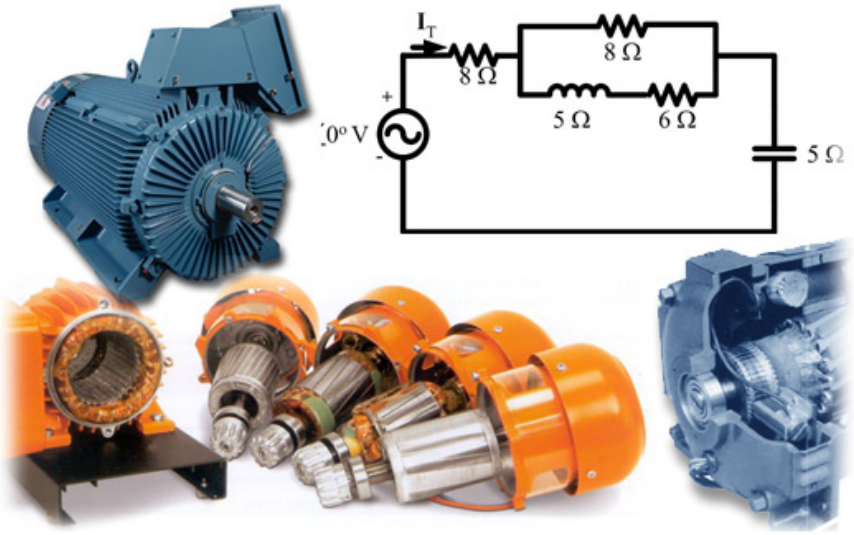
المملكـــة العربيـــة الســـعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

آلات ومعدات كهربائية

الآلات الكهربائية الصغيرة

٢٤٥ كهر



جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي، لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " الآلات الكهربائية الصغيرة " لمتدربي قسم" آلات ومعدات كهربائية " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه، إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

الحمد لله رب العالمين ، والعاقبة للمتقين. والصلاة والسلام على عبده ورسوله محمد وعلى آله وصحبه أجمعين. وبعد:

الآلات الكهربائية صغيرة القدرة ، وتعرف أحياناً باسم الآلات كسرية القدرة ويقصد أنها آلات ذات قدرة أقل من حصان واحد ، توفر القدرة المحركة لكل المعدات والأجهزة المنزلية ومعدات المكاتب وتستخدم أيضا في المصانع والورش. تمتاز عن المحركات ذات الأغراض العامة بتشكيلة واسعة من التصاميم والخواص المتباينة ملبية جميع النواحي الاقتصادية والمتطلبات الخاصة بتطبيقاتها ، كما أنها غالبا ما تكون أحادية الوجه. وبالرغم من أن هذه المحركات الصغيرة بسيطة في تركيبها إلا أنها أكثر صعوبة في تحليل خواصها عن المحركات الكبيرة ثلاثية الأوجه. كثير من تصاميم هذه المحركات يتم ببناء نماذج تجريبية واختبارها ثم التعديل في البناء والتركيب وإعادة الاختبار حتى نحصل على الخواص المطلوبة بالتحديد. برامج التصميم باستخدام الحاسب الآلي استعملت أيضا لتحقيق تصاميم دقيقة لبعض الآلات الصغيرة.

تكلفة بناء المحركات الصغيرة تزداد بازدياد قدرتها وأيضا بازدياد نسبة العزم إلى التيار أثناء بدء الحركة ، إذا فالمهندس التطبيقي يختار المحرك الأقل قدرة وأداء وفي نفس الوقت يفي بمتطلبات تشغيل الحمل ليقابل متطلبات تقليل التكلفة.

يحتوي هذا المقرر على ست وحدات تغطي معظم الآلات الكهربائية الصغيرة الشائعة الاستخدام في الأجهزة المنزلية وفي أجهزة الحاسب الآلي والطابعات وأيضا في الصناعة ونظم التحكم الآلي. الوحدة الأولى تتناول المحركات الحثية أحادية الوجه من حيث الأنواع والتركيب والخواص والطرق المختلفة لبدء حركتها. في الوحدة الثانية تم شرح أنواع محركات الخطوة أو كما تسمى أحياناً المحركات متدرجة الحركة وكيفية عملها واستخداماتها. الوحدة الثالثة توضح كيفية استخدام مولدات التاكو كأجهزة لقياس السرعة ، وأسباب الخطأ في قياس السرعة وكيفية تلافيه. في الوحدة الرابعة شرح لأنواع محركات التحكم والمواصفات المطلوبة لتلك المحركات لتفي بمتطلبات التحكم الآلي. الوحدة الخامسة تتناول تركيب وخواص وكيفية عمل كل من المحرك العام والمحرك التنافري. الوحدة السادسة تتناول وصف لأنواع الآلات ذاتية التزامن ولتطبيقاتها في نظم التحكم الآلي وفي أجهزة نقل البيانات وأجهزة نقل العزم.

الآلات الكهربائية الصغيرة

المحركات الحثية أحادية الوجه

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة: معرفة أنواع وتركيب وخواص المحركات الحثية أحادية الوجه وطرق بدء حركتها واستخداماتها.

الأهداف:

عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة علي:

١. معرفة تركيب وكيفية عمل الأنواع المختلفة من المحركات الحثية أحادية الوجه.

٢. معرفة استخدامات المحركات الحثية أحادية الوجه.

٣. التمييز بين الطرق المختلفة لبدء الحركة ومميزات كل منها.

٤. معرفة منحنيات الخواص لأنواع المحركات الحثية أحادية الوجه.

٥. فهم كيفية تحليل المجال المغناطيسي إلى مجالين دوارين كأساس لحساب العزم المتولد.

٦. معرفة الدائرة الكهربائية المكافئة للمحركات الحثية أحادية الوجه.

٧. حساب العزم والمفقودات والكفاءة للمحركات الحثية أحادية الوجه.

الوقت المتوقع للتدريب: ٨ ساعات.

متطلبات الجدارة:

تحتاج إلى التدرُب على وحدة المحركات الحثية ثلاثية الأوجه في مقرر آلات التيار المتردد.

تتركب المحركات الحثية أحاديه الوجه، من ملفات أحادية الوجه على العضو الثابت، وعضو دوار ذو قفص سنجابي، فتركيبها يشبه المحركات الحثية ثلاثية المرحلة ذات القفص السنجابي، عدا ما يختص بملفات العضو الثابت. الملفات أحادية الوجه موزعة في مجاري العضو الثابت، بطريقة تجعلنا نحصل على قوة دافعة مغناطيسية موزعة توزيعا جيبياً في الفراغ، وبالتالي نحصل على منحني جيبي، لكثافة الفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية. ومن أهم سمات هذه المحركات أن ليس لها عزم لبدء الحركة، ولكن إذا بدأت حركتها بأي وسيلة مساعدة فسوف تستمر في الدوران في نفس اتجاه الدوران الذي بدأت فيه.

نظرية المجال المغناطيسي المزدوج الدوار:

عند تغذية ملف العضو الثابت بتيار متردد، ذي موجة جيبية مع الزمن، فإن موجة القوة الدافعة المغناطيسية المتولدة، تكون موزعة توزيعا جيبياً في الثغرة الهوائية، وأيضا متناسبة جيبياً مع الزمن، ويمكن كتابتها كدالة جيبية في الفراغ والزمن كالآتي:

$$F_1 = F_{1max}\cos(\omega t).\cos(\theta) \qquad 1-1$$

القوة الدافعة المغناطيسية تولد مجالا مغناطيسيا، له نفس خواص التوزيع الجيبي في الثغرة الهوائية، والتناسب الجيبي مع الزمن، ويمكن تمثيله رياضيا بالمعادلة (١-٢):

$$B_1 = B_{1max}\cos(\omega t).\cos(\theta) \qquad 1-2$$

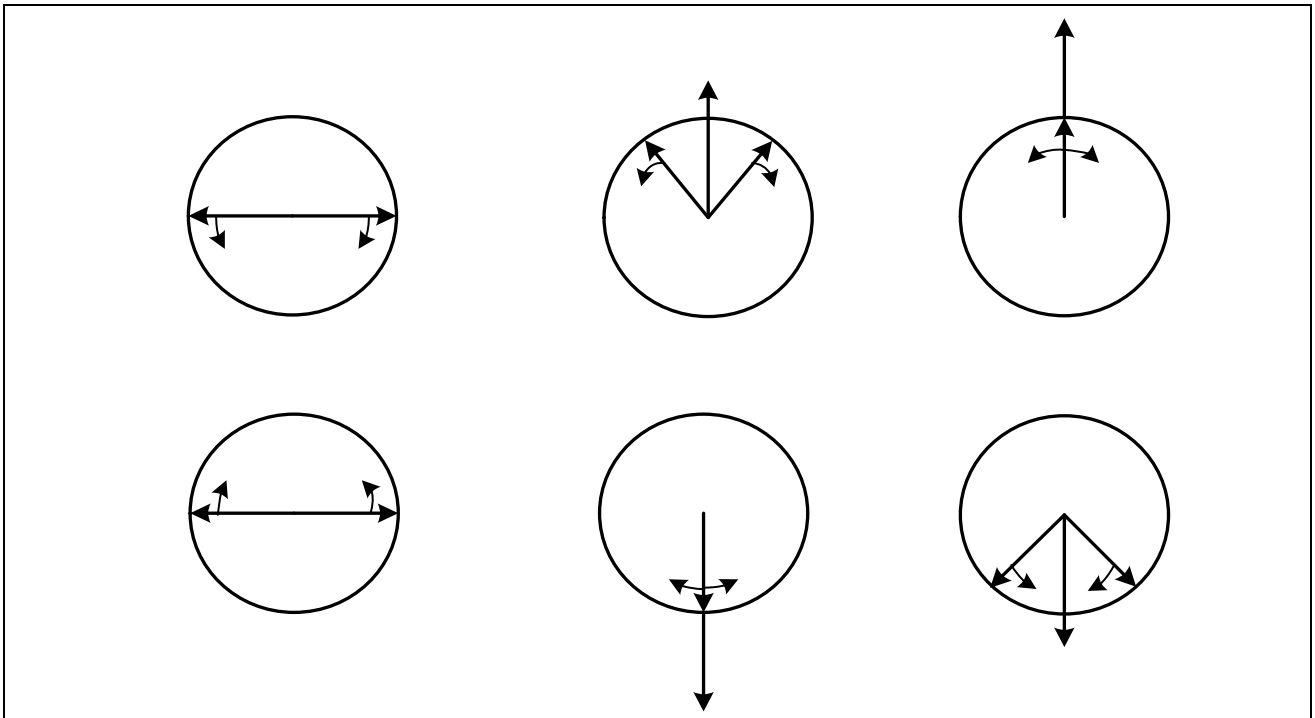
يمكن تحليل هذا المجال المغناطيسي إلى مجالين مغناطيسيين دوارين، الأول يدور في الاتجاه الموجب ويسمى بالمجال المغناطيسي الدوار الأمامي، و عادة يكون اتجاه دورانه، عكس اتجاه دوران عقارب الساعة، والمجال الآخر يدور في الاتجاه المضاد ويسمى بالمجال المغناطيسي الدوار الخلفي، وهو الذي يدور مع عقارب الساعة (حسب العرف المتبع في الآلات الكهربائية)، المعادلة (١-٣) توضح هذا التحليل:

$$B_1 = \frac{1}{2}B_{1max}\cos(\theta - \omega t) + \frac{1}{2}B_{1max}\cos(\theta + \omega t) \qquad 1-3$$

حيث يمثل الحد الأول المعادلة ١-٣ مجالا مغناطيسيا جيبياً دائرا ذا كثافة عظمي B_{1max} ½، كما يمثل الحد الثاني مجالا مغناطيسيا جيبياً دائرا آخر بنفس الكثافة العظمي، ويدور المجالين في اتجاهين متضادين بنفس السرعة الزاوية ω حول محيط الثغرة الهوائية. كل من هذين المجالين

المغناطيسيين الدوارين يولد عزم دوران في الاتجاه الذي يدور فيه، كما في حالة المحركات الحثية الثلاثية الأوجه (كما سبق شرحه في مقرر آلات التيار المتردد). يمكن توضيح كيفية تحليل المجال المغناطيسي النابض الناشئ عن ملف أحادي إلى مجالين مغناطيسيين دوارين متساويين في القيمة، ويدور كل منهما عكس الآخر بنفس سرعة الدوران ω والقيمة العظمىلكل منهما تساوي نصف القيمة العظمى للمجال أحادي الوجه، باستخدام الرسم التوضيحي في الشكل١-١ . المتجه الدوار B_f يمثل المجال الأمامي والمتجه B_b يمثل المجال الخلفي، يلاحظ أن مجموع هذين المتجهين B يكون دائما في اتجاه رأسي وتتغير قيمته مع دوران المتجهين B_f & B_b وهو يعادل المجال المغناطيسي النابض الناشئ عن ملف أحادي الوجه.

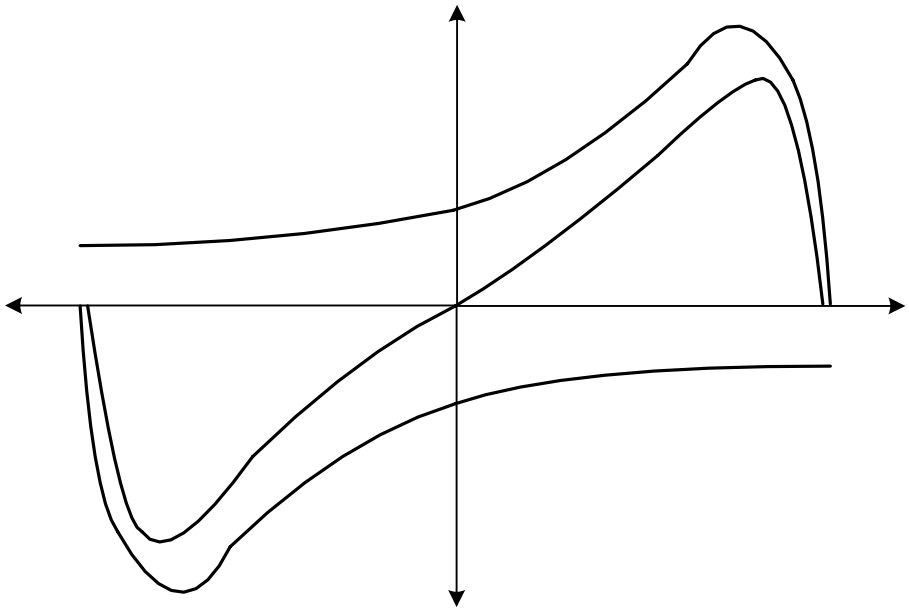
$$B = B_f + B_b \qquad ٤-١$$



شكل ١-١ كيفية تحليل المجال النابض إلى مجالين دوارين

إذا يمكننا الحصول على خواص المحرك الحثي أحادي الوجه، بتطبيق قاعدة التراكب على خواص محركين متماثلين، كل منهما ثلاثي الأوجه، يدور المحرك الأول في عكس اتجاه دوران المحرك

الثاني. إذا قمنا برسم منحني العلاقة بين العزم والسرعة، لكل من المجالين، نستطيع الحصول على منحني خواص المحرك الحثي أحادي الوجه، كما هو مبين بالشكل ٢□١



شكل ٢□١ منحني العزم مع السرعة للمجالين الأمامي والخلفي.

في حالة سكون العضو الدوار وعند بدء الحركة يكون عزم الدوران الناتج عن المجال الأمامي، مساويا ومضادا في الاتجاه للعزم الناتج عن المجال الخلفي، مما يجعل محصلة عزم الدوران المؤثر على العضو الدوار مساوية للصفر فلا يكون هناك عزم لبدء الحركة، وهي إحدى خصائص هذا النوع من المحركات. ولكن إذا بدء المحرك حركته الدورانية بوسيلة مساعدة في اتجاه معين فسيستمر في الدوران في نفس ذلك الاتجاه (يمكن اعتبار عزم الدوران الناشئ عن المجال الخلفي كعزم دوران فرملي يعيق حركة دوران المحرك نتيجة للعزم الناشئ عن المجال الخلفي).

عندما يدور العضو الدوار للمحرك بسرعة دورانية مقدارها N في اتجاه دوران المجال الأمامي، والذي يدور بسرعة التزامن N_s، فإن الانزلاق الأمامي يكون مساويا $s_f = s = (N_s-N)/N_s$، بينما يكون المجال الخلفي دائراً في عكس الاتجاه بالسرعة N_s، أي أنه يدور بالسرعة $(N_s + N)$ بالنسبة للعضو الدوار، فيكون معامل الانزلاق للمجال الخلفي s_b مساويا:

$$s_b = \frac{N_s + N}{N_s} = 2 - s \qquad 1\text{-}5$$

عند ظروف التشغيل العادية بمعامل انزلاق للمجال الأمامي في حدود s=٠,٠٥ تكون قيمة معامل الانزلاق للمجال الخلفي كبيرة جداً مقارنة بقيمة معامل الانزلاق للمجال الأمامي.

مثال ١-١:

محرك حثي أحادي الوجه، ٢٣٠-V , ٦٠ Hz ذو زوجين من الأقطاب (٢p = ٤) يعمل عند الحمل الكامل بانزلاق مقداره s = ٠,٠٤ احسب:

i. الانزلاق للمجال الخلفي s_b

ii. سرعة التزامن N_s

iii. سرعة المحرك عند الحمل الكامل.

