

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دولة فلسطين

وزارة التربية والتعليم العالي

كهرباء استعمال

(نظري)

للفيف الثاني الثانوي

الفرع الصناعي

المؤلفون

د. عبد الكريم داود

م. زياد القواسمي

م. مازن ذيب «منسقاً»

م. لافي منصور

م. روان حنيح «مركز المناهج»



■ الإشراف العام

رئيس لجنة المناهج: د. نعيم أبو الحمص

مدير عام مركز المناهج: د. صلاح ياسين

■ مركز المناهج

إشراف تربوي: د. عمر أبو الحمص

■ الدائرة الفنية

■ إشراف إداري: أ. أحمد سياعة

■ تصميم: كمال محمود فحماوي

■ الاعداد المحوسب للطباعة: حمدان بحبوح

■ تحرير لغوي: أحمد الخطيب

■ الاثراء

■ الدائرة الفنية

■ اشراف اداري: أ. حازم حسين عجاج

■ تصميم: سمر محمود عامر

■ فريق الاثراء:

م. زياد أحمد قواسمة

م. أحمد حسين دار السده

م. ماهر حسين يعقوب (منسق)

الطبعة الثانية التجريبية

٢٠١٦م/١٤٣٧ هـ

جميع حقوق الطبع محفوظة لوزارة التربية والتعليم العالي / مركز المناهج

مركز المناهج - حي المصيون - شارع المعاهد - أول شارع على اليمين من جهة مركز المدينة

ص. ب. ٧١٩ - رام الله - فلسطين

تلفون ٢٩٦٩٣٥٠ - ٢ - ٩٧٠ + فاكس ٢٩٦٩٣٧٧ - ٢ - ٩٧٠ +

الصفحة الالكترونية: www.pcdc.edu.ps - العنوان الالكتروني: pcddc@palnet.com

رأت وزارة التربية والتعليم العالي ضرورة وضع منهاج يراعي الخصوصية الفلسطينية؛ لتحقيق طموحات الشعب الفلسطيني حتى يأخذ مكانه بين الشعوب. إن بناء منهاج فلسطيني يعد أساساً مهماً لبناء السيادة الوطنية للشعب الفلسطيني، وأساساً لترسيخ القيم والديمقراطية، وهو حق إنساني، وأداة تنمية للموارد البشرية المستدامة التي رسختها مبادئ الخطة الخمسية للوزارة.

وتكمن أهمية المنهاج في أنه الوسيلة الرئيسة للتعليم، التي من خلالها تتحقق أهداف المجتمع؛ لذا تولي الوزارة عناية خاصة بالكتاب المدرسي، أحد عناصر المنهاج؛ لأنه المصدر الوسيط للتعلم، والأداة الأولى بيد المعلم والطالب، إضافة إلى غيره من وسائل التعلم: الإنترنت، والحاسوب، والثقافة المحلية، والتعلم الأسري، وغيرها من الوسائط المساعدة. لقد قامت وزارة التربية والتعليم العالي بإتمام مرحلة تأليف جميع الكتب المدرسية (١-١٢)، التي توجّهت بتطبيق كتب الصف الثاني الثانوي (١٢) بجميع فروعه: العلمي، والعلوم الإنسانية، والمهني، والتقني، مع بداية العام الدراسي (٢٠٠٦ / ٢٠٠٧). وتعمل الوزارة حالياً على تنفيذ خطة تطوير شاملة في السنوات الثلاث القادمة، تغطي أربعة مجالات، وهي: أنشطة تطويرية (مراجعة جميع الكتب للصفوف (١-١٢)، وأنشطة استكمالية (أدلة المعلم والوسائل المعنية)، وأنشطة مستقبلية (دراسات تقويمية وتحليلية لمنهاج المراحل الثلاث في جميع المباحث أفقياً وعمودياً)، وأنشطة موازية (توسيع البنية التحتية في مجال الشبكات والتعليم الإلكتروني، وتحسين آلية امتحان الثانوية العامة). وتعد الكتب المدرسية وأدلة المعلم التي أنجزت للصفوف الاثني عشر، وعددها يقارب ٤٥٠ كتاباً، ركيزة أساسية في عملية التعليم والتعلم، بما تشتمل عليه من معارف ومعلومات عُرضت بأسلوب سهل ومنطقي؛ لتوفير خبرات متنوعة، تتضمن مؤشرات واضحة، تتصل بطرائق التدريس، والوسائل والأنشطة وأساليب التقويم، وتتلاءم مع مبادئ الخطة الخمسية المذكورة أعلاه.

وتتم مراجعة الكتب وتنقيحها وإثرائها سنوياً بمشاركة التربويين والمعلمين والمعلمات الذين يقومون بتدريسها، وترى الوزارة الطباعات من الأولى إلى الرابعة طباعات تجريبية قابلة للتعديل والتطوير؛ كي تتلاءم مع التغيرات في التقدم العلمي والتكنولوجي ومهارات الحياة. إن قيمة الكتاب المدرسي الفلسطيني تزداد بمقدار ما يبذل فيه من جهود، ومن مشاركة أكبر عدد ممكن من المتخصصين في مجال إعداد الكتب المدرسية، الذين يحدثون تغييراً جوهرياً في التعليم، من خلال العمليات الواسعة من المراجعة، بمنهجية رسختها مركز المناهج في مجالي التأليف والإخراج في طرفي الوطن الذي يعمل على توحيده.

إن وزارة التربية والتعليم العالي لا يسعها إلا أن تتقدم بحزب الشكر والتقدير إلى المؤسسات والمنظمات الدولية، والدول العربية والصديقة وبخاصة حكومة بلجيكا؛ لدعمها المالي لمشروع المناهج.

كما أن الوزارة لتفخر بالكفاءات التربوية الوطنية، التي شاركت في إنجاز هذا العمل الوطني التاريخي من خلال اللجان التربوية، التي تقوم بإعداد الكتب المدرسية، وتشكرهم على مشاركتهم بجهودهم المميزة، كل حسب موقعه، وتشمل لجان المناهج الوزارية، ومركز المناهج، والإقرار، والمؤلفين، والمحررين، والمشاركين بورشات العمل، والمصممين، والرسميين، والمراجعين، والطابعين، والمشاركين في إثراء الكتب المدرسية من الميدان أثناء التطبيق.

وزارة التربية والتعليم العالي

مركز المناهج

أيلول ٢٠٠٦ م

الصلاة والسلام على سيد الأنبياء والمرسلين وعلى آله وصحبه أجمعين وبعد،

ها نحن نضع بين أيديكم منهج كهرباء استعمال ، اعتمادا على الخطوط العريضة لمنهج التعليم التقني والمهني، حاولنا ما استطعنا حتى يرى هذا المنهج النور بأفضل أشكاله .

تضمن الكتاب ست وحدات تعالج كل منها جانبا مهماً من العلوم الكهربائية، وهي المحولات الكهربائية ثلاثية الأوجه، الكترونيات القدرة، وآلات التيار المستمر، وآلات التيار المتردد، ودوائر التحكم، والمتحكمات المنطقية المبرمجة (PLC).

عالجت الوحدة الأولى موضوع المحولات الكهربائية ثلاثية الأوجه، وطرق توصيلها، وعلاقة الجهد التيار في كل نوع من هذه المحولات أما إلكترونيات القدرة فتحدثت بشيء من التفصيل على بعض القطع الأدوات الكهربائية أما عن الوحدات الثالثة والرابعة فتحدثت عن آلات التيار المستمر والمتردد وأنواعها المختلفة، وخصائص كل نوع من هذه الآلات وطرق تشغيلها.

أما بالنسبة للتحكم في هذه الآلات فتناولت الوحدة الخامسة موضوع دارات التحكم ولكن بطريقة جديدة، حيث تناولت المبادئ الأساسية لبناء هذه الدارات .

وتم شرح بعض التطبيقات على هذه المبادئ.

وقد ترجمت الوحدة السادسة إمكانية استخدام الحاسوب في بناء دارات التحكم المختلفة، وذلك بوساطة المتحكمات المبرمجة (PLC) على اختلاف أنواعها.

وأخيرا رغم ما بذل في الكتاب من جهد لا ندعي بأنه وصل حد الكمال، ولكن هذا المنهج طبعه تجريبية كلنا أمل بأن لا تبخلوا علينا بإقتراحاتكم لإثراء هذا المنهج وتقديمه بأفضل صورة .

كذلك لا بد من التركيز على التكاملية بين المادة النظرية والمادة العملية عند طرح هذا المنهج حتى يسهل علينا تقييمه ولإثرائه وتقديمه بالشكل المناسب والمطلوب .

والله ولي التوفيق

المؤلفون

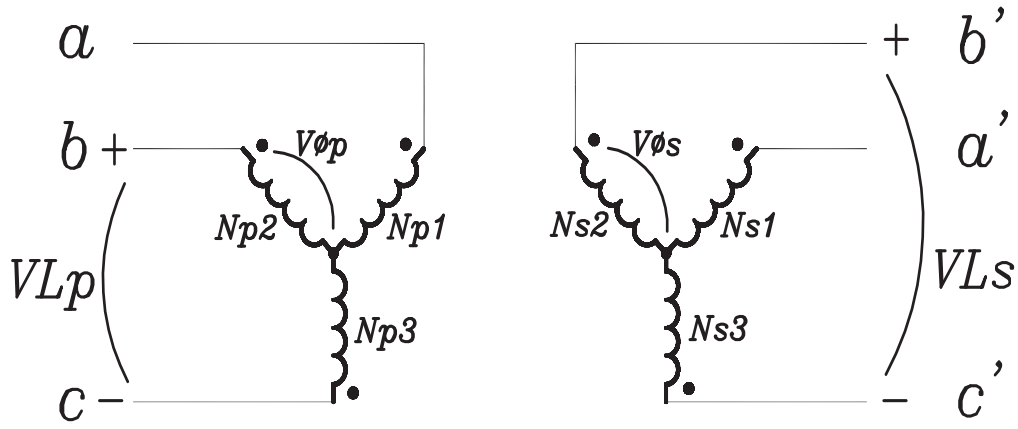
٣	المحولات أحادية الطور	١-١	الوحدة الأولى
٥	سعة المحول الكهربائي والتيارات والجهود التشغيلية	٣-١	
٦	المحولات الذاتية	٣-١	
٨	المحولات ثلاثية الطور	٤-١	
١١	المحولات الذاتية ثلاثية الطور	٥-١	
١١	المفاقيد في المحولات	٦-١	
١٤	محولات أجهزة القياس	٧-١	
١٥	مبدلات الجهد	٨-١	
١٦	عزل المحولات	٩-١	
١٧	وسائل التبريد في المحولات	١٠-١	
١٩	أسئلة الوحدة		
٣١	مقدمة		الوحدة الثانية
٣١	المواد شبه الموصلة	١-٢	
٣٨	عناصر أشباه الموصلات ذات القدرة	٢-٢	
٣٩	الموحدات		
٤٣	ديود الزينر		
٤٥	منظمات الجهد المتكاملة		
٤٧	الثيرستور		
٥١	الدايك		
٥٣	الترايك		
٥٤	أسئلة الوحدة		
٥٧	تركيب آلة التيار المستمر (محرك / مولد)	١-٣	الوحدة الثالثة
٥٩	مبدأ عمل آلات التيار المستمر	٢-٣	
٦١	لوحة توصيل آلة تيار مستمر	٣-٣	
٦٢	طريقة توحيد التيار في آلة التيار المستمر	٤-٣	
٦٤	طرق الإثارة في آلات التيار المستمر	٥-٣	
٦٨	القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في آلات التيار المستمر	٦-٣	
٧١	حسابات القدرة الميكانيكية والعزم لحركات تيار مستمر	٧-٣	
٧٥	الدائرة الكهربائية المكافئة لآلات التيار المستمر وعلاقاتها الرياضية	٨-٣	
٧٨	دراسة خواص محركات التيار المستمر (علاقة السرعة بالعزم)	٩-٣	
٨٠	التحكم بسرعة محركات التيار المستمر	١٠-٣	
٨١	تشغيل محرك التيار المستمر وفرملته	١١-٣	
٨٤	أسئلة الوحدة		
٨٨	المحركات أحادية الطور	١-٤	الوحدة الرابعة
٩٧	المحركات الحثية ثلاثية الطور	٢-٤	
١١٤	المولدات التوافقية ثلاثية الطور	٣-٤	
	العاكس (انفيرتر)		
١١٥	أسئلة الوحدة		
			آلات
			التيار
			المستمر
			آلات
			التيار
			المتعدد

١١٨	البيانات الأساسية للمفاتيح الكهرومغناطيسية	١-٥	الوحدة الخامسة
١٢٣	تشغيل محرك أحادي الطور باستخدام مفتاح كهرومغناطيسي	٢-٥	
١٢٩	تشغيل محرك ثلاثي الطور باستخدام مفتاح كهرومغناطيسي	٣-٥	
١٣٢	عكس دوران محرك أحادي الطور باستخدام مفاتيح كهرومغناطيسية	٤-٥	
١٣٤	عكس دوران محرك ثلاثي الطور باستخدام مفاتيح كهرومغناطيسية	٥-٥	
١٣٦	تشغيل محرك أحادي الطور سرعتين باستخدام مفاتيح كهرومغناطيسية	٦-٥	
١٣٨	تشغيل محرك ثلاثي الطور سرعتين باستخدام مفاتيح كهرومغناطيسية	٧-٥	
١٤١	تشغيل محرك ثلاثي الطور (ستار- دلتا) باستخدام مفاتيح كهرومغناطيسية ومؤقت زمني ..	٨-٥	
١٤٤	تشغيل محرك ثلاثي الطور باستخدام جهاز التشغيل الناعم	٩-٥	
١٤٨	تشغيل مضخة ماء ثلاثية الطور باستخدام مفتاح كهرومغناطيسي وعوامات كهربائية	١٠-٥	
١٤٩	تحويل القدرة الكهربائية آلياً	١١-٥	
١٥٢	المفاتيح اليدوية لتشغيل المحركات الكهربائية	١٢-٥	

دوائر التحكم

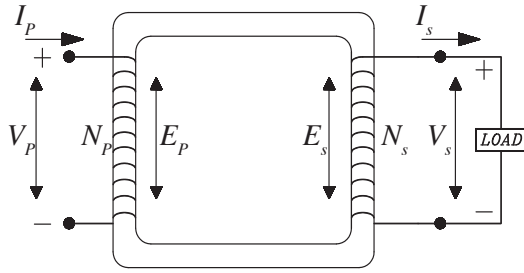
١٦١	التركيب ومبدأ العمل	١-٦	الوحدة السادسة
١٧٥	كيف يقوم جهاز التحكم المنطقي المبرمج (PLC) بعمله	٢-٦	
١٧٧	طرق برمجة جهاز التحكم المنطقي المبرمج (PLC)	٣-٦	المتحكمات المنطقية المبرمجة
١٨٠	الرموز المستعملة في مخطط السلم المنطقي	٤-٦	
١٨٣	برمجة وتوصيل نقاط التحكم المنطقي	٥-٦	
١٨٥	برمجة العمليات الأساسية والمنطقية بلغة السلم	٦-٦	
٢٠٤	كيف تصمم نظام تحكم باستخدام آل (PLC)	٧-٦	
٢٠٧	تطبيقات صناعية على برمجة المتحكمات	٨-٦	

المحولات الكهربائية ثلاثية الطور



لقد درست سابقاً المحول الكهربائي أحادي الطور ، وتعرفت على مبدأ عمله وتركيبه وأهمية استخدامه في دوائر التغذية . وبما أن مصدر الطاقة الكهربائية لمعظم المصانع هو ثلاثي الطور ، لذلك كان من الضروري استخدام المحولات ثلاثية الطور ، ولا بد من الإشارة هنا إلى أن مبدأ عمل المحول ثلاثي الطور لا يختلف عن مثيله من المحولات أحادية الطور ، حيث يمكن اعتبار المحول ثلاثي الطور أنه مكون من ثلاثة محولات متماثلة أحادية الطور .

١ - ١ المحولات أحادية الطور:



الشكل (١-١): محول أحادي الطور

يعتمد مبدأ عمل المحول على قانون الأمبير وقانون فارادي الأول ، ويمكن توضيح ذلك اعتماداً على الشكل (١-١):

١ إذا مر تيار في الملف الابتدائي للمحول فإن مجالاً مغناطيسياً يتولد حوله ، وتزداد شدته بازدياد قيمة التيار ، وهو ما يسمى (قانون أمبير) .

٢ وبما أن المجال المغناطيسي المتولد متردد (متغير القيمة) ، لذلك ستولد قوة دافعة كهربائية في الملف الابتدائي وكذلك الحال في الملف الثانوي بطريقة تأثيرية ، وتتناسب قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة تناسباً طردياً مع معدل التغير في المجال المغناطيسي بالنسبة للزمن حسب قانون فارادي :

$$e = - N \frac{d\phi}{dt} \quad \dots\dots\dots (١-١)$$

حيث إن :

N : عدد اللفات للملف .

ϕ : التدفق المغناطيسي المتولد ووحدته ويبر (Wb) .

وبالتالي فإن القوة الدافعة الكهربائية (e) المتولدة في الموصلات عند قطعها مجالاً مغناطيسياً تولد تياراً ينتج عنه مجالاً مغناطيسياً يعاكس المجال الأصلي حسب قانون لنز ، وهذا يفسر الإشارة السالبة في المعادلة (١-١) .
واعتماداً على المعادلة (١-١) السابقة ، يمكن إثبات أن القيمة الفعالة للقوة الدافعة الكهربائية (E) المتولدة في الملف تساوي :

$$E = 4.44 f N \phi_{max} \quad \dots\dots\dots (٢-١)$$

وعلى ذلك فإن الجهد المتولد في الملف الثانوي يمكن إيجاده حسب المعادلة التالية :

$$E_s = 4.44 f N_s \phi_{max} \quad \dots\dots\dots (٣-١)$$

حيث إن :

- E_s : القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الملف الثانوي ووحدةها الفولت (V) .
 N_s : عدد لفات الملف الثانوي .
 ϕ_{max} : القيمة العظمى للتدفق المغناطيسي .
 f : التردد بالهيرتز (Hz) .

وكذلك الحال بالنسبة للملف الابتدائي فإنه يتولد فيه قوة دافعة كهربائية :

$$E_p = 4.44 f N_p \phi_{max} \quad \dots\dots\dots (٤-١)$$

حيث إن :

- N_p : عدد لفات الملف الابتدائي .
 E_p : القوة الدافعة الكهربائية للملف الابتدائي ووحدةها الفولت (V) .

نسبة تحويل الجهد:

واعتماداً على المعادلتين (١-٣) و (١-٤) وكما مر معك سابقاً فإن نسبة التحويل للجهد (a) ما بين الملف الابتدائي و الثانوي تعطى بالمعادلة التالية :

$$E_p / E_s = N_p / N_s = a \quad \dots\dots\dots (٥-١)$$

نسبة تحويل التيار:

عند تحميل الملف الثانوي للمحول يمر فيه التيار I_s ، حيث يولد فيه قوة دافعة مغناطيسية ، والتي سوف تحدث تغييراً في الفيض المغناطيسي المتبادل ، ولكن على اعتبار أن الفيض المتبادل ثابت القيمة فإن القوة الدافعة المغناطيسية للملف الابتدائي تساوي القوة الدافعة المغناطيسية للملف الثانوي ، أي أن :

$$N_p I_p = N_s I_s$$

$$I_p / I_s = N_s / N_p = 1 / a \quad \dots\dots\dots (٦-١)$$

أي أن نسبة التحويل بين التيارين (I_p / I_s) هي عكسية لعدد اللفات لكل من الملفين .

في حالة المحول المثالي يمكن اعتبار أن الجهد على أطراف الملف الابتدائي يساوي القوة الدافعة الكهربائية المتولدة فيه ، كما هو موضح في الشكل (١-١) ، وكذلك الحال بالنسبة للملف الثانوي .

$$V_s = E_s \cdot V_p = E_p \quad \text{أي أن:}$$

وبناء على ذلك فإن قسمة نسبة تحويل الجهد على نسبة تحويل التيار تنتج المعادلة التالية :

$$(V_p / V_s) : (I_p / I_s) = (N_p / N_s) : (N_s / N_p)$$

$$(V_p / I_p) / (V_s / I_s) = (N_p / N_s)^2$$

$$Z_p / Z_s = (N_p / N_s)^2 = a^2 \quad \dots\dots\dots (٧-١)$$

سعة المحول الكهربائي والتيارات والجهود التشغيلية:

٢ - ١

تصمم المحولات وتصنع حسب الحاجة ، بحيث تكون قدراتها التحويلية متناسبة مع الأحمال المتصلة بها ، وتسمى سعة المحول (S) ، تقاس بوحد (VA) إذا كانت سعة المحولات صغيرة ، أو وحدة (kVA) للمحولات المتوسطة السعة مثل المحولات المستخدمة في التوزيع ، أو وحدة (MVA) للمحولات كبيرة الحجم المستعملة في محطات التحويل الرئيسة ومحطات التوليد ، وغالباً ما تكون هذه المحولات المتوسطة والكبيرة السعة ثلاثية الطور . ويمكن ذكر اسم المحول بدلالة سعته ، فنقول محول (45MVA) أو محول (1000kVA) . وتحدد سعة المحولات بقيمة قياسية عالمية متعارف عليها وموثقة في القياسات العالمية مثل : (IEC) العالمية و (BS) البريطانية و (ANSI) الأمريكية ، وتكتب سعة المحول على اللوحة الاسمية للمحول (Name plate) . كما يتم في العادة ذكر الجهد المقرر للملفات وجهد الدارة المفتوحة (Open Circuit Voltage) وهي جهد المحول عندما تكون الأحمال على ملفه الثانوي تساوي صفراً أي جهد اللاحمل ، وتكتب على اللوحة الاسمية قيمة الجهد بين الطور والحيادي (V_{ph}) في حالة المحولات أحادية الطور ، ويسمى جهد الطور (Phase Voltage) بينما يكتب الجهد بين أي طورين في حالة المحولات ثلاثية الطور ، ويسمى جهد الخط (V_L Line Voltage) . ويتم توضيح نوع توصيلة كل من الملفين الابتدائي والثانوي في حالة المحولات ثلاثية الطور مثل (Y-Y) (نجمة - نجمة) أو (Δ -Y) (نجمة - مثلث) وهكذا . ويمكن إيجاد التيار الكهربائي الذي يمر في دائرة الابتدائي أو الثانوي من المعادلة التالية : في حالة محولات الطور الواحد :

$$I = S / V_{ph} \quad \dots\dots\dots (٨-١)$$

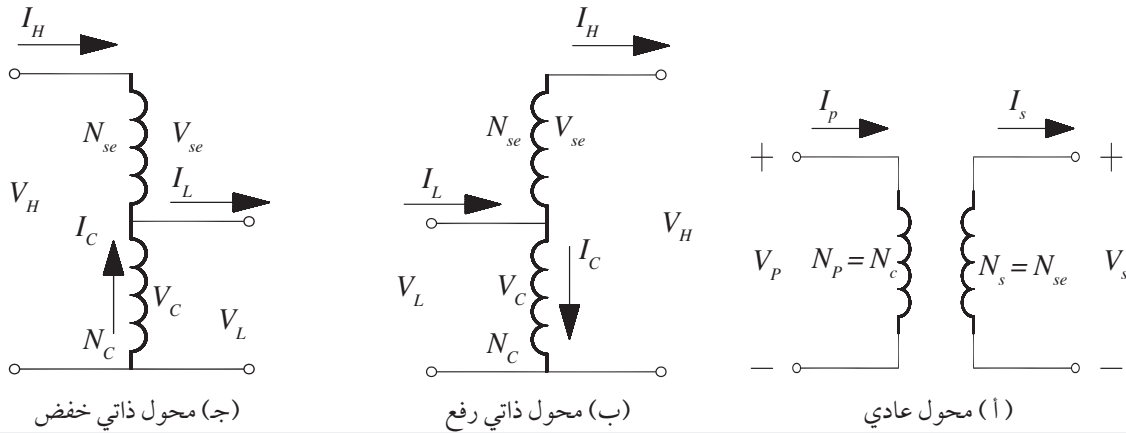
في حالة محولات ثلاثية الطور :

$$I_L = S / (\sqrt{3} V_L) \quad \dots\dots\dots (٩-١)$$

ان الملفات الابتدائية والثانوية في المحولات العادية منفصلة كهربائياً ومرتبطة مغناطيسياً فقط ، بينما ترتبط الملفات الابتدائية والثانوية في المحولات الذاتية مغناطيسياً وكهربائياً ، حيث يكون جزء من الملف مشتركاً للجهد . ويمكن استخدام المحول الذاتي كمحول لرفع أو خفض الجهد . ففي الشكل (١-٢ب) يستخدم كمحول رفع ، حيث تنتقل الطاقة من الجانب ذي الجهد المنخفض إلى الجانب ذي الجهد العالي ، بينما في الشكل (١-٢ج) يستخدم كمحول خفض ، حيث تنتقل الطاقة من جانب الجهد العالي إلى جانب الجهد المنخفض .

حيث إن :

N_{SE} : عدد لفات التوالي	N_C : عدد اللفات المشتركة
V_{SE} : جهد التوالي	V_C : الجهد المشترك
I_{SE} : تيار التوالي	I_C : التيار المشترك
I_{LO} : تيار الملف ذو الجهد المنخفض	V_{LO} : الجهد المنخفض
I_H : تيار الملف ذو الجهد العالي	V_H : الجهد العالي



الشكل (١-٢): المحول الذاتي

وبالنظر إلى الشكل (١-٢أ) يتضح أن العلاقات بين الجهود والتيارات للملفات المحول العادي هي كما يلي :

$$S = V_p I_p = V_s I_s ; V_p / V_s = N_p / N_s = N_c / N_{se}$$

حيث إن S هي سعة المحول العادي .

أما الشكل (١-٢ب) فإنه يبين محولاً ذاتياً لرفع الجهد ، حيث تعطى فيه الجهود والتيارات للملفات حسب العلاقات التالية :

$$V_c / V_{se} = N_c / N_{se} \quad (١٠-١)$$

$$N_c I_c = N_{se} I_{se} \quad (١١-١)$$

بينما تعطى العلاقات بين جهود الملفات وجهود الأطراف للمحول الذاتي بالمعادلات التالية :

$$V_{LO} = V_c \quad \dots\dots\dots (12-1)$$

$$V_H = V_c + V_{se} \quad \dots\dots\dots (13-1)$$

وكذلك الحال بالنسبة للتيارات :

$$I_{LO} = I_c + I_{se} \quad \dots\dots\dots (14-1)$$

$$I_H = I_{se} \quad \dots\dots\dots (15-1)$$

وعليه فإن نسبة التحويل للجهد والتيار للمحول الذاتي كما في الشكل (١-٢/ب) هي على التوالي :

$$V_L / V_H = N_c / (N_{se} + N_c) \quad \dots\dots\dots (16-1)$$

$$I_L / I_H = (N_{se} + N_c) / N_c \quad \dots\dots\dots (17-1)$$

أما بالنسبة لسعة المحول العادي (S) وسعة المحول الذاتي (S_{IO}) وحسب الشكل (١-٢-ب) فإن العلاقة بينهما يمكن الحصول عليها كما يلي :

$$S = V_c I_c = V_{se} I_{se} \quad \dots\dots\dots (18-1)$$

$$S_{IO} = V_L I_L = V_H I_H \quad \dots\dots\dots (19-1)$$

$$S_{IO} / S = (N_{se} + N_c) / N_{se} = 1 + V_p / V_s = 1 + N_c / N_{se} \quad \dots\dots\dots (20-1)$$

أي أن المحول الذاتي الرافع للفتولتية يمتاز عن المحول العادي الخافض للفتولتية بزيادة سعته بمقدار (N_c / N_{se}) عن سعته الأصلية .

مثال (١): محول أحادي الطور سعته $1kVA$ ونسبة التحويل له $160V/220V$ ، يراد تحويله إلى محول ذاتي لرفع الجهد . احسب السعة العظمى للمحول الذاتي .

الحل: 

للحصول على أعلى سعة للمحول الذاتي فإن جهود الأطراف للمحول

$$V_{LO} = 220 V, \quad V_H = 160 + 220 = 380 V$$

$$\text{وكذلك التيارات } I_p = I_c = 1000/220 = 4.54 A, \quad I_s = I_{se} = 1000/160 = 6.25 A$$

ويجدر الإشارة هنا ، إلى أن التيارات المارة في الملفات الأصلية للمحول العادي ينبغي ألا تتعدى القيم الاسمية المحسوبة أعلاه . وعليه فإن :

$$I_{LO} = I_c + I_{se} = 4.54 + 6.25 = 10.79 A, \quad I_H = I_{se} = 6.25 A$$

$$S_{IO} = I_H V_H = 6.25 \times 380 = 2375 VA \quad \text{إذن فإن سعة المحول الذاتي}$$

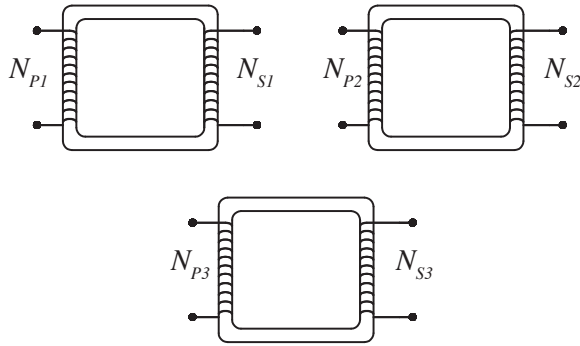
أي أن سعة المحول الذاتي تكبر عن سعة المحول العادي بمقدار 2.375 مرة .

واعتماداً على المعادلة (١-٢٠) يمكن حساب سعة المحول الذاتي مباشرة :

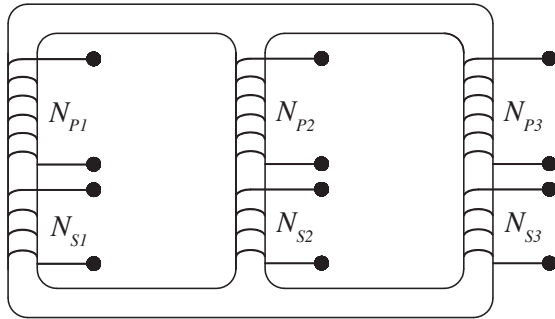
$$S_{IO} = (1 + 220 / 160) S = 2.375 \times 1000 = 2375 \text{ VA}$$

٤ - ١ المحولات ثلاثية الطور:

معظم أنظمة توليد الطاقة وتوزيعها في العالم هي أنظمة ثلاثية الطور . لذلك تلعب الأنظمة الكهربائية ثلاثية الطور دوراً مهماً في حياتنا المعاصرة ، وعليه لا بد من توفير المحولات المناسبة لها .
إن المحولات المستخدمة في الدوائر ثلاثية الطور يمكن تكوينها بإحدى طريقتين :



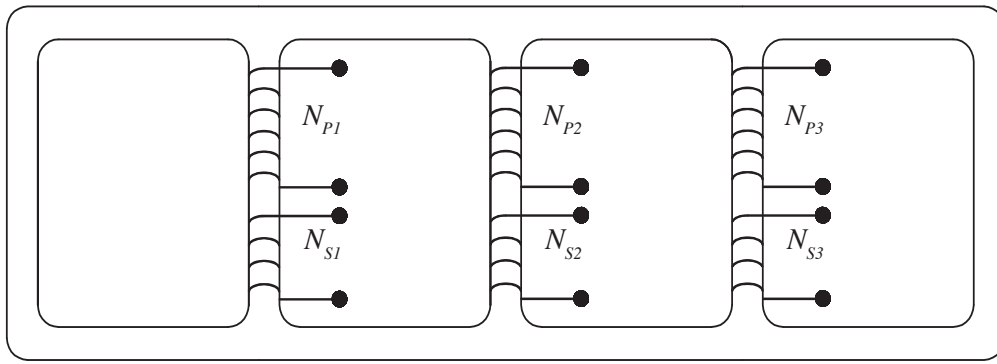
الشكل (٣-١): محول ثلاثي الطور مكون من ثلاثة محولات أحادية الطور مستقلة



الشكل (٤-١): محول ثلاثي الطور ذو قلب معدني واحد يتكون من ثلاثة أذرع

الأولى عن طريق توصيل ثلاث محولات أحادية الطور متماثلة كما هو موضح في الشكل (٣-١) حيث يمكن توصيل ملفات الابتدائي توصيلة مثلث ، والثانوي توصيلة نجمة أو العكس ، وتعتمد النسبة بين فروق الجهد للأطوار الثلاثة للابتدائي والثانوي على نسبة الملفات للمحول ، وكذلك طريقة توصيلها .
وينتج عن تركيب محول ثلاثي الطور من ثلاثة محولات أحادية الطور إزاحة في الطور بين الأطوار الثلاثة للابتدائي ، والثانوي وتعتمد قيمة هذه الإزاحة على نسبة التحويل وطريقة توصيل الابتدائي والثانوي .

أما الطريقة الثانية فهي استخدام محول واحد ثلاثي الطور ، وفيه يتكون القلب المعدني من ثلاثة أذرع كما في الشكل (٤-١) وفي الحالات الخاصة خمسة أذرع كما في الشكل (٥-١) تحمل ملفات الابتدائي والثانوي لكل طور ، حيث يتم توصيل هذه الملفات داخلياً توصيلة نجمة (Y) أو مثلث (Δ) أو متعرجة (Zig-Zag) .



الشكل (١-٥): محول ثلاثي الطور ذو قلب معدني واحد يتكون من خمسة اذرع

توصيلات المحولات ثلاثية الأطوار:

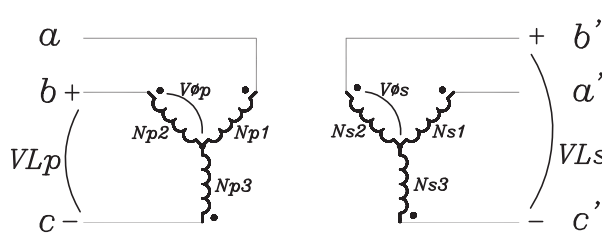
يعتمد اختيار طريقة توصيل أطراف المحولات على طبيعة الشبكة الكهربائية وخواصها التي سوف يوصل عليها المحول، كتأريض شبكة الجهد العالي والمنخفض، وعزل شبكة الجهد المتوسط عن الأرض... إلخ. كذلك يعتمد على موقعه في الشبكة، والجهود المقررة التي سيعمل عليها، وعدد ملفاته، والجهزة والمعدات المتصلة به، والغرض الذي من أجله وجد المحول.

تستخدم توصيلة النجمة وتوصيلة المثلث في الغالبية العظمى من محولات القدرة الكهربائية، سواء أكانت محولات النقل الكهربائي، أم محولات التوزيع.

وبما أن مجموع أطراف الملف الابتدائي ستة أطراف والثانوي ستة أطراف أيضاً، يمكن الحصول على توصيلات مختلفة على شكل نجمة، وعلى شكل مثلث للملف الابتدائي وللملف الثانوي، ويمكن تشكيل مجموعات كثيرة ومتنوعة من هذه التوصيلات لملفات المحول، بحيث يتم تشكيل المجموعة حسب ملاءمتها على الشبكة. ويطلب من الشركة الصانعة عمل هذه التوصيلة في المصنع قبل شحن المحول. وفيما يلي المجموعات الأكثر شيوعاً في العالم.

ملاحظة: في هذا الجزء من الوحدة سوف يتم اعتماد الرمز الاول ليدل على توصيلة الملف الابتدائي والرمز الثاني ليدل على توصيلة الملف الثاني.

١ توصيلة نجمة - نجمة (Y - Y):



الشكل (١-٦): محول ثلاثي الطور ذو توصيلة نجمة - نجمة

يوضح الشكل (١-٦) محولاً ثلاثي الطور ذا توصيلة نجمة - نجمة.

إن جهد الطور لكل من الملف الابتدائي والملف الثانوي يمكن حسابه مقارنة بجهد الخط كما يلي:

$$V_{\phi p} = \frac{V_{Lp}}{\sqrt{3}} ; \quad V_{\phi s} = \frac{V_{Ls}}{\sqrt{3}}$$

وبذلك فإن نسبة جهد الخط للابتدائي إلى جهد الخط للثانوي تحسب بدلالة نسبة التحويل لهذا المحول حسب العلاقة التالية :

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3} V_{\phi p}}{\sqrt{3} V_{\phi s}} = a \quad (٢١-١)$$

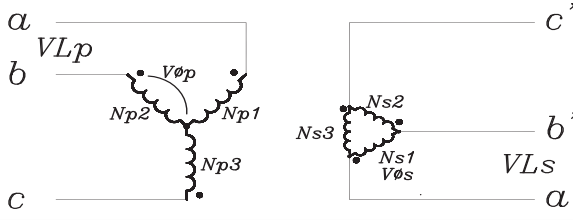
تعدّ هذه المجموعة أقل استخداماً من باقي المجموعات بسبب عدم استقرار الجهود في حالة الأحمال غير المتزنة .

٢ توصيلة نجمة - مثلث (Δ - Y):

يوضح الشكل (٧-١) محولاً ثلاثي الطور ذات توصيلة نجمة - مثلث .

إن جهد الطور لكل من الملف الابتدائي والملف الثانوي يمكن حسابه مقارنة بجهد الخط كما يلي :

$$V_{\phi p} = \frac{V_{LP}}{\sqrt{3}} ; V_{\phi s} = V_{LS}$$



الشكل (٧-١): محول ثلاثي الطور ذو توصيلة نجمة - مثلث

وبذلك فإن نسبة جهد الخط للابتدائي إلى جهد الخط للثانوي تحسب بدلالة نسبة التحويل لهذا المحول حسب العلاقة التالية :

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3} V_{\phi p}}{V_{\phi s}} = a \sqrt{3} \quad (٢٢-١)$$

تعدّ هذه التوصيلة أكثر استقراراً في حالة الأحمال الغير متزنة .

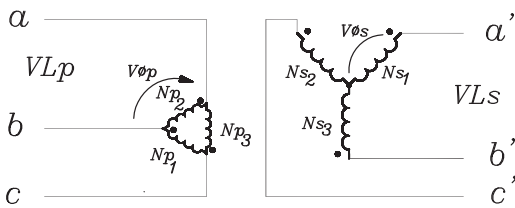
٣ توصيلة مثلث - نجمة (Y- Δ)

يوضح الشكل (٨-١) محولاً ثلاثي الطور ذات توصيلة مثلث - نجمة .

إن جهد الطور لكل من الملف الابتدائي والملف الثانوي يمكن حسابه مقارنة بجهد الخط كما يلي :

$$V_{\phi p} = V_{LP} ; V_{\phi s} = V_{LS} \sqrt{3}$$

وبذلك فإن نسبة جهد الخط للابتدائي إلى جهد الخط للثانوي تحسب بدلالة نسبة التحويل لهذا المحول



الشكل (٨-١): محول ثلاثي الطور ذو توصيلة مثلث - نجمة

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{\phi p}}{\sqrt{3} V_{\phi s}} = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (٢٣-١)$$

هذه التوصيلة لها نفس ميزة التوصيلة نجمة - مثلث .

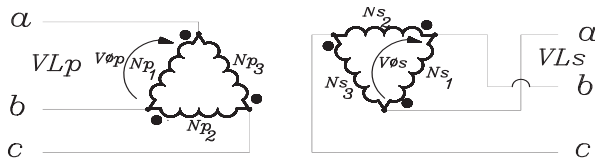
٤ توصيلة مثلث - مثلث ($\Delta - \Delta$):

يوضح الشكل (١-٩) محولاً ثلاثي الطور ذا توصيلة مثلث - مثلث .

إن جهد الطور لكل من الملف الابتدائي والملف الثانوي يمكن حسابه مقارنة بجهد الخط كما يلي :

$$V_{\phi p} = V_{LP} ; \quad V_{\phi s} = V_{LS}$$

وبذلك فإن نسبة جهد الخط للابتدائي إلى جهد الخط للثانوي تحسب بدلالة نسبة التحويل لهذا المحول حسب العلاقة التالية :

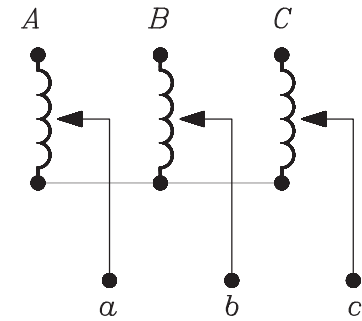


الشكل (١-٩): محول ثلاثي الطور ذو توصيلة مثلث - مثلث

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{\phi p}}{V_{\phi s}} = a \quad (٢٤-١)$$

٥-١ المحولات الذاتية ثلاثية الطور:

يبين الشكل (١-١٠) محولاً ذاتياً ثلاثي الطور .



الشكل (١-١٠): محول ذاتي ثلاثي الطور

تستخدم المحولات الذاتية ثلاثية الطور في الشبكات الكهربائية، وذلك لخفض جهد الشبكة في أثناء بدء تشغيل المحركات الحثية والتزامنية ذات القدرات الكبيرة، كما سيمر معك لاحقاً، للحد من تيارات البدء العالية. أما المحولات الذاتية ذات القدرات الصغيرة، فيشيع استخدامها في دارات التحكم والاتصال وفي المختبرات. وتصمم المحولات الذاتية عادة بمعامل تحويل لا يزيد على (٣)، ويجب عزل الملفات لتحمل الجهد العالي المقرر، مما يزيد من تكلفة هذه المحولات .

٦-١ المفايد في المحولات ($Losses$):

نظراً لأن المحول الكهربائي يتكون من قلب معدني مكون من صفائح معدنية لإكمال الدارة المغناطيسية، حيث يمر عبرها التدفق المغناطيسي الناشئ عن مرور التيار الكهربائي في الملفين الابتدائي والثانوي المصنوعين من أسلاك النحاس، مما يحدث الفقد الكهربائي في هذه الدارات المغناطيسية والكهربائية، ويصنف الفقد الكهربائي في المحولات إلى صنفين :

١ المفاقد الثابتة (Constant losses) أو المفاقد الحديدية (Iron losses) وقد سميت بالمفاقد الثابتة لأن قيمتها ثابتة ولا تعتمد على تيار الحمل ، وسميت بالمفاقد الحديدية لأنها تنشأ عن الفقد الناتج من تأثيرات المغنطة (Magnetizing Effect) والتيارات الدوامية (Eddy Currents) في القلب الحديدي .
يمكن حساب المفاقد الحديدية بواسطة اختبار قياسي يعرف باختبار الدارة المفتوحة (Open circuit test) أو اختبار اللاحمل (No-Load Test) ، لذلك يرمز لها (P_{oc}) حيث يمكن إجراء هذا الاختبار للمحولات الصغيرة في المختبر ، أما بالنسبة للمحولات الكبيرة ، فيجري هذا الاختبار في المصنع .

٢ المفاقد المتغيرة (Variable Losses) أو المفاقد النحاسية (Copper Losses) وقد سميت بالمفاقد المتغيرة ، لأن قيمتها تتغير مع مربع قيمة تيار الحمل ، وكذلك سميت بالمفاقد النحاسية لأنها ناتجة عن الفقد في مقاومة الملفين الابتدائي والثانوي والمكونة من أسلاك النحاس . يتم إيجاد قيمة المفاقد المتغيرة أو المفاقد النحاسية بواسطة اختبار قياسي يعرف باختبار قصر الدارة (Short Circuit Test) ويرمز لها (P_{sc}) .

وبما أن المفاقد النحاسية تتناسب مع مربع تيار الحمل ، لذلك يمكن حساب المفاقد الكلية للمحول حسب المعادلة التالية :

$$P_{loss} = P_{oc} + n^2 P_{sc} \quad \dots\dots\dots (٢٥-١)$$

حيث إن n هي نسبة الحمل على الملف الثانوي إلى القدرة الاسمية للمحول .

كفاءة المحول Transformer Efficiency

تعرف كفاءة المحول بأنها النسبة بين القدرة الخارجة والقدرة الداخلة إلى المحول .

$$\eta = P_{out} / P_{in} = P_{out} / (P_{out} + P_{loss}) \quad \dots\dots\dots (٢٦-١)$$

حيث إن ($P_{out} = S \cos \theta$) ، حيث إن $\cos \theta$ هي معامل القدرة للحمل . وتكون كفاءة المحول عالية جدا ، وخاصة في محولات القدرة الكبيرة إذ تصل إلى أكثر من 99% . والجدير بالذكر أنه يجب أن يراعى عند تصميم المحول أن تتساوى مفاقد الحديد مع مفاقد النحاس عند تيار الحمل ، الذي يعمل عليه المحول معظم الوقت ، حتى نحصل على أعلى قيمة للكفاءة طوال وقت التشغيل تقريبا ، مما يؤدي إلى خفض قيمة الطاقة المستهلكة في المفاقد (بالكيلوواط . ساعة) ، وبالتالي خفض تكاليف التشغيل إلى أقصى حد ممكن .

مثال (٢) : محول أحادي الطور سعته 100kVA ، أجريَتْ له تجربتا اللاحمل وقصر الدارة فكانت

المفاقد كما يلي : $P_{oc} = 570 \text{ W}$, $P_{sc} = 2100 \text{ W}$.

أ احسب كفاءة المحول عند معامل قدرة 0.85 والحمل الاسمي .

ب احسب كفاءة المحول عند معامل قدرة 0.85 و 80% من الحمل الاسمي .

القدرة الاسمية عند معامل القدرة 0.85 تساوي

أ

$$P_{out} = S \cos \theta = 100 \times 0.85 = 0.85 \text{ kW}$$

$$\eta = 85 / (85 + 0.570 + 2.100) = 96.95\%$$

القدرة عند معامل القدرة 0.85 و 80% من الحمل الاسمي تساوي

ب

$$P_{out} = 0.8 \times S \times \cos \theta = 0.8 \times 100 \times 0.85 = 68 \text{ kW}$$

$$P_{loss} = P_{oc} + n^2 P_{sc} = 0.57 + (0.8)^2 \times 2.100 = 1.914 \text{ kW}$$

$$\eta = 68 / (68 + 1.914) = 97.26\%$$

مثال (٣): محول ثلاثي الطور سعته 15kVA، أجريَتْ له تجربتا اللاحمل وقصر الدارة فكانت المفايد

للطور الواحد كما يلي: $P_{oc} = 17.5 \text{ W}$, $P_{sc} = 63 \text{ W}$.

احسب كفاءة المحول عند معامل قدرة 0.8 والحمل الاسمي.

أ

احسب كفاءة المحول عند معامل قدرة 0.8 و 80% من الحمل الاسمي.

ب

احسب كفاءة المحول العظمى عند معامل قدرة 0.8.

ج

القدرة الاسمية عند معامل القدرة 0.80 تساوي

أ

$$P_{out} = S \cos \theta = 15 \times 0.8 = 12 \text{ kW}$$

$$\eta = 12 / (12 + 3 \times 0.0175 + 3 \times 0.063) = 98.03\%$$

القدرة عند معامل القدرة 0.8 و 80% من الحمل الاسمي تساوي

ب

$$P_{out} = 0.8 \times S \times \cos \theta = 0.8 \times 15 \times 0.8 = 9.6 \text{ kW}$$

$$P_{loss} = P_{oc} + n^2 P_{sc} = 3 \times 0.0175 + 3 \times (0.8)^2 \times 0.063 = 0.1735 \text{ kW}$$

$$\eta = 9.6 / (9.6 + 0.1735) = 98.22\%$$

تكون كفاءة المحول أعلى ما يمكن عندما تكون

ج

$$P'_{sc} = P_{oc} = 3 \times 0.0175 = 0.0525 \text{ kW}$$

وعليه فإن نسبة التحميل في هذه الحالة تصبح

$$n^2 P_{sc} = P'_{sc}$$

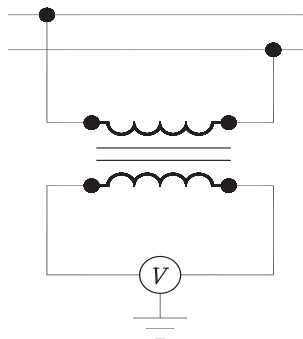
$$n = \sqrt{(P'_{sc} / P_{sc})} = \sqrt{(0.0525 / 0.189)} = 0.527$$

$$\eta = (0.527 \times 15) / (0.527 \times 15 + 2 \times 0.0525) = 98.69\%$$

تستخدم محولات القياس بشكل رئيس لوصل أجهزة القياس الكهربائية في دارات التيار المتردد ذات الجهد العالي، وت عزل دائرة الجهد العالي عن دائرة الجهد المنخفض التي توصل فيها الأجهزة، مما يوفر السلامة والأمان للأشخاص العاملين. كذلك يمكننا بوساطتها قياس تيارات وجهود ذات قيم كبيرة بأجهزة قياس مصممة لقياس تيارات وجهود ذات قيم صغيرة. كما تستخدم محولات القياس في تغذية ملفات مرحلات الحماية التي تعمل على وقاية الشبكة من الأعطال المختلفة. يراعى عند تصميم محولات القياس أن تكون دقتها عالية في العمل، إذ إنها تكون جزءاً من دارات أجهزة القياس والحماية الكهربائية، وأي خطأ سيؤثر سلباً في عمل هذه الأجهزة. تقسم محولات القياس إلى محولات جهد (VT) ومحولات تيار (CT):

١ محولات الجهد Voltage Transformers

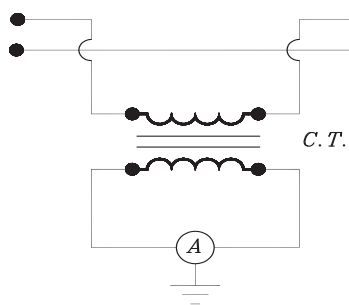
تستعمل محولات الجهد لتغذية أجهزة قياس الجهد وكذلك ملفات الجهد في أجهزة القياس الأخرى، مثل: جهاز الواطميتر وجهاز قياس الطاقة وجهاز قياس عامل القدرة، وكذلك ملفات الجهد في المرحلات (Relays) المختلفة.



الشكل (١١-١): محول جهد أحادي الطور

يصمم محول الجهد على شكل محول ثنائي الملفات خافض للجهد كما هو مبين في الشكل (١١-١). ولتأمين السلامة للأشخاص العاملين يؤرض الملف الثانوي، ويعزل بشكل جيد عن الملف الابتدائي. تنتج الشركات الصانعة محولات جهد بقدرات مختلفة، وتقاس قدرتها (VA)، وتصل إلى مئات عدة من (VA). وبجهد اسمي (100V) أو $100/\sqrt{3}$ فولت.

٢ محولات التيار Current Transformers



الشكل (١٢-١): محول جهد أحادي الطور

تغذي محولات التيار أجهزة قياس التيار وملفات التيار في كل من أجهزة قياس القدرة والطاقة وعامل القدرة، وكذلك ملفات التيار في المرحلات المختلفة.

يصمم محول التيار على شكل محول رفع، يكون في الملف الابتدائي موصولاً على التوالي مع الخط، بينما يوصل الملف الثانوي مع الحمل كما هو مبين في الشكل (١٢-١). وقد يتكون الملف الابتدائي من قضيب معدني عبر القلب الحديدي، ويكون جزءاً من الدارة الرئيسة.

يراعى عدم فتح دائرة الملف الثانوي لمحول التيار أثناء التشغيل، ويجب قصر الدارة للملفات الثانوية عند فصل أي من أجهزة القياس، إذ إنه عند فتح دائرة الملف الثانوي يكون التيار الثانوي صفراً، مما يسبب زيادة كبيرة في التدفق المغناطيسي في القلب، وذلك بسبب عدم التوازن مع الأمبير لفه للابتدائي. ويولد هذا التدفق قوة دافعة كهربائية ذات قيمة كبيرة وخطرة على الأشخاص والأجهزة المرتبطة بالملف الثانوي.

قد يتغير جهد الملفات الثانوية بالارتفاع أو الانخفاض عن القيمة المقررة لها نتيجة ظروف التحميل (Load Conditions) المختلفة، مما ينتج منه تأثير الأحمال بسبب عملها على جهد أعلى أو أدنى من الجهد المقرر. وكمثال على ذلك، ينخفض جهد الملف الثانوي بزيادة الحمل، بينما ترتفع بنقصان الحمل أو بحالة اللاحمل. إن معالجة التغير في جهود الملف الثانوي يكون بإحدى طريقتين:

- ١ رفع جهد الملف الابتدائي، ويتحقق هذا في حالة وصل الملف الابتدائي بوحدة التوليد، ورفع الجهد الخارج منها الذي يغذي المحول، أو رفع جهد الشبكة الكهربائية بكاملها والموصول بها الملف الابتدائي للمحول.
- ٢ تغيير عدد لفات الملف الابتدائي أو الملف الثانوي حسب العلاقة التي تربط بين جهد طرفي المحول، وعدد اللفات الابتدائية (N_p) والثانوية (N_s) للمحول والموضحة في المعادلة التي يمكن كتابتهما على النحو التالي:

$$V_s = (N_s / N_p) V_p$$

ولزيادة جهد الملف الثانوي مع ثبات جهد الملف الابتدائي، يجب زيادة عدد اللفات (N_s) أو تقليل عدد اللفات (N_p). ولتخفيض جهد الملف الثانوي يجب تقليل عدد اللفات (N_s) أو زيادة عدد اللفات (N_p).

إن تغيير عدد اللفات يتم بتغيير نقط النهايات لهذه الملفات، وعادة يكون التغيير على نهايات ملفات الجهد العالي وليس على ملفات الجهد المنخفض، وذلك للأسباب التالية:

- ١ قيمة التيار في جهة ملف الجهد العالي أقل منها في جهة الجهد المنخفض، ويفضل عند قطع الدارة الكهربائية من أحد أطراف الملف ونقلها إلى طرف آخر أن يكون التيار المار في الملف قليلاً، وبالتالي تكون الشرارة الناتجة عن النقل من طرف إلى آخر أقل حدة.
- ٢ عدد لفات ملف الجهد العالي أكبر من عدد لفات الجهد المنخفض، وبالتالي يمكن اختيار نسبة رفع الجهد أو خفضه بشكل أدق نتيجة كثرة عدد اللفات، إذ إن أي إهمال أو خطأ في حساب لفة واحدة أو لفات عدة على جهة الجهد العالي تعطي نسبة خطأ أقل عند إهمال أو خطأ في حساب لفة واحدة أو لفات عدة على جهة الجهد المنخفض.

إن الأجهزة المضافة على المحولات التي تغير عدد اللفات أو نهايات الملفات تسمى بمبدلات الجهد حيث يمكن تصنيفها إلى مجموعتين:

- ١ مبدلات الجهد التي يتم التغيير بواسطتها عندما يكون المحول معزولاً عن المصدر من كلتا جهتيه، وتسمى بمبدلات اللاحمل (No Load Tap Changer).
- ٢ مبدلات الجهد التي يتم التغيير بواسطتها دون قطع تيار الحمل (On Load Tap Changer).

ومن أجل التحكم بالشبكات الكهربائية ذات الجهد العالي، وللحفاظ على جهودات النظام الصحيحة في الصناعة وفي أماكن الاستهلاك الأخرى فقد أصبح شائعاً استخدام مبدلات الجهد في أثناء وجود الحمل على أغلب محولات النقل الرئيسة ومحولات التوزيع.

يمكن تصنيف المحولات حسب طبيعة الوسط العازل المحيط بالملفات كما يلائي :

- ١ محول ملفاته مغمورة بالزيت (*Oil Immersed*).
- ٢ محول ملفاته مغمورة بسائل الأسكارل (*Askarel Immersed*).
- ٣ محول ملفاته معزولة بالسيليكون المائع (*Silicon Fluid*).
- ٤ المحول الجاف (*Dry Type*).
- ٥ لمحول الجاف الذي يملأ خزانه بمادة الراتنج (*Cast Resin*) .

١ محول ملفاته مغمورة بالزيت (*Oil Immersed*): أكثر الأنواع انتشاراً هو المحول الذي تكون ملفاته وقلبه الحديدي مغمورين في زيت معدني (*Mineral Oil*)، ووعاء (حوض) المحول يشكل خزاناً رئيساً للزيت، إذ يعزل الزيت ويبرد الأجزاء الرئيسة للمحول، وخاصة الملفات التي تكون عادة مغطاة بعازل من صنف (أ) (*class A*) الذي يعيش طويلاً إذا لم تتجاوز درجة حرارته حدها المقرر. يثبت في جميع محولات الجهد العالي وعاء زيت (خزان تمدد) يتكون من إناء مربوط بالخزان الرئيس لينظم ويحافظ على مستوى الزيت فيه تحت ظروف درجة الحرارة المحيطة وفي أثناء تحميل المحول، وقد دلت التجارب العملية أن هذا النوع من المحولات جيدة وموثوقة في الخدمة. المشكلة الرئيسة لهذه المحولات هو تسرب الزيت خارج المحول في بعض الأحيان، إذ يكون قابلاً للاشتعال، لذلك يجب أخذ الاحتياطات اللازمة لمجابهة نزع الزيت إلى داخل المباني وعمل مجار خاصة للزيوت الخارجة من المحول وتوجيهها إلى مكان آمن. ويكون هذا النوع من المحولات ملائماً بإنشائه خارج المباني (*Out Door*).

٢ محول ملفاته مغمورة بسائل الأسكارل (*Askarel Immersed*): لقد استعمل للتغلب على أخطار الحريق إذ إن الأسكارل سائل اصطناعي مقاوم للحريق، غير أن تسرب هذا السائل داخل المباني يسبب التلوث، وهو خطير على حياة الإنسان.

٣ محول ملفاته معزولة بالسيليكون المائع (*Silicon Fluid*): من ميزات السيليكون أنه مائع متعادل، لا يسبب أي تلوث، وغير مؤذ للإنسان، كما يمتاز بقابلية ضعيفة للاشتعال، ويتبع من احتراقه بلورات من السيليكا ذات قدرة على الإطفاء الذاتي، بالإضافة إلى استعماله كمبرد في المحولات. لقد أصبح مائع السيليكون يستخدم لإعادة تعبئة محولات الأسكارل، كذلك يمكن استعماله داخل المباني دون إحداث أي تلوث، أو الحاجة إلى استعمال معدات وقاية من الحريق.

٤ المحول الجاف (Dry Type): يكون قلب هذا المحول وملفاته مكشوفة داخل وعاء، إذ تصنف عازليته من فئة (ج) (Class C)، الذي يسمح بارتفاع درجة الحرارة أعلى من الحد المسموح به في حالة العازل من فئة (أ) المستعمل في عزل المحولات المغمورة بالزيت، كما هو واضح في الجدول.

تستعمل المحولات الجافة داخل المباني (In Door) بعيدة عن تأثير الرطوبة وتراكم الغبار، حيث يكثر استعمالها في مباني محطات التحويل والتوليد المجمع. كذلك تصدر هذه المحولات أصواتاً عالية نتيجة اهتزازات أجزائها، وخاصة الشرائح المعدنية التي تكون القلب الحديدي، لذلك لا ينصح باستعمالها في الأماكن التي تتطلب طبيعة أعمالها الهدوء.

٥ المحول الجاف الذي يملأ خزانه بمادة الراتنج (Cast Resin): تكون ملفات المحول محاطة بهذه المادة، ولا تتأثر بالرطوبة وغير قابلة للاشتعال، لذلك تختار هذه المحولات في المواقع التي لا يسمح فيها بأخطار الحريق أو الرطوبة أو البلل.

تبرد هذه المحولات بطريقة قسرية (Forced Cooling) باستعمال مروحة، مما يساعد على زيادة سعتها وتقليل حجمها.

١٠ - ١ وسائل التبريد في المحولات:

- هناك وسائل متعددة لتبريد المحولات الكهربائية من أهمها:
- ١ التبريد الطبيعي بالهواء: وتستعمل للمحولات الصغيرة، بحيث يتم الاعتماد بشكل تام على الهواء الجوي في تبريد المحول.
 - ٢ التبريد الطبيعي بالزيت: وتعتمد على مرور الزيت الساخن عبر أنابيب تمتد خارج جسم المحول، وحين تتعرض تلك الأنابيب للهواء الجوي، فإن درجة حرارتها سوف تقل.
 - ٣ التبريد القسري بالهواء: ويتم ذلك عن طريق مرور هواء مضغوط في أنابيب مغمورة بالزيت لتبريده.
 - ٤ التبريد بالماء: وهذه الوسيلة تعتمد على مرور ماء بارد في أنابيب مغمورة بالزيت لتبريده.
 - ٥ التبريد القسري بالزيت: وهذا يتم عن طريق حركة الزيت بوساطة مضخات، مما يساعد على سرعة التخلص من الحرارة، وبالتالي يزيد من جودة التبريد.

تبنى المحولات المغمورة بالزيت على أساس التبريد الطبيعي والتبريد القسري معاً. ويرمز لمثل هذه التنظيمات (ONAN / OFWF، ONAN / OFAN، ONAN / ONAF، ONAN / ONAN) إذ إن (O) تستعمل للإشارة على أن سائل العزل المستخدم هو الزيت المعدني، أما إذا استخدم عازل صناعي يرمز له بالرمز (LI) وكمثال على ذلك، عند استخدام مادة الأسكارل يكتب (LN) بدلا من (ON).

ويبين الجدول التالي مختلف طرق التبريد للمحولات الجافة والمغمورة بالزيت :

المحولات الجافة		
تبريد طبيعي	نوع <i>AN</i>	
تبريد قسري	نوع <i>AF</i>	
المحولات المغمورة بالزيت		
دوران الزيت	طريقة التبريد	رمزها بالحروف
الارتفاع الطبيعي في الحرارة فقط	الهواء الطبيعي	<i>ONAN</i>
	الهواء القسري	<i>ONAF</i>
دوران الزيت قسرياً بواسطة مضخات	الهواء الطبيعي	<i>OFAN</i>
	الهواء القسري	<i>OFAF</i>
	الماء القسري	<i>OFWF</i>

يعتمد عمر (مدة خدمة) المحول على عمر العزل المستخدم فيها، والذي يقصر بسرعة عند درجات حرارة مرتفعة. وقد وجد أن زيادة مقدارها (8°) س في درجة حرارة مسموح بها لعازل اعتيادي من الصنف (أ) تضاعف من معدل تأكله. وللتأكد من الحصول على عمر ملائم ومتوقع، يجب تحميل المحول وفقاً لدرجة حرارة الجو ولدرجة حرارة الملفات قبل التحميل.

وفي الحالات التي تصل فيها درجة الحرارة الكلية للمحولات إلى قيمتها القصوى وهي تعمل بصورة مستمرة، فليس من المسموح به تحميلها أكثر من طاقتها. أما إذا لم تصل إلى القيم العليا بصورة مستمرة، فمن الممكن تحميل المحول بأمان بعض الحمل الزائد.

١ محول أحادي الطور قدرته $100VA$ ، جهد الملف الابتدائي $220V$ وعدد لفاته 500 لفه. احسب ما يأتي:

① عدد لفات الثانوي للحصول على جهد مقداره $110V$.

② التيار في كل من الملف الابتدائي والثانوي.

③ القدرة الفعالة وغير الفعالة عند تزويد حمل بمعامل قدرته 0.8 متأخر في حالة الحمل الكامل.

٢ محول أحادي الطور سعته $10kVA$ ، (ثانوي) $500V/200V$ (ابتدائي) إذا كانت أقصى كفاءة للمحول 94% وتتحقق عند 90% من الحمل الكامل بمعامل قدرة أحادي وكانت المفايد الحديدية للمحول $287W$. احسب:

① المفايد النحاسية عند الحمل الكامل وعند أقصى كفاءة.

② كفاءة المحول عند الحمل الكامل بمعامل قدرة 0.8 متأخر.

٣ محول أحادي الطور (ثانوي) $200V/100V$ (ابتدائي) سعته $400VA$ ، مقاومة الملف الابتدائي 3Ω ، مقاومة الملف الثانوي 1Ω والخسائر الحديدية له $20W$. احسب كفاءة المحول عند الحمل الكامل ونصف الحمل الكامل بمعامل قدرة 0.9 متأخر.

٤ محول توزيع ثلاثي الطور، موصل مثلث/ نجمة، $11000V/400V(Y)$ (Δ)، سعته $600kVA$ وكفاءته 96% . احسب تيار الخط والطور لكل من الملف الابتدائي والثانوي في حالة الحمل الكامل.

٥ محول توزيع ثلاثي الطور، $34.5/13.8kV$ ، سعته $400kVA$. احسب جهد الطور للملفات الابتدائية والثانوية، تيارات الطور والخط للملفات الابتدائية والثانوية ونسبة التحويل للمحول عند الكفاءة 95% في حالة التوصيلات التالية:

② $Y - \Delta$

① $Y - Y$

③ $\Delta - \Delta$

④ $\Delta - Y$

٦ ما هو المقصود بالمفايد في المحولات؟ كيف تؤثر على كفاءة المحول؟

٧ ما المقصود بمبدلات الجهد؟ لماذا تستخدم؟

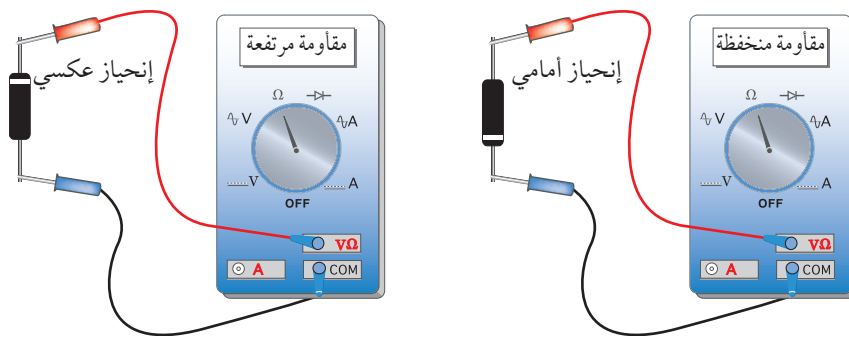
٨ أذكر وسائل التبريد في المحولات، ما أهميتها؟

٩ ما المقصود بمحول الجهد، كيف يتم استخدامه؟

١٠ ما المقصود بمحول التيار؟ وكيف يتم استخدامه؟

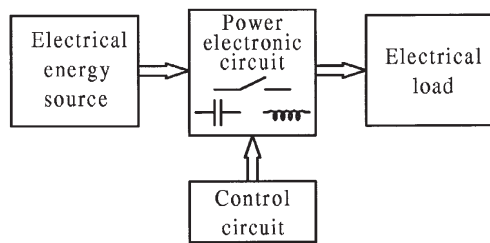
إلكترونيات القدرة

Power Electronics



مثَّلَ اختراع الترانزستور في العام ١٩٤٨ ، الثورة الأولى في عالم الإلكترونيات ، حيث تعدّ اللبنة الأساسية في بناء معظم الأجهزة الإلكترونية المتطورة والدقيقة . أما الثورة الثانية في عالم الإلكترونيات فحصلت في العام ١٩٥٨ ، عندما تم اختراع أول ثايرستور تجاري ، والذي مثل بداية لحقبة جديدة في مجال إلكترونيات القدرة ، ومنذ ذلك الحين تم اختراع وتطوير العديد من عناصر أشباه الموصلات عالية القدرة ، وبالتالي تقديم أساليب وتصاميم جديدة في مجال تقنيات التحويل والتحكم في القدرة الكهربائية .

المقصود بالإلكترونيات القدرة هي تلك التطبيقات أو الدارات الإلكترونية التي تحتوي في تركيبها على عنصر أو أكثر من عناصر أشباه الموصلات ذات القدرة العالية ،



الشكل (١-٢)

وتعمل هذه العناصر كمفاتيح إلكترونية تقوم بعملية فصل الدارة الكهربائية ووصلها ، وبالتالي التحكم في عملية نقل الطاقة الكهربائية وتحويلها من شكل إلى آخر . الشكل (١-٢) يبين مخططاً أساسياً لنظام إلكترونيات قدرة ، ويتكون من مصدر طاقة ، وحمل كهربائي ، ودارة إلكترونيات عالية القدرة ، ودارة تحكم .

وبتطور عناصر القدرة وزيادة مقررات الجهد والتيار لها أصبحت تستخدم وبشكل متنام في كثير من التطبيقات مثل التحكم بالمحركات الكهربائية على مختلف أنواعها ، والتحكم بشدة الإضاءة ، والقطارات الكهربائية ، وتخزين الطاقة ، ومصادر التغذية الكهربائية ، والتحكم الصناعي ، وتوزيع الطاقة الكهربائية ، وغيرها من التطبيقات الهامة . سنتعرف في هذه الوحدة على عناصر أشباه الموصلات عالية القدرة ، مثل ديود القدرة ، وترانزستور القدرة ، والثايرستور بأنواعه . ومن ثم سنتعرض لبعض تطبيقات إلكترونيات القدرة مثل حاكمت الجهد المتناوب ، ومقومات الجهد المحكومة وغير المحكومة في الأنظمة أحادية الطور وثلاثية الطور بالإضافة إلى ديود الزينر ومنظمات الجهد الإلكترونية .

١ - ٢ المواد شبه الموصلة Semiconductor materials

تقسم المواد من حيث موصليتها للتيار الكهربائي إلى ثلاثة أنواع وهي :

١ المواد الموصلة وهي المواد التي تحتوي على إلكترونات أو إلكترونين أو ثلاثة إلكترونات في مدارها الأخير (إلكترونات التكافؤ) وتمتاز بموصليتها العالية للتيار الكهربائي وأهم هذه العناصر المعادن مثل الحديد ، والنحاس ، والذهب ، والالمنيوم .

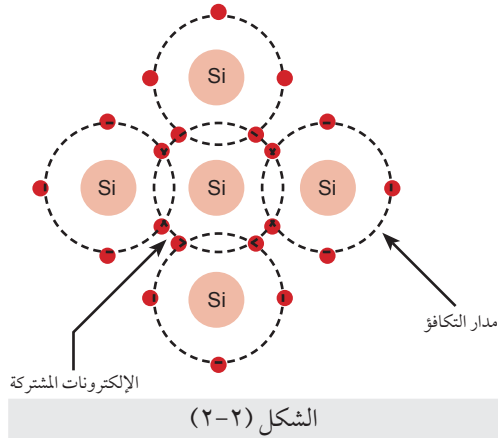
٢ المواد العازلة وهي المواد التي تحتوي على ثمانية إلكترونات تكافؤ مثل الخشب والبلاستيك والمطاط وهذه المواد لا تسمح بمرور التيار الكهربائي من خلالها لأنها لا تحتوي على إلكترونات حرة .

٣ المواد شبه الموصلة وهي المواد التي تحتوي على أربعة إلكترونات تكافؤ ، وتتميز بموصلية ضعيفة للتيار الكهربائي ، وهي العناصر التي تقع في المجموعة الرابعة من الجدول الدوري ، وأشهر هذه العناصر

هي السيليكون Si والجرمانيوم Ge والكربون C .

ويعدّ السيليكون من أشهر العناصر المستخدمة بشكل واسع في صناعة الإلكترونيات حيث إن معظم الديوذات والترانزستورات والدوائر المتكاملة وغيرها من العناصر الإلكترونية تصنع من السيليكون.

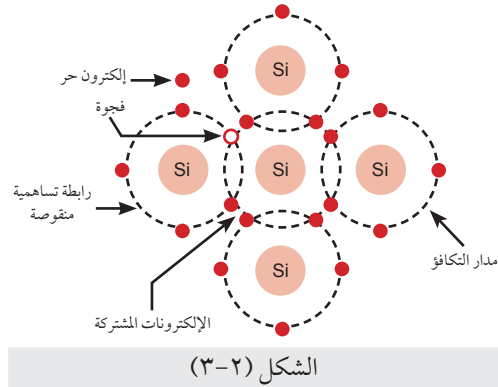
التركيب البلوري للسيليكون



يتواجد السيليكون في الطبيعة على شكل بلوري حيث تتجمع ذرات السيليكون مشكلة بلورة $Crystal$ ثلاثية الأبعاد رباعية الأوجه، حيث تشارك كل ذرة سيليكون بالإلكترونات التكافؤ الخاصة بها لتكوين أربع روابط تساهمية مع الذرات المجاورة كما هو موضح في الشكل (٢-٢) والذي يعطي صورة ثنائية الأبعاد للبلورة، وذلك من أجل التبسيط والوضوح.

أزواج إلكترون- فجوة المتولدة بفعل الحرارة

عند درجة حرارة الصفر المطلق ($-273^{\circ}C$) تتصرف بلورة السيليكون كمادة عازلة، وذلك بسبب عدم وجود إلكترونات حرة (غير مشاركة في روابط تساهمية)، وعند ارتفاع درجة الحرارة إلى حرارة الغرفة ($25^{\circ}C$) فإن بعض الإلكترونات يكتسب طاقة كافية تمكنه من الإفلات من المدار الأخير وكسر الرابطة التساهمية مخلفاً وراءه ما يسمى بالفجوة $Hole$ بحيث يصبح إلكترون حراً يتحرك داخل البلورة، وبالتالي تصبح البلورة موصلة للتيار الكهربائي ولكن بشكل ضعيف جداً لقلّة عدد أزواج الإلكترون-فجوة المتولدة. والفجوة عبارة عن الفراغ الذي يحدثه الإلكترون عند مغادرته للرابطة التساهمية وتعدّ الفجوة ذات شحنة موجبة؛ لأنها تقوم بجذب الإلكترونات

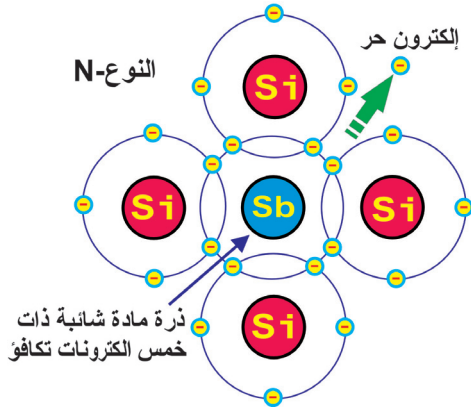


الحرّة التي تتحرك خلال البلورة، وتعدّ أيضاً إحدى حاملات الشحنة مثلها مثل الإلكترون الحر، وتتحرك الفجوات بعكس اتجاه حركة الإلكترونات. والشكل (٣-٢) يبين بلورة سيليكون عند درجة حرارة الغرفة. لاحظ أنه في المادة شبه الموصلة النقية (التي لا تحتوي على ذرات عناصر أخرى) فإن عدد الإلكترونات الحرّة المتولّد بسبب الحرارة يساوي عدد الفجوات.

تطعيم المواد شبه الموصلة $Dooping$

التطعيم هو إضافة ذرات خماسية التكافؤ أو ثلاثية التكافؤ إلى مادة شبه الموصل النقية، وذلك من أجل زيادة موصليتها للتيار الكهربائي، وتسمى الذرات المضافة بالشوائب، ويطلق على مادة شبه الموصل المطعمة مادة شبه موصل غير النقية.

العناصر خماسية التكافؤ هي العناصر التي تحتوي ذراتها على خمس إلكترونات في مدارها الأخير، وهي العناصر التي تقع في المجموعة الخامسة من الجدول الدوري مثل الفسفور P والزرنيخ Sb .

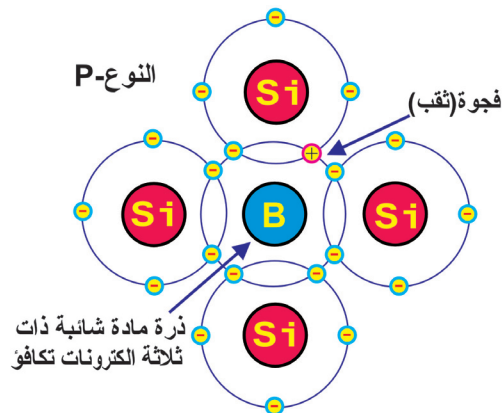


الشكل (٢-٤)

عند تطعيم بلورة السيليكون النقية بذرات خماسية التكافؤ يؤدي ذلك إلى زيادة عدد الإلكترونات الحرة داخل المادة، حيث تشارك الذرة الشائبة بأربعة إلكترونات لتكوين الروابط التساهمية مع ذرات السيليكون، ويبقى إلكترون زائد لا يساهم في تشكيل رابطة تساهمية ينطلق بشكل حر داخل النسق البلوري كما هو موضح في الشكل (٢-٤)، ويطلق على هذا النوع من الذرات بالشوائب المانحة $Donors$ لأنها تمنح إلكترونات حراً للبلورة.

عند إضافة الملايين من الذرات خماسية التكافؤ يعني ذلك إضافة الملايين من الإلكترونات الحرة ذات الشحنة السالبة، وتسمى المادة شبه موصل من النوع السالب n -type ولكن الشحنة الكلية للمادة تبقى متعادلة لأن عدد الإلكترونات يساوي عدد البروتونات. وتحتوي المادة من النوع السالب على عدد قليل من الفجوات المتولدة نتيجة الحرارة، ويطلق على الإلكترونات في هذا النوع بحاملات الشحنة الأكثرية بينما يطلق على الفجوات بحاملات الشحنة الأقلية.

المادة شبه الموصلة من النوع الموجب p-type Semiconductors



الشكل (٢-٥)

العناصر ثلاثية التكافؤ هي العناصر التي تحتوي ذراتها على ثلاث إلكترونات في مدارها الأخير وهي العناصر التي تقع في المجموعة الثالثة من الجدول الدوري مثل الألمنيوم Al والبورون B والجاليوم Ga . عند تطعيم بلورة السيليكون النقية بذرات ثلاثية التكافؤ يؤدي ذلك إلى نشوء فراغات أو فجوات في تركيب الروابط التساهمية للسيليكون، حيث تشارك الذرة الشائبة بالإلكترونات الثلاث، ويبقى ينقصها إلكترون رابع؛ مما يؤدي إلى تولد فجوة في ذلك المكان كما هو موضح في الشكل (٢-٥). ويطلق على هذا النوع من الذرات بالشوائب المتقبلة $Acceptors$ لأنها تستقبل إلكترونات حراً في ذرتها.

عند إضافة الملايين من الذرات ثلاثية التكافؤ يؤدي ذلك إلى تولد ملايين الفجوات ذات الشحنة الموجبة، وتسمى المادة شبه موصل من النوع الموجب p -type مع ملاحظة أن الشحنة الكلية للمادة تبقى متعادلة لأن عدد الإلكترونات يساوي عدد البروتونات. وتحتوي المادة من النوع الموجب على عدد قليل من الإلكترونات

المتولدة نتيجة الحرارة، لذلك فإن الإلكترونات في النوع الموجب تمثل حاملات الشحنة الأقلية بينما تمثل الفجوات حاملات الشحنة الأكثرية.

٢ - ٢ عناصر أشباه الموصلات ذات القدرة POWER SEMICONDUCTOR DEVICES

١ ديود القدرة Power Diode

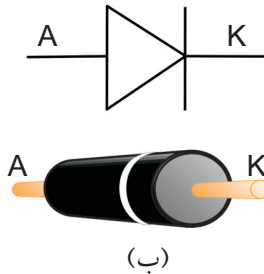


الشكل (٦-٢)

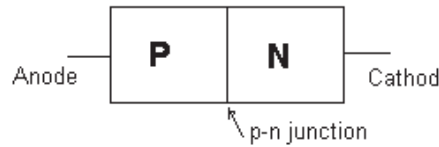
الديود أو الثنائي عبارة عن جهاز إلكتروني أحادي الاتجاه بحيث يسمح بمرور التيار الكهربائي من خلاله في اتجاه واحد فقط ويمنعه من المرور بالاتجاه المعاكس. ويعدّ الديود من أكثر العناصر الإلكترونية استخداماً في مجال الإلكترونيات القدرة حيث يستخدم في دارات التوحيد لتحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر، ويستخدم أيضاً كمفتاح إلكتروني، أو لحماية العناصر الأخرى من الجهود والتيارات العابرة. والشكل (٦-٢) يعرض نماذج مختلفة لديود القدرة.

تركيب الديود

يتكون الديود من طبقتين من أشباه الموصلات إحداهما من النوع الموجب والأخرى من النوع السالب مكونة ما يعرف بوصلة موجب - سالب $p-n$ junction حيث يسمى طرف البلورة الموجبة للديود بالمصعد (Anode (A بينما يسمى طرف البلورة السالبة بالمهبط (Cathode (K كما هو موضح في الشكل (٧-٢ - أ)، بينما يوضح الشكل (٧-٢ - ب) الرمز التمثيلي للديود وشكله.



