جمهورية العراق

وزارة التربية

المديرية العامة للتعليم المهني

العُلوم الصناعية

الصناعي / توليد الطاقة الكهربائية ونقلها

الثاني

تأليف

أ.م.د. كريم كاظم جاسم

د. المهندس قصي عبد الجبار جواد

المهندس مهدي صالح الحمداني

المهندس حسين كاظم سلمان

المهندسة عامرة ماجد ثابت

المهندس صفاء شوكت عباس

المهندس عبد الوهاب عبد الرزاق

الطبعة السادسة

1447هـ - 2025 م

المقدمة

من أجلِ عراقٍ مزدهر واستجابة لتوجيهات المديرية العامة للتعليم المهني وبالتعاون مع الأساتذة في الجامعة التكنولوجية تم أنجاز هذا الكتاب (العلوم الصناعية للمرحلة الثانية اختصاص توليد الطاقة الكهربائية ونقلها) ، وهو مكملاً لما كسبه طلبتنا الأعزاء من مهارات معرفية أساسية في مجالي الكهرباء والميكانيك في الصف الاول .

يتكون الكتاب من سبعة فصول ، الفصل الأول يبحث في المغناطيسية وأنواع الحث الذاتي والمتبادل ، والفصل الثاني يبحث في ومكائن التيار المستمر وانواع المولدات والمحركات ، والفصل الثالث يبحث في دوائر التيار المتناوب ، والفصل الرابع يبحث في محركات التيار المتناوب وانواعه (الطور الواحد والثلاثة أطوار) والفصل الخامس يبحث في انواع محطات توليد الكهرباء وشرح مبسط لكل نوع مدعوم بصور توضيحية تساعد الطالب في فهم وتصور عمل المحطة وأجزاءها ، الفصل السادس يوضح بالتفصيل مولد ومحرك الديزل وأجزاءه وطريقة اشتغاله وملحقاته التشغيلية لاستعماله الواسع في المولدات الصغيرة والقدرة البيانية والفرملية لمحركات الديزل وكذلك وسائل نقل القدرة (الحركة الدورانية) الى رؤوس التوليد ، والفصل السابع يبحث في موضوع إلكترونيات القدرة (الثايرستور) .

وقد حرصت لجنة التأليف على أن نكتب موضوعات فصولها بلغة واضحة وبسيطة ليتسنى لطلبتنا الاعزاء فهم ما يكتب ،فضلا عن حرصها على الإكثار من الصور والرسومات التوضيحية وذلك لنعزز الوضوح والفهم .

واخيرا ولعل من ناقلة القول ان نشير الى ان هذا الكتاب يفضل تدريسه من لدن مهندس اختصاص كهر وميكانيك أو مهندس ميكانيك وأخر كهرباء .

ختاما نود ان نتقدم بالشكر الى الخبيرين العلميين (د. ضاري يوسف محمود ،

د .ابتهال عبد الرزاق محمود) والخبير اللغوي (د. محمد علوان جبار) لمراجعتهم الكتاب بكل عناية وحرص .

ومن الله التوفيق

المؤلفون

المحتويات

الفصل الأول / الكهرومغناطيسية	7
1 – 1 – الحث الكهرومغناطيسي	8
1 – 2 – الحث الذاتي	13
1 – 3 – الحث المتبادل	16
1 – 4 – الملف	19
1 – 5 – الربط بالتوالي	23
1 – 6 – الربط بالتوازي	24
أسئلة الفصل الاول	25
الفصل الثاني / مكائن التيار المستمر	26
2- 1 ماكنة التيار المستمر	27
2 - 2 أجزاء مكائن التيار المستمر	28
2 – 3 مولد التيار المستمر	31
2 – 4 طرائق تغذية المجال المغناطيسي في مكائن التيار المستمر	33
2 – 5 الخسائر لمولدات التيار المستمر	42
2 – 6 حساب الكفاءة (معامل الجودة)	43
2 - 7- محركات التيار المستمر	45
2 – 8 – تنظيم السرعة في محركات التيار المستمر	53
2 - 9 عكس السرعة في محركات التيار المستمر	55
2 – 10 طرق بدء الحركة	55
اسئلة الفصل الثاني	57
الفصل الثالث / دوائر التيار المتناوب	59
3 – 1 تمهيد	60
3 – 2 – توليد التيار المتناوب	61
3 – 3 مصطلحات ومفاهيم اساسية	63
3 –4 المكونات الاساسية لدوائر التيار المتناوب	70
3 – 5 الحالة العامة لربط المكونات على التوالي	76
3 – 6 الحالة العامة لربط المكونات على التوازي	80
3– 7 حساب القدرة في دوائر التيار المتناوب	83
اسئلة الفصل الثالث	85
الفصل الرابع / محركات التيار المتناوب	87
4- 1 المحركات الحثية	88
4 – 2 – طريقة بدء الحركة في المحركات الحثية ثلاثية الأطوار	95

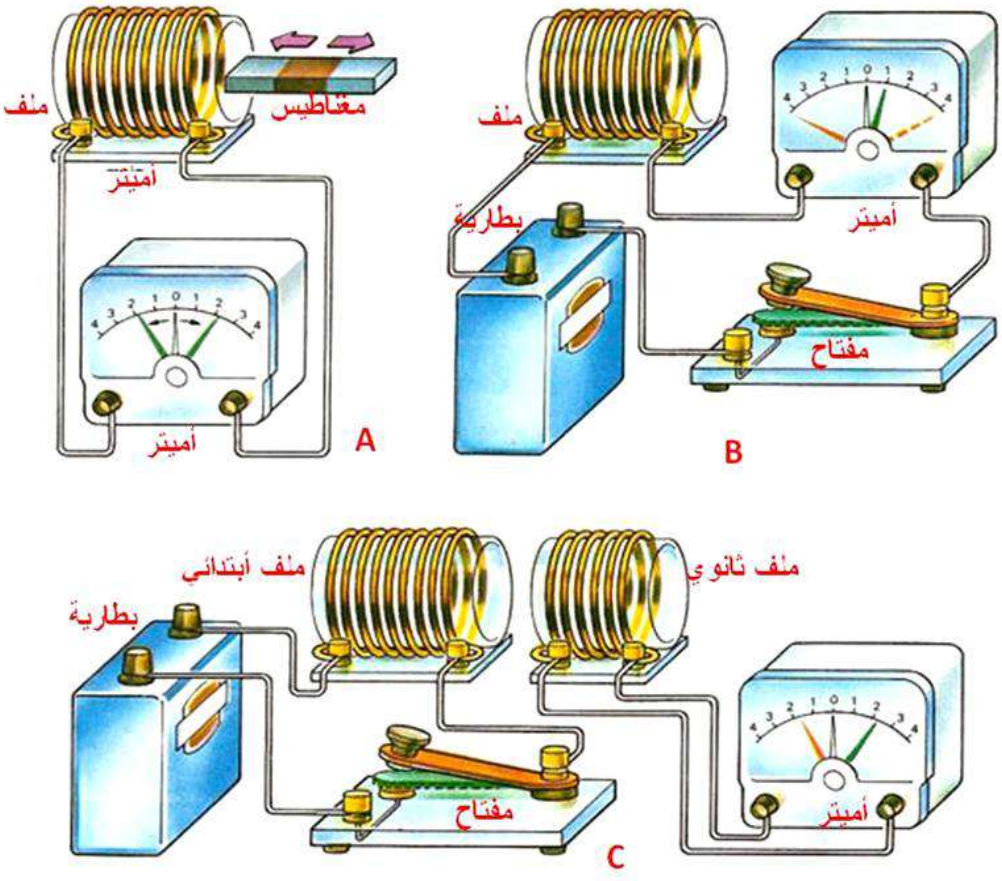
4 – 3 – التحكم في السرعة	99
4 – 4 – المحركات الحثية ذات الطور الواحد	101
4 – 5 – المحرك ذو القطب المظلل	105
4 – 6 – محرك التوالي (المحرك العام)	107
4 – 7 – المحرك التنافري	108
4 – 8 انواع المفاتيح المستعملة لفصل ملفات بدء الحركة من المصدر	109
4 – 9 القدرة والكفاءة لمحركات التيار المتناوب	112
4 – 10 المحركات التزامنية (التوافقية)	116
اسئلة الفصل الرابع	118
الفصل الخامس / توليد الطاقة الكهربائية	119
5 – 1 تمهيد	120
5 – 2 مصادر الطاقة الكهربائية	121
5 – 3 توليد الطاقة الكهربائية بالطرق التقليدية	121
5 – 4 توليد الطاقة الكهربائية من الطاقة المتجددة	130
5 – 5 محطات توليد الطاقة الكهربائية والتلوث البيئي	136
5 – 6 – نظرية توليد الطاقة الكهربائية	137
5 -6- 1 أساسيات المولد الكهربائي	139
5- 6- 2 مولد التيار المتناوب (المولدات التوافقية)	139
أسئلة الفصل الخامس	144
الفصل السادس / مكائن الديزل	145
6 – 1 – المحرك الديزل	146
6 – 2 – الدورة الرباعية لمحرك ديزل	152
6 – 3 – حقن الوقود في محركات الديزل	154
6 – 4 - طريقة اشتغال مضخة حقن الوقود	161
6 – 5 – الرشاشات	163
6 – 6 – منظم السرعة	165
6 – 7 – شمعة التوهج أو شمعة الحرارة	166
6 – 8 - دورة التزييت	167
6 – 9 – دورة التبريد	171
6 – 10 – دورة الهواء	175
6 – 11 – دورة العادم	177
6 – 12 لوحة السيطرة الالكترونية والتشغيل	178
6 – 13 – القدرة في محرك الديزل	179
6 – 14 – توصيل (ربط) محرك الديزل مع رأس التوليد	181
أسئلة الفصل السادس	184

الفصل السابع / الكترونيات القدرة	185
7 – 1 تمهيد	186
7 – 2 – عائلة الثايرستور	187
7 – 3 – طرق القدح للثايرستور	189
7 – 4 طرق اخماد الثايروستور	191
7 – 5 – أهم تطبيقات الثايرستور في دوائر إلكترونيات القدرة	191
7 – 6 – السيطرة على سرعة محركات التيار المستمر	201
7–7– التحكم في المحركات الحثية ثلاثية الاطوار	205
7– 8 – التحكم في المحركات الحثية باستخدام حاكمات الجهد المتناوب	208
7 – 9 التحكم في المحركات الحثية باستعمال العاكس	209
أسئلة الفصل السابع	210
المصادر	211

1

الفصل الاول

الكهرومغناطيسية



الهدف : يكتسب الطالب بعد دراسة الفصل المهارات المعرفية الأتية :

1 – توليد الكهرباء في الملفات وتأثير الفيض المغناطيسي .

2 – الحث الذاتي والحث المتبادل .

3 – الملفات واستخداماتها .

4 – ربط الملفات وحساباتها .

5 – قانون فارداي ، وقانون لنز ، وقاعدة اليد اليمنى ، في الكهرباء .

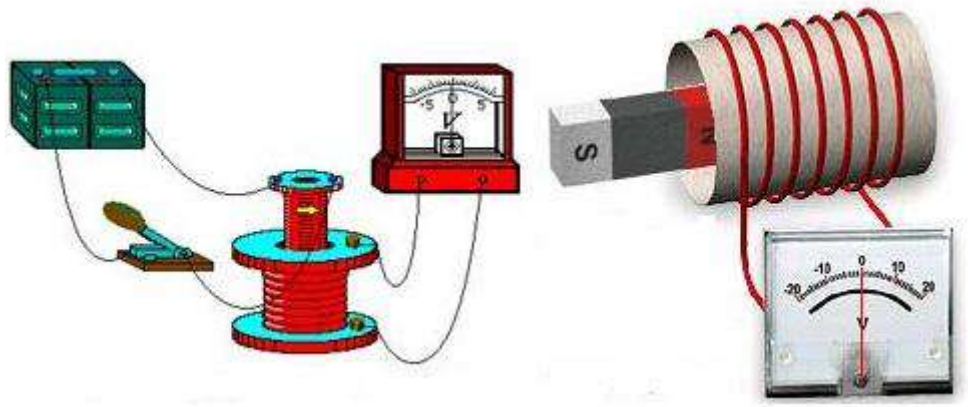
1 – 1 الحث الكهرومغناطيسى:

اكتشف العالم اورستيد تولد مجال مغناطيسي حول موصل يمر فيه تيار كهربائي .

اكتشف العالم فارداي أنه يمكن أن يتولد تيار كهربائي من مجال مغناطيسي أي أنه يمكن الحصول على تيار كهربائي في دائرة مقفلة بتأثير مجال مغناطيسي متغير ويعرف ذلك بالحث الكهرومغناطيسي (عكس اكتشاف أورستد).وبذلك يمكن تعريف ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي وهى ظاهرة تولد قوة دافعة كهربائية محتثة وتيار محتث في موصل بتأثير المجال المغناطيسي .

1 – 1 – 1 تجربة فاراداي :

أنظر الشكل (1 – 1) .



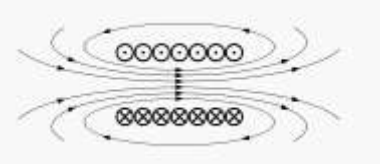
شكل (1 – 1) يوضح توليد كهرباء مستحثه فى ملف

توليد قوة دافعة كهربائية مستحثه في ملف من النحاس لفاته معزولة بعضها عن البعض الآخر ويتصل طرفاه بكلفانومتر حساس صفر تدريجه في المنتصف كما في الشكل اعلاه.

عند إدخال المغناطيس بسرعة داخل الملف [أو غلق دائرة الملف الابتدائي كما في الشكل الآخر] ينحرف مؤشر الكلفانومتر لحظيا في اتجاه معين عند إخراج المغناطيس من الملف أو (فتح دائرة الملف الابتدائي) ينحرف مؤشر الكلفانومتر في الاتجاه المضاد .

تتولد القوة الدافعة المستحثة والتيار الكهربائي المستحث في الدائرة المغلقة لحظة قطع لفات السلك لخطوط الفيض المغناطيسي أثناء حركة المغناطيس (تقريب المغناطيس من الملف أو إبعاده عن الملف أو لحظة غلق دائرة الملف الابتدائي أو فتحه) .

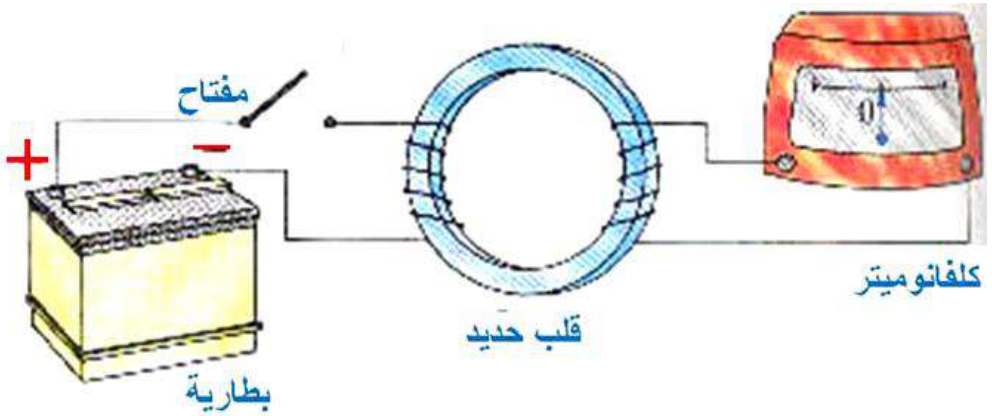
تتناسب القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية المتولدة في الموصل طرديا مع معدل التغير في الفيض المغناطيسي المؤثر على الموصل.



شكل (1 – 2) يوضح الفيض المغناطيسي

1 – 1 – 2 قانون فارادي للتأثير المغناطيسي :

عند تغيير التدفق المغناطيسي الذي يجتاز ملفاً كهربائياً يتولد تيار كهربائي تأثيري لحظي (لحظة تغير التدفق) في دائرة الملف، ويعتمد اتجاه التيار على اتجاه هذا التغير بالزيادة أو النقصان ، هذا ما لاحظه العالم" مايكل فراداي "وهو يقوم بتجربته التي استخدم فيها الدائرة الكهربائية الموضحة بالشكل:



شكل (1 – 3) يوضح تجربة فراداي

استخدم فاراداي ملفين حلزونيين، قام بتوصيل أحدهما (الملف الابتدائي) بدائرة كهربائية بها مفتاح كهربائي، ووصل الملف الآخر (الملف الثانوي بكلفانومتر) .

وحيث أن الملف الثانوي غير موصول ببطارية، فإن أي سريان للتيار الكهربائي في الدائرة الثانوية يدل على وجود مؤثر خارجي قام بتوليد هذا التيار .

عندما قام فاراداي بإغلاق مفتاح الدائرة الكهربائية لاحظ انحراف مؤشر الكلفانومتر مما يدل على مرور تيار كهربائي في الدائرة الثانوية، وسبب ذلك هو المجال المغناطيسي المتغير المتولد في الملف الابتدائي وانتقاله الى الملف الثانوي عن طرق القلب الحديدي .

ق.د.ك حسب قانون فاراداي:

$E=N\ \Delta\Phi/\Delta t$ volts ..... (1 – 1)

حيث أن : N عدد اللفات

$\Delta\Phi/\Delta t$ تغير الفيض المغناطيسي مع الزمن

مثال 1 :

أوجد معدل القوة الدافعة الكهربائية الناشئة في ملف عدد لفاته 10 لفة اذا كان الفيض المغناطيسي 0.02 ويبر قاطعا الملف خلال 0.001 ثانية.

الحل :

$E=N\ \Delta\Phi/\Delta t$ volts

$E = 10 \times 0.02/0.001 = 200$ Volts

مثال 2 :

موصل مقدار الفيض المغناطيسي المتكون دورانه داخل مجال مغناطيسي منتظم (3×10^{-4}) ويبر ، أحسب عدد لفاته اذا كان مقدار (ق.د.ك) المحتثة 0.45 V خلال فترة زمنية قدرها 0.01 ثانية .

$E=N\ \Delta\Phi/\Delta t$

$N=E\ \Delta t/\Delta\Phi$

عدد اللفات = ق.د.ك × التغير في الزمن / التغير في الفيض

$N= 0.45 \times 0.01 / 3 \times 10^{-4}$

N = 15 لفة

1 – 1 – 3 قانون لينز:

ينص قانون لينز انه عند سريان تيار كهربائي متغير في ملف ما فانه يسبب نشوء فيض مغناطيسي متغير يقطع لفات الملف ويسبب تولد قوة دافعة كهربائية عكسية في ذلك الملف وهذه القوة الدافعة الكهربائية تسبب سريان تيار كهربائي باتجاه معاكس لاتجاه التيار الاول (تيار المصدر) وانه بواسطة هذا القانون يمكن تحديد اتجاه (ق.د.ك) المحتثة .

$E = -N\ \Delta\Phi/\Delta t$ ..... (2 – 1)

حيث أن : N عدد اللفات والاشارة السالبة تعنى ان الفولتية عكسية

1 – 1 – 4 طرق الحصول على تيار تاثيرى (محتث) :

1. حركة سلك مستقيم بين قطبي مغناطيس .
2. حركة ملف حول أحد قطبي مغناطيس ـ إدخال وإخراج مغناطيس في ملف يكون دائرة مغلقة .
3. باستخدام ملف ابتدائي وأخر ثانوي .

أولا ـ اذا قطع موصل من دائرة مغلقة خطوط المجال تتولد فيه تيار تأثيري يعتمد اتجاهه على اتجاه حركة الموصل واتجاه خطوط المجال .

ثانيا ـ اذا تحرك مغناطيس داخل أو خارج ملف مكون لدائرة مغلقة يتولد في الملف تيار تأثيري لحظي عكسي عند تقريب المغناطيس من الملف وطردي عند اخراج المغناطيس من الملف أو ابعاده.

شروط الحصول على تيار تأثيري(محتث) وهي :

* وجود مجال مغناطيسي
* وجود سلك يكون دائرة مغلقة
* الحركة النسبية بين الموصل والمجال

مما سبق نستنتج أنه عندما يتغير الفيض المغناطيسي الذي يقطعه موصل في زمن معين بسبب الحركة بين الموصل والمجال المغناطيسي تتولد في الموصل قوة دافعة تأثيرية ويتوقف اتجاه القوة الدافعة التأثيرية على اتجاه حركة الموصل.

ان الفيض المغناطيسي Φ ويقاس بالويبر (Wb)

$$\Phi = B\ A\ Sin\Theta \quad Wb \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3-1)$$

حيث B : الكثافة المغناطيسية (Wb/m^2)

Θ : الزاوية بين الفيض المغناطيسي والملف

وعندما يكون الفيض عموديا على الملف تصبح العلاقة كالاتي :

$$\Phi = B\ A \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4-1)$$

والممانعة المغناطيسية

$$S = L/\mu o \mu_r A \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5-1)$$

L = متوسط المحيط (متر)

μ_r = (للهواء) 1

$\mu o = 4\pi\ 10^{-7}$ ثابت

A = مساحة المقطع (متر مربع)

$S = L / \mu oA$ …….. (6 – 1)

$S = MMF / \Phi = IN / \Phi$ ……. (7 – 1)

I = التيار(امبير)

N = عدد اللفات

مثال 3 :

لف سلك حول قلب حديد دائري الشكل مساحة مقطع القلب الحديدي له $0.2\ cm^2$ وكثافة المجال المغناطيسي المتكون منه $0.04\ Wb / m^2$ اوجد مقدار الفيض المغناطيسي له .

الحل:

$A = 0.2\ cm^2 = 0.2 \times 10^{-4}\ m^2$

$B = \Phi/A$ $\Phi = B\ A$

$= 0.04 \times 0.2 \times 10^{-4} = 0.008 \times 10^{-4} = 0.8 \times 10^{-6}$

$= 0.8\ \mu\ Wb$

مثال 4 :

ملف يتكون من 200 لفة ملفوفة بصورة منتظمة حول طوق خشبي معدل محيطه 60 cmومساحة مقطعه العرضي $5\ cm^2$ فاذا كان التيار المار في الملف 4 A وكثافة الفيض المغناطيسي $1675\ \mu\ Wb /m^2$ احسب ما يلي:

1. قوة التمغطس (قوة التمغنط) .
2. الفيض المغناطيسي .
3. القوة الدافعة المغناطيسية .
4. الممانعة المغناطيسية .

الحل :

قوة التمغنط =امبير لفة / معدل المحيط

$H = IN / L$

$= 200 \times 4 / 0.60$

$H = 1333 \ A\,T / m$

$\Phi = B\,A$

$= 1675 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-4} = 8375 \times 10^{-10} \ Wb$

$MMF = I\,N$

$= 200 \times 4 = 800 \ AT$

الممانعة المغناطيسية(S) = امبير لفة /فيض مغناطيسي

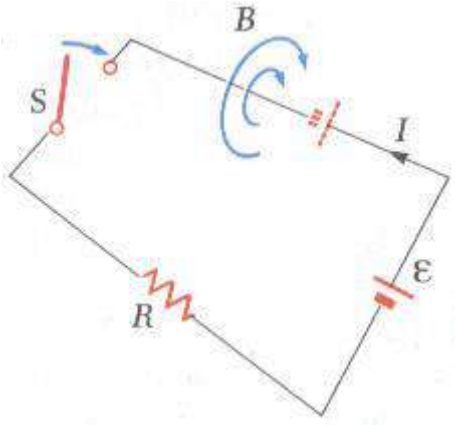
$S = MMF / \Phi$

$= 800 / 8375 \times 10^{-10}$

$= 950 \times 10^{6} \ AT/ Wb$

1 – 2 الحث الذاتي (L)Self Inductance:

ان التيار الذي ينشأ في الدائرة الكهربائية عندما سيولد فيض مغناطيسي يتغير مع الزمن. فالحث الذاتي Self Inductance ينشأ بسبب التغير في قيمة الفيض المغناطيسي نتيجة لزيادة التيار في الدائرة الكهربائية . حيث أن التيار يتغير باستمرار مع الزمن .



شكل (1 – 4) يوضح دائرة كهربائية

افترض دائرة كهربائية مكونة من مصدر تيار وملف ومفتاح كهربائي كما في الشكل (1-4)، عند
غلق المفتاح في الدائرة الكهربائية يحدث الاتي :

1 - يزداد التيار المار في الدائرة مع الزمن .
2 - يزداد الفيض المغناطيسي خلال الدائرة نتيجة لازدياد التيار .
3 - الفيض المتزايد يؤدي إلى توليد قوة دافعة كهربائية في الدائرة ليعاكس الزيادة في الفيض المغناطيسي Lenz's Law .

$$E = - N\Delta\Phi / \Delta t \quad \ldots\ldots\ldots (8 - 1)$$

هذه القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الدائرة تعمل في عكس اتجاه التيار الأصلي وهذا نتج عن الزيادة في الفيض المغناطيسي نتيجة لزيادة التيار عند غلق المفتاح... هذا التأثير في الدائرة يعرف باسم التأثير الحثي الذاتي Self Induction

من قانون فراداي يمكننا من ايجاد صيغة رياضية للتعبير عن الحث الذاتي .حيث ان الفيض المغناطيسي يتناسب مع المجال المغناطيسي والاخير يتناسب مع التيار في الدائرة لذا فإن القوة الدافعة الكهربائية للحث الذاتي تتناسب مع التغير في التيار الكهربائي.

$$E = - L(\Delta I / \Delta t) \quad \ldots\ldots\ldots (9 - 1)$$

L = معامل الحث الذاتي للملف

كما يمكن التعبير عن الحث الذاتي بالمعادلة التالية:

$$L = - E / \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (10 - 1)$$

وهذه المعادلة تعطي قيمة الحث الذاتي للدائرة بغض النظر عن ابعادها الهندسية وانما تعتمد على قياس الكميات الفيزيائية مثل القوة الدافعة الكهربائية والتغيير في التيار .

وتحسب معامل الحث الذاتي من المعادلة الاتية :-

$$L = N \Delta\Phi / \Delta I \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11 - 1)$$

وتكون وحدة الحث الذاتي هي الهنري ، Henry :

$$1 H = 1 V.S / A \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (12 - 1)$$

مثال 5 :

اوجد قيمة معامل الحث الذاتي لملف عدد لفاته 300 لفة عندما يتغير التيار المار فيه من 2 A الى 2.8 A مسببا تغيرا في الفيض المغناطيسي µWb (من 200 الى 224) .

الحل :

$$L = N \Delta\Phi / \Delta i$$

$$L=300 \times(224 - 200) 10^{-6} / (2.8 - 2)$$

$$L = 0.009 \quad H$$

مثال 6 :

ملف ذو 500 لفة ملفوف حول حلقة معامل الحث الذاتي له 0.5 H والفيض المغناطيسي المتكون يتغير من mWb (0.7- 0.5) احسب ما يلى :

1. التغير في التيار
2. ق.د.ك الناشئة خلال Sec (0.01) .

الحل:

(1

$$L=N \Delta\Phi/\Delta i$$

$$\Delta I = N/L \Delta\Phi$$

$$= 500 \times (0.7 – 0.5) \times 10^{-3} / 0.5$$

$$\Delta I = 0.2 \ A$$

(2

$$E = L \Delta I/\Delta t$$

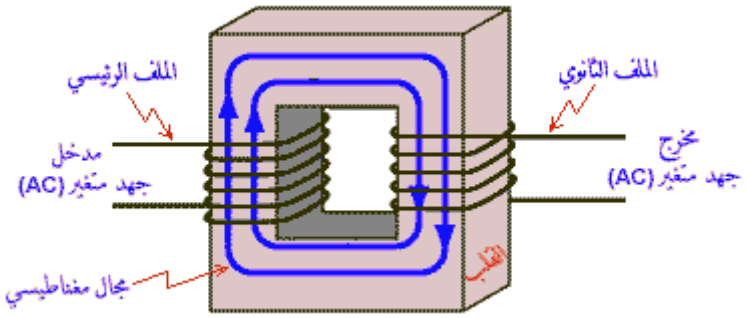
$$= 0.5 \times 0.2 / 0.01$$

$$E = 10 \ V$$

1 – 3 الحث المتبادل (M)Mutual Inductance:

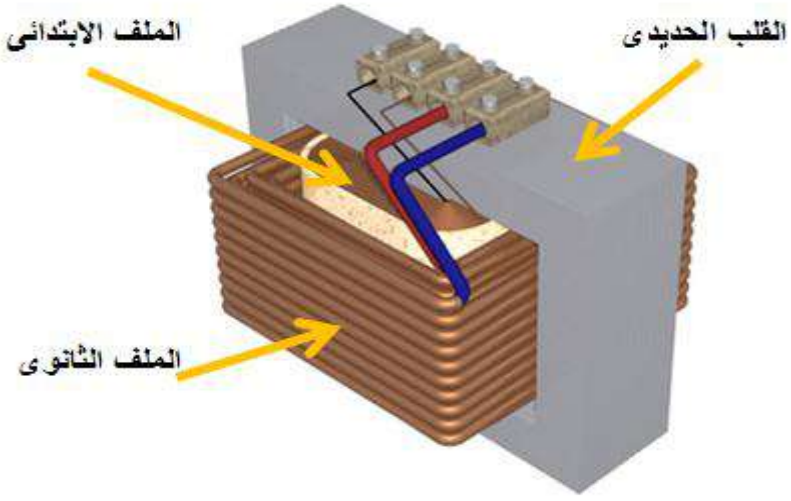
هو الفولتية الناتجة في إحدى الدوائر نتيجة التغير في تيار دائرة مجاورة لها، حتى لو لم يكن هناك اتصال مباشر بين الدائرتين، ويعتبر المحول الكهربائي أفضل مثال للحث المتبادل ،حيث يتم ربط الملف الابتدائي الى مصدر للفولتية وعند مرور التيار الكهربائي في هذا الملف سيتولد مجال مغناطيسي يمر في القلب الحديدي وسيقطع الملف الثانوي وستتولد قوة دافعة كهربائية محتثة .ويكون وضع الملفات فى المحولة الكهربائية على نوعين :

1– يكون كل ملف على عمود من أعمدة المحولة حيث ينتقل الفيض المغناطيسى من الملف الاول الى الملف الثاني عن طريق القلب الحديدي مولدا فيه قوة دافعة كهربائية كما موضح فى الشكل (1 – 5).



شكل(1 – 5) يوضح ملفات المحولة على الجانبين

2 – يكون كلا الملفين على العمود الاوسط من المحولة حيث يعمل الفيض المغناطيسي في الملف الداخلي على توليد فولتية في الملف الخارجي عن طريق الحث المتبادل كما فى الشكل (1 – 6) :



شكل (1 – 6) يوضح كلا الملفين الابتدائي والثانوي على العمود الوسط

1 – 3 – 1 استخدامات الملفات :

1 – تستخدم الملفات أو المحاثات مع المكثفات في العديد من أجهزة الاتصالات اللاسلكية لمنع مرور الإشارات الكهربائية الغير مرغوب فيها.

2 – تساعد الملفات في عمليات تنعيم وتنقية التيار المتردد المقوّم لإعطاء تيار مستمر نقي من الشوائب .

3 – تخزين الشحنات السالبة على هيئة مجال مغناطيسي يساعد في التغذية العكسية للدوائر الرقمية.

1 – 3 – 2 الممانعة الحثية للملف X_L :

هي المقاومة التي يلقاها التيار أثناء مروره في سلك نتيجة لحثه الذاتي ، وتقاس بالأوم ويمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$X_L = 2\pi f L \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (13 - 1)$$

حيث أن : f التردد بالهرتز L معامل الحث الذاتي للملف بالهنرى

ومن هنا نلاحظ أن ممانعة الملف والتي تقاس بالأوم تعتمد على:

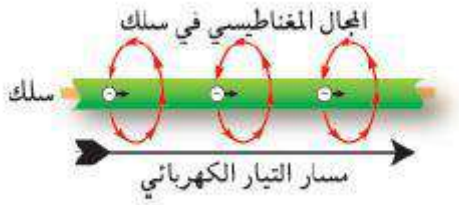
1 – تردد الإشارة المارة بالملف (كلما زاد التردد زادت الممانعة) .

2 – الحث الذاتي للملف (كلما زاد الحث الذاتي للملف كلما زادت الممانعة) .

1 – 3 – 3 الفرق بين مرور تيار في سلك ومروره في ملف :

أولا – مرور تيار في سلك :

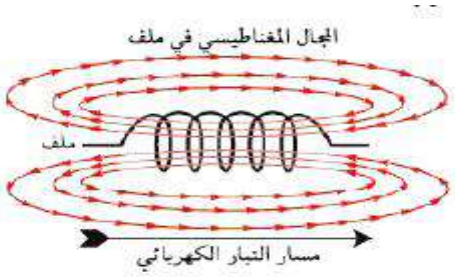
عندما يمر تيار في سلك ينشأ حول هذا السلك مجال مغناطيسي ، يتزايد هذا المجال بتزايد التيار المار في السلك ، كما في الشكل (1 – 7) .



شكل (1 – 7) يوضح نشوء مجال مغناطيسي فى سلك يسرى فيه تيار كهربائي

ثانياً – مرور تيار في ملف :

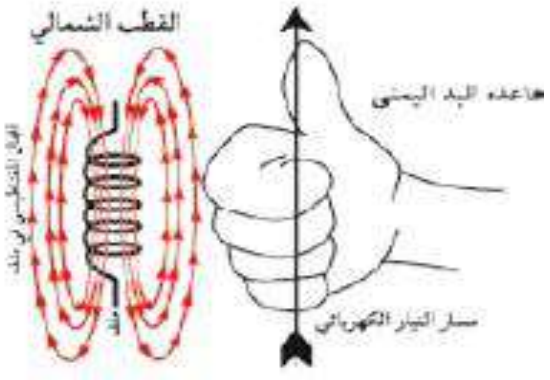
يلف السلك بطريقة معيّنة ليعطي مجالاً مغناطيسيا في اتجاه معيّن محدد مسبقا من قبل المصمم ، وتخضع اتجاهات التيار واللف والمجال المغناطيسي لقاعدة اليد اليُمنى ، أنظر الشكل (1 – 8) .



شكل (1 – 8) يوضح مرور تيار كهربائي في ملف

1 – 3 – 4 قاعدة اليد اليُمنى:

إذا وضع الملف في يدك اليُمنى بحيث تلتف الاصابع حول الملف في نفس اتجاه مرور التيار فإن أصبح الإبهام يشير إلى اتجاه المجال داخل الملف وإلى القطب الشمالي للمغناطيس المؤقت الذي يصنعها هذا الملف كما في الشكل (1 – 9) :



شكل(1 – 9) يوضح قاعدة اليد اليمنى في تحديد اتجاه القطب الشمالي للمجال المغناطيسي

1 – 4 الملف Inductor:

الملف : عبارة عن سلك ملفوف وعند سريان التيار في هذا السلك فإنه يقوم بتخزين طاقة مغناطيسية (ليست طاقة كهربائية) ، هذه الطاقة المغناطيسية تعمل على مقاومة أي تغيير بالتيار الذي يسري بالملف ، وتسمى هذه الظاهرة بالحث الذاتي .

ونرمز للملف بالشكل التالي :

شكل (1 – 10) يوضح رمز الملف

ويقاس معامل الحث الذاتي للملف بوحدة تسمى الهنري (HENRY) ، وهناك طريقتين رئيسين لربط الملفات ، وهما الربط بطريقة التوالي ، والربط بطريقة التوازي .

1 – 4 – 1 أنواع الملفات Types of Coils :

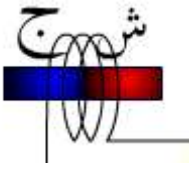
أولاً : تصنيف الملفات وفقاً للمادة التي تشغل الحيز داخل الإطار الداخلي للملف .

1 – ملفات ذات قلب هوائي : وهي الملفات التي يشغل الهواء ما بداخل إطارها الداخلي (ما بداخل قلبها) ، والحث الذاتي لمثل هذه الملفات صغير .

شكل (1 – 11) يوضح الملف ذو القلب الهوائى

2 – ملفات ذات القلب الحديدي :

هي تلك الملفات التي يوضع داخلها قلب حديدي ، وفيها يتركز المجال المغناطيسي داخل وحول الملف ، ولا يتسرب كثيراً خارجه ، وبالتالي يزيد من حث الملف ، قد يصل حث مثل هذا النوع من الملفات إلى 10 هنري .



شكل (1 – 12) يوضح الملف ذو القلب الحديدي

مساوئ الملفات ذات القلب الحديدي هو تولّد تيارات ناتجة بالحث الذاتي داخل القلب الحديدي تسمى بـ (التيارات الدوامية) ، تتحرك في اتجاهات عشوائية داخل هذا القلب مما يسبب ارتفاع درجة حرارة القلب المغناطيسي وفقد في الطاقة .

1 – 4 – 2 قانون حساب معامل الحث المتبادل لملفين :

$$M = K\sqrt{L_1 L_2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (14-1)$$

M = معامل الحث المتبادل ويقدر بالهنري

K = كمية ثابتة وتسمى معامل ازدواج الملفين وتكون مجردة من الوحدات واقل من الواحد

ويعرف بانه مدى الجودة في العلاقة المغناطيسية الموجودة بين الملفين .

وتحسب القوة الدافعة الكهربائية في الملفات من القانون الاتي :

$$E = M\,\Delta i/\Delta t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (15-1)$$

حيث $\Delta i/\Delta t$ هو معدل تغير التيار مع الزمن .

وتحسب الفولتية في كلا الملفين من المعادلات الأتية :

أي ان:

$$E_1 = M\,dI_2/dt_2 \quad \ldots\ldots\ldots (16-1)$$

$$E_2 = M\,dI_1/dt_1$$

مثال 7 :

ملفان متجاوران يسري في الاول تيار شدته 0.5 A ويتغير بمعدل 0.01 sec فاذا كان معامل الحث المتبادل لكلا الملفين 0.15 H احسب القوة الدافعة الكهربائية التي تنشا في الملف الثاني .

الحل:

$$E_2 = M_{1\ 2}\,\Delta i_1/\Delta t_1$$

$$= 0.15 \times 0.5 \ / \ 0.01$$

$$E_2 = 7.5 \ V$$

مثال 8 :

ملف يحتوي على 200 لفة يسرى فيه تيار كهربائي مقداره (0.5 A)مسببا نشوء فيض مغناطيسي مقداره mWb (1.5) بمعدل sec (0.01)وضع مجاورا لملف ثان ذي (50) لفة ويتغير فيه التيار بمعدل A (0.2) مسببا تغيرا في الفيض المغناطيسي بمقدار (2) mWb بمعدل sec (0.015) احسب الحث المتبادل والقوة الدافعة الكهربائية التي تنشا في كل من الملفين بسبب الحث المتبادل.

الحل:

معامل الحث الداني في الملف الاول :

$L_1 = N_1 \Delta\Phi_1/\Delta i_1$

$L_1 = 200 \times 10^{-3} \times 1.5 / 0.5$

$= 0.6$ هنري

معامل الحث الذاتي في الملف الثاني:

$L_2 = N_2 \Delta\Phi_2/\Delta i_2$

$L_2 = 50 \times 2 \times 10^{-3} / 0.2$

$= 0.5$ هنري

$M = K\sqrt{L_1 L_2}$

الحث المتبادل في الملفين ، (اعتبر $K=1$) :

$M = \sqrt{0.6 \times 0.5} = \sqrt{0.3}$

$= 0.548$ H

ق.د.ك في الملف الاول :

$E_1 = M\, dI_2/dt_2$

$= 0.2 \times 0.548 / 0.015 = 7.31$ V

ق.د.ك في الملف الثاني:

$E_2 = M\, dI_1/dt_1$

$= 0.5 \times 0.548 / 0.01 = 27.4$ V

1 – 5 الطاقة المخزونة في الملف (الطاقة المختزنة في المجال المغناطيسي) :

نحن نعلم ان المجال الكهربائي في الفراغ هو عبارة عن طاقة كهربائية في صورة مجال ، كذلك الحال بالنسبة للمجال المغناطيسي ، وتكون معادلة الطاقة المخزونة في الملف هي :

$$E = \frac{1}{2} LI_m^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (17-1)$$

حيث أن : E = الطاقة المخزونة في الملف(جول) ، L = معامل الحث الذاتي للملف(هنري)

I_m = القيمة العظمى للتيار (امبير)

مثال 9:

ملف حثه الذاتي 0.5 H متصل بمصدر فولتية قدره 20 فولت احسب الطاقة المخزونة في الملف اذا امرر فيه تيار قدره 3 امبير.

الحل:

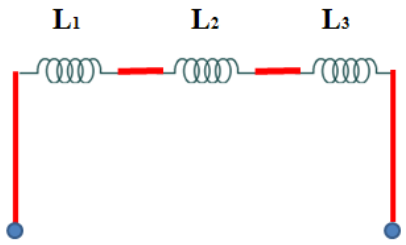
$$Energy = 1/2\ LI_m^2$$

$$Energy = 1/2 \times 0.5 \times 3^2 = 2.23 \quad J$$

1 – 6 الربط بالتوالي :

إذا ربطنا نهايتي ملفين بالتسلسل (التوالي) كما بالشكل فإن معامل الحث الذاتي الكلي يساوي حاصل جمع معاملي الحث الذاتي للملفين :

L1+L2 = معامل الحث الذاتي ..... (1 – 18)



معامل الحث الكلي= L1+L2+L3

شكل (1 – 13) يوضح ربط الملفات على التوالي

مثال 10 :

إذا كان معامل الحث الذاتي للملف الأول L1 = 2 ملي هنري ومعامل الحث الذاتي للملف الثاني L2 = 3 ملي هنري ومعامل الحث الذاتي للملف الثالث L2= 6 ملي هنري فإن معامل الحث الذاتي الكلي . LT = L1 + L2 + L3

معامل الحث الكلي 2 + 3 +6 = 11 ملي هنري

مثال 11 :

ثلاث ملفات معامل الحث الذاتي لهم (5 ، 10 ، 15)ملي هنري ربطت بالتسلسل فما هو

معامل الحث الذاتي الكلي ؟

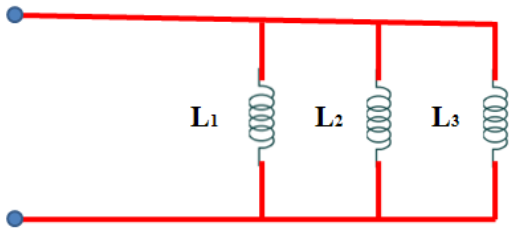
LT = L1 + L2 + L3

معامل الحث الذاتي الكلي = 5 + 10 + 15 = 30 ملي هنري

1 – 6 الربط بالتوازي :

إذا ربطنا نهايات ملفين بالتوازي فإن معامل الحث الذاتي الكلى يساوي:

$$\text{معامل الحث الكلى} = \frac{1}{1/L_1 + 1/L_2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1 - 19)$$



$$\text{معامل الحث الكلى} = \frac{1}{1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3}$$

شكل (1 – 15) يوضح ربط الملفات على التوازي

مثال 12 :

إذا معامل الحث الذاتي للملف الأول $L_1 = 30$ ملي هنري ومعامل الحث الذاتي للملف الثاني $L2 = 60$ ملي هنري لملفين مربوطين على التوازي ، ما هو معامل الحث الذاتي الكلي ؟

$$LT = 1 \ / \ L_1 + L_2$$

معامل الحث الذاتي الكلى $= 1 \ / \ (60/1 + 30/1) = 20 \ mH$

مثال 13 :

ثلاث ملفات معامل الحث الذاتي لهم(5 ، 7.5 ، 10) ملي هنري ربطت بالتوازي فما هو معامل الحث الذاتي الكلي؟

$$L_T = 1 \ / \ L_1 + L_2 + L_3$$

معامل الحث الذاتي $= 1 \ / \ (10/1 + 7.5/1 + 5/1) = 3.2 \ H$

الملي هنري $= \frac{1}{1000}$ من الهنري وهذه الوحدة يقاس بها معامل الحث الذاتي للملف المستعمل في الدوائر .

اسئلة الفصل الاول

س1 : ما العوامل التي تعتمد عليها القوة الدافعة الحثية المتولدة في موصل يقطع خطوط المجال المغناطيسي ؟

س2 : ما العوامل التي تعتمد عليها محاثة الملف ؟

س 3 : اذكر تطبيقين على الحث ؟

س4 : ما مبيدا عمل المحول الكهربائي؟

س5 : ما وظيفة القلب الحديدي في المحول ؟

س6 : حلقة منتظمة من الفولاذ دائرية الشكل مساحة مقطعها $4\ cm^2$ ومعدل قطرها 15 cm لف على محيطها ملف يحتوى على 60 لفة فاذا علمت ان الفيض المغناطيسي المتكون 500 مايكرو ويبر وان قوة المجال المغناطيسي 1500 امبير لفة\متر احسب ما يلى:

1. الكثافة المغناطيسية
2. الطول المتوسط للحلقة
3. التيار المار داخل الحلقة
4. القوة الدافعة المغناطيسية

(706 AT - 11.7 A - 47cm - 1.25 wb/m^2)

س7: ملف ابعاده (12 × 8) سم يدور داخل مجال مغناطيسي منتظم كثافته 1.2 ويبر\$م^2$

احسب مقدار الفيض المغناطيسي خلال الملف عندما يكون:

1. عموديا على خطوط المجال .
2. مائلا بزاوية قدرها 30^o .

(5.75mwb -11.5mwb)

س8:اوجد معدل القوة الدافعة الكهربائية الناشئة في ملف عدد لفاته 20 لفة اذا كان مقدار الفيض المغناطيسي 0.15 ويبر ويتغير من القيمة الموجبة الى القيمة السالبة بمعدل 0.01 ثانية.

(600 V)

س9: ملف مغناطيسي ذو 960 لفة ومقاومته 50 اوم عندما يكون فرق الجهد على طرفيه 230 فولت اوجد معامل الحث الذاتي لهذا الملف اذا علمت ان عدد الخطوط المغناطيسية المحيطة بالملف 0.005 ويبر. (1.04H)

س10:ملفان متجاوران يسري في الاول تيار شدته 0.5 امبير ويتغير بمعدل 0.01 ثانية فاذا كان معامل الحث المتبادل لكلا الملفين 0.15 هنري احسب القوة الدافعة الكهربائية التي تنشا في الملف الثاني . (7.5V)

س11:ملف مغناطيسي محاثته 500 ملى هنري ومقاومته الكلية 50 اوم عندما يكون فرق الجهد على طرفيه 230 فولت احسب الطاقة المخزونة في مجاله المغناطيسي .

(5.29J)

2

الفصل الثاني

مكائن التيار المستمر

(Direct Current Machines)

الهدف

بعد دراسة الفصل يكتسب الطالب المهارات المعرفية في : -

1 – محركات التيار المستمر ، أنواعها ، أجزاءها ، أنواع اللف ، التحكم في سرعة واتجاه الدوران وحساباتها .

2 – مولدات التيار المستمر ، أنواعها ، أجزائها ، طرق عملها وحساباتها .

3- يحسب المفاقيد التي تحدث في المولدات وكيفية حساب الكفاءة .

4- يفهم ما هو العزم في المحركات وكيفية حسابة .

5- يعرف كمية تنظيم السرعة في محركات التيار المستمر .

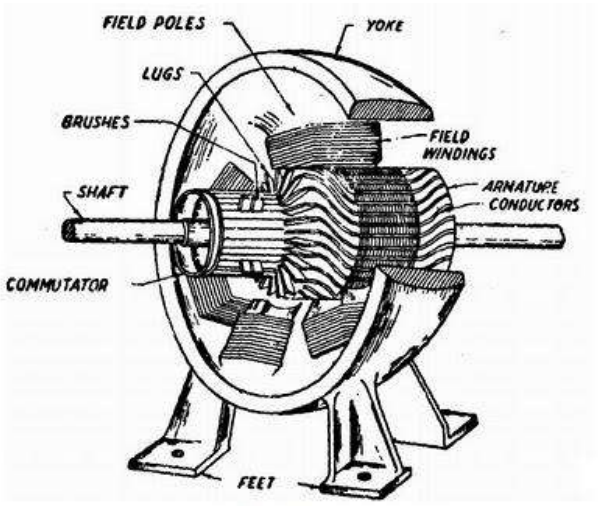
مكائن التيار المستمر (Direct Current Machines)

2 – 1 ماكنة التيار المستمر:

على الرغم من انتشار استخدام ماكنات التيار المتناوب فأن ماكنات التيار المستمر لا تزال واسعة الانتشار في الصناعة لبساطة تشغيلها وسهولة تنظيم سرعتها .

إن ماكنة التيار المستمر التي تستعمل في تحويل الطاقة الميكانيكية إلى كهربائية بتيار ثابت القيمة والاتجاه تسمى بمولد التيار المستمر ، والماكنة التي تحول الطاقة الكهربائية المستمرة إلى ميكانيكية تسمى بمحرك التيار المستمر ، والماكنات تصمم عادة بحسب طبيعة عملها .

وعلى الرغم من إن مولدات التيار المستمر يمكن تشغيلها كمحركات والعكس صحيح ، إلا أن طبيعة التصميم تحدد عمل الماكنة مولدا (أو محركا) والشكل (2 – 1) يمثل ماكنة تيار مستمر .



Practical DC machine parts .

الشكل رقم (2 – 1) يوضح أجزاء ماكنة تيار مستمر

2 – 2 اجزاء مكائن التيار المستمر :

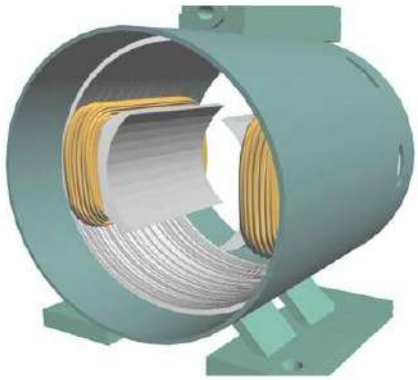
تتكون مكائن التيار المستمر من الأجزاء الأساسية الآتية :

1– **الجزء الثابت (Stator) :-** يتكون الجزء الثابت من جزئيين اساسيين

أ- **الاطار المعدني الخارجي(Yoke) او (Frame)**وصنع عادة من الحديد المطاوع او حديد الزهر وفى بعض المكائن يصنع من صفائح الصلب ويستخدم لحماية اجزاء الماكنة الداخلية وتثبت عليه الاقطاب المغناطيسية ويعمل كمسار لاستكمال الدائرة المغناطيسية

ب- **الاقطاب المغناطيسية Magnetic Poles**

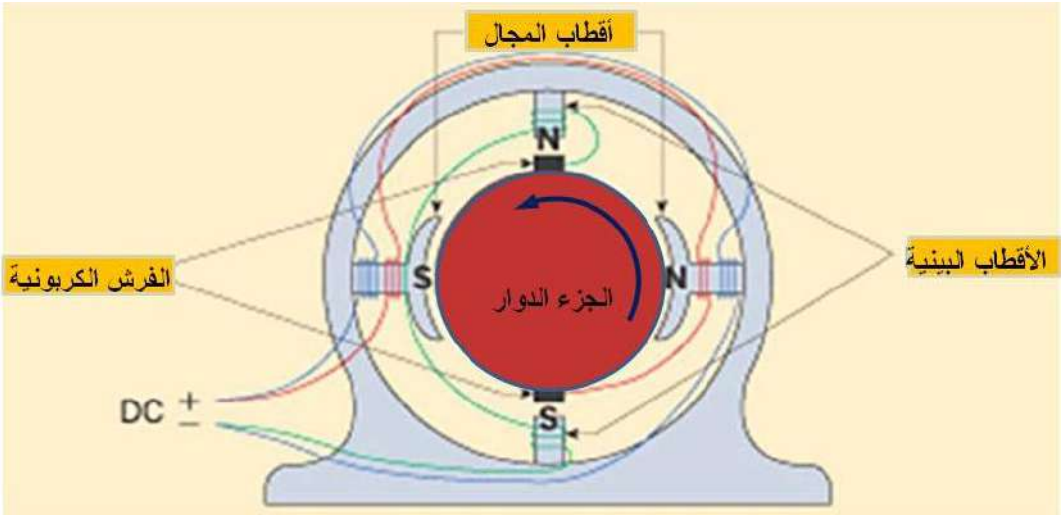
وتصنع الأقطاب الرئيسة (Main poles)او (field poles) من صفائح الصلب ويتم تثبيتها في الإطار الخارجي ، ويركب عليها واجهة القطب تسمى حذاء القطب (pole chose) ، فائدتها لإسناد ملفات القطب المغناطيسي وزيادة مساحة مقطع الفجوة الهوائية بين الدوار والساكن لتقليل المعاوقة المغناطيسية ويلف على الاقطاب الملفات الرئيسة لتوليد المجال المغناطيسي وبالتالي يعتبر الجزء الساكن هو المسؤول عن توليد المجال المغناطيسي كما في شكل (2 - 2) .



شكل (2 – 2) يوضح الجزء الثابت الاقطاب المغناطيسية وحذاء القطب

ج- **الاقطاب البينية (interposes)**

توضع بين الأقطاب الرئيسة أقطاب مساعده (أقطاب التبديل) (interposes) او تسمى (الاقطاب البينية) كما مبين في شكل (2 – 3) فائدتها تقليل الشرر بين الفرش الكربونية والمبدل ، وتقلل من تأثير رد الفعل في المنتج وتربط على التوالي مباشرة مع المنتج ، وفي الإطار الخارجي للجزء الثابت

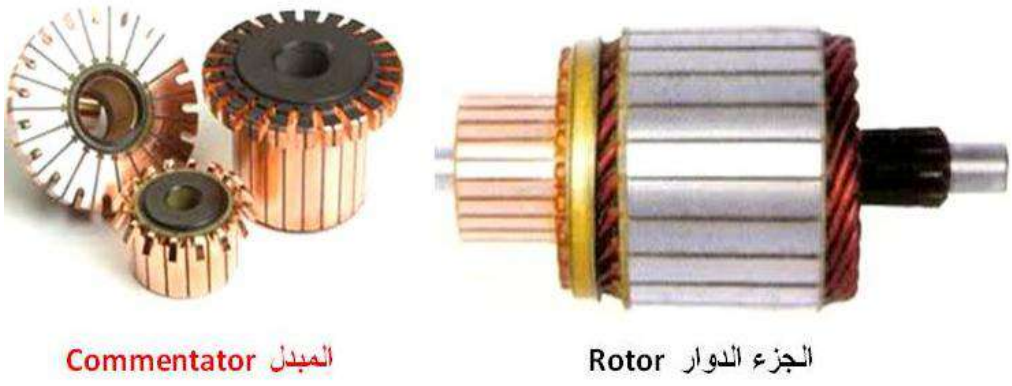


شكل (2 – 3) يوضح مقطع عرضى للجزء الثابت يبين فيها التوصيل الكهربائي للأقطاب الرئيسة واقطاب التبديل

2– الجزء الدوار (Rotor) :-

يسمى بعضو الانتاج أو المنتج (Armature)، ففي مولد التيار المستمر تتحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية ، وتتولد فيه القوة الدافعة الكهربائية (e mf) ويتكون المنتج من القلب (core) الذي يحتوي على المجاري (slots) التي توضع فيها أسلاك المنتج ، ويحتوي أيضا على المبدل (commutator) الذي يعمل على تبديل التيار المتناوب إلى تيار مستمر ، أنظر الشكل (2 – 4) .

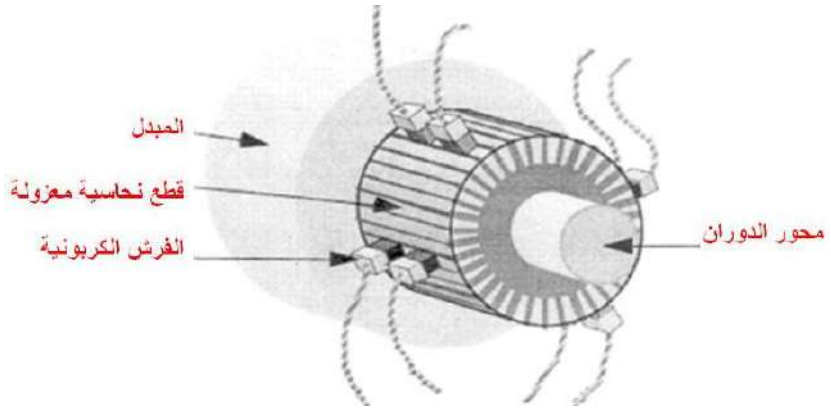
وتوصل جميع أطراف الملفات إلى المبدل – وهو عبارة عن مجموعة من قطع نحاسية متراصفة معزولة فيما بينها وأيضا معزولة بينها وبين محور الدوران وجسم المنتج عزلا تاما ، يفصل بين الساكن والدوار الفجوة الهوائية (air cap) .



شكل (2 – 4) يوضح الجزء الدوار والمبدل لماكنة تيار مستمر

3– المبدل (Commutator) :-

يكون على شكل اسطواني مثبت على محور دوران المنتج بواسطة ماسك مناسب ، يتكون من مجموعة قطع نحاسية معزولة الواحدة عن الأخرى بالمايكا أو الفايبر الصلب ، ويعزل عزلا جيدا عن محور الدوران وتثبت عليه الفرش الكربونية كما في شكل (2 – 5) .



شكل رقم (2 – 5) يوضح المبدل

4– ملفات المنتج (Armature Coils) :-

يحتوي المنتج على عدد من الملفات من سلك النحاس أو احياناً الألمنيوم ، وبأقطار مختلفة بحسب نوعية الماكنة التي سيستعمل فيها ، وتوضع هذه اللفات داخل مجاري المنتج (Armature)، وكل لفه لها بداية ونهاية توصل أطرافها إلى القطع النحاسية التي يتكون منها المبدل ، ويمكن توصيلها بطريقتين.

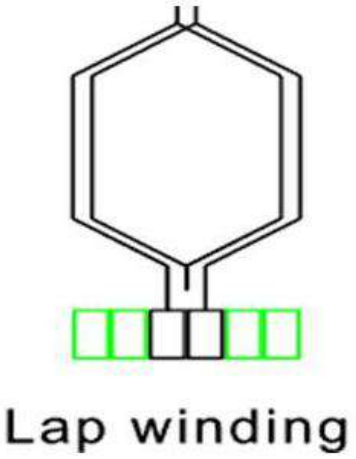
أولا – اللف ألانطباقي (Lap winding) :

توصل بداية ونهاية الملف إلى قطعتين متجاورتين من قطع التبديل ، وستكون عدد دوائر التوازي مساوية إلى عدد الأقطاب ، ويستعمل هذا النوع من اللف في المكائن التي تعمل بالجهد الواطئ والتيار العالي ، كما مبين في شكل رقم (2 – 6) ، حيث تكون عدد دوائر التوازي فيه مساوية إلى عدد الأقطاب (2p)

2p=عدد الاقطاب

عدد دوائر التوازd(عدد المسارات المتوازية) ايضا = 2p

$$2a = 2P$$

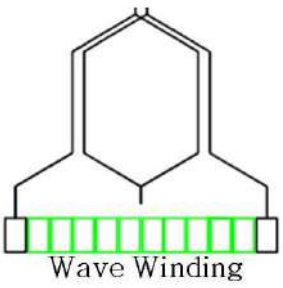


الشكل (2 – 6) يوضح اللف الانطباقي

ثانياً اللف التموجي (wave winding)

يتم توصيل بداية ونهاية الملف الى قطعتين متباعدتين بمقدار معين من القطع النحاسية للمبدل يتم تحديدها في قوانين اللف المتبعة كما مبين في الشكل (2 – 7) ، وتكون عدد دوائر التوازي (عدد المسارات المتوازية) تساوي (اثنين) بصرف النظر عن عدد الأقطاب ، ويستعمل هذا النوع من اللف في المكائن التي تعمل بالجهد العالي والتيار الواطئ .

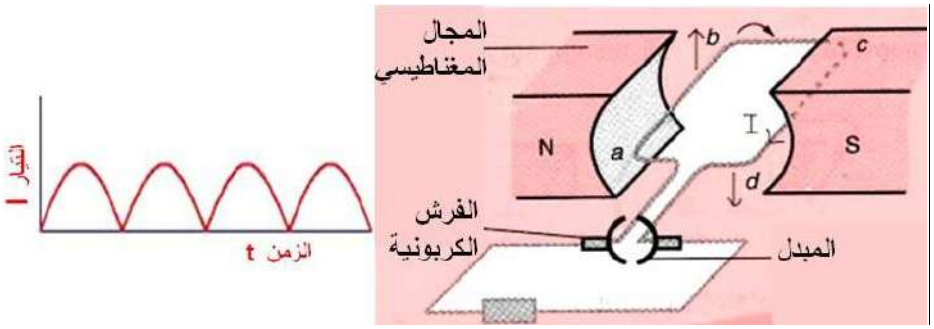
$$2a = 2$$



شكل (2 – 7) يوضح اللف التموجي

2 – 3 – مولد التيار المستمر (D.C Generator)

هو الماكنة التي تحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية ، ويعمل المولد عند دوران ملف داخل مجال مغناطيسي (الأقطاب المغناطيسية) تنشأ قوة دافعة كهربائية في الملف نتيجة لقطعه خطوط المجال المغناطيسي بحسب نظرية (فراداي) ، وتكون موجة ال ق . د. ك المتولدة في الملف على شكل موجة جيبيه ، في بداية الامر وبعد خروجها من المبدل (commutator) تكون على شكل نبضات مستمرة (تيار مستمر) وكما موضح في الشكل (2 – 8) .



شكل (2 – 8) يوضح المولد البسيط

2 – 3 – 1 حساب القوه الدافعه المتولده في المولد (E.M.F)

تحسب القوه الدافعة الكهربائية المتولدة في المعادلة الاتية: - الصيغة العامة

$$E = \frac{N}{60} \times \frac{Z}{2a} \times \emptyset \times 2P$$

(V)..... (1 – 2)

حيث ان :-

E : تمثل القوة الدافعة الكهربائية المتولدة (فولت)

N : تمثل سرعة المولد (د/د) دوره / الدقيقة

Z : تمثل عدد الموصلات في مجاري المنتج (الدوار)

Φ : تمثل الفيض المغناطيسي خط او ويبر (weber) /قطب

2p: تمثل عدد الأقطاب

2a : عدد دوائر التوازي

أ – في حالة اللف لانطباقي تكون الصيغة كما يأتي :-

$$E = \frac{N\emptyset Z}{60}$$

..... (2– 2) 2a = 2 p

ب – في حالة اللف التموجي تكون الصيغة كما يأتي :-

2a = 2

$$E = \frac{N\emptyset Z \times 2P}{60 \times 2a}$$

..... (3 – 2)

مثال 1 :

مولد تيار مستمر عدد أقطابه (8) أقطاب ، ملفوف لفا" انطباقياً ثم أعيد لفه تموجياً ، احسب القوه الدافعة المتولدة في كل حالة ، إذا علمت انه عدد الموصلات في مجاري المنتج (240) موصلا ، ومقدار الفيض المغناطيسي لكل قطب (0.04) ويبر ويدور بسرعة (1200) د/ د .

المعطيات :

2p=8 Z= 240 Ø= 0.04 Wb N= 1200 rpm E =? Lap ? Wave ?

الحل:

Lap:

$E=NZØ/60 = 1200 \times 240 \times 0.04 / 60 = 192$ Volt

Wave

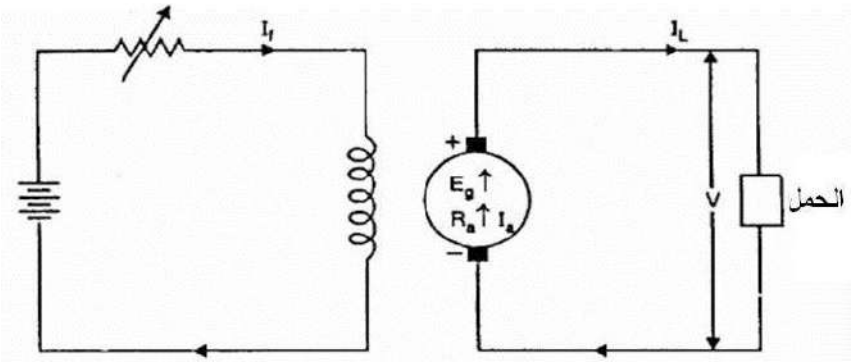
$E = N Z Ø 2P /120 = 1200 \times 240 \times 0.04 \times 8 / 120 = 768$ Volt

2 – 4 طرائق تغذيةالمجال المغناطيسى فى مكائن التيار المستمر : (Methods of Excitation)

تحتاج مولدات التيار المستمر إلى وسيلة لإثارة ملفات المجال ، وذلك لتوليد القوة الدافعة المغناطيسية لمغنطة الملفات والحصول على القوة الدافعة الكهربائية عند الدوران تستمد ملفات المجال التيار اللازم أما عن طريق مصدر خارجي ، أو من الجهد المتولد من الماكنة ذاتها ، وتنقسم مولدات التيار المستمر من حيث طرائق التغذية على نوعين هما :

2 – 4 – 1 المولدات ذات التغذية المنفصلة (Separately excited generator)

تغذي ملفات الأقطاب المغناطيسية من مصدر خارجي للتيار المستمر (بطارية أو أي مصدر آخر) كما في شكل (2 – 9) ، ومن خواص هذا النوع ان القوة الدافعة الكهربائية المتولدة تعتمد على مقدار تيار التغذية ، وعلية تتم التغذية من خلال مقاومة متغيرة وتستعمل هذه الطريقة في المجالات التي تحتاج إلى تنظيم الجهد مثل (مكائن ليونارد)



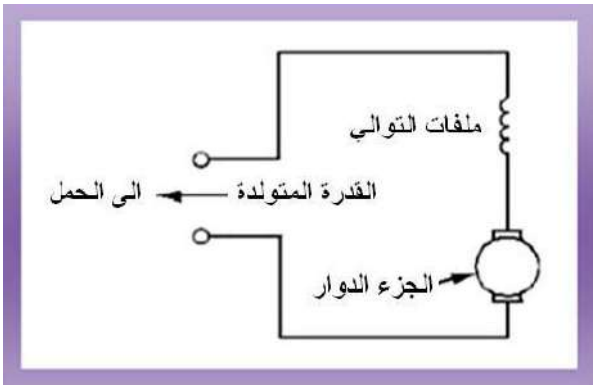
شكل (2 – 9) يمثل التغذية المنفصلة

2 – 4 – 2 المولدات ذات التغذية الذاتية (Self excited generator)

يتم تغذيه ملفات الأقطاب المغناطيسية بتيار المنتج ، حيث توصل الملفات بدائرة المنتج عن طريق الفرش الكربونية ، وتوجد ثلاث طرق لتوصيل هذه الملفات مع المنتج وعلى أساسها تتم تسمية مولد التيار المستمر وهي :-

اولا : مولد التوالى (Series generator)

توصل ملفات الأقطاب المغناطيسية (series field)(R f) على التوالي مع المنتج ،وكما في الشكل (2 – 10) ، وتكون ذات قطر كبير ، وعدد لفات قليلة لكى تتحمل تيار المنتج المار بها ، وهو تيار الحمل . ويكون الجهد الناشئ على طرفي المولد يساوي صفرا في حالة عدم وجود حمل ، لان دائرة المجال المغناطيسي تكون في هذه الحالة مفتوحة ، ويزداد الجهد تبعا لزيادة الحمل ، ويصل إلى القيمة العظمى عند الحمل الكامل ، ويستعمل هذا النوع من المولدات كمعوض للجهد المفقود في أسلاك شبكات نقل الطاقة الكهربائية للتيار المستمر



شكل (2 – 10) يمثل الدائرة الكهربائية المكافئة لمولد توالى

وتحسب القوه الدافعة الكهربائية كالاتي:

$I_a = I_L = I_{se}$ ....(4-2)

$E_a = V_L + I_a (R_a + R_{se})$ .....(5-2)

(A) (التيار الذي ينتجه المولد) تيار المنتج : Ia .