الحل:

i. الانزلاق للمجال الخلفي ($s_b = ٢ - s$)

i- Slip for the backward field $\equiv s_b = 2 - s = 2 - 0.04 = 1.96$

ii - The synchronous speed $\equiv N_s = \frac{60\times f}{p} = \frac{60\times 60}{2} = 1800$ rpm

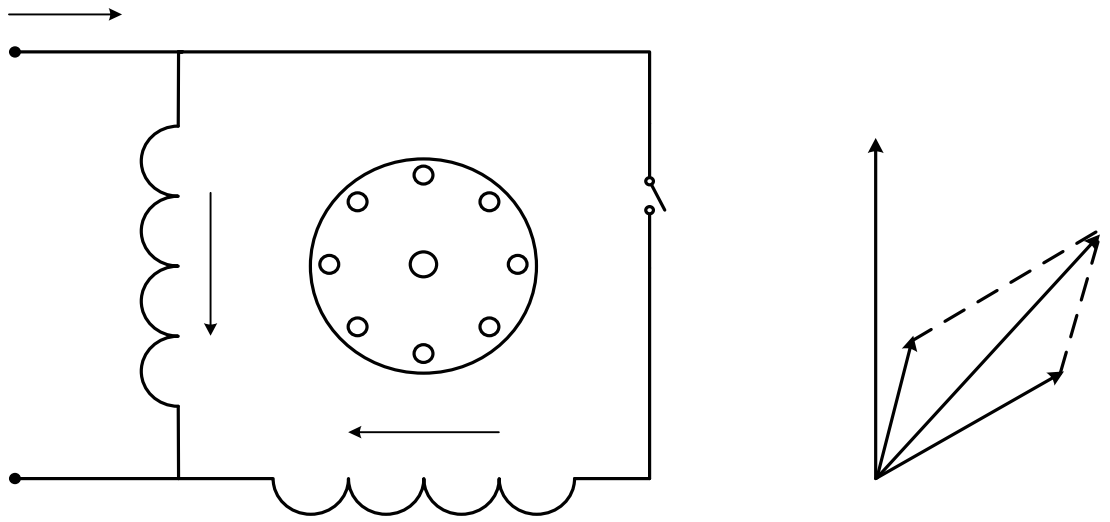
iii - The motor speed $\equiv N = (1-s)N_s = 0.96\times 1800 = 1728$ rpm

طرق البدء ومنحنيات الخواص للمحركات الحثية أحادية الوجه :

المحركات الحثية أحادية الوجه تصنف طبقا للطريقة المستخدمة لبدء حركتها، كما يطلق عليها أسماء تصف الطريقة التي استخدمت لبدء حركتها، فيما يلي نتناول وصف لأنواع المحركات الحثية أحادية الوجه الشائعة الاستخدام:

- **المحرك مشطور الوجه : (Split-Phase Motor)**

المحرك مشطور الوجه يحتوي على ملفين بالعضو الثابت، الأول هو الملف الرئيسي، والثاني هو الملف المساعد (أو ملف بدء الحركة)، كل من هذين الملفين موزع في مجاري العضو الثابت، بحيث تكون الزاوية بين محوري الملفين تسعون درجة كهربائية في الفراغ، وبطريقة تجعلنا نحصل على مجال مغناطيسي موزع توزيع جيبي في الفراغ، من كل من الملفين على حدة، شكل ٣a-١ يبين دائرة توصيل هذين الملفين. تستعمل أسلاك ذات مساحة مقطع صغيرة للملفات المساعدة، فتكون نسبة مقاومتها إلى ممانعتها الحثية كبيرة، في حين تكون نسبة المقاومة إلى الممانعة الحثية للملفات الرئيسية، أقل من ذلك، وحيث إن الملفين موصلان على التوازي مع نفس مصدر الجهد، فإن تيار الملف المساعد I_a يكون متأخرا بزاوية صغيرة عن جهد المصدر، بينما يكون تيار الملف الرئيسي، I_m متأخرا بزاوية أكبر من ذلك بصورة محسوسة، كما هو موضح بمخطط المتجهات عند بدء الحركة بالشكل ٣a-١ . بما أن تيار الملفات المساعدة متقدم عن تيار الملفات الرئيسية، فإن المجال الكلي للعضو الثابت يصل إلى قيمته العظمىعلى محور الملفات المساعدة أولاً، ثم بعد ذلك يصل إلى قيمته العظمى على محور الملفات الرئيسية. إذا تيار الملفين يمثل نظام ثنائي الوجه غير متزن، والمحرك يكافئ محركاً ذا وجهين غير متزن، فينشأ مجال مغناطيسي دوار، ينتج عنه عزم دوران يتسبب في بدء دوران المحرك.



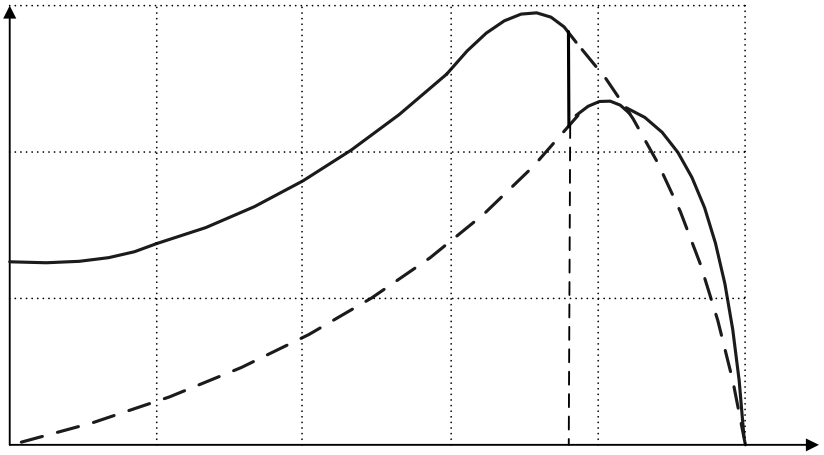
شكل a٣□١ كيفية توصيل ومخطط المتجهات عند بدء الحركة

للمحرك مشطور الوجه.

Main Winding

I_m

I_t



شكل ٣b□١ منحني العزم/السرعة

المحرك مشطور الوجه.

Torque (pu)

3.0

بعد أن يبدأ المحرك حركته بالملفين معاً تفصل الملفات المساعدة، باستخدام مفتاح يعمل بقوة الطرد المركزي عندما تصل سرعة المحرك إلى حوالي خمسة وسبعين في المائة (٧٥٪) من سرعة التزامن، ويستمر المحرك بعد ذلك في الدوران بالملف الرئيسي فقط الشكل ٣b□١.

أبسط طريقة للحصول على نسبة كبيرة بين مقاومة الملفات المساعدة إلى ممانعتها الحثية، هي استخدام سلك ذي مساحة مقطع صغيرة للملفات المساعدة، مقارنة بمساحة مقطع الأسلاك المستخدمة للملفات الرئيسية، كما يمكن التقليل من الممانعة الحثية للملفات المساعدة، بوضعها في الجزء العلوي من الفجوات البينية. لا يشكل استخدام أسلاك ذات مساحة مقطع صغيرة للملفات المساعدة أي خطرا عليها، حيث أنها لا تستعمل إلا أثناء فترة بدء الحركة فقط.

Main An

2.0 Auxiliary Wi

من خصائص المحركات ذات الوجه المشطور، أن لها عزم بدء حركة متوسط القيمة وتياراً منخفضاً أثناء بدء الحركة، وتستخدم في المراوح والشفاطات ومضخات الطرد المركزي وفي الأجهزة المنزلية والمكتبية.

1.0

Main Windi

مثال ٢-١:

محرك حثي أحادي الوجه، ١١٠-V , ٥٠ Hz من النوع مشطور الوجه، له الثوابت الآتية عند بدء الحركة:

معاوقة الملف الرئيسي $Z_m = ١,٢ + j\ ٢٥$ Ω

معاوقة الملف المساعد $Z_a = ١٢ + j\ ٥$ Ω

احسب عند بدء الحركة : التيار في كل من الملف الرئيسي والملف المساعد، التيار الكلي للمحرك، معامل القدرة، الفرق الزمني بين تياري الملف الرئيسي والملف المساعد.

The main winding current $\equiv I_m = \dfrac{V_1}{Z_m} = \dfrac{110\angle 0}{1.2 + j25} = \dfrac{110\angle 0}{25.03\angle 87.252}$

$I_m = 4\angle -87.252$ Amp.

The auxiliary winding current $\equiv I_a = \dfrac{V_1}{Z_a} = \dfrac{110\angle 0}{12 + j5} = \dfrac{110\angle 0}{13\angle 22.62}$

$I_a = 8.46\angle -22.62$ Amp.

الحل:

التيار الكلي المسحوب من المصدر:

The total motor current $\equiv I_t = I_m + I_a$

$I_t = 4\angle -87.25 + 8.46\angle -22.62^o$

$= (0.192 - j3.995) + (7.81 - j3,254)$

$= 8.02 - j7.25 = 10.8\angle -42.11^o$ Amp.

The power factor $= \cos(-42.11) = 0.742$

The phase angle between the two winding currents: $\theta = \phi_m - \phi_a$

$\theta = -87.25 - (-22.62) = -64.63^o$

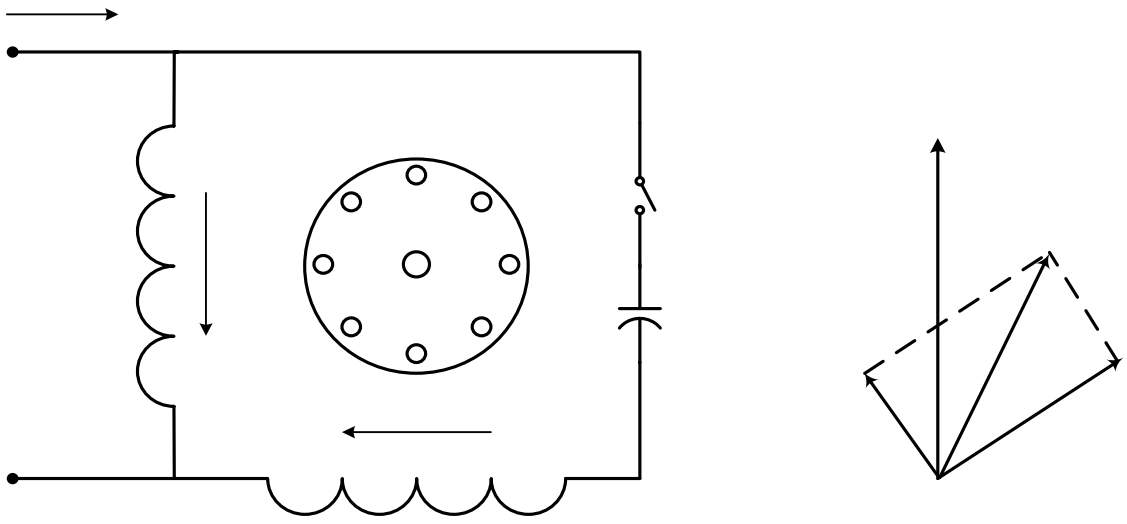
I_m lags I_a by 64.62^o

- **المحركات ذات المكثفات: (Capacitor Motors)**

يمكن أن تستخدم المكثفات لتحسين خواص وأداء المحرك الحثي أحادي الوجه، أثناء بدء الحركة أو أثناء التشغيل، أوكليهما، اعتماداً على حجم ونوع المكثف المستخدم وطريقة توصيله.

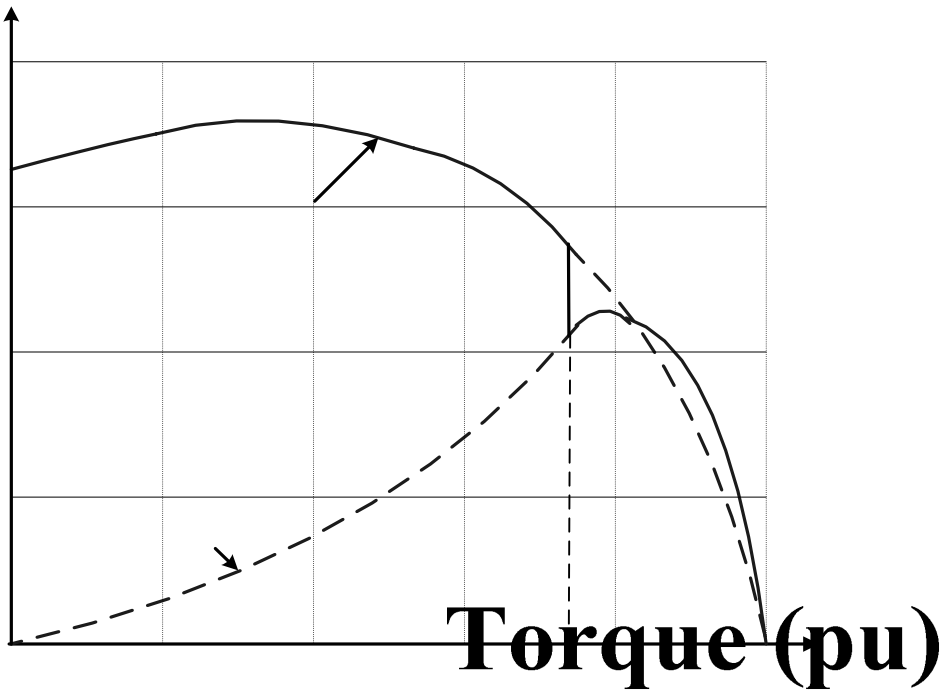
أ. المحرك ذو مكثف البدء: (Capacitor –Start Motor)

يحتوي المحرك ذو مكثف بدء الحركة على ملفات رئيسية وملفات مساعدة على عضوه الثابت، الفرق الزمني بين زاوية تياري الملفين، نحصل عليه بواسطة مكثف موصل على التوالي مع الملفات المساعدة، كما هو مبين بالشكل ٤a□١. في هذه الحالة أيضا، يفصل الملف المساعد بعد بدء الحركة، تماما كما يحدث في النوع السابق، وبالتالي يمكن تصميم الملفات المساعدة والمكثف، بحيث يكون تشغيلهما تشغيلا متقطعا، مما يساعد على تقليل كلفة كل منهما. يمكننا باستخدام مكثف بدء الحركة، ذي القيمة المناسبة، التي تجعل تيار الملفات المساعدة I_a، يتقدم عن تيار الملفات الرئيسية I_m (عند سكون العضو الدوار) بزاوية مقدارها تسعون درجة كهربائية الشكل ٤a□١، أن نحصل على خصائص محرك متزن ذي وجهين.عند بدء الحركة.



شكل ٤a□١ كيفية توصيل ومخطط المتجهات

للمحرك ذي مكثف البدء



شكل ٤b□١ المحرك ذو مكثف البدء

منحنى العزم/السرعة

4.0

شكل ٤b□١ يبين منحني الخواص للمحرك ذي مكثف بدء الحركة، ومن أهم خصائصه العزم الكبير المتولد عند بدء الحركة. يستخدم هذا النوع في الضواغط والمضخات والثلاجات، وأجهزة التبريد والتكييف وفي الأحمال التي تتطلب عزم كبير لبدء حركتها.

ب. **المحرك ذو المكثف الدائم: (Permanent-Capacitor Motor)**

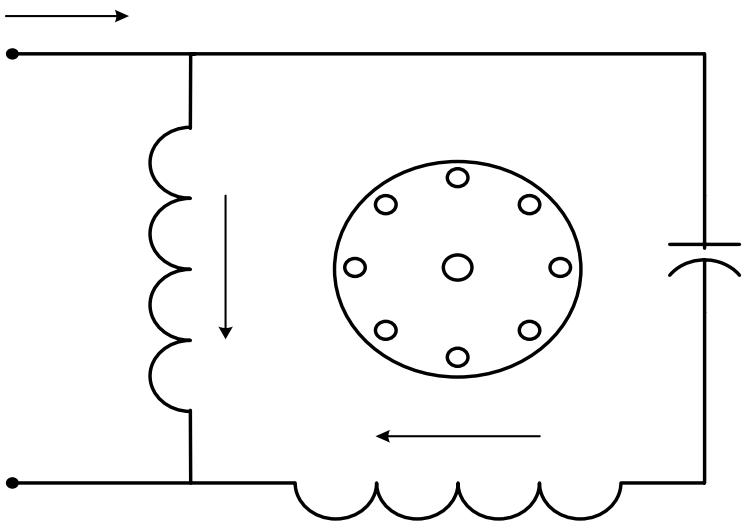
Main

3.0

Auxiliary

في المحرك ذي المكثف الدائم تظل الملفات المساعدة عاملة مع الملفات الرئيسية أثناء التشغيل المستمر للمحرك، فيمكن تبسيط تركيب المحرك، بالاستغناء عن مفتاح الطرد المركزي، المشار إليه في الحالتين السابقتين. الشكل ٥□١.يبين كيفية توصيل الملفات كما يبين أيضاً منحني خواص المحرك.

