جمهورية العراق
وزارة التربية
المديرية العامة للتعليم المهني

العلوم الصناعية
الكهرباء
للصف الثالث

المهندس د. علـي حسين نعمان
المهندس مهدي صالح الحمداني
المهندسة عامـــرة ماجد ثابت

أ. د. المهندس كريكور سيروب كريكور
المهنـدس ســـلام حميـــد حســـن
المهندسة ديـــار ريشـــارد حبيـــب

الطبعة الخامسة 1445 هـ – 2023 م

بسم الله الرحمن الرحيم

مُقدّمة

رغبة منا في تحقيق الاهداف المرجوة من خريجي طلبة الاعداديات المهنية في اختصاص الكهرباء وهي تاهيل كوادر فنية مدربة قادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوافرة في سوق العمل، باشرنا باعادة تأليف الكتب المنهجية لهذا الاختصاص.
في المرحلة الثالثة سيتعرف الطالب في الفصل الاول التيار المتناوب ثلاثي الاطوار من حيث طريقة توليده وطرائق الربط وكيفية حساب القدرة في الانظمة ثلاثية الاطوار، وتناول الفصل الثاني موضوع توليد الطاقة الكهربائية حيث تستعرض المولدات التوافقية ثلاثية الاطوار من حيث التركيب والانواع، ثم نستعرض محطات توليد الطاقة الكهربائية بانواعها المختلفة، وكذلك نستعرض شبكات توزيع الطاقة الكهربائية وطرائق تحسين معامل القدرة، أما الفصل الثالث فقد تناول المحركات الحثية ثلاثية الاطوار من حيث التركيب ونظرية الاشتغال وطريقة التشغيل مع مفهوم الانزلاق، كذلك حساب القدرة والكفاءة فيها، كذلك الامر فيما يخص المحركات التزامنية، فيما تناول الفصل الرابع موضوع الكترونيات القدرة الذي سبق ان درسه الطالب في المرحلة الثانية ، أذ تناولنا تطبيقاتها في السيطرة على محركات التيار المتناوب ، وقد استكملنا الفصل الخامس موضوع المحولات الذي درسه الطالب في المرحلة السابقة غير ان التركيز في هذه المرحلة جاء في المحولات الكهربائية ثلاثية الاطوار، من حيث طرائق توصيل الملفات والاستعمالات وطرائق تبريد المحولات وخواص الزيت المستخدم مع الاعطال المحتملة..
لقد حرصنا على اخراج الكتاب بالشكل المقبول والمفهوم للطالب وباسلوب مبسط مع صور واشكال واضحة ملونة، ليكون متسلسلا مع بقية كتب المراحل السابقة ولتحقيق الاهداف الخاصة بكل مرحلة والاهداف الخاصة بكل فصل من فصول كل مادة دراسية.

نتمنى على الله عز وجل التوفيق في جهدنا هذا ، آملين من الاخوان مدرسي المادة ومدرساتها ان يرفدونا بملاحظاتهم عن الكتاب والاخطاء التي قد ترد سهوا بعد تدريس الكتاب سنة دراسية كاملة، لغرض الاخذ بها في الطبعات اللاحقة ... مع شكرنا واعتزازنا.

المؤلفون
2010

فهرس المحتويات

ت	أسم الموضوع	رقم الصفحة
.1	المقدمة	3
.2	الفصل الاول	6
.3	النظام الثلاثي الاطوار	7
.4	التوصيل الداخلي لنظام ثلاثي الاطوار	9
.5	طرائق قياس القدرة المستهلكة في نظام ثلاثي الاطوار	23
.6	أسئلة الفصل الاول	37
.7	الفصل الثاني	39
.8	توليد الطاقة الكهربائية	40
.9	ربط المولدات الى شبكات التغذية	43
.10	مصادر الطاقة	46
.11	طرائق توليد الطاقة الكهربائية	48
.12	تحسين معامل القدرة	63
.13	شبكات توزيع الطاقة الكهربائية	71
.14	أسئلة الفصل الثاني	74
.15	الفصل الثالث	76
.16	محركات التيار المتناوب ثلاثية الاطوار	77
.17	المحركات الحثية ثلاثية الاطوار	78
.18	أنواع المحركات الحثية ثلاثية الاطوار	83

ت	أسم الموضوع	رقم الصفحة
.1	القدرة والكفاءة في المحركات الحثية ثلاثية الاطوار	98
.2	المحركات التزامنية ثلاثية الاطوار	108
.3	مخطط القدرة في المحرك	113
.4	أسئلة الفصل الثالث	114
.5	الفصل الرابع	117
.6	المحولات الكهربائية ثلاثية الاطوار	118
.7	شروط ربط المحولات على التوازي	127
.8	المفاقيد والكفاءة للمحولة الكهربائية	128
.9	طرائق الوقاية والحماية المستخدمة في المحولة الكهربائية	134
.10	أسئلة الفصل الرابع	138
.11	الفصل الخامس	140
.12	الكترونيات القدرة	143
.13	العاكسات وانواعها	143
.14	السيطرة على فولتية الخارجة من العاكسات	144
.15	التطبيقات الصناعية للعاكسات	156
.16	أسئلة الفصل الخامس	161
.17	تم بحمد الله	178

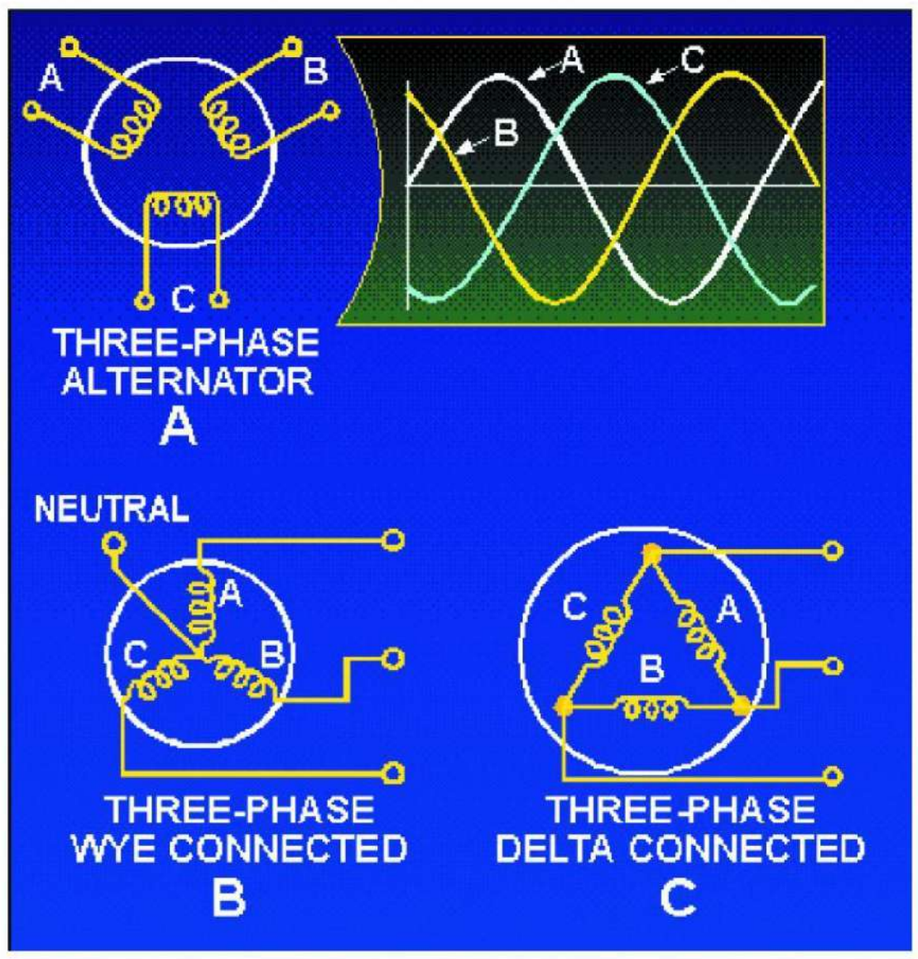
الفصل الأول

التيار المتناوب ثلاثي الأطوار

الأهداف

عزيزي الطالب بعد اكمالك هذا الفصل ستكون قادرا على ان:

1- تشرح طريقة توليد التيار المتناوب ثلاثي الاطوار.
2- تحسب القدرة في نظام ثلاثي الاطوار.
3- تعرف ماهو نظام الثلاثة اطوار ومميزاته.
4- تدرك طرائق قياس القدرة لنظام ثلاثي الاطوار.



الفصل الاول
النظام الثلاثي الاطوار
Three Phase System

(1-1) تمهيد

درسنا في السنة الماضية إن المولدات أحادية الطور تولد جهداً ذا طور واحد يتمثل بموجة جيبية واحدة، وعند ربط أطراف المولد الى دائرة خارجية فأن تياراً متناوباً (طور واحد) سيمر في هذه الدائرة ومن مجموعة مولدات أحادية الطور يمكن تكوين نظام جهد متعدد الأطوار، أي إن دائرة التيار المتناوب متعددة الأطوار تتكون من مجموعة من الدوائر الأحادية الطور، جهد الاطوار وترددها جميعاً يكون واحداً في الدوائر المتماثلة.

وهنا نتطرق الى المنظومات الكهربائية ثلاثية الأطوار الأكفأ والأقل كلفة في توليد الطاقة الكهربائية وتوزيعها، والتي كانت نتيجة الزيادة الحاصلة في استهلاك الطاقة الكهربائية والزيادة في حجم الأحمال الكهربائية.

(1-2) مميزات النظام ثلاثى الأطوار

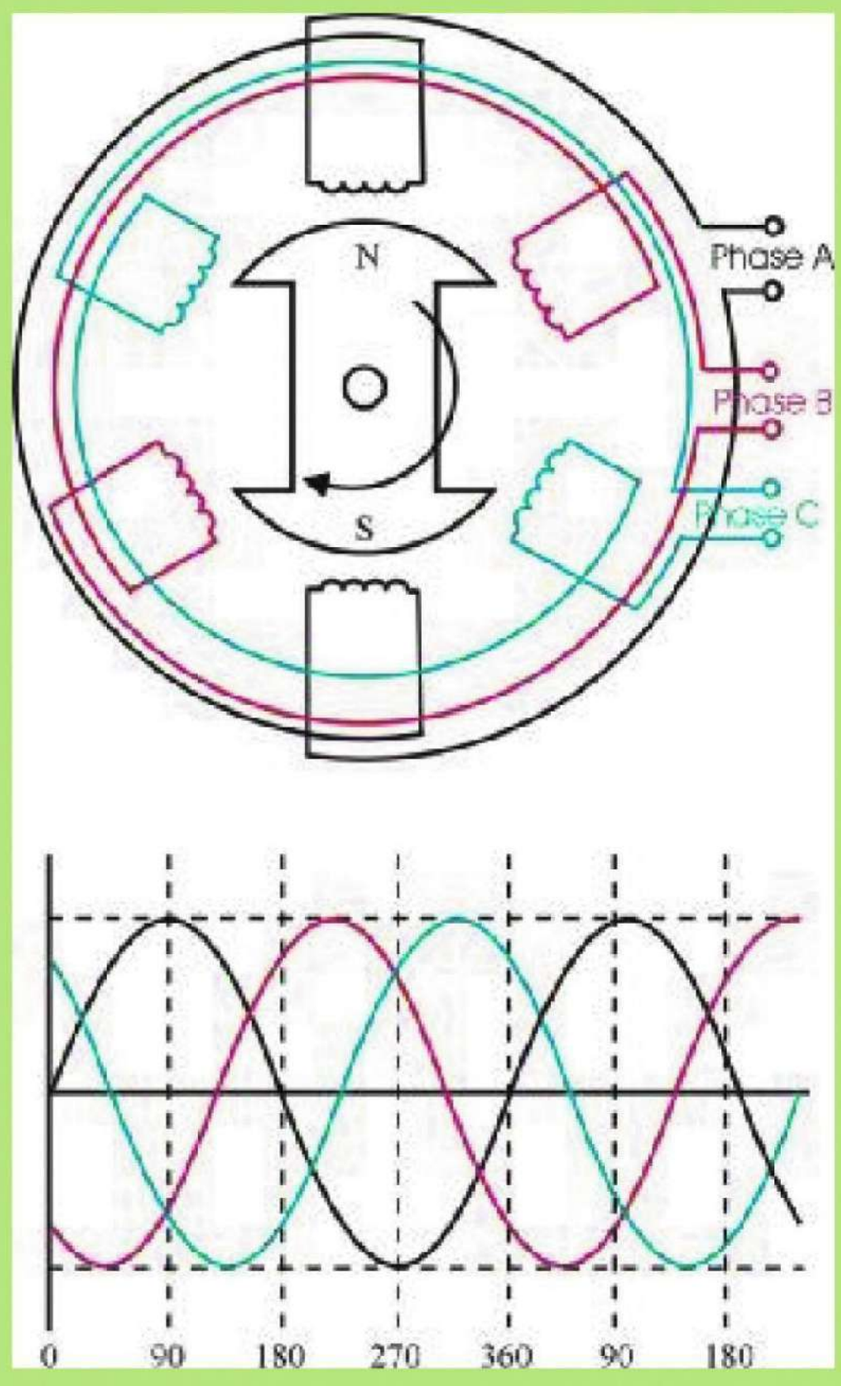
يُعدّ العالم الروسي (دوبرو ولسكي) أول من استخدم النظام ثلاثي الأطوار سنة (1891) وسرعان ما تبينت أهمية هذه الطفرة التكنولوجية في توليد الطاقة الكهربائية ونقلها واستثمارها، فضلا على ازدياد كفاءة محركات الثلاثة اطوار واعطاءها عزم دوران عالي، وعدم حاجتها الى وسائل مساعدة لتشغيلها، فضلا على ذلك فإن النظام الثلاثي الاطوار يتميز بالآتي:-

1- يتمتع هذا النظام بقدرات كبيرة جداً وإستقرارية عالية وكفاءة ممتازة في نقل الطاقة الكهربائية التي تتروح (80%) ، اذ أستطاع هذا النظام تلبية حاجة العالم الصناعي بتوفير طاقة آمنة.
2- إقتصادي في توليد القدرة الكهربائية، التي يمكن تحويلها الى نظام طور واحد.
3- للحصول على قدرة وكفاءة عالية تستخدم المحركات ثلاثية الأطوار، التي تتغذى عن طريق مصدر ثلاثي الأطوار.
4- لغرض زيادة الطاقة تُشغّل المولدات المتعددة الأطوار بالتوازي بعضها البعض.

(3-1) توليد الطاقة ثلاثية الأطوار

يتم الحصول على الطاقة لنظام ثلاثي الأطوار عن طريق المولد التزامني ثلاثي الأطوار، حيث يكون عدد ملفات الساكن ثلاثة ملفات للحصول على جهد ثلاثي الأطوار.

وتكون هذه الملفات معزولة عن بعضها كهربائياً وكل ملف فيه عبارة عن دائرة كهربائية مستقلة وكل ملف يسمى طوراً. كما في الشكل رقم (1-1) الذي يوضح مخططاً لثلاثة ملفات وثلاث موجات.



الشكل رقم (1-1) يوضح مخططاً لثلاثة ملفات وثلاث موجات.

تتوزع هذه الأطوار بإنتظام وبشكل متعاقب بحيث تبتعد بداية ملف الطور المعين عن بداية ملف الطور الذي يليه بزاوية مقدارها (120) درجة كهربائية، فعند دوران الأقطاب المغناطيسية للمولد التزامني والمثبتة على محور الدوران داخل دائرة الملفات للساكن تتولد في كل ملف من هذه الملفات قوة دافعة كهربائية مختلفة الواحدة عن الاخرى بزاوية (120) درجة. فعند ملاحظة الشكل والموجات الثلاث المتولدة نجد انها لاتصل الى القيمة العظمى في الوقت نفسه وكذلك لاتصل الى قيمة الصفر في الوقت نفسه ولكن بالتتابع، أي إنه عندما تصل

ق.د.ك في الطور الأول الى قيمتها العظمى الموجبة نجد إن الطورين الآخرين تتولد بهما ق.د.ك (50%) من القيمة العظمى وبالإتجاه السالب.

(1-4) التوصيل الداخلي لنظام ثلاثي الأطوار

في نظام ثلاثي الاطوار يتكون المصدر الكهربائي أو الحمل الكهربائي من ثلاثة أطوار وكل طور له بداية ونهاية ولأجل التمييز بين هذه الأطوار الثلاثة سميت برموز متعارف عليها دولياً وهي (u-v-w) تمثل بداية الاطوار الثلاثة، و (x-y-z) تمثل نهاية الأطوار الثلاثة وهذا يعني ان الآسلاك الخارجة من المولد الى صندوق النهايات هي ستة أسلاك فقط، والآن سنبحث في إمكانية الإستفادة من القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في مولد ثلاثي الأطوار بصورة عملية.

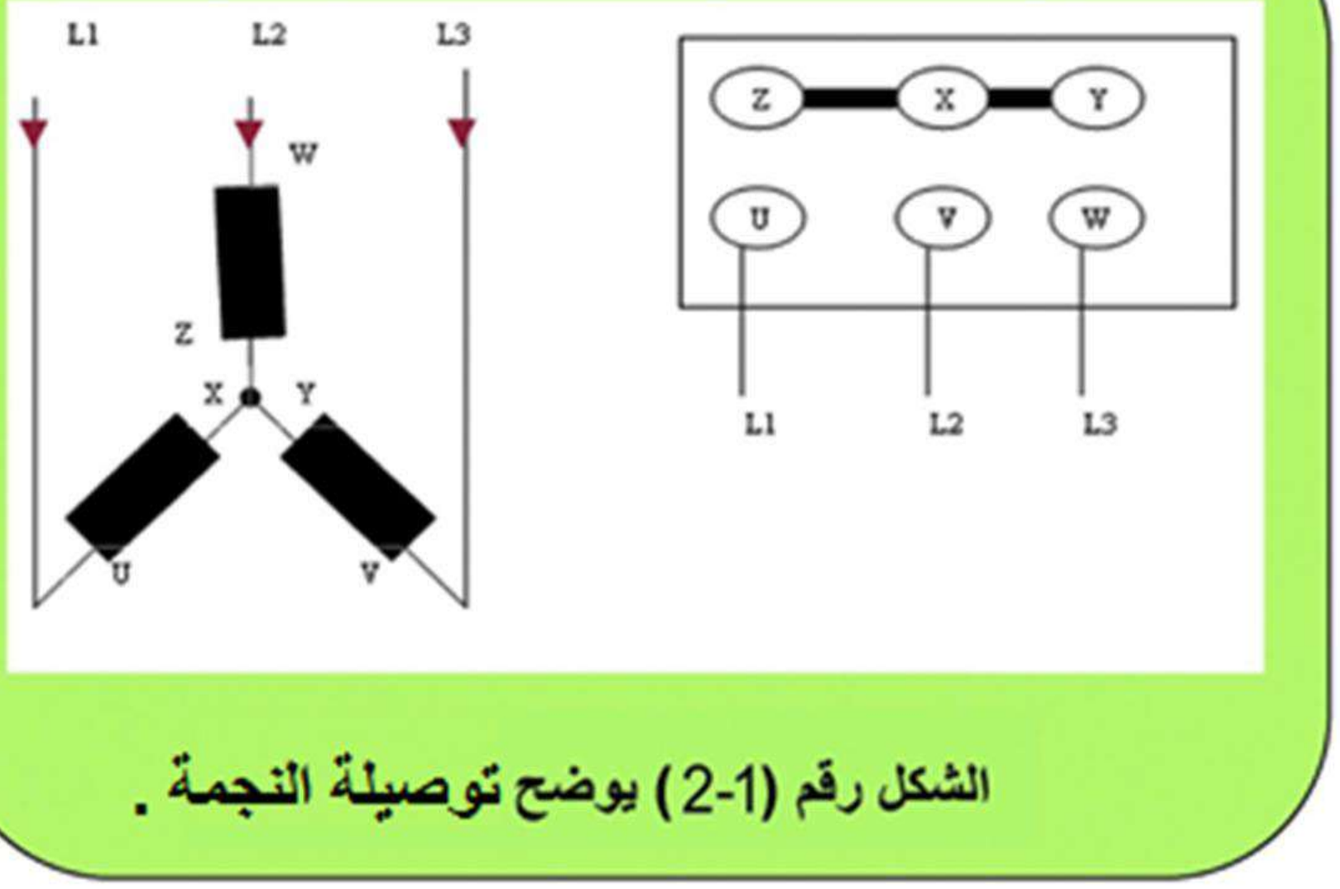
يتم توصيل الثلاثة اطوار بطريقتين أساسيتين وتعرفان بإسم:-

1-توصيلة النجمة (Star-Y).

2-توصيلة المثلث (Δ -Delta).

أولاً/ توصيلة النجمة:

في هذه التوصيلة يتم ربط نهايات الأطوار الثلاثة (x-y-z) بعضها ببعضها بنقطة مشتركة يطلق عليها إسم نقطة التعادل ويتصل بها السلك الرابع المحايد (N) وتوصل بدايات الأطوار الثلاثة (u-v-w) بالدائرة الخارجية للتشغيل والتي تسمى باسلاك الخط، ويسمى هذا النظام بنظام النجمة ذي اربعة اسلاك، والشكل رقم (1-2) يوضح ربط النجمة.

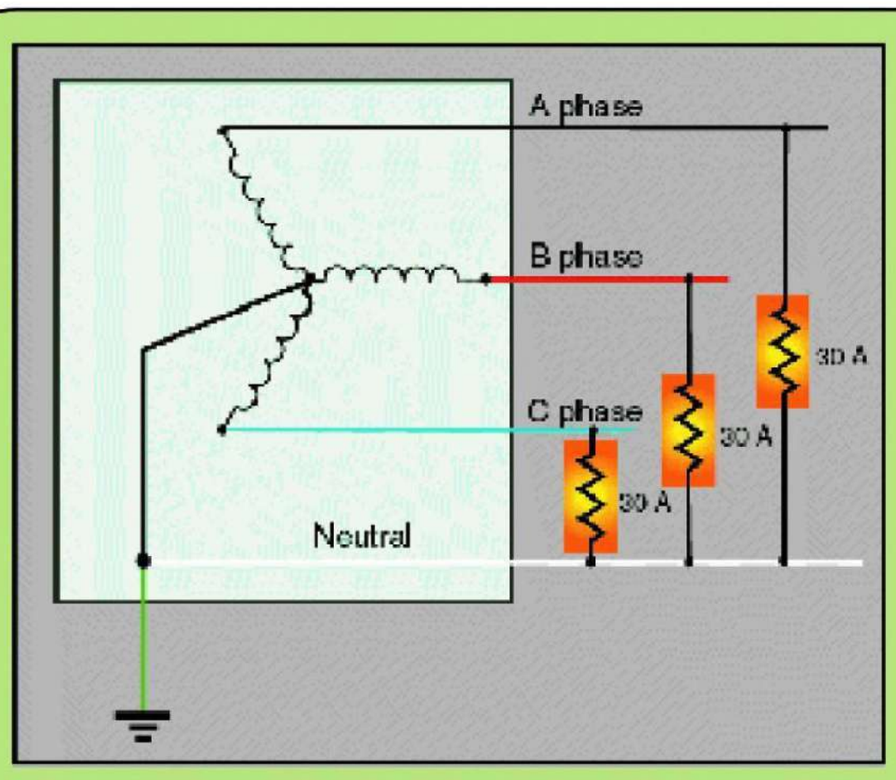


الشكل رقم (1-2) يوضح توصيلة النجمة .

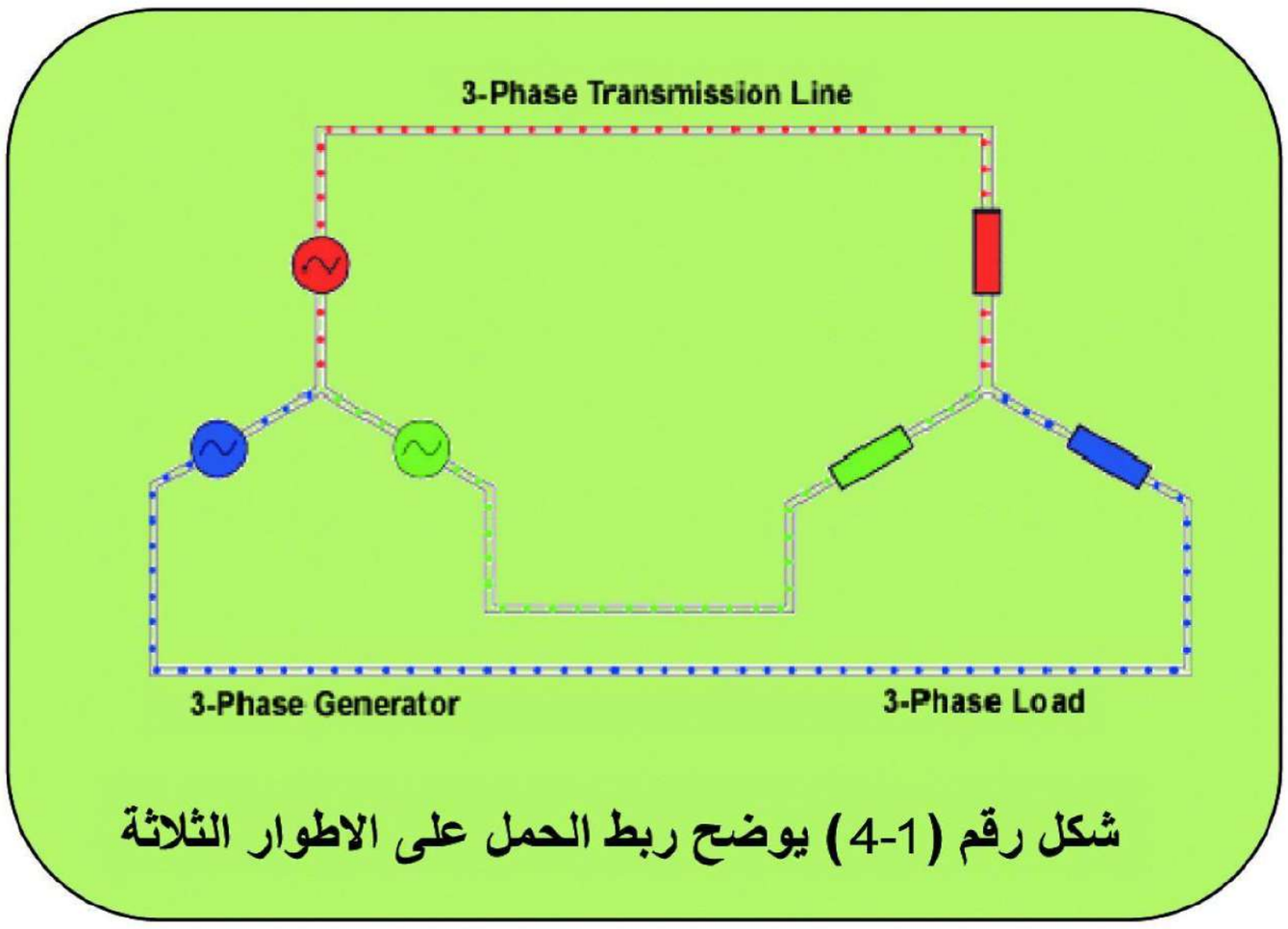
يكون التيار في السلك المحايد عبارة عن المجموع الاتجاهي للتيارات الثلاثة ويكون التيار المار بالسلك المحايد يساوي صفراً عند الحمل المتوازن ، كما في شكل رقم (1-3).

$$I_N=I_U+I_V+I_W=0$$

هذا في حالة الأحمال المتوازنة للأطوار الثلاثة ويسمى بالتحميل المتماثل او المنتظم والتحميل المتماثل عبارة عن التحميل الذي تتساوى فيه شدة التيار والجهد في الأطوار كلها، وكذلك توازن الحمل المربوط على أطراف الأطوار الثلاثة وفي هذه الحالة لايحتاج الى إستعمال السلك المتعادل،كما موضح في الشكل رقم (1-4).

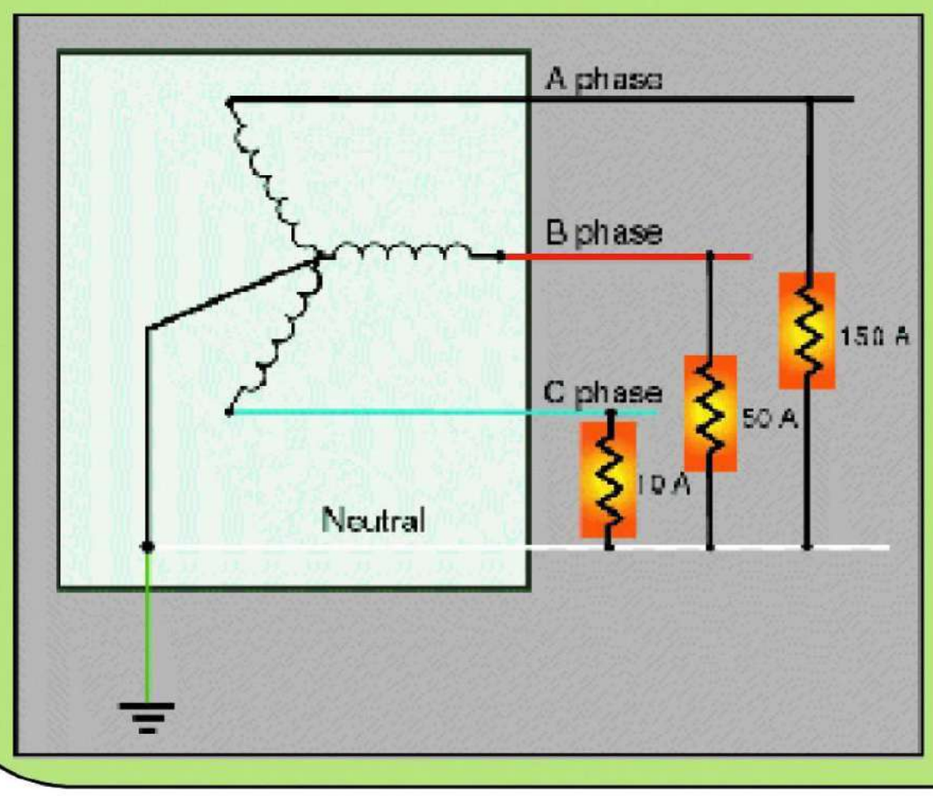


الشكل رقم (1-3) يوضح احمال متوازنة.



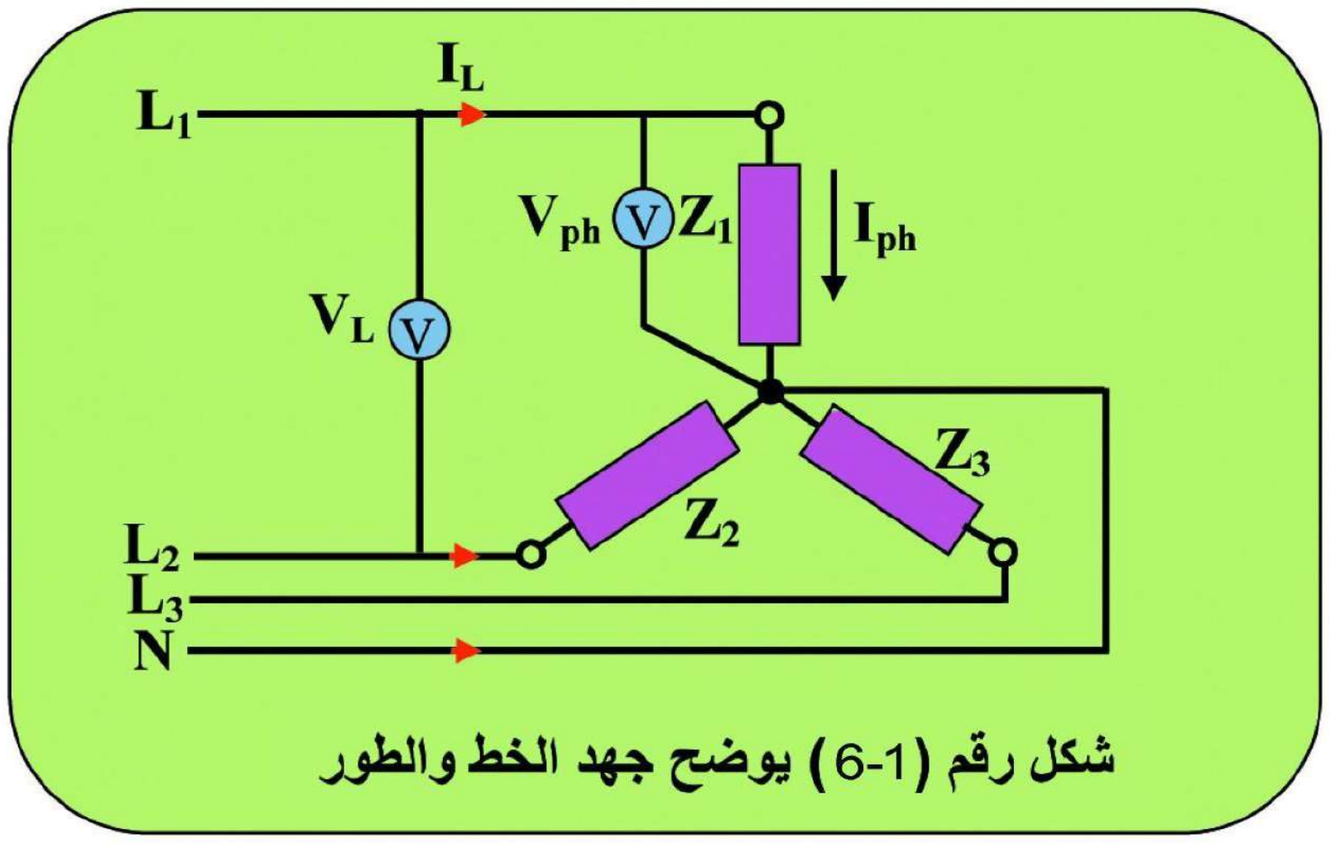
شكل رقم (1-4) يوضح ربط الحمل على الاطوار الثلاثة

ويُعدّ محرك الثلاثة أطوار ذو التوصيل النجمي من الأمثلة الواضحة على هذا النوع أما في حالة الأحمال غير المتوازنة ، شكل رقم (1-5)، فيجب إستخدام سلك الحياد وبمساحة مقطع يتحمل فرق التيار الناشيء عن عدم الإتزان، وتسمى الأسلاك التي توصل ملفات المولد بالشبكة والى المستهلك (بأسلاك الخط V_L) هو الجهد الخطي والذي هو فرق الجهد بين أي خطين من الخطوط الثلاثة، ويسمى الجهد الموجود بين أي طور من الأطوار الثلاثة مع المحايد بجهد الطور (V_{ph}).



الشكل رقم (1-5) يوضح احمال غير متوازنة.

فإذا وضعنا جهاز فولتميتر بين بداية الطور وسلك التعادل لسجل لنا جهد الطور، وعند توصيل الفولتميتر بين أي خطين رئيسين يسجل لنا الجهاز جهد الخط، كما موضح في شكل رقم (1-6) .



شكل رقم (1-6) يوضح جهد الخط والطور

(1-4-1) قوانين ربط النجمة:-

$$I_L = I_{ph}$$

$$V_L = \sqrt{3}\, V_{ph}$$

إذ أنَ:-

I_L يمثل التيار المار بأسلاك الخط الرئيسة ويسمى تيار الخط.

I_{ph} يمثل التيار المار بملفات المولد وبأطوار الحمل ويسمى تيار الطور.

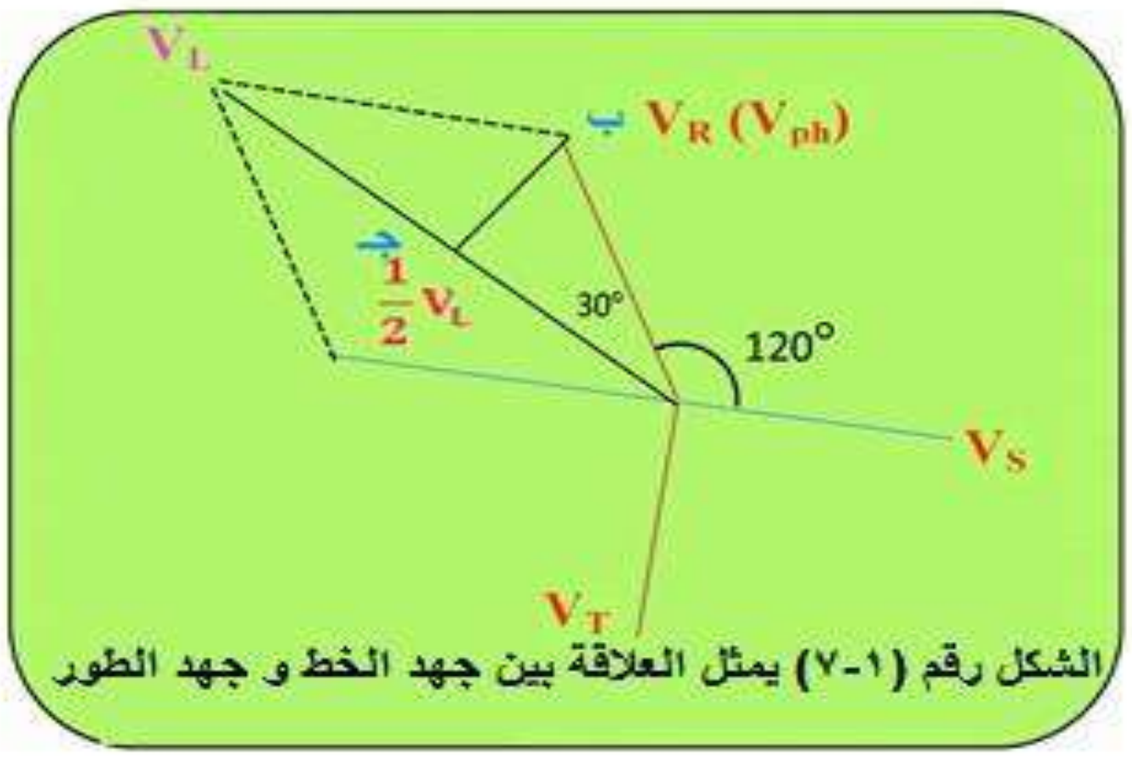
V_L يمثل الجهد الرئيس ويسمى جهد الخط.

V_{ph} يمثل الجهد على أطراف الملفات.

Z_{ph} تمثل مقاومة الطور.

(1-4-2) إشتقاق العلاقة بين جهد الخط وجهد الطور:

عند رسم المتجهات للجهود الخطية الثلاثة التي بينها زاوية (120) درجة ومد المستقيم (Vs) على إستقامته ثم إكمال رسم متوازي الأضلاع ورسم المحصلة له التي تمثل (V_L) ، وإنزال عمود من الرأس (V_R) سوف ينصف المحصلة ونحصل على مثلث قائم الزاوية (أب جـ) والموضح في الشكل رقم (1-7) وفيه:



الشكل رقم (١-٧) يمثل العلاقة بين جهد الخط و جهد الطور

$$\cos 30^{\circ} = \frac{\frac{1}{2}V_L}{V_{ph}}$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\frac{1}{2}V_L}{V_{ph}}$$

بضرب الوسطين×الطرفين نحصل على:

$$2 \times \frac{1}{2}V_L = \sqrt{3}\, V_{ph}$$

$$V_L = \sqrt{3}\, V_{ph}$$

مثال (1-1) :

ثلاث مقاومات متساوية قيمة كل منها (22) اوماً، ربطت على شكل نجمة بمصدر جهد للتيار المتناوب مقداره (380) فولتاً وتردده (50) هيرتزاً ، موضحة في الشكل (1-8)، إحسب:-

1-الجهد المسلط على كل مقاومة.

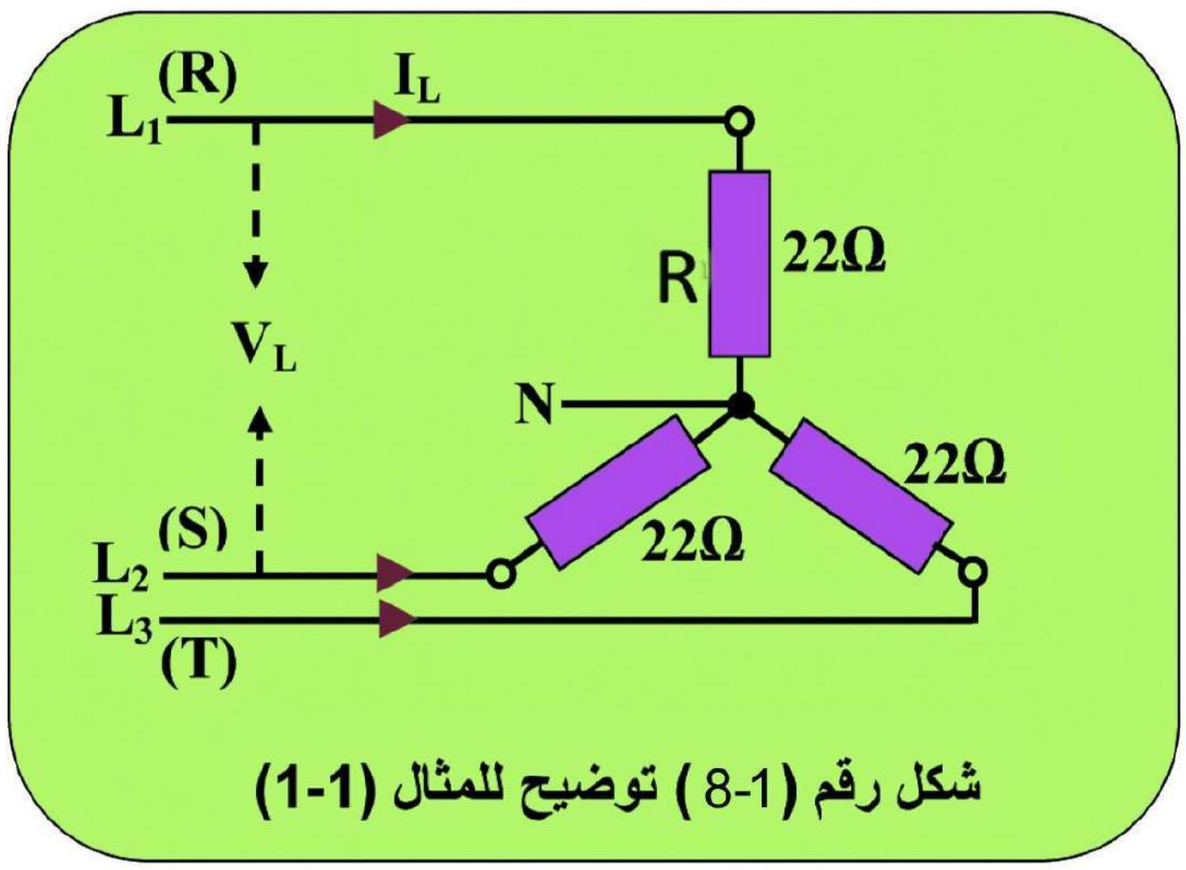
2-التيار المار في كل مقاومة.

3-شدة التيار في كل خط.

المعطيات: ثلاث مقاومات متساوية موصلة نجمة

V_L=380V, F=50H_Z, R =22 Ω, V_{ph}=?, I_{ph}=?, I_L=?

الحل:



شكل رقم (1-8) توضيح للمثال (1-1)

$$V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1.7} = 220\ V$$

$$I_{ph} = \frac{V_{ph}}{R_{ph}} = \frac{220}{22} = 10\ A$$

بما ان الربط ستار:

$$I_L = I_{ph} = 10\ A$$

مثال(2-1):

ثلاث مقاومات متساوية القيمة ربطت على شكل نجمة بمصدر جهد للتيار المتناوب مقداره (380) فولتاً وتردده (50) هيرتزاً وكان التيار المار في كل مقاومة (10) أمبيرات،إحسب:

1-الجهد على كل مقاومة

2-قيمة كل مقاومة

3-شدة التيار في كل خط

المعطيات ثلاثة مقاومات متساوية موصلة نجمة

V_L=380 V, F=50 Hz, I_{ph}=10 A, 1-V_{ph}=?, 2-R =?, 3-I_L=?

الحل:

$$V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1.7} = 220 \quad V$$

$$R_{ph} = \frac{V_{ph}}{I_{ph}} = \frac{220}{10} = 22\ \Omega$$

بما إن الربط نجمة

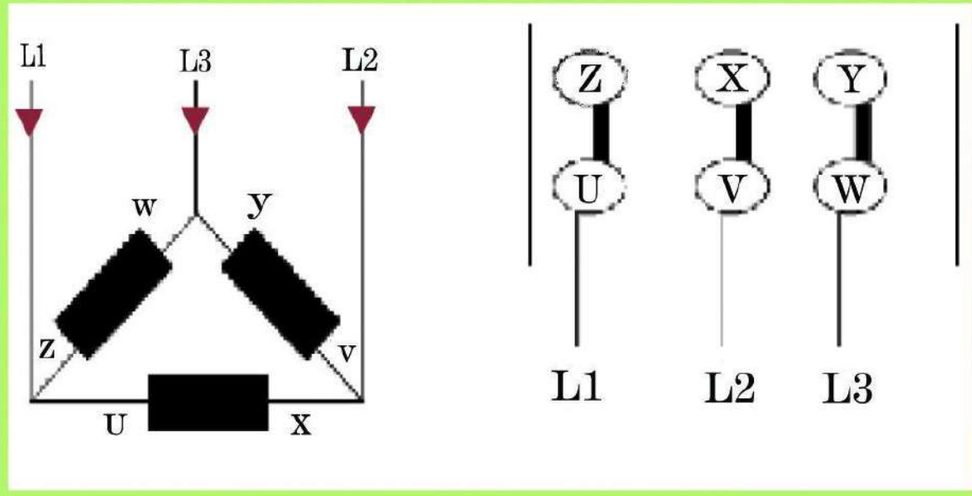
تيار الخط = تيار الطور

أي إن:

$$I_L = I_{ph} = 10\ A$$

ثانياً/ توصيلة المثلث

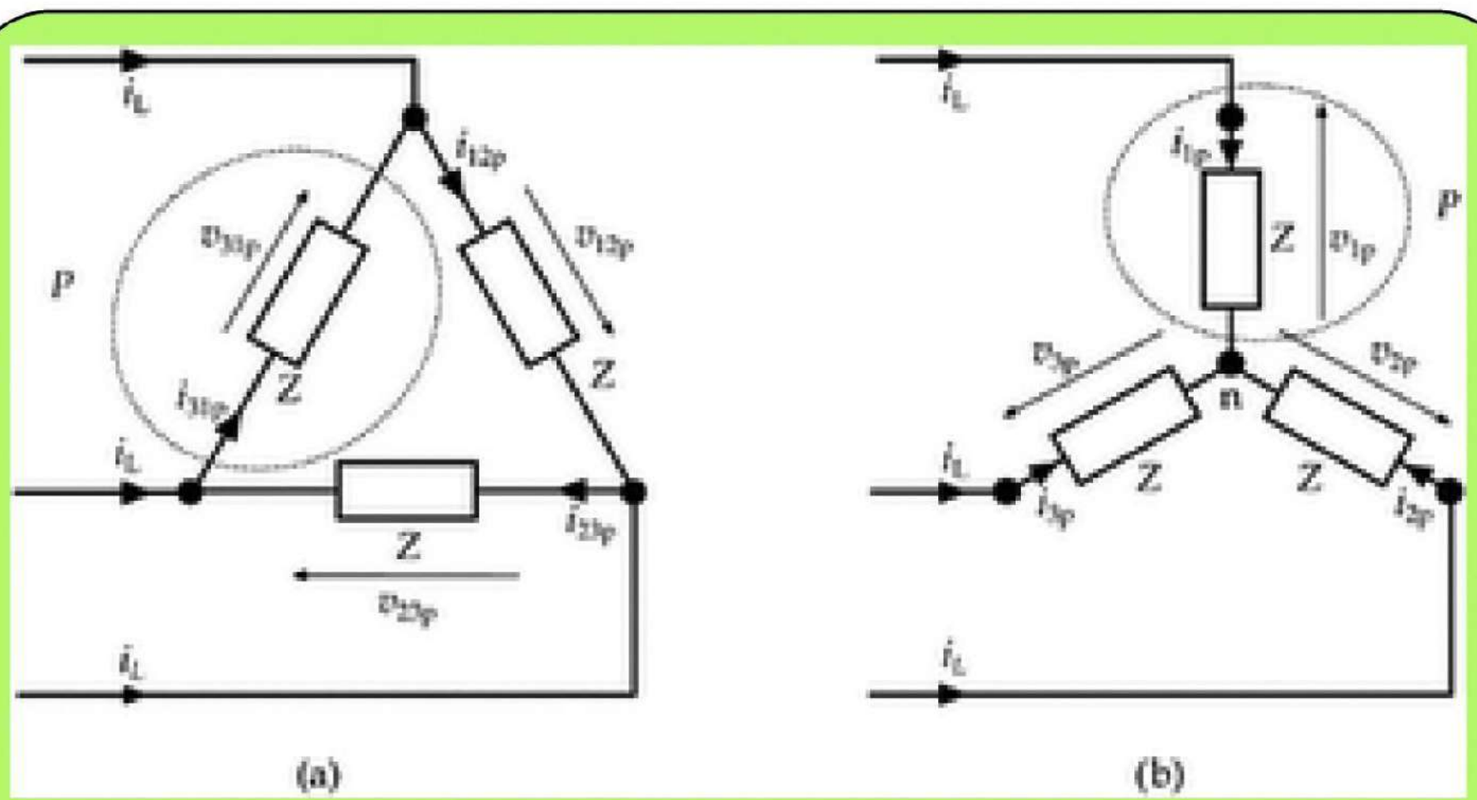
عند توصيل الأطراف للأطوار الثلاثة بالترتيب التالي نهاية الطور الأول مع بداية الطور الثاني ونهاية الطور الثاني مع بداية الطور الثالث ونهاية الطور الثالث مع بداية الطور الأول،وتوصل النقاط الثلاثة الى الدائرة الخارجية،كما موضح في شكل رقم (1-9).



شكل رقم (1-9) يوضح ربط المثلث.

نلاحظ انه ليست هناك ضرورة لاستعمال سلك محايد، ولذلك فهذا النظام يكون دائما بثلاثة أسلاك كما موضح في الشكل أعلاه.

وفي هذه التوصيلة لايوجد فرق بين الجهد الخطي (V_L) والجهد الطوري (V_{ph}) ،بينما يكون الفرق بين تيار الطور وتيار الخط بمقدار ($\sqrt{3}$). في الشكل رقم (1-10) يوضح التوصيلتين النجمة والمثلث ويوضح كذلك إتجاه التيار في كل طور. والذي يكون إتجاه التيارات الثلاثة مع اتجاه عقرب الساعة.



الشكل رقم (1-10) يوضح اتجاه التيار في كل طور في كل توصيلة

(1-4-3) قوانين ربط المثلث:

$$V_L = V_{ph}$$

$$I_L = \sqrt{3}\, I_{ph}$$

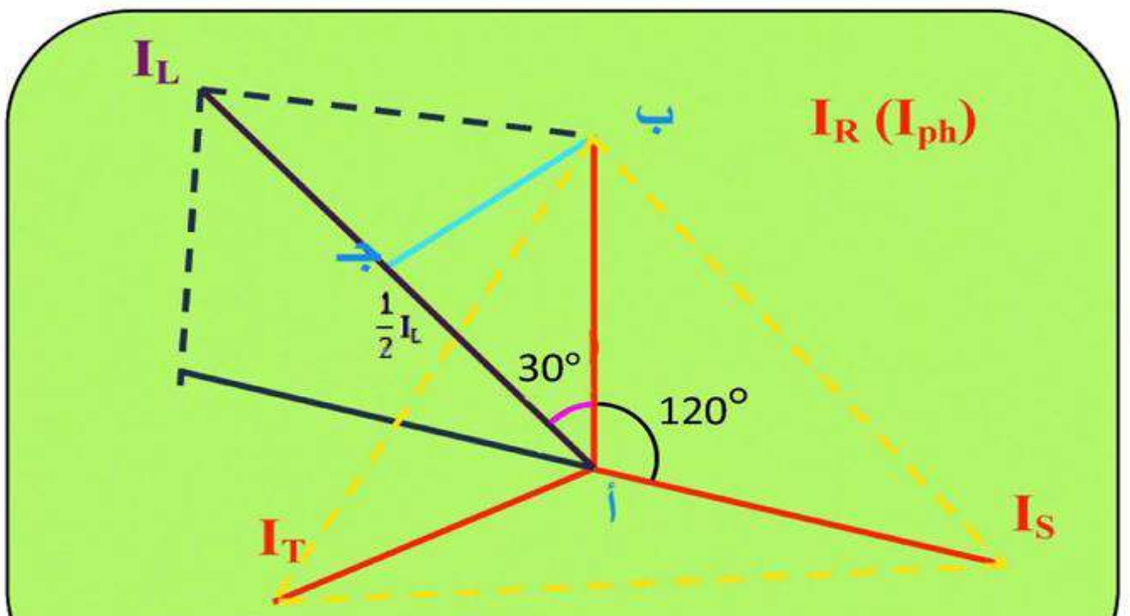
(1-4-4) إشتقاق العلاقة بين تيار الخط وتيار الطور فى ربط المثلث

اثبت إن تيار الخط = $\sqrt{3}$تيار الطور في ربط المثلث (الدلتا).

أضلاع المثلث تمثل متجهات الخط،وأضلاع النجمة تمثل متجهات الطور.

نتبع خطوات الرسم السابق نفسها في حالة الجهد.

في المثلث القائم (أب جـ) شكل رقم (1-11) فيه:



الشكل رقم (1-11) يوضح العلاقة بين تيار الطور وتيار الخط

$$\text{Cos } 30° = \frac{\frac{1}{2} I_L}{I_{ph}}$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\frac{1}{2} I_L}{I_{ph}}$$

$$2 \times \frac{1}{2} I_L = \sqrt{3}\, I_{Ph}$$

$$I_L = \sqrt{3}\, I_{ph}$$

بضرب الوسطين×الطرفين نحصل على:

مثال(3-1):

وصلت ثلاث مقاومات حرارية متساوية بشكل مثلث ، وكانت قيمة كل مقاومة(38) اوماً الى مصدر جهد للتيار المتناوب مقداره (380) فولتاً،(50) هيرتزاً.

المطلوب:- 1- رسم الدائرة 2-الجهد المسلط على كل مقاومة

3- التيار المار في كل مقاومة 4-التيار الخطي.

المعطيات ثلاثة مقاومات متساوية موصلة على شكل مثلث

R =38Ω , V_L =380v, F=50 Hz,1-الرسم , 2- V_{ph}=?,3- I_{ph}=?,4- I_L=?

الحل:

بما إن الربط دلتا

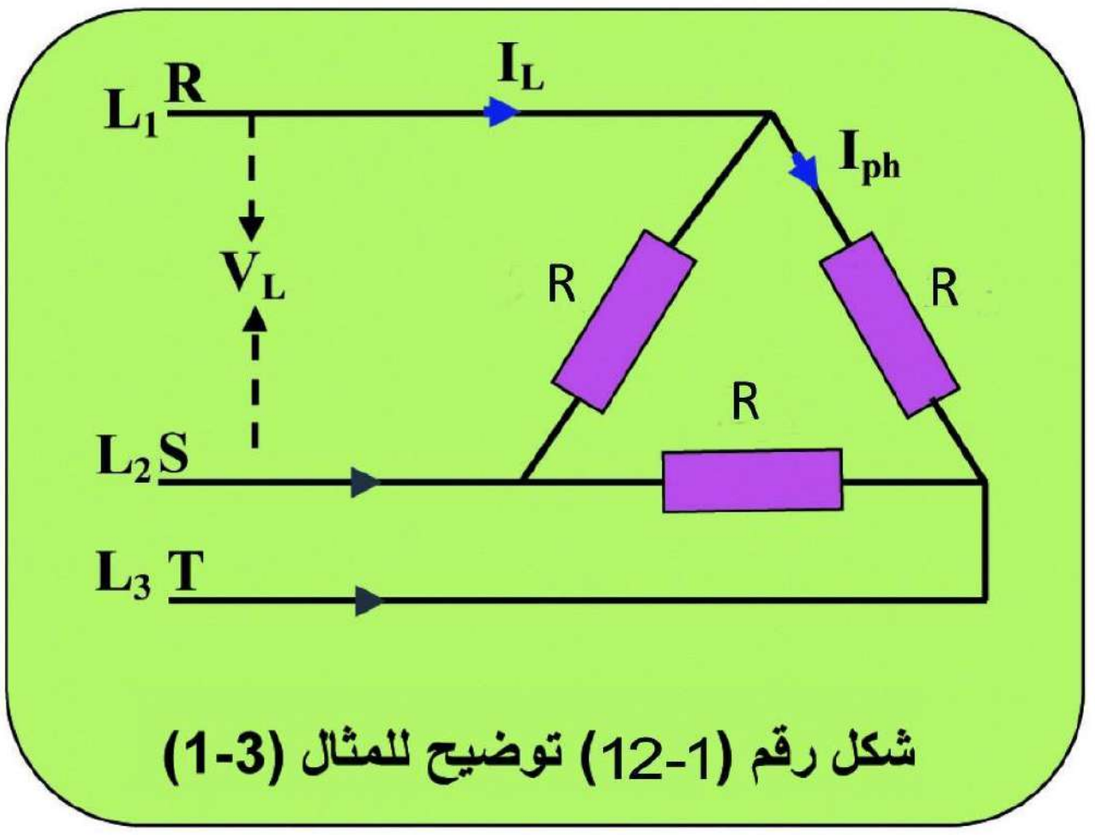
جهد الطور=جهد الخط

أي ان الجهد المسلط على كل مقاومة=380 فولت

$$V_L = V_{ph} = 380\ V$$

$$I_{ph} = \frac{V_{ph}}{R_{ph}} = \frac{380}{38} = 10\ A$$

$$I_L = \sqrt{3}\ I_{ph} = \sqrt{3} \times 10 = 1.7 \times 10 = 17\ A$$



شكل رقم (1-12) توضيح للمثال (3-1)

مثال(4-1):

جهاز تسخين ثلاثي الأطوار موصل على شكل مثلث بمصدر جهد للتيار المتناوب مقداره (380) فولت ترددة 50 هيرتز وقيمة كل مقاومة من مقاوماته الثلاث (40) اوماً،إحسب:-

1- جهد الطور 2- تيار الطور 3- تيار الخط

المعطيات: جهاز تسخين ثلاثي الاطوار موصل مثلث

V_L =380 v, Z_{ph}= 40Ω , F=50 Hz,V_{ph} =? , I_{ph}=?, I_L=?

الحل:

لان الربط دلتا:

$V_L = V_{ph} = 380$ V

$$I_{ph} = \frac{V_{ph}}{Z_{ph}} = \frac{380}{40} = 9.5\ A$$

$I_L = \sqrt{3}\ I_{ph} = \sqrt{3} \times 9.5$

$= 1.7 \times 9.5 = 16.15$ A

مثال(5-1):

ثلاث مقاومات متساوية القيمة ربطت على شكل نجمة (ستار) بمصدر جهد للتيار المتناوب مقداره (380) فولتاً،(50) هيرتزاً فاذا كان تيار الخط يساوي (10) أمبيرات، إحسب:-

1-قيمة كل مقاومة

2-جهد الخط المطلوب لاعطاء تيار الخط نفسه اذا ربطت المقاومات على شكل مثلث.

المعطيات: ثلاثة مقاومات متساوية موصلة نجمة

V_L=380V, F=50 Hz, I_L=10A, R=?, $V_L \Delta$ =?

الحل:

1-لايجاد قيمة كل مقاومة نطبق قانون اوم:

$$R_{ph} = \frac{V_{ph}}{I_{ph}}$$

بما ان المقاومات مربوطة على شكل نجمة:

$$V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1.7} = 220\ V$$

$$I_L = I_{ph} = 10\ A$$

$$R_{ph} = \frac{220}{10} = 22\ \Omega$$

ملاحظة:-

في حالات مثل هذه، عند تحويل الربط من نجمة الى مثلث، يجب تقليل جهد الخط المسلط بمقدار ($\sqrt{3}$) مرة لكي يكون التيار الطوري في الحالتين واحداً لان الملفات للحمل مصممة لتحمُل تيار مقرر لايمكن تجاوزه .

2-لايجاد جهد الخط في حالة ربط المقاومات مثلث و لتيار الخط نفسه نطبق:

$$V_{ph} = I_{ph} \cdot R_{ph}$$

$$I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{10}{1.7} = 5.8 \ A$$

جهد الخط في ربط الدلتا

$$V_{Ph} = 5.8 \times 22 = 127.6\,V = V_L$$

(1-4-5) العلاقة بين تيار الخط في ربط النجمة وربط المثلث

ان تيار الخط في حالة الربط المثلثي يكون أكبر من تيار الخط في حالة ربط النجمة بمقدار (3) مرات، عند ثبات جهد المصدر ومقدار الحمل في كل طور، أي ان :

$$I_L \Delta = 3\, I_L\, y$$

1- في حالة ربط النجمة

حسب قانون اوم

$$Z_{ph} = \frac{V_{ph}}{I_{ph}}$$

$$I_{ph} = I_L$$

بما ان

$$V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

$$Z_{ph_Y} = \frac{V_L}{\sqrt{3} I_{LY}} \longrightarrow (1)$$

2- في حالة ربط المثلث

بما ان:

$$Z_{ph} = \frac{V_{ph}}{I_{ph}}$$

$$V_{ph} = V_L$$

$$I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

$$Z_{ph_\Delta} = \frac{\sqrt{3}V_L}{I_{L\Delta}} \longrightarrow (2)$$

نعوض المعادلة (1) في المعادلة (2)

$$\mathrm{Zph(Delta)} = \mathrm{Zph(Star)}$$

بالقسمة على (VL) نحصل على:

$$\left(\frac{V_L}{\sqrt{3}.\,I_{LY}} = \frac{\sqrt{3}V_L}{I_{L\Delta}}\right)\frac{1}{V_L}$$

بضرب الوسطين × الطرفين نحصل على :

$$\left(\frac{1}{\sqrt{3}.\,I_{LY}} = \frac{\sqrt{3}}{I_{L\Delta}}\right)$$

$$I_{L\Delta} = \sqrt{3}\sqrt{3}\,I_{LY}$$

$$I_{L\Delta} = 3\,I_{LY} \longrightarrow (1\text{-}5)$$

مثال(6-1):

ثلاث مقاومات متساوية ربطت على شكل نجمة بمصدر جهد (380) فولتاً وكان التيار المسحوب من المصدر (10) أمبيراً،إحسب:-

1- جهد الطور 2- قيمة كل مقاومة 3- تيار الخط والطور عند تغيير الربط الى مثلث.

المعطيات: ثلاثة مقاومات متساوية موصلة نجمة

V_L=380V, I_L=10 A,1-V_{ph} =?, 2-R =?, 3-$I_L\Delta$ =?, 4- $I_{ph}\Delta$ =?

الحل:

1-في حالة النجمة:

$$V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1.7} = 220 \quad V$$

$$I_L = I_{ph}$$

$$R_{ph} = \frac{V_{ph}}{I_L} = \frac{220}{10} = 22\ \Omega$$

2- في حالة ربط المثلث

$$I_{L\Delta} = 3\ I_{LY}$$

$$I_{L\Delta} = 3 \times 10 = 30\ A$$

$$I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{30}{1.7} = 17.6\ A$$

مثال (1-7) :

ثلاث مقاومات متساوية، قيمة كل منها (44) أوماً ربطت على شكل نجمة بمصدر جهد للتيار المتناوب مقداره (380) فولتاً ، (50) هيرتزاً ، إحسب:-

1-الجهد المسلط على كل مقاومة. 2-تيار الطور والخط . 3-تيار الطور والخط عند ربط المقاومات على شكل دلتا.

المعطيات: ثلاثة مقاومات متساوية موصلة نجمة

$R = 44\Omega$, V_L 380v, $F = 50H_Z$, 1-V_{ph}=?, 2-I_L=?Y, 3-I_{ph}=?Y, 4-I_{ph}=?Δ

I_L=?Δ

الحل:

لان الربط ستار

$$V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1.7} = 220\ V$$

$$I_{ph} = \frac{V_{ph}}{R_{ph}} = \frac{220}{44} = 5\ A$$

$$I_L = I_{ph} = 5\ A$$

في حالة تغيير الربط الى دلتا

$$I_{L\Delta} = 3I_{LY}$$

$$I_{L\Delta} = 3 \times 5 = 15\ A$$

$$I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{15}{1.7} = 8.8\ A$$

(1-5) طرائق قياس القدرة المستهلكة في نظام ثلاثي الاطوار:

تقاس القدرة المستهلكة في نظام الثلاثة أطوار بعدة طرائق بغض النظر عن شكل ربط الحمل،والطرائق هي:-

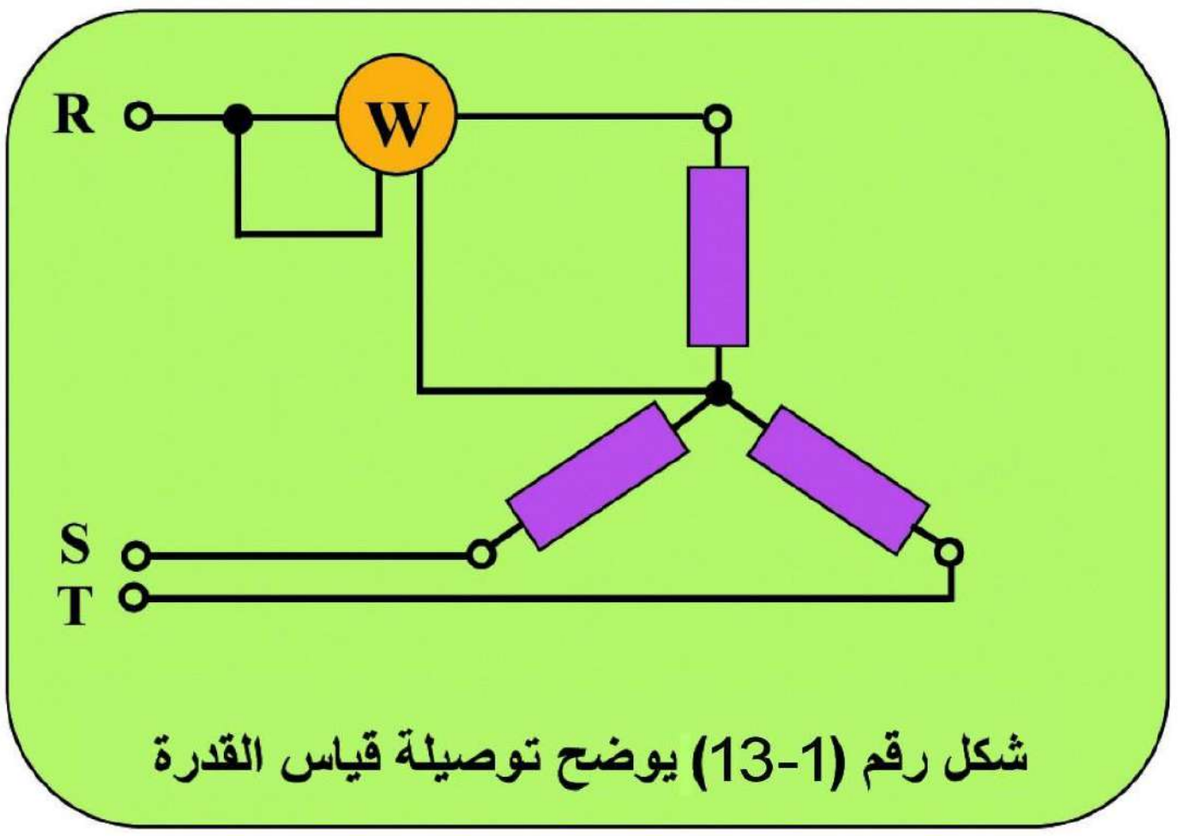
١- إذا كانت الأحمال متوازنة (متساوية):

تكون القدرة المصروفة في كل طور متساوية ولهذا يكفي ان نقيس القدرة التي يستهلكها طور واحد (P_{ph})باستعمال جهاز واحد لقياس القدرة والشكل رقم (1-13) يوضح التوصيلة، ولكي نُعيّن القدرة الكلية نضرب قدرة الطور الواحد× 3 أي إن القدرة الكلية تساوي:

$$P_T = 3\ P_{ph} \longrightarrow (1\text{-}6)$$

P_T=القدرة الكلية.

P_{ph}= قدرة الطور الواحد.



شكل رقم (1-13) يوضح توصيلة قياس القدرة

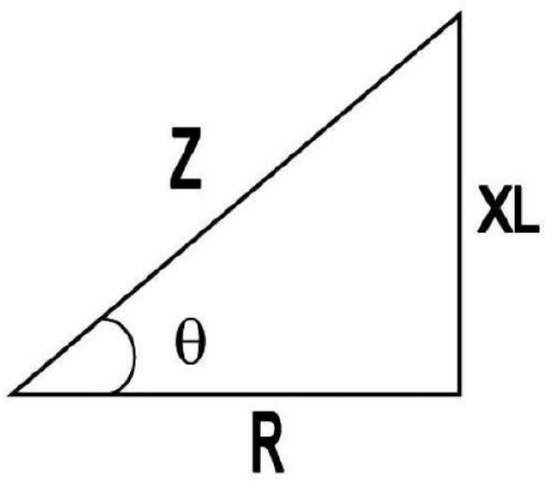
ملاحظة:-

1- إذا كانت الأحمال مقاومات طبيعية فأن معامل القدرة لها =1

2- إذا كانت الأحمال (ملفات) والتي هي عبارة عن مقاومة طبيعية ومحاثة فان معامل القدرة لها يساوي R/Z . والذي يمكن ايجاده من مثلث المقاومات حسب نظرية فيثاغورس :

$$z = \sqrt{R^2 + XL^2}$$

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



ونذكّر بتعريف معامل القدرة الذي مر ذكره في مرحلة الصف الثاني:

معامل القدرة:- وهوجيب تمام الزاوية المحصورة بين موجة الفولتية (الجهد)وموجة التيار وقيمته تنحصر بين (+1 و-1) هو كمية مجردة من الوحدات.

