الكهرباء

العلوم الصناعية الخاصة والتدريب العملي

الفصل الدراسي الأول

الصف الثاني عشر

الفرع الصناعي

إعداد

وزارة التربية والتعليم

بالتعاون مع

الوكالة الكورية للتنمية الدولية KOICA
والوكالة الألمانية للتعاون الدولي GIZ

الناشر

وزارة التربية والتعليم

إدارة المناهج والكتب المدرسية

يسر إدارة المناهج والكتب المدرسية استقبال آرائكم وملحوظاتكم على هذا الكتاب على العناوين الآتية:
هاتف: 8-5/4617304 فاكس:4637569 ص.ب: 1930 الرمز البريدي:11118
أو على البريد الإلكتروني: VocSubjecs.Division@ moe.gov.jo

قرّرت وزارة التربية والتعليم تدريس هذا الكتاب في مدارس المملكة الأردنية الهاشمية (الفرع الصناعي)، بناءً على قرار مجلس التربية والتعليم رقم (2020/19)، تاريخ 2020/5/4م، بدءًا من العام الدراسي 2021م/ 2022م.

الحقوق جميعها محفوظة لوزارة التربية والتعليم

عمّان – الأردن/ ص.ب: 1930

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية:
(2021/7/4075)
ISBN: 978 - 9957 - 84 - 988 - 7

اللجنة الضابطة لتأليف هذا الكتاب:

د. محمد سلمان كنانة — **د. أسامة كامل جرادات**

د. زايد حسن عكور — **د. زبيدة حسن أبو شويمة**

م. حمد عزات أحمرو — **م. باسل محمود غضية**

م. عبد الناصر سعيد حماد — **بكر صالح عليان**

م. عبد المجيد حسين أبو هنية — **م. حمّاد محمد أبو الرشتة**

م. محمد عبد اللطيف أبو رحمة

التحرير العلمي: م. باسل محمود غضية — التحرير اللغوي: د. خليل إبراهيم القعيسي

التحرير الفني: نرمين داود العزة — التصميم: فخري موسى الشبول

الإنتاج: سليمان أحمد الخلايلة

دقق الطباعة وراجعها: م. عاهد حامد العطوي

الطبعة الأولى — 1442هـ / 2021م

أعيدت طباعته — 2023م

قائمة المحتويات

الموضوع	الصفحة
المقدمة	
المسوغات	7
إرشادات للطلبة	9
قواعد السلامة والصحة المهنية	11
الوحدة الأولى: محركات التيار المتناوب أحادي الطور	26
أولًا: مكونات محرك التيار المتناوب أحادي الطور	28
التمرين (1): فك محرك كهربائي حثي أحادي الطور، وإعادة تجميعه	42
ثانيًا: أنواع محركات التيار المتناوب أحادية الطور، وخصائصها واستعمالاتها	46
التمرين (2): تحديد أطراف المحرك الكهربائي أحادي الطور من نوع الطور المشطور	65
التمرين (3): تشخيص الأعطال الميكانيكية للمحركات الكهربائية أحادية الطور وصيانتها	69
التمرين (4): فك محرك كهربائي ذي قطب مظلل (قطبين)، وتعرُّف أجزائه، وإعادة تركيبه	73
ثالثًا: القواعد الأساسية لعمليات لف محركات التيار المتناوب الحثية أحادي الطور	78
التمرين (5): إعادة لف محرك كهربائي أحادي الطور ذي مواسع تشغيل	100
التمرين (6): إعادة لف محرك القطب المظلل (أربعة أقطاب)	107
أسئلة الوحدة	111
الوحدة الثانية: محركات التيار المتناوب ثلاثي الطور	117
مبدأ عمل المحركات ثلاثية الطور ومكوناتها	119
التمرين (1): فحص المحرك الكهربائي ثلاثي الطور من نوع القفص السنجابي وتحديد أطرافه	161
التمرين (2): فحص المحرك الكهربائي ثلاثي الطور ذي العضو الدوّار الملفوف وتشغيله	164
التمرين (3): إعادة لف المحرك ثلاثي الطور ذي الطبقة الواحدة	168
التمرين (4): فحص المحرك الكهربائي ثلاثي الطور بعد إعادة لفه	175

التمرين (5): إعادة لف المحرك ثلاثي الطور ذي السرعتين بطريقة (دالندر)	179
التمرين (6): تشغيل محرك ثلاثي الطور بوصفه محركًا أحادي الطور	184
أسئلة الوحدة	188
الوحدة الثالثة: محركات التيار المباشر والمحركات الخاصة	192
مكونات آلة التيار المباشر ومبدأ عملها	194
التمرين (1): فك محرك تيار مباشر وإعادة تجميعه	231
التمرين (2): تحديد أعطال محركات التيار المباشر وصيانتها	234
التمرين (3): إعادة لف أقطاب المحرك العام	240
التمرين (4): فحص المحرك العام وصيانته	244
أسئلة الوحدة	250
مسرد المصطلحات	253

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على سيّدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين، أمّا بعد:

فانطلاقًا من رؤية وزارة التربية والتعليم، وانسجامًا مع أهدافها بتطوير التعليم، فقد جاء تطوير منهاج الكهرباء بدعم من الوكالة الكورية للتنمية الدولية (KOICA)، والوكالة الألمانية للتعاون الدولي (GIZ)؛ ليواكب التغيير المتسارع والتطور التكنولوجي المستمر، فأوكلت مهمة تنفيذ هذا المنهاج إلى مركز هندسة العقول للتدريب والاستشارات لتنفيذه، بإشراف كادر متخصص من الخبراء والفنيين في وزارة التربية والتعليم الأردنية، وفقًا لمنهجية التدريب المبني على أساس وحدة الكفاية CBT، وأُعدّت المواد التعليمية والتدريبية وفقًا لإستراتيجية الحلقة الخماسية؛ بما يحقق حاجات سوق العمل، ويقلل الفجوة بين التدريب والممارسة في سوق العمل في مجال الكهرباء؛ بهدف إكساب الطلبة المهارات الأدائية والنظرية والاتجاهية المتعلقة بمهنة الكهرباء، وقد عملت الوزارة على تطوير المناهج لتتماشى مع حاجات سوق العمل، عبر ارتكاز هذا المنهاج على المعرفة العلمية والخبرات العمليّة، ودمج المعرفة النظرية في التطبيق العملي وفقًا لإستراتيجيات تعليمية وتدريبية حديثة، حيث تعتمد الطالب (المتدرب) بوصفه محورًا للعملية التعلمية، لزيادة القدرة لديهم للبحث عن المعرفة وتحليلها، لتتولد لديهم معرفة جيدة، وليتواصلوا مع الآخرين بطرائق متعددة بلباقة، ملتزمين أخلاقيات العمل الجماعي، ويمارسوا التفكير الناقد والإبداعي في حل المشكلات بصورة علمية، مستخدمين ذلك في صنع القرارات.

وقد قُسم المستوى الثاني عشر ست وحدات دراسية، يتعرَّف الطالب في الوحدة الأولى محركات التيار المتناوب أحادي الطور، وفي الوحدة الثانية محركات التيار المتناوب ثلاثي الطور، وفي الوحدة الثالثة محركات التيار المباشر والمحركات الخاصة، وفي الوحدة الرابعة: المحولات الكهربائية والوحدة الخامسة: دارات التحكم والحماية للمحركات الكهربائية وأنظمتها، والوحدة السادسة: التحكم المنطقي المبرمج.

روعي في هذا الكتاب إدراج كثير من الصور، والرسوم التوضيحية، والأشكال، والجداول، والأنشطة، والقضايا البحثية، والزيارات الميدانية؛ لتمكين الطالب من الحصول على المعرفة بطرائق مختلفة ومتنوعة، فضلًا عن قائمة المصطلحات الإنجليزية لتسهيل مهمة الدارسين والمهتمين

خصوصًا عمليات البحث.

فقد مرّ هذا الكتاب بمراحل عدة حتى أُنجز بالصورة التي بين أيديكم، بدأت بدراسة الحاجات وتحليلها وتمثلت بالمسح الميداني الذي حُصرت عبره الكفايات المهنية لتخصص الكهرباء، التي يحتاج إليها القطاعان العام والخاص، ثم وضع هذه الكفايات بما يسمى الإطار العام للتخصص، ووضع النتاجات العامة والخاصة، وتطوير الخطة الدراسية ثم إعداد محتوى التعلم.

الشكر الجزيل لكل من أسهم وشارك في إبراز هذه الكتاب، ليكون أحد مصادر المعرفة المتاحة للجميع، سواء العاملون في وزارة التربية والتعليم أم العاملون في القطاعين العام والخاص، ونخص بالذكر لجنة الإشراف على هذا الكتاب التي أدّت دورًا كبيرًا في إبراز صفات التطوير لتحقيق هدف إحداث التنمية الشاملة.

والله وليّ التوفيق

المسوغات

يُعدّ التعليم الثانوي الصناعي أحد فروع التعليم الثانوي الشامل المهني الذي تتبناه وزارة التربية والتعليم ؛ لإعداد الكوادر المهنية المعلّمة الداعمة للاقتصاد الوطني الأردني. تخصص الكهرباء من التخصصات الضرورية التي تسعى إلى تطوير مهارات التفكير وحلّ المشكلات لدى الطلبة، وإغناء المعرفة النظرية والمهارات العملية والاتجاهات والقيم الإيجابية لديهم، ما يمكنّهم من إيجاد حلول مزاولتهم المهنة في الحياة العملية على أسس سليمة.

ويسعى هذا التخصص إلى غرس مبادئ العمل وقيمه واحترامها لدى الطلبة، وفقًا لتعاليم العقيدة الإسلامية وقيمها الإنسانية والأخلاق العربية، وكذلك إعداد الطلبة للعمل وتأمين الحياة الكريمة لهم ؛ مسلّحين بكفايات فنية متميزة وقادرة على مواجهة تحديات العصر.

يعدّ تخصص الكهرباء رافدًا مهمًّا للكوادر الفنيّة المؤهلة القادرة على التكيف مع متطلبات الحالية والمستقبلية والحاجات المتغيرة؛ ما ينعكس إيجابًا على سوق العمل، مثل: ما يُسهم في إعداد الطلبة القادرين على إدارة الوقت واستثماره، وربط المعرفة الفنية والنظرية والمهارات التي تلقوها في حياتهم العملية؛ ما يعكس رؤية وزارة التربية والتعليم في تحقيق أهداف الاقتصاد المبني على المعرفة، وإكساب الطلبة المهارات للحصول على المعرفة وتوظيفها واستثمارها لتكون عونًا لهم في حياتهم العملية.

وعليه، فإن تخصص الكهرباء سيسهم في تزويد الطلبة بالمهارات الآتية:

1- معارف ومهارات أساسية في مجال الكهرباء.

2- مهارات متخصصة في علوم الكهرباء وحساباتها ومعرفة العلوم النظرية الخاصة بالتخصص.

3- مهارات متخصصة بالطاقة الشمسية وأنواعها وطرائق توصيلها بما يتناسب و(الكود) الأردني.

4- مهارات متخصصة في فهم الدارات الإلكترونية وتمديدات التيار المنخفض.

5- مهارات تخصصية لإجراء التمديدات والتوصيلات الكهربائية وصيانة الأجهزة والمحركات الكهربائية المنزلية والصناعية وإعادة لفها بطريقة علمية صحيحة، بحسب معايير سوق

العمل

6- مهارات تركيب دارات التحكم وتشغيلها بحسب معايير سوق العمل.

7- المهارات وقيم العمل الأساسية التي تخلق اتجاهات جديدة في تقدير المهنة وأخلاقيّاتها، والتعامل مع الآخرين بإيجابية.

8- مهارات واتجاهات تساعدهم على التعلّم الذاتي، والتعلّم مدى الحياة.

9- مهارات التفكير الإبداعي التي تساعدهم على فهم تقنيات العصر في مجال الكهرباء المحيطة بهم، وكيفية التعامل معها.

الكفايات التقنية Technical Competences

إن الكفاية التقنية تركز على فكرة نقل المعرفة عن طريق عمل المشروع، وتنفيذ المشاريع عمومًا يعتمد على الخطوات الست الآتية:

1- الحصول على المعلومات Informing

بناءً على تعريف المشروع، يجب أن يحصل المتدربون على صورة واضحة للحل النهائي بما في ذلك التفاصيل. ويتحقق ذلك عبر تحليل وثائق المشروع تحليلًا منهجيًّا وطرح الأسئلة إذا لزم الأمر.

من الأسئلة الممكنة في هذه المرحلة:

- ماذا يفترض أن أفعل؟
- هل فهمت المهمة المطلوبة فهمًا دقيقًا؟

2- التخطيط Planning

التخطيط يعني إعداد نفسك عقليًّا وتوقع التنفيذ الفعلي، ويتطلب التخطيط القدرة على التعامل مع المشروع بكفاءة وتنظيم خطواته.

من الأسئلة الممكنة في هذه المرحلة:

- كيف يمكنك المضي قدمًا في تحقيق المهمة المطلوبة؟
- ما المعلومات المطلوبة؟
- ما المساعدات المتاحة؟

3- اتخاذ القرار Deciding

بعد مرحلة التخطيط، يقرر المتدربون الوسائل المساعدة الضرورية والمطلوبة، مثل: أوراق البيانات اللازمة لتنفيذ المشاريع، وهل ستنفذ فرديًّا أم جماعيًّا؟

من الأسئلة الممكنة في هذه المرحلة:

- ما الأدوات والمستلزمات التي ستستخدم في التمرين؟
- هل استعملت مصادر المعلومات المتوافرة جميعها؟
- هل التزمت متطلبات السلامة؟

4- التنفيذ Executing

تُنفَّذ المهمة بعد الأخذ بالخطوات السابقة.

يجب أن يكون المتدربون قادرين على تنفيذ المهمة المطلوبة.

بعد إنتاج الحل المكتوب، يجب إجراء فحص النتائج أو الطعن فيها.

من الأسئلة الممكنة في هذه المرحلة:

هل اخترت التسلسل الصحيح لإنجاز المهمة؟

5- التدقيق Checking

يفحص المتدربون النتائج، ويقارنون النتيجة بوثائق الشركة المصنعة، ويتحققون من القياسات لمعرفة ما إذا كانت القراءات واقعية.

من الأسئلة الممكنة في هذه المرحلة:

- هل تحققت أهداف المشروع؟
- هل اقتنع المعلِّم بالنتائج؟

مقدمة عامة: السلامة والصحة المهنية

معلومات مهمة

إن توفير بيئة عمل آمنة من المخاطر يؤدي إلى خفض عدد ساعات العمل المفقودة؛ نتيجة تغيب العاملين عن العمل بسبب المرض أو الإصابة، والحد من تكاليف العلاج والتأهيل والتعويض عن الأمراض والإصابات المهنية، ما يؤدي إلى تحسين مستوى الإنتاج وزيادته، وتحافظ على العنصر المادي من التلف؛ فتقلل بذلك من الخسائر المادية المباشرة، ومن الخسائر المادية غير المباشرة، وعليه، تزداد المكاسب؛ لذلك تجد أن بيئة العمل التي تهتم بتطبيق أعلى درجات الجودة في مجال السلامة والصحة المهنية وحماية البيئة، تحافظ على سمعة طيبة وعلى مكاسب مهمة بسبب ذلك.

إدارة المخاطر

هي قياس المخاطر المحتملة في بيئة العمل وتقييمها؛ بهدف السيطرة عليها والحد منها ما أمكن أو منعها تمامًا، وتُدار المخاطر بالخطوات الآتية مرتبة بحسب الأولوية:

1- **تحديد المخاطر**: هي عملية تحديد مصادر المخاطر المحتملة، وتحديد الأشخاص المحتمل تعرضهم لهذه المخاطر.

2- **تقييم المخاطر**: هي عملية تقدير لشدة الخطر.

3- **تنفيذ إجراءات الوقاية** من المخاطر بحسب التقييم، وعمومًا، هناك ستة إجراءات للتحكم في المخاطر مرتبة حسب الأولوية:

أ - **الإزالة**: إزالة الخطر كاملًا ونهائيًا من بيئة العمل إن أمكن ذلك.

ب- **الاستبدال**: إذا لم يزل الخطر نهائيًا، فيجب استبداله إن أمكن ذلك.

جـ- **العزل**: إذا لم يزل مصدر الخطر أو لم يُستبدل، فإن الإجراء المناسب هو عزل الخطر بعوازل مناسبة تقلل أو تحد أو تمنع أضرار هذا الخطر.

د - **التصاميم التقنية والهندسية**: وهي التصاميم التي تحد من مصادر الخطر أو تمنعها نهائيًا، فقد تكون واقيات عازلة للمعدات الخطرة أو عازلة لمصادر الخطر.

هـ - **الضوابط الإدارية**: وهي القوانين والإرشادات والقرارات الإدارية التي تحمي العاملين والأشخاص الموجودين في بيئة العمل من التعرض لمخاطر بيئة العمل.

و- **معدات الوقاية الشخصية**: وهي خط الدفاع الأخير لحماية الإنسان من مخاطر بيئة العمل، مثل: واقيات العيون، وواقيات السمع، والأيدي، والأرجل، وملابس العمل.

إجراءات الوقاية من مخاطر العمل في مهنة الكهرباء

في ما يأتي أهم إجراءات الوقاية من المخاطر المحتملة في بيئة العمل في مجال الكهرباء إضافة إلى ما تعلمته في الصفوف السابقة:

إن الأمراض الناجمة عن الحرارة (Heat-related illness)، أو أمراض الحرارة (Heat illness)، تُعدّ من الاضطرابات التي تظهر نتيجة التعرض لدرجات حرارة مرتفعة، وتشمل أمراضًا طفيفة، مثل: التشنج الحراري، والإغماء الحراري، والإجهاد الحراري، بالإضافة إلى الحالات الأشد خطورة المعروفة باسم ضربة الحرارة، وتعرف ضربة الحرارة بأنها ارتفاع في درجة حرارة الجسم يصل لأكثر من 40.6 درجة سليسيوس نتيجة تعرض الجسم لدرجة حرارة عالية،وضعف القدرة على تنظيم الحرارة، وتتسبب الحرارة الزائدة للعامل الذي يتعرض لها باستمرار بتقلصات في عضلات اليدين والقدمين، ويصحبهما قيء وإنهاك.

التعرّض للحرارة الزائدة

إن الحرارة الزائدة تؤدي إلى تعرق العامل أكثر من المعتاد، وقد يؤدي ذلك إلى حدوث جفاف في الجلد، وارتفاع درجة حرارة جسم الإنسان، مسببة له الدوّار ثم الإغماء، ومن الأمثلة على أمراض الحرارة:

1- **الضربة الحرارية**

ارتفاع درجة حرارة الجسم لتصل إلى أكثر من 40.6 درجة سليسيوس؛ نتيجة تعرض الجسم لدرجة حرارة عالية، وضعف القدرة على تنظيم الحرارة، وتحدث عندما لا يُسعف الشخص المصاب بالإعياء الحراري، ويتطلب الأمر هنا المراقبة والمعالجة الطبية ونقل المصاب إلى أقرب مركز طبي.

ومن أعراضها: فقدان التعرق، وارتفاع درجة الحرارة، وهذيان واضطراب في الرؤية، واختلال في توازن المصاب، والإغماء، ويكون الجلد جافًا وحارًّا، وارتفاع ضربات القلب، وانخفاض في ضغط الدم، ويصبح التنفس عميقًا وسريعًا، عندئذٍ، يجب إجراء الإسعاف الأولي؛ حيث تُخفف ملابس المصاب، ويُغطى جسمه بمناشف مبللة، ثم يُنقل المصاب إلى أقرب مركز طبي متخصص.

2- **الإجهاد الحراري**

يمكن أن يكون تمهيدًا لضربة الحرارة، ومن أعراضه: التعرق الشديد، وسرعة التنفس، وضعف النبض.

3- **الإعياء الحراري (الإغماء الحراري)**

هو عدم قدرة الجهاز الدوري وجهاز التحكم الحراري في مجاراة ارتفاع درجة حرارة الجسم نتيجة الجهد البدني في الجو الحار.

أعراضه: ارتفاع ضربات القلب، وانخفاض كمية التعرق، وانخفاض كمية اللعاب وتعب شديد قد يصاحبه دوخة.

عندئذٍ، يجب التوقف عن ممارسة أي نشاط، ونقل المصاب إلى مكان ظليل وبارد، وتبريد الجسم عن طريق شرب السوائل، وترطيب الجسم، وتوفير تهوية جيدة للمصاب، وإذا لم تزل الأعراض، فينقل المصاب إلى أقرب مركز طبي.

تنتقل الحرارة من مصادر الحرارة كالأفران إلى الأجسام الموجودة في حيز العمل بثلاث طرائق هي: الإشعاع، والتماس، والحمل.

إذا تعرض الشخص للبرد أكثر من ساعتين، فقد يصاب الشخص بتورم في أصابع القدم والأيدي والأذن والأجزاء السفلية من الساقين، وتظهر في صورة عقد حمراء مائلة للزرقة خصوصًا مع حدوث حكة شديدة عند التعرض للتدفئة قد تستمر ساعتين على الأكثر وتزول بعد تسخين الأصابع أوالمنطقة المصابة تسخينًا جيدًا (60°درجة على الأقل)، وتعود الحالة مجددًا بالظهور بعد التعرض للبرد الشديد، ويسمى هذا المرض كذلك تورم الأصابع الشتائي؛ لأنه يصيب بعض الأشخاص في فصل الشتاء خصوصًا عندما يكون البرد قارسًا (درجة الحرارة أقل من 10°)، ويعالج عن طريق أدوية يتناولها المريض كل أربع سنوات أوخمس قبل عدة أشهر من البرد القارس، وفضلاً عن تجنب البرد مدة طويلة أوتسخين المناطق المعرضة للإصابة.

مخاطر العمل على السقالات

السقالة منصة مرتفعة عن الأرض فوق دعامات قوية ومثبتة بإحكام أو معلقة بحبال قوية ومتينة، وتعزى مخاطر السقالات في بيئة العمل إلى سقوط الأشياء على العاملين أو المارين أسفلها، أو سقوط العاملين عنها، وقد يؤدي استعمال السقالات استعمالًا غير صحيح إلى إصابات شديدة قد تصل في بعض الأحيان إلى الوفاة، وتقع حوادث السقالات للأسباب الآتية:

1- عيوب في التصميم، مثل: قص في القوائم والدعامات أو سائل الربط والتثبيت، أو عدم وجود حواجز الوقاية الجانبية أو حواجز القدم.

2- نقص في عرض الألواح وعدم تثبيتها أو اتزانها.

3- نقص معدات الوصول إلى السقالات (الصعود والهبوط، والسلالم).

4- عيوب في مواد تصنيع السقالة: استعمال أخشاب (فيها كسور - شقوق - عقد)؛ لذا يجب تفقد مكونات السقالة والتحقّق من سلامتها قبل مباشرة العمل عليها.

مخاطر الحريق

تبدأ الحرائق غالبًا ضمن نطاق ضيق، ومعظمها ينشأ من مستصغر الشرر؛ بسبب إهمال طرائق الوقاية من الحرائق، ولكنها سرعان ما تنتشر إذا لم تُطفأ في الوقت المناسب مخلفة خسائر فادحة في الأرواح والمتاع والأموال والمنشآت؛ لذلك يجب التزام التدابير الوقائية من مخاطر نشوب الحرائق؛ منعًا لحدوثها والقضاء على مسبباتها، وتعرف عملية الاحتراق (نظرية الاشتعال) بأنها تلك الظاهرة الكيميائية التي تحدث نتيجة اتحاد المادة المشتعلة بوجود الأكسجين ودرجة حرارة كافية لبدء الاشتعال، حيث إن لكل مادة من المواد درجة حرارة لبدء اشتعال خاصة بها تسمى (نقطة الاشتعال)؛ لذا يجب أن تتوافر ثلاثة عناصر، هي: الوقود والحرارة والأكسجين معًا لبدء الاشتعال، وهو ما يطلق عليه (مثلث الحريق)، ويبين الشكل الآتي مثلث الحريق.

أنواع الحـرائق

1- حرائق النوع الأول (A)

وهي التي تنشأ في المواد الصُّلبة التي تكون غالبًا ذات طبيعة عضوية (مركبات الكربون)، كالورق، والخشب، والأقمشة.

2- حرائق النوع الثاني (B)

وهي الحرائق التي تحدث عن طريق السوائل أو المواد المنصهرة القابلة للاشتعال.

3- حرائق النوع الثالث (C)

وهي حرائق الغازات القابلة للاشتعال وتشمل الغازات البترولية المسالة كالبروبان والبيوتان، وتستعمل الرغاوى والمساحيق الكيميائية الجافة لمواجهة حرائق الغازات في حالة السيولة عند تسربها على الأرض، وتستعمل أيضًا رشاشات المياه لأغراض تبريد عبوات الغاز.

4- حرائق النوع الرابع (D)

وهي الحرائق التي تحدث بالمعادن، ولا تستعمل المياه لإطفائها لعدم فاعليتها، ولاستعمالاتها مخاطر، ويستعمل غالبًا مسحوق الجرافيت أو بودرة التلك، أو الرمل الجاف، أو أنواع أخرى من المساحيق الكيمائية الجافة لإطفاء هذه الحرائق.

أنواع الطفّايات اليدوية:

1- طفاية الماء.

2- طفاية الرغوة (الفوم).

3- طفاية ثاني أكسيد الكربون.

4- طفاية البودرة الجافة.

5- طفاية الهالون.

6- طفاية البودرة السائلة.

إجراءات الوقاية من مخاطر الحرائق:

1- تزويد موقع العمل بنظام إنذار مبكر.

2- توفير خطة إخلاء جيدة، والتدريب الجيد على تنفيذها.

3- تخصيص منطقة آمنة للتجمع عند حدوث حريق.

4- تجهيز مخطط مخارج النجاة، وتوزيع نسخ منه في الممرات وقرب المداخل.

5- توفير التهوية الكافية.

6- توافر طفايات حريق يدوية ومرشات مائية تغطي مساحة الموقع كله.

7- توفير وسيلة سهلة لقطع التيار الكهربائي عند حصول أي طارئ.

8- تخزين المواد القابلة للاشتعال بعيدًا عن مصادر النيران.

9- تزويد المبنى بنظام مكافحة الحريق مكون من: خزان مياه، وشبكة أنابيب مكافحة الحريق تغطي مرافق المبنى كلها، بحيث تُغذّى الشبكة بالمياه من مصدرين مختلفين: أحدهما خزان مياه مكافحة الحريق في المبنى، والآخر من صهاريج الدفاع المدني لمكافحة الحرائق، حيث تجهز شبكة مكافحة الحريق بخط رئيس يصل إلى خارج المبنى - يكون مغلقًا في الحالة الطبيعية - ويفتحه رجال الدفاع المدني، ووصل خراطيم صهاريج المياه به لضخ المياه عبره إلى شبكة مكافحة الحريق المجهزة مسبقا في المبنى.

10- تزويد الخزان بمضخات احتياطية تعمل بالوقود السائل في حال انقطاع التيار الكهربائي، وتعطل المضخات التي تعمل بالكهرباء.

11- توفير لوحات مخارج الطوارئ ولافتاته، ومواقع الطفايات، ومناطق التجمع في حال الإخلاء.

12- أبواب النجاة وضمان سهولة فتحها من داخل المبنى، بحيث يكون اتجاه فتح أبواب النجاة من الداخل إلى الخارج وليس العكس.

13- استعمال زجاج مقاوم للنيران في النوافذ واستعمال ستائر معدنية.

14- الاحتياطات اللازمة لمنع انتشار الحريق بالمناور ومواقع الأدراج والمصاعد.

15- خطة إدارة الأزمات، والإخلاء في حال حدوث حريق.

عناصر خطة الإخلاء

إن متطلبات نجاح خطة مواجهة الأزمات والحالات الطارئة تعتمد أساسًا على فريق إدارة الأزمات ومدى تدريبه، وعلى كيفية اكتشاف إشارات الإنذار بالأزمة واتخاذ الإجراءات الوقائية والمواجهة الفعلية واحتواء الضرر، ويجب أن تتضمن خطة الإخلاء تحديد واجبات المعلّمين، والمشرفين، ورؤساء الأقسام، والمديرين، والحراس، وفريق أدارة الأزمات، والمتدربين؛ على أن يعرف كل شخص في بيئة العمل واجباته وما عليه أن يفعله تمامًا في حال حدوث حريق، وهي كما يأتي:

واجبات فريق إدارة الأزمات:

1- التحقّق من توافر أجهزة المكافحة الأولية لأنواع الحرائق جميعها، وأن تكون صالحة للاستعمال الفوري، وموزعة توزيعًا منظمًا قرب المداخل الرئيسة والفرعية، وقرب مخارج الطوارئ، وفي الممرات، وحيث تخزن المواد القابلة للاشتعال.

2- إرشاد الموجودين والمتدربين إلى مسالك الهروب ومخارج الطوارئ ومناطق التجمع.

3- تقديم الإسعافات الأولية.

4- مكافحة الحرائق بالطفايات المناسبة، ومساعدة فرق الإطفاء والإنقاذ إن أمكن.

5- تفقد الموجودين عن طريق سجلات الحضور والغياب.

6- رفع الروح المعنوية وتنبيه الجميع إلى ضرورة التحلي بالهدوء وعدم الارتباك.

7- قطع التيار الكهربائي عن المكان.

8- التحقق من توافر الأدوية والأدوات الطبية اللازمة لعمليات الإسعاف الأولي.

9- التحقق من توافر مخارج الطوارئ وأبوابه الكافية واللوحات الإرشادية كلها التي تسهل عمليات الإخلاء وترشد شاغلي المبنى إلى مخارج الطوارئ ونقاط التجمع.

10- تعليق نسخ من مخطط مخارج الطوارئ في الممرات والطوابق والمداخل الرئيسة.

مخاطر الأمراض المهنية

الأمراض المهنية هي تلك الأمراض التي يصاب بها الشخص نتيجة لعمله أو مهنته. يمكن للإصابة أن تكون ناتجة من التعرض لعوامل ضارة مختلفة، قد تكون كيميائية، أو فيزيائية، أو بيولوجية، أو مسرطنة أو مشعة (**Radioactive**)، وتختلف عن إصابة العمل التي تكون ناتجة غالبًا من وقوع حادث مرة واحدة، فإن المرض المهني غالبًا ما يكون ناتجًا من التعرض الدائم والمتكرر لمسبب الضرر طوال مدة زمنية معينة.

وكذلك نتيجة تأثير الظروف الطبيعية في بيئة العمل، مثل: الضوضاء، والاهتزازات، والإشعاعات، والحرارة، والرطوبة، وغيرها، وقد يعرف المرض المهني بالمرض أو العجز الذي يصاب به العامل نتيجة لتعرضه لظروف العمل وبيئته، وتصنف الأمراض المهنية بحسب شدتها إلى صنفين، هما: الأمراض المهنية الحادة **Acute**: وتظهر آثارها فور التعرض للمسبب في بيئة العمل، مثل: التعرض لمادة الأمونيا بنسب أعلى من الحدود الآمنة، والأمراض المهنية المزمنة **Chronic** وتظهر آثارها بعد مدة طويلة من التعرض للمسبب في بيئة العمل، مثل: التعرض لمختلف أنواع الغبار بنسب أعلى من الحدود الآمنة مُددًا طويلة، مثل: شعور المصاب بعد سنوات من العمل بضيق نفس وأعراض ربو، وانسداد رئوي نتيجة لتليف الرئة.

أسباب الأمراض المهنية

ترجع أسباب الأمراض المهنية إلى ثلاثة مخاطر رئيسة، هي:

1- بيئة العمل

أ- تأثر العين من التعرض المتكرر للوهج والحرارة المرتفعة والضوء الشديد.

ب- شدة الضوضاء وتأثيراتها الضارة بالسمع (الصمم المهني).

جـ- الأعراض والأمراض الناتجة من التعرض لتغييرات الضغط الجوي (مرض القيسون).

د- التعرض للمواد ذات النشاط الإشعاعي، مثل الراديوم.

هـ- الاهتزازات الموضعية وتأثيراتها في العظام والمفاصل الصغرى لليدين.

و- الإشعاعات غير المؤينة، مثل: الأشعة فوق البنفسجية، والأشعة تحت الحمراء.

2- المخاطر الكيماوية

أ- التسمم بالمعادن الثقيلة ومضاعفاتها، مثل:

ب- الرصاص، والزئبق، والزرنيخ، والأنتيمون، والكاديوم، والبريليوم.

3- الأتربة التي تسبب أمراض الغبار الرئوي (Pnumoconiosis):

أ- أتربة غير عضوية تؤدي إلى تليف الرئتين، مثل:

1. السليكوزس (**Silicosis**): نتيجة التعرض لأتربة السيلكا الحرة في بعض المهن، مثل: عمال المناجم، والمحاجر، وصناعة الزجاج، والبلور.
2. الأسبستوزس (**Asbestosis**): نتيجة التعرض لألياف الأسبستوس (الحرير الصخري) في صناعة غلاف الفرامل والأنابيب الإسمنتية المختلطة بالأسبتوس والملابس الواقية من الحريق.
3. التلكوزس (**Talcosis**): نتيجة التعرض لأتربة التلك الصناعي (الطباشير الفرنسي) في بعض صناعات الدهانات والكاوتشوك.

ب- أتربة عضوية: مرض البسينوزس (**Byssinosis**) نتيجة التعرض لغبار القطن والكتان والجوت، وأعراض هذا المرض تشبه أعراض الربو الشعبي.

المخاطر الصحية الناتجة من الغازات والأبخرة:

1- غازات خانقة بسيطة: تحل محل الهواء الجوي فتقل نسبة الأكسجين المستنشق، فتؤدي إلى الاختناق، وفي حالة التهوية واستنشاق الأكسجين، تزول أعراض الاختناق، مثل: ثاني أكسيد الكربون، والهيدروجين، والميثان، والإيثان، والأرجون.

2- غازات خانقة كيميائية، مثل: أول أكسيد الكربون، والسيانور، وكبريتيد الهيدروجين.

3- الغازات المهيجة، مثل: الأمونيا، والكلور، وثاني أكسيد الكبريت، وفلوريد الهيدروجين، وثاني أكسيد النيتروجين.

المخاطر الصحية الناتجة من التعرض للمذيبات العضوية:

1- التسمم (**Benzol**) ومشتقاته: حيث يضر بنخاع العظم، وبمكونات الدم.

2- المواد البترولية السائلة والغازية: تضر الجلد، والجهاز التنفسي، والجهاز العصبي.

3- التسمم بالكحول والجليكول والكيتون بأنواعه المختلفة: التسمم بالكحول الميثيلي (**Methyl Alcohol**)، يضر بالجهاز العصبي، خصوصًا العصب البصري، ويؤدي إلى العمى في حالة التسمم الشديد.

المخاطر البيولوجية (الحيوية):

هي الأمراض الناتجة من التعرض للميكروبات الحية، أو الملوثات العضوية، أو الفيروسات، مثل:

1- أمراض الحميات المعدية.

2- الدرن (السل).

3- الجمرة الخبيثة.

4- أمراض الجهاز التنفسي.

أسباب الإصابة بالمخاطر البيولوجية

تنتقل الفيروسات والجراثيم عن طريق:

1- العدوى.

2- الطعام أو المكان الملوث.

3- مخاطر العمل الطبي: يتعرض العاملون في مجال العمل الطبي للمخاطر البيولوجية عن طريق وخز الإبر، والأدوات الحادة الملوثة، والعدوى المباشرة عن طريق التنفس.

4- مخاطر العمل العادي: يمكن أن يتعرض العامل للتلوث عن طريق: الوخز، والجروح من أدوات العمل الحادة التي غالبًا ما تكون ملوثة، الأكل في أماكن غير مخصصة وملوثة نتيجة العمل أو بأيدٍ ملوثة.

5- دورات المياه والمغاسل غير النظيفة.

6- تلوث مصادر المياه والخزانات المستعملة للشرب أوالتنظيف.

مواضع الإصابة بالمخاطر البيولوجية في جسم الإنسان:

1- الجهاز التنفسي.

3- الجلد.

الوقاية من المخاطر البيولوجية

1- النظافة الشخصية المستمرة من حيث الملبس، ومكان العمل، ونظافة المعدات والأدوات، ونظافة الطعام والشراب.

2- تجنب استعمال المياه الملوثة.

3- التطعيم ضد الأمراض المعدية والخطرة.

4- منح العامل المصاب إجازة حتى يتعافى تمامًا، وحجره عن زملائه وأهله وأصدقائه إلى أن يُشفى من هذه الأمراض.

5- ارتداء واقٍ عند التعرض لمصادر ملوثة بالميكروبات والجراثيم ، مثل: الأفرهول، والقفافيز، والأحذية المطاطية العالية، والنظارات.

التخزين الآمن للعُدد والأدوات، والمواد، والمعدات.

يمكن المحافظة على الأدوات والعُدد والمواد والأجهزة عبر الإجراءات الآتية:

1- تخزين الأدوات نظيفة منظمة يجعل البحث عنها عند الحاجة أمرًا يسيرًا.

2- التخلص من العدد والأدوات التالفة واستبدالها، والتحقّق من تمييز الأدوات التي تحتاج إلى إعادة تعبئة، مثل: أسطوانات الأكسجين والأسيتيلين وتخزينها بطريقة آمنة.

3- التحضير المبكر للأدوات اللازمة للعمل والتحقّق من جاهزيتها، وإجراء الصيانة اللازمة للأدوات التي تحتاج إلى صيانة.

4- تعليق العُدد اللازمة للعمل على لوحة خاصة.

1

الوحدة الأولى

محركات التيار المتناوب أحادي الطور
(Single-Phase AC Motors)

المحاور الفرعية

- مكونات محرك التيار المتناوب أحادي الطور.
- أنواع محركات التيار المتناوب أحادية الطور.
- القواعد الأساسية لعمليات لف المحركات أحادية الطور.

النتاجات العامة للوحدة

يُتوقّع من الطالب بعد دراسة هذه الوحدة أن:

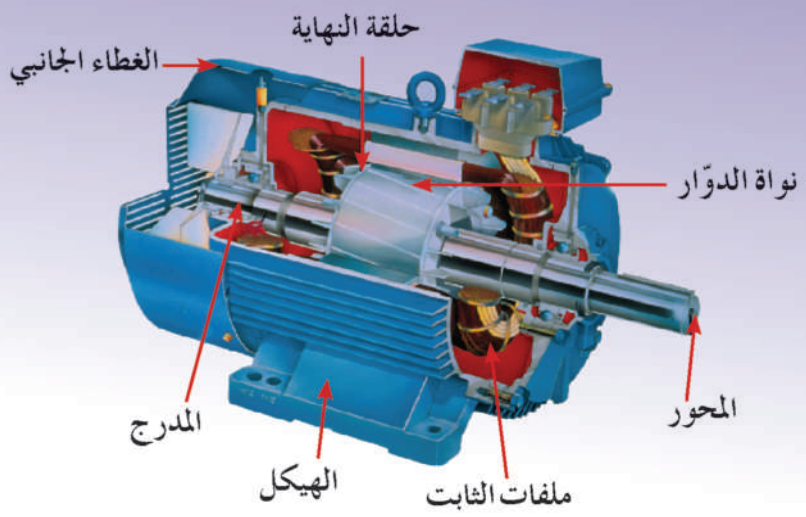
- يتعرَّف مكونات محركات التيار المتناوب أحادي الطور، ومبدأ عملها.
- يميز أنواع محركات التيار المتناوب أحادي الطور، وخصائصها، واستعمالاتها.
- يحدد العلاقة بين معاملات المحركات الحثية (السرعة، والتردُّد، وعدد الأقطاب).
- يتعرَّف طرائق عكس اتجاه دوران المحركات الحثية أحادية الطور.
- يتعرَّف أساسيات لف المحركات الحثية أحادية الطور، (العضو الساكن).
- يتعرَّف طرائق لف المحركات الحثية أحادية الطور، (العضو الساكن).
- يتعرَّف أعطال المحركات الحثية أحادية الطور، ومسبباتها، وكيفية تصليحها.
- يفك أجزاء المحركات الكهربائية الحثية أحادية الطور، ويعيد تجميعها.
- يشخص أعطال المحركات الحثية أحادية الطور،ويصلحها.
- يعيد لف المحركات الكهربائية أحادية الطور.

أولًا: مكونات محرك التيار المتناوب أحادي الطور.

النتاجات

يُتوقّع منك بعد نهاية هذا الدرس أن:

- تتعرَّف مكونات محركات التيار المتناوب أحادي الطور ومبدأ عملها.
- تُحدِّد العلاقة بين معاملات المحركات الحثية (السرعة، والتردُّد، وعدد الأقطاب).
- تُوضِّح مفهوم الانزلاق في محركات التيار المتناوب.



انظر.. وتساءل
استكشف
اقرأ.. وتعلم
الإثراء.. والتوسع
القياس والتقويم
الخرائط المفاهيمية

انظر.. وتساءل

- لا شك في أنك شاهدت بعض الأجهزة الكهربائية، مثل: الغسالات، ومضخات المياه المنزلية. فكيف تدور هذه الأجهزة؟ وما مكوناتها؟

استكشف

– نظرًا إلى الاستعمال الواسع والمتنوع للأجهزة الكهربائية؛ فإننا نشاهد في حياتنا اليومية كثيرًا من الأجهزة التي تحتوي محركًا كهربائيًّا أحادي الطور؛ ما يُحتِّم علينا تعرُّف أجزاء المحرك الكهربائي، ومبدأ عمله.

اقرأ.. وتعلم

مكوّنات المحركات أحادية الطور

تتكوَّن محركات التيار المتناوب أحادي الطور على اختلاف أنواعها من الأجزاء الأساسية الآتية:

1– العضو الساكن (الثابت) (Stator)

العنصر الذي يُولِّد المجال المغناطيسي الدوّار للمحرك ويتكون من الأجزاء الآتية:

أ – **القلب المعدني (Stator Core)**: مجموعة من الرقائق الفولاذية (**Laminations Steel**) المعزولة عن بعضها بطبقة من الورنيش، لا يتجاوز سُمْكها (0.2 – 0.5)مم، انظر إلى الشكل (1–1/أ)؛ لتقليل المفاقيد الهستيرية (**Hysteresis Losses**)، التي تنتج من مجالات مغناطيسية تتغير بحسب تردُّد المصدر، ما يؤدي إلى رفع درجة حرارة القلب المعدني، فيفقد جزءًا من الطاقة في صورة حرارة.

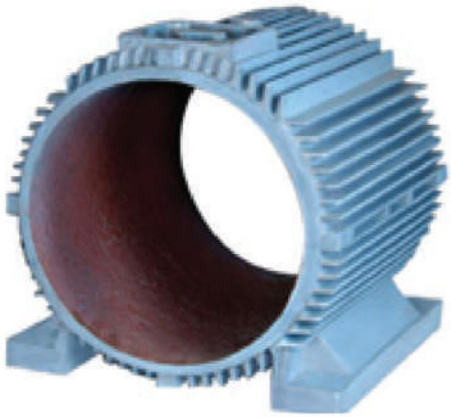
تقلل هذه الرقائق التيارات الدوّامية (**Eddy Current**) التي تنتج بسب تغير المجال المغناطيسي في القلب المعدني، علمًا أن هذه التيارات الدوّامية تتقطع بسبب الصفائح المعزولة، ثم تُجمع هذه

الصفائح كلها معًا، ويُتحكَّم في طول مجاري المحرك المحددة وعرضها تبعًا لتصميم المحرك، بحيث تحوي عددًا من المجاري نصف المغلقة (**Slots**) المخصصة لتركيب الملفات الكهربائية داخلها، ثم توصَل هذه الملفات بمصدر التيار الكهربائي، انظر إلى الشكل (1–1/ب).

الشكل (1–1/ أ): القلب المعدني.

الشكل (1–1/ب): المجاري نصف المغلقة.

ب – **الهيكل الخارجي (Frame)**: هو جزء مهم من المحرك؛ لأنه يُحدِّد درجة حمايته من تأثير العوامل الخارجية المتمثلة في دخول الأجسام الصُّلْبة ورذاذ الماء إلى داخله. يُصنَع هذا الهيكل من الصُّلْب أو الألمنيوم، ويحتوى فتحات تبرد الملفات عبر الهواء المندفع من مروحة التبريد، ويُستعمَل الهيكل الخارجي لحمل الرقائق المكونة للقلب وتثبيت الغطاءين الجانبيين وصندوق لوحة التوصيل، انظر إلى الشكل (1–2).

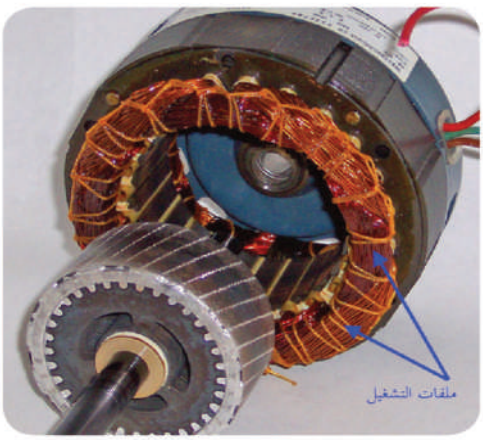


الشكل (1–2): الهيكل الخارجي.

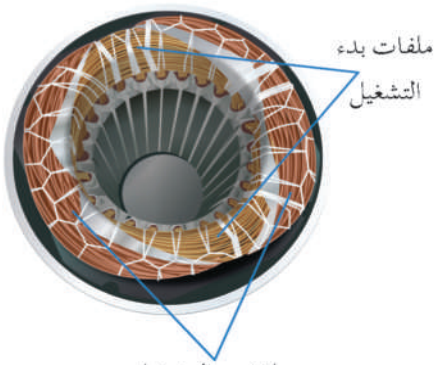
جـ- **ملفات العضو الساكن (Windings)**: تُصنَع هذه الملفات من أسلاك نحاسية معزولة بالورنيش، وتوضع داخل القلب المعدني (**Core**) في المجاري نصف المغلقة (**Slots**) المخصصة لحمل الملفات الكهربائية، انظر إلى الشكل (1–3).

وتقسم هذه الملفات قسمين، هما:

1. ملفات الحركة (ملفات التشغيل) (**Running Windings - Main**): ملفات رئيسة، وتكون غالبًا ملفوفة بسلك سميك، ومعزول، وعدد لفاتها قليل، (مساحة مقطعها أكبر، وعدد لفاتها أقل من لفات ملفات البدء)، وتوجد في قاع مجاري العضو الساكن، ولا تخرج من الدارة الكهربائية للمحرك في أثناء عمله، انظر إلى الشكل (1–3/أ).
2. ملفات البدء (الملفات المساعدة) (**Starting Auxiliary Windings**): وتسمى ملفات بدء التشغيل وهي ملفات تساعد على بدء دوران المحرك الكهربائي، وتحوي مجموعة من الأسلاك (مساحة مقطعها أقل، وعدد لفاتها أكثر من لفات ملفات التشغيل)، وتوضَع فوق ملفات التشغيل داخل المحرك، انظر إلى الشكل (1–3/ب).



(أ).



(ب).

الشكل (1–3): ملفات العضو الساكن.

تذكَّر

عند تصميم المحركات أحادية الطور للتيار المتناوب توضَع ملفات المحرك بحيث يبلغ مقدار الزاوية الكهربائية بين ملفات الحركة وملفات البدء (**90°**) كهربائية.

فكّر

كيف يمكن تحديد ملفات البدء وملفات التشغيل لمحرك كهربائي أحادي الطور باستعمال جهاز الأفوميتر؟

2 – العضو الدوّار (Rotor)

الجزء الدوّار في المحرك الحثي وهو يتكوَّن من نوعين، هما:

أ – **العضو الدوّار ذو ملفات القفص السنجابي (Squirrel Cage Rotor)**: جسم أسطواني معدني، مُثبَّت على عمود معدني، في صورة صفائح معزولة بالورنيش، وقابليتها للتمغنط عالية جدًّا. يحوي هذا العضو ملفات القفص السنجابي التي تتكوَّن من قضبان سميكة من النحاس أو الألمنيوم، توضَع في مجاري القلب الحديدي، وتُلحَم بحلقة سميكة من المعدن نفسه لإكمال الدارة الكهربائية وزيادة تيار بدء التشغيل. انظر إلى الشكل (1–4).

ب – **العضو الدوّار الملفوف (Wound Rotor)**: يُصنع هذا العضو من صفائح الصُّلْب السليكوني المعزولة بعضها عن بعض بمادة الورنيش، وتُشكَّل في صورة دوائر، يحتوي سطحها مجاري طولية توضَع فيها الملفات المعزولة. انظر إلى الشكل (1–5).

الشكل (1–4): العضو الدوار ذو القفص السنجابي.

الشكل (1–5): العضو الدوّار الملفوف.

الأجزاء الثانوية الإضافية

يحوي محرك الكهربائي الأجزاء الثانوية الإضافية:

أ – الغطاءان الجانبيان (Motor End Bell)

يُصنَع هذان الغطاءان من الصُّلب (حديد الزهر) أو الألمنيوم، أي معدن الإطار نفسه، ويُثبَّتان بمسامير قلاووظ (البراغي)، ويكون أحدهما أمامي والآخر خلفي، ويحتويان كراسي المحور التي تُثبَّت على عمود الدوران، وتعمل على اتزان العضو الدوّار، وتُسهِّل حركة دورانه، وجعله في وضع يسمح له بحرية الحركة كما في الشكل (1–6) الذي يبين الغطاء الجانبي.

الشكل (1–6): الغطاء الجانبي

ب – كراسي (المحور) التحميل (Bearings)

يرتكز عمود إدارة العضو الدوّار على كرسي المحور أو كرسي جلبة موجود في تجويف الغطاءين، فتحدث حركة الدوران من دون احتكاك مع العضو الثابت، انظر إلى الشكل (1–7)، ويجب أن يتطابق رقم كرسي المحور التالف مع رقم الكرسي الجديد عند تغييره.

الشكل (1–7): كرسي التحميل

جـ– المروحة (Fan)

تُمثِّل المروحة جزءًا مهمًّا من أجزاء المحرك الكهربائي، وتُصنَع من الألمنيوم أو البلاستيك. في أثناء دوران المحرك يندفع الهواء بين زعانف الإطار، فتنخفض درجة الحرارة التي تنشأ عن مرور التيار بملفات العضو الثابت. تُثبَّت المروحة على الجزء الدوّار، ويكون قُطْرها مناسبًا لقُطْر العضو الدوّار. انظر إلى الشكل (1–8).

الشكل (1–8): المروحة.

الشكل (1–9): غطاء المروحة.

د – غطاء المروحة (Fan Cover)

يُصنَع هذا الغطاء من الصُّلب، وتوجد فيه ثقوب لدخول الهواء، ومنع إصابة العاملين عند تشغيل المحرك. انظر إلى الشكل (1–9).

هـ – المواسع (المُكثِّف) (Capacitor)

الشكل (1–10): مواسعات.

يضاف المواسع إلى بعض أنواع المحركات أحادية الطور، لزيادة عزم بدء الدوران، وتخفيض استهلاك التيار، وهو يوصل في دارة الملفات المساعدة بصرف النظر عن وجود مفتاح طرد مركزي، أو عدم وجوده؛ ذلك أن بعض المواسعات تعمل عند بدء التشغيل مع ملفات البدء من دون وجود مفتاح يفصلهما من الدارة. انظر إلى الشكل (1–10).

نشاط

افحص مجموعة من المواسعات مُستعمَلًا:

- جهاز فحص المواسعات (RLC-meter).
- جهاز الأفوميتر التماثلي.

تذكَّر

في حالة فك أطراف المواسع أو توصيلها داخل أي دارة وفحصها بجهاز الأفوميتر، يجب عمل قصر على طرفيه لتفريغ شحنته؛ تجنبًا لتفريغها في جسم المُستخدِم عند لمسها. ويُفضَّل أن يكون تفريغ الشحنة عن طريق المقاومة، لا بتوصيل طرفيه مباشرة، خصوصًا المواسعات عالية السعة.

مبدأ عمل المحركات أحادية الطور

يعتمد مبدأ عمل المحركات الكهربائية على القاعدة الآتية:

إذا سرى تيار في موصل، وكان الموصل داخل مجال مغناطيسي مُتغيِّر القيمة، فإن الموصل سيتأثر بقوة ميكانيكية مُحرِّكة، وتتحدد حركة الموصل بحسب قاعدة اليد اليسرى.

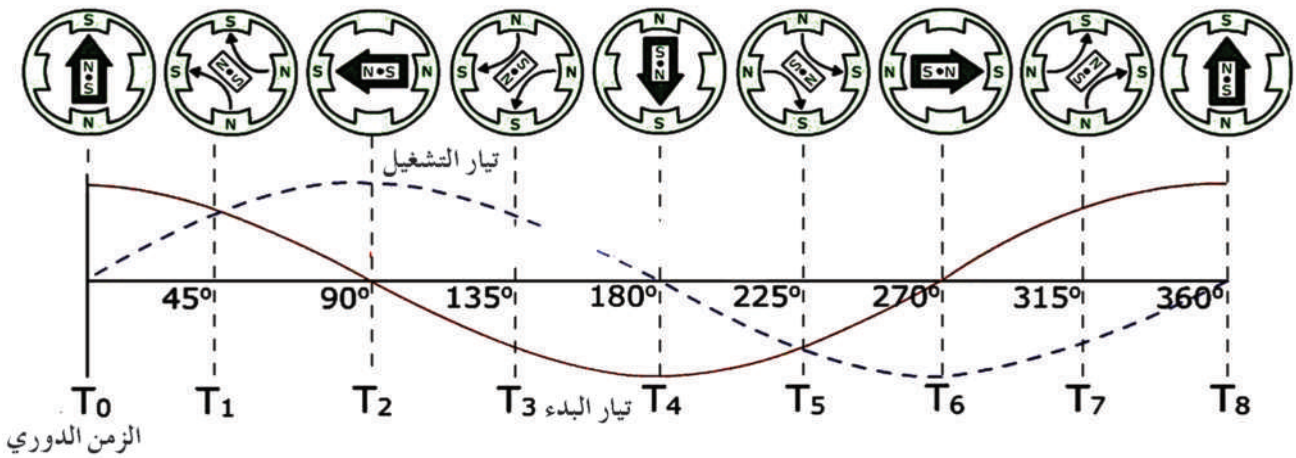
علمًا أن محركات الطور الواحد ذات التيار المتناوب، لا تستطيع بدء حركتها إذا غُذِّيت ملفات الطور الواحد من مصدر جهد متناوب؛ ذلك أن المجال الناشئ هو مجال فيض ثابت في الفراغ، فلا ينشأ عنه عزم حركة.

وعمومًا، فإن المحرك الحثي أحادي الطور لا يستطيع بدء حركته من تلقاء نفسه، وإذا بدأت حركة العضو الدوّار بوسيلة مساعدة، ثم أُزيلت تلك الوسيلة بعد دورانه، فإن هذا العضو يستمر في دورانه في الاتجاه الذي بدأ فيه. أمّا إذا أُوقف المحرك، فإنه لا يستطيع بدء حركته مرَّة أخرى إلا باستعمال وسيلة مساعدة. فعند بدء تشغيل المحرك، يتولد مجال مغناطيسي داخله نتيجة مرور التيار الكهربائي في ملفات التشغيل، وملفات البدء. وعند دوران هذا المجال، يتولَّد تيار تأثيري في ملفات العضو الدوّار التي تُنتِج بدورها مجالًا مغناطيسيًّا آخر. ثم يتفاعل هذان المجالان المغناطيسيان بصورة تؤدي إلى دوران المحرك.

لفهم مبدأ عمل محرك التيار المتناوب، يجب دراسة نشوء المجال المغناطيسي الدوّار. فعندما يسري تيار متناوب في محرك التيار المتناوب الذي يحوي نوعين من الملفات (ملفات التشغيل، وملفات بدء التشغيل، وبينهما إزاحة في الطور مقدارها (90°) كهربائية، فإن ذلك يؤدي لسريان تيارين كهربائيين لهما زاوية الطور نفسها؛ ما يتسبَّب في وجود مجالين مغناطيسيين لهما الإزاحة نفسها كما في الشكل (1–11) الذي يُبيِّن نشوء المجال المغناطيسي الدوّار بتغيُّر التيارين اللذين يسريان في الملفات بمرور الزمن.

ابحث

عن قاعدة فلمنج التي تحدد حركة الموصل بحسب قاعدة اليد اليسرى.



الشكل (1–11): نشوء المجال المغناطيسي الدوّار.

يُلاحَظ من الشكل أعلاه أن التيار الأول (تيار ملفات بدء التشغيل) يسري عند النقطة (T_0) بقيمته العظمى في اللحظة التي يكون فيها التيار الثاني (تيار ملفات التشغيل) صفرًا؛ ما يؤدي إلى تولُّد مجال مغناطيسي من التيار الأول فقط. أمّا عند النقطة (T_1)؛ أي بعد زاوية (**45°**) من اللحظة الأولى، فيتولَّد مجالان مغناطيسيَّان متساويا القيمة، بينهما زاوية طور مقدارها (**90°**)، فتنتج مُحصِّلة للمجالين المغناطيسيين. وأمّا عند النقطة (T_2)، فتصبح قيمة التيار الأول صفرًا، وتكون للتيار الثاني قيمة عظمى؛ ما يؤدي إلى تولُّد مجال مغناطيسي من التيار الثاني فقط، يكون اتجاهه كما في الشكل. وبتتبُّع بقية النقاط، يمكن ملاحظة مُحصِّلة المجال المغناطيسي خلال دورة كاملة للتيار (من**0°-360°**)؛ أي إن المجال المغناطيسي يدور دورة كاملة لمحرك ذي قطبين بسرعة (**3000** د/د)، وأن للتيار الذي يسري تردُّدًا مقداره (**50Hz**).

يُولِّد هذا المجال قوة دافعة كهربائية في أي موصل كهربائي يقع ضمن نطاق تأثيره، وفقًا لظاهرة الحث الكهرومغناطيسي. ولمّا كان العضو الدوّار يقع تحت تأثير المجال المغناطيسي الدوّار، فإن قوة دافعة كهربائية تنشأ في موصلاته، ولأن موصلات العضو الدوّار مقصورة من الجهتين؛ فإن تيارات كهربائية تسري فيها، فيتولَّد مجال مغناطيسي دوّار آخر في الثغرة الهوائية (**Air Gap**) الموجودة بين العضو الساكن والعضو الدوّار نتيجة سريان تيار في موصلات العضو الدوّار؛ ما يعني وجود مجالين مغناطيسين دوّارين؛ الأول ناتج من العضو الساكن، والثاني ناتج من العضو الدوّار. ولأن المجالين المغناطيسيين يدوران بالسرعة والاتجاه نفسيهما؛ يتولَّد عزم فاعل على العضو الدوّار يؤدي إلى دورانه في اتجاه دوران المجالين.

العلاقة بين معاملات المحركات الحثية (السرعة، والتردُّد، وعدد الأقطاب)

يؤدي توصيل مجموعات الملفات الكهربائية داخل المحرك معًا إلى نشوء أقطاب مغناطيسية زوجية من حيث العدد (أقل عدد للأقطاب هو قطبان).

إن عدد الذبذبات (الموجات الكهربائية الكاملة) المُتولِّدة في الملف الدوّار ضمن مجال مغناطيسي يساوي عدد الأقطاب مقسومًا على (2)، مضروبًا في عدد الدورات للملف في الثانية؛ وعليه، فإن تردُّد الفولتية المُتولِّدة يساوي حاصل ضرب عدد أزواج الأقطاب في عدد دورات محور المحرك في الثانية. فمثلًا، عندما تكون سرعة المحرك (n_s) دورة في الدقيقة، فيُعبَّر عن العلاقة بين السرعة والتردُّد بالمعادلة الآتية:

$$n_s = \frac{120 \times f}{P}$$

حيث: **120** ثابت.

n_s: السرعة التزامنية: (دورة في الدقيقة **rpm**).

f: التردُّد (**Hz**).

P: عدد الأقطاب.

علمًا أن سرعة المجال المغناطيسي الدوّار تُسمّى السرعة التزامنية (**Synchonous Speed**).

ويُلاحَظ من العلاقة السابقة، أن السرعة تتناسب طرديًّا مع التردُّد (كلما زاد التردُّد زادت السرعة)، وعكسيًّا مع عدد الأقطاب (كلما زاد عدد الأقطاب قلَّت السرعة).

فكِّر

من أين جاء الرقم الثابت 120 في المعادلة؟

نشاط

- إذا كان تردُّد المصدر داخل الأردن هو (50 Hz)، فاملأ الفراغ بما هو مناسب في الجدول الآتي:

عدد الأقطاب	2	4	6	8	10	12
السرعة التزامنية (ns)						
التردُّد	50	50	50	50	50	50

- احسب السرعة التزامنية عند التردُّد (60 Hz).

عدد الأقطاب	2	4	6	8	10	12
السرعة التزامنية (ns)						
التردُّد	60	60	60	60	60	60

فكّر

ما أعلى قيمة للسرعة التزامنية للمحرك الحثي عند تغذيته من مصدر كهربائي أحادي الطور داخل الأردن بصورة مباشرة من المصدر؟

مثال (1)

محرك تيار متناوب، تبلغ سُرعة المجال المغناطيسي الدوار في العضو الساكن (1800 rpm)، ويحوي أربعة أقطاب. ما تردُّد المصدر؟

إذا وُصِّل المحرك بمصدر تغذية تردُّده (50Hz)، فما سرعته؟

الحل

تردُّد المصدر:

$$f=\frac{ns\times p}{120}=\frac{1800\times 4}{120}=60Hz$$

سرعة المحرك عند تردُّد (50Hz):

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

الانزلاق (Slipping)

تُعرَّف سرعة الانزلاق بأنها الفرق بين سرعة المجال المغناطيسي الدوّار وسرعة العضو الدوّار؛ إذ يدور العضو الدوّار في المحركات الحثية بسرعة أقل من سرعة المجال المغناطيسي الدوّار؛ ذلك أن دورانه بالسرعة نفسها يؤدي إلى انعدام (ق د ك) المُتولِّدة في ملفاته، بسبب عدم وجود سرعة نسبية بين هذه الملفات والمجال المغناطيسي الدوّار. ويُسهم الانزلاق إسهامًا فاعلًا في تحديد خصائص تشغيل المحركات الحثية، (**Slip Velocity**)؛ أي إن:

سرعة الانزلاق = السرعة التزامنية − سرعة المحرك.

تعتمد قيمة الانزلاق على حمل المحرك، فكلما زاد الحمل، زاد العزم اللازم للدوران، ومن ثَمَّ، انخفضت سرعة المحرك، وارتفع مقدار الانزلاق.

يمكن التعبير عن الانزلاق (**S**) بالمعادلة الآتية:

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\%$$

حيث:

n_s: السرعة التزامنية (**rpm**).

n_r: سرعة العضو الدوّار (**rpm**).

مثال (2)

محرك كهربائي حثي له (**8**) أقطاب، ويُغذّى بفولتية تردُّدها (**50Hz**)، وتبلغ سرعته على الحمل الكامل (**720 rpm**) ما مقدار انزلاقه؟

الحل

$$n_s = \frac{120 \times f}{p} = \frac{50 \times 120}{8} = 750 \text{ rpm}$$

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\%$$

$$S = \frac{750 - 720}{750} \times 100\% = 4\%$$

يتراوح مقدار الانزلاق في المحركات الصغيرة بين (1%) و(2%)، ويصل في المحركات الكبيرة إلى (0.5%) في حالة عدم التحميل. أمّا في حالة التحميل، فيتراوح مقداره بين (3%) و(5%)، علمًا أنه يساوي صفرًا عندما يدور العضو الدوّار بالسرعة التزامنية نفسها.

يُحسب تيار المحرك المقرر (Rated Current) للمحركات الكهربائية بالمعادلة الآتية:

$$In = \frac{P}{V \times \cos\theta}$$

حيث:

In: التيار المقرر (Rated current).

V: فولتية مصدر التغذية (Source voltage).

P: القدرة (Power).

cos θ: معامل القدرة (power factor).

عند بدء تشغيل المحرك، يظهر للمحرك تيار أكبر كثيرًا من هذه القيمة، يُسمّى تيار البدء (Ist: Starting Current) الذي يستمر ثواني معدودة، ثم تعود قيمة التيار إلى القيمة الطبيعية المحسوبة من المعادلة السابقة.

- ابحث في الإنترنت عن أجزاء ثانوية أخرى للمحرك، واكتب تقريرًا مفصلًا عنها، ثم ناقش المعلم فيه.
- ناقش زملاءك في سبب ارتفاع تيار البدء للمحركات الكهربائية، ثم اكتب تقريرًا يوضّح ما توصلتم إليه من أسباب، ثم اعرضه على معلمك.

التمارين العملية

إرشادات عامة قبل فك أجزاء المحرك الكهربائي:

1- نقل المحرك إلى مشغل (ورشة) الكهرباء، ووضع لوحة إرشادية تشير إلى تصليحه، وتُعلَّق على مكان وجوده.

2- كتابة المعلومات الفنية والبيانات الموجودة على لوحة الآلة (Name Plate) في مذكرة المعلومات؛ للاستعانة بها والرجوع إليها عند الصيانة.

3 – التحقُّق من وجود العُدَد اللازمة لتفكيك أجزاء المحرك بصورة صحيحة.

4- ارتداء ملابس السلامة العامة الخاصة.

5- فك الكبل الموصول بالمحرك، ثم لف الأطراف العارية بشريط لحام؛ لعزلها وتجنُّب الخطر.

6- تنظيف جسم المحرك من الخارج، وإزالة الصدأ والأتربة عن المسامير بفرشاة معدنية وقطعة قماش.

7- ترتيب العُدَد والأدوات في أثناء تفكيك المحرك.

8- وضع علامات خاصة على جسم المحرك قبل تفكيكه؛ لضمان إعادة تركيبه بصورة صحيحة.

9- المحافظة على أجزاء المحرك من التلف، ووضع قطع المحرك (البراغي، والقطع الصغيرة) جميعها في وعاء واحد؛ تجنُّبًا لضياعها.

10- استعمال العُدَد والأدوات الخاصة بتفكيك أجزاء المحرك.

11- تجنب الاعتماد على الخبرة العملية في تحديد العطل، واستعمال أجهزة القياس الخاصة بذلك.

ملحوظة:
تُدّرس الأعطال العملية ضمن مبحث التدريب العملي، على صورة تمرين عملي.

التمارين العملية

التمرين (1)

فك محرك كهربائي حثي أحادي الطور، وإعادة تجميعه.

يُتوقَّع منك بعد تنفيذ هذا التمرين أن:

- تفك محركًا أحادي الطور، وتُعاين أجزاءه، وتتحقَّق من صلاحيتها.
- تعيد تجميع المحرك بصورة صحيحة.
- توصل المحرك الكهربائي بمصدر التيار بإشراف المعلِّم.
- تقيس تيار المحرك الكهربائي وسرعته بإشراف المعلِّم.

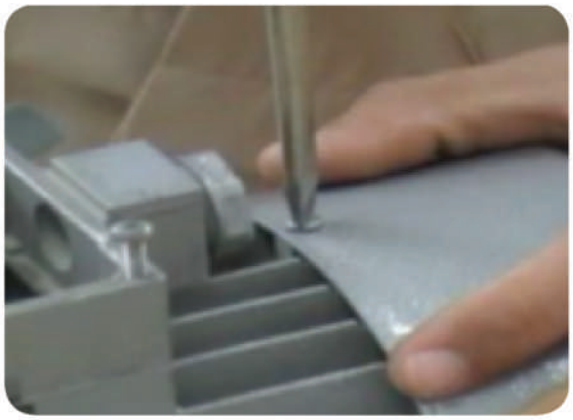
متطلبات تنفيذ التمرين

الأدوات والتجهيزات	المواد الأولية
صندوق عُدَّة كهربائية، محرك حثي أحادي الطور، مطرقة بلاستيكية، طقم مفاتيح شق، طقم مفاتيح رنج، طقم مفكات مختلفة، بريصة سحب، سنبك طرد، سنبك نقطة (علام) جهاز الكلامبميتر، جهاز Tachometer، جهاز الأفوميتر.	– شريط لاصق.

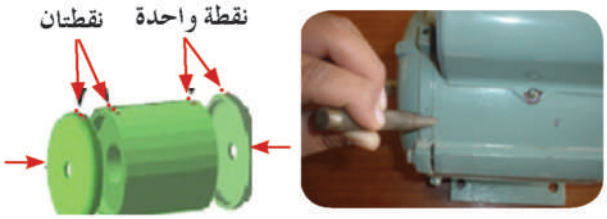
خطوات الأداء

1- فُكَّ غطاء مروحة التبريد، مراعيًا وضع علامات عليها بقلم علام (طلاء)؛ لإعادة تركيب المروحة في المكان نفسه في ما بعد، ثمّ ضع أجزاء المحرك في الوعاء الخاص بحفظ قطع المحرك كما بالشكل الشكل (1).

الرسم التوضيحي



الشكل (1).

خطوات الأداء	الرسم التوضيحي
2- فُكَّ مروحة التبريد، وتحقَّق من إزالة العوائق، مثل حلقة (روندیلة) الربط أو الإسفين، وتحقق من عدم وجود برغي غاطس، ثم ضعها في الوعاء الخاص بحفظ قطع المحرك كما في الشكل (2).	الشكل (2).
3- ضع علامة فارقة على الغطاءين الجانبيين وعلى جسم المحرك باستعمال سنبك النقطة؛ لتسهيل عملية إعادة التجميع كما في الشكل (3).	 الشكل (3).
4 - فُكَّ البراغي التي تُثبِّت الأغطية الجانبية بالعضو الساكن باستعمال العُدَد المناسبة، ثم ضعها في الوعاء الخاص بحفظ قطع والمحرك كما في الشكل (4/أ). وإذا وجدت بكرة، فتحقق من نزع الإسفين الخاص بتثبيتها كما هو مُبيَّن في الشكل (4/ب).	الشكل (4/أ).
5 - اطرق العضو الدوّار بالمطرقة البلاستيكية تجنبًا لتلفه، واحذر سقوطه للحفاظ على اتزانه، وتحقَّق من عدم وجود قطع كهربائية مُثبَّتة من الداخل على الغطاء وموصولة بملفات المحرك (مفتاح الطرد المركزي) كما في الشكل (5).	الشكل (4/ب). الشكل (5).

خطوات الأداء

6- اسحب العضو الدوّار بحذر شديد؛ حفاظًا على سلامة الملفات من الخدش أو التلف كما في الشكل (6).

7- عاين الأجزاء، ثم حدِّد وظيفة كل جزء منها كما في الشكل (7).

8- أَعِدْ تركيب المحرك بدءًا بآخر قطعة فككتها.

9- تأكَّد أن العضو الدوّار يدور بحرية بعد الانتهاء من شدِّ البراغي، ثم جرِّبه بإشراف المعلِّم. ثم قِس تيار المحرك، ثمّ دوِّن قيمته، وتأكَّد أنها أقل من القيمة المكتوبة على لوحة البيانات (لماذا؟). انظر إلى الشكل (8).

10- قِس سرعة المحرك بجهاز قياس سرعة المحركات الكهربائية (Tachometer)، كما في الشكل (9/أ) الذي يُمثِّل أحد أنواع جهاز قياس السرعة، والشكل (9/ب) الذي يُوضِّح كيفية استعمال هذا الجهاز في قياس سرعة المحرك.

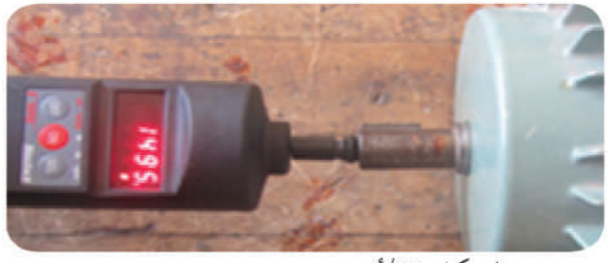
11- افصل المحرك عن مصدر الكهرباء، ثمّ أَعِدْ العُدَد والأدوات إلى أماكنها، ونظِّف مكان العمل، ودوِّن ملاحظاتك في دفتر التدريب العملي، ثمّ اكتب تقريرًا تُبيِّن فيه الخطوات التي اتبعتها في عمليتي الفك والتركيب.