(ب)



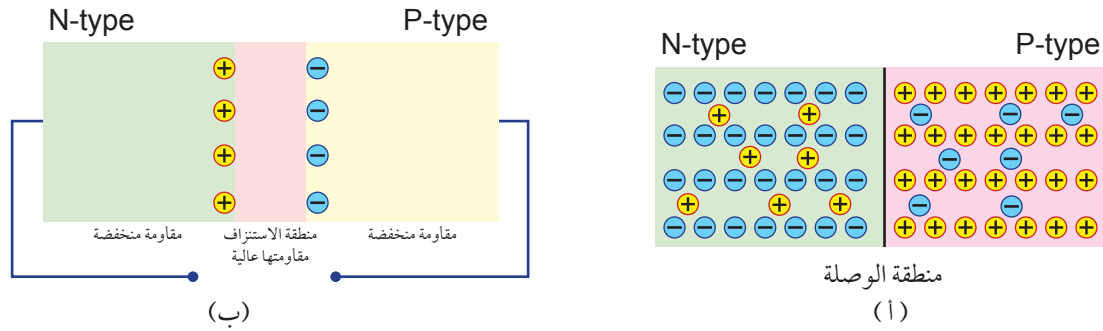
(أ)

الشكل (٧-٢)

منطقة الاستنزاف Depletion zone

الشكل (٨-٢ - أ) يبين وصلة موجب-سالب تحتوي على إلكترونات حرة في الطرف السالب وفجوات في الطرف الموجب. لحظة تشكيل وصلة موجب-سالب فإن الإلكترونات تنتقل عبر الوصلة من الطرف السالب إلى الطرف الموجب، وهناك تتحد مع الفجوات؛ مما يؤدي إلى تشكل أيونات موجبة في الطرف السالب للوصلة (المهبط) وأيونات سالبة في الطرف الموجب للوصلة (المصعد)، وهذه الأيونات بدورها تؤدي إلى تولد جهد كهربائي على جانبي الوصلة يسمى بجهد الحاجز (V_B) Barrier Potential، حيث يعمل جهد الحاجز على منع انتشار الإلكترونات

والفجوات عبر الوصلة لأن الأيونات السالبة المتكونة في الطرف الموجب تتنافر مع الإلكترونات القادمة من المهبط وتدفعها إلى الخلف ، وكذلك فإن الأيونات الموجبة الموجودة في منطقة المهبط تتنافر مع الفجوات القادمة من المنطقة الموجبة وتدفعها إلى الخلف ، مما يؤدي إلى تشكل منطقة عازلة ومفرغة من حاملات الشحنة على طرفي الوصلة ويطلق على هذه المنطقة العازلة بمنطقة الاستنزاف ، كما هو موضح في الشكل (٢-٨ - ب).



الشكل (٢-٨)

جهد الحاجز (V_B) Barrier Potential

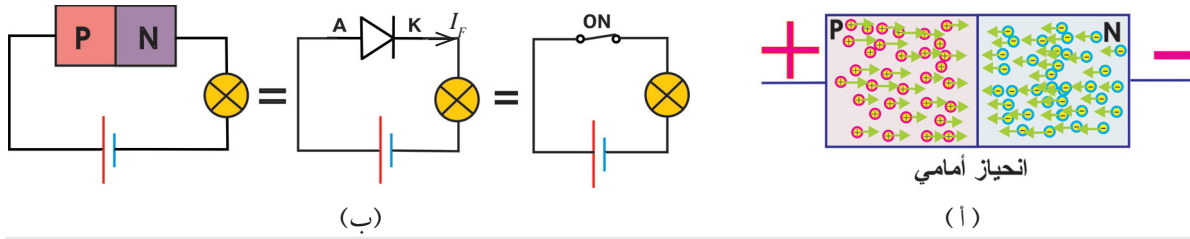
هو الجهد الذي يتكون على الطرفين الداخليين للوصلة نتيجة تشكل الأيونات الموجبة والسالبة كما هو موضح في الشكل (٢-٨ - ب)، قيمة جهد الحاجز للديود المصنوع من السيليكون تساوي $0.7V$ ، أما قيمة جهد الحاجز للديود المصنوع من الجرمانيوم فتساوي $0.3V$ ، ومع أن هذا الجهد موجود داخل الوصلة إلا أنه لا يمكن قياسه باستخدام الفولتميتر على طرفي الديود .

وصلة موجب - سالب المنحازة انحيازاً أمامياً $Forward\ biased\ p-n\ junction$

يمكن تعريف المصطلح انحياز $(bias)$ على أنه جهد أو تيار تحكم . الشكل (٢-٩ أ) يوضح وصلة موجب-سالب في حالة انحياز أمامي ، حيث إن الطبقة السالبة متصلة مع الطرف السالب لمصدر الجهد (V_s) ، أما الطبقة الموجبة فهي متصلة مع الطرف الموجب لمصدر الجهد ، لاحظ أن قيمة جهد المصدر يجب أن تكون أعلى من قيمة جهد الحاجز للوصلة حتى تتغلب عليها وتلغي تأثيرها .

الطرف السالب لمصدر الجهد يعمل على حقن الإلكترونات داخل الطبقة السالبة ودفعها بفعل قوة التنافر لتمر عبر منطقة الاستنزاف إلى الطبقة الموجبة حيث يقوم الإلكترونات بالانتقال من فجوة إلى أخرى مجذوباً باتجاه الطرف الموجب لمصدر الجهد ، ومقابل كل إلكترون حر يدخل إلى الطبقة السالبة هناك إلكترون يغادر المنطقة الموجبة . الديود يكون في حالة انحياز أمامي إذا كان جهد المصعد (A) أعلى من جهد المهبط (K) بمقدار يتعدى $0.7V$ إذا كان مصنوع من السيليكون و $0.3V$ إذا كان مصنوع من الجرمانيوم ، وفي هذه الحالة تنخفض المقاومة بين طرفي الديود بشكل كبير (تساوي صفر تقريباً) بحيث يتصرف الديود وكأنه مفتاح مغلق (ON) ويقوم بتمرير التيار

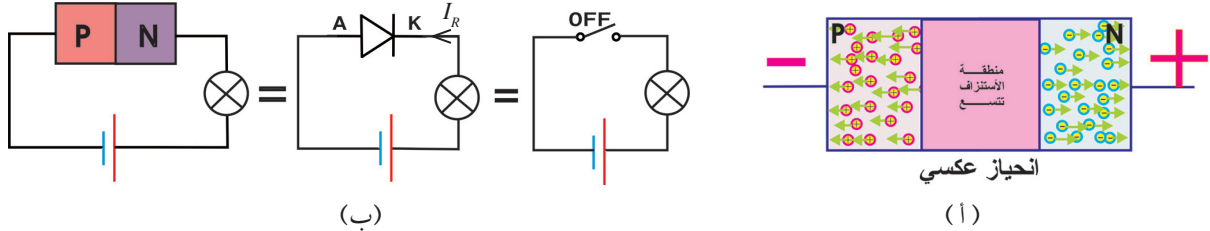
من المصعد إلى المهبط، وهو ما يسمى بالتيار الأمامي للديود I_F ، ويكون بنفس اتجاه السهم الظاهر في رمز الديود، كما هو موضح في الشكل (٢-٩ب).



الشكل (٢-٩)

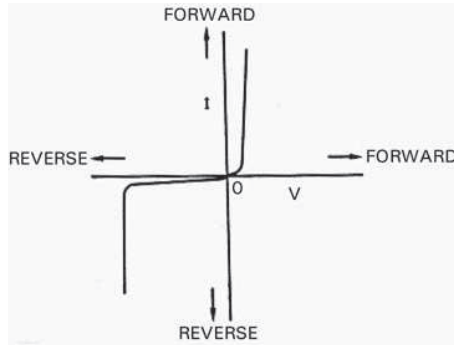
وصلة موجب - سالب المنحازة انحيازاً عكسياً *Reversed biased p-n junction*

يكون الديود في حالة انحياز عكسي عندما يتم توصيل المصعد (الطبقة الموجبة) مع القطب السالب لمصدر الجهد، وتوصيل المهبط (الطبقة السالبة) مع القطب الموجب لمصدر الجهد، كما هو موضح في الشكل (٢-١٠أ)، حيث تقوم أقطاب مصدر الجهد بجذب حاملات الشحنة بعيداً عن منطقة الاستنزاف مما يؤدي إلى توسيعها، وتصبح المقاومة بين طرفي الديود عالية جداً (تقريباً مالاً نهائية)، إلا أن الديود يمرر تياراً من المهبط إلى المصعد يسمى بالتيار العكسي I_R وقيمة هذا التيار صغيرة جداً، بحيث يمكن إهمالها (تقريباً تساوي صفراً) وبالتالي يمكن تمثيل الديود بمفتاح مفتوح (*OFF*)، ولا يسمح بمرور التيار الكهربائي عبره، كما هو موضح في الشكل (٢-١٠ب).



الشكل (٢-١٠)

منحنى الخواص للديود *Volt- Ampere Characteristic Curve*



الشكل (٢-١١)

الشكل (٢-١١) يبين منحنى الخواص للديود الحقيقي، حيث يوضح المنحنى العلاقة بين الجهد المسلط على طرفي الديود والتيار المار فيه في حالتي الانحياز الأمامي والعكسي، ففي حالة الانحياز الأمامي في الربع الأول من المنحنى نلاحظ أنه عند زيادة الجهد الأمامي من $0V$ إلى $0.6V$ فإن كمية صغيرة من التيار تمر عبر الديود، ولكن عند زيادة الجهد الأمامي إلى $0.7V$ نلاحظ زيادة حادة وكبيرة في التيار الأمامي.

أما في حالة الأنحياز العكسي (في الربع الثالث) نلاحظ إنه عند زيادة الجهد العكسي على طرفي الديود يمر فيه تيار صغير جداً وثابت القيمة تقريباً ، وعند زيادة الجهد العكسي إلى قيمة معينة (تسمى جهد الأنهيـار V_{BR}) يحدث إنهيـار للديود بحيث يمر من خلاله تيار عالٍ جداً يؤدي إلى تلفه .

الأنواع الرئيسية لـديود القدرة:

أ ديود الأغراض العامة *General Purpose Diode*:

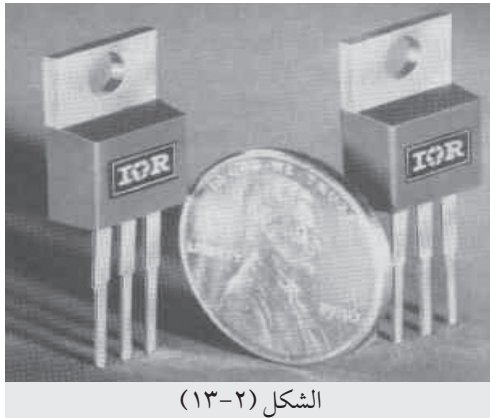


الشكل (١٢-٢)

يستخدم في التطبيقات العامة ذات الترددات المنخفضة (50/60Hz)، ويستخدم عادة في دارات التقويم وهو متوفر بأسعار رخيصة نسبياً، وله مقررات تيار وجهد تصل إلى عدة آلاف من الأمبير والفولت (5KA , 5KV). وسرعته التبديلية $t_{rr}=25\mu S$. ويوضح الشكل (١٢-٢) أشكال مختلفة من ديودات الأغراض العامة.

ب **الديود سريع الاستعادة *Fast Recovery Diode***: يتميز بسرعة تبديلية عالية (أكبر من $1\mu S$) وهو مناسب للاستخدام في التطبيقات ذات الترددات العالية، ويتوافر بمقررات تيار وجهد أقل من ديود الأغراض العامة، وهو مرتفع الثمن نسبياً. ويحتوي على مراكز لإعادة الاتحاد بين الإلكترونات والفجوات الأمر الذي يزيد في سرعته التبديلية.

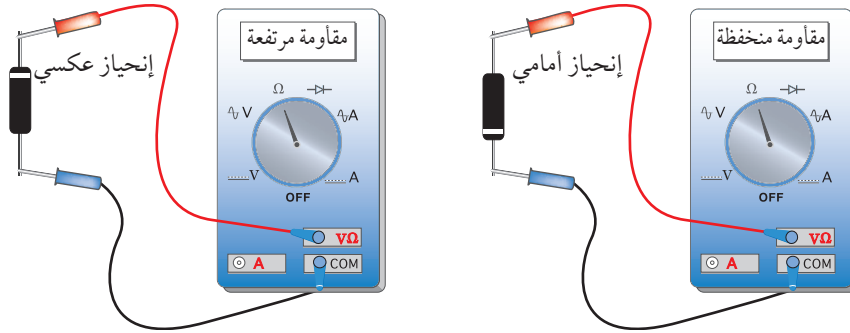
ج **ديود شوتكي *Schottky Diode***: في هذا النوع من الديودات تم استبدال الطبقة الموجبة من شبه الموصل بمعدن (عادة يستخدم الذهب) مما يؤدي إلى تقليل عرض منطقة الاستنزاف بشكل كبير بحيث يصبح جهد الحاجز أقل من 0.3V، وهذا يؤدي بدوره إلى نقصان السعة الداخلية للديود؛ مما يمكن الديود أن



الشكل (١٣-٢)

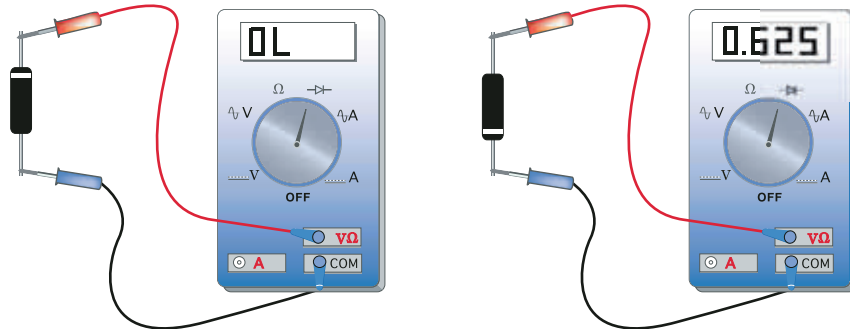
ينتقل من وضع التوصيل إلى وضع القطع في زمن صغير جداً، وبالتالي فإنه يستخدم في حالة الترددات العالية، ويتميز بمقررات تيار تصل إلى 200A ومقررات جهد تصل إلى 200V؛ لذلك فهو يستخدم في التطبيقات ذات الفولتية المنخفضة والتيار العالي مثل مزودات القدرة المفتاحية. والشكل (١٣-٢) يوضح ديود شوتكي بمقرر تيار يصل إلى 20A.

يمكن اختبار الديود باستخدام جهاز الأوميتر على النحو التالي : وصل أقطاب الأوميتر على طرفي الديود كما هو موضح في الشكل (٢-١٤). قراءة الأوميتر يجب أن تكون منخفضة في حالة الانحياز الأمامي ، وقيمة مرتفعة في حالة الانحياز العكسي ، وما غير ذلك يعدّ الديود تالفاً . ويجب التنويه أن قطبية أطراف جهاز الأوميتر ذي المؤشر تكون معكوسة (الطرف الأحمر سالب والأسود موجب) وذلك لأن بطارية الجهاز الداخلية تكون معكوسة .



الشكل (٢-١٤)

ويمكن كذلك فحص الديود بواسطة جهاز متعدد القياسات الرقمي (DMM) والذي يحتوي على ميزة اختبار الديود، بحيث يعمل على قياس قيمة هبوط الجهد الأمامي على الديود والتي تتراوح من $0.3V$ إلى $1.2V$ للديود السليم كما يظهر في الشكل (٢-١٥).



الشكل (٢-١٥)

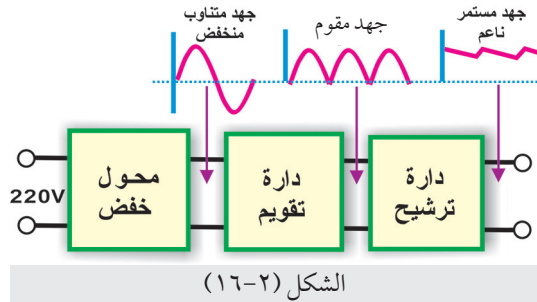
كثير من الأحمال الكهربائية تعمل بواسطة التيار المستمر DC ، مثل محركات التيار المستمر، وماكينات اللحام الكهربائي، وآلات التكييف والتبريد، والقطارات والروافع الكهربائية، وشواحن البطاريات والأجهزة الإلكترونية. ولتغذية هذه الأحمال كان لا بد من تحويل التيار المتردد الذي تزودنا به محطات التوليد الكهربائية إلى تيار مستمر، ويطلق على الدارات التي تقوم بتحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر بالمقومات أو الموحدات *Rectifiers*.

وقد تحتوي دارات التقويم على كل أو بعض الأجزاء التالية:

أ محول خافض للجهد: ويستخدم لخفض قيمة جهد شبكة التوزيع إلى الجهد المطلوب والمناسب للتطبيق المعين.

ب قسم التقويم: ويتكون عادة من الديودات أو الثايرستورات، وهو الذي يقوم بعملية توحيد الجهد في اتجاه واحد، ويعدّ الجزء الرئيسي في عملية التقويم.

ج قسم الترشيح: وظيفته إزالة التموجات من الإشارة المقومة، ليصبح شكل الإشارة أقرب إلى الخط المستقيم (جهد ثابت وناعم). كما هو موضح في الشكل (١٦-٢).



وتقسم دارات التقويم إلى قسمين رئيسيين هما: دارات التقويم المحكومة، ودارات التقويم غير المحكومة، ويتفرع كل قسم إلى عدة أقسام فرعية، تناقش مقومات نصف الموجة، والموجة الكاملة، في أنظمة القدرة أحادية الطور، وثلاثية الطور، في حالة وجود حمل مادي أو حتي.

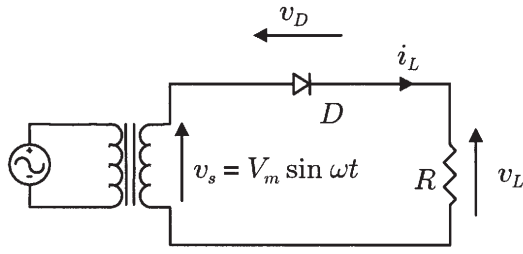
١ المقومات غير المحكومة *Uncontrolled Rectifiers*

يعدّ الديود العنصر الأساسي في دارات التقويم غير المحكومة، حيث يقوم بتمرير أحد نصفي الموجة، إما النصف الموجب، وإما النصف السالب، وذلك حسب طريقة توصيله في الدارة، وبذلك نحصل على موجة جهد ذات اتجاه واحد فقط. ومن أجل التبسيط سنعدّ أن الديودات المستعملة عبارة عن ديودات مثالية، أي إنه يتصرف كمفتاح مثالي، بحيث نعدّ أن الجهد الأمامي المسلط على الديود يساوي صفراً، وأن مقاومته في حالة الانحياز العكسي لا نهائية، وأن سرعته التبديلية لا نهائية. ويمكن تقسيم المقومات غير المحكومة إلى قسمين، المقومات أحادية الطور، والمقومات ثلاثية الطور كما يلي:

أ- المقومات غير المحكومة أحادية الطور *Uncontrolled Single Phase Rectifiers*

تستخدم هذه المقومات في الأنظمة الكهربائية ذات الطور الواحد، وتستخدم عادة في تطبيقات القدرة المنخفضة، وأحياناً المتوسطة، وتستخدم بكثرة في وحدات التغذية للأجهزة الكهربائية المنزلية وفي الأجهزة

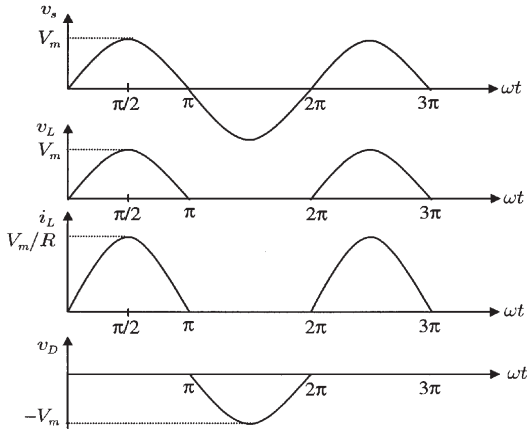
١ مقوم نصف موجة أحادي الطور Single Phase Half-Wave Rectifier



الشكل (١٧-٢)

يبين الشكل (١٧-٢) دائرة تقويم نصف موجة أحادية الطور، وتتكون من العناصر التالية : محول خافض للجهد، وظيفته تخفيض جهد مصدر التغذية (220V)، إلى قيمة مناسبة حسب الحاجة، بحيث تظهر على الملف الثانوي للمحول ويرمز لها بالرمز V_s . والمقاومة R تمثل الحمل الكهربائي، وهو في هذه الدارة عبارة عن حمل مادي.

الديود D وظيفته تمرير النصف الموجب لجهد الملف الثانوي للمحول V_s فقط، وذلك كما يلي :
خلال نصف الدورة الموجب يكون جهد المصعد للديود موجباً بالنسبة لجهد المهبط، وبالتالي يكون الديود في



الشكل (١٨-٢)

حالة انحياز أمامي، وكافئ مفتاحاً في وضع التوصيل ON ، ويسمح بمرور التيار من خلاله إلى الحمل، وبالتالي يظهر جهد الملف الثانوي للمحول على مقاومة الحمل أي أن $V_L = V_s$ ، كما يظهر في الشكل (١٨-٢)، وهذا في حالة الديود المثالي، أما في حالة الديود الحقيقي فإن جهد الحمل يقل عن جهد الملف الثانوي بمقدار الجهد الأمامي الساقط على الديود ($V_L = V_s - 0.7$). خلال نصف الدورة السالب يكون الديود في حالة انحياز عكسي، أي في حالة قطع OFF ، ولا يسمح بمرور التيار إلى الحمل، وبالتالي يكون جهد الحمل مساوياً للصفر ($V_L = 0$).

لاحظ أنه خلال نصف الموجة السالب فإن أكبر جهد عكسي يسقط على الديود هو جهد القمة السالب لإشارة الملف الثانوي، وتسمى هذه القيمة جهد القمة العكسي ($Peak Inverse Voltage (PIV)$ ، أي أن $PIV = V_m$ ، كما هو موضح في الشكل (١٨-٢). لاحظ أيضاً أن تردد إشارة الخرج هو نفس تردد إشارة الدخل، أي أن $f_{out} = f_{in}$.

يمكن حساب القيمة الفعالة لجهد وتيار الحمل V_L ، I_L باستخدام المعادلات ١-٢ و ٢-٢

$$V_L = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^\pi (V_m \sin \omega t)^2 d(\omega t)} \Rightarrow V_L = \frac{V_m}{2} = 0.5 V_m \quad (١-٢)$$

$$I_L = \frac{V_L}{R} \quad (٢-٢)$$

مثال (٣): في الشكل (١٧-٢) إذا كان جهد المصدر لمقوم نصف موجة أحادي الطور يساوي $220V/50Hz$ ، وكانت قيمة مقاومة الحمل $R=100\Omega$ ، ونسبة التخفيض للمحول تساوي 5:1، احسب القيمة الفعالة لجهد الحمل V_L ، والقيمة الفعالة لتيار الحمل I_L ، وجهد القمة العكسي للديود PIV ، وتردد إشارة جهد الحمل f_{out}

الحل: ☒

بعد حساب القيمة الفعالة لجهد الملف الثانوي يتم حساب جهد القمة له، ومن ثم يتم استخدام المعادلات السابقة لحساب القيم المطلوبة كما يلي:

$$V_{s(rms)} = \frac{V_{in}}{5} = \frac{220}{5} = 44 \text{ V}$$

$$V_m = V_{s(pk)} = V_{s(rms)} \times \sqrt{2} = V_{s(rms)} \times 1.414$$

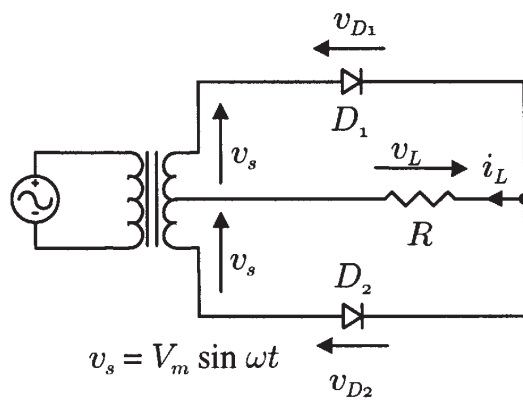
$$V_L = 0.5 V_m = 0.5 \times 63.36 = 31.68 \text{ V}$$

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{31.68}{100} = 0.3168 \text{ A} = 316.8 \text{ mA}$$

$$PIV = V_m = 63.36 \text{ V}$$

$$f_{out} = f_{in} = 50 \text{ Hz}$$

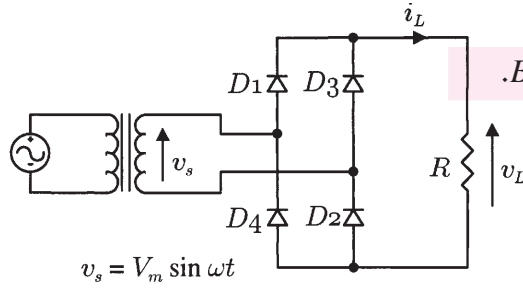
٢ مقوم موجة كاملة أحادي الطور Single Phase Full-Wave Rectifier



الشكل (١٩-٢)

هناك نوعان من مقومات الموجة الكاملة، النوع الأول يحتوي على محول ذي نقطة وسط *Center-tapped transformer* وديودين، أما الثاني فيستخدم محولاً عادياً وأربعة ديودات موصولة على شكل قنطرة *Bridge*، والشكل (١٩-٢) يعرض مقوم موجة كاملة بمحول ذي نقطة وسط، ويبدو واضحاً أن كل ديود مع نصف المحول المتصل به يشكل مقوماً نصف موجة، وبالتالي فإن خرج المقومين معاً يشكل موجة كاملة مقومة.

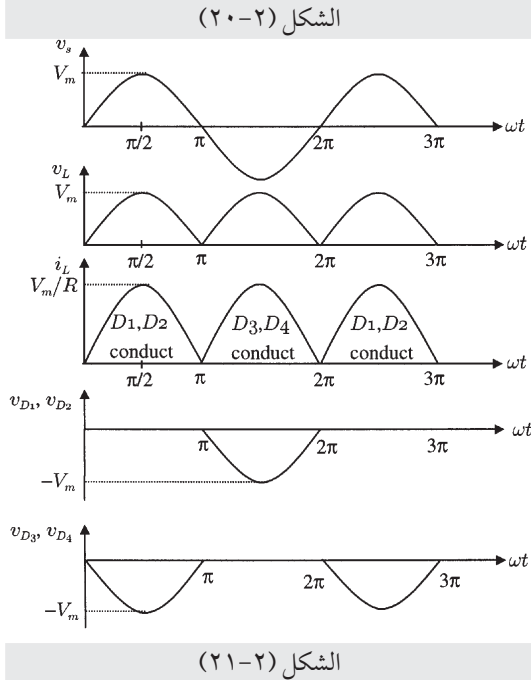
خلال النصف الموجب للموجة يكون الديود $D1$ في حالة توصيل ، أما الديود $D2$ فيكون في حالة قطع ، أما خلال النصف السالب للموجة فإن الديود $D1$ يكون في حالة قطع ، والديود $D2$ في حالة توصيل ، أي أن الديود الأول يقوم بتمرير النصف الموجب للموجة ، بينما يقوم الديود الثاني بتمرير النصف السالب ، وبالتالي نحصل على موجة كاملة على طرفي مقاومة الحمل .



الشكل (٢٠-٢) يعرض مقوم القنطرة Bridge rectifier.

مبدأ عمل مقوم القنطرة :

خلال النصف الموجب للموجة يكون الديودان $D1$ و $D2$ في حالة توصيل ويقومان بتمرير التيار إلى الحمل ، أما الديودان $D3$ و $D4$ فيكونان في حالة قطع ، أما خلال النصف السالب للموجة فيحدث العكس ، بحيث يكون الديودان $D3$ و $D4$ في حالة توصيل ويقومان بتمرير التيار إلى الحمل ، أما الديودين $D1$ و $D2$ فيكونان في حالة قطع ، وهكذا يتم الحصول على موجة كاملة عند مقاومة الحمل . الشكل (٢١-٢) يعرض الأشكال الموجية للجهد والتيار في مقوم القنطرة ، لاحظ أن جهد القمة العكسي الساقط على الديود يساوي V_m ، أي أن كل ديود سيكون مسلطاً عليه نصف الجهد العكسي ولذلك فإن مقوم القنطرة يحتاج إلى ديودات ذات مقررات جهد عكسي منخفضة وبالتالي يكون أوفر من الناحية الاقتصادية .



الشكل (٢١-٢)

في حالة موحد القنطرة يمكن حساب القيمة الفعالة لجهد الحمل وتياره I_L ، V_L باستخدام المعادلات ٣-٢ و ٢-٤ :

$$V_L = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^\pi (V_m \sin \omega t)^2 d(\omega t)} \Rightarrow V_L = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707 V_m \dots\dots\dots (٣-٢)$$

$$I_L = \frac{V_L}{R} \dots\dots\dots (٤-٢)$$

مثال (٥): في دائرة مقوم قنطرة، إذا كان جهد المصدر يساوي $220V/50Hz$ وكانت قيمة $R=100$ ، ونسبة التخفيض للمحول تساوي $5:1$ ، احسب القيمة الفعالة لجهد وتيار الحمل وجهد القمة العكسي لمقوم القنطرة PIV ، وتردد إشارة الخرج f_{out}

الحل: ✓

$$V_{s(rms)} = \frac{V_{in}}{5} = \frac{220}{5} = 44 \text{ V}$$

$$V_m = V_{s(pk)} = V_{s(rms)} \times \sqrt{2} = V_{s(rms)} \times 1.414$$

$$V_m = 44 \times 1.414 = 63.36 \text{ V}$$

$$V_L = 0.707 V_m = 0.707 \times 63.36 = 44.8 \text{ V}$$

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{44.8}{100} = 0.448 \text{ A} = 448 \text{ mA}$$

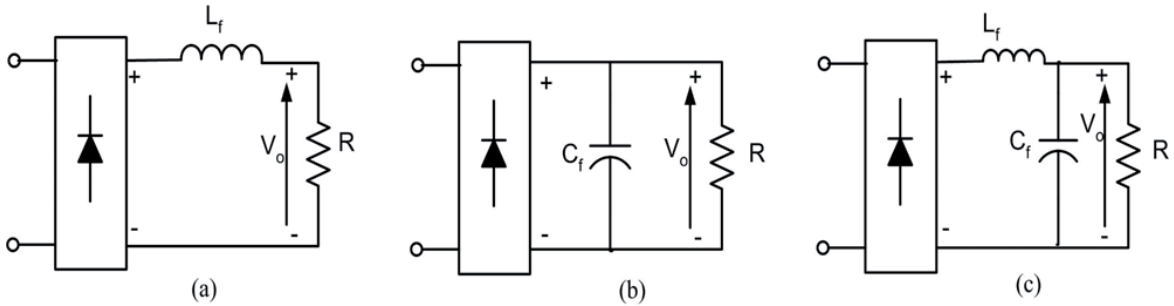
$$PIV = V_m = 63.36 \text{ V}$$

$$f_{out} = 2 f_{in} = 2 \times 50 = 100 \text{ Hz}$$

كما يمكن استخدام مقومات القنطرة المتكاملة والتي تحتوي بداخلها على الديودات الاربعة .

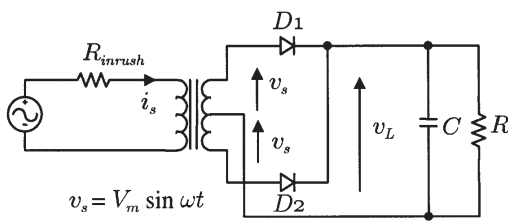
المرشحات Filters

تستخدم المرشحات في دارات التقويم من أجل تنعيم موجة الجهد قبل وصولها إلى الحمل، ويقصد بالتنعيم هو تقليل التموج أو التذبذب في قيمة الجهد، بحيث يصبح أقرب ما يكون إلى الخط المستقيم (قيمة ثابتة)، لذلك يعرف بمرشح التيار المستمر ($DC \text{ Filter}$)، وعادة ما يكون المرشح إما ملفاً L ، أو مكثفاً C ، أو الاثنين معاً LC ، كما هو موضح في الشكل (٢-٢٢).

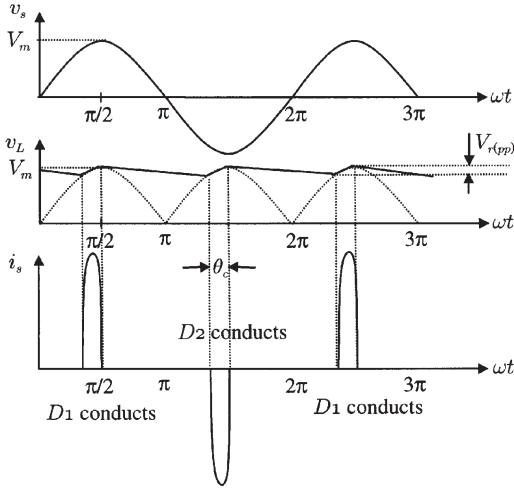


والشكل (٢-٢٢)

ويفضل استخدام الملف عادة في تطبيقات القدرة العالية لأنه يعطي كفاءة أعلى لعمل محول الخفض، أما المكثف فإنه يولد نبضات تيار حادة في الدارة كما هو موضح في الشكل (٢-٢٢)، لذلك فهو يستخدم في تطبيقات القدرة المنخفضة.



الشكل (٢٣-٢)



الشكل (٢٤-٢)

الشكل (٢-٢٣) يوضح دائرة تقويم موجة كاملة، تحتوي على مرشح تيار مستمر نوع مكثف، كما يظهر جهد الحمل V_L وقد أصبح أقرب إلى الخط المستقيم، مع وجود تموجات صغيرة تدعى *Ripples*. كما هو مبين بالشكل (٢-٢٤) ولتقليل اتساع التموجات وزيادة تنعيم الموجة يمكن استخدام مكثف ذي سعة أعلى.

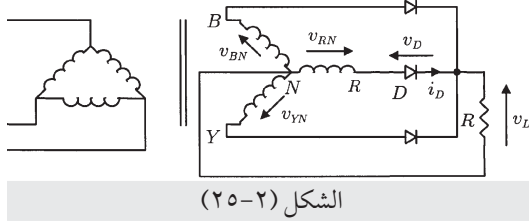
ويعمل المرشح كما يلي: بداية عند وصول النصف الموجب الأول للموجة، يبدأ المكثف بالشحن حتى يصل إلى جهد القمة عند الزاوية 90° ، وعندما يبدأ جهد المصدر بالتناقص، يصبح الديود في حالة انحياز عكسي،

لأن جهد المكثف الموصول مع المهبط يكون أكبر من جهد المصدر الموصول مع المصعد، ويبدأ المكثف بتفريغ شحنته عبر الحمل، وعند وصول النصف الثاني من الموجة الموجبة وارتفاع الجهد إلى قيمة أكبر من جهد المكثف يبدأ الديود بالتوصيل من جديد مما يؤدي إلى شحن المكثف مرة أخرى، ونتيجة لتكرار عملية الشحن والتفريغ للمكثف، نحصل على إشارة متموجة أقرب إلى الخط المستقيم (جهد ثابت). ويطلق على هذه الإشارة بالجهد المتموج *Ripple Voltage*.

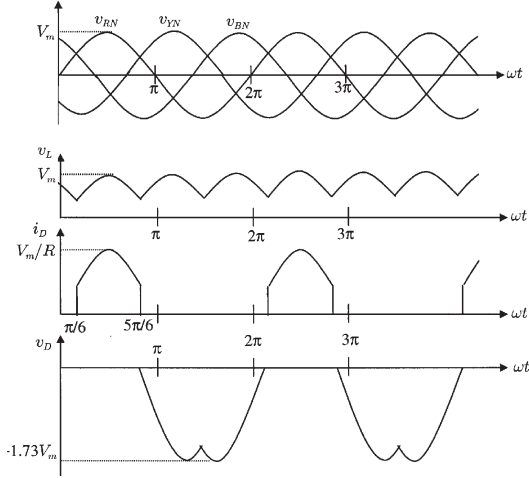
ب المقومات غير المحكومة ثلاثية الطور *Uncontrolled Three-phase Rectifiers*

للحصول على جهود ثابتة عالية القيمة، تحتاج مقومات الموجة أحادية الطور إلى محولات ذات مقررات جهد وتيار مرتفعة، لذلك فهي مناسبة للاستخدام في تطبيقات القدرة المنخفضة أو المتوسطة فقط، أما في تطبيقات القدرة العالية (أكبر من $15kW$) فتستخدم مقومات الموجة ثلاثية الطور. وهناك نوعان من المقومات ثلاثية الطور والتي تقوم بتحويل الجهد المتغير ثلاثي الأطوار إلى جهد ثابت، وهما المقوم النجمي *Star Rectifier* وهو عبارة عن مقوم نصف موجة ثلاثية الطور، ومقوم القنطرة *Bridge Rectifier*، وهو عبارة عن مقوم موجة كاملة ثلاثية الطور. وفيما يلي سنشرح تركيب وطريقة عمل هذين النوعين من المقومات، ومن أجل التبسيط افترضنا أن الديودات والمحولات المستعملة مثالية.

١ المقوم النجمي Star Rectifier



الشكل (٢٥-٢)

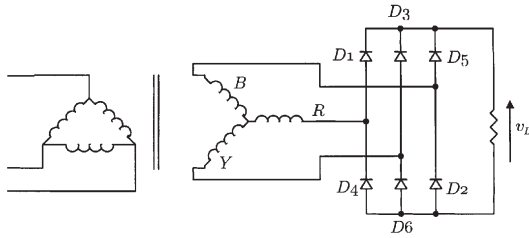


الشكل (٢٦-٢)

الشكل (٢٥-٢) يوضح الدارة الأساسية لمقوم نجمي ، حيث يمكن اعتبار هذه الدارة أنها تتكون من ثلاثة مقومات نصف موجة أحادية التطور مجتمعة بعضها مع بعض ، لذلك فهي تسمى أيضاً مقوم نصف موجة ثلاثية التطور Three-phase half-wave Rectifier .

الديود الخاص بكل طور يكون في حالة توصيل فقط عندما يكون جهد الطور المتصل معه أعلى من جهد الطورين الآخرين . الشكل (٢٦-٢) يوضح الأشكال الموجية للجهد والتيار في المقوم النجمي ، لاحظ أن جهد القمة العكسي للديود يساوي $1.73V_m$ ، وأن زاوية التوصيل لكل ديود تساوي $120^\circ (2\pi/3)$ ، فعلى سبيل المثال لو أخذنا الطور R ، نجد أن الديود D يقوم بالتوصيل في الفترة من $\pi/6$

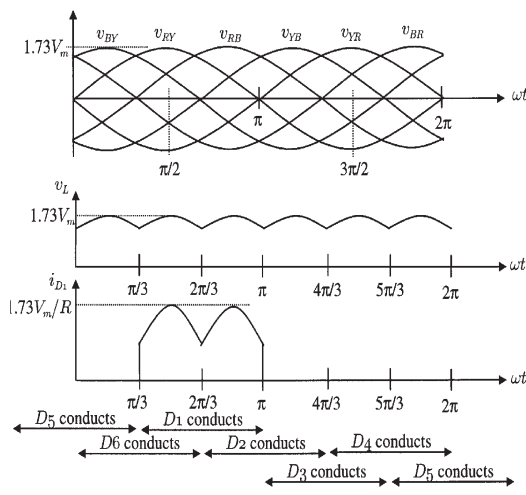
٢ مقوم موجة كاملة ثلاثية التطور (مقوم قنطرة) Three-phase Full-wave Rectifier



الشكل (٢٧-٢)

يستخدم مقوم القنطرة ثلاثي التطور عادة في تطبيقات القدرة العالية ، والشكل (٢٧-٢) يعرض دارة مقوم موجة كاملة ثلاثية التطور . لاحظ أن الديودات مرقمة حسب ترتيب التوصيل ، ولاحظ أن زاوية التوصيل لكل ديود تساوي $\pi/3$.

يمكن توضيح ترتيب التوصيل للديودات كما يلي :
 D_1D_6 و D_6D_5 ، D_5D_4 ، D_4D_3 ، D_3D_2 ، D_2D_1 وهكذا .



الشكل (٢٨-٢)

الشكل ٢-٢٨ يوضح الأشكال الموجية للجهد والتيار في مقوم القنطرة ثلاثي الطور. بما أن الملف الثانوي للمحول موصل على شكل نجمة (Star)، فإن الجهد المسلط على الحمل هو جهد خط إلى خط (Line to Line)، والذي يساوي قيمة جهد الطور إلى المتعادل مضروب في 1.73 أي أن $(V_{L-L} = 1.73V_{L-N})$.

من الجدير بالذكر إنه لا يقتصر على استخدام محول ذي توصيلة مثلث-نجمة فقط، بل يمكن استعمال محولات بتوصيلات أخرى مثل (نجمة-نجمة، مثلث-مثلث... الخ)، وذلك لأن تيارات الملفات الثانوية تكون متماثلة في مقوم القنطرة ثلاثي الطور.

يمكن حساب القيمة الفعالة لجهد الحمل V_L باستخدام المعادلة ٢-٥ :

$$V_L = \sqrt{\frac{9}{\pi} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} (V_m \sin \theta)^2 d(\theta)} \Rightarrow V_L = V_m \sqrt{\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi}} = 1.655 V_m \quad (٢-٥)$$

وكذلك يمكن حساب القيمة الفعالة للتيار المار في كل ملف ثانوي من ملفات المحول I_s ، و القيمة الفعالة للتيار المار في كل ديود I_D باستخدام المعادلات ٢-٦ و ٢-٧ :

$$I_s = I_m \sqrt{\frac{2}{\pi} \left(\frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)} = 0.78 I_m \dots \dots \dots (٢-٦)$$

$$I_D = I_m \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)} = 0.552 I_m \dots \dots \dots (٢-٧)$$

$$\text{Where: } I_m = \sqrt{3} \frac{V_m}{R} = 1.73 \frac{V_m}{R} \dots \dots \dots (٢-٨)$$

لقد أحدث اكتشاف الترانزستور في العام ١٩٤٨ ثورة في عالم الإلكترونيات، حيث حل محل الصمامات المفرغة، ومنذ ذلك الحين إلى وقتنا الحاضر والترانزستور يمر في عملية تطوير وتحسين، وقد تم تصنيع عدة أنواع منه، وكلمة ترانزستور مشتقة من الكلمتين *Transfer Resistor* أي تحويل المقاومة.



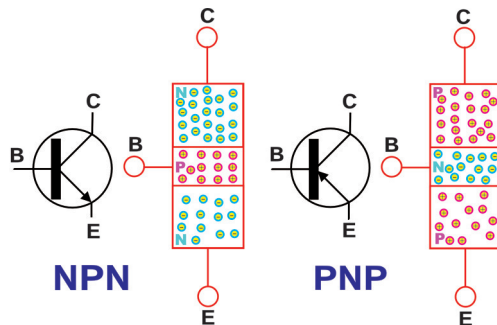
الشكل (٢٩-٢)

ويستخدم الترانزستور في دارات إلكترونيات القدرة بشكل رئيسي كمفتاح إلكتروني يقوم بعملية فصل التيار الكهربائي ووصله، حيث يتميز بسرعه العاليه وسهولة التحكم به. والشكل (٢٩-٢) يعرض بعض الأشكال الشائعة للترانزستور.

هناك عدة أنواع من ترانزستورات القدرة أبرزها ترانزستور ثنائي القطبية :

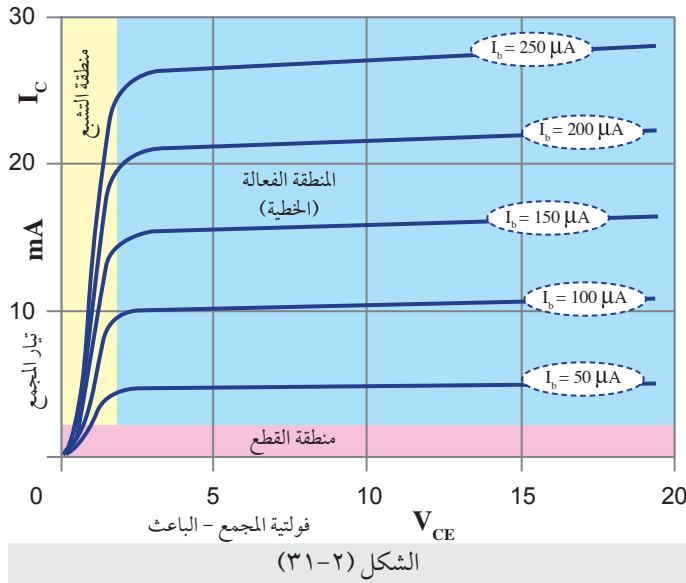
أ ترانزستور ثنائي القطبية (BJT) Bipolar Junction Transistor

ترانزستور ثنائي القطبية عبارة عن عنصر إلكتروني ثلاثي الأطراف، وهي الباعث (*E*)، المجمع (*C*)، والقاعدة (*B*). ويتكون الترانزستور من ثلاث طبقات من أشباه الموصلات المطعمة، ويحتوي على وصليتي موجب - سالب، وتقع طبقة القاعدة بين طبقتي المجمع والباعث، وهي أصغر الطبقات حجماً وأقلها تركيزاً لحاملات الشحنة، أما طبقة الباعث فهي أكبر من القاعدة وأصغر من المجمع، ولكنها تتميز بأنها الأكثر تركيزاً لحاملات الشحنة، وأما طبقة المجمع فهي الأكبر حجماً، وتركيز حاملات الشحنة فيها متوسط.



الشكل (٣٠-٢)

شحنة طبقة القاعدة مخالفة لشحنة طبقتي المجمع والباعث، فمثلاً إذا كانت القاعدة من النوع الموجب، يكون المجمع والباعث من النوع السالب، والعكس صحيح، على هذا الأساس يوجد نوعان من هذا الترانزستور الأول *pnp* والثاني *npn*، والشكل (٣٠-٢) يبين تركيب ترانزستور ثنائي القطبية بنوعيه ورموزهما التمثيلية.



يبين منحنى خصائص الخرج للترانزستور العلاقة بين تيار الخرج وجهد الدخل عند قيم محددة لتيار الدخل . وفي حالة توصيلة الباعث المشترك للترانزستور فإن تيار الخرج عبارة عن تيار المجمع I_C ، وتيار الدخل عبارة عن تيار القاعدة I_B ، وجهد الخرج عبارة عن قيمة فرق الجهد بين المجمع والباعث V_{CE} . كما هو موضح في الشكل (٣١-٢) نلاحظ من الشكل أنه عندما يكون تيار القاعدة مساوياً للصفر ولو كان الجهد بين المجمع والباعث V_{CE} كبيراً فإن تيار المجمع يكون قليلاً جداً ويقترب من الصفر ويقال أن ترانزستور في حالة القطع .

مناطق عمل الترانزستور

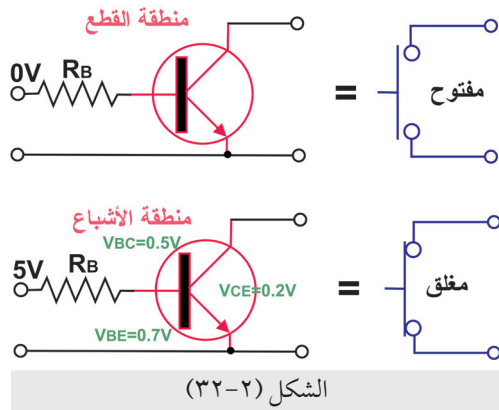
يمكن تقسيم منحنى خواص الخرج إلى ثلاث مناطق عمل كما هو موضح في الشكل (٣١-٢) وهي كما يلي :

المنطقة الفعالة

وفي هذه المنطقة تكون وصلة القاعدة - الباعث منحازة انحيازاً أمامياً ووصلة المجمع - القاعدة منحازة انحيازاً عكسياً . وأي تغير بسيط في تيار القاعدة يؤدي إلى تغير كبير في تيار الباعث والمجمع وهذا يسمح باستخدام الترانزستور كمكبر للإشارات الكهربائية .

منطقة القطع

وفي هذه المنطقة تكون وصلتا القاعدة - الباعث والمجمع - القاعدة منحازتين انحيازاً عكسياً عند نقصان تيار القاعدة بشكل كبير جداً وقد يصل إلى الصفر فإن المقاومة بين المجمع والباعث تصبح عالية جداً (تقريباً إلى ما لا نهاية) وتيار المجمع يساوي صفراً تقريباً ، وفي هذه المنطقة يمكن تمثيل الترانزستور على أنه مفتاح مفتوح ، بحيث يكون في حالة قطع (OFF) ، كما هو موضح في الشكل (٣٢-٢) .



وفي هذه المنطقة تكون وصلتا القاعدة-الباعث والمجمع-القاعدة منحازتين انحيازاً أمامياً، عند الاستمرار في زيادة تيار القاعدة فإن ذلك يؤدي إلى نقصان قيمة المقاومة بين المجمع والباعث وتصبح صغيرة جداً (تقريباً صفراً) وتيار المجمع أكبر ما يكون ويسمى تيار الإشباع $I_{C(sat)}$ ، وفي هذه المنطقة يمكن تمثيل الترانزستور على أنه مفتاح مغلق، بحيث يكون في حالة توصيل (ON)، كما هو موضح في الشكل (٣٢-٢).

الترانزستور كمفتاح إلكتروني Transistor as a switch

يقع الترانزستور ضمن مجموعة القطع الإلكترونية التي يمكن استخدامها كبديل عن المفاتيح الميكانيكية، حيث إن المسار بين المجمع والباعث في الترانزستور يحل محل المفتاح، بينما يمثل تيار القاعدة إشارة التحكم في وضع التلامسات. وحتى يعمل الترانزستور كمفتاح يجب أن يعمل في منطقتي القطع والإشباع.

يتميز المفتاح الترانزستوري عن المفتاح الميكانيكي بما يلي:

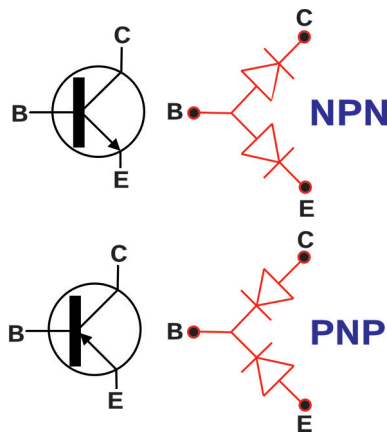
- سرعة الفتح والإغلاق بحيث يمكن أن يعمل على ترددات عالية.
- لا يحدث شرارة كهربائية خلال عمليتي الفتح والإغلاق وهذا يجعله يخدم لفترة أطول.
- استهلاكه للطاقة الكهربائية أقل.
- قليل التكلفة وسهل التوصيل.

وتستخدم المفاتيح الترانزستورية في دارات إلكترونيات القدرة بشكل واسع ومتنام؛ بسبب سرعتها العالية وسهولة التحكم بها، بحيث أصبح التوجه العام باتجاه استخدام الترانزستور بدل استخدام الثايرستور.

القدرة المبددة في المفتاح الترانزستوري

إذا افترضنا أن الترانزستور مثالي فإن التيار المار في المجمع في حالة القطع يساوي صفراً ($I_{C(off)} = 0$)، أما في حالة التوصيل فإن الجهد الساقط بين طرفي المجمع والباعث يساوي صفراً ($V_{CE(sat)} = 0$)، لذلك فإن القدرة المبددة في أي من الحالتين تساوي صفراً، لأن القدرة المبددة تساوي حاصل ضرب تيار المجمع بجهد المجمع-الباعث ($P = I_C \times V_{CE} = 0$)، لذلك نستنتج أن القدرة المبددة في الترانزستور عندما يعمل كمفتاح تساوي صفراً، ولهذا السبب يستخدم الترانزستور بحيث يعمل في منطقتي القطع والإشباع كمفتاح، ولا يستخدم للعمل في المنطقة الفعالة كمقاومة متغيرة؛ لأن القدرة المبددة في هذه الحالة تكون كبيرة جداً.

يمكن تمثيل الترانزستور على أنه ديودان موصولان بعضهما مع بعض في منطقة القاعدة كما هو موضح في الشكل (٢-٣٣) وبالتالي تصبح عملية فحص الترانزستور عملية فحص لهذين الديودين .



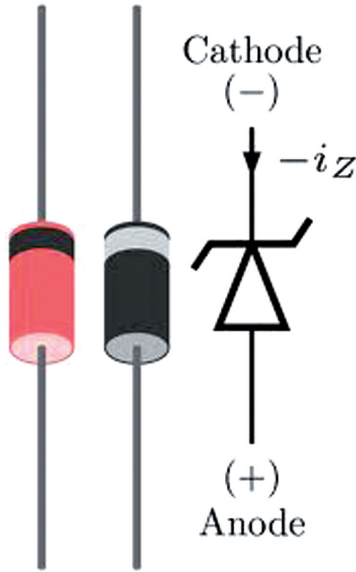
الشكل (٢-٣٣)

يمكن اختبار الترانزستور باستخدام جهاز الأوميتر على النحو التالي :
وصل أقطاب الأوميتر على أطراف الترانزستور كما هو موضح في الجدول (١-٢) . إن قراءة الأوميتر يجب أن تكون منخفضة في حالة الأنحياز الأمامي ، وقيمة مرتفعة في حالة الأنحياز العكسي بحيث تكون النسبة بين القراءتين تقريباً 1000 : 1 ، وأي اختلاف لهذه القيم يعد مؤشراً على تلف الترانزستور . ويجب التنويه أن قطبية أطراف جهاز الأوميتر ذي المؤشر تكون معكوسة (الطرف الأحمر سالب والأسود موجب) وذلك لأن بطارية الجهاز الداخلية تكون معكوسة .

ويمكن كذلك فحص الترانزستور بواسطة جهاز متعدد القياسات الرقمي (DMM) والذي يحتوي على ميزة اختبار الديود ، بحيث يعمل على قياس قيمة هبوط الجهد الأمامي على وصلة موجب-سالب ، والتي تتراوح من 0.3V إلى 1.2V للوصلة السليمة ، كما يظهر في الجدول (١-٢) ، وأي اختلاف لهذه القيم يعد مؤشراً على تلف الترانزستور .

جدول ١-٢ : فحص الترانزستور وتحديد أطرافه						
الوضع	الطرف الموجب للجهاز (الأحمر)	الطرف السالب للجهاز (الأسود)	قراءة الأوميتر (Ω)	قراءة DMM (V)		
			PNP	NPN	PNP	NPN
١	القاعدة	الباعث	منخفضة	عالية	0.7*	OL
٢	القاعدة	المجمع	منخفضة	عالية	0.7	OL
٣	الباعث	القاعدة	عالية	منخفضة	OL	0.7*
٤	المجمع	القاعدة	عالية	منخفضة	OL	0.7
٥	الباعث	المجمع	عالية	عالية	OL	OL
٦	المجمع	الباعث	عالية	عالية	OL	OL

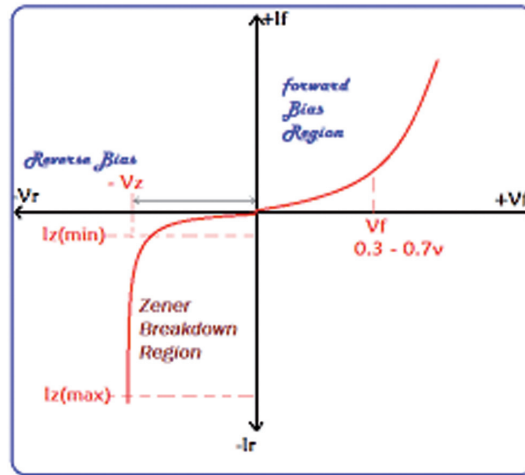
* في حالة الأنحياز الأمامي فإن قراءة DMM لوصلة القاعدة - الباعث تكون أعلى قليلاً من وصلة القاعدة - المجمع وهذا يساعد في تحديد أطراف الترانزستور .



الشكل (٣٤-٢) رمز وشكل ديود الزينر

ديودات الزينر هي ديودات سيلكونية تزيد الشوائب المضافة إليها الممتزجة عن شوائب الديود المعتاد بحيث يحدث الانهيار العكسي عند قيم محددة مسبقا وأقل نسبيا . وتتوفر ديودات الزينر تجاريا بجهود انهيار عكسية (جهود زينر) ذات قيم مختلفة ، منها على سبيل المثال (٢, ٧) فولت و (٤, ٧) فولت و (٥, ١) فولت و (٦, ٨) فولت و (٩, ١) فولت و (١٠) فولت و (١١) فولت و (١٢) فولت وهكذا إلى (٢٠٠) فولت . وقد صممت هذه الديودات خصيصا لتبدد الحرارة المتولدة أثناء التشغيل في حالة الانهيار العكسي ، ولن تتلف ما لم تتجاوز قيمة التيار العكسي المتدفق عبر الزينر القيمة القصوى المقررة (I_{zm}) ويبين الشكل (٣٤-٢) التالي رمز ديود الزينر وشكله الشائع .

في حالة الانحياز الأمامي يتصرف ديود الزينر مثل الديود المعتاد حيث يسمح بتدفق التيار الأمامي عبره . ولكن في حالة الانحياز العكسي ، فإنه لن يسمح بمرور التيار حتى تبلغ قيمة الجهد العكسي المسلط على طرفيه قيمة جهد الزينر (V_Z) المصمم عنده . وعند هذه النقطة يمر الزينر التيار في الاتجاه العكسي ، ويظل الجهد على طرفيه ثابتا بالرغم من التغير في قيمة التيار العكسي المتدفق عبره . ويوضح الشكل (٣٥-٢) المنحنى المميز لديود الزينر .



الشكل (٣٥-٢) المنحنى المميز لديود الزينر

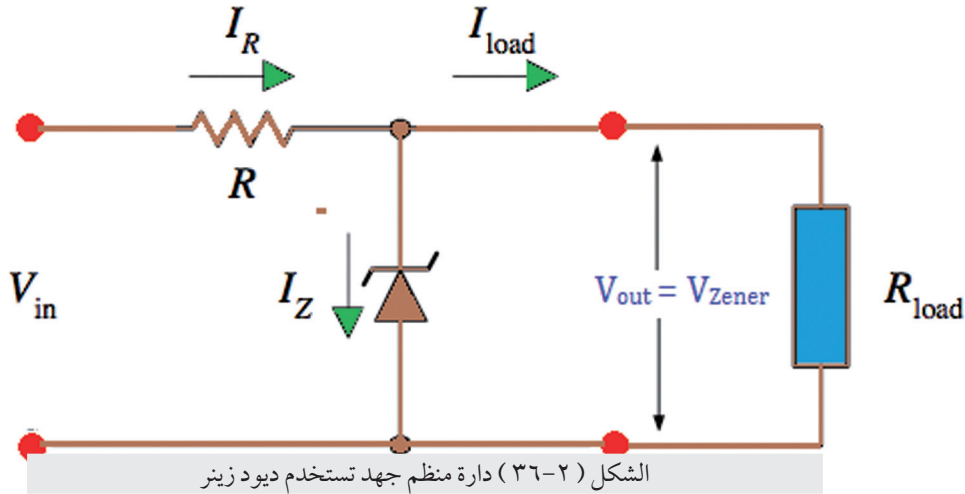
من أهم المواصفات التي يجب مراعاتها عند استبدال ديود زينر تالف في دائرة ما، أو عند اختيار ديود زينر لاستخدامه في دائرة معينة ما يلي :

أ جهد الزينر V_Z : هي قيمة الجهد العكسي الذي ينهار عندها الزينر ويبدأ بتمرير التيار العكسي ويبقى هذا الجهد ثابتا بالرغم من التغيرات في قيمة التيار العكسي .

ب القدرة القصوى P_{zm} : وهي أقصى قدرة بالواط ممكن أن يبدها الزينر في حالة الانهيار العكسي دون أن يتلف .

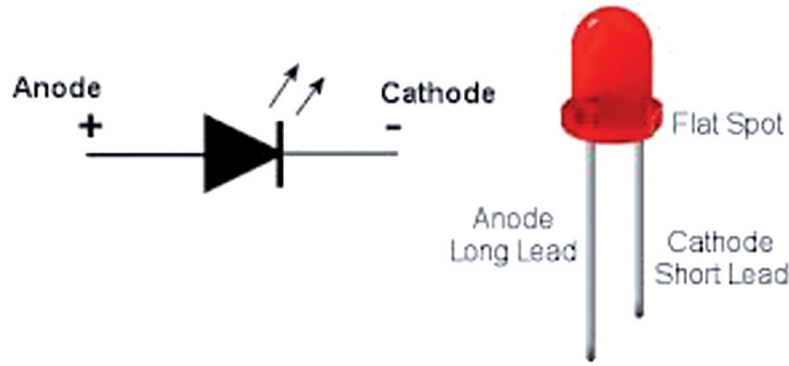
منظم الزينر :

منظم الزينر هو عبارة عن دائرة وظيفتها توفير جهد تغذية ثابت القيمة بالرغم من التغيرات في جهد الدخل و تيار الحمل ، ويبين الشكل (٣٦-٢) دائرة منظم جهد تستخدم ديود زينر . في هذه الدائرة يعمل الزينر على منوال الانهيار العكسي ، حيث يوصل المهبط (الكاثود) بالقطب الموجب ويوصل الحمل R_{load} بالتوازي مع الزينر ، وهكذا يحصل الحمل على الجهد الثابت بين طرفي الزينر V_{zener} .



يتم تغذية دائرة المنظم من مصدر جهد مستمر غير منظم ، ويجب أن تكون قيمة جهد المصدر أكبر من جهد الزينر مرة ونصف على الأقل لضمان بقاء الزينر في حالة انحياز عكسي طيلة الوقت ، المقاومة التسلسلية R تحدد قيمة التيار .

إن ما يميز الديود المشع للضوء LED هو إطلاقه للضوء عند مرور التيار الكهربائي به نتيجة وجوده في حالة الانحياز الأمامي والشكل (٢-٣٧) يبين رمز وشكل الديود المشع للضوء .



الشكل (٢-٣٧) رمز وشكل الديود المشع للضوء

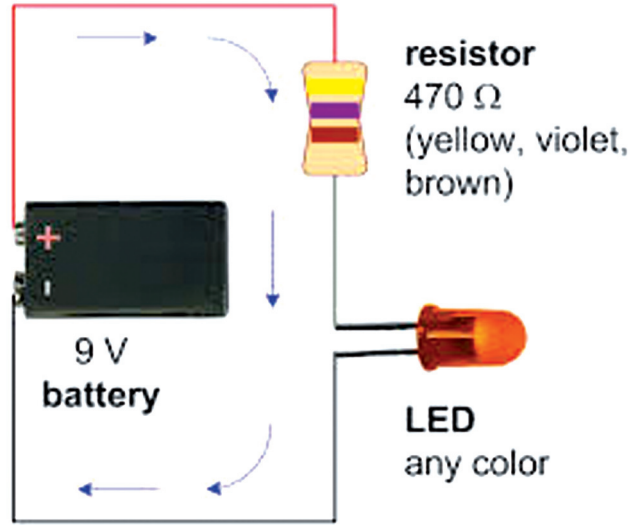
تعتبر الديودات المشعة للضوء وسيلة مفيدة للإشارة إلى حالة دارة ما ، وتتقدم على مصابيح الفتيلة التقليدية في الكثير من المزايا وأهمها احتياجها لقدر أقل من التيار التشغيلي ووثوقيتها العالية وعمر تشغيلها الطويل وانخفاض تكلفتها .

تصنع الديودات المشعة للضوء LEDs من فوسفيد الغاليوم ومن زرنيخيد فوسفيد الغاليوم . وتكون شدة إنارتها ملائمة عند تيارات أمامية تتراوح ما بين (٣-٥٠) ميلي أمبير . وتتوفر الديودات المشعة للضوء بعدد محدود من الألوان وهي : الأحمر والبرتقالي والأصفر والأخضر والأزرق . كما تتوفر الديودات المشعة للأشعة تحت الحمراء (red-Infra) غير المرئية والتي تستخدم في وحدات التحكم عن بعد (Control Remote) . يعتمد لون الضوء الذي ينتجه الديود المشع للضوء على نوع المادة المصنوعة منها وصلة الديود وليس على لون غلافه الخارجي ، فعلى سبيل المثال الديود المشع للضوء الأخضر يصنع من فوسفيد الغاليوم والشكل (٢-٣٨) يبين ألوانا مختلفة لها .



الشكل (٢-٣٨) بعض ألوان الديودات المشعة للضوء

للحد من التيار الأمامي عند قيمة مناسبة ، يلزم عادة توصيل مقاومة على التوالي مع الثنائي المشعة للضوء ، كما مبين في الشكل (٢-٣٩) بحيث يكون الجهد على طرفي الديود المشع للضوء حوالي ٢ فولت وذلك في وضعية الانحياز الأمامي . يجب الانتباه أن جهود الانهيار العكسية للديودات المشعة للضوء منخفضة لا تزيد عن (٥) فولت ، وتجاوزها يؤدي إلى إعطاب الديود .



الشكل (٢-٣٩) توصيل مقاومة على التوالي مع الديود المشع للضوء

منظمات الجهد المتكاملة Integrated Voltage Regulators

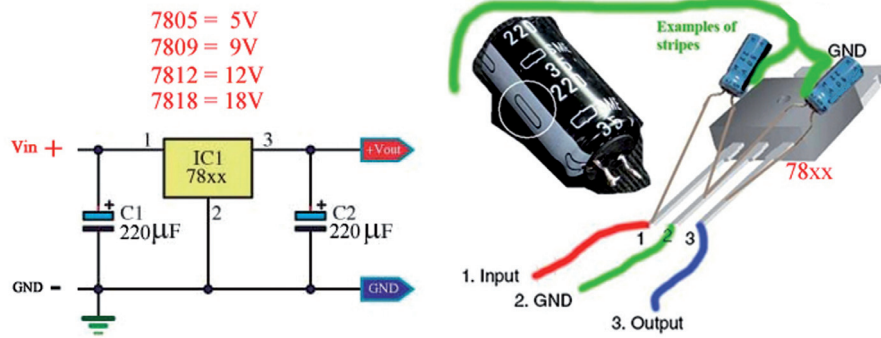
نتيجة التطور الهائل في العلوم الالكترونية ، فقد تم إنتاج دارات متكاملة Integrated Circuits لتعمل كمنظمات جهد ، وهناك أنواع كثيرة منها ، ولكل تيار وجهد محدد وكل دائرة متكاملة من هذا النوع تحوي دائرة تنظيم معقدة مع دائرة حماية .

يوجد منظمات جهد متكاملة ، تعطي جهد خرج ثابت موجب أو سالب مثل (٥+ و ١٢+ و ٥- و ١٢-) فولت . كذلك يوجد منظمات جهد متكاملة تعطي جهدا قابلا للتغيير . وسوف يتم عرض بعض منظمات الجهد المتكاملة الخطية الواسعة الانتشار .

منظمات الجهد المتكاملة الثابتة الجهد :

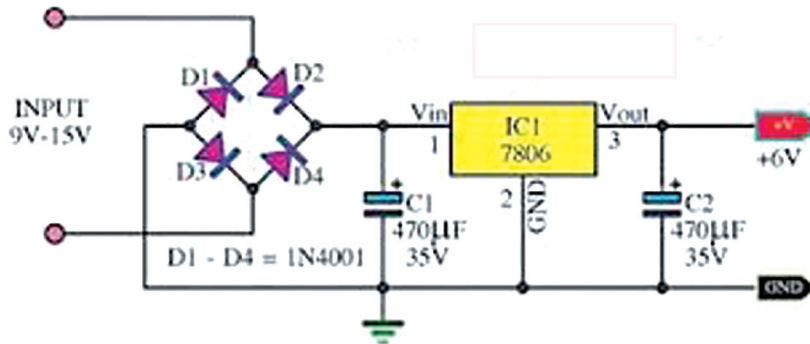
من أكثر الأمثلة شيوعا على هذا النوع من المنظمات هي منظمات الجهد المتكاملة ثلاثية الأطراف ، ويوجد منها سلسلتان أساسيتان هما :

السلسلة (78xx) : وهي مصممة لتنظيم الجهد الموجب (دخلها وخرجها موجبان) .
 السلسلة (79xx) : وهي مصممة لتنظيم الجهد السالب (دخلها وخرجها سالبان) .
 تشير الخانتان الأولى والثانية من رقم المنظم من اليمين إلى جهد الخرج ، فعلى سبيل المثال فان المنظم الذي يحمل الرقم (7805) هو منظم ذو جهد خرج ثابت يساوي (+5V) ، والمنظم الذي يحمل الرقم (7912) هو منظم ذو جهد خرج ثابت يساوي (-12V) .
 الشكل (٢-٤٠) يبين شكل وأطراف وطريقة توصيل منظمات جهد الكترونية من السلسلة ٧٨xx



الشكل (٢-٤٠) شكل وأطراف توصيل منظمات جهد الكترونية من السلسلة ٧٨xx

أما الشكل (٢-٤١) فيبين وحدة تغذية تستخدم الدارة المتكاملة (٧٨٠٦) لتنظيم الجهد على قيمة (+٦) فولت . وهذه الدارة لها ثلاثة أطراف وغلاف بلاستيكي بحيث تبدو وكأنها ترانزيستور عادي إلا أنها في الواقع تحوي بداخلها أكثر من عشرة ترانزيستورات مرتبة ضمن دائرة تنظيم معقدة .



الشكل (٢-٤١) : الدارة الكهربائية لتنظيم الجهد على قيمة (+٦) فولت باستخدام وحدة تغذية والدارة المتكاملة ٧٨٠٦

يجب التنويه أن جهد المدخل غير المنظم يجب أن يكون أعلى من جهد الخرج المنظم بمقدار (٣) فولت على الأقل

. ويجب أن لا يسمح لجهد الدخل غير المنظم بأن يتجاوز جهد الخرج المنظم بأكثر من (١٥) فولت ، وإلا زادت القدرة المبددة على شكل حرارة في المنظم عن الحد المسموح به .
ويمكن للسلسلة (78XX) أن تغذي أحمالا ذات تيارات قد تصل إلى (1A) إذا استخدمت مع مبدد حراري .

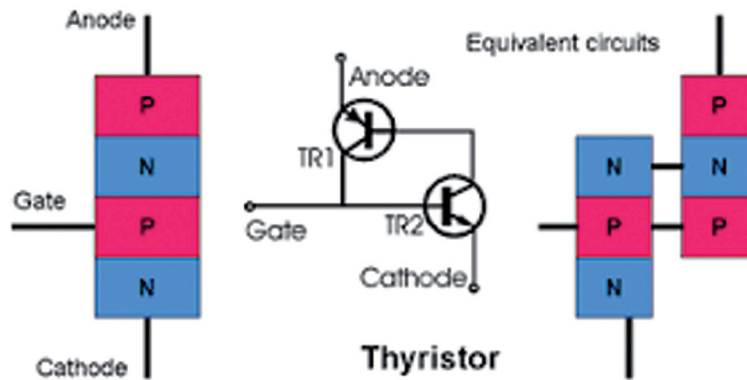
الثايرستور Thyristor

يطلق على الثايرستور اسم الموحد السليكوني المحكوم (SCR) على اعتبار أنه يستخدم للتحكم في القدرة الكهربائية بتطبيقاتها المختلفة ، كالتحكم في شدة إضاءة المصابيح وقدرة السخانات الكهربائية وسرعة المحركات الكهربائية وغيرها .

والجدير بالذكر أن كلمة ثايرستور أصلها يوناني وتعني باب أو مفتاح يمكن فتحه أو غلقه مما يسمح أو يمنع تدفق التيار عبر الحمل الكهربائي . الثايرستور يختلف عن الديود العادي بأن له طرف تحكم إضافي يسمى البوابة يسمح بالتحكم في اللحظة التي يبدأ عندها بالتوصيل .

التركيب :

يتكون الثايرستور من أربع طبقات شبه موصلة (N-P-N-P) والذي يمكن تمثيله من أجل فهم طريقة تشغيله على أنه يكافئ ترانزستورين وللثايرستور ثلاثة أطراف هي المصعد (Anode) يتصل بالطبقة الطرفية الموجبة (P) ، والمهبط (Cathode) الذي يتصل بالطبقة الطرفية السالبة (N) ، والبوابة (Gate) التي تتصل بالطبقة الموجبة الوسطى كما هو موضح في الشكل (٢-٤٢) .



الشكل (٢-٤٢) طبقات وأطراف الثايرستور

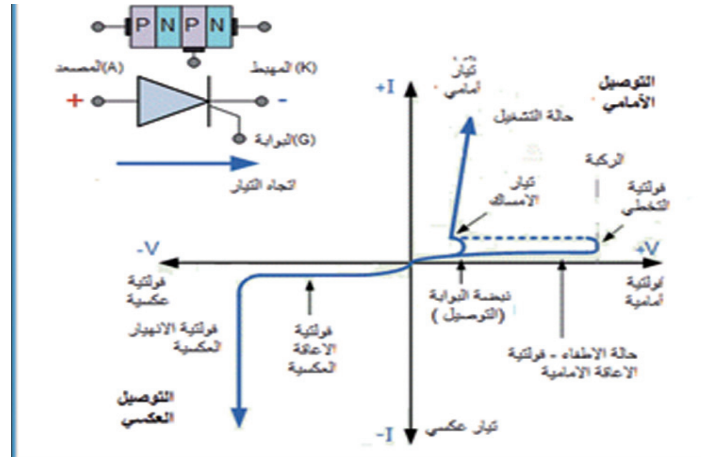
وبين الشكل (٢-٤٣) الأشكال الشائعة للثايرستور .



الشكل (٢-٤٣) الأشكال الشائعة للثايرستور .

وصف عمل الثايرستور :

يكافئ الثايرستور مفتاحا يمكن التحكم في اللحظة التي يبدأ عندها بالعمل كمفتاح في حالة الوصل ، وذلك عن طريق طرف البوابة ودارة قرح خاصة ، كما يمكن التحكم في اللحظة التي يتوقف عندها عن التوصيل ليصبح كمفتاح في حالة القطع . ويمكن التعرف على مبدأ عمل الثايرستور ومواصفاته الفنية بدراسة منحنيات خواصه . يعمل الثايرستور في أي لحظة زمنية كما هو مبين بالشكل (٢-٤٤) في إحدى مناطق التشغيل الثلاث التالية :



الشكل (٢-٤٤) منحني خواص الثايرستور ومناطق تشغيله

■ المنطقة الأولى :

منطقة التوصيل العكسي : يعمل الثايرستور في منطقة التوصيل العكسي عندما يكون منحازا انحيازاً عكسياً ، حيث يتصل مصعده بالقطب السالب لمصدر التغذية ، ومهبطه بالقطب الموجب لمصدر التغذية . وفي هذه الحالة يعمل الثايرستور كمفتاح في حالة القطع (OFF) . وعملياً يمر عبر الثايرستور في هذه الحالة تيار تسرب صغير يمكن إهماله . إذا زاد جهد الانحياز العكسي على قيمة معينة تسمى جهد (فولتية) الانهيار العكسي فإن ذلك يؤدي إلى سريان تيار عكسي كبير يؤدي بالعادة إلى تلف الثايرستور .

منطقة الإعاقة الأمامية : يعمل الثايرستور في منطقة الإعاقة الأمامية عندما يكون منحازا انحيازاً أمامياً ، حيث يتصل مصعده بالقطب الموجب لمصدر التغذية ، ومهبطه بالقطب السالب لمصدر التغذية بحيث أن تيار البوابة يساوي صفراً وتكون قيمة جهد الانحياز الأمامي أقل من قيمة معينة تسمى جهد الانهيار الأمامي . وفي هذه الحالة يعمل الثايرستور كمفتاح في حالة القطع (OFF) . وعملياً يمر عبر الثايرستور تيار تسرب صغير يمكن إهماله .

منطقة التوصيل الأمامي : في هذه الحالة يعمل الثايرستور كمفتاح في حالة التوصيل (ON) ، ويمر التيار الأمامي عبر الثايرستور من المصعد إلى المهبط وتعتمد قيمته على مقاومة الحمل فقط . يمكن تحويل الثايرستور من حالة الإعاقة الأمامية إلى حالة التوصيل الأمامي عن طريق تغذية البوابة بتيار مستمر أو نبضة قرح قصيرة تجعل منطقة البوابة موجبة بالنسبة للمهبط . وبمجرد أن يصبح الثايرستور في حالة التوصيل الأمامي ، تفقد البوابة قدرة التحكم في الثايرستور ، ويستمر في التوصيل طالما استمر جهد المصعد موجباً بالنسبة للمهبط . يتم تحويل الثايرستور من حالة التوصيل إلى حالة القطع بتخفيض تيار المصعد إلى ما دون قيمة تعرف باسم التيار القابض (Ih - Current Holding) والمساوية للصفر تقريباً ، أو بعكس قطبية الجهد بين المصعد والمهبط . وهذا يحدث تلقائياً في دارات التيار المتناوب حيث تعكس موجة الجهد قطبيتها بشكل دوري .

التحكم في القدرة باستخدام الثايرستور :

تستخدم الثايرستورات للتحكم في القدرة الكهربائية بتطبيقاتها المختلفة ، كالتحكم في شدة إضاءة المصابيح وقدرة السخانات الكهربائية وسرعة المحركات الكهربائية عن طريق تشغيل الثايرستور في وضعية التوصيل الأمامي عند أي نقطة من أنصاف الموجات التي يكون فيها مصعد الثايرستور موجباً بالنسبة لمهبطه بواسطة تغذية البوابة بنبضة القرح عند زاوية طور معينة من كل دورة ويستمر في التوصيل خلال باقي النصف الموجب للدورة . وعند نهاية نصف الدورة هذه (عند نقطة الصفر) يتحول الثايرستور تلقائياً إلى حالة القطع .

وتسمى الفترة التي يبقى فيها الثايرستور في حالة توصيل بزوايا التوصيل *Conduction Angle* وهي الفترة الزمنية الممتدة بين زاوية القرح والنقطة التي ينطفئ فيها الثايرستور .

فحص صلاحية الثايرستور Testing of SCR

يمكن فحص الثايرستور وتحديد أطرافه باستخدام جهاز الأوميتر أو باستخدام الجهاز متعدد القراءات الرقمي DMM ، والجدول (٢-٢) يلخص هذه العملية .

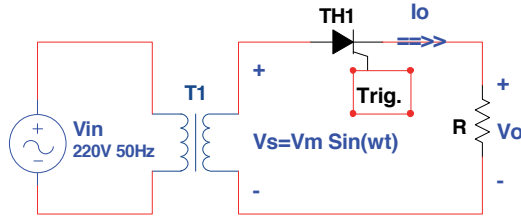
جدول ٢-٢ : فحص الثايرستور وتحديد أطرافه

الوضع	الطرف الموجب للجهاز (الأحمر)	الطرف السالب للجهاز (الأسود)	قراءة الأوميتر (Ω)	قراءة (V) DMM 
١	المصعد	المهبط	عالية	OL
٢	المصعد	البوابة	عالية	OL
٣	المهبط	المصعد	عالية	OL
٤	المهبط	البوابة	عالية	OL
٥	البوابة	المصعد	عالية	OL
٦	البوابة	المهبط	منخفضة	0.7

يبين الشكل ٢-٤٥ مقوم نصف موجة أحادية الطور محكوم مع حمل مادي (*Resistive load*). تحتوي هذه الدارة على ثايرستور وأحد يقوم بعملية التحكم في جهد الحمل . خلال النصف الموجب لموجة المصدر، يعمل الثايرستور في منطقة الإعاقة الأمامية، عندما يكون تيار البوابة للثايرستور مساوياً للصفر، ولا يمرر أي تيار إلى الحمل، وبالتالي يكون جهد الحمل مساوياً للصفر. وخلال هذه الفترة إذا تم قرح فإنه يدخل في وضع التوصيل *ON*، ويقوم بتمرير التيار، وتظهر موجة جهد المصدر على الحمل،

ويستمر الثايرستور بالتوصيل حتى نهاية النصف

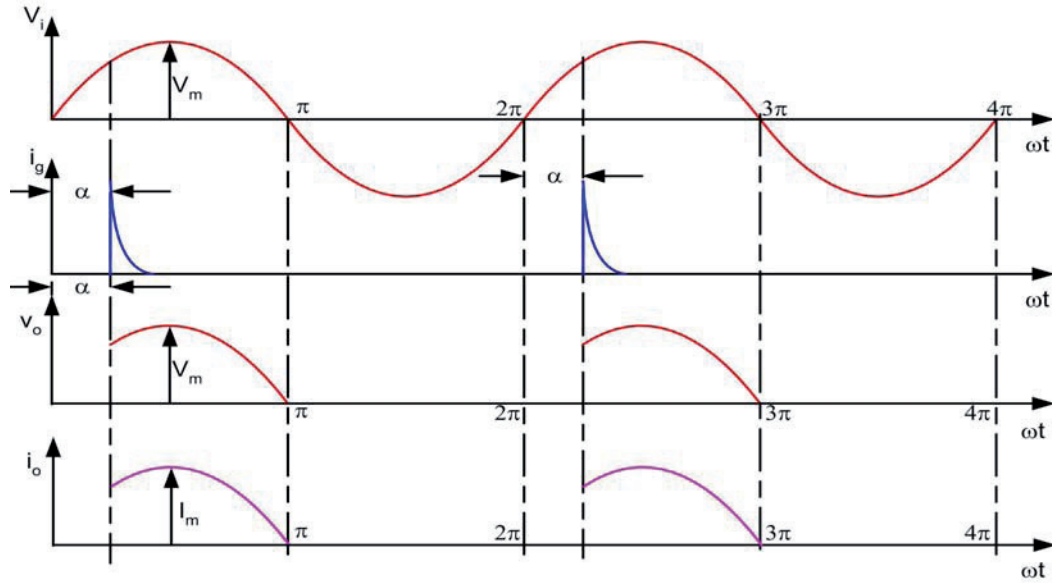
الموجب للموجة وبداية النصف السالب، (عند $\omega t = 180^\circ$)، حيث يقل التيار الأمامي المار في الديود إلى ما دون تيار الإمساك فيدخل الثايرستور في حالة قطع *OFF* ويبقى كذلك حتى يتم قرحه من جديد خلال النصف الموجب التالي.



