جمهورية العراق
وزارة التربية
المديرية العامة للتعليم المهني

العلوم الصناعية

الصناعي / صيانة المصاعد الكهربائية

الثاني

تأليف

نادر محمد علي عبد الحميد　　علي عبد الرحمن　　محمد زيدان خلف

رعد مهدي فرحان

كريم خضير علي　　خضير عباس محمد　　عقيل محسن كاظم

الطبعة الرابعة

2024 م – 1446هـ

المقدمة

يعد قطاع التعليم ركيزة أساسية لبناء مجتمع متقدم، ترتكز عليه جميع مؤسسات الدولة لمواكبة التطورات العلمية، وتحديث المعلومة المقدمة للطالب، لأجل تطوير قدراته وقابلياته التي سوف توظف مستقبلاً لخدمة وطننا العزيز، لذا دأبت مديرية التعليم المهني في وزارة التربية على تأليف وتحديث المناهج لكافة الاختصاصات، واستحداث اختصاصات جديدة منها اختصاص صيانة المصاعد الكهربائية.

نضع كتاب العلوم الصناعية للمرحلة الثانية بين أيدي طلبتنا الأعزاء، الذي يشتمل على ستة فصول تحتوي على ميكانيكية المصعد، مكائن التيار المستمر، المحولات الكهربائية، مولدات التيار المتناوب ، أنواع الترانزستور، والمتحسسات والشاشات الرقمية، والدوائر المتكاملة.

نأمل أن يكون هذا الكتاب قد أستوفى الهدف المراد تحقيقه، راجين من إخواننا المدرسين تزويدنا بملاحظاتهم لأخذها بنظر الاعتبار مستقبلاً حرصاً على إيصال المعلومة الوافية لأبنائنا الطلبة خدمة للعراق الجديد.

..... ومن الله التوفيق .

المؤلفون

الفهرس

الموضوع	الصفحات
الفصل الأول (ميكانيكية المصعد)	5- 42
الفصل الثاني (مكائن التيار المستمر)	43 - 103
الفصل الثالث (المحولات الكهربائية)	103- 137
الفصل الرابع (مولدات التيار المتناوب)	136 - 166
الفصل الخامس (ترانزستور تأثير المجال)	167- 198
الفصل السادس (الدوائر المتكاملة)	202 - 273
المصادر	240

الفرع	التخصص	المادة الدراسية	المرحلة الدراسية	عدد الحصص الأسبوعية
الصناعي	صيانة المصاعد الكهربائية	العلوم الصناعية	الثانية	4 حصة

الأهداف التعليمية :

تتحقق الأهداف التعليمية من خلال تحقيق مايأتي :

أ ـ الهدف المعرفي :

أن يكون الطالب ملماً بـ :

1 ـ الأجزاء الميكانيكية في المصعد، وعمل كل جزء وأهميته.

2 ـ مكونات ونظرية عمل محركات التيار المستمر، وكيفية السيطرة على سرعتها.

3 ـ تركيب ونظرية عمل المحول الكهربائي واستخداماته.

4 ـ تركيب وعمل الترانزستور (FET) وأهميته واستخداماته.

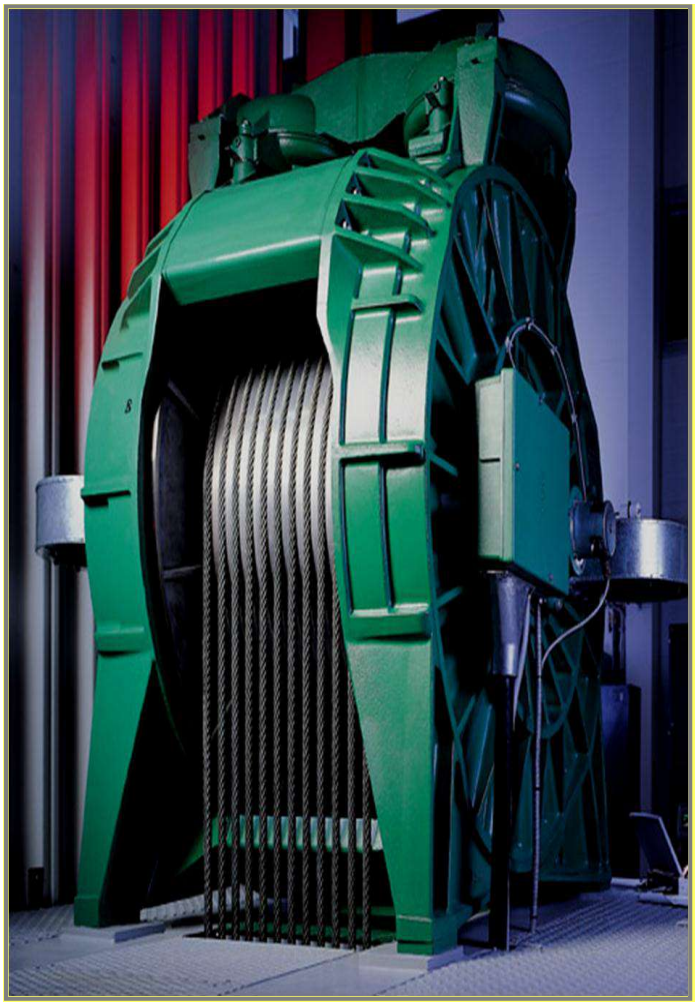
5 ـ أنواع المتحسسات والشاشات الرقمية، وعملها وأهميتها في المصعد.

6 ـ طريقة صنع الدوائر المتكاملة واستخدامها في مكبر العمليات.

ب ـ الهدف الوجداني :

1 ـ الاستمرار في التحصيل العلمي لغرض تنمية قابليات الطالب باتجاه التخصص .

2 ـ خلق رغبة لدى الطالب باتجاه التخصص الجديد.



الفصل الأول

ميكانيكية المصعد

الأهداف :

يكون الطالب قادراً بعد دراسة الفصل على أن:

1- يتعرف على أنواع ماكنات السحب في المصاعد الكهربائية وتركيب كل نوع.

2- يتعرف على أنواع محكم السرعة وتركيب وعمل كل نوع.

3- يتعرف على النظام الهيدروليكي في الرافعة الشوكية وكيفية عمله.

المحتويات

المفردات:

1-1مقدمة عن ماكنات السحب وأنواعها وتشمل:

أ- ماكنات السحب ذات صندوق التروس.

ب- ماكنات السحب بدون صندوق التروس.

2-1 مقدمة عن أنواع محكم السرعة وأنواعها وتشمل:

أ- محكم السرعة القرصي (Disc TypeGovernor).

ب- محكم السرعة ذو الكرات الطائرة (Flywheel Governor).

ج- محكم السرعة ذو الاوزان الطائرة .

3-1النظام الهيدروليكي في الرافعة الشوكية، وكيفية عمله.

المقدمة

تكون نسبة كثافة السكان عالية قرب الموارد الطبيعية ، ليسهل عليهم العيش واختصار الوقت في إنجاز الأعمال، لهذا السبب تطلب إنشاء البناء العمودي، فأنشئت البنايات متعددة الطوابق إلى أن أرتفع بعض منها ليعانق السحاب وإذ لايمكن إشغال هذه البنايات الشاهقة الارتفاع إلاَ بوسيلة تمكنهم من الوصول إلى طوابقها المتعددة بسهولة ويسر وبأقصر وقت، فقد استخدمت المصاعد الكهربائية لتحقيق هذا الغرض وكذلك فإن في المصانع والموانئ حاجة إلى استخدام المصاعد والرافعات لحمل ونقل المواد والبضائع من مكان إلى آخر حيث يتم سحب المواد إلى الأعلى بمصاعد تستعمل فيها الحبال والبكرات أو دفعها من الأسفل إلى الأعلى بمصاعد تعمل بمنظومات هيدروليكية تحتوي على أسطوانات هيدروليكية، التي تعمل على مضاعفة القوة المسلطة على زيت المنظومة وتستعمل المصاعد الهيدروليكية في الرفع لمسافات قصيرة نظراً لقصر الأسطوانات الهيدروليكية ومثل ذلك النظام الهيدروليكي المستخدم في الرافعة الشوكية.

فالمصعد جهاز يشغل آلياً لصعود وهبوط الأفراد من مستوى لآخر وهو يحوي عربة ، معلقة بحبال من الصلب يكون عددها أربعة الى ثمانية حبال، تتحرك بين قضبان دليلية وتجري المعادلة التقريبية لوزن العربة وما فيها من حمل عن طريق وزن معادل مثبت في الطرف الآخر للحبال وعليه فإن الوزن الذي يراد دفعه بوساطة محرك الدفع ليس أبداً الوزن الكلي للعربة والركاب، بل هو الفرق الصغير نسبياً بين الوزن المعادل ووزن العربة المحملة (ويتغير هذا الوزن الأخير باستمرارإلى حد ما وفقاً لعدد الركاب المحمولين في أي وقت) وتكبح حركة العربة بوساطة مغناط كهربائية تؤثر على عمود الدفع لبكرة الرفع أما حركة العربة الزاحفة قبيل وقوفها عند أي طابق، فتتم عن طريق التحول إلى سرعة أقل للمحرك وتركب داخل الفتحة التي يتحرك فيها المصعد مفاتيح كهربائية تحقق هذا التغير في السرعة أوتوماتيكياً. وهناك مفاتيح أوتوماتيكية مشابهة لفتح باب المصعد عندما يقف عند أحد طوابق المبنى وتتوقف هذه المفاتيح عن العمل حين يمر المصعد على طابق دون توقف.

تزود المصاعد بحبل أمان مثبت في عربة المصعد على شكل حلقة تلتف حول بكرات توجد أعلى وأسفل الفتحة التي يتحرك داخلها المصعد على التوالي. ففي حالة قطع حبل الرفع تسقط العربة ويسبب هذا زيادة سرعة دوران بكرات حبل الأمان، عندئذٍ يقوم جهاز تحكم (محكم السرعة) يعمل بالطرد المركزي متصل بأعلى بكرة حبل الأمان بتشغيل مفتاح كهربائي يبدأ به عمل جهاز أمان العربة ونتيجة لذلك تقوم فكوك قوية مثبتة في العربة بإمساك القضبان الدليلية وبهذا تتوقف العربة عن الهبوط والمصاعد الحديثة مزودة بالكثير من أجهزة الأمان بما في ذلك المفاتيح التي تمنع تجاوز سرعة العربة لحدود سرعة التصميم وتلك التي تنظم قفل الأبواب لمنع بدء حركة العربة حتى يتم قفل الأبواب بأمان .

وهناك نوع آخر من المصاعد يستخدم حسب الحاجة إليه يسمى بالمصعد المتكرر، هذا المصعد هو: جهاز رفع مستمر للركاب يحوي أساساً جنزيرين (سلسلتين) حلقيين تعلق بينهما عربات تصعد إلى أعلى من جهة وتهبط إلى أسفل من الجهة الأخرى ويتم دفع الجنزيرين بوساطة محرك كهربائي يركب في أعلى المبنى وتتحرك العربات بصورة مستمرة وبسرعة منخفضة بحيث يكون هناك وقتاً كافياً للدخول أو الخروج منها عند الطوابق المتعاقبة وتحل الآن السلالم المتحركة محل السلم الثابت المستعمل سابقاً في المباني الحديثة كما في الشكل (1-1) .

شكل 1 - 1 السلالم المتحركة

1 - 1 مكائن السحب في المصاعد الكهربائية :

هي مكائن خاصة مصممة للحصول على قوة شد (سحب) عالية باستخدام محرك كهربائي له عزم دوران وقدرة عالية ويمكن زيادة قوة الشد باستعمال صندوق تروس (Gear Box) وهي على نوعين :

1- انواع مكائن السحب :

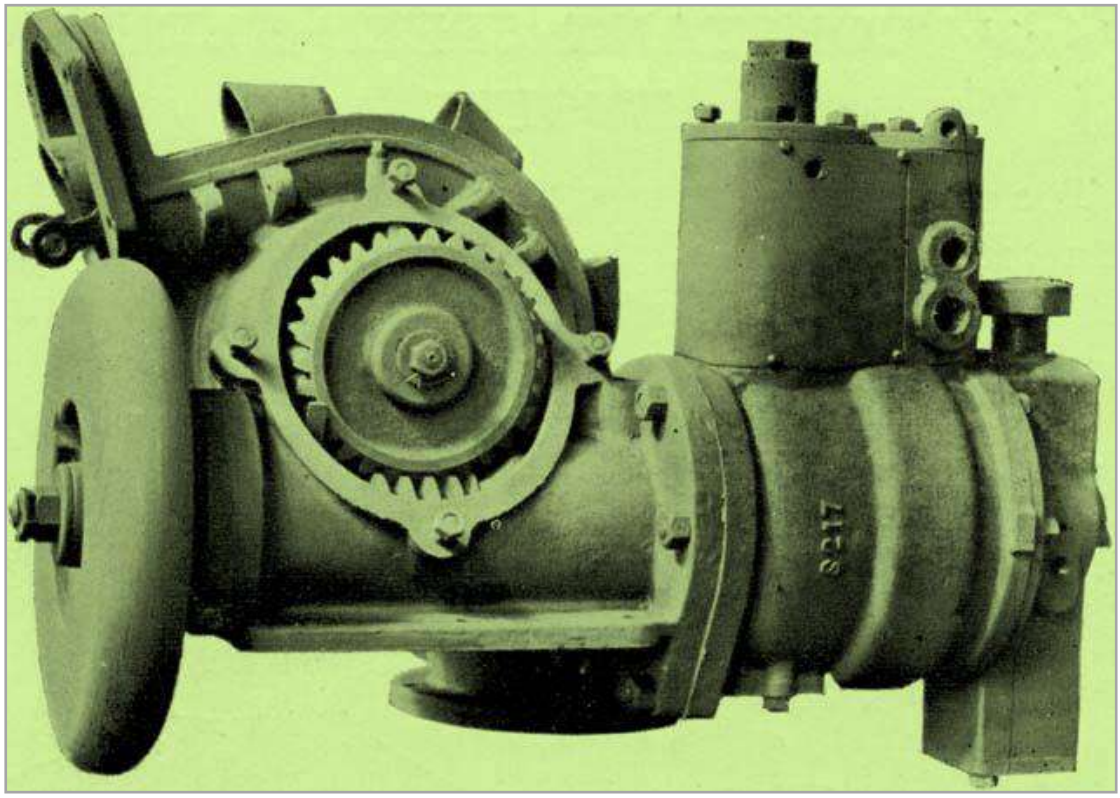
أ- مكائن السحب ذات التروس .

ب-مكائن السحب بدون التروس .

فيما يأتي بيان أجزاء كل نوع من مكائن السحب وشرح وظائفها :

أ - مكائن السحب ذات التروس :

تتكون مكائن السحب ذات التروس كما مبين في الشكل (1-2) من الأجزاء الرئيسة الآتية :



شكل 1-2 السحب ذات التروس الأجزاء الرئيسية لماكنة

1- المحرك الكهربائي .

2- صندوق التروس .

3- الكابح المغناطيسي .

4- بكرة السحب.

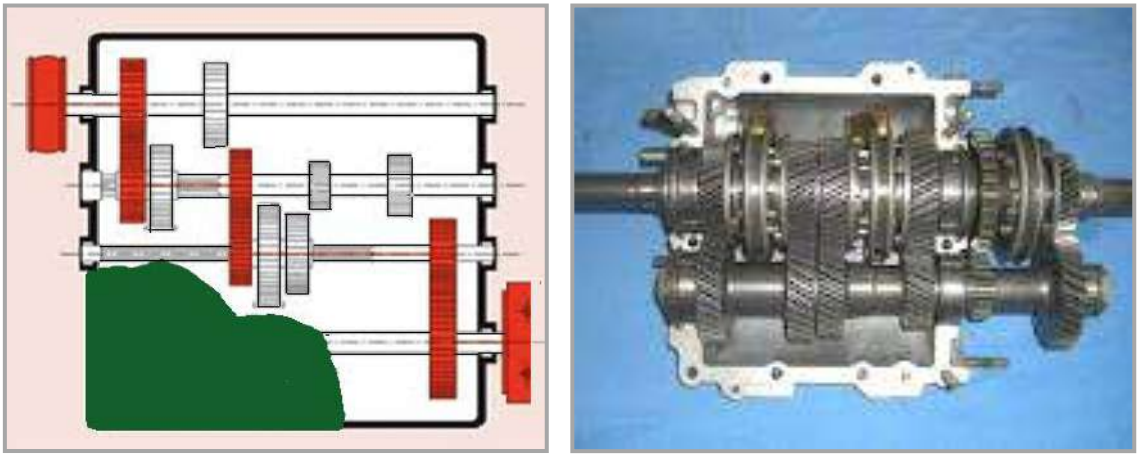
5- بكرة التوجيه.

1- المحرك الكهربائي :

تدار ماكنة السحب في المصاعد الكهربائية بوساطة محرك كهربائي ذي قدرة حصانية تتناسب مع وزن وحجم ومتطلبات العمل ونوع المصعد و ماكنة السحب. فالمصاعد ذات السرعات العالية تزود بماكنة سحب تعمل بمحرك كهربائي يعمل بالتيار المستمر أما المصاعد التي تتحرك بسرع مختلفة تبعاً للحالة المطلوبة لتوقف أو تحرك عربة المصعد فتكون سرعة العربة عند بداية حركتها واطئة لتصل إلى سرعة التصميم أثناء حركتها في مسارها ثم تتباطأ لتقف عند نقطة معينة، وفي هذه الحالة يزود المصعد بماكنة سحب ذات صندوق تروس وتدار بمحرك كهربائي ذي ملفين يعمل بالتيار المتغير للحاجة في بداية سحب العربة إلى عمل المحرك الكهربائي بتيار قليل وقوةعالية، لذلك يزود المحرك الكهربائي ذي التيار المتغير بمنظم سرعات للتحكم في سرعة حركة العربة.

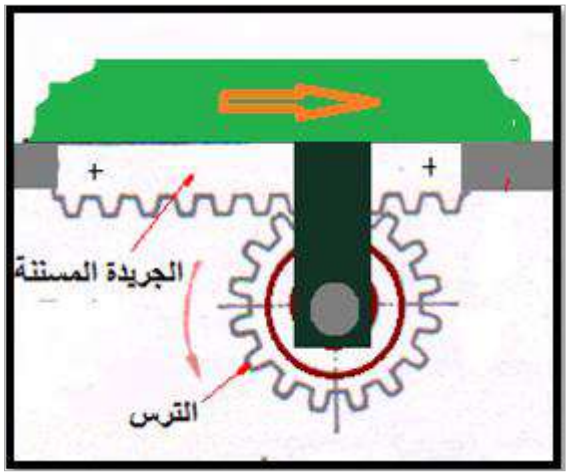
2- صندوق التروس (Gear Box) :

هو صندوق يصنع من معادن وسبائك مختلفة، ومنها حديد الزهر. ويكون الصندوق مغلقاً أو مفتوحاً ويستخدم للحصول على سرعات دوران مختلفة. يحتوي الصندوق على فتحة لنقل وإيصال الحركة الدورانية من المحرك الكهربائي إلى صندوق التروس وفتحة أخرى لنقل وإيصال الحركة الدورانية من صندوق التروس إلى الأجزاء الأخرى ويحتوي الصندوق على عدد من المحاور (الأعمدة) (Shafts) يعتمد عددها على السرع المطلوبة هذه الأعمدة ترتكز على كراسي تحميل متدحرجة (Ball Bearing) أو مساند (Bearing) وذلك لتقليل الاحتكاك والحصول على حركة متوازنة، وكذلك للحفاظ على فتحة الصندوق من التلف، إذ يتم تبديل المساند أو كراسي التدحرج بكلف واطئة حين تلفها. والشكل (1- 3) يبين مبدأ عمل صندوق التروس .



شكل 1 - 3 صندوق التروس

تثبت التروس على المحاور بطرق مختلفة منها: الربط بوساطة الخوابير (Keys) وتنتقل الحركة من محور إلى آخر عند تعشيق التروس مع بعضها، ويمكن تغيير التعشيقة من ترس إلى آخر باستعمال عتلة خاصة قد تكون يدوية أو آلية (ذاتية التغيير) (Automatic) كما في حالة المركبات التي تحتوي على صندوق تغيير السرع بنوعيه: اليدوي، والآلي. فالمحور الرئيس للدخل يتم تدويره بوساطة محرك كهربائي مرتبط معه بوساطة وصلة ربط مرنة (Coupling)والاختلاف في عدد الأسنان للتروس هو الذي يمكننا من الحصول على سرع مختلفة، وبعزم دوران مختلف والتروس إما أن تكون مسننة خارجياً أو مسننة داخلياً، والتروس المعشقة خارجياً تكون حركتها متعاكسة، أما التروس المعشقة داخلياً فتكونحركتها متماثلة. ويمكن تحويل الحركة الدورانية إلى حركة مستقيمة باستخدام الترس والجريدة المسننة كما مبين في الشكل (1 - 4).



شكل 1 - 4 الجريدة المسننة والترس

تصنع التروس بأشكال مختلفة تبعا لنوع الحركة المطلوبة واتجاهها والقوى المسلطة عليها، وتصنف التروس تبعاً لشكل السن وموقعه.

التروس العدلة المستقيمة :

وهي تروس أسطوانية تكون أسنانها عدلة وموازية لمحور العمود المربوطة عليه. يكون عملها مصحوباً بصوت واطئ، لأن تطابق أسنانها مع بعضها يكون كاملاً على طول سطح السن، تستعمل لنقل الحركة بين المحاور المتوازية كما مبين في الشكل (1 - 5).

شكل 1 - 5 التروس العدلة المستقيم

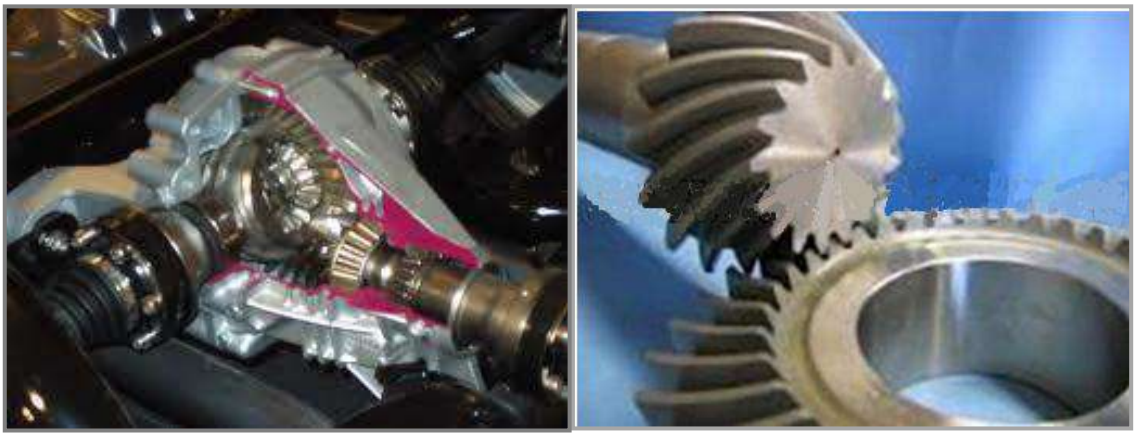
التروس الحلزونية (مائلة الأسنان):

وهي تروس أسطوانية تكون أسنانها مائلة تستعمل لنقل الحركة الدورانية، حيث تكون أسنانها موزعه على المحيط الاسطواني بوضع مائل (حلزون) وهي : إما أن تكون مائلة إلى اليسار (يسارية الأسنان) أو مائلةالى اليمين (يمينية الأسنان) وتمتاز بأنخفاظ الصوت وذلك لأن التداخل والتعشيق بين الأسنان يكون تدريجياً على طول سطح السن، كما مبين في الشكل (1 - 6).

شكل 1 - 6 التروس مائلة الأسنان

التروس الزاوية (المخروطية):

يكون شكلها مخروطياً ناقصاً، وتستعمل لنقل الحركة بين المحاور المائلة بزاوية أو متعامدة كما في مجموعة نقل الحركة الأخيرة في السيارة فأسنانها. إما أن تكون عدلة الأسنان أو مائلة (حلزونية) والمائلة الأسنان منها تكون يسارية أو يمينية الأسنان حسب زاوية ميلها، كما مبين في الشكل (1 - 7) .



شكل 1 - 7 التروس الزاوية

الترس الدودي والدودة:

أ- الترس الدودي: هو ترس أسطواني له أسنان موزعة على محيطه بوضع مائل بزاوية معينة ومقعرة وذلك لسهولة تعشيق الأسنان مع الدودة، ولسهولة انسيابية الحركة الدورانية.

ب- الدودة: هي عمود أسطواني لها أسنان لولبية تشابه أسنان الترس الدودي المعشق معها ويمكن أن تكون لها بداية واحدة (باب واحد) أو بدايتان أو ثلاثة.

تستخدم هذه الطريقة في حالة كون المحاور متخالفة، أي أنها لاتقع في مستوى واحد، وغير متقاطعة وكذلك تستخدم عندما يراد تخفيض كبير في عدد الدورات في حيز صغير، أو محدود كما في جهاز رأس التقسيم المستعمل في مكائن تفريز الأسنان، كما مبين في الشكل (1 - 8) حيث أن نسبة التخفيض لعدد الدورات فيه هو (40:1) أو كما في مجموعة مقود السيارة.

شكل 1 - 8 الترس الدودي والدودة

2 - 1 صندوق التروس المستخدم في مكائن السحب (Worm Gear):

يحتوي صندوق التروس شكل (1-9) المستعمل في ماكنة السحب في المصاعد الكهربائية على محور رئيسي يرتبط بوساطة عتلة مرنة (Coupling) مع المحرك الكهربائي، ويستمد منه حركته الدورانية ويركب عليه ترس دودي (Worm) يتعشق هذا الترس مع ترس حلزوني (Worm Gear) مركب على محورمتعامد معه، والطرف الآخرلهذا المحور تركب عليه بكرة السحب على الجزء الظاهر منه خارج كتلة الصندوق يعمل الترس الحلزوني على خفض السرعة المنتقلة إليه من الترس الدودي، وتعتمد نسبة تخفيض السرعة على نسبة التحويل بين عدد أبواب الترس الدودي وعدد أسنان الترس الحلزوني فإذا كان عدد أبواب سن الترس الدودي يساوي (واحد) وعدد أسنان الترس الحلزوني (50) سن يحتاج الترس الحلزوني ليدور دورة كاملة إلى خمسين دورة للترس الدودي وبهذا تنخفض سرعة الدوران بنسبة (50:1) .

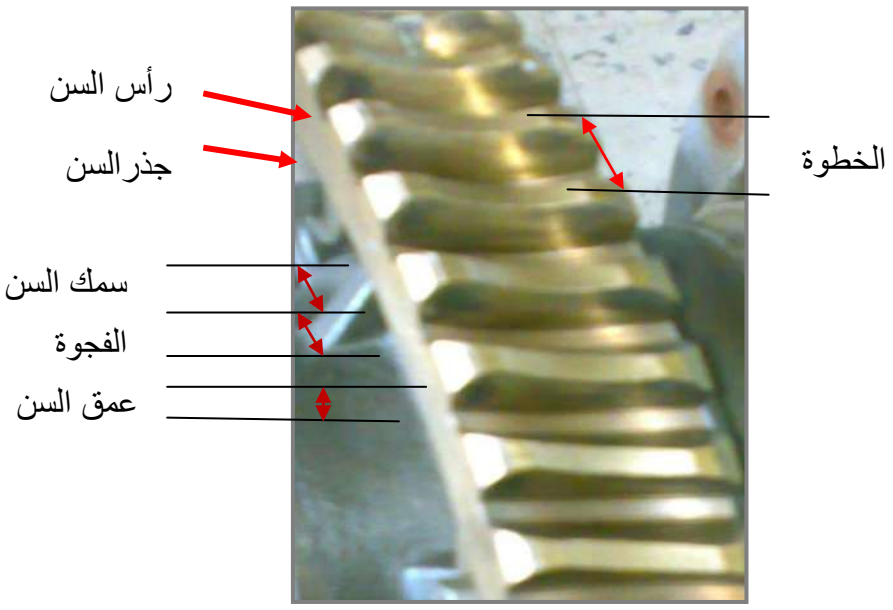
شكل 1- 9 صندوق التروس

أي عندما يدور الترس الدودي ذو باب واحد دورة كاملة ، يدور معه الترس الحلزوني مسافة سن واحد واقع على محيطه.

$$\text{أي: نسبة التحويل} = \frac{\text{عدد أبواب الترس الدودي}}{\text{عدد أبواب الترس الحلزوني}} = \frac{}{50}$$

أجزاء الترس الحلزوني :

يتكون الترس الحلزوني من قلب على شكل أسطوانة يقع على محيطها أسنان تميل على محورها بزاوية معينة وذلك لسهولة تعشيقها مع الحلزون والشكل (1 - 10) يبين أجزاء الترس الحلزوني .



شكل 1 - 10 أجزاء الترس

1- خطوة السن : من نهاية سن إلى نهاية السن التالي له.

2- دائرة الخطوة (دائرة التقسيم): تمر دائرة التقسيم بين رأس السن وجذره ويعتمد عليها تقسيم أسنان الترس.

3- عمق السن : هو المسافة القطرية المقاسة من رأس السن إلى جذره، جذر السن .

4- سمك السن : يقاس من بداية السن إلى نهايته، مقاسه على دائرة تقسيم الأسنان.

5- الفجوة: تقع بين سنين متجاورين، وتكون مساوية لسمك السن ، وتقاس على دائرة تقسيم الأسنان .

فوائد استخدام الترس الحلزوني والحلزونة (Worm & Worm Gear) :

أ- يكون عدد أسنان الترس الحلزوني قليلاً، مما يقلل من الحاجة إلى الصيانة والتصليح .

ب- الخسارة في نقل الطاقة في هذا النوع قليلة جداً؛ وذلك لأن محوره يشكل زاوية قائمة مع الترس المعشق معه (البريمة الحلزونية) .

جـ - يكون تلامس أسنان الترس الحلزوني مع الترس المعشق معه على شكل خط، وليس نقطة لذلك تزيد كفاءة نقل الطاقة.

د- بسبب التلامس الخطي بين الأسنان المتعاشقة يكون التآكل في الأسنان متجانساً، ولهذا يحافظ السن على شكله.

هـ- صندوق التروس يعمل على تخفيض عالٍ لسرعة العربة، وعليه تقل قوة الكبح اللازمة لإيقافها.

مواصفات صندوق التروس :

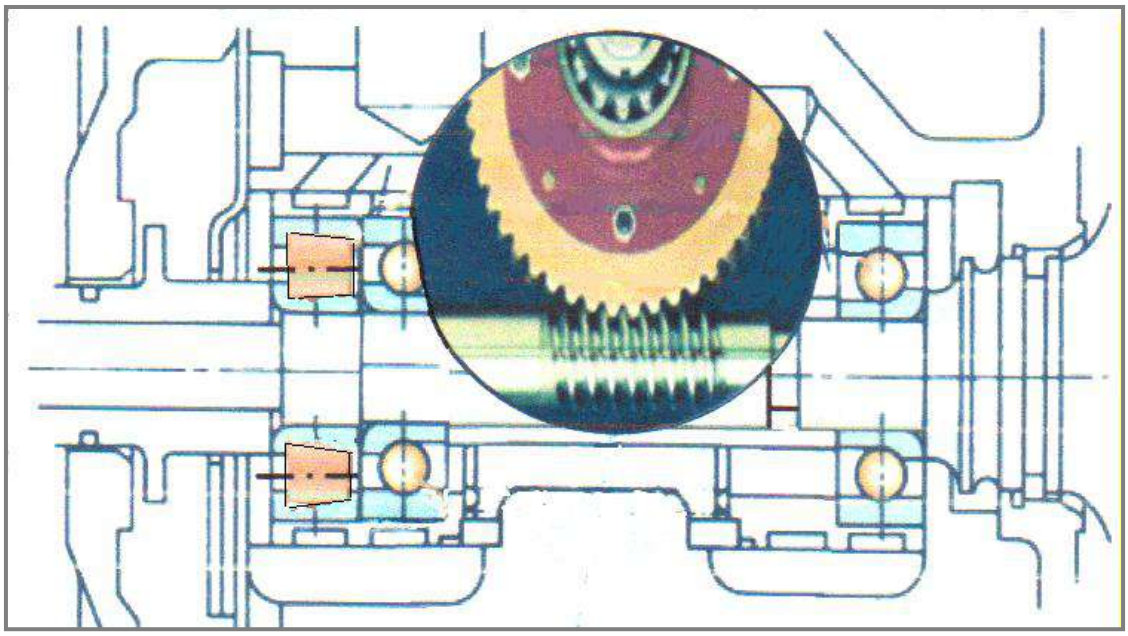
1 ـ يصنع قلب الحلزونة من سبيكة فولاذ ذات أسنان ملساء صلدة لتقليل الاحتكاك والتآكل لتزيد من كفاءة الحلزون ويصنع إطاره من سبيكة (نحاس ـ قصدير) أو سبيكة برونزية (نحاس ونيكل وقصدير) ومن خصائصها :

أنها عالية المتانة والليونة ، وهذا يقلل الاحتكاك بين أسنان الحلزون وأسنان الترس الحلزوني . زاوية أسنان الحلزون تتراوح بين (20-30) لتعطي السن متانة عالية، وتقاوم قوة الضغط المسلطة على سن الترس عند الاشتغال.

2 ـ يستند محور الحلزون الى مسند كروي مسلوب في الجهة البعيدة عن المحرك وذلك لامتصاص القوة الأفقية الناتجة بسبب ميلان أسنان التروس، ويثبت في نهايتي المحور مانع تسرب الزيت (جبنة) ومرشات دوارة لإيصال الزيت إلى الجزء العلوي للإطار الحلزوني .

المساند (كراسي التحميل) (Bearings) :

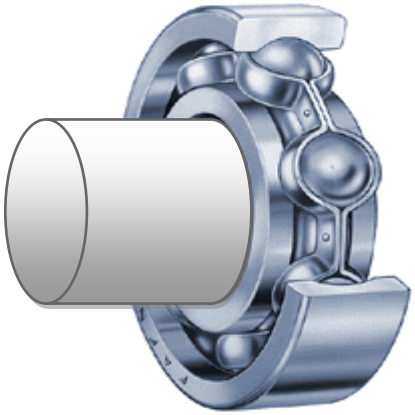
تستعمل المساند في مكائن السحب لحمل محاور الحركة والتغلب على القوة العمودية أو الأفقية الناتجة عن دوران المحاور، كما مبين في الشكل (1 ـ 11).



شكل 1- 11 مساند المحور نوعريديال وثرست

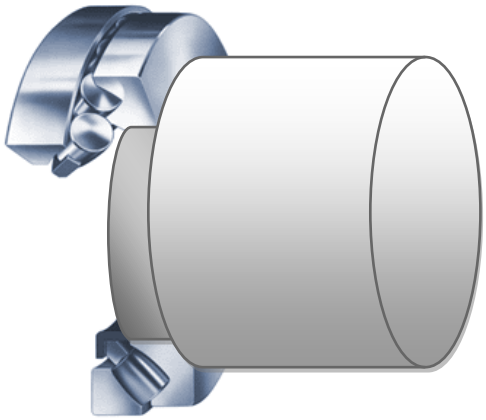
وهما نوعان :

أ - مسند ريديال (Radial Bearing): يسند طرفي العمود إذ يستعمل للتغلب على القوة العمودية الناتجة عن دوران العمود، كما مبين في الشكل (1 - 12) .



شكل 1 - 12 مسند ريديال

بـثرست بيرنك (Thrust Bearing): يحمل النهاية البعيدة لعمود الترس الدودي في صندوق التروس إذ يثبت بجانب الجهة الخارجية للمسند من نوع ريديال للتغلب على القوة العمودية والأفقية معاً الناتجة عن دوران العمود كما مبين في الشكل (1 - 13) .



شكل 1 - 13 مسند ثرست

صيانة صندوق التروس (Maintenance of gear Box) :

أ ـ التزييت :

يستعمل الزيت لتقليل الاحتكاك بين السطوح المنزلقة على بعضها، وبذلك يمنع ارتفاع درجة الحرارة المتولدة، ويكون الزيت الذي درجة لزوجته بين (125- 150) (ssu) في درجة حرارة (210 ºF) هو النوع الملائم لمعظم أحجام التروس وسرعات تشغيلها وللزيت الجيد المواصفات الآتية :

1ـ له مقاومة عالية لتكون الرغوة.

2ـ يمنع تآكل المعادن المستعملة حتى عند وجود الماء الناتج من التكاثف.

3ـ مقاومته للصدأ عالية.

خواص زيوت التزييت الجيدة :

1ـ للزيت سيولة كافية لكي ينتشر في جميع أجزاء صندوق التروس .

2ـ الاحتفاظ بدرجة اللزوجة في جميع ظروف التشغيل.

3ـ يمتاز بمقاومة عالية للاحتراق عند ارتفاع درجة الحرارة.

4 ـ يمتاز بمقاومة للتأكسد عند ارتفاع درجة الحرارة.

5 ـ يمتاز بمقاومة تكون الرغوة (الفقاعات الهوائية) عند حركة الأجزاء المتحركة المغمورة فيه.

6 ـ يمتاز بقدرته العالية لحماية الأجزاء المزيتة من الصدأ.

فحص الزيت :

يجب فحص زيت صندوق التروس باستمرار، وبصورة دورية، لملاحظة مستوى الزيت وتكون الماء المتكاثف أو ظهور الرغوة وفي هذه الحالة يجب استبداله بزيت جديد وعند فقدان كمية من الزيت نتيجة التبخر أو تلف مانع تسرب الزيت فيتم التعويض عن الكمية المفقودة منه.

ب- الحركة الإرتجاجية في الصندوق :

في تصميم جميع أنواع التروس يترك فراغ قليل بين أسنان التروس المتعاشقة، يملأ هذا الفراغ بالزيت المنتشر بين التروس وذلك لمنع انحشار الأسنان فيما بينها وللسماح بتمددها عند ارتفاع درجة الحرارة وعند حصول التآكل في الأسنان نتيجة الاحتكاك فيما بينها، يتسع هذا الفراغ ويتسبب في نشوء حركة إرتجاجية غير متزنة في أجزاء صندوق التروس أثناء دورانها. كذلك فإن التآكل الحاصل في المساند الحاملة للمحاور يسبب انحراف أسنان التروس عن بعضها بسبب انحراف الأعمدة الحاملة لها وخروجها عن مكانها أثناء دورانها، مما يؤدي إلى ظهور الحركة الإرتجاجية في الصندوق، لذلك يجب إجراء الصيانة الدورية وتبديل الأجزاء المتآكلة في الصندوق .

صيانة المساند :

منع دخول الأتربة وذرات الرمل إلى المساند وان بعض المساند تحتوي على غطاء واقٍ، كما مبين في الشكل (1 - 14) وإجراء فحص دوري للتأكد من صلاحيتها وعدم حصول التآكل في أجزائها واستبدالهابجديدة عند الحاجة .

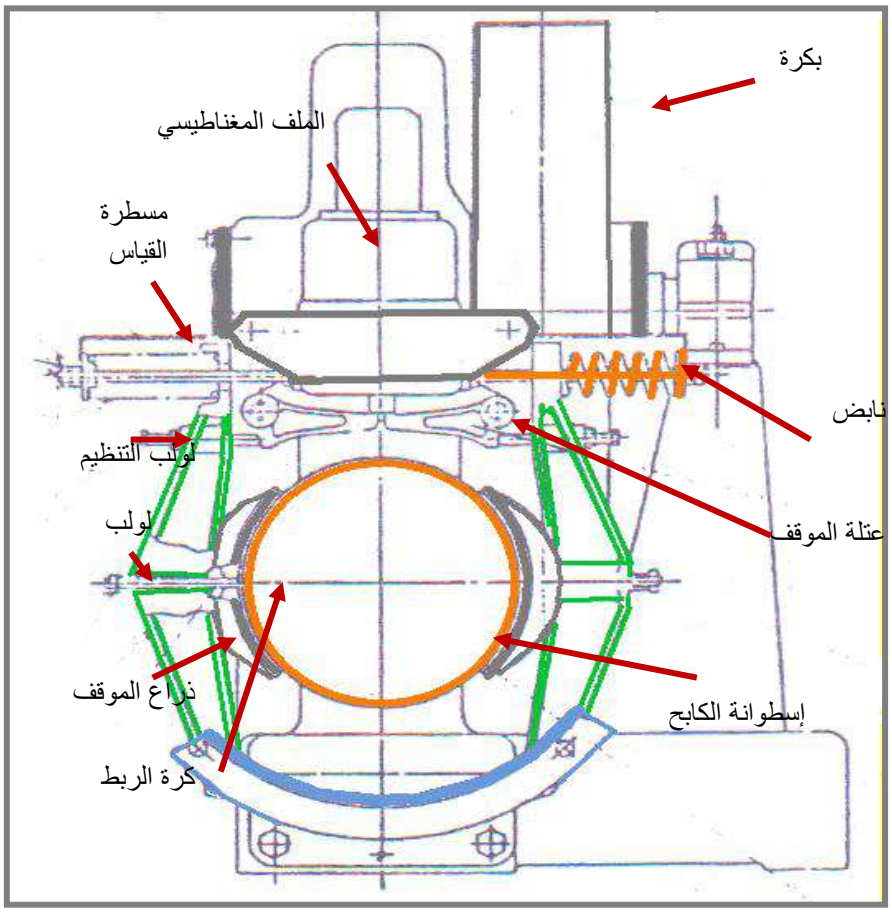
شكل 1 - 14 يوضح الغطاء الواقي للمسند

3- الكابح المغناطيسي :

يعمل الكابح المغناطيسي على إيقاف دوران محور عمود ماكنة السحب، عند قطع التيار الكهربائي عن المحرك ويكون على نوعين نسبة الى الزاوية بين حركة المكبس ومحور أسطوانة المكبس وهما :

أ ـ الكابح المغناطيسي العمودي:

يتكون الكابح المغناطيسي العمودي المبين في الشكل (1 - 15) من مجموعة أجزاء وهي :



شكل 1- 15 الكابح المغناطيسي العمودي

الجزء المغناطيسي ويتكون من :

أ ـ الإطار الخارجي (Frame) .

ب ـ نقاط التوصيل الكهربائي (Electric contact) .

جـ ـ المكبس (Plunger) .

يصنع المكبس من قطعة واحدة أو قطعتين من حديد الزهر (الآهين) أو معدن آخر كما مبين في الشكل (1 - 16).

شكل 1 - 16 مكبس الكابح

د ـ ذراع المكبس :

يصنع من حديد الزهر (الآهين) أو معدن آخر ويعمل على نقل حركة المكبس الى عتلات الدفع .

هـ ـ أسطوانة المكبس :

تصنع أسطوانة المكبس من سبيكة البرونز، يركب في داخلها المكبس والملف المغناطيسي كما مبين في الشكل (1 -17) .

شكل 1 - 17 أسطوانة المكبس

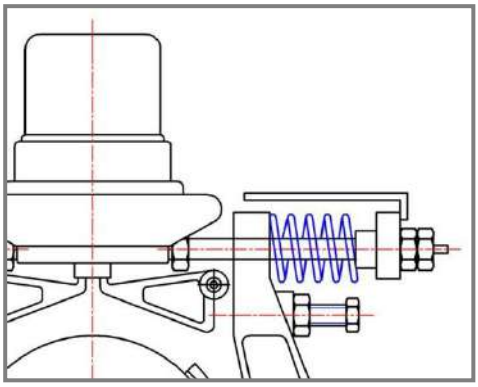
و ـ الملف المغناطيسي :

هو عبارة عن ملف سلكي، الغاية منه توليد مجال مغناطيسي عند مرور التيار الكهربائي خلاله يعمل على قوة دفع عمودية تعمل على تحريك المكبس إلى الأعلى أوالأسفل فتعمل هذه القوة على رفع حذاء (Disk) الكبح عن أسطوانات الكبح أثناء دوران المحرك الكهربائي، كما مبين في الشكل رقم (1 - 18) .

شكل 1 - 18 الملف المغناطيسي

لولب الكابح :

يعمل على تسليط قوة ضغط على ذراع الكبح، لمنع انزلاق ماكنة السحب عند وقوف المصعد والقوة التي يسلطها هذا اللولب تختلف باختلاف سعة المصعد، يثبت اللولب بوساطة محور حديدي، يثبت أحد طرفيه في محور هيكل الجزء المغناطيسي، والطرف الآخر يمر عبر ذراع الكبح، ويتم حصراللولب بين ذراع الكبح والنهاية السائبة للمحور بوساطة لولب مثبت عليه مسطرة قياس، كما في الشكل (1 - 19) لتحديد قوة انضغاط اللولب.



شكل 1 - 19 لولب الكابح

ذراع الكابح :

عبارة عن ذراع حديدي على شكل قوس، كما في الشكل (1 - 20) تتصل نهايته السفلى مفصلياً بقاعدة ماكنة السحب وتكون النهاية العليا له سائبة تعمل على نقل حركة المكبس واللولب إلى حذاء (Disk) الكابح .

شكل 1 - 20 ذراع الكابح

حذاء الكابح :

يتكون من جزئين، الجزء الخارجي يصنع من الحديد على شكل قوس أما الجزء الداخلي يسمى بطانة الحذاء وهي مادة إسبستية ، تثبت بوساطة مسامير برشام، الشكل (1 - 21) ويعمل على إيقاف المحرك عن الدوران عند ضغط وملامسة بطانة الحذاء لأسطوانة الكبح أثناء وقوف المصعد. هذه الموقفات تعمل بطريقة الاحتكاك إذ أن قوة الاحتكاك بين سطح الحذاء وسطح أسطوانة الكابح هو الذي يعمل على توقيف الحركة.

شكل 1 - 21 حذاء الكابح

عتلات الدفع :

وهي عتلات حديدية، كما في الشكل (1- 22) تتصل مفصلياً من إحدى نهايتيها بهيكل الجزء المغناطيسي والنهاية الأخرى لها تكون سائبة، لتحويل حركة المكبس العمودية إلى حركة أفقية تسلط على ذراع الكابح من كلا الجانبين بوساطة قضيبي محوري التنظيم المتصلين من إحدى نهايتيهما بذراع الكبح، أما نهايتيهما الثانية تمس عتلة الدفع، ويمكن التحكم بشوط المكبس بوساطة ضبط لولب عمود التنظيم أو إرخائه.

شكل 1 - 22عتلة الدفع

أسطوانة الكابح :

تصنع أسطوانة الكابح ،الشكل (1 - 23) من الحديد ، تعمل على إيقاف المحرك عن الدوران عند تسليط ضغط لولب الكبح عليها وتعمل في الوقت نفسه على ربط المحرك الكهربائي بماكنة السحب.

شكل 1 - 23 أسطوانة الكبح

كيفية عمل الكابح المغناطيسي :

عندما يكون المصعد في حالة توقف، يكون حذاء الكبح ضاغطاً على أسطوانة الكبح بفعل الضغط المسلط عليه من قبل لولب الكبح وبذلك يمنع المصعد من الانزلاق.

عند تشغيل المصعد، يمر التيار الكهربائي خلال الملف، مولداً مجالاً مغناطيسياً وقوة دفع تعمل على دفع المكبس إلى الأسفل، دافعاً أمامه عتلة الدفع بوساطة ذراع المكبس، عند ذلك يندفع ذراع الكبح إلى الخارج ومعه الحذاء متغلباً على قوة ضغط اللولب، فتتحرك الأسطوانة، ويدور المحرك بحرية.

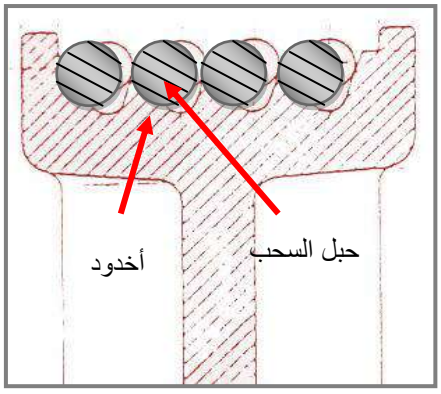
ب ـ الكابح المغناطيسي الأفقي :

لايختلف الكابح المغناطيسي الأفقي عن العمودي من حيث العمل والأجزاء، سوى أن حركة المكبس تكون أفقية نسبة إلىمحور أسطوانة الكبح كما في الشكل (1 - 24) .

شكل 1 - 24 الكابح المغناطيسي الأفقي

4- بكرة السحب :

تكون أسطوانية الشكل يحتوي محيطها على أخاديد وتثبت على الجزء الظاهر الخارجي من عمود صندوق التروس ويمر حبل السحب الرئيس حول أخاديدها، كما في الشكل (1 - 25) إذ تعمل هذه البكرة عند دورانها مع العمود على لف الحبل المربوط بالعربة من جهة والثقل المعادل من الجهة الأخرى ، لرفع العربة وإنزال الثقل المعادل أو بالعكس . أما في مكائن السحب التي لاتحتوي على صندوق تروس فتركب بكرة السحب على عمود المحرك الكهربائي مباشرة، فتكون سرعتها مساوية لسرعة دورانه.



شكل 1 - 25 مقطع لبكرة السحب

5- بكرات التوجيه (Guide Roller) :

تجهز كل عربة بزوجين من بكرات التوجيه، كل واحدة تتألف من طقم يضم ثلاث بكرات، إذ تثبت في الأسفل وعلى العربة وفي كلا الجانبين لتوجيه مسار العربة وتقليل الاهتزازات التي قد تحصل فيها وتستعمل هذه البكرات في المصاعد ذات السرعات العالية.

شكل 1 - 26 بكرات التوجيه

فحص وصيانة البكرات :

عند فحص وصيانة البكرات يتم ملاحظة ومعالجة الآتي :

1- إزالة الزيت والشوائب المترسبة على البكرات ضمن جدول زمني دوري.

2- عند تغير شكل سطح أخاديد البكرات نتيجة مرور الحبل عليها، تكون خدوش أو تآكل بشكل غير متساوي في هذه الحالة يجب إبدالها ببكرة جديدة، لتجنب تأثيرها على الحبل.

3- تعاد المعايرة إذا كان الشد في الحبال كبيراً على البكرات، أو فيه ارتخاء.

1 - 2 محكم السرعة (Speed Governor) :

تكتسب السلامة أهمية قصوى وتعد هي الأساس عند تصميم المصعد سواء أكان استعماله لنقل الأشخاص أو البضائع، بحيث يخضع المصعد عند صعوده أو نزوله لنظام سيطرة تحكم الكترونية دقيقة، لتفادي أي خطأ قد يحدث أثناء حركة المصعد.

في بعض الحالات الطارئة يخرج المصعد عن نظام السيطرة الالكترونية وذلك عند قطع الحبل الرئيس فينزل المصعد بصورة حرة تحت تأثير الوزن، ولتفادي هذه الحالة، يثبت جهاز أمان يسمى (محكم السرعة) في غرفة المكائن، ويتصل هذا الجهاز بوساطة حبل يتحرك مع العربة، فعند زيادة سرعة العربة عن الحد المقرر، يقوم محكم السرعة بمسك الحبل ونتيجة لنزول العربة إلى الأسفل فإن عتلة جهاز الأمان الميكانيكي ترفع إلىالأعلى، فتعمل على تحريك جهاز الأمان الميكانيكي الذي يقوم بدوره بإيقاف العربة وذلك بتلامس كتلة مسك (هوك) الجهاز مع سكة العربة.

انواع محكم السرعة :

تبعاً لسرعة المصعد الكهربائي المستخدم، توجد ثلاثة أنواع من محكم السرعة وهي كالأتي :

1- محكم السرعة القرصي (Disk - Type Governor):

يستعمل هذا النوع في المصاعد ذات السرعة البطيئة التي تتراوح بين (45 - 75) م / دقيقة.

2- محكم السرعة ذو الكرات الطائرة (Fly ball Governor):

يستعمل هذا النوع في المصاعد ذات السرعة العالية التي تزيد سرعتها عن (105)م / دقيقة.

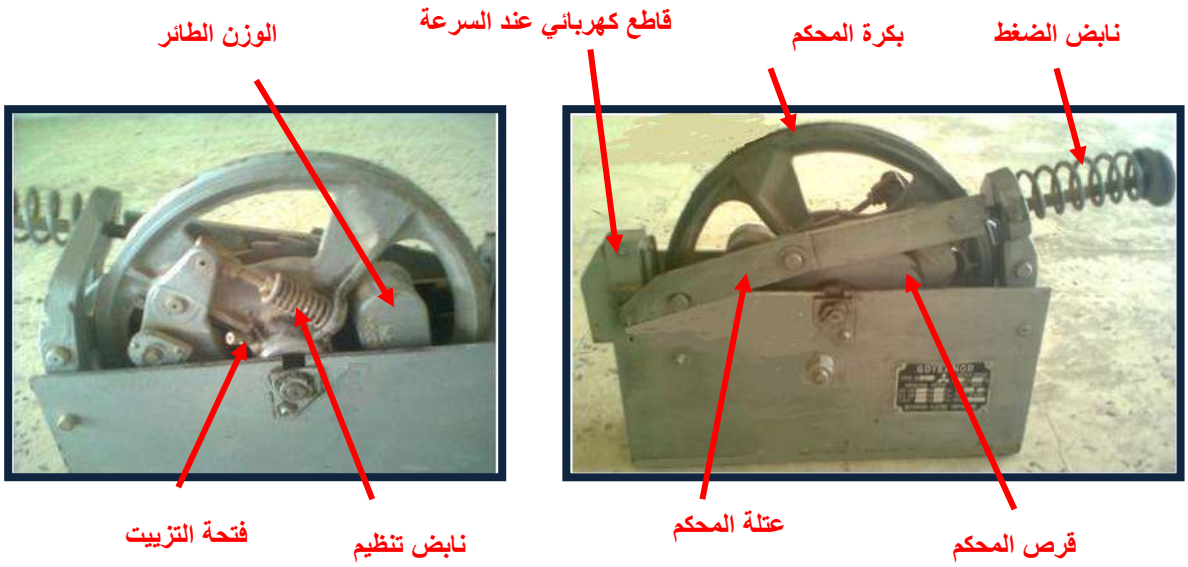
3- محكم السرعة ذو الأوزان الطائرة (Flyweight - Type Governor):

يستعمل هذا النوع في المصاعد ذات السرعة المتوسطة التي تتراوح بين (60 - 105) م / دقيقة.

1 ـ محكم السرعة القرصي :

أجزاؤه :

يتكون المحكم المبين في الشكل (1 ـ 27) من الأجزاء الآتية :



شكل 1 ـ 27 أجزاء المحكم

أ ـ بكرة المحكم (Governor Pulley):

تصنع بكرة المحكم المبينة في الشكل (1 ـ 28) من الحديد، يقع على محيطها أخاديد يلف حولها حبل المحكم وتتحرك حول محور المحكم الثاني مع العربة، يركب معها القرص المسنن والأوزان الطائرة.

شكل 1 ـ 28 بكرة المحكم

ب ـ حبل المحكم :

يصنع حبل المحكم من ألياف معدنية، ويلف على بكرة المحكم، وبكرة الشد المثبتة في حفرة المصعد، تثبت نهايته بعتلة جهاز الأمان الميكانيكي المثبت على جانبي العربة، ويعمل على نقل سرعة العربة إلى المحكم ورفع عتلة جهاز الأمان الميكانيكي في الحالات الطارئة.

ج ـ الأوزان الطائرة (Fly Weight):

عبارة عن أثقال حديدية، مركبة على قرص مسنن، يدوران مع بكرة المحكم على محورواحد، تتصل جوانبها من الأعلى بوساطة ذراع حديدي، يسمح بحركتها إلى الداخل والخارج، بحدود تختلف باختلاف سرعة المصعد، ويتصل من الأسفل أحد الثقلين بلولب يمكن بوساطته، تنظيم حركة الأوزان وفقاً للسرعة المطلوبة.

د ـ القرص المسنن (Ratchet Assembly):

هو قرص حديدي مسنن، مركب مع بكرة المحكم على محور واحد، يتصل به من الأعلى ذراع لولب المحكم. يعمل اللولب على إرجاع عتلة المحكم إلى الوضع الطبيعي لها، عند انتهاء مسك الحبل، ورجوع القرص المسنن إلى وضعه الطبيعي .

هـ ـ عتلة المحكم (Governor Lever):

هي عتلة حديدية تتحرك حول محور ثابت في هيكل المحكم، تتصل من أسفلها بقطعة معدنية ذات أخدود تعمل على مسك الحبل عندما تزداد سرعة المصعد عن الحد المقرر.

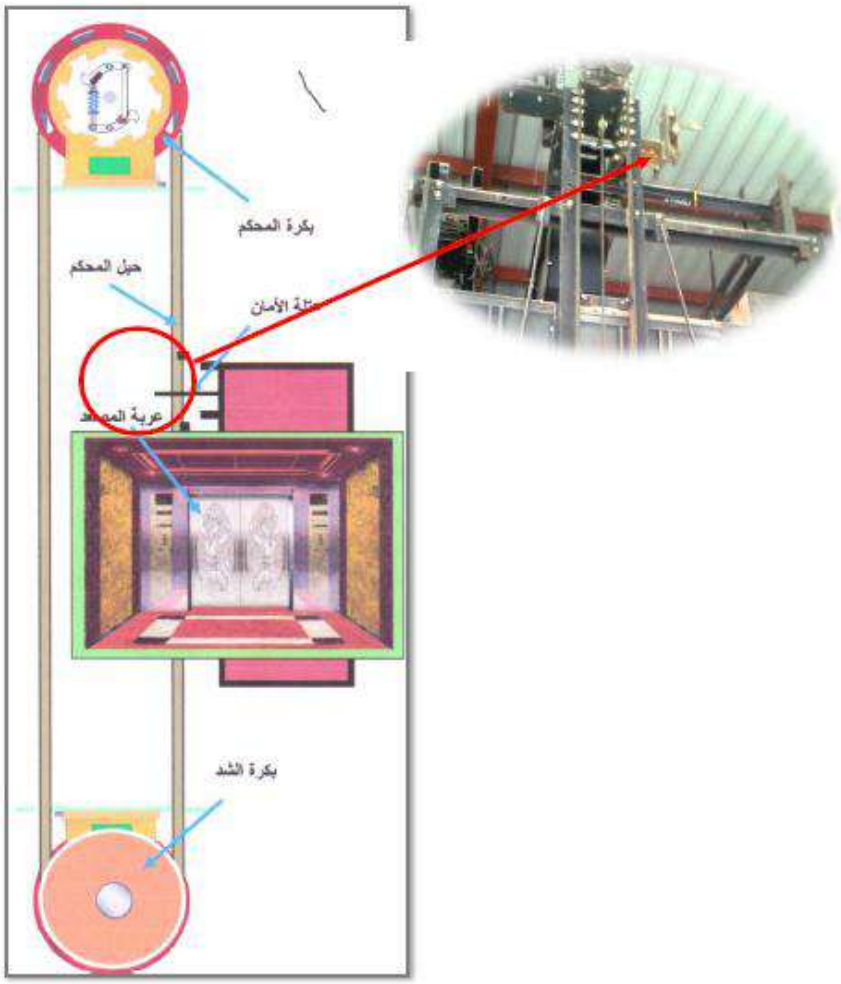
و- مفتاح المحكم الكهربائي (Governor Switch) :

يحتوي محكم السرعة على مفتاح كهربائي، كما في الشكل (1 ـ 29) ويعمل على قطع التيار الكهربائي عن المحرك قبل أن يقوم المحكم بمسك الحبل .

شكل 1 ـ 29 مفتاح كهربائي

كيفية عمل محكم السرعة:

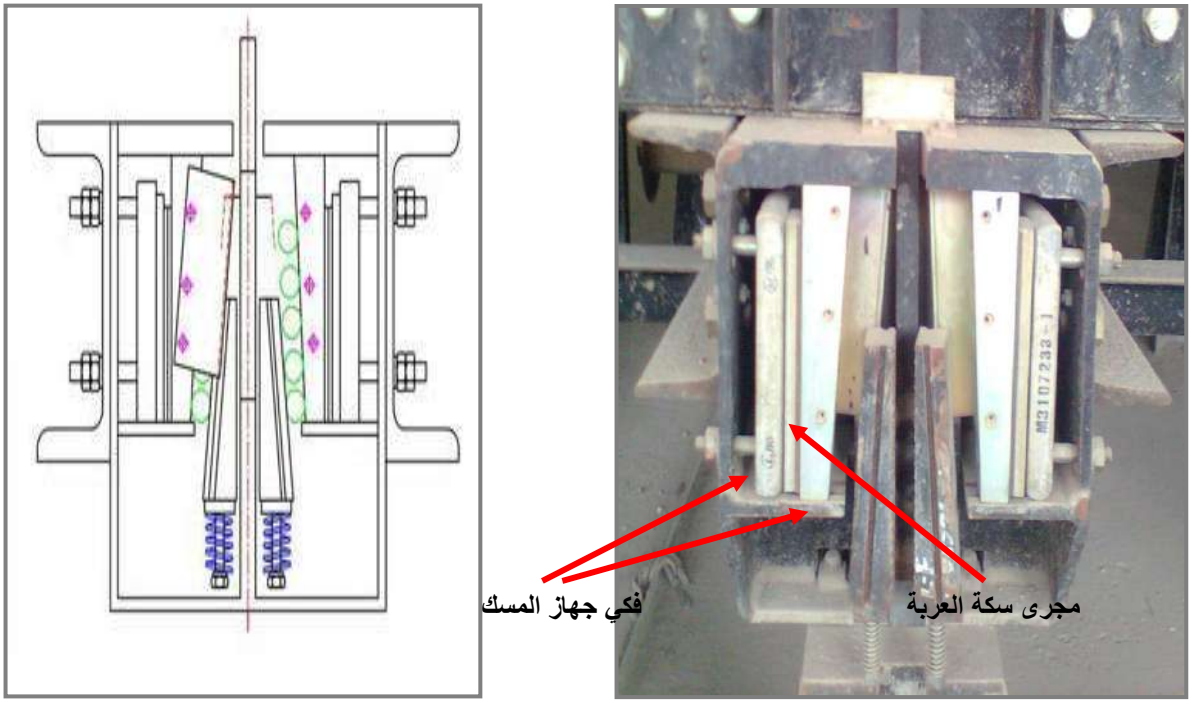
تتساوى سرعة بكرة المحكم وسرعة العربة عند حركة المصعد الاعتيادية. وذلك عن طريق حبل المحكم الذي يلف حول بكرة المحكم وتتصل إحدى نهايتي الحبل بعتلة جهاز الأمان الميكانيكي المثبت على جانبي العربة. أما نهاية الحبل الأخرى فتمر حول بكرة الشد المثبتة في حفرة المصعد، إذ تتصل بعد مرورها ببكرة الشد في نهاية الحبل الأولى بوساطة عتلة الأمان الميكانيكي، كما مبين في الشكل (1 - 30).



شكل 1 - 30 ارتباط الحبل بعتلة الأمان الميكانيكية

عندما تتعدى العربة سرعتها الاعتيادية ، تزداد سرعة بكرة المحكم أيضاً بنفس النسبة، فتبدأ الأوزان الطائرة بالانفراج إلى الخارج تدريجياً بفعل القوة المركزية الطاردة فتقطع دائرة مفتاح المحكم الكهربائي الذي يقوم بدوره بقطع التيار الكهربائي عن محرك المصعد وعندما تصبح سرعة المصعد كبيرة يزداد انفراج الأوزان الطائرة إلى الخارج فتعشق حافة الأوزان الطائرة مع القرص المسنن، فيدور القرص فيعمل على سحب ذراع لولب المحكم إلى الداخل ونتيجة ضغط اللولب يعمل على دفع عتلة المحكم إلى الداخل فتعمل العتلة على مسك حبل المحكم وتثبيته، ونتيجة نزول العربة إلى الأسفل وثبوت الحبل، فإن عتلة جهاز الأمان

الميكانيكية تنسحب إلى الأعلى فتعمل على تحريك عتلات جهاز الأمان الميكانيكية المثبت على جانبي العربة فتتلامس فكوك الجهاز مع سكه العربة كما في الشكل (1 - 31) ، لذلك تتوقف العربة عن الحركة.



شكل 1 - 31 جهاز مسك العربة

2 - محكم السرعة ذو الكرات الطائرة:

أجزاء المحكم ذي الكرات الطائرة المبين في الشكل (1 - 32) :

1- الكرات الطائرة .
2- أذرع التوصيل .
3- لولب التنظيم .
4- عتلات نقل الحركة.
5- عتلات الكَلاب.
6- الكَلاب.
7- وزن المسك.
8- فك المسك.
9- بكرة المحكم .
10- حبل المحكم .
11- هيكل المحكم .
12- مفتاح المحكم الكهربائي .

شكل 1 - 32 محكم السرعة ذو الكرات الطائرة

كيفية عمل محكم السرعة ذي الكرات الطائرة :

مبدأ عمل محكم السرعة متشابه في جميع الأنواع والاختلاف فيه فقط في نقل الحركة بوساطة مجموعة من عتلات نقل الحركة.

عند زيادة سرعة العربة حدود سرعة التصميم في حالة طارئة ما ، سوف تندفع الكرات الطائرة إلى الخارج بفعل القوة المركزية الطاردة نتيجة ازدياد سرعة دوران بكرة المحكم مع زيادة سرعة العربة فتعمل على سحب ذراع التوصيل إلى الأعلى وهذا بدوره يعمل على سحب عتلات نقل الحركة إلى الأعلى أيضاً فتقوم العتلات بتحريك عتلة الكَلاب وعند ذلك يصبح الكَلاب حر الحركة فيندفع محرراً فك المسك فيندفع الفك إلى الأسفل كما مبين في الشكل (1 - 33).

شكل 1 - 33 فك المسك

وبفعل وزنه يعمل على مسك حبل المحكم، ونتيجة لتثبيت الحبل ونزول العربة إلى الأسفل، تتحرك منسحبة الى الأعلى، عتلة جهاز الأمان الميكانيكي المتصلة بالحبل من طرف، وطرفها الآخر المتصل بالجهاز فتقوم فكوك الجهاز بمسك العربة وقبل هذه العملية تؤثر عتلات التحريك على مفتاح المحكم الكهربائي فتقطع التيار الكهربائي عن دائرة المحرك الكهربائي لتوقفه.

3 ـ محكم السرعة ذو الأوزان الطائرة :

أجزاء المحكم :

يتكون محكم السرعة ذو الأوزان الطائرة من الأجزاء الرئيسية الآتية وكما هو مبين في الشكل (1 - 34).

1- بكرة الحكم .

2- الأوزان الطائرة.

3- لولب التنظيم .

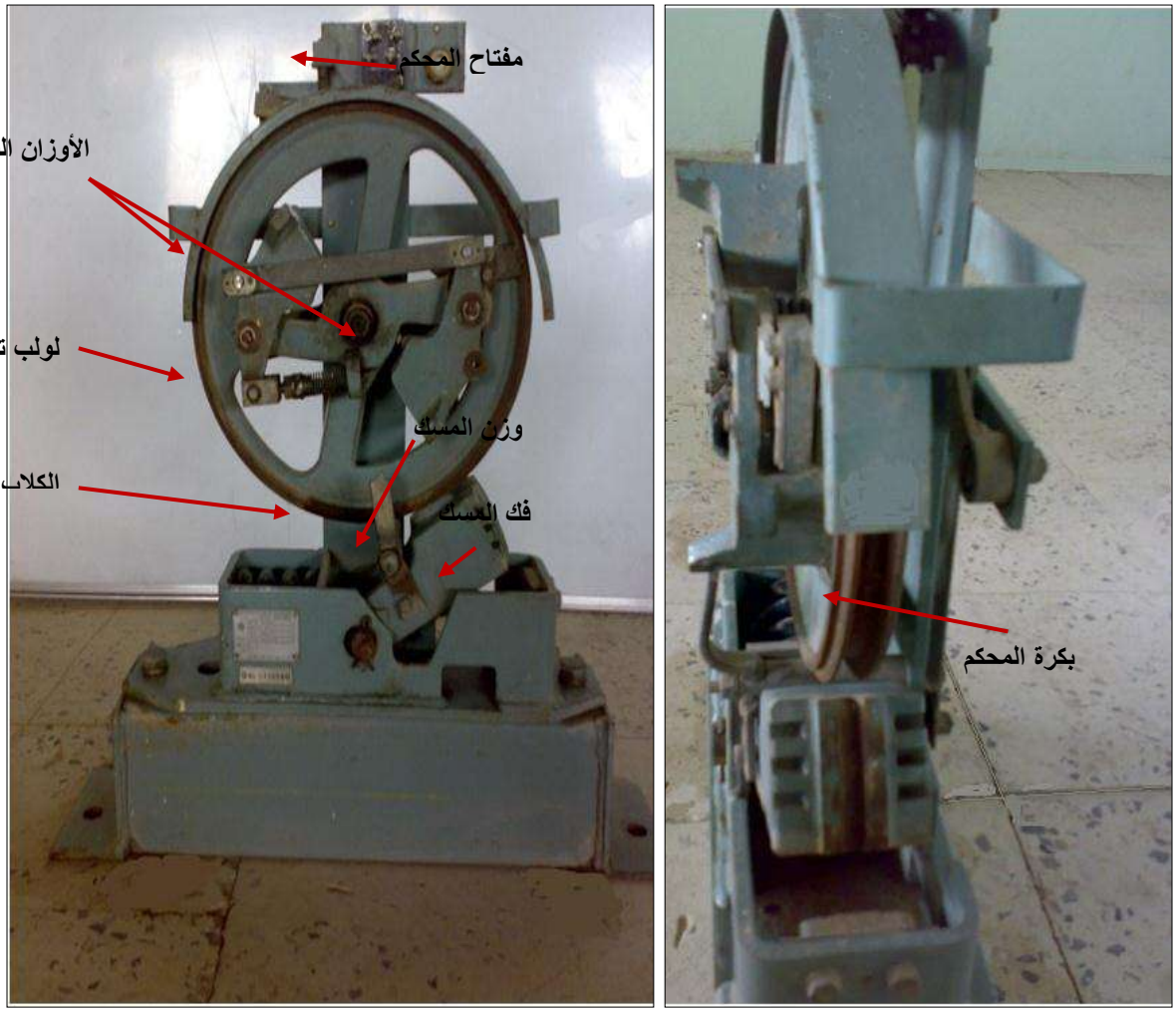
4- الكَلاب .

5- وزن المسك.

6- فك المسك .

7- حبل المحكم يمر خلال أخدود البكرة .

8- مفتاح المحكم الكهربائي .



شكل 1 - 34 محكم السرعة القرصي

كيفية عمل محكم السرعة ذي الأوزان الطائرة :

في حالة زيادة سرعة عربة المصعد عن السرعة الاعتيادية وخروجها عن السيطرة بسبب خطأ ما تزداد سرعة دوران محكم السرعة وهذا يؤدي إلى اندفاع الأوزان الطائرة للمحكم إلى الخارج وباندفاعها هذا تؤثر على مفتاح المحرك الكهربائي لقطع الدائرة الكهربائية عن المحرك أولاً ثم بعد لحظات تعمل الأوزان الطائرة على تحريك كَلاب المحكم عن موقعه فتتحرر كتلة وزن المسك فتنزل إلى الأسفل لمسك الحبل مع حذاء المسك. ونتيجة نزول العربة إلى الأسفل فإنها تحرك عتلة متصلة بالحبل فترتفع إلى الأعلى لترفع عتلات جهاز الأمان الميكانيكي، ليقوم بإيقاف العربة بوساطة ضغط فكيه على سكة العربة.

صيانة محكم السرعة:

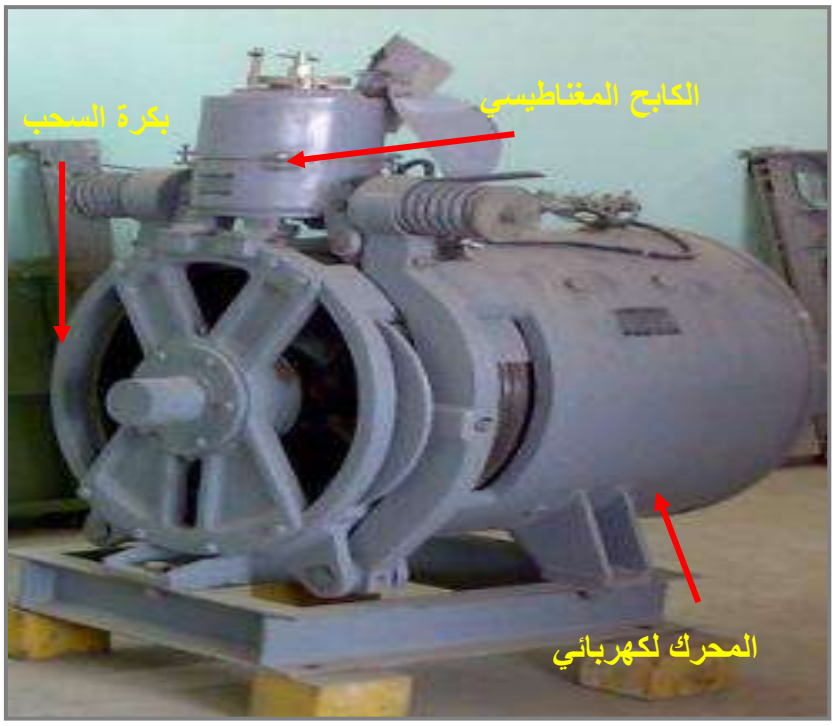
1- الأجزاء التي تحتاج الى تزييت، كمساند وزن المسك، الكِلاّب، وأذرع مفتاح التحكم، أما الأجزاء التي لاتحتاج إلى تزييت، تكون من النوع المغلق كمساند بكرة المحكم، الأوزان الطائرة، ذراع التوصيل بين الأوزان الطائرة ولولب التنظيم .

2- تحريك المحكم يدوياً بعد التزييت، للتأكد من صلاحيته.

3- تنظيف بكرة المحكم ووزن المسك وحذاء المسك من الغبار والزيت لمنع إنزلاق حبل المحكم .

ب ـ ماكنة السحب بدون صندوق التروس:

يعمل المحرك الكهربائي لهذا النوع من الماكنات المبينة في شكل (1 ـ 35) بالتيار المستمر وتتراوح قدرته الحصانية بين (20)إلى (375) حصاناً تبعاً لارتفاع البناية وتركب على محوره أسطوانة الكبح مباشرة وكذلك بكرة السحب ويمر حبل التعليق على أخاديد البكرة، ولعدم وجود صندوق التروس فإن سرعة دوران بكرة السحب تكون مساوية لسرعة محرك الماكنة ولعدم إمكانية الحصول على سرعة واطئة من هذه المحركات التي تعمل بالتيار المستمر، لذا يستعمل هذا النوع من الماكنات في مصاعد الأبنية المتوسطة الارتفاع والعالية التي يزيد عدد طوابقها على عشرة طوابق، إذ يتطلب أن تكون سرعة العربة أكبر من (2) متر/ ثانية.