3- يمكن حساب القدرة في نظام الثلاثة أطوار من القانون الآتي:

$$P = \sqrt{3}\ V_L\ I_L \cos\theta$$

وكما مر علينا أنتيار الخط في توصيلة المثلث =3مرات تيار الخط في توصيلة النجمة كذلك القدرة في حالة المثلث = 3 مرات القدرة في حالة النجمة،ولاثبات العلاقة:

أ- في توصيلة النجمة:

$$P_Y = \sqrt{3}\, V_L\, I_l \cos\varphi$$

$$P_Y = \sqrt{3}\, V_L\, I_{ph} \cos\varphi$$

$$P_Y = \sqrt{3}\, V_L \frac{V_{ph}}{z} \cos\varphi$$

$$P_Y = \sqrt{3}\, V_L \frac{V_L}{\sqrt{3}Z} \cos\varphi$$

$$P_Y = \frac{V_L^2}{Z} \cos \qquad \text{.....(1)}$$

ب- في توصيلة المثلث:

$$P_\Delta = \sqrt{3}\, V_L\, I_L \cos\varphi$$

$$P_\Delta = \sqrt{3}\, V_L \sqrt{3}\, I_{Ph} \cos\varphi$$

$$P_\Delta = 3V_L \frac{V_{Ph}}{Z} \cos\varphi$$

$$V_L = V_{ph}$$

$$P_\Delta = 3\frac{V_L}{Z} \cos\varphi \qquad \text{.....(2)}$$

قسمة المعادلة (1) على المعادلة (2) ينتج

$$\frac{P_Y}{P_\Delta} = \frac{\frac{V_L^2}{Z}\cos\varphi}{3\frac{V_L^2}{Z}\cos\varphi}$$

$$\frac{P_Y}{P_\Delta} = \frac{1}{3}$$

$$P_\Delta = 3P_Y$$

مثال (8-1)

ثلاثة مصابيح مقاومة كل مصباح (22) أوماً وصلت على شكل نجمة من جهد للتيار المتناوب (380) فولتاً،(50) هيرتزاً، إحسب:-

1-الجهد المسلط على الطور . 2- تيار الطور والخط. 3-القدرة الكلية المستهلكة

4-قدرة كل مصباح.

المعطيات: ثلاثة مصابيح موصلة على شكل نجمة .

$R=22\Omega$, $V_L=380V$, $V_{ph}=?$, $I_{ph}=?$, $I_L=?$, $P_T=?$, $P_1=?$

الحل:

المصابيح تمثل مقاومة طبيعية

$$V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1.7} = 220\ V$$

بما إن الربط نجمة:

$$I_{ph} = \frac{V_{ph}}{R} = \frac{220}{22} = 10\ A$$

إذن يكون تيار الخط = تيار الطور

$$I_{ph} = I_L = 10\ A$$

إذن يكون معامل القدرة (Cosθ) لها =1

القدرة الكلية:

$$P_T = 3\ I_{ph.}^2 R = 3 \times (10)^2 \times 22 = 6600\ w$$

القدرة لكل مصباح:

$$P_1 = \frac{P_T}{3} = \frac{6600}{3} = 2200\ w$$

مثال (9-1)

ثلاثة ملفات متساوية المقاومة الطبيعية لكل منها (8) أوماً والمحاثة المغناطيسية (6) أوماً، وصلت على شكل مثلث بمصدر للتيار المتناوب جهده (380) فولتاً، (50) هيرتزاً، إحسب:-

1- تيار الخط. 2- القدرة المصروفة عند ربط الملفات على شكل نجمة.

المعطيات: ثلاثة ملفات متساوية موصلة على شكل مثلث

$R=8\Omega, X_L=6\Omega, V_L=380V$, 1-$I_L$=?, 2-P=? F=50 Hz

الحل:

في ربط المثلث:

$$I_L = \sqrt{3}\,.\,I_{ph} \qquad V_L = V_{ph}$$

$$I_{ph} = \frac{V_{ph} = V_L}{Z_{ph}} \qquad I_{ph} = \frac{V_L}{Z_{ph}}$$

$$Z_{ph} = \sqrt{R^2 + X^2_L} = \sqrt{8^2+6^2} = \sqrt{64+36} = \sqrt{100} = 10\ \Omega$$

$$I_{ph} = \frac{380}{10} = 38\ A$$

$$I_L = (\sqrt{3} \times 38)\ A$$

$$\text{Cos}\ \theta = \frac{R}{Z} = \frac{8}{10} = 0.8$$

$$P = \sqrt{3}.I_L.V_L.\text{Cos}\ \theta$$

القدرة في المثلث:

$$= \sqrt{3} \times \sqrt{3} \times 38 \times 380 \times 0.8$$

$$= 3 \times 1444 \times 8 = 34656\ w$$

بما إن قدرة النجمة:

$$P_Y = \frac{1}{3} P_\Delta$$

القدرة في حالة النجمة

$$P_Y = \frac{34656}{3} = 11552\ w$$

مثال (10-1)

ثلاثة ملفات موصلة على شكل مثلث بمصدر تيار متناوب جهده (400) فولت،(50) هيرتزاً فإذا كان التيار المار في كل ملف (20) أمبيراً والقدرة الكلية المصروفة في الدائرة (19.2) كيلو واط، إحسب:-

المقاومة الطبيعية والمحاثة المغناطيسية لكل ملف.

المعطيات: ثلاثة ملفات متساوية موصلة على شكل مثلث

V_L=400V, F=50 H_Z, I_{ph}=20A, P_T=19.2KW, 1-R=?, 2-X_L=?

الحل:

لان الربط دلتا

$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_{ph}$$

$$I_L = (\sqrt{3} \times 20)A$$

من قانون القدرة يمكن إيجاد معامل القدرة:

$$\cos\theta = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot I_L \cdot V_L}$$

$$\cos\theta = \frac{19.2 \times 1000}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \times 20 \times 400} = 0.8$$

يمكن إيجاد (Zph) المقاومة الكلية للملف من قانون اوم:

$$V_L = V_{ph} \qquad Z_{ph} = \frac{V_L}{I_{Ph}} = \frac{400}{20} = 20\Omega$$

يمكن إيجاد (R) المقاومة الطبيعية من:

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

$$R = Z.\cos\theta = 20 \times 0.8 = 16\Omega$$

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{400 - 256} = \sqrt{144} = 12\Omega$$

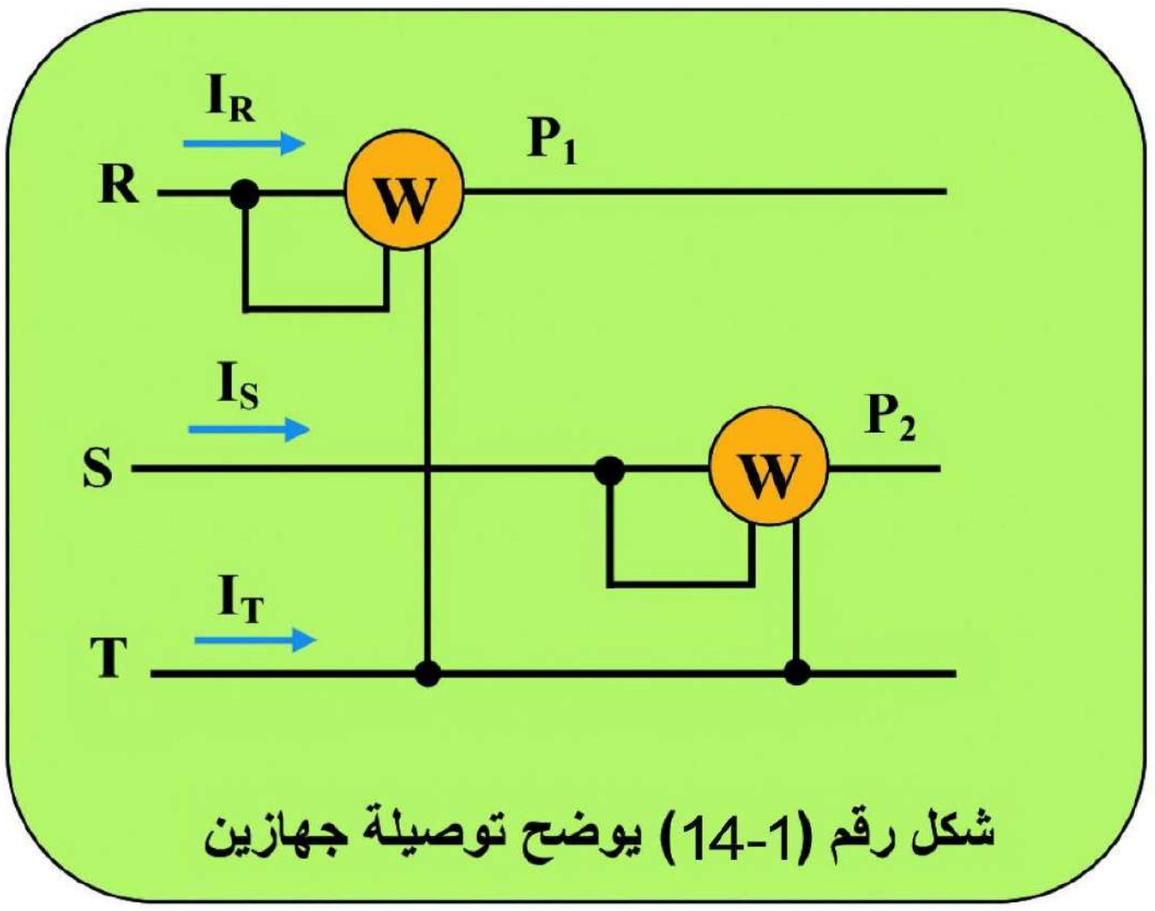
2- إذا كانت الأحمال متوازنة أو غير متوازنة:

من الممكن النظر الى الدوائر ثلاثية الأطوار وكأنها دائرتين متساويتين منفصلتين تشتركان فيما بينهما بخط من الخطوط الثلاثة وتستعمل هذه الطريقة إذا كانت الأحمال متوازنة أو غير متوازنة،كما في شكل رقم (1-14)، وتتميز هذه الطريقة بأن قراءة كل من الجهازين قد لاتكون متساوية وكذلك يمكن أن تكون قراءة أحد الجهازين سالبة عندها تكون القدرة الكلية مساوية المجموع الجبري لقراءتي الجهازين. وتحسب القدرة المصروفة من قانون:

$$P_T = P_1 + P_2 = \sqrt{3} I_L V_L Cos\theta \longrightarrow (1\text{-}7)$$

$$P_T = P_1 + (-P_2) \longrightarrow (1\text{-}8)$$

يفضل إستخدام المقادير الكهربائية الخطية بدلاً من المقادير الطورية عند حساب القدرة المستهلكة.



شكل رقم (1-14) يوضح توصيلة جهازين

مثال (1-11)

ثلاثة ملفات متساوية وصلت على شكل مثلث من مصدر جهد للتيار المتناوب مقداره (400) فولتاً، فكان التيار المسحوب من المصدر (17) أمبيراً إحسب القدرة المصروفة للملفات الثلاثة إذا علمت إن المقاومة الطبيعية لكل منهما (8) أوماً.

المعطيات: ثلاثة ملفات متساوية موصلة على شكل مثلث

V_L=400 V I_L=17 A, P=?, R=8Ω

الحل:

يمكن إيجاد القدرة المصروفة من قانون:

$$P = 3.I^2_{ph}.R$$

وحصلنا على هذا القانون من تطبيق قانون القدرة:

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

$$V_L = V_{ph} = I_{ph} Z_{ph}$$

$$I_L = \sqrt{3} I_{ph}$$

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

$$P = \sqrt{3} . \sqrt{3} . I_{ph} . I_{ph} . Z_{ph} . \frac{R}{Z_{ph}}$$

$$P = 3.I^2_{ph} . R$$

$$I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{17}{1.7} = 10\ A$$

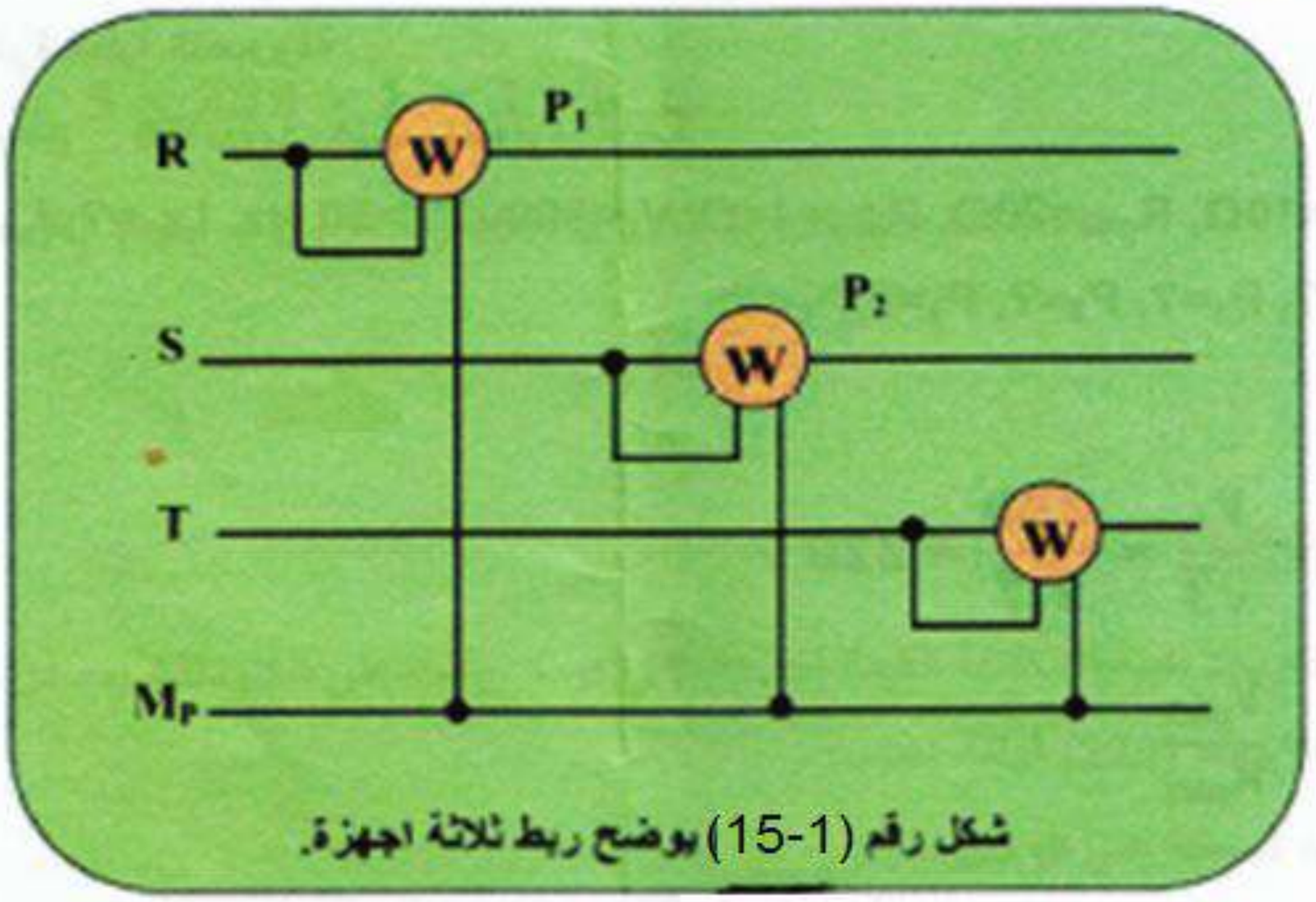
في حالة الدلتا:

$$P = 3 \times 10^2 \times 8 = 2400\ w$$

3- اذا كانت الاحمال غير متوازنة في نظام الخطوط الاربعة نستعمل (3) أجهزة واطميتر ويربط كل جهاز بين الخط المحايد والخط الرئيس، اما القدرة الكلية فتساوي مجموع قراءات الاجهزة الثلاثة ومحاسنها انها عالية الدقة أما مساوئها فهي أرتفاع الكلفة ولهذا السبب يكون تطبيقها قليلاً وتحسب القدرة الكلية من القانون الأتي:

$$P_T=P_1+P_2+P_3 \longrightarrow \quad (1\text{-}9)$$

والشكل رقم (1-15) يوضح طريقة التوصيل.



شكل رقم (1-15) يوضح ربط ثلاثة اجهزة.

في حال مثل هذه - عند إختلاف الاحمال وخطوط المصدر متماثلة - يؤدي الى سحب تيارات خطية مختلفة ولهذا يجب إيجاد التيارات الطورية أولا، وحسب قانون اوم:

$$I_{ph}=V_{ph}/Z_1$$

ومن ثم نجد القدرة المصروفة لكل طور من تطبيق قانون:

$$P_1=I_{ph1}\ V_{ph1}\ \text{Cos}\ \theta_1$$

$$P_2=I_{ph2}\ V_{ph}\ \text{Cos}\ \theta_2$$

$$P_3=I_{ph3}\ V_{ph}\ \text{Cos}\ \theta_3$$

ثم نجمع القدرات الثلاثة لايجاد القدرة الكلية المصروفة في الدائرة.

مثال (12-1)

ثلاث مقاومات طبيعية مختلفة القيمة (10،20،44) أوم ربطت على شكل نجمة بمصدر للتيار المتناوب جهده (380) فولتاً، وتردده (50) هيرتزاً، إحسب:-

1-التيار المار في كل مقاومة

2-قدرة كل مقاومة

3-القدرة الكلية المصروفة

المعطيات: ثلاثة مقاومات طبيعية مختلفة موصلة نجمة

$R_{ph1}=10\Omega$, $R_{ph2}=20\Omega$, $R_{ph3}=44\Omega$, $V_L=380v$, $F=50\ Hz$, $I_{ph1}=?$, $I_{ph2}=?$ $I_{ph3}=?$, $P_1=?$, $P_2=?$, $P_3=?$,$P_T=?$

الحل:

$$V_{ph}=\frac{V_L}{\sqrt{3}}=\frac{380}{1.7}=220\ V$$

$$I_{ph1}=\frac{V_{ph1}}{R_{ph1}}$$

$$I_{ph1}=\frac{220}{10}=22\ A$$

$$I_{Ph2}=\frac{V_{Ph}}{R_{Ph2}}=\frac{220}{20}=11\ A$$

$$I_{Ph3}=\frac{V_{Ph}}{R_{Ph3}}=\frac{220}{44}=5\ A$$

بما إن المقاومات طبيعية

إذن معامل القدرة لها=1

$$P_1=I_{ph1}.V_{ph}.Cos\theta$$

$$P_1=22\times220\times1=4840\ w$$

$$P_2=I_{ph2}.V_{ph}.Cos\theta$$

$$P_2 = 11 \times 220 \times 1 = 2420\ w$$

$$P_3 = I_{ph3}.V_{ph}.Cos\theta$$

$$P_3 = 5 \times 220 \times 1 = 1100\ w$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 = 4840 + 2420 + 1100 = 8360\ w$$

مثال (13-1)

ثلاث مقاومات طبيعية مختلفة القيمة (4،55،11) اوماً، ربطت على شكل مثلث بمصدر للتيار المتناوب جهده (220) فولتاً، إحسب:-

1-الجهد المسلط على كل مقاومة.

2-التيار المار في كل مقاومة.

3 - قدرة كل مقاومة.

4-القدرة الكلية المصروفة.

المعطيات: ثلاثة مقاومات طبيعية مختلفة موصلة دلتا

$R_{ph1}=4\Omega$, $R_{ph2}=55\Omega$, $R_{ph3}=11\Omega$, $V_L=220V$, 1-$V_{ph}=?$,

2-$I_{ph1}=?I_{ph2}=?I_{ph3}=?$, 3-$P_1=?P_2=?P_3=?$, 4-$P_T=?$

الحل:

بما إن الربط دلتا:

$$1 - V_{ph} = V_L = 220\ V$$

$$2 - \mathbf{I_{ph1}} = \frac{\mathbf{V_{ph}}}{\mathbf{R_{ph1}}} = \frac{220}{4} = 55\ \mathbf{A}$$

$$\mathbf{I_{ph2}} = \frac{\mathbf{V_{ph}}}{\mathbf{R_{ph2}}} = \frac{220}{55} = 4\ \mathbf{A}$$

$$\mathbf{I_{ph3}} = \frac{\mathbf{V_{ph}}}{\mathbf{R_{ph3}}} = \frac{220}{11} = 20\ \mathbf{A}$$

$$3 - P_1 = I_{ph1}.V_{ph}.Cos\theta$$

$$P_1 = 55 \times 220 \times 1 = 12100\ w$$

$$P_2 = I_{ph2}.V_{ph}.Cos\theta$$

$$P_2 = 4 \times 220 \times 1 = 880\ w$$

$$P_3 = I_{ph3}.V_{ph}.Cos\theta$$

$$P_3 = 20 \times 220 \times 1 = 4400\ w$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

$$P_T = 12100 + 880 + 4400 = 17380\ w$$

ملاحظة:من معرفة قراءة الجهازين يمكن إيجاد معامل القدرة من القانون الاتي والذي يستعمل فقط للاحمال المتوازنة وغير المتوازنة

$$\text{Cos}\ \theta = \frac{1}{\sqrt{1 + 3(\frac{1-r}{1+r})^2}} \longrightarrow \textbf{(1-10)}$$

إذ إن:

$$r = \frac{P_1}{P_2} = \frac{\text{قراءة الجهاز الاول}}{\text{قراءة الجهاز الثاني}} \longrightarrow \textbf{(1-11)}$$

مثال (1-14)

حمل ثلاثة أطوار متوازن قيست قدرته بوساطة جهازي قياس القدرة فكانت قراءة الجهاز الاول (5) كيلو واط وقراءة الجهاز الثاني (5) كيلو واط ايضاً، فما مقدار القدرة الكلية؟ ومامقدار معامل القدرة؟

المعطيات: حمل ثلاثة اطوار متوازن

$W_1=5KW$, $W_2=5KW$, $P_T=?$, $Cos\theta=?$

الحل:

$$P_T = P_1 + P_2 = 5 + 5 = 10\ Kw$$

$$\text{Cos}\ \theta = \frac{1}{\sqrt{1 + 3(\frac{1-r}{1+r})^2}}$$

$$r = \frac{P_1}{P_2} = \frac{5}{5} = 1$$

$$\text{Cos}\ \theta = \frac{1}{\sqrt{1 + 3(\frac{1-1}{1+1})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 3 \times 0}} = \frac{1}{\sqrt{1}} = 1$$

مثال (15-1)

حمل ثلاثة أطوارغير متوازن قيست قدرته بوساطة جهازي قياس القدرة فكانت قراءة الجهاز الاول (5) كيلو واط وقراءة الجهاز الثاني (0.5) كيلو واط عند تغيير إتجاه التيار في الجهاز الثاني،جد القدرة المصروفة ومعامل القدرة؟

المعطيات: حملثلاثةاطوار غير متوازن

$W_1=5kw,\ W_2=-0.5\ kw,\ 1\text{-}P_T=?,\ 2\text{-}\ Cos\theta=?$

الحل:

$$P_T = P_1 + (-P_2) = 5 + (-0.5) = 5 - 0.5 = 4.5\ Kw$$

$$Cos\ \theta = \frac{1}{\sqrt{1 + 3(\frac{1-r}{1+r})^2}}$$

$$r = \frac{P_1}{P_2} = \frac{5}{-0.5} = -10$$

$$Cos\ \theta = \frac{1}{\sqrt{1 + 3(\frac{1-(-10)}{1+(-10)})^2}}$$

$$Cos\ \theta = \frac{1}{\sqrt{1 + 3(\frac{1+10)}{1-10)})^2}}$$

$$Cos\ \theta = \frac{1}{\sqrt{1 + 3(\frac{11)}{-9)})^2}}$$

$$Cos\ \theta = \frac{1}{\sqrt{1 + 3(-1.22)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 3 \times 1.48}}$$

$$Cos\ \theta = \frac{1}{\sqrt{1 + 4.44}} = \frac{1}{\sqrt{5.44}} = \frac{1}{2.33} = 0.4$$

أسئلة الفصل الأول

س1: بماذا يمتاز نظام الثلاثة أطوار؟

س2: ما المقصود بالتحميل المتماثل او المنتظم؟

س3: كيف تربط الملفات على شكل نجمة؟ وكيف يمكن معرفة جهد الخط وجهد الطور؟

س4: إثبت إن ($V_L = \sqrt{3}\ V_{ph}$) في ربط النجمة مع الرسم؟

س5: إشرح كيفية ربط الملفات على شكل مثلث مع الرسم؟

س6: إثبت رياضياً إن ($I_L = \sqrt{3}\ I_{ph}$) في ربط المثلث مع الرسم؟

س7: ما مقدار التغير في مقدار التيار للخط عند تغيير الربط من ستار الى دلتا؟مع الاثبات.

س8: ثلاث مقاومات طبيعية متساوية قيمة كل منها (44) اوم ربطت على شكل نجمة بمصدر جهد للتيار المتناوب مقداره (380) فولتاً و (50) هيرتزاً.إحسب:-

1-التيار المار في كل مقاومة

2-التيار المار في كل مقاومة عند تغيير الربط الى دلتا

ج1- $I_Y = 5A$

2- $I_\Delta = 8.8\ A$

س9: عدد طرائق قياس القدرة المعروفة في نظام الثلاثة أطوار؟

س10: متى تستعمل ثلاثة أجهزة لقياس القدرة في نظام الثلاثة أطوار؟ ومامميزاته؟ اشرح ذلك مع الرسم.

س11: إشرح الطريقة المتميزة في نظام قياس القدرة لنظام الثلاثة أطوار؟مع رسم التوصيلة.

س12: ثلاث مقاومات متساوية (طبيعية) قيمة كل منها (60) اوماً، ربطت على شكل مثلث بجهد للتيار المتناوب مقداره (300) فولت،(50) هيرتزاً، فما مقدار القدرة المستهلكة في الدائرة والقدرة المستهلكة في حالة النجمة؟

$P_Y = 1500\ W$ و ج$P_\Delta = 4500W$

س13: ثلاث مقاومات طبيعية مختلفة قيمة الثانية ضعف الاولى والثالثة ضعف الثانية، إحسب كل منها إذا علمت إن القدرة المصروفة للمقاومات الثلاثة (48400) واط عند ربطها على شكل دلتا؟ وقيمة المصدر $220V$

$\frac{7}{4}\ \Omega = R_{ph1}$

$\frac{14}{4}\ \Omega = R_{ph2}$

$\frac{28}{4}\ \Omega = R_{ph3}$

س14: وصلت اربعة محركات ذات ثلاثة أطوار بمصدر (380) فولتاً وتردده (50) هيرتزاً وكانت المحركات كلها موصلة على شكل نجمة والتيار الذي يسحبه كل محرك (10) أمبيرات،أحسب القدرة المصروفة للمحركات الأربعة إذا علمت إن معامل القدرة لكل محرك(0.8)؟ علما إن $\sqrt{3}$ =1.7

ج-P=20672 W

س15: ثلاثة ملفات متساوية،المقاومة الطبيعية لكل ملف (20) أوماً موصلة على شكل نجمة الى مصدر للتيار المتناوب جهده (380) فولتاً، (50) هيرتزاً، ومعامل القدرة (0.8) أحسب :

1-معامل الحث الذاتي للملف

2-القدرة المصروفة

ج- L=0.04 Hen

P=4646 W

س16: إحسب معامل القدرة لمحرك ثلاثة أطوار موصل على شكل مثلث، ويعمل على مصدر جهد (380) فولتاً ويصرف قدرة مقدارها (10) كيلو واط إذا علمت إن التيار الذي يسحبه المحرك (19) أمبيراً؟

ج - COSØ=0.8

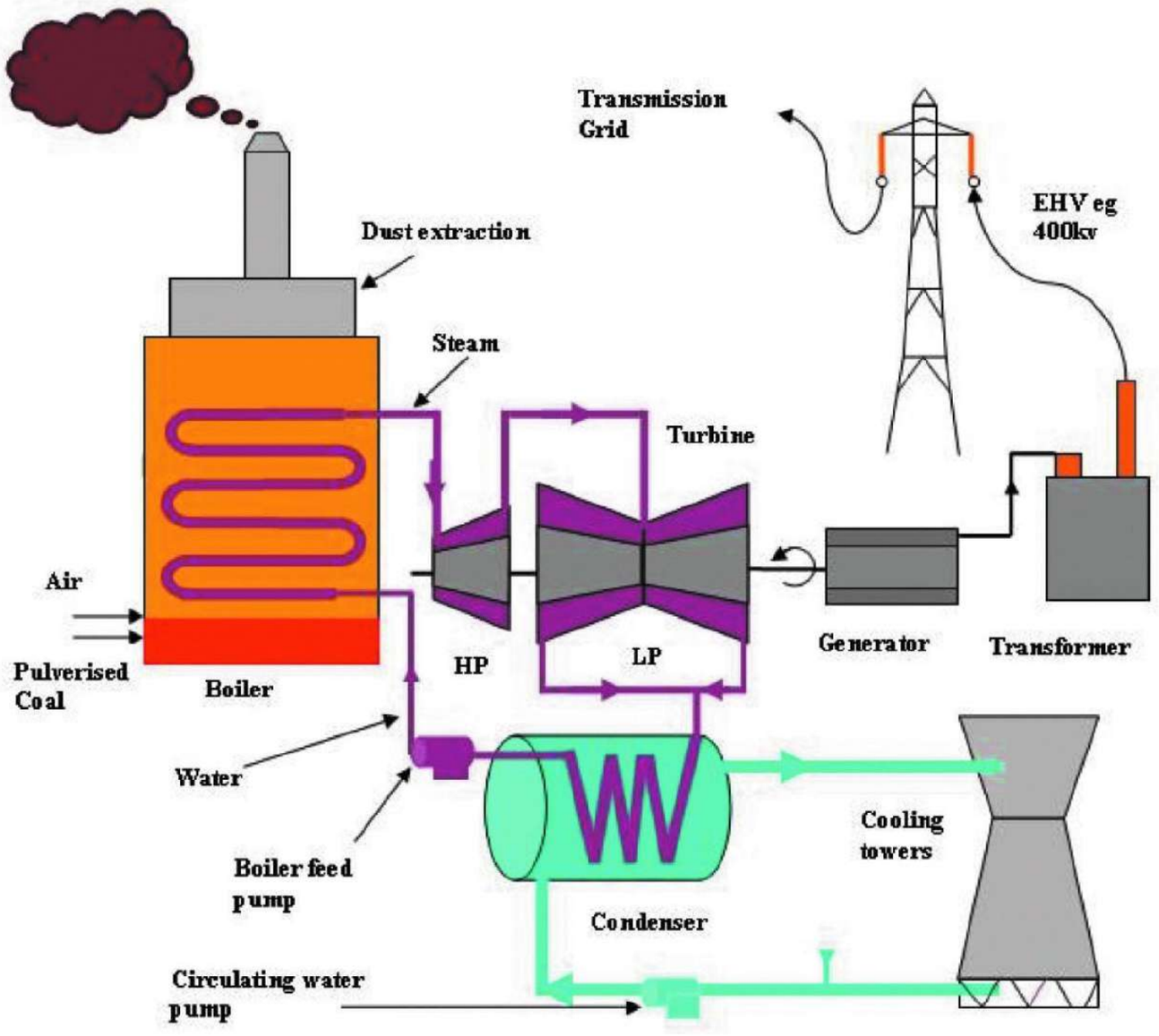
س17: قيست قدرة حمل ثلاثة أطوار باستعمال جهازي قياس القدرة فكانت قراءة كل جهاز (20) كيلو واط.إحسب التيار الذي يسحبه الحمل إذا علمت ان المصدر الذي يعمل عليه الحمل (400) فولت؟

ج- IL=58.8 A

س18: كيف تثبت ان القدرة في توصيلة النجمة تساوي ثلث القدرة في توصيلة المثلث.

الفصل الثاني

توليد الطاقة الكهربائية



الأهداف

عزيزي الطالب بعد اكمالك هذا الفصل ستكون قادرا على ان:

1- تميز بين محطات توليد الطاقة الكهربائية.
2- تفهم طريقة نقل الطاقة الكهربائية.
3- تعرف انواع المولدات ثلاثية الاطوار.
4- تفهم ماهي وحدات توليد الطاقة الكهربائية.
5- تفهم فائدة عمليات التوافق.
6- تتطرق الى انواع مصادر الطاقة.
7- تفهم معنى تحسين معامل القدرة والفائدة منها.

الفصل الثاني

توليد الطاقة الكهربائية

Generation of electrical Energy

(2-1) تمهيد

يستخدم التيار المتناوب في الحياة العملية بشكل واسع ويتم توليد هذا التيار بوساطة مولدات التيار المتناوب (المتغير) والذي يعتمد أساس عملها على نظرية (فرداي)، كما موضح في الشكل رقم (2-1)، التي تنص على أنه (إذا حُرّك سلك موصل قاطعاً مجالاً مغناطيسياً،تتولد في الموصل قوة دافعة كهربائية، يعتمد مقدارها على سرعة قطع المجال المغناطيسي وطول السلك وكثافة الفيض المغناطيسي)، وكما في المعادلة (2-1) :

$$E = B\ L\ v\ Sin\ \theta$$

اذ أن :

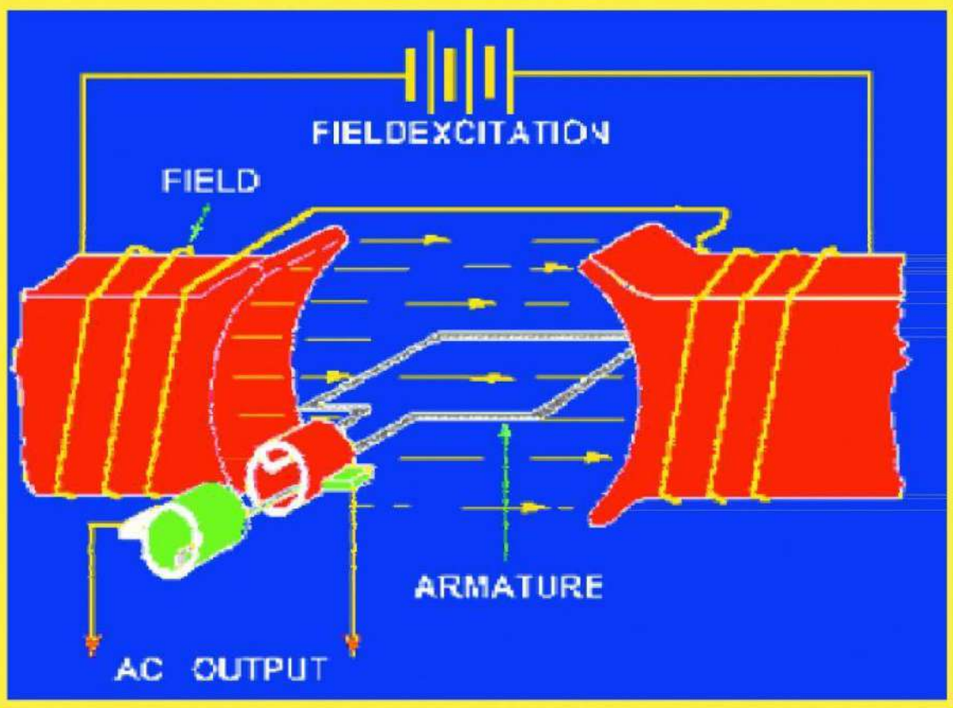
E- ق.د.ك وتقاس بالفولت.

B- كثافة الفيض المغناطيسي وتقاس بالويبر /م2 او (تسلا).

L- طول السلك ويقاس بالمتر.

V- سرعة قطع الموصل للمجال المغناطيسي متر / ثانية .

$\sin\ominus$ - جيب الزاوية المحصورة بين السلك الموصل والمجال المغناطيسي.



شكل رقم (2-1) يوضح كيفية توليد ق. د. ك.

(2-2) المولدات التوافقية ثلاثية الأطوار : Synchronous Three phases Generators

تسمى بالمولدات التوافقية بسبب وجود علاقة مباشرة بين تردد التيار فيها وسرعة دورانها كما مبين في العلاقة أدناه:

$$n_s = \frac{60f}{p} \quad r.p.m$$

اذ أن:

ns- السرعة التوافقية للمولد (سرعة المجال المغناطيسي الدوار). وتقاس بوحدات دورة/دقيقة (r.p.m)

f- تردد المصدر ويقاس الذبذبة/الثانية أو (هيرتز).

P- عدد ازواج الأقطاب.

(2-2-1) تنقسم المولدات التوافقية على نوعين حسب موضع ملفات الأقطاب المغناطيسية:

(ا) مولدات ذات أقطاب خارجية: وتتكون من الأجزاء الرئيسة الآتية:

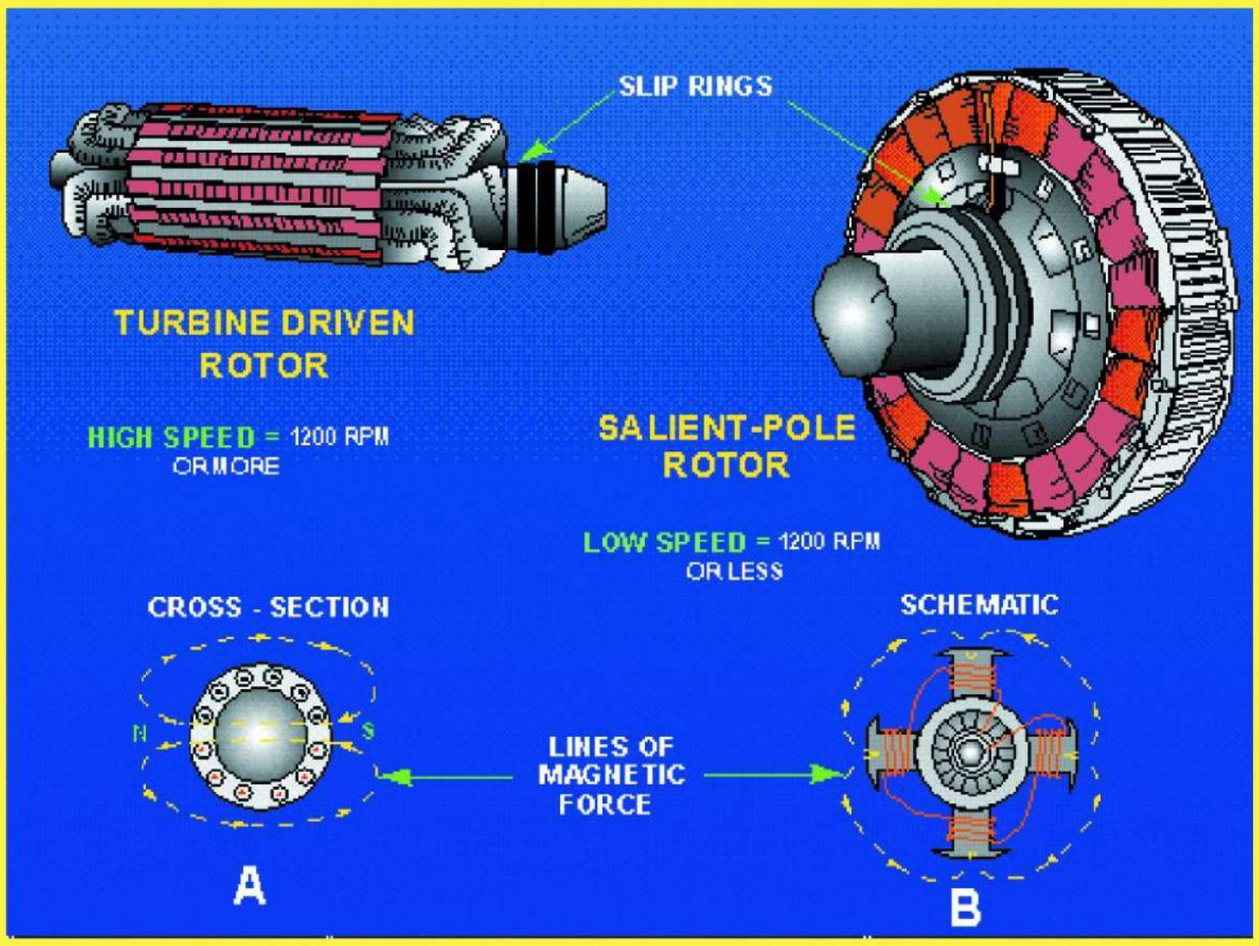
1- الساكن (Stator) : يحتوي على ملفات الأقطاب المغناطيسية التي تغذى بصورة مباشرة من مصدر خارجي للتيار المستمر عن طريق نقاط توصيل واقعة على الغطاء الخارجي الساكن.

2- الدوار (Rotor) : يحتوي على الملفات الرئيسة التي تتولد فيها القوة الدافعة الكهربائية ويكون عددها ملفاً واحداً في حالة الطور الواحد وثلاثة في حالة الثلاث أطوار وتوصل أطرافها بحلقات إنزلاقية وتكون اثنين في الطور الواحد وثلاثة اوأربعة في حالة الثلاث اطوار واقعة على محور دوران الدوار تنزلق عليها الفرش الكاربونية يتم من خلالها نقل التيار المتولد في ملفات الجزء الدوار الى الحمل الخارجي.

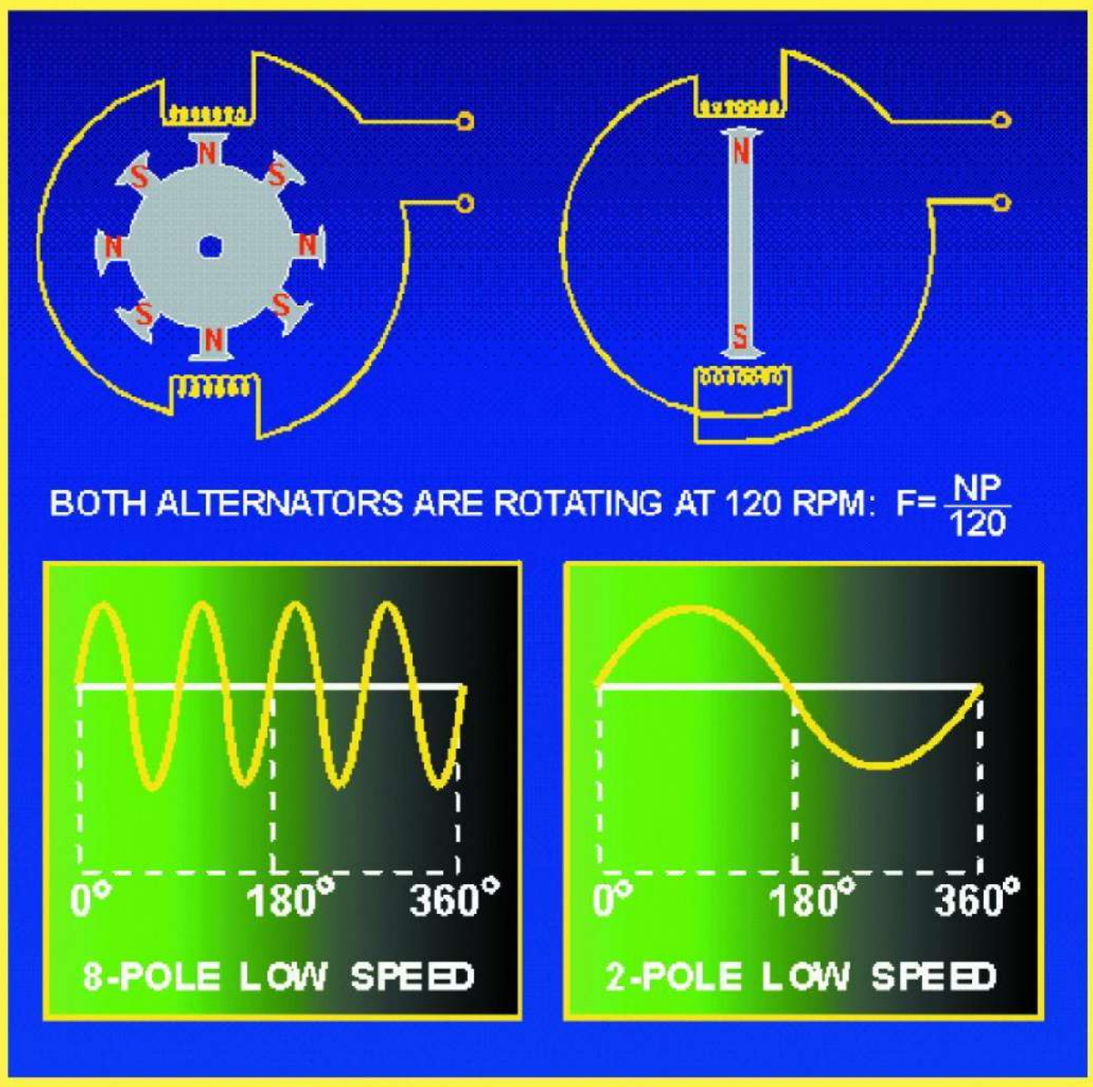
(ب) مولدات ذات أقطاب داخلية: وتتكون من الأجزاء الرئيسة الآتية:

1-الساكن: يحتوي على الملفات الرئيسة التي تتولد فيها القوة الدافعة الكهربائية وتوصل أطرافها بنقاط توصيل واقعة على الغطاء الخارجي للساكن، حيث يتغذى الحمل مباشرة من نقاط التوصيل.

2- الدوار: يحتوي على ملفات الأقطاب المغناطيسية التي تغذى من مصدر خارجي للتيار المستمر عن طريق حلقتين إنزلاقيتين مثبتة فوقهما فرشتين كاربونيتين لنقل التيار من المصدر الخارجي الى الملفات الرئيسة. الشكل رقم (2-2) يوضح المولدة ذات الاقطاب المحمولة على الدوار. والشكل (2-3) يوضح عدد الاقطاب والموجة المتولدة.



الشكل رقم (2-2) يوضح الدوار في المولدات التوافقية ذات الاقطاب الداخلية



الشكل رقم (2-3) يوضح عدد الاقطاب والموجة المتولدة للمولدات ذات الاقطاب المحمولة على الدوار

يتضح من العلاقة (2-2) أهمية كبرى في إنتشار المولدات التوافقية لإنتاج الطاقة الكهربائية حيث يمكن تحديد التردد بقيمة ثابتة وفقاً للمواصفات القياسية مثل (50) ذ/ثا كما في العراق أو (60) ذ/ثا في بعض البلدان الاخرى.

ويحدد التردد بالسيطرة على سرعة دوران المولد باستعمال منظومات أتوماتيكية تزيد او تقلل كمية البخار المتدفق الى التوربين البخاري أو كمية الماء المتدفقة الى التوربين المائي.وهذه العملية تسمى بتنظيم التردد.

يفضل إستعمال مولدات التيار المتناوب (المتغير) ذات الأقطاب الداخلية على الخارجية وذلك لسهولة نقل القوة الدافعة الكهربائية الى الحمل الخارجي لانها تتولد في الجزء الساكن فلا تحتاج الى وسائل ميكانيكية وفنية معقدة وكذلك الى عوازل ضخمة لتحمل الجهد العالي.ويمكن صنع مولدات ذات قدرات عالية.

(2-2-2) (محطة) توليد الطاقة الكهربائية: Electric Power Station

تحتوي على الأجزاء الرئيسة الآتية:-

1- المولد التوافقي:يستعمل لانتاج القدرة الكهربائية.

2- التوربين (Turbin) يعمل على تدوير الجزء الدوار للمولد التوافقي.

أما أن يكون توربين مائياً أو بخارياً أو هوائياً (بوساطة الرياح).

3- المغذي:يستعمل لتغذية ملفات الأقطاب المغناطيسية للمولد التوافقي

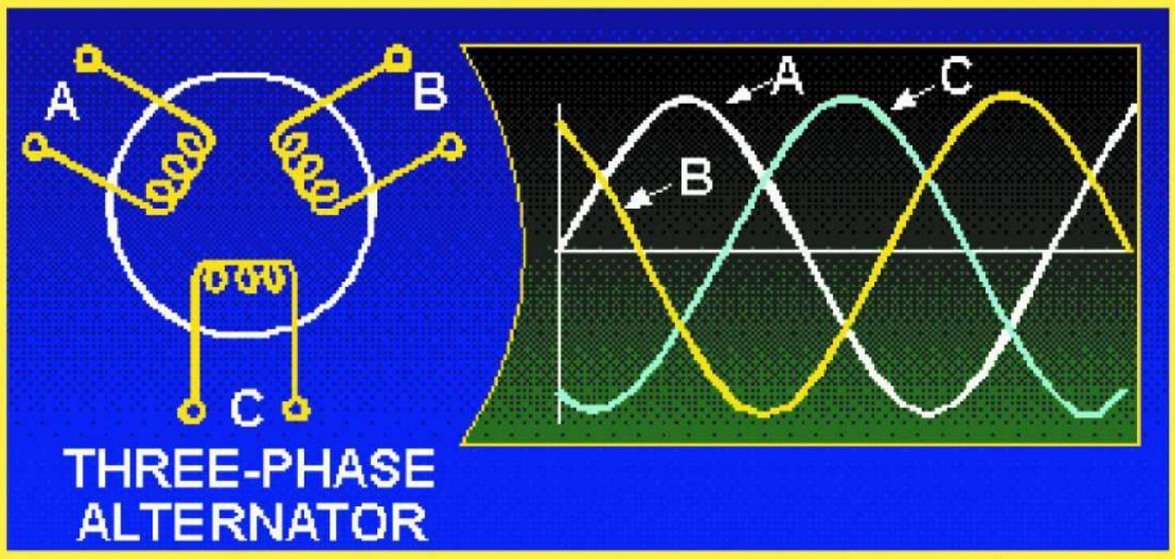
وهو عبارة عن مولد تيار مستمر (توزاي الربط) لأن ق.د.ك فيه تقريباً ثابتة.

(2-2-3) ربط المولدات الى شبكات التغذية:

لايمكن بناء مولد واحد بقدرة كبيرة جداً لسد حاجة المستهلك من الطاقة الكهربائية وعلى هذا الأساس يتم تقسيم الحمل على عدد كبير من المولدات تبنى على شكل وحدات متكاملة في محطات الطاقة الكهربائية حيث تُشغل وفقا للحاجة.

وتتوزع محطات الطاقة الكهربائية في مناطق عديدة ليسهل توزيع الطاقة على المستهلك بشكل إقتصادي وبكفاءة عالية، وتتصل المولدات التي تغذي الشبكة كلها فيما بينها بالتوازي،ولغرض توصيل المولدات مع بعضها بالتوازي ومع الشبكة يتطلب توفير شروط خاصة بذلك.

لان التيار المتناوب له موجة جيبية تتغير قيمتها بين لحظة واخرى، من قيمة عظمى موجبة الى قيمة عظمى سالبة، كما موضح في الشكل رقم (2-4).



شكل رقم (2-4) يوضح مولد توافقي ثلاثة اطوار مع ثلاث موجات متفاوتة فيما بينها بزاوية 120°.

(2-2-4) الشروط التى يجب ان تتوافر عند ربط المولدات على التوازي بعضها ببعض او مع الشبكة:

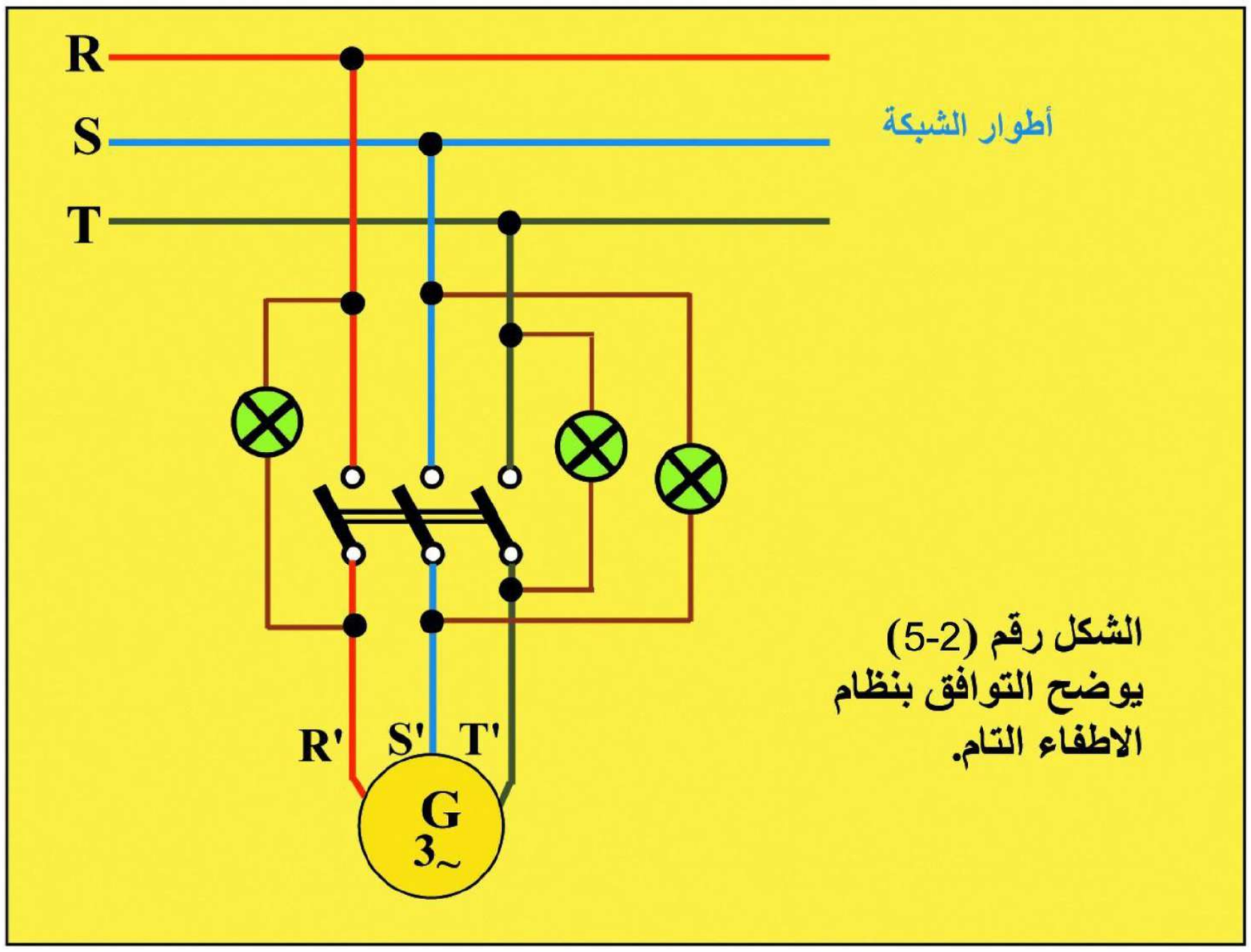
1- يجب ان يتساوى جهد المولد المراد توصيله الى الشبكة مع جهد الشبكة ويمكن معرفة ذلك باستعمال جهاز (الفولت ميتر).

2- يجب ان يتساوى تردد موجة التيار للمولد المضاف الى الشبكة بالتردد الموجود في الشبكة، ويمكن قياسه بوساطة جهاز قياس التردد.

3- يجب ان تكون موجة الجهد الناشئة من المولد المضاف متفقة مع موجة الجهد للشبكة، اي ان الزاوية بين الموجتين يجب ان تكون صفراً. ولبيان توافق موجتي المولد والشبكة تجرى احدى عمليات التوافق الآتية:-

أ- التوافق بنظام الاطفاء التام:

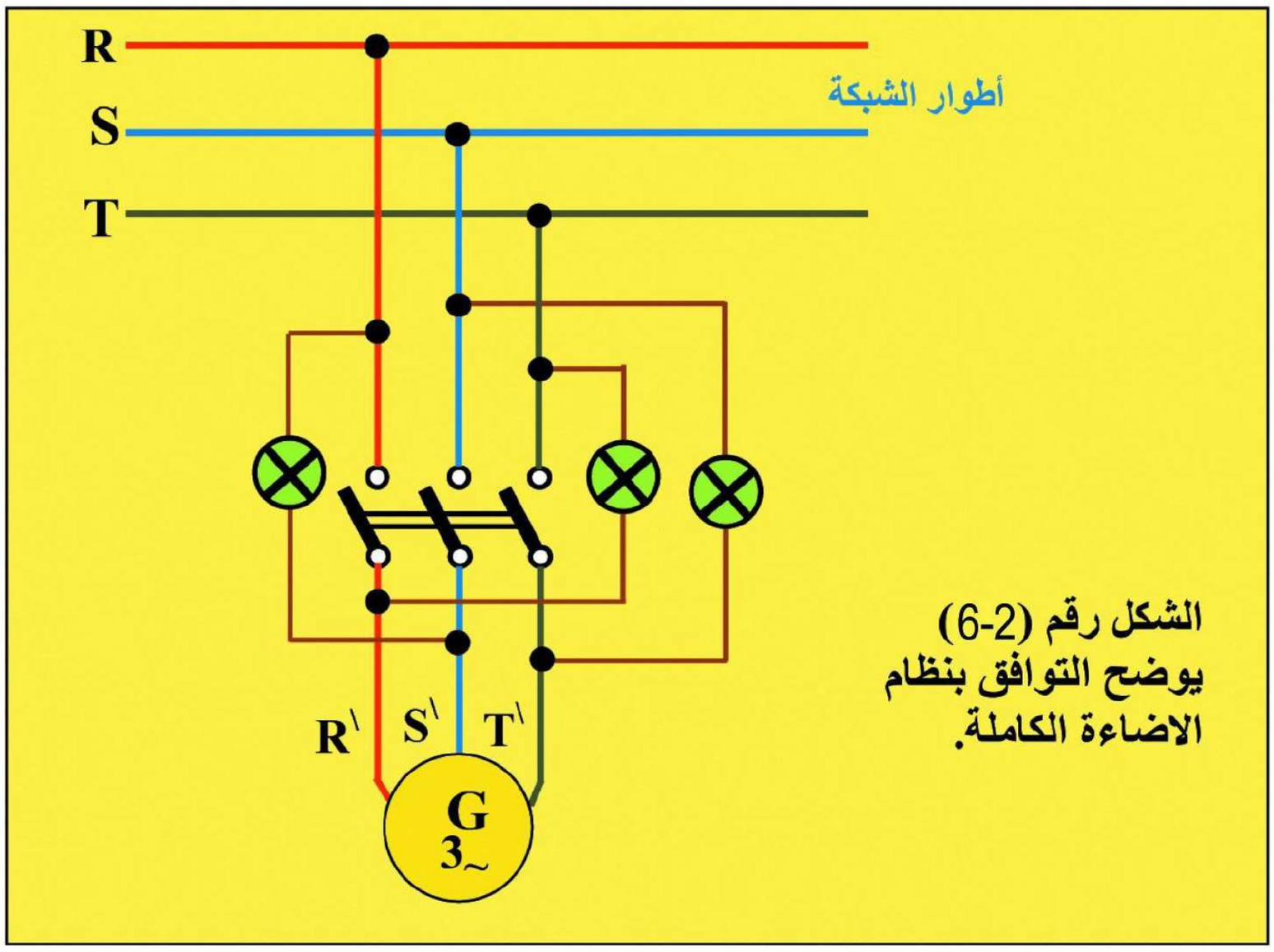
يوصل على كل طور مصباح يقع بين المولد والشبكة كما موضح في الشكل رقم (2-5) يتحمل المصباح جهداً يساوي ضعف جهد المولد، فعند إختلاف موجتي المولد والشبكة يتوهج المصباح ثم يبدأ بالانخفاض الى أن يكون في حالة الاطفاء التام، يعني ان هنالك توافقاً بين أطوار المولد وأطوار الشبكة، في هذا الوقت يمكن توصيل المولد مع خطوط الشبكة بوساطة مفتاح خاص.



الشكل رقم (2-5)
يوضح التوافق بنظام
الاطفاء التام.

ب- التوافق بنظام الاضاءة الكاملة (المصابيح المضيئة):

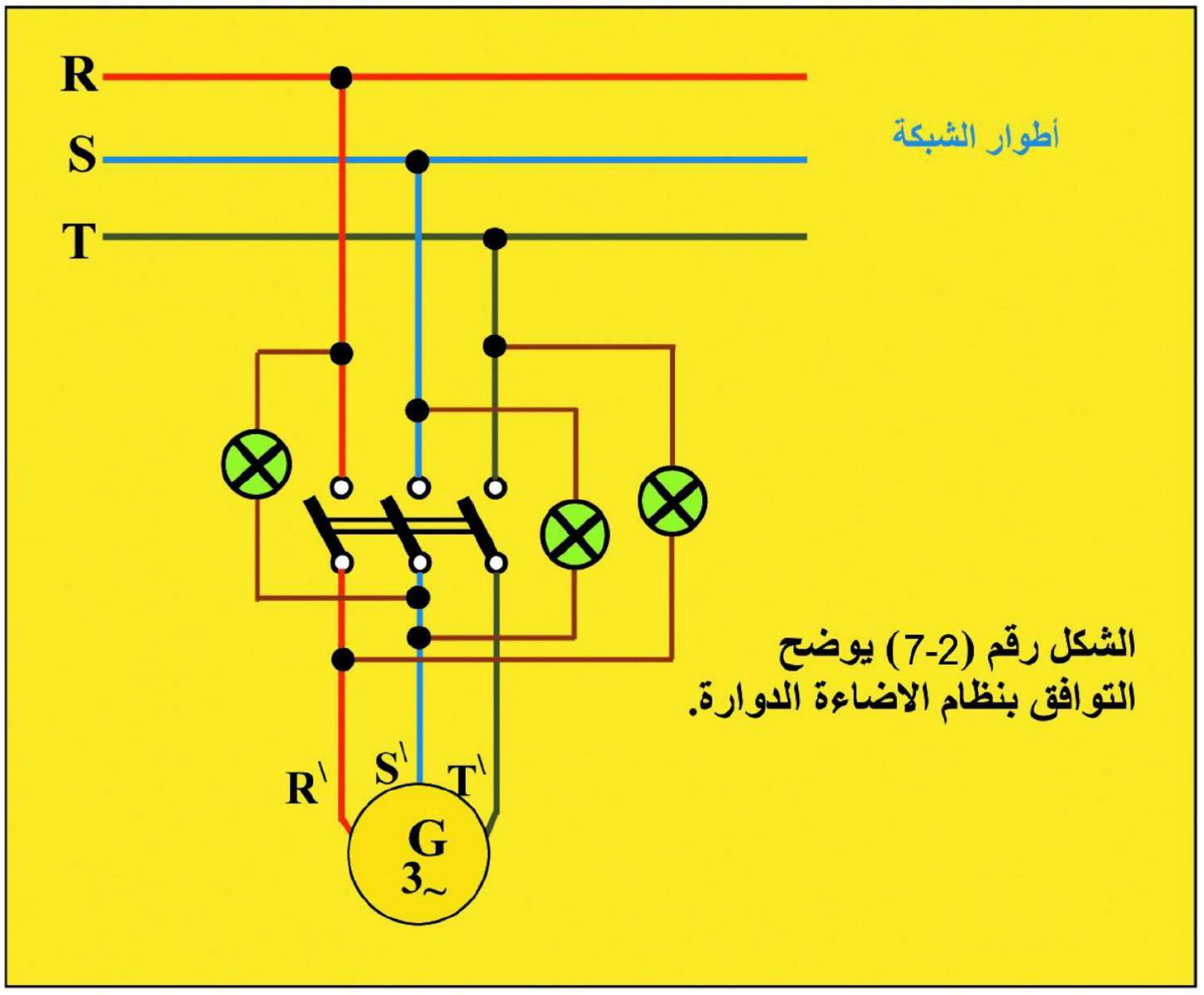
يوصل طرفي المصباح بين خطين مختلفين لكل من الشبكة والمولد، كما موضح في الشكل رقم(2-6)، فأن وجد هنالك إختلاف في الأطوار فهذا يؤدي الى إضاءة المصابيح، والعكس يقلل من إضاءة المصابيح، وتفضل هذه الطريقة على الطريقة السابقة بسبب إمكانية تمييز شدة توهج المصابيح بالعين المجردة.



الشكل رقم (2-6)
يوضح التوافق بنظام
الاضاءة الكاملة.

جـ- التوافق بنظام الاضاءة الدوارة (النظام المختلط):

يوصل احد المصابيح عن طريقة نظام الاطفاء والمصباحين الآخرين عن نظام الاضاءة. كما موضح في الشكل رقم (2-7)، ستكون الاضاءة في المصابيح الثلاثة متعاقبة وتحت جهود مختلفة أي إنها تضيء وتنطفيء بشكل متعاقب. وتبدو كأنها تدور، فعندما ينطفىء المصباح ويتوهج المصباحان الآخران بشدة واحدة، يعني توافق الأطوار بين المولد والشبكة وفي هذا الوقت يمكن توصيل المفتاح الى خطوط الشبكة.



الشكل رقم (2-7) يوضح التوافق بنظام الاضاءة الدوارة.

يضاف المولد الجديد الى الشبكة عند حمل الذروة وهو أعلى حمولة على منظومة التوليد.

(2-3) مصادر الطاقة (Sourses of Energy)

سبق ان تطرقنا في المرحلة الاولى الى مصادر الطاقة، والتي تستهلك في محطات توليد الطاقة الكهربائية بحسب نوع المحطة، والتي سنتطرق لانواعها بشكل مفصل في هذه المرحلة، مما يتطلب تذكير باهم مصادر الطاقة المستعملة حالياً والمتوقع أن يكون لها شأن في توفير الطاقة للبشرية هي:

شكل رقم (2-8) يوضح مصادرالطاقة.

1-الوقود الاحفوري ويتمثل في الفحم والنفط والغاز الطبيعي ويختزن هذا الوقود (طاقة كيميائية) يمكن االاستفادة منها عند حرقه والوقود الاحفوري هو مصدر الطاقة الرئيس حيث يسهم بما يربو على 90% من الطاقة المستعملة اليوم، ولأنه مصدر قابل للنضوب وبسبب مشكلات التلوث فأن البحث حثيثاً لتوفير مصادر أخرى للطاقة وتطويرها، كما في الشكل رقم (2-8).

2-المصادر الميكانيكية: وتمثل مساقط المياه والسدود وحركة (المد والجزر) وطاقة الرياح ولذا تقوم محطات توليد الكهرباء عند السدود والشلالات ومناطق المد العالي وربوع الرياح الشديدة لاستغلال قوة الدفع الميكانيكية في تشغيل التوربينات.

3-الطاقة الشمسية: يستفاد منها عبر التسخين المباشر في عمليات تسخين المياه والتدفئة والطهي كما يمكن تحويلها مباشرة الى طاقة كهربائية بوساطة الخلايا الشمسية.

4-غاز الهيدروجين: يمثل نوعا مهما من أنواع الوقود وهو مرشح لان يكون له دور كبير في تأمين الطاقة في المستقبل وقد ظهرت سيارات تعمل على غاز الهيدروجين ومن مخلفات هذه العملية الماء فقط أي أن (خلايا الوقود) لاتسهم في تلويث البيئة.

5-الطاقة النووية: تنتج عن (الإنشطار النووي) في المفاعلات النووية، تستعمل في توليد الطاقة الكهربائية وأبرز سلبياتها (النفايات المشعة) الناتجة ومشكلة التخلص منها، وضوابط السلامة العالية اللازمة لمنع إنفجار المفاعل أو تسرب الاشعاعات منه.

يمكن تصنيف الطاقة على نوعين :-

أ- الطاقة التقليدية أو المستنفذة: وتشمل الفحم والبترول والمعادن والغاز الطبيعي والمواد الكيميائية وهي مستنفذة لأنها لايمكن صنعها ثانية.

ب- الطاقة المتجددة البديلة: وتشمل طاقة الرياح والهواء والطاقة الشمسية وطاقة المياه أو الأمواج والطاقة الجوفية في باطن الأرض وهي طاقات لاتنضب.

(2-4) طرائق توليد الطاقة الكهربائية: Generation of Electric Energy

أن عملية توليد الطاقة الكهربائية أو إنتاجها هي في الحقيقة عملية تحويل الطاقة من شكل الى آخر، حسب مصادر الطاقة المتوافرة في مراكز الطلب على الطاقة الكهربائية، وحسب الكميات المطلوبة. كما موضح في الشكل رقم (2-9)، الامر الذي يحدد انواع محطات التوليد وكذلك انواع الاستهلاك وانواع الوقود ومصادره، هذه كلها تؤثر في تحديد نوع المحطة ومكانها وطاقتها.

شكل رقم (2-9) يوضح التوربين في محطة التوليد

(1-4-2) أنواع محطات التوليد:

1-محطات التوليد البخارية.

2-محطات التوليد النووية.

3-محطات التوليد المائية.

