

# العلوم الصناعية

## الصناعي / صيانة المصاعد الكهربائية

### الثاني

#### تأليف

محمد زيدان خلف

علي عبد الرحمن

نادر محمد علي عبد الحميد

رعد مهدي فرحان

عقيل محسن كاظم

خضير عباس محمد

كريم خضير علي

2025 م - 1447 هـ

الطبعة الخامسة



## المقدمة

يعد قطاع التعليم ركيزة أساسية لبناء مجتمع متقدم، تركز 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

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

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

### الأهداف التعليمية :

تتحقق الأهداف التعليمية من خلال تحقيق ما يأتي :

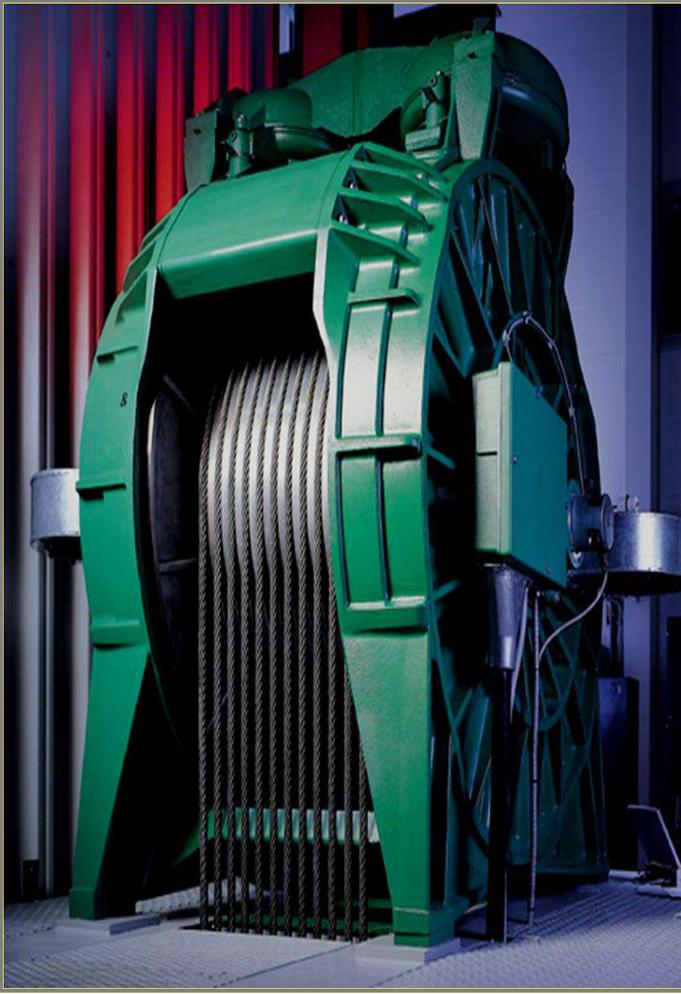
#### أ - الهدف المعرفي :

أن يكون الطالب ملماً بـ :

- 1 - الأجزاء الميكانيكية في المصعد، وعمل كل جزء وأهميته.
- 2 - مكونات ونظرية عمل محركات التيار المستمر، وكيفية السيطرة على سرعتها.
- 3 - تركيب ونظرية عمل المحول الكهربائي واستخداماته.
- 4 - تركيب وعمل الترانزستور (FET) وأهميته واستخداماته.
- 5 - أنواع المتحسسات والشاشات الرقمية، وعملها وأهميتها في المصعد.
- 6 - طريقة صنع الدوائر المتكاملة واستخدامها في مكبر العمليات.

#### ب - الهدف الوجداني :

- 1 - الاستمرار في التحصيل العلمي لغرض تنمية قابليات الطالب باتجاه التخصص .
- 2 - 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:

**1-1** مقدمة 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 Type Governor).

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

**ج-** محكم السرعة ذو الاوزان الطائرة .

**3-1** النظام 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 لا يمكن إشغال هذه البنايات الشاهقة الارتفاع إلا 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 وتستخدم 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 إلى 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 بواسطة محرك الدفع ليس أبداً الوزن الكلي للعربة والركاب، بل هو الفرق الصغير نسبياً بين الوزن المعادل ووزن العربة المحملة **(ويتغير هذا الوزن الأخير باستمرار إلى حد ما وفقاً لعدد الركاب المحمولين في أي وقت)** وتكبح حركة العربة بواسطة 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، عندئذ 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)** حلقين تعلق بينهما عربات تصعد إلى أعلى من جهة وتهبط

إلى أسفل من الجهة الأخرى ويتم دفع الجنزيرين بواسطة 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 مكانن السحب في المصاعد الكهربائية :

هي مكانن 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- أنواع مكانن السحب :

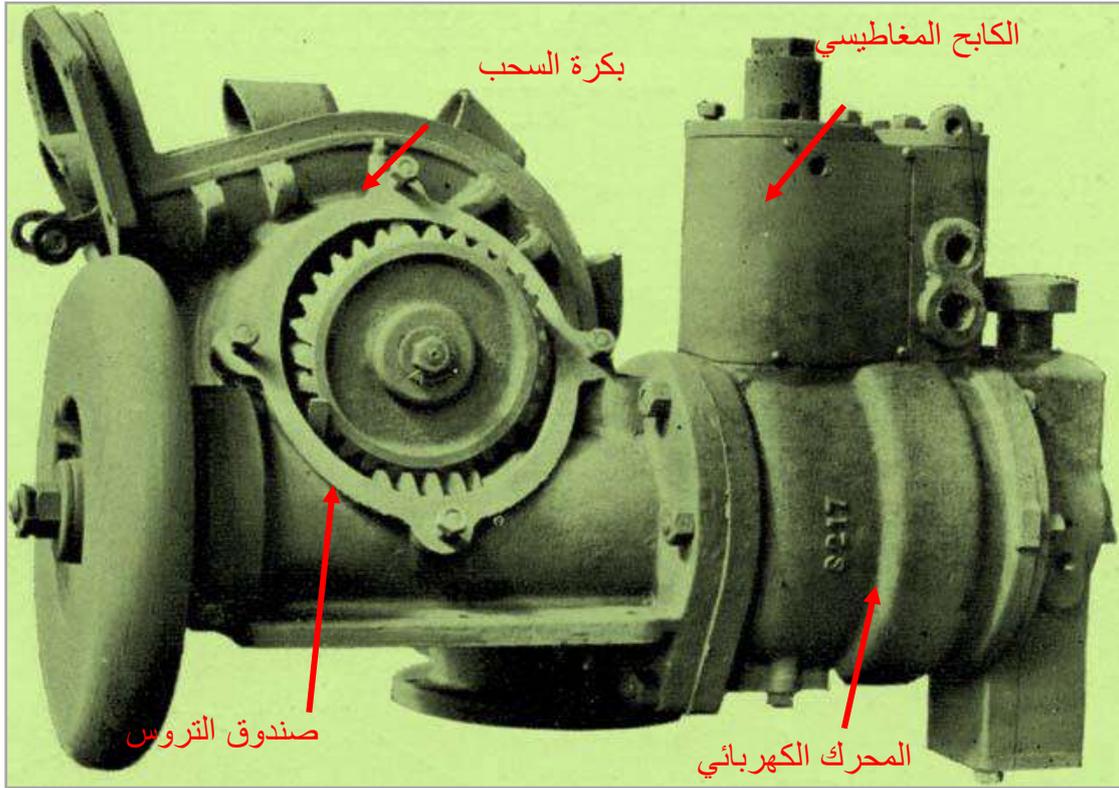
أ- مكانن السحب ذات التروس .

ب-مكانن السحب بدون التروس .

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

#### أ - مكانن السحب ذات التروس :

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



شكل 1-2 السحب ذات التروس الأجزاء الرئيسية لماكنة

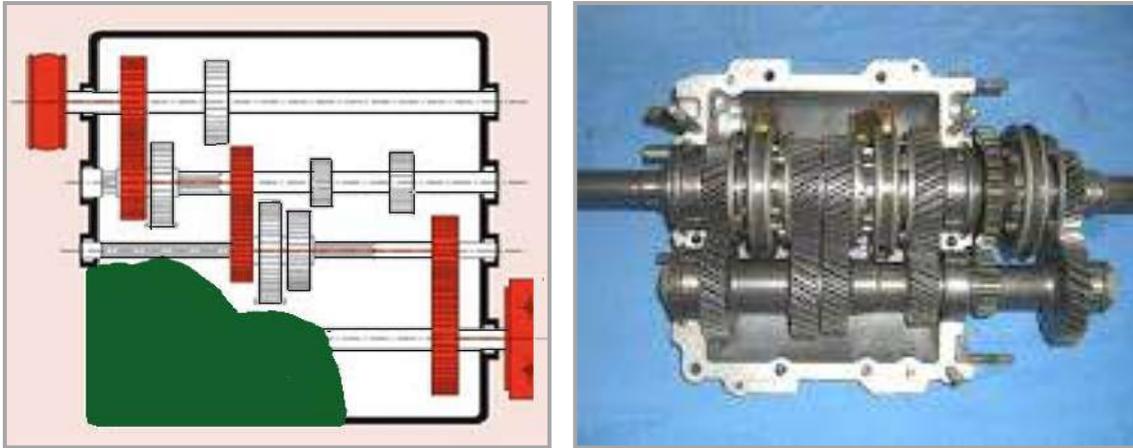
- 1- المحرك الكهربائي .
- 2- صندوق التروس .
- 3- الكابح المغناطيسي .
- 4- بكرة السحب.
- 5- بكرة التوجيه.

### 1- المحرك الكهربائي :

تدار ماكنة السحب في المصاعد الكهربائية بواسطة 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 بسرعة 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 وقوة عالية، لذلك يزود المحرك الكهربائي ذي التيار المتغير بمنظم سرعات للتحكم في سرعة حركة العربة.

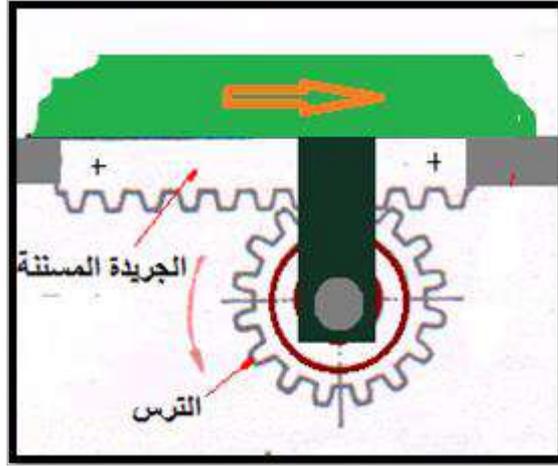
## 2- صندوق التروس ( Gear Box ) :

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 السرعة المطلوبة هذه الأعمدة ترتكز على كراسي تحميل متدرجة (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 التدرج بكلف واطنة 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 التعشيق من ترس إلى آخر باستعمال عتلة خاصة قد تكون يدوية أو آلية (ذاتية التغيير) (Automatic) كما في حالة المركبات التي تحتوي على صندوق تغيير السرعة 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 سرعات مختلفة، وبغزم دوران مختلف والتروس إما أن تكون مسننة خارجياً أو مسننة داخلياً، والتروس المعشقة خارجياً تكون حركتها متعاكسة، أما التروس المعشقة داخلياً فتكون حركتها 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 تبعاً 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 (مانلة الأسنان):

وهي تروس أسطوانية تكون أسنانها مانلة تستعمل لنقل الحركة الدورانية، حيث تكون أسنانها موزعه على المحيط الاسطواني بوضع مانل (**حلزون**) وهي : إما أن تكون مانلة إلى اليسار (**يسارية الأسنان**) أو مانلة إلى اليمين (**يمينية الأسنان**) وتمتاز بأنخفاض 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 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 ماكينة 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 محور متعامد معه، والطرف الآخر لهذا المحور تركيب عليه بكرة السحب على الجزء الظاهر منه خارج كتلة الصندوق يعمل الترس الحلزوني على خفض السرعة المنقلة إليه من الترس الدودي، وتعتمد نسبة تخفيض السرعة على نسبة التحويل بين عدد أبواب الترس الدودي وعدد أسنان الترس الحلزوني فإذا كان عدد أبواب 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) .



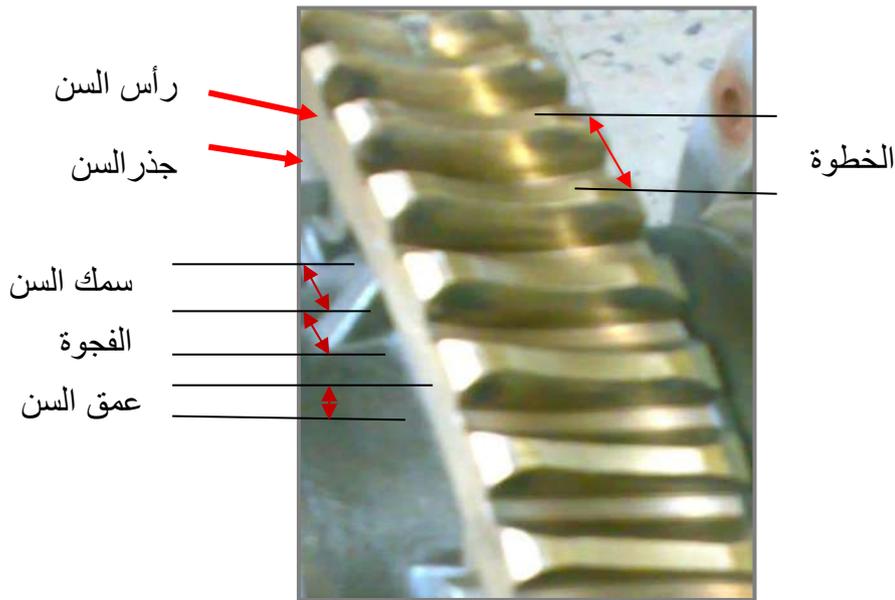
شكل 1- 9 صندوق التروس

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

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

### 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) .
- ج- 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 :

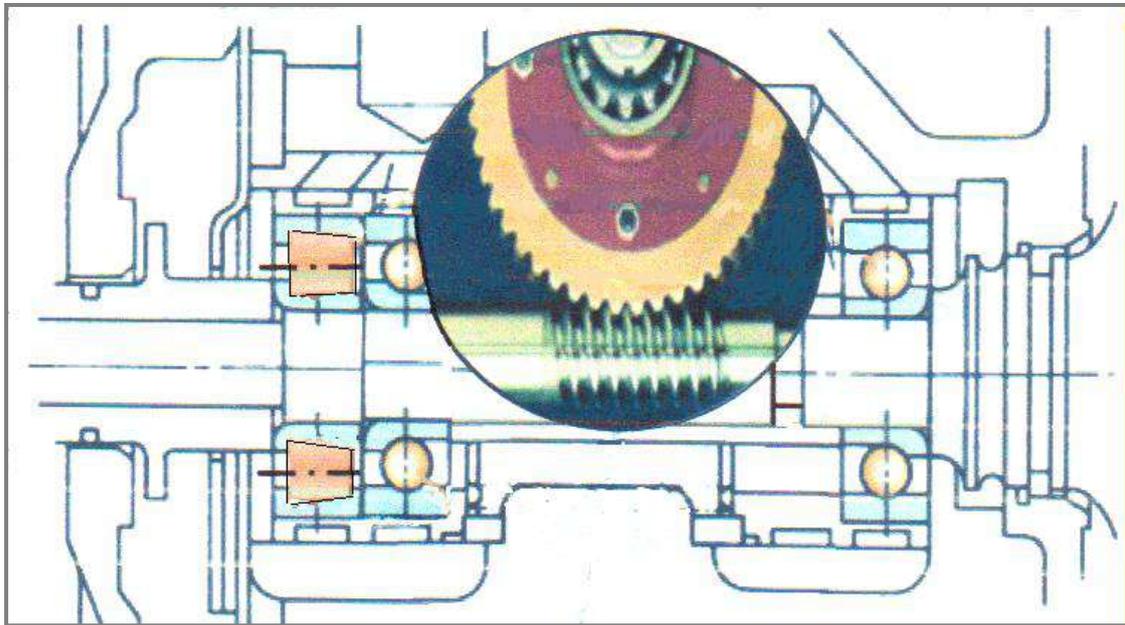
1 - يصنع قلب الحلزونة من سبيكة فولاذ ذات أسنان ملساء صلبة لتقليل الاحتكاك والتآكل لتزيد من كفاءة الحلزون ويصنع إطاره من سبيكة (نحاس - قصدير) أو سبيكة برونزية (نحاس ونيكل وقصدير) ومن خصائصها :

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

## المساند ( كراسي التحميل ) (Bearings) :

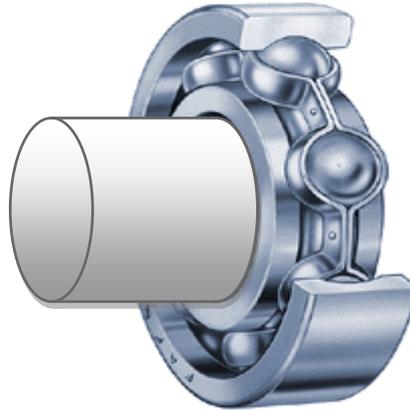
تستعمل المساند في مكائن السحب لحمل محاور الحركة والتغلب على القوة العمودية أو الأفقية الناتجة عن دوران المحاور، كما مبين في الشكل (1 - 11).



شكل 1- 11 مساند المحور نوع ريدبال وثرست

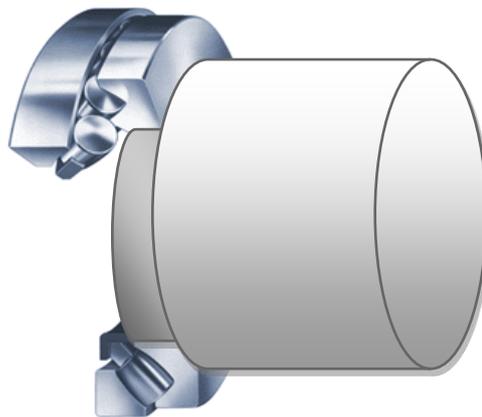
وهما نوعان :

**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

**ب- ثرست 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 - 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 م) هو النوع الملائم لمعظم أحجام التروس وسرعات تشغيلها وللزيت الجيد المواصفات الآتية :
- 1- له مقاومة عالية لتكون الرغوة.
  - 2- يمنع تآكل المعادن المستعملة حتى عند وجود الماء الناتج من التكاثر.
  - 3- مقاومته للصدأ عالية.

### خواص زيوت التزييت الجيدة :

- 1- للزيت سيولة كافية لكي ينتشر في جميع أجزاء صندوق التروس .
- 2- الاحتفاظ بدرجة اللزوجة في جميع ظروف التشغيل.
- 3- يمتاز بمقاومة عالية للاحتراق عند ارتفاع درجة الحرارة.
- 4 - يمتاز بمقاومة للتأكسد عند ارتفاع درجة الحرارة.
- 5 - يمتاز بمقاومة تكون الرغوة (الفقايع الهوائية) عند حركة الأجزاء المتحركة المغمورة فيه.
- 6 - 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 بتمددھا 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 وذررات 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 واستبدالها بجديدة عند الحاجة .



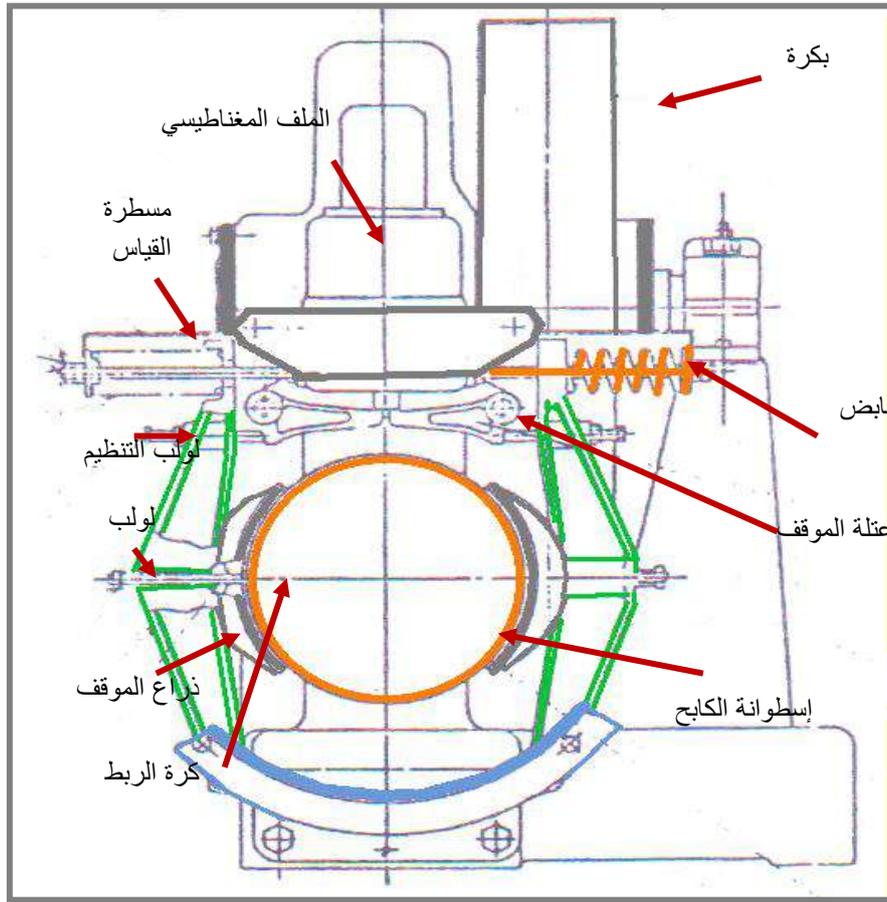
شكل 1 - 14 يوضح الغطاء الواقي للمسند

### 3- الكابح المغناطيسي :

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

#### أ - 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 - الإطار الخارجي ( Frame ) .

ب - نقاط التوصيل الكهربائي ( Electric contact ) .

ج - المكبس ( Plunger ) .

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

(16 - 1).



شكل 1 - 16 مكبس الكابح

#### د - ذراع المكبس :

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

#### هـ - أسطوانة المكبس :

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



شكل 1 - 17 أسطوانة المكبس

#### و - الملف المغناطيسي :

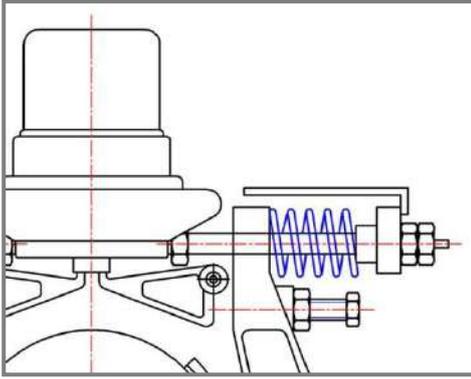
هو عبارة عن ملف سلكي، الغاية منه توليد مجال مغناطيسي عند مرور التيار الكهربائي خلاله يعمل على قوة دفع عمودية تعمل على تحريك المكبس إلى الأعلى أو الأسفل فتعمل هذه القوة على رفع حذاء (Disk) الكبح عن أسطوانات الكبح أثناء دوران المحرك الكهربائي، كما مبين في الشكل رقم (18-1) .



شكل 1 - 18 الملف المغناطيسي

## لولب الكابح :

يعمل على تسليط قوة ضغط على ذراع الكبح، لمنع انزلاق ماكينة 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 حصر اللولب بين ذراع الكبح والنهية 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 ماكينة 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 الكبش أثناء وقوف المصعد. هذه الموقوفات تعمل بطريقة الاحتكاك إذ أن قوة الاحتكاك بين سطح الحذاء وسطح أسطوانة الكبش 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 نهايتها بهيكل الجزء المغناطيسي والنهية الأخرى لها تكون سائبة، لتحويل حركة المكبس العمودية إلى حركة أفقية تسلط على ذراع الكابح من كلا الجانبين بوساطة قضيب محوري التنظيم المتصلين من إحدى نهايتيهما بذراع الكبش، أما نهايتيهما الثانية تمس عتلة الدفع، ويمكن التحكم بشوط المكبس بوساطة ضبط لولب عمود التنظيم أو إرخائه.



شكل 1 - 22 عتلة الدفع

## أسطوانة الكبيح :

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



شكل 1 - 23 أسطوانة الكبيح

## كيفية عمل الكبيح المغناطيسي :

عندما يكون المصعد في حالة توقف، يكون حذاء الكبيح ضاغطاً على أسطوانة الكبيح بفعل الضغط المسلط عليه من قبل لولب الكبيح 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 الكبيح إلى الخارج ومعه الحذاء متغلباً على قوة ضغط اللولب، فتتحرك الأسطوانة، ويدور المحرك بحرية.

## ب - الكبيح المغناطيسي الأفقي :

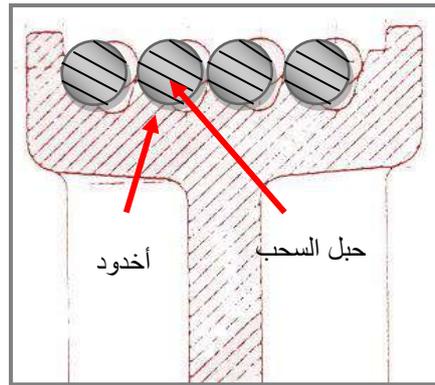
لايختلف الكبيح المغناطيسي الأفقي عن العمودي من حيث العمل والأجزاء، سوى أن حركة المكبس تكون أفقية نسبة إلى المحور أسطوانة الكبيح كما في الشكل (1 - 24) .



شكل 1 - 24 الكبيح 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 لا تحتوي على صندوق تروس فتتركب 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 وتستهلك 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 إلكترونية دقيقة، لتفادي أي خطأ قد يحدث أثناء حركة المصعد.

في بعض الحالات الطارئة يخرج المصعد عن نظام السيطرة الإلكترونية وذلك عند قطع الحبل الرئيس فينزل المصعد بصورة حرة تحت تأثير الوزن، ولتفادي هذه الحالة، يثبت جهاز أمان يسمى **(محكم السرعة)** في غرفة المكنان، 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 إلى الأعلى، فتعمل على تحريك جهاز الأمان الميكانيكي الذي يقوم بدوره بإيقاف العربة وذلك بتلامس كتلة مسك **(هوك)** الجهاز مع سكة العربة.

## أنواع محكم السرعة :

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

### 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 - محكم السرعة القرصي :

أجزاؤه :

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



شكل 1 - 27 أجزاء المحكم

## أ - بكرة المحكم (Governor Pulley):

تصنع بكرة المحكم المبينة في الشكل (1 - 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 - 28 بكرة المحكم

## ب - 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 - الأوزان الطائرة (Fly Weight):

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

## د - 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 - 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) :

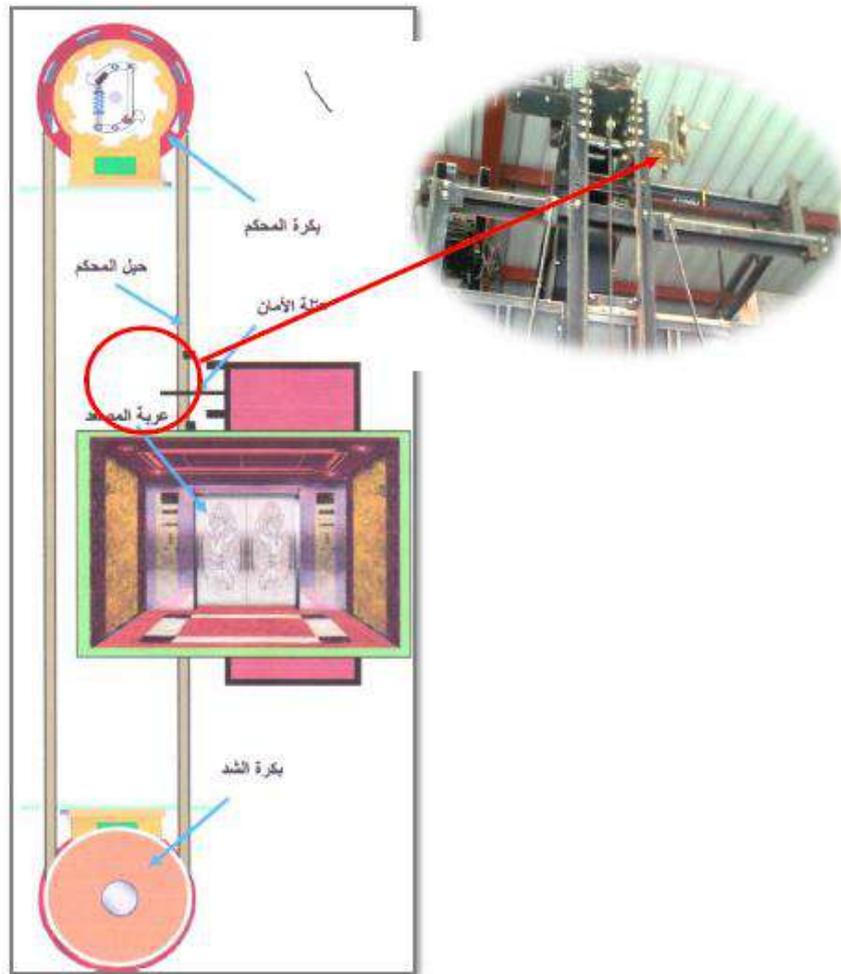
يحتوي محكم السرعة على مفتاح كهربائي، كما في الشكل (1 - 29) ويعمل على قطع التيار الكهربائي عن المحرك قبل أن يقوم المحكم بمسك الحبل .



شكل 1 - 29 مفتاح كهربائي

## كيفية عمل محكم السرعة:

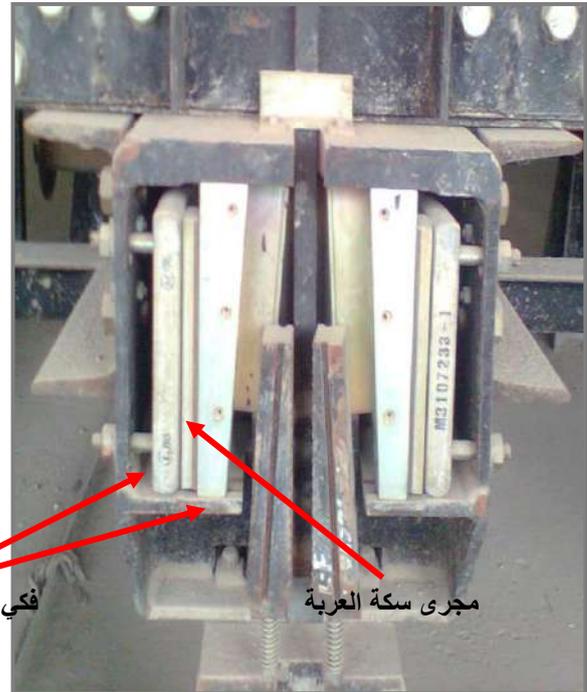
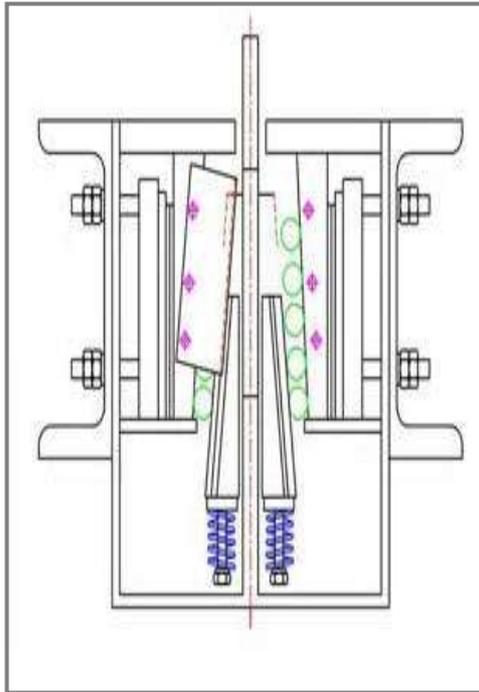
تتساوى سرعة بكرة المحكم وسرعة العربة عند حركة المصعد الاعتيادية. وذلك عن طريق حبل المحكم الذي يلف حول بكرة المحكم وتتصل إحدى نهايتي الحبل بعجلة جهاز الأمان الميكانيكي المثبت على جانبي العربة. أما نهاية الحبل الأخرى فتمر حول بكرة الشد المثبتة في حفرة المصعد، إذ تتصل بعد مرورها ببكرة الشد في نهاية الحبل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



شكل 1 - 30 ارتباط الحبل بعجلة 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 وتثبيتته، 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 سكة العربة كما في الشكل (1 - 31) ، لذلك تتوقف العربة عن الحركة.

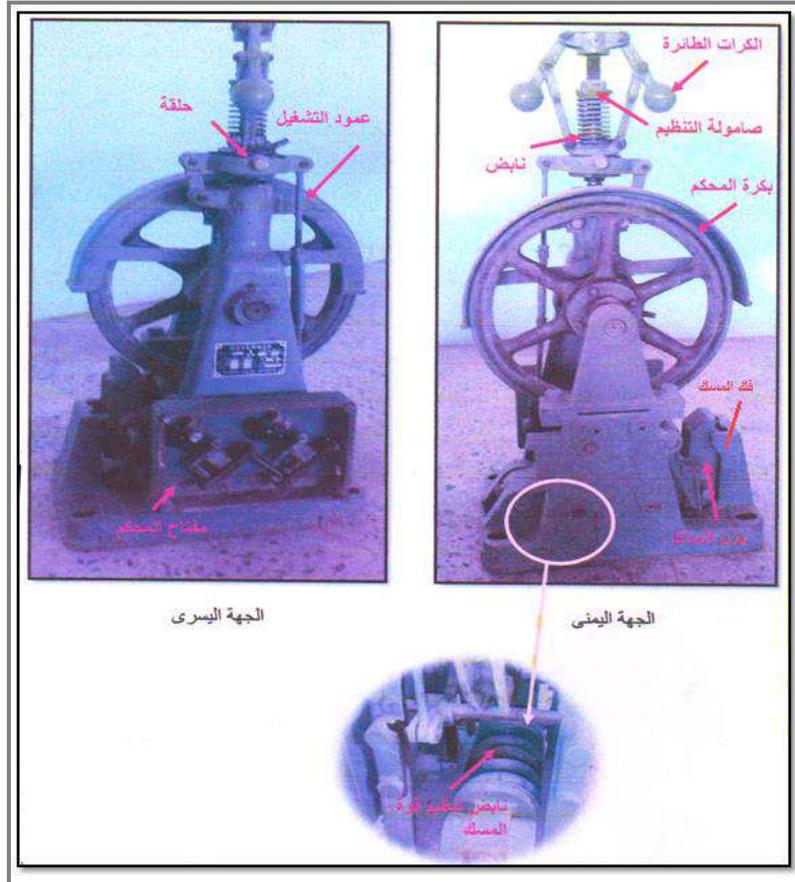


شكل 1 - 31 جهاز مسك العربة

## 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 الكلاب .
- 6- الكلاب .
- 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 بواسطة 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 الكلاب وعند ذلك يصبح الكلاب حر الحركة فيندفع محرراً فك المسك فيندفع الفك إلى الأسفل كما مبين في الشكل (1 - 33).



شكل 1 - 33 فك المسك

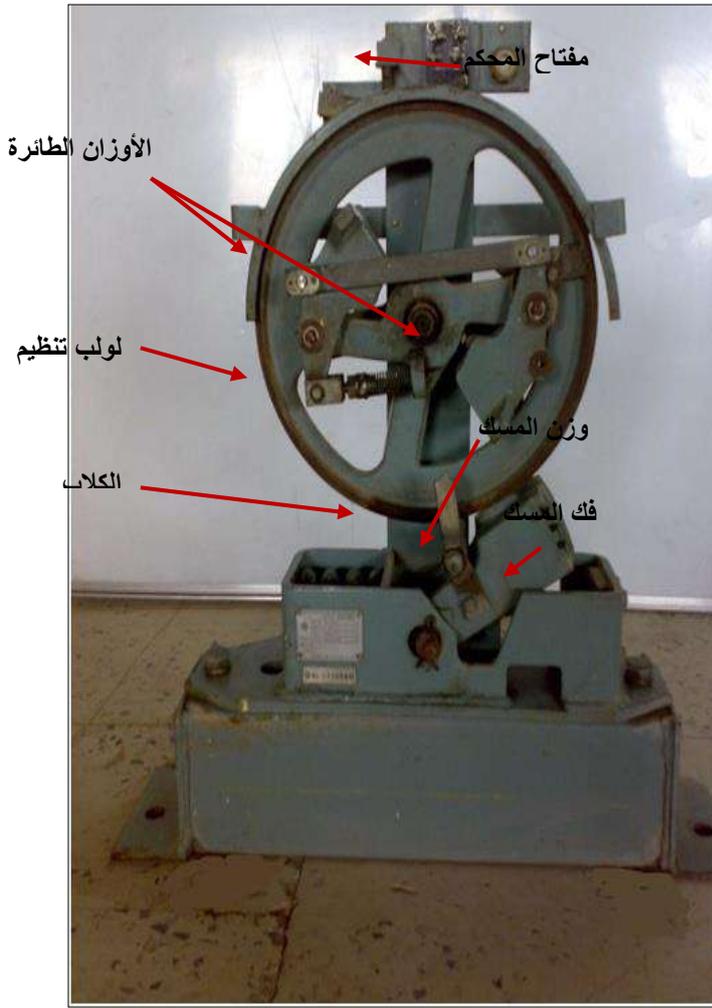
وبفعل وزنه يعمل على مسك حبل المحكم، ونتيجة لتثبيت الحبل ونزول العربة إلى الأسفل، تتحرك منسحبة إلى الأعلى، عتلة جهاز الأمان الميكانيكي المتصلة بالحبل من طرف، وطرفها الآخر المتصل بالجهاز فتقوم فكوك الجهاز بمسك العربة وقبل هذه العملية تؤثر عتلات التحريك على مفتاح المحكم الكهربائي فتقطع التيار الكهربائي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

### 3 - 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 الحکم .
- 2- الأوزان الطائرة.
- 3- لولب التنظيم .
- 4- الكلاب .
- 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 كلاب المحكم عن موقعه فتتحرك كتلة وزن المسك فتتنزل 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 بواسطة ضغط فكيه على سكة العربة.

## صيانة محكم السرعة:

- 1- الأجزاء التي تحتاج الى تزييت، كمساند وزن المسك، الكلاب، وأذرع مفتاح التحكم، أما الأجزاء التي لا تحتاج 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 - ماكينة السحب بدون صندوق التروس:

يعمل المحرك الكهربائي لهذا النوع من الماكينات المبينة في شكل (1 - 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 الماكينة ولعدم إمكانية الحصول على سرعة واطنة من هذه المحركات التي تعمل بالتيار المستمر، لذا يستعمل هذا النوع من الماكينات في مصاعد الأبنية المتوسطة الارتفاع والعالية التي يزيد عدد طوابقها على عشرة طوابق، إذ يتطلب أن تكون سرعة العربة أكبر من (2) متر/ ثانية.

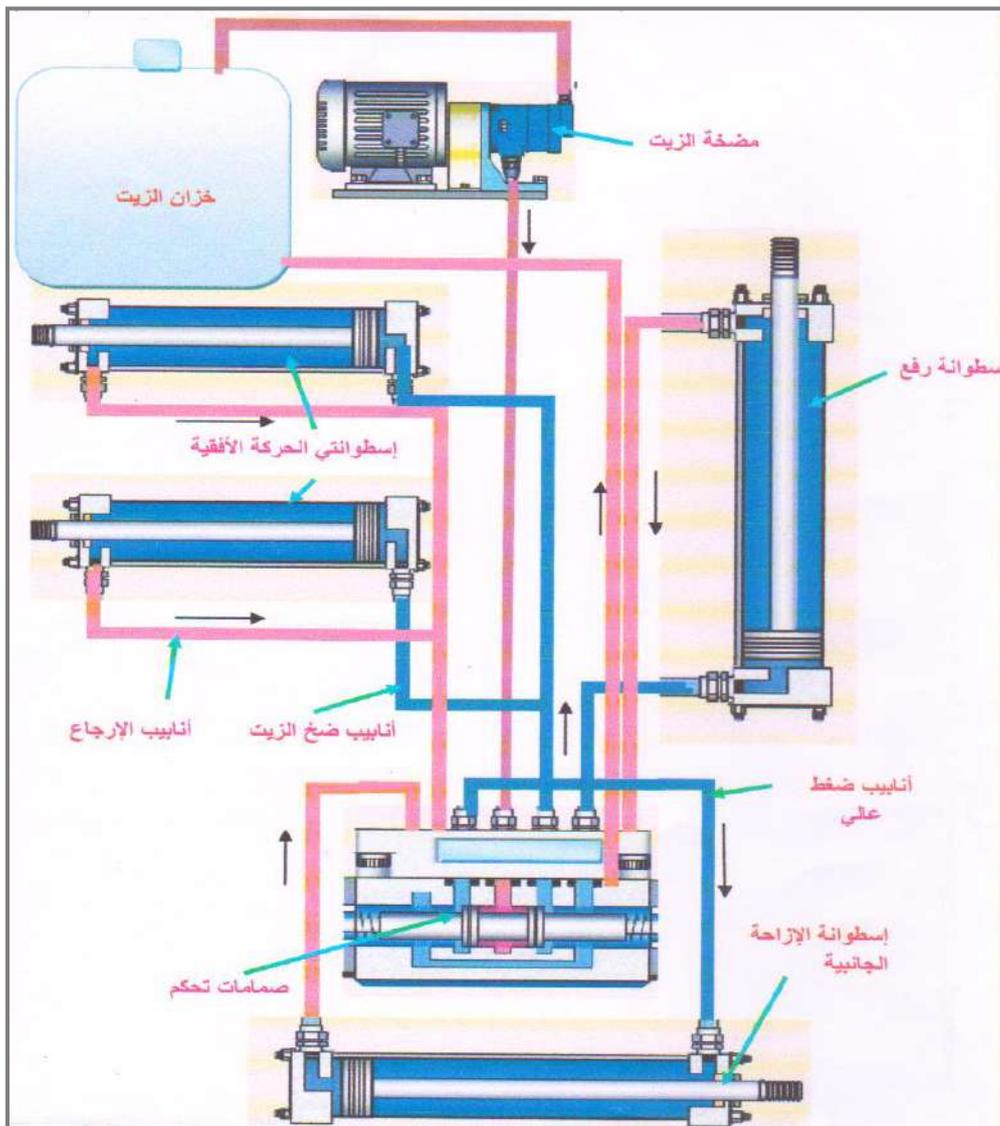


شكل 1 - 35 ماكينة سحب بدون صندوق تروس

لا تتطلب ماكنات السحب التي لا تحتوي 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 لا يحتفظ 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 :

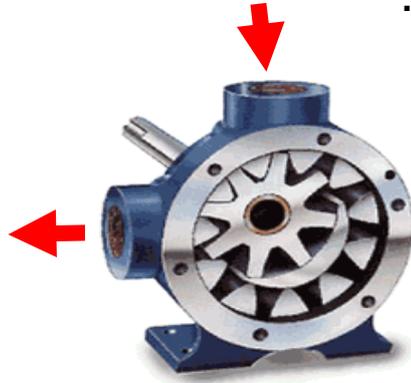
- 1- خزان الزيت.
- 2- مضخة الزيت.
- 3- أنابيب الضغط العالي .
- 4- صمامات التحكم .
- 5- الأسطوانات الهيدروليكية.

### 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

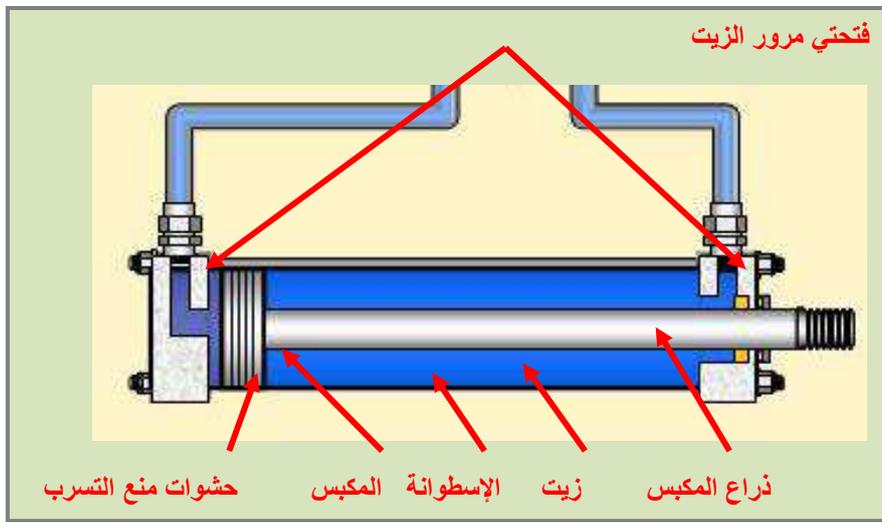
### 3- أنابيب الضغط العالي :

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



## ب - 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:

للمحافظة على عمل المنظومة الهيدروليكية بكفاءة عالية وزمن اشتغال أطول، يجب إجراء الصيانة الدورية لأجزاء المنظومة كالاتي :

- 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

- س1- عدد مكونات ماكينة السحب ذات التروس .
- س2- حدد نوعاً من المصاعد التي تستخدم فيها مكائن السحب ذات صندوق التروس .
- س3- حدد نوعاً من المصاعد التي تستخدم فيها مكائن السحب بدون صندوق التروس .
- س4- ما أنواع المحركات الكهربائية المستخدمة في المصاعد، وما الفرق بينها ؟
- س5- لماذا يستخدم صندوق التروس في المصاعد، وما مكوناته ؟
- س6- كيف يمكن إيقاف عربة المصعد في حالة خروجها عن السيطرة أوفي حالة قطع حبال السحب ؟
- س7- من إي المعادن يصنع الترس الحلزوني ؟
- س8- عدد فوائد المساند والكراسي المتدرجة؟ وما هي أنواعها ؟ وما الطريقة الأفضل لصيانتها ؟
- س9- عدد فوائد صندوق التروس .
- س10- عدد فوائد الزيت المستخدم في صندوق التروس لماكينة السحب للمصعد الكهربائي .
- س11- عدد خواص الزيوت الجيدة المستخدمة في صندوق تروس ماكينة السحب للمصعد الكهربائي .
- س12- ما هي أسباب حدوث الحركة الإرتجاجية في صندوق التروس المستخدم في المصعد الكهربائي ؟
- س13- عدد أنواع الكابح المغناطيسي وما الفرق بينها ؟
- س14- أشرح مكونات الكابح المغناطيسي؟
- س15- كيف تتم معايرة حركة ذراع الكابح ؟
- س16- ما هو عدد بكرات التوجيه لعربة المصعد الكهربائي وما فائدتها وأين تثبت ؟

س17- عدد أنواع محكم السرعة.

س18- ما الفائدة من الأسطوانة الهيدروليكية في المنظومة الهيدروليكية ؟

س19- ما مواصفات الأنابيب المستخدمة في المنظومة الهيدروليكية ؟

س20- عدد النقاط التي يجب أتباعها عند صيانة المنظومة الهيدروليكية ؟



## الفصل الثاني

### مكائن التيار المستمر

#### الأهداف:

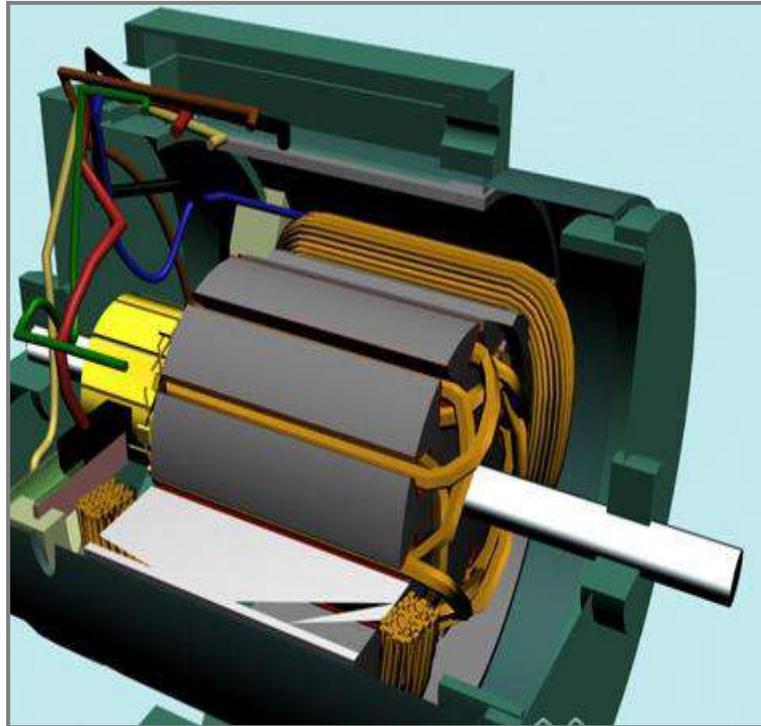
يكون الطالب قادراً بعد دراسة الفصل على أن:

- 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:

- 1-2 مكائن التيار المستمر (تركيبها وأجزائها).
- 2-2 مولدات التيار المستمر (نظرية اشتغالها وأنواعها).
- 3-2 محركات التيار المستمر (نظرية اشتغالها وأنواعها).
- 4-2 التحكم بسرعة محركات التيار المستمر وتقليل تيار البدء فيها.
- 5-2 محرك التيار المستمر في الرافعة الشوكية.