(A) تيار الحمل :I_L .

(A) تيار المجال : Ise

(V) (فرق الجهد على الحمل) جهد الحمل :V_L

(V) القوه الدافعة الكهربائية المتولدة في المنتج : Ea .

(Ω) مقاومة المنتج (أوم) : Ra.

(أوم) مقاومة لملفات الأقطاب المغناطيسية : R_{se} .

(أوم) مقاومة الحمل :Load (R_L) .

مثال 2 :

مولد تيار مستمر توالي يغذي حملا بتيار (20) أمبير وبجهد (220) فولت احسب القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في المنتج ، إذا علم أن مقاومة المنتج (0.02) أوم ومقاومة ملفات الأقطاب المغناطيسية (0.01) أوم

المعطيات:

$Ra = 0.02\Omega \quad R_{se} = 0.01 \quad Ia = I_L = I_{se} = 20A \quad V_L = 220V \quad Ea = ?$

الحل

$Ea=VL+Ia(Ra+Rse)$

$E_a = 220 + 20 (0.02 + 0.01)$

$E_a = 220 + 20 \times 0.03$

$E_a = 220 + 0.6 = 220.6$ volt القوة الدافعة الكهربائية المتولدة

مثال 3 :

مولد تيار مستمر توالي يغذي حملا متكونا من (22) مصباحا قدرة كل مصباح (100) واط ، وبجهد 220 فولت ، احسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية المتولدة ، إذا علم إن مقاومة المنتج (0.2) أوم مع إهمال مقاومة ملفات الأقطاب المغناطيسية (مقاومة التوالي) .

المعطيات :

E_a = ? 22 مصباح ، قدرة كل مصباح (100) واط ، V_L = 220v ، R_a= 0.2 Ω

الحل :

$E_a = V_L + I_a (R_a + R_{se})$

R_{se} = مهملة صفر

$P_L = I_L V_L$

Ea = VL + Ia Ra

$22 \times 100 = 2200$ واط قدرة الحمل

$$I_L = \frac{PL}{VL} = \frac{2200}{220} = 10 \text{ A}$$

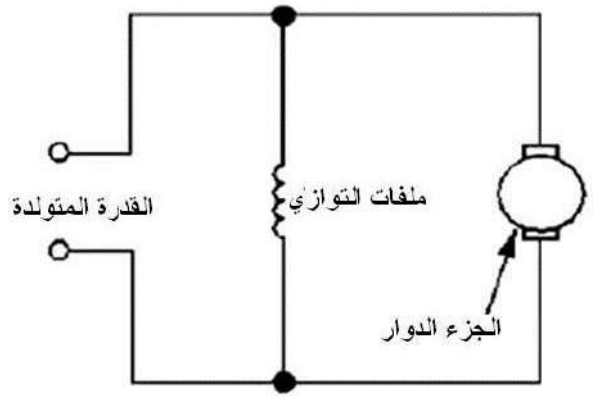
$I_a = I_L = I_{se} = 10$ A

$E_a = 220 + 10 \times 0.2$

$E_a = 220 + 2 = 222$ V القوة الدافعة الكهربائية المتولدة

ثانيا : مولد التوازي (shunt generator)

توصيل ملفات الأقطاب المغناطيسية (Rsh) (shunt field)على التوازي مع ملفات المنتج كما في شكل (2 -11) وتكون ذات عدد كبير من اللفات ، وذات مقطع صغير لان التيار المار خلالها قليل نسبيا ، ويكون الجهد على طرفي المولد في حالة عدم الحمل في نهايته العظمى ، لان دائرة المجال المغناطيسي مغلقة ، ولهذا لا يتغير الجهد على طرفي المولد في حالة وجود حمل أو عدم وجوده ويستعمل هذا النوع من المولدات في الحالات التي يتطلب فيها جهدا ثابتا كما في كهربائية السيارة والطلاء الكهربائي ، وتغذية مولدات التيار المتناوب وتحسب القوة الدافعة الكهربائية المتولدة كالاتي :



شكل (2 - 11) يوضح مولد توازي

$$Ea = VL + Ia\,Ra \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6 - 2)$$

$$V_{sh} = VL = I_{sh}\,R_{sh} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7\text{-}2)$$

$$Ia = I_L + Ish \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8\text{-}2)$$

$$I_{sh} = V_{sh} / R_{sh} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9\text{-}2)$$

مثال 4 :

مولد توازي يغذي حملا بتيار قيمته (300) أمبير ، عند جهد مقداره (240) فولت ، فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج (0.02) اوم ، ومقاومة ملفات الأقطاب (60) اوم ، احسب القوة الدافعة الكهربائية المتولدة .

المعطيات:

$E_a = ?$ ، $I_L = 300A$ ، $V_L = 240\ v$ ، $R_a = 0.02\ \Omega$ ، $R_f = 60\ \Omega$

الحل :

$$I_{sh} = \frac{Vsh}{Rsh} = \frac{VL}{Rsh} = \frac{240}{60} = 4\ A$$

$$I_a = I_L + I_{sh} = 300 + 4 = 304\ \ A$$

$$E_a = V_L + I_a\,R_a$$

$$E_a = 240 + 304 \times 0.02$$

$$E_a = 240 + 6.08$$

$$Ea = 246.08 \quad volt$$

مثال 5 :

مولد توازي (تيار مستمر) يغذي حملا قدرته (4068) واط ، بجهد (226) فولت ، ومقاومة المنتج فيه (0.2) اوم ، ومقدار القوة الدافعة الكهربائية المتولدة (230) فولت ، احسب مقاومة ملفات الأقطاب المغناطيسية :-

المعطيات :

$R_{sh} = ?$ ، $E_a = 230$ v ، $P_L = 4068$ واط ، $V_L = 226$ v ، $R_a = 0.2\ \Omega$

الحل :

$$I_L = \frac{PL}{VL} = \frac{4068}{226} = 18A$$

$$E_a = V_L + I_a R_a$$

$$230 = 226 + I_a \times 0.2$$

$$4 = I_a \times 0.2$$

$$Ia = 20\ A$$

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

$$20 = 18 + I_{sh}$$

$$I_{sh} = 20 - 18 = 2\ A$$

$$V_L = V_{sh} = I_{sh} R_{sh}$$

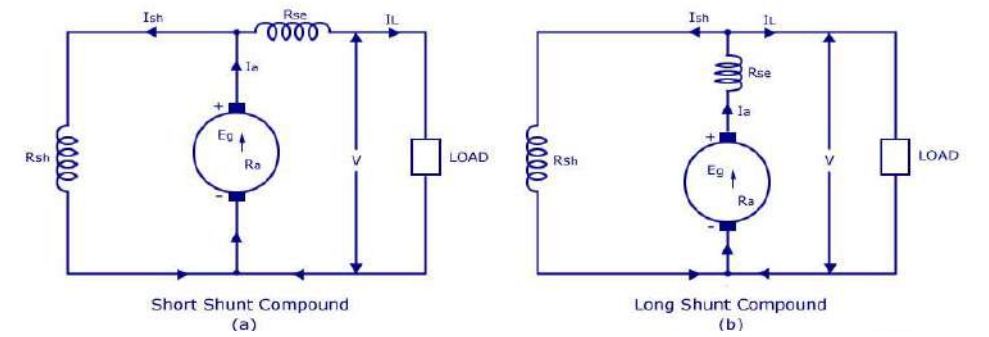
مقاومة ملفات الاقطاب المغناطيسية :

$$Rsh = \frac{Vsh}{Ish} = \frac{226}{2} = 113$$ اوم

ثالثا : المولد المركب (Compound generator)

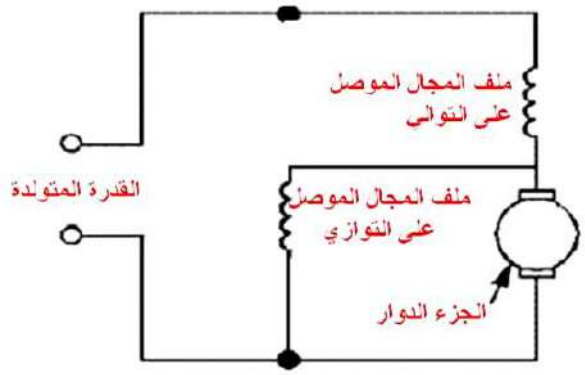
يحتوي على ملفات التوالي ،وملفات التوازي معا ، توصل ملفات التوازي أما مباشرة مع أطراف المنتج ، وتسمى هذه الطريقة بالمولد القصير (short – Gen)، او توصل ملفات التوازي عبر الأطراف للدائرة الخارجية (المنتج مع ملفات التوالي) وتسمى بالمولد الطويل (Long- Gen)، كما في الشكل (2 – 12) . وتعتمد قطبيه المولدات ذات الإثارة الذاتية على المغناطيسية المتبقية توصل ملفات المجال مع المنتج بحيث أن تيار المجال يساعد المغناطيسية المتبقية في الماكنة

وأي توصيل معكوس لملفات المجال سوف يتسبب في الغاء المغناطيسية المتبقية ، وبناء علية لا يتولد جهد على أطراف الماكنة ، ويكون المولد المركب على نوعين :-



شكل (2 – 12) يوضح نوعى المولد المركب

أولا – مولد مركب قصير – Short : كما فى شكل (2 – 13)



شكل (2 – 13) يوضح المولد المركب القصير

R_{se}- مقاومة التوالي (أوم).

R_{sh}- مقاومة ملفات التوازي (أوم).

I_{sh}- تيار التوازي (أمبير).

I_{se}- تيار التوالي (أمبير).

$$E_a = v_L + I_a R_a + I_L R_{se} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10 - 2)$$

واحيانا يضاف هبوط الجهد على الفرش الكربونية للمعادلة (2 – 10) تصبح :

$$E_a = V_L + i_a R_a + I_L R_{se} + \text{brush drop}$$

$$I_a = I_L \pm I_{sh}$$

$$Ish = Ia - IL \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11 - 2)$$

$$Ish = \frac{VL + IL\,Rse}{Rsh} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (12 - 2)$$

ثانياً – مولد مركب طويل Long Generator:

كما فى شكل (2 – 14) يمكن استخراج (ق. د .ك) كما يأتي :

$$E_a = V_L + I_a (R_a + R_{se}) \quad \text{.....(13 - 2)}$$

واحيانا يضاف هبوط الجهد على الفرش الكربونية للمعادلة (2 – 13) تصبح :

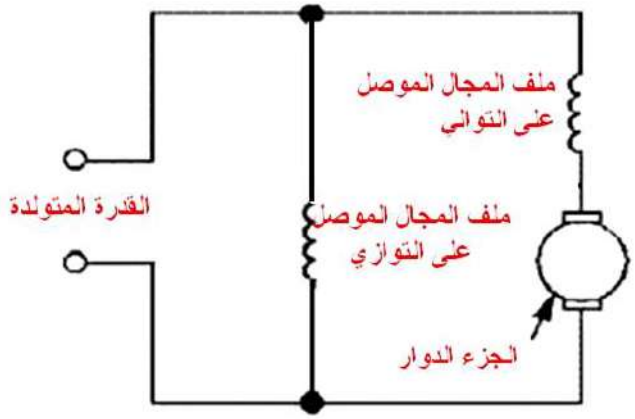
$$E_a = V_L + I_a \ (R_a + R_{se}) + \text{brush drop} \quad \text{..... (14- 2)}$$

في اكثر الاحيان تهمل المفاقيد الحاصلة في الفرش الكربونية (brush drop) لذا نستعمل معادلة رقم (2 - 13)

$$I_a = I_L + I_{sh} \quad \text{..... (15 - 2)}$$

$$I_{se} = I_a \quad \text{..... (16 - 2)}$$

$$I_{sh} = V_L / R_{sh} \quad \text{..... (17 - 2)}$$



شكل (2– 14) يمثل الدائرة الكهربائية المكافئة لمولد مركب طويل

مثال 6 :

مولد مركب طويل يغذي حملا بتيار (100) A ، عند جهد (230) فولت ، احسب القوة الدافعة الكهربائية المتولدة ، إذا كانت مقاومة المنتج (0.04) اوم ، ومقاومة ملفات التوالي (0.01) اوم ومقاومة ملفات التوازي (115) اوم .

المعطيات :

R_{sh} = ، I_L = 100 A ، V_L = 230 v ، R_a = 0.04 Ω ، R_{se} = 0.01 Ω
115 Ω

الحل :

$E_a = V_L + I_a (R_a + R_{se})$

$E_a = 230 + I_a (0.04 + 0.01)$

$I_a = I_L + I_{sh}$

$I_{sh} = \frac{VL}{R\,sh}$

$I_{sh} = \frac{230}{115} = 2A$

$I_a = 100 + 2 = 102$ A

$E_a = 230 + 102 \times 0.05$

$E_a = 230 + 501 = 235.1$ volt القوة الدافعة الكهربائية المتولدة

مثال 7 :

مولد مركب قصير يغذي حملا قدرته (22) كيلو واط ، وبجهد (220) فولت ، مقاومة المنتج فيه (0.2) اوم ، ومقاومة التوالي (0.1) اوم ، ومقاومة ملفات التوازي (115) اوم ، احسب القوة الدافعة الكهربائية المتولدة .

المعطيات :

R_{sh} = 115 ، P_L = 22 Kw ، V_L = 220 v ، R_a = 0.2 Ω ، R_{se} = 0.1 Ω
E_a = ?، Ω

الحل :

$E_a = V_L + I_a R_a + I_L R_{se}$

$P_L = 22 \times 1000 = 22000$ W

$I_L = \frac{PL}{VL} = \frac{22000}{220} = 100$ A

$$I_{sh} = \frac{VL + IL\,Rse}{Rsh} = \frac{220+100\times0.1}{115} = 2A$$

$I_a = IL + Ish = 100 + 2 = 102$ A

$E_a = V_L + I_a R_a + I_L R_{se}$

$E_a = 220 + 102 \times 0.2 + 100 \times 0.1$

Ea = 220 + 20.4 + 10 = 250.4 volt

2 – 5 الخسائر لمولدات التيار المستمر (Losses in D.C. Generator)

عند تحويل الطاقة الميكانيكية الداخلة في المولد الى طاقة كهربائية على أطرافه يفقد جزءا من هذه الطاقة ، وتتحول الطاقة المفقودة عاده الى طاقة حرارية في المقاومة ، والحرارة المتولدة تعمل على تسخين الماكنة مما قد يتسبب عند تلف المواد العازلة ، وحدوث دوائر قصر بين الملفات ، ويؤدي هذا إلى تلف الماكنة نفسها لذلك يجب العمل على تصريف الحرارة والحد من الفقدان في الماكنة ، حتى نحصل على معامل جودة (كفاءة) عالية ، وارتفاع الكفاءة يعني خفض تكاليف تشغيل الماكنة .

وفي أثناء تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية بواسطة المولد ، يفقد جزء من الطاقة في الدائرة المغناطيسية وجزء في الدائرة الكهربائية ، وكذلك جزء في العملية الميكانيكية (الاحتكاك) عند دوران الجزء الدوار . ويمكن تقسيم المفاقيد على النحو الآتي :-

أ- الخسائر في الدائرة المغناطيسية (خسائر الحديد Iron Losses) ويشمل الفقدان في التخلف المغناطيسي ، والفقدان في التيارات الأعصارية . ويعتبر من المفاقيد الثابتة .

ب - الخسائر في الدائرة الكهربائية (خسائر النحاس Cupper Losses) ينشا نتيجة لمرور التيار في اجزاء الدائرة الكهربائية في ملفات الجزء الدوار وملفات الاقطاب المغناطيسية واقطاب التوحيد وهو من المفاقيد المتغيرة وتُحسب :

المفاقيد النحاسية = $Pcu \quad I^2 \times R$ ..... (18- 2)

ج – الخسائر الميكانيكية (الاحتكاك) Mechanical Losses

وهو ينشأ نتيجة دوران الجزء الدوار بين محور الدوران والحوامل التي يستند عليها فضلا عن الاحتكاك (Friction) الموجود بين الفرش الكربونية وعضو التبديل ، ويعتمد على سرعة دوران المنتج (الجزء الدوار) ، ومساحة السطح الخارجي ، ومعامل الاحتكاك ، والشكل (2- 15) يبين مخطط مسار القدرة في المولد .

شكل (2 – 15) يوضح مخطط مسار القدرة

(فقدان الحديد (الخسائر الحديدية P_i

$P_o = E_a\, i_a$ .....(19-2)

القدرة الخارجة $P_o = P_{in} - \{ (P_{mech} + P_i) + Pcu \}$ ....(20-2)

Pg = قدرة المنتج المتولدة في الفجوة الهوائية

Pin = (قدرة حصانيه) (قدرة ميكانيكية) القدرة الداخلة

1 Hp = 746 W

Po = القدرة الخارجة

$(V_L\, I_L$) القدرة الخارجة = o/ P

6 – 2 حساب الكفاءة (معامل الجودة) Efficiency :

بالرجوع إلى مسار القدرة في داخل مولد التيار المستمر يمكن حساب الكفاءة الكلية على ما يأتي :

$$\eta = \frac{o/P}{i/P} = \frac{VL}{H_P} \times \frac{I_L}{746}$$ ..... (21- 2)

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_o}{(P_o + Losses)}$$ ..... (22- 2)

$$\eta = \frac{(P_{in} - Losses)}{P_{in}} = 1 - (\frac{Losses}{P_{in}})$$ ..... (23-2)

مثال 8 :

مولد تيار مستمر مركب طويل ، يغذى حملا قدرته (22) كيلو واط عند جهد (220) فولت ، فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج (0.02) أوم ، ومقاومة التوالي (0.01) أوم ، ومقاومة التوازي (110) أوم ، احسب كفاءة المولد إذا كانت المفاقيد الحديدية والميكانيكية (2500) واط .

المعطيات :

R_{se} ، R_{sh} = 110 Ω ، n = 1000 r.p.m ، P_{out}= 22 Kw ، V_L = 220 v
. R_a = 0.02 Ω ، 0.01 Ω

$P_i + P_{mec}$ = 2500 W

الحل :

$$I_L = \frac{Pout}{VL} = \frac{22\times1000}{220} = 100A$$

$I_{sh} = V_{sh} / R_{sh} = V_L / R_{sh} = 220/110 = 2$ A

$I_a = I_L + I_{sh} = 100 + 2 = 102$ A

$P_{cu} = I^2_a \ R_a + I^2_a \ R_{se} + I^2_{sh} \ R_{sh}$

$P^{cu} = (102)^2 \times 0.02 + (102)^2 \times 0.01 + (2)^2 \times 110$

$P_{cu} = 752.12$ watt

Losses $= P_{cu} + (P_i + P_{mech.})$

Losses $= 752.1 + 2500 = 3252.1$ watt

$$\eta = \frac{P\ out}{P\ out+Loses} = \frac{22000}{22000+3252.1} = 87\ \%$$

مثال 9 :

مولد توازي للتيار المستمر يغذي حملا بتيار (20) أمبير ، وبجهد (200) فولت ، أحسب كفاءة المولد إذا علم أن مقاومة المنتج (0.02) أوم، ومقاومة التوازي (100) أوم، والمفاقيد الميكانيكية والحديدية (201) واط .

المعطيات :

$R_{sh} = 100\ \Omega$ ، $R_a = 0.02\ \Omega$ ، $\eta = ?$ ، $V_L = 200v$ ، $I_L = 20$ A

$P_i + P_{mech} = 201$ W

الحل :

$$I_{sh} = \frac{Vsh}{Rsh} = \frac{VL}{Rsh} = \frac{200}{100} = 2A$$

$I_a = I_L + I_{sh} = 20 + 2 = 22$ A

$P_{cu} = I^2_a \ R_a + (I_{sh})^2 \ R_{sh} = (22)^2 \times 0.02 + (2)^2 \times 100 =$

$P_{cu} = 9.68 + 400 = 409.68$ watt

Losses $= P_{cu} + (P_i + P_{mech}) = 409.68 + 201$

Losses $= 610.68$ W

Pout $= IL \ . \ VL = 20 \times 200 = 4000$ watt واط

$$\eta = \frac{P\ out}{P\ out+Loses} = \frac{4000}{4000+610.68} = 86.7\ \%$$

2 – 7 محركات التيار المستمر Direct Current Motors

يتكون محرك التيار المستمر من الأجزاء نفسها التي يتكون منها مولد التيار المستمر .

2 – 7 – 1 نظرية الاشتغال :

عند وضع سلك حاملاً للتيار الكهربائي داخل مجال مغناطيسي فإن قوة ميكانيكية تؤثر في ذلك السلك ، ويعتمد مقدارها على كثافة الفيض المغناطيسي وطول السلك وشدة التيار ، كما في الشكل (2 –16) (A – B – C)

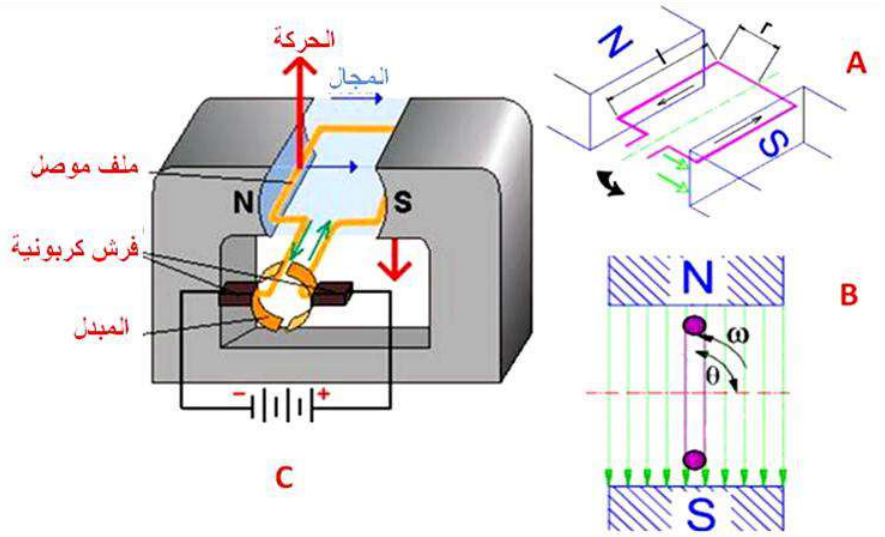
$$F = B\,L\,I \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (24 - 2)$$

F- القوة الميكانيكية (نيوتن) في حالة الزاوية (90^{o})

B- كثافة الفيض (ويبر / $م^{2}$)

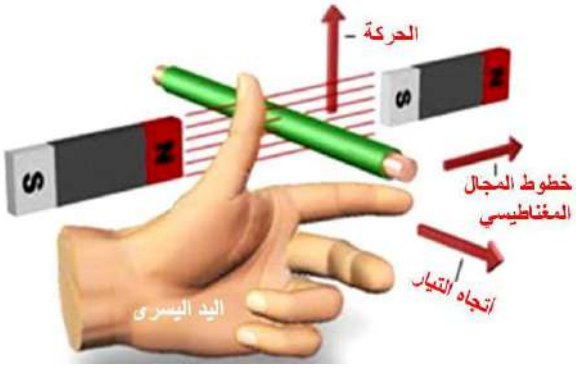
L- طول السلك

I- شدة التيار (أمبير)



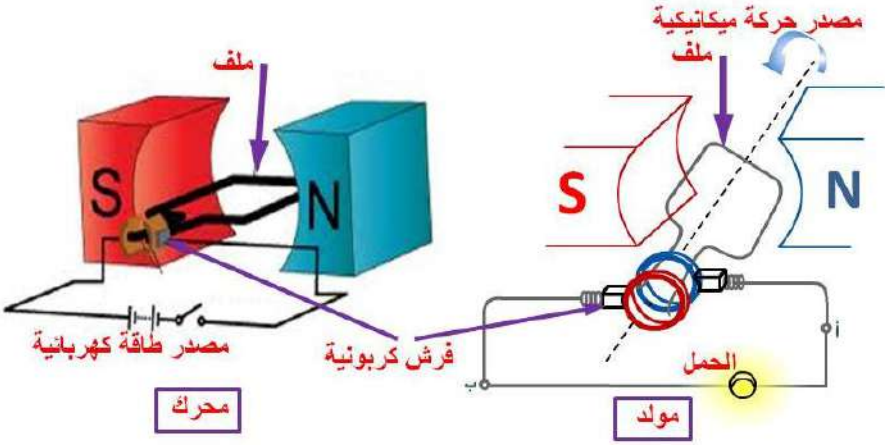
شكل (2 - 16) يوضح تأثير قوى خطوط المجال المغناطيسي

عند وضع سلك موصل على شكل ملف يحمل تيارا كهربائيا ليدور حول محور معين داخل مجال مغناطيسي بقطبين ، فإن اتجاه الخطوط المغناطيسية حول السلك يكون معاكسا لاتجاه الخطوط الناتجة من الأقطاب المغناطيسية من إحدى جهتي طرف الملف وتتفق معها من الجهة الثانية وبسبب ذلك تنتج قوة ميكانيكية تؤدي الى تحريك الملف باتجاه يمكن ان تحديده وفقا لقاعدة اليد اليسرى كما في الشكل (2– 17) .



شكل (2 - 17) يوضح قاعدة اليد اليسرى لبيان أتجاه خطوط المجال المغناطيسي والتيار والحركة

الاختلاف بين المحرك والمولد يتضح من الشكل (2 – 18)



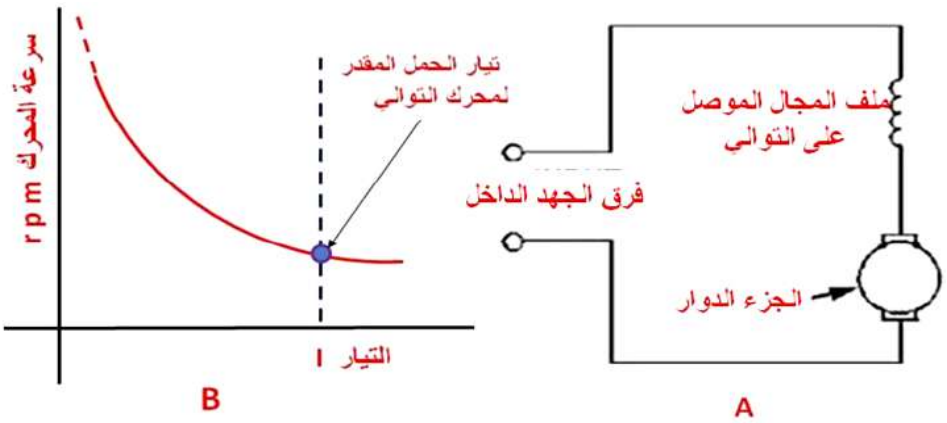
الشكل (2 – 18) يوضح مقارنة بين المولد والمحرك

2 - 7 – 2 أنواع محركات التيار المستمر Types of dc motors

أولا : محرك التوالى Series Motor

توصل ملفات الأقطاب المغناطيسية على التوالي مع ملفات المنتج كما في شكل (2 – 19 – A) وتكون ذات عدد قليل من اللفات ومقطع سميك ، ويستعمل المحرك في الحالات التي يتطلب فيها عزم دوران ابتدائي عال ، كما في تحريك القطارات الكهربائية والرافعات ، وتشغيل بادئ محرك السيارة ، ويمكن تغير اتجاه الدوران بعكس أطراف ملفات الأقطاب المغناطيسية .

لا يمكن تشغيل المحرك بدون حمل لان سرعته تتزايد عند تقليل الحمل وتصل الى ما لانهاية عند انعدام الحمل مما يؤدى الى تلف المحرك لذا يفضل ان يتصل المحرك مباشرة مع الحمل (بواسطة محور دوران) ويبين ذلك الرسم البياني في شكل (2 - 19 - B) .



شكل (2 – 19) يوضح الدائرة الكهربائية المكافئة لمحرك توالى مع الرسم البياني

1– يتضح من الرسم ان ملفات التوالي (series field) على التوالي مع ملفات المنتج (ARMATURE) .

2 – يلاحظ من منحني الخواص ان السرعة تزداد بمقدار كبير جدا عند اللاحمل لذلك لا يفضل استخدام محرك التوالي عند عدم وجود حمل حتى لا يتسبب في وجود مشكلات ميكانيكية متعلقة بزيادة السرعة :

لا يجاد القوة الدافعة الكهربائية المعاكسة للجهد (جهد المصدر) كما يلي :

$$E_b = V_{in} - I_a (R_a + R_{se}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (25 -2)$$

$$I_a = I_{in} = I_{se} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (26 -2)$$

I_{in} : التيار المسحوب من قبل المحرك تيار المصدر (A).

I_{se} : تيار المجال التيار المار في ملفات الأقطاب المغناطيسية (مق التوالي) (A).

I_a : تيار المنتج (A).

R_{se} : مقاومة التوالي (Ω).

R_a : مقاومة المنتج (Ω).

E_b : القوة الدافعة الكهربائية المعاكسة (v).

V_{in} : فولتية المصدر (v).

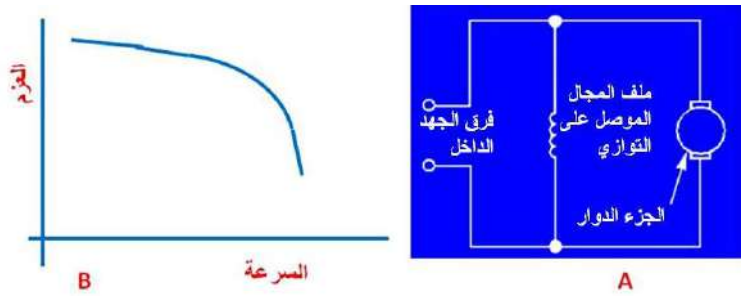
العزم والسرعة فى المحركات :

العزم :-هو تدوير قوة (F)حول محور معين ويمكن قياسه بحاصل ضرب القوة ونصف القطر فى نقطة تأثير القوة او (هو نتيجة القوة التي تعمل على تدوير الجزء الدوار فى اتجاه معين)

نفرض ان (r) تمثل نصف قطر الجزء الدوار (متر)

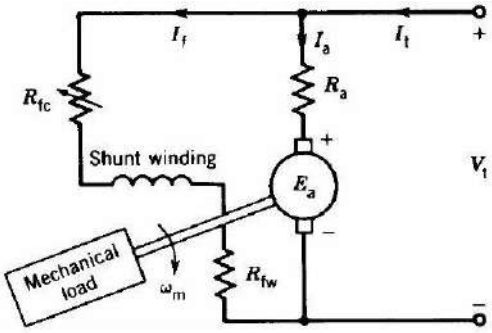
(F) تمثل القوة المؤثرة على تدوير الجزء الدوار (نيوتن) وبسرعة (n) RPM (د / د) .

الشكل (2– 20 – A) يمثل الدائرة الكهربائية المكافئة لمحرك التوازي ، والشكل (B) يمثل المنحني البياني للعلاقة بين السرعة والعزم .



شكل (2 – 20) يوضح الدائرة الكهربائية المكافئة لمحرك التوازي، والمنحنى البياني بين السرعة والعزم

في شكل (2 – 21) يوضح قياس العزم بإضافة حمل ميكانيكي على الجزء الدوار للمحرك



شكل (2 – 21) يوضح الحمل الميكانيكي على الجزء الدوار

T : العزم نيوتن . متر

n : السرعة دورة / دقيقة

سيكون العزم (T) يساوى القوة × ذراعها

$T=F\times r$ (N.M). .....(27 - 2

والشغل المنجز (W) لهذه القوة ولدورة واحدة :-

$W=Force \times Distance$ (joules)

$W=F\times 2\times 3.14\times r$ joules ……. (28 – 2)

القدرة المنتجة P=Watt

$Watt=joule/second$ …… (29 – 2)

القدرة المنتجة (الحاصلة) $P=F\times 2\times 3.14\times r\times n$ J / sec

$P=F\times r\times 2\times 3.14\times n$

$2\times 3.14\times n$ =(w) السرعة الزاوية

$F\times r$ = العزم

$P=T\times w$ J/SEC =Watt

Power devlopd= $Ta\times 2\times 3.14\times n$ ……....(30-2)

$E\times Ia = Ta\times 2\times 3.14\times n$ ……..…. (31-2)

$n\times Ø\times Z\times(2P/2a)\times I_a = Ta\times 2\times 3.14\times n$

$Ta=0.159\times Ø\times z\times Ia\times(2p/2a)$ ……..(32- 2)

Taعزم المنتج (الجزء الدوار)

Power developed تعنى القوة المتولدة (المنتجة)

مثال 10 :

محرك توازى ذو اربعة اقطاب والفيض المغناطيسي لكل قطب (0.02) ويبر جد العزم الناشئ للجزء الدوار اذا كان تيار المنتج 40 امبير وعدد الاسلاك في مجارى الجزء الدوار 800 سك وملفوف لفا انطباقي

المعطيات :

(2P) عدد الاقطاب =4

(Ø) الفيض المغناطيسي لكل قطب =0.02 ويبر

(Ia) تيار المنتج = 40 امبير

(z) وعدد الاسلاك في مجارى الجزء الدوار =800 سلك

(Ta) العزم =؟

الحل :-

$Ta=0.159 \times Ø \times z \times Ia \times (2P/2a)$

$Ta = 0.159 \times 0.02 \times 800 \times 40 \times 1$

$2P=2a$ اللف الانطباقي

$T_a = 101.76$ (N.M)

العزم الناشئ للجزء الدوار (T_a)

مثال 11 :

محرك توالي مقاومة ملفات التوالي (0.2) أوم ، ومقاومة المنتج (0.1) أوم ،أحسب القوة الدافعة الكهربائية العكسية ، إذا علم إن قيمة التيار الذي يسحبه (50) أمبير ، وجهد المصدر (220) فولت.

المعطيات : $V_{in} = 220$ v ، $I_{in} = 50$ A ، $E_b = ?$ ، $R_a = 0.1\ \Omega$ ، $R_{se} = 0.2\ \Omega$

الحل:

$E_b = V_{in} - I_a (Ra + R_{se})$

$I_a = I_{in} = I_{se} = 50$ A

$E_b = 220 - 50\ (0.1 + 0.2)$

$E_b = 220 - 50 \times 0.3$

$E_b = 220 - 15$

$E_b = 205$ volt القوة الدافعة الكهربائية العكسية

ثانيا : محرك التوازي D.C Shunt motor :

توصل ملفات الأقطاب المغناطيسية (shunt field) بالتوازي مع المنتج عن طريق الفرش الكربونية ، وتكون ملفات الأقطاب المغناطيسية ذات عدد كبير من اللفات ومساحة مقطع صغير للحصول على مقاومة عالية نسبيا ، ولذلك فأن سرعة المحرك لا تتغير بتغير الحمل ، وعلى هذا الأساس فهو يستعمل في الحالات التي تتطلب سرعة ثابتة وعند تغير الحمل مثل القاطرات الكهربائية والمصاعد ومكائن الطباعة ومكائن صناعة الورق .

$Eb = Vin - Ia \times Ra$ 33- 2

$Ia=Iin-Ish$ 34- 2

$Ish =Vsh/Rsh$ 35- 2

$Vin = Vsh$

لحساب سرعة المحرك يمكن استخدام المعادلة (2- 36) يتضح منها ان السرعة تتناسب عكسيا
مع الفيض المغناطيسي

$$n = \frac{V_{in}}{K_b \, \emptyset} \quad r.p.m \quad \ldots\ldots \quad (36\text{-}2)$$

مقدار ثابت : Kb

$$K_b = \frac{Z \times 2P}{60 \times 2a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (37\text{-}2)$$

لحساب القوة الدافعة الكهربائية العكسية المتولدة (Eb) كالاتي:

Eb ق د ك العكسية (فولت)
Vin فولتية المصدر (فولت)
Ia تيار المنتج (امبير)
Ra مقاومة المنتج (اوم)
Iin التيار الذى يسحبه المحرك (امبير)
Ish التيار المار فى مقاومة التوازي (امبير)
Rsh مقاومة التوازي (اوم)
n سرعة المحرك (د/ د) (rpm)
Kb مقدار ثابت
Ø الفيض المغناطيسي اما ويبر (weber) او خط (lines)
Z عدد الموصلات فى مجارى الجزء الدوار
2P عدد اقطاب المحرك
2a عدد دوائر التوازي

مثال 12 :

محرك توازي يعمل على جهد (220) فولت ويسحب تيار (22) أمبير ، فإذا كانت مقاومة ملفات التوازي (110) أوم ، ومقاومة المنتج (0.2) اوم ، أحسب القوة الدافعة الكهربائية العكسية .

المعطيات

$E_b = ?$ ، $V_{in} = 220$ ، $I_{in} = 22$ ، $R_{sh} = 110\ \Omega$ ، $R_a = 0.2\ \Omega$

الحل :

$E_b = V_{in} - I_a R_a$

Vin =Vsh

(تيار التوازي) $I_{sh} = V_{in} / R_{sh} = 220 / 110 = 2A$

$I_a = I_{in} - I_{sh} = 22 - 2 = 20$ A تيار المنتج

$E_b = 220 - 20 \times 0.2 = 220 - 4 = 216$ volt القوة الدافعة الكهربائية العكسية

مثال 13 :

محرك توازي ذو أربعة أقطاب يعمل على مصدر (220) فولت ، وعدد الموصلات في المنتج (1000) ، وملفوف لف نموذجي ، والتيار الذي يسحبه المحرك (52) أمبير والفيض المغناطيسي لكل قطب (0.02) ويبر ومقاومة المنتج (0.2) أوم ، ومقاومة التوازي (110) أوم أحسب سرعة المحرك .

$\Phi = 0.02$ ، $V_{in} = 220$ v ، $2P = 4$ ، $Z = 1000$ ، تموجي $I_{in} = 52$ A ، wb

$R_a = 0.2\ \Omega$, $n = ?$ $Rsh = 110\ \Omega$

الحل :

$Vin = Vsh$

$E_b = V_{in} - I_a R_a$

$I_{sh} = Vsh / R_{sh} = 220/110 = 2A$

$I_a = Iin - I_{sh} = 52 - 2 = 50$ A

$Eb = 220 - 50 \times 0.2 = 210$ v

$$Eb = \frac{nZ\emptyset 2P}{120}$$

$$210 = \frac{n \times 1000 \times 0.02 \times 4}{120}$$

$$n = \frac{210 \times 120}{1000 \times 0.02 \times 4}$$

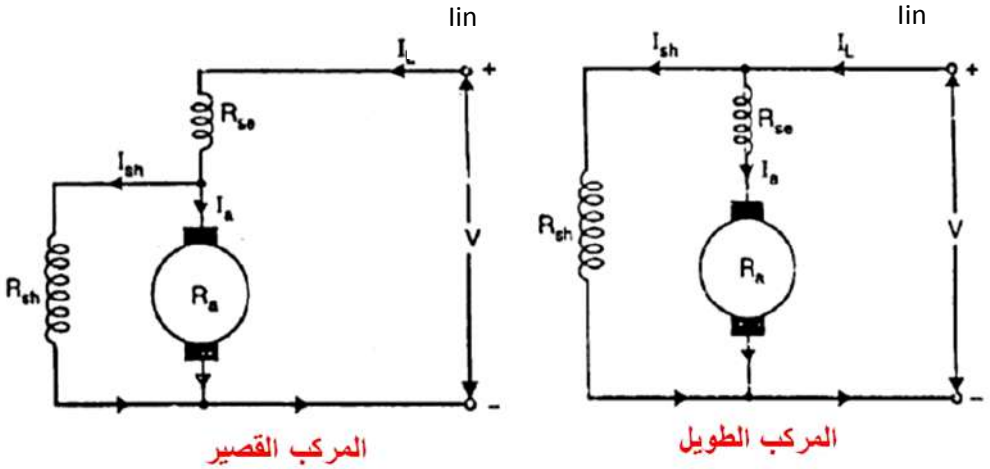
n سرعة المحرك دورة / الدقيقة

$=315$

ثالثا : المحرك المركب Compound D.c Motor

المحرك المركب هو أساس محرك توازي أضيف إليه ملفات توالي يمر فيه تيار المصدر في المحرك القصير او تيار المنتج في المحرك الطويل كما في الشكل (2 - 22) بحيث يؤدي تأثير المجال المغناطيسي الذي تعطيه هذه الملفات في المجال المغناطيسي لملفات التوازي ، وبذلك يكتسب المحرك خصائص معينة بالنسبة للسرعة والعزم ويمكن استخدام

المحرك المركب للحصول على عزم ابتدائي عالٍ وسرعة ثابتة لا تتأثر بشكل واسع بتغير الحمل ، كما في تحريك القاطرات والباصات الكهربائية ومكائن الطباعة .



شكل (2 – 22) يوضح الدائرة الكهربائية المكافأة للمحرك المركب (الطويل والقصير)

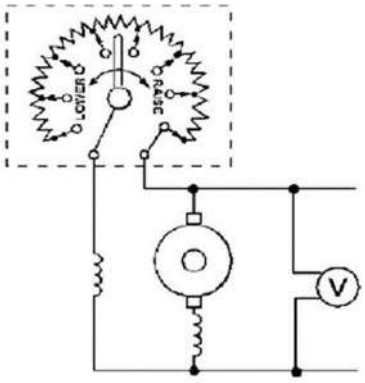
2 – 8 – تنظيم السرعة في محركات التيار المستمر: D.C Motor Speed Control

عند استخدام محركات التيار المستمر في الأغراض الصناعية يتطلب السيطرة على بدء حركتها وتنظيم سرعتها بشكل يلائم متطلبات العمل .

والسرعة تتغير أما عن طريق مقاومة متصلة مع المنتج أو عن طريق الجهد المسلط على أطراف المحرك ، وأما عن طريق تغير الفيض المغناطيسي عن طريق دائرة المجال ، ويتشابه كل من محرك التوازي والمركب في طرق تنظيم السرعة .

2 – 8 – 1– إستخدام مقاومة متغيرة:

توصل مقاومة متغيرة بالتوالي مع دائرة المنتج ، فتتغير السرعة بتغيير قيمة المقاومة بواسطة مفتاح يتحكم بقيم المقاومة المتغيرة ومن عيوب هذه الطريقة تقليل كفاءة المنظومة ككل ، وكما يوضح في الشكل (2 – 23) .وتعتبر من الطرق القديمة اما حاليا تستعمل الثايروسترات او ما يسمى (الكترونيات القدرة)فى السيطرة على سرعة المحركات ان كانت ذات تيار متغير او مستمر وبكفاءة عالية



شكل (2 – 23) يوضح تنظيم سرعة محرك تيار مستمر باستخدام مقاومة على التوالي مع المنتج

2 – 8 –2– تنظيم السرعة بالتحكم في الجهد المسلط:

يمكن تنظيم سرعة محرك التوازي بالتحكم في مقدار الجهد المسلط عليه وكما هو الحال في توصيلة (وورد ليونارد). إلا إن هذه الطريقة ذات كلفة عالية.

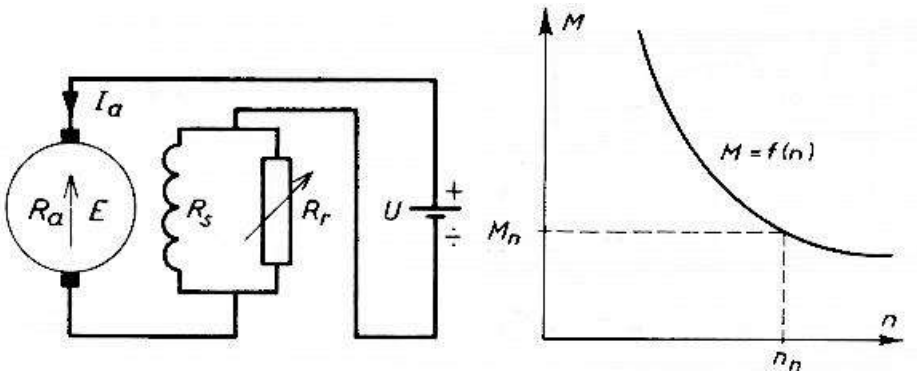
2 – 8 – 3 – تنظيم السرعة عن طريق المجال:

تعد هذه الطريقة من الطرق البسيطة والقليلة الكلفة ، إذ تستخدم مقاومة تنظيم المجال بقدرة منخفضة، وعن طريقها يتم التحكم في تيار المجال ، ومن ثم الفيض المغناطيسي .

2 – 8 – 4 – تنظيم السرعة لمحرك التوالي:

أ- توصيل مقاومة بالتوالي مع دائرة المحرك ، يمكن تغير سرعة المحرك بإضافة مقاومة بالتوالي مع دائرة المنتج .

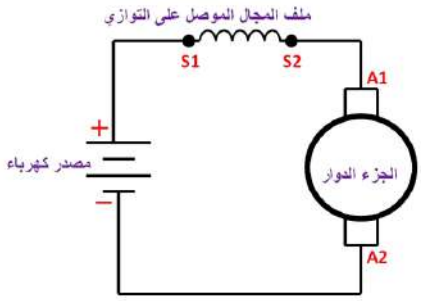
ب- توصيل مقاومة على التوازي مع ملفات المجال ، إن التحكم في قيمة تيار المجال لا يأتي إلا عن طريق توصيل مقاومة على التوازي مع ملفات المجال ، وبذلك نستطيع التحكم في تيار المجال ، ومن ثم في سرعة المحرك ، كما في الشكل (2 – 24) .



الشكل رقم (2 – 24)المقاومة (Rr) تتحكم بسرعة المحرك بواسطة تغيير المجال المغناطيسى فى ملفات الاقطاب المغناطيسية (Rse)

2 – 9 عكس السرعة لمحركات التيار المستمر:

يتم عكس أتجاه الدوران بعكس أتجاه التيار في ملفات المنتج ، أو في ملفات المجال يراعى أن يتم عكس التيار في إحدى الملفين فقط ، كما في الشكل (2 – 25) .



شكل (2 – 25) يمثل كيفية تغيير اتجاه الدوران لمحرك التوالى عند تغيير توصيل النقاط (S1 و S2) باطراف المصدر (البطارية)

2 – 10 – طرق بدء الحركة: Starting Methods :

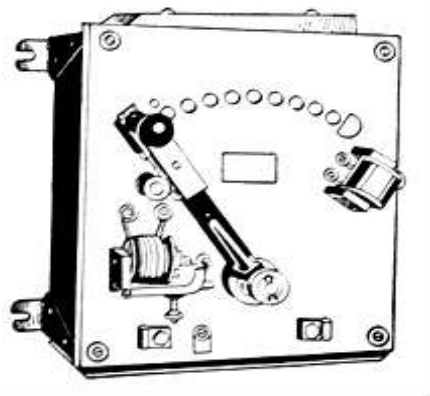
ان الهدف من استخدام طرق مختلفة لبدء الحركة لمحركات التيار المستمر هو تقنين التيار المسحوب لحظة البداية ، حيث يكون هذا التيار مرتفع جدا ، ويتضح من ذلك معادلات التيار الأتية :

$$I_a = (V_{in} – E_b) / R_a \quad \text{..... (38- 2)}$$

$$I_a = (V_{in} – E_b) / (R_a + R_{se}) \quad \text{..... (39 - 2)}$$

وهذا يعني أن التيار سيكون عال جدا بسبب المقاومة القليلة لملفاته ، لذا يجب استعمال مقاومة بدء الحركة لحين وصول المحرك إلى 75% من سرعته الفعلية بعد نشوء قوة دافعة كهربائية عكسية ، حيث تقلل المقاومة تدريجيا إلى أن تصل إلى قيمة الصفر .

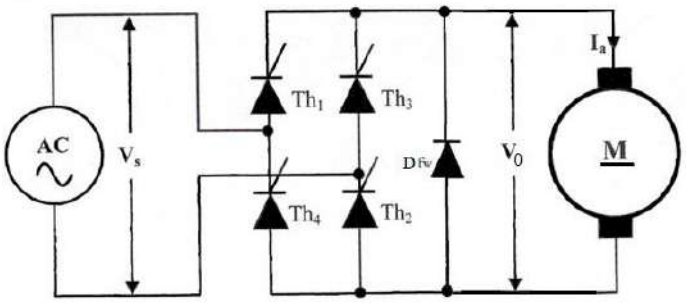
ويستعمل بادئ حركة أما يدوي أو أوتوماتيكي وبادئ الحركة هو مجموعة من المقاومات موصلة على التوالي وذات أطراف يمكن إضافة أي عدد منها أو فصلها عن المحرك بواسطة مفتاح متغير كما في الشكل (2 – 26)



شكل (2 - 26) يوضح مفتاح يدوي لتشغيل المحرك

تعتبر الطريقة فى شكل(2 - 26) من الطرق القديمة جدا والنادرة الاستعمال واما الان تستعمل الثنائيات (ثنائي الدايود)او الترانسيستور والثايروستور فى السيطرة على سرعة محركات التيار المستمر والتيار المتناوب فى دوائر الكترونية (الكترونيات القدرة) فمثلا :

في الشكل(2 -27) ادناه يمثل دائرة موحد قنطرة موجة كاملة محكوم مع حمل حثي (محرك تيار مستمر) للتحكم في سرعته .



شكل (2 - 27) يمثل كيفية السيطرة على سرعة محركات التيار المستمر

اسئلة الفصل الثاني

س1: ماذا يحتوي الجزء الثابت في مكائن التيار المستمر؟

س2: ما طرق لف المنتج في ماكنة التيار المستمر؟

س3: ما طرق تغذية ملفات الأقطاب المغناطيسية في مولدات التيار المستمر؟

س4: ما فائدة المبدل في ماكنة التيار المستمر؟

س5: ما فائدة الأقطاب المساعدة (أقطاب التوحيد) في ماكنة التيار المستمر؟

س6: ارسم الدائرة الكهربائية للمولد والمحرك لنوع التوازي للتيار المستمر موضحا" فيها اتجاه التيار.

س7: لماذا لا يسمح بتشغيل محرك التوالي للتيار المستمر بدون حمل؟

س8: ما هي أنواع المفاقيد في مولدات التيار المستمر؟

س9: وضح بالرسم مخطط لمسار القدرة في مولدات التيار المستمر.

س10: ما طرق تنظيم السرعة لمحرك التوازي ذو التيار المستمر؟

س11: كيف يمكن عكس اتجاه دوران محركات التيار المستمر؟

س12: ما فائدة استعمال مقاومة بدء الحركة في محركات التيار المستمر؟

س13: ما نظرية تشغيل محركات التيار المستمر؟

س14: ما فائدة الفرش الكربونية في مولدات التيار المستمر؟

س15: ما تأثير تيار التغذية في سرعة دوران محرك التيار المستمر؟

س16: مولد تيار مستمر عدد أقطابه (4) ، ملفوف لفا" تموجيا" وعدد الموصلات في المنتج (1000) موصل، فإذا كانت القوة الدافعة الكهربائية المتولدة (200) فولت، وقيمة الفيض المغناطيسي (0.02) ويبر احسب سرعته.

ج) (300 RPM).

س17: مولد تيار مستمر توالي يغذي حملا" ذا مقاومة طبيعية (10) أوم ، وبجهد (200) فولت، مقاومة التوالي(0.2) أوم ، ومقدار القوة الدافعة الكهربائية المتولدة (220) فولت، احسب مقاومة المنتج فيه.

ج) (R_a= 0.8 Ω).

س18: مولد تيار مستمر توازي يغذي حملا" قدرته (22) كيلو واط، فكان التيار المار في الحمل (88) أمبير، احسب التيار المار في ملفات التوازي، إذا علمت ان مقاومة التوازي (125) أوم.

ج) (I_{sh} = 2A).

س19: مولد مركب قصير يغذي حملا" بتيار (98) أمبير، مقاومة التوازي فيه (100) أوم، ومقاومة التوالي (0.2) أوم، والتيار المار في ملفات التوازي (2) أمبير، أحسب مقاومة المنتج علما ان القوة الدافعة الكهربائية تساوي (380 V).

(ج R_a= 1.8 Ω).

س20: مولد مركب قصير ذو (8) أقطاب، وملفوف انطباقيا"، عدد الموصلات فيه (1200)،ويدور بسرعة (600د/د) ، تيار المنتج (50) أمبير، والفيض المغناطيسي (0.02) ويبر، ومقاومة ملفات المنتج (0.4) أوم، ومقاومة ملفات التوالي (0.1) أوم، ومقاومة ملفات التوازي (110) أوم، أوجد الكفاءة إذا كانت المفاقيد الميكانيكية والحديدية (1330) واط.

(ج η= 0.77)

س21: محرك توالي للتيار المستمر ذو (4) أقطاب، المنتج فيه ملفوف لفا" نموذجيا"، عدد الموصلات فيه (1000) موصل، مقاومة ملفات التوالي (0.2) أوم، ومقاومة ملفات المنتج (0.4) أوم، أحسب سرعته إذا علم إن الفيض المغناطيسي المتولد في كل قطب (0.02) ويبر، والتيار الذي يسحبه (50)أمبير ويعمل على مصدر (230) فولت.

(ج n= 300 RPM)

س22: محرك توازي للتيار المستمر يراد تقليل سرعته، فأضيفت مقاومة على التوالي مع ملفات التوازي، أحسب قيمة هذه المقاومة المضافة، إذا علم إن مقاومة المنتج للمحرك (0.5) أوم ومقاومة التوازي (10) أوم، والتيار الذي يسحبه المحرك (60) أمبير ، والتيار الذي يمر في مقاومة المنتج (50) أمبير ويعمل على مصدر (220) فولت.

(ج R=12 Ω)

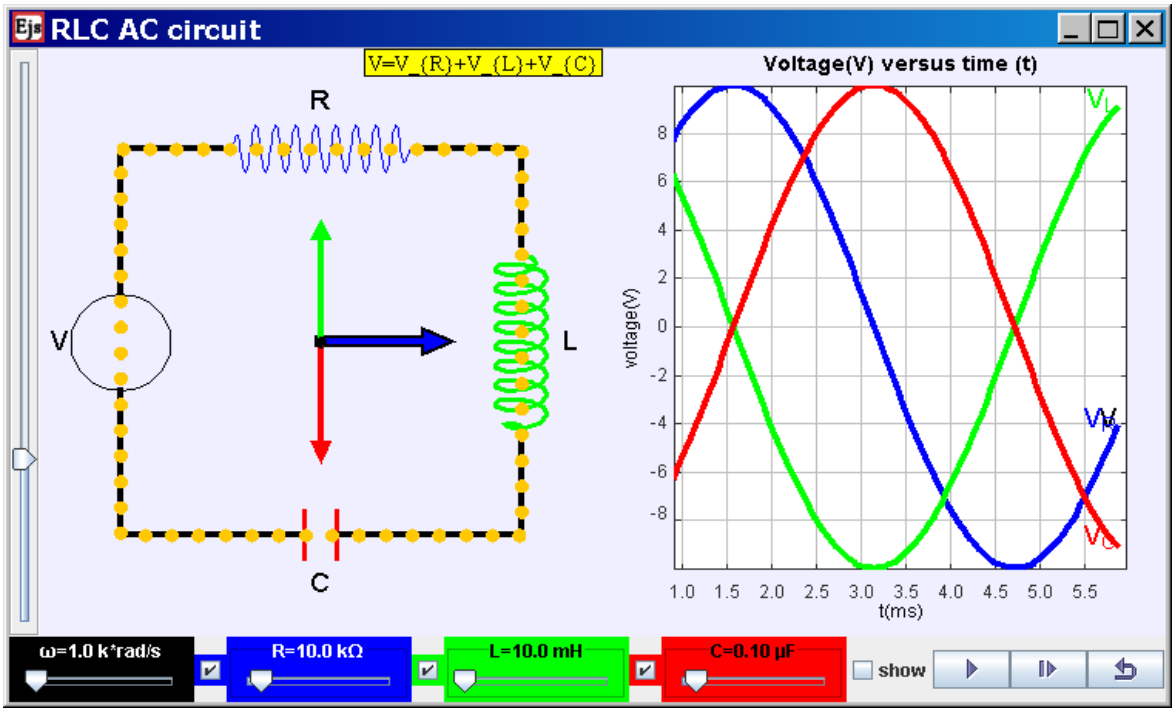
س23: مولد مركب طويل يغذي حملا" قدرته (2200) واط، بجهد (220) فولت، ومقاومة المنتج فيه (0.2) أوم، ومقاومة ملفات التوازي (44) أوم، والقوة الدافعة الكهربائية المتولدة (227.5) فولت، أحسب مقاومة ملفات التوالي .

(ج 0.3 Ω).

3

الفصل الثالث

دوائر التيار المتناوب



الهدف من الفصل :

بعد دراسة الطالب لهذا الفصل يكتسب المهارات المعرفية الأتية :

1- مفهوم التيار المتناوب ، وكيفية توليده .

2- التردد والقوة الدافعة اللحظية والعظمى .

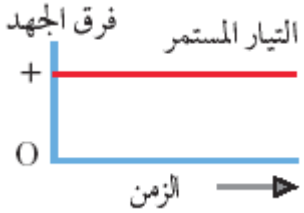
3- انواع المقاومات التي تؤثر على التيار المتناوب .

4- ربط المقاومات للتيار المتناوب على التوالي والتوازي .

3 – 1 – تمهيد

هناك نوعان من التيار الكهربائي هما :-

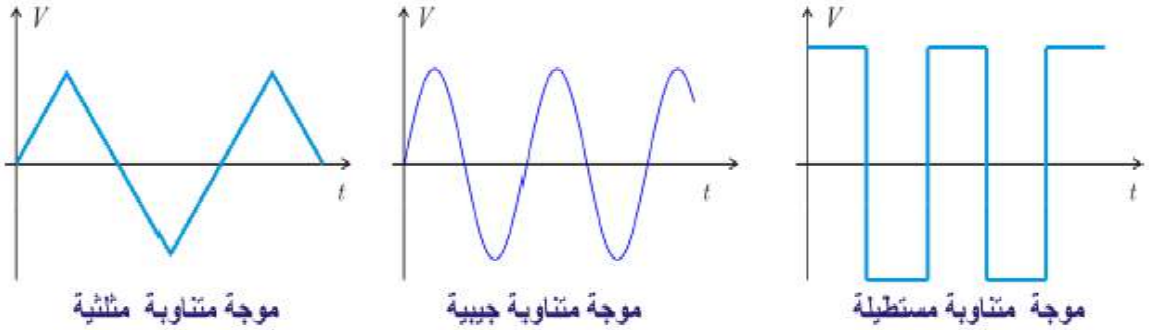
أ – التيار المستمر : وهو التيار الثابت القيمة والاتجاه بتغير الزمن . كما في الشكل رقم (3-1) .



شكل رقم (3-1) يوضح شكل التيار المستمر

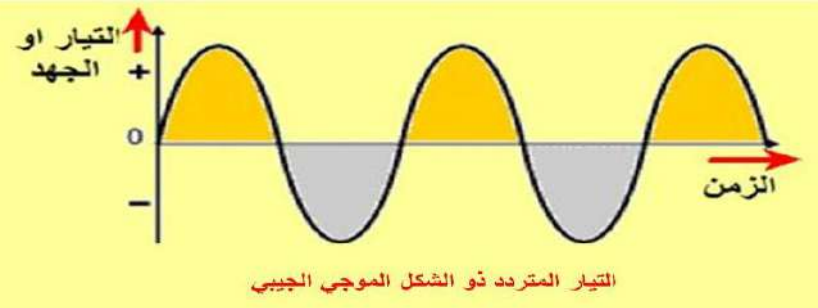
ب – التيار المتناوب

والتيار المتناوب هو احد الكميات المتناوبة (قوة دافعة كهربائية ، جهد كهربائي ، فيض مغناطيسي ، وغير ذلك من الكميات) والذي يكون متغير في قيمته واتجاهه وتتغير أشارته من الموجب الى السالب بفترات منتظمة في كل ثانية بالشكل والمساحة نفسها والتي تسمى بالموجة وتوجد اشكال متنوعة لموجة الكميات المتناوبة منها الموجة الجيبية والمستطيلة أو المربعة أو موجة مثلثة ، كما في شكل رقم (3 – 2) الذي يوضح شكل موجة مثلثة وموجة مربعة .



شكل رقم (3 – 2) يوضح اشكال لموجات التيار المتناوب

وأكثر الموجات شيوعا هي الموجة الجيبية ، والشكل رقم (3 - 3) يوضح شكل موجة جيبيه ، ويمثل المحور السيني (الافقي) الزمن والمحور الصادي(العمودي)يمثل الكمية المتناوبة وتسمى نصف الموجة فوق المحور الافقي بالنصف الموجب ،والنصف الاخراسفل المحور بالنصف السالب .

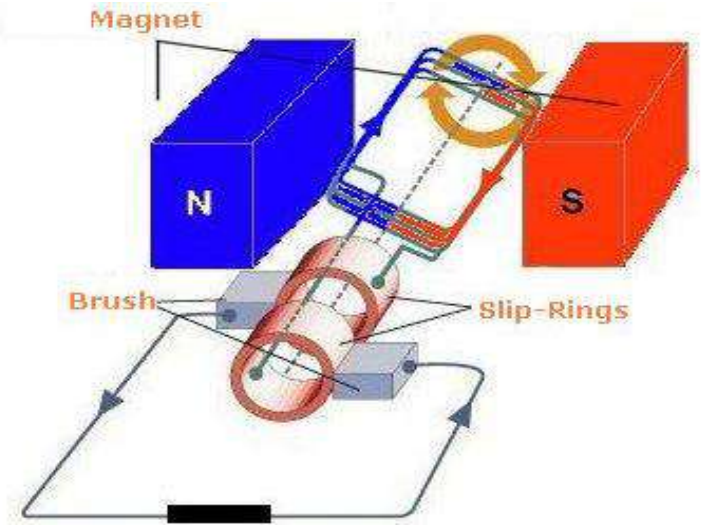


شكل (3 – 3) يوضح الموجة الجيبية

يستعمل التيار المتناوب بشكل واسع في حياتنا العملية في تشغيل المعامل والمصانع وانارة الشوارع والمنازل وغيرها ،والسبب في ذلك يعود الى سهولة توليده ونقله وتحويله من نظام الى اخر وكذلك يمكن تحويله الى تيار مستمر بطرائق رخيصة .

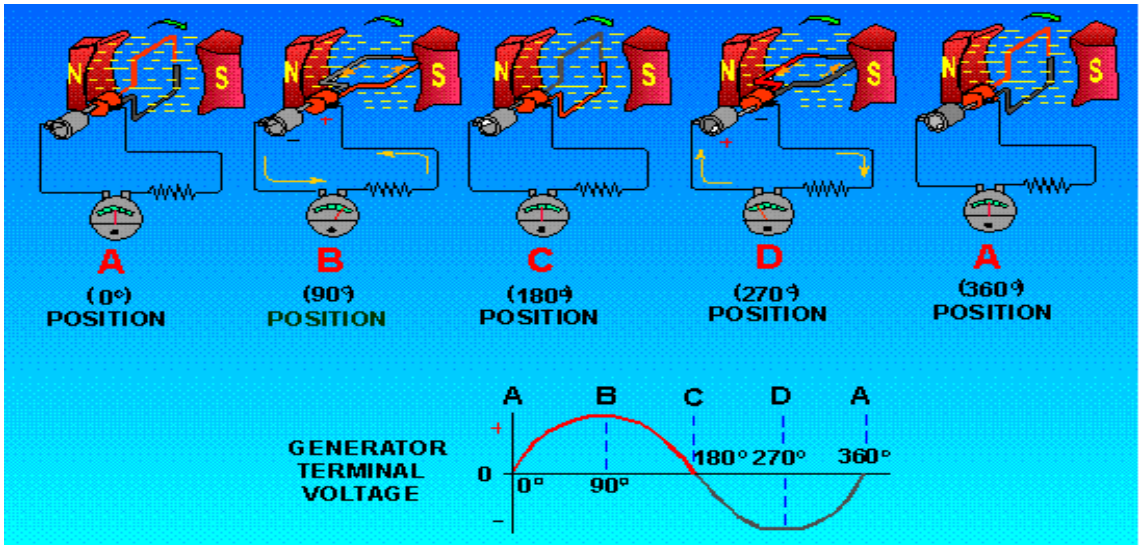
3 – 2 – توليد التيار المتناوب

يتم الحصول على التيار المتناوب من مولدات تسمى بالمولدات التزامنية ،وهذه المولدات تعمل على مبدا الحث الكهرومغناطيسي والشكل رقم (3 - 4) يوضح مولد في ابسط صوره .