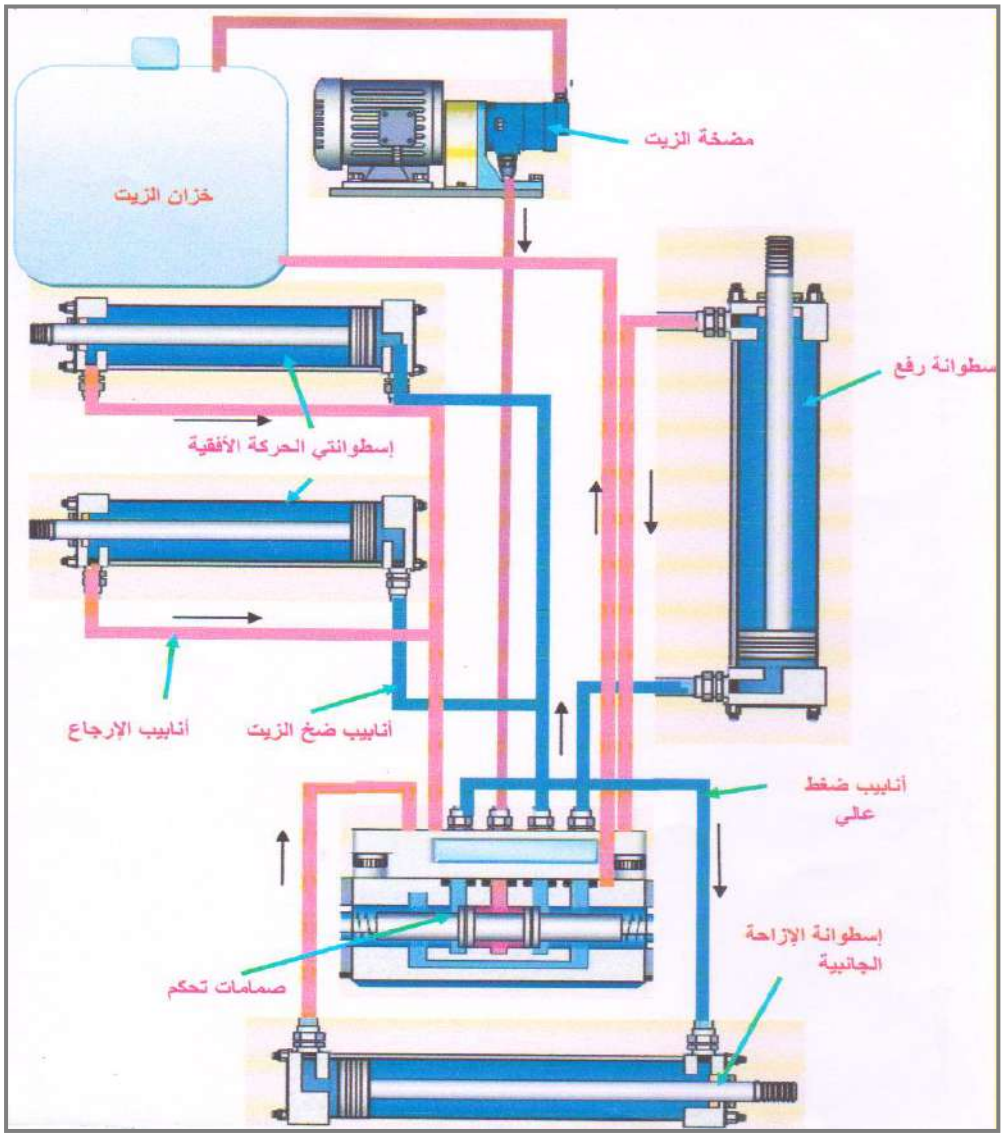


شكل 1 ـ 35 ماكنة سحب بدون صندوق تروس

لاتتطلب ماكنات السحب التي لاتحتوي على صندوق التروس صيانة معقدة، كما في ماكنات السحب ذات صندوق التروس، إذ تكون قليلة لأنها تحتوي على أجزاء أقل، ويكون عمر زمن التشغيل لها أطول .

3-1 النظام الهيدروليكي في الرافعة الشوكية :

من أساسيات علم الهيدروليكا، أن السائل لايحتفظ بشكل ثابت ويأخذ شكل الإناء الذي يحتويه ولهذا فإن السائل يمكنه أن يجري في أي اتجاه وبأي شكل دون أن يتغير حجمه تحت تأثير الضغط المسلط عليه ولهذا يمكن زيادة القوة الناتجة عند سريانه بأي اتجاه وعليه تم توظيف هذه الأساسيات للاستفادة منها في إنجاز الأعمال بجهد قليل ومنها النظام الهيدروليكي في الرافعة الشوكية.



شكل 1 - 36 المنظومة الهيدروليكية في الرافعة الشوكية

اجزاء المنظومة الهيدروليكية في الرافعة الشوكية :

1-خزان الزيت.

2- مضخة الزيت.

3- أنابيب الضغط العالي .

4- صمامات التحكم .

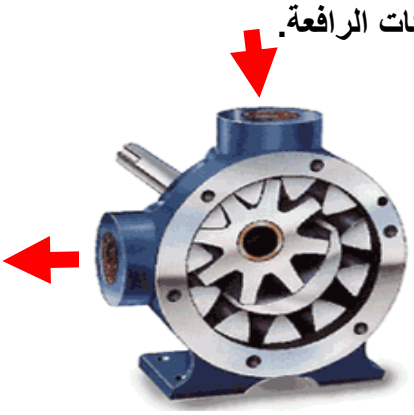
5- الأسطوانات الهيدروليكية.

1 - خزان الزيت :

يعمل خزان الزيت على تزويد المنظومة الهيدروليكية بكمية الزيت المطلوبة عن طريق أنبوب التوصيل وكذلك استقبال الزيت الراجع إليها عن طريق الأنبوب الراجع الى الخزان.

2 - مضخة الزيت :

تربط مضخة الزيت المبينة في الشكل (1 - 37) بمحرك كهربائي، يعمل على تدويرها محورياً، لضغط الزيت فيندفع نتيجة دوران تروس أو زعانف المضخة عن طريق أنبوب الضغط العالي إلى داخل الأسطوانة عند فتح صمام الدخول فيدفع أمامه ذراع ومكبس الأسطوانة ليقوم بتحويل طاقة الزيت المضغوط إلى طاقة ميكانيكية التي تظهر على شكل حركة شوكات الرافعة.



شكل 1 - 37 مضخة الزيت

3- أنابيب الضغط العالي :

تصنع هذه الأنابيب من المطاط المسلح بالأسلاك الفولاذية الرفيعة لتحمل الضغط العالي الناتج عن كبس الزيت بوساطة مضخة الزيت وتصل هذه الأنابيب أجزاء المنظومة الهيدرولكية لمرور الزيت خلالها ويجب أن تربط بإحكام لمنع تسرب الزيت الى خارج المنظومة للحفاظ على الضغط المسلط على الزيت داخل المنظومة الهيدروليكية.

4ـ صمامات التحكم :

تثبت صمامات التحكم في مجمع تمر من خلاله أنابيب نقل الزيت، للتحكم في توجيه مرور الزيت الى الأسطوانات الهيدروليكية أو رجوعه إلى خزان الزيت ويمكن التحكم بفتح وغلق الصمامات آلياً أو كهربائياً من قبل المشغل، إذ يمكن غلقها وفتحها لمنع مرور الزيت باتجاه معين وعدم السماح له بالمرور باتجاه آخر وبذلك تتم السيطرة على اتجاه حركة شوكتي الرافعة تبعاً لنوع العمل المطلوب إنجازه.

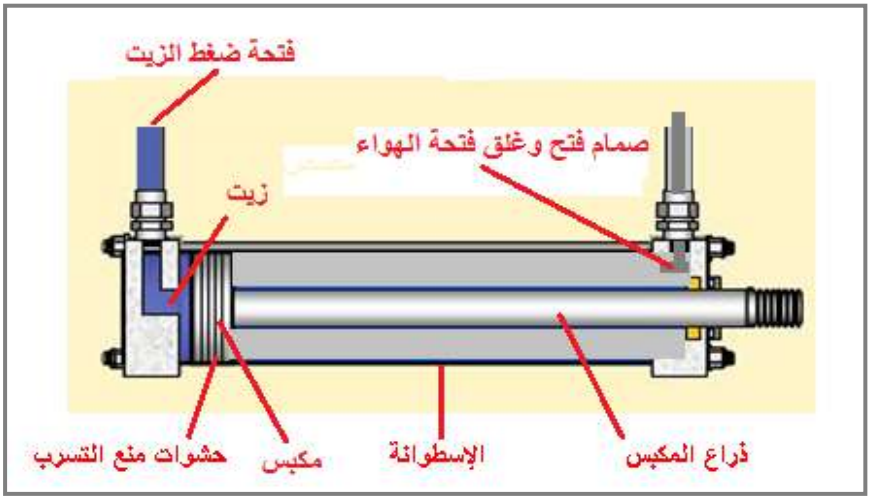
5 ـ الأسطوانات الهيدروليكية:

تقوم الأسطوانة الهيدروليكية بتحويل طاقة الزيت المضغوط الذي تضخه مضخة الزيت إلى طاقة ميكانيكية تظهر على شكل حركة مستقيمة لذراع المكبس المدفوع بفعل ضغط الزيت.

يوجد نوعان من الأسطوانات الهيدروليكية وهما: أسطوانات هيدروليكية تؤثر فياتجاه واحد وأسطوانات هيدروليكية لها تأثير باتجاهين .

أ ـ الأسطوانات ذات التأثير باتجاه واحد :

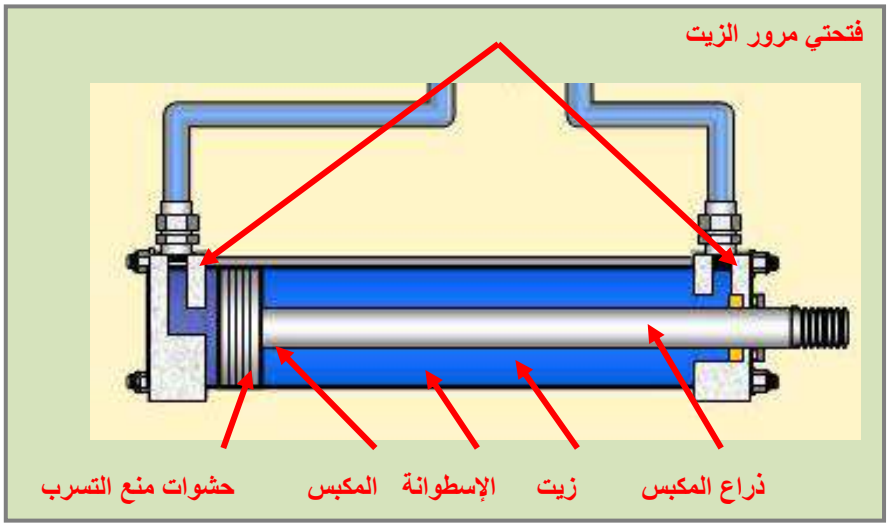
تثبت الأسطوانة بوساطة قواعد تثبيت على جسم الرافعة ، هذه الأسطوانات تعطي قوة باتجاه واحد فقط ، إذ يسمح للزيت بالدخول إلى جهة واحدة من اتجاه ثم يرجع إلى الوضع الأول عند رفع الضغط عن المكبس بتأثير وزن الجسم أو نابض يوضع خلف المكبس وتوجد فتحة صغيرة يركب فيها صمام للتحكم في غلقها أثناء الكبس لمنع فقد قوة ضغط الزيت المسلطة على المكبس وفتحها عند رجوع المكبس وذراعه بعد رفع الضغط عنه، للسماح بإدخال الهواء وتغطى هذه الفتحة بمصفي هواء لمنع دخول الأتربة والشوائب الى داخل الأسطوانة ويركب مانع تسرب الزيت (جبنة) في فتحات حلقية تحيط بالمكبس لمنع تسرب الزيت الى الجانب الآخر من الأسطوانة ويركب في نهاية الأسطوانة مانع تسرب الزيت من النوع الماسح للمحافظة على نظافة سطح ذراع المكبس كما مبين في الشكل (1 ـ 38) .



شكل 1 ـ 38 أسطوانة هيدروليكية ذات تأثير باتجاه واحد

ب ـ الأسطوانات ذات التأثير المزدوج :

لهذا النوع من الأسطوانات شكل (1- 39) قوة تأثير في اتجاهين على سطح المكبس إذ يضخ الزيت بالتعاقب على المكبس من الجهتين عن طريق فتحة في كل جانب من الأسطوانة فعند ضغط الزيت في إحدى الفتحتين يندفع المكبس دافعاً أمامه كمية الزيت الموجودة في جانبه الآخر ليخرجه من الفتحة الثانية في الطرف الآخر من الأسطوانة وكذلك إخراج ذراع المكبس الى الخارج ثم يضخ الزيت من الفتحة الثانية لإرجاع المكبس إلى النقطة الأولى في الأسطوانة دافعاً أمامه الزيت في الجهة الأخرى من المكبس ليخرج من الفتحة الأولى وإدخال ذراع المكبس إلى داخل الأسطوانة.



شكل 1 - 39 أسطوانة هيدروليكية ذات تأثير مزدوج

صيانة المنظومة الهيدروليكية:

للحفاظ على عمل المنظومة الهيدروليكية بكفاءة عالية وزمن اشتغال أطول، يجب إجراء الصيانة الدورية لأجزاءالمنظومة كالآتي :

1. ملاحظة مستوى الزيت ومواصفاته إذ يجب استبداله بعد فترة عمل محددة أو إضافة الزيت لتعويض النقص .
2. معالجة مواقع تسرب الزيت ، فإذا كان التسرب داخلي سوف يؤثر على كفاءة المنظومة دون ظهور نقص في مستوى الزيت، وفي هذه الحالة يجب استبدال مانعات التسرب الداخلية أو فحص صلاحية عمل صمامات التحكم أو يكون التسرب خارجياً وفي هذه الحالة يظهر نقص في مستوى الزيت فيجب معالجة نقاط التسرب ، إن كانت في الحشوات الخارجية للأسطوانات أو وصلات الأنابيب فيجب تفريغ الزيت واستبدال الحشوات أو وصلات الأنابيب التالفة ثم ملء المنظومة بالزيت.

أسئلة الفصل الأول

س[1]- عدد مكونات ماكنة السحب ذات التروس .

س[2]- حدد نوعاً من المصاعد التي تستخدم فيها مكائن السحب ذات صندوق التروس .

س[3]- حدد نوعاً من المصاعد التي تستخدم فيها مكائن السحب بدون صندوق التروس .

س[4]- ما أنواع المحركات الكهربائية المستخدمة في المصاعد، وما الفرق بينها ؟

س[5]- لماذا يستخدم صندوق التروس في المصاعد، وما مكوناته ؟

س[6]- كيف يمكن إيقاف عربة المصعد في حالة خروجها عن السيطرة أوفي حالة قطع حبال السحب ؟

س[7]- من إي المعادن يصنع الترس الحلزوني ؟

س[8]- عدد فوائد المساند والكراسي المتدحرجة ؟وما هي أنواعها ؟ وما الطريقة الأفضل لصيانتها ؟

س[9]- عدد فوائد صندوق التروس .

س[10]- عدد فوائد الزيت المستخدم في صندوق التروس لماكنة السحب للمصعد الكهربائي .

س[11]- عدد خواص الزيوت الجيدة المستخدمة في صندوق تروس ماكنة السحب للمصعد الكهربائي .

س[12]- ما هي أسباب حدوث الحركة الإرتجاجية في صندوق التروس المستخدم في المصعد الكهربائي ؟

س[13]- عدد أنواع الكابح المغناطيسي وما الفرق بينها ؟

س[14]- أشرح مكونات الكابح المغناطيسي؟

س[15]- كيف تتم معايرة حركة ذراع الكابح ؟

س[16]- ما هو عدد بكرات التوجيه لعربة المصعد الكهربائي وما فائدتها وأين تثبت ؟

س[17]- عدد أنواع محكم السرعة.

س[18]- ما الفائدة من الأسطوانة الهيدروليكية في المنظومة الهيدروليكية ؟

س[19]- ما مواصفات الأنابيب المستخدمة في المنظومة الهيدروليكية ؟

س[20]- عدد النقاط التي يجب أتباعها عند صيانة المنظومة الهيدروليكية ؟

الفصل الثاني

مكائن التيار المستمر

الأهداف:

يكون الطالب قادراً بعد دراسة الفصل على أن:

1- يتعرف على أنواع مولدات التيار المستمر ونظرية اشتغالها.

2- يتعرف على أنواع محركات التيار المستمر ونظرية اشتغالها.

3- يتعرف على كيفية طرق التحكم بسرعة محركات التيار المستمر وتقليل تيار البدء فيها.

4- يتعرف على كيفية عمل محرك التيار المستمر في الرافعة الشوكية.

المحتويات

المفردات:

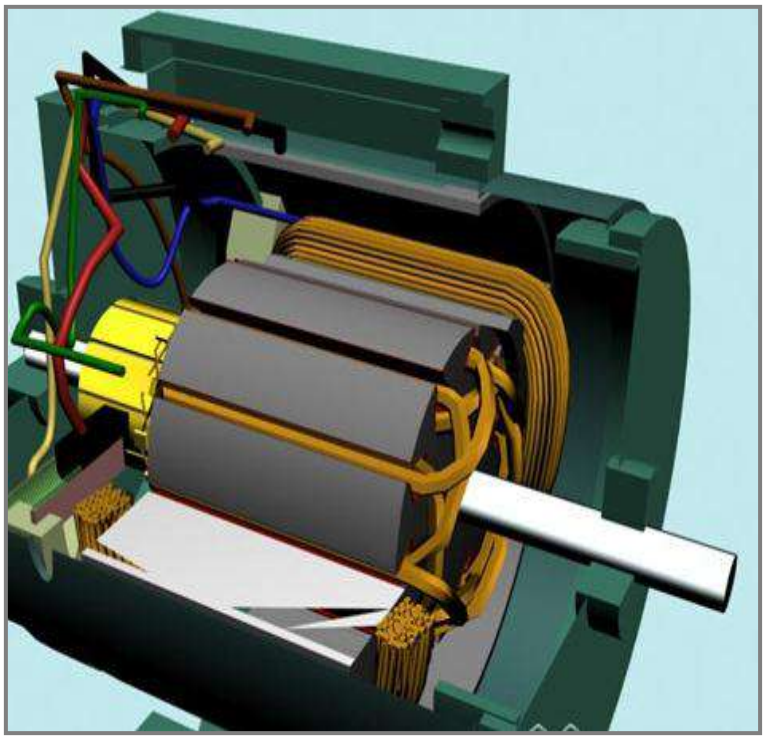
2 - 1 مكائن التيار المستمر (تركيبها وأجزائها).

2 - 2 مولدات التيار المستمر(نظرية اشتغالها وأنواعها).

2 - 3 محركات التيار المستمر(نظرية اشتغالها وأنواعها).

2 - 4 التحكم بسرعة محركات التيار المستمر وتقليل تيار البدء فيها.

2 - 5 محرك التيار المستمر في الرافعة الشوكية.



1-2 مكائن التيار المستمر (تركيبها وأجزائها) (D.C. Machines) :

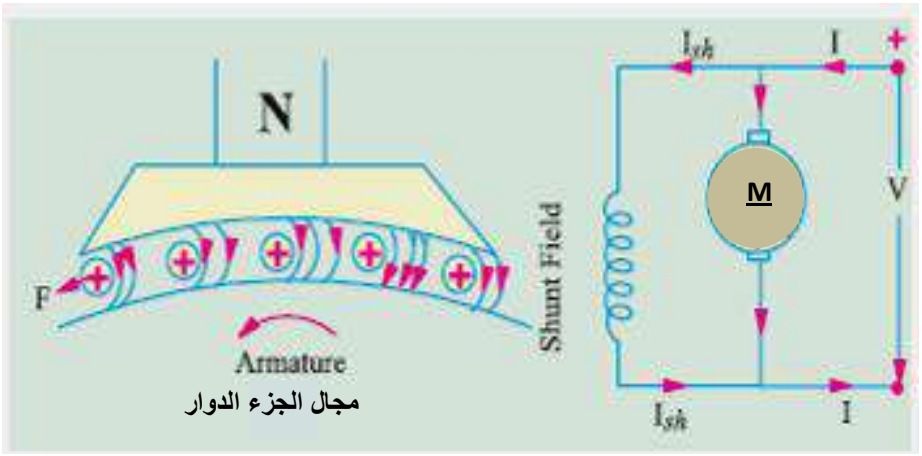
هناك نوعان من مكائن التيار المستمر:

ـ مولدات التيار المستمر: هي المكائن التي تقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية الى طاقة كهربائية.

ـ محركات التيار المستمر: هي المكائن التي تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة ميكانيكية.

مبدأ عمل ماكنة التيار المستمر(D.C. Machine Operation Principle) :

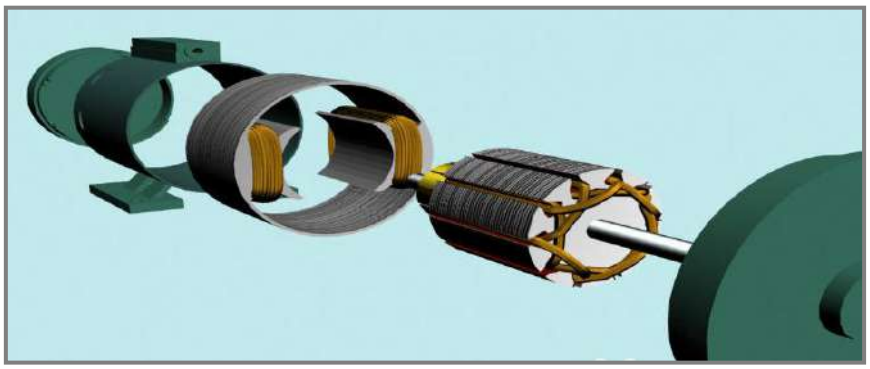
إنماكنة التيار المستمر (DC-Machine)يمكن استخدامها كمولد (Generator)أومحرك (Motor) فعندما تدارالماكنة ميكانيكياً تولد تياركهربائي يغذي الدائرة الخارجية وتسمى عندئذ مولد تيار مستمر.وعندما تغذى الماكنة بتيار كهربائي مستمر يتولد في الدائرة مجالين مغناطيسيين (مجال الأقطاب المغناطيسية في الجزء الثابت والجزء الدوار) ومن محصلة المجالين يتولد العزم الذي يسبب دوران الجزء الدوار (Armature) وتسمى حينئذ محرك تيار مستمر كما مبين في الشكل (2-1).

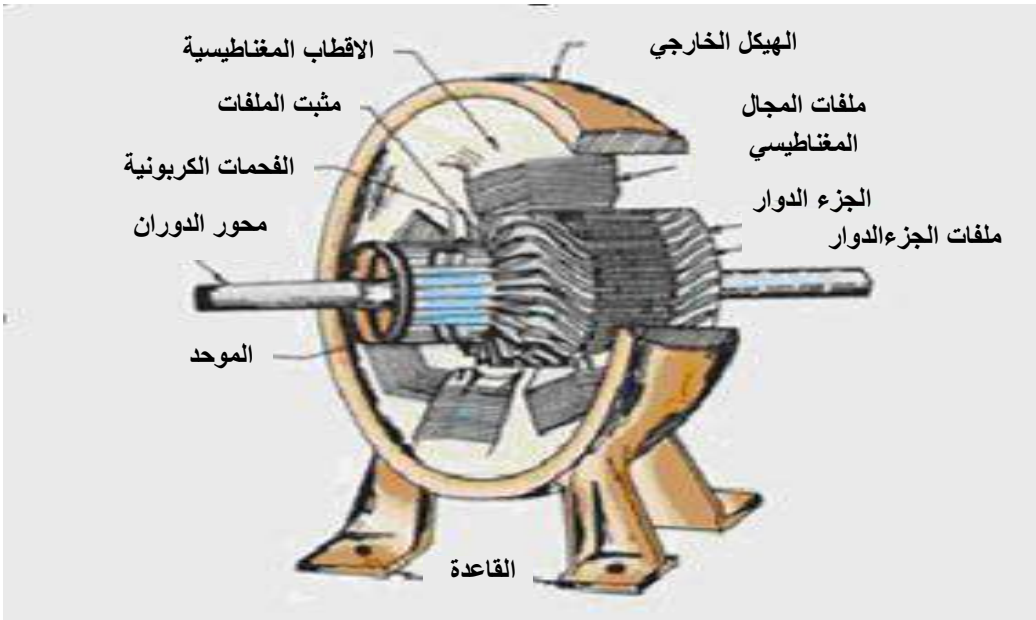


شكل 2-1 محرك التيار المستمر

تركيب ماكنة التيار المستمر:

تتكون ماكنة التيار المستمر من الأجزاء الآتية كما مبين في الشكل (2-2) :





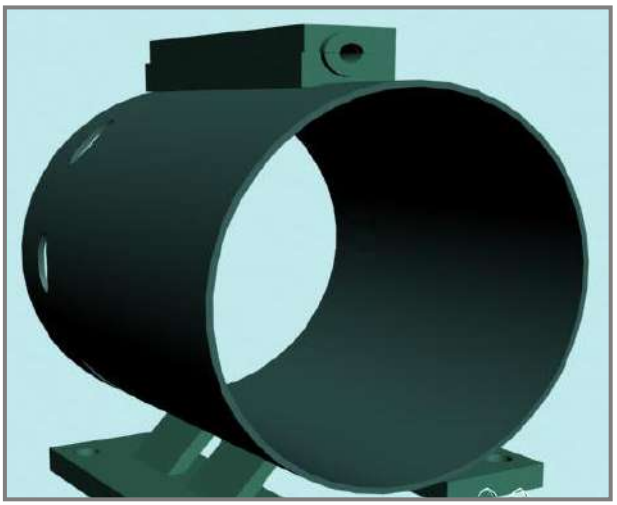
شكل 2-2 تركيب ماكنة التيار المستمر

1- الهيكل الخارجي (Yoke) :The outer frame

يتكون من الحديد الصلب أو الفولاذ الصلب كما مبين في الشكل (2-3) ويفضل النوع الثاني حيث تكون نفاذيته المغناطيسية عالية وفائدته هي:

A- حماية الأجزاء الداخلية: يعمل كغطاء لحماية الماكنة بكاملها من التأثيرات الخارجية.

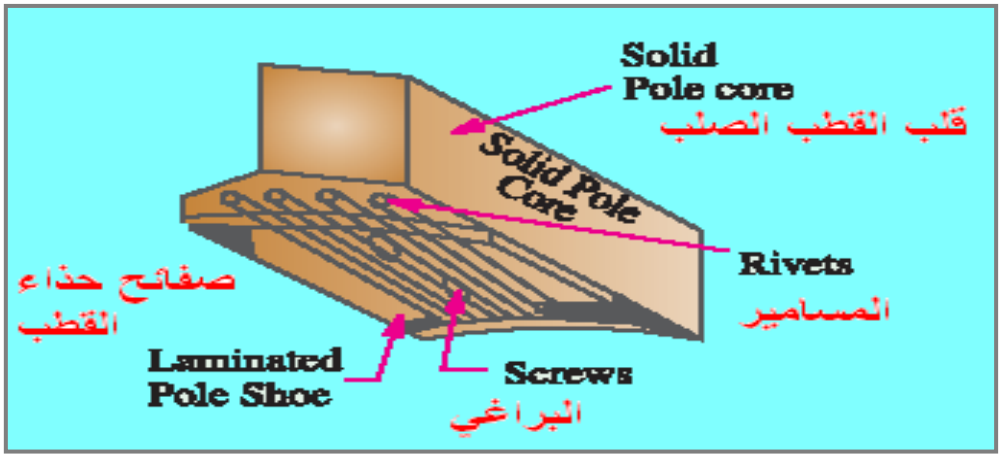
B- يعطي الإسناد الميكانيكي الى الأقطاب.



شكل 2-3 الهيكل الخارجي

2 - الأقطاب المغناطيسية (Magnetic Poles):

الأقطاب المغناطيسية عبارة عن قلب حديدي(Pole Core) وحذاء القطب (Pole Shoes) كما مبين في الشكل (2-4) وهي تتكون من رقائق الصلب المعزولة ذات سمك يقرب على المليمتر الواحد ولها خواص مغناطيسية جيدة وتثبت هذه الرقائق بوساطة مسامير على السطح الداخلي للهيكل الخارجي وهي مزودة من الأمام بجزء يسمى حذاء القطب (Pole – Shoe) لتسمح لخطوط القوى المغناطيسية بتغطية مساحة أوسع من الجزء الدوار. إن فائدة القلب الحديدي هي حمل ملفات المجال (CoilsField) وحذاء القطب يقلل الفجوة الهوائية بين القطب والجزء الدوار (المنتج) كما مبين في الشكل (2-4).

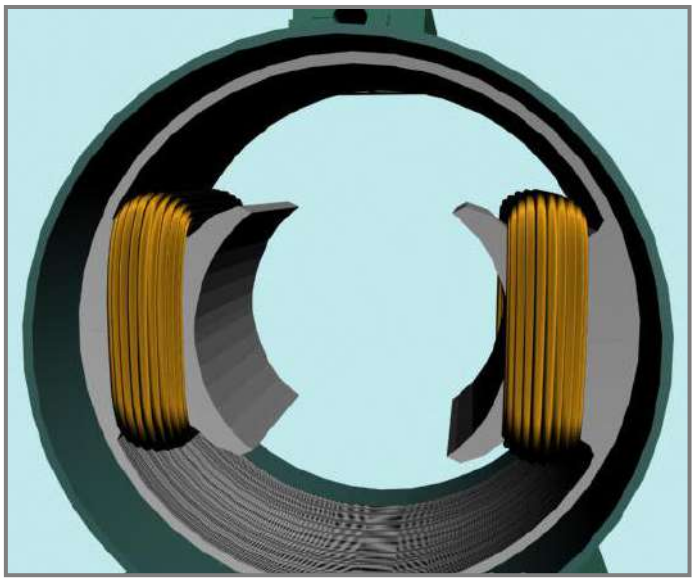


شكل 2-4الأقطاب المغناطيسية

ملفات المجال المغناطيسي (Pole Coils) :

تتكون من سلك نحاسي ملفوف يوضع على القلب (Core) وعند مرور التيار بهذه الملفات سوف يتولد الفيض اللازم الذي يقطع ملفات (موصلات) الجزء الدوار.

وهذه الملفات مسؤولة عن تكوين التدفق المغناطيسي في الماكنة وهي تتكون من نوع واحد أو نوعين أحدهما من سلك رفيع يتحمل تياراً صغيرا نسبيا والآخر من سلك سميك نسبياً يتحمل تياراً كبيراً نسبياً وتسمى الأولى (ملفات التوازي) والثانية (ملفات التوالي). تربط ملفات التوازي على التوازي مع الجزء الدوار وتسمى الماكنة (ماكنة توازي) وتربط ملفات التوالي على التوالي مع الجزء الدوار وتسمى الماكنة (ماكنة توالي) وأما إذا احتوت الماكنة على نوعين من الملفات سميت (ماكنة مركبة)، كما مبين في الشكل (2-5).



شكل 2-5ملفات المجال المغناطيسي

3- الأقطاب البينية أو الأقطاب المساعدة (Intermediant Poles):

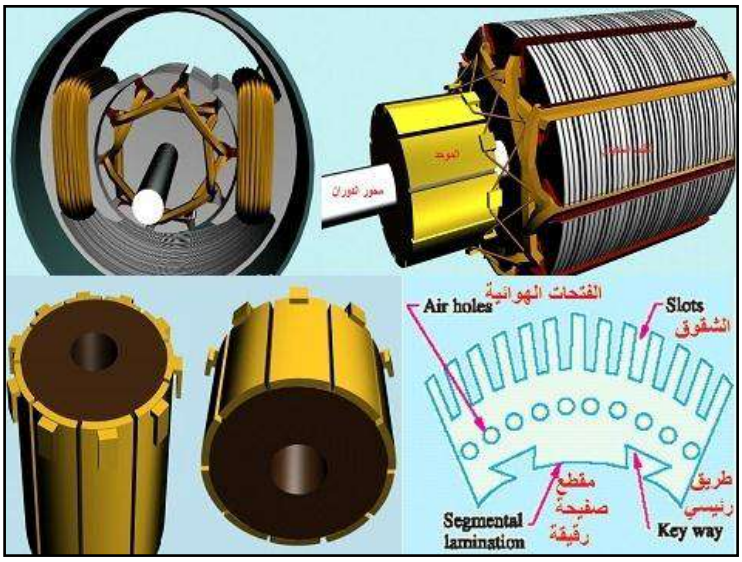
هي عبارة عن أقطاب صغيرة المقطع بالمقارنة مع أقطاب المجال التي سبقت الإشارة إليها وتوضع بالضبط في منتصف المسافة بين الأقطاب الرئيسة ولذلك تسمى بـ (الأقطاب البينية).

4- الجزء الدوار (Armature):

يتكون الجزء الدوار الذي يسمى عادة المنتج (Armature) في الماكنة الكهربائية كما مبين في الشكل (6-2) من :

A. محور الدوران (Shaft):وهو الذي يحمل قلب الجزء الدوار ويستند على المساند (Bearing) التي تركب في الغطائين الجانبين(Side Covers) للهيكل الخارجي .

B.القلب الحديدي للجزء الدوار (Armature Core):وهو الذي يحمل ملفات (موصلات) الجزء الدوار ويسبب الدوران قطع خطوط الفيض المغناطيسي ،فضلاً عن توفير الممر اللازم للفيض خلال الجزء الدوار من القطب الشمالي (N-Pole)إلى القطب الجنوبي (S-Pole) ويكون القلب على شكل أسطوانة مصنوع من أقراص(صفائح دائرية من مواد ذوات نفاذية مغناطيسية عالية بسمك (0.5 mm) وهو أحد الأجزاء الرئيسة للجزء الدوار (ذات نفاذية عالية) ووظيفته حمل الموصلات الكهربائية (الملفات النحاسية المعزولة عن بعضها البعض وعن القلب) وتكون مثقبة كقناة لمرور الهواء إلى الجزء الدوار لغرض التبريد وفائدة هذه الصفائح الرقيقة هو لتقليل الطاقة المفقودة نتيجة التيارات الإعصارية (EddyCurrent).

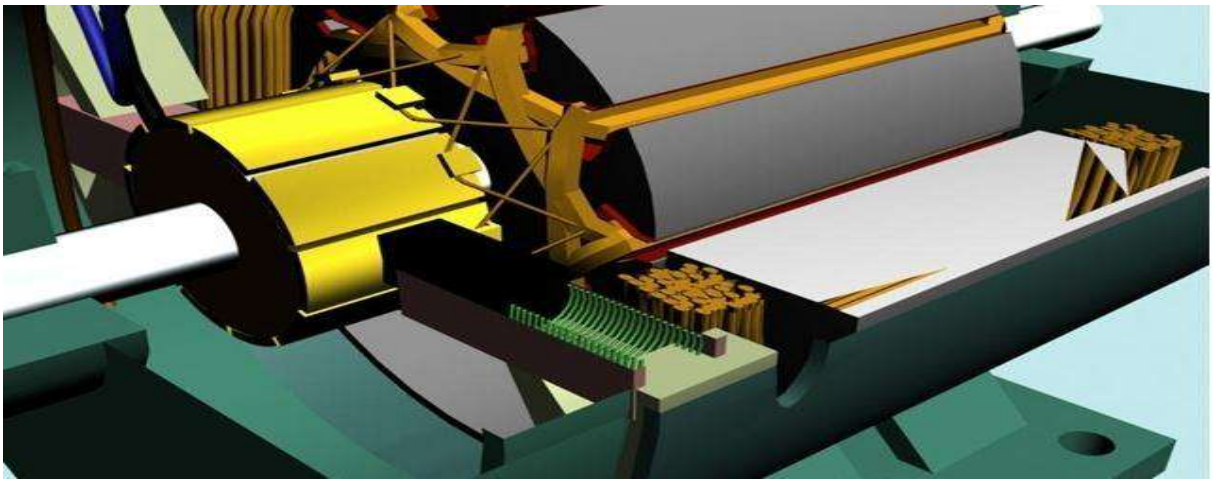


شكل 2-6الجزء الدوار (المنتج)

C- الموحد (المعدل) (Commutator):وهو عبارة عن تركيب أسطواني مكون من قطع نحاسية جيدة التوصيل الكهربائي معزولة بعضها عن بعض بطبقة من المايكا (Mica)ويركب مع الجزء الدوار على محور الدوران (Shaft)ويقوم الموحد بجمع التيار من ملفات الجزء الدوار (المنتج) ويقوم بتوحيد التيار.

5- ملفات الجزء الدوار (الموصلات) (Armature Winding) :

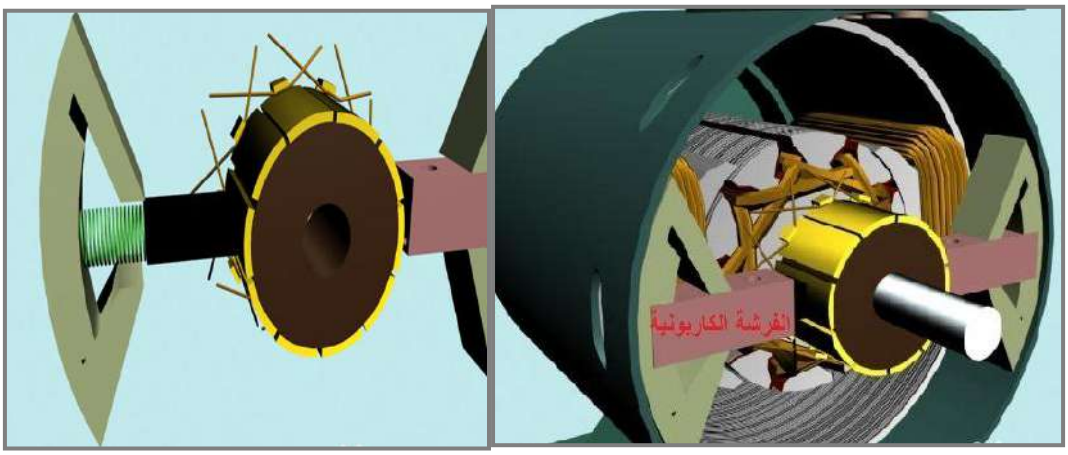
وهذه هي أهم أجزاء الماكنة سواء أكانت مولداً أم محركاً، حيث تتولد فيها قوة دافعة كهربائية (ق.د. ك) عند عمل الماكنة كمولد أو تولد العزم عند عملها كمحرك وهي عبارة عن ملفات نحاسية توضع في مجاري الجزء الدوار وتلحم بدايات ونهايات هذه الملفات إلى قطع الموحد كما مبين في الشكل (2-7).



شكل 2-7 ملفات الجزء الدوار

6- الفرش (Brushes) :

وهي الفحمات أوالفرش الكاربونية تتكون من خليط من مادة الكاربون (الفحم) ومسحوق مادة موصل (مثل النحاس أو أحد مركباته) وتقوم توصيل التيار من المعدل ويعتمد عددها على قيمة التيار المأخوذ من الموحد كما مبين في الشكل (2-8).



شكل 2-8 الفرش الكاربونية

2 - 2 مولدات التيار المستمر(نظرية اشتغالها وأنواعها) :

1- مبدأ عمل المولد (Generator Operation Principle):

المولد الكهربائي : هو الماكنة التي تقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية وإن تحول هذه الطاقة يعتمد أساساً على مبدأ حركة ديناميكية لموصل يقطع المجال المغناطيسي، مولداً قوة دافعة كهربائية محتثة (E) حسب قانون فاراداي (Faradays Law) في الحث الكهرومغناطيسي ونرمز لها (E) فتسبب مرور تيار كهربائي في دائرة الموصل المغلقة. لذا فإن القاعدة الأساسية للمولد تعتمد على ما يأتي:

1- وجود مجال مغناطيسي.

2- وجود موصلات تقطع خطوط المجال المغناطيسي مما يؤدي إلى توليد (ق .د . ك) محتثة.

3- وجود حركة الموصل داخل المجال.

أذا وضع موصل طوله (L) متر في مستوى متعامد على اتجاه خطوط المجال المغناطيسي، كثافته (B) ووحدة القياس له (m^2/Wb) وتحرك الموصل بسرعة (*v*) ووحدة قياسها (m/sec) بحيث يقطع هذه الخطوط فإن قوة دافعة كهربائية(E) سوف تتولد في هذا الموصل وتكون قيمتها تساوي:

$$E = B \times L \times v$$

حيث أن :

E : **القوة الدافعة الكهربائية (فولت)**

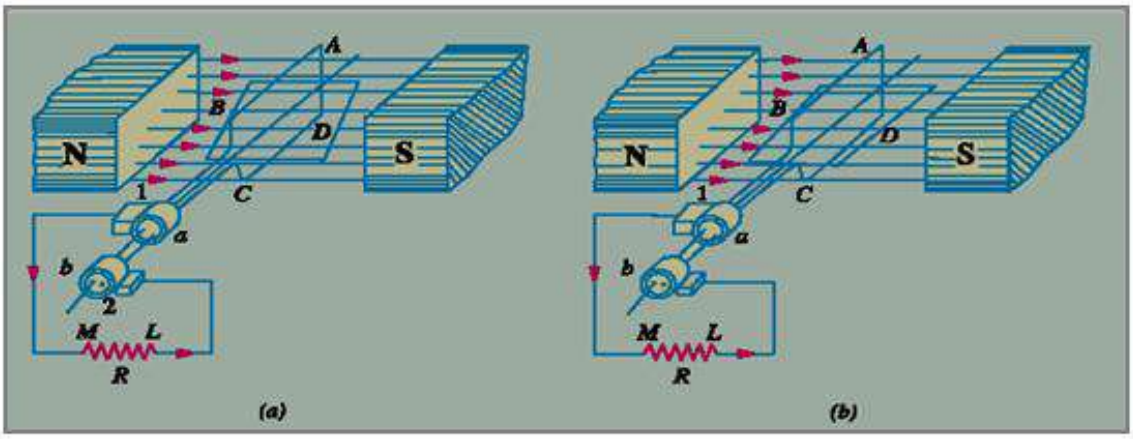
B : **كثافة الفيض المغناطيسي (ويبر / متر مربع**

L : **طول الموصل (متر)**

v : **السرعة (متر / ثانية)**

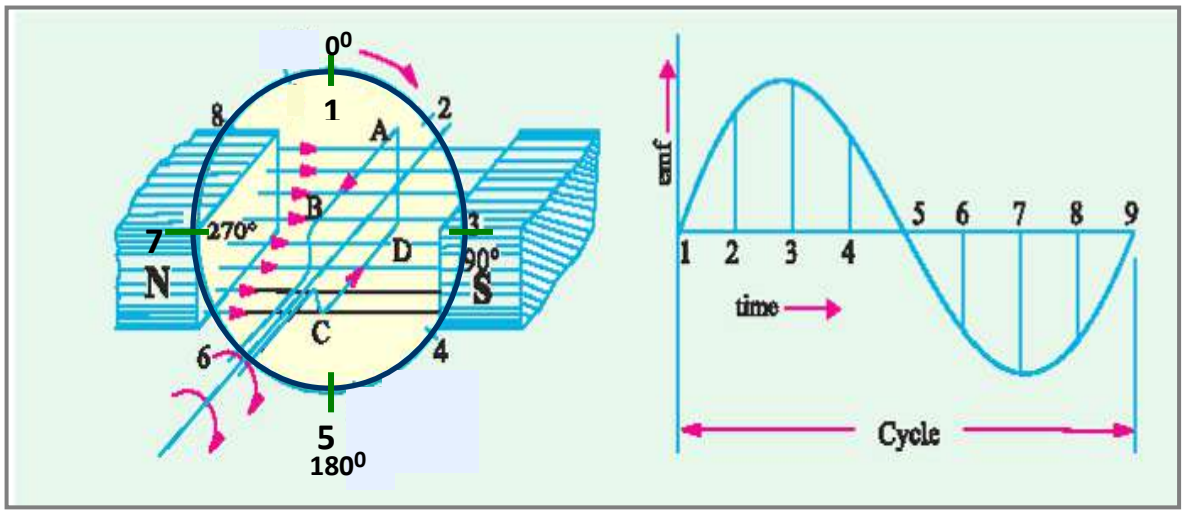
دائرة موصل مولد بسيطة :

يبين الشكل (2-9) موصل نحاسي (Coil) مستطيل واحد يرمز له(A-B-C-D) يدور حول محوره داخل مجال مغناطيسي (Magnetic Field) وتوصل نهايتي الموصل (Coil) إلى حلقتي انزلاق(a) و(b) المعزولتين عن بعضهما وعن محور الدوران وان الفرشتين (1) و(2) الجامعتين (المصنوعة من الكربون أو النحاس) تضغطان على حلقتي الانزلاق وعملهما هو جمع التيار المتولد في الملف ونقله إلى الحمل الخارجي (R). يمكن تسمية الملف الدوار (Armature)والمجال المغناطيسي(Magnetic Field).



شكل 2-9 مولد بسيط

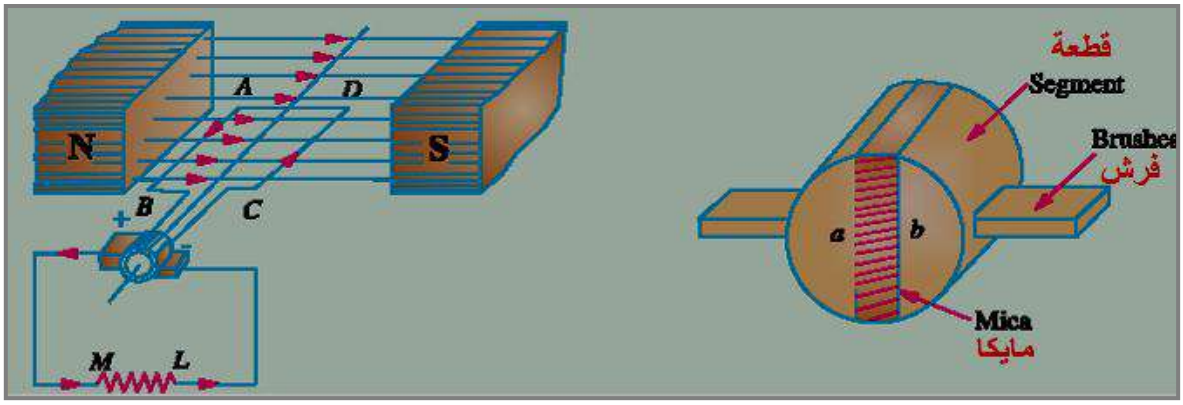
نفترض أن الملف (Coil) يدور باتجاه عقرب الساعة، ويقطع خطوط الفيض المغناطيسي كما مبين في الشكل (2-10). فسوف تتولد قوة دافعة كهربائية محتثة(E)تكون على شكل موجة جيبية(Sine Wave) تتناسب مع نسبة تغير خطوط الفيض المغناطيسي (Φ)عندما يكون مستوى الملف في موقع (النقطة 1) تكون نسبة تغير خطوط الفيض المغناطيسي قليلة (Minimum) وتكون قيمة القوة الدافعة الكهربائية (E) قليلة تقريباً صفر (Minimum) وذلك لأن جهتي الملف (A-B) و (C-D) تتحركان بالتوازي مع خطوط الفيض ولا تقطعان خطوط الفيض، لأن الزاوية بينهما تساوي صفر (θ = 0°) .



شكل 2-10 دوران ملف و موجة جيبية

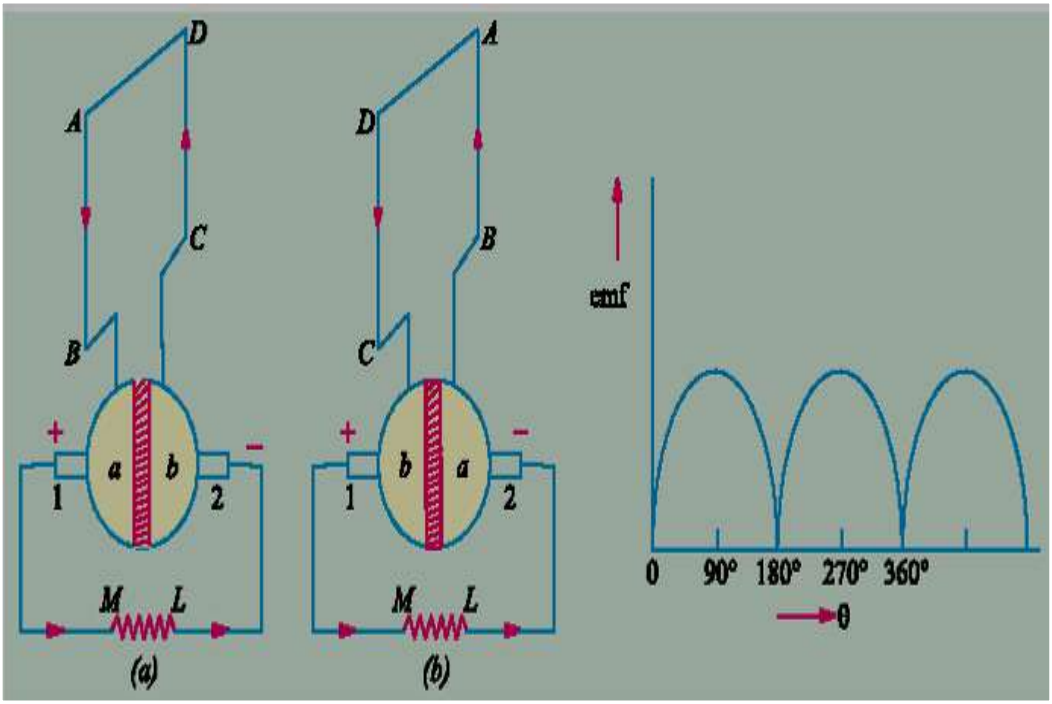
وعندما يستمر الملف بالدوران فأن نسبة تغير خطوط الفيض سوف تزداد وبذلك تبدأ القوة الدافعة الكهربائية المحتثة بالزيادة حتى وصول مستوى الملف الموقع (النقطة 3) تكون نسبة تغير خطوط الفيض عظمى (Maximum) وتكون قيمة القوة الدافعة الكهربائية (E) عظمى أيضاً (Maximum) لأن جهتي الملف (A-B) و (C-D) ستقطعان خطوط الفيض وحركتهما عمودياً لخطوط الفيض وإن زاوية الدوران (θ=90°) وعند دوران الملف في الربع الثاني من (θ = 90°) الى (θ = 180°) فأن نسبة تغير خطوط الفيض تقل تدريجياً وبذلك ستقل تدريجياً القوة الدافعة الكهربائية (E) حتى وصول الملف إلى الموقع (النقطة 5)تصبح الزاوية (θ = 180°) ،فأن القوة الدافعة الكهربائية (E) تصبح قيمتها صفرا (Minimum) . نلاحظ في النصف الأول من دوران الملف أن قيمة (E) المحتثة تكون قليلة تقريبا صفراً في الموقع (النقطة 1) وتكون قيمتها عظمى في الموقع (النقطة 3) وتكون قيمتها صفرا في الموقع (النقطة 5) ويمكن أن نجد اتجاه (E) بتطبيق قاعدة اليد اليمنى ويكون اتجاه التيار في النصف الأول من دوران الملف(A-B-M-L-C-D) ويمر التيار خلال مقاومةالحمل (R) من (M) إلى (L) كما مبين في الشكل(9-2-a) وتسمى هذه النصف دورة من دوران الملف بـ (نصف الموجة الموجبة) وفي النصف الثاني من دوران الملف (A-B-C-D) من الزاوية (180°) إلى الزاوية (360°) ستتغير قيمة القوة الدافعة الكهربائية (E) كما كان في النصف الأول من دوران الملف حيث تصبح قيمة(E) عظمى (Maximum)عندما يكون الملف في الموقع (نقطة 7) وبزاوية (270°) وتصبح قليلة تقريبا صفراً (Minimum) عندموقع (النقطة1) وبزاوية (360°) ولكن سيكون اتجاه التيار المحتثمن (Dإلى C) ومن(Bإلى A) ويكون اتجاه التيار المار خلال النصف الثاني من دوران الملف (D-C-L-M-B-A) بالضبط عكس اتجاه التيار السابق (في حالة النصف الأول) واتجاه التيار المار خلال مقاومة الحمل (R) من (L) إلى (M) كما في الشكل (9-2-b) وتسمى النصف دورة من دوران الملف بـ (نصف الموجة السالبة) ونلاحظأن التيار يتغير اتجاهه بعد كل نصف دورة وتتغير قيمته في كل لحظة ويسمى بـ (التيارالمتناوب)

(Alternating Current) وبالتالي فأنه يختلف عن التيار المستمر (Direct Current) الذي يكون ذات قيمة ثابتة وباتجاه واحد ونلحظ هناك اختلاف آخر بينهما وهو أن القيمة ليست ثابتة فيسمى نصف الموجة الأولى بالموجب (+) ونصف الموجة الثانية بالسالب (-) فيكون التيار المار ليس باتجاه واحد في دائرة الحمل (R) كما في الشكل (2-10) ولجعل التيار المار بالحمل (R) تياراً مستمراً،علينا تبديل الحلقات الانزلاقية للمحرك(Slip–Rings) بحلقات مجزئة (Split-Rings) وتسمى بالموحد (Commutator) كما مبين في الشكل (2-11) وهذه الحلقات المجزئة (Split-Rings)مصنوعة من أسطوانة موصلة مقطوعة إلى قطعتين(Segments) ومعزولة الواحدة عن الأخرى بصفيحة رقيقة من المايكا(Mica) .



شكل 2-11 الموحد

تربط نهايتا الملف إلى هاتين القطعتين(Segments) وهاتين القطعتين تلامسان الفرش الكاربونية(Brushes) ويبين الشكل (2-12-a) النصف الأول من دوران الملف فالتيار يمر عبر (A-B-M-L-C-D) الفرشة الكاربونية (1) تلامس القطعة (a) وتمثل القطب الموجب (+) والفرشة الكاربونية (2) تلامس القطعة (b) وتمثل القطب السالب (-) فالتيار المار عبر الحمل سيكون من (M) إلى (L) ويبين الشكل (2-12-b) النصف الثاني من دوران الملف فالتيار يمر بعكس الاتجاه خلال (D-C-M-L-B-A) لكن بنفس الوقت مكان القطعتين سوف ينعكس أيضاً أي أن الفرشة (1) ستلامس القطعة الموجبة (b) والفرشة (2) تلامس القطعة السالبة (a) فأن التيار المار عبر الحمل سيكون اتجاهه من (M) إلى (L) أيضا وشكل موجة التيار ستكون كما مبين في الشكل (2-12) .



شكل 12-2 الفرش الكاربونية

حساب القوة الدافعة الكهربائية للمولد (E) :

يمكن حساب القوة الدافعة الكهربائية من المعادلة الآتية:

$$E = \frac{\Phi N Z P}{60 \times A} \quad (\text{فولت})$$

حيث أن :

E : القوة الدافعة الكهربائية (فولت)

Φ : الفيض المغناطيسي (ويبر)

N : سرعة الدوران (دورة في الدقيقة)

Z : عدد الموصلات

P : عدد الأقطاب

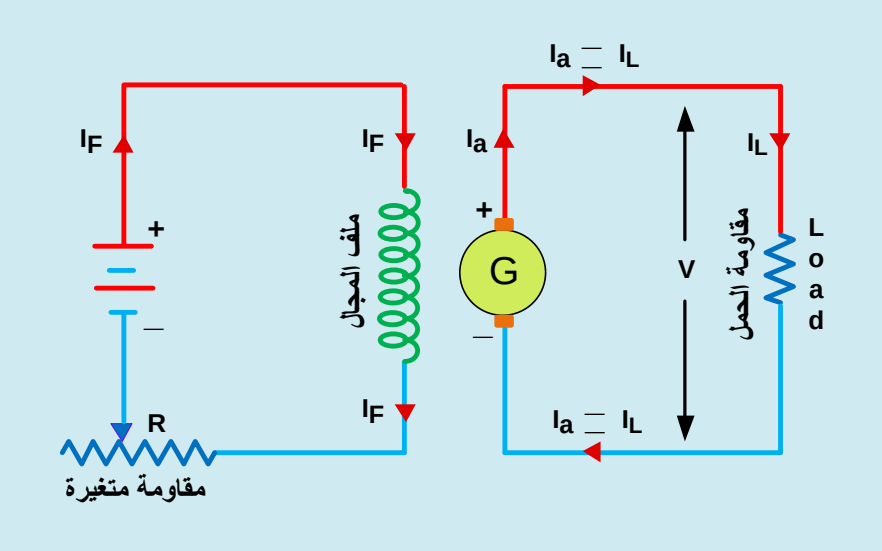
A : عدد دوائر التوازي

2- أنواع المولدات (Types of Generators):

تصنف المولدات عادة حسب طرق تغذية المجال المغناطيسي وتقسم إلى:

أ- مولدات التغذية المنفصلة (Separated Excitation Generators) :

هي تلك المولدات التي يكون فيها ملفات الفيض المغناطيسي تتغذى بالتيار المستمر من مصدر خارجي كما مبين في الشكل (2-13) .



شكل 2-13مولدات التغذية المنفصلة

ب- مولدات التغذية الذاتية (Self Excitation Generators) :

هي تلك المولدات التي يكون فيها ملفات الفيض المغناطيسي تتغذى بالتيار المستمر المتولد من نفس المولد.

وهناك ثلاثة أنواع من مولدات التغذية الذاتية حسب ربط ملفات المجال المغناطيسي مع الجزء الدوار (المنتج).

1- ربط التوازي (Shunt Wound) :

تربط ملفات المجال المغناطيسي على التوازي (Shunt) مع ملفات الجزء الدوار (المنتج) ويسمى (مولد التوازي) وتكون الفولتية الكلية للمولد نفسها على ملفات المجال المغناطيسي، كما مبين في الشكل (2-14) ويكون السلك النحاسي لملف التوازي ذا مقطع صغير نسبياً وعدد كبير من اللفات.

وتحسب القوة الدافعة الكهربائية حسب المعادلة :

$$E = V + V_a$$ (فولت)

$$E = V + I_a R_a$$ (فولت)

إن الفولتية المتولدة (V) من المولد التي تسلط على الحمل، هي عبارة عن القوة الدافعة الكهربائية (E) المتولدة مطروحاً منها فولتية الهبوط على مقاومة الجزء الدوار ($I_a R_a$) وهي تساوي :

$$V = E - I_a R_a$$ (فولت)

حيث أن :

V : الضغط (الفولتية) على طرفي المولد (فولت)

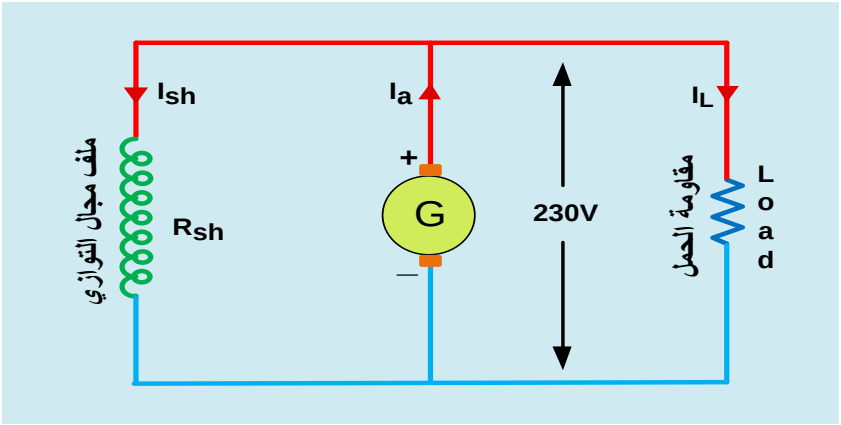
V_a : هبوط الجهد في المنتج (فولت)

E : القوة الدافعة الكهربائية في المنتج (فولت)

R_a : مقاومة المنتج (اوم)

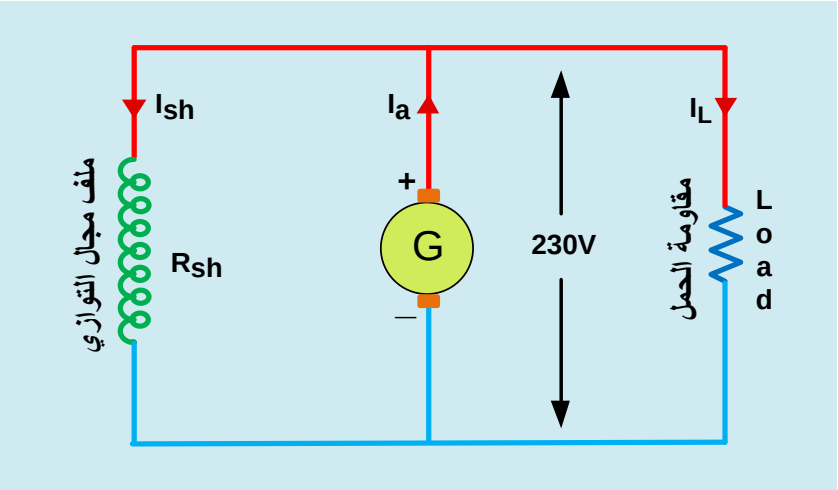
I_a : تيار المنتج (أمبير) ويساوي مجموع تيار الحمل(I_L) وتيار التوازي (I_{sh})

$$I_a = I_L + I_{sh}$$ (امبير)



الشكل (2-14) مولد التوازي

مثال رقم (2-1) : مولد نوع توازي يجهز تياراً قيمته (450 A) وفولتية (230 V) ومقاومة ملفات التوازي (50 Ω) ومقاومة الجزء الدوار (0.03 Ω) أحسب القوة الدافعة الكهربائية المتولدة (E) ؟



الحل:

$$I_{sh} = \frac{V}{R_{sh}} = \frac{230}{50} = 4.6A$$ (تيار المجال)

$$I_a = I_L + I_{sh} = 450 + 4.6 = 454.6A$$ (تيار الجزء الدوار)

$$I_a R_a = 454.6 \times 0.03 = 13.6v$$ (فولتية هبوط المنتج)

$$E = V + I_a R_a = 230 + 13.6 = 243.6v$$ (القوة الدافعة الكهربائية المتولدة)

2- ربط التوالي (Series Wound) :

تربط ملفات المجال المغناطيسي على التوالي (Series) مع ملفات الجزء الدوار (المنتج) ويسمى (مولد التوالي) وفي هذه الحالة فأن تيار الحمل الكلي يمرمن خلال ملفات المجال ويكون السلك النحاسي المستخدم لملف التوالي يكون ذا قطر كبير نسبياً وعدد لفات قليلة لكي يتحمل تيار الحمل المار خلاله كما في الشكل (2-15). وتحسب القوة الدافعة الكهربائية :

$$E = V + I_a (R_a + R_s)$$ (فولت)

إن الفولتية على نقاط التوصيل الخارجية للمولد هي عبارة عن القوة الدافعة الكهربائية (E) المتولدة مطروحاً منها فولتية الهبوط على مقاومة الجزء الدوار($I_a R_a$) ، ومقاومة الملفات المغناطيسية($I_a R_s$) وهي تساوي:

$$V = E - I_a(R_a + R_s)$$ (فولت)

حيث أن :

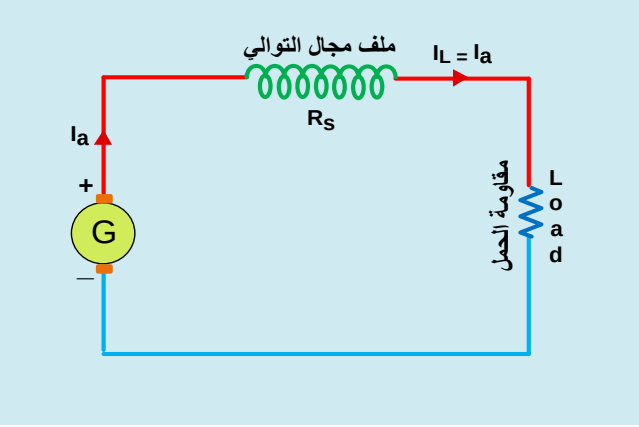
V : الضغط (الفولتية) على طرفي المولد (فولت)

E : القوة الدافعة الكهربائية في المنتج (فولت)

R_a : مقاومة المنتج (اوم)

I_a : تيار المنتج (امبير) ويساوي تيار الحمل (I_L) (امبير)

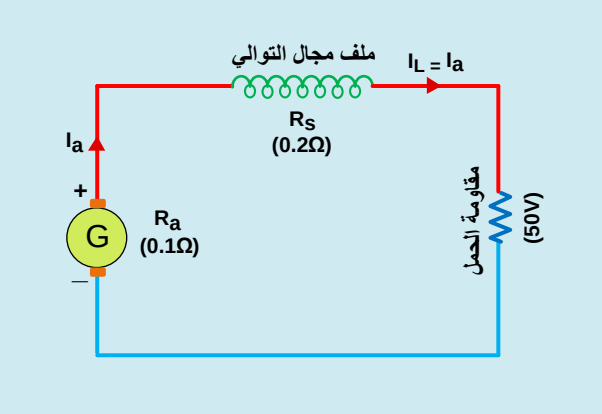
R_S : مقاومة الملفات المغناطيسية (اوم)



شكل 2-15 مولد التوالي

مثال رقم (2-2): مولد نوع توالي مقاومة المنتج (0.1 Ω)ومقاومة ملف التوالي (0.2 Ω) ربط إلى حمل يسحب تيار قيمته (25A) بفولتية (25 V) احسب القوة الدافعة الكهربائية المتولدة (E)؟

الحل :



$$I_a = I_L = 25A$$

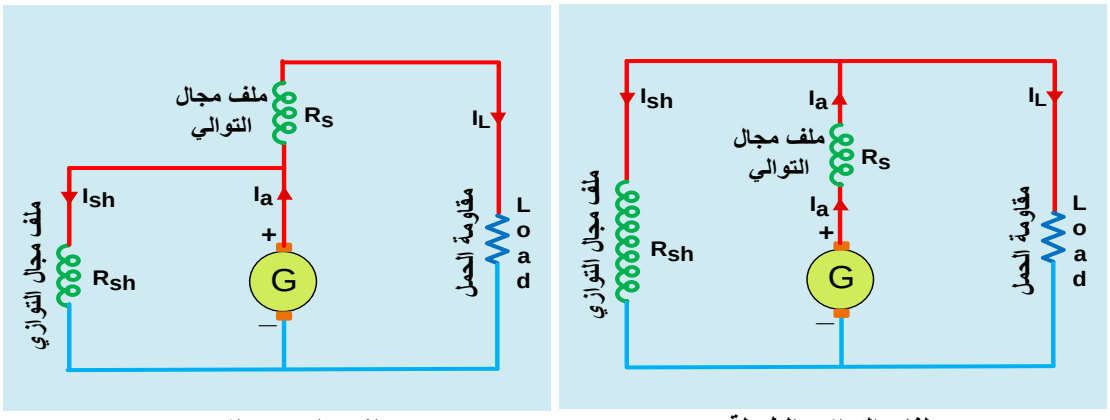
$$E = V + I_a(R_a + R_s)$$

$$E = 50 + 25 \times (0.1 + 0.2)$$

$$E = 57.5V$$

3- ربط المركب (Compound Wound) :

يحتوي هذا النوع من ملفات التوالي وملفات التوازي ويسمى (مولد مركب) وتوصل ملفات التوازي أما مباشرة مع أطراف المنتج وتسمى بالطريقة القصيرة (Short Shunt) أو عبر أطراف الدائرة الخارجية (المنتج مع ملفات التوالي) وتسمى بالطريقة الطويلة (Long Shunt)، كما مبين في الشكل (16-2) .



شكل 16-2 مولد مركب

معادلة المولد المركب القصير $E=V+I_a \times (volt) Ra$

معادلة المولد المركب الطويل $E= V+ I_a \times (R_a+R_s) (volt)$

مثال رقم (3-2) : مولد نوع مركب طويل يجهز الحمل بتيار (50 A) بفولتية (500 V) وبمقاومة ملفات التوالي(0.03 Ω) وملفات التوازي (250 Ω) والجزء الدوار (0.05 Ω) احسب التيارالمتولد والفولتية المتولدة (E) .

الحل :

(تيار التوازي) $$I_{sh} = \frac{V}{R_{sh}} = \frac{500}{250} = 2A$$

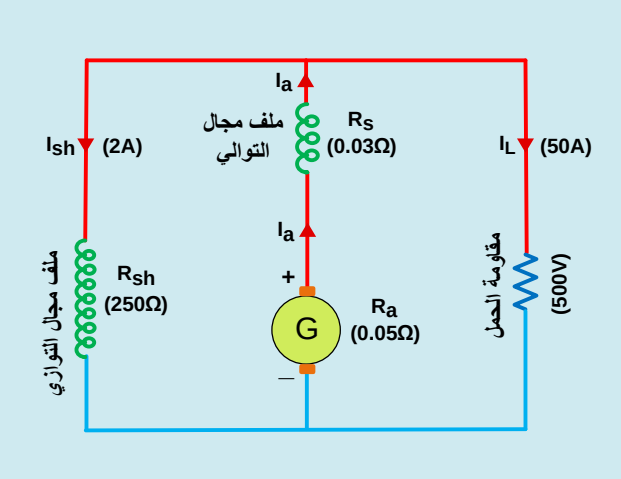
(تيار المنتج) $$I_a = I_L + I_{sh} = 50 + 2 = 52A$$

(فولتية هبوط الجزء الدوار) $$I_a R_a = 52 \times 0.05 = 2.6v$$

(فولتية هبوط ملفات التوالي) $$I_a R_s = 52 \times 0.03 = 1.56v$$

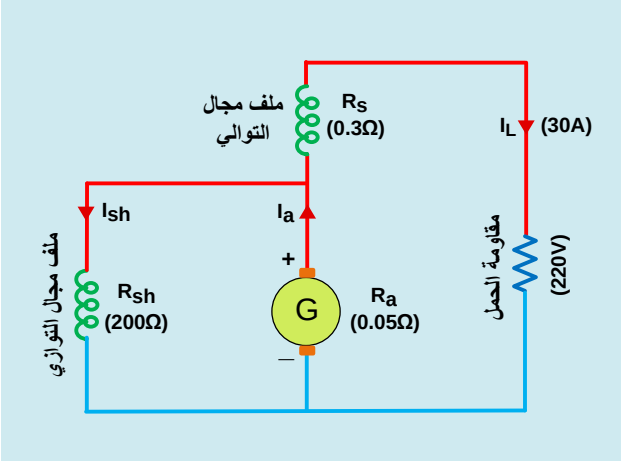
$$E = V + I_a R_a + I_a R_s = 500 + 2.6 + 1.56 = 504.1v$$

(الفولتية المتولدة)أو (ق.د.ك المتولدة)



مثال رقم (2-4) : مولد نوع مركب قصير يجهز الحمل بتيار **(30A)** وبفولتية **(220V)** ومقاومة الجزء الدوار **(0.05Ω)** وملفات التوالي **(0. 3 Ω)** وملفات التوازي **(200Ω)** أحسب القوة الدافعة الكهربائية المتولدة **(E)**؟

الحل :



(فولتية هبوط ملفات التوالي) $V_s = I_L \times R_s = 30 \times 0.3 = 9v$

(فولتية ملف التوازي) $V_{sh} = V_L + V_s = 220 + 9 = 229v$

(تيار ملف التوازي) $I_{sh} = \frac{V_{sh}}{R_{sh}} = \frac{229}{200} = 1.145A$

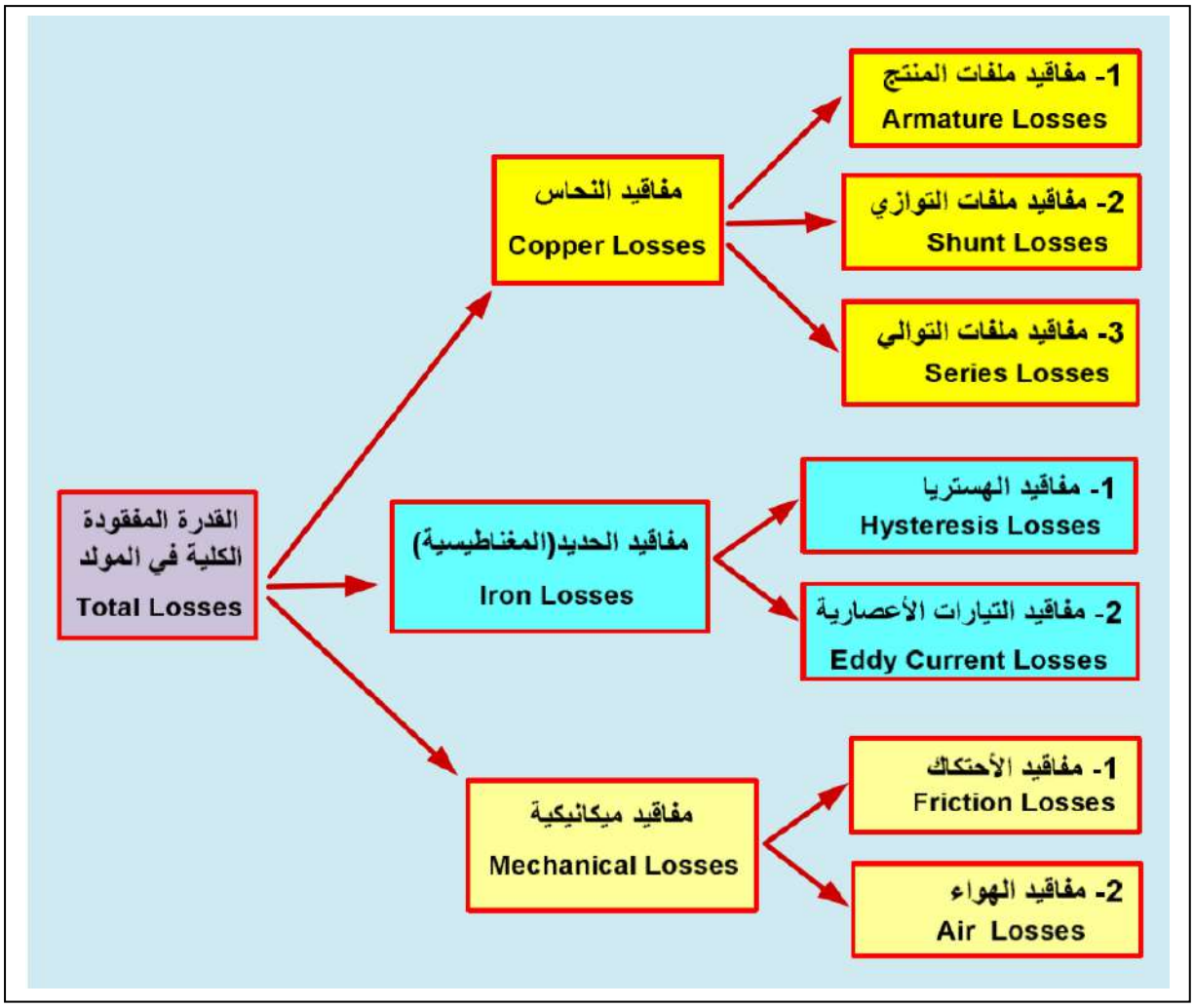
(تيار الجزء الدوار) $I_a = I_L + I_{sh} = 30 + 1.145 = 31.145A$

(فولتية هبوط الجزء الدوار) $V_a = I_a \times R_a = 31.145 \times 0.05 = 1.56v$

(القوة الدافعة الكهربائية) $E_g = V_L + V_s + V_a = 220 + 9 + 1.156 = 230.56v$

القدرة المفقودة في المولد (Total Losses in Generator):

يمكن تصنيف القدرة المفقودة المختلفة كما مبين في الشكل (17-2) :



الشكل 17-2 القدرة المفقودة في المولد

A- القدرة الكلية المفقودة في المولد :

مفاقيد النحاس (Copper Loss) :

1- مفاقيد ملفات الجزء الدوار (المنتج) $= (I_a^2 \times R_a)$

عندما (R_a) هي مقاومة الجزء الدوار والأقطاب البينية (المساعدة) وهذه تمثل (30% - 40%) من مفاقيد الحمل الكلي.