الشكل (٢-٤٥)

يطلق على الفترة الزمنية التي تمر قبل قرح الثايرستور بزاوية القرح α ، وتقاس من بداية الموجة الموجبة أي لحظة عبور الموجة نقطة الصفر. وعن طريق زيادة أو تقليل زاوية القرح يمكن التحكم بقيمة الجهد المسلط على الحمل.

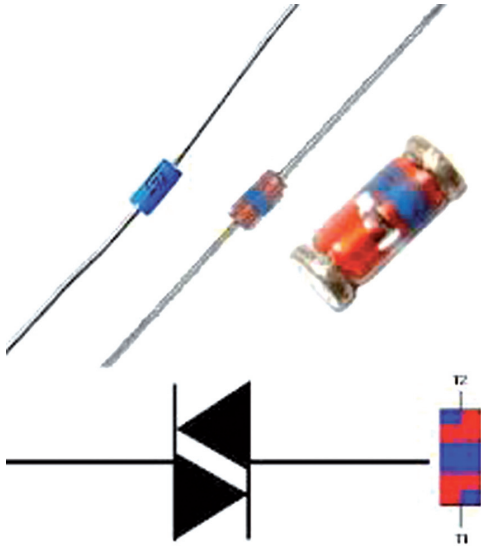
الشكل ٤٦-٢ يوضح الأشكال الموجية للتيار والجهد عند نقاط مختلفة من الدارة. لاحظ إنه في حالة الحمل المادي فإن موجة التيار لها نفس شكل موجة الجهد.



الشكل (٤٦-٢)

يتبين أن زيادة قيمة زاوية القدح (الإشعال) (α) يؤدي إلى نقص زاوية الحمل (زاوية التوصيل) وبالتالي الإقلال من قيمة الجهد الخارج V_o فتقل قيمة تيار الحمل ، وكلما قلت قيمة زاوية القدح (الإشعال) أي أن إدخال النبضات الموجبة للبوابة تم بشكل مبكر فإن زاوية التوصيل (زاوية تدفق التيار) تزداد وبالتالي يزداد مرور التيار في الحمل .

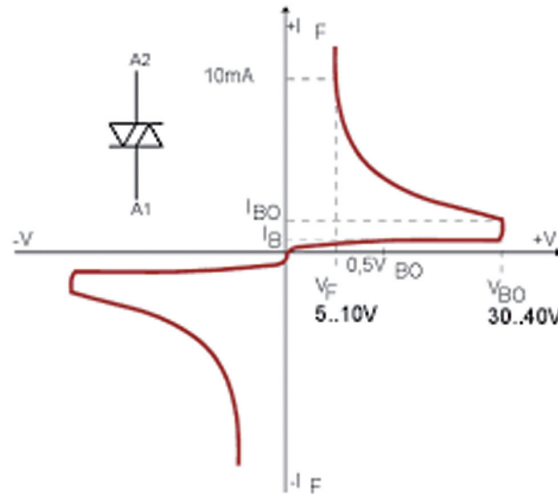
الدايك Diac



الشكل (٤٧-٢) رمز وشكل الدايك .

يأتي الاسم دايك اختصاراً للتعبير الانجليزي (Diode For Alternating Current) ومعنى ذلك ديود التيار المتناوب ، وهو عبارة عن ديود قدح ثنائي الاتجاه ويستخدم بكثرة في دارات قدح الثايرستور و الترياك . ويبين الشكل (٤٧-٢) رمز وشكل الدايك .

يبدأ الدايك بتوصيل التيار عندما تتجاوز قيمة الجهد المسلط على طرفيه لحظيا قيمة جهد الانهيار المقرر للدايك كما هو مبين في الشكل (٢-٤٨) الذي يبين منحنى خواص الدايك، وعندما يحدث ذلك تنخفض مقاومة الدايك بشكل حاد، وينخفض فرق الجهد بين طرفيه، وترتفع قيمة التيار المار عبره بشكل حاد.

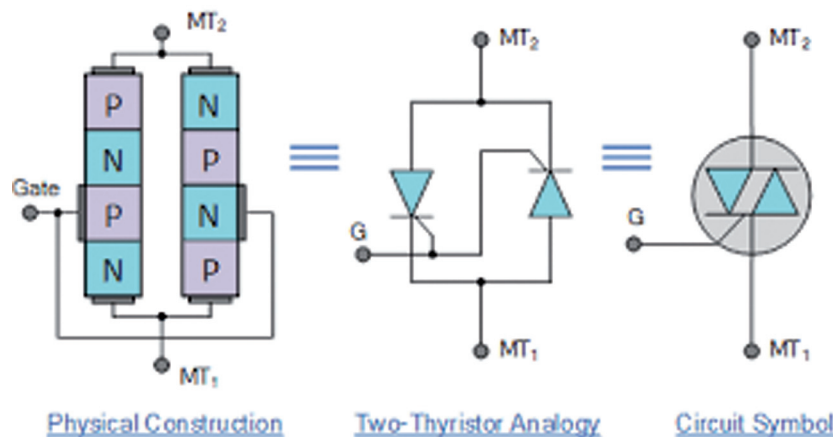


الشكل (٢-٤٨) منحنى خواص الدايك

يستمر الدايك بالتوصيل الى حين انخفاض قيمة التيار المار عبره ما دون قيمة تعرف باسم التيار القابض (Holding Current : I_h) والمساوية للصفر تقريبا.

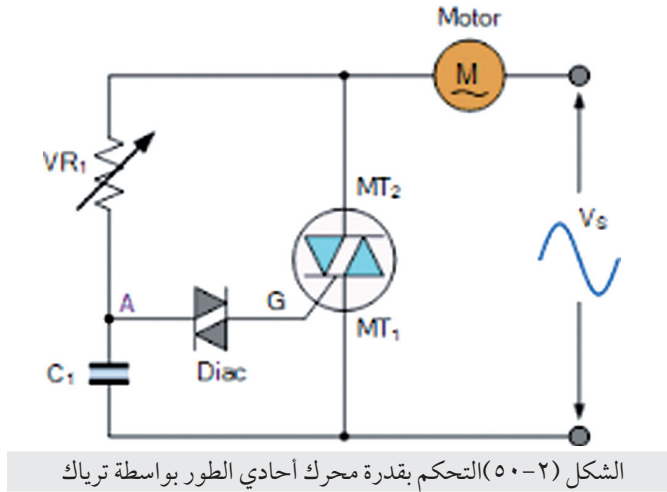
الترايك Triac

للترايك ثلاثة أطراف هي الطرف الرئيسي الأول MT1 والطرف الرئيسي الثاني MT2 والبوابة G، كما هو مبين بالشكل (٢-٤٩). ويستطيع الترايك أن يمرر التيار الكهربائي في كلا الاتجاهين، وذلك بعكس الثايرستور الذي يمرر التيار باتجاه واحد فقط. كما يمكن قرح الترايك نبضة موجبة أو سالبة على البوابة لتحويله إلى حالة التوصيل، بصرف النظر عن قطبية الجهد على طرفيه. يكافئ الترايك في عمله ثايرستورين متعاكسين ومتصلين على التوازي كما هو مبين بالشكل (٢-٤٩) الذي يبين رمز وتركيب ودارة الثايرستورات المكافئة للترايك.

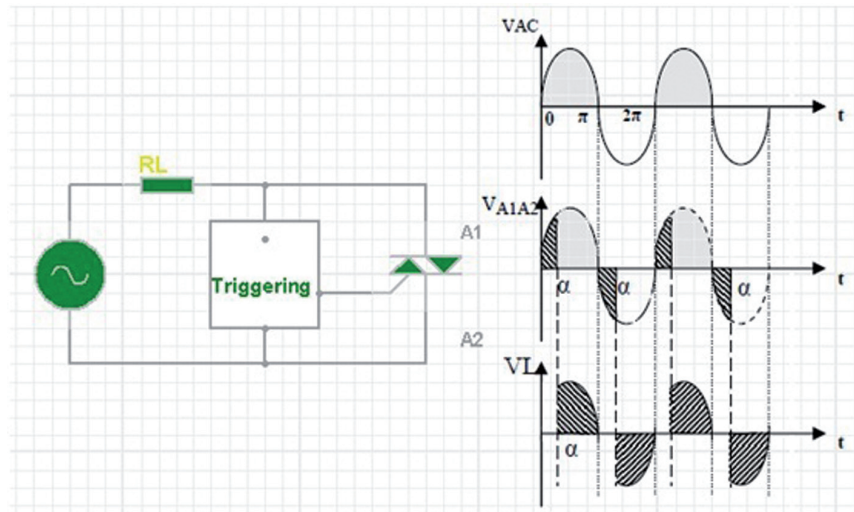


الشكل (٢-٤٩) رمز وتركيب ودارة الثايرستورات المكافئة للترايك

يستخدم الترياك بشكل أساسي في دارات التحكم بالتيار المتناوب نظراً لأنه يستطيع تمرير التيار في كلا الاتجاهين مثل التحكم بقدرة محرك أحادي الطور بواسطة ترياك وزاوية قدح تتكون من مقاومة متغيرة ومكثف ودياك كما هو مبين بالشكل (٢-٥٠) .



من الممكن تشغيل الترياك في وضعية التوصيل عند أي نقطة من أنصاف الموجات الموجبة أو السالبة عن طريق التحكم بتوقيت نبضات البوابة كما هو مبين في الشكل (٢-٥١) .



الشكل () دائرة التحكم بالتيار المتناوب المار في مقاومة سخان RL مع منحنيات جهد المصدر V_{A1A2} وجهد الترياك V_L وجهد الحمل V_L

كلما زادت زاوية القدح α بالشكل (٢-٥١) . قلت زاوية تدفق التيار في الحمل RL وبالتالي فإن الجهد الواقع VL على الحمل RL سيقبل وكلما قلت زاوية القدح α زادت زاوية تدفق التيار في الحمل RL وبالتالي فإن الجهد الواقع VL على الحمل RL سيزداد .

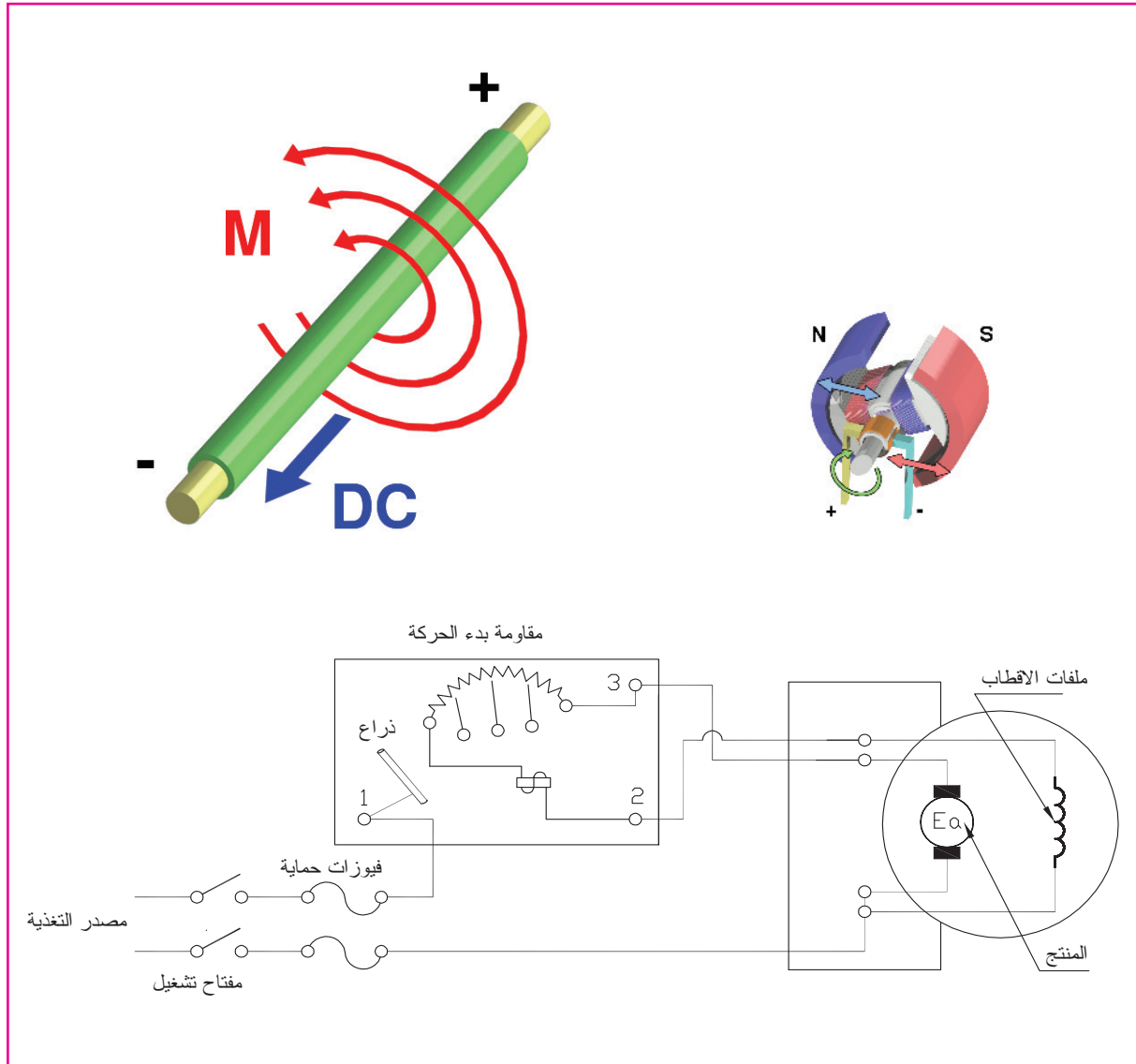
- أولاً: أجب على الأسئلة التالية بوضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة :
- ١ عند درجة حرارة الصفر المطلق تتصرف بلورة السيلكون النقية كمادة :
 (أ) شبه موصلة (ب) ذات مقاومة منخفضة (ج) عازلة (د) موصلة
 - ٢ للحصول على بلورة شبه موصلة موجبة فإننا نضيف إلى السيلكون ذرات عناصر يحتوي مدارها الأخير على إلكترونات عددها :
 (أ) ٥ (ب) ٤ (ج) ٢ (د) ٣
 - ٣ قيمة جهد الحاجز للديود المصنوع من السيلكون تساوي :
 (أ) 0.3 V (ب) 2.2 V (ج) 0.7 V (د) 0.2 V
 - ٤ قيمة جهد الحاجز لديود شوتكي :
 (أ) أكبر من 0.3 V (ب) تساوي 0.7 V (ج) أكبر من 0.7 V (د) أقل من 0.3 V
 - ٥ يلزم في دائرة المقوم النجمي :
 (أ) ٦ ديودات (ب) ٣ ديودات (ج) ٤ ديودات (د) ديودان
 - ٦ لكي يضيء الديود المشع للضوء فيجب أن يكون الجهد الواقع عليه :
 (أ) 2 V (ب) 0.3 V (ج) 0.7 V (د) 9 V
 - ٧ كلما زادت زاوية قدح الثايرستور فإن زاوية توصيل التيار :
 (أ) تزداد (ب) لا يوجد علاقة بين الزاويتين (ج) تكون مساوية لزاوية القدح (د) تقل
 - ٨ يستخدم ديود الزينر عادة :
 (أ) للتوحيد (ب) لتكبير الإشارات (ج) لتنظيم الجهد (د) للتحكم بالوصل والفصل
 - ٩ يتكون الثايرستور من عدد من الطبقات شبه الموصلة عددها :
 (أ) ٤ (ب) ٣ (ج) ٥ (د) ٦
 - ١٠ لكي يعمل الترانزيسور كمكبر فإنه يتم تشغيله في :
 (أ) منطقة التشبع (ب) منطقة القطع (ج) منطقة القطع ثم منطقة التشبع (د) المنطقة الفعالة

ثانياً: أجب عن الأسئلة التالية .

- ١ عرف الكترونياات القدرة وما هي وظيفة عناصرها ؟
- ٢ ما هو المقصود بتطعيم المواد شبه الموصلة ولماذا يتم القيام به ؟
- ٣ ما هو الفرق بين تركيب البلورة شبه الموصلة من النوع السالب والبلورة شبه الموصلة من النوع الموجب ؟
- ٤ عرف جهد الحاجز ومتى يكون الديود منحازاً أمامياً ومتى يكون منحازاً بشكل عكسي ؟ .

- ٥ عدد الأنواع الرئيسية لديود القدرة .
- ٦ ما هي الأجزاء الرئيسة التي تتكون منها دارات التقويم ؟
- ٧ جهد المصدر في دائرة مقوم نصف موجة غير محكوم أحادي الطور يساوي 200V وتردده 50Hz وكانت قيمة مقاومة الحمل $R=10\ \Omega$ ونسبة التخفيض للمحول تساوي 1 : 4 احسب القيمة الفعالة لجهد الحمل V والقيمة الفعالة لتيار الحمل I وجهد القمة العكسي للديود PIV وتردد إشارة جهد الحمل fout ؟
- ٨ ارسم الدارة الكهربائية لمقوم نصف موجة أحادي الطور ثم ارسم إشارتي الدخل Vs والخرج VL للمقوم .
- ٩ جهد المصدر في دائرة مقوم موجة كاملة غير محكوم أحادي الطور (موحد القنطرة) يساوي 240V وتردده 50 Hz وكانت قيمة مقاومة الحمل $R=100\ \Omega$ ونسبة التخفيض للمحول تساوي 1 : 6 احسب القيمة الفعالة لجهد الحمل V والقيمة الفعالة لتيار الحمل I وجهد القمة العكسي للديود PIV وتردد إشارة جهد الحمل fout . ؟
- ١٠ ارسم الدارة الكهربائية لمقوم موجة كاملة أحادي الطور (موحد القنطرة) ثم ارسم إشارتي الدخل Vs والخرج V للمقوم .
- ١١ مم تتكون المرشحات المستخدمة في دارات التقويم وما هي وظيفتها ؟
- ١٢ ارسم الدارة الكهربائية لمقوم موجة كاملة ثلاثية الطور (مقوم القنطرة) .
- ١٣ كيف يوصل ديود الزينر وما هي أبرز استخداماته ؟
- ١٤ ارسم الدارة الكهربائية لمنظم جهد يحتوي على ديود زينر ؟
- ١٥ ما هي الميزات التي تتفوق فيها الديودات المشعة للضوء على مصابيح الفتيلا ؟
- ١٦ ارسم الدارة الكهربائية لمنظم جهد باستخدام الدارة المتكاملة ٧٨٠٦ .
- ١٧ عدد مناطق تشغيل الثايرستور .
- ١٨ ارسم رمز الدياك وأين يستخدم ؟
- ١٩ ما هو الفرق الأساسي بين الثايرستور والترياك ؟
- ٢٠ ارسم دائرة التحكم بقدرة محرك أحادي الطور بواسطة ترياك .
- ٢١ اذكر مناطق تشغيل الترانزستور .
- ٢٢ ما هي الصفات التي يمتاز فيها المفتاح الترانزستوري عن المفتاح الميكانيكي ؟
- ٢٣ كيف يمكن فحص صلاحية ترانزستور NPN بواسطة الأوميتر ؟
- ٢٤ ما هي المواصفات الفنية لديودات الزينر ؟

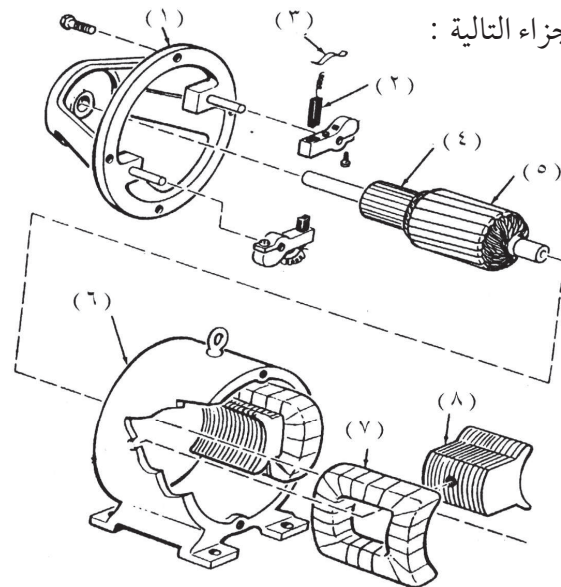
آلات التيار المستمر



تتميز آلات التيار المستمر بأنها قد يتم تشغيلها كمحرك كهربائي يوصل به حمل ميكانيكي أو كمولد كهربائي عند توصيل حمل كهربائي على أطرافه، وعلى الرغم من قلة شيوعها إلى الحد الذي تستعمل فيه محركات التيار المتردد حالياً (نظراً لكبر حجمها وارتفاع ثمنها وتكاليف صيانتها وحاجتها إلى مصدر تيار مستمر)، إلا أنها ما زالت تستعمل في كثير من التطبيقات الصناعية كبادئات الحركة في السيارات والطائرات وفي آلات القطع والنسيج والقطارات الكهربائية والمولدات الكهربائية والرافعات وآلات الجر ومعدات الخدمة الثقيلة ذات الاحمال العالية بالإضافة إلى تلك التطبيقات التي تحتاج إلى عزم بدء عالٍ. كما وان اهم ما يميز آلات التيار المستمر كذلك، قلة تكاليف السيطرة على مدى واسع من سرعتها مقارنة بآلات التيار المتردد (كما سيتضح معنا لاحقاً).

لذلك سيتم التعرف على كل من تركيب آلة التيار المستمر، ومبدأ عمل كل من المحرك والمولد الكهربائي لآلات التيار المستمر على حد سواء، بالإضافة إلى أنواعها، وخواصها، واستخداماتها، والقوة الدافعة الكهربائية المتولدة فيها، وحسابات القدرة، وخسائرها، وطرق التحكم بسرعاتها.

١ - ٣ تركيب آلة التيار المستمر (محرك / مولد):



تتكون آلة التيار المستمر كما في الشكل (١-٣) من الأجزاء التالية :

- | | | | |
|---|-----------------|---|------------|
| ١ | غطائي جانبي . | ٢ | فحمت . |
| ٣ | زنبرك ضاغط . | ٤ | موحد . |
| ٥ | عضو الإنتاج . | ٦ | الهيكل . |
| ٧ | ملفات الأقطاب . | ٨ | قطب مجال . |

١ الجزء الساكن (Stator):

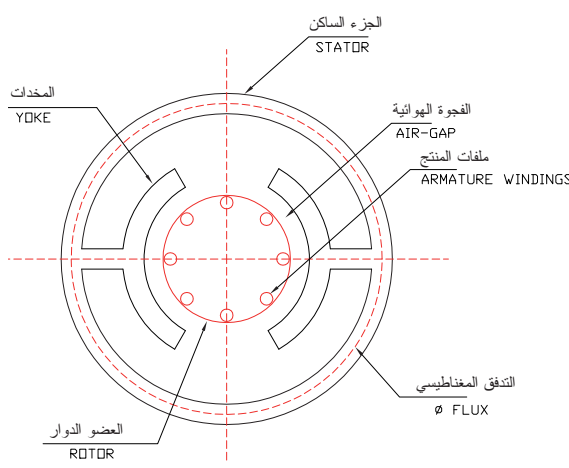
ويضم الجزء الساكن الهيكل الخارجي (Yoke) للآلة

ويثبت في هذا الجزء ما يلي :

- | | |
|---|--|
| ١ | غطاء الآلة الجانبيان . |
| ٢ | اللوحة الاسمية المثبتة على جسم الهيكل . |
| ٣ | قاعدة الآلة الخاصة بتثبيت الآلة وتحتوي على ثقب خاصة لبراغي التثبيت . |
| ٤ | الأقطاب البارزة التي تحمل ملفات الأقطاب (المجال) بداخلها . |
| ٥ | حلقة تعليق دائرية الشكل لتسهيل نقل الآلة . |
| ٦ | حامل الفرش الكربونية وزنبرك التثبيت والفرش الكربونية (Brushes) . |
| ٧ | لوحة توصيل الآلة الخارجية (Connection - Box) . |

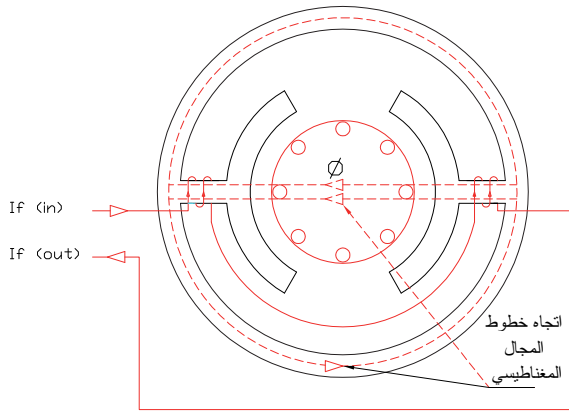
الشكل (١-٣): أجزاء آلة التيار المستمر بعد الفك

ويبين الشكل (٢-٣) الأجزاء الرئيسية للآلة تيار مستمر



الشكل (٢-٣):

يحتوي العضو الساكن للآلة التيار المستمر على ملفات الأقطاب (وتسمى أحيانا ملفات المجال)، ذلك لأنها هي المسؤولة عن إنتاج التدفق المغناطيسي ($Mag-$ Flux - netic) كما هو مبين في الشكل (٣-٣) اللازم حتى تتم عملية توليد القوة الدافعة الكهربائية ($e.m.f$) في ملفات العضو الدوار أو تكون ملفات المجال من أقطاب من المغناطيس الدائم.



الشكل (٣-٣): التدفق المغناطيسي لآلة التيار المستمر (خارج من ملفات الأقطاب باتجاه العضو الدوار)

وتلف ملفات الأقطاب عادة حول ما يسمى الأقطاب البارزة التي تتشكل من شرائح من الفولاذ (الحديد) مضغوطة فوق بعضها البعض، وتكون معزولة عن بعضها وتثبت هذه الأقطاب البارزة داخل الهيكل، ويكون عددها مساوياً لعدد أقطاب آلة التيار المستمر، كما هو مبين في الشكل (٢-٣). ويعود السبب في ذلك للتقليل من الخسائر الناتجة من التيارات الدوامية ($Eddy-currents$) التي تولد حرارة ترفع من درجة حرارة الملفات.

٢ العضو الدوار (Rotor):

ويضم العضو الدوار ما يلي:

- عمود الدوران ($Shaft$).
- ملفات المنتج ($Armature Windings$).
- كراسي التحميل ($Bearings$).
- الموحد ($Commutator$).
- بكرات نقل الحركة (عند الحاجة).
- مروحة التبريد (Fan).

ويتكون العضو الدوار للآلة التيار المستمر من عمود أسطواني الشكل بأبعاد مختلفة يثبت عليه شرائح دائرية الشكل من الفولاذ معزولة ومضغوطة بعضها فوق بعض ، وتحتوي تلك الشرائح على مجارٍ (Slots) يتم إسقاط ملفات المنتج بداخلها ، وتلحم نهايات تلك الملفات النحاسية مع حلقات الموحد (Commutator)، ويمكن توصيل ملفات المنتج بحلقات الموحد بطريقتين (لف انطباقي ولف تموجي) والتي تحدد عدد دارات التوازي ، ومقدار الجهد المتولد في المنتج ، وكذلك عدد وموقع الفرش الكربونية المتصلة بهذه الحلقات ، وحيث إن عدد الملفات في آلة التيار المستمر يكون كبيراً عملياً فإنه يلزم موحد متعدد الحلقات ليتناسب مع عددها ، ويتم تثبيت العضو الدوار من الطرفين على كراسي تحميل إلى الجزء الساكن للآلة التيار المستمر بمساعدة غطاء الآلة الجانبيين ، ومن ثم تركيب مروحة تبريد هوائية على جسم الآلة ؛ لتبريد ملفاتهما ، وتكون محمية (بدرجة حماية) مناسبة لظروف عملها (IP 55 - مثلاً) .

كما يتكون الموحد في آلة التيار المستمر من حلقات مصنوعه من النحاس مفصولة بعضها عن بعض ومعزولة بمادة الميكا ، وتكمن أهميته في تحويل التيار المتناوب المتولد في المنتج إلى تيار مستمر في الآلة التي تعمل كمولد وتحويل التيار المستمر إلى تيار متناوب في آلة التيار المستمر التي تعمل كمحرك ، ويتم ذلك بواسطة الفرش الكربونية ، والتي تصنع عادة من حبيبات من الكربون المضغوط (أو الجرافيت المضاف إليه بعض من حبيبات النحاس) لزيادة توصيلها للتيار الكهربائي ، ويجب أن تكون هذه الفرش المثبتة على هيكل الآلة بواسطة حامل الفرش متصله بشكل جيد مع حلقات الموحد حتى تتم عملية التوحيد بشكل سليم ، هذا ويجب أن لا تكون الفرش الكربونية مضغوطة كثيراً على حلقات الموحد ؛ حتى لا يؤدي ذلك إلى سرعة تآكلها ولا أن تكون كذلك ملاستها ضعيفة لكي لا تؤدي إلى حدوث الشرارة التي تسبب في اهترائها وتآكل حلقات الموحد النحاسية نفسها .

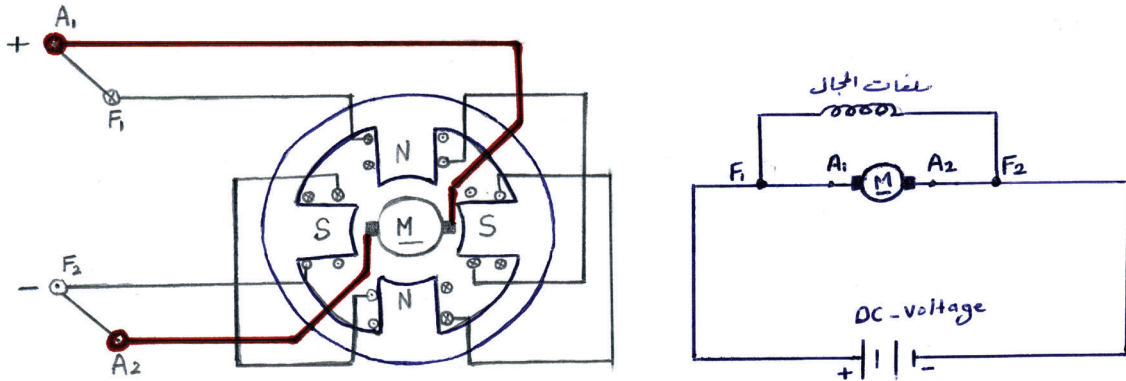
٣ الفجوة الهوائية ما بين العضو الدوار والجزء الساكن (Air- gap):

٢٣- مبدأ عمل آلات التيار المستمر:

يعتمد مبدأ عمل آلة التيار المستمر على قانون فارادي الثاني ، الذي ينص على أنه إذا ما وضع موصل متحرك في مجال مغناطيسي ثابت فإنه سوف يتولد في هذا الموصل قوة دافعة كهربائية (في حالة المولد) . أما في حالة المحرك فيعتمد مبدأ عمله على قانون تأثير القوة ، الذي ينص على أنه إذا ما وضع موصل يحمل تياراً كهربائياً في مجال مغناطيسي ثابت فسوف تؤثر عليه قوة تحركه في اتجاه معين .

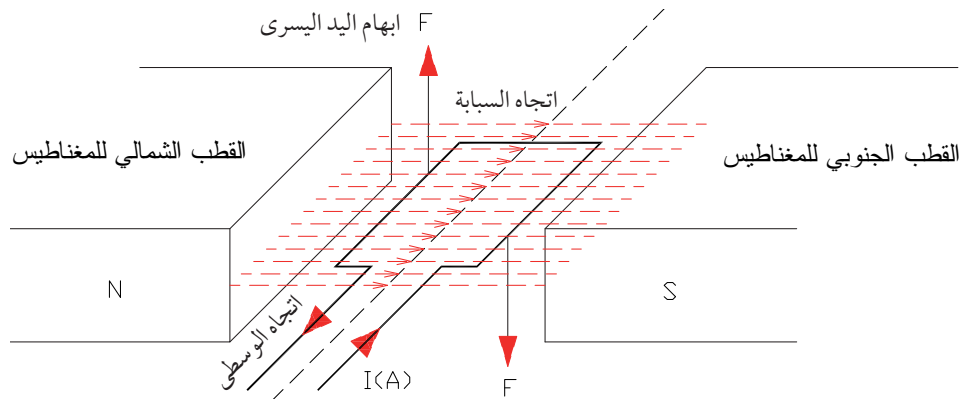
ويجب الإشارة هنا إلى أنه يتم تحويل الطاقة الداخلة في آلة التيار المستمر من شكل إلى آخر مع بعض من الخسائر الكهربائية والميكانيكية (كما سيرد تفصيله لاحقاً) ، حيث يتم تحويل الطاقة الكهربائية الداخلة لمحرك كهربائي إلى طاقة ميكانيكية ، في حين يتم تحويل الطاقة الميكانيكية لمولد آلة تيار مستمر إلى طاقة كهربائية .

يمكن تمثيل المحرك الكهربائي بالدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٣-٤). حيث ينتقل التيار الكهربائي من مصدر كهربائي ذي جهد مستمر (DC-Voltage) إلى كل من ملفات الأقطاب، والتي يرمز لها بالرموز $(F1, F2)$ وملفات المنتج $(A1, A2)$ منتجاً حركة ميكانيكية للعضو الدوار. ويمكن تحديد اتجاه دوران العضو الدوار في المحرك الكهربائي حسب قاعدة اليد اليسرى للمحرك كما هو مبين في الشكل (٣-٥)، حيث يحدد الابهام اتجاه حركة موصلات العضو الدوار (ملفات المنتج) بينما تدل السبابة على اتجاه المجال المغناطيسي (المتولد من ملفات الأقطاب) أما الوسطى فتدل على اتجاه مرور التيار في تلك الموصلات.



الشكل (٣-٤): التمثيل الكهربائي لآلة تيار مستمر نوع توازي (المحرك)

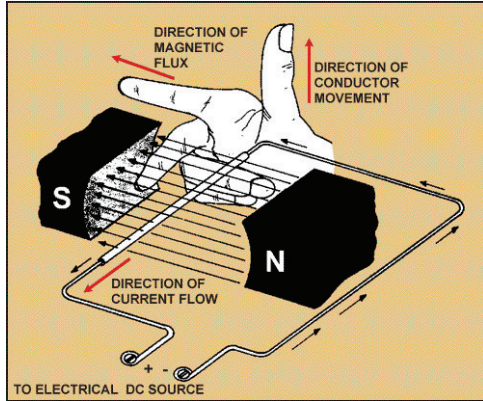
تعتمد آلة التيار المستمر (ومن ضمنها المحرك) في مبدأ عملها على كل من ملفات الأقطاب (Field Winding) التي توضع داخل العضو الساكن (Stator) وتكون مسؤولة عن إنتاج المجال المغناطيسي الذي يقطع العضو الدوار (Rotor) وكذلك على ملفات المنتج (Armature Winding)، حيث أنه عندما يمر تيار كهربائي في ملفات العضو الدوار نتيجة لتولد ما يسمى بالقوة الدافعة الكهربائية العكسية في ملفاته، تنتج قوة كهرومغناطيسية (مشاراً إليها بالمتجه F في الشكل (٣-٥)) تؤثر في هذه الموصلات، ونتيجة لتفاعل المجالين المتولدين في كل من ملفات الأقطاب وملفات المنتج يتولد (عزم) في هذه الموصلات يجعل العضو الدوار يدور بسرعة معينة، فتتحول الطاقة الكهربائية الداخلة إلى طاقة ميكانيكية وعندئذ تسمى هذه الآلة بالمحرك الكهربائي.



الشكل (٣-٥): قاعدة اليد اليسرى لفلمنج لتحديد اتجاه دوران المحرك

مبدأ عمل المولد الكهربائي في آلة التيار المستمر:

يختلف مبدأ عمل المولد الكهربائي في آلات التيار المستمر عن المحرك الكهربائي في أن العضو الدوار (الذي يحمل ملفات المنتج) يتم تحريكه بفعل وسيلة تحريك خارجية (توربينه أو محرك يعمل بالديزل مثلاً) ويسمى بالمحرك الأولي (Prime Mover) مما يؤدي إلى نشوء مجال مغناطيسي في ملفاته، وبالتالي إلى توليد قوة دافعة كهربائية على أطراف ملفات المنتج، وحيث إنها تقع ضمن المجال المغناطيسي الرئيسي الناتج من ملفات الأقطاب (كما هو مبين في الشكل (٣-٥)) فإن هذا المجال يؤدي إلى بناء قوة دافعة كهربائية تعتمد قيمتها على سرعة دوران المحرك الأولي وعلى مقدار التدفق المغناطيسي الناتج من ملفات الأقطاب وعلى خواص المولد ذاته.

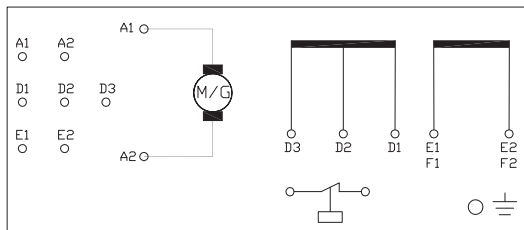


الشكل (٣-٦): قاعدة اليد اليمنى لفلمنح لتحديد اتجاه التيار المتولد في ملفات المنتج لمولد آلة تيار مستمر

ويمكن توصيل كل من ملفات العضو الدوار وملفات العضو الساكن بعضها مع بعض بطرق مختلفة سيرد ذكرها لاحقاً، ويسمى المولد الكهربائي بناء على طريقة توصيل تلك الملفات، وعندما توصل هذه الملفات (جميعها أو بعضها) عبر حمل كهربائي فإن تياراً كهربائياً (يتم توحيده عبر حلقات الموحد والفرش الكربونية) يسري ليغذي الحمل المتصل به. ويمكن تحديد اتجاه التيار الكهربائي المتولد في ملفات المنتج في المولد الكهربائي باستخدام قاعدة اليد اليمنى كما هو مبين في الشكل (٣-٦).

لوحة توصيل آلة تيار مستمر:

٣-٣



الشكل (٣-٧): لوحة توصيل آلة تيار مستمر مبينا عليها رموز الملفات

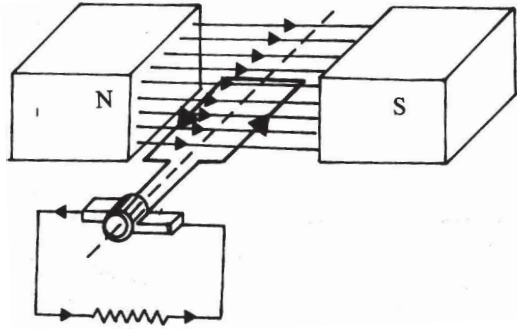
هناك رموز يتم إعطاؤها للآلة التيار المستمر لتدل على كل من ملفات الأقطاب وملفات المنتج سواء لمحرك تيار مستمر أو لمولد، ويظهر الشكل (٣-٧) لوحة توصيل آلة تيار مستمر مبينا عليها هذه الرموز لتساعد في طريقة توصيل الآلة.

وتعطي ملفات المنتج الرموز (A1- A2).

أما ملفات الأقطاب (ملفات المجال) فتعطي الرموز: (E1- E2).

وكذلك لملفات التوالي تعطي الرموز: (D1 - D2).

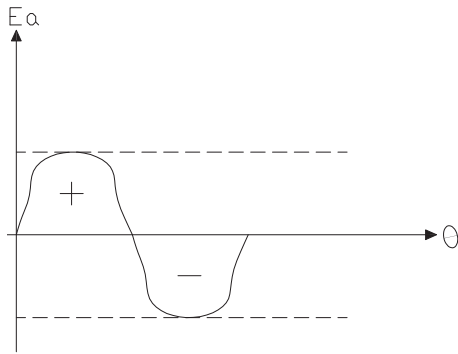
كما ذكر سابقاً فإن آلية توحيد التيار المتولد (أو المار) في منتج آلة التيار المستمر تضم كلاً من الموحد والفرش الكربونية على حد سواء بالطريقة التالية:



الشكل (٣-٨ أ): طريقة توحيد التيار المتناوب في آلة تيار مستمر بطريقة مبسطة وبوجود حلقتي الموحد

يبين الشكل (٣-٨ أ) آلة تيار مستمر في أبسط تركيب وتتكون من حلقتي انزلاق تمثل موحد الآلة ومغناطيساً دائماً له قطبان (شمالي وجنوبي) يمثل ملفات الأقطاب للآلة، وتربط نهايتا حلقتي الانزلاق بملف يتكون من لفة واحدة يقع ضمن المجال المغناطيسي الثابت والناتج من قطبي المغناطيس (الذي يمثل ملفات الأقطاب) التي تتجه خطوطه من القطب الشمالي باتجاه القطب الجنوبي، وتتصل الفرش الكربونية الملتصقة بحلقتي الموحد بمقاومة كهربائية لكي تشكل دائرة مغلقة لسريان التيار الكهربائي خلالها (في حالة المولد).

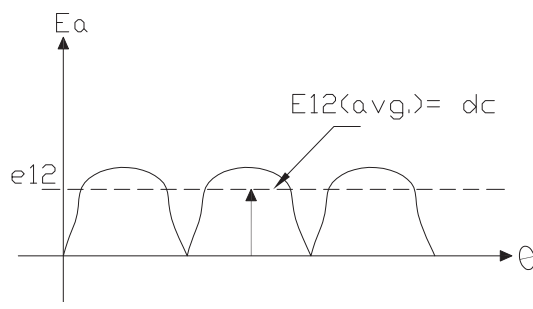
ولفهم الآلية التي يتم فيها توحيد التيار في آلة تيار مستمر لندرس حالتين هما:



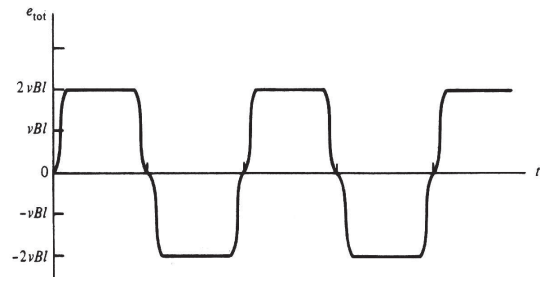
الشكل (٣-٨ ب): شكل الموجة الخارجة من دوران لفة واحدة خلال المجال المغناطيسي في آلة تيار مستمر بدون حلقتي الموحد (بدون توحيد)

١ أن شكل موجة الجهد المتولدة في ملفات المنتج (لفة واحدة في هذه الحالة) هي كمية موجبة ثابتة تقريباً خلال نصف الدورة الأولى، وكذلك كمية مماثلة لها سالبة ثابتة تقريباً خلال نصف الدورة الأخرى. ويبين الشكل (٣-٨ ب) شكل موجة الجهد الخارجة من دوران لفة واحدة من ملفات المنتج دورة كاملة في حالة عدم وجود حلقتي الموحد.

٢ أما شكل الموجة الخارجة من هذه اللفة في حالة اتصال حلقتي الموحد عن طريق الفرش بطرفيها فتظهر في الشكل (٣-٩). أما الشكل (٣-٩ أ) فيظهر موجة ثابتة في المقدار تقريباً ولها قيمة موجبة فقط (في اتجاه واحد فقط) خلال نصفي الدورة الكاملة، وبمقارنة الشكلين معاً يمكن فهم الآلية التي يتم فيها توحيد التيار المتناوب المتولد في ملفات المنتج وتحويله من تيار متناوب إلى تيار مستمر (تقريباً) عن طريق كل من حلقات الموحد النحاسية المتعددة والفرش الكربونية في آلة التيار المستمر.



(ب)



(i)

الشكل (٣-٩): شكل الموجه الخارجة من دوران لفة واحدة خلال المجال المغناطيسي في آلة تيار مستمر

رد فعل المنتج:

هو تأثير المجال المغناطيسي المتولد في ملفات المنتج على المجال المغناطيسي الأصلي داخل آلة التيار المستمر.

إن الهدف الأساسي من دراسة ظاهرة ما يسمى رد فعل المنتج في آلة التيار المستمر هو تأثير هذه الظاهرة على أداء الآلة أولاً، وعلى عمرها الافتراضي ثانياً حيث إن هذا التأثير يظهر كما يلي:

١ إن حدوث هذه الظاهرة يؤدي إلى ظهور الشرارة الكهربائية ما بين الفرش الكربونية وحلقات الموحد النحاسية نتيجة تأين الهواء في الفجوة الهوائية (ارتفاع قيمة التغير في تيار المنتج بالنسبة للزمن في آلة التيار المستمر عموماً) أثناء عملية التوحيد، وهذا قد يؤدي إلى ذوبان الحلقات النحاسية في جسم الموحد مما يقلل بشكل كبير من العمر الافتراضي للآلة ويرفع من تكاليف صيانتها.

٢ إن البيئة الأخرى التي قد تحدث نتيجة ظاهرة رد فعل المنتج هو الضعف (وبالتالي التشويه) في التدفق المغناطيسي الكلي بشكل كبير، والنتيجة من كلا المجالين الناتجين من ملفات المنتج وملفات الأقطاب (المجال الرئيسي)، وهذا يؤدي إلى تقليل الجهد المتولد من الآلة في حالة المولد، أما في حالة المحرك فإن الخطورة أكبر حيث يؤدي هذا الضعف في التدفق المغناطيسي والمتزايد بشكل تدريجي إلى الزيادة الكبيرة في سرعة المحرك إلى الحد الذي يشكل خطورة على الآلة نفسها وقد يؤدي إلى تدميرها.

ولفهم هذه الظاهرة، لندرس ما يحدث لآلة التيار المستمر في حالة توصيل ملفات الأقطاب مع مصدر كهربائي أو في حالة إدارة العضو الدوار، في الآلة عن طريق المحرك الأولي، في أي من الحالتين السابقتين سيتولد جهد في موصلات العضو الدوار وستقوم حلقات الموحد النحاسية والفرش الكربونية بتحويل هذا الجهد إلى جهد مستمر، وفي حالة توصيل حمل إلى أطراف الآلة فإن تياراً سيمر في ملفات المنتج، وسيولد هذا التيار مجالاً مغناطيسياً خاصاً به، وهذا بدوره سيتفاعل مع المجال الرئيسي الناتج من ملفات الأقطاب، ويؤدي بالمحصلة إلى إضافة وتشويه، وهذا ما يسمى برد فعل المنتج.

ويمكن التغلب على ظاهرة ما يسمى رد فعل المنتج (المبين في الشكل (٣-١٠)) بإحدى الطرق التالية :

- ١ إزاحة موقع الفرش الكربونية عن ما يسمى محور التعادل وباتجاه دوران الآلة بزاوية معينة .
- ٢ إضافة ما يسمى ملفات التعويض (Compensating Windings) .
- ٣ إضافة ما يسمى أقطاب التوحيد المساعدة (Secondary Poles) بين الأقطاب الرئيسية وفي منتصف المسافة بينها .

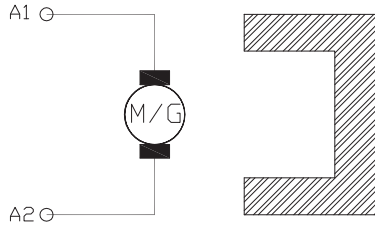
نشاط: اكتب بحثاً عن استخدام ملفات التعويض للتقليل من آثار رد فعل المنتج .

٥-٣ طرق الإثارة في آلات التيار المستمر:

إن مرور تيار كهربائي في الموصلات الواقعة تحت تأثير المجال المغناطيسي يجعلها تتأثر بقوة كهربائية تعتمد على كثافة التدفق المغناطيسي وطول ذلك الموصل ومقدار التيار الكهربائي المار فيها .
وحيث إن طريقة توصيل كل من ملفات الأقطاب وملفات المنتج بعضها مع بعض تؤثر في مقدار التيار المار في موصلات كل منها وبالتالي في مقدار التدفق المغناطيسي المتولد منها ومقدار سرعتها وعزم دورانها ، لذلك فإن اختيار آلة التيار المستمر حسب نوع الإثارة يؤثر في خواص تلك الآلة ، وبالتالي تتحدد طبيعة استخدامها من الناحية العملية وفق هذه الخاصية .

ويمكن تصنيف آلات التيار المستمر من حيث طرق الإثارة إلى :

أولاً: إثارة دائمة:



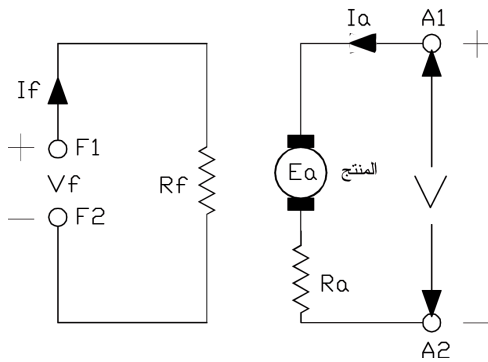
الشكل (٣-١٠): محرك تيار مستمر ذو إثارة دائمة (مغناطيس دائم)

حيث تكون ملفات الأقطاب (المجال) في هذا المحرك عبارة عن مغناطيس دائم ، كما هو موضح في الشكل (٣-١٠) .

ثانياً: إثارة كهرومغناطيسية:

حيث تنتج الإثارة في آلة التيار المستمر من سريان التيار الكهربائي في ملف مما يولد مجاًلاً مغناطيسياً (مغناطيساً كهربائياً) حول موصلات الملفات ، وهي على نوعين هما :

- إثارة كهرومغناطيسية منفصلة .
- إثارة كهرومغناطيسية ذاتية .



الشكل (٣-١١): محرك تيار مستمر ذو إثارة كهرومغناطيسية منفصلة (Separately-excited)

إثارة كهرومغناطيسية منفصلة:

ويبين الشكل (٣-١١) محرك تيار مستمر يعمل بفعل الإثارة الكهرومغناطيسية ، ويجب أن يتوفر في هذه الحالة مصدراً تغذية مستمران ومنفصلان ليغذي أحدها ملفات المنتج في حين يغذي الآخر ملفات الأقطاب .

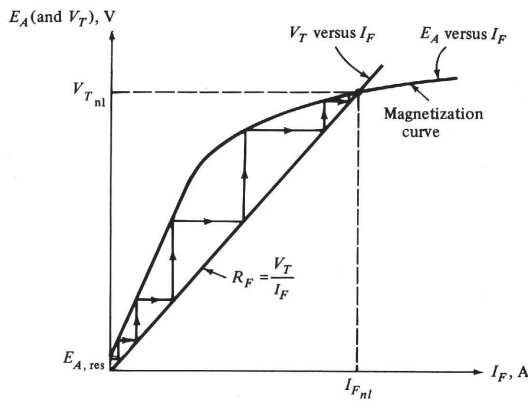
ومن المهم مراعاة توصيل ملفات الأقطاب ($F2$)، ($F1$) بالمصدر قبل توصيل ملفات المنتج ($A2$)، ($A1$) في حالة التشغيل كمحرك كهربائي، أما في حالة إيقافه فيجب فصل جهد المنتج أولاً ثم فصل جهد الإثارة (لماذا؟)، ويتم عكس اتجاه دوران المحرك الكهربائي بعكس اتجاه دخول التيار لملفات الأقطاب أو لملفات المنتج. وفي حالة تشغيل الآلة كمولد تيار مستمر فيتم تغذية ملفات الأقطاب بمصدر تيار مستمر منفصل (بطارية مثلاً)، ويتم اخذ التيار المستمر من أطراف ملفات المنتج ($A2$)، ($A1$) لتغذي حملاً كهربائياً.

ومن الجدير ذكره في هذه المرحلة أن آلة التيار المستمر يمكن تشغيلها كمحرك أو كمولد بغض النظر عن نوع الإثارة المستخدمة للآلة، ويختلف اتجاه دخول التيار في آلة التيار المستمر في حالة تشغيلها كمحرك عنها في حالة تشغيلها كمولد، وهذا هو الفرق الوحيد الذي يمكن اعتباره في دراسة خواص آلات التيار المستمر وكذلك في حالة اشتقاق المعادلات الخاصة لكل نوع من أنواع آلات التيار المستمر.

ان استخدام آلة التيار المستمر كمحرك اكثر شيوعاً من استخدامها كمولد وذلك للأسباب التالية:

- ١ إن هناك كثيراً من التطبيقات العملية التي مازالت تستعمل حتى الآن تستخدم مصدر تيار مستمر لتشغيل محركاتها ومنها: المركبات، والرافعات، والقطارات، والبواخر، والجرافات... إلخ.
 - ٢ سهولة التحكم الدقيق بسرعة محركات التيار المستمر مع توفر مصدر تيار مستمر فيها.
- لذا سيتم اعتماد دراسة آلة التيار المستمر كمحرك في المراحل اللاحقة عموماً مع الإشارة إلى المولدات في بعض الأحيان (إن لزم ذلك).

رابعاً: إثارة كهرومغناطيسية ذاتية:



الشكل (٣-١٢): عملية بناء الجهد من خلال المغناطيسية المتبقية لملفات الأقطاب لآلة تيار مستمر

حيث يعتمد فيها محرك التيار المستمر في إثارته على ما يسمى بالمغناطيسية المتبقية (في شرائح العضو الساكن) والجهد المتولد في ملفات الذي قد لا يتعدى فولتاً واحداً أو اثنين (حيث يتم عادة تزويد الآلة بها في المصنع قبل الشحن)، وهذا الجهد هو الذي يدفع بتيار صغير خلال ملفات الاقطاب وفي الاتجاه المناسب لتقوية الفيض المغناطيسي المتبقي (وبالتالي القوة الدافعة الكهربائية العكسية) وعند التشغيل يرفع من قيمته تدريجياً وتستمر العملية حتى تصل إلى مرحلة الاستقرار كما هو مبين في الشكل (٣-١٢).

وهنا لا بد من الإشارة إلى أنه من الممكن أن لا تعمل آلة تيار مستمر ذات الاستثارة الذاتية التي تم توصيلها لأول مرة مع مصدر جهد مستمر، وهذا يعود إلى عدة أسباب منها:

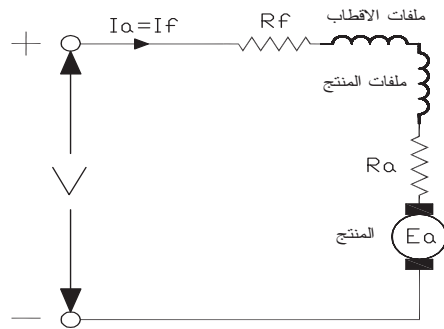
- ١ أن آلة التيار المستمر ذات الاستثارة الذاتية ولأنها آلة جديدة توصل لأول مرة (قد لا تحتوي على مغناطيسية)، لذلك يجب أن يتم أولاً فصل ملفات أقطابها عن ملفات المنتج، ومن ثم توصيلها مع

مصدر استشارة خارجي (كبطارية مثلاً) لتوليد المغناطيسية المتبقية (في ملفات الأقطاب) اللازمة للاستشارة الذاتية للآلة .

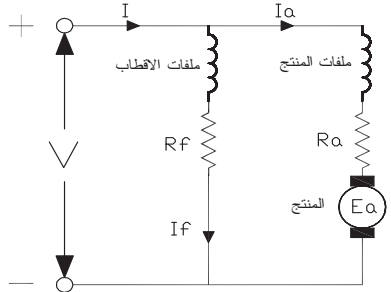
٢ من الممكن ان الفيض المغناطيسي المتبقي يعاكس المجال المغناطيسي المتولد في ملفات المنتج مما يمنع البناء التدريجي للقوة الدافعة الكهربائية في ملفات المنتج ، ويمكن حل هذه المشكلة عن طريق عكس اتجاه دوران الآلة ويتم ذلك بعكس أطراف توصيل ملفات الأقطاب مع تثبيت أطراف ملفات المنتج (او العكس) .

وبناء على طريقة توصيل كل من ملفات الأقطاب وملفات المنتج يمكن تقسيم محركات التيار المستمر (ذات

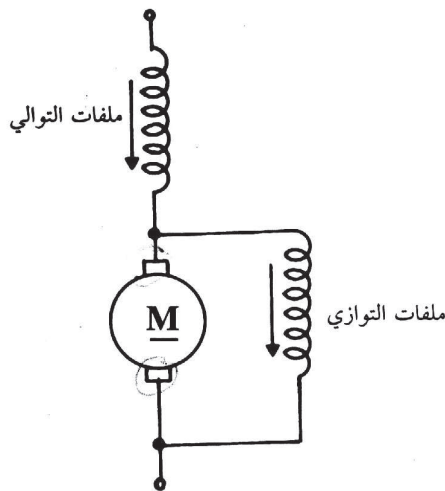
الإثارة الذاتية) إلى الأنواع التالية :



الشكل (٣-١٣): محرك تيار مستمر نوع توالي



الشكل (٣-١٤): محرك تيار مستمر نوع توازي



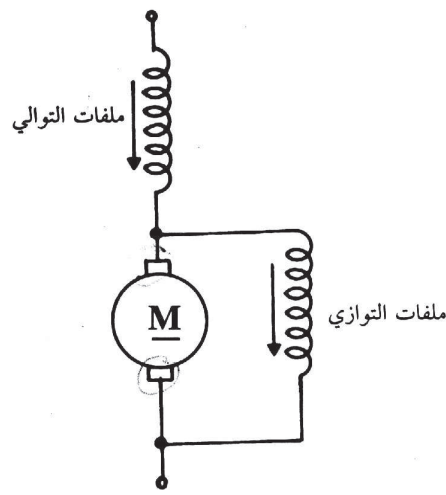
الشكل (٣-١٥): محرك مركب

١ محرك تيار مستمر نوع توالٍ: حيث يتم توصيل كل من ملفات الأقطاب وملفات المنتج على التوالي بعضهما مع بعض ، ونتيجة لذلك يسري التيار نفسه في كل منهما . ويتم اختيار ملفات الأقطاب لتكون ذات عدد قليل لكل قطب وبمساحة مقطع كبيرة وذلك لكي يمر معظم التيار في كل من ملفات الأقطاب (ذات المقاومة الصغيرة) وملفات المنتج .
ويبين الشكل (٣-١٣) محرك تيار مستمر نوع توالٍ .

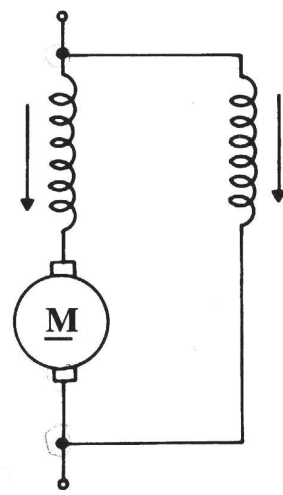
٢ محرك تيار مستمر نوع توازي: ويبين الشكل (٣-١٤) محرك تيار مستمر نوع توازي ، حيث توصل ملفات الأقطاب على التوازي مع ملفات المنتج ، ويتم اختيار أسلاك كبيرة العدد وذات مساحة مقطع صغيرة لملفات الأقطاب ، وذلك حتى يمر معظم التيار في ملفات المنتج .

٣ محرك تيار مستمر نوع مركب: حيث تقسم ملفات الأقطاب إلى قسمين: يتم وصل أحدهما على التوالي (وتسمى ملفات التوالي) والآخر على التوازي (وتسمى ملفات التوازي) مع أطراف ملفات المنتج ، كما هو مبين في الشكل (٣-١٥) ، وتؤثر كل من ملفات التوالي وملفات التوازي بمجال مغناطيسي تكون محصلته المجال المغناطيسي الكلي لملفات الأقطاب ، ويمكن التنويع في نسبة لفات أحدهما للآخر للحصول على ميزات محرك التوالي أو ميزات محرك التوازي ، ويمكن تقسيم المحرك المركب إلى قسمين هما :

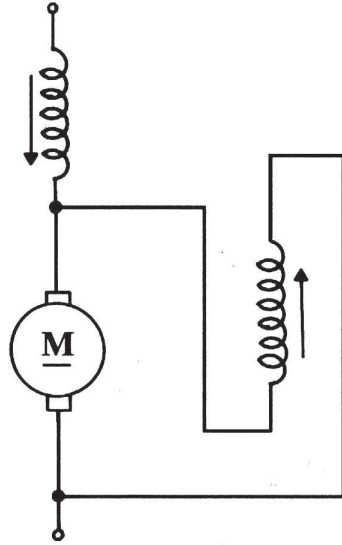
- أ المحرك المركب المتشابهة : وهو محرك مركب تتكون فيه ملفات الأقطاب من ملف توالٍ وملف توازٍ يؤثر كل منهما بمجال مغناطيسي يدعم الآخر ويقويه ، ويمكن توصيل هذا المحرك بطريقتين هما :
- محرك مركب متشابه طويل : حيث يوصل ملف التوالي مباشرة مع المنتج كما هو موضح في الشكل (٣-١٦ - أ).
 - محرك مركب متشابه قصير : حيث توصل ملفات التوازي مع الفرش الكربونية مباشرة كما هو موضح في الشكل (٣-١٦ - ب).
- ب المحرك المركب المتباين : وهو محرك مركب تتكون فيه ملفات الأقطاب من ملف توالٍ وملف توازٍ يؤثر كل منهما بمجال مغناطيسي يعاكس الآخر ويضعفه ، ويمكن توصيل هذا المحرك بطريقتين هما :
- محرك مركب متباين طويل : حيث يوصل ملف التوالي مباشرة مع المنتج كما هو موضح في الشكل (٣-١٦ - ج).
 - محرك مركب متباين قصير : حيث توصل ملفات التوازي مع الفرش الكربونية مباشرة كما هو موضح في الشكل (٣-١٦ - د).



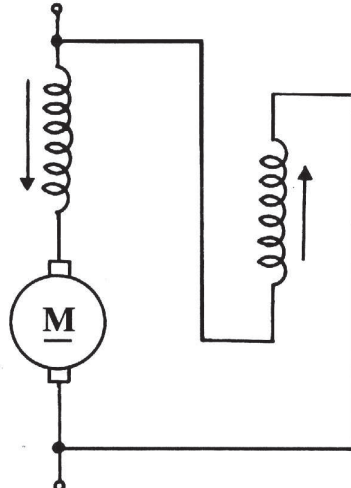
(ب) محرك قصير متشابه.



(ا) محرك طويل متشابه.



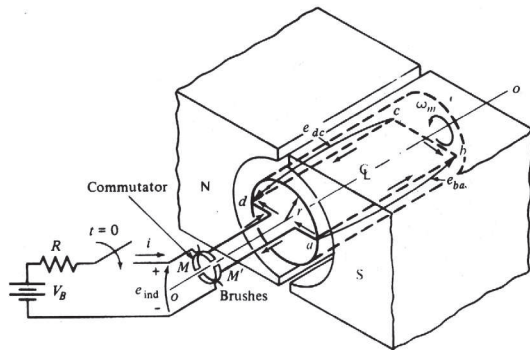
(د) محرك قصير متباين.



(ج) محرك طويل متباين.

الشكل (١٦-٣)

٦ - ٦ القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في آلات التيار المستمر $e.m.f$ (Electromotive Force):



الشكل (١٧-٣): حساب القوة الدافعة الكهربائية اعتماداً على لفه وأحدة

يمكن حساب القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في ملفات المنتج اعتماداً على الشكل (١٧-٣)، فعندما يمر تيار كهربائي في موصل ما (لفة مكونة من موصلين كما يظهر في الشكل (١٧-٣) مصنوع من النحاس، وكان هذا الموصل يدور تحت تأثير المجال المغناطيسي الناشئ من مغناطيس، فإنه يتولد في هذا الموصل قوة دافعة كهربائية $(e.m.f)$ ويرمز لها بالرمز (Ea) ووحدتها الفولت (V) .

وتعتمد قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة (حسب قانون فارادي) على كل من :

- ١ سرعة دوران الآلة، ويرمز لها بالرمز (ω) وتقاس بوحدة (راديان / ثانية).
- ٢ تغير التدفق المغناطيسي المقطوع بالنسبة للزمن (ويرمز للتدفق المغناطيسي بالرمز (Φ) ويقاس بوحدة الويبر (weber).
- ٣ نوع الآلة، ويتحدد هذا الثابت بعدد الأقطاب، وعدد دارات التوازي (وبالتالي عدد الموصلات الكلية) لمنتج آلة التيار المستمر، ويرمز له بالرمز (K_a) .
وتعطى بالعلاقة التالية :

$$E_a = k_a \times \Phi \times \omega_m \dots\dots\dots (١-٣)$$

حيث إن :

k_a : ثابت الآلة، ويعطى بالعلاقة :

$$k_a = \frac{NP}{\pi A} = \frac{ZP}{2\pi A} \dots\dots\dots (٢-٣)$$

Φ : التدفق المغناطيسي لكل قطب (ويبر / قطب)

ω : سرعة العضو الدوار (راديان / ثانية) او (rad/ sec)

P : عدد أقطاب الآلة (زوجي)

N : عدد لفات المنتج الكلية

Z : ويساوي $2N$: العدد الكلي لموصلات المنتج

A : عدد دارات التوازي في المنتج

ويمكن كتابة العلاقة ما بين السرعة الدورانية (ω_m) للمنتج وعدد دوراته في الدقيقة (n) كما يلي :

$$\omega = \frac{2\pi \times n}{60} = (rad/s) \dots\dots\dots (٣-٣)$$

حيث إن :

(n) : السرعة الدورانية، دورة / دقيقة او (rpm).

مثال (١):

آلة تيار مستمر ذات أربعة أقطاب، يحتوي المنتج فيها على (33) ملف، وكل ملف فيها يحتوي على (7) لفات، والتدفق المغناطيسي لكل قطب يساوي (0.027 وبير)، احسب :

ثابت الآلة k_a

أ

القوة الدافعة الكهربائية (E_a) المتولدة في ملفات المنتج إذا كانت السرعة الدورانية التي يدور فيها المنتج تساوي (1000) دورة / دقيقة

ب

الحل: 

عدد الموصلات الكلية $z = \text{عدد الملفات} \times \text{عدد اللفات} \times 2$

أ

$$= 2 \times 7 \times 33 = 462 \text{ موصل .}$$

فإذا كانت طريقة لف المنتج :

١ تموجية (Wave-winding) فإن : $A = 2$

٢ انطباقية (Lap- winding) فإن : $P = A$ (في هذه الحالة)

$$\text{for Wave-winding} \quad k_a = \frac{Z \times P}{2\pi \times A} = \frac{462 \times 4}{2\pi (2)} = \frac{462}{\pi} = 147.12$$

$$\text{Or:} \quad k_a = \frac{Z \times P}{2\pi \times A} = \frac{462 \times 4}{2\pi (4)} = \frac{462}{2\pi} = 73.57 \text{ for Lap- winding}$$

$$E_a = k_a \times \phi \times \omega = k_a \times \phi \times \frac{2\pi n}{60}$$

بما أن

ب

$$E_a = 147.12 \times 0.27 \times \frac{2\pi (1000)}{60} = (415.5)V \text{ for Wave-winding}$$

$$E_a = \frac{415.8}{2} \text{ volt} = 207.8 \text{ volt for Lap- winding}$$

وكذلك الحالة

مثال (٢):

آلة تيار مستمر لها (12) قطباً وعدد دارات التوازي في المنتج يساوي (2)، وتحتوي دائرة المنتج على (144) ملف وكل ملفاً يحتوي على (10) لفات. ومقاومة كل لفة (0.011Ω)، فإذا كان التدفق المغناطيسي لكل قطب يساوي (0.05 web)، ودار المنتج بسرعة دورانية مقدارها (200) دورة / دقيقة، احسب :

أ الجهد المتولد في ملفات المنتج

أ

ب مقدار مقاومة ملفات المنتج الفعلية

الحل: 

$$E(a) = k_a \times \phi \times \omega_m$$

بما أن :

$$= k_a \times \phi \times \frac{2\pi n}{60}$$

لذلك :

بما أن : $A = 2$

$$k_a = \frac{Z \times P}{2\pi \times A}$$

لذلك :

$$Z = 144 \times 10 \times 2 = 2880 \text{ موصل}$$

$$k_a = \frac{2880 \times 12}{2\pi \times (2)} = 2751.6$$

$$E_a = 2751.6 \times 0.05 \times \frac{2\pi (200)}{60} = 2880 \text{ V}$$

بما أن عدد دارات التوازي للمنتج = 2 دائرة لذلك فإن :

$$\frac{2880}{2} = \frac{Z}{2} = \text{عدد الموصلات في كل دائرة}$$

$$1440 = \text{موصل / دائرة}$$

$$\text{أي أن : عدد اللفات / دائرة} = \frac{1440}{2} = 720 \text{ لفة / دائرة}$$

وبما أن مقاومة كل لفة = 0.011Ω / لفه .

لذلك فإن : مقاومة دارات المنتج الكلية = 720 لفة / دائرة $\times 0.011 \Omega$ / لفه .

$$= 7.92 \Omega \text{ / دائرة}$$

وبما أن هناك دارتين في المنتج (على فرض أن مقاومة كل دائرة مساوية للأخرى)

$$\text{لذلك فإن } (Ra) : \text{المقاومة الفعلية للمنتج} = \frac{7.92}{2} = 3.92 \Omega .$$

حسابات القدرة الميكانيكية والعزم لمحركات تيار مستمر:

٣ - ٧

من المعلوم أن المحرك الكهربائي يحول الطاقة الكهربائية الداخلة له إلى طاقة ميكانيكية لتدير حملاً ميكانيكياً معيناً متصلاً به ، إلا أن القدرة الكهربائية الداخلة للمحرك تتحول إلى قدرة ميكانيكية يستفاد منها بنسبة كبيرة على الرغم من بعض الخسائر الكهربائية الناتجة عن مرور التيار الكهربائي في كل من ملفات المنتج وملفات الأقطاب وغيرها من الملفات (ان وجدت) التي تضيع على شكل حرارة في هذه الملفات التي تتناسب مع مربع التيار المار فيها ومع قيمة تلك المقاومة ($I^2 R$) ، وكذلك وعلى شكل هبوط في الجهد في الفرش الكربونية التي يمكن إهمالها عادة ، وبالإضافة إلى ذلك هناك خسائر ميكانيكية مختلفة للتغلب على الاحتكاك الناتج عن دوران عمود الدوران مع كل من كراسي التحميل والهواء والفرش الكربونية وحلقات الموحد ، وكذلك على شكل خسائر حديدية مختلفة (هستيرية ودوامية) .

وتعطي العلاقة التي تربط ما بين القدرة الداخلة والقدرة الخارجة ومجموع الخسائر (الكهربائية والميكانيكية) للآلة التيار المستمر (محرك أو مولد) كما يلي :

$$\text{القدرة الداخلة للآلة التيار المستمر} = \text{القدرة الخارجة} + \text{مجموع الخسائر (الكهربائية والميكانيكية)}$$

$$P_{out} = P_{in} - \sum P_{losses} \dots\dots\dots (١-٣)$$

حيث إن :

P_{out} : القدرة الخارجة

P_{in} : القدرة الداخلة

$\sum P_{losses}$: مجموع الخسائر

حيث إن :

مجموع الخسائر (الكهربائية + الميكانيكية) يعبر عنها بالعلاقة التالية :

$$\sum P_{losses} = P_{iron} + P_{mech} + P_{cu} \dots\dots\dots (٢-٣)$$

وهذه القيم تمثل :

$\sum P_{losses}$: مجموع الخسائر الكهربائية والميكانيكية .

P_{iron} : الخسائر الحديدية .

P_{mech} : الخسائر الميكانيكية .

P_{cu} : الخسائر النحاسية .

ويمكن معرفة الخسائر النحاسية (وهو فقد على شكل حرارة) في كل من ملفات المنتج وملفات الأقطاب

من العلاقة التالية :

$$P_{cu} = I^2 \times R \text{ (لكل من ملفات المنتج وملفات الأقطاب)}$$

كفاءة آلة التيار المستمر:

وتعرف كفاءة أو جودة آلة التيار المستمر (كنسبة مئوية) على أنها النسبة ما بين القدرة الخارجة إلى القدرة

الداخلة مضروبة ب (100%)، أي أن :

$$\text{كفاءة (جودة الآلة \%)} = (\text{القدرة الخارجة} / \text{القدرة الداخلة}) \times 100\%$$

$$\eta \% = \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum P_{losses}} \times 100\% \dots\dots\dots (٣-٣)$$

ويجب معرفة مقاومة كل من ملفات المنتج (R_a) وملفات الأقطاب (R_f) والتيار المار في كل منهما لحساب

المفاقد النحاسية . أي أن :

$$P_{cu} = I_f^2 \times R_f + I_a^2 \times R_a \dots\dots\dots (٧-٣)$$

حيث يربط هذا المخطط القدرة الداخلة بالقدرة الخارجة ومجموع الخسائر الميكانيكية والكهربائية ومقدارها في آلة التيار المستمر ، لذلك

في حالة المحرك الكهربائي :

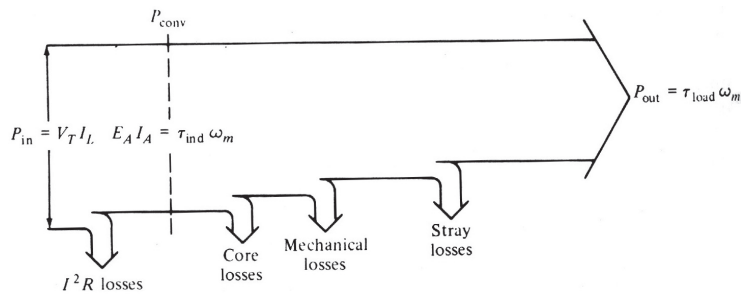
تمثل : القدرة الداخلة للآلة : القدرة الكهربائية (مصدرا كهربائياً) : $(E_a \times I_a)$

والقدرة الخارجة للآلة : القدرة الميكانيكية (حملا ميكانيكيا) : $(\tau \times \omega)$

ويجب أن تتساوى القدرة الكهربائية الداخلة مع القدرة الميكانيكية الخارجة للمحرك إذا تم إهمال مجموع الخسائر (نظرياً).

$$E_a \times I_a = k_a \times \Phi \times \omega \times I_a = \tau \omega \dots\dots\dots \text{أي أن:}$$

أما في الحياة العملية ، فتكون عادة الخسائر النحاسية أكبر بكثير من كل من الخسائر الحديدية والميكانيكية . ويمثل الرسم التالي مخطط تدفق القدرة (Power Flow) لمحرك آلة تيار مستمر ، والذي يبين القدرة الداخلة والقدرة الخارجة ومجموع الخسائر ، ومن الرسم يتبين أنه في حالة المحرك فإن :



مخطط تدفق القدرة لمحرك تيار مستمر

مثال : محرك تيار مستمر قدرته الخارجة ٢٠ حصان ميكانيكي ومجموع الخسائر داخله ١٥٠٠ واط احسب كفاءة ذلك المحرك .

الحل: ☒

$$\eta\% = \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum P_{losses}} \times 100\%$$

$$P_{out} = 20 \times 746 = 14920 \text{ w}$$

$$\eta\% = \frac{14920 \text{ w}}{14920 \text{ w} + 1500} = 90.08\%$$

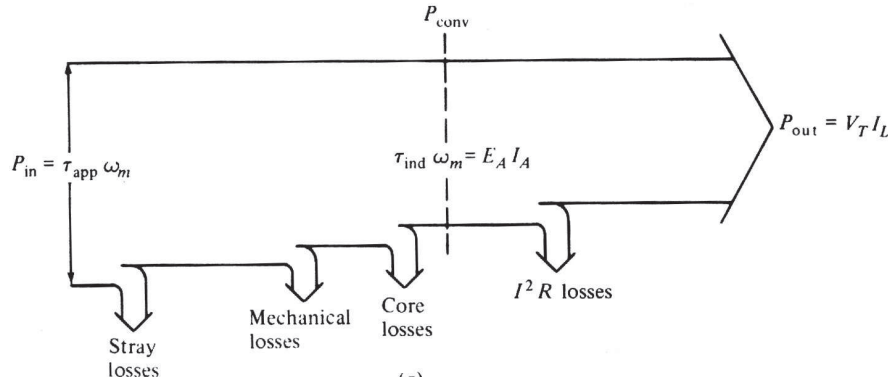
أما في حالة المولد الكهربائي :

تمثل : القدرة الداخلة للآلة : القدرة الميكانيكية (المحرك الأولي)

القدرة الخارجة للآلة : القدرة الكهربائية (حملاً كهربائياً)

كما يظهر في المخطط أدناه ، أي أن :

القدرة الكهربائية الخارجة لمولد تيار مستمر = القدرة الميكانيكية الداخلة - مجموع الخسائر



مخطط تدفق القدرة لمولد تيار مستمر

العزم المتولد في آلة التيار المستمر:

إن العزم الكهرومغناطيسي (τ) (ووحدة نيوتن . متر) - $N.m$ - المتولد في موصلات العضو الدوار (ملفات المنتج) لمحرك آلة تيار مستمر ، يولد قوة ميكانيكية تجعل العضو الدوار يدور .

و يعتمد هذا العزم على كل من :

- ١ التدفق المغناطيسي لكل قطب (Φ) .
- ٢ التيار المار في ملفات المنتج (I_a) .
- ٣ نوع الآلة (ثابت له علاقة بالخواص الميكانيكية للآلة ذاتها) (K_a) .

ويعطى العزم الكهرومغناطيسي المتولد في محرك آلة تيار مستمر بالعلاقة التالية :

$$\tau = k_a \times \Phi \times I_a \quad \text{..... (٨-٣)}$$

حيث إن العزم الكهرومغناطيسي يتناسب طردياً مع كل من تيار المنتج ومقدار التدفق المغناطيسي الذي يقطع ملفاته ، وعكسياً مع سرعة دوران المنتج في محرك التيار المستمر ، وكذلك فإن علاقة العزم الكهرومغناطيسي لمحرك كهربائي بقدرته تعطى بالعلاقة :

$$\tau = P / \omega \quad \text{..... (٩-٣)}$$

العزم الكهرومغناطيسي لمحرك = القدرة الميكانيكية الخارجة / السرعة الزاوية ووحدة (نيوتن . متر) او ($N.m$) .