الرسم التوضيحي

الشكل (6).

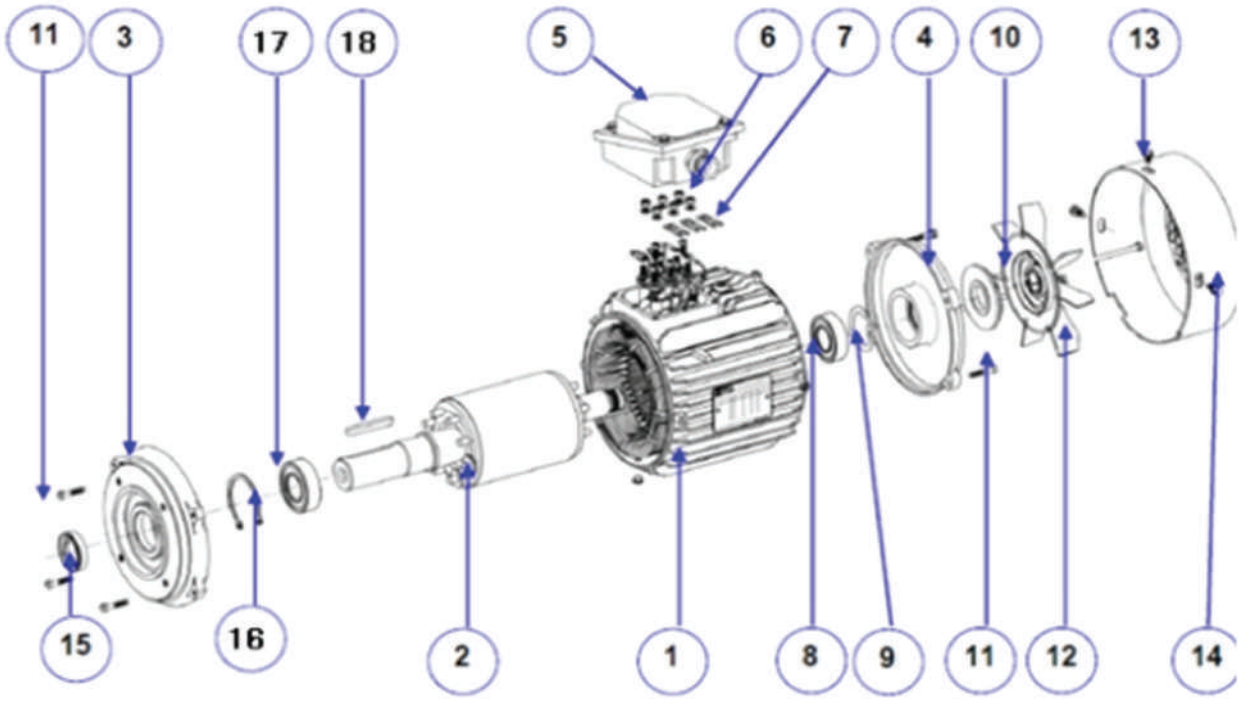
الشكل (7).

الشكل (8).



الشكل (9/أ).

الشكل (9/ب).



الرقم	اسم العنصر	الرقم	اسم العنصر	الرقم	اسم العنصر
1	العضو الثابت.	7	برجات التوصيل (أسلاك المحرك والمصدر).	12	مروحة التبريد.
2	العضو الدوّار.	17،8	محور الدوران الخلفي، ومحور الدوران الأمامي.	13،14	براغي مروحة التبريد والغطاء الخاص بها.
3،4	الغطاء الأمامي والغطاء الخلفي.	9	قطعة معدنية (لمنع حركة العضو الدوّار).	15	طوق أمامي.
5	علبة التوصيل.	10	فاصل.	16	كلبس لتثبيت المحور.
6	براغي توصيل الأسلاك.	11	براغي تثبيت الغطاءين الخلفي والأمامي	18	إسفين لربط البكرة، أو المروحة.

ثانيًا: أنواع محركات التيار المتناوب أحادية الطور، وخصائصها واستعمالاتها

القياس والتقويم

الخرائط المفاهيمية

النتاجات

يتوقع منك بعد نهاية هذا الدرس أن:

- تُميِّز أنواع محركات التيار المتناوب أحادية الطور بعضها من بعض، مُبيِّنًا خصائصها واستعمالاتها.

انظر.. وتساءل

- هل تعمل المحركات الكهربائية جميعها للتيار المتناوب بالطريقة نفسها؟ هل تحوي المكونات نفسها؟

توجد أنواع مختلفة من محركات التيار المتناوب أحادية الطور في الحياة العملية.

استكشف

– هل شاهدت يومًا محركًا كهربائيًّا أحادي الطور؟ هل عرفت مجالات استعماله؟

لعلك شاهدت مجموعة من محركات التيار المتناوب أحادية الطور، ووجدت أن لبعضها مواسعًا واحدًا، وأن لبعضها الآخر مواسعين لهما قيم مختلفة، ستتعرَّف في هذه الوحدة المحركات الحثية ذوات الطور الواحد، وأنواعها المختلفة.

اقرأ.. وتعلم

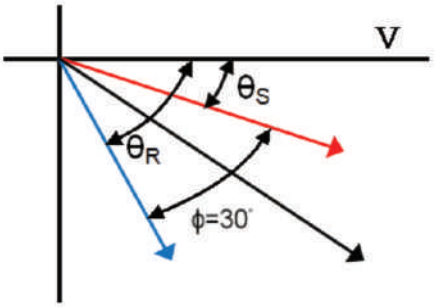
المحركات الحثية ذوات الطور الواحد واسعة الانتشار في مجالات الصناعة عمومًا، وفي الأجهزة المنزلية خصوصًا؛ نظرًا إلى متانتها، وسهولة تركيبها وصيانتها، ورخص ثمنها. والمحركات الأحادية الطور تتنوع بحسب طبيعة الاستعمال، ومكوِّناتها، وعزم بدئها، وكيفية عكس اتجاه دورانها.

أنواع محركات التيار المتناوب أحادية الطور

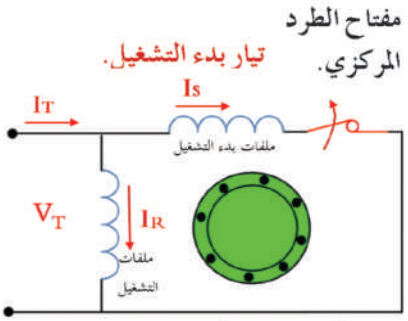
1– محرك الطور المشطور (Split Phase Motor)

يُسمّى هذا المحرك الطور المشطور؛ لأنه لا يستطيع بدء حركته بنوع واحد من الملفات (الملفات الرئيسة)؛ لذا تُشطَر (تضاف) ملفات أخرى تُسمّى ملفات البدء. يتكوَّن محرك الطور المشطور من مجموعتين من الملفات توصلان معًا على التوازي: مجموعة ملفات الحركة (التشغيل) التي تكون فيها نسبة المقاومة المادية إلى الممانعة الحثية قليلة، ومجموعة ملفات البدء (بدء التشغيل) التي تُصنَع من أسلاك ذات مقطع صغير، وتكون فيها نسبة المقاومة الأومية

إلى الممانعة الحثية كبيرة مقارنةً بملفات التشغيل. وبسبب اختلاف الممانعة الحثية لكل من ملفات البدء وملفات الحركة، يسري تياران: أحدهما في ملفات البدء (بدء التشغيل) (Is)، والآخر في ملفات الحركة (التشغيل) (Ir)، وهما متأخران في زاوية الطور عن فولتية المصدر؛ حيث تكون زاوية فرق الطور بينهما (Φ) (30°) تقريبًا، انظر إلى الشكل (1–12/أ). يوصل مفتاح الطرد المركزي على التوالي بملفات البدء. ويكون مغلقًا (ON) في الوضع الطبيعي عند عدم دوران المحرك، انظر إلى الشكل (1–12/ب). أمّا وظيفته، فهي فصل ملفات البدء عن المصدر عند وصول سرعة دوران المحرك إلى ما نسبته (75%) من سرعة المحرك الاسمية، عندئذٍ يعمل المحرك بوساطة ملف الحركة الموصولة على التوازي بالمصدر فقط طوال زمن التشغيل. وإذا كانت فولتية على المحرك (V)، فإن التيار الساري في ملفات بدء التشغيل يتأخر عن فولتية

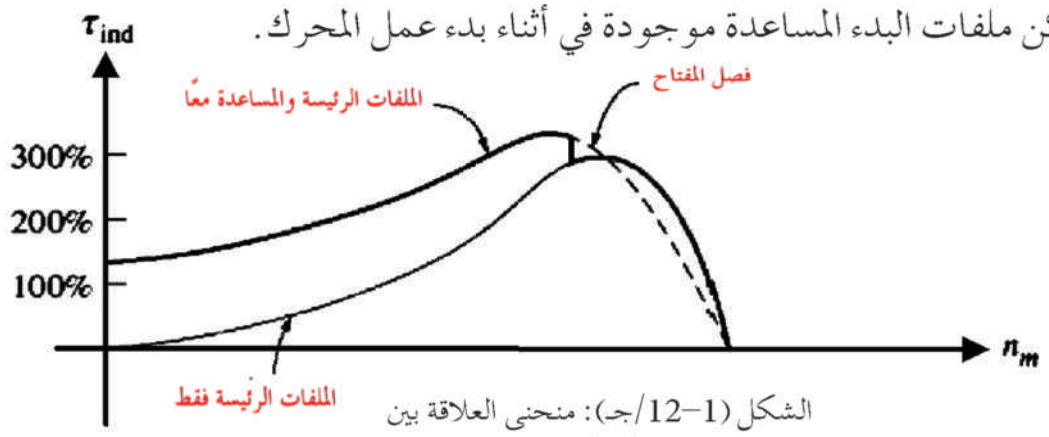


الشكل (1–12/أ) متجهات تيار التشغيل وتيار بدء التشغيل.



الشكل (1–12/ب): توصيل ملفات المحرك.

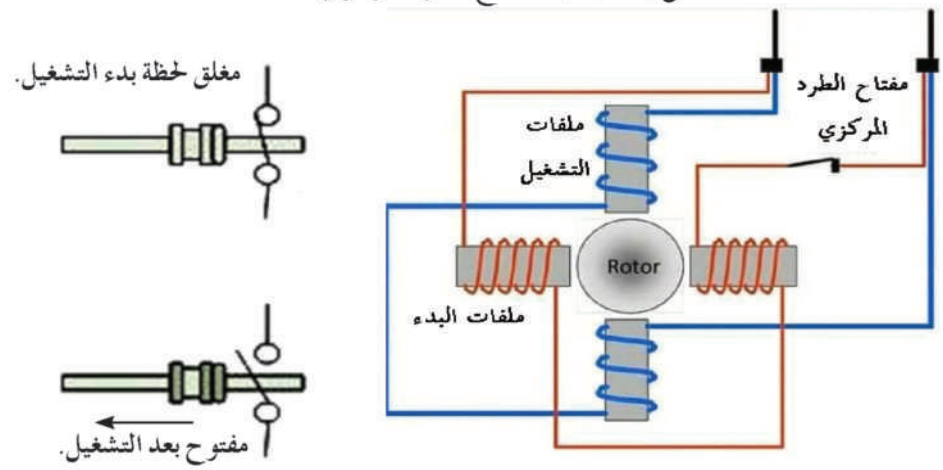
المصدر بزاوية (θs)، في حين يتأخر التيار الساري في ملفات التشغيل عن فولتية المصدر بزاوية (θR)، فتكون الزاوية بين التيارين (Φ=30°). يبين الشكل (1–12/جـ) منحنى العلاقة بين سرعة المحرك (Motor Speed) التي يُرمَز إليها بالحرف (n)، وعزم المحرك (Torque) الذي يُرمَز إليه بالحرف (T)؛ حيث تُبيِّن أجزاء المنحنى المتقطع ما يمكن أن يحدث لو لم تكن ملفات البدء المساعدة موجودة في أثناء بدء عمل المحرك.



الشكل (1–12/جـ): منحنى العلاقة بين سرعة المحرك وعزمه.

يتكوَّن مفتاح الطرد المركزي (**Centrifugal Swtich**) الذي يعمل بالقوة المركزية الطاردة من جزأين: أحدهما متحرك (ضرّاب) يُثبَّت على عمود العضو الدوّار، يفتح ويغلق هذا الجزء عند دوران المحرك؛ إذ يفتح بعد نحو (**75%**) من سرعة دوران المحرك ميكانيكيًّا، والآخر (ثابت) يحتوي نقاط التلامس الكهربائية (البلاتين)، يوضع على أحد أغطية المحرك من الداخل لتوصيل الأسلاك الكهربائية إليها، انظر إلى الشكل (1–13). توصَل أحيانًا مقاومة على التوالي بملف البدء في محرك الطور المشطور لزيادة الزاوية بين تياري بدء التشغيل والتشغيل، وتحدد هذه المقاومة تيار البدء للمحرك الذي يصل إلى (**4-6**) أضعاف تيار المحرك عندما يكون الحمل كاملًا، ويتراوح عزم البدء في هذا المحرك بين (**125%**) و(**150%**) من عزم المحرك (الحمل الكامل). ويُوضِّح الشكل (1–14) طريقة عمل مفتاح الطرد المركزي.

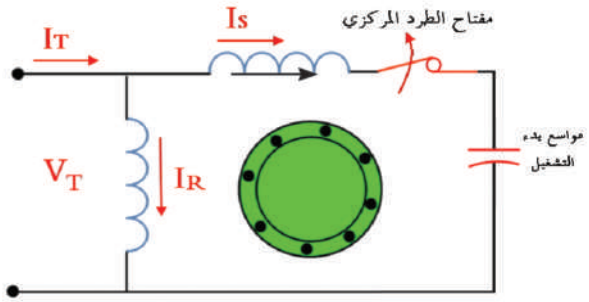
الشكل (1–13): مفتاح الطرد المركزي.



الشكل (1–14): طريقة عمل مفتاح الطرد المركزي.

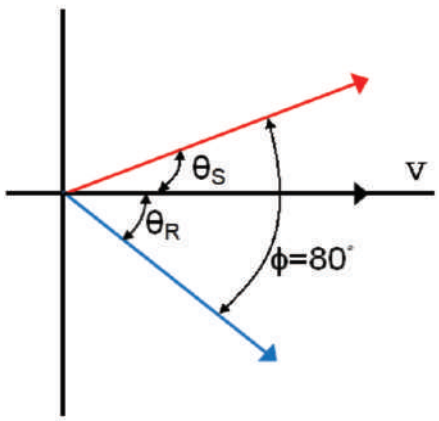
2 – المحرك ذو مواسع بدء التشغيل (Capacitor-start motor)

يشبه هذا المحرك في تركيبه الطور المشطور، ويضاف إليه مواسع بدء التشغيل ذو السعة الكبيرة (المُكثِّف) على التوالي مع ملفات بدء التشغيل كما هو مُبيَّن في الشكل (1–15). يحسّن هذا المواسع زاوية الطور لتقترب من (**90°**)، ويكون مُثبَّتًا أعلى المحرك.

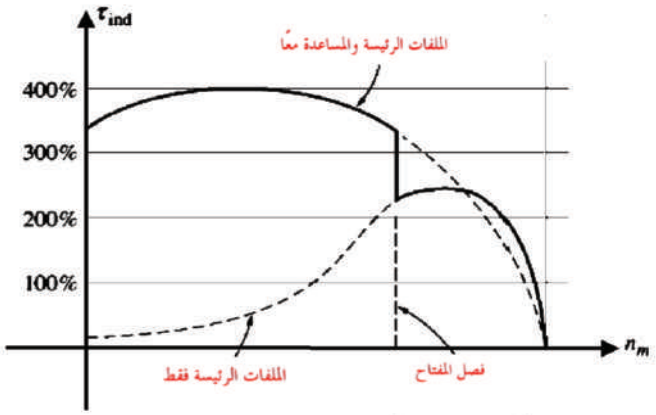


الشكل (1–15/أ): توصيل ملفات المحرك.

يمتاز المحرك ذو مواسع البدء بعزم دوران أكبر عند بدء الحركة مقارنةً بمحرك الطور المشطور، ويتراوح هذا العزم بين (**300%**) و(**400%**) من عزم المحرك عندما يكون الحمل كاملًا. تُفصَل ملفات البدء والمواسع عن الدارة الكهربائية عند وصول السرعة إلى ما نسبته (**75%**) من سرعة المحرك الاسمية. والشكل (1–15/ب) يُوضِّح متجهات تيارين؛ أحدهما في ملفات البدء (**Is**)، والآخر يسري في ملفات التشغيل (**IR**)، وقد يصل فرق الطور بين التيارين (**Φ**) إلى (**80°**). ويُستعمَل المواسع لجعل تيار ملفات البدء مُتقدِّمًا على فولتية المصدر بزاوية. انظر إلى الشكل (1–15/جـ) الذي يُبيِّن منحنى العلاقة بين سرعة المحرك (**Motor Speed**) التي يُرمَز إليها بالحرف (**n**)، وعزم المحرك (**Torque**) الذي يُرمَز إليه بالحرف (τ)؛ إذ تُبيِّن أجزاء المنحنى المتقطع ما يمكن أن يحدث لو لم تكن الملفات المساعدة موجودة في أثناء بدء عمل المحرك.



الشكل (1–15/ب): متجهات تيار التشغيل وتيار بدء التشغيل.



الشكل (1–15/جـ): منحنى العلاقة بين سرعة المحرك وعزمه.

تذكَّر

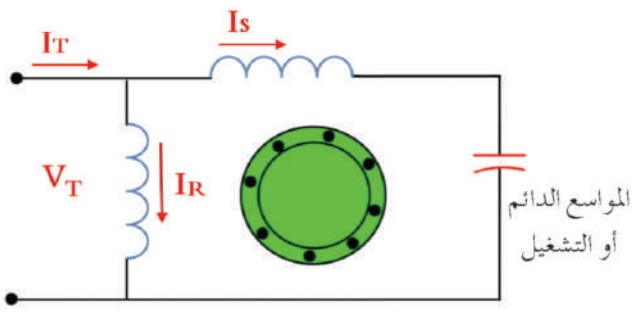
وحدة قياس سعة المواسعات الكهربائية هي الفاراد، ومن أجزائه الميكروفاراد التي تُستعمل وحدة قياس لسعة المواسعات في المحركات الكهربائية، التي تكون من النوع الورقي، أو مشبعة بالزيت وموضوعة في إناء مملوء بالزيت.

ويفقد المواسع خصائصه المميزة نتيجة لكثرة التشغيل، أو السخونة الزائدة، أو لأيِّ سبب آخر. وعند استبداله يجب أن يكون للمواسع الجديد السعة نفسها تقريبًا، وإلا فإن المحرك قد لا يُولِّد عزم الدوران المطلوب عند البدء.

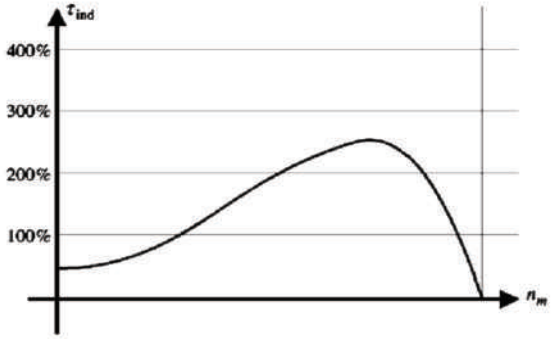
3- المحرك ذو المواسع الدائم (Permanent- capacitor Motor)

يشبه هذا المحرك في تركيبه المحرك ذا مواسع بدء التشغيل، ولكن من دون وجود مفتاح طرد مركزي. يوصَل هذا المواسع على التوالي بملف بدء التشغيل طوال مدة عمل المحرك، ولا يُفصَل عن ملفات بدء التشغيل. وهو ذو سعة قليلة (أقل من سعة المواسع المستخدم في بدء التشغيل)، وفيه تشبه قيم ملفات البدء قيم ملفات الحركة.

ومن عيوب هذا المحرك عزم بدء منخفض، ولكنه يمتاز بفاعليته العالية التي تصل إلى نحو (80%)، وبعامل قدرة يتراوح بين (0.9) و (0.95). ويستخدم كثيرًا في مضخات نقل المياه صغيرة القدرة، وفي الغسالات الكهربائية المنزلية، انظر إلى الشكل (1-16/أ). يُمثِّل الشكل (1-16/ب) منحنى العلاقة بين سرعة المحرك (Motor Speed) التي يُرمَز إليها بالحرف (n)، وعزم المحرك (Torque) الذي يُرمَز إليه بالحرف (τ).



الشكل (1-16/أ): توصيل ملفات المحرك.

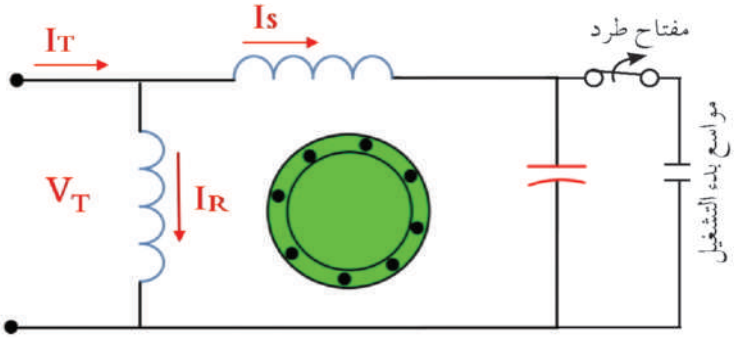


الشكل (1-16/ب): منحنى العلاقة بين سرعة المحرك وعزمه.

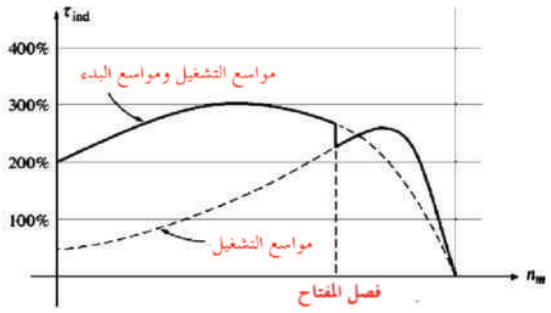
4- المحرك ذو مواسع بدء التشغيل ومواسع التشغيل

يتكوَّن هذا المحرك من مواسعين (مُكثِّفين)؛ أحدهما مواسع التشغيل (دائم) سعته أقل من سعة المواسع ذي بدء التشغيل، والآخر مواسع بدء التشغيل الذي يمتاز بسعة كبيرة، ويوصَل على التوالي بمفتاح الطرد المركزي، يُفصل مواسع بدء التشغيل فقط عند وصول السرعة إلى نحو (**75%**) من السرعة الاسمية، انظر إلى الشكل (1-17/أ).

عند بدء تشغيل المحرك، يكون المواسعان موصولين على التوازي، فتكون السعة المكافئة مساوية لحاصل جمعهما؛ ما يؤدي إلى زيادة تيار بدء التشغيل، فينتج عزم بدء عاليًا. يمتاز هذا النوع من المحركات بعزم بدء عالٍ يصل إلى (**195%**) من عزم الحمل الكامل. يُمثِّل الشكل (1-17/ب) منحنى العلاقة بين سرعة المحرك (**Motor Speed**) التي يُرمَز إليها بالحرف (**n**)، وعزم المحرك (**Torque**) الذي يُرمَز إليه بالحرف (**T**).



الشكل (1-17/أ): توصيل ملفات المحرك.

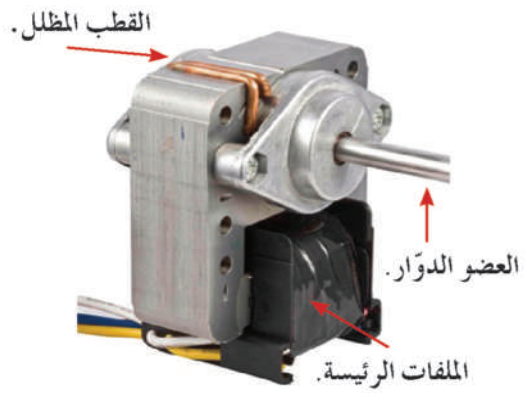


الشكل (1-17/ب): منحنى العلاقة بين سرعة المحرك وعزمه.

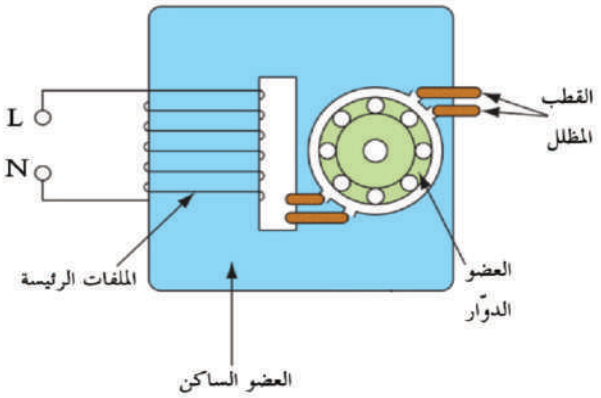
5- المحرك ذو القطب المظلل (Shaded Pole Motor)

يُوضِّح الشكلان (1-18/أ) و(1-18/ب) تركيب المحرك ذي القطب المظلل (قطبان) الذي يمتاز ببساطة تركيبه؛ إذ يتكون من عضو دوّار ذي قفص سنجابي، في حين يحتوي العضو الساكن مجموعة ملفات رئيسة (ملف تشغيل)، مع وجود حلقتين نحاسيتين على الأقطاب البارزة من العضو الساكن، وتكون الحلقة النحاسية ذات مقطع كبير. أمّا الشكل (1-18/جـ)، فيُوضِّح تركيب المحرك ذي القطب المظلل (أربعة أقطاب)، الذي يعتمد مبدأ عمله على توليد تيار حثي في الحلقة النحاسية، ويكون معاكسًا للمجال المغناطيسي الرئيس بحسب قانون لنز؛ إذ يكون التدفق المغناطيسي في الحلقة النحاسية أكبر ما يمكن عند انخفاض التيار المتناوب الذي يسري في الملفات الرئيسة. وهذا يؤدي إلى إنتاج مجال مغناطيسي يشبه المجال

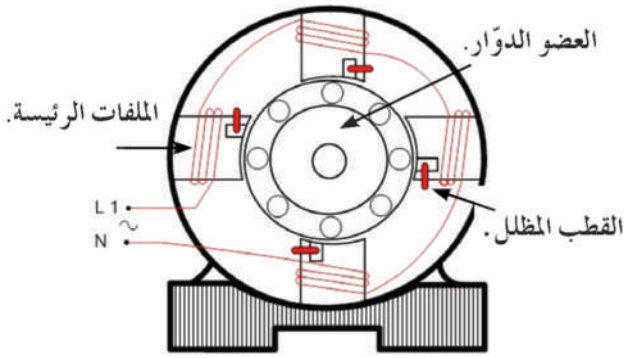
المغناطيسي الدوّار لمروره في مركز الحلقة، أو في مركز القطب الرئيس. ويُمثِّل الشكل (1–18/د) العلاقة بين سرعة المحرك ذي القطب المظلل وعزمه.



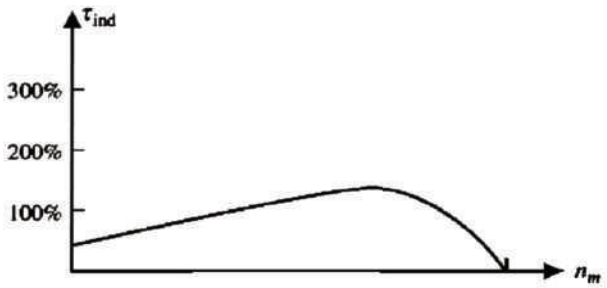
الشكل (1–18/أ): تركيب المحرك ذي القطب المظلل (قطبان).



الشكل (1–18/ب): تركيب المحرك ذي القطب المظلل (قطبان).



الشكل (1–18/جـ): المحرك ذو القطب المظلل (أربعة أقطاب).



الشكل (1–18/د) : العلاقة بين سرعة المحرك ذي القطب المظلل وعزمه.

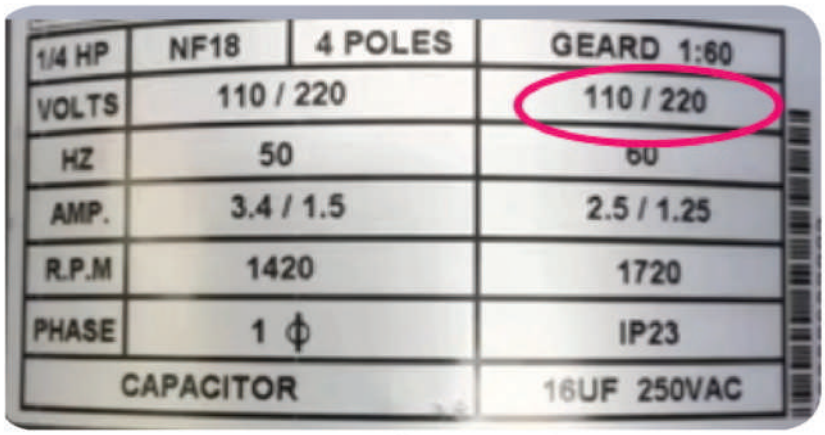
تذكَّر

قانون لنز (Lenz's Law)

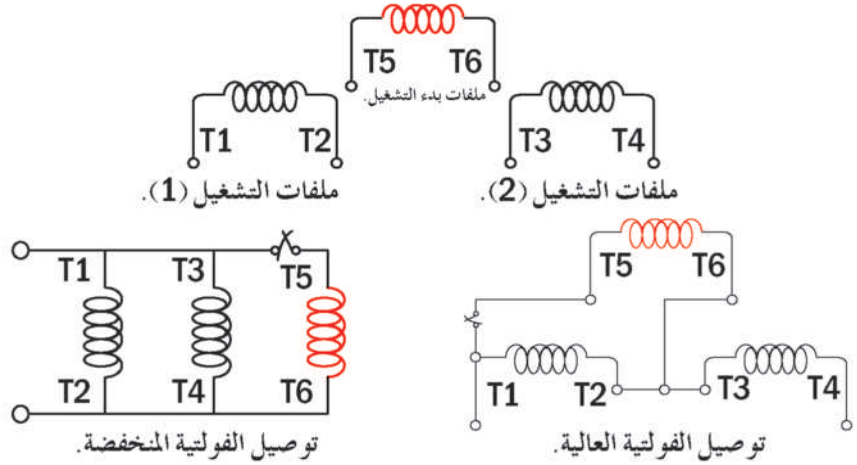
عند وجود موصل داخل فيض مغناطيسي متغير، فإنه ينشأ داخل الموصل تيار حثي، وهذا التيار يعمل على تكوين فيض مغناطيسي مضاد للفيض الأصلي الذي نشأ عنه التيار.

6- المحرك أحادي الطور ذو فولتيتين (Dual Voltage Single Phase Motor)

تعمل بعض أنواع المحركات أحادية الطور بفولتيتين، هُما: (**110V**)، و(**220V**) فولت. تُمثِّل لوحة المعلومات في الشكل (1-19/أ) اللوحة الاسمية لهذا النوع من المحركات، الذي يتكوَّن من وحدتي ملفات؛ أولاهما: وحدة ملفات التشغيل (الحركة) التي تحوي قسمين من الملفات؛ (**T1- T2**)، و(**T3-T4**). وثانيتهما: وحدة ملفات البدء (بدء التشغيل)؛ (**T5-T6**). لتشغيل المحرك بحسب الفولتية العالية (**220V**)، يُوصَل قسمي ملفات الحركة (التشغيل) معًا على التوالي، وتوصَل وحدة ملفات البدء (بدء التشغيل) التي يوصَل فيها مفتاح الطرد المركزي على التوازي بأحد ملفات قسمي الحركة (التشغيل). أمّا لتشغيل المحرك بحسب الفولتية المنخفضة (**110V**)، فيوصَل قسما ملفات الحركة (التشغيل) على التوازي بملفات بدء التشغيل، التي يكون فيها مفتاح الطرد المركزي موصولًا على التوالي لضمان خروجها من الدارة بعد وصول المحرك إلى نحو (**75%**) من السرعة الاسمية، انظر إلى الشكل (1-19/ب).

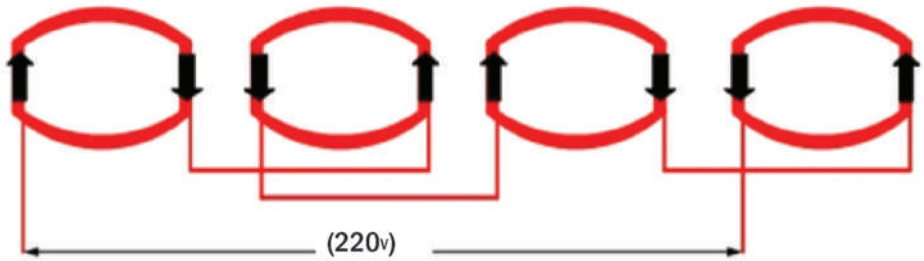


الشكل (1-19/أ): اللوحة الاسمية.



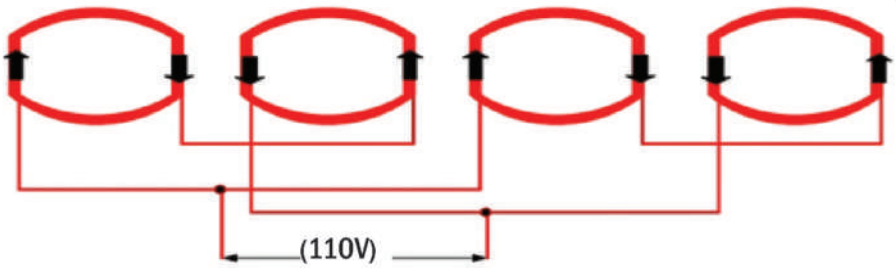
(1-19/ب): السرعة الاسمية.

يُبيِّن الشكل (1–20/أ) طريقة توصيل ملفات التشغيل على التوالي لتعمل وفقًا للجهد المرتفع (220V).



الشكل (1–20/أ): طريقة توصيل الملفات على التوالي لتعمل وفق الجهد المرتفع (220V).

يُبيِّن الشكل (1–20/ب) طريقة توصيل ملفات التشغيل على التوازي لتعمل وفقًا للجهد المنخفض (110V).

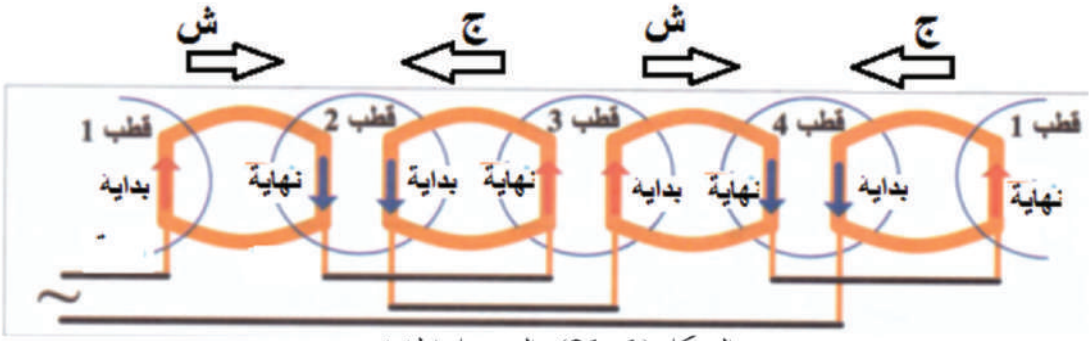


الشكل (1–20/ب): طريقة توصيل الملفات على التوازي لتعمل وفقًا للجهد المنخفض (110 فولت).

7 – المحرك الحثي أحادي الطور متعدد السرعات (Multispeed Motor)

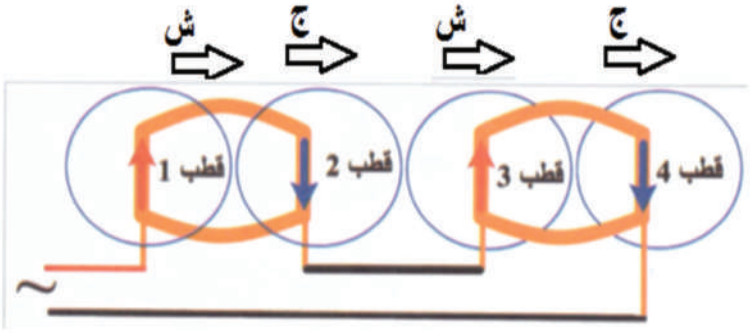
تُصنَّف المحركات الحثية أحادية الطور ثنائية السرعة إلى نوعين، هما:

أ– **المحرك أحادي الطور ثنائي السرعة:** يتكوَّن هذا النوع من وحدة من ملفات الحركة (التشغيل)، ووحدة من ملفات بدء التشغيل. بناءً على الشكل (1–21) إذا وُصلت نهاية الملف الأول بنهاية الملف الثاني، وبداية الملف الثاني ببداية الملف الثالث، ونهاية الملف الثالث بنهاية الملف الرابع، فإن ذلك سيؤدي إلى تتابُع أربعة أقطاب: (ش – ج – ش – ج)، ويُعرَف هذا التوصيل بالتوصيل الحقيقي (نهاية – نهاية)، (بداية – بداية).



الشكل (1–21): التوصيل الحقيقي.

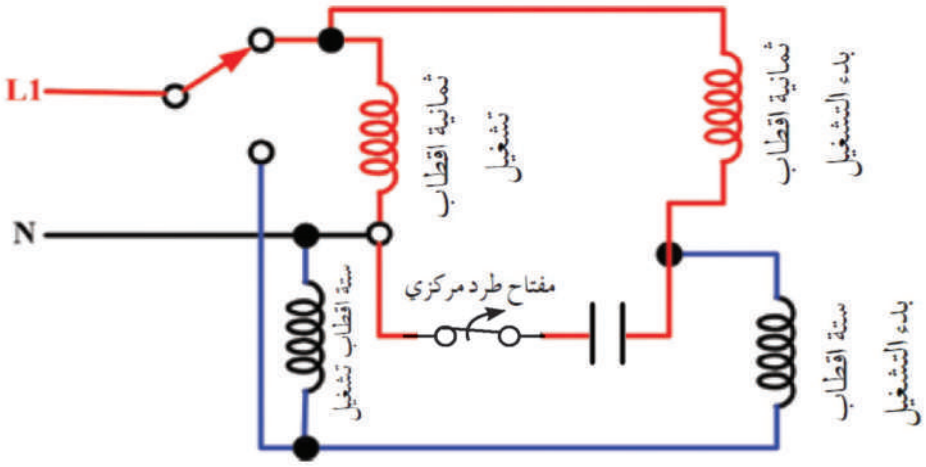
أمّا عند توصيل نهاية الملف الأول ببداية الملف الثاني، فإن ذلك سيؤدي إلى تتابُع أربعة أقطاب: (ش – ج – ش – ج)، ويُعرَف هذا التوصيل بالتوصيل التأثيري أو توصيل التعاقب (نهاية – بداية)، انظر إلى الشكل (1–22).



الشكل (1 – 22): التوصيل التأثيري، أو توصيل التعاقب.

تُستعمَل هذه الطريقة عند الحاجة إلى عزم تشغيل عالٍ مع تغيُّر السرعة، ومن الأمثلة على ذلك، المحرك الذي يُستعمَل لقيادة الضاغطات ذات السرعتين في وحدات التكيف المركزي. أبرز عيوبها التغيُّر الكبير في السرعة بين الحالتين، وقد لا يناسب هذا بعض الأحمال، مثل المراوح.

ب – **المحرك الحثي أحادي الطور ثنائي السرعة:** يتكوَّن هذا النوع من وحدتين من ملفات التشغيل، ووحدتين من ملفات بدء التشغيل. يُوضِّح الشكل (1–23) كيف تتغير سرعة هذا النوع من المحركات تبعًا لتغيُّر عدد أقطاب العضو الساكن. وفيه يتألَّف كلٌّ من ملفات بدء التشغيل وملفات التشغيل من وحدتين؛ إحداهما لها ستة أقطاب، والأخرى لها ثمانية أقطاب، ويُستعمَل مفتاح تغيير السرعة لتبديلهما بناءً على تغيُّر توصيل أطراف المحرك الخارجية.



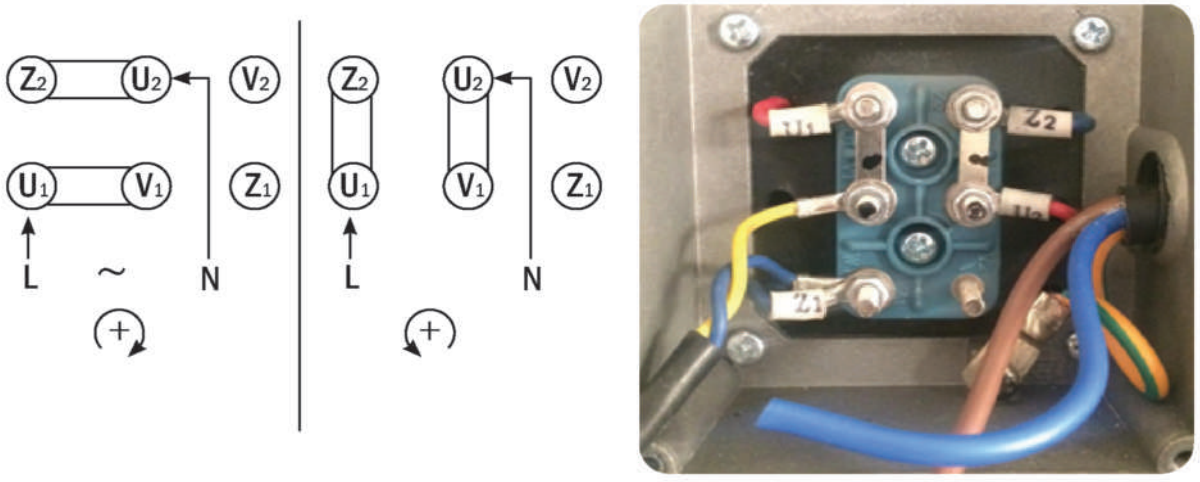
الشكل (1–23): تغيُّر سرعة المحرك تبعًا لتغيُّر عدد أقطاب العضو الساكن.

عكس اتجاه دوران المحركات الكهربائية أحادية الطور

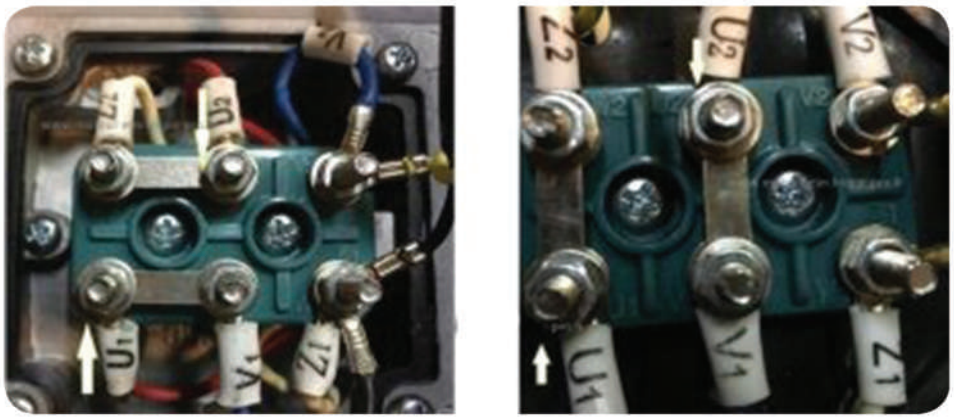
تعتمد طبيعة عمل بعض المحركات أحادية الطور على الأحمال التي تعمل بها؛ إذ تحتاج بعض الأحمال الكهربائية إلى العمل في اتجاهين كما في الغسالات الكهربائية ذات الحوضين.

يمكن عكس اتجاه دوران المحركات الكهربائية أحادية الطور كما يأتي:

المحركات الكهربائية التي تحتوي لوحة توصيل المحرك فيها على (4) أطراف (أسلاك) للملفات. وهي طرفا ملفات التشغيل: (U1، وU2)، وطرفا ملفات بدء التشغيل: (Z1، وZ2)، فضلًا عن أطراف أخرى، مثل طرفي مفتاح الطرد، أو طرفي المواسع (المُكثِّف)، إذ تمتاز ملفات بدء التشغيل وملفات التشغيل باختلاف المواصفات في ما بينها، ويكون اتجاه دخول التيار إليها عكس اتجاه دوران هذا النوع من المحركات، علمًا أن عدد الأطراف التي توصَل بلوحة التوصيل هي (4) أطراف: طرفا ملف الحركة (التشغيل)، وطرفا ملف بدء التشغيل؛ لضمان إجراء عكس الدوران، انظر إلى الشكلين (1–24/أ)، و(1–24/ب). تُستعمَل هذه الطريقة لعكس دوران محرك الطور المشطور، والمحرك ذي مواسع بدء التشغيل، والمحرك ذي المواسع الدائم، والمحرك ذي مواسع بدء التشغيل ومواسع التشغيل.



الشكل (1–24/أ).

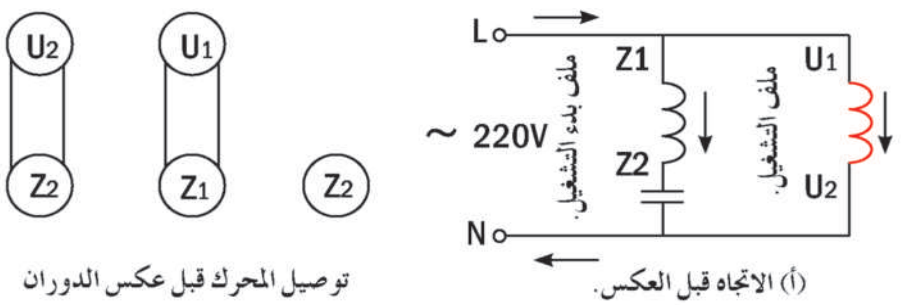


الشكل (1–24/ب).

يوصَل المحرك، كما هو مُوضَّح في الشكل (1–25)، قبل عكس دورانه؛ إذ يكون اتجاه دخول التيار إلى ملف بدء التشغيل مشابهًا لاتجاه دخول التيار في ملف الحركة.

L ⟶ Z1.U1

N ⟶ Z2.U2



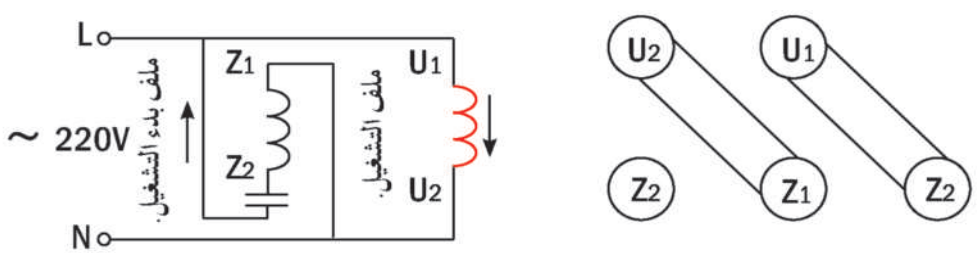
الشكل (1–25).

يُعكَس اتجاه دوران المحرك:

1 – بعكس دخول التيار إلى ملف بدء التشغيل، بحيث يعاكس اتجاه دخول التيار إلى ملف الحركة (التشغيل) كما في الشكل (1–26).

L ⟶ Z2.U1

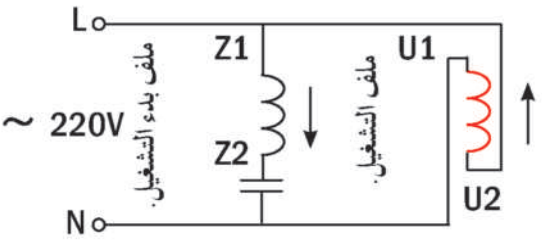
N ⟶ Z1.U2



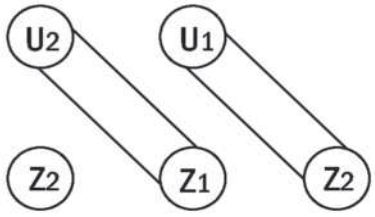
الشكل (1–26).

2 – بعكس دخول التيار إلى ملف الحركة (التشغيل)، بحيث يعاكس اتجاه دخول التيار إلى ملف بدء التشغيل كما في الشكل (1–27).

N ⟶ Z2.U1
L ⟶ Z1.U2



عكس اتجاه دوران المحرك بعكس طرفي ملف الحركة (التشغيل).



عكس اتجاه دوران المحرك بعكس طرفي ملف الحركة (التشغيل).

الشكل (1–27).

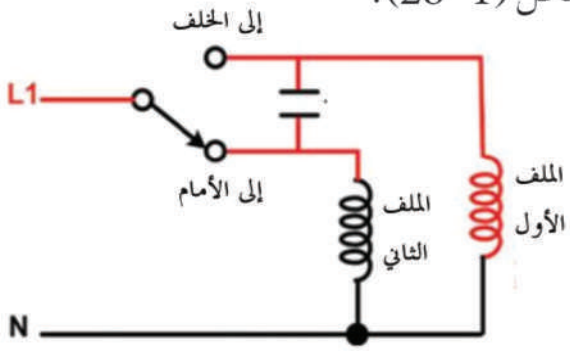
عكس اتجاه دوران المحركات التي تحوي لوحة توصيلها ثلاثة أطراف للملفات فقط

تُصنَّف هذه المحركات إلى نوعين، هما:

1- محركات تكون فيها مواصفات ملفات بدء التشغيل وملفات التشغيل مختلفة من حيث قُطْر السلك، وعدد اللفات، وتحوي ثلاثة أطراف، هي: الطرف المشترك (**COM**) الموصول من داخل المحرك، وهو طرف ملف التشغيل وطرف ملف بدء التشغيل، وطرفان آخران، هما: الطرف الثاني لملفات بدء التشغيل، والطرف الثاني لملفات التشغيل. تختلف هذه الملفات في مواصفاتها من حيث قُطْر السلك، وعدد اللفات لكلٍّ من ملفات التشغيل، وملفات بدء التشغيل، مثل مضخات المياه. ويتعذَّر في هذا النوع من المحركات عكس اتجاه الدوران؛ لأن المحرك مُصمَّم للعمل في اتجاه واحد فقط.

2- محركات ذات مواسع دائم متساوي المواصفات لملفات بدء التشغيل وملفات التشغيل. وفيها تكون مواصفات ملفات بدء التشغيل وملفات الحركة (التشغيل) متقاربة من حيث قُطْر السلك، وعدد اللفات لملفات المحرك. يستخدم هذا النوع من المحركات في صنع منتجات عِدَّة، أهمها: الغسالات نصف الآلية (الغسالات ذات الحوضين). وفيها يمكن استعمال أيَّ من الملفين بوصفه ملف بدء (تقويم)، أو ملف تشغيل، بعكس توصيل طرف الكهرباء بالمواسع

(المُكثِّف)، وذلك باستعمال المُؤقِّت اليدوي للغسالة، الذي يُضبط غالبًا مدَّة (15) دقيقة لكل غسلة، بحيث يوصَل طرف خط الطور بالملف الأول، فيدور تجاه الأول، ثم يوصَل طرف خط الطور بالملف الثاني عن طريق مُؤقِّت الغسالة، فيدور تجاه آخر. أمَّا عملية عكس الدوران، فتكون باستعمال مفتاح كهربائي (مُؤقِّت الغسالة)، وهو يشبه في عمله المفتاح التبادلي (مفتاح عكس الدوران) الذي يعمل على تبديل توصيل المواسع بالمجموعة الأولى أو المجموعة الثانية للملفات، انظر إلى الشكل (1–28).



الشكل (1–28).

عكس اتجاه دوران المحرك ذي القطب المظلل

تمتاز المحركات ذات القطب المظلل ببساطة التركيب، وهي تنتشر كثيرًا في المراوح. ولعكس اتجاه دورانه يُقلَب العضو الساكن بالنسبة إلى العضو الدوّار، بحيث يتغير وضع الحلقات النحاسية (أقطاب التظليل) عن الوضع الأول.

أعطال المحركات الكهربائية أحادية الطور وطرائق تصليحها

تتعرَّض المحركات الكهربائية للأعطال مثل عديد من الأجهزة الكهربائية، وهذه الأعطال نوعان: كهربائية وميكانيكية.

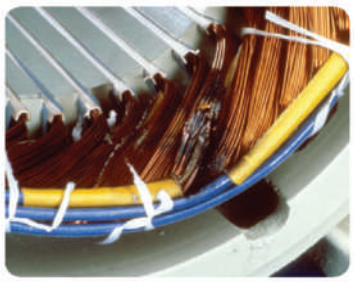
1– الأعطال الكهربائية

أعطال تمنع سريان التيار الكهربائي من المصدر إلى ملفات المحركات في العناصر الكهربائية المختلفة التي صُمِّمت على نحو يناسبها من حيث الخصائص، مثل: تلف ملفات المحرك الداخلية، وتماس الملفات مع جسم المحرك، وتلف المصهر. علمًا أن لكل عطل من الأعطال الكهربائية سببًا أو أكثر يؤدي إلى حدوثه.

تُصنَّف هذه الأعطال إلى أعطال خارجية وداخلية:

أ – **الأعطال الخارجية**: أعطال خارج المحرك، مثل حدوث قطع في أحد الخطوط الكهربائية التي تُغذّي المحرك، وقد تكون بسبب حمل المحرك.

ب– **الأعطال الداخلية**: أعطال داخل المحرك الكهربائي مثل: حدوث قصر في ملفات العضو الساكن، وحدوث تلف في كراسي المحور كما في الشكل (1–29).



الشكل (1–29).

2– **الأعطال الميكانيكية**

أعطال تتعلق بالعناصر المختلفة المرتبطة بحركة المحرك، التي ليس لها علاقة بسريان التيار الكهربائي من المصدر إلى المحرك، وإن كان ذلك يُؤثّر في سريان التيار بصورة غير مباشرة. ومن هذه الأعطال تلف كراسي المحور، انظر الشكل (1–30)، أو انحناء عمود المحور.

الشكل (1–30).

لوحة بيانات المحرك الكهربائي أحادي الطور

توجد على معظم الأجهزة الكهربائية لوحة بيانات (معلومات) تحتوي رموزًا ومعلومات فنية متخصصة لا يفهمها إلا المتخصص في أعمال الكهرباء. وقد درست سابقًا بعض الرموز والمصطلحات التي تساعدك على قراءة هذه البيانات وفهمها بسهولة، وستتعرف الآن أهم المعلومات الأساسية الجديدة في لوحة البيانات (المعلومات) وأهميتها في مجال العمل. يُمثِّل الشكل (1–31) لوحة اسمية لمحرك أحادي الطور في مضخة مياه، تحوي المعلومات الآتية:

PUMP CPM 100X			n. B
Q 10 ÷ 60 l/min		H 15 ÷ 7 m	
H max 16 m		H min 7 m	
V 220 ÷ 230 ~	Hz 50	2900 min $^{-1}$	
kW 0.25	HP 0.33	1.9 A	350 Wmax
C 10 µF	VL 450 V	I.Cl. F	IP 44
	Continuous duty	Thermally Protected	4095/A

الشكل (1–31): لوحة اسمية لمحرك أحادي الطور.

جدول بيانات المحرك

الفولتية الاسمية التي يعمل بها المحرك (Volts:Rated terminal supply voltage):	(220 - 230) تيار متناوب.
التردُّد (Hertz:Rated supply frequency):	(50Hz).
سرعة المحرك بوحدة (RPM): (د/د):	سرعة المحرك عند الحمل الكامل هي (2900 RPM).
قدرة المحرك (H.P.:Rated motor H/P):	تُكتَب القدرة على اللوحة بوحدة الكيلوواط، أو الحصان الميكانيكي (Hp)، أو كلتيهما معًا. يَتبيَّن من اللوحة أن قدرة المحرك بالحصان الميكانيكي: (0.33 HP)، وهي تعادل (0.25 KW).
تيار الحمل الكامل للمحرك:	تيار الحمل الكامل للمحرك هو (1.9A)، والتيار يقاس بوحدة الأمبير.
سعة المواسع (بالميكروفاراد) (µF):	هذه المعلومة خاصة بالمحرك أحادي الطور ذي المواسع. يَتبيَّن من اللوحة أن سعة المواسع: (C = 10µF) (أي 10 ميكروفاراد) وأن فولتية المواسع (450) فولت.
أوقات العمل (Duty):	يستفاد من هذه المعلومة إن كان يعمل دائمًا (Continuous) أو بصورة متقطعة. يَتبيَّن من اللوحة أن المحرك يعمل باستمرار.
درجة عزل المحرك من التلامس وتسرُّب الأجسام الغريبة والماء (IP):	يَتبيَّن من اللوحة أن عزل المحرك هو (IP 44)؛ ما يعني حماية المحرك من دخول أجسام غريبة قطرها اكبر من (1 ملم).
عدد الأقطاب المغناطيسية للمحرك (Pole):	يمكن تحديد ذلك بمعرفة سرعة المحرك.
عدد الأوجه التي يعمل عليها المحرك:	قد تكون طورًا واحدًا (1Ph~) (Single – Phase Induction Motor) كما هو حال هذا المحرك، وقد تكون ثلاثية الطور (3Ph~) (Three – Phase Induction Motor).
درجة العزل الخاصة بالمحرك (Class Insulation INS.CL :F):	Y:90) –(A:105)-(E:120) - (B:130) - (F:155)) ((H:180) – (C:180).
(1) Hp = (746)W 1kw = 1000 w	

تحوي اللوحة أيضًا معلومات أخرى، مثل: درجة حرارة الجو المحيطة بالمحرك،ورمز (كود) نوع المحرك، وحجم المحرك ووزنه (Weight)، والرقم المتسلسل للمحرك (Ser. No)، وطرازه، والشركة الصانعة له. فضلًا عن وجود معلومات تتعلَّق باستعمال المحرك، وكذلك معلومات عن أقل ارتفاع لدفع الماء، وأكبر ارتفاع لدفع الماء، ومعدل تدفق الماء.

نشاط

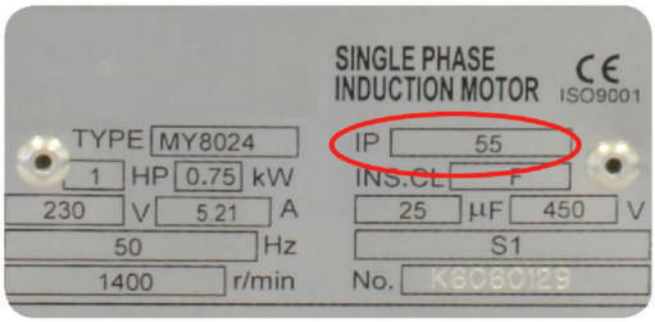
مُستعينًا بالشكل الآتي الذي يُمثِّل لوحة المعلومات الخاصة بأحد المحركات، دوِّن المعلومات الخاصة به.

SINGLE-PHASE INDUCTION MOTOR					
FRAME	MY90L-2	INS		F	
KW	1.5	HP	2	IP	55
RPM	2820	Hz	50	60 μF	450 V
V	230	A	10.50	NO.	

درجة حماية المحركات (Ingress Protection: IP)

تُكتَب درجة حماية المحركات على لوحة معلومات المحرك؛ سواء أخاصة بالمحركات الأحادية الطور، أم بالمحركات ثلاثية الطور، ويُرمَز إليها بالحرفين (IP) كما في الشكل (1–32)، الذي يُظهِر وجود رقمين لها؛ الأول من جهة الشمال الذي يشير إلى درجة حماية المحرك من المواد الصُّلبة، والثاني الذي يشير إلى حمايته من الأجسام السائلة. أمّا الجدول، فيُبيِّن دلالة كل رقم من هذه الأرقام.

يُلاحَظ من لوحة بيانات المحرك السابقة أن درجة حماية المحرك هي (IP 55)؛ ما يعني حماية المحرك من دخول الأتربة إلى المحرك، وحمايته من التدفق الجبري القوي للماء من الاتجاهات كلها.

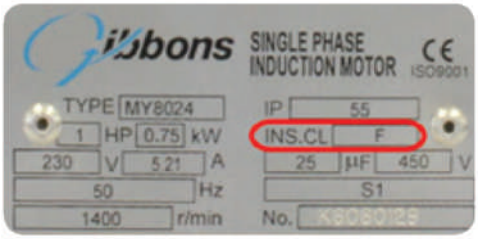


الشكل (1–32): لوحة اسمية لمحرك أحادي الطور توضح درجة حماية المحرك

درجات العزل وأقصى درجة حرارة يتحمَّلها المحرك

H	F	B	E	A	Y	Class درجة العزل
180°	155°	130°	120°	105°	90°	Temp درجة الحرارة

يُمثِّل الشكل (1–33) لوحة معلومات محرك مكتوبًا عليها جدول درجات العزل وأقصى درجة حرارة يتحملها المحرك.



الشكل (1–33).

جدول يبين مستوى عزل المحرك

الرقم الثاني: حماية المحرك من الأجسام السائلة.		(IP) (44)	الرقم الأول: حماية المحرك من الأجسام الصُّلْبة.	
من دون حماية.	0		من دون حماية.	0
تحمُّل المحرك نقاط الماء التي تسقط رأسيًّا.	1		حماية المحرك من دخول أجسام غريبة قُطْرها أكبر من (50) مم.	1
تحمُّل المحرك نقاط الماء التي تسقط رأسيًّا، أو تلك المائلة بزاوية (15)°.	2		حماية المحرك من دخول أجسام غريبة قُطْرها أكبر من (12) مم.	2
تحمُّل المحرك نقاط الماء التي تسقط رأسيًّا، أو تلك المائلة بزاوية (60)°.	3		حماية المحرك من دخول أجسام غريبة قُطْرها أكبر من (2.5) مم.	3
تَحمُّل المحرك نقاط الماء التي تسقط عليه من أيِّ اتجاه.	4		حماية المحرك من دخول أجسام غريبة قُطْرها أكبر من (1) مم.	4
حماية المحرك من التدفق الجبري للماء من الاتجاهات كلها.	5		حماية المحرك من دخول الأتربة فيه.	5
حماية المحرك من التدفق الجبري القوي للماء من الاتجاهات كلها.	6		حماية المحرك من دخول أيِّ أتربة أو أجسام غريبة.	6
تحمُّل المحرك الغمر في المياه حتى ضغط مُحدَّد.	7			
تحمُّل المحرك الغمر في الماء، والضغط حتى درجة مُحدَّدة.	8			

قارن بين أنواع المحركات الكهربائية أحادية الطور من حيث: مخطط توصيل ملفات المحرك، ومخطط متجهات التيارات، ومنحنى العلاقة بين السرعة والعزم، ودوِّن ذلك على لوحة جدارية بالتعاون مع زملائك.

التمارين العملية

التمرين (2)

تحديد أطراف المحرك الكهربائي أحادي الطور من نوع الطور المشطور

يُتوقَّع منك بعد تنفيذ من هذا التمرين أن:

- تفحص ملفات المحرك أحادي الطور من نوع الطور المشطور.
- تُحدّد بالفحص طرفي ملفات الحركة (التشغيل) وطرفي ملفات بدء التشغيل، وتتحقَّق من سلامتهما.
- تُحدَّد أطراف مفتاح الطرد المركزي، وتتحقَّق من اتصالهما.
- تقيس تيار المحرك الكهربائي وسرعته بإشراف المعلِّم.

متطلبات تنفيذ التمرين:

التجهيزات (الأدوات)	المواد الأولية
محرك أحادي الطور من نوع الطور المشطور، صندوق عدَّة كهربائية، مطرقة بلاستيكية، طقم مفاتيح شق، طقم مفاتيح رنج، طقم مفكات مختلفة، بريصة سحب، سنبك طرد، سنبك نقطة (علام)، جهاز قياس سرعة المحركات الكهربائية (Tachometer)، جهاز أفوميتر، لمبة فحص.	– شريط لاصق.

خطوات الأداء

1 – جهِّز العُدَد والأدوات، وتحقَّق من صلاحيتها.

2– فُكَّ براغي تثبيت غطاء لوحة توصيل المحرك بمفك مناسب، ثم ضعها في وعاء؛ خوفًا من فقدانها، انظر إلى الشكل (1).

الرسم التوضيحي

الشكل (1).

ملاحظة:

تُدّرس الأعطال العملية ضمن مبحث التدريب العملي، على صورة تمرين عملي.

خطوات الأداء

3 – فُكَّ براغي جسور ربط نهايات الملفات والجسور (لماذا تُفَك الجسور الموصولة بين الملفات عند عملية الفحص؟)، مُستعمِلًا العُدَد المناسبة، ثم ضعها في الوعاء؛ حفاظًا عليها (لا تستعمل الزرّادية في عملية الفك؛ لضمان سلامة القطع).

4 – ضع جهاز الأوميتر على تدريج الأوم (على أقل قيمة)؛ لتحديد أطراف مفتاح الطرد المركزي، كما في الشكل (3).

فكّر

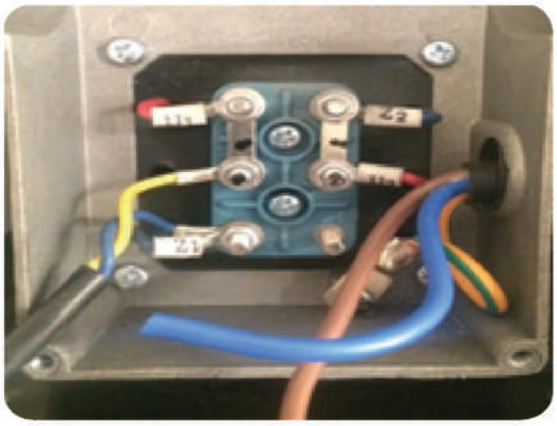
ما قراءة جهاز الأوميتر عند وضعه على أطراف مفتاح الطرد المركزي كما في الشكل (3)؟

5 – افحص أطراف ملفات بدء التشغيل وملفات التشغيل، وتحقَّق من صلاحيتها على النحو الآتي:

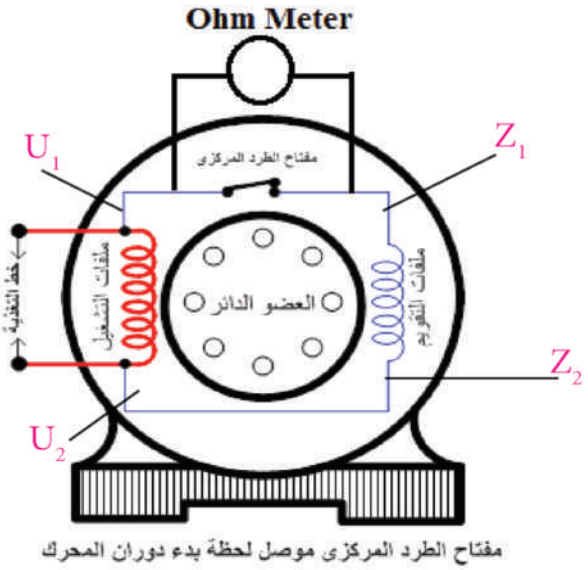
افحص الأسلاك الأربعة الباقية (ما عدا سلكي مفتاح الطرد) عشوائيًّا بجهاز الأفوميتر (على تدريج (**1x**))، وتأكَّد أن كل طرف لا يتصل إلا بطرف واحد فقط كما في الشكل (4-أ/ب).

دوِّن النتيجة التي توصلت إليها، مُبيِّنًا أن قيمة المقاومة العليا هي قيمة ملفات بدء التشغيل، وأن أقل قيمة للمقاومة هي قيمة ملفات الحركة (التشغيل)، لماذا؟

الرسم التوضيحي



الشكل (2).



الشكل (3).

الشكل (4/أ).

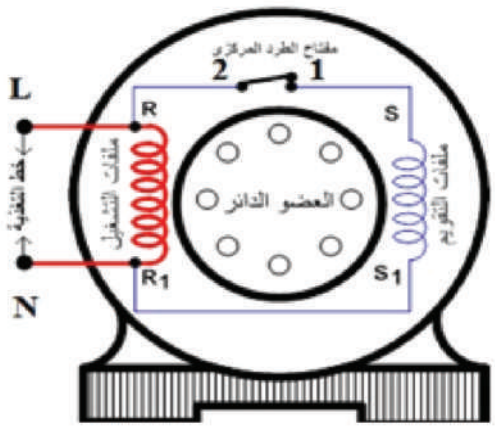
خطوات الأداء	الرسم التوضيحي

6 – مُستعمِلًا جهاز الأوميتر، افحص القصر بين ملفات التشغيل والتقويم (بين أحد أطراف ملفات التقويم وأحد أطراف ملفات التشغيل)، وذلك باستعمال قيمة مقاومة مرتفعة مثل (kΩ)، وتحقَّق من عدم تحرُّك المُؤشِّر؛ للتأكُّد أن ملفات بدء التقويم غير متصلة بملفات التشغيل؛ إذ لا يُفترَض وجود أيّ اتصال كهربائي بين ملفات بدء التشغيل وملفات الحركة، أو اتصال بين أيِّ ملف من ملفات المحرك وجسمه، انظر إلى الشكل (5).

الشكل (4/ب).

الشكل (5).

7 – بعد التحقُّق من سلامة الملفات – بإشراف المعلّم – صِلْ أسلاك ملفات المحرك بصورة صحيحة، بوصل أحد أسلاك ملف الحركة (التشغيل) (R1) بأحد أطراف ملفات بدء التشغيل (SI) (بدء التقويم)، لينتج طرف مشترك (COM) بين ملفات الحركة (التشغيل) وملفات بدء التشغيل، ثم إلى أحد أسلاك المصدر الكهربائي (N).



الشكل (6).

خطوات الأداء

8- صِلْ سلك مفتاح الطرد المركزي (1) بطرف السلك الثاني لملفات بدء التشغيل (S).

9- صِلِ السلك الثاني من أسلاك مفتاح الطرد المركزي (2) بالسلك الثاني لملفات التشغيل (R)، ثم بالطرف الثاني للمصدر (L) كما في الشكل (6).

فكّر:

إذا كان المحرك أحادي الطور من نوع مواسع بدء التقويم، فكيف يوصَل المواسع بالدارة؟

الرسم التوضيحي

الشكل (7).

الشكل (8).

10 – أَعِدْ تركيب غطاء علبة وصل المحرك، ثم أَخْرِجْ أسلاك توصيل المحرك من المكان المخصص لذلك.

11 – تأكَّد أن العضو الدوّار يدور بحرية بعد الانتهاء من شدِّ البراغي، ثم صِلْ أجزاء المحرك بإشراف المعلِّم، ثم قِس تيار المحرك، مُدوِّنًا قيمته، وتأكَّد أنها أقل من القيمة المكتوبة على لوحة البيانات (لماذا؟). انظر إلى الشكل (7).

12 – قِس سرعة المحرك باستعمال جهاز قياس سرعة المحركات الكهربائية (**Tachometer**) كما في الشكل (8).

13 – افصل المحرك عن مصدر التيار المتناوب، ثم حرِّكه عكس اتجاه دوران المحرك، ثم أَعِدْ تشغيل المحرك بإشراف المعلِّم.

14 – افصل المحرك عن مصدر الكهرباء، ثم أَعد العُدَد والأدوات إلى أماكنها، ونظِّف مكان العمل، ثم دوِّن ملاحظاتك في دفتر التدريب العملي، واكتب تقريرًا تُبيِّن فيه الخطوات التي اتبعتها في هذا التمرين.

التمارين العملية

التمرين (3)

تشخيص الأعطال الميكانيكية للمحركات الكهربائية أحادية الطور وصيانتها

يُتوقّع منك بعد تنفيذ هذا التمرين أن:

- تُشخِّص الأعطال الميكانيكية للمحركات الكهربائية أحادية الطور.
- تصلح الأعطال الميكانيكية للمحركات الكهربائية أحادية الطور.