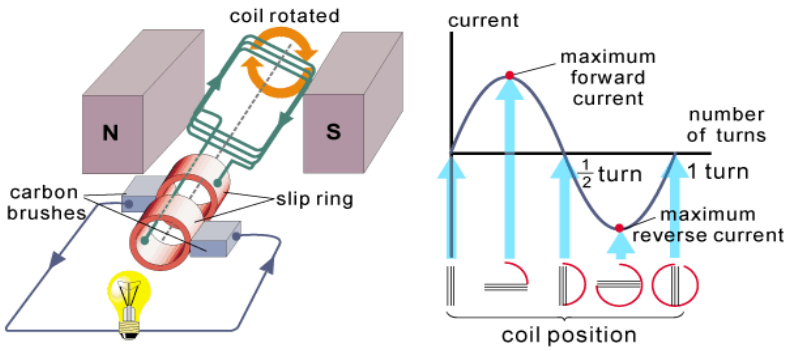
شكل (3– 4) يوضح مولد بسيط

يتكون من اقطاب مغناطيسية (قطبين شمالي وجنوبي) يدور بداخلهما ملف متكون من لفة واحدة على شكل اطار مستطيل (من معدن النحاس) وكل طرف يدور تحت قطب والملف مثبت على محور ويدور داخل المجال المغناطيسي ويربط على طرفيه حلقتين انزلاقيتين مثبتة عليهما فرشتين كربونيتين لتجهيز الكهرباء الى الدائرة الخارجية ، نتيجة دوران الملف وتقاطع جانبيه مع خطوط القوى المغناطيسية وحسب قانون فارداي – لينز تنحث فيه قوة دافعة كهربائية والشكل رقم (3 – 5) يوضح عدة وضعيات للملف ودورانه داخل المجال المغناطيسي وكيفية توليد الموجة الجيبية .



شكل رقم (3 – 5) يوضح كيفية توليد الموجة الجيبية

وللاستدلال على توليد الطاقة الكهربائية تربط مقاومة خارجية (مصباح مثلا او جهاز قياس)على اطراف الفرش الكربونية نلاحظ توهج المصباح او تحرك مؤشر الجهاز ، كما في شكل رقم (3 – 6) .



شكل رقم (3 – 6) يوضح كيفية الاستدلال على توليد الطاقة الكهربائية

القوة الدافعة الكهربائية الناشئة تعتمد قيمتها على عدة عوامل والتي تتناسب معها طرديا وهي :

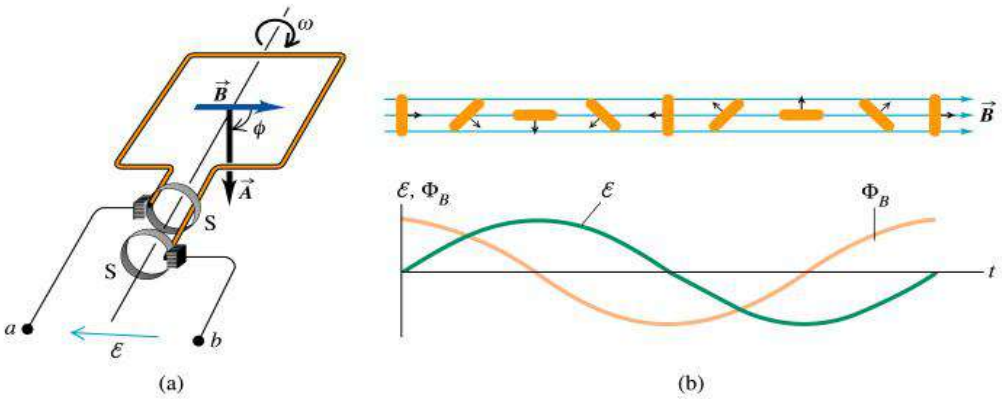
طول طرف الملف (L) داخل المجال المغناطيسي ويقاس بالمتر .

1. كثافة المجال المغناطيسي (β) ويقاس ($\frac{\text{ويبر}}{\text{متر}}$)اوتسلا.
2. سرعة قطع الملف لخطوط المجال (V)وتقاس (متر / ثانية) .
3. جيب الزاوية (Sinθ) المحصورة بين اتجاه خطوط المجال واتجاه حركة طرف الملف .

والتي تحسب من القانون التالي

$$E = B\ L\ V\ \sin\theta \qquad (3 - 1)$$

والشكل رقم (3- 7) يوضح العلاقة بين الزاوية (θ) وال (ق. د. ك) .



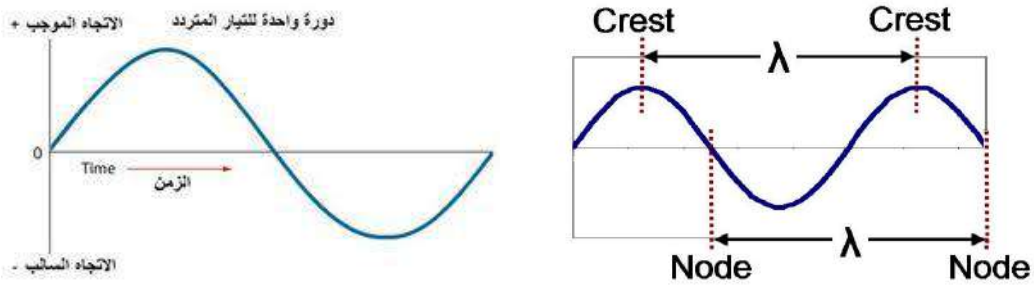
والشكل رقم (3- 7) يوضح العلاقة بين الزاوية (θ) وال (ق. د. ك) .

3 – 3 مصطلحات ومفاهيم اساسية

اولا – دورة الموجة الجيبية :

رقم (3 – 7) يوضح العلاقة بين الزاوية (θ) والق . د . ك

وهو الشكل الموجي الواقع ضمن مدة الذبذبة الواحدة او هو الشكل الموجي الذي يحتوي على مجموعة واحدة كاملة من القمم الموجبة والسالبة ، كما في شكل رقم (3 - 8)



شكل رقم (3 – 8) يوضح شكل الموجة الواقعة ضمن مدة الذبذبة

ثانيا – التردد :

وهو عدد الدورات التي يدورها الملف داخل المجال المغناطيسي في الثانية الواحدة ، وان كل دورة يدورها الملف تسمى ذبذبة او هيرتز فاذا دار الملف (50)دورة في الثانية الواحدة فهذا ما يسمى بالتردد ، يرمز للتردد بالرمز (f) ويقاس بوحدة (ذبذبة/ثانية) او (هيرتز) .

وتستخدم ايضا مضاعفات لوحدة الهيرتز منها الكيلو هيرتز والميكا هيرتز .

والتردد القياسي المستعمل في العراق واغلب دول العالم هو (50) هيرتز ، وهناك اجهزة تعمل بترددات عالية كالأفران الكهربائية التي تعمل بتردد يبلغ عدة كيلو هيرتزات وبعض المحركات الكهربائية السريعة والخاصة تستعمل تردد يبلغ (2000) هيرتز ، وهندسة الراديو تحتاج في بثها للموجات الطويلة لتردد يتراوح بين (100 كيلوهرتز و20 ميغاهيرتز) .

ويمكن ان تعمل مصابيح الإنارة على جهد تردده (40)هيرتز اذا كانت مصممة للعمل على (50)هيرتز الا ان شدة الاضاءة تتأثر كثيرا ولكن اذا قل التردد عن ذلك يمكن ان يؤثر تأثيرا سيئا على العين .

ثالثا – مدة الذبذبة (الفترة) :

وهو الزمن الذي يحتاجه الملف ليكمل دورة كاملة ، يرمز له بالرمز (T)ويقاس با (الثانية) ، وتوجد علاقة بين التردد(f)والزمن الدوري (T) وهي

$$f = \frac{1}{T} \quad HZ \qquad (2-3)$$

$$T = \frac{1}{f} \quad Sec \qquad (3-3)$$

وهناك علاقة ايضا بين التردد والسرعة التي يدور بها الملف وهي

$$f = \frac{n}{60} \qquad (4-3)$$

هذا القانون يستعمل عندما تكون عدد ازواج الاقطاب (p) = 1 ، وفي حالة عدد ازواج الاقطاب (p)اكثر من (1) فيكون القانون

$$f = \frac{n.p}{60} \qquad (5-3)$$

حيث ان

n = السرعة الدورانية للملف داخل المجال المغناطيسي وتقاس دورة / دقيقة (r. p. m)

P = تمثل عدد ازواج الاقطاب --- 2P = تمثل عدد الاقطاب

مثال 1 :

ملف يدور بسرعة (1000) دورة / بالدقيقة داخل (ست) اقطاب مغناطيسية احسب التردد والزمن .

المعطيات : $n = 1000$, $2p = 6$, $P = 3$, $f = ?$ $T = ?$

الحل

$$f = \frac{n.p}{60} = \frac{1000 \times 3}{60} = 50\ H_Z$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0.02 \quad Sec$$

مثال 2 :

ملف يدور بسرعة (600) دورة بالدقيقة داخل مجال مغناطيسي فاذا كان التيار المغذي للدائرة الخارجية يتردد بمقدار (50) هيرتز . احسب عدد الاقطاب .

المعطيات $n = 600\ c/sec$ / $f = 50\ Hz$ / $P = ?$ / $2P = ?$

الحل

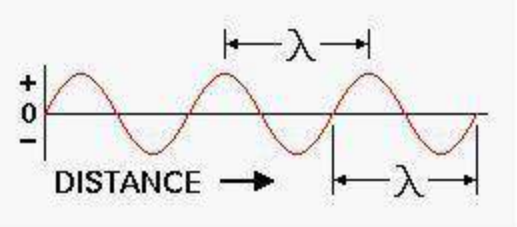
$$f = \frac{n\,p}{60}$$

$$p = \frac{60.f}{n} = \frac{60 \times 50}{600} = 5$$ عدد ازواج الاقطاب

$2p = 10$ عدد الاقطاب

رابعا – طول الموجة λ :-

وهي المسافة بين نقطتين متشابهتين في الموجة ضمن مدة الذبذبة الواحدة ، كما في شكل رقم (9 -3)



شكل رقم (3 – 9) يوضح طول الموجة

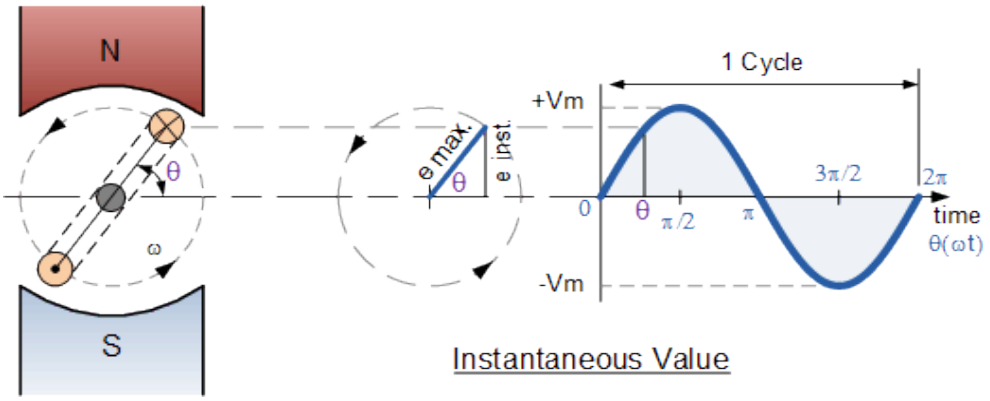
خامسا - الطور :

هو حالة الموجة بحسب مرورها في نقطة الصفر (المرجع) فالموجة التي تكون بدايتها في نقطة الصفر تسمى موجة المرجع .

مثلا $I = I_m \sin w t$

حيث ان : w - تمثل السرعة الزاوية والتي تساوي ($2 \pi f$)

شكل رقم (3 - 10) يوضح منحني الموجة .



شكل (3 - 10) يوضح منحي الموجة

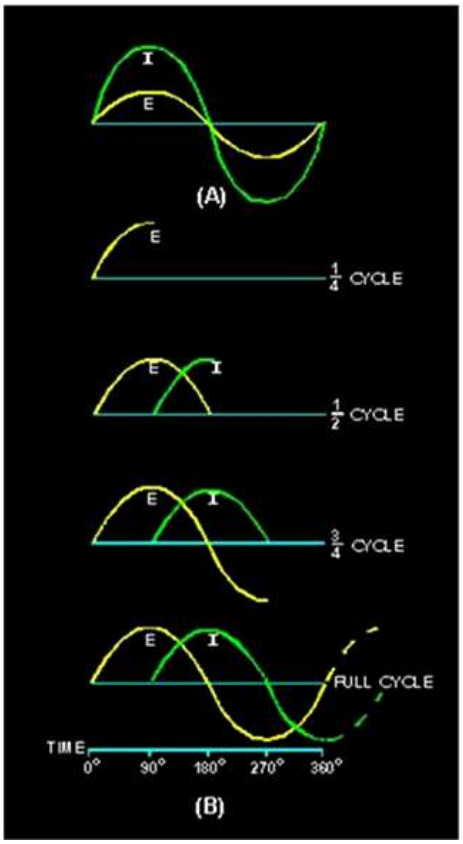
سادسا – زاوية فرق الطور (الازاحة الطورية) :

في الشكل رقم (3- 11) A&B يوضح موجتين متولدتين لمولدين للتيار المتناوب ، وعلى فرض ان المولدين يعملان بطريقة تصل فيها الموجتين الى القيمة العظمى الموجبة والقيمة العظمى السالبة بنفس الوقت يقال ان هاتين الموجتين بنفس الطور، وبالعكس اذا كان المولدان يعملان بطريقة لا يكون فرق الجهد بنفس الارتفاع والانخفاض اي انهما لا يصلان الى قيمتهما العظمى بنفس الوقت يسمى في هذه الحالة فرق في الطور ، اي ان فرق الطور هو اختلاف التوقيت بين موجتين عند مرورها بنقطة الصفر .

$i = I_m \sin wt$

$e = E_m \sin wt$

موجتان لهما نفس الطور



$e = E_m \sin wt$

$i = I_m \sin(wt - \frac{\pi}{2})$

فرق الطور بينهما 90^o

شكل (3 – 11) يوضح A فرق الزاوية بين الموجتين وB يوضح كيفية نشوء كل موجة

سابعا – القيمة اللحظية والقيمة العظمى للجهد والتيار :

لما كانت القوة الدافعة تعتمد قيمتها على مقدار الزاوية المتكونة من أتجاه الدوران مع اتجاه حركة الموصل فيمكن اعتبار هذه القوة الدافعة أنية او لحظية اي انه تتولد في اي لحظة زمنية ويرمز لها بشكل عام بحرف صغير (e ، i) .

وتحسب القيمة اللحظية للجهد والتيار من

$$e = E_{max} . \sin \theta \quad (6-3)$$

$$I = I_{max} . \sin \theta \quad (7-3)$$

اذ أن :

E_{max} : القيمة العظمى للفولتية

I_{max} القيمة العظمى للتيار

اما القيمة العظمى فهي اعلى مقدار يولده المولد نتيجة قطع اكبر عدد من خطوط المجال المغناطيسي اثناء دوران الملف وذلك عندما يكون اتجاه حركة الملف يصنع زاوية قائمة

(90^o) او (270^o) مع اتجاه حركة المجال المغناطيسي ، ويرمز للقيمة العظمى بحرف كبير(E_{max} ، I_{max}) وتحسب القيمة العظمى بحسب المعادلة الأتية :

$$E = 2.\pi.\Phi.\ f\ .N \qquad (8-3)$$

او

$$E = W\ \emptyset\ N \qquad (9-3)$$

حيث ان

Φ = يمثل الفيض المغناطيسي ويقاس بالويبر اوملي ويبر اومايكرو ويبر.

f = يمثل التردد ويقاس هيرتز او ذبذبة / ثانية .

N = يمثل عدد لفات الملف .

W = السرعة الزاوية والتي تساوي (2 π f)

ثامنا – القيمة الفعالة :

هي القيمة التي تقرأها جميع اجهزة التيار المتناوب فاذا قيل ان الجهد في المنزل (220) فولت فهذه هي القيمة الفعالة وتكون دائما اقل قيمته للموجة الجيبية $\frac{1}{\sqrt{2}}$ او (0.707)من القيمة العظمى (E_{eff} ،I_{eff}) وتحسب بحسب المعادلات الاتي

$$E_{e\ ff} = 0.707\ .\ E_{max} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \qquad (10-3)$$

$$I_{\ eff} = 0\ .707\ .\ I_{max} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \qquad (11-3)$$

مثال 3 :

اذا كانت القيمة اللحظية للجهد (100) فولت عند زاوية (30^o) احسب القيمة العظمى له وكذلك القيمة الفعالة .

المعطيات = $E_{eff} = ?$ $E_{max} = ?$ $\theta = 30°$ $e = 100V$

الحل

$$e = E_m \sin \theta$$

جيب زاوية $30^0 = \frac{1}{2}$,

$$E_{max} = \frac{e}{Sin\ 30}$$

القيمة العظمى للجهد $E_{max} = \frac{100}{0.5} = 200\ V$

القيمة الفعالة للجهد $E_{eff} = 0.707\ .\ E_{max} = 0.707 \times 200 = 141.4\ \ V$

مثال 4 :

عازل يتحمل كحد اقصى فرق جهد متناوب جيبي مقداره (2000) فولت ، احسب القيمة الفعالة لفرق الجهد الذي يمكن ان يتحمله العازل .

المعطيات : $E_{max} = 2000\ \ V$ $E_{eff} = ?$

الحل

$$E_{eff} = 0.707\ .\ E_{max}$$

$$E_{eff} = 0.707 \times 2000 = 1414\ V$$

مثال 5 :

امبير ميتر مربوط على طرفي دائرة يمر بها تيار متناوب فاذا كانت القراءة التي سجلها الجهاز = 5 امبير ، اوجد القيمة العظمى للتيار .

المعطيات : $I_{eff} = 5\ A$ $I_{max} = ?$

الحل

$$I_{max} = 0.707\ .\ I_{max}$$

$$I_{max} = \frac{I_{eff}}{0.707} = \frac{5}{0.707} = 7.07\ A$$

3 – 4 المكونات الاساسية لدوائر التيار المتناوب :

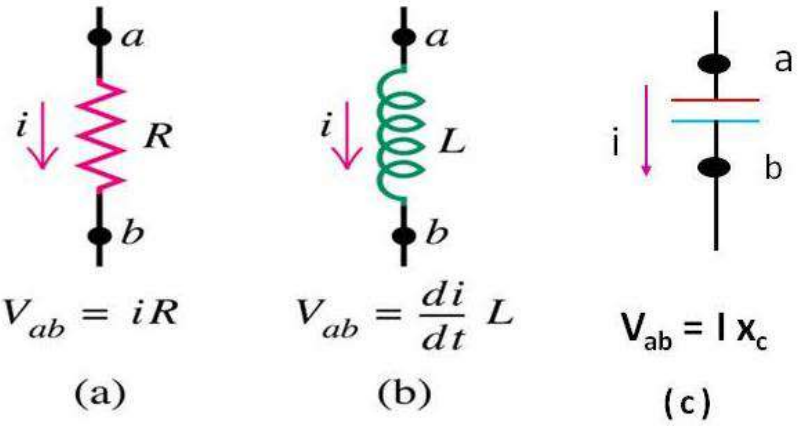
هناك ثلاث مكونات اساسية تتكون منها دوائر تيار متناوب وهي :-

المقاومة الطبيعية (R) Resistance

المحاثة (L) Inductance

السعة (C) Capacitance

الشكل (3 - 12) يوضح الرموز المستعملة لهذه المكونات :



الشكل (3 – 12) يوضح الرموز المستعملة للدلالة على المقاومات

يمكن ربط المكونات الثلاثة المذكورة اعلاه كل على حدة الى مصدر لجهد متناوب وكذلك يمكن ربطها باي تشكيلة كانت سواء على التوالي او على التوازي او ربطا مختلطا وفي كل حالة سيمر تيار متناوب يعتمد قيمته على مقدار المقاومة الكلية المكافئة في الدائرة والتي تسمى في دوائر التيار المتناوب بالممانعة (Z) .

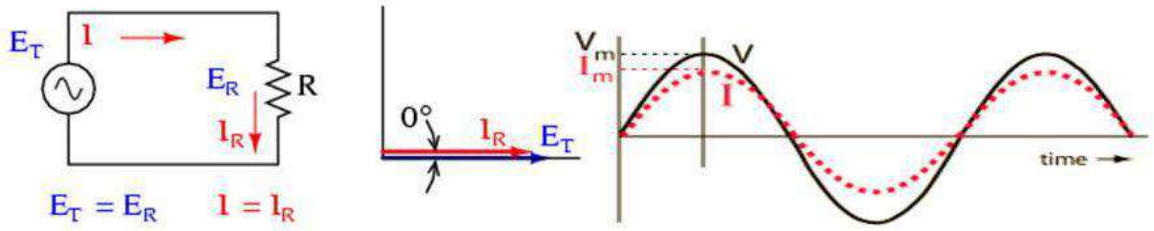
اولا – المقاومة الطبيعية (R) :

اذا سلطنا جهدا متناوبا على مقاومة طبيعية ومهما كان شكل ومساحة مقطع الموصل فان تيارا متناوبا سيمر في هذه المقاومة ،لا تعتمد قيمة المقاومة على قيمة التردد ، ولو فرضنا ان مقدار الجهد (120) فولت وقيمة المقاومة (60) اوم فسيكون التيار حسب قانون اوم .

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120}{60} = 2\ A$$

وتكون موجة التيار مطابقة (متفقة) في الطور مع موجة الجهد اي انه في اللحظة التي تبدا فيها موجة الجهد من نقطة البداية من الصفر تبدا كذلك موجة التيار ، وكلا الموجتين تصلان الى القيمة العظمى وتنخفضان الى زاوية (180^o) وهكذا الى باقي الدرجات الى ان تكملان موجتي الجهد والتيار ، وقد تم تمثيل القيمتين بالمتجهات (vectors) ، كما في شكل رقم

(3 – 13) يمثل دائرة مقاومة أومية ومنحني الموجتين والمتجهات



شكل (3 - 13) يوضح دائرة مقاومة طبيعية والمتجهات والموجات

نستنتج ان العلاقة بين الجهد المتناوب المسلط على مقاومة نقية والتيار المار فيها هي العلاقة نفسها بين الجهد والتيار في دوائر التيار المستمر .

مثال 6 :

أحسب التيار الذي تستهلكه مدفأة كهربائية مقاومتها(80) أوم وبجهد(240) فولت .

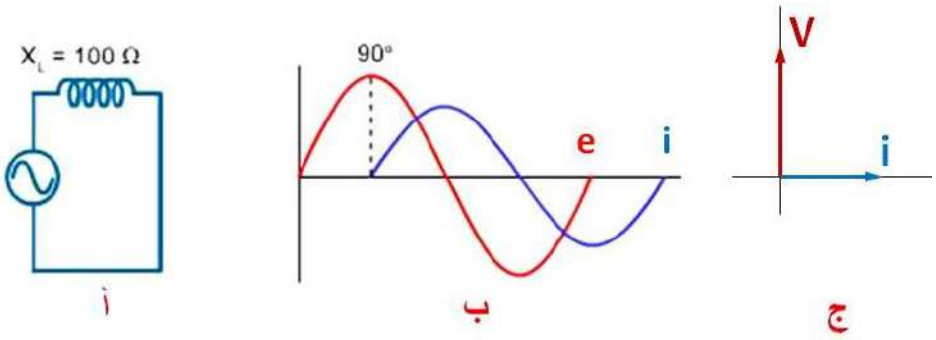
الحل

$$I = \frac{V}{R} = \frac{240}{80} = 3 \ A$$

ثانيا - المحاثة (L) :

من المعروف أنه نتيجة مرور تيار متناوب في أي ملف يتكون حول هذا الملف مجال مغناطيسي متناوب ويؤدي تقاطع خطوط المجال المغناطيسي مع عدد لفات الملف الى نشوء قوة دافعة كهربائية محتثة فيه والتي تتحدد قيمتها نسبة الى المحاثة الذاتية للملف (L) ، ويؤثر عدد لفات الملف على قيمة المحاثة بشكل كبير فنلاحظ ان ملفات المكائن الكبيرة والمحولات ذات اللفات الكبيره تحوي على محاثه ذاتيه عاليه بينما تخلو الموصلات القصيرة المستقيمة من المحاثه ، ولا تتكون فيها ايه قوه دافعه كهربائية محتثه نتيجه مرور التيار المتناوب .

وفي الواقع ان جميع الملفات تحتوي على مقاومه طبيعيه بمقدار معين بالاضافه الى المحاثه الذاتيه ، في هذه الحاله سنفرض ان المقاومه الطبيعيه قيمتها (صفر) . اي ان الملف عباره عن محاثة نقية . ويرمز للممانعه الحثيه بالرمز (XL) وهي تعارض او تقاوم التيار المتناوب. وهي تشبه عمل المقاومة الطبيعيه في تقليل قيمه التيار، وهي تعمل على تاخير مرور التيار في الملف فيرتفع الجهد على طرفيه ويصل الى الى قيمته العظمى اي عند زاوية (° 90) ثم يبدأ التيار بالمرور ، كما موضح الشكل رقم (3 – 14)ب ويمكن تمثيل ذلك بالمتجهات المتعامدة في الشكل نفسة (ج) .



شكل (3 - 14) يوضح محاثة نقية وموجة الجهد والتيار والمتجهات

وتعتمد قيمة الممانعة الحثية (X_L) على مقدار تردد التيار وعلى مقدار المحاثة الذاتية وتتناسب طرديا معهما ويمكن حسابها بالمعادلة التالية :

$$X_L = 2 .\pi.f. L \longrightarrow \quad (12 -3)$$

حيث ان

L = تمثل المحاثة الذاتية للملف وتقاس بالهنري (Henry)

f = يمثل التردد ويقاس بوحدة (ذبذبة / ثانية)او هيرتز

X_L = تمثل الممانعة الحثية للملف وتقاس بالاوم (وتسمى ايضا الرادة الحثية)

(Inductive Reactance)

عند مرور تيار متناوب في محاثة نقية فان هبوط الجهد عليها يساوي

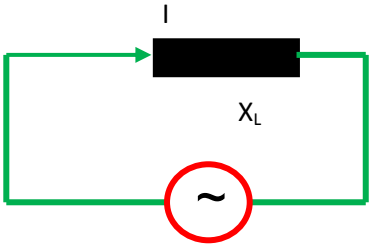
$$V_L = I_L . X_L \longrightarrow \quad (13 – 3)$$

مثال 7 :

ملف موصل الى دائرة تيار متناوب تردده (50) هيرتز والمحاثة الذاتية للملف (120) ملي هنري ، اوجد مقدار الممانعة الحثية للملف .

المعطيات : $X_L = ?$ $L = 120$ m H $f = 50$ H_Z

الحل :



$X_L = 2 .\pi . f . L$

$X_L = 2 \times 3.14 \times 50 \times 120 \times 10^{-3}$

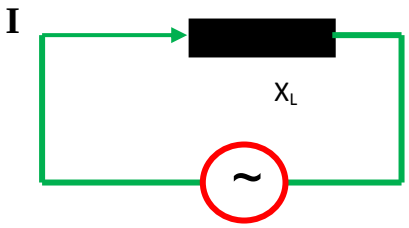
$X_L = 314 \times 0.12 = 37.68$ **Ω**

مثال 8 :

ملف موصل الى دائرة تيار متناوب تردده (50) هيرتز والممانعة الحثية للملف مقدارها (31.4) اوم ، احسب المحاثة الذاتية للملف .

المعطيات : $X_L = 31.4\ \Omega$, $f = 50\ H_Z$, $L = ?$

الحل :



$X_L = 2\ \pi\ f\ L$

$L = \frac{X_L}{2\ \pi\ f} = \frac{31.4}{2 \times 3.14 \times 50}$

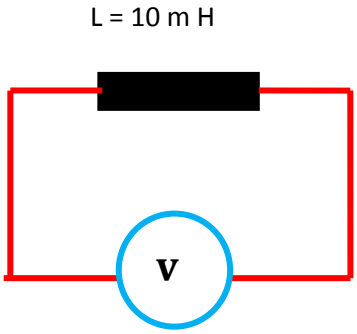
$= \frac{31.4}{314} = 0.1\ H$.

مثال 9 :

ملف المحاثة الذاتية له (100) ملي هنري موصل الى مصدر جهد متغير مقداره (100) فولت ، فما مقدار التيار الذي يمر فيه مع العلم ان التردد = (50) هيرتز .

المعطيات: - $L = 100\ mH$ $V = 100\ V$ $f = 50\ H_Z$

الحل : -



$X_L = 2\ \pi\ f\ L$

$X_L = 2 \times 3.14 \times 50 \times 100 \times 10^{-3}$

$= 314 \times \mathbf{10^{-1}} = 31.4\ \mathbf{\Omega}$

$I = \frac{V}{X_L} = \frac{100}{31.4} = 3.18\ \mathbf{A}$

ثالثا – السعة (C) Capacitance :

لو اخذنا لوحين معدنيين موصلين ومفصولين بمادة عازلة كالهواء او الورق فان قدرة هذين اللوحين على خزن وتفريغ الطاقة الكهربائية تسمى بالسعة (C) والتي هي :

السعة = $\frac{\text{كمية الشحنة}}{\text{فرق الجهد}}$ $C = \frac{q}{V}$ ⟵ (14 – 3)

وتقاس السعة بالفاراد ونظرا لكون الفاراد وحدة كبيرة فأن السعة عادة تقاس بأجزاء الفاراد (المايكروفاراد والنانو فاراد) وعند تسليط جهد متناوب كما موضح في شكل (3 – 15 – أ) فان الواح المتسعة تشحن بشحنة متغيرة وتفرغ شحنتها بشكل دوري مما يؤدي الى مرور تيار متناوب في الدائرة يمكن اعتبار ان السعة نقية حيث تعتبر مقاومة الالواح فيها = صفر وفقدان الطاقة فيها مهمل ايضا ان التيار المار خلال السعة النقية يتقدم على الجهد المسلط عليها بزاوية مقدارها (90^o) ، كما موضح في نفس الشكل (ب) والتمثيل الاتجاهي في نفس الشكل(ج) ، يرمز للمفاعلة السعوية بالرمز (X_C) وتقاس بالأوم ايضا لآنها تشبه عمل المقاومة الطبيعية في مقاومتها للتيار ، وتتناسب المفاعلة السعوية عكسيا مع التردد والسعة . ويمكن التعبير عن هبوط الجهد على السعة كما يأتي :

$$V_C = I_C . X_C \longrightarrow \quad (15 - 3)$$

وحساب المفاعلة السعوية بالمعادلة الاتية :

$$X_C = \frac{1}{2 .\pi .f . c} \longrightarrow \quad (16 - 3)$$

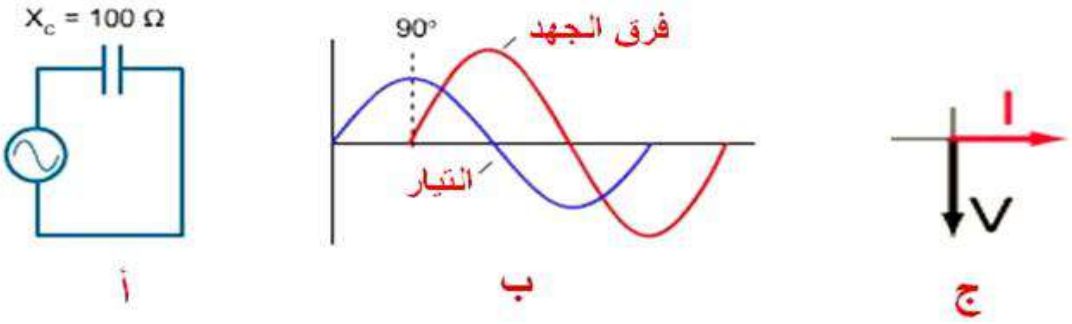
حيث ان

X_C = المفاعلة السعوية وتقاس بالاوم

(وتسمى ايضا بالرادة السعوية Capacitive Reactance)

C= السعة وتقاس بالفاراد او الوحدات الصغيرة للفاراد مثل (المايكروفاراد والنانوفاراد)

F = التردد ويقاس بالهيرتز او(ذبذبة / ثانية) .



شكل (3 – 15) يوضح مكثف وموجتي الجهد والتيار والمتجهات

مثال 10 :

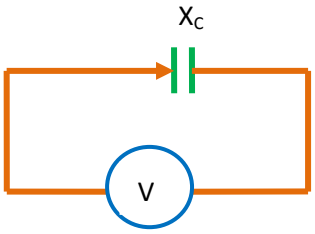
ربطت متسعة الى دائرة تيار متناوب تردده (50)هيرتز وسعة المتسعة (60) مايكروفاراد فما مقدار الممانعة السعوية لها ؟ .

المعطيات : $f = 50\ H_Z$ $C = 60\ \mu F$ $X_C = ?$

الحل :

$$X_C = \frac{1}{2\ .\pi\ .f\ .C} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 60 \times 10^{-6}}$$

$$X_C = \frac{10^6}{314 \times 60} = \frac{10^6}{18840} = 53.07\ \Omega$$



مثال 11 :

مكثف سعته (300) مايكرو فاراد ربط الى دائرة تيار متناوب جهدها (50) فولت وترددها (50) هيرتز ، احسب مقدار التيار المار فيها .

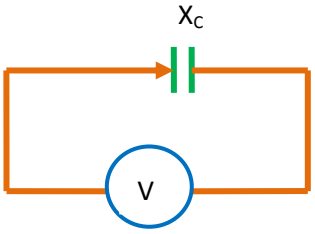
المعطيات : $C = 300\ \mu F$, $V = 50\ V$, $f = 50\ H_Z$, $I = ?$

الحل

$$X_C = \frac{1}{2\pi f\ C} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 300 \times 10^{-6}}$$

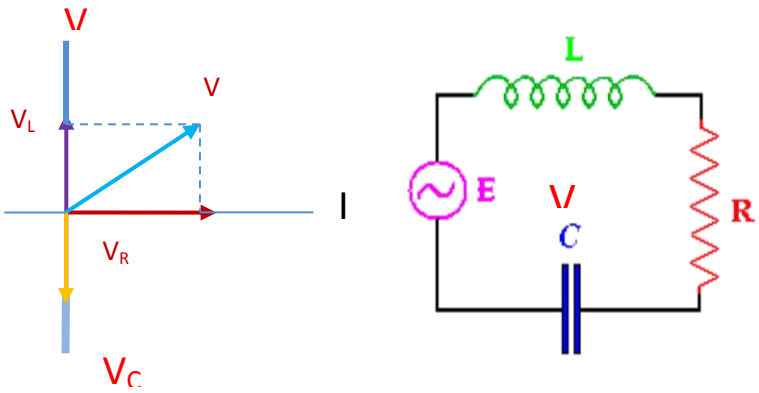
$$= \frac{10^4}{314 \times 3} = \frac{10^4}{942} = 10.6\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{X_C} = \frac{50}{10.6} = 4.7\ A$$



3 – 5 – الحالة العامة لربط المكونات على التوالي

عند تسليط جهد متناوب على مقاومة طبيعية(R)ومحاثة (L) وسعة (C) مربوطة على التوالي كما في شكل (3 – 16) فان تيارا متناوبا سيمر في هذه المكونات ويسبب هبوط في الجهد على كل منهم .



شكل رقم (3 – 16) يوضح توصيلة المكونات على التوالي

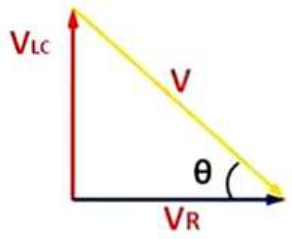
ويمكن ملاحظة المخطط الطوري لها في نفس الشكل ،ويمكن اعتبار ان التيار هو القيمة المشتركة بين جميع المكونات ويتمثل في الاتجاه السيني ، وهبوط الجهد على المقاومة (V_R) يكون متطابقا في الاتجاه مع التيار الذي يسببه هبوط الجهد على المحاثة (V_L) متقدما على التيار الذي يسببه بزاوية (90^o) وهبوط الجهد على السعة (V_C) يكون متأخرا بنفس الزاوية وتعتمد قيمة واتجاه محصلتهما على اي من المقدارين اكبر (V_L) او(V_C) فاذا كان الاول اكبر من الثاني فان المحصلة تساوي :

$$V_{LC} = V_L - V_C \longrightarrow (17-3)$$

وتكون الدائرة في هذه الحالة محاثية ، واذا كان الثاني اكبر من الاول فان المحصلة تساوي :

$$V_{LC} = V_C - V_L \longrightarrow (18-3)$$

تكون الدائرة في هذه الحالة سعويه ، ويمكن ايجاد الجهد الكلي المسلط على الدائرة من مثلث الجهد ، بحسب نظرية فيثاغورس :



$$V_{LC} = V_L - V_C$$

$$V^2 = V_R + (V_{LC})^2$$

$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2} \longrightarrow (19-3)$$

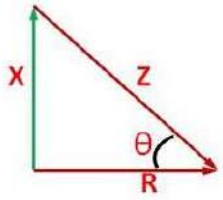
على اعتبار أن (V) تمثل محصلة المتجهين وهي الجهد الكلي المسلط على الدائرة ولمعرفة قانون المقاومة الكلية للدائرة والتي تسمى الممانعة (Impedance) (Z) نقسم طرفي المعادلة (3 – 19) على التيار ، اي أن :

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_{LC}^2}$$ بقسمة المعادلة على التيار

$$\frac{V}{I} = \sqrt{\frac{V_R^2}{I} + \frac{(V_L - V_C)^2}{I}}$$ نحصل على قانون الممانعة

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \longrightarrow (20-3)$$

ويمكن ايجاد قيمة الممانعة من مثلث المقاومات وزاوية الطور :



$$Z = \frac{R}{\cos\theta} \longrightarrow (21-3)$$

$$\tan\theta = \frac{X}{R}$$ $$\frac{X}{R} = \text{ظاه}$$

نرمز للمعاوقة بالرمز (X) للدائرة التي تحتوي على ملف ومكثف مع المقاومة الطبيعية ان ربط المكونات الثلاث على التوالي في دائرة واحدة تعتبر حالة عامة يمكن استنتاج الحالات الخاصة التالية منها :-

1 – عندما تكون المفاعلات متساوية او تساوي صفر فتصبح الدائرة دائرة مقاومة طبيعية فقط ،اي ان رسم دائرة مع المتجه .

$X_L = X_C$ Or $X_L = X_C = 0$, $Z = R$, $\Phi = 0$

2– عندما تكون المفاعلة السعوية غير موجودة ($X_C = 0$) فتصبح الدائرة دائرة مقاومة طبيعية ومحاثة على التوالي وبممانعة كلية تساوي

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \longrightarrow \quad (22 - 3)$$

3-عندما تكون المفاعلة الحثية تساوي صفر ($X_L=0$) فتصبح الدائرة مقاومة طبيعية وسعة على التوالي وبممانعة كلية تساوي

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \longrightarrow \quad (23 - 3)$$

مثال 12 :

ربطت مقاومة طبيعية(100) اوم وممانعة حثية (100) اوم على التوالي الى مصدر تيار متناوب ، اوجد الممانعة الكلية ومعامل القدرة .

المعطيات : $R = 100$ $X_L = 100$ $Z = ?$ $\cos\theta = ?$

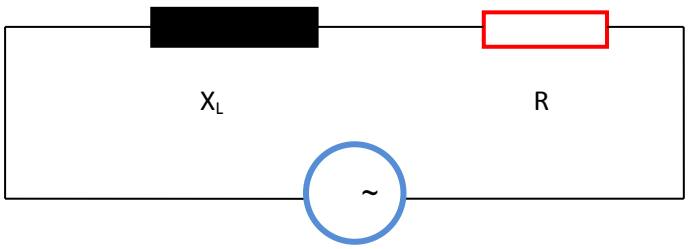
الحل

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{100^2 + 100^2}$$

$$= \sqrt{10000 + 10000}$$

$$Z = \sqrt{20000} = 141.4\ \Omega$$

$$\cos\theta = \frac{R}{Z} = \frac{100}{141.4} = 0.7$$

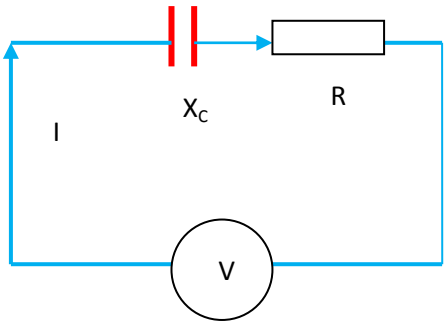


مثال 13 :

متسعة مفاعلتها السعوية (40) اوم ربطت على التوالي مع مقاومة طبيعية (30) اوم الى مصدر جهد (100) وتردده (50) هيرتز ، احسب – الممانعة الكلية – التيار الكلي المار في الدائرة – معامل القدرة.

المعطيات :

$X_C = 40\ \Omega$, $R = 30\ \Omega$, $V = 100\ V$, $f = 50\ H_Z$, $Z = ?$, $I = ?$ $COS\theta = ?$



الحل

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{30^2 + 40^2}$$

$$= \sqrt{900 + 1600} = \sqrt{2500} = 50\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{100}{50} = 2\ A$$

$$COS\theta = \frac{R}{Z} = \frac{30}{50} = 0.6$$

مثال 14 :

سعة مفاعلتها السعوية مقدارها (60) اوم وملف ممانعته الحثية مقدارها (90) اوم ومقاومة طبيعية مقدارها (50) اوم ربطت المكونات الثلاثة على التوالي ، سلط عليهم جهدا متناوبا

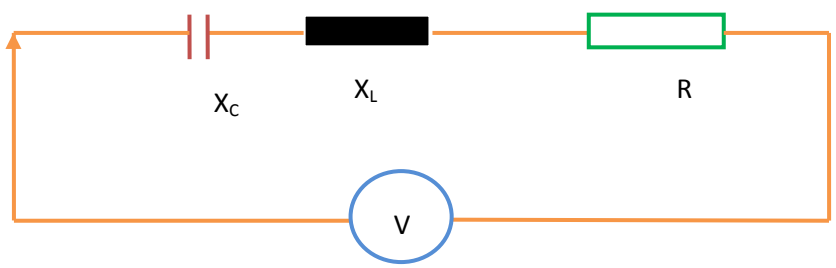
مقداره (200) فولت وتردده (50) هيرتز ، اوجد مقدار التيار المار في الدائرة ومعامل القدرة .

المعطيات:

, $X_C = 60\ \Omega$, $X_L = 90\ \Omega$, $R = 50\Omega$, $f = 50\ H_Z$, $I = ?$, $V = 200v$

$COS\theta = ?$

الحل :



$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L^2 - X_C^2)} = \sqrt{50^2 + (90-60)^2} = \sqrt{2500 + 900}$$

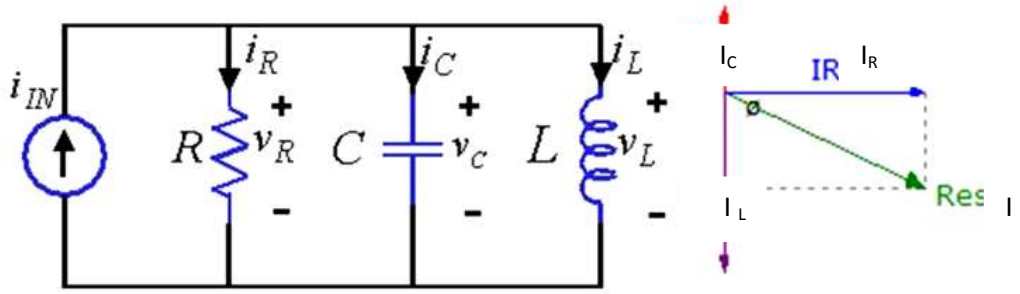
$$= 58.3 \simeq 58\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{200}{58} = 3.4\ A$$

$$COS\theta = \frac{R}{Z} = \frac{50}{58} = 0.8$$

3 – 6 – الحاله العامه لربط المكونات على التوازي :

عند ربط المقاومة الطبيعية والمحاثة والسعة على التوازي كما في الشكل رقم (3 - 17) .



شكل (3 – 17) يوضح توصيلة المكونات على التوازي

نلاحظ ان الجهد الكلي المسلط على الدائرة هو القيمة المشتركة بين جميع الفروع حيث انه نفس الجهد المسلط على كل منها ، وتكون التيارات المارة في الفروع مختلفة بالمقدار والطور .

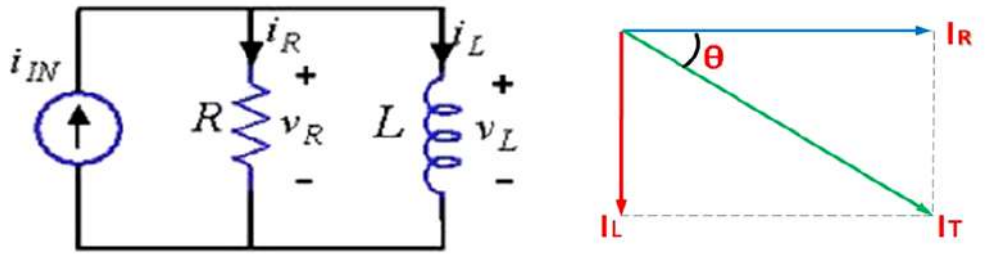
والتيار الكلي المسحوب من المصدر يساوي المجموع الطوري للتيارات المارة في الفروع الثلاثة .

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2} \qquad (24 - 3)$$

وبما ان التيار في الملف يتأخر عن الجهد بزاوية (90º) وفي المكثف يتقدم بزاوية (90º) ، ولذلك أن الزاوية بين تيار الملف وتيار المكثف تساوي (180º) اي على خط واحد والتيار الناتج منه يساوي ناتج طرحهم تبعا لأي المقدارين اكبر (I_L) او (I_C) .

من هذه الحالة العامة نستطيع بحث الحالات الخاصة الاتية

اولا – اذا كانت في الدائرة مقاومة طبيعية (R) ومحاثة (L)مربوطتان على التوازي كما في الشكل (3 – 18) .

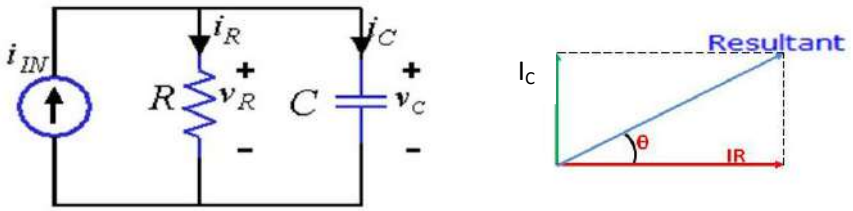


شكل (3 – 18) يوضح ربط مكونتين على التوازي

تكون طبيعة الدائرة محاثية حيث يتأخر التيار الكلي المسحوب من المصدر بزاوية معينة عن الجهد السلط على الدائرة ويحسب من :

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2} \longrightarrow (25 – 3)$$

ثانيا – اذا كانت الدائرة تحتوي مقاومة طبيعية (R) وسعة (C) فقط كما في الشكل (3 - 19) .



شكل (3 – 19) يوضح ربط مكونتين على التوازي

فتكون طبيعة الدائرة في هذه الحالة سعوية فيكون التيار الكلي متقدم على الجهد الكلي بزاوية معينة .ويحسب التيار من .

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \longrightarrow (26 – 3)$$

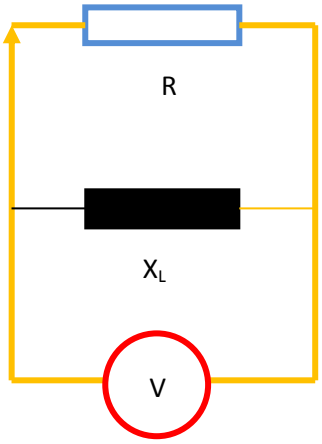
مثال 15 :

مقاومة طبيعية مقدارها (5) اوم ربطت على التوازي مع ملف معامل الحث الذاتي له (L = 0.089) هنري الى مصدر جهده (200) فولت وتردده (50) هيرتز احسب التيار المار في كل منها وكذلك التيار الكلي .

المعطيات : $f = 50\ H_Z$ ، $V = 220\ V$ ، $L = 0.089\ H$ أوم ، $R = 5\ \Omega$

الحل :

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{200}{5} = 40\ A$$



$$X_L = 2\pi f L = 2 \times 3.14 \times 50 \times 0.089$$

$$= 314 \times 0.089 = 28 \quad \text{اوم}$$

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{200}{28} = 7.12 \quad \text{امبير}$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2} = \sqrt{1600 + 49}$$

$$= \sqrt{1649} = 40.6\ A$$

مثال 16 :

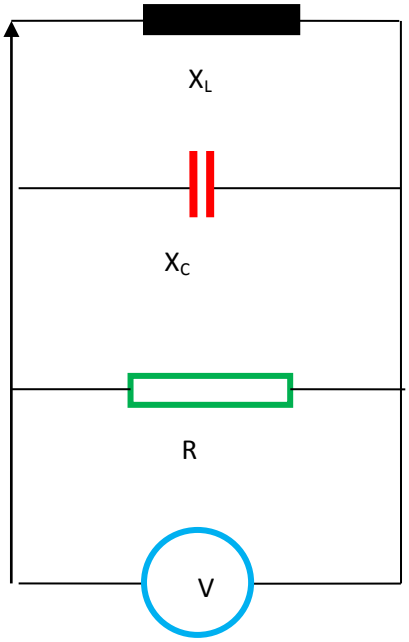
ملف مفاعلته الحثية (200) اوم ومكثف مفاعلته السعوية (400) اوم ومقاومة طبيعية (250) اوم ربطت هذه المكونات الثلاثة على التوازي الى مصدر تيار متناوب جهده (100) فولت وتردده (50) هيرتز ، احسب التيارات الفرعية والتيار الكلي .

المعطيات :

$X_L = 200\ \Omega$, $X_C = 400\ \Omega$, $R = 250\ \Omega$, $V = 100\ V$, $f = 50\ H_Z$, $I_L = ?$

, $I_C = ?$, $I_R =$, $I = ?$

الحل



$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{100}{200} = 0.5 \text{ A}$$

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{100}{400} = 0.25 \text{ A}$$

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{100}{250} = 0.4 \text{ A}$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L^2 - I_C^2)}$$

$$= \sqrt{(0.4^2) + (0.5 - 0.25)^2}$$

$$= 0.47 \text{ A}$$

3 – 7 – حساب القدرة في دوائر التيارالمتناوب :

بسبب حصول زاوية فرق بين موجة التيار وموجة الجهد نتيجة المقاومة الحثية الحاصلة في الحمل لذا يدخل معامل القدرة (COS θ) عند حساب القدرة ، وبالتالي فان القدرة في دوائر التيار المتناوب والناتجة من حاصل (التيار × الجهد) تسمى بالقدرة الظاهرية ويرمز لها بالرمز (S) وتقاس بالفولت امبير (V A) وهي مكونة من جزئين اساسيين :-

1- الجزء الاول - يسمى بالقدرة الفعالة ويرمز لها (P) وتقاس بالواط وتستهلك في المقاومات الطبيعية .

2- الجزء الثاني – يسمى بالقدرة التفاعلية ويرمز لها بالرمز (Q) وتقاس بال

(V A R) وتخزن في الملفات على شكل مجال مغناطيسي وفي المتسعات على شكل مجال كهربائي ثم تفرغ الى المصدر .

والمعادلات الرياضية للقدرة في دوائر التيار المتناوب للدائرة المبينة ادناه : -

1-القدرة الظاهرة (S)

$S = I V$ (V A)

2-القدرة الحقيقية (الفعالة P)

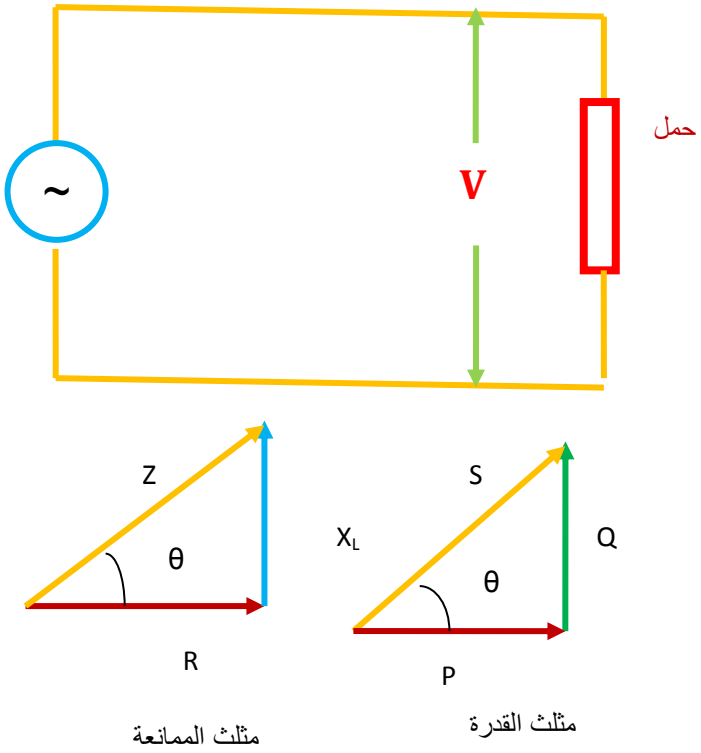
$P = I V \cos \theta$ (W)

3-القدرة التفاعلية (Q)

$Q = I V \sin \theta$ (V A R)

$\cos \theta = \frac{P}{S}$

$\cos \theta = \frac{R}{Z}$



اسئلة الفصل الثالث

س1 ما المقصود بالتيار المتناوب ؟ واين يستعمل ؟

س2 كيف يتم توليد التيار المتناوب ؟

س3 على ماذا يعتمد مقدار القوة الدافعة الكهربائية ؟ اذكرها مع الرموز .

س 4 عرف ما يأتي مع ذكر الوحدة والرمز ان وجد .

دورة الموجة الجيبية - التردد – الطور – الزمن – زاوية فرق الطور – القيمة اللحظية للقوة الدافعة الكهربائية – القيمة الفعالة للقوة الدافعة الكهربائية .

س 5 اذا كانت القيمة اللحظية للجهد (15) فولت عند زاوية (30^{o}) ، احسب القيمة العظمى له وكذلك القيمة الفعالة .

$E_{max} = 30\ V$, $E_{eff} = 21.\ 21v$

س6 ما هي المكونات الاساسية التي تعمل كمقاومات على التيار المتناوب ؟ اذكرها مع رسم الرمز المستعمل لها .

س7 على ماذا يعتمد مقدار الممانعة الحثية ؟ وكيف تحسب .

س 8 احسب الممانعة الحثية (X_L) لملف معامل الحث الذاتي له (10) هنري موصل الى مصدر تيار متناوب تردده (50) هيرتز .

$X_L = 3140\ \Omega$

س 9 اذا فرضنا وجود ملف مغناطيسي من سلك مقاومته الطبيعية يمكن اهمالها سلط عليه جهد متغير مقداره (110) فولت وتردد(50) هيرتز وكان معامل الحث الذاتي له (0 .1) هنري احسب :-

1-الممانعة الحثية له 2- شدة التيار المار فيه .

$I = 3.5\ A$ ، $X_L = 31.\ 5\ \Omega$

س 10 احسب الممانعة السعوية (X_C) لمكثف سعته (10) مايكرو فاراد موصل الى مصدر تيار متناوب تردده (50) هيرتز .

$X_C = 318.4\ \Omega$

س 11 ربطت مقاومة طبيعية (30) اوم ، على التوالي مع مكثف سعته (80) مايكرو فاراد ، ثم وصلت الى مصدر للتيار المتناوب جهده (200) فولت وتردده (50) هيرتز ، احسب التيار الكلي للدائرة والجهد على المكثف .

$I = 4\ A \qquad V_C = 160\ V$

س12 وصلت مقاومة طبيعية (20) اوم على التوازي مع مكثف سعته (10) مايكرو فاراد الى مصدر للتيار المتناوب جهده (100) فولت وتردده (50) هيرتز ، احسب التيار الكلي المار في الدائرة .

$I = 5\ A$

4

الفصل الرابع

محركات التيار المتناوب

Alternating Current Mach.

الهدف من الفصل : بعد دراسة هذا الفصل سوف :

1 – يتعرف الطالب على محركات التيار المتناوب ، أنواعها ، وخواصها ، وتركيبها (الحثية ذات الطور واحد والثلاث أطوار والمحركات التزامنية أو التوافقية) .

2 – يتعرف على تطبيقات واستخدامات هذه المحركات في الصناعة .

3 – يتعرف الطالب على كيفية قياس خواص هذه المحركات وكيفية تشغيلها وإجراء الحسابات المتعلقة بها .

4 – 1 – المحركـــات الحثيـــة Induction motors

يعتبر المحرك ألحثي الذي قام باختراعه نيقولا تسلا عام 1886 ، الأكثر انتشاراً في عالم الصناعة وحتى يومنا هذا بعد إجراء التحسينات والتعديلات نتيجة التطور الصناعي ، وجاء هذا الانتشار الواسع لهذا المحرك في الصناعة والأجهزة المنزلية نتيجة لما يتمتع بهِ من مزايا مثل :

1- بساطة ومتانة التركيب .
2- انخفاض الثمن مقارنة بالمحركات الأخرى .
3- لا يحتاج إلى صيانة بشكل دائم كما في محركات التيار المستمر.
4- إمكانية تصميمهُ بقدرات تتراوح من جزء الحصان إلى اكثر من عشرة آلاف حصان .
5- لا يحتاج إلى تيار للمجال في الجزء الدوار كما في المحركات الأخرى (محرك التيار المستمر ، محرك التوافقي) .

ومن عيوب هذا المحرك هي :

1- صعوبة التحكم في سرعته .
2- تيار البدء لهذا المحرك عال يصل إلى (7) سبعة أضعاف تيار الحمل الكامل .
3- معامل القدرة منخفض عند الأحمال الخفيفة .

لذا فإن مميزات هذهِ المحركات تفوق عيوبها في معظم الاستخدامات الصناعية التي لا تتطلب تغيراً في السرعة كما انهُ وجد حديثاً وسائل التحكم الالكترونية أدت إلى التغلب على هذه العيوب .

سُميت المحركات الحثية بهذا الاسم لان الجهود والتيارات المتولدة في ملفات الجزء الدوار تتولد بالحث (induction) من تأثير التيارات المترددة في ملفات الجزء الثابت تماماً كما يحدث في المحولات لذلك يمكن اعتبار المحرك الحثي محولاً دواراً، ملفاتهِ الابتدائية ثابتة وملفاته الثانوية حرة للحركة الدورانية ، وتصنع المحركات الحثية على نوعين هما :-

1- المحركات الحثية ذات ثلاثة أطوار Three phase induction motors

2- المحركات الحثية ذات الطور الواحد Single phase induction motors

4 – 1 – 1 – المحركات الحثية ذات الثلاثة أطوار Three phase induction motors

يتكون المحرك ألحثي ثلاثي الأطوارمن جزئين رئيسين هما الجزء الثابت (Stator) والجزء الدوار (Rotor) كما في الشكل (4 – 1) .

الشكل (4 – 1) يوضح أجزاء محرك حثي ثلاثي الطور

أولا – الجزء الثابت (Stator):

يتكون الجزء الثابت من مجموعة من صفائح الحديد المغناطيسي يتراوح سمكها من 0.3 ملم إلى 0.6 ملم ، حسب حجم وقدرة المحرك ، هذهِ الصفائح معزولة عن بعضها البعض بعازل كهربائي كالورنيش أو الورق وتضغط مع بعضها البعض لتكون شكلاً أسطوانياً مجوفاً . وفي هذهِ الصفائح توجد فتحات خاصة تشكل بعد تجميعها مجاري لوضع الملفات الرئيسة فيها ، كما وتتشكل فتحات طولية أخرى خاصة للتهوية في المحركات ذات القدرات العالية ، كما موضحة في الشكل (4 – 2) .

شكل (4 – 2) يوضح الجزء الثابت

الهدف من تصنيع الجزء الثابت من شرائح أو صفائح متراصة من الحديد المغناطيسي هو للتقليل من القدرة المفقودة نتيجة للتيارات الدوامية وبالتالي من حرارة الحديد التي تتكون بسبب تعرض الحديد للمجال المغناطيسي المتغير داخل المحرك، وبعد اكتمال تصنيع الجزء الثابت

بهذه الطريقة يتم تقسيمهُ إلى العدد المطلوب من الأقطاب وتقسم المجاري التي تخص كل قطب على الأوجه أو الأطوار الثلاثـــة ، بعد ذلك يتم تركيب ملفات كل وجه أو طور في المجاري الخاصة بهِ تحت كل قطب ، بحيث يفصل بين كل طور وآخر 120^{o} ، في نهاية عملية اللف يكون قد تم تركيب ثلاثة ملفات في الجزء الثابت لكل ملف طرفان هذهِ الأطراف الستة يتم تغذية الجزء الثابت من خلالها بعد توصيلها أما على شكل ستار (نجمة Y) أو دلتا (مثلث Δ).

ثانيا – الجزء الدوار (Rotor) :

يوجد منه نوعان مختلفان في تكوينهما ، وإن كانت خواصهما الكهربائية متقاربة جداً ، ويسمى المحرك نسبةً إلى نوع الجزء الدوار المستخدم ، للتميز بين نوعين من المحركات الحثية ثلاثية الأوجه أو الأطوار ، هما المحركات ذات الحلقات الانزلاقية (Slip – ring motors) وتسمى أيضاً المحركات ذات العضو الدائر الملفوف (Wound rotor motors) والمحركات ذات القفص السنجابي (Squirrel cage motors).

أ- الجزء الدوار ذو الحلقات الانزلاقية (Wound Rotor)

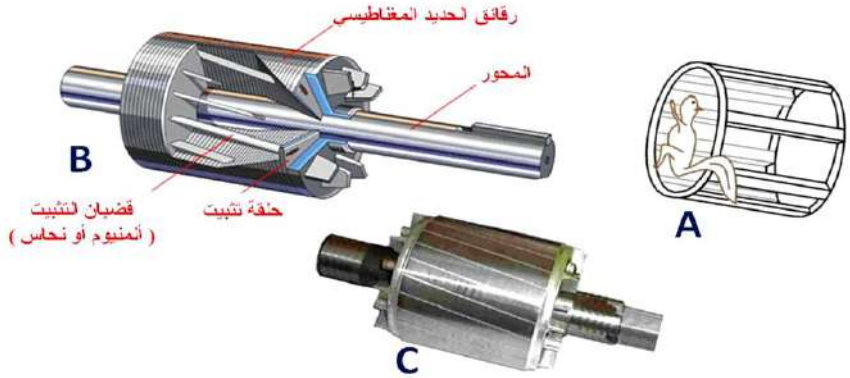
يتكون الجزء الدوار في المحركات ذات الحلقات الانزلاقية من محور الدوران الشفت وتثبت عليه رقائق الحديد المغناطيسي المعزولة عن بعضها البعض ، (كما هو الحال في الجزء الثابت) وفيه مجارٍ على سطحه الخارجي تحتوي على ملفات ثلاثية الأوجه، يتم ترتيبها في المجاري على نحو مماثل لترتيب الملفات في الجزء الثابت .

أي أن الجزء الدوار يقسم إلى عدد من الأقطاب الذي يجب أن يكون مساوياً لأقطاب الجزء الثابت الذي سيركب فيه وتقسم مجاري كل قطب إلى ثلاثة أقسام كل قسم يركب فيه ملفات أحد الأوجه الثلاثية . بحيث يكون بين كل وجه وآخر 120^{o} . لذلك يطلق عليه اسم العضو الدوار الملفوف (Wound rotor) ، ويتم توصيل ملفات الجزء الدوار الثلاثية على شكل نجمة أو على شكل دلتا ، كما توصل الأطراف في الحالتين إلى ثلاث حلقات انزلاقية (Slip rings) مركبة على نفس محور الدوران للمحرك وتدور معهُ كما موضحة في الشكل رقم (4 – 3).

شكل (4 – 3) يوضح الجزء الدوار بنوعيه ذو الحلقات الأنزلاقية وذو القفص السنجابي

ب- الجزء الدوار ذو القفص السنجابي (Squirrel – cage rotor)

الجزء الدوار ذو القفص السنجابي يتكون من محور الدوران الشفت وتثبت عليه رقائق الحديد المغناطيسي وبه مجاري على النحو السابق ، ولكن بدلاً من الملفات ثلاثية الأوجه، التي توجد في النوع الأول ، تصب داخل هذه المجاري قضبان من النحاس أو الألمنيوم وتتصل أطرافها من كل ناحية بحلقة متينة من نفس المعدن بحيث تشبه القضبان و الحلقتان في تكوينها قـــفـــــص السنجاب (Squirrel cage) كما موضحة في الشكل (4 – 4) ولهذا جاءت تسمية هذا النوع من المحركات بأنها ذات القفص السنجابي .



شكل (4 – 4) يوضح A - قفص السنجاب ، B – أجزاء الجزء الدوار ذو القفص السنجابي ، C - الشكل الخارجي للجزء الدوار ذو القفص السنجابي

يكون تغيير خواص تشغيل هذا النوع من المحركات الحثية عن طريق الجزء الثابت فقط ، حيث إن القفص السنجابي للجزء الدوار ليس لهُ أطراف يمكن الوصول إليها لتغيير خواص المحرك ، كما أن قفص السنجاب يتوائم مع أي عدد من الأقطاب أو الأوجه للجزء الثابت الذي سيركب معه .