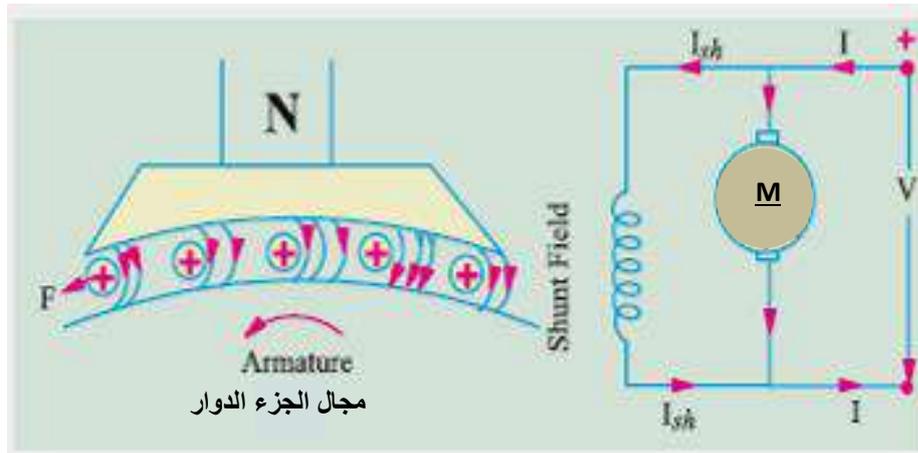
## 1-2 مكانن التيار المستمر (تركيبها وأجزائها) (D.C. Machines) :

هناك نوعان من مكانن التيار المستمر:

- مولدات التيار المستمر: هي المكانن التي تقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية الى طاقة كهربائية.
- محركات التيار المستمر: هي المكانن التي تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة ميكانيكية.

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

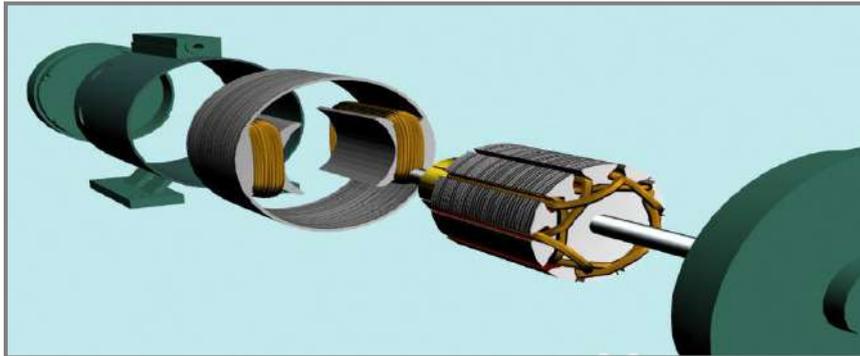
إنماكينة التيار المستمر (DC-Machine) يمكن استخدامها كمولد (Generator) أو محرك (Motor) فعندما تدار الماكينة ميكانيكياً تولد تياراً كهربائياً يغذي الدائرة الخارجية وتسمى عندئذ مولد تيار مستمر. وعندما تغذى الماكينة بتيار كهربائي مستمر يتولد في الدائرة مجالين مغناطيسيين (مجال الأقطاب المغناطيسية في الجزء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

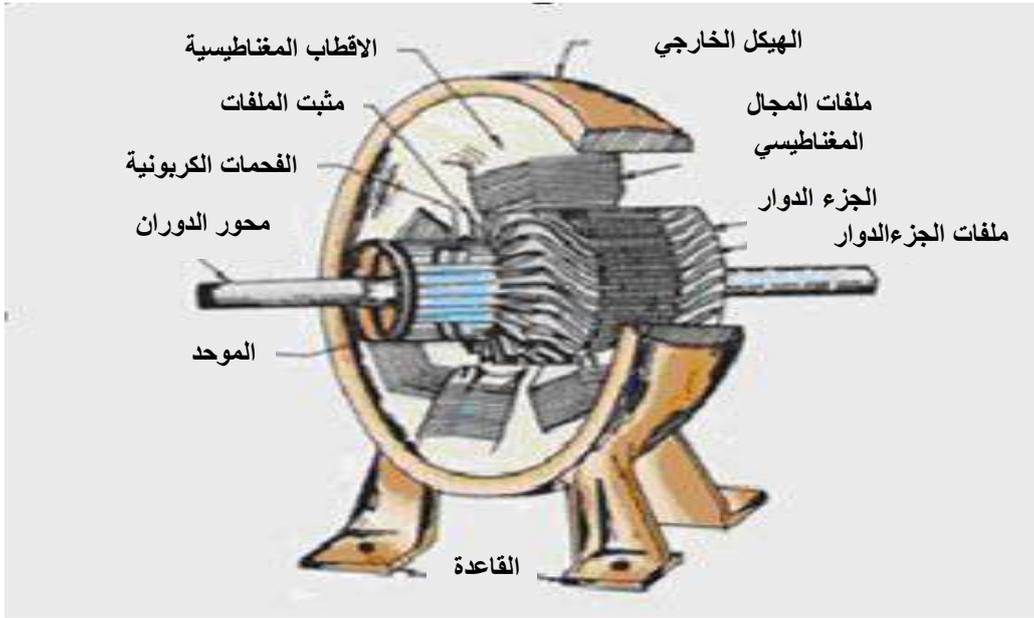


شكل 1-2 محرك التيار المستمر

## تركيب ماكينة التيار المستمر:

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





شكل 2-2 تركيب ماكينة 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:

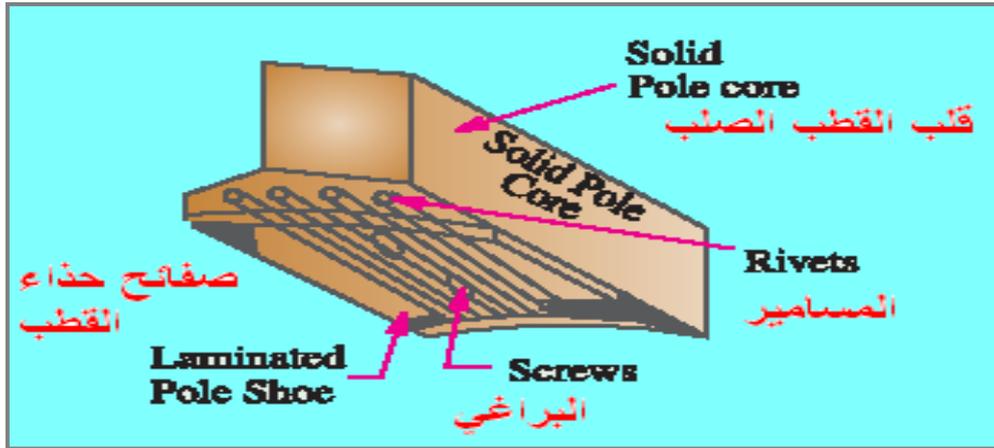
- A- حماية الأجزاء الداخلية: يعمل كغطاء لحماية الماكينة بكاملها من التأثيرات الخارجية.**
- B- يعطي الإسناد الميكانيكي الى الأقطاب.**



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 (4-2) وهي تتكون من رقائق الصلب المعزولة ذات سمك يقرب على المليمتر الواحد ولها خواص مغناطيسية جيدة وتثبت هذه الرقائق بواسطة 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 (4-2).

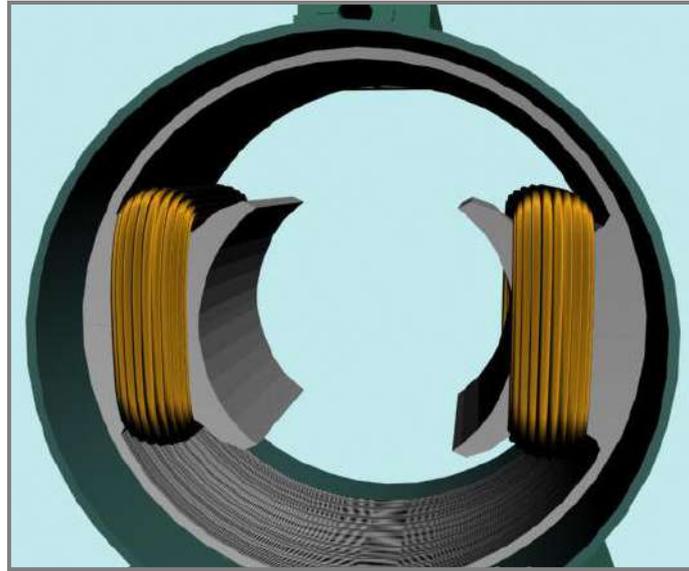


شكل 4-2 الأقطاب المغناطيسية

## 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 صغيراً نسبياً 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 (5-2).



شكل 2-5 ملفات المجال المغناطيسي

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

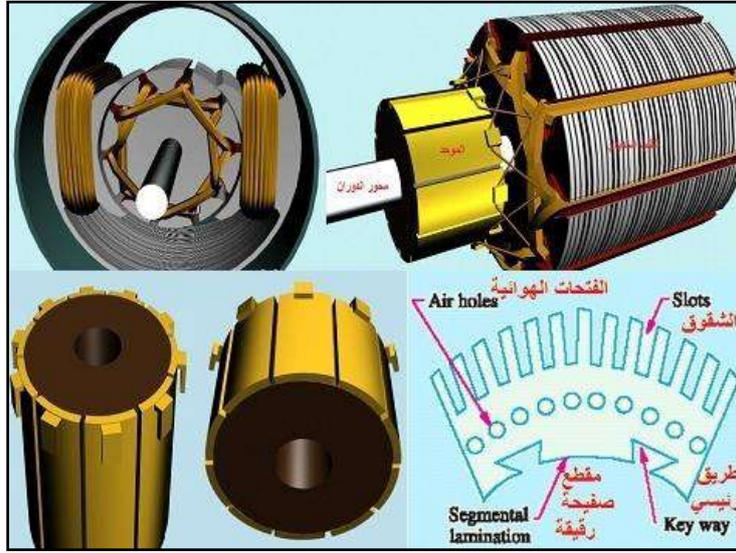
هي عبارة عن أقطاب صغيرة المقطع بالمقارنة مع أقطاب المجال التي سبقت الإشارة إليها وتوضع بالضبط في منتصف المسافة بين الأقطاب الرئيسية ولذلك تسمى بـ **(الأقطاب البينية)**.

### 4- الجزء الدوار (Armature):

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

**A. محور الدوران (Shaft):** وهو الذي يحمل قلب الجزء الدوار ويستند على المساند **(Bearing)** التي تتركب 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 الرئيسية 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 **(Eddy Current)**.

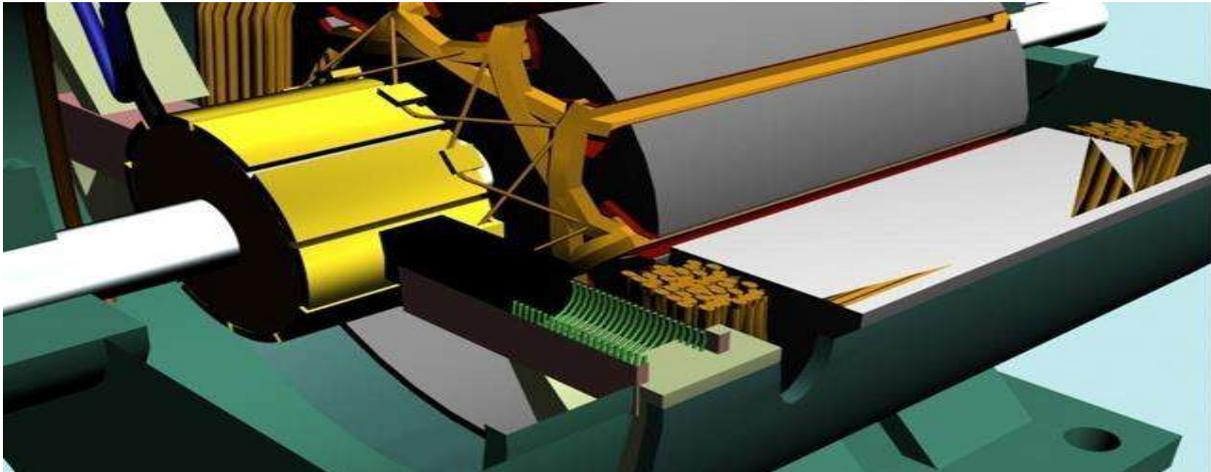


شكل 2-6 الجزء الدوار (المنتج)

**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 ) :

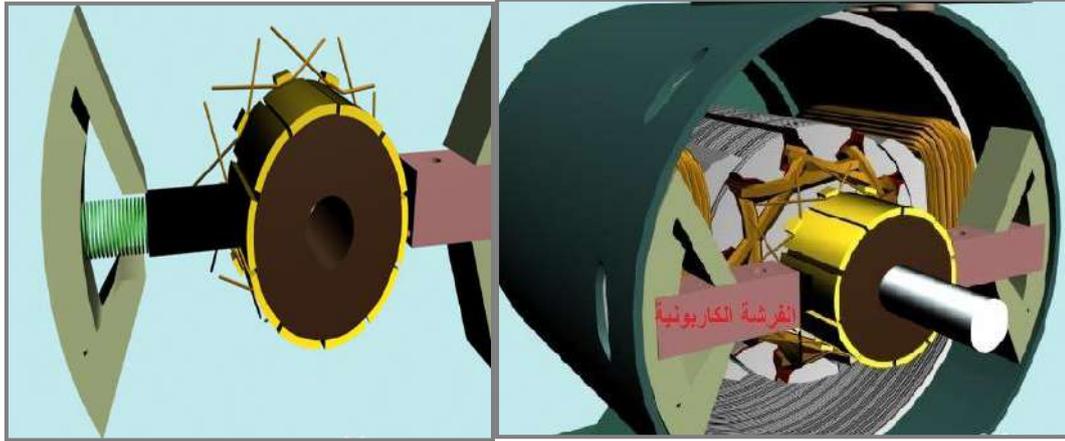
وهذه هي أهم أجزاء الماكينة سواء أكانت مولداً أم محركاً، حيث تتولد فيها قوة دافعة كهربائية (**ق.د.**) عند عمل الماكينة كمولد أو تولد العزم عند عملها كمحرك وهي عبارة عن ملفات نحاسية توضع في مجاري الجزء الدوار وتلحم بدايات ونهايات هذه الملفات إلى قطع الموحد كما مبين في الشكل (7-2).



شكل 2-7 ملفات الجزء الدوار

## 6- الفرش (Brushes) :

وهي الفحمات أو الفرش الكربونية تتكون من خليط من مادة الكربون (**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 (8-2).



شكل 8-2 الفرش الكربونية

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

### 1- مبدأ عمل المولد ( Generator Operation Principle ) :

**المولد الكهربائي** : هو الماكينة 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.

إذا وضع موصل طوله (**L**) متر في مستوى متعامد على اتجاه خطوط المجال المغناطيسي، كثافته (**B**) ووحدة القياس له (**m<sup>2</sup>/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 )

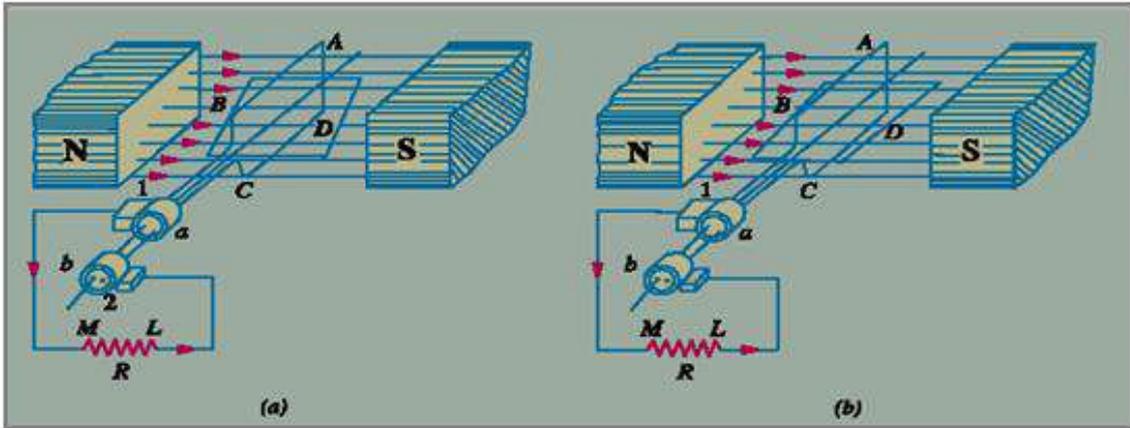
$B$  : كثافة الفيض المغناطيسي ( ويبر / متر مربع )

$L$  : طول الموصل ( متر )

$v$  : السرعة ( متر / ثانية )

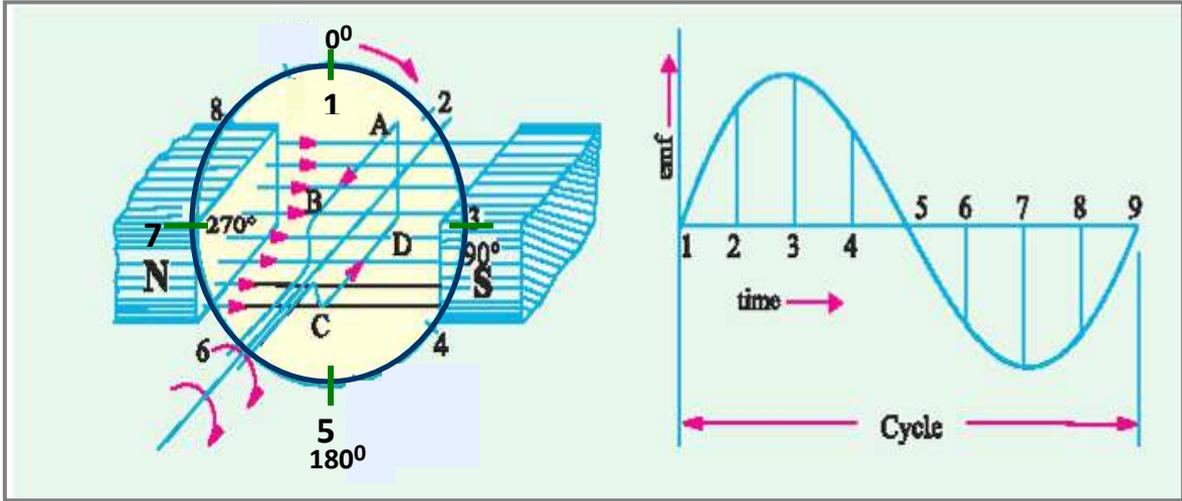
### دائرة موصل مولد بسيطة :

يبين الشكل (9-2) 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 9-2 مولد بسيط

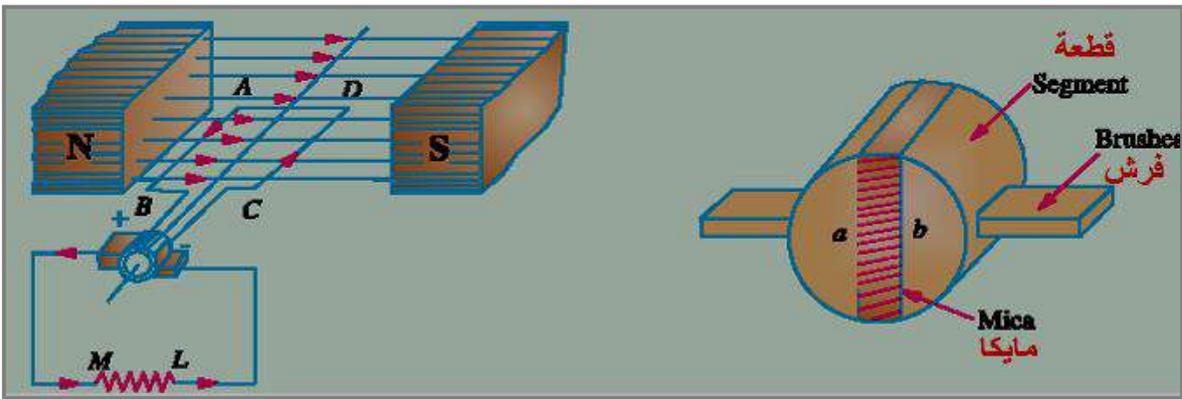
نفترض أن الملف (Coil) يدور باتجاه عقرب الساعة، ويقطع خطوط الفيض المغناطيسي كما مبين في الشكل (10-2). فسوف تتولد قوة دافعة كهربائية محتثة (E) تكون على شكل موجة جيبيية (Sine Wave) تتناسب مع نسبة تغير خطوط الفيض المغناطيسي ( $\Phi$ ) عندما يكون مستوى الملف في موقع (النقطة 1) تكون نسبة تغير خطوط الفيض المغناطيسي 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 ( $\theta = 0^\circ$ ).



شكل 10-2 دوران ملف و موجة جيبية

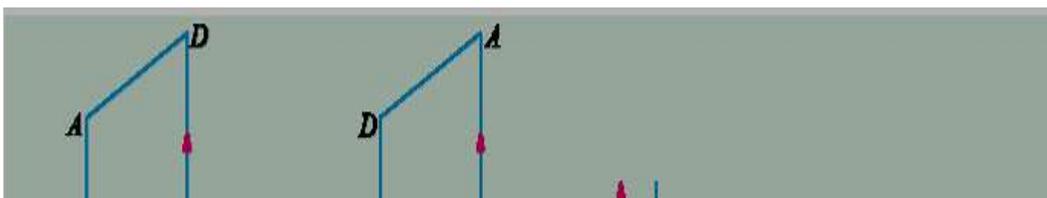
وعندما يستمر الملف بالدوران فإن نسبة تغير خطوط الفيض سوف تزداد وبذلك تبدأ القوة الدافعة الكهربائية المحتثة بالزيادة حتى وصول مستوى الملف الموقع (النقطة 3) تكون نسبة تغير خطوط الفيض عظمى (**Maximum**) وتكون قيمة القوة الدافعة الكهربائية (**E**) عظمى أيضاً (**Maximum**) لأن جهتي الملف (**A-B**) و (**C-D**) ستقطعان خطوط الفيض وحركتهما عمودياً لخطوط الفيض وإن زاوية الدوران ( $\theta=90^\circ$ ) وعند دوران الملف في الربع الثاني من ( $\theta = 90^\circ$ ) الى ( $\theta = 180^\circ$ ) فإن نسبة تغير خطوط الفيض تقل تدريجياً وبذلك ستقل تدريجياً القوة الدافعة الكهربائية (**E**) حتى وصول الملف إلى الموقع (النقطة 5) تصبح الزاوية ( $\theta = 180^\circ$ ) ، فإن القوة الدافعة الكهربائية (**E**) تصبح قيمتها صفراً (**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 صفراً 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 مقاومة الحمل (**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 ( $180^\circ$ ) إلى الزاوية ( $360^\circ$ ) 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 ( $270^\circ$ ) وتصبح قليلة تقريبا صفراً (**Minimum**) عند الموقع (النقطة 1) وبزاوية ( $360^\circ$ ) ولكن سيكون اتجاه التيار المحتث من (**C**) إلى (**D**) ومن (**A**) إلى (**B**) 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**) ونلاحظ أن التيار يتغير اتجاهه بعد كل نصف دورة وتتغير قيمته في كل لحظة ويسمى بـ (**التيار المتناوب**) (**Alternating Current**)

وبالتالي فإنه يختلف عن التيار المستمر (**Direct Current**) الذي يكون ذات قيمة ثابتة وباتجاه واحد ونلاحظ 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 (10-2) 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 (11-2) وهذه الحلقات المجزئة (**Split-Rings**) مصنوعة من أسطوانة موصلة مقطوعة إلى قطعتين (**Segments**) ومعزولة الواحدة عن الأخرى بصفيحة رقيقة من المايكا (**Mica**) .



شكل 11-2 الموحد

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



## حساب القوة الدافعة الكهربائية للمولد ( E ) :

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

يمكن حساب القوة الدافعة الكهربائية من المعادلة الآتية:

حيث أن :

E : القوة الدافعة الكهربائية ( فولت )

$\Phi$  : الفيض المغناطيسي ( ويبر )

N : سرعة الدوران ( دورة في الدقيقة )

Z : عدد الموصلات

P : عدد الأقطاب

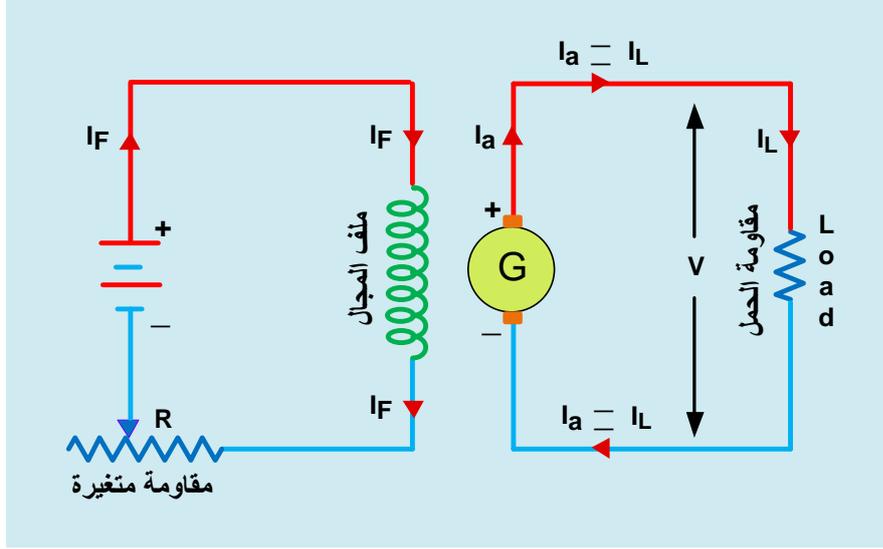
A : عدد دوائر التوازي

## 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 2-13 مولدات 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) :

ترتبط 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 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 )

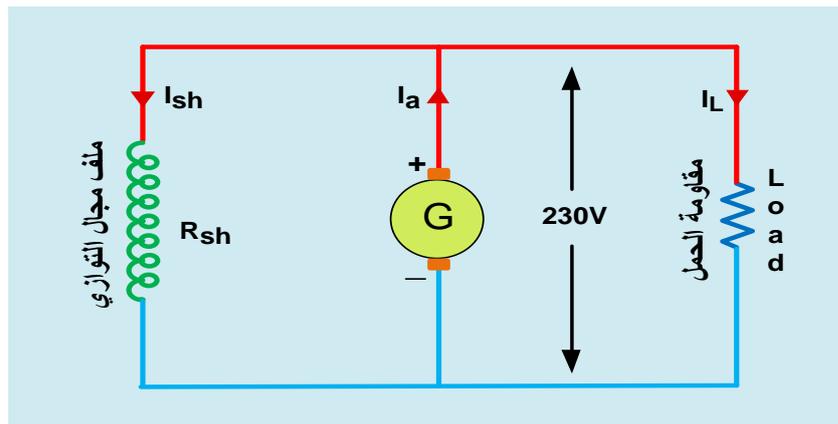
$V_a$  : هبوط الجهد في المنتج (فولت)

E : القوة الدافعة الكهربائية في المنتج ( فولت )

$R_a$  : مقاومة المنتج ( اوم )

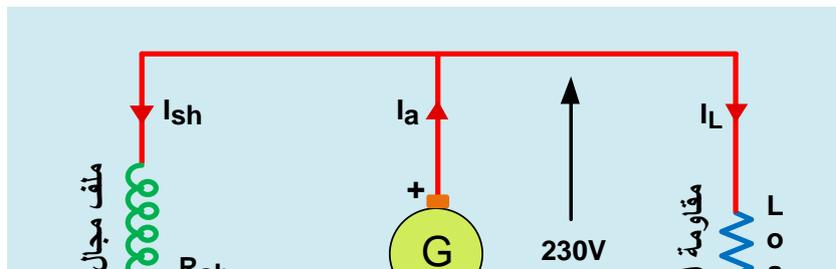
$I_a$  : تيار المنتج ( أمبير ) ويساوي مجموع تيار الحمل ( $I_L$ ) وتيار التوازي ( $I_{sh}$ )

$$I_a = I_L + I_{sh} \quad ( \text{ أمبير } )$$



الشكل (14-2) مولد التوازي

**مثال رقم (1-2) :** 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:**

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

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

$$I_a R_a = 454.6 \times 0.03 = 13.6v \quad (\text{فولتية هبوط المنتج})$$

$$E = V + I_a R_a = 230 + 13.6 = 243.6v \quad (\text{القوة الدافعة الكهربائية المتولدة})$$

## 2- ربط التوالي (Series Wound) :

ترتبط ملفات المجال المغناطيسي على التوالي (**Series**) مع ملفات الجزء الدوار (**المنتج**) ويسمى (**مولد التوالي**) وفي هذه الحالة فإن تيار الحمل الكلي يمر من 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 :

$$E = V + I_a (R_a + R_s) \quad (\text{فولت})$$

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:

$$V = E - I_a(R_a + R_s) \quad (\text{فولت})$$

حيث أن :

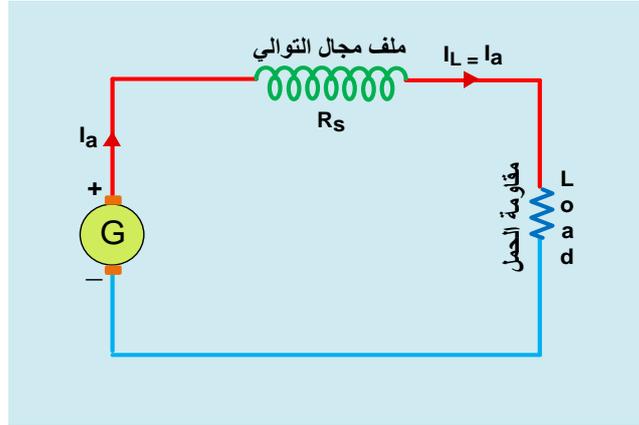
$V$  : الضغط (الفولتية) على طرفي المولد ( فولت )

$E$  : 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 15-2 مولد التوالي

**مثال رقم (2-2):** مولد نوع توالي مقاومة المنتج (  $0.1 \Omega$  ) ومقاومة ملف التوالي (  $0.2 \Omega$  ) ربط إلى

حمل يسحب تيار قيمته (  $25A$  ) بفولتية (  $25 V$  ) احسب القوة الدافعة الكهربائية المتولدة (  $E$  ) ؟

**الحل :**



$$I_a = I_L = 25A$$

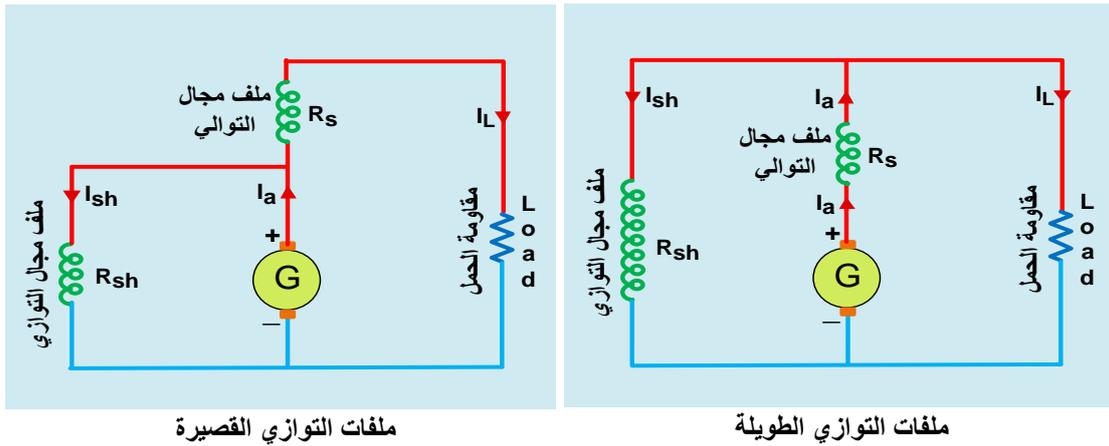
$$E = V + I_a (R_a + R_s)$$

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

$$E = 57.5V$$

### 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

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

معادلة المولد المركب القصير

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

معادلة المولد المركب الطويل

**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) والجـزء الدوار (0.05 Ω) احسب التيار المتولد والفولتية المتولدة (E) .

$$I_{sh} = \frac{V}{R_{sh}} = \frac{500}{250} = 2A$$

**الحل :**  
(تيار التوازي)

$$I_a = I_L + I_{sh} = 50 + 2 = 52A$$

(تيار المنتج)

$$I_a R_a = 52 \times 0.05 = 2.6 \text{v}$$

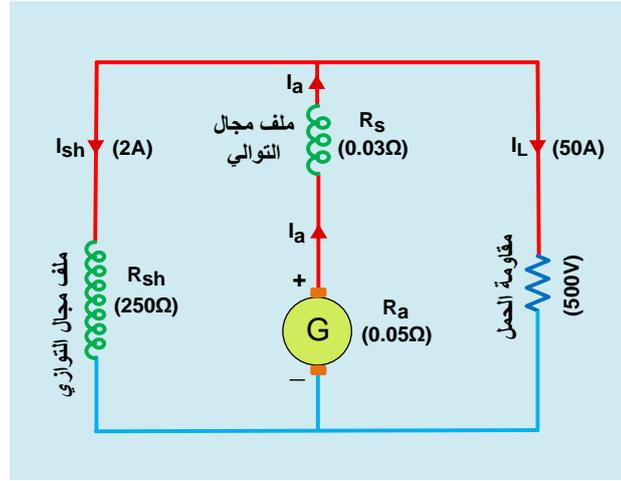
(فولتية هبوط الجزء الدوار)

$$I_a R_s = 52 \times 0.03 = 1.56 \text{v}$$

(فولتية هبوط ملفات التوالي)

$$E = V + I_a R_a + I_a R_s = 500 + 2.6 + 1.56 = 504.1 \text{v}$$

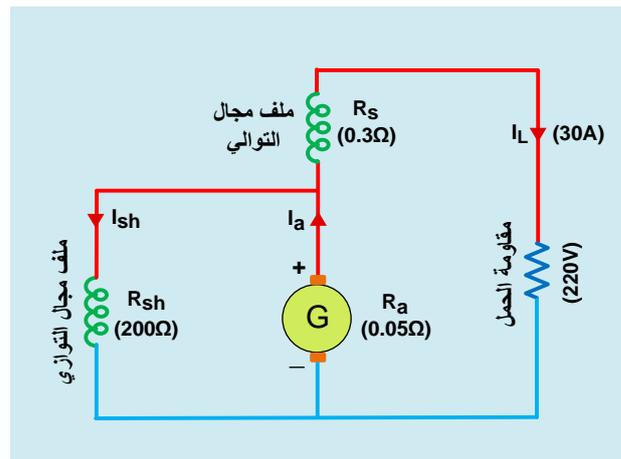
( الفولتية المتولدة ) أو (ق.د.ك المتولدة)



**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 :**

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

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

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

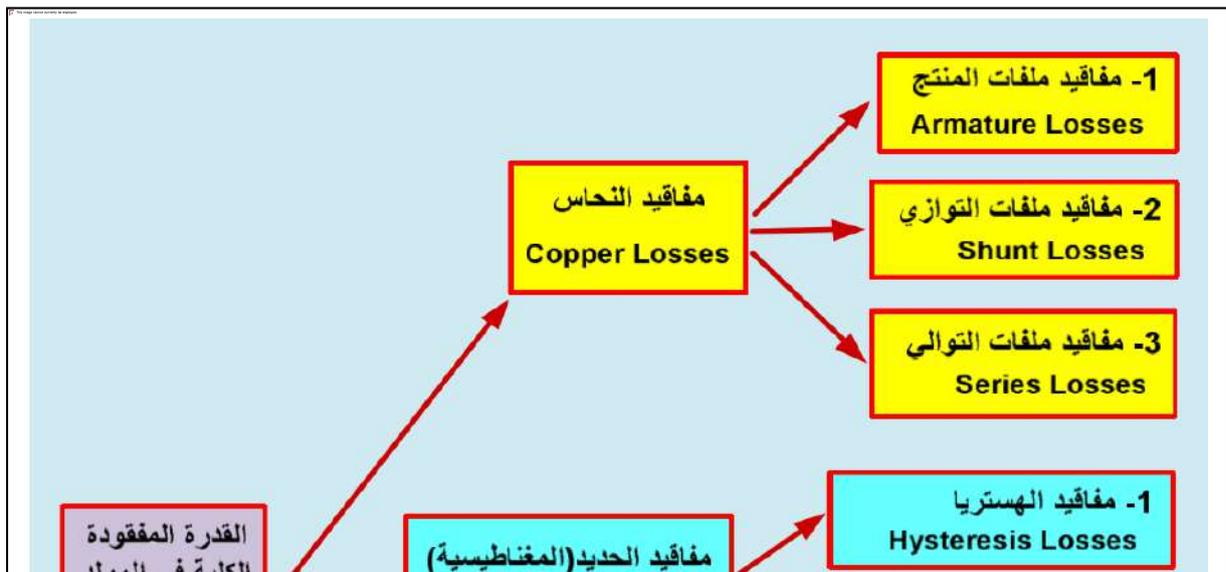
$$I_a = I_L + I_{sh} = 30 + 1.145 = 31.145A \quad (\text{تيار الجزء الدوار})$$

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

$$E_g = V_L + V_s + V_a = 220 + 9 + 1.156 = 230.56v \quad (\text{القوة الدافعة الكهربائية})$$

### القدرة المفقودة في المولد (Total Losses in Generator):

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



الشكل 2-17 القدرة المفقودة في المولد

A- القدرة الكلية المفقودة في المولد :

مفاقد النحاس (Copper Loss) :

$$1- \text{ مفاقد ملفات الجزء الدوار (المنتج) } = (I_a^2 \times R_a)$$

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

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

2- مفاقد ملفات المجال (Field Coils Losses)

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

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

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

مفاقد الحديد أو القلب : وتسمى أيضا (المفاقد المغناطيسية) (Magnetic Losses) وتتكون من:

1- مفاقد الهستيريا (Hysteresis Losses) .

2- مفاقد التيارات الإعصارية (Eddy Current) .

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

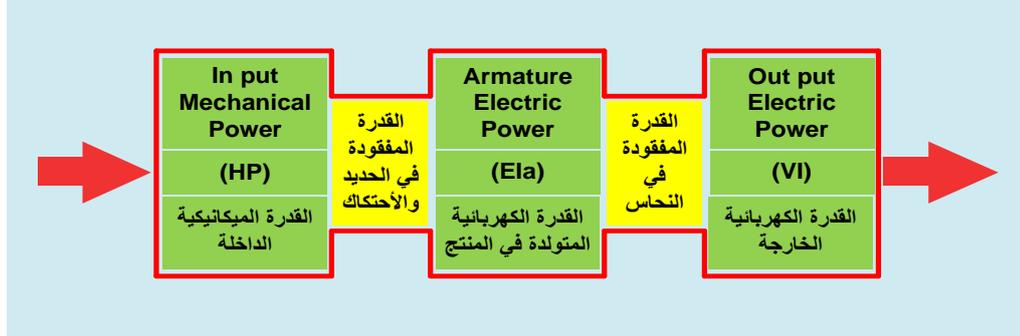
المفاقد الميكانيكية (Mechanical Losses) :

1- مفاقد الإحتكاك للمساند (Friction Bearing) .

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

## B- مراحل القدرة (Power Stages) :

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



شكل 18-2 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 ويحددها 95%.

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

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

**المحرك الكهربائي:** هو عبارة عن ماكينة تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية تظهر على شكل حركة دورانية لمحور الدوران، كما مبين في الشكل (19-2) ومبدأ عمل المحرك يخضع لقانون 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 )

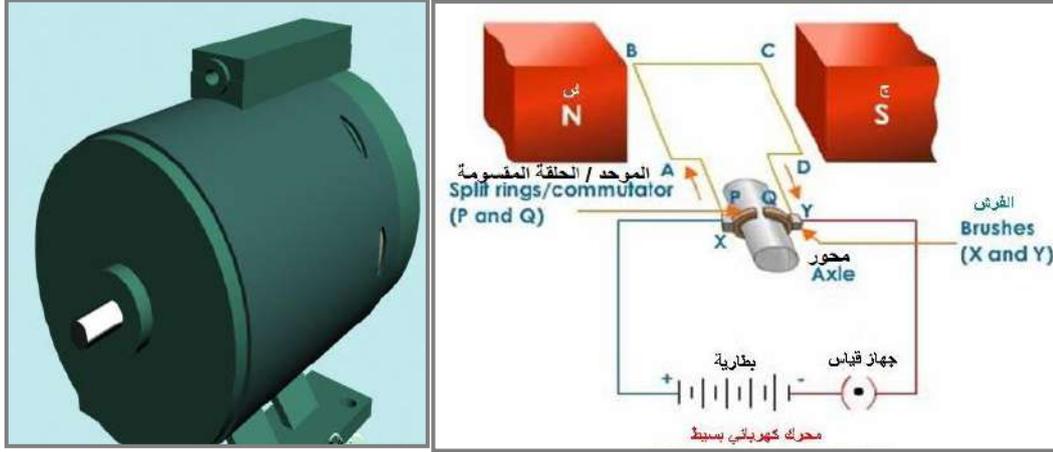
حيث أن :

F: القوة الميكانيكية ( نيوتن )

B : كثافة الفيض المغناطيسي (ويبر / مترمربع)

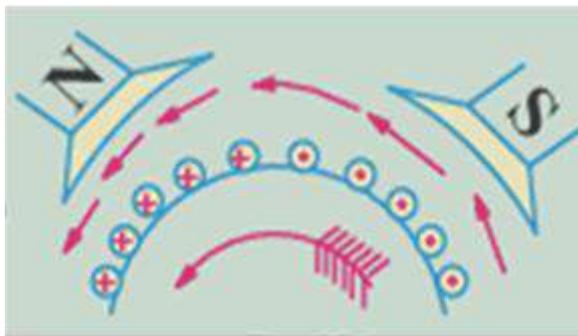
I : التيار المار بالموصل ( أمبير )

L: طول الموصل (متر)



شكل 2-19 محرك تيار مستمر

ليس هناك اختلاف أساسي في تركيب المحرك عن المولد، لذا فإن ماكينة التيار المستمر (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 الدوار الواقعة تحت الجزء الشمالي (N) تحمل التيار إلى الداخل (X) أما الواقعة تحت الجزء الجنوبي (S) تحمل التيار إلى الخارج (O) وتطبق 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 20-2 أنتاج 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 ( $E_b I_a$ ) والقدرة الزائدة (**OverPower**) تتحول في البطارية إلى طاقة كيميائية 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

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

المصدر ( $I_a$ ) ويساوي:

2- عند مرور هذا التيار ( $I_a$ ) في موصلات المنتج ووجود مجال مغناطيسي من ملفات المجال الأصلي ( $\Phi$ ) 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 الأقطاب

$\Phi =$  الفيض المغناطيسي (ويبر)

$A =$  عدد دوائر التوازي

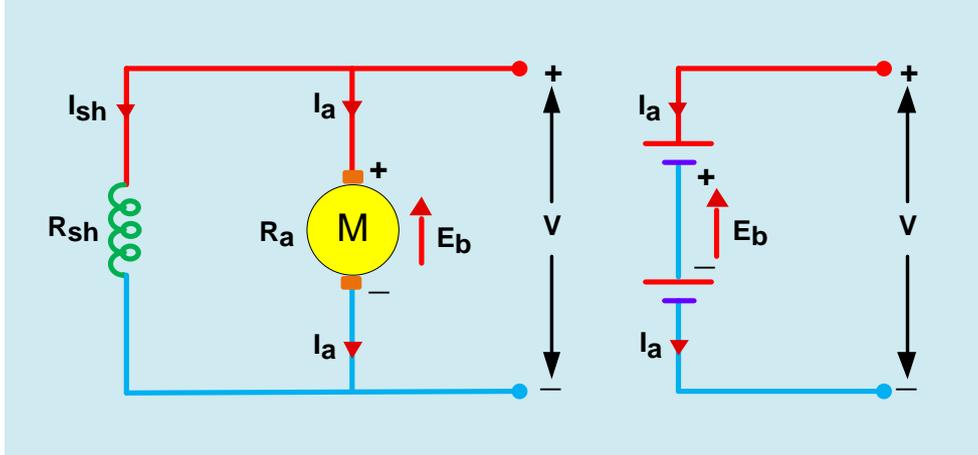
$N =$  سرعة الدوران (دورة / دقيقة)

$$E_b = K\Phi N$$

(ثابت)

= K

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



شكل 21-2 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 :

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

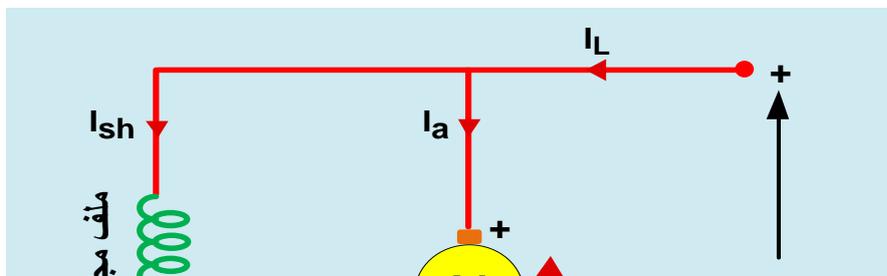
5- إن فولتية المصدر ( $V$ ) المسلطة على الجزء الدوار (المنتج) للمحرك تشمل:

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

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

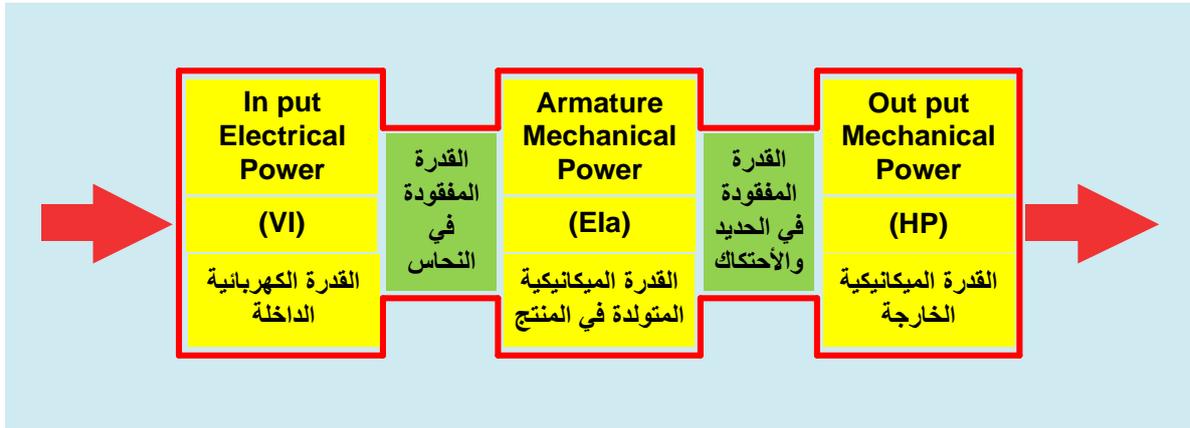
كما مبين في الشكل (22-2) .

$$V = E_b + I_a R_a$$



## القدرة الكهرومغناطيسية ( Electro Magnetic Power ) :

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



مراحل القدرة في المحرك الكهربائي

$$V = E_b + I_a R_a$$

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

بضرب طرفي المعادلة بـ  $I_a$

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 :

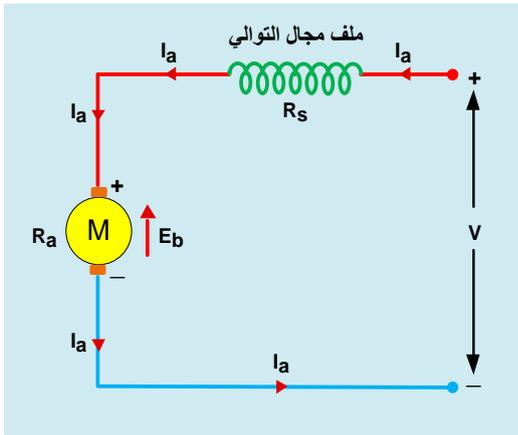
تصنف محركات التغذية الذاتية عادة إلى ثلاثة أنواع حسب طرق تغذية ملف المجال المغناطيسي أما خصائص المحرك فهي دراسة العلاقات بين عزم وسرعة والتيار الجزء الدوار (المنتج) .

### A-محرك التوالي:

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

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

حيث أن :



الشكل 23-2 محرك التوالي

$V$  : الفولتية المسلطة على المحرك ( فولت )

$E_b$  : القوة الدافعة الكهربائية العكسية ( فولت )

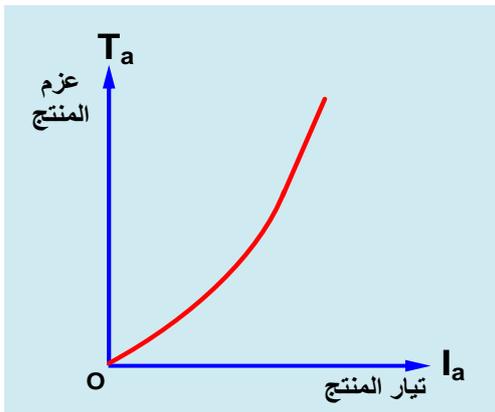
$I_a$  : تيار المنتج ويساوي تيار الحمل  $I_L$  ( امبير )

$R_a$  : مقاومة المنتج ( اوم )

$R_s$  : مقاومة المجال المغناطيسي ( اوم )

## 1-علاقة العزم مع التيار ( $T_a / I_a$ ) :

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



$$\therefore \Phi \propto I_a$$

$$\therefore T_a \propto \Phi I_a$$

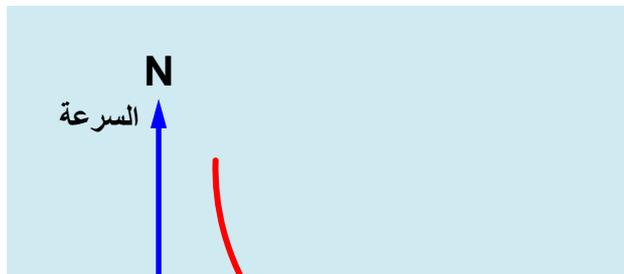
$$\therefore T_a \propto I_a^2$$

الشكل (24-2) يوضح هذه العلاقة فعند زيادة التيار ( $I_a$ ) فإن العزم يزداد بزيادة مربع قيمة التيار وبعد حد الإشباع فإن العزم يتناسب طردياً مع التيار، لذا فإن 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 ( $\Phi$ ) ونلاحظ أن السرعة ( $N$ ) تتناسب طردياً مع القوة الدافعة الكهربائية العكسية ( $E_b$ ) وعكسياً مع الفيض ( $\Phi$ ) فزيادة التيار ( $I_a$ ) يؤدي إلى زيادة الفيض ( $\Phi$ ) وبدوره سيؤدي إلى تقليل السرعة.