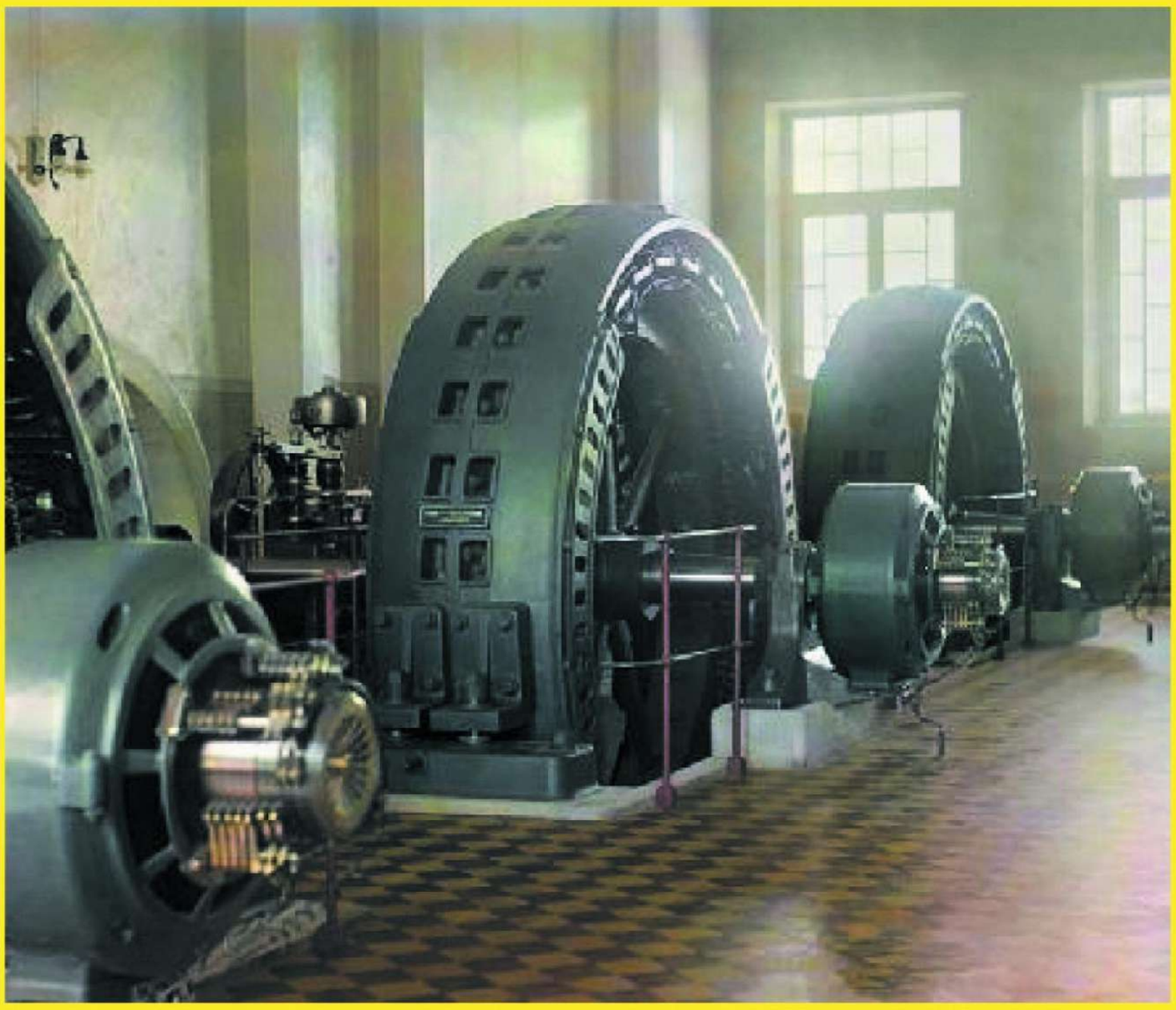
4-محطات التوليد ذات الاحتراق الداخلي.

5-محطات التوليد بوساطة الرياح.

6-محطات التوليد بالطاقة الشمسية.

أولاً: محطات التوليد البخارية:

تستعمل أنواع مختلفة من الوقود مثل الفحم الحجري او البترول السائل أو الغاز الطبيعي أو الصناعي، تمتاز هذه المحطات بكبر حجمها ورخص تكاليفها، فضلاً على أمكانية إستعمالها لتحلية المياه المالحة، ما يجعلها ثنائية الانتاج خاصة في البلاد التي تقل فيها مصادر المياه العذبة.



شكل (2-10) يوضح الدوار لمولد تيار متناوب في محطة توليد بخارية

أ- إختيار مواقع المحطات البخارية:

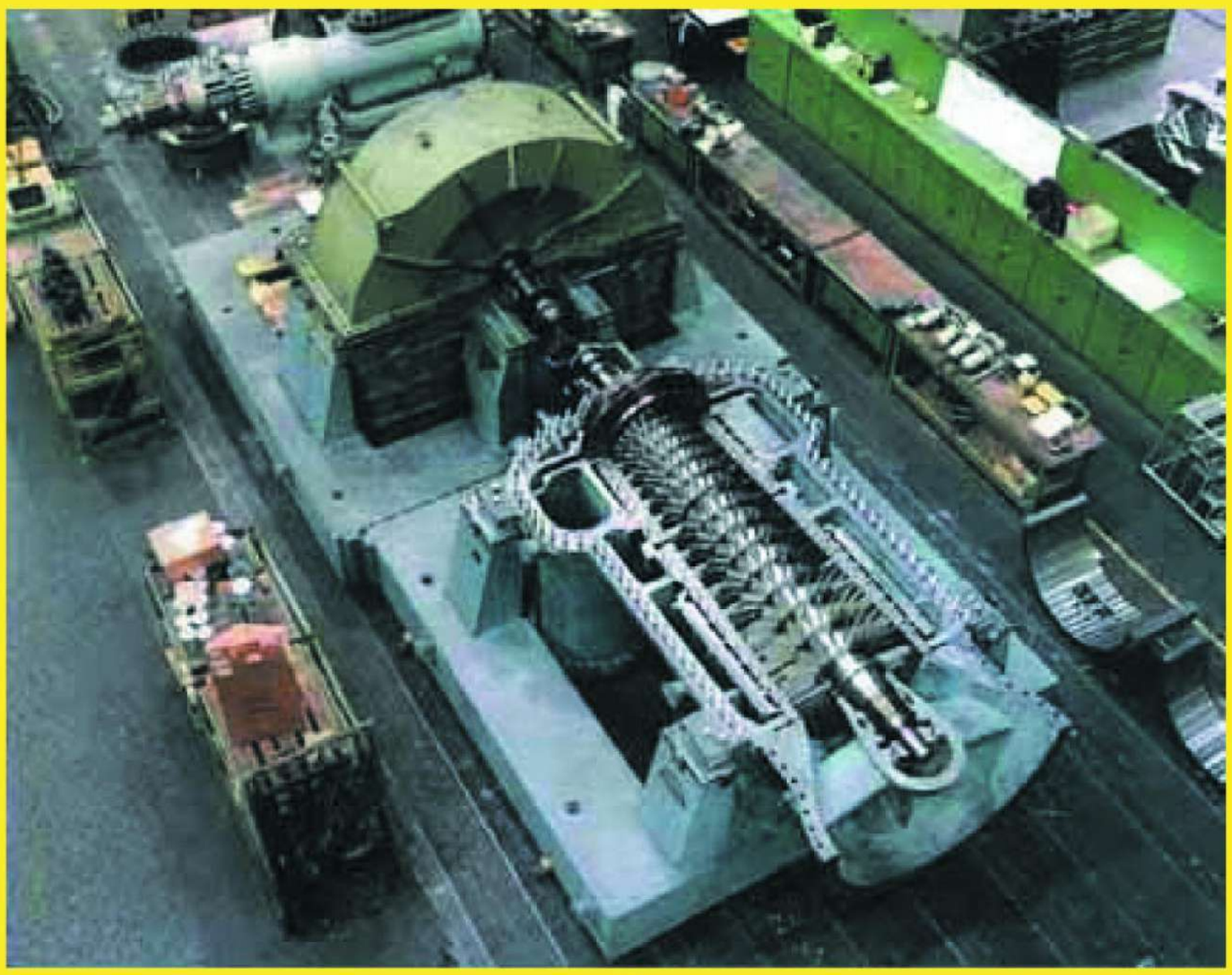
تتحكم في إختيار المواقع المناسبة لمحطات التوليد (البخارية) عدة عوامل مؤثرة نذكر منها الاتي:-

1- القرب من مصادر الوقود وسهولة نقله الى هذه المواقع وتوافر وسائل النقل الاقتصادية.

2- القرب من مصادر المياه لان المكثف يحتاج الى كميات كبيرة من مياه التبريد،لذلك تبنى المحطات عادة على شواطئ البحار أو بالقرب من الأنهار.

3- تبنى بالقرب من مراكز الاستهلاك (المدن والمجمعات الصناعية والتجارية) لتوفير تكاليف إنشاء خطوط النقل.

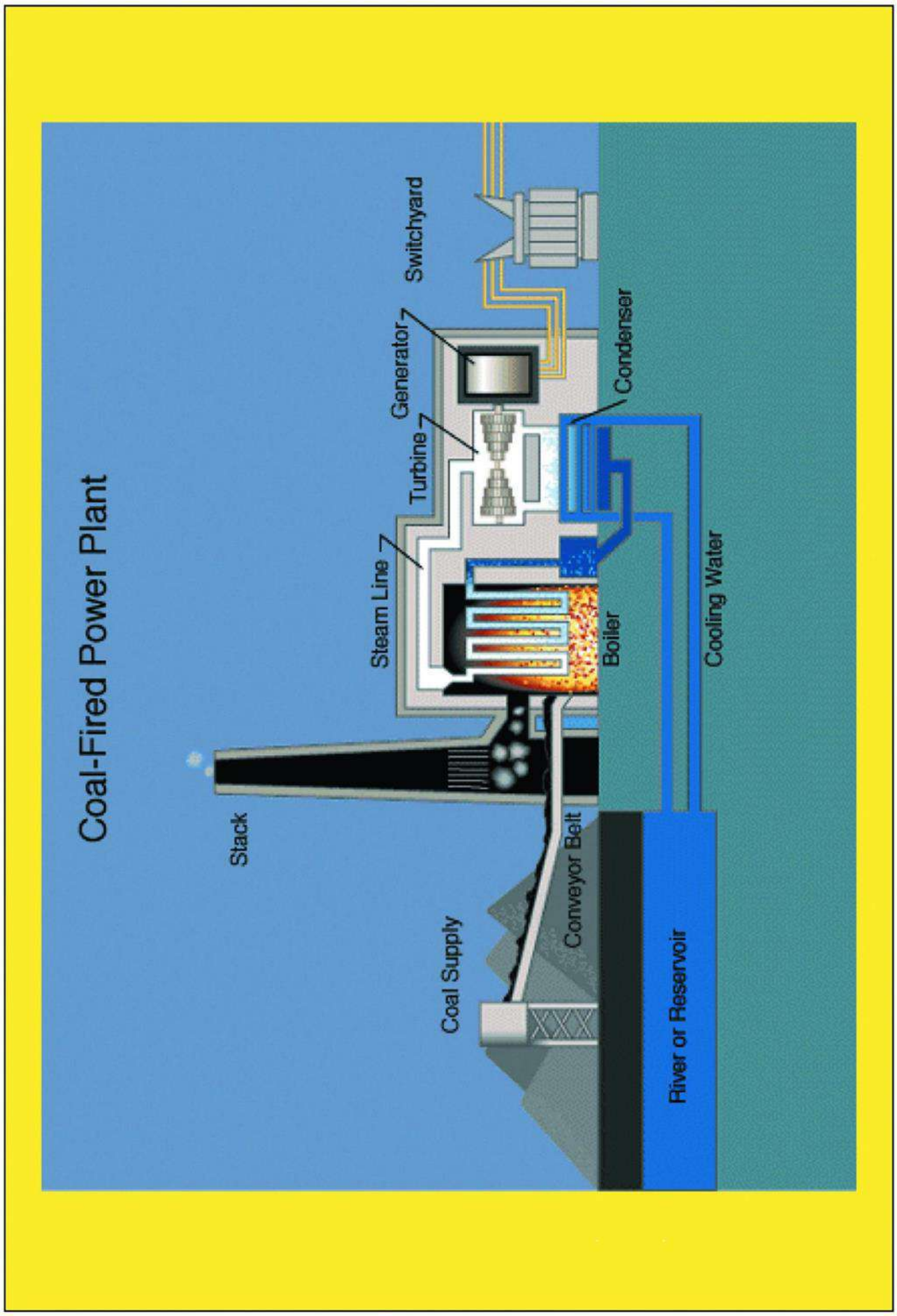
وتعتمد محطات التوليد البخارية، كما موضح في الشكل رقم (2-10)، على إستعمال نوع الوقود المتوفر وحرقه في أفران خاصة لتحويله الى طاقة حرارية يستفاد منها في تسخين المياه في المراجل (Boilers) وتحويلها الى بخار في درجة حرارة وضغط معينين لتسليط هذا البخار على توربينات بخارية صممت لهذه الغاية. وهذا البخار سيقوم بتدوير محور التوربينات وبذا تتحول الطاقة الحرارية الى طاقة ميكانيكية وبما أن المولد متصل اتصالاً مباشراً بمحور التوربين فانه سيدور بسرعة التوربين نفسها. كما موضح في الشكل رقم(2 - 11)، وستتولد القوة الدافعة الكهربائية على طرفي المولد، وتغذى ملفات الأقطاب المغناطيسية الموجودة في الجزء الدوار للمولد بتيار مستمر من مولد تيار مستمر خاص. ولاتوجد فوارق أساسية بين محطات التوليد البخارية التي تستعمل أنواع الوقود المختلفة.



شكل (2-11) محطة توليد بخارية يبين فيها التوربين وكيفية الاتصال المباشر بين محور الدوران بين التوربين والمولد.

ب- مكونات محطات التوليد البخارية:

تتألف محطات التوليد البخارية بصورة عامة من الاجزاء الرئيسة الاتية. كما موضح في الشكل رقم (2-12).



أ- الفرن Furnace

وهو وعاء كبير لحرق الوقود ويختلف شكل هذا الوعاء ونوعه وفقا لنوع الوقود المستعمل ويلحق به وسائل تخزين ونقل وتداول الوقود ورمي المخلفات الصلبة.

ب- المرجل Boiler

وهو وعاء كبير يحتوي على مياه نقية تُسخن بوساطة حرق الوقود لتتحول الى بخار، وتختلف أنواع المراجل حسب حجم المحطة وكمية البخار المنتج في وحدة الزمن.

جـ- التوربين Turbine

وهو عبارة عن مجموعة من المراوح يصطدم فيها البخار فيؤدي الى دورانها بسرعة عالية تصل الى (3000) د/د.

د- المولد الكهربائي Generator

وهو مولد كهربائي يتكون من عضو دوار مربوط مباشرة مع محور التوربين مثبتة عليه الأقطاب المغناطيسية لتدور داخل الجزء الثابت الذي يحتوي على الملفات الرئيسة التي تتولد فيها ق.د.ك.

هـ- المكثف Condenser

وهو وعاء كبير يدخل اليه من الأعلى البخار القادم من التوربين بعد أن يكون قد قام بتدوير التوربين، ومن أسفل المكثف توجد أنابيب لنقل المياه بعد أن كانت بخاراً لتعود مرة أخرى الى المراجل بوساطة مضخات خاصة.

و- المدخنة Chimney

وهي مدخنة من الآجر الحراري إسطوانية الشكل، مرتفعة جداً، لطرد مخلفات الإحتراق الغازية.

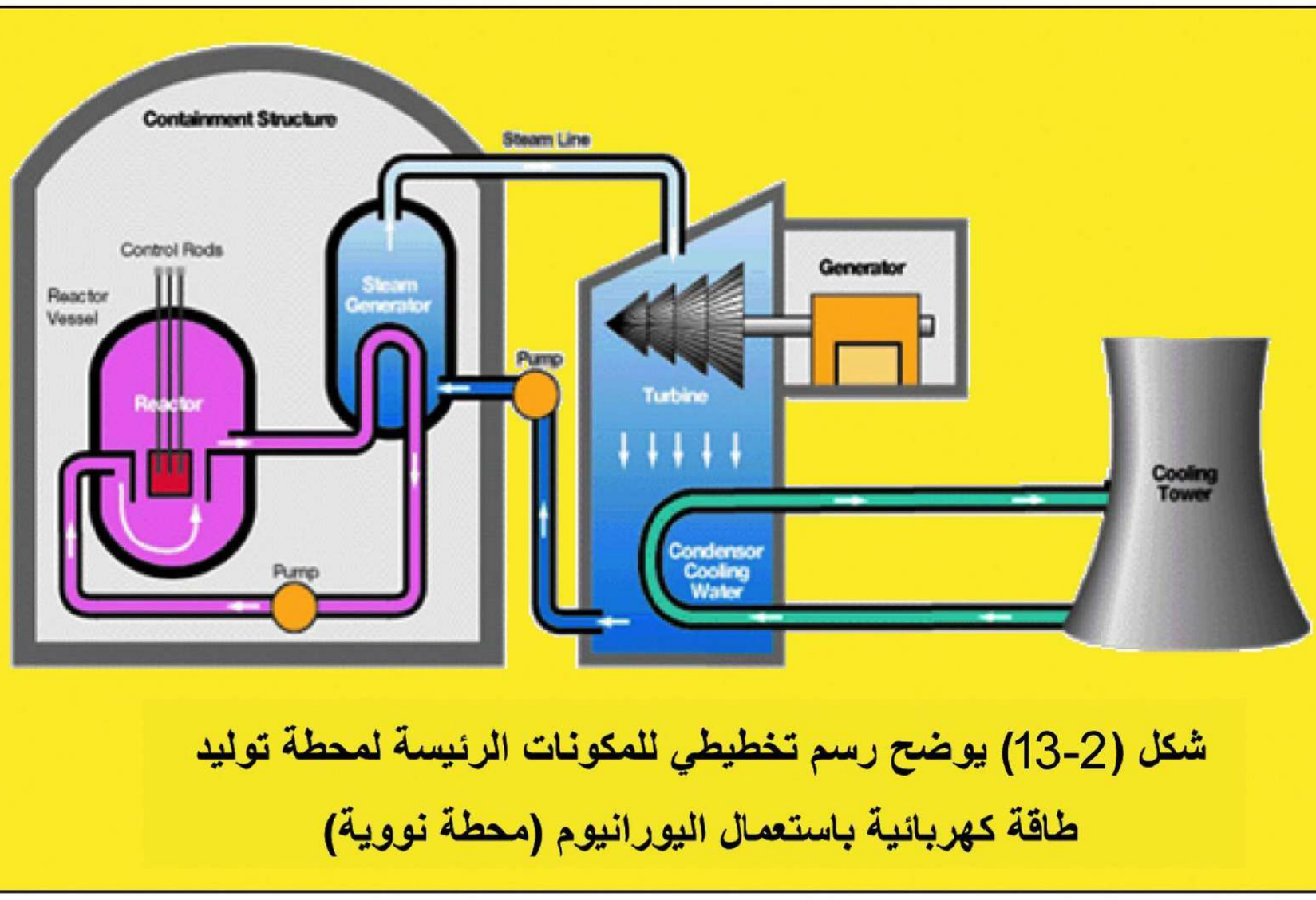
ز- الالآت والمعدات المساعدة

وهي عدد كبير من المضخات والمحركات الميكانيكية والكهربائية ومنظمات السرعة، وغيرها لتساعد في إتمام العمل في محطات التوليد.

ثانياً : محطات التوليد النووية Nuclear Power Stations

هي نوع من محطات التوليد الحرارية لأنها تعمل بالمبدأ نفسه، وهو توليد البخار بالحرارة وبالتالي يعمل البخار على تدوير التوربينات، التي ستقوم بتدوير الدوار من المولد الكهربائي، وتتولد الطاقة الكهربائية على أطراف الساكن من المولد.

وكما موضح في الشكل رقم (2-13).



شكل (2-13) يوضح رسم تخطيطي للمكونات الرئيسة لمحطة توليد طاقة كهربائية باستعمال اليورانيوم (محطة نووية)

والفرق في محطات التوليد النووية تكمن في وجود بدلاً من الفرن الذي يحترق فيه الوقود يوجد هنا مفاعل ذري تتولد فيه الحرارة نتيجة إنشطار ذرات اليورانيوم بضربات الألكترونات المتحركة في الطبقة الخارجية للذرة.

وتستغل هذه الطاقة الحرارية الهائلة في غليان المياه في المراجل وتحولها الى بخار ذي ضغط عال ودرجة مرتفعة جداً.

وتحتوي محطة التوليد النووية على الفرن الذري الذي يحتاج الى جدار عازل وواقي من الاشعاع الذري، وهو يتكون من طبقة من الآجر الناري وطبقة من المياه وطبقة الحديد الصلب ثم طبقة من الاسمنت تصل الى سمك مترين وذلك لحماية العاملين في المحطة والبيئة المحيطة من التلوث بالإشعاعات الذرية.

وقد أنشئت اول محطة توليد حرارية نووية في العالم في عام 1954 وكانت في (روسيا)، وبطاقة 5 ميكاواط.

ثالثاً : محطات التوليد المائية Hydraulic Power Stations

توجد المياه في أماكن مرتفعة كالبحيرات ومجاري الأنهار، ويمكن التفكير بتوليد الطاقة الكهربائية من مساقط المياه، إذا كانت طبيعة الأرض صلبة ومرتفعة.

كما موضح في الشكل رقم (2-14).

شكل رقم (2-14) شلالات يمكن الإستفادة منها في تدفق المياه وتحويلها الى طاقة ميكانيكية لتدوير المولد.

وإذا كانت طبيعة الأرض منبسطة فيمكن إقامة سدود، كما في الشكل رقم (2-15)، وتنشأ محطات التوليد بالقرب من السدود. كما هو الحال في مصر (السد العالي) أذ بُني بالقرب من محطة كهرباء ضخمة، بلغت قدرتها 1800 ميكاواط.

فالاستفادة من السدود المائية والشلالات المائية هو تسليط كمية المياه على التوربين المائي، الذي سيدور بسرعة كبيرة نتيجة تسليط المياه عليه، وهذا يعني تكون طاقة ميكانيكية على محور التوربين. وبما إن التوربين متصل مباشرة مع محور المولد فسوف يدور المولد

أيضا بسرعة التوربين نفسها، وبذلك ستتولد طاقة كهربائية على طرفي الجزء الثابت للمولد ويمكن نقلها الى المستهلك.

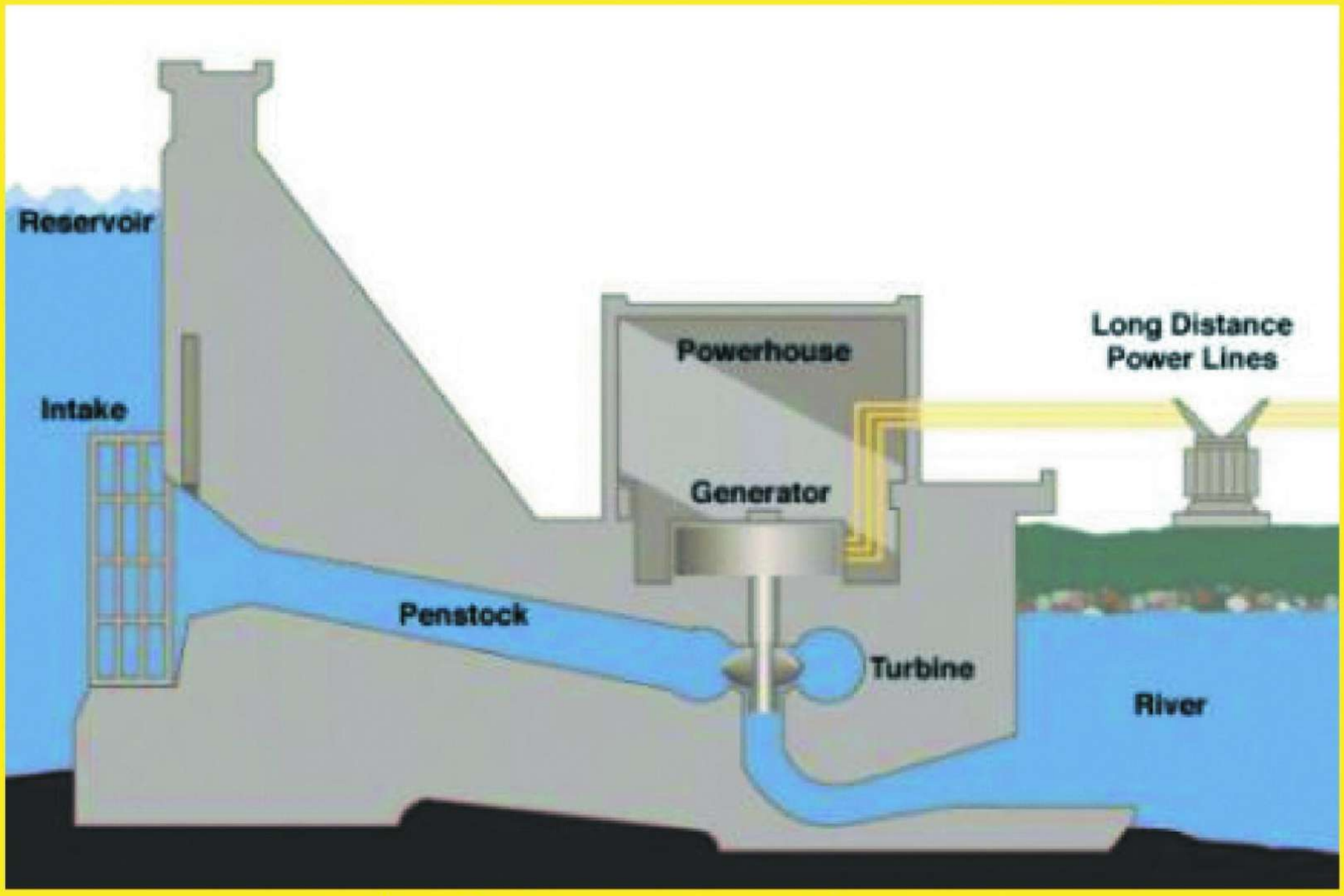
شكل رقم (2-15) يوضح سد مائي يستغل في توليد الطاقة الكهربائية

مكونات محطة التوليد المائية:

تتألف من الأجزاء الرئيسة الاتية:

أ- مساقط المياه (المجرى المائل) Penstock

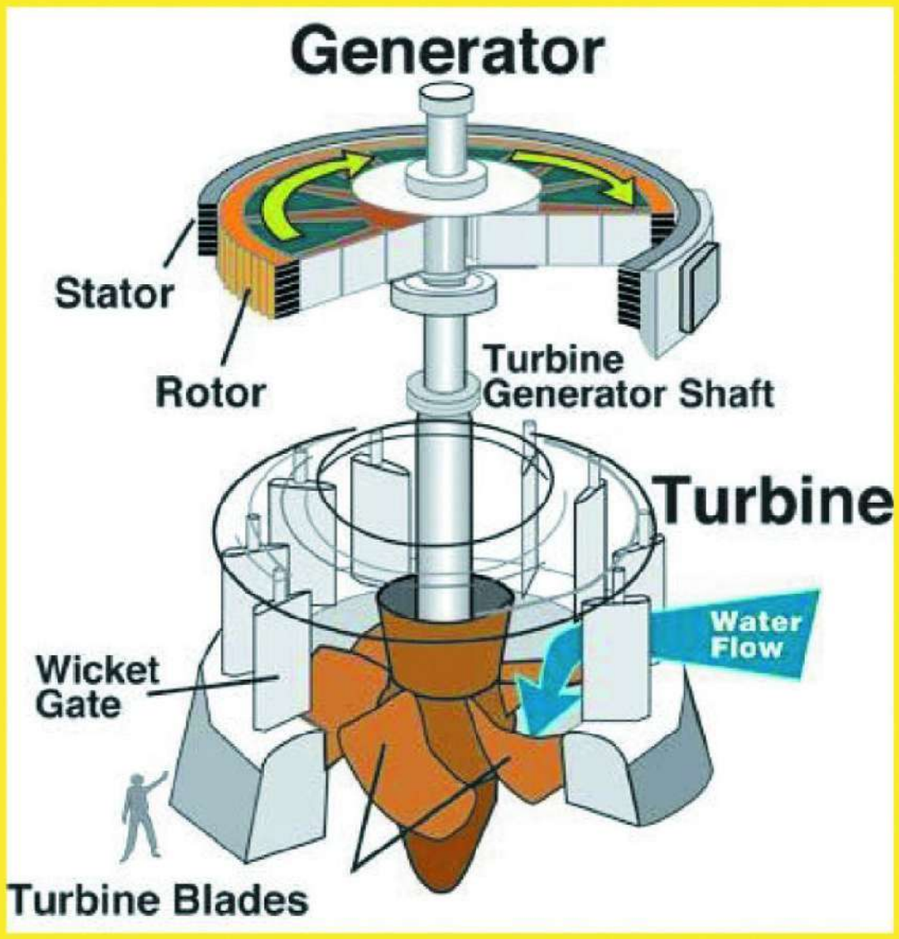
وهو إنبوب كبير أو أكثر يوضع في أسفل السد الى مدخل التوربين، ويوجد مفتاح للتحكم في كمية المياه التي تؤثر في تدوير التوربين بسرعة أقل أو أكثر، كما موضح في الشكل رقم (2-16).



شكل رقم (2-16) مكونات محطة مائية

ب-التوربين Turbine

يكون التوربين والمولد عادة في مكان واحد، مركبين على محور رأسي واحد. يركب المولد فوق التوربين، عند فتح البوابة في أسفل الأنابيب المائلة تتدفق المياه بسرعة كبيرة في تجاويف مقعرة. فتدور بسرعة وتدير معها المولد وتتولد الطاقة الكهربائية فيه، لاحظ الشكل رقم (2-17).



شكل رقم (2-17) توربين بشكل رأسي مع المولد

جـ - إنبوبة السحب Draught Tubes

بعد أن تعمل المياه المتدفقة في تدوير التوربين فلا بد من سحبها الى الخارج بسرعة حتى لاتعيق الدوران. لذا توضع أنابيب بأشكال خاصة لسحبها للخارج بالسرعة اللازمة.

د- المعدات والآلات المساعدة

تحتاج محطات التوليد المائية الى العديد من الآلات، منها مضخات وبوابات ومفاتيح ومعدات تنظيم السرعة.

رابعاً : محطات التوليد ذات الاحتراق الداخلى Internal Combustion Engines

هي عبارة عن مكائن تستخدم الوقود السائل، حيث يحترق داخل غرفة أحتراق بعد مزجها بالهواء بنسب معينة،تؤدي الى توليد ضغط عالٍ، يستطيع تحريك المكبس، كما في حالة ماكنات الديزل والبنزين وغيرها، ثم نحصل من ذلك حركة دورانية، نستفيد منها في تدوير الدوار للمولد الكهربائي. كما موضح في الشكل رقم(2-18).

شكل (2-18) ماكنة ديزل تستخدم لتوليد الطاقة الكهربائية

أ- توليد الكهرباء بوساطة الديزل Diesel Power

تستعمل ماكنات الديزل في توليد الكهرباء في المدن الصغيرة والقرى،وهي تمتاز بسرعة التشغيل وسرعة الإيقاف ولكنها تحتاج الى كمية كبيرة من الوقود نسبياً، ولذلك تتوقف كلفة الطاقة المنتجة منها على أسعار الوقود.

ب- توليد الكهرباء بالتوربينات الغازية Gas Turbine

تُعدُّ هذه الطريقة حديثة العهد نسبياً، ويُعدُّ الشرق الأوسط من أكثر البلدان إستعمالاً لها.

فتستعمل التوربينات الغازية لتوليد الكهرباء طيلة اليوم بما فيه وقت الذروة.

تمتاز هذه المولدات ببساطتها ورخص ثمنها نسبياً وسرعة تركيبها وسهولة صيانتها.

ومن مساوئها أن عمرها الزمني قصير نسبيا، وتستهلك كمية أكبر من الوقود.

مكونات محطات التوربينات الغازية

الأجزاء الرئيسة التي تتكون منها:

1-ضاغط الهواء Air Compresrer

يأخذ الهواء من الجو المحيط به ويرفع ضغطه الى عشرات الضغوط الجوية.

2-غرفة الاحتراق Comlustion Chamber

وفيها يختلط الهواء المضغوط الآتي من مكبس الهواء مع الوقود ويحترقان معاً بوساطة وسائل خاصة بالاشتعال.

3-التوربين Turbine

ويكون أفقياً ومتصلاً مباشرة مع مكبس الهواء، ومن ناحية أخرى بالمولد، ولكن بوساطة صندوق تروس لتخفيف السرعة لان سرعة دوران التوربين عالية.

4-المولد الكهربائي Electric Generator

يتصل المولد الكهربائي بالتوربين بوساطة صندوق تروس لتخفيف السرعة.

5-الالآت والمعدات المساعدة

تحتاج محطات التوربينات الغازية الى بعض المعدات، هي:-

أ- مصافي الهواء قبل دخوله الى مكبس الهواء.

ب- مساعد التشغيل الأولي وهو أما محرك ديزل أو محرك كهربائي.

جـ- وسائل مساعدة في الاشتعال.

د- مكائن تبريد مياه تبريد المحطة.

هـ- معدات قياس الحرارة والضغط في كل مرحلة من مراحل العمل.

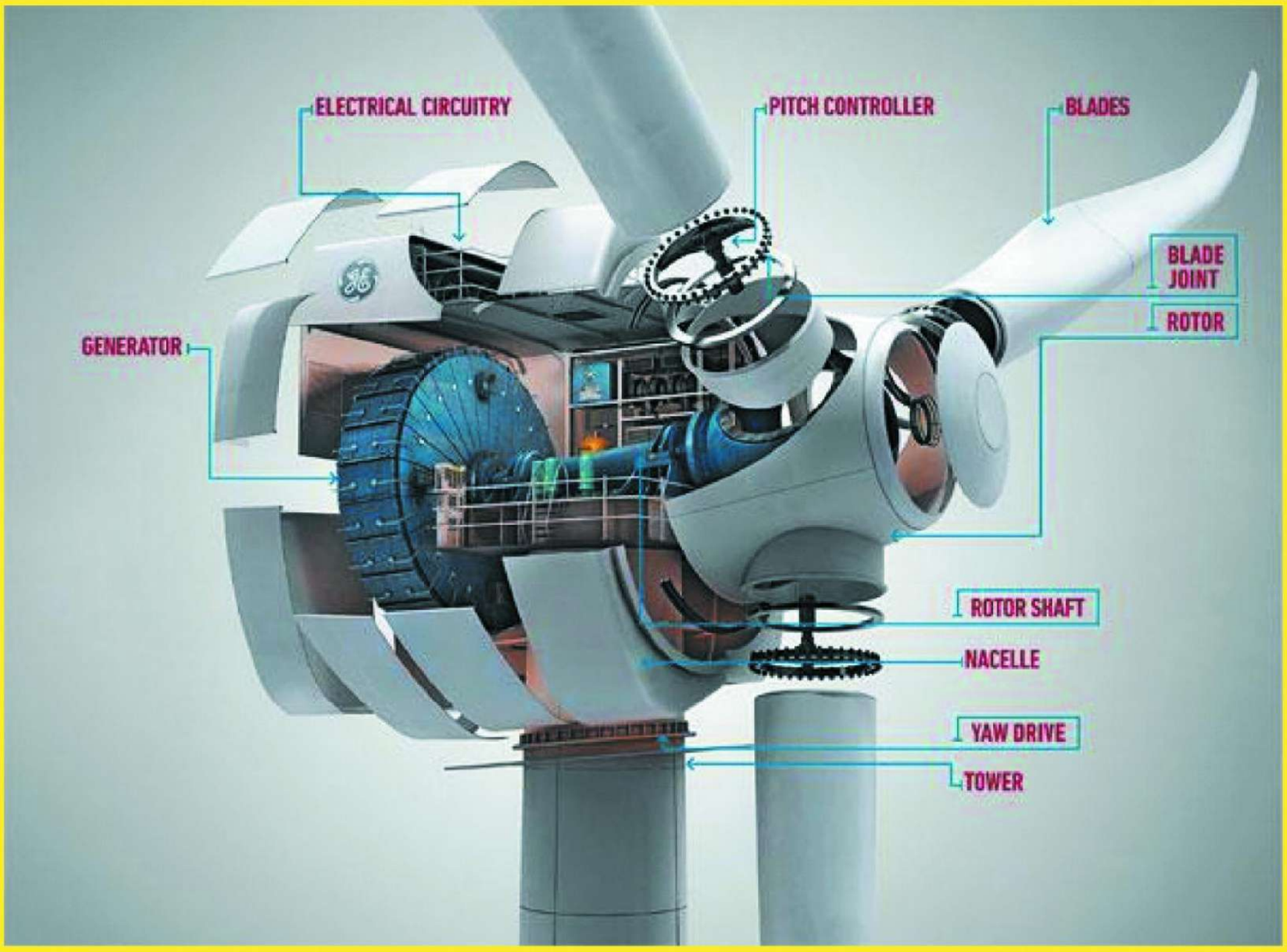
و- معدات القياس الكهربائية المعروفة المختلفة.

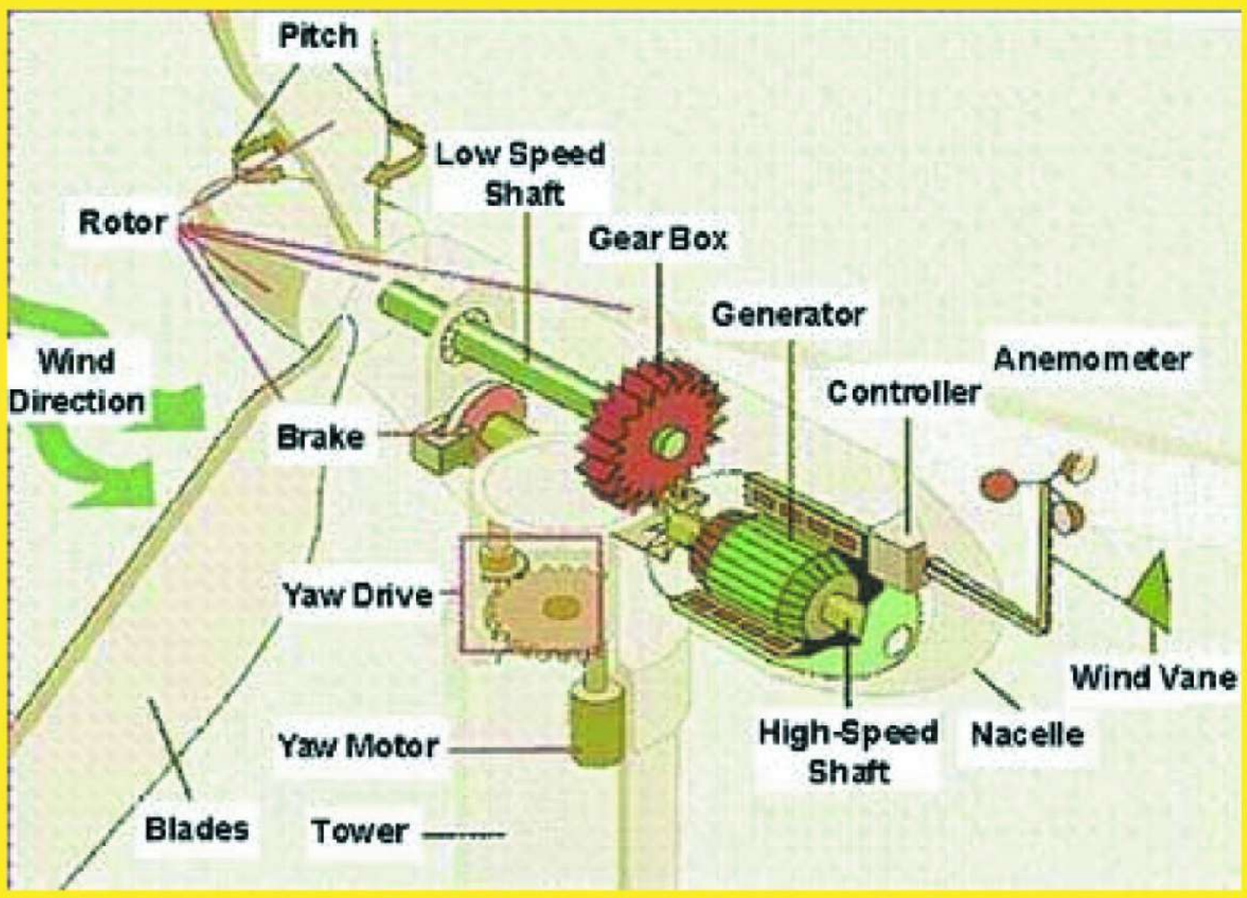
خامساً : محطات توليد الكهرباء بوساطة الرياح Wind Power Station

شكل رقم (2-19) توليد الكهرباء بطاقة الرياح

يمكن إستغلال الرياح في الأماكن التي تُعدّ مجرى دائماً لهذه الرياح، في تدوير مراوح كبيرة وعالية لتوليد الطاقة الكهربائية، وتصل طول أذرع المروحة الى 25م، كما موضح في الشكل رقم (2-19).

والطاقة من الرياح هي أسرع مصادر توليد الكهرباء الجديدة نمواً على الصعيد العالمي، ويتم إنتاج الطاقة بوساطة محركات (توربينات) ذات ثلاثة أذرع تديرها الرياح، توضع على قمة أبراج طويلة، وتعمل كما تعمل المراوح. تقوم هذه التوربينات باستعمال الرياح لتوليد الطاقة، كما موضح في الشكل رقم (2-20).





الشكل رقم (2-20) التركيب الداخلي للمراوح

المستعملة في توليد الطاقة الكهربائية بوساطة الرياح

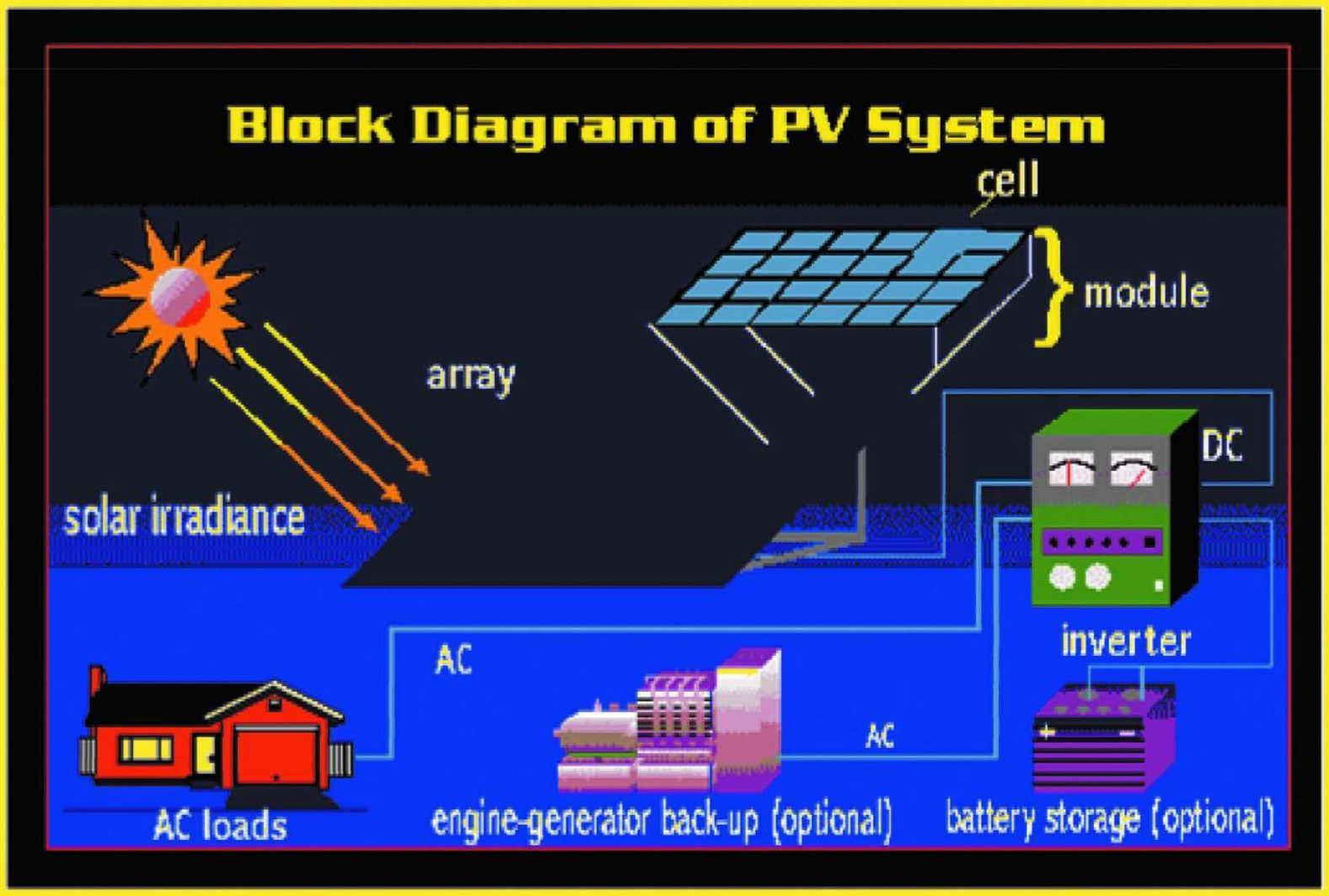
سادسا: محطات التوليد بالطاقة الشمسية:

(Solas Sum's Energy Generation)

مايمكن أن ينتج عنه من أعمال تطبيقية أصبحت في التداول التجاري هو إستغلال الطاقة الشمسية لإنتاج الطاقة الكهربائية، في تسخين مياه الأستعمال المنزلي وخاصة في التجمعات الطلابية والعمالية.

وفي وقتنا هذا إزداد إستعمال الخلايا الضوئية (Solar's Cells) في توليد الطاقة الكهربائية، وفي مجالات كثيرة، منها السفن والأقمار الصناعية، وإنارة الشوارع، وفي بعض الأجهزة المنزلية.

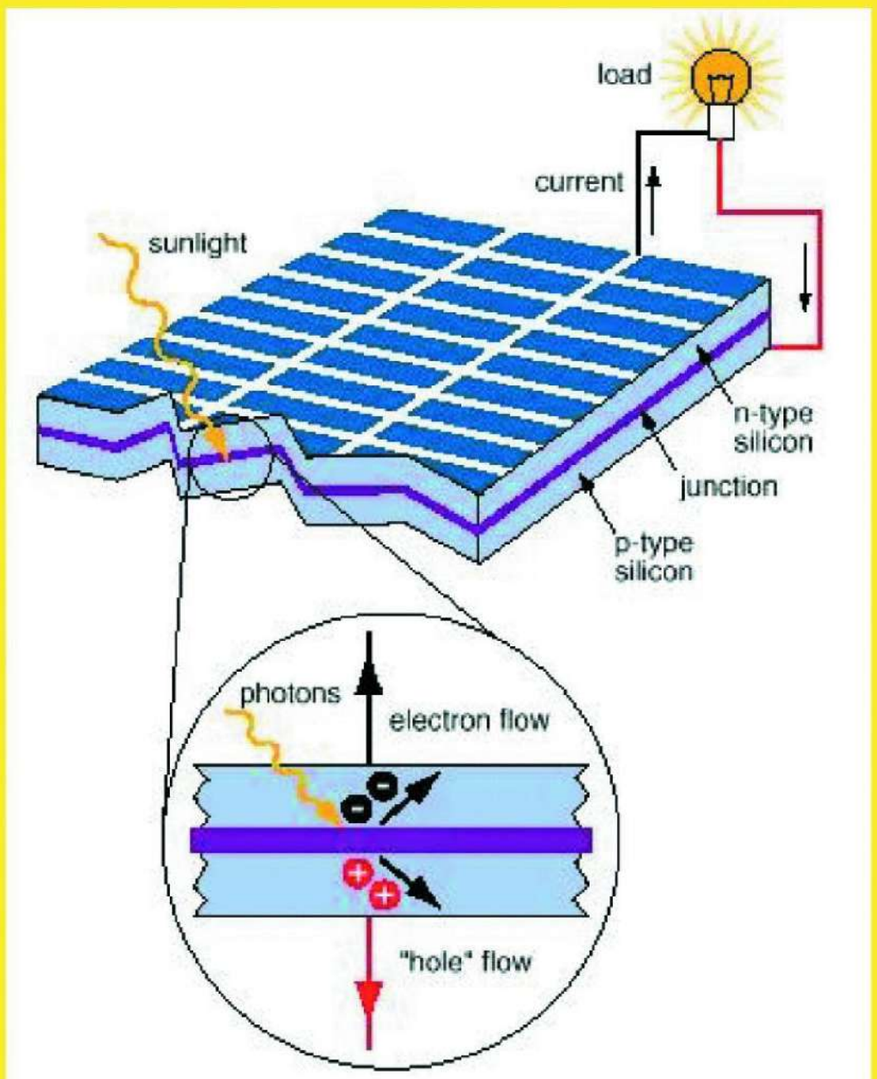
الخلية الضوئية: تتكون من سطح مصنوع من بعض العناصر منها السيزيوم والفضة والبوتاسيوم، ويمتاز أوكسيد السيزيوم بحساسيته الى الضوء الخافت، حيث تتأثر هذه العناصر في الطاقة الحرارية التي تحملها الأشعة الضوئية وتعمل على تحرر عدد كبير من الالكترونات من هذا السطح بحيث تكون قابلة للحركة تحت تأثير تحكم معين. كما موضح في الشكل رقم (2-21).



شكل (2-21) مخطط يمثل عمل ومكونات الخلية الضوئية

عمل الخلية الضوئية: عند سقوط الأشعة الضوئية على السطح الداخلي ، يتحرر عدد من الالكترونات يتناسب مع شدة الضوء الساقط وتنجذب هذه الالكترونات الى الأنود محدثة تياراً في الدائرة، كما موضح في الاشكال المرقمة(2-22) ، (2-23)، (2-24).

شكل رقم (2-22) سيارة تعمل بالطاقة الشمسية باستعمال الخلايا الضوئية



شكل (2-23) الواح تحتوي على الخلايا الضوئية للحصول على الطاقة الكهربائية

شكل رقم (2-24) الواح من الخلايا الضوئية على أسطح المنازل للاستفادة منها

(2-5) تحسين معامل القدرة Power Factor Correction

حساب القدرة في التيار المتغير تختلف عن حساب القدرة في حالة التيار المستمر، لان شدة التيار والجهد في التيار المستمر ثابتان، بينما يتغيران بتغير الزمن في حالة التيار المتغير حيث تكون هنالك زاوية بينهما ويمكن تمثيلهما (بمنحني الجيب).

من المعروف إن التيار المتغير عند سريانه في الدائرة الكهربائية سيلاقي ثلاثة أنواع من المقاومات:-

(أ) المقاومة الطبيعية (R) التي يكون معامل القدرة فيها أكبر مايمكن أي إن الزاوية بين موجة التيار وموجة الجهد تساوي صفر.

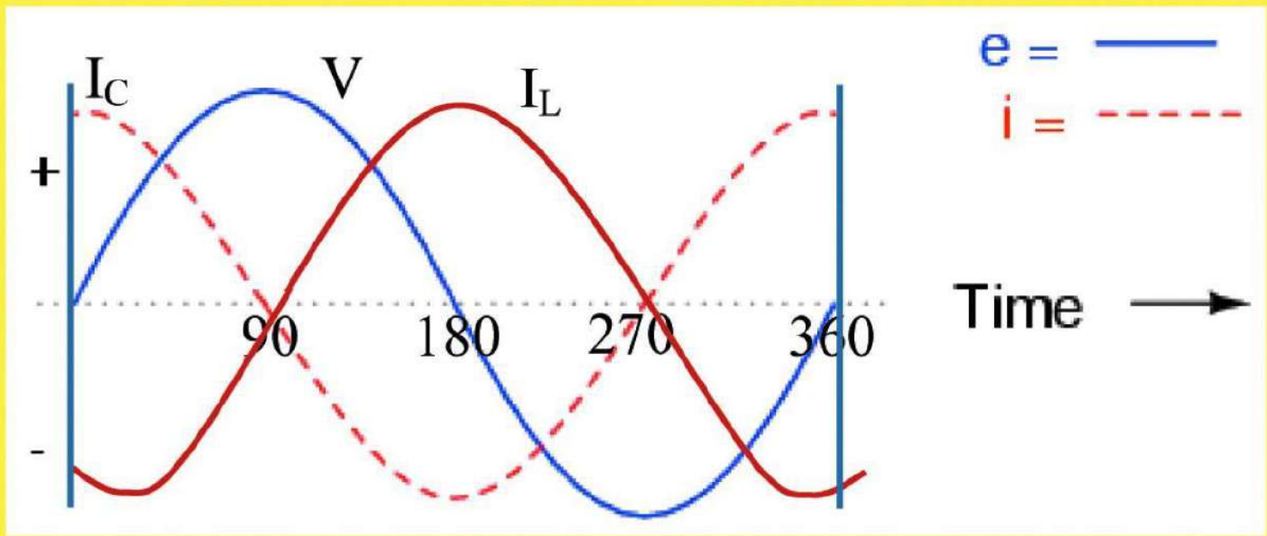
(ب) المقاومة المغناطيسية (XL) ويكون فيها معامل القدرة أقل مايمكن وهي السبب في تقليل معامل القدرة والتي تؤدي الى حصول القدرة الضائعة خلال الشبكة.

(جـ) المقاومة السعوية (Xc) وهي ترفع معامل القدرة في حالة الأحمال الطبيعية للتقليل من القدرة الضائعة لانها تولد موجة معاكسة للتيار غير الفعال.

كما موضح في الشكل رقم(2-25).

شكل رقم (2-25) يبين أنواع المقاومات الثلاثة

والأحمال ذات المقاومة الحثية (XL) يكون لها تأثير في حالة التيار المتناوب التي تؤدي الى حدوث زاوية فرق متأخرة بالنسبة للتيار عن الجهد وسيؤثر هذا تأثيرا سلبيا في القدرة الظاهرة (المتولدة في محطة التوليد)، بالتقليل من قيمتها عند وصولها الى المستهلك وتُعدّ قدرة ضائعة بسبب إنخفاض معامل القدرة. كما موضح في الشكل رقم(2-26).



شكل (2-26) يبين موجة التيار (IL) متأخرة عن الجهد V بينما موجة التيار (IC) متقدمة على الجهد

وللتقليل من القدرة الضائعة في الشبكة يمكن رفع معامل القدرة بتقليل زاوية فرق الطور بين القدرة الفعالة (P) والقدرة الظاهرة (S) أي رفعه الى القيمة المثالية (1) أو قريبا من الواحد.

إذن معامل القدرة: هو النسبة بين القدرة الحقيقية (الفعالة) (P) والقدرة الظاهرة (S) المتولدة في محطة التوليد. كما موضح في الشكل رقم (2-27).

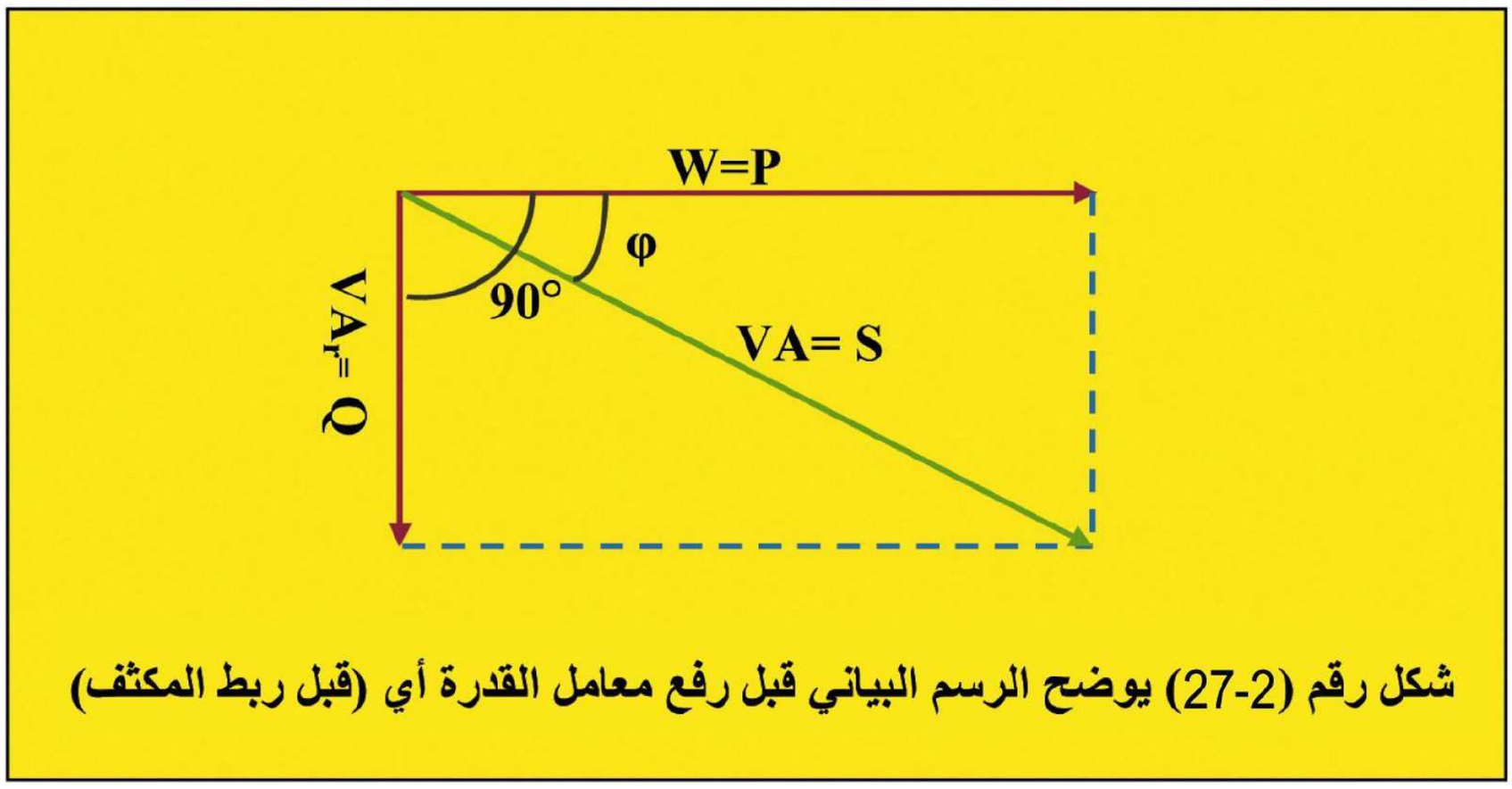
$$\text{Cos } \varphi = \frac{Kw}{KVA} = \frac{P}{S}$$

ويمكن رفع (تحسين) معامل القدرة بالطرائق الاتية:

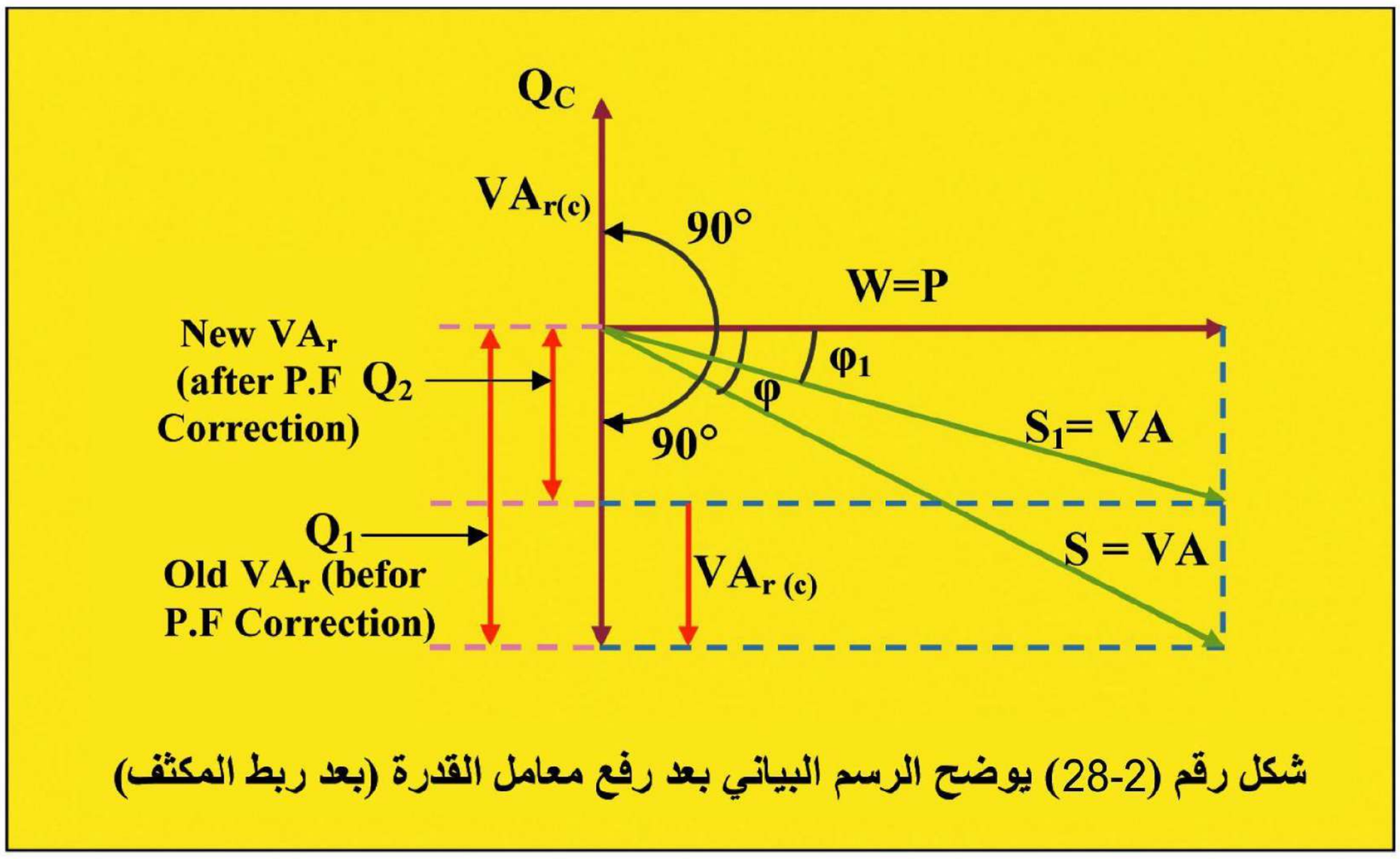
1- بربط مكثف أوعدة مكثفات على التوازي بالحمل أو بالشبكة، وسيعمل المكثف على تقديم موجة التيار على موجة الجهد بزاوية 90º.

2- تشغيل محرك توافقي بالتوازي بالشبكة ويدور بدون حمل، هذا النوع من المحركات ذو معامل قدرة متقدم.

والشكل (2-27) و (2-28) يوضح قبل وضع المكثف وبعد وضع المكثف وكيف يعمل المكثف على تقديم موجة التيار على موجة الجهد.



شكل رقم (2-27) يوضح الرسم البياني قبل رفع معامل القدرة أي (قبل ربط المكثف)



شكل رقم (2-28) يوضح الرسم البياني بعد رفع معامل القدرة (بعد ربط المكثف)

من الرسم أعلاه يتبين إن بعد ربط المكثف (قلل) الزاوية من φ الى φ1

وكذلك بالنسبة الى القدرة الضائعة من Q1 الى Q2.

اذ ان:

P تمثل القدرة المستهلكة (المصروفة) من قبل المستهلك وتقاس بالواط أو كيلو واط

S تمثل القدرة المتولدة في محطة التوليد وتقاس (VA) أو كيلو فولت أمبير

Q تمثل القدرة الضائعة (غير الفعالة) وتقاس (VAr) أو كيلو فولت أمبير غير فعال

Q_C تمثل قدرة المكثف.

$$Q_C = Q_1 - Q_2 \quad \text{----------} \quad (2\text{-}5)$$

Q_1 , Q_2 القدرة الضائعة قبل ربط المكثف.

Q_C وتمثل قدرة المكثف.