متطلبات تنفيذ التمرين:

التجهيزات (الأدوات)	المواد الأولية
محرك كهربائي أحادي الطور من نوع الطور المشطور، صندوق عُدَّة كهربائية، مطرقة بلاستيكية، طقم مفاتيح شق، طقم مفاتيح رنج، طقم مفكات مختلفة، بريصة سحب، سنبك طرد، سنبك نقطة (علام)، جهاز قياس سرعة المحركات الكهربائية (Tachometer)، جهاز أفوميتر، لمبة فحص.	– شريط لاصق.

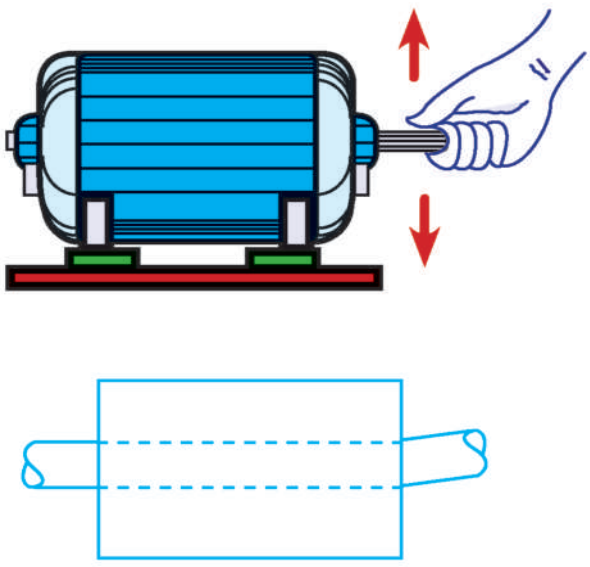
خطوات الأداء

1– جهِّز العُـــدَد والأدوات، وتحقَّـــق من صلاحيتها.

2 – افحص الهيكل الخارجي، وتأكَّد أنه خالٍ من الكسور والشروخ.

3 – تفحَّص المحرك، ثم حرِّك عمود العضو الدوّار يدويًّا للتحقُّق من إمكانية دورانه من غير إعاقة، ثم حرِّكه إلى الأعلى والأسفل للتحقُّق من عدم احتكاكه بالعضو الساكن، ومن سلامة كراسي المحور كما في الشكل (1).

الرسم التوضيحي



الشكل (1).

خطوات الأداء	الرسم التوضيحي

4- فُكَّ غطاء مروحة تبريد المحرك باستعمال العُدَد المناسبة، وتحقَّق من عدم وجود أتربة أو أوساخ تُغلق مجاري التبريد، ومن صلاحية الغطاء وعدم انثنائه؛ لكيلا يحتك بالمروحة في أثناء الدوران.

الشكل (2/أ).

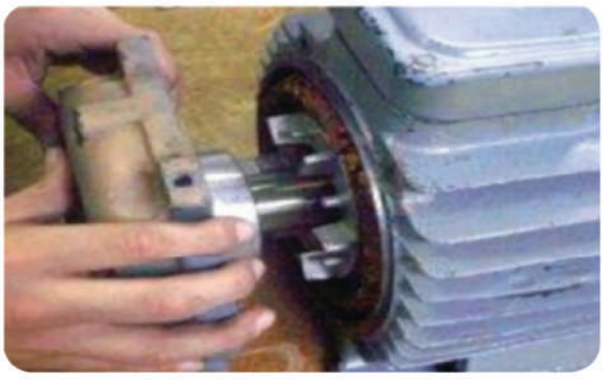
الشكل (2/ب).

5- تحقَّق من سلامة مروحة التبريد، وحركتها بسهولة، وسلامة أجزائها جميعًا، وعدم وجود كسور فيها.

6- استمر في فك أجزاء المحرك بحسب الخطوات التي تعلَّمتها سابقًا.

7- تفحَّص العضو الدوّار، وتحقَّق ممّا يأتي:

أ- وجود (أو عدم وجود) انحناء ظاهر في عمود إدارة العضو الدوّار (يمكن إرساله إلى الصيانة ليفحصه فني متخصص)، انظر إلى الشكل (2/أ).



الشكل (2/جـ).

ب- عدم تفكك أسياخ العضو الدوّار؛ فقد تؤدي الحرارة إلى تفكك أسياخ العضو الدوّار من الداخل كما في الشكل (2/ب).

الشكل (3/أ).

خطوات الأداء	الرسم التوضيحي

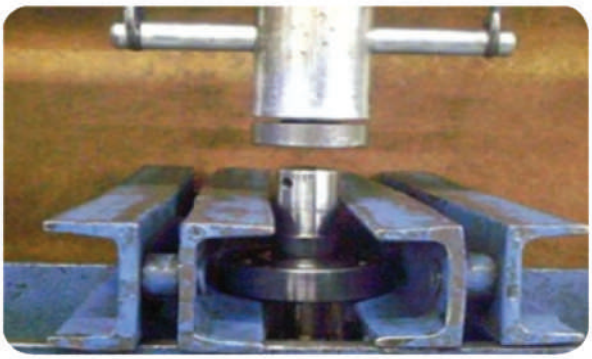
جـ- عدم اتساع أماكن تركيب كراسي المحور في الأغطية الجانبية؛ لضمان المحافظة على الثغرة الهوائية بوضعها الصحيح، وعدم احتكاك العضو الدوّار بالعضو الساكن وبالملفات (في حالة وجود اتساع يجب إرسال العضو الدوّار إلى قسم الصيانة في المخرطة).

د- فحص العضو الساكن، والتحقّق من عدم بروز أجزاء من الرقائق أو أيِّ معيقات أخرى، ثم تصليح الخلل (إن وُجِد).

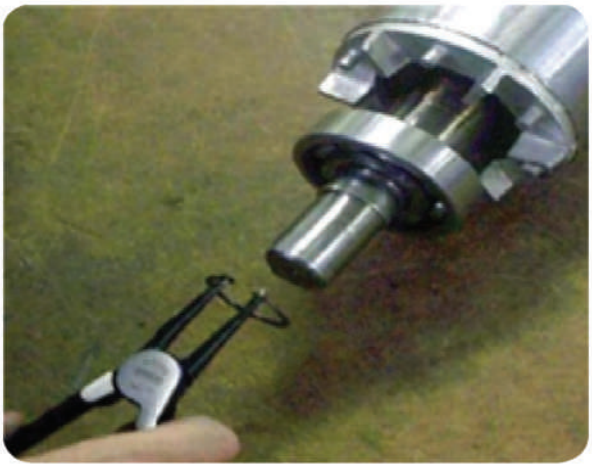
8- فُكَّ كراسي المحور المحرك باستعمال بالبريصة كما في الشكل (3/ أ-ب)؛ منعًا للضرب المباشر على كراسي المحور كما في الشكل (4)، ثم تحقَّق من وجود قفل ميكانيكي، وابدأ بفكه كما في الشكل (5).

9- حرِّك كراسي محور المحرك يدويًّا، وتأكَّد أنها تتحرك بسلاسة، واستمع لأصواتها (استبدلها إذا لزم الأمر شرط أن تحمل الرقم نفسه).

الشكل (3/ب).



الشكل (4).



الشكل (5).

خطوات الأداء

10 – تحقَّق من صلاحية العضو الدوّار عن طريق الفحص، انظر إلى الشكل (6)، ثم أَعِدْ تجميع المحرك مُبتدئًا بآخر جزء فككته.

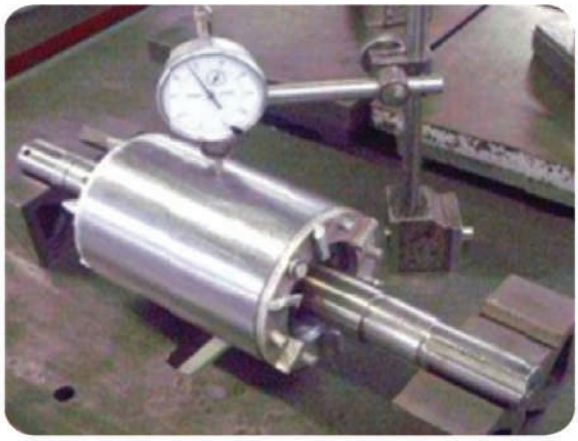
11 – تأكَّد أن العضو الدوّار يدور بحرية بعد الانتهاء من شدِّ البراغي، ثم صِل أجزاء المحرك بإشراف المعلِّم، ثم قِس تيار المحرك، مُدوِّنًا قيمته، وتأكَّد أنها أقل من القيمة المكتوبة على لوحة البيانات (لماذا؟)، انظر إلى الشكل (7).

12 – قِس سرعة المحرك باستعمال جهاز قياس سرعة المحركات الكهربائية (Tachometer)، انظر إلى الشكل (8).

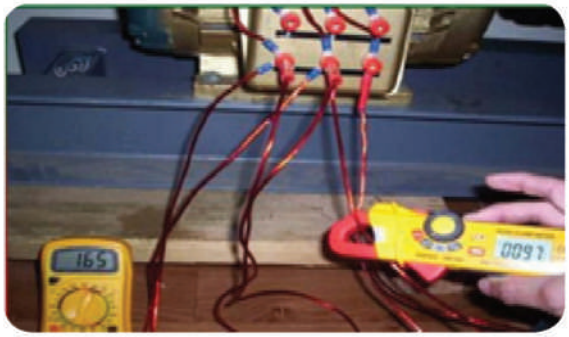
13 – افصل المحرك عن مصدر التيار المتناوب، ثم ابدأ بعكس اتجاه دوران المحرك، ثم أَعِدْ تشغيل المحرك بإشراف المعلِّم.

14 – افصل المحرك عن مصدر الكهرباء، ثم أَعِد العُدَد والأدوات إلى أماكنها، ونظِّف مكان العمل، ثم دوِّن ملاحظاتك في دفتر التدريب العملي، واكتب تقريرًا تُبيِّن فيه الخطوات التي اتبعتها في هذا التمرين.

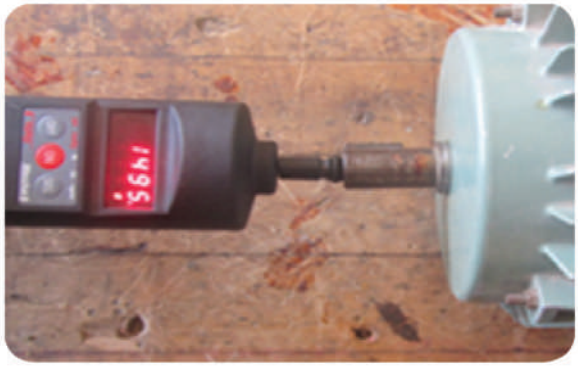
الرسم التوضيحي



الشكل (6).



الشكل (7).



الشكل (8).

التمارين العملية

التمرين (4)

فك محرك كهربائي ذي قطب مظلل (قطبين)، وتعرُّف أجزائه، وإعادة تركيبه

يُتوقّع منك بعد تنفيذ هذا التمرين أن:

- تفك المحرك ذا القطب المظلل بصورة صحيحة.
- تتعرَّف أجزاء المحرك ذي القطب المظلل.
- تعكس اتجاه دوران المحرك ذي القطب المظلل.

متطلبات تنفيذ التمرين:

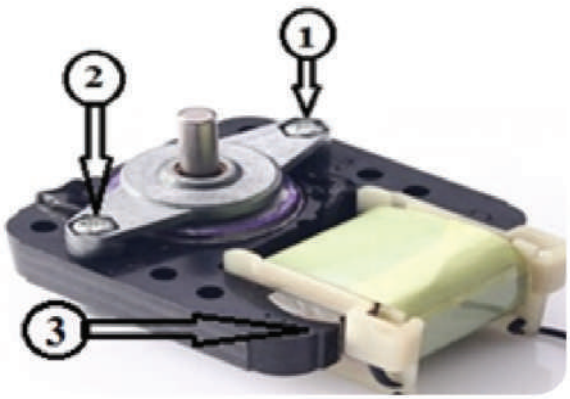
التجهيزات (الأدوات)	المواد الأولية
صندوق عدَّة، جهاز أفوميتر، مطرقة بلاستيكية، طقم مفاتيح، طقم مفتاح سداسي، محرك ذو قطب مظلل.	– شريط لاصق.

خطوات الأداء

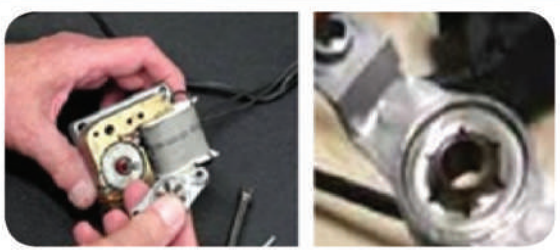
1 – فُكَّ البراغي المشار إليها بالرقم (1) والرقم (2) في الشكل (1) بالمفك المناسب؛ منعًا لتلف البراغي. ثم فُكَّ الملف المغناطيسي بوضع المفك على النقطة المشار إليها بالرقم (3)، ثم ضع البراغي وأجزاء المحرك في وعاء خاص.

نشاط: وضّح كيف يمكن فحص الملف الكهربائي في المحرك ذي القطب المظلل، والتحقُّق من صلاحيته.

الرسم التوضيحي



الشكل (1).



الشكل (2).

خطوات الأداء

2 – اسحب قاعدة التثبيت الخلفية من مكانها وتحقَّق من سلامة محاور الدوران (البوكسات)، انظر إلى الشكل (2).

تذكَّر: يُصنَع البوكس من مادة الجرافيك، ويُشبِه في عمله كراسي المحاور (البيل) في المحركات.

3 – اسحب العضو الدوّار من مكانه بحذر، انظر إلى الشكل (3).

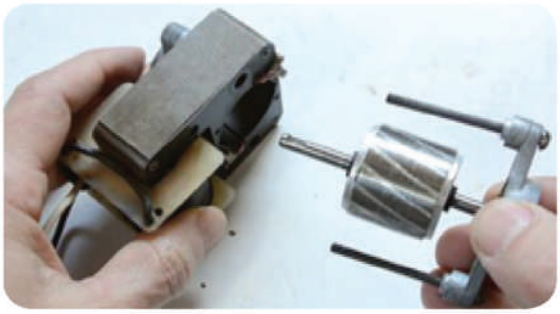
4 – لاحظ القطب المظلل في المحرك؛ إذ إنه يكون مقصورًا من الطرفين، انظر إلى الشكل (4).

5 – تَفقَّدْ أجزاء المحرك، وتحقَّق من صلاحيتها، ثم أَعِدْ تركيب المحرك بدءًا بآخر قطعة فككتها، انظر إلى الشكل (5).

6 – صِل المحرك بالتيار الكهربائي بإشراف المعلِّم، وتأكَّد أنه يعمل بصورة صحيحة.

7 – اعكس اتجاه دوران المحرك عن طريق قلب العضو الساكن بالنسبة إلى العضو الدوّار، وتغيير وضع الحلقات النحاسية عن وضعها الأول، انظر إلى الشكل (6).

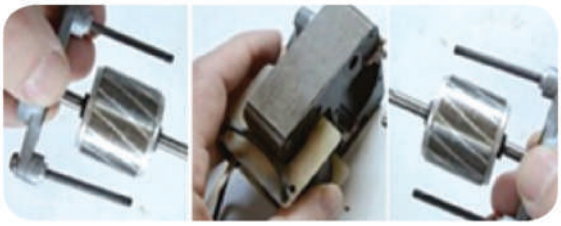
الرسم التوضيحي



الشكل (3).

الشكل (4).

الشكل (5).



الشكل (6).

الأعطال العملية

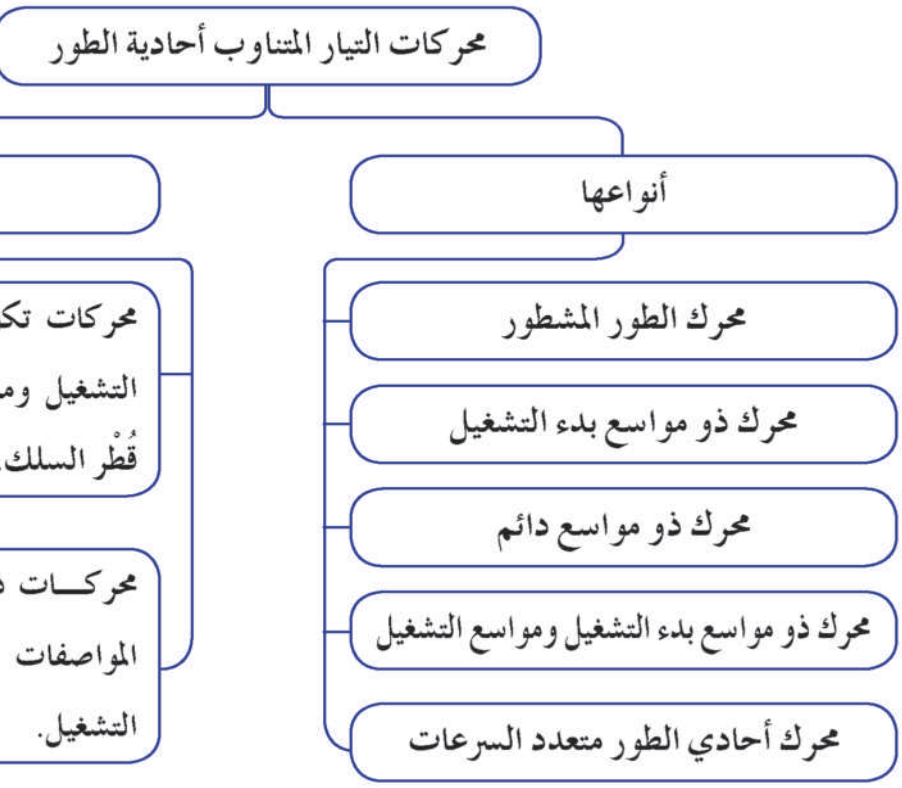
أعطال المحركات أحادية الطور، وطرائق تصليحها

العطل	الأسباب المحتملة	طرائق التصليح
دوران المحرك على نحو أبطأ من سرعته المعتادة.	– قصر في دارة ملفات التشغيل. – بقاء ملفات التقويم (بدء التشغيل) في الدارة. – عكس أقطاب ملفات التشغيل. – عكس أقطاب ملفات التقويم (بدء التشغيل). – تآكل كراسي المحور. – تفكك قضبان العضو الدوّار.	– إزالة القصر، وإعادة لف الملف، أو الملفات كلها. – صيانة مفتاح الطرد، أو استبداله. – إعادة وصل أطراف الملف، أوالمجموعة المعكوسة. – إعادة الوصل بصورة صحيحة. – استبدال كرسي المحور. – لحم القضبان بالحلقات الجانبية (إن أمكن ذلك)، أو استبدال العضو الدوّار.

العطل	الأسباب المحتملة	طرائق التصليح
عجز المحرك عن الحركة.	– عدم وجود تغذية مناسبة من المصدر، أو تلف مصهر الحماية. – تلف مواسع بدء التشغيل. – تعطُّل مفتاح الطرد المركزي (فتح نقاطه قبل التشغيل). – وجود عطل ميكانيكي (تآكل كراسي المحور). – انحناء عمود المحور. – تحرُّك الغطاءين الجانبيين (البراغي الخارجية). – فتح دارة ملفات التشغيل. – فتح دارة ملفات التقويم (بدء التشغيل). – وجود تماس أرضي في الملفات. – احتراق ملفات المحرك، أو حدوث قصر في دارة ملفات المحرك. – التحميل الزائد للمحرك.	– التحقُّق من وصول التغذية المناسبة، واستبدال المصهر التالف. – استبدال المواسع التالف. – صيانة مفتاح الطرد المركزي، أو استبداله. – استبدال كراسي المحور التالفة. – تصحيح الانحناء باستعمال المخرطة. – شَدُّ البراغي الخارجية على نحوٍ متساوٍ بإحكام. – فحص ملفات التقويم وملفاتِ التشغيل، والتحقُّق من إيصالها بصورة صحيحة. – عزل الملفات. – إعادة لف المحرك. – التحقُّق من مناسبة الحمل للمحرك.

العطل	الأسباب المحتملة	طرائق التصليح
ارتفاع صوت المحرك في أثناء العمل.	– قصر في ملفات المحرك. – تماس ملفات المحرك مع الأرض. – وجود دارة قصر بين ملفات بدء التشغيل وملفات التشغيل. – تآكل كراسي المحور. – زيادة الحمل.	– إزالة القصر، وإعادة لف الملف، أو الملفات كلها. – إزالة التماس (إن أمكن)، أو إعادة لف الملف، أو المجموعة المتماسة. – عزل ملفات التشغيل عن ملفات بدء التشغيل. – استبدال كراسي المحور. – خفض الحمل، أو استبدال محرك مناسب للحمل بالمحرك التالف.

العطل	الأسباب المحتملة	طرائق التصليح
ارتفاع صوت المحرك في أثناء العمل.	– قصر في الملفات. – التوصيل الرديء بين المجموعات. – تفكك قضبان العضو الدوّار. – تآكل مفتاح الطرد المركزي. – وجود مواد غريبة في المحرك.	– إزالة القصر، وإعادة لف الملف، أو الملفات كلها. – إعادة توصيل المجموعات بصورة صحيحة. – تصليح التلف في قضبان العضو الدوّار. – استبدال كراسي المحور. – تصليح التلف في مفتاح الطرد المركزي (إن أمكن)، أو استبداله. – تنظيف المحرك من أيّ عوالق، مثل قطع عازل السلك، والأتربة.


محركات التيار المتناوب أحادية الطور
أنواعها
محرك الطور المشطور
محرك ذو مواسع بدء التشغيل
محرك ذو مواسع دائم
محرك ذو مواسع بدء التشغيل ومواسع التشغيل
محرك أحادي الطور متعدد السرعات
تصنيفاتها
محركات تكون فيها مواصفات ملفات بدء التشغيل وملفات التشغيل مختلفة من حيث قُطْر السلك، وعدد اللفات.
محركات ذات مواسع دائم متساوي المواصفات لملفات بدء التشغيل وملفات التشغيل.

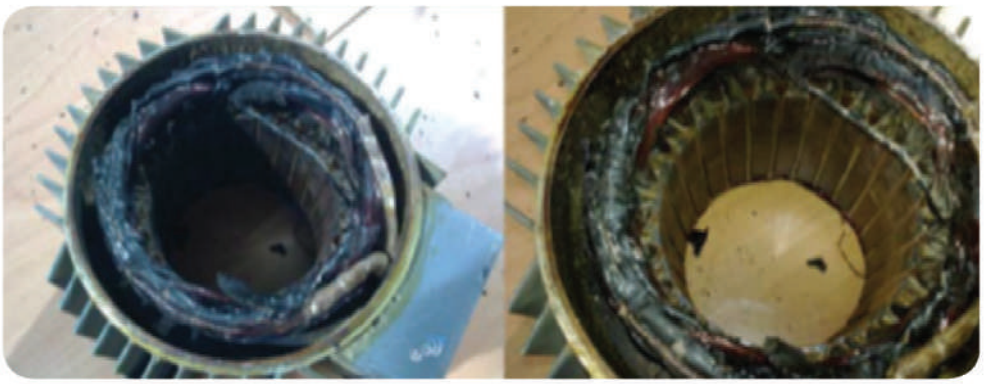
ثالثًا: القواعد الأساسية لعمليات لف محركات التيار المتناوب الحثية أحادي الطور

النتاجات

يُتوقّع منك بعد نهاية هذا الدرس أن:

- تتعرَّف أساسيات لف المحركات الحثية أحادية الطور (العضو الساكن) وطرائق لفها.
- تعيد لف المحركات الكهربائية أحادية الطور.

القياس والتقويم



● إذا أصاب ملفات المحركات الكهربائية تلف، فهل يمكن لف هذه المحركات؟

– يمكن للفني المتخصص لف المحركات الكهربائية بيسر وسهولة، علمًا أن لف المحركات لا يقتصر فقط على لف المحركات الصغيرة، إنما يمكن لف المحركات الكبيرة، مثل: محركات المصاعد الكهربائية، والمحركات التي يُلحَق بها جير خاص للاستعمالات الميكانيكية، علمًا أن تكلفة اللف قليلة جدًّا مقارنةً بسعر هذا المحرك.

قبل إعادة لف أيِّ محرك أحادي الطور، يجب فحص المحرك للتحقُّق من تلف ملفات المحرك، باستعمال جهاز الأفوميتر أو لمبة الفحص بعد نزع الجسور من داخل علبة التوصيل بعد تهيئة الجهاز، ووضع مفتاح الاختيار على القيمة والتدريج المناسبين، ويجب التحقُّق من عدم وجود أيِّ اتصال بين أحد أطراف الملفات (البدء، والتشغيل) وجسم المحرك باستعمال مصباح الفحص.

تذكَّر

لا ينبغي لنا وضع أطراف الجهاز على طرف مدهون (عازل) من جسم المحرك؛ لضمان عدم عزل جسم المحرك عن أطراف التوصيل.

تذكَّر

تقاس أقطار أسلاك اللف باستعمال جهاز الميكروميتر (Micrometer) كما في الشكل الآتي:

ميكرميتر رقمي

المعلومات الأساسية لعملية لف ملفات محركات التيار المتناوب أحادي الطور

1- الملف

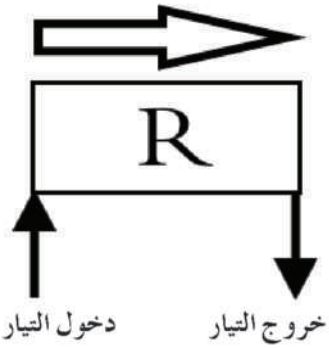
عدد من لفات السلك المعزول بطبقة من الورنيش، تُلَفُّ في اتجاه واحد، ويكون للملف الواحد جنبان، يوضَع كلٌّ منهما في مجرى، وتُسمّى المسافة بين جانبي الملف خطوة اللف (عرض الملف) كما في الشكل (1-42).

الشكل (1-42): الملف.

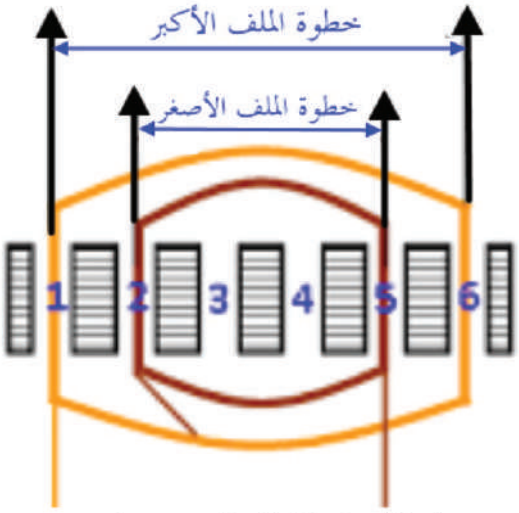
2 – المجموعة (مجموعة الملفات)

مجموعة من الملفات توصَل معًا على التوالي، بحيث يكون اتجاه التيار واحدًا في ملفات المجموعة جميعها. وفي حالة الرسم الانفرادي للمحرك يُستعمَل المستطيل، ويُكتَب حرف داخله؛ للدلالة على اسم المجموعة، ويُوضَّح اتجاه دخول التيار وخروجه بسهم، انظر إلى الشكل (1–43).

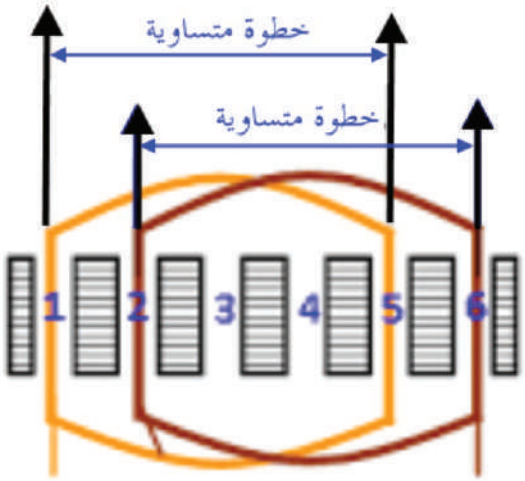
تتكوَّن المجموعة من ملف واحد، أو ملفين، أو ثلاثة ملفات، أو أكثر من ذلك، وتكون على نحوٍ متداخل كما في الشكل (1–44/أ) (تكون ملفات المجموعة بعضها داخل بعض)، أو على نحوٍ متسلسل كما في الشكل (1–44/ب) (تكون ملفات المجموعة متساوية في خطوة اللف). وتُستعمَل قوالب خاصة للحصول على الملف المتسلسل أو المتداخل تُركَّب على آلة اللف بحسب قياس الملف.



الشكل (1–43): مجموعة الملفات.



الشكل (1–44/أ): لف متداخل.



الشكل (1–44/ب): لف متسلسل.

3 – عدد المجاري

الفتحات الخاصة بالعضو الساكن التي توضَع فيها الملفات. يختلف عدد المجاري من محرك إلى آخر تبعًا لتصميمه وعدد ملفاته، ويُستعمَل الشكل الدائري منها لبيان عدد المجاري، أو الشكل الإفرادي الذي يمتاز بسهولة توزيع الملفات بالرسم كما في الشكل (1–45).

الشكل (1–45): عدد المجاري.

نشاط

- ارسم مجموعة تتكوَّن من ثلاثة ملفات ملفوفة لفًّا مُتسلسِلًا.
- ارسم مجموعة تتكوَّن من أربعة ملفات ملفوفة لفًّا مُتداخِلًا.

4 – الخطوة القطبية

عدد المجاري في المحرك التي يُشكَّل منها القطب.

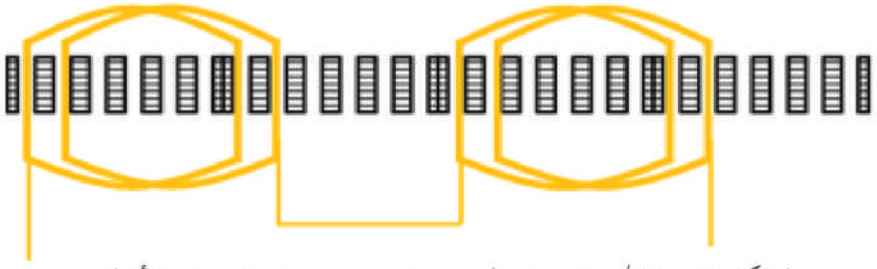
5 – توصيل المجموعات

يُصنَّف توصيل المجموعات إلى ما يأتي:

أ– التوصيل على التوالي: وتوصل على طريقتين الأولى (نهاية بنهاية، وبداية ببداية) تُستعمَل هذه الطريقة عندما يكون عدد الأقطاب مساويًا لعدد المجموعات كما في الشكل (1–46/أ).

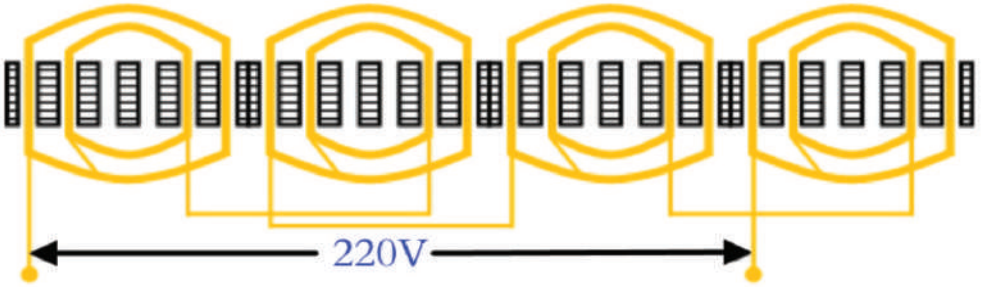
الشكل (1–46/أ): التوصيل على التوالي.

والثانية التوصيل (نهاية ببداية، وبداية بنهاية) تُستعمَل هذه الطريقة عندما يكون عدد المجموعات مساويًا لنصف عدد الأقطاب كما في الشكل (1–46/ب).

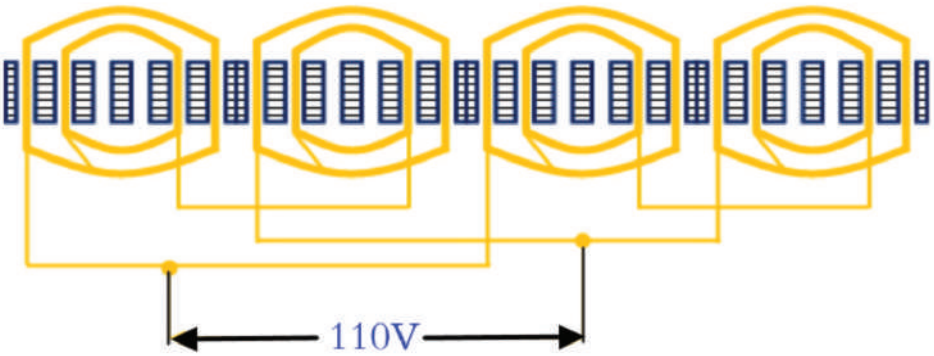


الشكل (1–46/ب): عدد المجموعات يساوي نصف عدد الأقطاب.

ب– التوصيل على التوازي: وفيه يكون التوصيل باستعمال فولتيتين مختلفتين، مثل: (**110** فولت على التوازي)، و(**220** فولت على التوالي)، علمًا أن هذا النوع من التوصيل يكون بحسب عدد المجموعات كما في الشكل (1–47).



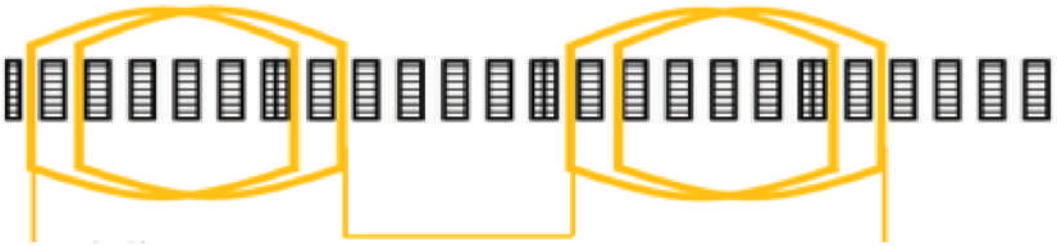
الشكل (أ): توصيل على التوالي للفولتية العالية.



الشكل (ب): توصيل على التوازي للفولتية المنخفضة.

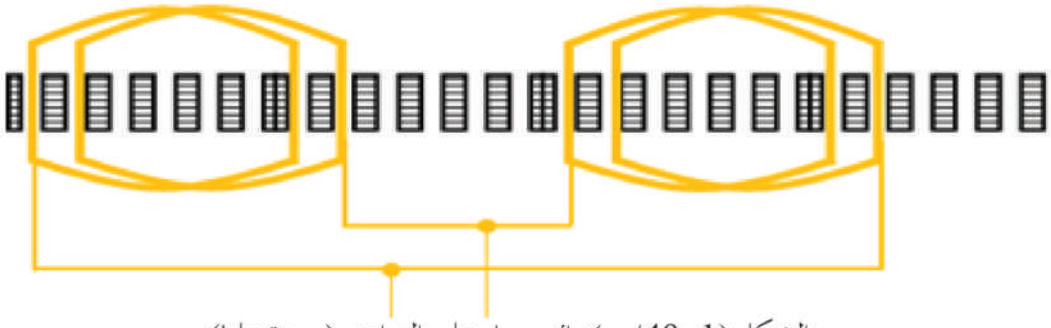
الشكل (1–47): التوصيل على التوازي.

جـ – التوصيل بناءً على على السرعة، وفيها يكون التوصيل وفق سرعتين متناصفتين، ولأقلهما سرعة (أربعة أقطاب) توصل على التوالي كما في الشكل (1–48/أ).



الشكل (1–48/أ): التوصيل على التوالي(سرعة منخفضة).

والتوصيل للسرعة العليا (قطبان) توصل على التوازي كما في الشكل (1–48/ب).



الشكل (1–48/ب): التوصيل على التوازي (سرعة عليا).

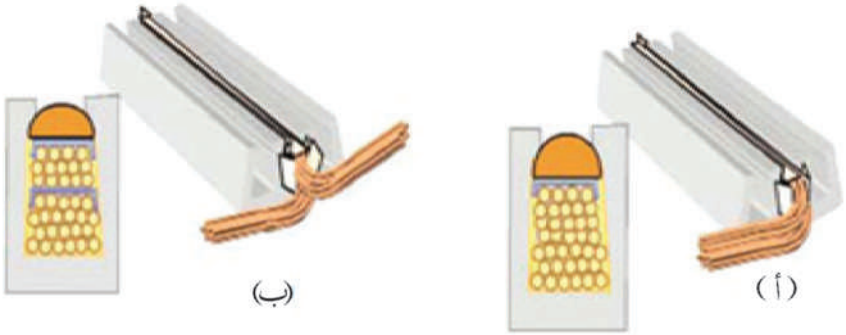
6– **نوعية اللف**: يُقصَد بنوعية اللف عدد الملفات التي توضع في كل مجرًى من مجاري المحرك، وتقسم طريقتين رئيستين، هما:

أ – طريقة الطبقة الواحدة: وفيها يوضع جنب واحد في المجرى. وفي هذه الحالة يكون عدد الملفات مساويًا لنصف عدد المجاري كما في الشكل (1–49).

عدد الملفات الكلية = نصف عدد مجاري المحرك

ب– طريقة الطبقتين: وفيها يوضَع جنبان في كل مجرًى، وفي هذه الحالة يكون عدد الملفات مساويًا لعدد المجاري كما في الشكل (ب).

عدد الملفات الكلية = عدد مجاري المحرك



الشكل (1–49): طريقة الطبقة الواحدة.

7- **خطوة اللف**: لكل ملف من ملفات المحرك جنبان، ويوضع كل جنب في المجرى المناسب له. يُطلَق على المسافة بين بداية الجنب الأول للملف والجنب الثاني للملف خطوة اللف. وتحسب خطوة اللف بالطرائق الآتية:

أ – اللف بالخطوة الكاملة:

$$\text{خطوة اللف القطبية} = \frac{\text{(عدد المجاري)}}{\text{(عدد الأقطاب)}}$$

بالنسبة إلى المحرك الذي يتألف من (24) مجرًى وعدد أقطابه (4)، فإن خطوة اللف تساوي:

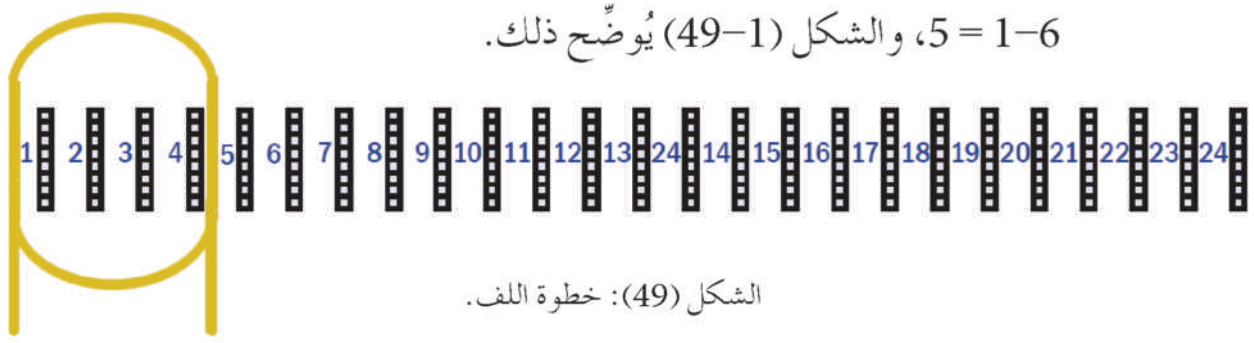
$$\text{خطوة اللف القطبية} = \frac{24}{4} = (6)$$

أي إن خطوة اللف = (6-1).

ب– اللف بالخطوة الكسرية: تستخدم عندما يكون حاصل قسمة عدد الملفات على عدد المجموعات عددًا كسريًا، وتكون كالآتي:

خطوة اللف القطبية (–1): تستخدم في المجموعة التي تحوي عدد ملفات أقل.

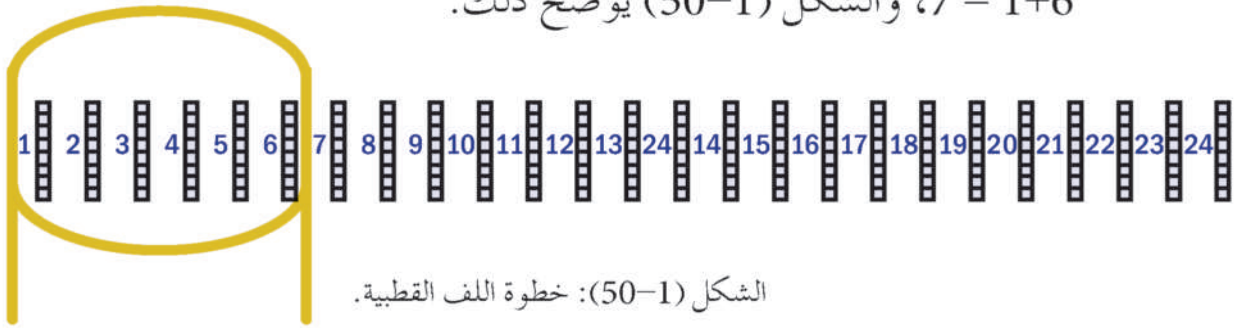
6–1 = 5، والشكل (1–49) يُوضِّح ذلك.



الشكل (49): خطوة اللف.

– خطوة اللف القطبية (+ 1): تستخدم في المجموعة التي تحوي عدد ملفات أكبر

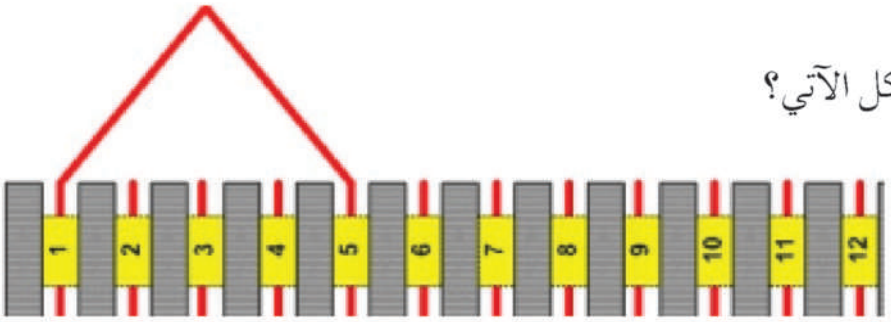
6+1 = 7، والشكل (1–50) يُوضِّح ذلك.



الشكل (1–50): خطوة اللف القطبية.

فكّر

ما خطوة اللف في الشكل الآتي؟



توزيع ملفات المحركات أحادية الطور

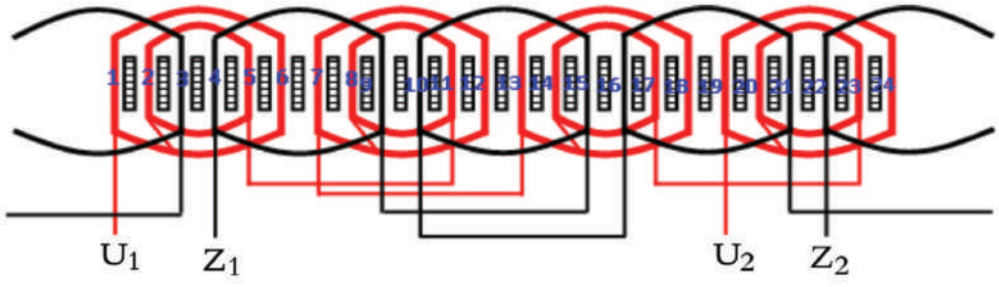
تتكوَّن ملفات المحرك أحادي الطور من نوعين، هما:

1 – **ملفات التشغيل**

الملفات الرئيسة التي تشغل ثلثي عدد المجاري غالبًا، وتكون ملفوفة بسلك سميك (أَسمَك من قُطْر سلك ملف البدء للمحرك نفسه)، ولها عدد لفات أقل غالبًا من عدد لفات ملفات بدء التشغيل، ويرمز إلى أطراف ملفات التشغيل بالرمز (**U1**) لبداية ملفات التشغيل و(**U2**) لنهاية ملفات التشغيل.

2 – **ملفات البدء**

الملفات المساعدة وتشغل ثلث عدد المجاري تقريبًا، وتلف بسلك رفيع بقُطْر أقل من قُطْر سلك التشغيل المستخدم للمحرك نفسه، ولها عدد لفات أكثر غالبًا من لفات ملفات التشغيل. توضَع ملفات البدء بانحراف مقداره (**90**) درجة كهربائية عن ملفات التشغيل، وتُسمّى أطراف ملفات بدء التشغيل (**Z1**) لبداية ملفات بدء التشغيل، و(**Z2**) لنهاية ملفات بدء التشغيل. والشكل (1–51) يُوضِّح ملفات محرك أحادي الطور يتألف من (**24**) مجرًى، وله أربعة أقطاب، موضَّحة عليه ملفات التشغيل والبدء.



الشكل (1–51): ملفات محرك أحادي الطور.

مثال (1)

ارسم رسمًا انفراديًّا لملفات العضو الساكن لمحرك تيار متناوب أحادي الطور، يتألف من (24) مجرًى، وله قطبان ونوع لفه متداخل ذو طبقة واحدة.

عدد المجاري 24 مجرًى	نوع اللف: متداخل	عدد الملفات الكلية: 12 ملفًّا	عدد ملفات التشغيل = ثلثي ملفات المحرك	خطوة اللف القطبية = عدد المجاري / عدد الأقطاب
أي إن خطوة اللف: (1-12)			$\frac{2}{3} \times 12 = 8$ ملفات تشغيل	$\frac{24}{2} = 12$

● لتحديد المسافة بين بداية ملفات التشغيل وبداية ملفات بدء التشغيل، تُستعمَل المعادلة الآتية:

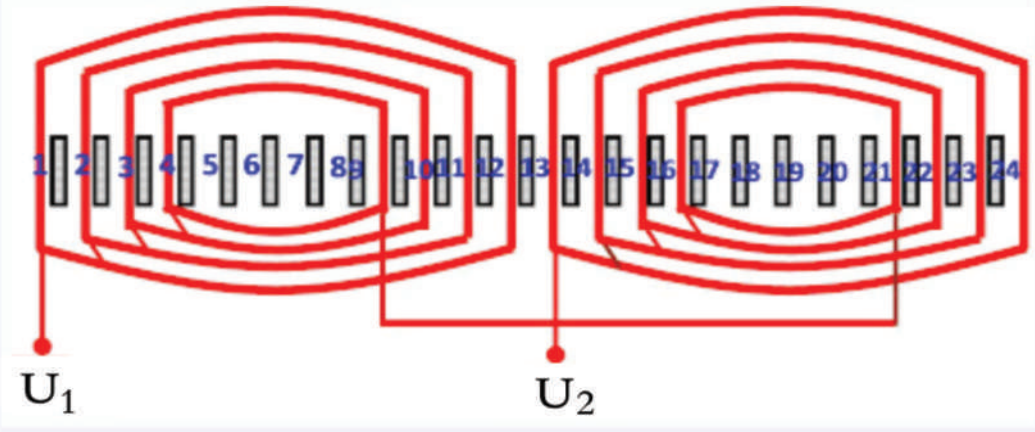
$$\text{الزاوية الكهربائية للمجرى} = \frac{\text{عدد الأقطاب} \times 180}{\text{عدد المجاري}}$$

$$\text{الزاوية الكهربائية للمجرى} = \frac{180 \times 2}{24} = (15) \text{ درجة كهربائية}$$

$$\text{المسافة بين بداية ملفات التشغيل وبداية ملفات بدء التشغيل} = \frac{90}{\text{الزاوية الكهربائية}} = \frac{90}{15} = 6 \text{ مجارٍ}$$

وعليه، تكون بداية ملفات التشغيل (U1) في المجرى رقم (1) وبداية ملفات البدء (Z1) في المجرى رقم (1+6)= 7 كما في الشكل (1–52).

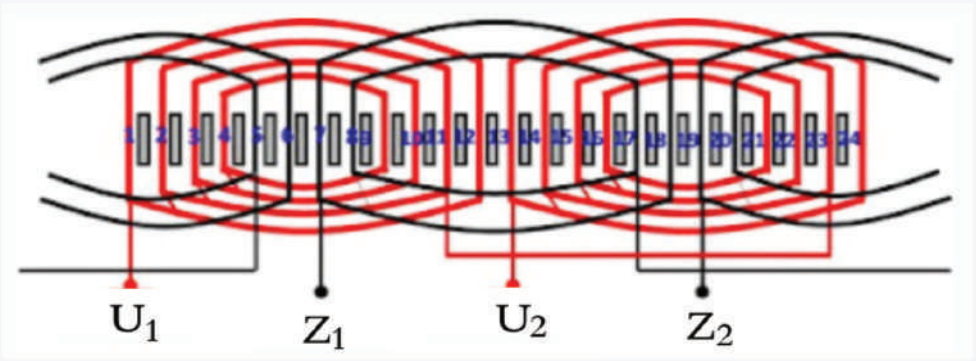
المجموعة الأولى	المجموعة الثانية
12-1	24-13
11-2	23-14
10-3	22-15
9-4	21-16



الشكل (1–52): ملفات التشغيل.

يكون توزيع ملفات البدء مع ملفات التشغيل كما هو مبين في الشكل (1–53).

المجموعة الأولى	المجموعة الثانية
18-7	6-19
17-8	5-20



الشكل (1–53): ملفات البدء مع ملفات التشغيل.

مثال (2)

ارسم رسمًا انفراديًّا لملفات العضو الساكن لمحرك تيار متناوب أحادي الطور، (24) مجرًى، وله أربعة أقطاب ونوع لفه متداخل وهو ذو طبقة واحدة.

عدد المجاري 24 مجرًى	عدد الأقطاب 4 أقطاب	نوع اللف: متداخل	عدد الملفات الكلية = 12 ملفًّا
عدد ملفات التشغيل = ثلثي ملفات المحرك	عدد ملفات التشغيل الكلية = عدد ملفات المحرك الكلية × $\frac{2}{3}$ = $\frac{2}{3}$ ×12= 8 ملفات تشغيل		

الحل

عدد ملفات البدء = ثلث ملفات المحرك

عدد ملفات البدء = $\frac{12}{3}$ = 4 ملفات

عدد ملفات التشغيل / مجموعة = $\frac{\text{عدد ملفات التشغيل}}{\text{عدد الأقطاب}}$

= $\frac{8}{4}$ = 2 ملفات / مجموعة تشغيل

ملفات البدء / مجموعة $= \frac{4}{4} = 1$ ملف / مجموعة بدء

خطوة اللف القطبية $= \frac{\text{عدد المجاري}}{\text{عدد الأقطاب}}$

خطوة اللف القطبية $= \frac{24}{4} = 6$ مجارٍ؛ أي أن خطوة اللف: (1-6)

1 – لتحديد المسافة بين بداية ملفات التشغيل وبداية ملفات بدء التشغيل:

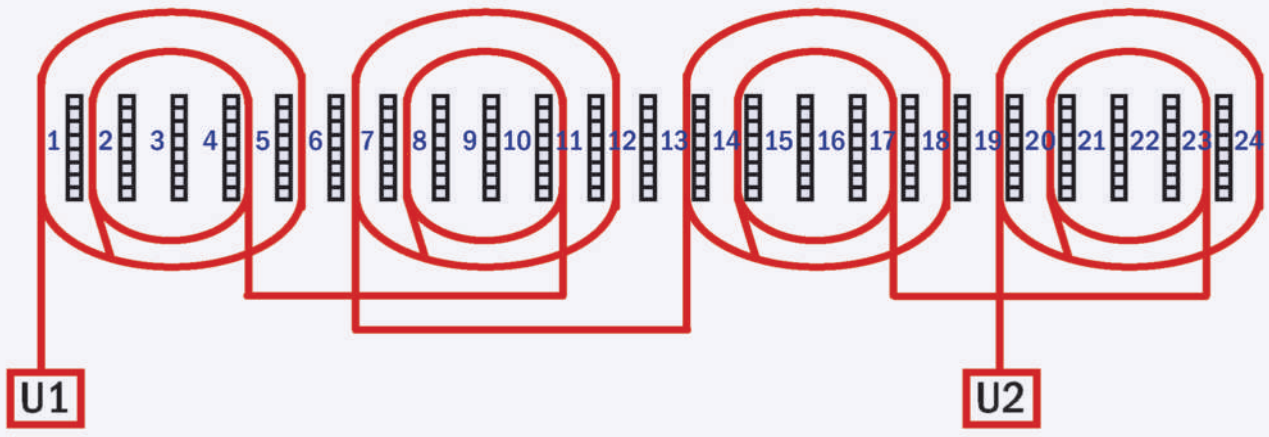
الزاوية الكهربائية للمجرى $= \frac{\text{عدد الأقطاب} \times 180}{\text{عدد المجاري}} = \frac{180 \times 4}{24} = (30)$ درجة كهربائية

المسافة بين بداية ملفات التشغيل وبداية ملفات بدء التشغيل $= \frac{90}{30} = 3$ مجارٍ

وعليه، تكون بداية ملفات التشغيل (U_1) في المجرى رقم (1) وبداية ملفات البدء (Z_1) في المجرى رقم (1+3)= 4

2–توزيع ملفات التشغيل كما في الشكل (1–54)، مستعينًا بمعلومات ملفات التشغيل من الجدول المقابل.

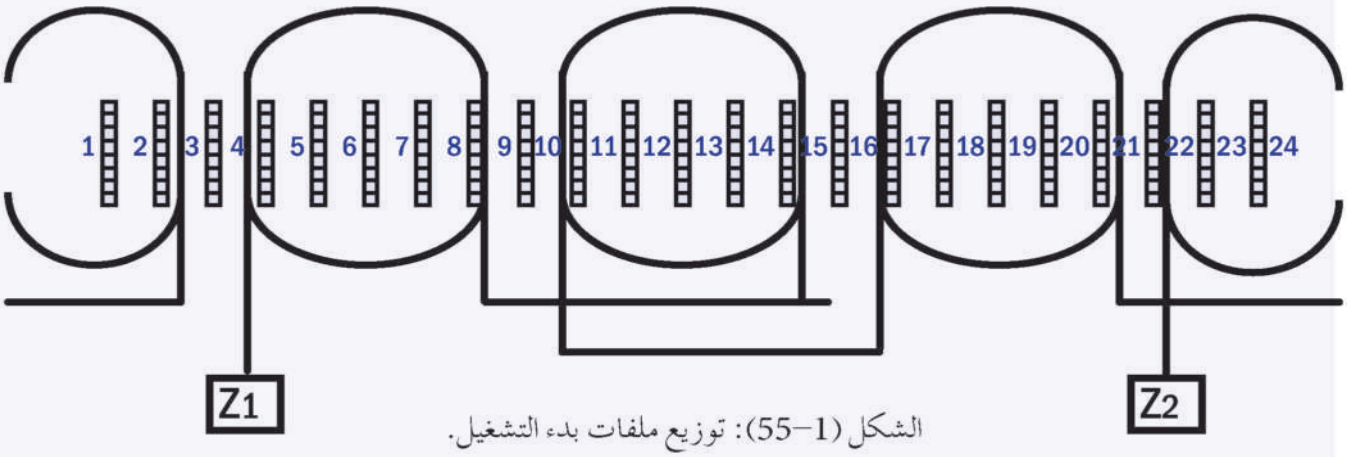
المجموعة الأولى	المجموعة الثانية	المجموعة الثالثة	المجموعة الرابعة
6 - 1	12 - 7	18 - 13	24 - 19
5 - 2	11 - 8	17 - 14	23-20



الشكل (1–54): الرسم الانفرادي لتوزيع ملفات التشغيل.

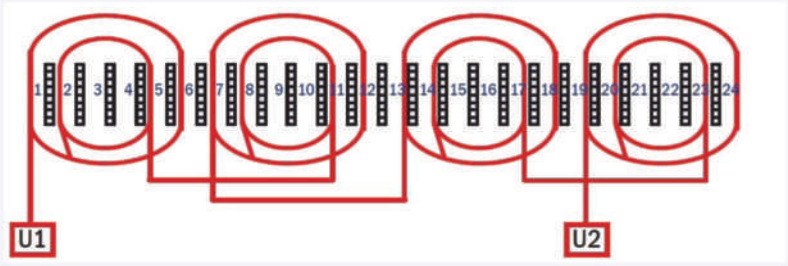
● الرسم الانفرادي لتوزيع ملفات بدء التشغيل كما في الشكل (1–55).

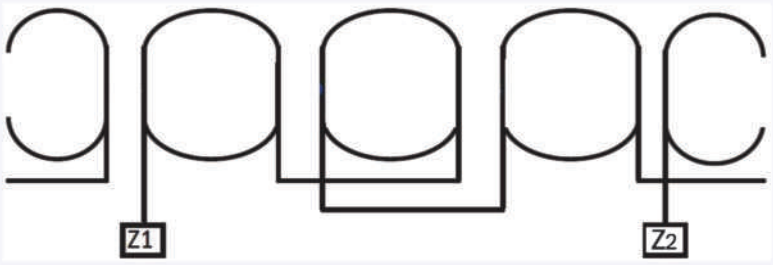
المجموعة الأولى	المجموعة الثانية	المجموعة الثالثة	المجموعة الرابعة
9-4	15-10	21-16	3-22



الشكل (1–55): توزيع ملفات بدء التشغيل.

يُوضِّح الشكل (1–56) الرسم الانفرادي لملفات المحرك بمجموعة ملفات التشغيل والتقويم.





الشكل (1–56): الرسم الإنفرادي ملفات التشغيل وبدء التشغيل.

تجدر الإشارة إلى أن قواعد اللف لا يمكن تطبيقها على المحركات أحادية الطور جميعها، وقبل لف ملفات العضو الساكن يجب نقل المعلومات الخاصة بالمحرك عن طريق تدوين المعلومات في دفتر خاص من داخل المحرك، مثل: خطوة اللف، وعدد الملفات لكل مجموعة، وطريقة التوصيل، ويجب الانتباه إلى المجاري الفارغة. المثال الآتي يُوضِّح ذلك.

مثال (3)

ارسم ملفات محرك أحادي الطور دائري له قطبان مستعينًا بالبيانات الآتية:

عدد المجاري = 24 مجرًى	نوع اللف: متداخل	عدد الملفات الكلية: 12 ملفًا	عدد ملفات التشغيل = عدد ملفات البدء

عدد ملفات التشغيل الكلية = عدد ملفات المحرك الكلية × $\frac{1}{2}$

عدد ملفات التشغيل = $\frac{12}{2}$ = 6 ملفات تشغيل للمحرك

عدد ملفات البدء = $\frac{12}{2}$ = 6 ملفات بدء للمحرك

عدد ملفات التشغيل / مجموعة = $\frac{\text{عدد ملفات التشغيل}}{\text{عدد الأقطاب}}$

عدد ملفات التشغيل / مجموعة = $\frac{6}{2}$ = 3 ملفات تشغيل/ مجموعة

عدد ملفات البدء / مجموعة = $\frac{6}{2}$ = 3 ملفات بدء تشغيل / مجموعة

خطوة اللف القطبية = $\frac{\text{عدد المجاري}}{\text{عدد الأقطاب}}$

خطوة اللف القطبية = $\frac{24}{2}$ = 12 مجرًى

أي إن خطوة اللف: (1–12).

لتحديد المسافة بين بداية ملفات التشغيل وبداية ملفات بدء التشغيل، تُستعمَل المعادلة الآتية:

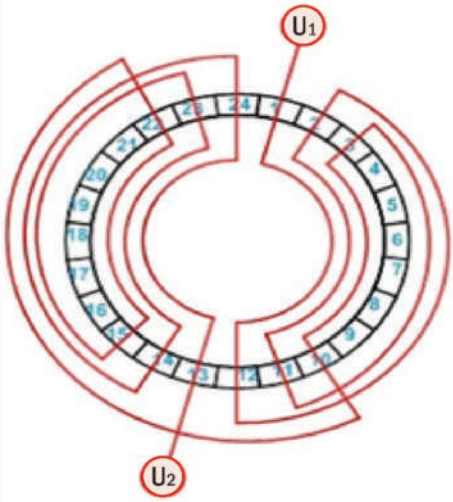
الزاوية الكهربائية للمجرى = $\frac{\text{180×عدد الأقطاب}}{\text{عدد المجاري}}$ = $\frac{2\times180}{24}$ = (15) درجة كهربائية

المسافة بين (Z1,U1) = $\frac{90}{\text{الزاوية الكهربائية}}$ = $\frac{90}{15}$ = 6 مجارٍ

وعليه، تكون بداية ملفات التشغيل (U1) في المجرى رقم (1) وبداية ملفات البدء (Z1) في المجرى رقم (1+6) = 7

توزيع ملفات التشغيل كما في الشكل (1–57).

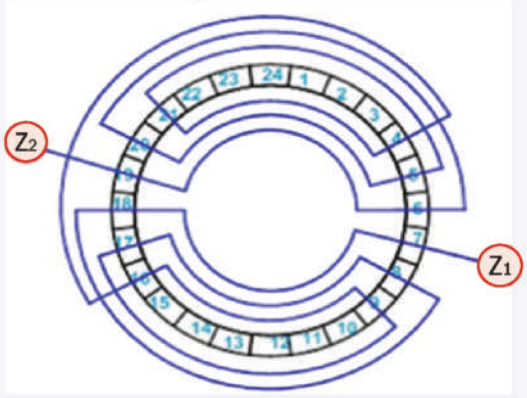
المجموعة الأولى	المجموعة الثانية
12-1	24-13
11-2	23-14
10-3	22-15



الشكل (1–57): توزيع ملفات التشغيل.

توزيع ملفات البدء كما في الشكل (1–58).

المجموعة الأولى	المجموعة الثانية
7 - 18	19 - 6
8 - 17	20 - 5
9 - 16	21 - 4



الشكل (1–58): توزيع ملفات البدء.

إعادة لف محرك ملفوف بسلك واحد بأكثر من سلك، وبالعكس

يمكن لف ملفات بعض المحركات بأكثر من سلك واحد؛ إذ قد تلف بسلكين، أو ثلاثة أسلاك أو أكثر من ذلك. يمكن إعادة لف المحركات الكهربائية الملفوفة بسلكين بسلك واحد، ويمكن إعادة لف المحرك الملفوف بسلك واحد بسلكين أو أكثر من ذلك، بحسب توافر هذه الأسلاك في السوق المحلية والحاجة إلى هذا الإجراء لاعتبارات مختلفة. الأمثلة الآتية تُوضِّح ذلك.

مثال (4)

إعادة لف محرك ملفوف بسلك واحد، بسلكين لهما القُطْر نفسه.

محرك ملفوف بسلك نحاسي دائري المقطع قُطْره (0.50) مم، يراد إعادة لفه بسلكين من النحاس بالقُطْر نفسه، ومقطعهما دائري.

الحل

$$\text{القُطْر المكافئ} = \frac{\text{قُطْر سلك النحاس القديم}}{\sqrt{\text{عدد الأسلاك}}}$$

$$\text{القُطْر المكافئ} = \frac{\text{قُطْر سلك النحاس القديم}}{\sqrt{2}}$$

$$\text{القُطْر المكافئ} = \frac{0.50}{\sqrt{2}}$$

$$\frac{0.50}{1.41} = 0.354 \text{ مم (للسلكين)}$$

أي يجب إعادة لف المحرك الذي قُطْره (0.50) مم بسلكين، قُطْر كل منهما (0.35) مم.

إعادة لف محرك ملفوف بسلكي نحاس بسلك نحاس واحد.

مثال (5)

محرك ملفوف بسلكي نحاس، مقطعهما دائريان، وأقطارهما على التوالي (0.80مم) و(0.60 مم)، ويراد إعادة لفه بسلك نحاسي واحد مقطعه دائري.

جد قُطْر السلك المكافئ.

الحل

مساحة مقطع السلك المكافئ = مساحة مقطع السلك الأول + مساحة مقطع السلك الثاني

مساحة مقطع السلك = π (نق)^2

حيث إن نق: نصف القُطْر.

$\pi\ (\text{نق})^2 = \pi\ (\text{نق}_1)^2 + \pi\ (\text{نق}_2)^2$

بعد التخلص من π تصبح المعادلة كالآتي:

$(\text{نق}^2) = (\text{نق}_1)^2 + (\text{نق}_2)^2$

$= (0.4)^2 + (0.3)^2$

$\text{نق}^2 = 0.16 + 0.09$

$\text{نق}^2 = 0.25$

$\text{نق} = \sqrt{0.25}$

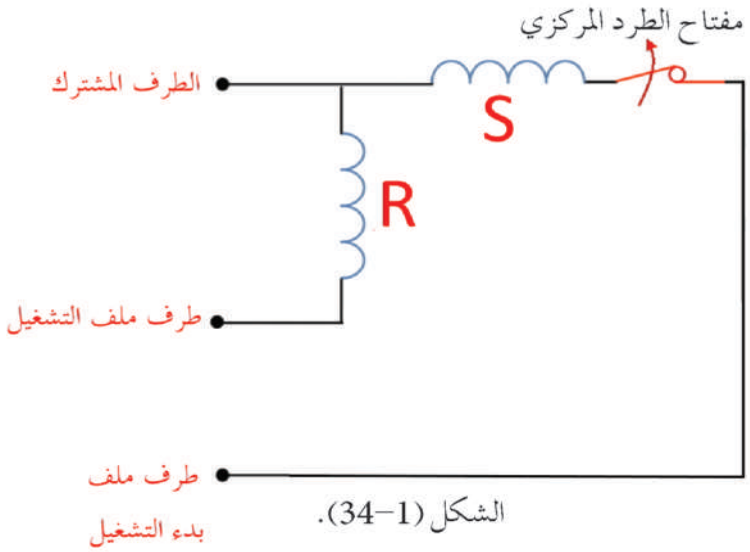
$\text{نق} = 0.5$ مم

$\text{ق} = 0.5 \times 2 = 1$ مم قُطْر السلك المكافئ.

طريقة فحص المحرك الكهربائي أحادي الطور والتحقُّق من صلاحيته

1- في حالة وجود أربعة أطراف للوحة التوصيل في المحرك، يجب التحقُّق من عدم وجود اتصال بين أطراف ملفات بدء التشغيل وأطراف ملفات التشغيل؛ إذ لا يجب وجود أيِّ اتصال كهربائي بين الملفات، ويجب أن تكون قيم القراءات بين الملفات صحيحة، بحيث تكون قيمة ملف بدء التشغيل أعلى من قيمة ملف التشغيل.

2- في حالة وجود ثلاثة أطراف للوحة التوصيل في المحرك (توصيل داخلي بين طرف ملف بدء التشغيل وطرف ملف التشغيل) تُعتمَد قيم المقاومة لبيان صلاحية المحرك، علمًا أن أكبر مقاومة في الدارة تكون بين طرف ملف بدء التشغيل وطرف ملف التشغيل، في حين تكون قيمة المقاومة بين الخط المشترك وطرف ملف التشغيل أقل منها بين طرف ملف بدء التشغيل والطرف المشترك، أمّا مجموع المقاومات بين ملف بدء التشغيل والخط المشترك وملف التشغيل والخط المشترك، فيكون مساويًا لمجموع المقاومة بين ملف بدء التشغيل وملف التشغيل، انظر إلى الشكل (1-34).

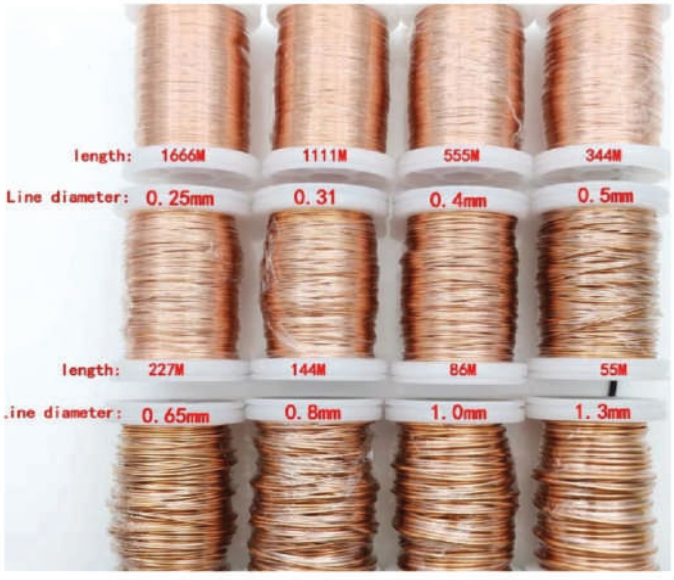


الشكل (1-34).

1 – الأسلاك الكهربائية

تُصنَع هذه الأسلاك من النحاس أو الألمنيوم، وتُعزَل بطبقة عازلة تُسمّى الورنيش، وتختلف في أقطارها، وتقاس بوحدة (ديزيم) (**1** مليمتر = **10** ديزيم)، انظر إلى الشكل (1–35)، ويتحمَّل السلك الواحد منها درجات حرارة مرتفعة تصل إلى (**180**°)؛ لذا فهو يُعزل بمادة الورنيش لتجنب تلامس الأسلاك عند اللف. يقاس السلك على أساس النحاس الصافي من دون ورنيش. عند قياس قُطْره يجب إزالة طبقة الورنيش بالحرق أو التقشير من دون حدوث تآكل في النحاس نفسه، وهو يُشترى بالوزن (الكيلوغرام). وتُستعمَل الأقطار البديلة لإعادة لف المحركات الكهربائية بسلك النحاس بدلًا من سلك الألمنيوم، مع الاحتفاظ بمواصفات اللف السابقة كلها. ولإعادة لف المحركات الكهربائية بسلك النحاس، تُستعمَل المعادلة الآتية:

القُطْر المكافئ من سلك النحاس = 0.76 × **قُطْر سلك الألمنيوم**



الشكل (1–35).

مثال (6)

محرك كهربائي أحادي الطور،وملفوف بأسلاك الألمنيوم المعزولة، وقُطْر سلك التشغيل له (**1.5**مم)، وقُطْر سلك البدء له (**1**مم)، احسب قطر كل من ملفات التشغيل وملفات بدء التشغيل إذا أُعيد لف المحرك بأسلاك النحاس.

الحل

- القُطْر المكافئ من سلك النحاس لملفات التشغيل = **1.5 × 0.76 = 1.14** مم. وبالتقريب، يصبح القُطْر الجديد للسلك المصنوع من النحاس: **1.15** مم.
- القُطْر المكافئ من سلك النحاس لملفات البدء = **1 × 0.76 = 0.76** مم. وبالتقريب، يصبح القُطْر الجديد للسلك المصنوع من النحاس: **0.75** مم.

2- الورنيش السائل

يوضع الورنيش السائل فوق الملفات بعد الانتهاء من عملية اللف كاملة؛ لجعل الملفات جميعها كتلة واحدة، فلا يمكن لأيِّ سلك أن يجد مجالًا للحركة، فضلًا عن زيادة قيمة عزل المحرك كما في الشكل (1–36).

الشكل (1–36): الورنيش السائل.

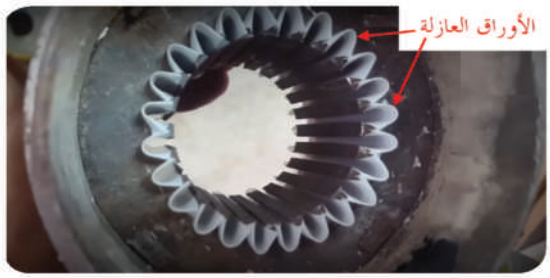
3- المواد العازلة

أ – الأوراق العازلة (البرسبان): تُستعمَل هذه الأوراق لعزل الأسلاك عن جسم المحرك كما في الشكل (1–37)، وتوجد منها أحجام وأنواع مختلفة.