- ١ ما هي الميزة الأساسية المتعلقة بآلات التيار المستمر ؟
- ٢ اذكر الأجزاء الرئيسية التي تتكون منها آلة التيار المستمر مبينا ذلك بالرسم .
- ٣ ما هي أهمية وجود الفجوة الهوائية بين كل من العضو الدوار والعضو الساكن في آلة التيار المستمر ؟
- ٤ اشرح مبدأ عمل محرك التيار المستمر .
- ٥ ما هو المقصود بمصطلح الإثارة في آلات التيار المستمر ؟
- ٧ تقسم طرق الإثارة في آلات التيار المستمر إلى و ؟
- حيث تقسم الإثارة الكهرومغناطيسية إلى و ؟
- ٨ ما هو المقصود بالقوة الدافعة الكهربائية ؟
- ٩ ما هو المقصود برد فعل المنتج في آلة التيار المستمر مبينا ذلك بالرسم ؟ وكيف يمكن التغلب عليه ؟
- ١٠ قارن بين المحرك الكهربائي والمولد الكهربائي في آلات التيار المستمر من ناحية :
 (أ) اتجاه التيار (ب) الطاقة الداخلة والخارجة من الآلة
- ١١ ما هو المقصود بالخسائر الكهربائية والخسائر الميكانيكية في آلات التيار المستمر ؟ وما هو المقصود بجودة الآلة ؟
- ١٢ اذكر الأنواع المختلفة لآلات التيار المستمر ذات الإثارة الذاتية .
- ١٣ ما هو المقصود بالمغناطيسية المتبقية ؟ وما هي أهميتها في إدارة الآلة ؟
- ١٤ ما هي الأسباب المحتملة لعدم دوران آلة تيار مستمر ذات إثارة ذاتية (جديدة) ؟
- ١٥ اذكر أهم الاستخدامات التي لا غنى عنها لآلات التيار المستمر في التطبيقات العملية .
- ١٦ ما هي وظيفة الموحد في آلة التيار المستمر مبينا كيف تتم عملية توحيد التيار فيها ؟ ما هي أهمية وجود الفرش الكربونية ؟
- ١٧ هل من المجدي إعادة لف العضو الدوار بالنسبة لآلة تيار مستمر في حالة حصول فيه وذلك في المحركات الصغيرة الحجم ؟ لماذا ؟
- ١٨ من دراستك لمحركات التيار المستمر نوع :
 (أ) توالٍ (ب) توازٍ (ج) مركب
- قارن بين هذه الأنواع من حيث :
 (أ) عزم البدء (ب) التشغيل في حالة اللاحمل (ج) التشغيل في حالة الحمل الكامل
- ١٩ لماذا لا ينصح بتشغيل محرك التوالي في حالة اللاحمل ؟

٢٠ محرك تيار مستمر نوع توازي يسحب تياراً من المصدر مقداره $(10A)$ ، وكان جهد المصدر $(220V)$ ، فإذا كانت مقاومة منتجه (0.2Ω) وطريقة لفه انطباقية وله (4) أقطاب وبه (750) موصلاً، وكان التدفق المغناطيسي (0.25) ملي ويبر/ قطب، وإذا علمت أن تيار الأقطاب يساوي $(0.5A)$ ومقاومة ملفات الأقطاب له (70Ω) . احسب:

- ① سرعة دوران المحرك ② القدرة الداخلة
③ القدرة الخارجة ④ العزم الكلي المتولد على أطراف المنتج
⑤ كفاءة المحرك

٢١ مولد تيار مستمر نوع توازي يعطي جهداً على أطرافه مقداره $(400V)$ وتيار الحمل الكامل له $(200A)$ ، وكانت مقاومة منتجه (0.06Ω) ومقاومة ملفات الأقطاب له (100Ω) وكانت المفاقد الحديدية والميكانيكية تساوي $(2KW)$ احسب:

- ① القدرة الداخلة للمولد بالحصان الميكانيكي ② كفاءة المولد
٢٢ آلة تيار مستمر مقاومة دارة العضو الدوار بها (0.1Ω) وصلت مع منبع جهده $(230V)$ احسب قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة إذا عملت الآلة:

- ① كمولد يعطي تياراً قيمته $(180A)$ ② كمحرك يسحب تياراً مقداره $(160A)$
٢٣ مولد تيار مستمر يتصل مع محرك ديزل فيعطيه قدرة مقدارها $(50HP)$ فإذا أخذ منه تيار مقداره $(130A)$ على جهد $(220V)$. احسب:

- ① كفاءة هذا المولد ② مجموع الخسائر (المفاقد) له

آلات التيار المتردد



تؤدي آلات التيار المتردد دوراً رئيساً في الصناعة ، نظراً للاستعمالات المتعددة و المتنوعة لهذه الآلات ، إذ إن معظم توليد الطاقة الكهربائية يتم بواسطة التيار المتردد في الوقت الحالي .

يقصد بآلات التيار المتردد المولدات التي تعمل على تحويل الطاقة الميكانيكية إلى الطاقة الكهربائية والمحركات التي تعمل على تحويل الطاقة الكهربائية إلى الطاقة الميكانيكية ، حيث تعمل هذه الآلات بالتيار المتردد .

تقسم آلات التيار المتردد ثلاثية الطور إلى نوعين رئيسيين هما الآلات التزامنية والآلات الحثية . أما في الآلات التزامنية فيتم توليد المجال المغناطيسي من مصدر تيار مستمر ، بينما في الآلات الحثية فيتم توليد المجال المغناطيسي فيها بطريقة حثية . وتعد دائرة المجال لكل منهما ملفات العضو الدوار على العكس من آلات التيار المستمر .

وعلى ذلك يكون المنتج في آلات التيار المتردد هو العضو الساكن . وتختلف آلات التيار المتردد كذلك عن آلات التيار المستمر بعدم وجود عضو التوحيد في مكوناتها ؛ مما يسهل صيانتها ويقلل أعطالها .

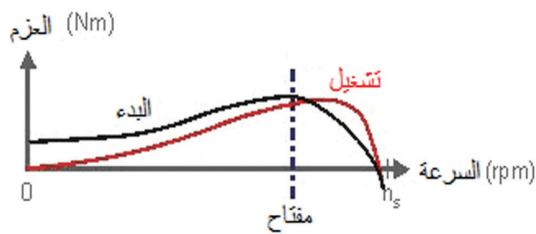
ويعدّ المحرك الحثي ثلاثي الطور الأكثر انتشاراً في عالم الصناعة هذا اليوم ، حيث يصنع منه سنوياً بالملايين ، ويعود ذلك نتيجة لما يتمتع به من مزايا مثل : المتانة ، بساطة التركيب ، انخفاض الثمن مقارنة بالمحركات الأخرى وقلة الصيانة ، كما يتوفر بقدرات تتراوح من جزء من الحصان إلى أكثر من 10000 حصان ، ولا يحتاج إلى أي وسيلة إثارة بالإضافة إلى كفاءته العالية .

هذا من حيث آلات التيار المتردد ثلاثية الطور ، أما بخصوص آلات التيار المتردد أحادية الطور فسوف تدرس في هذه الوحدة مجموعة من المحركات : المحرك الحثي أحادي الطور ، محرك الطور المشطور ، المحرك ذي القطب المظلل ، المحرك التنافري والمحرك العام .

حيث تتعرف على مبدأ عمل المحركات ومولدات التيار المتردد ومكوناتها وخصائصها ، وتميز بين أنواعها المختلفة واستخداماتها في الصناعة .

يحتوي الجزء الساكن في هذا النوع من المحركات على نوعين من الملفات : الملفات الرئيسية والملفات المساعدة من دون توصيل مكثفات كما يظهر في الشكل (٤-٢). ويكون توزيع هذه الملفات في مجاري الجزء الساكن، بحيث تكون الإزاحة بينهما (90°). حيث توصل ملفات البدء عن طريق مفتاح الطرد المركزي، وتنفصل هذه الملفات عن المصدر عندما يصل المحرك إلى (75%) من سرعته الاسمية. ونظراً لكون الملفات المساعدة لا تعمل إلا في فترة البدء فقط، لذا تصنع من أسلاك رفيعة، وبالتالي تكون ذات مقاومة عالية بالنسبة لملفات التشغيل. بينما الملفات الرئيسية تكون ذات مقاومة تأثيرية عالية ومقاومة أومية قليلة.

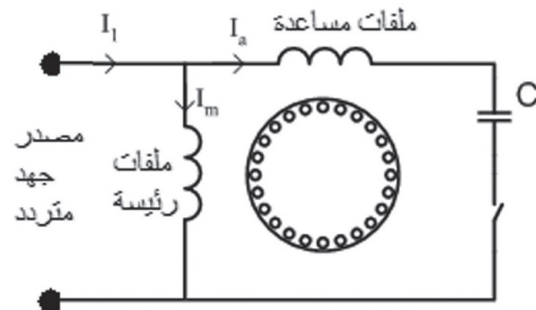
ولعكس اتجاه دوران هذا المحرك تعكس نهايتا الملفات الرئيسية أو نهايتا البدء بالنسبة للمصدر، حيث يؤدي إلى عكس اتجاه المجال المغناطيسي الدوار، وبالتالي عكس دوران المحرك. وينبغي ملاحظة أن هذا الأمر يتم عندما يكون المحرك ساكناً، لأن مفتاح الطرد المركزي يلغي أي أثر لملفات البدء عند الدوران. هذا وقد توصل مقاومة على التوالي مع ملفات البدء، وذلك لزيادة الزاوية بين تيار التشغيل والبدء، وتحديد تيار البدء حيث يصل تيار البدء في هذا النوع من المحركات ما بين (٤-٧) مرات من تيار المحرك الاسمي، ولكن هذا ليس بالقدر الكافي لتشكيل خطورة على المحرك، كما في تيار البدء في المحركات الثلاثية الأطوار.



الشكل (٤-٣): الخواص الميكانيكية لمحرك الطور المشطور

كما يتراوح عزم البدء في هذا النوع من المحركات ما بين (100% - 200%) من العزم الاسمي للمحرك. ويعدّ هذا العزم قليلاً مقارنة مع عزم البدء للمحركات ذات المكثفات، كما يظهر في الشكل (٤-٣)، بسبب صغر الزاوية بين تيار التشغيل والبدء.

هذا ويستعمل محرك الطور المشطور في تشغيل المراوح والمضخات والثلاجات المنزلية والحارقات،



الشكل (٤-٤): محرك ذو مكثف البدء

٢ محرك ذو مكثف البدء (Capacitor Start Motor):

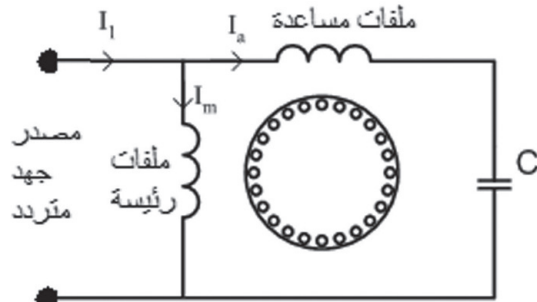
من أهم مساوئ المحرك ذي المكثفين هو التكاليف، وهناك مكثفان بالإضافة إلى مفتاح الطرد المركزي. فعندما يكون المطلوب عزم بدء عالٍ ولكن بفعالية منخفضة فإن عملية التشغيل تكون مقبولة، لذلك يمكن الاستغناء عن مكثف التشغيل كما يظهر في الشكل (٤-٤).

ويسمى المحرك في هذه الحالة المحرك ذا مكثف البدء، حيث يتم في هذا المحرك فصل المكثف مع ملفات البدء عن المصدر عندما تصل سرعة المحرك إلى (75%) من السرعة الاسمية. في هذه الحالة، فإن عزم التشغيل يكون سالباً عند السرعة التزامنية (ns)، بسبب المجال المغناطيسي الدوار العكسي.

والشكل (٥-٤) يبين خواص المحرك الميكانيكية (بين السرعة والعزم) لحظة البدء والتشغيل .

٣ المحرك ذو المكثف الدائم (Permanent-Split Capacitor Motor) :

في هذا النوع من المحركات تبقى فيه الملفات المساعدة تعمل مع الملفات الرئيسية في أثناء عملية تشغيل المحرك بتركها موصولة مع المصدر في فترة التشغيل ، وفي هذه الحالة يتم الاستغناء عن مفتاح الطرد المركزي ، كما في الشكل (٥-٤) .



الشكل (٥-٤) : المحرك ذو المكثف الدائم

هذا ويكون المحرك بهذا الشكل أبسط في تكوينه من المحرك ذي مكثف البدء ، حيث يتم التخلص من المتاعب التي يمكن أن يسببها مفتاح الطرد المركزي أحياناً . وتصمم الملفات المساعدة والمكثف على هذا الأساس عند الحمل المطلوب . وفي هذا النوع من المحركات يستلزم استخدام مكثف ورقي مشبع بالزيت ، وهو أغلى ثمناً من المكثفات الإلكترونية المستخدمة في المحرك ذي مكثف البدء .



الشكل (٦-٤) : الخواص الميكانيكية لمحرك ذو المكثف الدائم

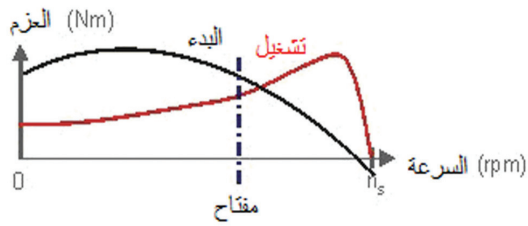
إن الاستغناء عن مفتاح الطرد المركزي يقلل من تكاليف التصنيع لهذا المحرك . كما أن عزم البدء في هذا المحرك أقل منه في المحرك السابق ، حيث يتم اختيار المكثف في هذه الحالة على أساس المواءمة بين متطلبات فترتي التشغيل والبدء . والشكل (٦-٤) يبين خواص المحرك الميكانيكية (بين السرعة والعزم) لحظة البدء والتشغيل .

٤ المحرك ذو المكثفين (Capacitor Start – Capacitor Run Motors) :

يبين الشكل (٧-٤) محركاً ذا المكثفين ، وفيه مكثفان (مكثف البدء C_{start} ومكثف التشغيل C_{run}) على التوازي موصولان على التوالي مع الملفات المساعدة . عند البدء يوصل المكثف (C_{start}) ويكون عند البدء يوصل المكثف (C_{start}) ويكون عادة ذا سعة كبيرة نسبياً تصل إلى (10) أمثال سعة المكثف (C_{run}) بواسطة مفتاح الطرد المركزي المبين في الشكل حيث إن السعة الكلية تساوي $(C_{tot} = C_{start} + C_{run})$.

وعندما يدور المحرك بسرعه الاسمية ينفصل مكثف البدء آلياً ويبقى مكثف التشغيل فعالاً . توصل عادة المكثفات في هذه المحركات لزيادة فرق الطور بين تيارى ملفات البدء والتشغيل ليقترب من (90°) . وتتراوح قيمة سعة المكثفات في العادة ما بين $(75-350\mu F)$. وبما أن عزم البدء يتناسب طردياً مع تيارى ملفات البدء (I_{start}) والتشغيل (I_{run}) وكذلك جيب الزاوية (α) بينهما كما في المعادلة :

$$(\tau_{start} = I_{start} \times I_{run} \times \sin \alpha)$$

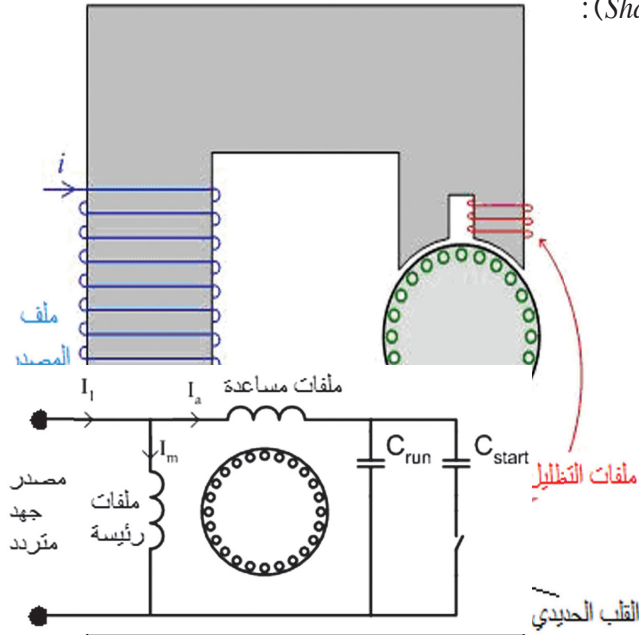


الشكل (٨-٤) : الخواص الميكانيكية لمحرك ذو المكثفين

فإنه يستنتج أن العزم يكون أعلى ما يمكن عندما تكون الزاوية (90°) . فمن هنا تأتي أهمية المكثفات التي تعمل على زيادة عزم البدء في المحركات أحادية الطور . والشكل (٨-٤) يبين خواص المحرك الميكانيكية (بين السرعة والعزم) لحظة البدء والتشغيل .

يستخدم المحرك ذو المكثف -بغض النظر عن نوعه- على نطاق واسع في تشغيل ضاغطات الهواء والمكابس والغسالات والمضخات وغيرها من الأحمال المنخفضة والمتوسطة نسبياً ، التي قد تصل إلى $5kW$. وغيرها من الأحمال المنخفضة نسبياً التي لا تتجاوز قدرتها $500W$.

٥ المحرك ذو القطب المظلل (Shaded Pole Motors) :



الشكل (٧-٤) : محرك ذو المكثفين
الشكل (٩-٤) : تركيب المحرك ذو القطب المظلل

يبين الشكل (٩-٤) تركيب المحرك ذي القطب المظلل ، وهو بخلاف محركات الطور المشطور أو بمكثف ، حيث إن الجزء الساكن فيه يحتوي على أقطاب بارزة ، والعضو الدوار له من نوع القفص السنجابي ، كما يحتوي الجزء الساكن فيه على نوعين من الملفات الرئيسية وملفات التشغيل ، وهي حلقة مقصورة من شريط نحاسي ذي مقطع سميك ، ومقاومة أومية منخفضة ، حيث توضع هذه الحلقة حول سن في طرف كل قطب كما هو مبين في الشكل .

يعتمد مبدأ عمل هذا المحرك على التيار التأثيري المتولد في ملف التظليل (الحلقة المقصورة)، الذي يعاكس التدفق المغناطيسي الناتج عن الملفات الرئيسية، وذلك حسب قانون لنز. عند مرور تيار في الملفات الرئيسية (ملف المصدر)، يتولد مجال مغناطيسي متذبذب يقطع ملفات التظليل مولداً فيها قوة دافعة كهربية تأثيرية، حيث يسري فيها تيار ينتج عنه مجال مغناطيسي يعاكس المجال الناتج من الملفات الرئيسية، وبالتالي تقل كثافة التدفق في الجزء المظلل، ويركز المجال في الجزء غير المظلل، وعندما يصل تيار الأقطاب قيمته العظمى يكون مقدار التغير فيه مساوياً للصفر. وبالتالي فإن (ق. د. ك.) التأثيرية المعاكسة في ملفات التظليل تساوي الصفر أيضاً. وعليه فإن كثافة التدفق تكون متساوية في الجزء المظلل، والجزء غير المظلل، أي مركز التدفق في وسط القطب.

وعندما يبدأ تيار الأقطاب بالانخفاض، يكون التدفق المغناطيسي الناتج من التيار التأثيري في الملف المظلل، بحيث يساعد التدفق المغناطيسي الأصلي، وبالتالي فإن معظم التدفق المغناطيسي يتركز في الجزء المظلل. أي أن كثافة التدفق المغناطيسي يصل إلى قيمته العظمى أولاً في الجزء الرئيسي من القطب غير المظلل، ثم بعد ذلك تصل قيمته العظمى أولاً في الجزء الرئيسي من القطب غير المظلل، ثم بعد ذلك تصل قيمته العظمى في الجزء المظلل من القطب. وهذا الانتقال في تركيز التدفق المغناطيسي يشبه في تأثيره المجال المغناطيسي الدوار، ويكون كافياً لبدء حركة المحرك بطريقة تشبه ما يحدث في محرك الطور المشطور، أو المحرك ذي المواسع. إن هذا النوع من المحركات ينتج عزمًا ضعيفاً، ولكنه كافٍ لإقلاع المحركات التي قدرتها أقل من حصان وحمولتها خفيفة كالمراوح والألعاب؛ لذلك يستخدم هذا المحرك في الأحمال أو الأجهزة التي لا تحتاج إلى عزم بدء عال. ومن عيوبه أيضاً انخفاض جودته، وعدم تحمله زيادة الحمل، إلا أنه يمتاز ببساطة تركيبه، وخلوه من مفتاح الطرد المركزي.

المحركات أحادية الطور ذات الموحد

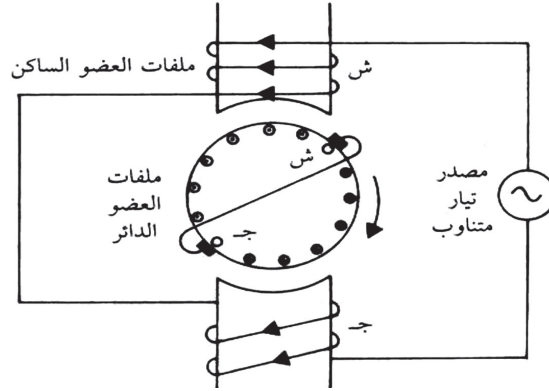
هناك أنواع أخرى من محركات التيار المتردد أحادية الطور التي يحتوي العضو الدوار على الموحد (Commutator)، كما في آلات التيار المستمر. ومن هذه المحركات:

١ المحرك التنافري (Repulsion Motor):

وهو محرك ذو طور واحد، حيث يحتوي على جزأين رئيسيين هما: الجزء الساكن، والعضو المتحرك. يشبه الجزء الساكن في تركيبه الجزء الساكن في المحرك التأثيري، ويحتوي على ملفات رئيسة توصل مع مصدر التيار المتردد، والعضو الدائر فيه هو من النوع الملفوف الذي يحتوي على ملفات توصل مع الموحد (المركب على عمود الإدارة له كما هو في آلات التيار المستمر)، فهو منتج آلة تيار مستمر دون تغذية خارجية إذ تقصر الفرش الكربونية الموجودة على الموحد، وتوضع بحيث تشكل زاوية إزاحة تتراوح ما بين (٢٠-٣٠) بين المحور المغناطيسي لأقطاب الجزء الساكن، والمحور المغناطيسي لأقطاب العضو الدائر، كما يبين الشكل (٤-١٠). ويعتمد مبدأ عمل هذا المحرك على تولد (ق. د. ك.) التأثيرية في ملفات العضو الدائر عندما تقطع هذه الملفات المجال المغناطيسي المتناوب الناتج عن الملفات الرئيسية عند توصيلها بالتيار.

وفي حالة سريان تيار تأثيري في ملفات المنتج، تتولد أقطاب مغناطيسية على سطح العضو الدائر على محور

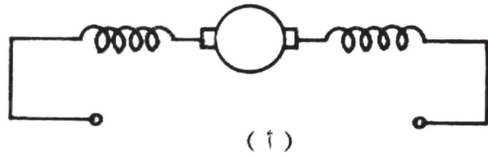
الفرش الكربونية، كما هو مبين في الشكل (٤-٥٥). وإن تشابه الأقطاب المغناطيسية على العضو الساكن يؤدي إلى تنافر هذه الأقطاب مسببة بذلك عزمًا ودوراناً يؤديان إلى تحريك المحرك، وحينئذ يدور المحرك باتجاه عقارب الساعة. وإذا أزيحت الفرش إلى الجهة اليسرى، فإن المحرك يدور بعكس اتجاه عقارب الساعة. كما أن من أهم سليات هذا النوع، أن سرعته تتأثر بتغير الحمل؛ لذا يمكن أن يتم إحداث تعديل على هذا المحرك بتركيب ملفات قفص السنجاب، بالإضافة إلى ملفات التوحيد، ويسمى المحرك في هذه الحالة المحرك التنافري التأثيري (Repulsion Induction Motor).



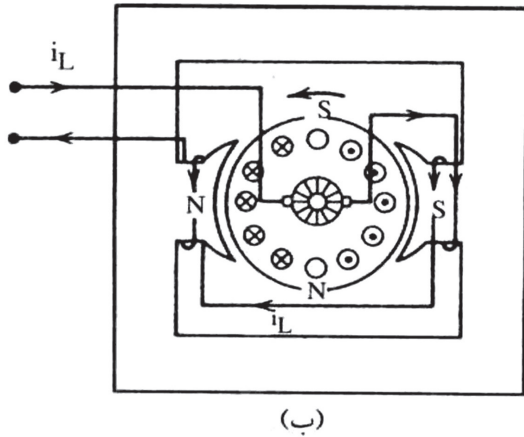
الشكل (٤-١٠): محرك تنافري

أو تقتصر نحاسات العضو الدائر بجهاز طرد مركزي خاص بعد أن يصل المحرك إلى سرعته الطبيعية، ويسمى المحرك حينئذ بالمحرك التنافري ذي البدء التأثيري (Repulsion Start Induction Run Motor). وبهذا يمكن الحصول على أفضل الخواص للمحرك، إذ يجمع بين خواص المحرك التأثيري ذي عزم البدء العالي وخواص المحرك التأثيري ذي القفص السنجابي ذي السرعة الثابتة مع تغير الحمل.

٢ المحرك العام (Universal Motor):



(أ)



(ب)

الشكل (٤-١١): توصيلات المحرك العام

هو محرك توال مصمم ليعمل على كل من التيار المستمر والتيار المتردد والقيمة الفعالة للجهد المتغير يساوي تقريباً الجهد المستمر نفسه، وذلك يسمى المحرك العام؛ لأنه يعمل على التيار المستمر والتيار المتردد على حد سواء. وبما أن هذا المحرك يعمل على التيار المتردد؛ لذا يصنع قلب الجزء الساكن والعضو المتحرك من صفائح الصلب المعزولة عن بعضها، ولذلك لتقليل الخسائر الإعصارية، والخسائر الهستيرية من تشغيله على التيار المتردد، ويشبه العضو الدائر لهذا المحرك منتج آلة تيار مستمر. حيث توصل ملفات الجزء الساكن على التوالي مع ملفات المنتج عن طريق الفرش الكربونية المركبة على عضو التوحيد، كما هو مبين في الشكل (٤-١١).

أما الجزء الساكن لهذا المحرك فيصنع على شكلين :

١ الجزء الساكن ذو الأقطاب البارزة: ويشبه في تركيبه الجزء الساكن لمحرك توالٍ صغير للتيار المستمر، وفي العادة يكون موجوداً في المحركات ذات القدرة المنخفضة.

٢ الجزء الساكن، ويشبه في تركيبه الجزء الساكن للمحرك التآثري ذي الطور المشطور؛ إذ توجد به مجار تحتوي عادة على مجموعتين من الملفات؛ الأولى وهي ملفات الأقطاب الرئيسة،

وتشبه الملفات الرئيسة في محرك الطور المشطور،

والثانية وهي ملفات التعويض، وتشبه ملفات

البدء في محرك الطور المشطور. وتكون الزاوية

بين هاتين المجموعتين تساوي (٩٠) كهربائية، كما

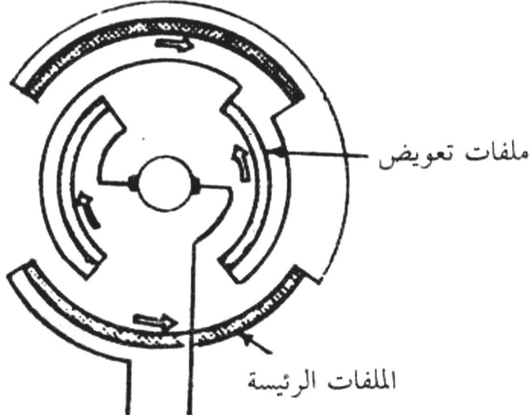
هو مبين في الشكل (٤-٥٧). وتوصل المجموعتان

على التوالي مع المنتج، علماً بأن فائدة ملفات

التعويض هي تقليل الشرر الذي ينتج بين الفرش

وعضو التوحيد. وتكون قدرة هذا النوع أعلى من

النوع الأول ذي الأقطاب البارزة.



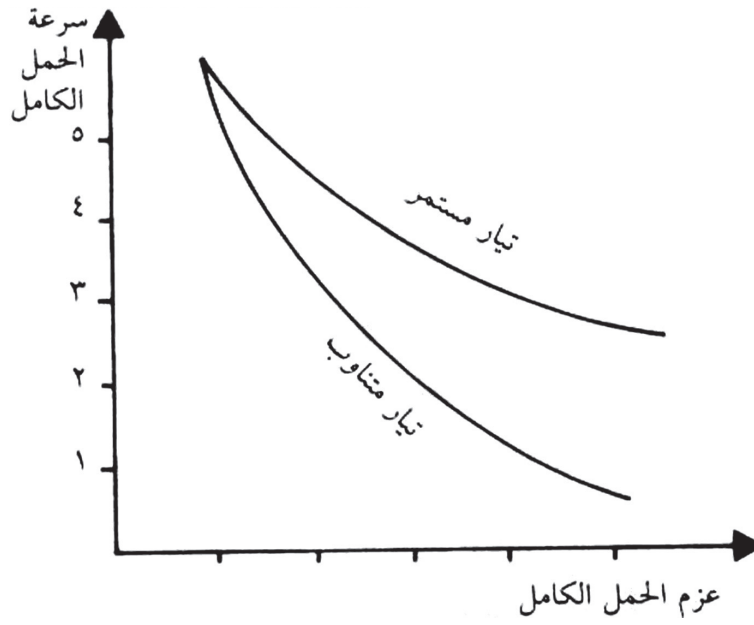
الشكل (٤-١٢): توصيلات محرك عام يحتوي على ملفات تعويض

مبدأ عمل المحرك العام

من دراستك لمحركات التيار المستمر تستنتج أن عكس اتجاه كل من تيار التغذية، وتيار المنتج لا يغير اتجاه الدوران للمحرك. إن اتجاه المجال يعتمد على اتجاه التيار الحثي للملف، وحيث إن الملف في محرك التوالي يتغذى من تيار المنتج، لذلك يتغير المجال بتغير التيار المار فيه في الوقت نفسه، فيتفاعل التدفق المغناطيسي لأقطاب الجزء الساكن مع التدفق المغناطيسي الناتج عن التيار في ملفات المنتج مولداً عزمًا يدير المنتج، سواء أكان التيار مستمراً أم متردداً.

لكن محرك التيار المتوازي لا يصلح للعمل على التيار المتناوب، لأن عدد لفات التوازي يكون كبيراً، وبالتالي مقاومتها التأثيرية عالية، ويكون تيار الأقطاب صغيراً، ويتأخر عن جهد الشبكة بمقدار (90) تقريباً، لذلك فإن العزم المتولد يكون صغيراً لا يكفي لتحريك المحرك. ويمتاز المحرك العام بعزم بدء كبير كما هو الحال في محرك التوالي للتيار المستمر، وتنخفض سرعته مع ازدياد الحمل وتتراوح سرعته ما بين (15000-5500) دورة/ دقيقة، كما يمكن ضبط سرعته بسهولة. وتتراوح قدرات هذا المحرك من (1 - 0.5) حصان ميكانيكي لسرعة (5000) دورة/ دقيقة فأكثر. كما أنه في السرعة التي تقل عن ذلك تجد فروقاً في الأداء بين تشغيله على التيار المتردد وتشغيله على التيار المستمر.

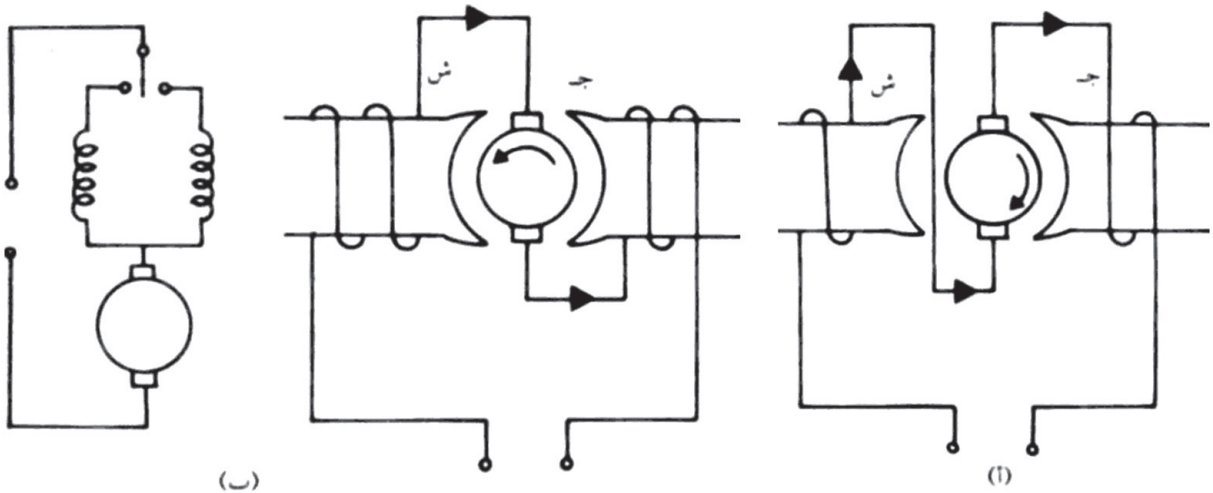
ينتشر استعمال هذا المحرك في الأجهزة المنزلية، مثل خلاطات الطعام والمقادح وآلات الخياطة والمكانس الكهربائية التي تصل قدرتها إلى 250W. وفي حالة تشغيله على التيار المتردد تكون سرعته أبطأ منها على التيار المستمر بسبب وجود المقاومة التأثيرية الناتجة من تردد التيار، ويظهر ذلك في المنحنيات المبينة في الشكل (٤-١٣).



الشكل (٤-١٣): منحنى خواص المحرك العام

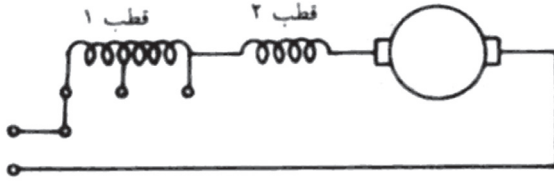
ومن عيوب هذا المحرك حدوث الشرر بين الفرش وعضو التوحيد في حالة زيادة الحمل ؛ مما يسبب تآكل الفرش بسرعة . ويمكن تخفيف الشرر باستعمال ملفات التعويض أو باستعمال مقاومة على التوالي مع الفرش . حيث يتم عكس اتجاه المحرك بعكس اتجاه التيار ، إما في ملفات الأقطاب ، وإما في المنتج ؛ وذلك بتبديل توصيل حامل الفرش كما في الشكل (٤-١٤) .

وتحتوي بعض المحركات على ملفي توال ، اتجاه لف كل منهما مختلف ، ويكونان موصولين مع المنتج ، كما في الشكل (٤-١٥ ب) ، ويتم اختيار الواحد منهما لتغيير اتجاه الحركة حسب الغاية المنشودة .

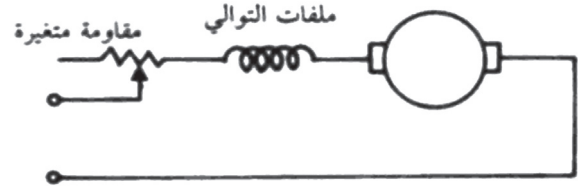


الشكل (٤-١٤): عكس اتجاه الدوران للمحرك العام

يتم تغيير سرعة هذا المحرك باستعمال مقاومة متغيرة توصل على التوالي مع المحرك، كما في الشكل (٤-١٥). وتستخدم هذه الطريقة في محركات "ماكينة الخياطة المنزلية"، إذ يتم تغيير المقاومة عن طريق ضغط القدم عليها، أو بواسطة ملفات أقطاب عليها نقاط توصيل عدة كما في الشكل (٤-١٦)، إذ يمكن التحكم بالتدفق المغناطيسي فيها، وبالتالي يمكن التحكم بسرعة المحرك.



الشكل (٤-١٦): تغيير سرعة المحرك العام بواسطة ملفات أقطاب

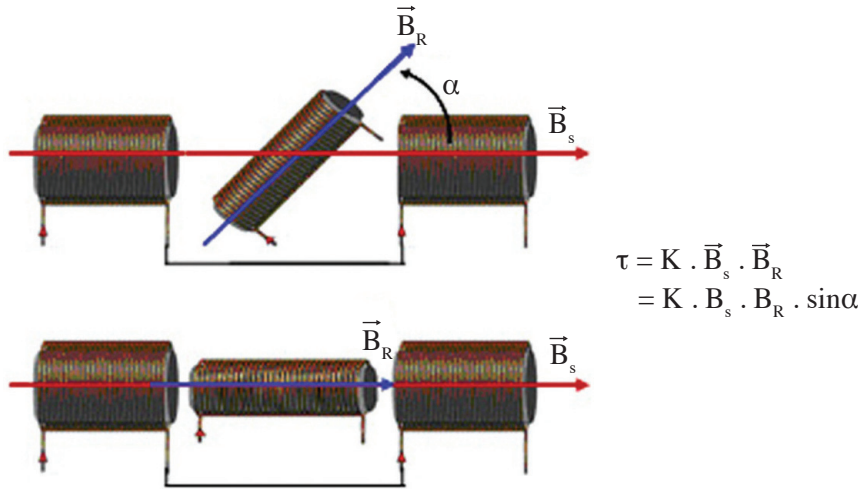


الشكل (٤-١٥): تغيير سرعة المحرك العام بواسطة مقاومة متغيرة

وهناك طرق عديدة لتنظيم سرعة هذه المحرك، وفي الآلات الحديثة يتم التحكم به بواسطة الأجهزة الإلكترونية، وذلك باستخدام الثايرستورات والترانزستورات.

مبدأ عمل محركات التيار المتردد:

يعتمد مبدأ عمل المحرك الحثي ثلاثي الطور على مبدأ الحث المتبادل بين ملفين لا يوجد بينهما اتصال كهربائي فيزيائي، حيث تستحث تيارات في الملف القابل للحركة عندما يمر في الملف الآخر تيار من المصدر فتجعله يدور، ويمكن توضيح الفكرة بمساعدة الشكل (٤-١٧).

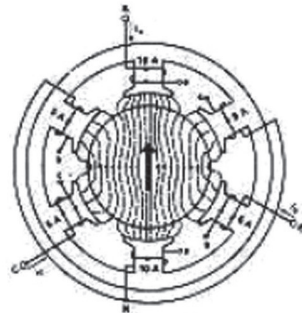
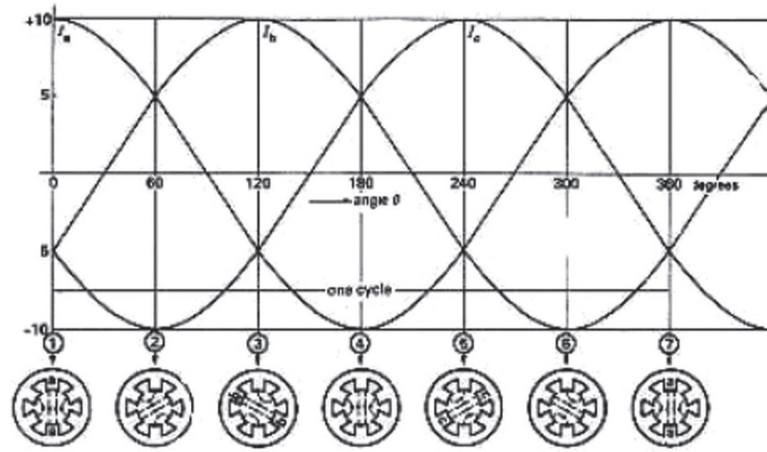


الشكل (٤-١٧) : مبدأ عمل محرك حثي ثلاثي الطور

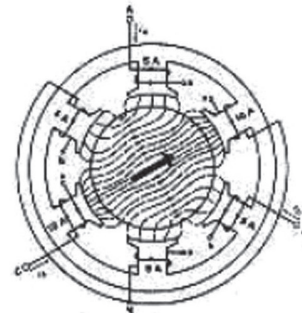
حيث إن :

- B_s : كثافة الفيض المغناطيسي للملف الساكن والذي يمثل الجزء الساكن للمحرك
- B_R : كثافة الفيض المغناطيسي للملف المتحرك والذي يمثل العضو الدوار للمحرك
- τ : العزم الناشئ من تفاعل المجالين المغناطيسيين للملفين

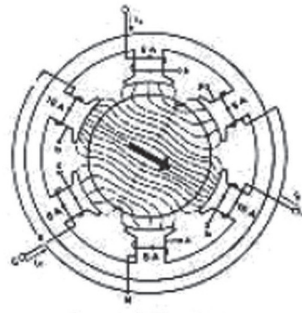
وحيث إن المحرك الحثي يتكون من جزئين أساسيين هما الجزء الساكن (stator) والعضو الدوار (rotor) فإن ملفات العضو الدوار في المحركات الحثية تحمل تيار ينشأ عن المجال المغناطيسي الدوار الذي يستحث في موصلاته لوقوعها تحت تأثير المجال المغناطيسي المتولد في موصلات العضو الساكن وذلك لمرور تيار المصدر فيها . وهذا يؤدي إلى تحريك العضو الدوار بنفس اتجاه دوران المجال في العضو الساكن نتيجة للمجال المغناطيسي الدوار المستحث في موصلاته .



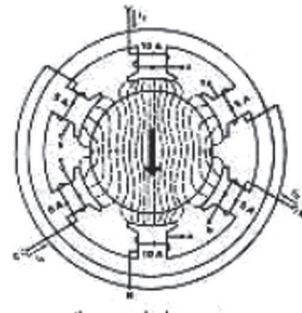
عند الزاوية صفر



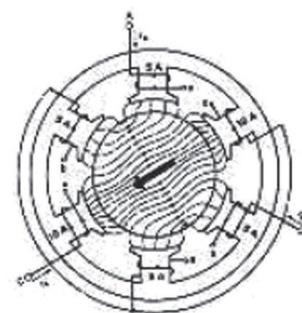
عند ٦٠ درجة



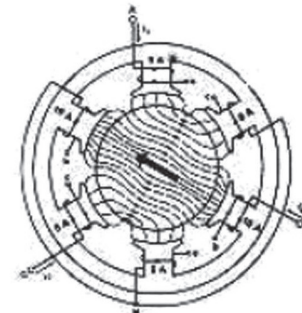
عند ١٢٠ درجة



عند ١٨٠ درجة



عند ٢٤٠ درجة



عند ٣٠٠ درجة

الشكل (٤-١٨): توليد المجال المغناطيسي الدوار في آلة ذات ٦ أقطاب

وحيث إن ملفات العضو الساكن موصلة إما على شكل نجمة أو دلتا، ويوجد بين كل ملف وآخر زاوية فراغية قدرها 120 درجة فإنه عندما توصل هذه الملفات بمصدر جهد كهربائي ثلاثي الطور بين كل طور وآخر 120 درجة فإنه سيمر في هذه الملفات تيارات متزنة بين كل تيار وآخر 120 درجة ونتيجة لذلك فإنه سوف ينشأ في الثغرة الهوائية مجال مغناطيسي دوار منتظم، كما في الشكل (٢-٢). هذا المجال المغناطيسي يدور بسرعة تسمى السرعة التزامنية (Synchronous speed) وتحسب حسب المعادلة التالية:

$$\omega_s = \frac{4\pi f_e}{p} \quad \text{..... (٤-١١)}$$

$$n_s = \frac{120f_e}{p} \quad \text{..... (٤-١٢)}$$

حيث إن :

n_s : السرعة التزامنية وتعطى بـ (rpm)
 ω_s : السرعة الزاوية التزامنية وتعطى بـ (rad/s)
 f_e : تردد المصدر الموصول مع العضو الساكن
 p : عدد أقطاب الآلة

وحيث إن العضو الدوار يقع تحت تأثير هذا المجال المغناطيسي الدوار فإنه سينشأ في موصلاته قوة دافعة كهربائية ثلاثية الطور، وبما أن موصلات العضو الدوار مقصورة من الطرفين فإنه يمر فيها تيارات ثلاثية الطور بين كل وجه وآخر 120 درجة ومن ثم سيتولد مجال مغناطيسي دوار آخر في الثغرة الهوائية. وبذلك يصبح في الثغرة الهوائية مجالان مغناطيسيان دواران الأول ناتج من العضو الساكن ويدور بالسرعة التزامنية (n_s) والثاني ناتج من العضو الدوار ويدور بسرعة ($n_s - n$) بالنسبة للعضو الدوار. حيث إن n هي سرعة العضو الدوار - ويدور بالسرعة التزامنية بالنسبة للعضو الساكن. وحيث إن هذين المجالين المغناطيسيين يدوران بنفس السرعة والاتجاه فإنه سيتولد عزم فعال على العضو الدوار يؤدي إلى دورانه بنفس اتجاه ودوران المجالين.

بعدما يبدأ العضو الدوار بالتسارع فإن سرعة تعرض موصلاته لقطع خطوط المجال المغناطيسي الدوار ستقل كلما زادت سرعة العضو الدوار طبقاً للمعادلة التالية:

$$n_f = n_s - n_m \quad \text{..... (٤-١٢)}$$

حيث إن n_f هي سرعة قطع خطوط المجال المغناطيسي لموصلات العضو الدوار، n_m سرعة المحرك.

الجهد المتولد في موصلات العضو الدوار يعتمد على السرعة النسبية بين العضو الدوار وسرعة المجال المغناطيسي الدوار الناتج من العضو الساكن ، والتي تسمى كذلك سرعة الانزلاق (n_{slip}):

$$n_{slip} = n_s - n_m \quad \dots\dots\dots (٢-٤)$$

وإذا نسبت سرعة الانزلاق إلى السرعة التزامنية للآلة نفسها فإنها تعطي معاملًا هاماً ومفيداً جداً عند دراسة الآلات الحثية يسمى معامل الانزلاق $Slip$ ويرمز له بالرمز (s) وتتراوح قيمته في المحركات الصغيرة ما بين 0.01 إلى 0.02 وقد تصل إلى 0.005 في المحركات الكبيرة في حالة اللاحمل وعند التحميل يتراوح الانزلاق من 0.03 إلى 0.05 ويمكن حسابه حسب المعادلة :

$$s = \frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_s} = \frac{n_s - n_m}{n_s} \quad \dots\dots\dots (٣-٤)$$

مثال (١): محرك حثي ثلاثي الطور، له أربعة أقطاب ، يتغذى من مصدر 380V و 50Hz. إذا كان

الانزلاق عند الحمل الكامل 5% . احسب :

السرعة التزامنية للمحرك .

سرعة العضو الدوار .

أ
ب

الحل: ☒

السرعة التزامنية للمحرك تحسب حسب العلاقة التالية

$$n_s = \frac{120f}{p} = \frac{120 \times 50}{40} = 1500 \text{ rpm}$$

يتم حساب سرعة العضو الدوار من المعادلة

$$s = \frac{n_s - n_m}{n_s} = 1 - \frac{n_m}{n_s}$$

أي أن

$$n_m = n_s (1-s) = 1500 (1 - 0.05) = 1425 \text{ rpm}$$

مثال (٢): محرك حثي ثلاثي الطور ذو ستة أقطاب ، يتم تشغيله بواسطة مولد توافقي له أربعة أقطاب ويدور بسرعة $1500rpm$. إذا كانت سرعة المحرك الحثي هي $750rpm$ ، ما هي قيمة الانزلاق للمحرك؟

الحل:  يزود المولد التوافقي المحرك الحثي بالطاقة الكهربائية والتي تمثل مصدر جهد وتردد للمحرك ، وعليه فإن تردد العضو الساكن للمحرك تساوي

$$f = n_s \frac{p}{120} = \frac{1500 \times 4}{120} = 50 \text{ Hz}$$

وبذلك يمكن حساب السرعة التزامنية للمحرك حسب المعادلة

$$n_s = \frac{120f}{p} = \frac{120 \times 50}{6} = 1000 \text{ rpm}$$

$$s = \frac{n_s - n_m}{n_s} = \frac{1000 - 750}{1000} = 0.25$$

إن لكل محرك بيانات خاصة به تحددها الشركة الصانعة له وتضع كل شركة هذه البيانات في لوحة بيان خاصة تثبت على جسم المحرك ، وتحتوي تلك اللوحة (وتسمى اللوحة الاسمية للمحرك) كما في الشكل (٤-٣) على البيانات التالية متفق عليها بين الشركات الصانعة للمحركات وتشمل الآتي :

- ١ الجهد الذي يعمل عليه المحرك
- ٢ شدة التيار الخاص بالمحرك عند الحمل الكامل
- ٣ عدد الأطوار التي يعمل عليها المحرك
- ٤ سرعة المحرك
- ٥ قدرة المحرك
- ٦ مقدار التردد الذي يعمل عليه المحرك
- ٧ نوع المحرك وطرازه
- ٨ درجة الحرارة المسموح بها
- ٩ الرقم المتسلسل للشركة الصانعة
- ١٠ الرقم المتسلسل للمحرك
- ١١ معامل القدرة للمحرك (إن لزم)

وقد تزيد تلك البيانات أو تقل اعتماداً على سياسة الشركة الصانعة للمحركات ويبين الشكل (٤-١٩) لوحة اسمية لإحدى الشركات الصانعة لآلات التيار المتناوب ثلاثية الاطوار موضحاً عليها هذه البيانات .

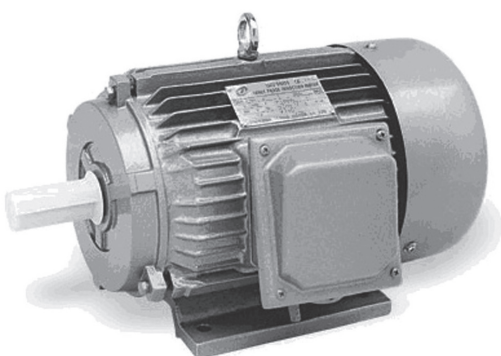
LEYBOLD DIDACTIC GMBH		
TYP 731 63		
3 ~ Motor	Nr. 200 26 971	
Δ / y 220 / 380 V	Nr. 200 26 971	0.45A/ 0.26A
0.09 kW	S 1	$\cos \varphi = 0.75$
1430 min ⁻¹	50 Hz	
Rotor 100 V	0.5 A	
1. h1. B	IP 44	
VDE 0530		

Manufacturer data				VDE 0530/12.95	
Type: 3-phase 60	Insul.-cl.	B	IP	44	50 Hz
3-phase motor	N°	1809-XY	1460	min ⁻¹	0.6 t
4400	V	16.6	A	90 kW	S3
				$\cos \varphi$	0.89

الشكل (٤-١٩) : اللوحة الاسمية لمحرك ثلاثي الطور

الأجزاء الرئيسية لمحرك حثي ثلاثي الطور:

يتكون المحرك الحثي ثلاثي الطور المبين في الشكل (٤-٢١) من جزأين رئيسيين هما العضو الساكن (*Stator*) والعضو الدوار (*Rotor*)، ويبين الشكل (٤-٢٢) منظرًا عامًا للمحرك. ويمكن تبيان الأجزاء الرئيسية للمحرك على النحو الآتي:



الشكل (٤-٢٢) : منظر عام لمحرك حثي ثلاثي الأوجه



الشكل (٤-٢١) : أجزاء المحرك الحثي ثلاثي الطور

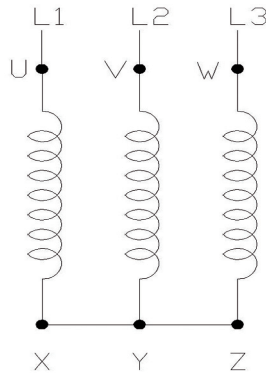


الشكل (٤-٢٠): العضو الساكن لمحرك حثي ثلاثي الطور

يسمى العضو الثابت بهذا الاسم لأنه لا يتحرك ويصنع قلبه عادة من شرائح معزولة من سبيكة من السليكون الصلب، لها سمك يتراوح ما بين (0.35 - 0.65) ملم، وذلك لتقليل من التيارات الإعصارية والدوامية التي تتشكل في قلب العضو الساكن، حيث تساعد تلك الشرائح على خفض في الفقد الكهربائي.

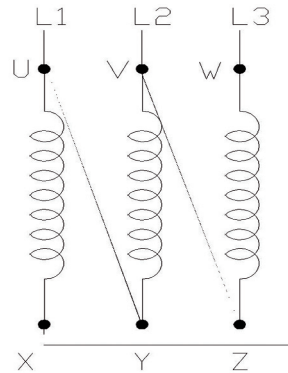
يحتوي قلب العضو الساكن على مجارٍ قد تكون مغلقة أو مفتوحة معزولة بمادة الورنيش، حيث توضع ملفات العضو الساكن في المحيط الداخلي للقلب، ويحيط بكل من القلب والملفات هيكل خارجي مصنوع من الحديد الزهر كما هو موضح في الشكل (٤-٢٠)، ويصنع الهيكل عادة بطريقة تساعد على تبديد الحرارة المتولدة في المحرك.

يتم إمداد ملفات العضو الساكن الثلاثة بمصدر ثلاثي الأطوار وتعتمد طريقة توصيل تلك الملفات على طريقة لف العضو الساكن لتعطي الآلة أفضل أداء ممكن، ويوضح الشكل (٤-٢١) طرق توصيل ملفات العضو الساكن إما توصيله نجمة (Star) أو مثلث (Delta).



STAR CONNECTION

(ب)



DELTA CONNECTION

(أ)

الشكل (٤-٢١): توصيل أطراف ملفات العضو الساكن بطريقة (أ) نجمة أو (ب) مثلث مع المصدر

وتوضع الملفات في المجاري الخاصة بها لتشكيل عدد معين من الأقطاب، حيث يتم تحديد عدد الأقطاب حسب متطلبات السرعة فكلما زاد عدد الأقطاب قلت السرعة. في الآلات التي تعمل حتى جهد 660V فإن كل بدايات الملفات ونهاياتها تكون موضحة على لوحة التوصيل، بحيث يمكن توصيلها إما نجمة أو مثلث كما في الشكل (٤-٢١).

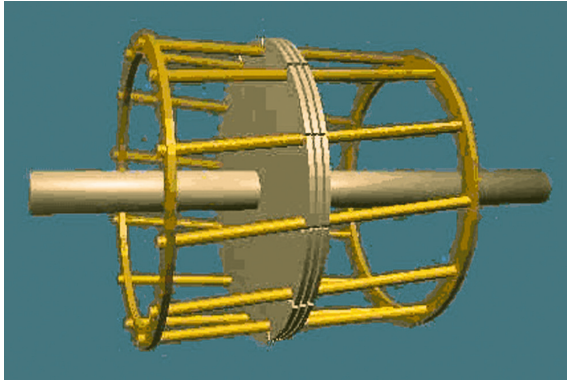
هناك نوعان من العضو الدوار تصنف بناء على طريقة صنعها وهي :

١ العضو الدوار ذو القفص السنجابي (Squirrel Cage motor) :

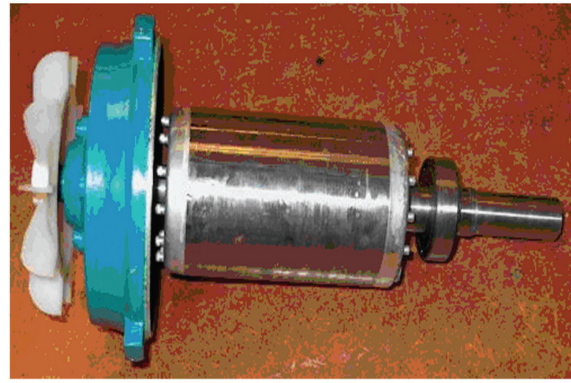
حيث يتركب هذا العضو من قضبان من النحاس أو الألمنيوم متباعدة بعضها عن بعض مسافة متساوية ومتوازية مع بعضها، ولكن منحازة عن عمود المحرك (غير متوازية معه) وتصب هذه القضبان في المجاري على السطح الظاهر لقلب العضو الدوار، ولكنها ليست معزولة عن مادة القلب الموصلة التي لا تشكل عائقاً أمام موصلات النحاس أو الألمنيوم لكونها ذات موصلية أقل مما يجعل تيارات العضو الدوار المستحثة تسري في موصلات النحاس أو الألمنيوم لأنها ذات مقاومة أقل من مادة القلب وتقتصر تلك الموصلات من الجهتين بحلقتين دائرتين من نفس مادتهما لتشكل دائرة مغلقة .

ويمتاز هذا النوع من العضو الدوار بالانتشار بسبب بساطته المتناهية وقلة تكلفه صيانتته، والشكل

(٢٢-٤) والشكل (٢٣-٤) يبينان العضو الدوار ذا القفص السنجابي .



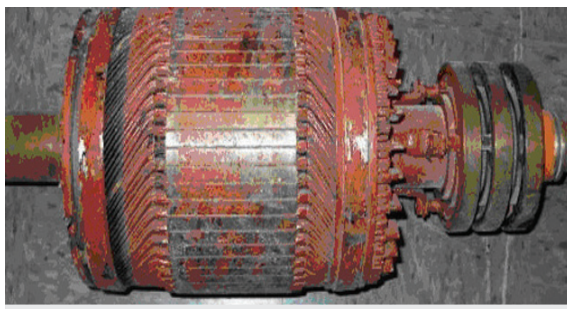
الشكل (٢٣-٤): شكل القفص السنجابي



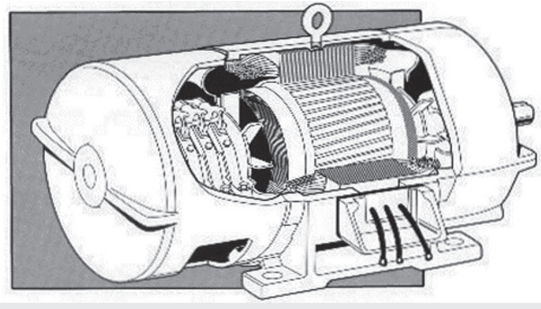
الشكل (٢٢-٤) : العضو الدوار من نوع القفص السنجابي

٢ العضو الدوار الملفوف أو ذو الحلقات الانزلاقية (Slip-Ring Rotor أو Wound Rotor) :

يتم لف هذا النوع من العضو الدوار بملفات معزولة ماثلة لطريقة لف العضو الساكن وبنفس عدد الأقطاب، حيث يتم إسقاط تلك الملفات في مجارٍ داخل العضو الدوار، وتربط أطراف هذه الملفات عند إحدى نهايتي عمود العضو الدوار بثلاثة حلقات انزلاق مصنوعة من مادة البرونز الفسفوري وتربط الأطراف الأخرى لحلقات الانزلاق مع ثلاث مقاومات (ريوستات) مركبة فوقها وموصولة بشكل نجمة (كما هو موضح في الشكل (٢٤-٤) والشكل (٢٥-٤) أو مثلث بغرض بدء الحركة والتحكم بسرعة المحرك، وعندما يمتلك العضو الدوار سرعته تكون المقاومات الثلاث قد قصرت بحلقة معدنية أوتوماتيكياً . يوجد بين الجزء الساكن والعضو الدوار الثغرة الهوائية (air gap) وقيمتها تحدد كثافة الفيض المغناطيسي الذي ينتقل من الجزء الساكن إلى العضو الدوار .



الشكل (٤-٢٥): العضو الدوار ذو الحلقات الانزلاقية



الشكل (٤-٢٤): آلة حثية فيها العضو الدوار من نوع الملفوف ذو الحلقات الانزلاقية

القدرة في محرك حثي ثلاثي الطور:

عادة ما يوصف المحرك الحثي ثلاثي الطور بأنه محول دوار، الدخل قدرة كهربائية في شكل جهود وتيارات ثلاثية الأوجه والخرج هو قدرة كهربائية تؤخذ من ملفات الثانوي (في المحول)، بينما في المحرك الحثي تكون ملفات الثانوي (العضو الدوار) مقصورة، وبالتالي لا تعطي قدرة كهربائية، وإنما تعطي قدرة ميكانيكية تظهر على المحور. العلاقة بين القدرة الكهربائية الداخلة والقدرة الميكانيكية الخارجة موضحة في الشكل (٤-٢٨) الذي يصف انسياب القدرة داخل المحرك.

القدرة الداخلة إلى العضو الساكن تعتمد قيمتها على الحمل المحمل به المحرك و المتمثل بالتيار ومعامل القدرة حسب المعادلة:

$$P_{in} = P_1 = 3 V_1 I_1 \cos \theta \quad (٤-٤)$$

حيث إن :

V_1 : جهد الوجه للعضو الساكن

I_1 : تيار الوجه للعضو الساكن

θ : الزاوية بين الجهد والتيار

هذه القدرة الداخلة P_1 سيفقد منها جزء في مقاومة ملفات العضو الساكن R_1 على شكل حرارة، وتسمى مفايد نحاسية في العضو الساكن، ويعطى حسب العلاقة التالية:

$$P_{Cu1} = 3 I_1^2 R_1 \quad (٥-٤)$$

الجزء المتبقي من القدرة الداخلة P_1 سيفقد جزءاً منها في القلب الحديدي للعضو الساكن، وذلك بسبب وجود التيارات الدوامية وظاهرة التخلف المغناطيسي وتسمى مفايد حديدية P_{core} ، هذه القدرة المفقودة تمثلها المقاومة R_c في الدائرة المكافئة. مجموع هذين النوعين من المفايد في العضو الساكن (المفايد في R_c و R_1) تسمى مفايد العضو الساكن، ويرمز لها بالرمز P_{st} :

$$P_{st} = P_{Cu1} + P_{core} \quad (٦-٤)$$

الجزء المتبقي من القدرة الداخلة P_1 سينتقل عبر الثغرة الهوائية إلى العضو الدوار، ويرمز لها بالرمز P_g :

$$P_g = P_1 - P_{st} \dots\dots\dots (٧-٤)$$

ويمكن حسابها أيضاً من المعادلة التالية :

$$P_g = 3 I_2'^2 R_2' / s \dots\dots\dots (٨-٤)$$

هذه القدرة P_g سيفقد جزءاً منها في مقاومة ملفات العضو الدوار على شكل حرارة، وتسمى مفايد نحاسية في العضو الدوار، وتحسب حسب المعادلة التالية :

$$P_{Cu2} = 3 I_2'^2 R_2' \dots\dots\dots (٩-٤)$$

الجزء المتبقي من القدرة الداخلة إلى العضو الدوار يتحول من قدرة كهربائية إلى قدرة ميكانيكية ويسمى القدرة الميكانيكية المتحولة، ويرمز لها بالرمز P_{con} ، وتحسب من المعادلة التالية :

$$P_{con} = P_g - P_{Cu2} \dots\dots\dots (١٠-٤)$$

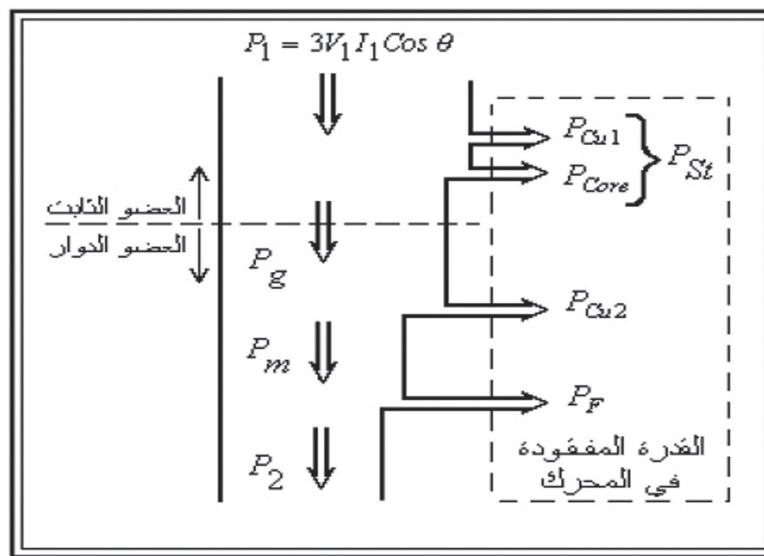
المقاومة $R_2'(1-s)/s$ في الدائرة المكافئة هي التي تمثل القدرة الميكانيكية المتحولة، وبالتالي يمكن حساب القدرة الميكانيكية المتحولة أيضاً من المعادلة التالية :

$$P_{con} = 3 I_2'^2 R_2' (1-s)/s \dots\dots\dots (١١-٤)$$

القدرة الميكانيكية المتحولة P_{con} سيفقد جزءاً منها بسبب الاحتكاك الذي يتعرض له العضو الدوار مع الهواء وحوامل العمود. مفايد الاحتكاك هذه يرمز لها بالرمز P_f . وبالتالي فإن القدرة الميكانيكية الخارجة P_2 هي الجزء المتبقي من القدرة الميكانيكية المتحولة بعد خصم القدرة المفقودة بسبب الاحتكاك كما يلي :

$$P_{out} = P_2 = P_{con} - P_f \dots\dots\dots (١٢-٤)$$

الشكل (٢٨-٤) يلخص كيفية انتقال القدرة داخل المحرك ثلاثي الطور.



الشكل (٤-٢٦): مخطط انتقال القدرة داخل محرك حثي ثلاثي الطور

من المعادلات (٤-١١) ، (٤-٩) ، (٤-٨) يتضح أن:

$$P_{Cu2} = s P_g \quad \dots\dots\dots (٤-١٣)$$

وكذلك

$$P_{con} = (1-s) P_g \quad \dots\dots\dots (٤-١٤)$$

يتضح من هذا أن معامل الانزلاق s يلعب دوراً هاماً جداً في تحديد نسبة المفايد النحاسية P_{Cu2} في العضو الدوار، وبالتالي يجب أن يكون الانزلاق صغيراً جداً بقدر الإمكان لكي تقل المفايد النحاسية في العضو الدوار وبالتالي تزداد كفاءة المحرك.

العزم في المحرك الحثي ثلاثي الطور:

العزم بشكل عام أو عزم الدوران (*Torque*) هو القوة المؤثرة تأثيراً توائماً على جسم ما فينتج عنها دوران ذلك الجسم حول مركزه، ويقاس بوحدة Nm .

أما العزم الذي يؤثر على المحور في المحرك الحثي ثلاثي الطور فيقسم إلى قسمين: العزم المتولد (τ_{ind}) الذي يساوي قسمة القدرة الميكانيكية المتحولة P_{con} على السرعة الزاوية لدوران المحور، وعزم الحمل (τ_{load}) الذي ينتج من قسمة القدرة الخارجة P_2 على السرعة الزاوية لدورة المحور طبقاً للمعادلة التالية:

$$\tau_{ind} = P_{con} / \omega_m \quad \dots\dots\dots (٤-١٥ أ)$$

$$\tau_{load} = P_2 / \omega_m \quad \dots\dots\dots (٤-١٥ ب)$$

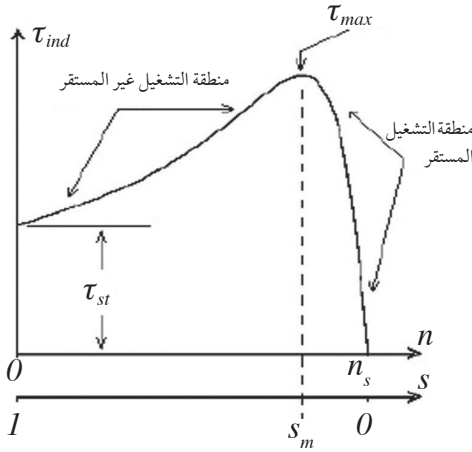
حيث ω_m هي السرعة الزاوية للمحور. وحيث إن السرعة الزاوية للمحور متغيرة بتغير الحمل، لذلك يفضل

استخدام السرعة التزامنية الزاوية بدلاً منها ، ولكن تستخدم معها القدرة المتنقلة خلال الثغرة الهوائية P_g بدلاً من القدرة الميكانيكية المتحولة P_{con} طبقاً للمعادلة التالية :

$$\tau_{ind} = P_g / \omega_s \quad \dots\dots\dots (١٦-٤)$$

حيث ω_s هي السرعة الزاوية للمجال المغناطيسي الدوار وتحسب من المعادلة التالية :

$$\omega_s = 2 \pi n_s / 60 \quad \dots\dots\dots (١٧-٤)$$



الشكل (٢٧-٤): العلاقة بين (العزم/ الانزلاق) أو (العزم/ السرعة)

الشكل (٢٧-٤) يمثل العلاقة بين الانزلاق والعزم ومنها يمكن حساب العزم عند أي قيمة للانزلاق . عند رسم العلاقة بين (العزم / الانزلاق) في المعادلة السابقة يمكن الحصول على المنحنى الموضح في الشكل (٢٧-٤) . منحنى (السرعة / العزم) الموضح في الشكل (٢٧-٤) ينقسم إلى منطقتين : الأولى منطقة التشغيل غير المستقر ، وهي المنطقة التي تسبق موضع العزم الأقصى ، في هذه المنطقة لا يستطيع المحرك إدارة أي حمل مهما كان ، وإذا حدث أن حمل المحرك في هذه المنطقة فإنه سوف يتباطأ حتى يتوقف عن الدوران .

المنطقة الأخرى هي منطقة التشغيل المستقر ، وهي المنطقة التي بعد موضع العزم الأقصى ، في هذه المنطقة يستطيع المحرك إدارة الحمل المقنن له ، وعادة يكون عزم الحمل الكامل مساوياً تقريباً لنصف العزم الأقصى للمحرك بشرط أن لا يزيد عن عزم البدء ، وفي حالة كون عزم الحمل أكبر من عزم البدء فإن المحرك لا يستطيع بدء الدوران ، لذلك ينصح في هذه الحالة بدء تشغيل المحرك بحمل خفيف ، وبعد أن يصل إلى منطقة التشغيل المستقر تضاف بقية الأحمال .

التحكم في موضع العزم الأقصى:

معادلة العزم (٢٩-٤) تعدّ دالة رياضية بدلالة الانزلاق (s) ، القيمة العظمى لها (τ_{max}) يتغير موضعها بتغير ثوابت الدائرة المكافئة فيها ، ويمكن إيجاد قيمة الانزلاق - مع إهمال قيمة ممانعة ملف الجزء الساكن - الذي تتحقق عنده القيمة العظمى لهذه الدالة بعد مفاضلتها ثم مساواتها بالصفر ، فتكون النتيجة كما يلي :

$$s_m = R'_2 / X'_2 \quad \dots\dots\dots (٢٢-٤)$$

إذن موضع العزم الأقصى (τ_{max}) يمكن أن يتغير ، وذلك بتغير النسبة (R'_2 / X'_2) ، ويمكن تحقيق ذلك عملياً بإضافة مقاومة موصلة على التوالي مع ملفات العضو الدوار الملفوف (ذي حلقات الانزلاق) و بالتالي يتغير موضع العزم الأقصى للمحرك بتغيير قيمة s_m كما هو موضح في الشكل (٤-١٦) .

مثال (٣) : إذا كانت القدرة الداخلة إلى العضو الدوار لمحرك حثي ثلاثي الطور ذي أربعة أقطاب هي $3kW$ ، وكان يدور بسرعة $1000rpm$ عند تردد Hz ، احسب المفاقد النحاسية في العضو الدوار .

الحل: 

$$n_s = \frac{120}{p} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ Hz}$$

$$s = \frac{n_s - n_m}{n_s} = \frac{1500 \times 1000}{1500} = 0.333$$

تسمى القدرة الداخلة إلى العضو الدوار بالقدرة عبر الثغرة الهوائية ($P_g = 3 \text{ kW}$) ، وبذلك فإن المفاقد النحاسية في العضو الدوار يمكن الحصول عليها من المعادلة :

$$P_{Cu2} = s P_g = 0.333 \times 3000 = 999 \text{ W}$$

مثال (٤) : محرك حثي ثلاثي الطور له أربعة أقطاب ، موصول توصيلة نجمة ، ويتغذى من مصدر جهد $400V$ و تردد $50Hz$. فإذا تم تشغيله عند انزلاق 6% ، كان تيار العضو الساكن $60A$ ومعامل قدرة 0.866 ، والمفاقد النحاسية في العضو الساكن $2700W$ ، المفاقد الحديدية $2700W$ ومفاقد الاحتكاك $900W$ ، احسب فعالية المحرك .

الحل: 

من خلال تتبع تدفق القدرة في المحرك الحثي من مصدر الطاقة حتى الخرج على المحور ، فإن حساب فعالية المحرك يتم حسب الخطوات والمعادلات التالية :

$$P_1 = \sqrt{3} V_L I_s \cos \theta = \sqrt{3} \times 400 \times 60 \times 0.866 = 36000 \text{ W}$$

$$P_g = P_1 - P_{Cu1} - P_{core} = 36000 - 2700 - 2700 = 30600 \text{ W}$$

$$P_{Cu2} = s P_g = 0.06 \times 30600 = 1836 \text{ W}$$

$$P_{con} = P_g - P_{Cu2} = 30600 - 1836 = 28764 \text{ W}$$

$$P_2 = P_{out} = P_{con} - P_f = 28764 - 900 = 27864 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{27864}{36000} = 77.4 \%$$

مثال (٥) : محرك حثي قدرته $30kW$ تبلغ فعاليته 86% عندما يتم تشغيله في الحالة الخاصة التالية : $(P_{Cu1} = P_{Cu2} = P_{core} = P_f)$. احسب قيمة الانزلاق .

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{30000}{0.86} = 34884 \text{ W}$$

وبذلك فإن المفايد الكلية:

$$P_{loss} = P_1 - P_2 = 34884 - 30000 = 4884 \text{ W}$$

$$P_{Cu1} = P_{Cu2} = P_{core} = P_f = \frac{4884}{4} = 1221 \text{ W}$$

$$P_g = P_1 - P_{Cu1} - P_{core} = P_1 - 2 \times P_{Cu1} = 34884 - 2 \times 1221 = 32442 \text{ W}$$

$$P_{Cu2} = s P_g \Rightarrow s = \frac{P_{Cu2}}{P_g} = \frac{1221}{32442} = 0.038$$

طرق بدء الحركة:

١ استخدام محول ذاتي:

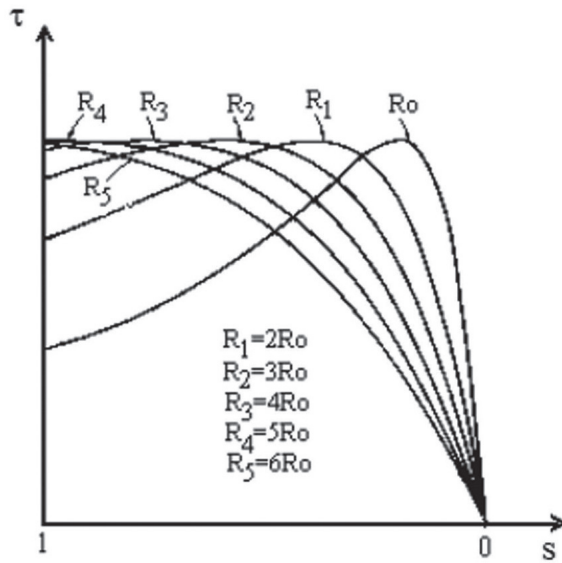
في هذه الطريقة يتم توصيل أطراف العضو الساكن إلى محول ذاتي ثلاثي الأوجه بحيث يخفض الجهد المسلط على ملفات العضو الساكن إلى قيمة تتناسب مع تيار البدء المسموح به، وبعد اجتياز المحرك لفترة البدء يتم تسليط جهد المصدر كاملاً على ملفات العضو الساكن وذلك بفصل المحول. هذه الطريقة مثالية جداً لا يوجد فيها أي قدرة مفقودة كما أنها تعدّ الخيار الأفضل للمحركات التي تم توصيل ملفات داخلية من المصنع على شكل نجمة.

٢ طريقة تغيير توصيل ملفات الجزء الساكن من نجمة إلى دلتا:

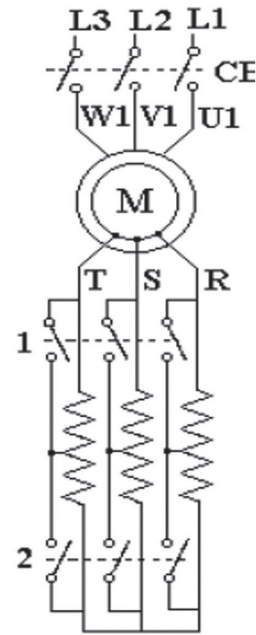
هذه الطريقة مناسبة للحركات ذات الستة أطراف، التي توصل ملفات على شكل دلتا أثناء التشغيل العادي حيث توصل ملفات العضو الساكن عند البدء على شكل نجمة، ونتيجة لذلك فإن الجهد على الملف سيقول إلى $(\sqrt{3} V)$ من جهد المصدر، وينخفض تيار الخط إلى ثلث التيار المار في حالة التوصيل على شكل دلتا، وبعد أن يجتاز المحرك فترة البدء يتم إعادة توصيل الملفات على شكل دلتا،

٣ إضافة مقاومات موصلة على التوالي مع ملفات العضو الدوار

هذه الطريقة خاصة فقط بالمحرك ذي حلقات الانزلاق، حيث يمكن توصيل مقاومات على التوالي مع ملفات العضو الدوار، وبالتالي فإن تيار البدء يقل وبعد أن يجتاز المحرك فترة البدء يتم إزالة هذه المقاومات تدريجياً وذلك لتجنب زيادة المفايد في دائرة العضو الدوار، هذه الطريقة تعدّ الأفضل للمحركات ذات حلقات الانزلاق، كما أنها تزيد من عزم البدء للمحرك؛ وذلك لأن مقاومة البدء تضاف إلى مقاومة العضو الدوار وبالتالي فإن الانزلاق الذي يحدث عنده أعلى عزم يزداد وبالتالي ينتقل موضع العزم الأقصى إلى الأمام مما يعني الزيادة في عزم البدء للمحرك، انظر الأشكال (٤-٢٨) و (٤-٢٩).



الشكل (٤-٢٩): منحني العزم والتيار باستخدام مقاوّمات في ملف العضو الدوار



الشكل (٤-٢٨): مخطط الحمولة مقاوّمات في ملف العضو الدوار

نشاط ١: قارن بين طرق بدء الحركة في المحركات الحثية من حيث الأهمية والاستخدام ونوع المحرك المستخدم.

التحكم في السرعة:

المحرك الحثي ثلاثي الطور يعدّ هو المحرك المثالي للتطبيقات التي لا تتطلب تغييراً في السرعة، وذلك بأن سرعته ثابتة تقريباً عند قيمة أقل من السرعة التزامنية بقدر بسيط، وعندما يتغير الحمل تتغير سرعته بشكل طفيف، ولذلك فهو يعدّ محركاً ذا سرعة بعدد من الطرق. من معادلة سرعة العضو الدوار

$$n_m = n_s (1-s)$$

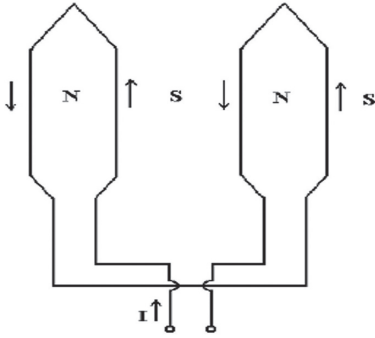
فإن سرعة العضو الدوار يمكن التحكم بها إما بتغيير الانزلاق أو بتغيير السرعة التزامنية والسرعة التزامنية يمكن ان تتغير إما بتغيير عدد الأقطاب أو بتغيير تردد المصدر، وبناءً عليه يمكن التحكم في سرعة المحرك الحثي ثلاثي الأوجه بإحدى ثلاث طرق: تغيير الانزلاق، أو تغيير عدد الأقطاب أو تغيير تردد المصدر.

١ تغيير قيمة الانزلاق.

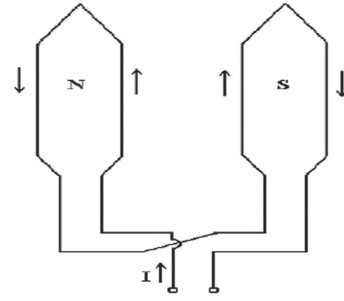
هذه الطريقة تستخدم فقط مع المحركات ذات حلقات الانزلاق، وذلك بتوصيل مقاوّمات على التوالي مع ملفات العضو الدوار، كما في الشكل رقم (٤-٣٣) إن أي تغيير في مقاومة ملفات العضو الدوار سيؤدي إلى تغيير موضع العزم الأقصى طبقاً للمعادلة رقم (٤-٢٢) وبالتالي تتغير السرعة مع تغير الانزلاق طبقاً للمعادلة الموضحة أعلاه. هذه الطريقة تعطي تحكماً محدوداً في السرعة، ويحبذ أن لا يزيد عن 15% من السرعة التزامنية وذلك لأن زيادة هذه المقاومة تؤدي إلى زيادة المفايد النحاسية في العضو الدوار، وبالتالي قلة كفاءة المحرك.

يمكن تغيير عدد أقطاب العضو الثابت في المحرك الحثي ذي القفص السنجابي ، وذلك بإعادة توصيلها بطريقة مختلفة ، بحيث يمكن الحصول على نصف عدد الأقطاب أو الضعف . بهذه الطريقة يصبح لدينا سرعتان تزامنيتان الواحدة نصف الآخر ، إذا كانت الأقطاب الأساسية أربعة كما هو موضح في الشكل رقم (٤-٣٠) ، يمكن إعادة التوصيل بحيث تصبح ثمانية أقطاب كما هو موضح في الشكل رقم (٤-٣١) . إذا كانت هذه الطريقة لا تعطي السرعة المطلوبة فإنه بالإمكان وضع طبقتين منفصلتين من الملفات في العضو الثابت كل طبقة ذات عدد من الأقطاب مختلف عن الآخر مثلاً يمكن أن تكون الطبقة الاولى ذات ثمانية أقطاب ، بينما الثانية تكون ذات ستة أقطاب كما أنه بالإمكان دمج الطريقتين معاً لنحصل على محرك ذي أربع سرعات .