4 – 1 – 2 – كيفية تكوين المجال المغناطيسي الدوار :

عند توصيل مصدر جهد كهربائي ثلاثي الأطوار ، بين كل طور 120º ، إلى ملفات الجزء الثابت والتي بين كل ملف وآخر منها زاوية فراغية قدرها 120º ، سيمر في هذه الملفات تيارات متزنة بين كل تيار وآخر 120º ، ونتيجة لمرور هذه التيارات بهذهِ الصفة في تلك الملفات سينشأ في الثغرة الهوائية مجال مغناطيسي دوار منتظم كما في الشكل (4 – 5) هذا المجال المغناطيسي يدور بسرعة تسمى السرعة التزامنية (Synchronous speed) وتحسب من المعادلة التالية :

$$Ns = \frac{120.fs}{p} \quad \text{..... (1 – 4)}$$

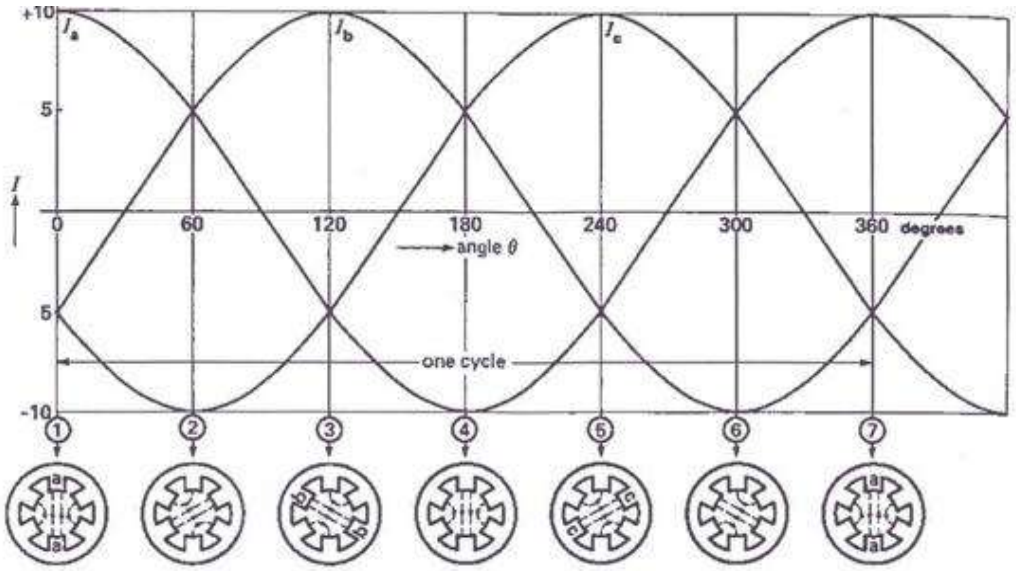
حيث :

Ns : السرعة التزامنية

fs : تردد تيار الجزء الثابت

2P : عدد الأقطاب

الشكل (4 – 5) يوضح كيفية تكوين المجال المغناطيسي الدوار في محرك حثي ثلاثي الأطوار له قطبان لكل طور ، نتيجة لتغذية ملفاتهِ الثلاثية بتيار ثلاثي الأطوار .



شكل (4 – 5) يوضح التيارات اللحظية في الأوجه الثلاث لمحرك حثي ثلاثي الأوجه

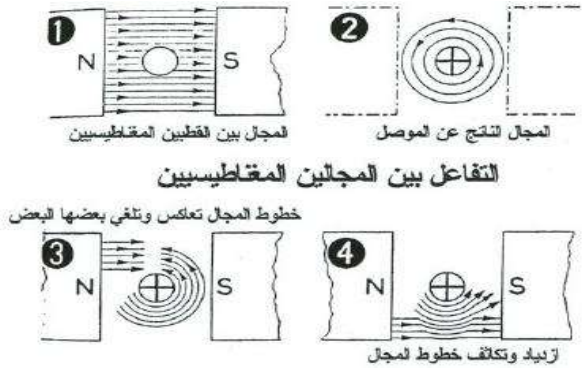
4 – 1 – 3 – كيفية عمل المحركات الحثية ثلاثية الاطوار :

عند توصيل أطراف الملفات الثلاثة للجزء الثابت بمصدر الجهد وان هذهِ الملفات الثلاثة متباعدة فيما بينها بزاوية مقدارها 120º سوف ينشأ مجال مغناطيسي دوار في القلب الحديدي للجزء الثابت فأن هذا المجال سوف يخترق الثغرة الهوائية مكملاً دورته في القلب الحديدي للجزء الدوار، وبذلك يقطع ملفات الجزء الدوار مولداً فيها قوة دافعة كهربائية محتثة وحيث ان هذهِ الملفات تكون دائرة كهربائية مغلقة (مقصورة في محركات القفص السنجابي ،و ذو الحلقات الانزلاقية تقصر عن طريق الفرش الكربونية) لذا يسري فيها تيار كهربائي يسمى تيار الجزء الدوار مكوناً مجالاً مغناطيسياً باتجاه يعتمد على اتجاه التيار ووفقاً لقاعدة اليد اليمنى، ومن المعروف انه اذا وضع سلك حاملاً تياراً كهربائياً داخل مجال مغناطيسي سوف تنشأ قوة ميكانيكية تؤثر على ذلك السلك باتجاه يعتمد على اتجاه كلا المجالين المغناطيسيين ، لذا تنشأ قوة ميكانيكية تؤثر على ملفات الجزء الدوار محدثة عزم دوران تجعله يدور باتجاه المجال المغناطيسي الدائر وفقاً لقاعدة اليد اليسرى ، كما يوضح الشكل (4 – 6) يوضح ذلك .

A - قاعدة اليد اليسرى لتعيين قطبية ملف يمر فيه تيار كهربائي

B - قاعدة اليد اليسرى لتعيين أتجاه القوة المؤثرة على موصل في مجال مغناطيسي

شكل (4 – 6) يوضح قاعدة اليد اليسرى في تحديد القطبية وأتجاه القوة المؤثرة



شكل (4 –7) يوضح يوضحالقوة المؤثرة على موصل في مجال مغناطيسي

4 – 1 – 4 – الأنزلاق :

عندما يدور العضو الدائر بسرعة n دورة في الدقيقة ، فان السرعة النسبية بين المجال المغناطيسي الدائر بسرعة التزامن n_s وملفات العضو الدائر هي $(n_s - n)$ وتسمى سرعة الانـــــــــــزلاق (Slip speed) ، هذه السرعة النسبية منسوبة الى سرعة التزامن ، تعطي ما يسمى بمعامـــل الانزلاق ، او الانزلاق (Slip) الذي يلعب دوراً كبيراً في تحديد خواص تشغيل المحركات الحثية ، ويرمز للانزلاق بالرمز (S) وتتراوح قيمته في المحركات الصغيرة ما بين 1% و2% وقد تصل الى 0.5% للمحركات الكبيرة في حالة عدم التحميل وعند التحميل يتراوح الانزلاق من 3% الى 5% ، ويحسب من :

$$\text{Slip Speed} = n_{slip} = n_s - n$$

$$\text{Slip} = S = \left(\frac{n_s - n}{} \right) / n_s$$

$$\%\text{Slip} = S = \left(\frac{n_s - n}{} \right) / n_s \quad 100\% \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2-4)$$

كما ان قيمة الانزلاق تساوي صفراً عندما يدور العضو الدائر بنفس السرعة التزامنية (n = n_s) وتساوي الواحد عندما يكون الجزء الدوار في حالة السكون (n = 0) . ومن الممكن حساب سرعة الجزء الدوار (السرعة الفعلية) بدلالة السرعة التزامنية والانزلاق وذلك بعد اعادة ترتيب المعادلــة (4 – 2) كما يأتي :

حاصل ضرب الطرفين في الوسطين للمعادلة رقم (4 – 2) ينتج :

$$Sns = n_s - n$$
$$n = (n_s - sn_s)$$
$$n = n_s(1-s)$$

Rotor speed = $n = n_s (1-s)$ سرعة الجزء الدوار ..... (3 – 4)

4 – 1 – 5 – تردد الجهود والتيارات فى الجزء الدوار :

من المعادلة السابقة (4 - 3) يتضح ان الجزء الدوار يكون في حالة السكون عندما يكون الانزلاق (S=100%) وفي هذه الحالة تكون القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الجزء الدوار في نهايتها العظمى ويرمز لها بالحرف Er يكون ترددها مساوياً الى تردد المصدر Fs .
عند دوران الجزء الدوار للمحرك تقل السرعة النسبية بين المجال المغناطيسي الدائر والجزء الدوار وبذلك تقل سرعة القطع بين ملفات الجزء الدوار والمجال المغناطيسي وعليه تقل القوة الدافعة الكهربائية المحتثة Er حيث تصبح قيمتها كما يلي :

$$Er = S \cdot Es \quad \text{.....} \quad (4-4)$$

وعلى هذا الاساس يصبح تردد القوة الدافعة الكهربائية المحتثة يحسب كما يلي :

$$Fr = S\ Fs \quad \text{.....} \quad (5-4)$$

مثال 1 :

محرك حثي ثلاثي الاوجه ذو ستة اقطاب ، يتغذى من مصدر جهده 240 فولت وتردده 60 هيرتز ، فاذا كانت قيمة الانزلاق عند الحمل الكامل 5 % احسب ما يلي :

1 – السرعة التزامنية لهذا المحرك .
2 – سرعة العضو الدائر عند الحمل الكامل .
3 – تردد الجهد والتيار في العضو الدائر عند الحمل الكامل .

الحل :

$n_s = \frac{120 .Fs}{p} = \frac{120\ x\ 60}{6} = 1200$ rpm

$n = n_s (1-s) = 1200 \times (1 - 0.05) = 1140$ rpm

$F_r = s . F_s = 0.05 \times 60 = 3$ Hz

مثال 2 :

محرك ثلاثي الاوجه ذو اربعة اقطاب يتغذى من مصدر تردده 50 هيرتز ، وسرعته عند الحمل الكامل 1455 لفة في الدقيقة ، احسب سرعة الانزلاق ومعامل الانزلاق عند الحمل الكامل .

الحل :

$n_s = \frac{120 .fs}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \quad rpm$

$n_{slip} = n_s - n = 1500 - 1455 = 45 \quad rpm$

$S = \frac{ns-n}{ns} = \frac{1500-1455}{1500} = 0.03$.

مثال 3 :

محرك حثي ذو ستة اقطاب يتغذى من مصدر تردده 50 هيرتز ، القوة الدافعة الكهربائية في العضو ترددها 2.5 هيرتز ، احسب معامل الانزلاق وسرعة العضو الدائر .

الحل :

$S = \frac{Fr}{Fs} = \frac{2.5}{50} = 0.05$

$n_s = \frac{120.Fs}{p} = \frac{120\ x\ 50}{6} = 1000 \quad rpm$

$n = n_s . (1- s) = 1000 \times (1- 0.05) = 950 \quad rpm$

4 – 2 – طريقة بدء الحركة والتحكم في سرعة المحركات الحثية ثلاثية ألاطوار:

4 – 2 –1– طرق بدء الحركة :

يكون تيار البدء الذي يسحبه المحرك الحثي ثلاثي الاطوار ، عند توصيله الى المصدر توصيلا مباشراً ولحظة بدء دورانه تتراوح قيمتهُ ما بين 5 الى 7 أضعاف تيار الحمل

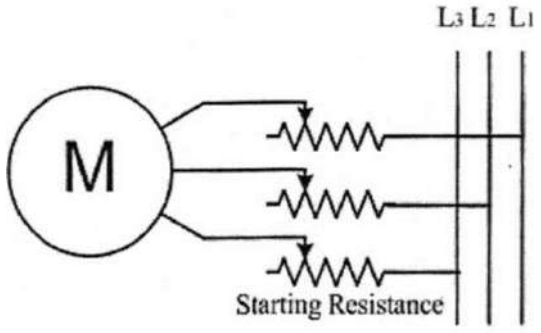
الكامل ويولد المحرك ما بين 1.5 الى 2.5 ضعف عزم الحمل الكامل في هذهِ الحالة يعتبر المحرك في حالة قصر لان الزيادة الكبيرة في قيمة تيار بدء الحركة الذي يسحبه المحرك تتناسب طردياً مع جهد المصدر وعكسياً مع الممانعة الحثية الكلية لدائرة المحرك ، ان هذه الزيادة الكبيرة في تيار البدء غير مرغوب فيها لأنها تتسبب في بعض المشاكل مثل :

1- سحب تيار كبير من الشبكة الكهربائية وما يصاحبه من هبوط جهد الشبكة مما يؤثر سلبا علي الأحمال الأخرى الموصلة مع نفس الشبكة .
2- تحميل خطوط النقل والقواطع وأجهزة الحماية بتيار اكبر من التيار المقنن ، وقد يؤدي ذلك إلى تشغيل تلك الأجهزة وفصل التيار عن المكان .
3- رفع درجة حرارة ملفات المحرك ، خصوصا في المحركات الكبيرة ن حيث يستغرق المحرك وقتا أطول لبدء الحركة ، مما يؤدي مع التكرار إلى انهيار المواد العازلة.

لذلك لا ينصح ببدء حركة المحركات التي تزيد قدرتها عن 25 كيلوواط بالتوصيل المباشر ولابد من اتخاذ التدابير والاحتياطات اللازمة للحد من قيمة تيار بدء الحركة ، خصوصا في المحركات الكبيرة ، وفيما يأتي بعض الطرق المستخدمة للحد من تيار البدء ، وهذه الطرق تعتمد أما على خفض الجهد أو زيادة الممانعة الحثية للمحرك أثناء فترة بدء الحركة .

أولا – توصيل مقاومة ثلاثية على التوالي مع ملفات العضو الثابت :

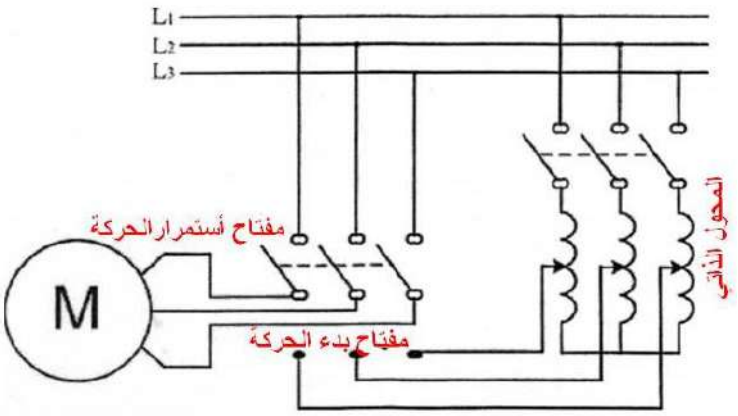
إن توصيل مقاومة ثلاثية على التوالي مع ملفات العضو الثابت كما في الشكل (4 – 8) ، يؤدي إلى خفض الجهد المسلط على العضو الثابت وبالتالي يقلل تيار البدء ويتم التخلص من هذه المقاومة تدريجيا" أثناء فترة البدء حتى تلغي تماما ، بوصول المحرك إلى سرعته المقننة لكن من عيوب هذه الطريقة كبر المفاقيد النحاسية في المقاومة المضافة ، بالإضافة إلى انخفاض كبير في القيمة عزم دوران البدء المحرك ، مما يجعل هده الطريقة غير مناسبة للاستخدام خصوصا مع المحركات الكبيرة.



شكل (4 – 8) يوضح ربط مقاومة مع العضو الثابت

ثانيا – باستخدام محول ذاتي :

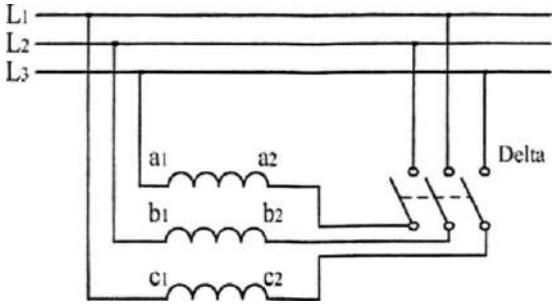
في هده الطريقة يتم توصيل أطراف العضو الثابت إلى محول ذاتي ثلاثي الأوجه ، أنظر الشكل (4 – 9) بحيث يخفض الجهد المسلط على ملفات العضو للمحرك إلى حوالي $\frac{1}{2}$ أو إلى $(1/\sqrt{3})$ الجهد المتقن ويلاحظ من الشكل أن المحرك موصل إلى مفتاح ذي ناحيتين ، حيث يتم وضعة خلال فترة البدء على الناحية الموصل عليها المرحل الذاتي ، وعندما تصل السرعة إلى أقصي مدى لها يحول المفتاح إلى الناحية الأخرى ، حيث يصبح المحرك موصلا مباشراً على الشبكة الكهربائية ، هذه الطريقة مثالية حيث لا توجد قدرة مفقودة ، كما أنها تعتبر الخيار الأفضل للمحركات التي توصل ملفاتها على شكل نجمة .



شكل (4 – 9) يوضح توصيل المحول الذاتي مع العضو الثابت

ثالثا – باستخدام مفتاح النجمة / دلتا :

هده الطريقة مناسبة للمحركات التي ملفاتها الثلاثية على شكل دلتا أثناء التشغيل العادي حيث توصل الملفات العضو الثابت عند بدء الحركة على شكل النجمة ونتيجة لذلك فان جهد الوجه سيقل إلى $(1/\sqrt{3})$ إي نسبة 57% من جهد المصدر وينخفض تيار الخط إلى ثلث التيار المار في حالة التوصيل على شكل دلتا ، يلاحظ من الشكل (4 – 10) إن المحرك موصل إلى مفتاح ذي ناحيتين ، حيث يتم وضعة خلال فترة البدء على الناحية التي تجعل ملفاته موصلة على شكل نجمة ، وعندما تصل السرعة إلى أقصى مدى لها يحول المفتاح إلى الناحية الأخرى حيث تصبح ملفات المحرك موصلة على شكل دلتا ، ويستمر تشغيل المحرك بتوصيلة الدلتا .



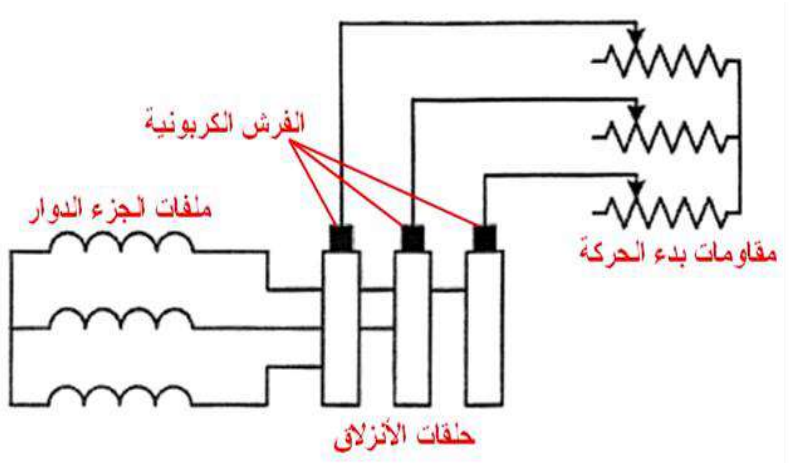
شكل (4 – 10) يوضح توصيلة بدء الحركة باستخدام مفتاح نجمة / دلتا

رابعا – إضافة مقاومة ثلاثية على التوالي مع ملفات العضو الدائر :

هذه الطريقة تصلح فقط للمحرك ذي حلقات الانزلاق حيث يمكن توصيل مقاومات على التوالي مع ملفات العضو الدائر الشكل (4 – 11) ، يؤدي توصيل مقاومة ثلاثية الأوجه على التولي مع ملفات العضو الدائر إلى الحد من قيمة تيار البد المسحوب من المصدر ، نتيجة لزيادة الممانعة الحثية للمحرك ، والى جانب الحد من قيمة البدء ، فان المقاومة المضافة ترفع قيمة الانزلاق الذي يحدث عنده أقصى عزم مما يعني زيادة عزم دوران البدء ، حيث تبين من المعادلة(Tmax) أننا نستطيع إن نحصل على قيمة العزم الأقصى ، عند البدء بإضافة مقاومة ثلاثية إلى العضو الدائر بحيث تكون قيمة الانزلاق الذي يحدث .

يتم التخلص من هذه المقاومة الثلاثية تدريجيا خلال فترة البدء ، (Smax = 1) عند أقصى

عزم هذه الطريقة تعتبر الأفضل للمحركات ذات حلقات الانزلاق .



الشكل(4 – 11) يوضح توصيلة بدء الحركة باستخدام مقاومات موصلة على التوالي مع ملفات العضو الدائر

خامساً – باستخدام أجهزة بدء الكترونية :

ظهرت أجهزة لبدء حركة المحركات الحثية تستخدم تقنية الكترونيات القدرة ، هذه الأجهزة تعتمد على مبدأ التحكم الدقيق والناعم في الجهد مع مراقبة التيار في نفس الوقت وبالتالي تجعل التيار ثابتا طيلة فترة البدء مع عزم مستقر ، هذه الطريقة تعتبر الأفضل وذلك لأنها توفر للمحرك تسارعا (ناعما) بدون قفزات مفاجئة أو إجهاد ميكانيكي كما هو الحال في الطرق التقليدية .

4 – 3 – التحكم في السرعة :

يوصف المحرك الحثي ثلاثي الأطوار بأنه من الناحية الموضوعية يمتلك سرعة ثابتة تقريبا ، فسرعة المحرك في حالة اللاحمل تختلف اختلافا طفيفا جدا عن سرعة التزامن ، كما إن السرعة لا تتغير ألا بمقدار طفيف أخر عن هذه السرعة عندما يصبح محملا بالكامل ، أن هذه الانخفاض الطفيف في سرعة المحرك ، بين حالتي اللاحمل والحمل الكامل هو الذي يؤدي إلى إعطاء صفة الاتزان لتشغيل المحرك في منطقة التشغيل المتزامن ، لذلك يمكن اعتبار المحرك ذا سرعة ثابتة خلال فترة تشغيله مع تغير الحمل ، وهي سرعة التزامن على وجه التقريب .

بالإشارة إلى المعادلة (4 – 3) نجد إن سرعة المحرك الحثي يمكن فيها إما بتغير الانزلاق أو بتغير السرعة التزامنية ، والسرعة التزامنية يمكن إن تتغير إما بتغير عدد الأقطاب أو بتغير تردد المصدر . وبناء علية يمكن التحكم في السرعة المحرك الحثي ثلاثي الأوجه بإحدى الطرق الثلاث : (تغيير الانزلاق أو تغيير عدد الأقطاب أو تغير تردد المصدر) .

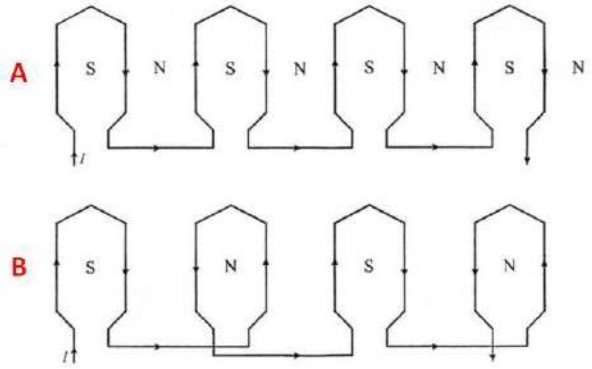
4 – 3 – 1 – تغير الانزلاق باستخدام مقاومة ثلاثية على التوالي مع ملفات الجزء الدوار :

من البديهي إن هذه الطريقة لا تستخدم إلا في المحركات ذات الحلقات الانزلاقية ،حيث يمكن تواصل مقاومة متغيرة ثلاثية المراحل على التوالي مع ملفات العضو الدائر عن طريق الفرش . وبتغير هذه المقاومة يمكن الحصول على تغيير في السرعة المحرك ، ذلك لان إضافة المقاومة لملفات العضو الدائر تؤدي إلى زيادة الانزلاق الذي يحدث عندما يراد تغير سرعة المحرك بما لا يتجاوز حوالي 15% من السرعة التزامنية ، وذلك لأن زيادة هذه المقاومة يؤدي إلى زيادة المفاقيد النحاسية في العضو الدوار وبالتالي نقص كفاءة المحرك .

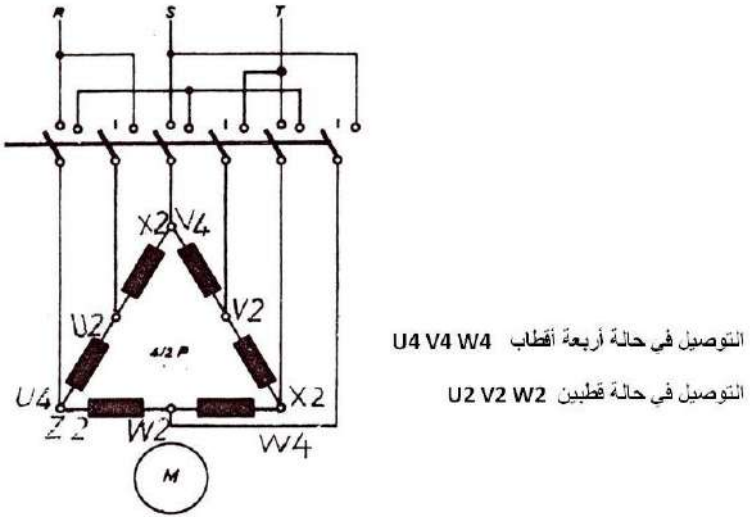
4 – 3 – 2 – تغير عدد الأقطاب :

تعتمد هذه الطريقة على تغيير عدد أقطاب المحرك ، مما يؤدي إلى تغيير قيمة سرعة التزامن للمحرك ، وبالتالي سرعة دوران العضو الدوار التي تتغير عنها ما بين حالتي اللاحمل والحمل الكامل ، ويغلب استخدام هذه الطريقة في حالة المحرك ذي القفص السنجابي ، نظرا لأن القفص السنجابي يمكن إن يتواءم مع المجال المغناطيسي مهما اختلف عدد أقطابه .

وهنالك طريقتان لتغيير عدد الأقطاب ، تتم احدهما بتزويد العضو الثابت للمحرك بمجموعات من الملفات المستقلة عن بعضها البعض تمام الاستقلال ، بحيث تكون كل مجموعة خاصة بسرعة معينة ، وتتم الثانية بإعادة التوصيل الملفات بطريقة مختلفة بحيث نحصل على نصف الأقطاب أو ضعفها ، بهذه الطريقة يصبح لدينا سرعتان تزامنيتان احدهما ضعف الأخرى ، فإذا كان عدد الأقطاب الأساسية ثمانية أقطاب كما هو موضح في الشكل (4 – 12 – A) ، يمكن إعادة توصيل الملفات بحيث تصبح الآلة ذات أربعة أقطاب ، كما هو موضح في الشكل (4 – 12 – B) . ويطلق على هذا الأسلوب في تغيير التوصيلات اسم (Dahlander connection) . ويستخدم لها مفتاح خاص يسمى مفتاح مبدل الاقطاب وكما موضح في الشكل (4 – 13) .



شكل (4 – 12) يوضح توصيل الملفات (A) ثمانية أقطاب (B) أربعة أقطاب



شكل (4 – 13) يوضح مفتاح مبدل الأقطاب

تزود المحركات التي تدير مكائن في الورش ، التي تحتاج إلى سرعات متغيرة ، بمجموعتين من الملفات في العضو الثابت ، بحيث يمكن أن تعمل إحدى المجموعتين بأربعة أقطاب وثمانية ، وتعمل المجموعة الأخرى بستة أقطاب واثنا عشر قطباً ، ويمكن الحصول على السرعات 500 ، 750 ، 1000 ، 1500 دورة في الدقيقة عندما يتغذى المحرك من مصدر تردده 50 هرتز .

وتجدر الإشارة هنا إلى انه عند تغيير عدد ملفات العضو الثابت ، فانه في حالة المحركات ذات القفص السنجابي يتواءم القفص السنجابي تلقائيا مع هذا التغيير ، إما في حالة المحركات ذات الحلقات الانزلاقية يلزم تغيير توصيلات ملفات العضو الدائر للحصول على تغيير في عدد أقطابها مناظر للتغير الذي حدث في عدد ملفات العضو الثابت ، نجد ان هذه الطريقة في تغيير السرعة تستخدم مع المحركات ذات القفص السنجابي فقط ، ومن عيوب هذه الطريقة ان تغيير السرعة يتم على درجات متفاوتة كبيرة مثلا (نصف السرعة أو ضعفها) .

4 – 3 – 3 – تغيير تردد المصدر :

يمكن التحكم في السرعة التزامنية للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه عن طريق التحكم في التردد مصدر الجهد المغذي لملفات العضو الثابت . وهذا يتطلب مصدر جهد ثلاثي الأوجه ذا تردد قابل للتغيير ، هذا المصدر هي عبارة عن دوائر تحكم الكترونية ذات قدرات عالية تقوم بتحويل القدرة الداخلة ذات التردد الثابت. إلى مستمر ومن ثم يتم تحويل التيار متردد ثلاثي الأوجه بالتردد المطلوب .

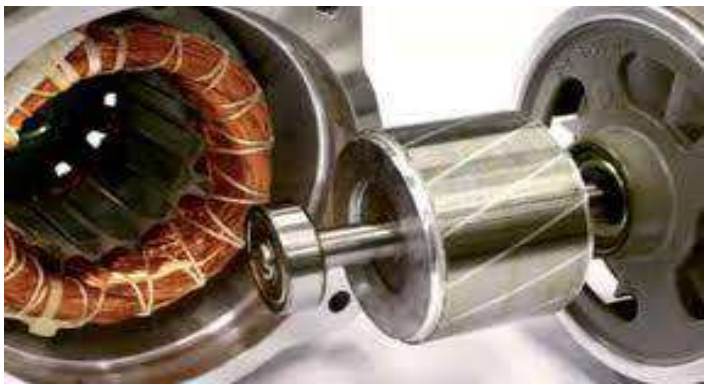
كما إن الجهد الخارج يضبط بحيث يكون متناسبا" مع التردد المطلوب وذلك للحفاظ على قيمة ثابتة للفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية . مثل هذه الأجهزة تكون عادة مكلفة ولا يلجأ إليها إلا في التطبيقات التي تحكما دقيق في السرعة.

4 – 4 – المحركات الحثية ذات الطور الواحد

Single phase induction motors

4 – 4 – 1 – التركيب :

تتركب المحركات الحثية احادية الوجه ، من ملفات احادية الوجه على العضو الثابت ، وعضو دوار ذي قفص سنجابي كما في الشكل (4 – 14) ، فتركيبها يشبه المحركات الحثية ثلاثية الاوجه ذات القفص السنجابي عدا ما يختص بملفات العضو الثابت حيث تكون احادية الوجه . الملفات احادية الوجه موزعة في مجاري العضو الثابت بطريقة تجعلنا نحصل على قوة دافعة مغناطيسية موزعة توزيعاً جيبياً في الفراغ . وبالتالي نحصل على منحنى جيبياً لكثافة الفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية . ومن اهم سمات هذه المحركات ان ليس لها عزم لبدء الحركة ، ولكن اذا بدأت حركتها بأي وسيلة مساعدة فسوف تستمر في الدوران في نفس اتجاه الدوران الذي بدأت فيه.

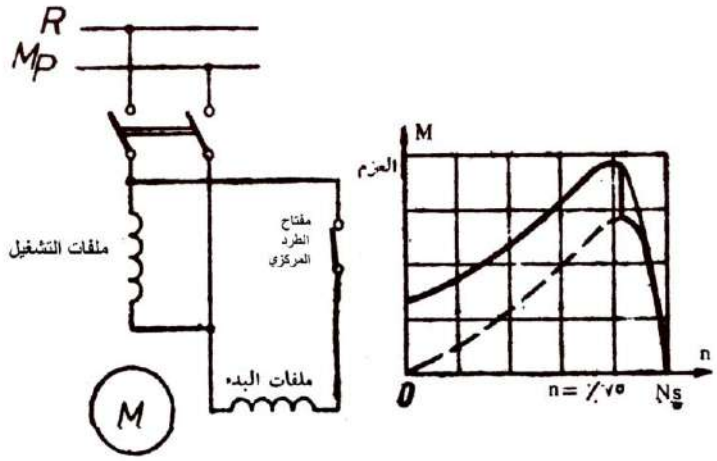


الشكل (4 – 14) يوضح العضو الثابت خالياً من الملفات والعضو الدوار لمحرك حثي احادي الوجه

ان محركات الطور الواحد ذو القفص السنجابي لا تدور من تلقاء نفسها كما هو الحال في محركات الثلاثة اطوار وللحصول على عزم دوران ابتدائي ذاتي يتم من خلال توليد طوراً جديداً من الطور الاصلي في الجزء الثابت يختلف عنه بزاوية معينة ليحدث مجالاً مغناطيسياً اخر يختلف بمقدار تلك الزاوية عن المجال المغناطيسي الاصلي ، هذه العملية تدعى بعملية تجزئة الطور أو شطر الطور (Splitting the phase) وان محصلة كلا المجالين يكون مجال مغناطيسي دواراً يحدث عزم دوران للمحرك يجعلهُ يدور بسرعة معينة ، ولهذا يسمى المحرك بالمحرك ذو الطور المشطور (Split-phase motor) ، وللحصول على عملية تجزئة الطور تتم بالطرق الأتية :

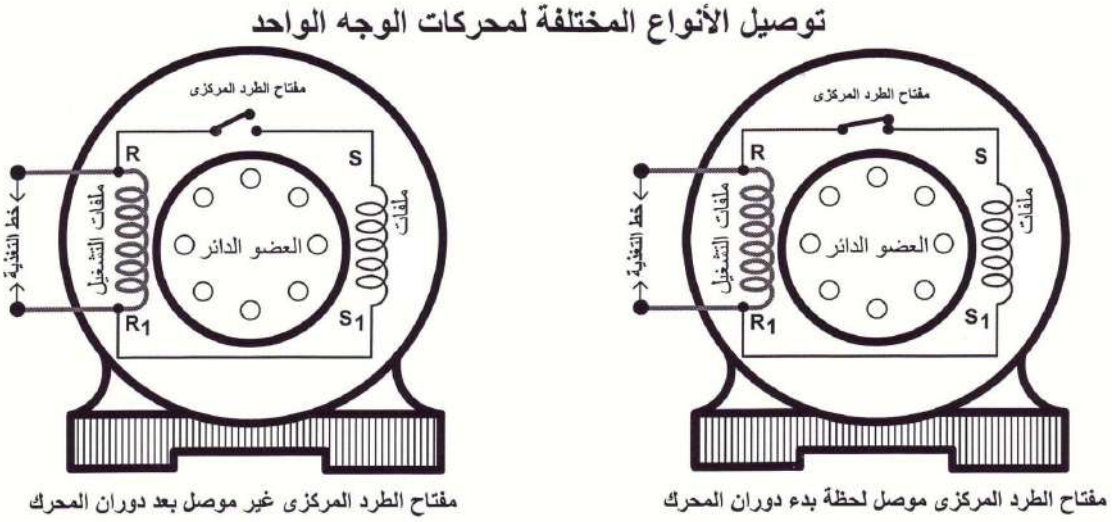
1 – باستخدام الملفات المساعدة : أنظر الشكل (4 – 15)

توضع ملفات اخرى في الجزء الثابت تدعى بالملفات المساعدة او ملفات بدء الحركة Starting coil ، وتكون من اسلاك ذات مساحة مقطع صغيرة وعدد قليل من اللفات ، ويختلف موضعها عن موضع الملفات الرئيسية او ملفات التشغيل للحصول على فرق بالزاوية بينهما .



الشكل (4 – 15) يوضح توصيلة المحرك الحثي طور واحد

تشغل ملفات بدء الحركة في اغلب الاحيان 1/3 عدد المجاري الكلية وتكون مقاومتها اكبر من الملفات الرئيسة ، وتوصل بالتوازي مع ملفات الحركة (ملفات التشغيل) وعند توصيل المحرك الى المصدر الرئيس يسري في ملفات البدء تيار يختلف بزاوية عن تيار ملفات التشغيل مما يؤدي الى نشوء مجالين مغناطيسيين مختلفين بزاوية ومحصلتهما مجال مغناطيسي دوار ، وبعد وصول المحرك الى سرعة حوالي 75% من سرعته الفعلية تفصل ملفات بدء الحركة عن المصدر عن طريق مفتاح الطرد المركزي ويستمر المحرك بالدوران بواسطة ملفات التشغيل



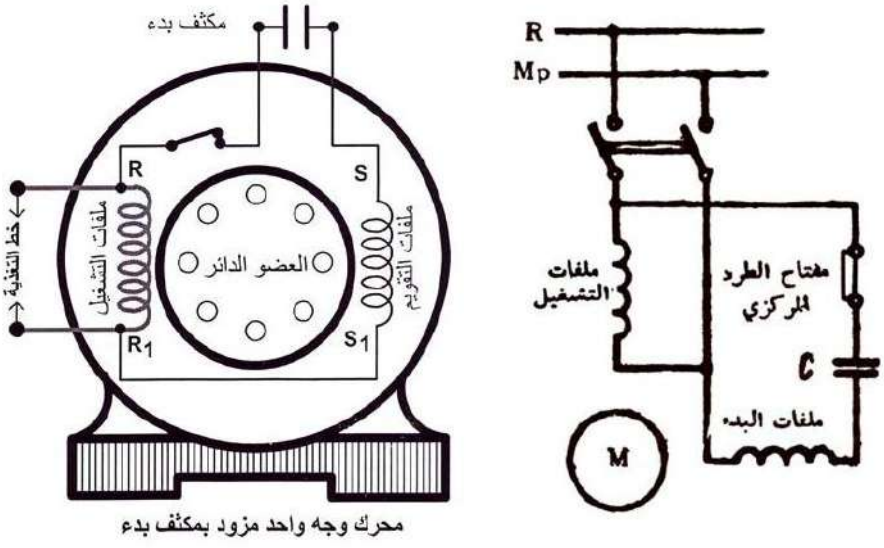
الشكل رقم (4 – 16) يوضح توصيلة المحرك قبل التشغيل وبعد التشغيل

يكون عزم الدوران في هذا النوع من المحركات واطئاً نسبياً حيث لا يتجاوز 0.04 من عزم الدوران الفعلي ، اما التيار الابتدائي فيه فقد يصل الى 2.5 للتيار الفعلي .

وتعتبر الكفاءة ومعامل القدرة فيه واطئة ، يستعمل في الاجهزة التي لا تحتاج الى عزم دوران ابتدائي عالٍ مثل محركات الثلاجات ومبردات الهواء .

2 – باستخدام الملفات المساعدة والمكثف :

يوصل المكثف بالتوالي مع ملفات بدء الحركة وتوصل دائرة ملفات البدء والمكثف بالتوازي مع ملفات التشغيل عن طريق مفتاح الطرد المركزي والشكل (4 – 17) يوضح ذلك.



الشكل (4 – 17) يوضح ربط ملفات البدء والمكثف مع ملفات التشغيل

عند توصيل المحرك الى المصدر يسري تيار في كل من ملفات التشغيل وملفات بدء الحركة حيث يعمل المكثف على تقديم التيار المار في ملفات بدء الحركة عن التيار المار في ملفات

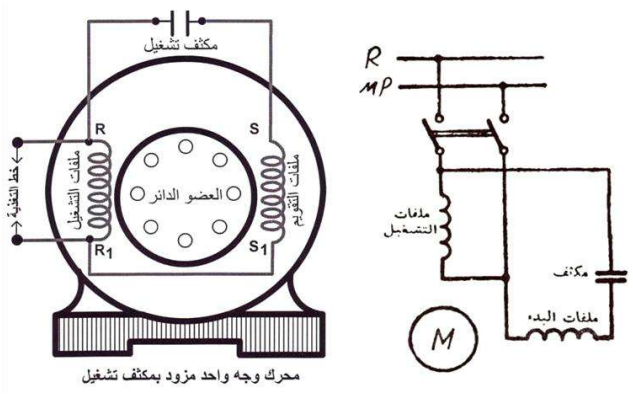
التشغيل بزاوية معينة قد تصل الى 90º وبذلك ينشأ عزم دوران نتيجة لاختلاف المجالين مما يسبب حركة الجزء الدوار .

المحركات من هذا النوع تسمى بالمحركات ذات مفتاح الطرد المركزي والمكثف يكون عزم الدوران الابتدائي فيها عالياً يصل الى ثلاثة اضعاف عزم الدوران الفعلي وتعتبر ذات كفاءة عالية ومعامل قدرة متوسط .

ان المكثف قد يسبب بعض المتاعب في عمل المحرك وذلك لان الضغط على المكثف يرتفع بصورة فجائية عندما تصل سرعة الدوران الى حوالي 75% من السرعة الفعلية وقد يسبب ارتفاع الضغط الى حدوث قصر في المكثف لذلك يتطلب ان يعمل جهاز فصل ملفات البدء بصورة منتظمة . بحيث يبدأ بعملية فصل التيار عن دائرة البدء والمكثف عندما تصل سرعة دوران المحرك الى حوالي 75% من السرعة الفعلية ، يستعمل هذا النوع من المحركات في الغسالات والثلاجات الكهربائية الكبيرة والتي تتطلب ان يكون عزم الدوران الابتدائي للمحرك عالياً .

3 – المحرك ذو المكثف الدائم (التشغيل) Running :

في هذا النوع من المحركات توصل الملفات الرئيسية بالتوازي مع ملفات البدء والمكثف ومن ثم الى المصدر ، وهنا يجب الاشارة الى ان كل من ملفات البدء والمكثف تبقى متصلة في الدائرة اثناء اشتغال المحرك ولذا اطلق عليه المحرك ذو المكثف الدائم أي يساعد في عملية البدء في التشغيل ثم يستمر في الدائرة اثناء التشغيل ايضاً ، كما في الشكل (4 – 18) الذي يوضح توصيلة المحرك ذو المكثف الدائم .



الشكل (4 – 18) يوضح توصيلة المحرك ذو المكثف الدائم

وهذا النوع من المحركات ليس فيه مفتاح طرد مركزي وهذا يعني استمرار المحرك في الدوران كمحرك ذو وجهين ، يمتاز هذا النوع من المحركات بهدوء ويسر الدوران بسبب انخفاض عزمها ، وهذا النوع من المحركات يمكن اعداده بسرعات مختلفة قابلة للضبط

باستخدام طريقة تقسيم الملفات ، هذا النوع من المحركات ذات كفاءة عالية ومعامل قدرة عالية ، يستعمل في المراوح السقفية وبعض انواع اجهزة التكييف وكذلك في بعض المراوح المنضدية

4 – 5 – المحرك ذو القطب المظلل – Shaded pole motor

هو محرك تيار متناوب ذو طور واحد ، وتتراوح قدرته ما بين (0.35 .... 0.01) من الحصان تقريباً ، وهو يستخدم في الاستعمالات التي تحتاج الى عزم دوران ابتدائي منخفض مثل المراوح الصغيرة ومجففات الشعر وغسالات الملابس والاجهزة الصوتية .

يتكون المحرك ذو القطب المظلل من الأجزاء الاتية :-

1 - الجزء الدوار : وهو من النوع القفص السنجابي ، ويتكون من محور الدوران مصنوع من حديد الصلب وقلب مكون من رقائق الصلب السلكوني تكون بعد تجميعها شكل اسطواني على محيطها الخارجي مجاري توضع بها قضبان من النحاس او الالمنيوم المقصورة من طرفيها بحلقتين من النحاس او الالمنيوم حسب نوع معدن القضبان ، الشكل (4 – 19) يوضح الجزء الدوار .

الشكل (4 – 19) يوضح الجزء الدوار

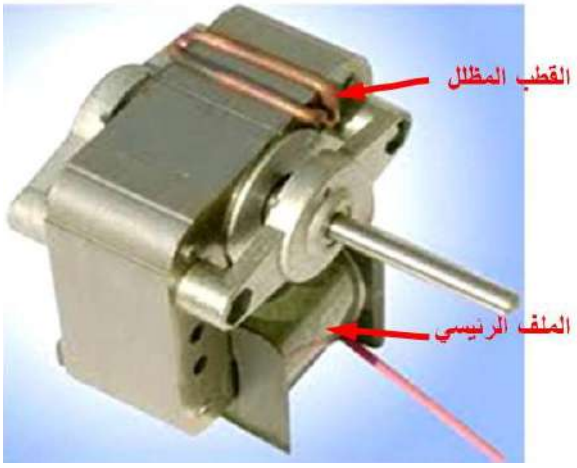
2 – الجزء الثابت : يتكون من قلب من رقائق الحديد يحتوي على الاقطاب البارزة ملفوف عليها ملفات الاقطاب (الملفات الرئيسة) ويوجد بكل قطب مجري بالقرب من احدى الجانبين موضوع حولها ملف مقصور على شكل حلقة يطلق عليه بالقطب المظلل او حلقة القصر وبالتالي يكون على كل قطب ملفان ، الملف الرئيس الذي يمر به تيار المصدر المغذي ويحدد القطبية المختلفة لأقطاب المحرك في لحظة ما ، وملف القصر الذي يتولد به تيار محتث ، ونتيجة لمرور التيار في ملفات الاقطاب الرئيسة ، يتولد في لفات الاقطاب المظللة ، خلال فترة البدء، تياراً بالحث . فيتكون نتيجة لذلك مجال مغناطيسي في الاقطاب المظللة ، مختلف عن المجال

المغناطيسي الذي تولده الاقطاب الرئيسية ، وبهذا ينتج مجال مغناطيسي دائر يكفي لإعطاء عزم الدوران الابتدائي المطلوب .عندما يصل المحرك الى سرعته المعتادة يصبح تأثير الملفات المظللة مهملاً .

كما تصنع هذه المحركات بقطبين ، او أربعة او ستة او ثمانية بحيث يتم توصيل الاقطاب المجاورة بطريقة تعكس قطبيها . ويمكن ايضاً تصنيع هذا النوع من المحركات بأقطاب غير بارزة أي بواسطة مجاري توضع فيها الملفات الرئيسة والمظللة في الاطار الخارجي بحيث تحتل الملفات المظللة حوالي الثلث فقط من جانب القطب للملف الرئيس .

والقطب المظلل عبارة عن لفة مصنوعة من سلك النحاس ذات مقطع كبير تقصر على نفسها وتوضع في مجرى خاصة بها تكون على احد جانبي القطب وتكون محاطة بالملفات الرئيسة الملفوفة على الاقطاب ، وتعمل هذه الملفات المظللة عمل ملفات البدء .

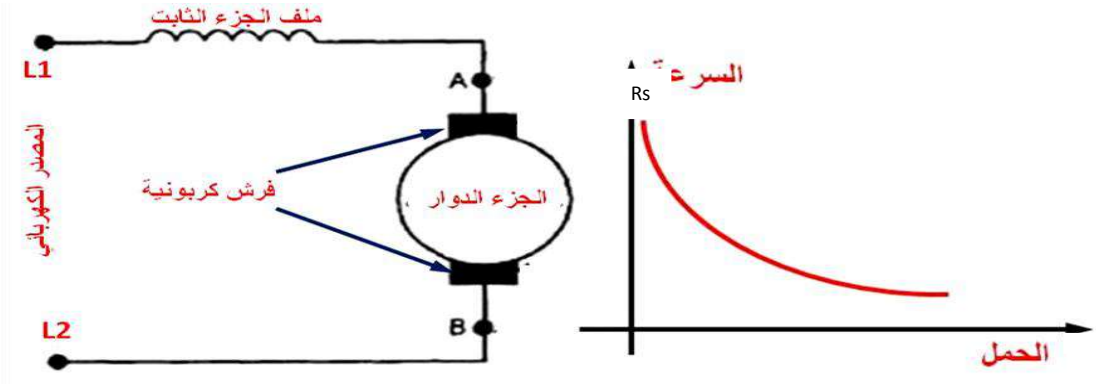
تحتوي كثير من المحركات ذات القطب المظلل على عضو ثابت ذي مجاري توضع فيها الملفات كما هو الحال في محرك ذو الوجه المشطور ، الشكل (4 – 20) يوضح القطب المظلل في القلب الحديدي للجزء الثابت .



الشكل (4 – 20) يوضح القطب المظلل في القلب الحديدي

4 – 6 – محرك التوالي (المحرك العام) : Universal motor :

سمي محرك التوالي بالمحرك العام لأنه يعمل على مصدري التيار المتناوب والتيار المستمر ، الشكل (4 – 21) يمثل توصيلة المحرك العام ، والعلاقة البيانية بين سرعة المحرك والحمل.



شكل (4 – 21) يوضح توصيلة المحرك العام والعلاقة البيانية بين سرعته والحمل

قبل ان نتحدث عن المحرك العام يجب ان نتذكر محرك التوالي للتيار المستمر ، فهو يتكون من الجزء الثابت الذي فيه ملفات الاقطاب المغناطيسية ملفوفة حول قلب من الحديد المغناطيسي ، كذلك الجزء الدوار الذي تكون فيه الملفات موصله الى عضو التوحيد وحسب الطرق المتبعة في اللف ، كما وأن ملفات الاقطاب المغناطيسية توصل مع ملفات الجزء الدوار بواسطة الفرش الكربونية المنزلقة على عضو التوحيد ، فلو أبدلنا قطبية نقاط التوصيل الى المصدر فأن أتجاه عزم الدوران في الجزء الدوار لا يتغير لان الفيض المغناطيسي الذي ينشأ يتغير اتجاههُ تبعاً لتغير اتجاه التيار ، هذا يعني انه لو ابدل مصدر التغذية من التيار المستمر الى التيار المتناوب فأن عزم الدوران لن يتأثر بالتغيير المستمر لقطبية التيار المتناوب اذ يستمر المحرك بالدوران باتجاه ثابت ولهذا يمكن تشغيل المحرك على كلا التيارين المستمر والمتناوب .

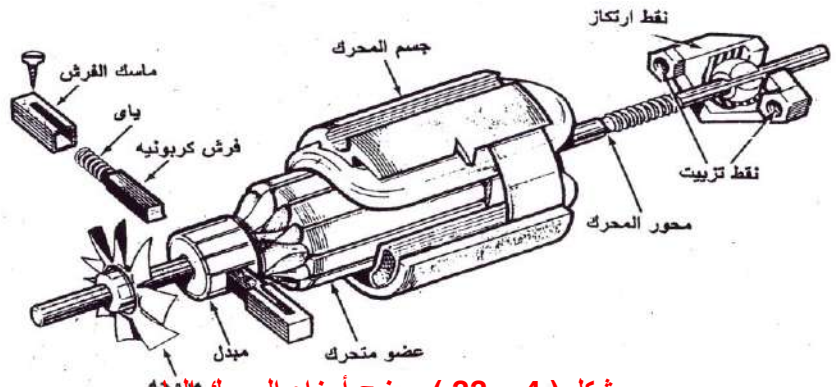
لكن محرك التوالي للتيار المستمر لو وصل الى مصدر للتيار المتناوب تكون كفاءته منخفضة جداً بسبب التيارات الاعصارية الناشئة في القطب المتكون من قطعة واحدة من الحديد المغناطيسي وبذلك تكون المفاقيد الحديدية عالية (ΔPfe) ولو أبدل قلب الحديد للأقطاب المغناطيسية بحيث يكون من صفائح الحديد المغناطيسي تقل فيه المفاقيد ، حيث تقل التيارات الاعصارية ، ويعمل المحرك بصورة طبيعية وبكفاءة اعتيادية .

ان معامل القدرة لهذهِ المحركات يكون واطئاً ولذلك تصمم بقدرات صغيرة لا تتجاوز (1.5 KW) ، أما في حالة تصميمها بقدرات كبيرة توضع ملفات مساعدة في الجزء الثابت لتقليل الشرر.

يكون عزم الدوران في هذه المحركات كبيراً الا ان سرعتها تتناقص بازدياد الحمل عليها .

أن أهم مميزات هذه النوع من المحركات هو العزم الابتدائي العالي وامكانية تنظيم السرعة وكذلك امكانية اشتغاله على التيارين المستمر والمتناوب ، ويستعمل في تحريك القاطرات الكهربائية والمثاقب الكهربائية اليدوية ، وكذلك في ماكنات الخياطة المنزلية الصغيرة.

يتكون المحرك العام ذو الاقطاب البارزة من الاجزاء التالية :-



شكل (4 – 22) يوضح أجزاء المحرك العام

4 – 7 – المحرك التنافري :

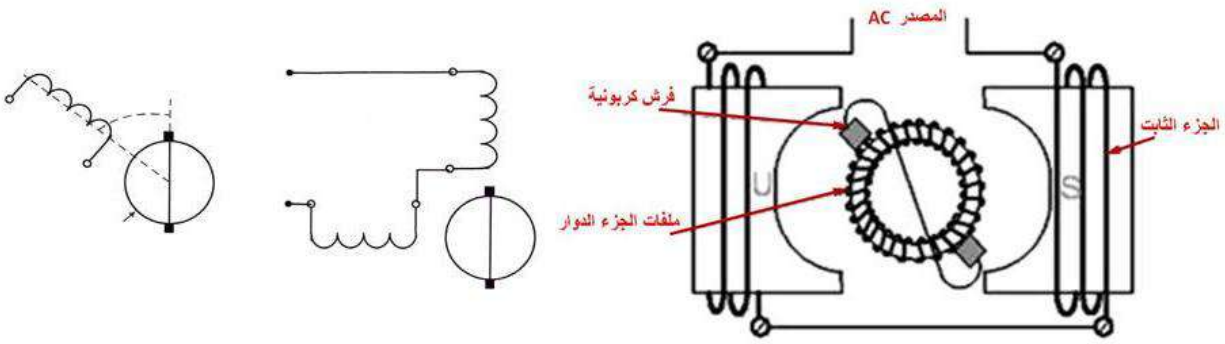
يتكون من جزئيين رئيسين كما هو الحال في المحركات الحثية وهما :-

1 – الجزء الثابت (Stator) :

في المحركات التنافرية توضع الملفات الرئيسية في مجاري الجزء الثابت ، ويتم توصيل هذه الملفات الى المصدر كما هو الحال في المحركات الحثية .

2 – الجزء الدوار (Rotor) :

ويكون مشابهاً للجزء الدوار في محركات التيار المستمر حيث توصل ملفاته الى عضو التوحيد وفق طرق اللف المتبعة وتنزلق على الموحد فرش كربونية متصلة مع بعضها مكونة دائرة مقصورة ، ويصنع محورها مع محور ملفات العضو الثابت زاوية تتوقف على قيمتها خصائص المحرك وسرعتهُ الشكل (4 – 23) يمثل المحرك التنافري ويبين ايضاً كيفية تقسيم ملف الجزء الثابت الى ملفين متعامدين .



شكل (4 – 23) يوضح المحرك التنافري

اما تسميته بالمحرك التنافري لان العزم المتولد ناتج على انه عزم تنافر، بين قطب مغناطيسي شمالي (مثلا) تكون في لحظة معينة نتيجة للتيار المتناوب على ملفات الجزء الثابت مع قطب مشابه له تكون بالحث على ملفات الجزء الدوار ، فتولد عزم الدوران نتيجة لتنافر الاقطاب المتشابهة .

الا ان ملفات الجزء الدوار لا تكون متصلة كهربائياً مع ملفات الجزء الثابت مباشرة وتتولد فيها قوة دافعة كهربائية عن طريق الحث المغناطيسي كما في المحركات الحثية .

ينشأ عزم الدوران عندما تكون الزاوية المحصورة بين محور الفرش ومحور ملفات الجزء الثابت بين صفر و (90º) فانه ينتج في هذهِ الحالة مجالان مغناطيسيان مختلفان بزاوية ومحصلة هاذين المجالين مجال مغناطيسي دوار يؤدي الى دوران المحرك وقد وجد ان زاوية (75º) هي افضل زاوية يعمل فيها المحرك ، اما اذا تغيرت قيمة الزاوية بحيث اصبحت أكثر من (90º) فان المحرك يدور بالاتجاه المعاكس .

4 – 7 – 1 – خواص المحرك التنافري :-

يشبه هذا المحرك في خصائصهِ محرك التوالي (العام) مع الفارق بأن ملفات المنتج (الجزء الدوار) في حاله المحرك التوالي العام يمر فيه التيار بالتوصيل المباشر من المصدر الكهربائي ، أما في المحرك التنافري فملف المنتج يستمد التيار من ملف الجزء الثابت بالحث ، وأهم خواص المحرك التنافري هي :

1 – امكانية السيطرة على السرعة من الصفر الى أعظم قيمة حيث تصل سرعة الجزء الدوار فيه الى السرعة التوافقية وذلك عن طريق التحكم بالزاوية بين محور الفرش الكربونية ومحور ملفات الجزء الثابت .

2 – عزم الدوران عالٍ اكثر مما هو في المحركات الحثية .

3 – معامل القدرة واطئ .

4 – كفاءته واطئة وذو كلفة عالية .

4 – 8 – أنواع المفاتيح المستخدمة لفصل ملفات بدء الحركة عن المصدر:

توجد مفاتيح خاصة في بعض محركات الطور الواحد تعمل على أيصال وفصل التيار عن ملفات بدء الحركة ، وتعمل هذه المفاتيح وفقا لتصميم المحرك وطبيعة عمله ، فقد تكون خارج المحرك يعمل يدويا كما هو الحال في محركات أحجار التجليخ ، أو يكون داخل المحرك كما هو مستعمل في محركات الثلاجات الكهربائية ومبردات الهواء والماء ومن أهم أنواع هذه المفاتيح هي :

4 – 8 – 1 – المفاتيح المغناطيسية :

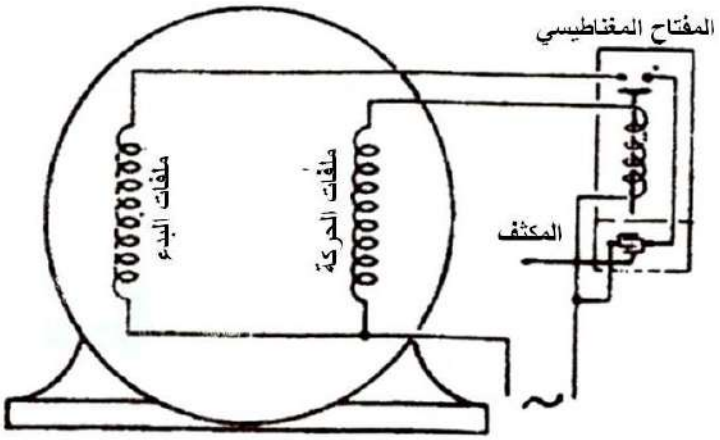
يتكون المفتاح المغناطيسي من الاجزاء التالية :

أ – ملف ذو عدد معين من اللفات .

ب – القلب الحديدي المكون للمجال المغناطيسي .

ج – العتلة المتحركة التي تحتوي على نقطتي الفصل و التوصيل .

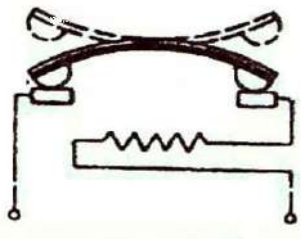
يكون الملف متصلا بالتوالي مع ملفات الحركة ، فعند بدء تشغيل المحرك يسري في الملف تيار البدء العالي بحيث يكون مجالا مغناطيسيا في القلب الحديدي للمفتاح وهذا يؤدي الى سحب عتلة تعمل على توصيل نقطتي ملفات البدء وفي هذه الحالة يبدئ المحرك بالدوران بسبب المجال المغناطيسي المتكون من الملفات (الحركة والبدء) وبعد وصول المحرك مرحة معينة ينخفض تيار المحرك بحيث يصبح المجال المغناطيسي لملف المفتاح ذا قوة جذب قليلة لا يمكنها التغلب على قوة شدة نابض العتلة وبذلك تنفصل ملفات البدء عن المصدر وتبقى ملفات المفاتيح المغناطيسية الا أنها تعمل بنفس الفكرة الشكل (4 – 24) يمثل المفتاح المغناطيسي وطريقة توصيله في الدائرة .



شكل (4 – 24) يوضح توصيل المفتاح المغناطيسي مع ملفات المحرك

4 – 8 – 2 – المفتاح الحراري :

يتكون المفتاح الحراري من قطعة ثنائية المعدن مثبته داخل المحرك تعمل على توصيل وفصل نقطي ملفات البدء ، تكون نقطتا التوصيل متصلتين ببعضهما بواسطة تلك القطعة الثنائية المعدن بتأثير تيار البدء العالي وتتقوس باتجاه يفصل ملفات البدء عن المصدر وتبقى بهذه الحالة بتأثير مقاومة تسخين موصلة بالتوالي مع ملفات الحركة والموضوعة تحت القطعة ثنائية المعدن الشكل (4 – 25) يوضح عمل القطعة ثنائية المعدن .



شكل (4– 25) يوضح عمل المفتاح الحراري

4 - 8– 3 مفتاح الطرد المركزي

وهذه المفاتيح تعمل تلقائيا بتأثير قوة الطرد المركزي الناشئة من دوران المحرك ولهذا يسمى بمفتاح الطرد المركزي، يتكون مفتاح الطرد المركزي في أبسط حالاته من جزئيين ، جزء يحتوي على نقطتين أتصال ويثبت هذا الجزء بأحد الاغطية الجانبية أوفي مقدمة الجزء الثابت ، وأخر متحرك يثبت على محور الدوران (الشفت) وفي القسم الامامي من الجزء الدوار ويحتوي على مجموعة نوابض وثقالات تعمل على جعل نقطتي الاتصال متلامستين عندما يكون المحرك ساكنا الشكل (4 – 26) يوضح اجزاء مفتاح الطرد المركزي .

شكل (4 – 26) يوضح أجزاء مفتاح الطرد المركزي

عند توصيل المحرك الى المصدر يتم تغذية ملفات بدء الحركة عن طريق مفتاح الطرد المركزي وفي هذه الحالة يتولد المجال المغناطيسي اللازم لدوران المحرك وبعد ان تصل سرعة المحرك الى حوالي 75% من السرعة الفعلية للمحرك تؤثر قوة الطرد المركزي على الجزء المتحرك من المفتاح اذ ينسحب الى وضع يتم بموجبه فصل نقطتي الاتصال عن بعضهما وبذلك ينقطع مرور التيار عن ملفات البدء ويستمر عمل المحرك بواسطة ملفات الحركة.

عند استخدام مفاتيح الفصل لملفات بدء الحركة بكل انواعها يجب ان تتم عملية فصل التيار عن ملفات بدء الحركة بصورة منتظمة وسريعة بحيث لا تتجاوز الفترة الزمنية اكثر (20) ثانية بعدها قد يودي تيار المحرك الى تلف عوازل ملفات البدء اذ أن بقاء ملفات البدء متصلة بالمصدر بعد اشتغال المحرك بسبب تعطل المفتاح لفصل التيار عنها ينجم عن هذه الحالة تلف ملفات البدء واحيانا يتبعها تلف ملفات الحركة ، كذلك يحدث احيانا تعطل المفتاح عن عملية توصيل ملفات البدء بالمصدر وفي هذه الحالة سوف لن يعمل المحرك اذا ما وصل الى مصدر التغذية واذا ستمر ذلك الخطأ يتم تلف ملفات الحركة .

لذا عند فتح المحرك لغرض الصيانة يجب مراقبة وفحص مفتاح الفصل لملفات البدء وتظيف نقاط التوصيل واجراء الصيانة له واذا تعذر تصليح المفتاح فيجب ابداله بمفتاح اخر له نفس المواصفات ليلائم العمل المطلوب .

4 – 9 – القدرة والكفاءة لمحركات التيار المتناوب :

من المعلوم إن المحركات الكهربائية بشكل عام تستهلك طاقة كهربائية وتحولها إلى طاقة ميكانيكية ، ولذلك فالمحركات تأخذ من المصدر تياراً كهربائياً بضغط معين ، فعند توصيل المحرك إلى مصدر تغذية يسري في ملفاته تياراً I بسبب ضغط المصدر V ، وبما إن المصدر تياراً متناوباً لابد من الأخذ بنظر الاعتبار الزاوية المحصورة بين موجة الضغط وموجة التيار ويرمز لها بالرمز Ø والتي تنشأ بسبب المقاومة المغناطيسية للملفات ، وأن (جتا) الزاوية Ø هو يسمى بمعامل القدرة ويرمز له (COS Ø) وبذلك تكون القدرة المجهزة إلى المحرك من مصدر التغذية مساوية إلى حاصل ضرب التيار × الضغط × معامل القدرة أي أن :

$$P = I \cdot V \cdot COS \, Ø$$

هذا في محرك الطور الواحد أما في المحرك الثلاثة أطوار فتحسب القدرة حسب العلاقة التالية :

$$P = \sqrt{3} \; I \cdot V \cdot COS \, Ø$$

حيث أن :

V	يمثل جهد الخط
I	يمثل تيار الخط
COS Ø	معامل القدرة

إن القدرة الميكانيكية التي يعطيها المحرك على محور الدوران (الشفت) والتي تسجل على لوحة تسمية المحرك ، فهي القدرة المستفاد منها لتشغيل الأجهزة ويرمز لها بالحرف P_0 .
إن إعطاء قدرة للمحرك P_i لايمكن استلامها بصورة كاملة من محور الدوران (الشفت) كقدرة ميكانيكية إذ أن قسماً منها يتحول إلى حرارة في ملفات المحرك والقلب الحديدي ولايمكن استرجاعها وهذا الجزء من القدرة يسمى بالقدرة المفقودة ويرمز لها بالرمز ΔP لذلك فأن القدرة المعطاة إلى المحرك P_i هي حاصل مجموع القدرة المأخوذة منه وهي القدرة الميكانيكية P_0 والقدرة المفقودة داخل المحرك وهي ΔP أي أن :

$$P_i = P_o + \Delta P$$

إن المفاقيد الحرارية في القدرة تكون قليلة مقارنة بالقدرة المتحولة فيه ، ولكنها تؤثر بصورة مباشرة على المواد العازلة في المحرك وتفقدها خاصية العزل ، لذلك يمكن القول انه كلما كانت القدرة المفقودة أقل كانت القدرة الخارجة منه أكبر ، ويمكن حصر المفاقيد كما يأتي :

1 – المفاقيد النحاسية :- تعتبر هذهِ المفاقيد من المفاقيد المتغيرة ذلك لأنها تتغير تبعاً لتغير مقدار التيار في الملفات الرئيسة حيث يزداد التيار ويقل تبعاً للحمل ويرمز لها بالرمز Δ Pcu وتحسب وفــق العلاقة التالية :

$$\Delta Pcu = I^2 . R$$

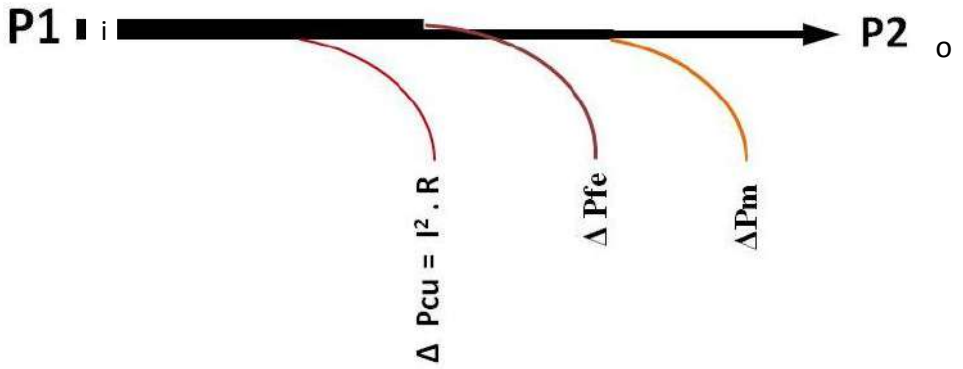
حيث أن :

I = التيار المار في الملفات الرئيسية

R = المقاومة الطبيعية للملفات الرئيسية

2 – المفاقيد في الحديد (أو الصفائح الحديدية المغناطيسية) بسبب التيارات الإعصارية أو الدوامية ويرمز لها بالرمز Δ Pfe وأحياناً يرمز له بالرمز Δ Pcore وهي من المفاقيد الثابتة .

