فإن ذلك يسبب اختلافاً في الجهد في هذه المنطقة. ولكي تنتقل حاملات الشحنة من منطقة إلى أخرى على جانبي المنطقة الخالية من الشحنات يجب عليها أن تتسلق حاجز الجهد الناتج عن تغير الجهد في المنطقة الخالية.




شكل(٢- ٩)حاجز الطاقة.

وحتى يمر تيار في الوصلة الثنائية يجب إعطاء حاملات الشحنة الطاقة اللازمة حتى تتسلق حاجز الجهد وذلك عن طريق مصدر خارجي للطاقة. وتستخدم الوصلة الثنائية للتحكم في عدد حاملات الشحنة المحقونة بواسطة الطاقة الخارجية اعتماداً على وجود حاجز الجهد.

**التحكم بمرور التيار في الوصلة الثنائية**

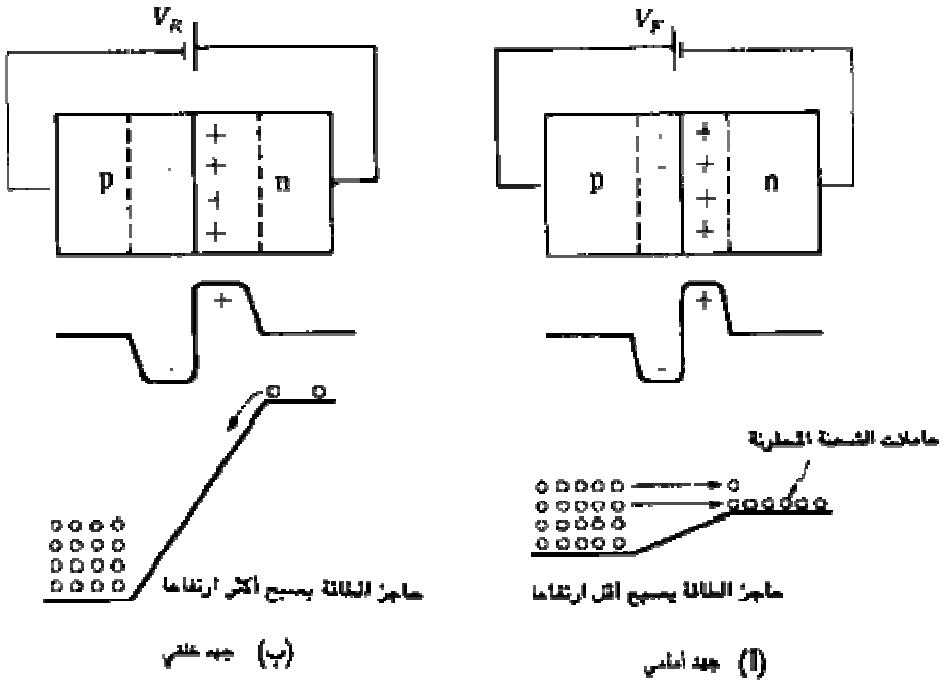
**أ_ التوصيل الأمامي Forward Direction:**

عند تطبيق جهد خارجي يسمى بالجهد الأمامي $V_F$ على وصلة ثنائية بحيث يجعل منطقة النوع p موجبة بالنسبة لمنطقة النوع n فإن قيمة ارتفاع حاجز الجهد في المنطقة الخالية من حاملات الشحنة سوف

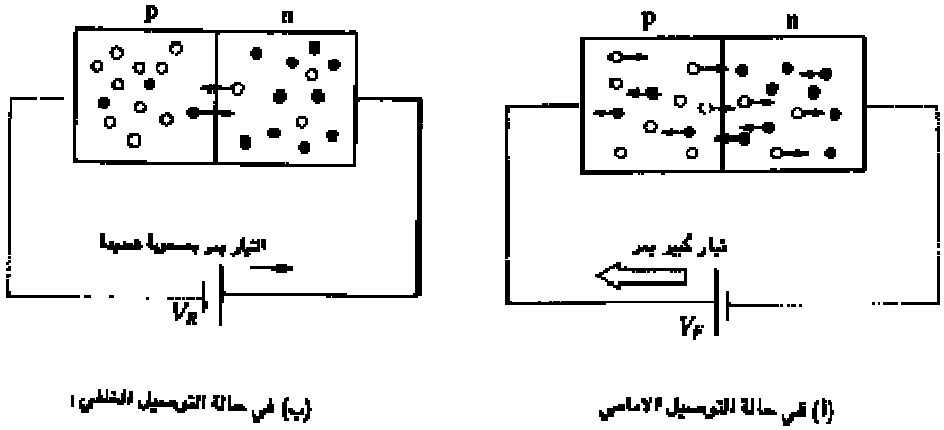
يصبح أقل وسوف يقل أيضاً عرض المنطقة الخالية مما يجعل الفجوات تنتقل من منطقة النوع p إلى منطقة النوع n عبر سطح الوصلة، وكذلك انتقال إلكترونات حرة من منطقة النوع n إلى منطقة النوع p إن انتقال الفجوات من منطقة النوع p إلى منطقة النوع n وانتقال الإلكترونات الحرة من منطقة النوعn إلى منطقة النوع p يسبب مرور تيار كهربائي يسمى بالتيار الأمامي Forward Current

**ب- الجهد العكسي** Reverse Direction:

إن تطبيق جهد كهربائي $V_R$ بحيث يجعل منطقة النوع p سالبة يجعل ارتفاع حاجز الجهد يزداد ارتفاعاً ويزيد عرض المنطقة الخالية من حاملات الشحنة. لذلك فإن حاملات الشحنة المحقونة من منطقة النوع p إلى منطقة النوع n أو العكس سوف يقل عددها مما يسبب تياراً ضعيفاً جداً. هذا التيار يسمى تياراً عكسياً Reverse Current.ومما سبق يتضح أن التيار الكهربائي يمر بسهولة في الاتجاه الأمامي وتقريباً لا يمر في الاتجاه العكسي.




شكل(٢- ١٠)تغير ارتفاع حاجز الطاقة.




(ب) في حالة التوصيل العكسي (أ) في حالة التوصيل الأمامي

شكل(٢- ١١)حركة حاملات الشحنة.

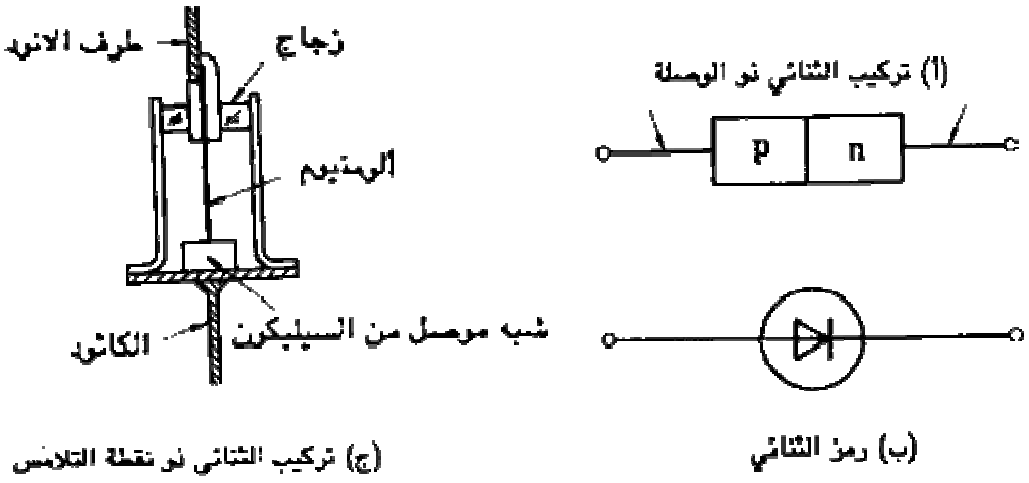
## الثنائي Diode:

يسمى الجهاز الذي يتكون من وصلة ثنائية p-n لها طرفان، ثنائيان لهما وصلة ثنائية. وتوجد أنواع أخرى للثنائيات خلاف هذا النوع.

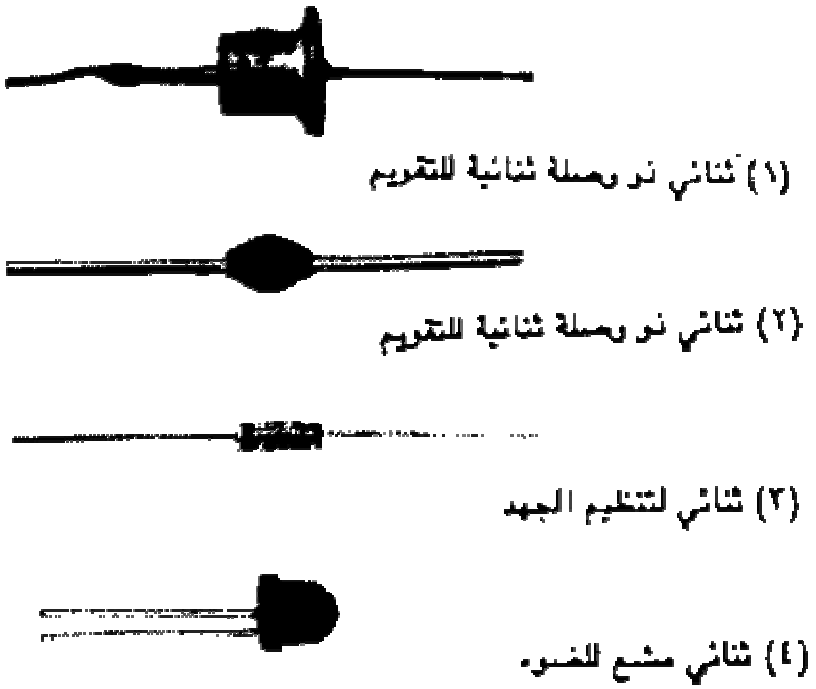
**تركيب وخواص ثنائي الوصلة الثنائية:**

كما رأينا في الجزء السابق تتمتع الوصلة الثنائية بخاصية التقويم Rectification وهي مرور التيار الكهربائي بسهولة في الاتجاه الأمامي وصعوبة مروره في الاتجاه العكسي. وبتقدم أبحاث أشباه الموصلات تم التوصل إلى ثنائيات السيليكون والجرمانيوم. وبالمقارنة بثنائيات السيلينيوم و أوكسيد النحاس، فإن ثنائي الوصلة الثنائية يتميز بمرور تيار عال وقيمة أعلى لأقصى جهد عكسي يمكن تطبيقه على الثنائي وهذه تعد خصائص ممتازة للثنائي. ولذلك فإن ثنائيات الوصلة الثنائية منتشرة على نطاق واسع في تطبيقات التقويم.

وبالإضافة إلى ثنائي الوصلة الثنائية فإنه يوجد الثنائي ذو نقطة الاتصال ن وهو يتركب من شريحة من السيليكون أو الجرمانيوم (شبه موصل) تتصل من نقطة واحدة مع سلك معدني للتوصيل. ويستخدم هذا النوع من الثنائيات في الترددات العالية على أساس أن سطح التلامس بين سلك التوصيل وشبه الموصل يكون ذا مساحة صغيرة.




شكل(٢- ١٢)أمثلة لتركيب ورمز الثنائي.




شكل(٢- ١٣)أمثلة لثنائيات الوصلات الثنائية وأنواع أخرى.

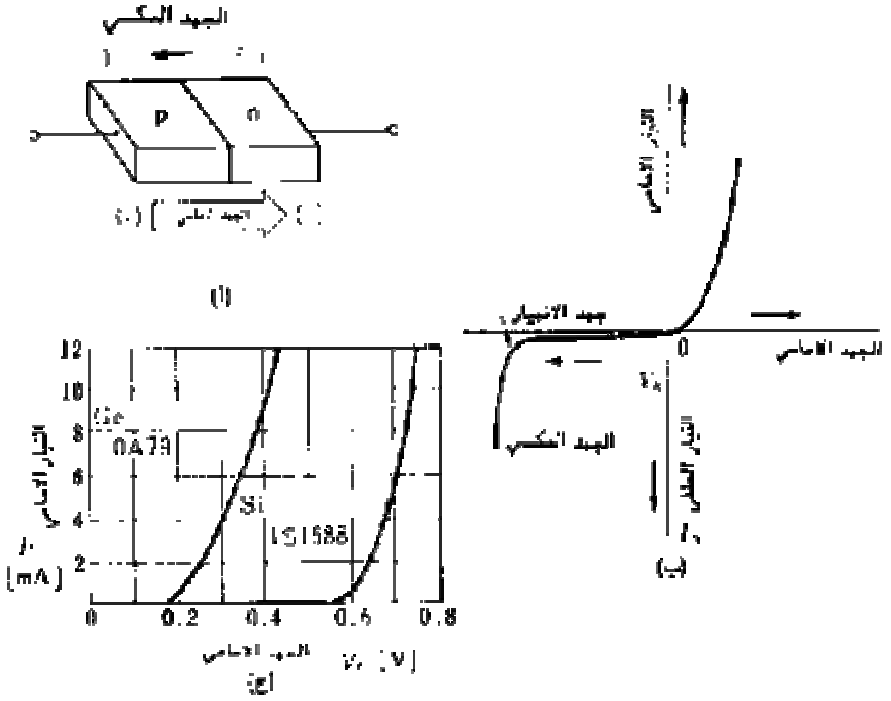
ولثنائي الوصلة الثنائية الخواص المهمة الآتية:

١. خاصية التقويم: وتعتمد على مرور التيار بسهولة في اتجاه معين وصعوبة مروره في الاتجاه المعاكس.

فالعلاقة بين الجهد بين طرفي الثنائي والتيار المار خلاله ليست خطية، أي إنها لا تتبع لقانون أوم.

٢. جهد أمامي صغير يسبب مرور كمية كبيرة من التيار، فالجهد الذي يبدأ عنده مرور تيار أمامي يتراوح بين 0.2V في حالة الثنائي المصنوع من الجرمانيوم و 0.6V في حالة الثنائي المصنوع من السيليكون.

زيادة الجهد العكسي تدريجياً تعطي خاصية مرور تيار مفاجئ في الاتجاه العكسي. وتسمى هذه الظاهرة الانهيار Breakdown Phenomenon ويسمى الجهد العكسي الذي تحدث عنده زيادة مفاجئة في التيار العكسي بجهد الانحياز أو جهد زينر Zener Voltage.




شكل(٢- ١٤)منحنيات الخواص لثنائي ذي وصلة ثنائية.

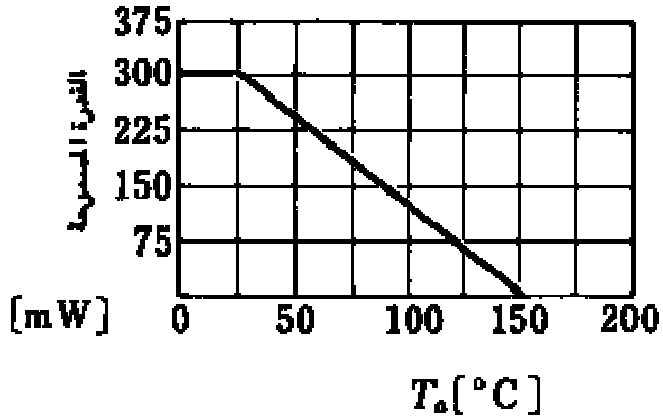
**القيم القصوى للثنائي** The Maximum Ratings of Diode:

يجب أن يستخدم الثنائي تحت ظروف العمل قيماً أقل من أقصى قيم مسموح بها للجهد والتيار والقدرة المفقودة ودرجة الحرارة كما يلي:

- أقصى جهد عكسي Maximum ( Peak ) Reverse Voltage وهو أكبر قيمة لجهد عكسي يمكن تطبيقه على ثنائي.
- الجهد الأمامي المتصل Continuous Forward Voltage وهو أقصى قيمة للتيار المباشر الذي يمكن أن يمر متواصلاً في الاتجاه الأمامي للثنائي.

- التيار المفاجئ Surge Current وهو أقصى قيمة للتيار المفاجئ الذي يمر في الاتجاه الأمامي للثنائي.

وبالإضافة لذلك فإن القدرة المفقودة المسموح بها يتم الاهتمام بها بالنسبة للثنائي التنظيمي Regulation Diode وهي تعني الحد الأقصى لقيمة القدرة المفقودة. والذي تقل قيمته كلما زادت درجة حرارة الجو المحيط. ويبين جدول ١ نماذج للقيم القصوى للثنائيات.




شكل(٢- ١٥)مثال لأقصى قدرة مسموح فقدها.

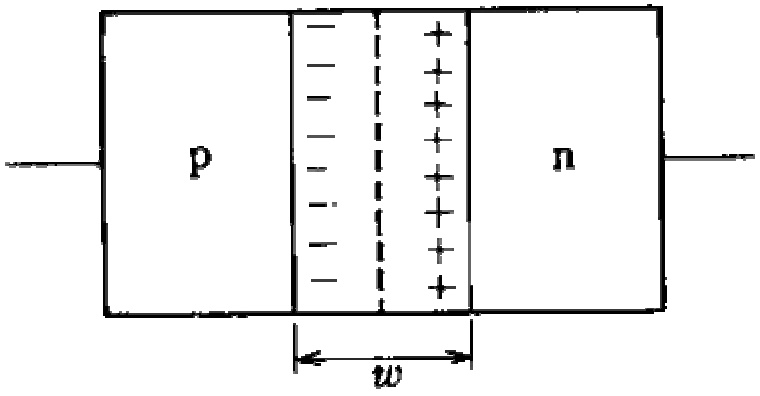
| التيار المفاجئ | الجهد الأمامي المتصل | أقصى جهد عكسي | اسم العنصر |
|---|---|---|---|
| 4 A | 150 mA | 100 V | 1S 955 |
| 1A | 100 mA | 125 V | 1S 1599 |

جدول(٢- ١)نماذج من القيم القصوى للثنائيات.

**ثنائيات أخرى:**

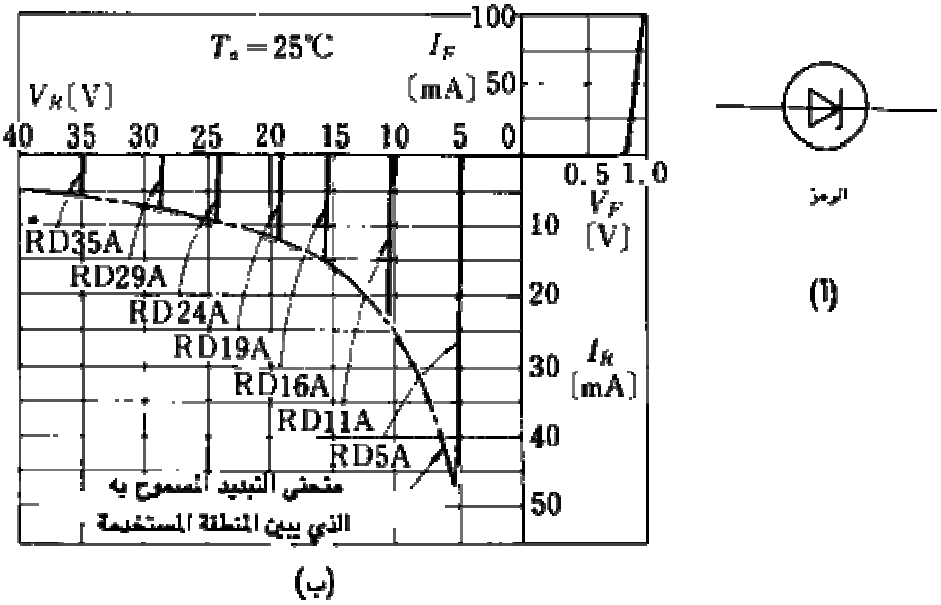
تشمل الثنائيات الأنواع الآتية بالإضافة لتلك المستخدمة في التقويم:

١. ثنائي ذو سعة مكثف متغيرة Variable Capacitance Diode: ويسمى بالاسم المختصر فاريكاب Varicap أو فاراكتور Varactor وتكون حالة المنطقة الخالية من حاملات الشحنة للوصلة الثنائية بها مثل تلك للمكثف بسبب وجود الشحنات السالبة والموجبة. وهذه الحالة تسمى سعة مكثف الوصلة Junction Capacity حيث تتناسب قيمة سعة المكثف للوصلة تناسباً عكسياً مع عرض المنطقة الخالية W الذي يعتمد على قيمة الجهد العكسي، وذلك يجعل الجهاز يعمل كمكثف له سعة تعتمد على الجهد المطبق عليه.




شكل(٢- ١٦)كثافة الوصلة الثنائية.

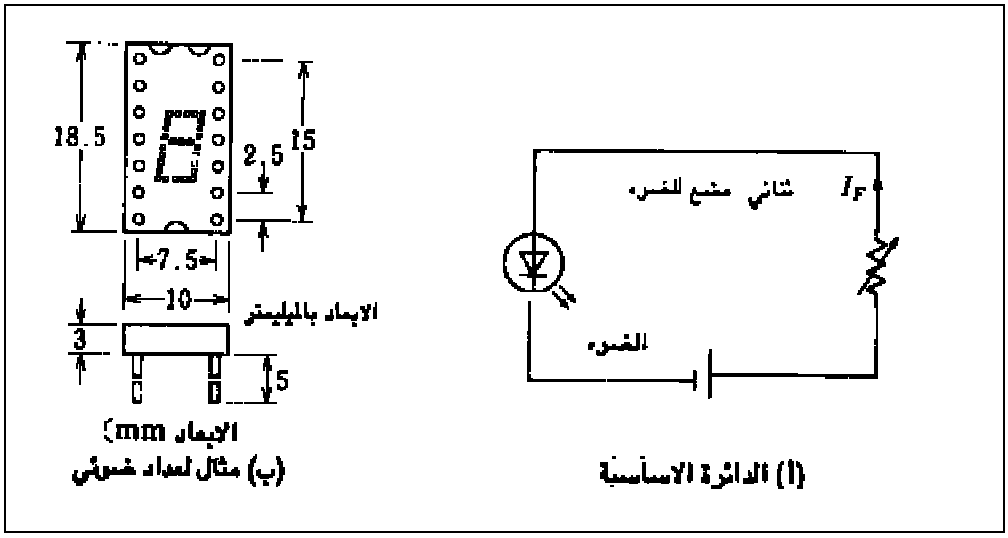
٢. ثنائيات تنظيم الجهد Voltage Regulation Diodes: وتسمى أيضاً بثنائيات زينر Zener Diode وفيهما يتم استغلال ظاهرة الانهيار المفاجئ للثنائي المصنوع من السيليكون. ويتضح أن الجهد يظل ثابتاً لقيم ذات نطاق واسع للتيار. وتسمى هذه الظاهرة ظاهرة الانهيار للثنائي، وتستخدم في ثنائيات تنظيم الجهد.




شكل(٢- ١٧)الرمز ومنحنيات الخواص لأنواع مختلفة من ثنائيات تنظيم الجهد.

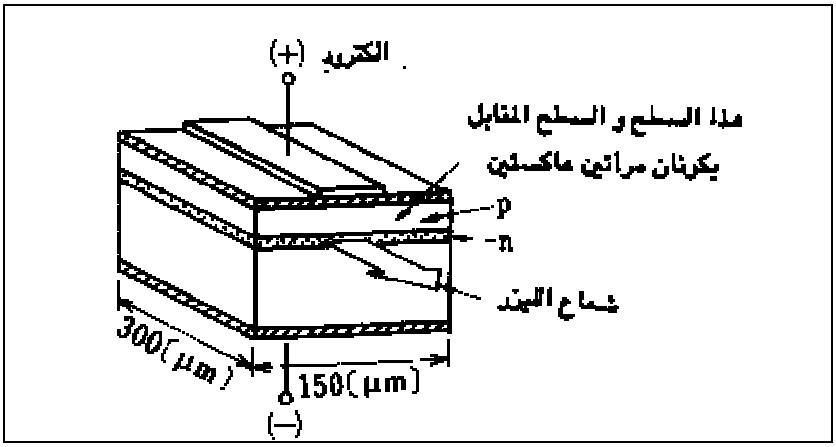
٣. الثنائي الباعث للضوء LED وثنائي الليزر: والثنائي الباعث للضوء LED هو ثنائي ذو وصلة ثنائية مصنوع من مادة مثل جاليوم أرسنياید Ga-As أو جاليوم فوسفايد Ga-P وله خاصية انبعاث الضوء عند مرور تيار أمامي خلاله.ويحدث انبعاث الضوء في هذا الثنائي عندما يتحد إلكترون حر وفجوة عند سطح الوصلة، وتزيد شدة الضوء المنبعث بزيادة التيار المار. ويستخدم

الثنائي باعث للضوء LED في قارئ الأسطوانة في الحواسيب الإلكترونية وفي المرسل في نظام الاتصال الضوئي.




شكل(٢- ١٨)الثنائي المشع للضوء.

ويستخدم ثنائي الليزر في نظم الاتصالات الضوئية التي تحتاج إلى كمية كبيرة من الطاقة الضوئية المرسلة حيث يعدّ ثنائي الليزر مصدراً ممتازاً للضوء.

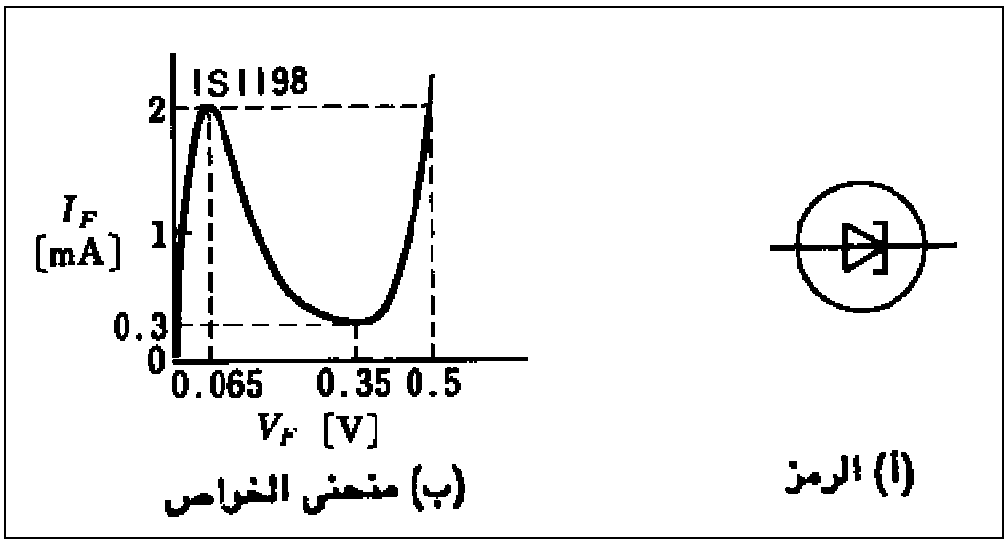



شكل(٢- ١٩)التركيب الأساسي لثنائي الليزر المصنوع من شبه الموصلات.

وعند مرور تيار أمامي في الثنائي فإن سطح الوصلة يبعث ضوءاً يتم تقويته عن طريق الانعكاس من المرآتان ويخرج لكوّن شعاع الليزر.

٤. ثنائي إيزاكي Esaki Diode: ويسمى ثنائي إيزاكي في بعض الأحوال ثنائي النفق Tunnel Diode . وطبقاً لمنحنى خواص ثنائي إيزاكي فإن زيادة الجهد الأمامي $V_F$ من القيمة 0.065V إلى 0.35V تؤدي إلى انخفاض التيار الأمامي $I_F$ من 2mA إلى 0.3mA . وبذلك نجد أن زيادة

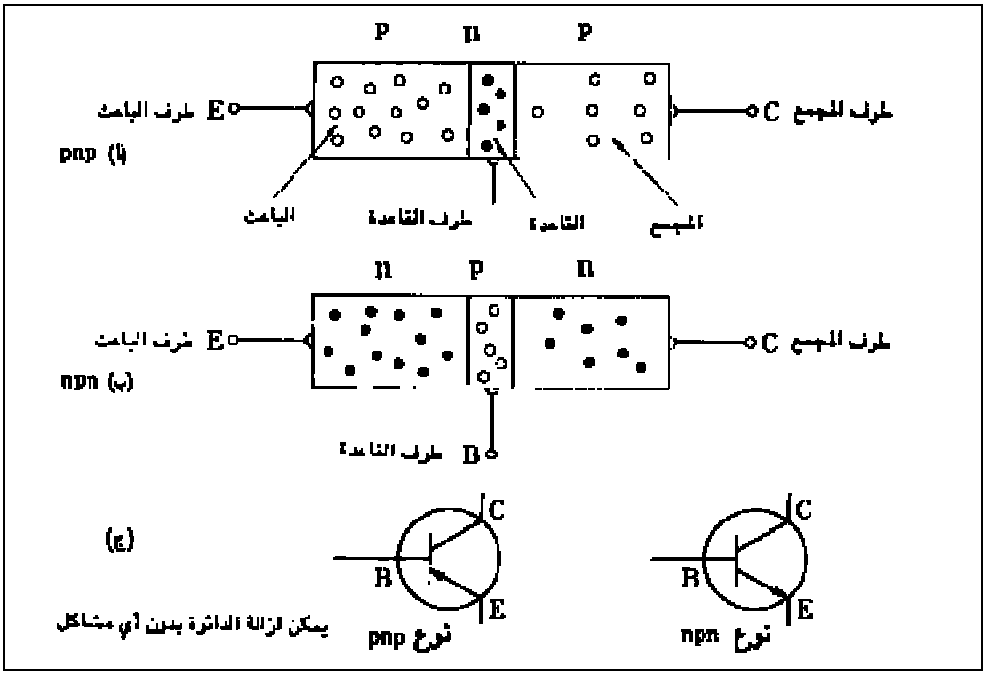
الجهد الأمامي يصحبها نقص في التيار الأمامي مما يعطي ما يسمى بالمقاومة السالبة، وباستغلال خاصية المقاومة السالبة لثنائي إيزاكي فإنه يمكن تركيب مذبذبات عالية بسيطة.