هذه الطريقة غير مناسبة للمحرك ذي العضو الدوار الملفوف ، لأن ذلك يستدعي إعادة توصيل ملفات العضو الدوار لكي تصبح مساوية لملفات العضو الساكن كلما أردنا تغيير السرعة ، وهذا غير مناسب ، بينما العضو الدوار ذو القفص السنجابي يتلاءم تلقائياً مع أي عدد موجود من الأقطاب في العضو الساكن .



الشكل (٤-٣١): توصيل الملفات على شكل أربعة أقطاب



الشكل (٤-٣٠): توصيل الملفات على شكل قطبين

٣ تغيير تردد المصدر.

السرعة التزامنية للمحرك الحثي ثلاثي الطور يمكن التحكم بها عن طريق التحكم في تردد مصدر الجهد المغذي لملفات العضو الساكن ، وهذا يتطلب وجود مصدر جهد ثلاثي الأوجه ذي تردد قابل للتغيير . هذا النوع من المصادر هو عبارة عن أجهزة تحكم إلكترونية ذات قدرات عالية تقوم بتحويل القدرة الداخلة ذات التردد الثابت إلى تيار مستمر ، ومن ثم تحويل هذا التيار المستمر إلى تيار متردد ثلاثي الأوجه عند التردد المطلوب . كما أن الجهد الخارج يضبط بحيث يكون متناسباً مع التردد المطلوب ؛ وذلك للحفاظ على قيمة ثابتة للفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية مثل هذه الأجهزة تكون عادة مكلفة ولا يلجأ إليها إلا في التطبيقات التي تحتاج تحكماً دقيقاً في السرعة .

الشكل رقم (٤-٣٢) يوضح منحنيات (العزم/ السرعة) لمحرك ذي أربعة أقطاب عند ترددات مختلفة ، ويلاحظ أن العزم يزداد عند انخفاض التردد ؛ وذلك بسبب زيادة الجهد ، والعكس يحدث عند زيادة التردد ؛

وذلك للمحافظة على كمية ثابتة للفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية .

نشاط ٢: قارن بين طرق التحكم في السرعة في المحركات الحثية من حيث الأهمية والاستخدام ونوع المحرك المستخدم .

٣ - ٤ المولدات التوافقية ثلاثية الطور (Three Phase Synchronous Generator)

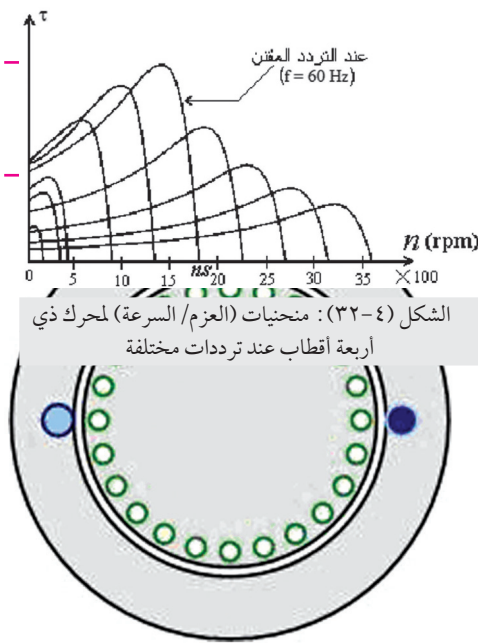
الآلات التوافقية هي آلات تيار متردد يمكن أن تعمل كمولد أو محرك . ويسمى المولد التوافقي كذلك بالمتناوب (Alternator)، ويعد المصدر الأساسي في توليد الطاقة الكهربائية في عالم اليوم، وتتراوح قدرته بين جزء من kVA إلى 1500MVA .

مبدأ عمل المولد التوافقي:

يعتمد مبدأ عمل المولد على الحركة النسبية بين الموصلات والمجال المغناطيسي، وذلك حسب قانون فارادي لتوليد الدافعة الكهربائية، ويمكن توضيح ذلك كما يلي:

- ١ تكوين مجال مغناطيسي من ملفات العضو الدوار التي تعمل بالتيار المستمر
- ٢ تأثير بقوة خارجية على العضو الدوار
- ٣ وبسبب دوران العضو الدوار يتولد جهد في ملفات الجزء الساكن
- ٤ يتزامن تردد الجهد المتولد مع سرعة الدوران حسب العلاقة:

$$n_s = \frac{120f_e}{p} \dots\dots\dots (٢٥-٤)$$



الشكل (١-٤): منحنيات (العزم/ السرعة) لمحرك ذي أربعة أقطاب عند ترددات مختلفة

الشكل (١-٤): التركيب المبني لمحرك حثي أحادي الطور

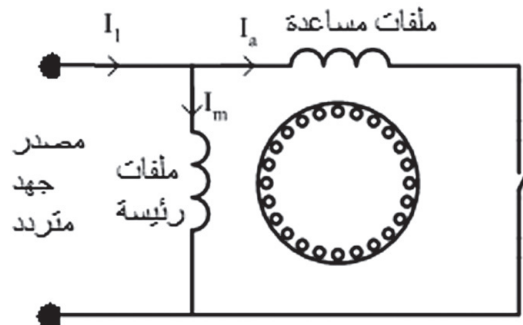
المحركات الحثية أحادية الطور (Induction Machines)

تشابه المحركات الحثية أحادية الطور مع مثيلاتها ثلاثية الطور من حيث التركيب كما في الشكل (١-٤): ملفات تحمل تياراً متردداً في الجزء الساكن وموصلات مقصورة في العضو الدوار من نوع القفص السنجابي . وبالطبع الفرق المهم بينها هو استخدام مصدر جهد متردد أحادي الطور لتغذية ملفات الجزء الساكن .

عند توصيل مصدر الجهد المتردد إلى ملفات الجزء الساكن، يتولد فيها مجال مغناطيسي متذبذب يقطع الموصلات المقصورة في الجزء الدوار مولداً فيها جهداً يسبب تياراً يمر فيها . هذا التيار يولد بدوره مجالاً مغناطيسياً يعاكس التغير في المجال المغناطيسي لملفات الجزء الساكن .

وحيث إن المجال المغناطيسي المتولد في الجزء الثابت ليس دواراً فإن التفاعل بين هذين المجالين لا يكون عزمياً ميكانيكياً لتحريك العضو الدوار . وعليه فإن الصعوبة في المحركات الحثية أحادية الطور تكمن في بدء حركة هذه المحركات، وذلك لاحتوائها على مجموعة واحدة فقط من الملفات في الجزء الساكن . ولذلك فإن هناك أشكالاً عديدة للتغلب على هذه الصعوبة، ومنها تستنبط أنواع مختلفة من محركات حثية أحادية الطور . ومن أجل بدء حركة هذه المحركات، يتم توليد موجة تيار أخرى في مجموعة ثانية من الملفات في الجزء الساكن مزاحة عن موجة التيار في المجموعة الأولى بزاوية معينة، تكفي لتوليد مجال مغناطيسي دوار، كما هو الحال في المحرك ذي الطورين، وبالتالي فإن المحرك الحثي ذا الطور الواحد يحتوي فيه الجزء الساكن على مجموعتين من الملفات تسمى المجموعة الأولى الملفات الرئيسية (Main Windings) أو تسمى ملفات التشغيل (Running Windings)، والمجموعة الثانية الملفات المساعدة (Auxiliary Windings) أو ملفات البدء، وتكون مزاحة عن المجموعة الأولى بزاوية مقدارها (90°) .

تصنف محركات الطور الواحد الحثية تبعاً لطريقة البدء فيها، وتسمى عادة بناء على هذا الأساس .



الشكل (١-٤): محرك الطور المشطور

وفيما يلي أهم الأنواع الشائعة الاستعمال لهذه المحركات

١ محرك الطور المشطور (Split - Phase Motor)

بما أن المحرك الحثي أحادي الطور لا يستطيع الإقلاع من ذاته كما ذكر، فلذلك يحتاج إلى وسيلة لعطيه عزمياً أولياً ليتمكن من الإقلاع، إحدى هذه الطرق هي شطر الطور عن طريق ملف أو مقاومة أو مكثف، ومن هنا أطلق عليه اسم الطور المشطور .

نظرا للتطور السريع في مجال الالكترونيات أمكن تصنيع أجهزة عواكس متكاملة للتحكم بجهد المحركات الحثية وتدعى أيضا حاكمت التردد المتغير (VFD) (Variable frequency Drive) بقدرات وأحجام مختلفة تتناسب وطبيعة الاستخدام وحسب قدرة المحرك المراد وصلة مع العاكس ، ويتم التحكم بالعاكس بواسطة المعالج الدقيق (Microprocessor) للحصول على جهد خرج اقرب ما يكون للموجة الجيبية . ويظهر الشكل (٢٠) أنواع مختلفة من أجهزة العواكس المتكاملة .



شكل (٢٠-٤): أنواع مختلفة من أجهزة العواكس المتكاملة

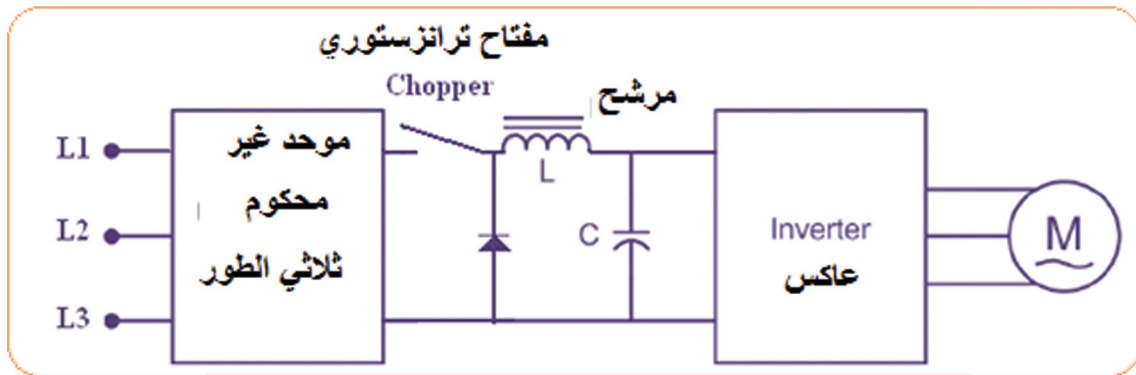
تستخدم العواكس المتكاملة بشكل عام للحصول على خرج ثلاثي الطور من تغذية إما أحادية الطور وتسمى عواكس أحادية الطور أو من تغذية ثلاثية الطور وتسمى عواكس ثلاثية الطور وذلك حسب التطبيق . يتكون العاكس المتكامل من مرحلتين :

المرحلة الأولى : يتم فيها تحويل جهد المصدر المتردد إلى جهد مستمر ثابت ويسمى موحد (Rectifier) .

المرحلة الثانية : يتم فيها تحويل الجهد المستمر إلى جهد متردد متغير القيمة والتردد ويسمى بالعاكس (Inverter) .

١-١-٢ التحكم بالجهد المستمر:

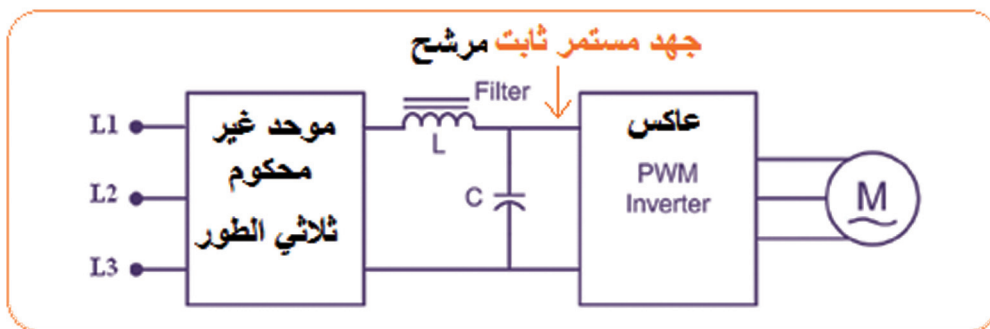
نستطيع التحكم بخرج الجهد المتناوب عن طريق التحكم بقيمة الجهد المستمر الداخل إلى دائرة العاكس باستخدام مقطعات الجهد (Dc chopper)، حيث أن جهد الخرج المتناوب للعاكس يتناسب طردياً مع جهد الدخل المستمر متغير القيمة. يوضح الشكل (٢١) مخطط صندوقي لعاكس ثلاثي الطور يتم التحكم بخرج جهده عن طريق مقطع الجهد المستمر (chopper).



شكل (٢١-٤): المخطط الصندوقي لعاكس مع مقطع جهد (مفتاح ترانزستوري)

٢-١-٢ التحكم بعمل المفاتيح الالكترونية باستخدام PWM

يتم استخدام تقنية تعديل عرض النبضة PWM (Pulse Width Modulation) لتغيير جهد وتردد خرج العاكس بينما يبقى جهد الدخل المستمر للعاكس ثابتاً، وتعتبر هذه الطريقة من أكثر الطرق شيوعاً واستخداماً في معظم التطبيقات العملية للحصول على جهد خرج متغير اقرب ما يكون من الموجة الجيبية، يبين الشكل (٢٢) المخطط الصندوقي لعاكس باستخدام طريقة PWM.



شكل (٢٢-٤): مخطط الصندوقي لعاكس بتقنية PWM

تعمل أجهزة Inverters على التحكم بسرعة المحركات الحثية عن طريق تغيير التردد، حيث أن العلاقة بين تردد المصدر وسرعة المحرك علاقة طردية فكلما زاد تردد المصدر تزداد سرعة المحرك .

١-٢-٢ التحكم بالسرعة تحت السرعة الاسمية

عند التحكم بسرعة المحرك تحت السرعة الاسمية بواسطة جهاز العاكس ، يعمل الجهاز على تقليل التردد مع جهد المحرك بنسبة ثابتة لكي لا يزيد سحب التيار للمحرك فوق التيار الاسمي نتيجة انخفاض الممانعة الحثية للمفات المحرك نتيجة انخفاض التردد، وفي هذه الحالة يبقى العزم الأقصى ثابت للمحرك بينما يزداد عزم البدء .
إن نسبة تغيير الجهد على التردد (V / F) ثابتة، فإذا كان لدينا محرك كهربائي يعمل على جهد 380 V و تردد المصدر 50Hz فان النسبة تساوي 7.6 V /Hz .

٢-٢-٢ التحكم بالسرعة فوق السرعة الاسمية

عند التحكم بسرعة المحرك فوق السرعة الاسمية (زيادة التردد فوق التردد الاسمي) يعمل الجهاز على زيادة التردد مع بقاء جهد المحرك ثابت، لأنه لا يمكن زيادة الجهد فوق الجهد الاسمي للمحرك، وفي هذه الحالة يقل العزم الاسمي للمحرك .

٣-٢ مميزات أجهزة العواكس المتكاملة.

- ١ الحماية من ارتفاع التيار .
- ٢ الحماية من انخفاض وارتفاع جهد المصدر .
- ٣ الحماية من انقطاع احد الأطوار على مداخل الجهاز .
- ٤ لا ينعكس اتجاه دوران المحرك في حال تبديل طور مكان آخر على مدخل الجهاز .
- ٥ يمكن عكس اتجاه دوران المحرك من خلال الجهاز مباشرة دون الحاجة إلى بناء دائرة عكس اتجاه دوران .
- ٦ التشغيل الناعم (Soft Starting) والتي تقلل من تيارات البدء العالية للمحرك بسبب الزيادة التدريجية للجهد والتردد معا .
- ٧ فرملة المحرك (إجراء توقف سريع للمحرك) بواسطة الكبح الديناميكي وذلك بتوصيل مقاومة خارجية مع الجهاز . (Braking Resistor) .

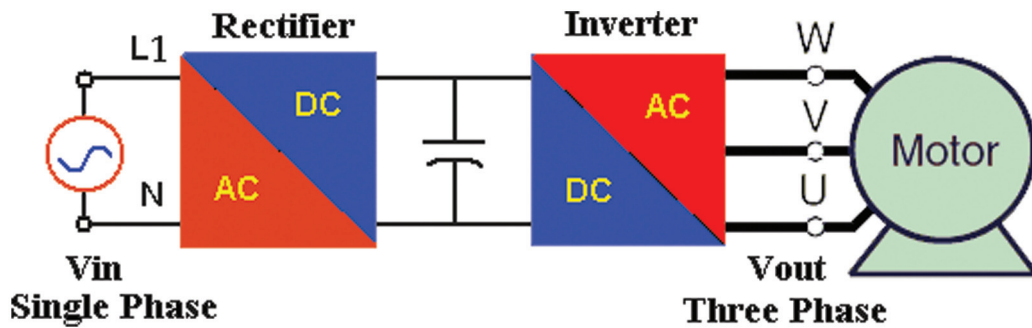
يحتوي جهاز العاكس المتكامل على العديد من المعاملات التي يمكن ضبطها من خلال وحدة التشغيل مثل :

- ١ ضبط أعلى تردد للجهاز (Maximum Frequency) بحيث لا يستطيع مشغل الآلة تجاوز القيمة القصوى للتردد الذي تم ضبطه .
- ٢ ضبط أدنى تردد للجهاز . (Minimum Frequency)
- ٣ ضبط زمن التسارع (Acceleration time) للمحرك عند بدء الدوران ، وهي الفترة الزمنية المستغرقة للوصول سرعة المحرك إلى السرعة الاستقرارية عند أعلى تردد .
- ٤ ضبط زمن التباطؤ (Deceleration time) ، وهي الفترة الزمنية المستغرقة لإيقاف سرعة المحرك من أعلى سرعة حتى التوقف الكامل .
- ٥ ضبط نسبة الجهد على التردد V/F .
- ٦ ضبط أعلى جهد خرج للعاكس .
- ٧ إعادة ضبط المصنع للجهاز .

٥-٢ عاكس متكامل أحادي الطور

١-٥-٢ المخطط الصندوقي

يتم تغذية العاكس المتكامل بجهد متناوب أحادي الطور ، وعلى مخرج العاكس يتم الحصول على جهد خرج ثلاثي الطور متغير القيمة والتردد ، كما هو مبين في الشكل (٢٣) .



شكل (٢٣-٤) : مخطط صندوقي لجهاز عاكس متكامل أحادي الطور

يظهر الشكل (24) جهاز عاكس متكامل أحادي الطور من شركة ADLEPOWER نوع AS2 ، الواجهة الأمامية للجهاز تحتوي على لوحة مفاتيح وشاشة عرض ، بالإضافة إلى مقاومة متغيرة للتحكم بسرعة المحرك . جهد الخرج للجهاز ثلاثي الطور لغاية (220V فقط) وتردد الخرج لغاية 400Hz .



شكل (٤-٢٤): جهاز عاكس متكامل أحادي الطور

٢-٥-٢ مواصفات جهاز عاكس متكامل أحادي الطور

أ لوحة بيانات العاكس

من خلال لوحة بيانات العاكس، يتم تحديد قيمة جهد المصدر وقدرة المحرك المراد وصلة بالعاكس، وكيفية توصيل ملفات المحرك. يبين الشكل (٢٥) المواصفات الموجودة على اللوحة الاسمية للعاكس، ويبين الجدول (٣) تفصيلات مواصفات اللوحة الاسمية.



شكل (٤-٢٥): لوحة بيانات العاكس من شركة ADLEEPOWER

جدول (٣): مواصفات اللوحة الاسمية من شركة ADLEEPOWER

الرقم	المواصفات	التفاصيل
١	الشركة المصنعة	ADLEEPOWER
٢	رقم الموديل	0.75KW يشير إلى قدرة المحرك المراد وصلة 107 الرقم
٣	جهد المصدر	أحادي الطور 220VAC
٤	قدرة الجهاز	1.6KVA ، أعلى قدرة محرك توصل مع الجهاز لغاية 1 حصان
٥	تيار خرج	تيار الخرج الاسمي الموجودة على لوحة الجهاز 5A

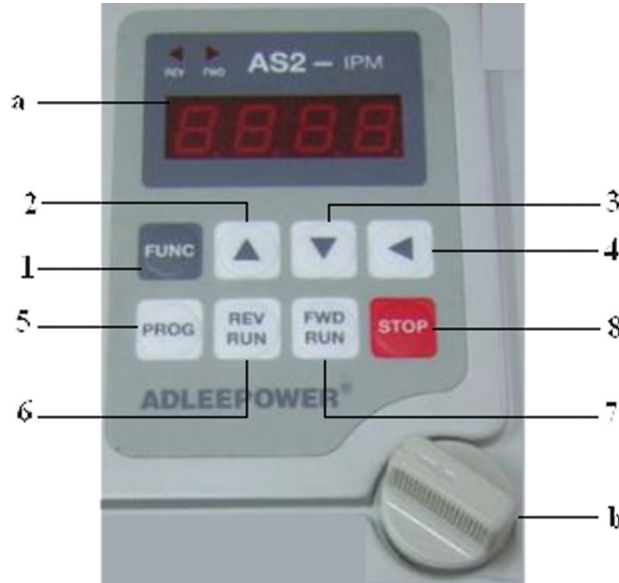
ب وحدة التشغيل (Operator Panel)

يتم من خلالها ضبط معاملات جهاز العاكس و تتبع الأعطال ، و مشاهدة آخر الإنذارات وبعض القيم العملية ، كما يمكن استخدامها من اجل التشغيل والإيقاف ، يبين الشكل (٢٠) وحدة التشغيل لجهاز العاكس ، و التي تتكون من :

١ شاشة عرض (Display) (a) يتم من خلالها مشاهدة بعض القيم العملية مثل : سرعة المحرك ، قيمة التردد ، قيمة التيار المسحوب من المحرك أثناء العمل ، جهد المحرك ، اتجاه دوران المحرك ، الأخطاء التي تحدث بالنظام .

٢ مقاومة متغيرة تستخدم للتحكم بسرعة المحرك عن طريق تغيير التردد . (b)

٣ لوحة المفاتيح (Keypad) وتضم الأزرار الموضحة بالشكل (٢٦) والتي يتم من خلالها ضبط معاملات الجهاز (Function Setting) وإجراء عمليات التشغيل والإيقاف وعكس اتجاه دوران المحرك .



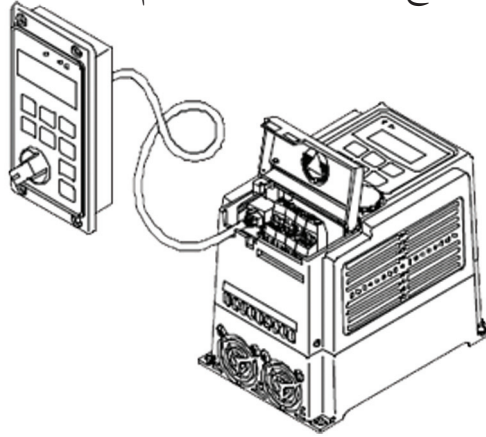
شكل (٢٦-٤): وحدة التشغيل لجهاز العاكس

ويبين الجدول (٤) وظيفة الأزرار الموجودة على وحدة التشغيل

جدول (٤): وظيفة الأزرار الموجودة على الجهاز

الرقم	الزر/الضاغط	وصف العمل
١	FUNC	اختيار المعامل
٢	UP	زيادة قيمة المعاملات أو المدخلات . التنقل بين الإعدادات .
٣	DOWN	تقليل قيمة المعاملات أو المدخلات
٤	SHIFT	تحديد الخانة
٥	PROG	حفظ القيمة المدخلة
٦	FWD RUN	تشغيل المحرك للأمام
٧	REV RUN	تشغيل المحرك للخلف
٨	STOP	إيقاف التشغيل

كما يتم توصيل وحدة تشغيل خارجية مع الجهاز لعمليات التحكم والبرمجة كما في الشكل (٢٧).

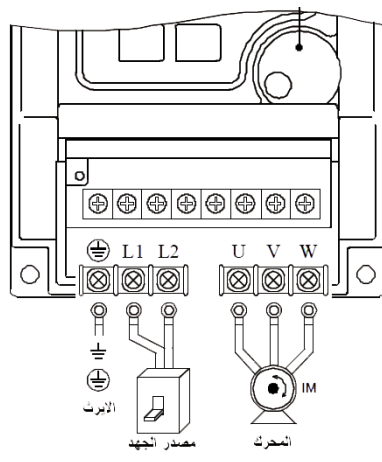


شكل (٤-٢٧): وحدة تشغيل خارجية متصلة بالعاكس

ج. الأطراف الأساسية للجهاز

وهي الأطراف التي توصل مع مصدر التغذية والمحرك، حيث توصل الأطراف L1 L2 مع مصدر التغذية أحادي الطور، والأطراف U V W مع المحرك مباشرة كما هو موضح في الشكل (٢٨)، ويبين الجدول (٥) الأطراف الأساسية للعاكس .

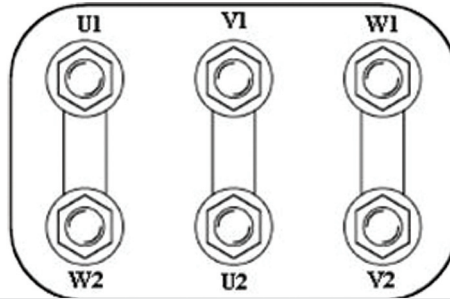
جدول (٥): الأطراف الأساسية للعاكس



شكل (٤-٢٨): توصيل العاكس مع المصدر والمحرك

الأطراف	الوصف	قيمة الجهد
L1 L2	توصيل مع مصدر التغذية أحادي الطور	220VAC
U V W	مخارج جهاز Inverter توصيل مع المحرك الخثي	220VAC

يجب أن تكون قدرة المحرك الموصول بالعاكس اقل من أو تساوي قدرة العاكس ، فمثلا يوصل العاكس المدون على لوحته الاسمية ١ HP مع محرك قدرته لغاية واحد حصان . ويتم تحديد كيفية توصيل ملفات المحرك بناء على كل من جهد خرج العاكس وعلى معلومات اللوحة الاسمية للمحرك . وبما أن جهد الخرج للعاكس ٢٢٠ VAC ، وبالتالي المحرك المدون على لوحته الاسمية ٢٢٠ / ٣٨٠ يوصل دلتا كما في الشكل (٢٩) .



شكل (٢٩-٤): توصيلة دلتا لملفات المحرك (٣٨٠ / ٢٢٠) بناء على توصيله مع عاكس احادي الطور

يوجد للعاكس مجموعة معاملات تبدأ بالرمز . CD٥٧، يتم ضبط محتوياتها بواسطة الأزرار الموجودة على لوحة التشغيل للجهاز لكن ليس من الضروري ضبط جميع المعاملات وإنما الخاصة بالتطبيق فقط .
الجدول (٦) يوضح المعاملات الرئيسية لجهاز العاكس .
جدول (٦): المعاملات الرئيسية لجهاز العاكس

المعامل	Parameter	الاقتراح	مثال القيمة
زمن التسارع	Acceleration Time	CD2	10S
زمن التباطؤ	Deceleration Time	CD3	10S
أعلى تردد	Maximum Frequency	CD14	70Hz
نسبة V / F	Maximum Voltage Frequency	CD17	50Hz
التحكم من لوحة التشغيل	key Board	CD12	0
التحكم من الأطراف الخارجية	Terminal Command		1
ضبط المصنع	Factory Setting	CD52	USA
قفل الإعدادات	Parameter Lock	CD1	0
إلغاء قفل الإعدادات	Parameter Un Lock		1

٤-٥-٢ ضبط معاملات الجهاز

لضبط إحدى المعاملات، اضغط على زر (FUNC) ثم اختر الدالة المطلوبة عن طريق الأسهم العلوية والسفلية (UP، DOWN) ثم اضغط على زر (FUNC) للدخول إلى محتويات الدالة، يمكن تعديل القيمة ثم حفظها عن طريق مفتاح الحفظ (PROG).

السؤال الأول: المطلوب منك وضع دائر حول رمز الإجابة الصحيحة في الأسئلة الآتية:

١ المحرك الحثي ثلاثي الطور (٣٨٠ / ٢٢٠) موصول مع عاكس مكتوب على لوحته الاسمية OUTPUT

0 (220VAC-3PH) لذلك يجب توصيل ملفات المحرك:

١) ستار. ٢) دلتا. ٣) ستار ثم دلتا. ٤) غير ذلك.

٢ في عملية التحكم بسرعة محرك حثي اقل من السرعة الاسمية عن طريق جهاز العاكس:

١) يقل التردد مع الجهد بنسبة ثابتة.

٢) يقل التردد فقط.

٣) يقل الجهد فقط.

٤) يقل التردد مع زيادة الجهد بنسبة ثابتة.

٣ يجب توصيل المحرك مع الأطراف التالية لجهاز العاكس:

١) U V W

٢) L1 L2 L3

٣) M0 M1 M2

٤) R S T

٤ المقصود بـ زمن التباطؤ هو:

١) Acceleration Time

٢) Deceleration Time

٣) Maximum Frequency

٤) Deceleration Voltage

٥ جهد الدخل والخرج لعاكس متكامل أحادي الطور:

١) جهد الدخل أحادي الطور والخرج ثلاثي الطور.

٢) جهد الدخل ثلاثي الطور والخرج ثلاثي الطور.

٣) جهد الدخل ثلاثي الطور والخرج أحادي الطور.

٤) جهد الدخل أحادي الطور وجهد الخرج مستمر.

السؤال الثاني: المطلوب منك وضع إشارة (✓) أمام العبارات الصحيحة، وإشارة (X) أمام العبارات الخاطئة

فيما يأتي:

١ () يعمل العاكس المتكامل في المرحلة الأولى على تحويل الجهد المتردد إلى جهد مستمر، وفي المرحلة

الثانية يتم تحويل الجهد المستمر إلى متردد متغير القيمة والتردد

٢ () يتم التحكم بتردد وخرج جهد العاكس باستخدام تقنية PWM

- ٤ () زيادة التردد تؤدي إلى زيادة سرعة المحرك الحثي
- ٥ () يعمل العاكس المتكامل على تقليل تيار البدء بسبب الزيادة التدريجية للجهد والتردد
- ٦ () نستطيع توصيل محرك قدرته اكبر من واحد حصان لعاكس مدون على لوحته الاسمية 1HP

- ١ ما هو الانزلاق وما هي سرعة الانزلاق؟
- ٢ لماذا يكون من المستحيل أن يدور المحرك الحثي ثلاثي الطور بالسرعة التزامنية؟
- ٣ لماذا تكون فعالية المحرك الحثي قليلة عند قيم الانزلاق الكبيرة؟
- ٤ لماذا يكون من الضروري تخفيض الجهد المزود للمحرك الحثي ثلاثي الطور عند تقليل التردد؟
- ٥ ما أهمية بدء الحركة للمحركات الحثية؟
- ٦ محرك حثي ثلاثي الطور يعمل عند القيم الاسمية . إذا تم زيادة الحمل على محور المحرك ، كيف يؤثر ذلك على الكميات التالية :
- ① السرعة الميكانيكية . ② الانزلاق . ③ تيار العضو الدوار .
- ⑤ المفاقد النحاسية في العضو الدوار . ⑥ السرعة التزامنية .
- ٧ محرك حثي ثلاثي الطور يعمل عند القيم الاسمية . إذا تم تخفيض جهد العضو الساكن إلى النصف ، كيف يؤثر ذلك على الكميات التالية :
- ① السرعة الميكانيكية . ② الانزلاق .
- ③ العزم الأقصى . ④ السرعة التزامنية .
- ٨ محرك حثي ثلاثي الطور يعمل عند القيم الاسمية . إذا تم تخفيض التردد إلى النصف ، كيف يؤثر ذلك على الكميات التالية :
- ① السرعة الميكانيكية . ② الانزلاق .
- ③ العزم الأقصى . ④ السرعة التزامنية .
- ٩ اذكر الطرق التي يتم بواسطتها تخفيض الجهد في المحركات ذات القفص السنجابي .
- ١٠ لماذا تستخدم طريقة نجمة - دلتا لبدء الحركة للمحرك الحثي ثلاثي الطور ؟
- ١١ محرك حثي ثلاثي الطور ذو الحلقات الانزلاقية يعمل عند القيم الاسمية للجهد والتردد ، عمل قصر دائرة لمخارج العضو الدوار ، وحمل يعادل 25% في الحمل الاسمي . إذا تم زيادة العضو الدوار إلى الضعف من خلال توصيل مقاومات خارجية إلى دائرة العضو الدوار ، اشرح ماذا يحصل للكميات التالية :
- ① الانزلاق ② سرعة المحرك ③ تيار العضو التيار
- ⑤ العزم المتولد ⑥ القدرة الخارجية ⑦ مفاقد العضو الدوار
- ⑧ الغعالية الكلية

١٢ محرك حثي ثلاثي الطور ويعمل عند $400V$ وتردد $50Hz$ ، بحيث يسحب تياراً مقداره $60A$ ومعامل قدرة 0.85 متأخر . فإذا كانت المفايد في المحرك على النحو الآتي :

$$P_{Cu1} = 2kW, P_{Cu2} = 700W, P_f = 600 W, P_{core} = 1800W$$

احسب الكميات التالية :

أ) القدرة عبر الشجرة الهوائية

ب) القدرة الميكانيكية المتحولة

ج) القدرة الخارجة

د) فعالية المحرك

١٣ محرك حثي ثلاثي الطور ذو قطبين ، يعمل عند تردد $50Hz$ ، ويزود $15kW$ للحمل عند سرعة $2950rpm$.

أ) ما هي قيمة الانزلاق للمحرك؟

ب) ما هي قيمة العزم المتولد في الحالة الواردة؟

ج) كم تكون سرعة التشغيل للمحرك عند زيادة العزم إلى الضعف على فرض خطية العلاقة بين

السرعة والعزم؟

د) ما هي قيمة القدرة التي يزودها المحرك للحمل في حالة الفرع (ج)؟

١٤ محرك حثي ثلاثي الطور قدرته $50kW$ ، يتغذى من مصدر جهد $440V$ وتردد $50Hz$. تم تشغيل المحرك

عند الحمل الكامل فكان الانزلاق يعادل 6% ، والمفايد الدوارة $520W$ ، والمفايد الحديدية $500W$.

احسب الكميات التالية :

أ) سرعة المحور

ب) القدرة الخارجة

ج) عزم الحمل

د) العزم المتولد

١٥ ما هي التغييرات الضرورية الواجب إجراؤها على محرك التوالي لتشغيله من مصدر جهد متردد؟

١٦ لماذا تختلف خواص السرعة/ العزم للمحرك العام عند تشغيله من مصدر جهد متردد بالمقارنة مع تغذيته

من مصدر جهد ثابت؟

١٧ لماذا لا يستطيع المحرك الحثي أحادي الطور بدء الحركة ذاتياً دون استخدام ملفات خاصة مساعدة؟

١٨ كيف تعمل الملفات المساعدة على توليد عزم البدء في المحركات الحثية أحادية الطور؟

١٩ كيف تكون زاوية ازاحة التيار المار في الملفات المساعدة للمحرك الحثي ذي الطور المشطور؟

٢٠ كيف يتولد عزم البدء في كل من المحرك الحثي ذي مكثف البدء والمحرك ذي المكثف الدائم؟

٢١ كيف يتم عكس اتجاه الدوران في كل من المحرك ذي مكثف البدء ومحرك الطور المشطور؟

٢٢ كيف يتولد عزم البدء في المحرك ذي القطب المظلل؟

٢٣ اذكر التطبيقات العملية التي يستخدم فيها كل من :

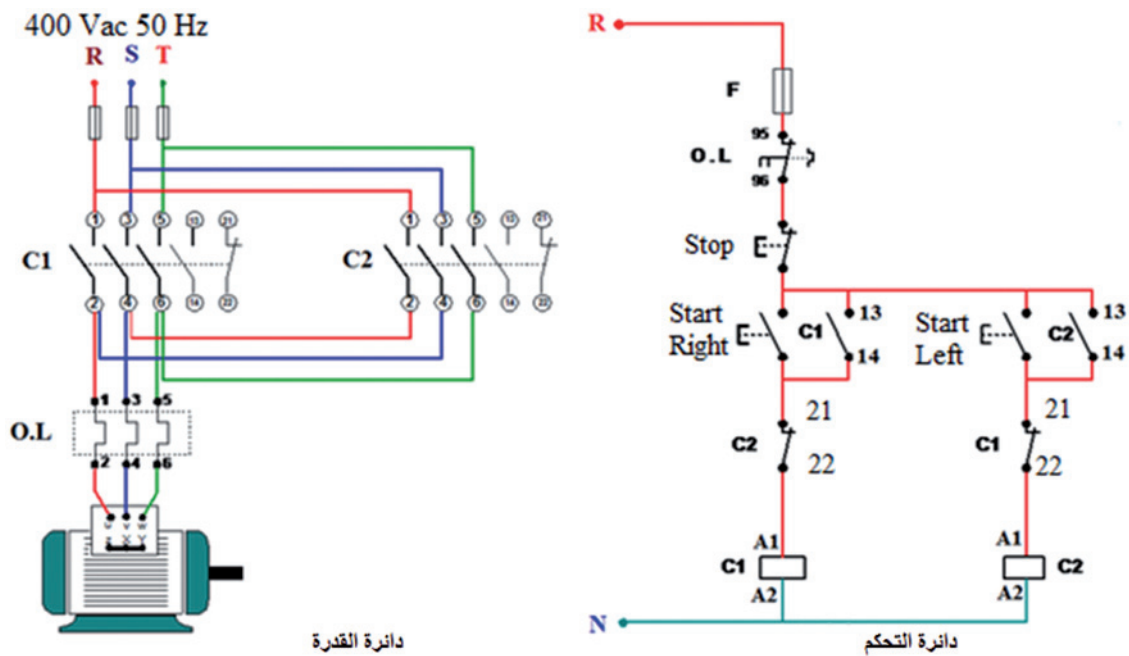
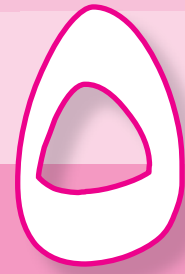
أ) محركات ذو المكثف

ب) محركات الطور المشطور

ج) المحرك العام

دوائر التحكم

Control Circuits



تعد دوائر التحكم والحماية من الدوائر المهمة في التقنيات المختلفة ، فهي تدخل في نظم توليد ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية وفي أنظمة تشغيل وإيقاف وتنظيم سرعة المحركات الكهربائية .
فما هي المفاتيح الكهرومغناطيسية ، تركيبها ومبدأ عملها وأهميتها في التحكم في عمليات التشغيل؟ وما هي مراحل الحماية ، تركيبها ومبدأ عملها ومجالات استخداماتها؟ وما هي مفاتيح التشغيل الخاصة بالمحركات الكهربائية ومجالات استخدامها؟
كل هذه الأسئلة وغيرها سيتم التعرف على إجابتها عند دراسة هذه الوحدة .

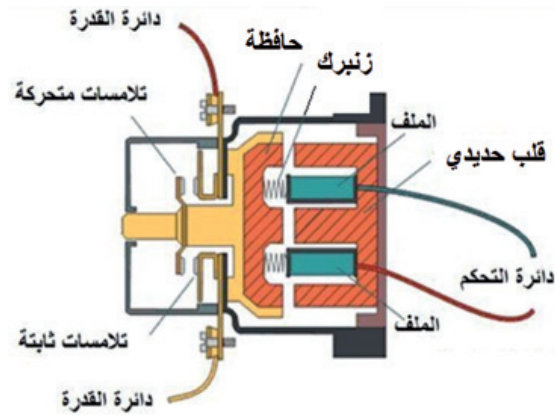
المفاتيح الكهرومغناطيسية والمفاتيح اليدوية (Contactors and Cam Switches)

١ البيانات الأساسية للمفاتيح الكهرومغناطيسية

١-١ المفتاح الكهرومغناطيسي (Contactor)

هو مفتاح يحتوي على ملامسات رئيسة ، في وضعها الطبيعي مفتوحة وتصمم لتحمل مقررات تيار عالية ، ولامسات مساعدة ، منها في وضعه الطبيعي مفتوح ومنها في وضعه الطبيعي مغلق ، حيث يتم التحكم في ملامساته ، الرئيسة والمساعدة ، كهرومغناطيسيا بتيار تحكم ذو شدة تيار وفرق جهد أصغر من التيار الكهربائي المطلوب التحكم به .

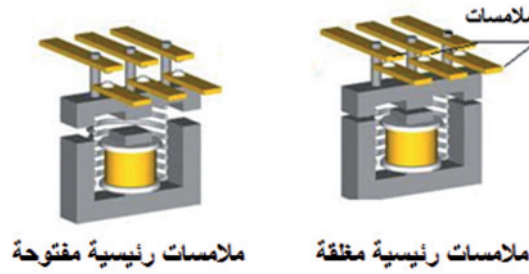
١-١-١ أجزاء المفتاح الكهرومغناطيسي



شكل (١-٥): تركيب المفتاح الكهرومغناطيسي

يتكون المفتاح الكهرومغناطيسي ، كما هو مبين في الشكل (١-٥) ، من تلامسات ثابتة ومتحركة ، وزنبرك أرجاع ، وملف (Coil) مثبت حول قلب حديدي على شكل حرف E ، وحافطة ، حيث سيتم لاحقا تناول أجزائه الرئيسة بالتفصيل .

يحتوي المفتاح الكهرومغناطيسي على عدد من الملامسات الرئيسية (main contacts) في وضعها الطبيعي مفتوحة (normally open) حيث تختلف المفاتيح الكهرومغناطيسية عن بعضها باختلاف عدد الأقطاب الرئيسية فمنها ما يحتوي على قطب واحد (single pole)، أو قطبان (two poles)، أو ثلاثة أقطاب (three poles)، أو أربعة (four poles) التي تعمل على توصيل وفصل التيار الكهربائي عن الحمل في ان واحد. ويبين الشكل (٢-٥) نموذجاً لمفتاح كهرومغناطيسي ذو ثلاثة أقطاب رئيسية.



شكل (٢-٥): نموذج مفتاح كهرومغناطيسي ذو ثلاثة أقطاب رئيسية

ب الملامسات المساعدة

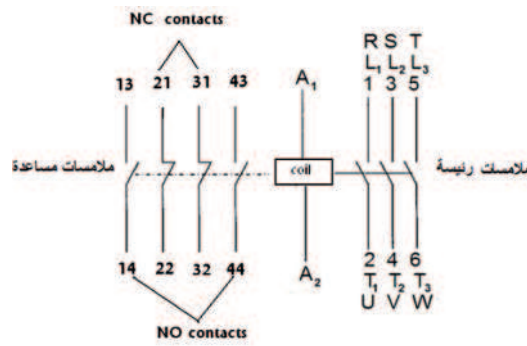
يحتوي المفتاح الكهرومغناطيسي على عدد غير محدد من الملامسات المساعدة (auxiliary contacts) منها المفتوح ومنها المغلق التي تصمم لتمرير تيار التحكم، ويتم الإشارة إلى الملامس المفتوح بالحرفين (NO)، كما يتم الإشارة إلى الملامس المغلق بالحرفين (NC)، حيث تكون هذه الملامسات مع المفتاح الرئيسي أو يمكن اضافتها اليه بطريقة ميكانيكية. ويبين الشكل (٣-٥) نموذجاً لملامس مساعد.



شكل (٣-٥): ملامس مساعد

ويتم ترقيم الملامسات الرئيسة والمساعدة للمفاتيح الكهرومغناطيسية كما يأتي :

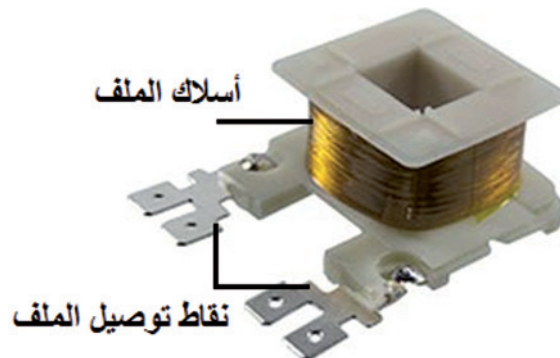
يتم الإشارة الى الملامسات الرئيسة والمساعدة في المفاتيح الكهرومغناطيسية بعدة رموز واختصارات تختلف من شركة صانعة إلى أخرى، حيث تشير الارقام 1-3، 2-5، 4-6 والاختصارات T3-L3 ، T2-L2 ، T1-L1 الى بدايات ونهايات الملامسات الرئيسة، كما يتم ترميز بدايات الملامسات المساعدة بالارقام 33، 13، ، ويشير الرقم الاول (3) الى بداية الملامس المفتوح ويشير الرقم الثاني (3، 1، . . .) الى ترتيب الملامس في المفتاح الكهرومغناطيسي ، ويتم ترميز نهاياتها بالارقام 34، 14، . . . ، ويشير الرقم الاول (4) الى نهاية الملامس المفتوح ويشير الرقم الثاني (3، 1، . . .) الى ترتيب الملامس في المفتاح كهرومغناطيسي، كما يتم ترميز بدايات الملامسات المساعدة بالارقام 21-31، 22-32، . . . ، ويشير الرقم الاول (1) الى بداية الملامس المغلق ويشير الرقم الثاني (3، 2، . . .) الى ترتيب الملامس في المفتاح كهرومغناطيسي ، ويتم ترميز نهاياتها بالارقام 32، 22، . . . ، ويشير الرقم الاول (2) الى نهاية الملامس المغلق ويشير الرقم الثاني (3، 2، . . .) الى ترتيب الملامس في المفتاح الكهرومغناطيسي ، الشكل (٥-٤).



شكل (٥-٤): ترقيم الملامسات الرئيسة والمساعدة

ج الملف (coil)

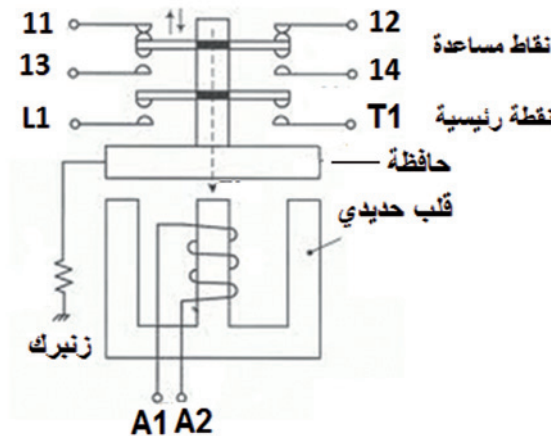
سلك معزول ملفوف فوق بكرة من البلاستيك عدد لفات وسمك السلك يعتمد على فرق الجهد ونوع التيار الذي سيعمل عليه الملف مترددا او مستمرا، حيث ان التيار المسحوب يكون قليل القيمة ويقدر بوحدة الملي امبير، الشكل (٥-٥).



شكل (٥-٥): ملف مفتاح كهرومغناطيسي

٢-١-١ مبدأ عمل المفتاح الكهرومغناطيسي (Contactor)

عند توصيل التيار الكهربائي، سواء AC أو DC عن طريق دائرة تحكم خاصة، يتمغنط القلب الحديدي مما يؤدي إلى جذب الحافظة تجاه القلب الذي يعمل على تغيير وضع جميع ملامسات التلامس الرئيسية (NO) والمساعدة (NC و NO) فتصبح الملامسات المفتوحة مغلقة والمغلقة مفتوحة وتبقى على هذا الوضع حتى ينقطع التيار على الملف فيعود القلب المتحرك إلى وضعه الطبيعي مندفعاً إلى الوراء عن طريق الزنبرك الموجود بين القالبين فتعود جميع ملامسات التلامس إلى وضعها الأصلي، الشكل (٥-٦).



شكل (٥-٦): رسم يوضح آلية عمل المفتاح الكهرومغناطيسي

٣-١-١ المواصفات الفنية للمفاتيح الكهرومغناطيسية

أ الجهد التشغيلي ملف (coil) المفتاح الكهرومغناطيسي: يمكن تشغيل ملفاته بجهد ومختلفة مستمرة أو متناوبة .

ب عدد ملامسات الملامسات الرئيسية والذي تحدده طبيعة ونوع الحمل .

ج عدد ملامسات الملامسات المساعدة المفتوحة والمغلقة حسب تطبيق دائرة التحكم .

د شدة تيار الحمل أو قدرته بالحصان أو الكيلو واط التي يتم بموجبها اختيار سعة الملامسات الرئيسية .

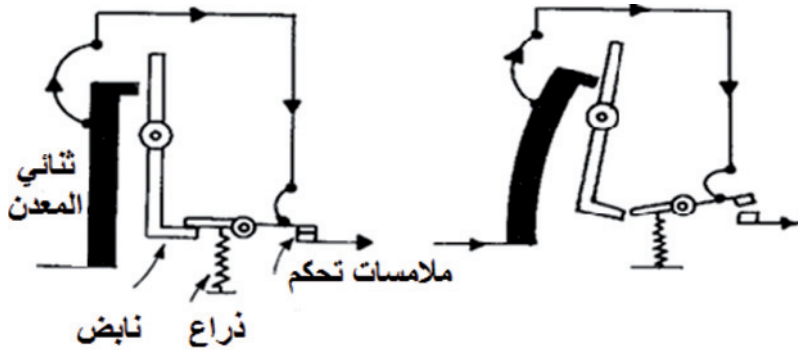
٤-١-١ استخدامات المفاتيح الكهرومغناطيسية

تستخدم المفاتيح الكهرومغناطيسية في الكثير من التطبيقات الصناعية لنقل القدرة الكهربائية وفي تشغيل المحركات الكهربائية باستخدام طرق تحكم خاصة كما تستخدم في تطبيقات القدرة الكهربائية في الانارة والتدفئة .

تعتبر مرحلات الحماية من العناصر المهمة في دارات الآلات الكهربائية لحمايتها من الاضرار التي قد تلحق بها نتيجة زيادة الحمل (overload) عن الحد المسموح به او الارتفاع المفاجئ للتيار الناتج عن قصر في الدارات الكهربائية (short circuit)، حيث يؤدي التحميل الزائد الى تسخين الاسلاك والملفات وعناصر المعدات الكهربائية كما يمكن أن تنخفض الفولتية في الشبكة والتي تؤثر سلبا في عمل جميع المعدات والتجهيزات الكهربائية خاصة المحركات التي تنخفض قدرتها بشكل ملحوظ، وقد يؤدي استمرار انخفاض الفولتية الى وقفها وتعطلها. وسيتم بحث بعض انواع مرحلات الحماية من ارتفاع التيار المستخدمة في حماية الآلات الكهربائية.

١-٢-١ المرحل الحراري (Thermal relay)

تتكون المرحلات الحرارية من شريحة ثنائية المعدن تسند ذراع يتحكم في فتح ملامس مغلق في الوضع الطبيعي ليتصل على التوالي مع ملف التشغيل في دارات التحكم. عند زيادة التيار المار خلال ثنائي المعدن نتيجة الحمل الزائد ولمدة زمنية طويلة يسخن ثنائي المعدن، ثم يتقوس بسبب اختلاف معامل التمدد الطولي للمعدنين المكونين لهذه الشريحة، وعندما يبلغ تقوس الشريحة ثنائية المعدن حدا معيناً تضغط على الذراع، ويبعد ملامس التحكم عن بعضهما وبالتالي يفصل تيار التغذية عن ملف تشغيل دائرة التحكم، الشكل (٥-٧).



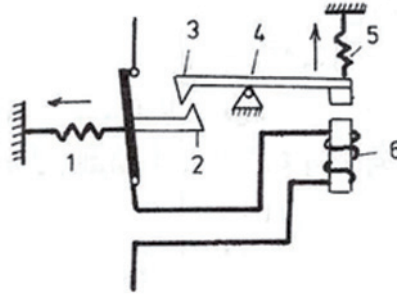
شكل (٥-٧): مرحل حراري

تستخدم المرحلات الحرارية بشكل رئيسي في حماية المحركات الكهربائية من ارتفاع التيار نتيجة الحمولة الزائدة. ويتم ضبط تيار المرحل بقيمة تتراوح ما بين (1.05- 1.2) من قيمة التيار الاسمية المارة بالمرحل.

٢-٢-١ المرحل المغناطيسي (Magnetic relay)

يصمم هذا النوع من المرحلات للحماية من الزيادات الكبيرة في التيار خصوصا في دارات القصر نتيجة لدارات القصر الكهربائي والتي تصل إلى جزء من الثانية والتي تتطلب فصلا فوريا لدائرة كهربائية في حالة العطل

الكهربائي، ويبين الشكل (٨-٥) مخططاً مبسطاً لتوضيح مبدأ عمل المرحل المغناطيسي الذي يعمل على فصل الدارة الكهربائية إذا بلغت شدة التيار الكهربائي مقدارا أعلى مما هو مقرر للمرحل، حيث يتغلب الملف المغناطيسي (6) على قوة شد الزنبرك (5) ويجذب الذراع (4-3) التي تتحرر من نقطة تلامس (٢-٣) فيفتح المرحل ملامسه المغلق الذي يكون موصولا على التوالي مع ملف التشغيل في دارات التحكم، فتفصل التغذية عن ملف التشغيل وبالتالي عن الحمل.



5,1 زنبرك 3-2 نقطتا تلامس
4-ذراع 6-ملف

الشكل (٨-٥): المرحل المغناطيسي

٢ تشغيل محرك أحادي الطور باستخدام مفتاح كهرومغناطيسي

لبناء الانظمة الكهربائية لتشغيل المحركات الكهربائية باستخدام المفاتيح الكهرومغناطيسية لا بد من الاشارة الى مكونات أجهزة التحكم التي تتكون منها هذه الانظمة .

١-٢ مكونات نظام التحكم

١-١-٢ أجهزة الادخال

تتكون غالبا من ضواغط يتم تشغيلها يدويا، الشكل (٩-٥).



شكل (٩-٥): ضواغط تستخدم في أنظمة التحكم

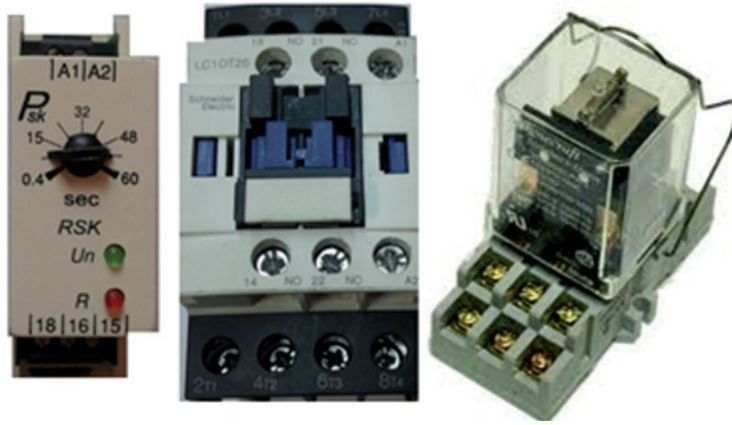
وقد تتكون أيضا من مجساتتفعل بالحركة أو الضوء ، أو غيرها من الظواهر الفيزيائية التي يتم تحويلها الى اشارات كهربائية، الشكل (١٠-٥).



شكل (١٠-٥): مجسات

٢-١-٢ أجهزة الاستقبال

تتكون من مرحلات، ومفاتيح كهرومغناطيسية، ومؤقتات زمنية التي تعمل على استقبال الاشارة الكهربائية لتشغيل نظام التحكم، الشكل (١١-٥).



شكل (١١-٥): أجهزة استقبال

٣-١-٢ أجهزة التشغيل

وهي التي تشكل الاحمال التي تعمل أجهزة التحكم على نقل الاشارة الكهربائية اليها مثل المحركات الكهربائية، الاسطوانات الهوائية والهيدروليكية وغيرها من الاحمال.

٤-١-٢ أجهزة الاشارة والتحذير

حيث تشير الى حالة المداخل والمخارج أو تشير الى حدوث خلل ما في الدارة الكهربائية مثل مصابيح الاشارة.

ينقسم المخطط الكهربائي في تشغيل الاحمال الكهربائية باستخدام المفاتيح الكهرمغناطيسية إلى قسمين رئيسين هما مخطط دائرة القدرة ومخطط دائرة التحكم، حيث يتكون المخططان من مجموعة من العناصر الكهربائية، منها ما هو مستخدم في مخطط دائرة التحكم ومنها ما هو مستخدم في مخطط دائرة القدرة ومنها ما يستخدم في المخططين معا.

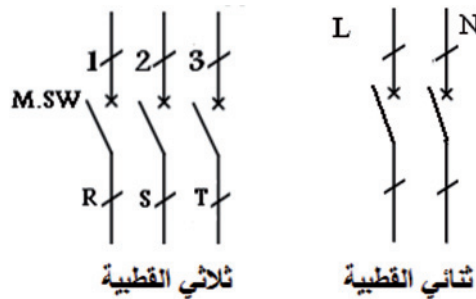
١-٢-٢ مفتاح العزل الكهربائي/ المفتاح الرئيسي Main Switch

وهو مفتاح يركب على اللوحة الكهربائية من الخارج، يستخدم لفصل ووصل الدارة الكهربائية مع المصدر، حيث يتم تصنيف هذه المفاتيح حسب عدد الاقطاب وعلى مدى تحملها للتيار الكهربائي فمنها ما يتحمل 16 أمبير ومنها ما تصل درجة تحمله الى مئات الامبيرات، الشكل (٥-١٢).



شكل (٥-١٢): مفتاح رئيس

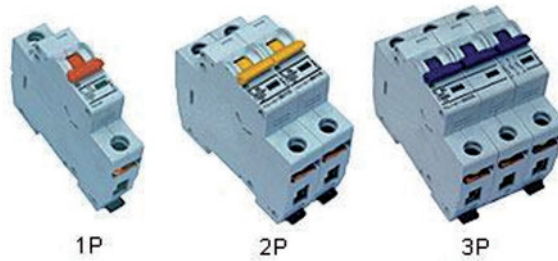
حيث يتم اختيار المفتاح الرئيسي تبعا لمصدر التغذية (أحادي أو ثلاثي الطور) وكذلك تبعا لتيار الحمل. وبين الشكل (٥-١٣) رمز مفتاح رئيسي ثنائي وثلاثي القطبية.



شكل (٥-١٣): رمز المفتاح الرئيسي

٢-٢-٢ القاطع الكهربائي (Circuit Breaker)

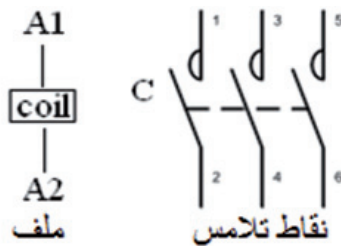
إن القواطع الكهربائية هي عنصر حماية أساسي في دارات القدرة والتحكم ، اذ يتم بواسطتها فصل ووصل التغذية عن المصدر آلياً ، عن دارات القدرة والتحكم ، عند تجاوز التيار المسحوب من المصدر التيار المقنن ، اذ أن هذه القواطع متوفرة بأشكال وسعات مختلفة ، أحادية وثلاثية الطور ، بمقررات تيار (6 ، 10 ، 16 ، 20 ، 25 ، 32 ، . . .) أمبير ، الشكل (٥-١٤) .



شكل (٥-١٤): قواطع كهربائية

٣-٢-٢ المفتاح الكهرومغناطيسي (Contactor)

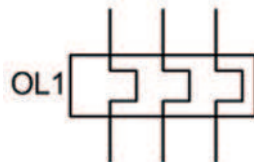
وهو جهاز كهروميكانيكي يعمل على نقل التيار الكهربائي من المصدر الى الحمل ، ويبين الشكل (٥-١٥) رمز ملاسمات تلامس رئيسة وملف المفتاح الكهرومغناطيسي .



شكل (٥-١٥): رمز المفتاح الكهرومغناطيسي

٤-٢-٢ مرحل الحماية الحراري (Overload Relay)

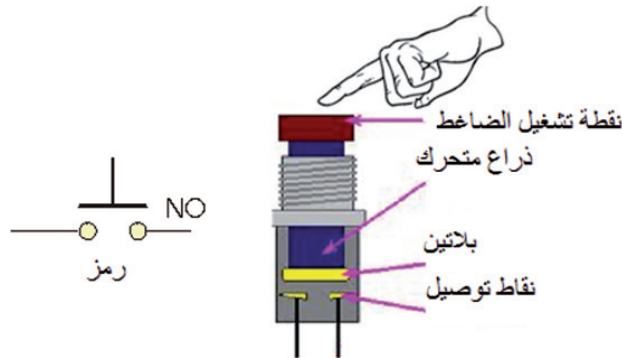
يعمل هذا المرحل على فصل الدارة الكهربائية عن المصدر في حال زيادة تيار الحمل عن التيار المقرر ، ويبين الشكل (٥-١٦) رمز مرحل الحماية الحراري .



شكل (٥-١٦): رمز مرحل الحماية الحراري

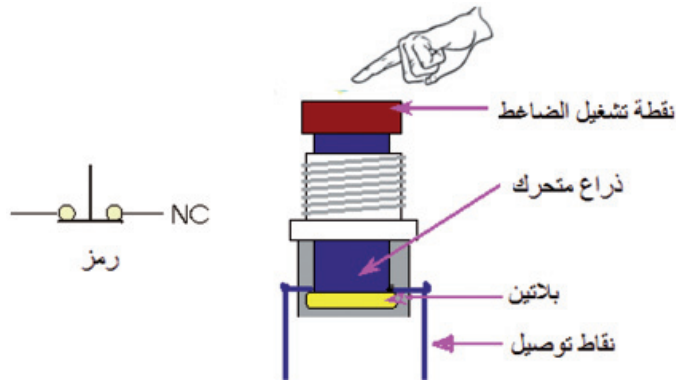
٥-٢-٢ ضواغط التشغيل والايقاف (Start and stop push buttons)

تكون ملامسات ضواغط التشغيل في وضعها الطبيعي مفتوحة (NO)، حيث تستعمل هذه الضواغط لربط ملامسات التوصيل عند الضغط عليها، لتمرير التيار الكهربائي، الشكل (١٧-٥).



شكل (١٧-٥): ضاغط تشغيل

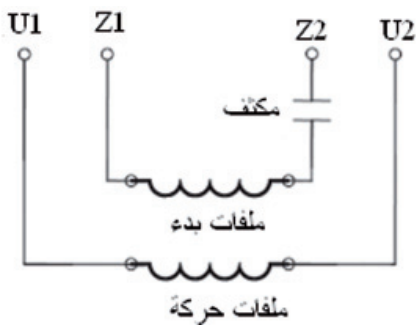
تكون تلامسات ضواغط الايقاف في وضعها الطبيعي مغلقة، حيث تستعمل هذه الضواغط لفصل التيار الكهربائي عن الدارة الكهربائية عبر ملامسات التوصيل عند الضغط عليها، الشكل (١٨-٥).



شكل (١٨-٥): ضاغط إيقاف

٣-٢ الدارة الكهربائية لتشغيل محرك أحادي الطور

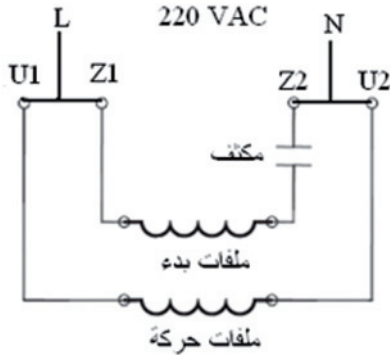
٣-٢



شكل (١٩-٥): رسم توضيحي للملفات محرك أحادي الطور ذو مكثف

قبل تعرف الدارة الكهربائية لتشغيل محرك أحادي الطور، لا بد من الإشارة الى كيفية توصيل ملفات هذا النوع من المحركات والجهد الاسمي الذي يعمل عليه. ويبين الشكل (١٩-٥) رسماً توضيحياً للملفات محرك أحادي الطور ذو مكثف، حيث أن هذا النوع من المحركات يحتاج الى ملفين هما ملفا لبدء (starting) Z1 ، Z2

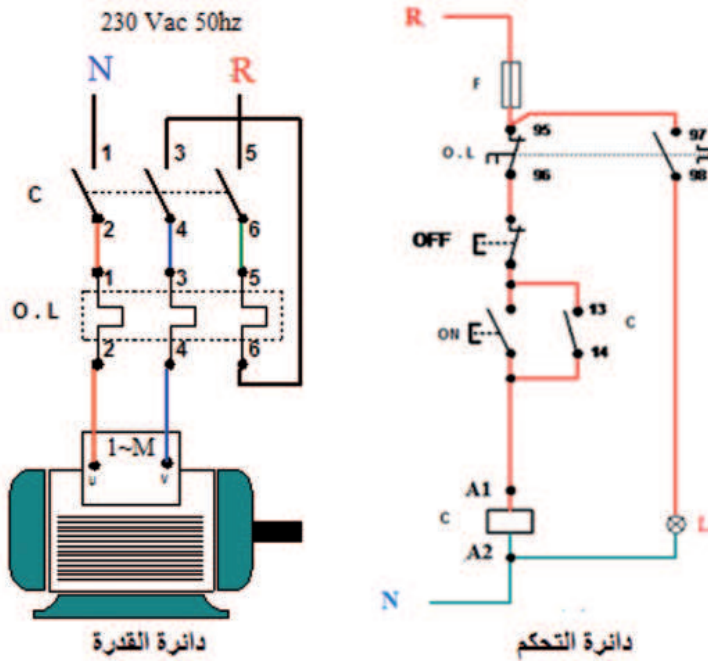
winding)، وملف الحركة winding (U2)، (U1) بالإضافة إلى مكثف البدء الذي يوصل على التوالي مع ملف البدء.



شكل (٥-٢٠): توصيل ملفات البدء والحركة بجهد المصدر

ولتشغيل المحرك لا بد من توصيل طرفي ملفي البدء والحركة بالجهد الاسمي للمحرك، ويمكن تحقيق ذلك بربط بداية ملف البدء (Z1) وبداية ملف الحركة (U1) مع أحد طرفي المصدر (L) وربط نهاية ملف الحركة (U2) مع نهاية طرف المكثف (Z2) مع الطرف الآخر للمصدر (N)، الشكل (٥-٢٠).

وبين الشكل (٥-٢١) دائرة تشغيل محرك أحادي الطور (دائرة القدرة ودائرة التحكم).



شكل (٥-٢١): دائرة تشغيل محرك أحادي الطور

إن دارات تشغيل المحركات الكهربائية باستخدام مفاتيح كهرومغناطيسية تتطلب دارة قدرة ودارة تحكم، حيث تعمل دارة القدرة على تمرير التيار الكهربائي من المصدر الى الحمل من خلال ملامسات رئيسة لمفتاح كهرومغناطيسي، وهذا يتطلب جهود تشغيل ومقررات تيار قد تكون عالية حسب ما تقتضيه حاجة وطبيعة الحمل، أما دارة التحكم فهي التي تعمل على التحكم في كيفية وماهية عمل دارة القدرة حسب ما تقتضيه طبيعة عمل هذه الدارة، لذلك فهي تعمل بمقررات تيار منخفضة اذ أنها تعمل على تمرير التيار الكهربائي من المصدر، بجهود تشغيل قد تكون منخفضة، الى ملف المفتاح كهرومغناطيسي الذي بدوره يعمل على اغلاق ملامسات التلامس الرئيسية لتمرير التيار الكهربائي الى الحمل.

في دارة التحكم، عند تفعيل ضاغط التشغيل (ON) يمر التيار الكهربائي من خلال نقطتي تلامس المرحل الحراري المغلقة (overload) وضاغط الايقاف المغلق (stop) الى ملف المفتاح كهرومغناطيسي (C) فيعمل المجال المغناطيسي المتولد على تغيير وضعية ملامسات التلامس للمرحل المغناطيسي، فتغلق الملامسات الرئيسية لتمرير التيار الكهربائي من خلال ملامسات المرحل الحراري الى المحرك، فيعمل المحرك.

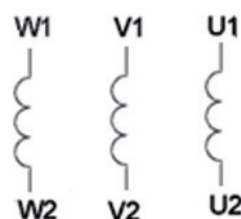
أما نقطة التلامس المساعدة المفتوحة في دارة التحكم فقد وضعت بالتوازي مع ضاغط التشغيل (ON)، لاستمرارية التيار، لأن هذا الضاغط يعمل على تمرير التيار الكهربائي الى ملف المفتاح كهرومغناطيسي فور الضغط عليه، وفي حال رفع اليد عنه، يتغذى الملف عن طريق الملامس المساعد المفتوح، ويبقى الملف في وضعية التشغيل حين فصل التيار الكهربائي عن الملف.

أما نقطتي تلامس المرحل الحراري المغلقة (overload)، فوظيفتها عندما يحدث إرتفاع في شدة تيار المحرك أكثر من قيمة التيار الطبيعي والمضبوط عليه تدريج المرحل الحراري، ترتفع حرارة المرحل فتفصل ملامسات تلامسه، (95، 96)، وبالتالي تفصل التيار عن ملف المفتاح كهرومغناطيسي فيقف المحرك وتغلق نقطتي تلامس المرحل الحراري (97، 98) ليضيئ مصباح الانارة التحذيري (L).

٣ تشغيل محرك ثلاثي الطور باستخدام مفتاح كهرومغناطيسي

١-٣ الدارة الكهربائية لتشغيل محرك ثلاثي الطور

قبل تعرف الدارة الكهربائية لتشغيل محرك ثلاثي الطور، لا بد من الإشارة الى كيفية توصيل ملفات هذا النوع من المحركات والجهد الاسمي الذي يعمل عليه، حيث أن هذا النوع من المحركات يحتاج الى ثلاث مجموعات ملفات متماثلة، ويبين الشكل (٥-٢٢) رسماً توضيحياً



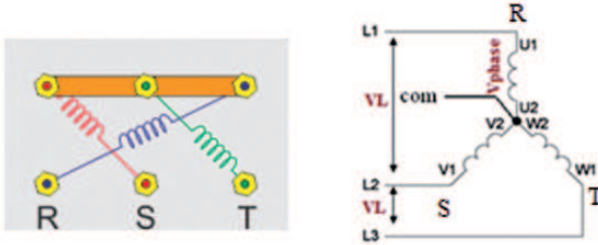
لهذه المجموعات، فقد تم ترميز بدايات

الملفات W1 V1 U1، ونهاياتها 2 U 2 V2 W2

شكل (٥-٢٢): مجموعة ملفات المحركات ثلاثية الطور

في المحركات الحثية ثلاثية الطور لا بد من توصيل ملفاتها، تبعاً لقدرة وطبيعة عمل المحرك كما يأتي:

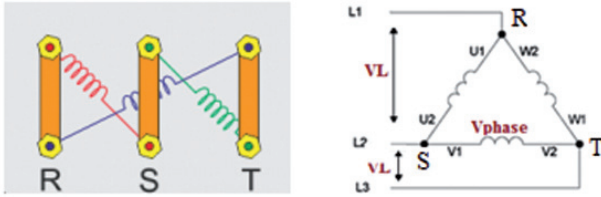
١-١-٣ طريقة ستار (Y)



شكل (٥-٢٣): ملفات محرك ثلاثي الطور توصيلة ستار

حيث يتم توصيل نهايات الملفات مع بعضها في نقطة مشتركة (COM)، وتغذية البدايات بجهد مصدر ثلاثي الطور ($V_L=400$) فولت، حيث يكون جهد الطور (V_{phase}) في هذه الحالة يساوي $(V_L/\sqrt{3})$ ، الشكل (٥-٢٣).

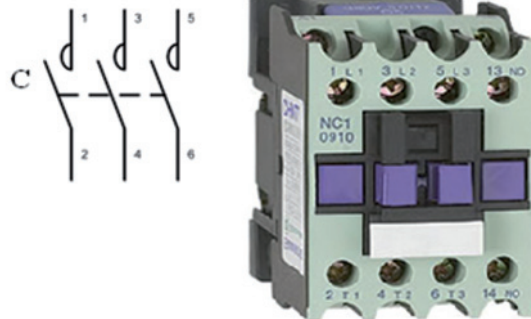
٢-١-٣ طريقة دلتا (Δ)



شكل (٥-٢٤): ملفات محرك ثلاثي الطور توصيلة دلتا

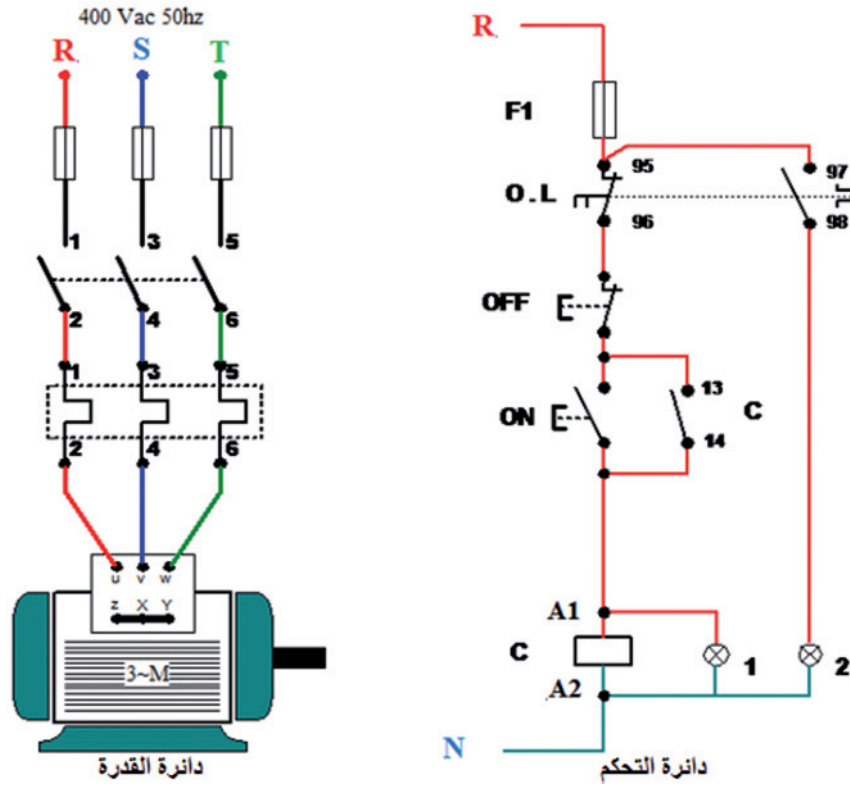
حيث يتم توصيل نهاية الملف الأول (U_2) مع بداية الملف الثاني (V_1)، ونهاية الملف الثاني (V_2) مع بداية الملف الثالث (W_1)، ونهاية الملف الثالث (W_2) مع بداية الملف الأول (U_1)، وتغذية الملامسات المشتركة التي تشكل رؤوس المثلث بجهد مصدر ثلاثي الطور (400) فولت، حيث يكون جهد الطور (V_{phase}) في هذه الحالة يساوي (V_L)، الشكل (٥-٢٤).

يتضح مما سبق، أيًا كانت طريقة توصيل الملفات، (ستار أو دلتا)، لتشغيل المحرك باستخدام مفتاح كهرومغناطيسي، لا بد من أن يحتوي هذا المفتاح على ثلاث ملامسات رئيسة لتمرير التيار من المصدر إلى المحرك، الشكل (٥-٢٥).



شكل (٥-٢٥): ملامسات التوصيل الرئيسية للمفتاح الكهرومغناطيسي

ويبين الشكل (٥-٢٦) دائرة تشغيل محرك ثلاثي الطور (دائرة القدرة ودائرة التحكم).



شكل (٥-٢٦): دائرة تشغيل محرك ثلاثي الطور

مبدأ عمل الدائرة

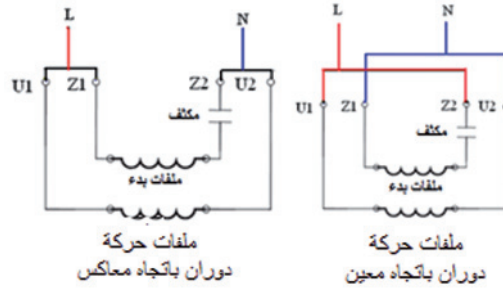
٢-٣

في دائرة التحكم ، عند تفعيل ضاغط التشغيل (ON) يمر التيار الكهربائي من خلال نقطة تلامس المرحل الحراري المغلقة (overload) وضاغط الايقاف المغلق (OFF) الى ملف المفتاح الكهرومغناطيسي (C) فيعمل المجال المغناطيسي المتولد على تغيير وضعية ملامسات التلامس للمفتاح الكهرومغناطيسي ، فتغلق الملامسات الرئيسية لتمرر التيار الكهربائي من خلال الملامسات المرحل الحراري الى المحرك ، فيعمل المحرك ، ويضيء المصباح (1) ليبدل على أنّ المحرك يعمل .

أما نقطت الملامس المساعد المفتوح في دائرة التحكم فقد وضعتا بالتوازي مع ضاغط التشغيل ، (ON) ، لاستمرارية التيار ، لأن هذا الضاغط يعمل على تمرير التيار الكهربائي الى ملف المفتاح الكهرومغناطيسي فور الضغط عليه ، وفي حال رفع اليد عنه ، يتغذى الملف عن طريق الملامس المساعد المفتوح ، ويبقى الملف في وضعية التشغيل حين قطع التيار الكهربائي عن الملف .

أما نقطتا ملامس المرحل الحراري (overload) المغلقة فوظيفتها عندما يحدث إرتفاع في شدة تيار المحرك اكثر من قيمة التيار الطبيعي والمضبوط عليه تدريج المرحل الحراري ، ترتفع حرارة المرحل فتفصل ملامسات تلامسه ، (95 ، 96) ، وبالتالي تفصل التيار عن ملف المفتاح الكهرومغناطيسي فيقف المحرك وتغلق نقطتا تلامس المرحل الحراري (97 ، 98) ليضيء مصباح الانارة التحذيري (2) .

في المحركات الحثية أحادية الطور يتم عكس اتجاه حركة دورانها ،بعكس نهايتي الملفات الرئيسة ، أو نهايتي ملفات البدء بالنسبة للمصدر ، حيث يؤدي ذلك الى عكس اتجاه المجال المغناطيسي الدوار ، وبالتالي اتجاه دوران المحرك ، الشكل (٥-٢٧) .



شكل (٥-٢٧): عكس دوران محرك أحادي الطور ذو مكثف

١-٤ دارات التداخل والحماية

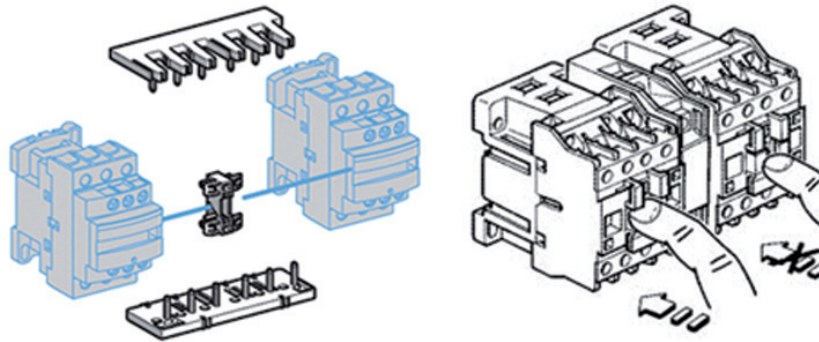
في تطبيقات دارات التحكم التي يكون فيها أولوية لتشغيل دارة في نظام التحكم على حساب دارة أخرى ولحماية الأجهزة من قصر الدارات الكهربائية ، تتطلب هذه التطبيقات وسائل حماية خاصة تسمى بدارات التداخل والحماية (Interlock) .

٢-٤ تعريف دارات التداخل والحماية (Interlock):

هو نظام يعمل على منع تفعيل جزأين أو أكثر من أجزاء دارة كهربائية في آن واحد ، يؤدي تفعيلهما الى حدوث اضطراب في عمل الدارة أو حدوث قصر كهربائي فيها (short circuit) ، حيث يستخدم بشكل واسع في دارات التحكم باستخدام مفاتيح كهرومغناطيسية لمنع تفعيل ملفات مفتاحين كهرومغناطيسيين أو أكثر في آن واحد كدارات عكس اتجاه الدوران للمحركات الكهربائية ودارات ستار-دلتا وغيرها .

١-٣-٤ تداخل وحماية (Interlock) ميكانيكي

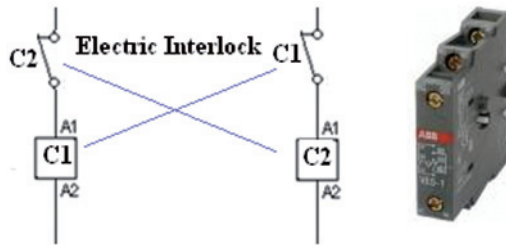
وفيه يتم منع توصيل مفتاحين كهرومغناطيسيين باستخدام وسائل حماية ميكانيكية، الشكل (٢٨-٥).