ولحساب سعة المكثف الذي يرفع معامل القدرة الى قيمة اعلى نستعمل القوانين الاتية في حالة الثلاث أطوار لايجاد القدرة الضائعة (Q).

$$Q = \sqrt{3}\, I_L V_L \sin\varphi \qquad \text{.....(2-6)}$$

$$P = \sqrt{3}\, I_L\, V_L \cos\varphi \qquad \text{watt} \qquad \text{.....(2-7)}$$

$$S = \sqrt{3}\, I_L\, V_L \qquad \text{VA} \qquad \text{.....(2-8)}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi\, FC} \qquad \text{Ohm}(\Omega) \qquad \text{.....(2-9)}$$

$$I_C = \frac{V}{X_C} \qquad \text{A} \qquad \text{.....(2-10)}$$

يمكن الاستعاضة عن القانونين (2-9) و(2-10) بتطبيق قانون (2-12).

$$I_C = \frac{Q_C}{V_{ph}} \qquad \text{.....(2-11)}$$

$$C = \frac{I_C \times 10^6}{2\,\pi\, FV_{ph}} \qquad \mu F \qquad \text{.....(2-12)}$$

$$P_1 = \bar{\rho} \qquad \text{.....(2-13)}$$

$$\text{Cos}\ \varphi_2 = \frac{\bar{\rho}}{S_2} \qquad \text{.....(2-14)}$$

اذ ان:- P_1= القدرة المصروفة قبل ربط المكثف (واط)

$\bar{\rho}$ = القدرة المصروفة بعد ربط المكثف (واط)

π = النسبة الثابتة

$$\sqrt{3} = 1.732 \cong 1.7$$

I_L = التيار الذي يسحبه الحمل (A)

V_L = المصدر الذي يوصل الى الحمل (V)

Sinφ= جيب الزاوية بين موجة التيار وموجة الجهد

Cos φ= معامل القدرة (جيب تمام الزاوية بين موجة التيار وموجة الجهد)

$\tan\varphi$ = ظل الزاوية بين موجة التيار والجهد . $\tan\varphi = \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi}$

f= تردد المصدر ذ/ثا (هرتز)

I_c = التيار المار في المكثف (A)

X_c= المقاومة السعوية (Ω)

C= سعة المكثف (مايكروفاراد) أو فاراد

لاستخراج Sinφ1 من Cosφ1

Sinφ2 من Cosφ2 من المعادلة الاتية:-

$$Sin\ \varphi_1 = \sqrt{1 - Cos^2\varphi_1} \quad \text{.....(2-15.)}$$

ملاحظة : يمكن استعمال طرق اخرى لحساب سعة المكثف كالاتي :

$$Qc = P_1(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$

$$C = \frac{\varphi_C/_{3\times10^6}}{2\pi f V_{ph}^2}\ \mu.F$$

Cosφ	Sinφ	$\tan\varphi$
1	0	0
0	1	∝
0.6	0.8	1,333
0.8	0.6	0.75
0.7	0.7	1
0.9	≃ 0.4	≃ 0.5

أو يمكن إستخراج Sinφ1 ، Sinφ2

$\tan\varphi_2$

من الجدول

ملاحظة

1hp=746 watt

ملحوظة:

القيم غير الموجودة في الجدول نستعمل لها المعادلة رقم (2-15)

مثال (1-2) :

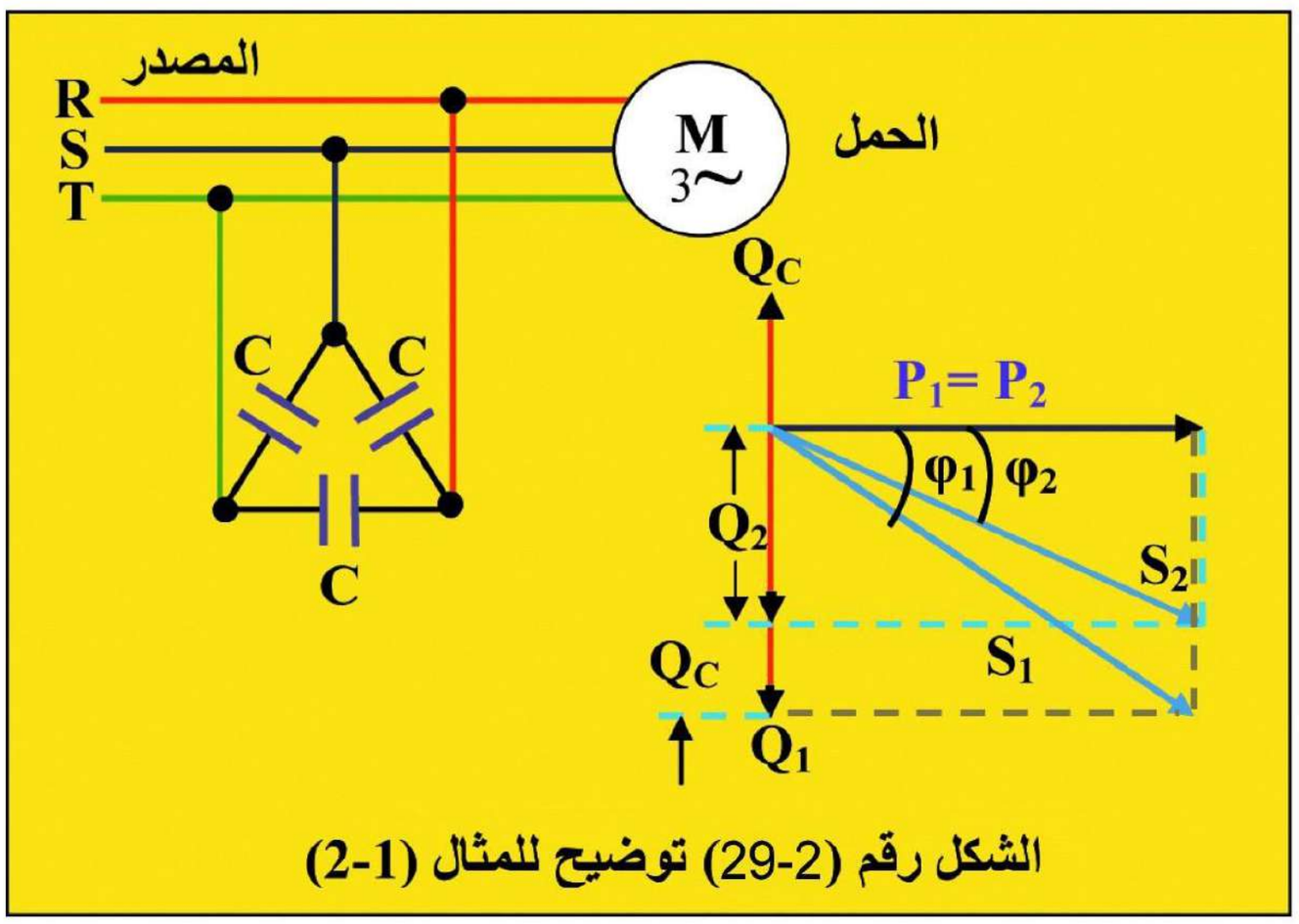
محرك حثي ثلاثة أطوار يعمل على مصدر (400) فولت بتردد (50) ذ/ثا وبمعامل قدرة (0.7) يراد رفع معامل قدرته الى (0.8) ماسعة كل مكثف لكل طور عندما تربط مرة (مثلث) واخرى (نجمة) إذا علمت ان القدرة المصروفة للمحرك (40) كيلو واط؟

المعطيات: محرك ثلاثة اطوار

V_L=400v, F=50 ذ/ثا, $Cos\varphi_1$=0.7, $Cos\varphi_2$=0.8, P_1=40kw,

C=? للطور الواحد

الحل:



الشكل رقم (2-29) توضيح للمثال (1-2)

1- في حالة مثلث (دلتا) :

أ- نستخرج $Sin\varphi_1$، $Sin\varphi_2$ من

$Sin\varphi_1$= 0.7	$Cos\varphi_1$=0.7
$Sin\varphi_2$= 0.6	$Cos\varphi_2$=0.8

ب- نستخرج S1, S2 من معادلة (2-14)

$$S_1 = \frac{P_1}{Cos\ \varphi_1} = \frac{40000}{0.7} = 57142\ VA$$

بما ان :

$$P_1 = P_2$$

$$S_2 = \frac{P_2}{Cos\ \varphi_2} = \frac{P_1}{Cos\ \varphi_2} = \frac{40000}{0.8} = 50000\ VA$$

جـ - نستخرج Φ_1 و Φ_2:

$$Q1 = S_1 \times Sin\ \varphi_1 = 57142 \times 0.7 = 39999\ VA_r$$

$$Q2 = S_2 \times Sin\ \varphi_2 = 50000 \times 0.6 = 30000\ VA_r$$

د – نستخرج Qc :

$$Qc = Q1 - Q2 = 39999 - 30000 = 9999\ VA_r$$

قدرة المكثف للطور الواحد:

$$\frac{Qc}{3} = \frac{9999}{3} = 3333\ VA_r$$

هـ نستخرج تيار المكثف:

$$I_C = \frac{Qc}{V_{ph}} = \frac{3333}{400} = 8.3\ A$$

لان في حالة دلتا :

$$V_L = V_{ph}$$

و-الخطوة الاخيرة نستخرج (C) لكل طور:

$$C = \frac{I_C \times 10^6}{2\ \pi\ F\ V_{ph}} = \frac{8.3 \times 10^6}{2 \times 3.14 \times 50 \times 400} = 66.34\ \mu F$$

2- في حالة النجمة (ستار):

نستعمل الخطوات السابقة نفسها
ستكون قيمة الجهد على كل مكثف تساوي:

$$V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

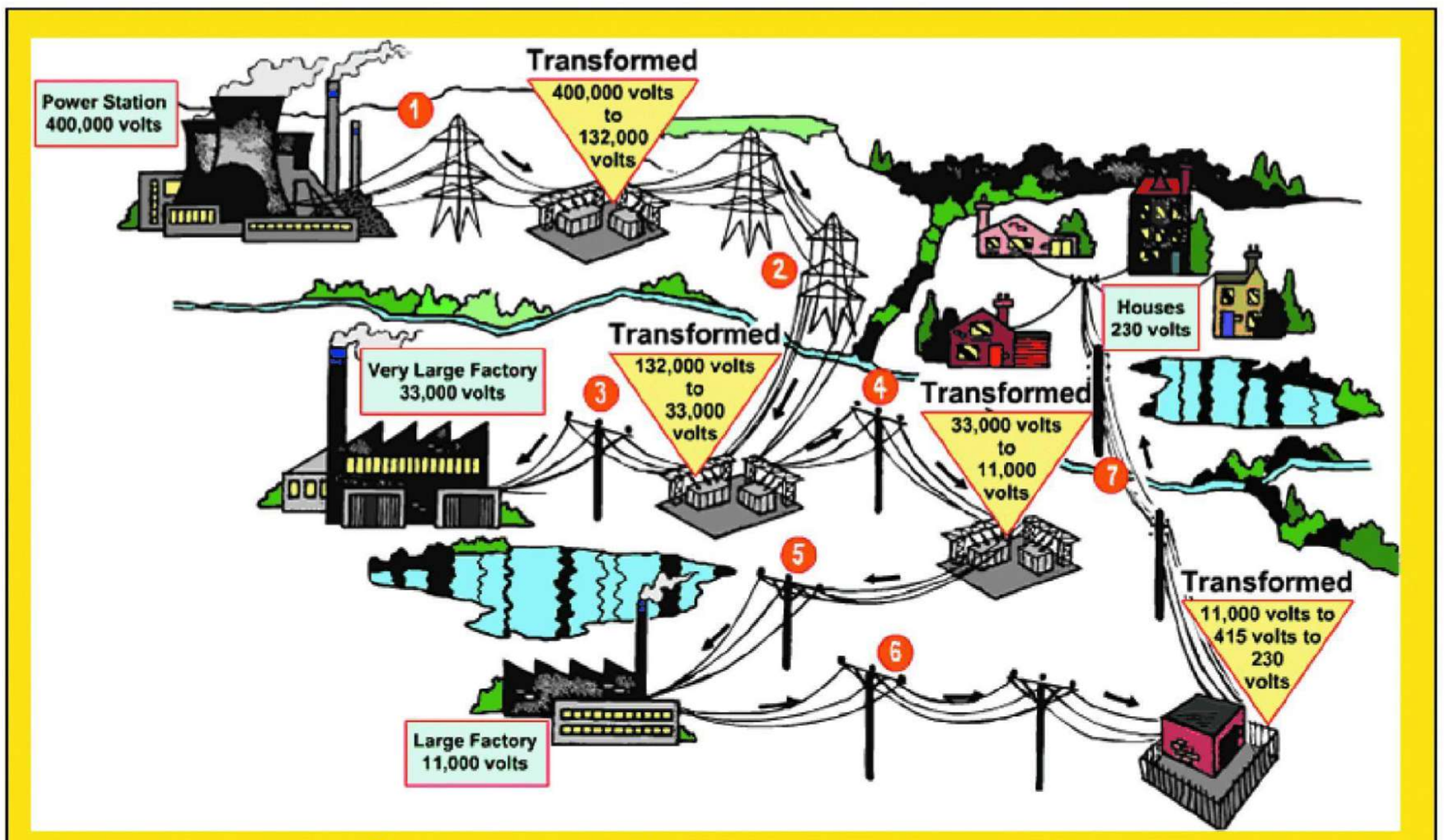
$$V_{ph} = \frac{400}{1.732} = 235 \quad \text{Volts}$$

$$I_C = \frac{Qc}{V_{ph}} = \frac{3333}{235} = 14 \quad A$$

$$C = \frac{I_C \times 10^6}{2\,\pi\,F\,V_{ph}} = \frac{14 \times 10^6}{2 \times 3.14 \times 50 \times 235} = 189.7 \quad \mu F$$

(6 -2) شبكات توزيع الطاقة الكهربائية

تنقل القدرة الكهربائية من محطة التوليد عبر خطوط الجهد العالي وبطريقة مزدوجة، أحدهما رئيسة والاخرى إحتياط تستعمل في حالة العطل أو زيادة الحمل و الصيانة ولاستمرارية وصول الطاقة، والتي تصل الى مئات الكيلومترات أو أكثر ويتم نقلها بجهد عال وتيار مناسب بوساطة المحولات الكهربائية التي تستعمل في رفع أو خفض الجهد حسب نوع استعمالها.كما موضح في شكل رقم (2-30) .



شكل رقم (2-30) يوضح مراحل نقل القدرة الكهربائية

إن الغاية من نقل القدرة الكهربائية بجهد عال وتيار مناسب هوالفائدة إلاقتصادية والفنية. نحن نعلم إن مساحة المقطع العرضي للسلك تتناسب طرديا مع شدة التيار، أي كلما يزداد التيار يزداد سمك السلك، (أي ان كلفته تزداد) ومشاكله الفنية تزداد.

فمثلاً يراد نقل قدره (13200) كيلو فولت أمبير يمكن نقلها على وفق الاتي:

$S=IV$ KVA

$13200=100\times132000$ =13200 KVA

يعني إنه 100 أمبير شدة التيار الذي سينقل القدرة بسلك مساحة مقطعه 35 ملم^2 132000 فولت الجهد الذي سيتم رفعه بوساطة المحولة فيمكن توليد الجهد بوساطة المولدات في محطات التوليد بحدود (11KV) للوحدات الصغيرة وتصل الى (22) كيلو فولت للوحدات الكبيرة، ثم يرفع الجهد الى 132 كيلوفولت أو أكثر للمسافات البعيدة يصل أحيانا الى (400، 500 ،750) كيلوفولت ويسمى بالضغط (العال) الفائق. ثم مرة أخرى يخفض في محطات التحويل الثانوية ، شكل رقم (2-31) يوضح محطة تحويل رئيسة.

شكل رقم (2-31) يوضح محطة تحويل رئيسة

وتنتشر في أنحاء العراق محطات ثانوية وفرعية تحتوي على المحولات تستعمل لرفع الجهد وخفضه اذ يخفض الجهد الى (11) كيلوفولت في محطات التوزيع الثانوية على أعمدة ليست

بـالكبيرة جداً وداخـل المـدن، والآن اسـتخدمت الكيـبلات الارضـية (داخـل الارض) لنقـل القـدرة الكهربائية من خلالها بدل الاعمدة.

أما أعمدة الضغط العالي تكون على شكل أبراج متنوعة حسب قيمة الجهد المنقول ذات قواعد كونكريتيـة والاسـلاك المـستعملة لخطـوط الجهـد العـالي تكـون مـن الالمنيـوم المـسلحة بأسلاك حديدية في الوسط، كما موضح في شكل رقم (2-32).

شكل رقم (2-32) يوضح أبراج
تستعمل لنقل الجهد العال

أسئلة الفصل الثاني

1- أين تتولد القوة الدافعة الكهربائية في مولدات التيار المتغير ذات الأقطاب الخارجية وكيف تغذي الحمل؟

2- لماذا فضلت مولدات التيار المتغير ذات الأقطاب الداخلية عن المولدات ذات الأقطاب الخارجية؟

3- مم تتكون وحدة توليد القدرة الكهربائية؟

4- ما هي شروط عملية التوافق عند ربط المولدات بالشبكة ؟

5- كيف يمكن إجراء عملية التوافق بنظام الإضاءة التامة؟ إشرح ذلك مع الرسم.

6-ماذا نقصد بحمل الذروة؟

7- كيف ينظم تردد القوة الدافعة الكهربائية في محطات توليد القدرة الكهربائية ؟

8- ما أهم مصادر الطاقة المستخدمة حالياً؟

9- كيف يمكن تصنيف الطاقة؟

10- ما انواع محطات التوليد؟عددها فقط؟

11- على ماذا تعتمد إختيار المواقع المناسبة لمحطات التوليد الحرارية ؟

12- ما هي مكونات محطات التوليد البخارية؟ عددها فقط.

13-ما الفرق بين محطات التوليد النووية والمحطات الأخرى؟

14- كيف يمكن أن نحمي العاملين في المحطة النووية والبيئة المحيطة بالمحطة من التلوث بالاشعاعات الذرية؟

15- كيف يمكن الحصول على الطاقة الكهربائية باستعمال المياه؟

16- ما مكونات محطة التوليد المائية (الأجزاء الرئيسة)؟

17- كيف يثبّت التوربين والمولد في محطة التوليد المائية للكهرباء؟ ولماذا؟

18- بماذا تمتاز طريقة توليد الكهرباء بوساطة الديزل؟

19- ما الأجزاء الرئيسة التي تتكون منها محطات التوربينات الغازية؟

20- كيف تعمل الخلية الضوئية؟

21- لماذا تنقل القدرة الكهربائية بجهد عالٍ؟

22- ما الجهود المستعملة في تغذية الدور داخل المدن عند نقلها من المحطات الثانوية؟

23- ما صفات الأعمدة التي تنقل الجهد العالي؟

24- ماذا نقصد بالمحطة الثانوية؟

25- محرك حتى ثلاث أطوار يعمل على جهد (380) فولتاً وتردد (50) ذ/ثا ويسحب تيار (17) أمبيراً، بمعامل قدرة (0.6)، يراد رفع معامل قدرته الى (0.7) أحسب سعة كل مكثف عند ربطهما على شكل مثلث (دلتا)؟

ج: $16\ \mu F$ مايكروفاراد

26- محرك حثى ثلاثة أطوار يعمل على جهد (380) فولتاً وبتردد (50) ذ/ثا ويصرف قدرة (24) كيلوواط ما سعة كل مكثف ليرفع معامل قدرته من (0.6) الى (1) إذا وصلت المكثفات على شكل نجمة (ستار)

ج: $701.8\ \mu F$ مايكروفاراد

27- محرك حثى ثلاثة أطوار قدرته (40) كيلوواط وبكفاءة (80%) يعمل على مصدر جهد (440) فولت بتردد 50 ذ/ثا، ما سعة كل مكثف ليرفع معامل قدرته من (0.7) الى (0.8) علماً إن المكثفات تربط على شكل مثلث؟

ج: $68.5\ \mu F$ مايكروفاراد

28- محرك حثى طور واحد يعمل على مصدر (220) فولتاً وتردد 50 ذ/ثا والقدرة المجهزة له (880) واط، ماسعة المكثف الذي يوصل بالمحرك ليرفع معامل قدرته من (0.7) الى (1)؟

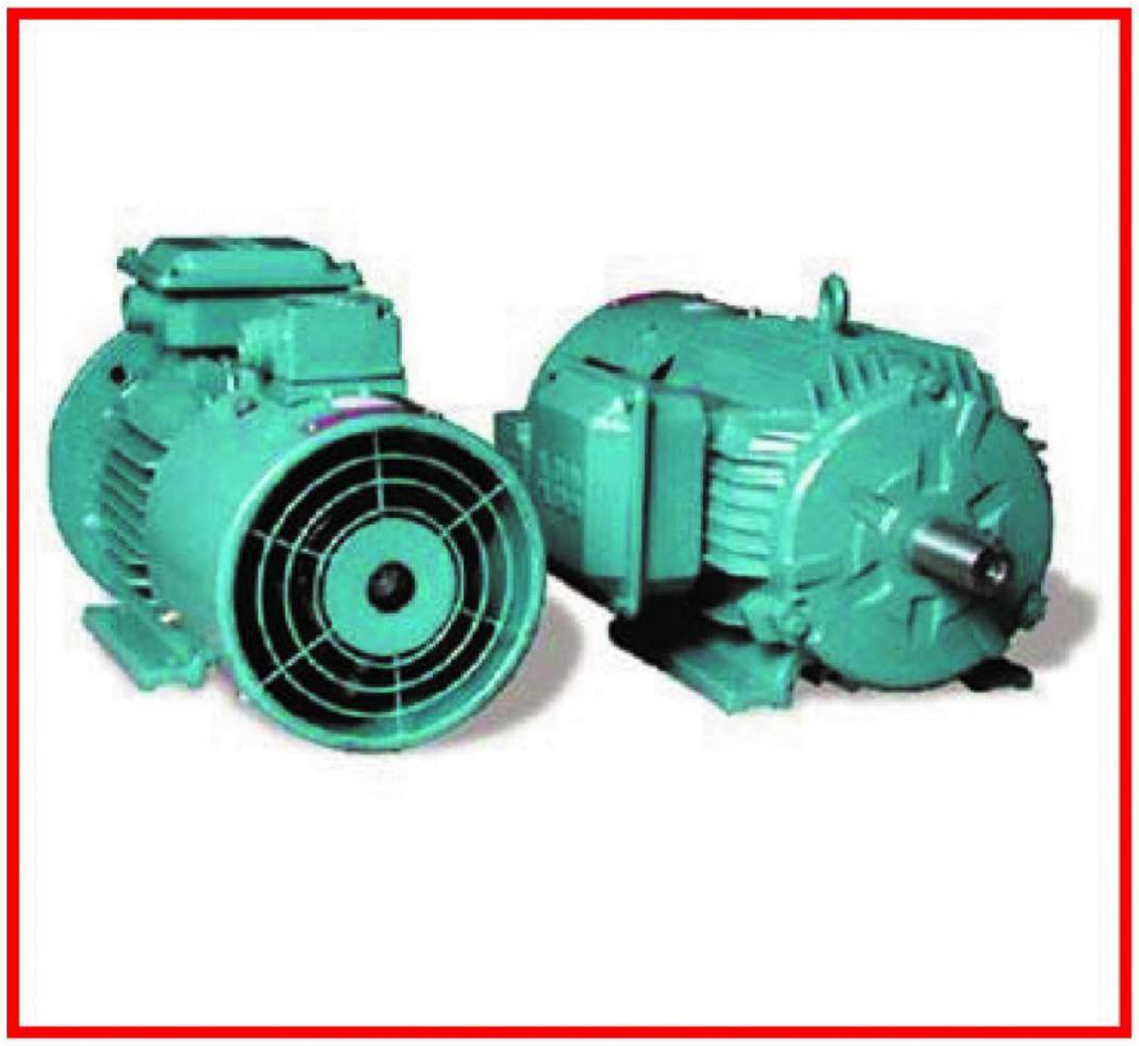
ج: $57.9\ \mu F$ مايكروفاراد

29- محرك حثى طور واحد يعمل على مصدر (220) فولتاً بتردد (50) ذ/ثا قدرته (1.5) حصان، كفاءته 80% ،أحسب سعة المكثف الذي يوصل بالمحرك ليرفع معامل قدرته من (0.6) الى (0.8)؟

ج: $53.7\ \mu F$

الفصل الثالث

المحركات الحثية ثلاثية الأطوار



الأهداف

عزيزي الطالب بعد اكمالك هذا الفصل ستكون قادرا على ان:

1- تتعرف على انواع المحركات الثلاثية الاطوار.
2- تشرح تركيب المحرك الحثي ثلاثي الاطوار.
3- تحسب القدرة في المحرك ثلاثي الاطوار.
4- تدرك مبدأ تشغيل المحركات ثلاثية الاطوار.
5- تفهم ماهو الانزلاق في المحركات الحثية وفائدته.
6- تدرك معنى العزم.
7- تتعلم معنى القدرة والمفاقيد التي تحصل في المحركات.

الفصل الثالث

محركات التيار المتناوب ثلاثية الأطوار

Three Phase Ac Motors

3-1: تمهيد:

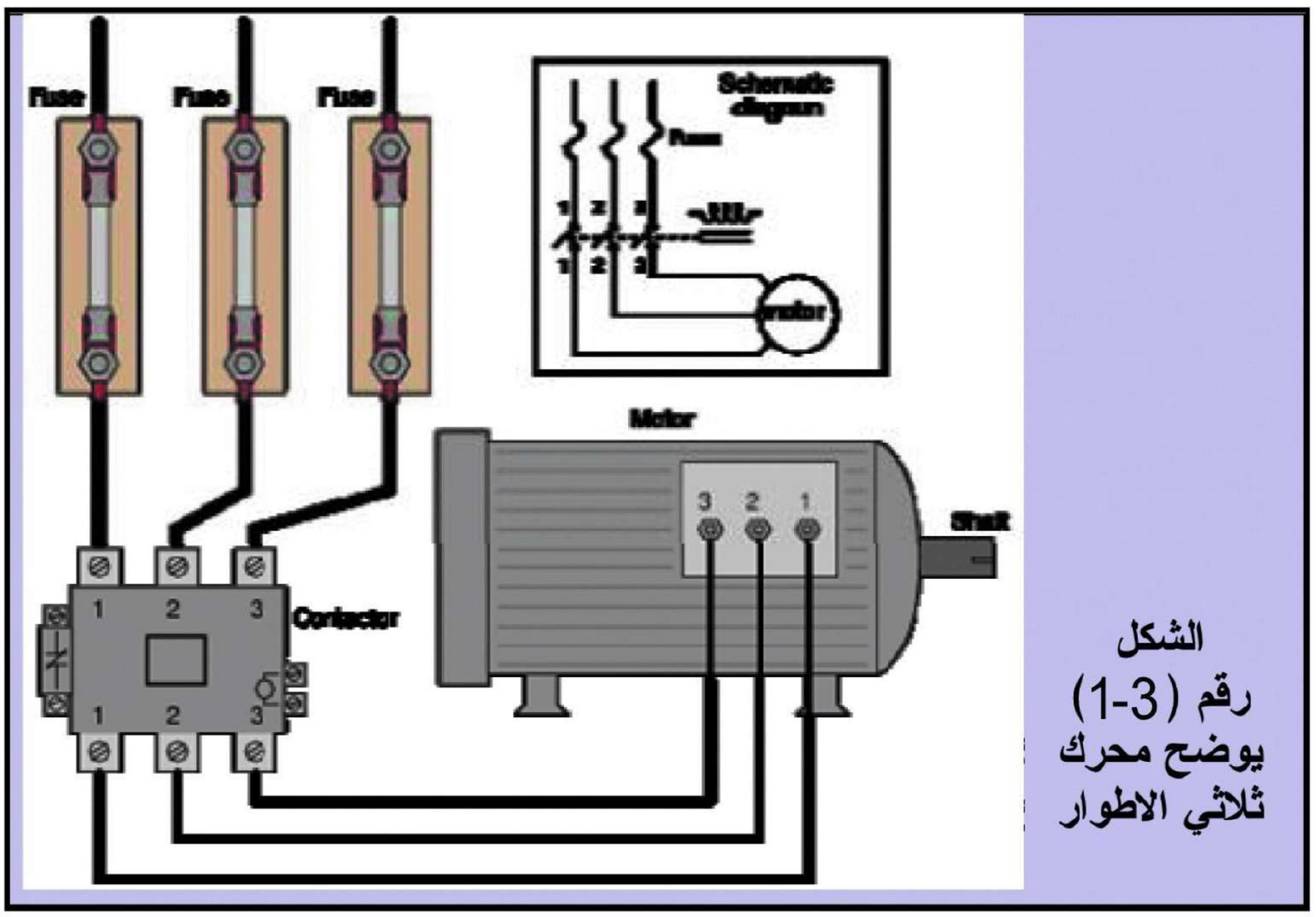
تشكل المحركات ثلاثية الأطوار التي تتغذى من مصدر تيار متناوب الجزء الرئيس من المحركات المستخدمة في الصناعة والانتاج والتطبيقات الاخرى، وتكون هذه المحركات على نوعين رئيسين هما:

1- المحركات الحثية ثلاثية الاطوار Three Phase Induction Motors :

وهي الأوسع انتشاراً ويصنع منها سنويا مئات الملايين ويقدر انها تستهلك بحدود 50% من مجموع الطاقة المنتجة في العالم المتقدم،وتكون قدرتها عادة للاغراض الصناعية بحدود (2-25) كيلو واط ولو إن قدرة بعضها تصل الى (5) ميكاواط، وتتراوح سرعتها عادة بين (500-3000) دورة في الدقيقة.

2 المحركات التزامنية ثلاثية الأطوار Three Phase Synchronous Motors:

وهي تستخدم لأغراض صناعية خاصة تتطلب دقة في سرعة الدوران حيث لايؤثر تسليط الحمل في هذه المحركات في سرعة الدوران نهائيا، ويفضل ان تصمم لقدرة عالية تزيد على (100) كيلو واط للاستفادة القصوى من مميزاتها العديدة، والشكل رقم (3-1) يوضح محرك ثلاثي الأطوار.



الشكل رقم (3-1) يوضح محرك ثلاثي الاطوار

3-2 المحركات الحثية ثلاثية الأطوار

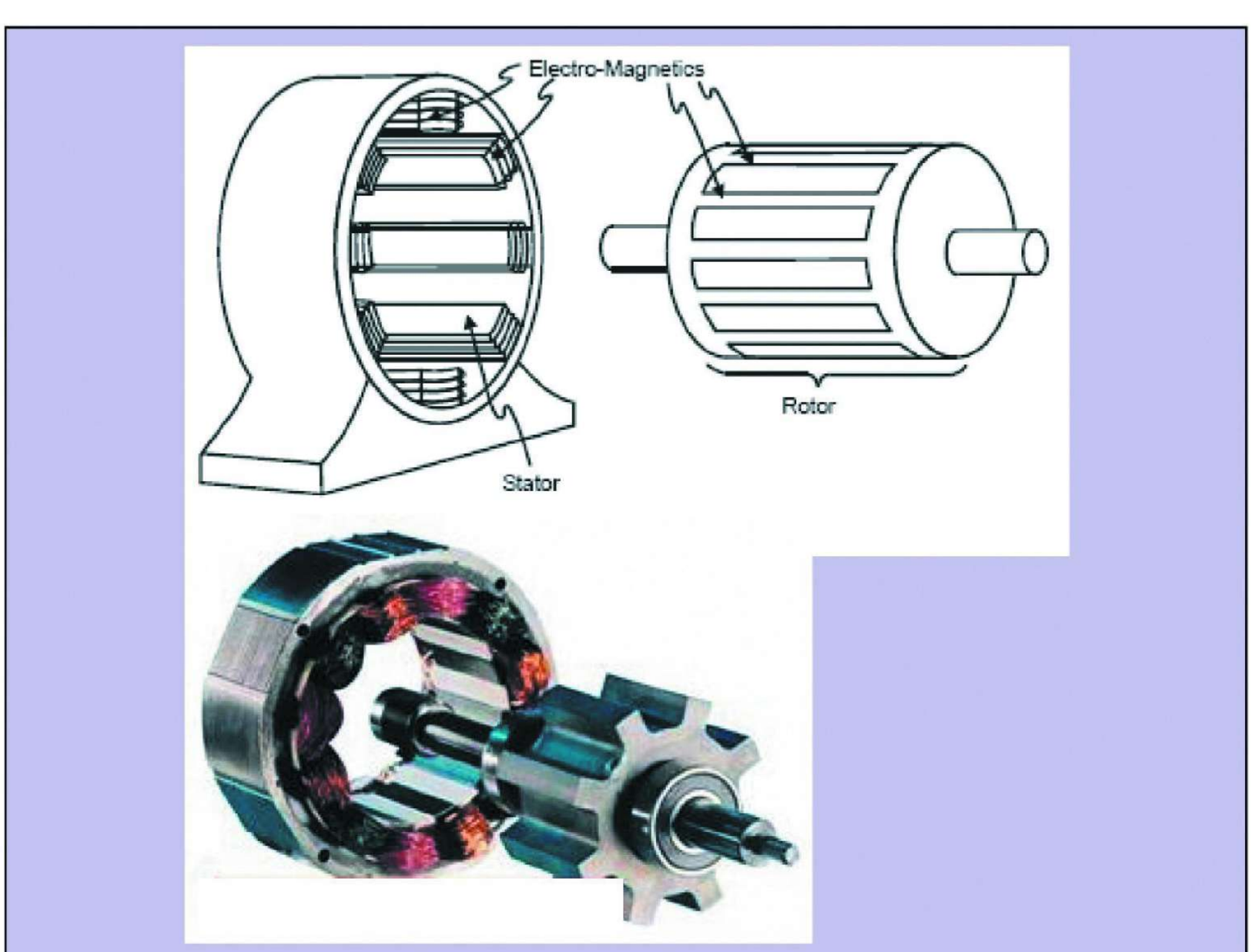
3-2-1 الأجزاء الرئيسة فى المحرك

يتكون المحرك من دائرتين كهربائيتين إبتدائية وثانوية مستقلتين احداهما عن الاخرى تماماً ولايربطهما مع بعض الا عن طريق الحث الكهرومغناطيسي بينهما، ولذلك تسمى هذه المحركات بالحثية، تتركب هذه المحركات من مكونات ذات وظيفة محددة يمكن ان تقسم الى:

1- المكونات الميكانيكية- وتتكون من الغطاء الخارجي والأغطية الجانبية والمروحة والحوامل ومحور الدوران وقاعدة التثبيت وتكون عادة من مواد حديدية أو فولاذية أو بلاستيكية وتقوم بتسهيل حمل المحرك، وتثبيته وحمايته.

2- المكونات الكهربائية- وتتكون من الملفات والحلقات الانزلاقية والفرش الكاربونية وتكون مصنوعة عادة من النحاس وأحياناً من الالمنيوم وتقوم بنقل التيار الكهربائي.

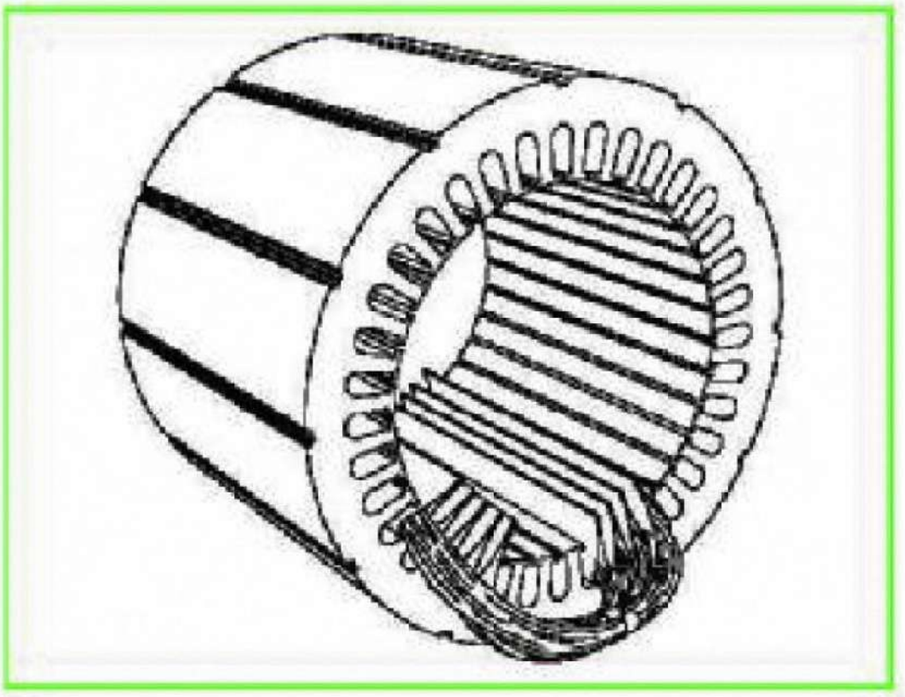
3- مسلك الفيض المغناطيسي- ويتكون عادة من مواد ذات قابلية تمغنط عالية تمر من خلالها خطوط القوى المغناطيسية للفيض الذي يولده التيار الكهربائي، والشكل رقم (3-2) يوضح أجزاء المحرك.



الشكل رقم (3-2) يوضح أجزاء المحرك.

1-الساكن (Stator) :

وهو عبارة عن إسطوانة مجوفة تجمع من عدد كبير من الرقائق تكبس معاً لتشكل هذه الاسطوانة كما مبين في شكل رقم (3-3).



شكل رقم (3-3) يوضح الساكن في المحرك الحثي.

وتصنع هذه الرقائق من حديد سليكون سمكها (0.3-0.5 mm) وذات نفاذية عالية، ويتشكل عند كبس هذه الرقائق عند سطحها الداخلي مجارٍ أو شقوق (Slots)، تقوم باحتضان الدائرة الابتدائية او ملفات الساكن، تعزل هذه الرقائق عن بعض بمادة عازلة من طلاء الشلك او الورق او بطريقة الاكسدة لتقليل مقدار التيارات الدوامية Eddy-currents التي تتكون في هذه الرقائق وتسبب مفاقيد (Losses) إضافية في المحرك.

يمكن الاستدلال على قدرة المحرك من مقياس قطره الداخلي، حيث تتناسب هذه القدرة طردياً مع قطر الساكن.

2-الدوار (Rotor):

وهو عبارة عن إسطوانة تجمع من رقائق حديد السليكون، وتشكل عند كبسها عدداً من المجاري على سطحها الخارجي لاحتضان الدائرة الثانوية أو ملفات الدوار، تكبس الرقائق المنفردة كبسة (Stamping) واحدة لتتشكل رقيقة الدوار ومجاريه،

وكذلك فجوة تفصل القطعتين تسمى الفجوة الهوائية (Air gap)، ويثبت جسم الدوار على محور الدوران كما مبين في شكل رقم (3-4).

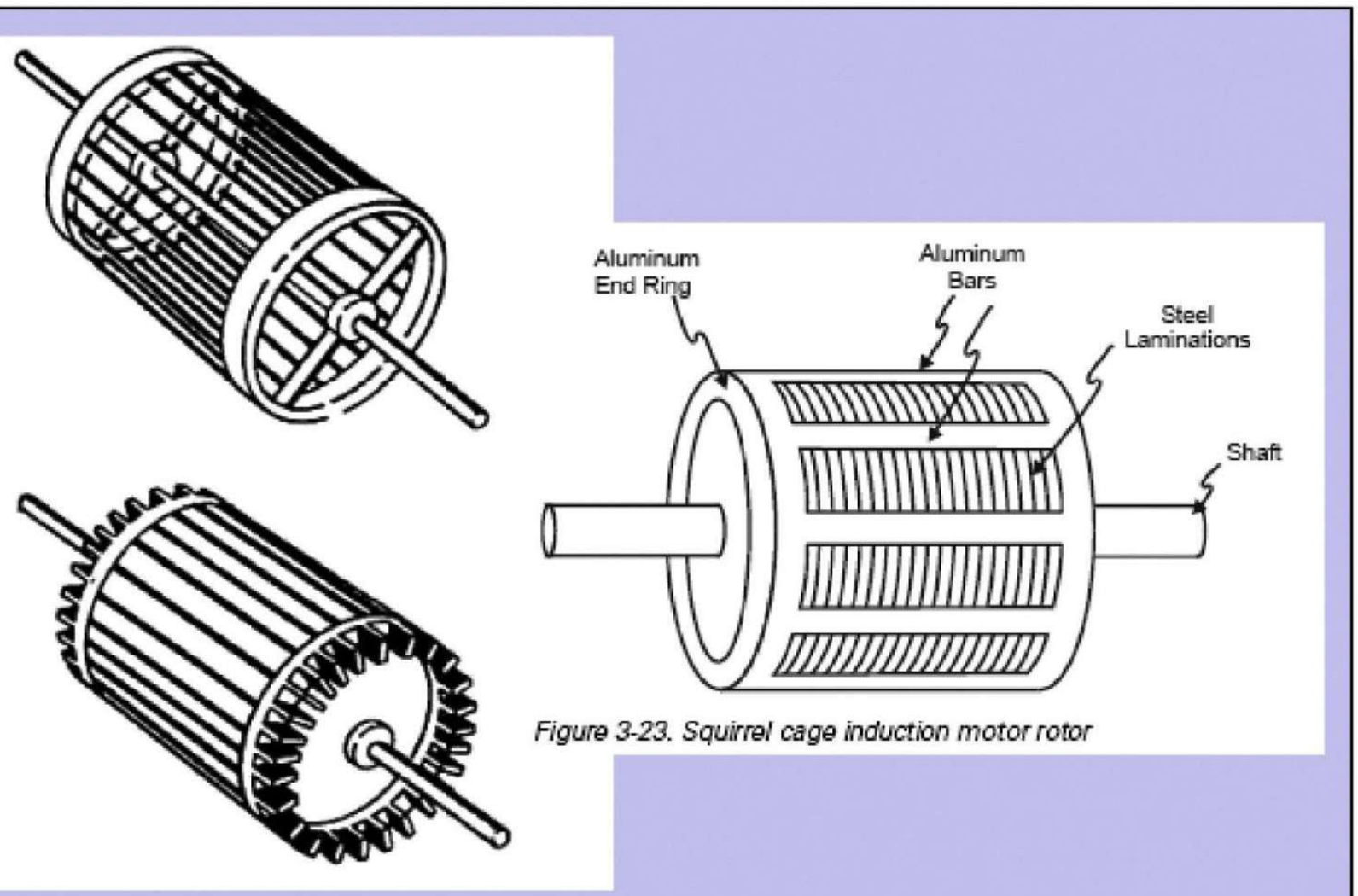


Figure 3-23. Squirrel cage induction motor rotor

شكل رقم (3-4) يوضح الدوار في المحرك الحثي.

3-2-2 الملفات Windings

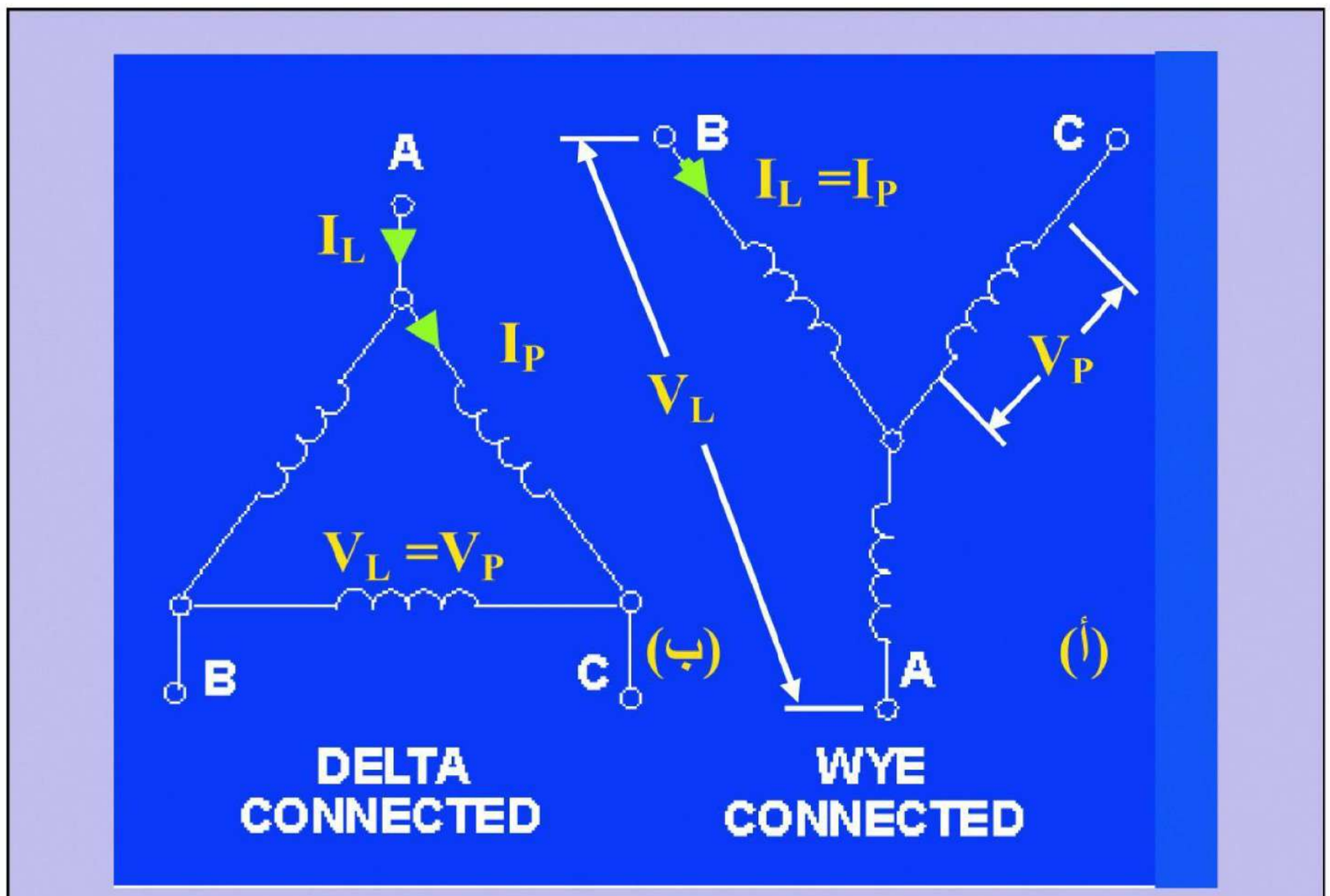
تتكون الملفات من أسلاك موصلة (نحاسية) تلف على شكل حلقات تسمى لفائف (Coils) وتربط اللفائف سوية لتكوين الملف، وفي المحركات ثلاثية الأطوار يتكون الملف الكلي من ثلاثة ملفات طورية ويختلف تصميم الملفات حسب قدرة المحرك والسرعة المطلوبة منه والكفاءة والجهد المسلط، وتنقسم ملفات المحركات الحثية ثلاثية الأطوار على نوعين هما:

أولاً: ملفات الساكن Stator Winding:

وهي الدائرة الكهربائية المغلقة التي توضع في مجاري الساكن ويسلط عليها الجهد المقرر (أما 220 v أو 400 v)،

تصنع الملفات عادة من أسلاك نحاسية أو أحياناً من الالمنيوم، وتصمم دائماً متماثلة ومتناظرة للاطوار الثلاثة، كل ملف طوري له بداية ونهاية، وتربط الملفات الطورية الثلاثة

لتكوين الملف الكلي أما بنسق نجمي (Star)، كما في شكل رقم (3-5)أ ، أو بنسق مثلثي (Delta)، كما في شكل رقم (3-5) ب.



شكل رقم (3-5)أ يمثل نسق نجمي. شكل رقم (3-5) ب يمثل نسق مثلثي

عند الربط النجمي، تربط النهايات الطرفية (Terminals) التي تمثل بداية الملفات الى مصدر الجهد، بينما تلك التي تمثل نهاية الملفات تربط معاً لتشكل نقطة المحايد (Neutral)، في هذه الحالة يسمى الجهد المسلط على البدايات بالجهد الخطي والجهد على كل طور بالجهد الطوري الذي يقل بمقدار ($\sqrt{3}$) عن الجهد الخطي :

$$V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

اذ ان $I_L = I_{ph}$

بينما عند الربط بنسق مثلثي فان الجهد الطوري يساوي الجهد الخطي. وتكون علاقة التيارات بالعكس فهي متساوية ($I_L=I_p$) في الربط النجمي، بينما في الربط المثلثي:

$$I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

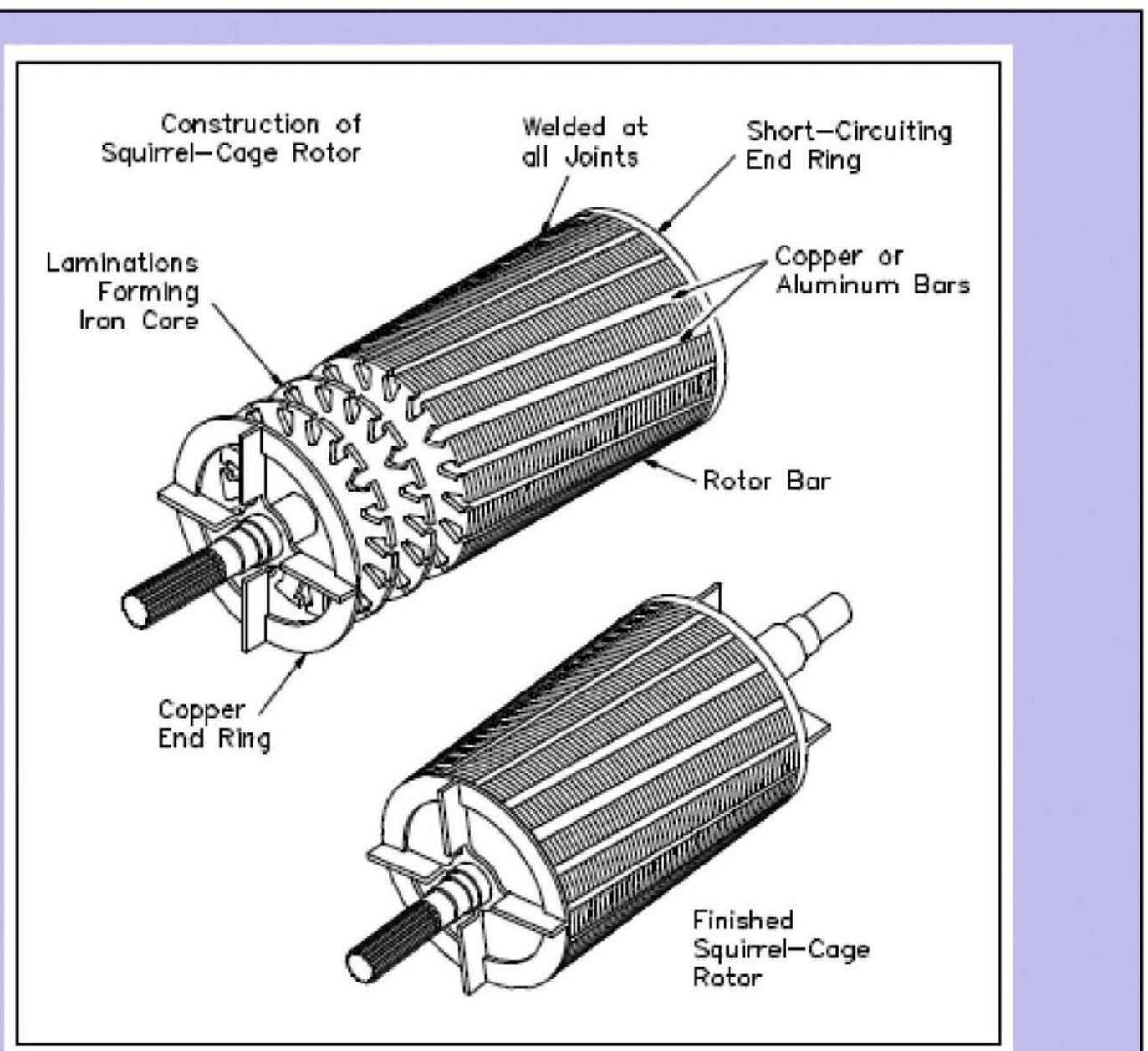
$$V_L = V_{ph}$$

ان لكل من الربط النجمي والربط المثلثي ميزته الخاصة، فالاول يكون مناسباً عندما يكون الجهد المسلط عالياً والتيار المطلوب إمراره في الملف الطوري واطئاً، بينما في الثاني يكون

الربط مناسباً عندما يكون الجهد المسلط واطئاً والتيار المطلوب إمراره في الملف الطوري عالياً.

ثانياً- ملفات الدوار Rotor Winding:

يمكن أن يصمم ملف الدوار تماماً كملف الساكن من أسلاك نحاسية لتشكل الملف الكلي من ثلاثة أطوار تربط عادة بنسق نجمي، تربط نهاياته الطرفية الى ثلاث حلقات إنزلاقية (Slip-rings)، ويسمى هذا الملف بالملفوف (Wound)، كما يمكن تصميم ملف الدوار من حشر قضبان نحاسية في مجاري الدوار وقصرها من الطرفين بحلقات انهائية (End-rings) ، لتشكيل دائرة مغلقة تسمح بمرور التيار فيها، وعند النظر الى هذا الملف يلاحظ بأنه يشبه القفص الذي يستخدم لحركة السنجاب داخله، كما مبين في شكل رقم (3-6)، لهذا فأن هذا الملف يسمى بملف القفص السنجابي (Squirrel-cage). في محركات القدرة الواطئة والمتوسطة يوضع قلب الدوار في قالب ويسبك فيه الالمنيوم المصهور ليملء مجاري الدوار ويشكل الحلقات النهائية ومعها زعانف لادارة الهواء فيه مرة واحدة.



شكل رقم (3-6) يوضح ملف القفص السنجابي.

3-3 أنواع المحركات الحثية ثلاثية الأطوار

تنقسم المحركات الحثية حسب تصميم ملفات دوارها على نوعين رئيسين هما:

أولا- محرك القفص السنجابي Squirrel- cage Motor

إن ملف هذا المحرك كما أشرنا اليه أعلاه، يتكون أما من قضبان نحاسية محشورة في مجاريه ومقصورة من النهايتين بحلقات إنهائية أو من الألمنيوم المصبوب في قالب خاص يشكل هذا الملف، ان هذا المحرك بسيط التصميم وسهل التصنيع وقليل الكلفة وعالي الاعتمادية وقليل المتطلبات للادامة والصيانة، لعدم وجود نقاط تماس لنقل التيار من هذا الملف الدوار واليه، عليه يمكن اجمال ميزات محركات القفص السنجابي بالآتي:-

1- ثابت السرعة تقريبا عند تغير حمل المحرك في المدى المعقول.
2- غالبا مايكون بدء الحركة مباشر او باستخدام معدات بسيطة.
3- عامل القدرة عاليا نسبيا.

اما سلبياته فهي:-

1- صعوبة التحكم في سرعة دورانه في الحالة الاعتيادية.
2- يكون تيار بدء التشغيل عالياً نسبيا بينما عزم بدء التشغيل واطئاً.
3- عامل القدرة واطئ عند الاحمال العالية.

ثانيا- محرك الحلقات الانزلاقية - Slip-rings Motor

وهو الذي تصمم ملفاته كتلك للساكن، كما موضح في شكل رقم (3-7)، وتربط نهاياته الطرفية الثلاث الى ثلاث حلقات انزلاقية(Slip –rings)، توضع عليها مجموعة من الفرش (Brushes) تضغط على هذه الحلقات النحاسية بوساطة نابض، تربط الفرش عند البدء بمقاومة خارجية على نسق نجمي، ايضا تقوم بزيادة مقاومة ملف الدوار للحصول على عزم بدء عالٍ وتقليل تيار البدء او للسيطرة على سرعة دوران المحرك، عند بلوغ المحرك الى سرعته المقررة ترفع مجموعة الفرش عن الحلقات الانزلاقية وتقصر الاخيرة بطوق خاص فيتحول المحرك للعمل بصورة طبيعية.

شكل رقم (3-7) يوضح محرك ذي الحلقات الانزلاقية

يسمى هذا المحرك بمحرك الحلقات الانزلاقية (Slip-rings Motor) ويستعمل لاحمال البدء العالية ويتمتع بالمزايا الآتية:

1- عزم بدء عالٍ لذلك يستخدم لادارة الاحمال العالية.

2- قابلية زيادة الحمل عالية.

3- تيار البدء واطئ لوجود المقاومة الخارجية.

4- يسمح باستخدام طرائق متنوعة للتحكم في سرعة الدوران.

اما سلبياته فهي:

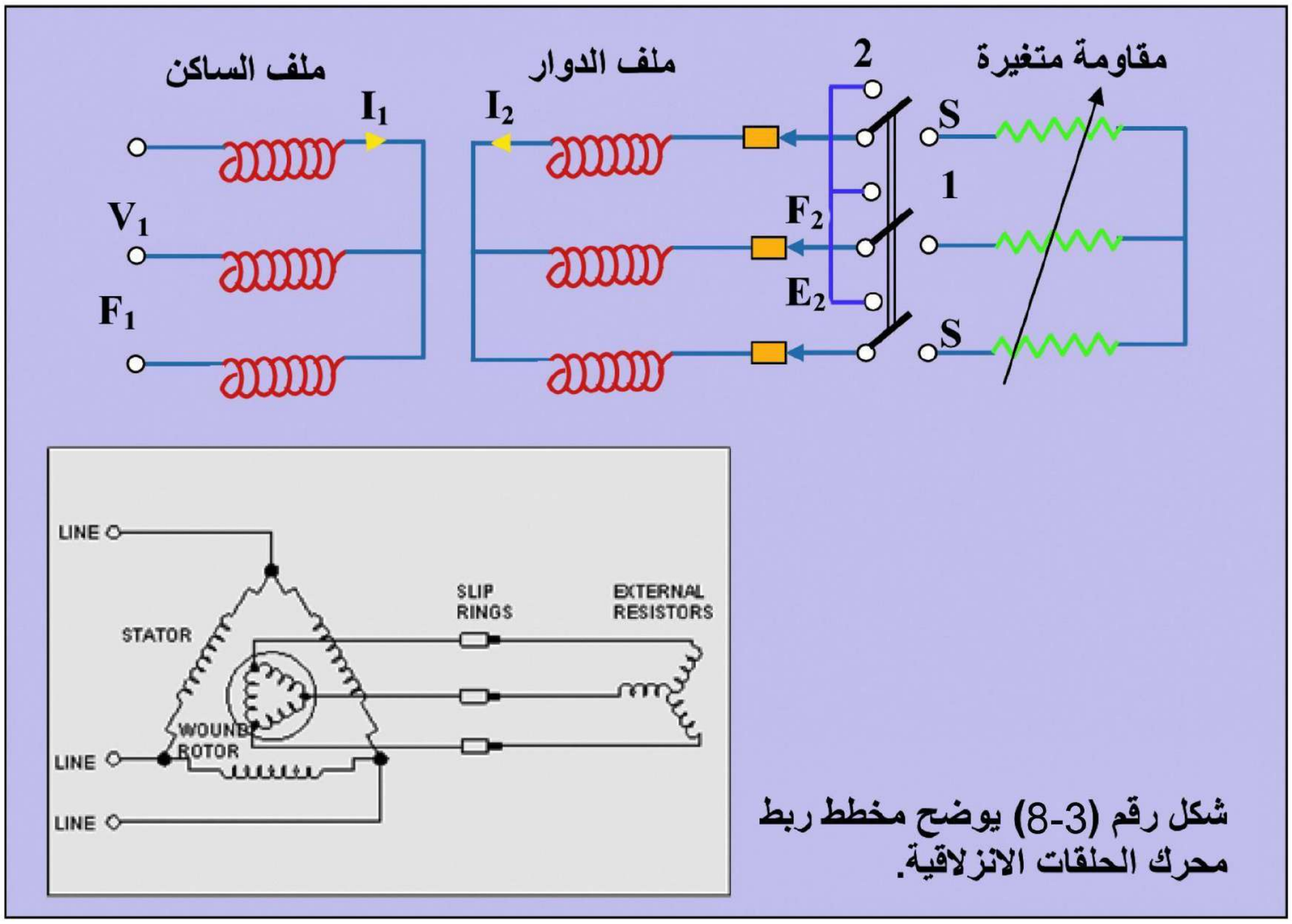
1- عامل قدرة وكفاءة واطئين.

2- كلفة عالية وحجم كبير لاستيعاب مجموعة الحلقات الانزلاقية والفرش.

3- يحتاج الى ادامة وصيانة دورية لوجود نقاط التماس المتحركة.

3-4 مبدأ تشغيل المحرك الحثي ثلاثي الاطوار

لدراسة مبدأ تشغيل المحرك الحثي يفضل دائما استخدام المحرك نوع الحلقات الانزلاقية كما موضح في شكل رقم (3-8)، حيث نلاحظ ملفي الساكن والدوار ومجموعة الحلقات الانزلاقية والفرش والمفتاح (S) لربط المقاومة الخارجية الى ملفات الدوار.



شكل رقم (3-8) يوضح مخطط ربط محرك الحلقات الانزلاقية.

ففي حالة الدائرة المفتوحة يكون المفتاح مفتوحاً وعند بدء التشغيل يوضع المفتاح في الموقع (1) لـربط المقاومـة الخارجيـة وعنـد التـشغيل الاعتيـادي يوضـع المفتـاح فـي الموقـع (2). للوقوف على عملية تشغيل المحرك نأخذ حالتي العمل الاتيتين:

1-4-3-الدوار في حالة السكون:

يسلط الجهد المقرر في هذه الحالـة (V_1) بتـردد (f_1) علـى الـدائرة الابتدائيـة ويكـون المفتـاح (S) مفتوحـا عنـدها يمكـن قيـاس الجهـد بـين الحلقـات الانزلاقيـة ($V_2=E_2$) بتـردد (f_2)،ويعمل المحرك في هذه الحالـة تمامـا كعمـل المحـول باسـتثناء ان ملفـات المحـرك متوزعـة في مجاري وملفات المحول متمركزة، وتسمى هذه الحالة بالدائرة المفتوحة او اللاحمل (No-Load) حالة اللاحمل تمثل بغلق المفتاح ودوران المحرك بدون حمل خارجي وبسرعة قريبـة من (ns)، في هذه الحالـة يسبب الجهد المسلط (V_1) مرور التيار (I_1) في ملفـات السـاكن الذي يولد بدوره قوة دافعة مغناطيسية (F_1) تؤدي الى تكوين الفيض المغناطيسي المناسب ($Ø_1$)، كـلا المقـادرين (F_1) و ($Ø_1$) يتغيـران مـع الـزمن ويـدوران فـي الفـضاء حـول محـيط الساكن بسرعة تسمى السرعة التزامنيـة (ns) يحدد مقدارها من عدد ازواج اقطـاب المحـرك (P) وتردد الجهد المسلط (f_1) كما يأتي:-

$$n_s = \frac{f_1}{P} \quad R/S$$

ويُعدّ مقياس السرعة بالدورة/ثانية غير مناسب ولهذا يعبر عنها عادة بالدورة /دقيقة:

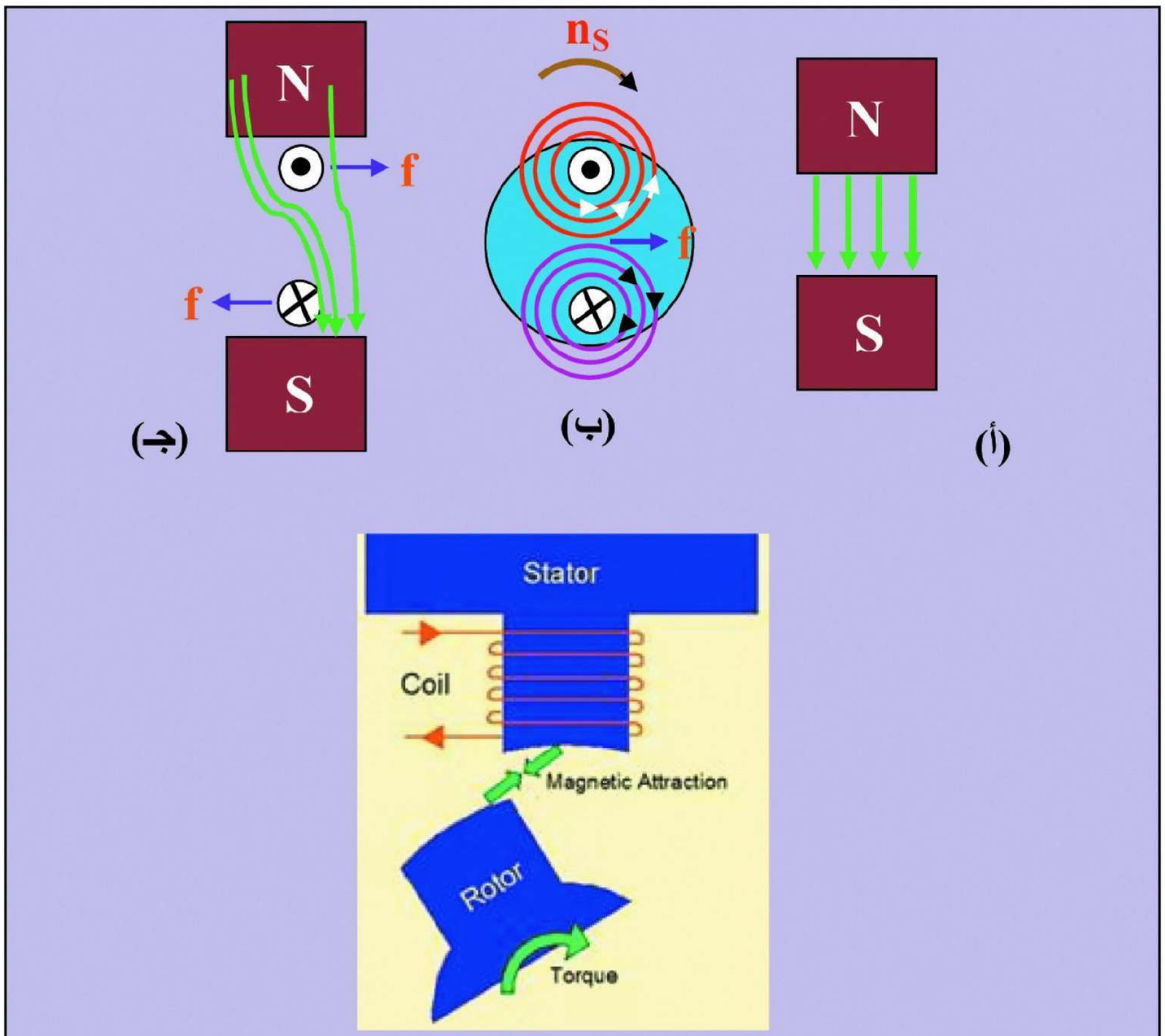
1 دقيقة = 60 ثانية

P = عدد ازواج الاقطاب

$$n_s = \frac{60f_1}{P} \quad \text{R.p.m}$$

3-4-2 الدوار في حالة الدوران:

عند دوران فيض الساكن فان خطوطه المغناطيسية ستقاطع لفات ملف الدوار وتحث فيها (ق. د. ك)، يعتمد مقدارهاعلى معدل قطع الخطوط لهذا الملف، اتجاه هذه الخطوط يكون من القطب الشمالي نحو القطب الجنوبي، كما موضح في شكل رقم (3-9 أ)، أما خطوط المجال المتكون في ملفات الدوار نتيجة لمرور التيار فيها فتكون كما موضح في شكل رقم (3-9 ب)، ونتيجة للتأثير المتبادل لخطوط ملف الدوار مع تلك لملف الساكن فان المحصلة الكلية ستولد قوة مؤثرة في ملفات الدوار تعمل على طرد موصلات هذا الملف في ضمن المجال المغناطيسي كما موضح في شكل رقم (3-9 جـ). ان قوة الطرد هذه تؤثر في الاتجاه نفسه نسبة الى محور الدوران تؤدي الى دوران الدوار الذي يمكن ان يتحرك بسهولة ضمن الحوامل (Bearings) الحاضنة لمحور الدوران، قوة الدوران هذه تسمى بالعزم (Torque) وتؤدي الى دوران الدوار بسرعة (nr) في اتجاه دوران المجال المغناطيسي للساكن نفسه.



شكل رقم (3-9) عمل المحرك.

3-5 خصائص اداء المحرك الحثي ثلاثي الاطوار

3-5-1-عامل الانزلاق

ان طبيعة عمل هذه المحركات هي ان سرعة الدوار (n_r) لايمكن ان تساوي السرعة التزامنية (ns) في المحركات الحثية نهائياً، لهذا يجب ان تكون سرعة نسبية بين المقدارين يعبر عنها كما يأتي:-

$$n_2 = n_S - n_r$$

عندما يكون مقدار $n_2=0$ أي إن ($n_r = n_s$)، فهذا يعني عدم تقاطع خطوط مجال الساكن مع ملفات الدوار وعدم حث (ق.د. ك) فيها وبالتالي عدم وجود تيار وفيض مغناطيسي خاص بالدوار، كما لاتوجد قوة مؤثرة في الدوار (العزم) لتحريكه، عند ذلك يبدأ الدوار بالتباطؤ وتصبح ($n_2>0$)، ويظهرعزم الدوران من جديد، عليه يجب ان يتخلف الدوار في دورانه عن دوران المجال المغناطيسي بمقدار معين يعبر عنه من خلال عامل الانزلاق (slip) وكما يأتي:-

$$S = \frac{n_S - n_r}{n_S} = 1 - \frac{n_r}{n_S}$$

ومن اعادة ترتيب هذه المعادلة يمكن التعبير عن سرعة دوران الدوار كما يأتي:-

$$n_r = (1 - S)n_S$$

وان الانزلاق مقدار بدون وحدات ويعبر عنه دائما كنسبة مئوية (S%).

ان أية ماكنة كهربائية يمكن ان تعمل كمولد، كما يمكن ان تعمل كمحرك من دون اي تغيير في تصميمها وانما فقط بتغير اتجاه مسار الطاقة المتحولة من طاقة ميكانيكية الى طاقة كهربائية وبالعكس، تعمل الماكنة الحثية كمحرك في المدى عندما ($n_r<n_s$)، ويكون عامل الانزلاق موجبا (S+)، كما تعمل كمولد عندما تصبح ($n_r> n_s$)، ويكون عامل الانزلاق سالباً (S-). في الحالة الاولى تتحول الطاقة الكهربائية الى طاقة ميكانيكية حركية وفي الحالة الثانية على العكس. عندما يعمل المحرك الحثي في حالة اللاحمل فان دواره يدور بأقصى سرعة تقرب من السرعة التزامنية ($n_r\approx n_s$)، ويُعدّ مقدار عامل الانزلاق صفرا ($S\approx0$)، اما عندما يكبح الدوار ($n_r=0$)، او في لحظة بدء التشغيل فان عامل الانزلاق يساوي واحداً (S=1).

ويسمى عامل الانزلاق بالمقرر (S_r) عنـــــد عمل المحرك بمقاديره المقررة ويكون بحدود (3-10)% .

مثال (1-3)

جد سرعة دوران المجال المغناطيسي لمحرك حثي ثلاثي الاطوار (أ) رباعي الاقطاب (ب) سداسي الاقطاب عند تردد مقداره 40، 50، 60 Hz.

الحل:

(أ) محرك رباعي الاقطاب p=2 أو 2p=4 عند تردد f=40 Hz:

عند تردد f=40 Hz $$n_s = \frac{60\,f}{p} = \frac{60 \times 40}{2} = 1200 \quad R/m$$

عند تردد f=50Hz $$n_s = \frac{60\,f}{p} = \frac{60 \times 50}{2} = 1500 \quad R/m$$

وعند تردد f=60 Hz $$n_s = \frac{60\,f}{p} = \frac{60 \times 60}{2} = 1800 \quad R/m$$

(ب) محرك سداسي الاقطاب P=3أو 2P=6 عند تردد 40 Hz :

عند تردد f=40 Hz $$n_s = \frac{60\,f}{p} = \frac{60 \times 40}{3} = 800 \quad R/m$$

عند تردد f=50 Hz $$n_s = \frac{60\,f}{p} = \frac{60 \times 50}{3} = 1000 \quad R/m$$

عند تردد f=60 Hz $$n_s = \frac{60\,f}{p} = \frac{60 \times 60}{3} = 1200 \quad R/m$$

مثال (2-3)

جد تردد الجهد المسلط على محرك حثي ثلاثي الاطوار ثماني الاقطاب سرعة دوران دواره المقررة 405 R/m وعامل الانزلاق المقرر 10%:

الحل:

$$n_S = \frac{n_r}{1 - S} = \frac{405}{1 - 0.1} = 450 \ R/m$$

$$f = \frac{P\,n_s}{60} = \frac{4 \times 450}{60} = 30 \quad Hz$$

3-5-2 تأثير عامل الانزلاق

ان الفرق بين سرعة دوران الدوار والسرعة التزامنية لمجال الساكن يرمز له بالمقدار (n_2) وهي في نفس الوقت السرعة النسبية بين دوران هذا الدوار ودوران مجال الساكن، لهذا فان تردد تيار الدوار هو نفسه تردد الجهد المحتث في ملفاته:

$$f_2 = Sf$$

حيث أن:

$$n_r = \frac{60F}{p}(1 - s)$$

مثال (3-3)

محرك حثي ثلاثي الاطوار رباعي الاقطاب، تردد جهده ،50Hz يدور عند سرعة 1495،1455،1432،1410، جد تردد تيار الدوار عند كل سرعة.

الحل:

$$n_S = \frac{60 \times 50}{2} = 1500 \quad \text{R.p.m}$$

$$S = \frac{(n_S - n_r)}{n_S} = \frac{1500 - 1495}{1500} \times 100 = 0.33\ \%$$

$n_s = 1455$ R.p.m

$$S = \frac{1500 - 1455}{1500} = 3 \times 10^{-2}$$

$$f_2 = Sf_1 = 0.33 \times 10^{-2} \times 50 = 0.1666 \quad \text{Hz}$$

$$f_2 = 50 \times 0.03 = 1.5 \quad \text{Hz}$$

$n_s = 1432$ R.p.m

$$S = \frac{1500 - 1432}{1500} = 4.53 \times 10^{-2}$$

$$f_2 = 50 \times 0.0453 = 2.265 \quad \text{Hz}$$

n_s =**1410** R.p.m

$$S = \frac{1500 - 1410}{1500} = 6 \times 10^{-2}$$

$$f_2 = 50 \times 0.06 = 3 \quad \text{Hz}$$

يؤثر عامل الانزلاق بشكل واضح جداً في خصائص عمل المحرك الحثي،وهو يُعدّ المتغير الرئيس الذي يحدد المقادير الاساسية في ملفات الدوار، وهي القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في ملفات الدوار، والتيار المار فيها اضافة الى مقاومة ومفاعلة هذه الملفات وكما يأتي:

$$E_2 = SE$$

E_2: ق،د،ك المحتثة في ملفات الدوار.

E: جهد المصدر.

عند زيادة سرعة دوران الدوار فان عامل الانزلاق ومفاعلة ملف الدوار يهبطان وعند بلوغ مقدار الانزلاق الى الصفر فان مقدار المفاعلة تساوي صفر ايضاً.

مثال (4-3)

محرك حثي ثلاثي الاطوار ثنائي الاقطاب تردد جهده (50) هيرتزاً، ويشتغل عند جهد (380) فولتاً وعامل الانزلاق فيه (3%). جد سرعة الدوار ثم القوة الدافعة الكهربائية المحتثة فيه،

الحل: محرك حثي ثلاثي الاطوار

P=1 V=380v f=50Hz S=0.03

nr = ? E2 = ?

$$n_r = n_S\,(1 - S)$$

$$n_s = \frac{60\,f}{p} = \frac{60 \times 50}{1} = 3000 \quad \text{R.P.m}$$

سرعة الدوار:

$$n_r = 3000\,(1 - 0.03) = 3000 \times 0.97 = 2910 \quad \text{R.p.m}$$

القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الدوار:

$$E_2 = S\,E = 0.03 \times 380 = 11.4 \quad Volts$$

مثال (5-3)

محرك حثي ثلاثي الاطوار يشتغل على جهد 400 فولتاً، والقوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الدوار (10) فولتاً، وترددها (1.25) ذ/ثا. جد عدد اقطاب المحرك، اذا علمت ان سرعة الدوار 1462 دورة في الدقيقة.