3– المفاقيد الميكانيكية والتي تنشأ من الاحتكاك في المحاور والاحتكاك بين القرش الكاربونية والحلقات الانزلاقية (وعضو التوحيد) واحتكاك الأجزاء الدوارة مع الهواء ويرمز لها بالرمز Δ Pm أو بالرمز Δ Pf وهي من المفاقيد الثابتة أيضا . والشكل رقم (4– 27) يمثل المخطط للقدرة الداخلة والقدرة الخارجة والمفاقيد .



الشكل (4 – 27) يوضح مخطط سريان القدرة داخل المحرك

لذلك فأن المفاقيد الكلية (Δ P) هي مساوية إلى مجموع المفاقيد التي ذكرناها أي أن :

$$\Delta P = \Delta Pcu + \Delta Pfe + \Delta Pm$$

المفاقيد الكلية Δ P = المفاقيد النحاسية Δ Pcu + المفاقيد الحديدية Δ Pfe + المفاقيد الميكانيكية Δ Pm

4 – 9 – 1 – الكفاءة :

من خلال الشرح السابق يتضح ان القدرة التي يعطيها المحرك تكون اقل من القدرة التي يستهلكها بمقدار القدرة المفقودة ، والمحرك الذي تكون فيه المفاقيد قليلة يكون اكثر كفاءة من المحرك ذي المفاقيد الكبيرة ، وعلى هذا الاساس تعرف الكفاءة بأنها النسبة بين القدرة النافعة المأخوذة من المحرك (P_0) والقدرة النافعة المعطاة لهُ (P_i) ، ويرمز للكفاءة بالحـرف أيتـــا (η) ، وتكون عادة نسبة مئوية وتحسب وفق العلاقة التالية :

$$\eta = \frac{P0}{Pi} \times 100\ \%$$

$$P_i = P_0 + \Delta P$$

$$\eta = \frac{P0}{P0+\Delta P} \times 100\ \%$$

مثال 4 :

محرك كهربائي طور واحد يعمل على مصدر تيار متناوب جهده 220 فولت ، التيار المار فيه (5) أمبير ، معامل قدرته (0.8) ، احسب كفاءة المحرك ، علماً بأن المفاقيد الكلية فيه تساوي (0.1) كيلو واط .

الحل :

$P_i = I \cdot V \cdot COS\emptyset$

$= 5 \times 220 \times 0.8$

$= 880\ W$

$P_i = P_0 + \Delta P$

$P_0 = P_i - \Delta P$

$P_o = 880 - 100 = 780\ W$

$\eta = \frac{Po}{Pi} \times 100\ \%$

$= \frac{780}{880} \times 100\ \%$

$= 88.6\ \%$

مثال 5 :

محرك طور واحد قدرته (1.4 KW) وكفاءته (70%) معامل قدرته (0.8) يعمل على ضغط مقداره (250V) ، أحسب المقاومة الطبيعية لملفاته علماً بأن المفاقيد الثابتة فيه تساوي (200 W) ؟

الحل :

$$\eta = \frac{P0}{Pi} \times 100\%$$

$$P_i = \frac{P0}{\eta} \times 100\%$$

$$P_i = \frac{1.4\ X\ 1000}{0.7} = 2000\ W$$

$$P_i = I \cdot V \cdot COS\emptyset$$

$$I = \frac{Pi}{V \cdot COS\emptyset} = \frac{2000}{250 \times 0.8} = \frac{2000}{200} = 10\ A$$ التيار المسحوب من قبل المحرك

$$\Delta P = P_i - P_0$$

$$\Delta P = 2 - 1.4$$

$$\Delta P = 0.6\ KW$$ المفاقيد الكلية

$$\Delta P = \Delta Pcu + \Delta Pfe + \Delta Pm$$

$$\Delta Pcu = \Delta P - (\Delta Pfe + \Delta Pm)$$

$$\Delta Pcu = 0.6 - 0.2$$

$$\Delta Pcu = 0.4\ KW$$ المفاقيد النحاسية

$$\Delta Pcu = I^2 \cdot R$$

$$400 = 10^2 \times R$$

$$R = \frac{400}{100} = 4\Omega$$ المقاومة الطبيعية للملف

4 – 10 – المحركات التزامنية (التوافقية) Synchronous motors

تتكون هذهِ المحركات من نفس أجزاء المولد ألتزامني للتيار المتناوب حيث تتكون من جزئين رئيسين هما :-

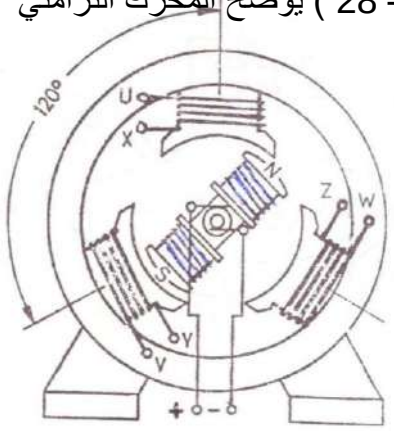
1 – الجزء الثابت (Stator) :

يتكون الجزء الثابت من القلب الحديدي وهو عبارة عن صفائح من الحديد المغناطيسي ويتراوح سمكها من 0.3 ملم إلى 0.6ملم ويحدد سمك الصفائح الحديدية قدرة الماكنة ، وتوجد فيها مجاري طولية توضع فيها ملفات الرئيسة للجزء الثابت وهي في هذه الحالة لا تختلف عن المحركات الحثية .

2 – الجزء الدوار (Rotor) :

يتكون من محور الدوران (الشفت) والذي يستند على الغطاءين الجانبين بصورة متوازية بالنسبة للجزء الثابت .

تثبت على الشفت صفائح من الحديد المغناطيسي سمك الواحدة يتراوح من 0.3 – 0.6 ملم ومعزولة بالورنيش أو الورق ، وبذلك يتكون شكل أسطواني على محيطه الخارجي شقوق طولية تسمى (المجاري) توضع فيها ملفات الأقطاب المغناطيسية التي تتغذى بالتيار المستمر ،وعلى هذا الأساس يمكن اعتبار المولد ألتزامني محركاً تزامنياً وبالعكس ، الشكل (4 – 28) يوضح المحرك ألتزامني .



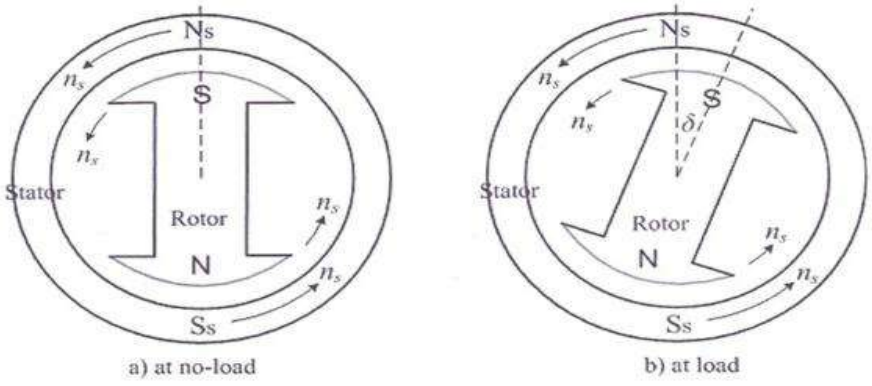
الشكل (4 – 28) يوضح المحرك ألتزامني

تعتبر هذه المحركات قليلة الاستعمال في المجالات الصناعية مقارنة مع المحركات الحثية ذلك لان بناءها لا يسمح باستعمالها للقدرات صغيرة بالإضافة إلى ذلك فـــان كلفتها عالية لأنه عند تصميمها يؤخذ بنظر الاعتبار مصدر التيار المستمر الخاص بتغذية ملفات الجزء الدوار ، كذلك تحتاج إلى أجهزة سيطرة معقدة ولتشغيلها يتطلب كوادر فنية وعمال ذوي مهارة ، وفي الحقيقة فان هذه المحركات لا تفضل علـــــى المحركات الحثية في حدود القدرات الصغيرة ، لكن للقدرات العالية تكون أهميتهـا كبيرة خاصة عندما يتطلب تشغيل أجهزة بسرع منخفضة مثل المضخات والضاغطات . ففي هذه الحالة يكـــون معامل القدرة للمحركات الحثية منخفضاً جداً بينما لا ينخفض معامل القدرة للمحركات التوافقية عن الواحد ، إما ما يؤخذ عليها فهو إن عزم الدوران الابتدائي لها يساوي صفراً لذلك فـــان الأجهزة المستعملة لإيصالها إلى سرعة

الدوران التوافقية معقدة ، وتوجد طرق مختلفة لإيصال هذه المحـــركات إلى السرعة التوافقية منها تصميم الجزء الدوار بشكل يشابه المحركات الحثية مـــع وجود الملفات التي تتغذى بالتيار المستمر وهذا النوع يسمى بالمحركات التوافقية ذات التشغيل ألحثي . أو قد تشغل في بادئ الأمر بواسطة محركات حثيه كما هـــو الحال في المحركات التوافقية الكبيرة .وبعد ذلك يفصل المحرك الحثي ميكانيكياً ويستمر المحرك التوافقي بالعمل وبسرعته التوافقية في بعض المعامل الكبيرة والتي تسبب هبوط معامل القدرة في خطوط التغذية تستعمل محركات توافقية حيث توصل الى الشبكة وتشتغل بدون حمل لتعمل على تقديم التيار عن الضغط وبذلك يتم تحســـــين معامل قدرة الشبكة ويسمى في هذه الحالة بالمكثف التزامني Synchronous Condenser .

4 – 10 – 1 – كيفية عمل المحركات ثلاثية الاطوار التزامنية :

عندما يعمل المحرك التزامني ثلاثي الاوجه بدون حمل فان محور اقطاب العضو الدائر تكون منطبقة مع محور اقطاب المجال المغناطيسي الدوار المتولد من العضو الثابت ، بحيث يكون القطب الجنوبي للعضو الدائر مقابل القطب الشمالي للمجال الدوار والقطب الشمالي للعضو الدائر مقابل القطب الجنوبي للمجال الدوار ، يدور المحوران معاً بنفس سرعة التزامن ، عند تحميل المحرك بحمل ميكانيكي فان محور اقطاب العضو الدائر يتأخر قليلاً بزاوية (s) عن محور المجال المغناطيسي الدوار ، ولكنه يستمر في الدوران بنفس السرعة التزامنية . الزاوية s بين محاور الاقطاب تزداد بزيادة الحمل الميكانيكي ، ويزداد ايضاً العزم المتولد من المحرك بحيث يكون قادراً علـــى ادارة الحمل ، ويحدث ذلك حتى الحمل الاقصى للمحرك حيث ان اية زيادة طفيفة في الحمل تفقد المحرك تزامنه ، فتنخفض سرعة المحرك ويتوقف عن الدوران . اقصى حمل للمحرك يكون حوالي ضعف الحمل المقنن (او من 1.5 الى 2.5 الحمل المقنن) .
الشكل (4 – 29) يبين محور اقطاب العضو الدائر ومحور المجال الدوار للعضو الثابت عند اللاحمل حيث ينطبق المحوران ، وعند التحميل حيث يتأخر محور أقطاب العضو الدائر عن محور أقطاب المجال الدوار بالزاوية (s) .
وبصيغة اخرى ، فان اقطاب المجال المغناطيسي الدوار تجذب وراءها اقطاب العضو الدائر بحيث تكون الزاوية بين محاورها صفراً عند اللاحمل وتزداد الزاوية s بين محاورها بزيادة الحمل الميكانيكي حتى تصل الى اقصى قيمة لها وهي تسعون درجة عندها يصل عزم المحرك الى اقصى قيمه له ، ويستمر المحرك في الدوران بسرعة التزامن طالما ان الحمل لم يتعد الحمل الذي يخرج المحرك عن التزامن .



شكل (4 – 29) يوضح محور أقطاب الجزء الدائر ومحور المجال للجزء الثابت عند الحمل واللاحمل

اسئلة الفصل الرابع

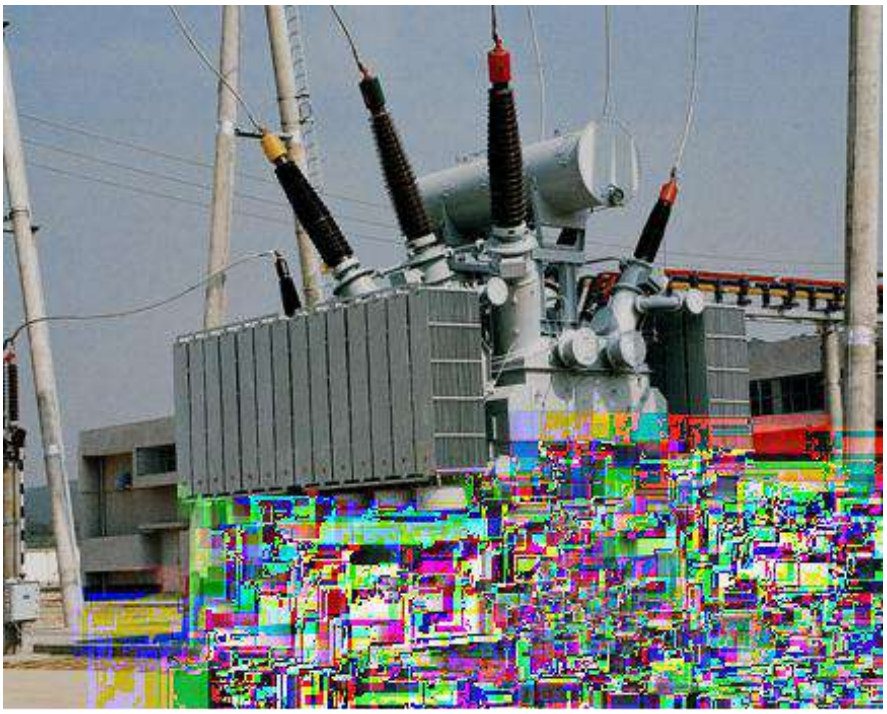
1- ما هي اجزاء المحرك الحثي بشكل عام ؟
2- ماهي مكونات الجزء الثابت للمحرك الحثي ؟ اشرح ذلك مفصلاً؟
3- ماهي أنواع ملفات الجزء الدوار في المحرك الحثي ثلاثة أطوار ؟
4- كيف ينشأ المجال المغناطيسي الدوار في الجزء الثابت للمحرك الحثي ثلاثي الاطوار ؟
5- لماذا يكون عزم الدوران الابتدائي في المحرك الحثي ذو الطور الواحد صفراً .
6- كيف يتم ازاحة المجال المغناطيسي الناشئ في الجزءالثابت للمحرك الحثي ذي الطور الواحد؟
7-عدد الطرق المتبعة في تجزئة الطور (Spliting the Phase) للمحرك الحثي ذي الطور الواحد ؟
8-افائدة مفتاح الطرد المركزي المستعمل في المحرك الحثي ذي الطور الواحد ؟
9-ماهو تأثير المكثف الموصل بالتوالي مع ملفات بدء الحركة للمحرك الحثي ذي مفتاح الطرد المركزي ؟
10-اشرح نظرية اشتغال المحرك ذي الاقطاب المظللة .
11-ما هي الاجهزة المستعملة في عملية فصل ملفات بدء الحركة في المحركات الحثية ذات الطور الواحد .
12-ماهي الطرق المتبعة في التقليل من تيار البدء للمحركات الحثية ذات الثلاثـــة أطوار ، وكيف يتم ذلك؟
13-ما الفرق في التصميم والتشغيل بين المحرك الحثي ذي القفص السنجابي والمحرك الحثي ذي الحلقات الانزلاقية ؟
14-ما هو سبب الانزلاق في المحركات الحثية ؟ وكيف يحسب؟
15-محرك حثي ذو اربعة اقطاب نسبة الانزلاق فيه (5%) احسب سرعته الفعلية اذا علم ان تردد المصدر 50ذ/ثا . (هرتز) (n = 1425 rpm)
16- محرك كهربائي طور واحد قدرته (1.5) حصان، كفاءته 80%،أحسب التيارالذي يسحبه من المصدر إذا علم إن ضغط المصدر يساوي 220 V ومعامل قدرة المحرك 0.7 ؟(I= 9A)
17-محرك ذو ثلاثة اطوار يسحب قدرة من مصدر تيار متناوب مقدارها (50 KW) عند الحمل الكامل ، أحسب مقدار المفاقيد النحاسية للطور الواحد علماً بأن مجموع المفاقيد الحديدية والميكانيكيـــــة (800 W) وكفاءة المحرك 90% ؟ (ΔPcu = 1400 W)
18- ماهي مكونات المحركات التوافقية ؟
19-اشرح نظرية اشتغال المحركات التوافقية .
20-ما هي الطرق المتبعة لتشغيل المحركات التوافقية ؟
21-في أي المجالات تستعمل المحركات التوافقية ؟
22-اين تستعمل محركات التوالي للتيار المتناوب ولماذا؟
23-ماهو تأثير موقع محور الفرش الكربونية في المحركات التنافرية على سرعة الدوران؟
24-هل يجوز تشغيل المحركات الكهربائية بصورة مباشرة على مصدر الضغط ؟
25 - كيف تكون حالة المحرك الحثي اذا كانت نسبة الانزلاق فيه (100%) ؟

(يكون المحرك في حالة سكون)

5

الفصل الخامس

توليد الطاقة الكهربائية



الهدف :

يهدف هذا الفصل الى أكساب الطالب المهارات المعرفية في :

1 – أنواع محطات توليد الطاقة الكهربائية .

2 – أجزاء المحطة وطريقة عملها بشكل مبسط .

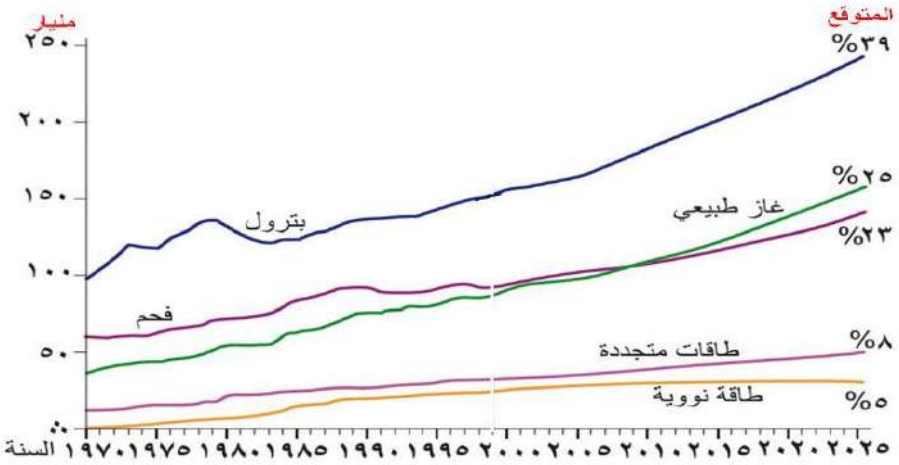
3 – التأثير السلبي للمحطات على البيئة .

5 – 1 – تمهيد :

إن اكتشاف الفحم بأنواعه كان السبب الأول في إطلاق الثورة الصناعية في منتصف القرن الثامن عشر ، واكتشاف النفط عام 1859 نقطة انعطاف في تاريخ البشرية ولاسيما في مجال توليد الطاقة الكهربائية ، حيث طُوِّرت التوربينات البخارية لتعمل على النفط بدلاً من الفحم . وشاع استخدام محركات الديزل لتوليد الطاقة ، وكذلك استخدام التوربينات الغازية التي تستخدم الوقود أو الغاز ، وفي عام 1956 قام الاتحاد السوفييتي السابق ببناء أول مفاعل نووي لإنتاج الطاقة الكهربائية وتبعته بريطانيا عام 1956 وفرنسا عام 1959 والولايات المتحدة عام 1961 ، ثم انتشر إستخدام المفاعلات النوعية بشكل متزايدة لتوليد الطاقة الكهربائية.

بسبب الأرتفاع المتزايد في أسعار النفط والاهتمام بحماية البيئة من الغازات الناتجة من احتراق الفحم والنفط والخوف من تلوث نووي قد تولده محطات توليد الطاقة النووية ، كما حصل في مفاعل (جرنوبل) في الاتحاد السوفيتي السابق وكذلك في اليابان مؤخراً ، فقد ازداد الاهتمام بتوليد الطاقة النظيفة (المتجددة) من مصادر طبيعية ، مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية ، وأصبح هذا المصدر ينافس اقتصادياً مصادر الطاقة الحرارية الأخرى ، وهنالك أبحاث لأستغلال طاقة الأمواج في توليد الكهرباء ، وغيرها حيث تمكن العلماء من تسخير الميكروبات بصورة أكثر يسرا لتوليد الطاقة بعد اكتشاف كيفية انطلاق شحنات كهربائية ضئيلة منها بصورة طبيعية .

ويظهر الشكل رقم (5 – 1) تزايد استهلاك الطاقة العالمي المتوقع حتى عام 2025 ، والذي يوضح الاعتماد على النفط والغاز بشكل أكبر .



شكل (5 – 1) يوضح توليد الطاقة الكهربائية المنتج والمتوقع حتى عام 2025

5 – 2 – مصادر الطاقة الكهربائية : Sources Of Energy

أن الطاقة الكهربائية تنتج من الأشكال المختلفة للطاقة المتوفرة في الطبيعة ، ولذلك أصبح من الضروري التعرف على مصادر الطاقة المتوفرة في الطبيعة ، ومن أهم هذه المصادر:

1 – الوقود (Fuel)

2 – الطاقة الشمسية (Solar Energy)

3 – طاقة الرياح (Wind Energy)

4 – طاقة المياه (Hydro Energy)

5 – الطاقة النووية (Nuclear Energy)

الطاقة الحرارية في جوف الأرض (Geothermal Energy)

لقد تمكن الأنسان من الأستفادة من أشكال الطاقة المتوفرة المذكورة أعلاه في أنتاج الطاقة الكهربائية وذلك من خلال مصانع تسمى (مصانع الطاقة Power Plants) أو ما يسمى ب (محطات توليد الطاقة الكهربائية Electrical Power Station) .

5 – 3 – توليد الطاقة الكهربائية بالطرق التقليدية :

5 – 3 – 1 – محطات التوليد الحرارية (البخارية) :

وهي محطات التوليد التي تقوم بتحويل الطاقة الحرارية الناتجة من أحترق أنواع مختلفة من الوقود (الفحم ، النفط ، الغاز) الى طاقة كهربائية .

تمتاز المحطات البخارية بكبر حجمها ورخص تكاليفها بالنسبة لإمكاناتها الضخمة كما تمتاز بإمكانية استعمالها لتحلية المياه المالحة ، الأمر الذي يجعلها ثنائية الإنتاج خاصة في البلاد التي تقل فيها مصادر المياه العذبة .

5 – 3 – 1 – 1 أختيار مواقع المحطات البخارية Site Selection of Steam Power Station

تتحكم في اختيار المواقع المناسبة لمحطات التوليد الحرارية عدة عوامل مؤثرة منه ما يأتي :

1 – القرب من مصادر الوقود وسهولة نقله إلى هذه المواقع وتوفر وسائل النقل الاقتصادية.

2 – القرب من مصادر مياه التبريد لأن المكثف يحتاج إلى كميات كبير من مياه التبريد ، لذلك تبنى هذه المحطات عادة على شواطئ البحار أو بالقرب من مجاري الأنهار .

3 – القرب من مراكز استهلاك الطاقة الكهربائية لتوفير تكاليف إنشاء خطوط النقل ، مراكز الاستهلاك هي عادة المدن والمناطق السكنية والمجمعات التجارية والصناعية .

وتعتمد محطات التوليد البخارية على استعمال نوع الوقود المتوفر وحرقه في أفران خاصة لتحويل الطاقة الكيميائية في الوقود الى طاقة حرارية في اللهب الناتج من عملية الاحتراق ثم استعمال الطاقة الحرارية في تسخين المياه في مراجل خاصة (Boiler) وتحويلها الى بخار

في درجة حرارة وضغط معين ثم تسليط هذا البخار على توربينات بخارية صممت لهذه الغاية فيقوم البخار السريع بتدوير محور التوربينات وبذلك تتحول الطاقة الحرارية الى طاقة ميكانيكية على محور هذه التوربينات ، يربط محور المولد الكهربائي ربطا مباشرا مع محور التوربينات البخارية فيدور محور المولد الكهربائي (AL ternator) بنفس السرعة وباستغلال خاصية المغناطيسية الدوارة (Rotor) من المولد والجزء الثابت (Stator) منه تتولد على طرفي الجزء الثابت من المولد الطاقة الكهربائية اللازمة .

لا يوجد فوارق أساسية بين محطات التوليد البخارية التي تستعمل أنواع الوقود المختلفة إلا من حيث طرق نقل وتخزين وتداول وحرق الوقود ، وقد كان استعمال الفحم الحجري شائعا في أواخر القرن الماضي وأوائل هذا القرن ، إلا أن اكتشاف واستخراج البترول ومنتوجاته احدث تغييرا جذريا في محطات التوليد الحرارية حيث اصبح يستعمل بنسبة عالية لسهولة نقله وتخزينه وحرقة إن كان بصورة وقود سائل أو غازي .

5 – 3 – 1 – 2 – أهم أجزاء محطات التوليد البخارية :

أنظر الشكل (5 – 2) .

تتألف محطات التوليد البخارية بصورة عامة من الأجزاء الرئيسة الاتية :

1 – الفرن Furnace : وهو عبارة عن وعاء كبير لحرق الوقود ، ويختلف شكل ونوع هذا الوعاء وفقا لنوع الوقود المستعمل ويلحق به وسائل تخزين ونقل وتداول الوقود ورمي المخلفات الصلبة .

2 - المرجل Boiler : وهو وعاء كبير يحتوي مياه نقية ، تسخن بواسطة حرق الوقود لتتحول الى بخار ، وفي كثير من الأحيان يكون الفرن والمرجل في حيز واحد تحقيقا للاتصال المباشر بين الوقود المحترق والماء المراد تسخينه ، وتختلف أنواع المراجل حسب حجم المحطة وكمية البخار المنتج في وحدة الزمن .

3 – التوربين Turbine : وهوعبارة عن زعانف مقعرة من الصلب مثبتة على محور لتشكل جسم أسطواني يصطدم فيها البخار فيعمل على دورانها ، ويدور المحور بسرعة عالية تصل 3000 دورة / الدقيقة ، وتختلف التوربينات في الحجم والتصميم والشكل باختلاف حجم البخار وسرعته وضغطه ودرجة حرارته ، أي باختلاف حجم محطة التوليد .

4 – المولد الكهربائي Generator : هو مولد كهربائي مؤلف من عضو دوار مربوط مباشرة مع محور التوربين وعضو ثابت ، ويلف العضوين بالأسلاك النحاسية المعزولة لتحويل القوة المغناطيسية المتولدة إلى تيار كهربائي على أطراف العضو الثابت ، ويختلف شكل هذا المولد باختلاف حجم المحطة

5 – المكثف Condenser : وهو وعاء كبير من الصلب يدخل اليه من الأعلى البخار الآتي من التوربين بعد أن قام بتدويره وفقد الكثير من ضغطه ودرجة حرارته ، كما يدخل في هذا المكثف من أسفل تيار من مياه التبريد داخل أنابيب حلزونية تعمل على تحويل البخار الضعيف إلى مياه حيث تعود هذه المياه إلى المراجل مرة أخرى بواسطة مضخات خاصة .

6 – المدخنة Chimney : وهي عبارة عن مدخنة من الآجر الحراري (Brick) أسطوانية الشكل مرتفعة جدا تعمل على طرد مخلفات الاحتراق الغازية إلى الجو على ارتفاع شاهق للإسراع في طرد غازات الاحتراق والتقليل من تلوث البيئة المحيطة بالمحطة .

7 – المعدات المساعدة Auxiliaries : وهي عدد كبير من المضخات والمحركات الميكانيكية والكهربائية ومنظمات السرعة ومعدات تنقية الماء وتحميص البخار التي تساعد على إتمام العمل في محطات التوليد .

شكل (5 – 2) يوضح صورة لأجزاء محطة بخارية

5 – 3 – 2 – محطات التوليد الغازية : Gas Turbine power station

هي محطات التوليد التي تقوم بإستخدام التوربينات الغازية كبادئ حركة في أنتاج الطاقة الكهربائية

وتعتبر محطات توليد الكهرباء التي تعمل بالتوربينات الغازية حديثة العهد نسبيا ، وهي ذات سعات وأحجام مختلفة من 1 ميغاواط الى 250 ميغاواط ، وأن فترة تشغيلها وإيقافها تتراوح بين دقيقتين وعشرة دقائق ، ومنها وحدات متنقلة مختلفة الأحجام والقدرات محمولة في شاحنات كبيرة أو بواخر لحالات الطوارئ .

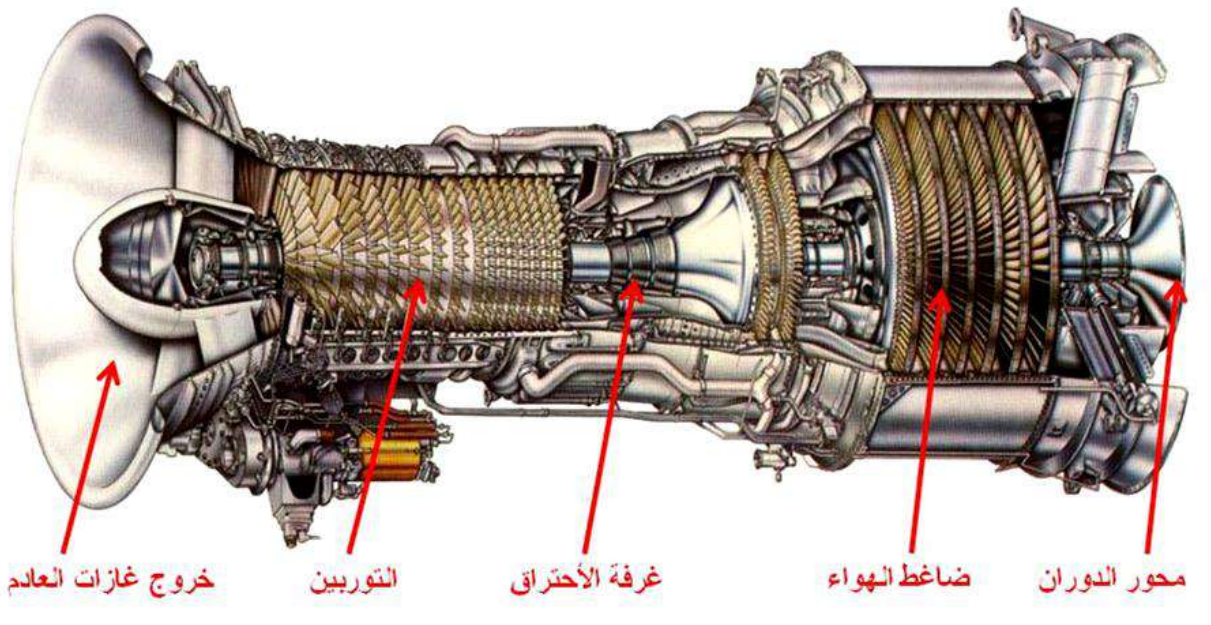
تمتاز هذه المولدات ببساطتها ورخص ثمنها نسبيا وسرعة تركيبها وسهولة صيانتها وهي لا تحتاج إلى مياه كثيرة للتبريد . كما تمتاز بإمكانية استعمال العديد من أنواع الوقود (البترول الخام النقي – الغاز الطبيعي – الغاز الثقيل وغيرها .) وتمتاز كذلك بسرعة التشغيل وسرعة الإيقاف .

وأما مساوئها فهي ضعف إنتاجها ، وقصر عمرها الزمني ، وتستهلك كمية كبيرة من الوقود بالمقارنة مع محطات التوليد الحرارية البخارية .

أجزاء المحطة الغازية :

الأجزاء الرئيسة لمحطة التوليد بالتوربينات الغازية هي :

1 – المحرك التوربيني ، أنظر الشكل (5 – 3) ويتكون من :



شكل (5 – 3) يوضح أجزاء المحرك التوربيني الغازي

أ – ضاغط الهواء The Air Compressor : يأخذ الهواء من الجو المحيط بعد تنقيته ويرفع ضغطه الى عشرات الضغوط الجوية بواسطة زعانف ضاغطة مثبتة على المحور الرئيسي للمحرك .

ب – غرفة الاحتراق The Combustion Chamber : وفيها يختلط الهواء المضغوط مع الوقود ويحترقان معا بواسطة وسائل خاصة بالاشتعال وتكوين غاز بضغط عالٍ و حرارة عالية تندفع الى الجزء الثالث من المحرك التوربيني .

ج – التوربين The Turbine : وهي عبارة عن توربين محورها أفقي مربوط من ناحية مع محور ضاغط الهواء مباشرة و من ناحية أخرى مع المولد ولكن بواسطة صندوق تروس لتخفيف السرعة لأن سرعة دوران التوربين عالية جدا لا تتناسب مع سرعة دوران المولد الكهربائي ، تدخل الغازات الناتجة عن الاحتراق في التوربين فتصطدم بالزعانف الكثيرة العدد من ناحية الضغط المنخفض (يتسع قطر التوربين من هذه الناحية) الى الهواء عن طريق مدخنة .

د - المولد الكهربائي The Generator : يتصل المولد الكهربائي مع التوربين بواسطة صندوق تروس لتخفيف السرعة كما ذكرنا لضبط التردد والقدرة الكهربائية الخارجة .

هـ - الآلات والمعدات المساعدة Auxiliaries وهي :

1 - مصافي الهواء (الفلاتر) .

2 - مساعد التشغيل الأولي وهو أما محرك ديزل أو محرك كهربائي .

3 - وسائل مساعدة على الاشتعال

4 - آلات نقل وضخ مياه تبريد المحطة

5 - معدات قياس الحرارة والضغط والقدرة الكهربائية .

6 - معدات منظومة أطفاء الحريق وتعمل تلقائياً عند حدوث الحريق .

5 – 3 – 3 – محطات التوليد النووية Nuclear Power Station :

وهي المحطات التي تقوم بتحويل الطاقة النووية الى طاقة كهربائية .

محطات التوليد النووية نوعا من محطات التوليد الحرارية لأنها تعمل بنفس المبدأ الذي تعمل به المحطات المستخدمة للفحم أو النفط ، وهو توليد البخار بالحرارة وبالتالي يعمل البخار على تدوير التوربينات التي بدورها تدور الجزء الدوار من المولد الكهربائي وتتولد الطاقة الكهربائية على أطراف الجزء الثابت من هذا المولد .

في محطات التوليد النووية يوجد مفاعل ذري تتولد فيه الحرارة نتيجة انشطار ذرات اليورانيوم بضربات الإلكترونات المتحركة في الطبقة الخارجية للذرة وتستغل هذه الطاقة الحرارية الهائلة في غليان المياه في المراجل وتحويلها إلى بخار ذي ضغط عال ودرجة مرتفعة جدا .

تحتوي محطة التوليد النووية على الفرن الذري الذي يحتاج إلى جدار عازل وواق من الإشعاع الذري وهو يتكون من طبقة من الآجر الناري وطبقة من المياه وطبقة من الحديد الصلب ثم طبقة من الإسمنت تصل إلى سمك مترين وذلك لحماية العاملين في المحطة والبيئة المحيطة من التلوث بالإشعاعات

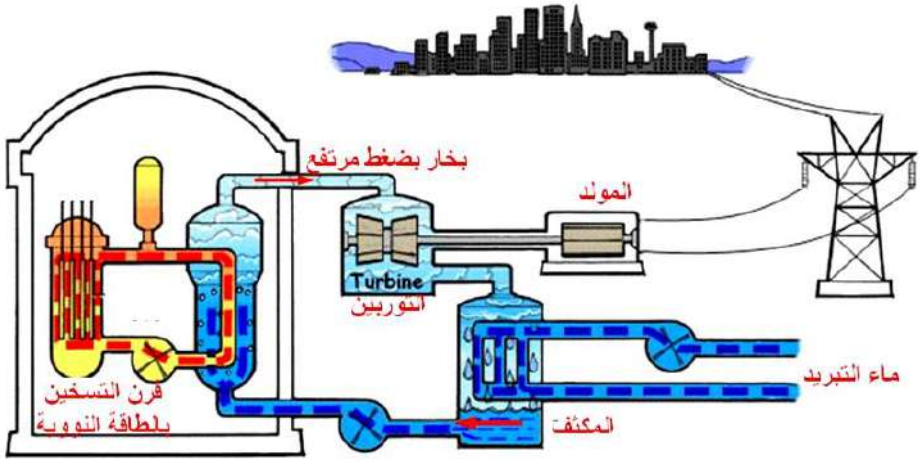
أن أول محطة توليد حرارية نووية في العالم نفذت في عام 1954 وكانت في الاتحاد السوفيتي السابق بطاقة 5 ميغاواط ، ومحطات التوليد النووية غير مستعملة في البلاد العربية حتى الآن ، ولكن محطات التوليد الحرارية البخارية هي المستعملة بشكل كبير .

ويمكن تقسيم محطات توليد الكهرباء بالطاقة النووية الى نوعين بحسب طريقة توليد البخار :

1 – مفاعل ضغط الماء pressure water reactor ، كما في الشكل (5 – 4) .

حيث يتم تسخين الماء في منظومة مغلقة تتخللها أعمدة المادة المشعة (اليورانيوم) والتي بدورها ترفع حرارة الماء ليتحول الى ما يسمى (البخار المحمص) ، تنتقل الحرارة منه الى منظومة

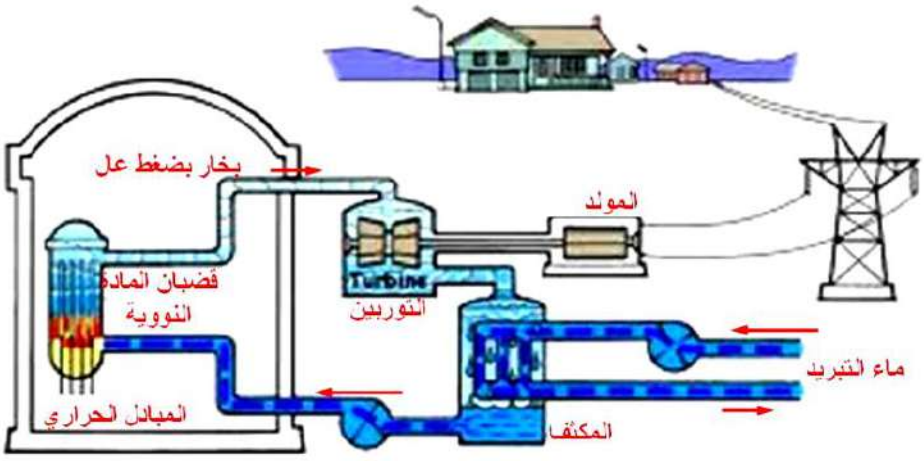
بخار أخرى تسمى منظومة تدوير التوربين (لا يختلط بخار المنظومتين) والتي تتكون من خزان (مبادل حراري) وأنابيب نقل البخار الى التوربين ومنه الى المكثف حيث يتكاثف البخار بفعل ماء التبريد ويتحول الى ماء ساخن يتم ضخه الى المبادل الحراري ليتحول الى بخار مرة أخرى وهكذا يستمر عمل المحطة النووية .



شكل (5 – 4) يوضح توليد البخار بأنابيب التسخين

2 – مفاعل الماء المغلي (طريقة الحرارة المباشرة) (boiling water reactor) كما في الشكل (5 – 5) :

يكون التسخين وتوليد البخار بشكل مباشر ، في منظومة مغلقة واحدة .



شكل (5 – 5) يوضح الطريقة المباشرة لتوليد البخار

5 – 3 – 4 – المحطات الكهرومائية : Hydro Energy

وهي المحطات التي تستخدم الطاقة الكامنة للمياه في الارتفاعات العالية لتوليد الطاقة الكهربائية .

منذ القدم تمكن الأنسان من الاستفادة من جريان الماء في الأنهار والشلالات حيث صنع النواعير ومطاحن الحبوب ، ومكائن النسيج ، وغيرها .

ومنذ القدم أيضاً تمكن الانسان من بناء السدود للتخلص من خطر الفيضان في موسم الامطار وهي خزين للإرواء في موسم توقف المطر ، وعند صنع المولد الكهربائي الذي يحتاج الى قوة مستمرة لتدويره فكر الانسان في استغلال طاقة ، جريان الانهار ، والشلالات ، والطاقة الكامنة للماء المحتجز بالسدود ، في توليد الطاقة الكهربائية .

لقد تم صنع أنواع مختلفة من محطات التوليد المائية وطاقتها بحسب ارتفاع الماء قبل السد ، وكمية الماء المتدفق على التوربين ، ونوع التوربين .

وتتميز محطات التوليد المائية بمردودها المرتفع مقارنة بمحطات التوليد الأخرى ، إضافة إلى عدم إضرارها بالبيئة ، إذ لا تسبب أيَّ تلوث ، كما أن كلفة توليد الطاقة منها منخفضة لكون طاقة التغذية

(تدوير المولد) تقدمها الطبيعة مجاناً ، ولكن في المواسم القليلة الامطار وقلة منسوب الماء المخزون يتسبب في نقص كبير في طاقة المحطة أو توقفها أحياناً .

تم بناء أول محطة كهرومائية في العراق عام 1972 على سد سامراء بطاقة 28 ميكا واط ثم بنيت المحطات الاخرى في دربن دخان ودوكان والموصل وأخرها في سد حديثة وجميعها تتأثر طاقتها الإنتاجية سلباً في مواسم الامطار القليلة .

5 – 3 – 4 – 1 – أنواع المحطات المائية :

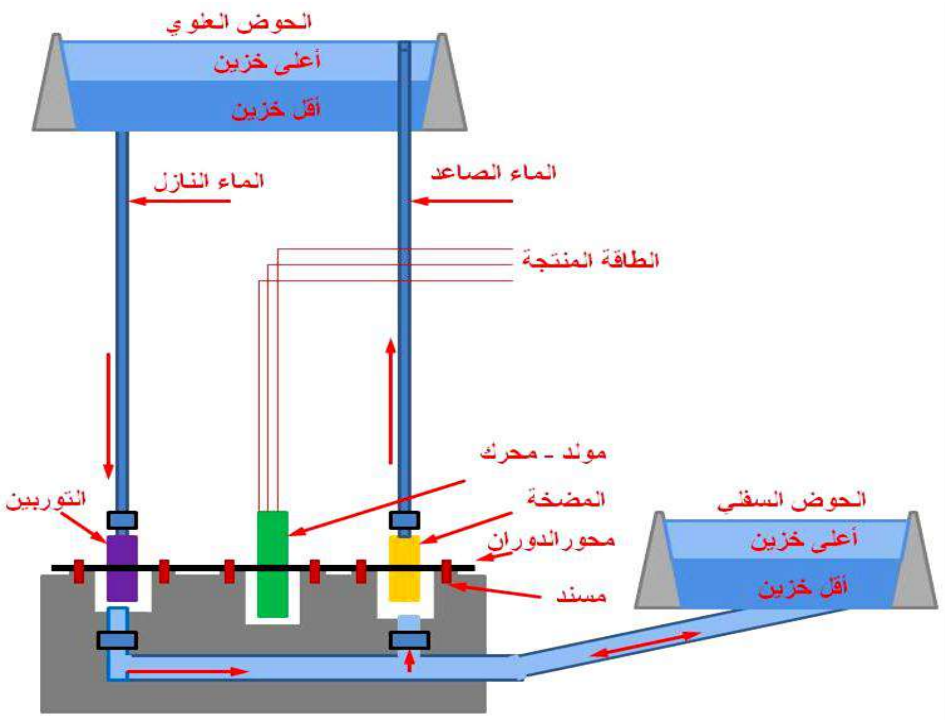
يمكن تقسيم المحطات المائية حسب مصدر المياه المغذية لها إلى : -

1 – المحطات ذات التخزين بالضخ

2 – محطات المياه المنسابة (الجارية) .

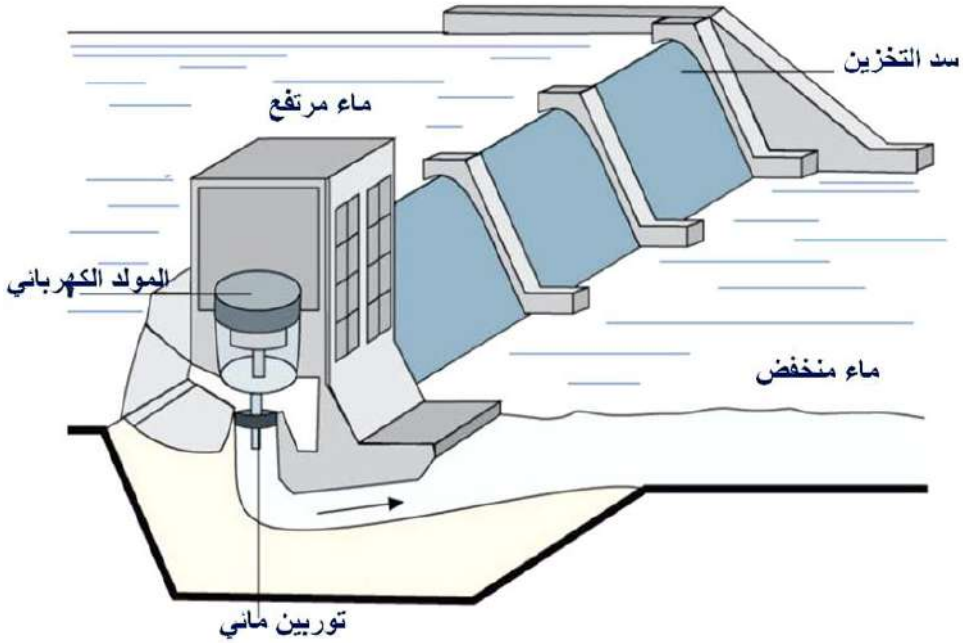
3 – محطات المياه المختزنة .

1 - المحطات ذات التخزين بالضخ : وتتكون من مجموعة مضخات ومعدات وأنابيب الضغط المرتفع وحوضين للتخزين (حوض علوي وآخر سفلي) يتراوح ارتفاع الماء الساقط على التوربين المائي بين 50 و 120 متر ، تستخدم الطاقة الكهربائية الفائضة والمولَّدة في المحطة في أوقات انخفاض الاستهلاك للكهرباء لضخ الماء إلى الحوض العلوي ، ولتغطية الاستهلاك الكامل للطاقة الناتجة ، تستخدم الطاقة الكامنة للماء المختزن في توليد الكهرباء في التوربين ، أي أن الاستفادة من الطاقة المتولدة لا يكون بالكامل ، قد يصل الى 75 % .
تُستخدم في هذه الطريقة آلتان منفصلتان هما التوربين والمضخة ، حيث تركبَّان على محور واحد مع مولد و محرك تزامني أنظر الشكل (5 – 6) .



شكل (5 – 6) يوضح محطة التوليد ذات التخزين بالضخ

2 – محطات المياه الجارية : يتم إنشاء محطات التوليد بالمياه الجارية ، كما يوضح الشكل (5 – 7) على الأنهار أو الجداول وتتميز بتدفق كميات كبيرة من المياه ، إلا أن انحدارها قليل .



شكل (5 – 7) يوضح محطة توليد المياه الجارية

3 – محطات المياه المختزنة :

تمتاز محطات المياه المختزنة بالتدفقات القليلة للماء ، وبارتفاع كبيرة جداً، والتي تتحقق عن طريق بحيرات مرتفعة أو بحيرات تتشكل خلف السدود ، حيث تستطيع بحيرة السد تخزين الماء في فترات طويلة .

إن تخزين الطاقة الكامنة للماء هو الطريقة الأنسب من ناحية التكاليف والأكثر رفقاً بالبيئة إذا أريد تخزين الطاقة ، أما المحطات ذات التخزين بالضخ فتستخدم لتلبية طلب مفاجئ على الكهرباء ، وكاحتياطي آني لتوليد الكهرباء . انظر الشكل (5 – 8) الذي يوضح تخزين المياه في وادٍ عميق بين الجبال .

شكل (5 – 8) يوضح مياه مختزنة لتوليد الطاقة الكهربائية

5 – 3 – 5 – المحطات التي تعمل بمحركات الأحتراق الداخلي (الديزل) :

Diesel Power Station

هي المحطات التي تستخدم ماكنة الاحتراق الداخلي (الديزل) كبادئ حركة في توليد الطاقة الكهربائية ، كما يوضح الشكل (5 – 9) عدد من مولدات الديزل تعمل في المحطة الواحدة .

شكل (5 – 9) يوضح محطة توليد الطاقة الكهربائية تعمل بمحركات الديزل

محطات التوليد ذات الاحتراق الداخلي هي عبارة عن الآت تستخدم الوقود السائل حيث يحترق داخل غرف احتراق بعد مزجها بالهواء بنسب معينة ، فتتولد نواتج الاحتراق وهي عبارة عن غازات على ضغط مرتفع تستطيع تحريك المكبس بقوة كبيرة تضغط على ذراع المكبس فيقوم بتحريك عمود المرفق ، كما في حالة ماكينات الديزل .

تستعمل ماكينات الديزل في توليد الكهرباء في أماكن كثيرة وخاصة في المدن الصغيرة والقرى ، تمتاز : بسرعة التشغيل وسرعة الإيقاف وسهولة نقلها وتركيبها ، وتستعمل كثيرة في حالات الطوارئ أو أثناء انقطاع الكهرباء القادمة من المحطات الكبيرة ، ومن الممكن تشغيل عدد كبير من هذه المولدات بالتوازي لسد احتياجات مراكز الاستهلاك .

مساوئها : أنها تحتاج الى كمية مرتفعة من الوقود نسبيا وبالتالي فان كلفة الطاقة المنتجة منها تتوقف على أسعار الوقود ، ومن ناحية أخرى لا يوجد منها وحدات ذات قدرات كبيرة .

5 – 4 – توليد الطاقة الكهربائية من الطاقة المتجددة :

الطاقة المتجددة (النظيفة) :

هي الطاقة المستمدة من الموارد الطبيعية التي تتجدد أو التي لا يمكن ان تنفذ (الطاقة المستدامة) ، ومصادر الطاقة المتجددة ، تختلف جوهريا عن الوقود من بترول وفحم وغاز طبيعي ، أو الوقود النووي الذي يستخدم في المفاعلات النووية ولا تنشأ عن الطاقة المتجددة في العادة مخلفات كثاني أوكسيد الكربون أو غازات ضارة أو تعمل على زيادة الانحباس الحراري كما يحدث عند احتراق الوقود أو المخلفات الذرية الضارة الناتجة من المفاعلات النووية.

وتنتج الطاقة المتجددة من الرياح والمياه والشمس كما يمكن إنتاجها من حركة الأمواج والمد والجزر أو من طاقة حرارة باطن الأرض ، حالياً أكثر إنتاج للطاقة المتجددة يُنتج في محطات القوي الكهرومائية بواسطة السدود أينما وجدت الأماكن المناسبة لبنائها على الأنهار ومساقط المياه ، وتستخدم الطرق التي تعتمد على الرياح والطاقة الشمسية على نطاق واسع في البلدان المتقدمة وبعض البلدان النامية ، وذلك لتجنب التهديدات الرئيسة لتغير المناخ بسبب التلوث واستنفاذ الوقود ، بالإضافة للمخاطر الاجتماعية والسياسية للبترول والطاقة النووية

5 – 4 – 1 – التوليد بطاقة الرياح : هي عملية تدوير مراوح كبيرة متصلة برأس توليد بواسطة الرياح ، وتكون محمولة على أبراج بارتفاعات عالية تصل الى أكثر من 100 متر وتحتوي على أجهزة سيطرة لضبط فرق الجهد والتردد .

وجد هذا النوع من توليد الطاقة الكهربائية في الأماكن التي تعتبر مجاري دائمة لهبوب الرياح القادرة على تدوير المراوح (طول الشفرة يصل 25 متر أو أكثر) ، وهنالك مدن

صغيرة في الولايات المتحدة واوروبا تستمد الطاقة الكهربائية اللازمة للاستهلاك اليومي من محطة توليد الطاقة الكهربائية تعمل بالرياح ، أنظر الشكل (5 – 10) .
شفرات المراوح لها تأثير سلبي على الطيور ، وتحدث ضوضاء في المناطق الزراعية تزعج المزارعين ولذلك تم أنشاء الكثير منها في بحر الشمال بعيداً عن السواحل .

شكل (5 – 10) يوضح مجموعة أبراج لتوليد الطاقة الكهربائية بقوة الرياح

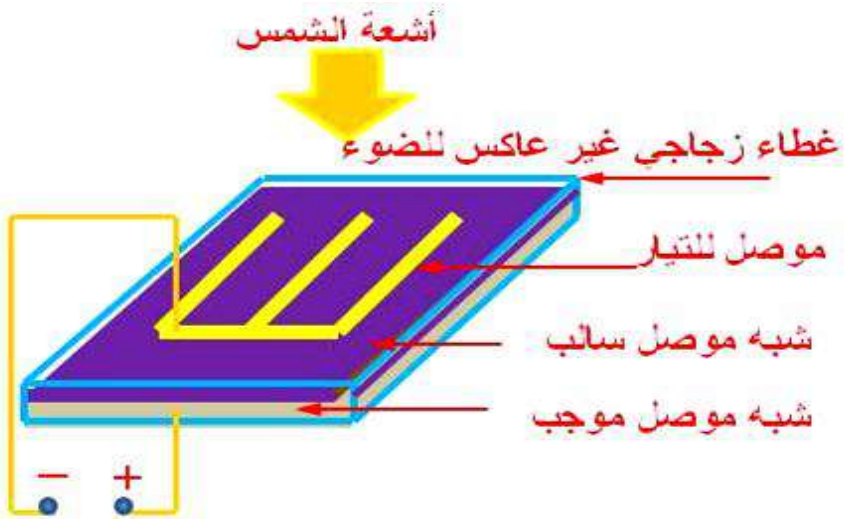
5 – 4 – 2 – التوليد بالطاقة الشمسية :

هي عملية تحويل الضوء الى طاقة كهربائية بواسطة خلايا ضوئية تسمى (الخلايا الشمسية).

الخلايا الشمسية أوالخلايا الفولت ضوئية photovoltaic cells : هي أشباه موصلات من السليكون الذي يستخرج من الرمل النقي ، ويكون أما مادة بلورية سميكة كالسيليكون البلوري Crystalline Silicon أو مادة لا بلورية رقيقة كمادة السيلكون اللابلوري (Amorphous Silicon a-Si) ومواد أخرى مثل الكادميوم Cadmium و الجاليوم (Gallium Arsenide)، وهذه المواد تصنع بطريقة خاصة بشكل رقائق تعرض الى أشعة الشمس بشكل مباشر ، من خلالها يتم تحويل اشعة الشمس مباشرة إلى كهرباء .

تعتمد شدة تيارها علي وقت سطوع الشمس وشدة أشعة الشمس ، وكذلك على كفاءة الخلية الضوئية

نفسها في تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية ، أنظر الشكل (5 – 11) .



شكل (5 – 11) يوضح خلية شمسية

تعطي الخلية الشمسية التيار الكهربائي المستمر DC ويتم توصيل هذه الخلايا علي التوالي ، للحصول على فرق جهد عال وتيار كبير ، كما في الشكل (5 – 12) ، كما يمكن تخزين الطاقة الناتجة في البطاريات الحامضية المصنوعة من الرصاص أو القاعدية المصنوعة من معدني النيكل والكاديوم .ويمكن تحويل التيار المستمر DC إلي تيار متردد AC بواسطة العاكسات Invertors للاستعمال وإدارة الأجهزة الكهربائية المنزلية والصناعية العادية .

مميزاتها :

1 – هادئة لا يصدرمنها أي صوت لأنها لا تحتوى على أجزاء ميكانيكية متحركة ميكانيكية .

2 – ليس لها أي تلوث في البيئة .

3 – تعمل لعدة سنوات بنفس الكفاءة (عمرها طويلة) .

4 – يتم تنصيبها في المكان المخصص فيه أنتاج الطاقة الكهربائية ولذلك لا تحتاج الى أعمدة وأسلاك كهربائية للنقل .

5 – تعمل بشكل جيد في الاجواء الغائمة والباردة .

6 – لكن كلفتها الابتدائية مرتفعة مقارنة بمصادر الطاقة الأخرى. والخلايا الشمسية تولّد كهرباء مستمرة ومباشرة (كما هو في البطاريات السائلة والجافة العادية) .

شكل (5 – 12) يوضح توصيل عدد كبيرمن الخلايا لتكوين محطة توليد الطاقة الكهربائية

5 – 4 – 3 – التوليد بطاقة المد والجزر :

هي عملية استغلال الطاقة الحركية للمد والجز في توليد الطاقة الكهربائية .

أن المد والجزر من الظواهر الطبيعية المعروفة عند سكان سواحل البحار ، فهم يرون مياه البحر ترتفع في بعض ساعات اليوم وتنخفض في البعض الآخر ، وقد لا يعلمون أن هذا الارتفاع ناتج عن جاذبية القمر عندما يكون قريبا من هذه السواحل وان ذلك الانخفاض يحدث عندما يكون القمر بعيدا عن هذه السواحل ، أي عندما يغيب القمر ، علما أن القمر يدور حول الأرض في مدار بيضوي الشكل دورة كل شهر هجري ، وأن الأرض تدور حول نفسها كل أربع وعشرين ساعة ، فإذا ركزنا الانتباه على مكان معين ، وكان القمر ينيره في الليل ، فهذا معناه أنه قريب من ذلك المكان وان جاذبيته قوية ، لذا ترتفع مياه البحر ، وبعد مضي أثنى عشرة ساعة من ذلك الوقت ، يكون القمر بالجزء المقابل قطريا ، أي بعيدا عن المكان ذاته بعدا زائدا بطول قطر الكرة الأرضية فيصبح اتجاه جاذبية القمر معاكسة وبالتالي ينخفض مستوى مياه البحر .

واكثر بلاد العالم شعورا بالمد والجزر هو الطرف الشمالي الغربي من فرنسا حيث يعمل مد وجزر المحيط الأطلسي على سواحل شبه جزيرة (برنتانيا) إلى ثلاثين مترا وقد أنشأت هناك محطة لتوليد الطاقة الكهربائية بقدرة 400 ميغاواط ، حيث توضع توربينات خاصة في مجرى المد فتديرها المياه الصاعدة ثم تعود المياه الهابطة وتديرها مرة أخرى .

ومن الأماكن التي يكثر فيها المد والجزر السواحل الشمالية للخليج العربي حيث يصل أعلى مد إلى ارتفاع 11 مترا ولكن لا تستغل في الطاقة الكهربائية لوفرة النفط في المنطقة .

5 – 4 – 3 – 1 – أنواع المحطات التي تعمل بالمد والجزر :

1 – الابراج : وتتكون من برج يتم بنائه في البحر ، يكون في أعلى البرج المولد الكهربائي وفي أسفل البرج (في الجزء الغاطس) مروحة كبيرة تعترض حركة المياه أثناء حدوث المد والجزر أيضاً ، كما في الشكل (5 – 13) ، فتنتقل الحركة الى المولد بواسطة صندوق تروس ومحاور نقل الحركة .

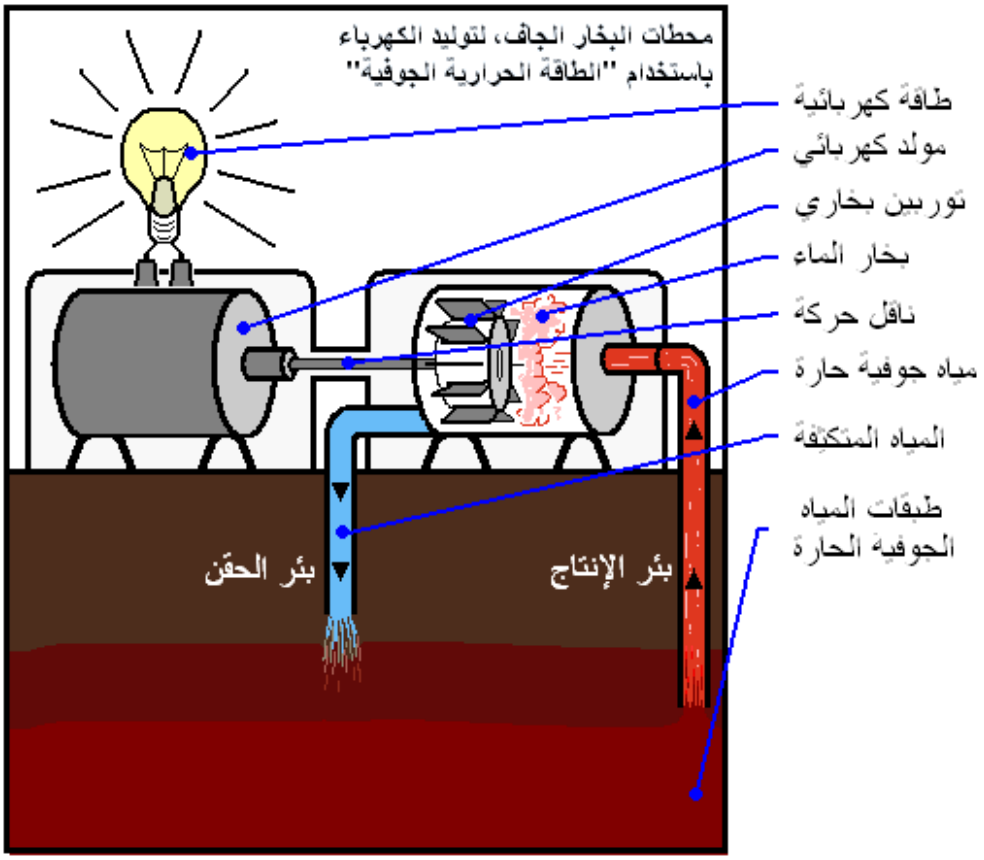
شكل (5 – 13) يوضح برج توليد الطاقة الكهربائية بالمد والجزر

2 – **السدود :** عند حدوث المد تتدفق المياه من البحر الى القنوات والانهار التي تصب فية فيجري الماء في الاتجاه المعاكس لجريان النهر فيملئ الأنهار والبحيرات بكميات كبيرة ، ولذلك بنيت السدود عند المصبات لحجز الماء والاستفادة منه عند حدوث الجزر لينساب الى توربينات مائية لتوليد الطاقة الكهربائية ، كما في المحطات التوليد الكهرومائية ، أنظر الشكل (5 – 14) .

شكل (5 – 14) يوضح سد لحجز ماء البحرأثناء حدوث المد

5 – 4 – 4 – التوليد بطاقة باطن الأرض :

هي عملية تحويل الطاقة الحرارية في أعماق معينة من باطن الأرض الى طاقة حركية لتدوير مولدات الطاقة الكهربائية ، أنظر الشكل (5 – 15) .



شكل (5 – 15) يوضح توليد الطاقة الكهربائية من حرارة باطن الأرض

هي مصدر طاقة بديل نظيف ومتجدد ، وهي طاقة حرارية مرتفعة ذات منشأ طبيعي مختزنة في باطن الأرض ، حيث يقدر أن أكثر من 99% من كتلة الكرة الأرضية عبارة عن صخور تتجاوز حرارتها (1000 C^{o}) .

وترتفع درجة الحرارة بزيادة تعمقنا في جوف الأرض بمعدل نحو 2.7 C^{o} لكل 100 متر في العمق ، أي أنها تصل إلى معدل 27 C^{o} على عمق 1 كيلومتر أو 55 على عمق 2 كيلومتر وهكذا.

ويستفاد من هذه الطاقة الحرارية بشكل أساسي في توليد الكهرباء ويتطلب ذلك حفر أنابيب كثيرة إلى أعماق كبيرة قد تصل إلى نحو 5 كيلومترات ، وفي بعض الأحيان تستخدم المياه الساخنة للتدفئة عندما تكون الحرارة قريبة من سطح الأرض ، ونجدها على عمق 150 متر أو أحيانا في مناطق معينة على صورة ينابيع حارة تصل إلى سطح الأرض ، كما في منطقة حمام العليل في نينوى .

هذه الطاقة المتجددة نظريا ، يمكن أن تكفي لتغطية حاجة العالم من الطاقة لمدة 100000 سنة قادمة إلا أن تحويلها إلى طاقة كهربائية هي عملية باهظة التكاليف بسبب عمليات الحفر إلى

أعماق كبيرة والحاجة إلى أنابيب كثيرة لاستخراج الماء الساخن أو البخار بكميات وفيرة ، وذلك رغم أن الطاقة الأساسية (المادة الأولية) مجانية وهي متوفرة بكثرة لكن صعبوبه الحصول عليها

تم الحصول على الطاقة الكهربائية من حرارة باطن الأرض في بعض البلدان ومنها الصين والسويد وهنغاريا وتركية وبلدان أخرى ، ولازالت الأبحاث مستمرة في مناطق أخرى من العالم

من أهم ميزاتها : هي أنها طاقة متجددة لا تنفذ ، نظيفة لا تلوث البيئة ، متوفرة في أغلب بلدان العالم .

5 – 5 – محطات توليد الطاقة الكهربائية والتلوث البيئي :

أن التلوث أصبح ظاهرة ملازمة للتطور الصناعي العالمي ولمحطات التوليد الكهربائية جزأ من هذا التلوث وكما يأتي :

1 – تلوث الهواء بالغازات المنبعثة : ينتج عن الوقود المستخدم في محطات التوليد تلوث الهواء ، مما يزيد من نسبة المواد العالقة وأكاسيد الكبريت والنيتروجين والكربون في الأجواء المحيطة بالمحطات ، وهذا النوع من التلوث والذي ينتج عنه جزيئات سوداء دقيقة تسبح في الهواء ، وهي مسئولة عن لائحة طويلة من المشاكل الصحية منها أمراض القلب والجهاز التنفسي والتشوه الجيني وغيرها .