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



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

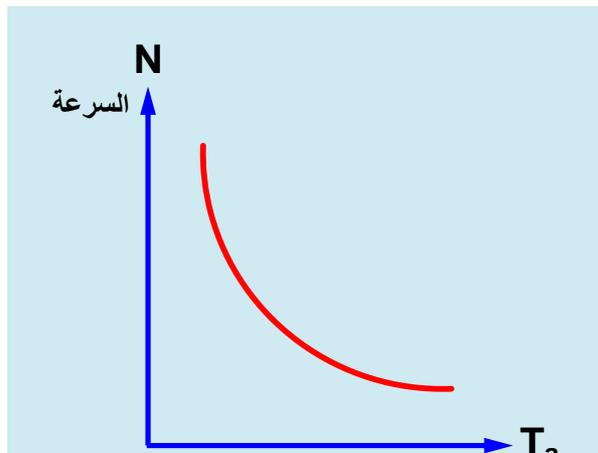
وعندما يكون الحمل كبيراً، فإن التيار ( $I_a$ ) ستكون قيمته عالية و ( $E_b$ ) ستصبح قيمتها قليلة وبالتالي ستصبح السرعة قليلة حسب معادلة فولتية المحرك.

$$V = E_b + I_a R_a$$

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

### 3- علاقة السرعة مع العزم ( $N / T_a$ ) :

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 (26-2) .

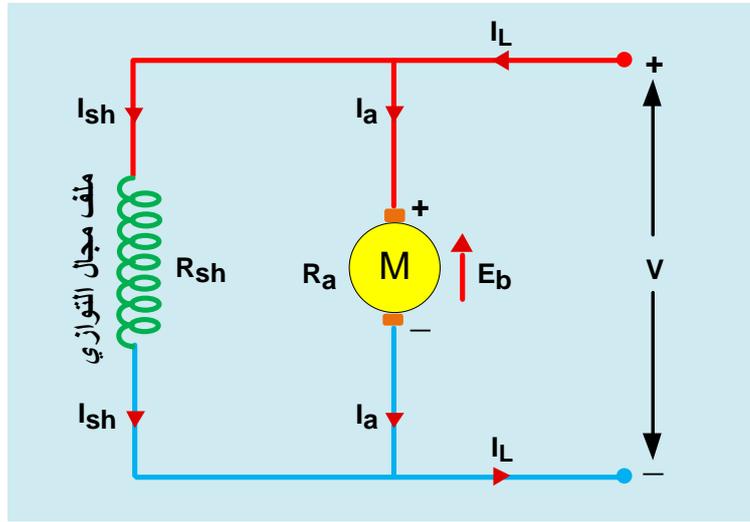


## B- محرك التوازي (Shunt Motor):

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

$$V = E_b + I_a R_a$$

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



شكل 27-2 محرك التوازي

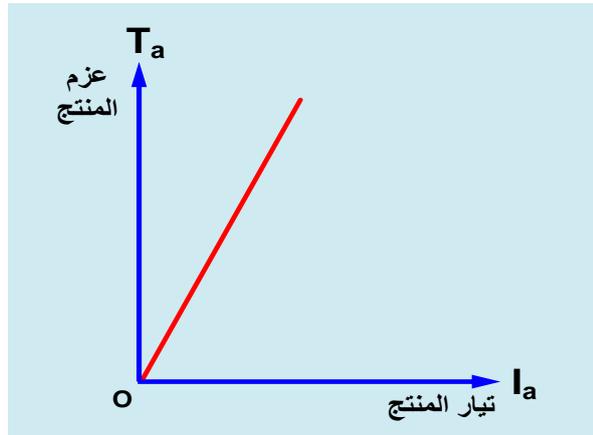
### 1- علاقة العزم مع التيار $T_a / I_a$ :

يفترض أن يكون الفيض المغناطيسي ( $\Phi$ ) ثابتاً، لذا نجد أن عزم الجزء الدوار ( $T_a$ ) يتناسب مع تيار الجزء الدوار ( $I_a$ ) تناسباً طردياً حسب العلاقة:

$$T_a \propto I_a$$

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

وهنا الخواص الكهربائية موضحة بالشكل (28-2) وإن العلاقة عمليا عبارة عن خط مستقيم وإن منحنى عزم المحور (Tsh) المنقط يكون اقل من عزم الجزء الدوار (Ta) .



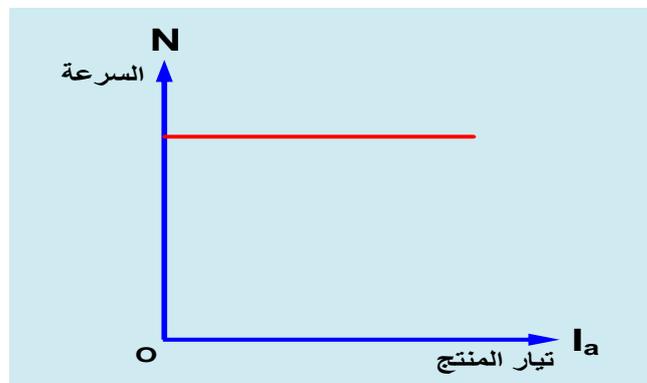
شكل (28-2) العلاقة بين العزم والتيار المنتج لمحرك التوازي

## 2- علاقة السرعة مع التيار (N / Ia) :

$$N \propto E_b$$

إذا فرضنا الفيض ( $\Phi$ ) ثابتاً فإن السرعة تتناسب مع ( $E_b$ ) حسب العلاقة:

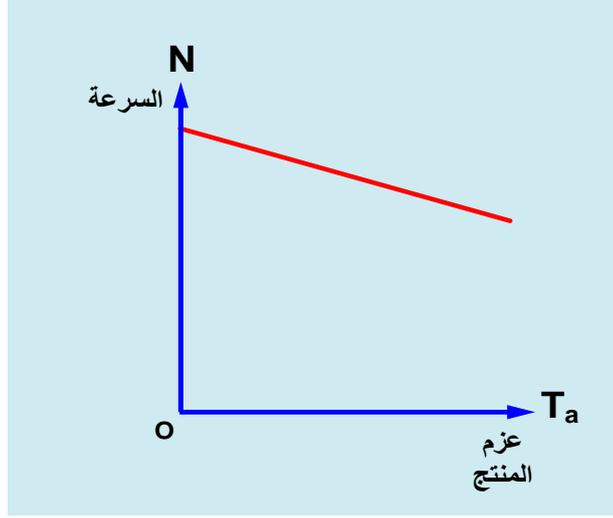
كما إن ( $E_b$ ) عمليا ثابتة فالسرعة على العموم تكون ثابتة وبهبوط متغير (5% - 15%) من سرعة الحمل الكلي ويبين الشكل (29-2) منحنى تغير سرعة محرك التوازي كدالة التيار ( $I_a$ ) مع ثبوت فولتية المصدر .



شكل 29-2 منحنى العلاقة بين السرعة والتيار المنتج لمحرك التوازي

### 3- علاقة السرعة مع العزم ( $N / T_a$ ) :

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

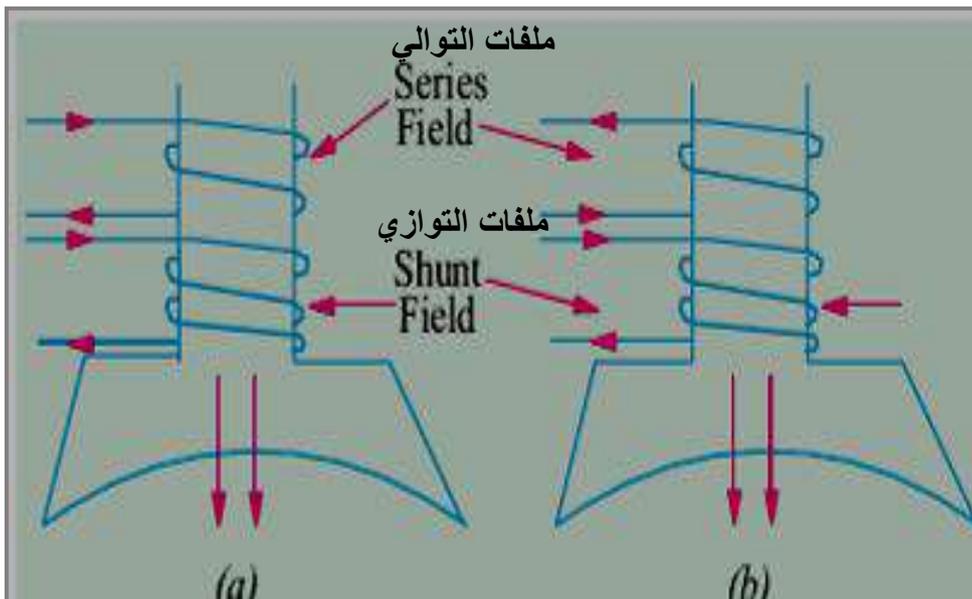


شكل 30-2 منحنى العلاقة بين السرعة والعزم لمحرك التوازي

### C- محرك المركب (Compound Motor):

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

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



ويكون على نوعين كما في المولدات وهما:

- محرك مركب قصير.
- محرك مركب طويل.

**أ- حالة الجمع (Commutatively) :**

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

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

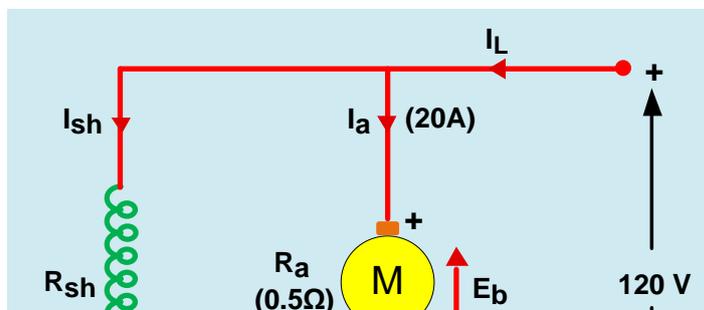
**ب- حالة الطرح (Differentially) :**

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

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

**مثال رقم (5-2) :** إذا كانت الفولتية المسلطة على محرك تيار مستمر (120 V) ومقاومة الجزء الدوار ( $R_a$ ) هي ( $0.5\Omega$ ) وتيار الجزء الدوار ( $I_a$ ) هو (20 Amp) في حالة الحمل الكلي. جد قيمة القوة الدافعة الكهربائية العكسية ( $E_b$ ) .

**الحل :**

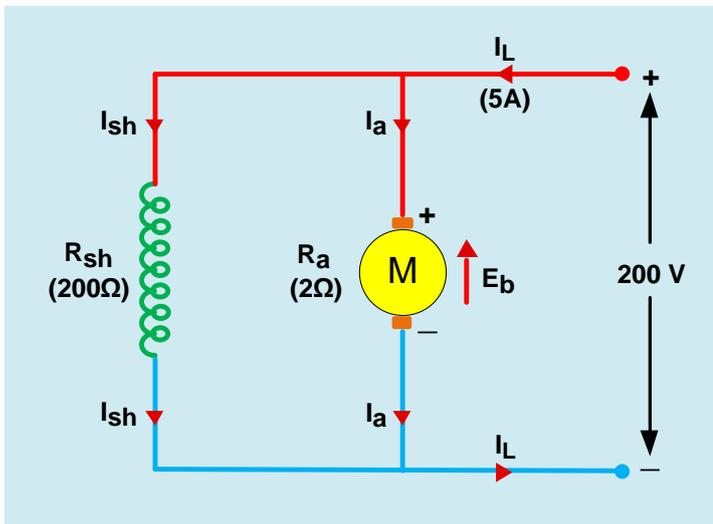


$$E_b = V - I_a \times R_a$$

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

$$E_b = 110 \quad (\text{فولت})$$

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



## الحل:

$$P = A = 6$$

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

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

$$I_a = 5 - 1 = 4 \text{ A} \quad (\text{ امبير })$$

$$E_b = V - V_a$$

$$\therefore E_b = V - I_a \cdot R_a$$

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

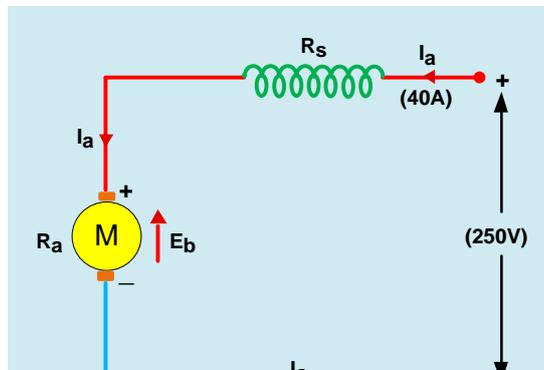
$$E_b = \frac{\Phi Z N \times P}{60 \times A}$$

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

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

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

## الحل:



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

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

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

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

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

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

### 3- العزم (Torque) :

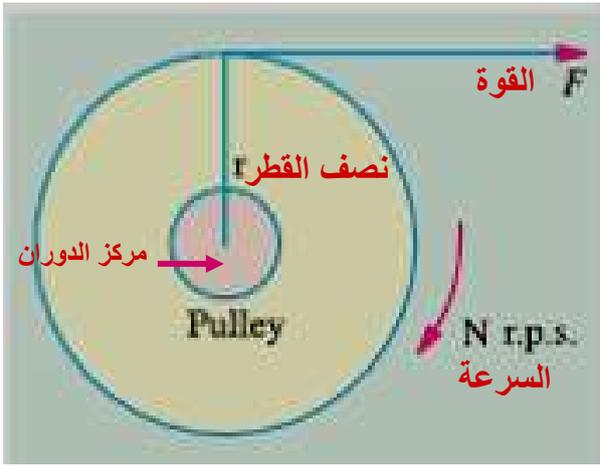
علاقة العزم والشغل والقدرة :

يعني قابلية حركة الدوران (اللولي) حول المحور لقوة مقدارها (F) تبعد عن مركز محور الدوران مسافة عمودية مقدارها (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)

(إذا كانت السرعة دورة لكل دقيقة فإن القدرة تساوي)

$$P = T(2\pi N)/60$$

جول/ ثانية

القدرة

$$P = NT \times (2\pi/60)$$

حاصل ضرب الطرفين = حاصل ضرب الوسطين (  $2\pi$  )

$$60 P / (2\pi) = N T$$

$$60 P / (2 \times 3.14) = N T$$

(التعويض عن قيمة  $\pi$  في المعادلة)

## 9.55 P = N T

$$P = N T / 9.55$$

جول/ ثانية

القدرة

### معادلة عزم الجزء الدوار للمحرك (Armature Torque Motor) :

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

$$\therefore P_m = T_a \times 2\pi N$$

إن القدرة الكهربائية ( $P_e$ ) المستفاد منها تساوي:

$$\therefore P_e = E_b \times I_a$$

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

$$\therefore P_m = P_e$$

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

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

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

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

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

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

ملاحظة: من المعادلة أعلاه نجد أن العزم ( $T_a$ ) يتناسب تناسباً طردياً مع الفيض ( $\Phi$ ) والتيار الجزء الدوار ( $T_a$ ):

$$T_a \propto \Phi \times I_a$$

2- من معادلة القدرة الكهربائية والقدرة الميكانيكية للجزء الدوار، فإن العزم  $T_a$  يتناسب تناسباً طردياً مع القوة الدافعة الكهربائية والتيار الجزء الدوار ويتناسب عكسياً مع سرعة الدوران، فإذا كانت سرعة الدوران (دورة لكل دقيقة) حسب المعادلة الآتية:

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

$$T_a = \frac{E_b \times I_a}{2\pi N / 60}$$

$$T_a = \frac{60 \times E_b \times I_a}{2\pi N}$$

$$T_a = 9.55 \times \frac{E_b \times I_a}{N}$$

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

**الحل:**

$$T_a = 9.55 \times \frac{E_b \times I_a}{N}$$

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

**عزم المحور ( Shaft Torque ) :**

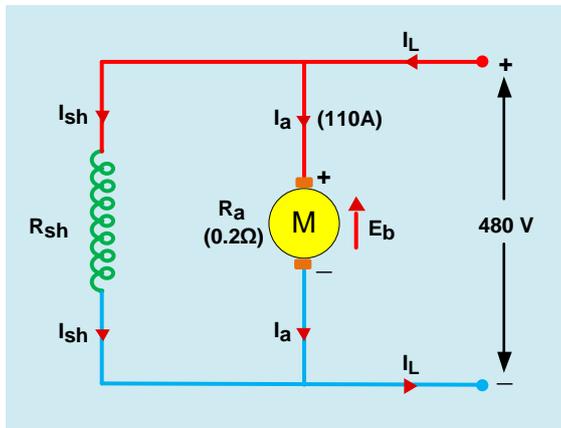
عزم الجزء الدوار الذي تم حسابه سابقاً ليس المتاح (المتوفر) للشغل المنجز بسبب نسبة معينة منه فقد في الحديد والاحتكاك في المحرك وإن العزم المتاح للشغل المنجز يعرف بعزم المحور (Tsh) وإن القدرة الحصانية التي يمكن الحصول عليها من عزم المحور تسمى (Horse Power) ويرمز لها (H.P) وهي القدرة الميكانيكية الخارجة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

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

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

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

**مثال (9-2):** إذا كان تيار الجزء الدوار لمحرك تيار مستمر نوع 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 (0.05 wb). احسب السرعة (N) وعزم الجزء الدوار (T<sub>a</sub>).



**الحل:**

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

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

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

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

$$N = 636 \text{ (دورة/دقيقة)}$$

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

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

$$T_a = 756 \text{ نيوتن . متر (N.m)}$$

**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 ( $A=2$ ) والتيار الكلي (45 Amp) والفيض لكل قطب (25 m.wb) ومقاومة الجزء الدوار هي ( $0.6 \Omega$ ) علما أن القدرة (8.2 kw).

**الحل :**

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

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

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

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

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

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

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

$$\therefore N = 288 \text{ (دورة /دقيقة)}$$

**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 نلاحظ أن سرعة المحرك تكون حسب العلاقة الآتية:

$$E_b = \Phi NZ (P / 60A) \quad (\text{فولت})$$

$$N = E_b 60A / \Phi ZP \quad (\text{دورة في الدقيقة})$$

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

$$K = \frac{Z}{(P/60A)} \quad (K = \text{ثابت})$$

$$N = (V - I_a R_a) / \Phi K \quad (\text{دورة في الدقيقة})$$

يمكن السيطرة على السرعة بتغيير العوامل الآتية:

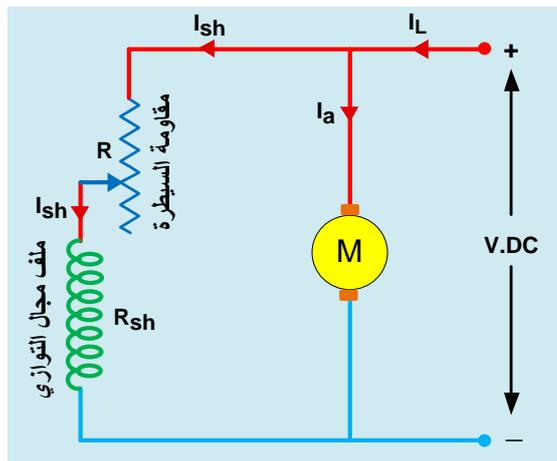
أ- السيطرة على الفيض (Flux Control): يتم تغيير الفيض المغناطيسي لكل قطب (Φ) .

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

ج- السيطرة بالفولتية (Voltage Control): تغيير فولتية التغذية.

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

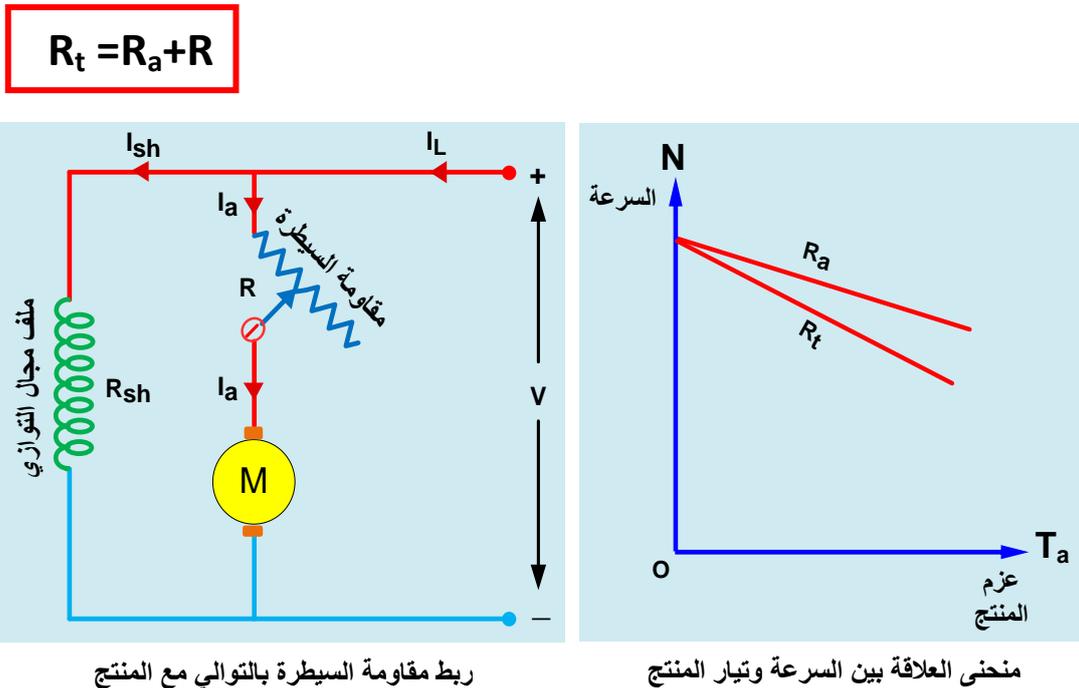
أ- سيطرة الفيض (Flux Control): نلاحظ من علاقة السرعة والفيض أن السرعة تتناسب عكسياً مع الفيض وعند زيادة الفيض (Φ) ستقل السرعة والعكس صحيح وأن فيض محرك التوازي يتغير بتغير تيار الفيض (I<sub>sh</sub>) ، حيث تربط مقاومة متغيرة على التوالي مع ملفات التوازي (R<sub>sh</sub>) فيتم التحكم بقيمة تيار الفيض حسب قيمة هذه المقاومة (Field Rheostat)، كما مبين في الشكل (2-32) .



## شكل 2-32 ربط مقاومة متغيرة مع ملفات التوازي

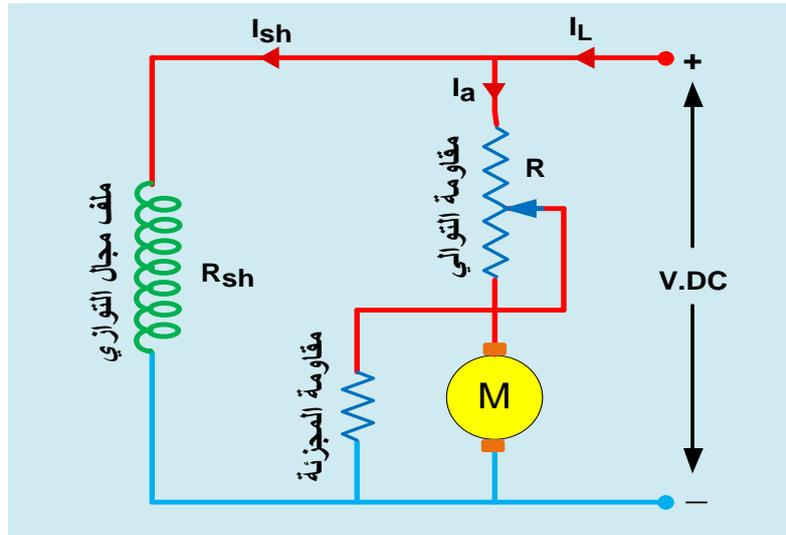
ب- سيطرة المقاومة المتغيرة أو السيطرة على المنتج (Armature or Rheostat Control Method) :

تستخدم هذه الطريقة عندما تكون السرعة المطلوبة أقل من السرعة بدون حمل وتكون فولتية المصدر ثابتة اعتيادياً 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 ( $R_a$ ) :



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

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

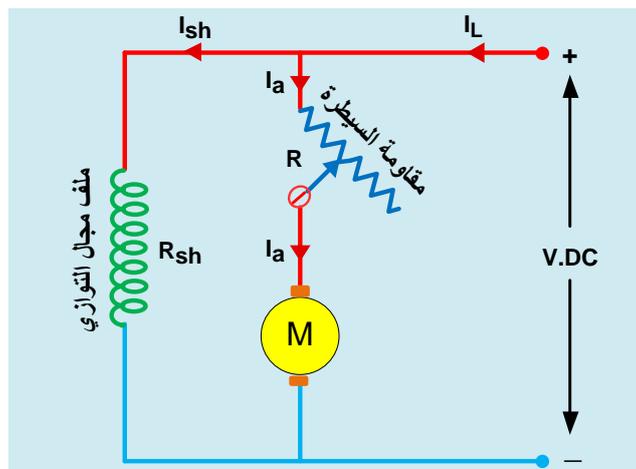


شكل 2-34 ربط مقاومة مجزئة بالتوازي مع المنتج

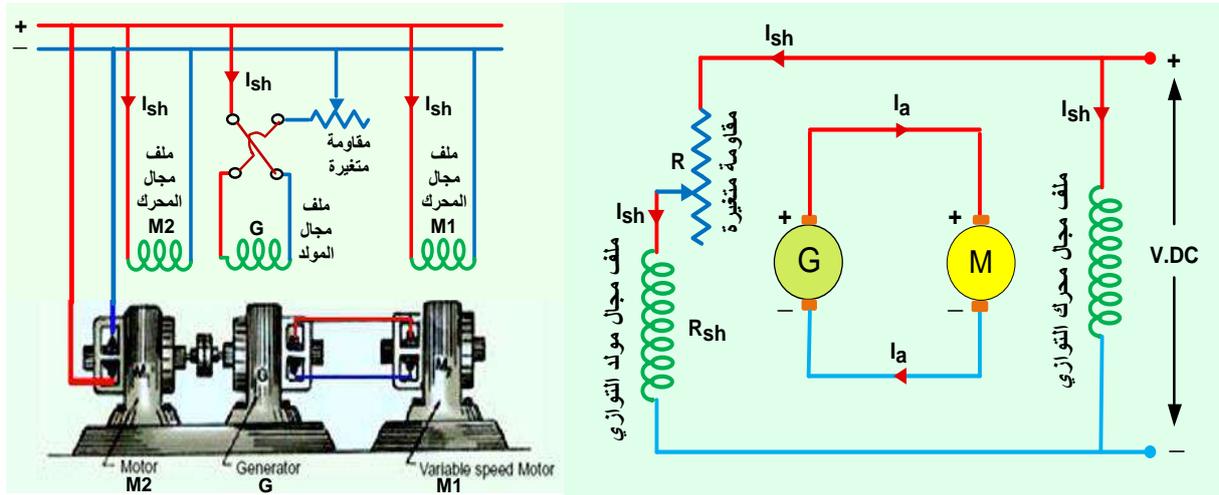
**c- سيطرة الفولتية (Voltage Control) :** هناك طريقتان للسيطرة على الفولتية هما:

### 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 بواسطة مقاومة متغيرة ( $R$ ) مناسبة وان سرعة المنتج سوف تتناسب مع هذه الفولتيات المتعددة تقريبا كما مبين في الشكل (2 - 35).



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



شكل (36-2) منظومة وارد ليونارد

تستخدم هذه الطريقة في مجالات نادرة للسيطرة على السرعة، كما في المصاعد الكهربائية، كما مبين بالشكل (36-2) 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 مستمر أو محرك تيار متناوب (M2) وغالبا ما يستخدم محرك حثي ثلاثي الطور. يربط المنتج ربطا ميكانيكياً بـ **قارئة** 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 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 (M1) يستدعي استخدام مجموعة (محرك – مولد) .

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

يبقى استخدام هذه المنظومة بشكل واسع في المصاعد الكهربائية في المباني المرتفعة التي تتطلب محرك قدرته عالية، كذلك هناك سبب آخر هو الحصول على سرعة عالية جداً حيث يمكن السيطرة على السرعة بواسطة 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 أيضاً (Deceleration) من السرعة العالية إلى السرعة الواطئة حتى الصفر. فضلاً عن ذلك يمكن تغيير قطبية الفولتية المتولدة من خلال تغيير في اتجاه تيار ملفات المجال للمولد الذي يؤدي إلى تغيير اتجاه دوران المحرك الرئيسي للمصعد الكهربائي وهذا ما نحتاجه في المصاعد الكهربائية في حالتي الصعود أو النزول لعربة المصعد والطريقة الأفضل لتغيير اتجاه دوران المحرك الرئيس للمصعد الكهربائي، هي تغيير قطبية ملف المنتج للمحرك الرئيسي من خلال تغذية الفرشة الكربونية (A) و (B) بقطبية معاكسة بواسطة ربط نقاط تلامس لموصلين هوائيين أحدهما للصعود والآخر للنزول وبقاء اتجاه تيار مجال المولد والمحرك ثابتين.

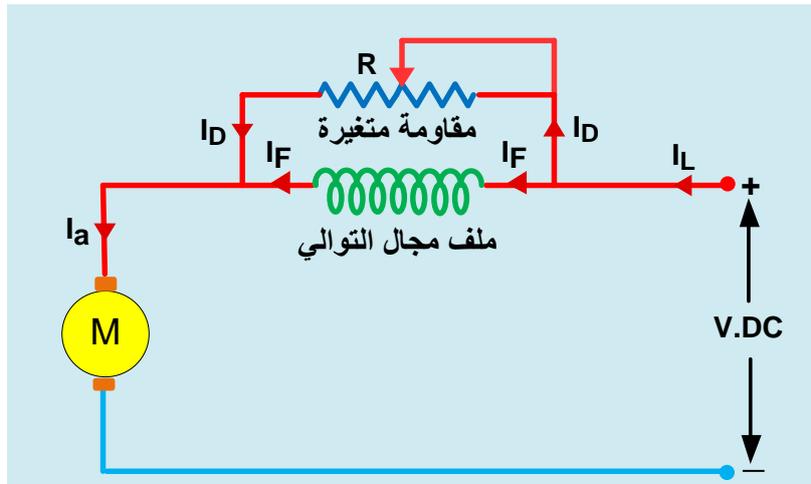
## 3- السيطرة على سرعة محرك التوالي (Speed Control Of Series Motor):

### أ- سيطرة الفيض (Flux Control) :

يمكن أن يحصل تغيير 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 تغيير بقيمة المقاومة سيؤدي إلى تغيير كمية التيار المار بملف مجال المغناطيسي وبهذا يمكن أن يقل الفيض ( $\Phi$ ) وبالتالي سيؤدي إلى زيادة السرعة (N) كما مبين في الشكل (2-37) .



## 2- تجزئة تيار المنتج (Armature Divertor) :

ترتبط 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 تتغير وبما أن عزم المنتج ( $T_a$ ) يتناسب مع الفيض ( $\Phi$ )، وتيار المنتج ( $I_a$ ) تناسباً طردياً حسب العلاقة:

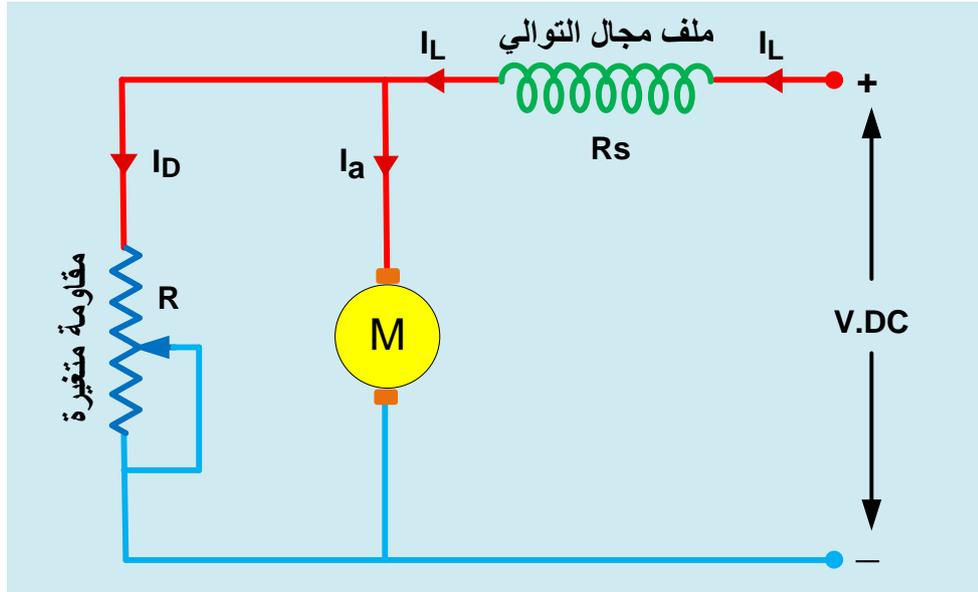
$$T_a \propto \Phi$$

$$T_a \propto I_a$$

$$T_a \propto \Phi I_a$$

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

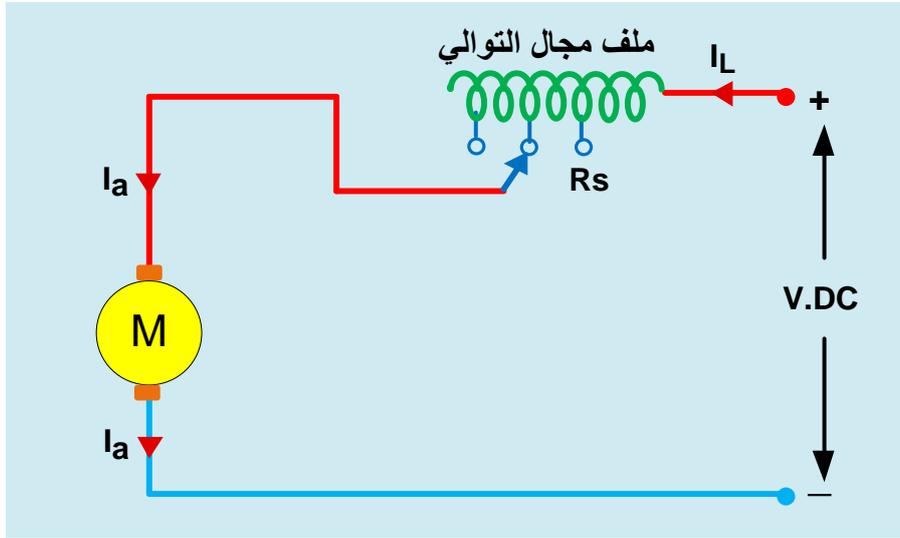
$$N \propto \frac{1}{\Phi}$$



شكل 2-38 ربط مقاومة متغيرة بالتوازي مع المنتج

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

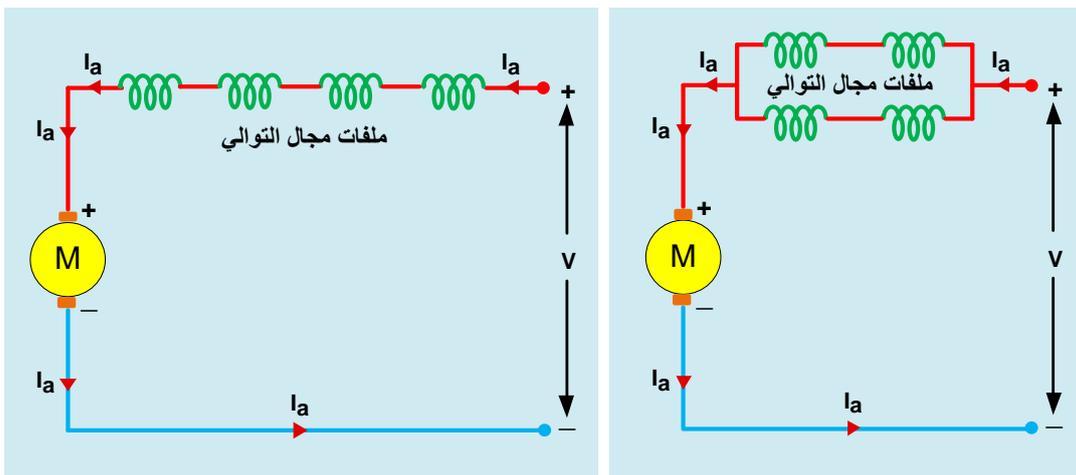
يمكن تغيير السرعة بتغيير عدد لفات ملف الفيض فعندما تكون لفات الملف كاملة فالمحرك يدور بسرعة قليلة ويمكن زيادة السرعة تدريجياً بتقليل عدد لفات الملف، كما مبين في الشكل (2-39).



شكل 2-39 تغيير عدد لفات ملف مجال التوالي

#### 4- توازي ملفات المجال (Paralleling Field Coils) :

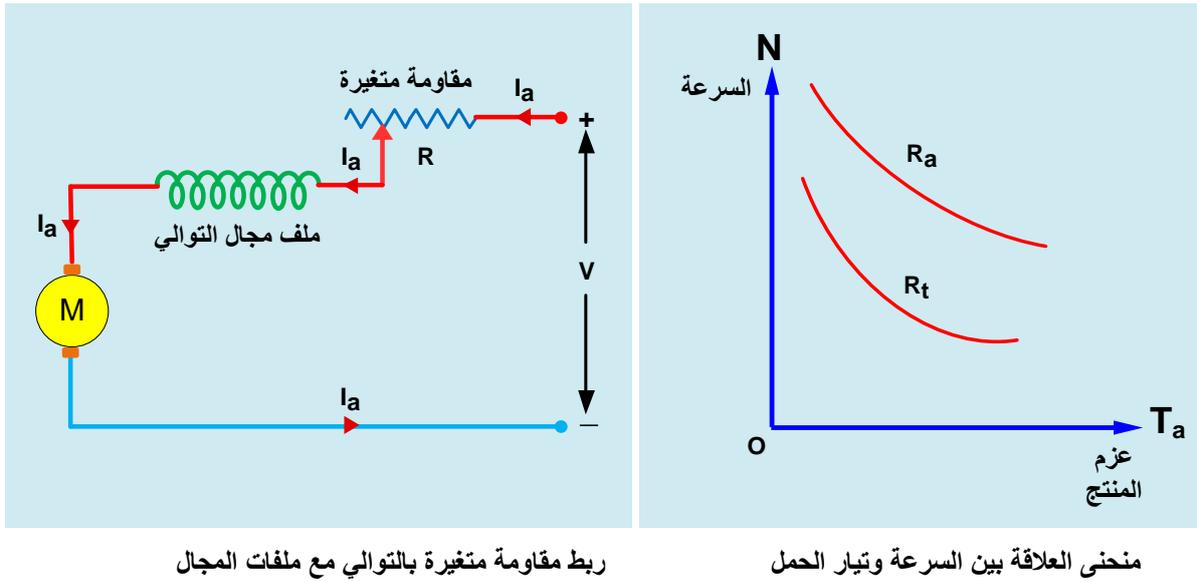
يمكن الحصول على عدة سرع من المحرك بواسطة إعادة تجميع الملفات وتستخدم هذه الطريقة في محركات ساحبات الهواء ونلاحظ ربط أربعة أقطاب للحصول على ثلاث سرع كما مبين في الشكل (2-40) .



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 نلاحظ في هذه الطريقة بأن التيار الكلي المار خلال المقاومة المتغيرة يسبب خسارة في الطاقة (Loss) كما مبين في الشكل (2-41).



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 وغير انسيابية بسبب أنه يعتمد على حالة الاحتكاك لبطانة ذراع الكابح و سطح قارئة 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 علماً 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

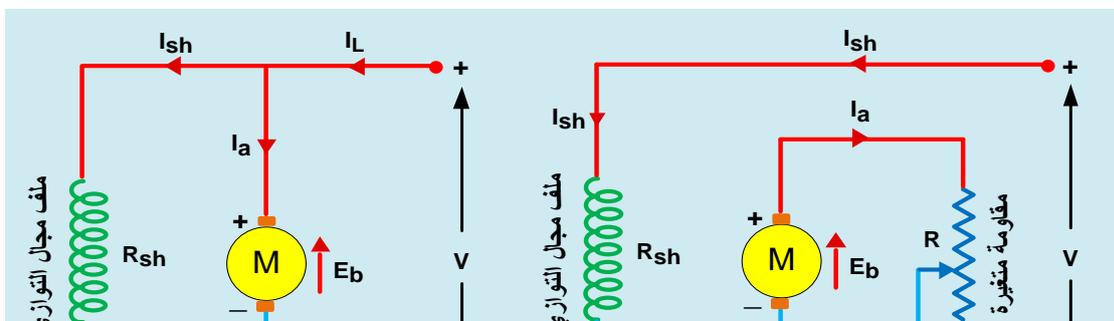
ولكي نحصل على الوقوف الكهروميكانيكي للمحرك بصورة أنسيابية وغير مفاجئة، فمن الضروري أن تقلل سرعة المحرك من سرعته العالية إلى السرعة الواطئة، ثم إلى السرعة القريبة إلى الصفر بوساطة استخدام الوقوف الكهربائي (Electric Braking) لكل من محرك التوازي ومحرك التوالي.

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

وهناك ثلاثة أنواع من الطرق:

### أ - الوقوف الديناميكي (Dynamic Braking):

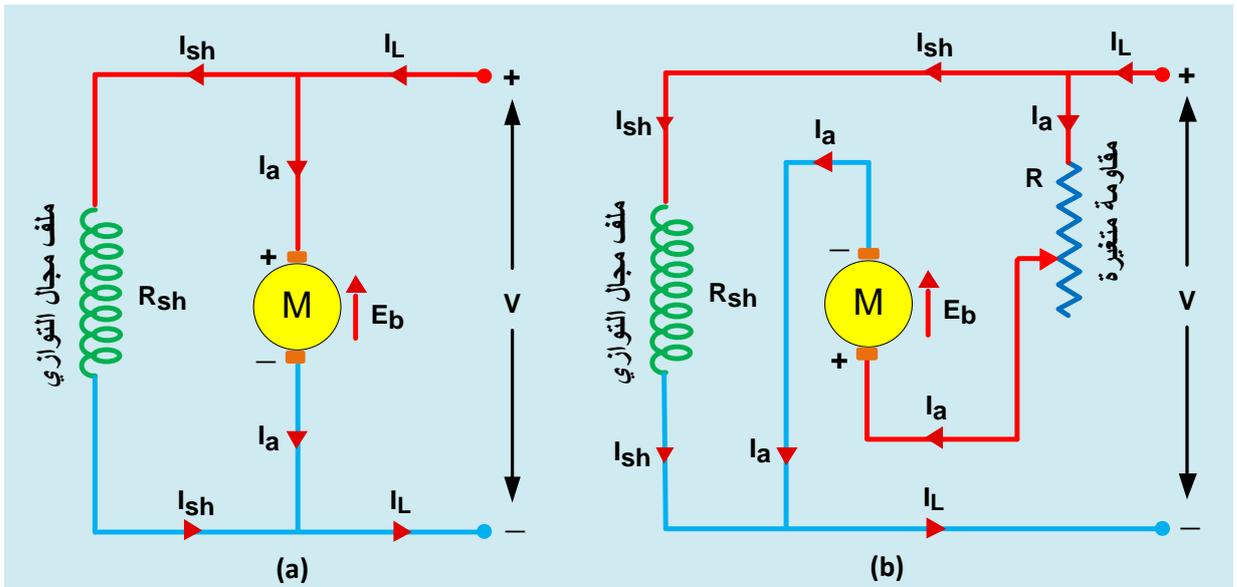
في هذه الطريقة تفصل ملفات المنتج لمحرك التوازي من المصدر وتوصل (تربط) إلى مقاومة متغيرة (R) ويتم التحكم بقيمة هذه المقاومة المتغيرة (R) إلى أن تقل السرعة إلى قيمة الصفر، وبما أن عزم الوقوف يتناسب مع السرعة، فالعزم يقل عندما تقل السرعة ويصبح صفراً عندما يتوقف المحرك عن الحركة كما مبين في الشكل (2-44).



شكل 2-44 الوقوف بفصل المنتج ويوصل الى مقاومة متغيرة

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

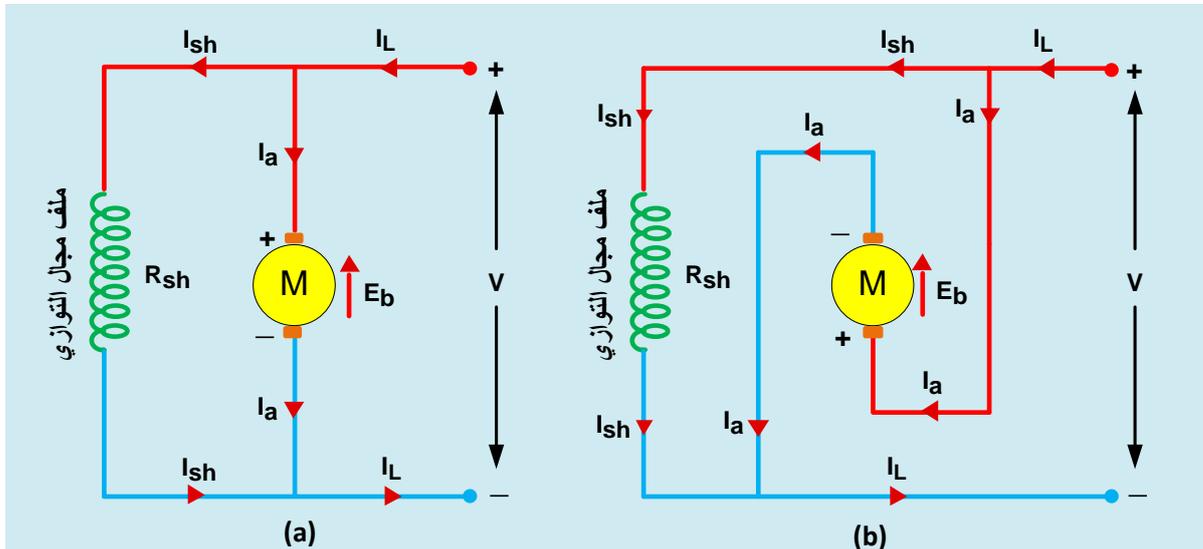
تستخدم هذه الطريقة في السيطرة على الوقوف الكهربائي لمحرك المصعد الكهربائي، حيث يتم فصل ملفات المنتج لمحرك التوازي من المصدر وتوصل (تربط) إلى مقاومة متغيرة (R) مربوطة بالمصدر بالتوالي وبعكس الاتجاه السابق وبهذه الطريقة سيتم تحديد قيمة تيار المنتج وعكس اتجاهه فيتولد مجال مغناطيسي بعكس اتجاهه السابق مما 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 الاسترجاعي (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).



شكل 2-46 الوقوف الكهربائي للمحرك المحمل بعكس تيار المنتج والعزم

## 6- السيطرة الإلكترونية 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 مثلًا 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 الإلكترونية 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):**

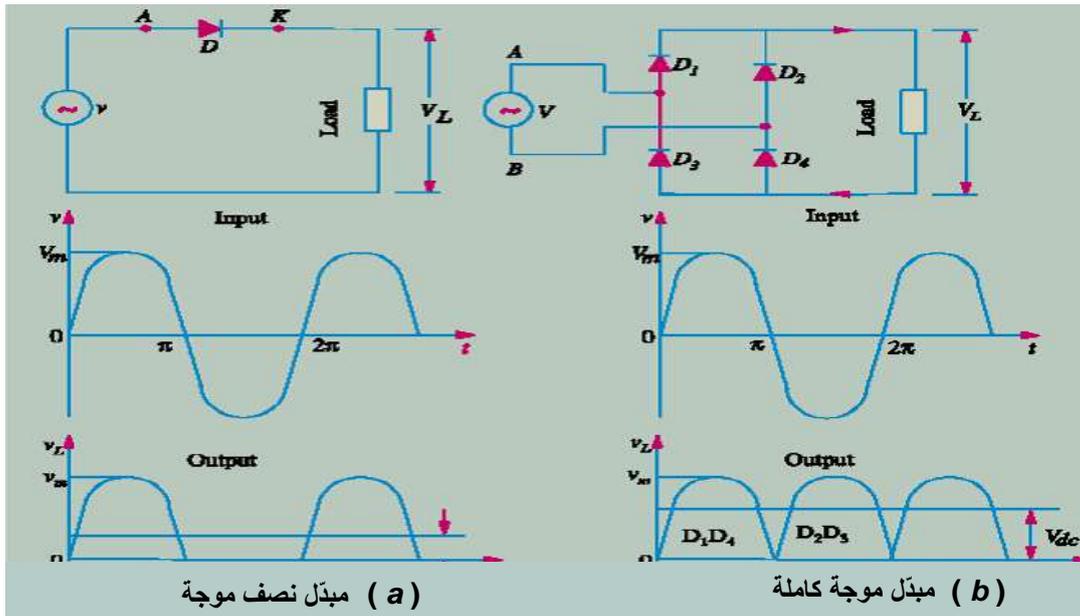
**1- معدل نصف موجة (Half Wave Rectifier):**

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) موصلاً لمرور التيار إلى الحمل لأن انحياز الثنائي يكون أمامياً أما عند مرور النصف الثاني السالب من موجة الدخول فالثنائي (D) سيكون انحيازاً 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 القتطري 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، فالثنائين ( $D_1, D_4$ ) سيكونان موصلين لمرور التيار إلى الحمل، وخلال النصف الثاني السالب من موجة الدخول فالثنائين ( $D_2, D_3$ ) سيكونان موصلين لمرور التيار إلى الحمل.