ملاحظة القدرة الخارجة من الجزء الدوار $= E \times I_a$

2- مفاقيد ملفات المجال (Field Coils Losses)

- في حالة مولدات التوازي تكون ثابتة وهي = $(V \times I_{sh}) = (I_{sh}^2 \times R_{sh})$

- في حالة مولدات التوالي تكون = $(I_a^2 \times R_s)$

وهذه تمثل (20% - 30%) من مفاقيد الحمل الكلي .

مفاقيد الحديد أو القلب : وتسمى أيضا (ألمفاقيد المغناطيسية) (Magnetic Losses) وتتكون من:

1- مفاقيد الهستريا (Hysteresis Losses) .

2- مفاقيد التيارات الإعصارية (Eddy Current) .

وهذه المفاقيد تكون ثابتة في مولدات التوازي، والمركب لأن تيار المجال تقريبا ثابت وتمثل (20%-30%) من مفاقيد الحمل الكلي.

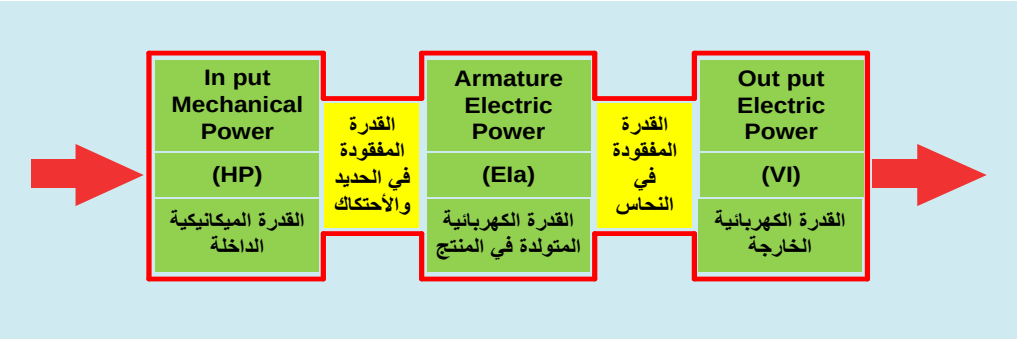
المفاقيد الميكانيكية (Mechanical Losses) :

1- مفاقيدالإحتكاك للمساند (Friction Bearing) .

2- مفاقيد الهواء أو مفاقيد موصلات دوران الجزء الدوار (Air Arm Losses) وهذه تمثل (10% - 20%) من مفاقيد الحمل الكلي.

B- مراحل القدرة (Power Stages) :

يبين الشكل (2-18) مراحل القدرة لمولد التيار المستمر.



شكل 2-18 مراحل القدرة في المولد الكهربائي

وهناك ثلاث حالات لكفاءة المولد:

1- الكفاءة الميكانيكية = القدرة المتولدة في الجزء الدوار / القدرة الميكانيكية المجهزة.

2- الكفاءة الكهربائية = القدرة المتاحة للحمل / القدرة المتولدة في الجزء الدوار.

3- الكفاءة الكلية (التجارية) = القدرة المتاحة للحمل / القدرة الميكانيكية المجهزة.

ومن الواضح أن الكفاءة الكلية للمولدات الجيدة تكون عالية وبحدود95%.

3-2 محركات التيار المستمر (نظرية اشتغالها وأنواعها) :

1- نظرية عمل محرك التيار المستمر (D.C. Motor Operation Theory) :

المحرك الكهربائي: هوعبارة عن ماكنة تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية تظهرعلى شكل حركة دورانية لمحور الـدوران، كما مبين في الشكل (19-2) ومبدأ عمل المحرك يخضع لقانـون لورنتز ويعمل على أساس وضع موصل حامل للتيار داخل المجال المغناطيسي سيعطي قوة ميكانيكية (Mechanical Force) والتي تحدد اتجاهها حسب قاعدة (فلمنك) لليد اليسرى وقيمتها تحدد حسب القانون:

$$F = B \times I \times L$$ (نيوتن)

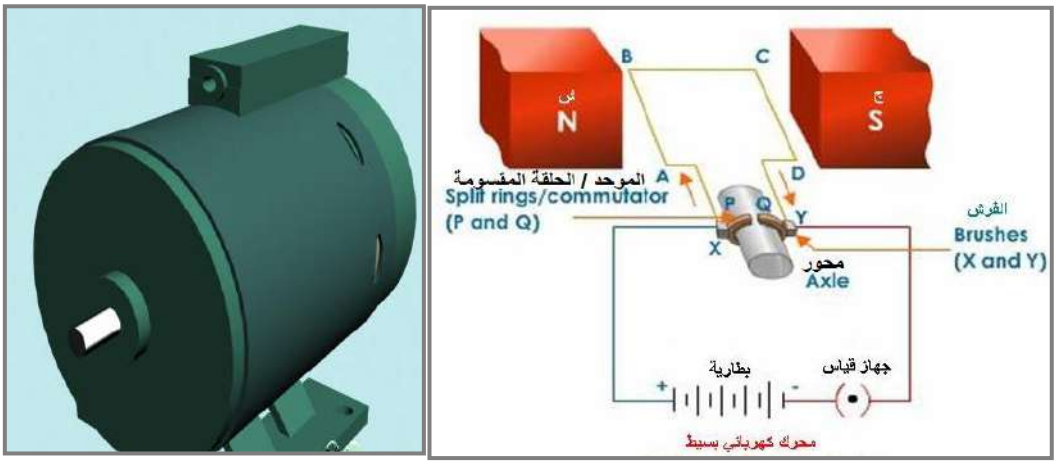
حيثأن :

F: القوة الميكانيكية (نيوتن)

B : كثافة الفيض المغناطيسي (ويبر /مترمربع)

I : التيار المار بالموصل (أمبير)

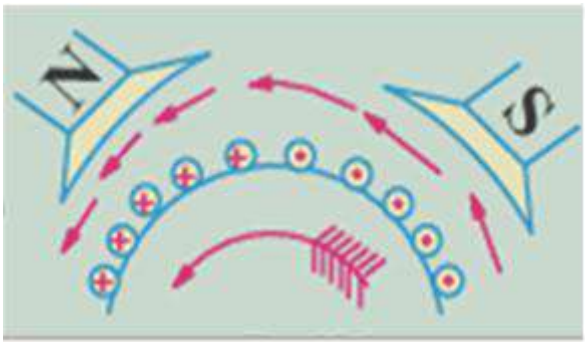
L: طول الموصل (متر)



شكل 19-2 محرك تيار مستمر

لـيس هنـاك اخـتلاف أساسـي فـي تركيـب المحـرك عـن المولد،لـذا فـإن ماكنـة التيـار المسـتمر (DC Machine) يمكن أن تكون محرك أو مولد ومن حيث الأنواع فهي مشابهة لأنواع المولد (ربط التوالي، ربط التوازي، ربط المركب) فعندما تغذى ملفات المجال المغناطيسي وملفات الجزء الدوار (المنتج) بتيار المصدر الرئيس فيولد قوة تدوير الجزء الدوار (المنتج) إن ملفات الجزء الدوارالواقعة تحت الجزء الشمالي (N) تحمل التيار إلى الداخل (X) أما الواقعة تحت الجزء الجنوبي

(S) تحمل التيار إلى الخارج (0) وبتطبيق قاعدة اليد اليسرى لفلمنك (Fleming) حيث أن كل موصل سيعطي قوة لتدوير الجزء الدوار (المنتج) باتجاه عكس عقرب الساعة ومجموع هذه القوى ستولد عزم دوران للجزء الدوار (المنتج) .كما مبين في الشكل (2-20) .إن عمل الموحد (Commutator) في المحرك هو نفسه في المولد، وذلك بعكس التيار في كل موصل يمر من قطب إلى آخر ويساعد على ظهوره على شكل تيار مستمر.



الشكل 2-20 أتجاه دوران المحرك

أهمية القوة الدافعة الكهربائية (E) المعكوسة:

عند دوران المنتج فالموصلات (ملفات) تدور أيضا وستقطع الفيض المغناطيسي وحسب قانون الحث الكهرومغناطيسي ستتولد قوة دافعة كهربائية في الملفات واتجاهها تحدد حسب قاعدة اليد اليمنى وتكون عكس اتجاه الفولتية المغذية (فولتية المصدر) إن دوران المنتج يولد قوة دافعة كهربائية عكسية(E_b) مشابهة لـ (E) للبطارية المربوطة بالتوازي إلى مصدر الفولتية(V) التي تغذي (تعطي) تيار(I_a) بعكس اتجاه(E_b) والطاقة اللازمة للتغلب على هذا الانعكاس هي (E_bI_a) والقدرة الزائدة (OverPower) تتحول في البطارية إلى طاقة كيمياوية وفي المحرك إلى طاقة ميكانيكية ونجد عند انتقال المحرك من لحظة السكون إلى السرعة المصممة (الاعتيادية) يمر بالمراحل الآتية :

1-عند تسليط جهد المصدر(V) على مقاومة موصلات المنتج (R_a)، يسحب تيار من المصدر(I_a)ويساوي:

$$I_a = \frac{V}{R_a}$$

2- عند مرور هذا التيار (I_a) في موصلات المنتج ووجود مجال مغناطيسي من ملفات المجال الأصلي (Φ) يبدأ المحرك بالدوران .

3- نظراً لحركة موصلات الجزء الدوار (المنتج) داخل المجال المغناطيسي ينشأ في الموصلات قوة دافعة كهربائية عكسية (ق.د. ك) (E_b) وتساوي:

$$E_b = \frac{ZP\Phi N}{60A}$$

حيث أن: E_b = ق.د.ك المعاكسة (فولت)

Z = عدد الموصلات

P = عدد الاقطاب

Φ= الفيض المغناطيسي (ويبر)

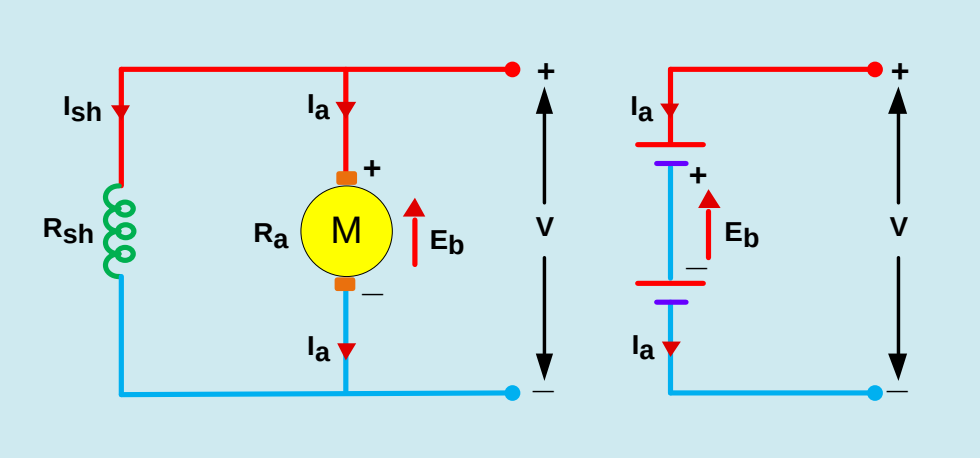
A = عدد دوائر التوازي

N = سرعة الدوران (دورة / دقيقة)

$\frac{ZP}{60A}$ = K (ثابت)

$$E_b = K\Phi N$$

يكون اتجاه (E_b) عكس اتجاه جهد المصدر وتعتمد على سرعة المنتج (N) فتعمل(E_b) كمنظم لسرعة المحرك كما مبين في الشكل (2-21) .



شكل 2-21 القوة الدافعة الكهربائية العكسية وجهد المنتج

4- إن(E_b) تقلل من قيمة الجهد المسلط على موصلات الجزء الدوار (المنتج) ، حيث الجهد المسلط عليه يساوي ($V-E_b$) وقيمة التيار المار في الموصلات (I_a) تكون حسب المعادلة :

$$I_a = \frac{V - E_b}{R_a}$$

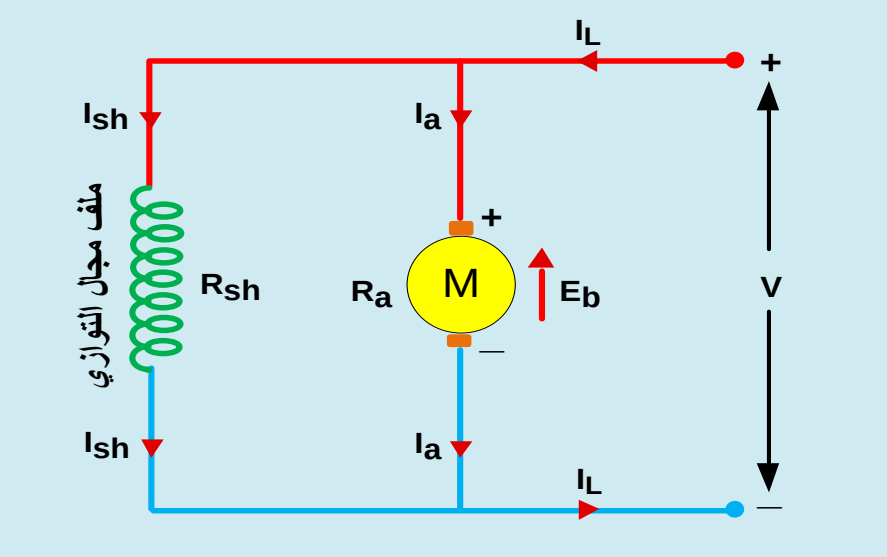
5- إن فولتية المصدر (V) المسلطة على الجزء الدوار (المنتج) للمحرك تشمل:

A- التغلب على القوة الدافعة الكهربائية العكسية (E_b) .

B- الفولتية المفقودة على طرفي مقاومة الجزء الدوار (المنتج) فتكون فولتية المحرك هي:

كما مبين في الشكل (2-22) .

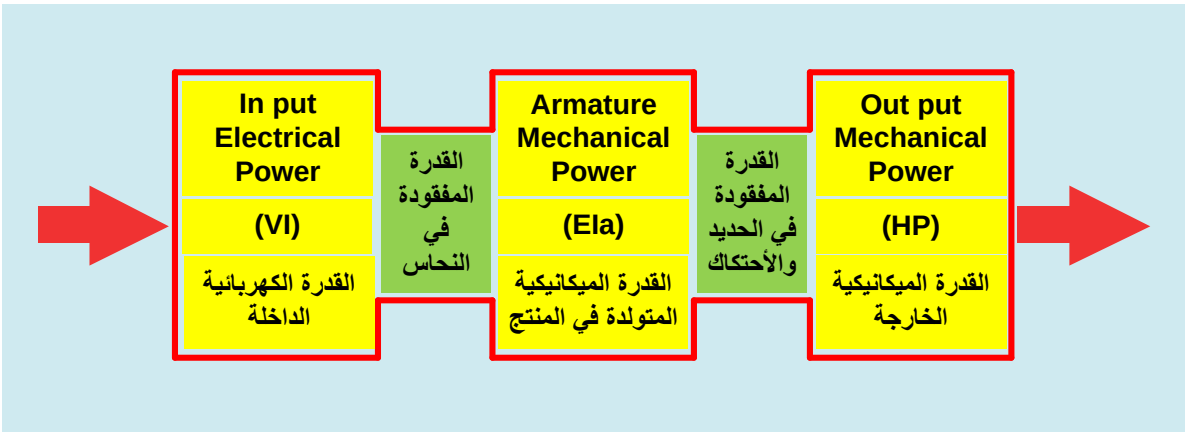
$$V = E_b + I_a R_a$$



شكل 2-22 فولتية المحرك

القدرة الكهرومغناطيسية (Electro Magnetic Power) :

إن مراحل توزيع القدرة داخل المحرك من الكهربائية إلى الميكانيكية مبينة بالشكل الآتي:



مراحل القدرة في المحرك الكهربائي

بضرب طرفي المعادلة بـ I_a

$$V = E_b + I_a R_a$$

$$VI_a = E_b I_a + I_a^2 R_a$$

وتمثل هذه معادلة القدرة للمحرك

حيث أن :

VI_a = القدرة الكهربائية الداخلة إلى المنتج

$I_a^2 R_a$ = القدرة المفقودة في المنتج

القدرة الداخلة بعضها فقدان (Losses) والأخر يتحول إلى قدرة ميكانيكية.

2- أنواع محركات التيار المستمر وخصائصها :

تصنف محركات التغذية الذاتية عادة إلى ثلاثة أنواع حسب طرق تغذية ملف المجال المغناطيسي أما خصائص المحرك فهي دراسة العلاقات بين عزم وسرعة وتيار الجزء الدوار (المنتج) .

A-محرك التوالي:

تربط ملفات المجال المغناطيسي بالتوالي مع ملفات المنتج عن طريق الفرش الكاربونية وملفات التوالي ذوات مقطع كبير وعدد قليل من اللفات. كما مبين في الشكل (2-23) .يمكن حساب الفولتية المسلطة على المحرك من المعادلة:

$$V = E_b + I_a(R_a + R_s)$$

حيث أن :

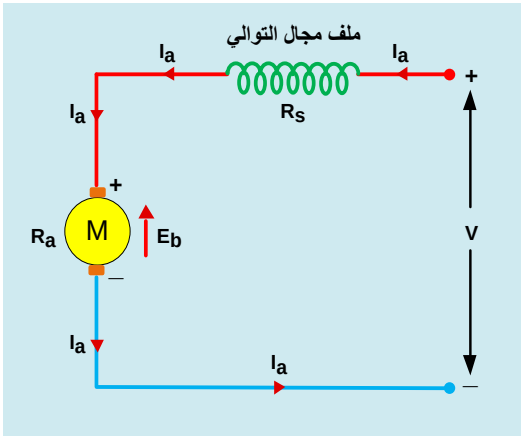
V : الفولتية المسلطة على المحرك (فولت)

E_b : القوة الدافعة الكهربائية العكسية (فولت)

I_a : تيار المنتج ويساوي تيار الحمل I_L (امبير)

R_a : مقاومة المنتج (اوم)

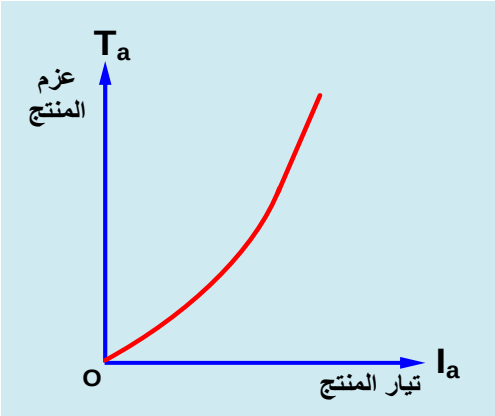
R_s : مقاومة المجال المغناطيسي (أوم)



الشكل 2-23محرك التوالي

1-علاقة العزم مع التيار (T_a / I_a) :

في هذه الحالة أن تيار مجال الفيض هو نفسه تيار الجزء الدوار،لذا فأن الفيض المغناطيسي يتناسب طردياً مع تيار الجزء الدوار. وأن العزم يتناسب طرديا مع مربع قيمة التيار.



شكل 2-24 منحنى العلاقة بين العزم وتيار المنتج

$$\because \Phi \alpha I_a$$

$$\because T_a \alpha \Phi I_a$$

$$\therefore T_a \alpha I_a^{\,2}$$

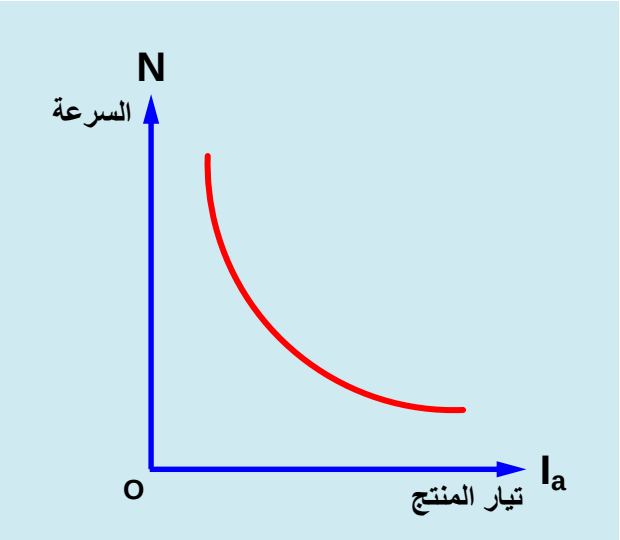
الشكل (2-24) يوضح هذه العلاقة فعند زيادة التيار (I_a) فإن العزم يزداد بزيادة مربع قيمة التيار وبعد حد الإشباع فأن العزم يتناسب طردياً مع التيار، لذا فأن المنحنى سيكون على شكل خط مستقيم ونلاحظ أن عزم المحور(T_{sh}) أقل من عزم الجزء الدوار (T_a) نتيجة الفقدان (Losses) وبذلك فإن العزم الابتدائي اللازم لتعجيل كتلة ثقيلة بسرعة كما في المصاعد و القطارات الكهربائية يفضل استعمال محرك التوالي.

2- علاقة السرعة مع التيار (N / I):

إن تغيير السرعة يمكن تحديده من خلال علاقة السرعة مع (E_b) والفيض (Φ) ونلحظ أن السرعة (N) تتناسب طرديا مع القوة الدافعة الكهربائية العكسية (E_b)وعكسيا مع الفيض (Φ)فزيادة التيار (I_a)يؤدي إلى زيادة الفيض (Φ) وبدوره سيؤدي إلى تقليل السرعة.

$$N \alpha \frac{Eb}{\Phi}$$

$$N \alpha \frac{1}{\Phi}$$



شكل 2-25منحنى العلاقة بين السرعة وتيار المنتج

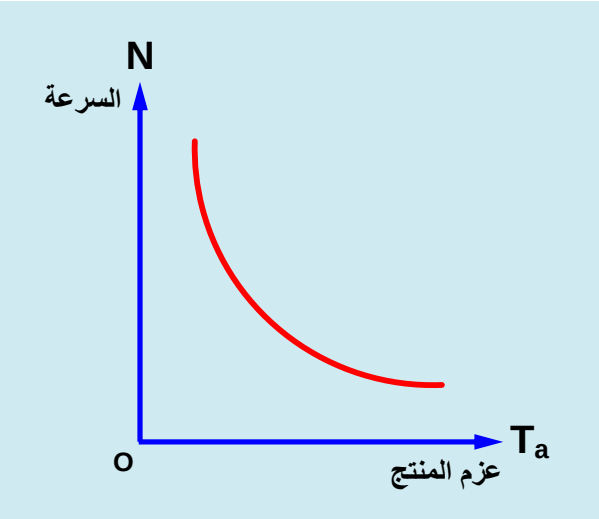
وعندما يكون الحمل كبيراً، فإن التيار (I_a) ستكون قيمته عالية و (E_b) ستصبح قيمتها قليلة وبالتالي ستصبح السرعة قليلة حسب معادلة فولتية المحرك.

$$V = E_b + I_a R_a$$

من ملاحظة الشكل (2-25) عندما يكون التيار (I_a) قليلا فإن السرعة تصبح عالية عند انعدام الحمل الميكانيكي وبالتالي تزداد قوى الطرد المركزي المتولدة فتؤدي إلى تلف ملفات المنتج .

3- علاقة السرعة مع العزم (N / Ta) :

إن هذه العلاقة تسمى أيضاً (الخواص الميكانيكية) وان العلاقة بين السرعة (N) والعزم هي علاقة عكسية فعندما تكون السرعة(N) عالية يكون العزم (T_a) قليلاً والعكس صحيح، كما مبين بالشكل (2-26) .



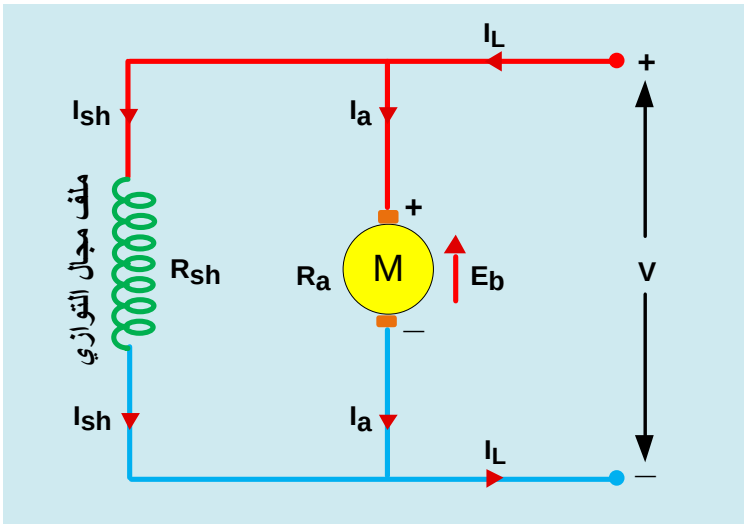
شكل 2-26 منحنى العلاقة بين السرعة وعزم المنتج

B- محرك التوازي (Shunt Motor):

تربـط ملفات المجال المغناطيسي (بالتوازي) مع ملفات (المنتج) عن طريق الفرش الكارتونية. ملفات التوازي ذوات مقطع صغير وعدد كبير من اللفات كما مبين في الشكل (2-27) ويمكن حساب الفولتية المسلطة على المحرك من المعادلة:

$$V = E_b + I_a R_a$$

$$I_L = I_a + I_{sh}$$



شكل 2-27 محرك التوازي

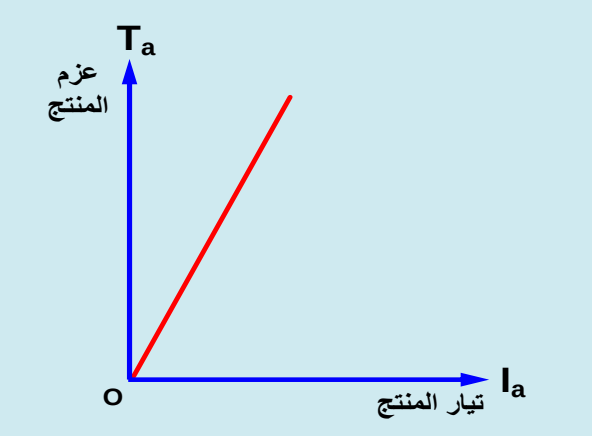
1-علاقة العزم مع التيار T_a / I_a :

يفترض أن يكون الفيض المغناطيسي (Φ) ثابتاً، لذا نجد أن عزم الجزء الدوار (T_a) يتناسب مع تيار الجزء الدوار (I_a) تناسبا طرديا حسب العلاقة:

$$T_a \alpha I_a$$

I_L : تيار الحمل = تيار المنتج + تيار ملفات المجال المغناطيسي

وهنا الخواص الكهربائية موضحة بالشكل (2-28) وإن العلاقة عمليا عبارة عن خط مستقيم وإن منحنى عزم المحور (T_{sh}) المنقط يكون اقل من عزم الجزء الدوار (T_a) .



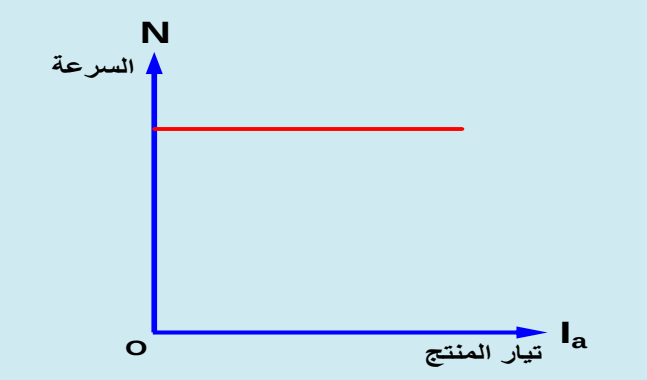
شكل (2-28) العلاقة بين العزم وتيار المنتج لمحرك التوازي

2- علاقة السرعة مع التيار (N / I_a) :

إذا فرضنا الفيض (Φ) ثابتاً فإن السرعة تتناسب مع (E_b) حسب العلاقة:

$$N \alpha E_b$$

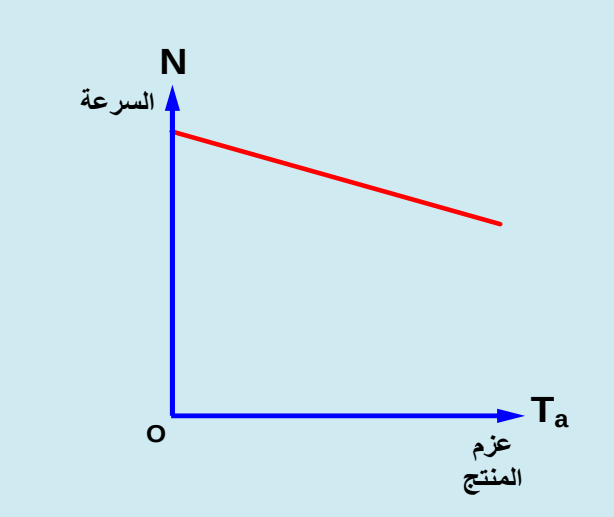
كما إن (E_b) عمليا ثابتة فالسرعة على العموم تكون ثابتة وبهبوط متغير (5% - 15%) من سرعة الحمل الكلي ويبين الشكل (2-29) منحنى تغير سرعة محرك التوازي كدالة التيار (I_a) مع ثبوت فولتية المصدر .



شكل 2-29 منحني العلاقة بين السرعة وتيار المنتج لمحرك التوازي

3- علاقة السرعة مع العزم (N / T_a) :

إن علاقة السرعة (N) مع عزم الجزء الدوار (T_a) يمكن أن تستنتج من العلاقتين السابقتين (1 و 2) ، كما مبينفي الشكل (2-30) .

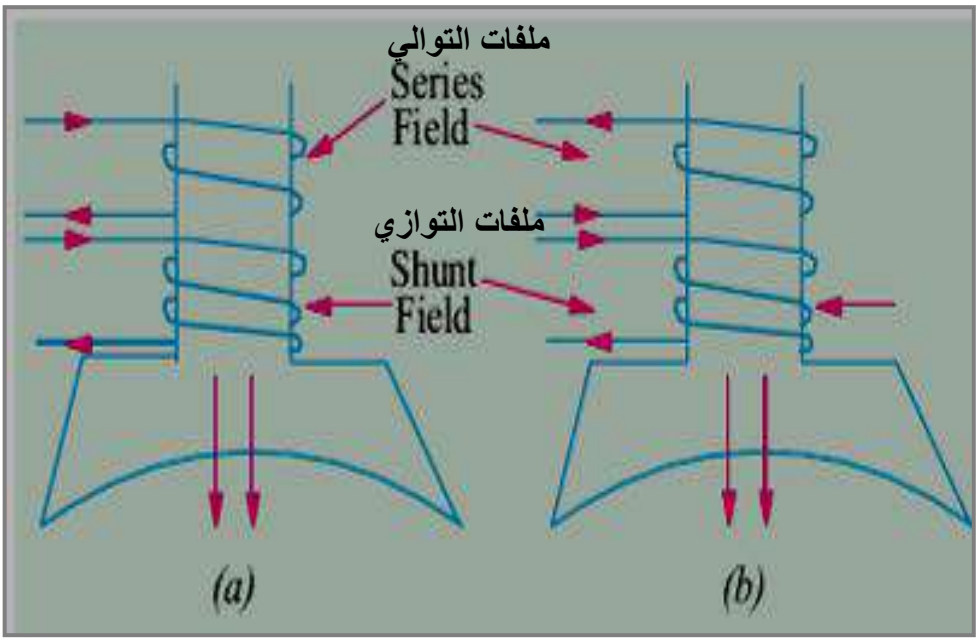


شكل 2-30منحنى العلاقة بين السرعة والعزم لمحرك التوازي

C- محرك المركب (Compound Motor):

يحتوي المحرك المركب على ملفات التوازي وملفات التوالي وهناك نوعان من الربط كما في الشكل (2- 31):

- ملفات المجال المغناطيسي تربط بالتوالي مع ملفات المنتج.
- ملفات المجال المغناطيسي تربط بالتوازي مع ملفات المنتج.



شكل 2-31طرق ربط ملفات التوازي والتوالي للمحرك المركب

ويكون على نوعين كما في المولدات وهما:

- محرك مركب قصير.
- محرك مركب طويل.

أ- حالة الجمع (Commutatively) :

إذا فيض ملفات التوالي (Φ) بنفس اتجاه ملفات التوازي (Φ_{sh}) ، فإن الفيض (Φ) سيكون مجموعهما كما مبين في الشكل (a - 2-31) .

$$\Phi = \Phi_S + \Phi_{sh}$$

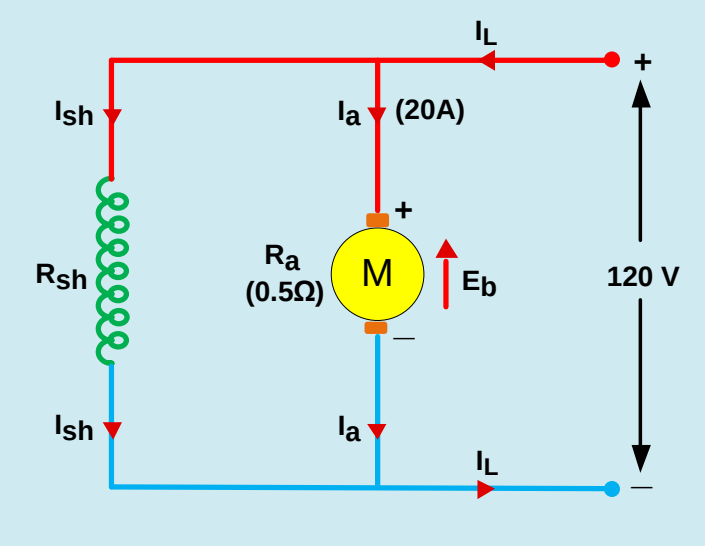
ب- حالة الطرح (Differentially) :

إذا كان فيض ملفات التوالي (Φ_S) عكس اتجاه فيض ملفات التوازي (Φ_{sh}) ، فالفيض (Φ) سيساوي الفرق بينهما. أي أن الفيض سيكون اقل عند تحميل الحمل، كما مبين في الشكل (31-2-b)

$$\Phi = \Phi_S - \Phi_{sh}$$

مثال رقم (2-5) :إذا كانت الفولتية المسلطة على محرك تيار مستمر (120 V) ومقاومــة الجزء الدوار (Ra) هي (0.5Ω) وتيار الجزء الدوار (Ia) هو (20 Amp) في حالة الحمل الكلي. جد قيمة القوة الدافعة الكهربائية العكسية (E_b) .

الحل :

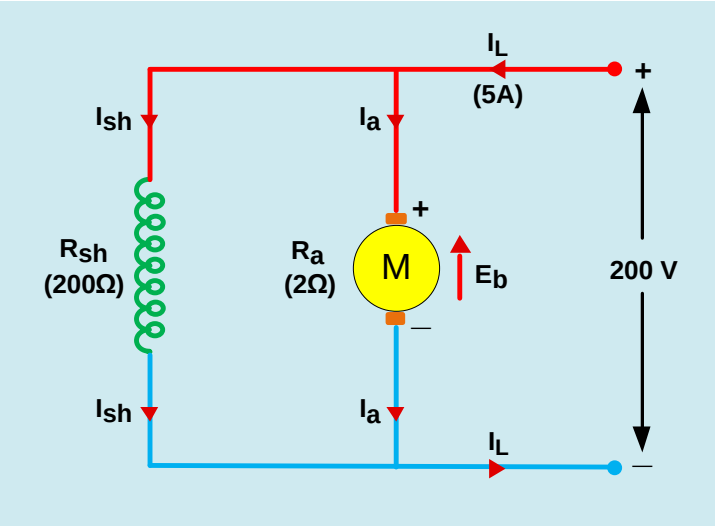


$$E_b = V - I_a \times R_a$$

$$E_b = 120 - (20 \times 0.5)$$

$$E_b = 110 \quad \text{(فولت)}$$

مثال رقم (2-6):محرك تيار مستمر ذو (6أقطاب) و (32) موصل نوع توازي، وإنّ فولتية المصدر (200V) والتيار الكلي (5Amp) ومقاومة المنتج (R_a=2(Ω) ومقاومة ملفات التوازي (R_{sh} = 200Ω)جد سرعة المحرك إذا كان الفيض (w_b 0.423) و(A = 6).



الحل :

$$P = A = 6$$

$$I_{sh} = \frac{200V}{200\Omega} = 1A$$ (امبير)

$$I_L = I_a + I_{sh}$$

$$I_a = 5 - 1 = 4A$$ (امبير)

$$E_b = V - Va$$

$$\because \quad E_b = V - I_a . R_a$$

$$\therefore \quad E_b = 200 - 4 \times 2 = 192V$$ (فولت)

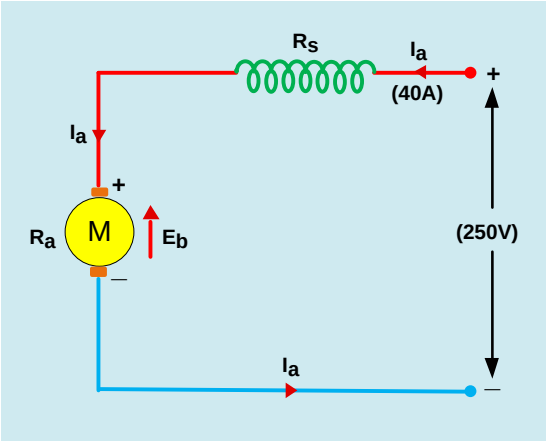
$$E_b = \frac{\Phi Z N \times P}{60 \times A}$$

$$N = \frac{192}{0.423 \times 32} \times 60 \times \frac{6}{6} = 850$$ (دورة في الدقيقة)

مثال رقم (2-7) :محرك توالي جهز بفولتية (250v) وإن مقاومة المنتج وملف مجال التوالي(0.75 Ω)

وعدد موصلات المنتج (782) وعدد الأقطاب (4) ويسحب تيار قيمته(40A) علمان(A=2) والفيض لكل قطب (0.025) ويبر .احسب سرعة المحرك؟

الحل:



$$\because E_b = V - I_a(R_a + R_s)$$

$$\therefore E_b = 250 - 40 \times 0.75 = 220V$$

$$\because E_b = \Phi\ Z\ N\ (P/60\ A)$$

$$N = \frac{E_b}{\Phi Z(P/60A)}$$

$$N = \frac{E_b \times 60A}{PZ\Phi}$$

$$N = \frac{220 \times 60 \times 2}{4 \times 782 \times 0.025} = 336$$ (دورة/ دقيقة)

3- العزم (Torque) :

علاقة العزم والشغل والقدرة :

يعني قابلية حركة الدوران (اللوى) حول المحور لقوة مقدارها (F) تبعد عن مركز محور الدوران مسافة عمودية مقداراها (r) . ويقاس العزم (T) بحاصل ضرب القوة (F) في نصف القطر(r) .

$$T = F \times r$$

حيث أن :

T:العزم (نيوتن . متر)

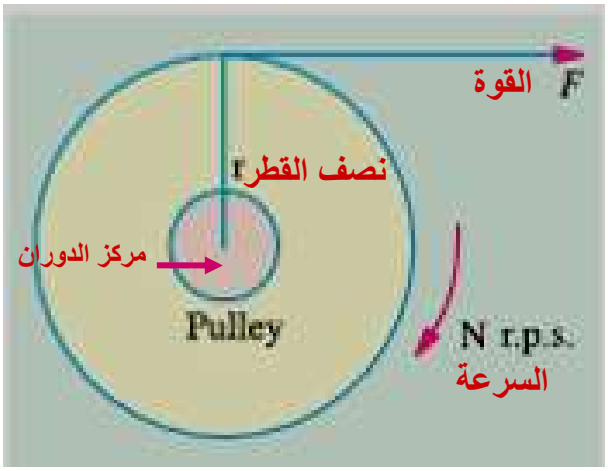
F: القوة (نيوتن)

r: نصف القطر (متر)

W: الشغل المنجز (جول)

P: القدرة (جول / ثانية)

N:سرعة الدوران (متر/ ثانية)



$T = F \times r$	(نيوتن . متر)	(عزم الدوران)
$W = F \times 2\pi r$	(جول)	(الشغل المنجز)
$P = F \times 2\pi r \times N$	(جول / ثانية)	(القدرة)
$P = (F \times r) \times (2\pi N)$	(جول / ثانية)	(القدرة)
$P = T \times (2\pi N)$	(جول / ثانية)	(القدرة)

(اذا كانت السرعة دورة لكل دقيقة فان القدرة تساوي)

القدرة جول/ ثانية $P=T(2\pi N)/60$

القدرةجول/ ثانية $P= NTx (2\pi/60)$

$60 P = N T x (2\pi)$ حاصل ضرب الطرفين = حاصل ضرب الوسطين $60 P / (2\pi) = N T$
(قسمة طرفي المعادلة على 2π)

(التعويض عن قيمة π في المعادلة) $60 P / (2 x3.14) = N T$

$9.55 P = N T$

القدرة جول/ ثانية $P = N T/9.55$

معادلة عزم الجزء الدوار للمحرك (Armature Torque Motor) :

هي علاقة عزم الجزء الدوار (T_a) مع تيار الجزء الدوار(I_a) ، والفيض المغناطيسي (Φ). فمن معادلة العزم والقدرة نجد أن القدرة الميكانيكية (P_m) تتناسب مع العزم وسرعة الدوران :

$\because \quad P_m = T_a \times 2\pi N$

إن القدرة الكهربائية (P_e)) المستفاد منها تساوي:

$\because \quad P_e = E_b \times I_a$

حيث أن :

P_m : القدرة الميكانيكية

P_e : القدرة الكهربائية

T_a : عزم الجزء الدوار

من المعلوم ان القدرة الكهربائية (P_e) المستفاد منها تساوي القدرة الميكانيكية (P_m) للجزء الدوار

$\because \quad P_m = P_e$

$\therefore \quad T_a \times 2\pi N = E_b \times I_a$

1- من معادلة القوة الدافعة الكهربائية العكسية E_b والتي تساوي:

$$\because \quad E_b = \Phi\, Z\, N\, (P/A)$$

$$\therefore \quad T_a \times 2\pi N = \Phi\, Z\, N\, (P/A) \times I_a$$

$$\therefore \quad T_a = (1/2\pi) \times \Phi\, Z\, (P/A) \times I_a$$

$$\therefore \quad T_a = 0.159 \times \Phi \times I_a \times Z\, (P/A)$$

ملاحظة:من المعادلة أعلاه نجد أن العزم(T_a) يتناسب تناسبا طرديا مع الفيض (Φ) وتيار الجزء الدوار (Ta) :

$$T_a \alpha \Phi \times I_a$$

2- من معادلة القدرة الكهربائية والقدرة الميكانيكية للجزء الدوار، فإن العزم Ta يتناسب تناسبا طردياً مع القوة الدافعة الكهربائية وتيار الجزء الدوار ويتناسب عكسيا مع سرعة الدوران، فإذا كانت سرعة الدوران (دورة لكل دقيقة) حسب المعادلة الآتية:

$$T_a \times 2\pi N = E_b \times I_a$$

$$T_a = \frac{Eb \times Ia}{2\pi N/60}$$

$$Ta = \frac{60 \times Eb \times Ia}{2\pi N}$$

$$Ta = 9.55 \times \frac{Eb \times Ia}{N}$$

مثال (2-8):القوة الدافعة الكهربائية العكسية لمحرك نوع توازي(250V) بسرعة (1500) دورة لكل دقيقة وتيار الجزء الدوار(50A) .أحسب عزم الجزء الدوار (T_a) .

الحل:

$$Ta = 9.55 \times \frac{Eb \times Ia}{N}$$

$$Ta = 9.55 \times \frac{250 \times 50}{1500} = 796 \quad (n.m)$$

عزم المحور (Shaft Torque) :

عزم الجزء الدوار الذي تم حسابه سابقاً ليس المتاح (المتوفر) للشغل المنجز بسبب نسبة معينة منه فقد في الحديد والاحتكاك في المحرك وإن العزم المتاح للشغل المنجز يعرف بعزم المحور (T_{sh}) وإن القدرة الحصانية التي يمكن الحصول عليها من عزم المحور تسمى (Horse Power) ويرمز لها (H.P) وهي القدرة الميكانيكية الخارجة من المحرك وتساوي:

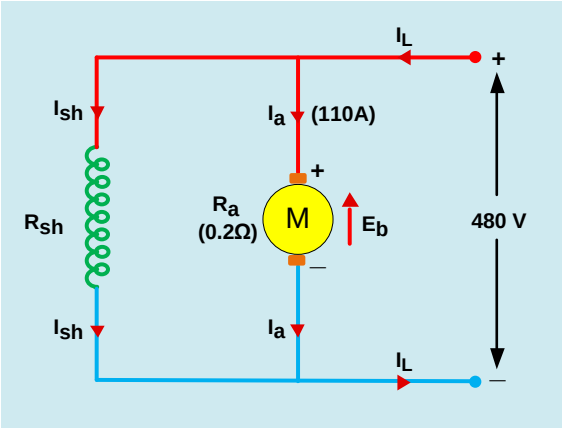
$$H.P\ (\text{القدرة الحصانية}) = \frac{P(Watt)}{746}$$

$$P\ (Kw)\ (\text{القدرة الخارجة}) = Tsh \times 2\pi N$$

$$Tsh = 9.55 \times \frac{KW}{N}$$

مثال (2-9): اذا كان تيار الجزء الدوارلمحرك تيار مستمرنوع توازي (110 A) عند فولتية (480 V) وإن مقاومة الجزء الدوار هي (0.2 Ω) وعدد الأقطاب (6) وإن (A=6) وعدد الموصلات (864) وإن الفيض لكل قطب هو (w_b 0.05). احسب السرعة (N) وعزم الجزء الدوار (T_a).

الحل:



$$\because E_b = V - (I_a \times R_a)$$

$$E_b = 480 - (110 \times 0.2) = 458 \quad (\text{فولت})$$

$$\because E_b = \Phi\, Z\, N\, (P/A)$$

$$\therefore 458 = 0.05 \times 864 \times N/60 \times (6/6)$$

$$N = 636 \quad (\text{دورة/دقيقة})$$

$$T_a = 0.159 \times \Phi \times I_a \times Z\, (P/A)$$

$$T_a = 0.159 \times 0.05 \times 110 \times 864 \times \left(\frac{6}{6}\right)$$

$T_a = 756$ (N.m) نيوتن . متر

مثال(2-10): حدد عزم الجزء الدوار (T_a) و السرعة (N) عندما تكون الفولتية المسلطة (220v) لمحرك التوالي ذي (4 أقطاب) ، وعدد الموصلات (800) ، وإن (A=2) والتيارالكلي (45 Amp) والفيض لكل قطب ($25\ m.w_b$) ومقاومة الجزء الدوار هي (0.6 Ω) علما أن القدرة (8.2 kw).

الحل :

$$\because \quad T_a = 0.159 \times \Phi \times I_a \times Z\ (P/A)$$

$$\therefore \quad T_a = 0.159 \times 25 \times 10^{-3} \times 45 \times 800\ (4/2)$$

$$\therefore \quad T_a = 286 \qquad (\text{نيوتن . متر})$$

$$\because \quad E_b = V - (I_a \times R_a)$$

$$\therefore \quad E_b = 220 - (45 \times 0.6) = 193$$

$\because \quad E_b = \Phi Z N (P/A)$

$\therefore \quad 193 = 25 \times 10^{-3} \times 800 \times N/60 \times (4 / 2)$

$\therefore \quad N = 288$ (دورة /دقيقة)

4-2 التحكم بسرعة التيار المستمر وتقليل تيار البدء فيها
(Starting &Speed Control of D.C. Motors)

1- عوامل سيطرة سرعة المحركات:Factors Controlling Motor Speed

من دراسة الفقرات السابقة نلحظ أن سرعة المحرك تكون حسب العلاقة الآتية:

$E_b = \Phi NZ (P/60A$ (فولت)

$N = Eb\ 60A / \Phi ZP$ (دورة في الدقيقة)

$N = (V\text{-}IaRa)\ 60A / \Phi ZP$ (دورة في الدقيقة)

$K = \dfrac{Z}{(P/60A)}$ (K = ثابت)

$N = (V - IaRa) / \Phi K$ (دورة في الدقيقة)

يمكن السيطرة على السرعة بتغير العوامل الآتية:

أ- السيطرة على الفيض (Flux Control): يتم تغير الفيض المغناطيسي لكل قطب (Φ) .

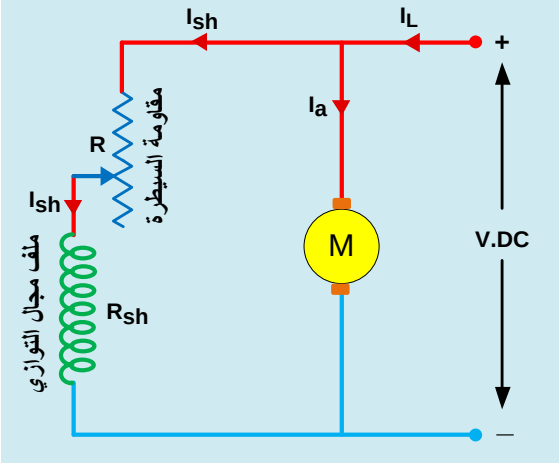
ب- السيطرة باستعمال المقاومة المتغيرة (Rheostatic Control):تربط مقاومة متغيرة مع مقاومةالمنتج.

جـ- السيطرة بالفولتية (Voltage Control):تغير فولتية التغذية.

2- السيطرة على سرعة محرك التوازي (Speed Control Of Shunt Motor):

أ- سيطرة الفيض (Flux Control): نلاحظ من علاقة السرعة والفيض أن السرعة تتناسب عكسياً مع الفيض وعند زيادة الفيض (Φ) ستقل السرعة والعكس صحيح وأن فيض محرك التوازي يتغير بتغير تيار

الفيض (I_{sh}) ، حيث تربط مقاومة متغيرة على التوالي مع ملفات التوازي (R_{sh}) فيتم التحكم بقيمة تيار الفيض حسب قيمة هذه المقاومة (Field Rheostat)، كما مبين في الشكل (2-32) .

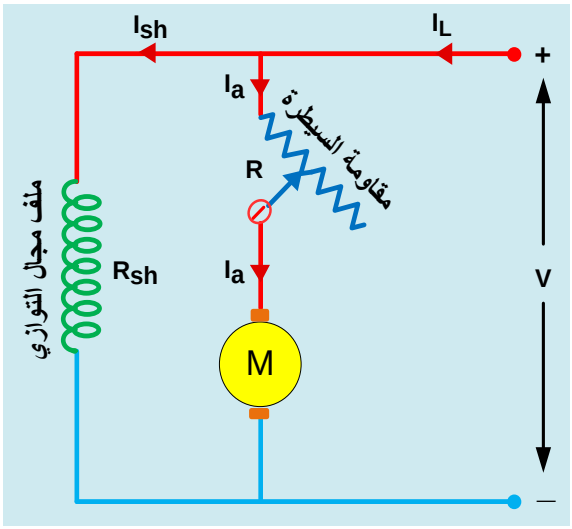


شكل 2-32ربط مقاومة متغيرة مع ملفات التوازي

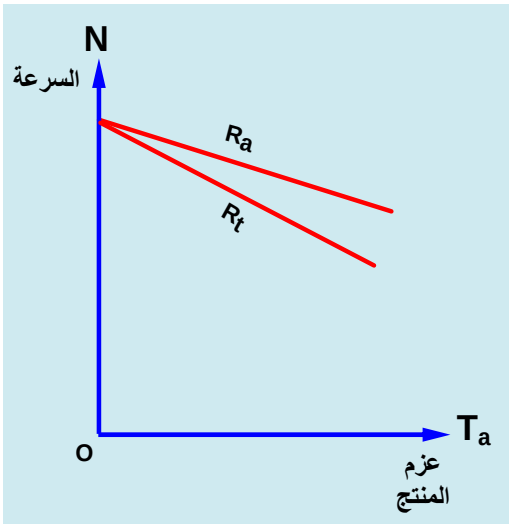
ب- سيطرة المقاومة المتغيرة أوالسيطرة على المنتج (Armature or Rheostat Control Method) :

تستخدم هذه الطريقة عندما تكون السرعة المطلوبة أقل من السرعة بدون حمل وتكون فولتية المصدر ثابتة اعتياديا تتغير فولتية المنتج بتغير مقاومة السيطرة (Control Resistance) ونرمز لها (R) المربوطة بالتوالي مع مقاومة المنتج (R_a) فعندما تزداد قيمة مقاومة السيطرة، فإن قيمة الفولتية على طرفي المنتج سوف تقل وبالتالي تقل سرعة المنتج لأن السرعة تتناسب طردياً مع فولتية المنتج ومن خواص السرعة (N) مع تيار المنتج (I_a) كما مبين في الشكل (2-33) بأن أعظم مقاومة لدائرة الجزء الدوار ينتج أعظم هبوط في السرعة وان المقاومة الكلية (R_t) عبارة عن حاصل جمع مقاومة السيطرة (R) ومقاومة المنتج (R_a) :

$$R_t = R_a + R$$



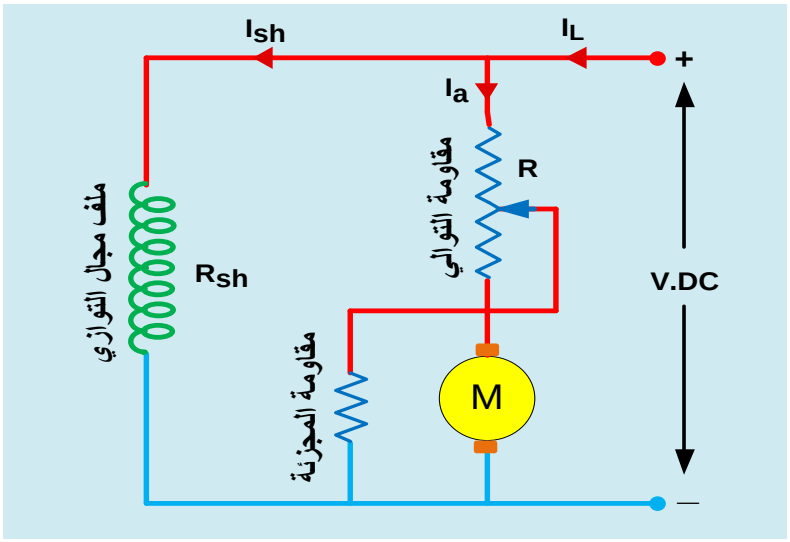
ربط مقاومة السيطرة بالتوالي مع المنتج



منحنى العلاقة بين السرعة وتيار المنتج

شكل رقم 2-33 منحني العلاقة ومقاومة السيطرة في محرك التوازي

هذه الطريقة بها خسارة كبيرة وغالية الثمن وغير مناسبة للأحمال السريعة التغير بسبب قيمة Rt إن السرعة سوف تتغير بتغير الحمل ولكي تكون مناسبة يتم استخدام مقاومة بالتوازي مع مقاومة المنتج (R_a) تسمى المجزءة(Divertor) فضلاًعن مقاومة السيطرة (R) المربوطة بالتوالي مع مقاومة المنتج (R_a) ، كما مبين في الشكل (2-34) .

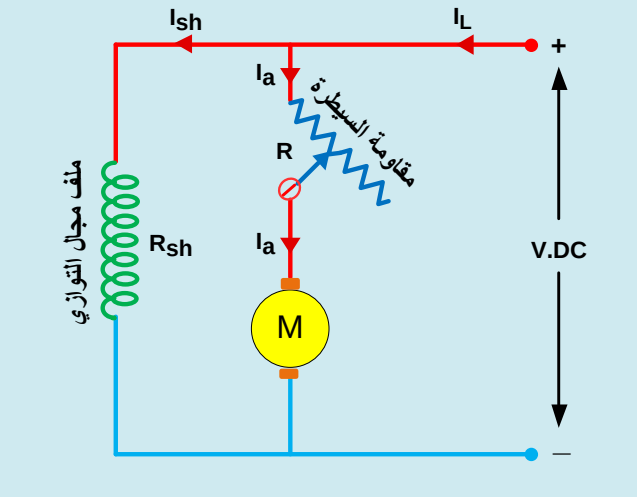


شكل 2-34ربط مقاومة مجزئة بالتوازي مع المنتج

c- سيطرة الفولتية (VoltageControl) : هناك طريقتان للسيطرة على الفولتية هما:

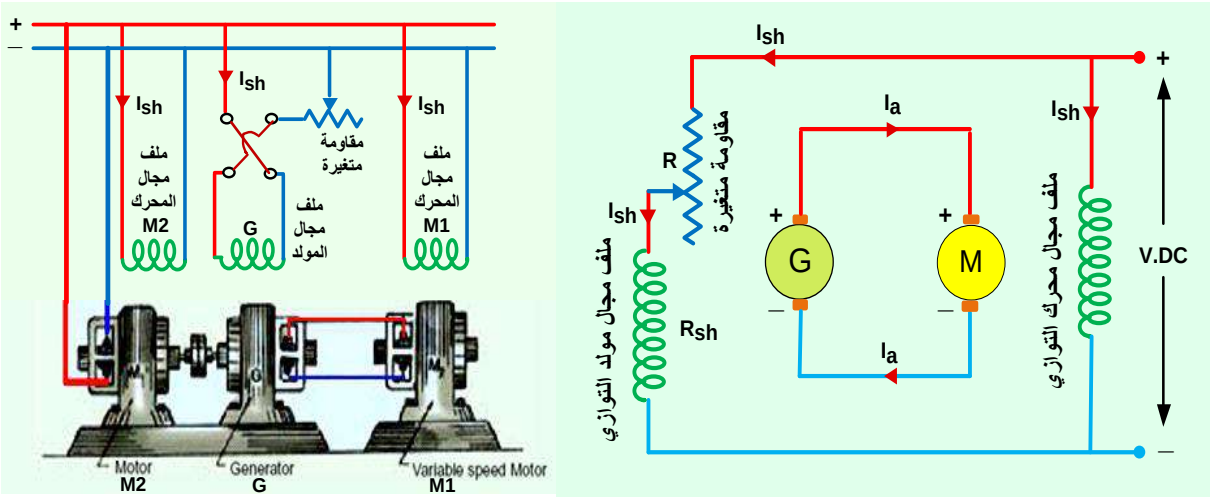
1- طريقة الفولتية المتعددة (Multiple Voltage Control) :

في هذه الطريقة يربط ملف مجال التوازي للمحرك إلى فولتية التغذية الثابتة دائما لكن ملف المنتج يغذى بفولتيات مختلفة وذلك من خلال ربطه بالتوالي عبر واحدة من عدة فولتيات مختلفة بوساطة مقاومة متغيرة (R) مناسبة وان سرعة المنتج سوف تتناسب مع هذه الفولتيات المتعددة تقريباً كما مبين في الشكل (2 - 35).



شكل 2-35 تغذية ملف المنتج بفولتيات متعددة

2-منظومة وارد ليونارد (Ward – Leonard System):



شكل (2-36) منظومة وارد ليونارد

تستخدم هذه الطريقة في مجالات نادرة للسيطرة على السرعة، كما في المصاعد الكهربائية، كما مبين بالشكل (2-36) وتتكون من ثلاث مكائن، حيث يمثل (M1) المحرك الرئيس (محرك التيار المستمر) الذي

يتطلب السيطرة على سرعته يربط ملف مجال هذا المحرك إلى المصدر دائما وعند تسليط فولتية متغيرة على ملف (المنتج) للمحرك الرئيس يمكن الحصول على السرعة المطلوبة وتجهز هذه الفولتية المتغيرة من خلال مجموعة (محرك – مولد) (Motor – Generator Set) ويرمز له (M2 – G) التي تتكون من محرك تيار مستمرأو محرك تيار متناوب (M2) وغالبا ما يستخدم محرك حثي ثلاثي الطور. يربط المنتج ربطا ميكانيكياً بـــ (قارنة) تربط مباشرة إلى المنتج للمولد (G) عندما يدور المحرك (M2) بسرعة ثابتة وكذلك يدور المولد بنفس السرعة الثابتة. أن الفولتية الخارجة من المنتج (Armature) للمولد (VG) تغذي المنتج للمحرك الرئيس (M2) مباشرة ويمكن تغيير الفولتية الخارجة من المولد VG من الصفر إلى القيمة العظمى بوساطة تغيير مقاومة منظم المجال(Field Regulator) كذلك يمكن تغيير اتجاه تيار مجال المولد بوساطة تغيير وضع المفتاح العاكس (Rs) وبهذا يمكن للفولتية الخارجة من المولد (VG) أن تنعكس قطبيتها مما يؤدي إلى عكس اتجاه دوران المحرك الرئيس (M1) وهذا يؤكد لنا أن نتذكر دائما أن اتجاه دوران مجموعة محرك - مولد (M-G) تدور بنفس الاتجاه بالرغم من حقيقة الكلفة العالية لهذه المنظومة بسبب:

1- القدرة الكبيرة للمحرك الرئيس (M_1) يستدعي استخدام مجموعة (محرك – مولد) .

2- استخدام ماكنتين إضافيتين مجموعة (محرك – مولد) .

يبقى استخدام هذه المنظومة بشكل واسع في المصاعد الكهربائية في البنايات المرتفعة التي تتطلب محرك قدرته عالية، كذلك هناك سبب آخر هو الحصول على سرعة عالية جداً حيث يمكن السيطرة على السرعة بوساطة السيطرة على تيار تغذية ملفات المجال للمولد فعند زيادة تيار ملفات المجال للمولد يؤدي إلى زيادة الفيض المغناطيسي وبدوره يؤدي إلى زيادة الفولتية المتولدة في الجزء الدوار (المنتج) (Armature) للمولد وبالتالي زيادة سرعة المحرك الرئيس(M1) وتعطي هذه المنظومة مدى واسعاً في التحكم بالسرعة حيث يمكن زيادة السرعة بشكل تعجيل انسيابي (Acceleration) يبدأ من الصفر إلى السرعة العالية (Rated) كذلك يمكن تقليل السرعة وبشكل تباطؤ انسيابي تدريجي أيضا (Deceleration) من السرعة العالية إلى السرعة الواطئة حتى الصفر. فضلاً عن ذلك يمكن تغيير قطبية الفولتية المتولدة من خلال تغير في اتجاه تيار ملفات المجال للمولد الذي يؤدي إلى تغير اتجاه دوران المحرك الرئيسي للمصعد الكهربائي وهذا ما نحتاجه في المصاعد الكهربائية في حالتي الصعود أو النزول لعربة المصعد والطريقة الأفضل لتغير اتجاه دوران المحرك الرئيس للمصعد الكهربائي، هي تغير قطبية ملف المنتج للمحرك الرئيسي من خلال تغذية الفرشة الكاربونية (A) و (B) بقطبية معاكسة بوساطة ربط نقاط تلامس لموصلين هوائيين أحدهما للصعود والآخر للنزول وبقاء اتجاه تيار مجال المولد والمحرك ثابتين.

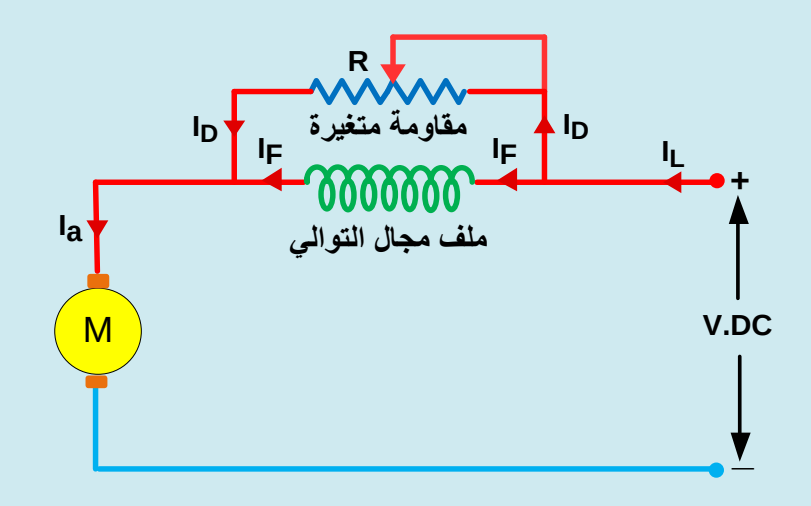
3- السيطرة على سرعة محرك التوالي (Speed Control Of Series Motor):

أ- سيطرة الفيض (Flux Control) :

يمكن أن يحصل تغير في فيض محرك التوالي بإحدى الطرق الآتية:

1-تجزئة الفيض (Field Divertor):

تربط مقاومة متغيرة (Divertor) مع ملف المجال بالتوازي تقوم بتجزئة التيار حيث أن أي تغير بقيمة المقاومة سيؤدي إلى تغير كمية التيار المار بملف مجال المغناطيسي وبهذا يمكن أن يقل الفيض(Φ) وبالتالي سيؤدي إلى زيادة السرعة (N) كما مبين في الشكل (2-37) .



شكل 2-37ربط مقاومة مجزئة بالتوازي مع ملف المجال

2- تجزئة تيار المنتج (Armature Divertor) :

تربط مقاومة متغيرة (Divertor) بالتوازي مع ملفات المنتج، وبذلك يمكن أن نحصل على سرع مختلفة أقل من السرعة الاعتيادية، فعندما تتغير قيمة مقاومة التجزئة (Divertor) فإن السرعة سوف تتغيروبما أن عزم المنتج (T_a) يتناسب مع الفيض (Φ) ، وتيار المنتج (I_a) تناسبا طردياً حسب العلاقة:

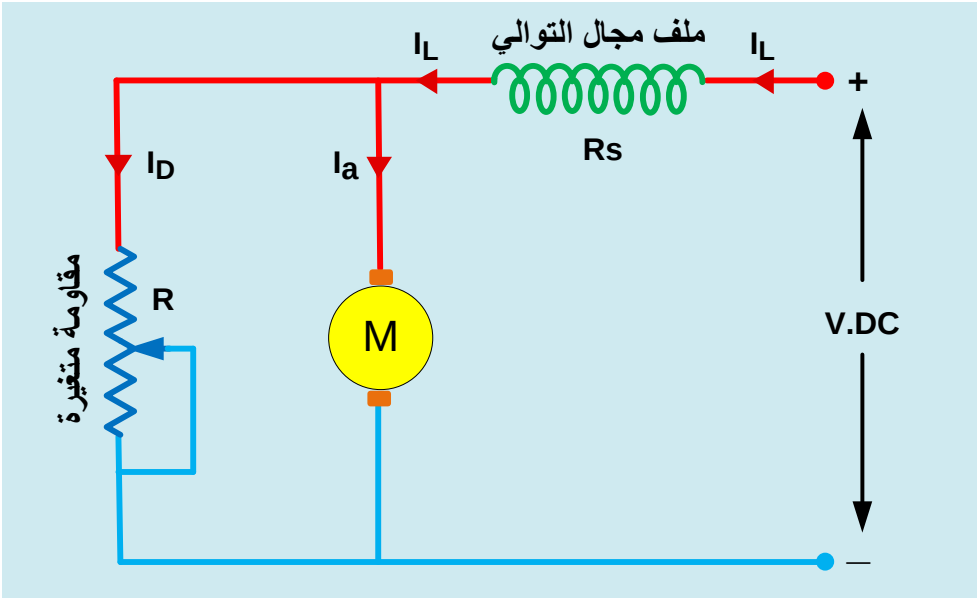
$$T_a \propto \Phi$$

$$T_a \propto I_a$$

$$T_a \propto \Phi I_a$$

فعندما تقل قيمة مقاومة التجزئة، فإن التيار المأخوذ من مصدر التغذية سوف يزداد مما يؤدي إلى زيادة الفيض وتقليل السرعة، إذ تتناسب السرعة عكسيا مع الفيض كما مبين فيالشكل (2-38) .

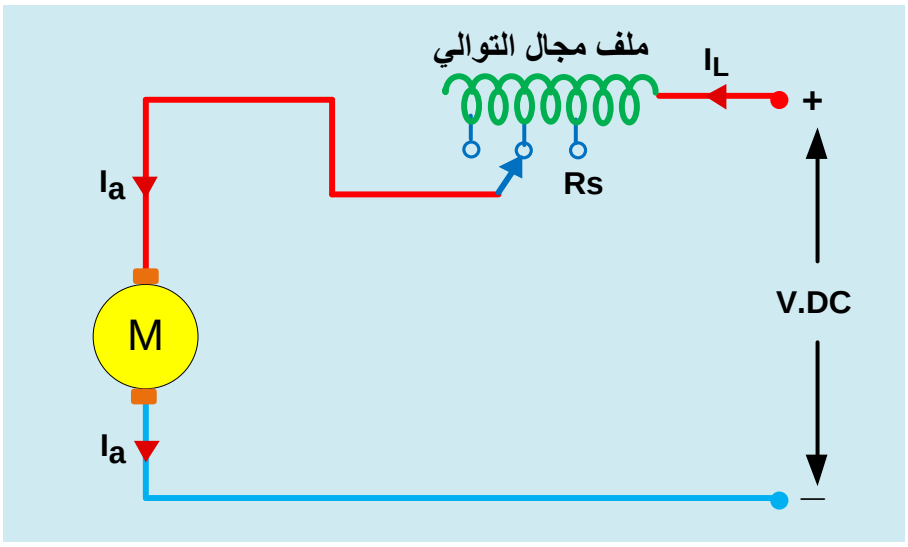
$$N \propto \frac{1}{\Phi}$$



شكل 2-38 ربط مقاومة متغيرة بالتوازي مع المنتج

3-التحكم بلفات ملف الفيض (Trapped Field Control) :

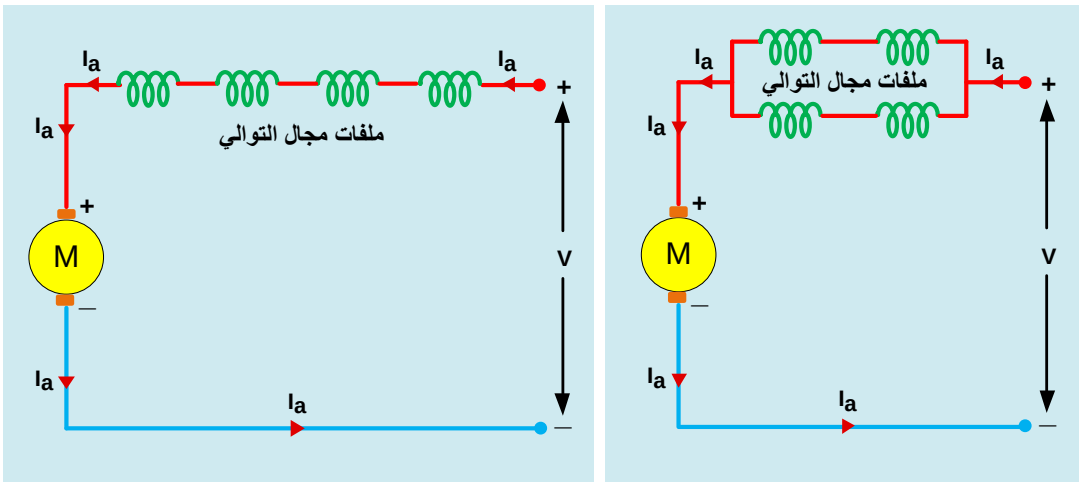
يمكن تغير السرعة بتغيرعـدد لفات ملف الفيض فعندما تكون لفات الملف كاملة فالمحرك يـدور بسرعة قليلة ويمكن زيادة السرعة تدريجياً بتقليل عدد لفات الملف، كما مبين في الشكل (2-39).



شكل 2-39 تغيير عدد لفات ملف مجال التوالي

4- توازي ملفات المجال (Paralleling Field Coils) :

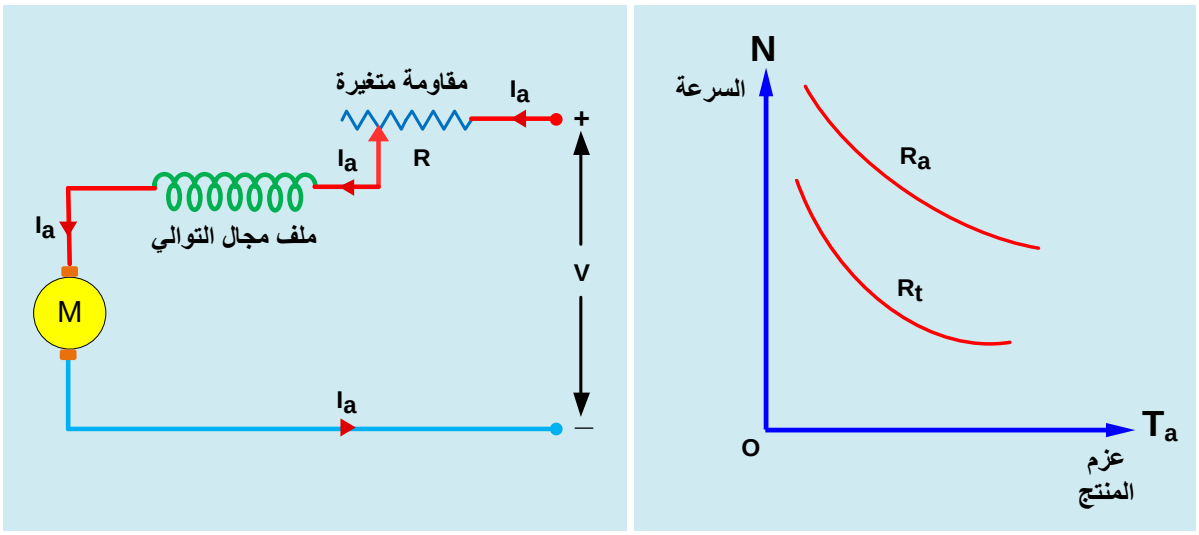
يمكن الحصول على عـدة سرع من المحرك بوساطة إعـادة تجميع الملفات وتستخدم هذه الطريقة في محركـات ساحبات الهواء ونلحظ ربـط أربعة أقطاب للحصول على ثلاث سرع كما مبين فـي الشكل (2-40) .