2 – التلوث بالزيوت : من الممكن حدوث تلوث بيئي بالزيوت نتيجة الشقوق التي تحصل بجدران محولات القدرة ، حيث أن محولات القدرة الكبيرة تحتوي على كمية هائلة تصل إلى حوالي 50000 لتر من الزيت العازل ، أو بسبب الأعطال المفاجئة والحوادث أو سوء الخزن وعادة يحدث انسكاب الزيت نتيجة لخطأ معين .

3 – التلوث السمعي : أينما وجدت المولدات الكهربائية فهي مصدر إزعاج وخاصة بمحطات التوليد ، والتعامل معها عن قرب سواء بالتوربينات أو المولدات الديزل سيعكس على الجسم اهتزازات إذا تعدت حدودا معينة كان لها أثر سلبي مباشر على صحة الإنسان .

4 – التلوث بالمجالات الكهرومغناطيسية : المجالات الكهرومغناطيسية مرتبطة بمعدات نقل الجهد العالي ، ومحطات التحويل الكهربائية ، وكذلك خطوط الجهد العالي ، فتنتج هذه الموجات من ترددات منخفضة جدا وترددات غير مؤينة .
مصادر المجالات الكهربائية والمغناطيسية بمحطات التحويل الكهربائية هي :
خطوط الجهد العالي ، حواسيب آلية ، شاحن بطاريات ، شبكة التأريض ، المحولات ، قضبان التوصيل ، القواطع ، مصائد الخطوط، والمكثفات .

وهناك موجات أرضية والتي تنتشر بشكل مباشر، والموجات السماوية التي تخترق طبقات الجو العليا ، مما يعني أن الأجواء مشبعة بالموجات من كل حدب و صوب ، والأضرار المتوقعة لمرور خط نقل بمنطقة آهلة بالسكان تتمثل في مرض السرطان ، ولتجنب المخاطر الناتجة عن

الموجات الكهرومغناطيسية يجب أحيانا تغيير مسار خط النقل وذلك لضمان تجنب الآثار السلبية التي قد تؤثر على صحة الإنسان .

5- التشويش اللاسلكي : يحدث التشويش اللاسلكي نتيجة التفريغ الكهربائي الكامل بين الفجوات ، والتيار الذي يسري في التفريغ يحتوي على مركبات ذرات القدرة ، وقد يحدث هذا التداخل بواسطة الحث المغناطيسي أو الحث الكهروستاتيكي نظرا لوجود الحث المتبادلة بين موصلات خط القدرة وخطوط الهاتف فينتج عن ذلك سريان تيارات تتداخل مع التيارات الأصلية السارية في خطوط الهاتف قد يصل لدرجة يصبح معها استعمال أجهزة الهاتف خطرا .

6 – التلوث الحراري : نتيجة تصريف مياه التبريد للمحطة في السواحل المجاورة للأنهار أو البحار وهي بدرجة حرارة عالية تتسبب في خطر مباشر على الثروة السمكية وتلوث ميا النهر ، ومن ثم ينعكس ضررها على الأنسان .

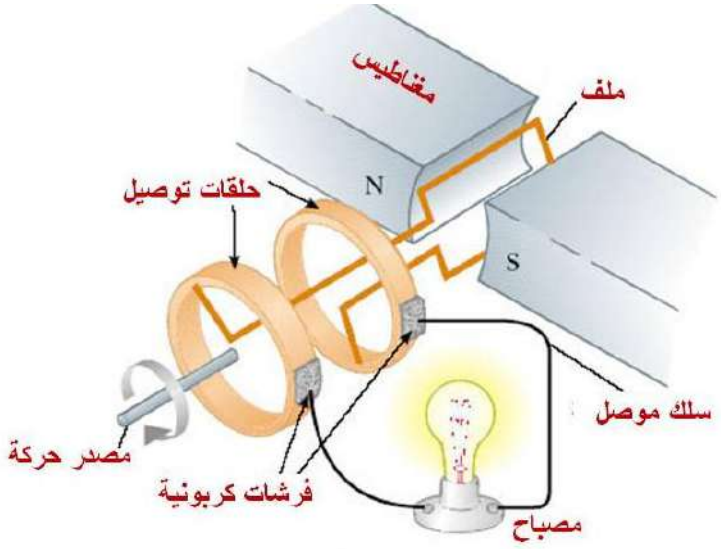
7 – التلوث بالإشعاع : قد يتم تصميم وبناء المحطات النووية بدقة عالية لتجنب مخاطر الإشعاع ولكن قد تحصل كوارث طبيعية أو نتيجة عطل يصيب المحطة ، يحصل انهيار وتسرب أشعاعي يصعب السيطرة عليه إلا بعد أيام وهذا يسبب خطر كبير على الأنسان ، وقد يستمر الخطر لسنوات عدة (تصبح المنطقة ملوثة) .

5 – 6 – نظرية توليد الطاقة الكهربائية :

في عام 1819 اكتشف العالم الهولندي هانز كريستيان أورستيد Orested العلاقة بين القوى الكهربائية والمغناطيسية ، عندما لاحظ أن التيار الكهربائي يولد مجالاً مغناطيسياً ، وفي عام 1831 وأثناء محاولات العالم الإنجليزي المعروف ميشيل فاراداي Faraday لتفسير ذلك ، تمكن من الحصول على تيار كهربائي من مجال مغناطيسي ، وتوصل الى اختراع مولده الكهربائي اليدوي .

فقد اكتشف فاراداي إنه لو حُرِك سلكاً من النحاس بين قطبي مغناطيس شمالي وجنوبي ، سرى في السلك تيار كهربائي ، ويقول العلماء في تفسير ذلك إن بين قطبي المغناطيس خطوط قوى تتمثل في خطوط فيض مغناطيسي ، تخرج من إحدى القطبين لتنتهي إلى الآخر ، وعندما يتحرك السلك بين القطبين يقطع خطوط القوى المغناطيسية ، ويتولد بذلك تيار كهربائي في السلك .

وتنتقل الفكرة من سلك مستقيم ، إلى (لفة) من سلك تدور حول نفسها بين هذين القطبين المغناطيسيين فتقطع الخطوط المغناطيسية فيتكون التيار الكهربائي ، أنظر الشكل (5 – 16) .



شكل (5 – 16) يوضح فكرة المولد البسيط

وطرفا (اللفة) متصلان بأسطوانة تدور معهما ، مشقوقة بالطول نصفين ، بينهما عازل للكهرباء أن تنتقل من أحد النصفين إلى الآخر، وأحد النصفين مُتصِل بطرف (اللفة) ، والنصف الآخر مُتصِل الطرف الثاني (للفة) ، وجزء من (اللفة) يُعطي الكهرباء المتولدة فيه إلى نصف الأسطوانة الذي يكون على اتصال به ، وهذا بدوره يعطيه إلى موصل منزلق على حلقة مثبتة مع الجزء الدوار ومعزول كهربائيا ، تمسه لتأخذ ما تولد فيه من كهرباء ، وبالمثل الطرف الآخر من (اللفة) يعطي الكهرباء المتولدة إلى المنزلق الأخر الملامس له .

وتدور (اللفة) والأسطوانة المشقوقة حول محور يكون على اتصال بالأسطوانة فيخترق قلبها ، وهذا المحور يكون معزولاً بعازل يمنع سريان الكهرباء التي يتحمل بها أي من نصفي الأسطوانة إليه ، وناحيته الأخرى يكون متصلاً بمحور يستمد الحركة من مصدر توليدها .

ويتوقف مقدار الكهرباء الناتجة من المولد على عدد اللفات من الأسلاك ، التي تقطع خطوط المجال المغناطيسي ، وعلى قوة المغناطيسيات ، وعلى عددها ، وعلى السرعة التي تقطع بها الأسلاك المجال المغناطيسي ، ولزيادة مقدار الكهرباء الناتجة في الثانية الواحدة ، تُصمم رؤوس المغناطيسيات مرتبة في شكل دائري ، وتصمم اللفات التي تتحرك في هذه المجالات المغناطيسية أيضاً مرتبة في شكل دائري ، فتظهر كأنها المغزل ، وهي تدخل في الدائرة المكونة من الرؤوس المغناطيسية وبعد ذلك ، إما أن تدور حول محورها الذي يحركها، وتبقى المغناطيسيات ثابتة ، وإما أن تدور المغناطيسيات وتبقى اللفات ثابتة .

5 – 6 – 1 – أساسيات المولد الكهربائي :

العلاقة الأولية المُستخدمة في المولد هي قانون فاراداي ، الذي يشرح كمية الجهد المولد بالتأثير عند تغير المجال المغناطيسي بالنسبة للزمن ، وتحويل الطاقة الكهرومغناطيسية التي تأخذ مجراها عندما يكون التغير في الفيض المغناطيسي متبوع بحركة ميكانيكية ، وفي المولدات الدوارة يتولد فرق جهد في الملفات ، أو في مجموعة منها ، عند دورانها ميكانيكياً عبر مجال مغناطيسي يقطعها ، أو بوساطة تصميم الدائرة المغناطيسية بحيث تتغير الممانعة المغناطيسية مع دوران الجزء الدوار Rotor وبأي من هذه الطرق فإن فيض المغناطيس المرتبط بهذه الملفات يتغير بطريقة دورية ، وبذلك نحصل على جهد متغير بالنسبة للزمن ، وذلك بواسطة تصميم مجموعة من هذه الملفات موصلة مع بعضها تُسمى ملفات عضو الإنتاج Armature. حيث يُمثل عضو الإنتاج للمولد (الجزء الدوار) جهداً مستمراً ، وفي المولد غير المتزامن يكون عضو الإنتاج هو الجزء الثابت Stator .

وفي الغالب تُلف هذه الملفات على قلب من الحديد ، للحصول على أكبر قيمة ازدواج بينها لزيادة قيمة كثافة الطاقة المغناطيسية المصاحبة مع التفاعل الإلكتروميكانيكي وإلى شكل المجال المغناطيسي وتوزيعها بالنسبة إلى متطلبات تصميم نوع المولد ، ولأن حديد عضو الإنتاج مُعرض إلى تغير الفيض بالنسبة للوقت تتولد فيه التيارات الدوامية Eddy-Current. ولتقليل فقد التيارات الدوامية ، يصنع حديد عضو الإنتاج من صفائح رقيقة ،
وتُزدوج الدائرة المغناطيسية من خلال عضو مولد آخر، أو ملفات إثارة ، أو ملفات مجال ، توضع على عضو الإنتاج ، ليمثل مصدر أولي للفيض المغناطيسي ، ويمكن استخدام مغناطيس دائم في المولدات الصغيرة .

وتأخذ مولدات القوى الدوارة عدة أشكال وتُسمى بعدة أسماء منها (التيار المستمر DC) و (المتزامنة Synchronous) و(المغناطيس الدائم Permanent-magnet) ، و (التأثيرية Induction) و(بقاء المغناطيسية Hysteresis) .

5 – 6 – 2 – مولدات التيار المتناوب (المولدات التوافقية) synchronous generators

المولد التوافقي : بطبيعة تركيبه هو الة لانتاج الطاقة الكهربائية عند تدوير الجزء الدوار فيه بوساطة أي طريقة ميكانيكية تجعله يدور بسرعة ثابتة
ويعتمد توليد الطاقة الكهربائية على نظرية فراداى التي تنص (عند دوران مجال مغناطيسي داخل ملف او بالعكس دوران ملف داخل مجال مغناطيسي ستتولد ق د كهربائية فى ذلك الملف) يعتمد مقدارها على كثافة الفيض المغناطيسي وطول السلك وسرعة قطع السلك لخطوط المجال المغناطيسي

$E = BLV \sin \varnothing$ volt

E ال ق د ك المتولدة volt
B الكثافة المغناطيسية weber/ m^2
V السرعة rpm
$\sin \varnothing$ جيب الزاوية المحصورة بين موجة التيار وموجة الجهد

وتكون مولدات التيار المتناوب اما طور واحد او ثلاث اطوار وكما يأتي :

1-المولدات ذات الطور الواحد :

يتكون مولد التيار المتناوب (التوافقي) من جزئين اساسيين :

أ – الجزء الثابت : يحتوى على الملفات الرئيسة التي تتولد فيها القوة الدافعة الكهربائية وتنقل الى الحمل مباشرة بوساطة نقاط توصيل مثبتة على الغطاء الخارجي للمولد ، كما في الشكل (5 – 17) .

شكل (5 – 17) يوضح الجزء الثابت لمولد تيار متناوب

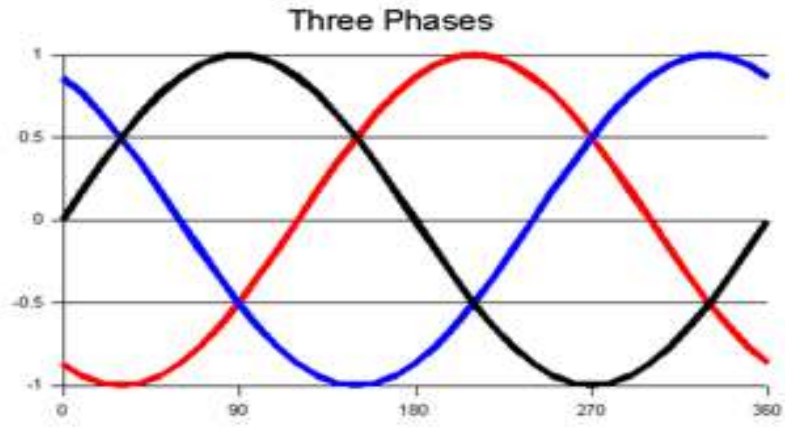
(تحتوى على ثلاث ملفات يشبه توصيلها الثلاث اطوار)

ب- الجزء الدوار ويحمل ملفات الاقطاب المغناطيسية التي توصل عن طريق الفرش الكربونية والحلقات الانزلاقية الى مصدر تيار مستمر) واحيانا يستعمل المغناطيس الدائم لإنتاج الفيض المغناطيسي فى المولدات التوافقية ذات القدرات الصغيرة جدا ، أنظر الشكل (5 – 18) .

شكل (5 – 18) يوضح الجزء الدوار لمولد تيار متناوب (توافقي)

2 – مولدات التيار المتناوب (المولدات التوافقية) ذات الثلاث اطوار :

تختلف هذه المولدات عن الطور الواحد وذلك باحتوائها عن ثلاث ملفات متفاوتة بزاوية (120 º) حيث تتوزع على محيط الجزء الثابت وان القوة الدافعة الكهربائية تكون على شكل ثلاث موجات متفاوتة بنفس الزاوية (120 º) ويعتبر كل ملف دائرة كهربائية بحد ذاته أي ان كل ملف ينتج ق د ك تختلف عن الاخر بالقيمة والاتجاه لكل لحظة توليد وكما موضح فى الشكل (5 – 19) .



شكل (5 – 19) الشكل البياني لثلاث موجات متفاوتة بزاوية (120 º)

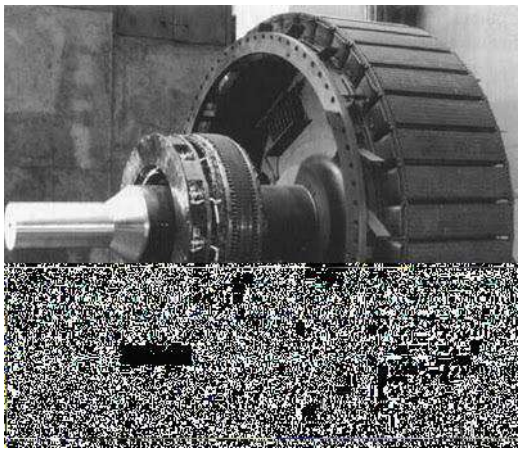
تتكون المولدات ذات الثلاث أطوار من جزئين اساسيين هما :

أ- الجزء الثابت : ويحتوى على الملفات الرئيسة التي تنتج فيها الطاقة الكهربائية وتنقل الى الحمل الخارجى بوساطة نقاط توصيل مثبتة على الغطاء الخارجى للجزء الثابت كما فى شكل (5 – 20) .

شكل (5 – 20) يمثل جزء ثابت لمولد توافقى (لمحطة توليد طاقة كهربائية)

2- الجزء الدوار (rotor)

يكون حاملا لملفات الاقطاب المغناطيسية التي تغذى بمصدر للتيار المستمر من مولد (توازي) لان ق د ك تكون فيه تقريبا ثابته عن طريق حلقتين انزلاقيتين مثبتة عليهما فرشتين كاربونيتين لنقل التيار من المصدر الى الملفات يسمى مولد التيار المستمر بالمغذى فى محطات الطاقة الكهربائية والشكل (5 – 21) يمثل الجزء الدوار ومثبتة عليه ملفات الاقطاب المغناطيسية .



شكل (5 – 21) يوضح الجزء الدوار لمولد توافقي لمحطة توليد

وعليه تتكون محطة توليد الطاقة الكهربائية من اكثر من مولد توافقي لكي نحصل على طاقة اكبر لسد حاجة المستهلك وكذلك لاستمرارية سريان التيار عند عطل او اجراء صيانة على احدهما ، أنظر الشكل (5 – 22) ، ولذا توجد شروط خاصة ومهمة عند اضافة مولد اخر الى الشبكة عند **متطلبات الحاجة اليه وخاصة فى حمل الذروة او(الزيادة فى استهلاك القدرة من قبل المستهلكين)** ، والشروط هي :

1- ان يتساوى جهد المولد المضاف الى الشبكة مع جهد الشبكة ويمكن معرفة ذلك باستعمال جهاز قياس الجهد .

2- ان يتساوى تردد المولد المضاف مع تردد الشبكة ويمكن معرفة ذلك باستعمال جهاز قياس التردد

3- اتفاق اطوار المولد المضاف مع اطوار الشبكة (اى ان الزاوية المحصورة بين موجة التيار وموجة الجهد لكل من المولد المضاف والشبكة تساوى صفر) ويمكن معرفة ذلك بالطرق الاتية:

أ-الطريقة المضيئة: التي يجب ان تكون المصابيح الثلاثة متوهجة (مضيئة) لكى تجعل المولد والشبكة فى حالة توافق .

ب- الطريقة المعتمة : التي يجب ان تكون المصابيح الثلاثة فى حالة غير متوهجة (معتمة) ويعنى توافق المولد والشبكة

ج-الطريقة المركبة (الدوارة) : مصباحين يوصلان على الطريقة المضيئة والثالث على الطريقة المعتمة

ملاحظة : يضئ المصباح عندما يوصل بين طورين مختلفين

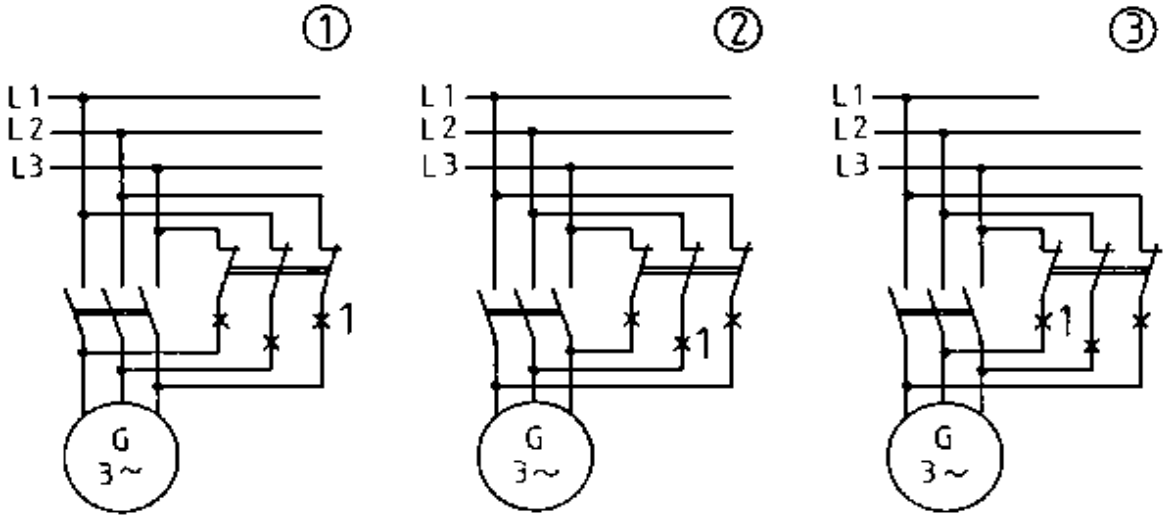
(R –S S –T T-R)ويكون مطفئ عندما يوصل بين نفس الطور

(R-R S-S T-T)

ملاحظة : R = يمثل L_1

S = يمثل L_2

T = يمثل L_3



شكل (5 – 22) يوضح ربط المولدات بالشبكة الكهربائية الرئيسية

فعند حصول اتفاق بين المولد والشبكة من خلال احدى الطرق الانفة الذكر يتم اضافة المولد الى الشبكة بوساطة مفتاح وعليه سنضيف قدرة اضافية الى القدرة الموجودة بالشبكة اصلا ، اما الان تتم عملية التوافق بأجهزة اوتوماتيكية دقيقة .

اسئلة الفصل الخامس

1 - ماهي أنواع محطات الطاقة الكهربائية ؟

2 – ما المقصود بالطاقة المتجددة ، ولماذا النظيفة ؟

3 – ماهي أجزاء المحطة الغازية ؟

4 – قارن بين المحطة الحرارية والمحطة الغازية ؟

5 – ماهي المخاطر التي تسببها محطات التوليد التي تعمل بالنفط او الغاز ؟

6 – ما المقصود بطاقة المد والجزر ؟

7 – أشرح بإيجاز توليد الطاقة الكهربائية بالطاقة النووية ؟

8 – ما الفائدة من بناء السدود على الانهار ؟

9 -تم أنتاج الطاقة الكهربائية من طاقة الرياح في بلدان عديدة وليس لها وجود في بلدنا لماذا؟

10 – هل أن محطات التوليد بطاقة الرياح لها مساوئ ، ما هي ؟

11 – لماذا لم تستغل طاقة باطن الأرض بشكل واسع رغم توفرها في جميع بلدان العالم وبدون ثمن ؟

12 – ماهي الخلية الشمسية ، وضح أجابتك مع الرسم ؟

13 – ماهي مميزات ومساوئ أنتاج الطاقة الكهربائية بمحركات الديزل ؟

14 – يتم بناء محطات الطاقة الكهربائية النووية قرب مصادر جيدة للمياه لماذا ؟

15 – ماهي المخاطر التي قد تنتج من المحطات الكهربائية النووية ؟

16 – عند مد خط ناقل للطاقة الكهربائية بجد عالي يكون بعيدا عن الدور السكنية لماذا ؟

17 – كيف يحصل التلوث السمعي من محطات توليد الطاقة الكهربائية ؟

18 – ماهي ميزات توليد الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية ؟

19 – ماهي أجزاء التوربين الغازي وضح أجابتك مع الرسم المبسط ؟

20 – ماهي المكونات الاساسية لمولد تيار متناوب ثلاثي أطوار ؟

21 – ماهي الشروط الواجب توفرها لإضافة طاقة كهربائية لمولد الى الشبكة الرئيسية ؟

6

الفصل السادس

مكائن الديزل

6 – 1 – المحرك الديزل :

الهدف :

بعد دراسة هذا الفصل يكتسب الطالب المهارات المعرفية في ما يأتي :

1 – أجزاء المحرك الديزل ، ووظيفة كل جزء .

2 – طريقة اشتغال المحرك ، وعمل مضخة الوقود ومضخة حقن الوقود والرشاشات .

3 – الاشواط الأربعة ، وتنظيم السرعة والتحكم بها .

4 – دورة التزييت أجزاءها وطريقة عملها وفوائدها .

5 – دورة التبريد وأجزاءها وطريقة عملها وفوائدها .

6 – لوحة التشغيل والسيطرة والحماية .

7 – القدرة البيانية والفرملية وطرق نقل القدرة (الحركة الدورانية)

شكل (6 -1) يوضح محرك ديزل

6 – 1 – 1 – نظرية محركات الديزل :

اعتمدت نظرية محركات الديزل على العلاقة بين درجة الحرارة والضغط الناتج للغازات المثالية المعتمدة على القوانين الفيزيائية في عمليات تحويل الطاقة الحرارية الى طاقة ميكانيكية لاستخدامها في المحركات .

لقد ظهر أول محرك ديزل للمهندس الالماني رودلف ديزل عام 1892 وذلك بعد خمسة أعوام من أعمال البحث والتطوير ، كانت قدرته (20) حصان وعدد دوراته (172 دورة / الدقيقة) . لقد كان محرك الديزل منذ نشأته الأولى ، وعلى امتداد القرن العشرين بأسره ، حلا جذابا للكثير من التطبيقات الصناعية ، حيث رأى فيه رجال الأعمال ضالتهم المنشودة في الحصول على مصدر للطاقة (عملي ، وموثوق ، ورخيص الكلفة) . والآن وفي ضوء المتغيرات الكثيرة التي لحقت بقطاع الطاقة على امتداد القرن ، ان محرك الديزل يستطيع ان يلعب دورا رئيسيا في محطات توليد الطاقة المستقبلية .

إن محرك الديزل يعتمد في اشتغاله على سحب الهواء فقط وضغطه بنسبة انضغاط عالية داخل غرفة الاحتراق تتراوح ما بين (15 : 1) الى (22 : 1) لترتفع درجة حرارته الى ما بين 600 – 800 م° ثم يحقن وقود زيت الغاز في غرفة الأحتراق على شكل رذاذ ناعم تحت ضغط عالي (ضغط الحقن) أعلى من الضغط الموجود داخل غرفة الأحتراق من خلال جهاز حقن الوقود ، ثم يتبخر ويختلط مع الهواء ثم يشتعل ذاتيا فتضغط الغازات الناتجة من الاشتعال على سطح المكبس فيتحرك المكبس باتجاه النقطة الميتة السفلى لتدوير عمود المرفق وبهذا قد حصلنا

على حركة دورانية في نهاية عمود المرفق وهذا يعني بانه تم تحويل الطاقة الحرارية الى طاقة ميكانيكية على شكل حركة دورانية ذات قدرة حصانيه معينة وحسب الحاجة والتصميم .

6 – 1 – 2 – أجزاء المحرك الديزل Main Parts Of Diesel Engine

من الضروري ان نفهم وظائف الأجزاء المختلفة للمحرك والغرض من أدائها حتى نستطيع الإلمام بعمل المحرك في مجموعه ، ويؤدي كل جزء وظيفة محددة وخاصة به ، كما يتصل كل جزء بغيره من الأجزاء التي ترتبط ببعضها في أداء منسق ينتظم به دوران المحرك .

تختلف محركات الديزل في مظهرها الخارجي وحجمها وعدد اسطواناتها وتفاصيل بنائها ولكنها جميعا تحتوي على نفس الأجزاء الأساسية التي قد تبدو مختلفة ولكنها تؤدي نفس الوظيفة ، ويتضمن كل محرك ديزل عددا قليلا من الأجزاء العاملة ولكن من الضروري أن تعاونها أجزاء مساعدة لتأدية مهامها وهي كما يأتي : -

1- كتلة الأسطوانات : (Cylinder Mass)

صممت هذه الكتلة لاحتواء الأسطوانات والمكابس ، وعمود المرفق والكراسي وغطاء الأسطوانات وأجزاء اخرى ، أنظر الشكل (6 – 2) .

شكل (6 – 2) يوضح كتلة الأسطوانات

2- المكابس : (Pistons)

للمكابس وظائف أربعة هي (سحب الهواء الى داخل الأسطوانة ، و ضغطه في غرفة الأحتراق ، ونقل القدرة الناتجة من اشتعال الوقود الى ذراع التوصيل ، و طرد العادم) ، أنظر الشكل (6 – 3) الذي يوضح أحد أنواع المكابس .

3- أذرع التوصيل : (Connecting Rods)

لأذرع التوصيل وظيفتين هما نقل القدرة المتولدة من اشتعال الوقود ، وتحويل الحركة الترددية الى حركة دوانية بواسطة عمود المرفق وبالعكس ، أنظر الشكل (6 – 3) .

شكل (6 – 3) يوضح المكبس وذراع المكبس

4 – غطاء الأسطوانات : (Cylinder Heads)

لهذا الجزء الوظائف التالية (يغطي النهاية العليا للأسطوانات ، ويحتوي على حيز محدود يضغط فية الهواء ، ويحصر الغازات الناتجة من الاشتعال ، ويحمل الصمامات والأجزاء التابعة لها) ، أنظر الشكل (6 – 4) .

الشكل (6 – 4) يوضح غطاء الأسطوانات

5- عمود المرفق : (Crank Shaft)

يقوم عمود المرفق بتحوّيل حركة المكابس الترددية الى حركة دورانية وبالعكس ، كما يقوم بنقل القدرة الناتجة من الاشتعال الى الحذافة (Fly- Wheel) لغرض الاستفادة منها كقدرة فرملية ناتجة من المحرك ،

شكل (6 – 5) يوضح عمود المرفق

6 - الصمامات : (Valves)

وظائفها ادخال الهواء النقي اثناء شوط السحب ، وإخراج العادم اثناء شوط العادم ، ثم احكام الأسطوانة اثناء شوط الطاقة .

شكل (6 – 6) يوضح الصمامات

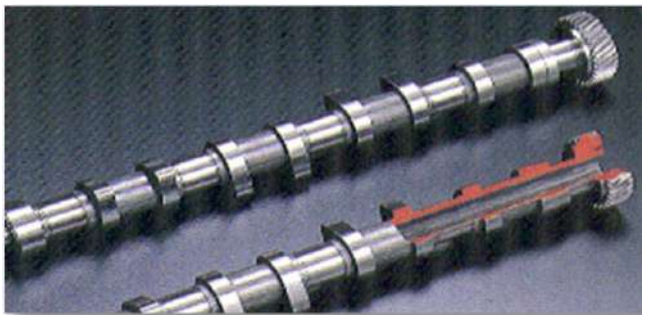
7- عمود الحدبات : (Cam Shaft) :

عمود الحدبات يستمد حركته من عمود المرفق وضمن توقيت محدد ويقوم بالوظائف الأتية :-

أ – التحكم بفتح وغلق الصمامات وبتوقيت محدد .

ب – يقوم بتدوير مضخة الزيت .

ج – يقوم بتدوير مضخة حقن الوقود .



شكل (6 – 7) يوضح عمود الحدبات

8 – الحذافة : (Fly Wheel) ، أنظر الشكل (6 – 8) :

هي عبارة عن قرص دائري يثبت على العمود المرفق ، يكون بوزن معين بحسب حجم المحرك ، يصنع من الصلب المقسى وبتوازن تام لمنع أي ارتجاج عند العمل يحمل على محيطه الخارجي مسنن يعشق معه البادئ (السلف) للتشغيل ، و تقوم الحذافة بالوظائف الأتية :-

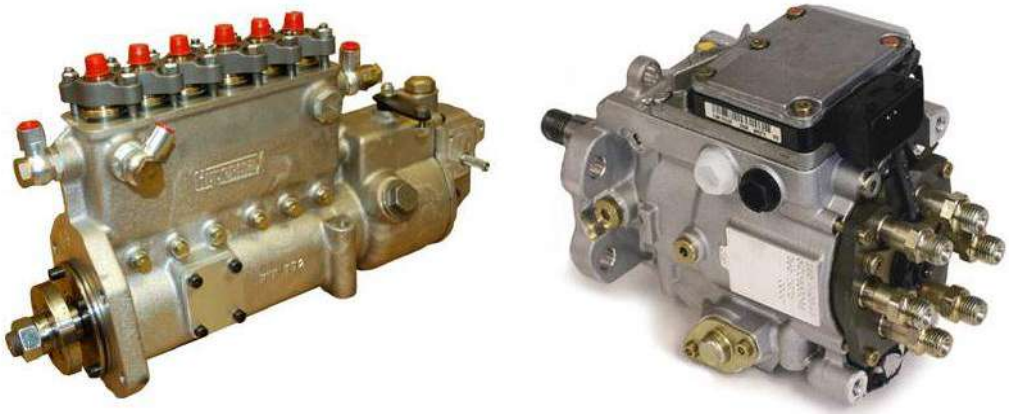
أ – خزن الطاقة الحركية الناتجة من المحرك اثناء شوط الطاقة واعادتها الى عمود المرفق لغرض تكملة الأشواط الاخرى الغير فعالة مثل (شوط السحب وشوط الضغط وشوط العادم) .

ب – ينقل الحركة الدورانية الى الفاصل .

شكل (6 – 8) يوضح الحذافة (flywheel)

9 – مضخة حقن الوقود : (Fuel Injuction Pump)

وظيفتها ضخ كمية معينة من الوقود تحت ضغط عالي ، وفي زمن محدد الى الرشاشات في نهاية شوط الضغط ، ويكون بأنواع مختلفة ، أنظر الشكل (6 – 9) .



شكل (6 – 9) يوضح مضخة حقن الوقود

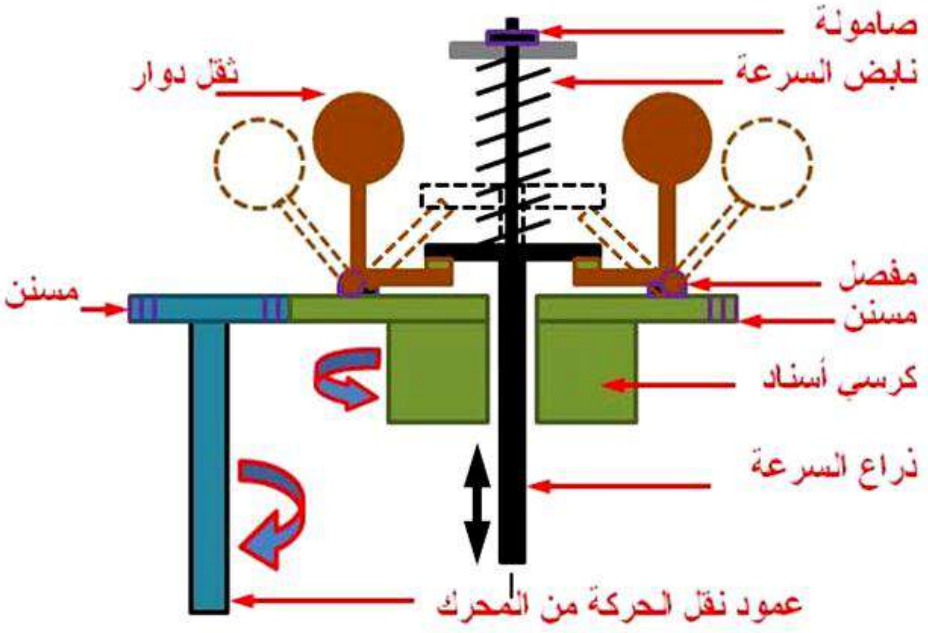
10- الرشاشات : (Injectors) ، الشكل (6 – 10) :

وظيفتها حقن وتذرية الوقود القادم اليها من (مضخة حقن الوقود) بضغط عالي داخل غرف الاحتراق على الهواء الساخن (بفعل ضغط المكبس) ليختلط معه ثم يشتعل ذاتيا .

شكل (6 – 10) يوضح مقطع رشاش الوقود

11 – منظم السرعة : (Regulator) الشكل (6 – 11) :

هو جهاز يمكن بواسطته التحكم في كمية الوقود اللازم حقنها لتغذية المحرك عند الاحمال المختلفة حتى يحتفظ بسرعة ثابتة .



شكل (6 – 11) يوضح منظم السرعة

6 – 2 – الدورة الرباعية لمحرك ديزل (four – stroke diesel engine)

المحركات الرباعية هي تلك المحركات التي تحقق الاشواط الاربعة في اسطوانة واحدة بدورتين لعمود المرفق ، ولغرض فهم تلك الاشواط وكيفية اشتغال المحرك علينا دراسة تلك الاوضاع المختلفة بالتتابع وكما يلي :-

1- شوط السحب (Intake Stroke)

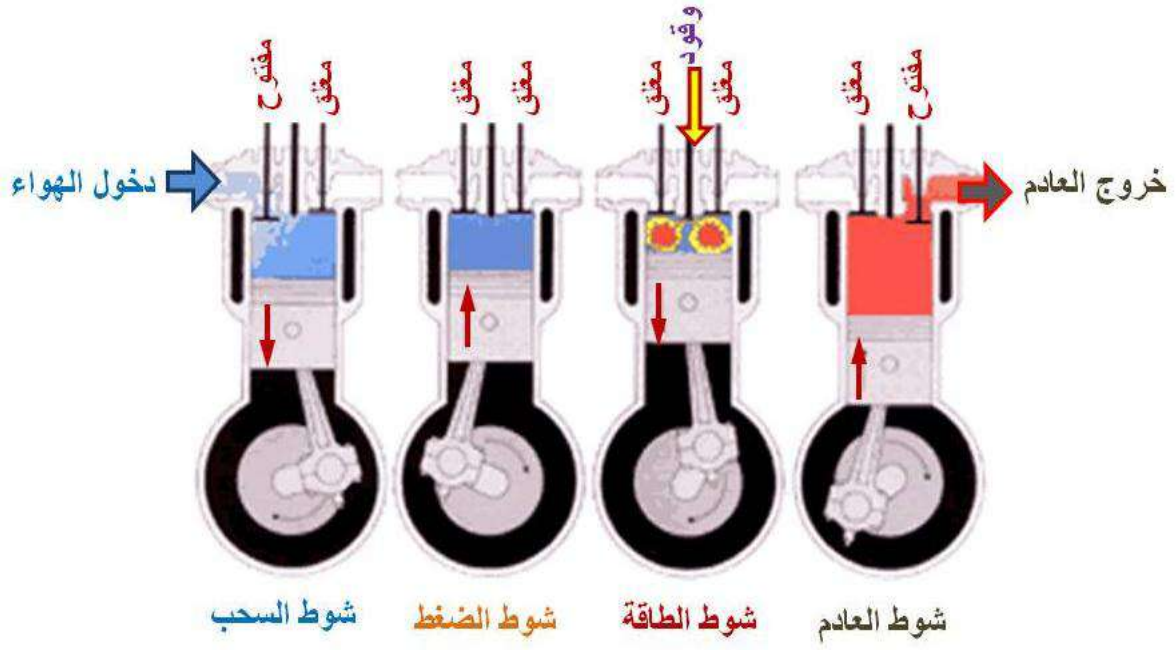
خلال هذا الشوط يتحرك المكبس من النقطة الميتة العليا (ن . م . ع) باتجاه النقطة الميتة السفلى (ن . م . س) فيحدث ما يأتي :-

أ – صمام السحب يكون مفتوحا لدخول الهواء النقي داخل الاسطوانة بسبب التخلخل الناتج من حركة المكبس الى الاسفل باتجاه (ن . م . س) .

ب – صمام العادم يكون مغلقا .

ج – عمود المرفق قد دار نصف دورة (180°) .

د – عمود الحدبات قد دار ربع دورة (° 90) . أنظر الشكل (6 – 12) .



شكل (6 – 12) يوضح الأشواط الاربعة لأسطوانة واحدة لمحرك ديزل رباعي الدورة

2- شوط الضغط (compression Stroke)

خلال هذا الشوط يتحرك المكبس من النقطة الميتة السفلى (ن . م . س) باتجاه النقطة الميتة العليا (ن . م. ع)
فيحدث ما يأتي :

أ – صمام السحب مغلق .

ب – صمام العادم مغلق ايضا .

ج – ينضغط الهواء بنسبة انضغاط عالية قد تصل الى حوالي (22 - 1) وحسب نوع غرفة الاحتراق .

د – ترتفع درجة حرارة الهواء المضغوط الى (° 550) أو أكثر بحسب نوع غرفة الاحتراق ، والعمر الزمني للمحرك .

هـ - عمود المرفق قد دار دورة كاملة أي (°360) .

و – عمود الحدبات قد دار نصف دورة أي (° 180) .

3- شوط الطاقة (شوط القدرة) (Power Stroke)

في نهاية شوط الضغط وقبل وصول المكبس الى (ن . م . ع) بقليل يحقن زيت الغاز

(وقود الديزل) على شكل رذاذ في غرفة الاحتراق على الهواء المضغوط ، فيختلط مع الهواء ثم يشتعل ذاتيا (بسبب ارتفاع درجة حرارة الهواء) فتتولد طاقة حرارية عالية تقوم بدفع المكبس باتجاه (ن . م . س) وبهذا قد تم تحويل الطاقة الحرارية الى طاقة ميكانيكية .
وخلال هذا الشوط يكونا صمامي السحب و العادم مغلقين .

أ – عمود المرفق قد دار دور ونصف الدورة أي (° 540) .

ب – عمود الحدبات قد دار ثلاثة ارباع الدورة أي (°270) .

4 – شوط العادم (Exhaust Stroke)

في نهاية شوط الطاقة وقبل وصول المكبس الى (ن . م . س) بقليل يفتح صمام العادم وذلك لغرض تقليل الضغط داخل الاسطوانة وإخراج اكبر كمية ممكنة من العادم ،اما صمام السحب يبقى مغلقا .

خلال هذا الشوط يتحرك المكبس من النقطة الميتة السفلى (ن . م . س) باتجاه النقطة الميتة العليا (ن . م . ع) فيحدث ما يأتي :-

أ – يخرج العادم من الاسطوانة عبر صمام العادم وبفعل صعود المكبس باتجاه (ن . م . ع) .

ب – عمود المرفق قد اكمل دورتين أي (°720) .

ج – عمود الحدبات قد اكمل دورة كاملة أي (°360) .

6 – 3 – حقن الوقود في محركات الديزل (Fuel Injection Diesel Engine) :

سبق وأن ذكرنا بأن عملية دخول الوقود داخل غرفة الأحتراق في محركات الديزل تتم بطريقة الحقن ، وعبر الرشاش وبضغط أعلى من الضغط الموجود في داخل غرفة الأحتراق لكي يتبخر ويختلط مع الهواء ويشتعل ذاتيا ، ولغرض دراسة حقن الوقود في محركات الديزل علينا أن نفهم مجموعة دورة الوقود وجهاز حقن الوقود ووظائفه والطرق المستعملة في حقن الوقود وكما يأتي :-

6 – 3 – 1 – مجموعة دورة الوقود في محركات الديزل (Fuel System of Diesel Engine)

تتكون مجموعة دورة الوقود من الأجزاء الأتية :-

1- خزان الوقود لزيت الغاز (Fuel Tank) :-

وهو عبارة عن مخزن للوقود وحجمه يعتمد على نوع المحرك واستخدامه ويقوم بأمداد الأجزاء التي تحتاج زيت الغاز .

2- مضخة التغذية :- (Fuel Pump)

وظيفتها سحب الوقود من خزان الوقود ودفعه الى المرشحات عبر الأنابيب وثم الى مضخة حقن الوقود ، والشكل رقم (6 – 13) يمثل احد انواع مضخات التغذية الميكانيكية .

شكل (6 – 13) يوضح مضخة تغذية الوقود الميكانيكية

3- مصفى الوقود :- (Fuel Filter) ، الشكل (6 – 14) :

وظيفته تصفية الوقود من الأوساخ عند سحبه من الخزان بواسطة مضخة التغذية ثم دفعه الى المرشح الابتدائي .

4- المرشح الابتدائي :- (Primary Filter)

وظيفته تنقية ادق لزيت الغاز بعد خروجه من مضخة التغذية .

5- المرشح الثانوي :- (Secondary Filter)

وظيفته التنقية التامة والدقيقة لزيت الغاز قبل دخوله الى مضخة حقن الوقود لدفعه الى الرشاشات .

شكل (6 – 14) يوضح مصفى الوقود

6- مضخة حقن الوقود :- (injection Pump) أنظر شكل رقم (6 – 15) ،

شكل (6 – 15) يوضح مضخة حقن الوقود

لهذه المضخة عدة وظائف هي :-

أ - رفع ضغط الوقود الى مستوى ضغط الحقن .

ب - معايرة كمية الوقود لجميع غرف الأحتراق وحسب حاجة المحرك .

ج - ضبط وقت الحقن (توقيت الحقن) .

د - تنظيم معدل حقن الوقود .

7- الرشاشات :- (injectors)

وظيفتها حقن وتذرية الوقود داخل غرفة الأحتراق على الهواء المضغوط والساخن لكي يتبخر ويختلط مع الهواء ثم يشتعل ذاتيا .

8- انابيب توصيل الوقود :- (Fuel Pipes)

وهي مجموعة من الأنابيب تقوم بتوصيل الوقود الى الأجزاء المذكورة اعلاه ، الا أن الأنابيب التي توصل الوقود من مضخة الحقن الى الرشاشات تكون ذات مقاومة عالية للضغط ، وتصنع من الحديد الصلب ، وأخيرا انابيب رجوع الوقود الفائض .

9- مقياس ضغط الوقود :- (Fuel Pressure Indicator)

وهو عبارة عن ساعة لقياس ضغط زيت الغاز قبل دخوله الى مضخة حقن الوقود .

10- منظم السرعة :- (Speed Regulator)

وهو جهاز يقوم بالحفاظ على ثبات سرعة المحرك عند تغير الحمل وذلك بالتحكم بكمية الوقود اللازم حقنها وفي مختلف الأحمال .

6 – 3 – 2 – جهاز حقن الوقود :-

عملية ضخ الوقود داخل اسطوانات المحرك يتحكم بها (جهاز حقن الوقود) وهو جهاز متكامل مكون من مضخة الحقن والرشاشات ومنظم السرعة والملحقات الرابطة بينهم ، ومن وظائف هذا الجهاز هي :-

1- معايرة كمية الوقود اللازم حقنها :- على جهاز حقن الوقود أن يحقن كمية ثابته ومتساوية الى جميع الأسطوانات وفي كل شوط طاقة وذلك لغرض الحصول على سرعة ثابتة ومنتظمة للمحرك وقدرة متساوية في جميع اسطواناته .

2- توقيت حقن الوقود :- المقصود بتوقيت الحقن هو الوقت المحدد الذي يجب أن يبدء حقن الوقود داخل غرفة

الأحتراق وفي زاوية محددة لعمود المرفق وحسب التصميم ، في حالة ان يكون توقيت الحقن قبل موعده المحدد (حقن متقدم) وهذا يؤدي الى حدوث ظاهرة الدق (الصفع) وذلك بسبب ان درجة حرارة الهواء أقل من الدرجة النهائية لإشعال الوقود ذاتيا في نهاية شوط الضغط ، اما اذا كان توقيت الحقن متأخرا عن موعده المحدد (حقن متأخر) فهذا يؤدي الى ظهور

دخان اسود مع العادم وانخفاض في قدرة المحرك واستهلاك عالي للوقود ، وذلك بسبب عدم اشتعال الوقود بشكل كامل ومنتظم .

3 - ضبط معدل الحقن :- على جهاز حقن الوقود أن يحقن الكمية المطلوبة من الوقود في زمن معين ومحدد بحسب التصميم والزاوية المحددة لعمود المرفق ، فاذا كان (الحقن سريع) فأنه يؤدي الى حدوث ظاهرة الدق (الصفع) أما اذا كان (الحقن بطيء) فأنه يؤدي الى ظهور دخان اسود وانخفاض في قدرة المحرك وزيادة في استهلاك الوقود .

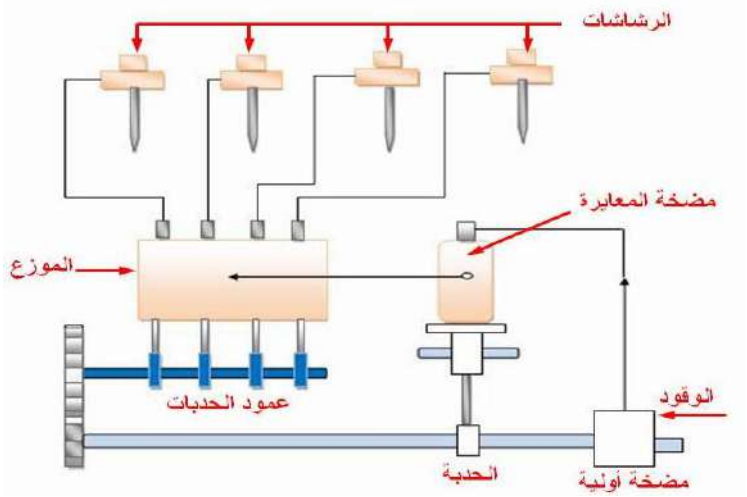
4 - تذرية الوقود :- على جهاز حقن الوقود ان يقوم بتذرية الوقود داخل غرفة الأحتراق بحيث يجعل جزيئات الوقود محاطة بجزيئات الهواء مما يساعد على اشتعال الوقود ذاتيا و بشكل منتظم ، وهذا يعتمد على نوع وشكل غرفة الأحتراق .

5 - توزيع الوقود في غرفة الأحتراق :- على جهاز حقن الوقود أن يقوم بتوزيع الوقود اثناء حقنة في غرفة الأحتراق بشكل متساوي ومنتظم لغرض الحصول على خلط جيد مع الهواء وقدرة متساوية ومنتظمة على سطح المكبس ، وهذا يعتمد على زاوية تثبيت الرشاش في غرفة الأحتراق .

6 – 3 – 3 – طرق حقن الوقود :

1- طريقة الحقن بنظام الموزع ذي الضغط العالي :-

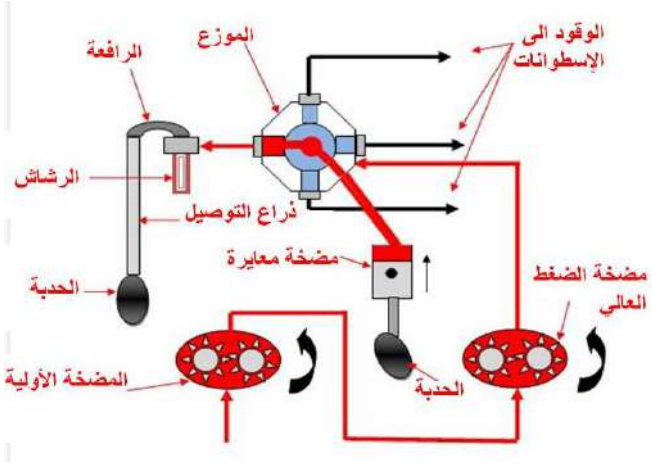
يحتوي هذا النظام على مضخة وقود واحدة تقوم برفع ضغط الوقود الى مستوى ضغط الحقن كما تقوم بمعايرة الوقود وتوقيت الحقن ، ويخرج الوقود من المضخة الى الموزع الذي يحتوي على عدة رشاشات مخروطية تشتغل بتأثير حدبات ، ويفتح الرشاش المناسب قبل بدء الحقن بتأثير حدبة والشكل رقم (6 - 16) يوضح رسما تخطيطيا لهذه الطريقة .



شكل (6– 16) يوضح طريقة الحقن بنظام الموزع ذات الضغط المرتفع

2- طريقة الحقن بنظام الموزع ذي الضغط المنخفض :-

الشكل رقم (6 – 17) يمثل طريقة حقن الوقود بنظام الموزع ذات الضغط المنخفض وتحتوي على مضختين ترسيه تقوم بدفع الوقود بضغط (10 كغم\سم2) الى الموزع الذي يتكون من قرص دوار (يحتوي على عدة ثقوب داخلية) داخل غلاف ثابت متصل برشاشات حقن الوقود بواسطة توصيلات وانابيب ، عندما يكون ثقب مضخة المعايرة و ثقب القرص الدوار والثقب المؤدي الى الرشاش المعني بالحقن على استقامة واحدة تقوم مضخة المعايرة بدفع الوقود الى الرشاش بضغط مساوي الى ضغط الحقن ومنها الى داخل غرفة الاحتراق ، وبعدها سوف تستقيم فتحة مضخة الضغط العالي مع فتحة الموزع مع فتحة مضخة المعايرة (التي يكون مكبسها يتحرك الى الاسفل) سوف تمتلئ مضخة المعايرة بالوقود لكي تدفعه الى الرشاش الاخر وحسب نظام الاشتعال ، وهكذا تستمر العملية في تغذية المحرك بالوقود اللازم ، في هذه الطريقة تكون مضخة المعايرة هي المسؤولة عن معايرة الوقود .



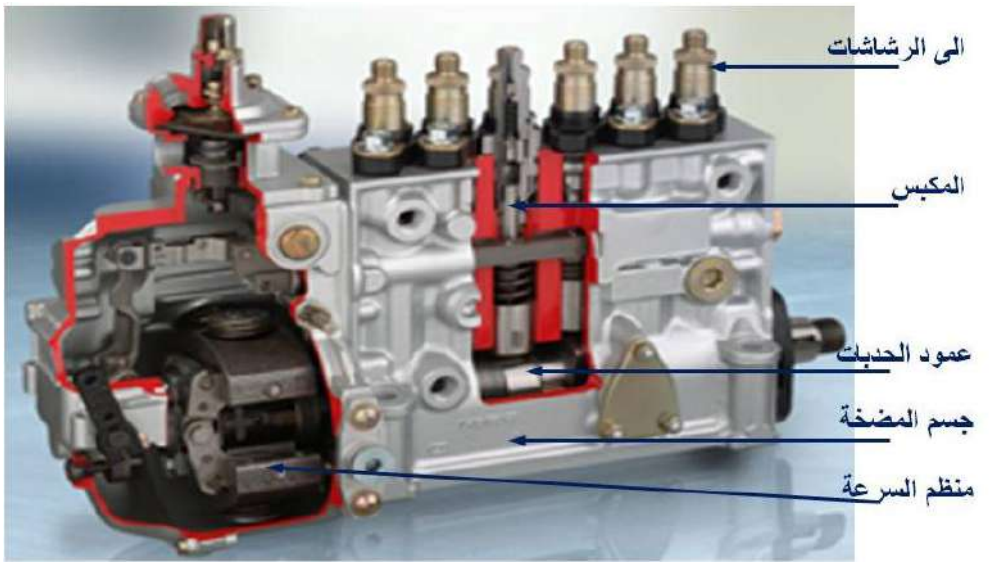
شكل (6 – 17) يوضح طريقة الحقن بنظام الموزع ذات الضغط المنخفض

3 – طريقة مضخات الحقن المباشر .

في هذه الطريقة تقوم المضخة برفع ضغط الوقود الى مستوى ضغط الحقن ومعايرة كمية الوقود اللازم حقنها وتوقيت الحقن بحيث ان المضخة تحتوي على مجموعة اسطوانات ، وكل اسطوانة مسؤولة عن تغذية اسطوانة من المحرك بالوقود ، وتعتبر مضخة حقن الوقود قلب المحرك ، وتتكون من الاجزاء الأتية :-

أ - جسم المضخة :- يصنع جسم المضخة من سبيكة من الالمنيوم ، ويحتوي على مجرى للوقود في القسم العلوي منه ، ويدخل الوقود الى المجرى عبر انبوبة التغذية التي تستلم الوقود من المرشحات ، كما تركب في الجسم من اسفله كراسي يدور بداخلها عمود حدبات خاص بالمضخة

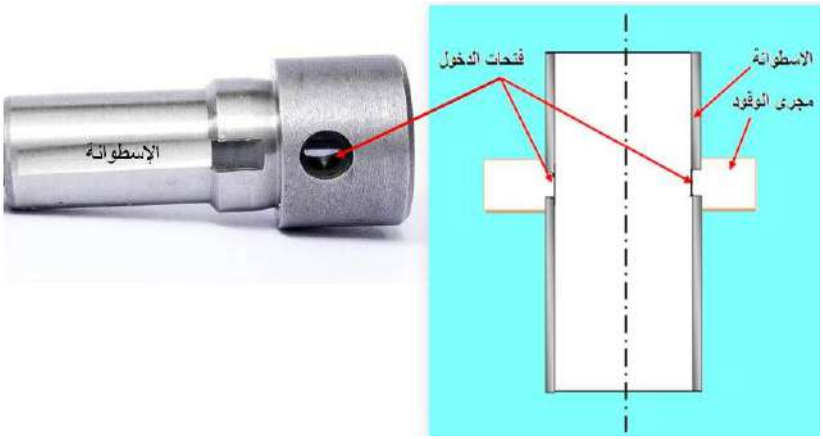
يتحكم بحركة مكابس المضخة وبحسب نظام الاشتعال ، أنظر الشكل (6 – 18) يبين مقطع لمضخة الحقن ومحتوياتها الداخلية .



شكل (6 – 18) يوضح مقطع لمضخة حقن الوقود

ب- الاسطوانات :-

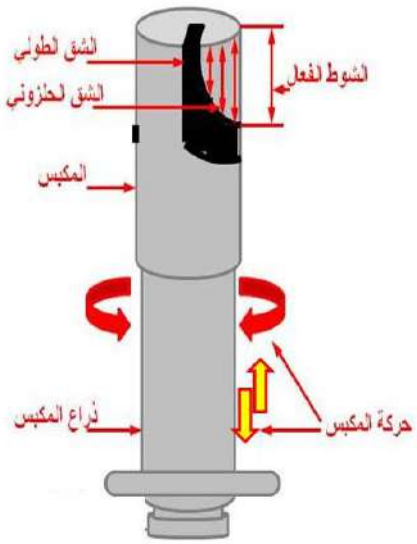
تحتوي مضخة الحقن على مجموعة من الاسطوانات عددها مساويا لعدد اسطوانات المحرك ، حيث أن كل اسطوانة منها مسؤولة عن تغذية اسطوانة واحدة للمحرك بالوقود اللازم وحسب نظام الاشتعال ، تحتوي كل اسطوانة على فتحتين متقابلتين متصلتين بمجرى الوقود الموجود في جسم المضخة ، علما بان هذه الاسطوانة ثابتة بواسطة لولب بحيث يمنعها من الدوران او الحركة ، ويتحرك بداخل كل اسطوانة مكبس ، كما في الشكل (6 – 19) الذي يبين رسم توضيحي للأسطوانة الثابتة في مضخة الحقن .



شكل (6 – 19) يوضح الأسطوانة في مضخة حقن الوقود

ج - المكابس :-

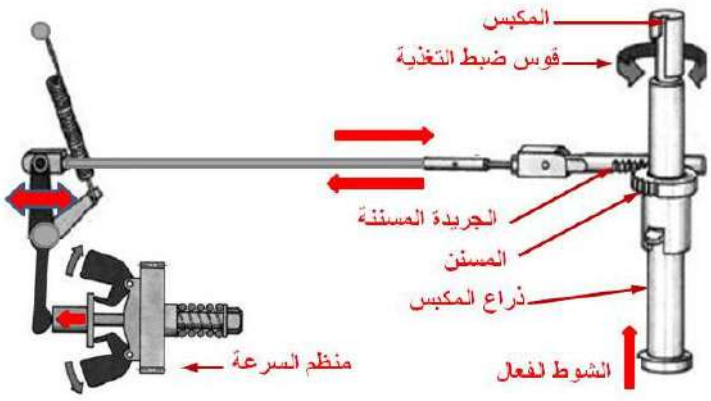
يحتوي كل مكبس على شق طولي متصل بشق اخر حلزوني ، ويتحرك المكبس حركتين احداهما ترددية بتأثير عمود الحدبات واخرى محورية بتأثير قوس التغذية المتصل مع الجريدة المسننة ، كما موضح بالشكل رقم (6 – 20) .



شكل (6 – 20) يوضح المكبس في مضخة حقن الوقود

د- قوس ضبط التغذية واسطوانته :-

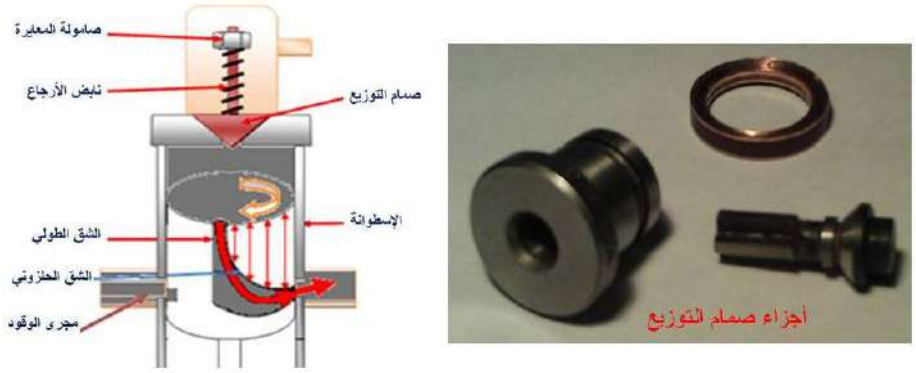
ان هذا القوس مكون من مسنن دائري مثبت على اسطوانة (اسطوانة قوس التغذية) تتحرك حركة محورية بتأثير الجريدة المسننة ، بحيث تقوم هذه الاسطوانة بتدوير المكبس محوريا للتحكم بطول الشوط الفعال وحسب الحاجة ، والشكل رقم (6 – 21) يوضح موقع القوس وكيفية ربطه مع الجريدة المسننة .



الشكل (6 – 21) يوضح موقع قوس التغذية ومنظم السرعة (المتحكم الميكانيكي)

هـ – صمام التوزيع :-

يوجد صمام توزيع على رأس كل اسطوانة من اسطوانات المضخة ، يفتح بتأثير ضغط الوقود ضد قوة النابض الحلزوني المركب على رأس كل صمام حيث يخرج الوقود باتجاه الرشاش بضغط عالي بمستوى ضغط الحقن الذي بدوره يفتح فتحة التذرية للرشاش فيدخل الوقود داخل غرفة الاحتراق على شكل رذاذ ناعم ويختلط مع الهواء الساخن ثم يشتعل ذاتيا ، ولا يسمح برجوع زيت الغاز مرة ثانية الى الاسطوانة ، والشكل رقم (6 – 22) يوضح مكان الصمام ومحتوياته .

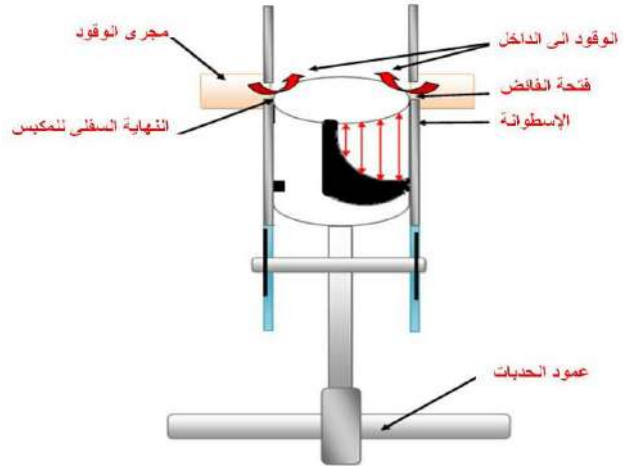


شكل (6 – 22) يوضح موقع صمام التوزيع ومحتوياته

6 – 4 – طريقة اشتغال مضخة حقن الوقود :-

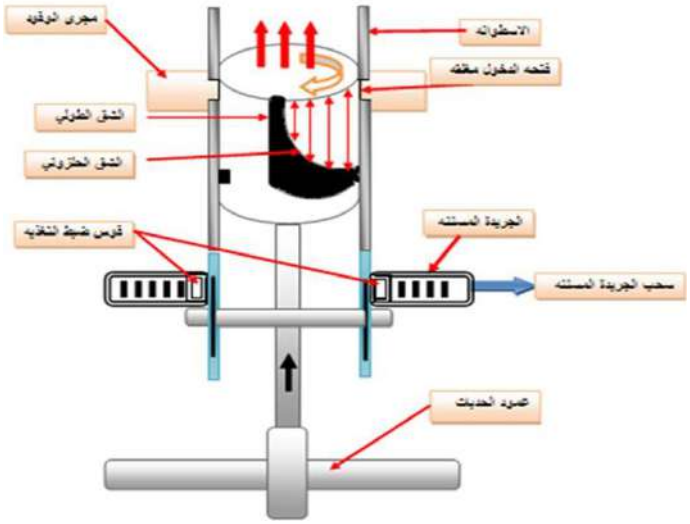
لغرض دراسة طريقة عمل مضخة الحقن علينا دراسة طريقة عمل اسطوانة واحدة من اسطوانات المضخة وعليه :

1- نفرض ان مكبس في نهايته السفلى بحيث فتحات الدخول مفتوحة فيدخل الوقود الى الاسطوانة فتمتلئ بالوقود كما يدخل الوقود من خلال المجرى المستقيم الى المجرى الحلزوني ، كما موضح في الشكل رقم (6 – 23) .



شكل (6 – 23) يوضح وضع المكبس في النقطة الميتة السفلى

2 – تسحب الجريدة المسننة الى اليمين قليلا فيدور المكبس (وجميع المكابس) الى اليسار فيزداد طول الشوط الفعال كما موضح في الشكل رقم (6 – 24) ، وعند صعود المكبس بتأثير عمود الحدبات سوف تغلق الفتحات ثم يضغط الوقود .



شكل (6 – 24) يوضح التحكم بطول الشوط

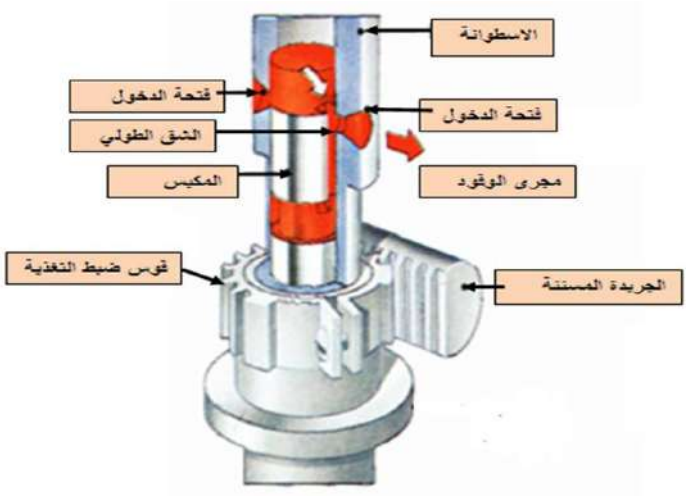
ويرتفع ضغطه تدريجيا داخل الاسطوانة الى ان يصل بمستوى ضغط الحقن فينفتح صمام التوزيع فيندفع الوقود الى الرشاش المعني الذي بدوره يحقن الوقود داخل غرفة الاحتراق ويستمر الحقن الى ان يرتفع المكبس بمقدار الشوط الفعال حيث يتم الكشف عن فتحة الفائض (المقابلة لفتحة الدخول) فيتسرب الوقود الى مجرى الوقود فيقل ضغط الوقود مما يؤدي الى غلق صمام التوزيع (بتأثير نابض الارجاع) فينقطع الوقود عن الرشاش حيث ينتهي الحقن داخل غرفة الاحتراق ، وهذا يعني بأن كمية الوقود اللازم حقنها تعتمد على طول الشوط الفعال ، وبعدها يستكمل المكبس مشواره الى الاعلى دون اي حقن للوقود الى ان يصل الى نهايته العليا ثم يتحرك باتجاه نقطته السفلى .