شكل(٢- ٢٠)ثنائي إيزاكي.

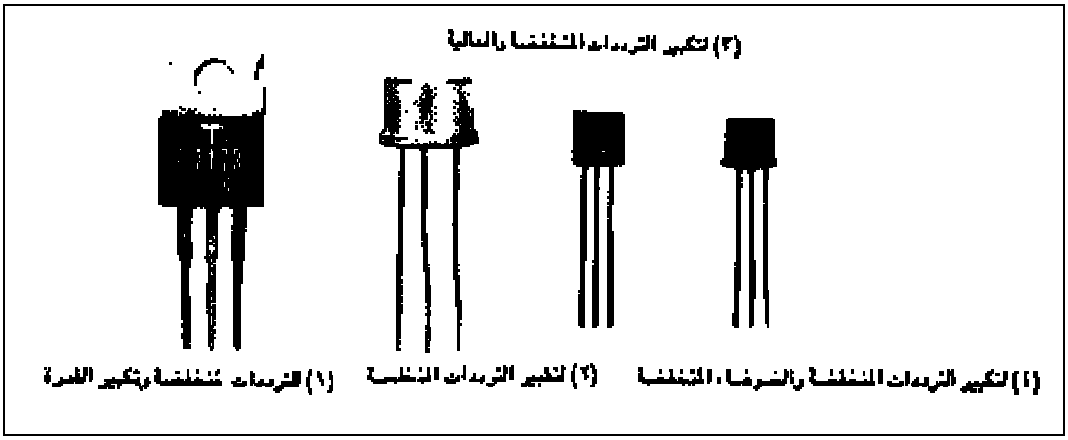
**الترانزيستور Transistor:**

وهناك نوعان من الترانزيستورات، أولهما يتكون من ثلاثة أنواع من أشباه الموصلات مرتبة بحيث تكون على التوالي ( نوع p , نوع، n ، نوع p ). وهو ما يعرف بالترانزيستور p-n-p . والآخر أيضاً يتركب من أشباه الموصلات مرتبة كالتالي: ( نوع n ، نوع p ، نوع n ) وهو ما يعرف بالترانزيستور n-p-n . وتسمى المنطقة الوسطى في الترانزيستور بالقاعدة و المنطقتان الطرفيتان تعرف إحداهما بالمجمع والأخرى الباعث.



شكل(٢- ٢١)تركيب ورموز الترانزيستورات.

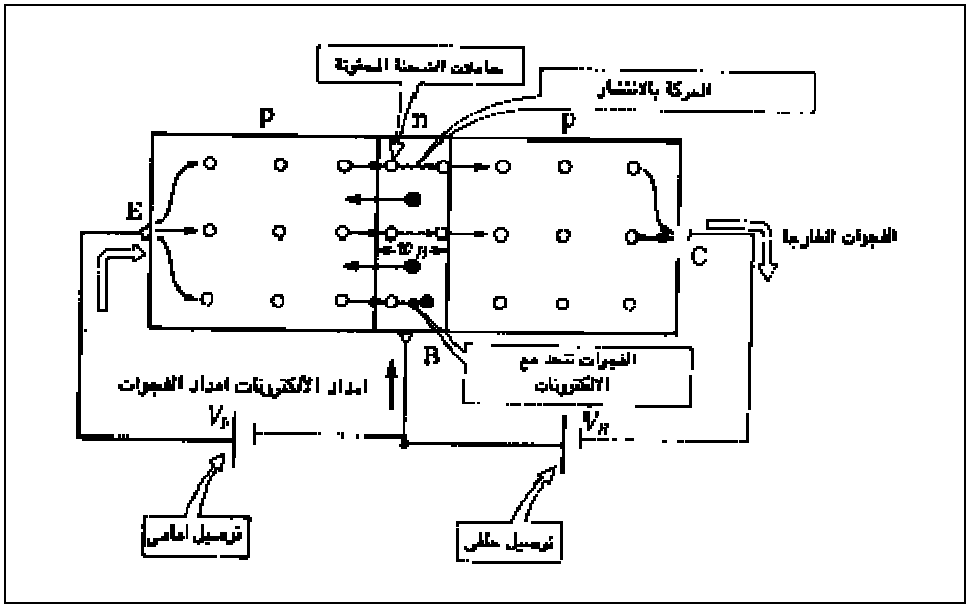
ومن هذا يتضح أن للترانزيستور ثلاثة أطراف، كل طرف متصل بمنطقة من المناطق الثلاثة المذكورة أعلاه وهي طرف القاعدة (B)، وطرف الباعث (E)، وطرف المجمع (C).




شكل(٢- ٢٢)أمثلة لأنواع الترانزستورات.

**الوظائف الأساسية للترانزيستور:**

يوضح الشكل (٢١,٢) عمل الترانزيستور من النوع p-n-p . فهناك وصلتان ثنائيتان في الترانزيستور، إحداهما بين الباعث والقاعدة والأخرى بين المجمع والقاعدة. وفي هذا الشكل تم توصيل مصدر جهد مستمر بحيث تصبح الوصلة بين الباعث والقاعدة ذات توصيل أمامي، وتلك بين المجمع والقاعدة ذات توصيل خلفي. وهذه الدائرة المبينة في الشكل تعرف بدائرة انحياز الترانزيستور.

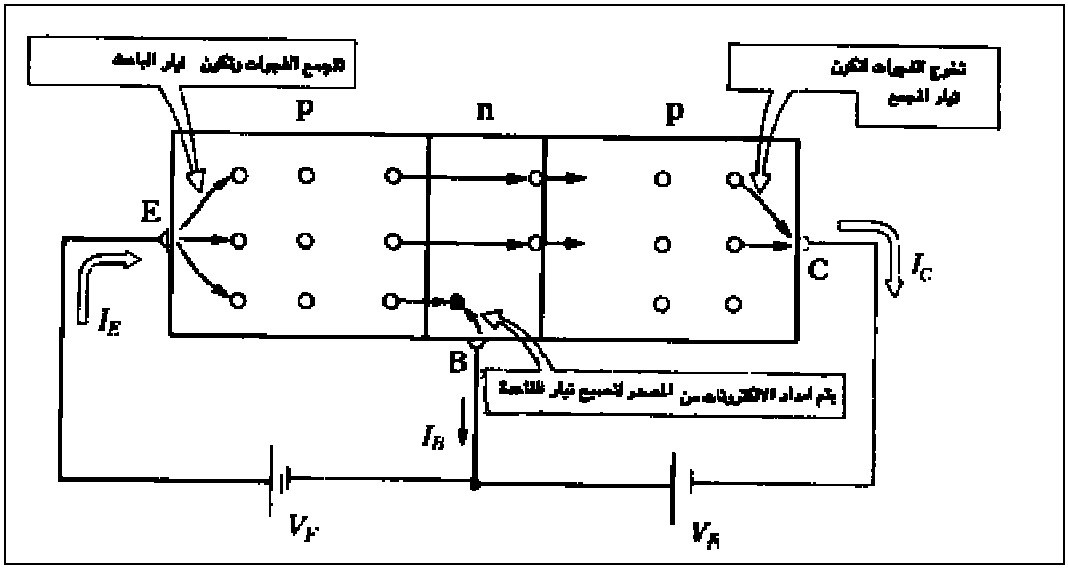



شكل(٢- ٢٣)حركة حاملات الشحنة للترانزيستور من نوع p-n-p.

وإذا ما أردنا تتبع تصرفات حاملات الشحنة فإننا نجد أنه في حالة وضع جهد انحياز أمامي على الوصلة بين الباعث والقاعدة فإن الفجوات التي تمثل حاملات الشحنة ذات الأغلبية في منطقة الباعث سوف تندفع إلى القاعدة، ولتعويض تلك الفجوات المفقودة من الباعث فإن مصدر الجهد يقوم بإرسال فجوات بالعدد نفسه إلى الباعث. والفجوات التي تم حقنها من الباعث إلى القاعدة يتم وصول جزء منها إلى المجمع.

ويعتمد حجم الجزء الذي يصل إلى المجمع على عدد الفجوات التي تتحد مع الإلكترونات الموجودة في منطقة القاعدة (وهي من نوع n ). ولنجعل هذا الجزء صغيراً جداً نقوم بجعل نسبة الشوائب في القاعدة قليلة، وكذلك بتقليل عرض القاعدة $W_B$ حتى لا تكون هناك فرصة لاتحاد الفجوات المحقونة من الباعث مع الإلكترونات الموجودة في القاعدة. وعند تحقيق ذلك فإن عدد الفجوات التي تصل إلى المجمع يكون كبيراً بالمقارنة مع الفجوات التي اتحدت مع الإلكترونات في منطقة القاعدة.

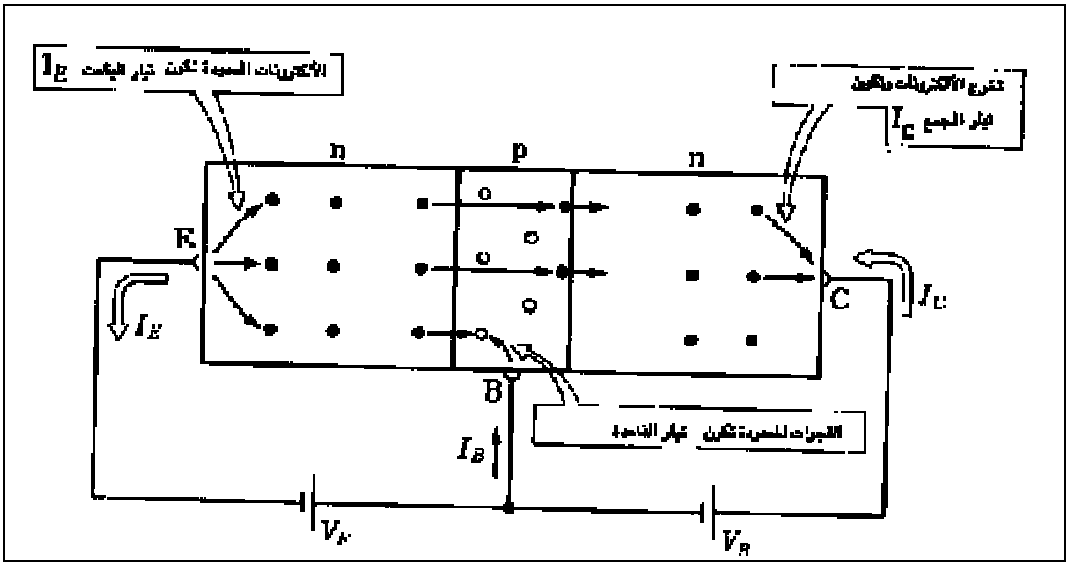
وبسبب وجود مجال كهربائي كبير بالقرب من الوصلة الثنائية بين المجمع والقاعدة نتيجة وجود انحياز عكسي كبير، فإن هذه الفجوات تنجذب إلى منطقة المجمع حيث يتم دخولها للطرف السالب للبطارية الموصلة بين المجمع والقاعدة مما يسبب تياراً في طرف المجمع.




شكل(٢- ٢٤)تطبيق جهد الانحياز وعمل الترانزيستور من النوع p-n-p.

ويتضح أنه طبقاً لجهد الانحياز الأمامي بين الباعث والقاعدة فإن التيار سوف يسري من الباعث إلى القاعدة. ويكون تيار الباعث $I_E$ كبيراً والذي تعتمد قيمته على قيمة الجهد المطبق بين القاعدة والباعث. وبما أن عدد الفجوات القادمة من الباعث والتي اتحدت مع إلكترونات القاعدة صغير جداً فإن تيار المجمع $I_C$ يكون مساوياً تقريباً لتيار الباعث $I_E$.

إن نظرية عمل الترانزيستور من النوع n-p-n هي مماثلة تماماً لنظرية عمل الترانزيستور من النوع p-n-p والتي تم شرحها سابقاً ولكن مع تغيير إشارة جهد المصدر بحيث يصبح السالب موجباً والموجب سالباً. وفي هذه الحالة فإن حاملات الشحنة تكون هي الإلكترونات بدلاً من الفجوات.




شكل(٢- ٢٥)تطبيق جهد الانحياز وعمل الترانزيستور من النوع n-p-n.

**تكبير التيار عن طريق الترانزيستور:**

وتسمى الدائرة الموضحة في و(٢٦- ٢) بدائرة القاعدة المشتركة، بحيث تكون القاعدة هي الطرف المشترك بين الباعث $I_E$ والمجمع $I_C$ وبذلك يسير التيار من الباعث إلى المجمع من خلال القاعدة، حيث يتم تقسيم تيار الباعث إلى جزأين، جزء صغير يسري في القاعدة والباقي يتجه إلى المجمع وبذلك يكون:

$$I_E = I_C + I_B$$ رقم المعادله(١) ٠٠٠٠٠٠

وتسمى القيمة $I_C$ بـ ( معامل تكبير التيار المستمر في حالة القاعدة المشتركة ) ويرمز لها بالرمز $h_{FE}$ أو يرمز لها بالرمز $I_E$ وتتراوح قيمتها بين ٠,٩ إلى ٠,٩٩٩ لأن تيار المجمع يقل بدرجة صغيرة جداً عن تيار الباعث.

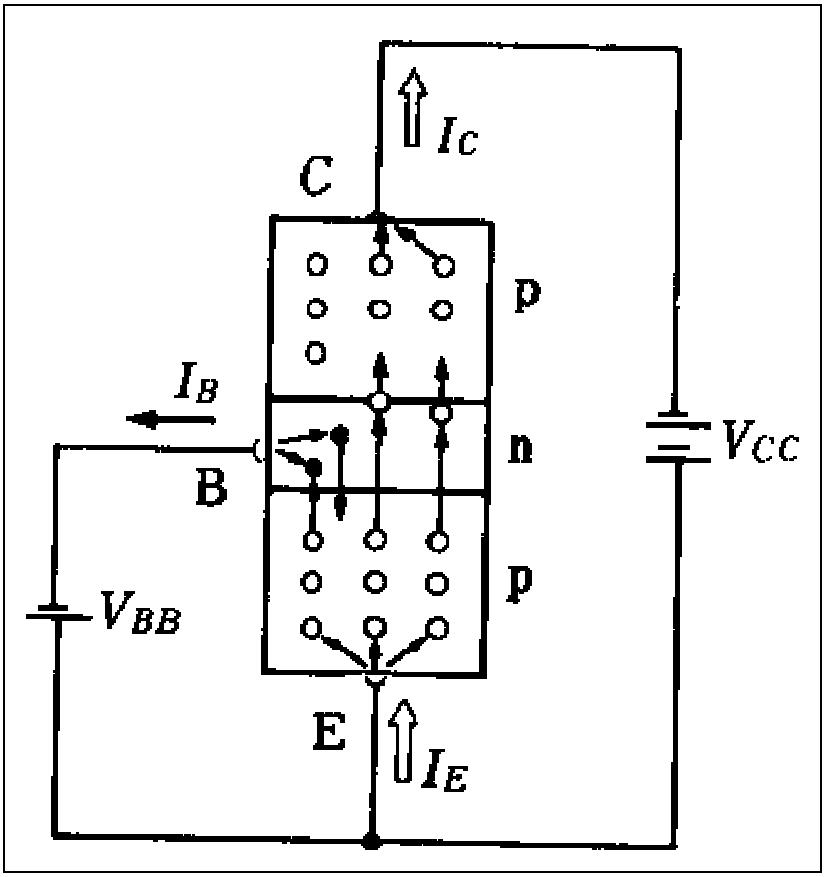
وتكون نظرية عمل ذات الباعث المشترك مشابهة تماماً لحالة القاعدة المشتركة، حيث يتم تقسيم تيار الباعث إلى تيار المجمع وتيار القاعدة. والنسبة بين تيار المجمع إلى تيار القاعدة يمكن حسابها كالآتي:

$$hfE = \frac{\frac{I2}{IE}}{\quad}$$

تسمى النسبة $\frac{I_C}{I_B}$ بمعامل تكبير التيار المستمر لدائرة الباعث المشترك ويرمز لها بالرمز $h_{FE}$ .

حل المعادلة (2) يتراوح بين ١٠ إلى ١٠٠٠ وهذا يعتمد على قيمة $h_{FB}$ التي تتراوح بين ٠,٩ إلى ٠,٩٩٩ .

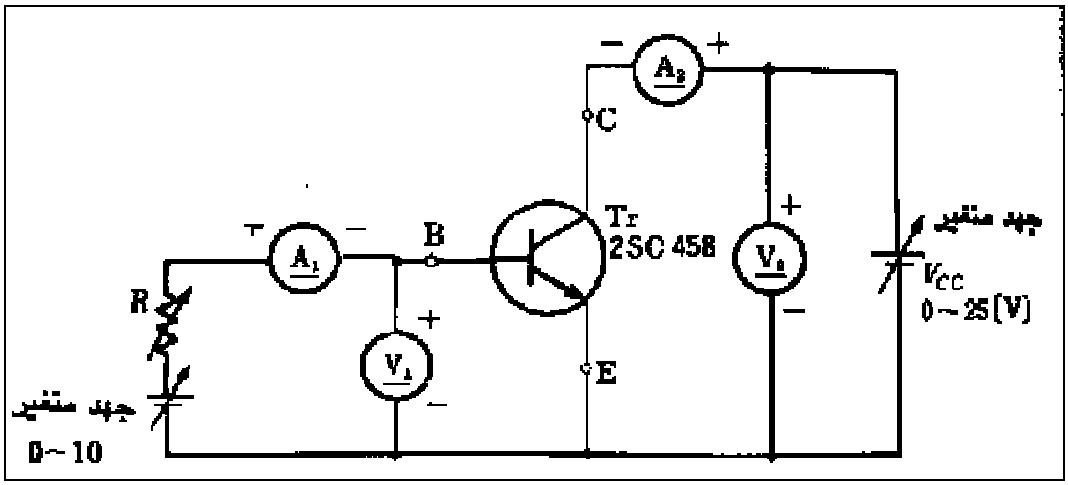
والمعادلة (2) تعني أنه يمكن التحكم في التيار $I_C$ ذي القيمة الكبيرة بواسطة التيار المار في القاعدة $I_B$ ذي القيمة الصغيرة. ولذلك فإن دائرة الباعث المشترك تستخدم في تكبير التيار وأيضاً تستخدم هذه الدائرة في تكبير الجهد والقدرة.




شكل(٢- ٢٦) دائرة الترانزيستور ذات الباعث المشترك.

## الخواص الساكنة للترانزيستور Static Characteristics:

إن استعمال الترانزيستور في الدوائر الإلكترونية يتطلب معرفة عميقة للعلاقة بين الجهد والتيار بين أطرافه الثلاثة. تسمى هذه العلاقة بين التيار المستمر والجهد بين أطرافه بالخواص الساكنة للترانزيستور.




شكل(٢- ٢٧)الدائرة المستخدمة لقياس الخواص الإستاتيكية للترانزيستور.

يوضح الشكل ٢٨ العلاقة بين الجهد بين أطراف الترانزيستور والتيار المار في أطرافه. ومن منحنيات الخواص الساكنة للترانزيستور، وهو موصل في شكل الباعث المشترك يمكن أن نستنتج الحقائق الآتية :

١- أن التيار $I_C$ لا يتغير كثيراً بتغير الجهد $V_{CE}$ بين المجمع والباعث، ولكنه يتغير بكمية كبيرة من تغير التيار المار في القاعدة $I_B$.
٢- عندما تقترب قيمة الجهد $V_{CE}$ من الصفر فإن التيار $I_C$ يقل فجأة.
٣- التيار $I_B$ يتغير بصورة كبيرة عند تغير الجهد بين القاعدة والباعث $V_{BE}$ .

مثال(١,٢):

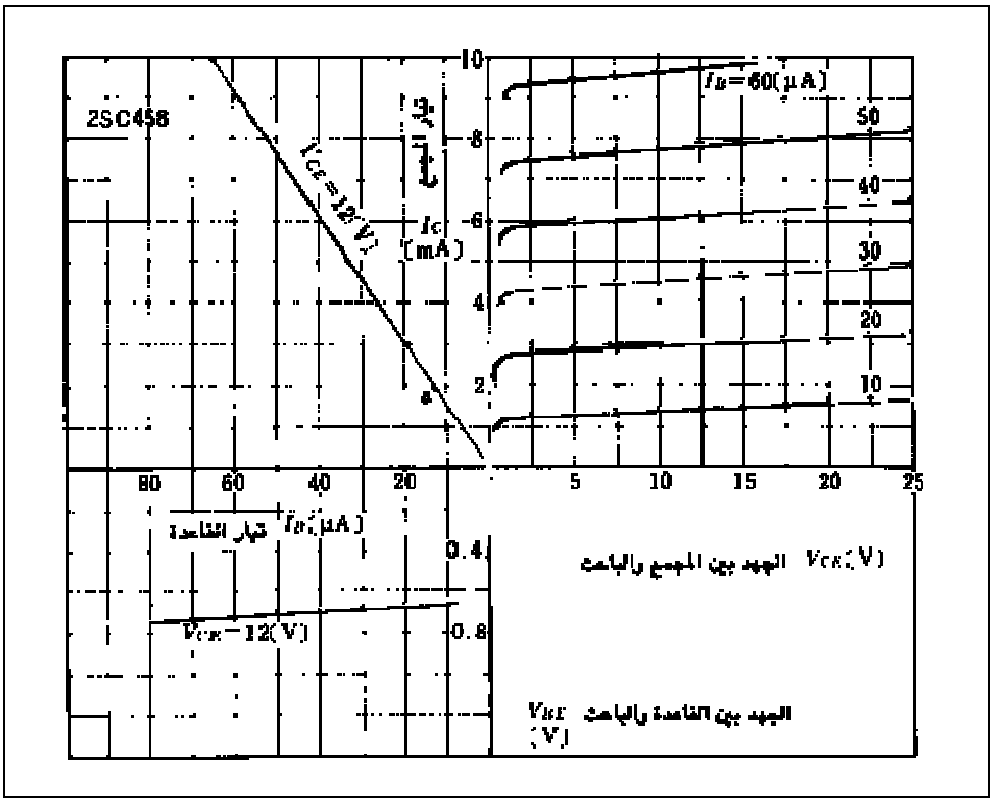
احسب معامل تكبير التيار المستمر $h_{FE}$ لدائرة الباعث المشترك عند النقطة p في الشكل ٢٨.

الحل:

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{2x10^{-3}}{13x10^{-6}} = 150$$

مثال(٢,٢):

احسب $h_{FE}$ عندما تكون $h_{FB} = 0.99$



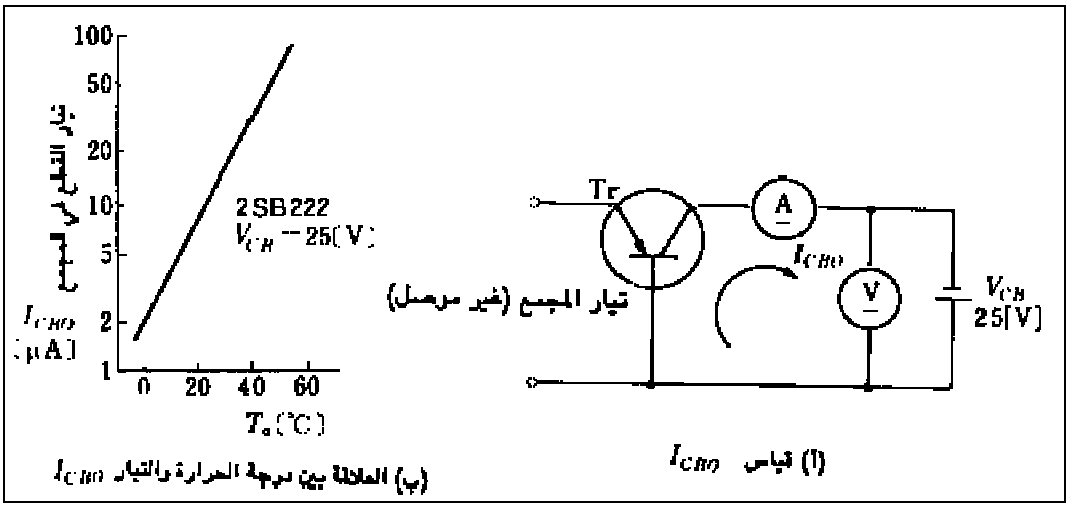

شكل(٢- ٢٨)مثال للخصائص الساكنة للترانزيستور.

## تيارا القطع للمجمع Collector Cutoff Current:

يوضح الشكل(٢٩,٢) دائرة قياس تيار المجمع عندما يكون طرف الباعث غير موصل(مفتوح) حيث يسري التيار بين القاعدة والمجمع ويساوي $I_{CBO}$ وهو التيار العكسي في الوصلة الثنائية الموجودة بين القاعدة والمجمع. وتزيد قيمة التيار $I_{CBO}$ في ترانزيستور تكبير القدرة لأن مساحة الوصلة الثنائية تكون كبيرة. وتتغير قيمة التيار $I_{CBO}$ تغيراً كبيراً باختلاف درجات الحرارة .

أيضاً عندما يكون طرف القاعدة مفتوحاً فإن التيار الذي يسري بين المجمع والباعث يسمى $I_{CEO}$ .

ويتغير $I_{CEO}$ بصورة أكبر من التيار $I_{CBO}$ عند تغير درجة الحرارة.

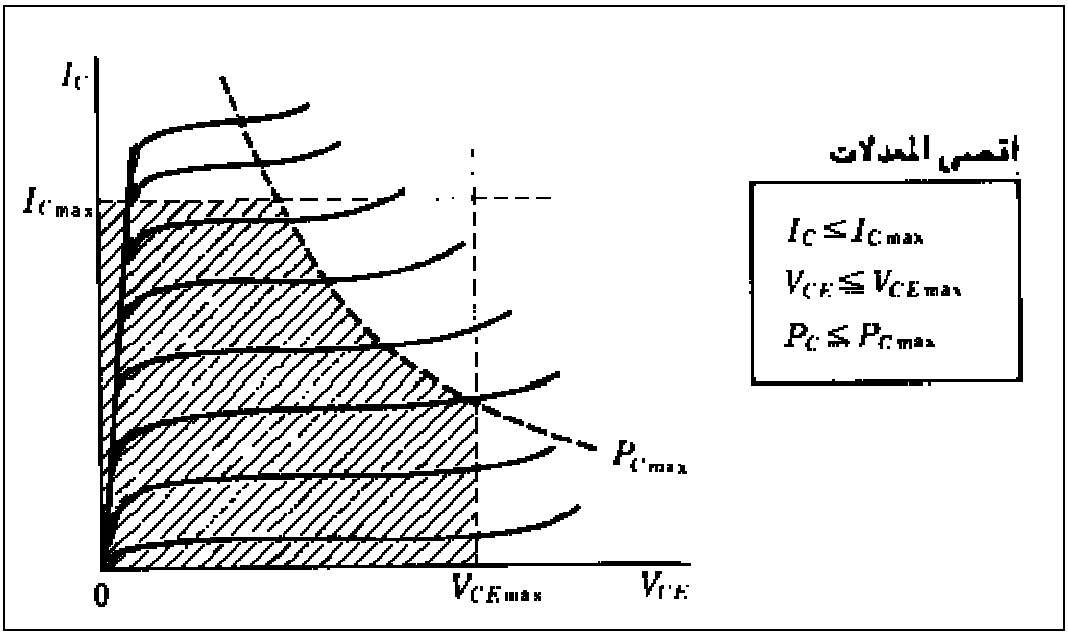



شكل(٢- ٢٩) قياس اعتماد التيار $I_{CBO}$ على درجة الحرارة.

وفي الحقيقة فإن تأثر التيار $I_{CBO}$ ، $I_{CEO}$ بدرجة الحرارة يؤثر في التيار المار في طرفي المجمع والباعث مما يؤثر على استقرار دائرة الترانزيستور فكما قلت قيمة التيارات $I_{CBO}$ ، $I_{CEO}$ كلما كانت الدائرة أكثر استقراراً.

**القيم القصوى للترانزيستور:**

توجد قيم قصوى غير مسموح بتخطيها للتيار المار بالترانزيستور، مثله في ذلك مثل الثنائي وكذلك الجهد بين أطرافه وأقصى قدرة مسموح بفقدها في الترانزيستور. ويسمى أقصى تيار يمر بالمجمع بالتيار $I_{Cmax}$ ، وأقصى جهد $V_{CE}$ بين المجمع والباعث بالجهد $V_{CEmax}$. وحاصل ضرب تيار المجمع $I_C$ بالجهد بين المجمع والباعث $V_{CE}$ بالقدرة المفقودة في المجمع $P_C$. ويسمى تشتيت المجمع أو تبديد المجمع Collector Dissipation .وتكون أقصى قيمة للقدرة المفقودة في المجمع هي $P_{Cmax}$ والتي إذا تم تخطيها فإن الترانزيستور سوف ينهار لأن ذلك يسبب ارتفاعاً شديداً في درجة حرارة الوصلات الثنائية بدرجة أكبر من أكبر قيمة يستطيع احتمالها. والمنحنى الذي يحدد أقصى قيمة للقدرة $P_{Cmax}$ معطى في الشكل(٢,٣٠) حيث يبين هذا الشكل المنطقة المسموح العمل بها حتى لا نتجاوز أقصى معدلات للجهد والتيار والقدرة.