شكل 2-40 إعادة تجميع ملفات مجال التوالي

ب– سيطرة المقاومة المتغيرة لمحرك التوالي (Variable Resistance In Series Motor) :

تربط مقاومة متغيرة بالتوالي مع ملف المجال المربوط بالتوالي مع ملف المنتج فعند زيادة قيمة المقاومة المتغيرة سوف تؤدي إلى تقليل الفولتية على طرفي المنتج، وستؤدي إلى تقليل سرعة المحرك حيث نلحظ في هذه الطريقة بأن التيار الكلي المار خلال المقاومة المتغيرة يسبب خسارة في الطاقة (Loss) كما مبين في الشكل (2-41).



منحنى العلاقة بين السرعة وتيار الحمل ربط مقاومة متغيرة بالتوالي مع ملفات المجال

شكل 2-41

4- الفرملة الكهروميكانيكية لمحرك التيار المستمر :

(Electromechanical Braking of D.C. Motor)

1- الفرملة الكهروميكانيكية (Electromechanical Braking) :

تستخدم الفرملة الكهروميكانيكية (Electromechanical Braking) للمحرك الكهربائي والحمل في المصاعد الكهربائية عموماً وهذا الوقوف عن الحركة يكون بصورة مفاجئة وغيرانسيابية بسبب أنه يعتمد على حالة الاحتكاك لبطانة ذراع الكابح وسطح قارنة المحرك (Coupling) ، كما مبين في الشكل (2-42) ومبدأ عمله يعتمد على الكهرومغناطيسية لملف الكابح (D.C. Solenoid Magnet Brake). لذا من الضروري استخدام الوقوف الميكانيكي لكي يتحمل الحمل العالي على ماكنة محرك المصعد الكهربائي كما مبين في الشكل (2-43) عند قطع القدرة الكهربائية عن المحرك الكهربائي ووقوف عربة المصعد في المكان المحدد لها علما أن العلاقة بين وزن الثقل المعادل والعربة والحمل مبين في المعادلة الآتية:

وزن الثقل المعادل (Counter Weight) = وزن العربة (CarWeight) + نصف الحمولة (1/2 Capacity)

- في حالة العربة تكون فارغة، فإن الثقل المعادل سيدور ماكنة محرك المصعد باتجاه وزن الثقل المعادل فيحالة عدم وجود الكابح الميكانيكي.

- في حالة العربة تكون بالحمولة الكاملة فإن العربة وحملها سيدور ماكنة محرك المصعد باتجاه عربة المصعد في حالة عدم وجود الكابح الميكانيكي.

شكل 2-43 ماكنة مصعد كهربائيشكل 2-42 الكابح الميكانيكي

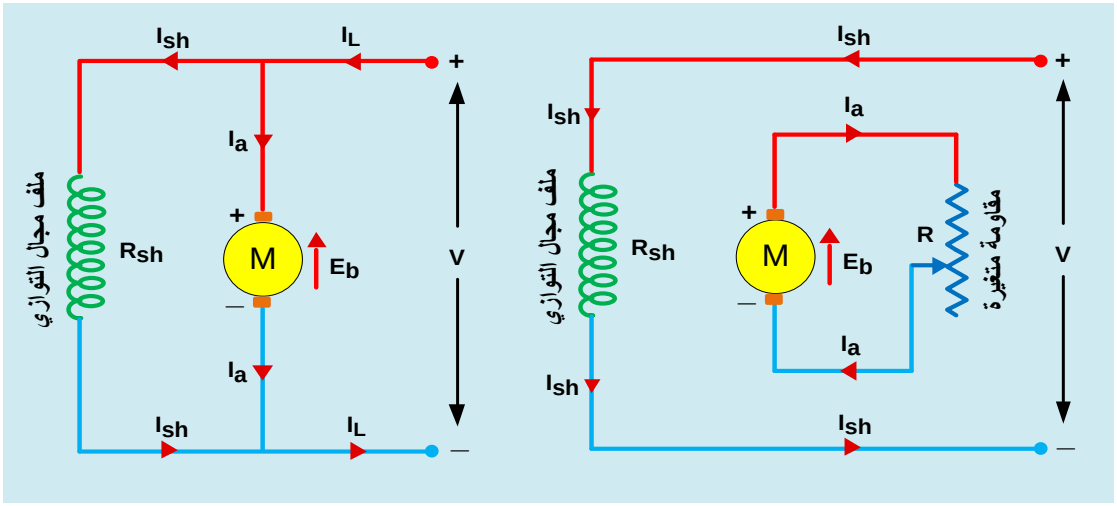
ولكي نحصل على الوقوف الكهروميكانيكي للمحرك بصورة أنسيابية وغير مفاجئة، فمن الضروري أن تقلل سرعة المحرك من سرعته العالية إلى السرعة الواطئة، ثم إلى السرعة القريبة إلى الصفر بوساطة استخدام الوقوف الكهربائي (Electric Braking) لكل من محرك التوازي ومحرك التوالي.

2- الوقوف الكهربائي لمحرك التوازي (Electric Braking Of Shunt Motor):

وهناك ثلاثة أنواع من الطرق:

أ - الوقوف الديناميكي (Dynamic Braking):

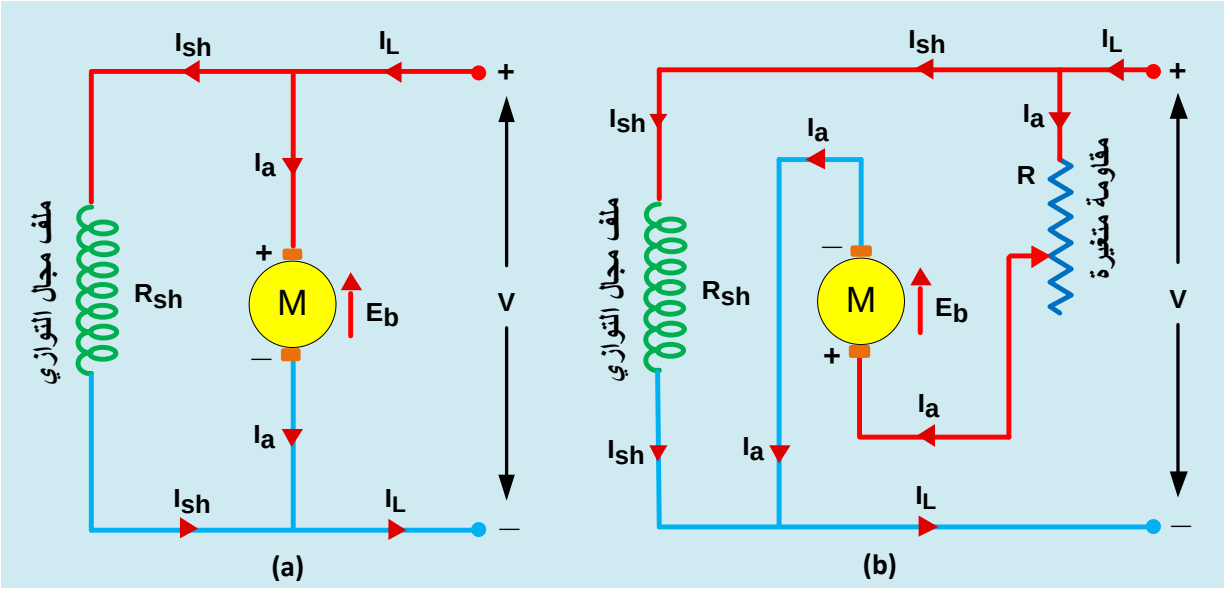
في هذه الطريقة تفصل ملفات المنتج لمحرك التوازي من المصدر وتوصل (تربط) إلى مقاومة متغيرة (R) ويتم التحكم بقيمة هذه المقاومة المتغيرة (R) إلى أن تقل السرعة إلى قيمة الصفر، وبما أن عزم الوقوف يتناسب مع السرعة، فالعزم يقل عندما تقل السرعة ويصبح صفراً عندما يتوقف المحرك عن الحركة كما مبين في الشكل (2-44).



شكل 2-44 الوقوف بفصل المنتج ويوصل الى مقاومة متغيرة

ب – الوقوف بعكس التيار (Plugging Or Reverse Current Braking) :

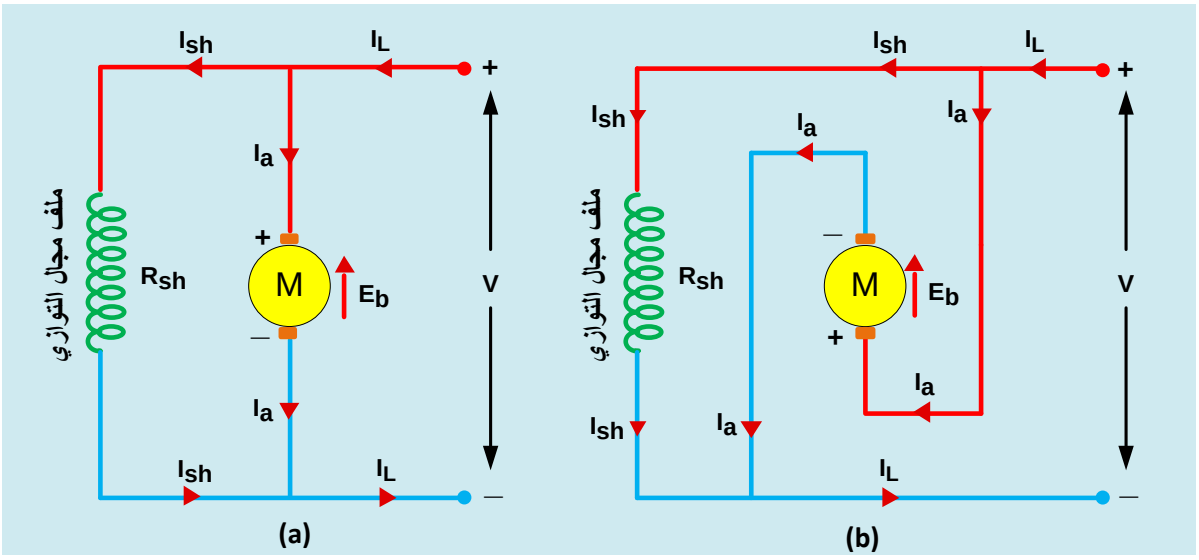
تستخدم هذه الطريقة في السيطرة على الوقوف الكهربائي لمحرك المصعد الكهربائي، حيث يتم فصل ملفات المنتج لمحرك التوازي من المصدر وتوصل (تربط) إلى مقاومة متغيرة (R) مربوطة بالمصدر بالتوالي وبعكس الاتجاه السابق وبهذه الطريقة سيتم تحديد قيمة تيار المنتج وعكس اتجاهه فيتولد مجال مغناطيسي بعكس اتجاهه السابق مما يولد عزم دوران معاكس يؤدي إلى توقف المحرك عن الدوران كما مبين في الشكل (2-45).



شكل 2-45 الوقوف بعكس اتجاه تيار المنتج

ج- الوقوف ألاسترجاعي(Regenerative Braking) :

تستخدم هذه الطريقة في السيطرة على الوقوف الكهربائي للمحرك الذي يحمل حملاً يؤدي إلى عمل المحرك كمولد، مما يؤدي إلى عكس اتجاه تيار المنتج (I_a) وعزم المنتج (T_a) وبذلك سوف تهبط السرعة حتى تصبح (E_b) أقل من الفولتية (V) ، كما مبين في الشكل (2-46).



شكل2-46الوقوف الكهربائي للمحرك المحمل بعكس تيار المنتج والعزم

6- السيطرةالالكترونية لسرعة محرك التيار المستمر:

(Electronic Speed Control for Motor)

منذ عهد قريب استخدمت دوائر أشباه الموصلات مثل (الثنائي) و(الثايرستور) وأصبحت هذه الدوائر بسيطة جداً في السيطرة على سرعة محركات التيار المستمر (D.C) ومحركات التيار المتناوب (A.C) ونتيجة التقدم الهائل في هذا المجال بدأت هذه الدوائر الإلكترونية تحل محل دوائر السيطرة الكهربائية مثلا المكبر المغناطيسي (Magnetic Amplifier) وكذلك مجموعة محرك – مولد (M-G-Set) ومقارنة بدوائر السيطرة الكهربائية فإن طرق السيطرة الإلكترونية تمتاز: بالدقة العالية والقابلية الكبيرة والاستجابة السريعة والكفاءة العالية وبدون فقدان من القدرة وبدون أجزاء متحركة.

إن كل دوائر السيطرة الالكترونية تقوم بتنظيم:

1-الفولتية المسلطة على ملفات المنتج (Arm. Voltage) .

2- تيار ملفات المجال (Field Current).

ويفضل توضيح الدوائر الآتية قبل دراسة دوائر السيطرة الإلكترونية لسرعة المحرك:

معدلات الموجة الجيبية (Sine Wave Rectifiers) :

معدل بدون سيطرة (Un Controlled Rectifier):

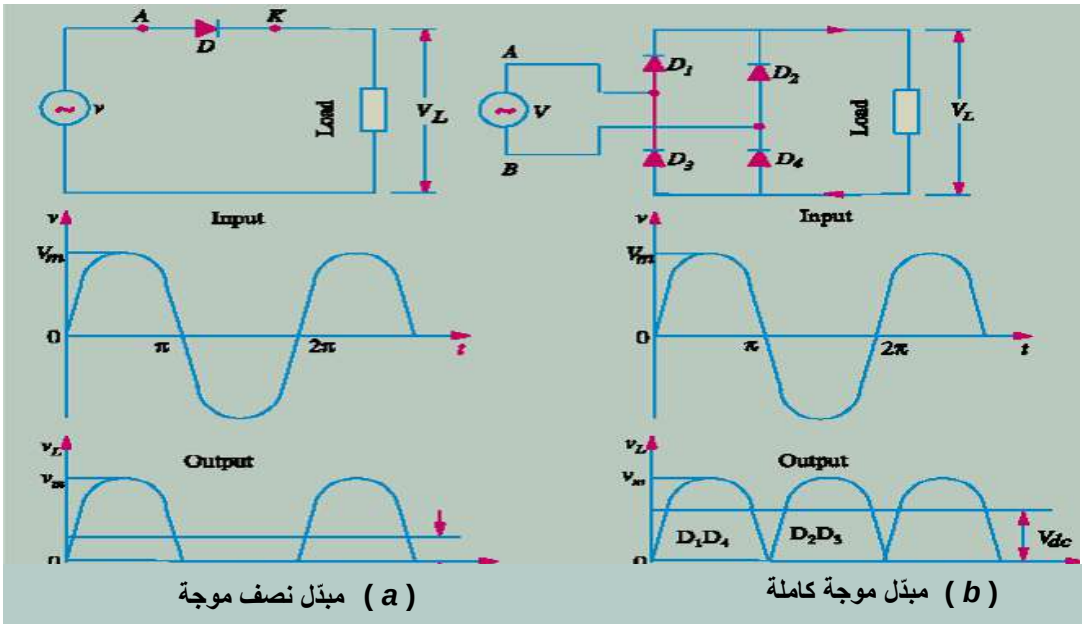
1- معدل نصف موجة (Half Wave Rectifier):

يستخدم الثنائي (D) لتحويل الموجة الكاملة للتيار المتناوب (A.C) إلى نصف الموجة للتيار المستمر (D.C) فعند مرور النصف الأول الموجب من موجة الدخول سيكون الثنائي (D) موصلا لمرور التيار إلى الحمل لأن انحياز الثنائي يكون أمامياً أما عند مرور النصف الثاني السالب من موجة الدخول فالثنائي (D) سيكون انحيازا عكسياً، فلا يسمح بمرور نصف الموجة السالبة وهكذا يتكرر الحال للموجة الثانية فيمر تيار نصف الموجة (الموجبة) خلال الحمل، كما مبين في الشكل (a- 2- 47) .

2- معدل موجة كاملة (Full Wave Rectifier) :

يستخدم المبدل القنطري لتحويل التيار المتناوب (A.C) إلى تيار مستمر (D.C) ، عندما يكون المصدر متناوباً، لكن المحرك مستمر. حيث يستعمل أربع ثنائيات للحصول على موجة كاملة، فخلال النصف الأول الموجب من موجة الدخول، فالثنائيين (D_1،D_4) سيكونان موصلين لمرور التيار إلى الحمل، وخلال النصف الثاني السالب من موجة الدخول فالثنائيين (D_2،D_3) سيكونان موصلين لمرور التيار إلى الحمل.

لذلك سيمر التيار خلال الحمل بنفس الاتجاه أثناء الموجة الكاملة من موجة الدخول، وكما مبين في الشكل (47-2-b) . ويسمى هذا النوع بالمعدل ألجسري(Bridge Rectifier) .



شكل 2-47 مبدّل نصف موجة وموجة كاملة

ضرورة بدء الحركة لمحرك التيار المستمر (Necessity of A starter of D.C Motor) :

يحدد تيار المنتج لمحرك التيار المستمر حسب العلاقة:

$$E_b = V - I_a R_a$$

$$I_a = (V - E_b)/R_a$$

حيث أن :

I_a = تيار المنتج(أمبير)

R_a= مقاومة المنتج(أوم)

E_b = ق. د. ك العكسية(فولت)

V= فولتية المصدر(فولت)

فعندما يكون المحرك في حالة سكون فإن (ق. د.ك) العكسية (E_b) في ملفات المنتج تكون قيمتها صفراً لحظة تسليط فولتية المصدر (V) فإن قيمة تيار المنتج (I_a) ستكون عالية جداً لأن مقاومة المنتج (R_a) قليلة نسبياً ويوضح ذلك بالمثال الآتي:

مثال(2-11): محرك تيار مستمر نوع توازي قدرته (3.73kw) أي (5H.P) يعمل بفولتية (440V) وتيار الحملالكلي (50A) ، علماً أن مقاومة المنتج (0.25Ω) .احسب التيار المار في المنتج في لحظة التشغيل.

الحل :لحظة تسليط الفولتية على ملفات المنتج مباشرة فأن تيار المنتج تكون قيمته:

$$I_a = (V - E_b) / R_a$$

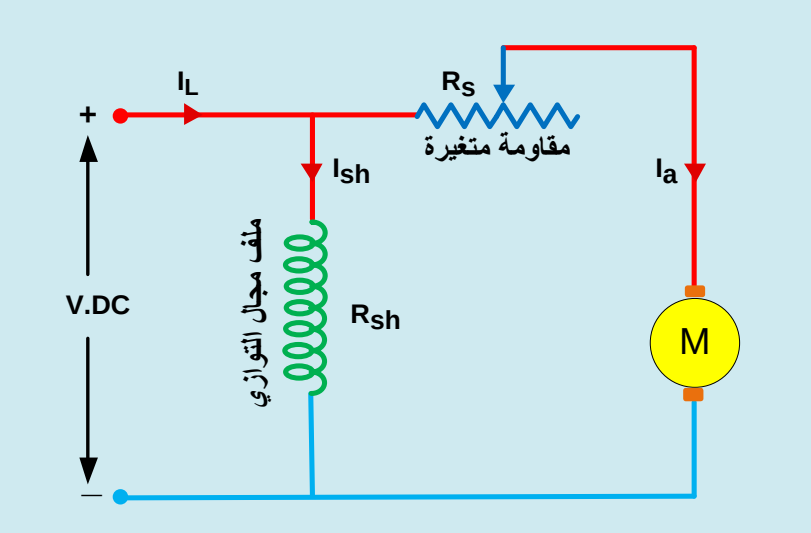
$$I_a = (440 - 0) / 0.25 = 1760A$$

أي ما يعادل تقريباً (35) مرة بقدر تيار الحمل الكلي مما يؤدي إلى تلف ملفات المنتج للمحرك.

من المثال السابق من الضروري حماية ملفات المنتج من زيادة التيار وذلك بربطها بالتوالي مع دائرة بدء الحركة خلال فترة بدء الحركة التي تتراوح (5-10) ثواني .

أ- دائرة مقاومة بدء الحركة لمحرك التوازي (Starting Resistance of Shunt Motor) :

في هذه الدائرة تربط مقاومة بدء الحركة (R_s) بالتوالي مع ملفات المنتج لتحديد قيمة تيار بدء الحركة إلى حد قيمة سلامة ملفات المنتج من التلف إلى أن يبدأ المحرك بالدوران وتبدأ (ق.د.ك) العكسية تتزايد تدريجياً وعند وصول المحرك إلى سرعته الاعتيادية ووصول (ق. د.ك) العكسية إلى قيمتها العظمى يتم إخراج مقاومة بدء الحركة من الدائرة، كما مبين في الشكل (2-48) .



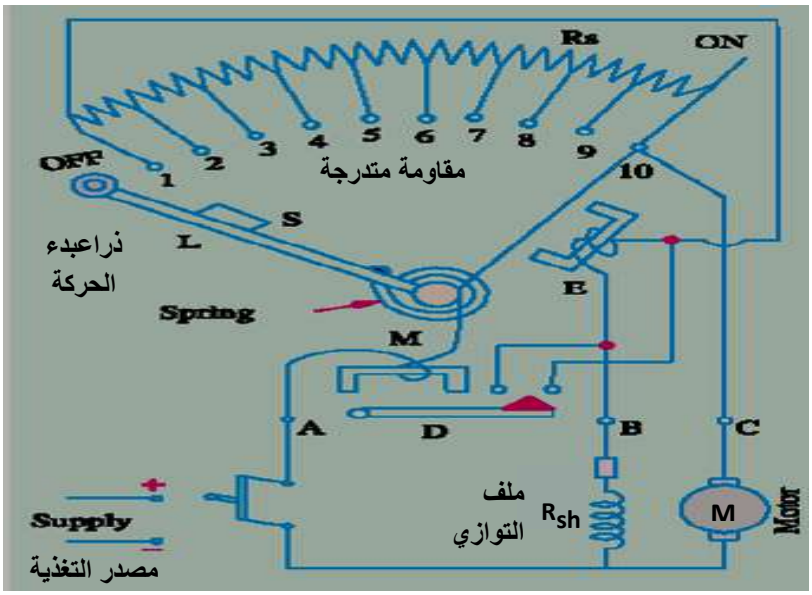
شكل 2-48ربط مقاومة بدء الحركة بالتوالي مع المنتج

ب- دائرة سيطرة المقاومة المتغيرة لبدء الحركة لمحرك التوازي (Starting Rheostat of Shunt Motor):

هذه الدائرة في الشكل (2-49) هي نفس الدائرة في الشكل (2- 50) من الناحية الأساسية عدا إضافة جهاز الحماية ذي النقاط الثلاثة (A-B-C) حيث تربط نهايتي ملف التوازي (R_{sh}) وملفات المنتج (Motor) مباشرة إلى المصدر(-) وتربط النقطة (A) إلى الطرف الآخر من المصدر (+) وكذلك تربط إلى ذراع بدء الحركة (L) خلال ملف مرحل الحمل العالي الحراري (M) وتربط النقطة (B) إلى بداية ملف مجال التوازي وكذلك إلى ملف مرحل بدء الحركة (E) الذي يتمغنط بتيار مجال التوازي ويجذب ذراع بدء الحركة (L) وتربط النقطة (C) إلى بداية ملفات المنتج وكذلك إلى النقطة (10) من المقاومة المتغيرة (R_s) في هذه الدائرة تربط المقاومة المتغيرة (R_s) بالتوالي مع ملفات المنتج في اللحظة التي يوصل مفتاح المصدر فإن ذراع البدء (L) يتحرك ببطيء باتجاه اليمين، فعندما يلامس نقطة (1) توصل ملفات المجال (R_h) مباشرة إلى المصدر وبنفس الوقت مقاومة البدء (R_s) بكاملها تتوصل بالتوالي مع ملفات المنتج (Motor) وتحدد قيمة تيار المنتج (I_a) حسب المعادلة:

$$I_a = V/(R_a + R_s)$$

وعندما يتحرك الذراع (L) أكثر فقيمة المقاومة ستقل تدريجيا حتى يصل الذراع (L) لموقع (ON) ستخرج مقاومة البدء (R_S) كليا من الدائرة فالمحرك يدور بسرعته الاعتيادية وعند إيقاف المحرك عن الدوران فإن الذراع (L) سيعود إلى حالته الأولى(OFF) بوساطة ضغط النابض الحلزوني، كما مبين في الشكل (2-49) .



شكل 2-49ربط مقاومة بدء الحركة بالتوازي مع ملفات التوازي

جـ- دائرة سيطرة بدء الحركة التدريجي لمحرك التوازي

(Starting Resistance of Shunt MotorGrading):

يربط ملف مجال التوازي (R_{sh}) مباشرة إلى المصدر عن طريق الذراع (A) فالفيض المغناطيسي سيكون ثابتاً أما ملفات المنتج فتربط بالتوالي مع المقاومة المتدرجة ومن أجل توضيح ذلك نأخذ الحالات الأربعة كما مبين في الشكل (2-50) . وعندما يلامس الذراع (A) النقطة (1) فيمر تيار المنتج من المصدر خلال الذراع (A) والنقطة (1) والمقاومة (R_1) وإلى المصدر فيقفز التيار فجأة إلى القيمة العظمى وعادة يكون مرة ونصف بقدر قيمة تيار الحمل الكلي وحسب المعادلة:

$$I = V / R_1$$

R_1 = مقاومة بدء الحركة + مقاومة المنتج

ويبدأ المحرك بالدوران بتسارع وتبدأ (ق.د.ك) العكسية (E_b) تتزايد تدريجياً ويبدأ تيار المنتج (I_1) يقل كما مبينفي المنحنى (a_1b) في الشكل (2-51) الذي يوضح علاقة تيار المنتج مع الزمن وكذلك علاقة سرعة المحرك مع الزمن في كل نقطة من نقاط تدرج مقاومة بدء الحركة حيث نلحظ أن في كل نقطة هناك قيمتين للتيار إحداهما عظمى والأخرى صغرى وكذلك هناك قيمتان للسرعة إحداهما صغرى والأخرى عظمى وعندما يهبط تيار المنتج إلى قيمة (I_2) فإن الذراع (A) سيترك نقطة (1) وفي هذا الوقت ستزداد (ق.د.ك) العكسية ولنفرض قيمتها هي (E_{b1}) فتكون قيمة التيار صغرى وحسب المعادلة:

$$I_2 = (V - E_{b1}) / R_1$$

معادلة رقم 1

عندما يلامس الذراع (A) النقطة (2) فإن المقاومة (R_2) ستدخل الدائرة بدلاً من المقاومة (R_1) وعندها سيقفز التيار(I_1) فجأة إلى القيمة العظمى مرة ثانية وتصبح قيمته حسب المعادلة:

$$I_1 = (V - E_{b1}) / R_2$$

معادلة رقم 2

من المعادلتين أعلاه نجد أن في كل نقطة من نقاط مقاومة بدء الحركة (1,2,3,4) هناك قيمتين للتيار (I_1) قيمة عظمى لحظة تلامس النقطة اللاحقة، و(I_2) قيمة صغرى لحظة ترك النقطة السابقة:

$$I_1 / I_2 = R_1 / R_2$$

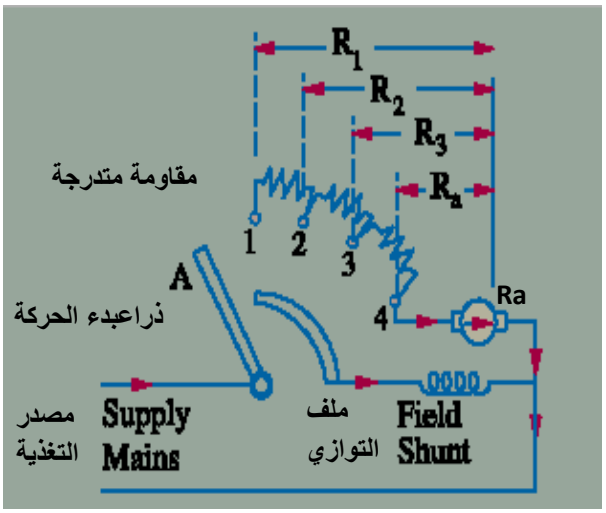
قسمة معادلة رقم 2على معادلة رقم 1

عندما يلامس الذراع (A) النقطة (3) فإن المقاومة (R_3) ستدخل الدائرة بدلا من المقاومة (R_2) وعندها سيقفز التيار (I_1) فجأةً إلى القيمة العظمى وتصبح قيمته:

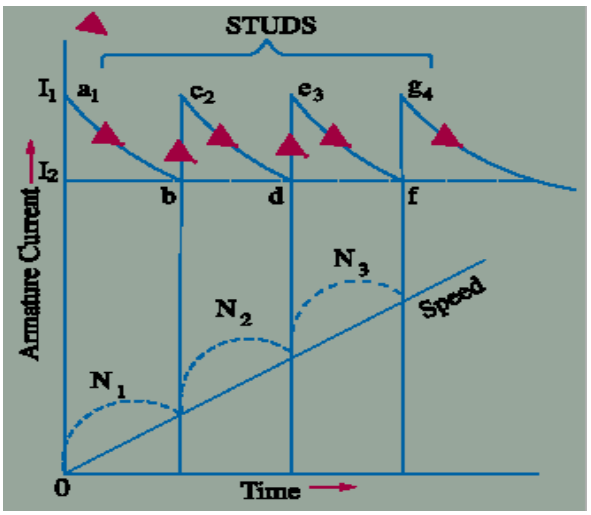
$$I_1 / I_2 = R_2 / R_3$$

عندما يلامس الذراع (A) النقطة (4) فإن المقاومة (R_a) ستبقى وحدها بالدائرة وعندها ستكون قيمة التيار (I_1) .

$$I_1 / I_2 = R_3 / R_a$$



شكل 2-50 ربط مقاومة بدء الحركة بالتوالي مع المنتج



شكل 2-51 منحنى العلاقة بين تيار المنتج والزمن

مثال (2-12): ربط محرك توازي قدرته **(41.4 KW)** إلى مصدر تغذية **(500V)** وكانت مقاومة الجزء الدوار **(0.24)** وأن تيار ملفات التوازي **(1.8 A)** أحسب: التيار الكلي، مقاومة بدء الحركة **(R)** التي تحددتيار بدء الحركة **(1.5)** بقدر التيار الكلي.

$$IT = P / V$$

$$IT = \frac{P\,(kw)}{V} = \frac{41.4\,KW}{500} = 82.8\,A$$

$$I = 1.5 \text{x} IT$$

$$I = 1.5 \times 82.9 = 124.3A$$

$$I_a = I - I_{sh} = 124.3 - 1.8 = 122.5A$$

$$V = I_a(R + R_a)$$

$$500 = 122.5(R + 0.24)$$

$$R = 3.8\Omega$$

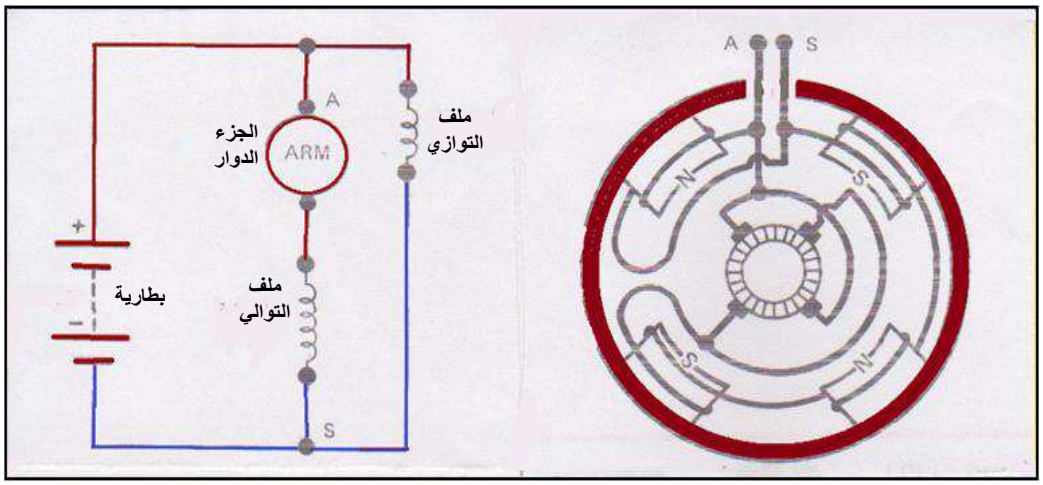
5-2 محرك التيار المستمر في الرافعة الشوكية:

يعشق محرك التيار المستمر مع محور مضخة الزيت بوساطة التروس أوالقارنة (Coupling) أو بوساطة الأحزمة ليعمل على تدوير محور المضخة لضخ الزيت إلى أجزاء المنظومة الهيدروليكية عن طريق أنابيب ضغط عالٍ وهناك عدة أنواع من محركات التيار المستمر التي تم شرحها في الفقرة (3-2) السابقة في الفصل من حيث التركيب ونظرية اشتغالها ومميزاتها وهي:

1- محركات التوالي .

2- محركات التوازي .

3- المحركات المركبة (تعد من المحركات المفضلة بسبب كون عزم الدوران الابتدائي لها عالياً وسرعة ثابتة تقريباً مع تغير الحمل) كما مبين في الشكل (2-52) .



شكل 2 -52 المحرك المركب في الرافعة الشوكية

أسئلة الفصل الثاني

س[1]- ضع علامة (صح) حول الإجابة الصحيحة:

1- وظيفة الموحد:

أ- تجميع التيار

ب- توزيع التيار

ج- توحيد التيار

2- تعتمد القوة الدافعة الكهربائية على:

أ- طول الموصل

ب- كثافة الفيض

ج- سرعة الحركة

3- تتكون الفحمات (الفرش الكربونية) من:

أ- مادة الكربون ومسحوق مادة موصلة

ب- مادة الكربون ومسحوق مادة عازلة

ج- مادة الكربون ومسحوق مادة شبه موصلة

4- تكون مقاومة ملف التوازي:

أ- مساوية لمقاومة المنتج

ب- أكبر من مقاومة المنتج

ج- أصغر من مقاومة المنتج

5- مواصفات ملفات التوالي:

أ- عدد لفات قليل وقطر كبير

ب- عدد لفات كبير وقطر صغير

ج- عدد لفات كبير وقطر كبير

6- حركة موصل داخل مجال مغناطيسي يولد:

أ- طاقة مغناطيسية

ب- طاقة كهربائية

ج- طاقة ميكانيكية

7-المحرك الكهربائي هو الماكنة التي تحول الطاقة:

أ- الحركية إلى كهربائية

ب- الميكانيكية إلى كهربائية

ج- الكهربائية إلى ميكانيكية

8- يعتمد تيار المنتج على:

أ- الفولتية المسلطة

ب- مقاومة ملف المجال

ج- عدد لفات ملف المجال

س2- عدد الأجزاء الرئيسة لمكائن التيار المستمر.

س3- ما مفاقيد مكائن التيار المستمر؟

س4 - ماذا نعني بالمولدة ذات التغذية المنفصلة؟ وبماذا تختلف عن المولدة ذات التغذية الذاتية وضح ذلك بالرسم؟

س5- اشرح مولد التوازي من ناحية التركيب والمميزات مستعيناً بالقوانين، والرسومات المطلوبة.

س6- ما المقصود بالمولد المركب؟ وما أنواعه مستعيناً بالقوانين والرسومات المطلوبة؟

س7- كيف يتم تصنيف القدرة المفقودة في المولد؟

س8-اشرح نظرية المحرك الكهربائي للتيار المستمر مع الرسم.

س9- عدد أنواع محركات التيار المستمر مع شرح خصائص واحدة منها.

س10- وضح علاقة السرعة مع تيار المنتج لمحرك التيار المستمر نوع توالي.

س11- علل ما يلي :

1- عزم محرك التوالي يتناسب طرديا مع مربع تيار المنتج.

2- استخدام الفرملة الكهروميكانيكية لمحركات مكائن المصاعد.

3- تيار المجال هو نفسه تيار المنتج في محركات التيار المستمر نوع توالي.

4- يمنع تشغيل محرك التوالي بدون حمل.

س12- ما هي مميزات استخدام السيطرة الإلكترونية في تنظيم سرعة محركات التيار المستمر؟

س13- عدد عوامل السيطرة على سرعة محرك التيار المستمر.

س14- كيف يمكن حماية ملفات المنتج من التلف في بداية حركة محرك التيار المستمر نوع توازي موضحا ذلك مع الرسم ؟

س15- وضح مراحل دورات محرك التيار المستمر من السكون إلى أن يصل إلى السرعة الاعتيادية موضحا ذلك مع الرسم.

س16- ما أنواع محركات التيار المستمر المستخدمة في المنظومة الهيدروليكية في الرافعة الشوكية وأيهما يفضل ولماذا؟ موضحا ذلك بالمعادلات الرياضية.

س17- مولد توازي ذو (8) أقطاب، وعدد الموصلات (778) موصل يغذي حمل مقاومته (12.5 Ω) بفولتية (250V)، علما أن مقاومة المنتج (O.24 Ω) ، ومقاومة ملف التوازي (250 Ω) وأن مسارات التوازي (A=2) احسب:

1- قيمة التيار المتولد (Ia) .

2- القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في المنتج (E) .

الجواب: **(Ia =21 A) , (E = 255 V)**

س18- ربط محرك توازي ذي (4) أقطاب و(540) موصل إلى مصدر فولتية (220V) فسحب(32 A) علماً أن مقاومة المنتج (0.09 Ω) ومقاومة ملف المجال (Ω220)، علما أن تدفق الفيض (0.03 W) و(A = 4) أحسب سرعة المحرك ؟

الجواب : (N = 805 rpm)

س19- جهز محرك توالي بفولتية (125 V) فسحب تيار (20A) ، علما أن مقاومة المنتج (0.3Ω) ومقاومة الملف (0.7Ω). أحسب قيمة القوة الدافعة الكهربائية العكسية (Eb) ؟

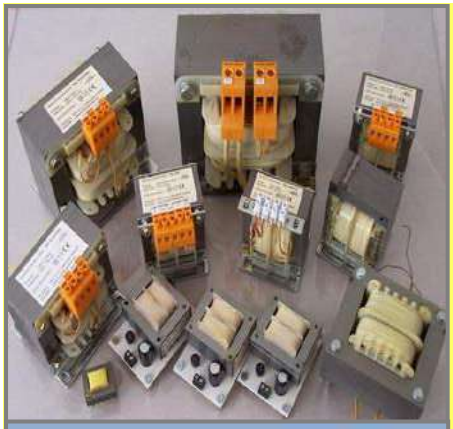
الجواب : (EB = 105V)

س20- مولد نوع مركب قصير يولد (110 V) ويجهز الحمل (15 A) فإذا كانت مقاومة المنتج(0.05 Ω) وملف التوالي (0.3 Ω) وملف التوازي (100 Ω) . أحسب القوة الدافعة الكهربائية المتولد (E)؟

الجواب : (E = 115.3 V)

س21- جد عزم دوران محرك ذي (4) أقطاب، وعدد موصلات الجزء الدوار (774) وفيض الملفات لكل قطب (24*mwb*) ، وأن تيار الجزء الدوار (50A) وأن (A=2) .

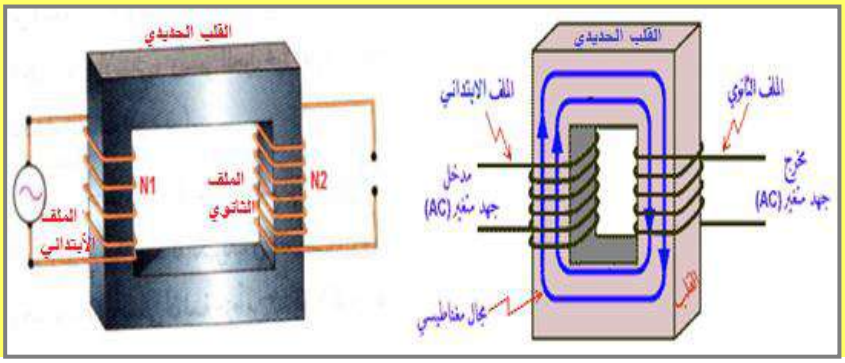
الجواب: (T = 295 n.m)



الفصل الثالث

المحولات الكهربائية

Electrical Transformers



الأهداف:

يكون الطالب بعد دراسة الفصل قادراً على أن :

1- **يتعرف على تركيب ونظرية عمل المحول الكهربائي.**

2- **يتعرف على أنواع المحولات واستخدام كل نوع.**

3- **يتعرف على المفاقيد والكفاءة في المحولات وحساب مقاديرها.**

المحتويات

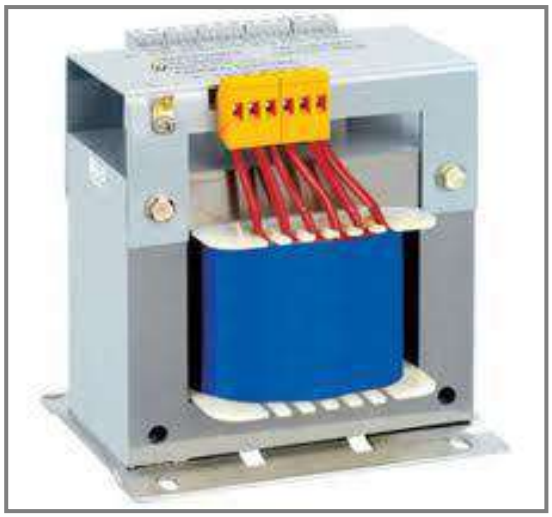
المفردات :

1-3 المحولات الكهربائية (Electrical Transformers) (تركيبها ونظرية عملها).

2-3 عمل المحول الكهربائي بدون حمل وبالحمل الكامل.

3-3 أنواع المحولات الكهربائية (Types of Transformers)وكيفية ربطها واستخداماتها.

4-3 المفاقيد والكفاءة في المحولات الكهربائية.



1-3المحولات الكهربائية (Electrical Transformers):

المحول الكهربائي هو جهاز ثابت بدون أجزاء متحركة (ستاتيكي) يستخدم لنقل الطاقة الكهربائية للتيار المتناوب من دائرة الى أخرى وله القدرة على خفض أو رفع الجهد الكهربائي ولكن ذلك يتبعه تغير معاكس في التيار بمعنى أن خفض الجهد يصاحبه زيادة في التيار والعكس بالعكس مع حدوث مفقودات قليلة تتبدد على شكل طاقة حرارية.

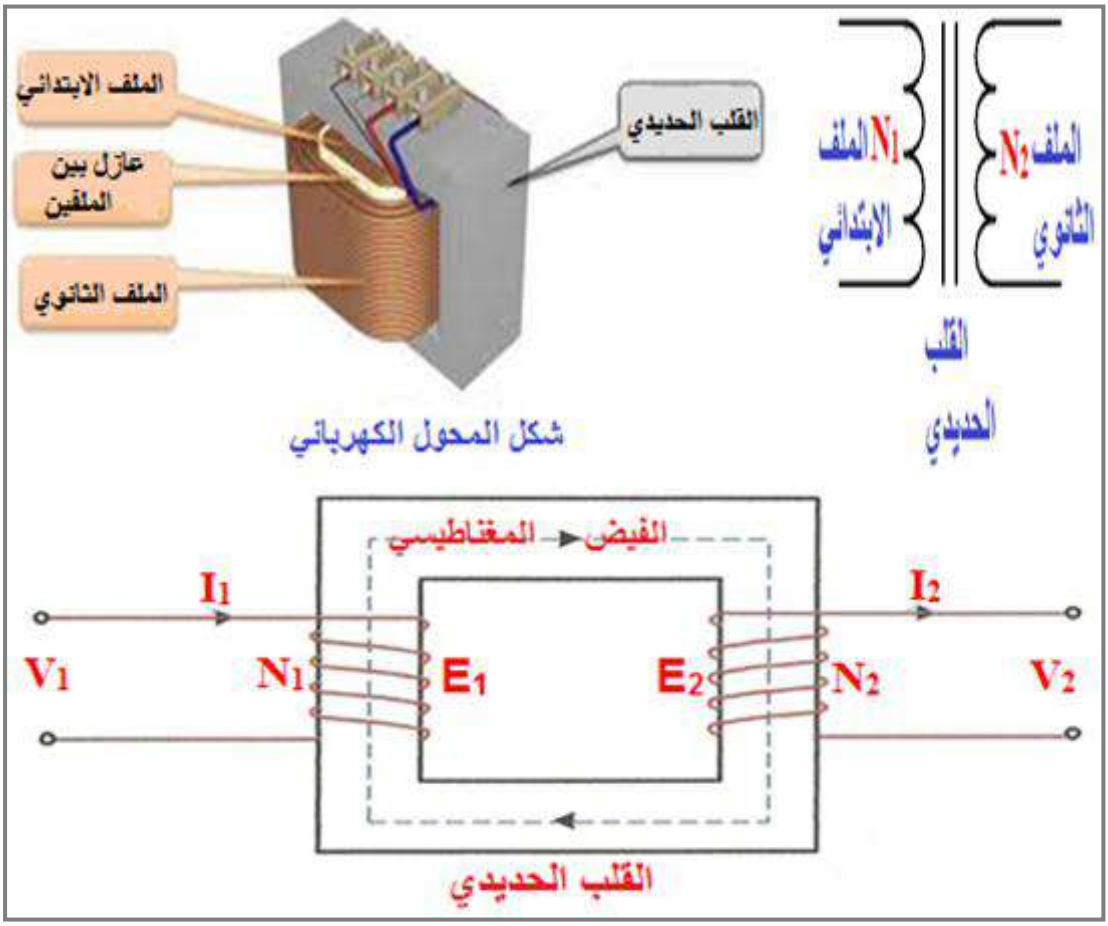
إن فكرة المحول الكهربائي تكون على أساس الحث الكهرومغناطيسي بين ملفين مرتبطين بنفس المجال المغناطيسي. الشكل (3-1) يبين أنواعوأحجام مختلفة من المحولات الكهربائية.

يمكن تلخيص عمل المحول الكهربائي كما يلي :

- إنه جهاز لنقل الطاقة الكهربائية من دائرة إلى أخرى.
- إن تردد الإشارة الكهربائية (جهد أو تيار) لا يتغير على جانبي المحول.
- تستعمل في لوحة السيطرة للمصاعد الكهربائية لخفض جهد المصدر إلى جهد مناسب.
- تستعمل في الصناعات الالكترونية.
- تستعمل في أجهزة القياس.
- تستعمل في اللحام الكهربائي وتسمى محولات اللحام.
- تستعمل في الأجهزة المنزلية.
- تستعمل لنقل الطاقة الكهربائية من محطات توليد الكهرباء إلى مناطق الاستخدام البعيدة.

الشكل 3-1 أنواع وأحجام مختلفة من المحولات الكهربائية

1-1-3 تركيب المحول الكهربائي :



الشكل 3-2 الأجزاء الرئيسية للمحول الكهربائي

يتكون المحول الكهربائي من القلب الحديدي والملفات، كما مبين في الشكل (3-2).

1-القلب الحديدي (Laminated Iron Core):

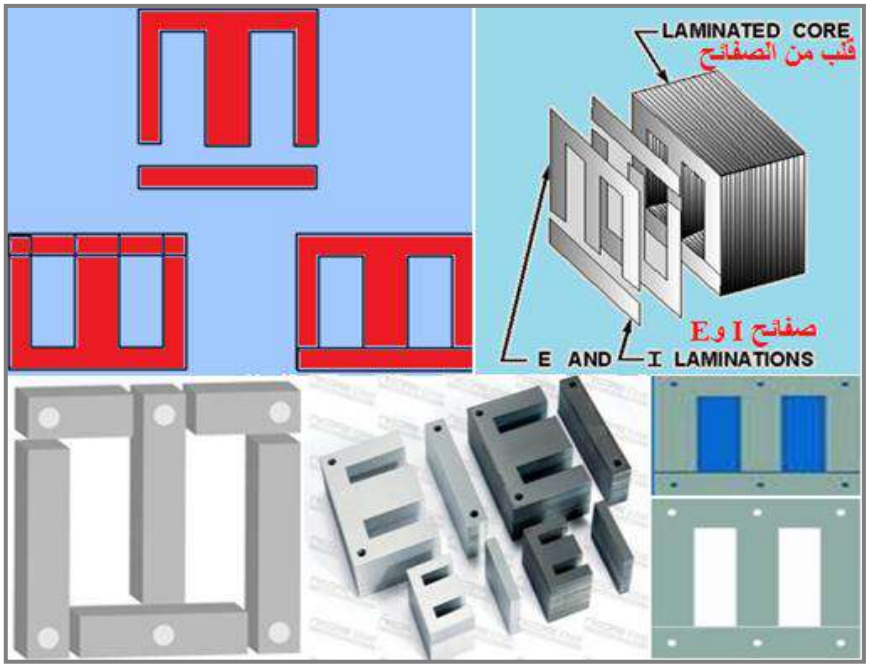
يمثل الدائرة المغناطيسية ويتكون من مجموعة صفائح مصنوعة من الحديد المغناطيسي معزولة عن بعضها لتقليل التيارات الإعصارية ولتقليل من فقدان الطاقة حيث تضغط هذه الصفائح بوساطة مسامير أو براغي لتكون شكلاً ملائماً للدائرة المغناطيسية. مساحة مقطع القلب الحديدي مهمة في تصميم المحول فكلما زادت هذه المساحة زادت القدرة الكهربائية.

يوجد نوعان رئيسان للقلب الحديدي هما :

أ- النوع ذوالإطار (Shell Type):

1- نوع إطار (E I):

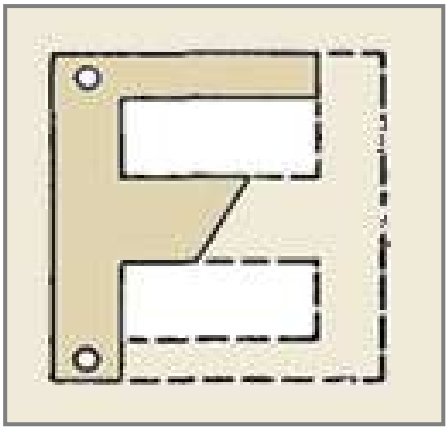
في هذا النوع تكون الصفائح على شكل حرف (E) وحرف (I) وتجمع الصفائح مع بعضها بحيث توضع صفيحة على شكل حرف (E) مع صفيحة على شكل حرف (I) ثم توضع صفيحة على شكل حرف (I) مع صفيحة على شكل (E) وتتكرر هذه العملية حتى تركب الصفائح بأكملها. كما مبين في الشكل (3a-3).



الشكل 3a-3 النوع ذات الإطار(E I)

2- نوع اطار (F):

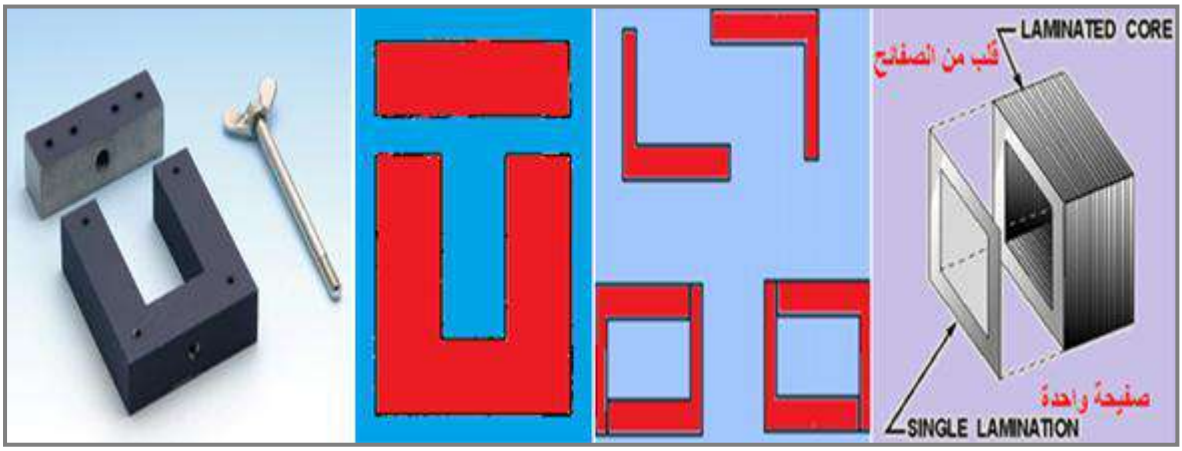
في هذا النوع تكون الصفائح على شكل حرف (F) تجمع مع صفائح أخرى بنفس الشكل ولكن بشكل مقلوب،كما مبين في الشكل (3b-3).



الشكل 3- 3b النوع ذات الإطار (F)

ب-النوع ذو القلب الحديدي (Core Type):

يتكون القلب الحديدي في هذا النوع من ساقين توضع عليهما الملفات وعارضتان لتكملة القلب الحديدي وتكون الصفائح على شكل حرف (L) كذلك U (I) ثم تجمع مع بعضها واحدة بعد الأخرى، مميزاته: هي البساطة وسهولة عزل الملفات. كما مبين في الشكل (3-4).



الشكل 3-4 النوع ذات القلب الحديدي

2- الملفات (Windings):

تمثل الدائرة الكهربائية وتلف حول القلب الحديدي وتصنع من أسلاك نحاسية معزولة مرنة ذات قطر يناسب التيار المار فيها ولا يوجد اتصال كهربائي مباشر بين الملفات. هذه الملفات تكون على نوعين هما :

- **الملفات الابتدائية (Primary Windings):**

توصل إلى المصدر الكهربائي للتيار المتناوب ونرمز لها (N_1).

- **الملفات الثانوية (Secondary Windings):**

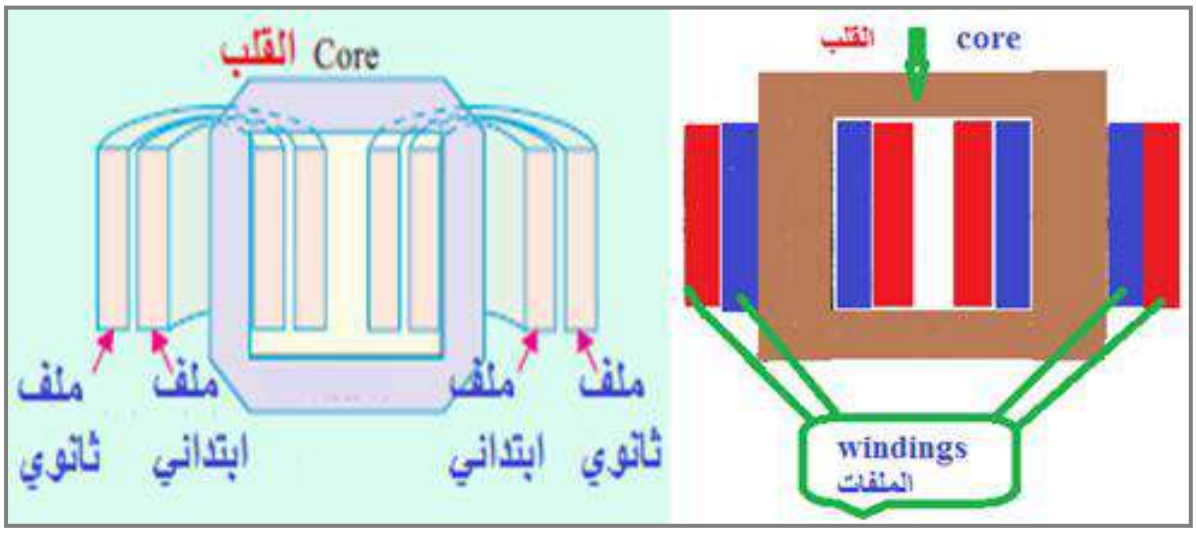
توصل إلى الحمل ونرمز لها (N_2).

إن الملفات في المحولات على أشكال وهي :

- **الملفات الأسطوانية.**
- **الملفات الدائرية (القرصية).**

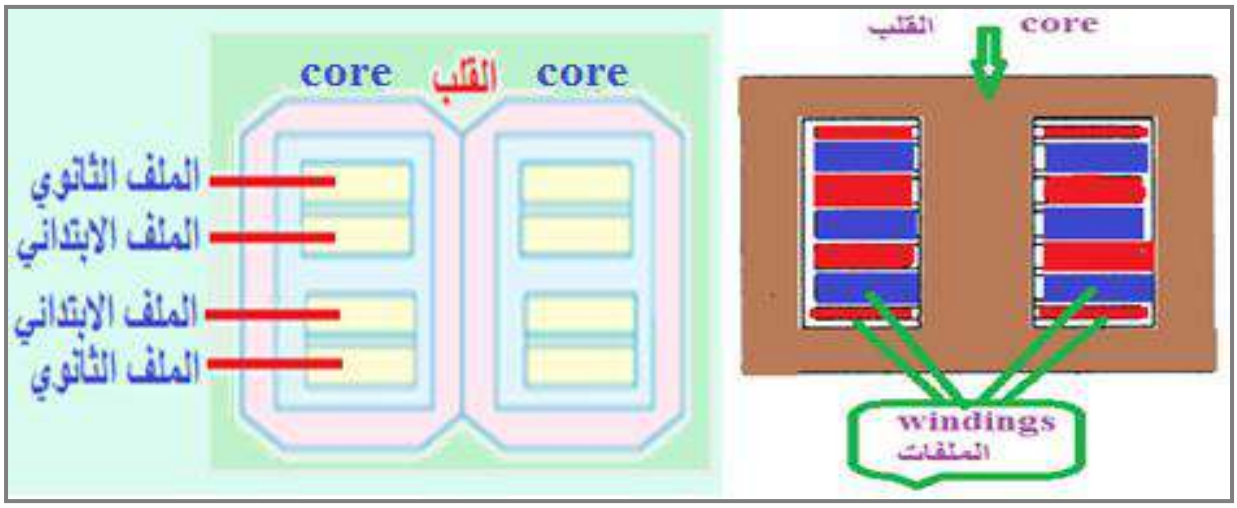
تنقسم الملفات حسب طريقة وضعها حول الساق على نوعين :

1-الملفات المتحدة المركز: وتسمى بهذا الاسم لأنها تصنع على هيئة أسطوانات وتستعمل في المحولات ذات القلب الحديدي، كما مبين في الشكل (3-5).



الشكل 3-5 الملفات المتحدة المركز في المحولات

2-الملفات المتداخلة: وتسمى بالملفات الدائرية **(القرصية)** نظراً لأنها على هيئة دوائر وتستعمل في المحولات ذوات الإطار وترتب بحيث يوضع ملف على شكل دائري وفوقه ملف آخر على شكل دائري ثم ملف آخر وهكذا، كما مبين في الشكل (3-6).



الشكل 3-6 الملفات المتداخلة في المحولات

2-1-3 نظرية عمل المحولات الكهربائية Transformers Operation :

يمكن شرحعمل المحولات الكهربائية طبقاً للخطوات الآتية :

- يوصل طرفا الملف الابتدائي(N_1) بمصدر الجهد للتيار المتناوب (AC) بينما يوصل طرفا الملف الثانوي(N_2) بدائرة الحمل.
- يمر تيار متناوب (I_1) في الملف الابتدائي ويسبب تدفقاً للفيض المغناطيسي (Φ)في القلب الحديدي فيولد قوة دافعة كهربائية متناوبة (E_1) نتيجة الحث الذاتي ووحدة قياسها هي (الفولت).

$$E_1 = 2\pi \Phi f N_1 \qquad (1)$$

حيث أن :

E_1 : ق د ك (فولت) المتولدة في الملف الابتدائي .

f: التردد (HZ).

N_1 : عدد لفات الملف الابتدائي .

Φ: الفيض المغناطيسي (ويبر).

- يعمل القلب الحديدي على تجميع خطوط الفيض المغناطيسي، فيقطع بالتالي الملف الثانوي، فيتولد بين طرفيه قوة دافعة كهربائية متناوبة محتثة(E_2) نتيجة الحث المتبادل، ووحدة قياسها هي (الفولت).

$$E_2 = 2\pi \Phi f N_2 \qquad (2)$$

حيث أن :

E_2 : ق د ك (فولت) المتولدة في الملف الثانوي.

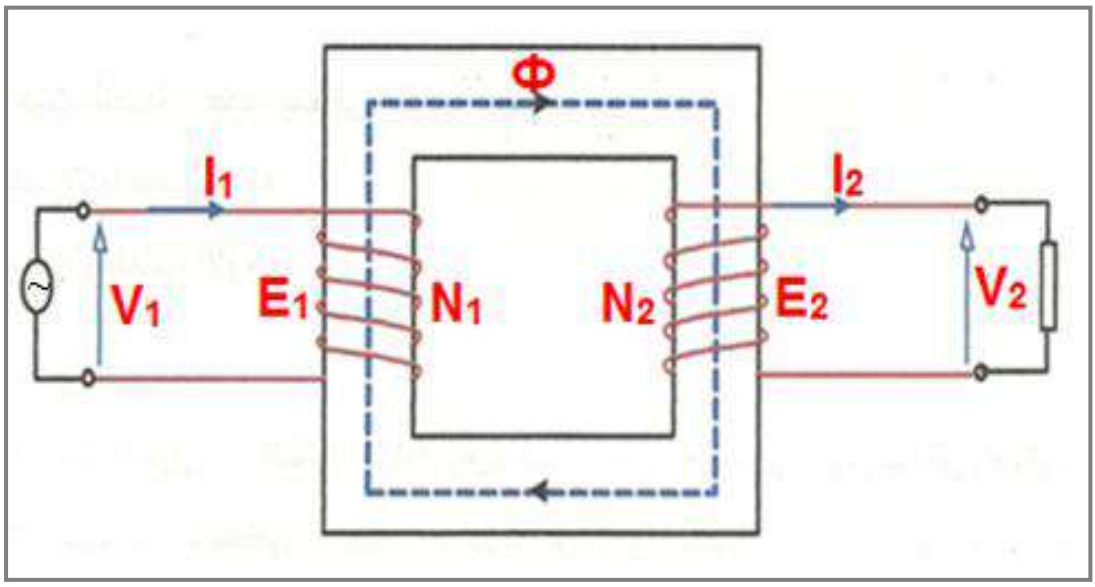
f: التردد (HZ).

N_2 : عدد لفات الملف الثانوي.

Φ: الفيض المغناطيسي (ويبر).

- عند غلق دائرة الملف الثانوي يمر تيار متناوب (I_2) في الدائرة، ويكون تردد هذا التيار مساوياً لتردد التيار المار في الملف الابتدائي .
- التيار المتناوب المار في الملف الثانوي يولد فيض مغناطيسي (Φ) يعاكس الفيض الناشئ في الملف الابتدائي.
- تردد المصدر(f) والفيض (Φ) لدائرة الملف الابتدائي والثانوي لا يتغير.

الشكل (3-7) يبين دائرة الملف الابتدائي ودائرة الملف الثانوي للمحول .

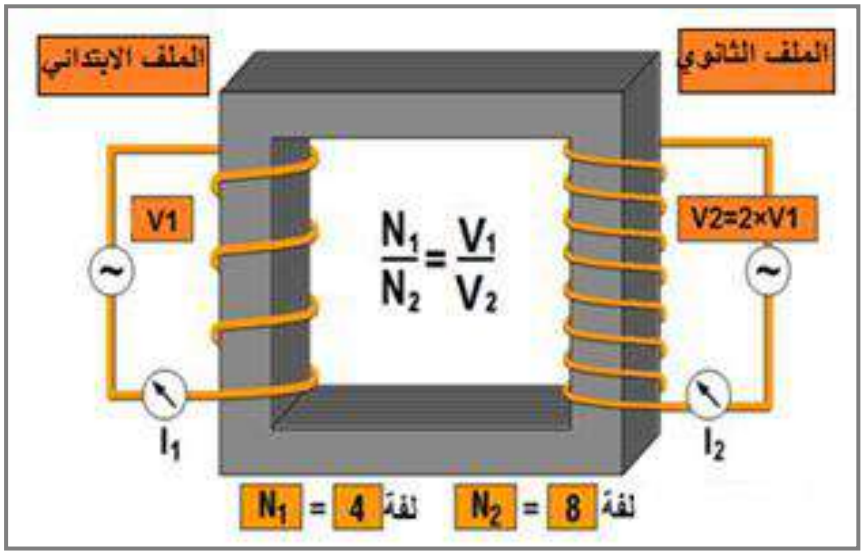


الشكل 3-7 دائرة الملف الابتدائي والثانوي للمحول الكهربائي

3-1-3 نسبة التحويل (γ) (Turn Ratio) :

هي النسبة بين عدد لفات الملف الثانوي (N_2)إلى عددلفات الملف الابتدائي (N_1) أو هي النسبة بين الفولتية عبر الملف الثانوي (V_2) إلى الفولتية بين الملف الابتدائي (V_1).

تكون المحولات عبارة عن محولات رافعة وخافضة لذلك نحتاج إلى نسبة التحويل للقيم الكهربائية المختلفة ومن قراءة معلومات نسبة التحويل نتعرف على نوع المحولة رافعة أو خافضة،كما مبين في الشكل (3-8).



الشكل 3-8 نسبة التحويل في المحولات

يمكن حساب القيم الأساسية للمحولات (ضغط، تيار، عدد لفات) للملف الابتدائي والثانوي من المعادلة الآتية:

$$\gamma = \frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2} \quad (1)$$

وفي حالة إهمال المفاقيد تكون القدرة الداخلة للمحول (القدرة المعطاة) تساوي القدرة الخارجة (القدرة المأخوذة) الى الحمل.

$$S_1 = S_2 \quad (2)$$

إن القدرة الظاهرة(3)

$$S = IVVA$$

وبالتعويض (4)

$$I_1 V_1 = I_2 V_2$$

مثال 3-1 :

محول طور واحد يعمل على فولتية (220) فولت، عدد لفات الملف الابتدائي (660) لفة وعدد لفات الملف الثانوي (48) لفة. احسب الفولتية على خرج الملف الثانوي.

الحل:

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

$$\frac{220}{V_2} = \frac{660}{48}$$

$$V_2 = \frac{220 \times 48}{660} = 16V$$

مثال 2-3 :

محول طور واحد ضغطه الابتدائي (20) فولت وضغطه الثانوي (110) فولت. احسب التيار الذي يسحبه من المصدر إذا علمت أن تيار الحمل (2) أمبير.

الحل:

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

$$\frac{20}{110} = \frac{2}{I_1}$$

$$I_1 = \frac{110 \times 2}{20} = 11A$$

2-3 عمل المحول بدون حمل وبالحمل الكامل :

1-2-3 عمل المحول بدون حمل (No Load Operation) :

يعني أن دائرة الملف الثانوي مفتوحة. إن نظرية عمل المحول تعتمد على الحث الكهرومغناطيسي فعندما يوصل المحول بمصدر جهد متناوب لا يسري تيار في الملف الثانوي بل يسري تيار في الملف الابتدائي يسمى تيار عدم الحمل (I_0) وينشأ عن مرور هذا التيار فيض مغناطيسي متناوب ويقطع هذا الفيض كل من الملف الابتدائي والثانوي فيولد في كل منهما قوة دافعة كهربائية عكسية تتناسب مع عدد اللفات ومعدل تغير الفيض بالنسبة للزمن. وتيارعدم الحمل (I_0) ينقسم إلى مركبتين هما (I_m) و(I_e).

- **مركبة التيار غير الفعالة** $I_m = I_o \sin\theta_o$ (1)
- **مركبة التيار الفعالة**

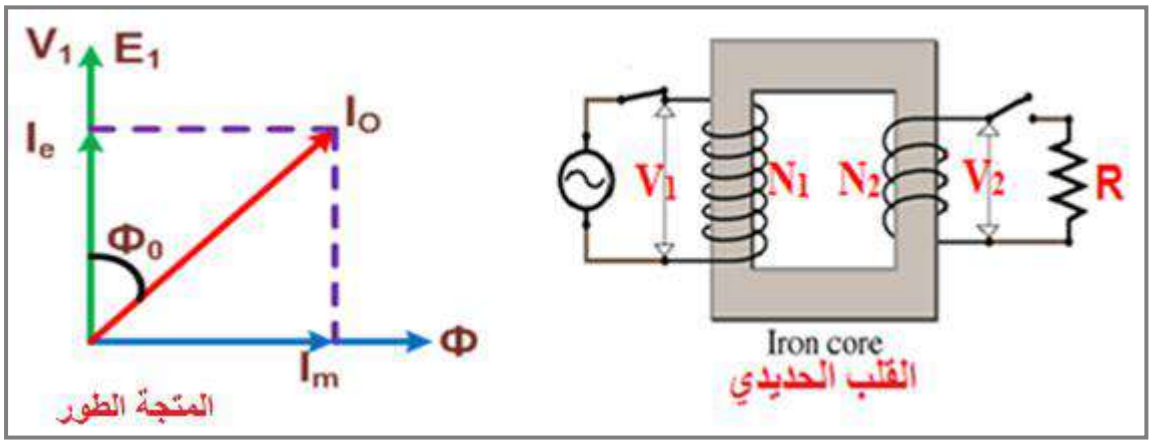
$$I_e = I_o \cos\theta_o \ (2)$$

يمكن حساب تيار عدم الحمل (I_o) من المعادلة الرياضية الآتية :

$$I_o = \sqrt{I_m{}^2 + I_e{}^2} (3)$$

التيار (I_m) مسؤول عن تكوين الفيض المغناطيسي في القلب الحديدي، والذي بدوره يولد قوة دافعة كهربائية عكسية ويسمى هذا التيار بتيار المغطسة. التيار (I_e) مسؤول عن المفاقيد الحديدية (ΔP_{Fe}) والتي تشمل مفاقيد الهسترة والتيارات الإعصارية. إن التيار (I_m) يكون متأخراً بزاوية (90^0) ويكون الفيض متأخراً بنفس الزاوية نظراً لمرور التيار في الممانعة.

أما (I_e) فيكون في نفس اتجاه الجهد الموصل على أطراف الملف الابتدائي للمحول (V_1) ويكون متقدماً بزاوية (90^0) على تيار المغطسة (I_m). الزاوية(θo) تكون بين التيار (I_o) والجهد للملف الابتدائي (V_1) ،كما مبين في الشكل (3-9).



الشكل 3-9 المحول بدون حمل

في حالة عمل المحول بدون حمل يمكن حساب المفاقيد الحديدية (ΔP_{Fe})، كما يأتي :

$$\Delta P_{Fe} = I_o V \cos\theta o \qquad (4)$$

$$I_e = I_o \cos\theta o \qquad (5)$$

$$\Delta P_{Fe} = I_e V \qquad (6)$$

مثال 3-3:

محول كهربائي يشتغل بدون حمل يعمل على ضغط (250) فولت وبتردد (50) ذ/ثا (هيرتز) وتيار المغطسة (0.9) أمبير والتيار الذي يسبب المفاقيد في الحديد (0.4) أمبير. احسب :

القدرة المصروفة والتيار الذي يسحبه من المصدر.

الحل:

$$\Delta P_{Fe} = I_o \, V \cos\theta o$$

$$\because I_e = I_o \cos\theta o$$

$$\therefore \Delta P_{Fe} = I_e \, V = 0.4 \times 250 = 100 \, W$$

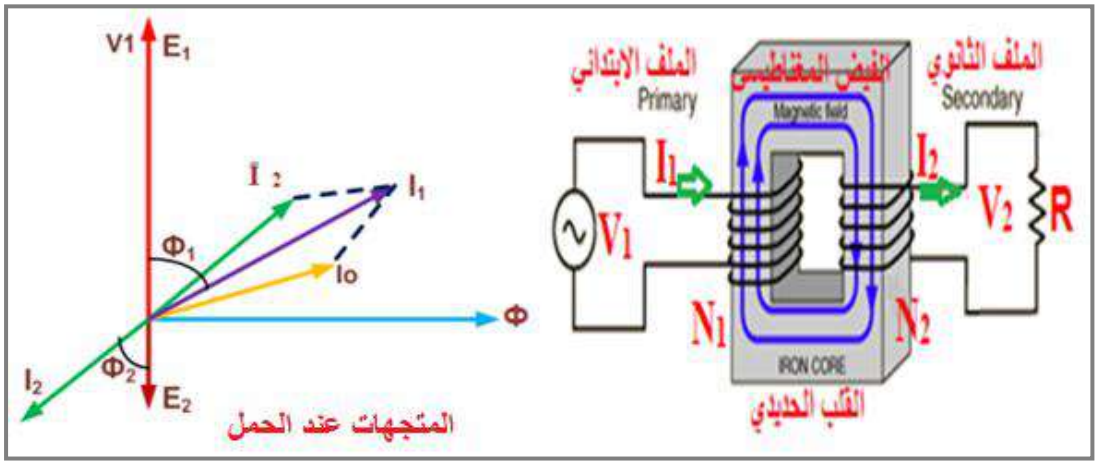
$$I_o = \sqrt{I_e^{\,2} + I_m^{\,2}} = \sqrt{(0.4)^2 + (0.9)^2}$$

$$I_o = \sqrt{0.16 + 0.81} = 0.98 \, A$$

2-2-3 عمل المحول عند الحمل (Load 0peration) :

يكون الحمل متصلاً بدائرة الملف الثانوي، والمصدر متصلاً بدائرة الملف الابتدائي.

التيار (I_2) المار في ملفات الثانوي ينتج فيض مغناطيسي معاكس للفيض المغناطيسي المتكون من التيار الآبتدائي (I_1) وبذلك تكون القوة الدافعة الكهربائية (E_2) معاكسة للقوة الدافعة الكهربائية (E_1) التي تتولد في الملف الابتدائي. إن الفيض المغناطيسي (Φ) في القلب الحديدي يبقى ثابتاً في حالتي الحمل أو بدون الحمل كما مبين في الشكل (3-10).



الشكل 3-10 عمل المحول عند الحمل

في حالة عمل المحول عند الحمل الكامل يمكن حساب المفاقيد النحاسية (ΔP_{cu}Copper Losses) للملف الابتدائي والملف الثانوي.