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



شكل 47-2 مبدل 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 :

$$I_a = \text{تيار المنتج (أمبير)}$$

$$R_a = \text{مقاومة المنتج (أوم)}$$

$$E_b = \text{ق. د. ك العكسية (فولت)}$$

$$V = \text{فولتية المصدر (فولت)}$$

فعندما يكون المحرك في حالة سكون فإن (ق. د. ك) العكسية ( $E_b$ ) في ملفات المنتج تكون قيمتها صفرًا 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 ( $3.73\text{kw}$ ) أي ( $5\text{H.P}$ ) يعمل بفولتية ( $440\text{V}$ ) وتيار الحمل الكلي ( $50\text{A}$ ) ، علماً أن مقاومة المنتج ( $0.25\Omega$ ). احسب التيار المار في المنتج في لحظة التشغيل.

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

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

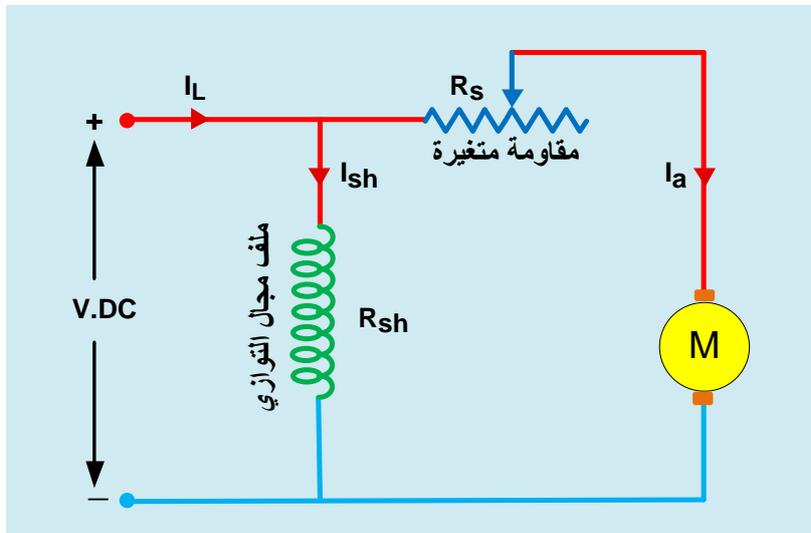
$$I_a = (440 - 0) / 0.25 = 1760\text{A}$$

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 2-48 ربط مقاومة بدء الحركة بالتوالي مع المنتج

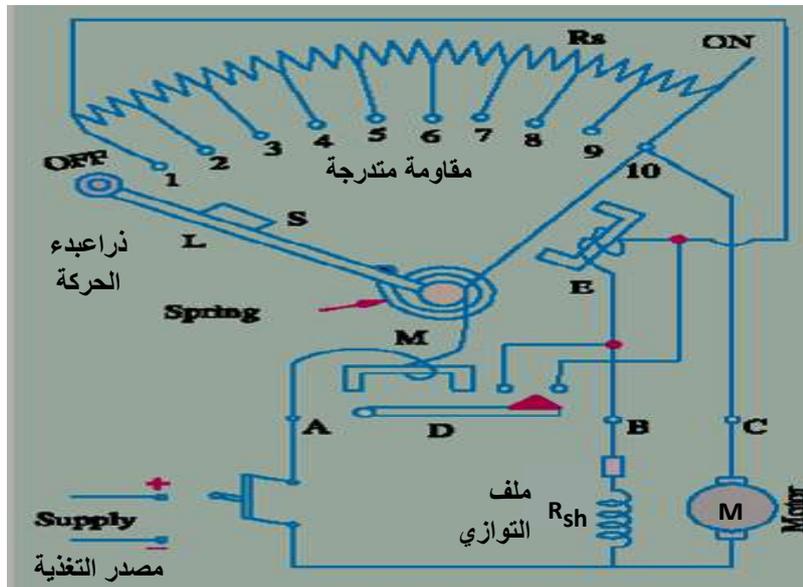
### ب- دائرة سيطرة المقاومة المتغيرة لبدء الحركة لمحرك التوازي (Starting Rheostat of Shunt Motor) :

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) وترتبط 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 تدريجياً حتى يصل الذراع (L) لموقع (**ON**) ستخرج مقاومة البدء ( $R_s$ ) كلياً من الدائرة فالمحرك يدور بسرعتة 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 2-49 ربط مقاومة بدء الحركة بالتوازي مع ملفات التوازي

جـ دائرة سيطرة بدء الحركة التدريجي لمحرك التوازي

:(Starting Resistance of Shunt Motor Grading)

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:

$$I = V / R_1$$

$$R_1 = \text{مقاومة بدء الحركة} + \text{مقاومة المنتج}$$

ويبدأ المحرك بالدوران بتسارع وتبدأ (ق.د.ك) العكسية ( $E_b$ ) تتزايد تدريجياً ويبدأ تيار المنتج ( $I_1$ ) يقل كما مبيّن في المنحنى (a<sub>1</sub>b) 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 نلاحظ أن في كل نقطة هناك قيمتين للتيار إحداها عظمى والأخرى صغرى وكذلك هناك قيمتان للسرعة إحداها 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:

$$I_1 / I_2 = R_1 / R_2$$

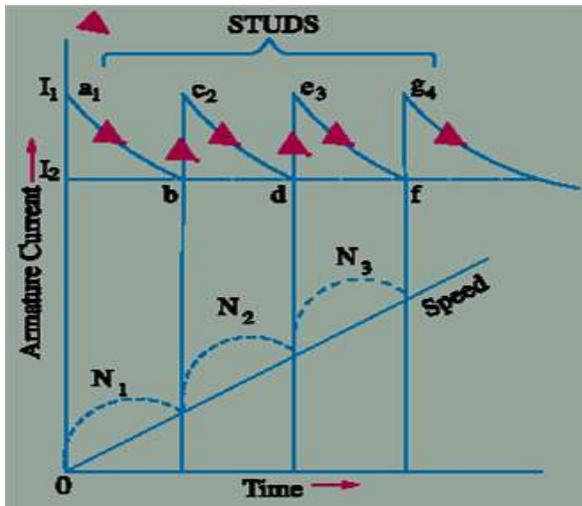
قسمة معادلة رقم 2 على معادلة رقم 1

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

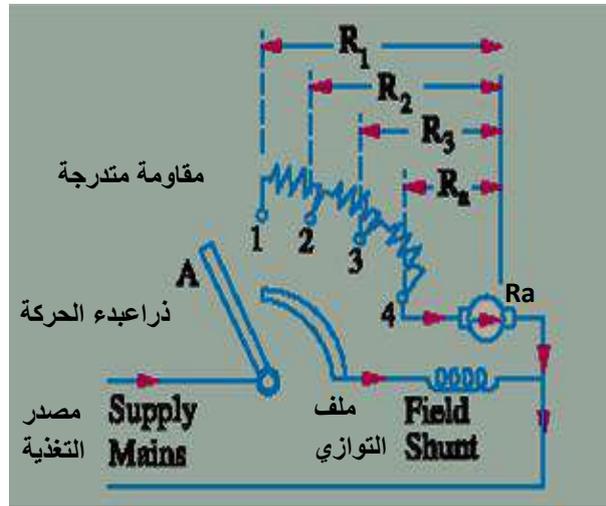
$$I_1 / I_2 = R_2 / R_3$$

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 51-2 منحنى العلاقة بين تيار المنتج والزمن



شكل 50-2 ربط مقاومة بدء الحركة بالتوالي مع المنتج

**مثال (12-2):** 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 تحدد تيار بدء الحركة (1.5) بقدر التيار الكلي.

$$IT = P / V$$

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

$$I = 1.5 \times IT$$

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

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

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

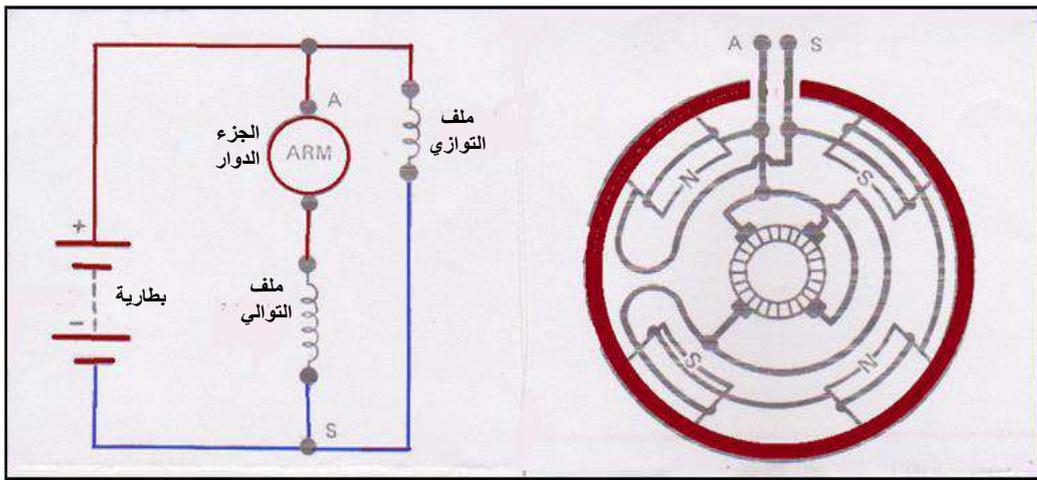
$$500 = 122.5(R + 0.24)$$

$$R = 3.8 \Omega$$

## 5-2 محرك التيار المستمر في الرافعة الشوكية:

يعشق محرك التيار المستمر مع محور مضخة الزيت بواسطة التروس أو القارئة (Coupling) أو بواسطة 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 (52-2) .



شكل 2- 52 المحرك المركب في الرافعة الشوكية

## أسئلة الفصل الثاني

س1- 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 موصلية

ب- مادة الكربون ومسحوق مادة عازلة

ج- مادة الكربون ومسحوق مادة شبه موصل

**4- تكون مقاومة ملف التوازي:**

- أ- مساوية لمقاومة المنتج
- ب- أكبر من مقاومة المنتج
- ج- أصغر من مقاومة المنتج

**5- مواصفات ملفات التوازي:**

- 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 الرئيسية لمكائن التيار المستمر.

س3- ما مفايد 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 طردياً مع مربع تيار المنتج.

2- استخدام الفرملة الكهروميكانيكية لمحركات مكانن 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 موضحاً ذلك مع الرسم؟

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

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

س17- مولد توازي ذو (8) أقطاب، وعدد الموصلات (778) موصل يغذي حمل مقاومته ( $12.5 \Omega$ ) بفولتية (250V)، علماً أن مقاومة المنتج ( $0.24 \Omega$ ) ، ومقاومة ملف التوازي ( $250 \Omega$ ) وأن مسارات التوازي (A=2) احسب:

1- قيمة التيار المتولد (Ia) .

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

$$(I_a = 21 \text{ A}) , (E = 255 \text{ V})$$

الجواب:

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

$$\text{الجواب : } (N = 805 \text{ rpm})$$

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

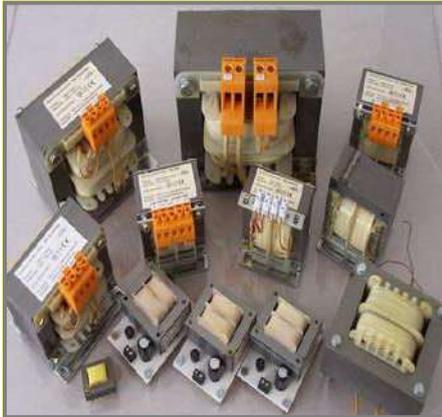
**الجواب : (EB = 105V)**

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

**الجواب : (E = 115.3 V)**

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

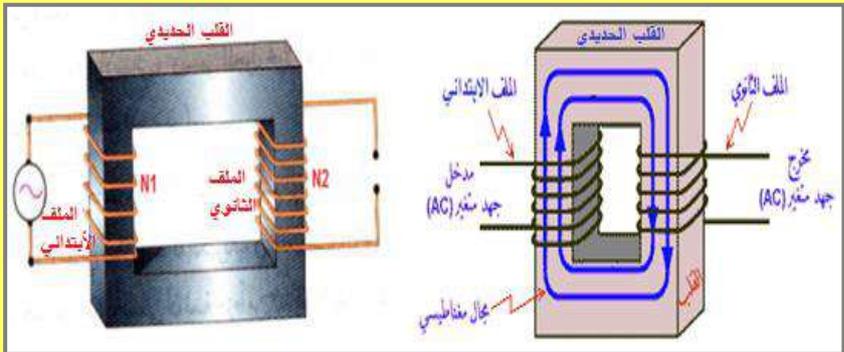
**الجواب: (T = 295 n.m)**



## 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 المفاهيم 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 المفاهيم والكفاءة في المحولات الكهربائية.



### 1-3 المحولات الكهربائية (Electrical Transformers):

المحول الكهربائي هو جهاز ثابت بدون أجزاء متحركة (ستاتيكي) يستخدم لنقل الطاقة الكهربائية للتيار المتناوب من دائرة إلى 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.

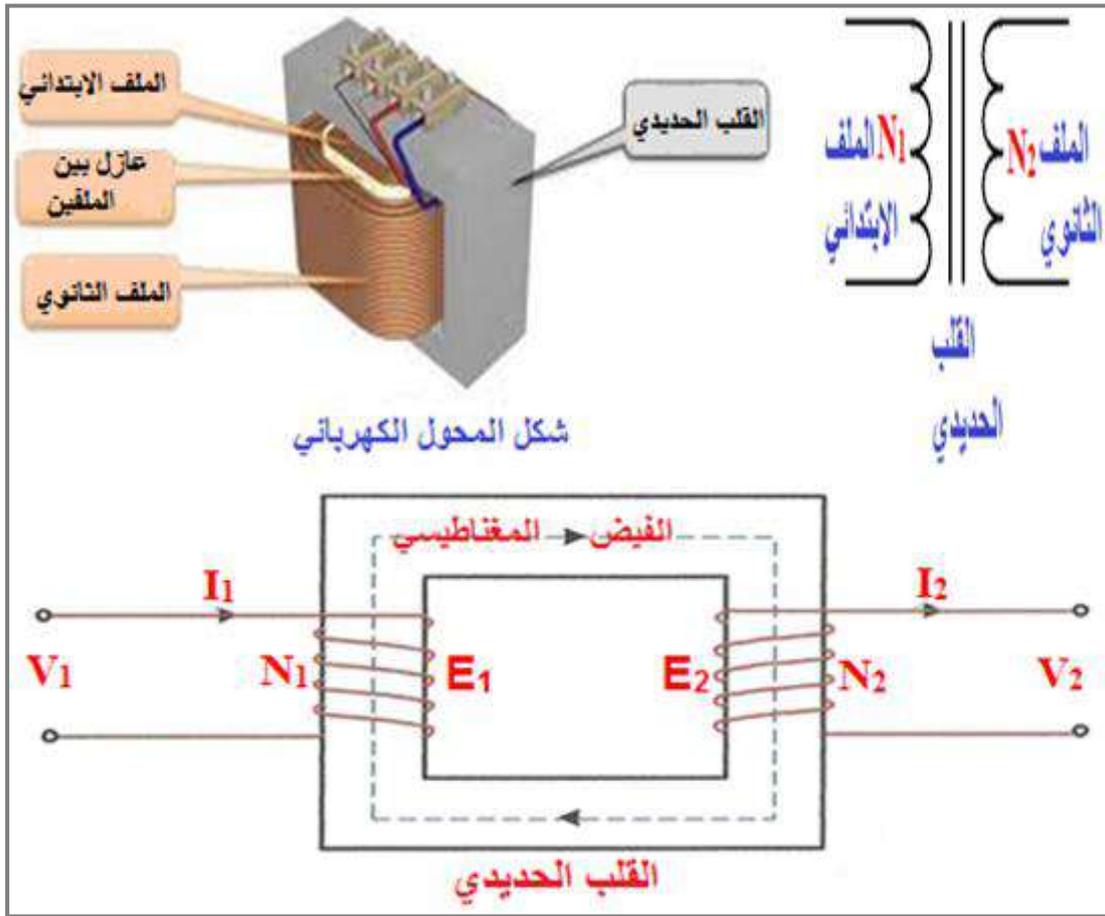
إن فكرة المحول الكهربائي تكون على أساس الحث الكهرومغناطيسي بين ملفين مرتبطين بنفس المجال المغناطيسي. الشكل (1-3) يبين أنواع وأحجام مختلفة من المحولات الكهربائية.

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 للمساعد 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 1-3 أنواع وأحجام مختلفة من المحولات الكهربائية



الشكل 2-3 الأجزاء الرئيسية للمحول الكهربائي

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

### 1-القلب الحديدي (Laminated Iron Core):

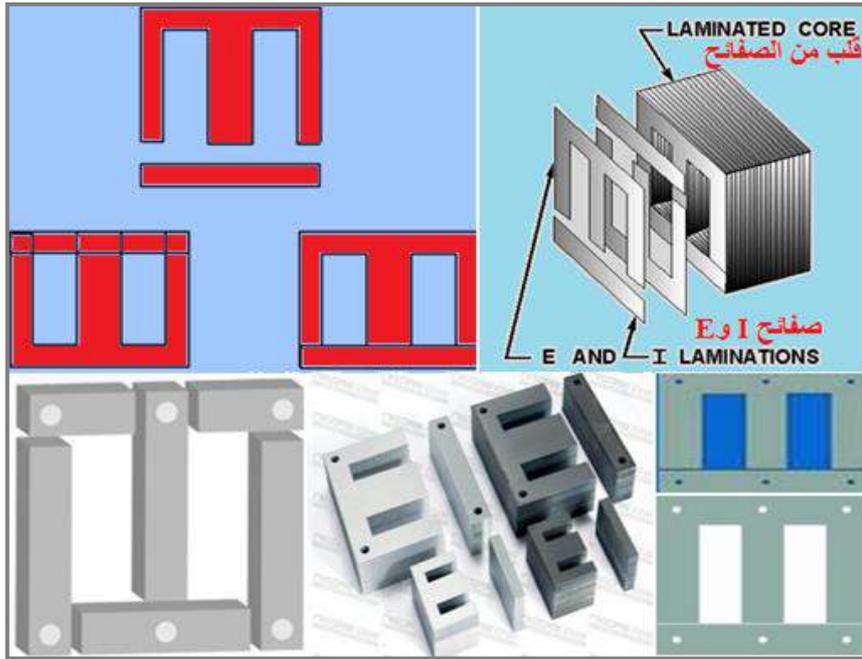
يمثل الدائرة المغناطيسية ويتكون من مجموعة صفائح مصنوعة من الحديد المغناطيسي معزولة عن بعضها لتقليل التيارات الإعصارية ولتقليل من فقدان الطاقة حيث تضغط هذه الصفائح بواسطة مسامير أو براغي لتكون شكلاً ملائماً للدائرة المغناطيسية. مساحة مقطع القلب الحديدي مهمة في تصميم المحول فكلما زادت هذه المساحة زادت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

يوجد نوعان رئيسان للقلب الحديدي هما :

## أ- النوع ذو الإطار (Shell Type):

### 1- نوع إطار (E I):

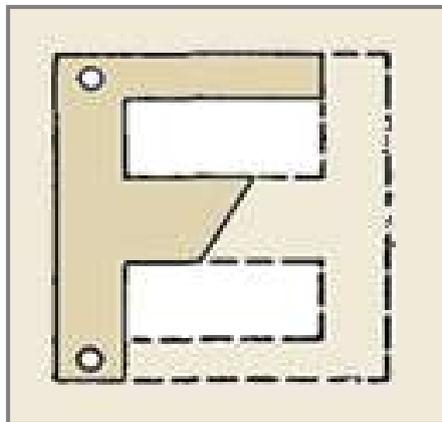
في هذا النوع تكون الصفائح على شكل حرف (E) وحرف (I) وتجمع الصفائح مع بعضها بحيث توضع صفيحة على شكل حرف (E) مع صفيحة على شكل حرف (I) ثم توضع صفيحة على شكل حرف (I) مع صفيحة على شكل (E) وتكرر هذه العملية حتى تتركب الصفائح بأكملها. كما مبين في الشكل (3a-3).



الشكل 3a-3 النوع ذات الإطار (E I)

### 2- نوع إطار (F):

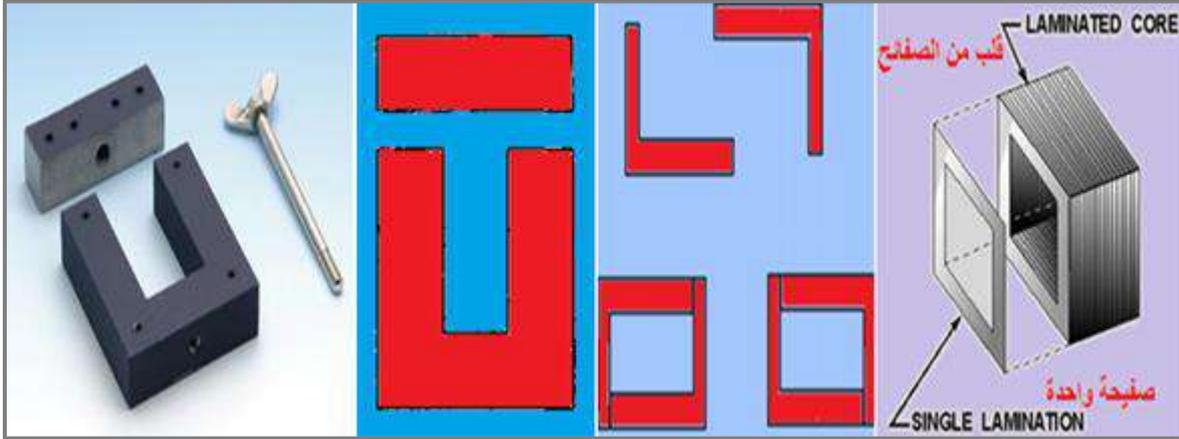
في هذا النوع تكون الصفائح على شكل حرف (F) وتجمع مع صفائح أخرى بنفس الشكل ولكن بشكل مقلوب، كما مبين في الشكل (3b-3).



الشكل 3b-3 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 (I U) ثم تجمع مع بعضها واحدة بعد الأخرى، مميزاتة: 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 :

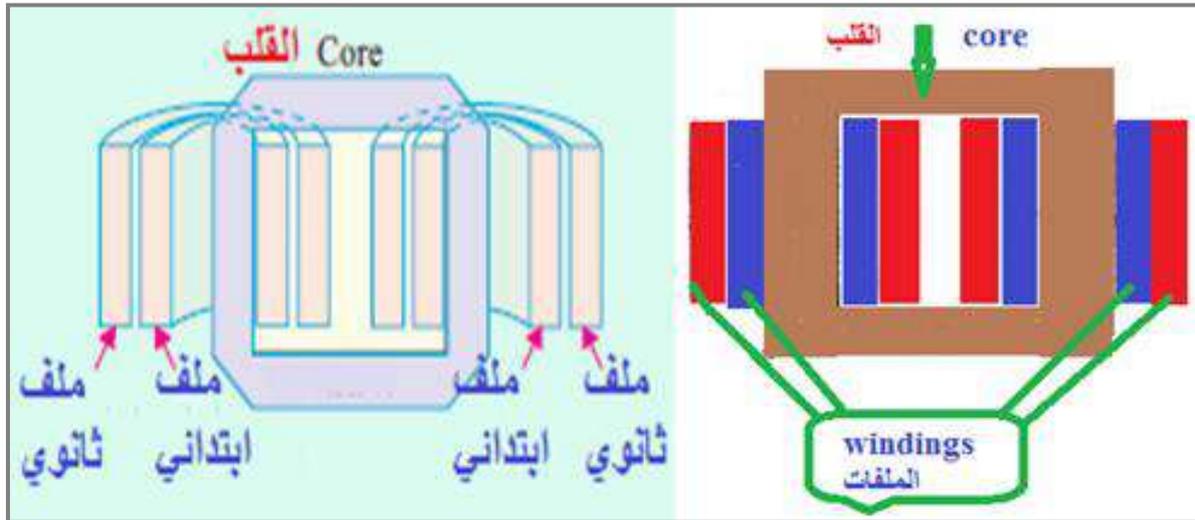
### • الملفات الأسطوانية.

### • الملفات الدائرية (القرصية).

تنقسم الملفات حسب طريقة وضعها حول الساق على نوعين :

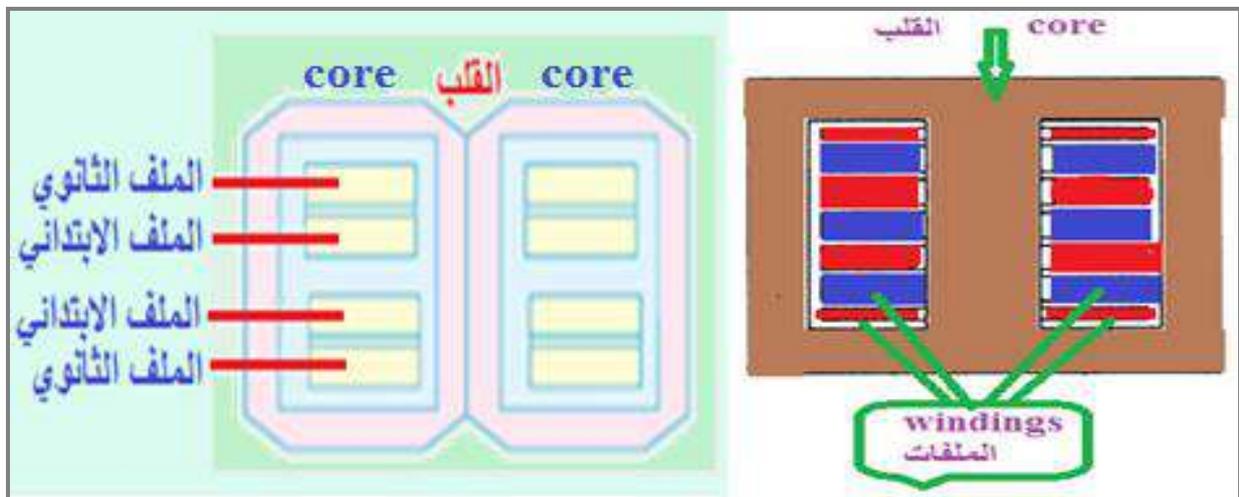
**1-الملفات المتحدة المركز:** وتسمى بهذا الاسم لأنها تصنع على هيئة أسطوانات وتستعمل في المحولات ذات

القلب الحديدي، كما مبين في الشكل (3-5).



الشكل 5-3 الملفات المتحدة المركز في المحولات

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



الشكل 6-3 الملفات المتداخلة في المحولات

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

يمكن شرح عمل 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 ( $\Phi$ ) في القلب الحديدي فيولد قوة دافعة كهربائية متناوبة ( $E_1$ ) نتيجة الحث الذاتي ووحدة قياسها هي (الفولت).

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

حيث أن :

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

$f$  : التردد (HZ).

$N_1$  : عدد لفات الملف الابتدائي .

$\Phi$  : 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).

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

حيث أن :

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

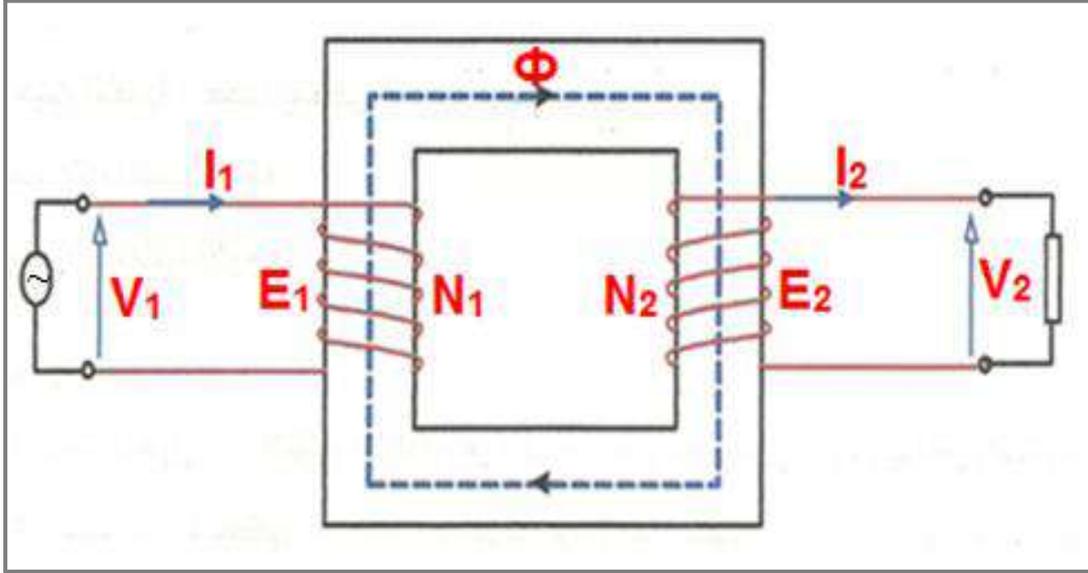
$f$  : التردد (HZ).

$N_2$  : عدد لفات الملف الثانوي.

$\Phi$  : 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 ( $\Phi$ ) يعاكس الفيض الناشئ في الملف الابتدائي.
- تردد المصدر ( $f$ ) والفيض ( $\Phi$ ) لدائرة الملف الابتدائي والثانوي لا يتغير.

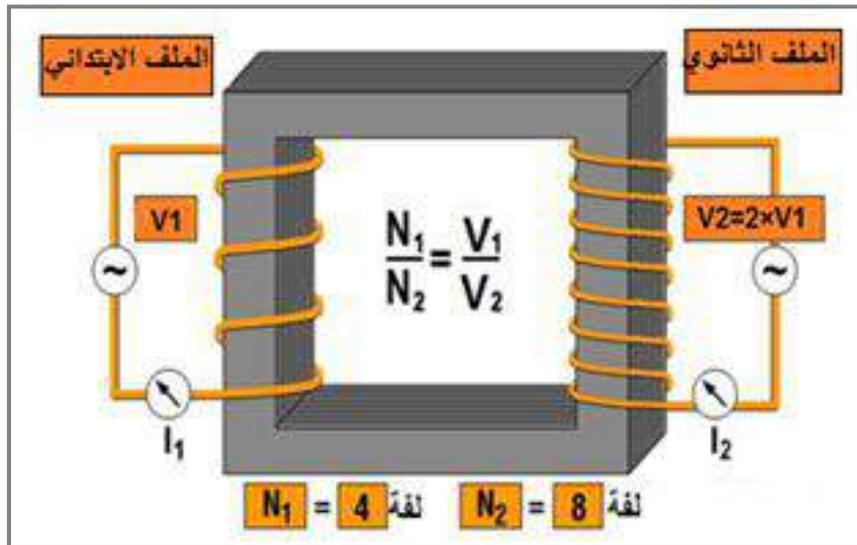
الشكل (7-3) يبين دائرة الملف الابتدائي ودائرة الملف الثانوي للمحول .



الشكل 7-3 دائرة الملف الابتدائي والثانوي للمحول الكهربائي

### 3-1-3 نسبة التحويل (γ) (Turn Ratio) :

هي النسبة بين عدد لفات الملف الثانوي ( $N_2$ ) إلى عدد لفات 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 نعرف على نوع المحولة رافعة أو خافضة، كما مبين في الشكل (8-3).



الشكل 8-3 نسبة التحويل في المحولات

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

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

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

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

$$S = IVVA \quad \text{إن القدرة الظاهرة (3)}$$

$$I_1 V_1 = I_2 V_2 \quad \text{وبالتعويض (4)}$$

**مثال 1-3 :**

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.

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

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

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

الحل:

### 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. وتيار عدم الحمل ( $I_0$ ) ينقسم إلى مركبتين هما ( $I_m$ ) و ( $I_e$ ).

$$I_m = I_0 \sin\theta_0 \quad (1) \quad \bullet \text{ مركبة التيار غير الفعالة}$$

$$\bullet \text{ مركبة التيار الفعالة}$$

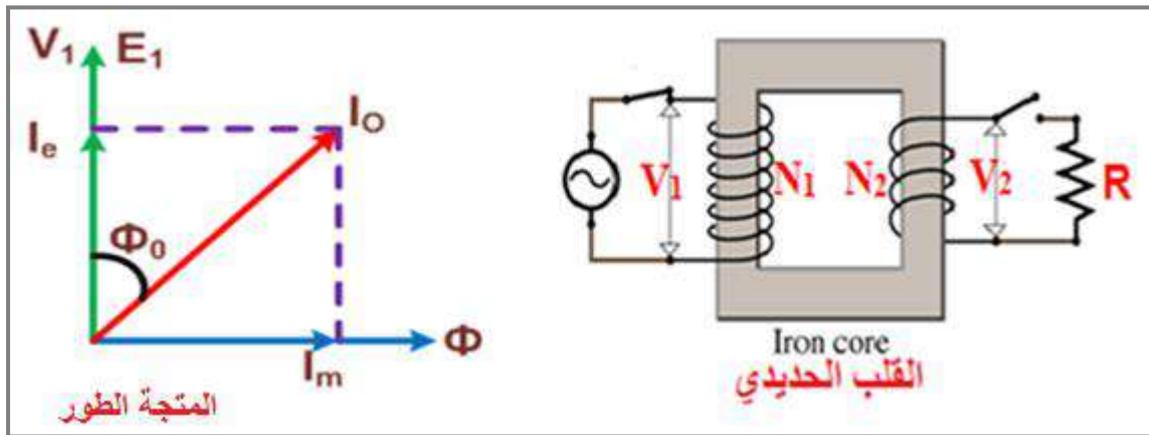
$$I_e = I_0 \cos\theta_0 \quad (2)$$

يمكن حساب تيار عدم الحمل ( $I_0$ ) من المعادلة الرياضية الآتية :

$$I_0 = \sqrt{I_m^2 + I_e^2} \quad (3)$$

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 المفاقد الحديدية ( $\Delta P_{Fe}$ ) والتي تشمل مفاقد الهسترة والتيارات الإعصارية. إن التيار ( $I_m$ ) يكون متأخراً بزاوية ( $90^\circ$ ) 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 ( $90^\circ$ ) على تيار المغطسة ( $I_m$ ). الزاوية ( $\theta$ ) تكون بين التيار ( $I_o$ ) والجهد للملف الابتدائي ( $V_1$ )، كما مبين في الشكل (9-3).



الشكل 9-3 المحول بدون حمل

في حالة عمل المحول بدون حمل يمكن حساب المفاقد الحديدية ( $\Delta P_{Fe}$ )، كما يأتي :

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

$$I_e = I_o \cos \theta \quad (5)$$

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

### 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 المفايد في الحديد (0.4) أمبير. احسب :  
القدرة المصروفة والتيار الذي يسحبه من المصدر.

$$\Delta P_{Fe} = I_o V \cos\theta_o$$

$$\therefore I_e = I_o \cos\theta_o$$

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

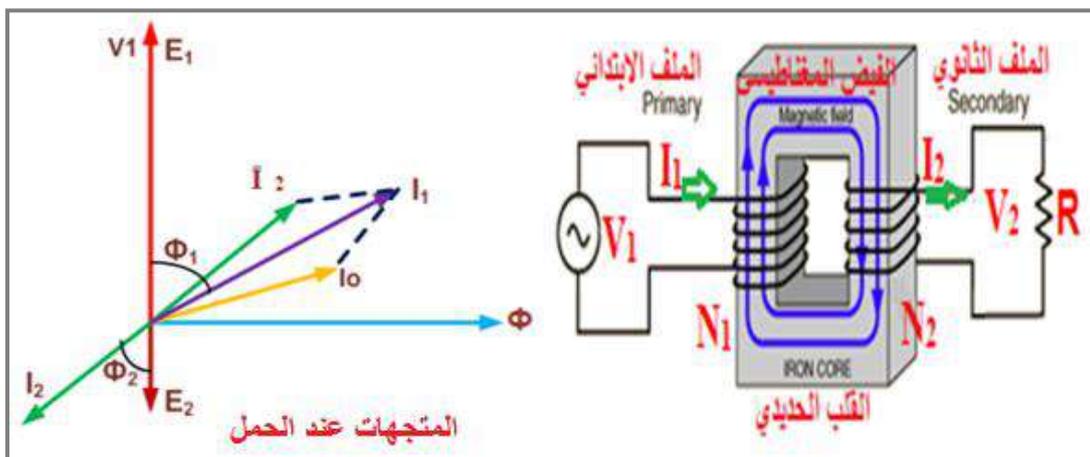
الحل:

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

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

### 2-2-3 عمل المحول عند الحمل (Load Operation) :

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 الابتدائي ( $I_1$ ) وبذلك تكون القوة الدافعة الكهربائية ( $E_2$ ) معاكسة للقوة الدافعة الكهربائية ( $E_1$ ) التي تتولد في الملف الابتدائي. إن الفيض المغناطيسي ( $\Phi$ ) في القلب الحديدي يبقى ثابتاً في حالتي الحمل أو بدون الحمل كما مبين في الشكل (10-3).



الشكل 10-3 عمل المحول عند الحمل

في حالة عمل المحول عند الحمل الكامل يمكن حساب المفايد النحاسية ( $\Delta P_{cu}$  Copper Losses) للملف الابتدائي والملف الثانوي.

مفايد نحاسية = مفايد نحاسية للملف الابتدائي + مفايد نحاسية للملف الثانوي

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

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

حيث أن :

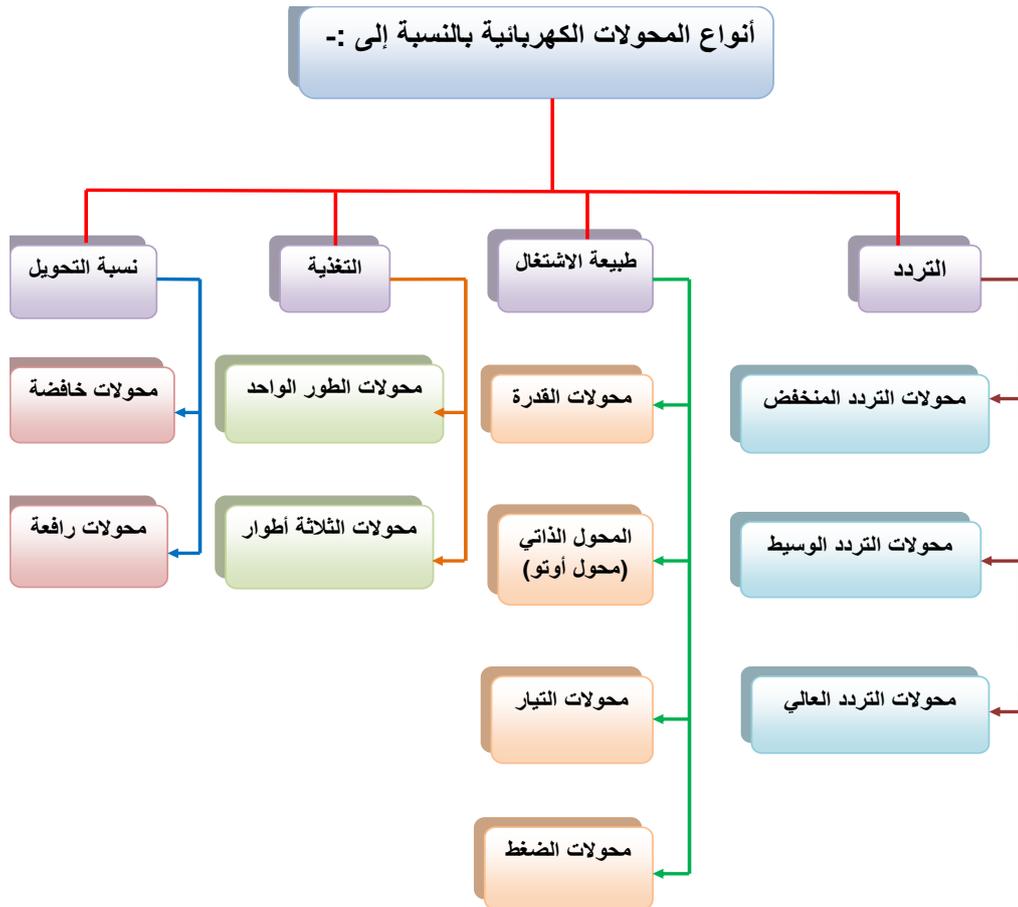
$R_1$  : مقاومة الملف الابتدائي (أوم).

$R_2$  : 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

### 3-3-1 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 (12-3).



الشكل 12-3 محولات التردد المنخفض

#### • محولات التردد الوسيط (ذات القلب المصنوعة من مسحوق الحديد):

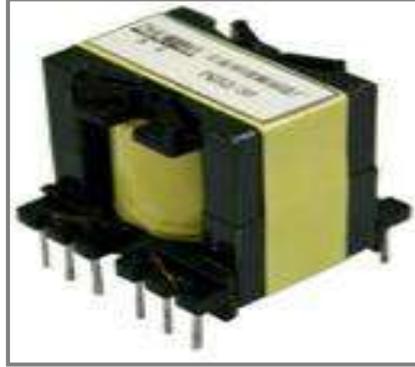
تستخدم هذه المحولات في الربط بين مكبرات التردد الوسيط في أجهزة الراديو والتلفزيون حيث تسمح لإشارة التردد الوسيط أن تنتقل من مرحلة إلى أخرى وتحول دون انتقال الجهد المستمر (DC) من مرحلة إلى أخرى ومحولات التردد الوسيط عبارة عن محولات صغيرة الحجم عدد لفاتها قليلة نسبياً، وتستخدم فيها قلب من مسحوق الحديد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



الشكل 13-3 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

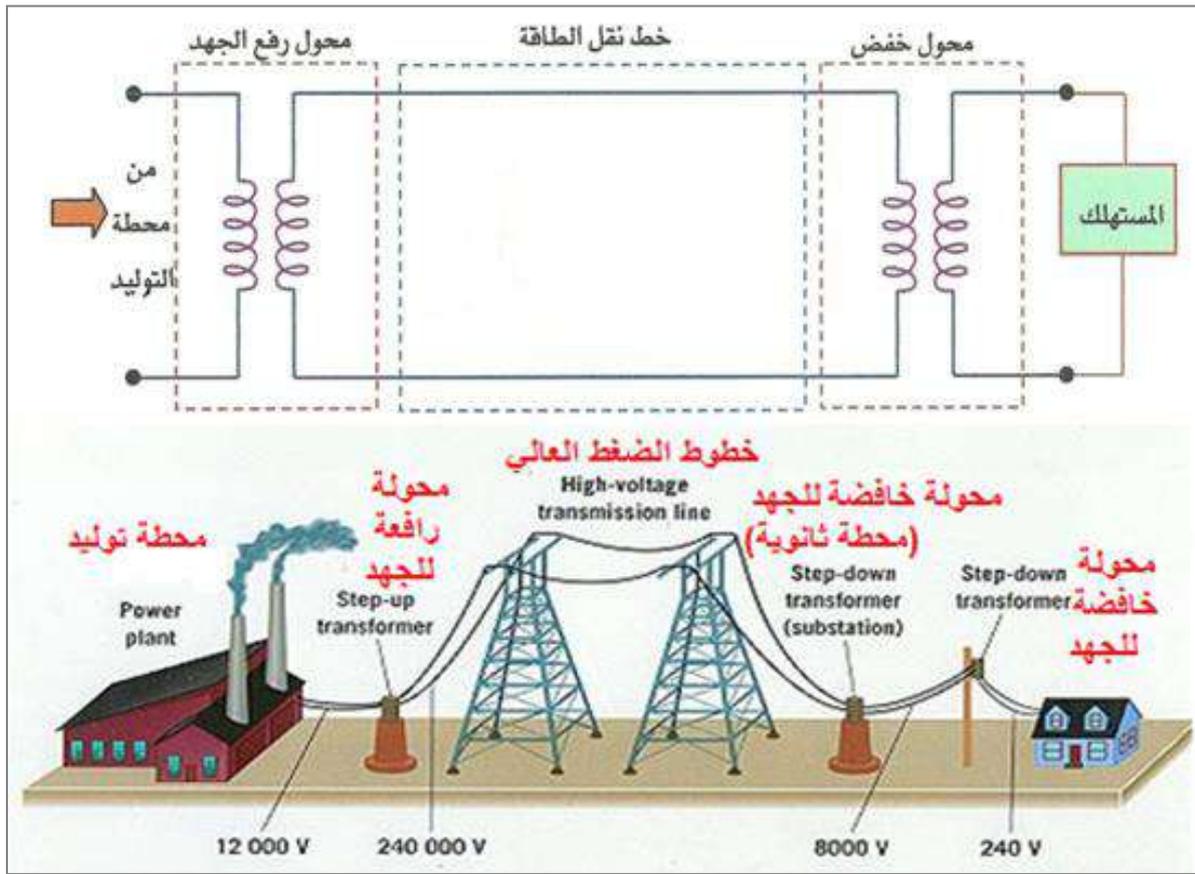
### 3-3-2 أنواع المحولات الكهربائية بالنسبة إلى طبيعة اشتغالها هي:

#### 1 - 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 بضغط 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 3-15 محولات القدرة في محطات التوليد ونقل الطاقة الكهربائية

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

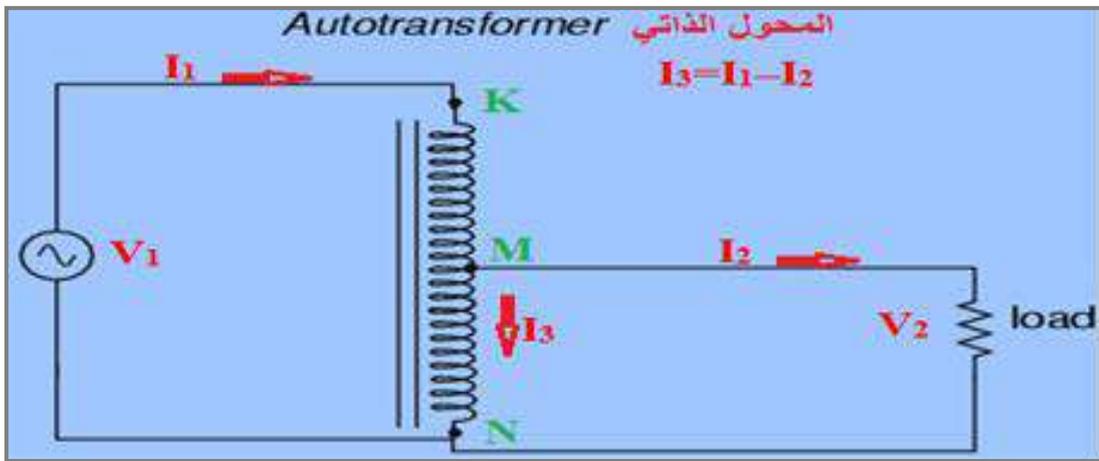


الشكل 3-16 محولات القدرة

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

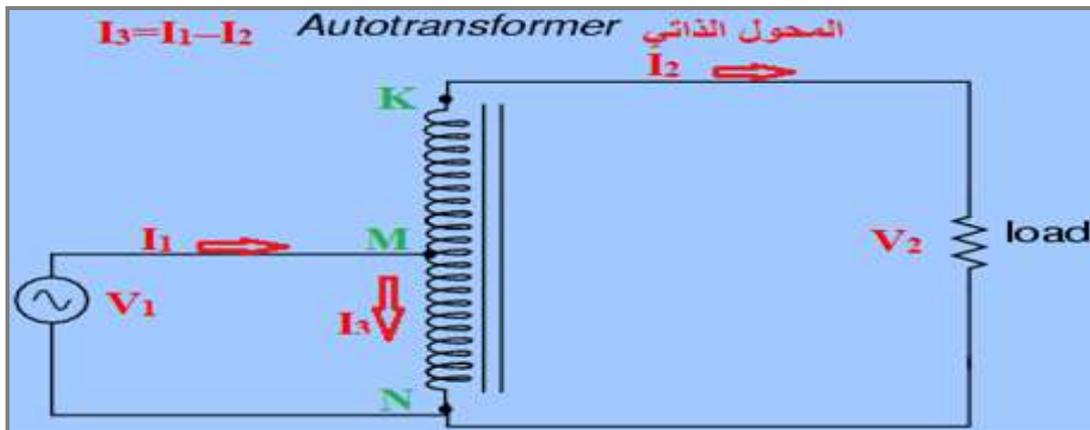
يعد من المحولات المهمة نظراً لبساطته وانخفاض ثمنه مقارنة بالمحول الاعتيادي وهو يعتمد في نظرية تشغيله على نفس نظرية المحول ذي الملفين ولكن يستخدم فيه ملف واحد فقط ويمثل هذا الملف كله الملف الابتدائي ويمثل جزءاً من هذا الملف، الملف الثانوي (محول رفع للجهد) أو بالعكس (محول خفض للجهد). إن الملف الابتدائي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

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



الشكل 17-3 محول ذاتي خافض للجهد

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



الشكل 18-3 محول ذاتي رافع للجهد

وهذا يعتمد على طريقة التوصيل، يمثل الملف (KN) في الشكل (3-17) الملف الابتدائي وعدد لفاته هي (N<sub>1</sub>) بينما يمثل الملف (MN) الملف الثانوي وعدد لفاته (N<sub>2</sub>) وتكون نسبة الجهد كما في المحول ذي الملفين (الاعتيادي) ونحصل عليها بمساواة القدرة الداخلة مع القدرة الخارجة عند إهمال المفاقد التي يسببها التيار (I<sub>3</sub>) في الملف.