شكل (٢٨-٥): تداخل وحماية ميكانيكي

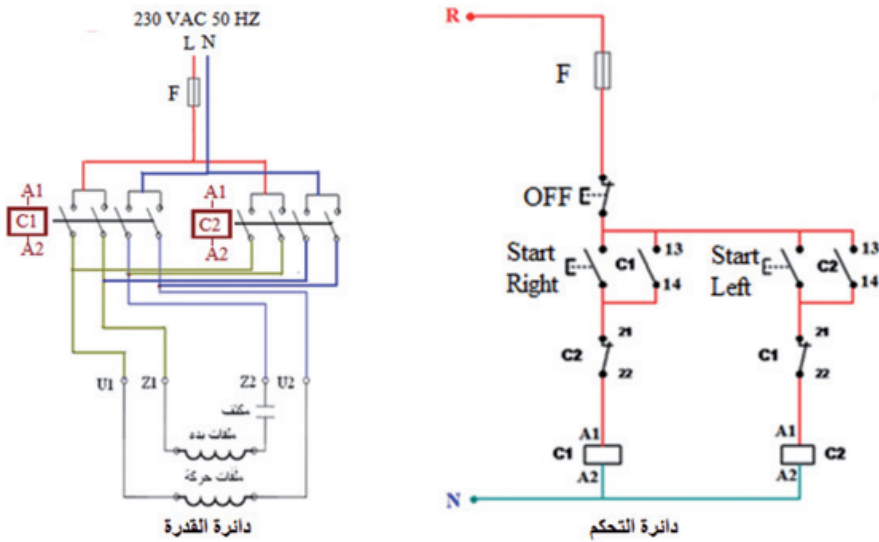
٢-٣-٤ تداخل وحماية (Interlock) كهروميكانيكي

حيث يتم فيه منع تفعيل ملفات مرفتاحين كهرومغناطيسيين في آن واحد كهروميكانيكيا عن طريق الملامسات المساعدة المغلقة في المفاتيح الكهرومغناطيسية، الشكل (٢٩-٥).



شكل (٢٩-٥): تداخل وحماية كهروميكانيكي

وبين الشكل (٣٠-٥) الدارة الكهربائية لعكس دوران محرك أحادي الطور (دارة القدرة ودارة التحكم).



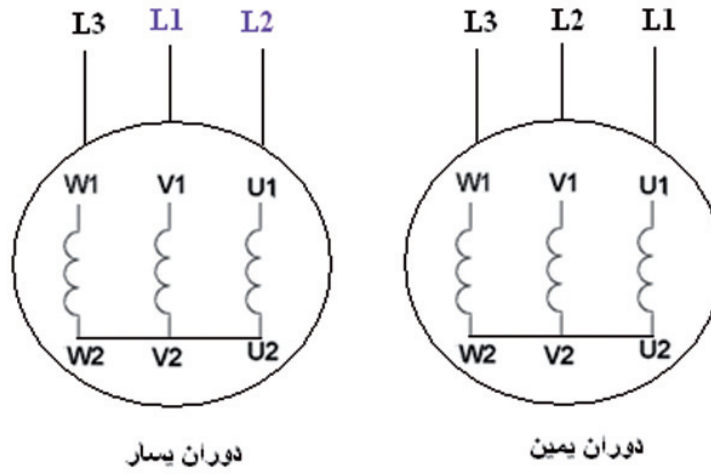
شكل (٣٠-٥): دارة القدرة والتحكم لعكس دوران محرك أحادي الطور

٤-٤ مبدأ عمل الدارة الكهربائية لعكس دوران محرك أحادي الطور

في دارة التحكم، عند تفعيل ضاغط التشغيل (Start Right) يمر التيار الكهربائي من خلال ضاغط الإيقاف المغلق (OFF) ومن خلال ملامس الحماية المغلق (C2) التابع للمفتاح الكهرومغناطيسي الآخر إلى ملف المفتاح الكهرومغناطيسي (C1)، فيعمل المجال المغناطيسي المتولد على تغيير وضعية ملامسات التلامس للمفتاح الكهرومغناطيسي، فتغلق الملامسات الرئيسية، لتمرر التيار الكهربائي إلى المحرك، وتفصل ملامس الحماية المغلق (C2) لمنع تفعيل ملف المفتاح الكهرومغناطيسي (C1)، فيعمل المحرك باتجاه معين. وعند تفعيل ضاغط التشغيل (leftstart)، يمر التيار الكهربائي إلى ملف المفتاح الكهرومغناطيسي (C2)، من خلال ملامس الحماية المغلق (C1) التابعة للمفتاح الكهرومغناطيسي الآخر، فيعمل المجال المغناطيسي المتولد على تغيير وضعية ملامسات التلامس للمفتاح الكهرومغناطيسي، فتغلق الملامسات الرئيسية، لتمرر التيار الكهربائي إلى المحرك، ويفصل ملامس الحماية المغلق (C1) لمنع تفعيل ملف المفتاح الكهرومغناطيسي (C2)، فيعمل المحرك بالاتجاه المعاكس.

٥ عكس دوران محرك ثلاثي الطور باستخدام مفاتيح كهرومغناطيسية

في المحركات الحثية ثلاثية الطور يتم عكس اتجاه حركة دورانها، بتبديل ترتيب طورين من الطور الثلاثة مع بقاء الطور الثالث على حاله، حيث يؤدي ذلك إلى عكس اتجاه المجال المغناطيسي الدوار، وبالتالي اتجاه دوران المحرك، وينطبق ذلك على توصيلتي ستار ودلتا، وبين الشكل (٣١-٥) كيفية عكس دوران محرك ثلاثي الطور موصولة ملفاته على شكل ستار.



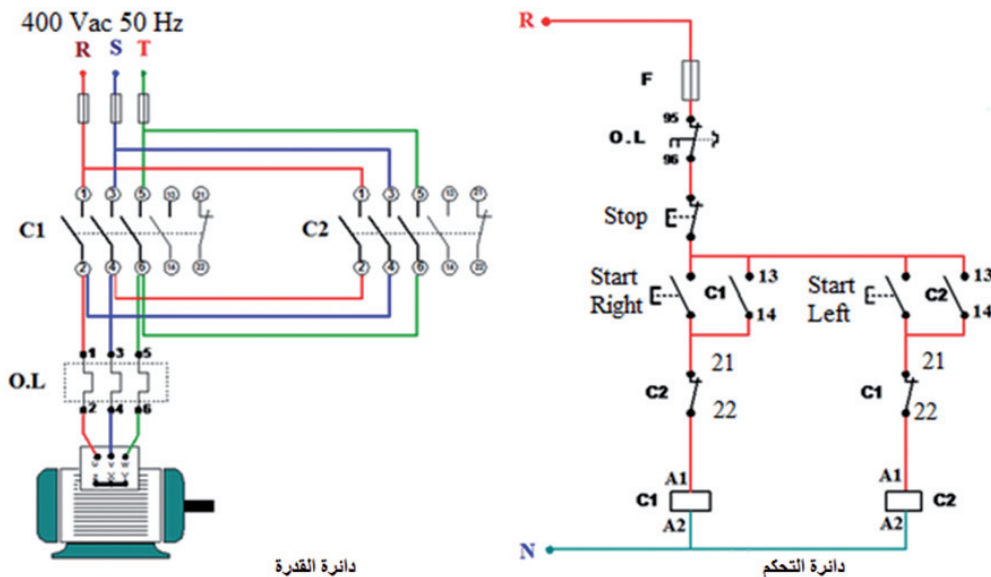
شكل (٣١-٥) : عكس دوران محرك ثلاثي الطور

ملاحظة: في الأحمال الميكانيكية التي تحتوي على مسننات لنقل الحركة ، يجب إيقاف المحرك بشكل كامل قبل عكس دورانه حفاظا على مسنناته .

الدارة الكهربائية لعكس دوران محرك ثلاثي الطور

١-٥

يبين الشكل (٣٢-٥) دارة القدرة والتحكم لتشغيل محرك حثي ثلاثي الطور ، وفيه يتم عكس الدوران عن طريق تبديل ترتيب طورين من الطور مع بقاء الطور الثالث على حاله باستخدام مفتاحين كهرومغناطيسيين .



شكل (٣٢-٥) : دارة القدرة والتحكم لعكس دوران محرك ثلاثي الطور

في دارة التحكم المبينة ، عند تفعيل ضاغط التشغيل (rightstart) يمر التيار الكهربائي من خلال نقطة تلامس المرحلة الحراري المغلقة (overload) وضاغط الايقاف المغلق ((stop الى ملف المفتاح الكهرومغناطيسي (C1)، من خلال ملامس الحماية المغلق (C2) التابعة للمفتاح الكهرومغناطيسي الآخر ، فيعمل المجال المغناطيسي المتولد على تغيير وضعية ملامسات التلامس للمفتاح الكهرومغناطيسي ، فتغلق الملامسات الرئيسة ، لتمرر التيار الكهربائي من خلال ملامس المرحلة الحراري الى المحرك ، وتفصل ملامس الحماية المغلق (C2) لمنع تفعيل ملف المفتاح الكهرومغناطيسي (C1) ، فيدور المحرك باتجاه معين .

وعند تفعيل ضاغط التشغيل (leftstart) يمر التيار الكهربائي الى ملف المفتاح الكهرومغناطيسي (C2)، من خلال ملامس الحماية المغلق (C1) التابعة للمفتاح الكهرومغناطيسي الآخر ، فيعمل المجال المغناطيسي المتولد على تغيير وضعية ملامسات المفتاح الكهرومغناطيسي ، فتغلق الملامسات الرئيسة ، لتمرر التيار الكهربائي من خلال ملامسات المرحلة الحراري الى المحرك ، وتفصل ملامس الحماية المغلق (C1) لمنع تفعيل ملف المفتاح الكهرومغناطيسي (C2) ، فيدور المحرك بالاتجاه المعاكس .

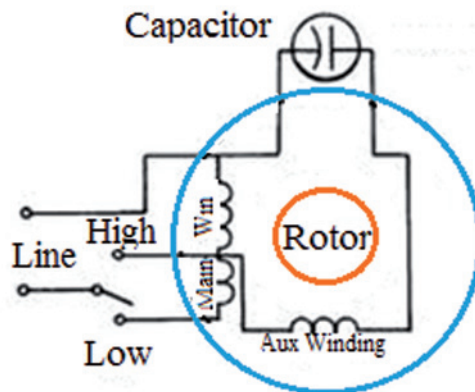
٦ تشغيل محرك أحادي الطور سرعتين باستخدام مفاتيح كهرومغناطيسية

تتميز المحركات الحثية بثبات سرعتها وعدم تأثرها الكبير بتغير الحمل ، إلا أنّ بعض التطبيقات العملية تتطلب تحكما في السرعة ، إذ أن هناك عدة طرق للتحكم في سرعة هذه المحركات اعتمادا على طريقة توصيل ملفات المحرك ، وطبيعة عمله .

فمن ضمن هذه الطرق المتبعة ، التحكم في السرعة عن طريق تغيير عدد أقطاب المحرك ، حيث أن عدد الأقطاب يتناسب تناسبا عكسيا مع السرعة حسب العلاقة التالية :

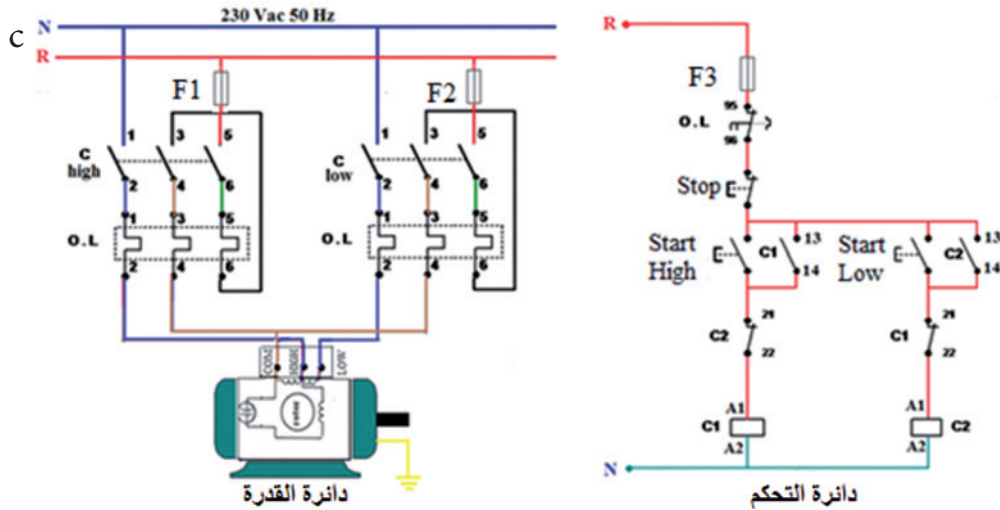
$$\text{السرعة التزامنية} = 120 \times \text{التردد} / \text{عدد الأقطاب}$$

الشكل (٥-٣٣) يمثل نموذجا لمحرك أحادي الطور ذو مكثف يعمل بسرعتين .



شكل (٥-٣٣): ملفات محرك أحادي الطور ذو مكثف يعمل بسرعتين

يبين الشكل (٥-٣٤) دائرة القدرة والتحكم لتشغيل محرك حثي أحادي الطور ذو سرعتين، وفيه يتم تغيير السرعة عن طريق التحكم في عدد الأقطاب باستخدام مفتاحين كهرومغناطيسيين.



شكل (٥-٣٤): دائرة القدرة والتحكم لتشغيل محرك أحادي الطور سرعتين

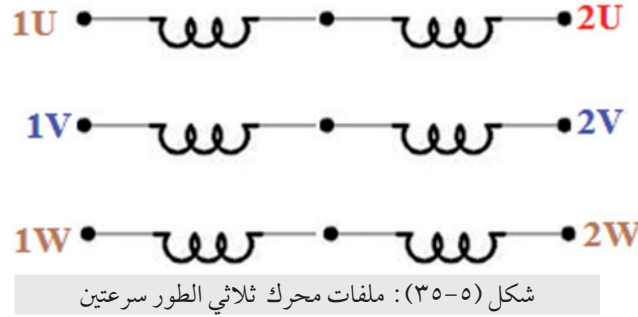
مبدأ عمل الدارة

٢-٦

في دائرة التحكم المبينة عند تفعيل ضاغط التشغيل (highstart) يمر التيار الكهربائي من خلال ضاغط الايقاف المغلق (stop) الى ملف المفتاح الكهرومغناطيسي (C1)، من خلال ملامس الحماية المغلق (C2) التابعة للمفتاح الكهرومغناطيسي الآخر، فيعمل المجال المغناطيسي المتولد على تغيير وضعية ملامسات التلامس للمفتاح الكهرومغناطيسي فتغلق الملامسات الرئيسية في دائرة القدرة لتمرر التيار الكهربائي من خلال الملامسات المرحل الحراري الى المحرك، وتفصل ملامس الحماية المغلق (C2) لمنع تفعيل ملف المفتاح الكهرومغناطيسي (C1)، فيعمل المحرك بالسرعة العالية.

وعند تفعيل ضاغط التشغيل (lowstart) يمر التيار الكهربائي الى ملف المفتاح الكهرومغناطيسي (C2) من خلال ملامس الحماية المغلق (C1) التابعة للمفتاح الكهرومغناطيسي الآخر، فيعمل المجال المغناطيسي المتولد على تغيير وضعية ملامسات التلامس للمفتاح الكهرومغناطيسي، فتغلق الملامسات الرئيسية، لتمرر التيار الكهربائي الى المحرك، وتفصل ملامس الحماية المغلق (C1) لمنع تفعيل ملف المفتاح الكهرومغناطيسي (C2)، فيعمل المحرك بالسرعة المنخفضة.

في المحركات الحثية ثلاثية الطور ، يمكن الحصول على سرعتين مختلفتين (محرك دهنالندر) ، بحيث تكون السرعة الثانية ضعف السرعة الأولى ، وذلك اعتمادا على طريقة توصيل ملفات المحرك .
حيث يمكن تعريف محرك دهنالندر بأنه محرك حثي ثلاثي الطور ذو قفص سنجايتتكون ملفات من ست مجموعات ملفات متماثلة ، كل ملف يحتوي على مجموعتين ، يتم توصيلها بطرق مختلفة للحصول على السرعة المطلوبة ، الشكل (٥-٣٥) .

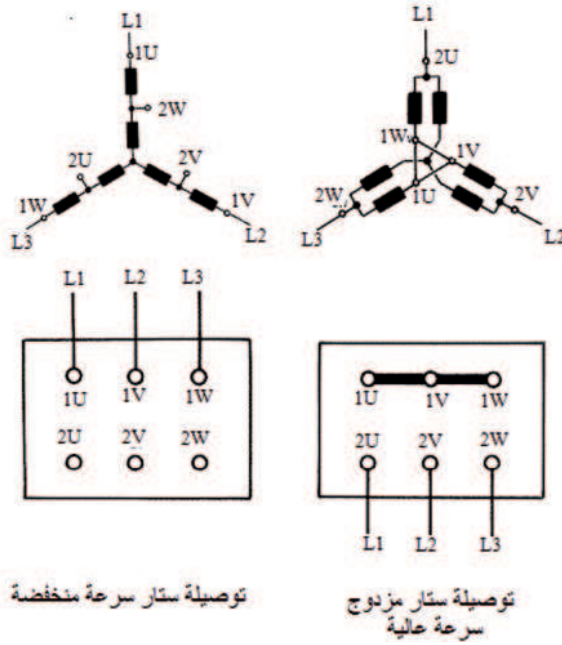


١-٧ التوصيلات المختلفة لمحرك ثلاثي الطور ذو سرعتين

يتم التحكم في السرعة عن طريق تغيير عدد الاقطاب (كما مر في التمرين السابق) حيث ان سرعة لمجال المغناطيسي الدوار $= 120 \times$ التردد مقسوما على عدد الاقطاب ، اي ان سرعة المجال المغناطيسي الدوار وبالتالي سرعة المحرك تتناسب عكسيا مع عدد الاقطاب حيث ان زيادة عدد الاقطاب الى الضعف تؤدي الى تقليل السرعة الى النصف ، حيث يصمم هذا النوع من المحركات ليعطي عدد معين من الاقطاب بحيث يخرج طرف من منتصف كل ملف (طور) بالاضافة الى طرفي البداية والنهاية ثم يعدل التوصيل لخفض عدد الاقطاب الى النصف فتزداد سرعة المحرك الى الضعف اي ان هذه الطريقة تستخدم للحصول على سرعتين فقط ، في هذه الطريقة يكون المحرك متصل بالمنبع عن طريق بدايات ونهايات الملفات (ستار او دلتا) ويكون اتجاه التيار في الملفات بحيث يعطى عدد معين من الاقطاب (4 أقطاب) ثم يتم تعديل طريقة توصيلة المحرك بحيث يتم توصيل منتصف كل طور مع المنبع ويتم قصر البدايات والنهايات معا فيتغير اتجاه التيار في الملفات مما يؤدي الى تكون عدد اقطاب يساوي نصف العدد في الحالة الاولى ، اي ان عدد الاقطاب يصبح (2) ، وبالتالي فان سرعة المحرك تتضاعف ، ويمكن تحقيق ذلك باحدى التوصيلتين التاليتين :

١-١-٧ توصيلة ستار (Y)

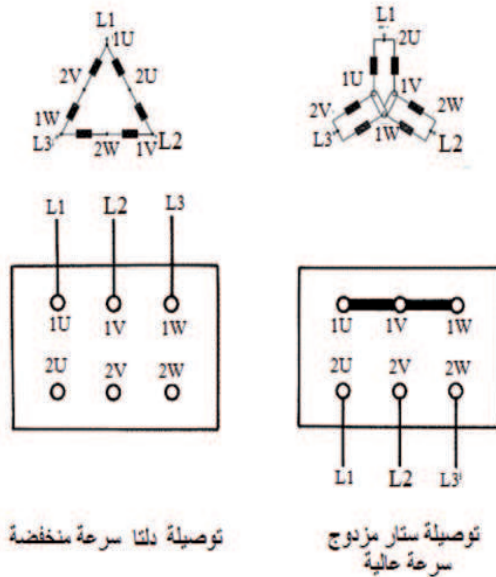
يمكن الحصول على سرعتين مختلفتين لمحرك ملفاته موصولة ستار (Y)، حيث يتم تشغيله على السرعة البطيئة بربط بدايات ملفاته (W1، 1V، U1) مع مصدر تغذية ثلاثي الطور وترك النهايات، التي هي أصلاً موصولة ستار. وللحصول على السرعة العالية يتم إعادة توصيل ملفاته على شكل ثنائي ستار (Y-Y)، حيث تكون مقاومة ملفاته قليلة وفيها يتم خفض عدد الأقطاب إلى النصف. تستخدم هذه الطريقة للأحمال التي تتطلب عزم ثابت، الشكل (٥-٣٦).



شكل (٥-٣٦): ملفات محرك ثلاثي الأطوار ستار سرعتين

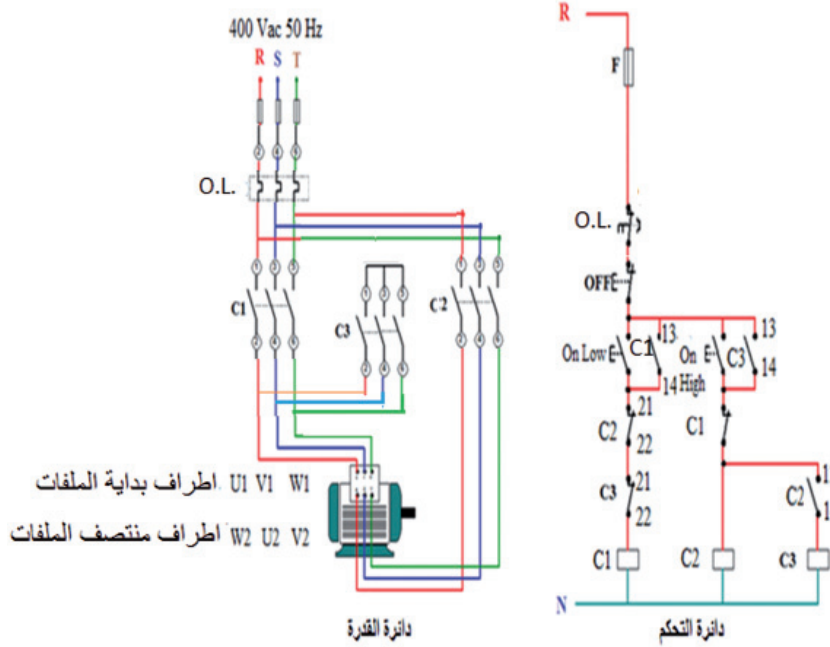
٢-١-٧ توصيلة دلتا

يمكن الحصول على سرعتين مختلفتين لمحرك ملفاته موصولة ستار (Y)، حيث يتم تشغيله على السرعة البطيئة بربط بدايات ملفاته (W1، U1، 1V) مع مصدر تغذية ثلاثي الطور وترك النهايات، التي هي أصلاً موصولة دلتا مع البدايات. يتم مضاعفة السرعة بإعادة توصيل ملفاته على شكل ثنائي ستار (Y-Y). تستخدم هذه الطريقة للأحمال ذات القدرات الثابتة، الشكل (٥-٣٧).



شكل (٥-٣٧): ملفات محرك ثلاثي الأطوار دلتا للسرعة المنخفضة ستار مزدوج للسرعة العالية

يبين الشكل (٣٨-٥) دارة القدرة والتحكم لتشغيل محرك حثي ثلاثي الطور سرعتين ، وفيه يتم تغيير السرعة عن طريق التحكم في تغيير توصيل الملفات من دلتا الى ثنائي ستار باستخدام ثلاث مفاتيح كهرومغناطيسية .



شكل (٣٨-٥) : دارة القدرة والتحكم لتشغيل محرك حثي ثلاثي الطور سرعتين

مبدأ عمل الدارة

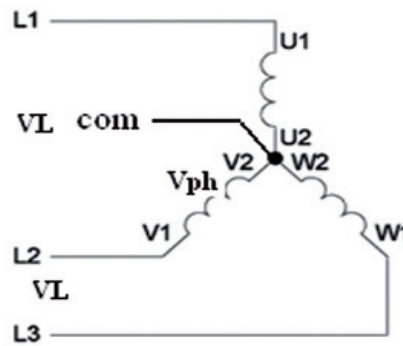
في دارة التحكم عند تفعيل ضاغط التشغيل (LOW ON) يمر التيار الكهربائي من خلال ضاغط الايقاف المغلق (OFF) الى ملف المفتاح الكهرومغناطيسي (C1) ، من خلال خلال ملامسات الحماية المغلقة (C3 ، C2) التابعة للمفاتيح الكهرومغناطيسية ، فيعمل المجال المغناطيسي المتولد على تغيير وضعية ملامسات التلامس للمفتاح الكهرومغناطيسي (C1) ، فتغلق الملامسات الرئيسة لدارة القدرة لتمرر التيار الكهربائي الى بداية ملفات المحرك (أطراف دلتا) (U1 ، V1 ، W1) من خلال ملامسات المرحل الحراري ، وتفصل ملامس الحماية المغلق (C1) لمنع تفعيل ملف المفتاح الكهرومغناطيسي (C2) ، فيعمل المحرك بالسرعة المنخفضة .

وعند تفعيل ضاغط التشغيل (High On) يمر التيار الكهربائي الى ملف المفتاح الكهرومغناطيسي (C2) و (C3) ، من خلال ملامسات الحماية المغلقة التابعة للمفتاح الكهرومغناطيسي (C1) ، فيعمل المجال المغناطيسي المتولد على تغيير وضعية ملامسات التلامس للمفتاح الكهرومغناطيسي ، فتغلق الملامسات الرئيسة ، لتمرر التيار

الكهربائي الى الملامسات (U2 V2 W2) من المحرك ، ويعمل المفتاح الكهرومغناطيسي (C3) على ربط بدايات الملفات (U1 V1 W1) مع بعضها ، لتشكل الملفات فيما بينها ثنائي ستار وفي نفس القت تفصل ملامس الحماية المغلق (C2) و (C3) لمنع تفعيل ملف المفتاح كهرومغناطيسي (C1) ، فيعمل المحرك على السرعة العالية .

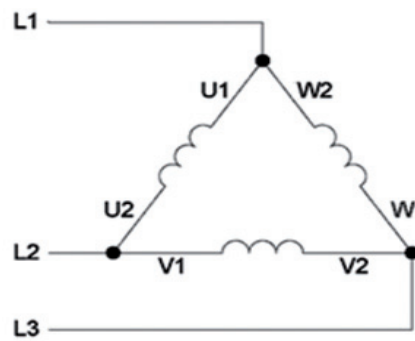
٨ تشغيل محرك ثلاثي الطور (ستار- دلتا) باستخدام مفاتيح كهرومغناطيسية ومؤقت زمني

من السليبات التي تصاحب تشغيل المحركات الحثية ، توصيل مباشر ، تيار البدء العالي الذي قد يصل الى سبع أضعاف تيار الحمل الكامل ، والذي بدوره يشكل خطورة على ملفات المحرك ، وخطوط الشبكة الناقلة للتيار الكهربائي وكذلك الأجهزة المتصلة مع المحرك بنفس الدارة ، لذلك كان لابد من تشغيل هذه المحركات باستخدام دارات خاصة تكفل تقليل تيار البدء ، ومن هذه الدارات ، التشغيل باستخدام دارة ستار- دلتا . حيث في هذه الدارة توصل ملفات المحرك بتوصيلة ستار (Y) ، الشكل (٥-٣٩) .



شكل (٥-٣٩) : ملفات محرك موصولة ستار (Y)

وبعد عدة ثواني وهي المدة اللازمة لتجاوز تيار البدء يتم التحويل الى توصيلة دلتا (Δ) ، الشكل (٥-٤٠) .



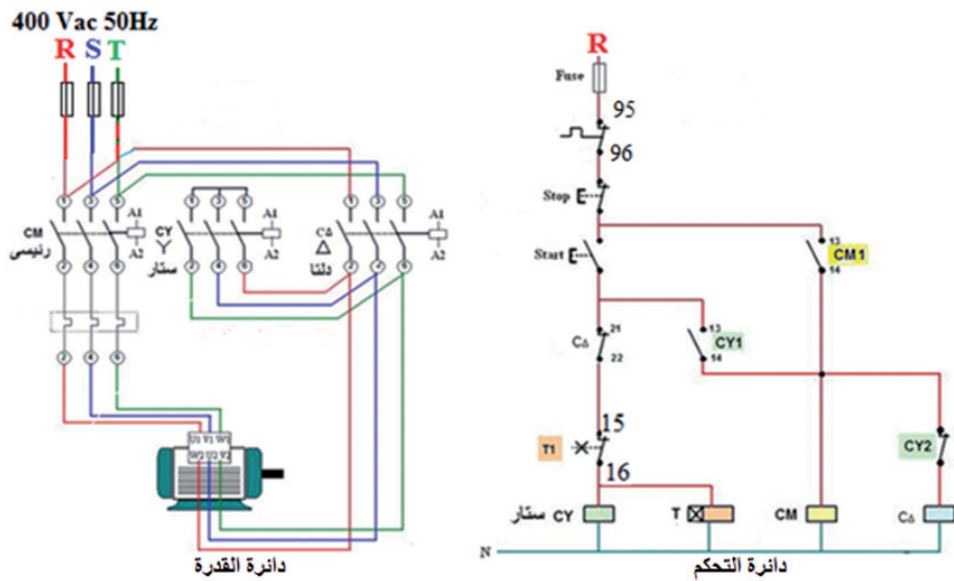
شكل (٥-٤٠) : ملفات محرك موصولة دلتا (Δ)

وتعمل توصيلة ستار على خفض الجهد وبالتالي التيار عنه في توصيلة دلتا بنسبة الثلث ، حيث أنه في توصيلة ستار يكون جهد الخط $\sqrt{3}$ جهد الوجه ، وتيار الخط = تيار الوجه ، وفي توصيلة دلتا يكون جهد الخط = جهد الوجه ، وتيار الخط $\sqrt{3}$ تيار الوجه

تستعمل هذه الطريقة للمحركات التي تزيد قدرتها عن 7 حصان وتصمم ملفاتها لتحمل على توصيلة دلتا (400 فولت ، كما يجب أن تكون أطراف الملفات الستة (U1 V1 W1) و (U2 V2 W2) ظاهرة على لوحة تجميع المحرك حتى يتسنى التوصيل بهذه الطريقة .

١-٨ الدارة الكهربائية لتشغيل محرك ثلاثي الطور (ستار- دلتا) باستخدام مفاتيح كهرومغناطيسية

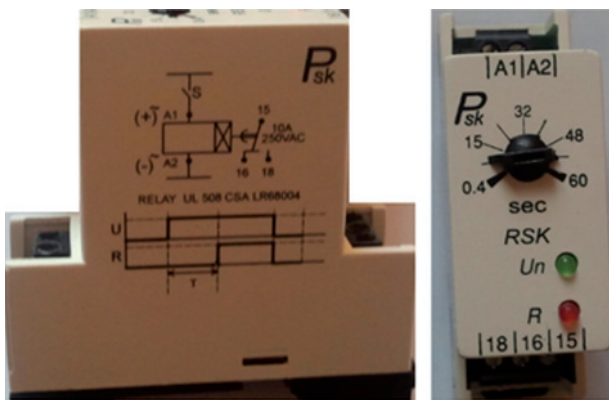
يبين الشكل (٤١-٥) دارة القدرة والتحكم لتشغيل محرك حثي ثلاثي الطور (ستار/ دلتا)، وفيه يتم تشغيل المحرك بتوصيلة (ستار) عن طريق المفتاحين الكهرومغناطيسيين (CM)، الذي بدوره يعمل على تمرير التيار الكهربائي، عند اغلاق تلامساته، الى بداية ملفات المحرك، و (CY)، الذي يعمل على ربط نهايات الملفات مع بعضها .



شكل (٤١-٥): دارة القدرة والتحكم لتشغيل محرك ستار-دلتا

ويتم تشغيل المحرك بتوصيلة (دلتا) عن طريق تفعيل المفتاح الكهرومغناطيسي (CΔ)، الذي بدوره يعمل على توصيل نهاية كل ملف مع بداية الملف الذي يليه لتشكيل فيما بينها توصيلة دلتا، حيث يتم تفعيل المفاتيح الكهرومغناطيسية عن طريق دارة تحكم خاصة .

يعتبر المؤقت الزمني (Timer) من العناصر المهمة في دارات التحكم الآلي باستخدام مفاتيح كهرومغناطيسية، الشكل (٤٢-٥) .

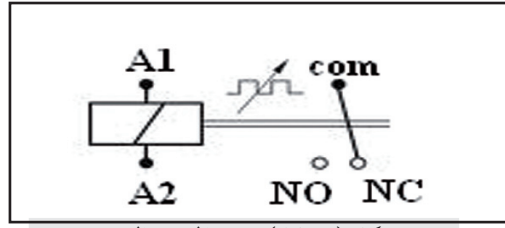


شكل (٤٢-٥): المؤقت الزمني

يتكون المؤقت الزمني من العناصر الرئيسة التالية :

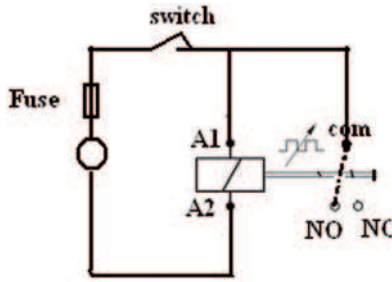
١ ملف يعمل على جهد (AC) أو (DC) بجهد تشغيلية مختلفة .

٢ تكون تلامساته في وضعها الطبيعي مفتوحة ، أو مغلقة ، الشكل (٥-٤٣) .



شكل (٥-٤٣): رمز المؤقت الزمني

ويتلخص مبدأ عمله أنه عند ربط ملف المرحل بجهد التشغيل المناسب ، يبدأ المؤقت الزمني بالعد وتبقى التلامسات (المفتوحة والمغلقة) على حالها لحين انتهاء عملية العد التي ضبط عليها المؤقت ، وعندها تتغير وضعية تلامساته ، وتبقى التلامسات على حالها لحين فصل الجهد عن الملف عندها تعود التلامسات الى وضعها الطبيعي ، الشكل (٥-٤٤) .



شكل (٥-٤٤): ملامسات المؤقت الزمني

٢-٨ مبدأ عمل دائرة ستار- دلتا

في دائرة التحكم عند تفعيل ضاغط التشغيل (start) يمر التيار الكهربائي من خلال ضاغط الايقاف المغلق (stop) الى ملف المفتاح الكهرومغناطيسي (CY) ، ومن خلال ملامس الحماية المغلق (CΔ) ، التابعة للمفتاح الكهرومغناطيسي دلتا ، وكذلك خلال ملامس المؤقت الزمني المغلق (T1) ، فيعمل المجال المغناطيسي المتولد على تغيير وضعية ملامسات المفتاح الكهرومغناطيسي (CY) ، فتغلق الملامسات الرئيسة والمساعدة ، فيعمل الملامس المساعد المفتوح (CY1) على تمرير التيار الكهربائي الى ملف المفتاح الكهرومغناطيسي (CM) الذي بدوره تتغير وضعية تلامساته الرئيسة والمفتوحة فتعمل التلامسات الرئيسة على تمرير التيار الى بداية ملفات المحرك (V1 W1 U1) من خلال ملامسات المرحل الحراري ، وتعمل ملامسات (CY) الرئيسة على ربط نهايات ملفات المحرك (U2 V2 W2) مع بعضها ، وتفصل ملامس الحماية المغلق (CY2) لمنع تفعيل ملف المفتاح الكهرومغناطيسي (CΔ) ، وبعد فترة زمنية محددة مسبقا ، تفصل نقطة تلامس المؤقت الزمني (T1) لقطع التيار الكهربائي عن ملف المفتاح الكهرومغناطيسي (CY) والمؤقت الزمني ، فتعود ملامسات (CY) الرئيسة والمغلقة الى وضعها الطبيعي ، عندها يفصل ملف المفتاح الكهرومغناطيسي (CΔ) ، الذي بدوره يعمل على توصيل ملفات المحرك على شكل دلتا .

تتعدد الطرق التي يتم بواسطتها التحكم في الية اقلاع المحركات الحثية بهدف تجنب مخاطر تيار البدء العالي ، لكن القليل من هذه الطرق ما يعتمد الية التشغيل الناعم (soft start) التي بدورها تعمل على التحكم في الجهد اليكترونيا مما يسمح للمحرك بالتسارع تدريجيا عند التشغيل ، وكذلك بعض أنواعها يحتوي على ميزة التوقف الناعم (soft stop) عند فصل مصدر الجهد مما يجنب الكثير من التطبيقات خطر الاعطال الميكانيكية التي تنتج عن التوقف المفاجيء عند فصل جهد المصدر .

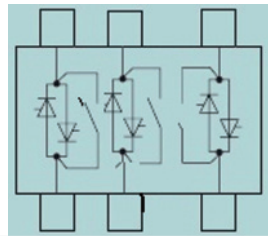
١-٩ التشغيل الناعم (soft start)

التشغيل الناعم هو جهاز يعمل على التحكم في اقلاع وعمل المحرك الكترولونيا بهدف تقليل الضغط عليه من خلال السماح له بالتسارع التدريجي لفترة من الوقت ، يعمل على خفض جهد المحرك ، وتخفيض تيار وعزم بدء المحرك ، الشكل (٥-٤٥) .



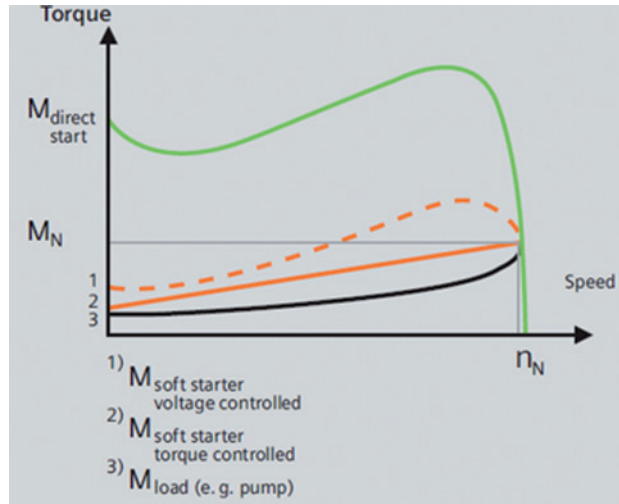
شكل (٥-٤٥): جهاز التشغيل الناعم

وبين الشكل (٥-٤٦) الرمز الكهربائي لجهاز التشغيل الناعم .



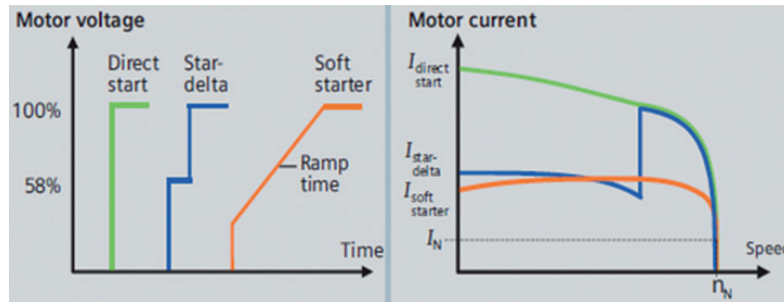
شكل (٥-٤٦): الرمز الكهربائي لجهاز التشغيل الناعم

ومع تزايد سرعة المحرك يزداد جهد وعزم المحرك تدريجياً ، إذ أن تزايد العزم التدريجي يسمح التحكم به بتزويد الحمل بالعزم المناسب حسب حاجته مما يقلل من الصيانة الميكانيكية للمحرك وناقلات الحركة المتصلة به . حيث أنه يعمل على خفض جهد المحرك وبالتالي فإن تيار وعزم بدء المحرك يكونا منخفضين أيضاً ، ويبين الشكل (٥-٤٧) منحني العزم عند التوصيل المباشر والتشغيل الناعم .



شكل (٥-٤٧): مقارنة علاقة العزم مع السرعة لطرق تشغيل مختلفة

يبين الشكل (٥-٤٨) مقارنة بين التيار والجهد لحظة البدء عند التوصيل المباشر ، والتوصيل عن طريق ستار دلتا ، والتوصيل عن طريق التشغيل الناعم .

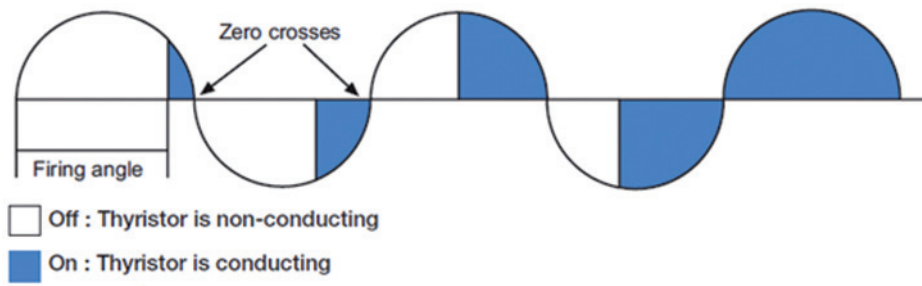


شكل (٥-٤٨): مقارنة منحنيات التيار والجهد لطرق تشغيل مختلفة

٢-٩ مكونات جهاز التشغيل الناعم الرئيسية

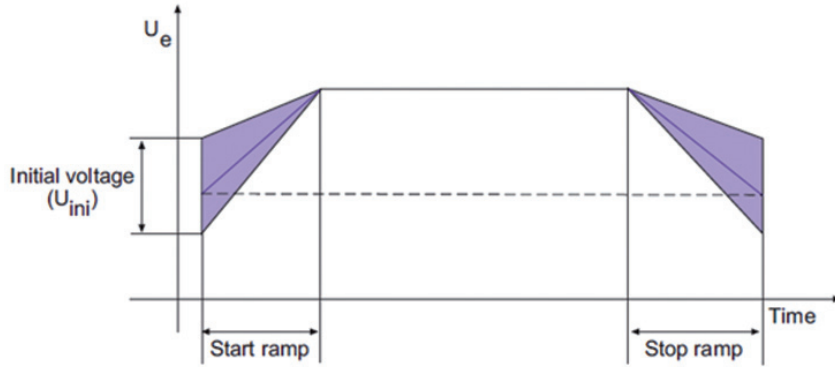
فيما يأتي أهم وظائف أجزائه الرئيسية :

١ الثايرستور : هي أجهزة إلكترونية مصنوعة من أشباه الموصلات ، تستعمل كمفاتيح إلكترونية ، حيث يتم التحكم في قيمة الجهد والتيار الواصل إلى الحمل عن طريق التحكم في زاوية قدح الثايرستور . ويبين الشكل (٥-٤٩) مناطق عمل الثايرستر (اللون الداكن) بناءً على قيمة الضبط المسبق لزم من صعود الجهد عند بدء التشغيل .



شكل (٥-٤٩): مناطق عمل الثايرستر

وبين الشكل (٥-٥٠) منحنى تدرج صعود وهبوط الجهد في بداية ونهاية التشغيل.

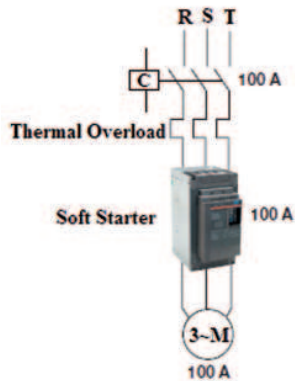


شكل (٥-٥٠): منحنى تدرج صعود وهبوط الجهد في بداية ونهاية التشغيل

- ٢ الدارة الالكترونية المطبوعة : تستخدم للتحكم في زاوية قرح الثايرستر ، اضافة لوظائف متعددة لدارة القدرة (حساب القدرة الفعالة ، معامل القدرة) .
- ٣ مبرد حراري والمروحة : يستخدم للتخلص من الحرارة الزائدة عند بدء وخلال التشغيل .
- ٤ غطاء خارجي : يصنع عادة من البلاستيك المقوى لحماية الأجزاء الداخلية للجهاز .

٣-٩ طرق توصيل جهاز التشغيل الناعم (start soft)

١-٣-٩ طريقة التوصيل المباشر (In Line connection)



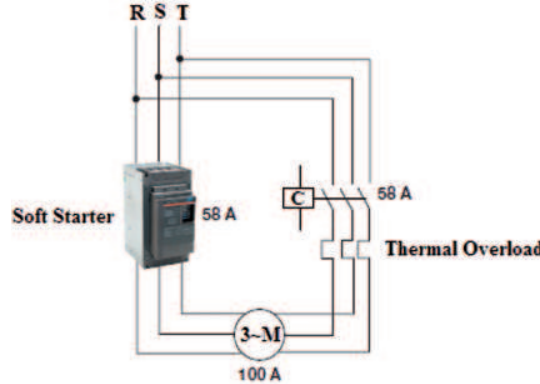
يتم توصيل جهاز التشغيل الناعم على التوالي مع المفتاح الكهرومغناطيسي الرئيسي ومرحلا لحماية الحراري ، الشكل (٥-٥١) .

شكل (٥-٥١): التوصيل المباشر لجهاز (soft starter)

يلاحظ من الشكل أن تيار الحمل المقنن يساوي 100A وعليه فان تيار أجهزة الدارة (المرحل الحراري ، جهاز Soft starter ، المفتاح الكهرومغناطيسي) يجب أن تكون ذات سعة تتوافق مع تيار الحمل .

٢-٣-٩ طريقة التوصيل دلتا (Inside Delta connection)

حيث يتم توصيل جهاز التشغيل الناعم داخل دارة دلتا باستخدام مفتاح كهرومغناطيسي ، الشكل (٥٢-٥) .



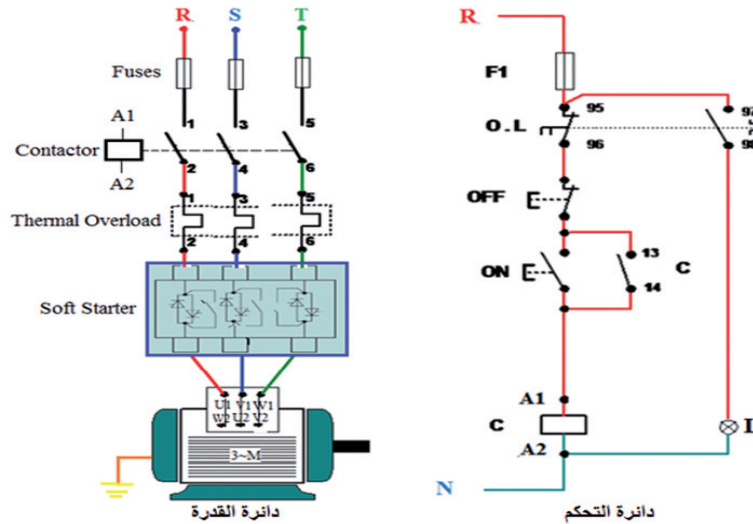
شكل (٥٢-٥): شبك جهاز (soft starter) في توصيلة دلتا

ملاحظة:

- يلاحظ من الشكل أن تيار الحمل المقنن يساوي 100A وعليه فان تيار أجهزة الدارة (المرحل الحراري ، جهاز starter Soft ، مفتاح كهرومغناطيسي) تعادل $58\% \sqrt{3}$ (1 / من تيار التوصيل المباشر .
- ويجب مراعاة أن يكون المحرك مصمم للعمل على توصيلة دلتا (يحتوي صندوق تجميعه على ستة أطراف)

٤-٩ الدارة الكهربائية للتشغيل الناعم ومبدأ عملها

يبين الشكل (٥٣-٥) دارة القدرة والتحكم لربط جهاز التشغيل الناعم ، بطريقة التوصيل المباشر ، مع مصدر جهد لتغذية محرك ثلاثي الأطوار .



شكل (٥٣-٥): دارة القدرة والتحكم

عند الضغط على ضاغط التشغيل (ON) في دائرة التحكم يمر التيار الكهربائي الى ملف المفتاح كهرومغناطيسي، الذي بدوره يمرر التيار الكهربائي من خلال ملامساتها الرئيسية الى جهاز التشغيل الناعم الذي يعمل على تقليل تيار بدء المحرك.

٥-٩ مميزات نظام التشغيل الناعم (start soft)

يتميز نظام التشغيل الناعم بالمزايا الآتية:

- ١ يستعمل لتشغيل محركات ثلاثية الطور بقدرات تتراوح بين منخفضة الى عالية.
- ٢ عزم بدء متغير تدريجي حسب حاجة الحمل.
- ٣ جهد بدء متغير تدريجي حسب حاجة الحمل.
- ٤ لا يصل التيار الى قيمته العظمى (peak current no).
- ٥ لا يصل العزم الى قيمته العظمى (peak torque no).
- ٦ ليس هنالك هبوط في الجهد مما يجعل الأجهزة المتصلة به أكثر أماناً.
- ٧ لا يحتاج الى صيانة ميكانيكية.
- ٨ مزودة في أنظمة إيقاف ناعم (stop soft)، وأجهزة حماية داخلية حرارية.

١٠ تشغيل مضخة ماء ثلاثية الطور باستخدام مفتاح كهرومغناطيسي وعوامات كهربائية

١-١٠ العوامة الكهربائية



شكل (٥-٥٤): عوامة كهربائية

تتكون العوامة الكهربائية من مفتاح كهربائي ذو ثلاث ملامسات ملامس مشترك ولامسان آخرين احدهما مفتوح (NO) والاخر مغلق (NC) حيث يستعمل لتمرير التيار الكهربائي من المصدر خلال ملامسات التوصيل الى الحمل، وقد تستعمل عوامة أو عوامتان حسب طبيعة التطبيق العملي، الشكل (٥-٥٤) يبين عوامة كهربائية والرمز الكهربائي له.

٢-١٠ مبدأ عمل الدارة الكهربائية

يبين الشكل (٥-٥٥) الدارة الكهربائية لتشغيل مضخة ثلاثية الأطوار باستخدام عوامتان كهربائيتان، حيث يتم توصيل عوامتان على التوالي يعملان بشكل متعاكس، فتوضع احدى هذه العوامات في الخزان العلوي ليغلق مفتاح العوامة عندما يكون الخزان فارغ، العوامة للأسفل، وتوضع العوامة الأخرى في الخزان السفلي لتعمل بشكل متعاكس مع العوامة في الخزان العلوي.

١-١١ مفاتيح تحويل القدرة أليا باستخدام مفتاحين كهرومغناطيسيين

وبها تتم عملية تحويل الطاقة الكهربائية باستخدام مفتاحين كهرومغناطيسيين باستخدام دائرة تحكم خاصة، وهو ما سيرد شرحه بالتفصيل .

ملاحظة: في دوائر التحويل ثلاثية الطور يجب ان تكون مفاتيح التحويل، أيا كان نوعها، ذات أربعة أقطاب ٤-(poles) وذلك لفصل الخط المحايد (neutral) إضافة الى الثلاثة أطوار بين مصدري التغذية .

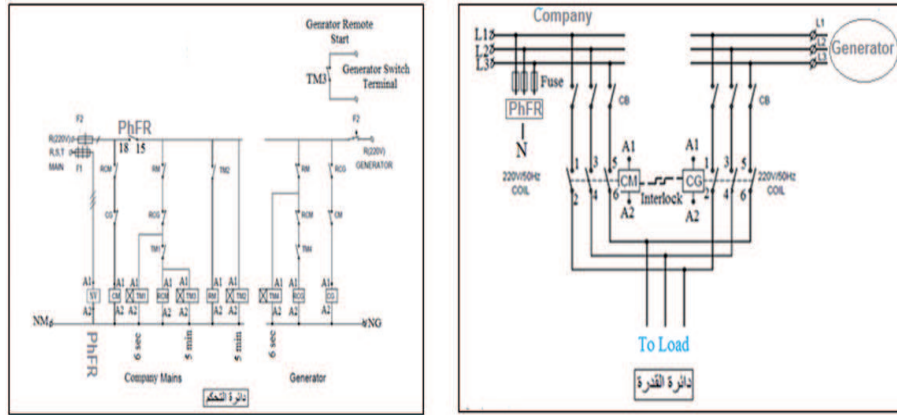
٢-١١ مواصفات مفاتيح التحويل الآلية (ATS)

يجب أن تتوافر المواصفات الآتية في مفاتيح التحويل الآلية :

- ١ ملائمة للعمل المستمر في ظل درجة حرارة الجو الذي يعمل فيه
- ٢ مجهزا ومناسبا للعمل على ربط جميع انواع الاحمال .
- ٣ قادرا على تحمل تيارات البدء العالية
- ٤ قادرا على تحمل التكرار في العمل لغرض الايصال والفصل دون احداث أي مشاكل في عمله او في التوصيل الكهربائي .

٣-١١ دائرة القدرة والتحكم لنظام التحويل الاوتوماتيكي باستخدام مفتاحين كهرومغناطيسيين

يتكون نظام التحويل الاوتوماتيكي بشكل اساسي من مفتاحين كهرومغناطيسيين واحد لكل مصدر (الشركة المزودة للكهرباء والمولد) مرتبطين ببعضهما اما كهربائيا او ميكانيكيا او كليهما معا بحيث انه اذا عمل احدهما فان الاخر لا يعمل ، وهو ما يسمى بنظام التداخل والحماية ، (interlock) إضافة الى دائرة تحكم خارجية يتم بنائها، الشكل (٥٦-٥) .



شكل (٥٦-٥): دائرة القدرة والتحكم لنظام تحويل القدرة باستخدام مفتاحين كهرومغناطيسيين

تحتوي الدارة الكهربائية لنظام التحويل الاوتوماتيكي باستخدام مفتاحين كهرومغناطيسيين على مرحل مراقبة

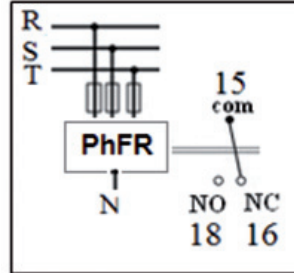
الجهد (Phase Failure Relay) الذي يعمل على مراقبة وحماية الأحمال الكهربائية مما يأتي :

١ فقدان احد الأطوار الثلاث .

٢ تغير الزاوية بين الأطوار .

٣ الجهد الزائد من المصدر .

في حال استيفاء هذه الشروط يتم تفعيل المرحل فيعمل على توصيل ملامسين ، في وضعيهما الطبيعي مفتوحان (NO)، الشكل (٥-٧٥) التالي يوضح رسماً لآلية عمل هذا المرحل .



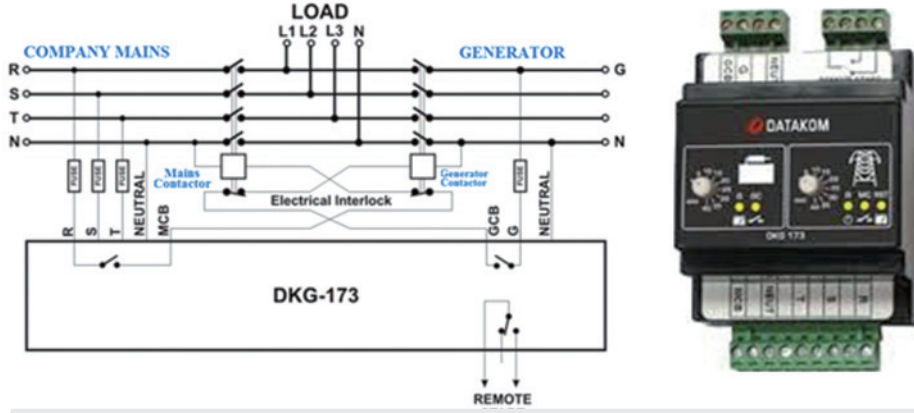
شكل (٥-٥٧) : رسم توضيحي لعمل المرحل

عندما يتم تغذية الأحمال من الشركة المزودة للطاقة الكهربائية يتم التأكد من فعاليتها عن طريق المرحل (PhFR)، حيث يتم تفعيل المرحل فيغلق التلامس المفتوح (١٥-١٨)، ليمر التيار إلى ملف المؤقت الزمني (TM2)، فينتظر 5 دقائق ثم يغلق تلامس المؤقت فيتم تفعيل الريليه الخاص بالمفتاح الكهرومغناطيسي المتصل بخطوط الشركة (RM)، فيفصل التيار عن ملف المفتاح الكهرومغناطيسي الخاص بالمولد ولكن لا ينطفئ المولد و يتوقف عن تزويد الأحمال بالتيار، عندها يغلق تلامس المرحل

الكهرومغناطيسي (RCG) فيتم تفعيل ملف المؤقت الزمني (TM1)، و ينتظر 6 ثواني ليتم تفعيل ملف المرحل الكهرومغناطيسي (RCM) الذي بدوره يعمل على تفعيل ملف المفتاح الكهرومغناطيسي التابع للشركة (CM)، عندها يعمل المؤقت الزمني (TM3) لمدة 5 دقائق فيفتح تلامسه ليطفئ المولد .

وعند فصل كهرباء الشركة يعود تلامس المؤقت (TM3) الى وضعه الطبيعي، فيعمل المولد ويعود مفتاح المرحل الكهرومغناطيسي (RM) الى وضعه الطبيعي، عندها يتم تفعيل ملف المؤقت الزمني (TM4) وبعد 6 ثواني يتم تفعيل المفتاح الكهرومغناطيسي الخاص بالمولد، ليزود الأحمال بالكهرباء .

كما يمكن الإستعاضة عن دائرة التحكم بجهاز تحكم أوتوماتيكي يحتوي على المرحلات والمفاتيح الكهرومغناطيسية والمؤقتات اللازمة للتحكم، يبين الشكل (٥-٥٨) جهاز التحكم (DKG-173) ودائرة التحكم الخاصة به .



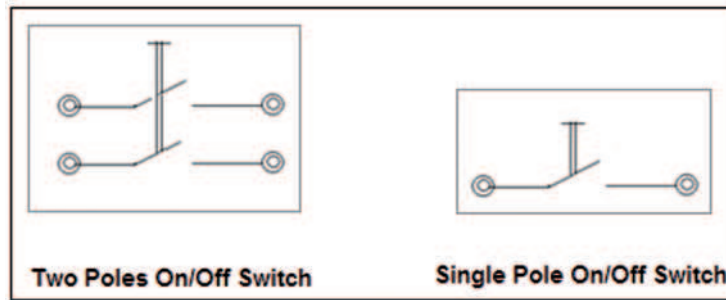
شكل (٥٨-٥): جهاز تحكم (DKG-١٧٣) لتحويل الطاقة والدائرة الخاصة به

١٣ المفاتيح اليدوية لتشغيل المحركات الكهربائية

تستخدم مفاتيح متعددة لتشغيل وإيقاف وتنظيم سرعة المحركات الكهربائية وسندرس فيما يأتي بعض الأنواع الشائعة للإستخدام.

١-١٣ مفاتيح تشغيل وإيقاف أحادي وثنائي القطبية (single & two poles)

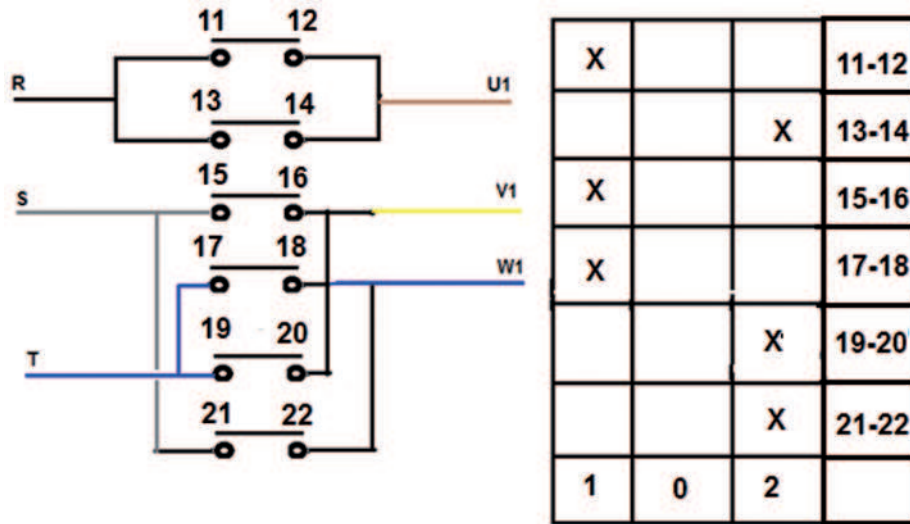
يستخدم المفتاح اليدوي أحادي القطب (single pole) أو ثنائي القطب (two poles) لوصل المحرك أحادي الطور وفصله في حالة التشغيل والإيقاف الطبيعي، أي عند الجهد الإسمي والتيار الإسمي، ويعد من أبسط أنواع المفاتيح. شكل (٥٩-٥).



شكل (٥٩-٥): مفاتيح تشغيل وإيقاف أحادي وثنائي القطبية

٢-١٢ مفتاح تشغيل وإيقاف محرك ثلاثي الطور مع امكانية عكس اتجاه الدوران

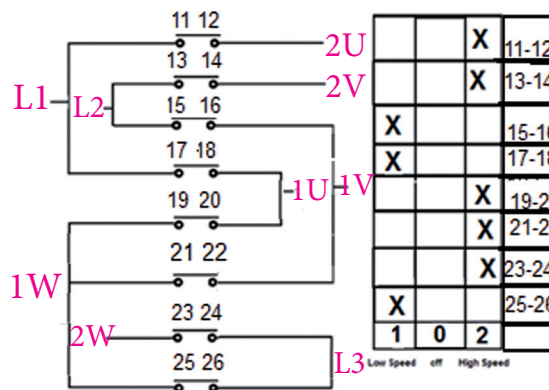
يستخدم هذا المفتاح لتشغيل وإيقاف المحركات الكهربائية التأثيرية ثلاثية الطور ذات القدرات المنخفضة، ويشبه مثيله المستخدم لمحركات الطور الواحد، إلا أنه يحتوي على ثلاثة أقطاب توصيل، شكل (٥-٦٠).



شكل (٥-٦٠): مفتاح عكس اتجاه الدوران لمحرك ثلاثي الطور

٣-١٢ مفتاح تشغيل محرك سرعتين ثلاثي الطور (Dahlander)

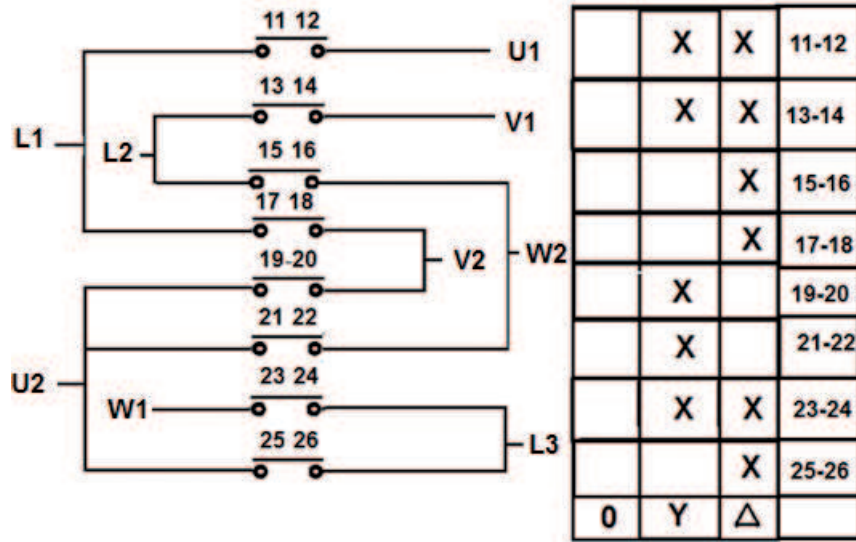
في المحركات ثلاثية الطور يمكن الحصول على سرعتين عن طريق تحويل توصيلة ملفاتها من مثلث إلى توصيلة النجمة الثنائية بمساعدة مفتاح التحكم اليدوي، شكل (٥-٦١). حيث يؤدي التبديل من توصيلة المثلث إلى توصيلة النجمة الثنائية إلى انخفاض عدد الأقطاب إلى النصف، وبالتالي تزداد السرعة إلى الضعف.



شكل (٥-٦١): مفتاح تشغيل محرك سرعتين ثلاثي الطور

يستعمل مفتاح نجمة- مثلث (Y-Δ) في إقلاع المحركات الكهربائية الكبيرة نسبيا والمصممة لتعمل على توصيلة المثلث (Δ) في الأحوال العادية، حيث يعمل هذا المفتاح على توصيل ملفات المحرك على شكل نجمة (Y) عند بداية التشغيل وبذلك يقع على كل ملف من الملفات فولتية الطور، مما يؤدي إلى خفض التيار المسحوب من الشبكة عند الإقلاع، وبعد دوران المحرك ووصول سرعته تقريبا إلى (75%) يتم تحويل توصيلة ملفات المحرك من نجمة (Y) إلى مثلث (Δ) بواسطة المفتاح، أي تزداد الفولتية الواقعة على الملفات بمقدار $(\sqrt{3})$ ويعطي المحرك في هذه الحالة قدرته الإسمية ويستمر في الدوران.

شكل (٥-٦٢) يبين توصيلة مفتاح نجمة- مثلث.



شكل (٥-٦٢): مفتاح نجمة- مثلث

السؤال الأول: المطلوب منك إكمال الفراغ في العبارات الآتية:

- ١ تكون الملامسات الرئيسة في المفاتيح الكهرومغناطيسية في وضعها الطبيعي
والملامسات المساعده أو
- ٢ في المحركات الحثية ثلاثية الطور يتم توصيل مجموعات ملفات المحركات بتوصيلة
أو توصيلة
- ٣ تكون ملامسات ضواغط الايقاف في وضعها الطبيعي
- ٤ في توصيلة ستار يتم ربط الملفات مع بعضهم وربط مع المصدر .
- ٥ من السليبات التي تصاحب تشغيل المحركات الحثية ، توصيل مباشر ، تيار البدء
- ٦ في توصيلة ستار يكون جهد الخط يساوي

السؤال الثاني: المطلوب منك وضع دوائر حول رمز الإجابة الصحيحة في الأسئلة الآتية:

١ تستخدم الملامسات الرئيسة في المفتاح الكهرومغناطيسي لتمرير

- أ) تيار الحمل
- ب) تيار التحكم
- ج) تيار القدرات العالية فقط
- د) تيار القدرات المنخفضة فقط

٣ يفصل مرحل الحماية الحراري

- أ) عند زيادة تيار الحمل عن ٢ , ١ أمبير من القيمة الاسمية لتيار الحمل
- ب) عند القيمة الاسمية لتيار الحمل
- ج) عند زيادة الحمل
- د) عند نقصان الحمل

٤ وظيفة الملامس المساعد المغلق في دارات التداخل والحماية الكهروميكانيكي

- أ) فصل دائرة التحكم يدويا عند الضغط عليه .
- ب) فصل دائرة التحكم الياعند زيادة الحمل .
- ج) وصل دائرة التحكم يدويا عند الضغط عليه
- د) منع تفعيل المفتاح كهرومغناطيسي المتصل معها على التوالي .

٥ في دارات التحكم ستار - دلتا ، تشغيل اوتوماتيك ، وظيفة المؤقت الزمني .

- أ) فصل ملف المفتاح الكهرومغناطيسي التابع لتوصيلة ستار
- ب) فصل دائرة التحكم الياء عند زيادة الحمل
- ج) وصل ملف المفتاح الكهرومغناطيسي الرئيسي مع المصدر
- د) منع تفعيل ملف المفتاح الكهرومغناطيسي الرئيسي ((CM

٦ وظيفة ملاسمات المفتاح الكهرومغناطيسي داخل العوامات الكهربائية .

- أ) تمرير التيار الكهربائي الى بداية ملفات المحرك
- ب) تمرير التيار الكهربائي الى نهاية ملفات المحرك .
- ج) حماية المحرك من الزيادة في التيار .
- د) تمرير التيار الكهربائي الى ملف المفتاح الكهرومغناطيسي لتشغيل المضخة

٧ في توصيلة ثنائي - ستار فإن سرعة المحرك تكون :

- أ) عالية
- ب) منخفضة
- ج) متوسطة
- د) لا يستطيع المحرك الدوران

٨ محرك حثي ثلاثي الطور ، كتب على لوحته الاسمية (Y400 - Δ220) فولت ، هل يمكن تشغيله

بواسطة دائرة (ستار - دلتا) من مصدر تغذية (400) فولت؟

- أ) يمكن تشغيله .
- ب) يعمل ستار فقط ثم يحترق .
- ج) يعمل دلتا فقط .
- د) يحترق مباشرة عند توصيله ستار .

٩ من ضمن ميزات أجهزة التشغيل الناعم (soft starter)

- أ) تقليل تيار البدء
- ب) تقليل العزم طول فترة التشغيل
- ج) تغيير السرعة
- د) زيادة التردد

٤ تحتوي محركات دهاالندر على :

ثلاثة ملفات .

ستة ملفات .

ثمانية ملفات .

عشرة ملفات .

السؤال الثالث : المطلوب منك وضع إشارة (✓) أمام العبارات الصحيحة ، وإشارة (X) أمام العبارات الخاطئة فيما يأتي :

- ١ () الهدف من توصيلة ستار- دلتا هو تقليل تيار البدء .
- ٢ () من الطرق المتبعة في تغيير سرعة المحركات الحثية ، تغيير عدد الاقطاب .
- ٣ () يستخدم المرحل الحراري لحماية المحرك من الزيادة في تيار الحمل .
- ٤ () يستخدم الملامس المساعد المغلق (NC) في المفاتيح الكهرومغناطيسية كجزء من أنظمة الحماية والتداخل في دارات التحكم باستخدام مفاتيح كهرومغناطيسية .
- ٥ () من سلبيات جهاز التشغيل الناعم أنه يحتاج إلى صيانة ميكانيكية باستمرار .
- ٦ () تحتوي العوامة الكهربائية على ملامس (NO) فقط .

السؤال الرابع :

- ١ ما هي استعمالات مرحل مراقبة الجهد (Relay Failure Phase) ؟
- ٢ وضح بالرسم عمل مفتاح تشغيل محرك سرعتين ثلاثي الطور (Dahlandar) .

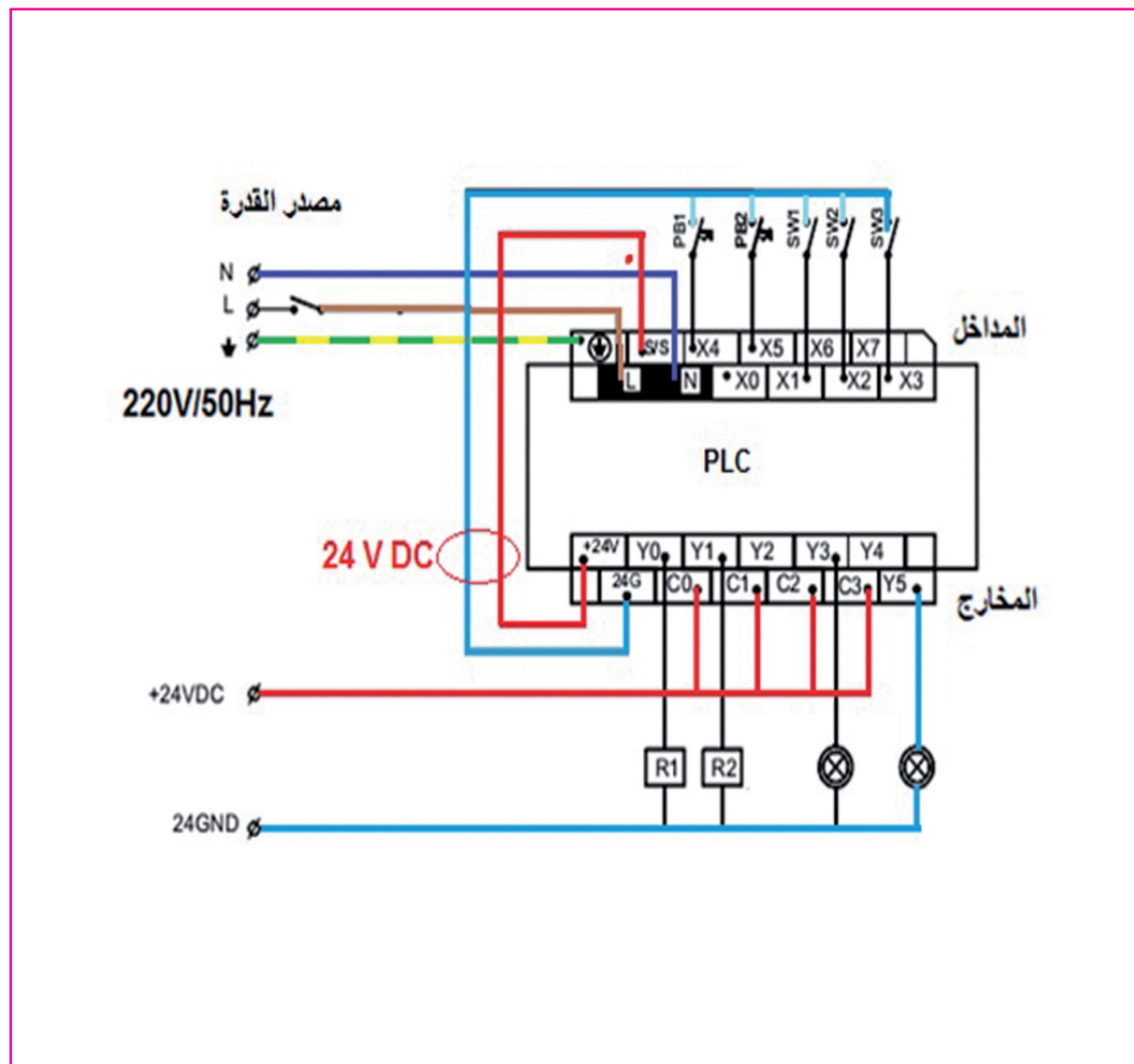
السؤال الخامس : ارسم مع الشرح الموجز مفتاح نجمة- مثلث (Y-Δ) .

المصطلح بالانجليزية	المصطلح بالعربية
Alternative Current (AC)	تيار متردد
Auxiliary contacts	الملاسمات المساعدة
Breaker Circuit	قاطع كهربائي
Coil	ملف
Contactor	مفتاح كهرومغناطيسي
Contacts	ملاسمات
circuit Control	دارات التحكم
CT	محول تيار
Peak Current	القيمة العظمى للتيار
range current	تيار الضبط
(DC) Current Direct	تيار مستمر
switch float Electric	عوامة كهربائية
Fuse	مصهر
connection Line In	طريقة التوصيل المباشر
connection Delta Inside	طريقة التوصيل داخل دلتا
Interlock	التداخل والحماية
Lamp	مصباح
Load	حمل
tank water Lower	خزان ماء سفلي
relay Magnetic	مرحل مغناطيسي
contacts Main	ملاسمات رئيسية
(NC) close Normally	ملاسمات وضعها الطبيعي مغلق

(NO) open Normally	ملاسمات وضعها الطبيعي مفتوح
Overload	زيادة الحمل
Pole	قطب
circuit Power	دائرة القدرة
Relays Protective	مرحلات الحماية
Pump	مضخة
winding running	ملفات الحركة
circuit Short	تيار قصر
Diagram Line Single	دائرة الخط الواحد
start Soft	تشغيل ناعم
button push Start	ضاغط تشغيل
winding starting	ملفات بدء
button push Stop	ضاغط إيقاف
Switch	مفتاح
Terminal Box	صندوق تجميع المحرك
relay Thermal	مرحل حراري
Torque	عزم
Peak Torque	القيمة العظمى للعزم
tank water Upper	خزان ماء علوي
Vphase	جهد الطور
VL	جهد الخط
Lamps Warning	مصابيح تحذير

المتحكمات المنطقية المبرمجة

Programmable Logic Controllers- PLC



المتحكم المنطقي المبرمج هو معنى مختصر لكلمة (PLC) ، وهو جهاز تحكم رقمي ينتمي إلى عائلة الحاسوب ويستخدم للتحكم بالآلات والعمليات الصناعية والتجارية المؤتمتة لخطوط الإنتاج المختلفة بطريقة سهلة ولكنها فعالة لتوفير الكثير من الجهد والوقت والمال .

وقد ظهر أول متحكم منطقي مبرمج (PLC) سنة ١٩٦٩ بهدف استخدامه في التحكم الصناعي ليحل محل دوائر التحكم التقليدية المعتمدة على العناصر الإلكترونية وميكانيكية مثل المرحلات وغيرها من العناصر الكهربائية كالمؤقتات والعدادات . وقد تم تصنيعه ليخدم طويلا ضمن البيئة الصناعية مقارنة بالعناصر الكهربائية التقليدية ، ولتتم إعادة استخدامه من جديد في التطبيقات المختلفة بسهولة ويسر ، وبحيث يتمكن الفني من استخدامه في التحكم الصناعي بدون أن يكون له إلمام كبير بالدوائر أو المعالجات الرقمية . وقد استمر تطور هذا الجهاز مع الزمن مع تطور الاتصالات والمعالجات وتقنيات العرض . فأصبح يتم الآن توصيل هذه المتحكمات ضمن شبكات بحيث يتصل بعضها ببعض ومع الحواسيب بالإضافة لأجهزة التحكم الأخرى كمغيرات السرعة (Inverters) . كما أن تطور تقنيات لوحات التشغيل التي تعمل على اللمس (HMI) وربطها بالمتحكم المنطقي المبرمج ساهم في انتشاره وزيادة استخدامه مع الزمن بحيث أصبحت تقريبا لا تخلو أية عملية صناعية من استخدامه . وهناك العديد من الشركات المصنعة لأجهزة (PLC) مثل شركة Siemens وشركة Bradley Allen ومitsubishi وشركة Delta وشركة LG وشركة Omron وغيرها . وكل شركة من الشركات تتميز ببرمجياتها الخاصة لكنها تعطي نفس الوظيفة المطلوبة من أجهزة PLC .

أولا التركيب ومبدأ العمل:

يتكون جهاز المتحكم المنطقي المبرمج (PLC) بشكل أساسي كما هو مبين في الشكل (١) ، من :

١ وحدة المعالجة المركزية (CPU) والتي تضم وحدة الذاكرة .

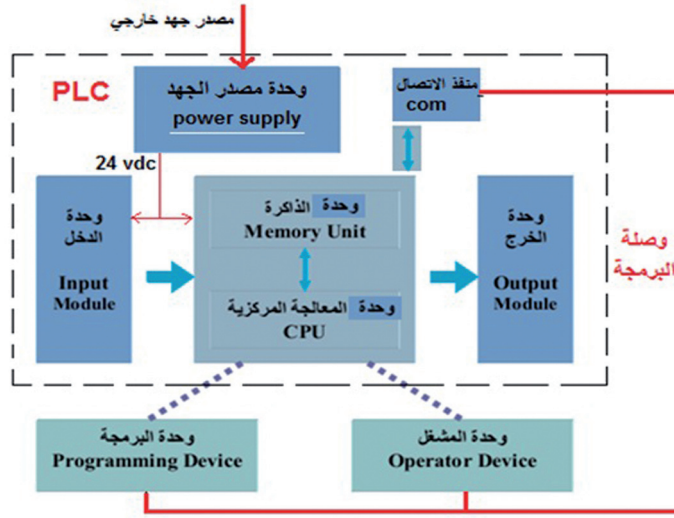
٢ وحدة المدخل (Input module) .

٣ وحدة المخرج (Output module) .

٤ وحدة مصدر الجهد (Power Supply) .

٥ منفذ (منافذ) الاتصال الخارجي (Com . Port) .

يتصل جهاز المتحكم المنطقي المبرمج (PLC) مع أي من وحدة البرمجة (Programming Device-) Computer) أو وحدة المشغل (Operator Device-HMI) أو كليهما معا بواسطة وصلات خاصة (كيبل البرمجة أو وصلة المشغل).