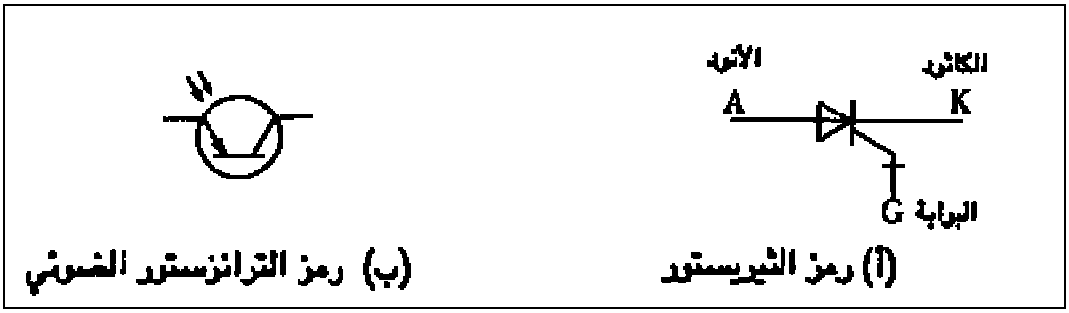



شكل(٢- ٣٠)المنطقة المستخدمة لعمل الترانزيستور.

## عناصر كهربائية أخرى تتكون من شبه موصلات

### الثيريستور Thyristor:

الثيريستور عبارة عن أربع طبقات من أشباه الموصلات ذات الشوائب من النوعP أو من النوعn مرتبة كالتالي: ( n-p-n-p ) وفي بعض الأحيان يطلق عليه وصلة p-n-p-n. وللثيرستور ثلاثة أطراف: المصعد Anode والمهبط Cathode والبوابة Gate . وتتحكم قيمة التيار بين البوابة والمهبط في قيمة التيار الساري بين المصعد والمهبط. ويستخدم الثيريستور كمفتاح Switch وكذلك في عمليات التقويم Rectification .



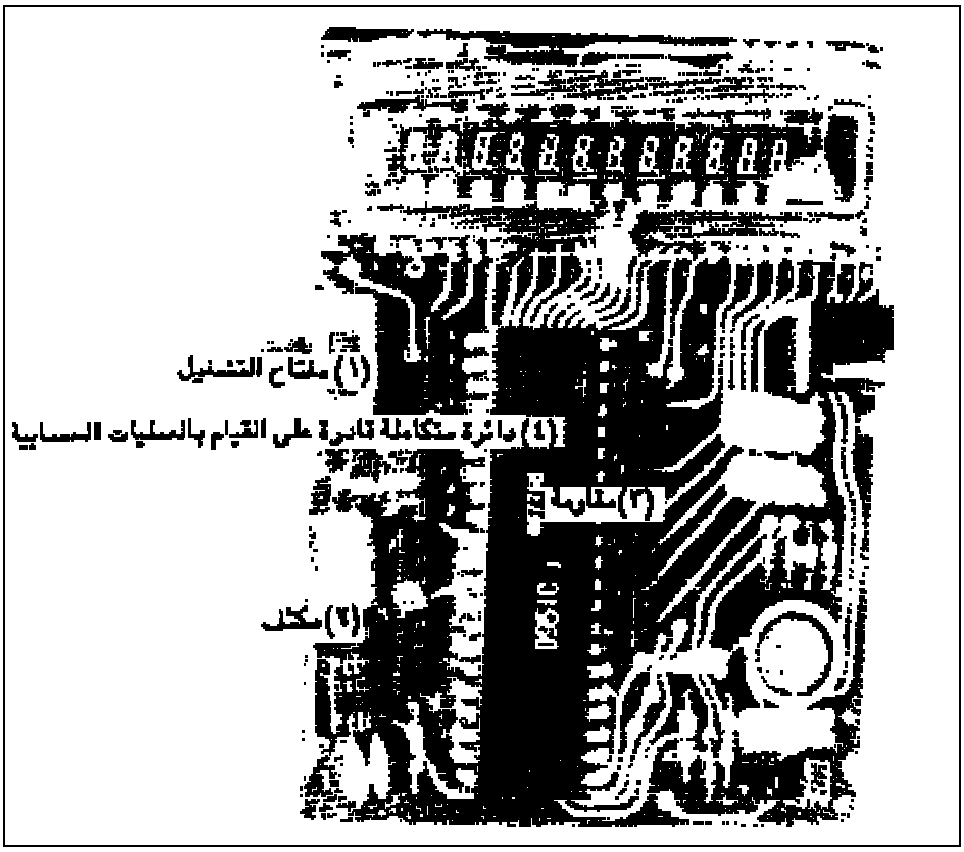

شكل(٢- ٣١)رموز الثيريستور والترانزيستور الضوئي.

### الترانزيستور الضوئي Photo Transistor:

في كل العناصر الكهربائية السابق دراستها وجدنا أن الدخل عبارة عن تيار أو جهد والخرج أيضاً عبارة عن تيار أو جهد. وفي حالة الترانزيستور الضوئي فإن الدخل عبارة عن ضوء يتحكم في تيار المجمع $I_C$.

### الدوائر المتكاملة Integrated Circuits:

الدوائر المتكاملة عبارة عن جهاز يتكون من ترانزيستورات ودوائر ذات حجم صغير جداً عن طريق إجراء العديد من العمليات المتتالية. والدائرة المتكاملة هي عبارة عن دائرة كهربائية حجمها صغير جداً تحتوي على ثنائيات وترانزيستورات ومقاومات موصلة على سطح أو في داخل شبه الموصل لتؤدي وظيفة معينة.




شكل(٢- ٣٢)مثال لدائرة متكاملة تستخدم في آلة حاسبة.

وتقدر درجة التجميع للدائرة المتكاملة بعدد الأجهزة والعناصر التي يتم تجميعها في دائرة متكاملة واحدة. والدوائر المتكاملة تنقسم إلى الأنواع الآتية طبقاً لدرجة التجميع:

١. IC : عدد الأجهزة داخل الدائرة المتكاملة يتراوح بين ١- $١٠^{٢}$.

٢. LSI : عدد الأجهزة داخل الدائرة المتكاملة يتراوح بين ١٠٢ – ١٠٣
٣. VLSI : عدد الأجهزة يصل إلى أكبر من ١٠٣

وتزيد درجة التجميع كلما تقدمت التقنية المستخدمة في تصنيع الدوائر المتكاملة.

**مميزات وعيوب الدوائر المتكاملة:**

بمقارنة الدوائر المتكاملة بالدوائر التي يتم تجميعا بالطريقة العادية فإن لها مميزات وعيوب أهمها:

**مميزات الدوائر المتكاملة:**

١. الحجم الصغير والوزن الخفيف.
٢. رخص ثمنها وغزارة إنتاجها.
٣. تشابه خواص جميع الترانزيستورات المصنعة على الشريحة نفسها نظراً لصناعتها في الوقت نفسه وبالطريقة نفسها وتحت نفس الظروف.
٤. قلة عدد التوصيلات يؤدي إلى تقليل المشكلات الناجمة عن التوصيل الخاطئ.
٥. قدرة احتمال عالية للاهتزاز والصدمات.
٦. تستهلك قدرة أقل.

**عيوب الدوائر المتكاملة:**

١. التأثر الكبير بدرجة الحرارة. فهي تعمل في درجات حرارة تتراوح بين ٣٠ –٨٠° وبالتالي فإنه من اللازم استخدام وسيلة للتبريد عند قدرات عالية.
٢. صعوبة تصنيع الملفات داخل الدائرة المتكاملة نظراً لكبر حجم الملف المصنع باستخدام طريقة تصنيع الدوائر المتكاملة، وهو غير مناسب من ناحية المساحات المستخدمة.
٣. صعوبة تصنيع مكثفات ذات سعات كبيرة نظراً لحجمها الكبير.

ويمثل الجدول أدناه النسبة بين مساحات كل من الترانزيستورات والمقاومات والمكثفات حيث نجد أن المكثفات ذات السعات الكبيرة تحتاج إلى مساحة كبيرة بسبب كبر مساحة هذا النوع من المكثفات.

| العنصر في الدائرة المتكاملة | نسبة المساحة |
|---|---|
| الترانزيستور (شاملاً الثنائي) | ١ |
| المقاومة (واحد كيلو أوم) | ٢ |
| المكثف (عشرة بيكو فاراد) | ٣ |

جدول(٢- ٢).

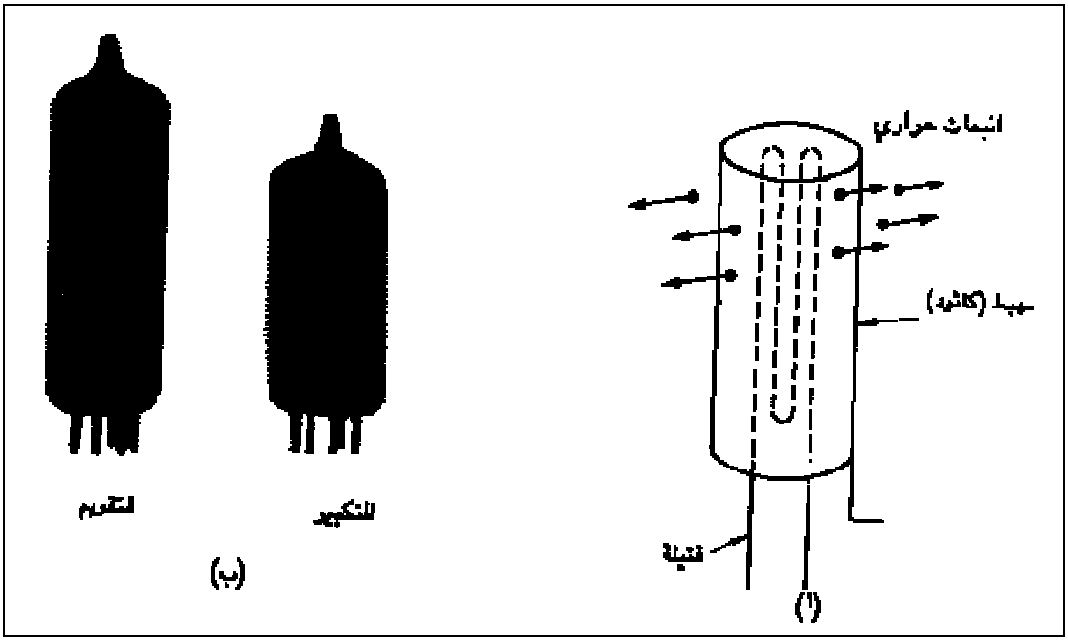
## الصمامات Electron Tubes:

الصمامات هي أجهزة إلكترونية تستخدم في مجالات معينة. وتنقسم إلى نوعين أساسيين هما الصمام الثنائي والصمام الثلاثي.

## الأنبوبة المفرغة Vacuum Tube:

من المعلوم أن الإلكترونات تتأثر بدرجة الحرارة حيث تزيد سرعة الإلكترون بزيادة درجة الحرارة. وعند درجة حرارة معينة فإن الإلكترون يمكن أن يتغلب على قوة جذب الذرة له والتي تسبب وجوده داخل المادة وبالتالي يترك المادة (كما يترك البخار الماء عند تسخينه). وهذه الظاهرة هي ظاهرة الانبعاث الحراريThermionic Emission.

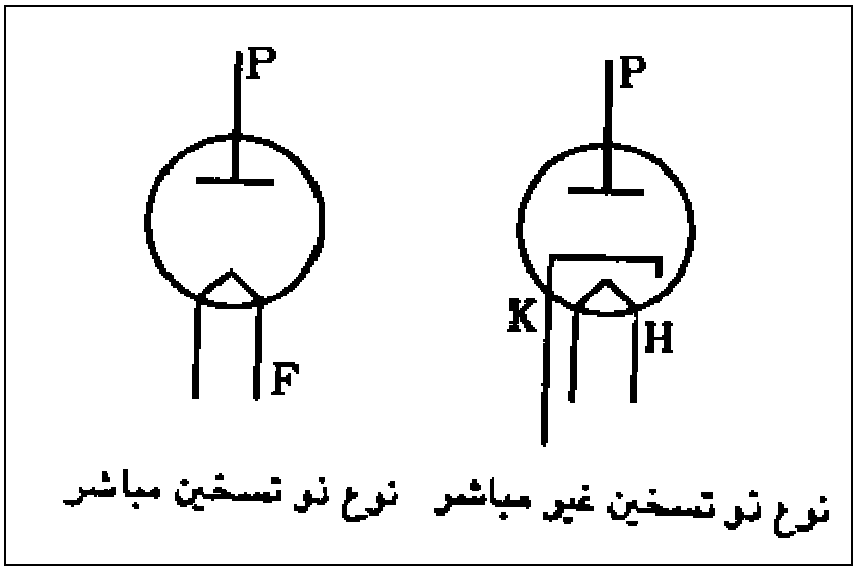
وبمقارنة كتلة الإلكترون بشحنته، فإننا نجد أن شحنته كبيرة جداً بالمقارنة بالكتلة، وبذلك يتأثر الإلكترون بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية حيث تتغير سرعته مقداراً واتجاهاً بمقدار واتجاه المجال المؤثر عليه. وتستخدم الأنابيب المفرغة من الهواء في صناعة الصمامات التي تستخدم في التقويم والتكبير عن طريق التحكم في الإلكترونات المنبعثة حرارياً.



شكل(٢- ٣٣)الانبعاث الحراري للإلكترونات وأمثلة لصمامات كهربائية.

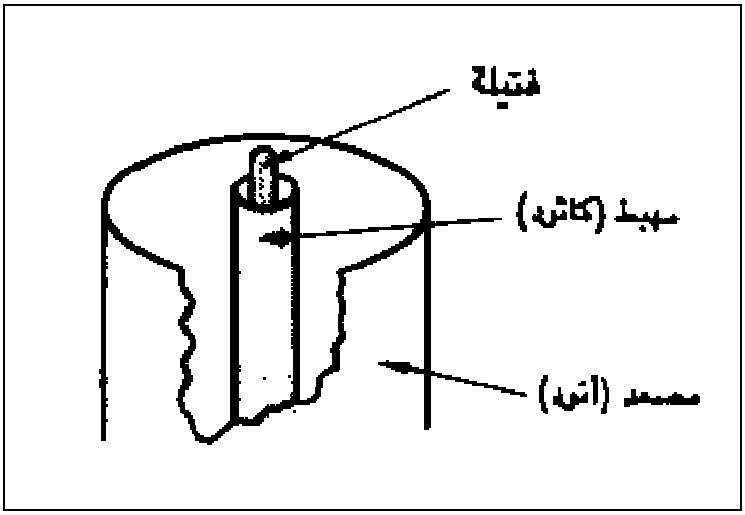
## الصمام الثنائي Vacuum diode:

ويتركب الصمام الثنائي من أنبوبة مفرغة من الهواء تحتوي على كلاً مصعد ومهبط.



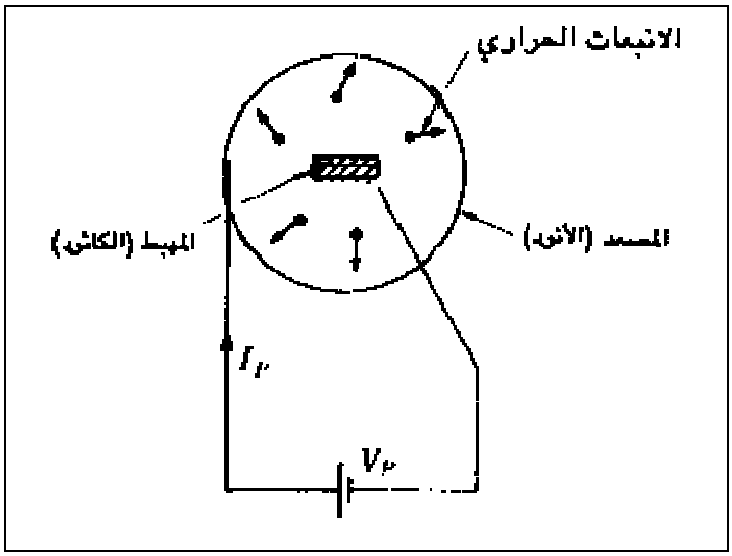

شكل(٢- ٣٤)رمز الصمام الثنائي.

ويوضح الشكل(٣٤,٢) مثالاً لصمام ثنائي يستخدم أسلوب تسخين غير مباشر للمهبط ليقوم بعملية الانبعاث الحراري.



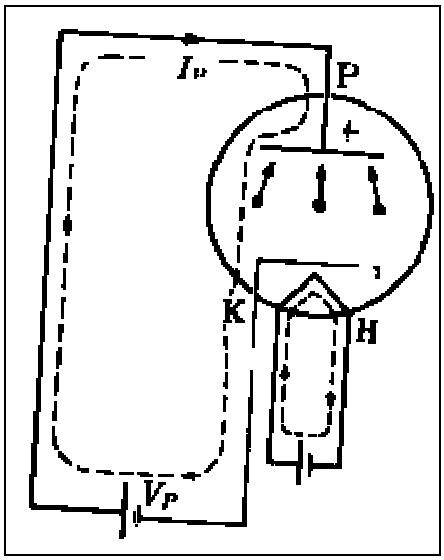

شكل(٢- ٣٥)تركيب الصمام الثنائي.

ويسخن المهبط بواسطة الفتيلة حيث تنبعث الإلكترونات بواسطة الانبعاث الحراري.




شكل(٢- ٣٦)الانبعاث الحراري.

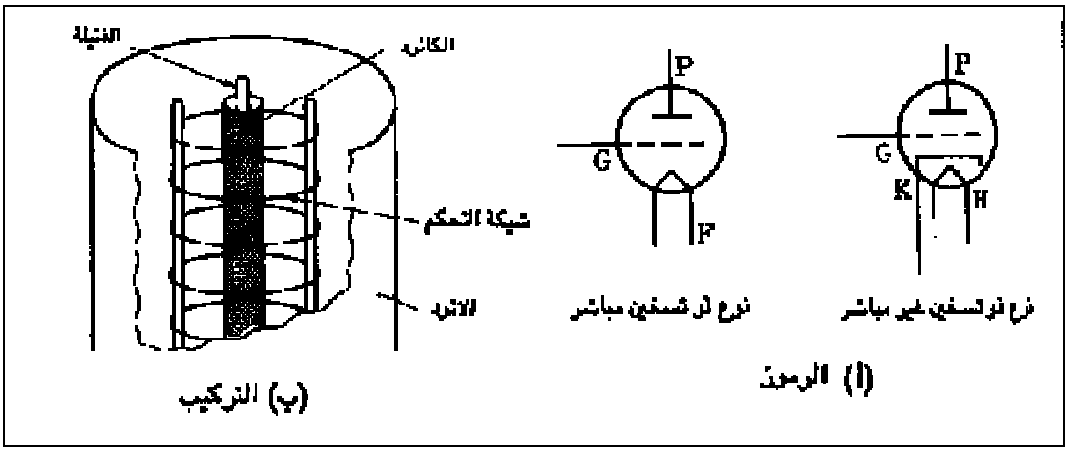
كما يوضح الشكل(٣٧,٢) أنه عند توصيل المصعد إلى مصدر جهد بحيث يكون جهد المصعد أعلى من جهد المهبط، فإن الإلكترونات تنجذب إلى المصعد فيتكون تيار المصعد $I_p$ في الاتجاه المبين بالشكل.




شكل(٢- ٣٧)تيار المصعد.

## الصمام الثلاثي Triode:

الصمام الثلاثي له نفس تركيب الصمام الثنائي مع إضافة شبكة تحكم G بين المصعد والمهبط.وتتكون الشبكة من سلك رفيع من النيكل يوضع بين المصعد والمهبط ويكون جهده سالباً بالنسبة للمهبط. حيث ينتج عن تغير جهد الشبكة تغيراً محسوساً في جهد المصعد يشابه تغير جهد الشبكة في الشكل.




شكل(٢- ٣٨)رموز وتركيب الصمامات الثلاثية.

ولا يمكن استخدام الصمام الثلاثي في استخدامات الترددات العالية نظراً لأنه يوجد مكثف ذو سعة كبيرة بين المهبط والمصعد، ولذلك يجري استخدام صمام رباعي أو صمام خماسي (باستخدام أكثر من شبكة) للتغلب على هذه المشكلة.

**مقارنة بين الصمامات الإلكترونية والترانزيستورات:**

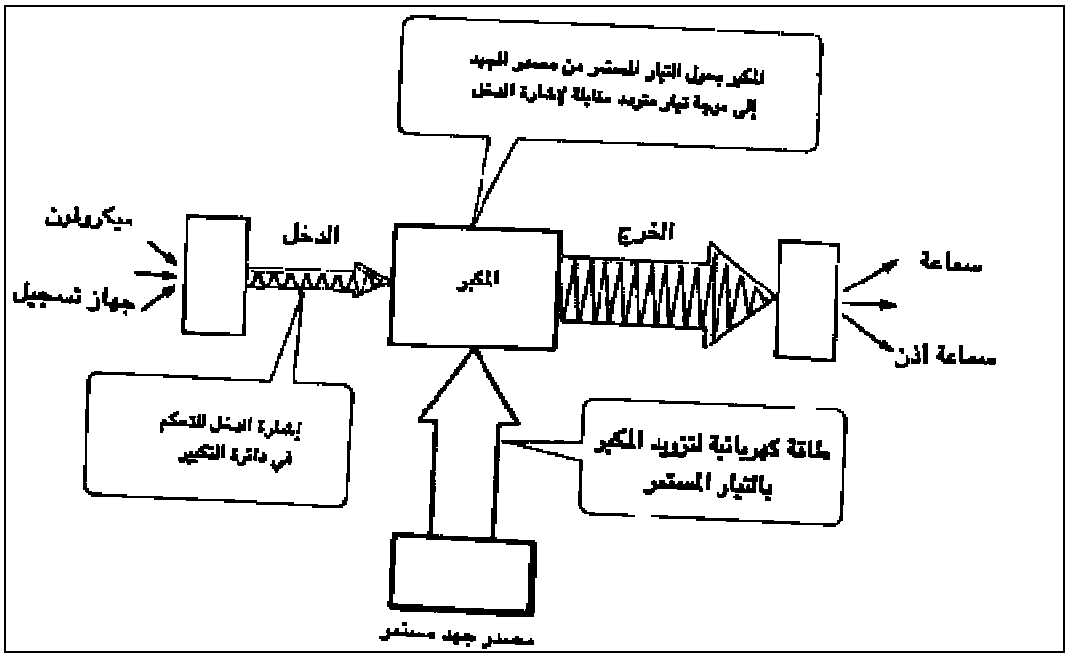
نجد أن الترانزيستور حل محل الصمام في مجالات كثيرة بسبب تأديته لوظائف الصمام نفسها وبحجم أقل وباستخدام مصدر جهد قليل. ولكن تستخدم الصمامات عندما نريد استخدام قدرات عالية مثل محطات الإرسال الإذاعي حيث يتم إنتاج قدرة مقدارها أكثر من 100Kw ، لا يستطيع الترانزيستور إنتاجها.

**دوائر التكبير Amplification Circuits:**

دوائر التكبير هي أساس جميع أنواع الدوائر الإلكترونية، وهي تكون الأجزاء الرئيسية وتقوم بالوظائف الأساسية لكثير من أنواع المعدات والأجهزة الإلكترونية. وتوجد أنواع كثيرة من دوائر التكبير تبعاً للتردد، مثل دوائر تكبير التردد المنخفض ودوائر تكبير الإشارة الكبيرة (دوائر تكبير القدرة) تبعاً لسعة الإشارة.

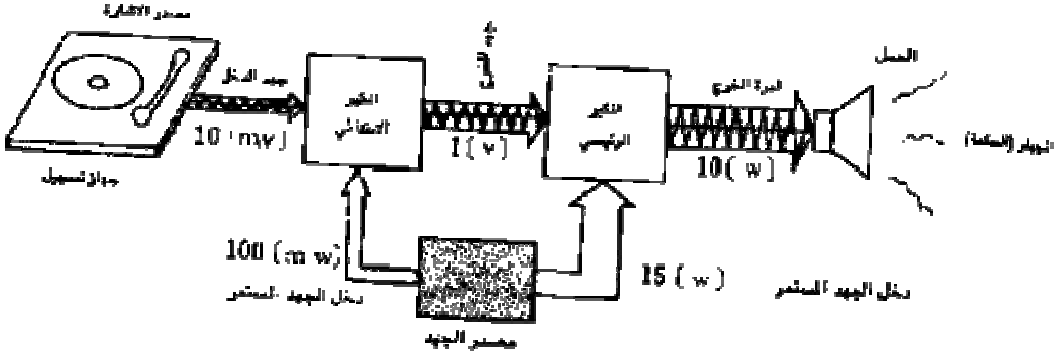
**أساسيات دوائر التكبير:**

التكبير يعني الحصول على إشارة خرج ذات مقدار أكبر من إشارة الدخل وتسمى الدائرة التي تقوم بذلك بدائرة التكبير والجهاز الذي يقوم بالتكبير بالمكبر. ولا يعني تكبير الإشارة زيادة الإشارة نفسها دون وسيط ولكن في دوائر التكبير الفعلي، كما هو موضح في الشكل(٣٩- ٢) نجد أن الطاقة (قدرة التيار المستمر) الموجودة في مصدر الجهد يتم تحويلها إلى طاقة كهربائية مترددة عن طريق إشارة الدخل، وبذلك تنتج إشارة خرج تشابه إشارة الدخل ولكن أكبر منها.




شكل(٢- ٣٩)رسم توضيحي لعملية التكبير.

ودوائر التكبير للإشارة الصغيرة هي دوائر التكبير التي تتعامل مع إشارات دخل وخرج ذات سعات صغيرة على عكس دوائر التكبير التي تتعامل مع قدرة كبيرة فهي تسمى دوائر تكبير قدرة. ويقدم الشكل(٤٠,٢) مثالاً لمكبر التردد السمعي المستخدم في المنازل، حيث إن هذا المكبر يكبر الإشارة الناشئة عن رأس المسجل (حوالي 10mV) إلى إشارة خرج حوالي 1V وهذا المكبر يسمى مكبر ابتدائي. وبعد ذلك نجد أن مكبر القدرة يكبر الإشارة الخارجة من المكبر الابتدائي حيث تكون قدرة الخرج حوالي 10w وهي كافية لتشغيل السماعات. ولكي يتم الحصول على هذا الخرج الكبير نجد أن كلاً من المكبر الابتدائي ومكبر القدرة يحتاجان إلى قدرة تيار مستمر نحصل عليها بواسطة مصدر القدرة الثابت، وهذه القدرة هي حوالي 100mw للمكبر الابتدائي و15w لمكبر القدرة.




شكل(٢- ٤٠)مثال على دائرة التكبير.

وعموماً فإن القدرة المأخوذة من مصدر القدرة الثابت لا تتحول بالكامل إلى طاقة خرج متغيرة (إشارة خرج) ولكن جزءاً منها يتحول إلى حرارة تضيع في الدائرة.