2.0



شكل ٥□١ كيفية توصيل وخواص المحرك ذي المكثف الدائم

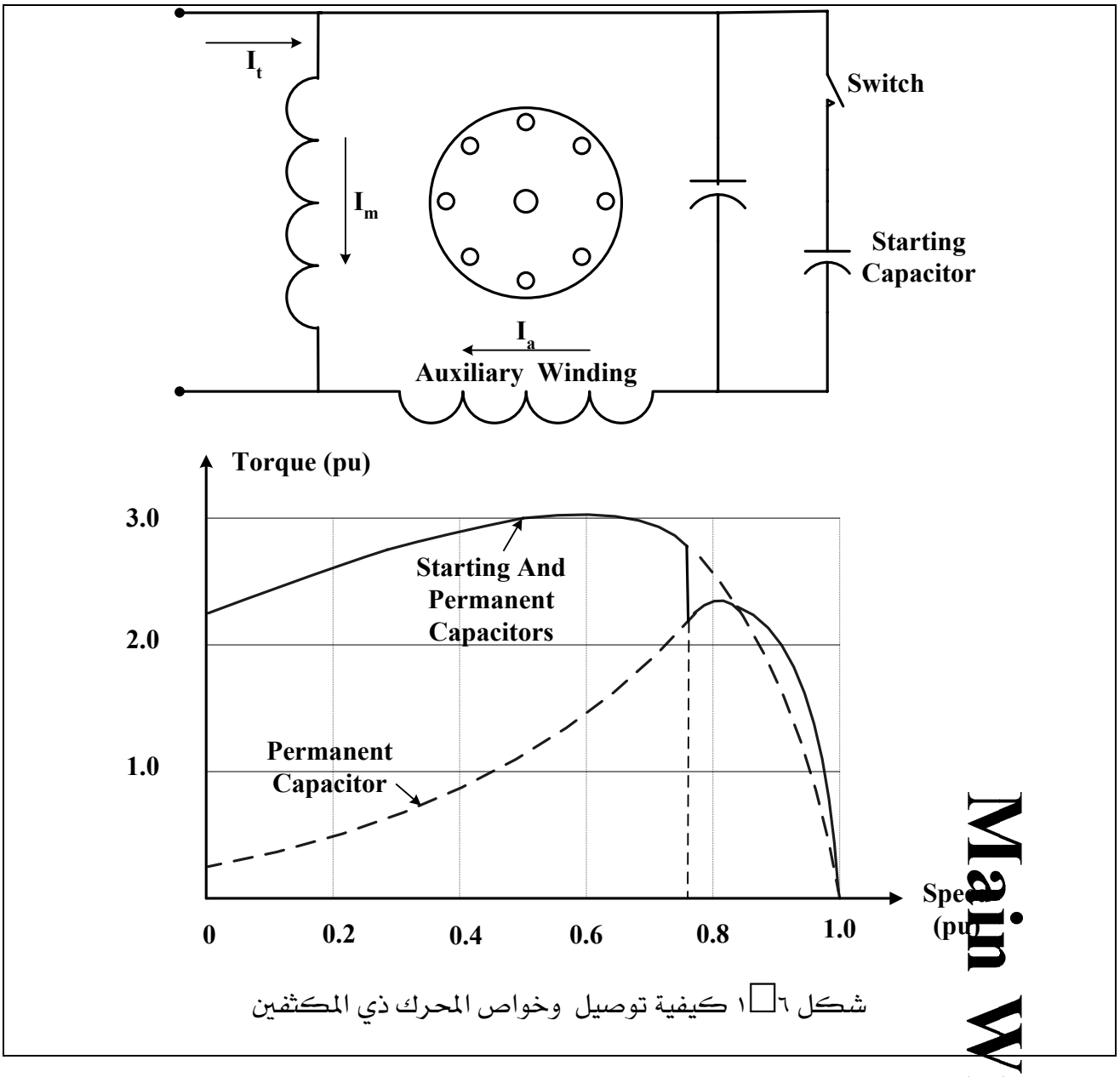
تصمم الملفات المساعدة والمكثف على أساس التشغيل المستمر، وبحيث يصبح المحرك مكافئ لمحرك مثالي ذي وجهين عند حمل بعينه، فيختفي وجود المجال الخلفي مما يؤدي إلى تحسين الكفاءة، كما يختفي أيضا الضجة التي كان يسببها المجال الخلفي، فتكون النتيجة محركاً هادئ الصوت أثناء

Main Wind

التشغيل، كما يؤدي استخدام المكثف الدائم إلى تحسين معامل القدرة أثناء التشغيل. يستخدم هذا النوع من المحركات في التطبيقات التي تتطلب هدوءاً في الصوت أثناء تشغيلها.

ت. المحرك ذو المكثفين: (Two-Value Capacitor Motor)

عند استخدام مكثفين أحدهما يستخدم أثناء فترة البدء فقط، والآخر يستمر عمله أثناء التشغيل المستمر للمحرك، يمكننا الحصول على أفضل خواص للمحرك، أثناء فترتي البدء والتشغيل معاً. يبين الشكل ٦□١ طريقة توصيل هذين المكثفين، كما يبين منحني خواص المحرك، يستخدم مكثف صغير، من النوع الورقي المشبع بالزيت، موصلا على التوالي بصفة مستديمة (ويسمي المكثف الدائم)، مع الملفات المساعدة لتحسين خواص التشغيل. كما يستخدم مكثف آخر لتحسين عزم بدء الحركة، من النوع ذي السائل الكهربي (ويسمي مكثف بدء الحركة)، موصل مع مفتاح خاص به، على التوازي مع المكثف الدائم، ليعملا معاً أثناء فترة البدء فقط.



شكل ٦-١ كيفية توصيل وخواص المحرك ذي المكثفين

يعتبر هذا النوع من المحركات أكثر كلفة من الأنواع السابقة، ويستخدم في التطبيقات التي تتطلب تشغيلا هادئا مع عزم كبير لبدء الحركة.

مثال ٣-٦

محرك حثي أحادي الوجه، من النوع ذي مكثف بدء الحركة، جهده ١٢٧ فولت وتردده ٦٠ هيرتز، ثوابت الملفات الرئيسية والمساعدة عند البدء:

Main Winding

$Z_m = 4.2 + j3.8 \quad \Omega$ $Z_a = 8.8 + j3.2 \quad \Omega$

احسب قيمة مكثف البدء اللازم للحصول على زاوية مقدارها تسعون درجة كهربائية بين تياري الملفات الرئيسية والمساعدة عند بدء الحركة.

الحل:

زاوية معاوقة الملفات الرئيسية:

$$\phi_m = \tan^{-1}\left(\frac{3.8}{4.2}\right) = 42.14^o$$

زاوية معاوقة الملفات المساعدة يجب أن يكون:

$$\phi_a = 90 - \phi_m = 47.86^o$$

ممانعة المكثف Xc يجب أن تحقق العلاقة:

$$\tan^{-1}\left(\frac{X_c - 3.2}{8.8}\right) = 47.86 \qquad \frac{X_c - 3.2}{8.8} = \tan(47.86) = 1.1$$

سعة المكثف يمكن حسابها من

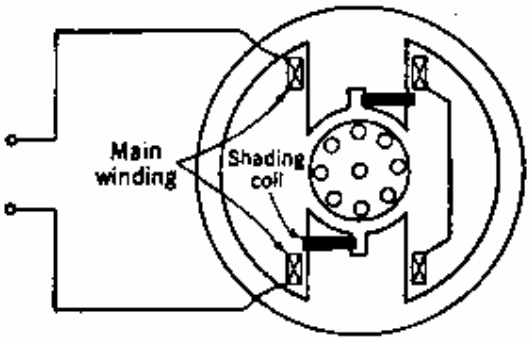
$$X_c = \frac{1}{\omega . c} = \frac{1}{2\pi f c}$$

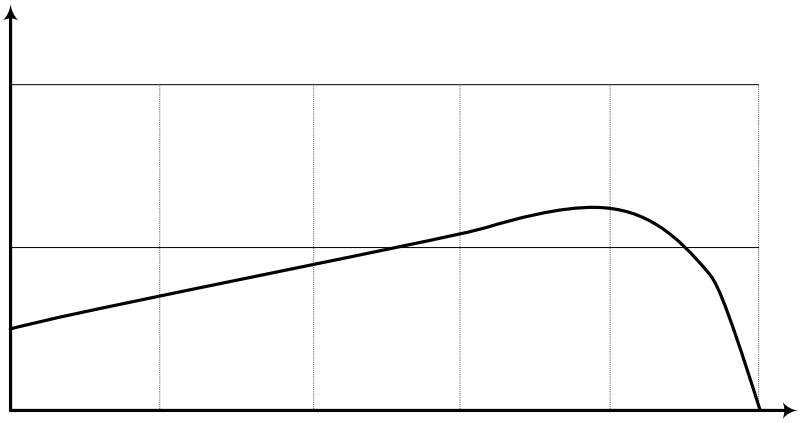
$$X_c = 1.1 \times (8.8) + 3.2 = 12.93 \quad \Omega$$

$$c = \frac{1}{12.93 \times 377} = 205 \ \mu F$$

المحرك ذو الوجه المظلل: (Shaded-Pole motor)

يتكون العضو الثابت لهذا المحرك من أقطاب بارزة ملفوف عليها ملفات الثابت، كل قطب مقسوم إلى جزأين بواسطة مجري صغير، حيث يتم إحاطة (تطويق) جزء من كل قطب بلفة مقصورة من النحاس، تسمى الملف المظلِل (Shading Coil) ، كما هو موضح بالشكل ٧-١.





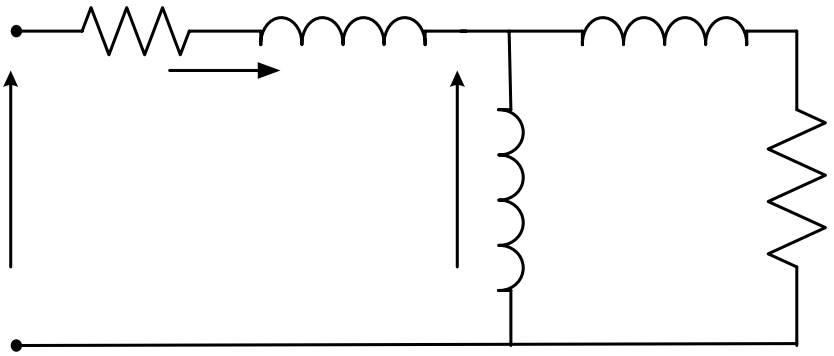
شكل ٧-١ تركيب وخواص المحرك ذي الوجه المظلل

تتولد في الملف المظلِل تيارات بفعل جزء المجال المغناطيسي المتشابك معه، تؤدي إلى تأخر محصلة المجال المغناطيسي لهذا الجزء من القطب (الجزء المظلل) زمنيا عن المجال المغناطيسي في الجزء الآخر، نتيجة لذلك يتكون مجال مغناطيسي دوار يتحرك من الجزء غير المظلل باتجاه الجزء المظلل من القطب، مما ينشأ عنه عزم دوران صغير يعمل على دوران المحرك. يبين الشكل ٧-١ تركيب المحرك، كما يبين منحني العلاقة بين العزم والسرعة. يتميز هذا المحرك برخص الثمن وبساطة التركيب، ويستخدم في المراوح الصغيرة ومضخات المياه المستخدمة في المكيفات الصحراوية وغسالات الملابس.

تحليل خواص المحركات الحثية أحادية المرحلة:

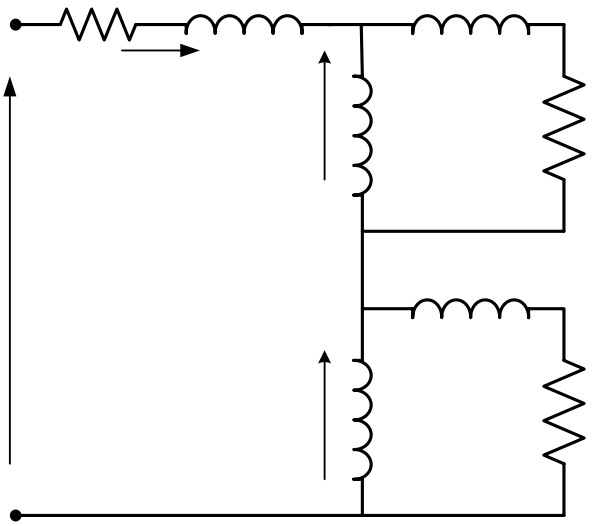
لقد سبق توضيح أن المجال المغناطيسي النابض، الناشئ عن ملف أحادي الوجه، يمكن تحليله إلى مجالين مغناطيسيين دوارين بسرعة التزامن في اتجاهين متضادين، كل من هذين المجالين يولد تيار ومجال مغناطيسي آخر في العضو الدوار، وبالتالي يتولد عزم دوران في الاتجاه الذي يدور فيه، تماما كما يحدث في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه. هذا المجال المغناطيسي المزدوج الدوار، يوفر وسيلة ميسرة لحساب خواص المحرك الحثي أحادي الوجه.

عندما يكون الدوار في حالة السكون، مع تغذية الثابت بالتيار المتردد، فالمحرك في هذه الحالة، يشبه محول ملفه الثانوي مقصور، والدائرة المكافئة للمحرك، تشبه تلك التي للمحول أثناء القصر، الشكل ٨□١ يبين الدائرة المكافئة للمحرك في حالة السكون R_1 , X_1 هما المقاومة والممانعة الحثية للملف الرئيسي في العضو الثابت R_2 , X_2 هما المقاومة والممانعة الحثية للدوار، منسوبة للملف الرئيسي، X_m ممانعة التمغنط. V_1 جهد المصدر، E_m القوة الدافعة الكهربائية المضادة المتولدة في الملف الرئيسي نتيجة للتأثير المشترك للمجالين الأمامي والخلفي في حالة السكون.



شكل ٨□١ الدائرة المكافئة للمحرك أحادي الوجه في حالة السكون.

طبقا لنظرية المجال المغناطيسي المزدوج الدوار، حيث تم تحليل المجال النابض الناشئ عن الملف الأحادي، إلى مجالين دوارين في اتجاهين متضادين، وقيمة كل منهما تساوي نصف القيمة العظمىللمجال النابض، تم تجزئة الجزء الذي يمثل التأثير المشترك للمجال الأمامي والخلفي، إلى جزأين متساوين في الدائرة المكافئة المبينة في الشكل ٩□١، الجزء الأول يمثل تأثير المجال الأمامي، والجزء الثاني يمثل تأثير المجال الخلفي.



شكل ٩□١ الدائرة المكافئة في حالة السكون مبيناً عليها تأثير المجال الأمامي والمجال الخلفي.

دعنا الآن نستعرض الحالة بعد أن يبدأ المحرك دورانه بواسطة وسيلة مساعدة، واستمراره في الدوران بانزلاق(s)، في اتجاه مجاله الأمامي، وملفه الرئيسي فقط موصل مع مصدر الجهد، سيتولد تيار في الدوار بتردد (sf)، نتيجة للمجال الأمامي، حيث (f) هي تردد المصدر، سيقوم هذا التيار بدوره بتوليد مجال مغناطيسي يدور بسرعة (sN_s) بالنسبة للدوار، أي بسرعة ($N+sN_s = N_s$) بالنسبة للعضو الثابت. محصلة المجال الأمامي للثابت والدوار ستولد جهداً مضادا للمصدر (E_{mf}). تأثير الدوار كما يراه الثابت (فيما يختص بالمجال الأمامي)، تماما كما يحدث في حالة المحركات الحثية ثلاثية الأوجه، حيث تكون المقاومة والممانعة الحثية للدوار منسوبة للثابت هي{$0{,}5(R_2/s+ jX_2)$ } على التوازي مع ($0{,}5jX_m$) ، المعامل ($0{,}5$) ظهر هنا بسبب تحليل المجال النابض إلى مجالين دوارين، كل منهما له نصف القيمة العظمى للمجال النابض، كما هو موضح بالدائرة المكافئة بالشكل ١٠□١ في الجزء الذي يمثل المجال الأمامي المشار إليه بالرمز (f).

بما أن الانزلاق بالنسبة للمجال الخلفي ($s_b = 2-s$) فسيتولد تيار في الدوار نتيجة للمجال الخلفي بتردد { $(2-s)f$ } ، مكوناً مجالا مغناطيسيا، يدور في الفراغ بسرعة التزامن، في اتجاه المجال الخلفي، بناء عليه سيكون تأثير الدوار كما يراه الثابت بالنسبة إلى المجال الخلفي، كما هو موضح بالدائرة المكافئة بالشكل١٠□١ في الجزء الخاص بالمجال الخلفي المشار إليه بالرمز (b)، وبالمثل فإن محصلة المجال الخلفي للثابت والدوار تولد جهدا (E_{mb}) مضادا لجهد المصدر.

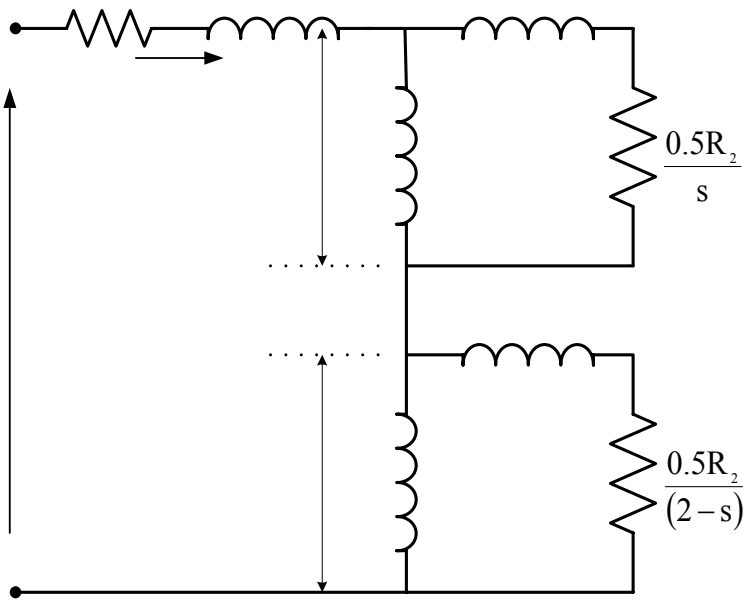
باستخدام الدائرة المكافئة المبينة في الشكل ١٠□١ نستطيع حساب جميع خواص المحرك، مثل القدرة والتيار ومعامل القدرة والعزم إلخ....، عند أي انزلاق محدد، وعندما تكون ثوابت المحرك معلومة.

لتبسيط الدائرة المكافئة افترض أن:

$$Z_f \equiv R_f + jX_f \equiv \left(\frac{R_2}{s} + jX_2\right) \text{inparallel with } jX_m$$

$$Z_b \equiv R_b + jX_b \equiv \left(\frac{R_2}{2-s} + jX_2\right) \text{inparallel with } jX_m$$

في الدائرة المكافئة يلاحظ أن (٠,٥ Z_b , ٠,٥ Z_f) تمثل رد فعل المجالين الأمامي والخلفي، كما يلاحظ أن قيمة (E_{mf}) تتزايد بينما قيمة (E_{mb}) تتناقص، كلما زادت السرعة وقل الانزلاق، بسبب زيادة (Z_f) ونقص (Z_b)، حيث إن قيمة الأولى تعتمد على قيمة (R_2/s) وقيمة الثانية تعتمد على { $R_2/(2-s)$}.