مفاقيد نحاسية = مفاقيد نحاسية للملف الابتدائي + مفاقيد نحاسية للملف الثانوي

$$\Delta P_{cu} = \Delta P_{cu1} + \Delta P_{cu2} \qquad (1)$$

$$\Delta P_{cu} = I_1^{\,2} R_1 + I_2^{\,2} R_2 \qquad (2)$$

حيث أن :

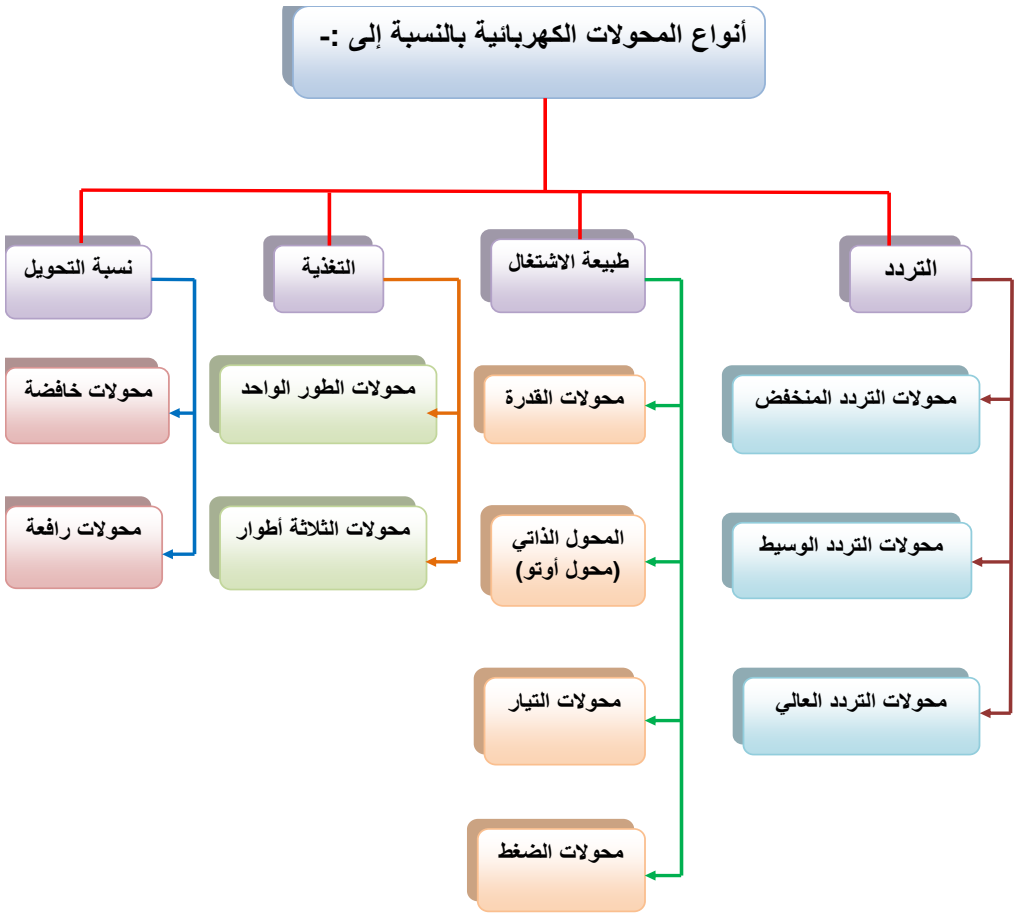
R_1 : مقاومة الملف الابتدائي (أوم).

R_2 : مقاومة الملف الثانوي (أوم).

3-3 أنواع المحولات الكهربائية

شكل (3-11) مخطط لتصنيف المحولات الكهربائية حسب متطلبات العمل .

أنواع المحولات الكهربائية بالنسبة الى:



شكل 3- 11 مخطط لتصنيف المحولات الكهربائية حسب متطلبات عملها

1-3-3 أنواع المحولات بالنسبة الى التردد هي :

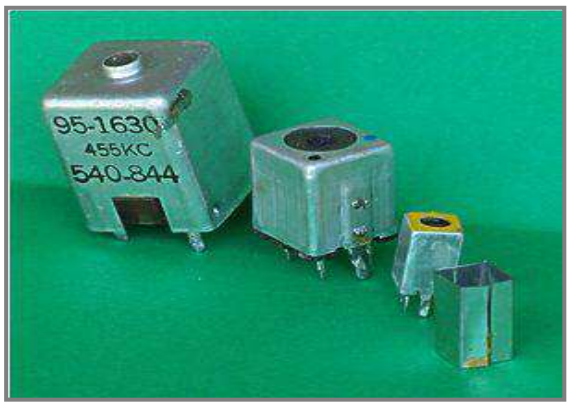
- **محولات التردد المنخفض (ذات القلب الحديدية) :**

تصمم هذه المحولات لكي تعمل عند الترددات المنخفضة مثل: ترددات القدرة والترددات الصوتية، كما مبين في الشكل (3-12).

الشكل3-12محولات التردد المنخفض

- **محولات التردد الوسيط (ذات القلب المصنوعة من مسحوق الحديد):**

تستخدم هذه المحولات في الربط بين مكبرات التردد الوسيط في أجهزة الراديو والتلفزيون حيث تسمح لإشارة التردد الوسيط أن تنتقل من مرحلة إلى أخرى وتحول دون انتقال الجهد المستمر (DC) من مرحلة الى أخرى ومحولات التردد الوسيط عبارة عن محولات صغيرة الحجم عدد لفاتها قليلة نسبياً، وتستخدم فيها قلب من مسحوق الحديد أو من مادة الفرايت، هذا القلب يمكن تحريكه الى أعلى والى أسفل بوساطة مفل بلاستيكي لضبط أو لتغيرحث هذه المحولات، كما مبين في الشكل (3-13).



الشكل 3-13 محولات التردد الوسيط

- **محولات التردد العالي (ذات القلوب الهوائية):**

في ترددات الراديو نستعمل المحولات ذات القلب الهوائي بدلاً من المحولات ذات القلب الحديدي بسبب الفقدان الكبير في الإشارة، كما مبين في الشكل (3-14).

الشكل 3-14 محولات التردد العالي

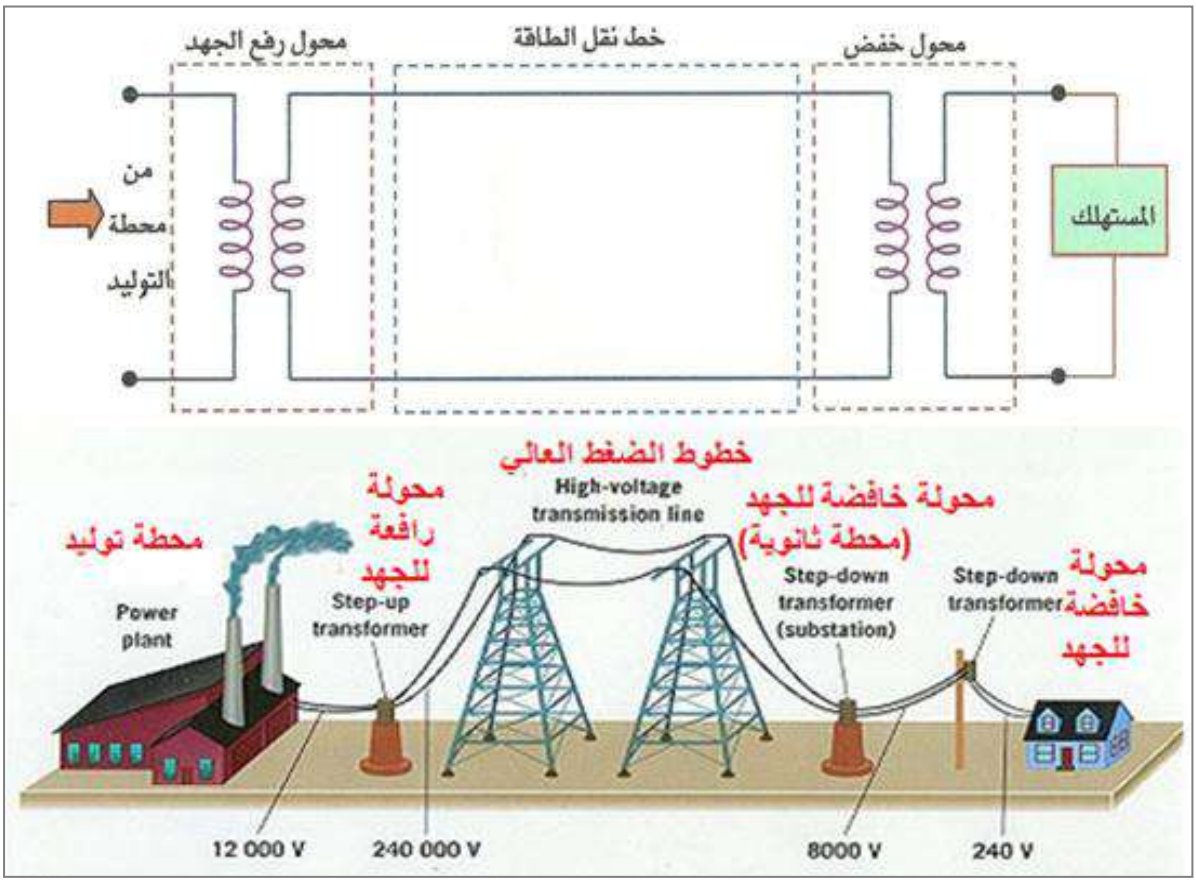
3-3-2 أنواع المحولات الكهربائية بالنسبة إلى طبيعة اشتغالها هي:

1 ـ محولات القدرة (Power Transformers):

تستعمل في محطات توليد الطاقة الكهربائية ذات القدرات العالية وفي بداية خط نقل القدرة الكهربائية عبر الأسلاك والأبراج الهوائية لمسافات طويلة،نستعمل محولات القدرة لرفع جهد التوليد وخفض التيار وفي نهاية الخط نستعمل محولات القدرة لرفع التيار، وخفض الجهد إلى جهد مناسب للمستهلك، كما مبين في الشكل (3-15).

إن نقل القدرة الكهربائية بضغوط مرتفعة تحقق عدة فوائد منها :

- ✓ **رفع كفاءة خطوط نقل القدرة الكهربائية.**
- ✓ **توفير في ثمن الموصلات حيث أمكن استخدام موصلات ذات مقطع أصغر.**
- ✓ **توفير في القدرة المفقودة في الموصلات، وكذلك في ثمن الطاقة الكهربائية المفقودة.**



الشكل 3-15محولات القدرة في محطات التوليد ونقل الطاقة الكهربائية

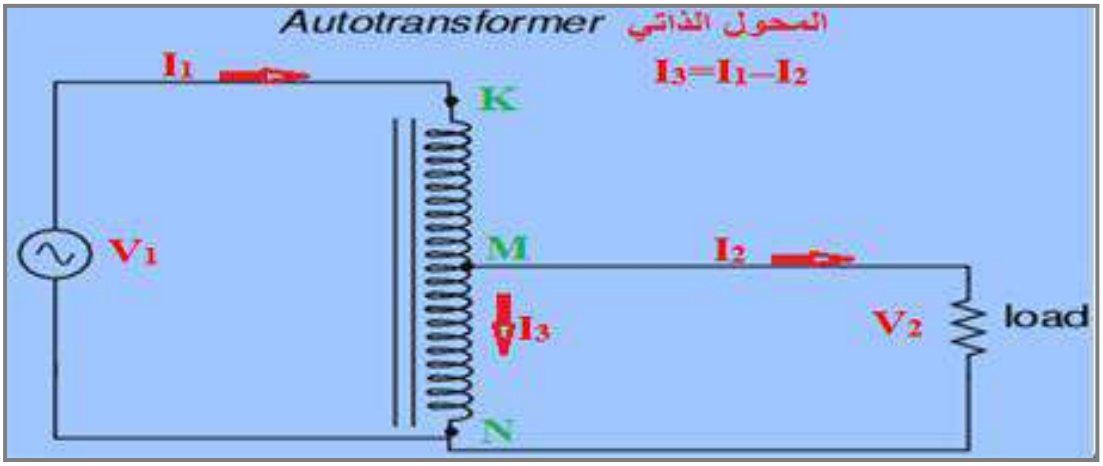
توجد أنواع وأحجام مختلفة من محولات القدرة، كما مبين في الشكل (3-16).

الشكل 3-16 محولات القدرة

2- المحول الذاتي (محول أوتو) (Auto Transformer):

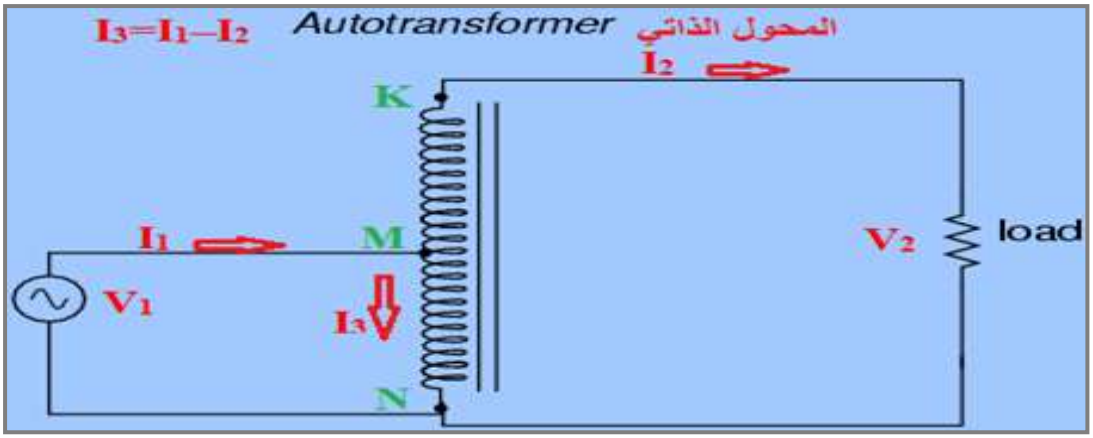
يعد من المحولات المهمة نظراً لبساطته وانخفاض ثمنه مقارنة بالمحول الاعتيادي وهو يعتمد في نظرية تشغيله على نفس نظرية المحول ذي الملفين ولكن يستخدم فيه ملف واحد فقط ويمثل هذا الملف كله الملف الابتدائي ويمثل جزءاً من هذا الملف، الملف الثانوي (محول رفع للجهد) أو بالعكس (محول خفض للجهد).
إن الملف الابتدائي في المحول الذاتي يتصل مباشرةً مع الملف الثانوي في حين لا يوجد اتصال كهربائي في المحول الاعتيادي .

يمكن أن يكون المحول الذاتي محولاً خافضاً للجهد، كما مبين في الشكل (3-17).



الشكل 3-17 محول ذاتي خافض للجهد

يمكن أن يكون المحول الذاتي محول رافع للجهد كما مبين في الشكل (3-18).



الشكل 3-18 محول ذاتي رافع للجهد

وهذا يعتمد على طريقة التوصيل، يمثل الملف (KN) في الشكل (3-17) الملف الابتدائي وعدد لفاته هي (N_1) بينما يمثل الملف (MN) الملف الثانوي وعدد لفاته (N_2) وتكون نسبة الجهد كما في المحول ذي الملفين (الاعتيادي) ونحصل عليها بمساواة القدرة الداخلة مع القدرة الخارجة عند إهمال المفاقيد التي يسببها التيار (I_3) في الملف.

$$\frac{I_2}{I_1 V_2 N_2} = \frac{V_1 N_1}{} = \frac{}{} \qquad (1)$$

ويكون التيار في الملف الابتدائي يساوي :

$$I_1 = I_2 + I_3 \qquad (2)$$

$$I_3 = I_1 - I_2 \qquad (3)$$

يمثل الملف (KN) في الشكل (3-18) الملف الثانوي وعدد لفاته هي (N_2) بينما يمثل الملف (MN) الملف الابتدائي وعدد لفته هي (N_1).

يستخدم المحول الذاتي في المختبرات وأجهزة بدء الحركة عندما يكون نسبة التحويل المطلوبة في حدود من (1 : 2.5) ، أي الجهد الابتدائي والثانوي متقاربان.

مميزات المحول الذاتي: إنه يعطي جهداً متغيراً وذلك بتغير موضع النقطة (M) وبذلك يمكن تغير عدد لفات الملف الثانوي أو الابتدائي للحصول على جهد يتراوح من صفر وحتى جهد الملف الابتدائي أو أكبر منه كما في المحول الذاتي (رافع للجهد) ويسمى المحول الذاتي المتغير القيمة لجهد الثانوي(Variac) ويتميز هذا النوع عن المحول ذي الملفين بصغر حجمه لنفس القدرة وذلك لتوفير النحاس المستخدم في الملفات، كما مبين في الشكل (3-19).

الشكل 3-19 أنواع وأحجام مختلفة للمحول الذاتي

مساوئ المحول الذاتي: إن العزل الكهربائي بين المصدر والحمل لا يوجد، نظراً لاستخدام ملف واحد بين الداخل والخارج **(الدخل والخرج)** ولذلك لا يفضل أيضاً استخدامه بنسبة تحويل كبيرة لأنه يسبب خطورة وإمكانية حدوث قصر بين ملفات الجهد العالي والواطئ وذلك لنفس السبب وهذا على العكس كما في المحول ذي الملفين.

3- محولات التيار (Current Transformers)(C.T):

تستعمل محولات التيار في أجهزة قياس التيار وملفات التيار لأجهزة قياس القدرة وأجهزة قياس معامل القدرة لتحويل قيمة التيار العالية إلى قيمة صغيرة بنسبة معينة تكون مثبتة على الجهاز. الملف الابتدائي متكون من سلك ذي مقطع كبير وعدد قليل من اللفات ويوصل بالتوالي بين المصدر والحمل لذلك يسري فيه تيار الحمل. الملف الثانوي متكون من سلك ذي مقطع صغير وعدد كثيرمن اللفات ويوصل بجهاز قياس التيار أو ملف جهاز قياس القدرة، كما مبين في الشكل (3-20).

الشكل 3-20 محولات التيار

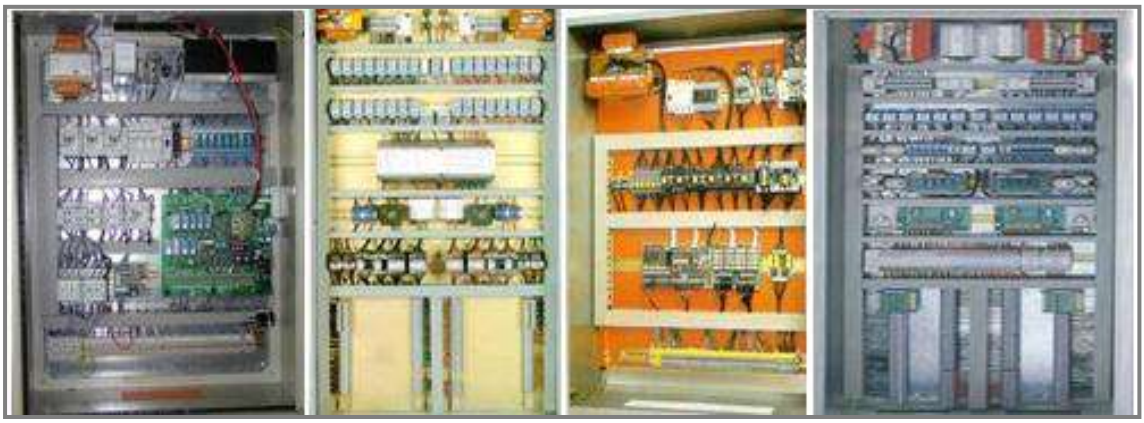
4- محولات الضغط (Voltage Transformers):

يوصل الملف الابتدائي بالتوازي مع المصدر ويوصل الملف الثانوي بالتوازي مع الحمل. تستعمل في غرفة السيطرة للمحطات الكهربائية ولوحات التوزيع فائدتها: تحويل الضغوط العالية إلى ضغوط منخفضة ملائمة لتشغيل أجهزة السيطرة والقياس لذلك تكون عوازل هذه المحولات مصممة لتحمل الضغوط العالية ويجب توصيل دائرة الملف الثانوي مع الأرضي تجنباً لتلف العوازل وانتقال الضغط العالي إلى الملف الثانوي، كما مبين في الشكل (3-21).

الشكل 3-21 محولات الضغط

هذه المحولات تستعمل في لوحة السيطرة للمصاعد (Elevators) الكهربائية لغرض خفض ضغط المصدر الكهربائيالمتناوب إلى عدد من الضغوط المناسبة لتغذية الموصلات الهوائية (Air-Contactors) ومصابيح الطلبات (LightingsCall) ومصابيح الإشارة (Lightings Indicator) والدوائرالالكترونية لوحدات التحكم المنطقي المبرمج (PLC).

كذلك تستعمل في لوحة السيطرة للمحركات الكهربائية، والدوائر الالكترونية كمحولات خافضة لضغط المصدر الكهربائي المتناوب إلى عدد من الضغوط المناسبة لتغذية الموصلات الهوائية والمؤقت الزمني (Timer) والمرحل (Relay) ودائرة التوحيد، كما مبين في الشكل (3-22).



الشكل 3-22 لوحة السيطرة للمصاعد

مقارنة بين محول الضغط ومحول التيار:

ت	محولالضغط	محول التيار
1	يربط الملف الابتدائي بالتوازي مع المصدر ويربط الملف الثانوي بالتوازي مع الحمل.	يربط الملف الابتدائي بالتوالي بين المصدر والحمل ويربط الملف الثانوي بالتوازي مع جهاز قياس التيار.
2	تيار الملف الابتدائي يعتمد على تيار الملف الثانوي.	تيار الملف الثانوي يعتمد على تيار الملف الابتدائي.
3	في حالة تشغيل المحول لا يؤثر إذا كانت دائرة الملف الثانوي مربوطة بالحمل، أو بدون حمل.	في حالة تشغيل المحول يجب أن تكون دائرة الملف الثانوي مربوطة بجهاز القياس أو عمل قصر (شورت) لمنع تلف العوازل بسبب الفيض المغناطيسي العالي والقوة الدافعة الكهربائية العالية المتولدة في الملف الثانوي.

3-3-3 أنواع المحولات الكهربائية بالنسبة إلى التغذية هي :

1- محولات الطور الواحد (Single phase Transformers):

تحتوي على ملفين (الابتدائي والثانوي) والقلب الحديدي وذات حجم وقدرة وكفاءة أقل من محولات الثلاثة أطوار.

2-محولات الثلاثة أطوار (Three PhaseTransformers)

تحتوي على ملف ابتدائي وملف ثانوي لكل طور. تنقل القدرة الكهربائية عبر خطوط نقل ذوات ثلاثة أطوار وخلال نقل القدرة الكهربائية من محطات التوليد إلى المستهلك، يتم رفع الجهد لاعتبارات اقتصادية وعند المستهلك يتم خفض الجهد الى جهد التوزيع وعملية التحويل هذه للجهد تتم باستخدام محول ذي ثلاثة أطوار.

هناك أنواع كثيرة منالمحولات ذوات الثلاثة أطوار مختلفة القدرات والأحجام كما مبين في الشكل (3-23) وذلك للحصول على خواص تشغيل تلبي احتياجات الحمل الذي يعمل عليه المحول.

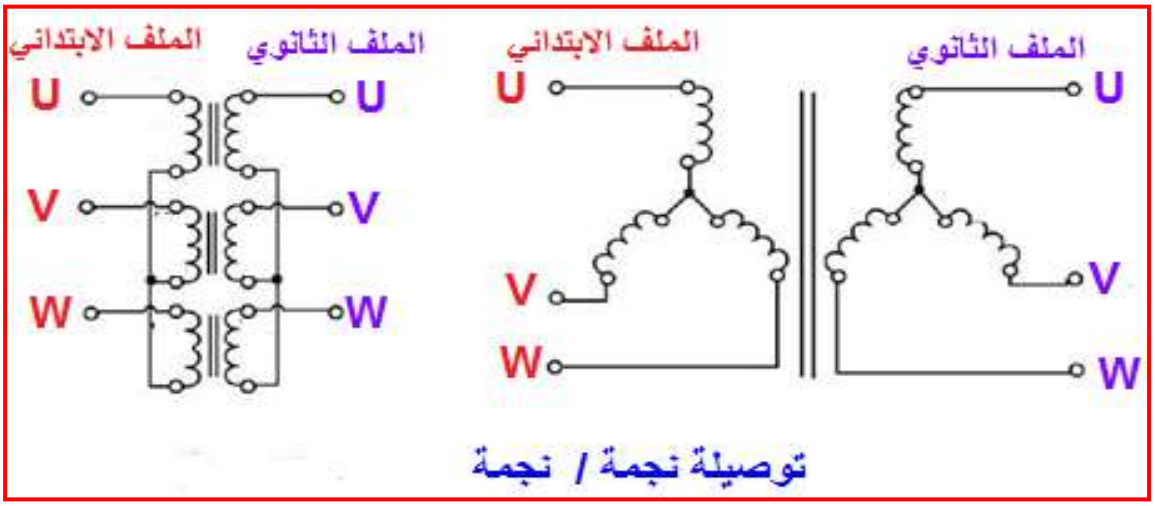
الشكل 3-23 محولات الثلاثة أطوار

توجد عدة طرق لربط ملفات هذه المحولات وهي :

- **توصيلة نجمة (StarY):** تربط نهايات الملفات مع بعضها، وتوصل البدايات الى الحمل أو المصدر والعكس صحيح.
- **توصيلة دلتا ($Delta\ \Delta$) :** تربط نهاية الملف الأول مع بداية الملف الثاني،ونهاية الملف الثاني مع بداية الملف الثالث ونهاية الملف الثالث مع بداية الملف الأول وتوصل الأطراف الى الحمل أو المصدر.
- **توصيلة المتعرج (الزكزاك):** تربط الملفات ستار ودلتا.

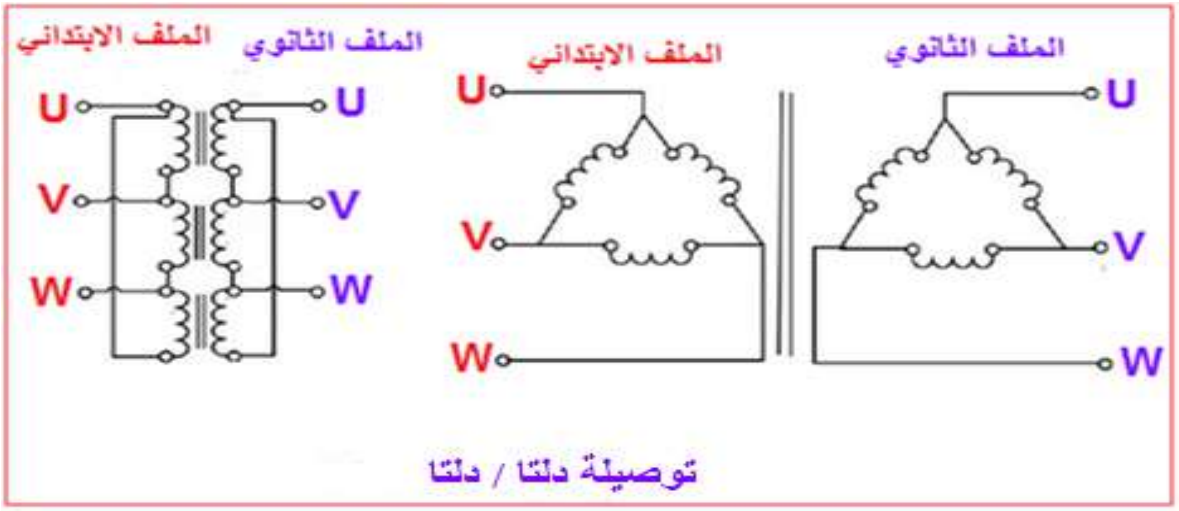
ويمكن تلخيص أهم الطرق الشائعة لتوصيل المحولات ذوات الثلاثة أطوار كالآتي :

- **توصيل الملف الابتدائي نجمة - الملف الثانوي نجمة (Star – Star) Y-y،كما مبين في الشكل (3-24).**



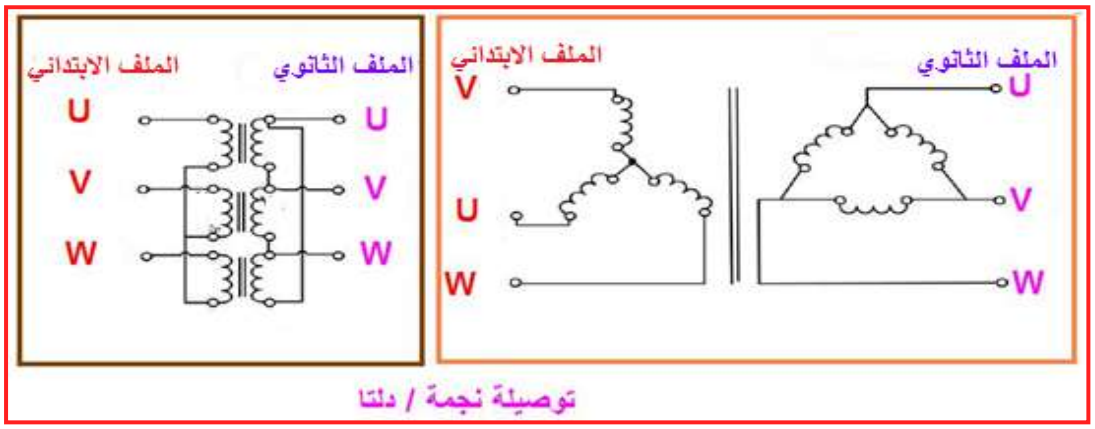
الشكل 3-24 توصيلة نجمة / نجمة لمحولات الثلاثة أطوار

- **توصيل الملف الابتدائي دلتا - الملف الثانوي دلتا(Delta- Delta)(D-d)، كما مبين في الشكل (3-25).**



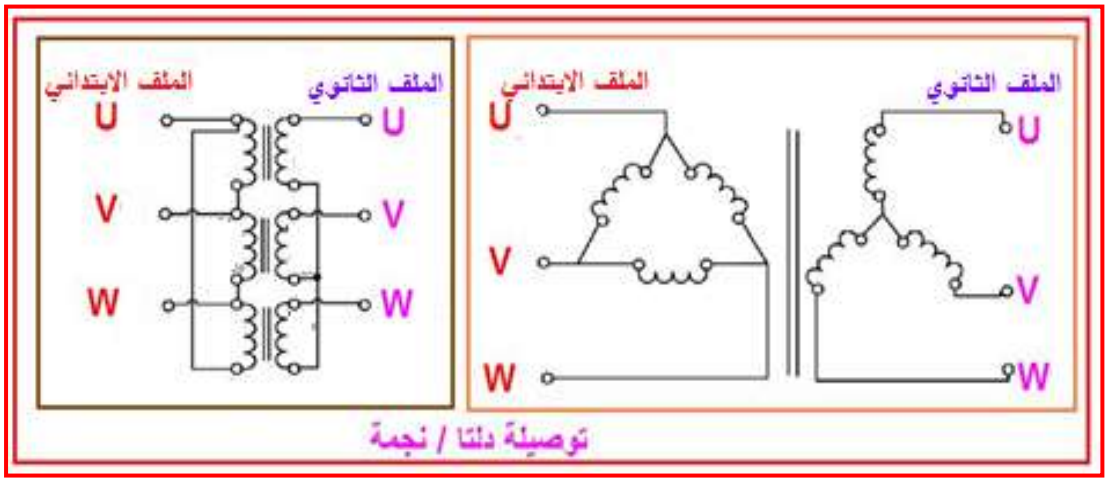
الشكل 3-25 توصيلة دلتا / دلتا لمحولات الثلاثة أطوار

●توصيل الملف الابتدائي نجمة -الملف الثانوي دلتا Y- d(Star – Delta)كما مبين في الشكل (3-26).



الشكل 3-26 توصيلة نجمة / دلتا لمحولات الثلاثة أطوار

●توصيل الملف الابتدائي دلتا -الملف الثانوي نجمة D- y (Delta – Star) كما مبين في الشكل(3-27).



الشكل 3-27 توصيلة دلتا / نجمة لمحولات الثلاثة أطوار

تقسم محولات الثلاثة أطوار إلى نوعين هما :

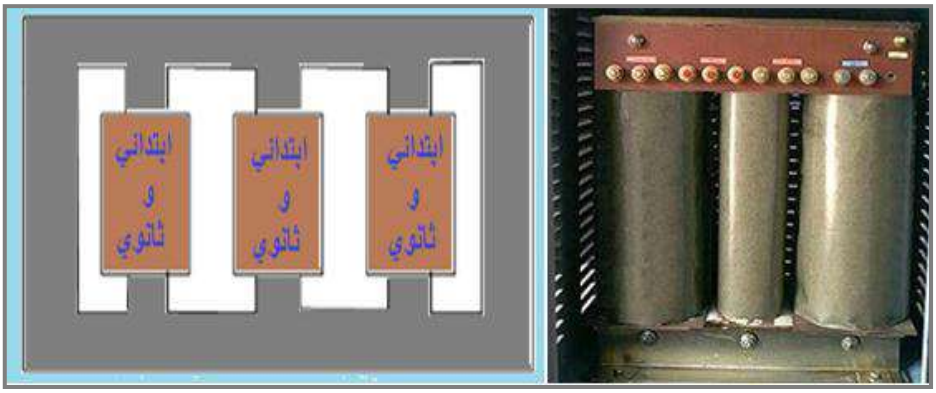
1- محولات ذوات القلب الحديدي (Core Type):

يحتوي على ملف ابتدائي وملف ثانوي لكل طور وملفوفين معاً على نفس القلب الحديدي وتوصل ملفات الثلاثة أطوار بطرق خاصة أما نظرية التشغيل فهي نفسها كما في حالة المحول ذي الطور الواحد،كما مبين في الشكل (3-28).

الشكل 3-28 محولات ذوات القلب الحديدي

2-محولات ذوات الإطار (Shell Type):

تلف ملفات الابتدائي والثانوي لكل طور في الإطار الداخلي، فهو يشبه ثلاثة محولات ذوات طور مرتبة في صف واحد، كما مبين في الشكل (3-29).



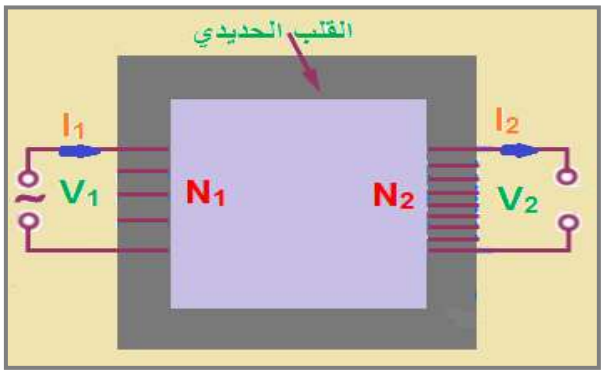
الشكل 3-29 محولات ذات الإطار

4-3-3 أنواع المحولات الكهربائية بالنسبة إلى نسبة التحويل هي :

•محولات رافعة (Step – Up):

تتميز هذه المحولات بما يأتي،كما مبين في الشكل (3-30) :

- عدد لفات الملف الثانوي أكثر من عدد لفات الملف الابتدائي .
- قطر الملف الابتدائي أكبر من قطر الملف الثانوي.

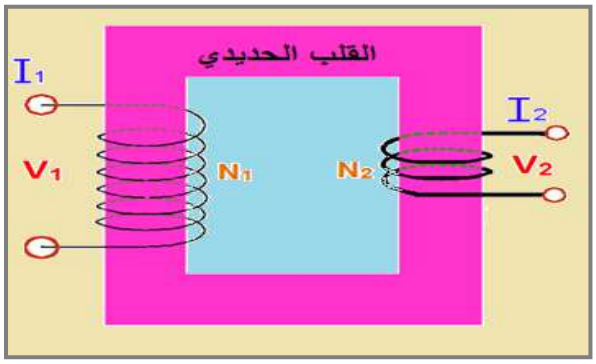


الشكل 3-30 محولات رافعة

- **محولات خافضة (Step – Down):**

تتميز هذه المحولات بما يأتي، كما مبين في الشكل (3-31) :

- **عدد لفات الملف الثانوي أقل من عدد لفات الملف الابتدائي .**
- **قطر الملف الابتدائيأصغر من قطر الملف الثانوي.**



الشكل 3-31 محولاتالخافضة

4-3 المفاقيد والكفاءة في المحولات:

1-4-3 المفاقيد في المحولات (Transformers Losses):

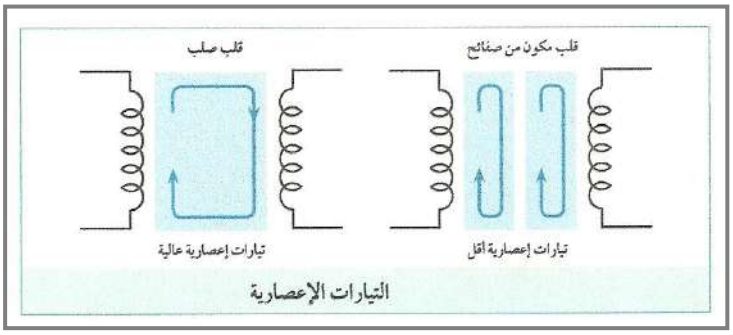
إن المحول لا يحتوي على أجزاء متحركة كما في المحركات لذلك لا يفقد طاقة نتيجة الاحتكاك وتحدث المفاقيد في الملفات النحاسية (Copper Loss) وفي القلب الحديدي (Iron Loss). إن وحدة قياس المفاقيد في المحول هي الواط (W).

تقسم المفاقيد في المحولات إلى نوعين هما :

1- المفاقيد الثابتة:

تنشأ هذه المفاقيد في القلب الحديدي المغناطيسي ويرمز لها (ΔP_{Fe}) وتحسب عندما تكون دائرة الملف الثانوي مفتوحة (بدون حمل) وتشمل: مفاقيد التخلف ومفاقيد التيارات الإعصارية وهي تيارات كهربائية

تتولد بالحث في القلب الحديدي وتؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة قلب المحول والتي تؤثر سلباً على كفاءة المحول. يمكن تقليل التيارات الإعصارية بتشكيل قلب المحول من صفائح فولاذية رقيقة معزولة عن بعضها، كما مبين في الشكل (3-32)هذه المفاقيد لا تتغير في حالة الحمل أو بدون حمل.



الشكل 3-32مفاقيد الحديد ΔP_{Fe} في المحولات

2- المفاقيدالمتغيرة:

وتشمل المفاقيد التي تنشأ في الملفات النحاسية للمحول ويرمز لها (ΔP_{cu}) بسبب مقاومة الأسلاك النحاسية (الملف الابتدائي R_1والملف الثانوي R_2) لسريان التيار الكهربائي وتحسب عندما تكون دائرة الملف الثانوي في حالة الحمل الكامل أو قصر (شورت)، يمكن حساب المفاقيد لكل ملف على انفراد للملف الابتدائي(ΔP_{cu1}) والملف الثانوي (ΔP_{cu2})، هذه المفاقيد تتناسب طردياً مع مربع التيار وتتغير تبعا لتغير الحمل، كما مبين في الشكل (3-33).

الشكل 3-33 المفاقيد النحاسية ΔP_{CU} في المحولات

المفاقيد النحاسية= المفاقيد النحاسية للملف الابتدائي + المفاقيد النحاسية للملف الثانوي

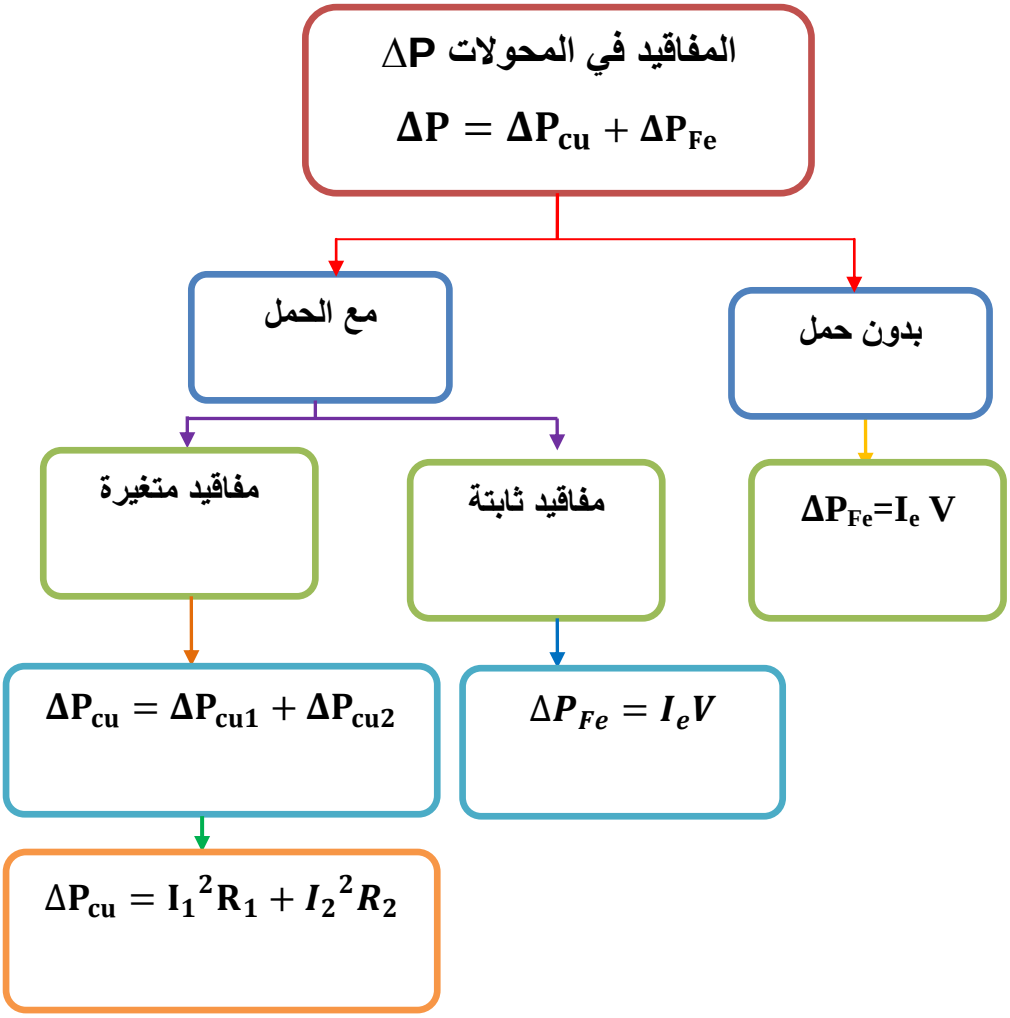
$$\Delta P_{cu} = \Delta P_{cu1} + \Delta P_{cu2} \qquad (1)$$

$$\Delta P_{cu} = I_1^{\,2} R_1 + I_2^{\,2} R_2 \qquad (2)$$

المفاقيد الكلية ΔPللمحول (واط) = المفاقيد الثابتة +المفاقيد المتغيرة

$$\Delta P = \Delta P_{Fe} + \Delta P_{cu} \qquad (3)$$

مخطط كتلي (3-34) يبين أنواع المفاقيد في المحولات الكهربائية.



مخطط كتلي 3-34 أنواع المفاقيد في المحولات الكهربائية

3-4-2الكفاءة في المحولات (Transformers Efficiency) :

نرمز لها (η) وتحسب بدلالة القدرة الخارجة (P_2) إلى القدرة الداخلة (P_1)، وتكون عبارة عن نسبة مئوية خالية من الوحدات.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \qquad (1)$$

حيث أن :

η : الكفاءة وهي نسبة مئوية خالية من الوحدات.

P_1: القدرة الداخلة (قدرة المصدر) ووحدة قياسها الواط (W).

P_2: القدرة الخارجة (قدرةالحمل) ووحدة قياسها الواط (W).

إن القدرة الداخلة (قدرة المصدر) تكون أكبر من القدرة الخارجة (قدرة المحول) بمقدار المفاقيد الكلية (ΔP) داخل المحول التي تكون على شكل طاقة حرارية.

$$\text{القدرة الداخلة} = \text{القدرة الخارجة} + \text{المفاقيد الكلية} \qquad P_1 = P_2 + \Delta P \quad (2)$$

إذا كانت المفاقيد الكلية (ΔP) قليلةازدادت نسبة الكفاءة (η) وبالعكس،يمكن أيضاً حساب القدرة الخارجة (P_2) من المعادلة الرياضية الآتية :

$$P_2 = I_2 V_2 \cos\theta \qquad (3)$$

$$\because S = I_2 V_2 \qquad (4)$$

$$\therefore P_2 = S \cos\theta \qquad (5)$$

حيث أن :

P_2 : قدرة الحمل (واط Watt)

I_2 : تيار الحمل (أمبير Ampere)

S : قدرة المحول (فولت أمبير VA)

$\cos\theta$: معامل قدرة المحول (بدون وحدة)

مثال 3-4:

محول قدرته (10) كيلو فولت أمبير يعمل على ضغط (400/11000) فولت بتردد (50) ذ/ ثا(هيرتز) يغذي حملاً معامل قدرته (0.8). احسب كفاءته إذا علمت أن المفاقيد النحاسية للملف الابتدائي (250) واط والمفاقيد النحاسية للملف الثانوي (600) واط والمفاقيد الحديدية (150) واط.

الحل:

$$P_2 = S\cos\theta$$

$$P_2 = 10000 \times 0.8 = 8000\ W$$

$$\Delta P = \Delta P_{CU} + \Delta P_{Fe}$$

$$\Delta P = \Delta P_{CU1} + \Delta P_{CU2} + \Delta P_{Fe}$$

$$\Delta P = 250 + 600 + 150 = 1000\ W$$

$$P_1 = P_2 + \Delta P$$

$$P_1 = 8000 + 1000 = 9000\ W$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100$$

$$\eta = \frac{8000}{9000} \times 100\% = 88.8\%$$

مثال 3-5:

محول طور واحد يشتغل على مصدر تيار متناوب مقداره (200) فولت وبتردد (50) ذ/ ثا (هيرتز) وصل حمل على ملفه الثانوي قدرته (600) واط ومعامل قدرته (0.6)، وعدد لفات الملف الابتدائي (300) لفة.

احسب :

- **عدد لفات الملف الثانوي للحصول على ضغط (10) فولت.**
- **تيار الملف الابتدائي .**
- **تيار الملف الثانوي.**

الحل:

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

$$\frac{200}{10} = \frac{300}{N_2}$$

$$N_2 = \frac{10 \times 300}{200} = 15 \text{لفة}$$

$$P_2 = I_2 V_2 \cos\theta$$

$$600 = I_2 \times 10 \times 0.6$$

$$I_2 = \frac{600}{10 \times 0.6} = 100A$$

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

$$\frac{200}{10} = \frac{100}{I_1}$$

$$\therefore I_1 = \frac{10 \times 100}{200} = 5A$$

أسئلة الفصل الثالث

س[1]- عرف المحول الكهربائي.

س[2]- عدد استعمالات المحول الكهربائي.

س[3]- اشرح مع الرسم تركيب المحول الكهربائي.

س[4]- عدد أنواع القلب الحديدي في المحول مع الرسم.

س[5]- عدد أنواع الملفات في المحول.

س[6]- عدد أشكال الملفات في المحول حسب طريقة وضعها في قلب المحول.

س[7]- اشرح نظرية عمل المحول مع ذكر القوانين والرسم.

س[8]- أذكر قوانين نسبة التحويل في المحول الكهربائي.

س[9]- محول طور واحد يسحب تيار (10) أمبير وتيار الملف الثانوي (4) أمبير. احسب عدد لفات الملف الثانوي،إذا علمت أن عدد لفات الملف الابتدائي (12) لفه.

الجواب : لفه $N_2 = 30$

س[10]- محول طـور واحد، الملف الابتدائي يحتوي على (525) لفة والثانــوي يحتوي على (70) لفة وصل الملف الابتدائي إلى مصدر جهد (3.3) كيلو فولت .احسب الضغط الثانوي والتيار الابتدائي إذا كان التيار الثانوي يساوي (200) أمبير. مع إهمال المفاقيد.

الجواب : $V_2 = 440$ V، $I_1 = 26.666$ A

س[11]- محول كهربائي يشتغل بدون حمل وصل إلى مصدر جهد (200) فولت تردده (50) ذ/ ثا يسحب تيارمقداره (0.75) أمبير، القدرة المصروفة كمفاقيد حديدية (100) واط، احسب تيار المغطسة.

الجواب : $I_m = 0.559$ A

س[12]- محول طور واحد يعمل بنسبة تحويل (250/50) فولتيغذي حملاً قدرته (1800) واط بمعامل قدرة (0.8)، عدد لفات الملف الابتدائي (20) لفة، احسب.

- عدد لفات الملف الثانوي.
- تيار الملف الابتدائي .
- تيار الملف الثانوي.

الجواب : لفة $N_2 = 100$ ، $I_1 = 45\ A$ ، $I_2 = 9\ A$

س[13]- محول قدرته (5) كيلو فولت أمبير ربط حمل على ملفه الثانوي معامل قدرته (0.8). احسب كفاءته إذا علمت أن المفاقيد النحاسية (100) واط والمفاقيد الحديدية (50)واط.

الجواب : $\eta = 96.38$

س[14]- محول طور واحد قدرته (50) كيلو فولت أمبير وضغطه الابتدائي (6600) فولت وضغطه الثانوي (250) فولت، عدد لفات الثانوي (52) لفة مع إهمال المفاقيد، احسب .

- عدد لفات الابتدائي .
- تيار الملف الابتدائي والملف الثانوي.

الجواب : لفة $N_1 = 1373$ ، $I_1 = 7.58\ A$ ، $I_2 = 200\ A$

س[15]- اشرح عمل المحول بدون حمل مع رسم الدائرة والمتجهات.

س[16]- ما مفاقيد المحول في حالة عدم الحمل وكيف تحسب ؟

س[17]- اشرح عمل المحول عند الحمل مع رسم الدائرة والمتجهات.

س[18]- عدد أنواع المحولات بالنسبة إلى التردد.

س[19]- عدد أنواع المحولات بالنسبة إلى طبيعة اشتغالها.

س[20]- اشرح استخدام المحولات في نقل القدرة الكهربائية.

س21ـ قارن بين محول الضغط ومحول التيار.

س22ـ قارن بين المحول الذاتي ومحول الضغط من حيث طريقة ربط الملف الابتدائي والملف الثانوي.

س23ـ محول ذاتي يشتغل بنسبة تحويل (440/500) مغذياً حملاً قدرته (20) كيلو واط ذو معامل قدرة احسب مقدار التيار في كل جزء من أجزاء ملف المحول.

الجواب : $I_1 = 40$ A ، $I_2 = 45.45$ A ، $I_3 = -5.45$ A

س24ـ لماذا لا يجوز تشغيل محول التيار بدون حمل؟

س25ـ عدد أنواع المحولات بالنسبة إلى التغذية.

س26ـ عدد أنواع المحولات بالنسبة إلى نسبة التحويل.

س27ـ عدد أنواع المفاقيد في المحولات ، وكيف تحسب ؟

الفصل الرابع

مولدات التيار المتناوب

Alternating Current Generator

الأهداف :

يكون الطالب بعد دراسة الفصل قادراً على أن :

1- يفهم تركيب ونظرية عمل مولدات التيار المتناوب.

2- يتعرف على ربط مولدات التيار المتناوب إلى الشبكة مع إجراء شروط التوافق.

3- يتعرف على دوائر التيار المتناوب الثلاثي الأطوار وطرق ربطها وكيفية حساب كمياتها الكهربائية.

المحتويات

المفردات :

1-4مولدات التيار المتناوب (تركيبها ونظرية عملها).

2-4ربط المولدات الكهربائية الى الشبكة.

3-4 دوائر التيار المتناوب الثلاثية الأطوار.

1-4مولدات التيار المتناوب Generator: Alternating Current

أكتشف العالم الانكليزي (فاراداي) أكتشافاً مهماً جداً ويعد طفرة نوعية غيرت مجرى حياتنا اليومية كاملةً وبالأخص من الناحية الفنية والاقتصادية ألا وهو توليد (ق. د. ك) بطريقة الحث المغناطيسي ليتولد تيار متناوب (A.C) (Alternating Current) لسهولة توليده ونقله وتشغيل الأجهزة التي تعمل عليه ذوات الطور الواحد أو ثلاثة أطوار وكذلك يمكن تحويله إلى تيار مستمر . يعد التيار المتناوب المصدر الرئيس وليس الوحيد لاستهلاك الطاقة في حياتنا اليومية إذ أن أكثر من (80%) من استهلاكنا للطاقة على شكل تيار متناوب ويعد إنتاج الطاقة الكهربائية، والترشيد باستهلاكها أحد العوامل لقياس تقدم ورقي الأمم وحضارتها.

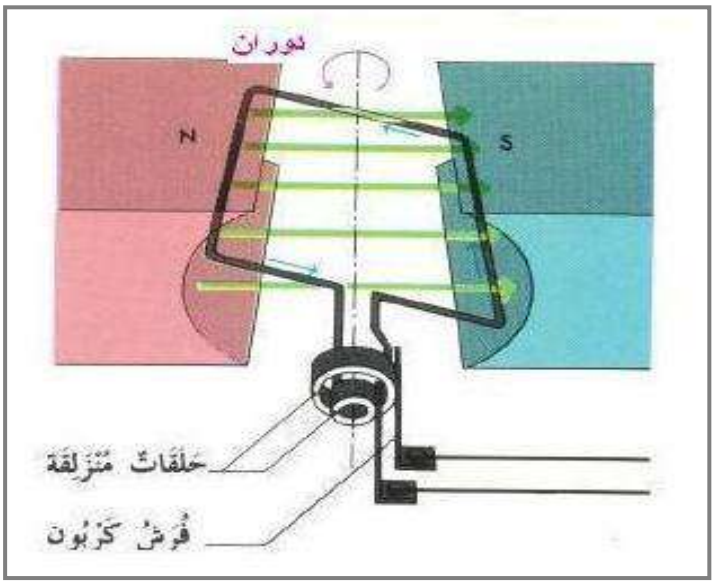
1-1-4تركيب مولدات التيار المتناوب:

من خلال نظرية فارداي (نظرية التوليد) يمكن ملاحظة أن المولد الكهربائي البسيط يتكون من :

1- الملفات.

2- مجال مغناطيسي .

أحدهما في الجزء الثابت والآخر في الجزء الدوار كما مبين في الشكل (1-4) مع مبدأ القطع بينهما لتتولد (ق. د. ك) إذا كان المجال المغناطيسي في الجزء الدوار تتولد (ق. د. ك) بالملفات الموضوعة في الجزء الثابت وإذا كان المجال المغناطيسي في الجزء الثابت تتولد (ق. د .ك) بالملفات الموضوعة في الجزء الدوار.



الشكل 1-4 أجزاء المولد الكهربائي البسيط

4-1-2نظرية عمل مولدات التيار المتناوب:

المولد الكهربائي (Electrical Generator): ماكنة كهربائية تقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية (الحركية) إلى طاقة كهربائية حسب قانون فاراداي (إذا قطع سلك أو موصل مجال مغناطيسي أو بالعكس مجال مغناطيسي يقطع سلك أو موصل) تتولد قوة دافعة كهربائية (ق .د. ك) ونرمز لها بـ (E) على شكل موجة جيبية تيار متناوب (A.C)(Alternating Current) متغيرة القطبية، أي متغيرة القيمة والاتجاه وتحسب قيمتها من القانون :

$$E = B\ L\ V \sin\theta \quad (1)$$

وحدة قياس المولد هي:

- **فولت - أمبير(V.A) للقدرات الصغيرة.**
- **كيلو - فولت - أمبير (K.V.A) للقدرات المتوسطة.**
- **ميكا - فولت - أمبير (M.V.A). للقدرات العالية.**

حيث أن :

E : القوة الدافعة الكهربائية (ق. د. ك) ووحدة القياس الفولت (V) .

B :كثافة الفيض المغناطيسي ووحدة القياس (ويبر / م^2).

L :طول السلك أو الموصل ووحدة القياس (متر).

V :سرعة القطع بين السلك والفيض المغناطيسي أو بالعكس ووحدة القياس (متر/ ثا).

Sinø : جيب زاوية القطع التي تتحدد بموجبها شكل الموجة وتكون جيبية وعليه فإنه لا يمكن توليد (ق .د. ك) إلا بتوفر (3) عناصر وهي :

1 - الفيض المتمثل بكثافته (B) ويبر/ م^2 ويمكن حسابه من القانون :

$$B = \Phi / A \quad (2)$$

حيث أن :

Φ : الفيض المغناطيسي ووحدة القياس ويبر(W_b).

A : مساحة مقطع السلك، أو الموصل ووحدة القياس متر مربع (م^2).

2 - سلك أو موصل متمثل بطوله (L) متر.

3- سرعة القطع (V) متر/ ثا بين السلك والفيض .

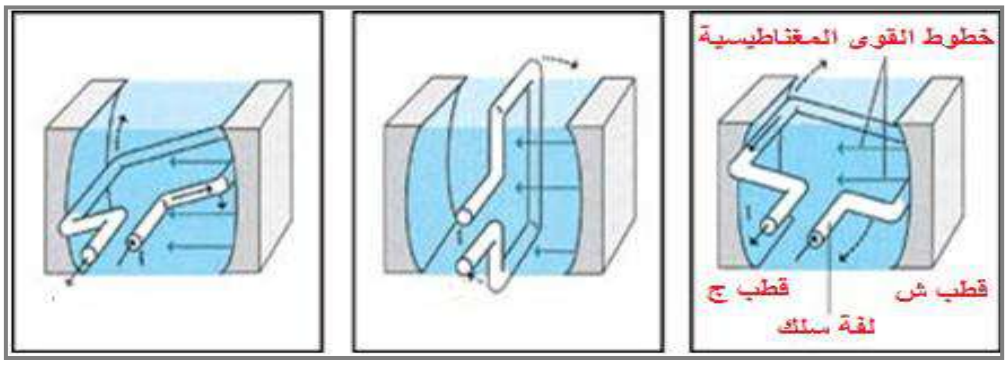
مولدات التيار المتناوب تقسم على نوعين :

- **مولدات التيار المتناوب ذوات الطور الواحد.**
- **مولدات التيار المتناوب ذوات الثلاثة أطوار.**

وهذه المولدات تكون ذات أحجام مختلفة ، كما مبين في الشكل (4-2).

الشكل 4-2 أنواع وأحجام مختلفة لمولدات التيار المتناوب

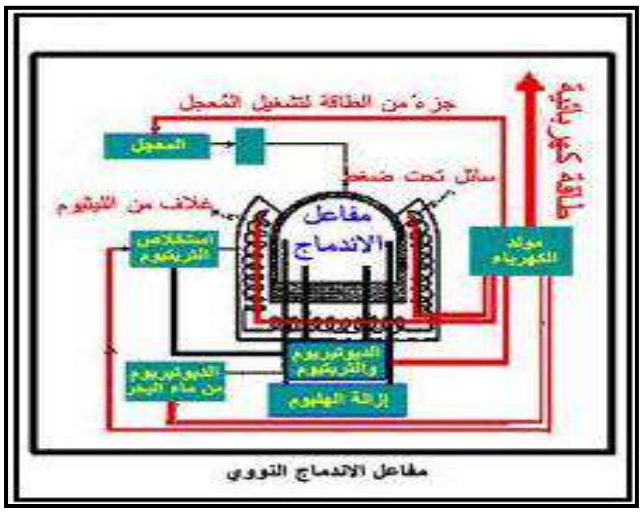
عند تحريك سلك بالفضاء لا تتولد فيه (ق. د. ك) لعدم وجود فيض مغناطيسي، وكذلك لا تتولد (ق. د .ك) عند دوران مجال مغناطيسي بالهواء لعدم وجود سلك أو موصل وعند وضع سلك داخل مجال مغناطيسي أيضاً لا تتولد (ق. د. ك) لعدم وجود قطع بينهما وحتى تتولد (ق. د. ك) عندما تتوفر العناصر الثلاثة أعلاه (سلك، مجال، قطع أو حركة) فالمولدات الصغيرة والكبيرة المتوفرة في الأسواق والمولدات الاستراتيجية فيها أسلاك (موصلات، ملفات) ويوجد فيها فيض مغناطيسي، كما مبين في الشكل (4-3).



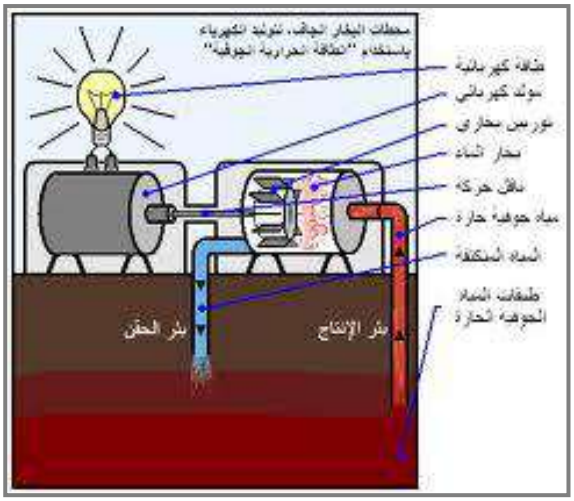
الشكل 4-3 تحريك سلك داخل مجال مغناطيسي

إن هذه المولدات تحتاج الى طاقة ميكانيكية لتحريكها ونحصل على هذه الطاقة الميكانيكية عن طريق محركات تعمل بالطاقة الحرارية ، النووية ، المائية ، طاقة الرياح حركة الأمواج وغيرها ومثال بسيط على ذلك نربط مولد الدراجة الهوائية (داينمو) مع العجلة (wheel) لإعطائه الحركة لتتولد (ق. د .ك) وكذلك مولد السيارة (داينمو) يربط مــع ماكنة السيارة بوساطة حزام ناقل (قايش) لإعطائه حركة لتتولد (ق. د. ك) وفــي الشكل (4-4) . يبين بعض أنواع مصادر الطاقة المستخدمة في توليد الطاقة الميكانيكية .

استخدام طاقة الوقود



استخدام الطاقة النووية



استخدام الطاقة الحرارية في جوف الأرض

استخدام الطاقة الشمسية

شكل 4-4 بعض أنواع مصادر الطاقة

مثال 4-1:

موصل طولــه (40) سم داخل فيض مغناطيسي كثافته (0.5) ويبر/ م² ويــدور بسرعــة (2) م/ ثا. احسب (ق. د. ك) المتولدة إذا كان بصورة عمودية مع الفيض المغناطيسي.

$E=B\ L\ V\ \sin\theta$

الحل: **(عمودي)**

$\sin 90^\circ = 1$

$E=0.5x(40/100)x2x1$

$E = 0.4\ V$

مثال 4-2:

سلك طوله (100) سم وضع بصوره عمودية مع مجال مغناطيسي كثافته (0.6) ويبر/ م² ليولد(ق. د. ك) قيمتها (1.8) فولت. احسب سرعة دورانه.

الحل :

$E = B\ L\ V\ \sin\theta$

$\sin 90^\circ = 1$ **(عمودي)**

$1.8 = 0.6\ x\ (100/100)\ Vx\ 1$

$1.8=0.6x1xVx1$

$V = 1.8/0.6$

$V = 3$ م / ثا

مثال 4-3 :

احسب طـول موصل مستقيم يقطع مجال مغناطيسي بصورة عمودية كثافته (0.4) ويبر/ م² وبسرعة (500) سم / ثا لتتولد فيه (ق. د. ك) قيمتها (20) فولت.

الحل :

$$E=B\ L\ V\ \sin\theta$$

$\sin 90^\circ=1$ (عمودي)

$$20=0.4xLx(500/100)\ x1$$

$$L=20/(0.4x5)$$

$$L = 10\ m$$

4-1-3أنواع مولدات التيار المتناوب:

وتسمى بالمولدات التوافقية؛ لوجود علاقة بين السرعة والتردد.

$$Ns= 60f/P \qquad (1)$$

حيث أن :

N_S : سرعة المجال المغناطيسي الدوار (دورة / دقيقة) د/ د .

f : تردد المصدر (ذ / ثا) .

P : عدد أزواج الأقطاب.

مولدات التيار المتناوب على نوعين :

أولا / المولدات ذوات الأقطاب الخارجية : تكون للقدرات الصغيرة وتتكون من :

1- الجزء الثابت: يحتوي على الأقطاب المغناطيسية إما أن يكون من قطع معدنية مغناطيسية أو ملفات تتغذى بتيار مستمر عن طريق لوحة توصيل لتوليد الفيض المغناطيسي .

2- الجزء الدوار: فيه ملفات تدور بسرعة معينة لتتولد فيها (ق. د. ك) و تنتقل الى الحمل عن طريق فرشتين كاربونية للطور الواحد أو (4) فرش كاربونية لـ (3) أطوار.

ثانيا / المولدات ذوات الأقطاب الداخلية : تكون للقدرات العالية وتتكون من :

1- الجزء الثابت: تتولد (ق. د. ك) في ملفاته وتنقل الى الحمل عن طريق لوحه توصيل.

2- الجزء الدوار: فيه الأقطاب المغناطيسية نتيجة تغذية ملفاته بتيار مستمر عن طريق فرشتين كاربونيتين ليتولد فيه فيض مغناطيسي ليقطع ملفات الجزء الثابت.

الجزء الدوار يكون على نوعين :

أ- الجزء الدوار ذو الأقطاب البارزة.

يتكون من قلب مغناطيسي يحتوي على عدد من الأقطاب البارزة، كما مبين في الشكل (4-4). يتحدد عدد الأقطاب بسرعة دوران المولد، فإذا كان عدد الأقطاب كبيرا تنخفض سرعة المولد لذلك يستخدم هذا النوع في المولدات البطيئة الدوران مثل: المولدات المائية، التي قطر جسمها الدوار كبير ولا يسمح بالدوران بسرعات عالية لاعتبارات ميكانيكية، تتصل الملفات المغناطيسية بالحلقات الانزلاقية التي تثبت على محور الدوران.

الشكل 4-4 الجزء الدوار ذو الأقطاب البارزة

ب-الجزء الدوار ذو الأقطاب الضامرة :

يتكون مـــن أسطوانة فولاذية محمولة على محور الدوران وتحتوي هذه الأسطوانة على مجار طولية عميقة توضع فيها الملفات المغناطيسية التي تـوصل إلى الحلقات الانزلاقية المثبتة على محـور الدوران كما مبين في الشكل(4-5). يتميز هذا النوع من المولدات بالمتانة الميكانيكية للجزء الدوار لذا يسمح بأن تكون سرعة دورانها عالية تصل (3000) دورة في الدقيقة. كلما ازدادت سرعة دورانها ينخفض حجمها ووزنها وكلفة تصنيعها. يصنع الجزء الدوار من رقائق أو صفائح الفولاذ ذات توصيل عالٍ للمغناطيسية وتكون سماكة هذه الصفائح أقل ما يمكن وتعزل بعضها عن البعض لتقليل التيارات الإعصارية.

الشكل 4-5 الجزء الدوار ذو الأقطاب الضامرة

4-1-4 مزايا المولدات ذوات الأقطاب الداخلية :

تفضل مولدات ذوات الأقطاب الداخلية على المولدات ذوات الأقطاب الخارجية للقدرات العالية وذلك للأسباب الآتية :

1- لا يمكن زيادة الطاقة المتولدة بالجزء الدوار بشكل كبير ولقدرات عالية لأنه يتطلب أسلاك كبيرة وعوازل سميكة لتزداد قوة الطرد المركزية فـي المولدات ذوات الأقطاب الخارجية فـي حين لا يتطلب هذا فـي المولدات ذوات الأقطاب الداخلية لأن الجهد يتولد بالجزء الثابت.

2- نقل الطاقة من الجزء الدوار ولقدرات عالية يتطلب فرش كاربونية كبيرة في حين لا يستوجب هذا عندما يتغذى الجزء الدوار بتيار مستمر لتوليد الفيض، كما في المولدات ذوات الأقطاب الداخلية.

3- مولدات الأقطاب الداخلية يمكن استعمال ملفات ذوات حجم كبير في الجزء الثابت.

4- فـي مولدات الأقطاب الخارجية نحتاج لقوة ميكانيكية كبيرة لتحريك الجزء الدوار فـي حالة الحاجة الى قدرات عالية.

4 -2 ربط المولدات الى الشبكة:

تحتوي محطات التوليد على أكثر من مولدة تربط مع بعضها البعض على التوازي بغض النظر عن قدرة كل منها وذلك لغرض زيادة طاقة التوليد. وهذه العملية تتطلب توفر الشروط الآتية :

1- تساوي الجهد ($V_2=V_1$): يجب أن يتساوى جهد كل منهما ويتم السيطرة عليه من خلال تيار تغذية ملفات التيار المستمر عن طريق جهاز منظم الفولتية الآلية (AutomaticVoltage Regulator) AVR ويعمل بصور ذاتية وكذلك يمكننا رفع الفولتية يدوياً بوساطة مقاومة متغيرة موضوعة في طريق التيار الذي يغذي ملفات الحث.

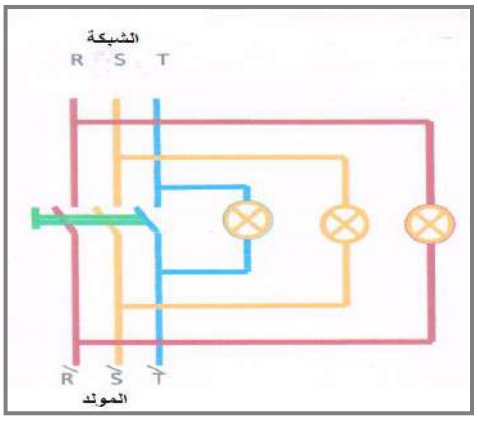
2- تساوي التردد ($f_1=f_2$): يجب أن يتساوى تردد كل منهما، ويتم السيطرة عليه من خلال السرعة (Ns) بوساطة جهاز التحكم (governer) للسيطرة على كمية الوقود أو البخار.

3- التوافق الموجي :وتتم السيطرة عليه من خلال إحدى الطرق التالية بشرط أن تثبت هذه الحالات لفترة طويلة مثلا نصف دقيقة، أما إذا كانت سريعة التغير فيعني هذا أن الذبذبة أو الفولتية غير متساوية وهناك فرق طوري، كما مبين في الشكل (4-6). ولبيان عملية التوافق الموجي توجد ثلاث طرق هي :

الشكل 4-6 التوافق الموجي

أ- الإطفاء الكامل (المصابيح المعتمة):

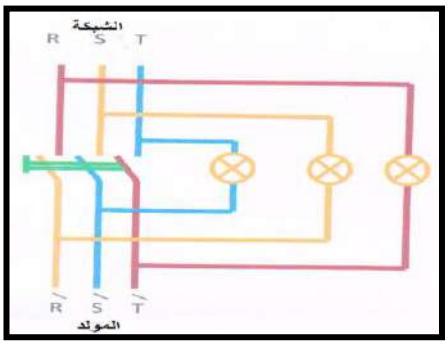
نوصل كل طور بين الشبكة والمولد بمصباح واحد يتحمل جهد ضعف جهد المولد لأنه يشترك في تغذيته الشبكة والمولد، كما مبين في الشكل (4-7). عندما تكون موجة الشبكة وموجة المولد مختلفتين يسري في المصباح تيار بسبب فرق الجهد بين الموجتين، كلما قلت الزاوية بين موجتي الشبكة والمولد، أنخفض توهج المصباح عندما تتفق موجة الشبكة مع موجة المولد يقل الجهد على طرفي المصباح ويسري تيار قليل ولا يتوهج المصباح ويكون في حالة الإطفاء الكامل ويتم ربط أو توصيل خطوط الشبكة مع المولد بوساطة مفتاح خاص.



الشكل 4-7 طريقة الإطفاء الكامل (المصابيح المعتمة)

ب- الإضاءة الكاملة (المصابيح المضيئة):

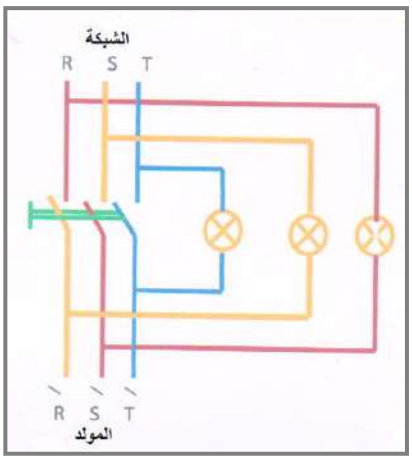
نوصل كل مصباح بين خطين مختلفين للشبكة والمولد، كما مبين في الشكل (4-8) الإضاءة الكاملة تتم عندما يكون هنالك اختلاف في الزاوية بين موجة الشبكة وموجة المولد ومقدارها (60) درجة طريقة الإضاءة الكاملة تفضل على طريقة الإطفاء الكامل بسبب إمكانية مشاهدة توهج المصباح بالعين .



الشكل 4-8 طريقة الإضاءة الكاملة (المصابيح المضيئة)

ج-الإضاءة الدوارة (المركبة):

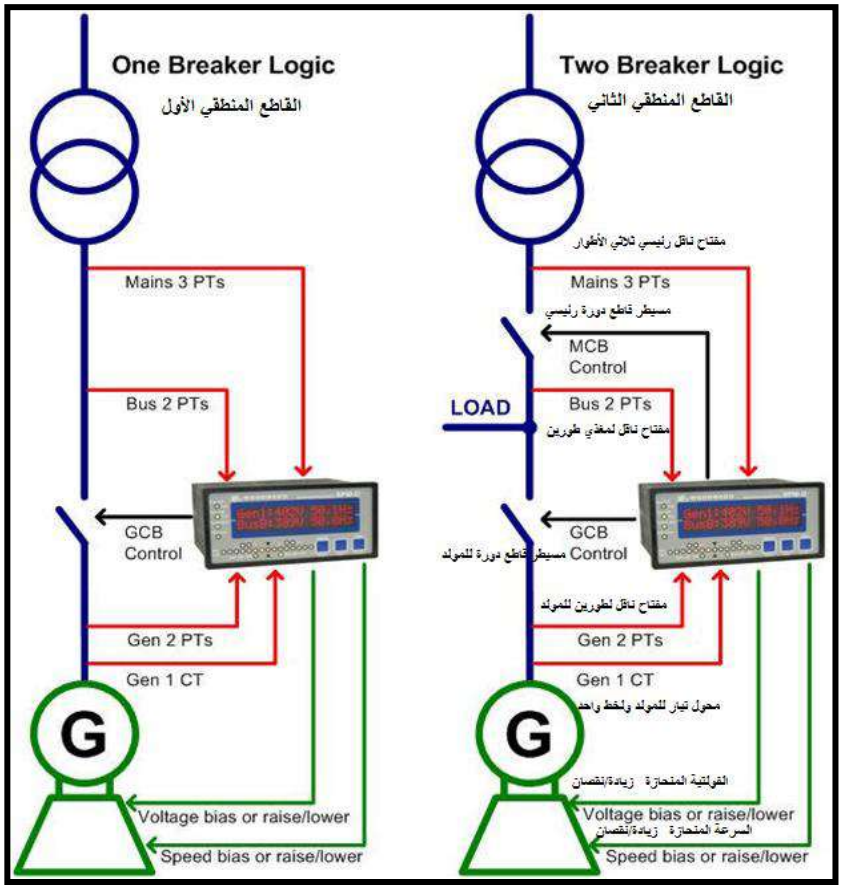
تعد من أفضل الطرق فالمصباح الأول يوصل بطريقة الإطفاء الكامل، بينما يوصل المصباحان الآخران بطريقة الإنارة الكاملة، كما مبين في الشكل (4-9). المصابيح الثلاثة تكون ذوات إضاءة متعاقبة تنطفئ وتضيء كأنها تدور، تحدث عملية توافق الأطوار عندما يكون المصباح الأول في حالة إطفاء (المصابيح المعتمة) والمصباحين الثاني والثالث متوهجان (المصابيح المضيئة) لذا يتم توصيل المولد مع خطوط الشبكة بوساطة مفتاح خاص .