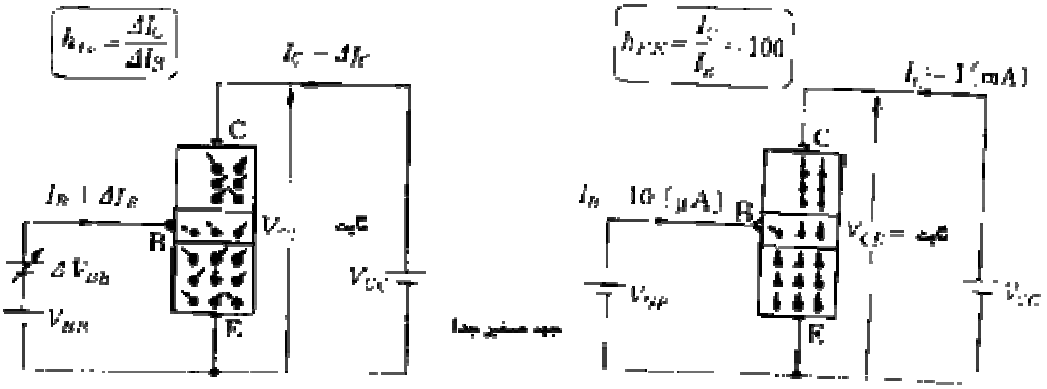
**تكبير التيار Current Amplification:**

كما عرفنا من قبل فإن تيار المجمع الكبير من الممكن التحكم فيه عن طريق تيار صغير هو تيار القاعدة للترانزيستور. إن دائرة المكبر عن طريق الباعث المشترك لها معامل تكبير للتيار $h_{FE}$ حيث $h_{FE}$ تمثل النسبة بين تيار المجمع $I_C$ وتيار القاعدة $I_B$

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

وكما هو واضح من المعادلة أعلاه فإن تيار المجمع ما هو إلا تيار القاعدة مكبراً $h_{FE}$ مرة. فعند زيادة جهد القاعدة $V_{BB}$ عن جهد القاعدة الأصلي $\Delta V_{BB}$ عندما يكون $V_{CE}$ ثابتاً، نجد أن تيار القاعدة يتغير بقيمة صغيرة وبالتالي فإن تيار المجمع يتغير أيضاً بمقدار صغير وتكون النسبة بين ∆I٢ هي $h_{FE}$

∆IB




(ب) تكبير جهد صغير جداً

(أ) تكبير التيار المستمر

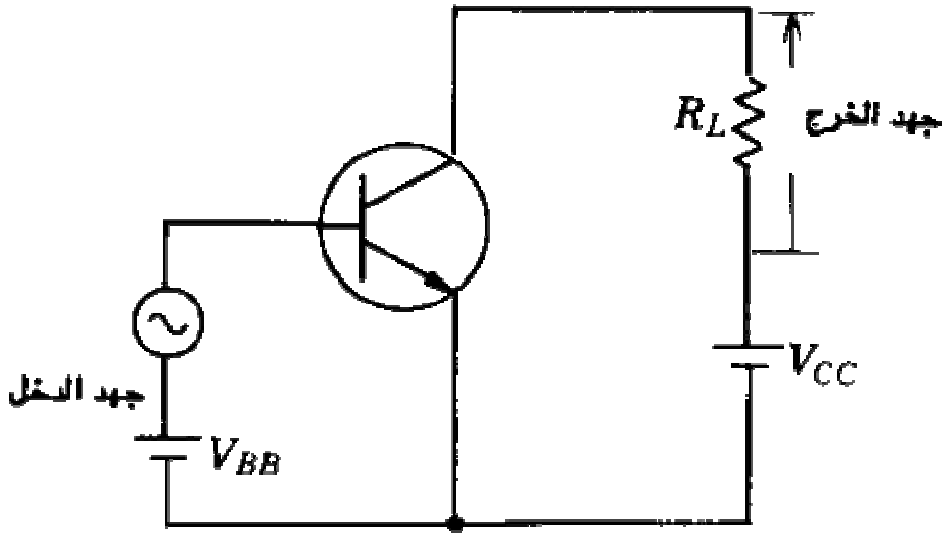
شكل(٢- ٤١)تكبير التيار.

ونجد أن:

حيث تسمى $h_{fe}$ معامل تكبير التيار للإشارة الصغيرة وهي تمثل التكبير في التيار عندما يتغير بمقدار صغير.

**دائرة التكبير الأساسية:**

كما نعرف فإن وضع جهد متغير على قاعدة الترنزيستور يؤدي إلى تغير تيار المجمع. ومع ذلك فإنه لا يمكننا الاستفادة من مركبة التيار المتغير نتيجة أن جهد المجمع لا يتغير. ويمكن توصيل مقاومة $R_L$ بالمجمع للحصول على جهد متغير كخرج مأخوذ من طرفي المقاومة $R_L$.




شكل(٢- ٤٢)دائرة تكبير أساسية.

**درجة التكبير للجهد والتيار والقدرة:**

إن دائرة التكبير يمكن اعتبارها دائرة ذات أربعة أطراف لها طرفان للدخل وطرفان للخرج وهكذا فإن القيمة المطلقة $V_0 / V_i$ تسمى درجة التكبير للجهد $A_V$ وهي النسبة بين جهد الخرج وجهد الدخل مع أخذ القيمة المطلقة. وكذلك فإن درجة التكبير للتيار $A_i$ هي النسبة بين تيار الخرج $i_0$ وتيار الدخل $I_i$ وكذلك فإن درجة تكبير القدرة $A_P$ تعبر عن النسبة بين قدرة الخرج $P_0$ إلى قدرة الدخل $P_i$ .

$$A_V = \frac{V_0}{Vi}$$

$$A_I = \frac{I_o}{I_i}$$

$$A_P = \frac{P_o}{P_i}$$

**درجة التكبير للجهد $A_V$ Voltage Amplification Degree:**

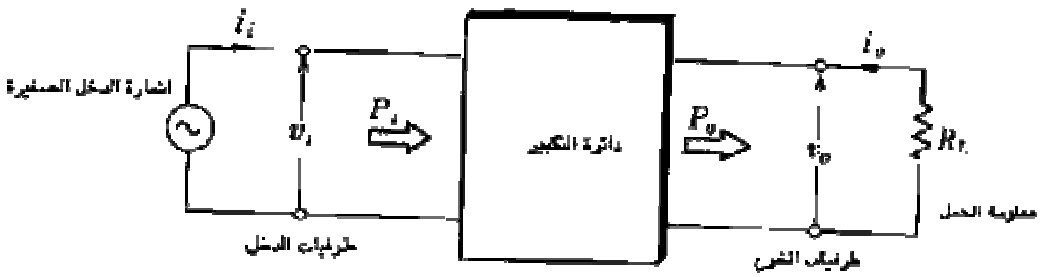
إذا كانت أقصى قيمة لإشارة الدخل $V_{im} = 10$ mV ولإشارة الخرج $V_{om} = 2V$ فإن:

$$A_V = \frac{V_0}{Vi} = \frac{2}{10X10^{-3}} = 200$$

**درجة تكبير التيار $A_i$ Current Amplification Degree**

إذا كانت أقصى قيمة لتيار الدخل $I_{im} = 5\mu A$ وللخرج $I_{om} = 0.5$ mA فإن:

$$A_I = \frac{I_o}{I_i} = \frac{0.5X10^{-3}}{5X10^{-6}} = 100$$




شكل(٢- ٤٣)توضيح لدائرة التكبير ذات الأطراف الأربعة.

**درجة تكبير القدرة $A_P$ Power Amplification Degre:**

سوف نحسب قدرة الدخل $P_i$ وقدرة الخرج $P_o$ كما يلي:

$$P_i = V_{im} / ..2 = I_{im}\ V_{im} / 2 = 10x10^{-3}x5x10^{-6} / 2 = 0.025\ u\ W$$

$$P_o = V_{om}\ I_{om} /2 = 2x0.5x10^{-3} /2 = 0.5\ mW$$

وبالتالي فإن :

$$A_P = P_o / P_i = 0.5x10^{-3} / 0.025x10^{-6} = 20\ 000$$

وطبقاً لهذه النتائج نجد أن دائرة التكبير المستخدم فيها ترانزيستور يمكنها ليس فقط تكبير الجهد والتيار وإنما القدرة أيضاً.

**درجة التكبير والكسب Gain:**

يتم التعبير عن درجة التكبير للدائرة بوحدة تسمى ديسيبل Decibel . والديسيبل هو وحدة لقياس نسبة القدرة للدائرة. وحيث إن البيل هو اللوغاريتم العادي للنسبة بين قدرة الخرج إلى قدرة الدخل والديسيبل يساوي عشر بيل.

ويستخدم الدسيبل للدلالة أيضاً على نسبة الجهد والتيار بالإضافة إلى القدرة، وفي دوائر التكبير يستخدم تعبير كسب gain عند حساب التكبير بالديسيبل بدلاً من درجة التكبير. والكسب يعبر عنه كما يلي:

كسب الجهد $G_V = 20 \log_{10} A_V$ dB

كسب التيار $G_i = 20 \log_{10} A_i$ dB

كسب القدرة $G_P = 10 \log_{10} A_P$ dB

ونلاحظ اختلاف المعامل في حالة كسب القدرة عنه في حالة التيار والجهد.

**طريقة حساب الكسب:**

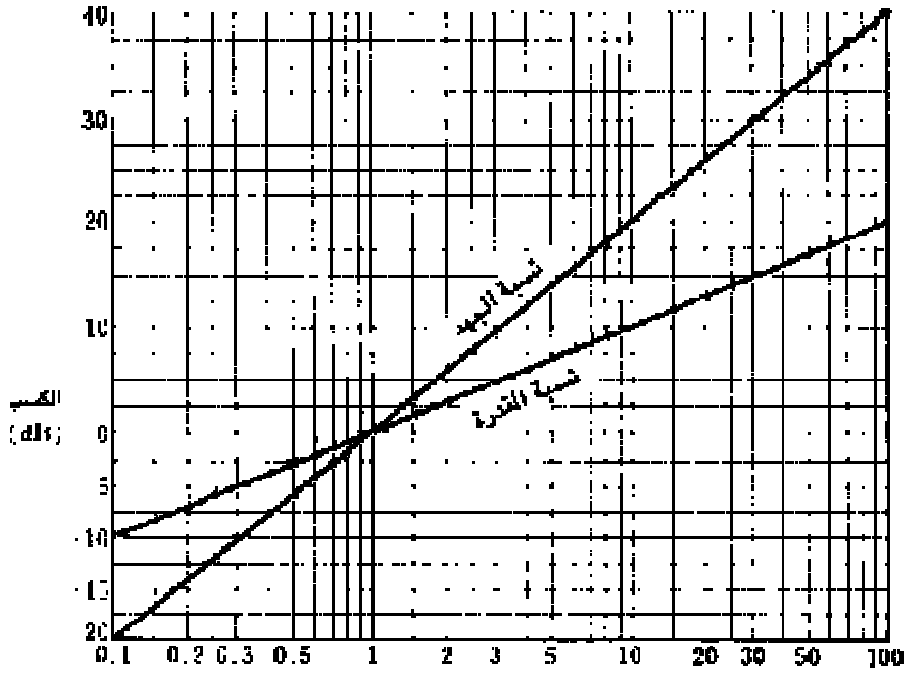
لحساب الكسب يلزم عمل جداول اللوغاريتمات أو خريطة الديسيبل. ومع ذلك يمكن حساب الكسب من الذاكرة وذلك بحفظ قيمة الكسب (تيار وجهد) لثلاث قيم لدرجة التكبير كالتالي:

A = 2 G = 6 dB
A = 3 G = 9.5 dB
A = 10 G = 20 dB

وبهذه القيم يمكن حساب القيم الأخرى كمايلي باستخدام خواص اللوغاريتمات:

A = 4 2 x 2 6 + 6 = 12 dB
A = 5 10 / 2 20-6 = 14 dB
A = 6 3 x 2 9.5 + 6 = 15.5 dB
A = 20 10 x 2 20 + 6 = 26 dB
A = 200 10 x 10 x 2 20 + 20 + 6 = 46 dB
A = 0.2 2 / 10 6-20 = -14 dB

وفي حالة حساب نسبة القدرة نضرب القيم السابقة في نصف.

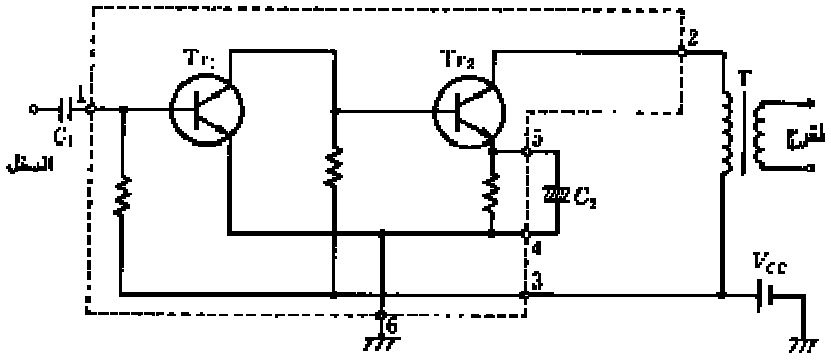



نسبة التيار (الجهد) ونسبة القدرة

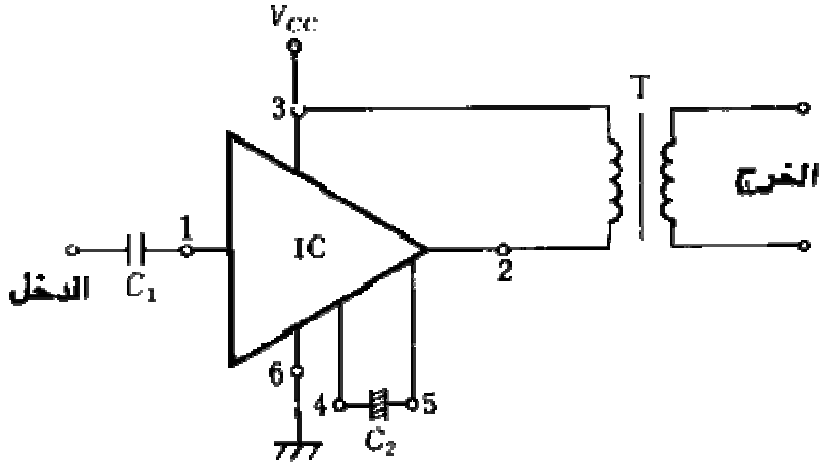
شكل(٢- ٤٤)خريطة الديسيبل.

**دائرة مستبدلة بدائرة متكاملة:**

من الصعب استبدال الملف أو المكثف بدائرة متكاملة. لذلك فإن دوائر التكبير ذات الربط المباشر تستخدم في الدوائر المتكاملة، وهذه العناصر (ملفات أو مكثفات) توصل خارج الدائرة المتكاملة عند الضرورة. ويقدم الشكل(٤٥,٢) مثالاً لدائرة تكبير ذات ربط مباشر حيث استبدل الجزء الموجود داخل الخط المنقط بدائرة متكاملة، وتم توصيل الأجزاء الباقية خارج هذه الدوائر المتكاملة كما هو موضح في الشكل(٤٦,٢).




شكل(٢- ٤٥)دائرة تكبير.

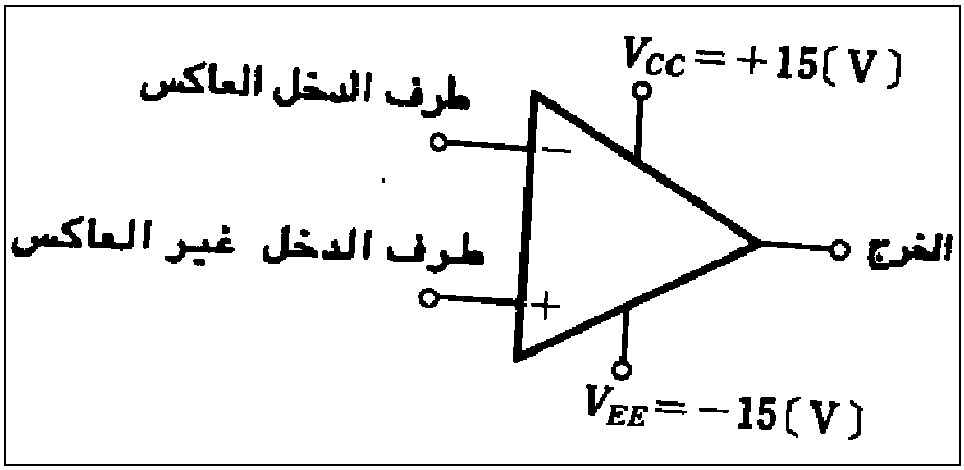



شكل(٢- ٤٦)دائرة تم استبدالها باستخدام دائرة متكاملة.

**دوائر تستخدم مكبر التشغيل Operational Amplifier:**

**خصائص مكبر التشغيل:**

يتم تمثيل مكبر التشغيل بالرمز المبين في الشكل(٤٧,٢). هذا المكبر له طرفا دخل (طرف الدخل العاكس وطرف الدخل غير العاكس) وله طرف خرج واحد. وعادة نحتاج إلى مصدري جهد أحدهما يعطي جهداً مستمراً موجباً وآخر يعطي جهداً مستمراً سالباً.




شكل(٢- ٤٧)رمز مكبر التشغيل op AMP.

في مكبر التشغيل تكون ممانعة الدخل كبيرة جداً وممانعة الخرج صغيرة جداً. وكذلك فإن معامل التكبير بدون تغذية راجعة يكون ذا قيمة كبيرة جداً.ويمكن تمثيل مكبر التشغيل بالشكل التوضيحي المبين في شكل(٤٨,٢) تحت الفروض

$$A_V = \infty \ , Z_0 = 0 \ , \ Z_i = \infty$$

ويمكن حساب جهد الخرج من العلاقة

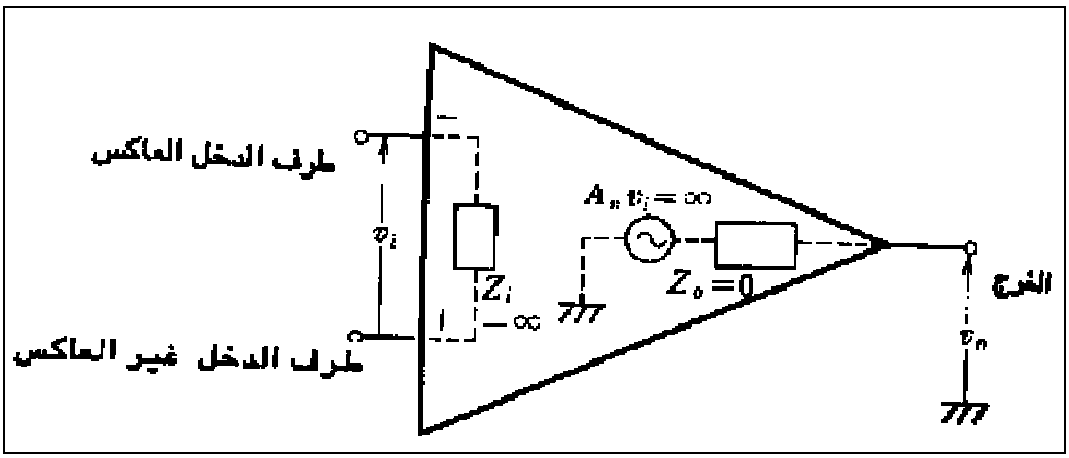
$$v_0 = A_v \, v_i$$

$$v_i = v_0 / A_v$$

وحيث إن $A_V = \infty$ فإنه عندما يكون جهد الخرج ذا قيمة محدودة فإنه ينتج لنا

$$v_i = 0$$

وبذلك فإن جهداً محدوداً عند خرج مكبر التشغيل يسبب عدم وجود جهد تقريباً بين طرفي الدخل ،وذلك يعني أنه بالرغم من أن ممانعة الدخل $Z_i = \infty$ فإن طرفي الدخل يعملان كما لو كانا موصلان مع بعضهما.




شكل(٢- ٤٨)الدائرة المكافئة لمكبر التشغيل.

## المكبر العاكس Inverting Amplifier:

عادة يستخدم مكبر التشغيل مع تغذية راجعة سالبة لأنه يعطي مصدر قدرة مرتفع جداً. ويمثل الشكل(٤٩,٢) دائرة مكبر تشغيل تستخدم تغذية راجعة سالبة باستخدام مقاومة $R_F$ تربط بين طرف الخرج وطرف الدخل العاكس. وباعتبار التوصيل التخيلي بين طرفي الدخل العاكس وغير العاكس فإنه يمكن كتابة المعادلات الآتية:

$$V_S = I_S R_S$$
$$V_0 = - I_S R_F$$

وبالتالي فإن معامل التكبير لهذه الدائرة يمكن حسابه كالآتي:

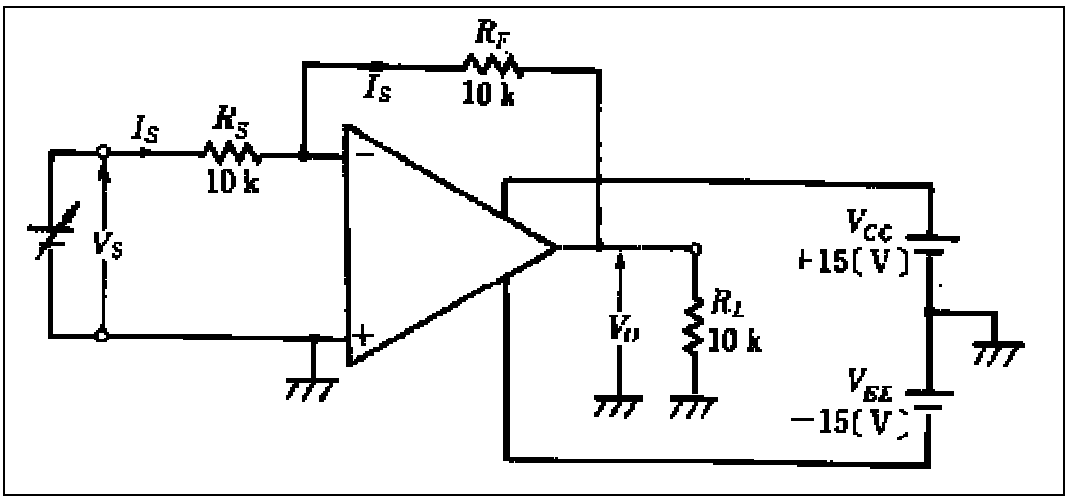
$$A_{vf} = V_0 / V_s = - R_F / R_s$$

أي إن معامل التكبير للدائرة يتحدد من النسبة بين المقاومتين $R_S$ , $R_F$

وفي الشكل(٢، ٤٩) فإن هذا المكبر يساوي ١ لأننا استخدمنا:

$$R_F = R_S = 10 \text{ k ohm}$$

وهذه الدائرة تسمى بدائرة مكبر عاكس بسبب الإشارة السالبة الموجودة في المعادلة السابقة والتي تعني أن طور جهد الخرج عكس طور جهد الدخل.




شكل(٢- ٤٩)الدائرة الأساسية لمكبر التشغيل.

# أسس تقنيات هندسية

## أساسيات الهندسة الميكانيكية وتوصيل المعادن

**الوحدة الثالثة :** أساسيات الهندسة الميكانيكية وتوصيل المعادن.

**اسم الوحدة:** أساسيات الهندسة الميكانيكية وتوصيل المعادن.

**الجدارة:** التعرف على الطرق المختلفة لتوصيل وتشكيل وقطع المعادن.

**الأهداف:**

١. التعرف على عمليات توصيل المعادن المختلفة كالبرشمة والسمكرة.
٢. التعرف على عملية اللحام بأنواعه المختلفة مع الإلمام بالتفاعلات الكيميائية المصاحبة لكل نوع.
٣. التعرف على أهمية عمليات اللحام المختلفة ومميزات ومشاكل كل نوع من هذه الأنواع.
٤. التعرف على عمليات التشكيل الابتدائية التي يتم تنفيذها على المعادن كالسباكة والحدادة والدرفلة والسحب والبثق.

**مستوى الأداء المطلوب:** أن يصل الطالب إلى إتقان الجدارة بنسبة ٩٥٪.

**الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة:** ٦ساعات.

**الوسائل المساعدة:** لا يحتاج الطالب إلى أية وسيلة مساعدة

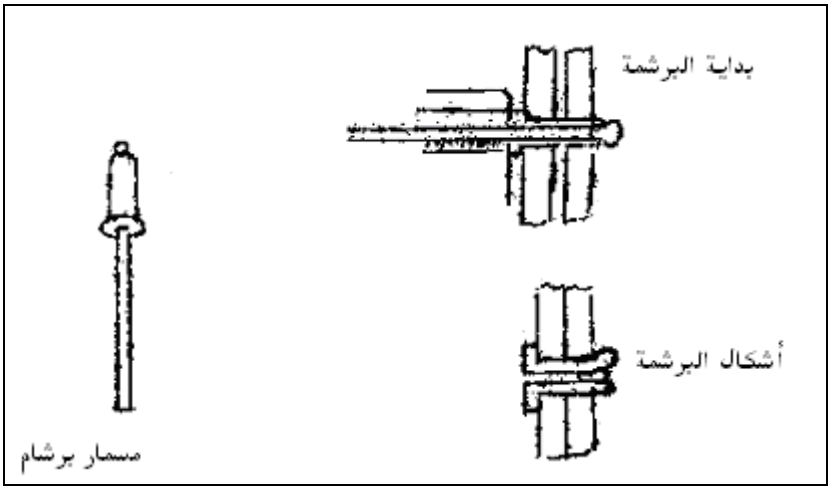
**متطلبات الجدارة:** أن يقوم الطالب بفهم أهمية عمليات تشكيل وتوصيل وقطع المعادن ويتعرف على عمليات اللحام المختلفة التي تُجرى على المعادن بأنواعها المختلفة واستخدامات كل نوع من هذه الأنواع ولا سيما طرق اللحام بالأوكسي إستلين واللحام بالقوس الكهربائي.

## المقدمة:

**عمليات توصيل المعادن** Metals Joining Processes: وهي تشتمل على عدة طرق منها:

### ١. البرشمة Riveting:

يتكون رأس البرشام من رأس مشكّل وجسم أسطواني أو ساق ويصنع عادة من الصلب الطري. وتتم عملية البرشمة بعمل ثقوب نافذة خلال الأسطح المتجاورة المطلوب ربطها ثم تولج مسامير البرشام في هذه الثقوب وتفلطح نهايات سيقان المسامير بالطرق أو بالطريقة الموضحة أدناه.




شكل(٣- ١)مسمار البرشمة وأشكالها.

### ٢. السمكرة Soldering:

في هذه الحالة تستخدم مادة مالئة ذات تركيب مختلف من المعدن المراد توصيله. مادة الحشو لها نقطة انصهار أقل من المعدن المراد توصيله ولا ينصهر أي جزء من المعدن أثناء عملية التوصيل. ومن أهم مزايا هذه الطريقة أن درجة الحرارة المنخفضة لا تؤدي إلى تشوه أو تغيير في التركيب الدقيق للمعدن الأم. وهناك نوعان من طرق السمكرة هما:

**أولاً: اللحام الناعم Soft Soldering:**

يتكون اللحام الناعم من سبائك من القصدير والرصاص أو القصدير والرصاص مع الأنتيمون أو الكادميوم أو البزموث ولها درجة انصهار في المدى $70\text{-}300C^0$.والمصدر الحراري الأكثر استعمالاً مع اللحام الناعم هو مكواة اللحام Soldering Iron ذات الرأس النحاسي المسخن كهربائياً.

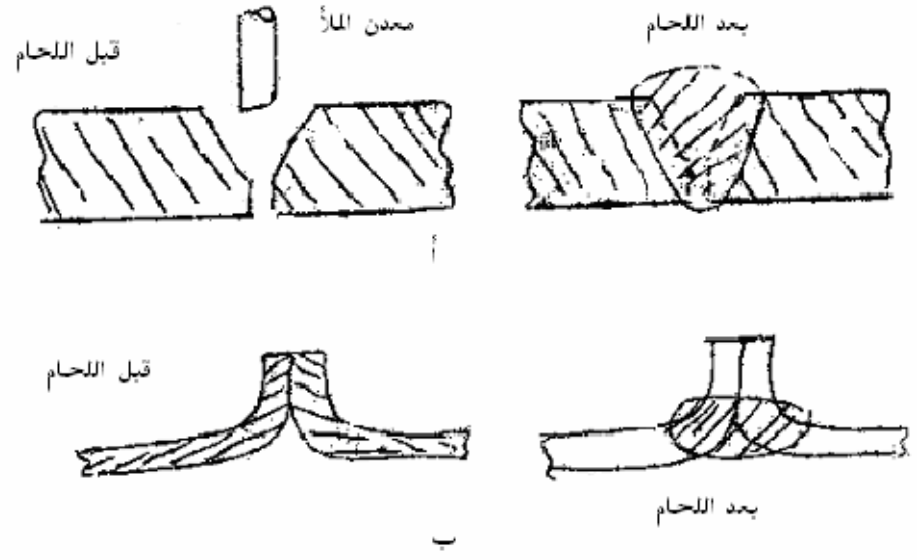
تتكون طبقة رقيقة من الأوكسيد بسرعة على سطح المعدن ولهذا تستخدم صهيرة Flux لإذابة طبقة الأكسيد. فالصهيرة يمكن أن تكون محلول كلوريد الزنك أو راتنج. وعند استخدام كلوريد الزنك يجب غسل القطعة بعد اللحام لإزالة ما تبقى من الصهيرة وإلا حدث تآكل. وعند استخدام الراتنج فإن بقايا الصهيرة لا تؤدي إلى التآكل ولهذا يستخدم الراتنج في لحام التوصيلات الكهربائية.

**ثانياً :اللحام الصلب Brazing :**

وهو ما يعرف باللحام بالنحاس الأصفر. وتستخدم فيه سبائك أساسها النحاس ذات درجة انصهار في المدى $620\text{-}900C^0$ والصهيرة الأكثر استخداماً هي بورات الصوديوم المائيةBorax. وفي هذه الحالة المصدر الحراري هو مشعل الأوكسي أستلين.

**٣. اللحام بالصهر Fusion Welding :**

اللحام بالصهر هو عملية توصيل باستخدام الحرارة يتم فيها صهر أطراف المعدن وجعلها تندمج مع بعضها باستخدام مادة حشو إضافية أو بدون استخدام مادة حشو إضافية. والشكل أدناه يوضح قاعدة اللحام بالصهر لنموذجين مختلفين، واللحام يحتاج إلى معدن حشو إضافي ويلاحظ أن أطراف المعدن تصهر وتدمج مع بعضها ومع معدن الحشو. هذه أكثر أنواع اللحام بالصهر شيوعاً في الاستعمال. ويوضح الشكل ب طريقة بديلة تستخدم مع صفائح المعدن الرقيقة. في هذه الحالة الوصلة ثابتة ولا تحتاج لمعدن حشو إضافي.




شكل(٣- ٢) عملية إجراء وصلة اللحام.