شكل ١٠□١ الدائرة المكافئة للمحرك أثناء التشغيل

مثال ٤□١ :

الملفات الرئيسية لمحرك حثي أحادي الوجه ١٢٠-V، ٦٠ Hz، ذي ستة أقطاب لها الثوابت الآتية:

$R_1 = ٢,٤\ \Omega$, $X_1 = ٣,٦\ \Omega$, $R_2 = ١,٦\ \Omega$, $X_2 = ٣,٦\ \Omega$, $X_m = ٧٥\ \Omega$, $s = ٠,٠٥$

- احسب سرعة المحرك.
- مقاومة الدوار التأثيرية في الدائرة المكافئة للمجال الأمامي.
- مقاومة الدوار التأثيرية في الدائرة المكافئة للمجال الخلقي.
- المعاوقة الكلية لدائرة المجال الأمامي عند بدء الحركة وعند $s = ٠,٠٥$.

$$N_s = \frac{60\times f}{p} = \frac{60\times 60}{3} = 1200 \qquad \text{r.p.m.}$$

$$N = (1\text{-}s)\,N_s = (1-0.05)\times 1200 = 1140 \qquad \text{r.p.m.}$$

- المعاوقة الكلية لدائرة المجال الخلفي عند بدء الحركة وعند $s = ٠,٠٥$.

مقاومة الدوار التأثيرية في الدائرة المكافئة للمجال الأمامي تساوي ($٠,٥R_2/s$).

مقاومة الدوار التأثيرية في الدائرة المكافئة للمجال الخلفي تساوي {$٠,٥\ R_2/(٢\text{-}s)$}

$$\text{The effective rotor resistance in the forward branch} = \frac{0.5R_2}{s} = \frac{0.5\times 1.6}{0.05} = 16 \quad \Omega$$

$$\text{The effective rotor resistance in the backward branch} = \frac{0.5R_2}{(2\text{ - }s)} = \frac{0.5\times 1.6}{1.95} = 0.41 \quad \Omega$$

$$Z_f = \frac{\left(\frac{R_2}{s} + jX_2\right)\times(jX_m)}{\frac{R_2}{s} + j(X_2 + X_m)}$$

المعاوقة الكلية لدائرة المجال الأمامي ($٠,٥\ Z_f$) حيث Z_f تحسب من:

at starting $s=1$

$$Z_f = \frac{(1.6+j3.6).(j75)}{1.6+j(3.6+75)} = \frac{(3.94\angle 66.04).(75\angle 90)}{78.62\angle 88.834} = 3.76\angle 67.166 \quad \Omega$$

$$0.5Z_f = 1.88\angle 67.166 \quad \Omega$$

at $s = 0.05$

$$Z_f = \frac{\left(\frac{1.6}{0.05}+j3.6\right).(j75)}{\frac{1.6}{0.05}+j(3.6+75)} = \frac{(32.2\angle 6.42).(75\angle 90)}{84.864\angle 67.85} = 28.46\angle 28.57 \quad \Omega$$

$$0.5Z_f = 14.23\angle 28.57 \quad \Omega$$

واضح الزيادة في قيمة Z_f مع زيادة السرعة ونقصان الانزلاق، من (s=١) عند بدء الحركة إلى (s=٠,٠٥ عند التشغيل . المعاوقة الكلية لدائرة المجال الخلفي (Z_b ٠,٥) حيث Z_b تحسب من:

$$Z_b = \frac{\left(\frac{R_2}{2-s}+jX_2\right)\times(jX_m)}{\frac{R_2}{2-s}+j(X_2+X_m)}$$

at starting $s=1$

$$Z_b = \frac{(1.6+j3.6).(j75)}{1.6+j(3.6+75)} = Z_f = 3.76\angle 67.166 \quad \Omega$$

$$0.5Z_b = 1.88\angle 67.166 \quad \Omega$$

at $s = 0.05$

$$Z_b = \frac{\left(\frac{1.6}{1.95}+j3.6\right).(j75)}{\frac{1.6}{1.95}+j(3.6+75)} = \frac{(3.692\angle 77.17).(75\angle 90)}{78.6\angle 89.4} = 3.523\angle 77.77 \quad \Omega$$

$$0.5Z_b = 1.761\angle 77.77 \quad \Omega$$

جميع خواص المحرك يمكن استنتاجها بمساعدة الدائرة المكافئة المبينة في الشكل ١٠□١ باستخدام العلاقات التي تربط بين القدرة المتولدة والعزم المتولد و المفاقيد والانزلاق، التي تم استنتاجها للمحرك الحثي الثلاثي الأوجه، كم ورد في مقرر آلات التيار المتردد.

العزم المتولد نتيجة للمجال الأمامي يمكن حسابه من:

$$T_f = \frac{P_{gf}}{\omega_s} \qquad \text{N.m} \qquad 1-6$$

حيث (P_{gf}) قدرة الثغرة بالوات، المتولدة نتيجة للمجال الأمامي، (ω_s) سرعة التزامن بالراديان لكل ثانية . حيث إن (P_{gf}) سوف تمتص فقط في المقاومة ($0.5R_f$)، إذا:

$$P_{gf} = I_1^2 \left(0.5 R_f\right) \qquad \text{watt} \qquad 1-7$$

بالمثل:

$$T_b = \frac{P_{gb}}{\omega_s} \qquad \text{N.m} \qquad 1-8$$

$$P_{gb} = I_1^2 \left(0.5 R_b\right) \qquad \text{watt} \qquad 1-9$$

محصلة العزم المتولد:

$$T = T_f - T_b \qquad 1-10$$

$$T = \frac{1}{\omega_s}\left(P_{gf} - P_{gb}\right) \qquad 1-11$$

المفقودات النحاسية بالدوار والتي تسمى (I^2R loss)، يمكن حسابها من حاصل ضرب الانزلاق في قدرة الثغرة الممتصة من العضو الثابت، مفقودات الدوار النحاسية الناتجة عن المجال الأمامي والمجال

$$\text{Forward field rotor } I^2R \text{ loss} \equiv P_{cu2f} = sP_{gf} \qquad 1-12$$

$$\text{Backward field rotor } I^2R \text{ loss} \equiv P_{cu2b} = (2-s).P_{gb} \qquad 1-13$$

$$\text{Total rotor } I^2R \text{ loss} = sP_{gf} + (2-s).P_{gb} \qquad 1-14$$

الخلفي هي على الترتيب:

$$P_m = (1-s).P_g \qquad 1-15$$

$$P_m = (1-s).(P_{gf} - P_{gb}) \qquad 1-16$$

القدرة الميكانيكية المتولدة:

القدرة المستفاد منها والعزم المستفاد منه:

$$P_o = P_m - \text{losses} \qquad 1-17$$

$$T_o = \frac{P_o}{\omega} \quad \text{N.m} \qquad 1-18$$

$$\text{but} \quad \omega = (1-s)\omega_s \qquad 1-19$$

$$T_o = \frac{P_o}{(1-s)\omega_s} \quad \text{N.m} \qquad 1-20$$

مثال ٥-١:

محرك حثي أحادي الوجه ¼ حصان، ١١٠ فولت، ٦٠ هيرتز وذو أربعة أقطاب له الثوابت الآتية:

$R_1 = 2.02\ \Omega$ $X_1 = 2.79\ \Omega$ $X_m = 66.8\ \Omega$

$R_2 = 4.12\ \Omega$ $X_2 = 2.12\ \Omega$

المفاقيد الحديدية ٢٤ وات المفاقيد الميكانيكية ١٣ وات، عند انزلاق ٠,٠٥ = s احسب:

تيار الدخل، قدرة الدخل، معامل القدرة، القدرة الميكانيكية المتولدة، العزم المتولد، قدرة الخرج،

$$\text{at} \quad s = 0.05$$

$$Z_f = \left(\frac{R_2}{s} + jX_2\right) \text{ inparallel with } jX_m$$

$$Z_f = \frac{\left(\frac{R_2}{s} + jX_2\right) \times (jX_m)}{\left(\frac{R_2}{s} + j(X_2 + jX_m)\right)}$$

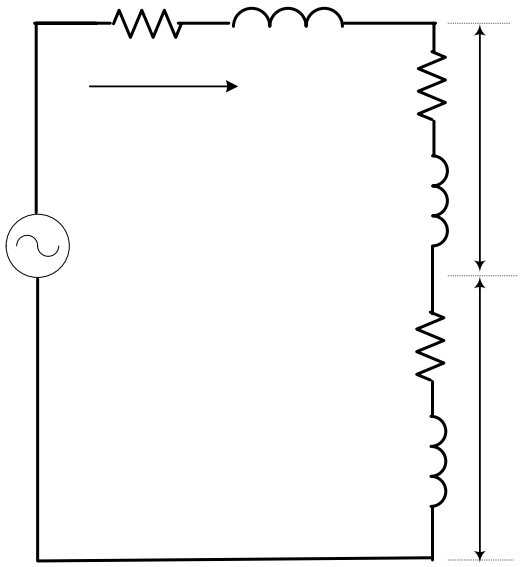
كفاءة المحرك، المفقودات النحاسية بالدوار.

$$Z_f = 31.9 + j40.3 \qquad \Omega$$

$$Z_b = \left(\frac{R_2}{2-s} + jX_2\right) \text{ inparallel with } jX_m$$

$$Z_b = \frac{\left(\frac{R_2}{2-s} + jX_2\right) \times (jX_m)}{\left(\frac{R_2}{2-s} + j(X_2 + X_m)\right)} \qquad \Omega$$

$$Z_b = 1.98 + j2.12 \qquad \Omega$$



شكل ١١□١ الدائرة المكافئة المبسطة.

$$Z_{in} = Z_1 + 0.5\,Z_f + 0.5\,Z_b \qquad \Omega$$

$$Z_{in} = (2.02 + j2.79) + 0.5(31.9 + j40.3) + 0.5(1.98 + j2.12)$$

$$Z_{in} = 18.96 + j24 = 30.6\angle 51.7^{\circ} \quad \Omega$$

the input current is :

$$I_1 = \frac{V_1}{Z_{in}} = \frac{110\angle 0}{30.6\angle 51.7^{\circ}} = 3.59\angle -51.7^{\circ} \quad \text{Amp.}$$

the power factor $= \cos(\phi) = \cos(-51.7) = 0.62$

the power input $= V_1\, I_1 \cos(\phi)$

$$P_1 = 110\times 3.59\times 0.62 = 244 \quad \text{Watt}$$

$$P_{gf} = 0.5\, I_1^2\, R_f = 0.5\times(3.59)^2\times 31.9 = 206 \quad \text{Watt}$$

$$P_{gb} = 0.5\, I_1^2\, R_b = 0.5\times(3.59)^2\times 1.98 = 12.8 \quad \text{Watt}$$

$$P_g = P_{gf} - P_{gb} = 206 - 12.8 = 193.2 \quad \text{Watt}$$

$$P_m = (1-s)P_g = (0.95)\times 193.2 = 184 \quad \text{Watt}$$

the rotational losses $= 24 + 13 = 37$ Watt

the power output $\equiv P_o = P_m$ - losses

$$P_o = 184 - 37 = 147 \quad \text{Watt}$$

$$\text{the efficiency} \equiv \eta = \frac{P_o}{P_{in}} = \frac{147}{244} = 0.6 = 60\,\%$$

$$N_s = \frac{60\times f}{p} = \frac{60\times 60}{2} = 1800 \quad \text{r.p.m.}$$

$$\omega_s = \frac{2\pi N_s}{60} = \frac{2\times\pi\times 1800}{60} = 188.5 \quad \text{rad/sec.}$$

$$N = (1-s)N_s = 0.95\times 1800 = 1710 \quad \text{r.p.m.}$$

$$\omega = (1-s)\omega_s = 0.95\times 188.5 = 179 \quad \text{rad/sec.}$$

$$\text{the developed torque} \equiv T_d = \frac{P_g}{\omega_s}$$

$$T_d = \frac{193.2}{188.5} = 1.1 \quad \text{N.m.}$$

$$\text{the output torque} \equiv T_o = \frac{P_o}{\omega} = \frac{147}{179} = 0.82 \quad \text{N.m.}$$

$$\text{the rotor } I^2R \text{ loss} = sP_{gf} + (2 - s) \times P_{gb}$$

$$= 0.05 \times 206 + 1.95 \times 12.8$$

$$= 10.3 + 24.96 = 35.26 \quad \text{Watt}$$

اختبارذاتي : أختر الإجابة أو الإجابات الصحيحة.

س١ : ملف بدء الحركة (الملف المساعد) للمحرك أحادي الوجه ذي الوجه المشطور، موجود في ....

أ. الدوار.

ب. الثابت.

ج. المنتج.

د. المجال.

س٢ : من خواص المحركات أحادية الوجه أنها ....

أ. لا تحتاج لوسيلة بدء حركة.

ب. تحتاج لوسيلة بدء حركة.

ج. بها ملف واحد فقط.

د. تدور في اتجاه واحد فقط.

س٣ : بعد فصل ملفات بدء الحركة في المحركات أحادية الوجه من مصدر التغذية يستمر المحرك في الدوران بالملف ..... فقط.

أ. الدوار.

ب. المساعد.

ج. الرئيسي.

د. التشغيل.

س٤ : لو تُرك ملف بدء الحركة موصلاً أثناء تشغيل المحرك أحادي الوجه فسوف .....

أ. يسحب المحرك تياراً كبيراً من المصدر.

ب. يدور المحرك بسرعة كبيرة.

ج. يدور المحرك بسرعة بطيئة.

د. تحدث شرارة كهربائية.

س٥ : يمكن عكس اتجاه دوران المحركات الحثية أحادية الوجه ب.....

أ. عكس أطراف ملفاته.

ب. عكس أطراف الملف المساعد فقط.

ج. عكس أطراف الملف الرئيسي فقط.

د. عكس أطراف مصدر التغذية.

ه. جميع ما سبق.

س٦ : في المحرك ذو مكثف بدء الحركة، يوصل المكثف على التوالي مع الملف .....

أ. المساعد.

ب. الرئيسي.

ج. الدوار.

د. التشغيل.

س٧ : المحرك ذو المكثف الدائم لا يحتوي على .....

أ. مفتاح الطرد المركزي.

ب. ملف بدء الحركة.

ج. القفص السنجابي.

د. الملف الرئيسي.

س٨ : المكثف المستخدم لبدء الحركة في المحرك ذي المكثفين، يكون من النوع .....

أ. الورقي المشبع بالزيت.

ب. ذو السائل الكهربي.

ج. الهوائي.

د. السيراميك.

س٩ : جميع الجُمل الآتية والتي تخص المحرك ذا الوجه المظلل صحيحة ما عدا.

أ. يدور المحرك باتجاه من القطب غير المظلل إلى القطب المظلل.

ب. كفاءة المحرك رديئة جداً.

ج. معامل القدرة منخفض.

د. له عزم كبير لبدء الحركة.

أسئلة وتمارين متنوعة :

س ١-١ : لماذا تحتاج المحركات أحادية الوجه لوسيلة مساعدة لبدء حركتها؟ وضح إجابتك بالرسم.

س ٢-١ : عدد الطرق المختلفة المستخدمة لبدء حركة المحركات أحادية الوجه.

س ٣-١ : ما هي أهم مميزات المحرك ذي مكثف بدء الحركة مقارنة بالمحرك مشطور الوجه؟

س ٤-١ : ما هي أهم مميزات المحرك ذي المكثف الدائم مقارنة بالمحرك مشطور الوجه؟

س ٥-١ : ما هي أهم مميزات المحرك ذي المكثفين مقارنة بالمحرك ذي المكثف الدائم؟

س ٦-١ : في أي التطبيقات تستخدم المحركات الحثية أحادية المرحلة؟ أعط أمثلة لاستخدام كل نوع من أنواع المحركات.

تمرين١-١ : محرك حثي أحادي الوجه ٢٣٠-V, ٥٠-Hz ذي ستة أقطاب ($2p = ٦$) يعمل عند الحمل الكامل بانزلاق مقداره $s = ٠,٠٥$ احسب:

i. الانزلاق للمجال الخلفي (s_b).

ii. سرعة التزامن N_s

iii. سرعة المحرك عند الحمل الكامل.

تمرين٢-١ : محرك حثي أحادي الوجه من النوع ذو مكثف بدء الحركة، جهده ١٢٠ فولت وتردده ٦٠هيرتز، ثوابت الملفات الرئيسية والمساعدة عند البدء:

$$Z_m = 4.2 + j3.6 \ \Omega \qquad Z_a = 8.4 + j3.0 \ \Omega$$

احسب قيمة مكثف البدء اللازم للحصول على زاوية مقدارها ثمانون درجة كهربائية (٨٠°) بين تياري الملفات الرئيسية والمساعدة عند بدء الحركة.

تمرين٣-١ : الملفات الرئيسية لمحرك حثي أحادي الوجه ١٢٠-V, ٥٠ Hz، ذي أربعة أقطاب لها الثوابت الآتية $s = ٠,٠٦$, $X_m = ٧٢\ \Omega$, $X_٢ = ٣,٥\ \Omega$, $R_٢ = ١,٨\ \Omega$, $X_١ = ٣,٥\ \Omega$, $R_١ = ٢,٢\ \Omega$

احسب:

- سرعة المحرك.