شكل 4-9 طريقة الإنارة الدوارة (المركبة)

4-2-1 أجهزة التزامن (التوافق):

تكون المولدات الكهربائية للتيار المتناوب في محطات التوليد كبيرة الحجم ومتعددة وربما يحصل خطأ في الغلق اليدوي لذلك فقد تم تصنيع أجهزة تزامن آلية وتقوم هذه الأجهزة بالتحسس بتساوي الفولتية والتردد وفرق الطور وتعطي إشارة غلق إلى قاطع الدورة (GCB) فيغلق ويجب أن يكون زمن إعطاء الإشارة قصيراً جداً لغرض تنفيذ العملية بنجاح، كما مبين في الشكل (4-10).



الشكل 4-10 ربط المولدة مع الشبكة بوساطة قاطع الدورة

تتكون أجهزة التزامن الآلية مما يأتي :

1- جهاز تنظيم الفولتية الآلية (Automatic Voltage Regulator):

هذا الجهاز يقوم بتحسس بالفولتية، حيث يرتبط بمحولة فولتية مربوطة على ثلاثة أطوار للمولدة وكذلك يتغذى بالتيارعن طريق محولة تيار وتوجد تراكيب معقدة داخل الجهاز تستطيع معرفة مقدار ما يجب أن تغذى أجهزة حث المولدة به من فولتية لغرض الحصول على فولتية معينة على طرفي المولدة وعند إجراء عملية التزامن يتم إعطاء إشارة إضافية من جهاز التزامن إلى جهاز منظم الفولتية الآلي لكي تكون هذه الفولتية مساوية لفولتية الشبكة.

2-جهاز تنظيم التردد (السرعة) (Speed Governer):

هذا الجهاز يقوم بزيادة الوقود أو البخارأو كمية الماء الى التوربين الذي يقوم بتدويرالمولدةعندما نقوم بعملية التزامن فإن تردد المولدة والمراد ربطها تكون نفس تردد الشبكة لذلك يقوم جهاز التزامن بإعطاء إشارة إضافية الى جهاز تنظيم السرعة لزيادة أو تقليل الوقود أو البخار الى أن تصبح السرعة مساوية للتوربينات الأخرى وبذلك يكون التردد نفس تردد الشبكة.

3- جهاز التزامن (Synchronizer):

يوضع هذا الجهاز بقرب جهاز تنظيم الفولتية ويأخذ الفولتية من المولدة ومن الشبكة وعندما تكون الفولتية متساوية وتستمر لفترة طويلة نسبياً ويكون التردد أيضا متساوياً فلو تغير التردد نلحظ أن هناك تغير بالفولتية لأنه يأخذ من مصدرين لذا يغلق قاطع الدورة، كما مبين في الشكل (4-11).

يوجد مؤشر يوضع في مكان واضح لغرض ملاحظة وضع التزامن، فيلحظ أن هناك مؤشر يدور بسرعة إذا كان التردد مختلفاً وإذا كان الطور مختلفاً فإنه يؤشر باتجاه معين مثل (60) درجة أو (180) درجة أما إذا كان لا يوجد اختلاف في الطور وتساوي التردد والفولتية فإنه يقف على الصفر (الساعة 12) أو قريباً من الصفر.

في كل محطة يوجد جهاز تزامن واحد فقط، حيث يتم توصيله بوساطة مفتاح (قاطع دورة) على المولدة المراد توصيلها ويخرج من العمل بصورة آلية بعد إجراء عملية التزامن وغلق قاطع الدورة.

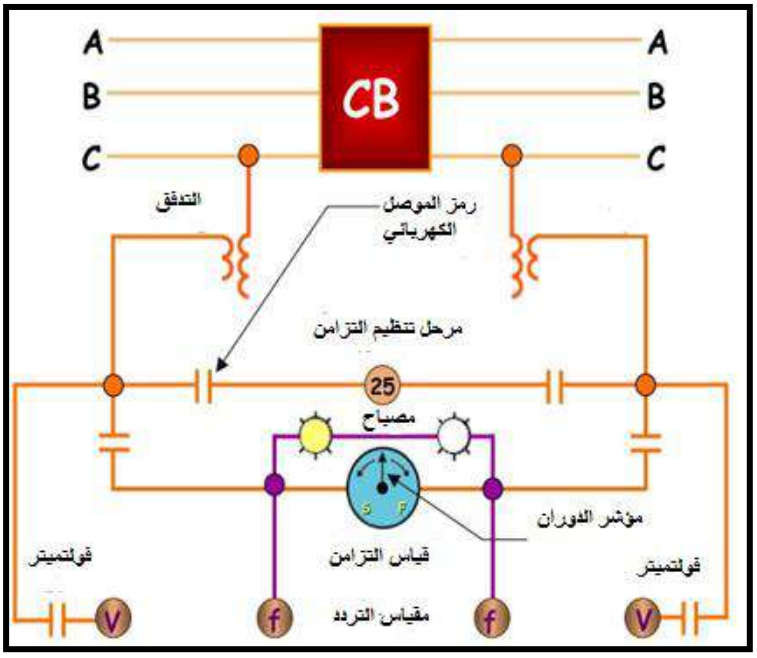
أما في التوربينات الغازية المزودة بغرف سيطرة موقعية فهنالك جهاز تزامن لكل مولدة للتمكن من إجراء عملية التزامن من موقع المولدة وليس من غرفة السيطرة المركزية وإذا ما أردنا إجراء عملية التزامن من غرفة السيطرة المركزية فإن عملية التزامن تتم بالأجهزة الموقعية أيضا.

الشكل 4 -11 جهاز التزامن

4-2-2تزامن (توافق) المولدات (Synchronization):

تعمل المولدات الكهربائية أحياناً منفردة، بحيث تغذي منطقة معينة مثل: مولدات الديزل أما المولدات المربوطة مع الشبكة الوطنية، فتعمل على التوازي مع بعضها.

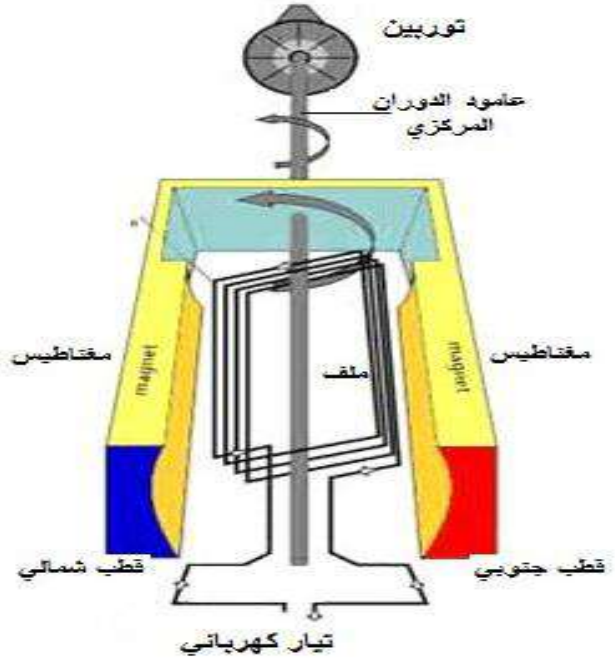
ومحطات توليد الكهرباء في العراق: هي محطات توليد مربوطة على التوازي، فإذا ما توقفت مولدة أو محطة توليد فتقوم بقية المولدات في محطات التوليد بالتعويض، كما مبين في الشكل (4-12).



الشكل 4-12 تزامن المولدات

بما أن المولدات مربوطة على التوازي فإنها تولد الطاقة الكهربائية بنفس التردد أي أن كافة المولدات يرتفع ترددها سوية وينخفض سوية أي تعمل بالتوافق مع بعضها ولا يجوز أن تولد إحدى المولدات طاقة كهربائية أعلى من البقية.

إن المولدات الكهربائية تدور بوساطة أجهزة ميكانيكية فمثلاً في المحطات البخارية هنالك التوربين البخاري وفي المحطات الكهرومائية هنالك التوربين الهيدروليكي وفي مولدات الديزل هنالك محرك الديزل، كما مبين في الشكل (4-13).



الشكل 4-13 رسم توضيحي للتوربين والمولد

4-2-3السيطرة على التردد:

نفرض أن إحدى المولدات تعمل منفردة فعند زيادة كمية الوقود سوف ترتفع سرعة ماكينة الديزل ونظراً لأن المولدة مربوطة على محور ماكنة الديزل لذلك فسوف ترتفع سرعة المولد مما يؤدي الى زيادة التردد في المولدة ولذلك وضعت أجهزة تحكم آلية (أوتوماتيكية) تقوم بالسيطرة على سرعة الماكنة وتؤدي إلى خفضها أو رفعها ليكون التردد ثابتاً على (50) ذ / ثا .

عند زيادة الحمل الكهربائي فإن سرعة الماكنة سوف تهبط، لذلك فإن جهاز التحكم (Governer) سوف يقوم بزيادة ضخ الوقود وإعادة التردد إلى الوضع الطبيعي .

عند انخفاض الحمل فأن سرعة الماكنة سوف ترتفع فيقوم جهاز التحكم بخفض السرعة الى السرعة الاعتيادية.

أما التوربين البخاري فإن جهاز التحكم يقوم بزيادة كمية البخار الذاهبة الى التوربين البخاري بوساطة فتح صمام البخار عند زيادة الحمل وتقليل فتحة الصمام عند انخفاض الحمل فتبقى السرعة ثابتة لذلك فإننا نسيطر على التردد عن طريق زيادة الوقود أو كمية البخار أو كمية الماء في التوربين المائي .

4-2-4 السيطرة على الفولتية:

إن القدرة الكهربائية التي تغذي المستهلكين للطاقة يجب أن يكون التردد والفولتية ثابتين أي أن المولدات يجب أن تتم السيطرة فيها على التردد والفولتية ولغرض السيطرة على الجهد في المولدة هنالك جهاز يسمى (Automatic Voltage Regulator) أي منظم الفولتية الآلي وهذا الجهاز يقوم بجعل الفولتية على نهايات المولدة ثابتة.

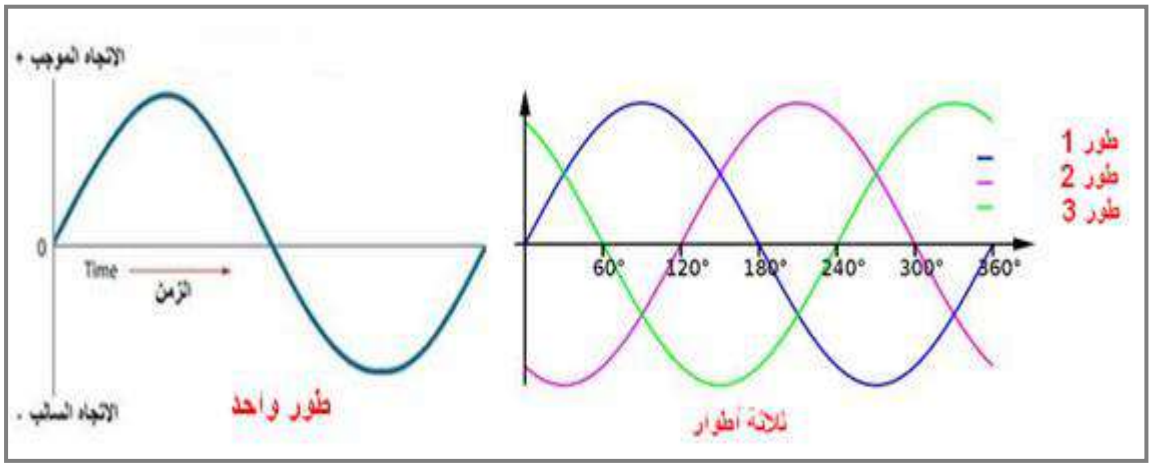
عند زيادة الحمل ونتيجة لوجود الممانعة الداخلية للمولدة، فإن الفولتية على نهايات المولدة سوف تنخفض لذلك يقوم هذا الجهاز برفعها وزيادة فولتية الحث للمولدة فيؤدي إلى زيادة فولتية المولدة.

يعمل هذا الجهاز بصورة آلية كما يمكن أيضاً رفع الفولتية يدوياً بوساطة مقاومة متغيرة موضوعة في طريق التيار الذي يغذي أجهزة الحث.

4-3دوائر التيار المتناوب الثلاثية الأطوار:

لتوليد نظام طور واحد (Single Phase) نضع ملف واحد وحسب قانون (فاراداي) تتولد لدينا موجة جيبية واحدة وهكذا لنظام الثلاثة أطوار نضع ثلاثة ملفات يبعد الواحد عن الآخر (120) درجة لأن الجزء الثابت عبارة عن دائرة مجموع درجاتها (360) درجة ولكل ملف (120) درجة لتتولد (3) موجات تبعد الواحدة عن الأخرى (120) درجة كما مبين في الشكل (4-14).

ونظام الثلاثة أطوار أفضل الأنظمة من الناحية الفنية والاقتصادية و سهولة تشغيل محركاته.



الشكل 4-14نظام الطور الواحد ونظام ثلاثة أطوار

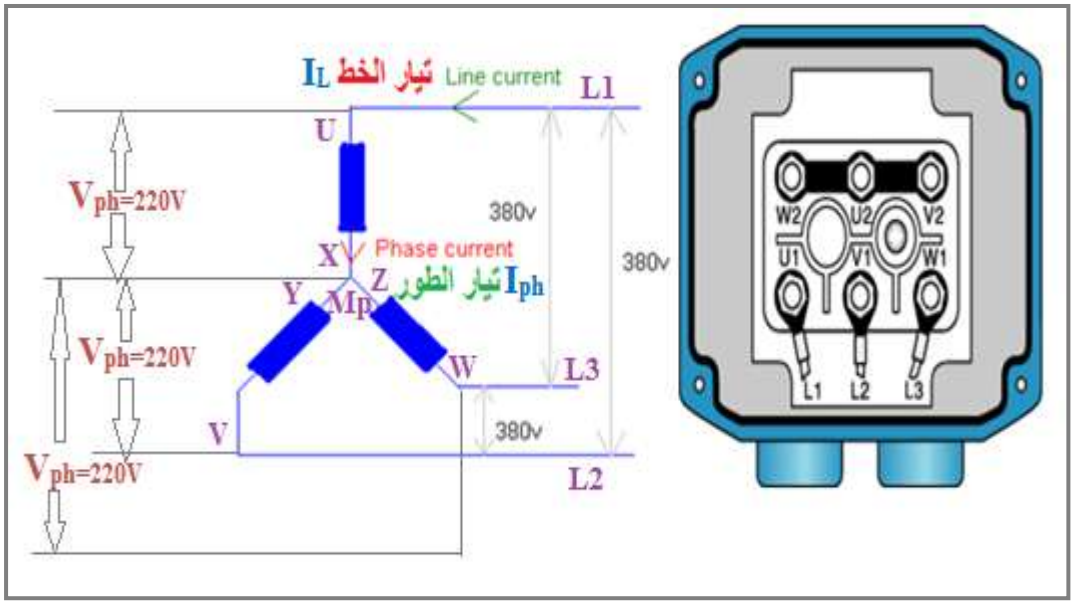
4-3-1طرق ربط دوائر ثلاثة أطوار:

توجد طريقتان لربط دوائر ثلاثة أطوار هما :

1- ربط النجمة (ستارY):

تربط نهايات أو بدايات الملفات مع بعضها و الأطراف الأخرى توصل للحمل في حالة المولد وللشبكة الكهربائية في حالة المحرك وفيه نقطة مشتركة (Mp) نستعمل ربط نجمه (Y) لنحصل على (220،380) فولت ويمكن استعماله لتشغيل أجهزة ذات طور واحد باستخدام (R-Mp)أو (S-Mp) أو (T-Mp) لنحصل على (220) فولت.

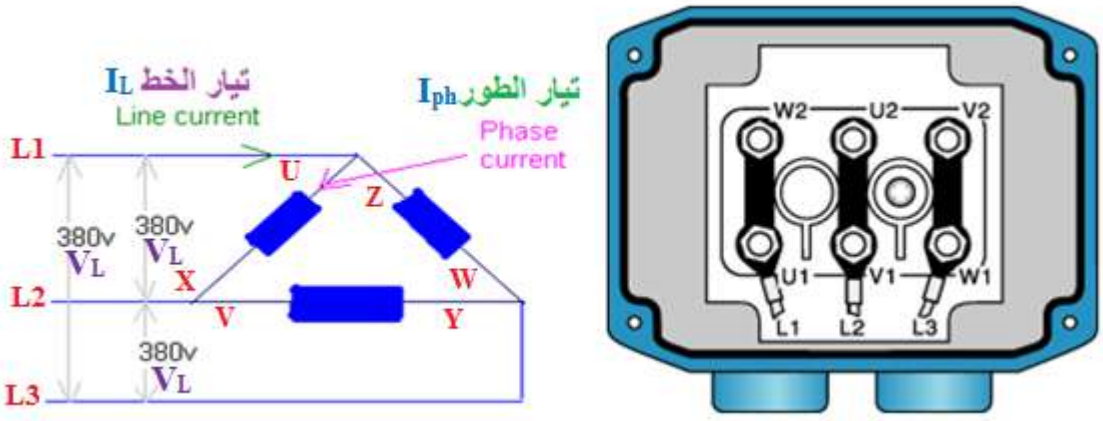
ويمكننا تشغيل الأجهزة التي تعمل على (380) فولت باستخدام (R S T) لتربط الى الجهازكما مبين في الشكل (4-15).



الشكل 4-15 ربط النجمة (ستارY)

2-ربط المثلث (دلتا Δ):

نربط نهاية الملف الأول مع بداية الملف الثاني ونهاية الملف الثاني مع بداية الملف الثالث ونهاية الملف الثالث مع بداية الملف الأول ولا توجد نقطة مشتركة، كما مبين في الشكل (4-16).



الشكل4-16 ربط المثلث (دلتا Δ)

4-3-2كميات التيار المتناوب الثلاثية الأطوار:

جهد الطور V_{ph}: هو الجهد المسلط على ملف (جهد الملف) فولت (V).

جهد الخط V_L: هو جهد المصدر (يعمل على جهد) (يشتغل على جهد) (جهد الشبكة) (الجهد على ملفين آو (3) ملفات) (الجهد بين أي خطين من خطوط المصدر الثلاثة) فولت (V).

تيار الطور I_{ph}: التيار المار بالملف (تيار الملف) أمبير (A).

تيار الخط I_L: تيار المصدر (تيار الشبكة) (التيار المار بملفين أو أكثر) (هو التيار المار في أي خط من خطوط المصدر الثلاثة) أمبير (A).

3-3-4العلاقة التي تربط تيار وجهد الخط والطور في حالتي النجمة و الدلتا:

1-في حالة النجمة (ستار Y) :

تيار الخط = تيار الطور $I_L = I_{ph}$(1)

جهد الخط = $\sqrt{}$جهد الطور (2) $V_{ph}VL = \sqrt{3}$

2- في حالة المثلث (دلتا Δ)

جهد الخط = جهد الطور $V_L = (3)V_{ph}$

تيار الخط = $\sqrt{3}$ تيار الطور $I_L = (4)\ I_{ph}\sqrt{3}$

تيار خط المثلث (دلتا) اكبر من تيار خط النجمة (ستار) بثلاث أضعاف (5) $I_{L\,\Delta} = 3\ I_{LY}$

قدرة المثلث (دلتا) اكبر من قدرة النجمة (ستار) بثلاث أضعاف (6) $P_\Delta = 3\ P_Y$

4- العلاقة التي تربط تيار وقدرة المثلث بالنجمة هي:

مثال 4-4:

حمل ثلاثة أطوار موصل على شكل نجمة إلى مصدر جهد (380)، فولت ويسحب تيار (10) أمبير. احسب جهد وتيار الطور.

المعطيات	الحل
حمل (3) أطوار	$V_L = \sqrt{3}\ V_{ph}$
نجمة Y	$V_L = 1.7\ V_{ph}$
V_L=380V مصدر جهد	$380 = 1.7\ V_{ph}$
	$V_{ph} = 380/1.7$
I_L =10 A يسحب تيار	$V_{ph} = 220$
V_{ph}=? جهد الطور	$I_L = I_{ph}$
I_{ph}=? تيار الطور	$\therefore I_{Ph} = 10$ A

مثال 4-5:

حمل ثلاثة أطوار موصل على شكل مثلث (دلتا) الجهد المسلط على كل ملف (400) فولت والتيار المار بكل ملف (20) أمبير. احسب جهد وتيار المصدر.

المعطيات	الحل
حمل 3 طور	$V_L = V_{ph} = 400$ V
Δ دلتا	$V_L = 400$ V جهد المصدر
V_{ph} = 400 V جهد الملف	$I_L = \sqrt{3}\ I_{ph}$
I_{ph} =20 A تيار الملف	$I_L = 1.7x20$
V_L=? جهد المصدر	$I_L = 34$ A
I_L=? تيار المصدر	

4-3-4العلاقة التي تربط جهد وتيار الطور ومقاومة الحمل في نظام الثلاثة اطوار:

درسنا في السنوات السابقة قانون أوم (وهو العلاقة التي تربط المقاومة والجهد والتيار) .

$$V = I \cdot R \qquad (1)$$

وهنا امتداد لنفس الموضوع ولكن لدوائر ثلاثة أطوار بطريقة (النجمة Y والدلتا Δ) يكون

للملف $V_{ph} = I_{ph} \cdot Z$ (3) للمقاومة $V_{ph} = I_{ph} \cdot R$ (2)

حيث أن (Z) هي ممانعة الملف وتقاس ب (الأوم).

مثال 4-6:

ثلاث مقاومات متساوية قيمة كل منها (100) أوم ربطت نجمة (Y) الجهد المسلط على كل ملف (220) فولت. احسب التيار المار في كلمقاومة وتيار المصدر.

المعطيات	الحل
3 مقاومات	قانون أوم $I_{ph} = V_{ph}/R$
Y نجمة	$I_{ph} = 220/100$
$R=100\Omega$ قيمة كل مقاومة	$I_{ph} = 2.2$ A
$V_{ph}=220V$ جهد الملف	$I_L = I_{ph} = 2.2$ A
I_L =? تيار المصدر I_{ph} =? تيار الملف	تيار المصدر (الخط) $I_L = 2.2$ A

مثال 4-7 :

ثلاث ملفات متساوية ربطت مثلث (دلتا Δ) الممانعة الكلية لكل ملف (19) أوم والتيار المار في كل ملف (20) أمبير. احسب الجهد المسلط على كل ملف وجهد الخط .

المعطيات	الحل
(3) ملفات	قانون أوم $V_{ph} = I_{ph} . Z$
مثلث Δ	$V_{ph} = 20x19$
$Z=19\Omega$ الممانعة الكلية لكل ملف	جهد الملف $V_{ph} = 380$
$Iph=20A$ التيار المار في كل ملف	$V_L = V_{ph} = 380$
$Vph=?$ جهد الملف (الطور)	جهد الخط (المصدر) $V_L = 380V$
$VL=?$ جهد الخط	

4-3-5القدرة (Power) في نظام الثلاثة أطوار:

نرمز لها بـ (P) ووحدة القياس هي الواط (W) يختلف حساب القدرة الكهربائية من دائرة لأخرى حسب نوع المصدر هي :

1- قدرة حمل تيار مستمر : تحسب القدرة بحاصل ضرب الجهد x التيار (1) w $P = V. I$

هنا نستعمل فقط جهازي الجهد (الفولتميتر) والتيار (اميتر).

2- قدرة حمل تيار متناوب طور واحد: تحسب القدرة بحاصل ضرب (الجهد × التيار× معامل القدرة)

أي نستعمل (3) أجهزه هي فولتميتر لقياس الجهد وأميتر لقياس التيار وجهاز قياس معامل القدرة (cosθ) ويكون خالياً من الوحدات(cosθ) هي جتا الزاوية المحصورة بين موجتي الجهد والتيار ويكون خالياً من الوحدات وتتراوح قيمته بين (0 -1) ويعتمد على نوعيه الحمل.

عندما تكون معامل القدرة للمقاومة = (1)فإن موجة التيار والجهد متطابقتان وتكون الزاوية بينهما تساوي صفراً.

وتحسب القدرة للتيار المتناوب طوراً واحداً حسب القانون الآتي :

$$P=V.\ I\ .\ \cos\theta \quad (2)$$

3- قدرة حمل تيار (3) أطوار (نجمة Y أو مثلث Δ)

أيضاً نستعمل (3) أجهزة هي :

- فولتميتر لقياس الجهد.
- اميتر لقياس التيار.
- معامل القدرة.

وتحسب القدرة للتيار المتناوب ذات ثلاثة أطوار حسب القانون :

$$P =\sqrt{3}\ V_L.\ I_L.\ \cos\theta \quad (3)$$

$$P = 1.7\ V_L.\ I_L\ .\ \cos\theta \quad (4)$$

مثال 4-8 :

احسب قدرة حمل تيار مستمر يعمل على جهد (12) فولت ويسحب تياراً (0.5) أمبير؟

المعطيات	الحل
P=? قدرة تيار مستمر	P = V. I
V=12v يعمل على جهد	P =12x0.5
I=0.5A يسحب تيار	P = 6 w

مثال 4-9 :

حمل طور واحد يعمل على جهد (220) فولت، ويسحب تياراً (2) أمبير، ومعامل قدرة (0.8). احسب القدرة المستهلكة بالكيلو واط .

المعطيات	الحل
حمل طور واحد	$P = V . I . \cos\theta$
$V=220V$ يعمل على جهد	$P = 220 \times 2 \times 0.8$
$I=2A$ يسحب تيار	$P = 332\ w$
$\cos\theta = 0.8$ معامل القدرة	$P = 332/ 1000$
$P=?$ القدرة المستهلكة بالكيلو واط	$P = 0.332\ kw$

مثال 4-10:

حمل (3) أطوار يعمل على جهد (380) فولت ويسحب تياراً (5) أمبير، معامل قدرته (0.8) احسب القدرة المستهلكة بالكيلو واط .

المعطيات	الحل
حمل 3 طور	$P = \sqrt{3}\ V_L . I_L . COS\ \theta$
$V_L=380V$ يعمل على جهد	$P = 1.7\ V_L . I_L . COS\theta$
$I_L=5A$ يسحب تيار	$P = 1.7 \times 380 \times 5 \times 0.8$
$\cos\theta = 0.8$ معامل قدرته	$P = 2584W$
$P=?$ القدرة المستهلكة بالكيلو واط	$P = 2584 /1000$
	$P =2.584\ KW$

مثال 4-11:

حمل (3) أطوار موصل على شكل دلتا إلى مصدر جهد (380) فولت، التيار المار في كل ملف (20) أمبير ومعامل قدرته (0.8) احسب القدرة المستهلكة؟

المعطيات	الحل
حمل 3 طور	$P = 1.7\ V_L . I_L . COS\theta$
Δ دلتا	$I_L = 1.7 x I_{Ph}$
$V_L = 380V$ مصدر الجهد	$I_L = 1.7 x 20$
$I_{Ph} = 20A$ تيار الملف(الطور)	$I_L = 34A$
$Cos\theta = 0.8$ معامل قدرته	$P = 1.7 x 380 x 34 x 0.8$
P=? القدرة المستهلكة	$P = 17571W/1000$
	$P = 17.571\ KW$

مثال 4-12:

حمل ثلاثة أطوار موصل على شكل نجمة معامل قدرته (0.8) يسحب تياراً (10) أمبير والجهد المسلط على كل ملف (220) فولت، احسب القدرة التي يستهلكها بالكيلوواط؟

المعطيات	الحل
حمل (3) أطوار	$P = 1.7 x V_L . I_L . COS\theta$
Y نجمة	$V_L = 1.7\ V_{Ph}$
$COS\theta = 0.8$ معامل قدرته	$V_L = 1.7 x\ 220 = 374V$
$I_L = 10A$	$P = 1.7 \times 374 \times 10 \times 0.8$
$V_{ph} = 220V$ جهد الملف	$P = 5086W/1000$
P=? القدرة المستهلكة بالكيلو	$P = 5.086\ KW$

أسئلة الفصل الرابع

س[1]- اشرح باختصار نظرية اشتغال المولد الكهربائي .

س[2]- عرف قانون فارداي والقيم التي تعتمد عليها (ق. د. ك) المتولدة.

س[3]- اشرح مع الرسم مكونات المولد الكهربائي البسيط مع تأشير أجزائه.

س[4]- لماذا تسمى مولدات التيار المتناوب بالمولدات التوافقية وما هي أنواعها ؟

س[5]- في أي جزء تتولد (ق. د. ك) بالمولدات ذوات الأقطاب الخارجية وكيف تنقل الى الحمل ؟

س[6]- في أي جزء يتولد الفيض المغناطيسي بالمولدات ذوات الأقطاب الداخلية، وما نوع التيار المغذي وطريقة التغذية؟

س[7]- اشرح المولدات ذوات الأقطاب الداخلية.

س[8]- اشرح المولدات ذوات الأقطاب الخارجية.

س[9]- أنت المفاوض مع الشركة لاستيراد مولدات توافقية أي الأنواع تستوردها للقدرات العالية ولماذا ؟

س[10]- لماذا تربط المولدات مع بعضها وشروط ذلك وما هي طريقة الربط ؟

س[11]- كيف يتم توليد نظام (3) أطوار؟

س[12]- ما الطرق المتبعة لربط دوائر (3) أطوار مع الرسم؟

س[13]- هل يختلف قياس قدرة حمل تيار مستمر عن التيار المتناوب وضح ذلك؟

س[14]- ما علاقة تيار وجهد الطور والخط في حالة النجمة (Y)؟

س[15]- ما علاقة تيار وجهد الطور والخط في حالة المثلث(Δ)؟

س[16]- سلك طوله (100) سم يدور بسرعة (2) م/ ثا داخل حلقة معدنية مساحة مقطعها (50) سم²، لفحولها ملف عـدد لفاته (180) لفة ليكون فيض مقـداره (4) ملي ويبر. احسب أعلى قيمة (ق. د. ك)المتولدة لكل لفة وكذلك (ق. د. ك) لجميع اللفات .

الجواب : 1.6v ، 288 v

س[17]- ملف عدد لفاته (400) لفه طول كل لفه (60) سم يدور بسرعة (2) م/ ثا داخل حلقه معدنية مساحة مقطعها (5) سم² ليكون فيض (3) ملي ويبر. احسب أعلى قيمة (ق. د. ك) المتولدة؟

الجواب :2880v

س18ـ موصل (40) سم يدور بسرعة (5) م/ ثا داخل مجال مغناطيسي كثافته (1) ويبر\ م² . احسب (ق. د. ك) المتولدة فيه في الحالات التالية ؟ مع الرسم .

أ- الموصل موضوع بصورة أفقيه مع المجال المغناطيسي $\sin 0^\circ = 0$

ب-الموصل موضوع بزاوية(30°) بالنسبة لاتجاه خطوط المجال المغناطيسي $\sin 30^\circ = 0.5$

ج- الموصل موضوع بصورة عمودية بالنسبة لاتجاه خطوط المجال المغناطيسي $\sin 90^\circ = 1$

الجواب أ = صفر ب1V = ج= 2V

س19ـ حمل ثلاثة أطوار ربطت ملفاته على شكل (Y) إلى مصدر جهد (380) فولت وكان التيار المار بالطور (40)أمبير ومعامل قدرته (0.8)، احسب القدرة المستهلكة وما قيمة القدرة في حالة الدلتا.

الجواب: $P_\Delta = 62016$ W $P_Y = 20672$ W

س20ـ حمل ثلاثة أطوار ربطت ملفاته (Δ) يسحب تيارًا (75) أمبير، الجهد المسلط على كل ملف (380) فولت وبتردد (50) ذ/ ثا وبمعامل قدرة (0.8). احسب القدرة المستهلكة ثم احسب القدرة، تيار الخط والطور في حالة النجمة.

الجواب : I_{ph}=25 A I_L 12920 = W =P_Y $P_\Delta = 38760$ W

س21ـ محرك ثلاثة أطوار يصرف قدرة (7.752) كيلو واط وبجهد (380) فولت ويسحب تياراً (15) أمبير وبتردد (50) ذ/ ثا . احسب معامل قدرته.

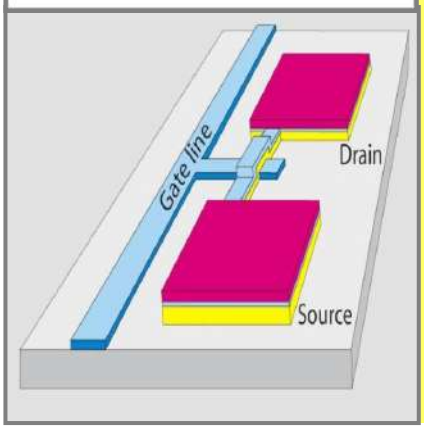
الجواب: $\cos\phi = 0.8$

س22ـ ثلاثة ملفات ربطت دلتا إلى مصدر تيار متناوب تردده (60) ذ/ ثا لتصرف قدرة (26.357) كيلو واط الضغط المسلط على كل ملف (380) فولت. احسب التيار المار بكل ملف ؟

الجواب : I_{ph}= 30 A

س23ـ ثلاثة ملفات ربطت (Y) تصرف قدرة (3.1) كيلو واط وبتردد (50) ذ/ ثا، التيار المار بكل ملف (6) أمبير. احسب الجهد المسلط على كل ملف.

الجواب : $V_{ph} = 220$ v



الفصل الخامس

ترانزستور تأثير المجال (Field Effect Transistor)
والمتحسسات والشاشات الرقمية

الأهداف:

يكون الطالب قادراً بعد دراسة الفصل على أن :

1 ـ يتعرف على تركيب وخواص الترانزستور (FET) وأهميته في الدوائر الالكترونية.

2 ـ يتعرف على أنواع المتحسسات واستخداماتها في المصاعد الكهربائية.

3 ـ يتعرف على تركيب وعمل الشاشة الرقمية في المصعد الكهربائي.

المحتويات

المفردات:

1-5- الترانزستور (FET) تركيبه وخواصه ومجال استخدامه.

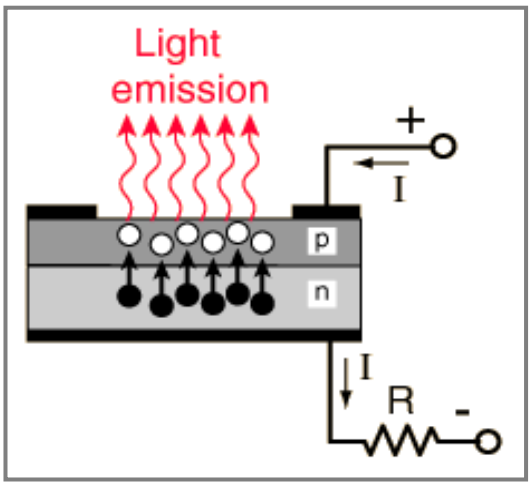
2-5- المتحسسات (أنواعها ونظرية عملها) وتشمل:

أ ـ المتحسس الضوئي.

ب ـ المتحسس المغناطيسي.

ت ـ المتحسس الحراري (PTC).

3-5- الشاشات الرقمية (تركيبها ونظرية عملها).



1-5- ترانزستور تأثير المجال (Field Effect Transistor):

تمكن المهندسان في مختبرات بيل الأمريكية (اين روس و جورج ريسي) من تصنيع ترانزستور يعمل بآلية تختلف عن تلك المستخدمة في الترانزستور ثنائي القطبية، وقد عرف بترانزستور تأثير المجال (Junction Field Effect Transistor) وهذا الترانزستور يمكننا من استخدامإشارة كهربائية للسيطرة على إشارةأخرى، وهو عبارة عن عنصر أحادي القطبية (Unipolar)، وذلك لأنه يعتمد على نوع واحد من الشحنات سواء أكانت الكترونات أم فجوات ويتم التحكم في التيار المار عن طريق المجال الكهربائي. ويتكون من مواد شبه موصلة كما في الترانزستور الاعتيادي ولكنه مصمم بحيث يمكن التحكم بالتيار المار فيه بوساطة الفولتية.

أنواعترانزستور تأثير المجال (FET):

تقسم عائلة ترانزستور تأثير المجال على نوعين هما:

1- ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة (Junction Field Effect Transistor).

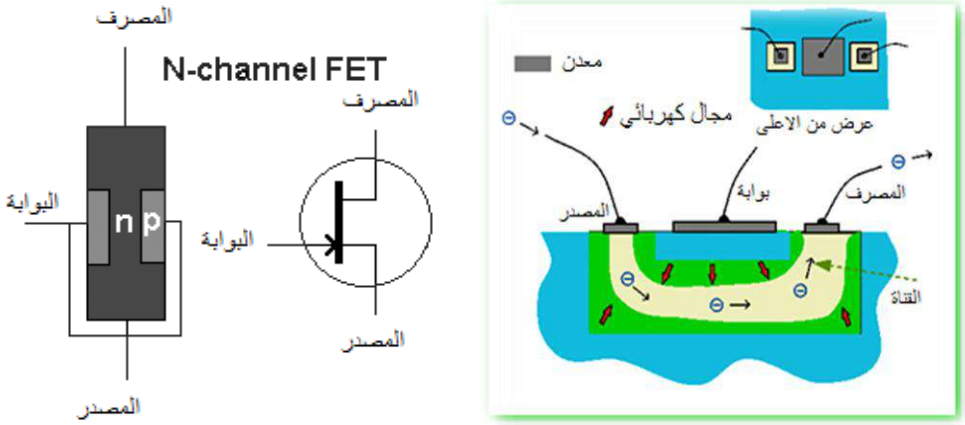
2- ترانزستور تأثير المجال ذو البوابة المعزولة (Metal Oxide Semi Field Effect Transistor).

وللنوعين قناة التوصيل بين طرفي المصرف (Drain) والمصدر(Source) يسيطر عليها بوساطة الجهد المسلط على الطرف (البوابة Gate) والقناة، من الممكن أن تصنع من مادة شبه موصلة من نوع (N)أو(P) وإن النوع (N-Channel) أكثر شيوعاً من النوع (P- Channel).

1 ـ ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة (JFET):

تركيبه و طريقة عمله:

يتركب هذا النوع من الترانزستور كما في الشكل (1-5) من قناة من مادة شبه موصلة من نوع (N) ومن ركيزة من مادة شبه موصلة من نوع (P).



شكل 1-5تركيب ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة

ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة له ثلاثة أطراف هي:

1- المصدر Source (S) :

وهو الطرف الذي تدخل من خلاله الالكترونات لتكون بذلك تيار المصدر (I_s).

1- المصرف Drain (D) :

وهو الطرف الذي تخرج من خلاله الالكترونات مكونة بذلك تيار المصرف (I_d).

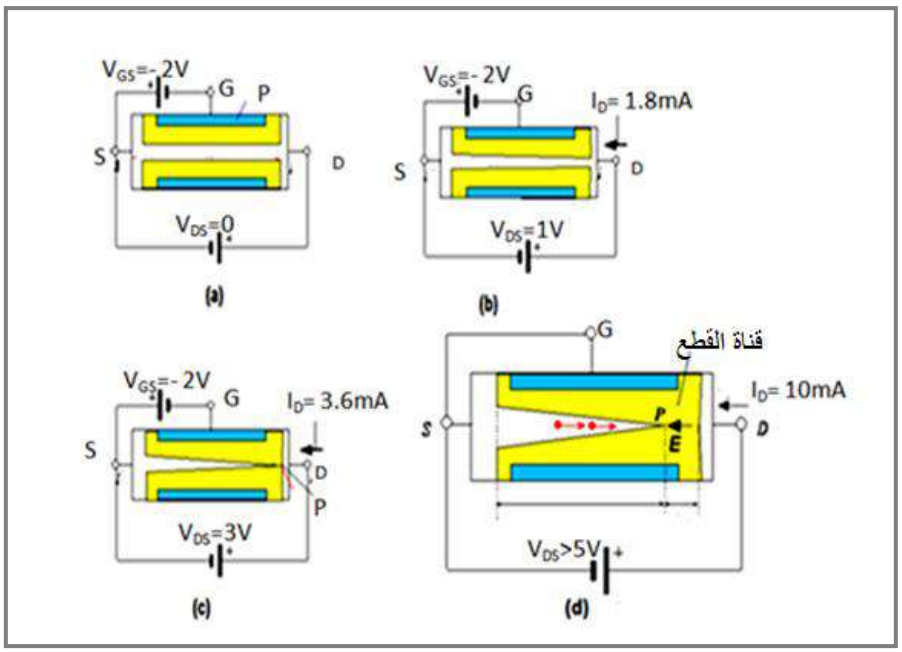
في كلا الطرفين يشبه عملها بذلك نوع الموحد (PN) تقريبا، عدا إنه استخدمت فيه نوع واحد هو (N)، وإن المقاومة الفعالة (الالكترونات) تتحرك على طول القناة عند تسليط الفولتية بين نهايتي الطرفين.

المقاومة الفعالة أو المؤثرة بين النهايتين تعتمد على حجم القناة و شكلها، وخواص المادة شبه الموصلة من نوع (N).

1- البوابة Gate (G) :

وهي عبارة عن المنطقتين الجانبيتين للقناة، وهي من مادة معاكسة لمادة القناة، وتمثل الطرف الثالث.

لنتدارس الآن ماذا يحدث لو وضعنا في طرف البوابة فولتية صغيرة سالبة (-Ve) على ذلك الطرف ستظهر قوة تدفع الكترونات القناة بعيداً عن الجدران وتصبح قناة مرور التيار أضيق وكلما زادت الفولتية السالبة(-Ve)، ضاقت القناة أكثر ويمكن تشبيه القناة بما يحدث لو وضع القدم على خرطوم (أنابيب مطاطية) الحديقة وعند تضييق منطقة عبور التيار بقوة كافية يمكن إن يقل التيار ويصبح صفراً (Pinchoff) كما مبينة بالشكل (2-5) وبهذا يمكن استخدام منطقة البوابة (Gate) للسيطرة على مرور الالكترونات على طول القناة، أي بين طرفي المصدر والمصرف.



الشكل 2-5 استخدام منطقة البوابة للسيطرة

كما يبين تضييق منطقة عبور التيار بزيادة الفولتية السالبة على البوابة بالحالات: (a) مقارنة في حالة(V_{gs}=0V) الترانزستور (JFET) بفولتية (V_{gs}=-2V) و (V_{ds}=0V) تكون قناتها أضيق من البداية (b) عندما (V_{ds}=1V)، يقل التيار (Id) لكون القناة أضيق مقارنة بالحالة الأولى(c) القناة في حالة (Pinch-off) عند (V_{ds}=3V)وأكبر منه في (V_{gs}=0V) حيث تكون (V_{ds}=5V)عند القطع (d) حالة القطع عندما (V_{ds}>V_p=5V).

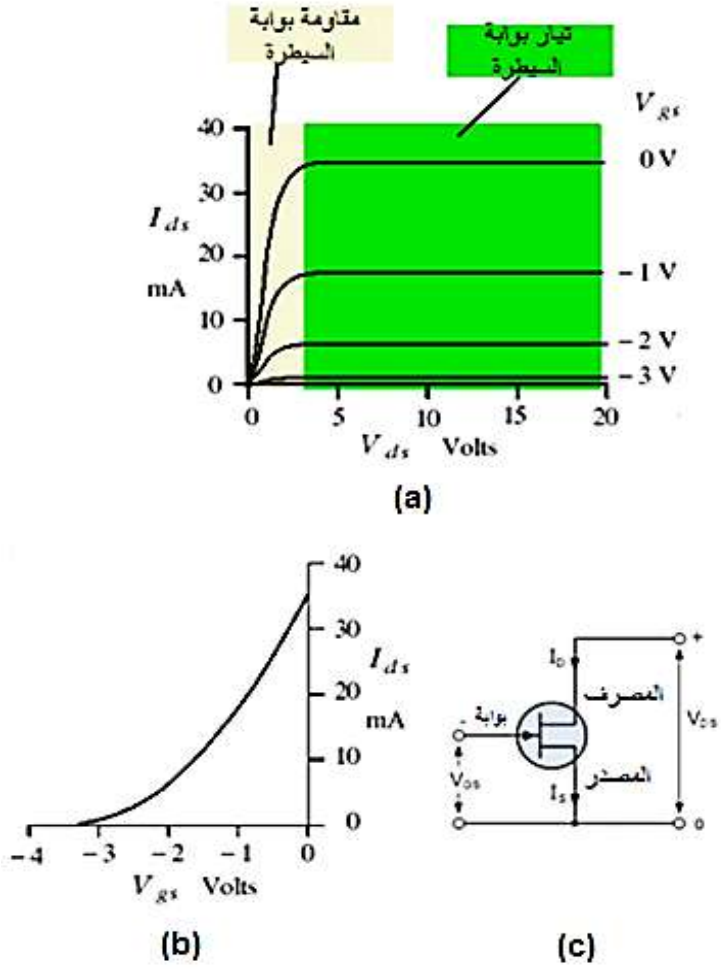
إذا أردنا أن نضع فولتية صغيرة موجبة (+Ve) على البوابة سوف تتوسع القناة مما يسمح بمرور تيار أكبر أي تصغر منطقة الآستنزاف ولكن الاعتماد على تلك التقنية بشكل كبير يسبب عند تسليط فولتية (+Ve)أكثر من اللازم سوف تعبر الالكترونات جدار البوابة وعدم مرور التيار من المصدر إلى المصرف وإن أغلب ترانزستورات تأثير المجال الحديثة الصنع لها بوابات صغيرة حيث تيار قليل من القناة إلى البوابة يسبب عطب الترانزستور.

ويختلف ترانزستور تأثير المجال عن الترانزستور الاعتيادي بما يأتي:

1- ترانزستور تأثير المجال يتحكم به عن طريق الفولتية، في حين الترانزستورالاعتيادي يتحكم به عن طريق التيار .
2- ترانزستور تأثير المجال ذو ممانعة عالية جدا تصل إلى (100) ميكا أوم في حين الترانزستور الاعتيادي ذو ممانعة تصل إلى حوالي (2) كيلو أوم.
3- عدم حاجة ترانزستور(FET)إلى دائرة كهربائية معقدة لتحديد نقطة التشغيل.
4- قلة استهلاكه للطاقة بالمقارنة مع الترانزستور الاعتيادي.
5- التيار المار في ترانزستور تأثير المجال (FET) من نوع واحد من حاملات الشحن هي، إما الكترونات في حالة القناة السالبة أو الفجوات في حالة القناة الموجبة في حين الترانزستورالاعتيادي يتكون التيار المار من حاملات الشحنة الالكترونات والفجوات معاً.
6- صغر المساحة التي يحتلها ترانزستور (FET) على سطح البلورة الشبه موصلة.
7- ممانعة الخرج في ترانزستور (FET) عالية، في حين في الترانزستور الاعتيادي ممانعة الخرج تكون قليلة.
8- الضوضاء المتولدة أقل في ترانزستور(FET).
9- سرعة التبديل في ترانزستور (FET) أقل منها في الترانزستور ثنائي القطبية بسبب أن البوابة تعمل كمكثف يحتاج شحنها وتفريغها زمناً طويلاً نسبياً.

خواص ترانزستور تأثير المجال ذي الوصلة (JFET).

من الخواص الرئيسة لترانزستور تأثير المجال ذي الوصلة المبينة بمنحنيات الخواص بالشكل (3-5). إن المنحنيات في الترانزستورات النموذجية توضح كيفإن تيار (المصرف – المصدر)(I_{ds}) يتغير مع الفولتية (المصرف – المصدر)(V_{ds}) لأربعة مواضع (اختيارات) لفولتية البوابة - المصدر (V_{gs}).



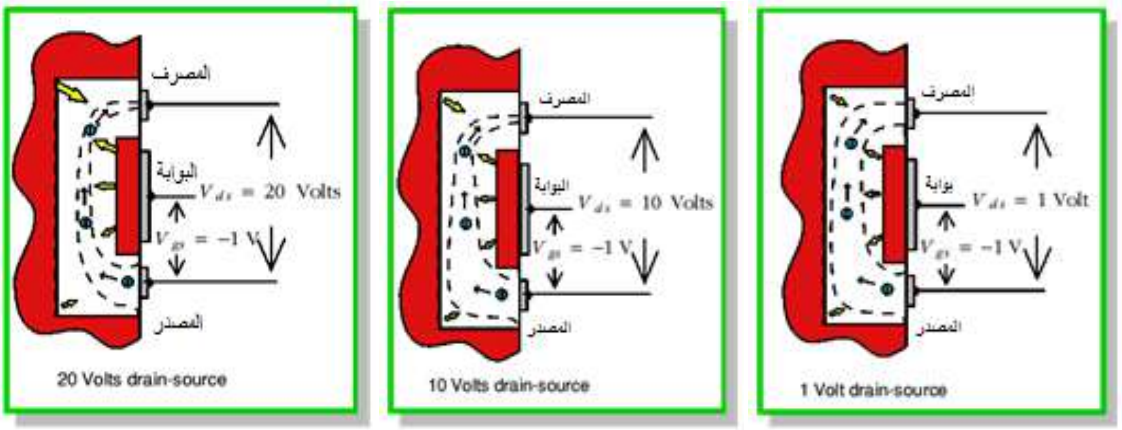
شكل 3-5 خواص ترانزستورتاثير المجال ذو الوصلة مع الرمز

ويمكن تقسيم مناطق استخدام المنحنيات في الشكل (3a-5) لإظهار سلوك الترانزستور على منطقتين. ففي المنطقة الخضراء من الشكل البياني نلاحظ مايأتي: عندما تكون فولتية المصرف-المصدر (V_{ds}) التي هي أكبر قليلا من القيمة الصغرى (2) فولت، فإن التيار المار بالقناة، أي تيار المصرف المصدر (I_{ds}) لايتأثر تقريبا بازدياد قيمة فولتية المصرف-المصدر(V_{ds}).

أما في المنطقة الصفراء من الشكل البياني، أي عندما تكون قيمة فولتية المصرف-المصدر (V_{ds}) أقل من ذلك،نجد أن قيمة تيار المصرف- المصدر (I_{ds}) تزداد بآزدياد فولتية المصرف-المصدر (V_{ds}). والحالتان المذكورتان تحدثان في قيمة معينة لفولتية بوابة- المصدر (V_{gs}).

الشكل (3b-5) يظهر العلاقة بين فولتية البوابة-المصدر (V_{gs}) وتيار مصرف- المصدر (I_{ds}). ونلحظ هنا إن زيادة قيمة فولتية البوابة-المصدر (V_{gs}) بالاتجاه السالب تقلل من قيمة تيار المصرف-المصدر (I_{ds}). الشكل (3c-5) يبين رمز ترانزستور تأثير المجال (JFET) في الدوائر الالكترونية والكهربائية.

ويمكن فهم سبب ذلك من خلال الأشكال المبينة بالشكل (4-5) حيث أن القيم المختلفة (V_{ds}) المجهزة عند الحفاظ على قيمة (V_{gs}) ثابتة. عند ثبات (V_{gs}) عند (1V)؛ هذا يعني أن(1V) عبر جدار القناة من النهاية source (S) فولتية (V_{ds}) هي (1V)، يعني أن هناك (2V) على جدار المصرف (D) (drain) أي إن قناة الألكترونات تكون أضيق لعبور الالكترونات من جهة المصرف وعند ازدياد (V_{ds})إلى(10V) الفولتية عبر المصرف تزداد إلى(11V) أي أن القناة من جهة المصرف تكون أكثر ضيقاًوهكذا لو أزداد(V_{ds})إلى(20V) زاد التضييق في ممر الالكترونات في النهاية (drain).وبهذين التأثيرين (الدفع على طول القناة من أثر Ve– وتأثير زيادة V_{ds}) يسبب من حمل (I_{ds}) تيارا ثابتا عند زيادة (V_{ds}).



شكل 5-4 قيم مختلفة للـV_{ds}عند ثبات ال V_{gs}

هذا التأثير يهيمن على سلوك الترانزستور عندما(V_{ds})أكبر بشكل ملحوظ من(V_{gs})ومن المنحني (b) يشير الى أن كيف (I_{ds}) يتغير مع (V_{gs}) عندما (V_{ds}) أكثر من (2) فولت.

2 ـ ترانزستور تأثير المجال السليكوني المعدني (ذو البوابة المعزولة):

في عام (1960) تمكن المهندسون في مختبرات بيل الأمريكية من تصنيع أشهر أنواع الترانزستورات أحادية القطبية والمسمى (ترانزستور تأثير المجال من نوع معدن- أوكسيد- شبه موصل)

(Metal-oxide-semiconductor FET)MOSFET

أو البوابة المعزولة (Isolated Gate)(IGFET)

تركيبه :

يتركب ترانزستور تأثير المجال ذو البوابة المعزولة المبين بالشكل (5-5) من :

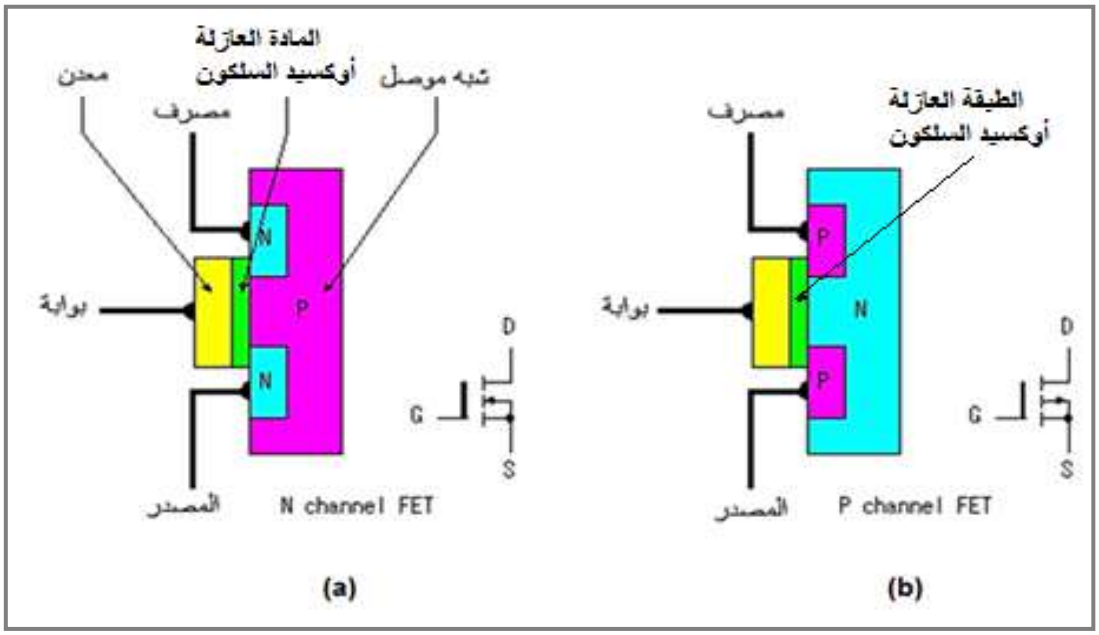
1- طبقة أساس (Substrate) وهي إما من نوع (N) أو (P) .

2- منطقتين بلوريتين من نفس النوع (بعكس طبقة الأساس) ويمثلان الطرفين (Source)و(Drain) المصدر و المصرف.

3- طبقة من ثاني اوكسيد السليكون (SiO_2) وهي مادة عازلة.

4- طبقة من المعدن و تمثل الطرف البوابة، وإن لهذا الترانزستور نوعين:

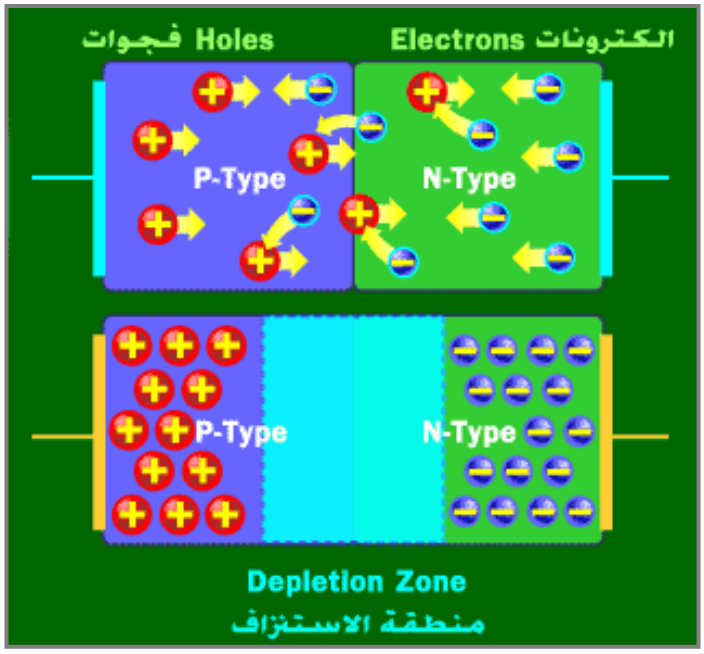
إما (P-channel) أو (N-channel).



الشكل5-5 تركيب ترانزستور تأثير المجال ذو البوابة المعزولة

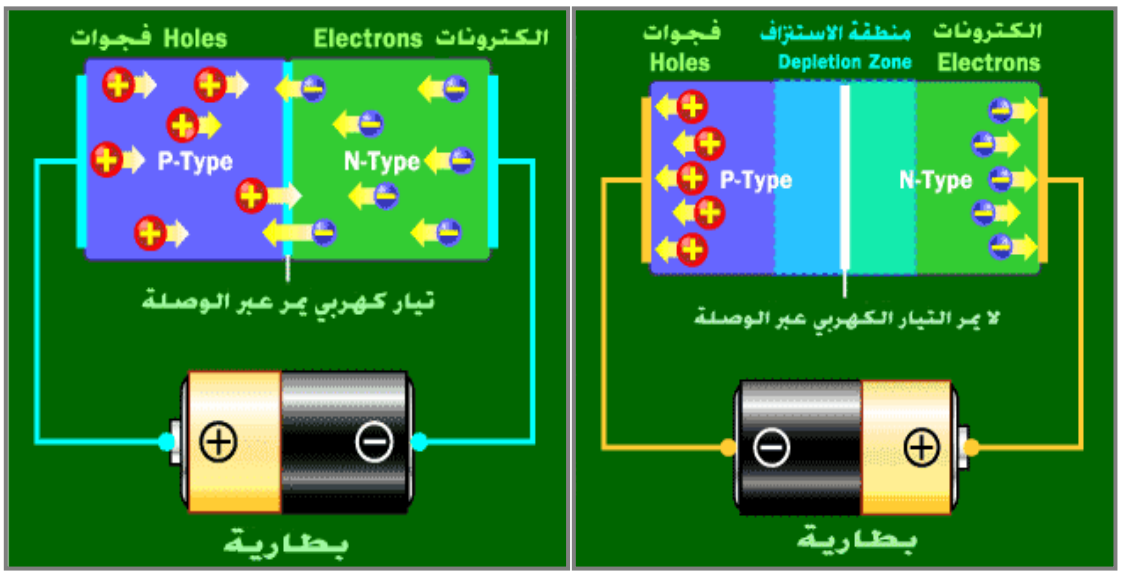
عمل ترانزستورتاثير المجال السيلكوني المعدني (ذو البوابة المعزولة):

لكي نضع الأسس التي نستند عليها لتوضيح فكرة عمل الترانزستور(MOSFET) لابد من التعريف إلى أن أشباه الموصلات النقية مثل الجرمانيون والسيلكون مواد ليست جيدة للتوصيل الكهربائي وكما أنها ليست رديئة للتوصيل الكهربائي وتتميز بوجود أربعة الكترونات في مدارها الخارجي وأنها غير موصلة إلا بعد إن يتم تحرير إلكترون من الأربعة عن طريق تأثير خارجي، نحصل على هذا التأثير بإضافة شوائب إلى ألبلوره بما يؤدي إلى تكوين بلورات سالبة أو موجبة حسب مادة هذه الشوائب وعند توصيل هذين النوعين ببعضهما كما بالشكل(5-6)، تنجذب بعض الالكترونات الحرة من البلورة(N)إلى الفجوات في البلورة(P) وتتكون منطقة وسطية فارغة من حاملات التياروتسمى (المنطقة الميتة) أو (المنزوحة منطقة الاستنفاذ) .(Depletion Area)



الشكل 5-6 إنجذابالألكترونات الحرة من البلورة N إلى الفجوات في البلورة P

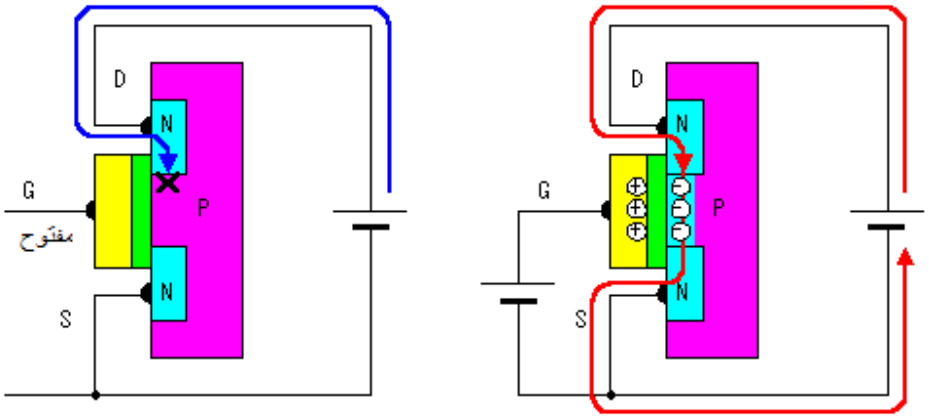
والشكل (5-7) يبين الانحياز الأمامي والعكسي للثنائي الدايود وتظهر فيه المساحة المنزوحة للإنحيازين.



الشكل 5-7 الآنحياز الأمامي والعكسي للثنائي الدايود

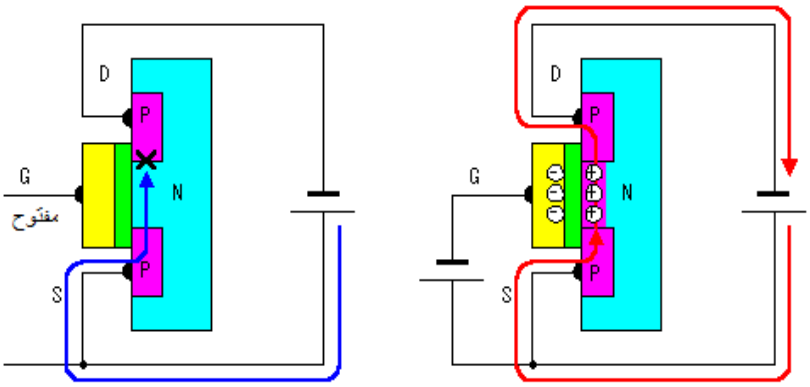
في هذا النوع من الترانزستور (MOSFET) يتم التحكم بتيار الخرج عن طريق المجال الكهربائي وكما في الشكل (5-8) في حالة وضع فولتية موجبة على البوابة نلحظ إن الترانزستور من نوع(N-channel) فإن الالكترونات الحرة الموجودة في بلورتي (المصدر والمصرف) ستنجذب للمجال الكهربائي الموجب المتكون عند البوابة مكونة قناة لمرور التيار بين المصدر والمصرف.

ويتغير حجم هذه القناة تبعاً لقوة المجال الكهربائي عند البوابة وبالتالي تتغير قيمة التيار المار بين المصدر والمصرف.



الشكل 5-8 قناة مرور التيار عند وضع فولتية موجبة على البوابة

وفي حالة وضع فولتية سالبة على البوابة، كما في الشكل (5-9)، لاحظ أن الترانزستور من نوع (P-channel) فإن الفجوات الموجودة في بلورتي (المصدر والمصرف) ستنجذبان للمجال الكهربائي السالب المتكون عند البوابة، مكونة قناة لمرور التيار بين المصدر والمصرف.ويتغير حجم هذه القناة تبعا لقوة المجال الكهربائي عند البوابة، وبالتالي تتغير قيمة التيار المار بين المنبع والمصرف .



الشكل 5-9قناة مرور التيار عند وضع فولتية سالبة على البوابة

لاحظ أنه لوجود مادة الأوكسيد (العازلة) بين البوابة و بقية الترانزستور، يمتنع التيار أن يمر بينهما. ويتم التحكم بالتيار المار بين المصدر والمصرف فقط عن طريق الجهد (المجال الكهربائي) الموجود على البوابة.
ويمكن تصنيف ترانزستور (MOSFET) إلى نوعين هما:

1- ترانزستورتأثيرالمجال ذو البوابة المعزولة الذي بحالة الاستنفاذ (Depletion Mode MOSFET).
2- ترانزستور تأثير المجال ذو البوابة المعزولة الذي يعمل بحالة التعزيز (Enhancement Mode).

يعد هذا النوع من الترانزستورات (MOSFET) بديل الترانزستورات الاعتيادية وأكثر أهمية من ترانزستورات (JFET) لصغر حجمه وكذلك يستخدم بكثرة في معظم الدوائر الحديثة المتكاملة الرقمية كما انه يتميز بسرعة في الأداء خصوصا عند استخدامه كمفتاح وإن مقاومة دخوله كبيرة جداً نتيجة وجود طبقة الأوكسيد العازلة، التي تتراوح بين (10^{10} - 10^{15}) أوم.

الانحياز في ترانستور تأثير المجال:

إن دوائر الانحياز لاتختلف عن الترانزستور (PNP وNPN) ولكن يجب هنا ذكر بعض الفروق الجوهرية، فإن كلمة الانحياز تعني بصورة خاصة تيار القاعدة .أما ترانزستور تأثير المجال فإن نقطة التشغيل تحدد بين فولتية البوابة والمصدر، لذلك فإن الانحياز في هذه الحالة سيعني قيمة الفولتية . الفرق الآخر هو أنه عند استعمال الترانزستور الاعتيادي في الدوائر الخطية (كدوائر التكبير)، فإن نقطة التشغيل تختار دائماً بحيث يكون ثنائي القاعدة ـ الباعث منحازاً أمامياً وثنائي القاعدة ـ الجامع منحاز عكسياً. أما في ترانزستور تأثير المجال فإن هناك نوعاً تعزيزياً، ونوعاً إستنزافياً، أو نوعاً يحوي كلا النوعين في الوقت نفسه.

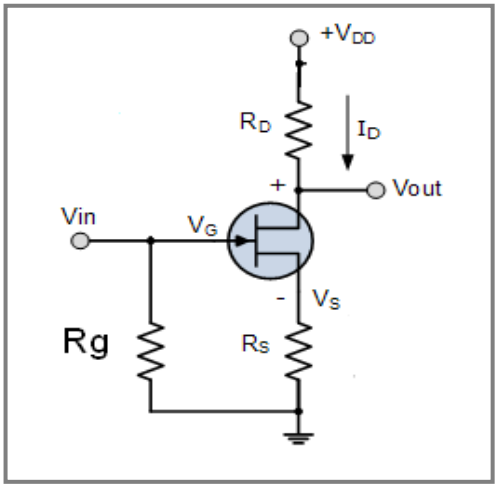
1ـ انحياز النوع الاستنزافي :

في النوع الاستنزافي تكون حاملات الشحنات متواجدة في القناة حتى عند انعدام فولتية الانحياز ($V_{GS}=0$)، فتكون القناة موصلة عند ئذٍ ، ولدى توصيل فولتية عكسية على البوابة فإن هذه الفولتية تعمل على استنزاف هذه الشحنات وبذلك يقل توصيل الترانزستور كلما زاد الانحياز بالاتجاه العكسي. أما عند تسليط انحياز أمامي على البوابة فإنه سيعمل على زيادة توصيل القناة ومثل هذه الحالة لها فائدة عندما يكون الترانزستور من (Depletion Mode MOSFET)، حيث أنه يعمل في كلا اتجاهي الانحياز (الأمامي والعكسي). أما ترانزستورات المجال ألوصلي(JFET) التي تقع ضمن الترانزستورات الآستنزافية فإنه لايستحسن توصيل انحياز أمامي عليها، وذلك لأن ثنائي وصل بوابة

الترانزستور مع المصدر سيجعل حينئذٍ على تقليل مقاومة إدخال الترانزستور. لذلك يوصل عادة انحيازعكسي على ترانزستور(JFET) ولتعاكس قطبية الانحياز العكسي مع قطبية الفولتية الموصلة على المصرف (V_{DD})،فإنه لايمكن استعمال طريقة تجزئة الفولتية (V_{DD}) بالمقاومات لتوليد الانحياز حيث إن هذه الطريقة بمفردها ستولد انحيازا أمامياً. والحل هنا هو إما أن نستعمل مصدراً أخر للفولتية يربط بدائرة البوابة أو دائرة المصدر أونستغل تيار المصدر لتوليد فولتية الآنحياز ويتم توضيح ذلك كما يأتي:

الانحياز الذاتي:

يتولد هذا الانحياز من تمرير تيار المصدر خلال المقاومة (Rs)، وكما هو مبين في الشكل (5- 10) في ترانزستور ذي قناة سالبة.



شكل 5– 10 الانحياز الذاتي لترانزستور تأثير المجا ل

لحساب قيمة الفولتية على أطراف الترانزستور (V_{DS}) تحسب من المعادلة الآتية:

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_D + R_S)$$

وإن الفولتية على طرفي المقاومة (R_S) يساوي (V_S)

$$V_S = I_D R_S$$

وإن مقدار الفولتية(V_G)تساوي صفراً

$$V_{GS} = V_G - V_S$$

لذلك فإن:

$$V_{GS} = -I_D R_S$$

وتعرف بالانحياز الذاتي، حيث لاتوصل أي فولتية إلى البوابة (G)

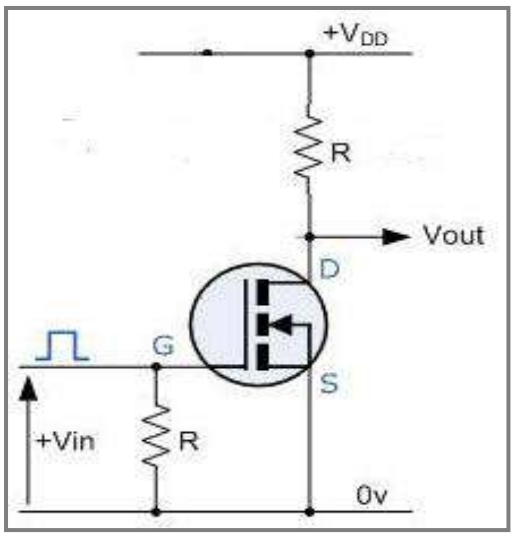
ولحساب مقاومة الترانزستور (r_{ds}) من المعادلة الآتية:

$$r_{ds} = \frac{\Delta V_{ds}}{\Delta I_D}$$

تكون مقاومة المصرف (r_{ds}) ذات قيمة عالية

2-انحياز ترانزستور للنوع التعزيزي (Enhancement MOSFET):

كي يقوم الترانزستور التعزيزي (Enhancement-Mode N-channel MOSFET) بالتوصيل فيجب أن يعزز بفولتية إنحياز أمامية، لذلك لايمكن استعمال الانحياز الذاتي وحده هنا لأن مثل هذا الانحياز يكون ذا إتجاه عكسي وفي هذه الحالة يمكن آستعمال نفس المصدر (V_{DD}) أو إضافة مصدر خارجي ذي فولتية موجبة لتوليد الآنحياز الأمامي، كما هو مبين في الشكل (5 – 11).



شكل 5 –11 انحيازالترانزستور باستعمال مصدر تيار مستمر

مثال 5-1: أحسب فولتية إنحياز البوابة (V_{GS})وفولتية على أطراف الترانزستور تأثير المجال (VDS) وصل إلى دائرة، كما هومبين في الدائرة أدناه إذا كان التيار المار خلاله (ID)يساوي (2.5) ملي أمبير .

الحل :

$$V_{GS} = -I_D R_S$$

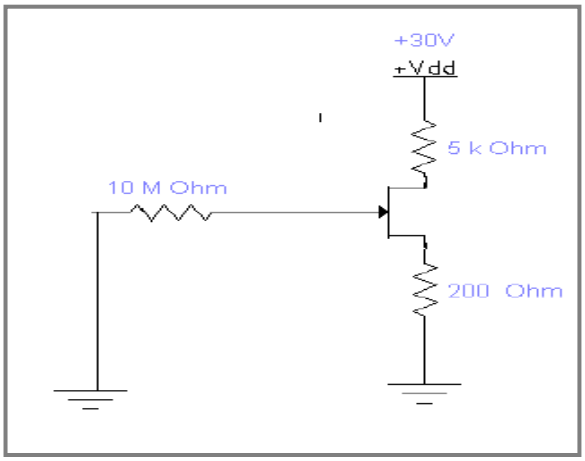
$$V_{GS} = 2.5 \times 10^{-3} \times 200$$

$$V_{GS} = -0.5V$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_D + R_S)$$

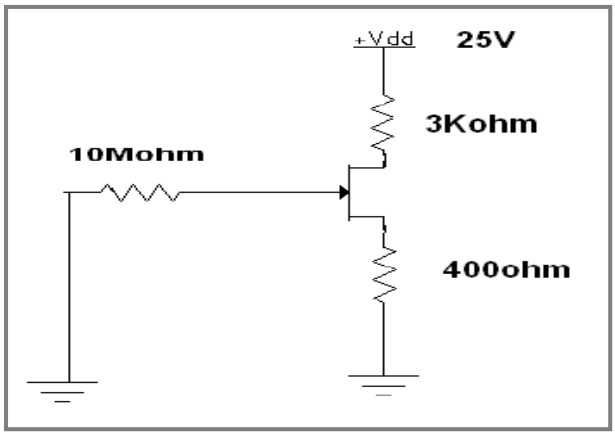
$$V_{DS} = 30 - 2.5 \times 10^{-3}(500 + 200)$$

$$V_{DS} = 17V$$



مثال 5-2: أحسب التيار المار في الدائرة المبينة أدناه إذا كانت الفولتية على طرفي ترانزستور تأثير المجال (V_{DS}) يساوي إلى (15) فولت .