ب – المكرونة العازلة: تتباين المكرونة العازلة من حيث الحجم، والنوع كما في الشكل (1–38).

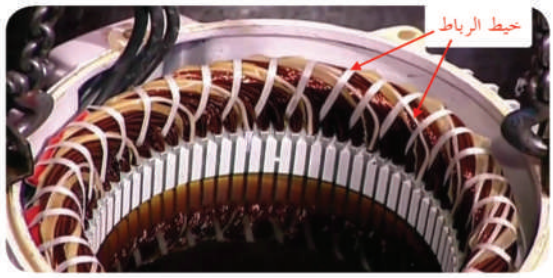
فمنها الحرارية، والعادية، وهي تُستعمَل لعزل لحام أطراف المحرك الداخلية.

جـ- خيط الرباط: يوجد منها نوعان: الحرير، والقطن، ويُستعمَل لربط الملفات بعد الانتهاء من تسقيطها ولحامها، وذلك للقدرات الصغيرة، ويمكن شراؤه من السوق المحلي بالبكرة أو اللفة. انظر الى الشكل (1-39).



الشكل (1-37): الأوراق العازلة.

الشكل (1-38): المكرونة العازلة.



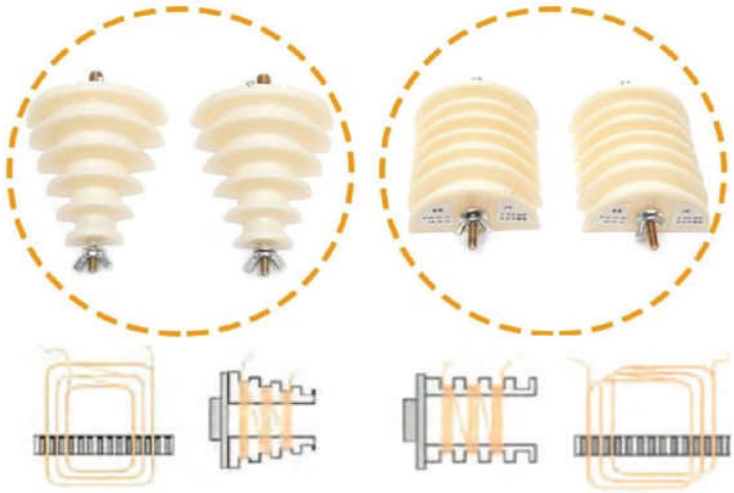
الشكل (1-39): خيط الرباط.

4- قوالب اللف

تُثبَّت هذه القوالب على آلة اللف بغية لف ملفات المحرك عليها. وهي نوعان:

أ - قوالب اللف المتسلسل كما في الشكل (1-40/أ).

ب- قوالب اللف المتداخل كما في الشكل (1-40/ب).

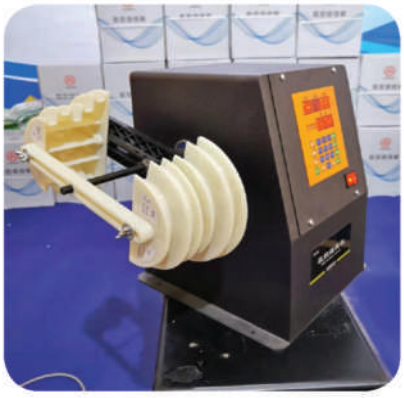


(أ) قوالب اللف المتسلسل (ب) قوالب اللف المتداخل

الشكل (1-40): قوالب اللف.

5- آلة اللف

تُصنَع هذه الآلة بأشكال وأحجام مختلفة، وهي نوعان: آلة اللف الكهربائية، وآلة اللف اليدوية. تُركَّب على هذه الآلة قوالب اللف، وتكون مُزوَّدة بعدّاد رقمي لمعرفة عدد لفات الملف الواحد كما في الشكل (1-41).



الشكل (1-41): آلة لف الأسلاك.

6- أطراف التوصيل

تُصنَع أطراف التوصيل من أسلاك النحاس، وتكون معزولة، ويُختار منها ما يناسب قدرة المحرك المراد لفه.

7- قصدير اللحام

يُستعمل هذا النوع من القصدير للحام أطراف المحرك الداخلية؛ بغية زيادة متانة وصلات اللحام، ويُستعمَل معه مساعد اللحام (فلكس) بعد التحقّق أن المحرك بحاجة إلى اللف. يراعى عند إعادة لف ملفات المحركات الكهربائية التزام تعليمات الشركة الصانعة؛ لضمان الحصول على أفضل أداء للمحرك، بأقل التكاليف الممكنة؛ لذا يجب إعادة لف ملفات المحرك وفقًا لما كانت عليه قبل تلفها.

- ابحث في مصادر المعرفة المتوافرة عن القوالب الخاصة باللف المتداخل واللف المتسلسل، ثم اكتب تقريرًا عنهما، ثم ناقش المعلِّم فيه.
- ابحث في الإنترنت عن مقاطع مصورة (فيديوهات) توضح عملية لف المحركات بإشراف معلمك، ثم اعرض هذه المقاطع على زملائك.

التمرين (5)

إعادة لف محرك كهربائي أحادي الطور ذي مواسع تشغيل

يُتوقَّع منك بعد تنفيذ هذا التمرين أن:

- تدوّن المعلومات ملفات المحركات الأحادية الطور.
- تعيد لف محرك أحادي الطور ذي مواسع تشغيل بطريقة صحيحة.

متطلبات تنفيذ التمرين:

التجهيزات (الأدوات)

محرك أحادي الطور ذو مواسع، صندوق عدة كهربائية معزولة، أو ميل خاص بقص الملفات التالفة، سنبك طرد، مطرقة بلاستك، مقص مورق، مسطرة حديد + نصلة حديد، ميكروميتر، كاوي قصدير، أفوميتر، فرن تجفيف محركات وفرشاة لدهن الورنيش على ملفات المحرك.

المواد الأولية

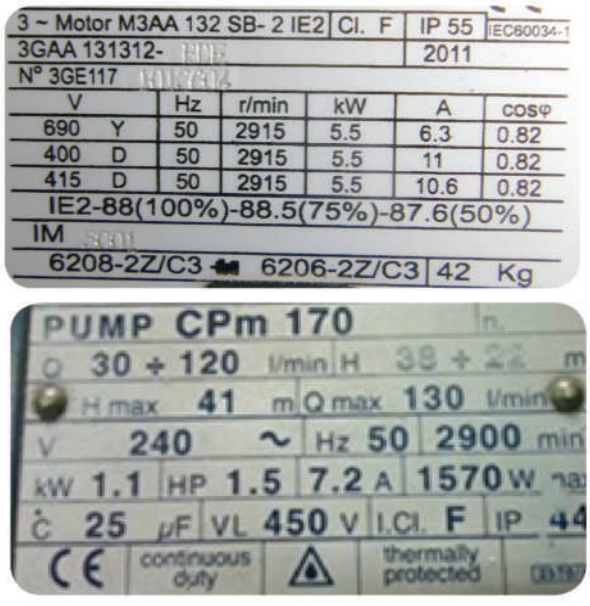
سلك لف معزول بالورنيش (قُطْره بحسب السلك القديم للمحرك)، ورق عازل (برسبان سُمْك الورق القديم نفسه)، لحام قصدير، خيط خاص بتربيط المحركات، ورنيش عازل، سلك مفرد الشعرات بلونين مختلفين بطول (60) سم من كل لون، معكرونة حرارية (قُطْرها أكبر من قُطْر الأسلاك متعددة الشعرات (الخطوة 6)، ورق زجاج.

خطوات الأداء

1 – افحص المحرك وتحقَّق من حاجته إلى اللف كما درست سابقًا.

2 – دوّن المعلومات الخارجية للمحرك المسجلة على اللوحة الاسمية كما في الشكل (1) وفي الجدول (1):

الرسم التوضيحي



الشكل (1).

خطوات الأداء

الجدول (1).

عدد الأقطاب	( ) قطب
سرعة المحرك	( ) RPM
التردُّد	( ) هيرتز
فرق الجهد الذي يعمل عليه المحرك	( ) فولت
التيار الذي يسحبه المحرك (تيار الحمل الكامل)	( ) أمبير
قدرة المحرك (بالحصان HP) أو (بالكيلواط KW)	( )
سعة المواسع المستخدم في الدارة (مايكروفاراد µF)	( ) µF
عدد الطور التي يعمل بها المحرك	

3 – فُكَّ المحرك كما تعلمت في التمارين السابقة.

4 – دوِّن في الجدول (2) المعلومات التي يمكن ملاحظتها، مثل:

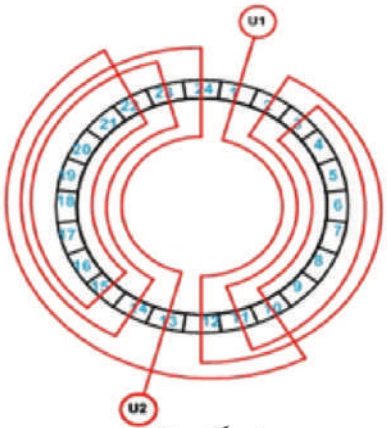
الجدول (2).

خطوة اللف (ملف بدء التشغيل)	
نوع اللف (متداخل، متسلسل)	
عدد ملفات البدء (بدء التشغيل)	
عدد ملفات الحركة (التشغيل)	
عدد مجاري المحرك	
طول المجرى	
عرض المجرى	
طريقة التوصيل	

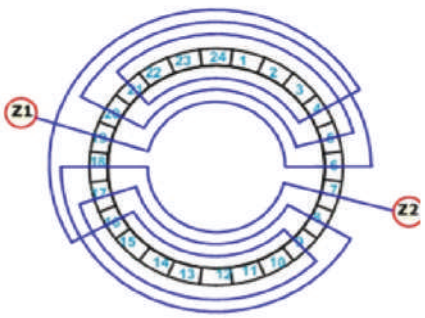
5 – ارسم ملفات المحرك رسمًا انفراديًّا أو دائريًّا.

يُبيِّن الشكل (2) ملفات التشغيل، ويُبيِّن الشكل (3) ملفات التقويم.

الرسم التوضيحي



الشكل (2).



الشكل (3).

خطوات الأداء	الرسم التوضيحي

6- اقطع الأسلاك من الجهة التي تخرج منها أسلاك التوصيل إلى لوحة توصيل المحرك، انظر إلى الشكل (4).

الشكل (4).

7- اطرد الملفات كليًّا باستعمال سنبك الطرد كما في الشكل (5).

8- اسحب الملفات من الجهة المعاكسة لخروج الأسلاك.

الشكل (5).

9- عُدَّ أسلاك ملفات بدء التشغيل وأسلاك ملف الحركة، مراعيًا بدء العد من الأسلاك الموجودة داخل المجاري ثم دوّن عددها في الجدول (1-3).

10 - قِس أقطار الأسلاك المستخدمة في لف المحرك، انظر إلى الشكل (6)، ثم دوِّنها في الجدول (1-3)، مراعيًا إزالة طبقة الورنيش العازل عن الأسلاك. ثم دوِّن بقية المعلومات الداخلية للمحرك في الجدول (3).

الشكل (6).

الجدول (3).

عدد الأقطاب	عدد الملفات الكلية
نوع اللف	عدد ملفات الحركة (التشغيل) وقُطْرها
خطوة لف ملفات الحركة (التشغيل)	رقم المجارى التي تخرج منه بداية ملفات الحركة (التشغيل)
عدد ملفات مجموعة الحركة (التشغيل)	عدد لفات الملف الواحد لملف الحركة (التشغيل)
قُطْر سلك لف الحركة (التشغيل)	عدد ملفات مجموعة الحركة (التشغيل)
خطوة لف ملفات البدء (بدء التشغيل)	رقم المجارى التي تخرج منه بداية ملفات البدء (بدءالتشغيل)
عدد ملفات مجموعة البدء (بدء التشغيل)	عدد لفات الملف الواحد لملف بدء التشغيل
قُطْر سلك ملف البدء (بدء التشغيل)	

خطوات الأداء

11 – نظِّف مجاري المحرك من بقايا الورق العازل بنصلة المنشار، وإذا تطلَّب الأمر تسخين الملفات ورفع درجة حرارتها، فعرِّضها مباشرة لمصدر حراري، مراعيًا عدم تعرض صفائح (شرائح) العضو الثابت للمصدر الحراري.

12 – جهِّز الورق العازل القديم للمجاري، وقُطْره من النوع نفسه، بحيث يُقاس طول المجرى، ثم يُضاف إليه (2) سم، ثم ضع علامة على بعد نصف سم من اليمين، وارسم خطًّا مبتعدًا نصف سم من الجهة الأخرى، وارسم خطًّا، ثم اثنِ الورقة، وجهّز الأوراق كلها بحسب عدد المجاري للمحرك كما في الشكل (7).

الرسم التوضيحي

الشكل (7).

خطوات الأداء

13 – ركِّب ورقة عازل واحدة داخل المحرك، وتأكَّد من صحة القياس، انظر إلى الشكل (8)، وتابع مجاري المحرك جميعها.

14– اعمل شبلونة حسب خطوة اللف ونوعه؛ التي كان عليها المحرك، انظر إلى الشكل (9) ويفضل للمبتدئ في لف المحركات استعمال القياس القديم للملفات، ثم ركِّب الشبلونة على قالب اللف.

15– ثبِّت قياس الملف، وابدأ بلف عدد الملفات للمجموعة المطلوبة بعدد لفات الملف القديم وقُطْره نفسه، بدءًا بملف الحركة (التشغيل) كما في الشكل (10)، بحيث تُسقط ملفات التشغيل أولًا.

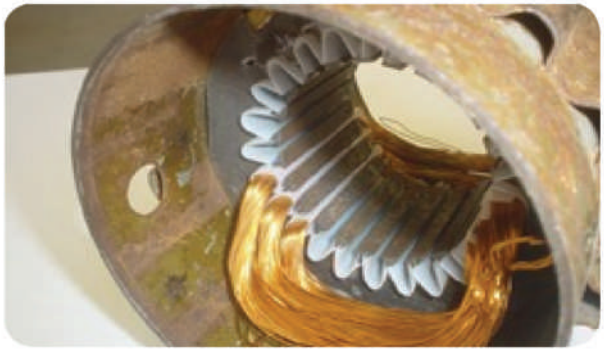
16– قبل البدء بتسقيط الملفات، تأكد من أن أطراف خروج الملفات من الجهة التي فيها فتحة خروج الأسلاك كما في الشكل (11)، ثم امسك الملف بيديك من جهتي العضو الساكن (الثابت)، ثم ادفعها تدريجيًّا حتى تستقر في المجرى المخصص لها في العضو الساكن، فيُنزَّل بذلك المجموعة الأولى من ملفات التشغيل، حاول تشكيل كل ملف نحو الأسفل؛ حتى يسهل تسقيط ملفات التقويم، ثم أسقط المجموعة الثانية

الرسم التوضيحي

الشكل (8).

الشكل (9).

الشكل (10).



الشكل (11).

خطوات الأداء	الرسم التوضيحي

من ملفات التشغيل كما في الشكل (12).

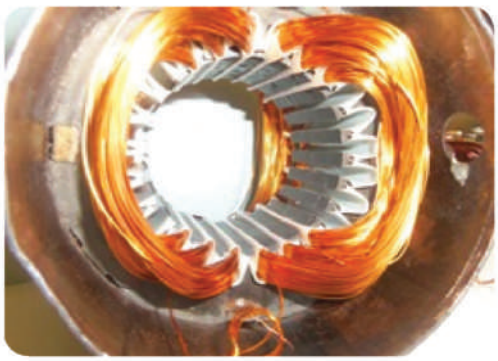
17- بيِّن ملفي البدء والحركة (**90°**)، الشكل (13) يُوضِّح عملية إسقاط ملفات المحرك كلها، مراعيًا اختيار المجرى الصحيح لبداية ملف البدء؛ لضمان المحافظة على الزاوية الكهربائية.

18- اعزل ملفات البدء عن ملفات الحركة (التشغيل) من الجهة المعاكسة لجهة خروج الأسلاك إلى الكهرباء كما في الشكل (14).

19- اربط الملفات من الجهة المعاكسة لخروج الأسلاك واستعمل المطرقة البلاستيكية الخفيفة حفاظًا على مسافة تسمح بحركة العضو الدوّار بيسر وسهولة كما في الشكل (15).

20- وصِّل أسلاك ملفات التشغيل وملفات التقويم باستعمال المكرونة الحرارية ولحام القصدير والعزل بين ملفات التقويم كما في الشكل (16).

21- اربط الملفات من جهة خروج الأسلاك كما في الشكل (17).



الشكل (12).

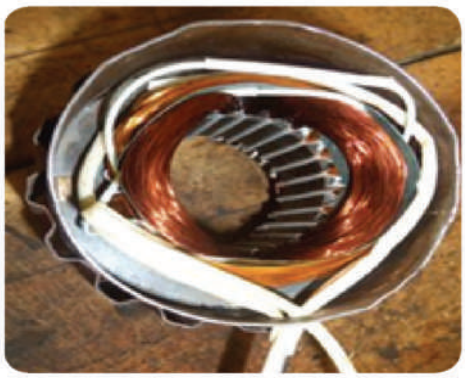
الشكل (13).

الشكل (14).

الشكل (15).

خطوات الأداء	الرسم التوضيحي

22- كبّس أغطية الورق العازل تجنبًا لارتفاع أيِّ ورقة عن المجرى المخصص لها، بمسطرة حديدية كما في الشكل (18).



الشكل (16).

23- اختبر الملفات وافحصها بجهاز الأفوميتر؛ للتأكُّد من صحة التوصيل، وافحص القصر (الاتصال) بين الملفات والعضو الساكن. ثم شبِّع الملفات بالورنيش بوضعها على المحرك؛ حيث إنها تزيد تماسك ملفات المحرك وتحميه من الرطوبة باستعمال فرشاة كما في الشكل (19).

الشكل (17).

24- ضع المحرك في فرن خاص لتجفيف المحركات كما في الشكل (20).

الشكل (18).

الشكل (19).

الشكل (20).

التمارين العملية

التمرين (6)

إعادة لف محرك القطب المظلل (أربعة أقطاب)

يُتوقَّع منك بعد تنفيذ هذا التمرين أن:

- تَفُكَّ ملفات العضو الساكن لمحرك القطب المظلل.
- تُدوِّن معلومات الملفات الخاصة بالعضو الساكن بدقة.
- تعيد لف العضو الساكن لمحرك القطب المظلل لفًّا صحيحًا.

متطلبات تنفيذ التمرين:

التجهيزات (الأدوات)

محرك القطب المظلل، صندوق عُدَّة كهربائية معزولة، إزميل خاص بقص الملفات التالفة، سنبك طرد، مطرقة بلاستيكية، مقص مورق، مسطرة حديدية، نصلة حديد، ميكروميتر، كاوي قصدير، أفوميتر، فرن تجفيف محركات، فرشاة لدهن الورنيش على ملفات المحرك.

المواد الأولية

سلك لف معزول بالورنيش (قُطْره حسب السلك القديم للمحرك)، ورق عازل (برسبان له سُمْك الورق القديم نفسه)، لحام قصدير، خيط خاص بتربيط المحركات، ورنيش عازل، سلك مفرد الشعرات (1.5)مم بلونين مختلفين (60) سم من كل لون، أغطية حرارية متعددة الشُّعَيْرات (قُطْرها أكبر من قُطْر الأسلاك)، ورق زجاج.

خطوات الأداء

1- يُوضِّح الشكل (1) محرك القطب المظلل ذا أربعة أقطاب.

2- فُكَّ قطع المحرك بعد تعليمه كما تعلمت سابقًا، واحرص على وضع القطع في علبة خاصة حفاظًا عليها كما في الشكل (2).

الرسم التوضيحي

الشكل (1).

خطوات الأداء

3- أزل ملفات العضو الثابت، بقطعها بالقطاعة أو بالمطرقة والإزميل (حسب وضع الملفات وحجم المحرك) كما في الشكل (3).

4- استعمل الميكروميتر في قياس قُطْر السلك القديم.

5- عُدَّ لفات كل ملف على حدة.

6- نظِّف مجاري المحرك من بقايا ورق العزل والورنيش القديم باستعمال العُدَد اللازمة.

7- أعد عزل المجاري بورق عازل جديد كما في الشكل (4).

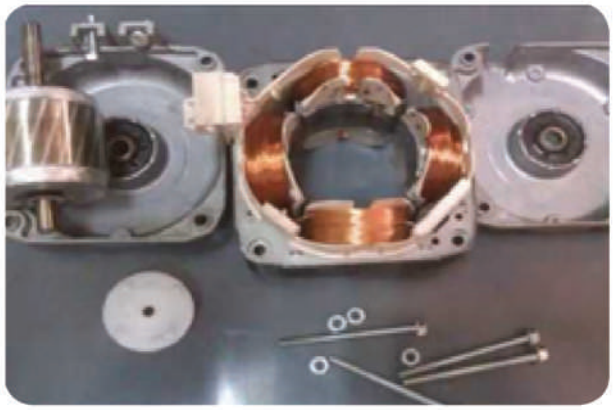
8- حدِّد قياس شبلونة اللف كما تعلمت سابقًا.

9- ثبّت قطعة خشب ثم لفّ عليها أربعة مسامير على الزاوية، وبحسب قياس شبلونة اللف (حجم الملف داخل المجرى) كما في الشكل (5).

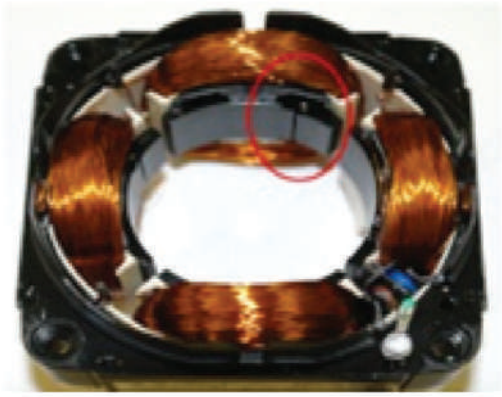
10- أنزل الملفات في المحرك.

11- اربط المحرك عكس جهة خروج الأسلاك.

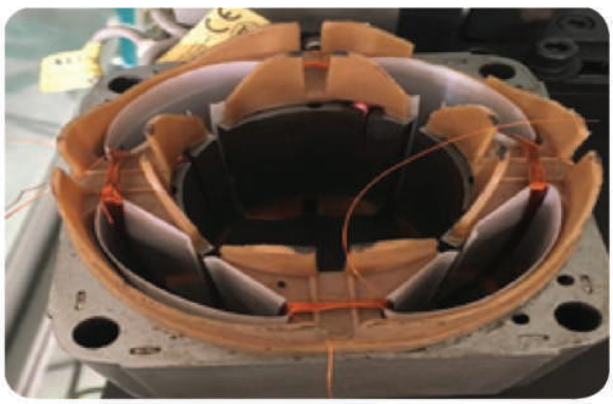
الرسم التوضيحي



الشكل (2).



الشكل (3).



الشكل (4).

خطوات الأداء

12- وصِّل الأسلاك كما كانت من قبل بالعُدَد والأدوات اللازمة.

13- ابدأ بتربيط المحرك من جهة خروج الأسلاك (يُؤجَّل وضع العازل عليه بعد تجربته والتأكّد من صحة اللف).

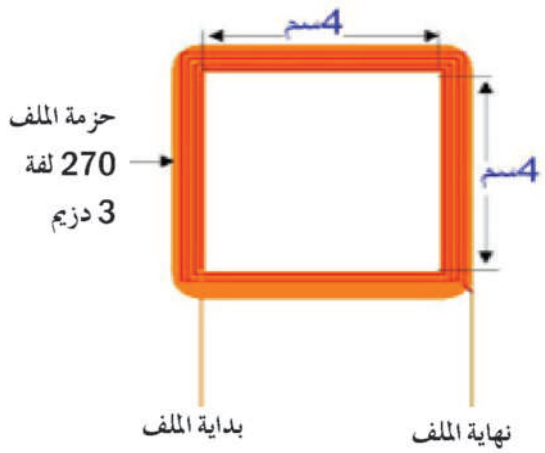
14- جهِّز المحرك للتجربة بعد تجميعه.

15- جرِّب المحرك وتحقَّق من عمله بشكل سليم بإشراف المعلِّم.

16- دوِّن معلومات التمرين والرسوم المطلوبة في دفتر التدريب العملي.

17- نظِّف مكان العمل، مُلتزِمًا تعليمات المعلِّم.

الرسم التوضيحي



الشكل (5).

طريقة توصيل محرك يتألف من (24) مجرًى، (4) أقطاب، ومزود بمفتاح طرد مركزي:

أسئلة الوحدة

القياس والتقويم

1- ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

(1) قيمة تردُّد المصدر من شركة الكهرباء الأردنية هي:

أ - 60 Hz　　ب- 50 Hz

جـ- 55Hz　　د- 100 Hz

(2) يُصنع القلب المعدني للعضو الساكن من مجموعة من الرقائق الفولاذية بسبب:

أ- تقليل المفاقيد الهستيرية　　ب- سهولة الفك والتركيب

جـ- تقليل تكلفة صناعة المحرك　　د- زيادة قيمة المقاومة الأومية

(3) الإزاحة الطورية بين ملفات التشغيل (الحركة) وملفات بدء التشغيل (البدء) في المحركات الحثية أحادية الطور هي:

أ - 120 درجة كهربائية　　ب- 85 درجة كهربائية

جـ- 180 درجة كهربائية　　د - 90 درجة كهربائية

(4) الهدف الرئيس من استعمال كراسي المحور في المحركات الكهربائية:

أ - سهولة الفك والتركيب للمحرك　　ب- زيادة العمر التشغيلي للمحرك

جـ- تجنبًا لاحتكاك العضو الدوّار بالعضو الثابت في أثناء الدوران　　د- تقليل وزن المحرك

(5) أعلى سرعة دوران للمحركات الحثية داخل الأردن عند تشغيل المحرك من المصدر مباشرة:

أ - (3600) دورة لكل دقيقة　　ب- (3000) دورة لكل دقيقة

جـ- (1500) دورة لكل دقيقة　　د- (1800) دورة لكل دقيقة

(6) العلاقة بين سرعة المحرك والتردُّد في المحركات الحثية هي:

أ - كلما زاد التردُّد، زادت السرعة　　ب- كلما زاد التردُّد، قلت السرعة

جـ- لا تتأثر سرعة المحركات الحثية بتغير التردُّد　　د- تنخفض سرعة المحركات إلى حد معين فلا تتأثر بالتردُّد

(7) العلاقة بين سرعة المحرك وعدد الأقطاب في المحركات الحثية:

أ – تزيد سرعة المحركات إلى حد معين، فلا تتأثر بعدد الأقطاب

ب– كلما زاد عدد الأقطاب قلت السرعة

جـ– كلما زاد عدد الأقطاب زادت السرعة

د – كلما قَلّ عدد الأقطاب قلت السرعة

(8) يفصل مفتاح الطرد المركزي بعد:

أ – **75%** من سرعة دوران المحرك

ب– **90%** من سرعة دوران المحرك

جـ– **70%** من سرعة دوران المحرك

د– **85%** من سرعة دوران المحرك

(9) توصل ملفات بدء التشغيل مع المواسع في دارة محرك ذي مواسع أحادي الطور على:

أ – التوازي

ب– التوالي

جـ– المواسع على التوالي وملف بدء التشغيل على التوازي

د– ملف بدء التشغيل على التوالي والمواسع على التوازي

(10) الفرق بين سرعة المجال المغناطيسي وسرعة العضو الدوّار:

أ – التردُّد

ب– سرعة المحرك

جـ– حثية الملف

د– سرعة الانزلاق

(11) عدد الملفات الكلية لمحرك أحادي الطور (**24**) مجرًى ذي الطبقة الواحدة:

أ – **12** ملفًّا

ب– **24** ملفًّا

جـ– **18** ملفًّا

د– **48** ملفًّا

(12) الجهاز المستخدم لقياس أقطار أسلاك اللف الكهربائية هو:

أ – الكليبر

ب– الدزيم

جـ– الميكروميتر

د– الملميتر

(13) خطوة اللف لمحرك كهربائي (**1-7**) (**2-8**) (**3-9**) هي خطوة لف:

أ – متسلسل

ب– متداخل

جـ– الملف الأول متسلسل والملفان الثاني والثالث متداخلان

د– الملف الأول متداخل والملفان الثاني والثالث متسلسلان

(14) المادة التي توضع على أسلاك اللف بعد الانتهاء من لف المحركات الكهربائية لزيادة عزلها وتماسكها هي:

أ – الغراء. ب– البرسبان.

جـ– زيت حار. د– الورنيش.

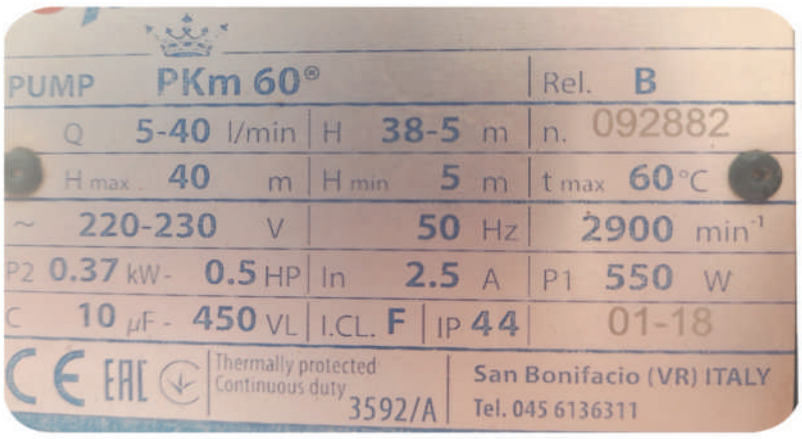
2– وضّح بالرسم كيف يُعكَس دوران المحركات أحادية الطور الآتية:

أ– عكس اتجاه دوران محرك الطور المشطور (يخرج من المحرك أربعة أسلاك إلى لوحة التوصيل).

ب– عكس اتجاه دوران محرك ذي مواسع بدء التشغيل ومواسع التشغيل (يخرج من المحرك أربعة أسلاك إلى لوحة التوصيل).

جـ– عكس اتجاه دوران المحرك ذي المواسع الدائم متساوي المواصفات لملفات البدء والتشغيل (يخرج منها ثلاثة أسلاك).

3– مستعينًا بلوحة المحرك المُبيَّنة في الشكل الآتي، دوِّن المعلومات الخارجية للمحرك في الجدول الآتي:



قدرة المحرك بالحصان.	
قدرة المحرك بالكيلواط.	
درجة العزل للمحرك ضد التلامس وتسرب الأجسام الغريبة والماء.	
الفولتية الاسمية التي يعمل عليها المحرك.	
تيار الحمل الكامل للمحرك.	
درجة العزل الخاصة بالمحرك.	
التردُّد.	
سرعة المحرك.	
سعة المواسع (بالميكروفاراد) وفولتيته.	
عمل المحرك	

4- **محرك تيار متناوب سرعته (3000 rpm) وله قطبان، احسب:**

أ – تردُّد المصدر.

ب– إذا وصِّل المحرك بمصدر تغذية تردُّده (**60Hz**)، فكم تكون سرعته؟

5- **ضع إشارة (✓) إزاء العبارة الصحيحة وإشارة (X) إزاء العبارة غير الصحيحة في ما يأتي:**

أ– تعتمد قيمة الانزلاق على حمل المحرك، فكلما زاد الحمل زاد العزم اللازم للدوران، وانخفضت سرعة المحرك وارتفع الانزلاق. ( )

ب– مقاومة ملفات التشغيل في المحرك الطور المشطور أعلى من مقاومة بدء التشغيل. ( )

جـ– يفصل مفتاح الطرد المركزي في المحرك ذي المواسع الدائم بعد (**75%**) من سرعة دوران المحرك. ( )

د– يتراوح عزم البدء للمحرك ذي مواسع بدء التشغيل من (**400 - 300 %**) من عزم المحرك عندما يكون الحمل كاملًا. ( )

هـ– الوضع الطبيعي لمفتاح الطرد المركزي في حالة السكون للمحرك ذي مواسع بدء التشغيل أن يكون مفصولًا (**Off**) قبل إيصال المحرك بالمصدر. ( )

و- لعكس اتجاه دوران المحرك ذي القطب المظلل، يُقلب العضو الساكن بالنسبة إلى العضو الدوّار؛ بحيث يتغير وضع الحلقات النحاسية عما كان عليه. ( )

ز- تستعمل توصيلة التوازي لملفات المحرك أحادي الطور للفولتيات العالية. ( )

ح- تسمى المسافة بين بداية الجنب الأول للملف والجنب الثاني له خطوة اللف. ( )

ط- يمكن معرفة عدد السلك وقطره المستخدم في لف المحرك عبر اللوحة الخارجية للمحرك. ( )

ي- وحدة قياس أقطار الأسلاك الكهربائية المستخدمة في لف المحركات الكهربائية هي السنتيمتر. ( )

6- **محرك ملفوف بسلك نحاسي دائري المقطع قُطْره (0.55) مم، إذا أعيد لفه:**

أ - بسلكين من النحاس، فاحسب قُطْر مقطعمها الدائري.

ب- بثلاثة أسلاك من النحاس، فاحسب قُطْر مقطعهم الدائري.

7- **بعد فك المحرك أحادي الطور، ما أهم المعلومات الداخلية التي يمكن تدوينها داخل المحرك قبل البدء بعملية اللف؟**

8- **ارسم رسمًا انفراديًّا لملفات العضو الساكن لمحرك تيار متناوب أحادي الطور مُستعينًا المعلومات الآتية:**

أ- عدد الأقطاب : 2

ب- عدد المجاري: 12

جـ- نوع اللف : متداخل

د- عدد الملفات الكلية:6

9- **اشرح مبدأ عمل المحركات الحثية أحادية الطور.**

10- قارن بين المحركات الحثية أحادية الطور كما في الجدول الآتي:

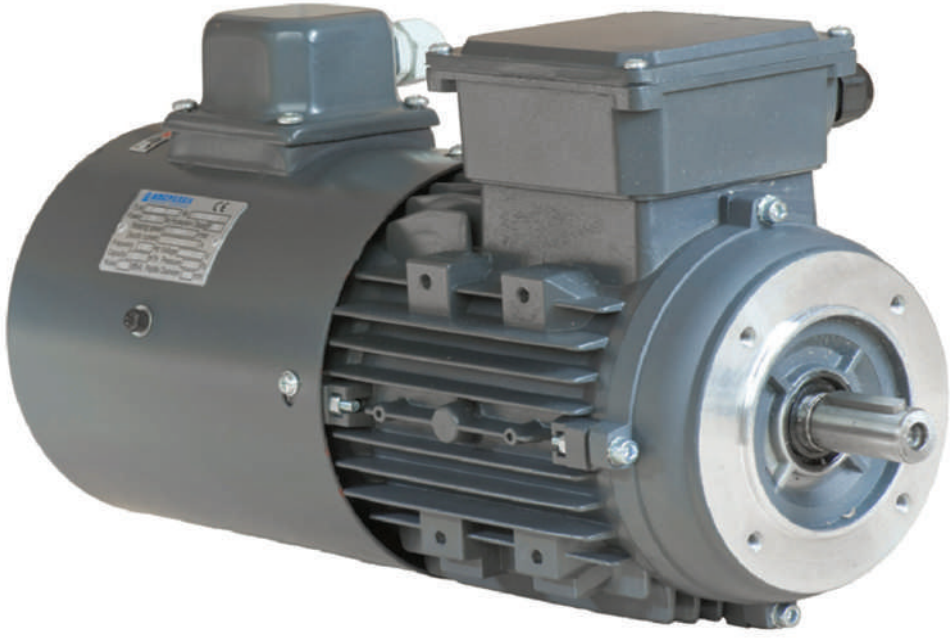
نوع المحرك	عزم البدء للمحرك	وجود مفتاح الطرد المركزي	وجود المكثف وقيمته
محرك الطور المشطور	150% - 125%	يوجد فيه مفتاح طرد يخرج من الدارة بعد 75% من سرعة الدوران	لا يوجد مكثف
محرك ذو مواسع بدء التشغيل			
محرك ذو مواسع دائم			
محرك ذو مواسع بدء التشغيل ومواسع دائم.			

2 الوحدة الثانية

محركات التيار المتناوب ثلاثي الطور
Three -Phase AC Motors

المحاور الفرعية

- مبدأ عمل محركات التيار المتناوب ثلاثي الطور.
- أنواع محركات التيار المتناوب ثلاثي الطور.



النتاجات العامة للوحدة

يُتوقَّع من الطالب بعد دراسة هذه الوحدة أن:

- يتعرَّف مكونات محركات التيار المتناوب ثلاثي الطور، ومبدأ عملها.
- يميز أنواع محركات التيار المتناوب ثلاثي الطور، وخصائصها واستعمالاتها.
- يتعرَّف طرائق عكس اتجاه دوران المحركات الحثية ثلاثية الطور.
- يتعرَّف أساسيات لف المحركات الحثية ثلاثية الطور (العضو الساكن).
- يتعرَّف طرائق لف المحركات الحثية ثلاثية الطور (العضو الساكن).
- يتعرَّف التوصيلات المختلفة لتشغيل محركات ثلاثية الطور (النجمي، والمثلث، وذي السرعتين المتناصفتين، وعكس اتجاه الدوران).
- يفك أجزاء المحركات الكهربائية الحثية ثلاثية الطور، ويعيد تجميعها.
- يتعرَّف أعطال المحركات الحثية ثلاثية الطور، ومسبباتها، ويتمكن من تصليحها.
- يعيد لف المحركات الكهربائية.

مبدأ عمل المحركات ثلاثية الطور ومكوناتها.

الوحدة الثانية
2

انظر.. وتساءل

استكشف

اقرأ.. وتعلم

الإثراء.. والتوسع

القياس والتقويم

الخرائط المفاهيمية

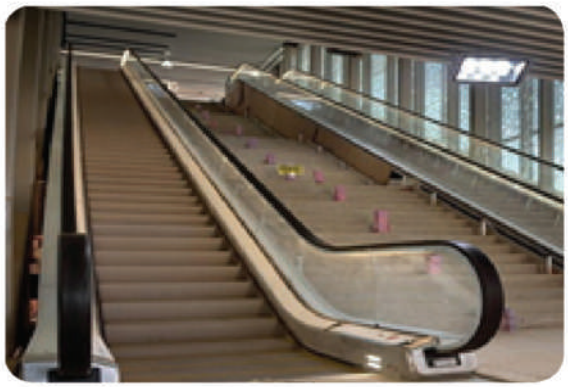
النتاجات

يُتوقّع منك بعد نهاية هذا الدرس أن:

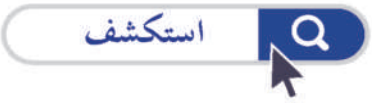
- تتعرَّف مبدأ عمل محركات التيار المتناوب ثلاثي الطور.
- تتعرَّف مكونات محركات التيار المتناوب ثلاثي الطور.

• ما الفرق بين المحرك الكهربائي ثلاثي الطور والمحرك الكهربائي أحادي الطور؟

توجد في حياتنا استعمالات تقنية كثيرة، مثل: المصعد الكهربائي والدرج الكهربائي الموضح في الشكل (2–1). فكيف يتحرك المصعد والدرج الكهربائي حتى يتمكن الأشخاص من استخدامها في الصعود والنزول؟



الشكل (2–1): درج كهربائي.



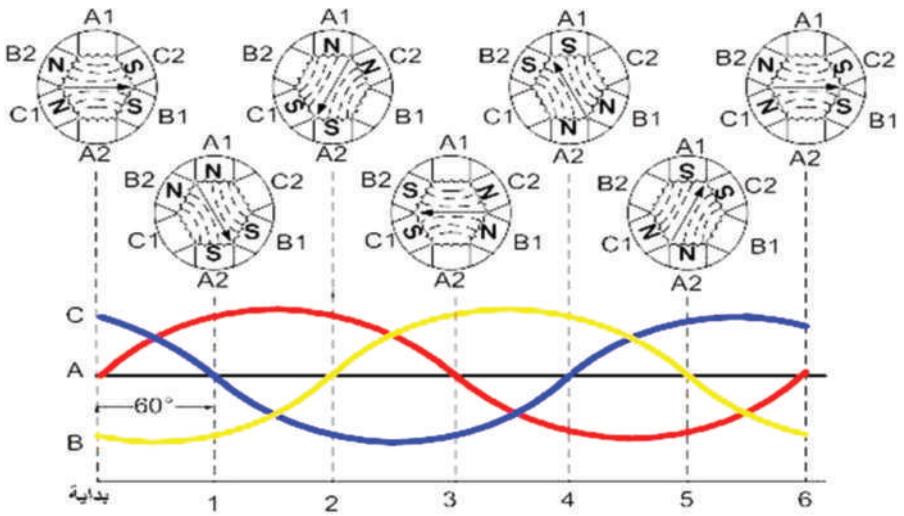
– لا شك في أن هناك جزءًا متحركًا يحرك الدرج والمصعد الكهربائي، فما هذا الجزء؟

يُعَدُّ المحرك الجزء الدوّار الذي يتحرك عند إيصاله بالتيار الكهربائي ثلاثي الطور؛ بحيث يمكن الاستفادة منه في تطبيقات كثيرة، فما أجزاؤه ؟ ممَّ يتركَّب المحرك ثلاثي الطور؟

درست سابقًا أنه إذا سرى تيار في موصل، وكان هذا الموصل داخل مجال مغناطيسي، فإنه يقع تحت تأثير قوة ميكانيكية تحركه. وهذا هو مبدأ عمل المحرك الكهربائي؛ فإذا كانت هناك مجموعة من الموصلات التي يسري خلالها تيار كهربائي وتقع ضمن مجال مغناطيسي دوّار، فإن هذه الموصلات تدور وراء هذا المجال المغناطيسي بسبب القوى المؤثِّرة فيها.

مبدأ عمل محركات التيار المتناوب ثلاثية الطور

لفهم مبدأ عمل محرك تيار ثلاثي الطور؛ سنوضح كيفية نشوء المجال المغناطيسي الدوّار. يحتوي العضو الساكن في المحرك ثلاثي الطور ثلاثة ملفات، يُمثّل كل منها أحد الأطوار الثلاثة (**A-B-C**) وتكون الإزاحة الطورية بين كل طور وآخر (**120°**). في البداية وعند الزاوية صفر يكون التيار الذي يسري في الملف (**A1 - A2**) صفرًا، وكذلك فإن المجال الناتج منه يساوي صفرًا. أمَّا الملف (**B1-B2**)، فيكون التيار الذي يسري خلاله سالبًا، ويساوي ($-\sqrt{\frac{3}{2}}$) من قيمته العظمى، وأمَّا الملف (**C1-C2**)، فإن تيارًا يسري فيه يساوي ($\sqrt{\frac{3}{2}}$) من قيمته العظمى، وبذلك يمكن تمثيل محصلة المجال المغناطيسي المتولد في الملفات الثلاثة بقضيب مغناطيسي يعبر عنه بسهم، واتجاهه كما هو مُبيَّن في الشكل (2–2).

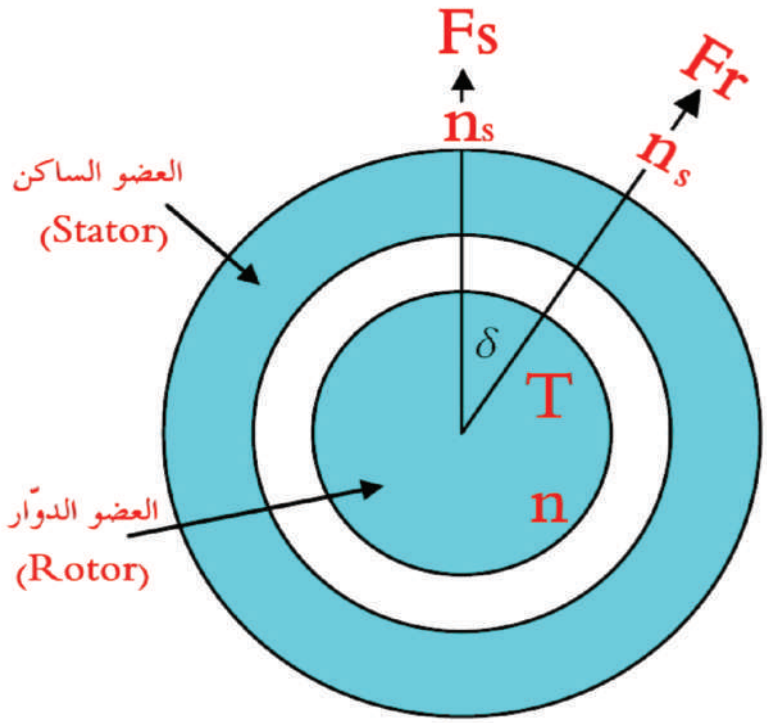


الشكل (2–2): مبدأ عمل المحرك ثلاثي الطور.

أمَّا في الوضع (**1**)؛ أي بعد (**60°**) كهربائية، فيكون التيار الذي يسري في الملف (**A1 - A2**) مساويًا ($\sqrt{\frac{3}{2}}$) من قيمته العظمى، وأمَّا في الملف (**B1-B2**)، فسيكون التيار الذي يسري خلاله سالبًا ($-\sqrt{\frac{3}{2}}$) من قيمته العظمى، ويكون التيار الذي يسري في الملف (**C1-C2**) صفرًا، فلا ينتج منه مجال مغناطيسي. ومن ثَمَّ، فإن محصلة المجال المغناطيسي من الملفات الثلاثة كما هو مُبيَّن باتجاه السهم في الشكل السابق، أي أن المجال المغناطيسي دار (**60°**) باتجاه عقارب الساعة. أما في الوضع (**2**)، فمحصلة المجال المغناطيسي دارت (**120°**) باتجاه عقارب الساعة، وهكذا يمكن تتبع بقية النقاط لمعرفة المجال المغناطيسي الدوّار، كما سبق توضيحه في المحركات أحادية الطور.

مبدأ عمل المحرك الحثي ثلاثي الطور

عند توصيل أطراف العضو الثابت بمصدر الجهد، ينشأ مجال مغناطيسي دوّار، يُولِّد قوة دافعة كهربائية في أيَّ موصل كهربائي يقع ضمن نطاق التأثير، طبقًا لظاهرة الحث الكهرومغناطيسي، ولأن العضو الدوّار يقع ضمن تأثير هذا المجال المغناطيسي الدوّار؛ فستنشأ في موصلاته قوة دافعة كهربائية ثلاثية الأوجه. ولأن موصلات العضو الدوّار مقصورة من الطرفين، فإن تيارات ثلاثية الأوجه ستمر بين كل وجه وآخر بزاوية مقدارها (120) درجة، فيتولَّد مجال مغناطيسي دوّار آخر في الثغرة الهوائية؛ نتيجة لمرور تيارات ثلاثية الطور في موصلات العضو الدوّار. عندئذٍ يتكوَّن مجالان مغناطيسيَّان دوّران: الأول ناتج من العضو الثابت ويدور بالسرعة التزامنية (ns)، والثاني ناتج من العضو الدوّار ويدور بالسرعة المتزامنة (ns-nr) بالنسبة إلى العضو الدوّار، حيث (nr) هي سرعة العضو الدوّار، ويدور بالسرعة التزامنية (ns) بالنسبة إلى العضو الثابت، ولأن هذين المجالين المغناطيسيين يدوران بالسرعة والاتجاه نفسيهما؛ فإنه يتولَّد عزم فعال على العضو الدوّار، يؤدي إلى دورانه في اتجاه المجالين، طبقًا لمبدأ إنتاج العزم (Principle Production of Torque) انظر إلى الشكل (2–3).



الشكل (2–3): مبدأ إنتاج العزم.

يتناسب هذا العزم طرديًا مع شدة المجالين وجيب الزاوية بينهما، طبقًا للمعادلة:

$$T \propto Fs.Fr.\sin(\delta sr)$$

حيث:

T: العزم.

Fs: شدة المجال المغناطيسي في العضو الثابت.

Fr: شدة المجال المغناطيسي في العضو الدوّار.

δsr: الزاوية بين المجالين.

عندما يبدأ العضو الدوّار بالتسارع، فإن سرعة تعرض موصلاته لقطع خطوط المجال المغناطيسي الدوّار تقل كلما زادت سرعة العضو الدوّار، طبقًا للمعادلة: **(nf = ns - nr).**

حيث:

nf: سرعة قطع خطوط المجال المغناطيسي لموصلات العضو الدوّار.

ومن ثَمَّ، فإن القوة الدافعة الكهربائية المُتولِّدة في موصلات العضو الدوّار ستقل مع ازدياد سرعة العضو الدوّار؛ لأن القوة الدافعة الكهربائية المُتولِّدة بسبب الحث الكهرومغناطيسي تتناسب طرديًا مع السرعة النسبية بين الموصل والمجال الذي يتعرض له؛ لذا فإن قيمة التيارات المارة في موصلات العضو الدوّار ستقل، وشدة المجال المغناطيسي المتولد منها ستقل، فيقل العزم المؤثِّر في العضو الدوّار، وهكذا حتى يصل العضو الدوّار إلى سرعة قريبة من السرعة التزامنية، عندئذٍ تكون التيارات المُتولِّدة في موصلات العضو الدوّار صغيرة، فيضعف المجال المغناطيسي الناشئ منها؛ ما يؤدي إلى انخفاض العزم المؤثِّر في العضو الدوّار. وعندما تستقر سرعة العضو الدوّار فإن العزم المؤثِّر في العضو الدوّار يساوي قوة الاحتكاك التي يتعرض لها العضو الدوّار، وعند تحميل المحرك تقل سرعة العضو الدوّار، فتزيد سرعة قطع المجال المغناطيسي لموصلات العضو الدوّار، ما يؤدي إلى زيادة قيم التيارات المارة في موصلاته، ثم زيادة شدة المجال الناشىء منها، ثم زيادة العزم المؤثِّر في العضو الدوّار، ثم تستقر سرعة العضو الدوّار عند سرعة جديدة، فينتج العزم المُؤثِّر فيه مساويًا لعزم الحمل المسلَّط عليه.

مكونات محركات التيار المتناوب ثلاثي الطور

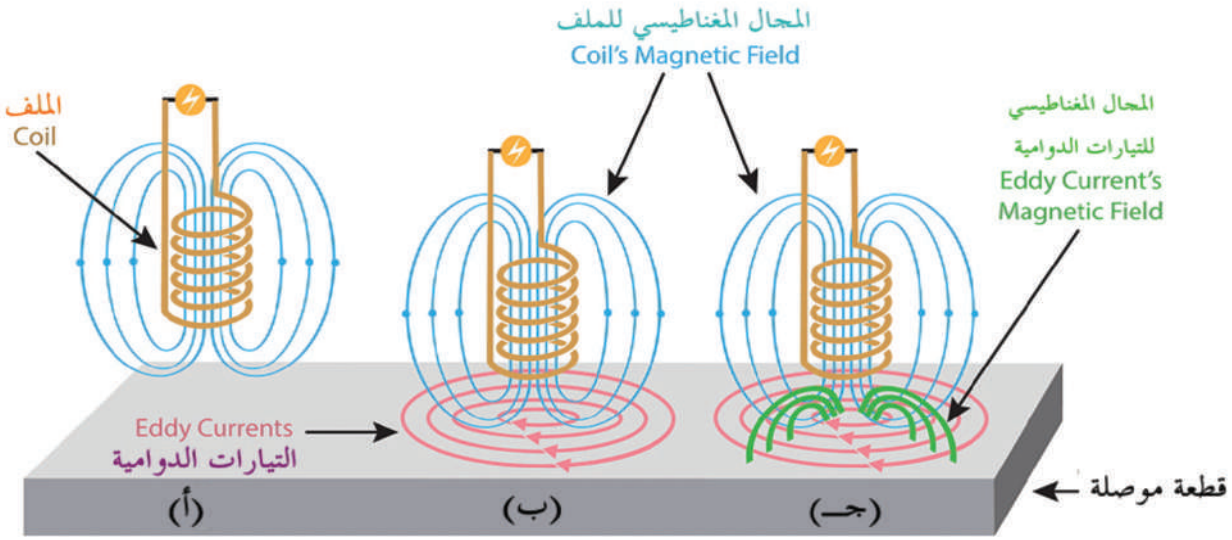
يُشبِه المحرك الثلاثي الطور المحرك الأحادي الطور من حيث التركيب، ويمتاز الأول بعدم حاجته إلى وسيلة بدء إقلاع؛ لذا فإنه يختلف في طريقة لفه وطريقة توصيل ملفات العضو الساكن. في ما يأتي مكونات المحركات ثلاثية الطور:

1- العضو الساكن (Stator)

يُشبِه العضو الساكن في محرك أحادي الطور من حيث الشكل والترتيب، ويختلف في طريقة اللف ونوع الملفات كما في الشكل (2-4). يتكون العضو الساكن للمحرك ثلاثي الطور من الهيكل الخارجي (**Frame**)، والقلب (**Core**) الذي يُصنَع من مجموعة من الرقائق المعدنية المعزولة؛ لأن مقاومة الرقائق المعزولة أعلى من مقاومة القطعة الصُّلْبة؛ إذ تعزل الرقائق بعضها عن بعض بطبقة ورنيش منعًا لقفز التيارات الدوامة من طبقة إلى أخرى؛ وتقليل المفاقيد الهستيرية (**Hysteresis Losses**) التي تنتج من مجالات مغناطيسية تتغير بحسب تردُّد المصدر؛ حيث ترتفع حرارة القلب المعدني نتيجة لذلك، ما يؤدي إلى فقد جزء من الطاقة بسبب ارتفاع درجة الحرارة، فتقلل الرقائق المعدنية المعزولة مفاقيد التيارات الدوّامية (**Eddy Current**) الناتجة بسبب التغيُّر في المجال المغناطيسي في القلب المعدني كما في الشكل (2-5)، ما يفضي إلى تقطيع الحلقات الدوّامية بسبب الرقائق المعزولة، بمنعها من الانتقال بين الرقائق، والتقليل في ما بعد من المفاقيد الحرارية للمحرك. يحتوي العضو الساكن أيضًا ملفات (**Windings**)؛ لأن المحرك ثلاثي الأطوار يتكون من ثلاث مجموعات من الملفات متماثلة وموزعة توزيعًا منتظمًا ومتساويًا داخل مجاري المحرك، بحيث يُخصص لكل طور عدد متساوٍ من الملفات والمجاري. يكون ملف كل طور مُزاحًا عن ملف الطور الآخر بمقدار (**120°**)؛ لضمان توازن المحرك، وتوصيل أطراف بدايات هذه المجموعات ونهايتها، وعددها ستة أطراف على لوحة التوصيل الخارجية للمحرك (**Motor Terminals**).

مجاري ملفات العضو الساكن　　قلب العضو الساكن　　الهيكل الخارجي

الشكل (2–4): العضو الساكن للمحرك ثلاثي الطور.

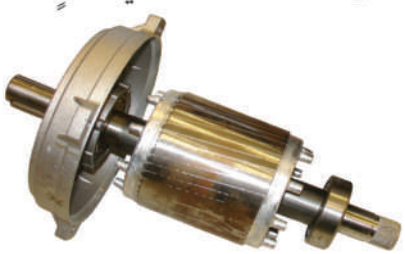


الشكل (2–5): التيارات الدوّامية.

2– العضو الدوّار (Rotor)

وهو نوعان:

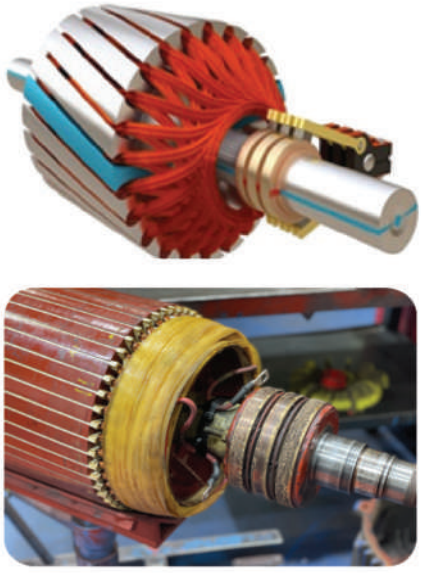
أ – **عضو دوّار (قفص سنجابي)**: يشبه تركيبه العضو الدوّار ذا القفص السنجابي أحادي الطور، وهو يتكوَّن من مجموعة رقائق الصُّلْب السليكونية المعزولة بالورنيش التي تُثبَّت على عمود الدوران، ويشق على محيطها الخارجي مجارٍ مستقيمة أو مائلة، توضَع فيها قضبان



الشكل (2–6): عضو قفص سنجابي.

(أسياخ) من النحاس أو الألمنيوم، وتُلحَم من الجهتين بوساطة حلقتين مقفلتين من معدن القضبان نفسه؛ لإكمال الدارات الكهربائية وزيادة تيار بدء التشغيل، وتكون هذه القضبان مائلة لبدء الدوران بسلاسة كما في الشكل (2–6).

ب- **عضو دوّار ملفوف:** يستخدم هذا النوع في المحركات ثلاثية الأوجه، وتُصنَع فيه الرقائق من صفائح الصُّلْب السليكونية المعزولة بعضها عن بعض بمادة الورنيش، وتكون في صورة دوائر يحتوي سطحها مجاري طولية توضَع فيها الملفات وتوصَل الملفات على التوالي، مُكوِّنة ثلاث مجموعات تكون موصلة في صورة نجمة أو مثلث، وتنتهي بثلاث حلقات انزلاق معزولة عن بعضها كما في الشكل (2–7).



الشكل (2–7): عضو دوار ملفوف.

طريقة توصيل ملفات العضو الثابت لمحرك حثي ثلاثي الأطوار

يحتوي العضو الساكن ثلاثة ملفات متماثلة موزعة توزيعًا منتظمًا ومتساويًا في مجاري المحرك، بحيث يخصص لكل طور من الأطوار عدد متساوٍ من الملفات والمجاري، ويكون ملف كل طور مزاحًا عن ملف الطور الآخر بمقدار (**120°**) كهربائية؛ لضمان عمل المحرك بصورة متوازنة. يُوزَّع ملف كل طور ضمن الحيِّز المُخصَّص له في العضو الساكن. تصنع الملفات من أسلاك نحاسية معزولة بالورنيش، تُلف على قوالب لف خاصة بعدد لفات وقُطْر سلك يتناسب مع قدرة المحرك، وتوضَع في المجاري المعزولة في ثلاثة أنواع من الملفات، تسمى ملفات الطور، فيكون لكل طور ملفاته الخاصة به. تنتهي هذه الملفات على علبة توصيل المحرك (**Motor Terminals**)، وتكون مُوزَّعة على ستة أطراف: ثلاث بدايات، وثلاث نهايات، توصَل بطريقة معينة، ليعمل المحرك بتوصيلة النجمة (**Star**) أو توصيلة المثلث (**Delta**). يمكن تحديد بدايات الطور ونهاياته بجهاز الأفوميتر على مجال الأوم؛ فيُلاحَظ وجود مقاومة بين أطراف بداية الطور

الأول ونهايته للملف (U1 وU2) مساوية للمقاومة بين أطراف بداية الطور الثاني ونهايته للملف (V1 وV2)، ومساوية أيضًا للمقاومة بين أطراف الطور الثالث ونهايته للملف المرمزة (W1 وW2). تجدر الإشارة إلى عدم وجود اتصال بين ملفات المحرك؛ إذ يكون الطور الأول معزولًا تمامًا عن الطور الآخر، ومعزولًا أيضًا عن جسم المحرك كما في الشكل (2–8).

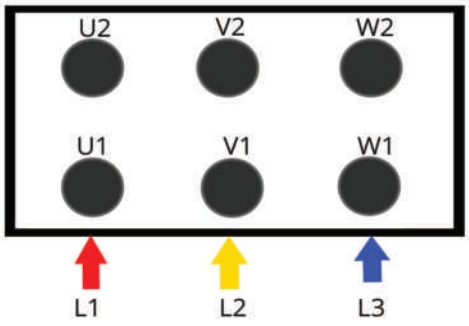
يُوضِّح الجدول (1) بعض الرموز الحديثة المستخدمة في تحديد بدايات الملفات ونهاياتها، ويُوضِّح الجدول (2) الرموز القديمة التي كانت تستخدم في تحديد بدايات الملفات ونهاياتها وما تزال موجودة على بعض هذه المحركات.

الجدول (1) :الرموز الحديثة المُستعمَلة لتحديد أسماء الأطوار وأطراف بدايات الملفات ونهاياتها.

مصدر الكهرباء	اسم البداية	اسم النهاية
الطور الأول (L1)	(U1)	(U2)
الطور الثاني (L2)	(V1)	(V2)
الطور الثالث (L3)	(W1)	(W2)

الجدول (2): الرموز القديمة المُستعمَلة لتحديد أسماء الأطوار الرئيسة وأطراف بدايات الملفات ونهايتها.

مصدر الكهرباء	اسم البداية	اسم النهاية
الطور الأول (R)	(U)	(X)
الطور الثاني (S)	(V)	(Y)
الطور الثالث (T)	(W)	(Z)

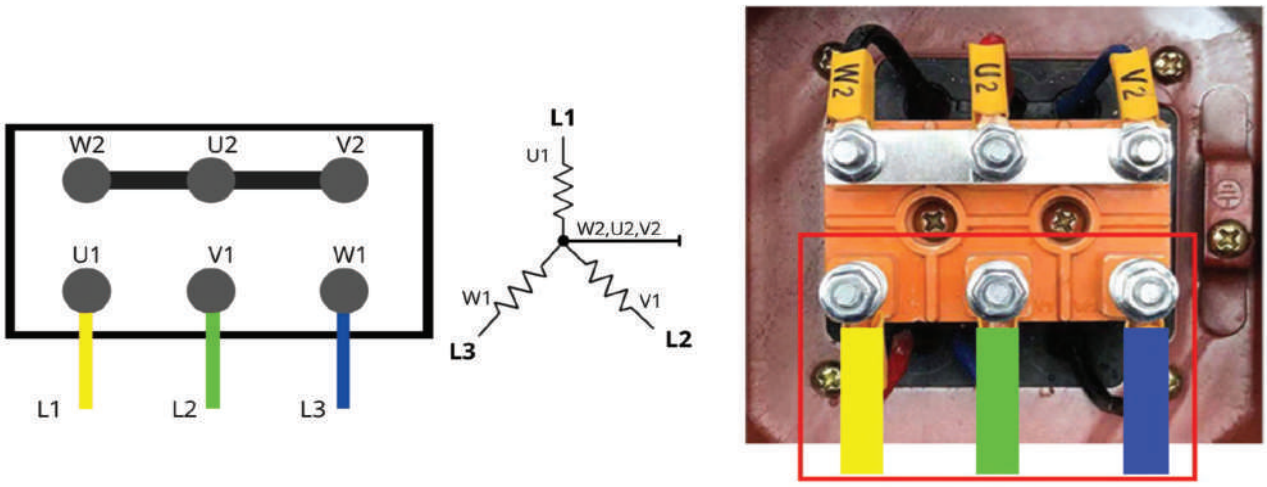


الشكل (2–8): توصيل ملفات العضو الثابت.

1- توصيلة النجمة (Star Y)

يوصَل المحرك في صورة نجمة إذا وُجِد على اللوحة الاسمية للمحرك الرمز (Y) أو (3ph/400-230~)؛ إذ توصَل نهايات أطراف الملفات (U2- V2-W2) بعضها ببعض، وتوصَل بدايات أطراف الملفات (U1- V1-W1) بأطراف المصدر الكهربائي ثلاثي الأوجه (L1 -L2 -L3)، وتجمع النهايات الثلاث معًا في نقطة واحدة وتسمى N أو com.

تستخدم توصيلة النجمة في المحركات الصغيرة نسبيًّا التي لا تحتاج إلى عزم بدء دوران عالٍ؛ إذ تُصمَّم هذه التوصيلة لتعمل وفقًا لجهد أكبر وتيار أقل كما في الشكل (2–9).



الشكل (2–9): توصيلة النجمة.

في توصيلة النجمة يكون تيار الخط (التيار بين الطور والطور الآخر (IL) مساويًا لتيار الطور(Iph) (التيار بين أيِّ خط طور ونقطة التعادل IL = Iph، ويكون:

(VL): فرق الجهد بين طور وطور آخر، وهو يساوي:

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

$$I_L = I_{ph}$$

2- توصيلة المثلث (Delta Δ)

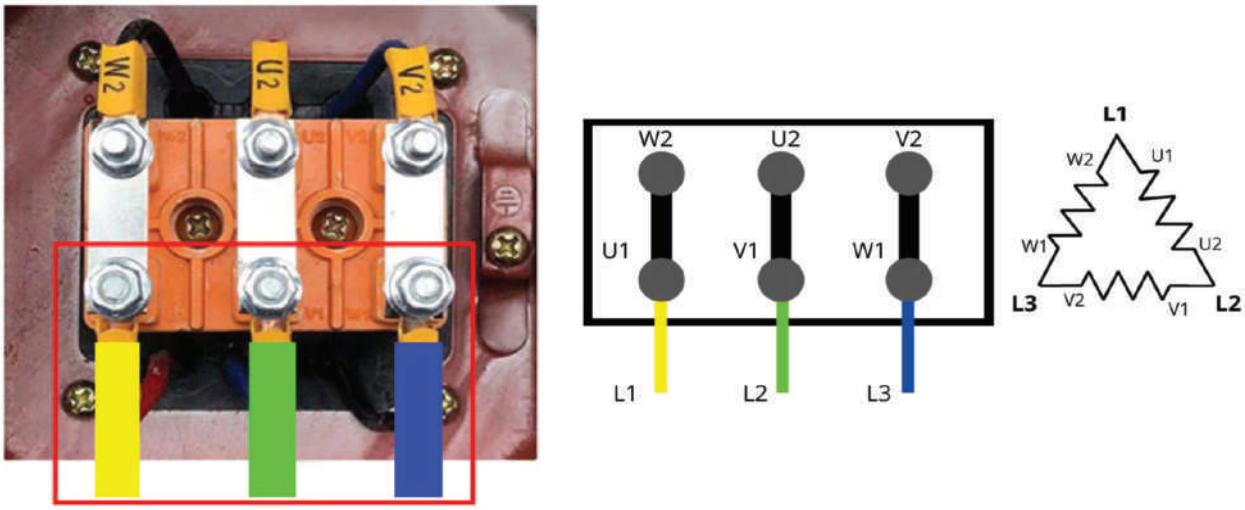
يوصَل المحرك في صورة دلتا إذا وُجِد على اللوحة الاسمية للمحرك رمز المثلث (Δ)، أو كُتِب عليها (400) فولت داخل الأردن. في هذه الحالة، فإن الملف الواحد يستمد التيار من طورين مختلفين. فالطور الثاني (L2) موصول بملفين، هما: ملف الطور نفسه (V1)، وملف الطور (U2)، وكذلك بقية الأطوار. وعند فحص الملف بجهاز الأفوميتر، وتحديد بداية الملف الواحد ونهايته عبر الأسلاك الستة الخارجة من المحرك إلى اللوحة (Motor Terminal)؛ لا يمكن وصل الطور بالملف الذي يوجد فيه اتصال. وعند وصل الأسلاك على اللوحة الخارجية، توصل على الترتيب البدايات (U_1. V_1.W_1)، وتُرتَّب النهايات (W_2. U_2. V_2). ومن ثَمَّ، فعند وضع الجسر الموجود في المحرك عموديًا بين كل ملف، توصَل كل بداية وجه بنهاية الوجه الآخر، فيأخذ كل وجه طورين، وتتطلب توصيلة المثلث (Δ) وجود ثلاثة جسور لتعمل بصورة صحيحة، وهي تستخدم في المحركات الكبيرة التي تحتاج إلى عزم بدء عالٍ، انظر إلى الشكل (2-10).

في توصيلة المثلث يكون جهد الخط (الجهد بين الطور والطور الآخر (V_L) مساويًا لجهد خط الفاز (V ph)، ويكون:

(I_L): التيار بين طور وطور آخر.

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

$$V_L = V_{ph}$$



الشكل (2–10): توصيلة الدلتا.

معلومة

إن عدم توافر الخط الحيادي (النتر–**Neutral**) بسبب تساوي المقاومات بين الأوجه الثلاثة (تساوي مواصفات الملفات الداخلية للمحرك، مثل: الطول، ومساحة مقطع السلك عند اللف بين الأوجه الثلاثة) يعني أن الحمل متزن.

أنواع محركات التيار المتناوب ثلاثي الطور

1 – المحركات الحثية (Induction Motors)

تكون سرعة العضو الدوّار في هذه المحركات أقل من سرعة المجال المغناطيسي الدوّار، ويُغَذّى العضو الدوّار بالحث، وليس من مصدر خارجي. يمكن تصنيف المحركات الحثية ثلاثية الطور بحسب العضو الدوّار إلى ما يأتي:

أ– **المحرك الحثي ذو القفص السنجابي (Squirrel Cage Motor)**: درست سابقًا تركيب هذا النوع من المحركات الذي يعمل عند سرعة أقل من السرعة التزامنية بمقدار الانزلاق، وتتزايد قيمة الانزلاق بزيادة الحمل، وتتناقص السرعة بزيادة العزم بسبب زيادة الحمل.

يستخدم محرك القفص السنجابي في مجالات عدّة، منها:

1. آلات الخراطة والثقب والجلخ.
2. صناعة النسيج.
3. المراوح والمضخات.

مزايا محركات القفص السنجابي

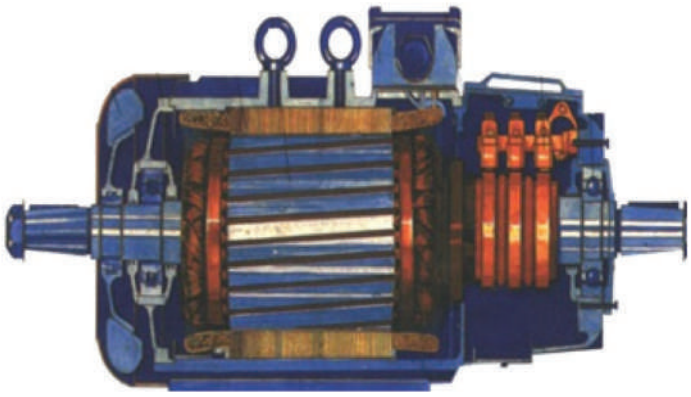
1. بساطة التركيب.
2. تحمُّل الظروف الجوية القاسية.
3. عدم احتوائه فرشًا كربونية.
4. سهولة صيانته.
5. له مزايا تشغيل جيدة عندما تكون السرعة ثابتة؛ بسبب انخفاض مقاومة العضو الدوّار.

عيوب محركات القفص السنجابي

1. ارتفاع تيار بدء الإقلاع مع انخفاض قيمة العزم الناتج.
2. صعوبة التحكم في السرعة.
3. عدم ثبات سرعة المحرك، وتغيرها بحسب الحمل.
4. انخفاض معامل القدرة نسبيًّا.

ب – المحرك الحثي ذو العضو الدوّار الملفوف (Wound Rotor Motor)

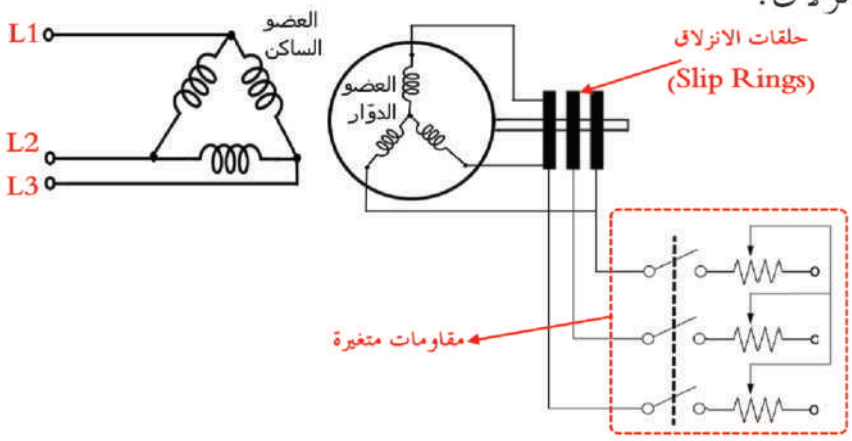
درست سابقًا تركيب هذا النوع من المحركات؛ إذ توصَل ملفات العضو الدوّار في صورة نجمة، وتوصَل الأطراف بثلاث حلقات انزلاقية مركبة على عمود إدارة المحرك نفسه بحيث تدور معه. ومن هنا جاءت تسمية هذا النوع من المحركات، المحركات ذات الحلقات الانزلاقية (**Slip Rings Motors**) كما في الشكل (2–11). توصَل هذه الملفات مع مقاومة خارجية بوساطة الفرش الكربونية التي تلامس حلقات الانزلاق؛ إذ توصَل هذه المقاومات الخارجية بملفات العضو الدوّار على التوالي.