## التفاعلات الكيميائية أثناء اللحام:

تؤدي درجات الحرارة العالية أثناء اللحام إلى تغيرات في تركيب المعدن وتنشيط التفاعلات الكيميائية بين المعدن والغلاف الجوي. فإذا تم لحام المعدن دون حمايته من الغلاف الجوي يتحد الأوكسجين والنتروجين من الهواء مع المعدن المنصهر لتكوين أوكسيدات ونيتريدات. وإذا سمح لهذه المركبات بأن تذوب في بركة اللحام تنتج وصلة هشة ذات قوة ضعيفة. ويسبب الأكسجين ضرراً كبيراً والمعدن الذي يتأكسد بسرعة يكون صعب اللحام. فاللحام المؤكسد غير مرغوب ويمكن معرفته من مظهر سطحه غير المنتظم والمحفر حيث إن هذا اللحام يفتقر للقوة والمرونة.

يذوب النتروجين في عدد من المعادن السائلة وقد يتفاعل مع بعض مكوناتها. فإذا سمح للنيتروجين بدخول بركة اللحام المنصهر عند لحام بعض أنواع الصلب فإن اللحام الناتج سيكون هشاً مسامياً وقليل المرونة. وقد يؤدي الهيدروجين إلى مشاكل عديدة مع المعادن المنصهرة خاصة الصلب والألمونيوم والنحاس. ويؤدي وجود الهيدروجين إلى مسامية تضعف الوصلات وتجعلها غير مناسبة للأنابيب والأوعية التي تعمل تحت ضغط. فمصادر الهيدروجين الرئيسية عند اللحام هي إما من نواتج الاحتراق في اللحام بالغاز أو من الصهيرة التي تغطي الإلكترود في اللحام بالقوس الكهربائي.

## صهيرة اللحام Flux:

إزالة طبقة الأكسيد التي تتكون عندما تسخن المعادن هي إحدى المشاكل التقليدية المرتبطة باللحام. **ومن أهم مشاكل عملية في اللحام:**

١ عندما يكوّن أكسيد السطح غشاء متيناً.
٢ عندما تكون نقطة انصهار الأكسيد أعلى بكثير من نقطة انصهار المعدن الأم.
٣ عندما يتكون الأكسيد بسرعة.

وإذا لم تتم إزالة الأوكسيدات يمكن أن **تنشأ الظروف غير المرغوب فيها التالية:**

١ قد يصبح الانصهار صعباً
٢ قد تضعف وصلة اللحام.
٣ قد تؤخذ بعض الشوائب من المعدن الذي تم لحامه.

٤ لا تتدفق الأكسيدات من منطقة اللحام ولكن تبقى محتجزة في المعدن الذي يتصلب وتمنع إضافة معدن الحشو. تحدث هذه الحالة عندما تكون نقطة انصهار الأكسيد أعلى من نقطة انصهار المعدن الأم.

صهيرة اللحام هي مركب كيميائي يستخدم لمنع الأكسدة والفاعلات الكيميائية غير المطلوبة.

**أهمية صهيرة اللحام هي:**

١ المساعدة في إزالة غشاء الأكسيد الموجود على سطح المعدن بالهجوم عليه وتذويبه.

٢ المساعدة في إزالة الأكسيدات التي تتكون أثناء اللحام وذلك بتكوين خبث قابل للانصهار يطفو على سطح بركة اللحام المنصهر ولا يعيق ترسيب وانصهار معدن الحشو.

٣ حماية بركة اللحام من أوكسجين الهواء ومنع امتصاص وتفاعل الغازات الأخرى في لهب اللحام دون حجب نظر فني اللحام.

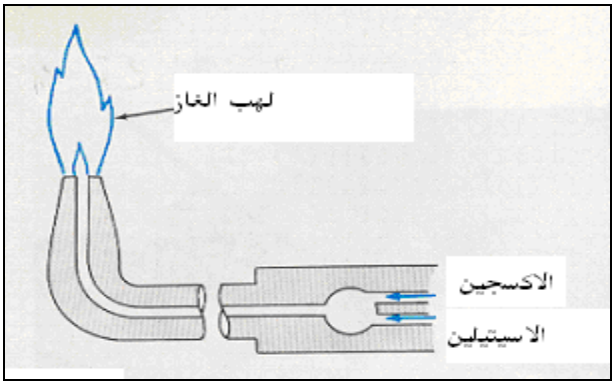
يجب أن تكون لصهيرة اللحام نقطة انصهار أقل من المعدن المراد لجامه ومعدن الحشو المستخدم.

| المعدن أو السبيكة | صهيرة اللحام | ملحوظات |
|---|---|---|
| الصلب الطري | - | لا يحتاج لصهيرة لحام لأن الأكسيد الناتج له نقطة انصهار أقل من المعدن الأم. نسبة لأنه أقل كثافة فإنه يطفو إلى السطح كقشرة يمكن إزالتها بسهولة بعد اللحام . استخدم اللهب المحايد |
| النحاس | الأساس بوراكس مع مركبات أخرى | إذا استخدم البوراكس فقط تتكون قشرة صلبة من بورات النحاس على سطح اللحام صعبة الإزالة . استخدم اللهب المحايد |
| الألمونيوم وسبائكه | تحتوي على كلوريدات | صهيرات اللحام من الألمونيوم مسترطبة.ضع دائماً الغطاء على الوعاء عندما لا تستعمل الصهيرة. يجب عند انتهاء اللحام إزالة الصهيرة لأنها شديدة التآكل ويتم هذا بحك منطقة اللحام بمحلول حمص النتريك (٥٪) أو ماء صابون ساخن . استخدم اللهب المكربن |
| النحاس الأصفر والبرونز | نوع البوراكس المحتوي على بورات الصوديوم مع كيميائيات أخرى | بقية الصهيرة مركب صلب مثل الزجاج يمكن إزالته بالطرق بحافة معدن صلب والفرش بسلك. استخدم اللهب المؤكسد |
| الحديد الزهر | تحتوي على بورات ، وكربونات ، وبيكربونات بالإضافة إلى المركبات المكونة | الأكسدة سريعة عند الحرارة العالية ونقطة انصهار الأكسيد أعلى من المعدن الأم. لهذا من المهم أن تتحد الصهيرة مع الأكسيد لتكوين خبث يطفو على سطح بركة اللحام ويمنع استمرار الأكسدة |

جدول (٣- ١)يبين بعض تطبيقات صهيرات اللحام الشائعة مع اللحام بالغاز.

### ٤. اللحام بالغاز Gas Welding:

يتم في اللحام بالغاز توصيل معدنين وذلك بصهر أو تذويب السطحين المتجاورين. ويتم هذا بتوجيه لهب الغاز حتى ينصهر المعدنان. يمكن أيضاً تذويب قضيب ملئ للمساعدة في توصيل المعدنين. وتأتي الطاقة اللازمة للحام بالغاز من حرق وقود مع الأكسجين أو الهواء. والوقود الأكثر شهرة هو الأستلين Acetylene.




شكل(٣- ٣)طريقة اللحام بالغاز.

ويمتاز اللحام بالغاز بأنه أبطأ وسهل التحكم مقارنة باللحام بالقوس الكهربائي ولهذا فهو شائع الاستخدام في الورش الصغيرة لأعمال الصيانة العامة وللحام المعادن ذات نقطة الانصهار المنخفضة.

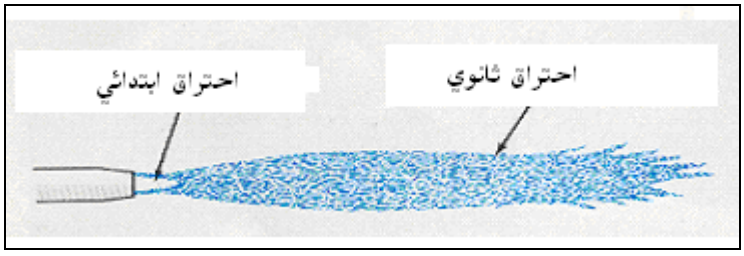
- **اللحام بالأوكسي أستلين Oxy-Acetylene Welding:**

ربما يكون الأوكسي أستلين هو أكثر طرق اللحام بالغاز شيوعاً في الاستخدام وذلك لارتفاع درجة حرارة اللهب فيه. ويتولد اللهب نتيجة حرق خليط الأستلين والأكسجين. وإن استخدام نسبة 2.5 أوكسجين مع ١ أستلين ينتج لهباً ساخناً جداً تصل درجة حرارته لحوالي $3200C^0$.

**ويتم الاحتراق في مرحلتين هما:**

أ) **الاحتراق الأولي**: وهو لهب اللحام الحقيقي ويوجد في المخروط الداخلي.

ب) **الاحتراق الثانوي**: وهو اللهب الخارجي ويعمل كدرع واق لمنع الهواء من تلويث المعدن المنصهر بجانب أنه يقوم بالتسخين الابتدائي لعملية اللحام.




شكل(٣- ٤)شكل الاحتراق للهب.

ينتج اللهب الأولي عندما يتم خلط الأكسجين والأستلين في مشعل اللحام بنسبة1:1. ويحترق هذا الخليط الذي يتدفق من فوهة المشعل ليكوّن المخروط الداخلي عندما يتحد حجم واحد من الأستلين مع حجم واحد من الأكسجين لإعطاء حجمين من أول أوكسيد الكربون وحجم واحد من الهيدروجين. يتحد أول أكسيد الكربون والهيدروجين الناتجين من التفاعل الأول مع الأكسجين الموجود في الهواء لتكوين اللهب الثانوي. ولهذا فإن الاحتراق الكامل للأستلين ينتج من حجم واحد من الأكسجين من المشعل و١,٥ حجم يوفره الهواء المحيط.

$$C_2H_2 + O_2 \rightarrow 2CO_2 + H_2$$

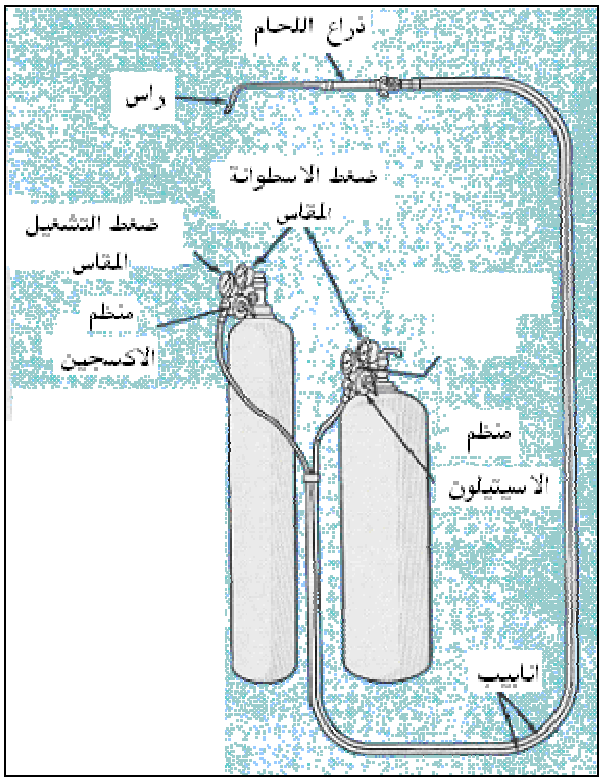
$$2CO + H_2 + 1.5O_2 \rightarrow 2CO_2 + H_2O$$

$$C_2H_2 + 2.5O_2 \rightarrow 2CO_2 + H_2O$$

**أجزاء جهاز اللحام بالأوكسي أستلين:**

**أ. الأسطوانات:**

تصنع أسطوانات الأكسجين والأستلين من حديد صلب غير ملحوم Seamless ويتم اختباره بدقة عالية. وتزوّد كل أسطوانة بجهاز حماية يسمح للغازات بالتصريف ببطء في حالة ارتفاع الضغط بدرجة كبيرة نتيجة لارتفاع درجة الحرارة. ويتم التحكم في تدفق الأكسجين من الأسطوانة بواسطة صمام عالي الضغط يتم فتحه وقفله بدوران مفتاح اليدHand Wheel. ويجب دوران مفتاح اليد ببطء للسماح بالازدياد التدريجي للضغط على المنظم ويجب فتحه لأقصى درجة للوصول إلى أقصى ضغط للغاز.

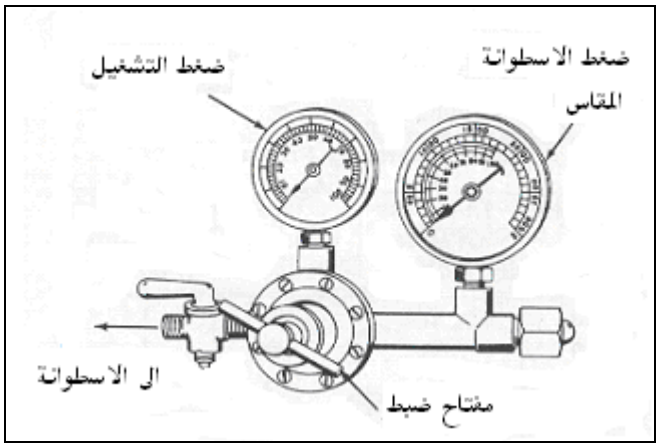



شكل(٣- ٥)أسطوانة اللحام.

يتم تعبئة أسطوانات الأستلين بواسطة مادة مسامية مشبعة بالأستون. يقوم الأستون بامتصاص كميات كبيرة من الأستلين تحت ضغط دون أن يغير طبيعة الغاز. هذا ضروري لأنه لا يمكن تخزين الأستلين الحر في أسطوانات لأنه يصبح غير ثابت بدرجة خطيرة عندما يكون تحت ضغط في الحالة الحرة.ويتم فتح الصمام على أسطوانة الأستلين بواسطة مفتاح خاص . ويجب ألا يفتح الصمام لأكثر من دورة ونصف. ويوصى بفتح الصمام فتحة صغيرة حتى يسهل قفله بسرعة في حالة الطوارئ. ويجب ربط أسطوانتي الأكسجين والأستلين معاً حتى لا يسقطا نتيجة لأي حادث.

### ب- **المنظمات** Regulators:

يتم ربط منظمات الأكسجين والأستلين مع الأسطوانات. فمهمة المنظمات هي خفض ضغط الغاز لقيم تناسب اللحام.لكل من منظمات الأكسجين والأستلين مقياسين. ويعطي المقياس الأول الضغط الحقيقي داخل الأسطوانة ويشير الآخر إلى ضغط التشغيل المستخدم في المشعل و.يتم تنظيم تدفق الغاز من الأسطوانة بواسطة لولب. ويجب دائماً فتح هذا اللولب قبل فتح صمام الأسطوانة وإلا اندفع ضغط عال للغاز في الأسطوانة ويدمر المنظم.

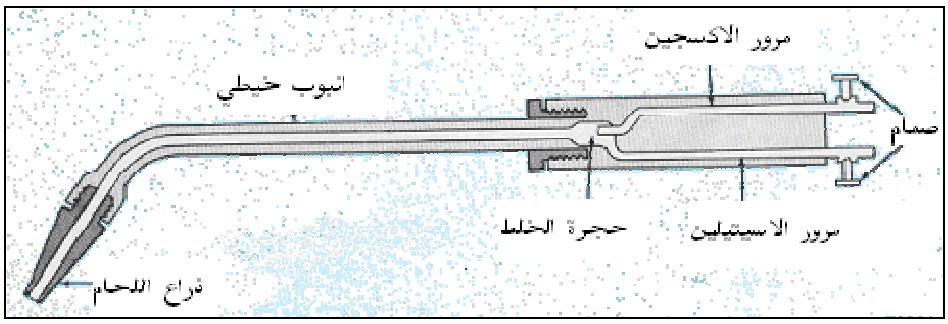



شكل(٣- ٦) منظمات اللهب.

### ج) مشعل اللحام Welding Torch:

والعناصر الأساسية لمشعل اللحام هي:

١. غرفة الخلط حيث يتم خلط الغازين.
٢. صمامان للتحكم في تدفق الأكسجين والأستلين.
٣. طرف اللحام.




شكل(٣- ٧) مشعل اللحام.

يمكن توصيل أحجام مختلفة من مشعل اللحام حسب سمك المعدن المراد لحامه إلى غرفة الخلط.

### د) الخرطوم Hose:

يستخدم خرطوم غير مسامي خاص لنقل الأكسجين والأستلين من الأسطوانة إلى المشعل. ولتفادي الخلط بين الخرطومين يكون خرطوم الأكسجين عادة إما أسود أو أخضر وخرطوم الأستلين أحمر اللون.

### هـ) ملابس اللحام Welder Closing:

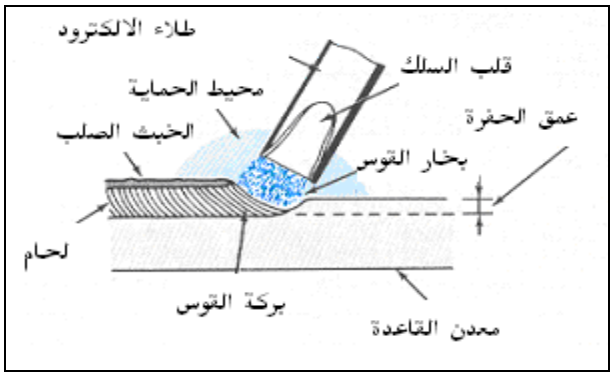
يجب أن يلبس فني اللحام نظارات واقية أثناء عملية اللحام بالأوكسي أستلين. ويصدر اللهب والمعدن المنصهر أشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء وكلها تؤدي لخطر على العيون إذا كانت من مكان قريب

كما تحمى النظارات العيون أيضاً من الوهج ومن الشرر المتطاير. ويجب أيضا استخدام قفازات مقاومة للحريق ويقترح استخدم ملابس ثقيلة أو مرايل خاصة للحام.

- **اللحام بالقوس الكهربي Electric arc welding:**

في اللحام بالقوس الكهربي يتم توصيل معدنين وذلك بتوليد قوس كهربي بين الإلكترود ومعدن الأساس المراد لحامه. فتقوم الحرارة التي ينتجها القوس الكهربي بصهر المعدن الذي يختلط مع الترسبات المنصهرة للإلكترود. ويتم توفير طاقة القوس بواسطة وحدة إمداد الطاقة والتي تعطي تياراً مباشراً أو تياراً متردداً. ويمرر الإلكترود التيار لتكوين القوس وينتج كذلك الغاز الذي يحمي القوس من غازات المحيط الهوائي ويضيف معدن للتحكم في شكل اللحام.

عندما يتم ضرب القوس باستخدام الإلكترود المغطى فإن الحرارة الشديدة تصهر طرف الإلكترود. تدخل قطع المعدن الصغيرة من الإلكترود تيار القوس وتترسب على معدن الأساس. وبينما يترسب المعدن المنصهر يتكون خبث على اللحام يقوم بعزل اللحام من أن يتلوث مع الهواء أثناء انخفاض درجة حرارته.



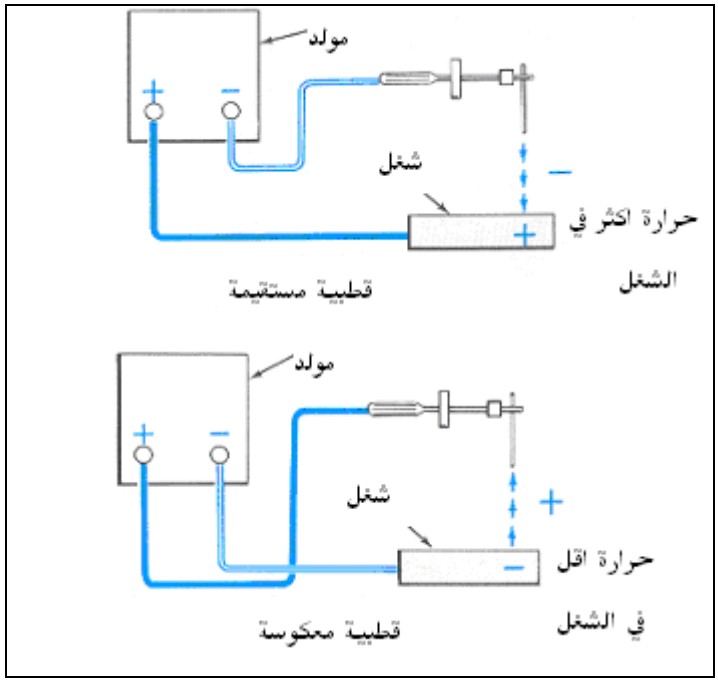

شكل(٣- ٨) اللحام بالقوس الكهربائي.

وفي حالة اللحام بالقوس الكهربائي يكون فرق الجهد أثناء تشغيل الماكينة وقبل اللحام ( فولت الدائرة المفتوحة ) يتفاوت بين ٥٠ –١٠٠ فولت بينما يكون فولت القوس بين ١٦-١٨ فولت. ويؤثر التيار المستخدم على معدل انصهار المعدن. وتعتمد كمية التيار اللازم لأي عملية لحام على سمك المعدن المراد لحامه. وفي جهاز اللحام يتم التحكم في شدة التيار . وتحدد سعة ماكينات اللحام على حسب شدة التيار الخارج منها والذي يتفاوت من ١٥٠ إلى ٦٠٠ أمبير. ويعتمد حجم ماكينة اللحام على نوع وكمية اللحام المراد إنجازها. حيث يستخدم ١٥٠ – ٢٠٠ أمبير للحام الخفيف والمتوسط و

٢٥٠ – ٣٠٠ أمبير للحام المتوسط كما في مصانع الإنتاج والصيانة وورش اللحام العامة.و ٤٠٠- ٦٠٠ أمبير للحام الثقيل كما في حالة الإنشاءات الكبيرة وتصنيع أجزاء الماكينات الثقيلة ولحام الأنابيب والصهاريج.

## مولد التيار المستمر DC Generator:

ويتكون مولد التيار المستمر من مولد يتم تحريكه بواسطة محرك كهربائي. وأن أحد أهم خصائص مولد التيار المستمر للحام هي أن اللحام يمكن أن يتم بقطبية مباشرة Straight Polarity أو بقطبية عكسية Reverse Polarity. وتشير القطبية إلى اتجاه تدفق التيار في الدائرة. ويتم تغيير القطبية بتغيير الكابلات وفي الماكينات الحديثة يتم ذلك بواسطة مفتاح.




شكل(٣- ٩)مولد التيار المستمر.

## ماسك الإلكترود Electrode Holder:

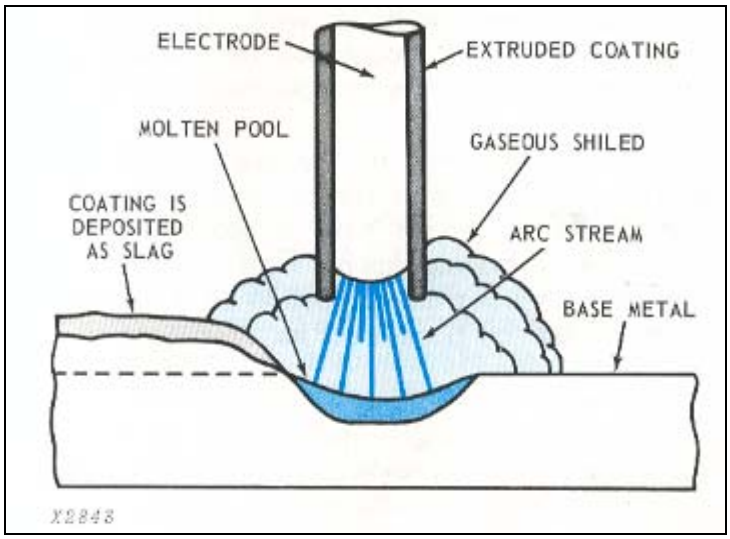
يستخدم ماسك الإلكترود لمسك الإلكترود وتوجيهه عبر المنطقة المراد لحامها. ويجب على ماسك الإلكترود الجيد أن يكون خفيفاً لتقليل إجهاد الثني ويمسك ويفك الإلكترود بسهولة وأن يكون جيد العزل. بعض ماسكات الإلكترود تكون معزولة بالكامل بينما الأخرى تكون اليد فقط معزولة.

**الإلكترود The Electrode:**

وبصورة عامة تصنف الإلكترودات في خمس مجموعات أساسية وهي:

a. الصلب الطري Mild Steel.
b. الصلب ذو محتوى الكربون العالي High Carbon Steel.
c. سبيكة الصلب الخاصة Special Alloy Steel.
d. الحديد الزهر Cast Iron وغير الحديدي Nonferrous.

ويتم المدى الكبير من اللحام بالقوس الكهربي باستخدام إلكترودات من مجموعة الصلب الطري. وغطاء الإلكترود يحتوي على عدد من الكيميائيات مثل السيليلوز وثاني أكسيد التيتانيوم ومانجنيز الحديد ودقيق السيلكا وكربونات الكالسيوم وغيرها. وكل مادة من هذه المواد لها وظيفة معينة في عملية اللحام. و الهدف الأساسي منها بصورة عامة هو تسهيل عملية بدء القوس وتثبيت القوس وتحسين مظهر اللحام وتحسين النفاذية وحماية المعدن المنصهر من الأكسدة أو التلوث بالجو المحيط.




شكل(٣- ١٠) بدء عملية إجراء اللحام.

يقوم غطاء الإلكترود بتكوين درع غازي يقي معدن اللحام من الغلاف المحيط. وبقايا الغلاف المحيط للإلكترود تكون خبث يطفو على المعدن المترسب مما يؤدي إلى تقليل معدل التبريد وينتج لحام أكثر مرونة. بعض أغطية الإلكترود تحتوي على مسحوق حديد يتحول إلى صلب بواسطة الحرارة الشديدة للقوس ويتدفق في اللحام المترسب.

## القطع بالأوكسجين Oxygen Cutting:

يتم قطع المعدن وذلك بإزالة المعدن باللهب حيث يسخن المعدن باللهب ويقوم تيار الأوكسجين بعملية القطع. ومن المعلوم أن أي معدن يتعرض لظروف جوية مختلفة فإن تفاعل يعرف بالصدأ يحدث لذلك المعدن. ولهذا يعتبر الصدأ تفاعل المعدن مع الأكسجين الموجود في الغلاف الجوي. وعادة فإن هذا التفاعل بطيء ولكن إذا سخن المعدن وبرّد فإن ترسبات تتكون على السطح مما يشير إلى أن المعدن تأكسد بسرعة عندما سخن.

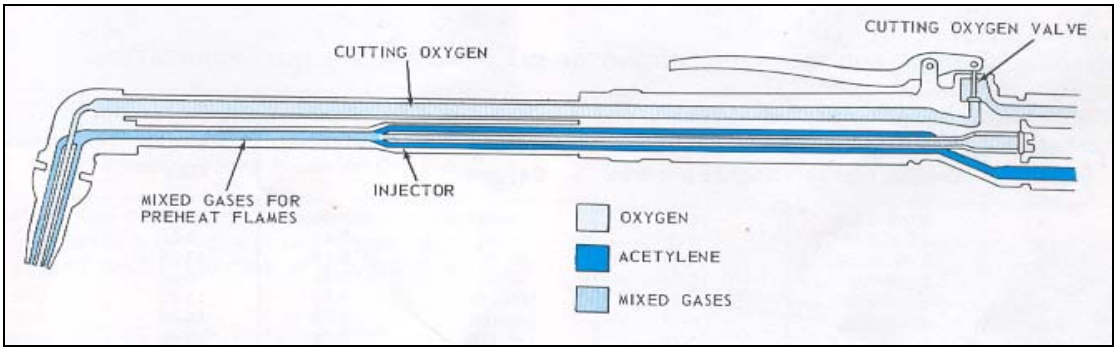
ولهذا يجب أن يكون هناك جهاز لتسخين المعدن إلى درجة حرارة معينة أثناء عملية القطع السريع للمعدن ثم يعطي كمية كبيرة من الأكسجين على المنطقة المسخنة. ويقوم مشعل القطع بالأوكسجين بهذه المهمة.

يمكن قطع المعادن بالأوكسجين مثل الصلب ذي محتوى الكربون فقط والصلب المنجنيز والصلب ذي محتوى الكروميوم المنخفض. ولا يمكن قطع المعادن غير الحديدية أو الصلب الذي لا يصدأ أو الصلب ذي محتوى الكروميوم أو التنجستن العالي.

## عملية القطع:

عملية القطع عملية مستمرة وخاصة عند قطع القطع السميكة. فتبدأ عملية القطع بتسخين قطاع من المعدن حتى نقطة الاشتعال. يفتح عندئذ صمام الأكسجين والذي يقوم بإشعال المعدن على السطح العلوي. تعطي هذه العملية حرارة وبذلك ترفع حرارة المعدن أسفل السطح وتصهره وتستمر هذه العملية على أسفل المعدن حتى يتم قطعه. وعندما يشتعل المعدن فإن الغاز المستخدم للتسخين ليس له تأثير على عملية القطع. وتعتمد فعالية عملية القطع على كمية الأكسجين المستخدمة والحجم الصحيح لطرف مشعل القطع.

ويحتوى مشعل القطع للقطع اليدوي على رافعة للتحكم في الأكسجين وطرف للقطع له فوهة في الوسط للسماح بتدفق أوكسجين القطع وفتحات صغيرة تحيط بها لتدفق غازات لهب التسخين.



شكل(٣- ١١) مشعل القطع.