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

ويكون التيار في الملف الابتدائي يساوي :

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

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

يمثل الملف (KN) في الشكل (3-18) الملف الثانوي وعدد لفاته هي (N<sub>2</sub>) بينما يمثل الملف (MN) الملف الابتدائي وعدد لفاته هي (N<sub>1</sub>).

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

**مساوي 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 (C.T)(Current Transformers):

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 كثير من اللفات ويوصل بجهاز قياس التيار أو ملف جهاز قياس القدرة، كما مبين في الشكل (3-20).



الشكل 20-3 محولات التيار

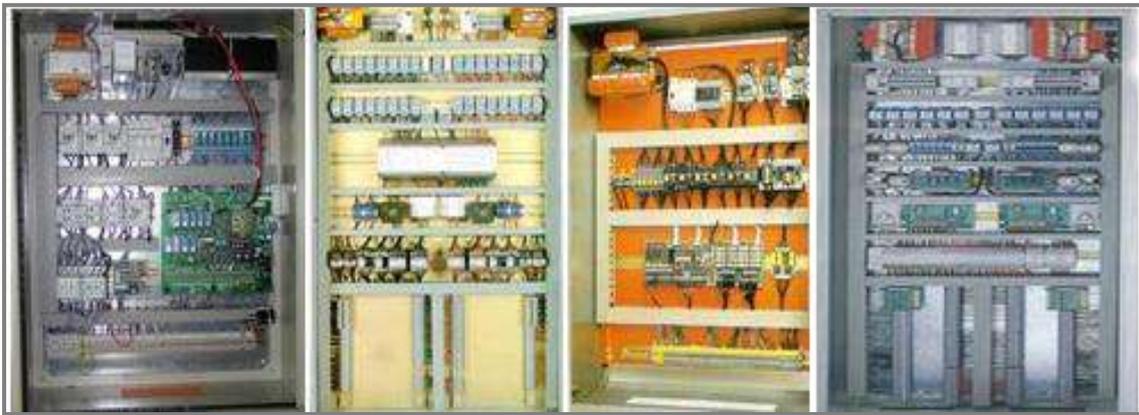
#### 4- محولات الضغط (Voltage Transformers):

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 (21-3).



الشكل 21-3 محولات الضغط

هذه المحولات تستعمل في لوحة السيطرة للمصاعد (**Elevators**) الكهربائية لغرض خفض ضغط المصدر الكهربائي المتناوب إلى عدد من الضغوط المناسبة لتغذية الموصلات الهوائية (**Air-Contactors**) ومصابيح الطلبات (**Lightings Call**) ومصابيح الإشارة (**Lightings Indicator**) والدوائر الإلكترونية لوحدة التحكم المنطقي المبرمج (**PLC**).  
كذلك تستعمل في لوحة السيطرة للمحركات الكهربائية، والدوائر الإلكترونية 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	محول الضغط	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 Phase Transformers)

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 إلى جهد التوزيع وعملية التحويل هذه للجهد تتم باستخدام محول ذي ثلاثة أطوار. هناك أنواع كثيرة من المحولات ذوات الثلاثة أطوار مختلفة القدرات والأحجام كما مبين في الشكل (3-23) وذلك للحصول على خواص تشغيل تلبى احتياجات الحمل الذي يعمل عليه المحول.



الشكل 23-3 محولات الثلاثة أطوار

توجد عدة طرق لربط ملفات هذه المحولات وهي :

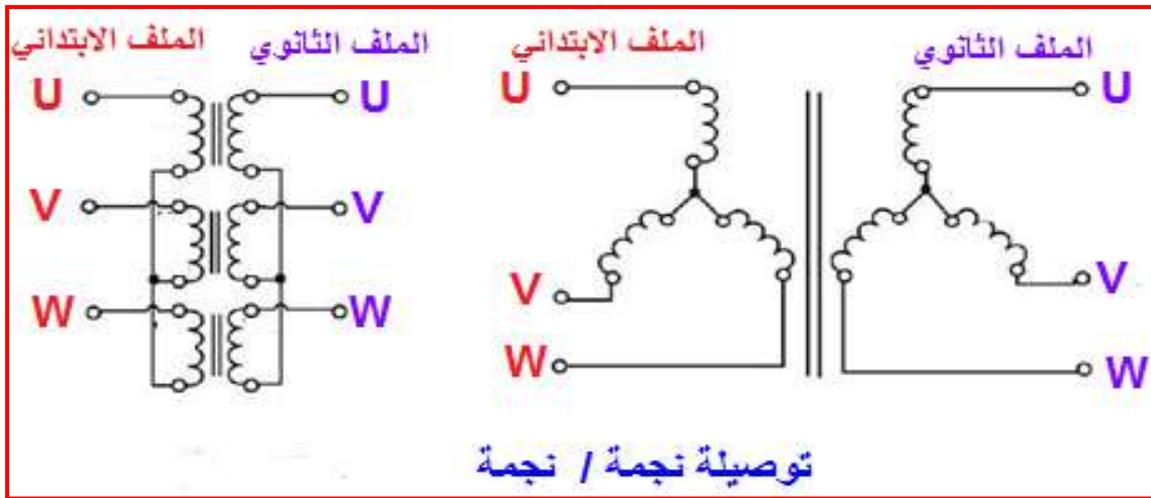
• **توصيلة نجمة (StarY):** تربط نهايات الملفات مع بعضها، وتوصل البدايات الى الحمل أو المصدر والعكس صحيح.

• **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.

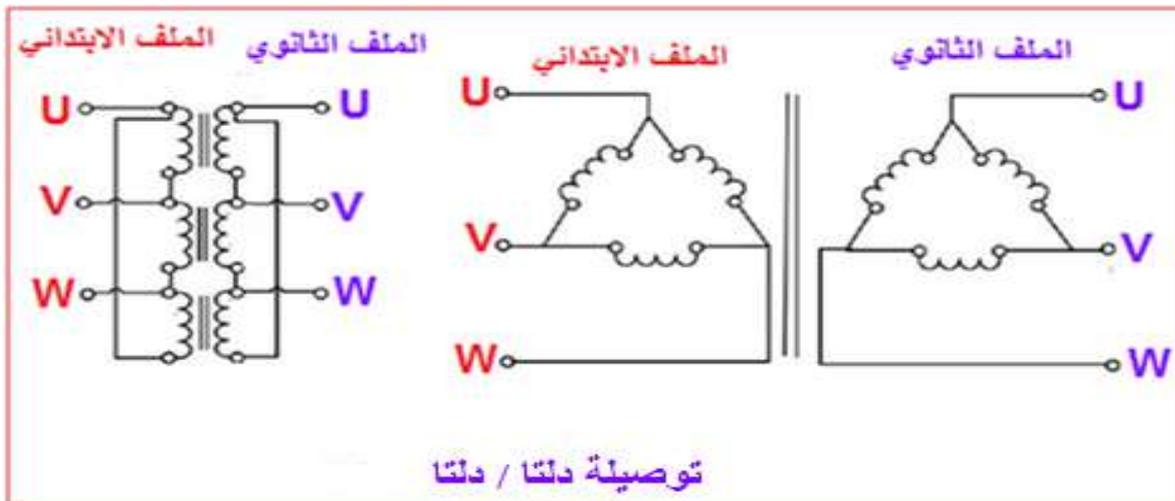
ويمكن تلخيص أهم الطرق الشائعة لتوصيل المحولات ذوات الثلاثة أطوار كالتالي :

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



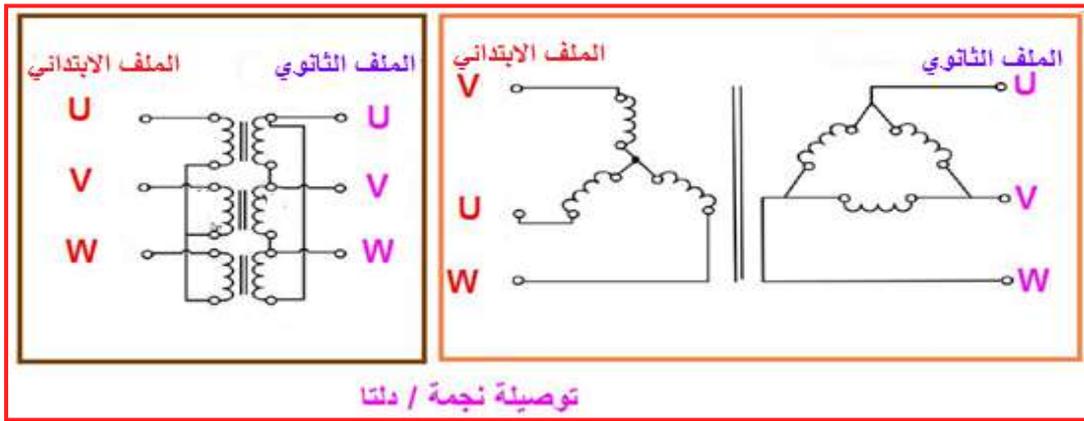
الشكل 3-24 توصيلة نجمة / نجمة لمحولات الثلاثة أطوار

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



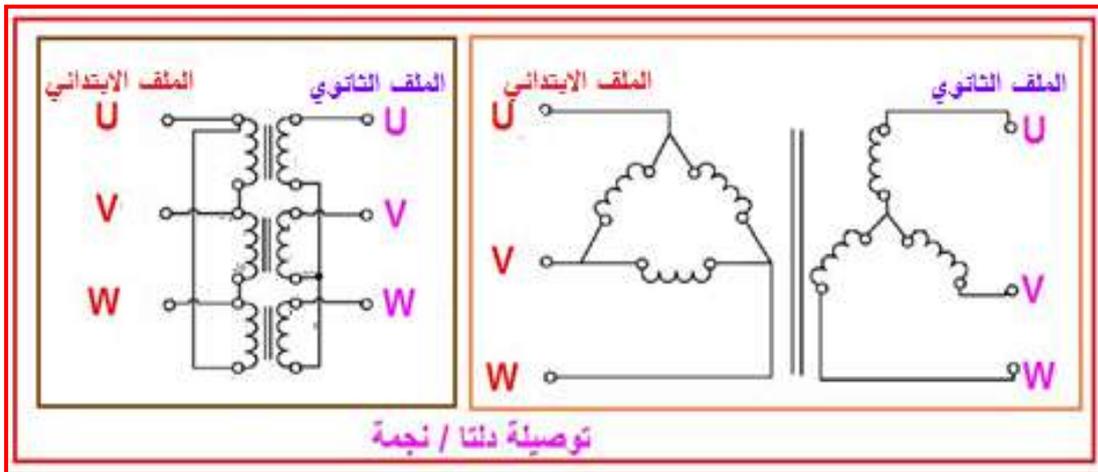
الشكل 3-25 توصيلة دلتا / دلتا لمحولات الثلاثة أطوار

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



الشكل 26-3 توصيلة نجمة / دلتا لمحولات الثلاثة أطوار

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



الشكل 27-3 توصيلة دلتا / نجمة لمحولات الثلاثة أطوار

تقسم محولات الثلاثة أطوار إلى نوعين هما :

### 1- محولات ذوات القلب الحديدي (Core Type):

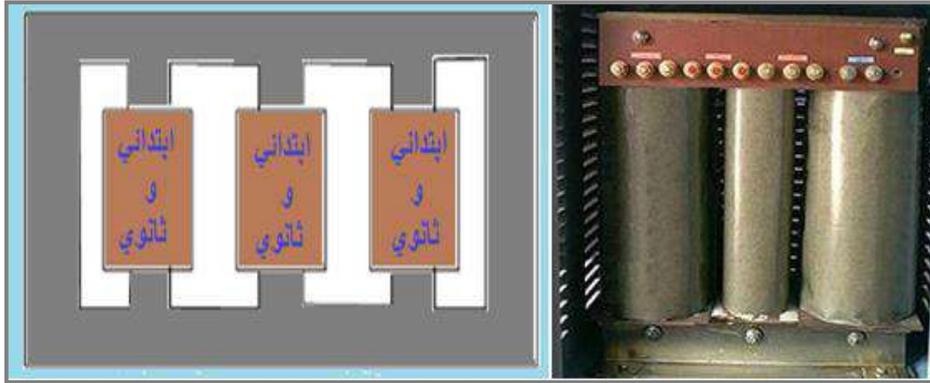
يحتوي على ملف ابتدائي وملف ثانوي لكل طور وملفوفين معاً على نفس القلب الحديدي وتوصل ملفات الثلاثة أطوار بطرق خاصة أما نظرية التشغيل فهي نفسها كما في حالة المحول ذي الطور الواحد، كما مبين في الشكل (28-3).



الشكل 28-3 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 (29-3).

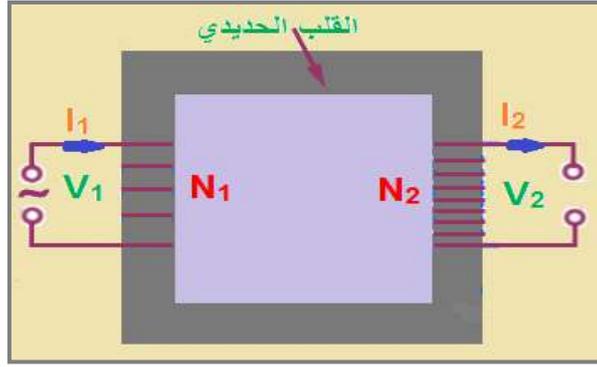


الشكل 29-3 محولات ذات الإطار

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

### • محولات رافعة (Step – Up):

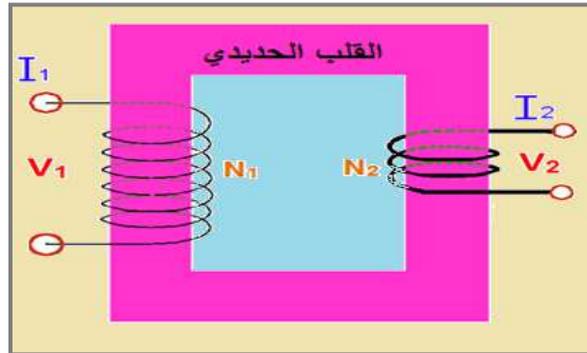
- تتميز هذه المحولات بما يأتي، كما مبين في الشكل (30-3) :
- عدد لفات الملف الثانوي أكثر من عدد لفات الملف الابتدائي .
- قطر الملف الابتدائي أكبر من قطر الملف الثانوي .



الشكل 30-3 محولات رافعة

### ● محولات خافضة (Step – Down):

- تتميز هذه المحولات بما يأتي، كما مبين في الشكل (31-3) :
- عدد لفات الملف الثانوي أقل من عدد لفات الملف الابتدائي .
  - قطر الملف الابتدائي أصغر من قطر الملف الثانوي.



الشكل 31-3 محولات الخافضة

### 4-3 المفايد والكفاءة في المحولات:

#### 1-4-3 المفايد في المحولات (Transformers Losses):

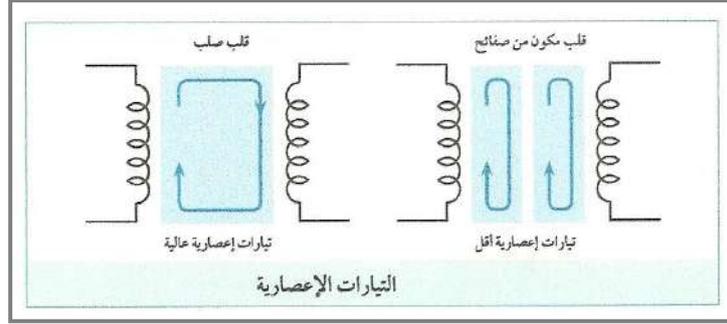
إن المحول لا يحتوي على أجزاء متحركة كما في المحركات لذلك لا يفقد طاقة نتيجة الاحتكاك وتحدث المفايد في الملفات النحاسية (**Copper Loss**) وفي القلب الحديدي (**Iron Loss**). إن وحدة قياس المفايد في المحول هي الواط (**W**).

تقسم المفايد في المحولات إلى نوعين هما :

#### 1- المفايد الثابتة:

تنشأ هذه المفايد في القلب الحديدي المغناطيسي ويرمز لها ( $\Delta P_{Fe}$ ) وتحسب عندما تكون دائرة الملف الثانوي مفتوحة (**بدون حمل**) وتشمل: مفايد التخلف ومفايد التيارات الإعصارية وهي تيارات كهربائية تتولد بالحث في القلب الحديدي وتؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة قلب المحول والتي تؤثر سلباً على كفاءة المحول.

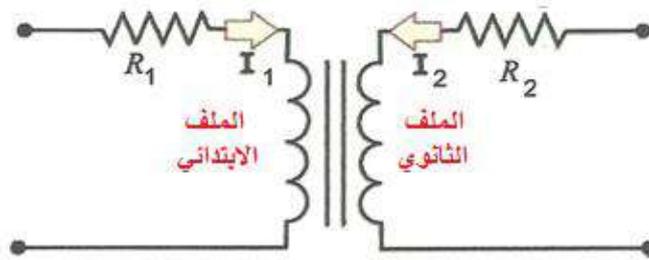
يمكن تقليل التيارات الإعصارية بتشكيل قلب المحول من صفائح فولاذية رقيقة معزولة عن بعضها، كما مبين في الشكل (32-3) هذه المفايد لا تتغير في حالة الحمل أو بدون حمل.



الشكل 32-3 مفايد الحديد  $\Delta P_{Fe}$  في المحولات

## 2- المفايد المتغيرة:

وتشمل المفايد التي تنشأ في الملفات النحاسية للمحول ويرمز لها ( $\Delta P_{cu}$ ) بسبب مقاومة الأسلاك النحاسية (الملف الابتدائي  $R_1$  والملف الثانوي  $R_2$ ) لسريان التيار الكهربائي وتحسب عندما تكون دائرة الملف الثانوي في حالة الحمل الكامل أو قصر (شورت)، يمكن حساب المفايد لكل ملف على انفراد للملف الابتدائي ( $\Delta P_{cu1}$ ) والملف الثانوي ( $\Delta P_{cu2}$ )، هذه المفايد تتناسب طردياً مع مربع التيار وتتغير تبعاً لتغير الحمل، كما مبين في الشكل (33-3).



الشكل 33-3 المفايد النحاسية  $\Delta P_{Cu}$  في المحولات

المفايد النحاسية = المفايد النحاسية للملف الابتدائي + المفايد النحاسية للملف الثانوي

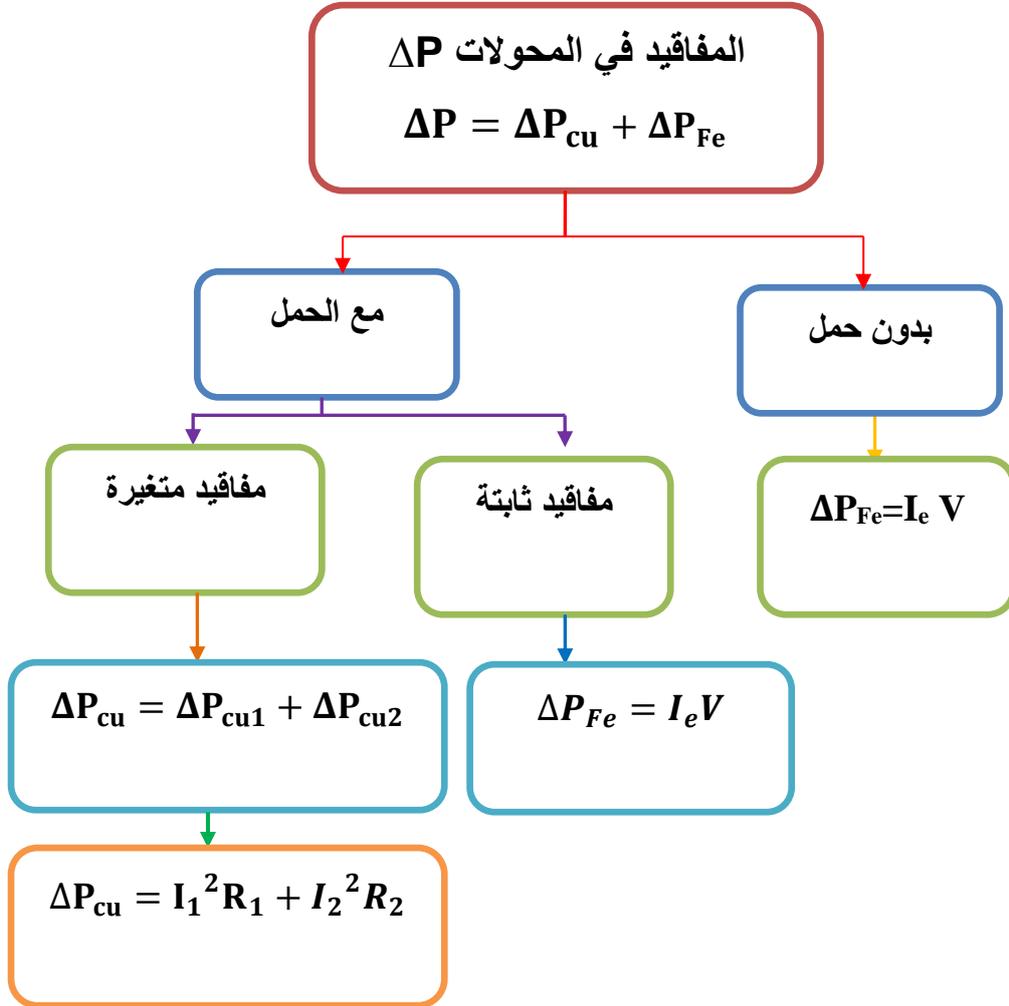
$$\Delta P_{cu} = \Delta P_{cu1} + \Delta P_{cu2} \quad (1)$$

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

المفايد الكلية  $\Delta P$  للمحول (واط) = المفايد الثابتة + المفايد المتغيرة

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

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



مخطط كتلي 34-3 أنواع المفايد في المحولات الكهربائية

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

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

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

حيث أن :

$\eta$  : الكفاءة وهي نسبة مئوية خالية من الوحدات.

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

$P_2$  : القدرة الخارجة (قدرة الحمل) ووحدة قياسها الواط (W).

إن القدرة الداخلة (قدرة المصدر) تكون أكبر من القدرة الخارجة (قدرة المحول) بمقدار المفاوید الكلية ( $\Delta P$ ) داخل المحول التي تكون على شكل طاقة حرارية.

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

إذا كانت المفاوید الكلية ( $\Delta P$ ) قليلة ازدادت نسبة الكفاءة ( $\eta$ ) وبالعكس، يمكن أيضاً حساب القدرة الخارجة

( $P_2$ ) من المعادلة الرياضية الآتية :

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

$$\therefore S = I_2 V_2 \quad (4)$$

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

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 المفاقد النحاسية للملف الابتدائي (250) واط والمفاقد النحاسية للملف الثانوي (600) واط والمفاقد الحديدية (150) واط.

$$P_2 = S \cos \theta$$

$$P_2 = 10000 \times 0.8 = 8000 \text{ W}$$

الحل:

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

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

$$\Delta P = 250 + 600 + 150 = 1000 \text{ W}$$

$$P_1 = P_2 + \Delta P$$

$$P_1 = 8000 + 1000 = 9000 \text{ W}$$

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

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

### 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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## أسئلة الفصل الثالث

- س1- عرف المحول الكهربائي.
- س2- عدد استعمالات المحول الكهربائي.
- س3- اشرح مع الرسم تركيب المحول الكهربائي.
- س4- عدد أنواع القلب الحديدي في المحول مع الرسم.
- س5- عدد أنواع الملفات في المحول.
- س6- عدد أشكال الملفات في المحول حسب طريقة وضعها في قلب المحول.
- س7- اشرح نظرية عمل المحول مع ذكر القوانين والرسم.
- س8- أذكر قوانين نسبة التحويل في المحول الكهربائي.
- س9- 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) لفة.

**الجواب : لفة  $N_2 = 30$**

- س10- محول طور واحد، الملف الابتدائي يحتوي على (525) لفة والثانوي 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**

- س11- محول كهربائي يشتغل بدون حمل وصل إلى مصدر جهد (200) فولت تردده (50) ذ/ثا يسحب تيار مقداره (0.75) أمبير، القدرة المصروفة كمفايد حديدية (100) واط، احسب تيار المغنطة.

**الجواب :  $I_m = 0.559$  A**

س12- 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  $N_2 = 100$  ،  $I_1 = 45 A$  ،  $I_2 = 9 A$**

س13- محول قدرته (5) كيلو فولت أمبير ربط حمل على ملفه الثانوي معامل قدرته (0.8). احسب كفاءته إذا علمت أن المفايد النحاسية (100) واط والمفايد الحديدية (50) واط.

**الجواب :  $\eta = 96.38$**

س14- محول طور واحد قدرته (50) كيلو فولت أمبير وضغطه الابتدائي (6600) فولت وضغطه الثانوي (250) فولت، عدد لفات الثانوي (52) لفة مع إهمال المفايد، احسب .

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

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

س15- اشرح عمل المحول بدون حمل مع رسم الدائرة والمتجهات.

س16- ما مفايد المحول في حالة عدم الحمل وكيف تحسب ؟

س17- اشرح عمل المحول عند الحمل مع رسم الدائرة والمتجهات.

س18- عدد أنواع المحولات بالنسبة إلى التردد.

س19- عدد أنواع المحولات بالنسبة إلى طبيعة اشتغالها.

س20- اشرح استخدام المحولات في نقل القدرة الكهربائية.

- س21- قارن بين محول الضغط ومحول التيار.
- س22- قارن بين المحول الذاتي ومحول الضغط من حيث طريقة ربط الملف الابتدائي والملف الثانوي.
- س23- محول ذاتي يشتغل بنسبة تحويل (440/500) مغزياً حملاً قدرته (20) كيلو واط ذو معامل قدرة احسب مقدار التيار في كل جزء من أجزاء ملف المحول.

**الجواب :  $I_1 = 40 \text{ A}$  ،  $I_2 = 45.45 \text{ A}$  ،  $I_3 = - 5.45 \text{ A}$**

- س24- لماذا لا يجوز تشغيل محول التيار بدون حمل؟
- س25- عدد أنواع المحولات بالنسبة إلى التغذية.
- س26- عدد أنواع المحولات بالنسبة إلى نسبة التحويل.
- س27- عدد أنواع المفايد 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 :

- 1-4 مولدات التيار المتناوب (تركيبها ونظرية عملها).
- 2-4 ربط المولدات الكهربائية الى الشبكة.
- 3-4 دوائر التيار المتناوب الثلاثية الأطوار.



## 1-4 مولدات التيار المتناوب Generator: Alternating Current

أكتشف العالم الاتكليزي (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.

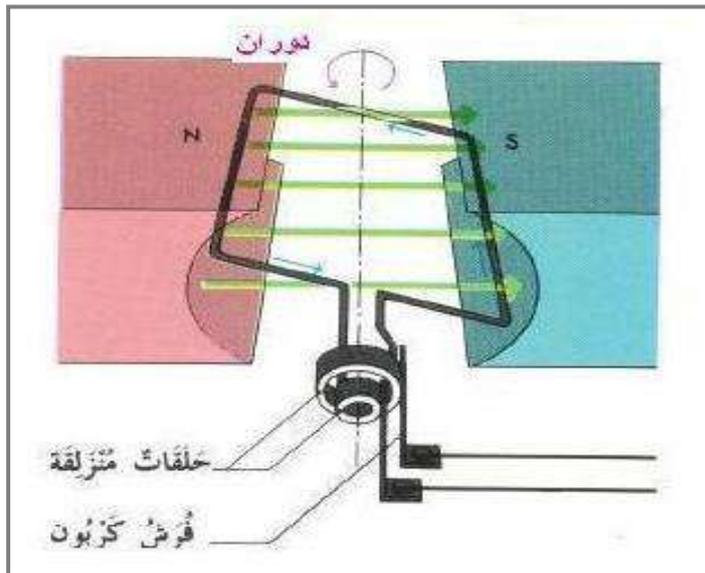
### 1-1-4 تركيب مولدات التيار المتناوب:

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

#### 4-1-2 نظرية عمل مولدات التيار المتناوب:

**المولد الكهربائي (Electrical Generator):** ماكينة 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<sup>2</sup>).
- L** : طول السلك أو الموصل ووحدة القياس (متر).
- V** : سرعة القطع بين السلك والفيض المغناطيسي أو بالعكس ووحدة القياس (متر/ ثا).
- Sinθ** : جيب زاوية القطع التي تتحدد بموجها شكل الموجة وتكون جيبية وعليه فإنه لا يمكن توليد (ق. د. ك) إلا بتوفر (3) عناصر وهي :
- 1 - الفيض المتمثل بكثافته (B) ويبر/ م<sup>2</sup> ويمكن حسابه من القانون :

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

حيث أن :

- Φ** : الفيض المغناطيسي ووحدة القياس ويبر (W<sub>b</sub>).
- A** : مساحة مقطع السلك، أو الموصل ووحدة القياس متر مربع (م<sup>2</sup>).
- 2 - سلك أو موصل متمثل بطوله (L) متر.
- 3- سرعة القطع (V) متر/ ثا بين السلك والفيض .

## مولدات التيار المتناوب تقسم على نوعين :

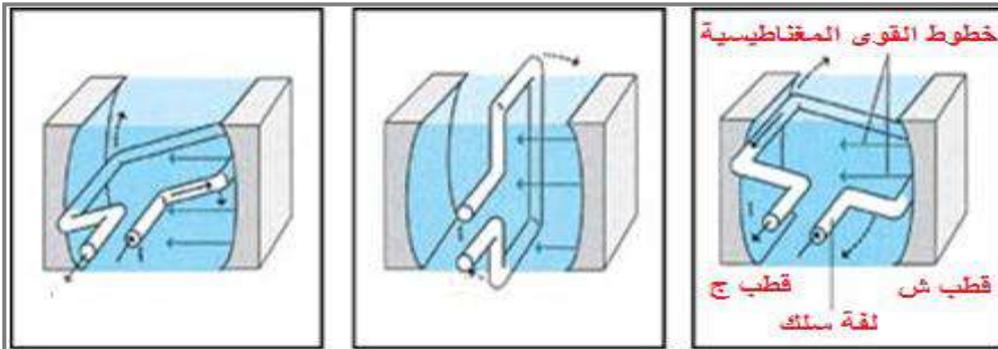
- مولدات التيار المتناوب ذات الطور الواحد.
- مولدات التيار المتناوب ذات الثلاثة أطوار.

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



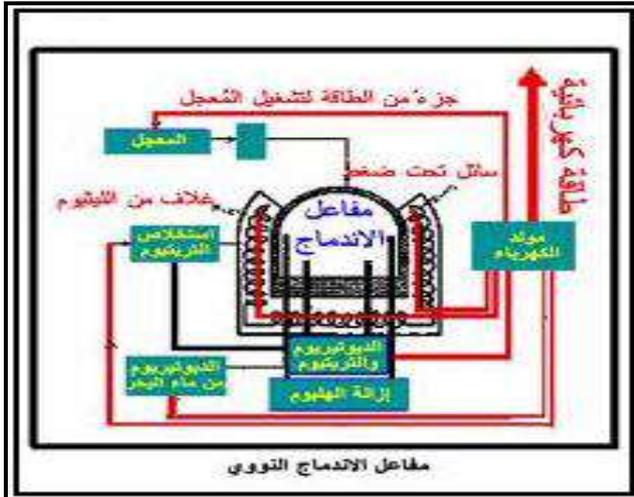
الشكل 2-4 أنواع وأحجام مختلفة لمولدات التيار المتناوب

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 (3-4).



الشكل 3-4 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 مع ماكينة السيارة بوساطة حزام ناقل (قايش) لإعطائه حركة لتتولد (ق. د.ك) وفي الشكل (4-4) . يبين بعض أنواع مصادر الطاقة المستخدمة في توليد الطاقة الميكانيكية .



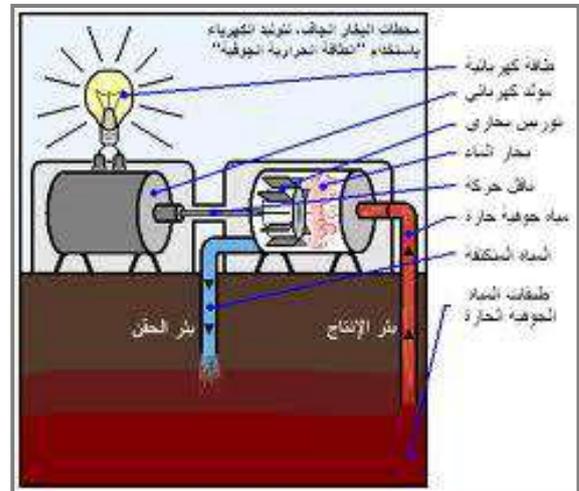
استخدام الطاقة النووية



استخدام طاقة الوقود



استخدام الطاقة الشمسية



استخدام الطاقة الحرارية في جوف الأرض

شكل 4-4 بعض أنواع مصادر الطاقة

**مثال 4-1:**

موصل طوله (40) سم داخل فيض مغناطيسي كثافته (0.5) ويبر/م<sup>2</sup> ويدور بسرعة (2) م/ثا. احسب (ق. د. ك) المتولدة إذا كان بصورة عمودية مع الفيض المغناطيسي.

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

(عمودي)

الحل:

$$\sin 90^\circ = 1$$

$$E = 0.5 \times (40/100) \times 2 \times 1$$

$$E = 0.4$$

V

**مثال 4-2:**

سلك طوله (100) سم وضع بصورة عمودية مع مجال مغناطيسي كثافته (0.6) ويبر/م<sup>2</sup> ليولد (ق. د. ك) قيمتها (1.8) فولت. احسب سرعة دورانه.

الحل:

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

$$\sin 90^\circ = 1 \quad (\text{عمودي})$$

$$1.8 = 0.6 \times (100/100) \times V \times$$

1

$$1.8 = 0.6 \times 1 \times V \times 1$$

$$V = 1.8/0.6$$

$$V = 3 \text{ م / ثا}$$

### مثال 3-4 :

احسب طول موصل مستقيم يقطع مجال مغناطيسي بصورة عمودية كثافته (0.4) ويبر / م<sup>2</sup> وبسرعة (500) سم / ثا لتتولد فيه (ق. د. ك) قيمتها (20) فولت.

### الحل :

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

$$\sin 90^\circ = 1 \quad (\text{عمودي})$$

$$20 = 0.4 \times L \times (500/100)$$

$$\times 1$$

$$L = 20 / (0.4 \times 5)$$

$$L = 10 \text{ m}$$

### 3-1-4 أنواع مولدات التيار المتناوب:

وتسمى بالمولدات التوافقية؛ لوجود علاقة بين السرعة والتردد.

$$N_s = 60f/P \quad (1)$$

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 فرشيتين 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 فرشيتين 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 من أسطوانة فولاذية محمولة على محور الدوران وتحتوي هذه الأسطوانة على مجار طولية عميقة توضع فيها الملفات المغناطيسية التي توصل إلى الحلقات الانزلاقية المثبتة على محور 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 ذات الأقطاب الداخلية :

تفضل مولدات ذات الأقطاب الداخلية على المولدات ذات 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 في المولدات ذات الأقطاب الخارجية في حين لا يتطلب هذا في المولدات ذات الأقطاب الداخلية لأن الجهد يتولد بالجزء الثابت.
- 2- نقل الطاقة من الجزء الدوار ولقدرات عالية يتطلب فرش كربونية كبيرة في حين لا يستوجب هذا عندما يتغذى الجزء الدوار بتيار مستمر لتوليد الفيض، كما في المولدات ذات الأقطاب الداخلية.
- 3- مولدات الأقطاب الداخلية يمكن استعمال ملفات ذات حجم كبير في الجزء الثابت.
- 4- في مولدات الأقطاب الخارجية نحتاج لقوة ميكانيكية كبيرة لتحريك الجزء الدوار في حالة الحاجة إلى قدرات عالية.

#### 4-2 ربط المولدات إلى 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 (**Automatic Voltage Regulator**)

**AVR** ويعمل بصور ذاتية وكذلك يمكننا رفع الفولتية يدوياً بواسطة 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**)

بواسطة جهاز التحكم (**governer**) للسيطرة على كمية الوقود أو البخار.

**3- التوافق الموجي:** ويتم 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

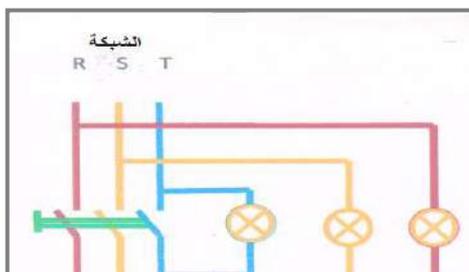
فرق طوري، كما مبين في الشكل (4-6). ولبيان عملية التوافق الموجي توجد ثلاث طرق هي :



الشكل 4-6 التوافق الموجي

**أ- الإطفاء الكامل (المصابيح المعتمدة):**

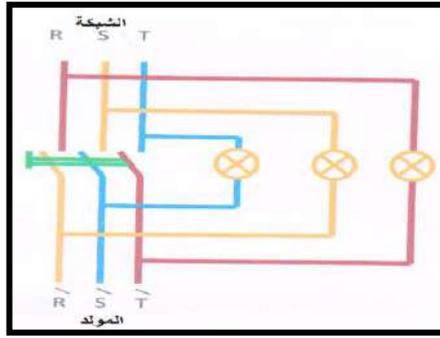
نوصل كل طور بين الشبكة والمولد بمصباح واحد يتحمل جهد ضعف جهد المولد لأنه يشترك في تغذيته الشبكة والمولد، كما مبين في الشكل (4-7). عندما تكون موجة الشبكة وموجة المولد مختلفتين يسري في المصباح تيار بسبب فرق الجهد بين الموجتين، كلما قلت الزاوية بين موجتي الشبكة والمولد، أنخفض توهج المصباح عندما تتفق موجة 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 بواسطة مفتاح خاص.



الشكل 4-7 طريقة الإطفاء الكامل (المصابيح المعتمدة)

ب- الإضاءة الكاملة (المصابيح المضيئة):

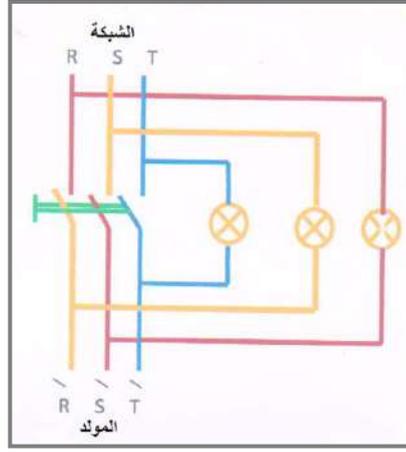
نوصل كل مصباح بين خطين مختلفين للشبكة والمولد، كما مبين في الشكل (4-8) الإضاءة الكاملة تتم عندما يكون هنالك اختلاف في الزاوية بين موجة الشبكة وموجة المولد ومقدارها (60) درجة طريقة الإضاءة الكاملة تفضل على طريقة الإطفاء الكامل بسبب إمكانية مشاهدة توهج المصباح بالعين .



الشكل 4-8 طريقة الإضاءة الكاملة (المصابيح المضيئة)

ج- الإضاءة الدوارة (المركبة):

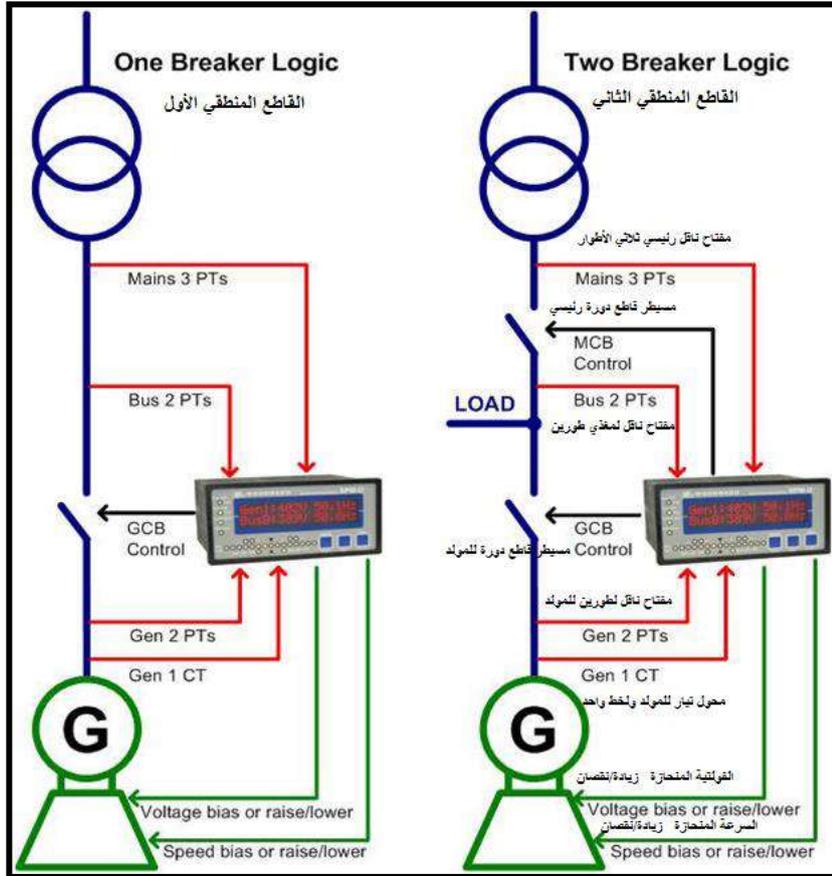
تعد من أفضل الطرق فالمصباح الأول يوصل بطريقة الإطفاء الكامل، بينما يوصل المصباحان الآخران بطريقة الإنارة الكاملة، كما مبين في الشكل (4-9). المصابيح الثلاثة تكون ذوات إضاءة متعاقبة تنطفئ وتضيء كأنها تدور، تحدث عملية توافق الأطوار عندما يكون المصباح الأول في حالة إطفاء (المصابيح المعتمدة) والمصباحين الثاني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



شكل 4-9 طريقة الإنارة الدوارة (المركبة)

## 1-2-4 أجهزة التزامن (التوافق):

تكون المولدات الكهربائية للتيار المتردد 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 بواسطة 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 بالتيار عن 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 البخار أو كمية الماء الى التوربين الذي يقوم بتدوير المولدة عندما 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 أيضاً متساوياً فلو تغير التردد نلاحظ 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، فيلاحظ 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.

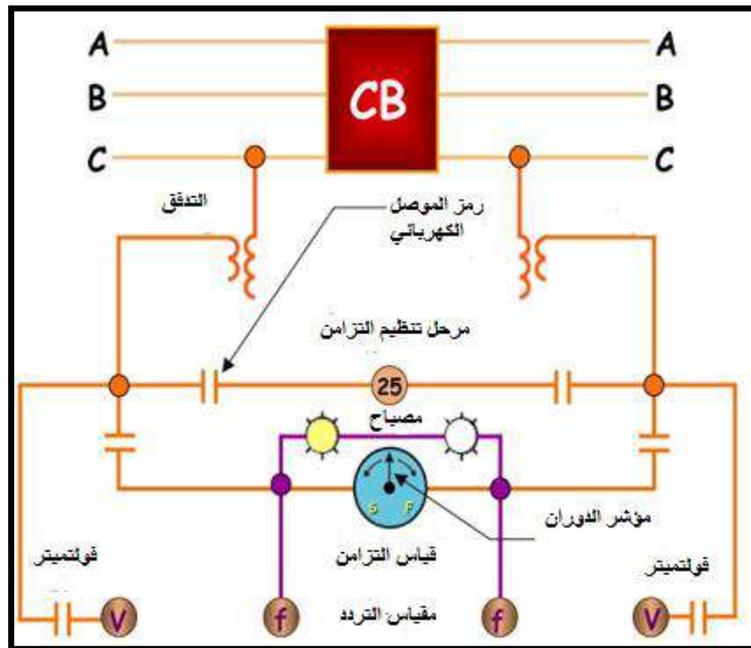
في كل محطة يوجد جهاز تزامن واحد فقط، حيث يتم توصيله بوساطة مفتاح (قاطع دورة) على المولدة المراد توصيلها ويخرج من العمل بصورة آلية بعد إجراء عملية التزامن وغلق قاطع الدورة.  
أما في التوربينات الغازية المزودة بغرف سيطرة موقعية فهناك جهاز تزامن لكل مولدة للتمكن من إجراء عملية التزامن من موقع المولدة وليس من غرفة السيطرة المركزية وإذا ما أردنا إجراء عملية التزامن من غرفة السيطرة المركزية فإن عملية التزامن تتم بالأجهزة الموقعية أيضاً.



الشكل 4-11 جهاز التزامن

#### 2-2-4 التزامن (توافق) المولدات (Synchronization):

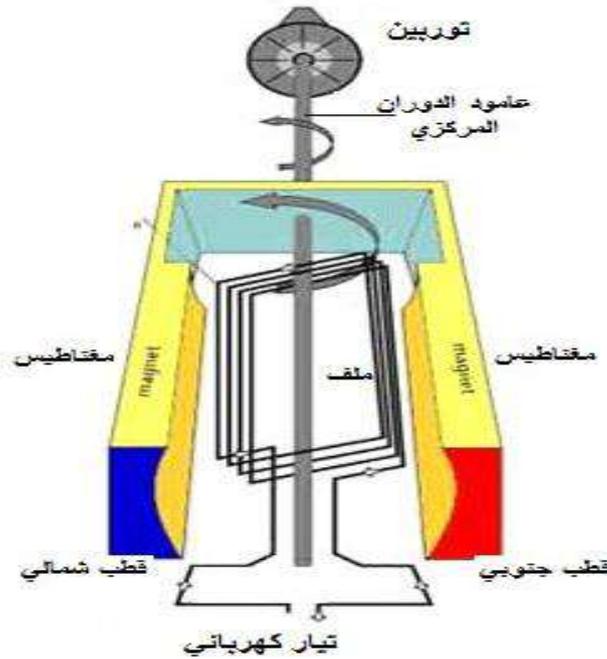
تعمل المولدات الكهربائية أحياناً منفردة، بحيث تغذي منطقة معينة مثل: مولدات الديزل أما المولدات المربوطة مع الشبكة الوطنية، فتعمل على التوازي مع بعضها. ومحطات توليد الكهرباء في العراق: هي محطات توليد مربوطة على التوازي، فإذا ما توقفت مولدة أو محطة توليد فتقوم بقية المولدات في محطات التوليد بالتعويض، كما 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 هناك التوربين البخاري وفي المحطات الكهرومائية هناك التوربين الهيدروليكي وفي مولدات الديزل هناك محرك الديزل، كما مبين في الشكل (4-13).



الشكل 4-13 رسم توضيحي للتوربين والمولد

#### 3-2-4 السيطرة على التردد:

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

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

عند انخفاض الحمل فإن سرعة الماكينة سوف ترتفع فيقوم جهاز التحكم بخفض السرعة إلى السرعة الاعتيادية. أما التوربين البخاري فإن جهاز التحكم يقوم بزيادة كمية البخار الذاهبة إلى 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 .

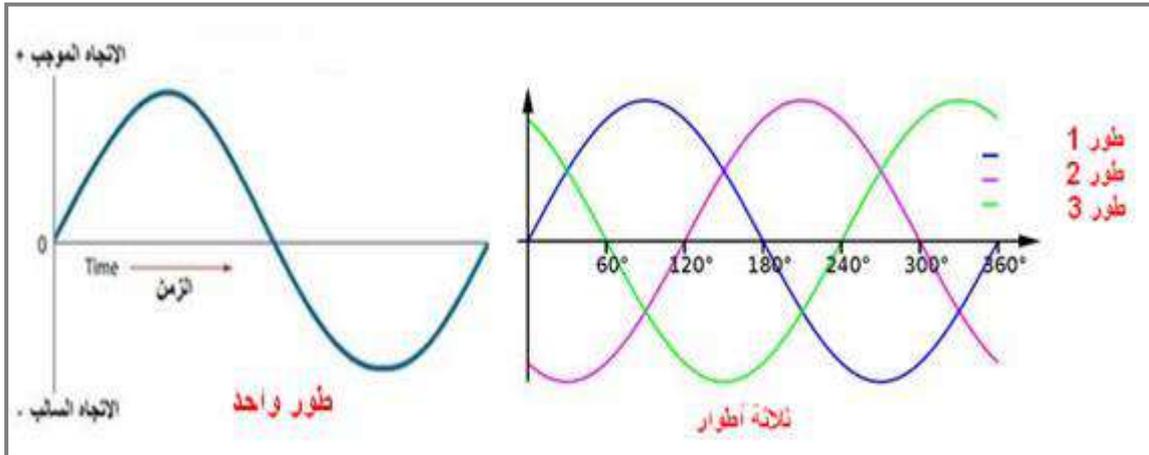
#### 4-2-4 السيطرة على الفولتية:

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 هناك 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 بواسطة مقاومة متغيرة موضوعة في طريق التيار الذي يغذي أجهزة الحث.