شكل (١) : مكونات جهاز المتحكم المنطقي المبرمج (PLC) الأساسية وملحقاتها

مبدأ عمل جهاز المتحكم المنطقي المبرمج (PLC):

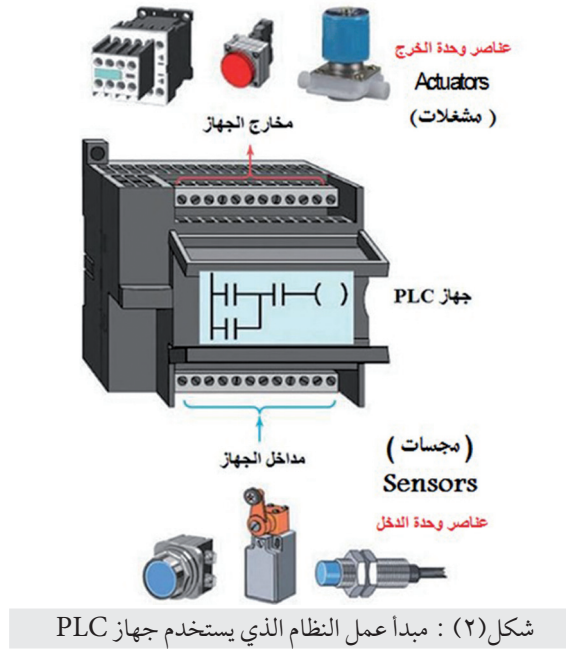
يعتمد جهاز PLC في مبدأ عمله أثناء التحكم بعمل الآلة على وجود برنامج تحكم يحدد خطوات التحكم المطلوب تنفيذها. حيث يتم حفظ هذا البرنامج في ذاكرة جهاز التحكم، وتقوم المتحكمات المنطقية المبرمجة بعملها كما هو الحال في الحاسوب وفق ثلاث مراحل وذلك على النحو الآتي:

— تقوم وحدة التحكم المركزية (CPU) في الجهاز بقراءة حالة عناصر وحدة الدخل من مجسات ومفاتيح وضواغط وغيرها المتصلة بوحدة الدخل وذلك للتعرف على الوضع الحالي للآلة أو العملية الصناعية حيث تعمل عناصر الدخل على تزويد المتحكم بالمعلومات والأوامر (الإشارات الكهربائية) عبر نقاط الدخل، كما هو مبين في الشكل (2).

— وبناءً على طبيعة الإشارات الواردة من عناصر وحدة الدخل وعلى تعليمات برنامج التحكم المخزن في ذاكرة الجهاز تقوم وحدة المعالجة المركزية بمعالجة هذه التعليمات حسب التسلسل المنطقي للأوامر داخل البرنامج المعد من قبل المستخدم.

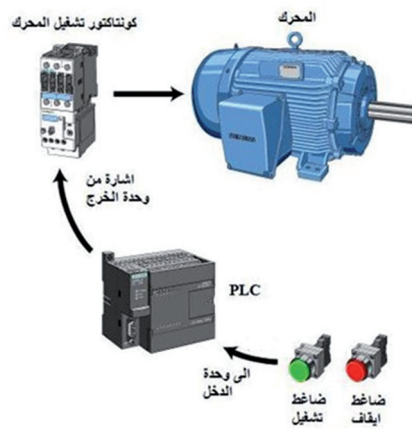
— ترسل وحدة المعالجة المركزية الإشارات الكهربائية الناتجة من المعالجة التي تمت بداخلها، إلى وحدة الخرج لتفعيل العناصر المتصلة بنقاط توصيلها، وذلك للتحكم بسير الآلة أو العملية الصناعية حسب البرنامج المعد من قبل المبرمج، أي أن وحدة الخرج هي التي تستقبل الإشارات الخارجة من جهاز PLC

وتقوم بالتحكم الفعلي بالعملية الصناعية بواسطة عناصر وحدة الخرج وبعد ذلك إلى ما يعرف بعناصر التشغيل النهائية (Final connecting Elements) كالمحركات ، والسخانات ، والاسطوانات الهوائية أو الهيدروليكية وغيرها من العناصر الفاعلة .



ولتوضيح طريقة عمل المتحكم نورد المثال التالي ، الذي يبين كيفية عمل نظام تحكم يستخدم جهاز PLC :

حيث يقوم الفني/ العامل بالضغط على ضاغط التشغيل المتصل مع وحدة الدخل لجهاز PLC ، وحسب البرنامج المخزن في ذاكرة الجهاز تقوم وحدة المعالجة المركزية (CPU) بتفعيل المخرج المتصل مع مرحل مغناطيسي لتشغيل المحرك فيعمل المحرك ، كما هو مبين في الشكل (٣) .



واعتمادا على ما سبق ، يقسم جهاز المتحكم المنطقي المبرمج (PLC) ، كما هو الحال في جهاز الحاسوب ، إلى قسمين أساسيين هما المكونات الصلبة (Hardware) ، والبرمجيات (Software) .

أولا البرمجيات : وتشتمل على البرمجيات التالية:

أ- برنامج التشغيل الأساسي للجهاز (software - PLC) : حيث تقوم الشركة الصانعة للمتحكم المنطقي المبرمج بتزويده مع الجهاز عند الشراء (CD أو يمكن تنزيله من موقع الشركة على الانترنت ، ويعتبر هذا البرنامج الواجهة التي سيتم استخدامها لبرمجة المتحكم ، وهو خاص بنوع المتحكم وبالتالي تختلف واجهة هذا البرنامج من نوع متحكم إلى آخر حسب الشركة الصانعة للجهاز .

ب- برنامج التحكم المطلوب (program) : حيث يقوم المستخدم للمتحكم المنطقي المبرمج بتصميمه وكتابته بواسطة وحدة البرمجة (الحاسوب) على واجهة البرنامج المزود من قبل الشركة الصانعة ، ومن ثم تحميله على المتحكم وتشغيله (RUNING) .

ثانيا المكونات الصلبة (PLC-Hardware)

تحتوي المكونات الصلبة للمتحكم على الأجزاء الأساسية المبينة في الشكل (١) أنواع أجهزة المتحكمات المنطقية المبرمجة :

من الجدير الإشارة هنا ، إلى انه مع مرور الزمن تطورت صناعة أجهزة المتحكمات بحيث أصبحت تصنع المكونات الصلبة لجهاز (PLC) عادة على نوعين :

أ- أجهزة المتحكم المنطقي المبرمج المتكاملة (Compact type) :

حيث تجمع المكونات الصلبة للجهاز جميعها في وحدة واحدة ، كما هو مبين في الشكل (٤) ، ويكون عدد المداخل (Inputs) وعدد المخارج (Outputs) أو كما يعرف اختصارا (I/O) في هذا النوع في العادة محدودا (٨ مداخل \ ٨ مخارج مثلا أو أكثر) ، ولذلك يستخدم هذا النوع للتحكم في الآلات والعمليات الصناعية الصغيرة نسبيا ، ويعتبر النوع الأحدث حاليا .

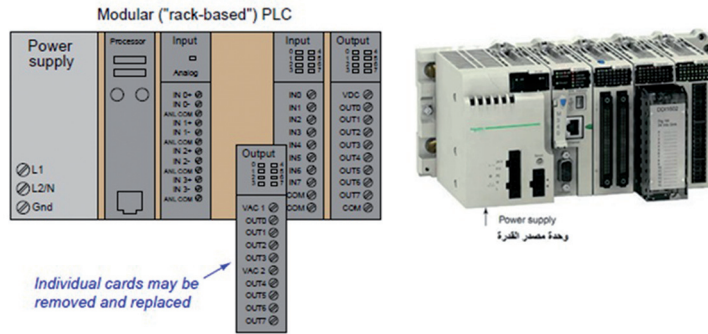


شكل (٤) : جهاز PLC متكامل

ب- أجهزة المتحكم المنطقي المبرمج المجزأة : (Moduled Type)

حيث تصنع المكونات الصلبة لهذا النوع ، من وحدات منفصلة عن بعضها البعض (cards) ، وتركب على قاعدة (جسر) ، ولكن يمكن توصيلها مع بعضها البعض بطريقة خاصة بسهولة ، وهي تتمثل في الوحدات الأساسية : وحدة لمصدر القدرة ، وحدات متعددة ومنفصلة للمداخل ، وحدات متعددة ومنفصلة للمخارج ، ووحدة المعالجة المركزية .

ويمتاز هذا النوع بإمكانية إضافة وحدات (كروت) للمداخل والمخارج حسب الحاجة ، وبالتالي فهي تستخدم في عمليات التحكم الصناعية الأكثر تعقيدا ذات البرامج الكبيرة ، ويبين الشكل (٥) شكل المتحكم المنطقي المبرمج المجزأ .



شكل (٥) : جهاز PLC من النوع المجزأ

وعادة ما يتم إضافة المكونات الصلبة التالية إلى أي نوع منهما كوحدات إضافية لجهاز PLC (وبالتالي يتم شرائها كوحدات إضافية منفصلة) للقيام بمهام محددة :

١ وحدة المشغل (وحدة التخاطب البشري) (Human Machine Interface-HMI) :

- وتسمى أيضا (شاشات اللمس)

حيث يتم توصيل هذه الوحدة بصورة دائمة مع جهاز PLC ، كما هو مبين في الشكل (٦) ، وتستخدم هذه الوحدة بعد برمجتها للحصول على الخيارات الإضافية التالية :

- ١ إعطاء أوامر التشغيل والإطفاء كضواغط تشغيل وإيقاف .
- ٢ تعديل ثوابت وقيم المؤقتات والعدادات من خلالها دون الحاجة للدخول إلى البرنامج الأساسي .
- ٣ عرض العمليات بصورة رسومية (جرافيك) مما يتيح سهولة متابعة عمل الآلة الصناعية .
- ٤ عرض وإظهار حالات الأعطال والإنذارات مع زمن حدوثها .
- ٥ عرض المتغيرات لدى تغيرها مع الزمن .



شكل (٦) : وحدة المشغل (HMI) موصولة مع جهاز PLC

٢ جهاز البرمجة (Programming Device):

وهو جهاز خاص يتم توصيلة بوحدة ال PLC لكي يستخدم فيما يلي :

● كتابة البرنامج فيه من قبل المبرمج .

● يتم بواسطته نقل البرنامج إلى وحدة ال

PLC .

فيتم أحيانا استخدام مبرمجات خاصة

في برمجة جهاز PLC ، كما هو مبين في

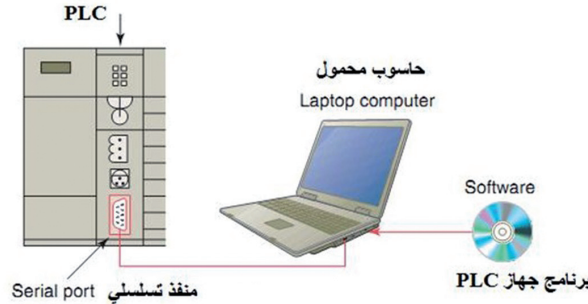
الشكل (٧) .



شكل (٧) : جهاز برمجة خاص محمول

ولكن أصبح من المتعارف عليه حاليا ،

استخدام جهاز الحاسوب في عملية برمجة المتحكم (جهاز PLC) ، كما هو مبين في الشكل (٨) .

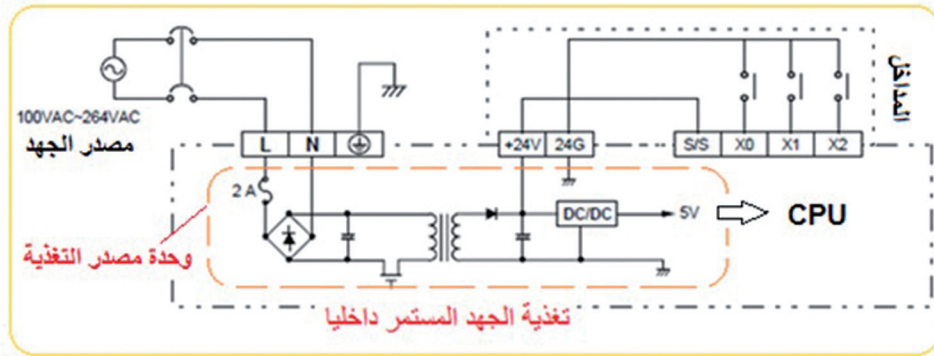


شكل (٨) : استخدام الحاسوب في برمجة المتحكم المنطقي المبرمج (PLC) من خلال منفذ الاتصال التسلسلي (RS 232)

تحدد وظيفة الأجزاء الرئيسية في جهاز المتحكم المنطقي المبرمج (PLC) فيما يلي :

١-٣ وظيفة وحدة مصدر التغذية (القدرة) لجهاز ال (PLC) :

تتلخص وظيفة وحدة مصدر القدرة (المفتاحي) داخل جهاز المتحكم في تحويل مصدر الجهد المتناوب إلى مصدر جهد مستمر يعطي جهودا بقيمة (٢٤ فولت مستمر وجهد ٥ فولت مستمر) كما هو مبين في المخطط الملون باللون المتقطع في الشكل (٩) . وعند توصيل المتحكم مع مصدر الجهد المتناوب ، يجب التأكد من أن تغذية المتحكم تتم من خلال قاطع آلي ذو مقرر مناسب (عادة من ٢ - ٦) أمبير أو حسب مخطط التوصيل للمتحكم المستخدم .



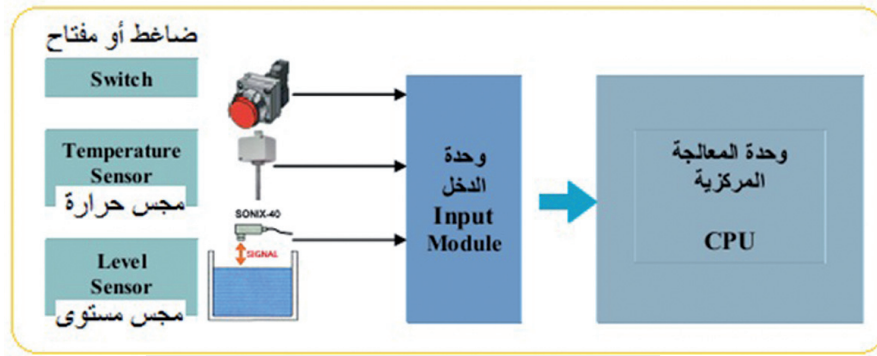
شكل (٩) : مخطط كهربائي لبيان وظيفة مصدر التغذية لجهاز متحكم منطقي مبرمج (PLC)

لاحظ من خلال المخطط الكهربائي أعلاه ، أن معظم مكونات المتحكم معزولة كهربائيا بعضها عن بعض وان أي عطل في أي جزء من هذه الأجزاء لا يؤثر على بقية الأجزاء . كذلك لاحظ أن مداخل المتحكم كثيرا ما تعمل على جهد مستمر (24 فولت) - ومشار له في المخطط بالنقطتين (24V+ \ 24G) - وهي بالتالي قد تؤمن التغذية لبعض أنواع المجسات التي تعمل بنفس الجهد (24vdc) وذات التيار القليل ، بينما تغذى وحدة المعالجة المركزية (CPU) والدوائر المتكاملة ودوائر المنطق الموجودة داخل جهاز ال (PLC) بجهد منظم مقداره (5V) فولت مستمر فقط .

وهنا لا بد من الإشارة أيضا إلى أن فكرة (PLC) قد نشأت من أنظمة التحكم التقليدية وعناصرها التي كان يتم التحكم بها بواسطة الريليات والمؤقتات والعدادات الفيزيائية التي كانت تعمل بجهود عالية نسبيا هذه العناصر قد استبدلت في جهاز المتحكم بمثيلاتها من الدوائر المتكاملة والمنطقية ، والتي أصبحت تعمل بجهود منخفضة نسبيا ، وهذا مما أتاح إمكانيات أوسع للتحكم وخاصة باتصاله بجهاز الحاسوب .

١-٢-٣ أنواع وحدات الدخل للمتحكم المنطقي المبرمج:

إن أي جهاز يتم ربطه مع مدخل المتحكم ، ويستطيع إرسال إشارة ل (PLC) يسمى جهاز إدخال (Input device) ، وعادة ما تصنف هذه الأجهزة بالمجسات (sensors) ، والمجس هو عبارة عن عنصر إدخال يقوم بتحويل الحالة الفيزيائية إلى إشارة كهربائية ليتم استعمالها في وحدة ال- PLC .
ومن أمثلة المجسات التي توصل بمدخل وحدة ال- PLC : ضاغط ، مجس قياس درجة الحرارة ، ومجس قياس مستوى السائل ، كما هو مبين في الشكل (١٠) .

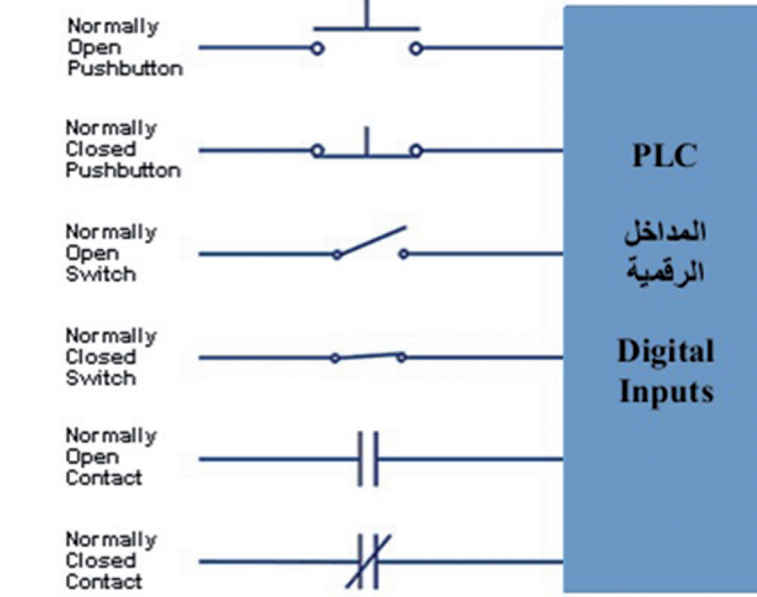


شكل (١٠) : وحدة الدخل في جهاز PLC

إن الإشارة التي يرسلها عنصر الإدخال تسمى إشارة مدخل (Input Signal) ، حيث تدخل الإشارة ل (PLC) من مكان ربطها ، وتسمى نقطة إدخال (Input Point) ، وهي موجودة في مكان ما في الذاكرة ، وتعكس حالة الإشارة (on ، off) مثلاً ، وهذا الموقع في الذاكرة يسمى (Input bit) .
وكما هو مبين في الشكل (١٠) أعلاه ، تقوم وحدة الدخل باستقبال الإشارات المرسله من هذه العناصر وتقوم بتحويلها إلى إشارات منطقية يمكن أن تتعامل معها وحدة المعالجة المركزية (والتي تتعامل فقط مع إشارات دخل رقمية) ، ولكن ما هي أنواع الإشارات التي يمكن أن ترسلها عناصر الإدخال للمتحكم المنطقي وكيف تختلف عن بعضها البعض ؟

تصنف الإشارات الكهربائية بشكل عام إلى نوعين رئيسيين هما إشارات رقمية وأخرى تماثلية ، وبناء عليه ، يمكن أن تقسم وحدات الدخل في أجهزة ال (PLC) إلى نوعين حسب طبيعة الإشارات التي تستقبلها :

تتعامل المداخل الرقمية في جهاز المتحكم مع الإشارات الصادرة من المجسات التي تكون إما في الحالة (ON) أو (OFF) مثل : الضواغط (Push Buttons) ، والمفاتيح الحدية (Limit Switch) بأنواعها ، والمفاتيح التقاربية (Proximity Switches) الحثية والسعوية ، والملامسات المفتوحة (NO) والمغلقة (NC) ، والشكل (١١) يبين رموز بعض منها .



الشكل (١١) : رموز بعض العناصر التي توصل بالمداخل الرقمية لوحدة PLC

ويمكن أن تعمل وحدات الدخل بجهود مستمرة (DC) أو متغيرة (AC) وبقيم جهود متنوعة حسب الشركة الصانعة . ويختلف عدد نقاط المداخل الرقمية المتوفرة في كل جهاز PLC من جهاز إلى آخر (وهنا يأتي التنافس بين الشركات المصنعة لأجهزة المتحكمات المبرمجة) .

ولكل نقطة دخل عنوان خاص (Address) ، ويستخدم هذا العنوان من أجل مراقبة أو قراءة حالة المدخل من خلال برنامج التحكم الذي يقوم المستخدم بتحميله للجهاز ، ولأغراض مراقبة عناوين الدخل ، تزود الواجهة الأمامية للمتحكم أو الواجهة الأمامية لوحدة الدخل بوحدة إظهار مكونة من ثنائيات مشعة للضوء (LEDs) ، وعادة ما تكون باللون الأخضر ، وذلك لبيان وصول إشارة دخل إلى كل نقطة في وحدة الدخل .

تحتوي معظم أجهزة المتحكمات بالإضافة للمداخل الرقمية ، على عدد من المداخل التماثلية تستخدم لتوصيل الإشارات الكهربائية متغيرة القيمة ، حيث تتعامل هذه المداخل التماثلية مع المجسات التي تتحسس القيم المتغيرة

مثل مجسات قياس درجة الحرارة ، و قياس مستوى السوائل ، و قياس السرعة ، وذلك بعد تحويل الحالة الفيزيائية للقيمة المقاسة إلى إشارة كهربائية متغيرة ضمن القيم القياسية التالية :

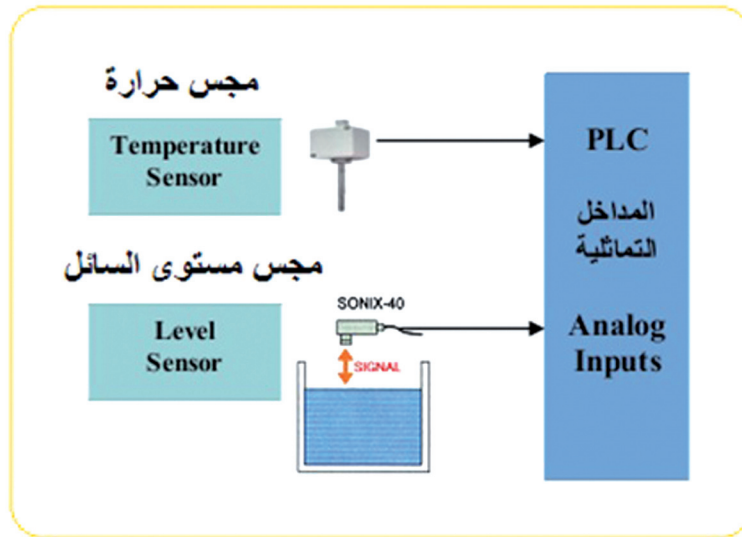
● وحدات إدخال تيار (0 - 20mA) أو (4 - 20mA) .

● وحدات إدخال فرق جهد (0 - 10V) .

● وحدات إدخال توصل مباشرة مع المجسات التي تعتمد على تغير مقاومتها عند قياس المتغيرات الفيزيائية مثل المجس (الكاشف) الحراري PT100 .

● وحدات إدخال خاصة بالازدواج الحراري مثل : J ، K .

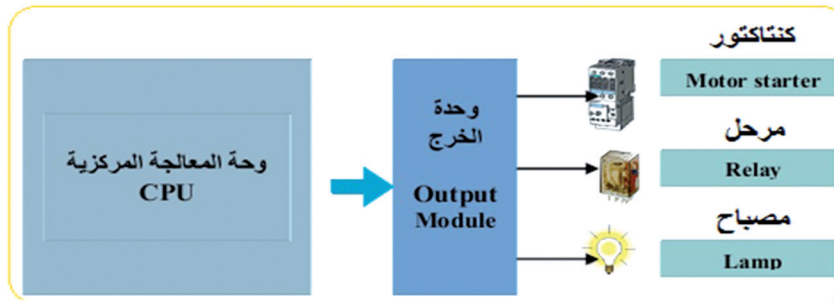
ويبين الشكل (12) ، بعض أنواع المجسات التي توصل بالمدخل التماثلية لوحدة الـ PLC .



شكل (١٢): مجس لقياس مستوى السائل متصل مع وحدة دخل تماثلية

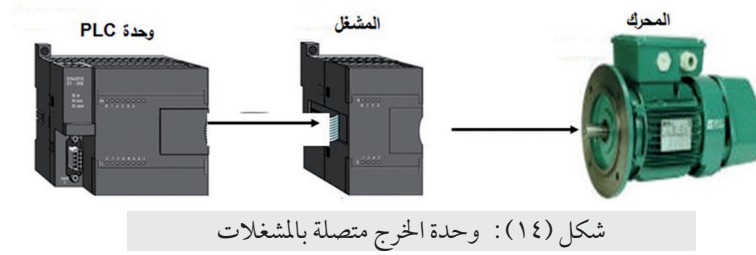
٢-٢-٣ أنواع وحدات الخرج للتحكم المنطقي المبرمج :

تقوم وحدة الخرج باستقبال تعليمات التحكم المنطقية المرسلة من وحدة CPU وتحويلها إلى إشارات رقمية أو تماثلية يمكن استخدامها للتحكم في مجموعة متنوعة من الأجهزة (المشغلات) (Actuators)، كما في الشكل (١٣).



شكل (١٣): وحدة الخرج في جهاز PLC

والمشغل : هو عبارة عن أداة تقوم بتحويل الإشارة الكهربائية الصادرة من وحدة الـ PLC إلى حالة فيزيائية (فهو يعمل بعكس المجس على المدخل) ، ويتم توصيل المشغلات بوحدة الخرج لوحدة الـ PLC ، من أمثلة المشغلات القاطع الكهرومغناطيسي (أو المرحل) لتشغيل المحرك الكهربائي مثلا ، كما في الشكل (١٤) .



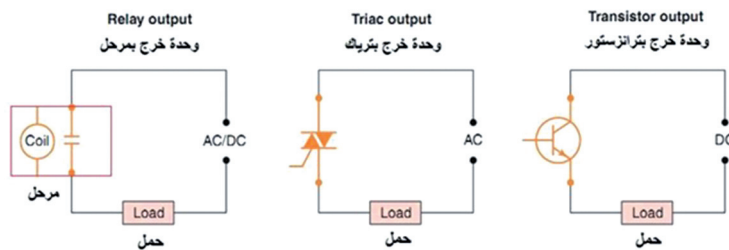
وكذلك ، يمكن أن تقسم وحدات الخرج إلى نوعين :

١ المخرجات الرقمية: Digital Outputs

حيث تأخذ إشارة الخرج فيها حالتان إما مفعّل (ON) أو غير مفعّل (OFF) ، مثل : المصابيح ، وملفات المرحلات ، والقواطع الكهربائية ، والصمامات (Solenoids) التي توصل بالمخرجات الرقمية لوحدة الـ PLC ، وتأتي المخرجات الرقمية لأجهزة الـ PLC بعدة أنواع :

- ١ وحدة خرج بمرحل (Relay) : وتستخدم للمخرجات للعمل على الجهود المستمرة والمتغيرة .
- ٢ وحدة خرج بترياك (Triac) : وتستخدم للمخرجات التي تعمل على الجهود المتغيرة فقط .
- ٣ وحدة خرج بترانزستور (Transistor) : وتستخدم للمخرجات التي تعمل على الجهود المستمرة فقط .

ويبين الشكل (١٥) ، أنواع وحدات الخرج الرقمية .



هذا ويجب الانتباه إلى نوع المتحكم المستخدم لمعرفة أي نوع من الأنواع الثلاثة السابقة يدعم هذا المتحكم على مخرجه . (R ، T ، ...) .

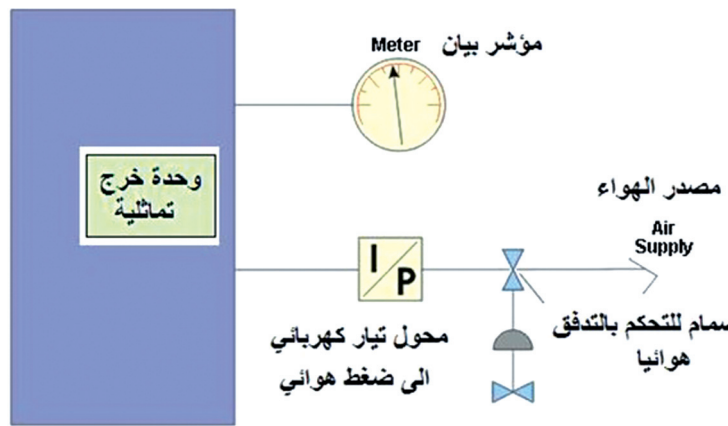
ولكل نقطة إخراج عنوان خاص ، ويستخدم هذا العنوان من أجل تشغيل المخرج المطلوب من خلال برنامج التشغيل ، ويتحدد هذا العنوان من قبل الصانع .

وكذلك يوجد على الواجهة الأمامية لجهاز PLC أو على الواجهة الأمامية لوحدة الخرج ، وحدة إظهار مكونة من ثنائيات مشعة للضوء (ذات لون احمر) ، وذلك لبيان وصول إشارة خرج إلى كل نقطة في وحدة الخرج من CPU .

نشاط : قارن بين أنواع وحدات الخرج المختلفة من حيث : سرعة الوصل والوصل \ تحمل التيار \ العزل الكهربائي ؟

٢ المخرج التماثلية : Analog Outputs

يتم فيها تحويل الإشارة المنطقية المرسلة من وحدة المعالجة المركزية إلى إشارة تماثلية متغيرة (تيار أو جهد) : من (0 - 10V) أو من (0 - 20 mA) أو من (4 - 20 mA) ومن ثم ترسل الإشارة التماثلية إلى الأجهزة التي يتم التحكم بها والتي تتعامل مع هذا النوع من الإشارات ، مثل مؤشر بيان للسرعة ، أو درجة الحرارة ، أو صمامات ((Solenoids التحكم في التدفق الموصلة مع المخرج التماثلية لوحدة PLC . وبين الشكل (١٦) ، توصيل وحدة خرج تماثلية موصولة مع مؤشر بيان للتحكم في تدفق الهواء المضغوط في أنظمة التحكم الهوائي .



شكل (١٦) : وحدة خرج تماثلية موصولة مع عناصر خرج تماثلية

٣-٣ وحدات الدخل والخرج العاملة بالتيار المستمر (dc) :

تصنف عناصر الدخل وعناصر الخرج العاملة بالتيار المباشر (DC) إلى نوعين بالنسبة لاتجاه التيار هما :

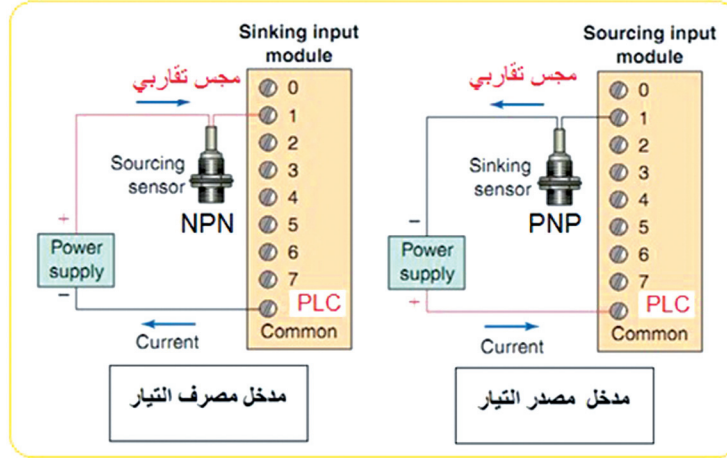
● Current Sourcing device (عنصر مصدر للتيار) .

● Current Sinking device (عنصر مصرف للتيار) .

ففي بعض عناصر الدخل مثلا ، كالمجسات التقاربية (التي تعمل بجهد مستمر من ٦-٣٦ فولت مستمر) تأتي هذه المجسات على نوعين إما (NPN أو PNP) ، وهذا ما يجعل من الضروري توصيلها بطريقة معينة مع وحدات الدخل تبعا لاتجاه التيار المار بها .

وبناء عليه، تأتي وحدات الدخل العاملة بالتيار المستمر (DC) في أجهزة PLC على نوعين :

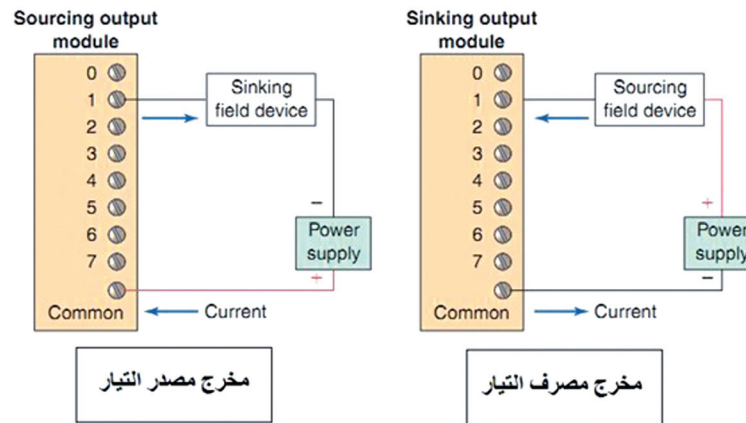
- مدخل مصرف التيار : (NPN) (Current Sinking Input) وفيه يمر التيار من المجس إلى مدخل جهاز PLC عندما يتم تفعيل إشارة المدخل ، كما في الشكل (17).
- مدخل مصدر التيار : (PNP) (Current Sourcing Input) وفيه يمر التيار من مدخل PLC إلى المجس عندما يتم تفعيل إشارة المدخل ، كما في الشكل (17).



شكل (١٧) : نوعي وحدات الدخل الرقمية (DC) بالنسبة لاتجاه التيار

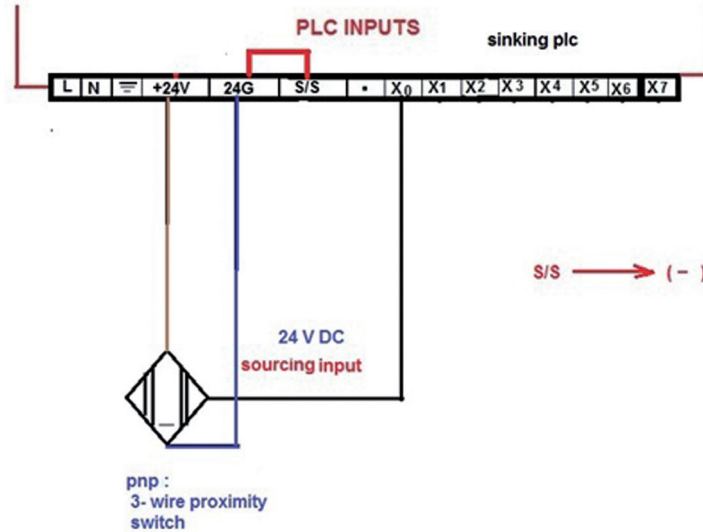
كذلك فان وحدات الخرج العاملة بالتيار المستمر (DC) في أجهزة PLC تأتي على نوعين :

- مخرج مصرف التيار (NPN) (Output Sinking Current) : وفيه يمر التيار من الحمل (عنصر الخرج) إلى مخرج PLC عندما يتم تفعيل المخرج ، كما في الشكل (18).
- مخرج مصدر التيار (PNP) (Output Sourcing Current) : وفيه يمر التيار من مخرج PLC إلى الحمل (عنصر الخرج) عندما يتم تفعيل المخرج ، كما في الشكل (18).

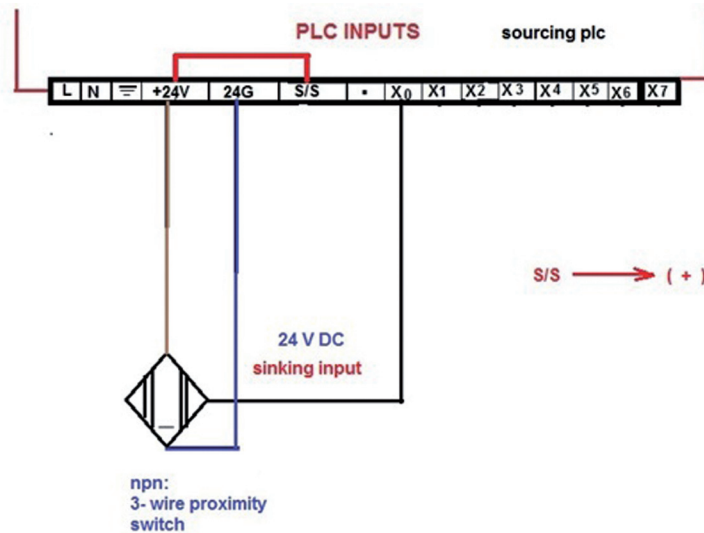


شكل (١٨) : نوعي وحدات الخرج الرقمية (DC) بالنسبة لاتجاه التيار

ولكن السؤال هنا : ما هي أهمية معرفة نوع المجس مثلا لكي يتم توصيله مع مدخل جهاز ال PLC ؟
للإجابة على هذا السؤال نورد كلا من الشكلين التاليين (١٩ ، ٢٠) اللذين يوضحان طريقة توصيل مجسات تقاربيه بنوعيهما (PNP و NPN) وهي مجسات ذات ثلاثة أطراف تعمل بجهد (٢٤ DC) مع مدخل المتحكم في كل نوع .



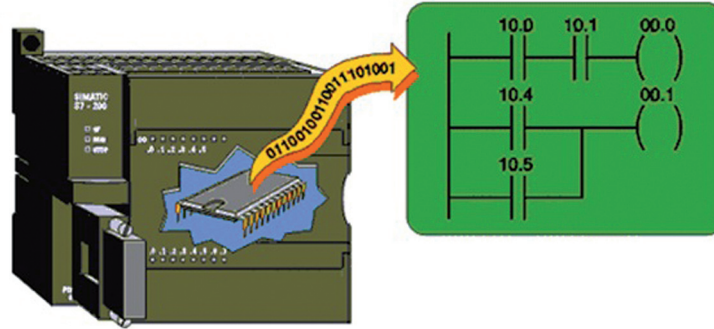
شكل (١٩) : طريقة توصيل مجس تقاربي ذي ثلاثة أطراف من نوع (PNP) مع مدخل ال PLC



شكل (٢٠) : طريقة توصيل مجس تقاربي ذي ثلاثة أطراف من نوع (NPN) مع مدخل ال PLC

ملاحظة : النقطة المبينة في الرسم في الشكلين السابقين وهي (S/S) - وأحيانا تعطى الرمز (-com) ، تعد اختصارا للكلمتين هما (Sink ، Source) ، وهي بالتالي التي تحدد طريقة توصيل مداخل ال PLC (إما Source أو Sink) .

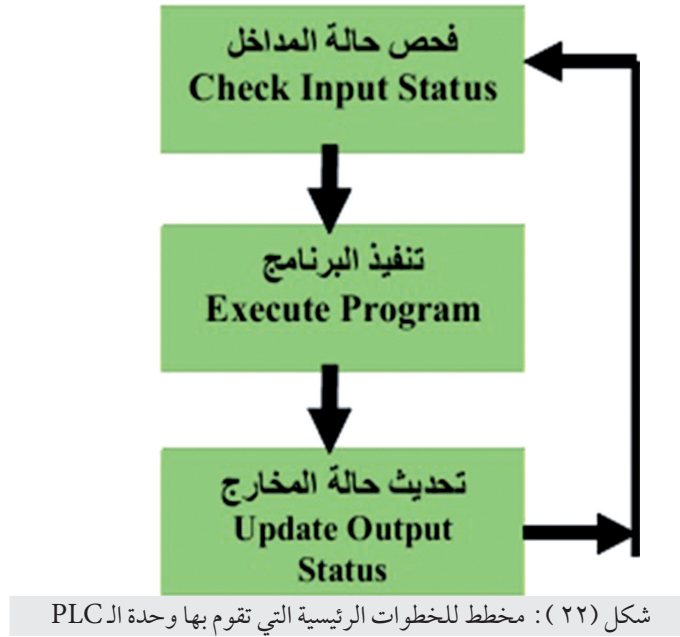
تعتبر وحدة المعالجة المركزية (CPU) في جهاز الـ PLC هي مركز اتخاذ القرارات ، وهي عبارة عن معالج دقيق (Microprocessor) يحتوي على ذاكرة النظام ، كما في الشكل (٢١) ، وتتلخص وظيفتها الأساسية (كما مر معك سابقاً) في مراقبة المداخل ومن ثم اتخاذ القرارات على المخارج بناء على الأوامر المعطاة من البرنامج المخزن في ذاكرة النظام .



شكل (٢١) : وحدة المعالجة المركزية داخل جهاز PLC

حيث تبدأ وحدة CPU في جهاز الـ PLC من لحظة إعطاء أمر التشغيل (RUN) لتنفيذ التعليمات المخزنة في الذاكرة . بإجراء عملية مسح مستمر (Scanning) للبرنامج المخزن ، ويمكن اعتبار أن عملية المسح تتكون من ثلاث خطوات رئيسية مهمة (حقيقةً توجد أكثر من هذه الخطوات ولكن تعتبر هذه الخطوات هي الأهم) وهي كالتالي :

- **الخطوة الأولى :** فحص حالة المداخل - حيث تقوم وحدة الـ PLC بفحص حالة كل مدخل وذلك لتحديد ما إذا كانت في وضعية (ON أو OFF) ثم تقوم بتخزين البيانات في الذاكرة لاستعمالها في الخطوة التالية .
 - **الخطوة الثانية :** تنفيذ البرنامج - حيث تقوم وحدة الـ PLC بتنفيذ البرنامج بعد تحديد حالة المداخل وقراءة أوامر البرنامج المترتبة على كل حالة من حالات كل مدخل ومن ثم تخزين نتائج التنفيذ لاستخدامها في الخطوة التالية .
 - **الخطوة الثالثة :** تحديث حالة المخارج - حيث تقوم وحدة الـ PLC بتحديث حالات المخارج وفقاً لأوامر البرنامج الصادرة في الخطوة الثانية .
- بعد الانتهاء من الخطوة الثالثة تقوم وحدة الـ PLC بالرجوع للخطوة الأولى لتعيد نفس الخطوات بصورة مستمرة . وهذا بالتالي يقودنا لتعريف ما يسمى بزمن المسح الواحد على أنه الزمن الذي تأخذه وحدة الـ PLC لتنفيذ الخطوات الثلاث المذكورة سابقاً .



أما العمليات الأساسية التي يمكن أن يقوم بها جهاز ال PLC من اجل تنفيذ برامج التحكم للمستخدم ، فهي كما يلي :

● العمليات المنطقية : (Logic operations)

● عمليات القراءة والعد من خلال العدادات : (counters)

● تحديد زمن إجراء العمليات من خلال المؤقتات : (Timers)

● مقارنة البيانات بعضها ببعض : (Comparators)

● العمليات الحسابية : (ALU)

● تخزين البيانات في ذاكرة الجهاز : (memory)

وتساعده بالقيام بهذه العمليات ذاكرة الجهاز (ومن المهم هنا معرفة سعتها التخزينية لكل جهاز متحكم) التي تحتوي على البرامج الأساسية لعمل الجهاز ، بالإضافة إلى برنامج التحكم المرفق من الشركة والذي يقوم المستخدم بتحميله للجهاز .

ويوجد نوعين رئيسيين من الذاكرة في وحدة ال PLC :

١ الذاكرة العشوائية (RAM) : وهي الذاكرة التي يمكن إدخال البيانات (DATA) لها مباشرة من أي عنوان (Address) ، حيث أنه يمكن كتابة وقراءة البيانات من هذه الذاكرة . وهي ذاكرة غير دائمة ، أي مؤقتة ، وهذا يعني أن البيانات المخزنة فيها ستفقد في حالة فقد الطاقة الكهربائية المشغلة لها ، ولذلك يتم تركيب بطارية لتجنب فقد البيانات في حالة فصل مصدر الطاقة الرئيسي عن الجهاز .

٢ ذاكرة القراءة فقط (ROM): وهي الذاكرة التي يمكن قراءة البيانات منها، ولكن لا يمكن كتابة

البيانات عليها. هذه الذاكرة تستخدم لحماية البيانات أو البرامج المخزنة فيها من المسح، وهي ذاكرة دائمة، وهذا يعني أن البيانات المخزنة فيها لن تفقد في حالة فقد الطاقة الكهربائية.

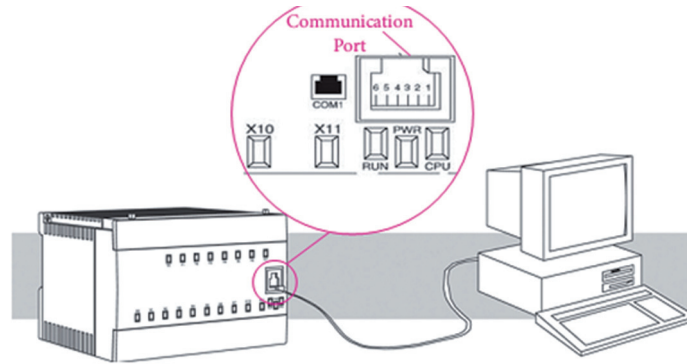
وتنقسم هذه الذاكرة إلى:

أ ذاكرة القراءة فقط القابلة للمسح (EPROM): وهي ذاكرة للقراءة فقط ولكن يمكن مسح البيانات منها وذلك بتعريضها للأشعة فوق البنفسجية لتصبح جاهزة لاستقبال بيانات جديدة بواسطة كاتب بيانات خاص بها.

ب ذاكرة القراءة فقط القابلة للمسح والبرمجة إلكترونياً (EEPROM): وهي كذلك ذاكرة للقراءة فقط ولكن يمكن أن يتم مسح البيانات المخزنة بها وذلك بوضعها على (صيغة عدم الحماية) (Unprotected Mode) ومن ثم إدخال بيانات جديدة لها.

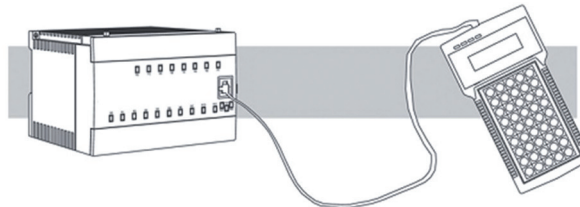
ثالثاً طرق برمجة جهاز المتحكم المنطقي المبرمج (PLC):

يمكن برمجة المتحكم المنطقي بواسطة ربط المتحكم مع جهاز الحاسوب مباشرة كما في الشكل (٢٣)، ويتم كتابة البرنامج المراد تشغيله، وبعد الانتهاء من كتابة البرنامج وترجمته يتم تنزيله إلى المتحكم لتشغيله.



شكل (٢٣): ربط المتحكم مع جهاز الحاسوب مباشرة

كذلك يمكن برمجة المتحكم بواسطة وحدات يدوية محمولة كما في الشكل (٢٤)، مما يتيح سهولة التعامل مع المتحكم في موقع التشغيل دون الحاجة إلى حمل جهاز الحاسوب.

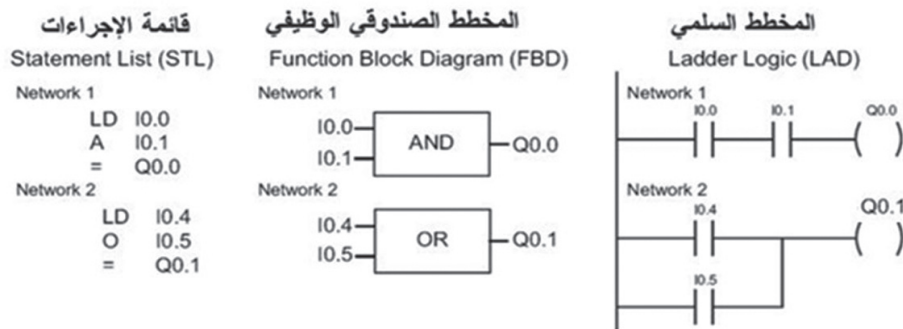


شكل (٢٤): برمجة المتحكم بواسطة وحدات يدوية محمولة

بالإضافة إلى هذه الطرق يمكن برمجة المتحكم عن بعد ، وذلك بتوصيله مع خط تليفون ، أما بالنسبة للغات البرمجة التي تتعامل معها المتحكمات المنطقية ، فهناك ثلاثة لغات تستخدم لبرمجة المتحكم وهي :

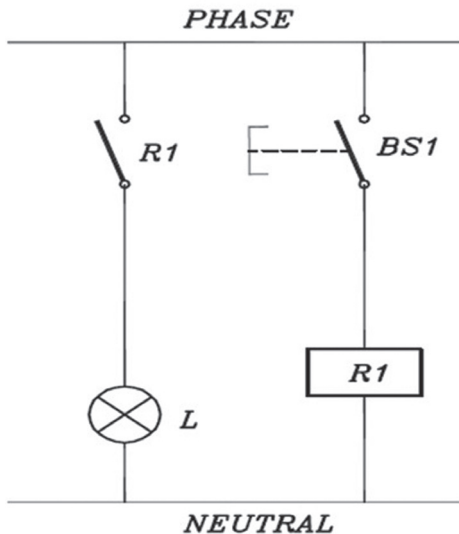
- ١ المخطط السلمي (Ladder Diagram) ويرمز له اختصارا (LAD)
- ٢ قائمة الإجراءات (Statement List) ويرمز لها اختصارا (STL)
- ٣ المخطط الصندوقي الوظيفي (Function Block Diagram) ويرمز له اختصارا (FBD)

سنتناول لغة السلم (الأكثر استخداما) بشيء من التفصيل ، وذلك لسهولة التعامل معها في هذه المرحلة ولعلاقتها المباشرة بدوائر التحكم باستخدام المرحلات والقواطع المغناطيسية ، وما يميزها أنه يتم التعامل معها كرسم ولكن بشكل أفقي ، ويتم تحويلها بعد ذلك إلى أوامر يستطيع المتحكم المنطقي فهمها ، كما في الشكل (٢٥) .



شكل (٢٥) : طرق برمجة المتحكم المنطقي المبرمج

لغة السلم : Relay Ladder Logic (RLL)



شكل (٢٦) : رسم مخطط لدائرة تحكم تقليدي

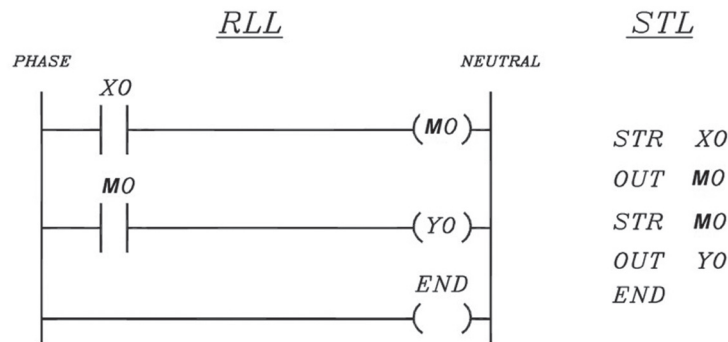
لغة السلم هي اللغة الأقرب والأسهل للمستخدم إذ أنها تشبه تماما طريقة رسم دوائر التحكم التقليدية باستخدام المرحلات (كما مر معك سابقا) كما هو مبين في الشكل (٢٦) ولكن بشكل أفقي . حيث يمثل الشكل تشغيل مرحل بواسطة ضاغط تشغيل ، وعندما يعمل المرحل يغلق التلامس التابع له ، فيعمل على إغلاق الدارة الكهربائية للمصباح .

ولفهم هذه اللغة علينا أولاً مقارنة الرموز المستخدمة في المتحكم مع تلك باستخدام المرحلات كما في الشكل (٢٧) .

<i>RELAY</i>	<i>PLC</i>	<i>MEANING</i>
		<i>NO CONTACT</i>
		<i>NC CONTACT</i>
		<i>OUTPUT</i>

شكل (٢٧) : مقارنة الرموز المستخدمة في التحكم التقليدي بتلك المستخدمة بلغة السلم للمتحكم

وباستخدام لغة السلم يتم إعادة رسم دائرة التحكم في إنارة المصباح كما في الشكل (٢٦) .



شكل (٢٨) : كتابة برنامج متحكم منطقي بلغة السلم (RLL) وبلغة الأوامر (STL) لدائرة إنارة مصباح

وهنا لا بد من تسجيل الملاحظات الأساسية التالية :

١ X : وهو عبارة عن متغير يمثل إشارة المدخل INPUT ، ويمكن الحصول عليها بواسطة مفتاح ، ضاغط ، تلامس مرحل ، أو مجس الكتروني بالإمكان أن يعطي إشارة على المدخل ، ويمكن أن تجد تسميات أخرى لإشارة المدخل مثل (I0.0) حسب نوع المتحكم المستخدم .

٢ M : متغير يمثل مرحلا منطقيا (غير فيزيائي) ويمكن أن تجد تسميات أخرى لهذه المرحلات المنطقية ، ولهذه المرحلات المنطقية عدد لا نهائي من التلامسات المنطقية التابعة لها (كما هو الحال في التلامس إلى يسار البرنامج في السطر الثاني في الشكل السابق) ، ويتم التعامل مع هذه التلامسات كمدخل كما في السطر الثاني .

٣ Y : متغير يمثل إشارة المخرج OUTPUT من المتحكم ، ويمكن أن توصل مع مرحل ، قاطع مغناطيسي ، ولمبة إشارة وغيرها من الأجهزة التي يمكن أن تأخذ إشارة مخرج من المتحكم ،

ويمكن أن تجد لهذا المتغير تسميات أخرى مثل (Q0.0).

٤ لاحظ طريقة الرسم الأفقية وأهمية التسميات التي تختلف من نوع متحكم إلى آخر مع العلم انه يجب التقيد التام بهذه التسميات لكل نوع .

٥ في بعض برامج تشغيل المتحكمات يجب أن ينتهي البرنامج المكتوب بلغة السلم بالأمر END .

٦ يمكن كتابة البرنامج كذلك بلغة الأوامر مباشرة ، ولكن كما أسلفنا سابقا يمكن الحصول على البرنامج مكتوبا بلغة الأوامر بعد ترجمة البرنامج المكتوب بلغة السلم من قبل برنامج تشغيل المتحكم على شاشة الحاسوب .

٧ الخط العمودي الأيسر يمثل الخط الحي (L) أو (+) .

٨ الخط العمودي الأيمن يمثل الخط المتعادل (N) أو (-) .

٩ الرموز الموجودة على الطرف الأيسر من السلم المنطقي تمثل المداخل (Input) والرموز الموجودة على الطرف الأيمن تمثل المخارج (Outputs) .

١٠ مخطط السلم المنطقي يقرأ من اليسار إلى اليمين ، ومن الأعلى إلى الأسفل ،

١١ ليمر التيار (منطقيا) من اليسار إلى اليمين ، يجب أن تكون الحالة المنطقية (1) أي (True) في المسار ((يسمى Rung) وأحيانا يعرف ب (Network #)) بين العمودين المتوازيين الجانبيين ، وبالتالي يتم تفعيل المخارج .

١٢ في حالة وجود الحالة المنطقية (0) أي (False) في المسار فإن التيار (منطقيا) لن يمر من اليسار إلى اليمين وبذلك فإن المخارج لن تفعل .

رابعاً الرموز المستعملة في مخطط السلم المنطقي :

تتكون لغة البرمجة بالسلم المنطقي لوحدة ال PLC من مجموعة من الرموز تستخدم لتمثل عناصر التحكم والتعليمات ويجب أن نعلم أن هذه الرموز ليست عناصر فيزيائية بل هي عبارة عن برمجيات (software) وهي كالتالي :

١ الملامسات (Contacts): وهي من أكثر الرموز المستعملة في البرمجة

١-١ الملامسات المفتوحة طبيعياً (NO) Normally Open Contacts

تكون الحالة المنطقية لهذا الملامس (True) (مغلق أو في وضع التوصيل) عندما تكون حالة البت (BIT) الذي يتحكم في هذا الملامس (١) والعكس صحيح ، كما هو مبين في الشكل (٢٩) .



شكل (٢٩): الملامسات المفتوحة عادة ووضعها في حالة التوصيل (١)

تكون الحالة المنطقية لهذا الملاسم (True) (مغلق أو في وضع التوصيل) عندما تكون حالة البت (BIT) الذي يتحكم في هذا الملاسم (0) والعكس صحيح ، كما هو مبين في الشكل (٣٠).



شكل (٣٠): الملاسمات المغلقة عادة ووضعها في حالة التوصيل (٠)

٢ الضواغط : (push buttons)

من الضروري ملاحظة أن المتحكمات المنطقية المبرمجة لا تتعامل مع الضواغط بنفس الطريقة التي نفهمها عند التعامل معها في دوائر التحكم التقليدية (كما مر معنا سابقاً) ، بمعنى أنها عبارة عن ضواغط فيزيائية في المخطط الكهربائي ، ولكنها في المقابل تصبح عبارة عن ملاسمات منطقية (غير فيزيائية) في المخطط السلمي وتتغير حالة البت التي تمثلها تبعاً لتفعيلها من عدمه .

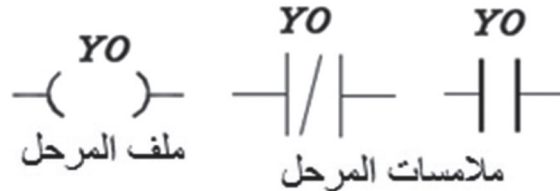
١-٢ ضواغط الإيقاف :

ضابط الإيقاف هو عبارة عن ملاسم مغلق في الوضع الطبيعي (NC) ، لذلك إذا ما أردنا توصيله مع مدخل المتحكم فانه سوف يتم تمثيله كملاسم مفتوح (+) في المخطط السلمي .

٢-٢ ضواغط التشغيل :

ضابط التشغيل هو عبارة عن ملاسم مفتوح في الوضع الطبيعي (NO) ، لذلك إذا ما أردنا توصيله مع مدخل المتحكم فانه سوف يتم تمثيله كملاسم مفتوح (+) في المخطط السلمي أي يبقى كما هو .
لذلك نستنتج أن المتحكمات لا تتعامل مع الضواغط كما هي في الواقع وإنما تتعامل مع حالتها المنطقية وبالتالي لا يهم إذا ما كان الضابط المستخدم فعلياً على مدخل المتحكم هو ضابط تشغيل أو ضابط إيقاف بقدر ما يهم حالة البت (bit) التي يمثلها في المخطط السلمي في تلك اللحظة ، وبالتالي يمكن استخدام احد نوعي الضواغط ليقوم بدور الآخر طالما يتم تمثيله في المخطط السلمي كما تم توضيحه آنفاً .

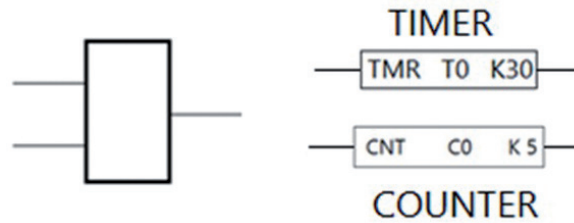
ملفات المرحلات تمثل الحاكمت (Relays) التي يتم تفعيلها (energized) عندما تتدفق الطاقة إليها، عندما يتم تفعيل الملف يؤدي ذلك إلى تشغيل المخرج (output) المتعلق بهذا الملف وذلك بتغيير حالة البت (bit) الذي يتحكم فيها هذا المخرج إلى المنطق (1). كما أنه يمكن أن يكون لهذا الملف عدد من الملامسات contacts المفتوحة والمغلقة (NC & NO) والتي ستتغير حالتها عند تفعيل الملف ، كما في الشكل (٣١).



شكل (٣١): رمز ملفات المرحلات ورمز ملاسماتها المغلقة والمفتوحة

٣ الصناديق (Boxes)

تمثل الصناديق عدة تعليمات أو وظائف والتي يتم تنفيذها عندما تتدفق الطاقة إلى الصندوق . نموذجياً الصناديق تمثل المؤقتات (timers) والعدادات (counters) والعمليات الحسابية (math operations). كما هو مبين في الشكل (٣٢).



شكل (٣٢): رمز الصناديق

ومن الجدير ذكره أن إتباع لغة الأوامر تختلف من شركة مصنعه لأخرى ، لذلك لن التطرق إليها هنا .

٤ المتغيرات التي يتعامل معها المتحكم :

تختلف مسميات المتغيرات التي تتعامل معها برمجة المتحكم باختلاف نوعه ، ولكن تشابه جميعاً بالاستخدام وطريقة العمل ، وحتى لا تختلط الأمور وإذا كان المتحكم المستخدم لا يتعامل مع هذه المسميات ، يمكن وبسهولة مقارنة هذه المسميات مع مسميات المتحكم الذي تستخدمه لبدء عملية البرمجة بلغة السلم فهي متشابه للجميع . للمداخل ، وللمخارج ، وللمرحلات المنطقية ، والمرحلات المبرمجة سابقاً ، وللعدادات ، وللمؤقتات ، وإلى غير ذلك من المتغيرات التي يستطيع كل نوع تقديمه ، إذ تتنافس الشركات الصانعة تحديداً في هذا المجال . والشكل (٣٣) يبين بعض هذه المتغيرات لأحد هذه الأنواع .

NAME/ MEMORY TYPE	DISCRETE REFERENCE	SYMBOL	NAME/ MEMORY TYPE	DISCRETE REFERENCE	SYMBOL
INPUT	X	$\begin{array}{c} X0 \\ \text{---} \end{array}$	TIMER STATUS BIT	T	$\begin{array}{c} T0 \\ \text{---} \end{array}$
OUTPUT	Y	$\begin{array}{c} Y0 \\ \text{---} \end{array}$	COUNTER	CNT	$\begin{array}{c} \text{CNT} \quad C0 \quad K5 \end{array}$
LOGIC RELAYS	M0	$\begin{array}{c} M0 \quad M0 \\ \text{---} \end{array}$	COUNTER STATUS BIT	C	$\begin{array}{c} C0 \\ \text{---} \end{array}$
TIMER	T	$\begin{array}{c} \text{TMR} \quad T0 \quad K30 \end{array}$			

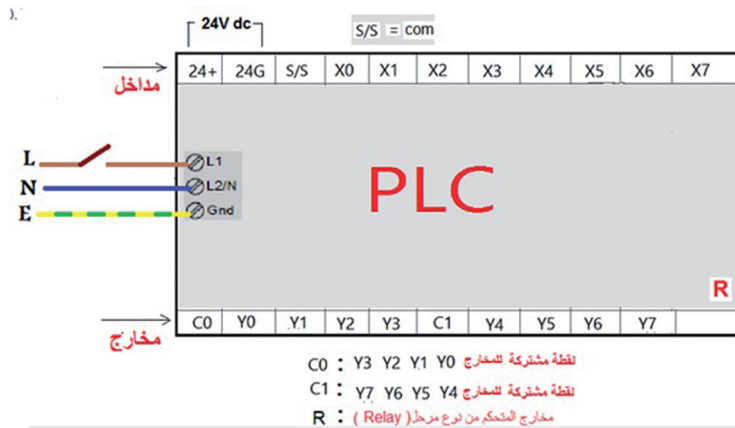
شكل (٣٣) : المتغيرات لأحد أنواع المتحكمات

مدخل	: X
مخرج	: Y
مرحل منطقي	: M
مؤقت	: T
عداد	: CNT

خامسا برمجة وتوصيل نقاط المتحكم المنطقي المبرمج مع كل من عناصر الدخل وعناصر الخرج

قبل القيام بعملية برمجة جهاز PLC يجب معرفة وتحديد الرموز التي حددها الصانع للمداخل والمخارج والمراحل الداخلية والمؤقتات والعدادات وغيرها من عناصر التحكم التي يلزم استخدامها في برمجة برنامج التحكم المطلوب ، والذي سيتم التركيز فيه على لغة السلم فقط كلغة برمجة للمتحكم .

يبين الشكل (٣٤) ، مخطط توصيل توضيحي لمتحكم مع مصدر التغذية AC 220V ، يحتوي المتحكم على (8) مداخل تبدأ من المدخل (X0 إلى X7) وتعمل على جهد (24VDC) ، وأيضا على (8) مخارج تبدأ من المخرج (Y0 إلى Y7) ، ويظهر في الشكل أن نوع مخارج المتحكم هي من نوع مرحل (Relay) - وهذا يعني أن كل مخرج من المخارج مرتبط داخليا في المتحكم بمرحل خاص به - وكما يبين الشكل أدناه ، النقطة (S/S) هي النقطة المشتركة للمداخل جميعها (وقد تسمى أحيانا في بعض أنواع المتحكمات com) ويمكن أن توصل

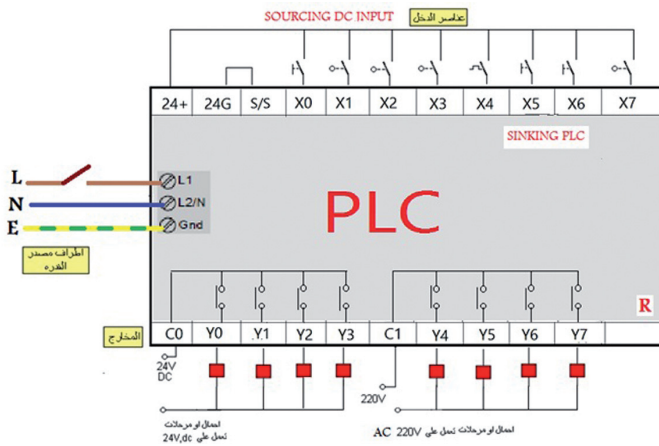


شكل (٣٤) : مخطط توضيحي لنقاط توصيل متحكم ذو خرج مرحل (R) متصل مع مصدر التغذية 220V AC

مع النقطة الموجبة (+24) أو مع النقطة (24G) وذلك حسب نوع عنصر الدخل الذي سيربط معه (SINK أو SOURCE) كما تم توضيحه سابقا . أما بالنسبة لمخارج المتحكم الفعلية ، فتحتوي على نقطتي توصيل مشتركتين هما (C1 و C0) بحيث تكون للمخارج من (Y0 إلى Y3) نقطة مشتركة هي

(C0) ، بينما تكون للمخارج من (Y4 إلى Y7) نقطة توصيل مشتركة منفصلة هي (C1) ، وهذا الأمر يساعد في تشغيل عناصر خرج بجهدين مختلفين في آن واحد (مثلا 24VDC \ 220VAC) بشرط أن تمثل النقطة المشتركة (C0) والمخارج من (Y0 إلى Y3) دائرة منفصلة ذات جهد واحد ، بينما تكون النقطة المشتركة (C1) والمخارج التابعة لها من (Y4 إلى Y7) تمثل دائرة منفصلة أخرى ذات جهد آخر مختلف ، كما سيتضح معنا لاحقا .

أما الشكل (٣٥) ، فيبين طريقة ربط أطراف مداخل ومخارج المتحكم مع كل من عناصر الدخل وعناصر الخرج ، وحيث أن المتحكم الممين في الشكل ذو خرج من نوع مرحل ، فإن الشكل يظهر ملامسات المرحلات الداخلية

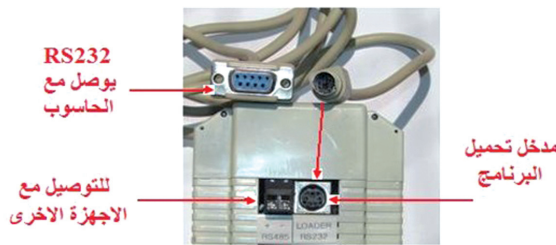


شكل (٣٥) : طريقة ربط مداخل ومخارج المتحكم ذو خرج نوع مرحل مع عناصر الدخل وعناصر الخرج

التابعة لكل مخرج ، ووجودها في الشكل هو فقط من اجل التوضيح (فهي داخلية) وفهم ما يحدث في حال وصلت المخارج مع عناصر الخرج المطلوبة ، حيث انه عندما تصبح حالة البت (BIT) للمخرج (١) ، فإن ملامس المرحل الداخلي يغلق مما يفعل ذلك المخرج ويعمل الحمل المتصل به . وهنا لا بد من الإشارة لأمر هام ، ألا وهو ، أن ملامسات المرحلات الداخلية (المخارج) في المتحكمات بشكل عام

تتحمل تيارا صغيرا نسبيا يكفي لتشغيل صمام كهربائي أو ملف مرحل أو ما شابه (حمل بالميلي أمبير) ، لذلك لا بد من استخدام مرحل خارجي مثلا ذو قدرة كهربائية تناسب طبيعة الحمل الذي سيتم التحكم بعمله بواسطة هذا المخرج ، بحيث يعمل المخرج على تفعيل ملف المرحل الخارجي (COIL) ، بينما يوصل الحمل الفعلي على ملامسات هذا المرحل الخارجي الفعلي .

ولبرمجة المتحكم المنطقي المبرمج ال PLC ، فانه يلزم تثبيت برنامج الجهاز على الحاسوب ومن ثم توصيل الكابل



شكل (٣٦) : الكابل اللازم لبرمجة المتحكم وطريقة توصيله مع الجهاز ل يتم بعد ذلك كتابة برنامج التحكم المطلوب على الحاسوب

المخصص للبرمجة بين الحاسوب وجهاز ال PLC . ويبين الشكل (٣٦) الكابل اللازم لبرمجة هذا الجهاز وطريقة توصيله مع الجهاز ل يتم بعد ذلك كتابة برنامج التحكم المطلوب على الحاسوب وتنزيله على المتحكم من خلاله .

قبل البدء بعملية البرمجة من الضروري تحديد عدد ونوع المداخل والمخارج اللازمة لتشغيل الآلة أو العملية الصناعية. بعد ذلك يجب تخصيص عنوان محدد لكل مدخل ومخرج من عناوين التي قام صانع الجهاز بتخصيصها للمداخل والمخارج. وبناء على متطلبات وشروط وتتابع سير العملية الصناعية المطلوبة يتم كتابة مخطط التحكم المطلوب وتحميله على الجهاز.

ومن الضروري دائما كتابة جدول التخصيص لأي دائرة يراد برمجتها على جهاز PLC. حيث تبين هذه القائمة المداخل والمخارج المستخدمة، ونوع وعمل المداخل والمخارج الموصولة مع الجهاز، كما يتم إدراج المرحلات الداخلية والمؤقتات والعدادات وغيرها إن لزم الأمر.

١ البرمجة للامس مفتوح مع مخرج :

يبين الشكل (٣٧) المخطط الكهربائي لتشغيل حمل (مصباح) عند الضغط على الضاغط المفتوح S1.

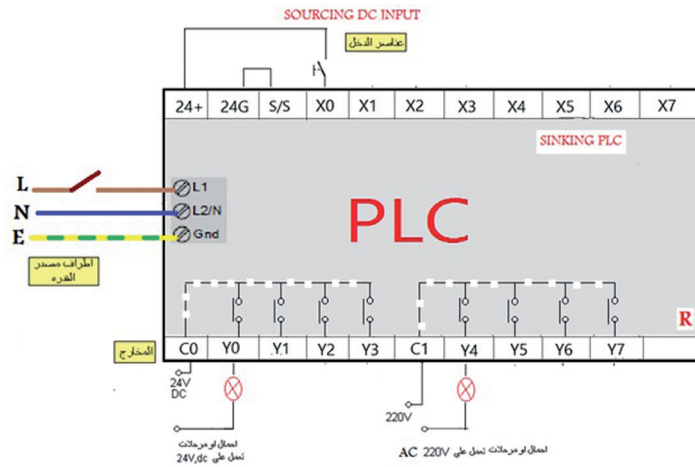


شكل (٣٧) : مخطط الدائرة الكهربائية تعمل بجهد مستمر (24V)

ويمكن كتابة جدول التخصيص (١) اللازم لهذه الدائرة كما في الجدول التالي :

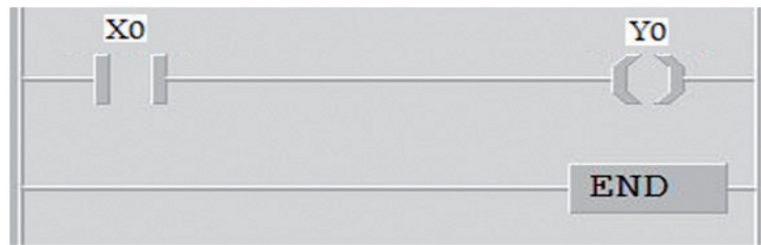
جدول التخصيص : (١)			
العنوان	الرمز	ملاحظات	
المداخل	X0	S1	ضاغط تشغيل
المخارج	Y0	L	مصباح يعمل بجهد مستمر 24V

ويمكن رسم مخطط توصيل جهاز PLC اللازم لتنفيذ الدارة كما في الشكل (٣٨).



شكل (٣٨) : مخطط توصيل المتحكم حسب الدائرة في الشكل (٣٧)

ويتم كتابة البرنامج المطلوب بلغة السلم كما في الشكل (٣٧).



شكل (٣٩) : البرنامج المطلوب بلغة السلم للدائرة شكل (٣٧)

١ شرح البرنامج :

يتم اعتبار الملامس المفتوح في المخطط السلمي في وضع الوصل (ON) إذا كانت ال بت المناظرة للعنوان في ذاكرة الإدخال يساوي (1) ، ويتم اعتباره في حالة الفصل إذا كانت ال بت المناظرة للعنوان في ذاكرة الإدخال تساوي (0) كما تم ذكره سابقا . وبناء عليه ، ففي حالة كون الملامس المفتوح عادة (ضابط تشغيل NO) متصلا مع المدخل الحقيقي (X0) فان ذاكرة الإدخال تصبح (1) عند الضغط على ضابط التشغيل ، وبالتالي يتم اعتبار الملامس المفتوح في المخطط السلمي (X0) متصلا فيعمل المخرج والعكس صحيح .

أما في حالة كون العنوان الحقيقي (X0) في جهاز PLC متصلا مع ملامس مغلق عادة (ضابط إيقاف NC) ، وتمت برمجته في المخطط السلمي كملاص مفتوح ، ففي هذه الحالة وعند عدم الضغط عليه فان الجهد سوف يصل إلى المدخل الفعلي فتصبح ال بت المناظرة في ذاكرة الإدخال مساويا (1) وبالتالي فان برنامج التحكم في المخطط السلمي سوف يعتبر أن الملامس متصلا عند عدم الضغط عليه فيتم تفعيل المخرج ، أما عند الضغط عليه فانه سوف يعتبره مفصولا ولا يتم تفعيل المخرج .

سؤال : هل يعمل المصباح الكهربائي المتصل بالمرحج (Y4) في الشكل (٣٨)؟ لماذا؟

■ الأمر (OUT): يستخدم هذا الأمر من اجل تحميل العنوان (المرحج) المسمى في الوظيفة (OUT) نتيجة

العمليات المنطقية التي تسبق الوظيفة (OUT) وهي إما 1 (ON) أو 0 (OFF).

■ الأمر END : هذا الأمر يستخدم في آخر البرنامج لبيان للمعالج نهاية البرنامج لئلا يضيع الوقت في قراءة

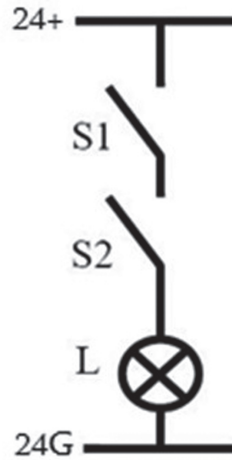
مواقع الذاكرة الفارغة بعد الأمر END ويعود إلى تنفيذ الأوامر من بداية البرنامج ، مما يساعد في زيادة

سرعة تفاعل المتحكم مع العملية الصناعية .

٢ البرمجة للامسين مفتوحين على التوالي مع مخرج : (بوابة و(AND))

يبين الشكل (40) المخطط الكهربائي لتشغيل حمل (مصباح) عند الضغط على الضاغط المفتوح S1(NO)،

والضغط على الضاغط المفتوح S2 (NO) معا في نفس الوقت . (الدائرة تعمل بجهد مستمر 24V)

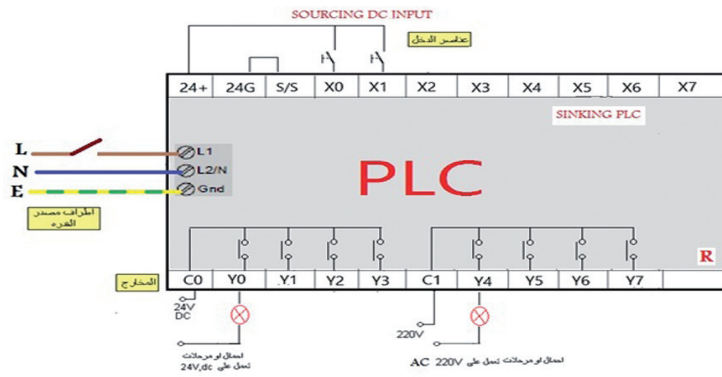


شكل (٤٠) : المخطط الكهربائي لتشغيل حمل (مصباح) عند الضغط على كلا الضاغطين المفتوحين معا

يمكن كتابة جدول التخصيص اللازم لهذه الدائرة كما في الجدول (٢) :

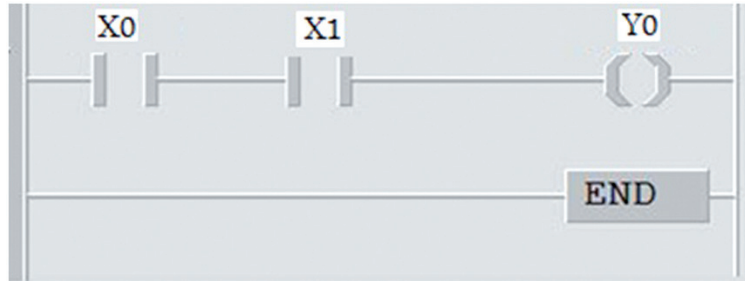
جدول التخصيص : (٢)			
العنوان	الرمز	ملاحظات	
X0	S1	ضاغط تشغيل (NO)	المداخل
X1	S2	ضاغط تشغيل (NO)	
Y0	L	مصباح يعمل بجهد مستمر 24V	المخارج

ويمكن رسم مخطط توصيل جهاز PLC اللازم لتنفيذ الدارة كما في الشكل (٤١) .



شكل (٤١) : مخطط توصيل المتحكم حسب الدائرة في الشكل (٤٠)

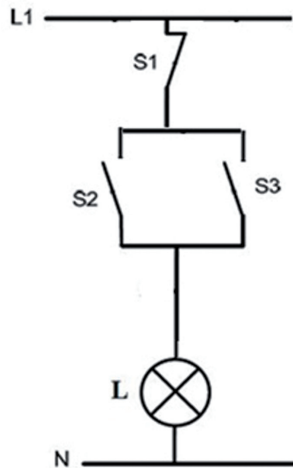
ويتم كتابة البرنامج المطلوب بلغة السلم للبرنامج المطلوب كما هو مبين في الشكل (٤٢).



شكل (٤٢) : البرنامج المطلوب بلغة السلم للدائرة شكل (٤٠)

٣ برمجة ملامسين مفتوحين على التوازي مع ملامس مغلق على التوالي معهما :

يبين الشكل (٤٣) المخطط الكهربائي لتشغيل حمل (مصباح) عند الضغط على احد الضاغطين المفتوحين S2 (NO)، أو S3 (NO) وبدون الضغط على الضاغطين المغلق S1 (NC). ومن الضروري الإشارة هنا إلى



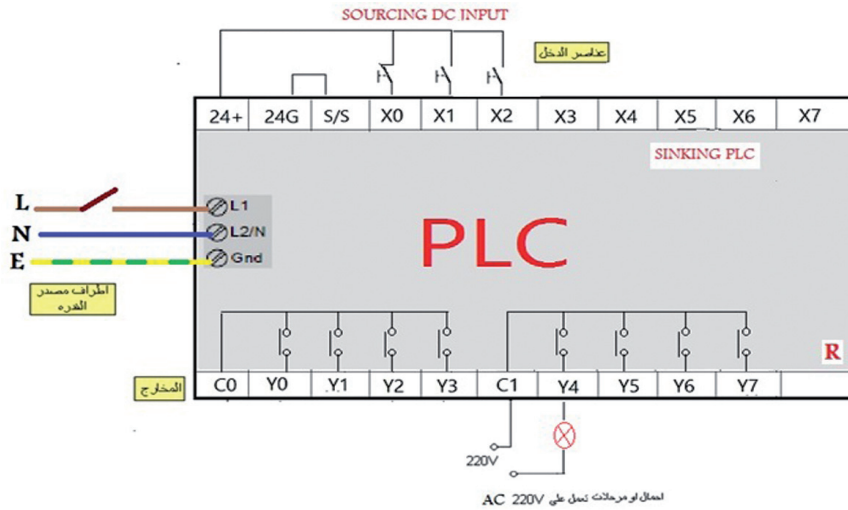
أن الدائرة هذه تشبه إلى حد بعيد دائرة تشغيل وإيقاف محرك كهربائي مثلاً باستخدام ضاغط تشغيل (S2) وضاغط إيقاف (S1) باستخدام مرحل مغناطيسي (بدل المصباح) بوجود ملامس استمرارية التشغيل للمرحل المغناطيسي (S3). (الدائرة تعمل بجهد متناوب 220 V)

شكل (٤٣) : المخطط الكهربائي لتشغيل مصباح بواسطة احد الملامسين المفتوحين (على التوازي) وبدون الضغط S1 (NC).