**عمليات تشكيل المعادن الابتدائية Primary Forming Operations:**

تمر المعادن عادة بين استخلاصها من الخام وإدخالها للمصنع بإحدى عمليات التشكيل الابتدائية. وأكثر هذه العمليات شيوعاً هي:

١. **السباكة** Casting:

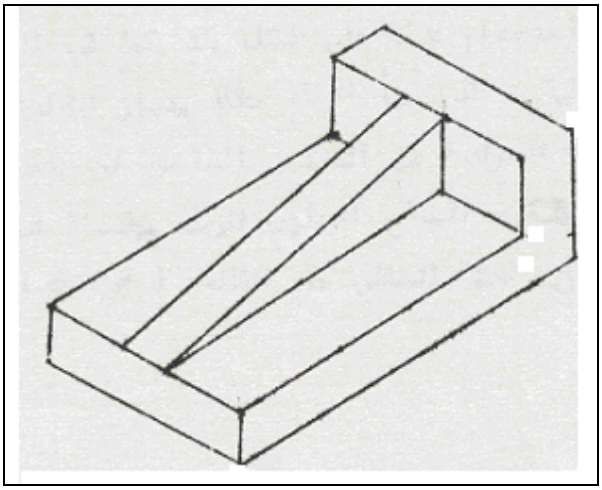
صب المعادن من أقدم العمليات التشكيلية شيوعاً لتشكيل المعادن. ويمكن تعريف السباكة بأنها عملية صب مادة منصهرة داخل قالب ثم السماح للمادة بالتجمد داخل القالب بحيث تأخذ نفس شكل الحيز الفراغي الموجود داخله. ويمكن أن يأخذ شكل القالب الذي يسكب فيه المعدن عدة أشكال ومن أهمها قوالب الرمل والقوالب المعدنية. ويستخدم الحديد الزهر على نطاق واسع لهذا الغرض خاصة في إنتاج الصلب وتستخدم قوالب من النحاس في بعض الأحيان. وتتميز القوالب المعدنية بإمكانية استخدامها عدة مرات.

ويتم شراء المعدن المستخدم بواسطة المسبك إما في صورة كتل معدنية صغيرة ( مصبوبات Ingots) أو في صورة خردة مختارة. يصهر المعدن المراد صبه في فرن ويجب أخذ الحذر لمنع المعدن المنصهر من أن يتلوث مع الوقود ونواتج الاحتراق. وبالرغم من أن معظم المعادن والسبائك يمكن صبها بدرجات متفاوتة من النجاح ولكن **الخصائص التالية مرغوبة إذا أريد إنتاج صبات معقدة** :

i. الميوعة Fluidity: وهي مقدرة المعدن المنصهر على التدفق بسهولة في القالب وملء التجويف تماماً وبهذا يتم الحصول على التفاصيل الدقيقة.
ii. الإنصهارية Fusibility وهي مقدرة المعدن أن ينصهر بسهولة عند درجة حرارة منخفضة نسبياً. فتؤدي درجات الانصهار المنخفضة إلى اقتصاد في الوقود وتكاليف أقل لصيانة الأفران.

ولحديد الزهر نسبة( لمحتواه العالي من الكربون) ميوعة عالية وانصهارية عالية نسبياً. ولهذا يمكن استخدام الحديد الزهر لكل أحجام الصب من الصغيرة جداً إلى الكبيرة جداً. ويمكن استخدامه للصبات المبسطة والمعقدة جداً. وفي الجانب الآخر فإن الصلب ذا الكربون المنخفض له ميوعة منخفضة ( لزوجة عالية ) ولهذا يستخدم لصب الأشكال المبسطة.

## قالب رمل مبسط:



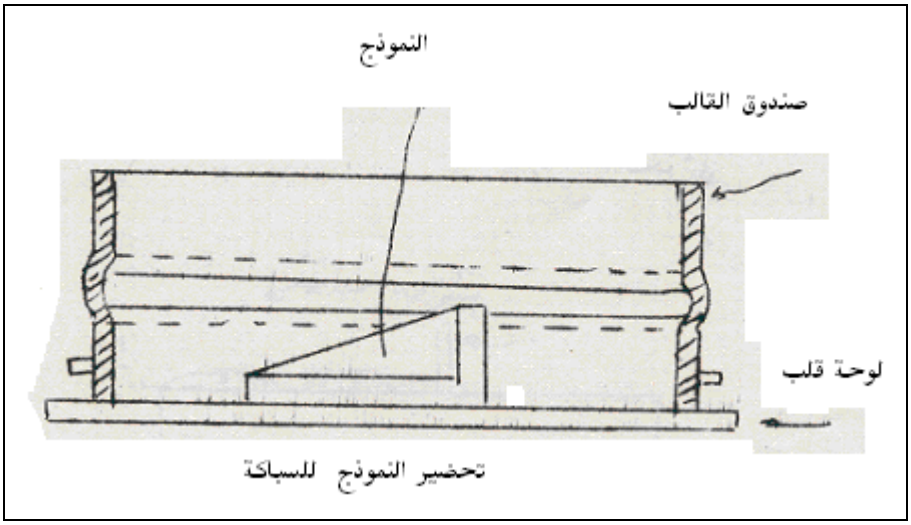
شكل(٣- ١٢) مجسم خشبي.

**ولصب القطعة المبسطة الموضحة في الشكل أعلاه في قالب رمل يجب اتباع الطريقة التالية:**

١. يصنع نموذج خشبي أكبر قليلاً من القطعة المطلوبة وذلك لمقابلة انكماش المعدن عندما يبرد.

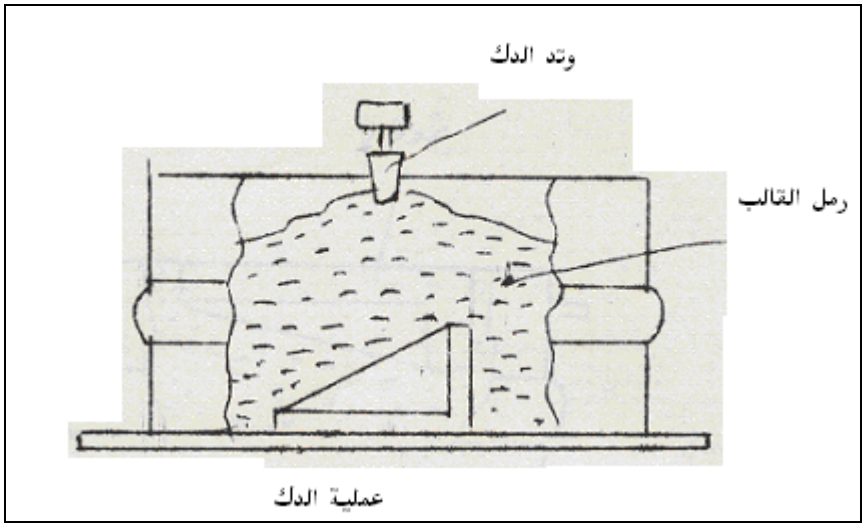
٢. يوضع النموذج على لوحة قلب ويوضع صندوق القالب حول النموذج.

٣. يغبّر النموذج بمسحوق إزالة لمنع التصاق رمل القالب به. هذا يسهل إزالة النموذج فيما بعد.

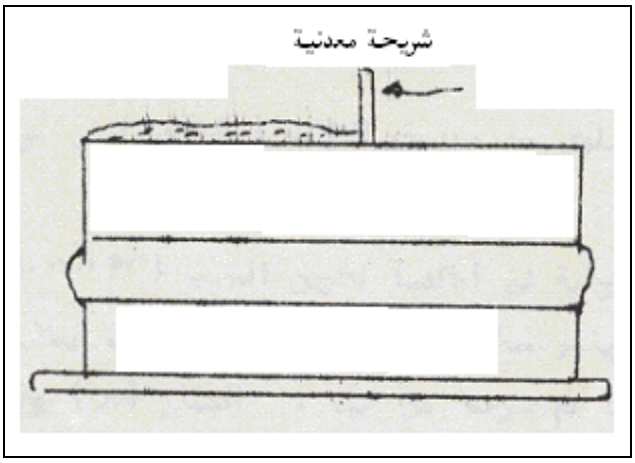



شكل(٣- ١٣) عملية السباكة.

٤. يدك الرمل إلى داخل القالب باستخدام مدكة على شكل وتد. عملية الدك تحتاج لمهارة عالية. إذا عبئ الرمل مفككاً ينهار القالب وإذا ضغط بشدة فإن البخار والغازات المتولدة من المعدن الساخن لن تتمكن من الهروب وتجعل الصبة مسامية. ويساوى السطح العلوي للرمل بواسطة شريحة معدنية ويصبح الجزء السفلي من القالب Drag تاماً.

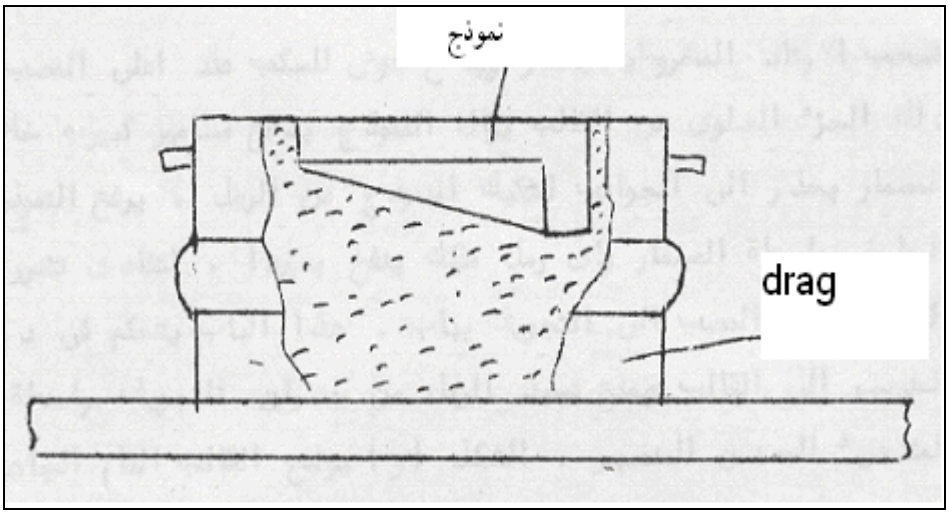



شكل(٣- ١٤) عملية الدك.




شكل(٣- ١٥) عملية تسوية السطح.

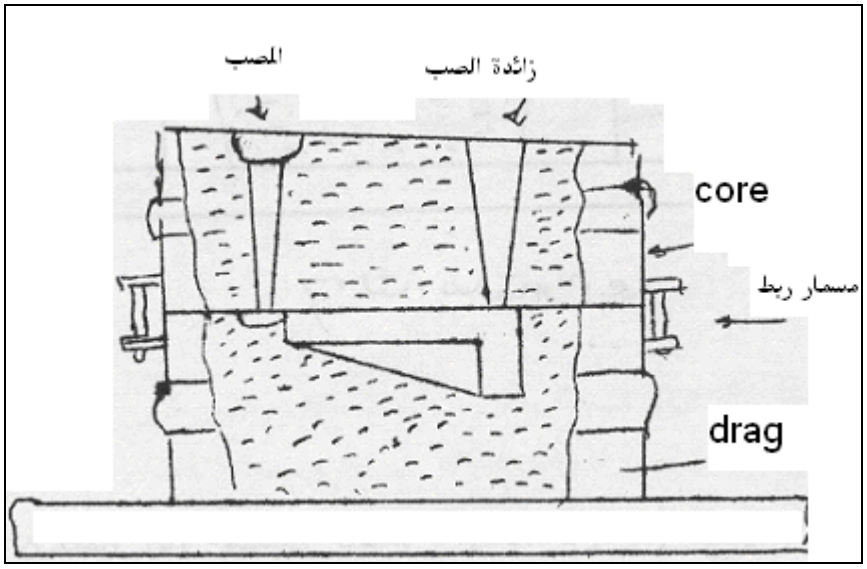
٥. يقلب النصف السفلي من القالب إما على لوحة قلب أخرى أو على طاولة ناعمة وتزال لوحة القلب الأصلية.




شكل(٣- ١٦) قلب القالب.

٦. يوضع الجزء العلوي من صندوق القالب Cope في موضعه ويثبت بواسطة مسامير.

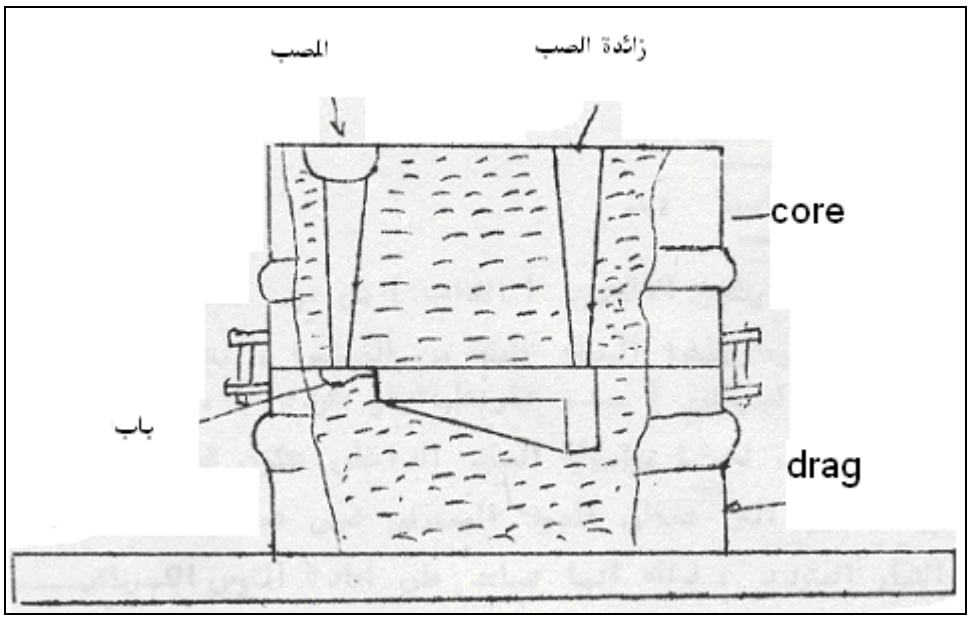
٧. توضع أوتاد مخروطية في أماكنها لتكوين المصب Runner وزائدة الصب Riser ويغبر سطح الإزالة بمسحوق الإزالة. يملأ الجزء العلوي من القالب بالرمل ويدك كما تم شرحه من قبل.




شكل(٣- ١٧)تركيب الجزء العلوي من القالب والأوتار وزائدة الصب.

٨. تسحب الأوتاد المخروطية بحذر ويقطع حوض للسكب عند أعلى المصب. ويزال بعد ذلك الجزء العلوي من القالب ويزال النموذج بدفع مسامير كبيرة خلاله. يحرك المسمار بحذر إلى الجوانب لتفكيك النموذج من الرمل. يرفع النموذج إلى الخارج بواسطة المسمار وأي رمل مفكك ينفخ بعيداً. ولتفادي تضرر تجويف القالب يوصل المصب إلى التجويف بباب.

هذا الباب يتحكم في دخول المعدن المنصهر إلى القالب ويمنع غسيل الرمل من جدران التجويف بواسطة الدخول المفاجئ للمعدن المنصهر.



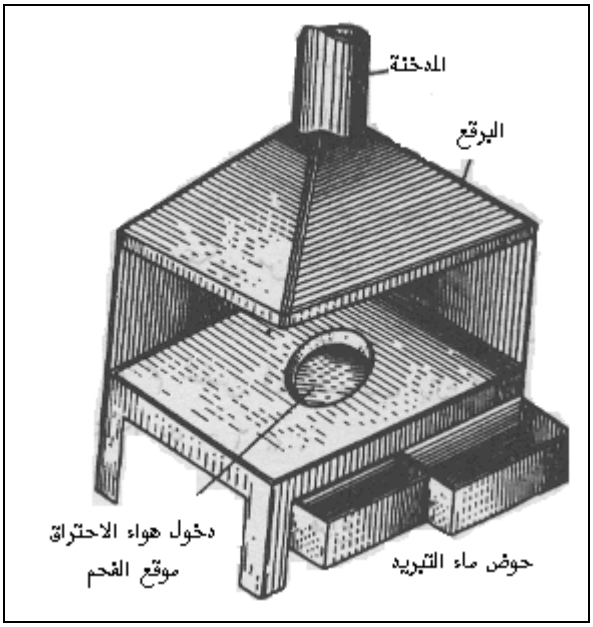

شكل(٣- ١٨) الشكل النهائي للقالب والنموذج بعد سكب المعدن.

٩. لإجراء عملية الصب يجب أولاً إزالة الغازات وإضافة الصهيرة إلى المعدن المنصهر. ثم يسكب المعدن خلال حوض السكب ثم المصب. يستمر السكب حتى يظهر المعدن أعلى زائدة الصب. تسمح زائدة الصب للهواء في القالب بالهروب أثناء سكب المعدن وتوفر أيضاً مخزناً للمعدن يمد تجويف القالب عندما تنكمش الصبة أثناء تبريدها. وعندما يتصلب المعدن يكسر القالب وتزال الصبة. يقطع المصب وزائدة الصب.

### ٢. التشكيل بالحدادة Forging.

التشكيل بالحدادة(الطرق): هو عملية إنتاج يتم فيها عادة تسخين قطعة الشغل لكي تشكّل بعد ذلك بالطرق أو بالضغط. وتعتمد درجة حرارة التشكيل بالحدادة على نوع المادة. ويجب إكساب القطعة المشغولة شكلها النهائي عند درجة تسخين مناسبة لأن التسخين الشديد أو التسخين لفترة أطول من اللازم يجعل بنية الصلب خشنة الحبيبات وقصيفة وقليلة التحمّل. كما يؤدي الطرق على البارد إلى إجهادات في البلورات ينتج عنها في البداية تصلد (زيادة المقاومة) وينتهي الأمر بتكون شرخ. ويتم تشكيل النحاس النقي بالحدادة على البارد ومع زيادة مكوناته السبائكية ترتفع درجة حرارة التشكيل بالحدادة حتى($800C^0$) بينما يتم تشكيل الألمونيوم بالحدادة عند درجات حرارة بين ($C^0$ 500 – 400).

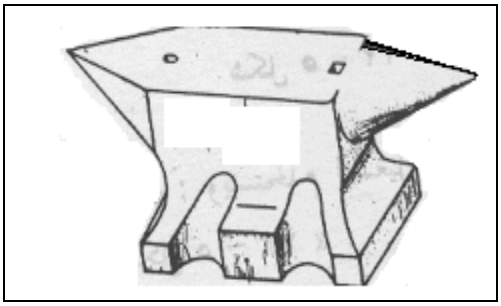
وتستخدم أكوار الحدادة كمصدر للحرارة وتصلح لتسخين قطع الشغل الصغيرة وتكون المادة المستخدمة بها عبارة عن فحم به نسبة قليلة من الكبريت. وهو جيد الاحتراق تحت الرماد مما يؤدي إلى حفظ الحرارة مركزة عند قلب النار وإلى إقلال حدوث احتراق القطعة المراد تشكيلها بالحدادة.




شكل(٣- ١٩)كور الحداد.

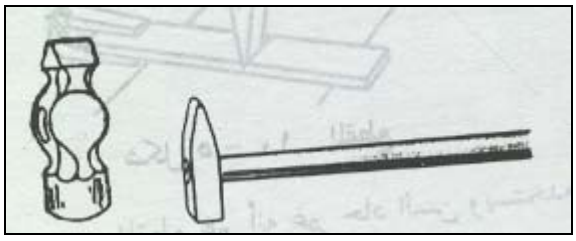
**عدد التشكيل بالحدادة:**

**السندان**: ويصنع من فولاذ الإنشاءات ويلحم عليه وجه السندان المكون من لوح فولاذي مصلد.



**شكل(٣- ٢٠) شكل السندان.**

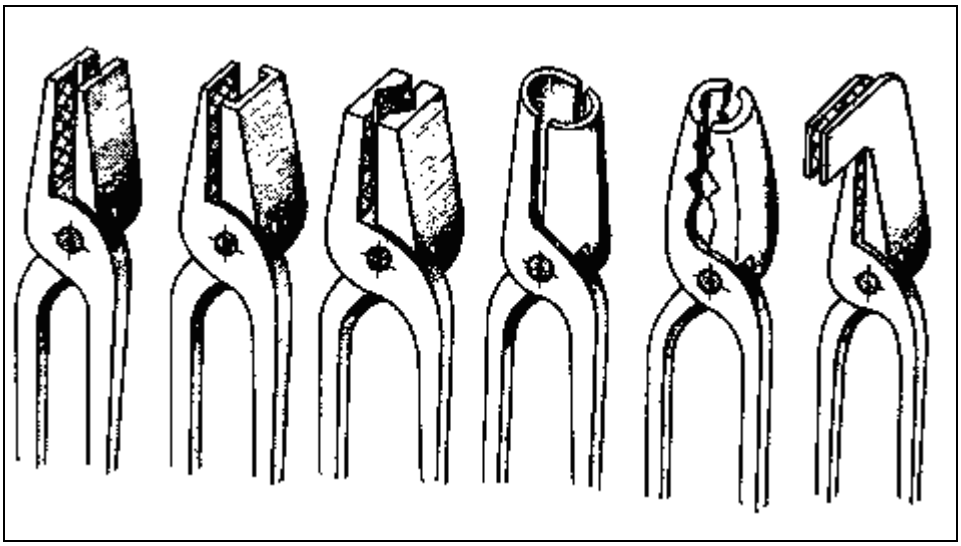
١. **المطارق اللازمة**: وهي مطارق يدوية من 1 kg إلى 2kg ويتولد الشغل اللازم للتشكيل من وزن المطرقة وكذلك وبدرجة أكثر فعالية من سرعة الصدم . وعندما يزداد وزن المطرقة بمقدار الضعف يزداد الشغل المولد بنفس النسبة بينما يؤدي مضاعفة سرعة السقوط لمطرقة ثابتة الكتلة إلى زيادة طاقتها الحركية عند الاصطدام إلى أربعة أمثالها.



شكل(٣- ٢١) مطارق متعددة.

**٢. ملاقط الحدادة:**

وتكون ذات أذرع طويلة ومرنة لتفادي حدوث تقلصات في اليد عند الإمساك بها ويجب أن تلائم فكوك الملاقط المختلفة شكل مقاطع قطعة الشغل التي يراد الإمساك بها.



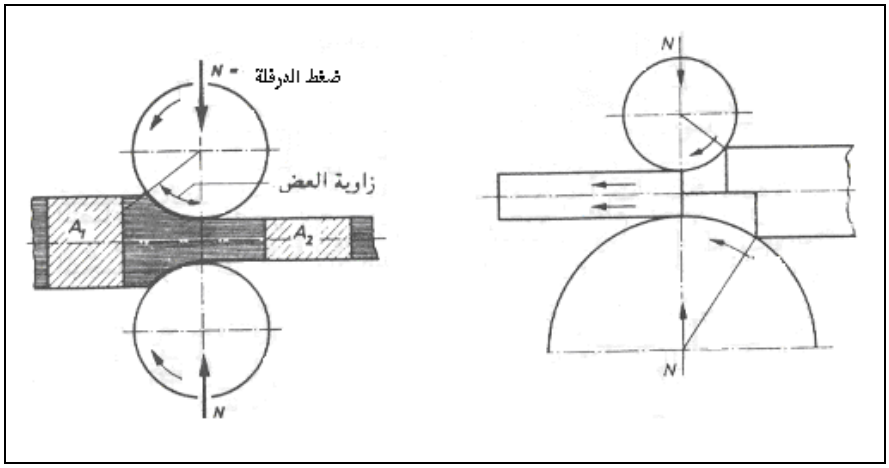
شكل(٣- ٢٢)ملاقط حدادة.

**أنواع الحدادة:**

١. التشكيل الحر بالحدادة.
٢. السحب (الإطالة).
٣. الكبس (التغليظ).
٤. التخريم.
٥. اللحام بالطرق على الساخن.

## ٣. التشكيل بالدرفلة Rolling:

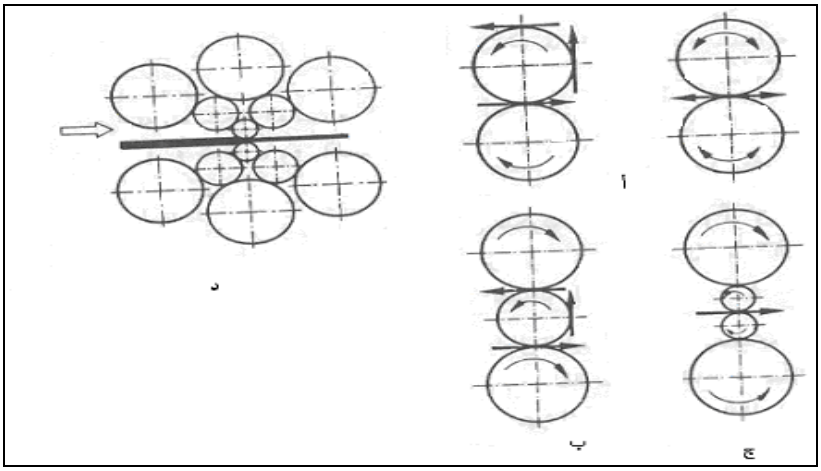
تستخدم طريقة الدرفلة لصناعة الألواح والقضبان والكمرات والأسياخ وتتم الدرفلة بإمرار القطعة المراد تشكيلها بين درفيلين أسطوانيين بينهما فراغ يحدد شكل مقاطع المشغولات المطلوبة. يدور الدرفيلين في اتجاهين متضادين ونتيجة لاتجاه الدوران المتضاد للدرفيلين وللاحتكاك بينهما وبين المشغولة فإنها تسحبها بسهولة.




شكل(٣- ٢٣)درفلة الكتل إلى ألواح بين درفيلين متساويين أو مختلفين

تنقسم الدرافيل إلى ثلاثة أنواع رئيسة:

١. زوج درافيل رأسية أو درافيل ثلاثية رأسية.
٢. زوجان من الدرافيل.
٣. مجموعة درافيل للدرفلة على البارد.



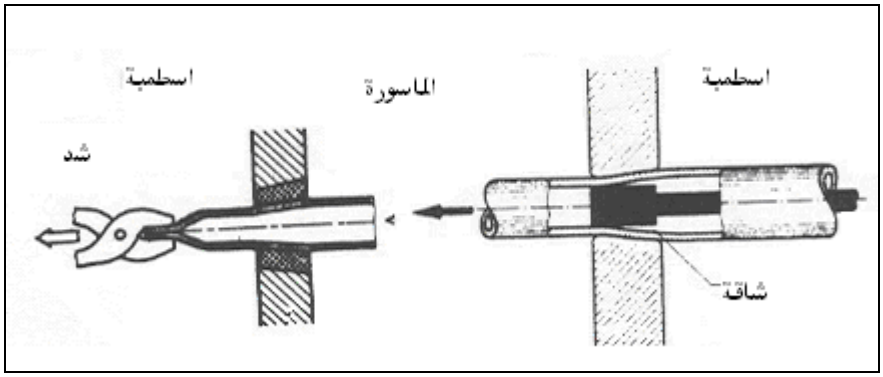

شكل(٣- ٢٤)أنواع الدرافيل.

أ. درافيل رأسية (زوج) ب. درافيل ثلاثية رأسية.

ج. زوجان من الدرافيل. د. درافيل للدرفلة على البارد.

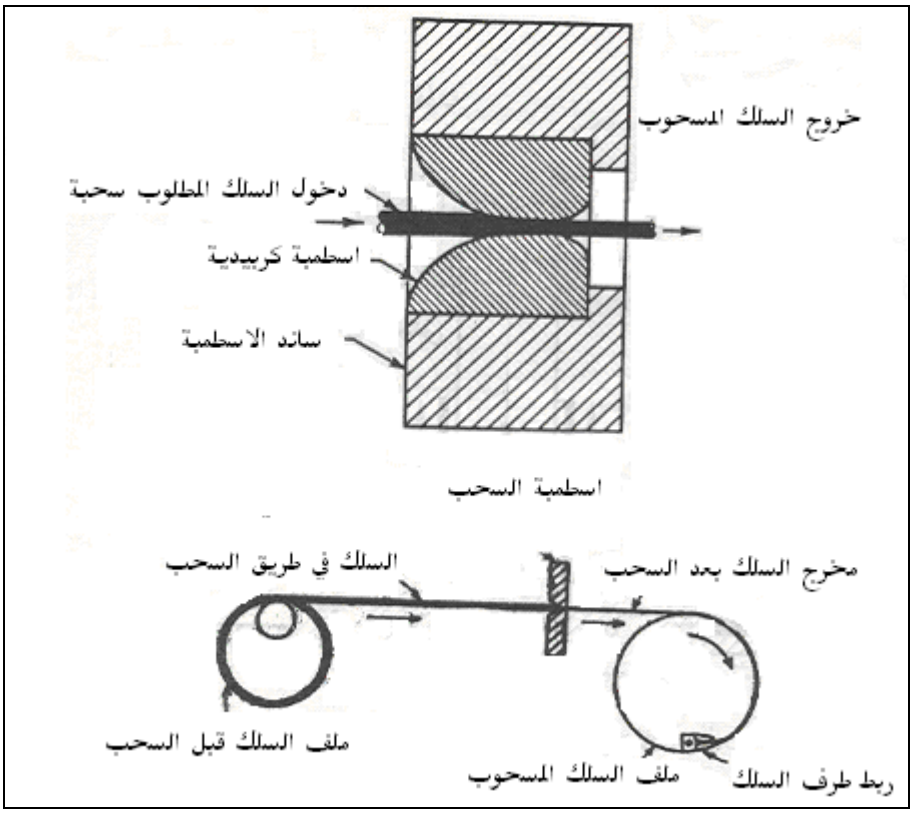
## ٤. سحب الأسلاك والأنابيب Wire and Tube Drawing:

يمكن سحب الأسلاك والمواسير إلى أقطار صغيرة بشدها وإمرارها داخل قالب صلد ( يقاوم التآكل بالاحتكاك ) بالقطر المطلوب




شكل(٣- ٢٥)سحب المواسير بالشد.