- مقاومة الدوار التأثيرية في الدائرة المكافئة للمجال الأمامي.
- مقاومة الدوار التأثيرية في الدائرة المكافئة للمجال الخلقي.
- المعاوقة الكلية لدائرة المجال الأمامي عند بدء الحركة وعند s = ٠,٠٦.
- المعاوقة الكلية لدائرة المجال الخلفي عند بدء الحركة وعند s = ٠,٠٦.
-

تمرين٤-١ : محرك حثي أحادي الوجه، ١٣٠-V, ٦٠ Hz من النوع مشطور الوجه له الثوابت الآتية، عند بدء الحركة:

معاوقة الملف الرئيسي $Z_m = ١,٢ + j\ ٢٦$ Ω

معاوقة الملف المساعد $Z_a = ١٢,٥ + j\ ٦$ Ω

احسب عند بدء الحركة : تيار الملف الرئيسي، تيار الملف المساعد، التيار الكلي للمحرك، معامل القدرة، القدرة الداخلة، الزاوية بين تياري الملف الرئيسي والملف المساعد.

$R_1 = 2.2$ Ω $X_1 = 2.8$ Ω $X_m = 70$ Ω

$R_2 = 4.2$ Ω $X_2 = 2.3$ Ω

تمرين٥-١ : محرك حثي أحادي الوجه ¼ حصان، ١٢٠ فولت، ٥٠ هيرتز وذو أربعة أقطاب له الثوابت:

المفاقيد الحديدية ٢٠ وات، المفاقيد الميكانيكية ١٢ وات، عند انزلاق s = ٠,٠٥ أحسب:

تيار الدخل، معامل القدرة، قدرة الدخل، القدرة الميكانيكية المتولدة، العزم الأمامي، العزم الخلفي، قدرة الخرج، العزم المستفاد منه، كفاءة المحرك، المفقودات النحاسية بالدوار.

تمرين٦-١ : ثوابت الدائرة المكافئة لمحرك حثي أحادي الوجه جهده ٢٣٠ V، هي $R_1 = R_2 = ٨$ Ω $X_1 = X_2 = ١٢$ Ω, $X_m = ٢٠٠$ Ω فإذا كان المحرك يعمل بمعامل انزلاق ٤٪، وسرعته ١٧٢٨ rpm. فاحسب:

تيار الدخل، القدرة الداخلة، القدرة المتولدة، العزم المتولد . وذلك عند تسليط الجهد المقنن.

تمرين٧□١ : الدائرة المكافئة لمحرك حثي أحادي الوجه ١١٠-V، ٦٠Hz وله أربعة أقطاب، لها الثوابت الآتية:

$R_1 = R_2 = ٢\ \Omega$, $X_1 = X_2 = ٢\ \Omega$, $X_m = ٥٠\ \Omega$ فإذا كانت مفقودات القلب الحديدي ٥ وات، ومفقودات الاحتكاك ١٠ وات، والمحرك يعمل بمعامل انزلاق ١٠٪، فأوجد:

ا - التيار الداخل للمحرك. ب - الكفاءة.

الآلات الكهربائية الصغيرة

محركات الخطوة

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة: معرفة تركيب وأنواع محركات الخطوة واستخداماتها.

الأهداف: عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة علي:

١. معرفة تركيب وأنواع محركات الخطوة.

٢. معرفة التطبيقات التي تستخدم فيها محركات الخطوة.

٣. التمييز بين أنواع محركات الخطوة.

٤. فهم كيفية عمل محركات الخطوة.

٥. حساب خطوة المحرك.

٦. كتابة الجداول المنطقية لدوران محركات الخطوة في الاتجاه المطلوب.

الوقت المتوقع للتدريب: ٤ ساعات

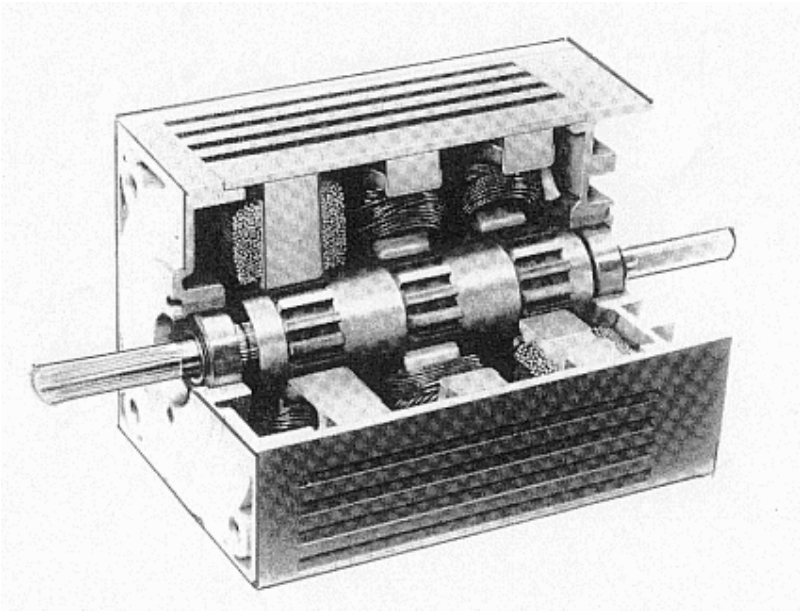
متطلبات الجدارة: اجتياز جميع المهارات السابقة.

ويطلق عليها أيضا المحركات متدرجة الحركة، عرفت محركات الخطوة (Stepping Motors) منذ زمن بعيد، إلا أن إنتاجها تجاريا بدء في الستينيات الميلادية، بعد التقدم العلمي الذي أحرز في مجال إلكترونيات القدرة، في إمكانية توصيل وفصل تيار مستمر ذي قيمة عالية في ملفات المحركات، حيث بدء التفكير في استخدامها، عندما بدأ الطلب على جهاز يمكن أن يعطي حركة دورانية في صورة انحراف زاوي ثابت. يمكن ربط محرك الخطوة مع الحاسب الآلي أو المعالجات الصغيرة، التي تستطيع التحكم فيه لأداء وظائف محددة، وكمثال لاستعمالات هذه الآلات، في آلات القطع حيث يمكن باستخدام هذا النوع من المحركات، مع صندوق للتروس لتثبيت آلة القطع والقطعة المراد تشكيلها خلال فترة التشغيل، مثال آخر لاستخدامات محركات الخطوة، هو استعمالها في طابعات الحاسب الآلي، حيث يكون من المطلوب دوران المحرك بزاوية محددة، لتحريك ورق الطباعة مسافة محددة، حسب الفواصل بين الأسطر، تم ثباته في بعد ذلك حتى الانتهاء من طباعة السطر، وكذلك يستعمل محرك الخطوة في مشغل الأقراص المرنة أو المدمجة في أجهزة الحاسب الآلي، وتطبيقات أخرى كثيرة لا حصر لها في الصناعة والأجهزة الطبية و العدادات الرقمية.

هناك أنواع كثيرة من محركات الخطوة، ولكن يمكن تقسيمها إلى نوعين رئيسيين:

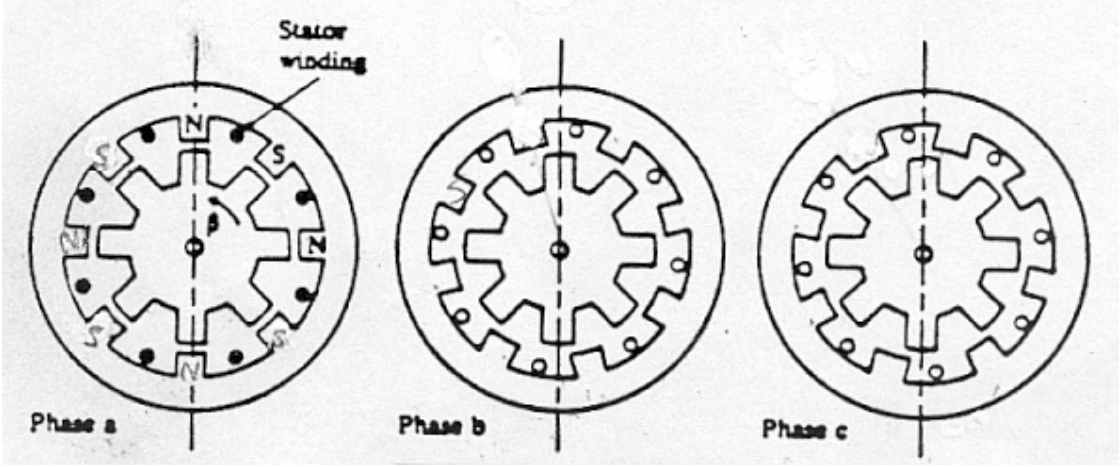
١. محركات الخطوة ذات الممانعة المغناطيسية المتغيرة:

العضو الثابت لمحرك الخطوة ذو الممانعة المتغيرة، مجزأ على طول محورة إلى عدة مجموعات من الأقطاب (Stacks)، المستقلة مغناطيسيا عن بعضها ، كل مجموعة من الأقطاب، يمكن إثارتها مغناطيسيا بواسطة ملفات مستقلة (Phases)، الدوار يتركب من أسنان بارزة، كل من العضو الثابت والدوار يصنع من شرائح الحديد، لإمكانية التغيير السريع للمجال المغناطيسي دون أن يكون مصحوبا بمفاقيد التيارات الدوامية (eddy current losses). كل مجموعة(Stack) من مجموعات العضو الثابت، ملفوفة بملفات كي تعطي مجال مغناطيسي في اتجاه قطر المحرك، وبحيث تكون الأقطاب المتجاورة مختلفة في قطبيتها عن بعضها. شكل ١-٢ يوضح قطاع في أحد محركات الخطوة ذات الممانعة المتغيرة يحتوي على ثلاث مجموعات على عضوه الثابت.



شكل ١□٢ قطاع في محرك خطوة ذي الممانعة المتغيرة

الرسم التوضيحي في شكل ٢□٢ يوضح تركيب محرك خطوة ذو الممانعة المتغيرة، المحرك المبين يحتوي على عضو دوار ذي ثمانية أسنان، وعضو ثابت ذي ثلاث مجموعات من ثمانية أقطاب على طول العضو الدوار، (وقد أمكن إنتاج محركات يحتوي عضوها الثابت على أكثر من ثلاثة وحتى سبعة مجموعات من الأقطاب، كل مجموعة بها عدد من الأقطاب مساو لعدد أسنان الدوار). كل مجموعة مستقلة تماما بدوائرها المغناطيسية عن المجموعات الأخرى.



شكل ٢□٢ تركيب محرك الخطوة ذي الممانعة المتغيرة.

كيفية عمل المحرك:

عند تغذية ملفات المجموعة "A" بتيار مستمر، فإن أسنان الدوار تتجه وتثبت بحيث تكون محاورها منطبقة مع محاور أقطاب المجموعة "A" للعضو الثابت، ,حيث أن المجموعة "B" تشبه المجموعة "A" من جميع الوجوه، ما عدا أنها مختلفة معها في الزاوية بمقدار خمس عشرة درجة ضد اتجاه عقارب الساعة، فإذا فصلت ملفات المجموعة "A" وغذيت ملفات المجموعة "B" بتيار مستمر، فإن المحرك سيولد عزم دوران يدفع الدوار خمس عشرة درجة في عكس اتجاه عقارب الساعة، ويثبت بحيث تكون محاور الدوار منطبقة مع محاور المجموعة "B". المجموعة "C" أيضا لها أقطاب مختلفة في الزاوية بمقدار خمس عشرة درجة ضد اتجاه عقارب الساعة، بالنسبة للمجموعة "B"، فعند فصل ملفات المجموعة "B" وتغذية ملفات المجموعة "C"، فإن المحرك سيولد عزم دوران يدفع الدوار خمس عشرة درجة أخرى في عكس اتجاه عقارب الساعة، ثم تكرر العملية بتغذية ملفات المجموعة "A" من جديد وهكذا. إعادة تكرار هذا الترتيب .....A,B,C,A, (من اليسار إلى اليمين)، يعطي خطوات دورانية كل منها خمس عشرة درجة ضد اتجاه عقارب الساعة، عكس هذا الترتيب ....A,C,B,A, يتسبب في خطوة المحرك مع عقارب الساعة. لإمكانية أن يخطو المحرك في كل من اتجاهي الدوران، لا بد أن يحتوي العضو الثابت للمحركات من هذا النوع على ثلاث مجموعات "Stacks" على الأقل.

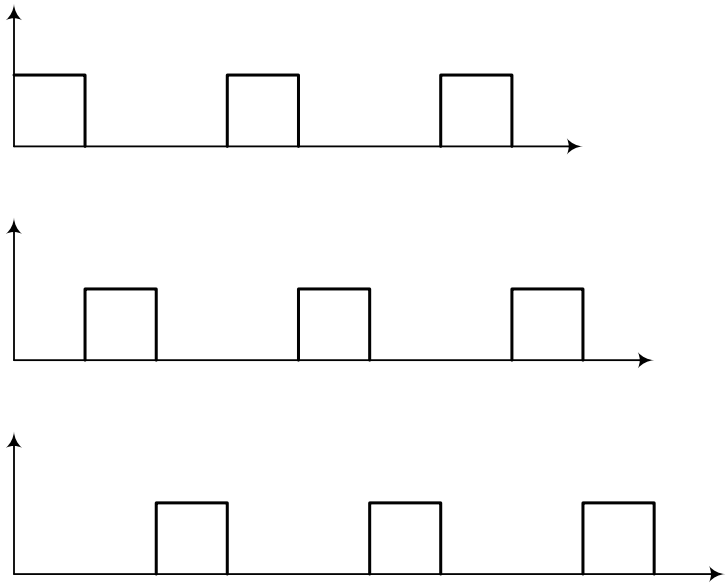
C	B	A
		+
+		
	+	
		+
+		
	+	

الجدول ٢□٢ التسلسل المنطقي لتتابع تغذية الأوجه بحيث يخطو المحرك خطوات كاملة مع عقارب الساعة

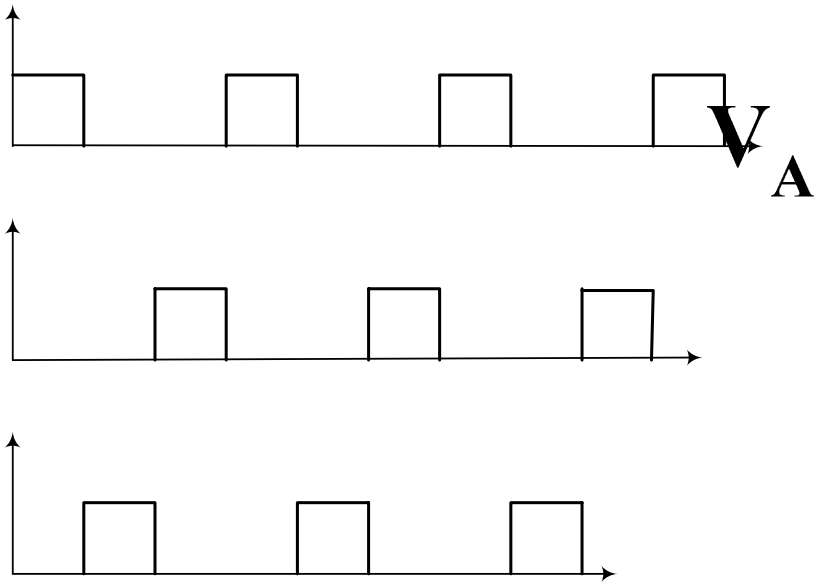
C	B	A
		+
	+	
+		
		+
	+	
+		

الجدول ١□٢ التسلسل المنطقي لتتابع تغذية الأوجه بحيث يخطو المحرك خطوات كاملة ضد عقارب الساعة

موجات الجهد الموصل مع مجموعات الثابت مبينة في الشكل ٣□٢ في حالة دوران المحرك ضد عقارب الساعة وفي الشكل ٤□٢ في حالة دوران المحرك مع عقارب الساعة.