المعطيات:

V_L=400 v, E_2=10 v, f_2= 1.25 Hz ,n_r=1462 R/m, 2P=?

الحل:

محرك حثي ثلاثي الاطوار

$$n_r = n_S\,(1 - S)$$

$$E_2 = S\,E$$

$$10 = S \times 400$$

$$S = \frac{10}{400} = 0.025$$

$$f_2 = S\,f$$

$$1.25 = 0.025\,f$$

$$f = \frac{1.25}{0.025} = 50 \quad Hz \qquad , \qquad nr = \frac{60\ f\ (1\text{-}s)}{p}$$

$$n_r = \frac{60 \times 50}{P}(1 - 0.025)$$

$$1462 = \frac{3000}{P} \times 0.975$$

$$P = 2$$

$2P = 2 \times 2 = 4$ اقطاب

مثال (6-3)

محرك حثي ثلاثي الاطوار رباعي الاقطاب يشتغل على مصدر 380 فولتاً، بتردد 50ذ/ثا. جد سرعة دواره، اذا كانت النسبة بين سرعة الدوار والسرعة التزامنية 10\8

المعطيات: محرك حثي ثلاثي الاطوار

V_L=380 V, f=50 Hz, P=2, n_r=? $\quad \frac{n_r}{n_s} = \frac{8}{10}$

الحل:

$$n_s = \frac{60\ f}{p} = \frac{60 \times 50}{2} = 1500 \quad R.P.M$$

$$\frac{n_r}{n_S} = \frac{8}{10} = 0.8$$

سرعة الدوار

$$n_r = 0.8\ n_S = 0.8 \times 1500 = 1200 \quad RPm$$

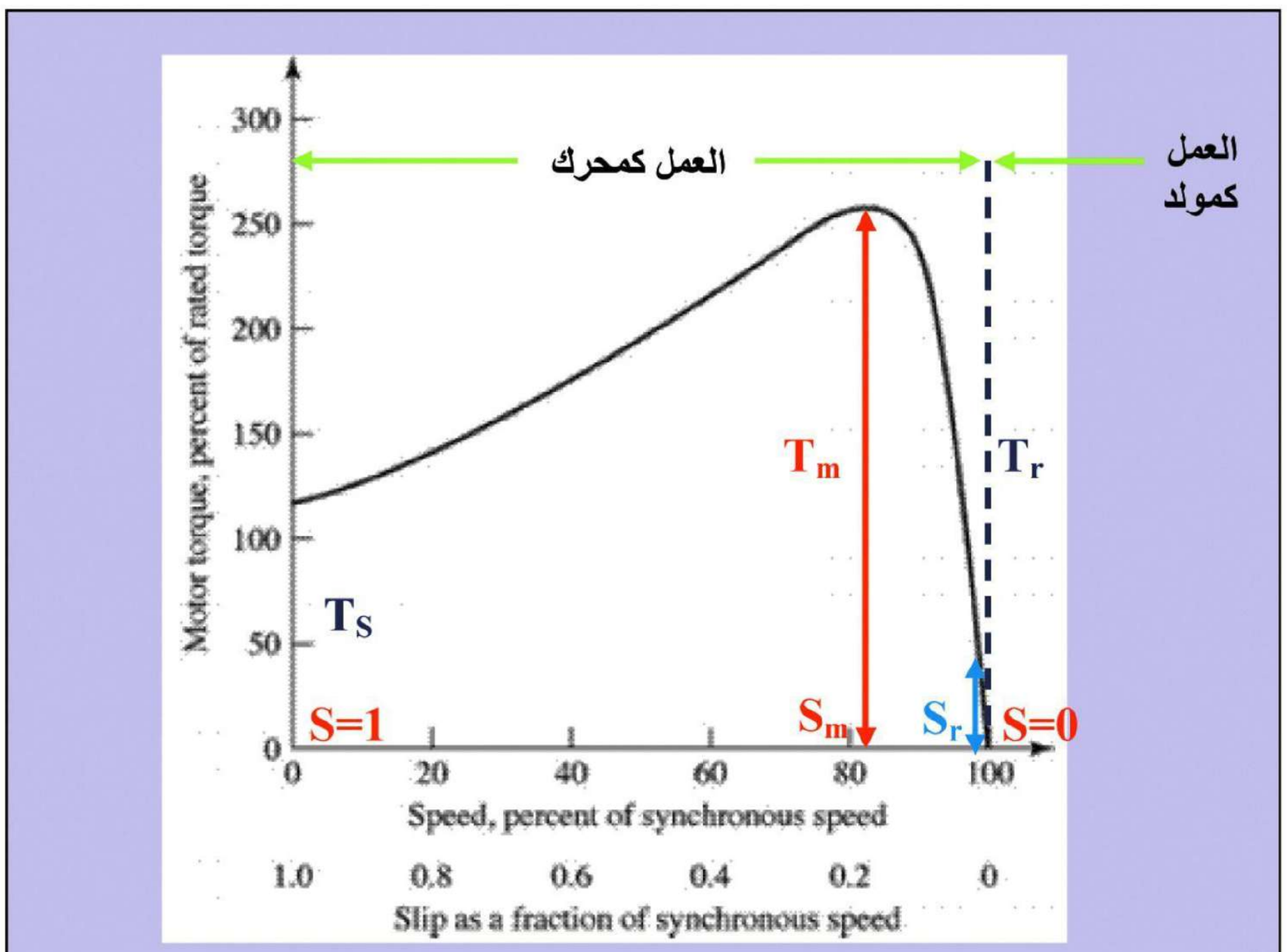
3-5-3 خصائص العزم

ان أهم خصائص المحركات الحثية هي علاقة العزم (Torque) المتولد مع سرعة الدوران او الانزلاق (Slip)، وتسمى بالخصائص الميكانيكية، وهي خصائص غنية بالمعلومات عن عمل المحرك الحثي ثلاثي الاطوار. ان الفيض المغناطيسي في الفجوة الهوائية يولد قدرة كهرومغناطيسية وهي تُعدّ قدرة خرج للساكن وقدرة دخل للدوار (P_{12}).

ان وحدة العزم هي نيوتن-متر (N-M) .

نلاحظ بأن العزم يتناسب طرديا مع مقاومة الدوار ومع مربع تيار الدوار، أو مع مربع الجهد المسلط، كما يتناسب عكسياً مع عامل الانزلاق لغاية بلوغ العزم مقداره الاقصى (T_{max}) أو (T_m).

بعد ذلك يتناسب العزم طرديا مع عامل الانزلاق كما موضح في شكل رقم (3-10).



شكل رقم (3-10) الخصائص الميكانيكية (عزم / الانزلاق) للمحرك الحثي.

عند بدء عمل المحرك (الدوار ساكناً) فان عامل الانزلاق يساوي واحداً (s=1) يتولد عزم بدء المحرك (T_s) الذي يجب ان يكون قادراً على ادارة الحمل المربوط بمحور دوران المحرك، ويزداد هذا العزم مع زيادة السرعة (أي هبوط عامل الانزلاق) الى ان يصل الى اقصى مقدار ممكن له (T_m) عند عامل انزلاق (S_m)، بعد هذا الانزلاق يبدأ مقدار العزم بالهبوط الى ان يصل الى المقدار المقرر (T_r) عند سرعة مقررة او عامل انزلاق مقرر (S_r)،

عند زيادة حمل المحرك لاكثر من المقدار المقرر فأن العزم يزداد لغاية المقدار الاقصى (T_{max}) عند عامل انزلاق (S_{max}) الذي يسمى بعامل الانزلاق الحرج (Critical)، حيث تبدأ سرعة الدوران بعد هذه النقطة بالهبوط السريع لغاية توقف الدوار، ولهذا فان العزم الاقصى يسمى بعزم الانهيار (Break down Torque) ولحساب مقدار العزم الاقصى (T_{max}) أو (T_m):

$$T_m = 3\, I_2^{\,2}\, \frac{R_2}{S_m\, \omega_m} \qquad \text{(N.m)}$$

$$T_m = \frac{T_m}{9.81} \qquad \text{Kg . m}$$

T_m: العزم الاقصى (Torque،max) (N.m)

I_2: التيار الذي يسحبه الدوار (أمبير)

R_2: مقاومة الدوار (أوم)

S_m: عامل الانزلاق الحرج

W_m: السرعة الزاوية عند الانزلاق الحرج (S_m) Rad/sec....

n_s: السرعة التزامنية (د/د)

T_s: العزم الابتدائي للمحرك

لايجاد السرعة الزاوية (ω_m)عند الانزلاق الحرج:

$$\omega_m = \frac{2\,\pi\, n_m}{60}$$

لايجاد السرعة عند الانزلاق(n_m) الحرج:

$$n_m = (1 - S_m)\, n_s$$

مثال (5-3)

محرك حثي ثلاثي الاطوار رباعي الاقطاب تردد جهده 50Hz يسحب دواره تياراً مقداره (66.8A) عند عامل انزلاق حرج مقداره (0.143). جد مقدار العزم المتولد عند هذا الانزلاق، علما بان مقاومة الدوار هي (0.35) أوم.

المعطيات: محرك حثي ثلاثي الاطوار

$S_m = 0.143, I_2 = 66.8\ A, f = 50\ Hz, P = 2, R_2 = 0.35\Omega, Tm = ?$

الحل:

السرعة التزامنية:

$$n_s = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 50}{2} = 1500 \quad \text{R.P.M}$$

السرعة عند الانزلاق الحرج:

$$n_m = (1 - S_m) n_S = (1 - 0.143) \times 1500$$
$$= 1285 \quad \text{R.p.m}$$

السرعة الزاوية عند الانزلاق الحرج:

$$\omega_m = \frac{2\,\pi\, n_m}{60} = 2\,\pi \times \frac{1285}{60} = 134.5 \qquad Rad/s$$

العزم المتولد عند هذا الانزلاق الحرج:

$$T_m = 3\, I_2{}^2 \frac{R_2}{S_m\, \omega_m} = 3\,(66.8)^2 \frac{0.35}{0.143 \times 134.5}$$
$$= 243.6 \quad \text{N.m}$$

مثال (3-6)

محرك حثي سداسي الاقطاب تردد جهده (60) Hz هرتزاً وعامل انزلاقه الحرج مقداره (0.12)، ومقدار العزم المتولد عند هذا الانزلاق (240) نيوتن.متر. جد التيار الذي يسحبه دواره عند عامل انزلاقه الحرج، علما بان مقاومة الدوار هي (0.4) أوم:

المعطيات: محرك حثي سداسي الاقطاب

$S_m = 0.12$, $I_2 = ?$, $f=60$ Hz, $P=3$, $R_2 = 0.4\Omega$, $Tm=240$ N.m

الحل:

السرعة التزامنية

$$n_s = \frac{60\,f}{p} = \frac{60 \times 60}{3} = 1200 \quad \text{R.P.M}$$

السرعة عند الانزلاق الحرج:

$$n_m = (1 - S_m) n_S = (1 - 0.12) \times 1200 = 1056 \quad \text{R.p.m}$$

السرعة الزاوية عند الانزلاق الحرج:

$$\omega_m = \frac{2\,\pi\, n_m}{60} = 2 \times 3.14 \times \frac{1056}{60} = 110.5 \qquad Rad/s$$

$$T_m = 3\, I_2^{\,2}\, \frac{R_2}{S_m\, \omega_m}$$

$$240 = 3 \times I_2^{\,2} \times \frac{0.4}{0.12 \times 110.5}$$

$$I_2^{\,2} = \frac{240 \times 0.12 \times 110.5}{1.2} = 2652 \quad A \quad , \quad I_2 = \sqrt{2652}$$

$$I_2 = 51.49 \ \ A$$

مثال (7-3)

محرك حثي ثلاثي الاطوار، يسحب دواره تيار مقداره (40) أمبيراً، عند عامل انزلاق حرج مقداره (0.2). جد مقدار العزم المتولد عند هذا الانزلاق ، علما بأن مقاومة الدوار هي (0.3) أوم، والسرعة التزامنية 1500د/د .

المعطيات: محرك حثي ثلاثي الاطوار

S_m =0.2 , I_2= 40 A, R_2 = 0.3 Ω, n_S= 1500 R.p.m , Tm=?

الحل:

السرعة التزامنية عند الانزلاق الحرج:

$$n_m = (1 - S_m) n_S = (1 - 0.2) \times 1500 = 1200 \quad \text{R.p.m}$$

السرعة الزاوية عند الانزلاق الحرج:

$$\omega_m = \frac{2\,\pi\, n_m}{60} = \frac{2 \times 3.14 \times 1200}{60} = 125.6 \quad Rad/s$$

العزم المتولد عند هذا الانزلاق:

$$T_m = 3\, I_2^{\,2}\, \frac{R_2}{S_m\, \omega_m} = 3(40)^2 \times \frac{0.3}{0.2 \times 125.6} = 57.3 \ \ N.m$$

3-6 القدرة والكفاءة فى المحركات الحثية ثلاثية الاطوار

3-6-1 مكونات القدرة

لايجاد كفاءة المحرك ينبغي اولاً تحديد مقدار المفاقيد الاساسية فيه. ان هذه المفاقيد تنقسم الى ثلاثة أنواع هي:

1-المفاقيد الكهربائية Electrical losses :

وتتكون نتيجة لهبوط الجهد على المقاومات الاومية للملفات، وبما ان الملفات تتكون في الغالب من اسلاك نحاسية فان هذه المفاقيد تسمى بالنحاسية **Copper losses** ويرمز لها (P_{cu}) فهي لملفات الساكن (P_{cu1}) ولملفات الدوار (P_{cu2}) حتى وان كانت من مادة الالمنيوم،تتناسب المفاقيد الكهربائية مع مقدار المقاومة وتساوي مربع التيار في المقاومة (I^2R) فهي للساكن:

$$P_{cu1}=3I^2_{ph1} R_1$$

وللدوار:

$$P_{cu2}=3 I^2_{ph_2} R_2$$

في حالة اللاحمل يكون تيار الدوار واطئاً جداً لهذا فأن المفاقيد الكهربائية في الدوار تهمل. مع زيادة الحمل يزداد كل من تياري الساكن والدوار وبالتالي تزداد المفاقيد الكهربائية في المحرك. بما ان مقدار هذه المفاقيد يعتمد على تغير مقدار الحمل (أو تيارات الملفات) فانها تسمى ايضاً المفاقيد المتغيرة (Variable).

2- المفاقيد المغناطيسية Magnetic Losses :

وهي المفاقيد التي تنتج لتقاطع خطوط القوى المغناطيسية لمجالي الساكن والدوار مع الكتلة (Core) الحديدية لكل منهما، لهذا فهي تسمى ايضا بالمفاقيد الحديدية (Iron Losses).

تتكون المفاقيد المغناطيسية نتيجة ظاهرتين ملازمتين للفيض المغناطيسي هما ظاهرة الهسترة (Hysteresis) او التخلفية التي تسبب مفاقيد الهسترة (P_h) في الجسم الحديدي وظاهرة التيارات الدوامية (Eddy-Current) المحتثة في الجسم الحديدي التي تسبب مفاقيد التيارات الدوامية (P_{ec}) . تتناسب المفاقيد المغناطيسية مع الفيض المغناطيسي عند

تردد وجهد مقررين. لهذا فان هذه المفاقيد تسمى بالمفاقيد الثابتة (Constant) لان التردد والجهد مقداران ثابتان.

3- المفاقيد الميكانيكية Mechanical Losses :

وهي المفاقيد التي تتكون في الاجزاء الدوارة في المحرك نتيجة الاحتكاك (Friction) أو مقاومة الهواء لدوران الدوار (Windage) ،وتسمى بمفاقيد الاحتكاك والهواء Friction and Windage (P_{fw})، وتتناسب مع سرعة دوران الدوار وعلى قطر الدوار وتصميم وإبعاد مروحة التهوية في المحرك.

3-6-2 موازنة القدرة في المحرك

ان القدرة الكلية الداخلة الى المحرك (P_1) تغطي مكونات المفاقيد التي سبق ذكره.

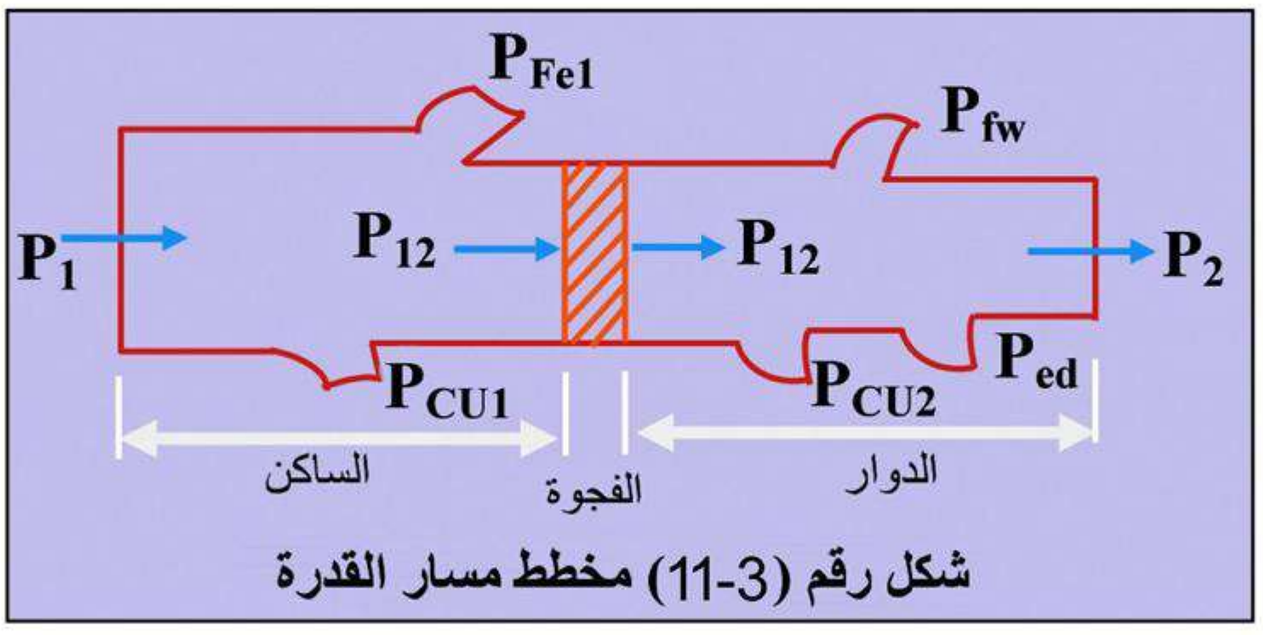
ويعبر عن القدرة الداخلة كما يأتي:

$$P_1=\sqrt{3}\,V_1 I_1 \cos\varphi_1$$

وهي تغطي مفاقيد الساكن الحديدية P_{fe1}، والنحاسية P_{cu1} والمتبقي P_{12} يُعدّ القدرة الخارجة من الساكن كما موضح في شكل رقم (3-11):

أن القدرة الخارجة من الساكن (P_{12}) هي نفسها القدرة الداخلة الى الدوار والتي تغطي المفاقيد النحاسية للدوار (P_{cu2})، والمتبقي يتحول الى قدرة ميكانيكية (P_m) تتحول الى عزم الدوران .

وتغطي القدرة الميكانيكية المفاقيد الميكانيكية (P_{fw}) والباقي هي القدرة النافعة على محور الدوران (P_2).



شكل رقم (3-11) مخطط مسار القدرة

3-6-3 الكفاءة

ان كفاءة أي ماكنة تقاس بنسبة القدرة الخارجة الى القدرة الداخلة، ودائماً تؤخذ كنسبة مئوية كما يأتي:

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

إن القدرة الخارجة من المحرك هي المقدار المتبقي من القدرة الداخلة بعد طرح مجموع المفاقيد في المحرك أي:

$$P_2 = P_1 - \Delta P$$

حيث ان $\sum P$ هي مجموع المفاقيد في المحرك وتساوي:

$$\Delta P = P_{CU1} + P_{Fe1} + P_{CU2} + P_{fw}$$

اذ ان كفاءة المحرك تساوي:

$$\eta\% = \frac{P_2}{P_1} \times 100 = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} \times 100 = 1 - \frac{\Delta P}{P_1} \times 100$$

ويشكل المقدار ($\Delta P/P1$) لحدود (3-20)% حيث يزداد المقدار في محركات القدرة القليلة ويقل في محركات القدرة العالية،أي كفاءة المحرك الحثي تتراوح بين 80% و 97%،

1-المفاقيد الكهربائية تشمل:

P_{cu}:المفاقيد النحاسية (W)

P_{cu1}: المفاقيد النحاسية للساكن (W)

P_{cu2}:المفاقيد النحاسية للدوار (W)

$$P_{cu}=P_{cu1}+P_{cu2}$$

$$P_{cu1}= 3I^2_{ph1} R_1$$

$$P_{cu2} = 3\, I_{ph2}^2\, R_2$$

2-المفاقيد الميكانيكية : (P_m)

فالمفاقيد الكلية للمحرك:

$$\Delta P = P_{cu} + (P_{ir} + P_m)$$

$$P_2 = P_1 - (P_{cu} + P_{ir} + P_m)$$

$$\Delta P = P_{cu} + P_{ir} + P_m$$

$$P_1 = P_2 + \Delta P$$

$$P_1 = \sqrt{3} V_1 I_1 \, Cos\varphi_1$$

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

P_2: القدرة الخارجة (W) أو حصان.

P_1: القدرة الكلية الداخلة للمحرك (W).

I_1:التيار الذي يسحبه المحرك (A).

V_1:الجهد الذي يعمل عليه (v).

: معامل قدرة المحرك$COS\varphi_1$.

P_{ir}: المفاقيد الحديدية.

η: الكفاءة.

Pm:المفاقيد الميكانيكية

مثال (8-3)

محرك حثي ثلاثي الاطوار جهده (400) فولت وتردده (50) Hz يسحب تياراً مقداره (50A) وعامل قدرته (0.9) جد مفاقيده النحاسية للساكن اذا كانت مقاومة ملفات الساكن (0.5) أوم والمربوطة بنسق مثلثي (دلتا) ثم جد القدرة الداخلة:

المعطيات : محرك حثي ثلاثي الاطوار ربط مثلث

$V_1=400v, f=50Hz, I_1=50A, COS\varphi_1=0.9, R_1=0.5$, $P_{cu1}=?$, $P_1 = ?$

$P_{cu1} = 3\, I_{ph1}^{2}.\ R$

الحل:

$$P_{CU1} = 3(\frac{50}{\sqrt{3}})^2 \times 0.5 = 1250 \quad w$$

$$P_1 = \sqrt{3} V_1 I_1 \ Cos\varphi_1$$

$$P_1 = \sqrt{3} \times 400 \times 50 \times 0.9 = 31140\,\text{w} \quad = 31.14 \quad Kw$$

مثال (3-9)

محرك حثي ثلاثي الاطوار قدرته (20Hp) والجهد الذي يوصل اليه (500v) وعامل قدرته 0.8 وكفاءته 90% ،إحسب شدة التيار المسحوب عند الحمل الكامل:

المعطيات : محرك حثي ثلاثي الاطوار

P_2=20 Hp, V=500, COSφ_1=0.8, η=90%, I_1=?

الحل:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{20 \times 746}{0.9} = 16577 \ \text{w}$$

$$I_1 = \frac{16577}{1.7 \times 500 \times 0.8} = 24.3 \quad A$$

مثال (3-10)

محرك حثي ثلاثة اطوار جهده (380v) ويسحب تياراً مقداره (50A) عامل قدرته (0.8) وكفاءته (90%) جد مقاومة الساكن للطور الواحد اذا كانت المفاقيد الثابتة (الميكانيكية والحديدية) تساوي 584 واط ،وموصلة ملفاته على شكل نجمة.

المعطيات : محرك حثي ثلاثي الاطوار ملفاته موصلة نجمة

V_1=380v, I_1=50A ,COSφ=0.8 ,$P_{ir}+P_m$=584 w , η =0.9 , R =?للطور الواحد

الحل:

$$P_{CU_1} = 3 I_{ph1}^{2} R_1$$

$$P_1 = \sqrt{3}\, V_L\, I_L\, Cos\varphi = 1.7 \times 380 \times 50 \times 0.8 = 25840 \ w$$

$$P_2 = \eta P_1 = 0.9 \times 25840 = 23256 \quad w$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 2584 \quad w$$

$$\Delta P = P_{CU1} + (P_{ir} + P_m) = 2584 - 584 = 2000 \quad w$$

$$P_{CU} = 3I_1^2 R_1$$

$$2000 = 3(50)^2 R_1$$

$$R_1 = \frac{2000}{3 \times 2500} = \quad 0.266\Omega$$

مقاومة الطور الواحد

مثال (3-11)

محرك ذو ثلاثة اطوار قدرته (170) كيلوواط ، يعمل على جهد (400)فولت، والقدرة الداخلة للمحرك (200) كيلوواط، جد كفاءة المحرك والمفاقيد الكلية.

المعطيات: محرك ثلاثي الاطوار

$P_2 = 170$ Kw, $P_1 = 200$ Kw ,η= ? , ΔP =? v_L =400 v

الحل:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\ \% = \frac{170}{200} \times 100\ \% = 85\ \%$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 200 - 170 = 30 \text{ Kw}$$

مثال (12-3)

محرك ذو ثلاثة اطوار، وصلت ملفاته على نسق نجمة، والجهد الذي يعمل عليه (380) فولت ويسحب تيار (30) امبير، وعامل قدرته(0.8)، وكفاءته(80%)، جد مقدار المقاومة الطبيعية لملفات الساكن للطور الواحد اذا كانت المفاقيد المتغيرة تساوي المفاقيد الثابتة.

المعطيات: محرك ثلاثي الاطوار ربط نجمة

$V_1 = 380\ V, I_1 = 30\ A, \cos\theta = 0.8, \eta = 80\% = 0.8, R_1 = ?,$

$P_{CU} = P_{ir} + P_m$

الحل:

$P_1 = \sqrt{3}\ I_1 V_1 \cos\theta = 1.73 \times 30 \times 380 \times 0.8 = 15777\ Watt$

$P_2 = \eta P_1 = 0.8 \times 15777 = 12622\ Watt$

$\Delta P = P_1 - P_2 = 15777 - 12622 = 3155\ Watt$

$\Delta P = P_{CU} + P_{ir} + P_m$

نفرض ان المفاقيد النحاسية = X (مجهولة القيمة) اي:

$P_{CU} = X$

كذلك $P_{ir} + P_m = X$

(حيث ان المفاقيد المتغيرة والثابتة متساوية في المثال)

$X + X = 3155$

$2X = 3155$

$X = 3155/2 = 1577.5$

$P_{CU} = 3I_{ph1}^2 R_1$

$1577.5 = 3(30)^2 \times R_1$

$R_1 = 1577.5 / 900 \times 3 = 1.75/3 = 0.58\ \Omega$ (for one phase)

3-7 طرائق بدء الحركة والتحكم في سرعة دوران المحركات الحثية

3-7-1 طرائق بدء الحركة

بدء الحركة Starting في المحركات الحثية اهم مرحلة في عمل هذه المحركات لانها تحدد مقادير مهمة مثل تيار البدء (Is) وعزم البدء (Ts) حيث يفضل دائماً تقليل المقدار الاول وزيادة المقدار الثاني. حيث يسحب المحرك تيارا عالياً جداً يصل الى (6-7)

اضعاف التيار المقرر، لهذا تكون له سلبيات منها:

- سحب تيار عالٍ يؤدي الى هبوط جهد المصدر .
- تكوين قوة كهرومغناطيسية تخلخل تماسك الملفات وتؤدي الى تلف عوازلها.
- يؤثر في سلامة الاحمال التي يديرها المحرك ويكون سبباً لارتفاع درجة حرارته.

ان التعبير البسيط عن تيار البدء هو:

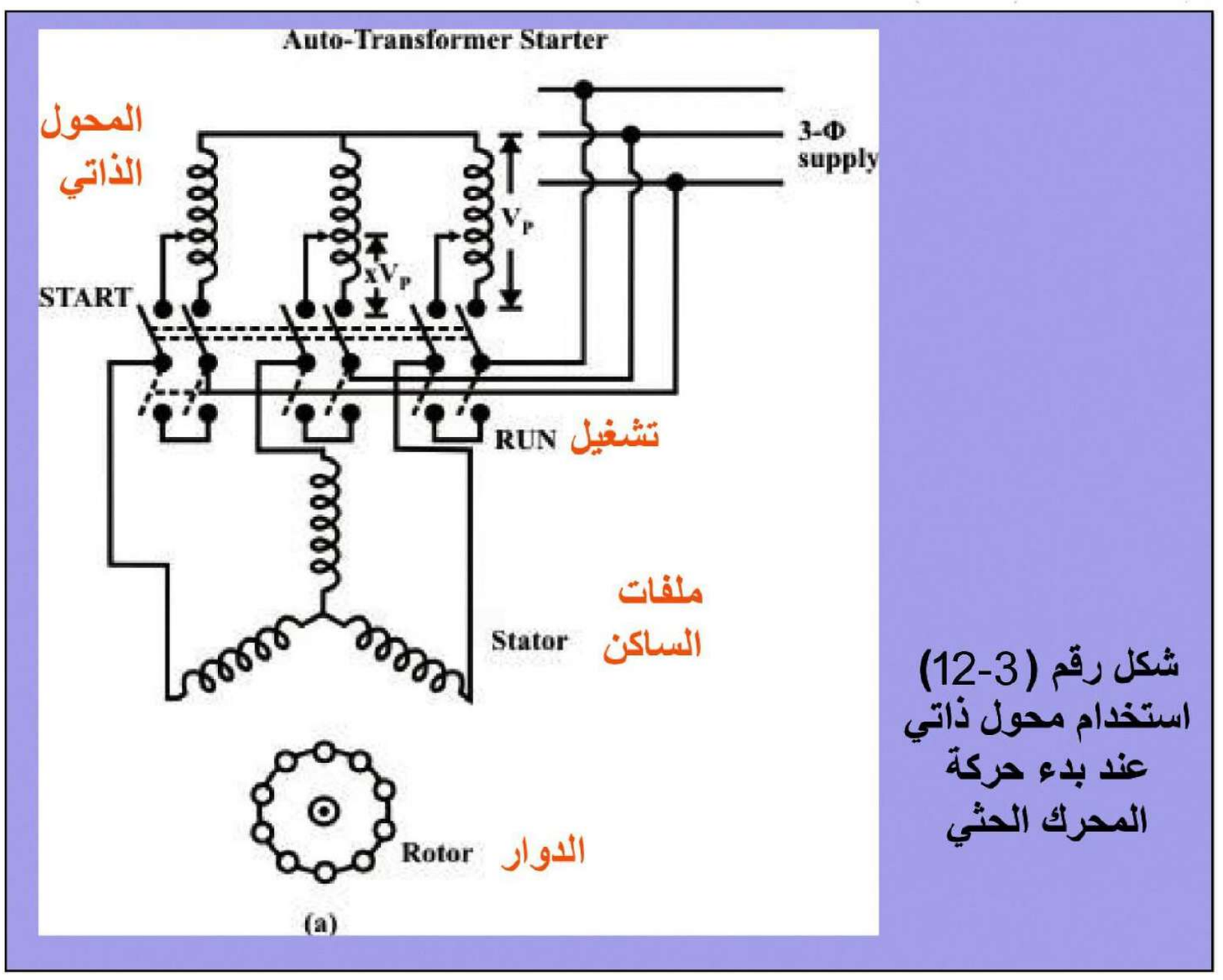
$$I_S = \frac{V_1}{Z_{SC}}$$

Z_{SC}: تمثل الممانعة في حالات القصر

إن طرائق بدء الحركة لمحرك القفص السنجابي هي:

1- الطريقة المباشرة: وهي ان يربط المحرك مباشرة الى المصدر بدون استخدام أي وسيلة لتسهيل بدء العمل بأستثناء الحماية الكهربائية الضرورية، تستخدم هذه الطريقة للمحركات الحثية ثلاثية الاطوار واطئة القدرة.

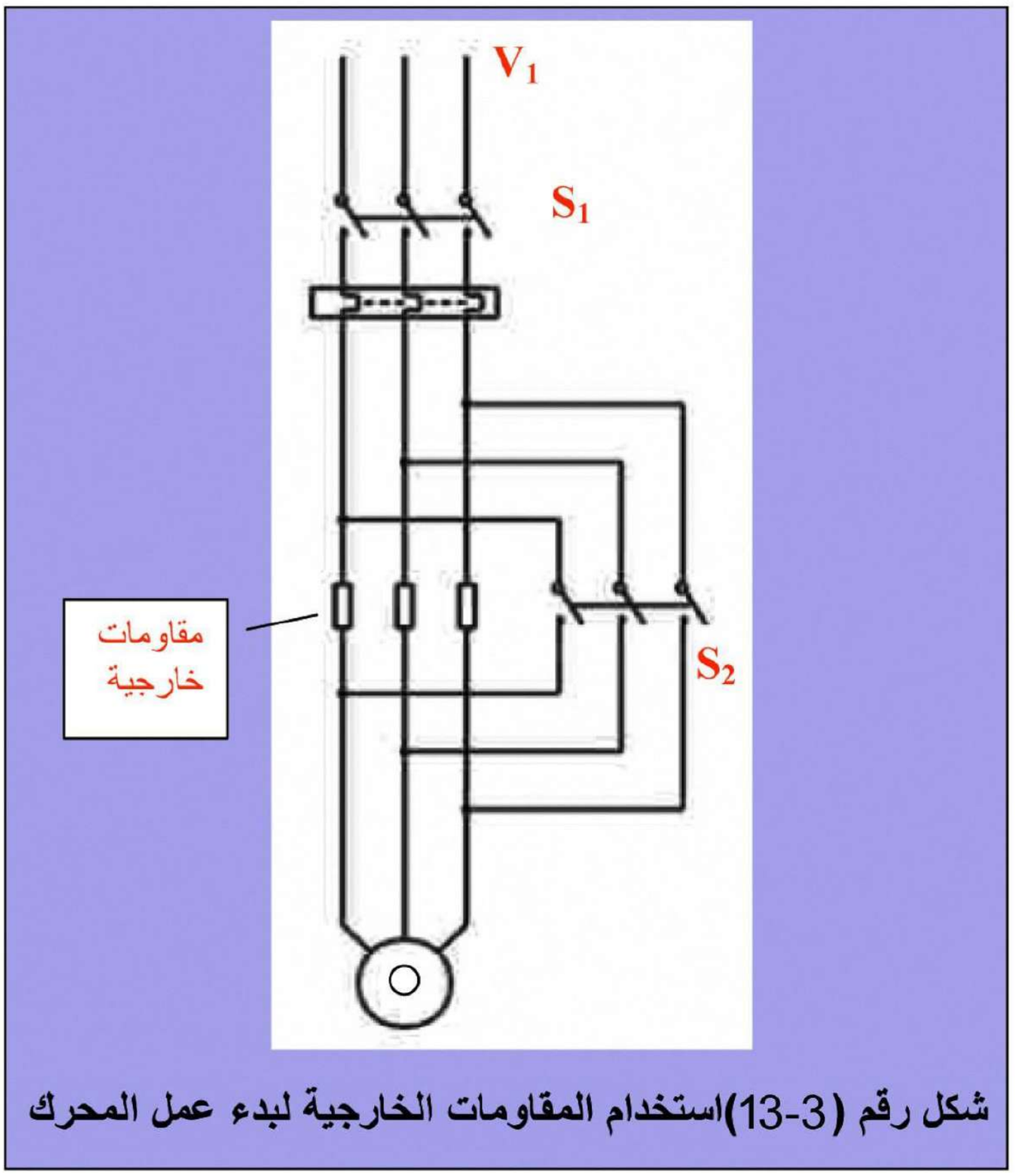
2-إستخدام محول ذاتي (Auto transformer) لتغذية المحرك في مرحلة البدء: ويربط كما في شكل رقم (3-12).



شكل رقم (3-12) استخدام محول ذاتي عند بدء حركة المحرك الحثي

وهذا المحول يصمم خصيصاً لهذا الغرض ويخفض الجهد الى (50-75)% من الجهد المقرر،عند تقليل الجهد بنسبة معينة (Kمثلاً) فان تيار البدء يقل بالمقدار نفسه، بينما يقل عزم البدء بمقدار (K^2)، لأن العزم يتناسب مع مربع الجهد المسلط (V_1).

3- ربط مقاومات على التوالي مع ملفات الساكن أذ ان جزءاً من الجهد المسلط يذهب كهبوط جهد على هذه المقاومات ، والمتبقي يسلط على الملفات الطورية للساكن، تستطيع هذه الطريقة تقليل الجهد المسلط على الملف الطوري بمقدار (60-70)% من الجهد المقرر. عند البدء يغلق المفتاح (S_1) في شكل رقم (3-13) مع إبقاء المفتاح (S_2) مفتوحاً فيبدأ المحرك بالدوران لغاية وصوله الى السرعة المقررة فيغلق المفتاح (S_2) فيتم قصر المقاومات المربوطة ويستمر المحرك العمل بصورة طبيعية عند الجهد المقرر.



شكل رقم (3-13)استخدام المقاومات الخارجية لبدء عمل المحرك

4-الربط نجمي/مثلثي للملفات التي تعمل إعتيادياً بنسق مثلثي، عند البدء تربط الملفات بنسق نجمي فيقل الجهد المسلط على الملفات الطورية بمقدار ($\sqrt{3}$) أي إن:

$$V_{ph} = \frac{V_r}{\sqrt{3}} = 0.58\ V_r$$

وتيار البدء يقل بمقدار ($\sqrt{3}$) أيضاً، في هذه الحالة نغلق المفتاح (S_1) ونضع المفتاح (S_2) في موقع البدء (S) فتكون ملفات الساكن مربوطة بنسق نجمي وبعد وصول سرعة الدوران الى قرب السرعة المقررة نحول المفتاح (S) الى موقع التشغيل (R) كما موضح في شكل رقم (3-14).

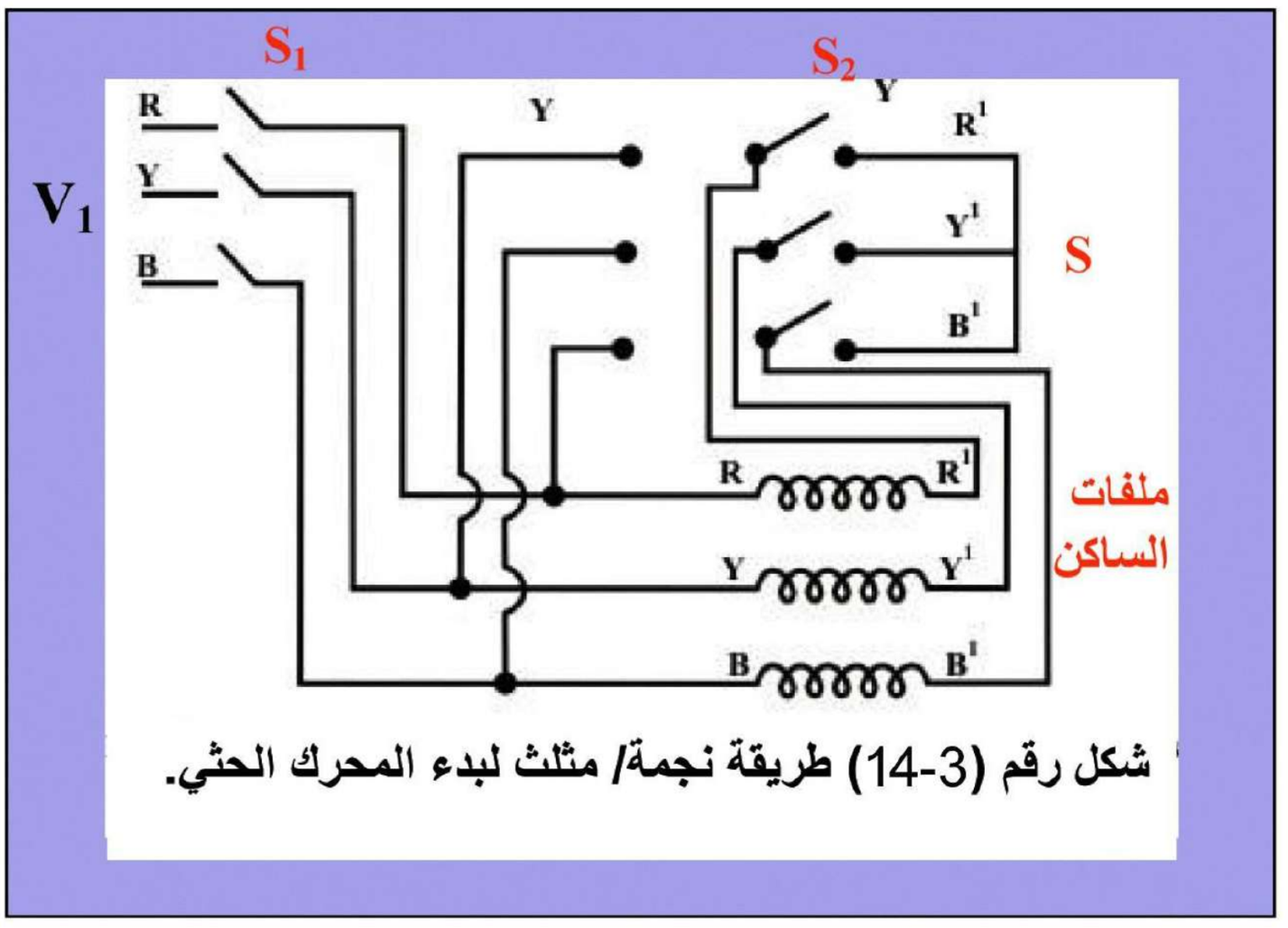
عندها يكون كامل الجهد المقرر مسلطاً على الملف الطوري، نلاحظ هنا بأن تيار الخط (I_L) يقل ثلاث مرات أي:

$$I_L = \frac{I_{ph}}{\sqrt{3}} = \frac{\frac{I_{SC}}{\sqrt{3}}}{\sqrt{3}} = 0.33\ I_{SC}$$

كذلك يقل العزم المتولد في حالة البدء بمقدار :

$$K^2 = (\sqrt{3})^2 = 3$$

وهذا يسمح به عندما لايكون عزم البدء في المحرك عالياً.



شكل رقم (3-14) طريقة نجمة/ مثلث لبدء المحرك الحثي.

3-8 المحركات التزامنية ثلاثية الأطوار

3-Phase Synchronous Motors

3-8-1 تمهيد

تسهم المكائن التزامنية بدور مهم في عملية تحويل الطاقة كهروميكانيكياً، فهي تستخدم لتحويل الطاقة الميكانيكية الى كهربائية عندما تعمل كمولدات كما هي الحال في محطات توليد الطاقة كلها، أو في المولدات الاضطرارية المنزلية، كما تستخدم المكائن التزامنية كمحركات كهربائة تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية الى ميكانيكية وتعمل عند سرعة محددة تسمى تزامنية لهذا فان هذه المحركات تُعدّ ثابتة السرعة مهما تغير الحمل المسلط عليها، وتعمل المحركات التزامنية عند عامل قدرة متغير يمكن التحكم به، عكس الحالة في المحركات الحثية التي تعمل عند عامل قدرة ثابت، وتوجد تطبيقات عديدة لاستغلال هذه الميزة باستخدام المحركات التزامنية لتحسين عامل قدرة في شبكات التغذية، وتتميز المحركات التزامنية ايضاً عند مقارنتها بالمحركات الحثية في أن تيار البدء فيها يكون واطئاً وعزم البدء عالياً كما يشجع استخدامها في العمليات الميكانيكية الثقيلة.

بالنظر للكلفة العالية نسبياً للمحركات التزامنية فان تصنيفها الرئيس يكون بقدرة عالية تزيد على (100) كيلو واط للاستفادة من مميزاتها المذكورة أعلاه.

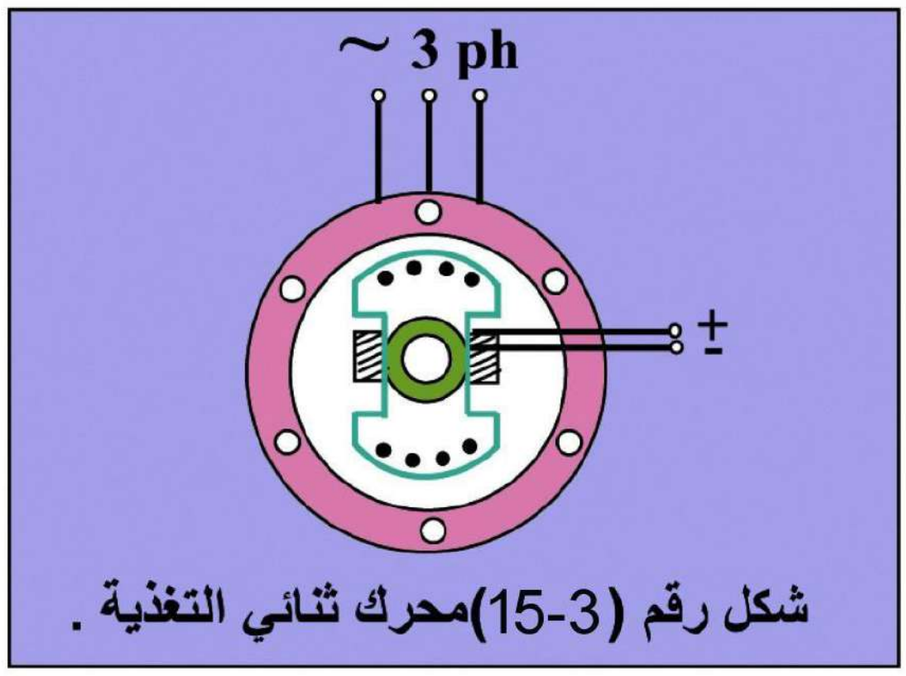
وتوجد ايضاً استخدامات عديدة متنوعة للمحركات التزامنية الصغيرة (لغاية إجزاء الواط) عند الحاجة لدقة عالية في السرعة، كما في المضخات الاصطناعية للقلب أو للساعات المتنوعة أو في مكائن النسيج والطباعة التي تحتاج الى تزامن (تطابق) في سرعة جميع المحركات التي تعمل في آن واحد.

3-8-2 الاجزاء التركيبية للمحرك

تتكون المحركات التزامنية كما باقي محركات التيار المتناوب من جزئين رئيسين هما الساكن ، والدوار ويسمى هنا بعضو الاثارة (Exciter)، وتُعدّ المحركات التزامنية من المكائن ثنائية التغذية حيث يسلط جهد تيار متناوب على ملفات الساكن، كما يسلط جهد تيار مستمر على الدوار (عضو الاثارة)، كما موضح في شكل رقم (3-15).

إن ساكن المحرك التزامني يشبه تماماً ساكن المحرك الحثي، حيث يتم تجميعه من رقائق الحديد السيليكون التي يحتوي سطحها الداخلي على فجوات (مجاري) لاحتواء ملف المنتج المتوزع بانتظام على محيط المنتج، وعند تسليط جهد متناوب ثلاثي الاطوار على هذه الملفات

فإن تياراً متناوباً سيمر فيها والذي يولد المجال المغناطيسي الرئيس في المحرك ويكون دواراً في الفضاء بسرعة تزامنية، تعتمد على عدد أقطاب الملف وتردد الجهد المسلط (ns=60 F_1/P) تماماً كما في المحركات الحثية.



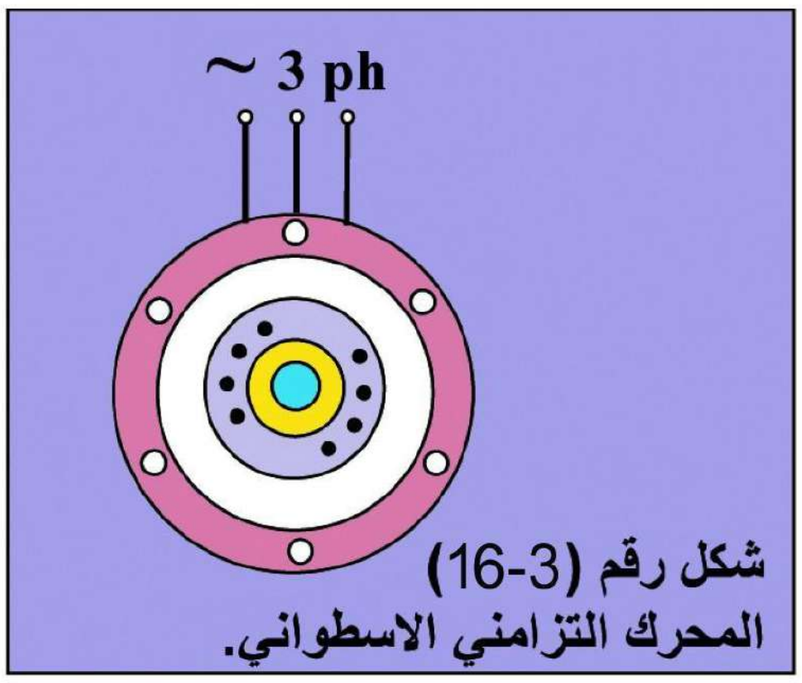
شكل رقم (3-15)محرك ثنائي التغذية .

أما الدوار فأنه يصمم على ثلاثة أنواع هي:

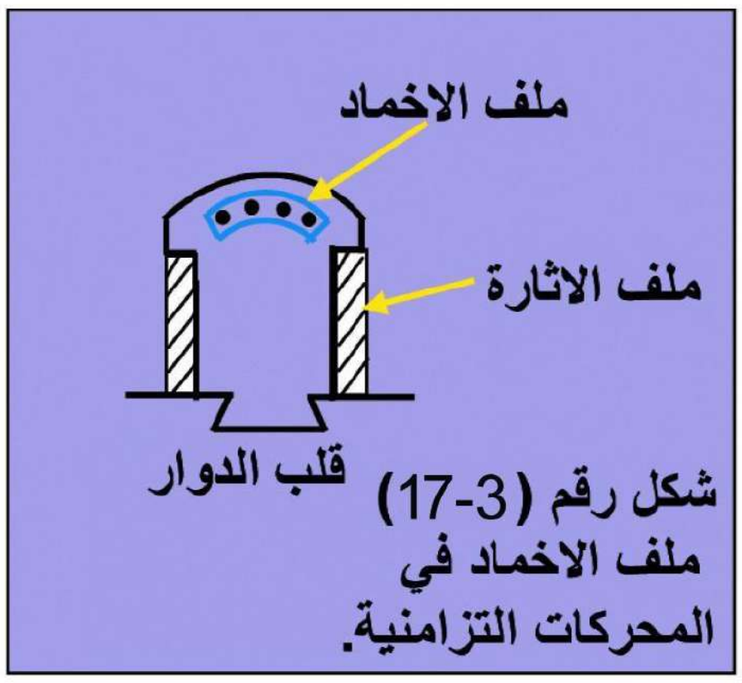
أولاً- عندما يتكون الدوار من أقطاب بارزة فإن المحرك يسمى بارز الأقطاب (Salient Poles Motor)، كما في شكل رقم (3-16). تصمم أغلب المحركات ثلاثية الاطوار بهذه الطريقة لأنها تعمل عادة عند السرع الواطئة أو المتوسطة فيكون عدد أقطابها بين (2-8) وتردد الجهد المسلط 50Hz (أو أحياناً 60Hz).

توضع على الأقطاب ملف متمركز (Concentric) تربط نهايتيه بحلقتين إنزلاقيتين تثبت على محور الدوران، وتقوم الفرش المنزلقة عليها بنقل التيار من المصدر الخارجي للتيار المستمر، يسمى الملف بملف الاثارة الذي يؤدي عند مرور التيار المستمر فيه الى تكوين مجال الاثارة كما يسمى أيضاً بملف المجال.

ثانياً- عندما يصمم الدوار على شكل إسطوانة صلدة كما موضح في شكل رقم (3-17)، حيث يتم تشكيل مجارٍ (أو أخاديد) على السطح الخارجي للدوار تقوم بأحتضان ملف الاثارة.



شكل رقم (3-16)
المحرك التزامني الاسطواني.



شكل رقم (3-17)
ملف الاخماد في
المحركات التزامنية.

تثبت على محور الدوران حلقتين إنزلاقيتين يتم من خلالهما تغذية ملفات الاثارة بطاقة التيار المستمر، توجد على سطح الأقطاب البارزة كما على سطح الجزء الخالي من الدوار الاسطواني ملفات تشبه ملف القفص السنجابي في المحركات الحثية، كما موضح في شكل (3-17)، ويسمى هذا الملف بملف المضائلة أو الأخماد (Damping)، الذي يؤدي الى عودة المحرك الى حالة التوقف الفجائي عند التغير المفاجئ للحمل ، كما يسمى بملف البدء (Starting) لانه يقوم بتوليد عزم بدء لا تزامني كما في حالة المحركات الحثية تماماً.

ثالثاً- في المحركات الصغيرة وذات القدرة المتوسطة يتم الاستغناء عن ملفات الاثارة والحلقات الانزلاقية ومصدر التغذية الخارجي وذلك بتصميم الدوار من مغانط دائمة (Permanent Magnet) تثبت على قلب الدوار بطرائق مختلفة ومتنوعة، ونظراً للاعتمادية العالية لعمل المحرك التزامني بمغانط دائمة فأن هذه المحركات بدأت بالانتشار الواسع لاستخدامها في مجالات مهمة وحساسة كأجهزة الحاسوب ومعدات الطيران والصواريخ والمجالات الطبيعية المختلفة. ان سرعة انتشار هذه المحركات يعتمد على تصنيع مغانط كفوءة وبأسعار مناسبة.

مع ان استبعاد الملفات وملحقاتها يقلل الحاجة الى الصيانة والادامة الا إن محركات المغانط الدائمة لايمكن إستخدامها في تحسين عامل القدرة أو تغيره وذلك لعدم إمكانية تغير مقدار مجال الاثارة.

3-8-3 بدء عمل المحركات التزامنية

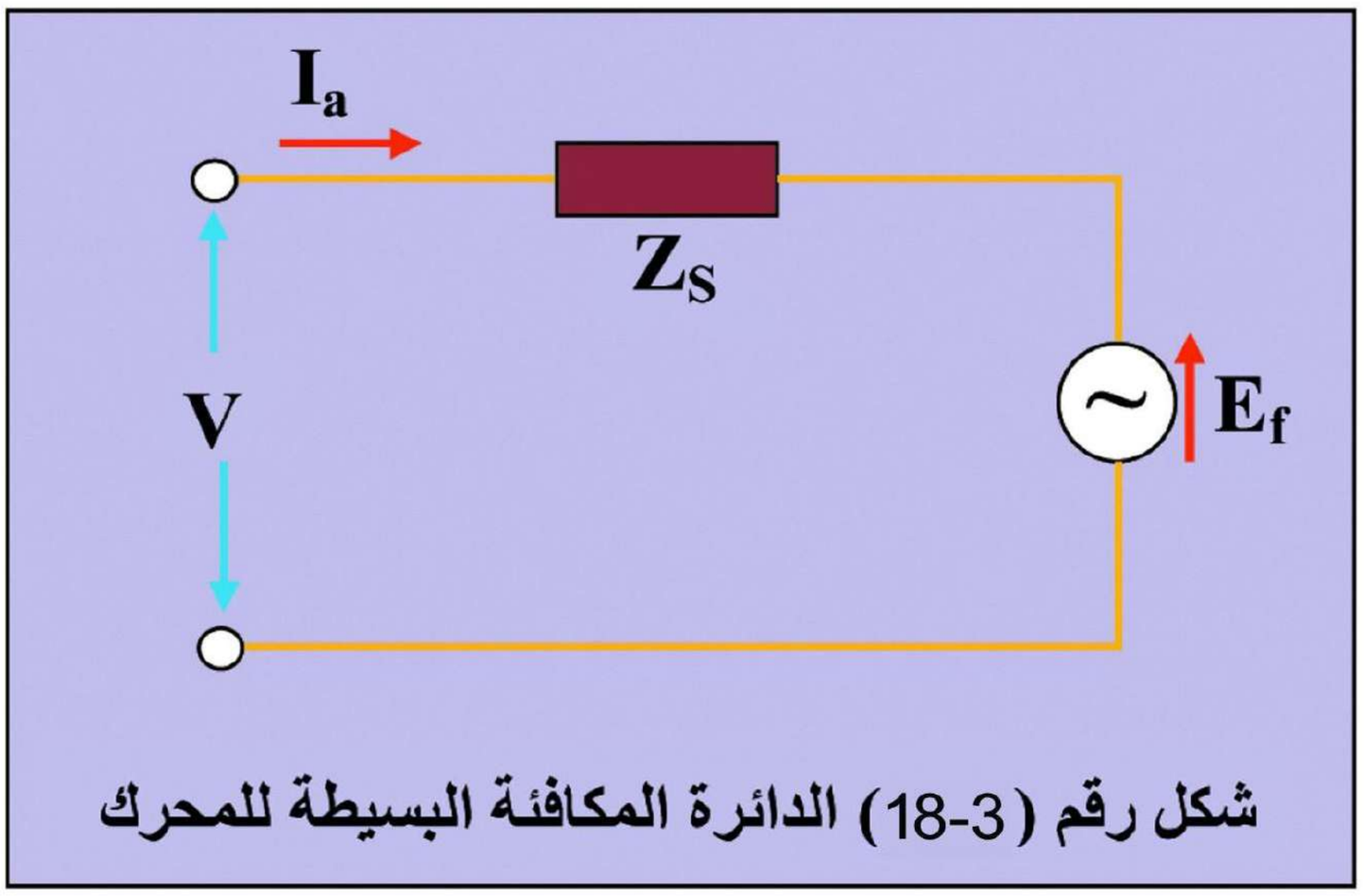
عند تسليط جهد متوازن ثلاثي الأطوار على ملفات الساكن في المحرك التزامني فأن هذه الملفات ستسحب تياراً كافياً من المصدر لتوليد المجال المغناطيسي المطلوب.

وعند تسليط طاقة التيار المستمر على ملفات الاثارة وادارة الدوار لغاية سرعة دوران المجال المغناطيسي للساكن فأن ذلك يعني أن ($n_r=n_s$)، و n_r هي سرعة الدوار، عند ذلك فأن مجال الاثارة سيبقى دائراً بسرعة دوران مجال الساكن نفسها،

اي ان **تسليط جهد (V) على ملفات الساكن يولد المجال المغناطيسي للساكن، ومن تسليط جهد الاثارة يتولد مجال الاثارة، ومن تفاعل المجالين تتولد محصلة المجال المغناطيسي الكلي للمحرك الذي يحث في ملف الاثارة عند تقاطعه مع ملفاته قوة دافعة كهربائية (E_f). عند إهمال ممانعة ملف الساكن فأن (E_f=v)، أما عند أخذ هذه الممانعة وهبوط الجهد عليها (I_aZ_s)** فأن العلاقة تصبح غي حالة المحرك كالاتي :

$$V = E_f + I_a Z_S$$

من هذه العلاقة يمكن رسم الدائرة المكافئة البسيطة كما في شكل رقم (3-18). من هنا يمكن القول بأن زاوية الحمل ς و (E_f) وتُعدّ هذه الزاوية المتغير الرئيس في هذه المحركات وعلى أساسها تحدد باقي مقادير وخصائص أداء المحرك.



شكل رقم (3-18) الدائرة المكافئة البسيطة للمحرك

3-8-4 بدء حركة المحرك

عند سكون الدوار وتسليط الجهد ثلاثي الأطوار على ملفات الساكن فأن المجال المغناطيسي الدوار المتولد في هذه الملفات يقاطع ملفات الأثارة بسرعة تزامنية مولداً فيها عزم متناوب معدل مقداره يساوي صفراً. السبب في ذلك هو إن مجال الساكن يقاطع في نصف موجته الاولى ملفات الدوار بقطبيه معينة فيولد فيها عزم بأتجاه معين، وفي نصف الموجة الثانية

يتقاطع مع ملفات الدوار بقطبية أخرى فيولد فيها عزم بإتجاه معاكس ولهذا فأن محصلة العزم المتولد تساوي صفرا. ولهذا فإن المحركات التزامنية في الحالة الطبيعية لاتولد عزم دوران.

لبدء حركة (Starting) المحركات التزامنية قد تستخدم إحدى الطرائق التالية:

أولاً- إستخدام محرك إضافي:

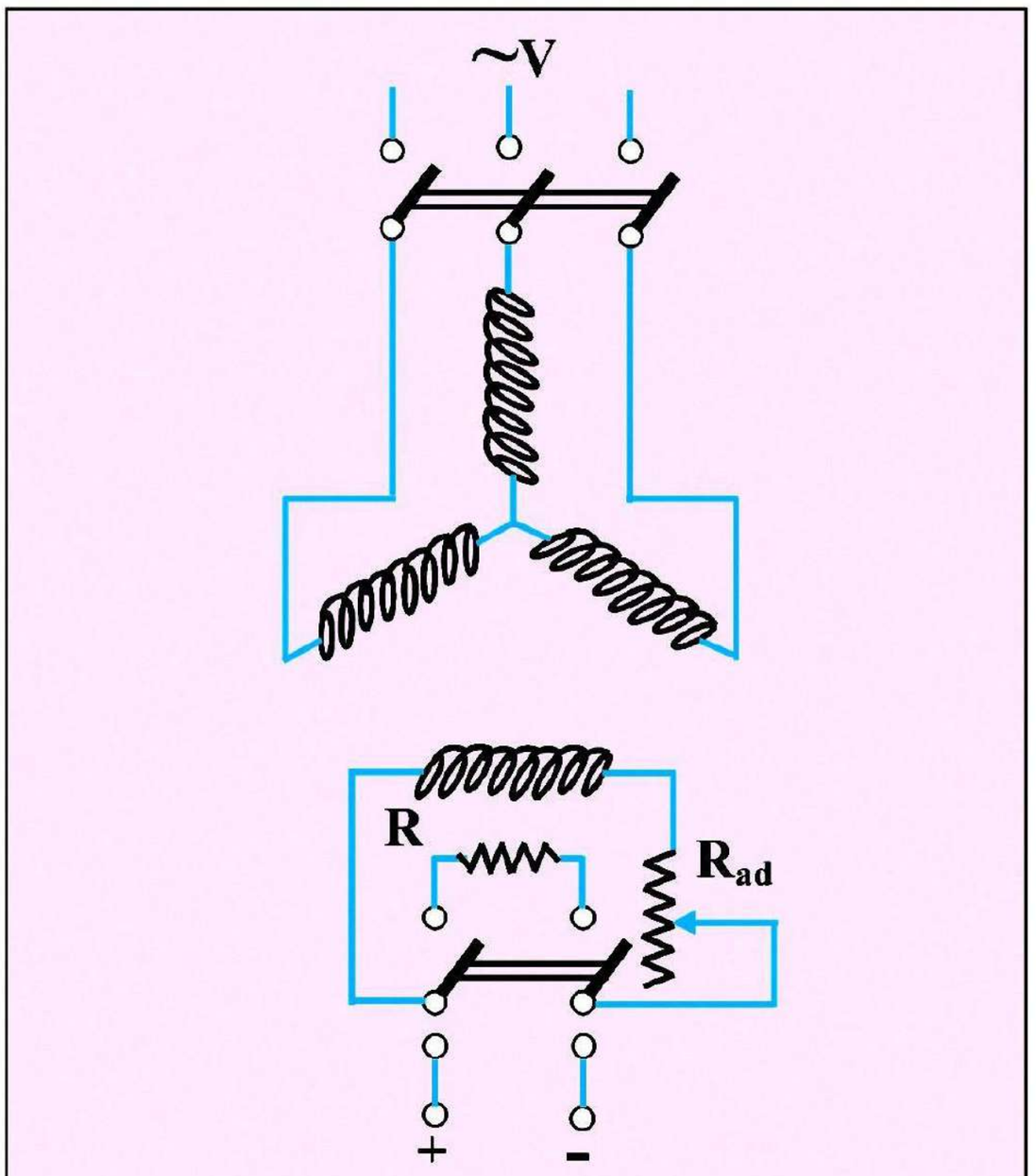
يربط محرك حثي مباشرة مع المحرك التزامني وتكون قدرته بحدود (10-20%) من القدرة المقررة للمحرك التزامني، كما يكون عدد أقطاب المحرك الأضافي يقل بقطبين عن عدد أقطاب المحرك التزامني ليستطيع الوصول الى السرعة التزامنية للمحرك الأخير، قبل تسليط الحمل على المحرك التزامني تفصل ملفات الساكن عند المصدر ويدار بالمحرك الاضافي لغاية السرعة التزامنية عندها يسلط جهد الأثارة ويعمل المحرك في هذه الحالة كمولد. يسلط الجهد على ملف الساكن ويسحب المحرك الأضافي فيعمل المحرك التزامني بصورة طبيعية عندها يسلط الحمل المقرر. بشكل عام الطريقة معقدة وغير ملائمة للأغراض الصناعية.

ثانياً- تغيير تردد الجهد المسلط:

عند توافر مصدر جهد يمكن تغيير تردده في مدى واسع، فان المحرك عند تسليط الجهد عليه وتردده يزداد من صفر الى التردد المقرر يبدأ المحرك حركته بسلاسة الى أن يصل الى سرعته التزامنية.

ثالثاً-البدء الحثي:

لدى المحركات الحديثة قابلية البدء الذاتي لتصميم دوارها بأحتواء أقطابه على ملف البدء (أو الأخماد) الذي يشبه تماماً ملف القفص السنجابي. عند البدء تفتح ملفات الأثارة ويفضل أن تربط بمقاومة كما في شكل (3-19)، ويسلط جهد منخفض على ملفات المنتج فيبدأ المحرك بالدوران وكأنه محرك حثي ويصل سرعته الى قريب السرعة التزامنية. عند ذلك يسلط جهد الأثارة فتزداد السرعة ذاتياً الى السرعة التزامنية بعدها يزداد الجهد المسلط على ملفات المنتج الى مقداره المقرر فيعمل المحرك كمحرك تزامني عند جهد مقرر وسرعة تزامنية.



شكل رقم (3-19) دائرة ربط المحرك للبدء الحثي.

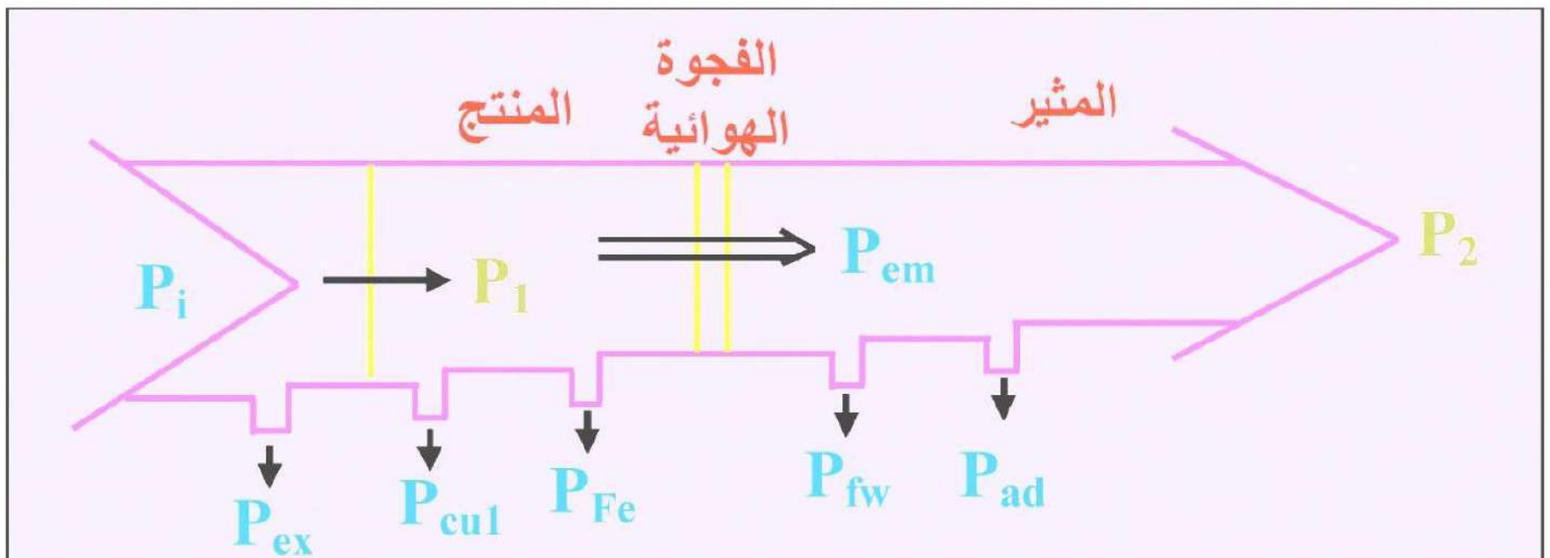
3-8-5- مخطط القدرة في المحرك

أن القدرة الداخلة الى المحرك التزامني من المصدر (P_i) تساوي للأطوار الثلاثة:

$$P_i = \sqrt{3}\, V I_a \cos\varphi$$

اذ أن (φ) هي زاوية الأزاحة بين مقداري الجهد المسلط وتيار الساكن. أن جزءاً من هذه القدرة يذهب لتغطية المفاقيد في ملفات الاثارة (P_{ex})، والباقي (P_1) يساوي كما موضح في شكل رقم (3-20) ما يأتي:

$$p_2 = P_i - P_{ex}$$



شكل رقم (3-20) مخطط مسار الطاقة في المحرك التزامني

أسئلة الفصل الثالث

1- ما المكونات الوظيفية التي تتركب منها المحركات الحثية ثلاثية الأطوار؟

2- كيف يصمم ملف الدوار في المحركات الحثية ثلاثية الأطوار ذات الحلقات الأنزلاقية وبماذا يختلف عنه الدوار في المحركات الحثية ذات القفص السنجابي؟

3- بين المزايا الجيدة للمحرك الحثي ذو القفص السنجابي والمحرك الحثي ذو الحلقات الأنزلاقية.