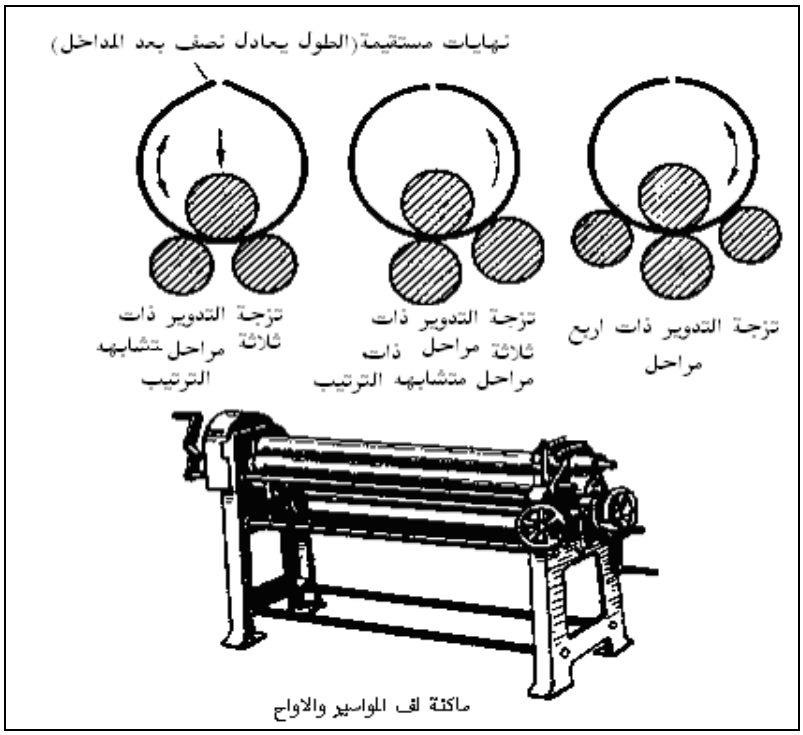
وتصنع بهذه الطريقة كل أنواع الأسلاك ويبدأ السحب من شكل قضبان أو سيقان مدرفلة أو منبثقة فيدخل الساق في فتحة أسطمبة مسلوبة للقطر المطلوب سحب السلك إليه ثم يشد السلك من الطرف الآخر ويلف على بكرة بعد خروجه من الأسطمبة بالقطر الجديد وتتم هذه العملية على عدة مراحل أي يدخل السلك من أسطمبة بقطر معين ويدخل في أسطمبة أخرى بقطر أصغر وهكذا تتوالى عملية السحب حتى نصل إلى القطر النهائي المطلوب وتتم بين المراحل عملية تطرية للسلك بتسخينه للتخلص من الإجهادات حتى لا ينكسر السلك بسبب تصلده بالتشكيل بالشد على البارد



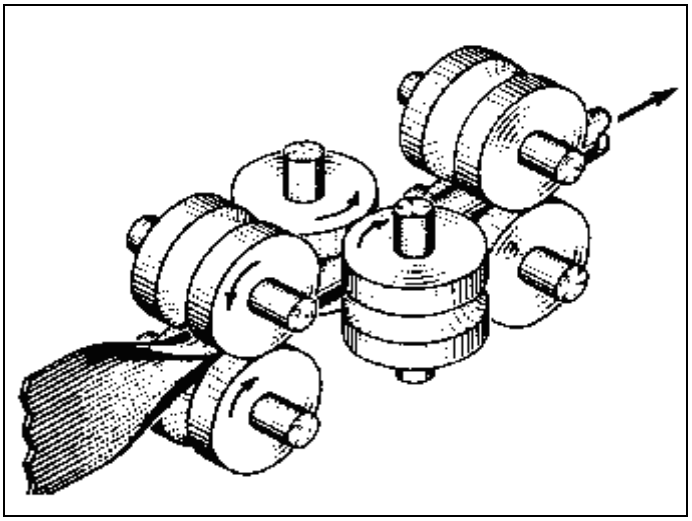

شكل (٣- ٢٦) سحب الأسلاك.

## عمليات الثني Bending:

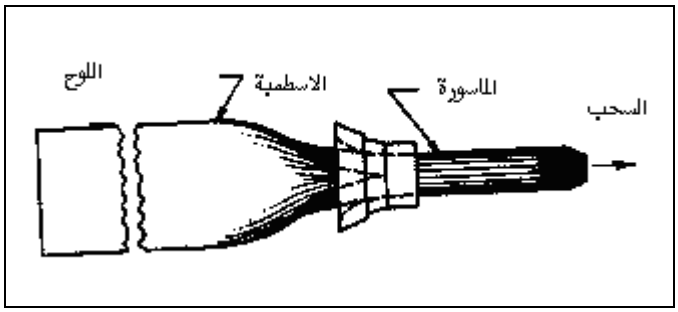
تجري هذه العمليات على الألواح لتشكيلها بالثني بالضغط عليها بأسطمبات مختلفة أو بلف الألواح لتشكيل أسطوانات أو مواسير. وتبدأ العملية الأخيرة بلف الألواح بين درافيل أو بمرورها بين مجموعة درافيل أخرى تقوم بلف الألواح بينها لاستكمال استدارتها تماماً أو قد تتم هذه العملية كلها بالسحب داخل أسطمبة تجبر الألواح على الاستدارة إلى مواسير.




شكل(٣- ٢٧)لف المواسير بين الدرافيل



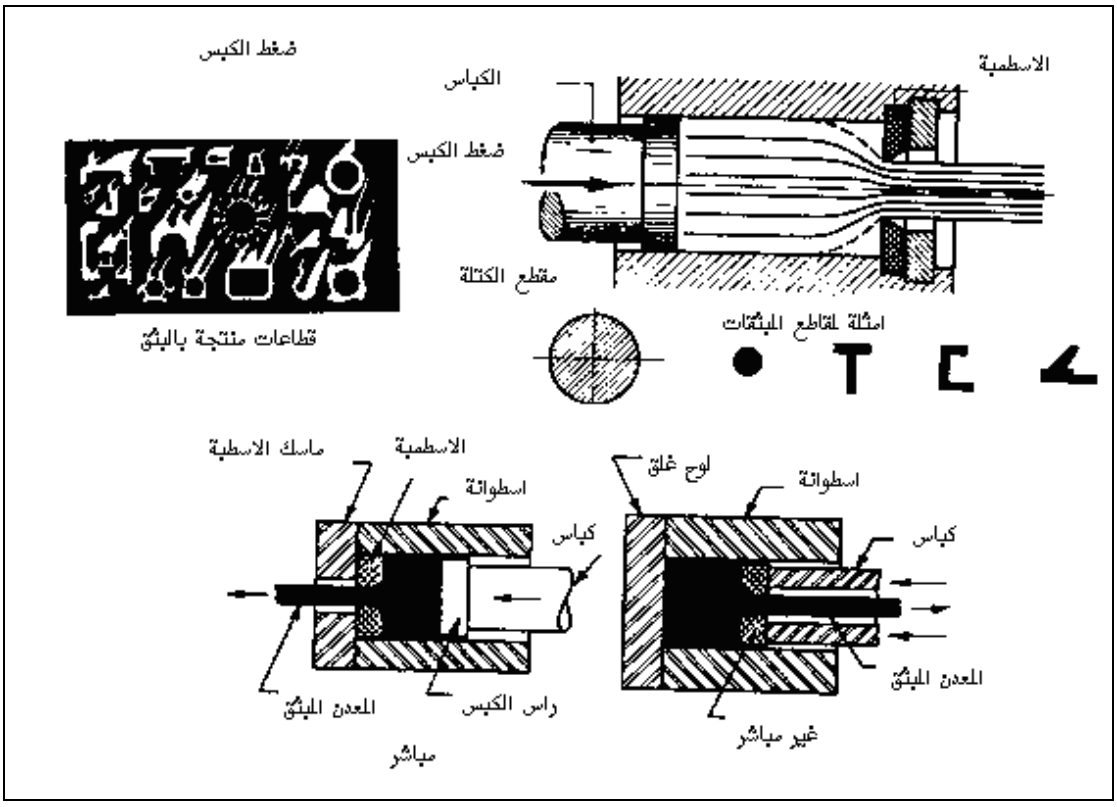
شكل(٣- ٢٨)لف المواسير بالدرافيل




شكل(٣- ٣٠)لف المواسير بالسحب.

### ٥. التشكيل بالبثق Extrusion:

يمكن تشكيل المعدن إلى قضبان بقطاعات مختلفة يمكن التحكم فيها وذلك بكبس المعدن المطلوب داخل أسطوانة بواسطة مكبس وتنتهي الأسطوانة بقالب به فتحة بشكل القطاع المطلوب حيث يسمح للمعدن بالخروج بشكل الفتحة كما يخرج معجون الأسنان من أنبوبته . يمكن أن تتم هذه العملية على البارد للمعادن اللدنة مثل الألمونيوم في درجة حرارة الجو بينما تتم على الساخن في المعادن الأخرى التي يصعب بثقها على البارد بتسخينها إلى درجة حرارة التعجن. وفي بعض الأحيان يمكن تشكيل أنابيب بهذه الطريقة بإدخال شاقة تبرز من محور الكبس وتدخل في فتحة نهاية أسطوانة المكبس ويمكن كذلك حشو هذه الأنابيب بمواد معينة كما هو الحال في أسلاك اللحام بالقصدير المحشوة بالصهيرة فتكبس مواد الحشو من خلال الشاقة أثناء عملية البثق.




شكل(٣- ٣١)عملية البثق في قطاعات مختلفة.

# أسس تقنيات هندسية

## عمليات تشكيل المعادن

## الوحدة الرابعة : عمليات تشكيل المعادن .

**اسم الوحدة:** عمليات تشكيل المعادن.

**الجدارة:** التعرف على بعض عمليات التشكيل التي تجرى على المعادن ولا سيما عملية البرادة والخراطة والتفريز.

**الأهداف:**

١. التعرف على الأنواع المختلفة للمبارد وتصنيفاتها حسب الشكل ونوع القطع والتفريق بينها.
٢. التعرف على عمليات الخراطة وأقسامها والأجزاء التي تتكون منها المخرطة وعمل كل جزء فيها وكيفية أدائها لعملها من خلال بعض الرسومات التوضيحية لها.
٣. التعرف على عمليات التفريز المختلفة وعلى ماكينة التفريز وكيفية أدائها لعملها من خلال بعض الرسومات التوضيحية المرفقة.

**مستوى الأداء المطلوب:** أن يصل الطالب إلى إتقان الجدارة بنسبة ٩٥٪.

**الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة:** ٣ساعات.

**الوسائل المساعدة:** لا يحتاج الطالب إلى أية وسيلة مساعدة

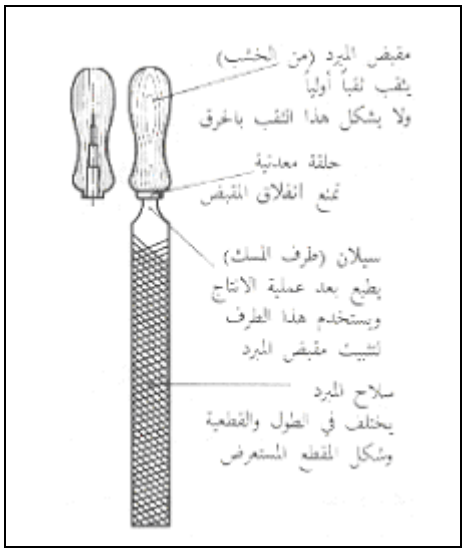
**متطلبات الجدارة:** أن يقوم الطالب بفهم كيفية إجراء عملات التشكيل المختلفة على المعادن والتفريق بين كل نوع من هذه الأنواع مع معرفة آلية تشغيل وتنفيذ كل عملية من عملياتها..

## المقدمة

تتضمن عمليات تشكيل المعادن البرادة والخراطة والتفريز وهي عمليات نقوم بإجرائها على المعدن لتحسين مظهره الخارجي وملمسه ليتوافق مع الغرض المطلوب.

**المبارد** :

هي عدة قطع مسننة. وتصنع المبارد من قطعة مناسبة من الفولاذ الخام بتشكيلها بالطرق ثم يتم في النهاية تجليخها وتسويتها وبعد تشكيل أو تفريز حدود القطع السفلى والعليا تصلد المبارد.

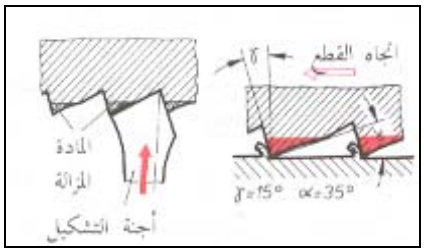



شكل(٤- ١) الأجزاء الرئيسية لمبرد.

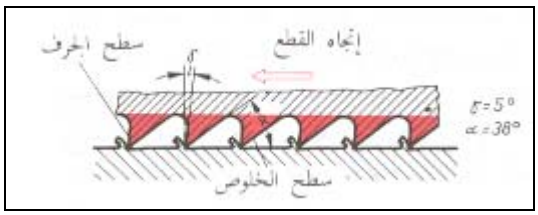
## الفرق بين المبارد المشكّلة بالطرق والمفرزة:

يمكن عند فحص أسنان المبرد خلال عدسة مكبرة ملاحظة أن الأسنان المشكّلة بالطرق لها زاوية جرف سالبة مما يعني أن المبرد المشكّل بالطرق يعمل بطريقة كاشطة وذلك بعكس المبرد المفرز الذي تكون لأسنانه زاوية جرف موجبة ويعمل بالقطع.

وتساعد فراغات الأسنان الأكثر كبراً والمستديرة الشكل الموجودة في المبارد المفرزة على التخلص من البرادة، ومن ثم يفضل تشغيل المواد غزيرة البرادة مثل المعادن الخفيفة والنحاس واللدائن بالمبارد المفرزة.




شكل(٤- ٢)فراغات السن للمبرد المفرز.

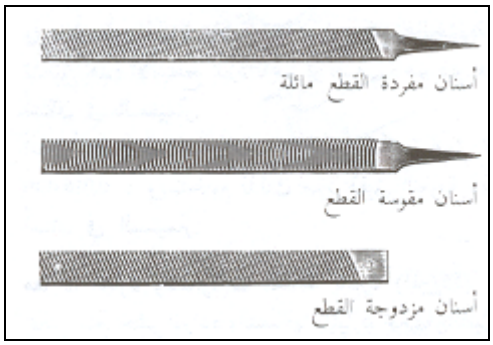



شكل(٤- ٣)

## تصنيف المبارد حسب نوع القطع للأسنان:

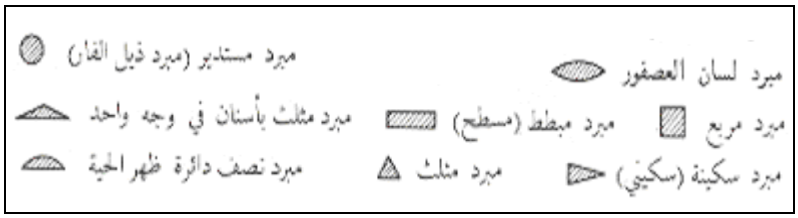
| | |
|---|---|
| مبارد ذات أسنان مفردة القطع عدلة | تستعمل للمعادن الطرية مثل الرصاص والقصدير |
| مبارد ذات أسنان مفردة القطع مائلة | تستعمل للنحاس والزنك. تخرج البرادة من الجانب |
| مبارد ذات أسنان مزدوجة القطع | تستعمل للفولاذ والمواد المسبوكة ( المصبوبة ) |
| مبارد ذات أسنان مقوسة القطع | تستعمل للمواد الطرية. تخرج البرادة من الجانبين |
| مبارد ذات أسنان محببة القطع | تستعمل للخشب والجلد واللدائن. تمزق ألياف المادة |

جدول(٤- ١).




شكل(٤- ٤) أشكال أسنان مختلفة.

**تصنيف المبارد تبعاً لشكل مقطعها المستعرض:**




شكل(٤- ٥) مقاطع مختلفة للمبارد.

## التشكيل بواسطة ماكينات التشكيل:

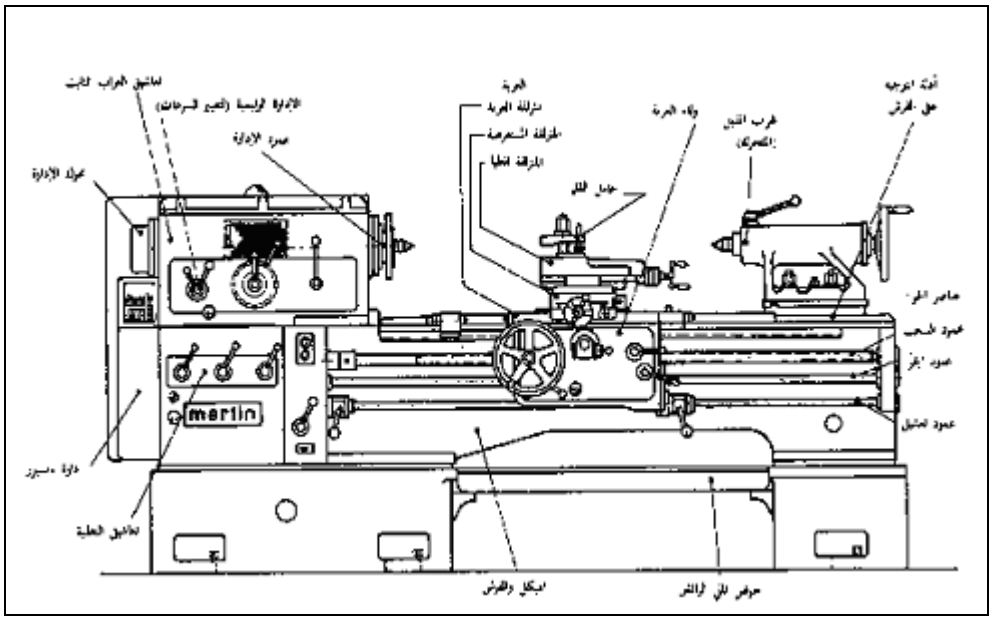
### الخراطة

تعتبر المخرطة أهم ماكينات التشكيل. وهي ماكينة تشكيل متعددة الأغراض. **وتتكون المخرطة من الأجزاء التالية:**

١. **الهيكل والفرش**: ويقومان بحمل كل المجموعات الثابتة والمتحركة وهي الغراب الثابت والعربة والغراب المتحرك وأجزاء الجر وغيرها.
٢. **الغراب الثابت**: يحتوي على عمود الإدارة ومجوعة الإدارة الرئيسية.
٣. **تعاشيق الإدارة الرئيسية ( صندوق تغيير السرعات )**: تقوم بنقل الحركة إلى عمود الإدارة وإدارة عمود الإدارة بعدد من سرعات الدوران.
٤. **عمود الإدارة**: يقوم بنقل الحركة الرئيسية إلى قطعة الشغل.
٥. **عمود التعشيق( التحكم )**: وهو مخصص للإدارة والإيقاف وكذلك لإدارة عمود الإدارة يميناً أو يساراً.
٦. **تعاشيق التغذية**: تقوم بنقل الحركة الرئيسية إلى عناصر الجر ( عمود السحب "المرشد" وعمود الجر ).
٧. **منزلقات أداة القطع**: تقوم بتثبيت وتحريك أداة القطع.
٨. **الوقاء**: يحتوي على تعاشيق تحريك الوقاء، حيث يجري تحويل الحركة الدورانية لأجزاء الجر إلى حركة طولية لمنزلقة أداة القطع( الراسمة )وحركة عرضية للمنزلقة العرضية.
٩. **منزلقة الفرش**: تحمل أجزاء تركيب العربة ويتم تحريكها طولياً إما يدوياً أو آلياً.
١٠. **المنزلقة المستعرضة**: تتم الحركة المستعرضة لأداة القطع إما يدوياً أو آلياً.
١١. **المنزلقة العليا**: تحمل أداة القطع(القلم) وتتحرك طولياً أو في اتجاه مائل وذلك بواسطة اليد.

١٢.**مربط أداة القطع**:كي يقوم بتثبيت أداة القطع بالربط.

١٣.**غراب الذيل**: يستعمل كمرتكز لطرف الشغلة كما يستخدم كمثبت لبعض أدوات القطع مثل المثاقب وأدوات قطع اللوالب.




شكل(٤- ٦) المخرطة ومكوناتها.

## تنقسم عمليات الخراطة أساساً إلى:

- **خراطة التخشين**:حيث يتم القطع بغرض إزالة أكبر قدر ممكن من المعدن دون اعتبار لدقة المقاسات
- **خراطة التنعيم**:وهي القطع بغرض تحقيق دقة مطلوبة لمقاسات وشكل قطعة الشغل

## هناك أعمال عديدة للمخرطة منها:

١. **الخراطة الطولية**: وفيها تتحرك أداة القطع في اتجاه مواز لمحور قطعة الشغل فتنتج بذلك مشغولات أسطوانية.

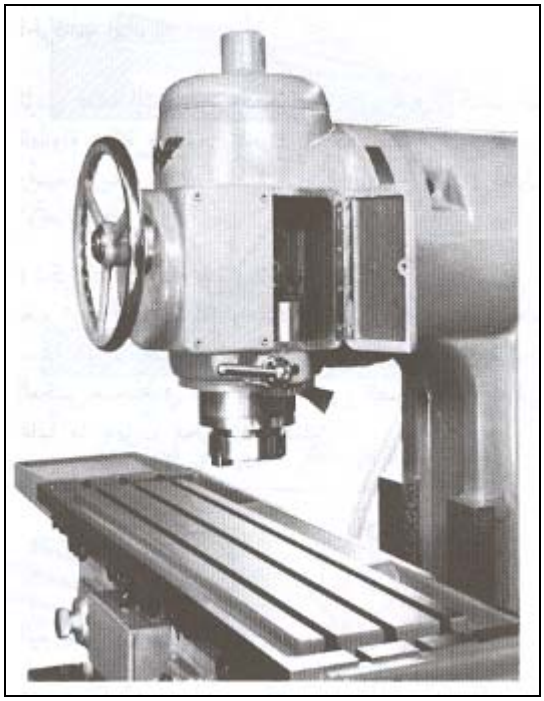
٢. **الخراطة الواجهية** (المستعرضة) وفيها تتحرك أداة القطع في اتجاه مستعرض على محور قطع الشغل أي في الاتجاه القطري.

## ماكينات التفريز:

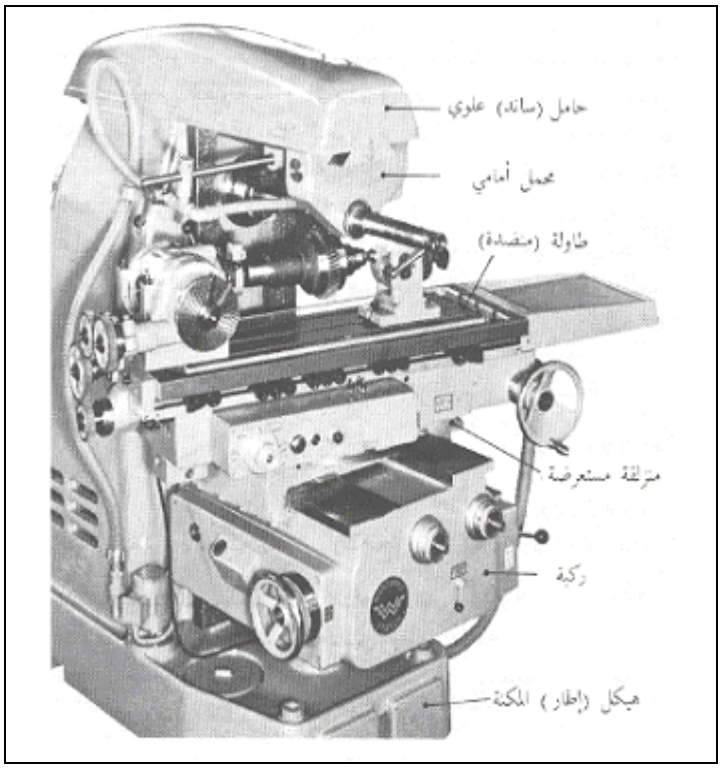
تستخدم هذه الماكينات للإنتاج المفرد للمشغولات الصغيرة ويؤدي مقطع التفريز حركة القطع الرئيسية بينما تقوم قطعة الشغل بجميع الحركات الثانوية.

**تتكون ماكينة التفريز من الأجزاء التالية :**

١. **الهيكل**: وهو يحمل جميع أجزاء الماكينة مثل الركبة مع المنزلقة المستعرضة والطاولة والمحرك الرئيس وتعاشيق الإدارة الرئيسية وعمود التفريز والحامل العلوي مع المحمل الأمامي.
٢. **الركبة**: ويمكن تحريكها رأسياً على الهيكل وهي تحمل المنزلقة المستعرضة
٣. **المنزلقة المستعرضة**: وتقع بين الركبة والطاولة وتسمح بتحريك الطاولة في الاتجاه العرضي.
٤. **الطاولة**: وتجهز بمجار طولية لتثبيت المشغولات وهي تؤدي حركة التغذية الطولية.



شكل(٤- ٧) ماكينة التفريز.




شكل(٤- ٨) أجزاء ماكينة التفريز.

# أسس تقنيات هندسية

## عمليات نقل القدرة

## الوحدة الخامسة : عمليات نقل القدرة .

**اسم الوحدة:** عمليات نقل القدرة.

**الجدارة:** التعرف على الطرق المختلفة لنقل القدرة.

**الأهداف:**

١. أن يكون الطالب قادراً على التعرف على القابضات وأنواعها وأهميتها في نقل القدرة .
٢. أن يكون الطالب قادراً على التعرف على الأنواع المختلفة للتروس والسيور الناقلة للحركة.
٣. أن يكون الطالب قادراً على التعرف على الأنواع المختلفة لقوى الاحتكاك والقوى الناشئة في أوساط التزليق.
٤. أن يكون الطالب قادراً على التعرف على أنواع المحامل المختلفة وموادها وطرق صيانتها.

**مستوى الأداء المطلوب:** أن يصل الطالب إلى إتقان الجدارة بنسبة ٩٥٪.

**الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة:** ٣ساعات.

**الوسائل المساعدة:** لا يحتاج الطالب إلى أية وسيلة مساعدة

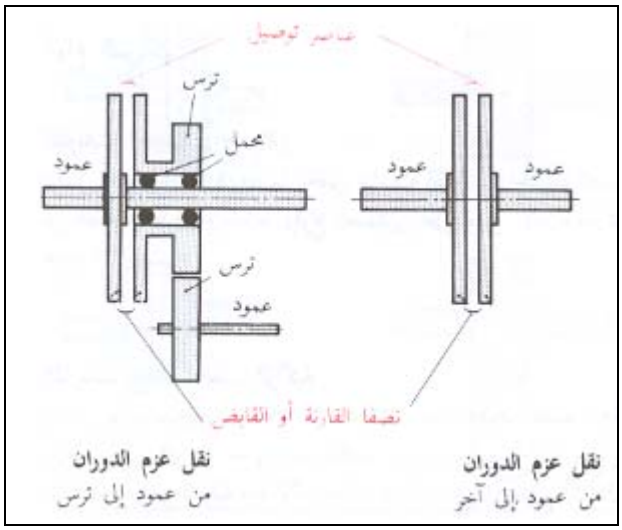
**متطلبات الجدارة:** أن يتعرف المتدرب على الأنواع المختلفة لطرق نقل القدرة والتمييز بين كل منها وفهم أهميتها وأشكالها .

## المقدمة:

هناك العديد من الطرق التي تستخدم في نقل القدرة وذلك تبعاً لأهمية ونوع العملية المطلوبة ومن أهم هذه الطرق:

١. **القابضات** Clutches:

تستخدم القابضات لنقل عزم الدوران بين الأعمدة أو نقله من عمود إلى ترس أو بكرة. وهي تتكوّن أساساً من نصفين وتكون غالباً من قرصين أو أكثر ووسيلة توصيل بينهما. ويمكن أن تكون هذه الوصلة موجبة وذلك باستخدام المسامير أو الخوابير أو الأسنان أو ما شابه ذلك أو أن تكون وصلة احتكاكية عن طريق أسطح احتكاكية تحت تأثير قوة عمودية.



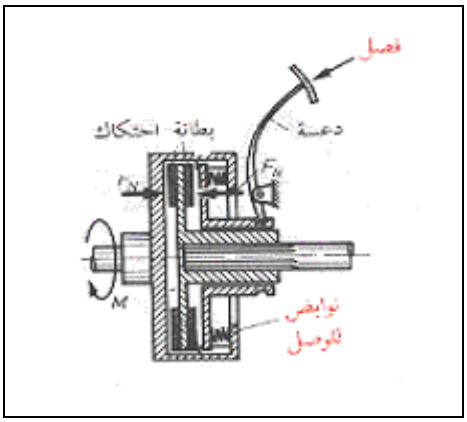

شكل(٥- ١)طرق نقل عزم الدوران.