الشكل (2–11): المحرك الحثي ذو العضو الدوّار الملفوف.

التحكم في بدء دوران المحرك ذي العضو الدوّار الملفوف:

يمكن التحكم في بدء حركة هذا المحرك عن طريق مجموعة مقاومات خارجية، وغالبًا ما تكون هذه المقاومات في المحركات الكبيرة مغمورة بالزيت (للتبريد)، وعند بدء حركة المحرك تكون موصلة بأعلى قيمة لها، فتكون قيمة مقاومة العضو الدوّار عالية؛ إذ تعمل على خفض تيار البدء والحصول على عزم بدء أعلى، ثم إخراج المقاومات بالتدريج؛ إذ تخرج من المحرك نهائيًّا، ويعمل المحرك بسرعته الطبيعية. علمًا أن توصيل المقاومة الخارجية بملفات العضو الدوّار على التوالي. وفي ما يخص علاقة مقاومة العضو الدوّار في المحركات التحريضية، وعزم البدء وتيار البدء، فإنه كلما زادت مقاومة العضو الدوّار، زاد عزم البدء وقل تيار البدء. والشكل (2–12) يُوضِّح كيفية توصيل المحرك للعضو الساكن والعضو الدوّار والمقاومات وحلقات الانزلاق.



الشكل (2–12): توصيل العضو الساكن والدوار والمقاومات.

مبدأ عمل المحرك ثلاثي الطور من نوع العضو الدوّار الملفوف

العضو الدوّار في هذا المحرك يتكوَّن من مجموعة من الأقطاب، التي تتساوى مع أقطاب العضو الساكن في العدد. ونتيجة لسريان تيار كهربائي في العضو الساكن يتكوَّن مجال مغناطيسي عندما يقطع هذا المجال ملفات العضو الدوّار. ولأن ملفات العضو الدوّار مقصورة مع بعضها عبر المقاومات أو من دونها في المحركات الصغيرة؛ إذ يمر بها تيار معاكس للتيار الأصلي المُتسبِّب به بحسب قاعدة لنز، فينتج مجال مختلف عن المجال الأصلي؛ لذا فإن الأقطاب الرئيسة بالعضو الساكن يقابلها أقطاب مختلفة في القطبية بالعضو الدوّار؛ ويحدث التجاذب والتنافر بين هذه الأقطاب، لتنتج حركة العضو الدوّار.

أ – مزايا المحركات ذات العضو الملفوف (ذات الحلقات الانزلاقية):

1. إمكانية التحكم في سرعة المحرك.
2. الحد من تيار البدء المسحوب من المصدر عند إقلاع المحرك.
3. رفع معامل القدرة عند بدء التشغيل.
4. عزم بدء الدوران عالٍ في بدء التشغيل.

ب– عيوب المحركات ذات العضو الملفوف (ذات الحلقات الانزلاقية):

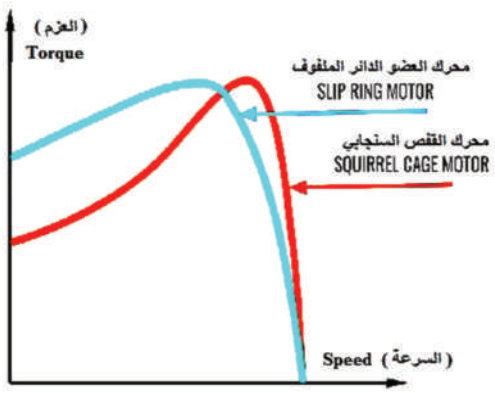
1. ارتفاع تكاليف تركيبه وتشغيله.
2. تركيبه أكثر تعقيدًا مقارنة بالمحرك ذي القفص السنجابي.
3. يحتاج إلى صيانة باستمرار؛ بسبب وجود حلقات الانزلاق واحتكاكها بالفرش الكربونية.

جـ– مجالات استعمال المحركات ذات العضو الملفوف (ذات الحلقات الانزلاقية):

1. المصاعد والروافع الكهربائية.
2. المضخات.
3. آلة صقل الورق.

العلاقة بين السرعة والعزم في محرك العضو الدوّار الملفوف ومحرك القفص السنجابي

عند اختيار محرك لحمل معين، يجب أن يكون عزم الحمل أقل من عزم البدء للمحرك حتى يستطيع تحريك الحمل وإداراته. والشكل (2–13) يُوضِّح علاقة السرعة والعزم بين محرك القفص السنجابي ومحرك العضو الدوّار الملفوف.



الشكل (2–13): منحنى السرعة والعزم لمحرك القفص السنجابي.

2 – المحركات التزامنية (Synchronous Motors)

يستخدم المحرك التزامني في المصانع الكبيرة، وهو كبير الحجم، وقدراته تزيد على (200) كيلوواط، وقد تصل إلى (50000) كيلوواط، ولا يستخدم هذا النوع من المحركات في الأجهزة المنزلية. أهم ما يميز هذا المحرك هو العمل بالسرعة التزامنية؛ أي بسرعة ثابتة مع ثبات تردُّد المصدر، وبانزلاق يساوي صفرًا. يستخدم المحرك التزامني في التطبيقات التي تتطلب

ثباتًا في السرعة وإقلاعًا متكررًا، وإلا يُستغنى عنه نظرًا إلى ارتفاع سعره، إذ يحتاج إلى إثارة خارجية (**External Excitation**)، ونظام بدء حركة. من أشهر استعمالاته كمكثف متزامن (**Synchronous Condenser**)، وهو أحد التطبيقات المهمة للمحرك التزامني، ذلك أنه يعمل على تحسين معامل القدرة؛ لذا يُصنَع المحرك التزامني من دون عمود خارج منه، فهو يعمل من دون حمل، وقد استخدم كثيرًا في الأنظمة الكهربائية، ولكن استعماله قل؛ لأن صندوق المواسعات (**Banks of Capacitors**) يُستعمَل بدلًا منه في الوقت الحاضر؛ نظرًا إلى قلة ثمنه، ورخص تكاليف صيانته.

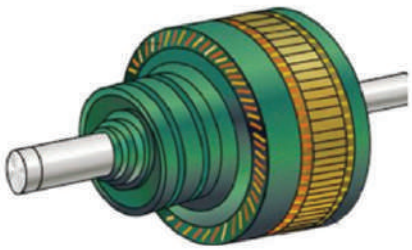
في ما يأتي مكوِّنات المحرك التزامني:

أ- يتكون المحرك التزامني من الأجزاء الأساسية الآتية:

1. العضو الساكن (**Stator**): يُشبِه تركيب العضو الساكن في المحرك الحثي ثلاثي الطور كما في الشكل (2-14).

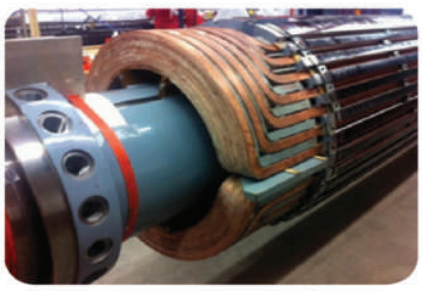
الشكل (2-14): العضو الساكن.

2. العضو الدوّار(**Rotor**): يُشبِه العضو الدوّار الملفوف باحتوائه ملفات تشكل الأقطاب المغناطيسية الرئيسة، ويكون عدد الأقطاب في العضو الدوّار مساويًا لعدد الأقطاب في العضو الساكن، بحيث توصل الأقطاب متعاقبة (شمالي - جنوبي). يحتوي العضو الدوّار أيضًا حلقتي انزلاق عليها فرش كربونية لتغذية الأقطاب بالتيار المباشر. ويُصنَّف العضو الدوّار إلى نوعين، هما:



الشكل (2-15/أ): العضو الدوّار ذو الأقطاب البارزة.

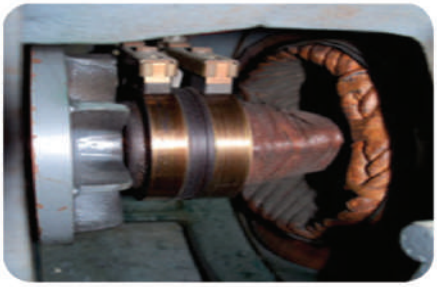
أ. العضو الدوّار ذو الأقطاب البارزة (**Salient Pole**). انظر إلى الشكل (2-15\أ).



الشكل (2-15/ب): العضو الدوّار الأسطواني.

ب. العضو الدوّار الأسطواني (**Cylindrical Rotor**). انظر إلى الشكل (2-15/ب).

3. حلقات الانزلاق (**Slip Rings**): تُثبَّت حلقتا الانزلاق على محور دوران العضو الدوّار، ويوصَل التيار المباشر عبرها إلى ملفات الأقطاب على العضو الدوّار كما في الشكل (2–16).

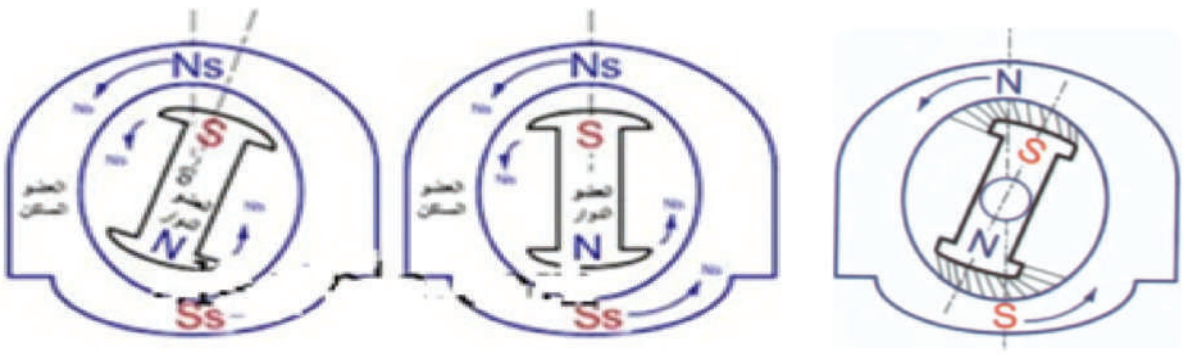


الشكل (2–16): حلقات الانزلاق.

ب – **مبدأ عمل المحرك التزامني**: عند توصيل ملفات العضو الساكن بالمصدر، والأقطاب الرئيسة للعضوالدوّار بالتيار المباشر وهو في حالة السكون، فإن كل قطب من أقطاب المجال المغناطيسي الدوّار يحاول جذب القطب المخالف من الأقطاب الرئيسة في العضو الدوّار، الذي يتصادف مروره لحظة التوصيل؛ ما يعطي العضو الدوّار عزم دوران في اتجاه دوران المجال المغناطيسي الدوّار. ونظرًا إلى عزم القصور الذاتي الكبير لدى العضو الدوّار؛ فإن القطب الماثل من أقطاب المجال المغناطيسي الدوّار يصبح قبل دورانه أمام القطب نفسه من الأقطاب الرئيسة؛ (لأن المجال المغناطيسي المتولد في العضو الساكن دوّار، والمجال المتولد في العضو الدوّار ثابت لا يتغير)؛ لكي يتنافر معه، ويعطيه عزم دوران في الاتجاه المضاد؛ لذا يبقى ثابتًا من دون حركة.

ينشأ عزم الدوران الذي يعطيه المحرك على أساس الترابط بين مجموعة الأقطاب الرئيسة على العضو الدوّار ومجموعة الأقطاب للمجال المغناطيسي الدوّار الذي يعود إلى التأثير المغناطيسي لملفات العضو الساكن. وعليه، يجب تدوير العضو الدوّار عند بدء التشغيل، وإلا فإن المحرك لن يعمل من تلقاء نفسه؛ إذ ينشأ عزم دوران ضعيف من المحرك بناءً على الترابط بين مجموعة الأقطاب الرئيسة على العضو الدوّار (ذي المجال الثالث) ومجموعة الأقطاب للمجال المغناطيسي للعضو الساكن (المجال الدوّار)، الذي يعود إلى التأثير المغناطيسي لملفات العضو الساكن، وعندما تدور المجموعتان بسرعة التزامن (**Synchronous Speed:ns**) فإن المحرك ليس لديه عزم بدء الدوران، ويجب تدوير العضو الدوّار عند بدء التشغيل. والشكل (2 – 16) يُوضِّح ترابط أقطاب العضو الدوّار والعضو الساكن. عند عمل المحرك التزامني يحدث انطباق محوري على أقطاب العضو الساكن والعضو الدوّار، وعند تحميل المحرك، فإن محور أقطاب العضو الدوّار يتأخر بزاوية مقدارها (**d**)، وتُسمّى زاوية العزم، وتعتمد قيمة الزاوية على مقدار الحمل، بحيث تزداد الزاوية كلما زاد الحمل،

ويصل عزم الحمل إلى القيمة القصوى عندما تكون (**d=90°**)، وتؤدي زيادة الحمل إلى خروج المحرك عن التزامن، أو توقفه عن الدوران كما في الشكل (2-17).



الشكل (2-17): ترابط أقطاب العضو الدوّار والعضو الساكن.

ب – **تأثير تغيُّر تيار التحريض في خصائص المحرك التزامني**: عند مرور تيار التحريض (التيار الثابت) في ملفات العضو الدوّار، يتولَّد مجال مغناطيسي يقطع ملفات العضو الساكن، فتتولَّد بها (ق.د.ك) تعاكس فولتية المصدر، ويعتمد تيار المصدر على محصلة هاتين الفولتيتين: (فولتية المصدر، و(ق.د.ك) العكسية المُتولِّدة)؛ يُعَدُّ تيار التحريض الذي يُولِّد (ق.د.ك العكسية) التي تساوي فولتية المصدر تيار التحريض اللازم، وإذا نقص التيار عن هذه القيمة، فيُعَدُّ تيار التحريض ناقصًا (**Under-Excitation**)، وإذا زاد عليها، فيُعَدُّ تيار التحريض زائدًا (**Over-Excitation**). في حالة التحريض الناقص تكون (ق.د.ك) العكسية أقل من فولتية المصدر، ويكون التيار المسحوب متأخرًا عن الفولتية المحصلة، وعن فولتية المصدر بزاوية (**θ**)، حيث (**cos θ**) معامل القدرة. وعند التحريض الزائد، فإن التيار المسحوب يتقدم على فولتية المصدر بزاوية (**θ**). عندئذٍ ينتج معامل قدرة متقدم.

جـ– **استعمالات المحرك التزامني**: يستعمل المحرك التزامني للسرعات المنخفضة والقدرات العالية، ويكون المحرك التزامني اقتصاديًّا أكثر من غيره في هذه الحالة. يُستعمَل المحرك التزامني لتدوير ضاغطات الهواء والأمونيا، وفي المضخات المائية، والمطاحن، والمداحل، وفي صناعة الأقمشة، والأسمنت، والمناجم، ويستخدم في السفن الكبيرة لتدوير العنفات، فضلًا عن تصحيح معامل القدرة.

د- **مزايا المحركات التزامنية وعيوبها:** تمتاز المحركات التزامنية بقدرتها على تصحيح معامل القدرة، والحصول على سرعة ثابتة، والعمل بكفاءة عالية، أمّا عيوبها، فتتمثَّل في ما يأتي:

1. الحاجة إلى مصدر تيار مباشر لتوليد تيار التحريض.
2. عزم البدء للمحرك ضعيف إذا لم يزود بوسيلة بدء.
3. الحساسية الزائدة لأي اضطراب في الشبكة ولأيِّ تغيرات مفاجئة فيها.
4. ميل المحرك إلى التذبذب بسبب عدم استقرار التردُّد.
5. توقف المحرك عند التحميل الزائد.

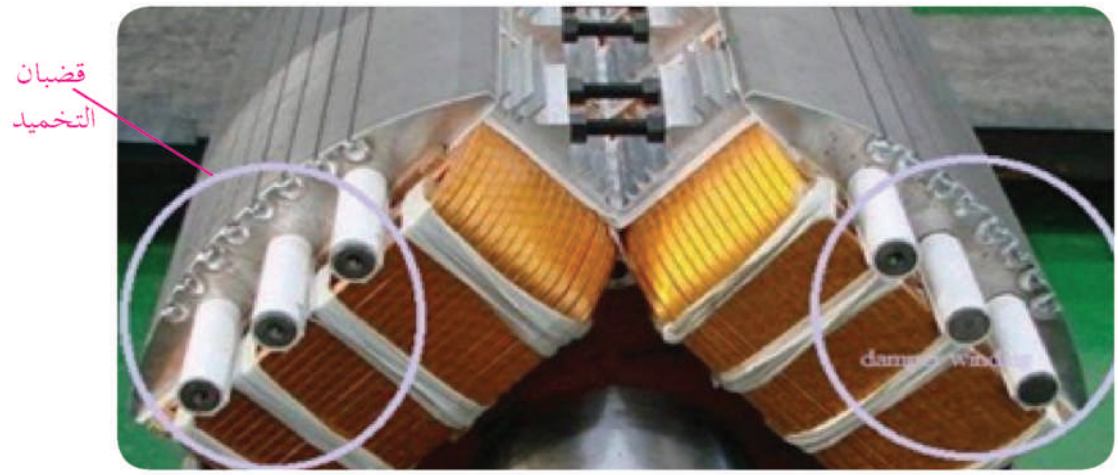
هـ- **طرائق بدء الحركة للمحركات التزامنية:** لا يبدأ المحرك التزامني حركته من تلقاء نفسه؛ لذا يجب أن تبدأ حركة المحرك التزامني بصورة مختلفة مقارنةً بالمحركات الكهربائية الأخرى.

من أشهر طرائق بدء الحركة للمحرك التزامني:

1. البدء عن طريق محرك حثي، أو محرك تيار مباشر: يعمل هذا المحرك الخارجي على إدارة العضو الدوّار للمحرك التزامني ليصل إلى السرعة التزامنية أو قريبًا منها، مع مراعاة عدم تحميل المحرك عند البدء بتشغيله. تمتاز المحركات التزامنية الكبيرة جدًّا بوجود مولد تيار مباشر على محور دورانها يمكن استعماله أيضًا بوصفه محرك بدء.
2. بدء حركة المحرك بوصفه محركًا حثيًّا: توجد طريقتان رئيستان لبدء الحركة، بجعل المحرك التزامني محركًا حثيًّا عند بدء دورانه.

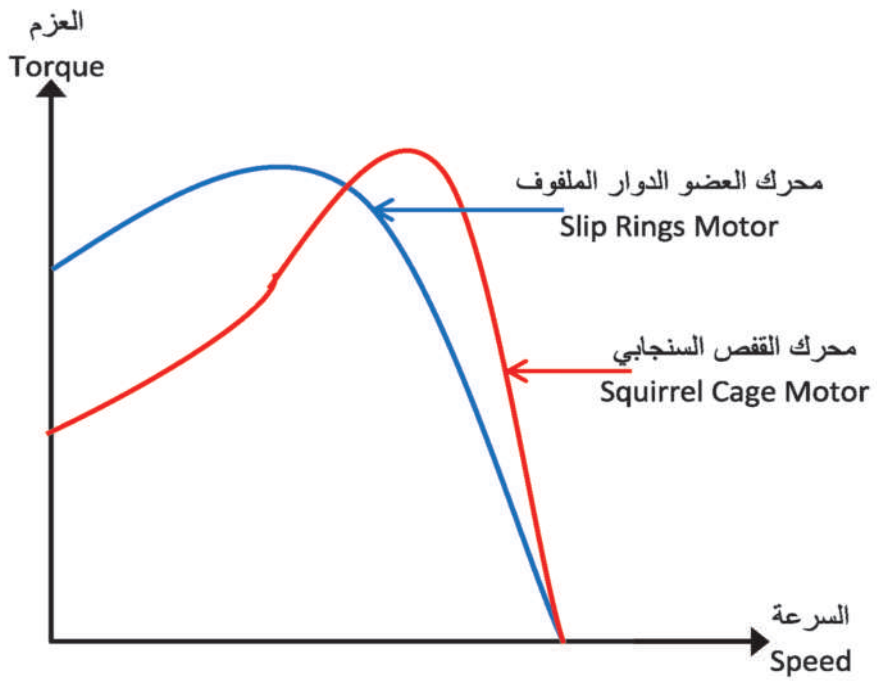
أ. وضع قضبان على الأقطاب البارزة للعضوالدوّار: تُعدُّ هذه الطريقة أكثر الطرائق انتشارًا؛ حيث توجد في بعض أنواع المحركات التزامنية قضبان نحاسية أو قضبان الألمنيوم موضوعة داخل مجارٍ خاصة على الأقطاب البارزة للعضوالدوّار، هذه القضبان مقصورة من طرفيها، وتُسمّى ملفات التخميد (**Damper Winding**)، وهي تُشبِه كثيرًا القضبان الموجودة بمحرك القفص السنجابي، ويُطلق على هذا النوع اسم المحركات التزامنية الحثية (**Synchronous Induction**) أمّا قضبان التخميد (**Damping Winding Bars**)، فهي قضبان نحاسية، أو قضبان من الألمنيوم مقصورة من طرفيها، وتُشبِه القفص السنجابي، وتستخدم في المحركات

التزامنية ذات الأقطاب البارزة؛ فعند بدء دوران المحرك يزود العضو الساكن بالتيار الكهربائي، وتكون ملفات العضو الدوّار مفصولة عن الدارة؛ ما يفضي إلى توليد قوة دافعة حثية في القضبان، ثم مرور تيار حثي فيها، وتوليد مجال مغناطيسي داخلها، يتفاعل مع المجال الرئيس، ويؤدي إلى وصول سرعة المحرك إلى سرعة قريبة من سرعة التزامن. وعند وصول سرعة المحرك إلى نحو **95%** من سرعته، يوصل مصدر التيار المباشر لملفات العضو الدوّار فيعمل المحرك التزامني، والشكل (2–18) يُوضِّح قضبان التخميد التي توجد في المحرك التزامني.



الشكل (2–18): قضبان التخميد في المحرك التزامني.

ب – عمل المحرك بوصفه محركًا حثيًّا ذا عضو دوّار ملفوف: عند بدء العمل تكون ملفات التحريض في البداية مفصولة عن مصدر التيار المباشر، وتوصَل ملفات العضو الدوّار بمقاومات بدء خاصة لتقليل تيار البدء العالي للمحرك، وتوصَل فولتية ثلاثية الطور بالعضو الساكن، فيدور المحرك بوصفه محركًا حثيًّا ذا عضو دوّار ملفوف. وعندما تصل سرعة دوران المحرك إلى (**95%**) من سرعته الاسمية، تُفصَل مقاومات البدء، وتوصَل أطراف العضو الدوّار عبر حلقتي الانزلاق بمصدر التيار المباشر فورًا، انظر إلى الشكل (2–19).



الشكل (2–19): طريقة بدء العمل للمحرك الحثي.

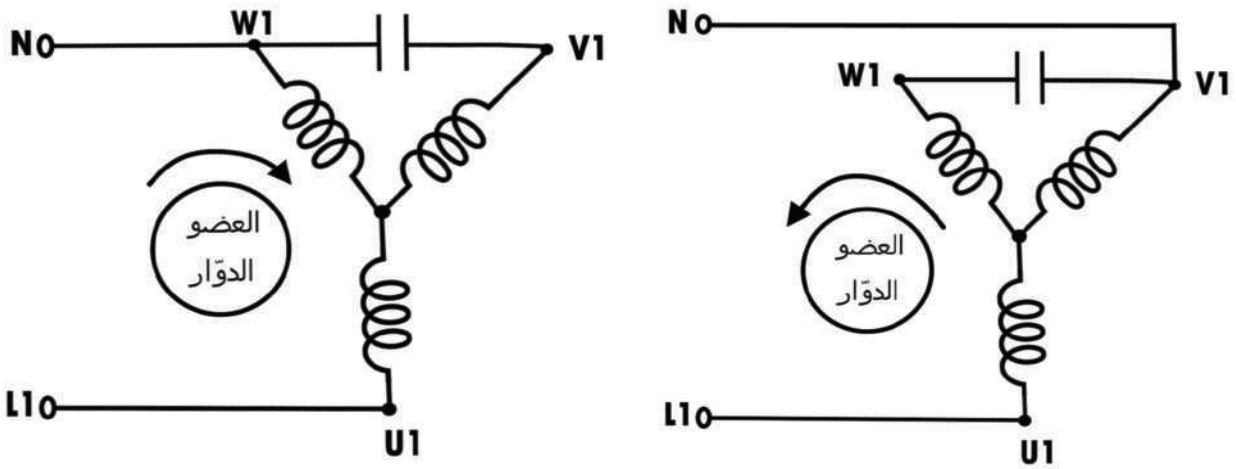
تشغيل محرك ثلاثي الطور بفولتية طور واحد

يمكن تشغيل محركات ثلاثي الطور (400V) على فولتية طور واحد (230V) للمحركات ذات القدرات الصغيرة التي قدرتها أقل من حصان ميكانيكي واحد، وقد يزيد لتصل إلى حصان ونصف حصان ميكانيكي (1.5HP)، علمًا أن قدرته لن تتعدى (75%) من قدرته الأصلية؛ أي أن المحرك في حالة التحويل يفقد ثلث قدرته تقريبًا؛ ذلك أن أحد الملفات الثلاثة يعمل بوصفه ملفّ بدء تشغيل، ويُحوَّل بتوصيل مواسع (مكثف) تشغيل، وتُحسَب قيمة المواسع تقريبيًّا بحسب قدرة المحرك، وهي كما يأتي:

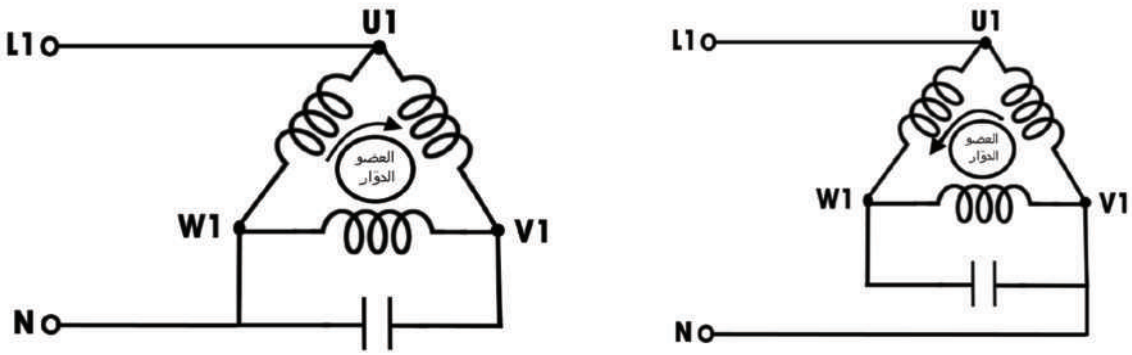
يوصَل مواسع (50 µf) لكل حصان ميكانيكي عند عمل المحرك بفولتية طور واحد (230 فولت؛ أي أن المحرك الذي قدرته (1.5 HP) يوصَل بمواسع قدرته (75 µf).

تبين الأشكال الآتية كيفية توصيل المواسع مع المحرك، إذ يبين الشكل المجاور توصيلة ملفات المحرك في حال توصيلة النجمة (Y) وكيفية عكس اتجاه دورانه.

أما الشكل (2–20)، فيبين توصيل ملفات المحرك في حالة المثلث، وكيفية عكس اتجاه دورانه.



توصيل ملفات المحرك في حالة النجمة.



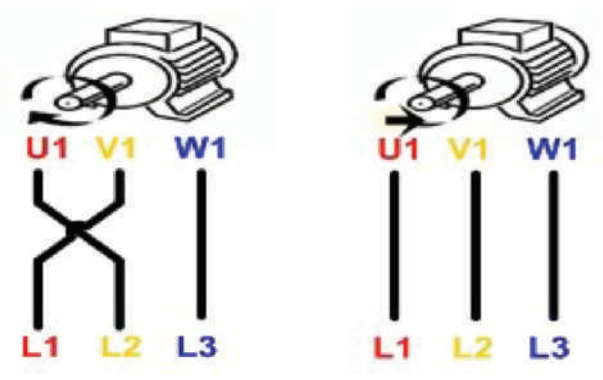
توصيل ملفات المحرك في حالة المثلث.

الشكل (2–20): توصيل ملفات المحرك.

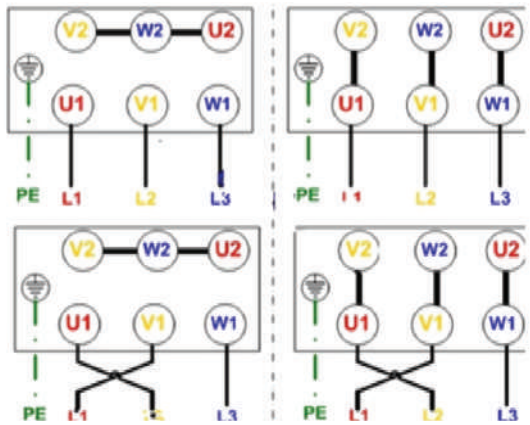
عكس اتجاه دوران المحركات ثلاثية الطور

ينشأ المجال المغناطيسي الدوّار في ملفات المحركات الكهربائية نتيجة سريان التيار الكهربائي المتناوب ثلاثي الأوجه؛ إذ يعتمد اتجاه دوران المجال المغناطيسي على اتجاه التيارات الثلاثة الداخلة إلى ملفات العضو الساكن، وبعكس تغذية وجهين من أوجه المصدر، وإبقاء الثالث كما هو، و يمكن عكس اتجاه دوران المجال المغناطيسي، ثم عكس اتجاه دوارن المحرك. وتستعمل هذه الطريقة لتوصيلتي المثلث والنجمة، إذ يُعكس اتجاه دوران المحركات ثلاثي الطور بتبديل وضع أي طورين مع بعضهما عند توصيلهما بأطراف المحرك. ويحدث ذلك باستعمال مفاتيح يدوية، أو مفاتيح مغناطيسية. ويُبيِّن الشكل (2–21) رسمًا توضيحيًّا لعكس اتجاه دوران محرك ثلاثي الطور.

أمّا الشكل (2–22)، فيُوضِّح عكس اتجاه الدوران على لوحة توصيل المحرك (روزتة التوصيل) لتوصيلة نجمة، وتوصيلة مثلث (الدلتا).



الشكل (2–21): عكس اتجاه دوران محرك ثلاثي الطور.



الشكل (2–22): عكس اتجاه الدوران على لوحة توصيل المحرك.

المحركات ثلاثية الطور ذات السرعتين

يتطلب أداء الأعمال الصناعية المختلفة كثيرًا استعمال محركات كهربائية متعددة السرعات. ويمكن الحصول على هذه السرعات من المحركات الحثية اعتمادًا على العلاقة الآتية لتوصيلة النجمة وتوصيلة المثلث.

$$\text{السرعة} = \frac{120 \times \text{التردُّد}}{\text{عدد الأقطاب}}$$

من هذه العلاقة يَتبيَّن لنا أنه يمكن التحكم في السرعة عن طريق التحكم في التردُّد أو عدد الأقطاب.

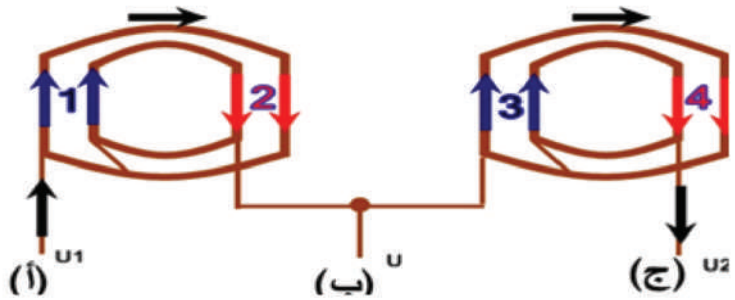
- **التحكم في السرعة عن طريق التحكم في التردُّد**: العلاقة بين سرعة المحرك والتردُّد الكهربائي طردية؛ فكلما زاد التردُّد، زادت السرعة،وكلما قل التردد قلت السرعة وذلك عند ثبوت عدد الأقطاب. من مزايا هذه الطريقة أنها تُوفِّر سرعات دقيقة؛ ومختلفة القيمة. أمّا أبرز عيوبها، فتتمثَّل في أن تردُّد المصدر الكهربائي ثابت؛ ما يوجب تغيير التردُّد، الذي يُعَدُّ مكلفًا ومُعقَّدًا نسبيًّا.
- **التحكم في السرعة عن طريق التحكم في عدد الأقطاب**: هذه الطريقة شائعة في المحركات الكهربائية الحثية ثلاثية الطور؛ لبساطتها، وانخفاض تكلفتها. من المعلوم أن عدد الأقطاب يتناسب عكسيًّا مع السرعة؛ فكلما زاد عدد الأقطاب، قلت السرعة، وكلما قل عدد الأقطاب، زادت السرعة. فسرعة المجال المغناطيسي لمحرك له أربعة أقطاب تبلغ (**1500**) دورة في الدقيقة الواحدة، أمّا المحرك ذو القطبين، فتبلغ سرعة مجاله المغناطيسي (**3000**) دورة في الدقيقة الواحدة. ويمكن التحكم في السرعة عن طريق الأقطاب بطريقتين، هما:

1 – **طريقة الملفات المشتركة (Dahlander)**

وتسمى أيضًا طريقة (دالندر)، وبهذه الطريقة نحصل على سرعتين إحداهما ضعف الأخرى، بمعنى (**4/2**) قطب، (**8/4**) قطب، (**12/6**) قطب، ويكون لكل مجموعة من ملفات الطور وصلة في منتصف الملف بحيث تستعمل هذه الوصلة لتقليل عدد الأقطاب إلى النصف ومضاعفة السرعة وتسمى هذه الطريقة في وصل الملفات طريقة (دالندر).

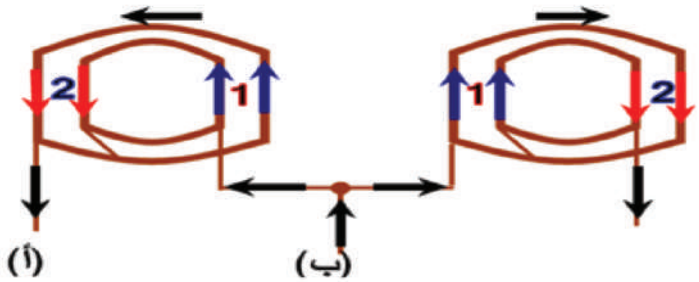
– **كيفية الحصول على السرعتين:**

1. السرعة المنخفضة: عند سريان التيار من النقطة (أ) يتكوَّن قطبان في كل مجموعة من المجموعتين (أربعة أقطاب)؛ أي يصبح عدد الأقطاب ضعف عدد المجموعات كما في الشكل (2–23).

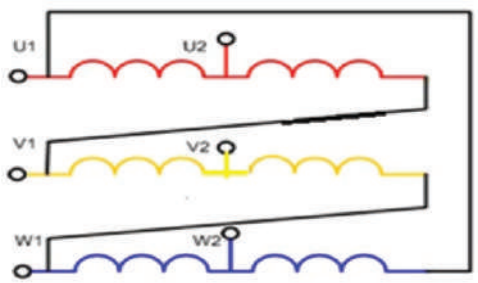


الشكل (2–23): السرعة المنخفضة.

2. السرعة العالية: عند سريان التيار من نقطة المنتصف (ب) يتكوَّن القطب نفسه في جزء من المجموعة الأولى، والجزء المجاور له من المجموعة الثانية، ويتكوَّن قطب آخر في الجزأين المتجاورين من المجموعة الأولى والمجموعة الثانية. فينتج قطبان بدلًا من أربعة أقطاب؛ أي يصبح عدد الأقطاب مماثلًا عدد المجموعات نفسه، انظر الشكل (2–24). عندئذٍ يمكن التحكم في عدد الأقطاب عند السماح بدخول التيار في الطرف المناسب للمجموعات والملفات نفسها. وتجمع ملفات الطور المختلفة بهذه الطريقة للحصول على السرعات المختلفة عن طريق تغيير عدد الأقطاب، انظر إلى الشكل (2–25).



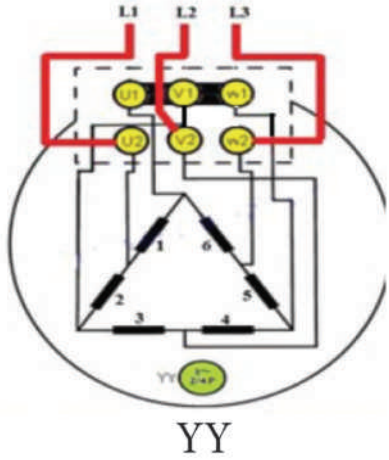
الشكل (2–24): السرعة العالية.



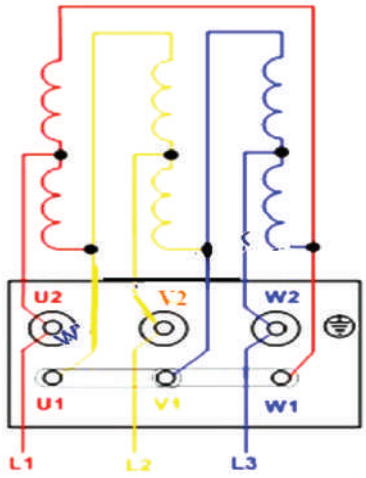
الشكل (2–25): سرعة مختلفة بحسب عدد الأقطاب.

3. طريقة توصيل أطراف المحرك عن طريق علبة التوصيل للحصول على السرعتين: في محركات التيار المتناوب ثلاثي الطور، التي تحوي مجموعة واحدة في العضو الساكن يمكن تغيير عدد الأقطاب لتغيير السرعة، بتوصيل الملفات بعلبة التوصيل الخاصة في المحرك. وتسمى ملفات المحرك ذات الطور القابلة للتحويل ملفات دالندر، وتمتاز لوحة المحرك الاسمية (لوحة البيانات) التي تحوي الملفات المنفصلة بوجود (6) أطراف، هي: (U1-V1-W1) لبدايات أطراف المحرك، و(U2-V2-W2) لنهايات أطراف المحرك، والسرعة العالية التي يُرمَز إليها بالحرفين (YY)، والسرعة المنخفضة التي يُرمز إليها بالرمز (Δ).

أ. توصيل السرعة العالية (YY) (2Pole 3000 rpm) التي أقطابها أقل: توصَل نقاط المنتصف (U2 - V2 - W2) بمصدر الفولتية، وتُقْصَر الأطراف (U1–V1-W1) كما في الشكل (2–26/أ)، و (2–26/ب).

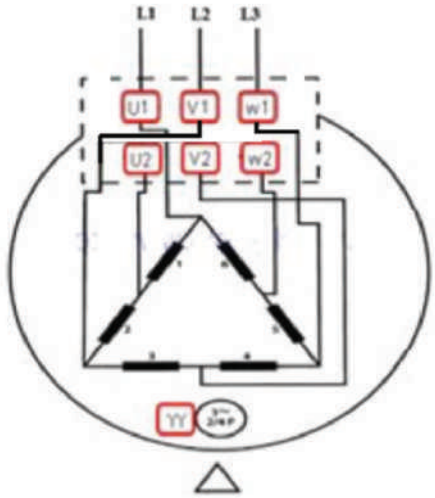


الشكل (2–26/أ): توصيل السرعة العالية.

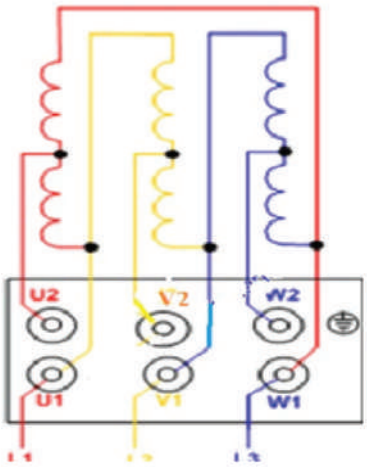


الشكل (2–26/ب).

ب. توصيل السرعة المنخفضة (البطيئة) (Δ) (4Pole 1500rpm) التي أقطابها أعلى: في حالة التوصيل الخاص بالسرعة المنخفضة، توصَل الأطراف (U1-V1-W1) بالمصدر، وتترك الأطراف (U2-V2-W2) بدون توصيل كما في الشكلين (2–27/أ)، و(2–27/ب).



الشكل (2–27/أ).



الشكل (2–27/ب).

2- طريقة الملفات المنفصلة

هذه الطريقة تُلفَّ ملفات محركين، ولكن في هيكل محرك واحد، بحيث توضَع ملفات منفصلة للسرعة الأولى بعدد أقطاب معين، ثم توضع ملفات منفصلة للسرعة الثانية، إذ يُصمَّم المحرك على نحو تتسع مجاريه لكلا النوعين، ويمكن اختيار أيَّ السرعتين؛ شرط ألا تعمل السرعتان معًا.

القواعد الأساسية لعمليات لف المحركات الكهربائية ثلاثية الطور

أساسيات لف المحركات الكهربائية ثلاثية الطور

تتشابه أساسيات عمليات اللف بين المحركات أحادية وثلاثي الطور، ولقد تعرفت الملف والمجموعة وتوصيل المجموعات ونوعية اللف وخطوة اللف، إلا أن أساسيات لف المحركات ثلاثية الطور تختلف عن أساسيات لف المحركات أحادية الطور في الأمور الآتية:

أ- توزيع ملفات المحركات ثلاثية الطور على الأطوار الثلاثة: يتساوى عدد الملفات في المحركات ثلاثية الأطوار لكل طور من الأطوار، إذ تُوزّع بالتساوي على عدد الأطوار، فالمحرك الذي له (24) مجرًى بطبقة واحدة من قطبين (تعني طبقة واحدة أن عدد ملفات المحرك كاملًا تساوي نصف عدد المجاري)، تُوزّع الملفات على الأطوار بالتساوي حسب العلاقة الآتية:

$$\text{عدد الملفات/ طور} = \frac{\text{عدد الملفات الكلية}}{\text{عدد الأطوار}}$$

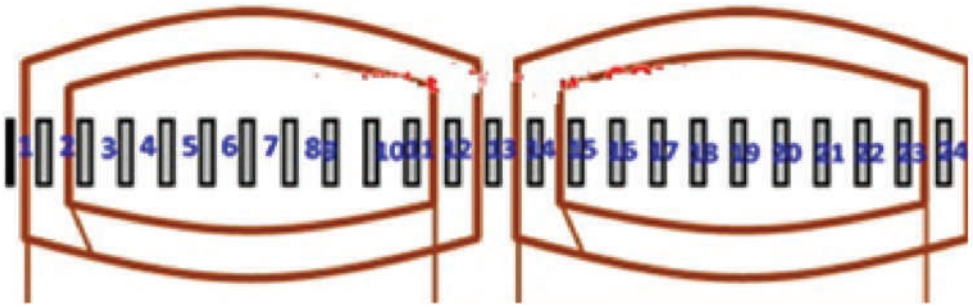
$$\text{عدد الملفات/ طور} = \frac{12}{3} = 4 \text{ ملفات/ طور}$$

ب- توزيع ملفات المحركات ثلاثية الطور على مجموعات الأطوار الثلاثة: تُوزَّع الملفات على مجموعات الأطوار الثلاثة بالتساوي بحسب العلاقة الآتية:

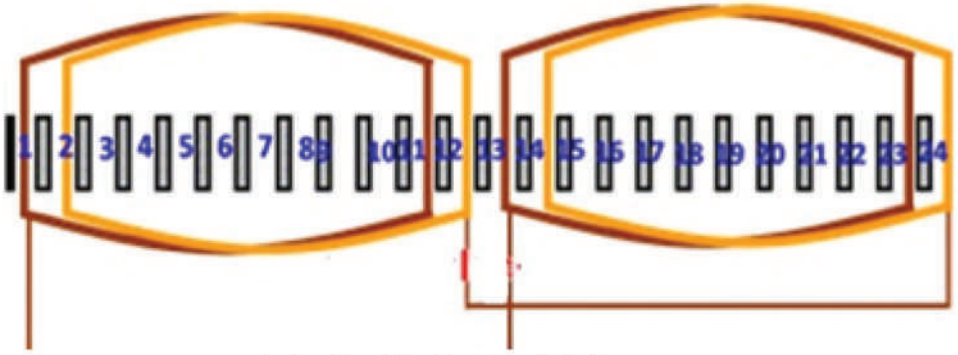
$$\text{عدد الملفات/ مجموعة من مجموعات الأطوار} = \frac{\text{عدد ملفات الطور}}{\text{عدد الأقطاب}}$$

$$\text{عدد الملفات/ مجموعة من مجموعات الأطوار} = \frac{4}{2} = 2 \text{ ملفين / مجموعة}$$

جـ– خطوة اللف القطبية: خطوة اللف القطبية في المحرك السابق تساوي $\frac{24}{2} = 12$ مجرًى. أي أن خطوة اللف تتراوح بين (**12-1**). ولأن كل مجموعة تحتوي ملفين، فإنه يوجد ملف آخر خطوته من (**11-2**) على افتراض أن اللف متداخل. الشكل (2–28) يُمثِّل ملفين لكل مجموعة من مجموعات الأطوار و(كل مجموعة مكونة من ملفين) بحسب اللف المتداخل. أمَّا في اللف المتسلسل، فتكون الخطوة متساوية للملفات وهي (**11-1**)، (**12-2**) كما في الشكل (2–29).



الشكل (2–28): اللف المتداخل.



الشكل (2–29): اللف المتسلسل.

د – تحديد بداية الطور:

$$\text{الزاوية الكهربائية للمجرى} = \frac{180 \times \text{عدد الأقطاب}}{\text{عدد المجاري}}$$

$$\text{المسافة بين بدايات الأطوار} = \frac{120}{\text{الزاوية الكهربائية للمجرى}}$$

تذكَّر

فصل أحد الأطوار من المصدر يحرق المحرك ثلاثي الطور سواء كان الفصل في أثناء عمل المحرك، أو عند بداية عمله.

مثال (1)

محرك كهربائي ثلاثي الطور، يتألَّف من (24) مجرًى، وقطبين اثنين، احسب المسافة بين بداية الأطوار فيه.

الزاوية الكهربائية للمجرى = $\frac{2 \times 180}{24}$ = 15° بين كل مجريين متجاورين.

المسافة بين بدايات الطور = $\frac{120}{15}$ = 8 مجارٍ بين كل طور وآخر.

تكون بداية الطور الأول (U_1) في المجرى رقم (1). وبداية الطور الثاني (V_1) في المجرى هي : (1 + 8)= 9 ، وبداية الطور الثالث (W_1) في المجرى هي: = 9+8 = 17

مثال (2)

ارسم رسمًا انفراديًّا لملفات العضو الساكن لمحرك كهربائي ثلاثي الطور، عدد مجاريه (24) مجرًى، وعدد أقطابه (4) أقطاب، وملفوف على نحوٍ متسلسل بطبقة واحدة، علمًا أن عدد المجموعات يساوي نصف عدد الأقطاب.

الحل

تحديد بداية الطور في المحرك:

الزاوية الكهربائية للمجرى = $\frac{180 \times \text{عدد الأقطاب}}{\text{عدد المجاري}}$

الزاوية الكهربائية للمجرى = $\frac{4 \times 180}{24}$ = (30°)

المسافة بين بداية الأطوار = $\frac{120}{\text{الزاوية الكهربائية للمجرى}}$

المسافة بين بداية الأطوار = $\frac{120}{30}$ = (4) مجارٍ بين كل طور وآخر.

بداية الطور الأول **U1** في المجرى رقم (**1**).

بداية الطور الثاني **V1** في المجرى رقم (**5**).

بداية الطور الثالث **W1** في المجرى رقم (**9**).

- عدد الملفات الكلية للمحرك = نصف عدد المجاري؛ لأن المحرك ذو طبقة واحدة، أيْ:

$$\frac{24}{2} = 12$$ ملفًا للمحرك.

- لمعرفة عدد الملفات لكل طور:

$$\text{عدد الملفات لكل طور} = \frac{\text{عدد الملفات الكلية}}{\text{عدد الأطوار}} = \frac{12}{3} = 4$$ ملفات/ طور.

- لمعرفة عدد الملفات لكل مجموعة من مجموعات الطور الواحد.

$$\text{عدد الملفات لكل مجموعة من الطور} = \frac{\text{عدد الملفات لكل طور}}{\text{عدد المجموعات}} = \frac{4}{2} = 2$$ ملفين لكل مجموعة.

- لمعرفة خطوة اللف حيث:

خطوة اللف= خطوة اللف القطبية + عدد ملفات المجموعة

- خطوة اللف القطبية:

$$\text{خطوة اللف القطبية} = \frac{\text{عدد المجاري}}{\text{عدد الأقطاب}} = \frac{24}{4} = 6$$

- عدد ملفات مجموعة الطور الواحد : **2**

خطوة اللف للمحرك = 6 + 2 = 8 مجاري

- لمعرفة المسافة بين مجموعتين:

المسافة بين مجموعتين = نصف خطوة اللف

$$\text{المسافة بين مجموعتين} = \frac{8}{2} = 4$$ مجاري

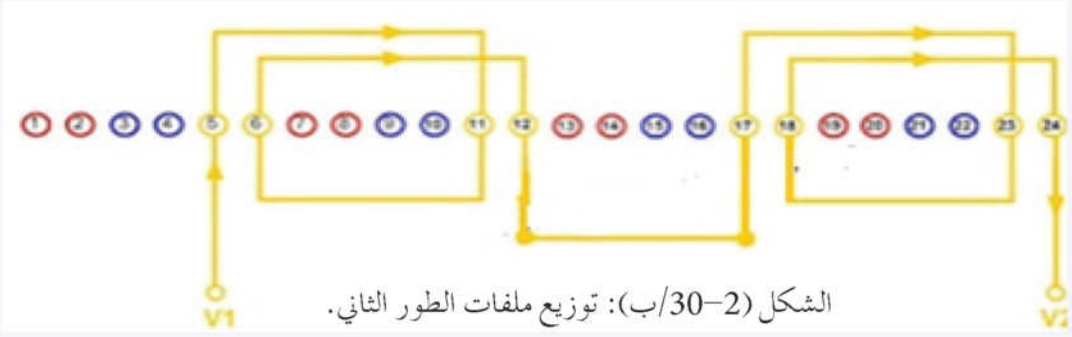
- توزيع ملفات الأوجه:

الطور الأول (U1)	الطور الثاني (V1)	الطور الثالث (W1)
(8 - 2) - (7-1) (20 - 14) - (19 - 13)	(12 - 6) - (11-5) (24 - 18) - (23 - 17)	(16 - 10) - (15-9) (4 - 22) - (3 - 21)

- يُوضِّح الشكل (2–30/أ) الرسم الانفرادي لتوزيع ملفات الطور الأول.

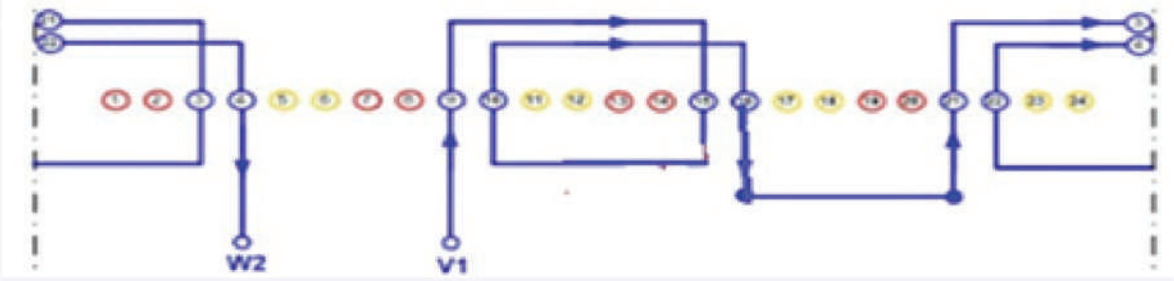
الشكل (2–30/أ): توزيع ملفات الطور الأول.

- يُوضِّح الشكل (2–30/ب) الرسم الانفرادي لتوزيع ملفات الطور الثاني.



الشكل (2–30/ب): توزيع ملفات الطور الثاني.

- يُوضِّح الشكل (2–30/جـ) توزيع ملفات الطور الثالث.



الشكل (2–30/جـ): توزيع ملفات الطور الثالث.

مثال (3) (الخطوة الكسرية)

ارسم رسمًا دائريًّا لملفات العضو الساكن لمحرك كهربائي ثلاثي الطور، وعدد مجاريه (18) مجرًى، وعدد أقطابه قطبان، وملفوف على نحوٍ متداخل بطبقة واحدة، علمًا أن عدد المجموعات يساوي عدد الأقطاب.

1- بدايات الأطوار في المحرك

$$\text{الزاوية الكهربائية للمجرى} = \frac{180 \times \text{عدد الأقطاب}}{\text{عدد المجاري}}$$

$$= \frac{2 \times 180}{18} = 20° \text{ الزاوية الكهربائية للمجرى.}$$

$$\text{المسافة بين بدايات الأطوار} = \frac{120}{20} = 6 \text{ مجارٍ بين كل طور وآخر.}$$

الطور الأول (U1)	الطور الثاني (V1)	الطور الثالث (W1)
في المجرى رقم (1)	في المجرى (7) =1 + 6	في المجرى (13)= 7 + 6

2- عدد الملفات الكلية للمحرك

نصف عدد المجاري لأن المحرك ذو طبقة واحدة؛ أي:

$$\frac{18}{2} = 9 \text{ ملفات عدد الملفات الكلي للمحرك.}$$

$$\text{عدد الملفات/ طور} = \frac{9}{3} = 3 \text{ ملفات/طور.}$$

$$\text{عدد الملفات لكل/ مجموعة من الطور} = \frac{3}{2} = 1.5 \text{ ملف/مجموعة.}$$

ملاحظة

توزيع الملفات لكل مجموعة في هذا المحرك هو عدد كسري (**1.5**) لكل مجموعة. بناءً على ذلك، تُوزَّع الملفات بحيث يُخصَّص ملفان للمجموعة الأولى، وملف للمجموعة الثانية. في ما يُعرَف باسم الخطوة الكسرية.

$$\text{خطوة اللف القطبية} = \frac{18}{2} = 9$$

لأن عدد ملفات المجموعات كسري، تُستعمَل قاعدة **1±** لخطوة اللف، فتزاد خطوة اللف للمجموعة التي تحوي ملفين، وتُنقَص خطوة اللف في المجموعة التي تحوي ملفًّا واحدًا.

3- توزيع ملفات الأوجه الثلاثة.

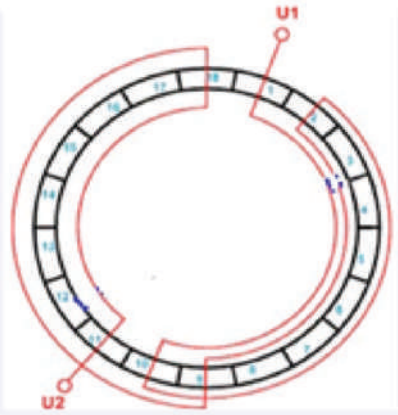
الطور الأول	الطور الثاني	الطور الثالث
المجموعة الأولى (**1-10**) - (**9 - 2**) المجموعة الثانية (**11 - 18**)	المجموعة الأولى (**7-16**)-(**8 - 15**) المجموعة الثانية (**17 - 6**)	المجموعة الأولى (**13-4**)-(**14-3**) المجموعة الثانية (**5- 12**)

4- الشكل (2-31/أ) يُوضِّح ملفات الطور الأول.

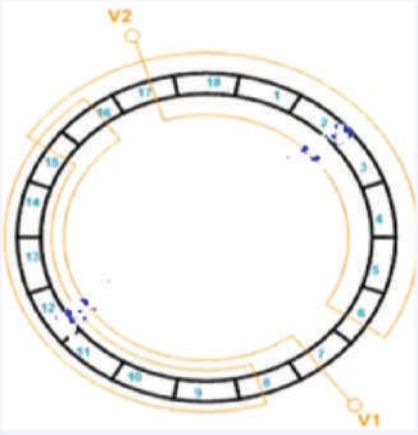
5- الشكل (2-31/ب) يُوضِّح ملفات الطور الثاني.

6- الشكل (2-31/جـ) يُوضِّح ملفات الطور الثالث.

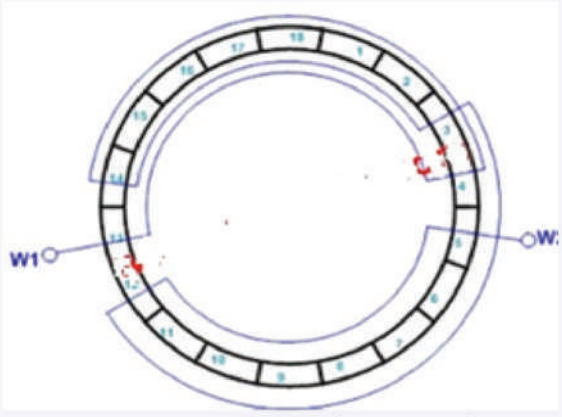
7- الشكل (2-31/د) يُوضِّح الرسم الدائري لملفات المحرك كاملة.



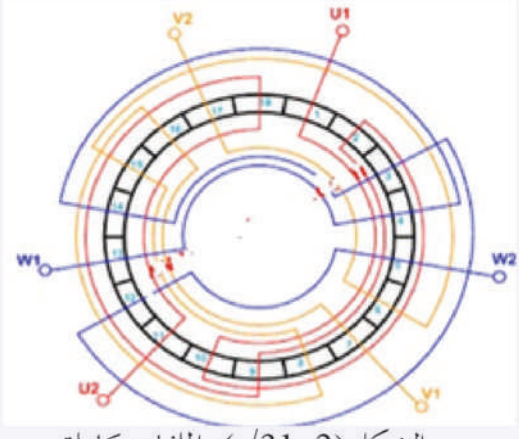
الشكل (2–31/أ): ملفات الطور الأول.



الشكل (2–31/ب): ملفات الطور الثاني.



الشكل (2–31/جـ): ملفات الطور الثالث.



الشكل (2–31/د): الملفات كاملة.

وعليه تكون بداية (الطور) كالآتي:

الطور الأول U1	في المجرى رقم 1
الطور الثاني V1	في المجرى رقم 1 + 8 (9)
الطور الثالث W1	في المجرى رقم 9 + 8 (17)

مثال (4)

ارسم رسما دائريا لملفات العضو الساكن لمحرك كهربائي ثلاثي الطور حسب المعلومات الآتية:

نوع اللف متسلل.

عدد المجاري (24).

عدد الأقطاب (2/4)، ملفوف بطريقة دالندر.

الحل:

1- تعامل بداية الأطوار في هذا النوع من المحركات حسب عدد الأقطاب الأقل:

$$\text{الزاوية الكهربائية للمجرى} = \frac{180 \times \text{عدد الأقطاب}}{\text{عدد المجاري}} =$$

$$\text{الزاوية الكهربائية للمجرى} = \frac{2 \times 180}{24} = 15^\circ \text{ بين مجريين متجاورين}$$

$$\text{المسافة بين بدايات الأطوار} = \frac{120}{15} = 8 \text{ مجارٍ بين كل طور والآخر}$$

وعليه تكون بداية الطور الأول (U1) في المجرى (1) وبداية الطور الثاني (V1) في المجرى (9)، وبداية الطور الثالث (W1) في المجرى (17):

2- عدد الملفات الكلية يساوي عدد المجاري لأن المحرك بسرعتين (دالندر)

ومنها عدد الملفات = 24 ملف

3- عدد الملفات لكل طور = عدد ملفات المحرك الكلية \ عدد الأطوار

$$= \frac{24}{3} = 8 \text{ ملفات لكل طور}$$

4- عدد الملفات لكل مجموعة = عدد ملفات الطور \ عدد الأقطاب الأقل

$$= \frac{8}{2} = 4 \text{ ملفات لكل مجموعة}$$

5- المسافة بين مجموعتين متجاورتين للطور نفسه تكون نصف المسافة للمحرك الذي مجموعته تساوي ½ عدد أقطابه وملفوف بطبقة واحدة، وله عدد المجاري وعدد الأقطاب نفسها.

- وتساوي 4 مجارٍ في حالة المحرك الذي مجموعته تساوي ½ عدد أقطابه وملفوف بطبقة واحدة، وله عدد المجاري وعدد الأقطاب نفسها.

- أذن المسافة بين مجموعتين للطور نفسه = $\frac{4}{2}$ = 2 مجرى

6- خطوة اللف = عدد المجاري \ عدد الأقطاب – المسافة بين مجموعتين

= $\frac{24}{2}$ - 2 = 10 أي (1-10)، وبما أن عدد الملفات لكل مجموعة يساوي (4) ملفات، وحسب اللف المتسلسل، تكون خطوات ملفات المجموعة: (1-7)، (2-8)، (3-9)، (4-10).

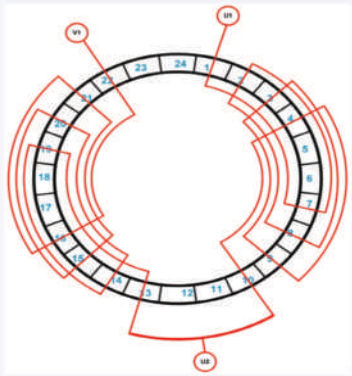
توزيع ملفات الأطوار :

الطور الأول الشكل (2–44)	الطور الثاني الشكل (2–45)	الطور الثالث الشكل (2–46)
10-4 . 9-3 . 8-2 . 7-1 22-16 .21-15 . 20-14 . 19-13	18-12 .17-11 .16-10 .15-9 6-24 . 5-23 . 4-22 . 3-21	2-20 . 1-19 . 24-18 . 23-17 14-8 . 13-7 . 12-6 . 11-5

• الشكل (2 – 34/ أ) يُوضِّح الرسم الدوّاري لملفات الطور الأول.

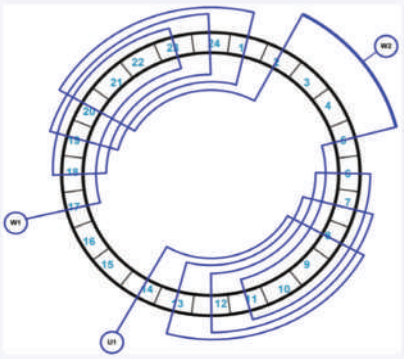
• الشكل (2 – 34/ ب) يُوضِّح الرسم الدوّاري لملفات الطور الثاني.

• الشكل (2 – 34/ ج) يُوضِّح الرسم الدوّاري لملفات الطور الثالث.



الشكل (2 – 34/أ): ملفات الطور الأول

الشكل (2–34/ب): ملفات الطور الثاني.



الشكل (2–34/جـ): ملفات الطور الثالث.

إعادة لف المحرك ثلاثي الطور ذي السرعتين بطريقة الملفات المنفصلة

مثال (5)

ارسم ملفات العضو الساكن رسمًا دائريًّا في آلة تيار متناوب لمحرك ثلاثي الطورعدد مجاريه (36) ذي سرعتين وعدد أقطابه يتراوح بين (2-6) أقطاب، وعدد مجموعاته مساوٍ لعدد أقطابه، وهو ملفوف لفًا متسلسلًا ذا طبقة واحدة.

1– ملفات السرعة الأولى للمحرك الملفوف بقطبين

• تحديد بدايات الأطوار في المحرك ذي القطبين:

$$\text{الزاوية الكهربائية للمجرى} = \frac{2 \times 180}{36} = 10°$$

$$\text{المسافة بين بدايات الأطوار} = \frac{120}{10} = (12) \text{ مجرًى بين كل طور وآخر.}$$

تكون المسافة بين بداية كل طور والآخر **12** مجرًى.

(U1) في المجرى رقم **(1)**.

(V1) في المجرى رقم **(13)**.

(W1) في المجرى رقم **(25)**.

• تحديد عدد الملفات الكلية للمحرك: يكون عدد ملفات المحرك نصف عدد المجاري؛ لأن المحرك ملفوف بطبقة واحدة؛ أي $\frac{36}{2} = 18$ ملفًّا للمحرك.

• تحديد عدد الملفات لكل طور ولكل مجموعة:

عدد الملفات لكل طور = عدد الملفات الكلية \ عدد الأطوار

عدد الملفات لكل طور= $\frac{18}{3} = 6$ ملفات لكل طور.

عدد الملفات لكل مجموعة من مجموعات الأطوار = عدد ملفات الطور\ عدد الأقطاب

= $\frac{6}{2} = 3$ ملفات لكل مجموعة

• تحديد خطوة اللف للمحرك:

خطوة اللف = عدد المجاري \ عدد الأقطاب

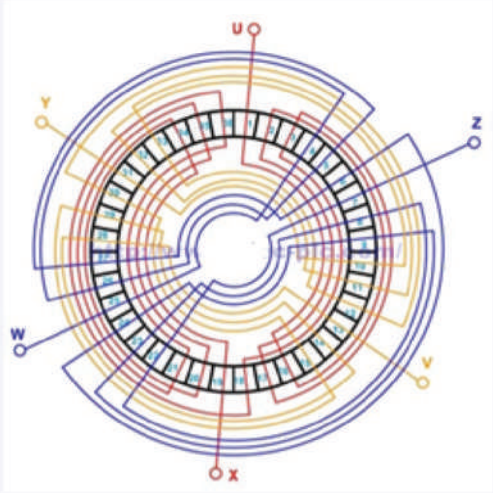
= $\frac{36}{2} = 18$

أي أن خطوة اللف تتراوح بين (1-18)

• توزيع ملفات الطور للسرعة الأولى:

الطور الأول	الطور الثاني	الطور الثالث
18-3 ,17-2 ,16-1	30-15 , 29-14 ,28-13	6-27 , 5-26 , 4-25
36-21 , 35-20 , 34-19	12-33 , 11-32 , 10-31	24-9 , 23-8 , 22-7

• يُبيِّن الشكل (2–32) الرسم الدائري لملفات السرعة الأولى.



الشكل (2–32): ملفات السرعة الأولى.

2- ملفات السرعة الثانية للمحرك المراد لفه بستة أقطاب

- **تحديد بدايات الأطوار في المحرك ذي الستة الأقطاب:**

الزاوية الكهربائية للمجرى = $\frac{6 \times 180}{36}$ = (30°)

المسافة بين بدايات الطور= $\frac{120}{3}$ = 4 مجارٍ بين كل طور وآخر.

فتكون المسافة بين بداية كل طور وآخر 4 مجارٍ.

U_2 في المجرى رقم (1).

V_2 في المجرى رقم (5).

W_2 في المجرى رقم (9).

- **تحديد عدد الملفات الكلية للمحرك:**

حيث يكون عدد الملفات نصف عدد المجاري؛ لأن المحرك ذو طبقة واحدة.

أي: $\frac{36}{2}$ = 18 ملفًا للمحرك.

- **عدد الملفات لكل طور ولكل مجموعة:**

عدد الملفات لكل طور = $\frac{18}{3}$ = 6 ملفات لكل طور.

عدد الملفات لكل مجموعة من الأطوار = $\frac{6}{6}$ = (1) ملفًا واحدًا لكل مجموعة.

- **تحديد خطوة اللف للمحرك.**

خطوة اللف = عدد المجاري \ عدد الأقطاب

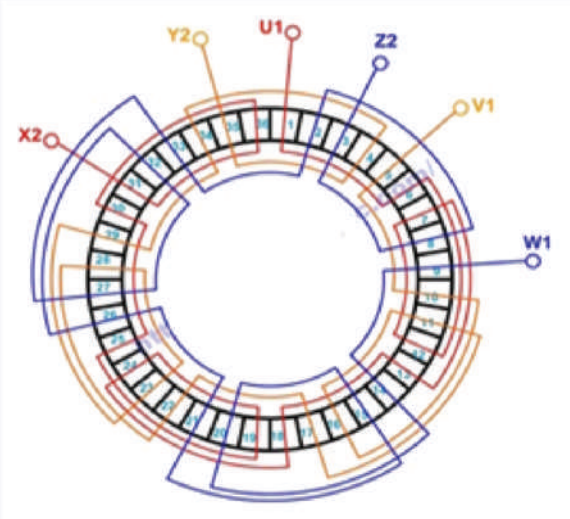
= $\frac{36}{6}$ = 6 مجارٍ

- **توزيع ملفات السرعة الثانية:**

الطور الأول : 1-6 , 7-12, 13-18, 19-24 , 25-30 , 31-36
الطور الثاني : 5-10, 11-16 , 17-22 , 23-28 , 29-34 , 35-4
الطور الثالث: 9-14, 15-20 , 21-26 , 27-32 , 33-2 , 3-8

- الرسم الدائري لملفات السرعة الثانية:

عند دمج ملفات السرعتين في مجارٍ واحدة، يكون للمحرك الواحد سرعتان، ويكون ملفوفًا بطبقتين، وتُستعمَل هذه الطريقة للحصول على سرعات مختلفة في أغلب المحركات ذات السرعات المتعددة كما في الشكل (2–33).



الشكل (2–33): ملفات السرعة الثانية.

حماية المحركات الكهربائية

تعتمد حماية المحركات الكهربائية على قدرة المحرك نفسه، وطبيعة الحمل الميكانيكي المتصل بعمود المحور. لكي نحدد نوع الحماية المطلوبة لا بد من تعرُّف أهم خصائص المحرك الحثي، وهي بدء حركة المحرك؛ فلحظة توصيل أطراف ملفات العضو الساكن بمصدر التغذية، يكون المحرك في حالة سكون، وعليه فإن تيارًا كبيرًا سيسري في ملفات العضو الدوّار؛ ما يعني أن التيار المسحوب من مصدر التغذية لحظة البدء يكون كبيرًا جدًّا أضعاف التيار المقنن للمحرك. عندما يبدأ العضو الدوّار بالحركة، فإن التيار المسحوب من مصدر التغذية سيقل إلى أن يصل المحرك إلى سرعته المقررة، فيصبح التيار الساري من خط التغذية مساويًا لقيمة التيار المقنن.

الأخطاء محتملة الحدوث في المحركات الكهربائية (Possible Motor Faults)

تتلخص الأخطاء محتملة الحدوث في المحركات الكهربائية في الآتي:

- فشل عزل الملفات يؤدي في معظم الأحيان إلى قصر بين ملفات الطور أو قصر أرضي بين ملف أحد الأطوار والأرضي.

- زيادة تيار الحمل تؤدي إلى زيادة تسخين عالٍ أو ارتفاع زائد في درجة حرارة ملفات المحرك.
- حدوث قصر في دارة العضو الدوّار (**Locked Rotor**).
- عدم اتزان في فولتية المصدر (**Unbalanced Power Supply**).
- نقص فولتية التغذية (**Under Voltage**).
- نقص التيار (**Under Current**).

يمكن استعمال طرائق عدَّة لحماية المحركات الكهربائية (سُتوضَّح في الفصل الثاني: وحدة التحكم الكهربائي)، منها:

1- الحماية باستعمال مرحل زيادة الحمل الحراري: تُستعمَل للحماية من زيادة شدة التيار عن القيمة المقررة.

2- الحماية باستعمال القاطع الحراري المغناطيسي: تُستعمَل للحماية من زيادة الحمل الدائم، ومن ارتفاعات التيار العالية؛ إذ يوصل القاطع الحراري المغناطيسي بخطوط التغذية، وبالمحرك الكهربائي.