#### 3-4 دوائر 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 4-14 نظام الطور الواحد ونظام ثلاثة أطوار

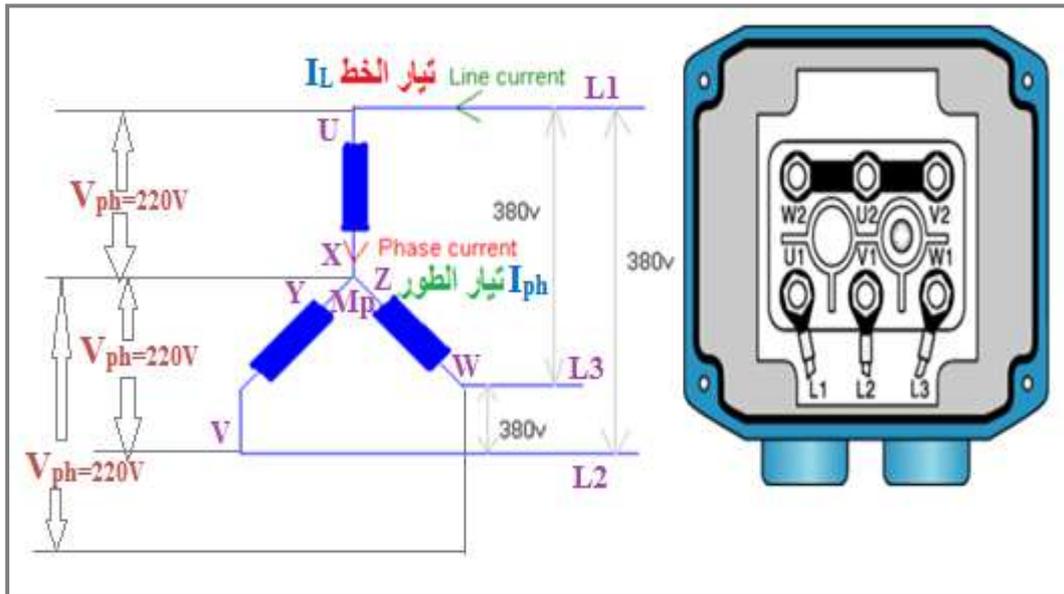
#### 4-3-1 طرق ربط دوائر ثلاثة أطوار:

توجد طريقتان لربط دوائر ثلاثة أطوار هما :

1- ربط النجمة (ستار Y):

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 نجمة (Y) لنحصل على (380،220) فولت ويمكن استعماله لتشغيل أجهزة ذات طور واحد باستخدام (R-Mp) أو (S-Mp) أو (T-Mp) لنحصل على (220) فولت.

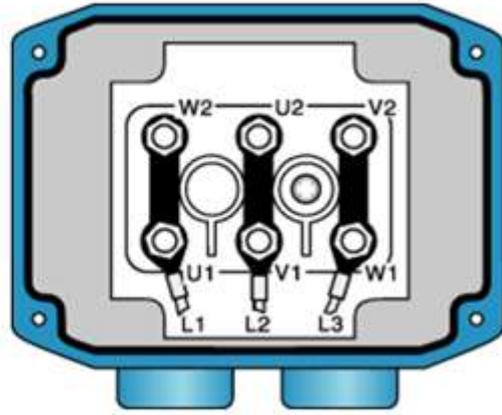
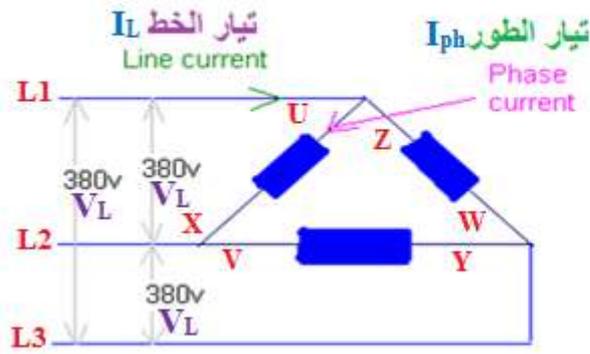
ويمكننا تشغيل الأجهزة التي تعمل على (380) فولت باستخدام (R S T) لتربط الى الجهاز كما مبين في الشكل (15-4).



الشكل 15-4 ربط النجمة (ستار Y)

## 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 (16-4).



الشكل 4-16 ربط المثلث (دلتا Δ)

#### 2-3-4 كميات 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 أو (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).

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

1- في حالة النجمة (ستار Y) :

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

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

**2- في حالة المثلث (دلتا  $\Delta$ )**

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

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

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

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

**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	$V_L = V_{ph} = 400 V$
دلتا $\Delta$	$V_L = 400 V$ جهد المصدر
$V_{ph} = 400 V$ جهد الملف	$I_L = \sqrt{3} I_{ph}$
$I_{ph} = 20 A$ تيار الملف	$I_L = 1.7 \times 20$
$V_L=?$ جهد المصدر	$I_L = 34 A$
$I_L=?$ تيار المصدر	

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

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

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

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

$$V_{ph} = I_{ph} \cdot R \quad (2)$$

$$V_{ph} = I_{ph} \cdot Z \quad (3)$$

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 كل مقاومة والتيار المصدر.

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

#### مثال 4-7 :

ثلاث ملفات متساوية ربطت مثلث (دلتا  $\Delta$ ) 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 $V_{ph} = I_{ph} \cdot Z$
مثلث $\Delta$	$V_{ph} = 20 \times 19$
$Z = 19 \Omega$ الممانعة الكلية لكل ملف	جهد الملف $V_{ph} = 380$
$I_{ph} = 20 A$ التيار المار في كل ملف	$V_L = V_{ph} = 380$
$V_{ph} = ?$ جهد الملف (الطور)	جهد الخط (المصدر) $V_L = 380 V$
$V_L = ?$ جهد الخط	

#### 4-3-5 القدرة (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  $\times$  التيار (1)  $w$   $P = V \cdot I$   
هنا نستعمل فقط جهازي الجهد (الفولتميتر) والتيار (اميتر).

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

أي نستعمل (3) أجهزه هي فولتميتر لقياس الجهد وأميتر لقياس التيار وجهاز قياس معامل القدرة

( $\cos\theta$ ) ويكون خالياً من الوحدات ( $\cos\theta$ ) 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  $\Delta$ )

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

$$P = V. I$$

$$P=? \text{ قدرة تيار مستمر}$$

$$P = 12 \times 0.5$$

$$V=12v \text{ يعمل على جهد}$$

$$P = 6 \text{ w}$$

$$I=0.5A \text{ يسحب تيار}$$

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	$P = V \cdot I \cdot \cos\theta$
V=220V يعمل على جهد	$P = 220 \times 2 \times 0.8$
I=2A يسحب تيار	$P = 332 \text{ w}$
Cosθ =0.8 معامل القدرة	$P = 332/ 1000$
P=? القدرة المستهلكة بالكيلو واط	$P = 0.332 \text{ kw}$

#### 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	$P = \sqrt{3} V_L \cdot I_L \cdot \cos\theta$
V <sub>L</sub> =380V يعمل على جهد	$P = 1.7 V_L \cdot I_L \cdot \cos\theta$
I <sub>L</sub> =5A يسحب تيار	$P = 1.7 \times 380 \times 5 \times 0.8$
Cosθ =0.8 معامل قدرته	$P = 2584 \text{ W}$
P=? القدرة المستهلكة بالكيلو واط	$P = 2584 / 1000$
	$P = 2.584 \text{ KW}$

#### 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	$P = 1.7 V_L \cdot I_L \cdot \cos\theta$
دلتا $\Delta$	$I_L = 1.7 \times I_{Ph}$
$V_L = 380V$ مصدر الجهد	$I_L = 1.7 \times 20$
$I_{Ph} = 20A$ تيار الملف (الطور)	$I_L = 34A$
$\cos\theta = 0.8$ معامل قدرته	$P = 1.7 \times 380 \times 34 \times 0.8$
$P = ?$ 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	$P = 1.7 \times V_L \cdot I_L \cdot \cos\theta$
نجمة Y	$V_L = 1.7 \times V_{Ph}$
$\cos\theta = 0.8$ معامل قدرته	$V_L = 1.7 \times 220 = 374V$
$I_L = 10A$	$P = 1.7 \times 374 \times 10 \times 0.8$
جهد الملف $V_{ph} = 220V$	$P = 5086W/1000$
$P = ?$ القدرة المستهلكة بالكيلو	$P = 5.086 KW$

## أسئلة الفصل الرابع

- س1- اشرح باختصار نظرية اشتغال المولد الكهربائي .
- س2- عرف قانون فارداي والقيم التي تعتمد عليها (ق. د. ك) المتولدة.
- س3- اشرح مع الرسم مكونات المولد الكهربائي البسيط مع تأشير أجزائه.
- س4- لماذا تسمى مولدات التيار المتناوب بالمولدات التوافقية وما هي أنواعها ؟
- س5- في أي جزء تتولد (ق. د. ك) بالمولدات ذوات الأقطاب الخارجية وكيف تنقل الى الحمل ؟
- س6- في أي جزء يتولد الفيض المغناطيسي بالمولدات ذوات الأقطاب الداخلية، وما نوع التيار المغذي وطريقة التغذية؟
- س7- اشرح المولدات ذوات الأقطاب الداخلية.
- س8- اشرح المولدات ذوات الأقطاب الخارجية.
- س9- أنت المفاوض مع الشركة لاستيراد مولدات توافقية أي الأنواع تستوردها للقدرات العالية ولماذا ؟
- س10- لماذا تربط المولدات مع بعضها وشروط ذلك وما هي طريقة الربط ؟
- س11- كيف يتم توليد نظام (3) أطوار؟
- س12- ما الطرق المتبعة لربط دوائر (3) أطوار مع الرسم؟
- س13- هل يختلف قياس قدرة حمل تيار مستمر عن التيار المتناوب وضح ذلك؟
- س14- ما علاقة تيار وجهد الطور والخط في حالة النجمة (Y)؟
- س15- ما علاقة تيار وجهد الطور والخط في حالة المثلث (Δ)؟
- س16- سلك طوله (100) سم يدور بسرعة (2) م/ثا داخل حلقة معدنية مساحة مقطعها (50) سم<sup>2</sup>، لفحولها ملف عدد لفاته (180) لفة ليكون فيض مقداره (4) ملي ويبر. احسب أعلى قيمة (ق. د. ك) المتولدة لكل لفة وكذلك (ق. د. ك) لجميع اللفات .

**الجواب : 1.6v , 288 v**

- س17— ملف عدد لفاته (400) لفة طول كل لفة (60) سم يدور بسرعة (2) م/ثا داخل حلقة معدنية مساحة مقطعها (5) سم<sup>2</sup> ليكون فيض (3) ملي ويبر. احسب أعلى قيمة (ق. د. ك) المتولدة؟

**الجواب: 2880v**

س18- موصل (40) سم يدور بسرعة (5) م/ثا داخل مجال مغناطيسي كثافته (1) ويبراً م<sup>2</sup> . 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 ب 1V ج = 2V**

س19- 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:  $P_\Delta = 62016 W$   $P_Y = 20672 W$**

س20- حمل ثلاثة أطوار ربطت ملفاته ( $\Delta$ ) يسحب تياراً (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:  $I_L = 12920 = I_{ph} = 25 A$   $P_Y = W$   $P_\Delta = 38760 W$**

س21- محرك ثلاثة أطوار يصرف قدرة (7.752) كيلو واط وبجهد (380) فولت ويسحب تياراً (15) أمبير وبتردد (50) ذ/ثا . احسب معامل قدرته.

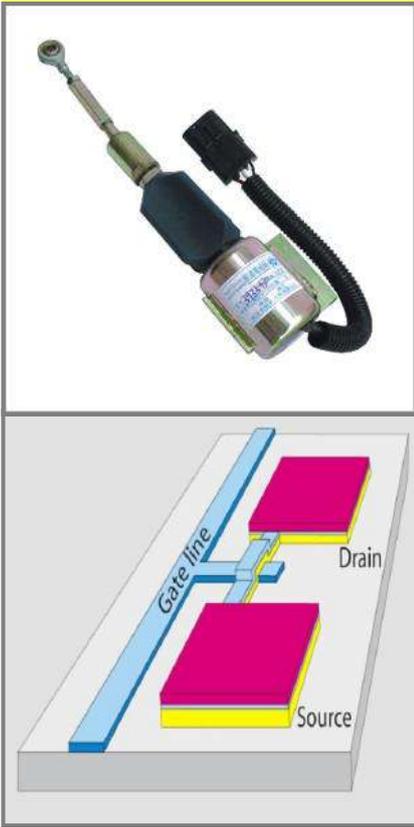
**الجواب:  $\cos \phi = 0.8$**

س22- 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:  $I_{ph} = 30 A$**

س23- 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)  
والمترسبات والشاشات الرقمية

### الأهداف:

يكون الطالب قادراً بعد دراسة الفصل على أن :

- 1 - يتعرف على تركيب وخواص الترانزستور (FET) وأهميته في الدوائر الالكترونية.
- 2 - يتعرف على أنواع المترسبات واستخداماتها في المصاعد الكهربائية.
- 3 - يتعرف على تركيب وعمل الشاشة الرقمية في المصعد الكهربائي.

## المحتويات

### المفردات:

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

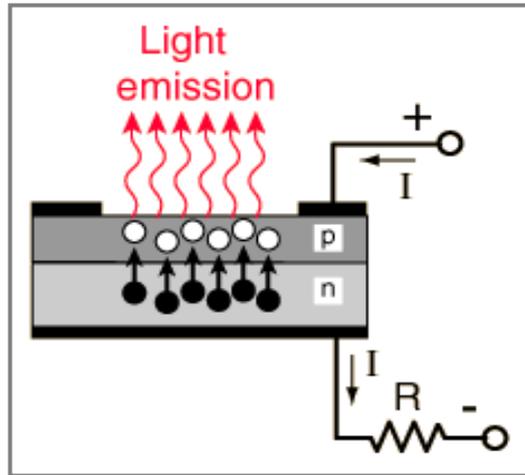
2-5- المتحسسات ( أنواعها ونظرية عملها) وتشمل:

أ - المتحسس الضوئي.

ب - المتحسس المغناطيسي.

ت - المتحسس الحراري (PTC).

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



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

تمكن المهندسان في مختبرات بيل الأمريكية (اين روس و جورج ريسي) من تصنيع ترانزستور يعمل بألية تختلف عن تلك المستخدمة في الترانزستور ثنائي القطبية، وقد عرف بترانزستور تأثير المجال (Junction Field Effect Transistor) وهذا الترانزستور يمكننا من استخدام إشارة كهربائية للسيطرة على إشارة أخرى، 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.

## أنواع ترانزستور تأثير المجال (FET):

تقسم عائلة ترانزستور تأثير المجال على نوعين هما:

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

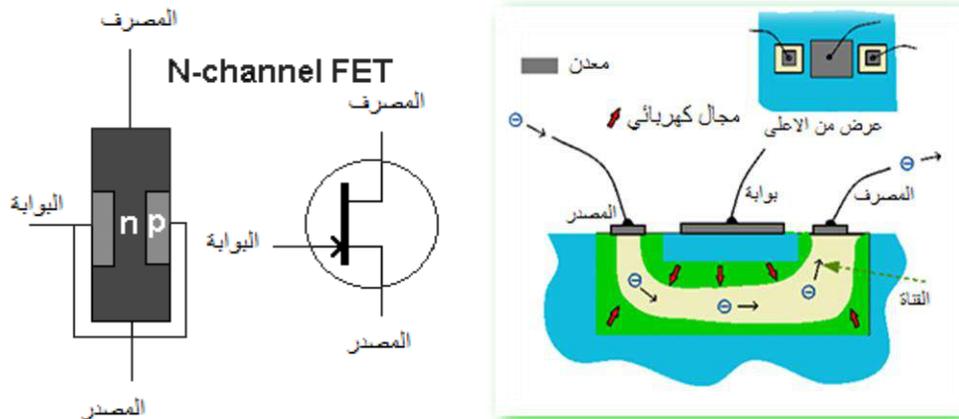
2- ترانزستور تأثير المجال ذو البوابة المعزولة (Metal Oxide Semi Field Effect Transistor).

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 - ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة (JFET):

### تركيبه و طريقة عمله:

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



شكل 5-1 تركيب ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة

ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة له ثلاثة أطراف هي:

### 1- المصدر (S) Source :

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

### 1- المصرف (D) Drain :

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 (G) Gate :

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

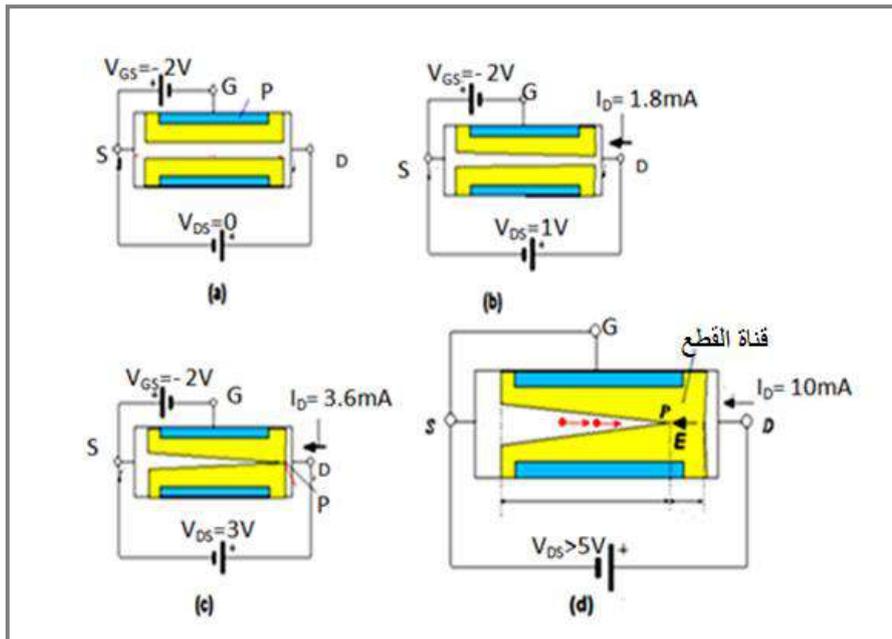
قوة تدفع الكترولونات القناة بعيداً عن الجدران وتصبح قناة مرور التيار أضيق وكلما زادت الفولتية السالبة-

( $Ve$ )، ضاقت القناة أكثر ويمكن تشبيهه القناة بما يحدث لو وضع القدم على خرطوم (أنابيب

مطاطية) الحديقة وعند تضيق منطقة عبور التيار بقوة كافية يمكن إن يقل التيار ويصبح

صفرأ (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 تضيق 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 ( $I_d$ ) 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 ( $V_{ds}>V_p=5V$ ).

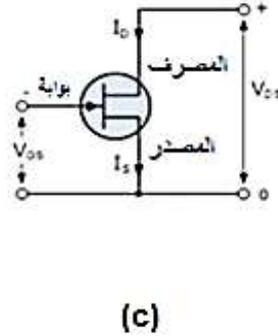
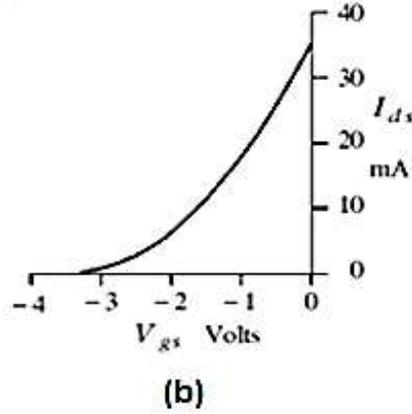
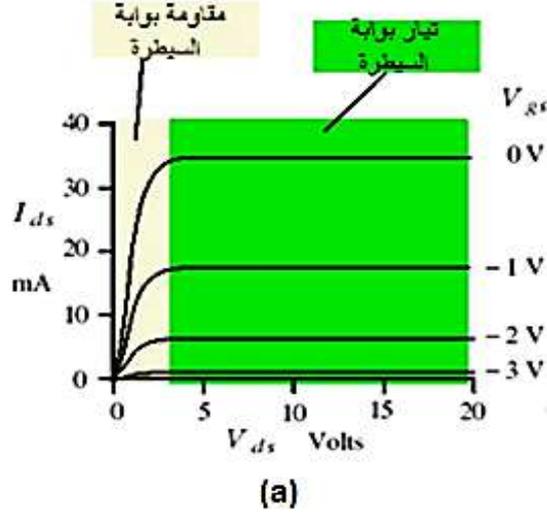
إذا أردنا أن نضع فولتية صغيرة موجبة (+Ve) على البوابة سوف تتوسع القناة مما يسمح بمرور تيار أكبر أي تصغر منطقة الاستنزاف ولكن الاعتماد على تلك التقنية بشكل كبير يسبب عند تسليط فولتية (+Ve) أكثر من اللازم سوف تعبر الالكترونات جدار البوابة وعدم مرور التيار من المصدر إلى المصرف وإن أغلب ترانزستورات تأثير 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 الترانزستور الاعتيادي 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 الترانزستور الاعتيادي 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 الرئيسية لترانزستور تأثير المجال ذي الوصلة المبينة بمنحنيات الخواص بالشكل (3-5). إن المنحنيات في الترانزستورات النموذجية توضح كيف أن تيار (المصرف - المصدر) ( $I_{ds}$ ) يتغير مع الفولتية (المصرف - المصدر) ( $V_{ds}$ ) لأربعة مواضع (اختيارات) لفولتية البوابة - المصدر ( $V_{gs}$ ).



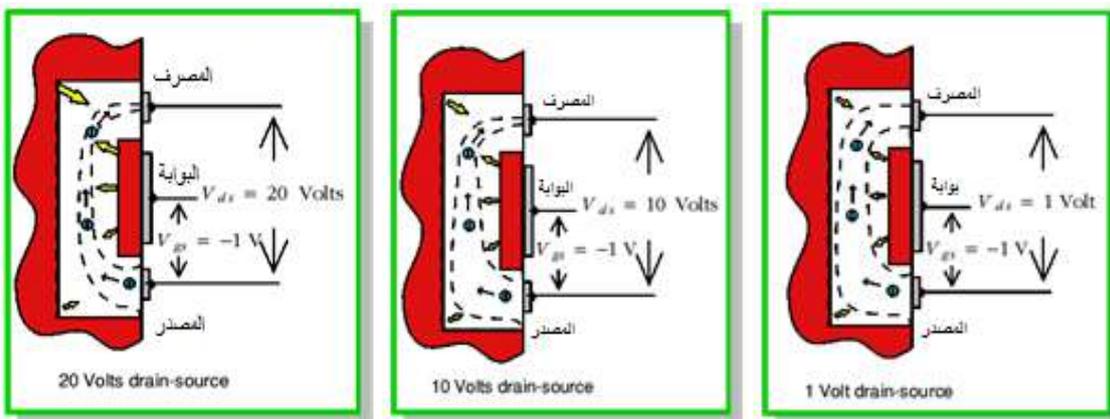
شكل 3-5 خواص ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة مع الرمز

ويمكن تقسيم مناطق استخدام المنحنيات في الشكل (3a-5) لإظهار سلوك الترانزستور على منطقتين. ففي المنطقة الخضراء من الشكل البياني نلاحظ ما يأتي: عندما تكون فولتية المصرف-المصدر ( $V_{ds}$ ) التي هي أكبر قليلا من القيمة الصغرى (2) فولت، فإن التيار المار بالقناة، أي تيار المصرف المصدر ( $I_{ds}$ ) لا يتأثر تقريبا بزيادة 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 بزيادة 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 ( $V_{gs}$ ) والتيار مصرف-المصدر ( $I_{ds}$ ). ونلاحظ 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) أي إن قناة الألكترونات تكون أضيق لعبور الألكترونات من جهة المصرف وعند ازدياد ( $V_{ds}$ ) إلى (10V) الفولتية عبر المصرف تزداد إلى (11V) أي أن القناة من جهة المصرف تكون أكثر ضيقاً وهكذا لو أزداد ( $V_{ds}$ ) إلى (20V) زاد التضيق في ممر الألكترونات 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 4-5 قيم مختلفة لـ  $V_{ds}$  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 - 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)

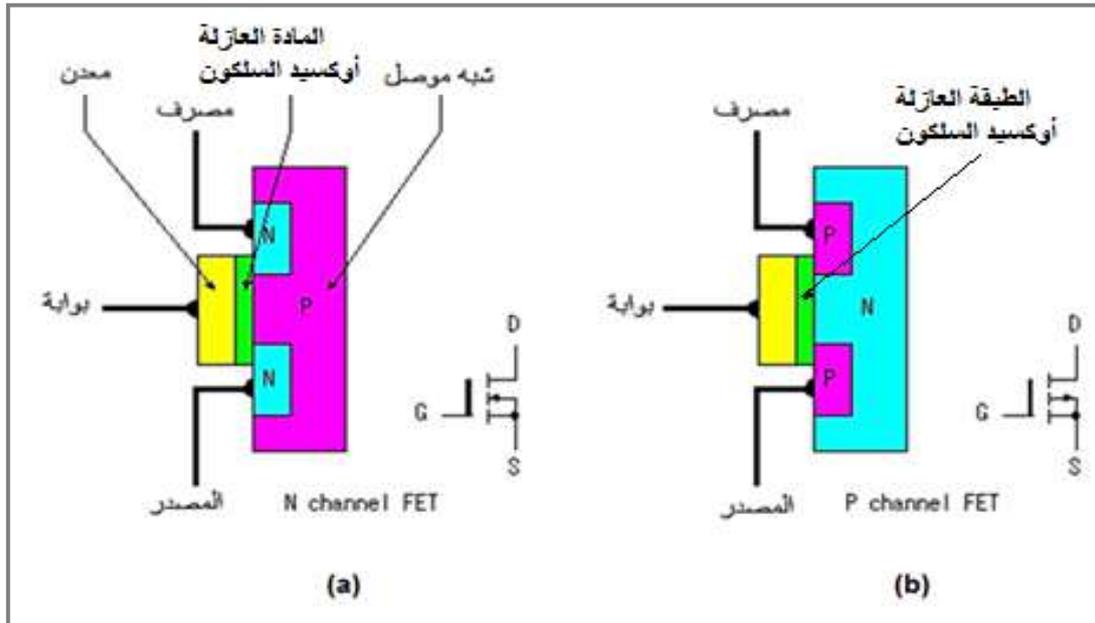
### (Metal-oxide-semiconductor FET) MOSFET

### أو البوابة المعزولة (IGFET) (Isolated Gate)

#### تركيبه :

يتركب ترانزستور تأثير المجال ذو البوابة المعزولة المبين بالشكل (5-5) من :

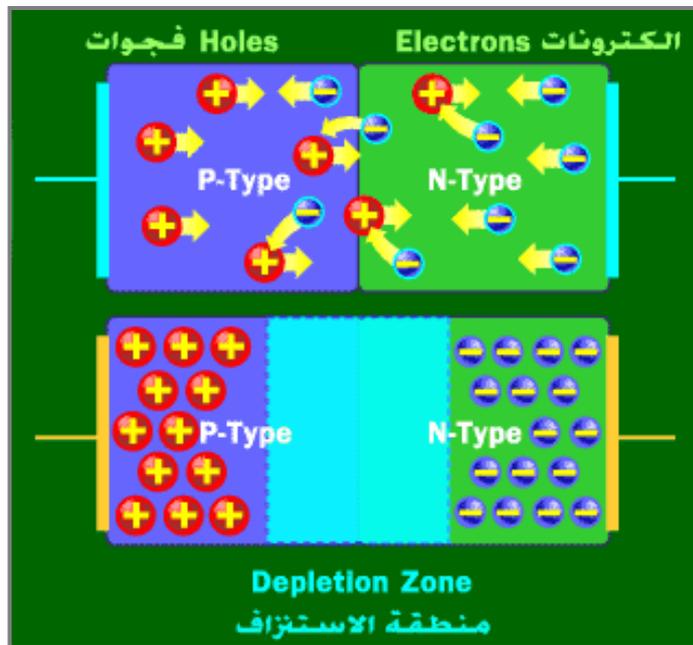
- 1- طبقة أساس ( Substrate ) وهي إما من نوع (N) أو (P) .
- 2- منطقتين بلوريتين من نفس النوع (بعكس طبقة الأساس) ويمثلان الطرفين (Source) و(Drain) المصدر و المصرف.
- 3- طبقة من ثاني اوكسيد السليكون ( $SiO_2$ ) وهي مادة عازلة.
- 4- طبقة من المعدن و تمثل الطرف البوابة، وإن لهذا الترانزستور نوعين:  
إما (P-channel) أو (N-channel).



الشكل 5-5 تركيب ترانزستور تأثير المجال ذو البوابة المعزولة

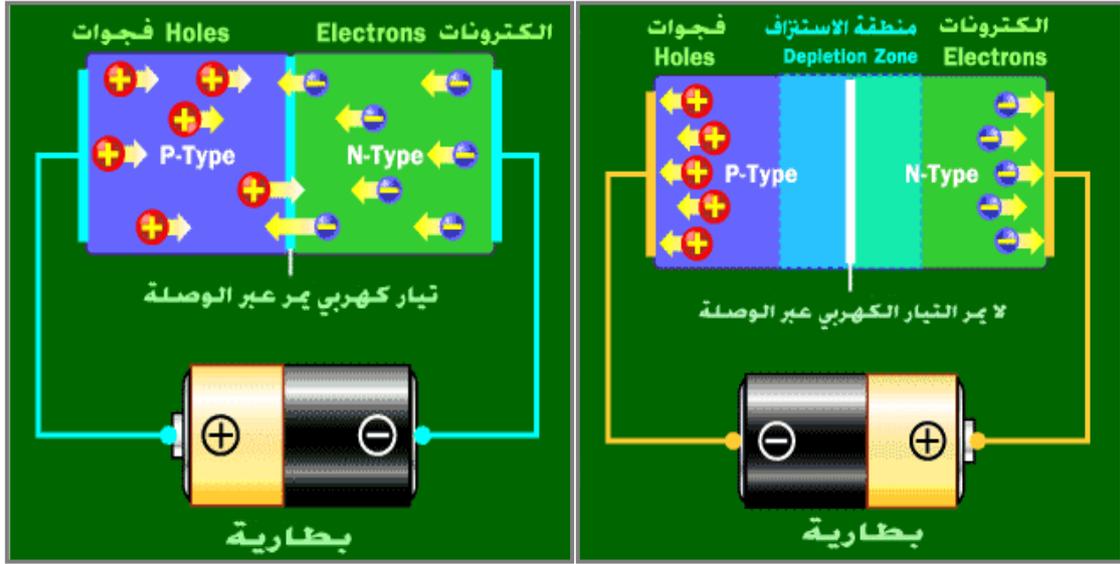
## عمل ترانزستور تأثير المجال السيلكوني المعدني (ذو البوابة المعزولة):

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 إلكترونات 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 البلورة بما يؤدي إلى تكوين بلورات سالبة أو موجبة حسب مادة هذه الشوائب وعند توصيل هذين النوعين ببعضهما كما بالشكل (5-6)، تنجذب بعض الإلكترونات الحرة من البلورة (N) إلى الفجوات في البلورة (P) وتتكون منطقة وسطية فارغة من حاملات التيار وتسمى (المنطقة الميتة) أو (المنزوحة منطقة الاستنزاف) (Depletion Area).



الشكل 6-5 إنجذاباً للإلكترونات الحرة من البلورة N إلى الفجوات في البلورة P

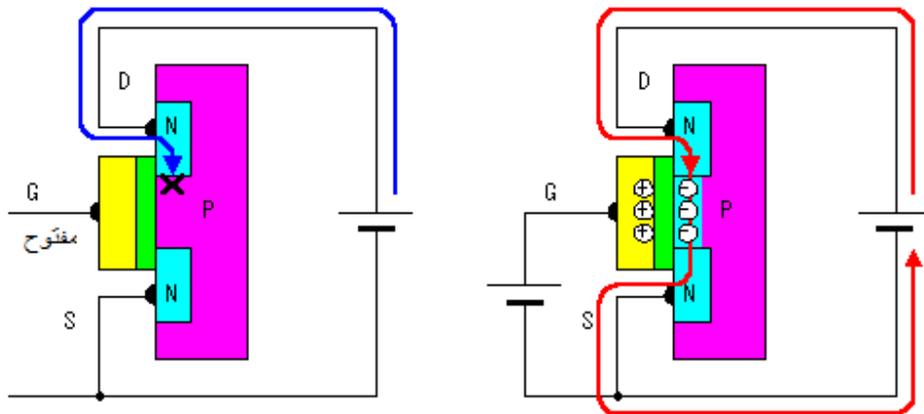
والشكل (5-7) يبين الانحياز الأمامي والعكسي للثنائي الدايمود وتظهر فيه المساحة المنزوحة للإنحيازين.



الشكل 5-7 الأتحياز الأمامي والعكسي للثنائي الدايمود

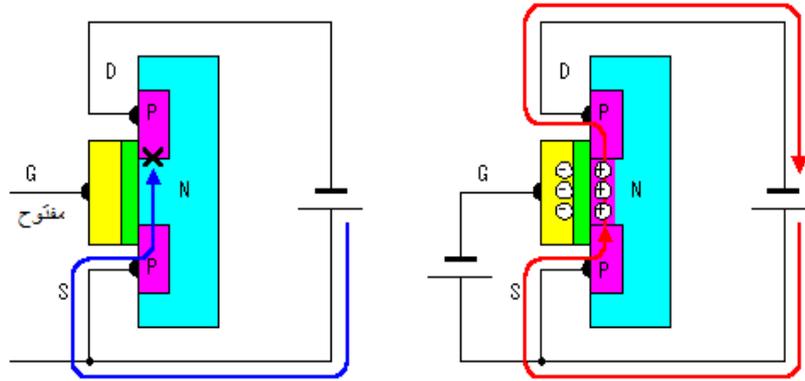
في هذا النوع من الترانزستور (**MOSFET**) يتم التحكم بتيار الخرج عن طريق المجال الكهربائي وكما في الشكل (5-8) في حالة وضع فولتية موجبة على البوابة نلاحظ إن الترانزستور من نوع (**N-channel**) فإن الإلكترونات الحرة الموجودة في بلورتي (**المصدر والمصرف**) ستجذب للمجال الكهربائي الموجب المتكون عند البوابة 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)** ستجذبان للمجال الكهربائي السالب 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 المنبع والمصرف .



الشكل 5-9 قناة 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- ترانزستور تأثير المجال ذو البوابة المعزولة الذي بحالة الاستنفاد **(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 مقاومته دخوله كبيرة جداً نتيجة وجود طبقة الأوكسيد العازلة، التي تتراوح بين  $(10^{10} - 10^{15})$  أوم.

## الانحياز في ترانستور تأثير المجال:

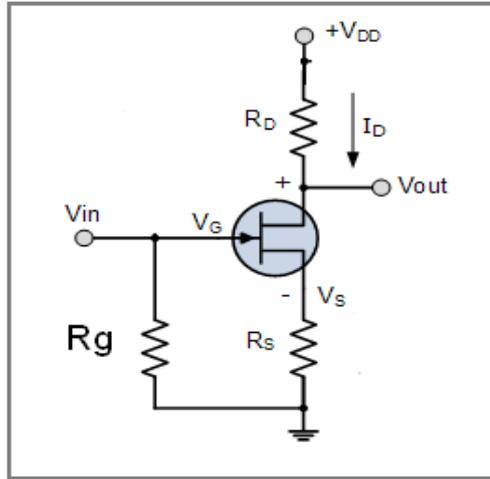
إن دوائر الانحياز لا تختلف عن الترانزستور (**PNP و NPN**) ولكن يجب هنا ذكر بعض الفروق الجوهرية، فإن كلمة الانحياز تعني بصورة خاصة تيار القاعدة. أما ترانزستور تأثير المجال فإن نقطة التشغيل تحدد بين فولتية البوابة والمصدر، لذلك فإن الانحياز في هذه الحالة سيعني قيمة الفولتية. الفرق الآخر هو أنه عند استعمال الترانزستور الاعتيادي في الدوائر الخطية (**كدوائر التكبير**)، فإن نقطة التشغيل تختار دائماً بحيث يكون ثنائي القاعدة – الباعث منحازاً أمامياً وثنائي القاعدة – الجامع منحاز عكسياً. أما في ترانزستور تأثير المجال فإن هناك نوعاً تعريضياً، ونوعاً إستنزافياً، أو نوعاً يحوي كلا النوعين في الوقت نفسه.

### 1- انحياز النوع الاستنزافي :

في النوع الاستنزافي تكون حاملات الشحنات متواجدة في القناة حتى عند انعدام فولتية الانحياز ( $V_{GS}=0$ )، فتكون القناة موصلة عندئذٍ، 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 أوصلي (**JFET**) التي تقع ضمن الترانزستورات الاستنزافية فإنه لا يستحسن توصيل انحياز أمامي عليها، وذلك لأن ثنائي وصل بوابة الترانزستور مع المصدر سيجعل حينئذٍ على تقليل مقاومة إدخال الترانزستور. لذلك يوصل عادة انحياز عكسي على ترانزستور (**JFET**) ولتعاكس قطبية الانحياز العكسي مع قطبية الفولتية الموصلة على المصدر ( $V_{DD}$ )، فإنه لا يمكن استعمال طريقة تجزئة الفولتية ( $V_{DD}$ ) بالمقاومات لتوليد الانحياز حيث إن هذه الطريقة بمفردها ستولد انحيازاً أمامياً. والحل هنا هو إما أن نستعمل مصدراً آخر للفولتية يربط بدائرة البوابة أو دائرة المصدر أو نستغل تيار المصدر لتوليد فولتية الانحياز ويتم توضيح ذلك كما يأتي:

## الانحياز الذاتي:

يتولد هذا الانحياز من تمرير تيار المصدر خلال المقاومة ( $R_S$ )، وكما هو مبين في الشكل (5-10) في ترانزستور ذي قناة سالبة.



شكل 5-10 الانحياز الذاتي لترانزستور تأثير المجال

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:

$$V_{GS} = -I_D R_S$$

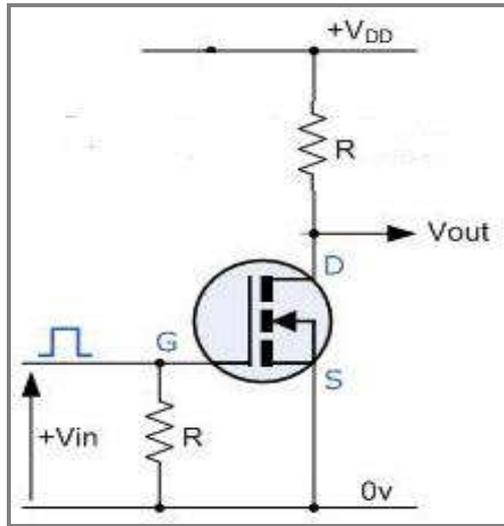
وتعرف بالانحياز الذاتي، حيث لاتوصل أي فولتية إلى البوابة ( $G$ ) ولحساب مقاومة الترانزستور ( $r_{ds}$ ) من المعادلة الآتية:

$$r_{ds} = \frac{\Delta V_{ds}}{\Delta I_D}$$

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 لا يمكن استعمال الانحياز الذاتي وحده هنا لأن مثل هذا الانحياز يكون ذا اتجاه عكسي وفي هذه الحالة يمكن استعمال نفس المصدر ( $V_{DD}$ ) أو إضافة مصدر خارجي ذي فولتية موجبة لتوليد الانحياز الأمامي، كما هو مبين في الشكل (5 - 11).



شكل 5- 11 انحياز الترانزستور باستعمال مصدر تيار مستمر

**مثال 5-1:** أحسب فولتية إنحياز البوابة ( $V_{GS}$ ) وفولتية على أطراف الترانزستور تأثير المجال ( $V_{DS}$ ) وصل إلى دائرة، كما هو مبين في الدائرة أدناه إذا كان التيار المار خلاله ( $I_D$ ) يساوي (2.5) ملي أمبير .

**الحل :**

$$V_{GS} = -I_D R_S$$

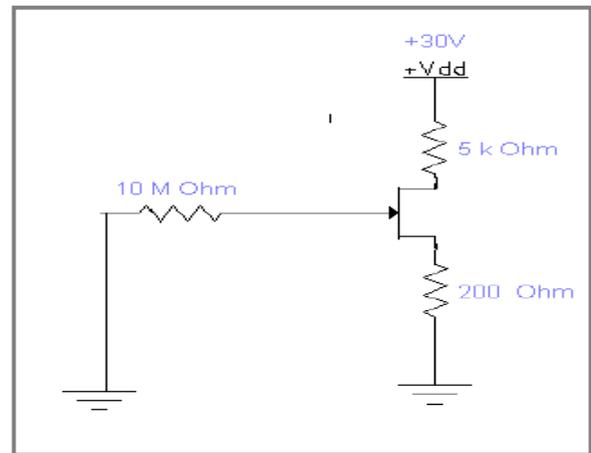
$$V_{GS} = 2.5 \times 10^{-3} \times 200$$

$$V_{GS} = -0.5V$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D (R_D + R_S)$$

$$V_{DS} = 30 - 2.5 \times 10^{-3} (500 + 200)$$

$$V_{DS} = 17V$$



**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 :**

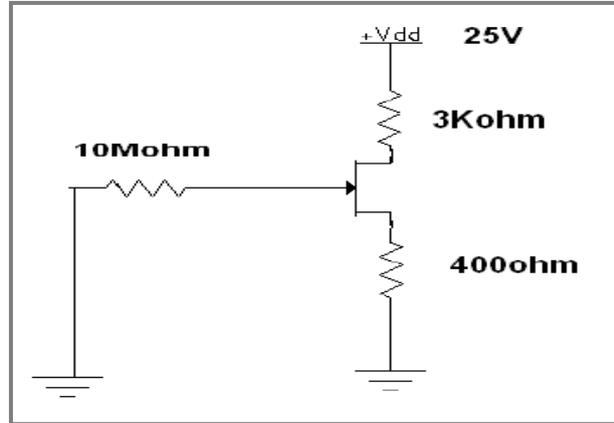
$$V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_D + R_S)$$

$$I_D = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{(R_D + R_S)}$$

$$I_D = \frac{25 - 17}{3000 + 400}$$

$$I_D = \frac{8}{3400}$$

$$I_D = 2.35 \text{ mA}$$



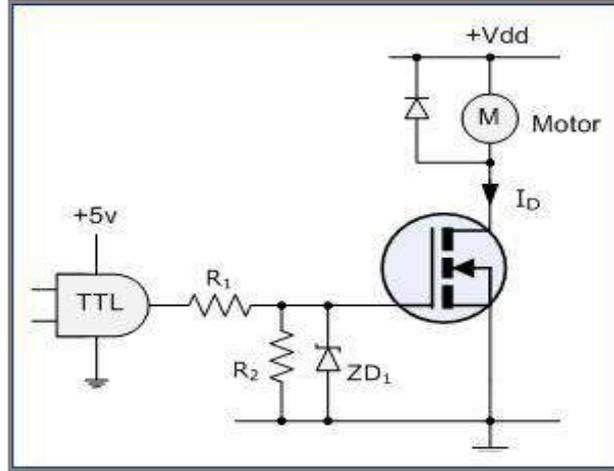
نوضح أدناه تطبيقات الدوائر الالكترونية لترانزستور تأثير المجال لمواصفاته التي تفوق الترانزستور الاعتيادي ومنها :

- 1- ترانزستور تأثير المجال كمفتاح.
- 2- ترانزستور تأثير المجال كمكبر عزل (Buffer Amplifier).
- 3- دوائر التقطيع التماثلية
- 4- دوائر التقطيع (Chopper Circuit).

وندرج منها بعض الدوائر الآتية:

## 1- ترانزستور تأثير المجال كمفتاح:-FEToxideSemiconductorMetal

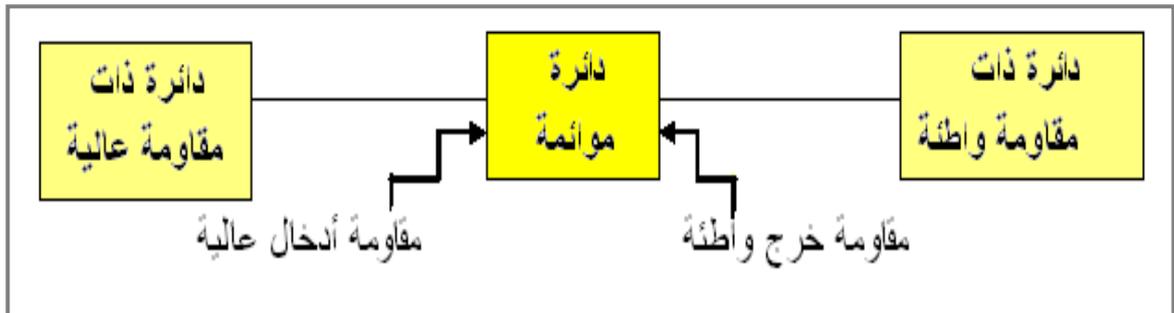
يستعمل في هذه الدائرة ترانزستور القدرة لنوع تأثير المجال ذو البوابة المعزولة ذو القناة السالبة (**N- Chanel**) للتحكم بتشغيل محركات التيار المستمر والتحكم بسرعتها عبر الثنائي نوع الزينر، يعمل على تثبيت فولتية البوابة عند قيمة لا تتجاوز فولتية الانهيار المثبتة على الثنائي، كما هو مبين في الشكل (5 - 12).



شكل 5 - 12 دائرة تحكم لتشغيل محرك تيار مستمر

## 2- ترانزستور تأثير المجال كدائرة موأمة:

يمتاز ترانزستور تأثير المجال بممانعة إدخال عالية وممانعة إخراج واطئة، لذلك يستعمل دائرة موأمة بين مرحلتين ذات مقاومتين مختلفتين بالقيمة، كما مبين في الشكل (5- 13).



شكل 5 - 13 المخطط الكتلي لاستعمال ترانزستور JFET كدائرة موأمة

## 2-5 الحساسات ( Sensors ) :

الحساسات هي أجهزة تستخدم لتجهيز إشارة تمثل حالات في ماكينة 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 يوماً 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 أجهزة ميكانيكية تستخدم التوصيل الفيزيائي أو المادي للكشف عن ظهور الأجسام تكون هذه الحساسات بأنواع وأحجام مختلفة ويتكون الحساس من جزئين رئيسيين المبيين بالشكل (5-14) هما :

1- رأس التشغيل ، يسمى المشغل (Actuator).

2- صندوق المفاتيح ، يحتوي على توصيلات كهربائية لفتح أو غلق الدائرة.



الشكل 5-14 الأجزاء الرئيسية 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 (**Normally open**) (No) عندما يصل المشغل إلى وضع التشغيل التوصيلات المتحركة (**Movable contact**) تتجه بسرعة نحو مجموعة من التوصيلات الثابتة (**Fixed Contact**) المبينة بالشكل (5-15).

عندما المشغل يرجع إلى وضع التحرر فإن آلية النابض يجبر التوصيلات المتحركة 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.



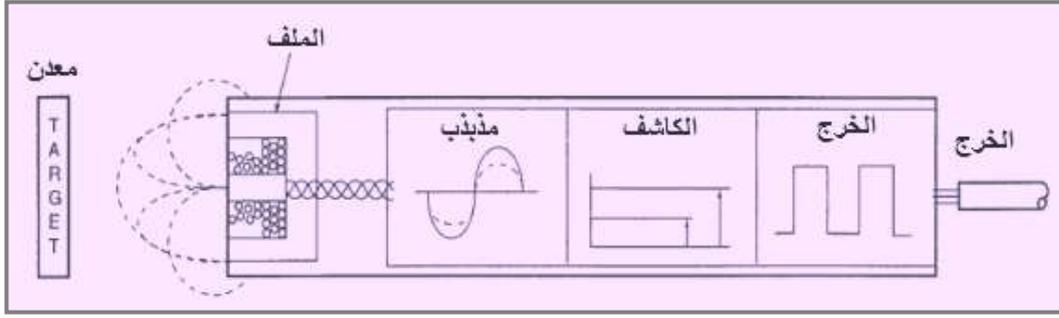
شكل 5-15 أجزاء وعمل صندوق المفاتيح

## ب. الحساسات التي لا تعمل بالتماس (No Touch Sensors):

سميت بهذا الاسم، لأن الحساس يكشف عن الجسم (**المنتج**) دون ملامسته، أي بدون توصيل فيزيائي أو مادي ومن هذه الحساسات:

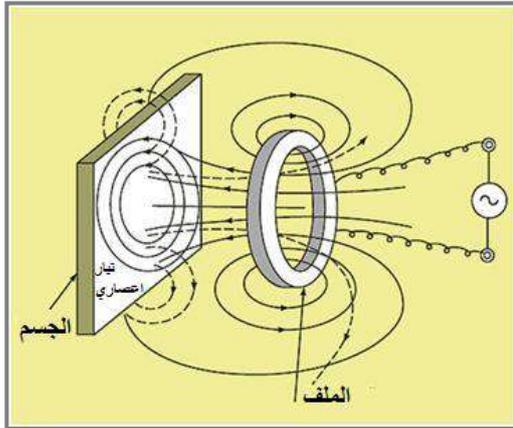
### 1- الحساسات الحثية التقاربية (Inductive Proximity Sensors):

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.

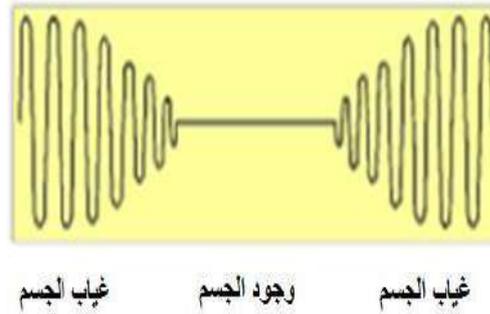


شكل 5-16 تركيب الحساسات الحثية التقاربية

**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 بتغيير 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

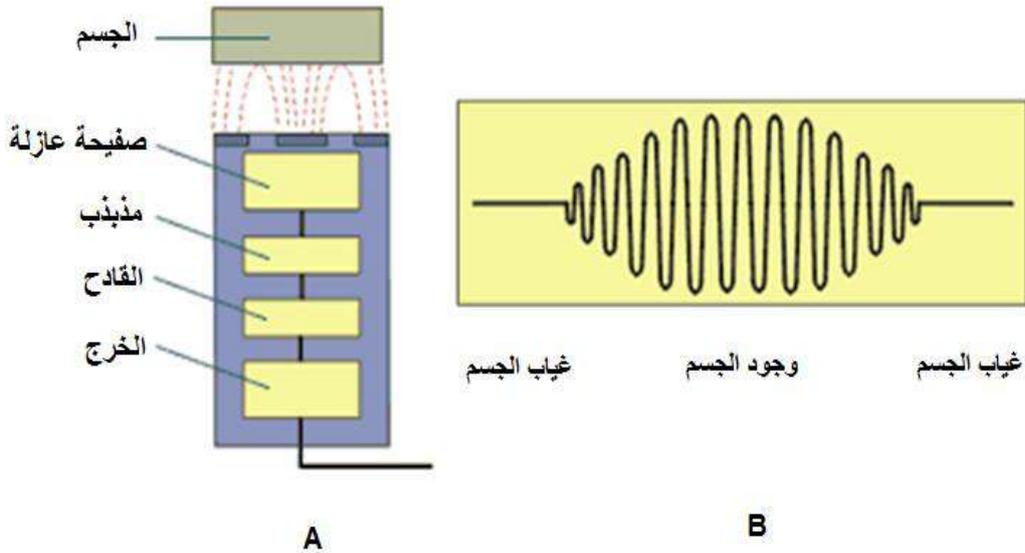


B

الشكل (A) 5-17 عمل الحساس الحثي التقاربي. (B) إشارة الخرج للحساس بوجود الجسم وغيابه

## 2- الحساسات السعوية التقريبية (Capacitive Proximity Sensors):

إن الحساسات السعوية التقريبية هي مشابهة تماماً للحساسات الحثية التقريبية 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 تغيير حالة الخرج وعندما يبتعد الجسم عن سطح الحساس فإن قيمة المذبذب تقل وتعود حالة الخرج إلى وضعها الطبيعي والشكل (A) 18-5 يبين التركيب الداخلي وعمل الحساس، والشكل (B) 18-5 يبين إشارة الخرج للحساس بوجود الجسم وغيابه.