شكل ٣□٢ موجات الجهد الموصل مع مجموعات الثابت في حالة دوران المحرك ضد عقارب الساعة



شكل ٤□٢ موجات الجهد الموصل مع مجموعات الثابت في حالة دوران المحرك مع عقارب الساعة

يمكن للمحرك أن يخطو بنصف خطوة إذا اتبعنا التسلسل المنطقي التالي:

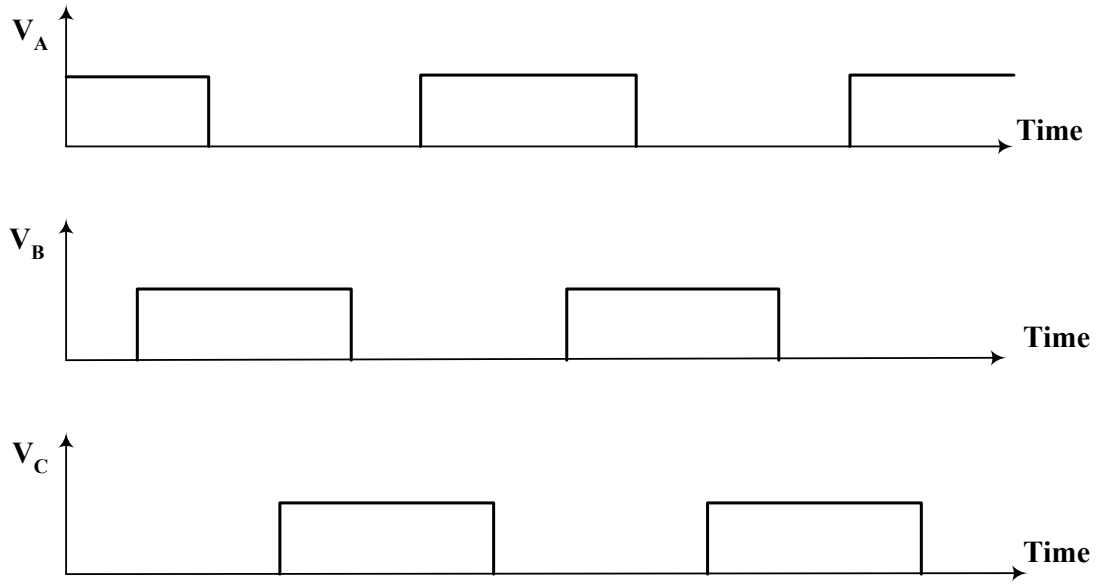
A	B	C
+		
+	+	
	+	
	+	+
		+
+		+
+		

الجدول ٤□٢ التسلسل المنطقي لتتابع تغذية الأوجه بحيث يخطو المحرك بنصف خطوة مع عقارب الساعة

A	B	C
+		
+	+	
	+	
	+	+
		+
+		+
+		

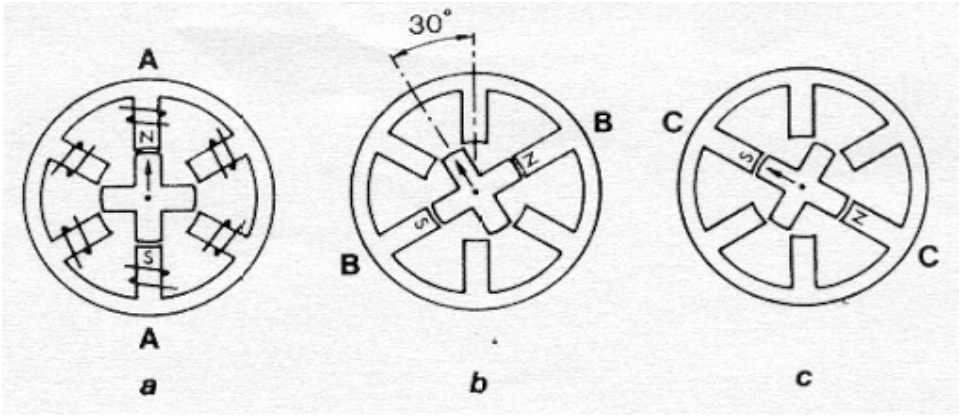
الجدول ٣□٢ التسلسل المنطقي لتتابع تغذية الأوجه بحيث يخطو المحرك بنصف خطوة ضد عقارب الساعة

موجات الجهد الموصل مع مجموعات الثابت في حالة دورات المحرك بنصف خطوة ضد عقارب الساعة مبينة بالشكل ٥□٢



شكل ٥□٢ موجات الجهد في حالة دورات المحرك بنصف خطوة ضد عقارب

الشكل ٦□٢ يوضح تصميم آخر من محركات الخطوة ذات المانعة المتغيرة، المحرك المبين يتكون من ثلاث مجموعات على العضو الثابت، كل مجموعة تتكون من قطبين، ولكن المجموعات الثلاث وضعت في نفس المستوى بحيث يكون كل قطبين متقابلين مجموعة واحدة، (بدلا من تجزئة العضو الثابت إلى عدة أجزاء ، كل جزء يختص بمجموعه أقطاب)، ملفات قطبي المجموعة الواحدة موصلة على التوالي، بحيث يكتسب أحد القطبين مغناطيسية تجعل منه قطباً مغناطيسياً شمالياً والآخر قطباً جنوبياً، العضو الدوار يحتوي على أربعة أسنان. الشكل a٦□٢ يوضح وضع الدوار، أثناء تغذية المجموعه A فقط، والشكل b٦□٢ يوضح وضع الدوار، أثناء تغذية المجموعة B فقط، وبمقارنة وضعي الدوار السابقين، يتبين أن الدوار دار خطوة كاملة ضد عقارب الساعة. بمقارنة وضع الدوار، أثناء تغذية المجموعة C المبين بالشكل c٦□٢ مع وضعه أثناء تغذية المجموعة B، يتضح أن الدوار دار خطوة أخرى ضد عقارب الساعة. التسلسل المنطقي لتغذية المجموعات لتشغيل المحرك بخطوة كاملة في كل من اتجاهي الحركة، هو نفس التسلسل الموضح بالجداول السابقة ١□٢ و ٢□٢. على المتدرب استنتاج الجداول المنطقية لحركة المحرك بنصف خطوة ومقارنتها بالجداول ٣□٢ و ٤□٢ .



شكل ٦□٢ تصميم آخر لمحركات الخطوة ذات المانعة المتغيرة

حساب خطوة المحرك:

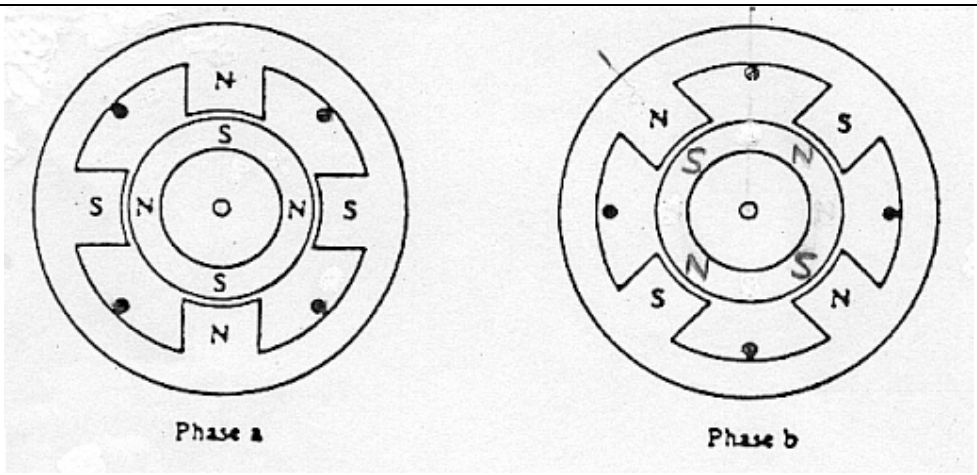
إذا افترضنا أن عدد المجموعات "Stacks" هو N وعدد أسنان (أقطاب) الدوار هو p فإن خطوة المحرك θ يمكن حسابها من العلاقة الآتية:

$$\theta = \frac{360}{N \cdot p} \qquad 2-1$$

عند تطبيق المعادلة ١□٢ على المحرك المبين في الشكل ٢□٢، ينتج أن خطوته ١٥ درجة، وعند تطبيقها على المحرك المبين في الشكل ٦□٢، ينتج أن خطوته ٣٠ درجة.

٢. محركات الخطوة ذات الأقطاب المغناطيسية الدائمة:

يمكن زيادة العزم المتولد من محرك الخطوة باستخدام مغناطيسات دائمة قوية على العضو الدوار، فالمحرك في هذه الحالة مزود بوسيلة دائمة على الدوار لتأثيث مجال مغناطيسي قوي ذي قيمة ثابتة، الشكل ٧□٢ يوضح محركاً من هذا النوع ذا مجموعتين من أربعة أقطاب على عضوه الثابت، والدوار يتكون من أربعة أقطاب مغناطيسية دائمة على شكل أسطوانة دائرية. لحساب خطوة المحرك تستخدم نفس العلاقة المعطاة بالمعادلة ١□٢ (يكون الناتج ٤٥ درجة).



شكل ٧□٢ محرك خطوة ذو أقطاب مغناطيسية دائمة

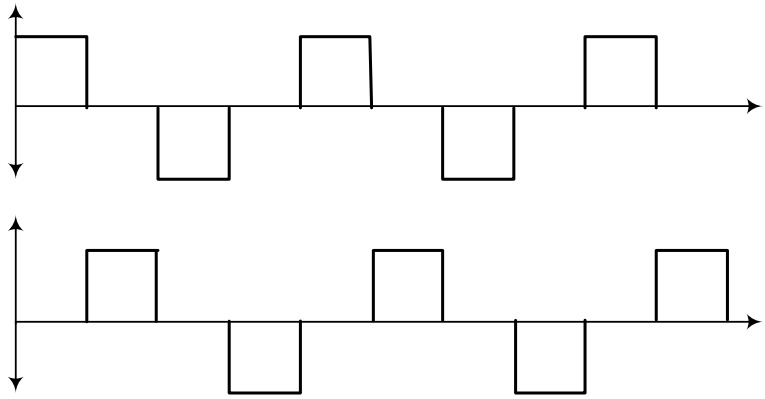
كيفية عمل المحرك:

عند تغذية المجموعة 'A' بتيار مستمر، تتحد محاور أقطاب الدوار مع محاور أقطاب المجموعة 'A'، بحيث يتجاذب كل قطبين مختلفين، ويثبت الدوار على هذا الوضع الموضح بالشكل va□٢ . عند فصل المجموعة 'A' وتغذية المجموعة 'B' بتيار مستمر، يخطو الدوار ٤٥ درجة (خطوة كاملة) في عكس اتجاه عقارب الساعة، لتتحد محاور أقطابه مع محاور أقطاب المجموعة 'B' ، ويثبت الدوار أيضا في هذا الوضع الموضح في الشكل vb□٢. عند إثارة المجموعة 'A' مرة أخرى ولكن بعكس القطبية السابقة، يتابع الدوار دورانه بخطوة أخرى، ضد عقارب الساعة وهكذا، ويصبح تتابع المجموعات A,B,A-,B-,A,.... ، كما هو مبين بجدول التسلسل المنطقي للمحرك

A	B
+	
	+
-	
	-
+	

الجدول ٥□٢ يبين التسلسل المنطقي لتتابع توصيل المجموعات بحيث يخطو المحرك المبين بالشكل ٧□٢ بخطوة كاملة ٤٥ درجة ضد عقارب الساعة.

الشكل ٨□٢ يبين موجات الجهد الموصل مع المجموعتين (A&B) في هذه الحالة .



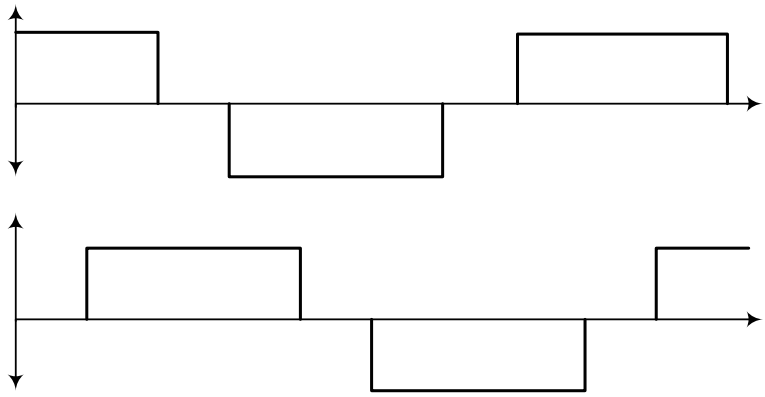
شكل ٨□٢ موجات الجهد الموصل لمجموعات المحرك المبين بالشكل ٧□٢
عند تشغيله بخطوة كاملة ضد عقارب الساعة

يمكن تشغيل المحرك بنصف خطوة إذا تم اتباع التسلسل المنطقي المبين بالجدول ٦□٢

A	B
+	
+	+
	+
-	+
-	
-	-
	-
+	-

الجدول ٦□٢ يبين التسلسل المنطقي لتتابع توصيل المجموعات بحيث يخطو المحرك المبين بالشكل ٧□٢ بنصف خطوة ٢٢,٥ درجة عكس عقارب الساعة.

الشكل ٩□٢ يبين موجات الجهد الموصل مع المجموعتين (A&B) في حالة دوران المحرك بنصف خطوة ضد عقارب الساعة. كما يمكن تشغيل المحرك في اتجاه عقارب الساعة، بخطوة كاملة أو بنصف خطوة، إذا تم عكس ترتيب تسلسل تغذية مجموعات العضو الثابت، المبينة في الجداول ٥□٢ و٦□٢ على الترتيب.

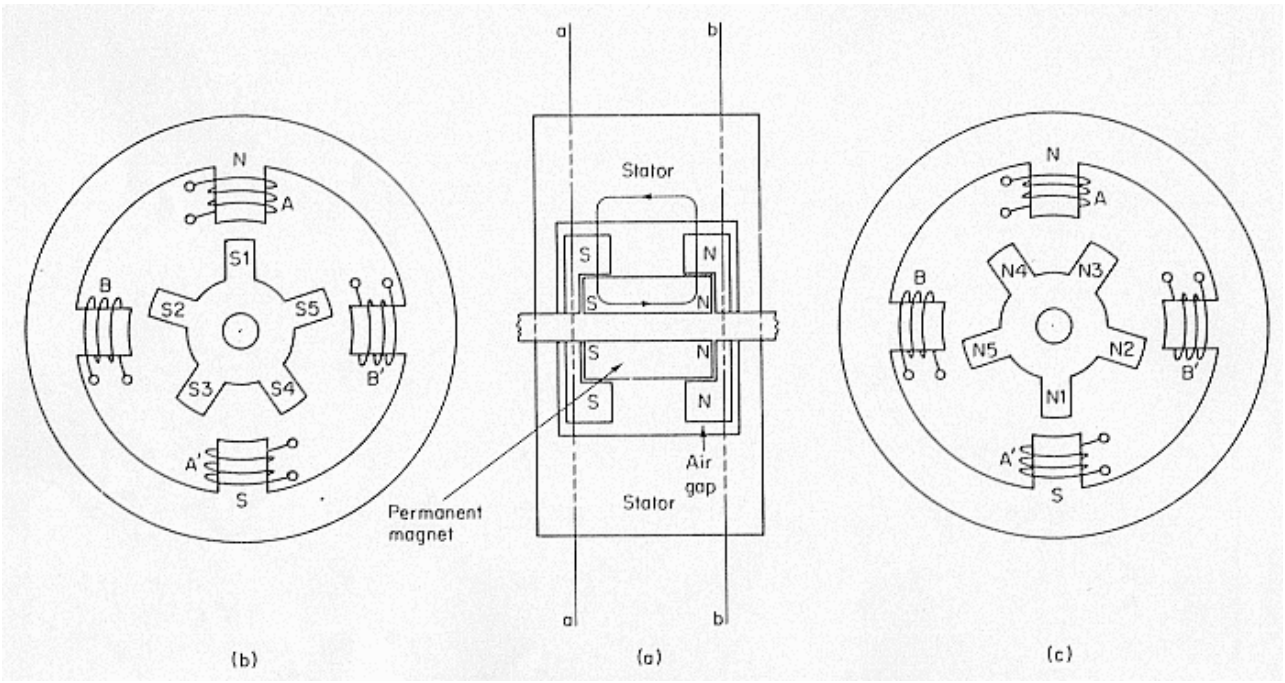


شكل ٩□٢ موجات الجهد في حالة دوران المحرك المبين بالشكل ٧□٢
بنصف خطوة ضد عقارب الساعة

٣. محركات الخطوة ذات الأقطاب المغناطيسية الدائمة على طول المحور الدوار:

محرك الخطوة الهجين : Hybrid stepper motor

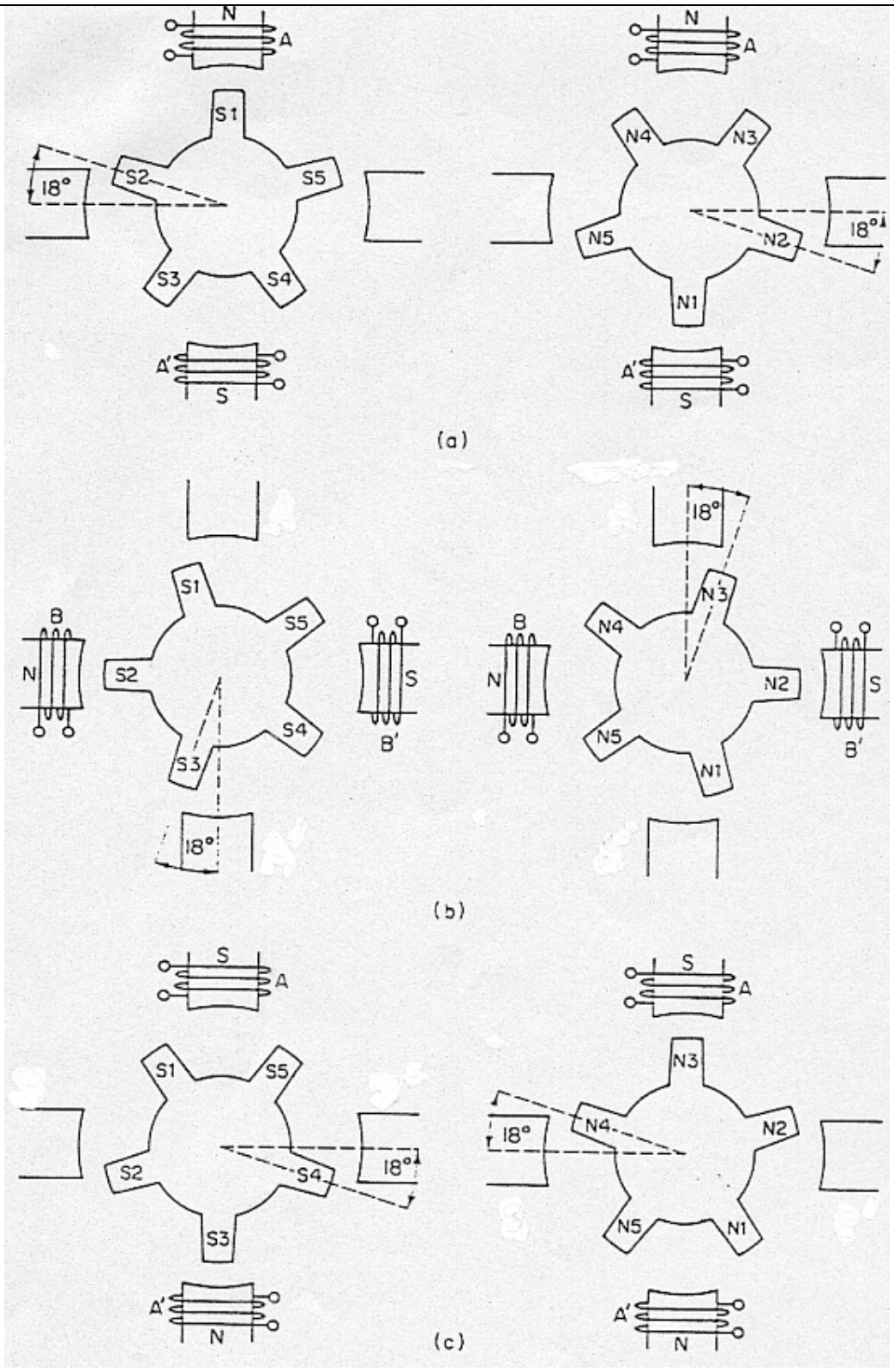
شكل آخر من أشكال محركات الخطوة ذات الأقطاب المغناطيسية الدائمة، وتركيبه كما في الشكل ١٠□٢، القطب الثابت مكون من مجموعتين، كل مجموعة مكونة من قطبين، ملفات أقطاب المجموعة الواحدة موصلة على التوالي، لتُكون عند تغذيتها بتيار مستمر قطباً شمالياً وآخر جنوبياً. الدوار مثبت عليه مغناطيس دائم في اتجاه محوره، يوجد على كل طرف من أطراف الدوار قطعة من الحديد، بها خمسة أسنان، بحيث تكتسب جميع الأسنان عند أحد طرفي الدوار قطبية مغناطيسية شمالية، وتكتسب الأسنان التي عند الطرف الآخر للدوار قطبية جنوبية، مجموعة الأقطاب الشمالية مرتبة بحيث تنحرف بنصف خطوة، عن مجموعة الأقطاب الجنوبية. التناظر بين أي من مجموعات الثابت وكل من مجموعتي أقطاب الدوار، يجعل من الواضح أن تسلك كل مجموعة أقطاب للدوار السلوك نفسه مع أحد قطبي الثابت، أي أنه عند تغذية المجموعة (A-A′)، فإن العلاقة بين القطب الشمالي A ومجموعة الأقطاب الجنوبية للدوار، هي نفس العلاقة بين القطب الجنوبي A′ ومجموعة الأقطاب الشمالية للدوار، ويمكن ذكر العلاقة نفسها عند تغذية المجموعة (B-B′)