3- الحماية من انقطاع أحد الأطوار: تستعمل مرحلات لحماية المحركات الكهربائية من انقطاع أحد الأطوار. إذ يؤدي انقطاع أحد الأطوار إلى زيادة كبيرة في التيار، ثم إلى ارتفاع حرارة ملفات المحرك وتلفها، إلا أن زمن استجابة هذا المرحل أقل مقارنةً بزيادة الحمل الحراري.

4- الحماية باستعمال مجس المزدوجة الحرارية (تفصل بوساطة مرحل لزيادة الحمولة الحرارية): يوضع مجس مزدوجة حرارية أو أكثر؛ للكشف عن ارتفاع درجة حرارة المحرك عن الحد المسموح به. فعند ارتفاع درجة الحرارة عن الحد المسموح به، تفصل دائرة تحكم خاصة بالمحرك.

5- الحماية باستعمال مجس (**PTC**): في هذا النوع تستبدل مجسات المزدوجة الحرارية بمجسات الـ (**PTC**). فعندما ترتفع درجة حرارة الملفات، تزداد قيمة مقاومة المجسات، وعندما تزداد المقاومة عن حد معين، يفتح ملامس المرحل الحراري الموجود ضمنها فاصلًا التيار عن المحرك الكهربائي. عند ارتفاع درجة الحرارة عن الحد المسموح به، تزداد مقاومة مجسات (**PTC**)، فتفصل الدارة، ويعاد الملامس إلى وضعه الطبيعي، يدويًّا أو آليًّا بحسب نوع الدارة بعد أن تبرد ملفات المحرك.

عن طريق عرض تقديمي Power Point، قارن بين أنواع المحركات ثلاثية الطور من حيث: الاستخدام والتركيب، ثم اعرضه على زملائك بإشراف معلمك.

التمارين العملية

خطوات إعادة لف المحركات ثلاثية الأوجه

1- تجهيز العُدد والخامات المستخدمة.

2- تسجيل البيانات الخارجية.

3- فك المحرك.

4- تفريغ المحرك من السلك القديم.

5- تدوين البيانات الداخلية.

6- عزل المجاري.

7- عمل الملفات.

8- تركيب الملفات.

9- توصيل نهايات الملفات.

10- اختبار الملفات.

11- تحزيم رؤوس الملفات.

12- وضع الورنيش العازل.

13- تجميع المحرك.

14- ربط النهايات الخارجية في الروزتة.

15- ربط كبل التغذية.

16- اختبار جودة العزل.

17- اختبار المحرك بالتيار الكهربائي.

التمارين العملية

التمرين (1)

فحص المحرك الكهربائي ثلاثي الطور من نوع القفص السنجابي وتحديد أطرافه

يُتوقَّع منك بعد تنفيذ هذا التمرين أن:

- تفحص ملفات المحرك الكهربائي ثلاثي الطور من نوع القفص السنجابي، وتتحقق من سلامتها.
- تحدِّد بوساطة الفحص أطراف المحرك الكهربائي ثلاثي الطور من نوع القفص السنجابي.
- تقيس تيار المحرك الكهربائي وسرعته بإشراف المعلِّم.

متطلبات تنفيذ التمرين

التجهيزات (الأدوات)	المواد الأولية
محرك ثلاثي الطور من نوع القفص السنجابي، صندوق عدة كهربائية، مطرقة بلاستيك، طقم مفاتيح شق، طقم مفاتيح رنج، طقم مفكات مختلفة، بريصة سحب، سنبك طرد، سنبك نقطة (علام) جهاز قياس السرعة (Tachometer)، جهاز أوميتر، لمبة فحص.	مفك، مفتاح

خطوات الأداء

1- حضِّر العُدَد والأدوات، وتحقَّق من صلاحيتها.

2- فُكَّ براغي تثبيت غطاء لوحة توصيل المحرك بمفك مناسب، وضعها في وعاء خوفًا من فقدانها.

الرسم التوضيحي

الشكل (1).

خطوات الأداء

3 – فُكَّ براغي جسور ربط نهايات الملفات والجسور، مستعملًا العُدَد المناسبة، وَضعها في الوعاء للحفاظ عليها **(احذر من استعمال الزرّادية للفك، حرصًا على سلامة القطع)** كما في الشكل (1).

فكّر

لماذا تفك الجسور الموصولة بين الملفات عند إجراء الفحص؟

4 – استعمل جهاز الأوميتر كما يأتي:

أ– افحص بداية أطراف ملفات المحرك ونهايتها على تدريج (**X1**)، كما هو مُوضَّح في الشكل (2)، وتحقَّق من وجود اختلاف في قيم المقاومات، أو عدم وجوده، أو وجود دارة مفتوحة (أي عدم تحرك مؤشر الجهاز) في دارة أحد ملفات الطور، ثم دوِّن النتائج التي حصلت عليها في الجدول (1).

الجدول (1).

المجموعة	قيمة المقاومة
U1 مع U2	
V1 مع V2	
W1 مع W2	

الرسم التوضيحي

الشكل (2).

الشكل (3).

الشكل (4).

خطوات الأداء	الرسم التوضيحي

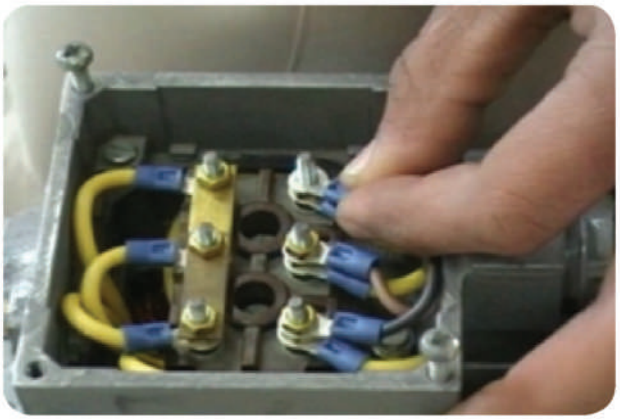
تدل القيم المتساوية على سلامة الملفات (عدم احتراقها)، وتدل القيم المختلة على وجود مشكلات، مثل: احتراق الملفات، أو فصل أحد الملفات، وحدوث قصر بين الملفات؛ بسبب تلف العازل.

ب- ضع جهاز الفحص على قيمة مقاومة عالية وتحقق من وجود دارة قصر بين أحد ملفات المحرك والأرضي أو عدم وجودها (حدوث قصر بين أحد الملفات وجسم المحرك) كما في الشكل (3).

جـ- افحص بين بدايات ملفات الطور المختلفة ونهايتها كما في الشكل (4)، وتحقَّق من وجود قصر بين ملفات الطور المختلفة أو عدمه.

د- ركِّب أجزاء المحرك، ثم أَعِدْ تركيب الجسور في أماكنها كما هو مُوضَّح في الشكل (5)، وشغِّل المحرك بإشراف المعلِّم، ثم دوِّن نتائج السرعة والتيار المسحوب، ثم اكتب تقريرًا مفصلًا في دفتر التدريب.

هـ- أَعِدْ تركيب الغطاء، وثبِّت البراغي الخاصة بذلك كما في الشكل (6).



الشكل (5).

الشكل (6).

التمارين العملية

التمرين (2)

فحص المحرك الكهربائي ثلاثي الطور ذي العضو الدوّار الملفوف وتشغيله

يُتوقَّع منك بعد تنفيذ هذا التمرين أن:

- تفك محركًا كهربائيًّا ثلاثي الطور ذا العضو الدوّار الملفوف، وتعاين أجزاءه، وتعيد تركيبه.
- تفحص ملفات العضو الساكن للمحرك ذي العضو الدوّار الملفوف.
- تفحص العضو الدوّار للمحرك ذي العضو الدوّار الملفوف.
- تشغل المحرك بتوصيلة النجمة، وتوصيلة المثلث.
- تقيس تيار المحرك الكهربائي وسرعته بإشراف المعلِّم.

متطلبات تنفيذ التمرين

التجهيزات (الأدوات)	المواد (الأولية)
محرك ثلاثي الطور ذو حلقات انزلاق، صندوق عُدَّة كهربائية، مطرقة بلاستيكية، طقم مفاتيح شق، طقم مفاتيح رنج، طقم مفكات مختلفة، (بريصة) سحب، سنبك طرد، سنبك نقطة (علام) جهاز قياس السرعة (Tachometer)، جهاز أوميتر، لمبة فحص.	أسلاك، فُرش.

خطوات الأداء

1- أحضر العدد والأدوات، وتحقَّق من صلاحيتها.

2- فك براغي الغطاء المثبت عليه قواعد الفرش الكربونية الخاصة بحلقات الانزلاق بمفك مناسب، وضعها في وعاء خوفًا من فقدانها كما في الشكل (1).

الرسم التوضيحي

الشكل (1)

خطوات الأداء

3- فُكَّ الأسلاك المتصلة بقواعد الفرش الكربونية المتصلة بحلقات الانزلاق، ثم علِّمها.

4- فُكَّ الفرش الكربونية المثبتة على حلقات الانزلاق كما في الشكل (2).

5- اسحب العضو الدوّار للخارج بحذر كما في الشكل (3).

6- افحص الاتصال الكهربائي بين حلقات الانزلاق باستعمال جهاز الأفوميتر، ثم دوِّن النتائج التي توصلت إليها في الجدول (2) كما في الشكل (4).

الجدول (2).

حالة الفحص	قيمة المقاومة
حلقة الانزلاق (1) مع حلقة الانزلاق (2)	
حلقة الانزلاق (1) مع حلقة الانزلاق (3)	
حلقة الانزلاق (2) مع حلقة الانزلاق (3)	

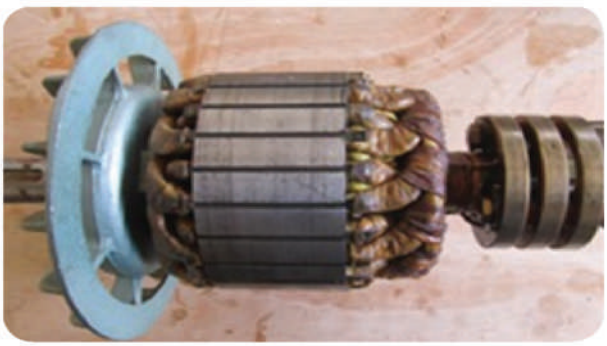
7- افحص التماس الأرضي بين حلقات الانزلاق وعمود المحور كما في الشكل (5)، ثم دوِّن النتائج التي توصلت إليها في الجدول (3).

الجدول (3).

حالة الفحص	قيمة المقاومة
حلقة الانزلاق (1) مع عمود المحور	
حلقة الانزلاق (2) مع عمود المحور	
حلقة الانزلاق (3) مع عمود المحور	

الرسم التوضيحي

الشكل (2).



الشكل (3).

الشكل (4).

خطوات الأداء

8- افحص الاتصال الكهربائي بين ملفات العضو الساكن بوساطة جهاز الأفوميتر كما يظهر في الشكل (6)، ثم دوِّن النتائج التي توصلت إليها في الجدول (4).

الجدول (4).

حالة الفحص	قيمة المقاومة
بداية الطور الأول مع نهايته (U1 - U2)	
بداية الطور الأول مع نهايته (V1 - V2)	
بداية الطور الأول مع نهايته (W1 - W2)	

9- افحص وجود اتصال (قصر) بين بدايات ملفات الطور المختلفة ونهاياتها بجهاز الأفوميتر، وتحقَّق من سلامة ملفات المحرك.

10- أَعِدْ تجميع المحرك.

11- صِلْ ملفات المحرك في صورة نجمة.

12- افحص الاتصال الكهربائي بين ملفات الطور المختلفة بعد توصيل المحرك باستعمال بجهاز الأفوميتر، ثم دوِّن النتائج في الجدول (5).

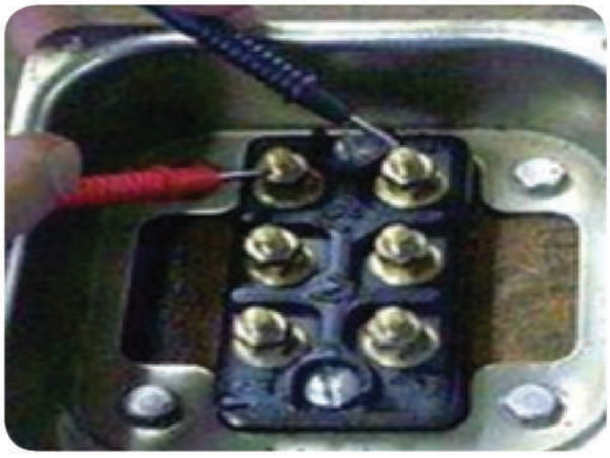
الجدول (5).

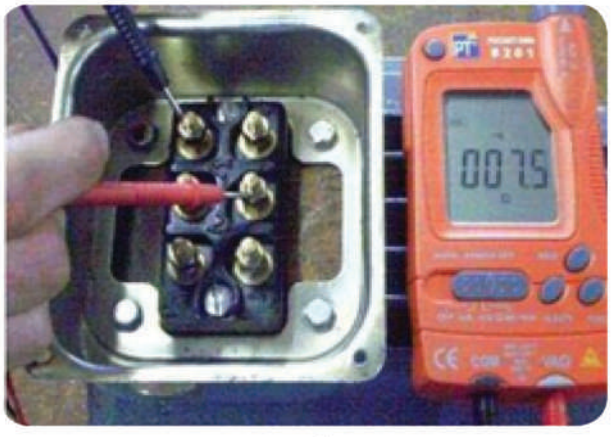
حالة الفحص	قيمة المقاومة
بداية الطور الأول مع بداية الطور الثاني	
بداية الطور الأول مع بداية الطور الثالث	
بداية الطور الثاني مع بداية الطور الثالث	

13- صِل المحرك بعد تجميعه بمصدر الفولتية للتيار المتناوب، بإشراف المعلِّم كما في الشكل (7).

الرسم التوضيحي

الشكل (5).





الشكل (6).

خطوات الأداء

14- قِس سرعة المحرك بجهاز قياس السرعة.

15- قِس تيار المحرك بجهاز الأوميتر.

16- افصل المحرك الكهربائي عن مصدر التغذية.

17- وصِّل ملفات المحرك في صورة مثلث.

18- افحص الاتصال الكهربائي بين ملفات الطور المختلفة بجهاز الأفوميتر، ثم دوِّن النتائج التي توصلت إليها في الجدول (6).

الجدول (6).

حالة الفحص	قيمة المقاومة
بداية الطور الأول مع بداية الطور الثاني	
بداية الطور الأول مع بداية الطور الثالث	
بداية الطور الثاني مع بداية الطور الثالث	

19- صِل المحرك بمصدر الفولتية للتيار المتناوب، بإشراف المعلِّم.

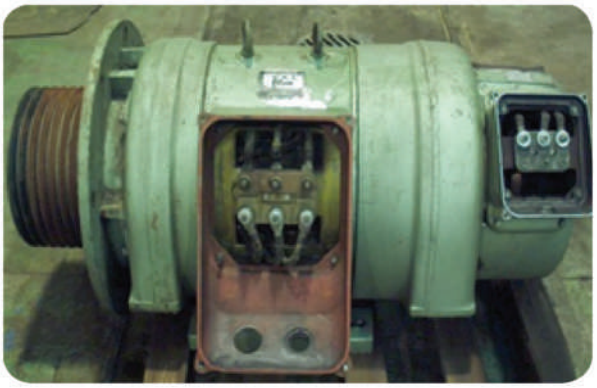
20- أعد قياس سرعة المحرك وتياره.

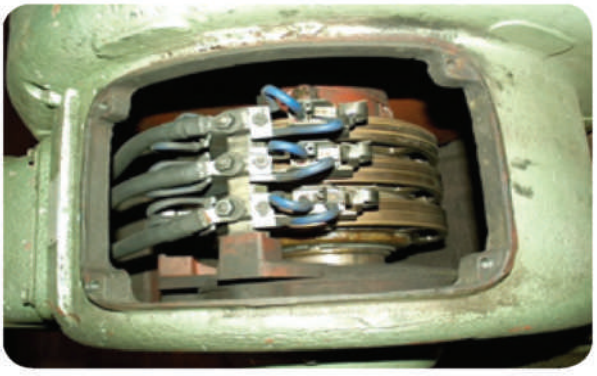
21- اعكس دوران المحرك بإشراف المعلِّم.

22- افصل المحرك الكهربائي عن مصدر الفولتية، ورتب مكان العمل، وأرجع العُدَد والأدوات إلى أماكنها.

23- اكتب تقريرًا مفصلًا عن العمليات جميعها التي نفذتها، ثم اكتب الجداول في دفتر التدريب العملي.

الرسم التوضيحي





الشكل (7).

التمارين العملية
التمرين (3)
إعادة لف المحرك ثلاثي الطور ذي الطبقة الواحدة

يُتوقّع منك بعد تنفيذ هذا التمرين أن:

- تميز محركات الطور الواحد من محركات ثلاثية الطور.
- تدوّن معلومات اللف، وتجرى العمليات الحسابية لإعادة لف محرك ثلاثي الطور.
- ترسم رسمًا دائريًّا لملفات العضو الساكن بطريقة اللف المتداخل أو اللف المتسلسل.
- تشغل المحرك، ثم تقيس تياره وسرعته وقدرته في حالتي الحمل واللاحمل.

متطلبات تنفيذ التمرين

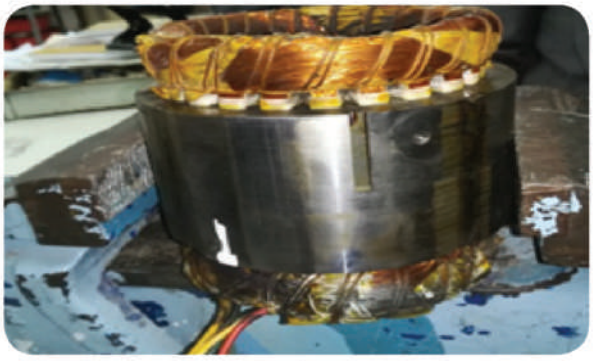
التجهيزات (الأدوات)	المواد الأولية
محرك ثلاثي الطور، صندوق عدة كهربائية، مطرقة بلاستيكية، طقم مفاتيح شق، طقم مفاتيح رنج، طقم مفكات مختلفة، بريصة سحب، سنبك طرد، سنبك نقطة (علام)، إزميل مبسط، جهاز قياس السرعة (Tachometer)، جهاز أفوميتر، جهاز أمبيروميتر، مقص ورق، نصلة منشار، فرشاة دهان، لمبة فحص، مسطرة حديدية، مايكروميتر لقياس أقطار الأسلاك، آلة لف محركات.	سلك لف محركات (معزول بالورنيش)، أغطية حرارية، أقطار مختلفة، ورق عزل محركات (برسبان) بسماكة مناسبة، ورنيش عازل، لحام قصدير، سلك مفرد (1.5) مم 2، خيط تربيط.

خطوات الأداء

1 – افحص المحرك الكهربائي وتحقّق من حاجته إلى إعادة اللف، كما تعلمت سابقًا.

2 – دوّن المعلومات الخارجية للمحرك من الشكل (1) ثمّ دوّنها في الجدول (7).

الرسم التوضيحي



الشكل (1).

خطوات الأداء

الجدول (7).

عدد الأوجه	3 ph (380 - 220 v)
توصيل المحرك	Y
سرعة المحرك	2980 RPM
تيار المحرك	10 A
التردُّد	50 H z

3- فُكَّ المحرك الكهربائي كما تعلمت سابقًا.

4- ثبِّت المحرك الكهربائي، وأزل الملفات المحترقة من الجهة المعاكسة لجهة خروج الأسلاك إلى لوحة التوصيل الخارجية، حسب تعليمات المعلِّم.

5- دوِّن المعلومات الداخلية للمحرك في الجدول (8).

الجدول (8).

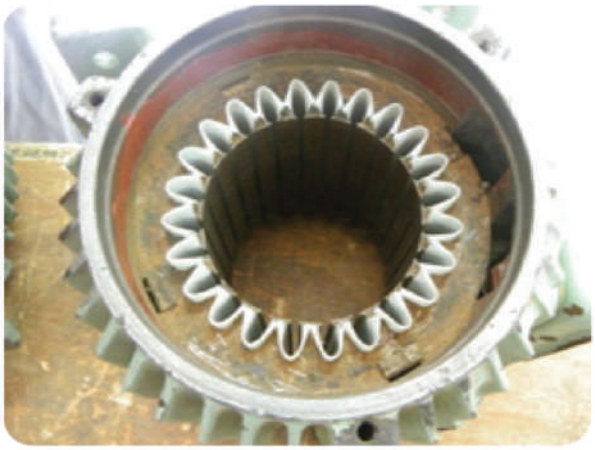
عدد المجاري	24
نوع اللف	متسلسل/ طبقة واحدة
عدد الملفات الكلية	نصف عدد المجاري
خطوة اللف	
عدد المجموعات	
عدد ملفات المجموعة	لفة ( )
قطر السلك	دزيم ( )
بداية الطور	1 - 3 - 5
نوع التوصيل	حقيقي (نهاية – نهاية)

6- قص الملفات القديمة للمحرك بأدوات القص المناسبة، بإشراف المعلِّم كما في الشكل (2).

الرسم التوضيحي

الشكل (2).

الشكل (3).



الشكل (4).

خطوات الأداء

7- نظِّف المحرك من الورق العازل والملفات، واعمل على طرد الملفات من المحرك باستعمال العُدَد المناسبة لذلك، كما تعلمت سابقًا.

8- قِس قُطْر السلك باستعمال المايكروميتر وتحقَّق من إزالة طبقة الورنيش العازل.

9- جهِّز ورق العزل بحيث يكون مُطابقًا لمواصفات الورق القديم نفسه من حيث الطول، والعرض، والسُّمْك، ثم حدِّد القياس، وتحقَّق من ذلك ورقة ورقة كما في الشكل (3).

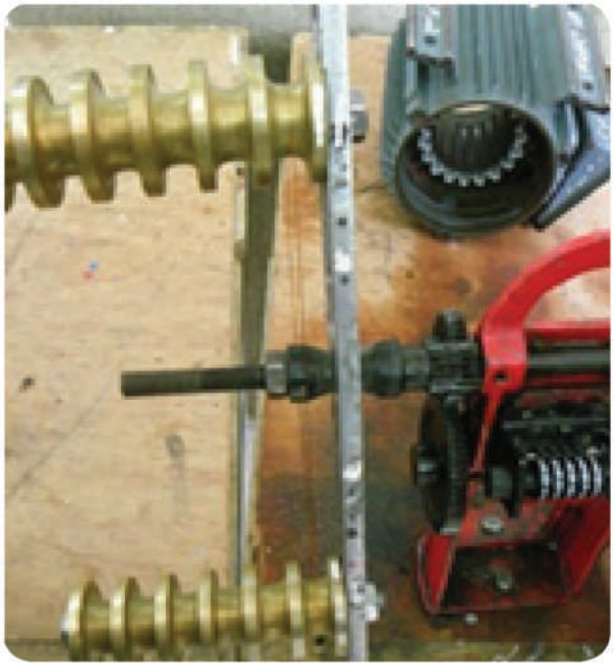
10- بعد التحقُّق من صحة القياس اعزل جميع مجاري المحرك كما في الشكل (4).

11- تحقَّق من خطوة اللف، واستعمل شبلونة لقياس عرض الملف كما في الشكل (5).

12- بعد تحديد نوع اللف واختيار قالب اللف المناسب، ثبِّت الشبلونة على مَكنَة اللف، على أن يكون أحد القوالب ثابتًا والآخر متحركًا، بحيث يُعلِّم للحفاظ على عرض ملف واحد لكامل المحرك، وابدأ بلف الملف بحسب المعلومات المدونة في الجدول كما في الشكل (6).

الرسم التوضيحي

الشكل (5).

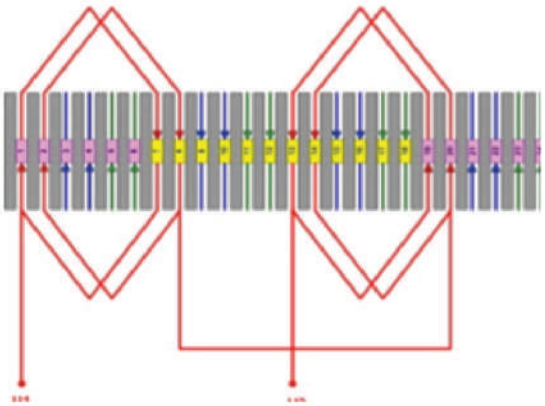


الشكل (6).

خطوات الأداء

13- لفَّ الملفات الخاصة بالمحرك واربطها معًا كما في الشكل (7).

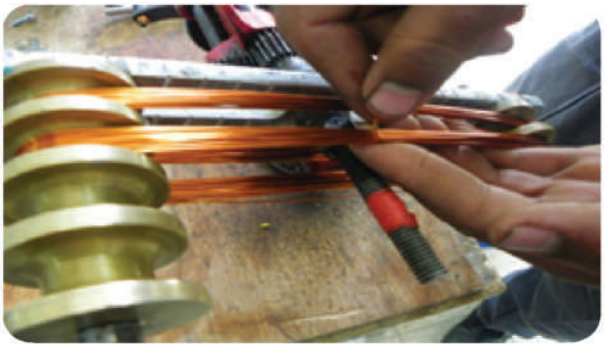
14 - أنزل الملفات داخل مجاري المحرك بحسب خطوت اللف الخاصة بالمحرك، انظر إلى الشكل (8/أ) و(8/ب) تكون البداية بالطور الأول (**R**)، بحيث تكون بداية الملف الأول (**U1**) ونهايته موصولة المجموعة الرابعة (**R1**) التي تكون مقابلة للمجموعة الأولى تمامًا.



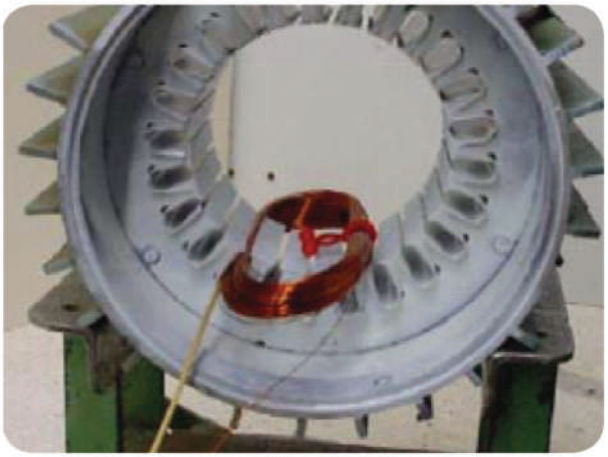
15 - تابع إنزال بقية المجموعات، انظر إلى الشكل (9) وتذكَّر أنه في حالة الطبقة الواحدة (جانب واحد بالمجرى) يمكن إنزالها كما يأتي:

أ - أنزل الملف الأول بالمجموعة، ثم اترك مجرًى واحدًا فارغًا، وأنزل الملف الثاني، واترك مجرًى واحدًا، وهكذا في بقية المجموعات.

الرسم التوضيحي



الشكل (7).



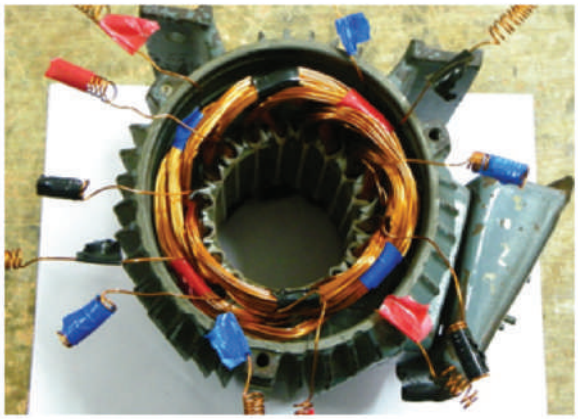
الشكل (8/أ).

الشكل (8/ب).

خطوات الأداء

ب- أنزل المجموعة الأولى واترك مجاري فارغة بعدد ملفات المجموعة الأولى، ثم أنزل المجموعة الثانية، ثم اترك مجاري فارغة بعدد ملفات المجموعة الواحدة، ثم أنزل المجموعة الثالثة، وهكذا.

الرسم التوضيحي



الشكل (9).

عند الانتهاء من إنزال المجموعات جميعها، فإن مجاري المحرك جميعها سيكون فيها ملف واحد، ولا يوجد مجرًى فارغ، وتكون:

- المجموعة الأولى مقابلة للمجموعة الرابعة (R) و(R1).
- المجموعة الثانية مقابلة للمجموعة الخامسة (S) و(S1).
- المجموعة الثالثة مقابلة للمجموعة السادسة (T) و(T1).

وتكون بداية الطور كما يأتي:

- المجموعة الأولى بداية الطور الأول (R).
- المجموعة الثالثة بداية الطور الثاني (S).
- المجموعة الخامسة بداية الطور الثالث (T).

تذكّر

لضمان المحافظة على الزاوية الكهربائية بين الطور (120°)، قاعدة (1 - 3 - 5).

نشاط

نفذ إجراء الحسابات كما تعلمت سابقًا، وتحقّق من صحة القاعدة.

خطوات الأداء

16- وصّل المجموعات بعد إزالة الورنيش عن السلك قبل توصيله ولحامه بالقصدير، وضع الأغطية الحرارية العازلة بغية إعادة العزل للأسلاك كما في الشكل (10).

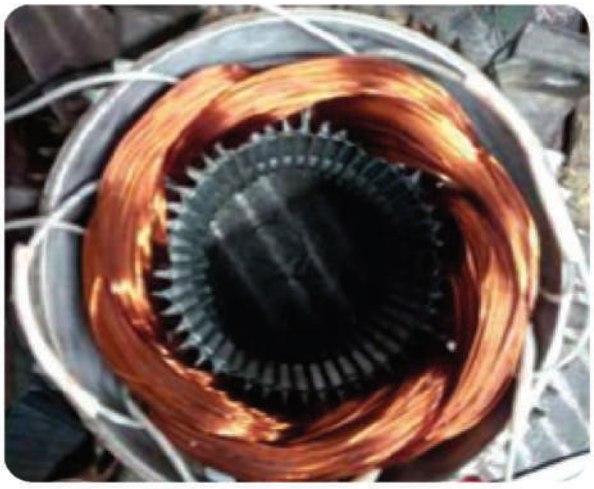
17- أخرج ستة أسلاك إلى لوحة التوصيل، تُمثِّل: ثلاث بدايات، وثلاث نهايات للمحرك، (تستطيع إخراج البدايات باللون، والنهايات بلون آخر للتفريق بينها)، أو بداية الملف للطور الأول باللون الأحمر ونهايته باللون الأحمر، وكذلك الطور الثاني باللون الأزرق والثالث باللون الأصفر.

18- ربّط المحرك من الجهة الخالية من أسلاك التوصيل، انظر إلى الشكل (11)، ثم انتقل إلى الجهة التي تخرج منها الأسلاك إلى لوحة التوصيل.

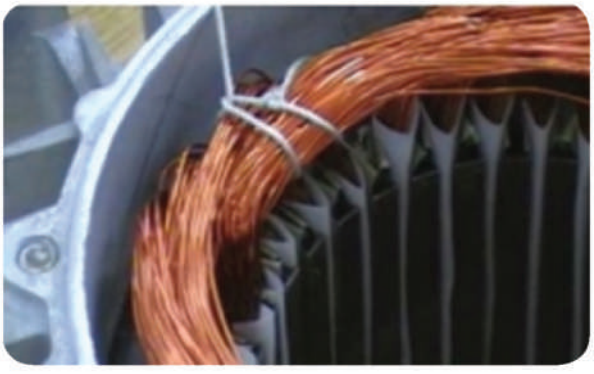
19- أَعِدْ تجميع المحرك مُبتدئًا بآخر قطعة فككتها.

20- صِلِ المحرك، ثم شغِّله من دون حمل.

الرسم التوضيحي



الشكل (10).



الشكل (11).

خطوات الأداء

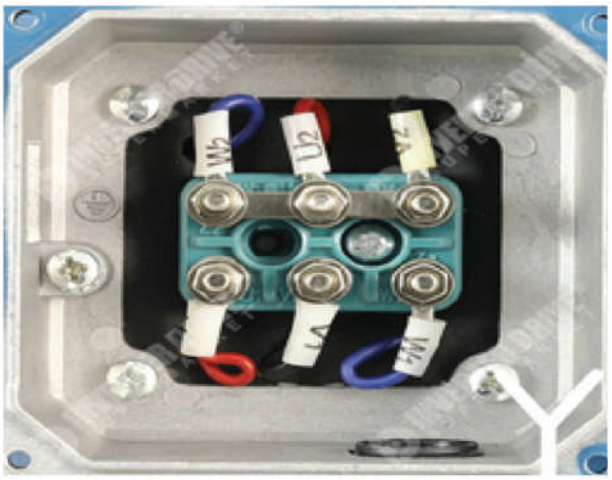
21- قِس التيار بجهاز الأمبيرمتر، وقياس سرعة المحرك، ثم دوِّن القيم في الجدول (9).

الجدول (9).

فولتية التشغيل (V)	تيار الحمل (A)	سرعة الدوران (RPM)	قدرة المحرك (HP)	مقاومة كل طور (Ω)

22- اربط بدايات الملفات ونهاياتها بلوحة التوصيل الخاصة بالمحرك، انظر إلى الشكل (12).

الرسم التوضيحي



الشكل (12).

نشاط

نفِّذ تمرين إعادة لف محرك ثلاثي الطور، عدد مجموعاته يساوي نصف عدد أقطابه.

التمارين العملية
التمرين (4)

فحص المحرك الكهربائي ثلاثي الطور بعد إعادة لفه

يُتوقَّع منك بعد تنفيذ هذا التمرين أن:

- تتعرَّف فحوص المحرك الكهربائي ثلاثي الطور بعد إعادة لفه.
- تحدِّد أعطال إعادة لف المحركات الكهربائية ثلاثية الطور، ثم تصلحها.

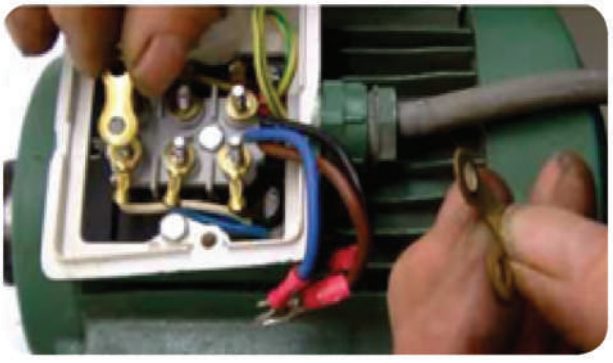
متطلبات تنفيذ التمرين

التجهيزات (الأدوات)	المواد الأولية
المحرك ثلاثي الطور، صندوق عدة كهربائية، مطرقة بلاستيكية، طقم مفاتيح شق، طقم مفاتيح رنج، طقم مفكات مختلفة، بريصة سحب، سنبك طرد، سنبك نقطة (علام)، إزميل مبسط، جهاز قياس السرعة (Tachometer)، جهاز أفوميتر، جهاز أمبيروميتر، لمبة فحص، مصدر فولتية مباشرة (30V-0).	أسلاك، فُرش

خطوات الأداء

بعد عملية إعادة اللف للمحركات الكهربائية ثلاثية الطور، يجب إجراء اختبارات مهمة تُبيِّن سلامة عملية إعادة اللف للمحركات، وخصوصًا عندما يكون فني اللف مبتدئًا في عملية اللف والخطوات التي تتبعها. يمكن تنفيذ الخطوات الآتية للتحقُّق من سلامة ملفات المحركات:

الرسم التوضيحي



الشكل (1/أ).

خطوات الأداء

1- اختبار التماس الأرضي:

أ- تحقَّق من فك جسور ربط نهايات ملفات المحرك على لوحة توصيل المحرك بالمفاتيح المناسبة كما في الشكل (1/ أ).

ب- استعمل جهاز الأوميتر للتحقق من وجود قصر أرضي بين بدايات الملفات ونهايتها وجسم المحرك، عن طريق وصل أحد أطراف جهاز القياس بجسم المحرك، والطرف الآخر بالطرف الأول (**U1**)، وتحقَّق من عدم وجود اتصال، ثم انتقل إلى الطرف الثاني (**V1**)، ثم إلى الطرف الثالث (**W1**)، ثم دوِّن القيم التي حصلت عليها كما في الشكل (1/ب).

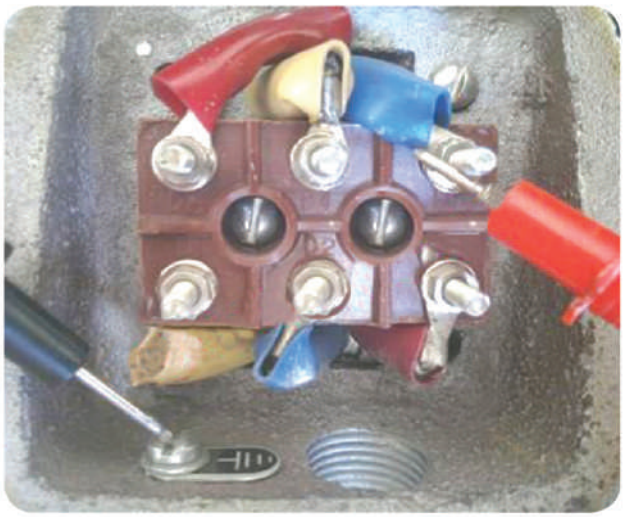
جـ- افصل وصلات مجموعة ملف التماس لتحديد المجموعة التي يوجد فيها تماس.

د- حدِّد الملف التماس، واعزله عن جسم المحرك إن أمكن ذلك، أو أعد عملية اللف إذا فشل العزل.

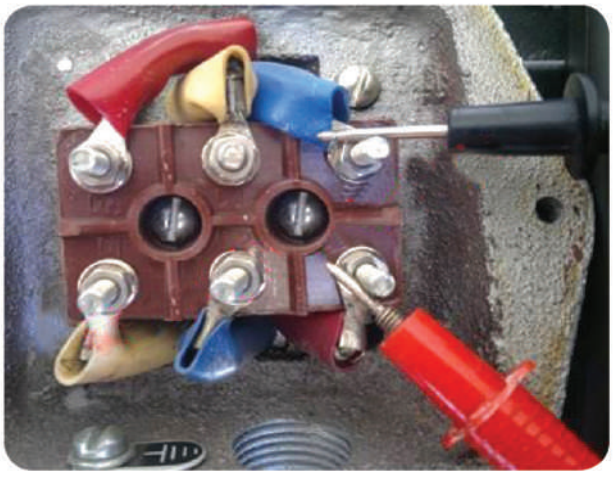
2- اختبار الدارة المفتوحة.

أ- افحص الدارت المفتوحة بجهاز الأوميتر وافحص بداية ملفات الطور الأول (**U1-U2**) ونهايته، وبداية الطور الثاني (**V1-V2**) ونهايته، وبداية الطور الثالث

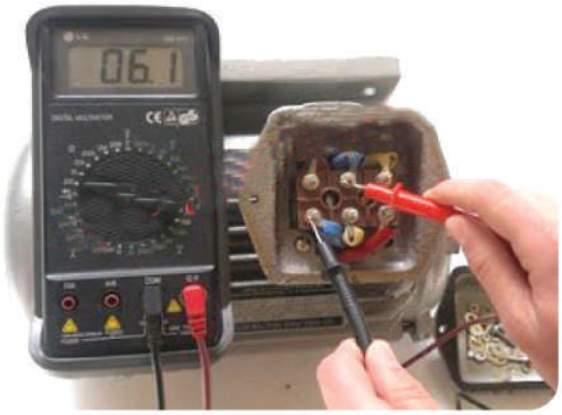
الرسم التوضيحي



الشكل (1/ب).



الشكل (2).



الشكل (3).

خطوات الأداء

ونهايته (**W1-W2**) لتحديد الملفات المفتوحة الشكل (2).

ب- افصل وصلات مجموعات الطور لتحديد المجموعة التي يوجد فيها فتح في الدارة.

جـ- حدد الملف الذي يوجد فيه فتح، وأعد توصيله توصيلًا مناسبًا.

3 - اختبار تماس ملفات الأوجه المختلفة مع بعضها:

ضع تدريج قياس جهاز الأوميتر على قيمة عالية وافحص بين الأوجه المختلفة، وتحقَّق من عدم إعطاء قراءة للتحقُّق من وجود تماس أو عدم وجوده كما في الشكل (3).

4 - اختبار عكس توصيل المجموعات:

أ- صل أحد أطراف مصدر فولتية التيار المستمر بنقطة توصيل النجمة- بعد وصل أطراف المحرك بطريقة النجمة، ثم صل الطرف الثاني ببداية ملفات الطور الأول (**U1**)، ثم استعمل بوصلة تحركها داخل العضو الثابت بين مجموعات ملفات الطور لتحديد قطبية كل مجموعة، وتحقَّق من حركة البوصلة بحسب طريقة توصيل الملفات للتحقُّق من القطبية كما في الشكل (4).

الرسم التوضيحي

الشكل (4).

الشكل (5).

الشكل (6).

ب– كرِّر العملية بوصل الطرف الثاني من مصدر الفولتية التيار المستمر إلى بداية ملفات الطور الثاني (**V1**)، وافحص قطبية مجموعات الطور بالبوصلة، ثم كرر العملية مع الطور الثالث (**W1**)، انظر إلى الشكل (5).

جـ– أعد توصيل المجموعة المعكوسة بالطريقة الصحيحة.

5– اختبار عكس توصيل ملف من ملفات المجموعة لمجموعات الطور الثلاثة.

أ– صِلْ أحد أطراف مصدر فولتية التيار المستمر بنقطة توصيل النجمة بعد وصل أطراف المحرك بطريقة النجمة، ثم صل الطرف الثاني ببداية ملفات الطور الأول (**U1**)، ثم حرِّك بوصلة داخل العضو الساكن بين المجموعة الأولى؛ للتحقّق من عملها، ثم انتقل إلى مجموعات الطور الأخرى كما في الشكل (6).

ب– كرِّر العملية مع مجموعات الطور الثاني، ومجموعات الطور الثالث.

جـ– فُكَّ وصلات الملف المعكوس، وأعد توصيله بصورة صحيحة.

6– اختبار قصور الدارة.

أ– بجهاز قياس التيار ذي الفكين قِس شدة التيار الذي يسري في الطور مدة قصيرة من الزمن.

ب– شغّل المحرك المختلفة وتحقّق من أنها متساوية، وأنها أقل من قيمة التيار المسجلة على لوحة بيانات المحرك (لأن المحرك يعمل من دون حمل).

التمارين العملية
التمرين (5)

إعادة لف المحرك ثلاثي الطور ذي السرعتين بطريقة (دالندر).

يُتوقّع منك بعد تنفيذ هذا التمرين أن:

- تتعرف معلومات محركات السرعتين، وتدونها على نحو صحيح.
- تميز بين المحرك ثلاثي الطور ذي السرعة الواحدة والمحرك ثلاثي الطور ذي السرعتين.
- تعيد لف المحرك ثلاثي الطور ذي السرعتين بطريقة دالندر لمحرك (24) مجرًى، وعدد أقطابه (2 / 4).
- تشغل المحرك، وتقيس تياره وسرعته وقدرته، في حالتي الحمل واللاحمل.

متطلبات تنفيذ التمرين:

التجهيزات (الأدوات)	المواد الأولية
محرك ثلاثي الطور ذو سرعتين، صندوق عدة كهربائي، مطرقة بلاستيكية،طقم مفاتيح شق، طقم مفاتيح رنج، طقم مفكات مختلفة، بريصة سحب، سنبك طرد، سنبك نقطة (علام)، إزميل مبسط، جهاز قياس السرعة (Tachometer)، جهاز أفوميتر، جهاز أمبيروميتر، مقص ورق، نصلة منشار، فرشاة دهان، لمبة فحص، مسطرة حديدية، مايكروميتر لقياس أقطار الأسلاك، آلة لف محركات.	سلك لف محركات (معزول بالورنيش)، أغطية حرارية (أقطار مختلفة)، ورق عزل محركات (برسبان) بسماكة مناسبة، ورنيش عازل، لحام قصدير، سلك مفرد (1.5) مم^2، خيط تربيط.

خطوات الأداء

1- افحص المحرك الكهربائي وتحقّق من حاجته لإعادة اللف، كما تعلمت سابقًا.

2- دوِّن المعلومات الخارجية للمحرك في الجدول (10).

الرسم التوضيحي

جدول مقترح لبيانات المحرك	
عدد الأقطاب	2/4
نوع اللف	متسلسل
قطر السلك	قياس السلك بجهاز الميكروميتر
عدد الملفات الكلية	24 ملف
عدد الملفات/ مجموعة	4 ملفات
عدد الملفات/ طور	8
عدد لفات الملف الواحد	يتم عد الملفات الملف
خطوة لف المجموعة	1-7 2-8 3-9 4-10
موقع بدايات الأطوار	U1-1 V1-9 W1-17

خطوات الأداء

الجدول (10).

عدد الأوجه	(ph 3 (380v - 220
توصيل المحرك	(Δ / YY)
سرعة المحرك	(RPM (1420 / 2880
تيار المحرك	10A
التردُّد	H z 50
عدد الأقطاب	(2/ 4)

3- فُكَّ المحرك الكهربائي كما تعلمت سابقًا.

4- دوّن المعلومات الداخلية للمحـــرك في الجدول (11).

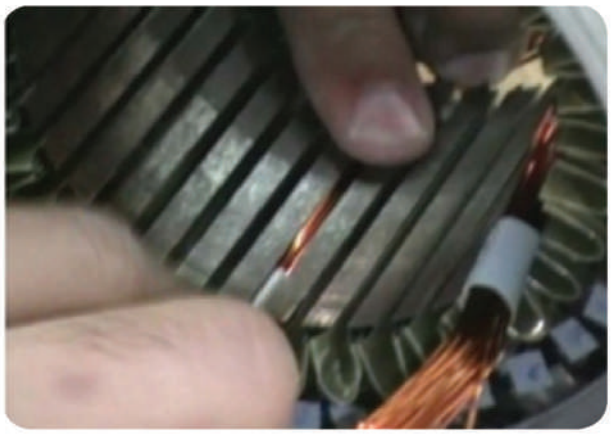
5- ارســم ملفــات المحــرك رسمًــا دائريًّــا أو انفراديًّا.

الجدول (11).

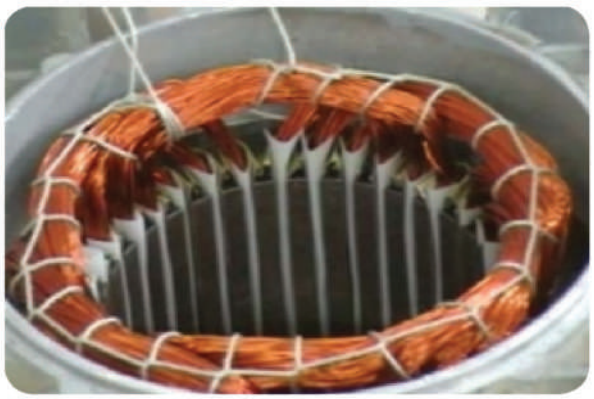
عدد المجاري	24
نوع اللف	متسلسل
عدد الملفات الكلية	24
عدد ملفات / المجموعة	4 ملفات
عدد الملفات / طور	8 ملفات
خطوة اللف	7-1
عدد المجموعات	6
عدد ملفات (المجموعة)	( ) لفة
قُطْر السلك	( ) دزيم
بداية الطور	(1 - 3 - 5)
نوع التوصيل	تأثيري (نهاية – بداية)
موقع بدايات الطور	(1 - 3 - 5)
بداية الطور الأول	(1 - U1)
بداية الطور الثاني	(9 -V1)
بداية الطور الثالث	(17 -W1)

الرسم التوضيحي

الشكل (1).



الشكل (2).



الشكل (3).

خطوات الأداء

6- ابدأ بالخطوات الآتية كما تعلمت في التمارين السابقة:

أ- قص الملفات القديمة للمحرك بأدوات القص المناسبة بإشراف المعلِّم.

ب- ثبِّت المحرك الكهربائي وأزل الملفات المحترقة من الجهة المعاكسة لجهة خروج الأسلاك إلى لوحة التوصيل الخارجية حسب تعليمات المعلِّم.

جـ- اطرد الملفات كليًّا باستعمال سنبك الطرد، ودوّن معلومات عدد اللفات وقُطْر السلك في الجدول.

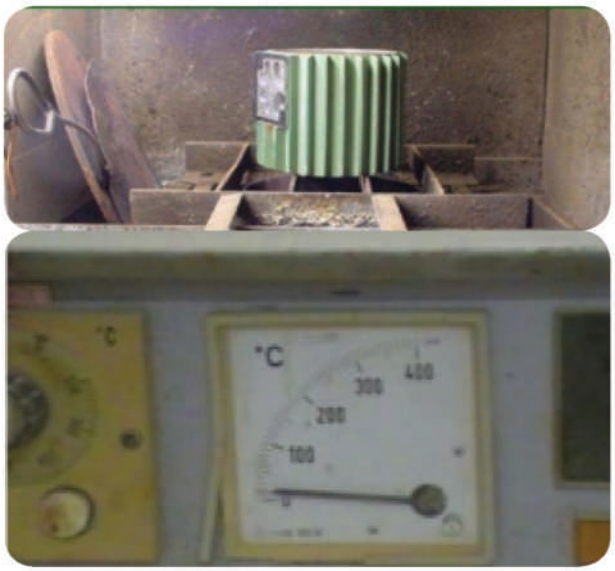
د- نظّف المجاري من ورق العزل القديم وبقايا الورنيش بنصلة منشار، ويمكنك استعمال اللهب عند الضرورة.

هـ- قس قُطْر الورق العازل. لإعادة عزل المحرك بالقُطْر نفسه والأقطار الشائعة لورق العزل (**0.2**) مم أو (**0.25**) مم.

و-خطِّط ورقة العزل بالقلم والمسطرة حسب قياس المجاري، وقُص الورق العازل (البرسبيان) لعزل مجاري المحرك بمقص الورق بحسب عدد مجاري المحرك.

الرسم التوضيحي

الشكل (4).



الشكل (5).

ز- قص ورق عزل الأغطية من الورق نفسه بطول المجاري، وبعرض مناسب لتغطية الملفات بعد إسقاطها في المجاري.

ح- أعد عزل المجاري الشكل (1)، ثم جهز ورق الأغطية.

ط- اعمل شبلونة اللف المناسبة، وثبتها على قالب اللف ثم لفّ الملفات المطلوبة كما تعلمت سابقًا.

7- لف ملفات الطور الثلاثة حسب عدد السلك وقُطْره، ونوع اللف المتسلسل باستعمال ضبعة لف الملفات بصورة متسلسلة.

8- أسقط الملف الأول من ملفات المجموعة الأولى للطور الأول في مجاري المحرك بخطوة لف (1-7) الشكل (2) واعزل الملفات بورق العزل من الأعلى.

9- أسقط الملفين الثاني والثالث من ملفات المجموعة الأولى بخطوة (2-8) واعزلها بورق العزل.

10- أسقط ملفات المجموعة الأولى للطور الثاني مبتدئًا من رقم (**9**)، ثم أسقط بقية الملفات حسب خطوة اللف للملفات الأربعة (**9-15**)، (**10-16**)، (**11 - 17**، **12-18**) بالطريقة نفسها في إسقاط ملفات الطور الأول.

11- أسقط ملفات المجموعة الثانية للطور الثاني مبتدئًا بالرقم (**21**)، ثم أسقط بقية الملفات حسب خطوة اللف للملفات الأربعة (**3-21**، **4-22**، **5-23**، **6-24**) بطريقة إسقاط ملفات الطور الأول نفسها.

12- أسقط ملفات المجموعة الأولى للطور الثالث مبتدئًا بالرقم (**17**)، ثم أسقط بقية الملفات حسب خطوة اللف للملفات الأربعة: (**17-23**)، (**18-24**)، (**19-1**)، (**20-2**).

13- أسقط ملفات المجموعة الثانية للطور الثالث مبتدئًا بالرقم (**11**)، ثم أسقط بقية الملفات حسب خطوة اللف للملفات الأربعة: (**5-11**)، (**6-12**)، (**7-13**)، (**8-14**).

خطوات الأداء

14- اعزل مجموعات الطور المختلفة بالورق العازل من الجهة المخالفة لجهة خروج الأسلاك وربط الملفات كما في الشكل (3).

15- صل مجموعتي كل طور على التوالي بالاتجاه نفسه، والحم من منتصف المجموعتين سلكًا، واعزله بالأغطية الحرارية كما في الشكل (4).

16- اعزل بين المجموعات من جهة خروج الأسلاك واربطها، مراعيًّا إخراج الأطراف الستة، على ألا تتصل بجسم المحرك.

17- اعزل الملفات بالورنيش ودعها مدة لتجف كما في الشكل (5).

18- أعد تجميع المحرك مبتدئًا بآخر قطعة فككتها.

19- صِل المحرك، ثم شغله دون حمل، ثم قِس التيار بجهاز الأمبيرمتر، وقِس سرعة المحرك، ثم دوِّن القيم في الجدول (12).

الجدول (12).

فولتية التشغيل (V)	تيار الحمل (A)	السرعة العالية YY (RPM)	السرعة البطيئة Δ (RPM)

التمارين العملية

التمرين (6)

تشغيل محرك ثلاثي الطور بوصفه محركًا أحادي الطور

يُتوقّع منك بعد تنفيذ هذا التمرين أن:

- تشغل محركًا ثلاثي الطور ذا القدرات الصغيرة على فولتية الطور الواحد (**230**) فولتًا.
- تحدد قيمة المواسع المناسب لقدرة المحرك.
- تعكس دوران المحرك.
- تشغل المحرك وتتمكن من قياس تياره وسرعته وقدرته في حالتي الحمل واللاحمل.

متطلبات تنفيذ التمرين

التجهيزات (الأدوات)	المواد الأولية
محرك ثلاثي الطور، صندوق عدة كهربائية، مطرقة بلاستيكية، طقم مفاتيح شق، طقم مفاتيح رنج، طقم مفكات مختلفة، جهاز قياس السرعة (**Tachometer**)، جهاز أفوميتر، جهاز أمبيروميتر، لمبة فحص، مسطرة حديدية.	سلك مفرد (**1.5**) مم^2.

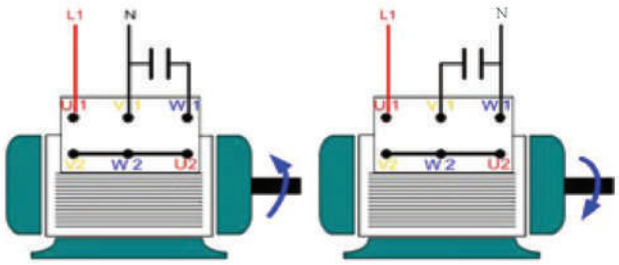
خطوات الأداء

1- صل أطراف المواسع بأطراف المحرك الموصول توصيلة النجمة كما في الشكل (1).

2- صل أطراف المحرك بمصدر (**230**) فولت، بإشراف مدربك، وشغّله، وقِس التيار، ثم اعكس اتجاه دورانه كما في الشكل (2).

3- افصل التيار الكهربائي عن دارة المحرك الكهربائي.

الرسم التوضيحي



الشكل (1).

خطوات الأداء

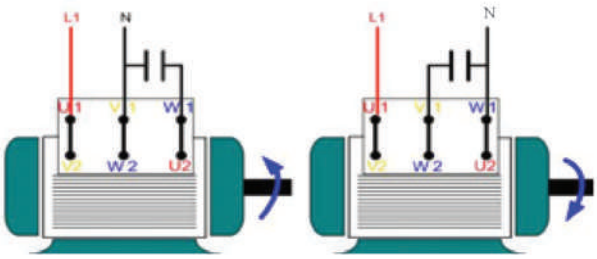
4- أعد وصل نهاية أطراف المحرك بشكل، مثلث، وصل أطراف المواسع معه كما في الشكل (2).

5- صل أطراف المحرك بمصدر (**230**) فولت، بإشراف مدربك، وشغله، وقِس التيار، ثم لاحظ اتجاه دورانه.

6- افصل التيار الكهربائي عن دارة المحرك الكهربائي.

7- دوّن المعلومات في دفتر التدريب العملي واكتب تقريرًا مفصلًا عن التمرين.

الرسم التوضيحي



الشكل (2).

الشكل (3).

الأعطال العملية

أعطال المحركات الحثية ذات القفص السنجابي، وطرائق تصليحها.

العطل	الأسباب المحتملة	طرائق تصليحها
توقف المحرك عن الحركة.	– المحرك ثلاثي الطور يعمل بطورين فقط. – تلف كراسي المحور. – تفكك قضبان العضو الدوّار. – انحناء عمود العضو الدوّار. – خطأ في التوصيل. – قصر في الملفات. – ملفات المحرك محترقة تمامًا. – عدم توصيل المحرك توصيلة النجمة أو المثلث. – تحرُّك الغطاءين الجانبيين.	– التحقُّق من وصول التغذية المناسبة، واستبدال المصهرات التالفة. – استبدال كراسي المحور. – لحم القضبان بالحلقات الجانبية، إن أمكن ذلك، أو استبدال العضو الدوّار. – تصليح الانحناء بالمخرطة. – إعادة التوصيل بالطريقة الصحيحة. – عزل القُصر. – إعادة لف ملفات المحرك. – توصيل أطراف المحرك بالتوصيلة المناسبة للمحرك (نجمة، أو مثلث). – التحقُّق من إحكام تثبيت الأغطية الجانبية للمحرك.

العطل	الأسباب المحتملة	طرائق تصليحها
دوران المحرك على نحوٍ أبطأ من سرعته المعتادة.	– تآكل كراسي المحور. – وجود قصر بين ملفات الأطوار المختلفة. – التوصيل الخطأ في وصل المجموعات. – تفكك قضبان العضو الدوّار. – زيادة الحمل.	– استبدال كراسي المحور. – عزل ملفات أطوار المحرك المختلفة بعضها عن بعض. – إعادة وصل أطراف الملف أو المجموعة بصورة صحيحة. – تصليح التلف إن أمكن، أو استبدال العضو الدوّار. – التحقُّق من إحكام تثبيت الأغطية الجانبية للمحرك.

العطل	الأسباب المحتملة	طرائق تصليحها
ارتفاع درجة حرارة المحرك في أثناء العمل.	– المحرك يعمل من دون تبريد. – ارتفاع الفولتية. – زيادة الحمل. – فصل طور من الأطوار في أثناء عمل المحرك.	– تركيب وسيلة تبريد مناسبة للمحرك. – فحص مصدر الفولتية والتحقُّق من مناسبته للمحرك. – خفض الحمل، أو استبدال المحرك. – تركيب وسيلة حماية مناسبة.

العطل	الأسباب المحتملة	طرائق تصليحها
ارتفاع صوت المحرك في أثناء العمل.	– تآكل كراسي المحور. – تفكك قضبان العضو الدوّار. – انحناء عمود العضو الدوّار. –خطأ في التوصيل.	– استبدال كراسي المحور. – تصليح التلف إن أمكن، أو استبدال العضو الدوّار. – تصليح الانحناء بالمخرطة. – توصيل الأطراف بصورة صحيحة.

أعطال المحركات الحثية ذات العضو الملفوف، وطرائق إصلاحها

العطل	الأسباب المحتملة	طرائق التصليح
توقف المحرك عن الحركة.	– عدم وصول التغذية إلى المحرك الكهربائي. – فتح دارة أحد ملفات أطوار العضو الساكن. – انحناء عمود العضو الدوّار. – زيادة الحمل. – فتح دارة مقاومة البدء المتغيرة. – حدوث فتح في ملفات العضو الساكن. – حدوث فتح في ملفات العضو الدوّار.	– التحقُّق من وصول التغذية المناسبة، واستبدال المصهرات التالفة. – توصيل الملفات المفتوحة بصورة صحيحة. – تصليح الانحناء بالمخرطة. – خفض الحمل، أو يستبدل بالمحرك التالف آخر مناسبًا للحمل. – إغلاق الفتح في دارة المقاومة المتغيرة. – توصيل ملفات العضو الساكن بصورة صحيحة. – إعادة لف العضو الدوّار.

العطل	الأسباب المحتملة	طرائق التصليح
المحرك يدور بسرعة أقل من السرعة المعتادة.	– زيادة الحمل. – انخفاض الفولتية. – تلف مقاومة تنظيم السرعة. – حدوث فتح في ملفات العضو الدوّار. – حدوث قصر في ملفات العضو الدوّار. – عدم وصول التيار من المصدر لأحد الأطوار. – حدوث فتح في دارة ملفات أحد الأطوار.	– خفض الحمل، أو استبدال المحرك بآخر مناسب للحمل. – فحص مصدر الفولتية، والتحقُّق من مناسبته للمحرك. – استبدال مقاومة التنظيم. – وصل الملفات بصورة صحيحة. – عزل القصر إن أمكن، وإعادة الملفات المقصورة. – التحقُّق من وصول التغذية المناسبة واستبدال المصهرات التالفة. – وصل الدارة المفتوحة بصورة صحيحة.

العطل	الأسباب المحتملة	طرائق التصليح
ارتفاع درجة حرارة المحرك في أثناء العمل.	– المحرك يعمل من دون تبريد. – انخفاض الفولتية أو ارتفاعها. – حدوث قصر أو فتح في ملفات العضو الساكن. – حدوث فتح في دارة ملفات ملفات أحد الطور. – انقطاع طور من الأطوار في أثناء عمل المحرك. – وجود تماس أرضي في ملفات العضو الساكن. – تآكل كرسي المحور.	– تركيب وسيلة تبريد مناسبة للمحرك. – وصل المحرك بمصدر الفولتية المناسبة. – عزل القصر إن أمكن، أو إعادة لف الملفات المقصورة. – إعادة وصل الملفات المفتوحة بصورة صحيحة. – تركيب وسيلة الحماية المناسبة. – عزل التماس الأرضي. – استبدال كراسي المحور.

القياس والتقويم

أسئلة الوحدة

1- ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:

(1) يعمل المحرك ثلاثي الطور على فرق الجهد بين أحد الطور والطور الآخر داخل الأردن:

أ – (380 - 400) فولت　　ب– (220 - 230) فولت

جـ– (230 - 350) فولت　　د – (110 - 223) فولت

(2) يُصنع القلب المعدني للعضو الساكن من مجموعة من الرقائق الفولاذية المعزولة عن بعضها بسبب:

أ – تقليل المفاقيد الهستيرية　　ب– سهولة الفك والتركيب

جـ– تقليل تكلفة صناعة المحرك　　د – زيادة قيمة المقاومة الأومية

(3) توزع ملفات العضو الساكن لمحرك ثلاثي الطور؛ بحيث يكون ملف كل طور مزاحًا عن ملفات الطور الآخر بزاوية مقدارها:

أ – 120 درجة كهربائية　　ب– 85 درجة كهربائية

جـ– 180 درجة كهربائية　　د – 90 درجة كهربائية

(4) محرك كهربائي ثلاثي الطور مسجل على لوحته الاسمية (1500 - 3000) rpm، توصيلته هي:

أ – التوالي　　ب– سرعتان/ أقطاب منفصلة

جـ– التوازي　　د – سرعتان/ أقطاب متصلة

(5) المحرك الذي يعمل عند سرعة أقل من السرعة التزامنية بمقدار الانزلاق، وتتزايد قيمة الانزلاق بزيادة الحمل، ومن ثَمَّ، تتناقص السرعة مع زيادة في العزم بسب زيادة الحمل هو:

أ – المحرك الحثي ذو العضو الدوّار الملفوف　　ب– المحرك التوافقي

جـ– المحرك التزامني　　د – المحرك الحثي ذو القفص السنجابي

(6) توصل ملفات العضو الدوّار للمحرك الحثي ذي العضو الدوّار الملفوف (Wound Rotor Motor) على صورة:

أ – التوازي ب– النجمة

جـ– المثلث د – التوالي

(7) يحتوي المحرك التزامني حلقتي انزلاق عليها فرش كربونية وظيفتهما هي:

أ – تغذية الأقطاب بالتيار المباشر ب– إيصال ملفات العضو الدوّار بها

جـ– منع الاحتكاك بين الملفات د – لتغذية الأقطاب بالتيار المتناوب

(8) سبب انخفاض قدرة المحرك ثلاثي الطور عند تحويله ليعمل على مصدر طور واحد هو:

أ – انخفاض الفولتية من المصدر.

ب– عمل أحد الملفات الثلاثية في المحرك بوصفه ملفّ بدء.

جـ– تأثير ازدياد قيمة معامل القدرة على قدرة المحرك.

د – ارتفاع التيار بسبب انخفاض الفولتية.

(9) لعكس اتجاه دوران محرك كهربائي ثلاثي الطور :

أ – تبديل توصيل المحرك من الداخل بعكس التوصيل.

ب– إضافة مواسع للمحرك على التوالي مع الملفات.

جـ– تبديل مكان أي طورين مع بعضهما.

د – لا يمكن عكس اتجاه دوران المحرك ثلاثي الطور.

(10) عند وجود اتصال كهربائي ما بين ملفات الطور الأول والطور الثاني في أثناء فحص المحرك ثلاثي الطور ،يكون المحرك:

أ – من الطبيعي وجود اتصال بين ملفات المحرك.

ب– المحرك بحاجة إلى التحقّق من حالته والتحقّق من صلاحية الملفات الداخلية.

جـ– يعتمد على قيمة المقاومة بين الملفات.

د – طبيعي وجود اتصال بين الطورين الأول والثالث فقط.

2- ارسم لوحة التوصيل لمحرك كهربائي ثلاثي الطور على لوحته الاسمية المعلومات الآتية:

أ - (Y 400 - 230) فولت.

ب- (Δ 400) فولت.

3- وضح بالرسم كيف يمكن عكس دوران المحركات ثلاثي الطور:

4- قارن بين المحركات الحثية ثلاثية الطور الآتية من حيث:

أ - التركيب ب- مزايا كل نوع من الأنواع

جـ- مساوئ كل نوع من الأنواع د - مجالات الاستعمال

نوع المحرك	التركيب	مزايا الاستعمال	مساوئ الاستعمال	مجالات الاستعمال
المحرك الحثي ذو القفص السنجابي				
المحرك الحثي ذو العضو الدوّار الملفوف				

5- ضع إشارة (✓) قبل العبارة الصحيحة وإشارة (X) قبل العبارة غير الصحيحة:

أ - ( ) ارتفاع تيار البدء من مساوئ المحركات الحثية ثلاثية الطور.

ب- ( ) في المحرك ثلاثي الطور تكون مقاومة ملفات الطور الأول أعلى من مقاومة ملفات الطورين الثاني والثالث.

جـ- ( ) توصيلة النجمة في المحركات الكهربائية ثلاثية الطور، وفيها توصل نهايات الملفات معًا، وبدايات هذه الملفات توصل بالمصدر ثلاثي الطور.

د - ( ) محرك كهربائي (Δ / YY) عند السرعة البطيئة يحدث توصيل للمحرك (YY).

هـ- ( ) وظيفة حلقتي الانزلاق في المحركات التزامنية تغذية ملفات الأقطاب بالتيار المتناوب.

و - ( ) المحرك التزامني تكون سرعته ثابته مع ثبات التردُّد من المصدر،ويكون الانزلاق صفرًا.

ز- ( ) تنخفض قدرة المحرك ثلاثي الطور عند تحويله ليعمل على مصدر أحادي الطور نسبة 50%.

ح- ( ) يمكن تحويل محرك ثلاثي الطور قدرته (50 HP) إلى محرك أحادي الطور باستعمال مواسعات.

ط- ( ) في المحرك ثلاثي الطور يكون جميع الملفات الطور قُطْر السلك نفسه وعدد اللفات نفسه أيضًا.

6- ارسم رسمًا انفراديًّا لملفات العضو الساكن لمحرك تيار متناوب حسب المعلومات الآتية:

عدد الأطوار = 3 عدد الأقطاب = 2 عدد المجاري = 12

نوع اللف = متداخل عدد الملفات الكلية = 6 ملفات

7- اذكر مبدأ عمل المحركات الحثية ثلاثية الطور.

8- كيف يتم التحكم في بدء المحرك ذي العضو الدوّار الملفوف؟

3

الوحدة الثالثة

محركات التيار المباشر والمحركات الخاصة
DC Motors and Specail Motors

المحاور الفرعية

- مكونات محركات التيار المباشر وأنواعها.
- أنواع المحركات الخاصة.

النتاجات العامة للوحدة

يُتوقّع من الطالب بعد دراسة هذه الوحدة أن:

- يتعرَّف مكونات آلة التيار المباشر.
- يميز أنواع آلات التيار المباشر، وخصائصها واستعمالتها.
- يتعرَّف الأمور الواجب مراعاتها عند التعامل مع محركات التيار المباشر.
- يميز أعطال محركات التيار المباشر، ومسبباتها، وطرائق تصليحها.
- يصلح محركات التيار المباشر.
- يعيد تجميع محركات التيار المباشر.
- يشغل محركات التيار المباشر بعد تصليحها، ويجري القياسات المناسبة (التيار والفولتية).
- يشخص أعطال المحركات ذات الاستعمالات الخاصة.
- يفك المحركات ذات الاستعمالات الخاصة إلى أجزائها.
- يصلح المحركات ذات الاستعمالات الخاصة.
- يعيد لف ملفات الأقطاب للقلب المغناطيسي للمحركات ذات الاستعمالات الخاصة.
- يعيد تجميع المحركات ذات الاستعمالات الخاصة.
- يميز أنواع المحركات ذات الاستعمالات الخاصة، وخصائصها واستعمالاتها.
- يتعرَّف الأمور الواجب مراعاتها عند التعامل مع المحركات ذات الاستعمالات الخاصة.
- يميز أعطال المحركات ذات الاستعمالات الخاصة، ومسبباتها، وطرائق تصليحها.
- يشغل المحركات ذات الاستعمالات الخاصة بعد تصليحها، ويجرى القياسات المناسبة (التيار، والسرعة، والتماس الأرضي).

مكونات آلة التيار المباشر ومبدأ عملها

الوحدة الثالثة
3

انظر.. وتساءل

استكشف

اقرأ.. وتعلم

الإثراء والتوسع

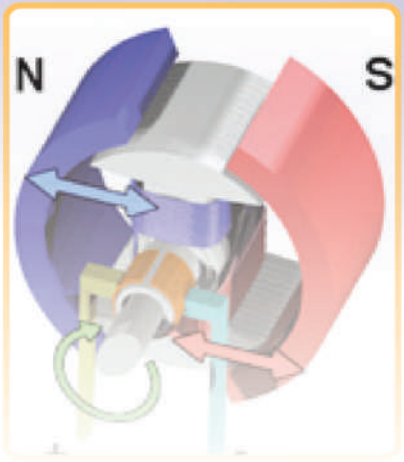
القياس والتقويم

الخرائط المفاهيمية

النتاجات

يتوقع منك بعد نهاية هذا الدرس أن:

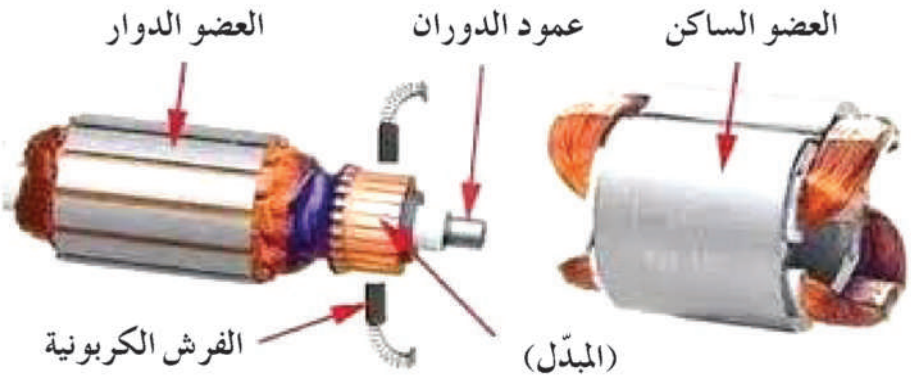
- تتعرف مكونات آلات التيار المباشر، مُبيِّنًا مبدأ عملها.
- تُميز أنواع محركات التيار المباشر وخصائص كل نوع منها.
- تتعرف بعض أنواع المحركات الخاصة التي تعمل بالتيار المباشر.