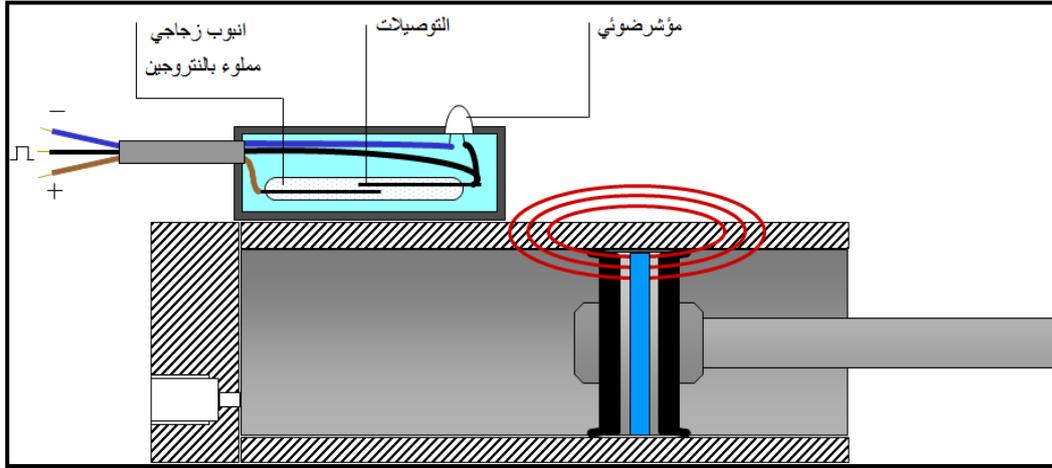


شكل 18-5 (A) تركيب وعمل الحساس السعوي التقريبي (B) إشارة الخرج بوجود الجسم وغيابه

## 3- الحساسات المغناطيسية التقريبية (Magnetic Proximity Sensors):

وهي الحساسات التي تعمل بفعل المجال المغناطيسي وتتكون من قطعتين رئيسيتين هما مغناطيس دائم وأنبوب زجاجي مملوء بالننروجين 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، التآكسد 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 وأجزاء الحساسات التقاربية المغناطيسية

#### 4- الحساسات الضوئية:

تتميز هذه الحساسات بمدى التشغيل الكبير الذي يتراوح بين عدة ملليمترات 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 رئيسيين هما :

أ- المرسل: ويمثل المصدر الضوئي.

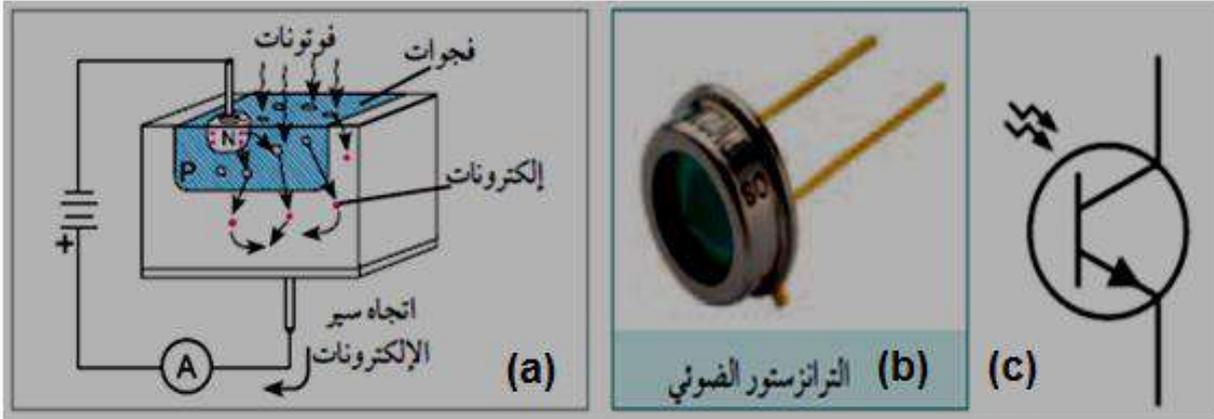
ب- المستقبل: وهو عبارة عن دائرة متحسسة للضوء ومفتاح يعد خرج الحساس ومن متحسسات الضوء:

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 5-20 شكل 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 الآتيا في عملة وأن تيار القاعدة يتولد بالضوء، وتتناسب قيمته مع شدة الإضاءة المساقطة على سطح الحساس، والشكل (5-21) يبين شكل الأخرى الضوئية.

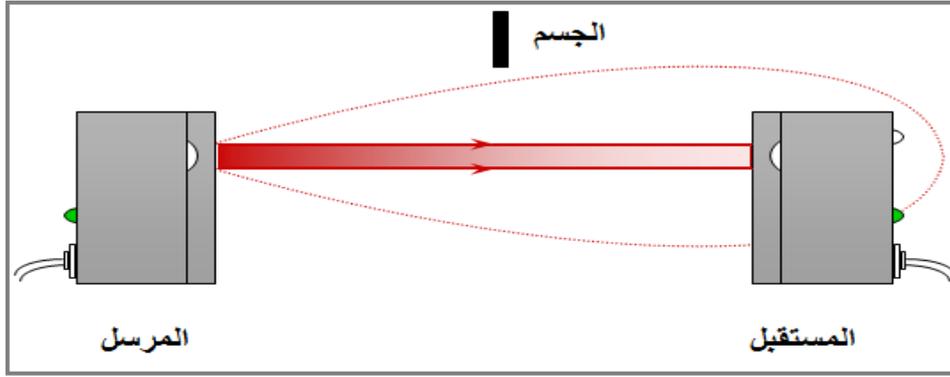


شكل 5-21 (a) أجزاء وعمل الترانزستور الضوئي (b) الترانزستور الضوئي (c) رمز الترانزستور

## تقسم الخلايا الضوئية حسب نظام عملها الى :

### أ- نظام الطريق الواحد:

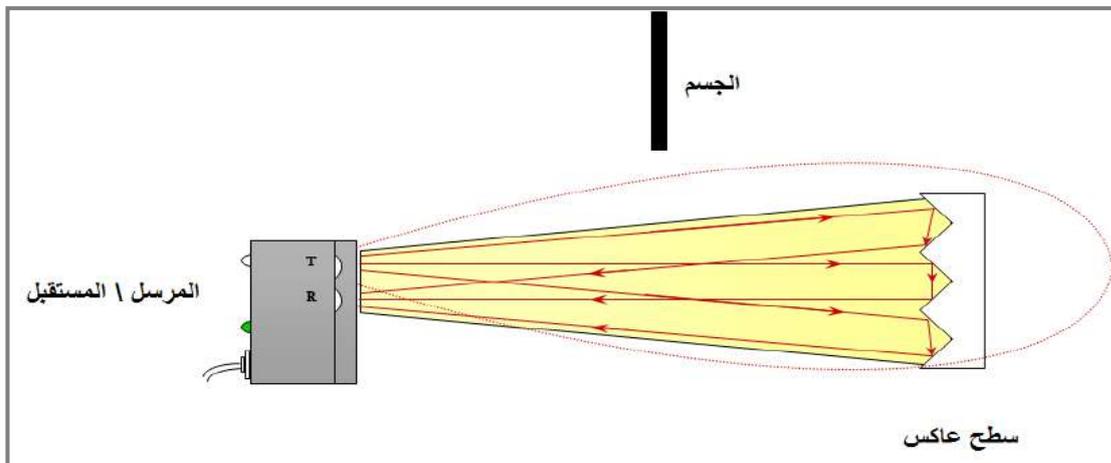
حيث يثبت المرسل (Transmitter) والمستقبل (Receiver) للخلية الضوئية عند ركني المنطقة المراد اكتشاف أي جسم يمر فيها وأقصى مسافة بين المرسل والمستقبل (30) م ويقوم الحساس بالكشف عن الأجسام الغير شفافة التي تدخل بين المرسل والمستقبل والشكل (5-22) يبين نظام الطريق الواحد.



الشكل 5-22 نظام الطريق الواحد

### ب- النظام الانعكاسي:

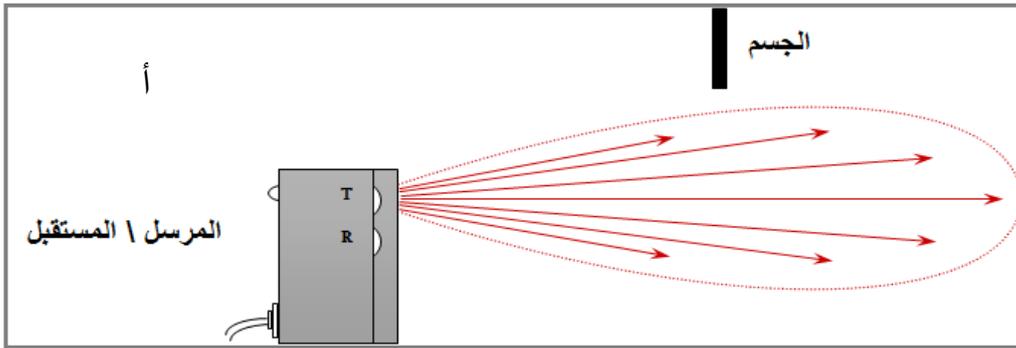
حيث يكون المرسل والمستقبل مجتمعين معاً في غلاف واحد وتحتاج الخلايا الضوئية التي تعمل بهذا النظام لسطح عاكس ويتلخص مبدأ عمل هذا النظام على أن المرسل يرسل أشعة تحت الحمراء وعندما تصطدم هذه الأشعة بالسطح العاكس ترتد لتسقط على المستقبل وهذا يمثل الوضع الطبيعي للحساس وعند مرور جسم بين الخلية والعاكس فإن الأشعة 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).



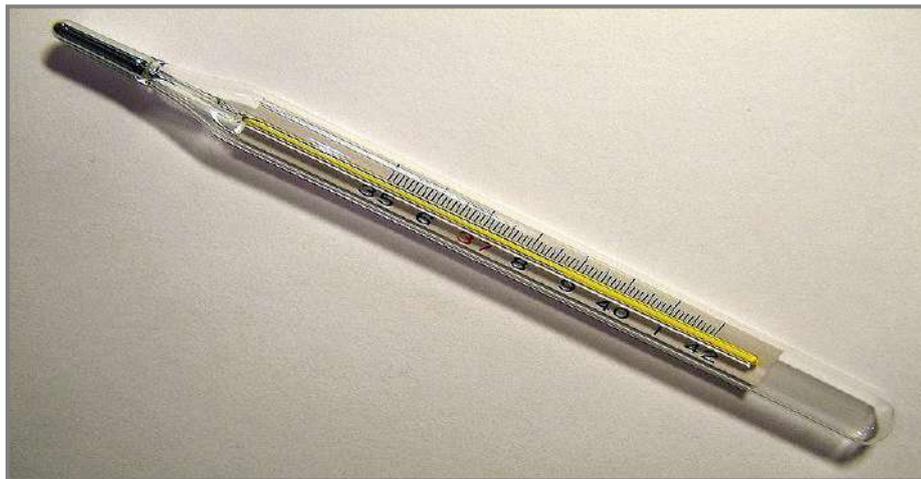
الشكل 5-24 النظام التقاربي

### 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 وتعتمد فكرة المقياس على تمدد الزئبق في الحرارة و إنكماش حجمه في البرودة، المبين بالشكل (5-25).

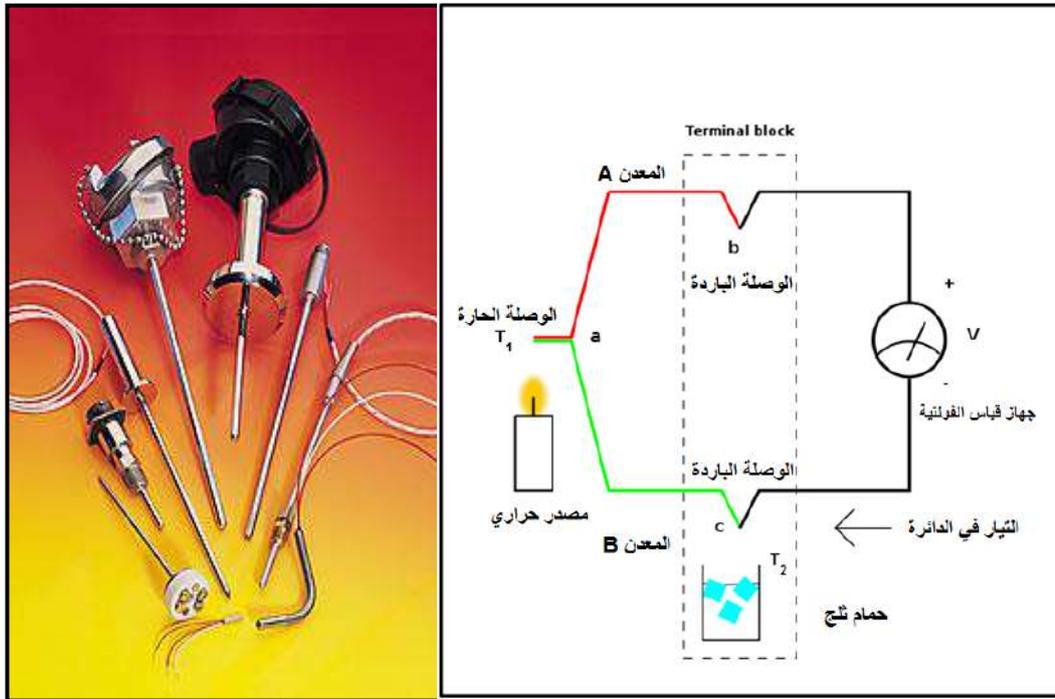


الشكل 5-25 المحرار الزئبقي

## 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 أو إيقاف دائرة أخرى ويتوفر منة عدة أنواع يعتمد على نوع المادة المصنوع منها ومن استخداماته في دوائر التحكم بتكييف الهواء في غرفة المصعد والشكل (26a-5) يبين شكل المزدوج الحراري.

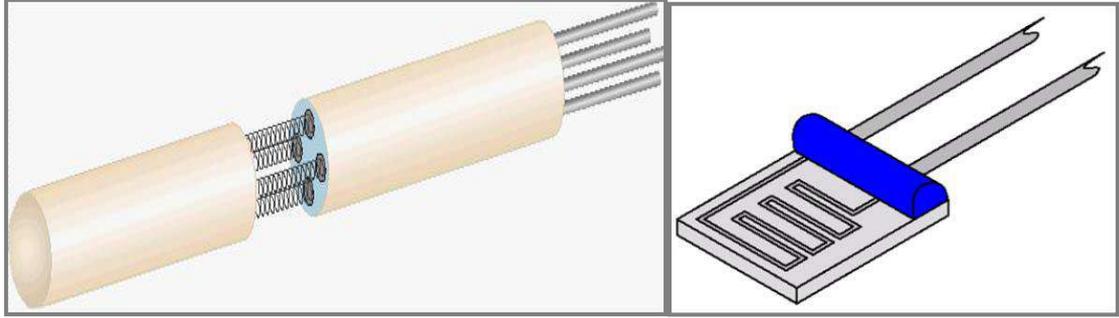


(a)

(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 (PTC) (Position Temperature Coefficient) حيث تزداد المقاومة بزيادة درجة الحرارة وتتميز بأنها ذات استقرارية للخروج 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 5-27 أنواع مختلفة من المقاومة الحرارية

### التطبيقات النموذجية لاختيار الحساس المناسب :

بالنظر لتعدد أنواع الحساسات واستخداماتها لذا يجب أن تؤخذ الاعتبارات التالية عند استخدام أي حساس في تطبيق معين.

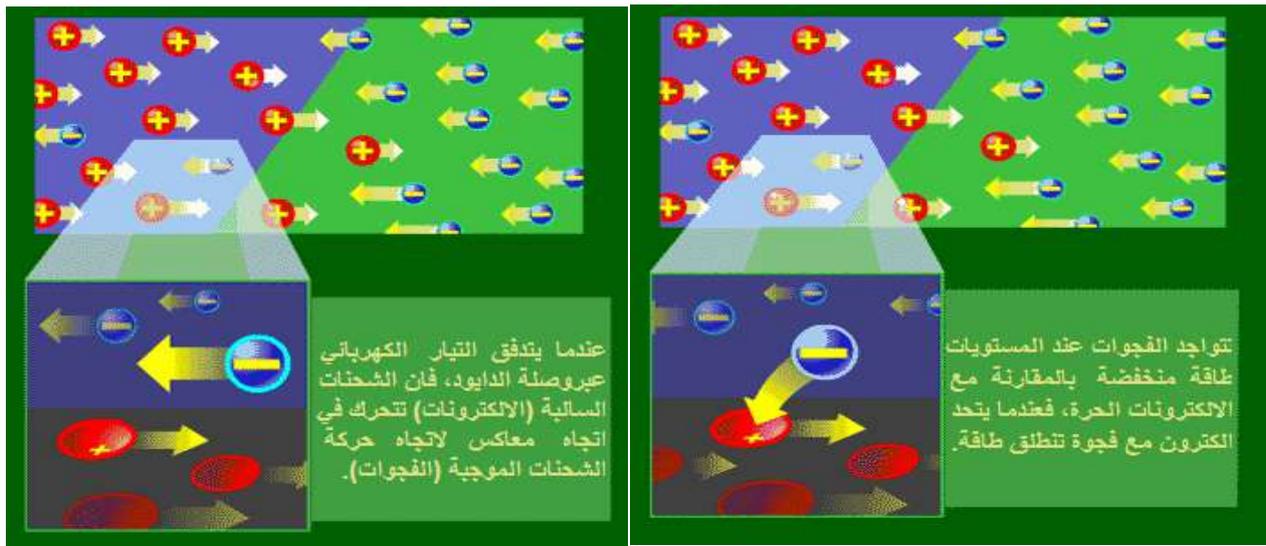
- 1- خواص الجسم الذي سيتم تحسسه.
  - 2- هل المادة المصنوع منها بلاستيكية، معدنية أو حديدية.
  - 3- هل سطحه عاكس.
  - 4- هل هناك مساحة كافية لتنصيب الحساس.
  - 5- ما سرعة الاستجابة المطلوبة.
  - 6- ما مسافة التحسس المرغوبة.
  - 7- ما الدقة المطلوبة.
- عند الإجابة على هذه التساؤلات ستكون عملية الاختيار سهلة، كما وإن عملية الاختيار 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 الإلكترونات 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).



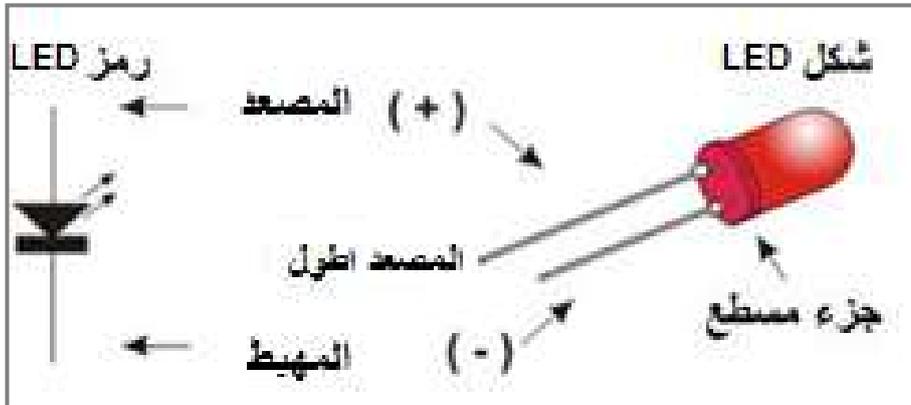
شكل(5-28) انبعاث الفوتون

والشكل (29-5) يبين شكل وتركيب الثنائي الضوئي (LED) حيث نلاحظ بأنه عبارة عن لمبة ضوء الكترونية لا تحتوي على فتيلة ولا تسخن كما في المصابيح الكهربائية ويتكون الثنائي من مصعد (Anode) ومهبط (Cathode).



شكل 29-5 ثنائي ضوئي (LED)

وهناك طريقة بسيطة لمعرفة المهبط من المصعد بأن سلك المصعد (Anode) الخارجي أطول من سلك المهبط (Cathode)، كما في الشكل (30-5).

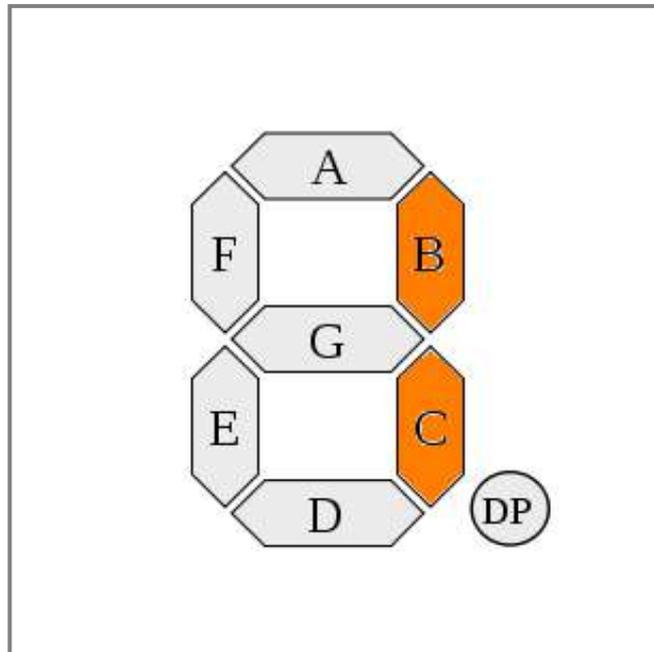


شكل 30-5 رمز الثنائي الضوئي

وللتثاني الضوئي ميزات كثيرة يتفوق بها عن الوسائل المعتادة للإضاءة فاستهلاكه للقوة 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 اثنا عشر أكثر من هذه الشرائح المبينة بالشكل (5-31).



شكل 5-31 وحدات العرض ذات السبع شرائح ضوئية

## أنواعها :

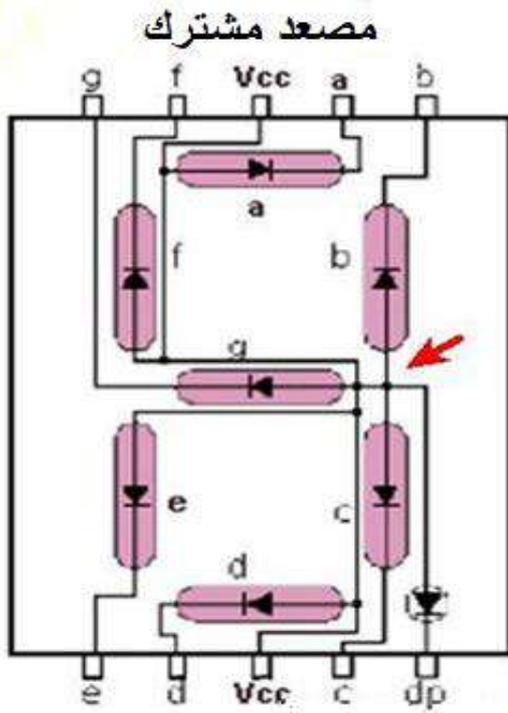
لغرض تقليل عدد التوصيلات إلى العناصر فإن جميع الثنائيات تجمع من أحد طرفيها في مشترك وبذلك تقل التوصيلات من (14 إلى 8)، وهناك نوعان.

### 1- العرض بمهبط مشترك (CCD) (The Common Cathode Display)

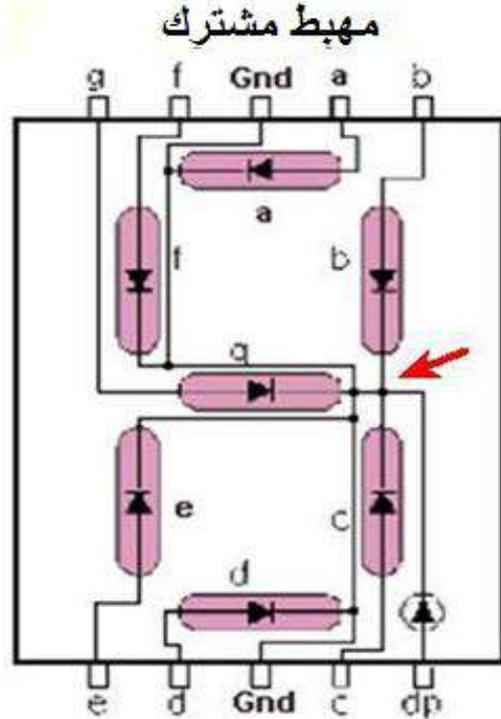
وفيه تجمع أطراف الكاثود معا، كما مبين في الشكل رقم (5-32a).

### 2- العرض بمصعد مشترك (CAD) (The common anode display)

وفيه تجمع أطراف المهبط معا، وتوصل مع بعضها، كما مبين في الشكل رقم (5-32b).

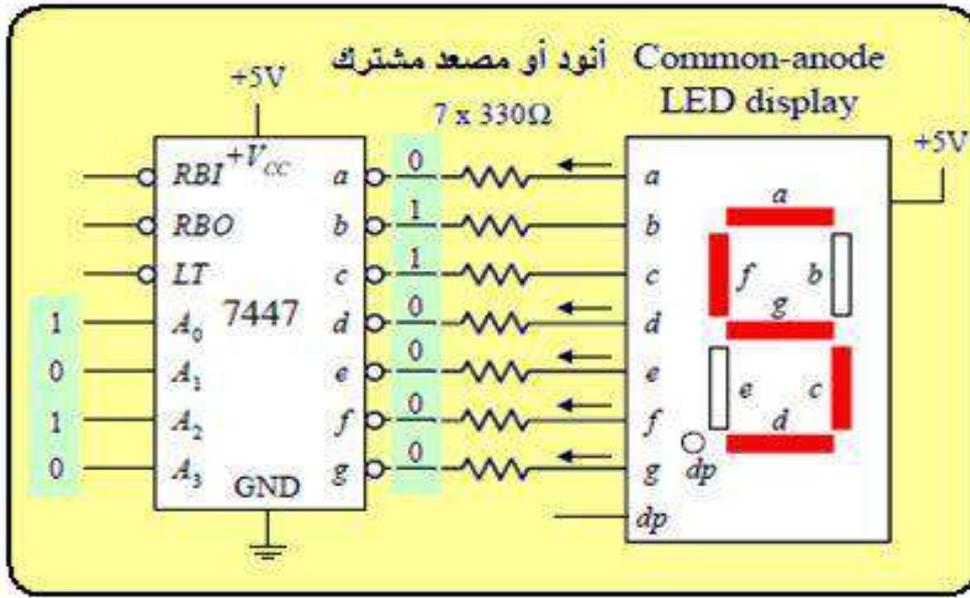


شكل 5-32b العرض بمصعد المشترك



شكل 5-32a العرض بمهبط 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 التوالي مع كل ثنائي ضوئي لتوفير قيمة آمنة للتيار المار فيه، والمبينة في الشكل (5-33).



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

- س1- عدد مكونات ترانزستور تأثير المجال (JFET).
- س2- اشرح عمل ترانزستور تأثير المجال.
- س3- اذكر نقاط التشابه والاختلاف بين ترانزستور ثنائي القطب (الاعتيادي) وترانزستور تأثير المجال.
- س4- كيف تتحكم فولتية البوابة في عمل ترانزستور تأثير المجال؟
- س5- ما الفرق بين ترانزستور تأثير المجال (JFET) و ترانزستور تأثير المجال السليكوني المعدني (MOSFET)؟
- س6- عدد أنواع الحساسات المستخدمة في الدوائر الكهربائية.
- س7- اشرح طريقة عمل الحساسات الحثية التقريبية.
- س8- اشرح طريقة عمل الحساسات الضوئية.
- س9- اشرح طريقة عمل شاشات العرض الرقمية (الدايود الضوئي) .
- س10- عدد طريقة ربط الثنائيات الضوئية في عارضة القطع السبعة.
- س11- لماذا نوصل مقاومات على التوالي مع الثنائي الضوئي في عارضة القطع السبعة؟
- س12- اختر الإجابة 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
- قناة-P-N
- قناة-N و قناة-P

ج- ما الترانزستور الذي فيه نوعا الاستنزاف والتعزيز:

- الترانزستور الثنائي القطبية (BJT)
- ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة (JFET)
- ترانزستور تأثير المجال ذو البوابة المعزولة (MOSFET)

د- أطراف ترانزستور تأثير المجال هي :

- بوابة
- مصدر
- مصرف
- جميعها أعلاه

هـ - مقاومة الدخل لترانزستور تأثير المجال حوالي :

- 10 اوم إلى 1 كيلو اوم
- 1 كيلو اوم إلى 20 كيلو اوم
- 50 كيلو اوم إلى 100 كيلو اوم
- 1 ميكا اوم إلى عدة مئات من الميكا اوم

س13- أملأ الفراغات الآتية :

أ- الترانزستور BJT جهاز يتحكم به عن طريق ..... وترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة (JFET)

يتحكم به عن طريق .....

- الفولتية, الفولتية
- الفولتية, التيار
- التيار, الفولتية
- التيار, التيار

ب- ترانزستور (BJT) جهاز ..... القطبية وترانزستور تأثير 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  $V_{gs}$  يؤدي إلى  $I_d=0$  عندما  $V_{gs} = \dots\dots\dots$  .

- $V_{gs}$  (off)
- $V_p$
- $V_{ds}$

هـ - أهم خاصية لترانزستور تأثير المجال هو ممانعة  $\dots\dots\dots$  .

- الدخل قليلة
- الدخل متوسطة
- الدخل عالية

و - الترانزستور الأكثر جهاز أهمية الذي صمم للدخول معظم الدوائر الحديثة المتكاملة هو  $\dots\dots\dots$  .

- MOSFET
- BJT
- JFET

ز - الحساسات التقاربية المغناطيسية تتكون من  $\dots\dots\dots$  ,  $\dots\dots\dots$  .

- مشغل, مذبذب
- صندوق مفاتيح, أنبوب زجاج
- مغناطيس دائم, أنبوب زجاجي
- ملف, مقاومة

ح - الحساسات الحثية التقاربية تكشف عن الاجسام  $\dots\dots\dots$  .

- الشفافة
- اللدائن
- المعادن
- الزجاج

ط - الحساسات الحثية التقاربية تولد مجالاً  $\dots\dots\dots$  بينما الحساسات السعوية تولد مجالاً  $\dots\dots\dots$  .

- كهروستاتيكيًا, كهرومغناطيسيًا
- كهرومغناطيسيًا, كهروستاتيكيًا
- لا يوجد احد منها

ي - الثنائي الضوئي (LED) عبارة عن  $\dots\dots\dots$  .

- لمبة ضوئية لا تحتوي 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 البوابة Gate لترانزستور تأثير المجال (MOSFET) يعزل بطبقة خفيفة من .....

• Sio

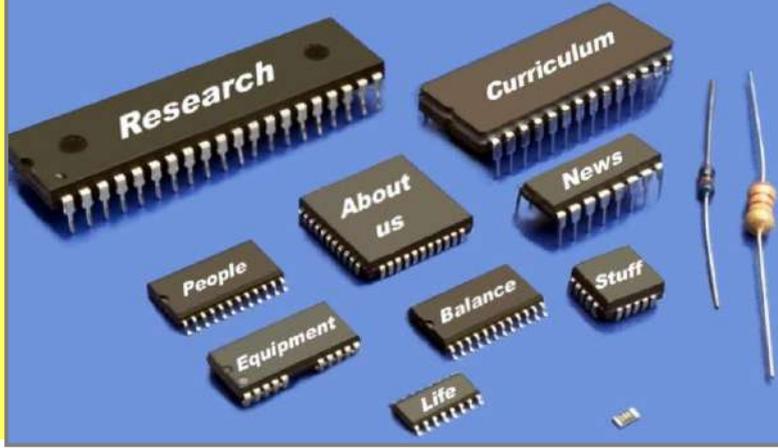
• Sio2

• ليس واحده منها

س14- أشتق معادلة لحساب تيار المصرف (Id) لترانزستور تأثير المجال؟

# الفصل السادس

## الدوائر المتكاملة Integrated Circuit



### الأهداف :

- يكون الطالب بعد دراسة الفصل قادراً على أن :
- 1 - يتعرف على كيفية بناء الدوائر المتكاملة.
  - 2 - يتعرف على استخدام الدوائر المتكاملة في مكبر العمليات.

## المحتويات

### المفردات:

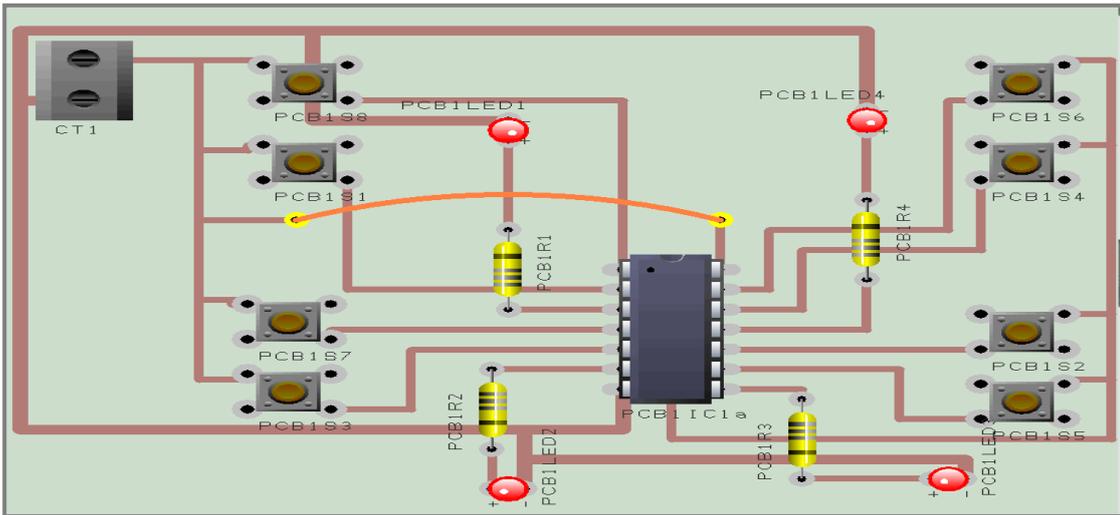
1-6 مقدمة عن الدوائر المتكاملة وكيفية صنعها لـ (مقاومات، متسعات، ملفات) .

2-6 مكبر العمليات (741)

3-6 تطبيقات مكبر العمليات وتشمل:

أ- المكبرات الخطية.

ب- المكبرات الغير خطية.



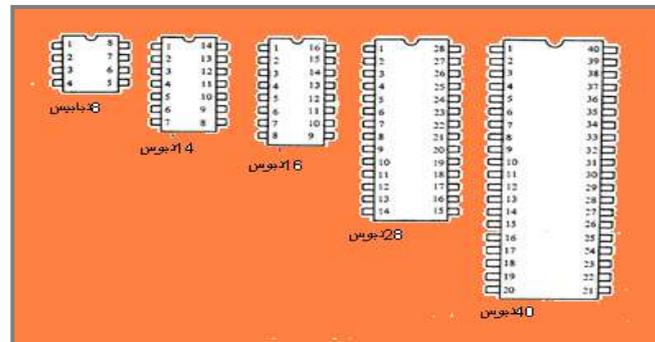
## الدوائر المتكاملة (IC) (Integrated Circuits):

### 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 أشكالاً 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 رقماً 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 رئيسيتين 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 - الموقتات 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 الرئيسية 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 الرئيسية لتصنيع نموذج بسيط لدائرة متكاملة تحتوي على ترانزستور واحد، هذه الفكرة تنطبق على الدوائر المتكاملة الأكثر تعقيداً.

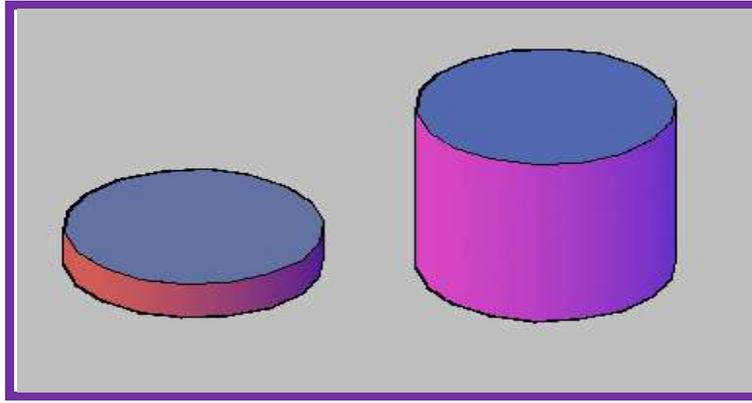
1— يتم تنقية السليكون المستعمل في صناعة الدوائر المتكاملة بحيث نحصل على سليكون نقي جداً تزيد نقاوته على (99.99%) .

3- نأخذ الشريحة النقية ونحولها من سليكون نقي نوع الموجب (p-Type) أو النوع سالب

(N - Type) ويتم ذلك بصهر السليكون وإضافة الشوائب.

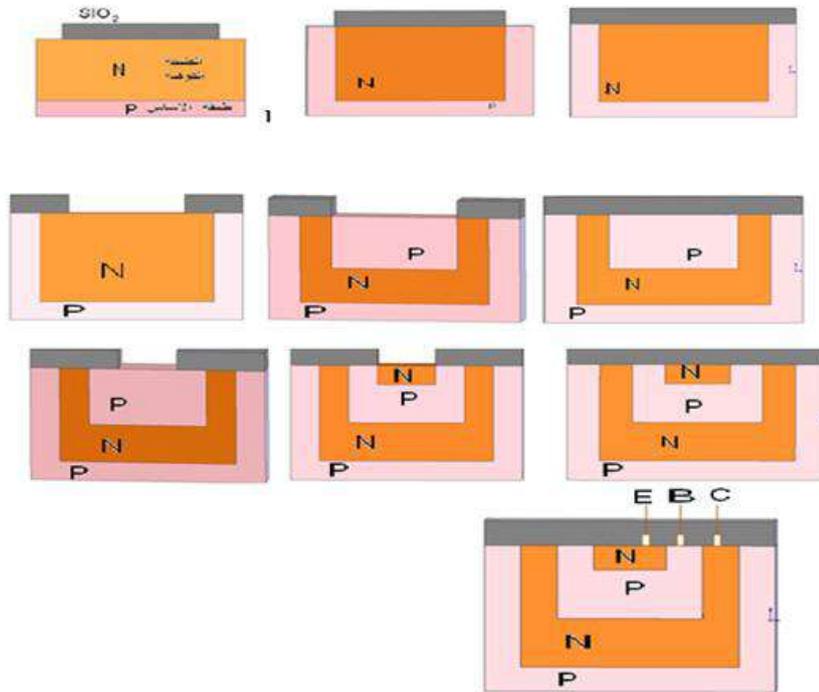
3- تقطع الأسطوانة إلى رقائق (Wafers) ذات سمك حوالي ربع مليمتر وتصلق جيداً لتستعمل كطبقة

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 - 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 (4 - 6).

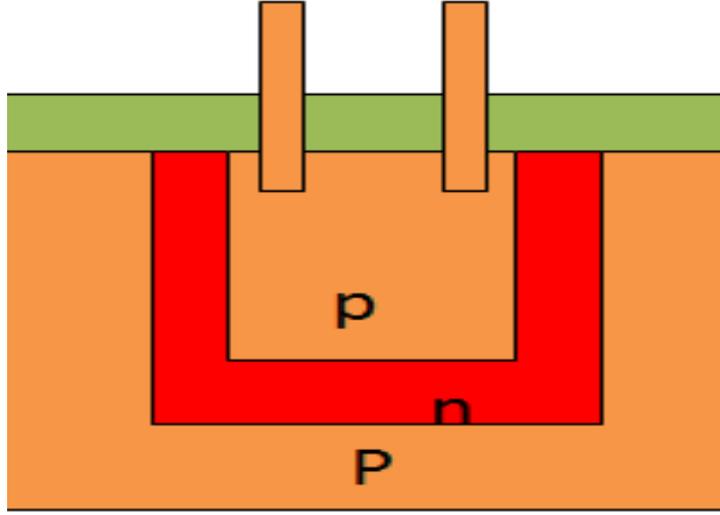


شكل 6- 4 مراحل تصنيع الدائرة المتكاملة

## صناعة القطع غير الفعالة (Passive Components):

### أولاً / صناعة المقاومات:

أن البلورة سواء أكانت موجبة أم سالبة تمتلك مقاومة، فمثلاً في الشكل (6 - 5) تعتمد قيمة المقاومة بين (أ) و(ب) على عاملين رئيسيين 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 :

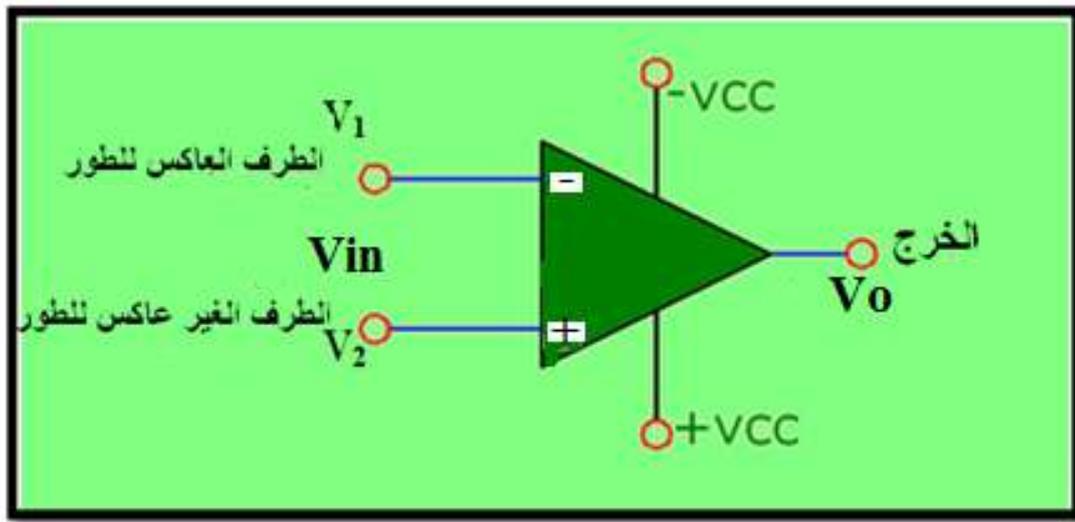
إن وجود الوصلة (الموجبة السالبة) المنحازة عكسياً وبتحديد الانحياز المطلوب لتحديد سعة هذه الوصلة يمكن الحصول على سعات مختلفة وحسب الانحياز، ولكن لا تتعدى (100) بيكوفاراد . أما في حالة استعمال طبقة أوكسيد السليكون بين لوحى الألمنيوم نحصل على سعات تصل إلى بضع مئات البيكوفاراد.

### ثالثاً / 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 بالموصفات الآتية:

- 1 - خرج مكبر العمليات ( $V_{out}$ ): هو عبارة عن الفرق بين كل من الجهدين ( $V_1$  و  $V_2$ ) الموجودين على طرفي الدخل مضروباً في معامل التكبير ( $A_V$ ) ويمكن كتابة جهد الخرج ( $V_{out}$ ) كالآتي :-

$$V_{out} = A_V(V_2 - V_1) \quad \dots \dots \dots (1)$$

إذا كان ( $V_1$ ) يساوي صفراً، فإن الخرج ( $V_{out}$ ) يكون:

$$V_{OUT} = A_V V_2 \dots \dots \dots (2)$$

أما إذا كان ( $V_2$ ) يساوي صفراً، فإن الخرج ( $V_{out}$ ) يكون

$$V_{OUT} = -A_V V_1 \dots \dots \dots (3)$$

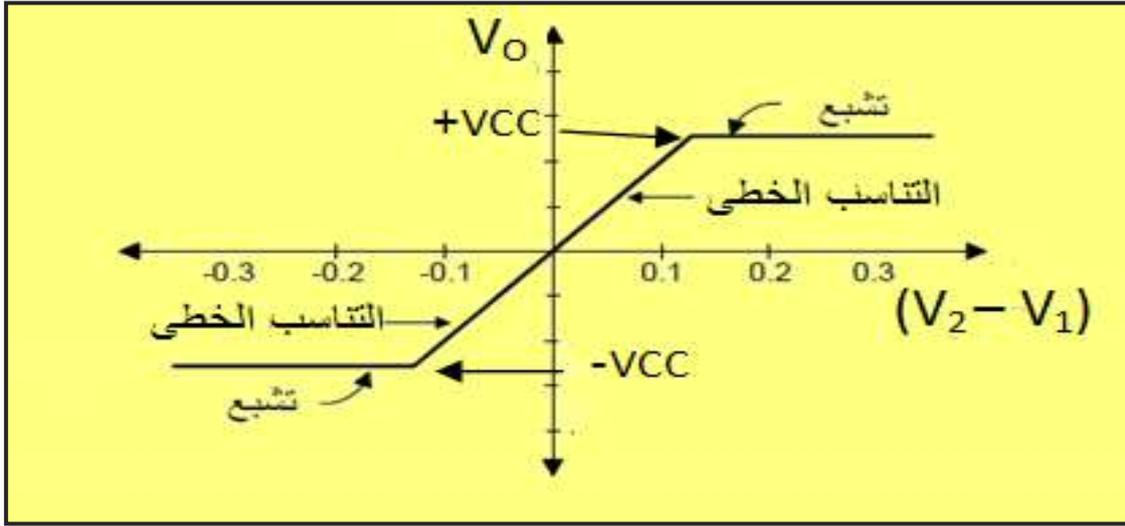
المعادلتان (2، 3) توضح إذا كان جهد موجب على المدخل ( $V_2$ ) يعطي في الخرج جهداً موجباً، وأما إذا كان هناك جهد موجب على المدخل ( $V_1$ ) فإنه يعطي جهداً سالباً في الخرج نتيجة لوجود الإشارة السالبة لذلك فإن المدخل ( $V_1$ ) عادة يسمى (الدخل العاكس) والدخل ( $V_2$ ) يسمى (غير العاكس) ويكون مقدار عامل التكبير ( $A_V$ ) 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  $180^\circ$ ) ويمكن أن تخرج بنفس الطور (Non - Inverting) (غير معكوسة أي بنفس الطور) وذلك يعتمد على نوع التوصيل للإشارة على المدخلين ( $V_1$  و  $V_2$ ).

- 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 منحنى الخواص لجهد الخرج بالنسبة لجهد تغذية الدوائر مكبر التشغيل

### الدائرة المكافئة لمكبر العمليات:

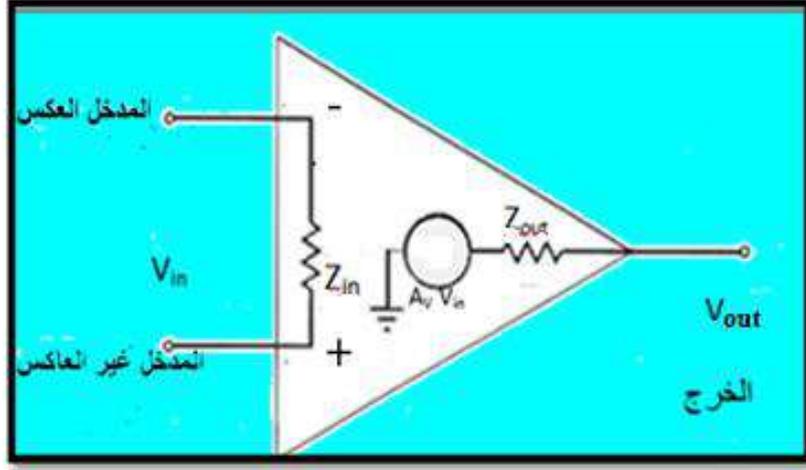
يبين الشكل (6-8) الدائرة المكافئة لمكبر العمليات العملي وتتكون من:

➤ **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:

$$V_{out} = V_{in} \times AU$$

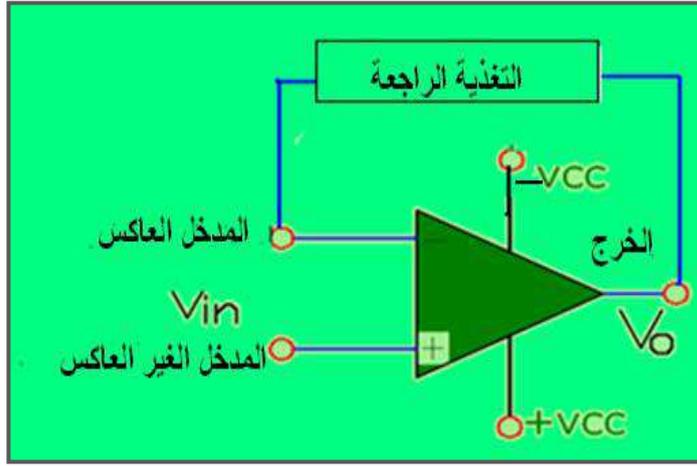
ويسري عبر هذه الدائرة تيار الخرج ( $I_{out}$ ).