شكل ١٠□٢ محرك الخطوة من النوع الهجين

طريقة عمل المحرك:

طريقة عمل المحرك لكي يخطو خطوة محددة، ويثبت في وضع محدد بدقة، يمكن فهمها بفحص الرسومات التوضيحية في الشكل ١١□٢ . نقطة البداية عندما تغذي المجموعة (A-A′) بالتيار المستمر في الاتجاه الموجب، أي أن يكتسب القطب (A) قطبية شمالية والقطب المقابل له (A′) قطبية جنوبية، بينما تظل المجموعة (B-B′) بدون تغذية، يتخذ الدوار الوضع المبين في الشكل ١١a□٢ ويظل مستقرا في هذا الوضع، طالما استمرت تغذية المجموعة (A-A′)، فإذا فصلت المجموعة (A-A′) وغذيت المجموعة (B-B′) بقطبية موجبة، أي بحيث يكون القطب (B) قطباً شمالياً، والقطب (B′) قطباً جنوبياً، فسيخطو الدوار خطوة كاملة ثماني عشرة درجة (١٨°) ضد اتجاه عقارب الساعة، ويستقر في الوضع المبين في الشكل ١١b□٢.. يخطو المحرك خطوة أخرى ضد عقارب الساعة إذا فصلت المجموعة (B-B′) ووصلت المجموعة (A-A′) مرة أخرى ولكن بقطبية سالبة الشكل ١١c□٢. وهكذا.



شكل ١١□٢ كيفية عمل محرك الخطوة الهجين

إذا افترضنا أن أقصى عزم متولد هو T_m فيمكن حساب العزم عند أي زاوية موضع أخرى يكون عندها العزم ذا قيمة أقل من T_m باستخدام جيب الزاوية أو جيب تمام الزاوية، طبقا لكون العزم ناتجاً عن التجاذب أو التنافر بين الأقطاب على الترتيب. عزم التجاذب بين الأقطاب المغناطيسية المختلفة، يبلغ أقصى قيمة له عندما تكون الزاوية بين محوري القطبين تسعين درجة (٩٠°)، فهو إذا يخضع لقانون جيب الزاوية. أما في حالة التنافر بين الأقطاب المغناطيسية المتشابهة، يبلغ العزم أقصى قيمة له عندما تكون الزاوية بين محوري القطبين صفرا، إذا فهو يخضع لقانون جيب تمام الزاوية.

عندما يتم فصل (A-A′) تغذية (B-B′) ومازال الدوار في الوضع a١١□٢، فيحسب العزم من:

$$T = T_m \left[\sin\angle_N^{S2} + \sin\angle_N^{S1} - \sin\angle_N^{S3} + \cos\angle_S^{S5} - \cos\angle_S^{S4} \right] \qquad 2-2$$

استعملت الإشارة الموجبة للعزم الذي يعمل ضد اتجاه عقارب الساعة، والإشارة السالبة للعزم الذي يعمل مع عقارب الساعة، وبإدخال قيم الزوايا المذكورة في المعادلة ٢□٢ ينتج:

$$T = T_m \left[\sin 18^\circ + \sin 90^\circ - \sin 54^\circ + \cos 18^\circ - \cos 54^\circ \right]$$
$$T = T_m \left[0.309 + 1.0 - 0.809 + 0.951 - 0.588 \right]$$
$$T = 0.863\, T_m \qquad 2-3$$

لأن محصلة العزم موجبة، فسيخطو الدوار ١٨° ضد عقارب الساعة، حتى يصل إلى وضع الاتزان المبين بالشكل b١١□٢ .

خطوة المحرك تحسب بتطبيق المعادلة ١□٢، جداول التسلسل المنطقي لحركة المحرك بخطوة كاملة وبنصف خطوة ضد عقارب الساعة، هي نفس الجداول ٥□٢ و ٦□٢ على الترتيب. كما يمكن عكس اتجاه خطوة المحرك بعكس التسلسل الوارد في الجداول المذكورة. يمكن أيضا تشغيل المحرك بخطوة كاملة في كل من اتجاهي الحركة بتغذية مجموعتي العضو الثابت في نفس الوقت، وذلك للحصول على عزم أكبر من الحالة السابقة، إذا اتبع التسلسل المنطقي الموضح في الجداول ٧□٢ و ٨□٢

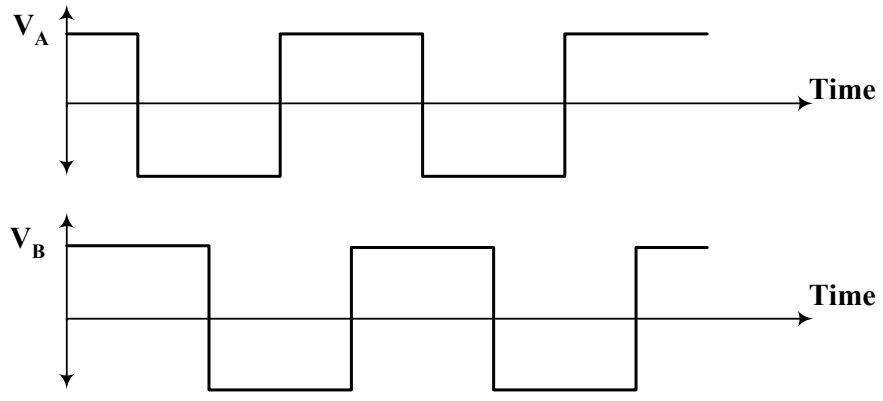
الجدول ٧□٢ يبين التسلسل المنطقي لتتابع توصيل المجموعات بحيث يتم تغذية مجموعتي الثابت معاً ويخطو المحرك بخطوة كاملة ١٨ درجة ضد عقارب الساعة.

A	B
+	+
-	+
-	-
+	-
+	+

الجدول ٨□٢ يبين التسلسل المنطقي لتتابع توصيل المجموعات بحيث يتم تغذية مجموعتي الثابت معاً ويخطو المحرك بخطوة كاملة ١٨ درجة مع عقارب الساعة.

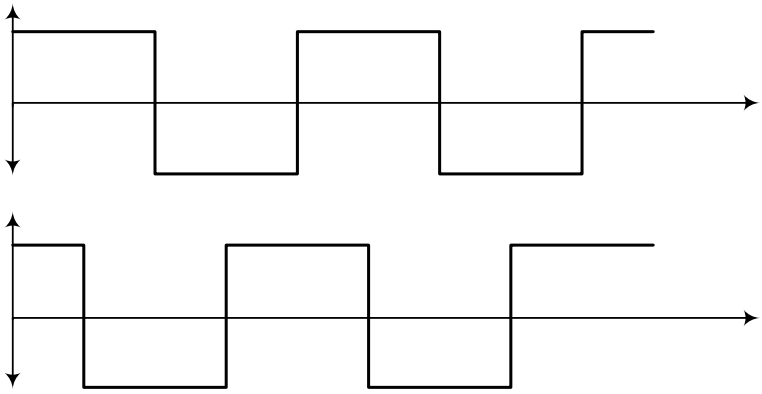
A	B
+	+
+	-
-	-
-	+
+	+

الشكل ١٢□٢ يبين موجات الجهد الموصل مع مجموعات الثابت في الحالتين السابقتين



(a)

شكل ١٢a□٢



شكل ١٢b□٢

موجات الجهد الموصل لمجموعتي الثابت في حالة تغذية المجموعتين في نفس الوقت ودوران المحرك بخطوة كاملة، (a)ضد عقارب الساعة، (b) مع عقارب الساعة

V_A

V_B

اختبارذاتي : اختر الإجابة أو الإجابات الصحيحة

س١ : في المحركات متدرجة الحركة ذات الممانعة المغناطيسية المتغيرة .....

أ. يتركب الدوار من أسطوانة دائرية.

ب. يتركب الدوار من أسنان بارزة.

ج. توجد ملفات متغيرة على الدوار

د. توجد ملفات متغيرة على الثابت.

س٢ : في المحركات متدرجة الحركة ذات الأقطاب المغناطيسية المتغيرة .....

أ. توجد أقطاب مغناطيسية دائمة على الدوار.

ب. توجد أقطاب مغناطيسية دائمة على الثابت.

ج. توجد أقطاب مغناطيسية دائمة على كل من الثابت والدوار.

د. توجد ملفات دائمة على الدوار.

س٣ : في محركات الممانعة المتغيرة يجب أن يكون عدد مجموعات الثابت .....

أ. مجموعتين فقط.

ب. ثلاث مجموعات فقط.

ج. أكثر من مجموعتين.

د. أكثر من ثلاث مجموعات.

س٤ : يتم تغذية مجموعتين من مجموعات الثابت لمحرك الخطوة في نفس الوقت بالتتالي وذلك .....

أ. لعكس اتجاه دوران المحرك.

ب. للحصول على عزم أكبر.

ج. لدوران المحرك بخطوة كاملة.

د. لدوران المحرك بنصف خطوة.

س٥ : مجموعات العضو الثابت لمحرك الخطوة ملفوفة بملفات كي تعطي مجالاً مغناطيسياً بحيث تكون

أ. جميع الأقطاب لها نفس القطبية.

ب. الأقطاب المتجاورة لها نفس القطبية.

ج. الأقطاب المتجاورة مختلفة في قطبيتها.

أسئلة وتمارين متنوعة :

س ١□٢ : كيف يمكن التفريق بين محركات الخطوة ذات الممانعة المتغيرة وذات الأقطاب الدائمة.

س ٢□٢ : كيف تحسب خطوة محرك الخطوة.

س ٣□٢ : اذكر أمثلة لاستخدامات المحركات متدرجة الحركة.

س ٤□٢ : كيف يتم عكس اتجاه دوران محرك الخطوة.

س ٥□٢ : صف مع الرسم شكلين مخلفين من أشكال محركات الخطوة ذات الممانعة المتغيرة.

س ٦□٢ : صف مع الرسم شكلين مخلفين من أشكال محركات الخطوة ذات الأقطاب الدائمة.

تمرين ١□٢ : محرك الخطوة المبين بالشكل ١٣□٢، من النوع ذي الممانعة المغناطيسية المتغيرة، العضو الثابت يحتوي على أربع مجموعات من الأقطاب، كل مجموعة بها قطبين، الدوار يحتوي على ستة أسنان، المطلوب:

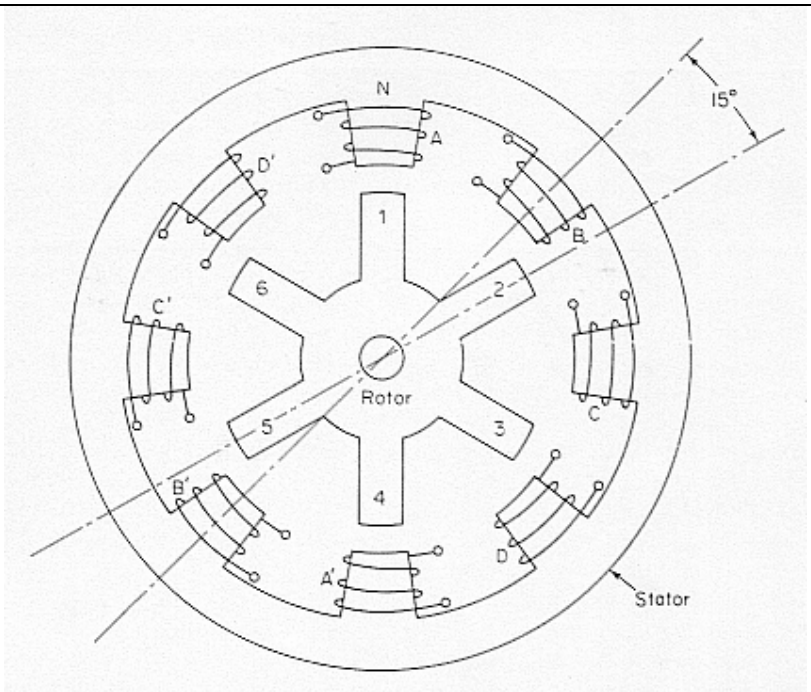
أ. حساب خطوة المحرك.

ب. التسلسل المنطقي لتغذية المجموعات، بحيث يدور المحرك مع عقارب الساعة، بخطوة كاملة.

ج. التسلسل المنطقي لتغذية المجموعات، بحيث يدور المحرك مع عقارب الساعة، بنصف خطوة.

د. موجات الجهد المغذي للمجموعات في الحالتين ب، ج.

ه. هل يمكن استبدال الدوار بآخر، ذي أقطاب مغناطيسية دائمة؟ ولماذا؟



شكل ١٣□٢ تمرين ١□٢

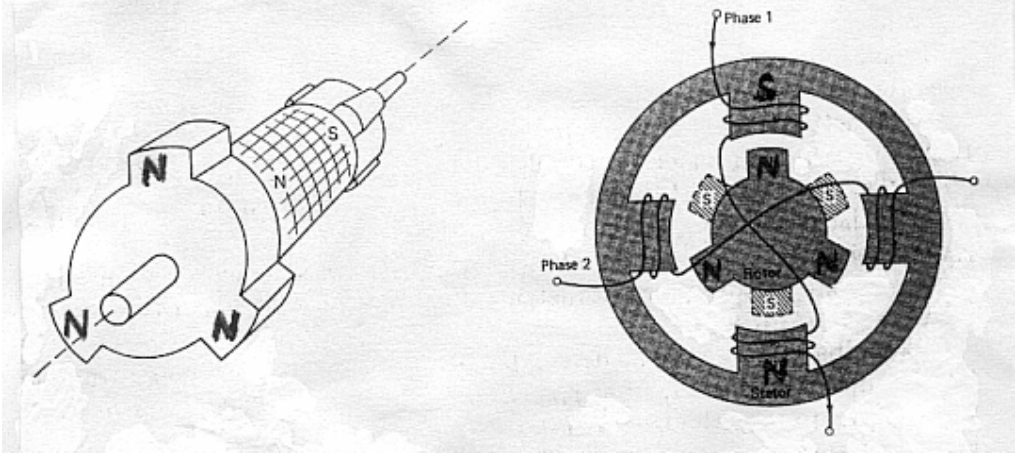
تمرين ٢□٢ : للمحرك متدرج الحركة من النوع الهجين، المبين بالشكل ١٤□٢، أوجد:

أ. خطوة المحرك

ب. الجدول المنطقي لحركة المحرك بخطوة كاملة ضد عقارب الساعة، وموجات الجهد الموصل بالمجموعات.

ج. أثبت أن الدوار متزن بالوضع المبين بالشكل.

د. احسب قيمة العزم المتولد، عند فصل المجموعة ١ وتغذية المجموعة ٢، بدلالة أقصى عزم.



شكل ١٤□٢ تمرين ٢□٢

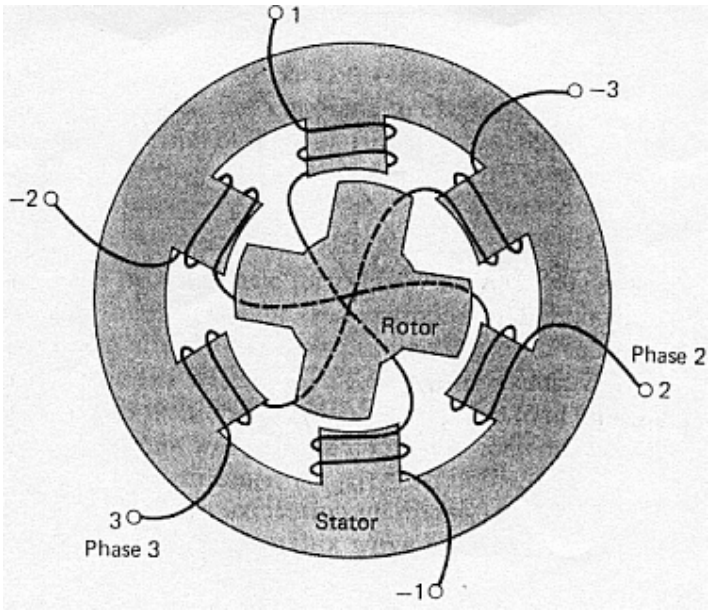
تمرين ٣-٢ : محرك الخطوة المبين بالشكل ١٥-٢، من النوع ذي الممانعة المغناطيسية المتغيرة، العضو الثابت يحتوي على ثلاث مجموعات من الأقطاب، كل مجموعة بها قطبان، الدوار يحتوي على أربعة أسنان، المطلوب:

أ. حساب خطوة المحرك.