3 - عند زيادة سرعة المحرك تسحب الجريدة المسننة الى اليمين وحسب الحاج مما يؤدي الى زيادة طول الشوط الفعال للمكبس وهذا يؤدي الى زيادة كمية الوقود المحقونة وبدوره يؤدي الى زيادة سرعة المحرك .

4 - عند تقليل سرعة المحرك تدفع الجريدة المسننة الى الداخل (الى اليسار) مما يؤدي الى تدوير المكابس الى اليمين مهذا يؤدي الى تقليل الشوط الفعال للمكابس الذي بدوره يقلل كمية الوقود المحقونة وهذا يؤدي الى تقليل سرعة المحرك .

5- في حالة ايقاف عمل المحرك تدفع الجريدة المسننة الى اقصى اليسار فتدور المكابس الى اقصى اليمين مما يؤدي الى تطابق الشق الطولي مع فتحة الفائض فيتسرب الوقود الى مجرى

الوقود وهذا يعني ان ضغط الوقود سوف يكون منخفضا مما يجعل صمام التوزيع مغلقا وهذا يقطع الوقود عن الرشاشات وبهذا يتم ايقاف المحرك عن العمل ، والشكل رقم (6 – 25) يبين حالة ايقاف عمل المحرك .



شكل (6 – 25) يوضح حالة أيقاف ضخ الوقود

6 – 5 – الرشاشات (Injectors) :

يتكون الرشاش من جسم الرشاش الذي يربط بالمحرك بواسطة لولب وتوضع حشوة نحاسية لأحكام الضغط وعدم تسرب الضغط من الاسطوانة ، ويحتوي الجسم على مجرى خاص بالوقود متصل بالحوض الذي يحيط ابرة الرشاش ، وهذه الابرة تتحرك حركة ترددية :-

1 – الى الاعلى بتأثير ضغط زيت الغاز العالي الناتج من مضخة حقن الوقود ضد قوة نابض الارجاع الموجود في أعلى ساق الابرة .

2 – الى الاسفل بتأثير نابض الارجاع بعد زوال ضغط زيت الغاز فتغلق فتحة التذرية فيقطع حقن الوقود عن غرفة الاحتراق .

كما تحتوي الرشاش على صامولة المعايرة الموجودة على رأس نابض الارجاع وضيفتها تحديد قوة ضغط نابض الارجاع وحسب التصميم .

طريقة عمل الرشاش (المفتت) :-

عند دفع مضخة حقن الوقود زيت الغاز الى الرشاش فقوة الوقود المضغوط ترفع الابرة من الاسفل الى الاعلى ضد قوة النابض ليخرج زيت الغاز من فتحة التذرية على شكل رذاذ الى داخل غرفة الاحتراق ، وعليه يجب ان يكون ضغط الوقود اعلى من قوة النابض ، ويمكن ان ينظم ضغط الحقن باستخدام صامولة المعايرة ، وبعد زوال ضغط الوقود يقوم نابض الارجاع بدفع الإبرة الى الاسفل فتغلق فتحة التذرية ويتوقف حقن الوقود . عندما يكون الضغط مرتفعا

جدا فأن كمية من الوقود تتسرب على جوانب ابرة الرشاش وعليه يجب ايصال هذا الفائض الى الخزان عبر انبوب الراجع ، والشكل رقم (6 – 26) يبين الرشاش مع رسم مبسط توضيحي لأجزائه .

شكل (6 -26) يوضح الرشاش وأجزائه

اجري تصحيح حديث يعالج ذبذبة الابرة خلال الحقنة الواحدة (أعاقة عملية التغذية) وذلك عبر اجراء زيادة في المساحة السطحية الحلقية للآبرة المعرضة لضغط زيت الغاز مما يجعل الابرة مرتفعة عن فتحة التذرية طيلة فترة الحقن بسبب الضغط المستمر من قبل زيت الغاز على المساحة الحلقية للآبرة .

6 – 5 – 1 – أنواع الرشاشات (المفتتات) :-

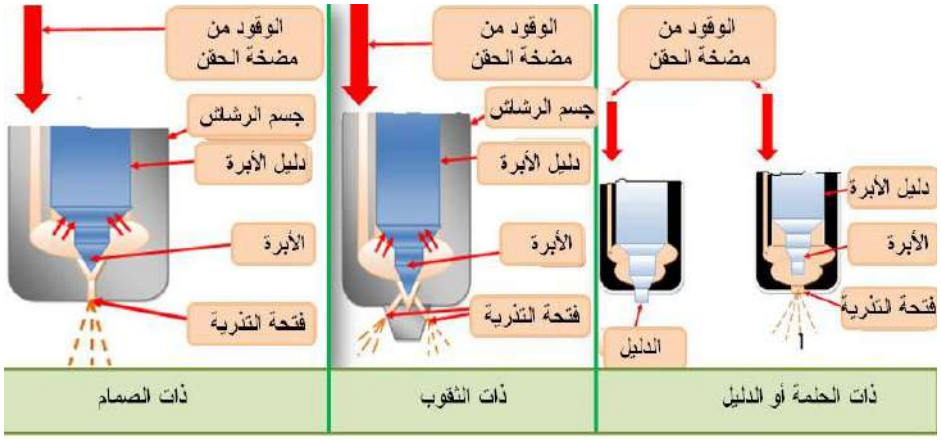
هناك عدة انواع من الرشاشات من حيث التصميم منها ميكانيكية واخرى ذاتية لكنها تتشابه من حيث العمل الذي تؤديه وهو (تذرية الوقود داخل غرفة الاحتراق للمحرك) ، والرشاشات الذاتية اكثر استعمالا وجودة ومنها ما يأتي : أنظر الشكل (6 – 27) .

1- الرشاشات ذات الحلمة أو الدليل : يتميز بتنظيف فتحة تذرية الوقود من الكاربون

2- الرشاشات ذات الثقوب : توجد رشاشات ذات ثقب واحد أو عدة قوب ، الرشاش ذات الثقب الواحد تستعمل في المحركات ذات الحقن غير المباشر ، اما الرشاشات ذات عدة ثقوب تستعمل في المحركات ذات الحقن المباشر ، ويتراوح عدد الثقوب من (2 – 7) وقطر (0.2) ملم تقريباً ، وكلما تعددت ثقوب الفوهة قلت أقطارها .

ومن الواضح انه يمكن أن تسد هذه الثقوب بسهولة لذلك يوضع مرشح اضافي في فوهة دخول الوقود الى الرشاش .

3- الرشاشات ذات الصمام : يستعمل هذا النوع من الرشاشات في المحركات ذات غرف الاحتراق التي تساعد على عمل دوامات قوية اثناء حقن الوقود ، وباستعمال هذا النوع يمكن الحصول على رذاذ بشكل نافورة مخروطية ذات زاوية محصورة من (4 الى 15) درجة ، كما يمتاز هذا التصميم بأتساع ثقب الفتحة نسبيا مما يقلل خطر اعاقة حقن الوقود .



شكل (6 – 27) يوضح أنواع الرشاشات

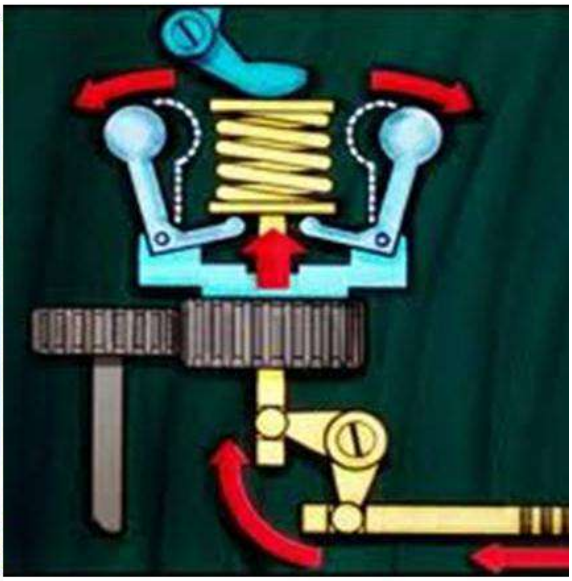
6 – 6– منظم السرعة (Regulator)

هو جهاز يمكن بواسطته التحكم في كمية الوقود اللازم حقنها للمحرك عند الاحمال المختلفة حتى يحتفظ بسرعة ثابتة ، وهذا يعني اذا كانت القدرة التي يعطيها المحرك تزيد على قدرة الحمل فان القدرة الزائدة تعمل على زيادة سرعة المحرك ، اما اذا زاد الحمل على القدرة الناتجة من المحرك هذا يؤدي الى تقليل سرعة المحرك ، ومن خلال ذلك صمم هذا الجهاز لغرض التحكم التلقائي بكمية الوقود اللازم حقنها في مختلف الاحمال وحسب الحاجة .

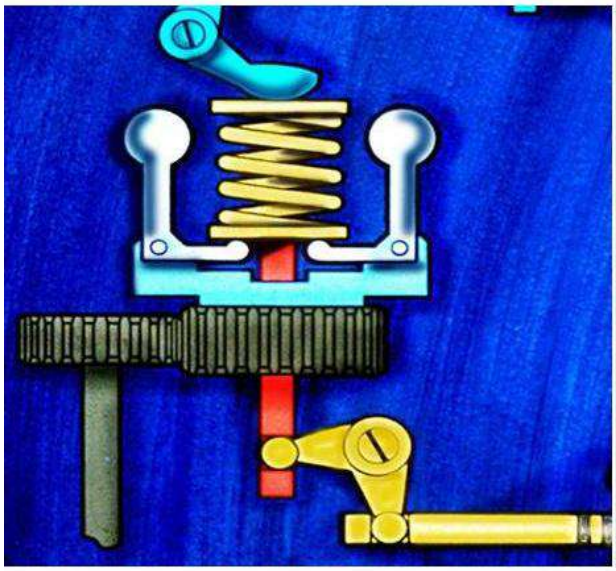
طريقة عمل منظم السرعة :- يتكون منظم السرعة من (ثقالات عدد اثنان و قاعدة دوارة تأخذ حركتها من ترس ناقل الحركة من المحرك ، كما يحتوي على نابض السرعة وذراع السرعة الذي يتحكم بالوقود اللازم حقنه عند الحمل المعين) .

ويلاحظ ان اذرع الثقالات رأسية الوضع ، فعند زيادة سرعة المحرك سوف تزداد عدد دورات الثقالات مما يزيد القوة الطاردة المركزية للثقالات والتي تقوم بدفع الثقالات الى الخارج مما يجعل رفع ذراع السرعة الى الاعلى ضد قوة نابض السرعة ، ارتفاع ذراع السرعة يعني تقليل كمية الوقود اللازم حقنها للوصول الى حالة التوازن ، انظر الى شكل رقم (6 – 28 – أ) يوضح ذلك .

اما في حالة زيادة الحمل فان سرعة دوران الثقالات سوف تقل مما يؤدي الى قلة القوة الدافعة المركزية فتقترب الثقالات الى بعضها مما يؤدي الى دفع ذراع السرعة الى الاسفل وهذا بدوره يزيد كمية الوقود اللازم حقنها الى المحرك للتغلب على الحمل ثم الوصول الى حالة التوازن ، كما موضح في شكل رقم (6 – 27 – ب) .



أ – ضخ وقود قليل



ب – ضخ وقود أكثر

شكل (6 – 28) يوضح منظم السرعة في محرك الديزل

6 – 7 – شمعة التوهج أو شمعة الحرارة (Heating Plug)

بعض المحركات الديزل تحتاج الى شمعات توهج داخل غرفة الاحتراق وذلك لتسخين الهواء داخل الاسطوانات قبل الأبتداء بتشغيل المحرك ، في الأجواء الباردة وقسم منها في الأجواء الباردة والساخنة ايضاً .

تحتوي شمعة التوهج على غلاف خارجي من الصلب مقلوظ خارجيا من الاسفل وذلك لربطه على غطاء كتلة الاسطوانات ، كما يحتوي الغلاف من الداخل على عمود معزول في الوسط وتوصل النهاية العليا بسلك يربط مع أحد أقطاب البطارية ، والنهاية السفلى للعمود توصل بسلك حراري ملفوف نهايته تتصل بالعمود والاخرى بالغلاف الخارجي لتكون الارضي الذي يوصل اليه عن طريق غطاء كتلة الاسطوانات ، وكما موضح بالشكل رقم (6 – 29) .

طريقة العمل تتلخص بايصال التيار بواسطة مفتاح لشمعات التوهج ولمدة دقيقة واحدة قبل البدء بالتشغيل عندما يكون المحرك باردا ويقطع التيار حال اشتغال المحرك ، ففي هذه الحالة يجب ربط مصباح انذار احمر في دائرة شمعات التوهج يوضع امام السائق لغرض معرفة تشغيل الشمعات أو اطفائها .

شكل (6 – 29) يوضح شمعة التوهج

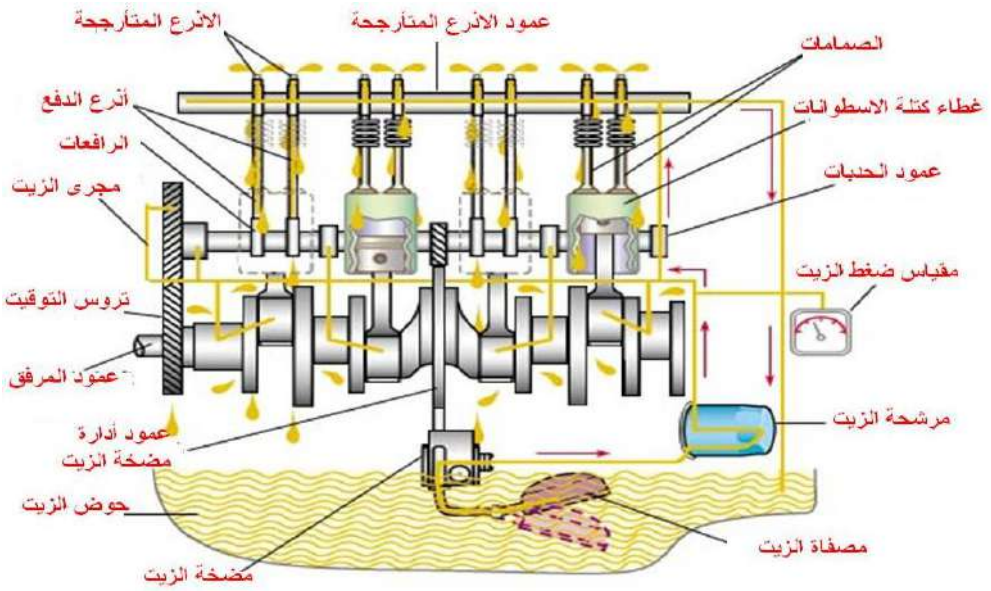
6 – 8 دورة التزييت :

الغرض من عملية التزيت : هو عملية تخفيض الاحتكاك بين أسطح الأجزاء المتلاسقة المتحركة وذلك بوضع طبقة رقيقة من الزيت بينهما ، تمنع تلامسهما اثناء الحركه ، وتقلل الحرارة والتأكل الناتج بينهما .

تلافيا للتأكل الذي يحدث حتما اذا كان هنالك تلامس معدني مباشر دون غشاء أو طبقه من الزيت بينهما ويفضل الزيت كأداة للزيت بسب خاصية تلاصقه مع السطحوح وخاصية لزوجية حيث يكون غشاء الزيت المتواجد بين السطحين من عدة طبقات تلتصق طباقته الخارجية مع سطح المعدن المجاور لها بخاصية الالتصاق ، بينما تتماسك طباقته الداخلية مع بعضها بخاصية للزوجة والتي تحول دورن انفصال أو قطع أوشرخ هذه الطبقات عن بعظها عند أزلاقها أو تدحرجها فوق بعضها تحت ضغط معين أثناء حركة الأجزاء المتحركة كما تحول دون هروبه من بين الأسطح كما في السوائل الاخرى .

6 – 8 – 1 – أجزاء المحرك التي تتطلب التزييت ،

أنظر الشكل (6 – 30) :



شكل (6 – 30) يوضح منظومة التزييت والاجزاء المتحركة في المحرك

1 – كراسي محاور عمود المرفق .
2 – الجدران الداخلية للإسطوانات .
3 – كراسي عمود الحدبات (الكامات) .
4 – أعمدة رفع الصمامات ، ومحور حامل الصمامات .
5 – تروس التوقيت .

6 – 8 – 2 – طريقة التزييت :

تعتبر طريقة التزييت الجبري أكثر الطرق شيوعا ، وفيها تستخدم مضخة تأخذ حركتها عن طريق ترس خاص مشكل على عمود الحدبات أوعلى عمود المرفق ، تقوم هذه المضخة بسحب الزيت من وعاء الزيت (غطاء عمود المرفق) عبر مصفاة سلكية ثم تدفعه بضغط معين يحدده منظم الضغط ليمر الى مرشح الزيت ومنه الى أنبوبة رئيسية **تتفرع الى عدة** فروع تصل الى ممرات الزيت لتزييت الأجزاء المتحركة بالمحرك وهذه الفروع هي :

1 – فرع الى مبين ضغط الزيت في الدائرة أثناء تشغيل المحرك .

2 – فرع الى كراسي ارتكاز عمود المرفق .

3 – فرع الى كراسي عمود الكامات .

4 – فرع الى عمود روافع الصمامات في أعلى غطاء الأسطوانات ومن ثم ينساب الى سيقان دفع الصمامات .

5 – ممر خاص بالكرسي الأمامي لعمود المرفق وكرسي عمود الكمامات لتزييت تروس التوقيت

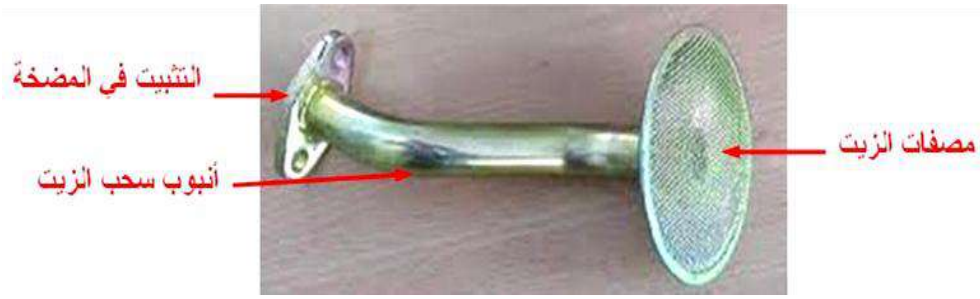
ثم يتساقط الزيت بعد مروره في هذه الفروع الى علبة المرفق (وعاء الزيت) ليعاد ضخه مرة أخرى وهكذا تتكرر الدورة .

6 – 8 – 3 – مكونات مجموعة التزييت :

1 – وعاء الزيت : وهو وعاء في أسفل المحرك يحمل زيت التزييت بمقدار معين ، ويكون غطاء لعمود المرفق ، يحتوي على سدادة تفريغ في أدنى نقطة فيه لتفريغ زيت المحرك بعد نفاذ صلاحيته أنظر الشكل (6 – 31) .

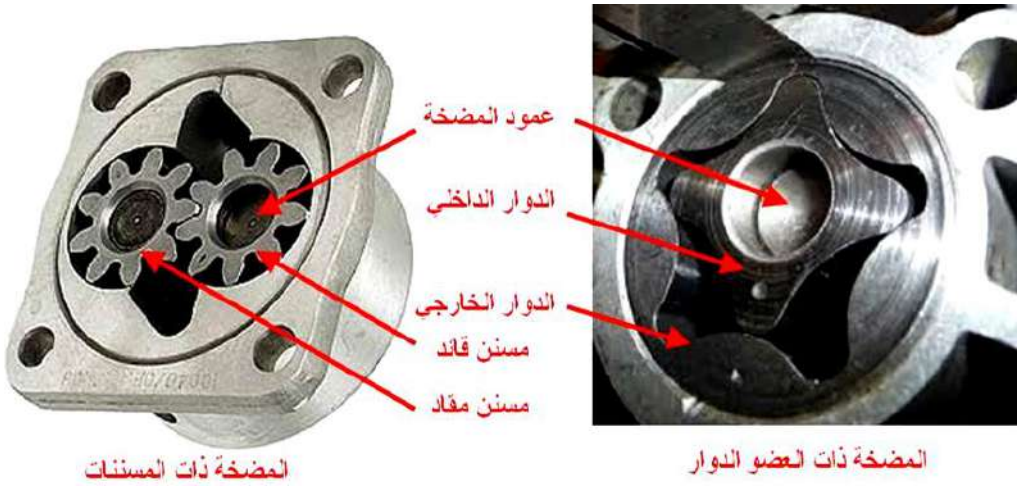
شكل (6 – 31) يوضح وعاء الزيت (غطاء عمود المرفق)

2 – مصفاة الزيت : وهي عبارة عن شبكة سلكية معدنية دقيقة الثغرات توضع في غلاف معدني ، تربط أسفل مضخة الزيت بحيث تكون على بعد مناسب من قاع وعاء الزيت تفاديا لالتصاق الرواسب المعدنية فيها ، تعمل على تنقية الزيت الداخل الى مضخة الزيت ، من المو د العالقة الكبيرة .



شكل (6 – 32) يوضح مصفات الزيت

3 – مضخة الزيت : هي ألة ميكانيكية تقوم بسحب الزيت من حوض الزيت وتضخه الى مصفاة الزيت ومنه الى أجزاء المحرك تحت ضغط معين ينظمه صمام أمان يركب عليها عند فتحة خروج الزيت ، تستمد حركتها من عمود الحدبات وأحياناً من عمود المرفق ، وهي بأنواع مختلفة كما يوضح الشكل (6 – 33) ومنها :



شكل (6 – 33) يوضح مضخة الزيت

1 – المضخة ذات المسننين (ترسين) Gears Oil Pump : تتكون من مسنن مثبت على محور يستمد حركته من عمود الحدبات أوعمود المرفق ، يقود يقود مسنن أخر مماثل له ، الأثنان يدوران داخل تجويف خاص بهما .

2 – المضخة ذات العضو الدوار Rotor Oil Pump تتكون من مسنن خارجي مثبت على محور وار معشق مع أخر داخلي يدوران في نقطة دوران تبتعد عن المركز بمقدار معين بحسب تصميم المضخة أنظر الشكل (6 – 33) .

4 – مرشح الزيت Oil Filter : يستعمل في دوائر تزييت المحرك نوعان رئيسيان لمرشحات (منقيات) الزيت ، أنظر الشكل (6 – 33) :

الاول – المرشح ذات الغلاف الدائم ، حيث تستبدل مادة الترشيح ويبقى الغلاف أو العلبة .

الثاني – المرشح القابل للتبديل ، حيث يستبدل المرشح والغلاف الخارجي أو العلبة

والغرض منها هو حجز الشوائب الدقيقة العالقة بالزيت وتحول دون مرورها في دائرة التزييت ليصل نظيفا الى أجزاء المحرك المتحركة فيقل تأكلها ويطول عمرها التشغيلي .

شكل (6 – 34) يوضح مرشح الزيت

6 – 8 – 4 – أجهزة الامان في دوائر التزييت :

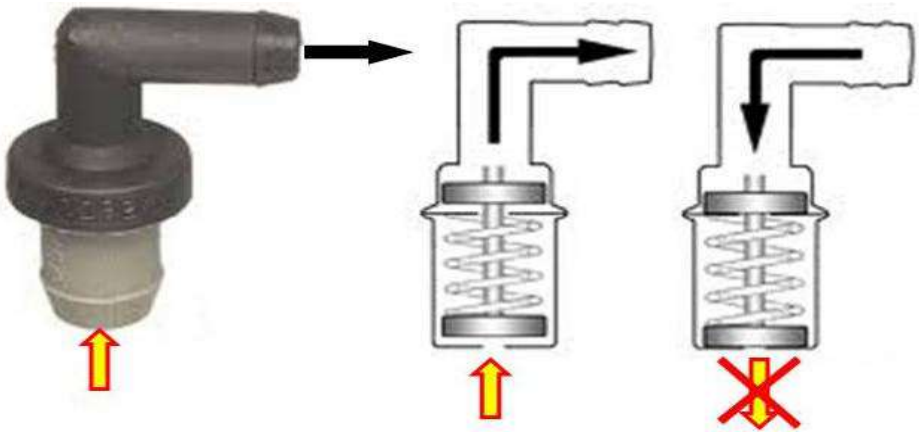
تزود دوائر التزييت الجبرية (بالضغط) بأجهزة ووسائل أمان يمكن بها حماية دورة التزييت من الانقطاع وضمان توافرالزيت واستمراريته لتأدية وظيفته في تزييت الأجزاء المتحركة بالمحرك وهي :

1- منظم ضغط الزيت (صمام الأمان بالدائرة) : ويتكون من ثقب لخروج الزيت مغلق بكرة من الصلب يضغط عليها نابض بمقدار معين ، كلما يزداد ضخ الزيت ويزداد ضغطه يقوم بدفع الكرة والنابض الى الخلف ويخرج ليعود الى وعاء الزيت ، وبذلك يبقى الضغط وكمية الزيت الذاهبة الى الاجزاء ثابتة مهما كانت سرعة المحرك .
2- مبين ضغط الزيت الميكانيكي : هو مقياس يكون أمام السائق أو المشغل لتنبيهه عند زيادة أو نقصان ضغط الزيت .

6 – 8 – 5 – مبردات الزيت :

يجب ان تكون درجة حرارة الزيت منخفضة أو أقل من درجة حرارة أجزاء المحرك ، لذلك تجهز دائرة التزييت لبعض المحركات بمبردات يدخلها الزيت المضغوط من المضخة لتبريده قبل مروره الى الأجزاء اذا ما تطلب الامر عند طريق صمام تحويل .

تهوية علبة المرفق : للحفاظ على الضغط داخل علبه المرفق ، وضمان عدم نقص كمية الزيت بها ، والحفاظ على خواصه ، وتزيت جيد لأجزاء المحرك ، يجب التخلص من الأبخرة الضارة والمواد الناتجة أثناء التشغيل ، باستعمال صمام التهوية الموجبة لعلبة المرفق ، كما موضح في الشكل (6 – 35) .



شكل (6 – 35) يوضح صمام التهوية الموجبة (يسمح بخروج الأبخرة والغازات من علبة المرفق ويمنع دخول الهواء الى الداخل)

6 – 9 – دورة التبريد :

منظومة التبريد في محرك السيارة لها أهمية كبيرة ، حيث يعتمد عمر المحرك على كفاءة دورة التبريد .

تتم عملية احتراق الوقود مسببة حدوث حرارة عالية من الممكن أن تسبب أضراراً بالغة وخطيرة على أجزاء المحرك لذلك كان لابد من أيجاد نظام كامل للتخلص من الحرارة العالية لكل جزء من أجزاء المحرك .

تعمل منظومة التبريد على التخلص من حرارة المحرك بسرعة ومعدل مناسب لتشغيل المحرك في درجة حرارة مناسبة (75 - 95 C°) حيث ان تشغيل المحرك في درجة مرتفعة تسبب غليان الماء وتوقف سريانه ، وتشغيله في درجة منخفضة يسبب عدم كفاءته وفقد جزء من قدرته حيث أنه لا يتم حرق الوقود كليا وتسرب بعظه على جدران الأسطوانة خلال حلقات المكبس كاسحا الزيت امامه الى حوض الزيت فيعمل على تغير لزوجته وتلفه ، وتعتمد معظم المحركات على الماء للتخلص من حرارة الاحتراق الزائدة .

6 – 9 – 1– الغرض من التبريد

1 – الحفاظ على درجة حرارة المحرك بحيث تبقى ثابتة ما بين (75 - 95 C°)

2 – الحفاظ على خواص زيت المحرك لأداء وظيفته بشكل جيد .

3 – العمل على عدم تمدد اجزاء المحرك الداخلية والمتحركة .

4 – العمل على عدم تمدد الشحنة بالحرارة ، لضمانة ملئ الاسطوانة بالشحنة المطلوبة

6 – 9 – 2 – الشروط الواجب توفرها في دورة التبريد :

1 – أن يكون حجم الماء مناسب وثابت ولذلك يوجد خزانة للتمدد .

2 – أن يكون الماء عبر ساكن ويكون في حالة تيارات مستمرة .

3 – أن تتناسب سرعة سريان الماء طرديا مع درجات الحرارة الاجزاء وعكسيا مع مساحة الاجزاء المعرضة للتبريد .

4 – أن يكون المشع مصنوع من معدن سريع التخلص من الحرارة (في الغالب يصنع من معدن الألمنيوم أو النحاس) .

5 – أن يكون مستوى الماء في المشع أعلى من مستواه في جيوب التبريد في المحرك .

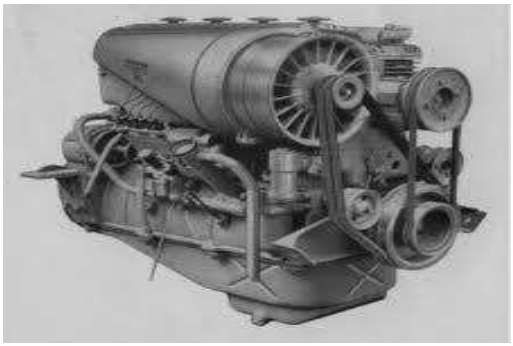
6 – أن يكون المشع ذو مقاومة قليلة لسريان الهواء .

7 – أن يكون المشع ذو مساحة أمامية تتناسب مع حجم وسرعة المروحة .

8 – أن يكون الاتصال بين المشع والمحرك أتصالا مرنا .

6 – 9 – 3 – نظم التبريد :

أولا – نظام التبريد بالهواء : حيث يجهز السطح الخارجي للأسطوانة بعدد من الزعانف تزداد في عددها واتساعها عند رأس الأسطوانة (لأنه الاكثر حرارة) ، ثم تستخدم مروحة لدفع الهواء بكمية كافية تعمل على استقرار درجة حرارة المحرك ، وتستعمل حواجز معدنية في توجيه وتوزيع الهواء على الأسطوانات ، أنظر الشكل (6 – 36) .



شكل (6 – 36) يوضح تبريد محرك ديزل بالهواء

ثانياً – نظام التبريد بالماء :

تتكون دورة التبريد بالماء من وعائين أحداهما ضمن أجزاء المحرك يسمى جيوب التبريد والاخر يتصل بالمحرك عن طريق أنابيب ويسمى المشع وهذا النوع شائع الاستخدام في أغلب أنواع المولدات والمركبات ومكائن الاحتراق الداخلي الديزل والبنزين .

6 – 9 – 4 – مكونات نظام التبريد لمحرك أحتراق داخلي : أنظر الشكل (6 – 37) .

1 – المشع Radiator .

2 – مروحة التبريد Cooling Fan .

3 – مضخة الماء Water Pump .

4 – المتحسس الحراري (الثرموستات) Thermostat .

5 – خراطيم التوصيل Hose .

شكل (6 – 37) يوضح مكونات منظومة التبريد في محركات الأحتراق الداخلي

6 – 9 – 5 – عمل دورة التبريد للمحرك :

هي عملية سحب الحرارة المتولدة على رأس الاسطوانة نتيجة احتراق الوقود ، بواسطة الماء السائل (سائل التبريد) الى المشع حيث يتم التخلص من هذه الحرارة عن طريق انتقال الحرارة بالحمل القسري بين المشع وهواء الجو ، وبذلك تنخفض درجة حرارة الماء في المشع ، الذي يتجه مرة أخرى الى أجزاء المحرك المراد تبريدها وهكذا تتكرر العملية مع استمرار اشتغال المحرك .

1 – مضخة الماء : توجد المضخة عادة في مقدمة المحرك وتأخذ حركتها من عمود المرفق عن طريق حزام مطاطي ، وتقوم بدفع الماء القادم من المشع ، الى جدران أجزاء المحرك الساخنة فيمر ماء التبريد في الفراغات حول الاسطوانات ثم في الممرات حول الصمامات في كتلة غطاء الاسطوانات ، فتحدث عملية التبادل الحراري .

الدور الذي تلعبه المضخة التي تعمل على حركة الماء ضمن دروة التبريد ، والتي يسبب حدوث أي عطل فيها أرتفاع في درجة حرارة ماء التبريد وبالتالي أرتفاع درجة حرارة المحرك وتوقفه عن العمل

2 – المشع : هو عبارة عن مبادل حراري مركب امام المحرك على الهيكل الذي يحمل المحرك ، بأحكام على وسادات مطاطية لمنع الاهتزازات ، ويتكون المشع من خزانة (حوض) علوي وأخر سفلي (أو الوضين في الجانبين) تتصل كل منها بالأخرى عن طريق أنابيب ذات زعانف ، ويتصل المشع بخراطيم مطاطية مرنة من الأعلى برأس الاسطوانات ومن الأسفل بمجمع الأسطوانات عن طريق مضخة الماء تنتقل الحرارة من الماء الى جدران الانابيب النحاسية (أو من الألمنيوم) التي تكون محاطة بزعانف لزيادة مساحتها السطحية حيث يتم فقد هذه الحرارة بواسطة تيار الهواء المار بين الانابيب بفعل المروحة ، وبهذا تنخفض درجة حرارة الماء الذي يتجمع في حوض المشع السفلي حيث يسحب الماء منه بواسطة خرطوم الى كتلة الاسطوانات لتكرار العملية .

يوجد بالحوض بالعلوي للمشع فتحة لتزويد المشع بالماء مغطاة بغطاء معدن ذو صمامين يساعدان على زيادة الضغط داخل المشع زيادة طفيفة عند الضغط الجوي ليرفع درجة غليان الماء ، يعمل أحد الصمامين على المحافظة بشكل دائم على ضغط معين داخل المشع وتصريف الضغط الزائد ، أما الصمام الأخر فيندفع بشدة عند ارتفاع الضغط ليسمح لهروبه .

3 – الثرموستات : عادة ما يحدث زيادة الضغط داخل دورة التبريد نتيجة زيادة درجة الحرارة لذلك كان استخدام الثرموستات لتنظيم حركة الماء داخل الدورة ، حيث يركب الثرموستات عند مخرج الماء من رأس الاسطوانة الى المشع ، والثرموستات عبارة عن صمام ذو حجرة حلزونية مملوءة بسائل يتمدد ويعمل على فتح الصمام تدريجا عند أرتفاع الحرارة ويسمح بمرور الماء الى المشع ، ويبقى غالق لذلك المجرى ما دام المحرك بارداً ، ويسمح بمرور الماء الى مجرى جانبي الى داخل المحرك .

4 – المروحة : يكون استعمال المراوح بحسب حجم المحرك ونوع العمل الذي يؤديه ، وهي بأنواع مختلفة (المعدنية والبلاستيكية ، صغيرة وكبيرة ، تدار كهربائياً أو بحزام ناقل) .

5 – الخراطيم : تصنع من المطاط المقوى بالنسيج لمنع الانحناء والتقوس أوأنسداد مجرى الماء ، وتكون بأقطار مختلفة ، وأشكال وأطوال ثابتة .

6 – خزان الماء :

عند اشتغال المحرك ترتفع حرارة ماء التبريد ويبدأ بالتمدد ، فإن لم يجد له منفذ للخروج سيزداد الضغط داخل منظومة التبريد وترتفع الحرارة رغم دوران المروحة ، ولذلك تم وضع خزان الماء : هو وعاء بحجم مناسب الى حجم المحرك يصنع من اللدائن أو المعادن (حديد ، ألمنيوم أو نحاس) ، يملئ بالماء الى أرتفاع مناسب (يمنع ملئه كلياً) ، وتغلق السدادة وهي ذات صمامين الأول يسمح بخروج الهواء والابخرة والماء الزائد والثاني يفتح لدخول الهواء الى الخزان لتعادل الضغط عند اطفاء المحرك وانخفاض حرارة ماء التبريد وتقلص الحجم ، أنظر الشكل (6 – 38) .

شكل (6 – 38) يوضح خزان الماء في منظومة التبريد

6 – 10 – دورة الهواء :

أن اشتغال المحرك في جو مترب بدون منقي للهواء يؤدي إلى تلفه في فترة قليلة ، ويطول عمر المحرك بأكثر من 3000 ساعة للاستخدام الجيد لوأستعمل منقي الهواء الملائم وأجريت له الصيانة الدورية حسب إرشادات الشركة المصنعة .

ويركب المنقي على فتحة دخول الهواء للأسطوانات فيمنع الأتربة من الدخول اليها وإتلافها ، ويوجد العديد من أجهزة تنقية الهواء منها المنقي الجاف وهو يتكون من أوراق مضغوطة من السليلوز تلتف داخل اسطوانة معدنية بشكل يزيد من مساحة السطح المعرض للتخلص من الشوائب ، وهذا يستبدل عند أجراء الصيانة لدورة الهواء ، أنظر الشكل (6 – 39) .

شكل (6 – 39) يوضح منقي الهواء النوع الجاف

أن الأكثر استعمالا هو منقي الهواء ذو الحمام الزيتي حيث يدخل الهواء أولا إلى ما يسمى بالفلتر الابتدائي وهو يشبه الفلتر الجاف ويمنع معظم الأتربة من الدخول ، يدخل الهواء المحمل بالأتربة بسرعة عالية إلى الفلتر الابتدائي ويصطدم بالعوارض الداخلية فتقل سرعته ولا يقدر على حمل الأتربة ذات الحجم الكبير والمتوسط ثم يمر الهواء بعد ذلك إلى طبقة من الزيت وأخيرا خلال طبقة من الألياف المعدنية التي تكون مبللة بالزيت .

6 – 10 – 1 – صيانة منقي الهواء :

1 – تغيير حمام الزيت كلما تشبع بالأتربة .

2 – غسل الألياف المعدنية كلما تشبعت بالأتربة ، أو بحسب إرشادات المصنع .

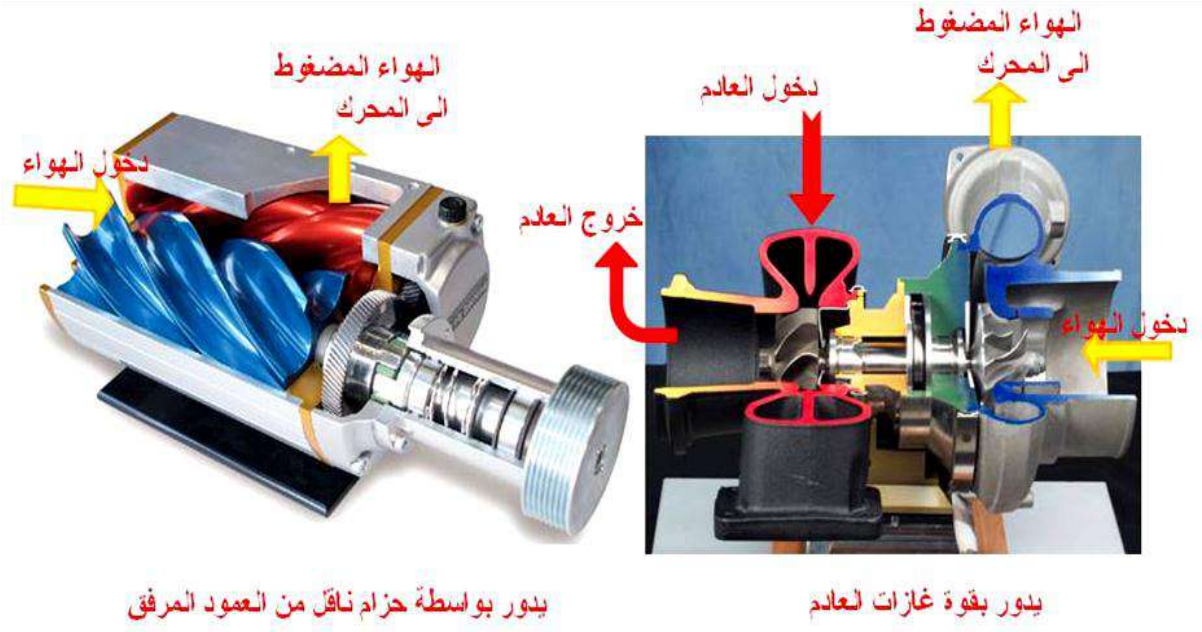
3– إزالة الأتربة والشوائب المعلقة بالمنظف وماسورة الدخول بصفة دورية .

6 – 10 – 2 – شاحن الهواء (التوربيني) supercharger :

هو ضاغط غاز (هواء) يستعمل للحث الإجباري للهواء الداخل الى أسطوانات محرك الاحتراق الداخلي ، ويزيد الشاحن التوربيني كثافة الهواء الذي يدخل المحرك لتحسين أداءه

(كفاءة عالية) ، وشاحن الهواء التوربيني أما يدار من قبل توربين تقوده غازات عادم المحرك أو يستمد حركته الميكانيكية من المحرك بواسطة السيور أو المسننات ، أنظر الشكل

(6 – 40) .



شكل (6 – 40) يوضح شاحن الهواء التوربيني

6 – 11 – دورة العادم :

عند اشتغال المحرك واحتراق الوقود مع الهواء تنبعث منه غازات بحرارة عالية وصوت مزعج وذات تأثير سيئ على البيئة ، ولذلك أهتم المصنعون كثيرا بأنابيب العادم والجزء الكاتم للصوت وكما يأتي :

1 – يخرج غاز العادم بدرجة حرارة تصل الى أكثر من 400 C° وبذلك يصنع الجزء الملاصق للمحرك من معدن (حديد الصب) لمقاومة الحرارة ، ويكون بقطر ملائم لكمية الغازات ويحتوي الانحناءات المناسبة لإعطاء انسيابية الخروج دون حصول ضغط عكسي .

2 – يصنع الجزء الكاتم بتجاويف وثقوب داخلية تكتم الصوت وتسهل خروج الغازات بحيث تكون بأقل تأثير سلبي على الانسان عند العمل بقربها .

3 – الغازات الخارجة تتكون أغلبها من أكاسيد الكربون والنتروجين وبذلك تكون أطوال أنابيب العادم وأقطارها بقياسات تساعد على تحويل غاز أول أوكسيد الكربون الى ثاني أوكسيد الكربون لتقليل المضار السامة ، وكذلك تحويل غاز أوكسيد النتروجين الى نتروجين وقطرات ماء ، مع المحافظة على أن لا تؤثر على تقليل القوة الحصانية للمحرك .

6 – 12 – لوحة السيطرة الإلكترونية والتشغيل :
أنظر الشكل (6 – 41)

تعتبر لوحة السيطرة الالكترونية من الاجزاء المهمة للمولدة اذ يتم وضعها في مكان مناسب مريح للنظر وسهل الاستعمال ومعزول عن مكان المحرك ، بصورة عامة تحتوي لوحة السيطرة (Control Board) على ما يأتي :

1. مفتاح تشغيل واطفاء المحرك
2. مقياس ضغط الزيت للمحرك
3. مقياس درجة حرارة المحرك
4. مقياس سرعة المحرك
5. مقياس مستوى الوقود
6. مقياس مستوى الزيت
7. مقياس مستوى سائل التبريد
8. مقياس التردد (الهرتزية) اذ يتم ضبط مقدار التردد حسب تردد الشبكة الكهربائية في العراق والذي قيمته 50 Hz
9. مقياس التيار
10. مقياس فرق الجهد

شكل (6 – 41) يوضح بعض أنواع لوحة السيطرة

تمتاز لوحة السيطرة في المولدات الحديثة بالتحكم بالتشغيل عند انقطاع التيار الكهربائي للشبكة الوطنية ، كذلك أطفاء المحرك عند عودة تيار الشبكة الوطنية ، وأيضاً أطفاء المحرك عند حدوث أي تغير يحصل في المقاييس خارج الحدود المسموح بها ، ومن خلال شاشة العرض في لوحة السيطرة يظهر العطل الذي يسبب في توقف المحرك ، وبذلك يتم توفير الوقت والجهد في تشخيص الأعطال .

6 – 13 – القدرة في مرحرك الديزل

محرك الأحتراق الداخلي : هو عبارة عن اداة تقوم بتحويل الطاقة الكيميائية (الوقود) الى طاقة حركية ، تسمى القدرة وتقاس ب (الحصان أو الواط) .

6 – 13 – 1 – قدرة محركات الديزل :

هي مقياس للشغل الخارج من محرك الديزل في وقت وظروف محددة ، يتم حساب قدرة محرك الديزل في وحده تسمى القدرة الحصانية أو الواط ، فكلما زادت القدرة الحصانية لمحرك الديزل ازداد الشغل المنجز منه وبالعكس ، والقدرة الخارجة من محرك الديزل تتمثل في عمود دوران محرك الديزل وعن طريق الحذافة (Fly Wheel) ، وتكون القدرة الخارجة متمثلة في ما يأتي:

1 – عزم الدوران المحوري لعمود المرفق .

2 – عدد الدورات في الدقيقة لعمود المرفق .

قيمة القدرة الحصانية لأي محرك ديزل مثبتة في لائحة على جسم محرك الديزل ، او مع خارطة تفاصيل المحرك ، تقل كفاءة وقدرة محرك الديزل بمرور وقت الاشتغال بسبب قوى الاحتكاك والتأكل بين الاجزاء المتحركة وتكون كفاءة محرك الديزل ثابته ومنتظمة (تقريبا) في حالة عدم تغير الحمل (Load) ، اي الأحمال المنتظمة ضمن حدود التصميم لمحرك الديزل مع شرط توفر الإدامة الصحيحة للمحرك من حيث دورة التبريد ودورة التزييت وعمل لوحة السيطرة (Control System) بشكل صحيح .

6 – 13 – 2 – مصطلحات ومفاهيم قياس القدرة :

1 – القدرة الحصانية Hours Power HP وهو مصطلح هام جدا حيث انه يعبر عن قدرة المحرك وهى وحدة متعامل بها عالميا ومن قدرة المحرك نستطيع ان نوجد عزم المحرك .

2 – عدد دورات المحرك Revloution Per Minute RPM وهو مصطلح يعبر عن عدد دورات المحرك فى الدقيقة الواحدة .

3 – عزم المحرك ويمكن حسابه عن طريق المعادلة الاتية :

عزم المحرك $\text{Engine Torque} = \frac{\text{قدرة المحرك HP}}{\text{عدد اللفات RPW}}$ .....(1 – 6)

يضرب الناتج فى الثابت 716.2 لتحويله الى وحدة النيوتن متر

العزم : ويمثل القوة المؤثر من مسافة معينة ، وتقاس المسافة من مركز التأثير إلى نقطة توجيه القوة .ولابد للمحركات أن تنتج عزم يستطيع التغلب على الحمل المقابل .

1 – القدرة الفرملية : هي القدرة الحقيقية المستلمة (الناتجة) من نهاية عمود المرفق عند حافة الحذافة (Fly Wheel) وهذه القدرة تمثل القدرة الفعالة التي يتم بموجبها حسابات التشغيل

والتحميل لمحرك الديزل ، وتقاس بالقدرة الحصانية أو الواط ، تكون قيمة القدرة الفرملية أقل من القدرة البيانية وذلك بسبب القدرة الضائعة بالاحتكاك والاضطراب الدوراني المستمر الناشئ من حركة الاجزاء المتحركة (عزم القصور الذاتي) .

. ويعبر عن القدرة الفرملية (الدورانية) للمحرك ، بالعلاقة الأتية :

$$Pb = 2 \times 3.14 \times T \times N \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2-6)$$

حيث:

Pb = (القدرة الفرملية) كيلوواط

T = (عزم المحرك) نيوتن . متر

N = (السرعة الدورانية للمحرك) دوره / دقيقة

2 – القدرة البيانية Indicated Power :

هي القدرة الناتجة (المتولدة) في اسطوانة محرك الديزل لحظة الانفجار نتيجة لضغط الغازات ، اذ يتم تحويل طاقة الوقود الحرارية الى طاقة ميكانيكية حركية ، وهي قدرة نظرية ولايمكن الحصول عليها وذلك بسبب قوى الاحتكاك المتعددة وتقاس (الحصانية أو الواط) .

يمكن حساب القدرة البيانية عن طريق المعادلة التالية :

$$Pi = \frac{Im \times Ap \times L \times N \times n}{rc} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3-6)$$

حيث:

Pi = (القدرة البيانية) كيلوواط

Im = (متوسط الضغط البياني الفعال) كيلو باسكال

Ap = (مساحة رأس كل مكبس) ملم ^{2}

L = (طول المشوار) ملم

rc = 2 في حالة المحركات الرباعية الشوط و =1 في حالة المحركات ثنائية الشوط

KP = ثابت الوحدات

n = عدد اسطوانات المحرك

ويمكن تبسيط المعادلة (6 – 3) إلى المعادلة التالية :

$$Pi = \frac{Im \times D \times N}{rc} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4 - 6)$$

حيث أن D = (إزاحة المحرك) ملم^3 = مساحة سطح المكبس في طول الشوط

ويتضح من تلك المعادلة أن لمصممي المحركات ثلاث احتمالات فقط يمكن العمل من خلالها للحصول على محركات ذات قدرة عالية:

1 – تصميم محرك ذو سعة كبيرة (D)

2 – تصميم محرك بسرعة دورانية عالية (N)

3 – تصميم محرك قادر على تحمل الضغوط العالية (Im) وذلك بزيادة نسبة الانضغاط أو زيادة معدل ضخ الوقود .

6 – 14 – توصيل (ربط) محرك الديزل مع رأس التوليد (Generator) :

أولا- من الطرق المستعملة في ربط محرك الديزل مع رأس التوليد هو استعمال الحاضنة (Foundation) ، بحيث يتصل الجسم الخارجي للمولد مع الجسم الخارجي للمحرك بأحكام واستقامة عالية ، أما في داخل الحاضنة تتصل الاجزاء الدوارة وهي الحذافة مع الجزء المتحرك في المولد بإحدى الوصلات الرابطة الموضحة في الشكل (6 – 42) والتي تتكون من قطعتين تثبت أحدهما على الحذافة والأخرى على محور الجزء المتحرك للمولد ويحتويان على تجاويف متناظرة توضع فيها قطعة من المطاط ذات مواصفات مقاومة لقوة المحرك .

شكل (6 – 42) يوضح أنواع الوصلات الرابطة لرأس التوليد مع المحرك

ثانياً – أما طريقة توصيل رؤوس التوليد ذات القدرات العالية في المحركات الديزل (الكبيرة الحجم والقدرة) فتستعمل الوصلات الرابطة الموضحة في الشكل (6 – 42) ولاتختلف عن الأنواع الصغيرة ألا بالمتانة والحجم .

شكل (6 –43) يوضح أنواع الوصلات الرابطة لرؤوس التوليد مع المحركات العالية القدرة

ثالثاً - أما في حالة توصيل القدرة الحركية الناتجة من التوربينات الحرارية والغازية فتستعمل الوصلات الرابطة الموضحة في الشكل (6 – 44) وهي عبارة عن أنبوب طويل ومجوف بسمك معين واستقامة ذات دقة عالي ومن معدن بمواصفات عالي أيضاً ، يستند من وسطه على مساند كروية ، ويثبت من طرفيه بلوالب مع التوربين ورأس التوليد .

شكل (6 – 44) يوضح الجزء الناقل للحركة بين التوربين والمولد الكهربائي في المحطات الحرارية

توليد الطاقة الكهربائية باستعمال محرك الديزل يتطلب نقل الحركة الدورانية (عزم الدوران) من محور دوران المحرك الى عمود دوران المولد (Generator) وطريقة الربط المستعملة يجب ان تحقق الامور الاتية :

1. الحفاظ على المحورية (center) لاعمدة دوران محرك الديزل و رأس التوليد
2. نقل الحركة والقدرة بإحكام
3. تقليل الاهتزازات (vibrations) الى اقل حد ممكن
4. الحصول على توليد طاقة كهربائية وتيار مستقر (هرتزية ثابتة)
5. جعل هيكل المولدة ذو متانة عالية حتى تكون المولدة كتلة واحدة ، ففي حالة نقل المولدة او تثبيتها فأنها تعتبر قطعة واحدة (Unit) .

اسئلة الفصل السادس

1 – وضح بالتفصيل نظرية اشتغال محرك الديزل .

2 – ماهي وظائف الاجزاء التالية (المكبس ، ذراع التوصيل ، العمود المرفق) .

3 – لماذا تستعمل الحذافة في محركات الديزل .

4 – قارن بين مضخة الوقود ومضخة حقن الوقود .

5 – اشرح باختصار الدورة الرباعية لمحركات الديزل .

6 – يستعمل مصفي الوقود قبل وصول الوقود الى مضخة الحقن ، لماذا ؟

7 – ماذا يحصل لو كان اختلاف في توقيت حقن الوقود ؟

8 – اشرح مفصلا عمل الرشاشات مع رسم مبسط .

9 – تستعمل شمعات التوهج في أغلب محركات الديزل ، لماذا ؟

10 – ماهي أجزاء دورة التبريد ، في المحرك الديزل ؟

11 – ماهي فائدة خزان الماء في دورة التبريد ؟

12 – عندما لا نستعمل منقية الهواء ما هي الاضرار الي تحصل للمحرك عند اشتغاله ؟

13 – أذكر فوائد أنبوب العادم والكاتم .

14 – هاهي القدرة البيانية ، ماهي العوامل المؤثرة عليها ؟

15 – ماهي القدرة الفرملية ، ولماذا هي أقل من القدرة البيانية دائماً ؟

16 - ماهي قدرة الاحتكاك ، وهل يمكن الاستفادة منها ؟

17 – كيف يتم توصيل ونقل القدرة الحركية من المحرك الديزل الى رأس التوليد ؟

18 – لماذا تنقل الحركة الدورانية في التوربينات الى رؤوس التوليد بوسطة محور مجوف ؟

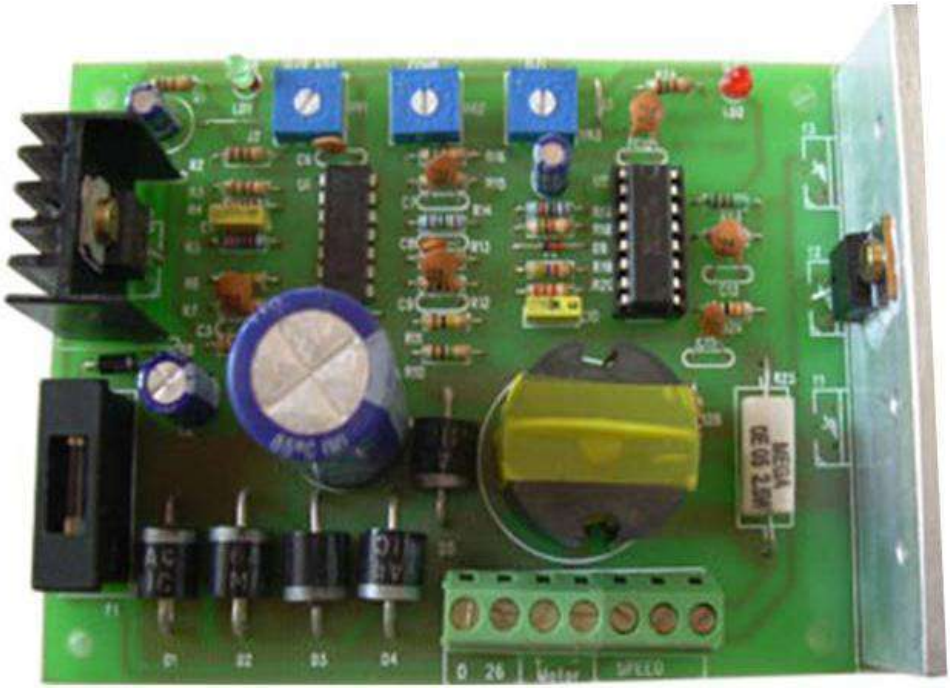
19 – يستعمل حشوة من المطاط عالي الجودة بين الجزئيين ناقلي الحركة الدورانية في المولد ، لماذا ؟

7

الفصل السابع

الكترونيات القدرة

Power Electronics



الهدف :

بعد دراسة الفصل يكتسب الطالب المهارات المعرفية الأتية :

1 – الثايرستور ، ممن يتكون ، كيف يعمل ، طرق ربطه في دوائر السيطرة الألكترونية .

2 – التحكم في سرعة وأتجاه دوران المحركات ذات الطور الواحد والثلاث أطوار .

3 – التحكم في التردد .

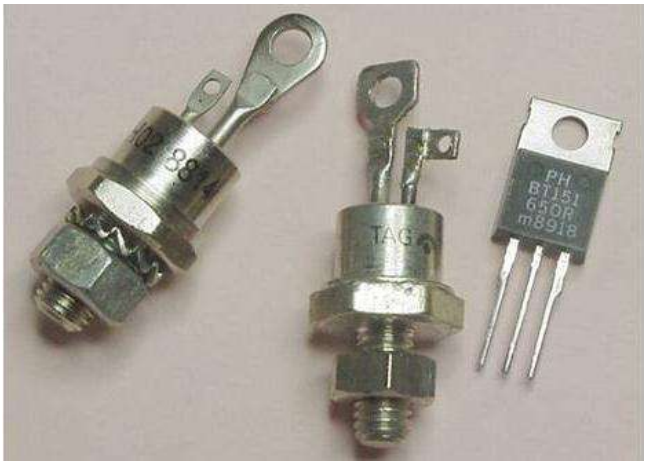
الكترونيات القدرة :

7 – 1 تمهيد

تعد الكترونيات القدرة من اهم الحلقات الرئيسة في علم الهندسة الكهربائية اذ انها تمثل علاقة الربط بين مدخل اي نظام ومخرجه وقد اصبحت عناصر الكترونيات القدرة موجودة في الكثير من الاجهزة والمنظومات المستخدمة في الصناعة وذلك لقابليتها على تحمل القدرات العالية وكفاءتها العالية في انظمة تحويل القدرة او تكمن اهمية الكترونيات القدرة في اهمية الماكنة حيث تمكنا بالاعتماد على هذهِ العناصر من التحكم الدقيق في سرعات المحركات الحثية ومحركات التيار المستمر وعلى سبيل المثال التحكم في السرعة والتوقف الدقيق للمصعد الكهربائي .

ان جميع المنظومات والاجهزة التي تتعامل معها عناصر الكترونيات القدرة في عصرنا الحديث كبيرة جداً ، واصبحت من العناصر التي لا يمكن الاستغناء عنها وخاصة في عالم الصناعة .

ان العنصر الرئيسي في اجهزة الكترونيات القدرة هو الثايرستور ، الشكل (7 – 1) ، فهو عنصر يتركب من مواد نصف موصلة لا يحتوي على اجزاء متحركة وقليل الوزن صغير الحجم نسبياً سريع الفتح والغلق ، وكل العناصر تربط معه في الدائرة اما لحمايته او لتشغيله او إخماده.



شكل (7- 1) يوضح الثايرستور

والثايرستور أداة ثنائية الاستقرار (bistable) فأما أن تكون حالة توصيل وتكون ممانعته لسريان التيار تقريباً صفر أو يكون في حالة غلق ، وتكون ممانعته لسريان التيار اقل بقليل من ما لانهاية ، وفي اغلب الاحيان يستعمل الثايرستور مقوماً قابلاً للتحكم ، وعلى كل حال فان الثايرستور في كثير من النواحي هو افضل من بقية المفاتيح الكهربائية الا ان هناك تحديدات لاستعماله من ناحية تحمله الحراري ويمكن التغلب على هذا التحديد باستخدام مخفضات الحرارة حيث تقوم هذه المخفضات بامتصاص الحرارة من الثايرستور وتبديدهما الى الهواء المحيط ، كما في الشكل (7 – 2) .

شكل (7 – 2) يوضح تثبيت الثايرستورعلى مخفض الحرارة

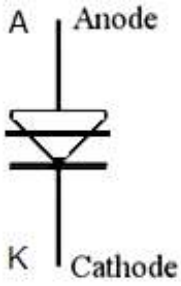
ويشترك الثايرستور مع الترانزستور في الخواص السابقة الذكر ويمكن استعماله للتحكم في دوائر القدرة ايضاً ويتفاضل مع الثايرستور بهبوط الجهد عبره فهو (25) ملي فولت فقط مقارنة مع الثايرستور حيث يكون هناك هبوط للجهد مقداره واحد فولت وكذلك فان لا يحتاج الى دائرة إخماد بينما . يتميز الثايرستور عن الترانزستور بان الترانزستور يحتاج الى تسليط فولتية على قاعدته بصورة مستمرة كي يبقى في حالة توصيل في حين يحتاج الثايرستور الى تسليط نبضة واحدة فقط لتجعله في حالة توصيل كما ان مقننه الفولتية للثايرستور هي افضل وذلك لاحتوائه على طبقة عريضة من مادة السيلكون والتي يرمز لها بطبقة n وكذلك مقننه التيار أفضل حيث ان توزيع التيار هو اكثر انتظاماً عند محل اتصال طبقات مكونات الثايرستور ، فضلاً عن ان الثايرستور يمكن استعماله في دوائر قدرة ذات قدرة بأجزاء الواط او مضاعفاته – بمليون مرة وحيث لا يصلح الترانزستور .

7 – 2 – عائلة الثايرستور :

تشمل كلمة الثايرستور اجهزة الفتح والغلق التي تتركب من مواد نصف موصلة وقسم من هذه الاجهزة ذو تشكيل P-N-P-N ويحمل صفة التوصيل باتجاه واحد والقسم الاخر يتكون من خمس طبقات ويحمل صفة التوصيل باتجاهين وفيما يلي انواع الثايرستور :

7 – 2 – 1 – الثايرستور الثنائي العكسي الاعاقة .

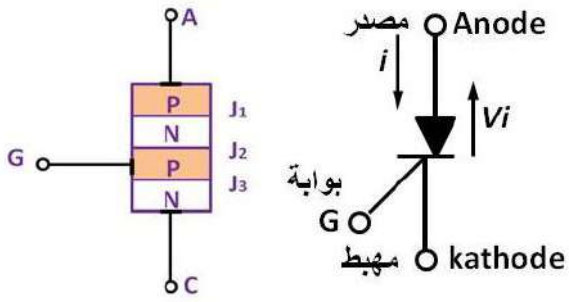
يتكون هذا الجهاز من اربع طبقات مع نهايتين ترتبطان بالطبقتين الخارجيتين تمتدان الى الخارج لغرض الربط ، ويظهر هذا الثنائي خواص الفتح والغلق عندما تزيد الفولتية الامامية المسلطة عن فولتية الانهيار ولايوصل بالاتجاه العكسي أي عندما يكون الهبوط موجباً نسبة الى المصدر



شكل (7 – 3) يوضح الثايرستور الثنائي العكسي الأعاقة

7 – 2 – 2 – الثايرستور الثلاثي العكسي الاعاقة SCR . الشكل (7 – 4) :

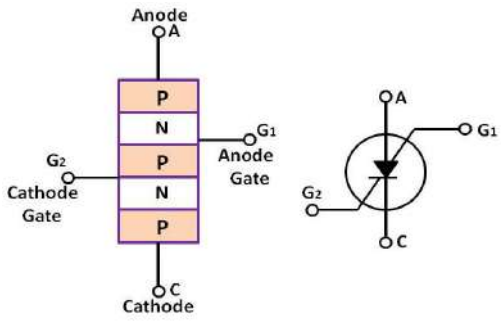
ويسمى كذلك بمقوم التحكم السليكوني (SCR) ففي هذا الجهاز نهاية اضافية تسمى بالبوابة تمتد من محل اتصالها بالطبقة الداخلية الى الخارج وعمل البوابة هو تشغيل الجهاز وقد تستخدم للإخماد وهذا الجهاز هو اكثر الاجهزة استعمالاً في معدات القدرة ويطلق عليه غالباً ثايرستور او SCR ،



شكل (7 – 4) يوضح الثايرستور الثلاثي العكسي الإعاقة (SCR)

7 – 2 – 3 – الثايرستور الرباعي العكسي الاعاقة :

ويسمى كذلك بمفتاح التحكم السيليكوني ، لهذا الجهاز اربع طبقات ولكن مع اربع نهايات ممتدة الى الخارج وهي المصعد والمهبط وبوابتان مربوطتان بالطبقتين N,P الداخلتين ، ويمكن ان يشغل هذا الجهاز في أي من البوابتين موضح في الشكل (7 – 5) .



شكل (7 – 5) يوضح الثايرستور الرباعي العكسي الاعاقة

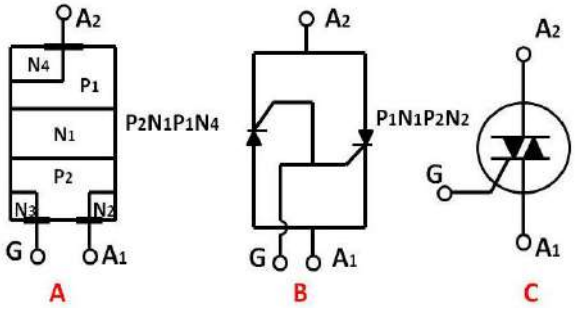
7 – 2 –4– الثايرستور الثنائي ذو الاتجاهين diac :

يتكون هذا الجهاز من أربع طبقات مع نهايتين تمتدان من الطبقتين الخارجيتين الى الخارج ويصبح هذا الجهاز في حالة توصيل عندما تزيد الفولتية المسلطة عن فولتية الانهيار في اي من الاتجاهين ، كما موضح في الشكل (7 – 6) .

شكل (7 – 6) يوضح الثايرستور الثنائي ذو الاتجاهين diac

7 – 2 – 5 – الثايرستور الثلاثي ذو الاتجاهين او الترياك trioc :

لهذا الجهاز بوابتان تستعملان لتشغيله بالاتجاهين ، وهذه الخاصية تجعله مفيداً في تطبيقات دوائر التيار المتناوب ، كما موضح في الشكل (7 – 7) .



شكل (7 – 7) يوضح الثايرستور الثلاثي ذو الاتجاهين أو الترياك trioc

7 – 3 – طرق القدح للثايرستور :

هناك اربع طرق لقدح الثايرستور أي جعل الثايرستور في حالة توصيل وهذه الطرق اما ان تؤثر مباشرة عن طريق البوابة بتسليط اشارة كهربائية ، او بتأثر الضوء ، والطريقتين الاخيرتين تكونان اما عن طريق فولتية ذات قيمة عالية بانحياز أمامي او عن طريق معدل تغيير سريع للفولتية بانحياز أمامي .