• ما أبرز استعمالات محركات التيار المباشر في الحياة العملية؟

لا شك في أن هناك استعمالات لمحركات التيار المباشر، فما أبرز الاستعمالات لهذا النوع من المحركات.

– يمثل الشكل (3–1)، المكونات الأساسية لمحرك التيار المباشر، هل تشبه مكونات المحرك أحادي الطور للتيار المتناوب؟



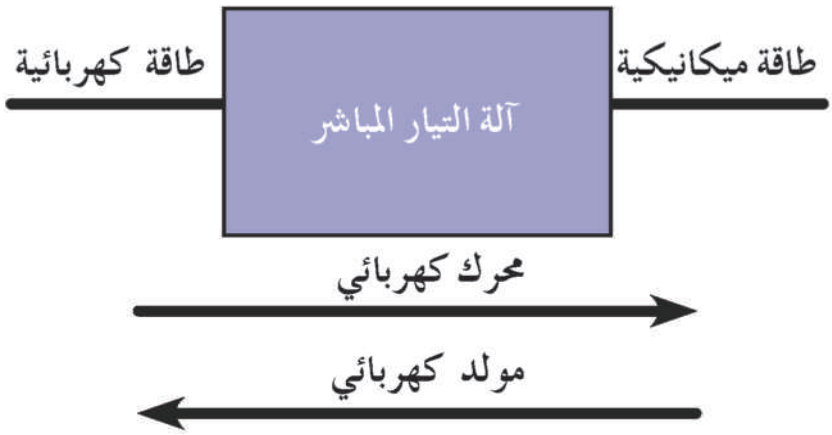
الشكل (3–1): المكونات الأساسية لمحرك التيار المباشر.

أولاً: محرك التيار المباشر (Direct Current Machine):

تُعد آلة التيار المباشر من الآلات التي يمكن أن تصلح للعمل بنمطين، هما:

• مولد تيار مباشر (Direct Current Generator).

• محرك تيار مباشر (Direct Current Motor). كما هو موضح في الشكل (3–2).

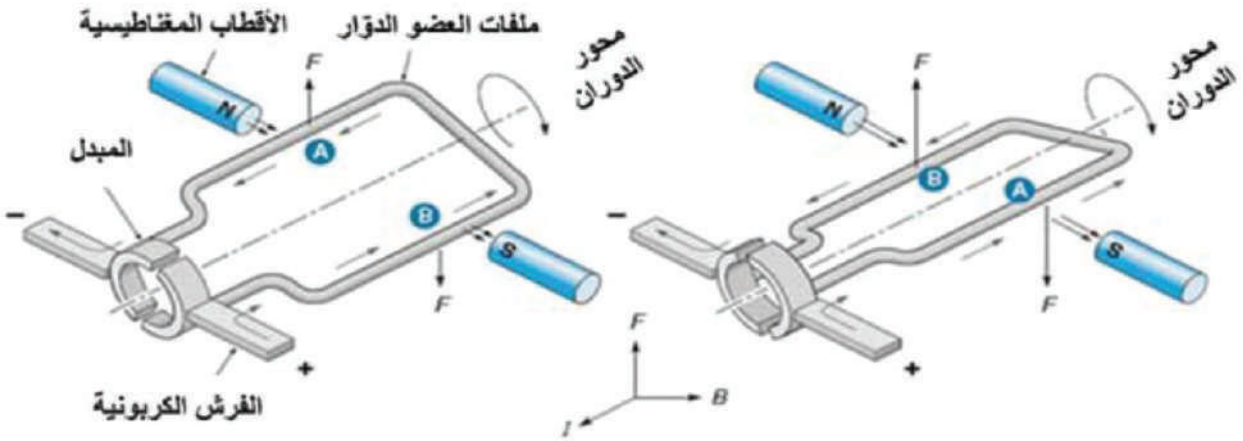


الشكل (3–2): محرك تيار مباشر.

مبدأ عمل آلة التيار المباشر

1 – عمل آلة التيار المباشر بوصفه محركًا

عندما يسري تيار كهربائي خلال ملف ضمن مجال مغناطيسي،تؤثر في الملف قوة ميكانيكية نتيجة تولد مجال مغناطيسي في الملف من جهة، ووجود المجال المغناطيسي الأصلي من جهة أخرى، فإذا كان الملف في وضع سهل الحركة، فإنه يدور بسرعة معينة كما هو موضح في الشكل (3–3).



الشكل (3–3): مبدأ عمل آلة تيار مباشر.

2 – عمل آلة التيار المباشر بوصفه مولدًا

عند دوران ملف داخل مجال مغناطيسي، تتولد في الملف قوة دافعة كهربائية (ق.د.ك)؛ نتيجة تقطيع موصلات الملف لخطوط المجال المغناطيسي. يحدث تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية عندما يتحرك العضو الدوّار للمولد بوساطة آلات الديزل أو الآلات البخارية، أو التوربينات البخارية أو المائية داخل مجال مغناطيسي.

تركيب آلة التيار المباشر

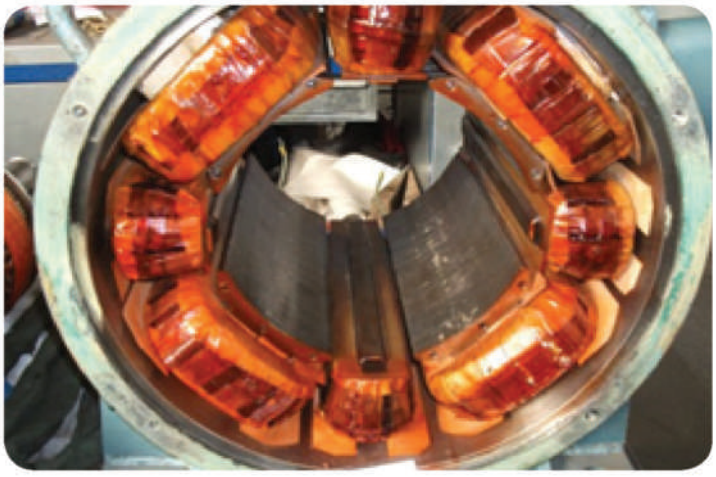
تتكوَّن آلة التيار المباشر من الأجزاء الرئيسة الآتية:

1- العضو الساكن (Stator)

هو العنصر الذي يمثل الدارة المغناطيسية ولا يتحرك؛ حيث إنه يوفر مجالًا مغناطيسيًّا يدور داخله العضو الدوّار كما هو موضح في الشكل (3–4). ويحتوي العضو الساكن:

أ – الآلات ذات القدرات الصغيرة وتكون هذه الأقطاب في أقطاب مغناطيسية دائمة تركب على هيكل (Yoke)، ويعدّ هذا الهيكل جزءًا من الدارة المغناطيسية للمحرك.

ب– الآلات ذات القدرات العالية وتكون في أقطاب كهرومغناطيسية، تتضمن هذه الأقطاب ملفات نحاسية معزولة، توضع في مجاري القلب المعدني المصنوع من رقائق فولاذية مرصوصة ومعزولة عن بعضها؛ للعمل على تقليل المفاقيد الحرارية بسبب التيارات الدوّامية (Eddy Current)، وتُثبت هذه الأقطاب على الهيكل الرئيس (Frame) للآلة.



الشكل (3–4): العضو الساكن.

2- العضو الدوّار (المنتج) (Armature)

هو عنصر الحركة في محركات التيار المباشر كما هو موضح في الشكل (3–5)، ويصنع من الصُّلب في صورة رقائق (**Laminations**) معزولة، لتقليل المفاقيدالحرارية التي تؤدي إلى فقد جزء من قدرة الآلة، التي قد تتلف المادة العازلة لملفات المنتج. حيث تلف هذه الملفات النحاسية المعزولة على عمود الإدارة، داخل مجارٍ (شقوق) موجودة على طول القلب المعدني لتوليد القوة الدافعة الكهربائية فيها، وتحتوي ملفات المنتج (**Armature Winding**)؛ حيث تتولد القوة الدافعة الكهربائية (ق.د.ك) في ملفات المنتج، عبر الفرش الكربونية والمبدل (**Commutator**) الذي يحول التيار المتناوب إلى تيار مباشر، وسيُشرح ذلك لاحقًا.

الشكل (3–5): العضو الدوّار.

3 - المبدل (Commutator)

هو مجموعة من القطع النحاسية المعزولة عن بعضها بطبقة من المايكا، تركب على عمود الإدارة، وتلحم بها نهايات ملفات المنتج. يستعمل غالبًا نابض داخل حامل الفرش الكربونية ليضغط الفرش، ويوفر تلامسًا جيدًا بينها وبين قطع المبدل،كما هو موضح في الشكل (3–6).

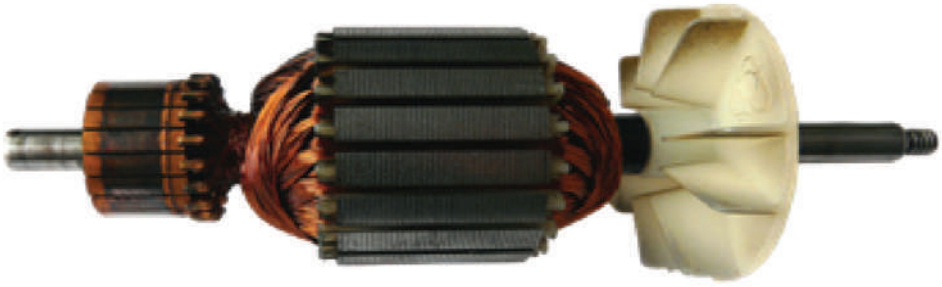
الشكل (3–6): المبدل.

4 – مكونات إضافية هي:

أ– كراسي المحور (**Bearings**): تعدّ أحد أهم القطع الميكانيكية التي لا تقل أهمية عن الأجزاء السابقة، ويبين الشكل (3–7)، أشكالًا مختلفة من كراسي المحاور، وإن لم تكن مثبتة في مكانها فلن تدور على نحو طبيعي سلس؛ إذ تثبت على قاعدة الهيكل الرئيس.

الشكل (3–7): كراسي المحور.

ب– مروحة التبريد (**Fan**): التي تدفع الهواء الخارجي الى داخل المحرك، وتركب على عمود الإدارة كما هو موضح في الشكل (3–8).

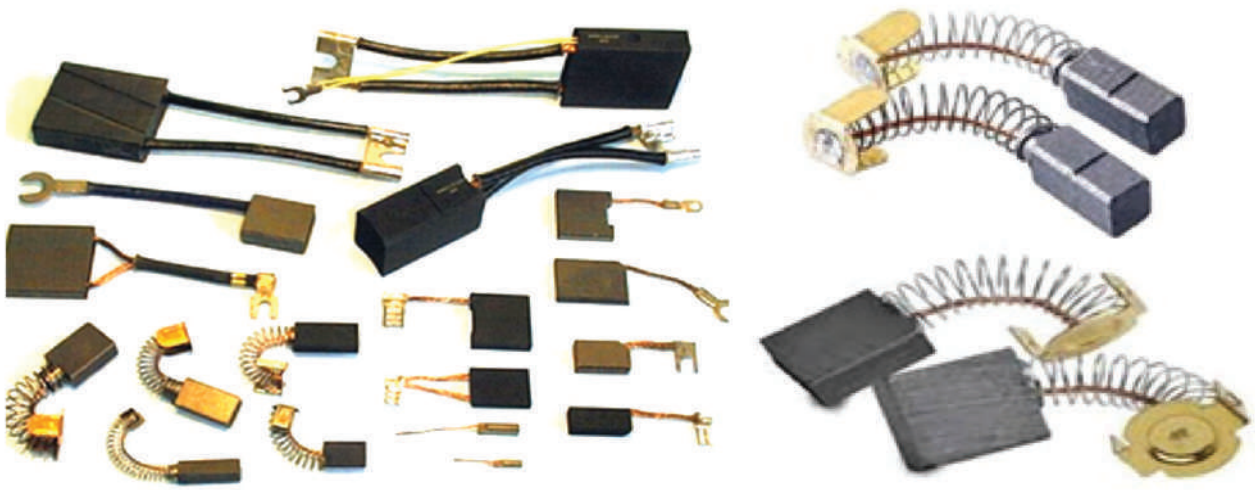


الشكل (3–8): مروحة التبريد مركبة على العضو الدوّار.

جـ- **الفرش الكربونية**: تستعمل الفرش الكربونية والمبدل لعكس التيار المار بالملف كل نصف دورة، والوظيفة الرئيسة للفرش الكربونية نقل التيارات إلى المبدل، وتصنع من الكربون، ويجب أن تكون أكبر حجمًا من نحاسات المبدل مرة ونصف، وتتحمل الاحتكاك وشدة التيار الذي يمر بها، لذلك يجب أن تتوافر فيها الشروط الآتية:

1. أن تكون مثبته جيدًا وحرة الحركة داخل مجراها.
2. أن تضغط على الموحد بقوة ما بين (**100-200** غرام لكل سنتمتر مربع).
3. ألّا يزيد بعد حامل الفرش الكربونية عن المبدل أكثر من (**3**) مم؛ لكيلا تتعرض للاهتزاز في أثناء الدوران.

ويُوضِّح الشكل (3–9) مجموعة مختلفة من الفرش الكربونية مختلفة الأشكال والأحجام.



الشكل (3–9): الفُرَش الكربونية.

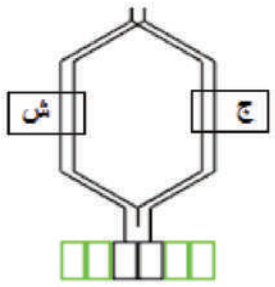
طرائق لف ملفات منتج آلة التيار المباشر

1- اللف الانطباقي (Lap Winding)

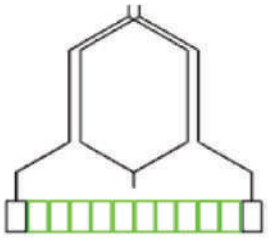
توصل نهايتا الملف بقطعتي نحاس متجاورتين، ويبين الشكل (3-10) طريقة اللف الانطباقي للعضو الدوّار.

2- اللف التموجي (Wave Winding)

توصل نهايتا الملف بقطعتي نحاس متباعدتين في المبدل، ويبين الشكل (3-11) طريقة توصيل اللف التموجي للعضو الدوّار.



الشكل (3-10): (اللف الانطباقي).



الشكل (3-11): (اللف التموجي).

ابحث

يستعمل جهاز الزوام (Growler) للتحقّق من صلاحية ملفات المنتج، والتحقّق من عدم وجود قصر بين ملفاته قبل لف ملفات المنتج، ابحث في الإنترنت عن هذا الجهاز واكتب تقريرًا عنه، واعرضه أمام زملاءك.

أسباب حدوث الشرر بين المبدل والفرش الكربونية

يرجع حدوث الشرر بين المبدل والفرش الكربونية إلى الأسباب الآتية:

1- تآكل مكان الفرش.

2- عدم كفاية ضغط النابض على الفرش ضغطًا كافيًا.

3- عدم تلامس الفرش مع سطح المبدل تلامسًا جيدًا.

4- خشونة سطح المبدل.

5- ارتفاع قطع العازل (المايكا) بين قطع المبدل.

6- تراكم الأوساخ على المبدل.

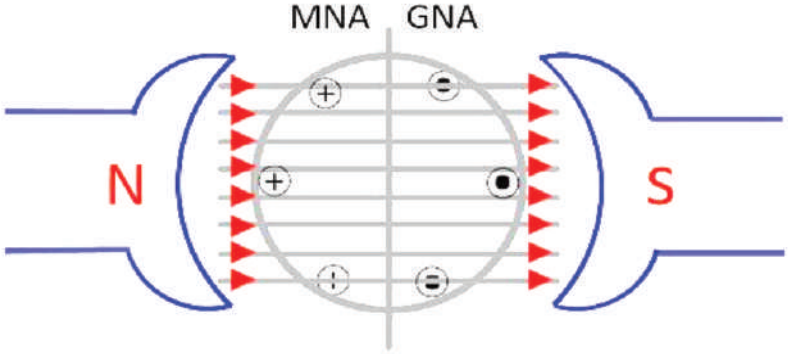
القوة الدافعة الكهربائية والسرعة في آلات التيار المباشر
(The DC Machine Electromotive Force And Speed)

درست سابقًا أنه إذا قطع موصل فيضًا مغناطيسيًّا، فإنه يتولد في هذا الموصل قوة دافعة كهربائية، تعتمد على معدل تقطيع خطوط الفيض المغناطيسي بالنسبة للزمن. ففي آلات التيار المباشر، تقطع الموصلات النحاسية فيض الأقطاب في حالة دوران المنتج، وتتولد (ق.د.ك) في الموصلات. فإذا دار المنتج دورة واحدة، فإن أي موصل يقطع الفيض المغناطيسي للأقطاب جميعها. إذ يلاحظ أن سرعة المحرك تتناسب طرديًّا مع فولتية المصدر، وعكسيًّا مع الفيض المغناطيسي للأقطاب.

رد فعل المنتج (Armature Reaction)

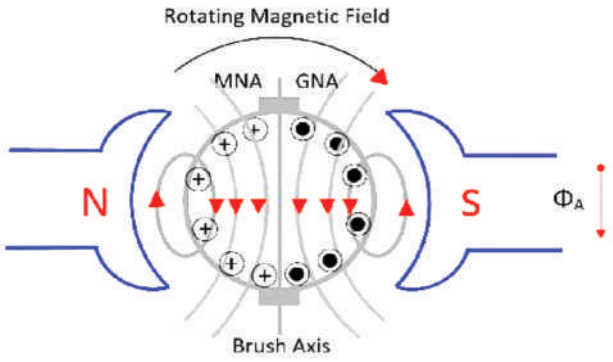
عند إيصال حمل كهربائي بمولد أو حمل ميكانيكي بمحرك للتيار المباشر، فإن تيارًا يسري خلال ملفات المنتج، وهذا يؤدي إلى تكوين مجال مغناطيسي، يؤثر في المجال المغناطيسي الناتج من ملفات الأقطاب، ما يضعف المجال المغناطيسي الرئيس ويؤدي إلى تشويهه. ويعرف رد فعل المنتج أنه: تأثير المجال المغناطيسي الناتج من سريان التيار في ملفات المنتج على توزيع الفيض المغناطيسي الناتج من الأقطاب الرئيسة لآلة التيار المباشر.

توضح الأشكال الآتية تأثير رد فعل المنتج في آلة تيار مباشر ذات قطبين، إذ نجد أن الفرش الكربونية موضوعة على محور التعادل المغناطيسي (**Magnetic Neutral Axis**) وهو المحور الذي لا تتولد عنده قوة دافعة كهربائية في موصلات المنتج؛ لأن الموصلات تكون موازية لخطوط المجال المغناطيسي. إذا لم يسر تيار في ملفات المنتج، فإن المجال المغناطيسي ينتج من ملفات الأقطاب، كما في الشكل (3–12) والشكل (3–13) وهما يوضحان المجال المغناطيسي الناتج

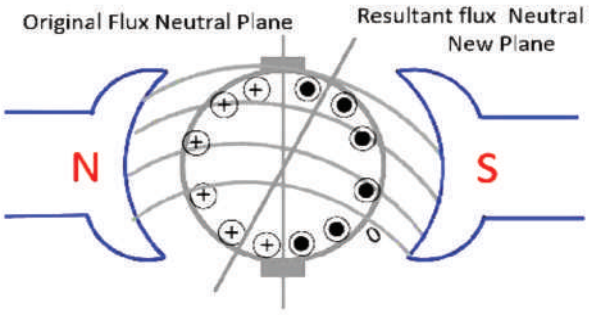


الشكل (3–12): المجال في ملفات الأقطاب.

عند سريان التيار في ملفات المنتج، دون وجود تيار في ملفات الأقطاب. أما الشكل (3–14)، فيمثل محصلة المجالين، أي المجال المغناطيسي للأقطاب ومجال المنتج. نلاحظ أن الفيض المغناطيسي في المنتج لم يعد منتظمًا أو متماثلًا حول محور القطب، وإنما أصبح مشوهًا.



الشكل (3–13): المجال المغناطيسي في المنتج.



الشكل (3–14): محصلة المجالين (مجال المنتج+ مجال الأقطاب).

أنواع محركات التيار المباشر

تقسم محركات التيار المباشر ثلاثة أقسام:

1- محرك التوالي (DC Series Motor)

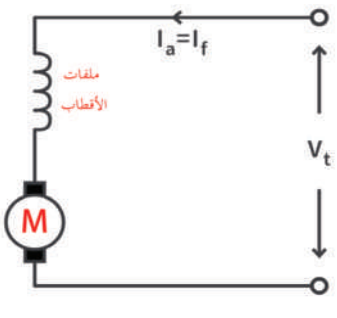
توصل ملفات أقطاب المحرك على التوالي مع ملفات المنتج، انظر إلى الشكل (3–15)، وعليه، فإن التيار الساري بالمنتج هو التيار نفسه الذي يسري بملفات الأقطاب في الشكل المقابل. في هذا المحرك تعتمد قيمة الفيض المغناطيسي (Φ) على قيمة تيار المنتج، فكلما زاد التيار زاد الفيض المغناطيسي، حيثُ إن السرعة انخفضت حتى وصلت إلى ما يُعرف بنقطة التشبع المغناطيسي، ويقصد بها تلك النقطة التي إذا زاد فيها التيار، فتصاحبه زيادة قليلة جدًّا في الفيض المغناطيسي، أي تصبح الزيادة في (Φ) أقل من الزيادة في التيار.

2- محرك التوازي (DC Shunt Motor)

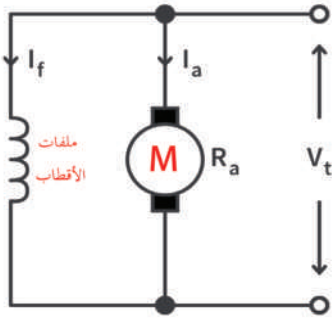
في هذا المحرك تكون ملفات الأقطاب موصولة على التوازي مع ملفات المنتج. انظر إلى الشكل (3–16)، يبقى الفيض المغناطيسي ثابتًا مهما تغير تيار المنتج، بما أن فولتية المصدر ثابتة، فإن التغير في السرعة يكون قليلًا.

3- المحرك المركب (DC Compound Motor)

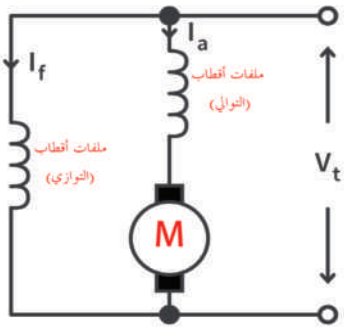
لهذا المحرك مزايا محرك التوالي والتوازي، حيث توصل ملفات الأقطاب التوالي والتوازي معًا بطريقة معينة، ويبين الشكل (3–17) أحد أنواع المحركات المركبة.



الشكل (3–15): محرك توالي.



الشكل (3–16): محرك توازي.



الشكل (3–17): محرك مُركب.

ويمكن تصنيف المحرك المركب حسب اتجاه التيار في ملفات التوالي والتوازي إلى ما يأتي:

أ- المحرك المركب التراكمي (**Cumulative Motor**): في هذا النوع يكون اتجاه التيار في ملفات التوالي في اتجاه التيار نفسه في ملفات التوازي، وفي هذه الحالة يساعد المجال الناتج من ملفات التوالي المجال الناتج من ملفات التوازي ويضاف إليه.

ب- المحرك المركب الفرقي (**Differential Motor**): وفي هذا النوع من المحركات يكون اتجاه التيار في ملفات التوالي معاكسًا لاتجاه التيار في ملفات التوازي، ومن ثمَّ، يخالف المجال الناتج من ملفات التوالي المجال الناتج من ملفات التوازي.

ويمكن أن يكون المحرك المركب:

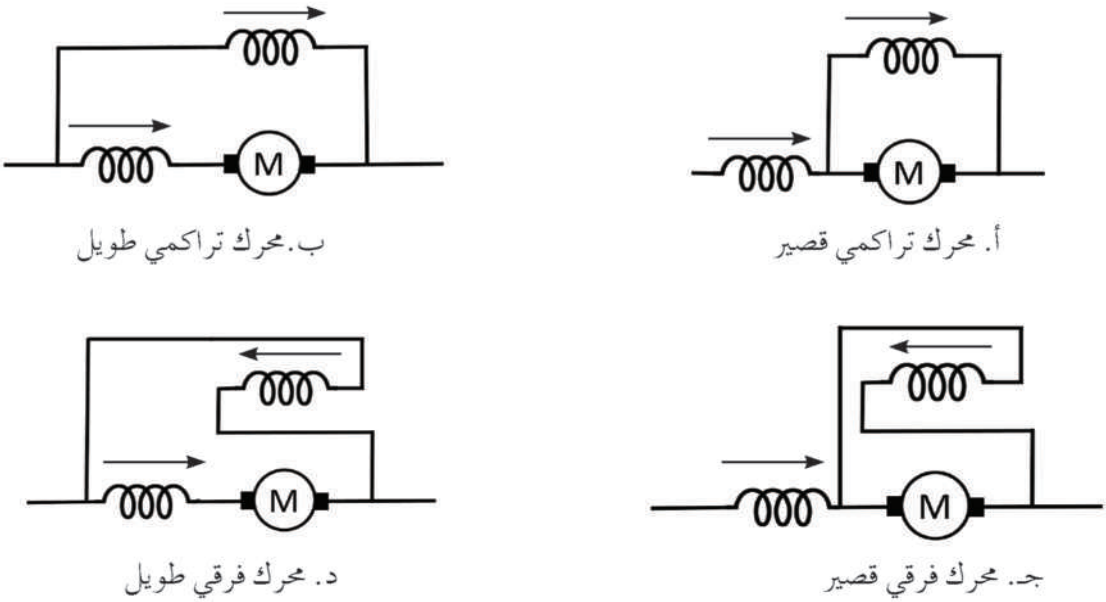
1. مركبًا طويلًا: وفيه توصل ملفات التوالي مباشرة بفرش المنتج.
2. مركبًا قصيرًا: وفيه توصل ملفات التوازي مباشرة بفرش المنتج، وتبعًا لهذا التصنيف، يمكن تقسيم المحركات المركبة أربعة أنواع، كما هو مبين في الشكل (3–18).

أ. محرك تراكمي قصير، كما في الشكل (3–18/أ).

ب. محرك تراكمي طويل، كما في الشكل (3–18/ب).

جـ. محرك فرقي قصير، كما في الشكل (3–18/ج).

د. محرك فرقي طويل، كما في الشكل (3–18/د).



أ. محرك تراكمي قصير

ب. محرك تراكمي طويل

جـ. محرك فرقي قصير

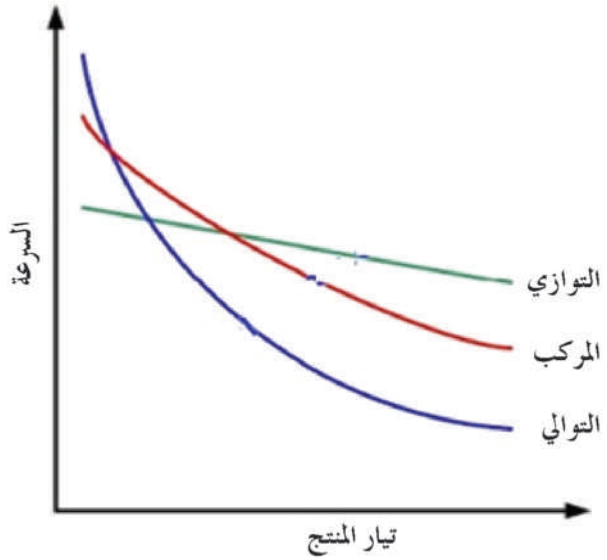
د. محرك فرقي طويل

الشكل (3–18): أنواع المحرك المركب.

خصائص محركات التيار المباشر (DC Motors Characteristic)

1- السرعة وتيار المنتج

تتناسب السرعة طرديًّا مع الفولتية المغذية، وعكسيًّا مع فيض الإثارة المغناطيسي. يبين الشكل (3–19) العلاقة ما بين السرعة وتيار المنتج لكل نوع من أنواع محركات التيار المباشر.



الشكل (3–19): منحنى الخواص السرعة وتيار المنتج.

أ – **محرك التوازي**: مهما تغير تيار المنتج فسيبقى الفيض المغناطيسي (**Φ**) ثابتًا. وبثبات فولتية المصدر، فإن التغير في سرعة العضو الدوّار مع تغير الحمل تكون قليلة، كما يظهر في منحنى الخصائص في الشكل (3–19).

ب– **محرك التوالي**: كون تيار المنتج هو نفسه تيار الأقطاب، فإن الزيادة في تيار المنتج يقابله زيادة في الفيض المغناطيسي، وعليه، تنخفض في السرعة تبعًا لذلك حتى تصل إلى نقطة التشبع المغناطيسي؛ إذ تصبح الزيادة في (**Φ**) أقل من الزيادة في التيار. كما يظهر في الشكل (3–19).

جـ– **المحرك المركب**: أما في المحرك المركب، فإنه يجمع بين خصائص محركي التوالي والتوازي كما يظهر في الشكل (3–19).

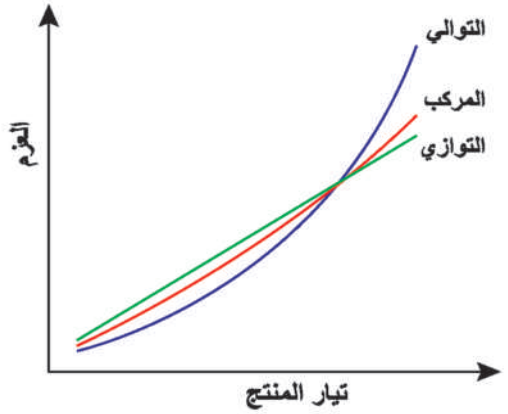
2 – **الخاصية الكهربائية (Electrical Characteristic)**

هي العلاقة بين العزم الكهرومغناطيسي وتيار المنتج؛ حيث إن العزم يتناسب طرديًّا مع تيار المنتج والفيض المغناطيسي، وفي ما يأتي العلاقة بين مختلف أنواع محركات التيار المباشر:

أ – **محرك التوازي**: في هذا المحرك يتناسب العزم طرديًّا مع التيار، بسبب ثبات الفيض المغناطيسي (**Φ**) كما يظهر في الشكل (3–20).

ب– **محرك التوالي**: الفيض المغناطيسي يتناسب طرديًّا مع التيار، وإذًا، فالعزم يتناسب طرديًّا مع مربع التيار، والشكل (3–20) يُوضِّح العلاقة.

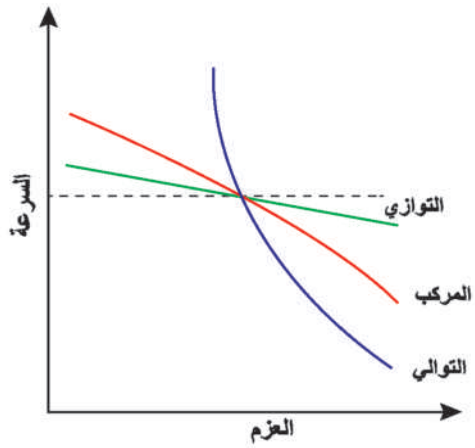
جـ– **المحرك المركب**: تكون خصائص عزمه بين خصائص محركي التوالي والتوازي، والشكل (3–20) يُوضِّح ذلك.



الشكل (3–20): منحنى الخواص للعزم وتيار المنتج.

3- الخاصية الميكانيكية (Mechanical Characteristic)

هي العلاقة بين سرعة المحرك والعزم، حيث إن العزم يتناسب تناسبًا طرديًّا مع تيار المنتج، ويبين الشكل (3–21) العلاقة التي تربط السرعة بالعزم لكل من محركات التوالي والتوازي والمركب. تعد الخاصية الميكانيكية من الخواص المهمة جدًّا للمحركات عمومًا، إذ يتبين عبرها مدى تغير السرعة مع تغير الحمل، يُلاحَظ من الشكل (3–21) أن تغير سرعة محرك التوازي تنخفض قليلًا مع زيادة عزم الحمل، وبالنسبة إلى محرك التوالي، فتنخفض السرعة انخفاضًا كبيرًا جدًّا مع زيادة الحمل، ويمتاز المحرك المركب بانخفاض متوسط للسرعة مع زيادة الحمل.



الشكل (3–21): علاقة السرعة – العزم.

استعمالات محركات التيار المباشر

يمكن استعمال محرك التوازي في المجالات التي تتطلب سرعة ثابتة على الرغم من تغير الحمل، إلا أنه لا يمكن استعمال محرك التوازي للأحمال التي تحتاج إلى عزم بدء عالٍ.

يتميز محرك التوالي بعزم بدء عالٍ، فهو يستعمل بوصفه محرك بدء تشغيل السيارة، والقطار الكهربائي والروافع. من الجدير بالذكر أن محرك التوالي يستعمل وهو موصل بالحمل؛ لكيلا تصل سرعته إلى حد الخطورة.

أما المحرك المركب، فإنه يستعمل حسب الحمل، حيث إن له خصائص محركي التوالي والتوازي معًا.

1 – المحرك المركب التراكمي

يمكن استعمال هذا المحرك في الأحمال التي تتطلب عزمًا عاليًا، وتُشغَّل من دون حمل كما هو الحال في الآت القطع والثقب.

2- **المحرك المركب الفرقي**

محدود الاستعمال، إلا في بعض مختبرات البحوث؛ لأنه إذا انخفض الحمل عن المقرر، فإن سرعته تزداد وقد تصل إلى حد الخطورة.

طرائق بدء حركة محرك التيار المباشر

تستعمل طرائق عديدة لبدء تشغيل محركات التيار المباشر؛ لتقليل تيار البدء الذي قد يصل لأضعاف تيار الحمل الاسمي للمحرك؛ حيث إن تيار البدء سيكون كبيرًا جدًّا إذا كانت قيمة مقاومة المنتج صغيرة.

وتُستعمل طرائق عديدة لبدء تشغيل محركات التيار المباشر، منها:

1- **بادئ تشغيل محركات التوازي (DC Shunt Motor Starter)**

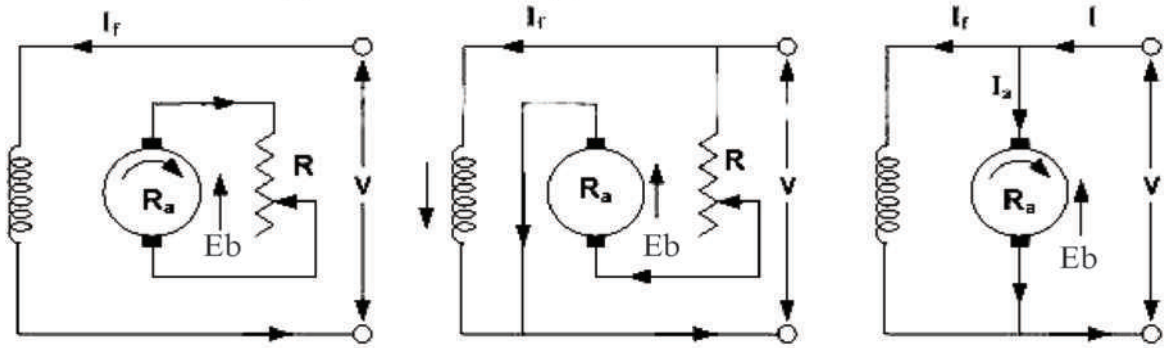
عند بدء إقلاع محرك التوازي، سيسحب المنتج تيارًا كبيرًا جدًّا قد يصل إلى (**20**) ضعفًا من تيار الحمل الاسمي، وهذا قد يؤدي لإتلاف ملفات المحرك، لأن تيار البدء يعتمد على قيمة مقاومة المنتج فقط. وسبب كبر هذا التيار أنه عند بدء التشغيل تكون سرعة المحرك صفرًا والقوة الدافعة العكسية (**Back emf**) تساوي صفرًا، لذلك عند تصميم المحرك يراعى أن تكون مقاومة المنتج صغيرة لتقليل المفاقيد النحاسية في ملفاته ولرفع كفاءته. ومن الطرائق المستعملة لتقليل تيار البدء وصل مقاومة متغيرة على التوالي بملفات المنتج التي تسمى أيضًا مقاومة بدء التشغيل. في الطريقة الأولى تُدخل مقاومة بدء التشغيل كاملة في البداية، ثم تُخرج تدريجيًّا يدويًّا منذ بداية التشغيل حتى وصول سرعة المحرك إلى سرعته الاسمية عند اللاحمل. وفي الطريقة الثانية توصل مقاومة بدء التشغيل وتُخرج تدريجيًّا باستعمال المفاتيح المغناطيسية ومرحلات التأخير الزمني (آليًّا). عند إطفاء المحرك بفصل فولتية المصدر عن المحرك سيبدأ المحرك، بالتباطؤ وتتناقص سرعته إلى أن تصل إلى الصفر، ويسمى الزمن اللازم حتى يتوقف المحرك تمامًا زمن الإيقاف، وقد يصل حتى (**20**) ثانية أو أقل، ويعتمد ذلك على عزم القصور الذاتي للمنتج والمفاقيد الداخلية.

ولإيقاف المحرك بسرعة، يؤثر في المحرك عزم كبح عالٍ لإيقافه، ومن الطرائق المستعملة:

أ – الإيقاف المألوف: ويحدث الإيقاف دون إضافة مقاومة ويحتاج الإيقاف التام إلى وقت، انظر إلى الشكل (3–22/أ).

ب– عكس أطراف ملفات المنتج: ويحدث عكس أطراف ملفات المنتج بعد فصل مصدر الفولتية عن المحرك وإضافة مقاومة متغيرة توصل بالتوالي مع المنتج، فينتج عزم كبح عالٍ، حيث إن عكس أطراف المنتج يؤدي إلى عكس اتجاه الدوران عن الاتجاه الأصلي؛ ما يبطئ دوران المنتج بصورة كبيرة، مع مراعاة فصل التغذية عند التوقف التام كي لا يدور المحرك بالاتجاه المعاكس. والشكل (3–22/ب) يُوضِّح هذه الطريقة.

جـ– الكبح الديناميكي: تعتمد هذه الطريقة على فصل التيار الكهربائي عن المحرك، وفصل أطراف المنتج، ووصل مقاومة كبح صغيرة على طرفي المنتج؛ للاستفادة من القوة الدافعة العكسية في المنتج (E) وسريان التيار إلى المقاومة، والوصول السريع إلى قيمة الصفر للقوة الدافعة الكهربائية المُتولِّدة كما يُوضِّح الشكل (3–22/ج).



الشكل (أ): الإيقاف المألوف. الشكل (ب): عكس أطراف ملفات المنتج. الشكل (جـ): الكبح الديناميكي.

الشكل (3–22): طرائق إيقاف المحرك.

2– بادئ تشغيل محركات التوالي (DC Series Motor Starter)

في دارة محرك التوالي للتيار المباشر، تُوصَل ملفات الأقطاب وملفات المنتج على التوالي، فتيار المنتج (I_a) يساوي تيار الأقطاب (I_s) وهو نفسه تيار الحمل (I_L). والقوة الدافعة العكسية المُتولِّدة في موصلات المنتج (E) ناتجة من دوران الموصلات داخل المجال المغناطيسي حسب قانون فارداي، ويتحدد اتجاهها حسب مبدأ لنز؛ إذ تكون سرعة المحرك لحظة بدء التشغيل صفرًا، وبذلك تكون القوة الدافعة العكسية (E) صفرًا أيضًا. ونلاحظ أن تيار بدء التشغيل

هنا (I_s) يتناسب عكسيًا مع قيمة مقاومات الدارة (مقاومات الأقطاب ومقاومة المنتج)؛ أي سيقل تيار البدء بزيادة قيمة المقاومة، ولزيادة قيمة المقاومة تضاف مقاومة بادئة تشغيل على التوالي إلى ملفات المنتج وملفات الأقطاب لمحركات التوالي، لزيادة قيمة المقاومة، والتقليل من تيار بدء الإقلاع.

طرائق تنظيم سرعة محركات التيار المباشر

كل المحركات تشترك في أنه يمكن التحكم في سرعتها عن طريق التغيير في جهد المصدر حسب العلاقة الآتية:

$$n=\frac{V-IaRa}{k\Phi}$$

حيث إن:

V: الجهد المصدر **(V)**.

n: سرعة المحرك **(rpm)**.

Ia: تيار المنتج **(A)**.

Ra: مقاومة ملفات المنتج **(Ω)**.

K: ثابت الآلة.

Φ: الفيض المغناطيسي **(weber)**.

محتسبين مقاومة ملفات المجال في حالة محركات التوالي والمركبة لتصبح المعادلة:

$$n=\frac{(V-IaRa-IaRs)}{k\Phi}$$

حيث إن:

Rs : مقاومة ملفات المجال توالي (هذا بإهمال الهبوط في الجهد على الفرش الكربونية).

ويُعرف تنظيم السرعة بأنه التغير في سرعة المحرك، بحيث يُخفض حمله من الحمل الاسمي إلى الصفر، إذ تزيد سرعة المحرك بزيادة فولتية المصدر، وتزيد بنقصان تيار التغذية لملفات الأقطاب، ويمكن تلخيص طرائق التحكم في سرعة المحرك (n) بالطرائق الآتية:

1- تغيير مقاومة دائرة المنتج.

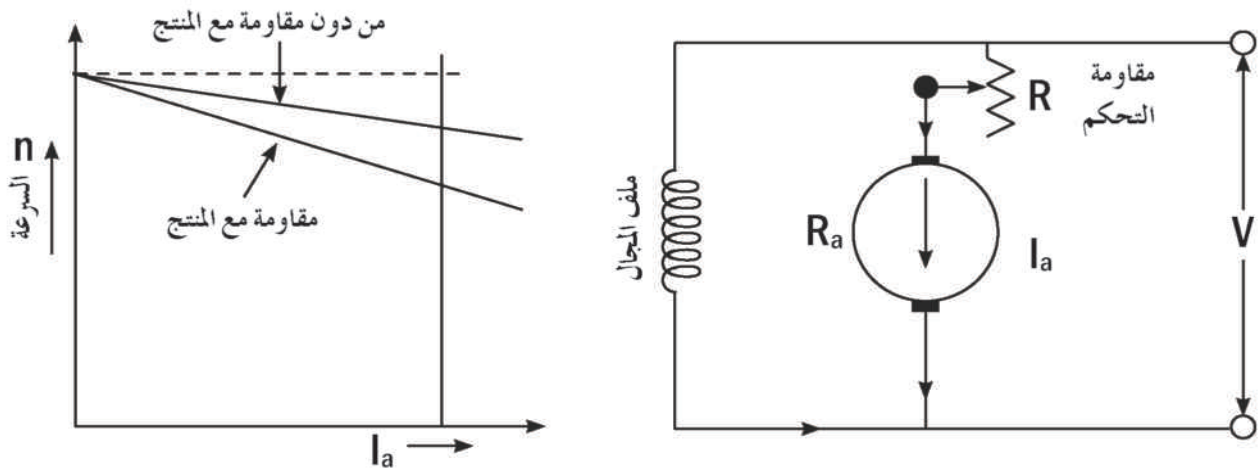
2- تغيير مجال الأقطاب (بتغير تيار الإثارة).

3- تغيير فولتية المصدر.

طرائق التحكم في سرعة محركات التيار المباشر على التوازي

1- تغير السرعة بوساطة تغير مقاومة دارة المنتج

وذلك باستعمال مقاومة متغيره (R) توصل على التوالي مع المنتج، وفي هذه الطريقة يمكن تقليل سرعة المحرك. حيث إن أي زيادة في قيمة المقاومة المتغيرة ستؤدي إلى زيادة الفقد في الفولتية؛ وعليه، تنخفض السرعة مع ثبات الفيض المغناطيسي لملفات الأقطاب، يُوضِّح الشكل (3-23) هذه الطريقة.



الشكل (3-23): تغير السرعة بوساطة تغيير دارة التحكم.

عيوب هذه الطريقة:

أ – تؤدي المقاومة المتغيرة إلى مفاقيد كهربائية كبيرة.

ب– أي تغير في عزم الحمل سيؤدي إلى تغيير السرعة؛ لذا فهي غير مناسبة مع التغيرات السريعة للأحمال.

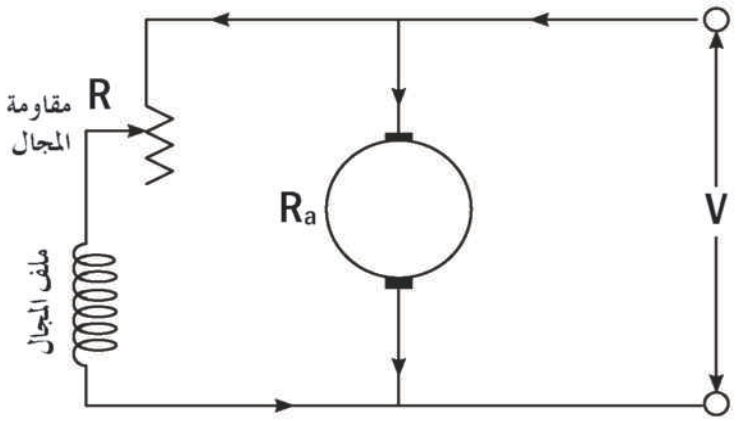
جـ– السرعة التي نحصل عليها باستعمال هذه الطريقة أقل من السرعة المألوفة للمحرك.

2– تغير السرعة بوساطة تغيير مجال الأقطاب

كلما زاد الفيض المغناطيسي للأقطاب، انخفضت سرعة المحرك. وتغير الفيض المغناطيسي للأقطاب بإضافة مقاومة متغيرة على التوالي مع ملفات الأقطاب. والشكل (3–24) يبين طريقة التوصيل.

عيوب هذه الطريقة: السرعة الناتجة أعلى من السرعة المطلوبة.

إن زيادة المقاومة الموصولة مع ملفات أقطاب التوازي، ستقلل من تيار التغذية للأقطاب، ومن ثَمَّ، سينقص الفيض المغناطيسي للأقطاب، وتزداد السرعة.



الشكل (3–24): تغير السرعة بوساطة تغيير مجال الأقطاب.

3 – تغير السرعة بتغير الفولتية

تعتمد سرعة محرك التيار المباشر على مقدار فولتية التغذية؛ لذا نلاحظ أن أي نقصان في فولتية المصدر سيؤدي إلى نقصان سرعة دوران المحرك، ويُتحكم في الفولتية بمقاومة متغيرة توصل على التوالي مع المحرك، وكلما زادت المقاومة، قلت الفولتية المغذية للمحرك، ثم قلت سرعة المحرك.

ومن عيوب هذه الطريقة: وجود فواقد في القدرة الكهربائية تظهر في صورة حرارة في المقاومة.

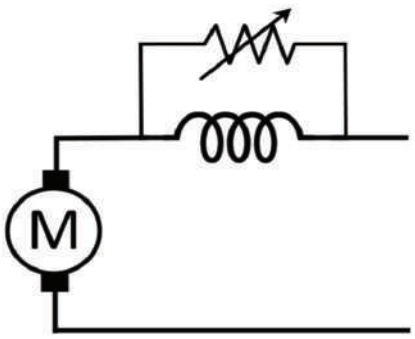
يمكن استعمال أكثر من طريقة معًا للتحكم في سرعة المحرك، مثل: التحكم في مجال الأقطاب، والتحكم في فولتية المصدر.

وتجدر الإشارة إلى وجود طريقة للتحكم في فولتية المصدر باستعمال مفاتيح القدرة الإلكترونية (كالترانزستورات والثايروستورات)، إذ لا تسبب هذه الطريقة فواقد إضافية في المحرك، وتعدّ من أفضل وأدق الطرائق اليدوية.

طرائق التحكم في سرعة محركات التيار المباشر على التوالي

1- طريقة التحكم في مجال الأقطاب

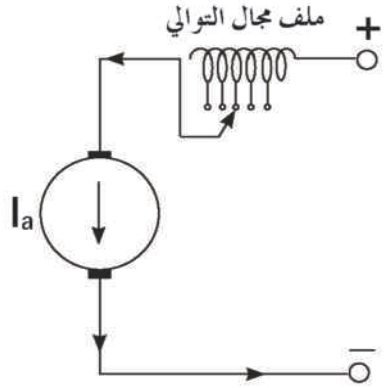
تُوصَل مقاومة متغيرة إلى المجال (Field Divertors) توصل على التوازي بملف التوالي للمحرك، وبتغير قيمة المقاومة يمكن خفض الفيض المغناطيسي، ومن ثَمَّ، رفع سرعة المحرك، والشكل (3-25) يُوضِّح هذه الطريقة.



الشكل: (3-25): التحكم في مجال الأقطاب.

2- تفريع ملف الأقطاب (Tapped Field Control)

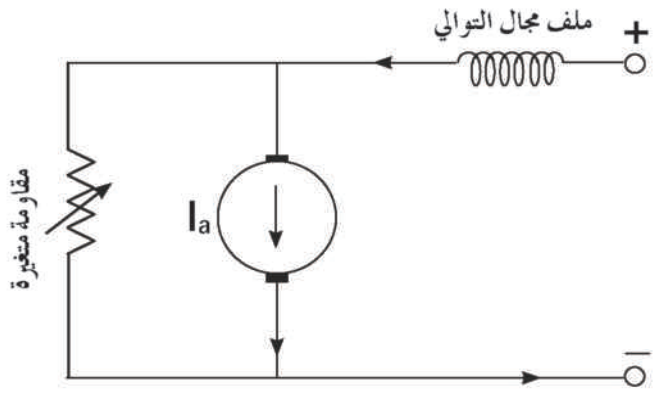
يُقسم ملف محرك التوالي مجموعة أجزاء، بحيث يمكن اختيار ملف القطب كاملًا أو اختيار جزء منه، وهذا يؤدي إلى الحصول على فيض مغناطيسي كامل من ملف الأقطاب أو أجزاء منه عن طريق مفتاح متعدد الأوضاع، والشكل (3-26) يُوضِّح هذه الطريقة.



الشكل: (3-26): تفريع ملف الأقطاب.

3- وصل مقاومة على التوازي مع المنتج

يحدث هنا الحصول على سرعة أقل من السرعة المألوفة؛ إذ يزداد الفيض المغناطيسي بزيادة تيار المنتج للمحافظة على ثبات العزم؛ لأن العزم يتناسب مع حاصل ضرب الفيض المغناطيسي بتيار المنتج. وبذلك يزداد التيار المسحوب من المصدر كما هو موضح في الشكل (3-27).



الشكل (3–27): وصل مقاومة على التوازي بالمنتج.

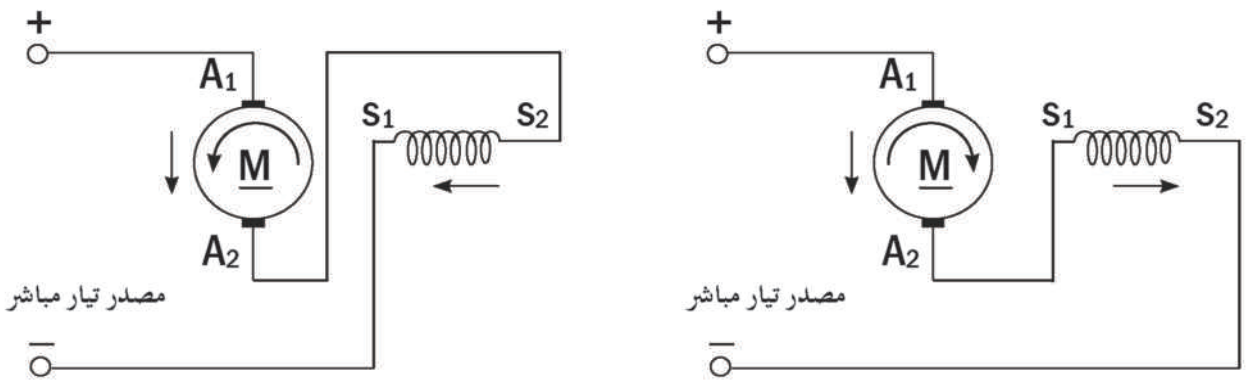
عكس دوران محركات التيار المباشر

يمكن عكس دوران محرك التيار المباشر عن طريق:

1 – عكس أقطاب ملفات المنتج (Armature).

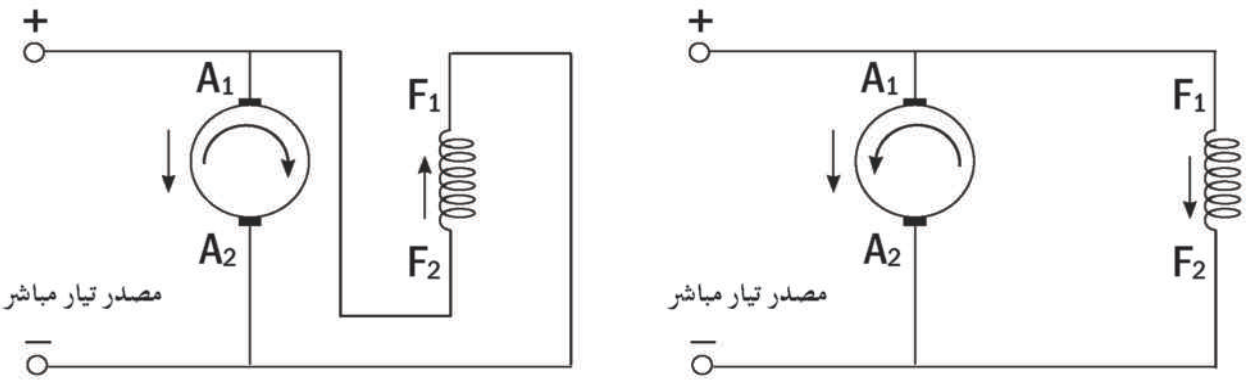
2 – عكس أقطاب ملفات الأقطاب (Field).

لأنه عندما يُغيَّر اتجاه التيار الكهربائي لأحد الملفين، يُغيَّر اتجاه المجال المغناطيسي المتولد لهذا الملف وبناءً عليه يُغيَّر اتجاه الدوران. من الأفضل انعكاس اتجاه المجال المغناطيسي لملفات المنتج (Armature) وليس ملفات الأقطاب (Field)؛ تجنبًا لإزالة المغناطيسية المتبقية في ملفات (Field)، ويُوضِّح الشكل (3–28) تغير قطبية ملفات الأقطاب لمحركات التوالي، ما يؤدي إلى تغير اتجاه التيار في ملفات المجال، من ثَمَّ عكس دوران المحرك، أما في المحرك المركب، فتُعكس أطراف ملفات المجال (التوالي والتوازي).



الشكل (3–28): تعيير قطبية ملفات الأقطاب لمحرك (التوالي).

و يُوضِّح الشكل (3–29) عكس اتجاه الدوران عن طريق تغيير أطراف ملفات الأقطاب لمحرك التوازي.



الشكل (3–29): عكس اتجاه الدوران عن طريق تغيير أطراف ملفات الأقطاب لمحرك التوازي.

عند تبديل أطراف المصدر فإن اتجاه دوران المحرك لا ينعكس؛ لأن تيار المجال وتيار المنتج تم عكسهما معًا، وإذًا، فإن القوة المؤثرة في موصلات المنتج تبقى في الاتجاه نفسه.

المفاقيد في آلات التيار المباشر

تقسم المفاقيد في محركات التيار المباشر أربعة أقسام:

1– المفاقيد النحاسية (Copper Losses)

وتسمى أيضًا المفاقيد الحرارية. إن المفاقيد النحاسية في المنتج تساوي مربع تيار المنتج مضروبًا في مقاومة المنتج ($I_a^2R_a$)، في حين تساوي في الأقطاب حاصل ضرب مربع التيار المار في الأقطاب مضروبًا في مقاومة ملفات الأقطاب ($I_f^2R_f$).

2– المفاقيد الحديدية (Iron Losses)

وتسمى أيضًا المفاقيد المغناطيسية، وهي المفاقيد التي تنتج في القلب الحديدي للمنتج؛ نتيجة وجود هذا القلب داخل المجال المغناطيسي، وسريان تيار دوامي (Eddy -Current) داخله، وينتج منها فواقد تتناسب طرديًّا مع مربع تردُّد المجال المغناطيسي المتولد في المنتج، الذي يعتمد على سرعة دوران المنتج، ومربع كثافة المجال المغناطيسي ويُصنع القلب الحديدي من شرائح رقيقة معزولة عن بعضها بمادة العزل الخاصة بلف المحركات الكهربائية (الورنيش). وتعدّ الفواقد الهستيرية (Hystresis Losse) من المفاقيد الحديدية أيضًا التي تعُرف أنها المغناطيسية المتبقية في الحديد نتيجة مرور مجالات مغناطيسية في القلب الحديدي، وتتناسب هذه الفواقد مع سرعة المنتج ومربع كثافة التدفق المغناطيسي.

تكون المفاقيد الحديدية ثابتة القيمة، خصوصًا في محركات التوازي والمركب؛ لأن تيار المجال ثابت القيمة، وتعادل هذه المفاقيد **(20-30)%** من المفاقيد الكلية.

3 – **المفاقيد الميكانيكية (Mechanical Losses)**

وهي المفاقيد الناتجة من حركة المحرك؛ أي فواقد الاحتكاك بين المبدل والفرش الكربونية، وتتناسب مع سرعة الآلة، وتعادل هذه المفاقيد من **(10 - 20)%** من الفواقد الكلية.

4 – **المفاقيد الشاردة (Stray Losses)**

مفاقيد متفرقة وتعادل تقريبًا **(1%)** من القدرة الكلية الخارجة من المحرك، وغالبًا ما تهمل هذه المفاقيد.

ولحساب كفاءة المحرك، نستخدم المعادلة الآتية:

$$\text{Efficiency \%} = \frac{\text{Pout}}{\text{Pin}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{\text{Pin} - \text{P Total Loses}}{\text{Pin}} \times 100\%$$

حيث إنّ:

Efficiency (η): الكفاءة.

P out: القدرة الخارجة (واط).

P in: القدرة الداخلة للمحرك (واط).

P Total Loses: مجموع المفاقيد (واط).

ثانيًا: المحرك العام (Universal Motor)

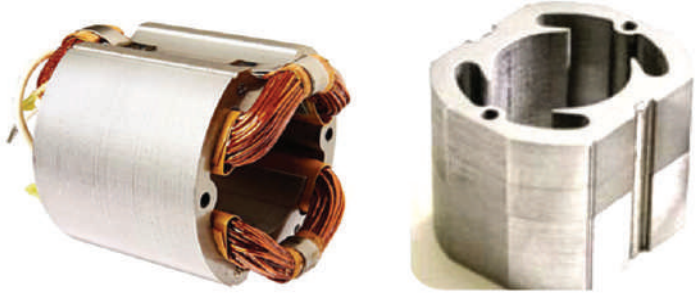
هو محرك يمكن تشغيله بالتيار المباشر، أو بالتيار المتناوب أحادي الطور، وبالسرعة نفسها تقريبًا (وإن كانت سرعته أعلى عند تشغيله على التيار المباشر). ينتشر استعمال المحركات ذات القدرة الكسرية من الحصان في التطبيقات المنزلية، مثل: خلاطات الطعام، وآلات الخياطة، والمكنسة الكهربائية، ومجففات الشعر، وآلة الحلاقة، والمقدح الكهربائي اليدوي، وهو يشبه في تركيبه محرك التيار المباشر على التوالي، يمتاز المحرك العام بعزم بدء عالٍ، كما أنه متغير السرعة. يدور المحرك العام بسرعة تبلغ في ارتفاعها درجة الخطورة عندما لا تكون محملة؛ لذا تثبت غالبًا في الجهاز الذي تديره ليعمل المحرك وهو موصول بالحمل. يصنع المحرك العام بقدرات أقل من حصان واحد، وعمومًا أقل من (500) واط، وبفولتية من (30-250) فولت، وعزم بدء دوران من (3-4) مرات من عزم الحمل الكامل.

أنواع المحركات العامة

1- المحرك العام من غير أقطاب تعويض (Non - Compensated Type)

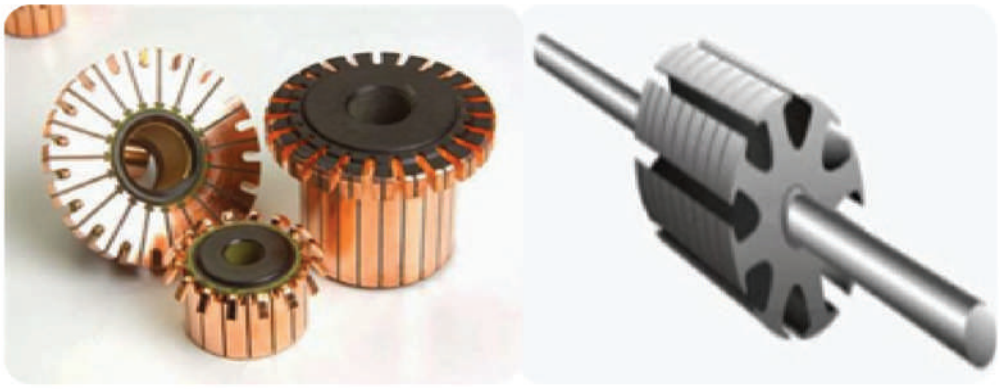
يتكون من الأجزاء الآتية:

أ - **القلب الحديدي**: يكون القلب الحديدي للأقطاب الرئيسة ذا أقطاب بارزة، حيث تثبت ملفات الأقطاب حوله، وهو مصنوع من شرائح رقيقة من الحديد المغناطيسي معزولة بالورنيش عن بعضها؛ لتقليل المفاقيد الحديدية عند عمل المحرك على التيار المتناوب. يُوضِّح الشكل (3-30) القلب الحديدي ذا الأقطاب البارزة؛ ويحتوي ملفات الأقطاب، ووظيفة هذه الملفات توليد الفيض المغناطيسي عند مرور التيار. وتصنع هذه الملفات من أسلاك النحاس المعزولة بالورنيش.



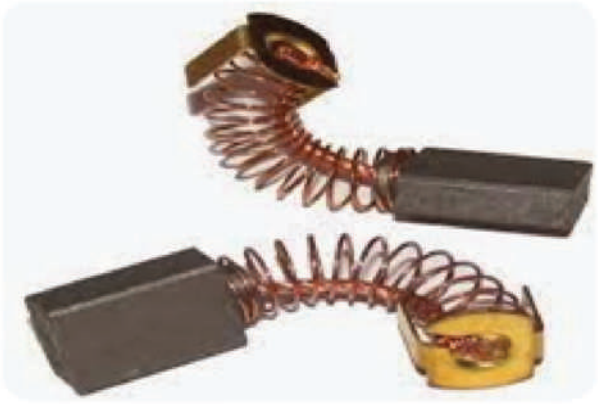
الشكل (3-30): القلب الحديدي.

ب- **العضو الدوّار (المنتج) Armature**: يشبه في تركيبه المنتج في محركات التيار المباشر إذ يحتوي على رقائق معزولة وملفات نحاسية وكذلك ويحتوي على: المبدل (**Commutator**) إذ توصل ملفات المنتج عليه، ويتكون المبدل من ثلاثة أجزاء، هي: نحاسات الموحد – المادة العازلة – حامل الموحد، كما هو موضح في الشكل (3–31)، وتُصنع قطع نحاس المبدل من النحاس الأحمر الموصل الجيد للتيار الكهربائي، ويوضع في آخر كل قطعة نحاس قطعة صغيرة من النحاس على صورة حرف (**U**)، إذ تثبت فيها بداية ملفين مختلفين أو نهايتهما من ملفات المنتج، وتعزل قطع المبدل بعضها عن بعض بمادة المايكا.



الشكل (3–31): قلب المنتج والمبدل.

جـ- **الفرش الكربونية**: وتصنع من الكربون النقي أو خليط من مسحوق النحاس الأحمر والكربون، وتثبت على حامل خاص يشكل مجرًى للفرشة ويضغط عليها بزنبرك (نابض)؛ لضمان التلامس بينها وبين قطع نحاس الموحد. ووظيفة الفرش الكربونية توصيل التيار الكهربائي من الدارة الخارجية إلى ملفات المنتج كما في الشكل (3–32).

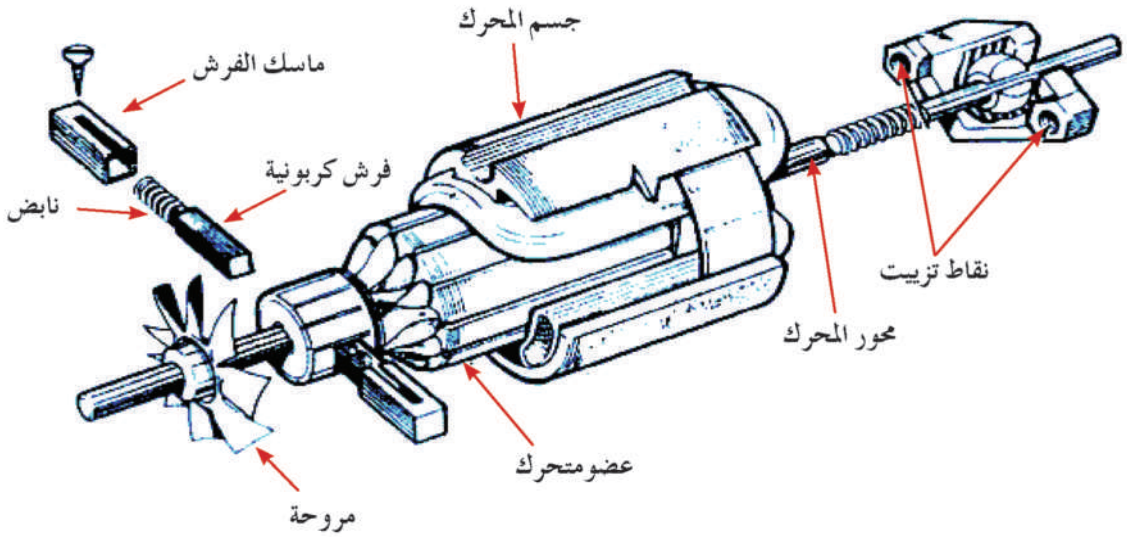


الشكل (3–32): الفُرش الكربونية.

د- **الغطاءان الجانبيان**: تصنع من المعدن المصنوع من الهيكل الخارجي نفسه، ويثبتان ببراغي وصواميل، والفائدة منهما حمل العضو الدوّار (المنتج)، بحيث يدور دورانًا منتظمًا ولا يحتك بالعضو الساكن، ويحتوي كل من الغطاءين الجانبيين كراسي محور.

هـ- **مروحة التبريد**: ووظيفتها تبريد ملفات المحرك. تركب على محور الدوران، أحيانًا خلف المحرك أو أمامه.

و- **كراسي المحور**: وتكون غالبًا بالغطاءين الجانبيين، وهي التي تحمل العضو الدوّار، وتعمل على اتزانه وتسهل حركة دورانه، وتجعله في وضع يسمح له بحرية الحركة، ويوضح الشكل (3-33) بعض أجزاء هذا المحرك.



الشكل (3-33): بعض أجزاء المحرك العام من غير أقطاب تعويض.

يُوضِّح الشكل (3–34) أجزاء المحرك العام.

الشكل (3–34): أجزاء المحرك العام.

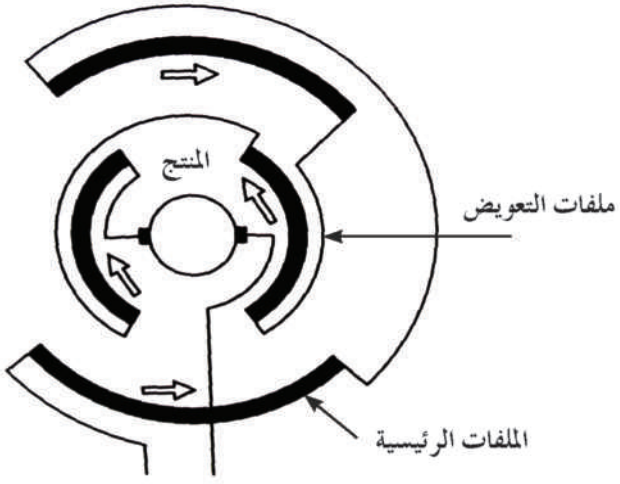
2– محرك عام بأقطاب تعويض (Compensated Type)

يشبه العضو الساكن للمحرك العام العضو الساكن للمحركات الحثية أحادية الطور ذات الطور المشطور، ويتكون من مجموعتين من الملفات تكون بينهما زاوية (**90°**):

أ – ملفات الأقطاب الرئيسة.

ب– ملفات أقطاب التعويض.

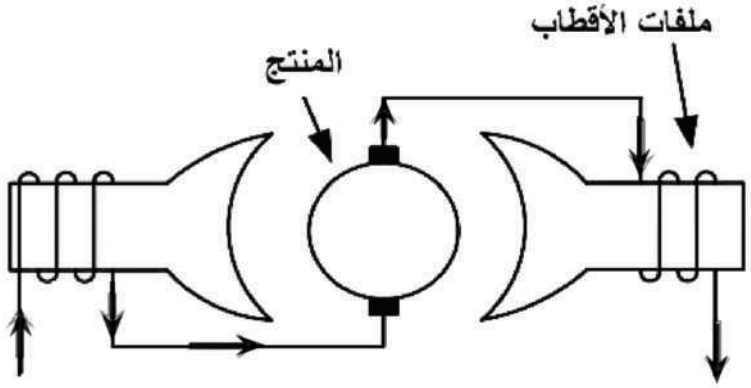
إذ تُوصَل ملفات التعويض بملفات الأقطاب؛ للتقليل من الشرر الذي ينتج بين الفرش والمبدل، خصوصًا عند عمله على التيار المتناوب، ويُوضِّح الشكل (3–35) توصيل الملفات التعويضية بملفات الأقطاب.



الشكل (3–35): توصيل الملفات التعويضية بملفات الأقطاب.

مبدأ عمل المحرك العام

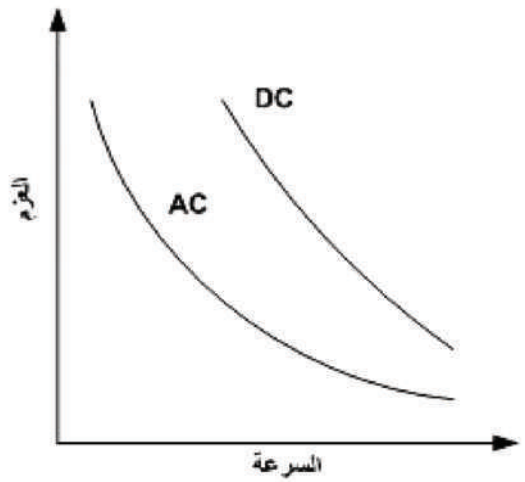
يعتمد مبدأ عمل المحرك العام على القوى المُتولِّدة بين المجالين المغناطيسيين الناتجين من ملفات الأقطاب الرئيسة وملفات المنتج، مولدة عزم دوران يدير المنتج، وهو يشبه مبدأ عمل محرك التيار المباشر على التوالي؛ حيث إنه عند توصيل التيار الكهربائي من مصدر الفولتية على طرفي المحرك، يمر التيار بأحد أطراف ملفات الأقطاب ثم إلى إحدى الفرش الكربونية، ثم إلى إحدى قطع النحاس الموحدة ومنها إلى الملف المتصل بها، ومنها إلى قطعه نحاسية أخرى، وهكذا ليعود التيار الكهربائي إلى الفرشة الكربونية الثانية، ومنها إلى ملف الأقطاب الثاني عائدًا إلى مصدر الفولتية. والشكل (3–36) يُوضِّح الدارة الكهربائية للمحرك.