الحل :



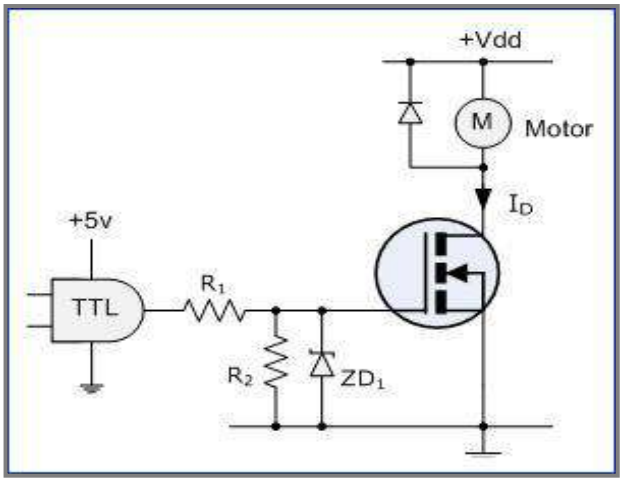
نوضح أدناه تطبيقات الدوائر الالكترونية لترانزستور تأثير المجال لمواصفاته التي تفوق الترانزستور الاعتيادي ومنها :

1- ترانزستور تأثير المجال كمفتاح.
2- ترانزستور تأثير المجال كمكبر عزل(BufferAmplifier).
3- دوائر التقطيع التماثلية
4- دوائر التقطيع (Chopper Circuit).

وندرج منها بعض الدوائر الآتية:

1- ترانزستور تأثير المجال كمفتاح:-FETоxideSemiconductorMetal

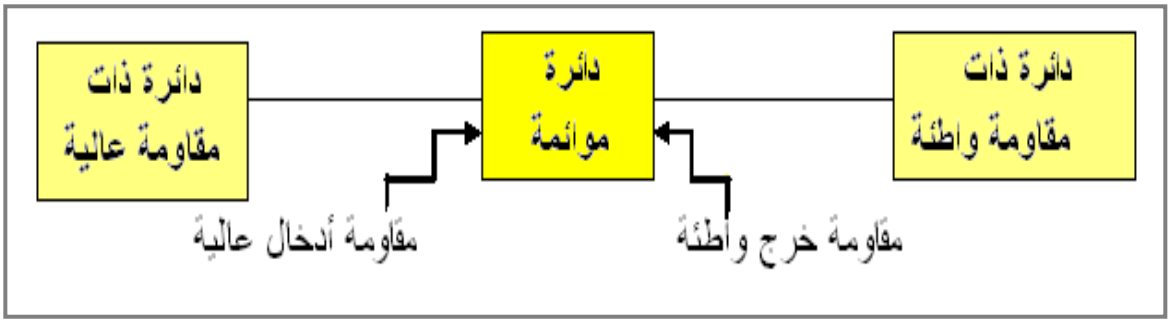
يستعمل في هذه الدائرة ترانزستور القدرة لنوع تأثير المجال ذو البوابة المعزولة ذو القناة السالبة (N- Chanel)للتحكم بتشغيل محركات التيار المستمر والتحكم بسرعتها عبر الثنائي نوع الزينر، يعمل على تثبيت فولتية البوابة عند قيمة لاتتجاوز فولتية الآنهيار المثبتة على الثنائي، كماهومبين في الشكل (5 – 12).



شكل 5 - 12 دائرة تحكم لتشغيل محرك تيار مستمر

2- ترانزستور تأثير المجال كدائرة موائمة:

يمتاز ترانزستور تأثير المجال بممانعة إدخال عالية وممانعة إخراج واطئة، لذلك يستعمل دائرة موائمة بين مرحلتين ذات مقاومتين مختلفتين بالقيمة، كما مبين في الشكل (5- 13).



شكل 5 – 13 المخطط الكتلي لاستعمالترانزستورJFET كدائرة موائمة

5- 2 الحساسات (Sensors):

الحساسات هي أجهزه تستخدم لتجهيز إشارة تمثل حالات في ماكنة أو عملية في أوضاع عديدة، هذه الأجهزة تجهز بإشارات تماثلية تمثل مدى من القيم إنها نوع من أنواع محولات الطاقة (Transducers) التي تقوم بتحويل أي شكل من أشكال الطاقة إلى شكل آخر أما الحساس فيقوم بتحويل أي شكل من أشكال الطاقة إلى طاقة كهربائية،إن الحساسات في الحقيقة تنجز مهام بسيطة وبكفاءة عالية وبدقة أكبر مما يفعله الأشخاص وهي أكثر سرعة، كما إن الأخطاء المرتكبة فيها تكون قليلة، إن تعدد أنواع الحساسات وتعقيدات استخدامها في حل مشاكل التطبيقات ينمو يومياً وبشكل سريع.

يعرف الحساس بأنه : عبارة عن جهاز او مفتاح كهربائي او الكتروني يقوم بتحويل الحالة الفيزيائية الى اشارة كهربائية.

أنواع الحساسات:

أ.الحساسات التي تعمل بالتماس الميكانيكي (Mechanical Sensors):

هي أجهزه ميكانيكية تستخدم التوصيل الفيزياوي أوالمادي للكشف عن ظهور الأجسام تكون هذه الحساسات بأنواع وأحجام مختلفة ويتكون الحساس من جزئين رئيسيين المبينين بالشكل (5-14) هما :

1- رأس التشغيل ، يسمى المشغل (Actuator).

2- صندوق المفاتيح ، يحتوي على توصيلات كهربائية لفتح أو غلق الدائرة.

الشكل 5-14 الأجزاءالرئيسة للحساس الميكانيكي

تشغيل الحساس الميكانيكي:

إن فتح أو غلق التوصيلات بسرعة بغض النظر عن سرعة التشغيل، عندما تسلط قوة على المشغل باتجاه الحركة يزيد الضغط على النابض (snapspring) للتوصيلات في حالة الفتح (Normallyopen) (No) عندمـا يصل المشغل إلى وضع التشغيل التوصيلات المتحركة (Movablecontact) تتجه بسرعة نحو مجموعة من التوصيلات الثابتة (Fixed Contact) المبينة بالشكل (5-15).

عندما المشغل يرجـع إلى وضع التحرر فإن آلية النابض يجبر التوصيلات المتحركـة للرجوع إلى حالتها الأصلية التوصيلات التي هي في حالة الغلق (Normally Closed) NC تعمل بنفس الآلية ولكن باتجاه معاكس وغالباً ما تستخدم هذه المفاتيح لتحديد حركة عربة المصعد في نهاية الشوط في الأعلى والأسفل.

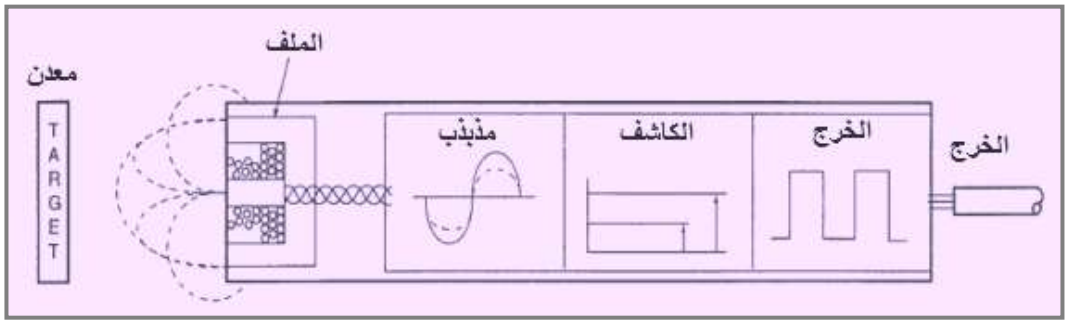
شكل 5-15 أجزاء وعمل صندوق المفاتيح

ب. الحساسات التي لا تعمل بالتماس (No Touch Sensors):

سميت بهذا الاسم، لأن الحساس يكشف عن الجسم (المنتج) دون ملامسته، أي بدون توصيل فيزياوي أو مادي ومن هذه الحساسات:

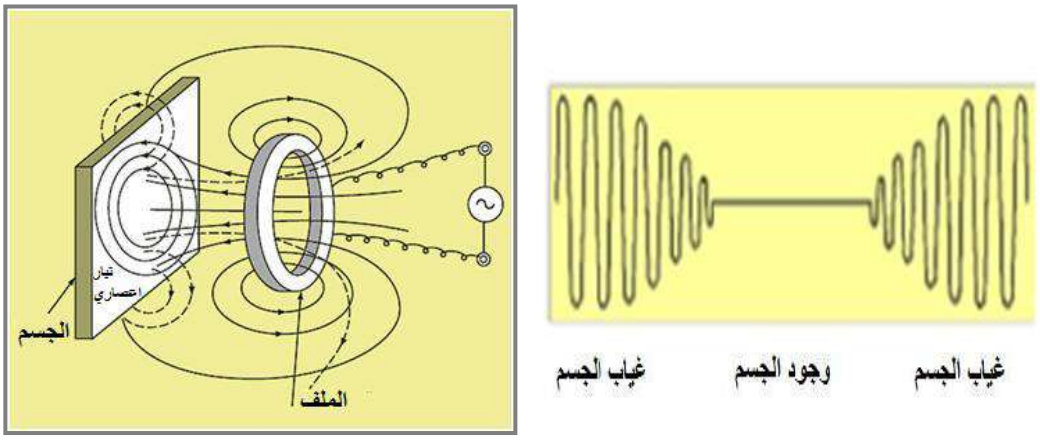
1- الحساسات الحثية التقاربية (Inductive Proximity Sensors):

إن الحساسات الحثية التقاربية تستخدم بشكل واسع في التطبيقات الحديثة التي تستخدم الكشف الغير التلامسي للأجسام المعدنية وهي متوفرة بأحجام وأشكال مختلفة ولها تطبيقات مختلفة، إن أساس عمل هذه الحساسات يعتمد على ملف ومذبذب ينتجان مجال كهرومغناطيسي على سطح الحساس ويتكون من أربعة عناصر هي (الملف، المذبذب، دائرة الكشف، دائرة الخرج). والشكل (5-16) يبين تركيب الحساس.



شكل 5-16 تركيب الحساسات الحثية التقاربية

المذبذب: عبارة عن دائرة كهربائية تتكون من ملف ومتسعة مكوناً دائرة الرنين التي تولد الذبذبات الراديوية. إن المجال الكهرومغناطيسي الناتج من المذبذب يشع من الملف خارجاً من سطح الحساس عندما يدخل الجسم هذا المجال،فإن التيارات الإعصارية تدور في الجسم وهذا يسبب حمل على الحساس، ويسبب تقليل أو أضعاف قيمة المجال الكهرومغناطيسي حسب قانون (لنز)، عند اقتراب الجسم من سطح الحساس تزداد التيارات الإعصارية ويسبب حمل على المذبذب ويقلل من المجال. إن دائرة الكشف تراقب قيمة المنبه وخلال مستوى معين تقوم هذه الدائرة بتغير حالة المفتاح (الخرج) وعندما يتحرك الجسم بعيداً عن الحساس تزداد قيمة المذبذب ويعود المفتاح إلى وضعة الطبيعي الشكل (A17-5) يبين عمل الحساس والشكل (B17-5) يبين إشارة الخرج للحساس وسعة التذبذب بوجود الجسم وغيابه. يعمل الحساس على جهود مختلفة حسب نوعه وهي تتراوح بين (10-65) فولت مستمر.

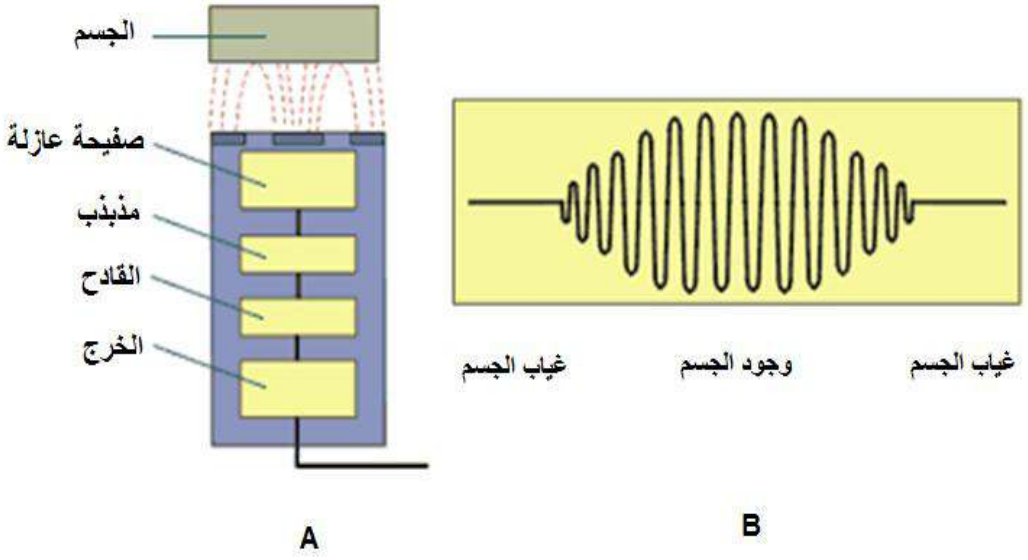


A B

الشكل (A) 5-17 عمل الحساس الحثي التقاربي. (B) إشارة الخرج للحساس بوجود الجسم وغيابه

2- الحساسات السعوية التقاربية (Capacitive Proximity Sensors):

إن الحساسات السعوية التقاربية هي مشابهة تماماً للحساسات الحثية التقاربية والاختلاف الرئيس بين النوعين إن الحساسات السعوية تولد مجالاً كهربياً ساكناً (كهروستاتيكي) في حين إن الحساسات الحثية تولد مجالاً كهرومغناطيسياً، إن الحساسات السعوية تتحسس الأجسام المعدنية والغير معدنية مثل: الزجاج، السوائل والملابس وغيرها،إن السطح الحساس يشكل من الكترودين من معدن (قطبين كهربائيين) عندما يقترب الجسم من سطح الحساس يدخل في المجال الكهروستاتيكي للأقطاب ويغير سعة المتسعة في المذبذب وبالنتيجة يبدأ المذبذب بالتذبذب وتقوم دائرة المنبة بقراءة قيمة المذبذب وعند قيمة محددة تعمل الدائرة على تغير حالة الخرج وعندما يبتعد الجسم عن سطح الحساس فإن قيمة المذبذب تقل وتعود حالة الخرج إلى وضعها الطبيعي والشكل 18-5(A) يبين التركيب الداخلي وعمل الحساس، والشكل 18-5(B) يبين إشارة الخرج للحساس بوجود الجسم و غيابه.



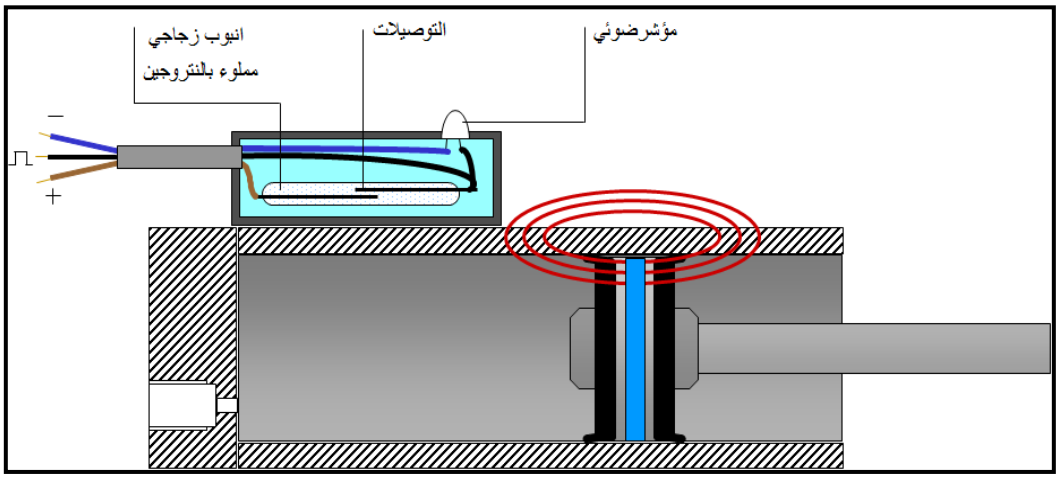
شكل 18-5 (A) تركيب وعمل الحساس السعوي التقاربي (B) إشارة الخرج بوجود الجسم وغيابه

3- الحساسات المغناطيسية التقاربية (Magnetic Proximity Sensors):

وهي الحساسات التي تعمل بفعل المجال المغناطيسي وتتكون من قطعتين رئيستين هما مغناطيس دائم وأنبوب زجاجي مملوء بالنتروجين مغلق بإحكام في داخله صفائح رقيقة مكونة مفتاح الغلق والفتح الذي تتغير حالته عند تقريب المغناطيس منه.

ويكون مبدأ عمله بوجود المجال المغناطيسي يقوم بثني الصفائح الخفيفة بحيث تلمس إحداها الأخرى مسببة التوصيل الكهربائي. سطح الصفائح معالج بمواد خاصة مناسبة للتيار القليل او دوائر الحث العالية.

وتتميز الحساسات التقاربية المغناطيسية عن المفاتيح الميكانيكية الأخرى بتوصيلاتها المحمية جيداً ضد الغبار، التأكسد و التآكل بسبب وجودها داخل الأنبوب، وتعمل بوجود المجال المغناطيسي بدلاً من الأجزاء الميكانيكية. وسهولة تشغيلها، وصغر حجمها. وغالباً ما تستخدم هذه الحساسات في المصاعد الكهربائية، والشكل (5-19) يبين عمل الحساسات التقاربية المغناطيسية وأجزائها.



الشكل 5-19 عمل واجزاء الحساسات التقاربية المغناطيسية

4- الحساسات الضوئية:

تتميز هذه الحساسات بمدى التشغيل الكبير الذي يتراوح بين عدة مليمترات إلى عدة أمتار، كما أنها تعمل مع أي نوع من الأجسام سواء أكانت عازلة كهربائياً أم موصلة وغالباً ما تستخدم في عربة المصعد ويتكون هذا الحساس من جزئين رئيسين هما :

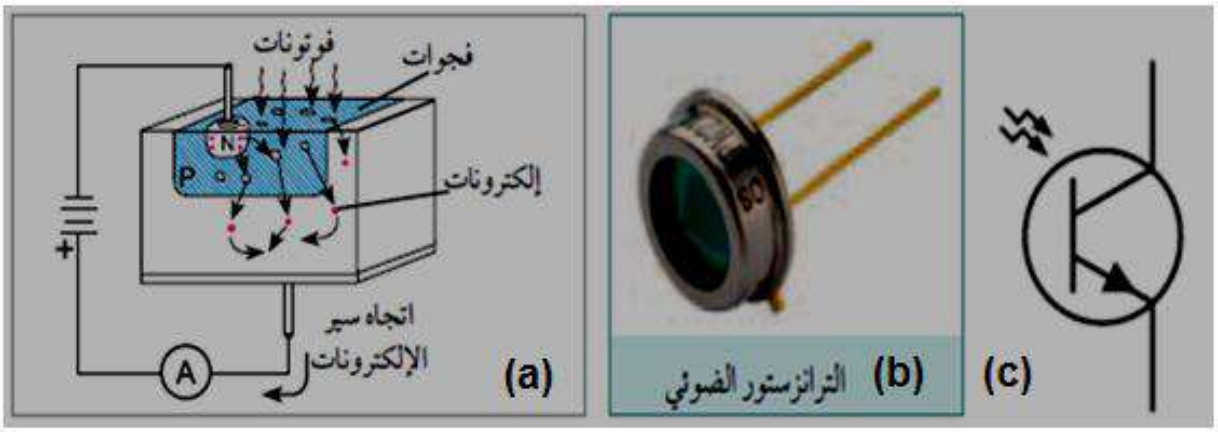
أ- المرسل: ويمثل المصدر الضوئي.

ب- المستقبل: وهو عبارة عن دائرة متحسسة للضوء ومفتاح يعد خرج الحساس ومن متحسسات الضوء:

1- المقاومات الضوئية (Photo Resistor): وهي عبارة عن مقاومات تتغير قيمتها بتغير شدة الضوء الساقط عليها، حيث تتناقص قيمتها بالضوء الساقط والشكل (5-20) يبين شكل المقاومة الضوئية.

شكل 5- 20شكل المقاومة الضوئية

1- **الترانزستورات الضوئية (Photo Transistor):** وهي عبارة عن ترانزستورات حساسة للضوء وتشبه الترانزستور الثنائي القطبية ولكن بدون قاعدة حيث يستبدل بسطح عاكس للضوء وهو يشبه الترانزستور الآعتيادي في عملة وأن تيار القاعدة يتولد بالضوء، وتتناسب قيمته مع شدة الإضاءة الساقطة على سطح الحساس، والشكل (5-21) يبين شكل الأخرى الضوئية.

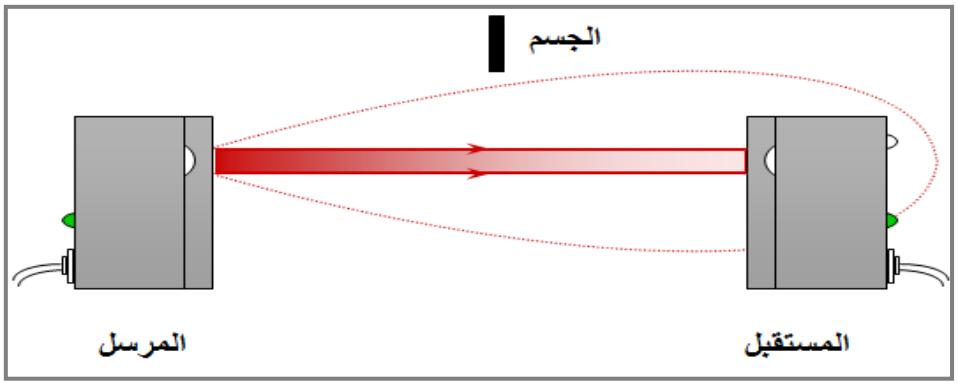


شكل 5-21 (a) أجزاء وعمل الترانزستور الضوئي (b) الترانزستور الضوئي (c) رمز الترانزستور

تقسم الخلايا الضوئية حسب نظام عملها الى :

أ- نظام الطريق الواحد:

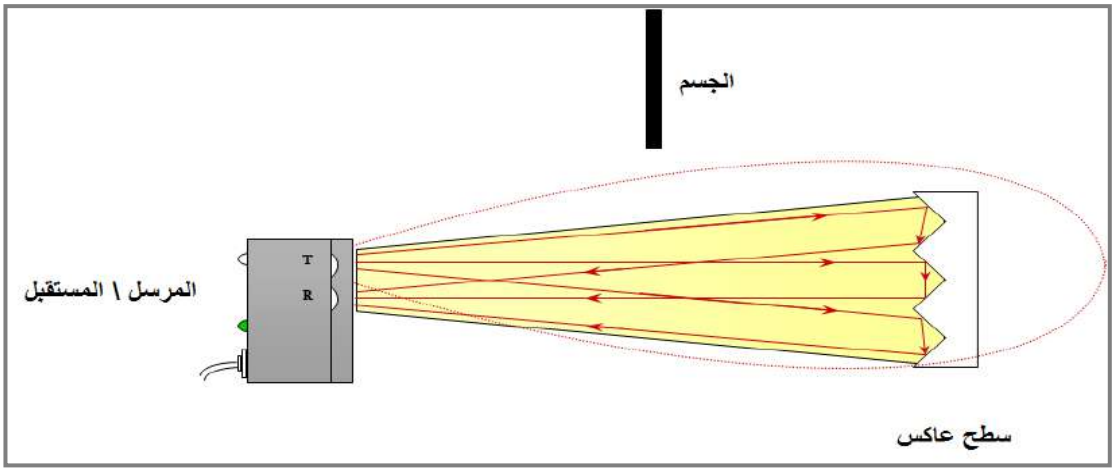
حيث يثبت المرسل (Transmitter) والمستقبل (Receiver) للخلية الضوئية عند ركني المنطقة المراد اكتشاف أي جسم يمر فيها وأقصى مسافة بين المرسل والمستقبل (30) م ويقوم الحساس بالكشف عن الأجسام الغير شفافة التي تدخل بين المرسل والمستقبل والشكل (5-22) يبين نظام الطريق الواحد.



الشكل 5-22 نظام الطريق الواحد

ب- النظام الانعكاسي:

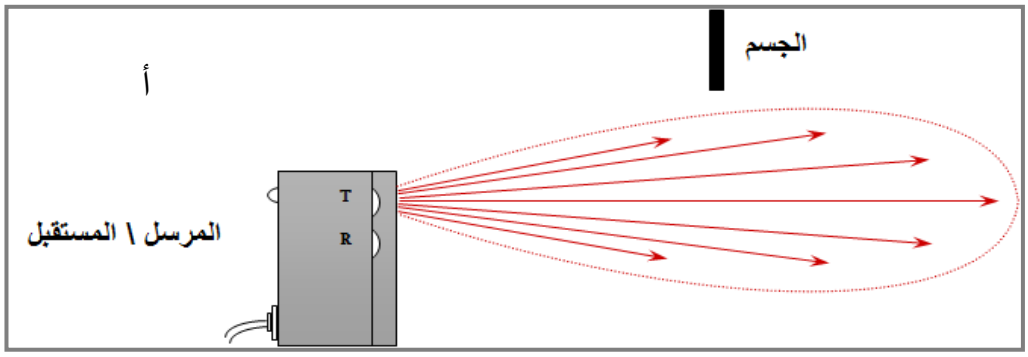
حيث يكون المرسل والمستقبل مجتمعين معاً في غلاف واحد وتحتاج الخلايا الضوئية التي تعمل بهذا النظام لسطح عاكس ويتلخص مبدأ عمل هذا النظام على أن المرسل يرسل أشعة تحت الحمراء وعندما تصطدم هذه الأشعة بالسطح العاكس ترتد لتسقط على المستقبل وهذا يمثل الوضع الطبيعي للحساس وعند مرور جسم بين الخلية والعاكس فإن الأشعة لن ترتد مرة أخرى إلى المستقبل وهذا يغير وضع مفتاح الخلية ويقوم الحساس بالكشف عن الأجسام الغير العاكسة وغير الشفافة ويجب أن يكون الجسم أكبر من السطح العاكس وأقصى مسافة بين الخلية والعاكس (5) متر، المبينة بالشكل (5-23).



الشكل 5-23 نظام الانعكاس

ج- النظام التقاربي:

حيث يوضع المرسل والمستقبل في غلاف واحد ويرسل المرسل أشعة فوق البنفسجية، وعند مرور جسم في منطقة عمل الحساس تصطدم هذه الأشعة لتسقط على المستقبل فيغير وضع مفتاح الخلية وأقصى مسافة بين الخلية والجسم (30) سم ويستخدم للكشف عن الأجسام الشفافة والعاكسة وغير مناسب للجو المغبر، كما في الشكل (5-24).



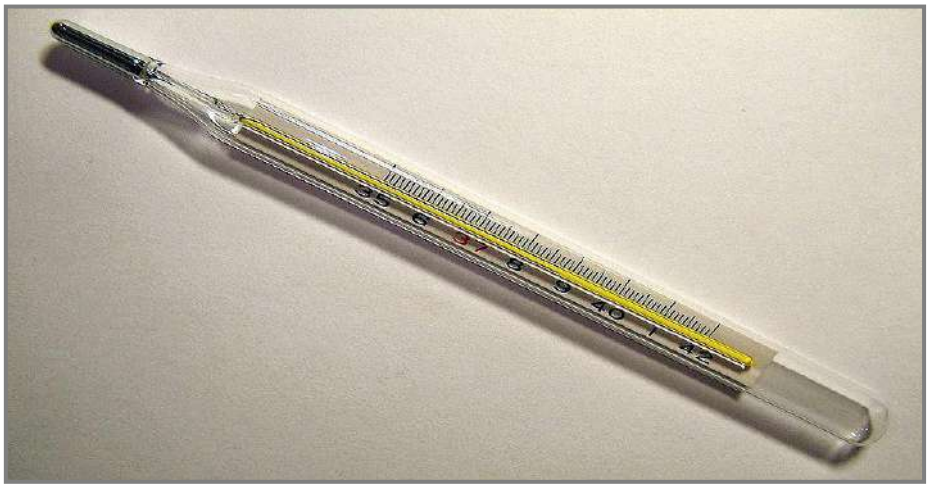
الشكل 5- 24 النظام التقاربي

5- الحساسات الحرارية :

وهي تصنع بأشكال وأحجام مختلفة، وكذلك تختلف في مكوناتها حسب طبيعة استخدامها ومنها :

أ- حساس الحرارة الزئبقي (Thermometer):

ويستخدم في قياس درجة حرارة الجسم أو الجو ويصنف ضمن الأجهزة الطبية و يتكون المقياس من أسطوانة زجاجية في أحد طرفيها خزان للزئبق. وباقي الأسطوانة تعبأ بالنتروجين أو تفرغ من الهواء ويتم معرفة درجة الحرارة استناداً لمستوى الزئبق في الأسطوانة و تعتمد فكرة المقياس على تمدد الزئبق في الحرارة و إنكماش حجمه في البرودة، المبين بالشكل (5-25).

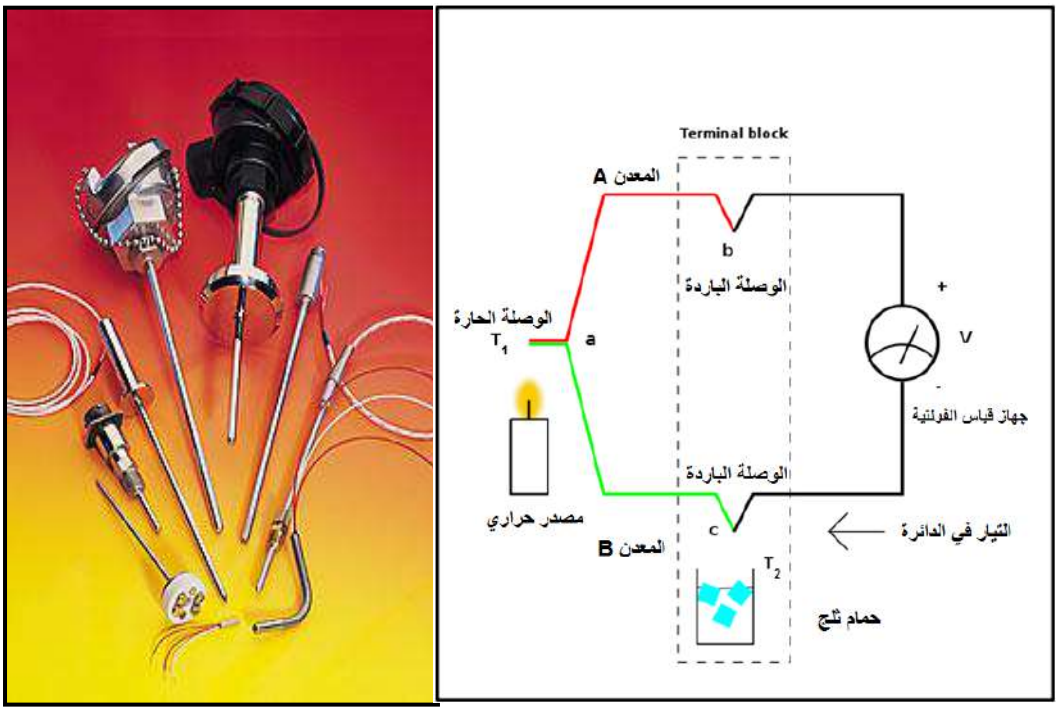


الشكل 5-25 المحرار الزئبقي

ب- المزدوج الحراري (Thermo Couple):

وهو يستخدم بكثرة في الهندسة الكهربائية والصناعية، حيث يقوم بتحويل الاختلافات الحرارية الكامنة إلى اختلافات كهربائية.

يتكون المزدوج الحراري المبينة دائرة قياسه بالشكل (26b-5) من شريطين من معدنين مختلفين في معامل التمدد الطولي (A,B) يثبتان من أحد الطرفين ويشكلان ناقلين للحرارة هما (T_2,T_1) وتعطي المزدوجة قوة دافعة كهربائية مقدارها (E) تعتمد على نوع الناقلين والاختلاف في درجة الحرارة بينهما وتنقل هذه الـ (ق.د.ك) المتولدة إلى دائرة التحكم المبرمج التي تعمل على تشغيل أوإيقاف دائرة أخرى ويتوفر منة عدة أنواع يعتمد على نوع المادة المصنوع منها ومن استخداماته في دوائر التحكم بتكيف الهواء في غرفة المصعد والشكل (26a-5) يبين شكل المزدوج الحراري.

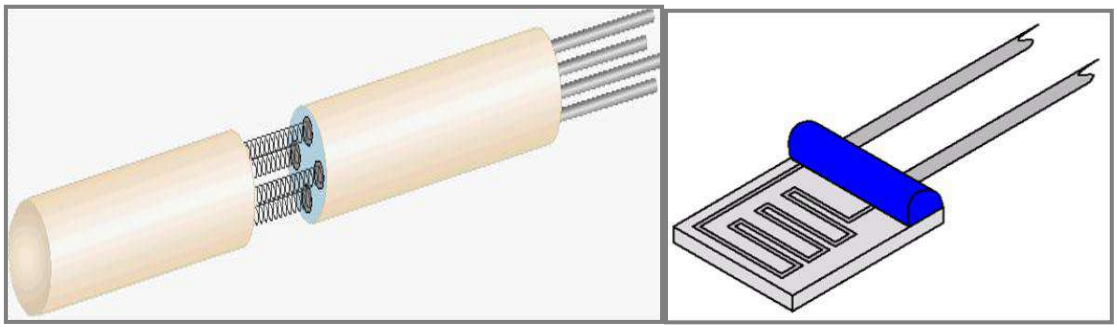


(a) **(b)**

الشكل 26-5 (a) اشكال مختلفة من المزدوج الحراري (b) دائرة المزدوج الحراري

ج- المقاومة الحرارية (كاشف الحرارة ذو المقاومة TDR) (Temperature Detector Resistance):

وهي اداة تتغير مقاومتها بدلالة درجة الحرارة وتصنع من معدن ذي معامل حراري كبير لزيادة حساسيته وتكون ذات معامل حراري موجب (Position Temperature Coefficient) (PTC) حيث تزداد المقاومة بزيادة درجة الحرارة وتتميز بأنها ذات آستقرارية للخرج ولمدة زمنية أطول وبالمقارنة مع المزدوج الحراري فإنها أقل مدى للحرارة وذات كلفة أعلى وأقل متانة في البيئة المهتزة وغالباً ما تستخدم لتحسس درجة حرارة ملفات مكائن السحب في المصاعد الكهربائية والشكل (5-27) يبين أشكال مختلفة من المقاومة الحرارية.



الشكل 5-27أنواع مختلفة من المقاومة الحرارية

التطبيقات النموذجية لآختيار الحساس المناسب :

بالنظر لتعدد أنواع الحساسات واستخداماتها لذا يجب أن تؤخذ الاعتبارات التالية عند استخدام أي حساس في تطبيق معين.

1- **خواص الجسم الذي سيتم تحسسه.**
2- **هل المادة المصنوع منها بلاستيكية، معدنية أو حديدية.**
3- **هل سطحه عاكس.**
4- **هل هناك مساحة كافية لتنصيب الحساس.**
5- **ما سرعة الاستجابة المطلوبة.**
6- **ما مسافة التحسس المرغوبة.**
7- **ما الدقة المطلوبة.**

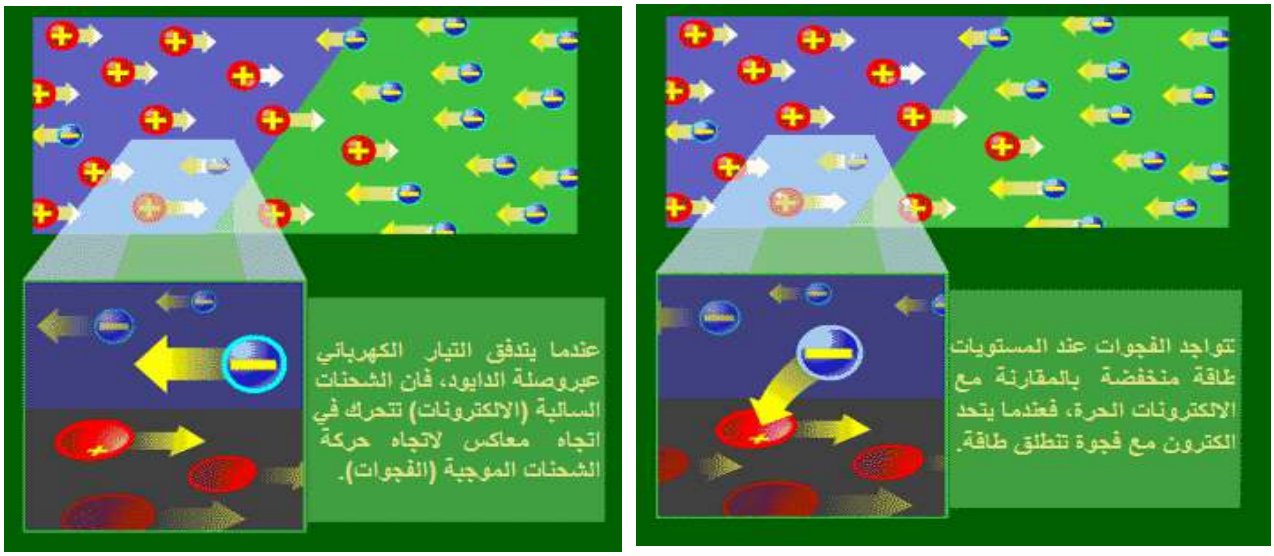
عند الإجابة على هذه التساؤلات ستكون عملية الآختيار سهلة، كما وإن عملية الآختيار تعتمد أيضاً على كلفة الحساس.

5- 3 شاشة العرض الرقمية:

شاشات العرض الرقمية تكون وظيفتها - بالأساس - عرض لأعداد أو حروف لمعلومات مقاسه بأجهزة القياس الرسمية تستخدم فيها وحدات (مبينات) لعرض أو أظهار الحروف أو الأرقام بشكل مضيء من خلال ثنائي ضوئي (LED)(Light Emitting Diode) يمكن رؤيته حتى في الظلام. وإن وحدات العرض الأكثر شيوعا بالاستخدام هي ما تسمى وحدات العرض ذوات السبع شرائح (Seven segment display).

الثنائي الضوئي (LED) :

إن فكرة عمل الثنائي الباعث للضوء LED (Light Emitting Diode)هي إصدار الضوء من خلال حركة الالكترونات في داخل مواد من أشباه الموصلات وإن الضوء المنبعث عبارة عن طاقة تنتج من الذرة في صورة أشباه جسيمات تسمى (الفوتونات) المبينة بالشكل (5-28).

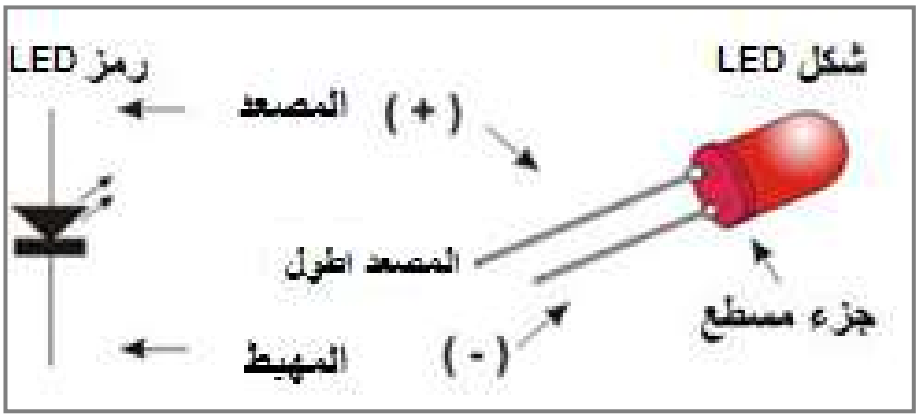


شكل(5-28) انبعاث الفوتون

والشكل (5-29) يبين شكل وتركيب الثنائي الضوئي (LED) حيث نلحظ بأنه عبارة عن لمبة ضوء الكترونية لاتحتوي على فتيلة ولا تسخن كما في المصابيح الكهربائية ويتكون الثنائي من مصعد (Anode) ومهبط (Cathode).

شكل 5-29 ثنائي ضوئي (LED)

وهناك طريقة بسيطة لمعرفة المهبط من المصعد بأن سلك المصعد (Anode) الخارجي أطول من سلك المهبط (Cathode)، كما في الشكل (5-30).

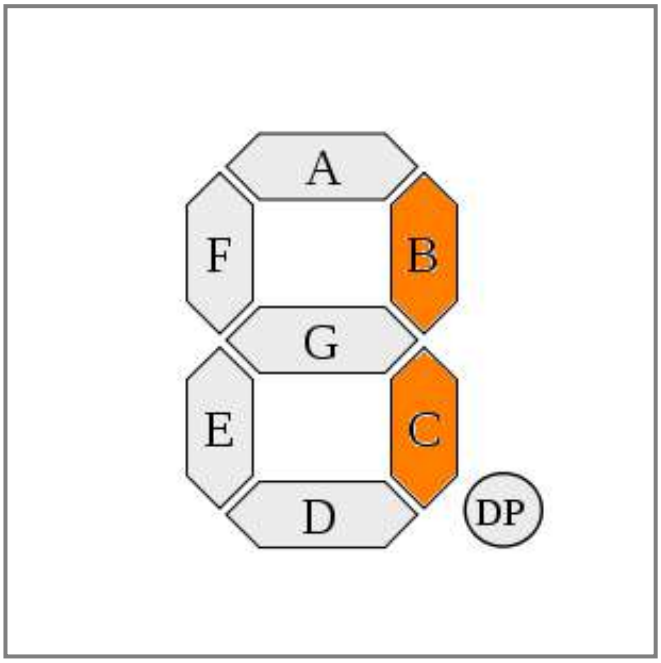


شكل 5-30رمز الثنائي الضوئي

وللثنائي الضوئي ميزات كثيرة يتفوق بها عن الوسائل المعتادة للإضاءة فاستهلاكه للقدرة الكهربائية قليل وعمره طويل ويتحمل الصدمات والاهتزازات وهو صغير الحجم.

وحدات العرض ذات السبع شرائح (Seven segment display) :

هي وحدات لعرض الأعداد تستخدم سبع ثنائيات ضوئية (LED) على شكل أشرطة أو شرائح مرتبة ثلاث منها أفقية بطريقة بحيث يمكن استخدامها في عرض الأعداد من (0 إلى 9)(وقد نحتاج إلى شريحة ثامنة كعلامة عشرية) وتتشكل الأرقام من خلال إضاءة اثنانأو أكثر من هذه الشرائح المبينة بالشكل (5-31).



شكل 5-31 وحدات العرض ذات السبع شرائح ضوئية

أنواعها :

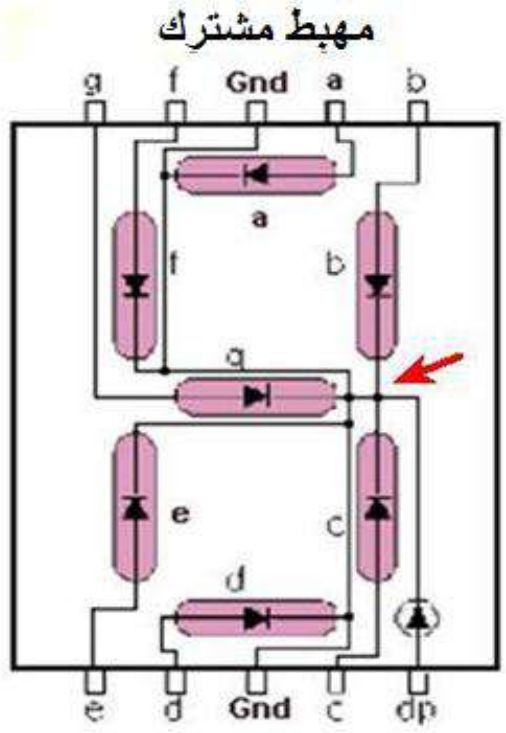
لغرض تقليل عدد التوصيلات إلى العناصر فإن جميع الثنائيات تجمع من أحد طرفيها في مشترك وبذلك تقل التوصيلات من (14 إلى 8)، وهناك نوعان.

1- العرض بمهبط مشترك (The Common Cathode Display) (CCD)

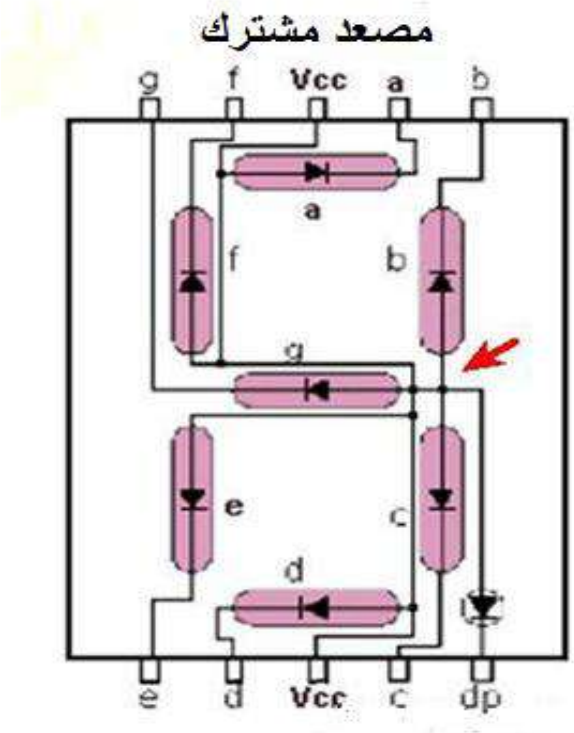
وفيه تجمع أطراف الكاثود معا، كما مبين في الشكل رقم (32a-5).

2- العرض بمصعد مشترك (The common anode display) (CAD)

وفيه تجمع أطراف المهبط معا، وتوصل مع بعضها، كما مبين في الشكل رقم (32b-5).

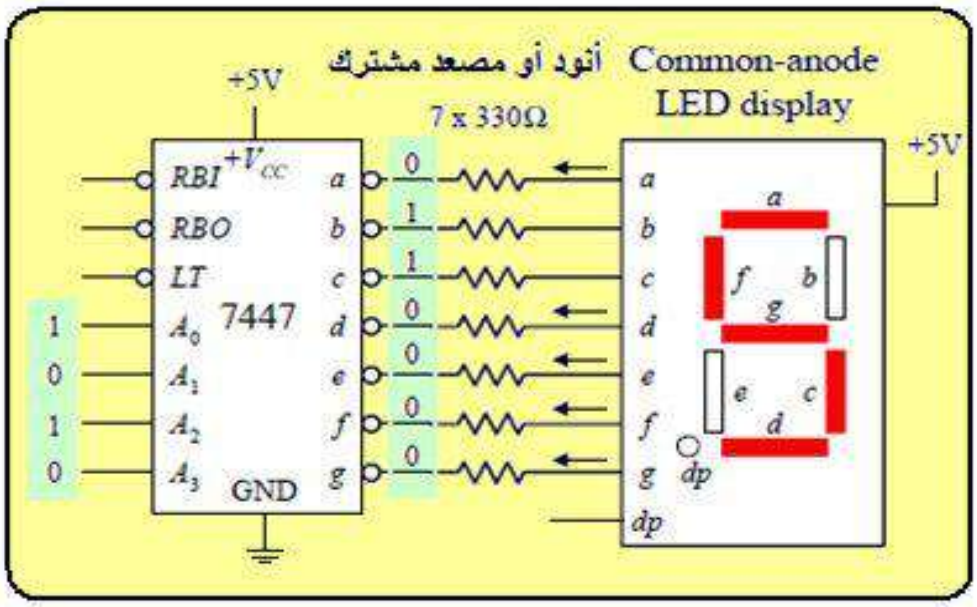


شكل 32a-5 العرض بمهبط المشترك



شكل 32b-5 العرض بمصعد المشترك

ولتغذية القطع السبعة على المصعد المشترك (CAD)، يتم توصيل المصعد المشترك إلى الجهد الموجب وكل قطعة تغذى بالجهد السالب على مهبطها، وفي حالة المهبط المشترك يوصل بطرف الجهد السالب، ويتم تغذية كل قطعة بالجهد الموجب على مصعدها، ويجب أن تكون مقاومة كهربائية موصلة على التولي مع كل ثنائي ضوئي لتوفير قيمة آمنة للتيار المار فيه، والمبينة في الشكل (33-5).



شكل 5-33 توصيل المقاومات الكهربائية مع الثنائيات الضوئية في لوحة العرض ذات الشرائح السبعة

ولهذه الوحدات تطبيقات عديدة في مجال الألكترونيات وتدخل في تركيب العديد من الأجهزة الحديثة وأجهزة التلفزيون والساعات الرقمية وإشارات المرور والمبينات داخل وخارج عربة المصعد الكهربائي لبيان رقم الطابق واتجاه حركة المصعد.

اسئلة الفصل الخامس

س[1]- عدد مكونات ترانزستور تأثير المجال (JFET).

س[2]- إشرح عمل ترانزستور تأثير المجال.

س[3]- أذكر نقاط التشابه والاختلاف بين ترانزستور ثنائي القطب (الاعتيادي) وترانزستور تأثير المجال.

س[4]- كيف تتحكم فولتية البوابة في عمل ترانزستور تأثير المجال؟

س[5]- ما الفرق بين ترانزستور تأثير المجال (JFET) و ترانزستور تاثير المجال السليكوني المعدني (MOSFET)؟

س[6]- عدد أنواع الحساسات المستخدمة في الدوائر الكهربائية.

س[7]- إشرح طريقة عمل الحساسات الحثية التقاربية.

س[8]- إشرح طريقة عمل الحساسات الضوئية.

س[9]- إشرح طريقة عمل شاشات العرض الرقمية (الدايود الضوئي) .

س[10]- عدد طريقة ربط الثنائيات الضوئية في عارضة القطع السبعة.

س[11]- لماذا نوصل مقاومات على التوالي مع الثنائي الضوئي في عارضة القطع السبعة؟

س[12]-أخترالإجابة الصحيحة :

أ- الذي يسيطر على مستوى(I_d) في ترانزستور تأثير المجال :

- V_{gs}
- V_{ds}
- I_g
- V_{gs}

ب- ترانزستور تأثير المجال هو :

- قناة-N
- قناة-P
- قناةP-N
- قناة-N و قناة-P

ج- ما الترانزستور الذي فيه نوعا الاستنزاف والتعزيز:

- الترانزستور الثنائي القطبية (BJT)
- ترانزستورتأثير المجال ذو الوصلة(JFET)
- ترانزستورتأثير المجال ذو البوابة المعزولة (MOSFET)

د- أطراف ترانزستورتاثير المجال هي :

- بوابة
- مصدر
- مصرف
- جميعها أعلاه

هـ - مقاومة الدخل لترانزستور تأثير المجال حوالي :

- 10اوم إلى 1 كيلواوم
- 1 كيلواومإلى 20 كيلو اوم
- 50 كيلواومإلى 100 كيلواوم
- 1ميكااوم إلى عدة مئات من الميكااوم

س13- أملأ الفراغات الآتية :

أ- الترانزستورBJT جهاز يتحكم به عن طريق ..... وترانزستورتأثير المجال ذو الوصلة (JFET) يتحكم به عن طريق ..... .

- الفولتية، الفولتية
- الفولتية، التيار
- التيار، الفولتية
- التيار، التيار

ب- ترانزستور(BJT) جهاز ..... القطبية وترانزستورتأثير المجال(FET) ..... القطبية

- أحادي، ثنائي
- أحادي، أحادي
- ثنائي، أحادي
- ثنائي، ثنائي

ج- أطراف ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة هي .....، ..... و ..... .

- بوابة، باعث، جامع
- قاعدة، ،باعث، جامع
- بوابة، مصرف، مصدر
- بوابة، مصرف، باعث

د- مستوى Vgs يؤدي إلىId=0 عندما ..... Vgs=.

- Vgs (off)
- Vp
- Vds

هـ - أهم خاصية لترانزستور تأثير المجال هو ممانعة ..... .

- الدخل قليلة
- الدخل متوسطة
- الدخل عالية

و - الترانزستور الأكثر جهاز أهمية الذي صمم للدخول معظم الدوائر الحديثة المتكاملة هو .....

- MOSFET
- BJT
- JFET

ز - الحساسات التقاربية المغناطيسية تتكون من .....، ..... .

- مشغل، مذبذب
- صندووق مفاتيح، أنبوب زجاج
- مغناطيس دائم، أنبوب زجاجي
- ملف، مقاومة

ح - الحساسات الحثية التقاربية تكشف عن الاجسام .....

- الشفافة
- اللدائن
- المعادن
- الزجاج

ط - الحساسات الحثية التقاربية تولد مجالاً ..... بينما الحساسات السعوية تولد مجالاً .....

- كهروستاتيكياً، كهرومغناطيسياً
- كهرومغناطيسياً، كهروستاتيكياً
- لايوجد احد منها

ي - الثنائي الضوئي (LED) عبارة عن ..... .

- لمبة ضوئية لاتحتوي على فتيلة
- لمبة ضوئية تحتوي على فتيلة
- مصباح كهربائي

ك - وحدات العرض ذات السبع شرائح تحتوي على ..... ثنائي ضوئي على شكل أشرطة مرتبة ..... أفقية ..... عمودية.

- 2 ،4 ،7
- 1 ،3 ،5
- 4 ،3 ،7
- 7 ،4 ،3

ل - ترانزستور تأثير المجال (MOSFET) من نوع (Enhancement) عادة يكون في حالة..... بينما نوع (Depletion) يكون في حالة .....

- off.On
- Off .Off
- On .On
- on. Off

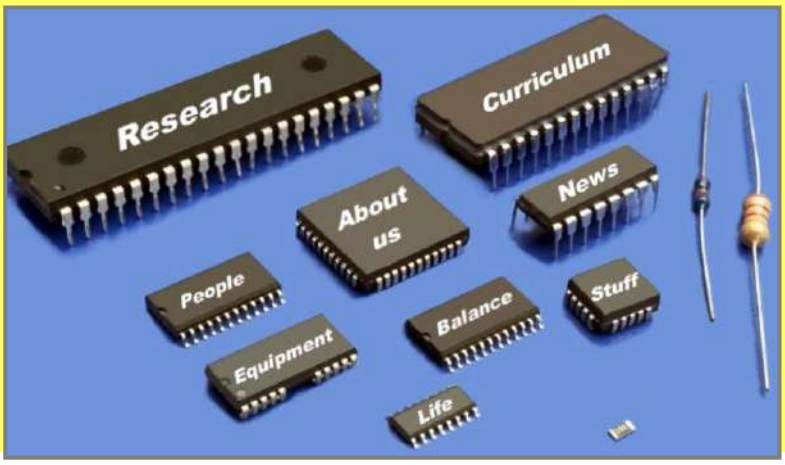
م - طرف البوابةGateلترانزستور تأثير المجال (MOSFET)يعزل بطبقه خفيفة من ..... .

- Sio
- Sio2
- ليس واحده منها

س14- أشتق معادلة لحساب تيار المصرف (I_D) لترانزستور تأثير المجال؟

الفصل السادس

الدوائر المتكاملةIntegrated Circuit



الأهداف :

يكون الطالب بعد دراسة الفصل قادراً على أن :

1 ـ يتعرف على كيفية بناء الدوائر المتكاملة.

2 ـ يتعرف على استخدام الدوائر المتكاملة في مكبر العمليات.

المحتويات

المفردات:

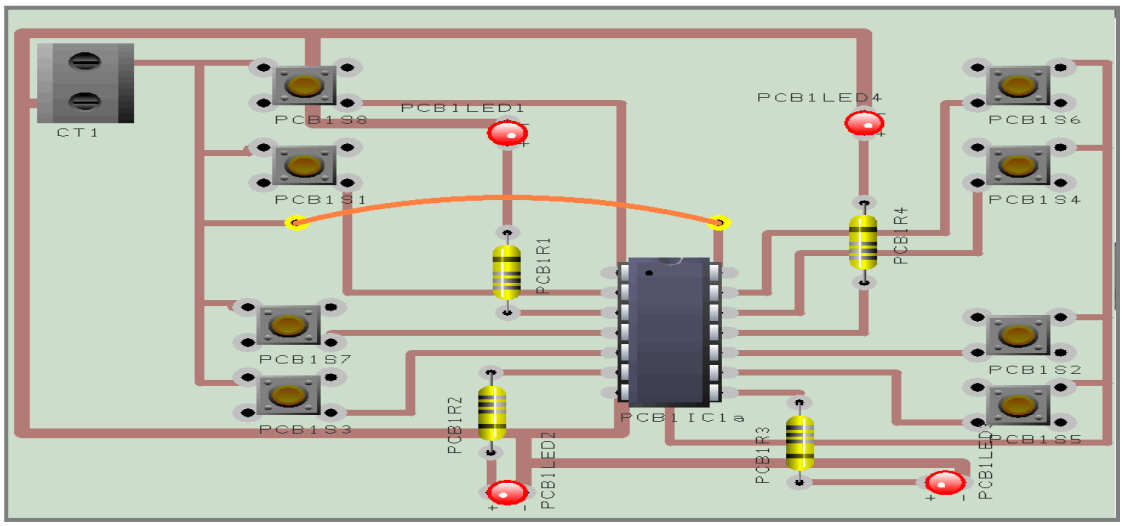
1-6مقدمة عن الدوائر المتكاملة وكيفية صنعها لـ (مقاومات، متسعات، ملفات) .

2-6مكبر العمليات (741)

3-6 تطبيقات مكبر العمليات وتشمل:

أ- المكبرات الخطية.

ب- المكبرات الغير خطية.

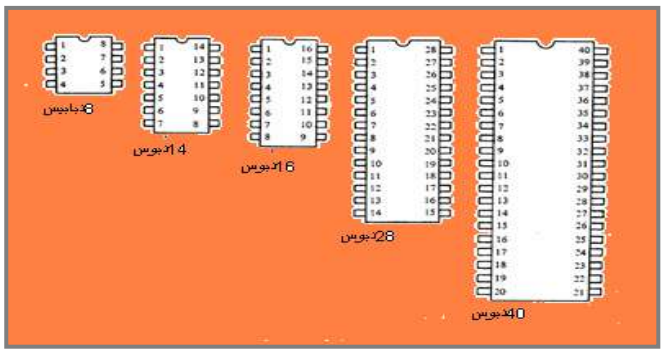


الدوائر المتكاملة (IC) (Integrated Circuits):

المقدمة:

إن الترانزستور في حجمه الحقيقي يكون صغيراً جداً، إلا أن حجمه الخارجي هو عدة أضعاف حجمه الحقيقي لأن حجم الغلاف هو أكبر بعدد من المرات من حجم القطعة الفعالة التي تشكّل الترانزستور ،وقد اتجهت البحوث بأن تجميع عدد من الترانزستورات مع ملحقاتها من المقاومات والمكثفات بحيث تعمل عمل دائرة الكترونية معينة داخل غلاف واحد يسمى (دائرة متكاملة)(Integrated Circuits) ويرمز لها (IC)كما مبين في الشكل (6 -1) وتتخذ الدوائر المتكاملة إشكالا مختلفة أكثرها رواجاً هي الأنواع الموضوعة في أغلفة بلاستيكية أو خزفية وتتصل مع المكونات الخارجية بتوصيلات على شكل صفوف مزدوجة من التوصيلات الخارجية (دبابيس) ويبين الشكل (6 - 2) بعض أشكال الدوائر المتكاملة التي يتراوح أعداد دبابيسها بين (8 و 40) دبوس مع بيان طريقة ترقيمها وتتخذ كل دائرة متكاملة رقما يدل على العمل الذي تقوم به.

شكل 6 – 1 الدائرة المتكاملة



شكل 6 – 2 بعض أنواع الدوائر المتكاملة

تصنف الدوائر المتكاملة تبعاً للوظائف التي تقوم بها إلى مجموعتين رئيستين هما: الدوائر الخطية والدوائر الرقمية.

أ- الدوائر المتكاملة الخطية:

الدوائر المتكاملة الخطية : هي الدوائر التي تكون فيها النسبة بين إشارة الدخل والخرج ثابتة (عامل التكبير) ومنها:

1- مكبرات التشغيل (Operational Amplifiers).

2- منظمات الجهد المتكاملة.

3 - المؤقتات الزمنية المتكاملة.

ب - الدوائر المتكاملة غير الخطية:

الدوائر المتكاملة غير الخطية: هي الدوائر التي تكون فيها فولتية الخرج موجبة أو سالبة تعتمد على مقدار الفرق بين جهد المدخلين ومنها:

1- الدوائر المنطقية المتكاملة.

2- دوائر العدادات المتكاملة.

3- ذاكرة الخزن المؤقتة .

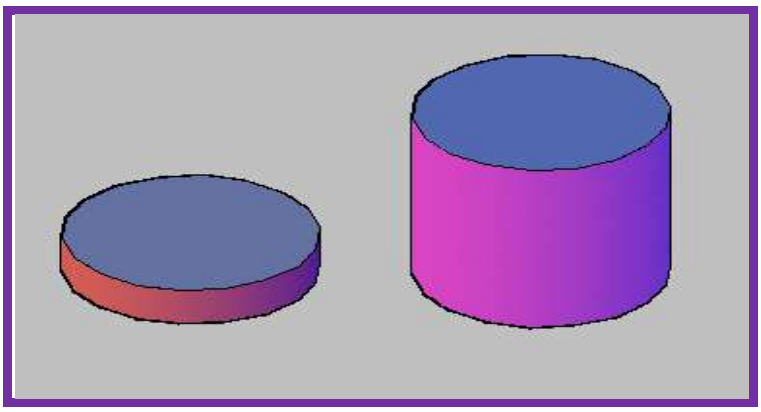
6- 1 تصنيع الدوائر المتكاملة:

إن إحدى الطرق الرئيسة في تصنيع الدوائر المتكاملة هي طريقة الانتشار التي يتم فيها تصنيع الدوائر المتكاملة أحادية البلورة، التي تعتمد تقنية الانتشار في المستوى الواحد (Diffused Planar) وفيما يلي فكرة موجزة عن الخطوات الرئيسة لتصنيع نموذج بسيط لدائرة متكاملة تحتوي على ترانزستور واحد، هذه الفكرة تنطبق على الدوائر المتكاملة الأكثر تعقيداً.

1- يتم تنقية السليكون المستعمل في صناعة الدوائر المتكاملة بحيث نحصل على سليكون نقي جداً تزيد نقاوته على (99.99 %) .

3- نأخذ الشريحة النقية ونحولها من سليكون نقي نوع الموجب(p–Type) أو النوع سالب (N - Type) ويتم ذلك بصهر السليكون وإضافة الشوائب.

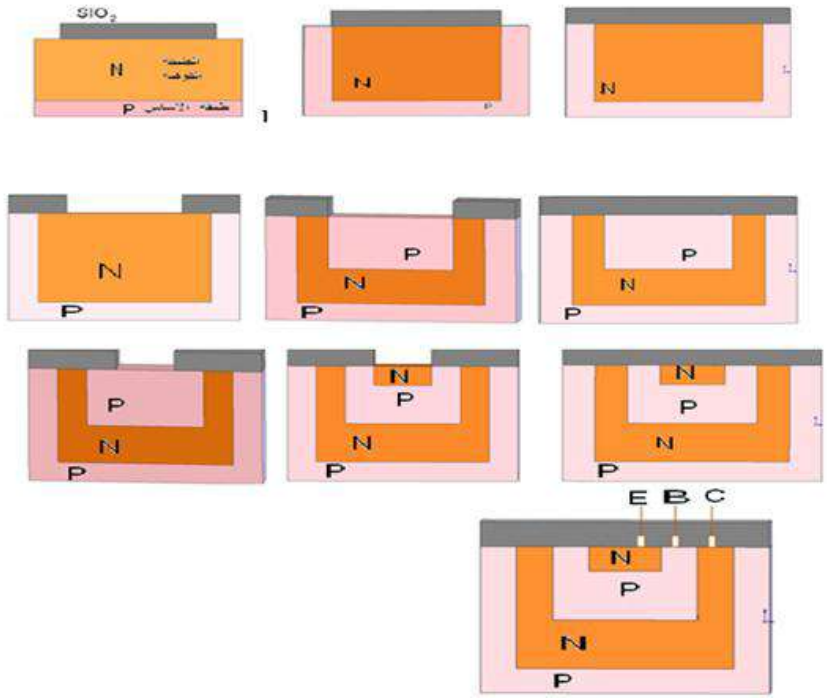
3- تقطع الأسطوانة إلى رقائق (Wafers) ذات سمك حوالي ربع مليمتر وتصقل جيداً لتستعمل كطبقة أساس (Substrate) التي ينمى فوقها عناصر الدائرة المتكاملة، حيث يمكن صنع عشرات الدوائر المتكاملة وقد تصل إلى المئات فكل دائرة متكاملة تشغل مساحة قد تكون أجزاء المليم .



شكل 6 ـ 3 تقطيع الأسطوانة إلى رقائق

4- توضع الرقائق في فرن ويسلط عليها مزيج غازي من ذرات شوائب مادة مانحة (خماسية التكافؤ) فتتكون فوق طبقة الأساس طبقة رقيقة من نوع سالب (N – Type) التي يبلغ سمكها بضع مايكرون ولحماية هذه الطبقة من التلوث ينفخ سطحها بغاز الأوكسجين النقي فتكون الطبقة الاوكسيدية العازلة.

5- يتم تكوين طبقات رقيقة بطرق مختلفة إلى أن يتم تكوين جميع أجزاء الترانزستور، وكما مبين في الشكل (6 - 4).

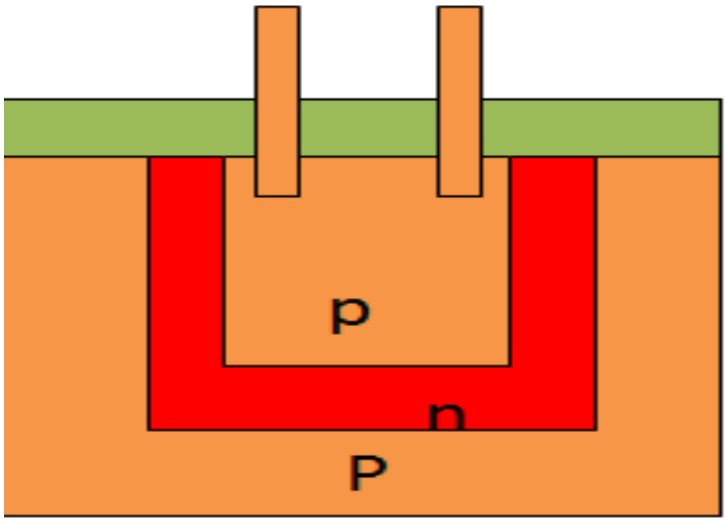


شكل 6ـ 4 مراحل تصنيع الدائرة المتكاملة

صناعة القطع غير الفعالة (Passive Components):

أولاً / صناعة المقاومات:

أن البلورة سواء أكانت موجبة أم سالبة تمتلك مقاومة، فمثلا في الشكل (6 - 5) تعتمد قيمة المقاومة بين (أ) و(ب) على عاملين رئيسين هما: المسافة بين (أ) و(ب) ومقدار الشوائب بحيث يمكن الحصول على مقاومة بهذه الطريقة من (20) أوم إلى (20000) أوم . أما ما يحيط بالمقاومة فهي وصلة لعزل المقاومة.



ثانياً / صناعة المتسعات :

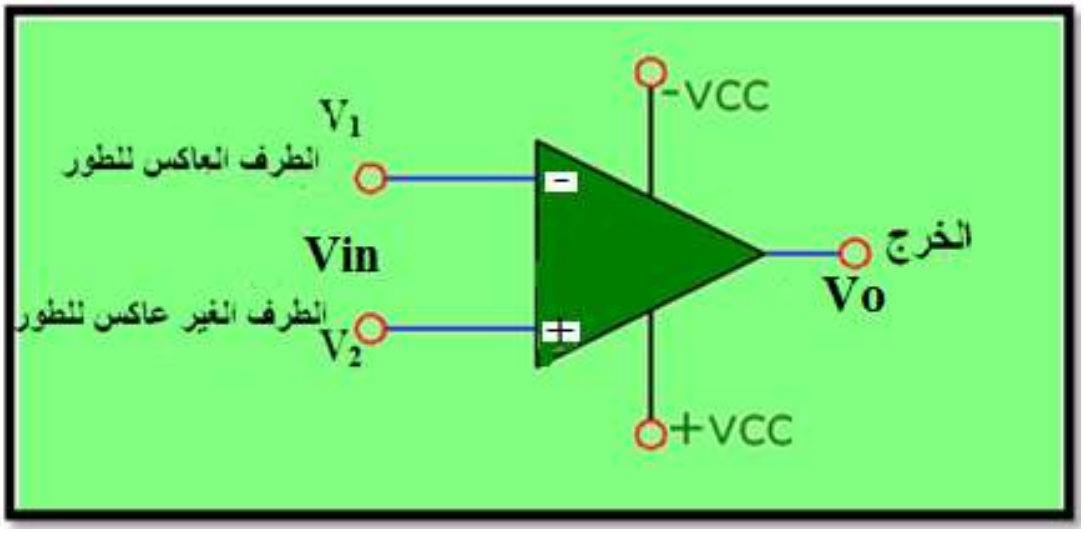
إن وجود الوصلة (الموجبة السالبة) المنحازة عكسياً وبتحديد الانحياز المطلوب لتحديد سعة هذه الوصلة يمكن الحصول على سعات مختلفة وحسب الانحياز، ولكن لا تتعدى (100) بيكوفاراد . أما في حالة استعمال طبقة أوكسيد السليكون بين لوحي الألمنيوم نحصل على سعات تصل إلى بضع مئات البيكوفاراد.

ثالثا / صناعة الملفات:

تصنع الملفات من الأغشية الرقيقة (Thin Film) على شكل دوائر أو مربعات لموصل ملفوف حلزونياً على طبقة عازلة فوق طبقة الأساس.

6 - 2 مكبرات العمليات (Operational Amplifiers) (OP):

يعد مكبر العمليات من الدوائر المتكاملة الخطية ويستعمل المكبر في جميع الأجهزة الالكترونية التماثلية والرقمية وفي العمليات الحسابية (الجمع والطرح والتفاضل والتكامل وقلب الإشارة) والتوافق بين الدوائر الالكترونية (Buffer) وأجهزة التحكم التي تعتمد في طريقة تشغيلها على حساسات ذات خرج كهربائي متدني الجهد مثل: حساسات الضوء ودرجة الحرارة والضغط والرطوبة والسرعة والدخان وغيرها ومن أهم وظائف مكبرات التشغيل هي تكبير هذا الجهد المنخفض بنسبة عالية تكفي للاستفادة منها في تشغيل دوائر التحكم وللمكبر دخلان وخرج واحد، كما مبين في الشكل (6 - 6).



شكل 6 – 6 مكبر العمليات

خواص مكبرات العمليات:

تمتاز مكبرات العمليات بالمواصفات الآتية:

1 - خرج مكبر العمليات(V_{out}): هو عبارة عن الفرق بين كل من الجهدين(V_1 وV_2) الموجودين على طرفي الدخل مضروباً في معامل التكبير(A_V) ويمكن كتابة جهد الخرج (V_{out}) كالآتي :-

$$V_{out} = A_v(V_2 - V_1) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

إذا كان (V_1) يساوي صفراً، فإن الخرج (V_{out}) يكون:

$$V_{OUT} = A_V V_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

أما إذا كان (V_2) يساوي صفراً، فإن الخرج (V_{out})يكون

$$V_{OUT} = -A_V V_1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

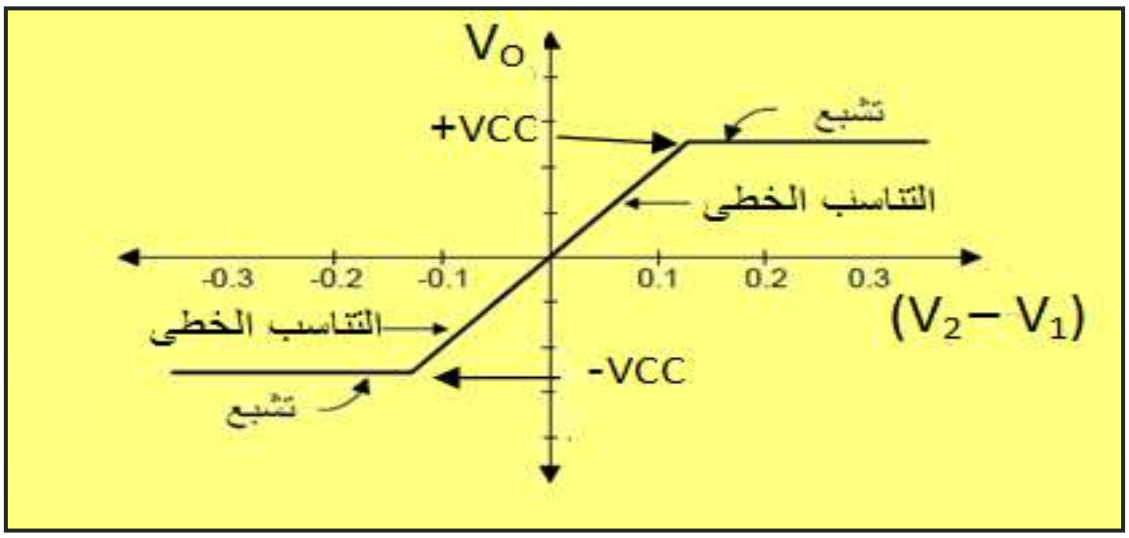
المعادلتان (2، 3) توضح إذا كان جهد موجب على المدخل (V_2) يعطي في الخرج جهداً موجباً، وأما إذا كان هناك جهد موجب على المدخل (V_1) فإنه يعطي جهداً سالباً في الخرج نتيجة لوجود الإشارة السالبة لذلك فإن المدخل (V_1) عادة يسمى (الدخل العاكس) والدخل (V_2) يسمى (غير العاكس) ويكون مقدار عامل التكبير (A_V) بحدود (100000) .

2 - مقاومة الدخول (R_I) عالية بحدود (10^6-2) ميكا أوم ومقاومة الخروج (R_o) منخفضة بحدود (10 - 100) أوم، مما ينتج عنها استهلاك قليل للقدرة لذا يمكن إهمالها.

3- يكون خرج المكبر إشارة معكوسة لإشارة الدخول (Inverting)(بفرق طور 180˚) ويمكن أن تخرج بنفس الطور (Non – Inverting) (غير معكوسة أي بنفس الطور) وذلك يعتمد على نوع التوصيل للإشارة على المدخلين (V_1 وV_2).

4- عرض الحزمة الترددية لمكبر التشغيل عالٍ يصل إلى (1) ميكا هيرتز .