يمكن كتابة جدول التخصيص اللازم لهذه

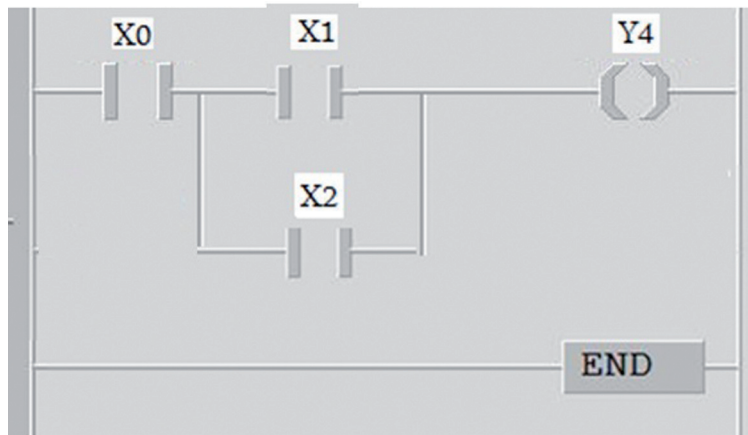
جدول التخصيص : (٣)			
العنوان	الرمز	ملاحظات	
X0	S1	ضاغط إيقاف (NC)	المداخل
X1	S2	ضاغط تشغيل (NO)	
X2	S3	ضاغط تشغيل (NO)	
Y4	L	مصباح يعمل بجهد متناوب 220V	المخارج

ويمكن رسم مخطط توصيل جهاز PLC اللازم لتنفيذ الدارة كما في الشكل (٤٤) .



شكل (٤٤) : مخطط توصيل المتحكم حسب الدائرة في الشكل (٤٣)

ويتم كتابة البرنامج المطلوب بلغة السلم كما هو مبين في الشكل (٤٥) .

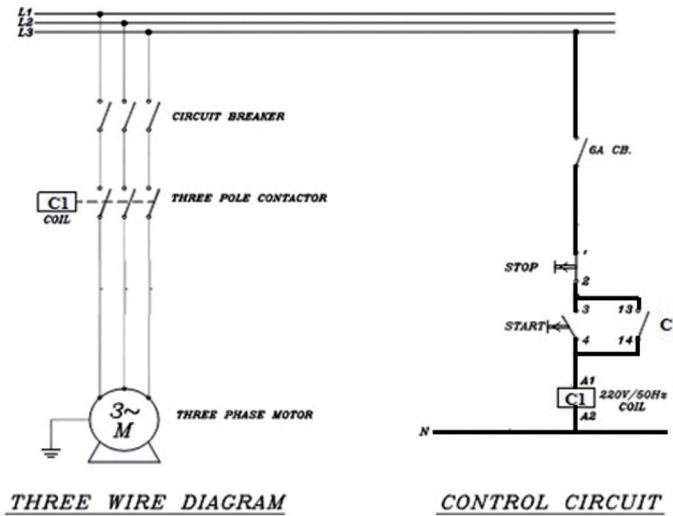


شكل (٤٥) : البرنامج المطلوب بلغة السلم للمخطط شكل (٤٣)

ملاحظة : من مخطط التوصيل في الشكل (٤٣) والبرنامج المكتوب بلغة السلم في الشكل (٤٥)، نلاحظ أننا قمنا بتوصيل ضاغط الإيقاف (S1) كملاس مغلق (NC) مع المدخل X0، بينما قمنا ببرمجته كملاس مفتوح في البرنامج. حيث انه في هذه الحالة عند عدم الضغط على الضاغط، فان الجهد يصل إلى مدخل جهاز PLC، فتصبح البت (BIT) المناظرة له في ذاكرة الإدخال مساوية ل(1)، وعلية يكون الملاس المفتوح المناظر له في البرنامج موصلا فيسمح بعمل المحرك في حالة عمل الملامسات الأخرى. بينما لو قمنا ببرمجته في المخطط السلمي كضاغط مغلق، فانه عند عدم الضغط عليه، فان البرنامج سوف يعتبر الملاس المغلق مفتوحا على اعتبار أن البت المناظرة له في ذاكرة الإدخال تساوي (1) وبالتالي لن يسمح بعمل الحمل.

مراقبة طريقة عمل المتحكم المنطقي :

يبين الشكل (٤٤)، مخطط أحادي الخط لدائرة التحكم (إلى اليمين)، ومخطط ثلاثي الخط لدائرة القدرة (إلى اليسار) لتشغيل وإيقاف المحرك باستخدام ضاغط تشغيل مفتوحاً طبيعياً NO وضاغط إيقاف مغلقاً طبيعياً NC.



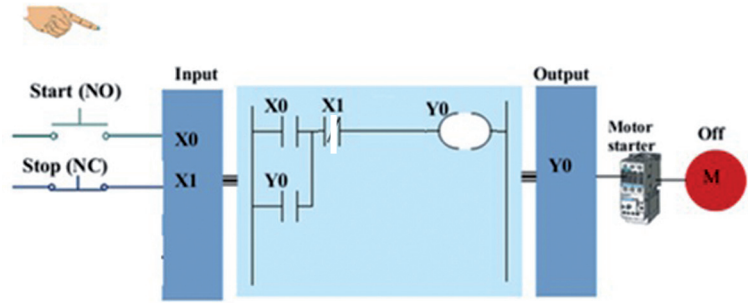
شكل (٤٦): مخططات تشغيل وإيقاف المحرك (دائرة التحكم ودائرة القدرة)

ويبين الشكل (٤٧)، المخطط التوضيحي لتشغيل وإيقاف المحرك.



شكل (٤٧): مخطط توضيحي لتشغيل وإيقاف محرك باستخدام مفتاح تشغيل ومفتاح إيقاف

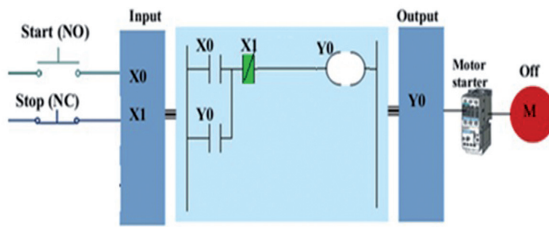
بينما يبين الشكل (٤٨) ، البرنامج الخاص بتشغيل المحرك وإيقافه بلغة السلم (مع عدم إدراج الأمر END هنا) .



شكل (٤٨) : برنامج بلغة السلم لتشغيل المحرك وإيقافه

مراقبة طريقة عمل المتحكم المنطقي والتي تتم حسب الآتي :

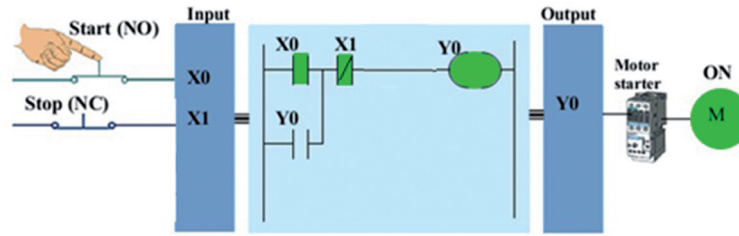
يوصل ضاغط التشغيل (pushbutton start NO) إلى المدخل X0 ويوصل ضاغط الإيقاف (Stop NC) إلى المدخل X1 ، وكل من المدخلين (X0 ، والملامس Y0) يشكلان دائرة OR وتستخدم الدائرة للتحكم في المخرج Y0 في المستوى الأول (والوحيد في هذا البرنامج) من السلم المنطقي ، بالإضافة للمدخل (X1) .



شكل (٤٩) : عملية المسح للبرنامج عند حالة معينة (المحرك لا يعمل)

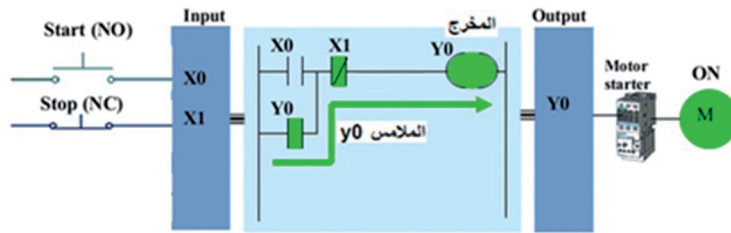
عند إجراء عملية المسح في حالة معينة (لحظة معينة) ، لفهم كيفية عمل المخطط السلمي منطقياً ، فكما هو مبين في الشكل (٤٩) ، فإن الملامس المغلق (X1) يظهر باللون الأخضر وذلك للدلالة على أن البت المناظرة له (1) ، إلا أن البت المناظرة للملامس المفتوح (X0) هي (0) كونه لم يفعل بعد ، وبالتالي فإن وحدة ال-CPU في المتحكم ترسل قيمة البت (0) للمخرج (Y0) وبهذا لن يعمل المحرك .

وعندما يتم الضغط على ضاغط التشغيل (start) ، كما في الشكل (٥٠) ، تستقبل وحدة ال-CPU في المتحكم الإشارة المنطقية Logic 1 من المدخل X0 في وحدة الدخل . هذا يسبب للملامس (X0) على السلم المنطقي أن يغلق (يصبح لونه أخضر) . في هذه الحالة أصبحت جميع الملامسات على مستوى السلم المنطقي الأول لها الحالة المنطقية Logic 1 ، وبالنسبة تكون الحالة المنطقية للمخرج (Y0) على السلم المنطقي الأول هي Logic 1 ، وبذلك تقوم وحدة ال-CPU بإرسال الحالة Logic 1 إلى المخرج Y0 في وحدة الخرج (يصبح لونها أخضر) وهذا يفعل المشغل (Starter Motor - المرحلة) ، فتغلق ملامساته الرئيسية فيشتغل المحرك .



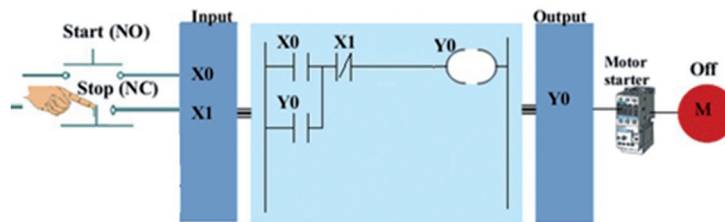
شكل (٥٠) : لحظة الضغط على ضاغط التشغيل (المحرك يعمل)

أثناء عملية المسح التالية (Scan Next) فإن الملامس Y0 (وهو يعتبر مدخل) ولكنه في واقعيا لا يتم توصيله كمدخل لأنه ملامس منطقي المرتبط بالمخرج Y0 سوف يغلق (يصبح لونه اخضر) لان للمخرج الحالة المنطقية 1 Logic ، وبالتالي فإن المخرج Y0 سيستمر في وضعية تشغيل حتى بعد تحرير ضاغط التشغيل لأنه لا يزال هناك مسار من الحالة المنطقية 1 Logic بين طرفي السلم المنطقى ، كما في الشكل (٥١) .



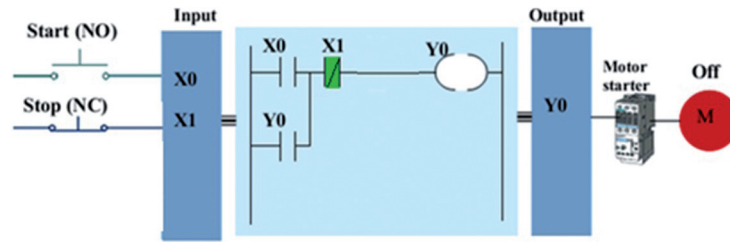
شكل (٥١) : المحرك يعمل بشكل طبيعي

سيستمر المحرك في حالة تشغيل حتى يتم الضغط على ضاغط الإيقاف (Stop pushbutton) ، وإذا ما تم ذلك ، فإن الحالة المنطقية للمدخل X1 ستتحول إلى الحالة 0 Logic كما في الشكل (٥٢) ، الأمر الذي سيقطع مسار الحالة المنطقية 1 Logic بين طرفي السلم المنطقي الأول ، فتصبح الحالة المنطقية للمخرج Y0 في السلم المنطقي الأول هي 0 Logic ، وبالتالي ترسل وحدة ال CPU الإشارة المنطقية 0 Logic للمخرج Y0 في وحدة الخرج عندها ستوقف المحرك عن العمل .



شكل (٥٢) : لحظة الضغط على ضاغط الإيقاف

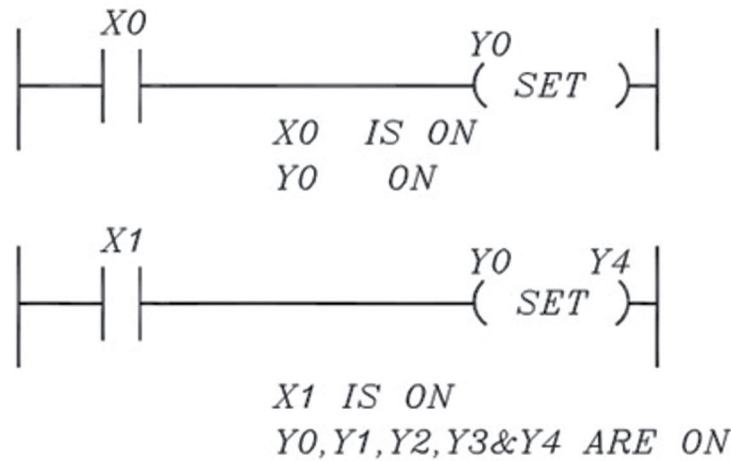
عندما يتم تحرير ضاغط الإيقاف (NC Stop pushbutton) ستصبح الحالة المنطقية للمدخل (X1) وسيبقى البرنامج جاهز حتى يتم ضغط ضاغط التشغيل (NO Start pushbutton) مرة أخرى . كما في الشكل (٥٣).



شكل (٥٣) : المحرك جاهز للعمل مرة أخرى من البداية

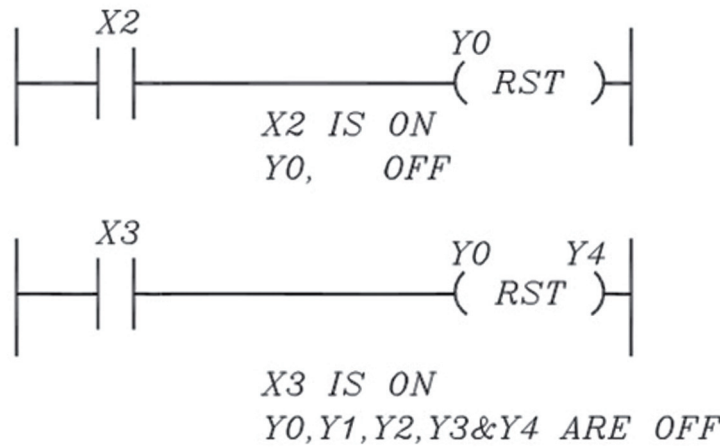
٤ برمجة الأمر SET: (إبقاء على وضع التوصيل ON)

يعمل هذا الأمر على تشغيل مخرج واحد أو مجموعة من المخارج في آن واحد . يتم إطفاء هذه الأوامر باستخدام الأمر RESET ، إذ لا داعي لاستمرار إشارة المدخل في حالة (ON) ، كما في الشكل (٥٤) .



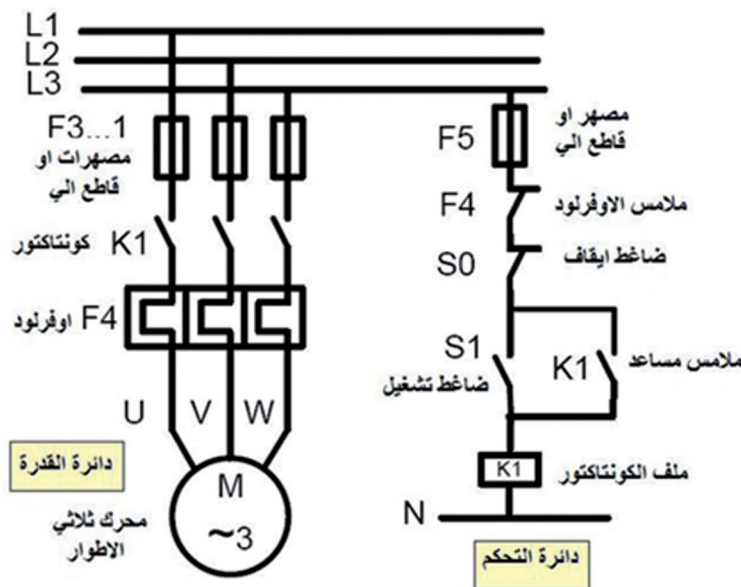
شكل (٥٤) : تشغيل مخرج واحد أو مجموعة من المخارج في آن واحد

هو الأمر الوحيد الذي يستطيع إلغاء الأمر SET وبالتالي فصل المخرج (Y0) أو مجموعة المخرج من (Y0) ولغاية (Y4)، كما في الشكل (٥٥):



شكل (٥٥): الأمر الذي يستطيع إلغاء الأمر SET

المثال التالي يوضح كيفية استخدام كل من الأمر (set و reset) بشكل يوفر في أوامر البرمجة وبالتالي يوفر الجهد والوقت في كتابة البرامج بشكل كبير، حيث يبين الشكل (٥٦)، دائرة التحكم ودائرة القدرة لتشغيل وإيقاف محرك ثلاثي الطور بواسطة ضواغط، تارة باستخدام الأوامر التي تعلمتها سابقا وتارة أخرى باستخدام الأوامر (reset /set).

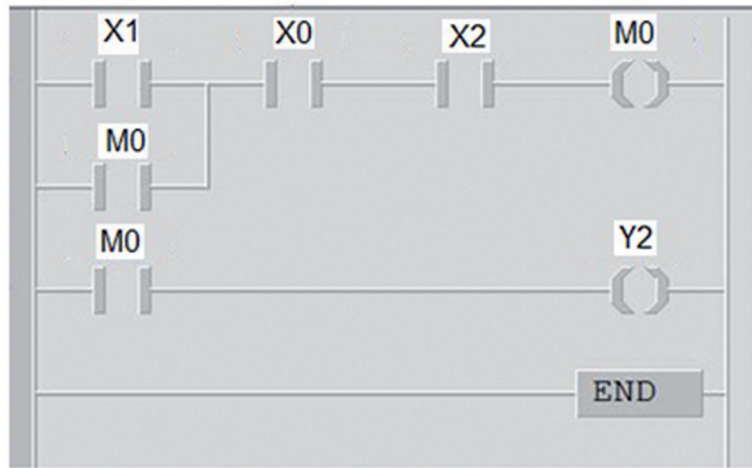


شكل (٥٦): مخطط الدائرة الكهربائية لدائرة تشغيل محرك ثلاثي الأطوار

لتشغيل المحرك بواسطة جهاز PLC يتلخص دور الجهاز في استبدال دائرة التحكم فقط ، فيما تبقى دائرة القدرة كما هي . وبعد تحديد عناصر الدخل والخرج ، نقوم بكتابة جدول التخصيص كما في الجدول (٤) :

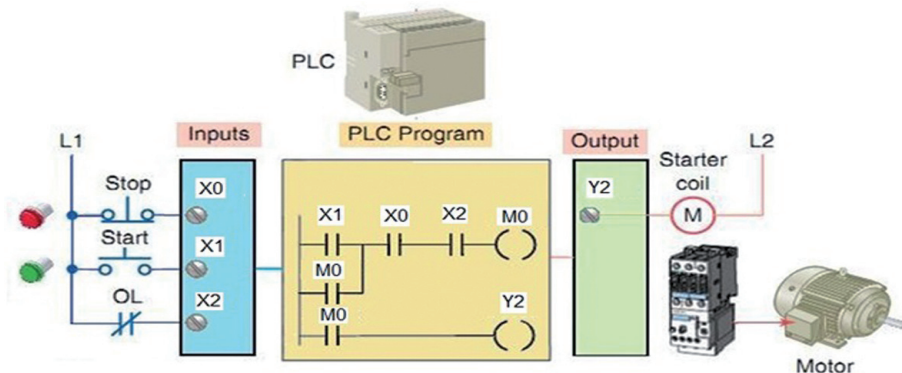
جدول التخصيص : (٤)			
I/O	العنوان	الرمز	ملاحظات
المدخل	X0	S0	ضابط إيقاف (NC)
	X1	S1	ضابط تشغيل (NO)
	X2	F4	ملاص الافرلود (NC)
المخرج	Y2	K1	ملف كونتاكتور

لاحظ أن المصهر أو قاطع الدائرة في دائرة التحكم لا يعتبر عنصر دخل لجهاز PLC .
وحسب جدول التخصيص ، يكون المخطط السلمي اللازم لتشغيل المحرك كما في شكل (٥٧)



شكل (٥٧) : المخطط السلمي المناظر لمخطط التحكم في شكل (٥٦)

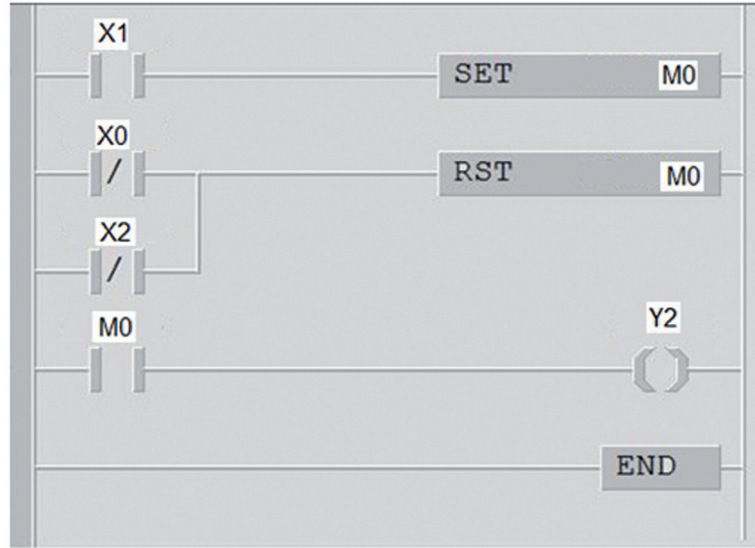
والشكل التالي (٥٨) ، يوضح كافة عناصر الدخل والخرج ، بالإضافة للبرنامج المكتوب بلغة السلم .



شكل (٥٨) : مخطط توضيحي يبين العلاقة بين المدخل والمخرج والبرنامج لدائرة تشغيل المحرك

لاحظ انه تم وصل كل من ملامس الإيقاف (NC) ولامس الافرلود (NC) كلامسين مغلقين عند مداخل الجهاز ، بينما تم برمجتهما كلامسين مفتوحين في المخطط السلمي . لاحظ أيضا ، انه تم استخدام المرحل المنطقي (M0) ، كمرحل منطقي لتشغيل المحرك ، رغم انه يمكن الاستغناء عنه وكتابة المخرج Y2 مكانه مباشرة .

والآن ، يعتمد بعض مبرمجي أجهزة PLC على وظيفة (SET-RESET) بشكل كبير لسهولة استخدامها . فعلى سبيل المثال يمكن إعادة برمجة دائرة التحكم بتشغيل وإطفاء المحرك في شكل (٥٧)، (٥٨) باستخدام وظيفة (SET-RESET) كما في شكل (٥٩) .



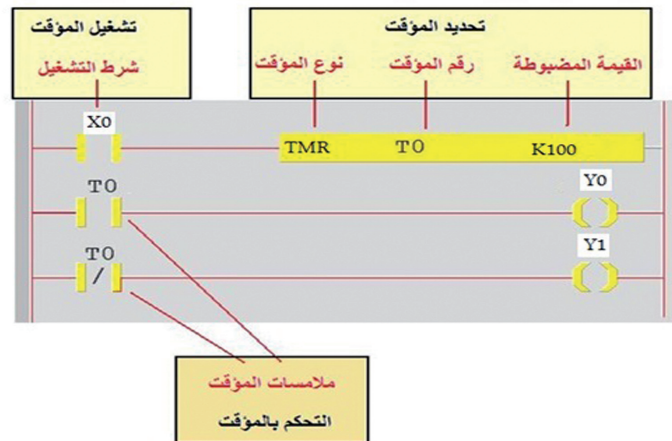
شكل (٥٩) استخدام وظيفة الوضع وإعادة الوضع لتشغيل وإطفاء محرك ثلاثي الأطوار

وكما يلاحظ من شكل (٥٩) ، فان تشغيل المرحل المنطقي الداخلي (M0) والذي يشغل المخرج (Y2) يعتمد على ضاغط التشغيل (X1)، لذلك فان (X1) تقوم بوظيفة SET لتشغيل المحرك . بينما يتم إطفاء المحرك بواسطة إما ضاغط الإيقاف (X0) أو عند تفعيل ملامس الافرلود (X2) واللذان تم توصيل ملامساتها على التوازي للقيام بوظيفة الإطفاء (RESET) .

هناك مجموعات كثيرة من الأوامر التي تتعامل معها برامج التشغيل الخاصة بالمتحكمات المنطقية ، ولكن سنتناول فقط بعض الأوامر التي تخص العدادات والمؤقتات لسهولة مقارنتها مع دوائر التحكم المبنية باستخدام المرحلات ، هذا بالإضافة إلى مجموعات كثيرة من الأوامر التي تتعامل معها هذه اللغة ، ولكن الخوض فيها يحتاج إلى مزيد من التخصص في هذا المجال .

تعد وظيفة المؤقت أو التأخير من أهم الوظائف في أنظمة التحكم والأتمتة الصناعية. فزمن خطوات العمليات الصناعية والتأخير بين الخطوات المختلفة هي من الأمور الهامة التي لا يمكن الاستغناء عنها. ومن العمليات الصناعية التي تحتاج استخدام المؤقتات عمليات اللحام ، وعمليات الدهان ، ومعالجة الحرارة ، وإشارات المرور ، كما تستخدم في التحكم في أكثر من عملية في نفس الوقت وذلك بتحديد الزمن بين كل عملية وأخرى ، كضبط الزمن بين إيقاف محرك كهربائي وبدء محرك آخر . وتتميز هذه المؤقتات بالدقة العالية ، بالإضافة إلى القدرة على تغيير الزمن المضبوط بمجرد تغيير القيمة ولا تحتاج إلى توصيلات معينة . وكما هو الحال في أي مؤقت زمني فإنه عادة ما يحتوي على (ملف المؤقت ، زمن التوقيت ، وملامسات مفتوحة أو مغلقة) ، وعندما يتم تفعيل ملف المؤقت فإن ملامساته المنطقية (المغلقة والمفتوحة) تغير من وضعيتها في حال الوصول إلى الزمن الذي تم ضبطه مسبقا . وهناك أنواع مختلفة من المؤقتات في المتحكمات المنطقية (PLC) بعضها يشابه بين جميع المصنعين وبعضها يختلف في تفاصيل العمل من صانع إلى آخر . وبشكل عام فإنه ومن أجل برمجة المؤقتات والتحكم فيها في جهاز ال PLC يجب تحديد الأمور الأساسية التالية :

- تحديد المؤقت : ويشمل ذلك نوع المؤقت ، رقم المؤقت ، زمن التوقيت ويعطى بالثانية (sec) .
 - تشغيل المؤقت : تحديد العناصر التي تتحكم بالمؤقت (تشغيل المؤقت ، تصفير المؤقت) وتوصيلها .
 - التحكم بالمؤقت : استخدام ملامسات المؤقت للتحكم بخطوات العملية الصناعية .
- والشكل (٦٠) ، يبين كيفية برمجة المؤقتات في جهاز المتحكم المنطقي المبرمج .



شكل (٦٠) : برمجة المؤقت في جهاز ال PLC

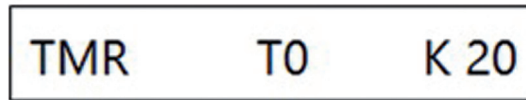
ويوجد في أجهزة الـ PLC عدد كبير من المؤقتات (قد تصل إلى 128 مؤقتاً أو أكثر) تبدأ بعناوين مثلاً من (T0 -T127)، ويمكن استخدامها وبرمجتها حسب نوع وعناوين المؤقتات التي يدعمها الجهاز، وتصنف المؤقتات حسب القاعدة الزمنية التي وضعت لها من قبل الصانع، فمثلاً يمكن أن تجد التقسيم التالي:

■ T0 – T63 : مؤقتات بقاعدة زمنية 100msec .

■ T64 – T126 : مؤقتات بقاعدة زمنية 10msec .

■ T127 : المؤقتات بقاعدة زمنية (1ms) .

وعادة ما يأخذ المؤقت في المتحكمات الصورة العامة التالية ، كما في الشكل (٦١) .



شكل (٦١) : الصورة العامة للمؤقت

حيث تمثل الرموز:

■ TMR : نوع المؤقت .

■ T0 : رقم المؤقت .

القيمة المضبوطة للمؤقت (K) : وتعني الفترة الزمنية المسجلة مسبقاً داخل المتحكم من قبل المبرمج التي تحدد حالة الملامسات المنطقية للمؤقت T0 .

أما زمن التوقيت للمؤقت = القيمة المضبوطة للمؤقت × القاعدة الزمنية للمؤقت

مثال : احسب القيمة المضبوطة لمؤقت زمني في جهاز PLC مع العلم أن زمن التوقيت المطلوب = 10 sec

، وذلك حسب القاعدة الزمنية 100msec ؟

الحل: ☒ زمن التوقيت للمؤقت = القيمة المضبوطة للمؤقت (K) × القاعدة الزمنية للمؤقت

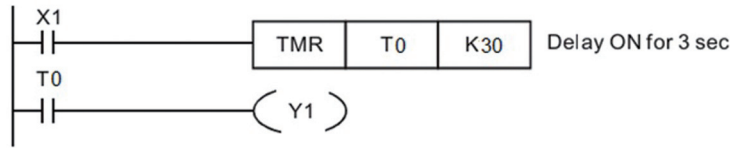
$$10\text{sec} = \text{القيمة المضبوطة للمؤقت (K)} \times 100\text{msec}$$

$$10\text{sec} = (100) \times 100\text{msec}$$

إذن القيمة المضبوطة للمؤقت (K) = 100 ، ويكتب كما يلي :

ويتم تصفير المؤقت عندما تتغير حالة المدخل من ON إلى OFF، وكذلك يمكن استخدام الأمر (RST Reset) لتصفير أو إطفاء المؤقت .

ولفهم كيفية عمل المؤقتات في المخططات السلمية للمتحكمات، نورد المثال التالي لتشغيل حمل لمدة (٣ ثواني) باستخدام مؤقت كما هو مبين في الشكل (٦٢):

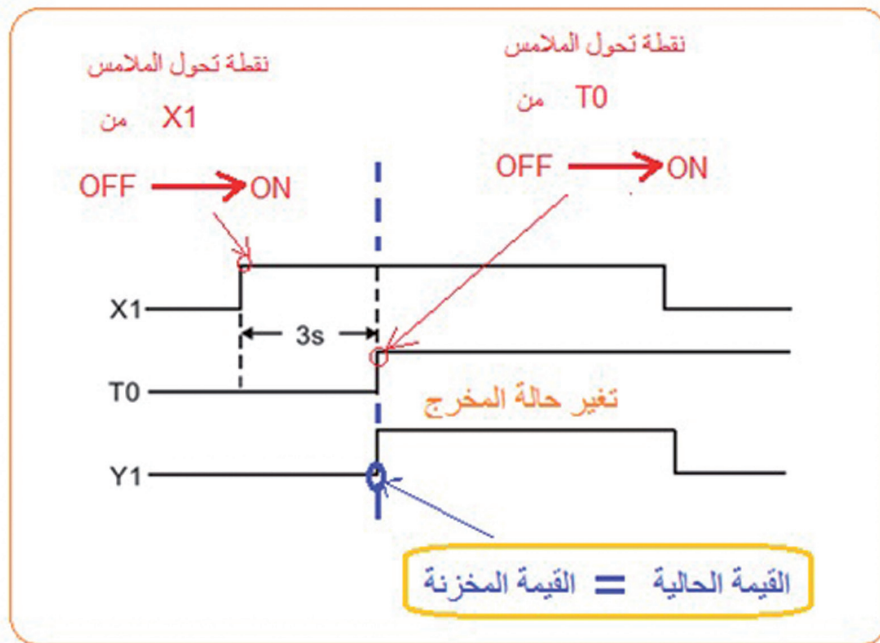


شكل (٦٢) : تشغيل حمل باستخدام مؤقت في ال PLC

- ١ عند الضغط على الملامس المفتوح X1 (تحويل المدخل من NO إلى NC) يتم تطبيق مصدر الجهد المقرر على ملف المؤقت (TMR)، ويبدأ المؤقت بالعد ، وبعد مرور زمن يساوي زمن التوقيت للمؤقت وهو في هذه الحالة ٣ ثواني (أي عندما تتساوى قيمة العد الحالية للمؤقت مع قيمة العد المخزنة مسبقاً) تتحول ملامسات المؤقت المفتوحة في الوضع الطبيعي T0 (من NO إلى NC) وبينما يحدث العكس للملامسات المغلقة ، ويؤدي ذلك إلى تغيير حالة المخرج (Y1) من OFF إلى ON ، وتستمر هذه الملامسات على وضعها الجديد طالما استمر تطبيق جهد المصدر .
- ٢ عند رفع الجهد عن المؤقت تعود ملامسات المؤقت إلى وضعها الطبيعي .
- ٣ عند رفع الجهد عن المؤقت قبل زمن التوقيت ، تبقى ملامسات المؤقت في وضعها الطبيعي .

نشاط : حاول شرح وتفسير كيفية عمل المخطط السلمي في الشكل (٦٢)؟

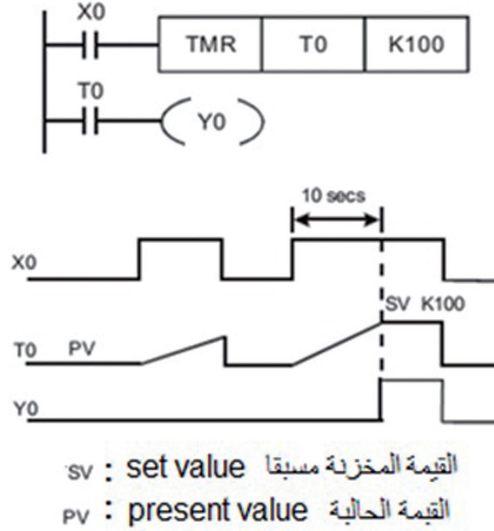
وللتعامل بسهولة مع مؤقتات المتحكم ، يجب رسم جدول زمني يظهر تغيير المداخل والمخارج مع الزمن كما في الشكل (٦٣) .



الشكل (٦٣) : جدول زمني يظهر تغيير المداخل والمخارج مع الزمن للمؤقت

١ المؤقت العادي : (TMR) Timer

الأمر (TMR) عبارة عن مؤقت زمني بمدخل واحد ذي تدرج 0.1 ثانية وأعلى قيمة زمنية له 999.9 ثانية، يعمل هذا المؤقت عندما تتغير حالة المدخل X0 من OFF إلى ON، ويتم تصفيره Reset عندما يحدث العكس، كما في الشكل (٦٤).



الشكل (٦٤): حالة مؤقت زمني بمدخل واحد ذي تدرج ٠,١ ثانية وأعلى قيمة زمنية له ٩٩٩,٩ ثانية

شرح مبدأ عمل المؤقت العادي في الشكل (٦٤) :

١ عند الضغط على المدخل X0، سيبدأ المؤقت T0 بالعد حتى الوصول إلى الزمن المخزن مسبقاً (10 ثواني)، ثم تتحول حالة التلامس T0 من (NO) إلى (C)، وهذا يؤدي إلى تغيير حالة المخرج Y0 من OFF إلى ON.

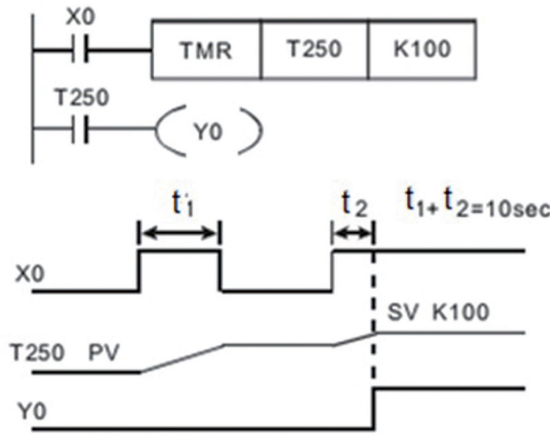
٢ عند رفع الضغط عن المؤقت قبل زمن التوقيت، تبقى الملامسات المؤقت في وضعها العادي (NO)، وبالتالي فإن المؤقت لن يعمل وستبقى حالة المخرج Y0 كما هي OFF.

١ المؤقت التراكمي : Timer Accumulating

المؤقت التراكمي وهو الذي يحتفظ بقيمة الوقت التراكمية عند انقطاع إشارة الدخل عنه، ويبدأ التوقيت من القيمة التي انتهى إليها عند عودة إشارة المدخل مرة ثانية، كما في الشكل (٦٥).
ويوجد في أجهزة PLC مؤقتات تراكمية ولكن بعدد محدود (مثلاً عددها المتاح الكلي = 12) يمكن استخدامها وبرمجتها على أي نوع من المؤقتات التي يدعمها الجهاز، وتكون محددة بعناوين فمثلاً:

■ T240 – T245 : مؤقتات تراكمية بقاعدة زمنية 100msec

■ T250 – T255 : مؤقتات تراكمية بقاعدة زمنية 10msec



الشكل (٦٥): طريقة عمل المؤقت التراكمي

شرح مبدأ عمل المؤقت التراكمي في الشكل (٦٣) :

نلاحظ من الشكل (٦٥) ، عند الضغط على المدخل X0 ، سيبدأ المؤقت T0 بالعد حتى الوصول إلى الزمن المطلوب (10 ثواني) ، ثم تتحول حالة التلامس T0 من (O . N) إلى (C) ، وهذا يؤدي إلى تغيير حالة المخرج Y0 من OFF إلى ON .

عند رفع الضغط عن المؤقت قبل زمن التوقيت ، تبقى ملامسات المؤقت في وضعها العادي (O . N) والمؤقت سيتوقف مؤقتاً (في الفترة t1) ، وبالتالي فإن المؤقت لن يعمل وستبقى حالة المخرج Y0 كما هي OFF . وعند إعادة الضغط مرة ثانية سيبدأ المؤقت تكملة العد من حيث توقف (t1) ليكمل الفترة الزمنية المتبقية (t2) ، وهذا يؤدي إلى تغيير حالة المخرج Y0 من OFF إلى ON .

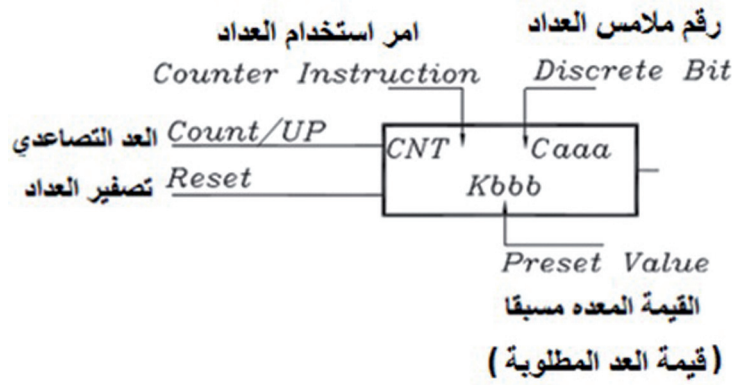
العدادات : Counters

يحتوي المتحكم على العديد من العدادات تستخدم لعدة أغراض منها القيام بعد منتج ما في احد خطوط الإنتاج ، كما تستخدم في أغراض التحكم مثل المؤقتات وذلك باستخدام التغيير الذي يحدث في الخرج من هذه العدادات . وهناك نوعان من هذه العدادات ، فمنها ما هو تصاعدي ومنها ما هو تنازلي في آن واحد .

العداد التصاعدي : (CNT)

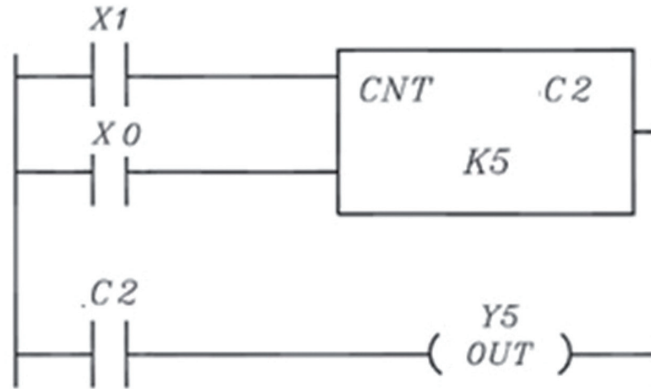
١-٢

يضيف هذا النوع من العدادات (١) على القيمة الحالية للعد ، ولهذا الأمر مدخلان كما في الشكل (٦٦) ، ويقوم بعملية العد عندما تتغير حالة المدخل الأول من OFF إلى ON ، والإشارة التي تكون على هذا المدخل عادة ما تأتي على شكل نبضة لحظية - pulse والتي يمكن الحصول عليها من مجس تقاربي أو مجس حدي مثلاً ، كذلك يتم تصفيره عندما تتغير حالة المدخل الثاني (Reset) من OFF إلى ON . وللعداد كما للمؤقت ملامسات منطقية تتغير حالتها عندما تتساوى قيمة العداد الحالية مع القيمة المخزنة من المبرمج مسبقاً .



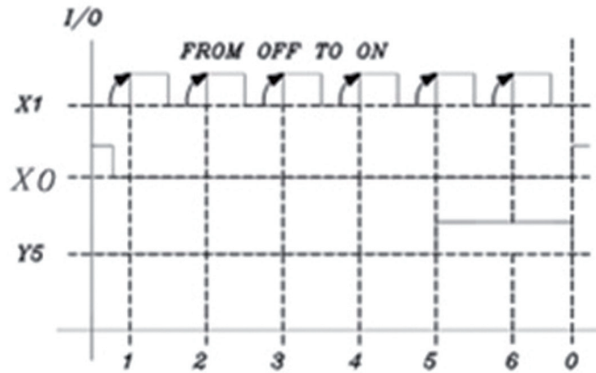
الشكل (٦٦): مخطط العداد التصاعدي

أعلى قيمة يمكن أن يصلها هذا العداد حتى 9999، ويحتفظ بالعد حتى تصفيره .
والشكل (٦٧)، يمثل تغير المدخل X1 ويلاحظ عند وصول قيمة العد حتى 5 يعمل المخرج Y5 حتى يتم تصفير العداد عن طريق المدخل X0.



الشكل (٦٧): تغير المدخل X1 وعند وصول قيمة العد حتى 5 يعمل المخرج Y5 حتى يتم تصفير العداد عن طريق المدخل X0

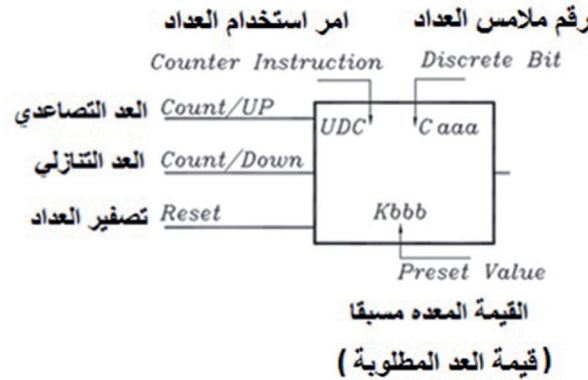
ولكتابة برنامج بلغة السلم لتحقيق الجدول في الشكل (٦٧)، يتم الإستفادة من التلامس المنطقي للعداد، كما هو في الشكل (٦٨).



الشكل (٦٨): الإستفادة من التلامس المنطقي للعداد

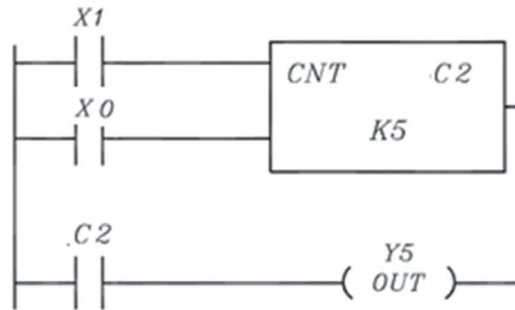
سؤال: هل تلاحظ فرقا بين تشغيل العداد والمؤقت من حيث طبيعة إشارة المدخل ؟

له ثلاثة مداخل ويقوم بالعد بشكل تصاعدي (count up) - يضيف (1) على القيمة الحالية للعد عندما تتغير حالة المدخل التصاعدي، وبشكل تنازلي (count down) - يطرح (1) من القيمة الحالية للعد - عندما تتغير حالة المدخل التنازلي، ويتم تصفيره (reset) عن طريق المدخل الثالث، كما في الشكل (٦٩).



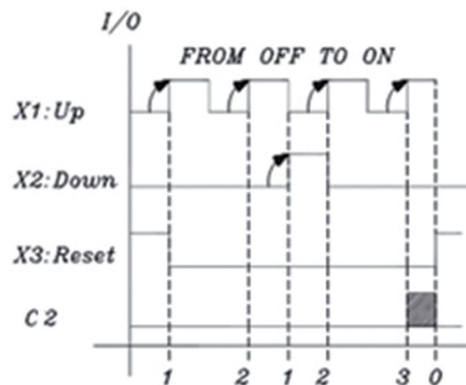
الشكل (٦٩): عداد تصاعدي تنازلي

ومثل الأمر السابق يتم الاستفادة من التلامس المنطقي (C2) التابع له في تشغيل دوائر أخرى، كما في الشكل (٧٠).



الشكل (٧٠): الاستفادة من التلامس المنطقي التابع للعداد في تشغيل دوائر

X1، X2، X3 تمثل المداخل، ويمثل C2 التلامس المنطقي للعداد، ولمعرفة متى يعمل الخرج Y0 علينا تتبع حالة المدخل كما في الشكل (٧١).



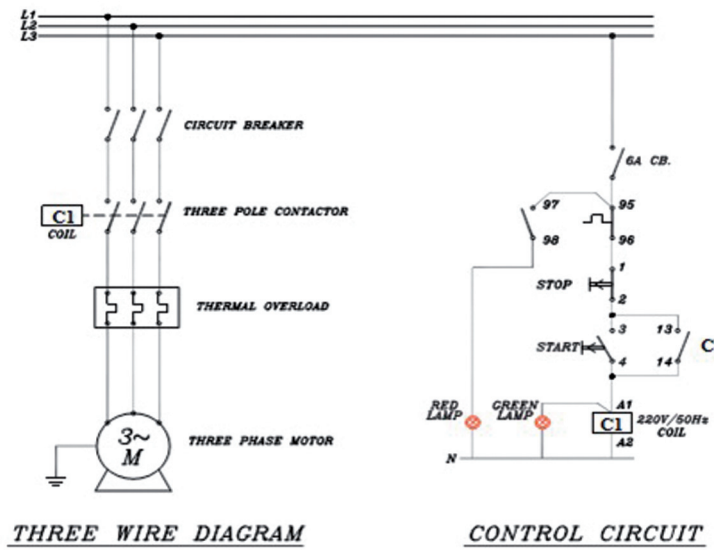
الشكل (٧١): تتبع المخطط الزمني لتبيان حالة المدخل

نلاحظ أن المدخل X1 تغير حالته مرتين، أصبحت قراءة العداد 2، ثم تغيرت إشارة المدخل التنازلي مرة واحدة فأصبحت قراءة العداد 1، ثم تغير المدخل X1 مرتين، فأصبحت قراءة العداد 3، عندها أغلق التلامس C2، واعمل على تشغيل المخرج Y0 حتى تم تصفير العداد عن طريق المدخل الثالث X3.

سابعاً كيف تصميم نظام تحكم باستخدام ال PLC :

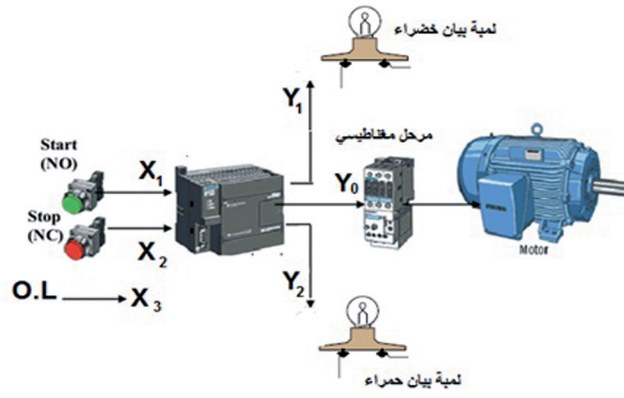
سنأخذ دائرة التحكم المبينة في الشكل (٧٢) باستخدام القواطع المغناطيسية كمثال لتوضيح كيفية تصميم نظام تحكم باستخدام ال PLC . ويمكن الاسترشاد بما يلي :

١ فهم النظام المراد التحكم فيه بشكل جيد : تشغيل محرك ثلاثة أوجه بواسطة ضاغط تشغيل وضاغط إيقاف مع توفير واقى حمل ولمبات بيان ذات لون اخضر ولون احمر ، ثم رسم دائرة التحكم ودائرة القدرة للنظام المطلوب ، كما في الشكل (٧٢) .



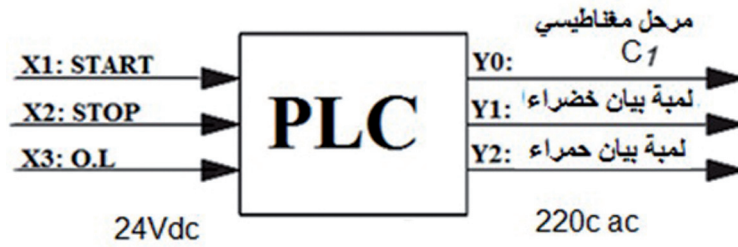
شكل (٧٢) : دائرة التحكم لتشغيل محرك ثلاثة أوجه

- ٢ تحديد جميع المداخل والمخارج من حيث العدد، ونوعها، واحتياجاتها الكهربائية، وهذا يفيد في تحديد نوع المتحكم المطلوب وحجمه. (تحديد عدد مخارجه ومدخله المطلوبة : ٨ مداخل و٨ مخارج مثلاً).
- ٣ إعطاء رموز لجميع المداخل والمخارج حسب طريقة الترميز التي يتعامل معها المتحكم مثل X1، X2، X3 للمداخل و Y0، Y1، Y2 للمخارج. كما في الشكل التوضيحي (٧٣).



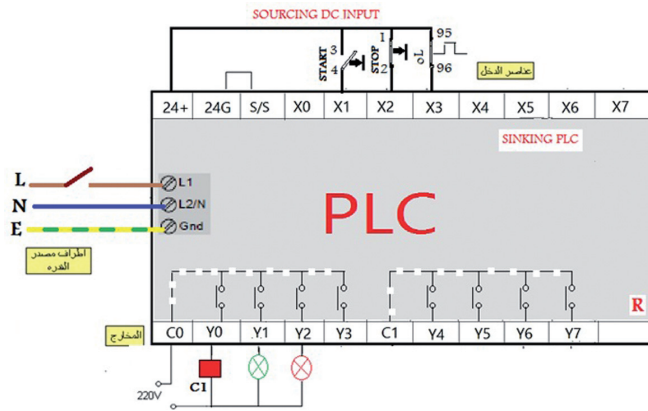
شكل (٧٣) : شكل توضيحي فقط

٤ عمل مخطط صندوقي للتحكم يبين مداخله ومخارجه كما هو مبين في الشكل (٧٤).



شكل (٧٤): عمل مخطط صندوقي للبرنامج (مبين عليه جهود التشغيل للعناصر)

٥ بعد تحديد الاحتياجات الكهربائية للمداخل والمخارج وإعطاء التسميات لكل من المداخل والمخارج حسب طريقة الترميز المستخدمة في المتحكم المستعمل لتشغيل النظام ، ابدأ بربط المداخل والمخارج مع المتحكم ، كما في الشكل (٧٥) مع الأخذ بنظر الاعتبار الجهود المستخدمة لعناصر الدخل والخرج .



شكل (٧٥) : ربط المداخل والمخارج مع المتحكم

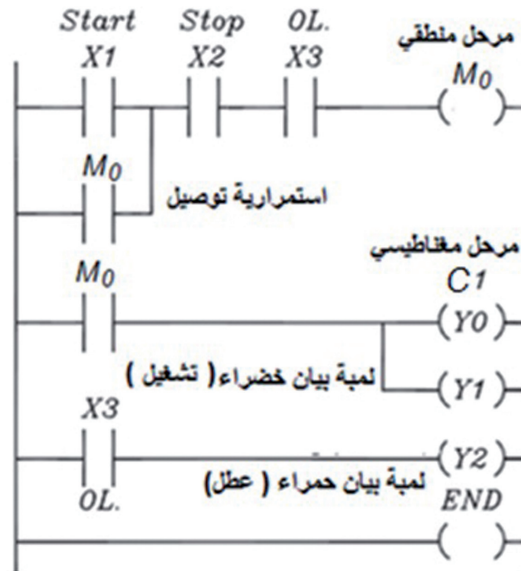
٦ حاول كتابة شرح مبسط عن النظام وطريقة عمله وربط الشرح مع التسميات التي تم إعطاؤها للمداخل والمخارج كما في جدول التخصيص (٥) .

I /O	العنوان	الرمز	ملاحظات
المداخل	X1	ضاغط تشغيل (24VDC)	NO
	X2	ضاغط إيقاف (24VDC)	NC
	X3	ملاص (24VDC) (OverLoad)	NC
المخارج	Y0	مرحل لتشغيل محرك	C1 يعمل بجهد متناوب
	Y1	لمبة بيان خضراء	تعمل بجهد متناوب
	Y2	لمبة بيان حمراء	تعمل بجهد متناوب

٧ ابدأ بتحويل جميع العلاقات المنطقية التي تم الحصول عليها من الخطوة السادسة إلى رسم حسب الرموز المستخدمة بلغة السلم ، مع ملاحظة استخدام ملاصات مفتوحة (وليست مغلقة) لكل من ضاغط الإيقاف وملاص الافرلود ، كما في الشكل (٧٦) .

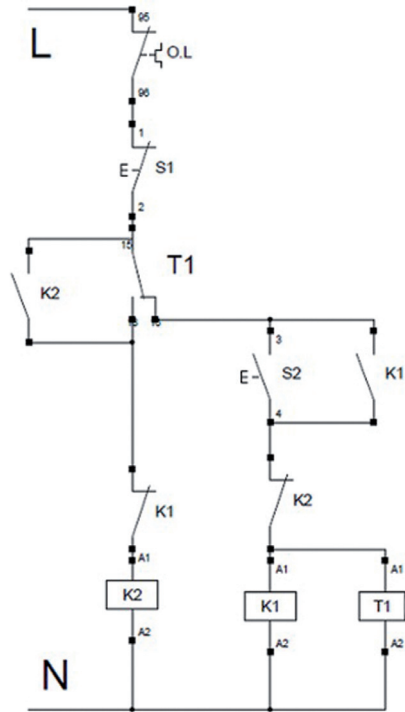
٨ اكتب البرنامج الذي حصلت عليه باستخدام الحاسوب وتأكد من صحته ، ثم قم بتوصيل المتحكم مع الحاسوب على أن يكون المتحكم في حالة نط البرمجة “Program Mode” .

٩ بعد تنزيل البرنامج داخل المتحكم قم بتحويل حالة المتحكم إلى نط التشغيل “Run Mode” وابدأ تشغيل النظام .



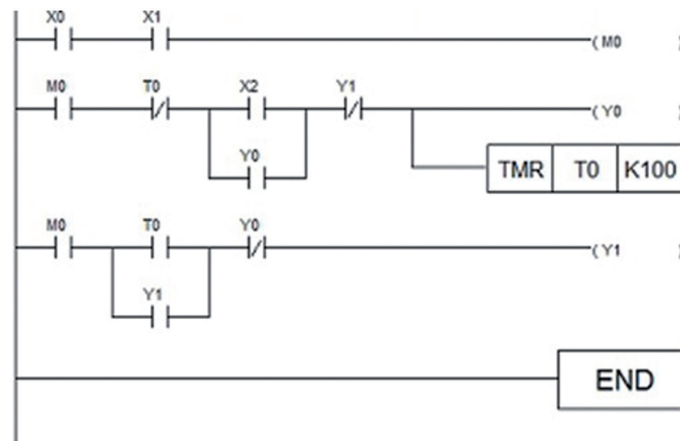
شكل (٧٦): تحويل جميع العلاقات المنطقية إلى رسم حسب الرموز المستخدمة بلغة السلم

١ اكتب برنامج متحكم منطقي بحيث انه عند الضغط على ضاغط تشغيل يبدأ المحرك ثلاثي الطور بالعمل لفترة زمنية محددة ، ثم يقف المحرك ليعمل بعدها بالاتجاه الآخر ؟
يمكن رسم مخطط دائرة التحكم لطريقة عمل المحرك ، كما هو مبين في الشكل (٧٧) .



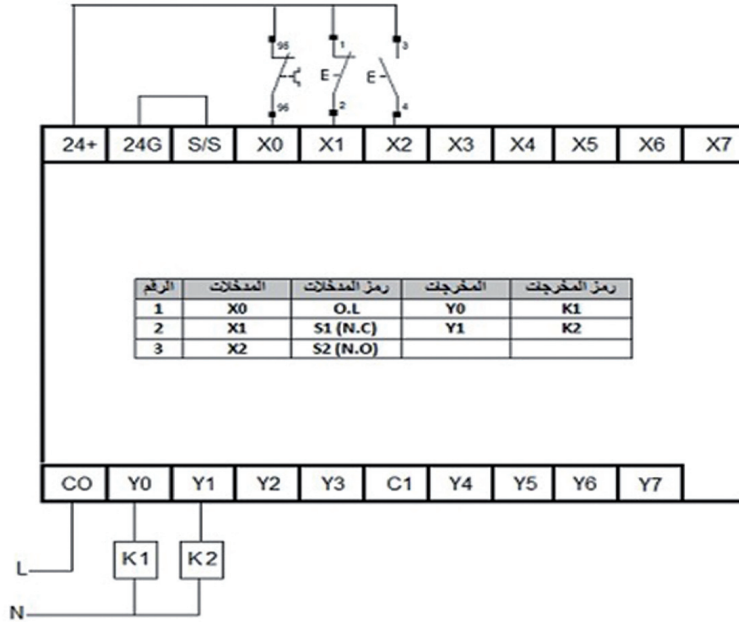
شكل (٧٧) : مخطط دائرة التحكم التقليدي لتشغيل المحرك لفترة من الزمن ثم عكس دورانه

ويمكن كتابة البرنامج الخاص بدائرة التحكم في الشكل (٧٧) ، كما هو مبين في الشكل (٧٨) .



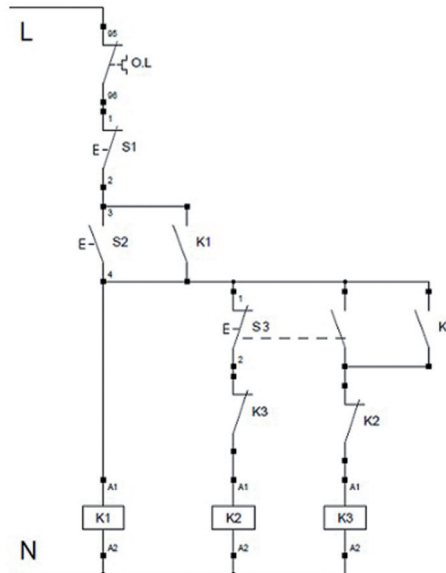
شكل (٧٨) : البرنامج بلغة السلم للمخطط التقليدي الخاص بالشكل (٧٧)

أما طريقة توصيل عناصر الدخل وعناصر الخرج وجدول التخصيص للبرنامج في الشكل (٧٨)، فيوضحه الشكل (٧٩) أدناه .



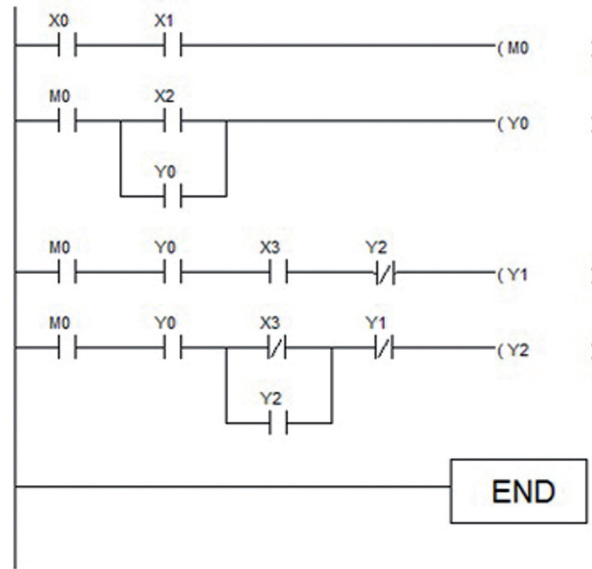
شكل (٧٩): طريقة توصيل عناصر الدخل وعناصر الخرج وجدول التخصيص للبرنامج في الشكل (٧٨)

٢ اكتب برنامج متحكم منطقي بلغة السلم لتشغيل محرك ثلاثي الطور بطريقة ستار\ دلتا يدويا باستخدام ضاغطي تشغيل ، وضاطع إيقاف ؟
يمكن رسم مخطط دائرة التحكم لطريقة عمل المحرك، كما هو مبين في الشكل (٨٠) .



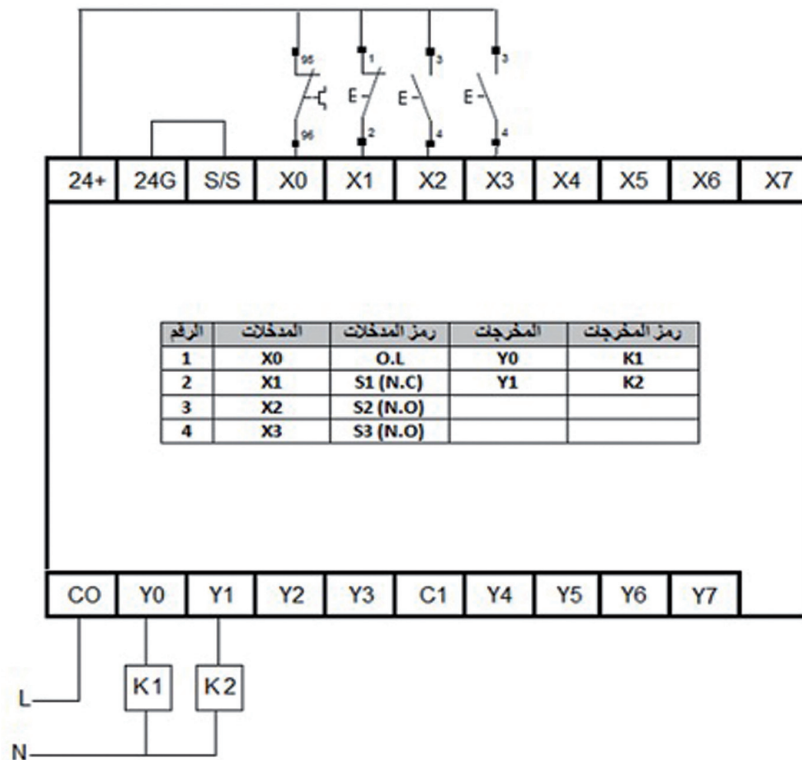
شكل (٨٠): تحويل جميع العلاقات المنطقية إلى رسم حسب الرموز المستخدمة بلغة السلم

شكل (٧٨): دائرة التحكم التقليدية لتشغيل محرك ثلاثي الطور بواسطة ضواغط يدويا
ويمكن كتابة البرنامج الخاص بدائرة التحكم في الشكل (٨٠)، كما هو مبين في الشكل (٨١).



شكل (٨١): برنامج بلغة السلم خاص بدائرة التحكم في الشكل (٨٠)

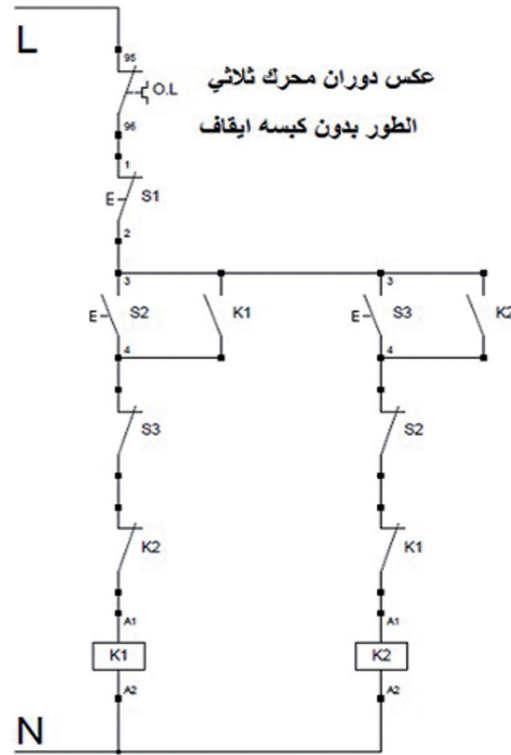
أما طريقة توصيل عناصر الدخل وعناصر الخرج وجدول التخصيص للبرنامج في الشكل (٨١)، فيوضحه الشكل (٨٢) أدناه.



شكل (٨٢): طريقة توصيل عناصر الدخل وعناصر الخرج وجدول التخصيص للبرنامج في الشكل (٨١)

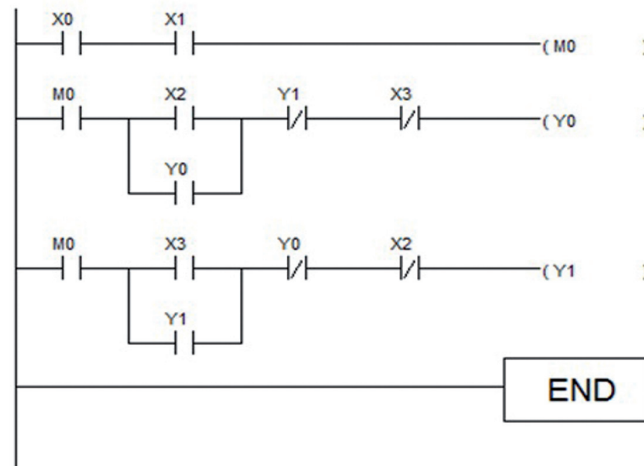
٣ اكتب برنامج متحكم منطقي بحيث انه عند الضغط على ضاغط تشغيل يبدأ المحرك بالدوران باتجاه معين ويستمر بالدوران ، وعند الضغط على ضاغط تشغيل آخر يعمل بالاتجاه الآخر ، وعند الضغط على ضاغط الإيقاف يوقف المحرك في أية لحظة؟

يمكن رسم مخطط دائرة التحكم لطريقة عمل المحرك ، كما هو مبين في الشكل (٨٣) .



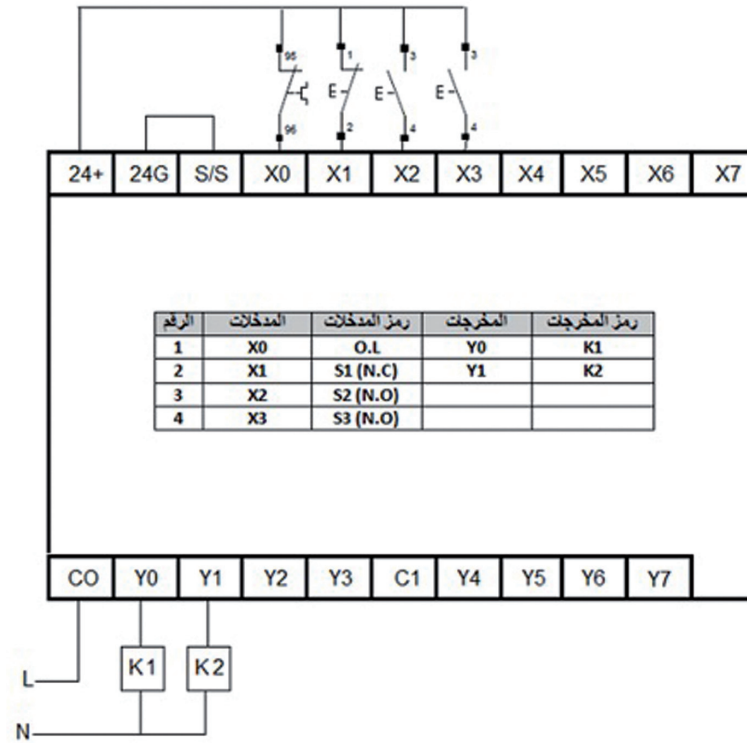
شكل (٨٣): دائرة التحكم التقليدية لتشغيل وعكس دوران محرك بواسطة ضواغط يدوية

ويمكن كتابة البرنامج الخاص بدائرة التحكم في الشكل (٨٣)، كما هو مبين في الشكل (٨٤) .



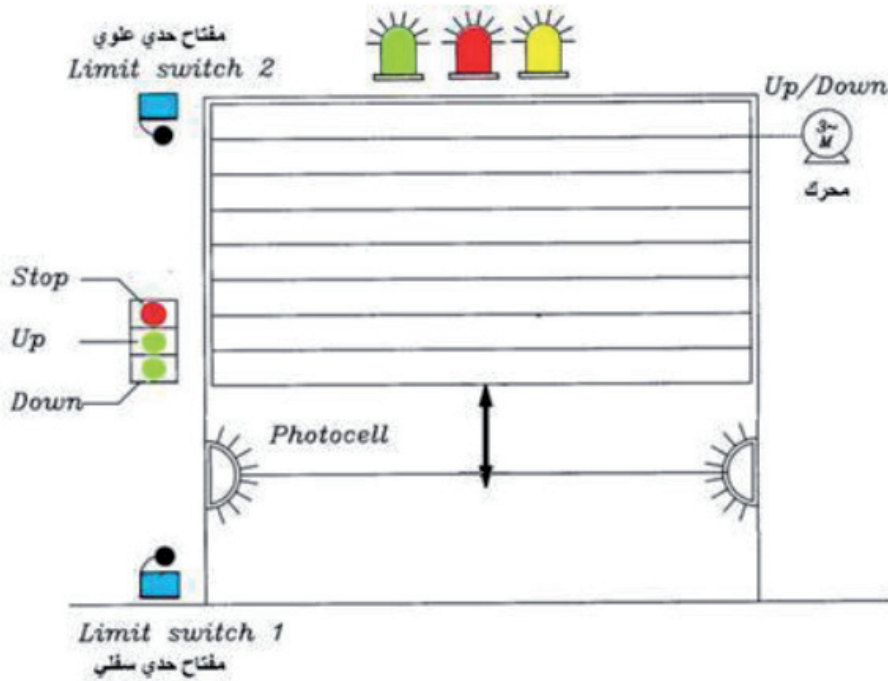
شكل (٨٤) : برنامج بلغة السلم خاص بدائرة التحكم في الشكل (٨٣)

أما طريقة توصيل عناصر الدخل وعناصر الخرج وجدول التخصيص للبرنامج في الشكل (٨٤) ، فيوضحه الشكل (٨٥) أدناه .



شكل (٨٥) : طريقة توصيل عناصر الدخل وعناصر الخرج وجدول التخصيص للبرنامج في الشكل (٨٤)

- ١ اشرح مبدأ عمل نظام ال PLC ؟
- ٢ ما هي مكونات جهاز ال PLC :
- ٣ ميز الهيكليات الشائعة لجهاز ال PLC :
- ٤ اذكر وظيفة وحدات الدخل في جهاز ال PLC :
- ٥ ما هي أنواع وحدات الدخل في جهاز ال PLC :
- ٦ اذكر وظيفة المعالج المركزي في جهاز ال PLC :
- ٧ اشرح خطوات دورة المسح في جهاز ال PLC :
- ٨ اذكر المزايا التي توفرها وحدة المشغل لجهاز ال PLC :
- ٩ اعدد طرق البرمجة في جهاز ال PLC :
- ١٠ بالرجوع الى الشكل التالي ، الذي يبين تشغيل بوابة تتحرك بفعل محرك كهربائي حثي ثلاثي الطور بواسطة ضاغطين ، احدهما لفتح البوابة والآخر لإغلاقها مع توفير ضاغط إيقاف ومجس ضوئي (خلية ضوئية) وقاطع اوفرلود (overload) مناسب لحماية المحرك :



مع العلم أن طريقة العمل هي كما يأتي :

١ عند الضغط على ضاغط فتح البوابة يعمل مرحل فتح البوابة ، وتفتح البوابة حتى يتم تفعيل المفتاح الحدي الخاص بفتح البوابة (السفلي) .

٢ عند الضغط على ضاغط إغلاق البوابة ، يعمل مرحل إغلاق البوابة ، وتغلق البوابة حتى يتم تفعيل المفتاح الحدي الخاص بإغلاق البوابة (العلوي) .

٣ عند الضغط على ضاغط الإيقاف ، يقف المحرك ، ويجب إيقاف المحرك قبل عكس الاتجاه .

٥ يتم إيقاف البوابة إذا كانت تقوم بالإغلاق عند وصول إشارة من المجس الضوئي (الخلية الضوئية) تفيد بان عائقا ما يقف في مسار البوابة ، مع العلم بان عمل البوابة لن يتأثر عند وصول إشارة من المجس الضوئي للبوابة إذا كانت تقوم بالفتح .

٦ المجس الضوئي يعطي جهدا مقداره (٢٤) فولتا عند الإحساس بوجود جسم ما .

المطلوب :

- ١ كتابة قائمة تخصيص (جدول) تمثل كل من المداخل والمخارج ورموزها ووصفها ؟
- ب رسم المخطط الكهربائي (مخطط القدرة ومخطط التحكم) لعمل البوابة بالشكل المطلوب ؟
- ج كتابة برنامج التشغيل بلغة المخطط السلمي ؟
- د رسم مخطط توصيل عناصر الدخل وعناصر الخرج مع جهاز التحكم المنطقي المبرمج ؟

ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي :

١ وظيفة المتحكم المنطقي المبرمج بشكل أساسي :

- أ) تكبير الإشارة الكهربائية الضعيفة .
- ب) تشغيل مخرج يعمل على جهد عال من مدخل ذي جهد قليل .
- ج) تشغيل المخارج بناء على علاقات منطقية بين المداخل والمخارج .
- د) التحكم بسرعة المحركات .

٢ إحدى الجمل الآتية لا تعد من مميزات المتحكم المنطقي المبرمج :

- أ) حجم اصغر .
- ب) يتحمل تيارا أعلى .
- ج) تكلفة اقل .
- د) اعتمادية اكبر .

٣ تقوم وحدة الدخل في جهاز المتحكم المنطقي المبرمج ب :

- أ) معالجة الإشارات الواردة من الضواغط والمجسات .
- ب) السماح للمبرمج بإدخال البرنامج للجهاز .
- ج) السماح للمعالج بإدخال الإشارات إلى الشاشة .
- د) توفير إشارات الدخل لتشغيل دوائر التحكم بالمحركات .

٤ يقوم المعالج في جهاز المتحكم المنطقي ب :

- أ) قراءة المداخل ، وبناء على البرنامج يقوم بتنفيذ المخارج .
- ب) تحديث حالة المخارج بناء على البرنامج وحالة المخارج الحالية .
- ج) حفظ البرنامج في الذاكرة فقط .
- د) يتعامل مع المخططات السلمية فقط .

٥ يتم وصل وحدة الخرج في جهاز المتحكم المنطقي المبرمج مع :

- أ) الضواغط والمجسات .
- ب) مشغلات أقراص CD ، أو DVD .
- ج) المبرمج الذي يتحكم بالآلة الصناعية .
- د) الأحمال الكهربائية كالمصابيح وملفات الصمامات .

٦ أي من عناصر الدخل الآتية سيكون على الأرجح استخدامها مع وحدات الدخل التماثلية :

- أ) ضاغط .
- ب) مفتاح اختيار .
- ج) مقاومة ضوئية .
- د) مفتاح حدي .

٧ إضاءة ثنائي الإشارة الخاص بإحدى مخارج وحدة الخرج يدل على :

- أ) أن عنصر الخرج يعمل .
- ب) أنه تم إعطاء إشارة لتفعيل المخرج .
- ج) وجود جهد على نقطة الدخل المناظرة لهذا المخرج .
- د) أن جهد التغذية للمتحكم يساوي الجهد المقرر .

٨ في جهاز المتحكم المنطقي المبرمج فان وحدة الإخراج التي تعمل على الجهد المتغير تستخدم :

- أ) الترياك .
- ب) الترانزستور .
- ج) ضاغط NO .
- د) الثايرستور .

٩ إحدى المهام الآتية لا تقوم بها وحدة المشغل (HMI) :

- أ) تشغيل وإطفاء العملية الصناعية .
- ب) تغيير القيمة المضبوطة لعدادات والمؤقتات .
- ج) برمجة المتحكم .
- د) إعطاء إنذار عند وجود خلل ما .

١٠ تسمى طريقة برمجة المتحكم بوساطة رموز تشبه الرموز المستخدمة في المخططات الكهربائية :

- أ) المخطط السلمي .
- ب) لغة C
- ج) قائمة الإجراءات .

د) المخطط الصندوقي الوظيفي .

١١ يتم حفظ حالة المفاتيح والضواغط في :

- أ) برنامج المستخدم .
- ب) صورة وحدات الدخل .
- ج) صورة وحدات الخرج .
- د) جهاز الحاسوب .

١٢ إحدى العوامل الآتية لا يؤثر في زمن المسح :

- أ) عدد المداخل وعدد المخارج .
- ب) طول برنامج المستخدم .
- ج) نوع تعليمات البرنامج .
- د) حمايات الذاكرة .

١٣ الذاكرة التي تفقد محتواها عند انقطاع الكهرباء عن الجهاز هي :

- أ ROM
- ب EPROM
- ج RAM
- د EEPROM

١٤ تشمل المخارج التماثلية ما يلي :

- أ مخارج ذات قيمة تيار متغير وأخرى ذات قيمة جهد متغير .
- ب مخارج لقراءة المجسات الحرارية .
- ج فقط مخارج جهد لتشغيل المرحلات والمفاتيح المغناطيسية .
- د لا شيء مما ذكر .

١٥ تكون أجهزة المتحكم المنطقي المبرمج المجزأة ((Moduled Type

- أ مصنوعة من وحدات منفصلة .
- ب يمكن اختيار الوحدات حسب الطلب .
- ج عادة تستخدم في التطبيقات المعقدة .
- د النقاط السابقة تعتبر من خصائص جهاز ال PLC المتكاملة (COMPACT TYPE) .

١٦ القيمة القياسية للمداخل القياسية هي :

- أ ٢٠-٤ mA
 - ب ٢٠-٠ mA
 - ج (٥-٠) أو (١٠-٠) فولت .
 - د (صفر فولت في حالة المدخل مفتوح) و (٢٤ فولت في حالة المدخل مغلق) .
- ١٧ تسمى طريقة برمجة المتحكم بوساطة رموز تشبه الرموز المستخدمة في المخططات الكهربائية :

- أ المخطط السلمي .
 - ب لغة C
 - ج قائمة الإجراءات .
 - د المخطط الصندوقي الوظيفي .
- ١٨ إحدى العوامل الآتية لا يؤثر في زمن المسح :

- أ عدد المداخل وعدد المخارج .
- ب طول برنامج المستخدم .
- ج نوع تعليمات البرنامج .
- د حمايات الذاكرة .

١٩ يمكن اختيار مكان تركيب المتحكم المنطقي المبرمج في أماكن بحيث تكون خالية من :

- ① الصدمات والاهتزازات .
 - ② الغبار والأملاح ومسحوق المعادن .
 - ③ الماء والزيت والمواد الكيماوية .
 - ④ جميع ما ذكر في النقاط السابقة .
- ٢٠ من أجل ضمان بقاء درجة حرارة المتحكم ضمن الحد المسموح له ، يجب الأخذ بعين الاعتبار ما يلي :
- ① عدم تركيب المتحكم فوق أجهزة تصدر حرارة عالية (السخانات ، المحولات) .
 - ② تركيب مراوح للتهوية إذا كانت هناك إمكانية لارتفاع درجة الحرارة عن ٥٥C .
 - ③ مراعاة وجود مساحة كافية لحركة الهواء للتهوية .
 - ④ جميع ما ذكر في النقاط السابقة .