الشكل (3–36): الدارة الكهربائية للمحرك العام.

خصائص السرعة / الحمل للمحرك العام

يظهر الشكل (3–37) سرعة المحرك عند عمله على التيار المتناوب أقل منها عند عمله على التيار المباشر؛ وذلك بسبب (وجود المقاومة التأثيرية الناتجة من تردُّد التيار). ويلاحظ من الشكل أن السرعة عالية جدًّا عند حالة اللاحمل، وقد تصل في بعض الأحيان إلى (**20000** د/د) وهو ذو عزم بدء عالٍ شبيه بمحرك التيار المباشر على التوالي، وتقل السرعة بزيادة الحمل.



الشكل (3–37): منحنى خصائص العزم والسرعة.

عكس اتجاه دوران المحرك العام

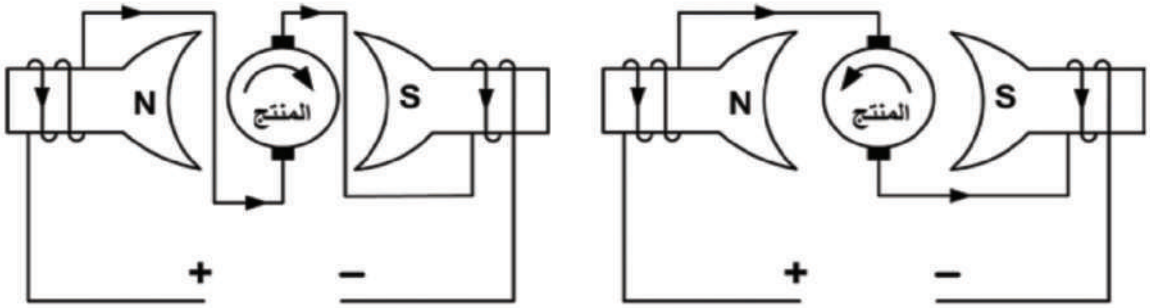
يمكن عكس اتجاه الدوران بإحدى الطريقتين الآتيتين:

1– بعكس اتجاه التيار الذي يسري في ملفات الأقطاب

يُحوَّل اتجاه دوران المحرك عكس اتجاه الأطراف الداخلة للأقطاب في المحرك العام، بحيث ينعكس اتجاه المجال المغناطيسي.

2– بعكس الأطراف على الفرش الكربونية

وهو الأكثر استعمالًا لعكس اتجاه دوران المحرك العام، ويحدث عبرها تغيير موقع الأسلاك على حوامل الفرش (Brush Holders)، يمكننا أن نُبدّل الطرفين الموصولين بالفرشتين الكربونيتين، والشكل (3–38) يُوضِّح ذلك.



الشكل (3–38): عكس أطراف الفُرش الكربونية.

طرائق التحكم في سرعة المحرك العام

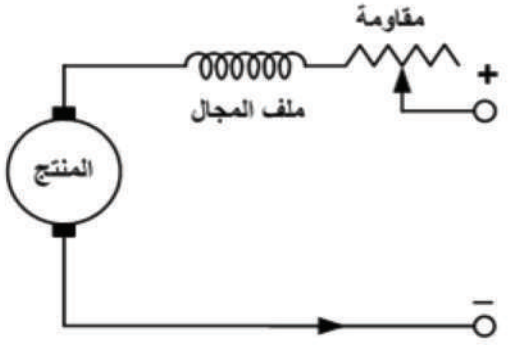
من الطرائق المستعملة للتحكم وتنظيم سرعة المحرك العام ما يأتي:

1- طريقة المقاومة

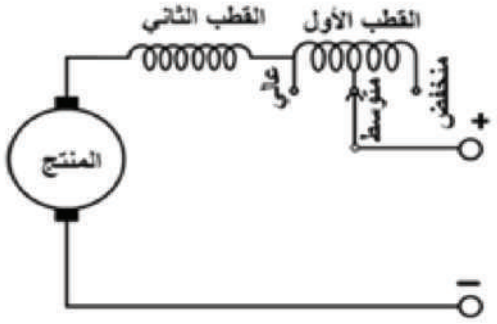
يُوضِّح الشكل (3-39) هذه الطريقة بتوصيل مقاومة متغيرة توصل على التوالي بالمحرك، ونلاحظ أن السرعة تقل كلما زادت قيمة المقاومة، وهذه الطريقة تستخدم في مجالات عدة، مثل: آلة الخياطة الكهربائية المزودة (بدواسة القدم تتحكم في السرعة عبر تغيير قيمة المقاومة).

2- طريقة تفريع المجال (Tapping-Field Method)

يُوضِّح الشكل (3-40) هذه الطريقة؛ حيث إن أحد ملفات الأقطاب يحتوي مجموعة من التفريعات لتجزئة ملف الأقطاب، وهذه الطريقة تتحكم في السرعة عن طريق تغيير المجال الرئيس، ومن الأمثلة عليها الخلاطات الكهربائية.



الشكل (3-39): التحكم في سرعة المحرك العام عبر المقاومة.



الشكل (3-40): التحكم في سرعة المحرك العام عبر تفريع المجال.

عيوب المحرك العام

أ - كفاءة بسيطة نتيجة للفواقد الناتجة من التيارات الدوّامية (Hystressies Losses) و(Eddy Current)

ب- انخفاض معامل القدرة (Power Factor).

جـ- كثرة الأعطال والحاجة إلى الصيانة الدائمة؛ نتيجة الاحتكاك بين المبدل والفرش الكربونية (Brushes).

د- عدم صلاحية استعمال هذا المحرك في أماكن خطرة؛ نتيجة الشرر الناتج.

ثالثًا: محركات الخطوة (Stepper Motors)

سميّ محرك الخطوة هذا الاسم؛ لأن هذا المحرك لا يدور باستمرار مثل بقية محركات التيار المباشر، بل يدور خطوة خطوة بزوايا محددة حسب إشارة التحكم المستلمة من الحاكمات (Controller). ويطلق عليها أيضًا المحركات متدرجة الحركة، فبعد التقدم الذي أحرز في مجال إلكترونيات القدرة، الذي مكّن من وصل تيار مباشر ذي قيمة عالية وفصله في ملفات المحركات، بدأ التفكير في استعمالاتها لأنه يعطي حركة دورانية في صورة انحراف زاوية ثابت. تستعمل محركات الخطوة في: الحواسيب، والطابعات، والراسمات، والروبوت، وفي أنظمة القيادة الرقمية عمومًا.

زاوية الخطوة للمحركات (Step Angle)

هي الزاوية التي يدورها المحرك لكل نبضة تحكم، ويُرمَز إليها بالرمز (β)، وهذه الزاوية يمكن أن تصل إلى قيمة صغيرة (0.72°) أو قيمة كبيرة (90°). وأكثر الزوايا استعمالًا هي (1.8°) - (2.5°) - (7.5°) - (15°). ويمكن حساب زاوية الخطوة (β) بمعرفة عدد أقطاب (أسنان) العضو الدوّار (Nr)، وعدد أقطاب العضو الساكن (Ns) من المعادلة الآتية:

$$\beta = \frac{Ns - Nr}{Ns.Nr} (x\ 360\ °)$$

ويُعرف التوافق (Resolution) بأنه: عدد الخطوات اللازمة لكي يدور عمود الدوران المحرك دورة واحدة، ويمكن حسابه من القانون الآتي: $\text{التوافق (Resolution)} = \frac{360}{\beta}$.

ويُوضِّح الجدول (1)، العلاقة بين زاوية الخطوة وعدد الخطوات في الدورة الواحدة.

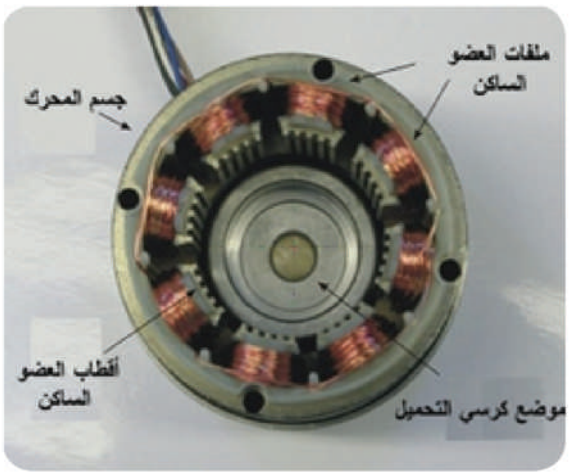
الجدول (1): العلاقة بين زاوية الخطوة وعدد الخطوات في الدورة الواحدة.

زاوية الخطوة	عدد الخطوات في الدورة
0.9	400
1.8	200
3.6	100
7.5	48
15	24

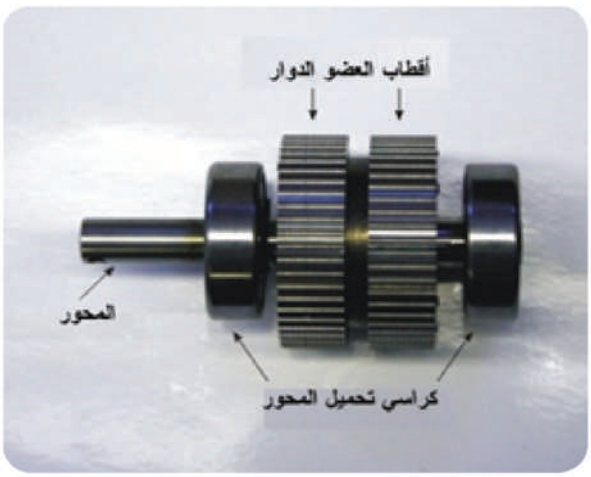
أنواع محركات الخطوة

1 - محركات الخطوة ذات الممانعة المغناطيسية المتغيرة (Variable Reluctance Stepper motors)

يتكون العضو الساكن من أقطاب على صورة ملفات، في حين العضو الدوّار مادة حديدية - مغناطيسية، ولا توجد فيه ملفات. يُوضِّح الشكل (3-41/أ) العضو الساكن والشكل (3-41/ب) العضو الدوّار.



الشكل (3-41/أ): العضو الساكن.



الشكل (3-41/ب): العضو الدوّار.

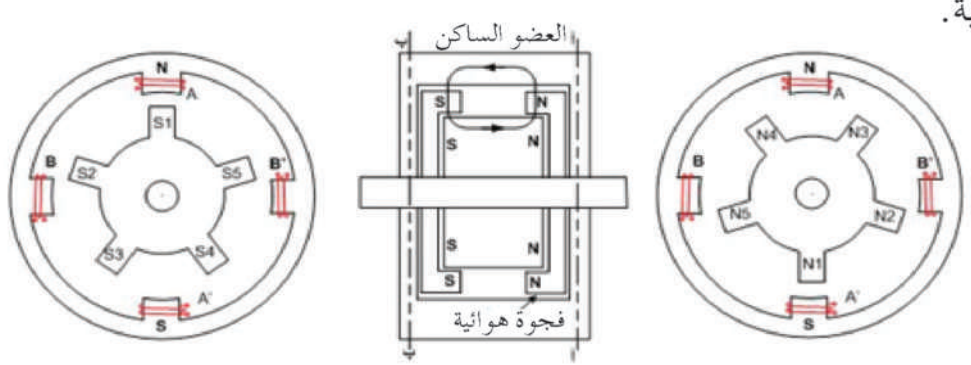
2- المحرك ذو المغانط الدائمة (Permanent Magnet stepper motor)

يتكون العضو الدوّار في هذا النوع من المحركات من أقطاب مغناطيسية دائمة، ويتكون العضو الساكن من ملفات مكونة الأقطاب. ويُوضِّح الشكل (3–42) تركيب هذه المحركات.

الشكل (3–42): محرك الخطوة ذو المغناطيس الدائم.

3- محركات الخطوة الهجينة (Hybrid stepper motors)

يشبه محرك الخطوة الهجينة محرك الخطوة ذا المغناطيس الدائم، لكن العضو الدوّار يحتوي مجموعة أقطاب شمالية في الجزء الأمامي للعضو الدوّار، ويحتوي الجزء الخلفي للعضو الدوّار أقطابًا جنوبية. ويبين الشكل (3–43/أ) مقطعًا جانبيًّا عند (أ–أ) ويبين أيضًا العضو الدوّار ذا الأقطاب الشمالية، أما الشكل (ب)، فيبين مسقطًا أماميًّا بين المغناطيس الدائم متصلًا بالعضو الدوّار، ويبين الشكل (جـ) مقطعًا جانبيًّا عند (ب–ب) ويبين العضو الدوّار ذا الأقطاب الجنوبية.

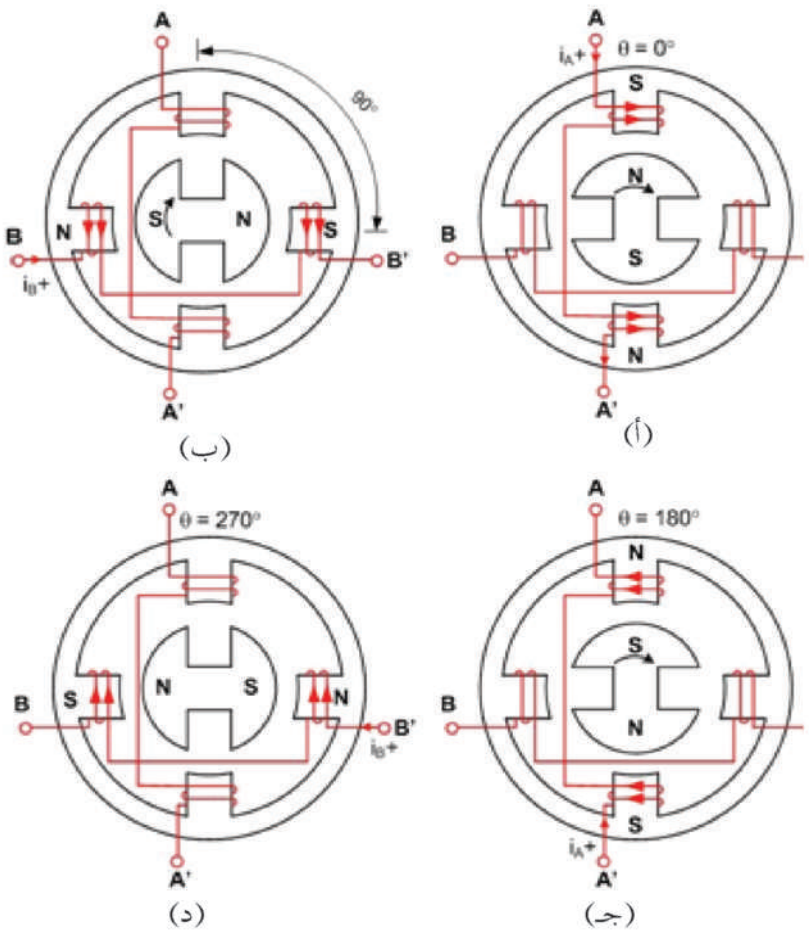


الشكل (3–43): محرك الخطوة الهجين.

مبدأ عمل محرك الخطوة

يبين الشكل (3–44) محرك خطوة بمغناطيس دائم؛ عند سريان تيار كهربائي في مجموعة الملفات (A) كما يُوضِّح الشكل، سيتشكل قطبان في الملفين: قطب جنوبي، وقطب شمالي (A - A`)، وهذا يؤدي إلى جذب أقطاب العضو الدوّار، انظر إلى الشكل (أ). وعند فصل التيار عن الملفين (A - A`)وتوصيل التيار الكهربائي بالملفين (B – B`). يُوضِّح الشكل (ج) كيف تتولد قطبان: قطب جنوبي وقطب شمالي، وكيف يحدث تجاذب بين أقطاب العضو الساكن والعضو الدوّار.

ويبين الشكل (ب) عكس اتجاه سريان التيار الكهربائي في الملفين (A - A`). وفي الشكل (د) يدور العضو الدوّار (180°)، وأيضًا بعكس اتجاه سريان التيار الكهربائي في الملفين (B – B`) يوضح الشكل (د) دوران العضو الدوّار بزاوية (270°).



الشكل (3–44): مبدأ عمل محرك الخطوة.

رابعًا: محرك السيرفو (servo motor)

محرك يعمل بدقة عالية؛ مجهّز بدائرة إلكترونية للتحكم في اتجاه الدوران ويحتوي علبة تروس (Gear)، وناقل حركة (Shaft)، ما يعطي الحركة عزمًا أكبر، وهو نوعان:

1- النوع الأول (Standard Servo Motor) يكون قابلاً للدوران (0° -120°- 180°) في الاتجاهين.

2- النوع الثاني (Continuous Servo Motor) يكون قابلاً للدوران من (0° - 360°) في الاتجاهين أيضًا.

ويحدد مكان عمود دوران المحرك عبر مقاومة متغيرة (Potentiometer) تؤدي إلى تغير الجهد الخارج منها ومن هذا الجهد يُحدَّد وضع محور الدوران.

أجزاء محرك السيرفو

1- دارة التحكم (Control Electronics): تتكون من الـ (Micro Controller) مايكروكنترولر، وعندما نعطي المحرك نبضات (Pulses) بثابت زمني معين، يدور المحرك للزاوية، حسب هذا الثابت الزمني الذي يختلف من كل نوع إلى آخر حسب جهة التصنيع والنشرة الفنية التي تأتي مع محرك السيرفو.

2- المحرك (Motor): يؤدي دور الحركة (يُحرِّك غيره).

3- مجموعة التروس (Gear Train): مهمتها تخفيض السرعة وزيادة العزم.

4- مقاومة متغيرة (Potentiometer): ينشئ جهدًا بناءً على مقاومته، وبقيمة الجهد يُحدِّد وضع محور عمود الدوران. انظر إلى الشكل (3-45) الذي يبين أجزاء محرك السيرفو.

الشكل (3-45): أجزاء محرك السيرفو.

خصائص السيرفو

1 – سرعة الاستجابة (**Fast Response**): تصل سرعته إلى القيمة المقننة فور توصيل المحرك بالكهرباء، ويتوقف فور فصل الكهرباء عنه.

2 – العلاقة الخطية بين الجهد والسرعة.

3 – يقبل تكرار عمليات الفصل والتوصيل مهما تعددت.

4 – ذو كفاءة عالية. إلا أن من عيوبه الصيانة الدائمة نتيجة وجود الشرارة، وارتفاع سعره.

استعمال محركات السيرفوموتور (Servo Motor)

تستعمل محركات (**Servo Motor**) في الروبوتات الصغيرة والأحمال التي تتطلب دقة في التحريك؛ لما لهذه المحركات من عزم قوي وسهولة ودقة في التحكم.

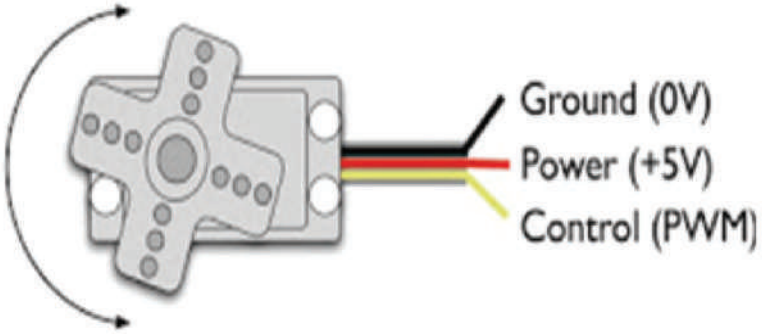
آلية توصيل المحرك

يبين الشكل (3–46) ثلاثة أسلاك تخرج من محرك لأحد أنواع (**Servo Motor**) حسب النشرة الفنية المتوافرة فيه، وهي:

الأسود: أرضي.

الأحمر: مصدر التغذية (**5V**).

الأصفر: التحكم، يخرج منه نبضات **(Pulse Width Modulation) (PWM)** بتردُّد ثابت (**50Hz**) (حتى يدور المحرك في اتجاه معين يحتاج إلى مجموعة من النبضات بتردُّد (**50Hz**)).



الشكل (3–46): آلية توصيل محرك السيرفو.

- ابحث عبر الإنترنت، بالتعاون مع معلمك، عن طرائق فحص منتج آلات التيار المباشر، واكتب تقريرًا عن ذلك ثم ناقش معلمك فيه.
- ابحث في الإنترنت عن أنواع كراسي المحور (البوكسات) المستخدمة في بعض أنواع المحركات العامة من حيث: الأقطار المتوافرة، ونوع المادة التي تُصنع منه هذه (البوكسات).

التمارين العملية

التمرين (1)

فك محرك تيار مباشر وإعادة تجميعه

يُتوقَّع منك بعد تنفيذ هذا التمرين أن:

- تتعرف أجزاء محرك التيار المباشر.
- تقرأ لوحة المعلومات لمحرك تيار مباشر.
- تفك محرك تيار مباشر باستعمال العدد الصحيحة.
- تجمّع أجزاء محرك التيار المباشر تجميعًا صحيحًا.

متطلبات تنفيذ التمرين:

	المواد الأولية
محرك تيار مباشر، صندق عدة كهربائية، مطرقة بلاستيكية، طقم مفاتيح شق، طقم مفاتيح رنج، طقم مفكات مختلفة، جهاز أفوميتر، جهاز أمبيروميتر (DC)، بريصة سحب، قلم بوية (علام)، سنبك نقطة.	مفكات، مفاتيح، أسلاك.

خطوات الأداء

1 – ضع علامة على جسم المحرك بقلم بوية (علّام) أو سنبك النقطة، وأخرى على الغطاءين الجانبين كما هو موضح في الشكل (1).

الرسم التوضيحي

الشكل (1).

خطوات الأداء

2- فُكَّ أغطية الفرش الكربونية بالمفك المناسب، كما في الشكل (2)، وضع أجزاء المحرك وبراغيه بوعاء خاص لكيلا تضيع.

3 – انزع الفرش الكربونية (الفحمات) بالضغط على الزنبرك الموجود فوقها بمفك عادي، ثم اسحب الفرش كما في الشكلين: (3) و(4).

4- حرر البراغي الجانبية للمحرك، وضعها في الوعاء الخاص بحفظ قطع أجزاء المحرك.

5- اضرب الغطاءين الجانبين بالمطرقة البلاستيكية لكي تتمكن من تحرير العضو الدوّار (المنتج).

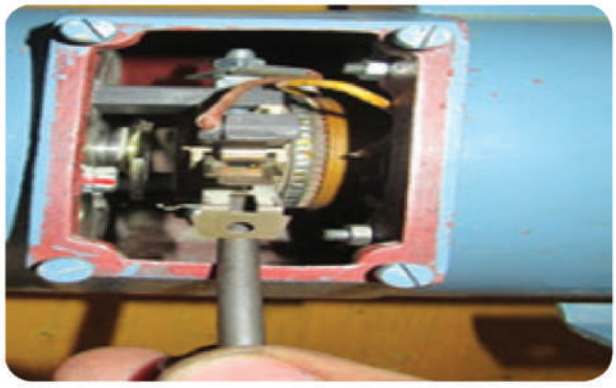
6 – أخرج العضو الدوّار من مكانه، وتحقّق من سلامته وحدد نوع لفه (هل هو تموجي، أو انطباقي) كما هو موضح في الشكل (5).

7- تحقّق من سلامة العضو الثابت كما في الشكل (6)، وافحص قيم مقاومة ملفات الأقطاب بجهاز الأوميتر، ثم دوّنها في دفتر التدريب العملي.

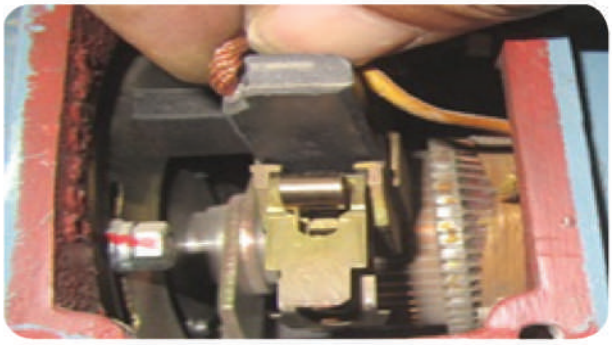
8- فك بقية أجزاء المحرك باستعمال العُدد المناسبة وتحقّق من سلامة جميع قطع المحرك التي تظهر في الشكل (6)، ثم رتب هذه القطع لتسهل عملية التركيب.

الرسم التوضيحي

الشكل (2).



الشكل (3).



الشكل (4).

خطوات الأداء	الرسم التوضيحي

9- جمّع المحر بدءًا من آخر قطعة فككتها حسب الترتيب عكسيًّا، وتحقَّق من انطباق العلامات الموضوعة على أغطية المحرك سابقًا.

10- تحقَّق من إعادة تركيب الفرش الكربونية في مكانها الصحيح عبر حامل الفرش الكربونية، وإذا كانت بحاجة إلى تغيير، فغيّرها قبل تجميع المحرك.

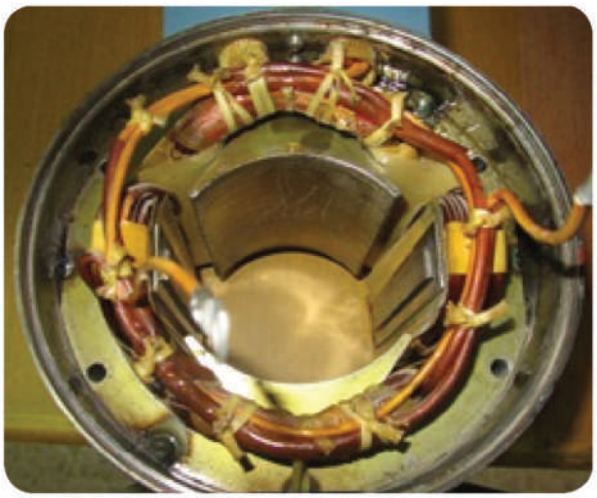
11- صِل أطراف المحرك الخارجة منه بالمصدر.

12- تحقَّق من صحة التوصيل بإشراف المعلِّم، وابدأ بتشغيل المحرك وإجراء القياسات اللازمة عند تشغيله (تحقَّق من الجهد المباشر الواصل له، وتياره بجهاز قياس التيار المباشر) كما في الشكل (8).

13- اعكس دوران المحرك بإشراف المعلِّم، ثم أعد تشغيله، واكتب تقريرًا مفصلًا على دفتر التدريب العملي.

نشاط: ابحث عن أنواع الفرش الكربونية المستخدمة في محركات التيار المباشر وأحجامها، ثم اكتب تقريرًا عنها.

الشكل (5).



الشكل (6).

الشكل (7).

الشكل (8).

التمارين العملية

التمرين (2)

تحديد أعطال محركات التيار المباشر وصيانتها.

يُتوقَّع منك بعد تنفيذ هذا التمرين أن:

- تحدد دارات القصر والدارات المفتوحة في العضو الدوّار (المنتج) لمحرك التيار المباشر.
- تحدد الدارات المفتوحة ودارات القصر والتماس الأرضي في العضو الساكن (ملفات الأقطاب) لمحرك التيار المباشر.
- تشخص صلاحية الفرش الكربونية وتستبدلها.
- تحدد أعطال محركات التيار المباشر وتصلحها.

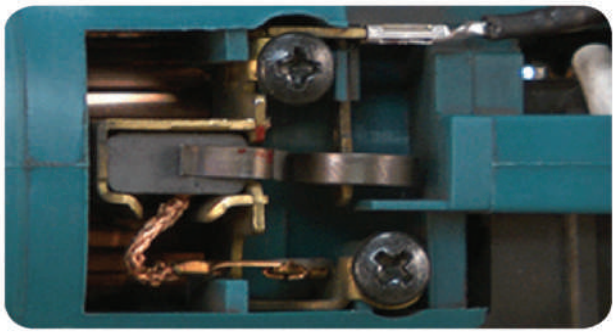
متطلبات تنفيذ التمرين

التجهيزات (الأدوات)	المواد الأولية
محرك تيار مباشر، صندوق عدة كهربائية، مطرقة بلاستيكية،طقم مفاتيح شق،طقم مفاتيح رنج، طقم مفكات مختلفة، جهاز أفوميتر، جهاز أمبيروميتر (DC)، بريصة سحب، سنبك نقطة، زوام كهربائي (كراونر)، مصباح كهربائي، مصدر فولتية مباشرة.	مفك، مفتاح، أسلاك، عُدَد يدوية، فُرش كربونية.

خطوات الأداء

1- افحص الفرش الكربونية التابعة للعضو الدوّار (المنتج) عبر فك أغطية الفرش الكربونية، وصِّل أحد أطراف جهاز قياس المقاومة (الأوميتر) بطرف سلك الفرشة الكربونية، وطرف الجهاز الثاني بالنحاسة الملامسة لنهاية الفرشة الكربونية المتصلة بالمنتج، إذا تحرك المؤشر، فإن ذلك يدل على وجود اتصال بين الفرشة الكربونية الأولى

الرسم التوضيحي



الشكل (1).

خطوات الأداء

والمنتج كما في الشكل (1).

2- كرر فحص الفرشة الثانية، ودوِّن ملاحظاتك في دفتر التدريب العملي.

فحص حامل الفرش الكربونية وجودة النابض

1- فك الفرشة الكربونية، وتحقَّق من أن نابضها يحفظ مرونته؛ أي ليس فيه ارتخاء يؤدي إلى فصل الفرشاة الكربونية؛ نتيجة عدم ملامستها لأطراف المنتج.

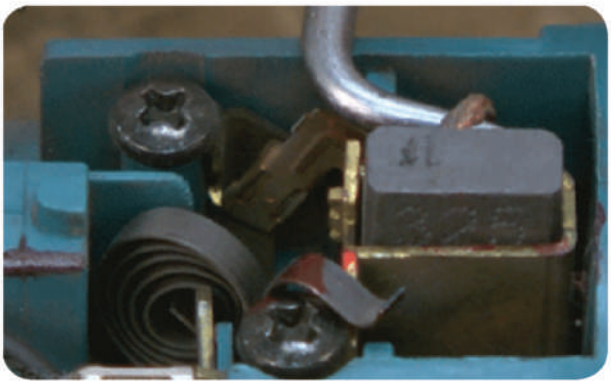
2-استبدل بالنابض التالف آخر مناسبًا، ويُوضِّح الشكل (3) أنواعًا مختلفة من حوامل الفرش الكربونية أو ما يسمى (بيت الفحمة).

فحص حركة الفرشة الكربونية

1- حرّك الفرشة الكربونية داخل مجراها، وتحقَّق من أن حركتها مرنة، وأيضًا من عدم وجود أي معيقات تعيق هذه الحركة داخل مجراها بسهولة.

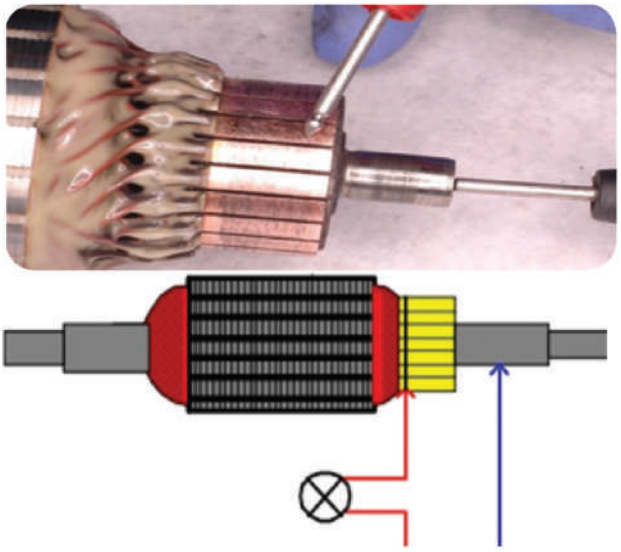
2- نظّف مجاري الفرش الكربونية من الأوساخ، ويُوضِّح الشكل (4) أنواعًا مختلفة من الفرش الكربونية أو ما يسمى (الفحمات) وهي بأنواع وقياسات مختلفة.

الرسم التوضيحي



الشكل (2).

الشكل (3).



الشكل (4).

خطوات الأداء

فحص مبدل آلة تيار مباشر

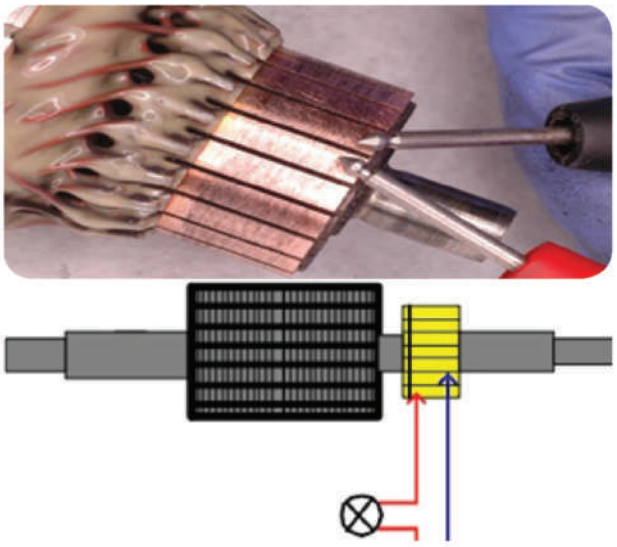
فحص التماس بين أجزاء المبدل وعمود المحور(يجب أن يكون المبدل معزولًا عزلًا تامًّا عن عمود المحور)، ويُكشف عن ذلك بوساطة:

1- مصدر جهد تيار مباشر عبر توصيله بالمصباح، بخروج طرفين بدل المفتاح عند ملامستهما معًا يضيء المصباح، حيث يثبت أحد الأطراف على عمود محور الدوران، والطرف الآخر يُنقل بين قطع نحاس المبدل، وعدم إضاءة المصباح تعني أن هذا الجزء سليم نتيجة عزله وعدم وجود اتصال بينهم.

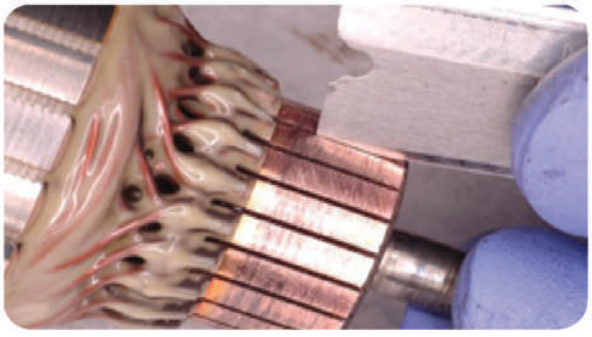
2- جهاز الأوميتر؛ حيث يُحدَّد مفتاح الاختيار للجهاز على تدريج مناسب على مجال الأوم، ويُثبّت أحد أطراف الجهاز على عمود محور الدوران والطرف الثاني للجهاز يُنقل بين قطع نحاس المبدل، ومن ثَمّ، يُتحقَّق من عدم وجود اتصال بين أطراف المبدل، يعني أن هذا الجزء سليم نتيجة عزله وعدم وجود اتصال بينهم كما هو موضح في الشكل (5).

الرسم التوضيحي

فكّر: عدد الأسباب المحتملة لوجود اتصال بين عمود محور الدوران ونحاسات المبدل في العضو الدوّار.



الشكل (5).



الشكل (6).

تذكّر: توجد مادة عازلة من المايكا في الفراغ بين قطع نحاس المبدل تعزلها عن بعضها.

خطوات الأداء

فحص التوصيل بين نحاسات المبدل

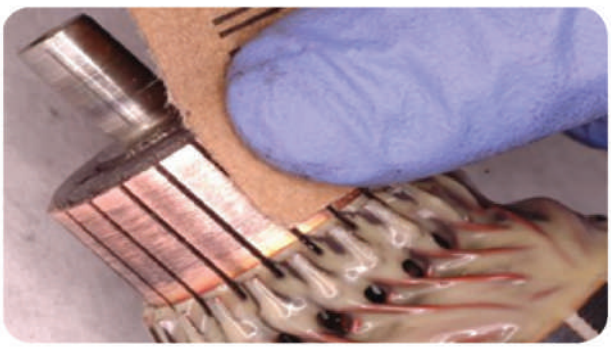
1- وفقًا للطريقة السابقة نفسها عن طريق مصباح كهربائي ومصدر جهد مباشر، بحيث يُوصَل طرف المصباح بإحدى قطع نحاس المبدل ويوصل الطرف الثاني بقطعة النحاس المجاورة.

إذا أضاء المصباح على نحو طبيعي، فإن ذلك يدل على وجود تماس بين قطعتي النحاس المتجاورتين؛ لأن الجهد الواقع عليه يكون جهد المصدر بسبب القصر، إذ يجب أن تكون الإضاءة خافتة، لأن هناك ملفًّا موصولًا على التوالي بين النحاستين، ما يؤدي لتقليل الإضاءة، وهنا يُفَكُّ لحام طرفي الملف من قطعتي النحاس ثمّ يُعاد الفحص، فإذا أضاء المصباح، دل على أن العطل من العازل بين قطعتي النحاس وليس من الملفات.

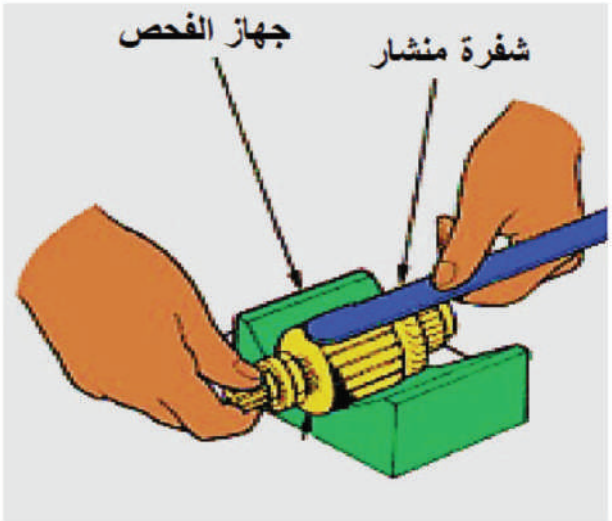
2- بوساطة الأوميتر بعد وضعه على التدريج والكمية المناسبة على مجال الأوم، فإذا أشار مؤشر الجهاز إلى قيمة الصفر، دل ذلك على وجود عطل كما هو موضح في الشكل (6).

إذا حدث اتصال (تماس) بين نحاسات المبدل، فمن الممكن أن يكون هناك بقايا ذرات من الكربون مسببة هذا الاتصال، افصل التماس

الرسم التوضيحي



الشكل (7).



بين قطع النحاس، كما هو موضح في الشكل (7).

3- نظّف المبدل بورق زجاج ناعم بغية اتصال الفرش الكربونية بالمبدل دائمًا كما في الشكل (8).

فحص القصر بين ملفات المنتج

1- ضع المنتج المراد فحصه على الزوام الكهربائي (Growle)، ثم وصّل التيار الكهربائي بالمنتج.

2- أحضر نصلة منشار وثبتها (متحققًا من إزالة طبقة العازل الدهان عنها) على المجرى العلوي، إذا لم تهتز النصلة، فيدل على عدم وجود قصر بين ملفات المنتج، دوّر المنتج يدويًّا وتحقّق من بقية الملفات، بحيث تصبح الملفات جميعها في الأعلى في أثناء تدويره باليد، أخيرًا، دوّن ملاحظاتك.

فحص استمرارية توصيل ملفات المنتج

1- ضع المنتج على جهاز الزاوم الكهربائي، ثم وصّله بالكهرباء.

2- اقصر كل قطعتي نحاس متجاورتين على المبدل، بتوصيل سلك نحاسي بينهما. إن ظهور شرارة في أثناء الفحص دليل على سلامة الملف وعدم وجود فتح في دارته (قطع).

3- افحص قطع المبدل كلها بالطريقة ذاتها، ثم دوِّن ملاحظاتك.

خطوات الأداء

فحص ملفات الأقطاب

فحص التماس بين ملفات الأقطاب وهيكل المحرك.

1- ضع مفتاح الاختيار في جهاز الأوميتر على القيمة والكمية المناسبة على مجال الأوم، ثم وصّل أطراف جهاز الأوميتر بين نهايات ملفات الأقطاب وهيكل المحرك. إذا لم يتحرك المؤشر، فيعني عدم وجود تماس بين ملفات الأقطاب والهيكل الحديدي للمحرك.

2- افحص دارات القصر في ملفات أقطاب آلة التيار المباشر.

3- افصل أطراف ملفات الأقطاب لمحرك التيار المباشر.

4- صِل أطراف جهاز الأوميتر بين كل طرفين من أطراف ملفات الأقطاب، ثم دوّن قيمة المقاومة لكل ملف.

5- كرر الخطوة السابقة في ملفات الأقطاب الأخرى، ثم دوّن قيمة المقاومة لكل ملف.

6- قارن بين قيم المقاومات، ودونها في دفتر التدريب العملي، واكتب تقريرًا مفصلًا عن طرائق فحص محركات التيار المباشر، وناقش زملاءك ومعلمك في الطرائق في المشغل.

التمارين العملية

التمرين (3)

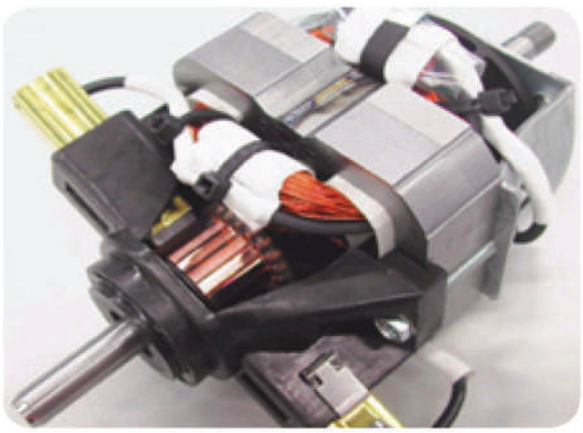
إعادة لف أقطاب المحرك العام

يُتوقّع منك بعد تنفيذ هذا التمرين أن:

- تحدد مدى صلاحية ملفات الأقطاب لمحرك عام عبر الفحص.
- تعيد لف ملفات أقطاب محرك عام.
- توصل ملفات الأقطاب، وتتحقّق من صلاحيتها عبر الفحص.
- تتعرف بيانات ملفات الأقطاب للمحرك العام، ثم تدونها.

متطلبات تنفيذ التمرين

التجهيزات (الأدوات)	المواد الأولية
محرك عام (كامل الأجزاء)، ميكروميتر، جهاز قياس المقاومة (أوميتر)، نصلة منشار، كاوي لحام قصدير، صندوق عدة كهربائية.	سلك معزول بالورنيش خاص بلف المحركات، قُطْره مساوٍ لقُطْر السلك القديم، ورق عزل خاص بالمحركات (برسبان)، خوابير خشبية، خيطان تربيط خاصة بالمحركات (خيط كتان)، لحام قصدير، سلك مفرد ($1.5mm^2$)، وعازل دائري مناسب خاص بلف المحركات مع قُطْر السلك، مرابط بلاستيكية.

خطوات الأداء	الرسم التوضيحي
1- فُكَّ المحرك العام الموضح في الشكل (1) كما تعلمت سابقًا.	 الشكل (1).

خطوات الأداء

2- افحص ملفات الأقطاب كما في الشكل (2) مُستخدِمًا العدد المناسبة، ثم افحص ملفات أقطاب المجال للعضو الثابت بجهاز الأوميتر، إن كان فيها فتح في الدارة أو تماس أرضي بين الملفات وجسم العضو الساكن.

3- إذا لم تكن صالحة، فحرر (أخرج) ملفات الأقطاب من مكانها، مُستخدِمًا العُدد المناسبة.

4- دوّن المعلومات اللازمة عن الملفات:

أ – قُطْر السلك.

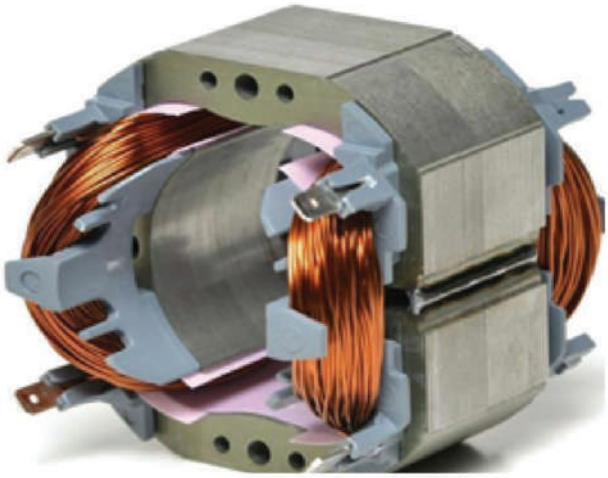
ب– عدد اللفات شبلونة اللف .

جـ – معلومات الورق العازل القديم:

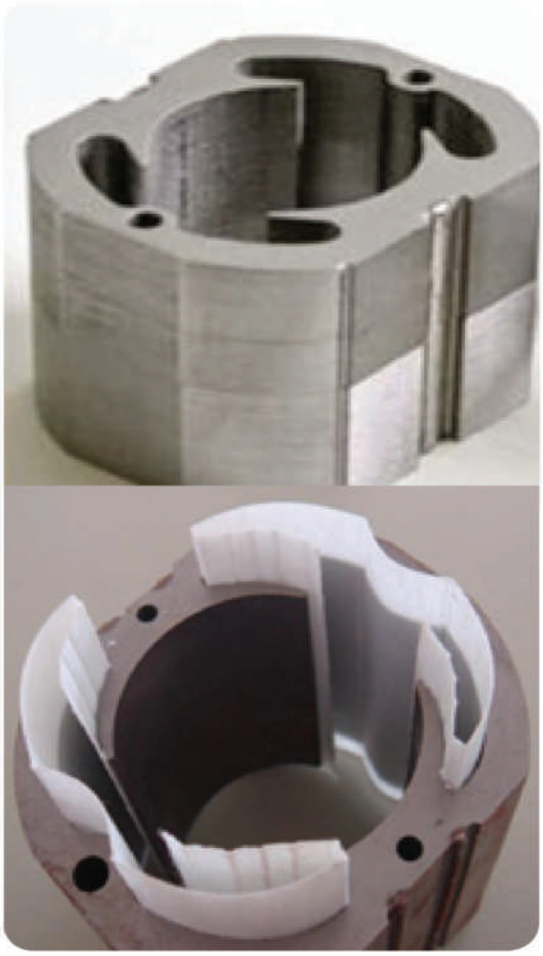
(السماكة، والطول، والعرض).

5- اعزل مجرى دخول الأسلاك بورق العازل الخاص باللف للمحركات الكهربائية وبالمواصفات القديمة نفسها للمحرك كما هو موضح في الشكل (3)، رقّم بتحديد شبلونة اللف كما تعلمت سابقًا مراعيًا أن تكون صغيرة، لكيلا يصعب وضع الملف في مكانه وضعًا صحيحًا، وألّا تكون كبيرة بحيث يلامس الملف الأغطية الجانبية ويصعب تجميعه.

الرسم التوضيحي



الشكل (2).



الشكل (3).

خطوات الأداء

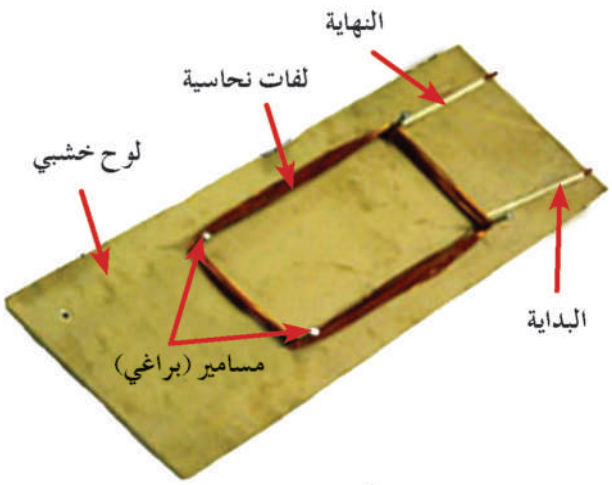
6- أحضر قطعة خشبية مناسبة وحدد عليها قياس الملف (الشبلونة)، ثم حدد النقاط الأربع لعرض الملف لكي تثبت أربعة مسامير على زاوياها، واضعًا نقطتين تتكوَّن من مسمارين على الأطراف؛ لاستعمالهما عند بداية الملف ونهايته.

7- ابدأ بلف الملف مراعيًا استعمال قُطْر السلك نفسه وعدد اللفات للملف القديم، وضع بداية الملف على إحدى نقاط المسامير العلوية، وعند الانتهاء ضع النهاية على النقطة المقابلة لها كما هو موضح في الشكل (4).

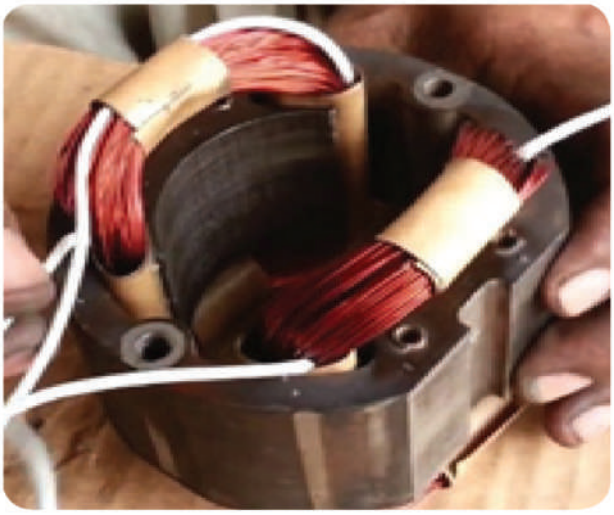
8- ضع الملف عند تجهيزه داخل المجرى المعزول الخاص بالمحرك، وضع الخوابير الخشبية أو البلاستيكية لضمان عدم خروج الملف من مجراه. ثم اربط الأسلاك بمرابط بلاستيكية باللاصق، ثم انزع طرفي البداية والنهاية من الملف بعد لحامهما وعزلهما؛ كما تعلمت سابقًا. انظر الشكل (5).

9- صل نهايات ملفات الأقطاب على التوالي، بحيث تختلف قطبية كل قطبين متجاورين كما هو موضح في الشكل (6).

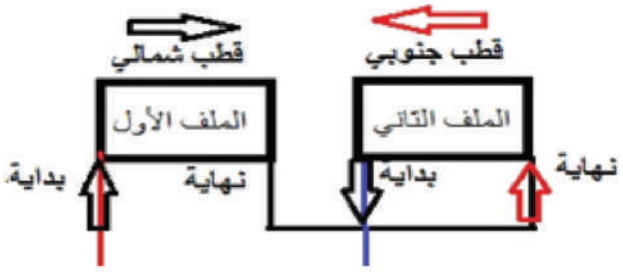
الرسم التوضيحي



الشكل (4).



الشكل (5).



الشكل (6).

خطوات الأداء

10- افحص صلاحية توصيل أقطاب المحرك، وتحقَّق من عدم وجود قطع (دارة مفتوحة) في المحرك بجهاز الأوميتر بعد تهيئته على التدريج والقيمة المناسبة.

11- اعزل المحرك بالورنيش مُستخدِمًا فرشاة دهان، واتركها حتى تجف.

12- أعد تجميع المحرك العام مُبتدِئًا بآخر قطعة فككتها بالترتيب.

13- شغّل المحرك بإشراف المعلِّم، وتحقَّق من دورانه بصورة صحيحة، ودوِّن المعلومات اللازمة وملاحظاتك على دفتر التدريب العملي.

14- أعد العدد والأدوات إلى أماكنها ونظّف مكان العمل، وانتظر تعلميات المعلِّم.

فكّر: كيف تُوصَل أطراف أقطاب المجال للمحرك بطرفي الفرش الكربونية.

التمارين العملية

التمرين (4)

فحص المحرك العام وصيانته

يُتوقّع منك بعد تنفيذ من هذا التمرين أن:

- تفحص المحرك العام بطريقة صحيحة.
- تحدد أعطال المحرك العام، وتصلحها.

متطلبات تنفيذ التمرين

التجهيزات (الأدوات)	المواد الأولية
محرك عام، زوام كهربائي، مصباح كهربائي، مصدر فولتية تيار مباشر، صندوق عدة كهربائية كامل، جهاز القياس الأفوميتر، مسطرة معدنية.	شريط لاصق.

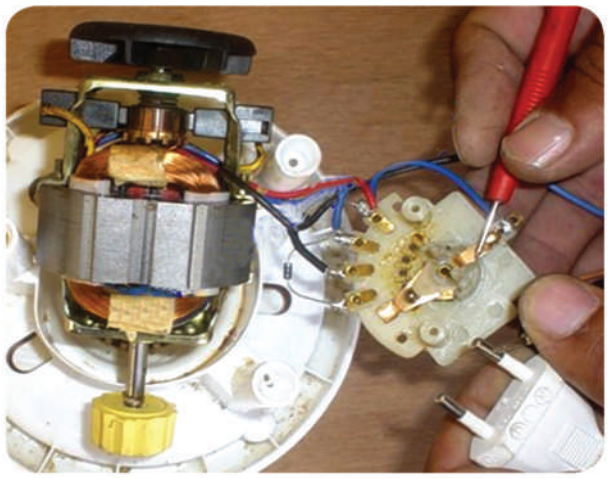
خطوات الأداء

في حالة عدم عمل المحرك نهائيًّا:

1- فُكَّ الغطاء الخارجي للمحرك.

2 - افحص بجهاز الأفوميتر كبل تغذية المحرك وتحقَّق من اتصاله وعدم وجود فصل فيه كما في الشكل (1)؛ حيث إنه كثيرًا ما تكون المشكلة في كبل التغذية، وذلك نتيجةً لتعرض الكبل للعوامل الميكانيكية في أثناء تشغيل المحرك وفصله؛ أو لأسباب أخرى تتعلق بمكونات الكبل. وإذا وجد فصل في الكبل فيمكن توصيل الفصل أو استبدال الكبل.

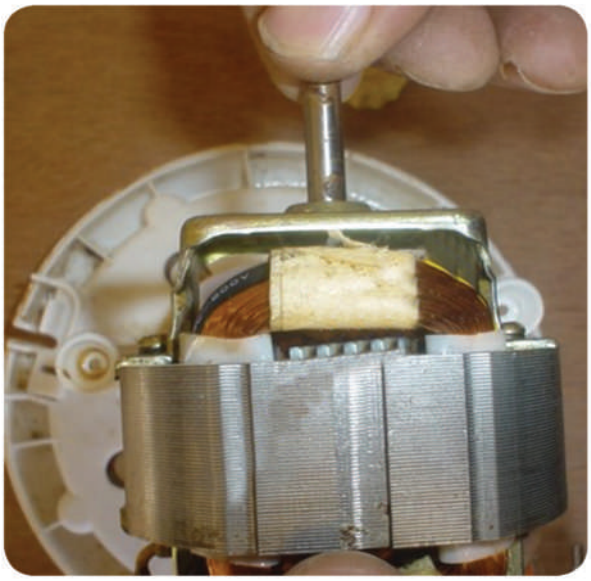
الرسم التوضيحي



الشكل (1).

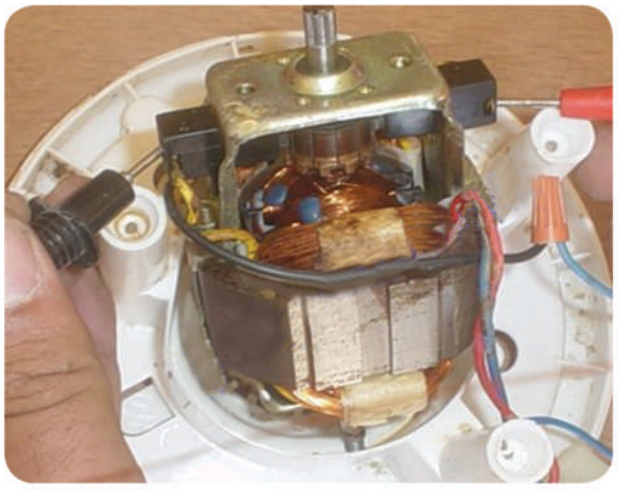
خطوات الأداء	الرسم التوضيحي

3 – حرّك محور دوران العضو الدوّار للتحقّق من سهولة حركته كما في الشكل (2)؛ فقد لا يعمل المحرك أو تكون حركته صعبة بسبب تلف البيل (كراسي المحور)، التي يدور خلالها العضو الدوّار، أو بسبب توسعها، وعليه، يصبح محور الدوران غير متوازن. عندئذٍ تستبدل هذه البِيَل ولها المواصفات ذاتها في البِيَل القديمة.



الشكل (2).

4– افحص بجهاز الأوميتر الاتصال الكهربائي بين الفرشتين الكربونيتين للتحقّق من الاتصال الجيد بين الفرشة الكربونية الأولى والفرشة الكربونية الثانية عبر الموحد، ثم تحقق من اتصال التيار الكهربائي فيها للتأكد من سلامة الفرش الكربونية والموحد كما في الشكل (3)، أما إذا لم يكن هناك اتصال، فاتبع الخطوات (5 و6 و7).



الشكل (3).

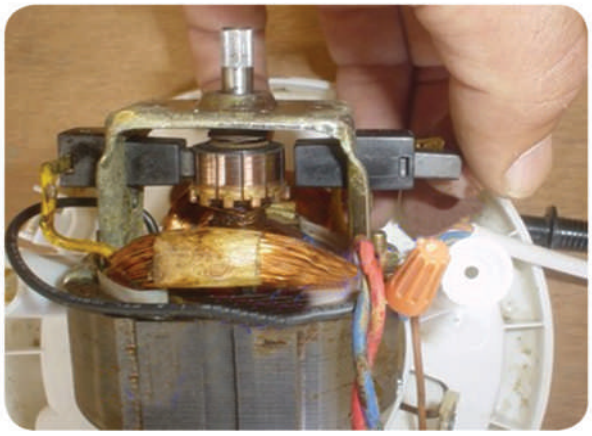
5– فُكَّ الفرش الكربونية كما في الشكل (4). وتحقَّق من مدى صلاحيتها واستبدلها إن لزم الأمر. إذا لم يؤشر الفحص إلى قيمة مقاومة على جهاز الأفوميتر، فتحقق من سلامة الفرش الكربونية (الفحمات)، ويمكن استبدالها عند تآكلها.

خطوات الأداء

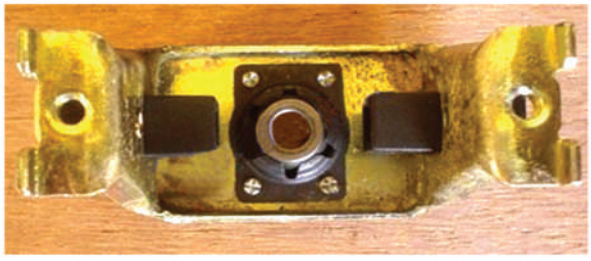
6- تحقَّق من مرونة حركة الفرش الكربونية داخل مجراها، وتحقَّق أن النابض محافظ على مرونته، والشكل (5) يبين مجاري الفرش الكربونية؛ فقد تعلق بعض الشوائب والأوساخ أحيانًا في مجرى الفرش الكربونية؛ ما يحول دون وصول التيار الكهربائي من الفرش الكربونية إلى الموحد، فلا يعمل المحرك. يمكن تنظيف هذه المجاري والتحقق من سهولة حركة الفرش الكربونية داخلها.

7- افحص التوصيل بين قطع نحاس المبدل بمصباحٍ وبمصدر فولتية تيار مباشر، فقد تكون ملفات العضو الدوّار مفصولة، ويجب التحقق من سلامة القطع النحاسية واتصالها ببعضها، وأنها تظهر قيمة مقاومة، وإذا لم يكن هناك اتصال، فيجب توصيل الطرف المفصول.

الرسم التوضيحي



الشكل (4).



الشكل (5).

خطوات الأداء	الرسم التوضيحي

8- افحص التوصيل في ملفات أقطاب العضو الساكن وتحقَّق من اتصالها. أو وصّل الفصل في الملفات، وإلا فتُلف مرة أخرى.

في حالة عدم عمل المحرك بشكل طبيعي:

9 - افحص التماس بين قطع نحاس المبدل وعمود المحور بمصباح وبمصدر فولتية تيار مباشر منخفض، ثم افصل التماس إن أمكن كما تعلمت في التمرين السابق.

10- افحص القصر بين ملفات المنتج باستعمال الزوام الكهربائي؛ للتحقُّق من عدم احتراق الملفات أو تلف الورنيش العازل الخاص بالملفات.

11- افحص التماس بين ملفات الأقطاب وهيكل المحرك، وحاول فصل التماس إن أمكن.

الشكل (6).

أعطال آلات التيار المباشر وكيفية تصليحها

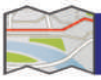
(Troubleshooting And Maintenance Dc Machine)

العطل	الأسباب المحتملة	إجراءات التصليح
حدوث شرارة في أثناء الدوران	– عدم التلامس الجيد بين الفرش والمبدل. – اتساخ المبدل. – فتح في بعض ملفات المبدل. – خطأ في قطبية أقطاب التوحيد. – قصر في الملفات. – قصر مع جسم الآلة. – عكس توصيل طرفي ملفات المنتج. – عدم وجود الفرش في الوضع السليم. – وجود قضبان عالية أو منخفضة. – خطأ في توصيل الأطراف. – تآكل كراسي المحور. – وجود قضبان عالية ومنخفضة. – خشونة سطح المبدل.	– اضبط التلامس. – نظّف جيدًا وبالطريقة المناسبة. – أعد لف المنتج. – راجع التوصيل متأكدًا من صحته. – صل الأقطاب بالطريقة المناسبة. – افصل القصر، وإذا تعذر، فبدل الملفات. – اضبط التوصيل. – اضبط وضع الفرش الكربونية. – اضبط الوضع السليم. – وصّل توصيلًا صحيحًا. – بدل كراسي المحور. – ضبط الوضع السليم. – نظّف بورق الصنفرة بحرص.

العطل	الأسباب المحتملة	إجراءات التصليح
المحرك لا يبدأ دورانه	– احتراق المصهر. – اتساخ الفرش أو ارتخاء نابض الفرش. – فتح في ملفات الأقطاب. – قصر في ملفات الأقطاب. – تآكل في كراسي المحور. – تلامس حامل الفرش مع جسم الآلة. – زيادة الحمل. – قصر في المبدل (الموحد).	– بدّل المصهر. – نظفه وتحقّق من حرية حركتها وتبديل النابض عند اللزوم. – صل دارة الملف المفتوح. – استبدل الملف التالف. – استبدل كراسي محور المحرك. – افصل التلامس، وإذا تعذر، فبدل الحامل. – صل المحرك مع حمل مناسب أو استبدل به آخر مناسبًا للحمل. – نظّف بين نحاسات المبدل المقصورة.

العطل	الأسباب المحتملة	إجراءات التصليح
بطء دوران الآلة	– قصر ملفات الأقطاب. – قصر في المبدل. – تآكل كراسي المحور. – فتح في ملفات المنتج. – الفرش الكربونية ليست في الوضع السليم . – زيادة الحمل. – خطأ في قيمة فولتية المنبع.	– بدل الملفات. – أزل القصر. – بدّل كراسي المحور. – صل الملفات بالطريقة المناسبة. – اضبط وضع الفرش. – قلل الحمل، أو أعد ضبط شد السيور إن وجدت. – تحرَّ سبب خطأ الفولتية ثم صلحه.

الخرائط المفاهيمية



محركات التيار المباشر

- محرك التوالي
  - توصل ملفات المنتج مع ملفات الأقطاب على التوالي
  - يستخدم في الأحمال التي تحتاج إلى عزم بدء دوران عالٍ
- محرك التوازي
  - توصل ملفات المنتج بملفات الأقطاب على التوازي
  - يستخدم في الأحمال التي تحتاج إلى سرعة ثابته بالرغم من تغير الحمل
- المحرك المركب
  - محرك مركب تراكمي قصير
  - محرك مركب تراكمي طويل
  - محرك مركب تفاضلي قصير
  - محرك مركب تفاضلي طويل
  - يجمع بين خصائص محركي التوالي والتوازي
- المحركات الخاصة
  - المحرك العام
  - محرك الخطوة
  - محركات السيرفو

أسئلة الوحدة

القياس والتقويم

1- ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:

(1) يطلق على العضو الدوّار في محركات التيار المباشر.

أ- المنتج ب- ملفات الدوران

جـ- ملفات المجال د- ملفات الأقطاب

(2) وظيفة الفرش الكربونية في محركات التيار المباشر:

أ- عزل قطع النحاس عن بعضها ب- تحمل درجات الحرارة

جـ- نقل التيارات من المنتج إلى المبدل د- نقل التيارات إلى المنتج عن طريق المبدل

(3) في محرك التيار المباشر توضح الخاصية الميكانيكية العلاقة بين:

أ- السرعة وتيار المنتج. ب- السرعة والعزم.

جـ- العزم وتيار المنتج. د- الفولتية والتيار.

(4) يستعمل محرك التوازي للتيار المباشر مع الأحمال:

أ- التي تحتاج إلى سرعة متغيرة بحسب قدرة الحمل.

ب- التي تحتاج إلى سرعة ثابتة مهما تغير الحمل.

جـ- التي تحتاج إلى سرعة متغيرة عند تغير الحمل.

د - جميع ما ذكر.

(5) عكس اتجاه دوران المحرك العام يكون بـ:

أ- عكس أطراف التغذية للمحرك ب- قلب المنتج

جـ- عكس أقطاب التعويض د - عكس أسلاك الفرش الكربونية

(6) المحرك الذي يعمل على التيار المباشر والتيار المتناوب:

أ- محرك المركب ب- محرك الخطوة

جـ- محرك الحثي د- المحرك العام

2- ضع إشارة (✓) قبل العبارة الصحيحة وإشارة (X) قبل العبارة غير الصحيحة في ما يأتي:

أ- ( ) في محركات التوالي للتيار المباشر، يكون التيار الذي يسري في المنتج نصف التيار الذي يسري في ملفات الأقطاب.

ب- ( ) سرعة محركات التيار المباشر تتناسب طرديًّا مع فولتية المصدر، وعكسيًّا مع الفيض المغناطيسي للأقطاب.

جـ- ( ) يمكن عكس دوران محركات التيار المباشر عبر عكس أطراف المصدر.

د- ( ) المحرك المركب للتيار المباشر يجمع بين خصائص محركات التوالي ومحركات التوازي.

هـ- ( ) يدور محرك الخطوة عند إيصاله بالكهرباء مباشرة.

و- ( ) يعمل محرك التيار المباشر طبيعيًّا من دون الفرش الكربونية.

ز- ( ) يُعد وجود اتصال كهربائي بين جسم المنتج وقطع نحاس المبدل في محركات التيار المباشر أمرًا طبيعيًا.

3- في ضوء دراستك وحدة محركات التيار المباشر، أجب عما يأتي:

أ - وضِّح أجزاء محركي التوالي والتوازي وطريقة توصيلهما مستعينًا بالرسومات التوضيحية.

ب - بيّن مجالات استعمال محركات التيار المباشر (محركا التوالي والتوازي).

جـ- اذكر طرائق تنظيم السرعة لمحركات التيار المباشر (محركا التوالي والتوازي).

هـ- اذكر طرائق عكس الحركة المستعملة لمحركات التيار المباشر (محركا التوالي التوازي).

4- وضح بالرسم طرائق عكس اتجاه دوران المحرك العام بوساطة:

أ - عكس اتجاه التيار الذي يسري في ملفات الأقطاب.

ب- عكس الأطراف على الفرش الكربونية.

5- في ضوء دراستك محركات التيار المباشر، أجب عما يأتي:

أ- ما وظيفة المبدل في آلة التيار المباشر؟ وممَّ يتركب؟

ب- ما المقصود برد فعل المنتج؟

جـ- كيف يمكن إيقاف محرك التيار المباشر كهربائيًّا؟ وضح ذلك بالرسم.

6- اذكر مكونات محركي الخطوة والسيرفو.

مسرد المصطلحات

Adequateness	ملاءمة
Autotransformer	محول ذاتي
Auxiliary Relay	مرحل مساعد
Cartridge Type Fuse	مصهر خرطوشي
Circuit Breaker	قاطع كهربائي
Contactor	مفتاح تلامسي
Control Circuit	دارة تحكم
Control Device	جهاز تحكم
Core Type	نوع القلب
Current Transformer	محول تيار
Cut off Current	تيار قطع
Delta – Delta Connection	توصيلة (مثلث – مثلث)
Delta – Star Connection	توصيلة (مثلث – نجمة)
Drop Out Current	تيار إرجاع
Dynamic Braking	كبح دينامي
Electrical Sensor	مجس كهربائي
Float Switch	طافية كهربائية
Fuse	مصهر
Fusing Current	تيار صهر
Fusing Factor	معامل انصهار المصهر
High Frequency Transformers	محولات التردد العالي
Instantaneous Relay	مرحل لحظي
Instruction List	لائحة التعليمات
Instrument Transformer	محول قياس
Inverse Time Relay	مرحل ذو زمن عكسي
Iron Losses	فواقد حديدية

kinetic Energy	طاقة حركية
KVA Rating	مقرر المحول
Limit Switch	مفتاح حدّي
Locked Rotor	حشر العضو الدوّار
Magnetic and Thermal Breaker	قاطع حراري مغناطيسي
Magnetic Breaker	قاطع مغناطيسي
Main Relay	مرحل أساسي
Measuring Relay	مرحل قياس
Mutual Induction	حثّ متبادل
Nameplate	لوحة اسمية
Normally Closed contact (NCC)	ملامس مغلق في الوضع الطبيعي
Normally Open contact (NOC)	ملامس مفتوح في الوضع الطبيعي
Off Delay Timer	مؤقتات تأخير الفصل
On Delay Timer	مؤقتات تأخير الوصل
On/Off Delay Timer	مؤقتات تأخير الوصل والفصل
Open Circuit Test	فحص الدارة المفتوحة
Output Scan	فحص حالة المخارج
Output Module	وحدات الخرج
Over Current	فرط التيار
Over Current Protection Relay	مرحل حماية من ارتفاع التيار
Overload	زيادة الحمل
Phase Failure Protection	حماية من انقطاع الطور
Photo Electric Sensor	مجس كهروضوئي
Photocell	خلية ضوئية
Power Losses in Transformers	فواقد القدرة في المحولات الكهربائية
Power Rating	مقرر القدرة
Power Transformer	محول قدرة

Primary Relay	مرحل أولي
Programmable Logic Controller (PLC)	الحاكم المنطقي المبرمج
Prospective Current	التيار المتوقع
Protective Relay	مرحل حماية
Proximity Sensor	مجس اقترابي
Push Button	ضواغط التشغيل والإيقاف
Rated Carrying Current	التيار المقرر للكبل
Rated Current	التيار المقنن
Recovery Voltage	فولتية الاستعادة
Relay	مرحل
Reliability	اعتمادية
Retentive On Delay Timers	مؤقتات تأخير الوصل الاحتفاظية
Rung	درجة
Scanning	مسح
Secondary Relay	مرحل ثانوي
Self-diagnostic	تشخيص ذاتي
sensitivity	حساسية
Star – Star Connection	توصيلة (نجمة – نجمة)
Static Relay	مرحل استاتي
Step down Transformer	محول خافض للفولتية
Step Up Transformer	محول رافع للفولتية
Protections Systems	أنظمة حماية
Tap changer	مبدل فولتية
Textural language	لغة تركيبية
Thermal Relay	مرحل حراري
Thermocouple	مجس ازدواج حراري
Time delay Relay	مرحل تأخير زمني

Timer and Counter	مؤقت وعداد
Timing	توقيت
Total Operating Time	زمن التشغيل الكلي
Transformer Efficiency	كفاءة المحول
Unbalanced Power Supply	مصدر قدرة غير متزن
Under and Over Frequency Relay	الحماية من انخفاض التردد وارتفاعه
Under and Over Voltage Protection	الحماية من انخفاض الفولتية وارتفاعها
Voltage Rating	الفولتية المقررة
Voltage Transformer	محول الفولتية

تم بحمد اللہ تعالی