شكل 6 - 8 الدائرة المكافئة لمكبر العمليات

### التغذية العكسية السالبة (Negative Feedback) :

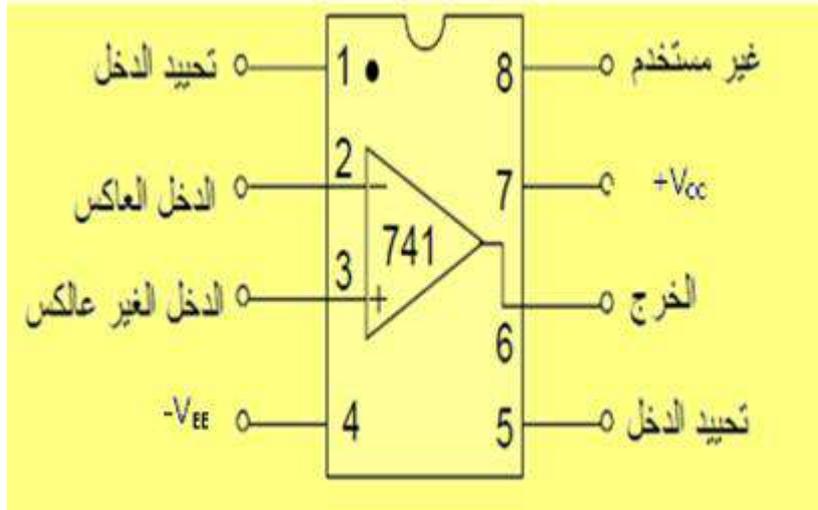
نظراً لأن معامل التكبير لمكبر العمليات ذو قيمة كبيرة جداً، فإنه من السهل وصول مكبر العمليات إلى حال التشبع عند وجود اختلاف بسيط بين قيم المدخلين العاكس وغير العاكس. ولتلافي وصول مكبر العمليات إلى حال التشبع، يتم استخدام التغذية العكسية السالبة (**Negative Feedback**)، بربط مخرج مكبر العمليات بالمدخل 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 أتران، ولا يصل إلى حال التشبع وفي هذه الحالة فإن قيمة معامل التكبير يمكن أن تقل. يستخدم مكبر العمليات غالباً بتغذية عكسية سالبة، إلا 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 استعمالاً 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 - 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 - خرج المكبر:

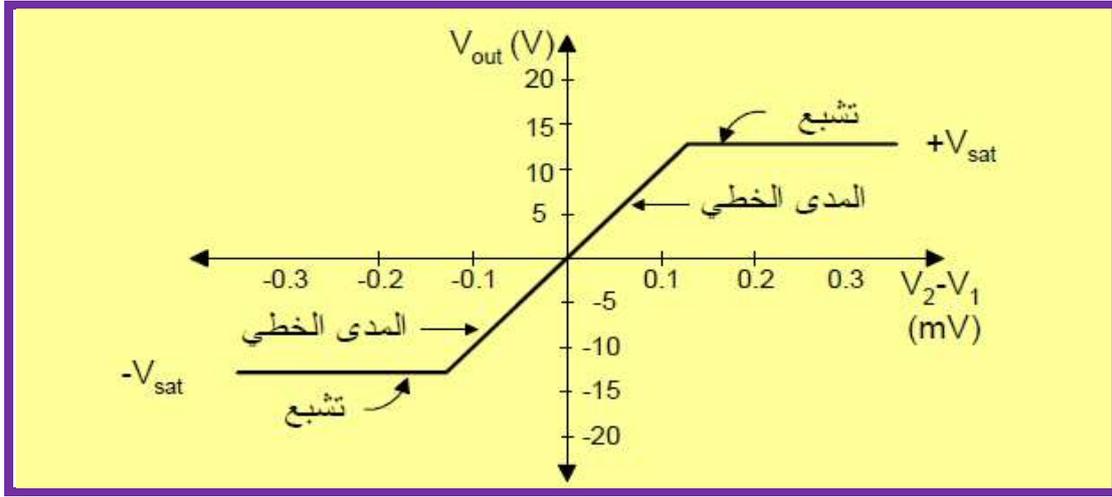
نقطة التوصيل (6) هي خرج المكبر (Out put) وتكون على شكل فولتية مستمرة أو إشارة تعتمد على خواص الدائرة وإشارة الدخل وإن أعلى قيمة لفولتية الخرج (Out Voltage) هي بحدود  $(\pm 14)$  فولت عندما يوصل إلى مصدر التغذية الأول ( $V_{CC}$ ) وقيمته (14) فولت ومصدر التغذية الثاني ( $V_{EE}$ ) وقيمته (-14) فولت.

### 3 - 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 (9 إلى 30) فولت .

### 4 تحييد فولتية الخرج (Zero Adjust for Measurement):

عند استعمال المكبر في دوائر أجهزة القياس الدقيقة توصل نقاط التوصيل (1 و5) 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) .  
ولمكبر 741 معامل تكبير قدره (100000) وله قدرة قصوى قدرها ( 0.5 ) واط ويبين الشكل (6 - 11) خواص المكبر (741) في دائرة مفتوحة .

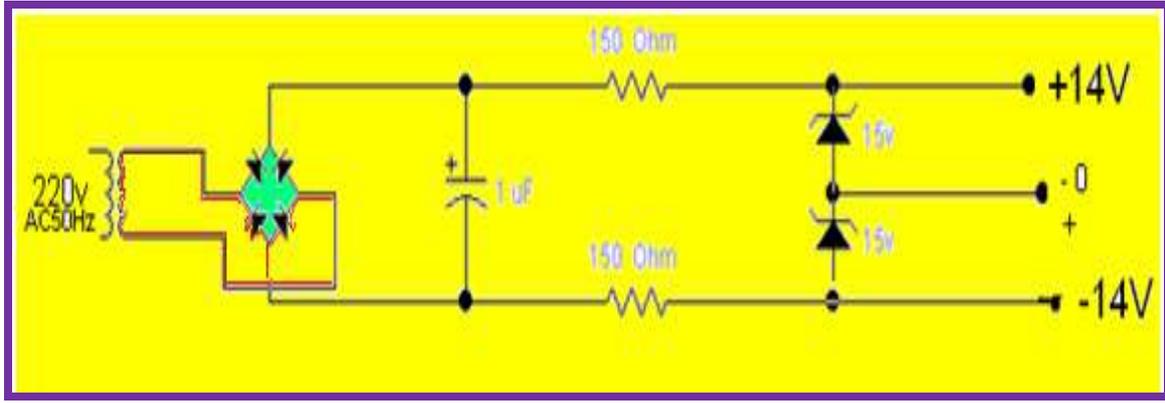


شكل 6 - 11 مخطط لعلاقة خرج المكبر مع الإشارة الداخلة

يعد هذا المكبر من الجيل الثاني لمكبرات العمليات، يحتوي على دائرة حماية من دائرة القصر (**Short-Circuit Protection**) وتم إدخال صناعة المتسعة في الدائرة الداخلية للمكبر نوع (**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 دوائر المكبر تحتاج إلى تجهيز فولتية لتشغيل أجزاء الدائرة يتكون من مجهز فولتيتين (**موجبة وسالبة**) بقدرة صغيرة، حيث يتكون من محولة جهد خافضة وموحد موجة كاملة على شكل قنطرة ومتسعة وزينر عدد (2) يعمل على تثبيت الجهد عند (15) فولت وهي 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 (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 التنعيم وتكبير الإشارة المرئية (and Video Amplifier) Tuned.
- 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 - مكبرات التضمين (Amplitude Modulation).
- 2 - المكبرات اللوغارتمية .
- 3 - مضاعفات الإشارة الخطية (Multiplier Analog).
- 4 - دوائر التقطيع (Sample and Hold Circuits).
- 5 - دوائر المقارنة (Comparator Circuits).
- 6 - مولد الإشارة (Wave form generation).

وتوضح الدوائر الآتية بعض التطبيقات لمكبر العمليات :

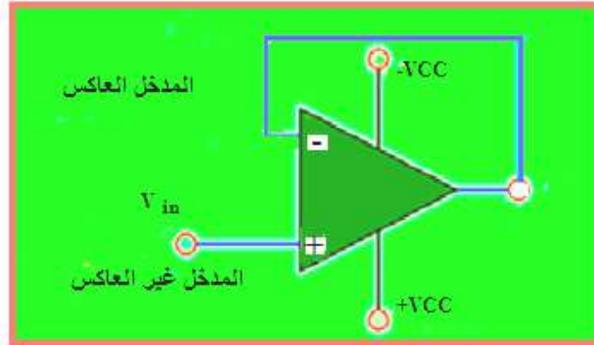
#### 1- دائرة تابع الفولتية (Voltage Follower).

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 - 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 ( $A_V$ ) 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 )

$$I_{in} = \frac{V_{in} - V_n}{R_1} \quad \dots\dots (1)$$

التيار المار في المقاومة ( R1 )

$$I_f = \frac{V_o - V_n}{R_f} \quad \dots\dots\dots (2)$$

وبتطبيق نظرية توزيع التيارات فإن (I<sub>in</sub>) يساوي

$$I_{in} = I_n - I_f$$

وكما ذكر سابقاً فإن خصائص مكبر العمليات تكون :

- 1- ممانعة المداخل عالية جداً، لذلك فإن التيارات الكهربائية في المدخلين يساوي صفراً.
- 2- قيمة الجهد على المدخلين يساوي صفراً في الحالة المثالية .

$$I_n = 0 \quad \text{لذلك فإن}$$

$$0V_n =$$

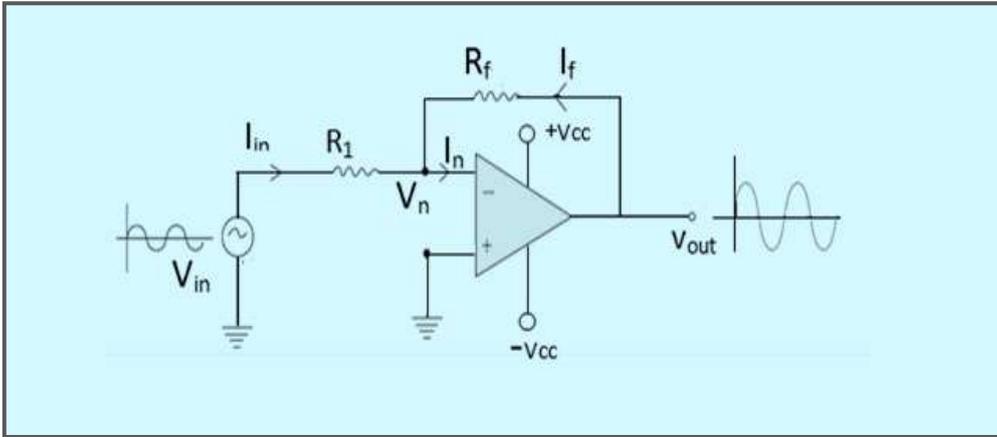
$$I_{in} = -I_f \quad \dots\dots (3)$$

وبتعويض المعادلتين (1) و(2) في المعادلة (3) يكون

$$\frac{V_{in}}{R_1} = -\frac{V_o}{R_f}$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_1}$$

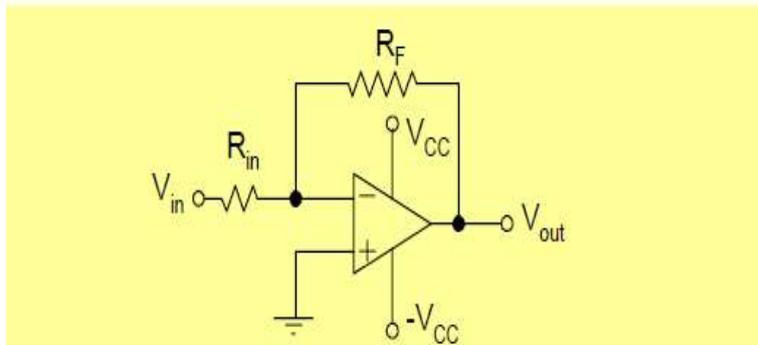
$$A_V = \frac{V_o}{V_{in}} = - \frac{R_f}{R_1}$$



شكل 6 - 15 دائرة مكبر عاكس

مثال 6-1:

متحسس حرارة يتراوح جهده من (0 إلى 50) ملي فولت، صمم دائرة تكبير هذا الجهد من (0 إلى -5) فولت.



$$A_V = - \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$A_V = - \frac{5}{0.05}$$

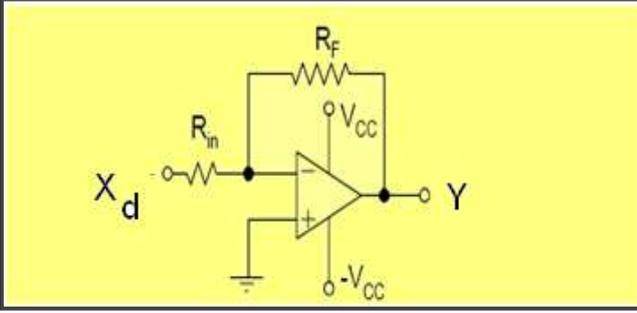
$$A_V = -100$$

$$A_V = \frac{-R_f}{R_{in}}$$

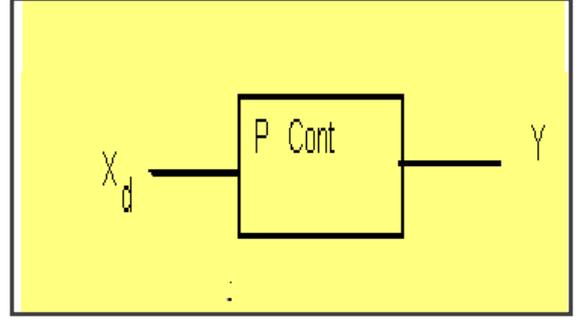
فإذا اخترنا قيمة المقاومة ( $R_{in}$ ) تساوي  $1K \Omega$  فإن ( $R_f$ ) تكون :

$$R_f = 1 \times 100 = 100K \Omega$$

لهذه الدائرة تطبيقات في أجهزة التحكم وتشغيل المحركات وتدعى بالحاكم التناسبي (**Proportional Controllers**) وتكون الدائرة كما مبين في الشكل (6 - 15).



(ب) دائرة التحكم



(أ) رمز دائرة التحكم

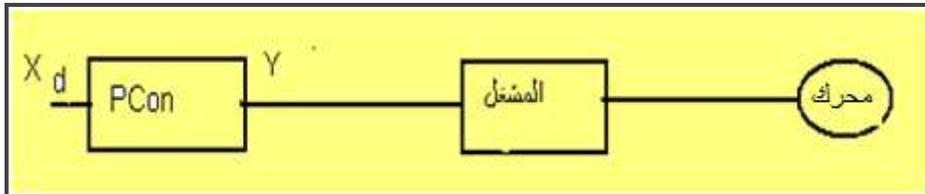
شكل 6 - 16 دائرة تحكم لتشغيل المحركات

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:

$$A_V = -\frac{R_f}{R_{in}}$$

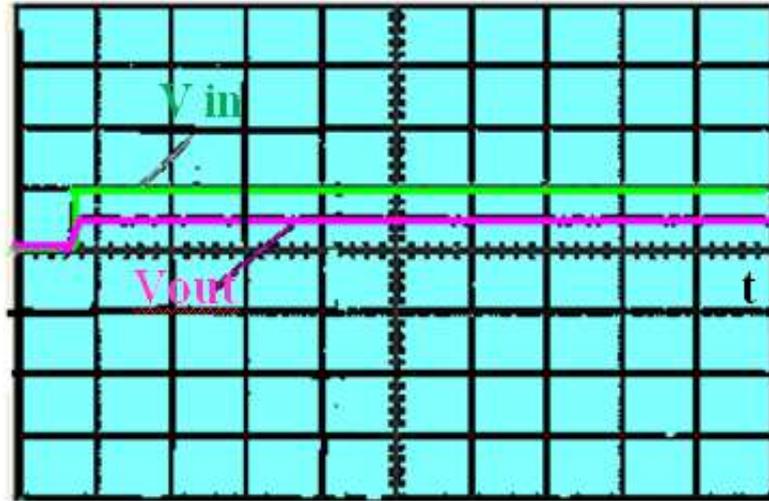
$$\frac{R_f}{R_{in}} \geq 1$$

$$\frac{R_f}{R_{in}} < 1$$

$$Y = A_V X_d$$

لذلك تكون الفولتية الخارجة مساوية إلى:

وكما هو مبين في منحنى الاستجابة المبين في الشكل (6 - 17) .



الشكل 6 - 18 منحنى الاستجابة للحاكم التناسبي

### 3- دائرة المكبر غير العاكس (Non-Inverting Amplifier Circuit):

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:

$$I = \frac{V_{out}}{R_{in} + R_f} \quad \dots\dots(1)$$

$$V_{in} = I \times R_{in} \quad \dots\dots (2)$$

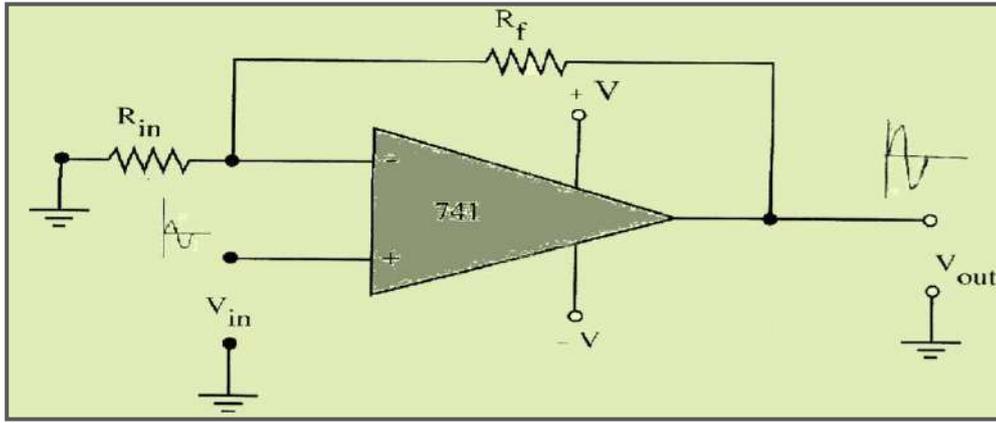
وتعوض المعادلة رقم (1) في المعادلة (2) لتحصل على :

$$V_{in} = \frac{V_{out}}{R_{in} + R_f} \times R_{in}$$

وبقسمة ( $V_{out}$ ) على ( $V_{in}$ ) نحصل على

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_{in} + R_f}{R_{in}} = 1 + \frac{R_f}{R_{in}}$$

$$A_V = 1 + \frac{R_f}{R_{in}}$$



شكل 6 - 19 دائرة المكبر غير العاكس

مثال 2-6:

جد قيمة مقاومة التغذية العكسية ( $R_f$ ) لدائرة مكبر عمليات غير عاكس كما في الشكل (6-18)، إذا علمت أن معامل التكبير يساوي (2.5) وأن مقاومة الإدخال ( $R_{in}$ ) مساوية إلى (150) أوم؟

$$1 + \frac{R_f}{R_{in}} A_V =$$

الحل:

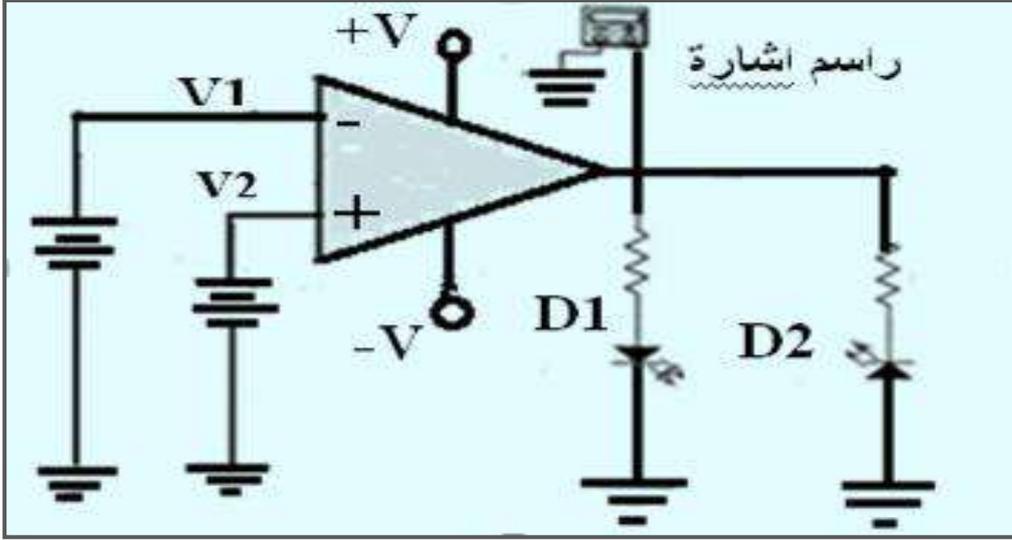
$$1 + \frac{R_f}{R_{in}} 2.5 =$$

$$\frac{R_f}{R_{in}} 2.5 - 1 =$$

$$\frac{R_f}{150} 1.5 =$$

$$R_f = 225 \Omega$$

#### 4- دائرة مقارنة (Comparator Circuit):

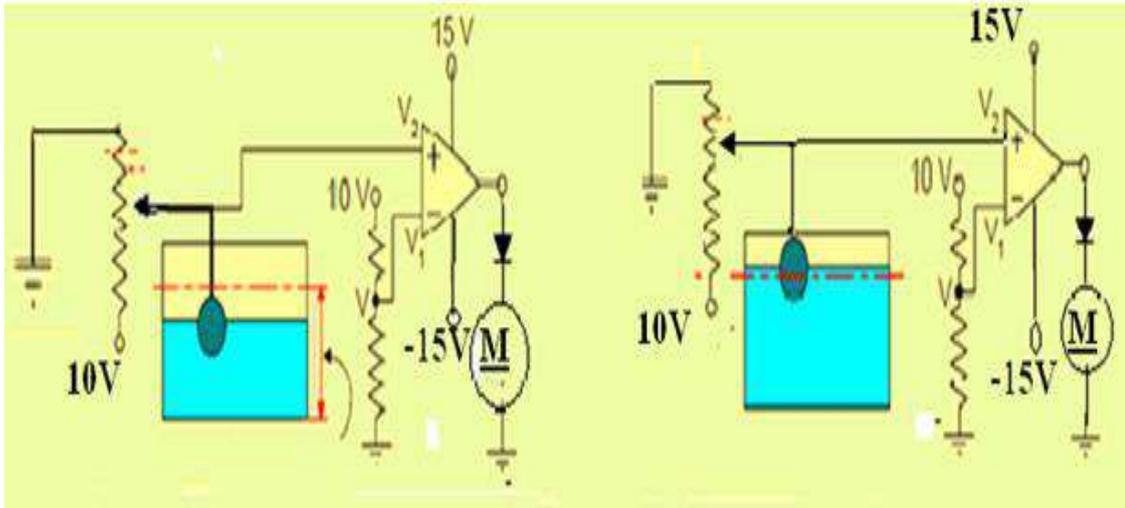


شكل 6 - 20 دائرة مقارنة

**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 هذه الحالة 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 ( $V_1 - V_2$ ) قدره (0.12) ملي فولت يجعل خرج المكبر مشبعاً عندما يغذى بمصدر جهد (15) فولت.

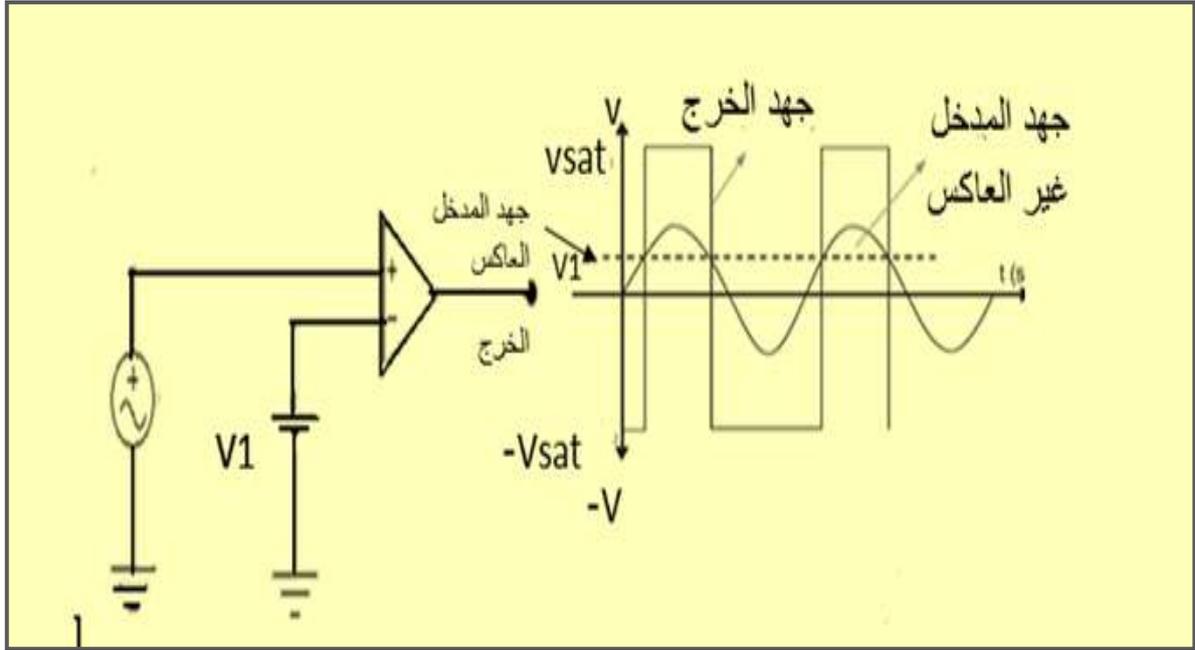
## مثال تطبيقي:

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 المستمر وليكن 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.



شكل 6 - 21 استعمال دائرة المقارن في التحكم بمستوى السوائل في الخزان

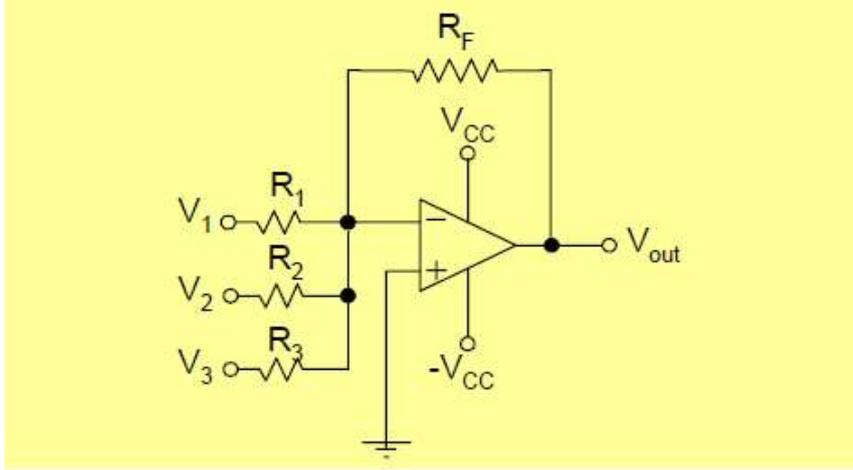
وكذلك تستعمل دائرة المقارن عملياً للحصول على أشكال أخرى من الموجات الداخلة مثل الحصول على موجة مربعة من موجة جيبية على أن تكون سعة الموجة أكبر مدى من التناسب الخطي للمكبر المحدد له كما مبين في الشكل (6-21).



شكل 6 - 22 دائرة مقارنة لتحويل الموجة الجيبية إلى مربعة

## 5 - 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 (22 - 6).



شكل 6 - 23 دائرة المكبر الجامع

يحسب جهد الخرج تبعا للمعادلة الآتية :

$$V_{out} = A_v V_{in}$$
$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_{in}} V_{in}$$
$$V_{out} = -\left(V_1 \times \frac{R_f}{R_1} + V_2 \times \frac{R_f}{R_2} + V_3 \times \frac{R_f}{R_3}\right)$$

وفي حالة تساوي المقاومات  $R_1=R_2=R_3$  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:

$$R_1=R_2=R_3$$

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

### مثال 3-6:

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:

$$R_1=R_2=R_3=1/2 \times 1000=500\Omega$$

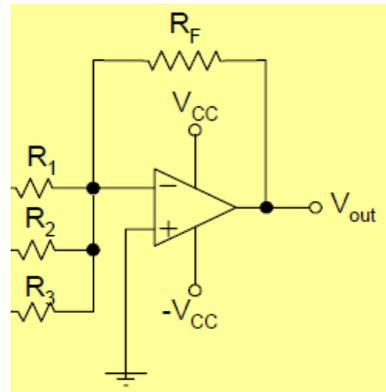
$$V_{out} = - \frac{R_f}{R} (V_1 + V_2 + V_3)$$

$$\frac{R_f}{R_1} = \frac{R_f}{R_2} = \frac{R_f}{R_3} = \frac{1000}{500} = 2$$

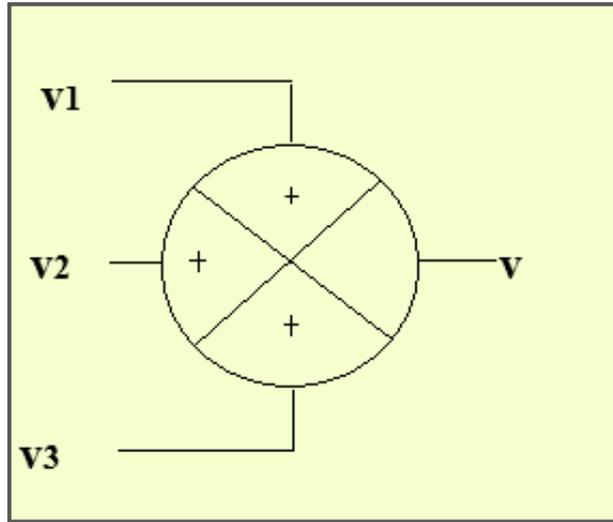
$$V_{out} = -2(V_1+V_2+V_3)$$

$$= -2(5+3+7)$$

$$V_{out} = -30v$$



يرمز للمكبر الجامع في دوائر التحكم بالرمز:



### 6 - دائرة المكبر الطرح (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:

$$V_{out} = V_{in}$$

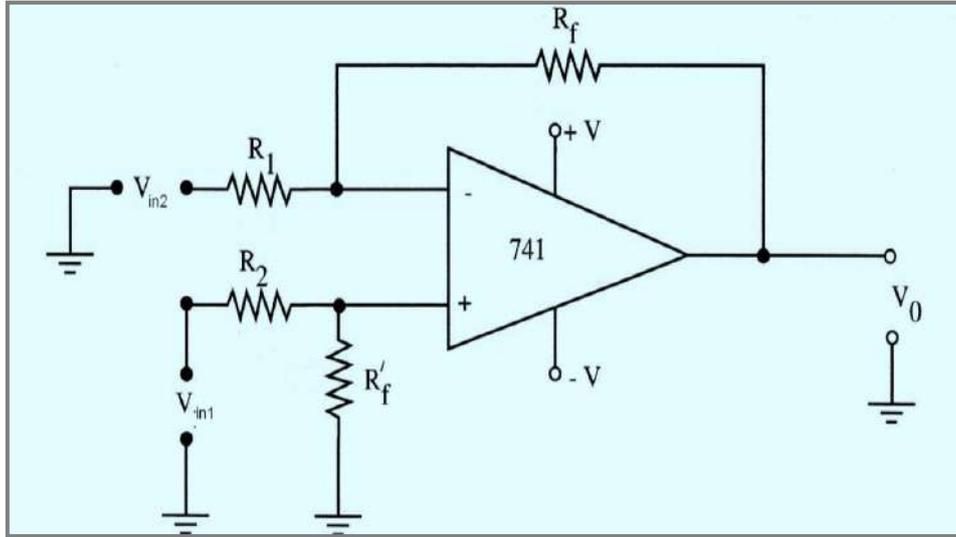
$$V_{out} = -V_{in}$$

للمدخل غير العاكس

للمدخل العاكس

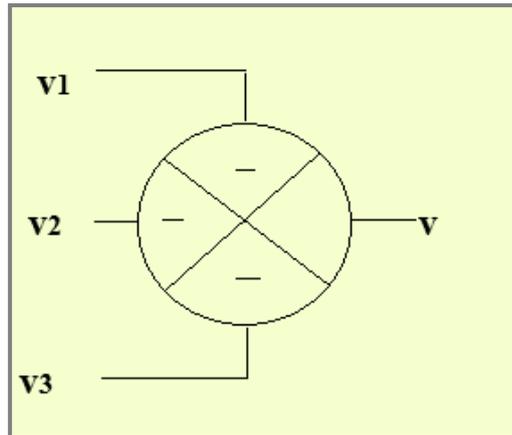
وكما مبين في الشكل (6 - 23) ويكون جهد الخرج مساويا إلى :

$$V_O = \left( \frac{R_f}{R_1} + 1 \right) V_1 - \left( \frac{R_f}{R_1} \right) V_2$$

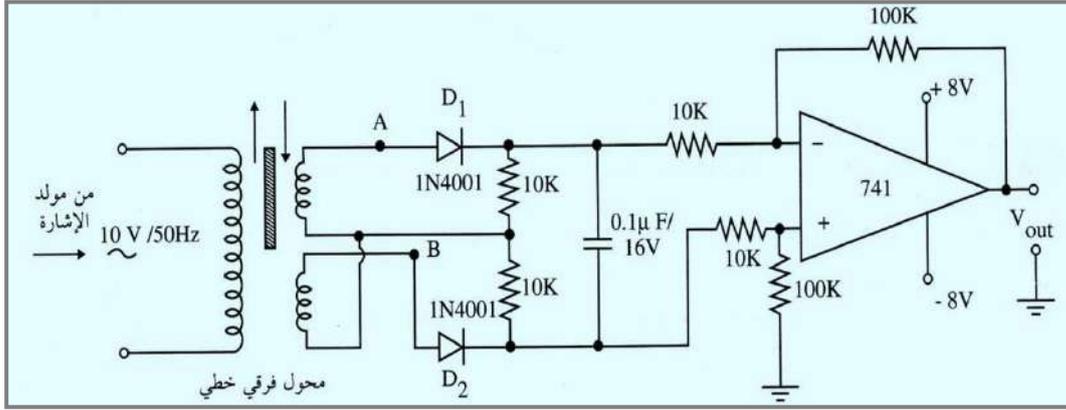


شكل 6 - 24 دائرة المكبر الطراح

ويرمز لها في دوائر التحكم بالرمز أدناه:



ومن تطبيقات هذه الدائرة في المصاعد الكهربائية، حيث تستعمل في دائرة التحكم بإغلاق الباب الداخلي للعبة، وكما مبين في الشكل (6 - 25).



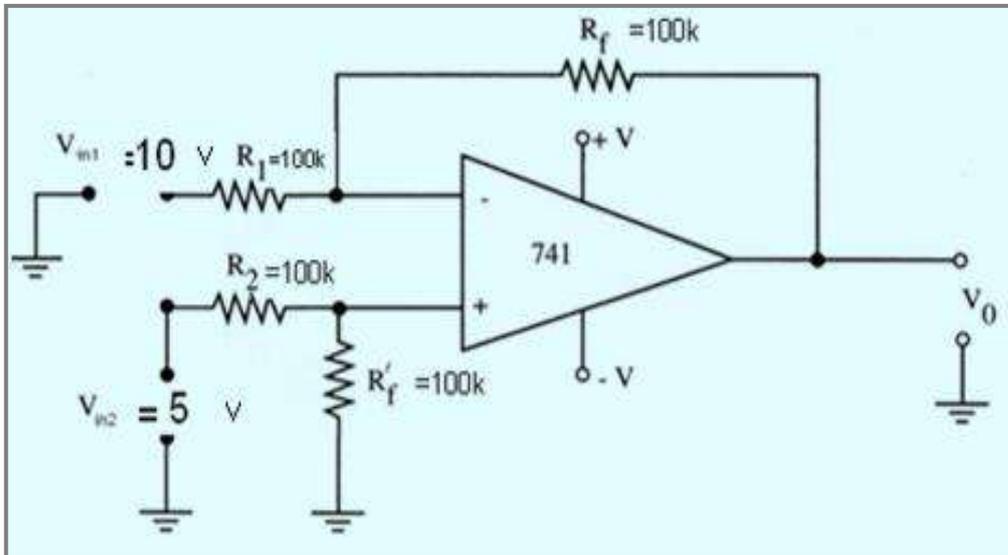
شكل 6 - 25 دائرة التحكم لتنفيذ إغلاق الباب الداخلي للعربة

تستعمل هذه الدائرة للتنبية 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 .

**(Linear Variable Differential Transducer - LVDT)** على الحافة النهائية للغلق فيعمل 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 مخرج المكبر مساوياً إلى الصفر مما يدل على أن البوابة الداخلية مغلقة بشكل كامل ويمكن دائرة التحكم أن تعمل على السيطرة على حركة محرك المصعد.

**مثال 4-6:**

أحسب قيمة فولتية الخرج في الدائرة المبينة في الشكل (6-26).



شكل 6 - 26

**الحل :**

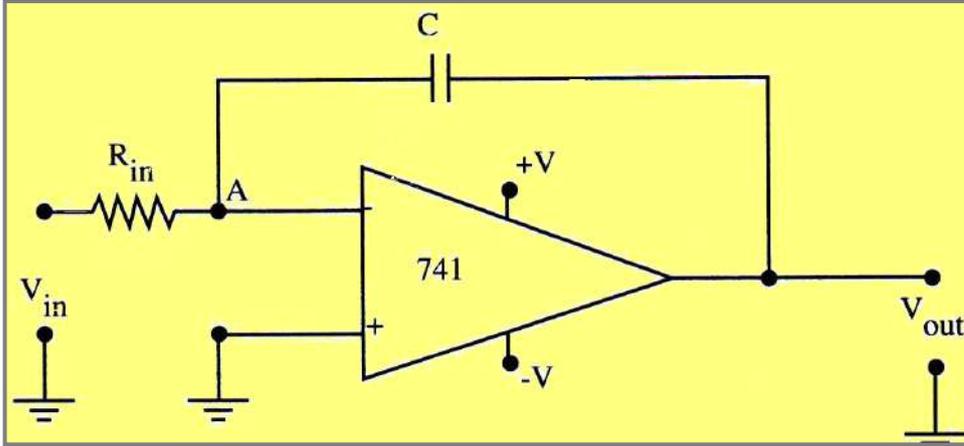
$$V_{out} = V_{in1} - V_{in2}$$

$$V_{out} = 5 - 10$$

$$V_{out} = -5 \text{ v}$$

## 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 :

$$T = RC$$

$$I_{in} = \frac{V_{in}}{R}$$

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

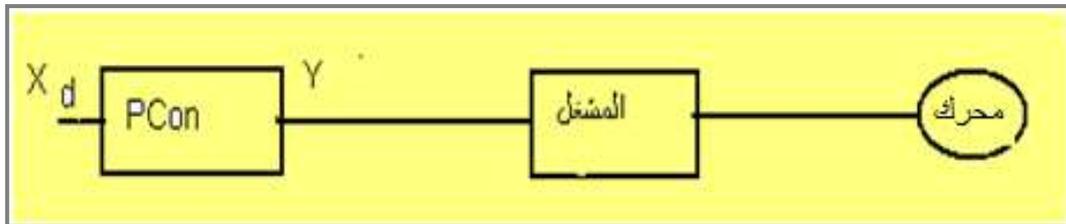
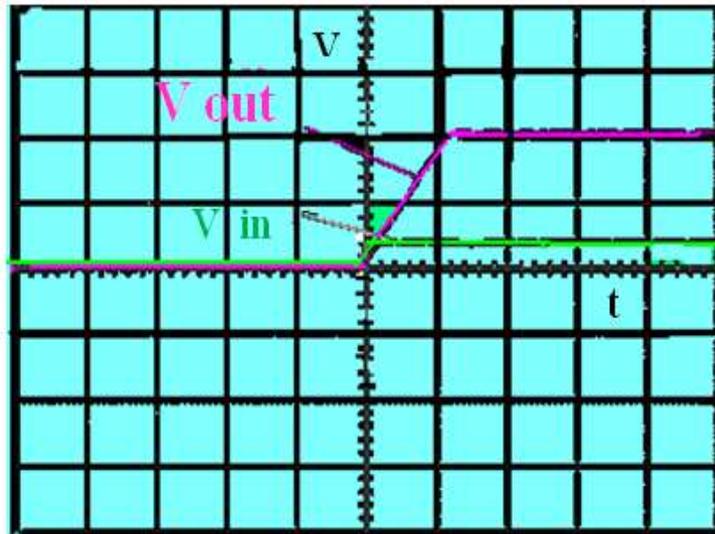
$$= \frac{-I_{in} \Delta V_{out}}{C \Delta t}$$

$$= \frac{-V_{in}}{RC}$$

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 دائرة الحاكم التناسبي ثم إلى المشغل والمحرك، كما مبين في الشكل (6-29).

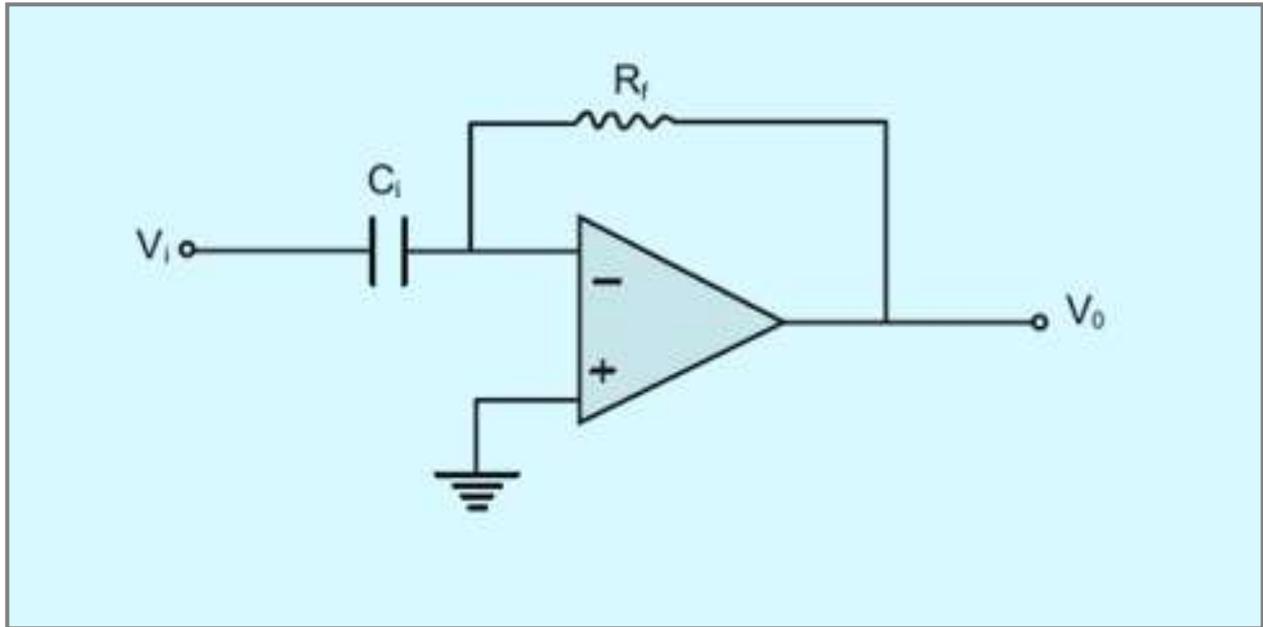
شكل 6 - 28 منحنى لإشارة الإدخال والخرج



شكل 6 - 29 المخطط الكتلي للحاكم التناسبي

8 - 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

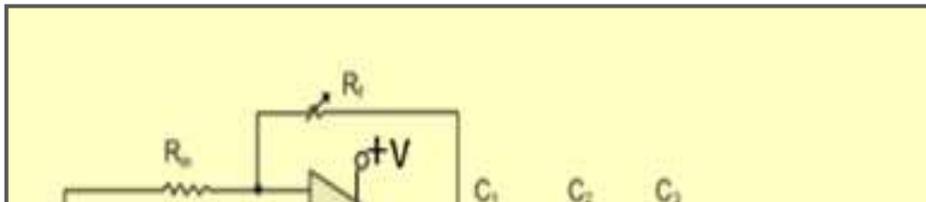
**خواص المكبر التفاضلي:** هو تناسب مقدار التغير في جهد الخرج مع نسبة التغير في إشارة الإدخال كما مبين في الشكل (6 - 30) فيلاحظ عندما تكون إشارة الإدخال (**Set Point**) عبارة عن فولتية مستمرة وعند لحظة غلق المفتاح لإشارة الإدخال، فإن جهد الخرج يتغير من الصفر إلى أعلى قيمة (**جهد التشبع**) ثم تنخفض مرة أخرى إلى الصفر لذلك تستعمل في تطبيقات التحكم في سرعة المحركات.



شكل ( 6 - 31 ) منحنى 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 ومنتسعة 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.



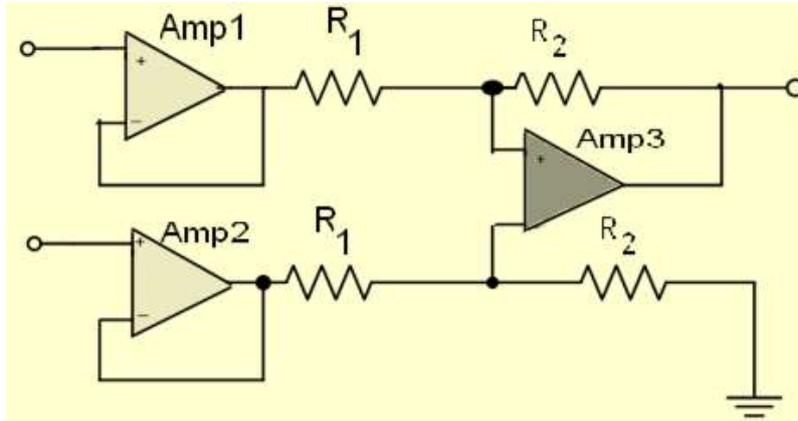
شكل 6 - 32 مذبذب إزاحة الطور

### 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 ( $V_{in1}$  و  $V_{in2}$ ) ويكون جهد الخرج مساوياً إلى :

$$V_O = A(V_{in1} - V_{in2})$$



شكل 6 - 33 التركيب الداخلي لجهاز التكبير

## أسئلة الفصل السادس

- س1- عدد فوائد صناعة الدوائر المتكاملة.
- س2- عدد مميزات مكبر العمليات.
- س3- ارسم الدائرة المكافئة لمكبر العمليات.
- س4- ارسم الدائرة المتكاملة لمكبر العمليات مبينا كل نقاط التوصيلات الخارجية .
- س5- أكتب قانون الفولتية الخارجية للمكبر الطارح .
- س6- أشتق العلاقة بين فولتية الدخل والخرج لمكبر العمليات الجامع.
- س7- لماذا لا تستعمل دائرة التغذية العكسية في دائرة المقارن؟
- س8- ما الفرق بين مكبري العمليات المكامل والمفاضل؟
- س9- ارسم المخطط الكتلي لدائرة التحكم التناسبي لتشغيل محرك .
- س10- ما الغرض من استعمال تابع الفولتية؟
- س11- ما نوع المكبر المستخدم في تحويل الشكل الموجي للموجة الداخلة إلى أشكال أخرى في الخرج؟
- س12- إذا كان لمكبر العمليات العاكس مقاومة تغذية عكسية (  $R_f=100\text{ k}\Omega$  )، ومقاومة الدخل (  $R_{in}$  ) مساوية إلى (  $10\text{ k}\Omega$  )، احسب معامل التكبير.

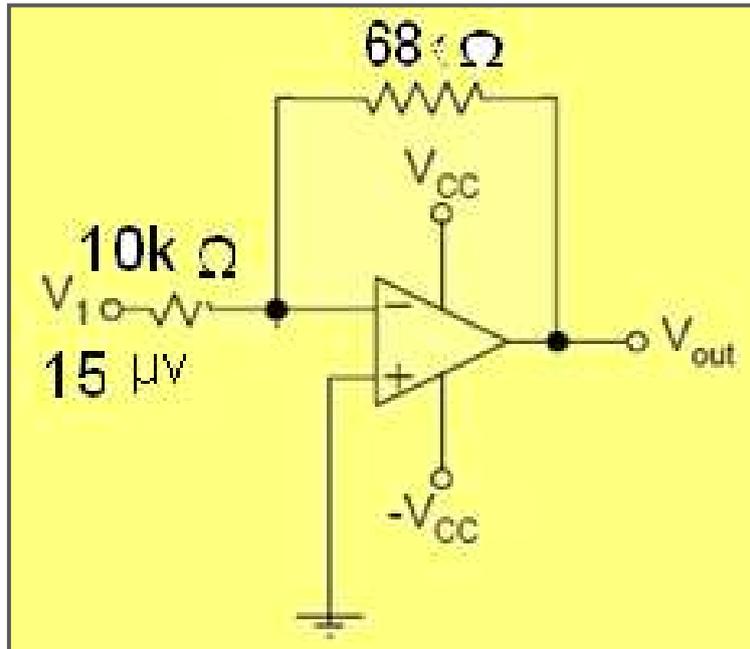
ج/10

- س13- 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

س14 - احسب فولتية الخرج لدائرة المكبر المبينة في أدناه.

ج  $102 \text{ mv}$



## 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 الزبيدي (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, إعدايات الصناعة, الطبعة السادسة.

7-Basics of Sensors" Siemens Step 2000 course

[www.eandm.com](http://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-Eleicitrical 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