4- إشرح حالة الدوار في حالة السكون.

5- ما تأثير عامل الأنزلاق على خصائص عمل المحرك الحثي؟

6- ما خصائص المحركات الحثية؟

7- ما المفاقيد الأساسية في المحركات الحثية ثلاثية الأطوار؟

8- كيف يمكن حساب الكفاءة ومتى تكون الكفاءة عالية؟

9- ما طرائق بدء الحركة لمحركات القفص السنجابي؟

10- لماذا تصنع المحركات التزامنية بقدرات عالية تزيد عن (100) كيلو واط؟

11- ما أنواع الدوار في المحركات التزامنية؟

12- ما الطرائق المستخدمة في بدء حركة المحركات التزامنية؟

13- محرك حثي ثلاثي الأطوار سداسي الأقطاب تردد جهده (50 Hz) والتردد المحتث في الدوار ($3.5H_z$) جد سرعة الدوار؟

ج: 930 R/m

14- محرك حثي ثلاثي الأطوار رباعي الأقطاب جهده (380) فولت بتردد (50 Hz) وسرعته المقررة (1400) د/د جد عامل الأنزلاق؟

ج: 0.07

15- جد الزيادة في السرعة لمحرك حثي ثلاثي الأطوار رباعي الأقطاب عند توصيله الى جهد (400) فولت بتردد (50 Hz) تم توصيله مرة أخرة الى نفس الجهد بتردد (60 Hz) بعامل إنزلاق (0.03)؟

ج: د/د 291

16- محرك حثي ثلاثي الأطوار رباعي الأقطاب تردد جهده (50 Hz) وسرعة الدوار عند الأنزلاق الحرج (1005) د/د جد عامل الأنزلاق الحرج والسرعة الزاوية؟

Wm= 105.19 r/s	ج: S= 0.33

17- محرك حثي ثلاثي الأطوار رباعي الأقطاب السرعة الزاوية عند الأنزلاق الحرج (150Rad/s)Rad/S جد عامل الأنزلاق علماً بأن جهد المحرك 380 فولت بتردد (50 Hz)؟

ج: 0.05

18- محرك حثي ثلاثي الأطوار سداسي الأقطاب تردد جهده (50 Hz) يسحب دواره تيار مقداره A(40) عند عامل أنزلاق حرج مقداره (0.2) جد مقاومة الدوار علماً ان مقدار العزم المتولد عن هذا الأنزلاق N.m (86)؟

ج: R_2=0.34Ω

19- محرك حثي ثلاثي الأطوار قدرته 18 كيلو واط جهده V(400) بتردد (50 Hz) وعامل قدرته (0.8) وكفاءته 90% والمفاقيد الثابتة نصف المفاقيد النحاسية جد المقاومة الطبيعية لملفات المحرك للطور الواحد اذا كان نسق نجمة ؟

ج: 0.36Ω

20- محرك حثي ثلاثي الأطوار ملفاته موصلة نجمة القدرة المجهزة له Kw (20) والمقاومة الطبيعية لكل ملف (2) أوم جد التيار الذي يسحبه علماً إن المفاقيد المتغيرة ثلاثة أضعاف الثابتة، وكفاءته 80% ؟

ج: 22.4 A

21- محرك حثي ثلاثي الاطوار، موصلة نجمة جهده (400) فولت وتردد (50) هيرتز، وعامل القدرة (0.9)، جد التيار الذي يسحبه المحرك اذا علمت ان مقاومة ملفات الساكن (0.5) اوم، اذا علمت ان القدرة الداخلة (13.14) كيلوواط، ثم جد المفاقيد النحاسية للساكن.

ج: $I_1 = 0.046\,A,\ P_{CU} = 0.0031\,w$

22- محرك حثي ثلاثي الاطوار، قدرته (25) حصان، والجهد الذي يوصل اليه (400) فولت، جد كفاءته، اذا علمت ان التيار المسحوب (50) امبير، وعامل قدرته (0.8).

ج/ $\eta = 0.67$

23- محرك ثلاثة اطوار، قدرته (14.920) كيلوواط، موصل على شكل نجمة (ستار)، ومتصل بمصدر جهد (400) فولت تردد (50) هيرتز، فإذا كانت كفاءة المحرك (0. 9)، وعامل قدرته (0.8)، جد:

أ - مقدار التيار الذي يسحبه المحرك، ب- المفاقيد الكلية.

ج: $I_1 = 30.4\ A\ ,\ \Delta P = 1657.8\ W$

24- محرك ذو ثلاثة اطوار، القدرة الداخلة (50) كيلوواط، عند الحمل الكامل، جد مقدار المفاقيد النحاسية، علماً ان مجموع المفاقيد الحديدية والميكانيكية (800) واط، وكفاءه المحرك (80%)،

ج: $P_{CU} = 9200\ w$

الفصل الرابع

المحولات الكهربائية
ثلاثية الأطوار

الأهداف

عزيزي الطالب بعد اكمالك هذا الفصل ستكون قادرا على ان:

1- تميز بين المحولات المفردة الطور وثلاثية الاطوار.

2- تفهم طريقة ربط الملفات داخل المحولة.

3- تدرك مجالات الاستخدام للمحولات ثلاثية الاطوار.

4- تقارن بين انواع المحولات من حيث طرائق الربط للملف الابتدائي والثانوي.

5- تتعرف على شروط توصيل المحولات على التوازي.

6- تحسب كفاءة المحولات ثلاثية الاطوار.

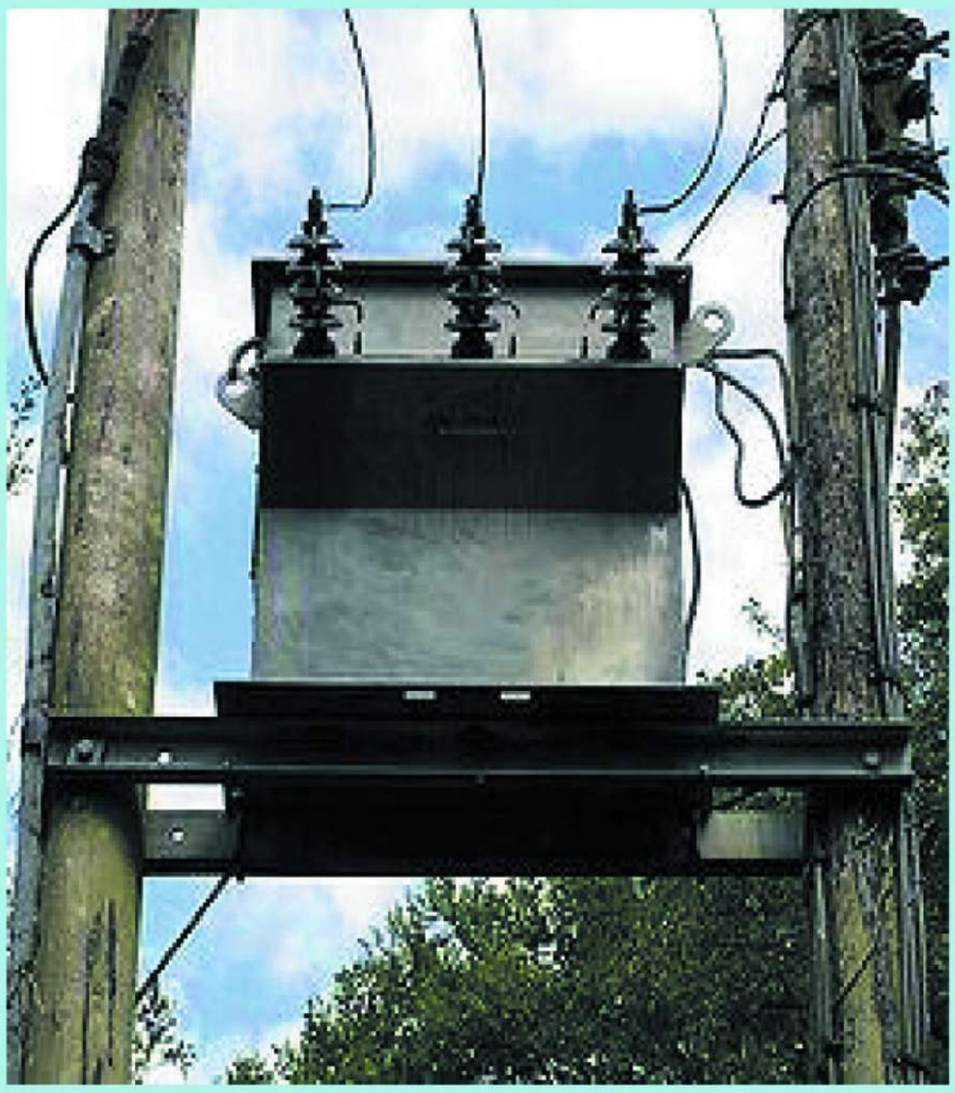
7- تشرح طرائق تبريد المحولات الكهربائية .

الفصل الرابع
المحولات الكهربائية ثلاثية الاطوار
Three Phase Transformers

(4-1) تمهيد:

سبق ان تعرفنا في المرحلة الدراسية السابقة المحولات الكهربائية من حيث التركيب ونظرية الاشتغال والانواع ، سنكمل في هذه المرحلة الدراسية موضوع المحولات الكهربائية ثلاثية الاطوار .

تستعمل المحولات ثلاثية الاطوار في المجالات الصناعية كافة التي تحتاج لتغيير قيم الفولتية والتيار بثبوت التردد. واذ ان القدرة في نظام الثلاثة الاطوار هي الطريقة الاكثر شيوعا في انتاج الطاقة ونقلها وتوزيعها، ومن الضروري معرفة الانواع المختلفة لتوصيل ملفات المحولات ثلاثية الاطوار وكيف يمكن حساب قيم الفولتية والتيار لهذه الانواع من الربط. والشكل رقم (4-1) يوضح انواعاً من المحولات ثلاثية الاطوار.



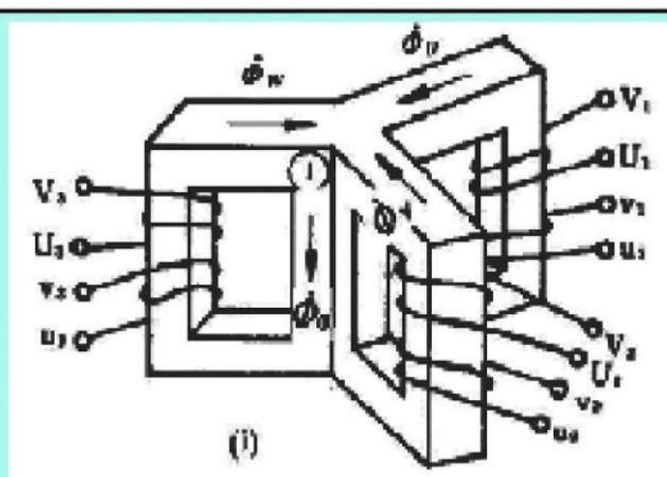
الشكل رقم (4-1) انواع من المحولات ثلاثية الاطوار.

(2-4) مكونات المحولة ثلاثية الاطوار Three Phase Transformer

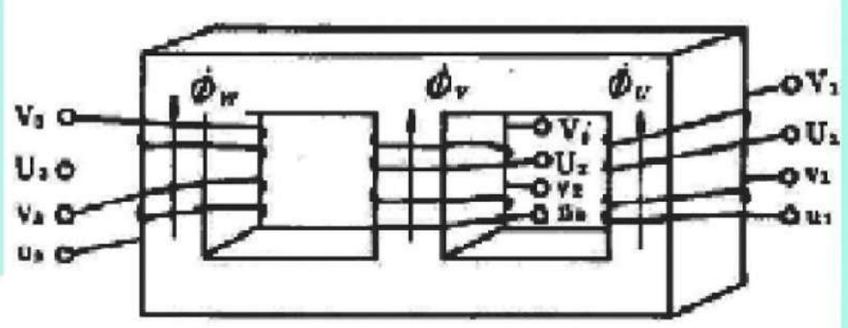
Construction

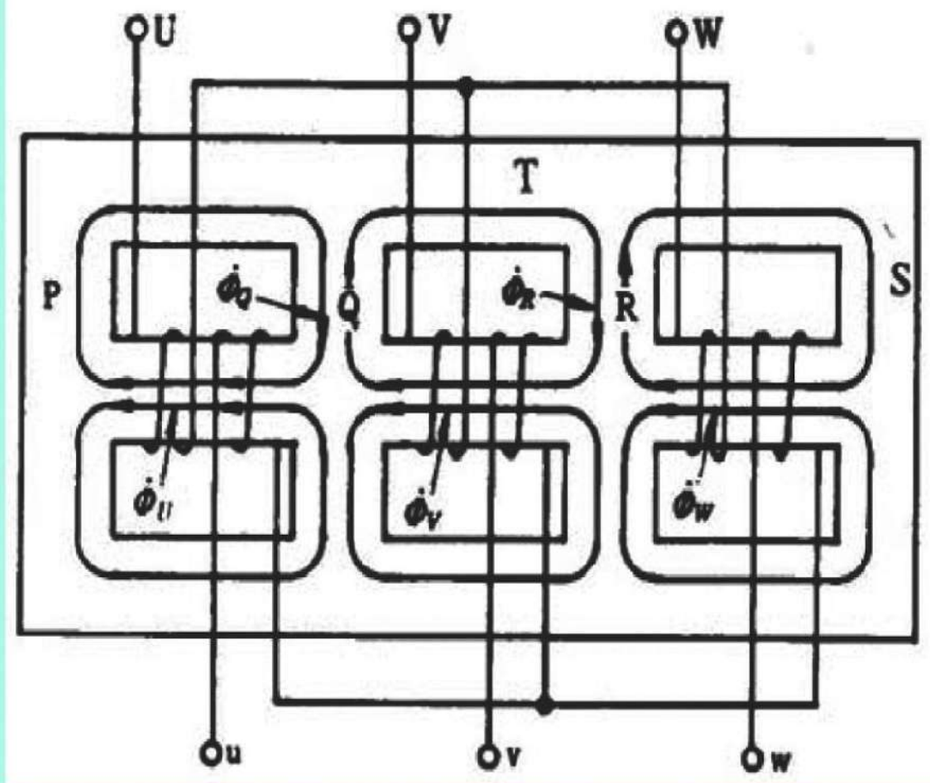
ثُبنى المحولة ثلاثية الاطوار بوساطة لف ثلاثة محولات طور واحد على قلب واحد ثم توضع المحولات الثلاثة في حاوية وتملأ الحاوية بزيت عازل كهربائي له عدة وظائف. حيث يعزل مابين الملفات والجدار او الحاوية، كما انه يفيد في التبريد ومنع تكون الرطوبة التي تؤثر على عازلية الملفات، والشكل رقم (2-4) يوضح تركيب المحولة ثلاثية الاطوار نوع (ذات القلب Core Type) التي يكون كل من الملف الابتدائي والثانوي فيها ملفوفين معا على الساق نفسها، وقد تكون نوع (ذات الاطار Shell Type) التي فيها تلف ملفات الابتدائي والثانوي لكل وجه في الاطار الداخلي للقلب كما تلاحظ في الشكل رقم (2-4) كذلك الشكل الخارجي للمحولة موضحا فيه خزان الزيت الموضوعة داخله الملفات.

Shell



Core





الشكل رقم (2-4) تركيب المحولة ثلاثية الاطوار وخزان الزيت الموضوعة فيه الملفات.

(3- 4) توصيل الملفات في المحولات ثلاثية الاطوار Three Phase Transformer Connections

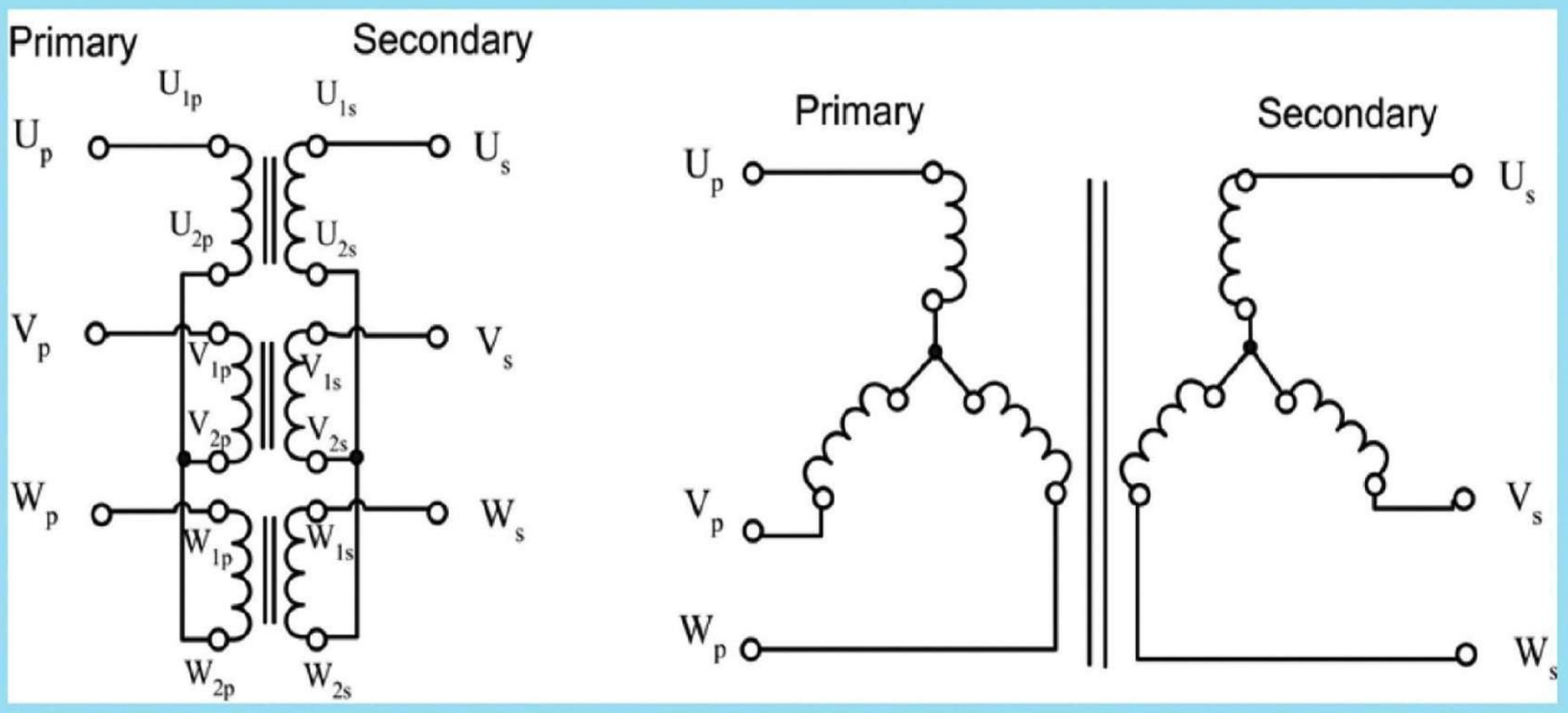
توجد طرائق كثيرة لتوصيل الملفات الابتدائية والملفات الثانوية وذلك للحصول على خواص تشغيل تلبي احتياجات الحمل الذي يعمل عليه المحول، ويمكن تلخيص اهم الطرائق الشائعة لتوصيل المحولات ثلاثية الاطوار على وفق الاتي:

- توصيل الابتدائي نجمة – الثانوي نجمة Y-Y Star-Star
- توصيل الابتدائي دلتا (مثلث) – الثانوي دلتا Dd Delta-Delta
- توصيل الابتدائي نجمة – الثانوي دلتا Yd Star –Delta
- توصيل الابتدائي دلتا- الثانوي نجمة Dy Delta –Star

(1 - 3- 4) توصيل نجمة – نجمة Y-Y

تُوصل ملفات الابتدائي على شكل Y وتوصل ملفات الثانوي على شكل Y، كما موضح في الشكل رقم (4-3). يستخدم هذا النوع من التوصيل في حالة الاحمال المتوازنة، ويسمح بتوصيل خط التعادل (Neutral) بالارضي. اما اذا لم يوصل خط التعادل الابتدائي بالمصدر فإن الاحمال غير المتوازنة تسبب تعويم نقطة التعادل(Floating Neutral)، ويعني ذلك ان الجهد بين الخطوط يتحدد من المصدر، بينما يكون الجهد بين الخط ونقطة التعادل غير محدد على المحولات ويمكن ان يتغير عند تغيير قيمة الحمل ومعامل قدرة الحمل، ويساوي المجموع الاتجاهي للتيارات جميعها حول نقطة التعادل في حالة التوصيل نجمة – نجمة صفرا.

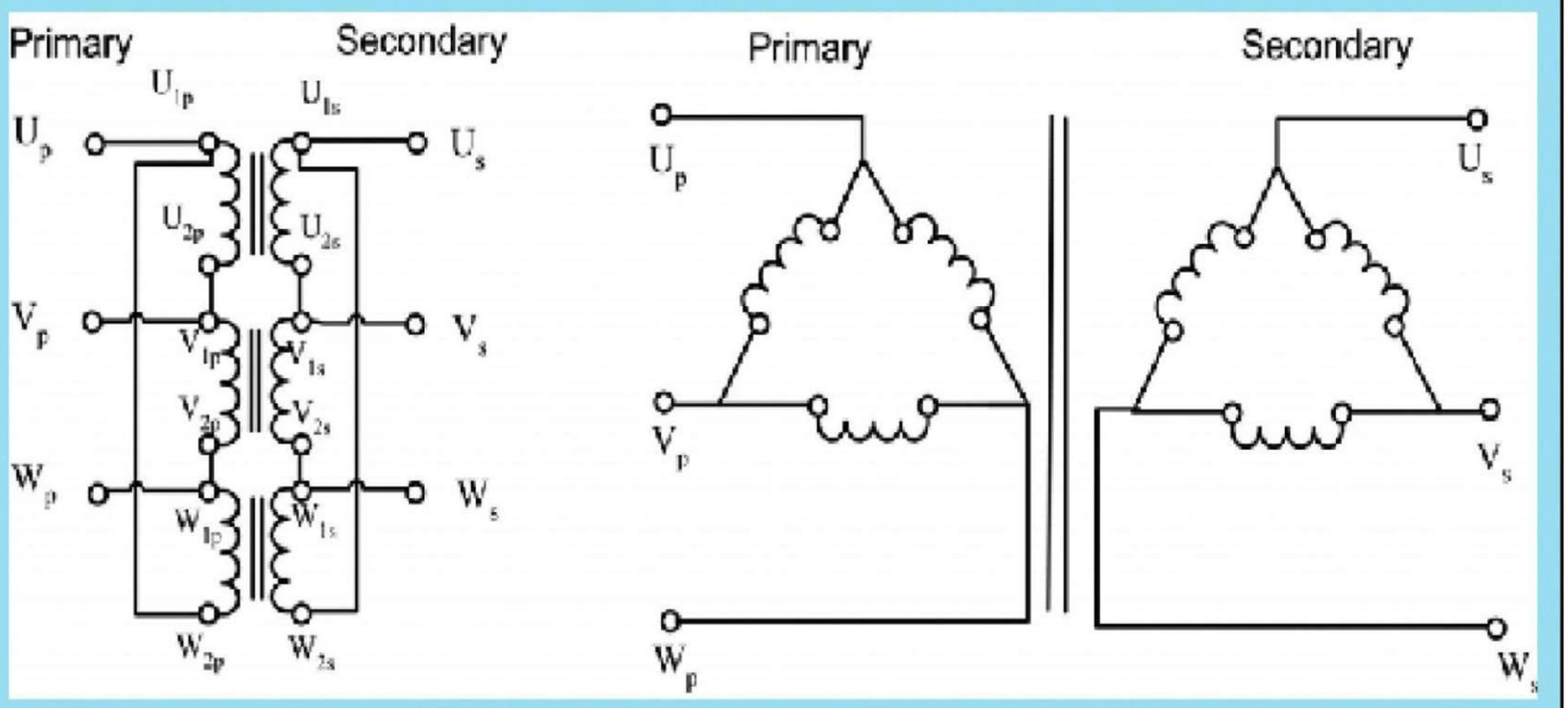
في هذا النوع من التوصيل ينتج ضجيجاً (Noise)،يؤثر على خطوط الاتصالات ولهذا السبب لايستخدم هذا النوع من التوصيل الا في حالات خاصة.



الشكل رقم (4-3) توصيل Y-Y

(2 – 3– 4) توصيل دلتا – دلتا Dd

في هذا النوع من التوصيل يوصل كل من ملفات الابتدائي والثانوي على شكل دلتا (مثلث)، كما موضح في الشكل رقم (4 - 4)، حيث توصل نهاية كل ملف ببداية الملف الاخر ويطبق هذا الربط لكلا الابتدائي والثانوي، وهذه الطريقة للتوصيل تجعل جهد الخط مساويا جهد ملفات المحول، ويجب مراعاة ذلك عند التصميم.

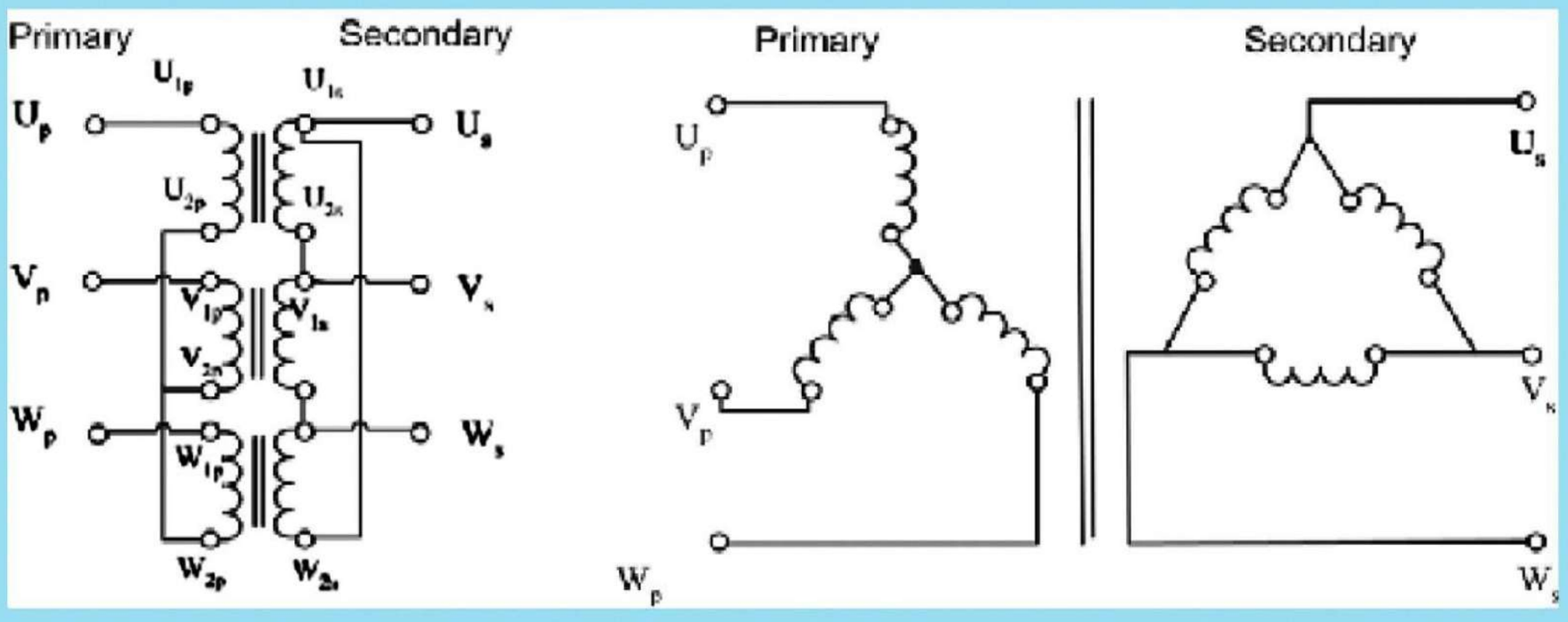


الشكل رقم (4– 4) توصيل Δ-Δ

(3- 3- 4) توصيل نجمة – دلتا Yd

تُوصل بهذه الطريقة ملفات الابتدائي على شكل نجمة اما ملفات الثانوي فتوصل دلتا (مثلث)، كما موضح في الشكل رقم (4-5) .

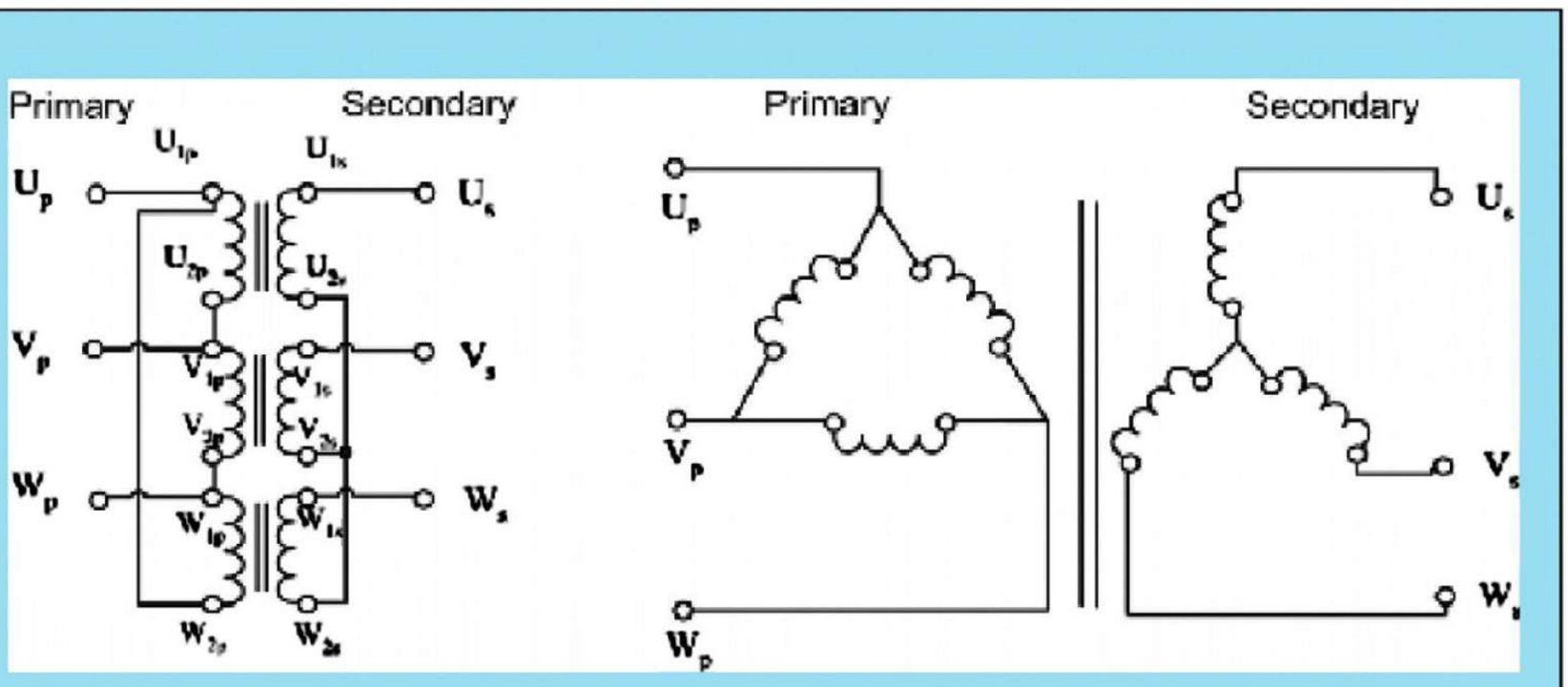
بهذه الطريقة يكون جهد الخط الثانوي مساويا جهد الطور وهو من اكثر الانواع شيوعا حيث يستخدم عند تخفيض الجهد في نهاية خط نقل القدرة الكهربائية.



الشكل رقم (4-5) توصيل (Y-Δ).

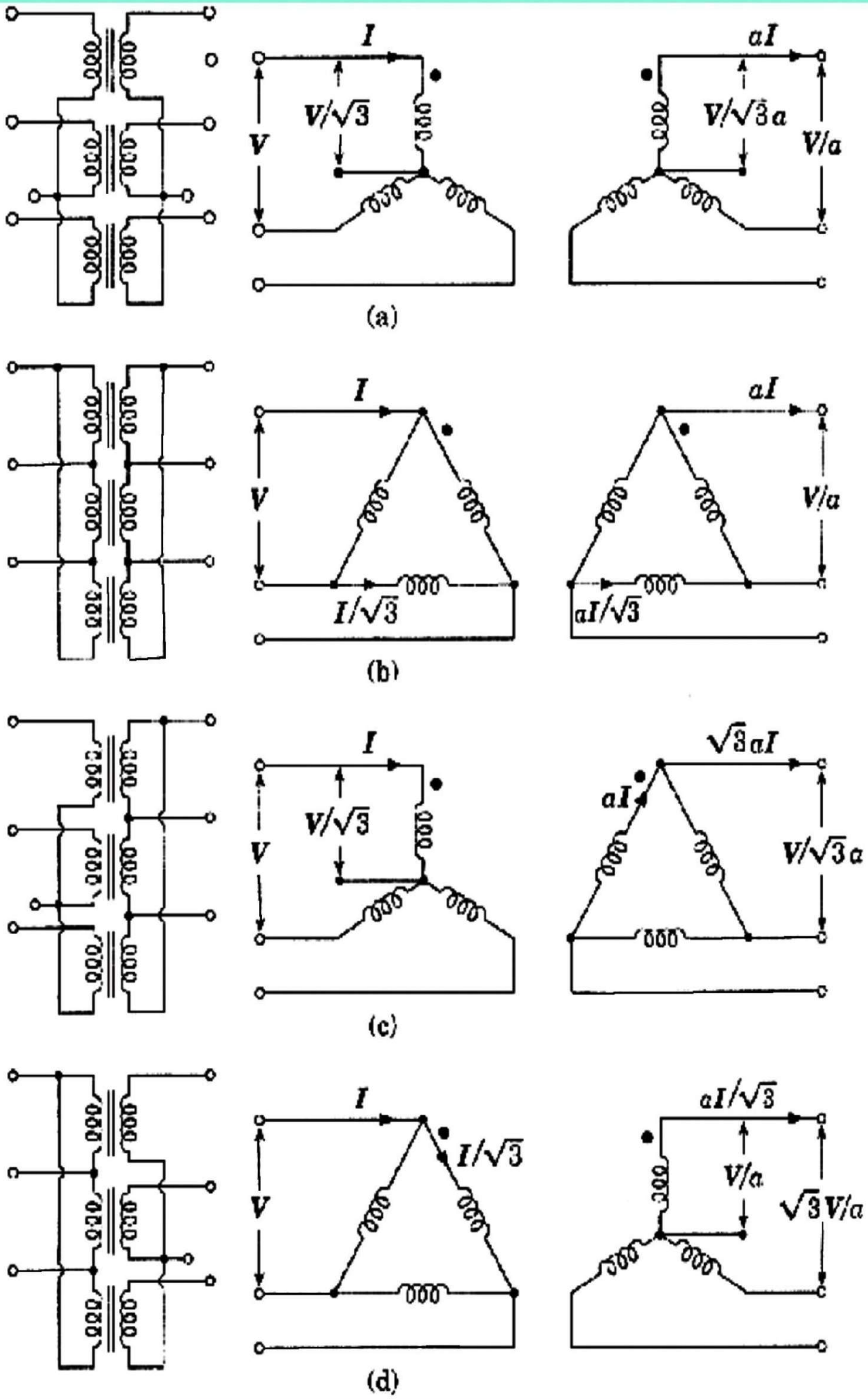
(4- 3- 4) توصيل دلتا – نجمة Dy

توصل ملفات الابتدائي على شكل دلتا (مثلث) وبالتالي فان جهد الطور يساوي جهد الخط ولذلك يجب ان تصمم ملفات الابتدائي لتتحمل جهد الخط. اما ملفات الثانوي فتوصل نجمة ويوضح الشكل رقم (4-6) التوصيل في هذه الحالة.



الشكل رقم (4-6) توصيل (Δ-Y).

(4- 4) الفرق بين الانواع الاربعة من توصيل ملفات المحولة ثلاثية الاطوار من حيث التيار والفولتية بحسب نوع الربط. الشكل رقم (4-7) يوضح ذلك.



الشكل رقم (4-7) يوضح الفرق في التيار والفولتية بين الانواع الاربعة للربط.

جدول رقم (1) يوضح العلاقات الرياضية بين ملفي الابتدائي والثانوي المثبتة في الشكل رقم (4-7).

ملاحظة : لقد افترض ان النسبة بين عدد لفات الابتدائي (N_1) وعدد لفات الثانوي (N_2) تمثل نسبة التحويل ($\propto$) وان المحولات مثالية يمكن تمثيلها بالشكل ادناه (العلاقات الرياضية) لكل توصيلة اخذها بنظر الاعتبار .

حيث α : تمثل نسبة التحويل.

قيم التيار والفولتية للمحولة (Voltage and Current Rating of Transformer)								
Transformer Connections Primary to Secondary نوع الربط	Primary الابتدائي				Secondary الثانوي			
	خط Line		طور Phase		خط Line		طور Phase	
	Volt	current	Volt	current	Volt	current	Volt	current
Δ - Δ	V	I	V	$\frac{I}{\sqrt{3}}$	$\frac{V}{\alpha}$	αI	$\frac{V}{\alpha}$	$\frac{\alpha I}{\sqrt{3}}$
Y - Y	V	I	$\frac{V}{\sqrt{3}}$	I	$\frac{V}{\alpha}$	αI	$\frac{V}{\sqrt{3}\alpha}$	αI
Y - Δ	V	I	$\frac{V}{\sqrt{3}}$	I	$\frac{V}{\sqrt{3}\alpha}$	$\sqrt{3}\alpha I$	$\frac{V}{\sqrt{3}\alpha}$	αI
Δ - Y	V	I	V	$\frac{I}{\sqrt{3}}$	$\frac{\sqrt{3}V}{\alpha}$	$\frac{\alpha I}{\sqrt{3}}$	$\frac{V}{\alpha}$	$\frac{\alpha I}{\sqrt{3}}$

نلاحظ ان :

V = V1 : يمثل الجهد الابتدائي بوحدات الفولت. (جهد الخط)

I1 = I: يمثل تيار الخط (IL) بوحدات الامبير .

V_2= يمثل $\frac{V}{\alpha}$ وهي $\frac{\text{الجهد الابتدائي}}{\text{نسبة التحويل}}$.

بالنسبة الى الجهد في الملف الثانوي يمثل جهد الطور في الملف الابتدائي مقسوما على نسبة التحويل:

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

$$V_1 = \times V_2$$

$$V_2 = \frac{V_1}{\propto} = \frac{V}{a}$$

بالنسبة للتيار في الملف الثانوي يمثل تيار الطور في الابتدائي مضروباً في نسبة التحويل (∝).

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

$$I_2 = \propto I_1$$

مثال (1-5)

محول ثلاثي الاطوار ملفه الابتدائي موصل على شكل مثلث (دلتا) والثانوي موصل على شكل نجمة (ستار) وجهد الخط الابتدائي V (2200) وجهد الخط الثانوي V (400) وتيار الخط في الملف الابتدائي A (5) احسب تيار الخط والطور في الملف الثانوي ؟

المعطيات : محول دلتا ستار

(Dy)

$V_{L1} = V = 2200$ v

$V_{L2} = 400V$

$I_{L1} = 5A$

(دلتا)

$I_{L_2} = ?$

$I_{Ph2} = ?$

الحل:

ملاحظة : في المحول ثلاثي الاطوار تكون نسبة التحويل الطوري مساوية لنسبة الملفات ولكن نسبة التحويل للجهود الخطية تعتمد على طريقة التوصيل المتبعة . ففي هذا المثال تكون الملفات الابتدائية موصلة على شكل مثلث (دلتا) والملفات الثانوية على شكل نجمة (ستار) لذا سيكون

الجهد الطوري الابتدائي = 2200 فولت

الجهد الطوري الثانوي = $\frac{400}{\sqrt{3}}$ فولت

نسبة التحويل ($\propto$) = $\frac{\text{الجهد الطوري الابتدائي}}{\text{الجهد الطوري الثانوي}} = \frac{2200}{\frac{400}{\sqrt{3}}} = \sqrt{3}$ 5.5

التيار الطوري الابتدائي = $\frac{5}{\sqrt{3}}$ امبير

التيار الطوري الثانوي مذكور سابقا في ص 124 جدول رقم 1 الحالة الاخيرة (Y − Δ) .

تيار الطور الثانوي = $\frac{\propto I}{\sqrt{3}}$

$$\frac{5.5\sqrt{3} \times 5}{\sqrt{3}} = 27.5 \text{ A}$$

تيار الخط الثانوي = 27.5

لان التوصيل نجمة (ستار) اي ان $I_L = I_{ph}$

(5- 4) مجال استعمال المحولات ثلاثية الاطوار

تُعدّ المحولات ثلاثية الاطوار اخف وزنا وارخص كلفة مقارنة باستعمال ثلاث محولات طور واحد. وكذلك تحتاج مساحة للتثبيت اقل، كما تُعدّ كفاءة المحولات ثلاثية الاطوار اعلى من ثلاث محولات طور واحد. لذلك تستعمل المحولات ثلاثية الاطوار في محطات توليد القدرة الكهربائية لخفض جهد النقل الى جهد المستهلك او رفعه.

(6 -4) توصيل المحولات على التوازي

نحتاج في بعض الاحيان الى استعمال اكثر من محولة واحدة لتغذية احمال كبيرة لايمكن ان تقوم بها محولة واحدة من المحولات التي يسهل الحصول عليها. لذلك نلجأ الى توصيل محولين على التوازي، حيث يوصل ملفا الجهد العالي مع بعضهما وكذلك ملفي الجهد المنخفض. وهناك شروط لابد من توافرها عند عمل مثل هذا التوصيل، وهي:-

(1- 6- 4) شروط ربط المحولات على التوازي

يجب ان تتوافر عدة شروط قبل توصيل محولين على التوازي معا. وهذا ينطبق على المحولات المفردة الطور، والمحولات ثلاثية الاطوار. وتتلخص شروط توصيل المحولات على التوازي في الاتي:-

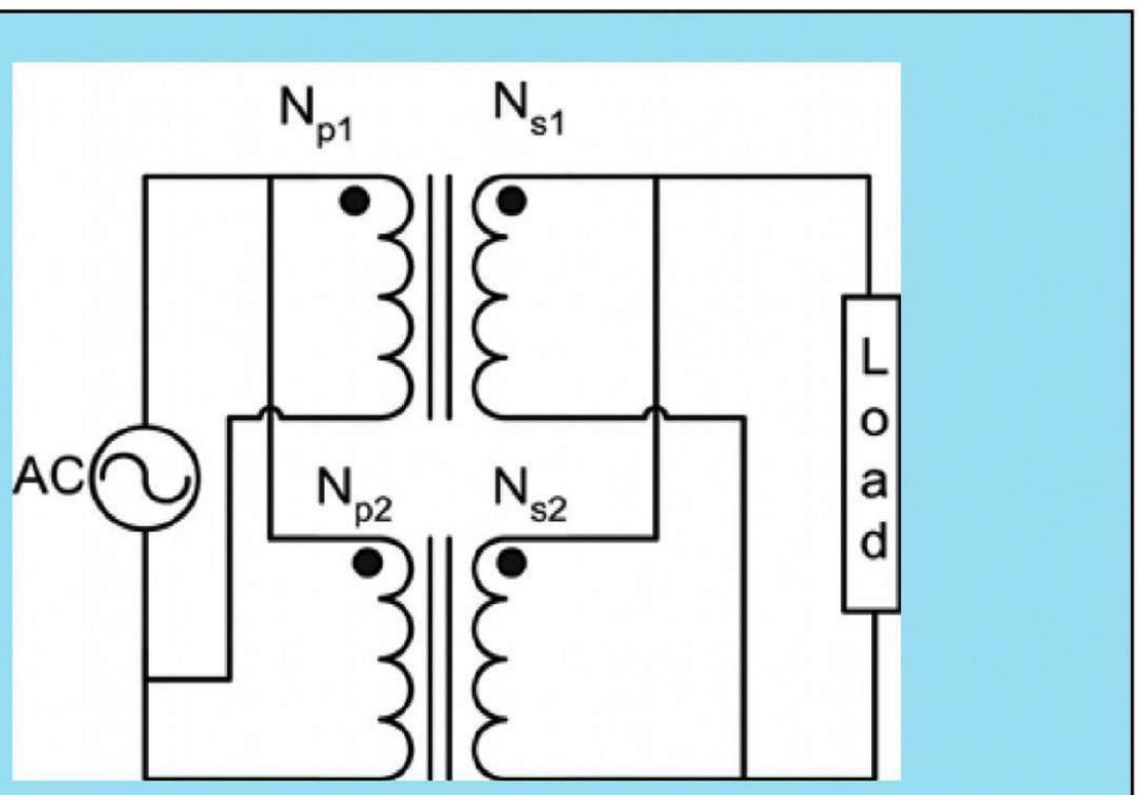
1 - ان يكون للمحولتين نسبة تحويل الجهد نفسها عند التردد نفسه. وهذا يجعلنا نحصل على الجهد نفسه على كل من طرفي ملفي الثانوي، في حالة عدم وجود الحمل وذلك عند توصيل الملفين الابتدائيين معا على التوازي على مصدر جهد واحد، وهذا يمنع مرور التيارات الدوارة (Circulating Current) بين الملفين الثانويين، التي تعمل على زيادة فقد النحاس.

2 - ان يتساوى الهبوط في الجهد في المحولتين مقدارا واتجاها.

3 - ان تراعى قطبية الاطراف عند توصيلهما، فتوصل الاطراف ذات القطبية المتماثلة معا. وينشأ عن وجود خطأ في القطبية عند التوصيل ان يصبح الملفان الثانويان مقصورين بضعف الجهد، مما يتسبب في مرور تيار قصر كبير قبل التوصيل الى الحمل. لذلك يجب التحقق من صحة التوصيل فيما يخص القطبية قبل ان يصبح الملفان الثانويان متصلين على التوازي معا على طرفي الحمل.

4 - ان يراعى توافق التعاقب المرحلي (Phase Sequence)، للمحولات ثلاثية الاطوار على ان يكون تعاقب المراحل متماثلا في المحولتين، والا فسوف تحدث دائرة قصر بين كل مرحلتين خلال كل دورة.

الشكل رقم (4-8) يوضح طريقة توصيل محولتين مفردتي الطور على التوازي بعضهما مع بعضهما الآخر، ويظهر في الشكل مراعاة قطبية الملفات.



الشكل رقم (4-8) ربط محولتين مفردتي الطور على التوازي.

(7- 4) المفاقيد والكفاءة للمحولة الكهربائية

Losses & Efficiency of Electrical Transformer

ان تحميل المحولة يسبب مرور تيار يحدث فقد نحاسي فضلاً على فقد الحديد حتى في حالة عدم وجود الحمل، وينتج عن ذلك ارتفاع درجة الحرارة الى ان تصل قيمة ثابتة تعرف بدرجة الحرارة النهائية. وهذه يجب ان لاتزيد على الدرجة المسموح بها للمواد العازلة المستخدمة. إن ارتفاع درجة الحرارة يؤثر في كفاءة المحولة وكذلك في عمرها الافتراضي.

(4-7-1) المفاقيد Losses

بما ان المحولة جهاز كهربائي ساكن لذلك لاتوجد فيها مفاقيد ميكانيكية (الناتجة عن الحركة)، منها الاحتكاك ومقاومة الهواء.

عليه فان المفاقيد الحاصلة هي :-

اولا/ المفاقيد النحاسية (المتغيرة) (ΔP_{CU})(Copper Losses)

وهي المفاقيد التي تحدث نتيجة مرور التيار خلال ملفات المحولة وتكون على شكل حرارة، (كما ذكرنا سابقا)، وتتغير بتغير الحمل. ويمكن حسابها عمليا وذلك بقصر الملف الثانوي وتغذية الملف الابتدائي بجهد تيار متناوب ذي قيمة قليلة، وتتراوح مقدار المفاقيد النحاسية بين (3-4%) من قدرة المحولة، وتحسب المفاقيد النحاسية بالقانون الاتي:-

$$\Delta P_{CU} = \Delta P_{CU1} + \Delta P_{CU2} \quad \text{..... (4-1)}$$

اذ ان:

ΔPCU : تمثل المفاقيد النحاسية لملفات المحولة وتقاس بوحدات الواط او الكيلوواط.

$$\Delta P_{Cu\ 1} = I_1^2 R_1 \quad \text{..... (4-2)}$$

$$\Delta P_{CU\ 2} = I_2^2 R_2 \quad \text{..... (4-3)}$$

ملحوظة// المعادلات السابقة لمحولة طور واحد، اما في حالة محولات ثلاثية الاطوار فيمكن مضاعفة تلك القيمة ثلاثة اضعاف في حالة الحمل المتوازن.

ΔPCU1 : المفاقيد النحاسية الحاصلة في الملف الابتدائي، بوحدات الواط او الكيلوواط.

ΔPCU2 : المفاقيد النحاسية الحاصلة في الملف الثانوي، بوحدات الواط او الكيلوواط.

I1: التيار الابتدائي، بوحدات الامبير.

I2: التيار الثانوي، بوحدات الامبير.

R1: المقاومة الطبيعية للملف الابتدائي بوحدات الاوم

R2: المقاومة الطبيعية للملف الثانوي بوحدات الاوم

ثانيا/ المفاقيد الحديدية (الثابتة) (ΔP_{Fe})(Iron Losses).

وهي المفاقيد الناشئة نتيجة حدوث التيارات الاعصارية (Eddy Current) في القلب الحديدي للمحولة، وتُعدّ من المفاقيد الثابتة حتى في حالة تغير الحمل. ويستعمل في هذه الحالة الجهد الابتدائي الاعتيادي للمحولة حيث تترك اطراف الملف الثانوي بدون توصيل (دائرة مفتوحة)، ويكون تيار اللاحمل صغيرا والمار في الملف الابتدائي فقط.

وتتراوح قيمة المفاقيد الحديدية بين (2-3%) من قدرة المحولة، لذا ستكون المفاقيد الكلية (ΔP) للمحولة الكهربائية على وفق الاتي:-

$$\Delta P = \Delta P_{Cu} + \Delta P_{Fe} \quad \text{.....(4-4)}$$

(4-7-2) الكفاءة Efficiency

وهي المعيار (القيمة) التي تمثل مقدار جودة الجهاز الكهربائي، وكلما قلت المفاقيد ازدادت جودة (كفاءة)المحولة. أي ان الكفاءة تمثل النسبة بين القدرة الخارجة المأخوذة من المحولة والقدرة الكهربائية المعطاة (الداخلة) اليها، ويرمز لها بالرمز (η).

والكفاءة عدد مجرد من الوحدات وتكتب عادة نسبة مئوية ويمكن حسابها في حالة الاحمال المتوازنة على وفق الاتي:

$$\eta = P_2 / P_1 \times 100\% \quad \text{.....(4-5)}$$

حيث: η تمثل الكفاءة.

مثال (2-4)

محولة ثلاثة اطوار، موصلة مثلث/نجمة، بنسبة تحويل 11000\ 400.. احسب كفاءة المحولة عند ربط حمل على الملف الثانوي مقداره (8) كيلوواط، بمعامل قدرة (0.8)، اذا علمت ان المفاقيد المتغيرة في حالة القصر على الملف الثانوي (1200) واط، وفي حالة عدم الحمل كانت المفاقيد (800) واط.

المعطيات محول ثلاث اطوار Dy

$\Delta PCu = 1200\ w$

$\Delta PFe = 800\ w$

$P2 = 8Kw = 8000\ w$

الحل:

$\cos\varphi = 0.8$

$$\propto = \frac{11000}{400}$$

$\Delta P = \Delta PCU + \Delta PFe$

$\Delta P = 1200 + 800 = 2000\ w$

$P1 = P2 + \Delta P = 8000 + 2000 = 10000\ w$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = \frac{8000}{10000} \times 100 = 80\%$$

ملحوظة: في حالة اعظم قيمة للكفاءة وذلك عندما تتساوى مفاقيده الثابتة بمفاقيده المتغيرة، أي ان:

$$\Delta P_{Cu} = \Delta P_{Fe}$$

$$\eta = P2 / P1 \times 100\% = P_2 / (P_2 + \Delta P) \times 100\%$$

مثال (3-4)

احسب اعظم كفاءة لمحولة عند ربط حمل قدرته (20) كيلوواط، ومقدار المفاقيد الحديدية فيه (400) واط. علما انه في مثل هذا الحمل تتحقق اعظم كفاءة للمحولة.

الحل:

$$\Delta P_{Cu} = \Delta P_{Fe} = 400\ w$$

$$\Delta P = \Delta P_{Cu} + \Delta P_{Fe} = 400 + 400 = 800\ w$$

$$P_1 = P_2 + \Delta P = 20\,000 + 800 = 20800\ w$$

$$\eta_{max} = P2 / P1 \times 100\% = 20\,000 / 20\,800\ X\ 100\% = 96\% = 0.96$$

مثال (4-4)

محولة ثلاثة اطوار ملفها الابتدائي موصل على نسق مثلث(دلتا) وجهده (6000) فولتاً، والثانوي على نسق نجمة (ستار) وجهده (400) فولتاً، وصل حمل على الملف الثانوي عامل قدرته (0.8) فكان التيار المار فيه (5) امبيراً. اوجد كفاءته اذا علمت ان المفاقيد الكلية (200) واط.

الحل:

$$I_{L_2} = I_{Ph_2} = 5\ A$$

$$S = \sqrt{3}\, I_L\, V_L = 1.7 \times 5 \times 400 = 3400\ \ VA$$

$$P_2 = S\ Cos\ \varphi = 3400 \times 0.8 = 2720\ W$$

$$P_1 = P_2 + \Delta P = 2720 + 200 = 2920\ W$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 = \frac{2720}{2920} \times 100 = 0.93$$

مثال (5-4)

محولة ثلاثية الاطوار كفائتها العظمى (0.96) ذات نسبة تحويل $\frac{11000}{400}$ ، موصل حمل على طرفي الملف الثانوي (24) كيلوواط. اوجد مفاقيده النحاسية.

الحل:

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

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P}$$

$$0.96 = \frac{24}{24 + \Delta P}$$

$$24 = 0.96 \times 24 + (0.96 \times \Delta P)$$

$$0.96 = 0.96\,\Delta P$$

$$\Delta P = 1\,Kw = 1000\,w$$

بمان المحولة تعمل بكفائتها العظمى فان المفاقيد الحديدية تساوي المفاقيد النحاسية:

$$\Delta P_{cu} = \frac{1000}{2} = 500\,w$$

مثال (6-4)

محولة ثلاثية الاطوار (200) كيلوفولت امبير، ملفها الابتدائي موصل على نسق مثلث والثانوي نجمة، اثناء اختبارالمحولة في حالة قصر الملف الثانوي كانت المفاقيد النحاسية (1800) واط وفي حالة اللاحمل كانت المفاقيد الحديدية(3200) واط . اوجد كفاءة المحولة في حالة الحمل الكامل عندما يكون عامل القدرة (0.8).

الحل:

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

$$P_2 = S\,Cos\,\varphi = 200 \times 0.8 = 160\ KW = 160000\ w$$

$$P_1 = P_2 - \Delta P$$

$$\Delta P = \Delta P_{CU} + \Delta P_{Fe} = 1800 + 3200 = 5000\ w$$

$$P_1 = 160000 + 5000 = 165000\ w$$

$$\eta = \frac{160000}{165000} = 0.96$$

(8- 4) حساب قدرة الحمل في المحولات الكهربائية ذات الثلاثة اطوار

$P_2 = S \cos \Phi$ ..... (4-6)

$S = \sqrt{3}\ I_2\ V_2\ (VA)$ ..... (4-7)

$P_2 = \sqrt{3}\ I_2\ V_2 \cos \Phi$ ..... (4-8)

حيث:

S: القدرة الظاهرة بوحدات {فولت.امبير(VA)او كيلوفولت.امبير(KVA) }

P2: قدرة الحمل بوحدات (الواط Wاو الكيلوواطKW).

I2 : التيار الثانوي (بوحدات الامبيرA).

V2 : الجهد الثانوي (جهد الحمل)(بوحدات الفولتV).

مثال (7-4)

وصل حمل بمعامل قدرة (0.8) لمحول ثلاثة اطوار قدرته الظاهرة (50) كيلوفولت.امبير، احسب كفاءة المحولة، اذا علمت ان المفاقيد الكلية الحاصلة فيه (4000) واط.

الحل:

$$P_2 = S \cos \Phi = 50 \text{ X } 0.8 = 40 \text{ Kw} = 40\,000 \text{ w}$$

$$P_1 = P_2 + \Delta P = 40\,000 + 4000 = 44\,000 \text{ w}$$

$$\eta_{max} = P2 / P1 \text{ X } 100\% = 40\,000 / 44\,000 \text{ X } 100\% = 90\%$$

(4-9) الطرائق المختلفة المستخدمة في تبريد المحولات

سبق ان تطرقنا في المرحلة الدراسية السابقة الى انواع المحولات من حيث طرائق التبريد وبما اننا نركز في هذه المرحلة في المحولات ثلاثية الاطوار ، فلابد من التركيز في طرائق تبريد هذه المحولات.

تُعدّ عملية التبريد امرا ضروريا اذ انه كلما ازدادت كفاءة التبريد كلما ارتفعت كفاءة المحولة وازداد عمر المكونات الداخلة في تركيبها.

وتكون عملية تبريد قلب المحولة وملفاتها بطرائق متعددة مختلفة تبعا لنوع الخدمة وحجم المحولة وبعض العوامل الاخرى. وفيما ياتي الطرائق المتبعة في تبريد المحولات:-

الشكل رقم (4-9) استخدام مراوح في تبريد

1- محولة مغمورة في الزيت مبردة ذاتيا : يُبرد قلب المحولة وملفاتها عن طريق غمرهم في الزيت وتكون عملية التبريد عن طريق الدوران الذاتي للهواء على اسطح التبريد.

2- محولة مبردة ذاتيا بالزيت وقسريا بالهواء: وتكون عملية التبريد فيه بطريقة مشابهة للطريقة السابقة وتكون عن طريق دفع الهواء بمضخات على اسطح التبريد.

3- محولة مبردة قسريا بالزيت وقسريا بالهواء: تكون عملية التبريد بالزيت عن طريق دورة قسرية له خلال مبادل حراري بين الزيت والهواء كما يُستفاد بالتبريد الهوائي القسري على اسطح التبريد.

4- محولة مبردة ذاتيا بالزيت وقسريا بالزيت وقسريا بالهواء: وتتم عملية التبريد فيه بطريقة مشابهة للطريقة السابقة فضلا على دورة قسرية للزيت حول قلب المحولة وملفاتها، وتوجد محولات يكون فيها هذا النوع من التبريد على مرحلتين تبعا لمقدار الحمل الكهربائي على المحولة حيث تتم هذه العملية باجهزة تحكم ذاتية.

5- محولة مغمورة في الزيت المبرد بالماء : يُبرد الزيت بالدوران الذاتي فوق سطح مبرد بالماء.

6- محولة مغمورة في الزيت مبرد ذاتيا ومبردة بالماء: وتُبرد بالطريقتان السابقتان معا.

* تجدر الاشارة هنا الى ان الشركات التي تقوم بتصنيع المحولات ترمز الى طريقة التبريد بحروف متفق عليها تبعا للمواصفات القياسية المعمول بها.

(10- 4) وظيفة زيت المحولات

1- العزل بين الملفات وكذلك العزل بين الملفات والقلب الحديدي للمحولة والملفوف حوله تلك الملفات.

2- المساعدة في عملية تبريد قلب المحولة وملفاتها، يحصل ذلك عن طريق انتقال الحرارة المتولدة في القلب والملفات الى السائل المحيط بها من خلال العوازل الصلبة (عوازل الملفات وعوازل رقائق قلب المحول). ويقوم السائل بنقل تلك الطاقة الحرارية اما الى خزان المحول وملحقات التبريد الخاصة به واما الى اسطح منفصلة اكثر برودة، لغرض الوصول الى درجة الحرارة الطبيعية للعمل.

ملحوظة: لعملية التبريد بكفاءة عالية يجب ان يتحرك السائل داخل المحولة في مجاري واسعة حيث يؤثر حجم تلك المجاري بشدة في كفاءة التبريد.

يستخرج الزيت المعدني المستخدم في المحولات من البترول ثم يزاد عليه مادة مانعة للاكسدة ويعتمد اداء المحولة الى درجة كبيرة على خواص الزيت الفيزيائية والكيميائية والكهربائية ويجب ان يخضع زيت المحولات لعدة اختبارات تحددها المواصفات العالمية بحيث يحقق المستويات المطلوبة وفيما يأتي اهم خصائص الزيت المعدني والحد الادنى للمستويات المطلوبة لتلك الخصائص وذلك تبعا للمواصفات المعمول بها في معظم بلدان الوطن العربي.

(11- 4) خواص زيت المحولات

1- ان يكون خاليا من الرطوبة.

2- ان تكون درجة انجماده منخفضة.

3- ان تكون درجة الحرارة التي يمكن ان يحصل فيها التفريغ الكهربائي اعلى من 130 درجة مئوية.

4- ان لايحتوي على أي نوع من المواد الغريبة او العالقة به.

5- ان تكون نسبة المواد الحامضية (HP) فيه قليلة جدا حيث ينتج عن حامضية الزيت تلف العوازل وتآكل الصفائح الحديدية.

اما من الناحية الكهربائية:

فاهم خاصية للزيت هي مقاومة العزل اومايسمى بضغط التفريغ.

فضغط تفريغ الزيت يهبط بصورة مفاجئة بسبب الرطوبة او بعض المواد العالقة به فضلا على ذلك فان الزيت ياخذ الاوكسجين من الهواء الجوي مسببا ازدياد درجة الحامضية فيه مما يسبب بعض التفاعلات الكيميائية التي تقلل من خواصه الكهربائية.

ولاجل معرفة نسبة الرطوبة في الزيت توضع بالاسفل علبة شفافة تُملأ بمادة السليكا (Silica Gel) ، تعمل على امتصاص الرطوبة من الزيت فيتغير لونها من الازرق الى الاحمر البني.

وبهذه الحالة يجب ان يتوقف عمل المحولة لاجراء الفحص على الزيت حيث تؤخذ عينات وتقارن بالزيت النقي الخالي من الرطوبة.

وكذلك تؤخذ عينات وتفحص في المختبر فان كانت نسبة الرطوبة عالية تربط بالمحولة (مرشحاتFilters ومسخناتHeaters) فيسخن الزيت الى درجة حرارة 105 درجة مئوية وذلك لتبخير ماتعلق به من الرطوبة ثم يصفى بوساطة المرشحات لازالة بعض الرواسب الغريبة.

ملحوظة: يجب تأريض المحولة عند ضخ الزيت فيها فبسرعة اندفاع الزيت الى جسم المحولة واصطدامه بالملفات تتولد فولتية محتثة قد تكون خطرا على العاملين وان كانت خارج العمل وغيرمرتبطة بمصدر فولتية.

(12-4) خصائص الزيت الجيد للمحولات

تتوقف جودة زيت المحولات على الأمور الآتية:

1- جهد انهيار العزل للزيت:

يحدد هذا الجهد الخواص الكهربية للزيت كمادة عازلة ،اذ أن هذا الجهد الى حدود معينة يدل على ارتفاع نسبة الرطوبة والأحماض بالزيت فالجهد يجب ألا يقل عن 35 ك .فولت / سم للزيت الجديد الذي لم يستعمل بعد للمحولات.

2- درجة حرارة اشتعال الأبخرة والغازات :

درجات حرارة اشتعال الأبخرة والغازات الناتجة من الزيت اذ أن انخفاض هذه الدرجات يشير الى تحلل الزيت واحتمال اشتعاله، لذا يجب أن لا تقل حرارة اشتعال الأبخرة عن 135 درجة مئوية.

3- لزوجة الزيت :

إن زيادة هذه اللزوجة تعيق دورة التبريد وتحد من سرعته، لذا يجب ألا تتعدى درجة اللزوجة 4.2 وذلك عند 20 درجة مئوية ، ولا تتعدى درجة اللزوجة 1.8 وذلك عند 50 درجة مئوية.

4- حامضية الزيت :

ينتج عن هذه الأحماض تلف العوازل للملفات ، وأكسدة القضبان والصفائح الحديدية وتآكلها. ويجب ألا يتعدى الرقم الحمضي للزيت 0.05 ملليجرام (مقدار المليجرام من ايدروكسيد البوتاسيوم التي تعادل حامضية واحد كيلوجرام من الزيت).

5- الشوائب الميكانيكية المختلفة :

الشوائب الميكانيكية الناتجة عن اتساخ الملفات كثيرة ومختلفة ومنها كذلك مجاري الزيت من جسيمات الكربون والشوائب الأخرى.

(13 – 4) حماية المحولات الكهربائية

تشتمل اجراءات الحماية المتكاملة للمحولة الكهربائية على :-

حماية ملفات المحولة (الملف الابتدائي والملف الثانوي) وكذلك حماية القلب الحديدي للمحولة فضلا على حماية الاجهزة والمعدات المساعدة.

ورغم ان الاعطال التي تتعرض لها المحولات قليلة الحدوث مقارنة بما تتعرض له مكونات الشبكة الكهربائية، الا ان بعض تلك الاعطال من الخطورة بحيث تتسبب في حدوث اخطار جسيمة للمحولة او لباقي اجزاء الشبكة الكهربائية اذا لم يُفصل العطل في الوقت المناسب.

(1- 13- 4) طبيعة الاعطال في المحولات

يمكن تقسيم الاعطال المحتمل حدوثها في المحولات على الانواع الاتية:-

1- زيادة الحمل او حدوث قصر خارجي.

2- اعطال في ملفات المحولة وتوصيلاتها.

3- اعطال في الاجهزة المساعدة التي تُعدّ اجزاء من المحولة.

(14-4) طرائق الوقاية والحماية المستخدمة في المحولة الكهربائية

1- الوقايات كهربائية : وهي مجموعة من الوقايات اهمها الوقاية التفاضلية. والوقاية التفاضلية هو جهاز وقاية وظيفته المقارنة بين التيارات الداخلة الى المحولة والتيارات الخارجة منها، بحيث تكون متساوية في القيمة ففي حالة حدوث عطب داخل المحولة فان القيمة الحقيقية للتيارات الخارجة لن تكون مساوية للتيارات الداخلة، وهذا مايشعر به جهاز الوقاية، بينما في الحالة الاعتيادية فإن الفرق يكون صفرا فلا يشتغل جهاز الوقاية، أي ان الفرق في قيمة التيارات يمر في ملف جهاز الوقاية.

2- الوقايات الميكانيكية : وفي ضمنها ريلي (بوخلز).

وهو جهار يكون متصلاً بجسم المحولة بين الخزان الرئيس وخزان الزيت (conservator)عن طريق انبوبة معدنية متصلة بجسم المحولة.

وظيفة هذا الريلي هي حماية المحولة من القصر الداخلي بين ملفات المحولة...

(windings internal short circuit between the coils) ، وليس لمستوى الزيت لان مستوى الزيت له مقياس زجاجي اعلى المحولة يبين مستوى الزيت.

ان الريلي (البوخلز) هو جهاز يعمل على وقاية المحولة من تيارات القصر الداخلية معتمدا في عمله على الابخرة و الغازات الناتجة عن احتراق الزيت الموجود داخل المحولة نتيجة التيارات العالية سواء أقصراً كان ام حملاً عالياً على المحولة(overloading).

أسئلة الفصل الرابع

س1 / ما استخدامات المحولات ثلاثية الاطوار؟

س2/ ماهي طبيعة الاعطال في المحولات .

س3/ وضح بالرسم طرائق توصيل الملفات في المحولات ثلاثية الاطوار.

س4/ اشرح طرائق تبريد المحولات.

س5/ ما طرائق الحماية المستخدمة للمحولات ؟

س6/ اذكر شروط توصيل المحولات ثلاثية الاطوار على التوازي، ولماذا تربط على التوازي؟

س7/ ما انواع المفاقيد في المحولات الكهربائية؟ وهل توجد مفاقيد ميكانيكية؟

س8/ اذكر خصائص زيت المحولات؟ وما وظائفه؟

س9/ كيف يتم التعرف على وجود رطوبة في زيت المحولات؟

س10/ مافائدة ريلي بوخلز؟

س11 / ما مكونات المحولة ثلاثية الاطوار؟

س12/ محولة ثلاثية الاطوار (خافضة للجهد)، الملف الابتدائي موصل بمصدر (11000) فولت، والثانوي (400) فولت، وصل حمل بملفه الثانوي مقداره (40) كيلوواط، بمعامل قدرة (0.8). احسب قدرته الظاهرة، ثم احسب التيار . (جـ . $I_2 = 72A$) (القدرة الظاهرة K VA 50)

الثانوي

س13/ محولة ثلاثية الاطوار قدرتها الظاهرة (100) كيلوفولت امبير، نسبة التحويل فيها $\frac{6600}{400}$

وصل حمل معامل قدرته (0.8). احسب المفاقيد الكلية فيه، اذا علمت ان كفاءته 95%.