تستخدم القابضات كوصلات فصل ووصل كما في المخارط مثلاً ويكثر استخدام القابضات لفصل ووصل التروس والأعمدة في صناديق التروس متعددة السرعات وبالإضافة إلى ذلك فإنه يمكن استخدام هذه القابضات لتغيير سرعة مجموعة الإدارة من سرعة إلى أخرى.

### أنواع القابضات:

- **القابض المخروطي:**

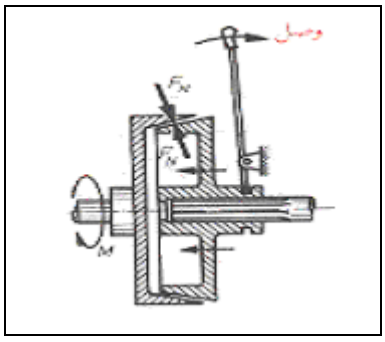
وفية تنتج القوة الاحتكاكية عن سطح الارتكاز المخروطي وينزلق القابض عند تلف واستهلاك الأسطح الاحتكاكية ولا يستخدم هذا القابض إلا للأغراض ذات الأهمية الثانوية وذلك بسبب قلة الأمان عند تشغيله وكبر مقاساته.




شكل(٥- ٢) قابض مخروطي.

- **القابض مفرد القرص:**

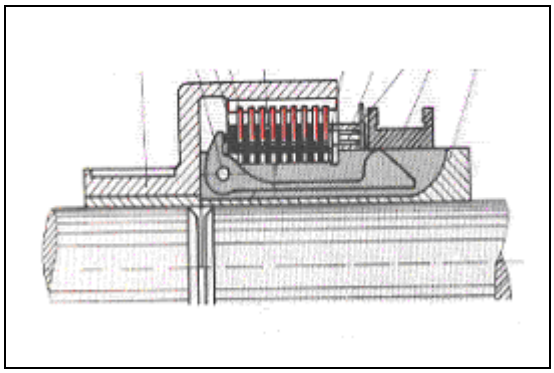
تبطن الأسطح الاحتكاكية ببطانة من نسيج القطن أو الأسبستوس أو من اللدائن وتنتج قوة الضغط من النوابض التي تجعل القابض موصل باستمرار وتؤدي قوة الدعسة المسلطة ضد قوة النوابض إلى فصل القابض ( قابض السيارة مثلا).




شكل(٥- ٣) قابض مفرد القرص.

- **القابض الميكانيكي متعدد الأقراص:**

وفيه يتصل نصف عدد الأقراص الحلقية الفولاذية بالأسنان الداخلية المشكّلة في الجزء الخارجي من القابض أما الأقراص الأخرى فتكون مموجة قليلاً ومتصلة بواسطة أسنانها الداخلية بالجزء الداخلي من القابض وتكون جميع الأقراص قابلة للإزاحة بالتحريك في الاتجاه المحوري.



شكل(٥- ٤)قابض متعدد الأقراص.

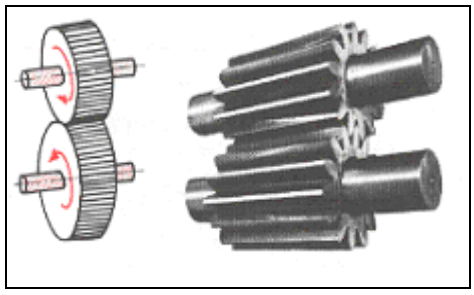
**٢. التروس:**

تنقل التروس عزم الدوران بين عمودين على بعد مركزي صغير بطريقة مباشرة وموجبة وتستخدم التروس لتغيير نسب نقل الحركة ولعكس اتجاه الدوران. ينبغي عند نقل القدرة أن تتدحرج الأسنان على بعضها وألا تنزلق إلا بالحد الأدنى وذلك لكي يقل كل من البلى ومفقودات الاحتكاك والضجيج الصادر عنها.

**أنواع التروس:**

١ **.التروس الأسطوانية العدلة:**

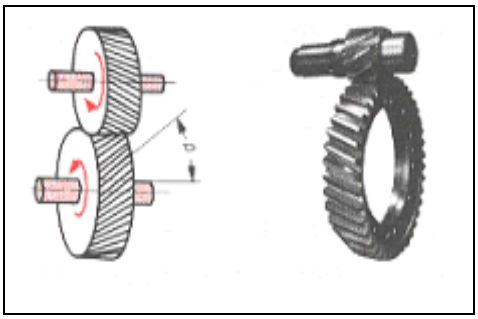
وتكون أسنانها موازية لمحور العمود ويمكن إنتاجها بسهولة ولما كان التعشيق بين التروس لا يتم سوى بزوج واحد من الأسنان فإنها تصدر ضجيجاً عالياً.



شكل(٥- ٥) تروس أسطوانية.

٢ **.التروس الأسطوانية ذات الأسنان المائلة:**

تميل أسنان هذه التروس بزاوية من ٨° إلى ٢٠° على محور العمود. وتحمّل الأسنان المائلة تدريجياً عند دخولها التعشيق كما يزال عنها التحميل تدريجياً عند خروجها منه وتشترك دائماً عدة أسنان في التعشيق في آن واحد.ومن ثم تعمل هذه التروس بهدوء دون إصدار ضوضاء شديدة. ويمكن تحميل التروس المائلة تحميلاً عالياً كما يمكنها الدوران بسرعات محيطية عالية تصل إلى ١٢٠٠ متر في الثانية.



شكل(٥- ٦)تروس أسطوانية ذات أسنان مائلة.

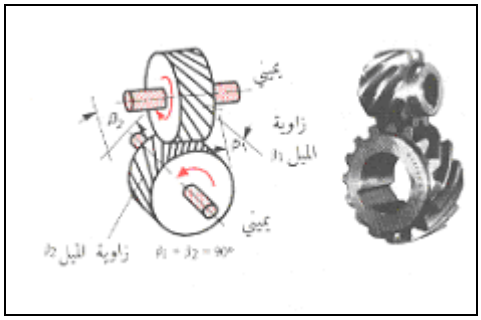
### ٣- تروس مزدوجة الميل:

ويمكن تشبيهها بترسين بسيطين مائلين متجاورين تكون لهما نفس زاوية الميل ولكن في اتجاهين متضادين وبهذا التصميم يتم معادلة الدفع المحوري.

شكل(٥- ٧) ترس مزدوج الميل.

- **تعاشيق ( مجموعات ) التروس الحلزوني:**

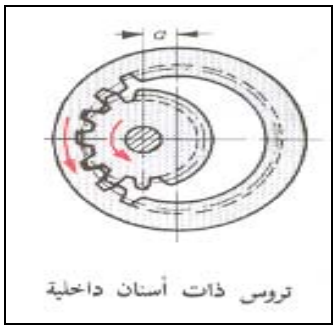
تتكون هذه المجموعات من تروس حلزونية محاورها غير متوازية( أي متقاطعة ). وتمارس جوانب الأسنان حركة انزلاقية على بعضها إلى جانب حركتها التدحرجية، حيث إنها تتلولب في بعضها البعض أثناء الدوران. ولا يمكن في مجموعات التروس الحلزونية سوى نقل القدرات الصغيرة جداً عند سرعات الدوران العالية.




شكل(٥- ٨) تروس حلزونية.

- **تعاشيق ( مجموعات ) التروس ذات الأسنان الداخلية:**

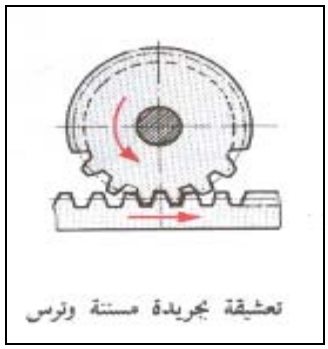
ويكون التباعد المركزي بهذه المجموعات صغيراً. ولذلك فإنها تستخدم في حالة ضيق المكان وتدور تروس هذه التعاشيق في نفس الاتجاه.




شكل(٥- ٩) تروس ذات أسنان داخلية.

- **تعشيقة الجريدة المسننة والترس:**

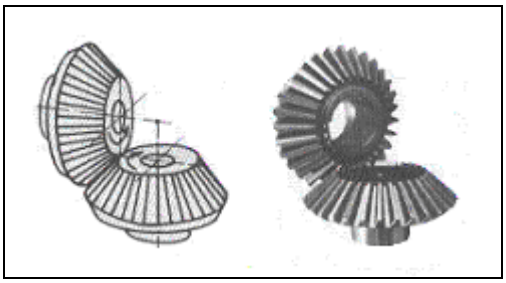
يمكن بالجريدة المسننة والترس تحويل الحركات الدورانية إلى حركات خطية ترددية وكذلك العكس.




شكل(٥- ١٠) تعشيقة وترس.

- **تعاشيق ( مجموعات ) التروس المخروطية:**

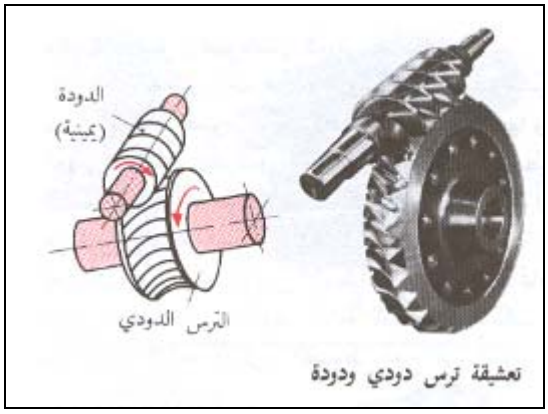
تستخدم تعاشيق التروس المخروطية لنقل القدرة بين الأعمدة المتقاطعة وغالباً ما تكون زاوية التقاطع ٩٠° غير أنه يمكن لها أن تكون أقل من ذلك. وتتضاءل أسنان التروس المخروطة العدلة في اتجاه قمة السطح المخروطي التخيلي ويتطلب تركيبها دقة عالية وذلك حتى لا تنحشر الأسنان في بعضها .



شكل(٥- ١١) تعاشيق تروس مخروطية بأسنان مستقيمة.

- **تعاشيق ( مجموعات ) التروس الدودية:**

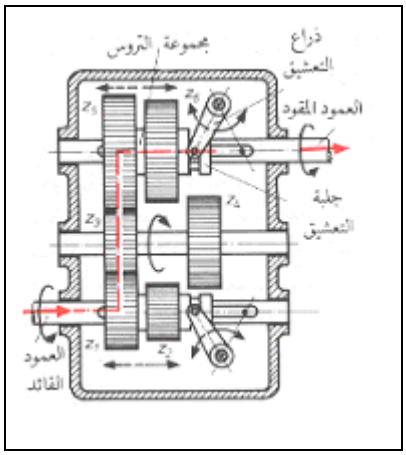
تتصالب المحاور في تعاشيق التروس الدودية بزاوية قدرها ٩٠° وتسمح هذه التعاشيق بنسب نقل حركة كبيرة. تشكل الدودة الجزء القائد. وتصلح تعشيقة التروس الدودية لنسب التخفيض الكبيرة حتى1:60 وتدور تعاشيق التروس الدودية بهدوء ويمكنها نقل قدرات عالية.




شكل(٥- ١٢) تعشيقة تروس دودية.

- **تعاشيق ( مجوعات ) تروس تغيير السرعة:**

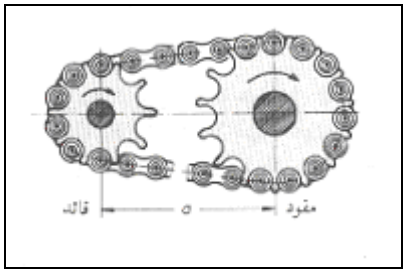
يمكن تغيير نسب نقل الحركة بتعاشيق تروس تغيير السرعة بأسلوب تدريجي للحصول على السرعات المتعددة اللازمة للأداء الوظيفي للماكينات وذلك من محرك إدارة ذي سرعة دورانية ثابتة (محرك كهربائي أو محرك احتراق داخلي ).




شكل(٥- ١٣) تعاشيق تروس تغيير السرعة.

- **التعاشيق بالسلاسل:**

تنقل التعاشيق بالسلاسل عزم الدوران نقلاً موجباً وبالتالي نقلاً عديم الانزلاق بين عمودين يقعان على تباعد مركزي كبير لا يمكن بلوغه بالتروس وتتعشق أوصال السلسلة مع أسنان ترس السلسلة. وتستخدم تعاشيق السلاسل عندما لا تصلح الإدارة بالتروس بسبب أوضاع الأعمدة.




شكل(٥- ١٤) تعشيقة سلسلة.

- **مجموعات الإدارة بسيور:**

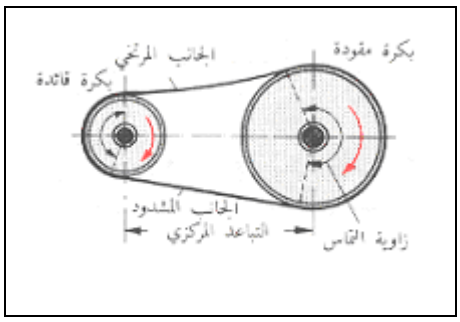
تنقل مجموعات الإدارة بالسيور عزم الدوران بين عمودين بطريقة احتكاكية مع إمكان تحقيق نسبة تخفيض أو رفع للسرعة. وينشأ الضغط اللازم لتوفير الاحتكاك المطلوب عن طريق شد السير شداً مسبقاً أثناء تركيبه.

لا تنتقل القدرة بطريقة موجبة في مجموعة الإدارة بالسيور لأن السير المتحرك ينزلق قليلاً على البكرة وتكون السرعة المحيطية ( الخطية ) للبكرة المقودة أقل بمقدار ضئيل من سرعة البكرة القائدة ( عند تساوي قطري البكرتين ) إذ إنه يحدث انزلاق يبلغ نحو2%. ويتوقف مقدار الانزلاق على كل من مدى التحميل والسرعة المحيطية ومواد السيور والبكرات ومساحة الاحتكاك ، وتتحدد هذه المساحة بعرض السير وزاوية تماسه مع البكرة، وتعتمد زاوية التماس على الفرق بين قطري البكرتين وعلى التباعد المركزي بينهما. وبسبب الانزلاق فإن الإدارة بالسيور لا تصلح للآليات التي يجب أن تكون

السرعة المحيطية فيها ثابتة ( آليات التوقيت ) ولا في الحالات التي لا يجوز فيها خروج السير عن البكرات لدواعي الأمان.

- **الإدارة بالسيور العدلة:**

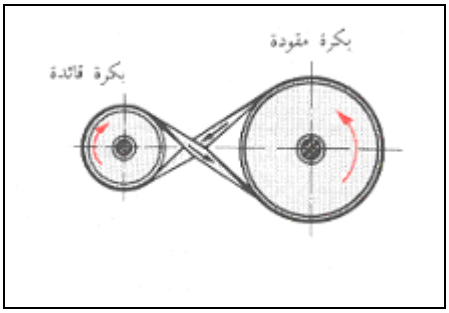
من أجل تحقيق زاوية تماس كبيرة وكافية عند البكرة الصغرى ( الطنبور )، فإن الجانب المرتخي من السير يجب أن يوجد في الجهة العليا ويكون اتجاه الدوران في كل من البكرتين القائدة والمقودة موحداً في حالة السيور العدلة.




شكل(٥- ١٥) سيور عدلة.

- **الإدارة بالسيور المتصالبة ( المقص):**

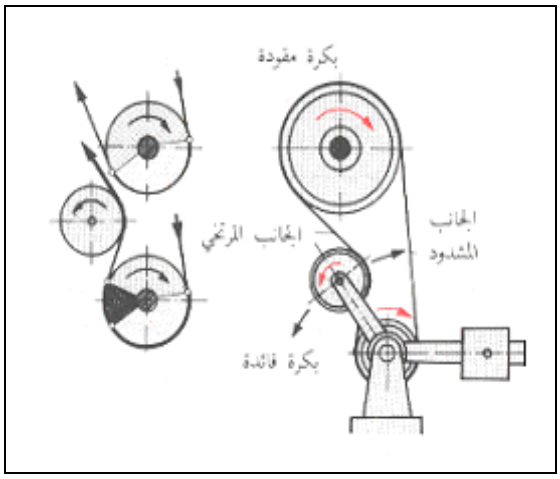
يتحقق في هذه الحالة الحصول على زوايا تماس أكبر، إلا أن السير الملتوي يبلى بمعدل أسرع، وفي هذه الحالة تدور البكرتان في اتجاهين متضادين.



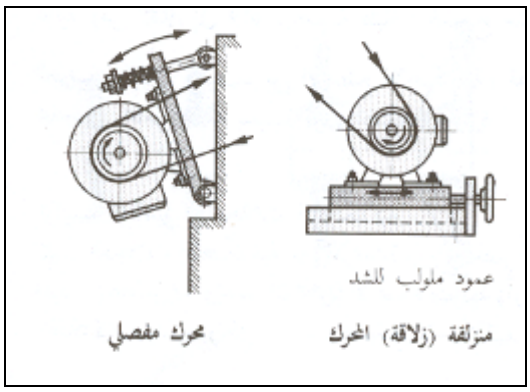

شكل(٥- ١٦) إدارة سير متصالب.

- **الإدارة بالسير مع بكرة شد:**

إذا تجاوزت نسبة نقل الحركة المقدار1:6 فإنه يمكن زيادة زاوية التماس على البكرة الصغرى عند نفس القطر ونفس التباعد المركزي باستخدام بكرة شد توضع على الجانب المرتخي من السير بالقرب من البكرة الصغرى بقصد شد السير وتدفع بكرة الشد هذه بقوة نابض أو بثقل ويمكن أيضاً شد السير بإزاحة محرك الإدارة على زلاقة أو بتركيبه على محرك مفصلي.




شكل(٥- ١٧) إدارة سير مع بكرة شد.




شكل(٥- ١٨) زلاقة محرك ومحرك مفصلي.

## مواد السيور المسطحة:

١ **السيور الجلدية:**

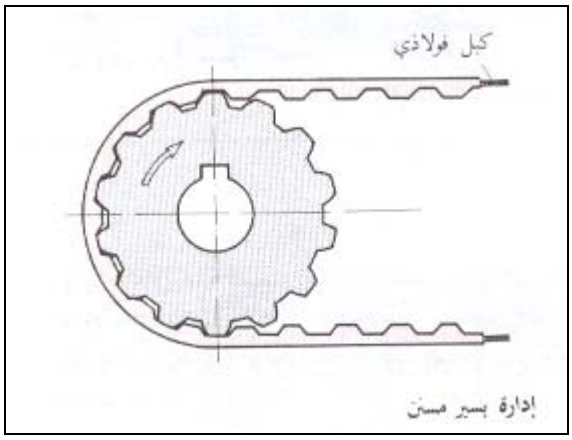
تقطع من جلد ظهر الثيران وتوصل الأشرطة الجلدية تبعاً لطول السير بلصقها بالغراء أو بحياكتها معاً للحصول على سير طويل. وتتحمل السيور الجلدية الأحمال العالية كما أنها مرنة إلى حد كبير.

٢ **السيور المصنوعة من الألياف أو اللدائن:**

وتصنع كقطعة واحدة متصلة وتصلح هذه السيور لنقل الحركة دون اهتزازات إلى البكرات ذات الأقطار الصغيرة ويستخدم القطن ووبر الجمل والفسكوز والنايلون لصناعة هذه السيور.

- **الإدارة بالسيور المسننة:**

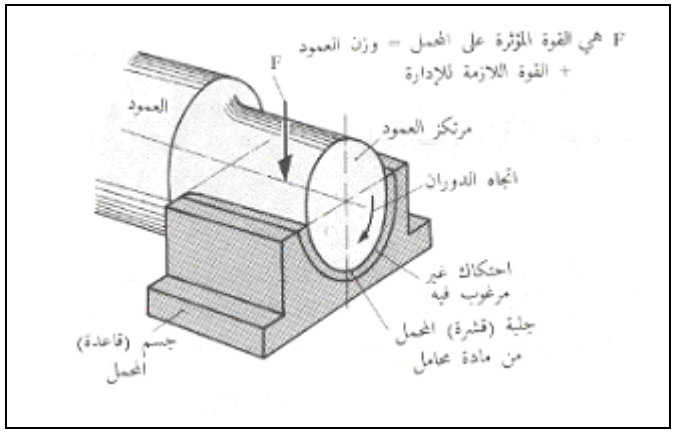
تضمن السيور المسننة مع التروس الملائمة نقل القدرة دون انزلاق، وتتكوّن السيور المسننة من كاوتشوك عالي الجودة مدعّم من داخله بكبلات مصنوعة من الفولاذ مرتبطة به بقوة.




شكل(٥- ١٩)سير مسنن.

## المحامل الانزلاقية Bearings:

تستخدم المحامل لتوجيه الأعمدة والمحاور الدوارة ولتقليل قوي التحميل. وتنزلق مرتكزات العمدة على أسطح المحامل تحت تأثير قوة التحميل ويكون الاحتكاك الناشئ عن ذلك غير مرغوب فيه ويجب خفضه إلى أدنى حد ممكن بإجراءات مناسبة ( التزليق ).



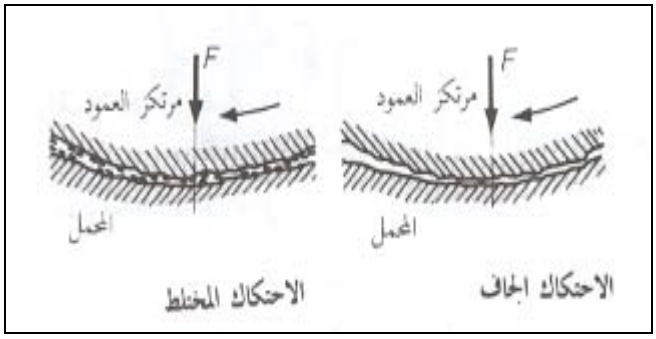

شكل(٥- ٢٠)محمل انزلاقي.

## الاحتكاك الجاف:

رغم تجليخ السطح الانزلاقي لمرتكز العمود وخراطة المحمل خراطة دقيقة تكون للسطحين خشونة معينة. فإذا ما انزلقت هذه الأسطح على بعضها بدون وسيط تزليق، نشأ احتكاك كبير مصحوب بسخونة شديدة مما يؤدي إلى تآكل السطح. ولا يجوز مطلقاً وجود حالة الاحتكاك الجاف هذه في المحمل.

## الاحتكاك المختلط:

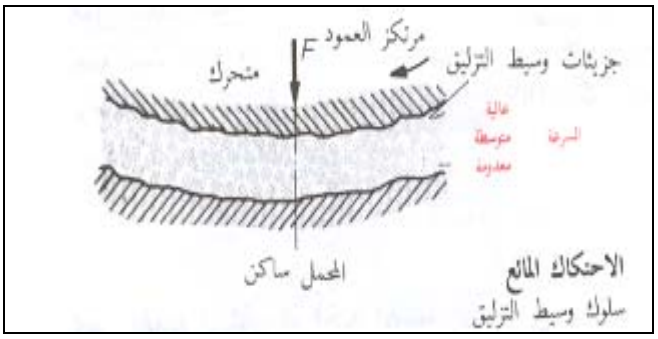
وفيه تكون الأسطح الانزلاقية مبللة بوسيط تزليق بينما لا تزال قمم السطح متلامسة.وتكون النتيجة انخفاض الاحتكاك والتآكل، غير أن هذه الحالة ليست صالحة ولا جائزة أيضاً للتشغيل المستمر وينشأ الاحتكاك المختلط أساساً عند بدء دوران مرتكز العمود ومن ثم يكون تآكل المحامل التي يتكرر توقفها ثم بدء دورانها من السكون أكبر من تآكل المحامل دائمة الدوران.




شكل(٥- ٢١) احتكاك جاف ومختلط.

## الاحتكاك المائع:

إذا ما وجدت كمية وفيرة من وسيط التزليق بين الأسطح الانزلاقية بحيث لا تتلامس هذه الأسطح، فإن الاحتكاك يحدث داخل وسط التزليق ذاته، وتلتصق الطبقة السفلى من جزيئات وسيط التزليق بسطح المحمل ولا تتحرك، كما تلتصق الطبقة العليا بسطح موضع ارتكاز العمود وتتحرك معه، أما جميع الطبقات الوسيطة فإنها تتحرك بسرعات متفاوتة.




شكل(٥- ٢٢) احتكاك مائع.

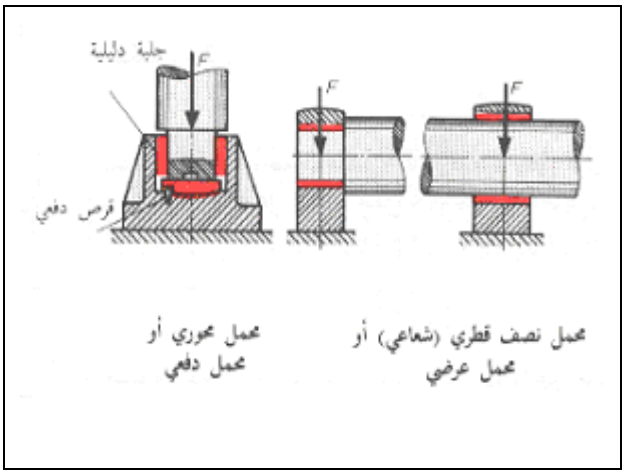
## القوى الناشئة في وسيط التزليق:

نظراً لأن سطحي مرتكز العمود والمحمل يجب ألا يتلامسان، وجب على وسيط التزليق نقل قوة التحميل الكاملة من مرتكز العمود إلى المحمل، ويكون وسيط التزليق بذلك واقعاً تحت ضغط، ويجب أن يكون لزجاً بقدر يكفي لمنع هروبه إلى خارج المحمل من الجانبين. ويستنتج من ذلك أن لزوجة وسيط التزليق يجب أن تلائم قوة التحميل والسرعة المحيطية ودرجة الحرارة بالمحمل، وتسري القاعدة العامة التالية:

تناسب وسائط التزليق عالية اللزوجة القوى الكبيرة والسرعات المنخفضة ودرجات الحرارة العالية، كما تصلح وسائط التزليق منخفضة اللزوجة للقوى الصغيرة والسرعات العالية ودرجات الحرارة المنخفضة.

## أنواع المحامل:

تنقسم المحامل إلى محامل نصف قطرية ومحامل محورية تبعاً لاتجاه قوة التحميل. وتحمل المحامل نصف القطرية الأعمدة أو المحاور الأفقية عند أطرافها أو في منتصفها، أما المحامل المحورية فتسند الأعمدة الرأسية، ويكون للمحامل المحورية جلبة دليلية وقرص دفعي يحمل القوة المحورية ويكون سطحه السفلي محدباً لكي يتواءم مع وضع مرتكز العمود.




شكل(٥- ٢٣) محمل نصف قطري ومحمل دفعي.

**مواد المحامل:**

رغم التزليق الجيد للمحامل تتلامس أسطح مرتكزات الأعمدة والمحامل لفترات قصيرة. لذلك توضع متطلبات خاصة لمواد جلب المحامل لكي يقل معدل التآكل وحتى لا " تزرجن" أسطح التحميل. تتكون مرتكزات الأعمدة من الفولاذ وتكون أسطحها عادة مصلدة ويجب أن تكون مواد المحامل مقاومة للتآكل والصدأ وصامدة للضغط. كما يجب ألا تتمدد للحرارة إلا قليلاً وأن تكون جيدة التوصيل للحرارة. وفضلاً عن ذلك يجب أن تتواءم مواد المحامل مع شكل مرتكز العمود أثناء فترة التشغيل الأولى وألا تزرجن عند انقطاع التزييت.

**صيانة المحامل:**

لا يجوز أن يعرّض المحمل لتسخين أكثر مما ينبغي ويمكن أن تكمن أسباب السخونة الشديدة فيما يلي:

١ استخدام وسيط تزليق غير مناسب.
٢ انقطاع تغذية وسيط التزليق.
٣ انحناء العمود وتولد ضغط طرفي.
٤ عدم وقوع مراكز المحامل على استقامة واحدة.
٥ صغر خلوص المحمل عما يلزم.
٦ استخدام معدن محامل غير مناسب.
٧ زيادة قوة التحميل أكثر مما ينبغي.

# المراجع

١. دار السيف للترجمة ، تقنية الإلكترونيات ، ١٩٩٣ ، الطبعة الأولى ، المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني ، الرياض.

٢. أدمنستر ، أ. نظريات ومسائل في الدوائر الكهربائية ، الطبعة الرابعة ، ١٩٩٥ ، ترجمة محمود أحمد أبوزيد ، الدار الدولية للنشر والتوزيع ، القاهرة.

٣. دار السيف للترجمة ،أساسيات الكهرباء ١٩٩٤ الطبعة الأولى، ، المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني.

٤. وزارة المعارف، تكنولوجيا الكهرباء، ١٩٧٩، الطبعة الأولى.

٥. Russel, E. Smith,1978, Electricity for refrigeration, Delmar Publ. Co

# المحتويات

مقدمة . . . . . .
تمهيد . . . . . .
الوحدة الأولى : أساسيات الهندسة الكهربائية . . . . . ١
الوحدة الثانية : أساسيات الهندسة الإلكترونية . . . . . ٦٨
الوحدة الثالثة : أساسيات الهندسة الميكانيكية وتوصيل المعادن . . . . . ١٠٦
الوحدة الرابعة : عمليات تشكيل المعادن . . . . . ١٣٢
الوحدة الخامسة : عمليات نقل القدرة . . . . . ١٣٩
المراجع . . . . . ١٥٣