7 – 3 – 1 – الاشتغال بالضوء :

ان تسليط حزمة ضوئية على محل التوصيل بين رقيقة البوابة ورقيقة المهبط يمكن ان ينتج طاقة كافية لتحرير الالكترونات في المادة نصف الموصلة ويتسبب بتكوين حاملات الشحنات الاضافية اللازمة لتشغيل الجهاز .

7 – 3 – 2 – الاشتغال بواسطة البوابة :

ان كون المصعد موجبا بالنسبة للمهبط مع زيادة حاملات الشحنات في منطقة البوابة للثايرستور عن طريق ادخال هذه الشحنات الى القاعدة ويؤدي الى سريان التيار خلال الثايرستور وتصبح مقاومته لسريان التيار تقريباً صفر. ويعتمد تيار البوابة على حجم الثايرستور حيث كلما زاد حجم الثايرستور زاد تيار البوابة ويمكن ان يتغير 5 ملي امبير الى 250 ملي امبير او اكثر .

إن زمن التوصيل للثايرستور يعرف بالفترة الزمنية من بدء القدح حيث تكون ممانعة الثايرستور ما لانهاية إلى إن يسري التيار وتكون ممانعة الثايرستور حينذاك تقريبا صفراً ويكون فرق الجهد عبر الثايرستور قيمة قليلة وثابتة . وزمن التوصيل هذا يتراوح بين 1 إلى 30 مايكرو ثانية لأجهزة الثايرستور التجارية .

هناك قيمة دنيا يجب إن لا تقل عنها قيمة تيار البوابة وهناك علاقة بين سرعة فتح الثايرستور وتيار البوابة فالتيار الأعلى للبوابة يأخذ وقتا اقصر لتشغيل الثايرستو ر.

7 – 3 – 3 – الاشتغال بالفولتية :

إن زيادة الفولتية الموجبة على المصعد بالنسبة للمهبط توسع منطقة الاستفادة في محل التوصل الثاني ويزيد من فولتية التعجيل للفجوات ، وهذه الفجوات باتحادها مع الذرات تزيح فجوات إضافية حتى يحدث الانهيار في محل التوصيل مما يجعل التوصيل هذا منحاز أماميا ، وبهذا فان سريان التيار لا يحدده إلا الممانعة الخارجية ، إن هذه الفولتية للتشغيل هي أكثر من الفولتية المقننة العكسية وهي تستعمل فقط كطريقة لتشغيل الثنائيات ذات أربع طبقات

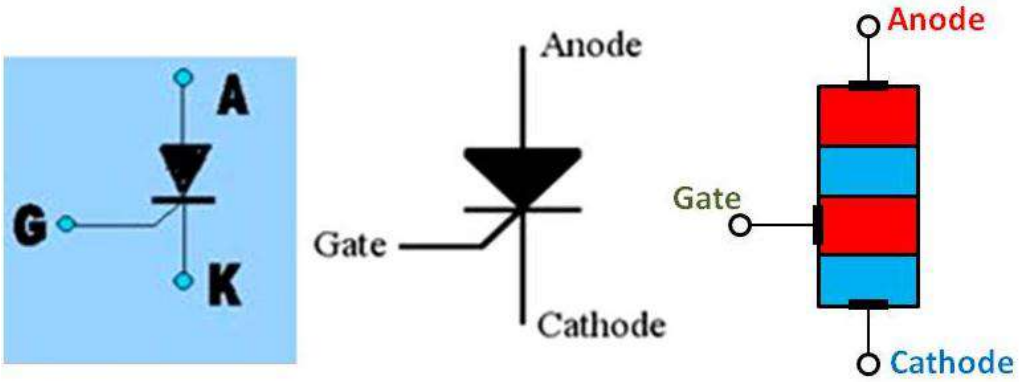
(p- n- p- n)

7 – 3 – 4 – الاشتغال بمعدل تغير الفولتية dv/dt

أن الفولتية الأمامية المسلطة على الثايرستور تزداد بالتدريج ولوزيدت هذه الفولتية زيادة مفاجئة فقد تؤدي إلى تشغيل الثايرستور بدون تسليط فولتية على البوابة . وهذا التغير المفاجئ يجهز تيار إلى البوابة عن طريق المتسعة الوهمية الموجودة بين المصعد والبوابة – والبوابة والمهبط . ويجب تجنب تغير فجائي كهذا ويحد معدل التغير من 020 إلى 200 فولت لكل مايكرو ثانية .

أن اكثر انواع الثايرستور استخداماً في المجالات الصناعية وفي دوائر الكترونيات القدرة هو الثايرستور الثنائي العكسي الاعاقة ويرمز له (SCR)(Silicon controller rectifier)

ويحتوي على ثلاثة اطراف هي القطب الموجب (Anode) والقطب السالب (Cathode) والبوابة (Gate) وكما موضح في الشكل (7 – 8) .



شكل (7 – 8) يوضح الطبقات الاربع المكونة للثايروستور ، ورموز الأطراف

7 – 4 – طرق إخماد الثايرستور :

إن إخماد الثايرستور يعني بان كل السريان للتيار الأمامي قد انتهى وان إعادة تسليط فولتية موجبة أمامية على الثايرستور لن يعيد سريان التيار ، هناك ثلاثة طرق لإخماد الثايرستور هي الإخماد الطبيعي . والإخماد بالانجاز العكسي والإخماد بالبوابة .

7 – 5 – اهم تطبيقات الثايرستور في دوائر إلكترونيات القدرة :

نتيجة للتقدم التكنلوجي الهائل في صناعة اشباه الموصلات فقد اصبحت دوائر الكترونيات القدرة تلعب دوراً رئيساً مهماً في مجال التحكم الالكتروني في المحركات الكهربائية ، حيث اصبح من السهل استخدام هذه الدوائر لبدء الحركة والتحكم في سرعة المحركات كما يمكن استخدامها لعمل الفرملة ايضاً . وتسمى الدوائر الالكترونية المستخدمة لهذا الغرض بمغيرات القدرة (Converters) وتتميز هذه الدوائر بصغر الحجم والدقة العالية وقلة التكلفة في معظم الحالات . وتنقسم مغيرات القدرة الى عدة أنواع هي :

1- الموحدات المحكومة (Controlled Rectifiers) .
2- مقطعات التيار المستمر (DC Choppers) .
3- حاكمات الجهد المتردد (AC Voltage Controllers) .
4- العواكس (Inverters) .

ويعتمد اختيار مغير القدرة المناسب على عدة عوامل مثل نوع المحرك ومصدر التغذية المتوفر بالإضافة الى طبيعة الحمل .

7 – 5 – 1 – الموحدات المحكومة (Controlled Rectifiers):

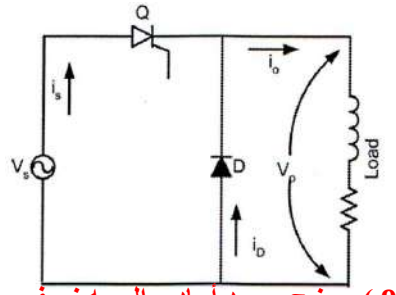
تستخدم الموحدات المحكومة للتحويل من تيار متردد الى تيار مستمر ذي جهد يمكن التحكم في قيمته ويتم ذلك باستخدام عناصر التوحيد المحكومة (الثايرستورات) حيث يتم التحكم في جهد الخرج بتغيير قيمة زاوية اشعال الثايرستور ، ويتم اشعال الثايرستور في دوائر الموحدات المحكومة بتسليط نبضة على البوابة ، بينما يتم اطفاؤه طبيعياً في حالة الاحمال الممثلة بمقاومة ، اما في حال الاحمال الحثية (ملفات) فيتم اطفاه بإشعال ثايرستور اخر في دائرة الموحد المستخدم وذلك خلال النصف السالب من الموجة .

وتتميز الموحدات المحكومة بالبساطة والكفاءة العالية وقلة التكلفة ، ولذلك تستخدم بكثرة في التحكم في التطبيقات الصناعية التي تتطلب سرعات متغيرة ، ويمكن تقسيم الموحدات المحكومة حسب نوع المصدر الى نوعين رئيسيين ، موحدات احادية الطور وموحدات ثلاثية الطور ، كما يمكن تقسيم كل نوع منها الى اربعة انواع هي :

1- موحد نصف موجة محكوم (Half Wave Converter).
2- موحد موجة كاملة نصف محكوم (Semi-converter).
3- موحد موجة كاملة محكوم (Full Wave Converter).
4- المغير المزدوج (Dual Converter).

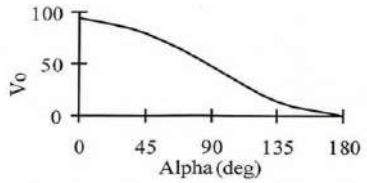
1 – الموحد احادي الوجه نصف موجة محكوم (Single Phase Half Wave Converter) : يتكون هذا الموحد من عنصر توحيد محكوم (ثايرستورQ) كما في شكل (7 - 9) ، ويتميز التيار المار في الحمل نتيجة لاستخدام هذا الموحد بانه تيار متقطع وغير متصل ولذلك يحتاج الى ملف تنعيم عال القيمة كما يتطلب ايضا وجود دايود الانطلاق الحر (D) ويكون الجهد المتوسط على اطراف الحمل :

$$Vo = \frac{Vm}{2\pi}(1 + Cos\alpha) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1-7)$$



شكل (7 – 9) يوضح موحد أحادي الوجه نصف موجه محكوم (Q)

وكما هو واضح من المعادلة (7 – 1) فان هذا الجهد يمكن التحكم في قيمته المتوسطة بالتحكم في قيمة زاوية الاشعال (α) ، ونتيجة للتذبذبات العالية في موجات التيار والجهد الناتجة عن استخدام هذا الموحد فانه يستخدم في التطبيقات الصناعية على نطاق ضيق جداً وفي القدرات الصغيرة . والشكل الاتي يمثل العلاقة بين الجهد وزاوية الاشعال .

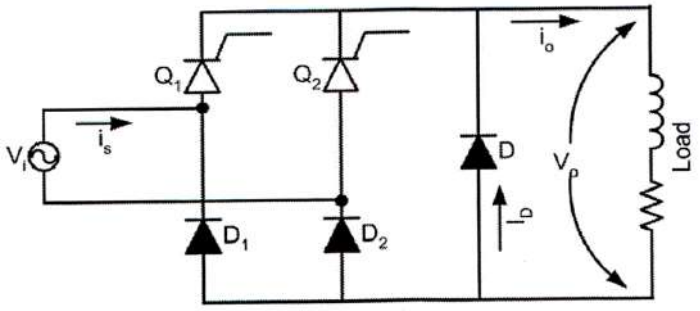


شكل (7 – 10) يوضح العلاقة بين الجهد وزاوية الأشعال

2 – موحد احادي الوجه موجة كاملة نصف محكوم : (Single Phase Semi-converter)

يتكون الموحد النصف محكوم من قنطرة تحتوي أربع عناصر توحيد كما في الشكل (7 – 11) أثنان منهما عبارة عن ثايرستور (Q_1 , Q_2) والاخران عبارة عن دايود (D_1 , D_2) بالإضافة الى دايود الانطلاق الحر (D) ، ويبيـــن شكل (7 – 12) أشكال موجات التيار والجهد عند

استخدام هذا الموحد لتغذية حمل ذي محاثة عالية وذلك للحصول على تيار متصل وخالي من التذبذبات .



شكل (7 – 11) يوضح موجه أحادي الوجه موجة كاملة نصف محكوم

ويمكن ايجاد القيمة المتوسطة للجهد المستمر للجهد المستمر الناتج (Vo) من عملية التوحيد وذلك بإيجاد التكامل لشكل موجة جهد الخرج في خلال الفترة الزمنية (0-π) وعلى ذلك يكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل :

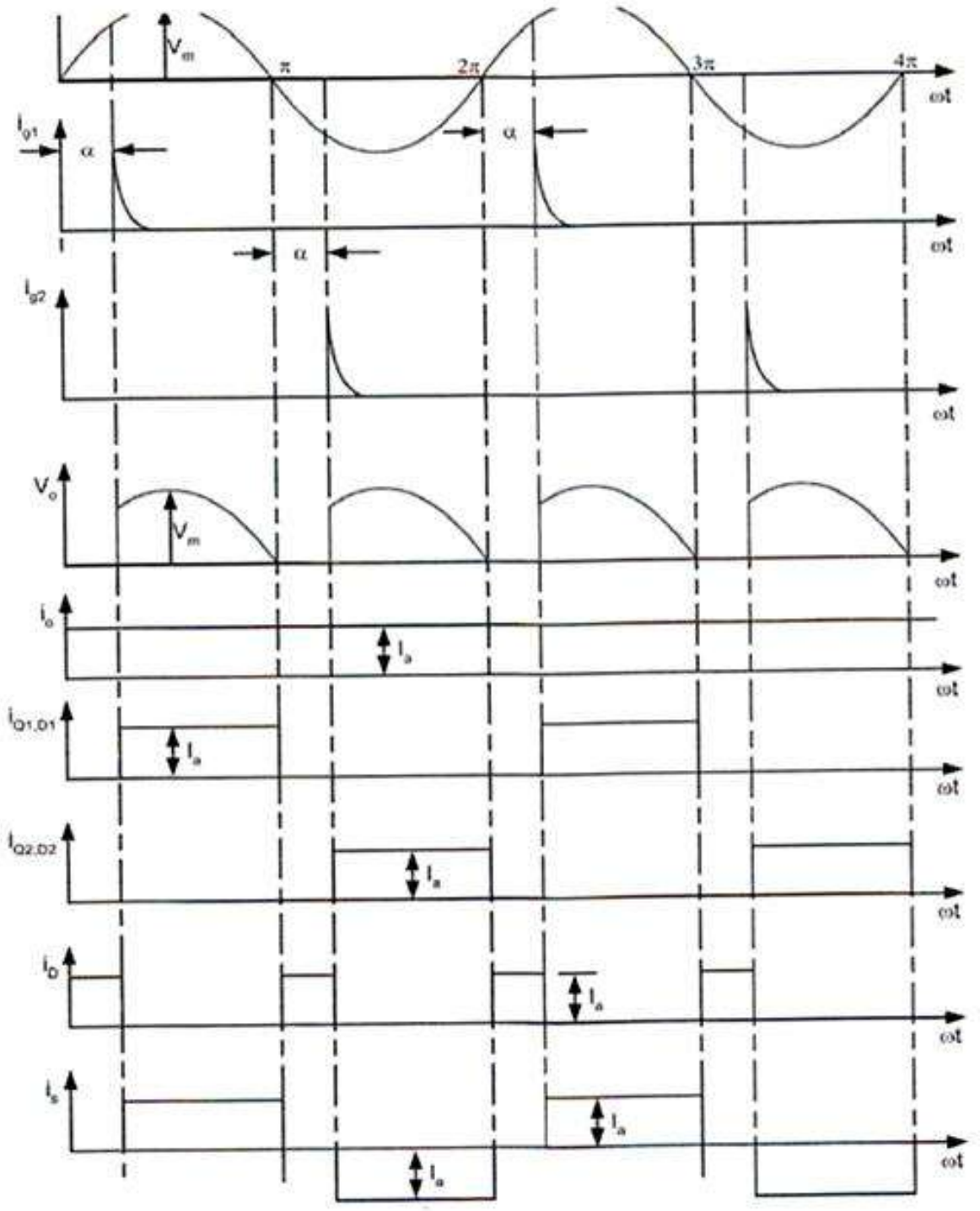
$$Vo = \frac{Vm}{\pi} (1 + \text{Cos}\, \alpha) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2 - 7)$$

Vm= الضغط المتوسط (معدل الضغط)

Vo= ضغط الخرج على الحمل

وكما هو واضح من المعادلة (7 – 2) هذا الجهد يمكن التحكم في قيمته بالتحكم في قيمة زاوية الاشعال (α) .

ومن الواضح ان جهد الخرج لهذا الموحد دائما يكون موجبا ، وكذلك تيار الحمل يكون ايضا موجبا لذلك يستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي لا تحتاج الى عكس اتجاه الجهد او التيار (One quadrant) كحالات التدوير الامامي للمحركات



شكل (7 – 12) يوضح أشكال موجات الجهد والتيار لموحد أحادي نصف محكوم

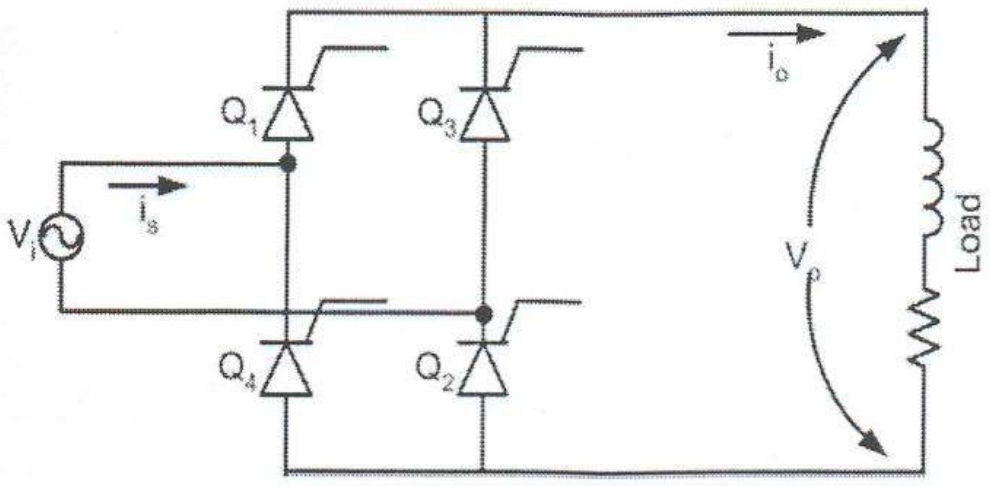
3 – موحد احادي الوجه موجة كاملة محكوم Single Phase Full Converter

يتكون الموحد المحكوم من قنطرة تحتوي على اربعة عناصر توحيد كما في شكل (7 – 13) جميعها ثايرستور (Q_1 ، Q_2 ، Q_3، Q_4) ، ويوضح الشكل (7 – 14) أشكال موجات التيار والجهد عند استخدام هذا الموحد مع حمل ذي محاثة عالية حيث يمر التيار في كل من (Q_1 ، Q_2) في النصف الموجب لموجة المصدر ويمر في كل من (Q_3 ، Q_4) في النصف السالب ، ينتج عن ذلك مرور تيار موحد دائما في الحمل ، وفي حالة زيادة زاوية الاشعال 90° فان جهد الحمل سيصبح سالباً ، بمعنى ان التيار الناتج من استخدام هذا الموحد يكون دائما موجبا بغض النظر عن زاوية الاشعال بينما يعتمد الجهد على زاوية الاشعال فأما ان يكون موجباً عندما تكون زاوية الاشعال اقل من ° 90 او سالبا اذا كانت اكبر من 90° (Tow-quadrant) ، لذلك يستخدم هذا الموحد في التطبيقات الصناعية التي تحتاج الى عكس الجهد مثل عمليات الفرملة بإعادة التوليد .

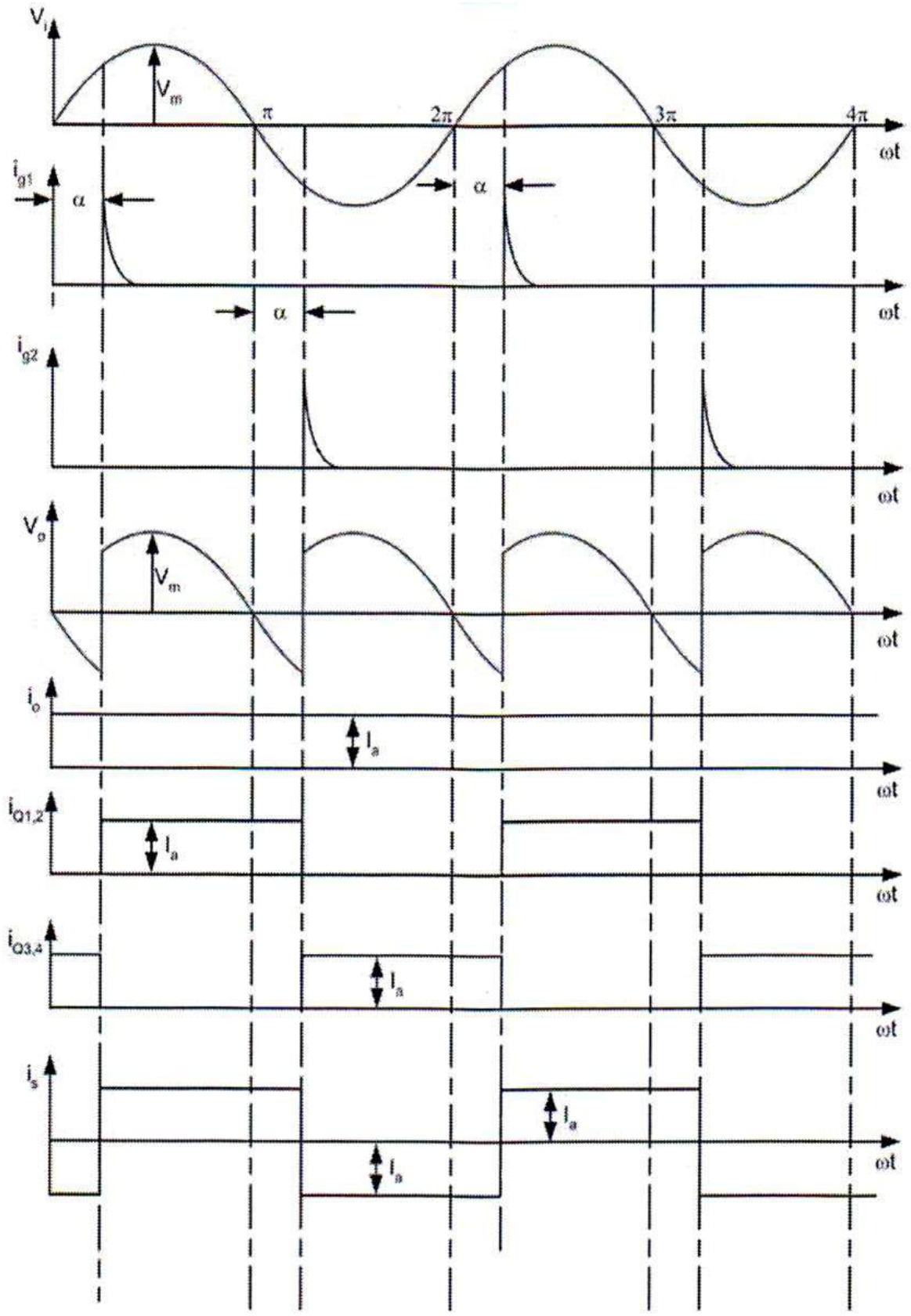
ويمكن ايجاد القيمة المتوسطة للجهد المستمر الناتج (V_o) من عملية التوحيد وذلك بإيجاد التكامل لشكل موجة جهد الخرج في خلال الفترة الزمنية (α to $\alpha-\pi$) .

$$Vo = \frac{2Vm}{\pi} Cos\ \alpha \quad \text{.....} \quad (3\text{-}7)$$

وكما هو واضح من المعادلة (7- 3) فان هذا الجهد يمكن التحكم في قيمته بالتحكم في قيمة زاوية الاشعال (α) .



شكل (7 – 13) يوضح موجه أحادي الوجه موجة كاملة محكوم

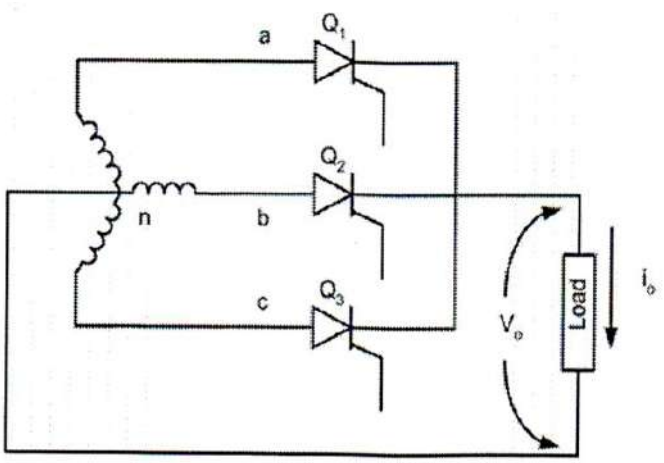


شكل (7 – 14) يوضح أشكال موجات الجهد والتيار لموحد احادي الوجه موجة كاملة محكوم

4 – الموحد ثلاثي الأطوار نصف موجة محكوم Three Phase Half Wave Converter

تستخدم الموحدات المحكومة ثلاثية الاوجه بكثرة في التطبيقات الصناعية لعدة اسباب منها القدرة العالية مقارنة بالموحدات احادية الوجه ، كما ان تردد التذبذبات يكون عالياً ولذلك فان عملية تنعيم تيار الحمل تكون ابسط مقارنة بتلك المستخدمة مع الموحدات احادية الوجه .

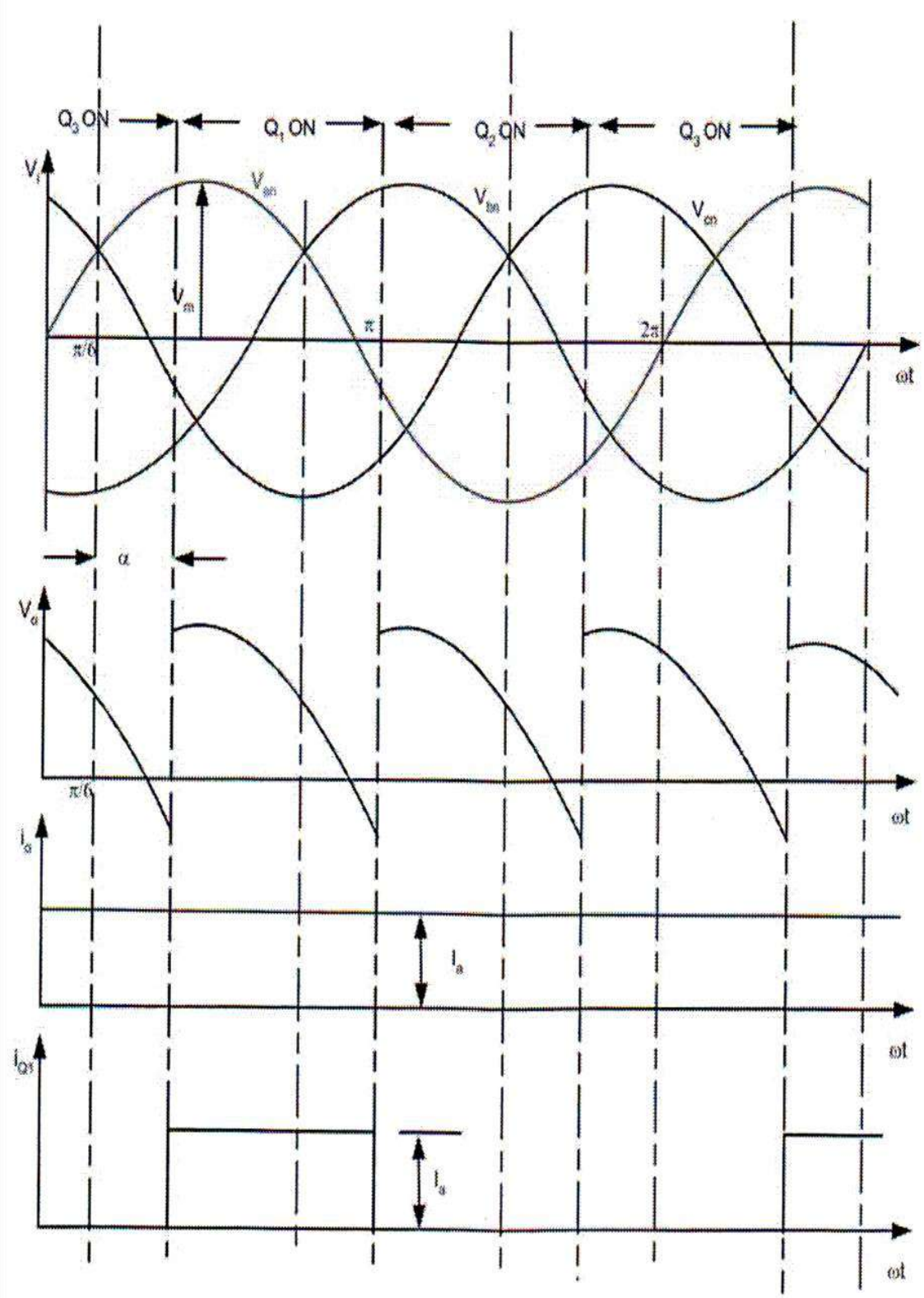
يتكون الموحد الثلاثي نصف الموجة من ثلاث ثايرستورات (Q_1 ، Q_2 ، Q_3) توصل بين المصدر والحمل كما في شكل (7 – 15)



شكل (7 – 15) يوضح الموحد ثلاثي الأوجه نصف موجة

في هذه الحالة يتم اشعال Q_1 عندما يكون انحيازه امامياً بمعـــــنى ان تكون ($wt > \pi/6$) وعلى ذلك يتم اشعاله عند ($wt = \pi / 6 + \alpha$) ، وينتج عن ذلك ان يظهر الجهد V_{an} على الحمل ويستمر الوضع كذلك حتى يتم اشعال Q_2 عـــــند ($wt = 5\pi/6 + \alpha$) فينتج عن ذلك جهد عكسي على Q_1 يؤدي الى اطفائه ويظهر الجهد V_{bn} على الحمل ، ويستمر الوضع كذلك حتى يتم اشعال Q_3 عنـــد ($wt = 3\pi/2 + \alpha$) فينتج عن ذلك جهد عكسي على Q_2 يؤدي الى اطفائه ، ويظهر الجهد V_{cn} على الحمل وعلى ذلك تكون اشكال موجات الجهد والتيار للموحد والحمل كما في شكل (7 – 16) ويمكن ملاحظة ان التيار دائما موجب بينما الجهد من الممكن ان يكون موجبا او سالباً (Tow quadrant) حسب زاوية الاشعال كما يمكن ملاحظة عدد التذبذبات أقل من تلك الناتجة من الموحد احادي الوجه وعلى ذلك يكون الجهد المتوسط على اطراف الحمل

$$Vo = \frac{3\sqrt{3}\,Vm}{2\pi}\,Cos\alpha \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4-7)$$

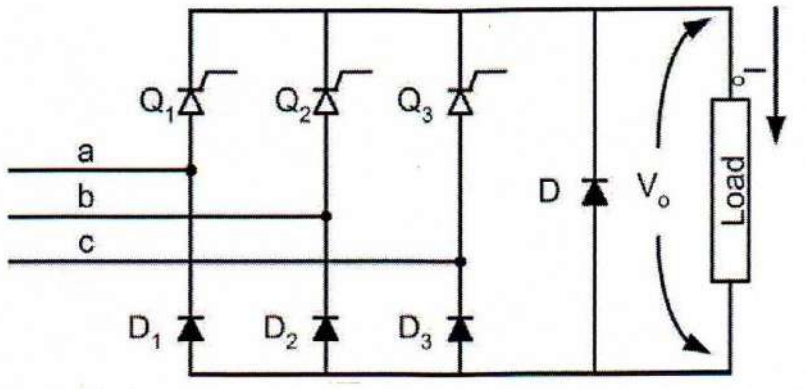


شكل (7 – 16) يوضح أشكال موجات الجهد والتيار للموحد ثلاثي الأطوار نصف موجة محكوم

5 – الموحد ثلاثي الاطوار موجة كاملة نصف محكوم Three Phase Semi-converter

يتكون هذا الموحد من ثلاثة ثايرستورات وثلاثة دايودات يتم توزيعها على شكل قنطرة بالإضافة الى دايود ثنائي الاطلاق الحر كما في شكل (7 – 17) ، ويستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي تحتاج الى جهد موجب وتيار موجب (One quadrant) ، ولكنه اعلى قدرة من الموحد نصف الموجة كما ان معامل القدرة له أعلى ويكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل كما يلي :

$$Vo = \frac{3\sqrt{3}Vm}{2\pi}(1 + Cos\ \alpha) \quad \text{..... (5 - 7)}$$

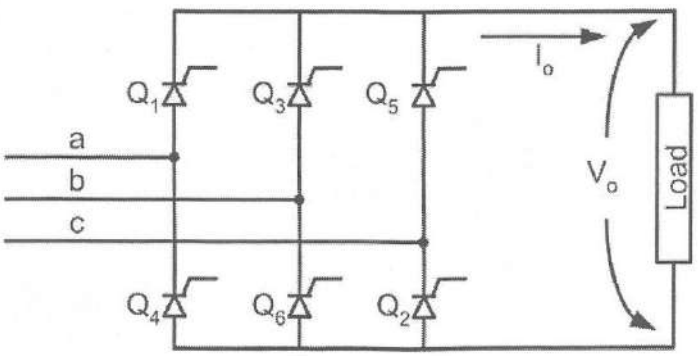


شكل (7 – 17) يوضح الموحد ثلاثي الأطوار موجة كاملة نصف محكوم

6 – الموحد ثلاثي الاطوار موجة كاملة محكوم (Three Phase Full Converter) :

يتكون هذا الموحد من ستة ثايرستورات يتم توزيعها على شكل قنطرة كما في شكل (7 – 18) ويستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي تحتاج الى جهد موجب او سالب على حسب قيمة زاوية الاشعال وتيار موجب فقط (Tow quadrant) ويكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل كما يأتي :

$$Vo = \frac{3\sqrt{3}Vm}{\pi} Cos\ \alpha \quad \text{..... (6 – 7)}$$



شكل (7 – 18) يوضح الموحد ثلاثي الأطوار موجة كاملة محكوم

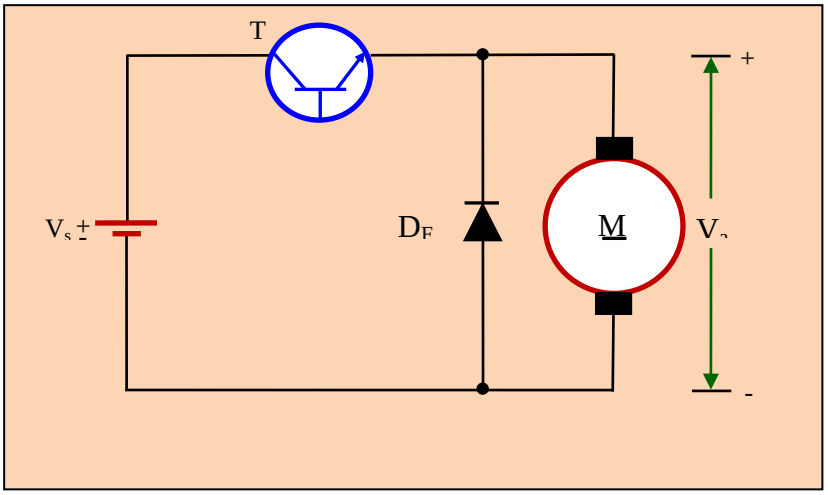
7 – 6 – السيطرة على سرعة محركات التيار المستمر(DC motor speed control)

فى الطرق التقليدية السابقة كانت تستعمل مقاومات سلكية او طبيعية تربط على التوالي او على التوازي مع ملفات الاقطاب المغناطيسية لمحركات التيار المستمر اوالتحكم فى قيمة الجهد على دائرة المنتج او بالتحكم بقيمة مصدر الجهد المسلط على المحرك للسيطرة على السرعة وتتسبب هذه الطرق بخسائر كبيرة فى الطاقة او الكفاءة .

اما الأن تم اللجوء الى طرق حديثة تستخدم فيها الكترونيات القدرة التي تمتاز بكفاءة عالية ودقة فى تنظيم سرعة المحرك

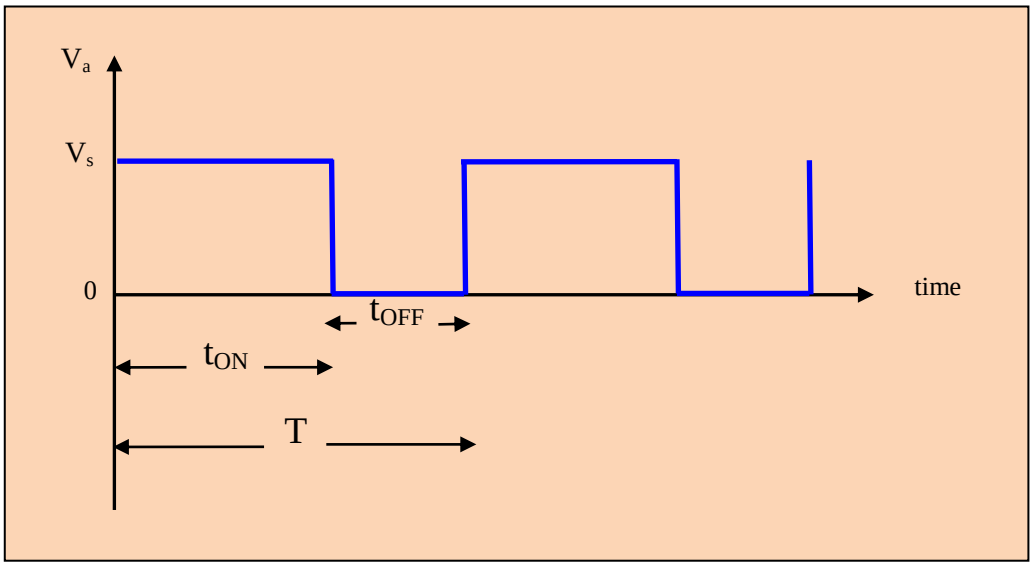
7 – 5 – 1– السيطرة باستخدام مقطع التيار المستمر
(Chopper in Motor Speed Control)

تتكون من ترانزستور ويمكن استخدام ثايرستور متصل على التوالي بمصدر تيار مستمر يعمل على تجهيز محرك تيار مستمر بالجهد بالإضافة الى دايود الذي يسمى (ثنائي الانطلاق الحر) (D_{FW}) يتصل على التوازي بالمحرك لحماية الثايرستور من التلف بسبب وجود المحاثة في ملفات المحرك . كما فى شكل (7 – 19) .



شكل (7 – 19) يوضح دائرة مقطع تيار مستمر متصل بمحرك

يتم تشغيل (ON) وإطفاء (OFF) الترانستور خلال اوقات زمنية معينة ، عندما يكون الترانزستور في حالة تشغيل (ON) يُجهز المحرك بالفولتية بينما تكون الفولتية المجهزة للمحرك تساوي صفراً في حالة اطفاء الترانزستور (OFF) كما فى الشكل (7 – 20) الذي يوضح موجة الفولتية الخارجة من مقطع التيار المجهزة للمحرك .



شكل (7 – 20) يوضح موجة الفولتية الخارجة من مقطع التيار المجهزة للمحرك

وهكذا يمكن السيطرة على الفولتية المجهزة الى المحرك عن طريق التحكم بمدة عمل الترانستور حيث تعرف مدة العمل بانها نسبة زمن التشغيل (t_{ON}) الى نسبة زمن التشغيل والاطفاء ($t_{ON}+t_{OFF}$) الكلية ، وهنالك طريقتان للسيطرة على الفولتية الخارجة من مقطع التيار المستمر هما : -

أ - طريقة التردد الثابت : وفيها يُثبت تردد التقطيع ويُغير زمن التشغيل (t_{ON}) وتسمى هذه الطريقة ايضا بتضمين عرض النبضة .

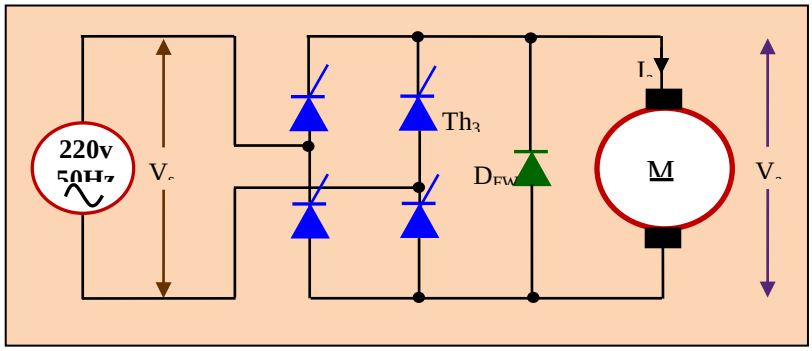
ب - طريقة التردد المتغير : وفيها يُغير زمن التقطيع (T) مع ابقاء اما زمن التشغيل (t_{ON}) او الاطفاء (t_{OFF}) ثابتاً .

7 – 6 – 2 – السيطرة باستخدام الموحدات المحكومة :

تستعمل في السيطرة على سرعة محركات التيار المستمر باستخدام الموحدات المحكومة مثل الثايرستور وتكون أما أحادية الطور أو ثلاثية الاطوار :

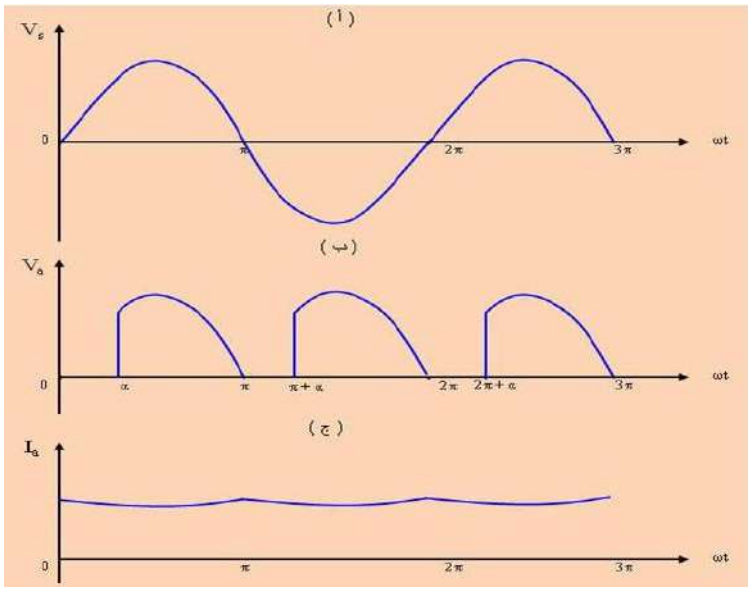
أ – السيطرة باستخدام موحد قنطرة موجه كاملة محكوم احادي الطور :

تتكون من أربعة ثايروستوات مربوطة على شكل قنطرة (جسر) يتصل معها محرك تيار مستمر من جهة (V_a) لتغذيته بالتيار المستمر ومن الجهة الاخرى بمصدر تيار متناوب طور واحد (V_s) كما فى شكل (7 – 21) .



شكل (7– 21) يوضح دائرة موحد موجة كاملة محكوم أحادي الطور يغذي محرك تيار مستمر

فى النصف الاول للموجة (الموجب) يُقدح كل من الثايرستور الاول (Th_1) والثايرستور الثاني (Th_2) بزاوية قدح (α) من موجة الدخل (π–0) ، بينما يبقى كل من الثايرستور الثالث (Th_3) والثايرستور الرابع (Th_4) في حالة أطفاء ، خلال النصف السالب من موجة الدخل (2π-π) فيُقدح الثايرستور الثالث (Th_3) والثايرستور الرابع (Th_4) بزاوية قدح (π +α) وفي هذه الحالة يكون (Th_1) و (Th_2) في حالة أطفاء ، ولغرض حماية الدائرة من التلف بسبب المحاثة العالية القيمة للمحرك يُستخدم دايود الانطلاق الحر (D_{FW}) ويربط على التوازي بالمحرك ، والشكل (7 – 22) يوضح موجة الجهد والتيار .



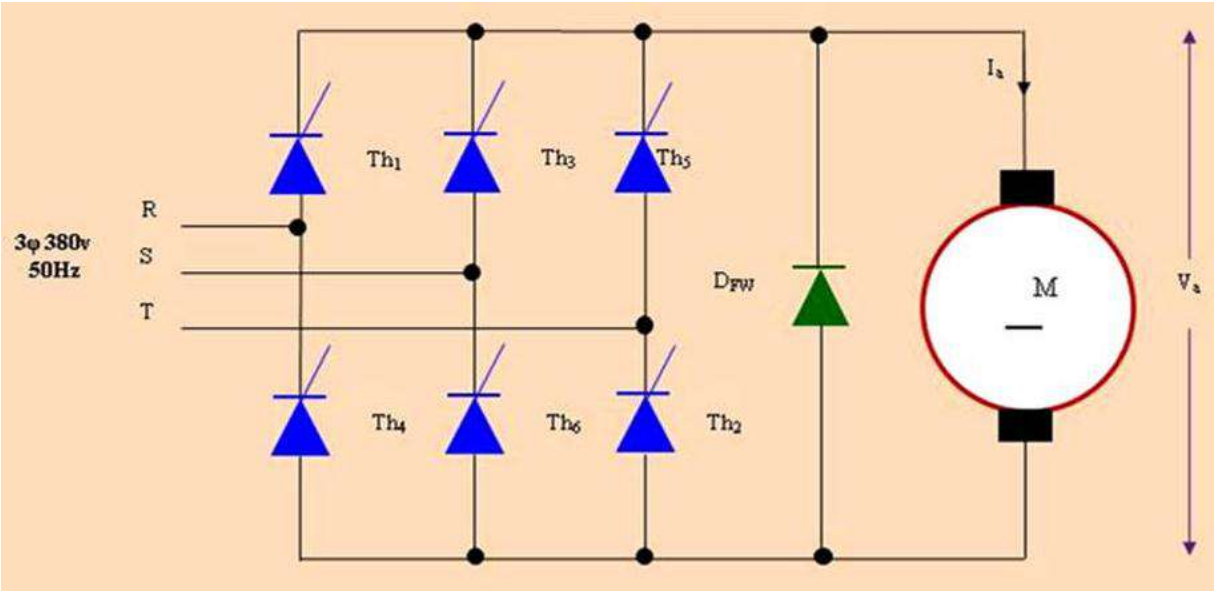
شكل (7 – 22) يوضح (أ) موجة الجهد الداخل (ب) الجهد المسلط على المحرك (ج) تيار المنتج

ب – السيطرة باستخدام موحد قنطرة موجه كاملة محكوم ثلاثي الاطوار :

تستخدم هذه الدائرة في السيطرة على سرعة محركات التيار المستمر وكذلك محركات التيار المتناوب التزامنية ثلاثية الاطوار ، وعادة تعطي هذه الدوائر فولتية مستمرة تعادل ضعف فولتية دائرة موحد نصف موجة محكوم ثلاثي الاطوار .

تتكون هذه الدائرة من ستة ثايروستورات تربط على شكل قنطرة كما فى شكـــل

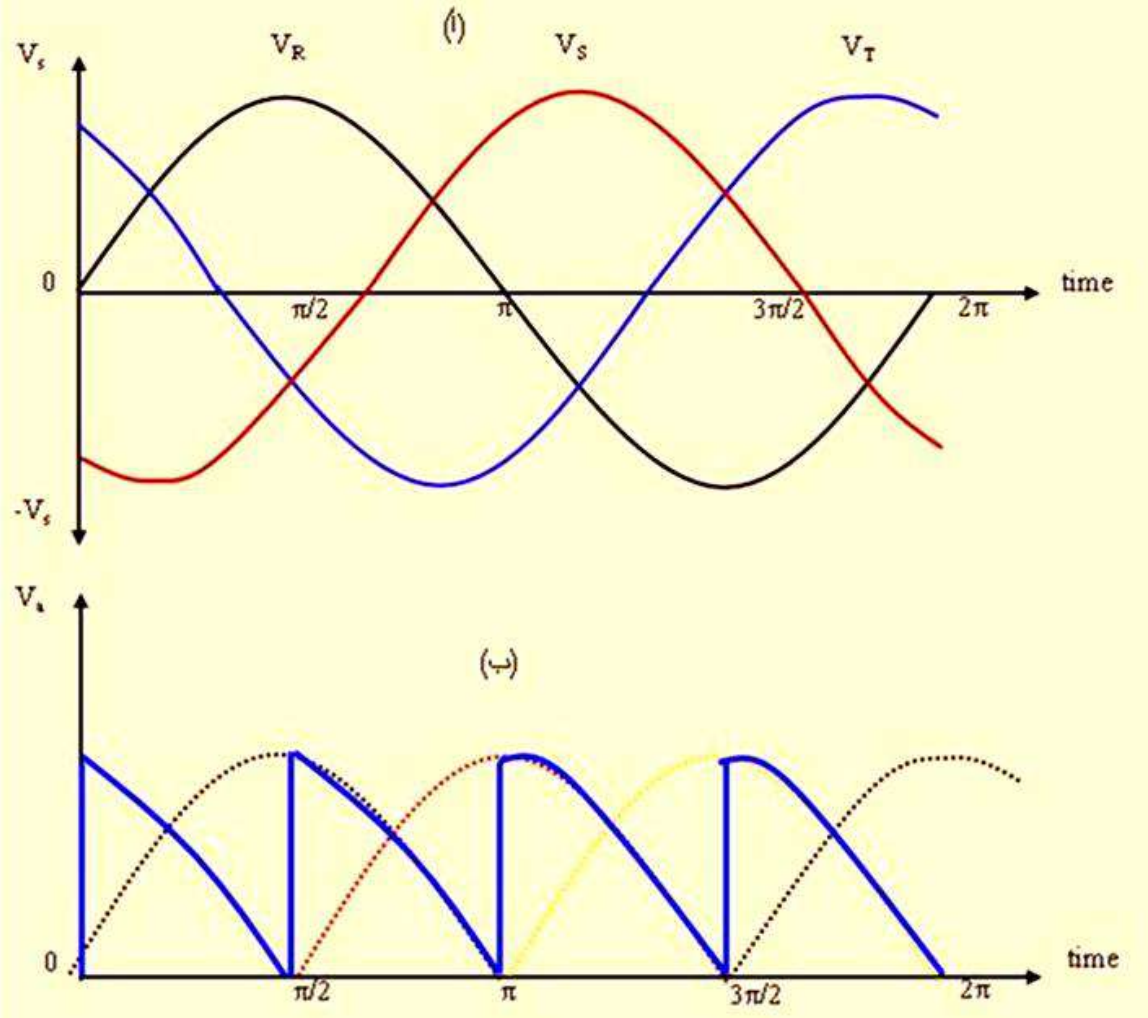
(7 – 23) حيث تعمل الثايرستورات الثلاثة وهي (Th_5، Th_3،Th_1) على تجهيز المحرك بفولتية الطور الموجبة بينما تعمل الثايرستورات الثلاثة وهي (Th_2، Th_6،Th_4) على تجهيز المحرك بفولتية الطور السالبة . ويُتحكم بقيمة الفولتية الخارجة من هذه الدائرة عن طريق تغيير زاوية تشغيل الثايرستور اذ ان كل ثايرستور في هذه الدائرة يعمل بزاوية (60°) . تكون قيمة الفولتية الخارجة من هذه الدائرة مساوية قيمة الفولتية الخارجة من موحد قنطرة موجة كاملة غير محكوم ثلاثي الاطوار عندما تكون زاوية تشغيل الثايرستور تساوي صفراً .



شكل (7– 23) يوضح دائرة موحد قنطرة موجة كاملة محكوم ثلاثي الأطوار يغذي محرك تيار مستمر

في كل لحظة زمنية يكون هنالك اثنان من الثايرستورات الستة في حالة تشغيل اما بقية الثايروستورات تكون في حالة أطفاء ، لو افترضنا ان الفولتية بين الطور الاول (R) والطور الثاني (S) اقصى ما يمكن فان كلاً من الثايرستور الاول (Th_1) والسادس (Th_6) يعملان وإذا كانت الفولتية بين الطورالاول (R) والطور الثالث (T) اقصى ما يمكن فان كلاً من الثايرستور الاول (Th_1) والثاني (Th_2) يعملان وهكذا

يوضح شكل رقم (7 – 24) موجة الفولتية الداخلة الى دائرة موحد قنطرة موجة كاملة محكوم ثلاثي الاطوار وموجة الفولتية الخارجة المستمرة المسلطة على المحرك .



شكل (7 – 24) يوضح (أ) موجة الجهد الداخل ثلاثي الأطوار (ب) موجة الجهد المسلط على المحرك

7 – 7 – التحكم في المحركات الحثية ثلاثية الاطوار :

يمكن استخدام محركات التيار المتردد كمحركات متغيرة السرعة في التطبيقات الصناعية المختلفة، وذلك لما تتمتع به من مميزات عديدة مثل خفة الوزن وصغر الحجم ورخص الثمن بالإضافة الى عدم حاجتها للصيانة الدورية تقريبا ، ولكن على الجانب الاخر فان التحكم فيها اصعب من التحكم في المكائن التيار المستمر حيث تحتاج الى التحرك في اكثر من عامل (الجهد والتردد) ، ولكن التقدم في صناعة عناصر الكترونيات القدرة ودائرة المتحكم الرقمية ساهم في الفترة الاخيرة بجهد كبير في تسهيل عملية التحكم في تلك المحركات حتى اصبحت بديلا منافسا المحركات التيار المستمر في التطبيقات الصناعية التي تحتاج الى محركات متغيرة السرعة خاصة في الاماكن القابلة للانفجار مثل المناجم والصناعات الكيميائية والتركيبات تحت المياه كما

تصلح ايضا للمضخات والمراوح ونافخات الهواء والكمبرسورات أحزمة النقل بالإضافة الى القطارات الكهربائية ، وتنقسم مكائن التيار المتردد الى نوعين رئيسيين هما المحركات الحثية الثلاثية الاطوار والمحركات المتزامنة .

يتم التحكم في سرعة المحركات الحثية بالتحكم في العزم المتولد الذي يعتمد على التفاعل (التداخل) بين مجالين مغناطيسيين يدوران بسرعة التزامن احدهما ناتج من تغذية ملفات العضو الثابت من مصدر للتيار المتردد ثلاثي الاطوار بينما ينتج المجال الثاني من التيار المار في العضو الدائر بالحث ، وتعتمد القيمة العزم المتولد على قيمة الجهد المسلط على اطراف العضو الثابت وعلى قيمة تردد المصدر .

يمكن تقسيم انواع التحكم في المحركات الحثية ثلاثية الاطوار بشكل عام الى نوعين رئيسين:

1 – تحكم عن طريق دائرة الجزء الثابت : ويتم ذلك بطرق مختلفة وتتميز جميعها بانها تصبح للمحركات الحثية سواء كانت محركات ذات قفص سنجابي او محركات ذات عضو دائر ملفوف .

2 – تحكم عن طريق دائرة الجزء الدوار : وتصلح للمحركات ذات العضو الدائر الملفوف فقط.

اولا – التحكم في دائرة الجزء الثابت :

نستطيع ان نستنتج أن العزم المتولد والسرعة يمكن التحكم فيهما بعدة طرق تنفذ جميعها من خلال دائرة الجزء الثابت مثل :

أ – التحكم في جهد المصدر .

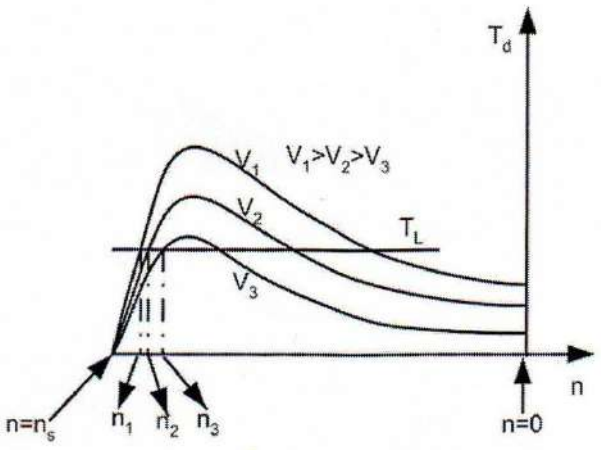
ب – التحكم في الجهد والتردد معا .

ج – التحكم في تردد المصدر .

أ – التحكم في الجهد المسلط على الجزء الثابت (Stator Voltage Control) :

نجد ان العزم المتولد يتناسب مع مربع الجهد وبالتالي فعند تقليل الجهد المسلط على العضو الثابت فان العزم المتولد سوف يقل وبالتالي تقل السرعة ويوضـــــــح الشكل (7 – 25) العلاقة بين العزم والسرعة عند قيم مختلفة لجهد العضو الثابت .

فنجد إن سرعة المحرك (n_1) والتي تنتج عند تغذية المحرك بالجهد (V_1) تكون اكبر من السرعة (n_2) والتي تنتج عند تغذية المحرك بالجهد (V_2) ، والسرعة (n_2) تكون اكبر من السرعة (n_3) والتي تنتج تغذية المحرك بالجهد (V_3) وهكذا، وتتميز هذه الطريقة بالبساطة وسهولة التنفيذ ولكنها تصلح للحصول على سرعات اقل من السرعة المقننة فقط، كما إن مدى التحكم في السرعة يكون صغير وتستخدم هذه الطريقة بكثرة في المراوح والمضخات .



شكل (7 – 25) يوضح العلاقة بين العزم والسرعة للمحرك الحثي عند قيم مختلفة لجهد العضو الثابت

ب – التحكم في التردد (Frequency Control)

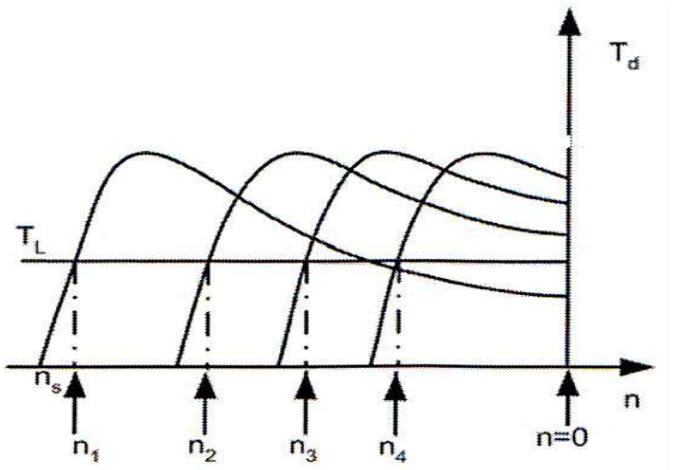
يمكن التحكم في العزم المتولد للمحرك الحثي وسرعته بالتحكم في تردد المصدر، وذلك لان تغيير التردد يؤدي الى تغيير المجال المغناطيسي الناتج طبقاً للمعـــــادلة (7 – 7) والتي تربط بين المجال المغناطيسي (Φ) الناتج من مرور التيار في ملف والجهد المسلط عليه (V) وتردد المصدر(F)

$$\Phi \alpha \frac{V}{F} \qquad \text{.....} \qquad (7-7)$$

ومن المعادلة (7 – 7) يمكن ملاحظة ان المجال المغناطيسي يتناسب عكسياً مع التردد اي انه بزيادة التردد يقل المجال المغناطيسي المتولد وبالتالي يقل العزم وتزيد سرعة المحرك ، كما يمكن ملاحظة انه بتقليل التردد يزداد المجال المغناطيسي ويزيد العزم المتولد وسرعة المحرك عند ترددات مختلفة . فنجد ان سرعة المحرك (n1) والتي تنتج عند تغذية المحرك بتردد (f1) تكون اقل من السرعة (n2) والتي تنتج عند تغذية المحرك بتردد (f2) ، والسرعة (n2) تكون اقل من السرعة (n3) والتي تنتج عند تغذية المحرك بتردد (f3) وهكذا ، وتصلح هذه الطريقة للحصول على سرعات عالية (اكبر من السرعة المقننة) مع مراعاة ان لا يقل العزم المتولد عن عزم الحمل المطلوب ، ولاتصلح هذه الطريقة للحصول على سرعات صغيرة (اقل من السرعة المقننة) لان ذلك يحتاج الى تردد صغير قد يؤدي الى تشبع المجال المغناطيسي المتولد ، وتسمى هذه الطريقة طريقة اضعاف المجال (Field –Weakening mode) وذلك لضعف المجال المغناطيسي نتيجة لزيادة التردد .

ج – التحكم في الجهد والتردد معاً (Voltage and Frequency Control) :

في هذه الطريقة يتم السيطرة على اداء المحرك بالتحكم في كل من الجهد والتردد معاً بحيث تكون النسبة بينهما ثابتة وذلك بهدف الحفاظ على المجال المغناطيسي عند قيمة ثابتة ولذلك تكون قيمة اقصى عزم ايضاً ثابتة بينما يمكن الحصول على سرعات مختلفة ، كما في شكل (7 – 26) .



شكل (7 – 26) يوضح العلاقة بين العزم والسرعة للمحرك الحثي عند التحكم في الجهد والتردد معاً

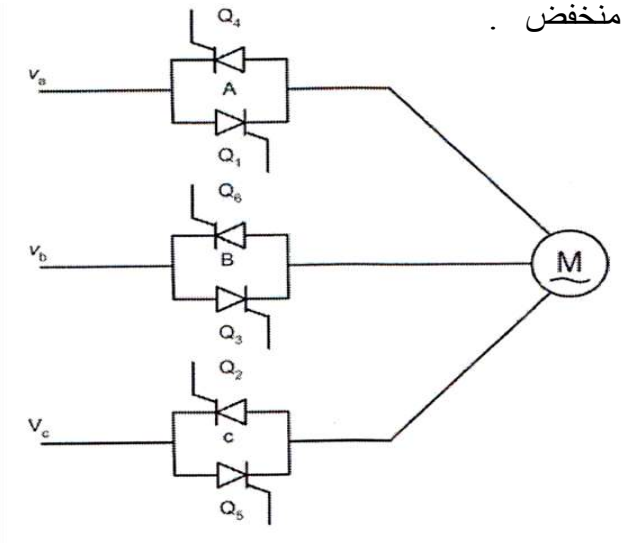
وتتميز هذه الطريقة بمدى كبير للتحكم في السرعة (من صفر الى السرعة المقننة) ، واذا اريد زيادة السرعة عن ذلك فأننا نلجأ للتحكم في التردد فقط ، كما تتميز هذه الطريقة بإمكانية استخدامها لبدء المحرك بعزم بدء عال مما يقلل من زمن التعجيل اللازم للوصول لنقطة التشغيل ، ونتيجة لثبات المجال المغناطيسي في هذه الطريقة فتسمى بطريقة التحكم بثبات المجال (Constant Flux Operation) .

7 – 8 – التحكم في المحركات الحثية باستخدام حاكمات الجهد المتناوب

Control of Induction Motor by AC voltage controller

تستخدم حاكمات الجهد المتناوب للتحكم في جهد العضو الثابت ، وذلك بهدف السيطرة على أداء المحركات الحثية ثلاثية الأوجه ، وفي هذه الحالة يكون الجهد المغذي للمحرك متغذي القيمة (محكوماً) بينما يكون التردد هو نفسه تردد المصدر ثلاثـــي الاطوار ، وتتم عملية التحكم في القيمة الفعالة للجهد عن طريق التحكـــــم في زواية الاشعال للثايرستور المكونة لحاكم الجهد المتردد وتستخدم حاكمات الجهـــد المتردد للتحكم في تطبيقات متعدد مثل المراوح

والمضخات ، ومن عيوب حاكمات الجهـــــد المتناوب توليد توافقيات غير مرغوبة فيها كما إن معامل القدرة لها منخفض .



شكل (7 – 27) يوضح التحكم في المحرك الحثي ثلاثي الأوجه بإستخدام حاكم الجهد المتناوب ثلاثي الأوجه

ويوضح شكل(7 – 27) حاكم جهد متناوب ثلاثي الأوجه مكون من ستة ثايرستورات يستخدم اثنان منها لكل طور ويستخدم هذا الحاكم للتحكم في محركات حثي ثلاثـــــي الأطوار ، وفي حالة المحركات الصغيرة يمكن إن يستبدل كل زوج من الثايرستورات المستخدمة بترياك يستخدم في الوجه الواحد ، حيث يستعمل للتدوير الأمامي للمحرك (forward Motoring) والفرملة العكســـــــية (Reverse plugging) أي في الربع الأول .

ويمكن استخدام حاكم الجهد المتناوب للسيطرة على المحرك في أربع حالات تدوير أي في الربع الأول والثاني والثالث والرابع ، و حاكم الجهـــــــد المتناوب الذي يمكن استخدام لهذه الحالات المختلفة . عند تشغيل أزواج الثايرســـتور (A ، B، C) فان المحرك يمكن ان يعمل في الربع الاول والرابع ، بينما اذا تم تشغيـــل ازواج الثايرستور (A ، B ، C) فان المحرك يمكن ان يعمل في الربع الثاني (فرملـــــة أمامية) والثالث (تدوير عكسي) .

7 – 9 – التحكم في المحركات الحثية باستخدام العواكس
Control of Induction Motor by Inverters

تستخدم العواكس في تنفيذ عمليات في المحركات الحثية ثلاثية الاوجه وذلك بالتحكم في الجهد المسلط على العضو الثابت او التحكم في التردد او التحكم في الجهد والتردد معاً ، ويتم ذلك باستخدام عدة انواع من العواكس مثل العاكس ثلاثي الاطوار ذي مصدر الجهد الثابت – Three phase voltage source inverter .

اسئلة الفصل السابع

1 – عرف الثيرستور ، ممن يتكون ، ماهي أهم أنواعه .

2 – كيف يتم التخلص من الحرارة المتولدة في الثايرستور ؟

3 – بماذا تمتاز الدوائر الإلكترونية ؟

4 – كيف يتم تحفيز أو تشغيل الثايرستور ؟

5 – ماهي أهم تطبيقات الثايرستور في دوائر إلكترونيات القدرة ؟

6 – أشرح بالتفصيل طرق التحكم في المحركات الحثية ثلاثية الأطوار .

المصادر

1 – الأسس النظرية لتكنولوجيا الكهرباء / د. كريكور سيروب د. منذر نعمان بكر بغداد 1981

2- اصول الهندسة الكهربائية / د. فهد غالب حياتي 1988

3- المكائن الكهربائية والكترونيات القدرة – د. مأمون فاضل الكبيجي – د- نبيل محمود عبد القادر

4 – العلوم الصناعية / الصف الثالث / قسم الكهرباء / طبعة 2005 .

5 – الكترونيات القدرة – غازي محمد القريوني ، معن توفيق حدادين ، زيد بولص الحجازين – احمد يوسف قنديل .

6 - Electrical Technology by B. I. Theraja

7 - GASOLINE ENGINE OPERATION, PARTS, AND SPECIFICATIONS by James D. Halberman .

تم بحمد الله