(جـ. $\Delta P = 4210w$).

س14/ محولة ثلاثية الاطوار ، موصل ملفها الابتدائي على شكل دلتا، وموصل الملف الثانوي على شكل نجمة ، قيمة المصدر الموصل الى الابتدائي (2200) فولت وقيمة جهد الثانوي(400) فولت. وصل حمل متوازن معامل قدرته (0.8) فكان التيار الابتدائي (5) امبير. جد التيار في كل من ملف الابتدائي والثانوي. ثم جد قدرة الحمل.

(جـ. $5/\sqrt{3}$ امبير التيار الابتدائي في كل ملف. و27.5 امبير التيار الثانوي في كل ملف. قدرة الحمل 14960 واط).

س15/ محولة ثلاثية الاطوار، عدد لفات الطور للابتدائي (1500) لفة، وعدد لفات الطور الواحد للثانوي (158) لفة، وجهد الخط للابتدائي (المصدر) (6600) فولت. جد جهد الطور والخط للثانوي عندما يكون توصيل المحول: أ/ مثلث – نجمة. أي ان الابتدائي مثلث والثانوي نجمة.

ب/ في حالة نجمة- مثلث.

(جـ. أ - فولتية الطور 695 فولت وفولتية الخط 1181 فولت.)

ب - فولتية الطور 409 فولت وفولتية الخط 409 فولت.

س16/ محولة ثلاثية الاطوار يراد تشغيلها على حمل ذي عامل قدرة (0.8) ويجهز تيار (200) امبير، بجهد (400) فولت. فإذا كانت كفاءة المحولة (95%) ، جد :

أ/ القدرة الظاهرة للمحولة.

ب/ المفاقيد الكلية.

(جـ. القدرة الظاهرة = 138560 فولت امبير= 138.56 كيلوفولت امبير.

المفاقيد الكلية = 5830 واط = 5.83 كيلوواط)

س17/ محولة ثلاثية الاطوار (120) كيلوفولت امبير، موصلة بنسق نجمة/ نجمة، من مصدر تيار متناوب (50) ذ/ثا، نسبة التحويل (6600/400)، ومقدار المفاقيد الحديدية (1600) واط والنحاسية (2400) واط. اوجد كفاءة المحولة عندما يكون عامل القدرة (0.8).

(جـ. η=0.96)

الفصل الخامس

الكترونيات القدرة

الأهداف:

1- التعرف على أنواع العاكسات الكهربائية ومبدأ عملها وتطبيقاتها.

2-التعرف على طرق السيطرة على سرعة محركات التيار المستمر .

3- التعرف على طرق السيطرة على سرعة محركات التيار المتناوب الحثية.

4- التعرف على طرق السيطرة على سرعة محركات التيار المتناوب التزامنية.

5-1 مقدمة

تعود بداية الاهتمام في مجال الكترونيات القدرة الى العام 1948م ، ففي ذلك العام تم اختراع الترانزستور ثم تم اختراع الثايروستور في العام 1958م وبعدها اخترع الثايروستور المعكوس ذو البوابة المتكاملة في عام 1996م أما الترانزستور المكون من سبيكة من السيلكون والكاربون فقد اكتشف في عام 2009 م والتطوير سيبقى مستمراً نتيجة زيادة استخدام الكترونيات القدرة في الكثير من التطبيقات الصناعية والمنزلية مثل الحاسبات والطابعات والماسحات الضوئية والتلفزيون وأجهزة الهاتف المحمول ودوائر السيطرة على سرعة المحركات والمولدات الكهربائية وغيرها الكثير. في هذا الفصل سيتم التعرف على بعض التطبيقات الصناعية التي تستخدم فيها الكترونيات القدرة الكهربائية.

5-2 العاكسات (Inverters)

يستخدم العاكس في العديد من التطبيقات الصناعية والمنزلية مثل السيارات الكهربائية وأجهزة تنظيم سرعة محركات التيار المتناوب المختلفة ومجهزات القدرة الكهربائية (UPS). يعمل العاكس على تحويل مصدر التيار المستمر الى مصدر تيار متناوب ذو فولتية وتردد قابلة للتغيير حيث يتم تجهيز العاكس بالفولتية المستمرة أما عن طريق بطارية أو عن طريق دائرة توحيد. تصنع العاكسات بقدرات وفولتيات مختلفة حيث أن هنالك عاكسات أحادية الطور تعطي فولتية متناوبة (220) فولت وبتردد (50) وعاكسات ثلاثية الأطوار تعطي فولتية متناوبة (380/220) فولت وبتردد (50) هيرتز. كما توجد عاكسات بموجة خارجة مربعة الشكل أو بموجة خارجة جيبية حيث يعتبر العاكس ذو الموجة الخارجة الجيبية هو الأفضل بسبب كفاءة العالية وملائمة لمختلف أنواع الأحمال الكهربائية لكنه غالي الثمن عادة. تقسم العاكسات عموما الى نوعين رئيسيين هما:

1- عاكس مصدر الفولتية (Voltage Source Inverter).
2- عاكس مصدر التيار (Current Source Inverter).

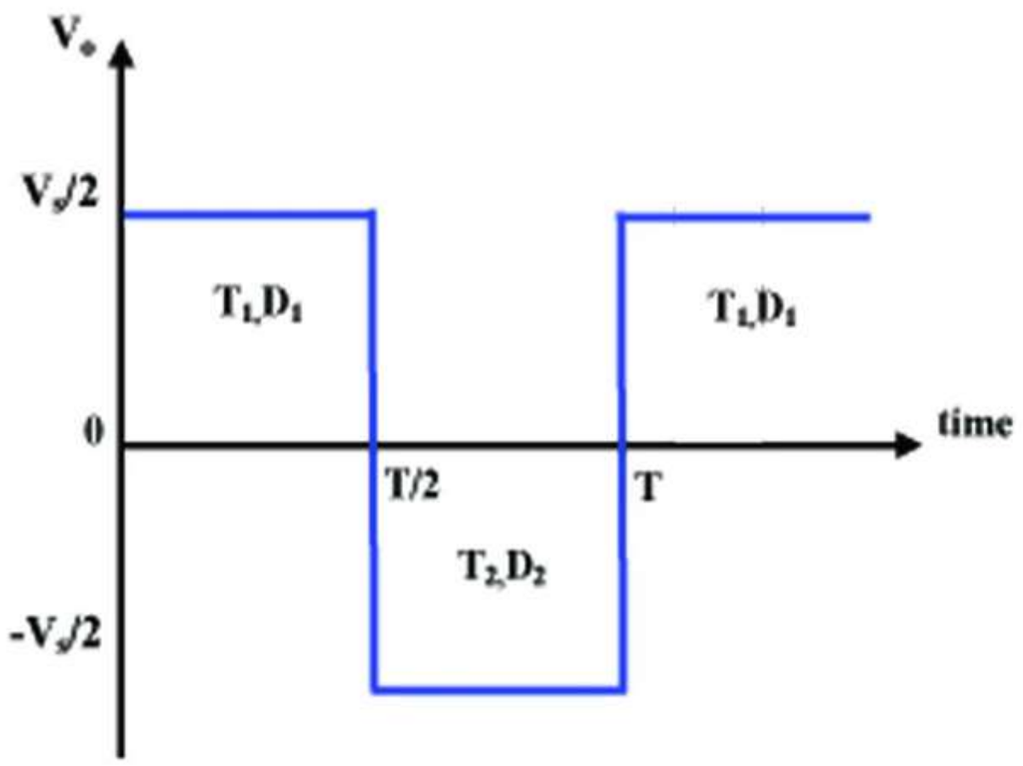
5-3 عاكس مصدر الفولتية (Voltage Source Inverter)

يعتبر هذا النوع الأكثر شيوعا واستخداما مقارنة مع عاكس مصدر تيار, حيث يتم فيه تغذية العاكس من مصدر فولتية مستمرة ثابتة القيمة كالبطارية أو عن موحد أحادي الطور أو ثلاثي الأطوار محكوم ويوضع عادة مكثف كبير السعة متصل بالتوازي مع مصدر التغذية المستمر للعاكس وذلك لضمان الحصول على قيمة ثابتة للفولتية المستمرة المجهزة للعاكس. يمكن بناء دوائر العاكس بعدد أطوار مختلف حسب الحاجة لكن تعتبر العاكسات الأحادية الطور والثلاثية الأطوار هما الأكثر استخداما في الحياة العملية حيث سنركز في هذا الكتاب على شرح هذان النوعين.

5-3-1 عاكس نصف قنطرة أحادي الطور (Single Phase Half Bridge Inverter)

تعتبر الدائرة الكهربائية للعاكس النصف قنطرة الموضحة في الشكل (5-1) من ابسط دوائر العاكسات التي تستخدم فيها أشباه موصلات القدرة مثل الترانزستور أو الثايرستور كمفاتيح الكترونية.

تعمل المتسعات المتصلة بالتوازي مع مصدر التيار المستمر على تقسيم هذا المصدر بالتساوي للحصول على نقطة تعادل. لغرض حماية هذه الدائرة وبالأخص من الأحمال الحثية يتم ربط دايود بالتوازي مع كل ترانزستور. تعمل هذه الدائرة بالشكل التالي فخلال النصف الأول للموجة الخارجة (V_o) يتم تشغيل الترانزستور الأول (T_1) فتصبح قيمة الفولتية الخارجة من العاكس مساوية الى ($V_s/2$) , أما خلال النصف الثاني للموجة الخارجة فيتم تشغيل الترانزستور الثاني (T_2) وإطفاء الترانزستور الأول (T_1) فتصبح قيمة الفولتية الخارجة مساوية الى ($-V_s/2$). نلاحظ من الشكل (5-1) بأن موجة الفولتية المتناوبة الخارجة من العاكس تكون مربعة الشكل حيث يفضل استخدام مثل هذا النوع من العاكسات لإغراض الإنارة وتشغيل الأجهزة الكهربائية المختلفة ماعدا المحركات الكهربائية.



شكل (5-1) موجة الفولتية الخارجة من عاكس نصف قنطرة أحادي الطور.

يتم حساب قيمة الفولتية الكلية الخارجة من العاكس باستخدام المعادلة التالية.

$$V_o = \frac{V_s}{2} \quad volt \qquad (1\text{-}5)$$

أما قيمة الفولتية الفعلية الخارجة من العاكس فتحسب بعد أجراء تحليل رياضي بواسطة متسلسلة فوير على قيمة الفولتية الكلية الخارجة من العاكس وتساوي:

$$V_{o1} = 0.45\, V_s \quad volt \qquad (2\text{-}5)$$

بينما يتم حساب تيار الحمل من العلاقة التالية:

$$I_L = \frac{V_o}{R_L} \quad A \qquad (3\text{-}5)$$

حيث أن :

V_s = الفولتية الداخلة الى العاكس عن طريق بطارية.

V_o = الفولتية الكلية الخارجة من العاكس.

V_{o1}= الفولتية الفعلية الخارجة من العاكس.

R_L= مقاومة الحمل.

I_L = تيار الحمل.

مثال (5-1): عاكس نصف قنطرة أحادي الطور يتغذي من مصدر مستمر قيمة (100) فولت ويعمل على تجهيز حمل مقاومة (10) أوم . أحسب قيمة الفولتية الكلية الخارجة من العاكس (V_o) وقيمة الفولتية الفعلية الخارجة من العاكس (V_{o1}) , ثم احسب قيمة التيار المجهز الى الحمل (I_L).

الحل : المعطيات V_S=100 V و R_L=10 Ω

1- الفولتية الكلية الخارجة من العاكس:

$$Vo = \frac{V_s}{2} = \frac{100}{2} = 50\,V$$

2- الفولتية الفعلية الخارجة من العاكس:

$$V_{o1} = 0.45\,V_s = 0.45\,X\,100 = 45\,V$$

3- التيار المجهز الى الحمل يساوي:

$$I_L = \frac{V_o}{R_L} = \frac{50}{10} = 5\,A$$

مثال (2-5): عاكس نصف قنطرة أحادي الطور يعطي فولتية متناوبة قيمتها (220) فولت بتردد (50) هيرتز تغذي حمل مقداره (55) أوم .أحسب قيمة الفولتية المستمرة الداخلة الى العاكس (V_s) ثم احسب قيمة تيار الحمل (I_L).

الحل : المعطيات $R_L=30\ \Omega\ ,\ f_o=50\ Hz\ ,\ V_o=240\ V$

1- الفولتية المستمرة الداخلة الى العاكس تساوي

$$V_o = \frac{V_s}{2} \Rightarrow\!\!\!\!\gg \quad 220 = \frac{V_s}{2} \quad \therefore\ V_s = 440\ V$$

2- تيار الحمل يساوي

$$I_L = \frac{V_o}{R_L} = \frac{220}{55} = 4\ A$$

مثال (3-5): عاكس نصف قنطرة أحادي الطور يجهز بفولتية مستمرة قيمتها (480) فولت ويسحب الحمل تياراً مقداره (10) أمبير. أحسب قيمة مقاومة الحمل (R_L) ثم أحسب القدرة الخارجة (P_o).

الحل : المعطيات $I_L=10\ \Omega\ ,\ V_s=480\ V$

1-الفولتية الكلية الخارجة من العاكس:

$$V_o = \frac{V_s}{2} = \frac{480}{2} = 240\ V$$

2-مقاومة الحمل تساوي:

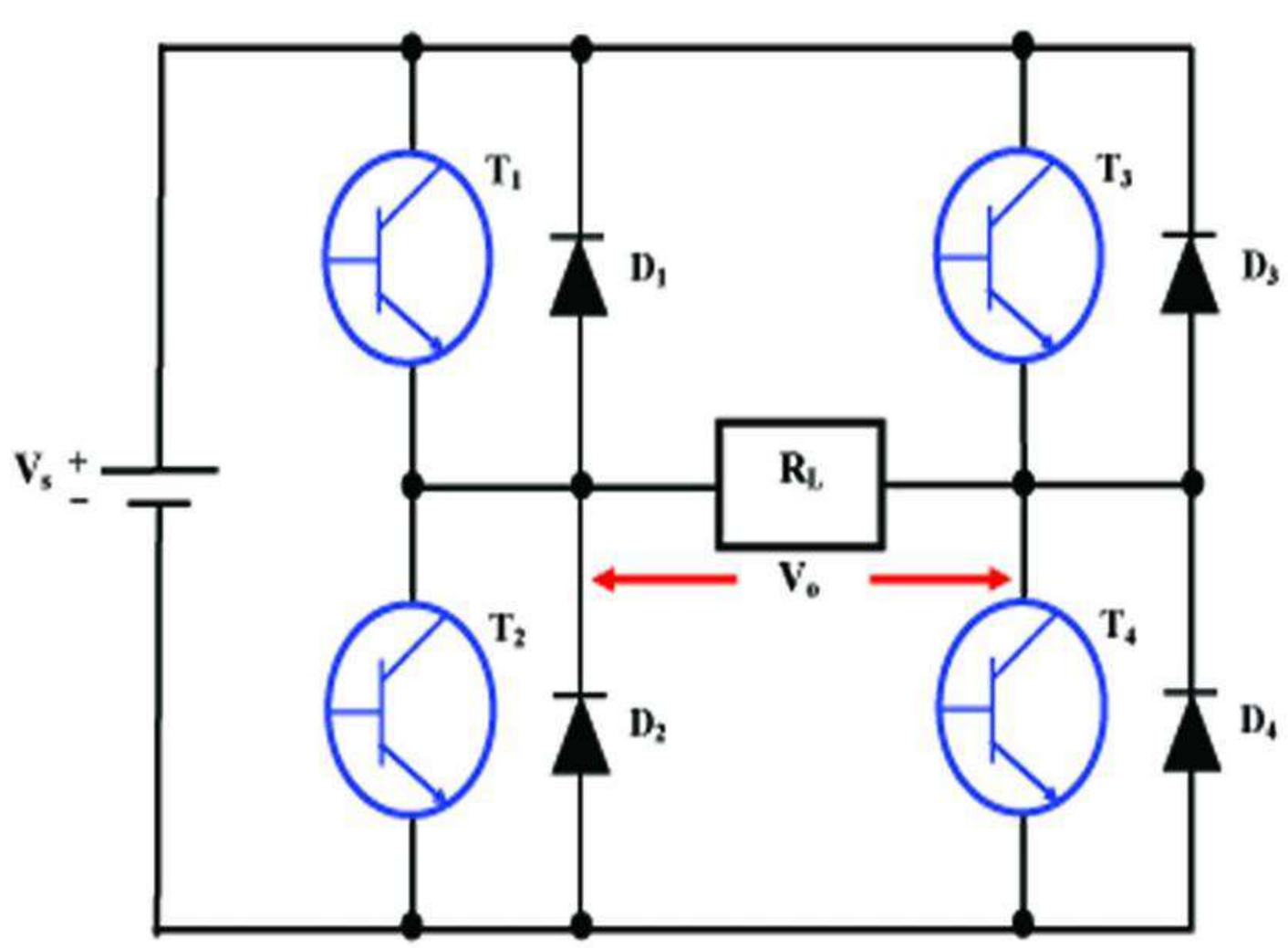
$$R_L = \frac{V_o}{I_L} = \frac{240}{10} = 24\ \Omega$$

3-القدرة الخارجة تساوي:

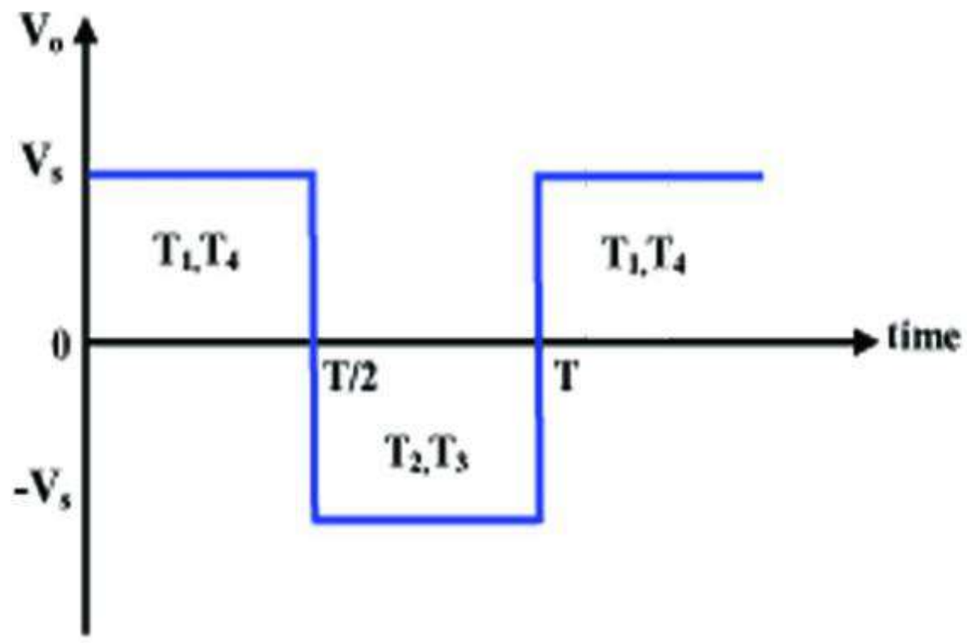
$$P_o = \frac{{V_o}^2}{R_L} = \frac{(240)^2}{24} = 2400\ W$$

5-3-2 عاكس قنطرة أحادي الطور (Single Phase Full Bridge Inverter)

يستخدم هذا النوع من العاكسات بشكل واسع في العديد من التطبيقات الصناعية والمنزلية. تتألف الدائرة الكهربائية لعاكس قنطرة أحادي كما موضح في الشكل (5-2) من أربعة ترانزستورات وأربعة ودايودات تم بناءها من دمج دائرتين لعاكس نصف قنطرة أحادي الطور. تعمل هذه الدائرة عن طريق تشغيل كل من الترانزستوران الأول (T_1) والرابع (T_4) مما يؤدي في الحصول على النصف الأول للموجة الخارجة , أما الترانزستوران الثاني (T_2) والثالث (T_3) يتم تشغيلهما للحصول على النصف الثاني للموجة الخارجة. نلاحظ من الشكل (5-3) بأن موجة الفولتية الخارجة من العاكس تكون مربعة الشكل كما هو الحال مع عاكس نصف قنطرة أحادي الطور لكن قيمة الفولتية الخارجة من هذا النوع فتساوي ($\pm V_s$).



شكل (5-2) عاكس قنطرة أحادي الطور .



شكل (3-5) موجة الفولتية الخارجة من عاكس قنطرة أحادي الطور.

تحسب قيمة الفولتية الكلية الخارجة من العاكس باستخدام المعادلة التالية:

$$V_o = V_s \quad volt \tag{4-5}$$

أما قيمة الفولتية الفعلية الخارجة من العاكس فتحسب بعد أجراء تحليل رياضي بواسطة متسلسلة فوير على قيمة الفولتية الكلية الخارجة من العاكس وتساوي:

$$V_{o1} = 0.9\,V_s \quad volt \tag{5-5}$$

بينما يتم حساب تيار الحمل من العلاقة التالية:

$$I_L = \frac{V_o}{R_L} \quad A \tag{6-5}$$

كما يمكن تحديد تردد الموجة الخارجة من العاكس عن طريق معرفة قيمة الزمن الدوري T للموجة وحسب المعادلة التالية :

$$\mathbf{f_o = \frac{1}{T}\ Hz} \tag{7-5}$$

حيث أن:

f_o = تردد الموجة الخارجة من العاكس (ذ/ثا)

T= زمن الموجة الخارجة من العاكس (ثانية)

مثال (4-5): عاكس قنطرة أحادي الطور يتغذي من مصدر مستمر قيمة (220) فولت ويعمل على تجهيز حمل مقاومة (10) أوم . أحسب قيمة الفولتية الكلية الخارجة من العاكس (V_o) وقيمة الفولتية الفعلية الخارجة من العاكس (V_{o1}) ثم احسب قيمة التيار المجهز الى الحمل (I_L).

الحل : المعطيات $V_s=220\ V$ و $R_L=10\ \Omega$

1- الفولتية الكلية الخارجة من العاكس تساوي:

$$Vo = Vs = 220\,V$$

2- الفولتية الفعلية الخارجة من العاكس تساوي:

$$V_{o1} = 0.9\,V_s = 0.9\,X\,220 = 198\,V$$

3- التيار المجهز الى الحمل يساوي

$$I_L = \frac{V_o}{R_L} = \frac{220}{10} = 22\,A$$

5-4 مقارنة بين عاكس نصف قنطرة وعاكس قنطرة حادي الطور

من خلال مقارنة نتائج المثال (5-1) مع نتائج المثال (5-3) يمكن أجراء المقارنة التالية :-

1) قيمة الفولتية الكلية الخارجة من عاكس قنطرة تساوي ضعف قيمة الفولتية الكلية الخارجة من عاكس نصف قنطرة.

2) قيمة الفولتية الفعلية الخارجة من عاكس قنطرة تساوي ضعف قيمة الفولتية الفعلية الخارجة من عاكس نصف قنطرة.

3) قيمة التيار المجهز الى الحمل في عاكس قنطرة تساوي ضعف قيمة التيار المجهز الى الحمل في عاكس نصف قنطرة.

مثال (5-5): عاكس قنطرة أحادي الطور يعطي فولتية متناوبة قيمتها (220) فولت وبتردد (50) هيرتز تجهز الى حمل مقاومة (25) أوم .أحسب قيمة الفولتية المستمرة الداخلة الى العاكس (V_s) ثم احسب قيمة تيار الحمل (I_L) .

الحل : المعطيات $R_L=25\ \Omega$, $f_o=50\ Hz$, $V_o=220\ V$

1- الفولتية المستمرة الداخلة الى العاكس تساوي:

$$V_s = V_o = 220\ \ V$$

2- تيار الحمل يساوي

$$I_L = \frac{V_o}{R_L} = \frac{220}{25} = 8.8\ A$$

مثال (5-6): عاكس قنطرة أحادي الطور يغذى بفولتية مستمرة مقدارها (230) فولت ويسحب الحمل تيارا مقداره (4) أمبير. أحسب قيمة الفولتية مقاومة الحمل ثم احسب القدرة الخارجة.

الحل : المعطيات $I_L=4\ A$, $V_s=230\ V$

1- الفولتية الكلية الخارجة من العاكس تساوي:

$$V_o = Vs = 230\ V$$

2- مقاومة الحمل تساوي:

$$R_L = \frac{V_o}{I_L} = \frac{230}{4} = 57.5\ \Omega$$

3- لقدرة الخارجة تساوي:

$$P_o = \frac{V_o^2}{R_L} = \frac{(230)^2}{57.5} = 920\ W$$

أو

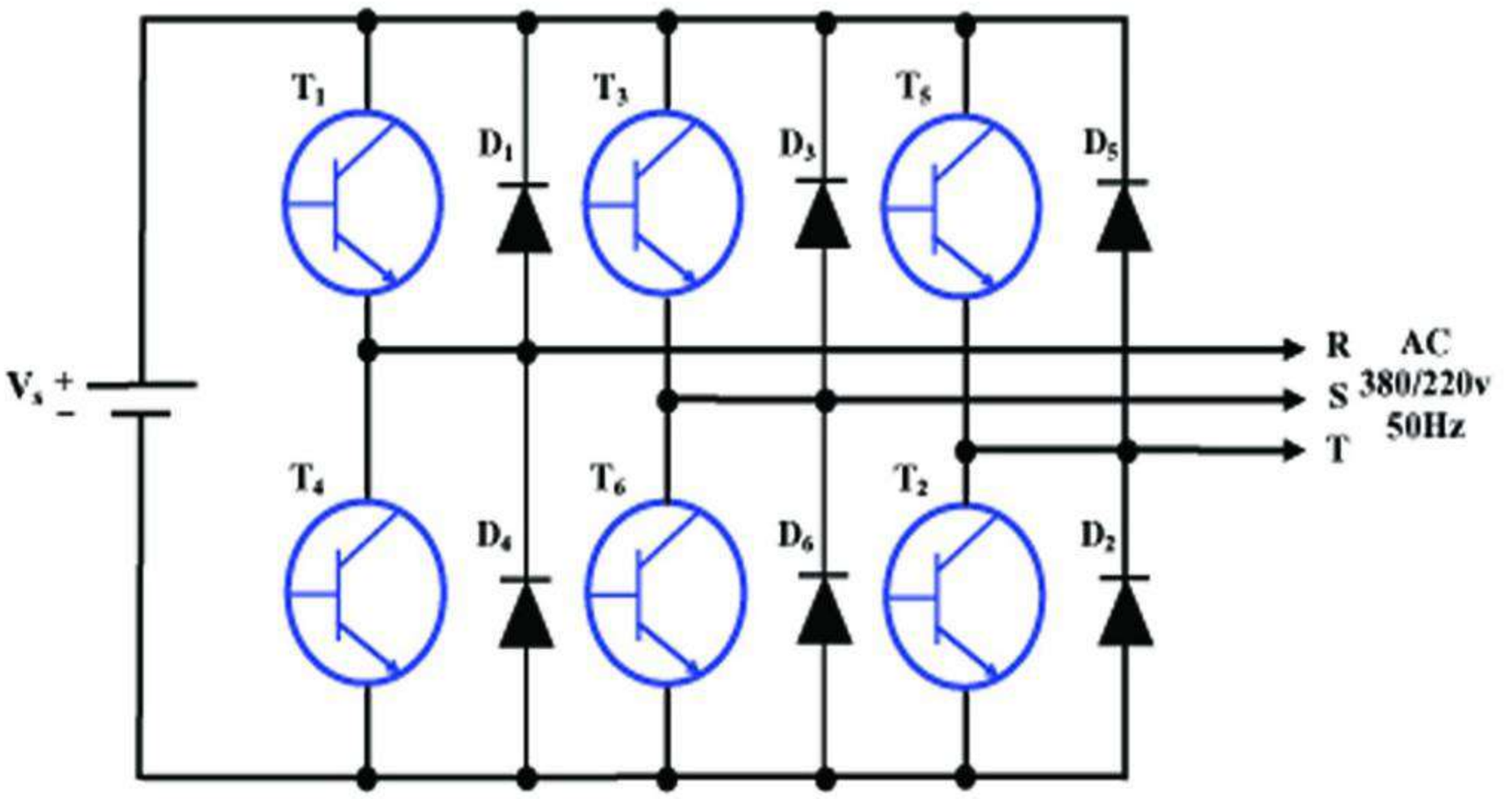
$$P = V_O .\ I_L = 230 \times 4 = 920\ w$$

5-5 عاكس ثلاثي الأطوار (Three Phase Inverter)

يستخدم هذا النوع من العاكسات في تجهيز الأحمال المتوسطة القدرة والكبيرة بالطاقة الكهربائية مثل دوائر السيطرة على سرعة دوران محركات التيار المتناوب الثلاثية الأطوار ومجهز القدرة (UPS). هنالك نوعين رئيسيين من العاكس الثلاثي الأطوار هما عاكس نصف قنطرة وعاكس قنطرة كاملة حيث يعتبر النوع الثاني الأكثر استخداما بالرغم من كلفة العالية نظرا لكفاءته العالية في توليد فولتيات متناوبة نقية. الشكل (5-4) يوضح دائرة عاكس قنطرة ثلاثي الأطوار يحتوي على ستة ترانزستورات حيث يتم ربط دايود على التوازي مع كل ترانزستور لتأمين الحماية اللازمة لدائرة العاكس في حالة الأحمال الحثية. يتم تشغيل العاكس الثلاثي الأطوار بطريقتين هما:

1) طريقة زاوية التشغيل (180) درجة.

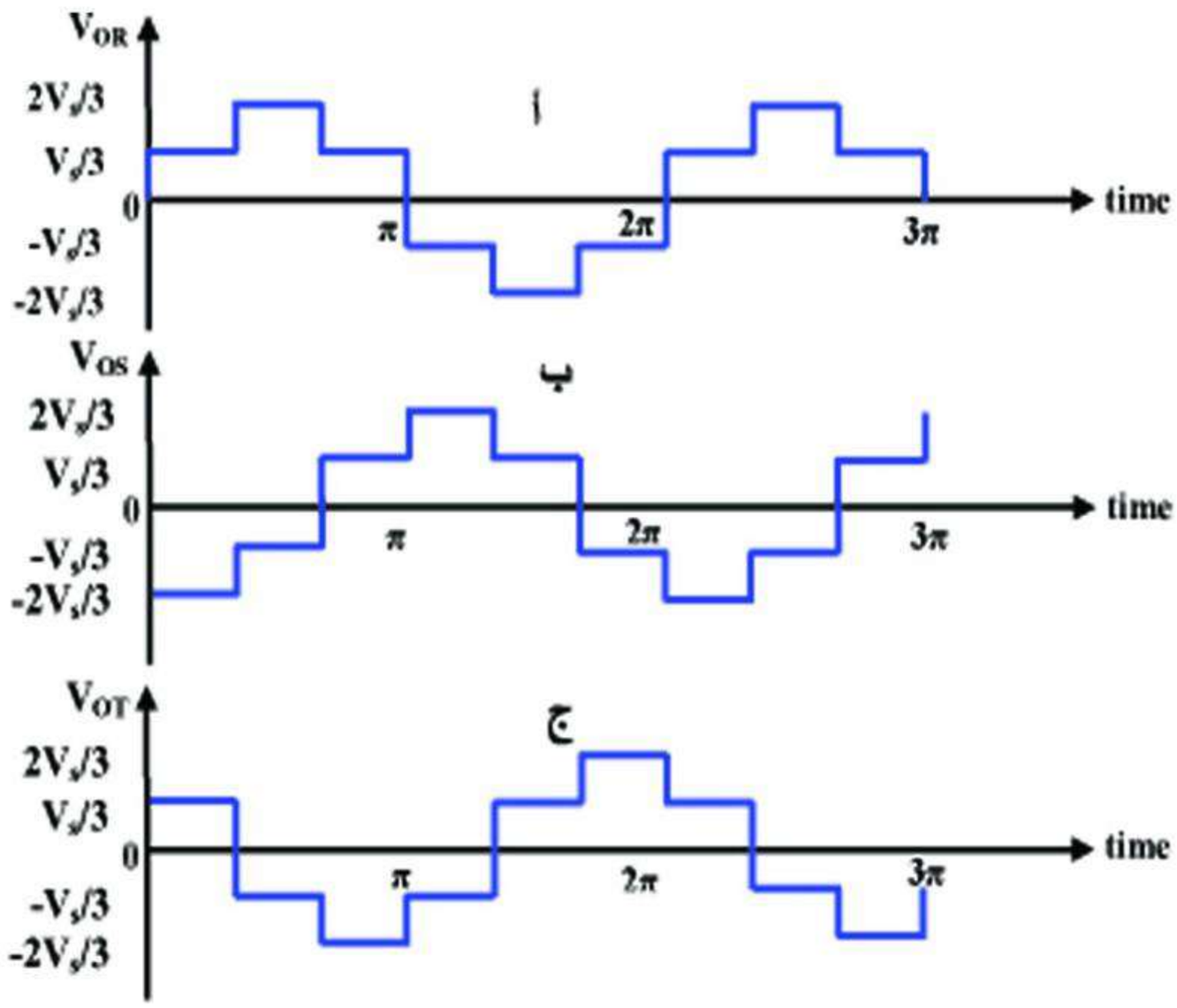
2) طريقة زاوية التشغيل (120) درجة.



شكل (4-5) دائرة عاكس قنطرة ثلاثي الأطوار.

5-5-1 طريقة زاوية التشغيل (180) درجة (180° Conduction)

في هذه الطريقة يتم تشكيل ست مجموعات من الترانزستورات في كل مجموعة يوجد ثلاثة ترانزستورات وهذه المجموعات هي الأولى (T_6,T_5,T_1) والثانية (T_6,T_2,T_1) والثالثة (T_3,T_2,T_1) والرابعة (T_4,T_3,T_2) والخامسة (T_5,T_4,T_3) والسادسة (T_6,T_5,T_4). تعمل هذه الدائرة من خلال تشغيل الترانزستورات في المجموعة الأولى ثم تشغيل الترانزستورات في المجموعة الثانية ثم المجموعة الثالثة وهكذا وصولا الى تشغيل الترانزستورات في المجموعة السادسة ثم يعاد هذا التسلسل الخاص بعملية التشغيل من جديد وهذا يعني أن كل ترانزستور موجود في هذه الدائرة سيشتغل لمدة (180) درجة لهذا تسمى هذه الطريقة بهذا الاسم. يوضح الشكل (5-5) فولتية الطور الخارجة من هذا العاكس.



شكل (5-5) فولتية الطور الخارجة من عاكس ثلاثي الأطوار بزاوية توصيل (180) درجة.
(أ) للطور الأول (R) و(ب) للطور الثاني (S) و(ج) للطور الثالث (T).

يمكن حساب فولتية الطور الخارجة من عاكس ثلاثي الأطوار وبزاوية توصيل مقدارها (180) درجة باستخدام المعادلة التالية:

$$\mathbf{V_{o(ph)} = \frac{\sqrt{2}}{3} V_s = 0.47\ V_s} \qquad (8\text{-}5)$$

أما فولتية الخط الخارجة من عاكس ثلاثي الأطوار وبزاوية توصيل مقدارها (180) درجة فتحسب من المعادلة التالية.

$$\mathbf{V_{o(line)} = \sqrt{\frac{2}{3}} V_s = 0.81\ V_s} \qquad (9\text{-}5)$$

بينما يتم حساب قيمة الفولتية الفعلية الخارجة من العاكس الثلاثي الأطوار كمايأتي:

$$\mathbf{V_{o1} = 0.78\, V_s} \qquad (10\text{-}5)$$

مثال (7-5): عاكس قنطرة ثلاثي الأطوار يتغذي من مصدر تيار مستمر قيمة (200) فولت بزاوية توصيل (180) درجة .أحسب قيمة فولتية الطور الخارجة من العاكس ($V_{o(ph)}$) ثم احسب قيمة فولتية الخط الخارجة من العاكس ($V_{o(line)}$) وأخيرا أحسب قيمة الفولتية الفعلية الخارجة من العاكس (V_{o1}) .

الحل : المعطيات V_s =200 V , زاوية التوصيل (180) درجة

1- فولتية الطور الخارجة من العاكس:

$$V_{o(ph)} = \frac{\sqrt{2}}{3} V_s = \frac{\sqrt{2}}{3} X\ 200 = 94.28\ V$$

2- فولتية الخط الخارجة من العاكس:

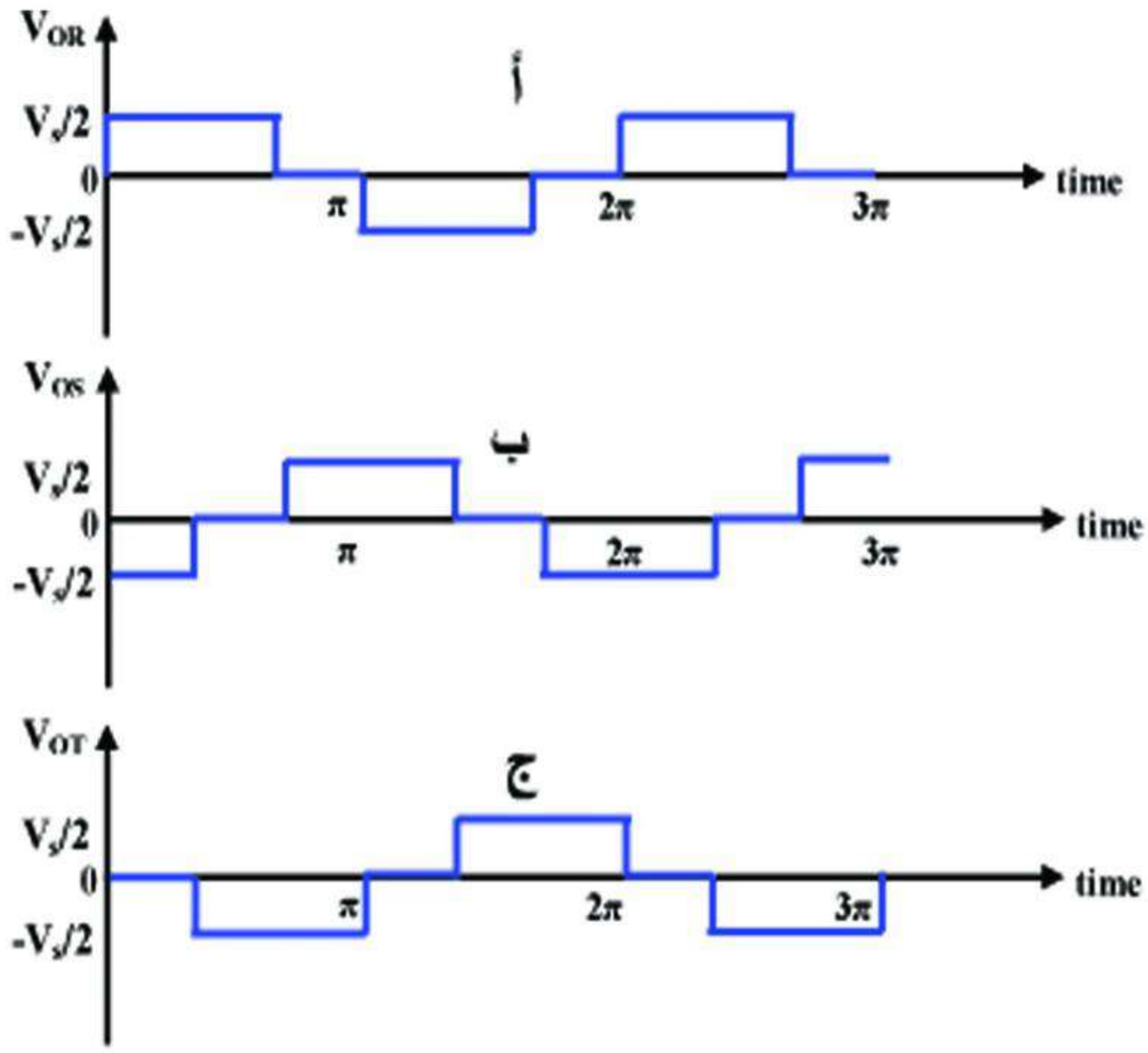
$$V_{o(line)} = \sqrt{\frac{2}{3}} V_s = \sqrt{\frac{2}{3}} X\ 200 = 163.3\ V$$

3- الفولتية الفعلية الخارجة من العاكس:

$$V_{o1} = 0.78\, V_s = 0.78\, X\ 200 = 156\ V$$

5-5-2 زاوية تشغيل (120) درجة (120° Conduction)

كما هو الحال في الطريقة السابقة يتم تشكيل ست مجموعات من الترانزستورات لكن كل مجموعة في هذه الطريقة تحتوي على ترانزستوران وهذه المجموعات هي الأولى (T_6,T_1) والثانية (T_2,T_1) والثالثة (T_3,T_2) والرابعة (T_4,T_3) والخامسة (T_5,T_4) والسادسة (T_6,T_5). تعمل هذه الدائرة بشكل مشابه للطريقة السابقة بحيث يتم تشغيل الترانزستورات في المجموعة الأولى ثم تشغيل الترانزستورات في المجموعة الثانية ثم المجموعة الثالثة وهكذا وصولا الى تشغيل الترانزستورات في المجموعة السادسة ثم يعاد هذا التسلسل الخاص بعملية التشغيل من جديد وهذا يعني أن كل ترانزستور موجود في هذه الدائرة سيشتغل لمدة (120) درجة لهذا تسمى هذه الطريقة بهذا الاسم. يوضح الشكل (5-6) فولتية الطور الخارجة من هذا العاكس.



شكل (5-6) موجة الفولتية الخارجة من عاكس ثلاثي الأطوار بزاوية توصيل (120) درجة
شكل (أ) للطور الأول (R) وشكل (ب) للطور الثاني (S) وشكل (ج) للطور الثالث (T).

يمكن حساب فولتية الطور الخارجة من عاكس ثلاثي الأطوار وبزاوية توصيل مقدارها (120) درجة كمايلي:

$$\mathbf{V_{o(ph)}} = \frac{V_s}{2}\sqrt{\frac{2}{3}} = 0.4\ \text{Vs} \qquad (11\text{-}5)$$

أما فولتية الخط الخارجة من عاكس ثلاثي الأطوار وبزاوية توصيل مقدارها (120) درجة فتحسب من المعادلة التالية:

$$\mathbf{V_{o(line)}} = \frac{V_s}{\sqrt{2}} = 0.7\ \text{Vs} \qquad (12\text{-}5)$$

الفولتية الفعلية الخارجة من عاكس ثلاثي الأطوار تساوي:

$$\mathbf{V_{o1} = 0.67\ V_s} \qquad (12\text{-}5)$$

مثال (8-5): عاكس قنطرة ثلاثي الأطوار يتغذي من مصدر مستمر قيمة (200) فولت بزاوية توصيل (120) درجة .أحسب قيمة فولتية الطور الخارجة من العاكس ($V_{o(ph)}$) ثم احسب قيمة فولتية الخط الخارجة من العاكس ($V_{o(line)}$) وأخيرا أحسب قيمة فولتية الفعلية الخارجة من العاكس (V_{o1}).

الحل : المعطيات V_s =200 V , زاوية التوصيل (120) درجة

1- فولتية الطور الخارجة من العاكس:

$$V_{o(ph)} = \frac{V_s}{2}\sqrt{\frac{2}{3}} = \frac{200}{2}\sqrt{\frac{2}{3}} = 81.64\ V$$

2-فولتية الخط الخارجة من العاكس:

$$V_{o(line)} = \frac{V_s}{\sqrt{2}} = \frac{200}{\sqrt{2}} = 141.42\ V$$

3- الفولتية الفعلية الخارجة من العاكس:

$$V_{o1} = 0.67\ V_s = 0.67\ X\ 200 = 134\ V$$

5-6 السيطرة على الفولتية الخارجة من العاكس (Inverter O/P Voltage Control)

هنالك بعض التطبيقات التي تحتاج السيطرة على الفولتية المتناوبة الخارجة من العاكس ويمكن السيطرة على تلك الفولتية بأحد الطرق التالية:

1) السيطرة على الفولتية المتناوبة الخارجة من العاكس.
2) السيطرة على الفولتية المستمرة الداخلة الى العاكس.
3) السيطرة على عمليات التشغيل والاطفاء ضمن العاكس.

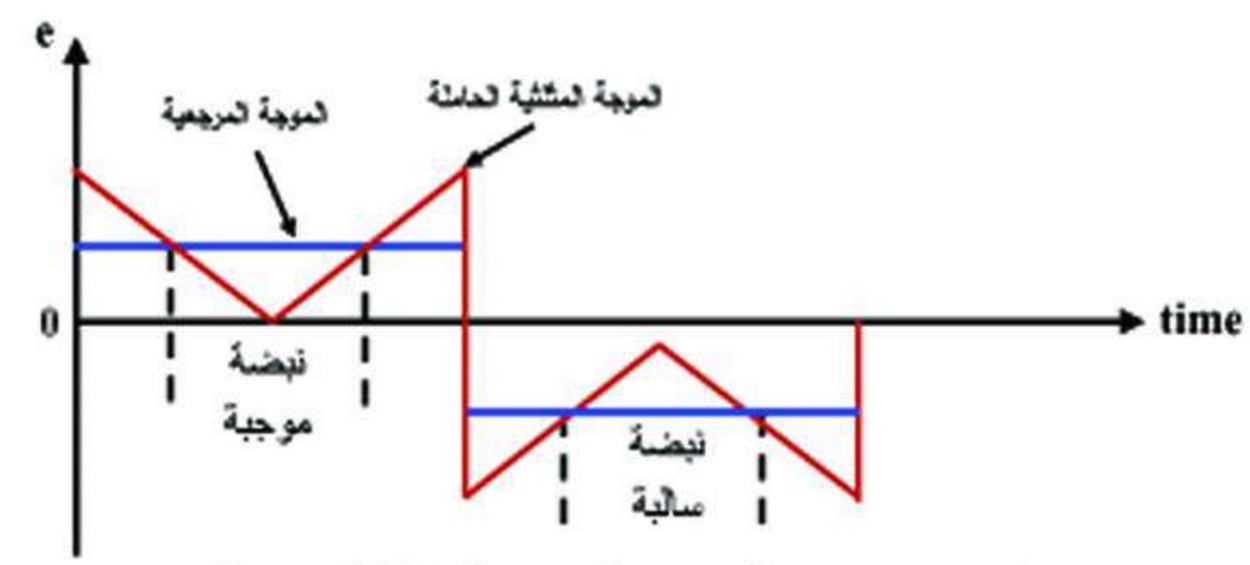
تعتبر الطريقة الأولى من ابسط طرق التحكم في قيمة الفولتية الخارجة من العاكس حيث يتم استخدام محولة ذاتية تربط بين العاكس والحمل ومن خلال التحكم في فولتية المحولة الذاتية يتم الحصول على قيمة الفولتية المطلوبة لتغذية الحمل. أما الطريقة الثانية فيتم فيها السيطرة على الفولتية الخارجة من العاكس عن طريق التحكم في الفولتية المستمرة الداخلة له لهذا الغرض يتم استخدام مقطع تيار مستمر يعمل على تغيير قيمة الفولتية المستمرة المجهزة عن طريق بطارية. تعتبر الطريقة الثالثة من أكثر

الطرق التي تستخدم في التطبيقات المنزلية والصناعية وتعرف أيضا بطريقة تضمين عرض النبضة (PWM) وتمتاز هذه الطريقة في قدرتها على توليد موجة فولتية متناوبة عالية النقاوة. هنالك ثلاثة أنواع شائعة الاستخدام خاصة بتضمين عرض النبضة (PWM) وهي:

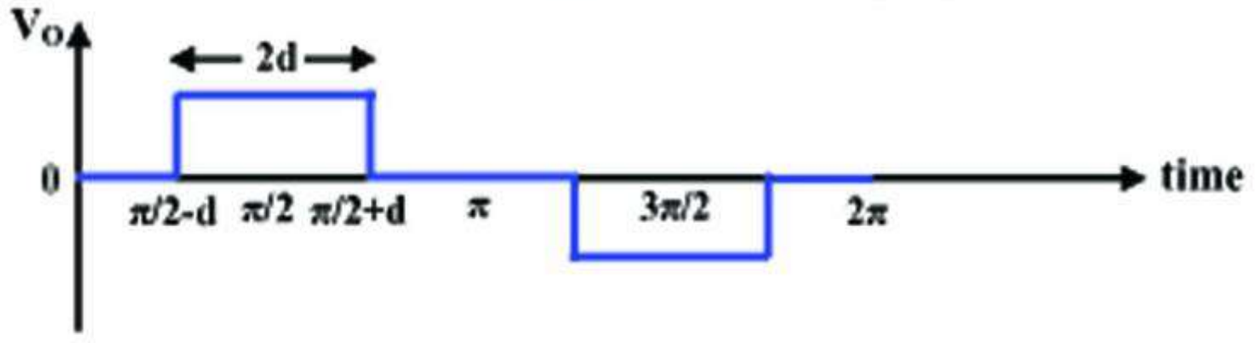
1) تضمين عرض النبضة الأحادي (**Single Pulse Width Modulation**).
2) تضمين عرض النبضة المتعدد (**Multiple Pulse Width Modulation**).
3) تضمين عرض النبضة الجيبي (**Sinusoidal Pulse Width Modulation**).

5-6-1 تضمين عرض النبضة الأحادي (Single Pulse Width Modulation)

يتم توليد موجة تضمين عرض النبضة الأحادي عن طريق تحديد نقاط تقاطع موجة مرجعية مربعة الشكل وموجة حاملة مثلثة الشكل كما موضح في شكل (5-7). يعتمد تردد موجة الفولتية الخارجة من العاكس على تردد الموجة المربعة. يكون لهذه الطريقة نبضة مربعة واحدة فقط في كل نصف موجة من موجة الفولتية الخارجة كما موضح في الشكل (5-8) وتتم عملية التحكم في قيمة الفولتية الخارجة عن طريق تغيير عرض النبضة (2d) .



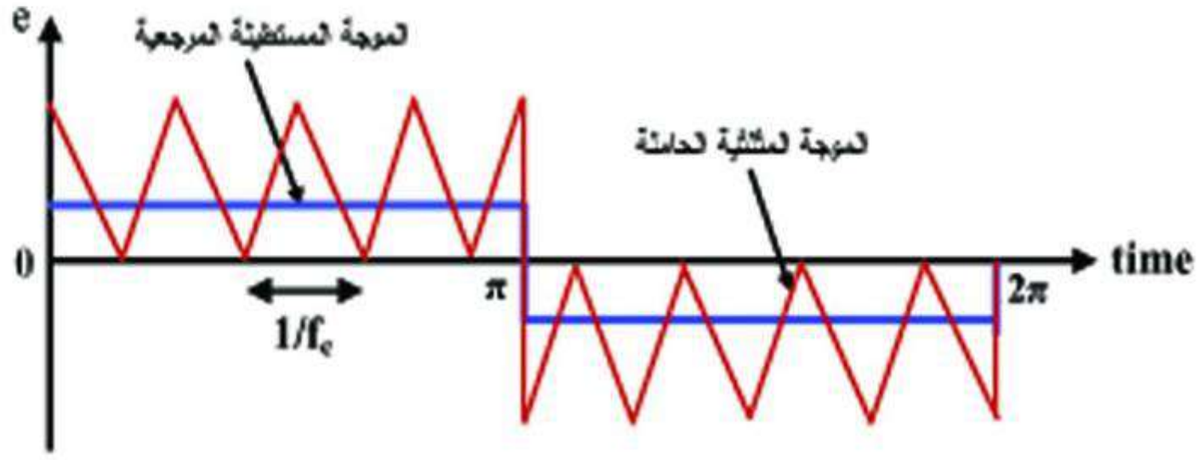
شكل (5-7) الموجة المرجعية والموجة المثلثية الحاملة.



شكل (5-8) موجة الفولتية الخارجة من العاكس باستخدام تضمين عرض النبضة الاحادي.

5-6-2 تضمين عرض النبضة المتعدد (Multiple Pulse Width Modulation)

تستخدم هذه الطريقة لغرض الحصول على موجة فولتية متناوبة نقية حيث يتم استخدام عدة نبضات مثلية خلال كل نصف موجة بدل النبضة المثلثية الواحدة كما في الطريقة السابقة. ان توليد اشارات كهربائية تستخدم في تشغيل الترانزستورات يتم من خلال تحديد نقاط تقاطع موجة مرجعية مربعة الشكل وموجة حاملة مثلثة الشكل كما موضح في الشكل (5-9) وتكون الموجة المستطيلة لها تردد قيمته (f_o) وهذا التردد هو الذي يحدد تردد الموجة الفولتية الخارجة من العاكس بينما الموجة المثلثية الحاملة لها تردد يحدد عدد النبضات الموجودة في كل نصف موجة عن طريق تردد الموجة الحاملة (f_c).



شكل (5-9) الموجة المستطيلة المرجعية والموجة المثلثية الحاملة.

يوضح شكل (5-10) موجة الفولتية الخارجة من العاكس والتي يتم فيها تحديد عدد النبضات الموجودة في كل نصف موجة للفولتية الخارجة من المعادلة التالية:

$$P = \frac{f_c}{2f_o} = \frac{m_f}{2} \quad , \quad m_f = \frac{f_c}{f_o} \qquad (14\text{-}5)$$

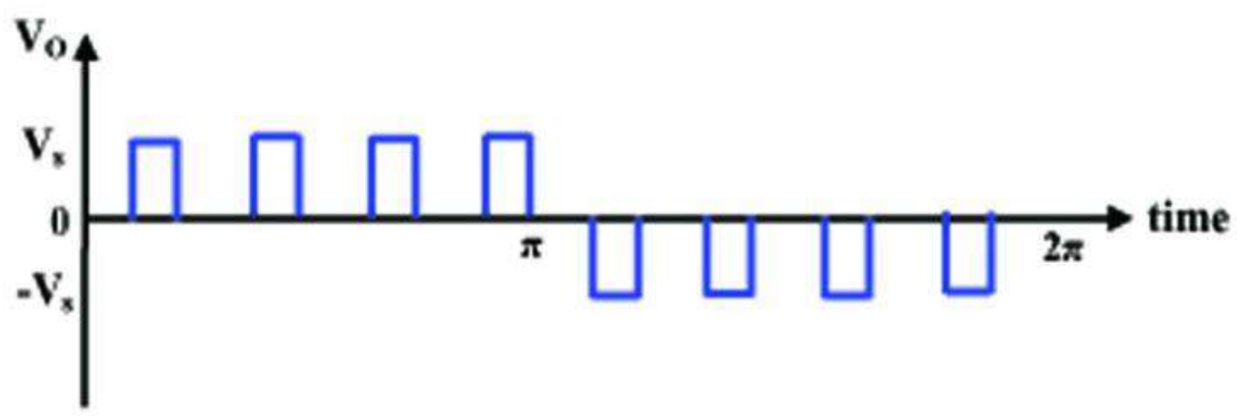
حيث أن :

P= عدد النبضات في كل نصف موجة خارجة.

f_c= تردد الموجة المثلثية الحاملة . ذ/ثا

f_o= تردد الموجة المستطيلة المرجعية . ذ/ثا

m_f= معامل التضمين الترددي.



شكل (5-10) موجة الفولتية الخارجة من العاكس باستخدام تضمين عرض النبضة المتعدد.

مثال (9-5): عاكس مصدر فولتية بتضمين عرض النبضة المتعدد يتغذي من مصدر مستمر قيمة (220) فولت اذا كان تردد الموجة المستطيلة يساوي (50) هيرتز وتردد الموجة المثلثية الحاملة (200) هيرتز أحسب معامل التضمين الترددي ثم احسب عدد النبضات في كل نصف موجة خارجة.

الحل : المعطيات $f_c = 200\ Hz\ ,\ f_o = 50\ Hz\ ,\ V_s = 220\ V$

1- معامل التضمين الترددي.

$$m_f = \frac{f_c}{f_o} = \frac{200}{50} = 4$$

2- عدد النبضات في كل نصف موجة خارجة.

$$P = \frac{f_c}{2f_o} = \frac{m_f}{2} = \frac{4}{2} = 2 \text{ نبضة}$$

مثال (10-5): عاكس مصدر فولتية بتضمين عرض النبضة المتعدد يتغذي من مصدر مستمر قيمة (180) فولت اذا كان تردد الموجة المستطيلة يساوي (100) هيرتز وتردد الموجة المثلثية الحاملة (1200) هيرتز أحسب معامل التضمين الترددي ثم احسب عدد النبضات في كل نصف موجة خارجة.

الحل : المعطيات $f_c = 1200\ Hz\ ,\ f_o = 100\ Hz\ ,\ V_s = 220\ V$

1- معامل التضمين الترددي.

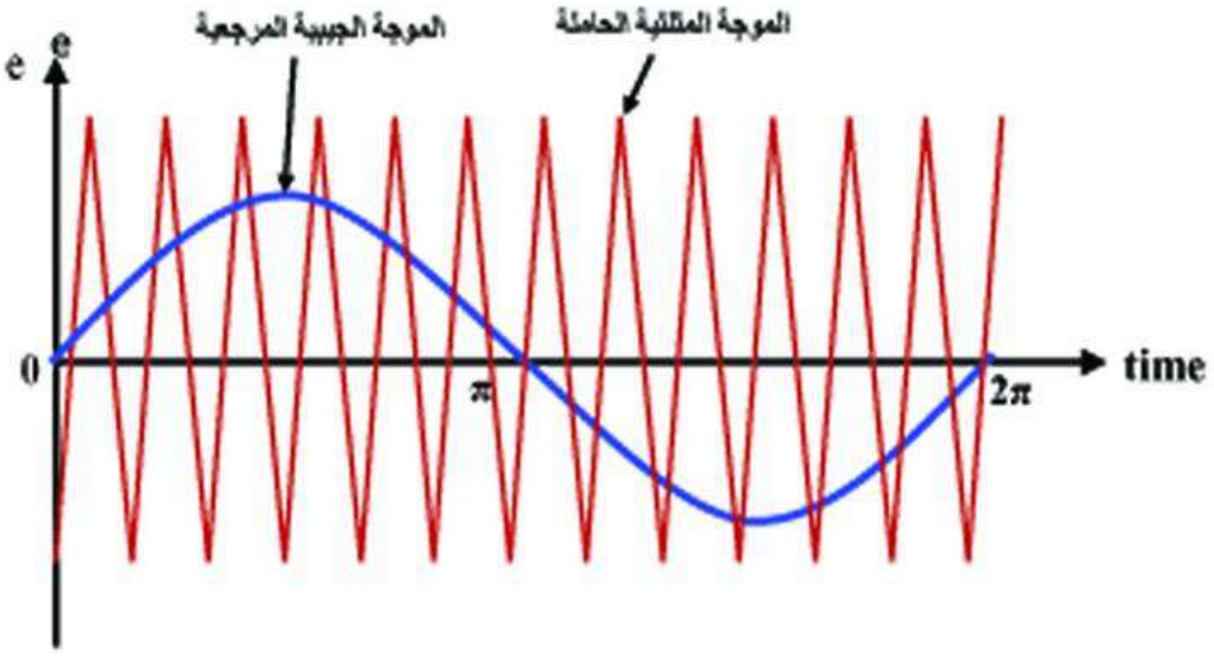
$$m_f = \frac{f_c}{f_o} = \frac{1200}{100} = 12$$

2- عدد النبضات في كل نصف موجة خارجة.

$$P = \frac{f_c}{2f_o} = \frac{m_f}{2} = \frac{12}{2} = 6 \text{ نبضات}$$

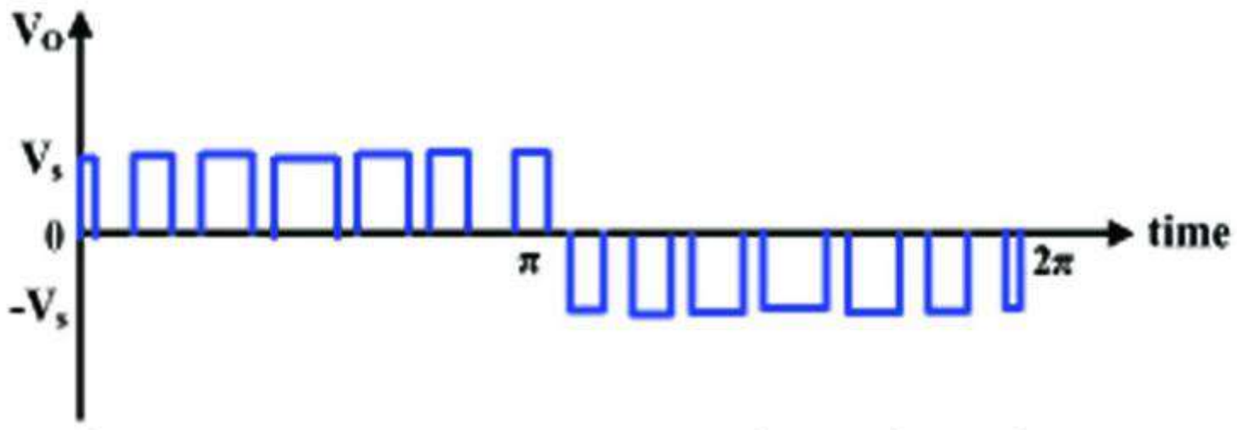
5-6-3 تضمين عرض النبضة الجيبي (Sinusoidal Pulse Width Modulation)

تختلف هذه الطريقة عن الطريقتين السابقتين في تحديد نقاط تقاطع لموجة جيبية بدلا عن الموجة المربعة كما موضح في شكل (5-11) .



شكل (5-11) الموجة الجيبية المرجعية والموجة المثلثية الحاملة.

يوضح شكل (5-12) موجة الفولتية الخارجة من العاكس والتي يكون فيها عرض النبضة متغير ويعتمد على قيمة الموجة الجيبية المرجعية فكلما زادت قيمة الموجة الجيبية المرجعية يزداد معها عرض النبضة . أن نسبة قيمة الموجة الجيبية المرجعية الى نسبة قيمة الموجة الجيبية المرجعية بشكل مستمر مع الزمن وبهذا يمكن الحصول على فولتية متناوبة متغيرة .



شكل (5-12) موجة الفولتية الخارجة من العاكس باستخدام تضمين عرض النبضة الجيبي.

5-7 عاكس مصدر تيار (Current Source Inverter)

يستخدم هذا النوع من العاكسات في حالة الأحمال الكبيرة الحجم حيث يعمل هذا العاكس بشكل مخالف لعاكس مصدر فولتية فهو يعمل على توليد مصدر تيار متناوب من مصدر تيار مستمر ثابت القيمة بينما يعمل عاكس مصدر الفولتية على توليد مصدر فولتية متناوبة من مصدر فولتية مستمرة . عمليا يتم الحصول على مصدر تيار مستمر ثابت القيمة لتغذية هذا العاكس عن طريق استخدام ملف حثي ذي قيمة حثية كبيرة .

5-8 التطبيقات الصناعية للعاكسات (Inverter Industrial Applications)

1) توليد الطاقة الكهربائية باستخدام أشعة الشمس.
2) مجهز القدرة (UPS).
3) السيطرة على سرعة دوران محركات التيار المتناوب الحثية والتزامنية.
4) الأفران الحثية.
5) الأنظمة المرنة لنقل القدرة المتناوبة (FACTS).

5-9 السيطرة على سرعة محركات التيار المستمر(DC Motor Speed Control)

تستخدم محركات التيار المستمر في العديد من التطبيقات مثل السيارات الكهربائية ومكائن درفلة الحديد والرافعات الكهربائية وغيرها وتتطلب تلك التطبيقات السيطرة على سرعة دوران المحرك وعموما فان السيطرة على سرعة محركات التيار المستمر أبسط بكثير من السيطرة على سرعة محركات التيار المتناوب وقبل الدخول في موضوع السيطرة على سرعة دوران محركات التيار المستمر لابد من التعرف على العوامل المؤثرة على سرعة دوران المحرك وهذه العوامل هي **1)** الفيض المغناطيسي الذي يتناسب بشكل عكسي مع سرعة الدوران **2)** الفولتية المسلطة على دائرة المنتج التي تتناسب بشكل طردي مع سرعة الدوران وأخيرا **3)** الفولتية الكلية المجهزة للمحرك والتي تتناسب أيضا بشكل طردي مع سرعة الدوران , كما توجد طريقتان تستخدمان في السيطرة على سرعة دوران محركات التيار المستمر.

1) **الطرق التقليدية القديمة**: في هذه الطريقة يتم السيطرة على سرعة الدوران بأحد الطرق التالية:-

أ) **التحكم بالفيض المغناطيسي** : في هذه الطريقة يتم إضافة مقاومة متغيرة في دائرة المجال وعند تغيير قيمة هذه المقاومة يتغير التيار المار في دائرة المجال ويؤدي الى تغيير الفيض المغناطيسي وبالتالي تغيير سرعة الدوران.

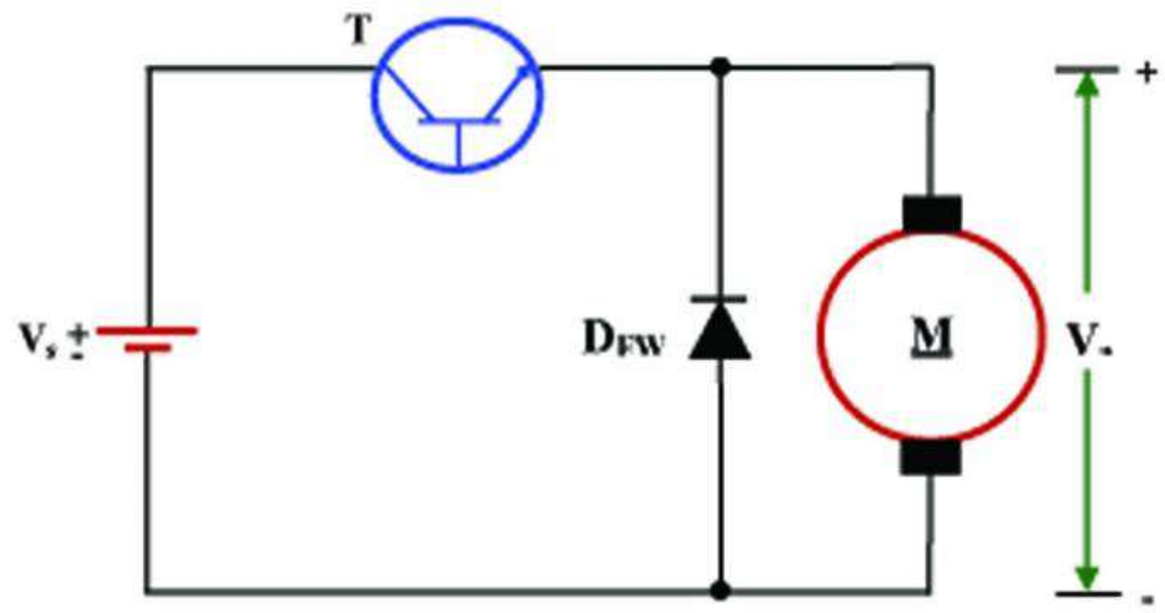
ب) **التحكم بدائرة المنتج** : يتم إضافة مقاومة في دائرة المنتج وعند تغيير قيمة هذه المقاومة تتغير الفولتية المسلطة على المنتج وتتغير سرعة الدوران .

ج) **التحكم بالفولتية المجهزة للمحرك**: ان السرعة تتناسب طرديا مع الفولتية المجهزة للمحرك لذا فان زيادة قيمة الفولتية المجهزة للمحرك يؤدي الى زيادة سرعة دوران المحرك والعكس بالعكس.

2) **الطرق الحديثة**: نظراً لوجود العديد من المساوئ في طرق السيطرة التقليدية القديمة مثل الخسائر الكبيرة في الطاقة وارتفاع درجة الحرارة بسبب ارتفاع قيمة تيار المنتج وخاصة عند التحكم بدائرة المنتج وغيرها هذا أدى الى اللجوء الى الطرق الحديثة التي يستخدم فيها الكترونيات القدرة والتي تمتاز بالكفاءة العالية والدقة في تنظيم سرعة الدوران. تقسم طرق السيطرة على سرعة دوران محركات التيار المستمر باستخدام الكترونيات القدرة الى :-

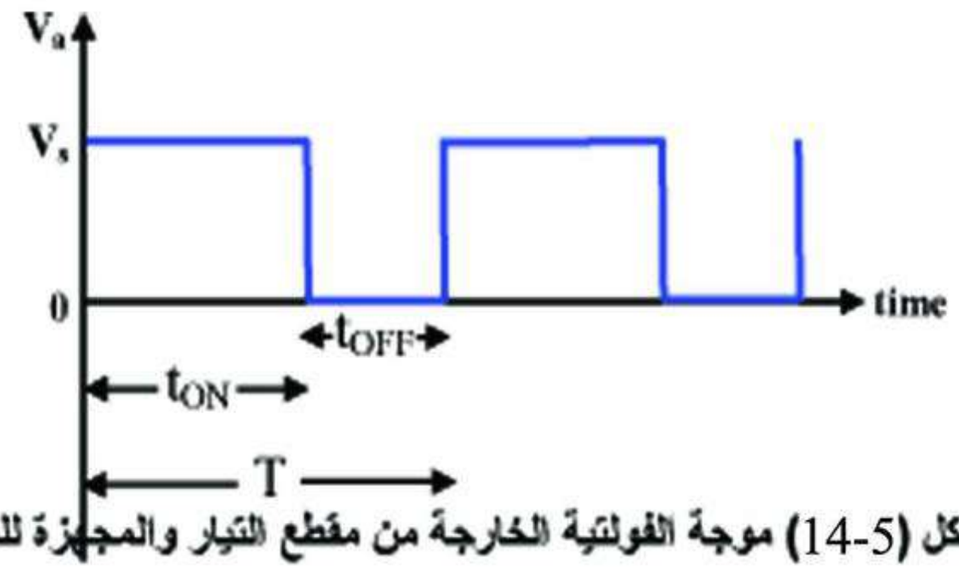
5-9-1 السيطرة باستخدام مقطع التيار المستمر(Chopper in Motor Speed Control)

أن دائرة مقطع التيار المستمر الموضحة في الشكل (5-13) تتكون من ترانزستور ويمكن استخدام ثايرستور متصل بالتوالي مع مصدر تيار مستمر حيث يعمل مقطع التيار المستمر على تجهيز محرك تيار مستمر بالفولتية . يعمل الدايود والذي يسمى أيضا بثنائي الانطلاق الحر (D_{FW}) المتصل بالتوازي مع المحرك على حماية الثايرستور من التلف بسبب وجود المحاثة في المحرك .