5- يكون جهد الخرج (V_o) في حالة التشبع سواء أكان الموجب أم السالب ويصل مقداره في الحالات العملية إلى حوالي (80 %) من جهد مصدر التغذية، كما هو مبين في الشكل (6 - 7).



شكل 6 -7 منحني الخواص لجهد الخرج بالنسبة لجهد تغذية الدوائر مكبر التشغيل

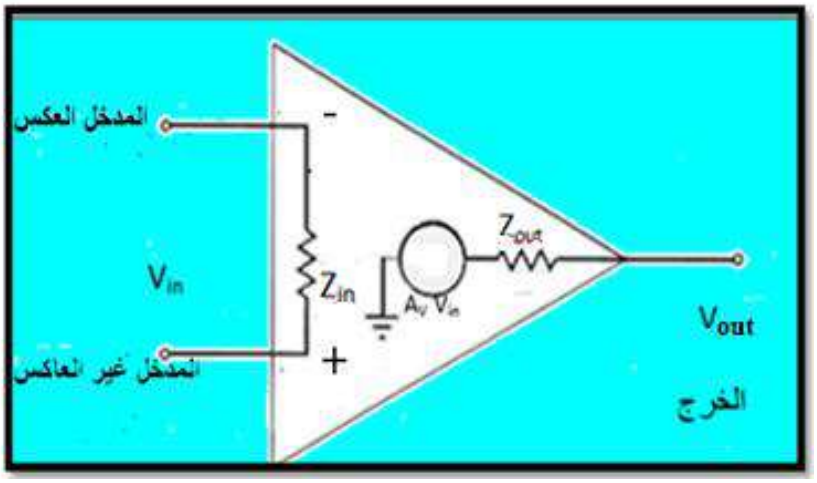
الدائرة المكافئة لمكبر العمليات:

يبين الشكل (6-8) الدائرة المكافئة لمكبر العمليات العملي وتتكون من:

- دائرة الدخل (Input Circuit): وهي ذات ممانعة دخل عالية نسبياً، وفيها فولتية الدخل (V_{in}) تساوي الفرق بين إشارة المدخل غير العاكس (V_1)، وإشارة المدخل العاكس (V_2) ويسري عبر هذه الدائرة تيار الدخل (I_{in}) .
- دائرة الخرج (Output Circuit): وهي ذات ممانعة خرج صغيرة نسبياً، وتعطي فولتية الخرج كحاصل ضرب فولتية الدخل (V_{in}) في معامل التكبير (Au) ، أي أن:

$$V_{OUt}=V_{in} \times Au$$

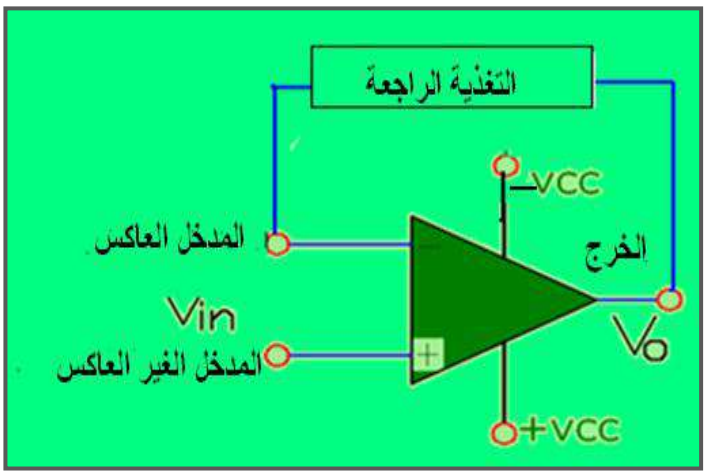
ويسري عبر هذه الدائرة تيار الخرج (I_{out}).



شكل 6 ـ 8 الدائرة المكافئة لمكبر العمليات

التغذية العكسية السالبة (Negative Feedback) :

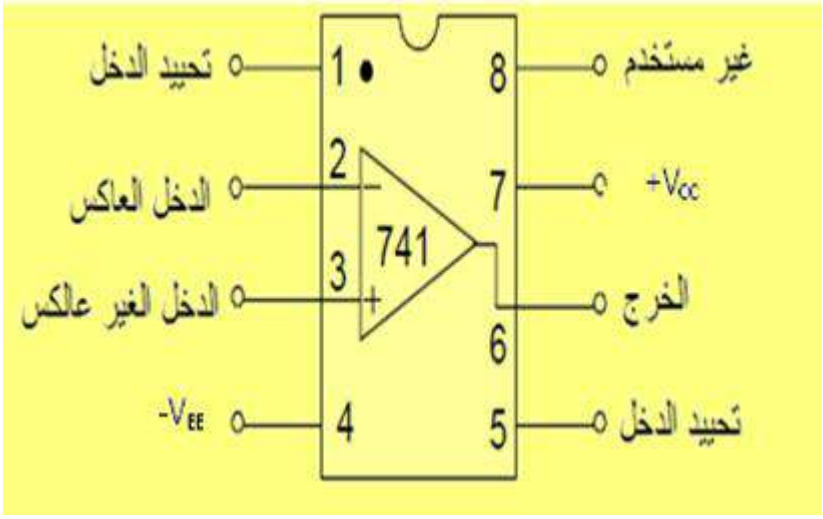
نظراً لأن معامل التكبير لمكبر العمليات ذو قيمة كبيرة جداً، فإنه من السهل وصول مكبر العمليات إلى حال التشبع عند وجود اختلاف بسيط بين قيم المدخلين العاكس وغير العاكس. ولتلافي وصول مكبر العمليات إلى حال التشبع، يتم استخدام التغذية العكسية السالبة (Negative Feedback)، بربط مخرج مكبر العمليات بالمدخل العاكس، كما في الشكل (6- 9) وبذلك تصبح فولتية المدخل العاكس مساوية لفولتية الخرج، وعندما تصبح فولتية المدخل العاكس مساوية لفولتية المدخل غير العاكس، يكون مكبر العمليات في حال أتزان، ولا يصل إلى حال التشبع وفي هذه الحالة فإن قيمة معامل التكبير يمكن أن تقل. يستخدم مكبر العمليات غالباً بتغذية عكسية سالبة، إلاّ في حالة عمله كمقارن (Comparator)، فإنه يكون دون تغذية عكسية، كما ستتعرف لاحقاً في التطبيقات العملية.



شكل 6 - 9 التغذية العكسية لدائرة مكبر العمليات

6 – 2 مكبر العمليات (Op -- Amp 741):

يعد مكبر العمليات (741) من أوسع المكبرات استعمالا في تطبيقات الدوائر الالكترونية، حيث يبين الشكل (6 - 10) نقاطاً للتوصيل الخارجية، ولكل واحدة منها وظيفة معينة .



شكل 6 – 10 مكبر العمليات رقم 741

وندرج أدناه عمل نقاط التوصيل لمكبر العمليات (741):

1 ـ دائرة الإدخال:

يحتوي المكبر على مدخلين هما : نقطة التوصيل (2 و3) ، حيث تعد نقطة التوصيل (2) هي المدخل العاكس (InputInverting) ويؤشر بعلامة (-) أما نقطة التوصيل (3) فهي الدخل غير العاكس (InputNon –Inverting) .

2 ـ خرج المكبر:

نقطة التوصيل (6) هي خرج المكبر (Out put) وتكون على شكل فولتية مستمرة أو إشارة تعتمد على خواص الدائرة وإشارة الدخل وإن أعلى قيمة لفولتية الخرج (Out put Voltage) هي بحدود (±14) فولت عندما يوصل إلى مصدر التغذية الأول (V_{cc}) وقيمته (14) فولت ومصدر التغذية الثاني (V_{EE}) وقيمته (14-) فولت.

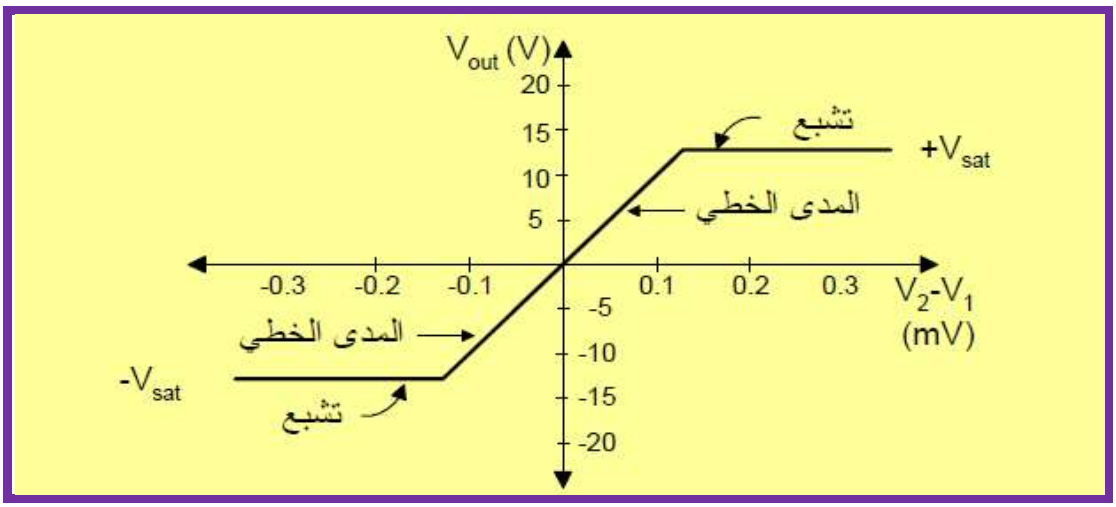
3 ـ فولتية التشغيل :

يجهز مكبر العمليات بفولتية تشغيل مستمرة موجبة إلى نقطة التوصيل (7) وفولتية مستمرة سالبة إلى نقطة التوصيل (4) وإن مقدار فولتية التشغيل الموجبة والسالبة تكون (9إلى 30) فولت .

4 ـتحييد فولتية الخرج (Zero Adjust for Measurement):

عند استعمال المكبر في دوائر أجهزة القياس الدقيقة توصل نقاط التوصيل (1و5) إلى مقاومة متغيرة وتغذى بفولتية سالبة من نقطة التوصيل (4) وبتغير المقاومة حتى يكون الخرج مساوياً إلى الصفر عندما تكون دائرة الإدخال مفتوحة (غير موصلة) .

ولمكبر741 معامل تكبير قدره (100000) وله قدرة قصوى قدرها (0.5) واط ويبين الشكل (6 - 11) خواص المكبر (741) في دائرة مفتوحة .

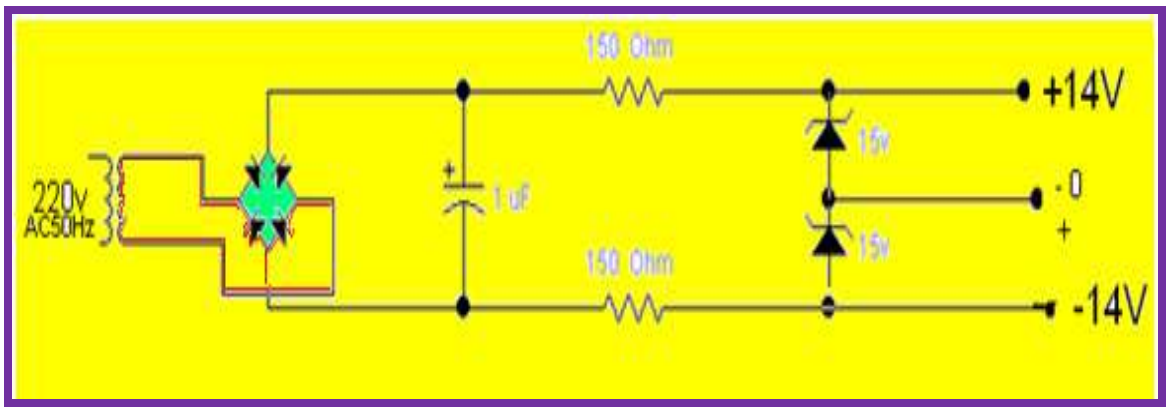


شكل 6 ـ 11 مخطط لعلاقة خرج المكبر مع الإشارة الداخلة

يعد هـذا المكبـر مـن الجيـل الثـاني لمكبـرات العمليـات، يحتـوي علـى دائـرة حمايـة مـن دائـرة القصـر (Short- Circuit Protection)وتـم إدخـال صنـاعة المتسـعة فـي الـدائرة الداخليـة للمكبـر نـوع (MOS)وبسعة مقدارها (30) بيكو فاراد ويمتاز المكبر بممانعة إدخال عالية تصل إلى (1) ميكا أوم وممانعة الخرج قليلة تصل إلى(75) أوم .

مجهز فولتية تشغيل مكبر العمليات (741):

إن دوائـر المكبـر تحتـاج إلـى تجهيـز فولتيـة لتشـغيل أجـزاء الـدائرة يتكـون مـن مجهـز فـولتيتين (موجبة وسالبة) بقدرة صغيرة، حيث يتكون من محولـة جهد خافضة وموحد موجة كاملة على شكل قنطرة ومتسعة وزينر عـدد (2) يعمل على تثبيت الجهد عند (15) فولت وهـي فولتية تشغيل المكبر، كما هو مبين في الشكل (6-12) .



شكل 6 – 12 دائرة تجهيز فولتية التشغيل لمكبر العمليات 741

6 - 3 تطبيقات مكبر العمليات Application (Op - Amp):

أ- تطبيقات مكبر العمليات في الدوائر الخطية :

1-دوائر تحويل الفولتية إلى تيار (Voltage to Current Converter).

2-دوائر تحويل التيار إلى فولتية(Current to Voltage Converter) .

3-دوائر التنغيم وتكبير الإشارة المرئيةTuned (and Video Amplifier).

4-أجهزة التيار المستمر(DC Instrument) ، (تابع الفولتية Voltage Followers).

5-المرشحات الفعالة (Active Filters) .

6-أجهزة التوازن (Delay Equalizer) .

ب- تطبيقات مكبر العمليات في الدوائر غير الخطية :

1 ـ مكبرات التضمين (*Amplitude Modulation*).

2 ـ المكبرات اللوغارتيمية .

3 ـ مضاعفات الإشارة الخطية (*MultiplierAnalog*).

4 ـ دوائر التقطيع (*Sample and Hold Circuits*).

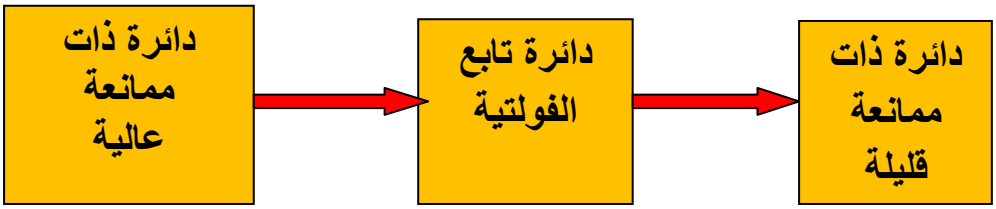
5 ـ دوائر المقارنة (*Comparator Circuits*).

6 ـ مولد الإشارة (*Wave form generation*).

وتوضح الدوائر الآتية بعض التطبيقات لمكبر العمليات :

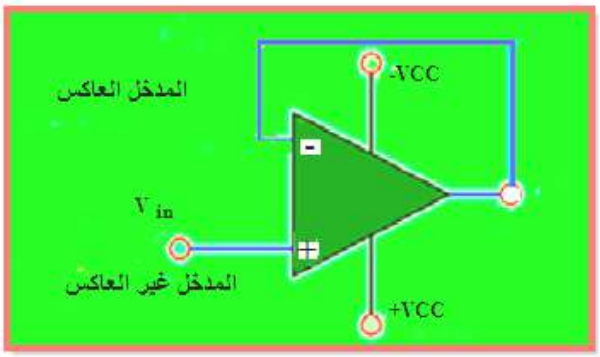
1ـ دائرة تابع الفولتية (Voltage Follower):

يستعمل مكبر العمليات للتوافق بين الدوائر الالكترونية التي لها ممانعة إخراج عالية والدائرة التي تليها ذات مقاومة إدخال قليلة، كما مبين في الشكل (6 - 13).



شكل 6 ـ 13 المخطط الكتلي لتوصيلة دائرة تابع الفولتية

في دائرة التوافق يوصل خرج مكبر العمليات مباشرة مع المدخل العاكس التغذية العكسية السالبة (Negative Feedback) وتوصل فولتية الدخل (V_{in}) إلى المدخل غير العاكس كما مبين في الشكل (6 - 14).



شكل 6 - 14 دائرة تابع الفولتية

وفي هذه الدائرة تكون فولتية الخرج (V_{out}) تساوي فولتية الدخل (V_{in}) وبذلك يكون معامل التكبير (AV) مساوياً إلى واحد كما في المعادلة أدناه:

$$A_V = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 1$$

2 - دائرة المكبر العاكس (Inverting Amplifier Circuit):

تعمل هذه الدائرة على تكبير الإشارة الكهربائية الداخلة أو تصغيرها بالاعتماد على مقاومتين، الأولى الموصلة إلى المدخل العاكس ويرمز لها (R_1) والثانية الموصلة بين الخرج والمدخل العاكس ويرمز لها (R_f)، كما مبين في الشكل (6-14) وإن النسبة بين المقاومة الثانية إلى المقاومة الأولى تسمى بعامل التكبير ويرمز لها (A_V) وتكون إشارة الخرج (V_{out}) عكس إشارة الإدخال (V_{in}) لأن إشارة مطبقة على المدخل العاكس لمكبر العمليات . أما حساب معامل تكبير الفولتية (A_V) من العلاقات الآتية :

التيار المار في المقاومة (R1)

$$\mathbf{I_{in}} = \frac{V_{in} - \mathbf{V_n}}{\mathbf{R_1}} \quad \text{..... (1)}$$

التيار المار في المقاومة (R1)

$$\mathbf{I_f} = \frac{V_o - \mathbf{V_n}}{\mathbf{R_f}} \quad \text{..... (2)}$$

وبتطبيق نظرية توزيع التيارات فإن(I_{in}) يساوي

$$\mathbf{I_{in}} = \mathbf{I_n} - \mathbf{I_f}$$

وكما ذكر سابقا فإن خصائص مكبر العمليات تكون :

1- ممانعة المداخل عالية جداً، لذلك فإن التيارات الكهربائية في المدخلين يساوي صفراُ.

2- قيمة الجهد على المدخلين يساوي صفراً في الحالة المثالية .

لذلك فإن $\mathbf{I_n} = \mathbf{0}$

$$\mathbf{0} V_{\mathbf{n}} =$$

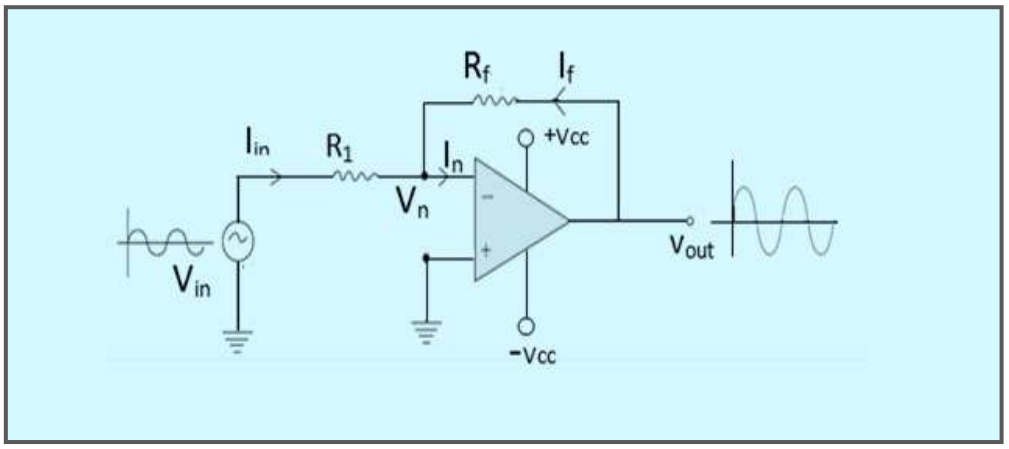
$$\mathbf{I_{in}} = -\mathbf{I_f} \quad \text{..... (3)}$$

وبتعويض المعادلتين (1) و(2) في المعادلة (3) يكون

$$\frac{V_{in}}{\mathbf{R_1}} = -\frac{V_{\mathbf{o}}}{\mathbf{R_f}}$$

$$\frac{V_o}{\mathbf{V_{in}}} = -\frac{\mathbf{R_f}}{\mathbf{R_1}}$$

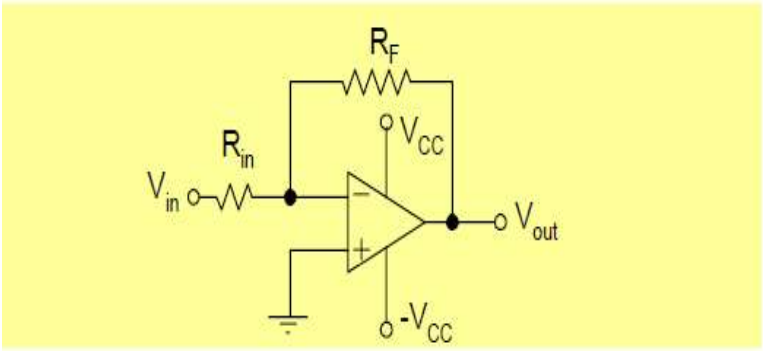
$$A_V = \frac{V_o}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_1}$$



شكل 6 – 15 دائرة مكبر عاكس

مثال6-1:

متحسس حرارة يتراوح جهده من (0 إلى 50) ملي فولت، صمم دائرة تكبير هذا الجهد من (0 إلى 5-) فولت.



$$A_V = -\frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$A_V = -\frac{5}{0.05}$$

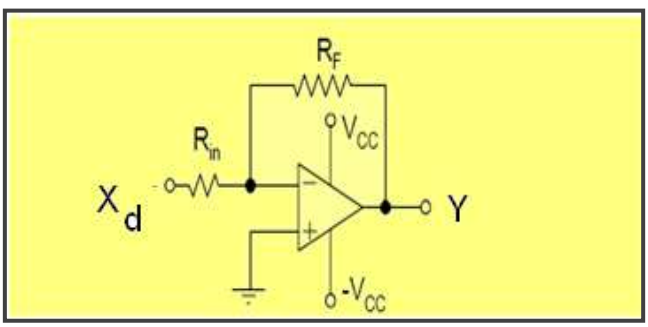
$$A_V = -100$$

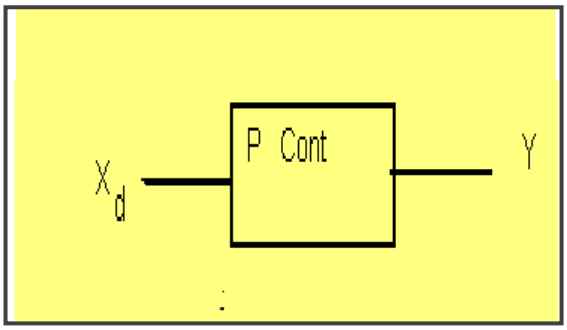
$$A_V = \frac{-R_f}{R_{in}}$$

فإذا اخترنا قيمة المقاومة (R_{in}) تساوي 1K Ω فإن (R_f) تكون :

$$R_f = 1 \times 100 = 100K\ \Omega$$

لهذه الدائرة تطبيقات في أجهزة التحكم وتشغيل المحركات وتدعى بالحاكم التناسبي (Proportional Controllers) وتكون الدائرة كما مبين في الشكل (6 – 15).





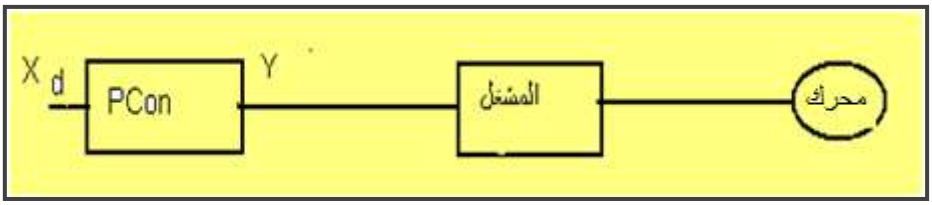
(آ) رمز دائرة التحكم (ب) دائرة التحكم

شكل 6 – 16 دائرة تحكم لتشغيل المحركات

ودائما تكون الفولتية (X_d) مستمرة وبحدود (5) فولت وان جهد الخرج يساوي:

$$Y = -\frac{R_f}{R_{in}} X_d$$

حيث يوصل دائرة التحكم إلى دائرة المشغل ثم إلى المحرك كما مبين في المخطط الكتلي في الشكل (6 - 16).



شكل 6 – 17 دائرة تحكم لتشغيل محرك

يكون معامل التكبير للحاكم التناسبي مساويا إلى:

$$A_V = -\frac{R_f}{R_{in}}$$

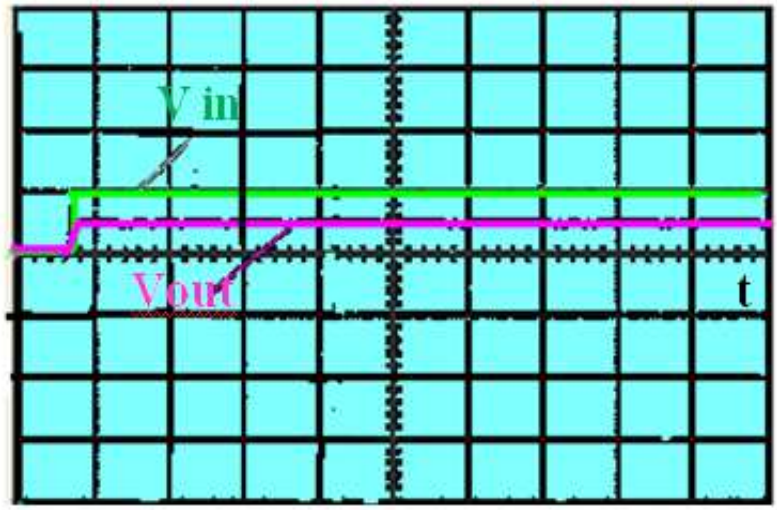
$$\frac{R_f}{R_{in}} \geq 1$$

$$\frac{R_f}{R_{in}} < 1$$

لذلك تكون الفولتية الخارجة مساوية إلى:

$$Y = A_V X_d$$

وكما هو مبين في منحني الاستجابة المبين في الشكل (6 – 17) .



الشكل 6 – 18 منحني الاستجابة للحاكم التناسبي

3- دائرة المكبر غير العاكس Inverting Amplifier Circuit):(Non-

يستعمل مكبر العمليات في هذه الدائرة كما مبين في الشكل (6 - 18) حيث تكون الإشارة على المدخل غير العاكس (V_{in}) في حين يتم تأريض المدخل العاكس عبر المقاومة (R_{in}) ويوصل مخرج المكبر (V_{out}) بمدخله العاكس عن طريق المقاومة (R_f) وبما أن إشارة الدخل مطبقة على الدخل غير العاكس لمكبر العمليات ، فإن إشارة الخرج تكون متفقة بنفس طور الإشارة الداخلة ويحسب معامل التكبير للمكبر غير العاكس من العلاقة الآتية:

$$I = \frac{V_{out}}{R_{in}+R_f} \qquad \text{.....(1)}$$

$$V_{in} = I \times R_{in} \qquad \text{..... (2)}$$

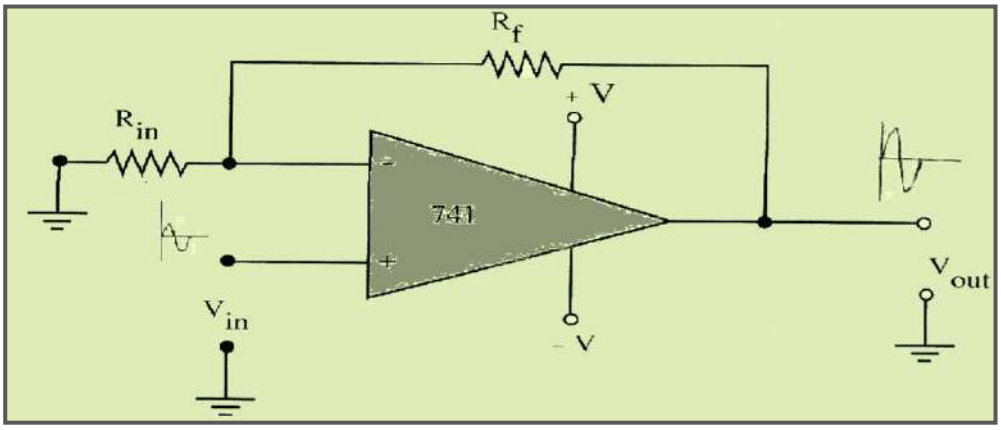
وتعوض المعادلة رقم (1) في المعادلة (2) لتحصل على :

$$V_{in} = \frac{V_{out}}{R_{in} + R_f} \times R_{in}$$

وبقسمة (V_{out}) على (V_{in}) نحصل على

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_{in} + R_f}{R_{in}} = 1 + \frac{R_f}{R_{in}}$$

$$A_V = 1 + \frac{R_f}{R_{in}}$$



شكل6 – 19 دائرة المكبر غير العاكس

مثال 6-2:

جد قيمة مقاومة التغذية العكسية (R_f)لدائرة مكبر عمليات غيرعاكس كما في الشكل (6 –18)، إذا علمت أن معامل التكبير يساوي (2.5) وأن مقاومة الإدخال (R_{in}) مساوية إلى (150) أوم ؟

الحل:

$$1 + \frac{R_f}{R_{in}} A_V =$$

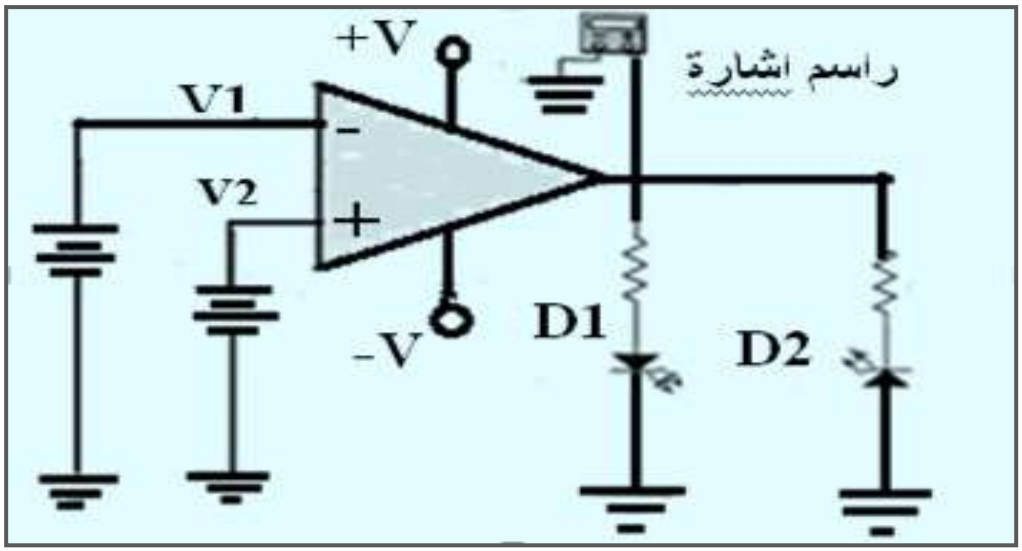
$$1 + \frac{R_f}{R_{in}} 2.5 =$$

$$\frac{R_f}{R_{in}} 2.5 - 1 =$$

$$\frac{R_f}{150} 1.5 =$$

$$R_{f=225}\ \Omega$$

4ـ دائرة مقارنة (Comparator Circuit):

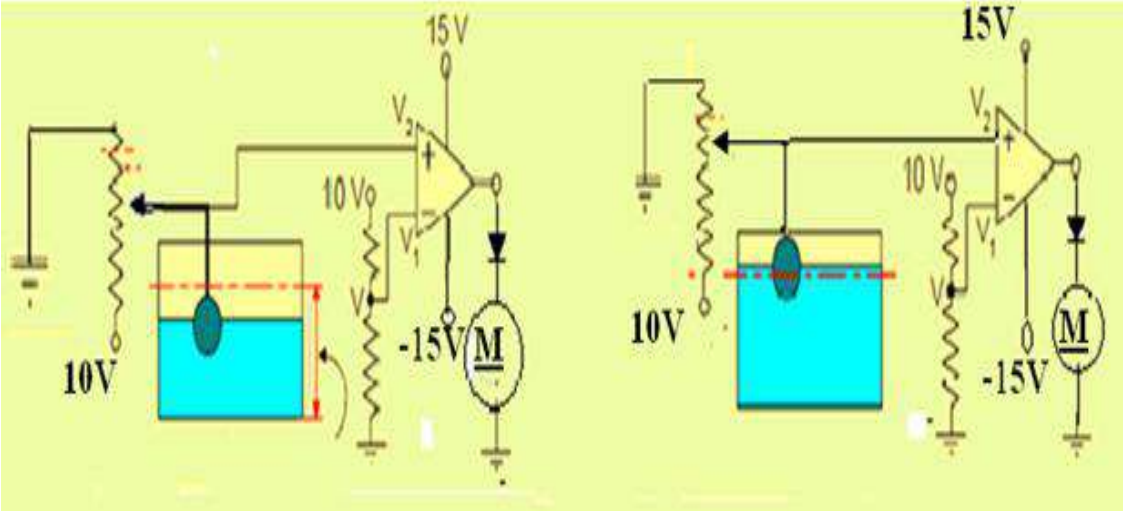


شكل 6 – 20دائرة مقارنة

دائرة المقارنة: عبارة عن دائرة تقارن بين دخلين ، فإذا كان الجهد عند المدخل غير العاكس أكبر من الجهد عند المدخل العاكس يكون خرج المكبر مشبعاً موجباً، أما إذا كان العكس كان الخرج مشبعاً سالباً، وأبسط هذه الدوائر المبينة في الشكل (6 -9) حيث يضيء الثنائي عندما يكون الدخل(V_2)أكبر من (V_1) حيث يلاحظ أن المكبر في هذهالحالة يعمل بأقصى تكبير له مما يجعل أقل اختلاف بين جهد المدخلين يؤدي إلى تشبع خرج المكبر وبالتالي إلى إنارة أو إطفاء الثنائي وعند التشبع يصل جهد الخرج إلى (80%) من جهد التشغيل إذا اعتبرنا أن معامل تكبير المكبر(100000) فإن فرقاً في الجهد (V1-V2) قدره (0.12) ملي فولت يجعل خرج المكبر مشبعا عندما يغذى بمصدر جهد (15) فولت.

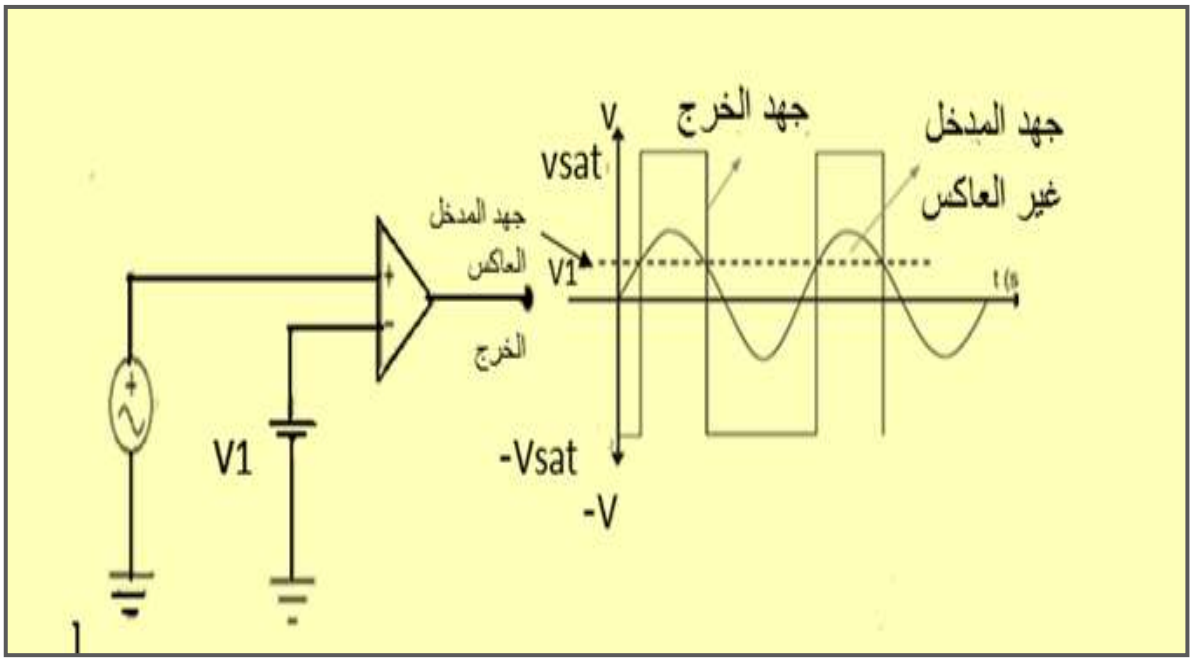
مثال تطبيقي:

تستعمل دائرة المقارنة في دائرة التحكم حيث يبين الشكل (6 - 20) دائرة عملية للتحكم بمستوى خزان المواد السائلة.حيث توصل الطوافة إلى مقاومة متغيرة متصلة إلى المدخل غير العاكس وتوصل مقاومة متغيرة أخرى إلى المدخل العاكس وكلتا المقاومتين لهما نفس القيمة وتغذى من مصدر واحد للتيار المستمروليكن مقداره (10) فولت، وتثبت قيمة فولتية المدخل العاكس كونها نقطة عمل المكبر وذلك بتثبيت المقاومة المتغيرة على موضع معين تكون الفولتية له مساوية لفولتية المدخل غير العاكس، عندما يكون مملوءاً عندها يكون السائل أقل من المستوى المحدد له، فيكون المقدار والفولتية في المدخل غير العاكس أعلى من نقطة العمل، يكون خرج المكبر موجباً يمر من خلال الثنائي لتشغيل المحرك الكهربائي.



شكل6 – 21 استعمال دائرة المقارن في التحكم بمستوى السوائل في الخزان

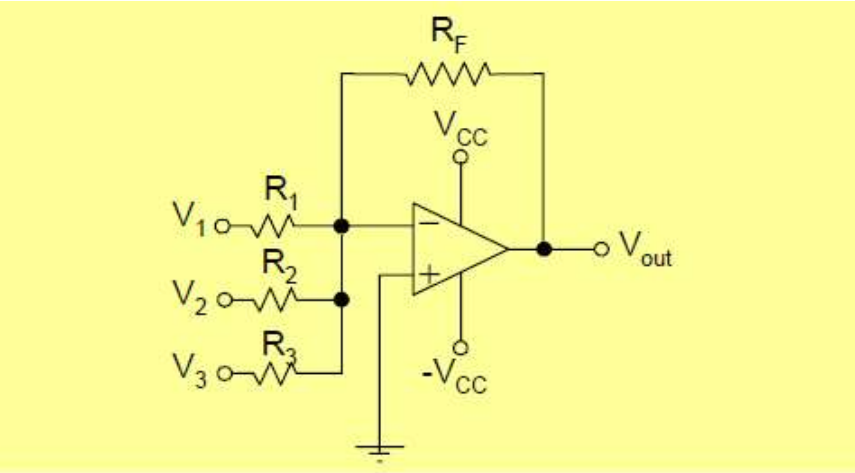
وكذلك تستعمل دائرة المقارن عملياً للحصول على أشكال أخرى من الموجات الداخلة مثل الحصول على موجة مربعة من موجة جيبية على أن تكون سعة الموجة أكبر مدى من التناسب الخطى للمكبر المحدد له كما مبين في الشكل (6 -21).



شكل6 – 22 دائرة مقارنة لتحويل الموجة الجيبية إلى مربعة

5 ـ دائرة المكبر الجامع (Summing): Amplifier Circuit

يعمل هذا المكبر على جمع جهدين أو أكثر جمعا جبريا بعكس إشارة حاصل الجمع، ويتميز هذا المكبر بإمكانية تكبير كل جهد على حدة عن طريق نسبة المقاومات الخاصة به، كما مبين في الشكل (6 - 22).



شكل 6 ـ 23 دائرة المكبر الجامع

يحسب جهد الخرج تبعا للمعادلة الآتية :

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

$$\mathbf{V_{out}} = -\frac{\boldsymbol{R_f}}{\mathbf{R_{in}}}\mathbf{V_{in}}$$

$$\mathbf{V_{out}} = -(\boldsymbol{V_1} \times \frac{\boldsymbol{R_f}}{\boldsymbol{R_1}} + \mathbf{V_2} \times \frac{\mathbf{R_f}}{\mathbf{R_2}} + \mathbf{V_3} \times \frac{\mathbf{R_f}}{\mathbf{R_3}})$$

وفي حالة تساوي المقاومات $R_1=R_2=R3$ فإن المعادلة :

$$V_{out} = - \frac{R_f}{R} (V_1+V_2+V_3)$$

أما في حالة تساوي قيم المقاومات مع قيمة مقاومة التغذية العكسية (R_f) فإن:

$$R_1=R_2=R3$$

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

مثال 6-3:

أحسب قيمة الفولتية الخارجة في دائرة المكبر الجامع المبين في الشكل أدناه، حيث تكون (R_f=1000) وإن جميع المقاومات الثلاثة الموصلة عند مداخل الجامع متساوية القيمة وتساوي نصف قيمة مقاومة التغذية العكسية وإن قيم فولتيات الإدخال تساوي (V_1= 5 v و V_2 = 3 v و V_3 = 7 v).

الحل :

وبما أن جميع مقاومات الدخل متساوية وتساوي (2/1) قيمة تكون مقاومة التغذية العكسية:

$$R_1=R_2=R_3=1/2x1000=500\Omega$$

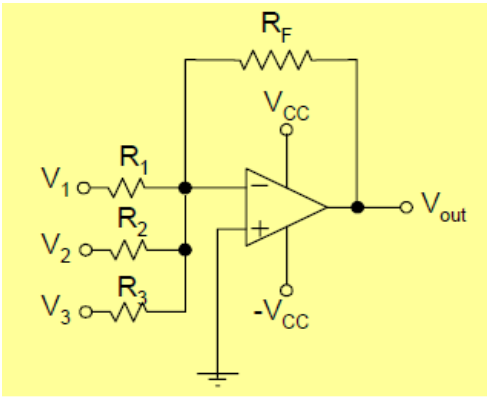
$$V_{out} = -\frac{R_f}{R}(V_1 + V_2 + V_3)$$

$$\frac{R_f}{R_1} = \frac{R_f}{R_2} = \frac{R_f}{R_3} = \frac{1000}{500} = 2$$

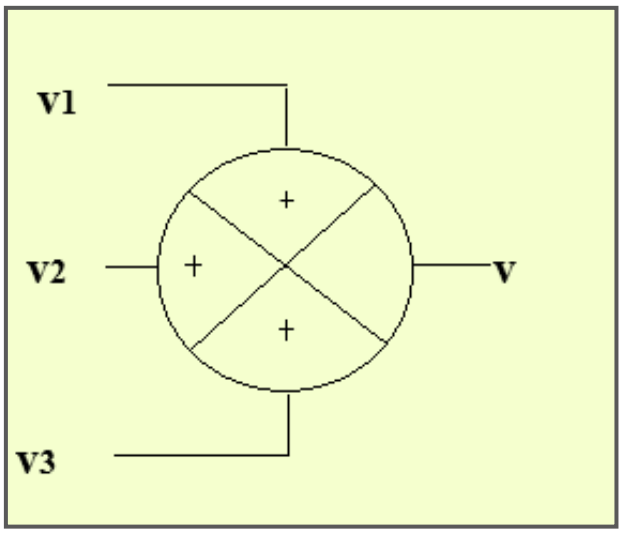
$$V_{out} = -2(V_1+V_2+V_3)$$

$$= -2(5+3+7)$$

$$Vout = -30v$$



يرمز للمكبر الجامع في دوائر التحكم بالرمز:



6 ـ دائرة المكبر الطارح (Subtract Amplifier Circuit) :

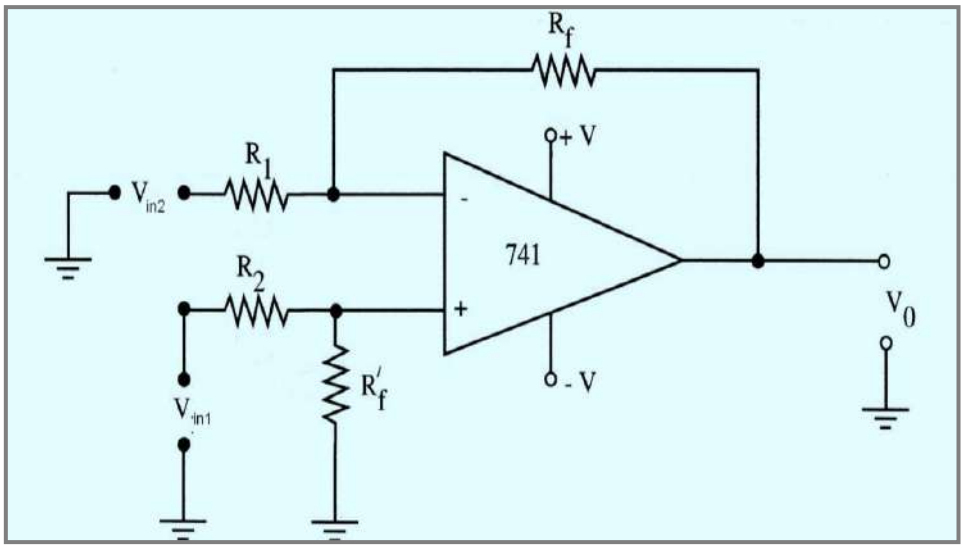
تعد هذه الدائرة واحدة من دوائر التحكم لإيجاد الفرق بين فولتيات على طرفي مدخلي مكبر العمليات ويتم تكبير كل منهما بمعامل تكبير واحد ،أي أن مقاومتي التغذية العكسية والدخل تكون متساوية ($R_1=R_f$)وبذلك يكون:

للمدخل غير العاكس $V_{out} = V_{in}$

للمدخل العاكس $V_{out} = -V_{in}$

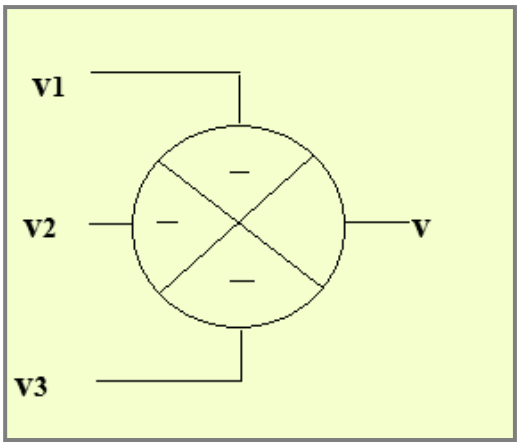
وكما مبين في الشكل (6 ـ 23) ويكون جهد الخرج مساويا إلى :

$$V_O = \left(\frac{R_f}{R_1} + 1\right) V_1 - \left(\frac{R_f}{R_1}\right) V_2$$

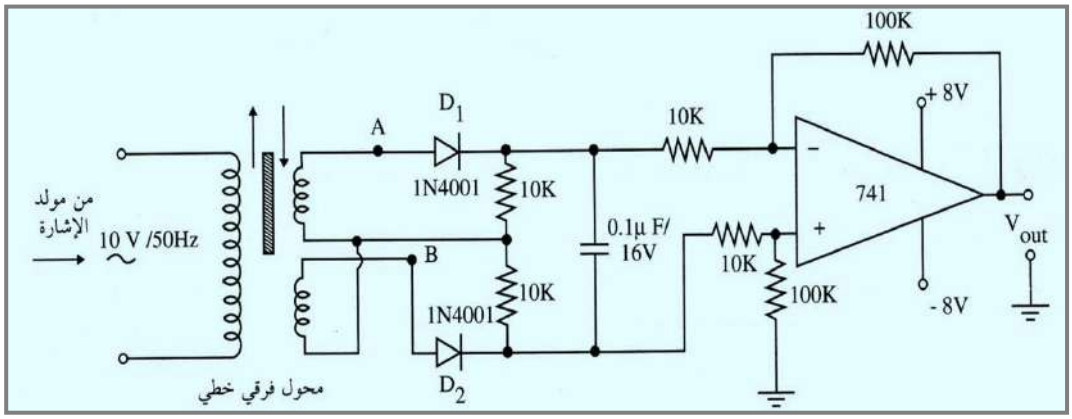


شكل6 – 24 دائرة المكبر الطارح

ويرمز لها في دوائر التحكم بالرمز أدناه:



ومن تطبيقات هذه الدائرة في المصاعد الكهربائية، حيث تستعمل في دائرة التحكم بإغلاق الباب الداخلي للعربة، وكما مبين في الشكل (6 – 25).



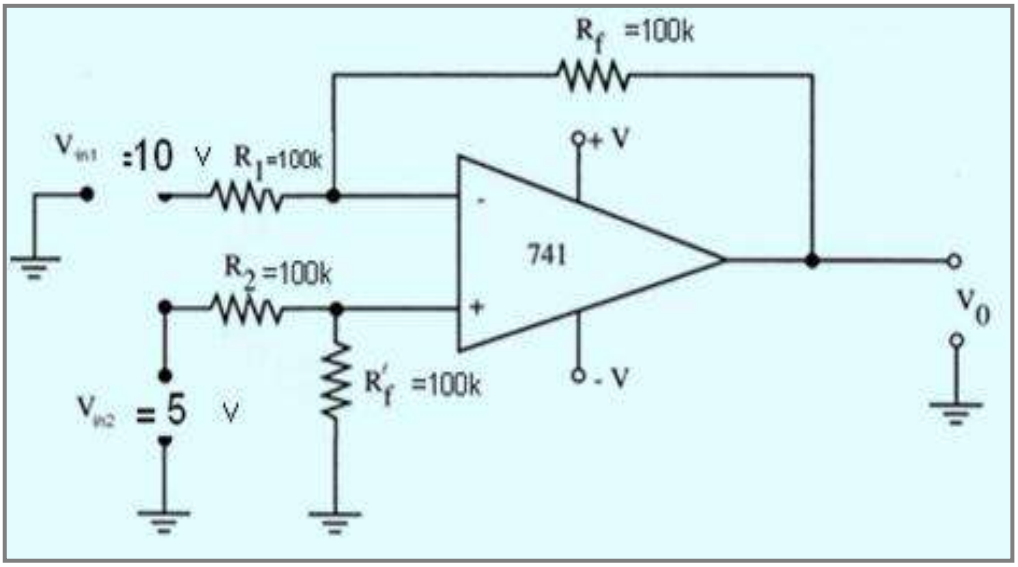
شكل 6 – 25 دائرة التحكم لتنفيذ إغلاق الباب الداخلي للعربة

تستعمل هذه الدائرة للتنبيه على إغلاق البوابة الداخلية لعربة المصعد فتتكون البوابة من قطعتين تتحركان في الوقت نفسه في اتجاهين متعاكسين في حالتي الفتح والغلق ولذلك فإن أهم عمل يتم لهذه الدائرة هو التأكد من غلق الباب بشكل نهائي حيث يثبت محول فرقي خطي .

على الحافة النهائية للغلق فيعمل (Linear Variable Differential Transducer - LVDT) على تحويل إشارة الحركة الخطية إلى إشارة كهربائية ويتكون من ملف ابتدائي يتم وصله بمصدر الفولتية المتناوبة وملفين ثانويين متصلين مع بعضهما بشكل متعاكس ، بحيث تكون الفولتية في مخرج المحول مساوية للفرق بين فولتيتي الملفين الثانويين وعندما يتحرك القلب المعدني للمحول حركة خطية أمامية وخلفية تحت تأثير قوة ميكانيكية خارجية ناتجة عن حركة بوابة العربة ينتج تغيراً في قيمة فولتية الخرج ولذلك سمي هذا المحول بالمحول الفرقي الخطي. أما عمل الدائرة فإن فولتية الخرج من المحول تمرر خلال ثنائيين يعملان على تعديل الفولتية المتناوبة إلى فولتية مستمرة ، توصل الفولتية إلى مدخلي المكبر الطارح حيث يعمل على تكبير الفرق بين فولتية المدخلين ويكون فولتية ذات قيمة معينة في حالة وجود إي فراغ ما بين البوابتين وإن هذه الفولتية تعمل على إيقاف دائرة تحكم عمل المحرك إلى أن يتم غلق الباب بالكامل فيكون خرج المكبر مساوياً إلى الصفر مما يدل على أن البوابة الداخلية مغلقة بشكل كامل ويمكّن دائرة التحكم أن تعمل على السيطرة على حركة محرك المصعد.

مثال 6-4:

أحسب قيمة فولتية الخرج في الدائرة المبينة في الشكل (6 -26).



شكل 6 - 26

الحل :

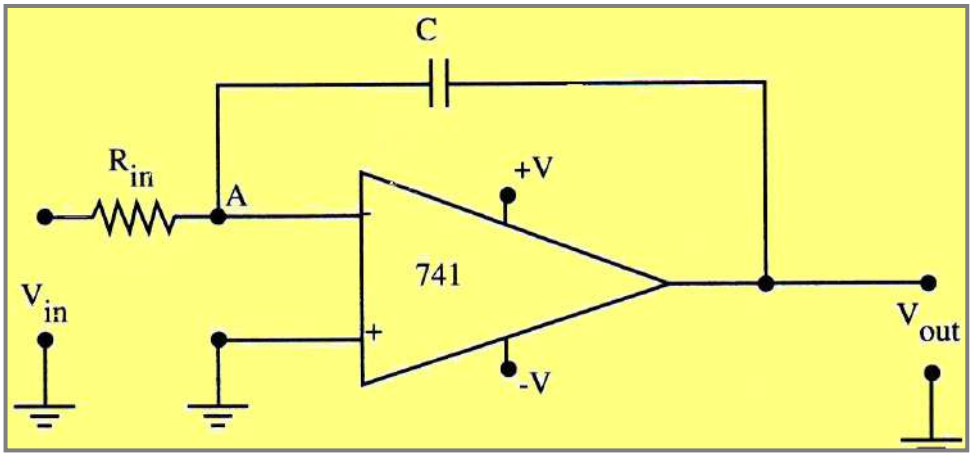
$$V_{out} = V_{in1} - V_{in2}$$

$$V_{out}=5 - 10$$

$$V_{out}= -5 \text{ v}$$

7 - دائرة المكبر التكاملي (Integral Amplifier Circuit):

تتكون مكونات دائرة المكبر التكاملي من مكبر العمليات، ومتسعة، ومقاومة، كما مبين في الشكل (6 - 27).



شكل 6 – 27 دائرة المكبر التكاملي

حيث تكون الإشارة الداخلة (V_{in}) وهي فولتية اختبار مستمرة (Set Point) تعمل على شحن المتسعة (C) لفترة زمنية محددة قيمتها (RC) وتسمى (الثابت الزمني) ويرمز له (T) حيث :

$$T = RC$$

$$Iin = \frac{V_{in}}{R}$$

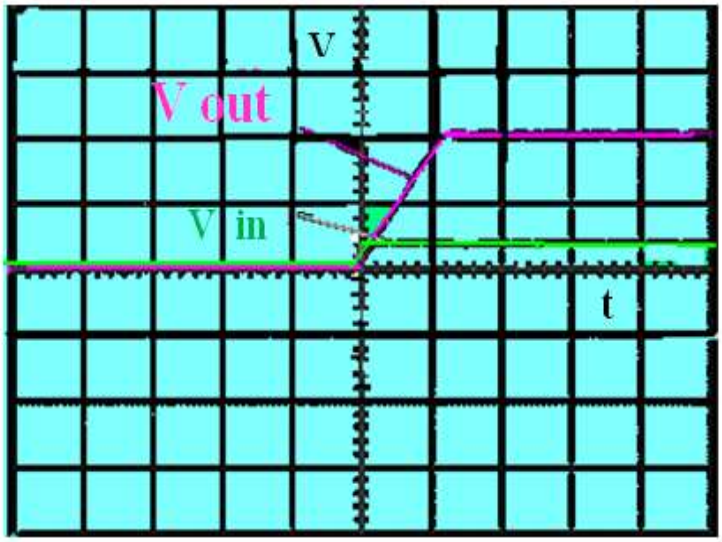
$$\frac{\Delta V_{out}}{\Delta t}$$

$$= \frac{-I_{in}}{C} \frac{\Delta Vout}{\Delta t}$$

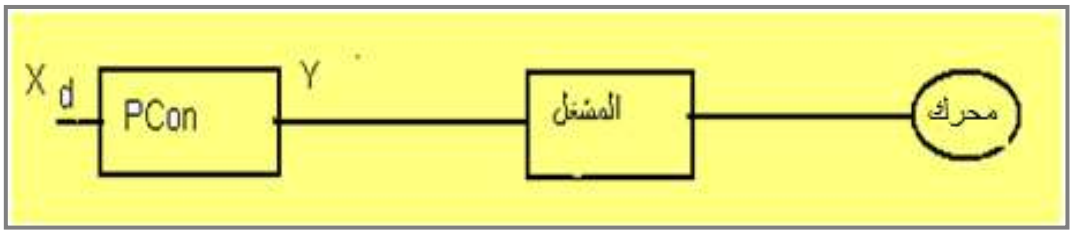
$$= \frac{-V_{in}}{RC}$$

إن الفولتية الخارجة من المكبر تكون مساوية إلى :

ويبين الشكل (6 -28) استجابة المكبر عندما يوصل المدخل العاكس إلى إشارة فولتية مستمرة حيث تكون الاستجابة بطيئة حتى يصل إلى حالة التشبع، لذلك فإنه يمكن توصيله على التوازي مع دائرةالحاكم التناسبي ثم إلى المشغل والمحرك، كما مبين في الشكل (6 - 29).



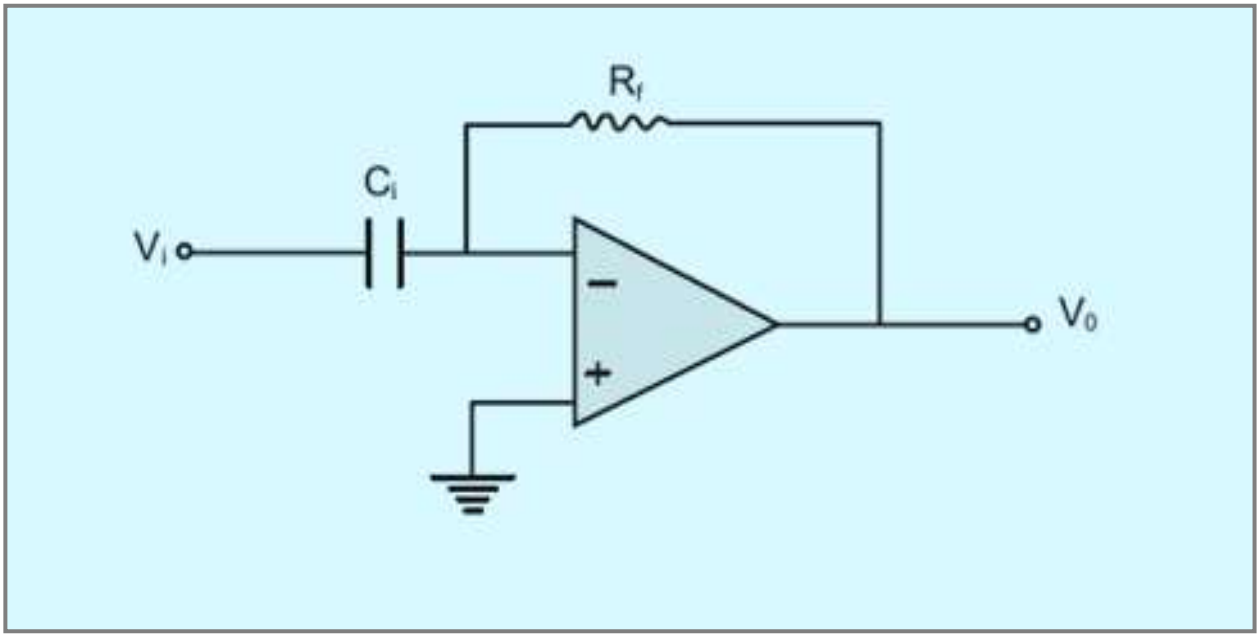
شكل 6 – 28 منحني لإشارة الإدخال والخرج



شكل 6 - 29 المخطط الكتلي للحاكم التناسبي

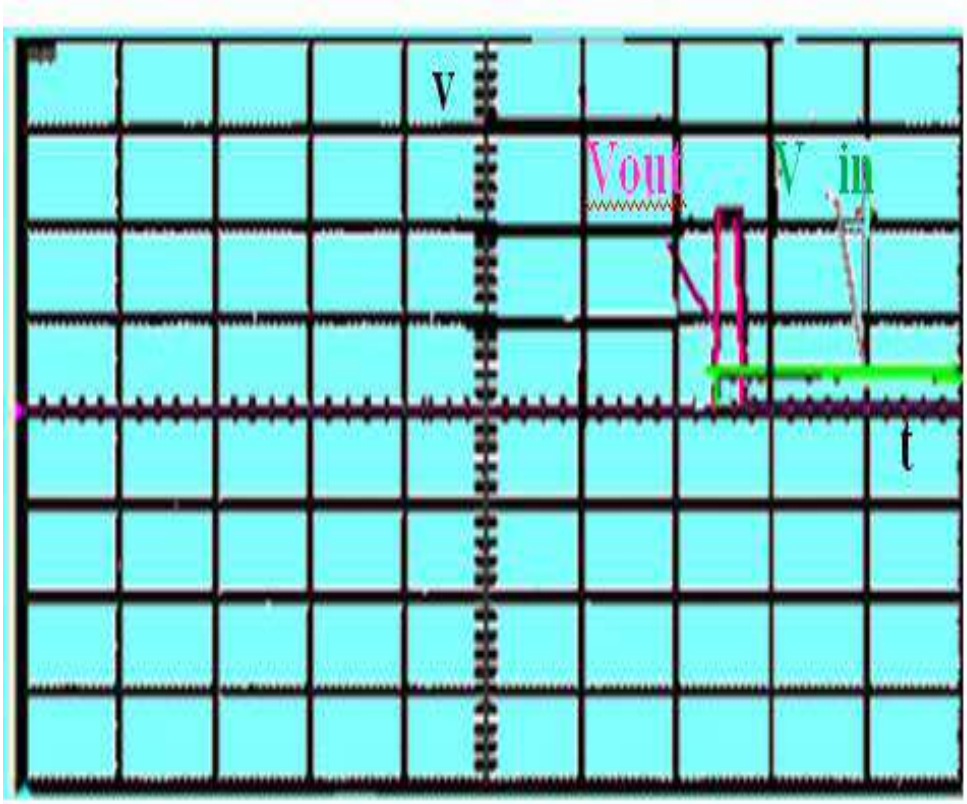
8 ـ دائرة المكبر التفاضلي:

يتكون المكبر التفاضلي من مكبر العمليات، ومقاومة توصل بين الخرج (V_o)، والمدخل العاكس للمكبر ومتسعة (C) موصلة بين الإشارة الداخلة، ومدخل المكبر العاكس، كما مبين في الشكل (6 - 29).



شكل 6 – 30 دائرة المكبر التفاضلي

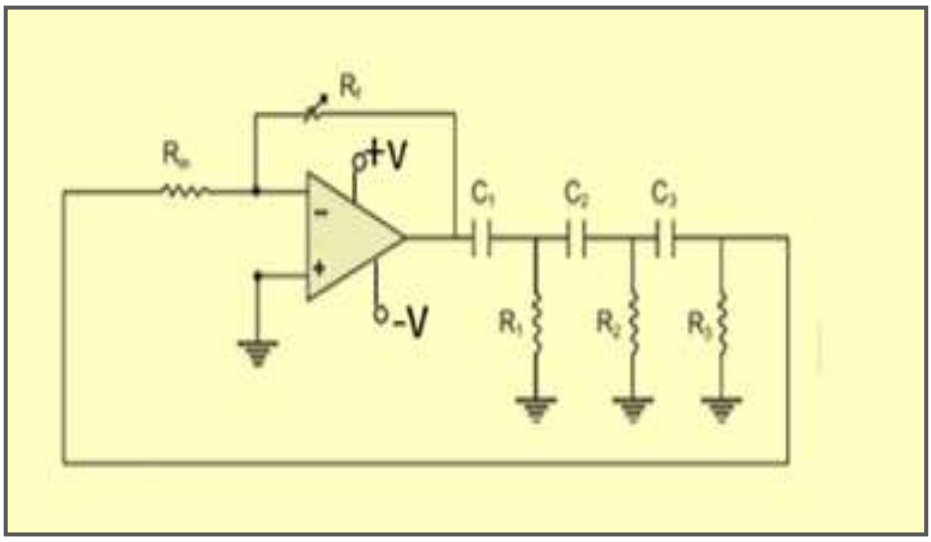
خواص المكبر التفاضلي: هو تناسب مقدار التغير في جهد الخرج مع نسبة التغير في إشارة الإدخال كما مبين في الشكل (6 - 30) فيلحظ عندما تكون إشارة الإدخال(Set Point)عبارة عن فولتية مستمرة وعند لحظة غلق المفتاح لإشارة الإدخال، فإن جهد الخرج يتغير من الصفر إلى أعلى قيمة (جهد التشبع) ثم تنخفض مرة أخرى إلى الصفر لذلك تستعمل في تطبيقات التحكم في سرعة المحركات.



شكل (6 – 31) منحني الاستجابة الإدخال وخرج المكبر التفاضلي

9 - مذبذب إزاحة الطور (The phase- shift oscillator):

يستعمل مكبر العمليات في تكوين دوائر المذبذبات كما مبين في الشكل (6 - 31) حيث تكون إشارة خرج المكبر مزاحة بزاوية (180) درجة عندما تكون الإشارة الداخلة في المدخل العاكس وعندما توصل إلى دائرة الإدخال باستعمال التغذية العكسية وتتكون دائرة الإدخال من مقاومة ومتسعة إذ تعمل أيضا على إزاحة الموجة بزاوية (من 0 إلى 90) درجة وعندما تكون دائرة الإدخال مكونة من ثلاث مراحل تكون إزاحة الطور بزاوية (180) درجة، وبذلك فتكون الإزاحة النهائية (360) درجة وبذلك نحصل على دائرة مذبذب.

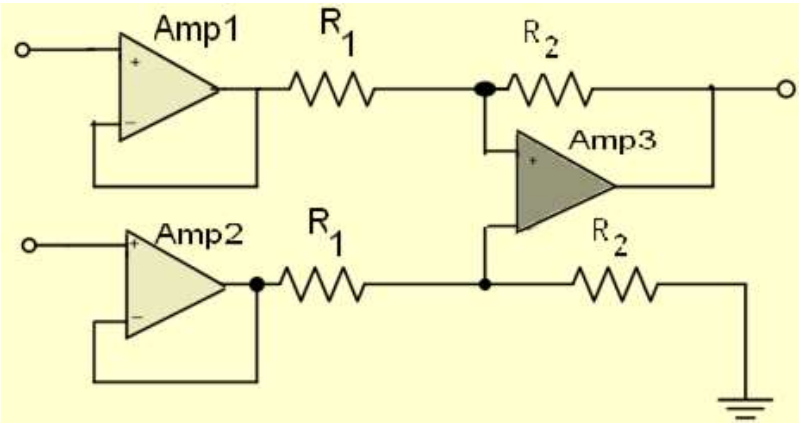


جهاز التكبير (Instrumentation Amplifier):

معظم المتحسسات تعمل على جهد كهربائي منخفض ومنها (حساسات الضوء ودرجة الحرارة والضغط والرطوبة والسرعة والدخان وغيرها) ولغرض استعمال هذه المتحسسات في دوائر التحكم يتطلب تحويل جهد الخرج المنخفض للمتحسسات إلى جهد ذات قيمة أعلى لذلك تستعمل أجهزة التكبير لرفع هذه الفولتية بنسبة عالية.

يتكون جهاز التكبير من ثلاثة مكبرات للعمليات وتوصل كما مبين في الشكل (6 - 32) إذ يكون عمل المكبر الأول والثاني كدائرة تابع الفولتية (Voltage Follower) لغرض الحصول على ممانعة إدخال عالية وممانعة إخراج ذات قيمة قليلة وبذلك يكون عملها كدائرة حماية من زيادة التيار في المكبر الثالث.أما عمل المكبر الثالث فيعمل على تكبير الفرق بين إشارتي الإدخال (V_{in1} وV_{in2}) ويكون جهد الخرج مساوياً إلى :

$$V_O = A(V_{in1} - V_{in2})$$



شكل 6 - 33 التركيب الداخلي لجهاز التكبير

أسئلة الفصل السادس

س[1]- عدد فوائد صناعة الدوائر المتكاملة.

س[2]- عدد مميزات مكبر العمليات.

س[3]- ارسم الدائرة المكافئة لمكبر العمليات.

س[4]- ارسم الدائرة المتكاملة لمكبر العمليات مبينا كل نقاط التوصيلات الخارجية .

س[5]- أكتب قانون الفولتية الخارجية للمكبر الطارح .

س[6]- أشتق العلاقة بين فولتية الدخل والخرج لمكبر العمليات الجامع.

س[7]- لماذا لا تستعمل دائرة التغذية العكسية في دائرة المقارن؟

س[8]- ما الفرق بين مكبري العمليات المكامل والمفاضل؟

س[9]- ارسم المخطط الكتلي لدائرة التحكم التناسبي لتشغيل محرك .

س[10]- ما الغرض من استعمال تابع الفولتية؟

س[11]- ما نوع المكبر المستخدم في تحويل الشكل ألموجي للموجة الداخلة إلى أشكال أخرى في الخرج؟

س[12]- إذا كان لمكبر العمليات العاكس مقاومة تغذية عكسية (R_f=100 kΩ)، ومقاومة الدخل (R_{in}) مساوية إلى (10 k)Ω ،احسب معامل التكبير.

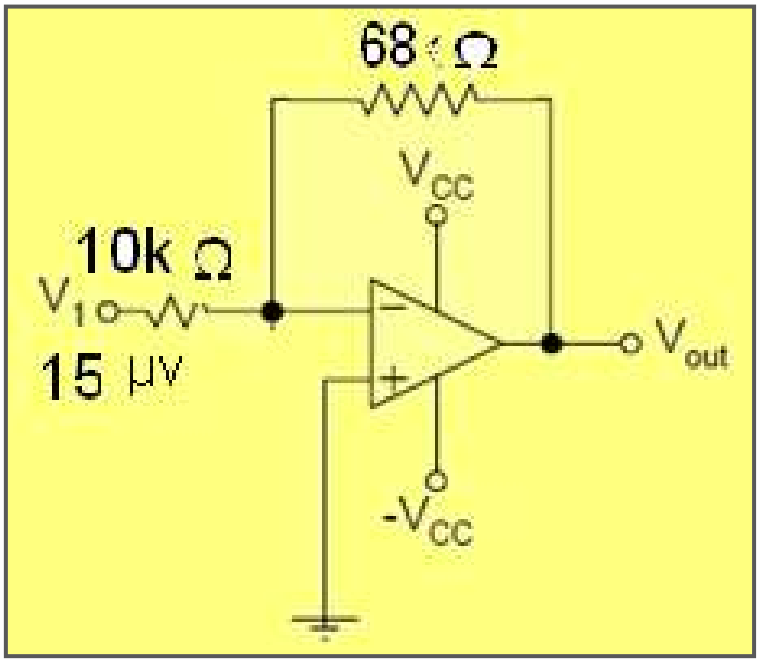
ج/10

س[13]- دائرة مقارن لها معامل تكبير مقداره (200000)، وفولتية التشبع (V_{sat}) تساوي (12) فولت، أحسب قيمة فولتية الإدخال على المدخل الغير عاكس التي تجعل فولتية الخرج يصل إلى حالة الإشباع.

ج/ 6 مايكرو فولت

س[14] ـ احسب فولتية الخرج لدائرة المكبر المبينة في أدناه.

ج/ 102 mv



المصادر

1- أساسيات الكهرباء و الالكترونيات "ترانزستور تأثير المجال" المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الإدارية العامة لتقييم وتطوير المناهج، المملكة العربية السعودية.

2- أسس الهندسة الالكترونية د. رياض كمال الحكيم، د.عادل خضر حسين/ جامعة الموصل.

3- الإلكترونيك، علوم صناعية للصف الثاني، إعدادية الصناعة"، الطبعة السادسة.

4- تطبيقات الدوائر الالكترونية حامد صالح الزيدي (الجزء الثاني).

5- كهربائية المصاعد / المهندس خضير عباس محمد/ وزارة الصناعة والمعادن / المؤسسة العامة للتنمية الصناعية.

6- جمهورية العراق، وزارة التربية، المديرية العامة للتعليم المهني، علوم صناعية للصف الثاني / الإلكترونيك، إعداديان الصناعة، الطبعة السادسة.

7-Basics of Sensors" Siemens Step 2000 course www.eandm.com.

8- Driscoll,Devices and Applications Frederick Millman &Halkias , Intecrated Electronics.

9- Electronics Principles, Malvino.

10- Electronic Devies and Curcuit Theory, Boylestad, Robert L & Louis Nasheisky, New Jersey by Pearson Education 2009.

11-Electricity and Electronics Fundamentals Fardo Stephen w. & Dale R. patrick Second Edition 2008 by the Fairmont press.

12-Elecitrical Technology Thyraja 2010.

13-Field Effect Transistor, Lasurf, Jimuniversity of Andrews, St Andrews, The first Eleven – part4, 2007.

14-Field Effect Transistors Hutagalung, Dr. Sabar School of Materials & Mineral Sources Engineering, University Sains, Malaysia.

15- 50 (FET) Field Effect Transistor Project Rayer, F.G.T. Eng (CE), Assoc. IERE Bubani press, the publishing division of Bubani Trading and Finance Co. Ltd. London W6 7NF, England.

16-Lessons In Electric, Volume III Semiconductor, Kuphuldt, Tony R, Fifth Edition 2007.

17- LED Applications and Driving Techniques , Richardson, Chris, National Semiconductor corporation 2007.

18-Principles of Electronic Device, Zehbroeck, Bart Van 2011

http://ecce.colorado.edu . - Projects using IC 741 Rudi & Uwe 19Red mer.

20-Proximity Capacities Sensor Technology for Touch Sensing Applications" Osoinach, Bryce Freescadle Semiconductor Inc.21-Sensors ,Teplitsky, Sarah ,cluster 3 Cosmos, 2009.

22-Theory and Problems of Electronic Devices and Circuits, Cathey, JimmeJ ,Shaum's outline series McGraw-Hill New York 2002.

والله ولي التوفيق