شكل (5-13) دائرة مقطع تيار مستمر متصل بمحرك تيار مستمر.

يتم تشغيل (ON) وإطفاء (OFF) الترانستور خلال فترات زمنية معينة ,عندما يكون الترانزستور في حالة تشغيل (ON) يتم تجهيز المحرك بالفولتية بينما تكون الفولتية المجهزة للمحرك تساوي صفر في حالة إطفاء الترانزستور(OFF) كما موضح في شكل (5-14).



شكل (5-14) موجة الفولتية الخارجة من مقطع التيار والمجهزة للمحرك.

وهكذا يمكن السيطرة على الفولتية المجهزة الى المحرك عن طريق التحكم بفترة العمل للترانزستور حيث تعرف **فترة العمل** على أنها نسبة زمن التشغيل (t_{ON}) الى نسبة التشغيل والإطفاء ($t_{ON}+t_{OFF}$) الكلية وكما موضح في المعادلة التالية:

$$D = \frac{t_{ON}}{t_{ON}+t_{OFF}} = \frac{t_{ON}}{T} \qquad (15\text{-}5)$$

أما الفولتية المجهزة الى المحرك فيعبر عنها رياضيا بالعادلة التالية:

$$V_a = V_s\left(\frac{t_{ON}}{t_{ON}+t_{OFF}}\right) = V_s\, D \quad (\text{Volts}) \qquad (16\text{-}5)$$

حيث أن :

D= فترة العمل.

$T=(t_{ON}+t_{OFF})$ = زمن التقطيع. sec

V_a= الفولتية المجهزة الى المحرك. Volts

هنالك طريقتين للسيطرة على الفولتية الخارجة من مقطع التيار المستمر وهما:-

1) **طريقة التردد الثابت:** وفيها يتم تثبيت تردد التقطيع وتغيير زمن التشغيل (t_{ON}) وتسمى هذه الطريقة ايضا بتضمين عرض النبضة (PWM).
2) **طريقة التردد المتغير:** وفيها يتم تغيير زمن التقطيع (T) مع إبقاء أما زمن التشغيل (t_{ON}) أو الإطفاء (t_{OFF}) ثابت.

مثال (11 -5): مقطع تيار مستمر يتغذي عن طريق مصدر مستمر قيمة (150) فولت اذا كانت فترة العمل (70) % وزمن التشغيل (1) ثانية . أحسب الفولتية المجهزة للمحرك ثم احسب زمن الاطفاء.

الحل : المعطيات t_{ON} =5 Sec , D = 70 % , V_s =150 V

1- الفولتية المجهزة للمحرك.

$$V_a = V_s\left(\frac{t_{ON}}{t_{ON}+t_{ON}}\right) = V_s\, D = 150\, X\, \frac{70}{100} = 105\, V$$

2- زمن الاطفاء.

$$D = \frac{t_{ON}}{t_{ON}+t_{ON}}$$

طرفان في وسطان

$$\frac{70}{100} = \frac{1}{1+t_{OFF}}$$

$$70(1+t_{OFF}) = 100$$

$$70\, X\, t_{OFF} = 100 - 70$$

$$70\, X\, t_{OFF} = 30$$

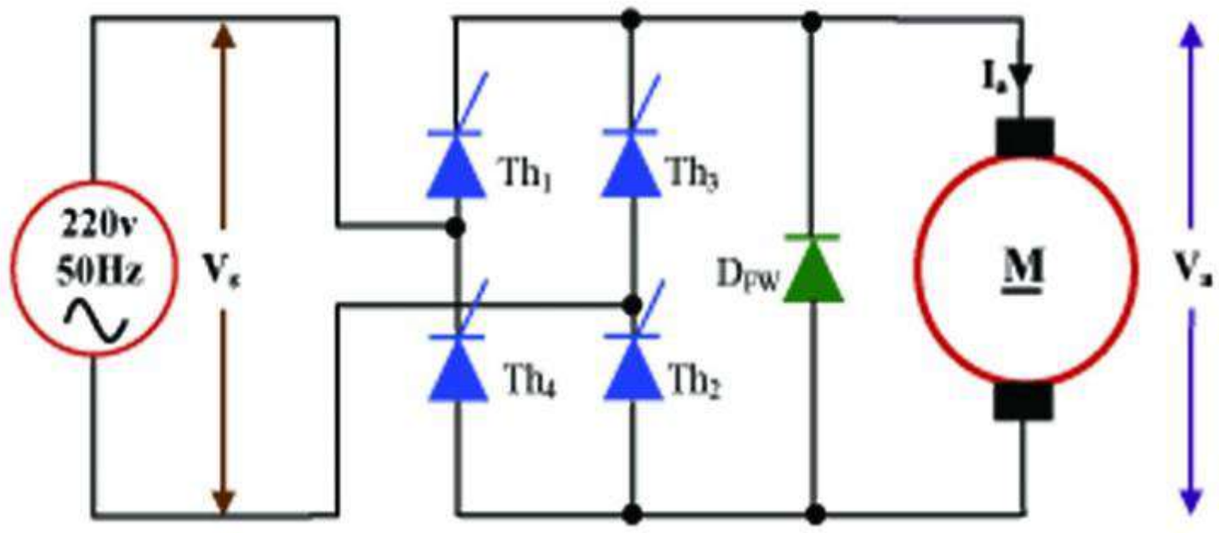
$$\therefore\ t_{OFF} = \frac{30}{70} = 0.42\, Sec$$

5-9-2 السيطرة باستخدام الموحدات المحكومة

تعتبر هذه الطريقة هي الطريقة الثانية التي تستعمل في السيطرة على سرعة محركات التيار المستمر عن طريق استخدام الموحدات السليكونية المحكومة مثل الثايرستور وتكون دوائر السيطرة المستخدمة في هذا النوع أما أحادية الطور أو ثلاثية الأطوار وسيتم لاحقا شرح كل من هاتين الطريقتين.

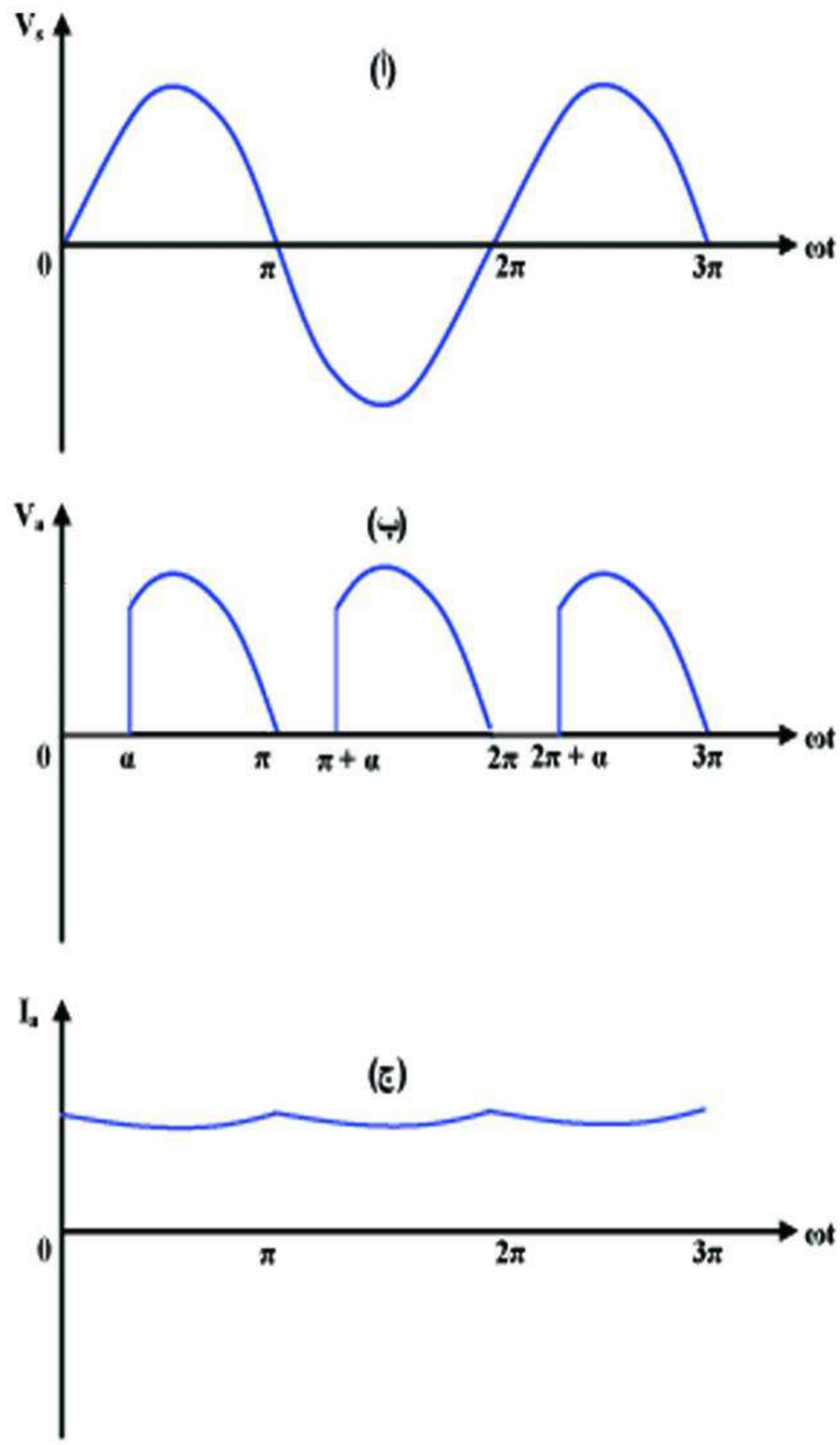
1-2-9-5 السيطرة باستخدام موحد قنطرة موجه كاملة محكوم أحادي الطور

تتكون دائرة السيطرة في موحد قنطرة موجة كاملة محكوم أحادي الطور الموضح في شكل (5-15) من أربعة ثايروستوات مربوطة على شكل قنطرة بالتوازي مع محرك تيار مستمر.



شكل (5-15) دائرة موحد موجة كاملة محكوم أحادي الطور يغذي محرك تيار مستمر.

تعمل هذه الدائرة على تجهيز المحرك بفولتية مستمرة (V_a) عن طريق مصدر فولتية متناوبة (V_s), حيث يتم قدح كل من الثايرستور الأول (Th_1) والثايرستور الثاني (Th_2) بزاوية قدح (α) خلال النصف الموجب من موجة الدخل (π-0), بينما يبقى الثايرستور الثالث (Th_3) والثايرستور الرابع (Th_4) في حالة إطفاء , اما خلال النصف السالب من موجة الدخل (2π-π) يتم قدح الثايرستور الثالث (Th_3) والثايرستور الرابع (Th_4) بزاوية قدح ($\pi + \alpha$) وفي هذه الحالة يكون الثايرستور الأول (Th_1) والثايرستور الثاني (Th_2) في حالة أطفاء , ولغرض حماية الدائرة من التلف بسبب المحاثة العالية القيمة للمحرك يتم استخدام دايود الانطلاق الحر(D_{FW}) الذي يتصل بالتوازي مع المحرك والشكل (5-16) يوضح موجة فولتية الدخل وموجة الفولتية المسلطة على المحرك مع تيار المنتج .



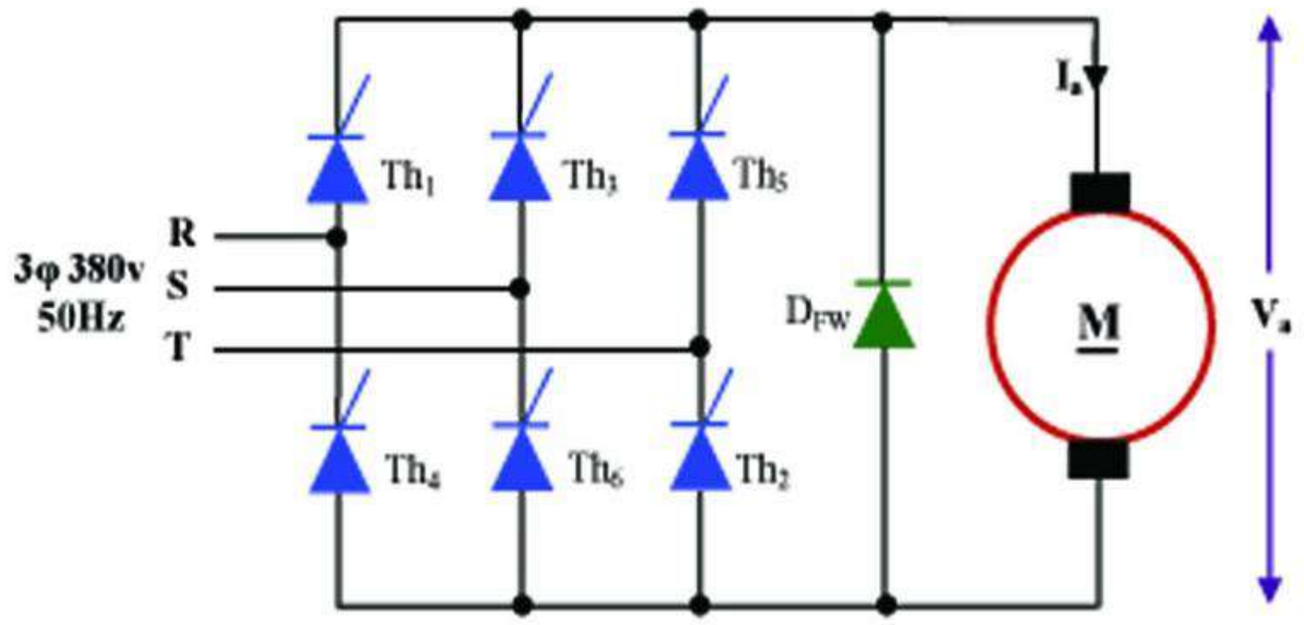
شكل (5-16) (أ) موجة فولتية الدخل ,(ب) موجة الفولتية المسلطة على المحرك ,(ج) تيار المنتج.

5-9-2-2 السيطرة باستخدام موحد قنطرة موجه كاملة محكوم ثلاثي الأطوار

تستخدم هذه الدائرة في السيطرة على سرعة محركات التيار المستمر كما يمكن استخدامها في السيطرة على سرعة محركات التيار المتناوب التزامنية الثلاثية الأطوار . أن هذه الدائرة ملائمة للسيطرة على سرعة محرك تيار مستمر بقدرة لا تتعدى (15) كيلوواط . أذا أردنا السيطرة على سرعة

محرك تيار مستمر بقدرة أعلى من القدرة السابقة يتم اللجوء الى دائرة موحد موجة كاملة محكوم ثلاثي الأطوار وعادة تعطي هذه الدوائر فولتية مستمرة تعادل ضعف فولتية دائرة موحد نصف موجة محكوم ثلاثي الأطوار.

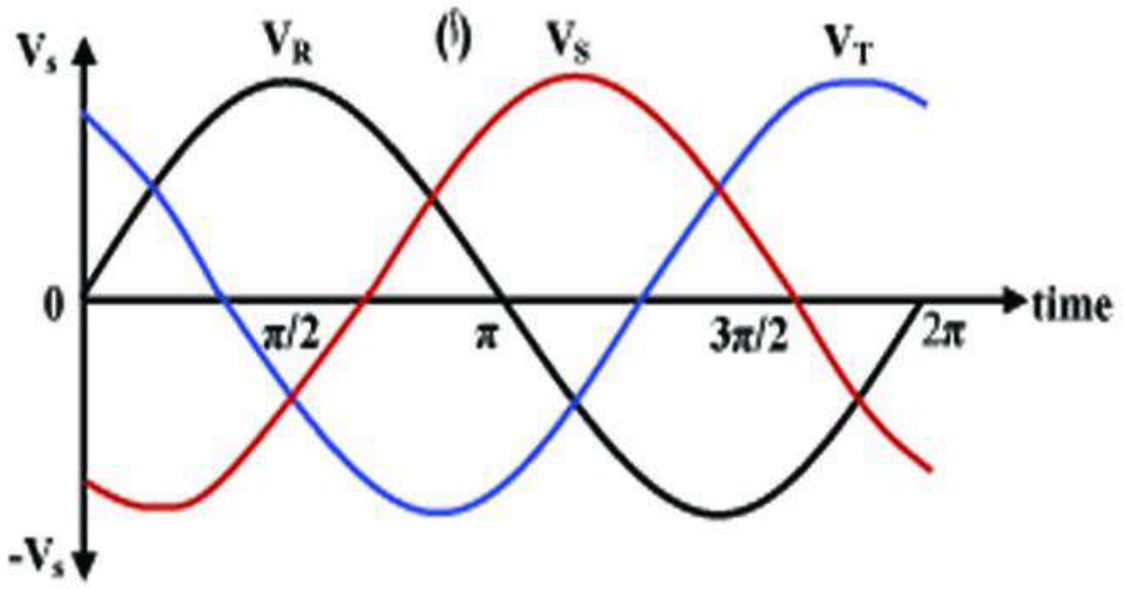
تتكون دائرة موحد قنطرة موجة كاملة محكوم ثلاثي الأطوار الموضحة في الشكل (5-17) من ستة ثايروستورات تربط على شكل قنطرة حيث تعمل الثايرستورات الثلاثة في النصف العلوي من الدائرة وهي (Th_5, Th_3, Th_1) على تجهيز المحرك بفولتية الطور الموجبة بينما تعمل الثايرستورات الثلاثة في النصف السفلي من الدائرة وهي (Th_2, Th_6, Th_4) على تجهيز المحرك بفولتية الطور السالبة . يتم التحكم بقيمة الفولتية الخارجة من هذه الدائرة عن طريق تغيير زاوية تشغيل الثايرستور حيث ان كل ثايرستور في هذه الدائرة سوف يعمل بزاوية (60) درجة . تكون قيمة الفولتية الخارجة من هذه الدائرة مساوية الى قيمة الفولتية الخارجة من موحد قنطرة موجة كاملة غير محكوم ثلاثي الأطوار عندما تكون زاوية تشغيل الثايرستور تساوي صفر .



شكل (5-17) دائرة موحد قنطرة موجة كاملة محكوم ثلاثي الاطوار يغذي محرك تيار مستمر.

في كل لحظة زمنية يكون هنالك اثنان من الثايرستورات الستة في حالة تشغيل اما بقية الثايروستورات تكون في حالة إطفاء , لو فرضنا أن الفولتية بين الطور الأول (R) والطور الثاني (S) أقصى ما يمكن فان الثايرستور الأول (Th_1) والسادس (Th_6) سوف يعملان وإذا كانت الفولتية بين الطور الأول (R) والطور الثالث (T) أقصى ما يمكن فان الثايرستور الأول (Th_1) والثاني (Th_2) سوف يعملان وهكذا .

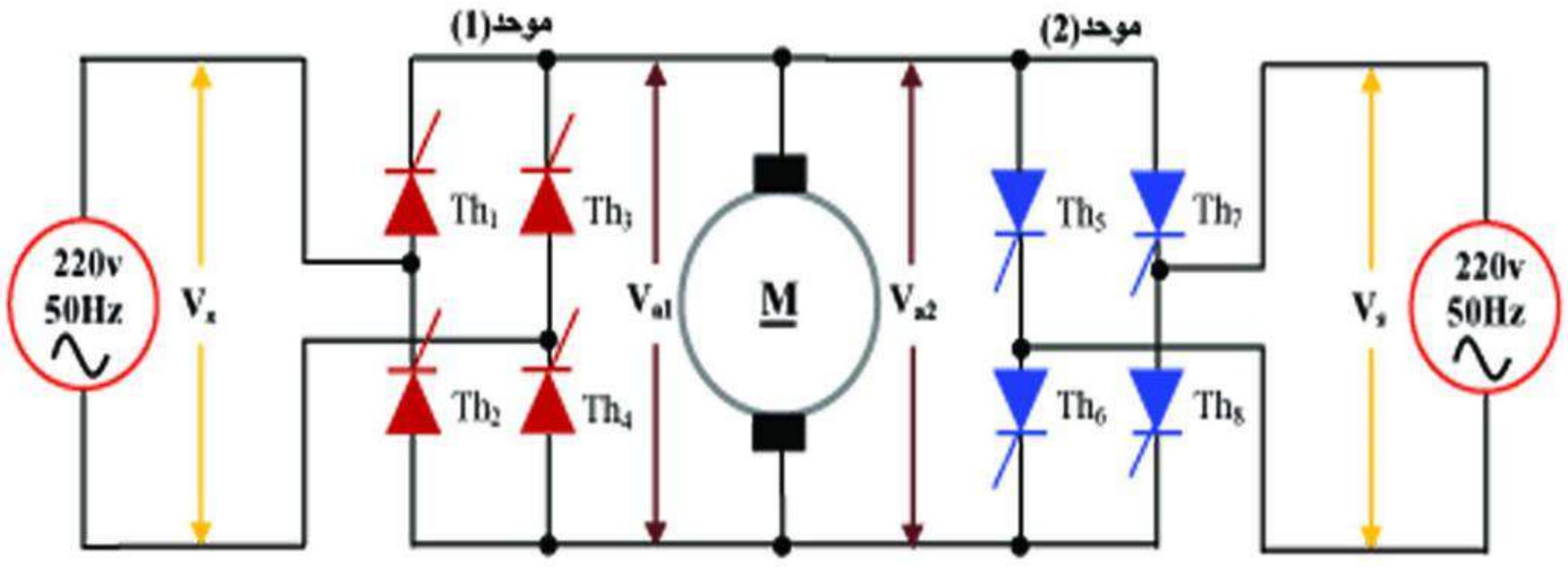
يوضح شكل (5-18) موجة الفولتية الداخلة الى دائرة موحد قنطرة موجة كاملة محكوم ثلاثي الأطوار وموجة الفولتية الخارجة المستمرة المسلطة على المحرك.



شكل (5-18) (أ) موجة الفولتية الداخلة الثلاثية الأطوار , (ب) موجة الفولتية المسلطة على المحرك.

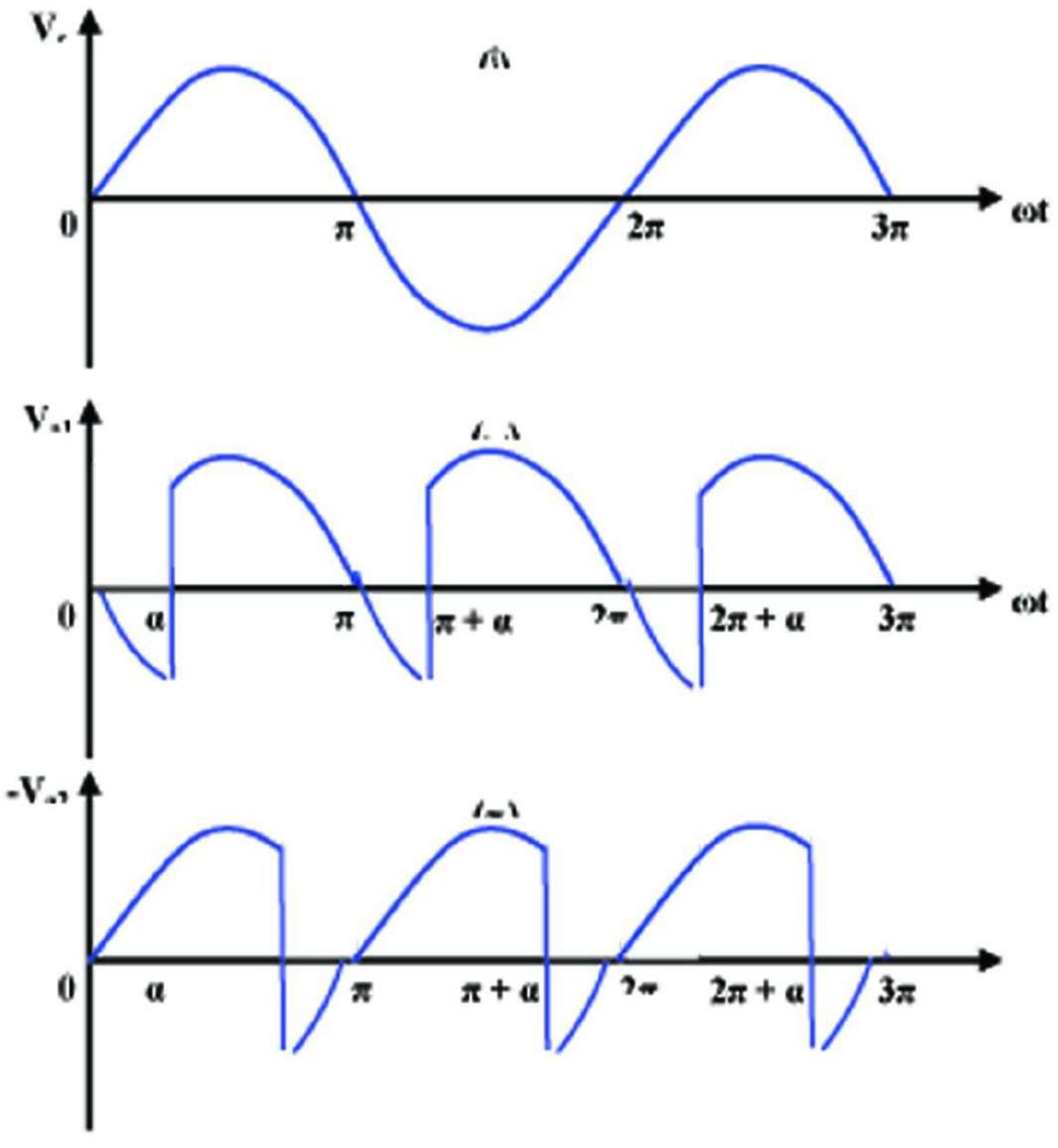
5-9-2-3 السيطرة باستخدام موحد مزدوج محكوم أحادي الطور

تستخدم هذه الطريقة في السيطرة على سرعة محركات التيار المستمر ذات القدرات العالية نسبيا مثل الرافعات الكهربائية والقطارات , حيث يتم بناء دائرة موحد مزدوج محكوم أحادي الطور من ربط دائرتان متعاكستان من دوائر موحد موجة كاملة محكوم أحادي الطور بالتوازي وبذلك فان الدائرة الكلية سوف تحتوي على ثمانية ثايرستورات وكما موضح في الشكل (5-19).



شكل (5-19) دائرة موحد مزدوج محكوم أحادي الطور يغذي محرك تيار مستمر.

تعمل القنطرة الأولى على توليد فولتية خرج موجبة بينما تعمل القنطرة الثانية على توليد فولتية خرج سالبة ومن خلال تغيير زاوية قدح الثايرستور (α) للفترة الزمنية (π-0) يتم التحكم بفولتية الخرج وشكل (5-20) يوضح موجة الفولتية الداخلة وموجة الفولتية المسلطة على المحرك من القنطرة الأولى والثانية.

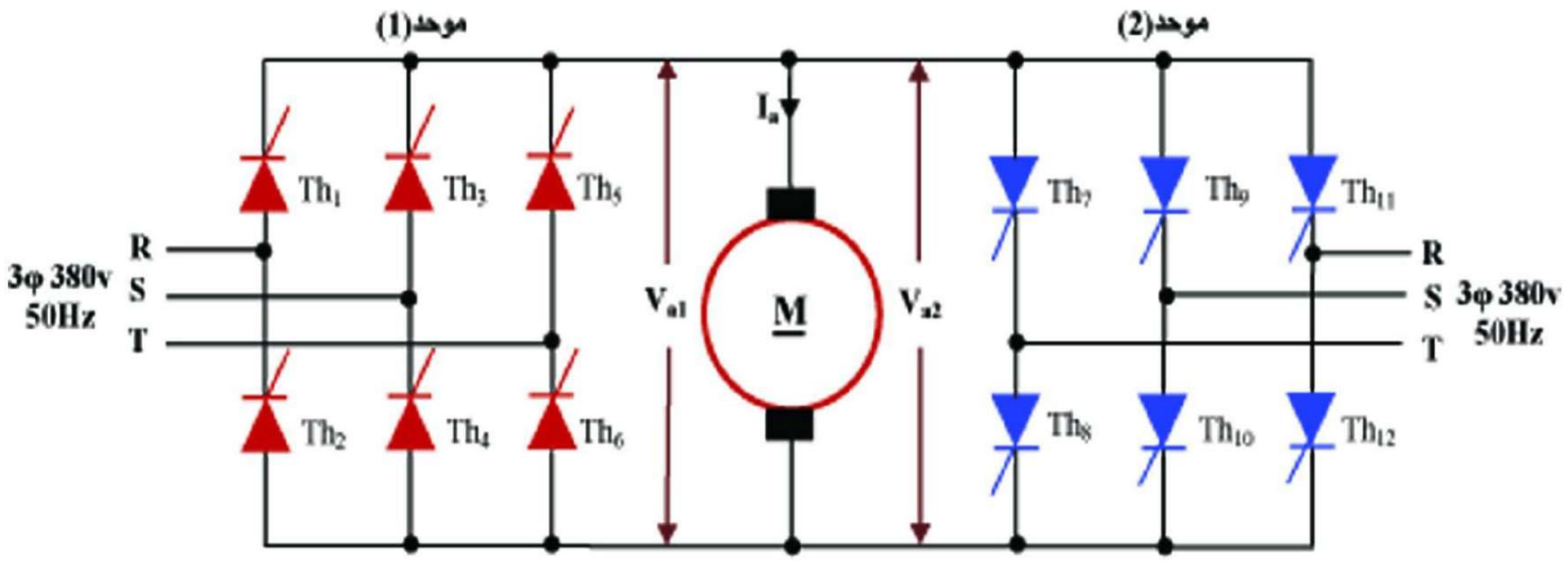


شكل (5-20) (أ) موجة فولتية الدخل وموجة الفولتية المسلطة على المحرك
من (ب) القنطرة الأولى ,(ج) القنطرة الثانية.

5-9-2-4 السيطرة باستخدام موحد مزدوج محكوم ثلاثي الطور

دائرة السيطرة باستخدام موحد مزدوج محكوم ثلاثي الأطوار يمكن استخدامها في السيطرة على سرعة محرك تيار مستمر بقدرات كبيرة جداً بالإضافة الى إمكانية استخدامها في السيطرة على سرعة محركات التيار المتناوب التزامنية الكبيرة وتمتاز هذه الدائرة عن دوائر السيطرة السابقة الذكر في القدرة على السيطرة على سرعة المحرك بأربعة طرق وهي **1)** عندما تكون السرعة والعزم موجب يدور المحرك باتجاه عقرب الساعة, **2)** عندما تكون السرعة والعزم سالب يدور المحرك باتجاه

عكس عقرب الساعة , **3)** عندما تكون السرعة موجبة والعزم سالب يمكن توقف المحرك عن الدوران باتجاه عقرب الساعة, **4)** عندما تكون السرعة سالبة والعزم موجب يمكن توقف المحرك عن الدوران باتجاه عكس عقرب الساعة ومن مساوئ هذه الدائرة الكلفة العالية كما أن دائرة السيطرة لها تكون معقدة . تتكون دائرة موحد مزدوج محكوم ثلاثي الأطوار من اثنا عشر ثايرستور تشكل كل ستة منها دائرة موحد موجة كاملة محكوم ثلاثي الأطوار ويتم وضع محرك التيار المستمر المراد السيطرة على سرعة بين هاتين الدائرتين كما موضح في الشكل (5-21).



شكل (5-21) دائرة موحد مزدوج محكوم ثلاثي الأطوار يغذي محرك تيار مستمر.

5-10 السيطرة على سرعة محركات التيار المتناوب الحثية الثلاثية الأطوار

تمتاز محركات التيار المتناوب بعدة مزايا مثل رخيصة الثمن صغيرة الحجم قليلة الصيانة عمرها طويل ولهذا فأن اغلب التطبيقات الصناعية والمنزلية تستخدم فيها هذا النوع من المحركات حيث تتطلب هذه التطبيقات في الغالب أن يدور المحرك عند سرع مختلفة باتجاه عقرب الساعة وعكس اتجاه عقرب الساعة وتعد طرق السيطرة على سرعة محركات التيار المستمر عموما ارخص وابسط من طرق السيطرة على سرعة دوران محركات التيار المتناوب لكن التطور العلمي والتكنولوجي الهائل في مجال الإلكترونيك قد أدى الى إنتاج المعالجات المايكروية والمسيطرات الصغيرة بالإضافة الى معالجات الإشارة الرقمية وبالتالي أصبح بالإمكان السيطرة على سرعة محركات التيار المتناوب بشكل مشابه للسيطرة على سرعة محركات التيار المستمر. باستخدام معادلة السرعة للمحركات الحثية يمكن السيطرة على سرعة دوران محركات التيار المتناوب الحثية عن طريق أحد الطرق التالية :

1)تغيير عدد الأقطاب.

2) تغيير الانزلاق.

3)تغيير تردد مصدر التغذية .

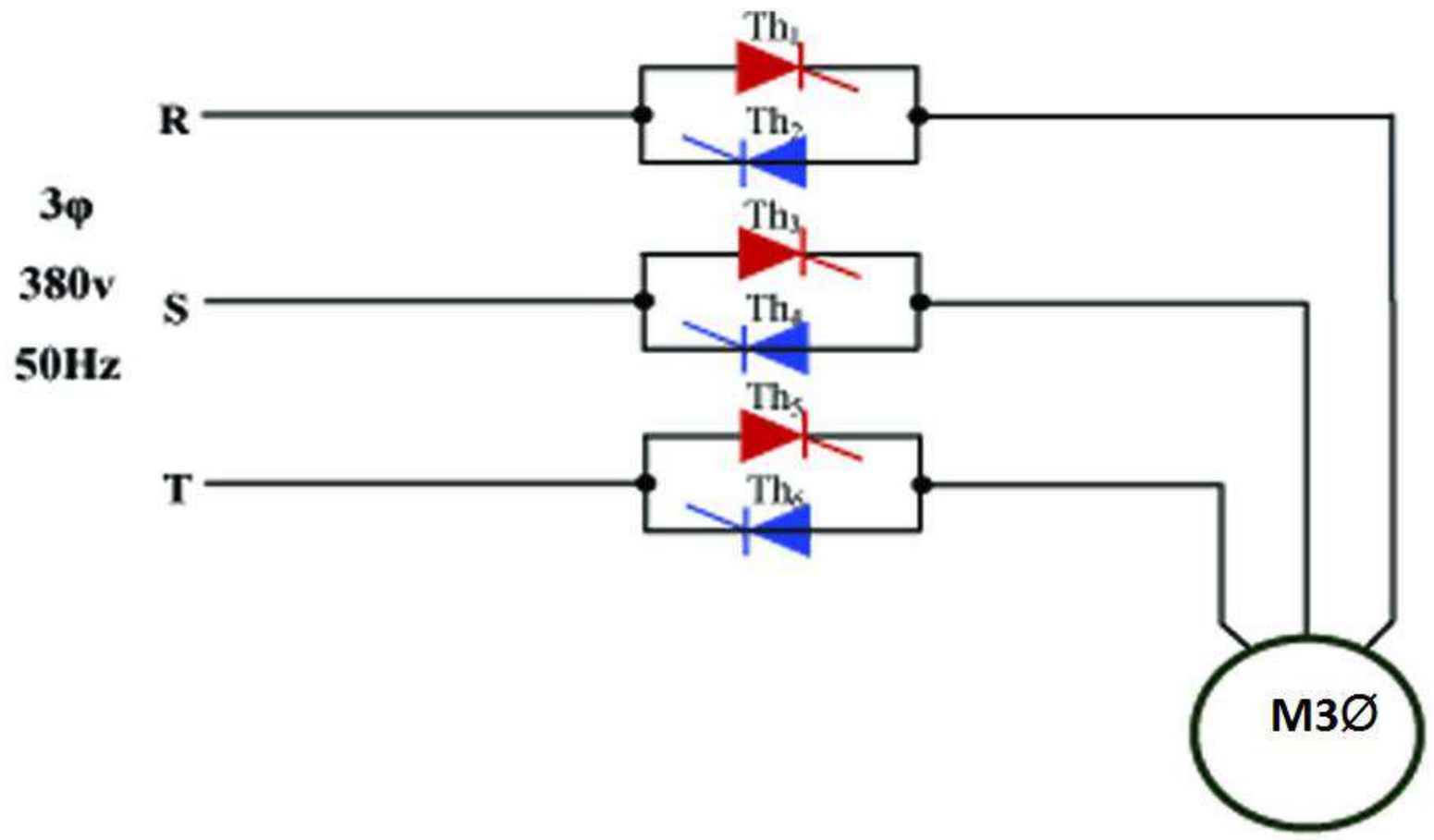
يستخدم محرك تضمين اتساع القطب في تغيير عدد أقطاب المحرك من خلال تغيير الربط الداخلي لملفات المحرك حيث يتم مرحلات (relays) وقواطع دورة لغرض تغيير ربط ملفات المحرك وهذه الطريقة تعتبر غير عملية وقليلة الاستخدام في الوقت الحاضر. أما في الطريقة الثانية يمكن تغيير الانزلاق من خلال تغيير فولتية مصدر التغذية أو بإضافة مقاومات مع دائرة الدوار في محرك حثي ذو الحلقات الانزلاقية. هنالك عدة طرق يمكن استخدامها في تغيير فولتية مصدر التغذية وهذه الطرق هي

5-10-1 السيطرة على السرعة عن طريق تغيير فولتية العضو الثابت

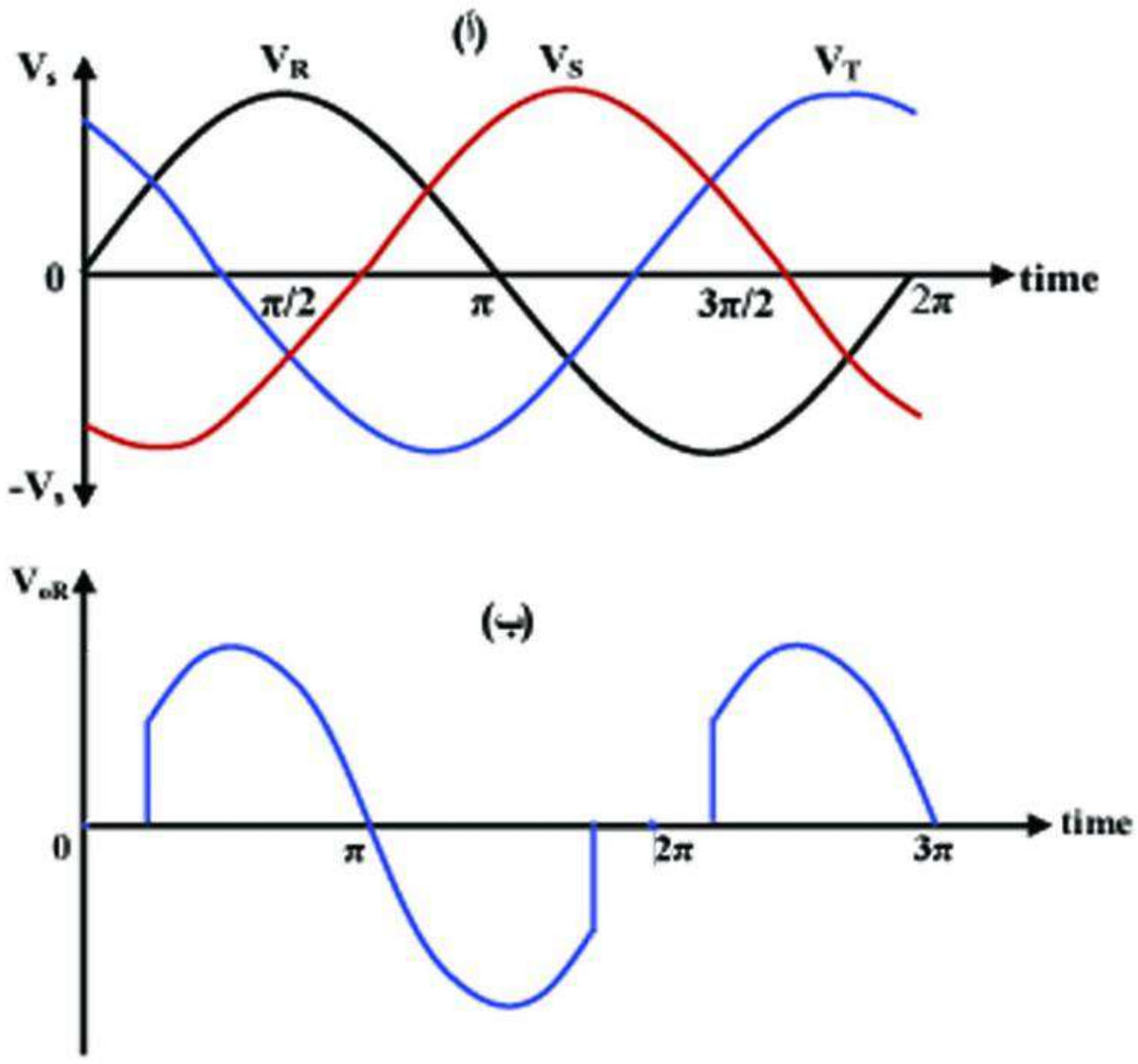
يمكن السيطرة على سرعة المحركات الحثية الثلاثية الأطوار ذات القفص السنجابي من خلال تغيير الفولتية المجهزة للعضو الثابت باستخدام ثايرستوران مربوطان بشكل متعاكس مع كل طور من أطوار المحرك , حيث يتم تغيير الفولتية المجهزة للمحرك من خلال تغيير زاوية قدح الثايرستور(α) كما ويمكن للمحرك الذي يستخدم هذه الدائرة من الدوران باتجاه عقرب الساعة وعكس اتجاه عقرب الساعة.

من المعروف أن المحركات الحثية الثلاثية الأطوار الكبيرة الحجم تسحب تيار بدء يعادل من ستة الى ثمانية أضعاف التيار المقنن للمحرك حيث يمكن استخدام هذه الدائرة لغرض في تقليل قيمة تيار البدء وبشكل سلس جدا وتعتبر هذه الطريقة من احدث الطرق المستخدمة في هذا المجال حاليا علما أن أحد التطبيقات العملية لهذه الدائرة هو في مكيفات الهواء.

يوضح شكل (5-22) الدائرة الكهربائية المستخدمة في السيطرة على سرعة المحركات الحثية الثلاثية الأطوار ذات القفص السنجابي , بينما يوضح شكل (5-23) موجة الفولتية الداخلة وموجة فولتية الطور المسلطة على المحرك في الطور الأول (R) .



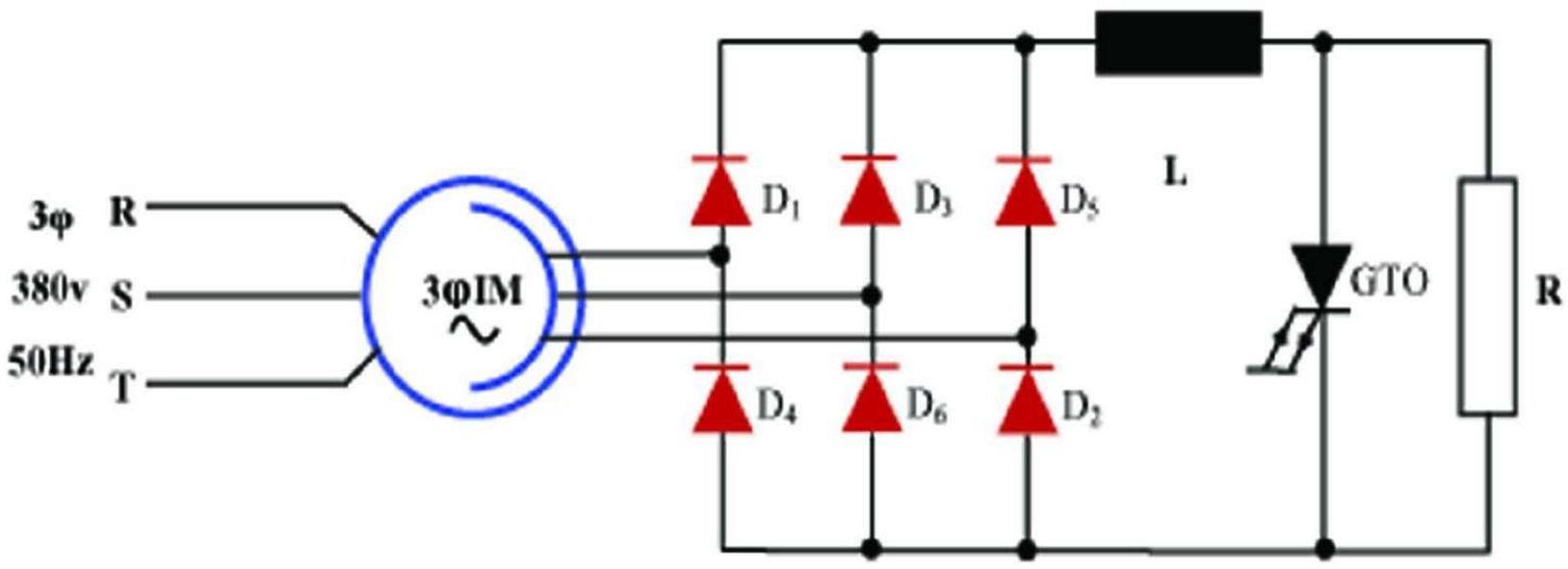
شكل (5-22) دائرة موحد مزدوج محكوم ثلاثي الأطوار يغذي محرك تيار مستمر.



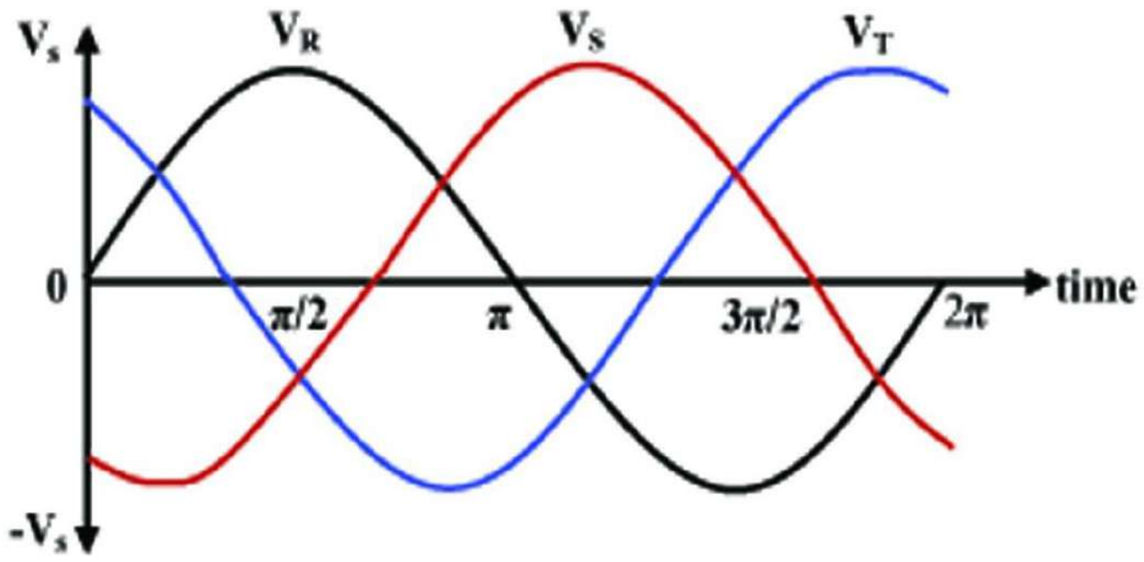
شكل (5-23) (أ) موجة الفولتية الداخلة الثلاثية الأطوار (ب) موجة فولتية الطور المسلطة على المحرك للطور(R).

5-10-2 السيطرة على السرعة عن طريق تغيير فولتية العضو الدوار

أن هذه الدائرة تستخدم في السيطرة على سرعة المحركات الحثية الثلاثية الأطوار ذات الحلقات الانزلاقية الصغيرة الحجم عن طريق تغيير قيمة مقاومة العضو الدوار من خلال دائرة موحد ثلاثي الأطوار متصل بالتوازي مع ثايرستور نوع (GTO) ومقاومة , يتم تغيير مقاومة العضو الدوار للمحرك من اقل قيمة الى أعلى قيمة عن طريق التحكم في زاوية تشغيل وإطفاء الثايرستور, والشكل (5-24) يوضح الدائرة الكهربائية بينما يوضح الشكل (5-25) موجة فولتية الدخل.



شكل (5-24) دائرة موحد مزدوج محكوم ثلاثي الاطوار يغذي محرك تيار مستمر.



شكل (5-25) موجة الفولتية الداخلة الثلاثية الأطوار.

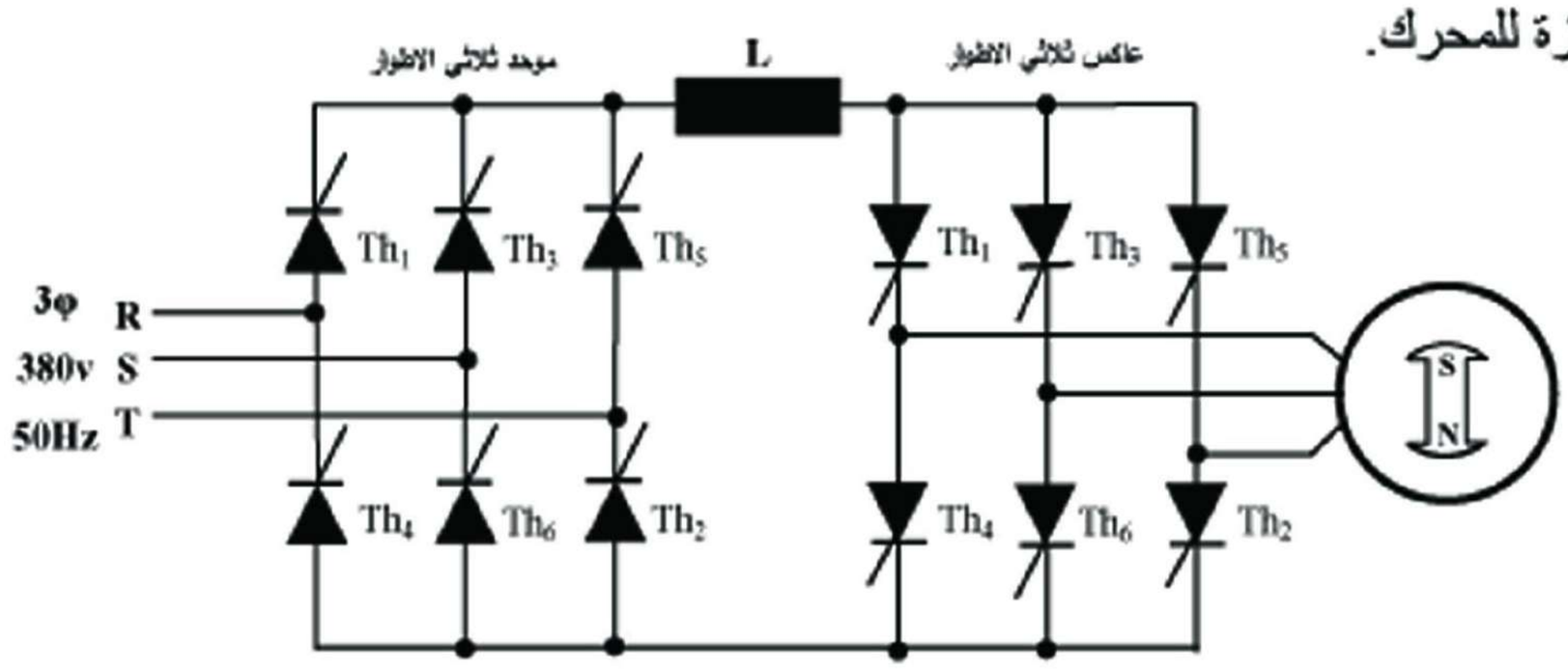
5-11 السيطرة على سرعة محركات التيار المتناوب التزامنية الثلاثية الأطوار

أن محركات التيار المتناوب التزامنية الثلاثية الأطوار فوائد عديدة كما أنها تستخدم في العديد من التطبيقات الصناعية مثل ضاغطات الهواء وان من أهم مساوئ هذا النوع من المحركات هو عندما

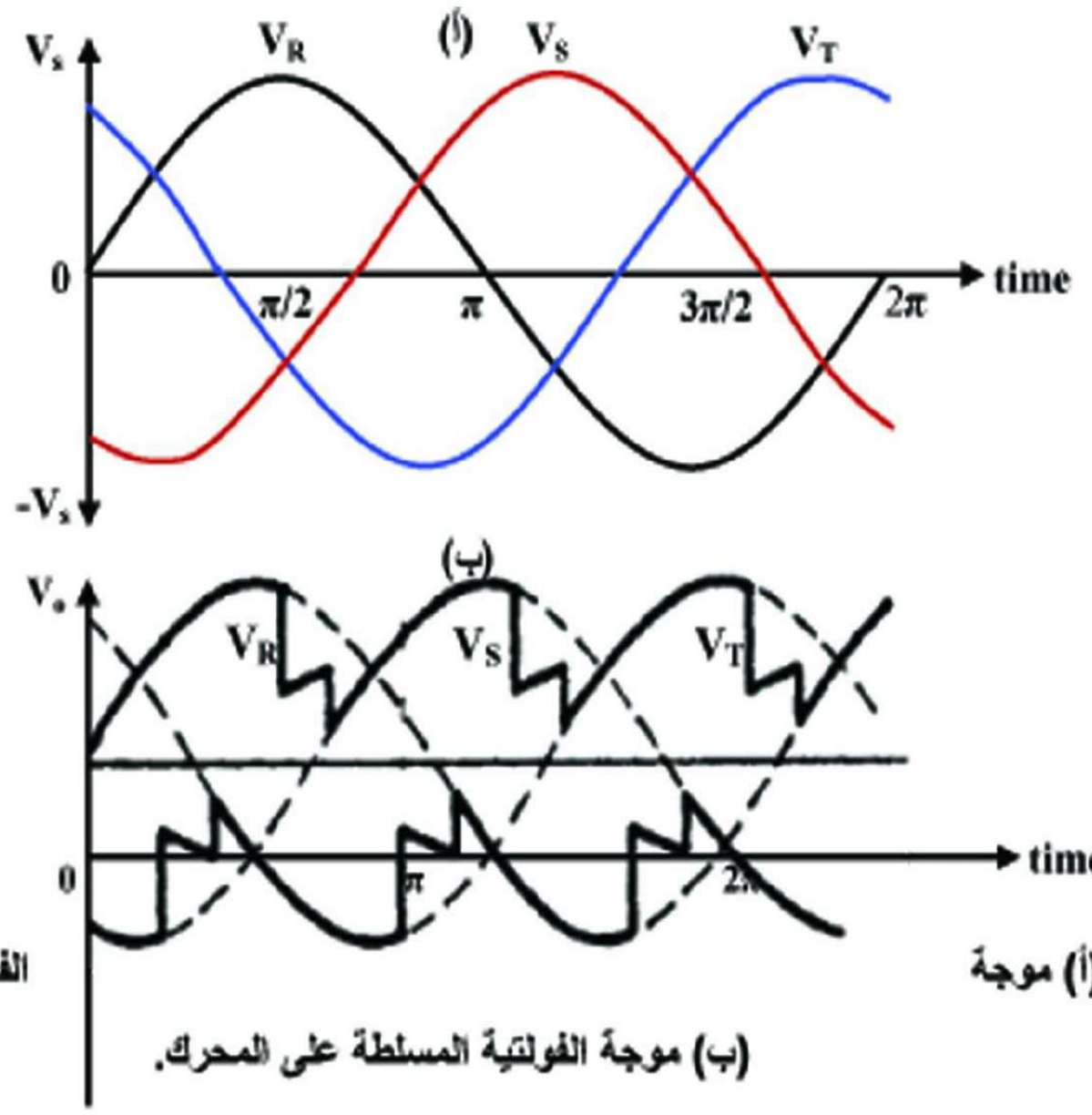
يزداد عزم الحمل على المحرك سوف يفقد المحرك السرعة التزامنية ويؤدي ذلك الى توقف المحرك عن العمل. هنالك عدة طرق يمكن استخدامها في السيطرة على سرعة المحرك وفيما يلي بعض من تلك الطرق:-

5-11-1 السيطرة على سرعة المحرك التزامني الثلاثي الأطوار عن طريق تغيير التردد

تعتبر هذه الدائرة من أنظمة السيطرة المفتوحة على سرعة المحرك التزامني الثلاثي الأطوار حيث تتكون الدائرة الكهربائية من موحد ثلاثي الأطوار محكوم متصل مع عاكس ثلاثي الأطوار عن طريق محاثة كهربائية تعمل كمصدر للتيار كما موضح في الشكل (5-26) , حيث يتم السيطرة على سرعة المحرك من خلال تغيير قيمة الفولتية والتردد المجهزة للمحرك وذلك عن طريق التحكم بزاوية قدح الثايرستور(α) لدائرة الموحد والعاكس كما يوضح الشكل (5-27) موجة الدخل والخرج للفولتية المجهزة للمحرك.



شكل (5-26) دائرة موحد مزدوج محكوم ثلاثي الأطوار يغذي محرك تزامني ثلاثي الأطوار.

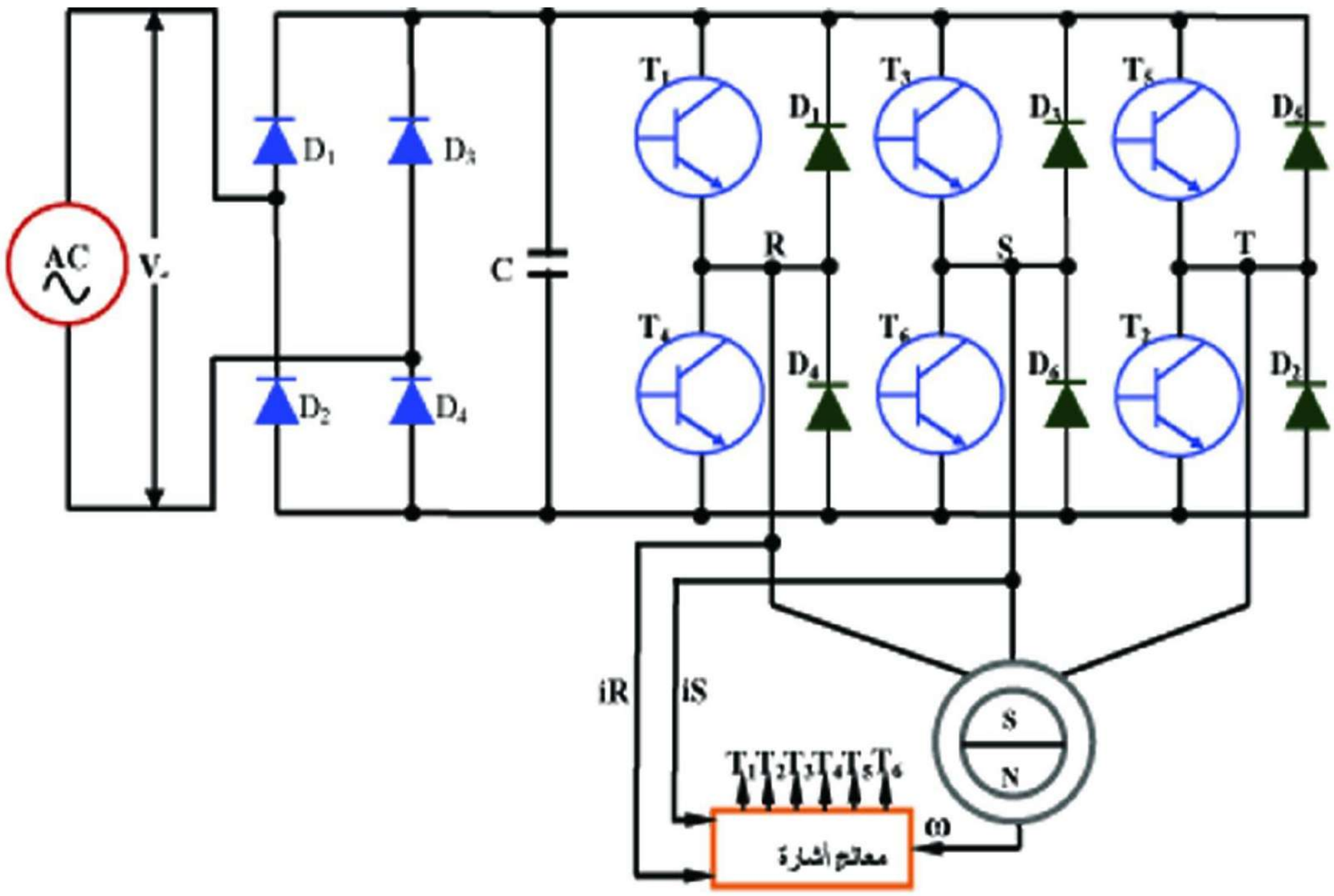


شكل (5-27) (أ) موجة الفولتية الداخلة الثلاثية الأطوار

(ب) موجة الفولتية المسلطة على المحرك.

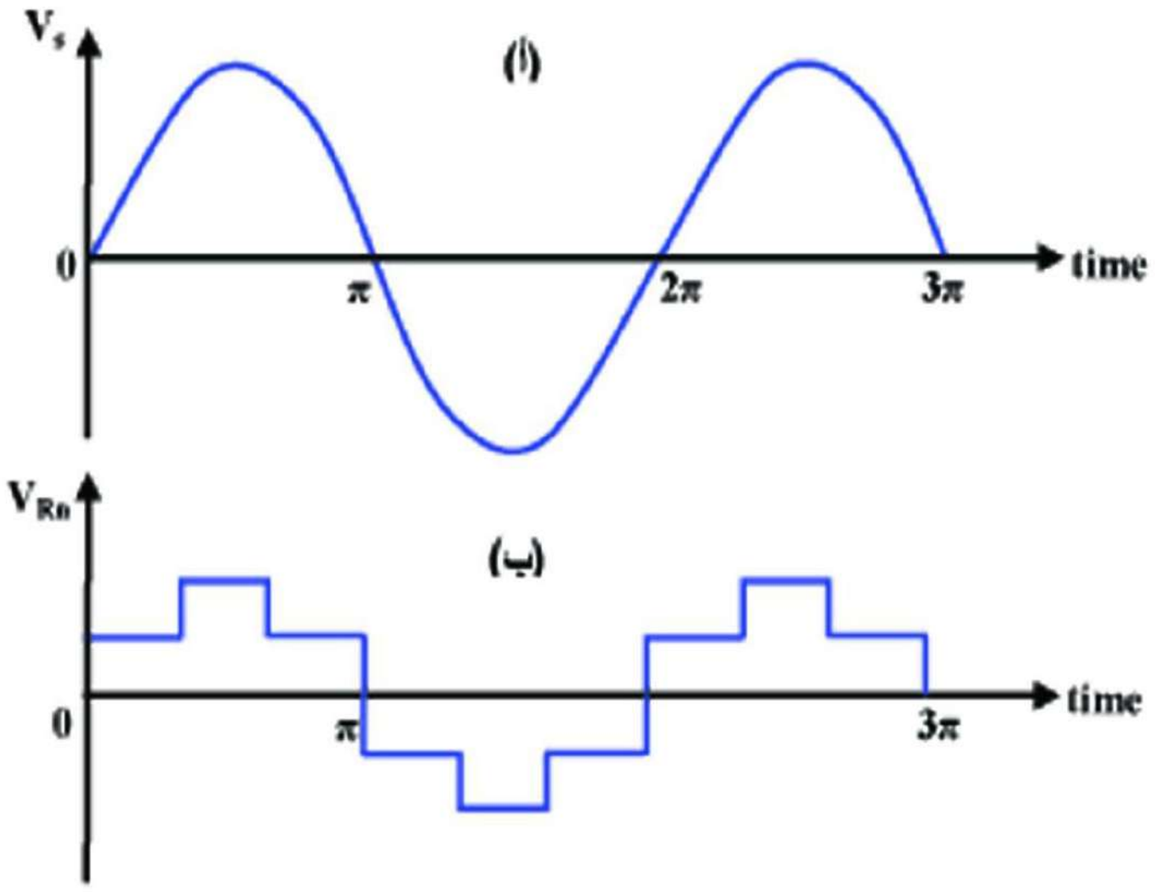
5-11-2 السيطرة على سرعة المحرك التزامني الثلاثي الأطوار ذو المغناطيس الدائم باستخدام عاكس مصدر فولتية ومعالج أشارة رقمية

يعتبر المحرك التزامني ذو المغناطيس الدائم من المحركات الكهربائية الشائعة الاستخدام في الوقت الحاضر بسبب ارتفاع كفاءة وعزم المحرك . الفرق الرئيسي بين هذا المحرك والمحرك التزامني ذي الدوار الملفوف يتمثل في استخدام المغناطيس الدائم في توليد المجال المغناطيسي للمحرك بدل عن ملفات المنتج والتي تتغذى عن طريق مصدر تيار مستمر خارجي . تتألف دائرة السيطرة من موحد قنطرى أحادي الطور غير محكوم يعمل على تحويل التيار المتناوب الى تيار مستمر ,حيث يتم ترشيح التيار الخارج من الموحد عن طريق متسعة متصلة بالتوازي مع الموحد القنطري ومن ثم تحويل هذا التيار الى تيار متناوب متغيير الفولتية والتردد حسب السرعة المطلوبة باستخدام عاكس ثلاثي الأطوار مؤلف من ستة ترانستورات وموحدات كما موضح في الشكل (5-28).



شكل (5-28) دائرة السيطرة على سرعة المحرك التزامني الثلاثي الأطوار ذو المغناطيس الدائم.

يتم تشغيل وإطفاء الترانزستورات عن طريق استخدام مسيطر ومعالج إشارة رقمية حيث أن معالج الإشارة الرقمية يتم تزويده بمعلومات عن طريقة السيطرة المطلوبة وهذه المعلومات يتم تحويلها الى برنامج يعمل معالج الإشارة الرقمي على تنفيذه وتعتبر هذه التقنية من أحدث التقنيات المستخدمة في دوائر السيطرة على المحركات والشكل (5-29) يوضح موجة الدخل والخرج للفولتية المجهزة للمحرك في الطور(R).



شكل (5-29) (أ) موجة الفولتية الداخلة الأحادية الطور (ب) موجة الفولتية المسلطة على المحرك في الطور(R).

أسئلة الفصل الخامس

س1: عرف العاكس ثم عدد أنواع العاكسات ؟

س2: أرسم الدائرة الكهربائية لعاكس نصف قنطرة أحادي الطور ثم ارسم موجة الفولتية الخارجة ؟

س3 : عاكس نصف قنطرة أحادي الطور يتغذي من مصدر مستمر قيمة (80) فولت ويعمل على تجهيز حمل مقاومة (2) أوم. أحسب قيمة الفولتية المتناوبة الخارجة من العاكس (V_o) وقيمة الفولتية الفعلية الخارجة من العاكس (V_{o1}) ثم احسب قيمة التيار المجهز الى الحمل(I_L) ؟

جواب I_L= 20A , V_{o1}=36 V , V_o=40 V

س4: أرسم الدائرة الكهربائية لعاكس قنطرة أحادي الطور وموجة الفولتية الخارجة ثم اشرح مبدأ عملها **س5:**عاكس قنطرة أحادي الطور يتغذي من مصدر مستمر قيمة (120) فولت ويعمل على تجهيز حمل مقاومة (30) أوم. أحسب قيمة الفولتية المتناوبة الخارجة من العاكس (V_o) وقيمة الفولتية الفعلية الخارجة من العاكس (V_{o1}) ثم احسب قيمة التيار المجهز الى الحمل(I_L) ؟

جواب IL= 4A , V_{o1}=108V , V_o=120V

س6 : ما هو الفرق بين عاكس نصف قنطرة وعاكس قنطرة حادي الطور ؟

س7 : أشرح مبدأ عمل العاكس بزاوية توصيل (180) درجة ثم ارسم موجة الفولتية الخارجة من العاكس؟

س8 : عاكس قنطرة ثلاثي الأطوار يتغذي من مصدر مستمر قيمة (600) فولت بزاوية توصيل (180) درجة .أحسب قيمة فولتية الطور الخارجة من العاكس ($V_{o(ph)}$) ثم احسب قيمة فولتية الخط الخارجة من العاكس ($V_{o(line)}$) وأخيرا أحسب قيمة الفولتية الفعلية الخارجة من العاكس (V_{o1}) ؟

جواب V_{o1}= 468 v , $V_{o(line)}$ = 489.9 v , $V_{o(ph)}$= 282.8 v

س9 : عدد طرق السيطرة على الفولتية الخارجة من العاكس ثم اشرح واحدة منها ؟

س10 : أذكر بعض التطبيقات الصناعية للعاكسات ؟

س11 : ما هي العوامل المؤثرة على سرعة دوران محركات التيار المستمر ؟

س12 : عدد طرق السيطرة على سرعة محركات التيار المستمر واشرح واحدة منها ؟

س13 : عدد طرق السيطرة على سرعة محركات التيار المتناوب الحثية الثلاثية الأطوار واشرح واحدة منها ؟

س14 : عدد طرق السيطرة على سرعة محركات التيار المتناوب التزامنية الثلاثية الأطوار واشرح واحدة منها ؟

لم يحل الله