ب. التسلسل المنطقي لتغذية المجموعات، بحيث يدور المحرك مع عقارب الساعة، بخطوة كاملة.

ج. التسلسل المنطقي لتغذية المجموعات، بحيث يدور المحرك مع عقارب الساعة، بنصف خطوة.

د. هل يمكن استبدال الدوار بآخر، ذي أقطاب مغناطيسية دائمة؟ ولماذا؟



شكل ١٥-٢ تمرين ٣-٢

الآلات الكهربائية الصغيرة

مولدات التاكو

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة: معرفة تركيب وأنواع مولدات التاكو.

الأهداف: عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على معرفة:

١. أنواع التاكومترات والتمييز بينهما.

٢. أسباب الخطأ في قراءة التاكومترات وطرق تلافيها.

٣. كيفية معايرة التاكومترات.

الوقت المتوقع للتدريب: ٤ ساعات

متطلبات الجدارة: اجتياز مقررات آلات التيار المستمر والمتردد.

مولدات التاكو أو التاكومترات هي أجهزة لقياس السرعة الدورانية، وهي عبارة عن مولدات صغيرة القدرة تعمل على تحويل السرعة الدورانية إلى إشارة كهربائية متناسبة معها يمكن قياسها. تعتمد علاقة التحويل، على العلاقة بين سرعة الدوران والقوة الدافعة الكهربائية المتولدة، العلاقة العامة لخرج مولد التاكو هي:

$$V_a = K_g \cdot \omega \qquad 3-1$$

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

حيث ω هي سرعة الدوران بالراديان في الثانية و K_g هو ثابت توليد الجهد أو ميل الخط الذي يمثل العلاقة بين ω وV_a .

تصنف مولدات التاكو حسب تصميمها ونظرية عملها من حيث إنها مولدات للتيار المستمر أو مولدات حثية أو تزامنية.

المتطلبات الرئيسية لمولدات التاكو :

هناك متطلبات يجب مراعاتها عند تصميم التاكومترات وهي:

أ. أقل خطأ ممكن في القيمة العددية للجهد المتولد (ΔV).ويقصد به أقل انحراف لخصائص المولد عن العلاقة الخطية.

ب. أقل خطأ ممكن في زاوية الوجه($\Delta\beta$).

ج. أكبر معامل تكبير ممكن K_g.

د. أقل قصور ذاتي للمحرك.

ه. أقل ثابت زمني للنظام الكهروميكانيكي.

يعرف الخطأ في القيمة العددية للجهد (ΔV)، بأنه الفرق بين الجهد المتولد بالفعل عند سرعة معينة والجهد المعطي من العلاقة المثالية لجهد الخرج عند نفس السرعة.

يعرف الخطأ في زاوية الوجه لجهد الخرج ($\Delta\beta$)، بأنه الفرق بين الزاوية β التي ينحرف بها متجه جهد الخرج عن اتجاه المجال عن نفس الزاوية في العلاقة المثالية.

مولدات التاكو للتيار المستمر : Direct Current Tacho-generators

مولدات التاكو للتيار المستمر، هي في الأساس مولدات للتيار المستمر صغيرة الحجم، فتركيبها ونظرية عملها تماما كما في آلات التيار المستمر، إلا أنها يجب أن تكون، إما ذات تغذية مستقلة لملفات المجال أو ذات مغناطيسات طبيعية دائمة لتوليد المجال المغناطيسي.

خصائص الخرج لمولدات التاكو للتيار المستمر، هي العلاقة بين الجهد على أطراف المنتج V_a وسرعة الدوران ω ، عند ثبات الفيض المغناطيسي ϕ ، وثبات مقاومة الحمل R_{load}

$$E_a \alpha N \phi$$
$$E_a \alpha \omega \phi = K \omega \phi$$
but ϕ = constant
$$E_a \alpha \omega$$
$$E_a = K_E . \omega \qquad 3-2$$
$$K_E = K . \phi$$

المعادلة(٢-٣) تمثل العلاقة بين الجهد المتولد E_a وسرعة الدوران ω عند اللاحمل وهي علاقة خطية، ولكن عند توصيل أطراف المنتج لأي جهاز له مقاومة داخلية R_{load} فإن فرق الجهد على الأطراف يصبح:

$$V_a = E_a - I_a R_{ac} \qquad 3-3$$

حيث I_a هو تيار المنتج، R_{ac} هي مقاومة المنتج وتشتمل على مقاومة التلامس بين مبدل التيار(الموحد) والفرش الكربونية.

$$I_a = \frac{V_a}{R_{load}} \qquad 3-4$$

$$V_a = E - \frac{V_a}{R_{load}} . R_{ac}$$

$$V_a \left(1 + \frac{R_{ac}}{R_{load}}\right) = E_a$$

$$V_a = \frac{E_a}{\left(1 + \frac{R_{ac}}{R_{load}}\right)}$$

$$V_a = \frac{K_E . \omega}{\left(1 + \frac{R_{ac}}{R_{load}}\right)} \qquad 3-5$$

المعادلة (٥-٣) تبين أن تاكومترات التيار المستمر لها علاقة خطية بين V_a و ω، طالما أن كل من R_{ac} و ϕ ثابتان في القيمة، كلما تغيرت قيمة R_{ac} أو قيمة ϕ ابتعدت هذه العلاقة عن العلاقة الخطية. أي أنه يمكن أن يحدث خطأ في قراءة السرعة وهذا يرجع لسببين:

أولاً: رد فعل المنتج، وهو يضعف من الفيض المغناطيسي للمولد.

$$\phi_{load} = \phi - \Delta\phi_r \qquad 3-6$$

$$\Delta\phi_r = K_r . I_a$$

حيث ϕ هي الفيض المغناطيسي عند اللاحمل، $\Delta\phi_r$ هو النقص في الفيض المغناطيسي، بسبب رد فعل المنتج، ويعتمد على قيمة تيار المنتج ، K_r هو ثابت التناسب بين I_a و $\Delta\phi_r$ ، أي أن القوة الدافعة الكهربائية المتولدة عند الحمل ليست ثابتة، بل تعتمد على قيمة الفيض المغناطيسي عند الحمل.

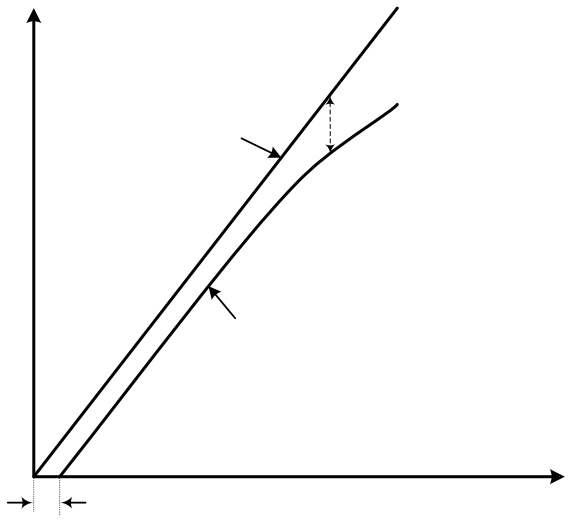
$$E_{a\,load} = K . \omega . \phi_{load} \qquad 3-7$$

ثانيا: مقاومة التلامس بين المبدل والفرش الكربونية ليست ثابتة بل تتغير بتغير تيار الحمل، فهي من نوع المقاومات غير الخطية التي تتغير قيمتها بتغير التيار المار بها ، وذلك بسبب التلامس بين مادتين مختلفين هما النحاس والكربون.

في واقع الأمر أن جهد التلامس V_{brush} هو الذي يظل ثابتا وليس مقاومة التلامس، مما يستدعي تصحيح المعادلة رقم (٣-٣) لتصبح كالآتي:

$$V_a = E_a - I_a . R_a - V_{brush}$$

$$V_a = \frac{K_E . \omega - V_{brush}}{\left(1 + \frac{(K . K_r . \omega + R_a)}{R_{load}}\right)} \qquad 3-8$$



شكل ١-٣ العلاقة بين الجهد المتولد وسرعة الدوران وتظهر فيها المنطقة الميتة

المعادلة (٣-٨) تبين أن العلاقة بين V_a و ω ليست خطية إذا أخذنا في الاعتبار النقص في الفيض المغناطيسي الناشئ عن رد فعل المنتج وقيمة جهد التلامس V_{brush} . وتوضح المعادلة أيضا أن المنحني بين V_a و ω لا يبدأ من نقطة الأصل ، لأن الجهد على الأطراف لا يبدأ بالظهور إلا بعد تخطي سرعة معينة، هذا بسبب أن الجهد المتولد يكون أقل من جهد التلامس، فعند ازدياد السرعة وبالتالي ازدياد الجهد المتولد عن جهد التلامس يبدأ بعدها الجهد بالظهور على أطراف المنتج. هذا يعني أن هناك منطقة ميتة (Dead Zone =$\Delta\omega$)، لا يظهر عندها أي جهد على أطراف مولد التاكو. الشكل ١-٣ يوضح العلاقة بين الجهد المتولد وسرعة الدوران لتاكومترات التيار المستمر حسب المعادلة ٣-٨ .

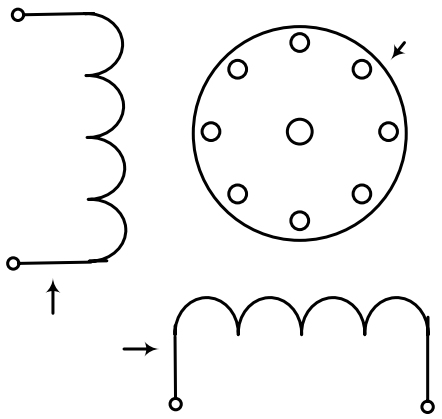
كيفية التقليل من الخطأ في قراءة تاكومترات التيار المستمر:

أولا: تستعمل مقاومة مادية كبيرة بقدر الإمكان لجهاز قياس الجهد المستعمل للقراءة للتقليل من تيار ورد فعل المنتج.

ثانيا: تستخدم فرش معدنية مصنوعة من الفضة للتقليل من جهد التلامس وبالتالي تقل المنطقة الميتة.

مولدات التاكو الحثية: Induction Tacho-generators .

جميع أنظمة التحكم غالبا ما تحتوي على مولد حثي لقياس السرعة الزاوية، وتوليد إشارة كهربائية متناسبة مع السرعة، يتكون مولد التاكو الحثي من ملفين، بينهما زاوية مقدارها تسعون درجة كهربائية، على عضوه الثابت، أحد الملفين يُوصل مع مصدر ثابت الجهد والتردد ويسمى ملف الجهد أو ملف المجال (Field winding) بينما يتولد جهد على الملف الآخر ويسمى ملف التوليد (Generating winding). العضو الدائر ذو قفص سنجابي ويفضل أن يكون على شكل كأس رفيع من النحاس (Drag-Cup Rotor) للحفاظ على أصغر قصور ذاتي وأصغر ثابت زمن ميكانيكي للدوار لسرعة الوصول لحالة الاستقرار، وهي من أهم متطلبات نظم التحكم، الشكل 2–3 يبين رسم توضيحي لمولد تاكو حثي.



شكل ٢-٣ رسم توضيحي لمولد تاكو حثي

نظرية عمل التاكومترات الحثية:

لشرح نظرية عمل مولدات التاكو الحثية، نفترض أن ملف المجال موصل مع مصدر جهد ثابت القيمة والتردد وأن ملف التوليد مفتوح. عند سكون العضو الدوار، يمكن اعتبار مولد التاكو عبارة عن محول، ملفه الابتدائي هو ملف المجال وملفه الثانوي مقصور على نفسه، ممثلا في أسطوانة العضو الدوار.

الفيض المغناطيسي الناتج عن ملف المجال يقطع العضو الدوار فيولد به جهد كما في المحولات ويسمى بجهد التحويل، يتسبب جهد التحويل المتولد في توليد تيار وفيض مغناطيسي يعاكس الفيض الأصلي لملف المجال طبقا لقاعدة لنز، المحصلة الكلية للفيض المغناطيسي (ϕ_f) هي الفرق بين المجالين وفي نفس اتجاه الفيض الأصلي لملف المجال وبنفس التردد. محصلة الفيض المغناطيسي (ϕ_f) لا تولد أي جهد في ملف التوليد لأنها متعامدة معه.

عند دوران العضو الدوار سرعة مقدارها ω يتولد جهد دوراني في العضو الدوار (E_{rot})، نتيجة لدوران الدوار في محصلة الفيض (ϕ_f) السابق ذكرها، يتناسب مع سرعة الدوران ω وله نفس تردد جهد ملف المجال ويكون متعامداً مع اتجاه الفيض المغناطيسي (ϕ_f) المسبب له، بينما يبقي جهد التحويل كما هو.

$$E_{rot} = K \cdot \omega \cdot \phi_f \qquad 3-9$$

الجهد الدوراني (E_{rot}) المتولد في العضو الدوار، ينتج تيار وفيض مغناطيسي (ϕ_g) في اتجاه محور ملف التوليد، الفيض المغناطيسي الناتج (ϕ_g) يولد جهد E_a في ملف التوليد، الجهد المتولد E_a يكون متناسباً مع سرعة دوران العضو الدوار وله نفس تردد ملف المجال.

E_{rot} directly proportional to ω

ϕ_g directly proportional to E_{rot}

therefore ϕ_g is directly proportional to ω

$$\phi_g = \text{const.} \times \omega$$

$$E_a = \text{const.} \times \phi_g$$

$$E_a = K_g \times \omega$$

حيث إن ملف التوليد موصل مع معاوقة خارجية كبيرة جدا ، فيمكننا اعتباره مفتوح الدائرة ويتولد على أطرافه جهد ، في الحالة المثالية لمولد التاكو الحثي يكون الجهد المتولد متناسبا تناسبا طرديا مع سرعة دوران الدوار ويصنع زاوية ثابتة مع جهد المصدر. يجب توخي الدقة عند تصميم وتركيب مولدات التاكو الحثية بحيث يكون ملف المجال وملف التوليد متعامدين في الفراغ بشكل دقيق، حتى لا يتولد أي جهد في ملف التوليد في حالة سكون الدوار نتيجة للمجال المغناطيسي المتسرب من ملف الجهد.

مما سبق شرحه عن تركيب مولد التاكو الحثي، يتضح أنه يمكن اعتباره مكافئاً لمحرك حثي أحادي الوجه ملفه الرئيسي موصل مع مصدر ثابت الجهد والتردد وملفه المساعد مفتوح، إذا يمكن استخدام الدائرة المكافئة للمحرك أحادي الوجه لحساب الجهد المتولد على الملف المساعد (أو ملف التوليد في حاله التاكومترات الحثية). حيث إن الجهود على كل من (٠,٥ Z_b , ٠,٥ Z_f) هي الجهود المتولدة في الملف الرئيسي بواسطة المجال الأمامي والمجال الخلفي على الترتيب، نفس هذه المجالات الدوارة ستولد جهودا أيضا في الملف المساعد. إذا افترضنا أن (n) تمثل النسبة بين عدد لفات الملف المساعد إلى عدد لفات الملف الرئيسي، فإن الجهد المتولد على الملف المساعد يساوي الجهد المتولد على الملف الرئيسي مضروبا في المعامل (n)، وحيث إن (E_{af}) يسبق (E_{mf}) بتسعين درجة، إذا:

$$E_{af} = jn E_{mf} = jn I_1 . (0.5 Z_f) \qquad 3-10$$

$$\text{where} \quad n = \frac{N_a}{N_m}$$

وأن (E_{ab}) يتأخر عن (E_{mb}) بتسعين درجة، إذا

$$E_{ab} = -jn E_{mb} = -jn I_1 . (0.5 Z_b) \qquad 3-11$$

الجهد الكلي المتولد على الملف المساعد

$$\overline{E}_a = \overline{E}_{af} + \overline{E}_{ab} \qquad 3-12$$

$$= j0.5 \times n \, I_1 . (Z_f - Z_b) \qquad 3-13$$

عند بدء الحركة (s = ١) فإن ($Z_f = Z_b$) و ($E_a = ٠$)

الجهد المتولد على ملف التوليد (E_a) يعتمد على الفرق بين قيمتي Z_f و Z_b فإذا تساوت القيمتان تلاشى الجهد المتولد، وكلما ازدادت السرعة وقلت قيمة الانزلاق، تزداد قيمة Z_f وتقل قيمة Z_b فيزداد

الفرق بين القيمتين، ويزداد الجهد المتولد على ملف التوليد بما يتناسب مع الزيادة في السرعة تناسبا طرديا.

مثال ١□٣

إذا استخدم المحرك أحادي الوجه المشار إليه في المثال ٥□١ كمولد تاكو حثي لقياس السرعة، احسب الجهد المتولد على الملفات المساعدة وزاوية طوره مع جهد الملف الرئيسي عند انزلاق S=٠,٠٥. إذا كانت النسبة بين عدد لفات الملف المساعد إلى عدد لفات الملف الرئيسي n = ٠,٨ .

الحل: الجهد المتولد على الملف المساعد

$$E_a = j0.5 \times n\, I_1 . (Z_f - Z_b)$$
$$= j0.5 \times 0.8 \times 3.59 \angle -51.7^\circ (31.9 + j40.3 - 1.98 - j2.12)$$
$$= j(1.436 \angle -51.7^\circ) \times (48.5 \angle 51.92^\circ)$$
$$= 69.65 \angle 90.22^\circ \quad \text{volt}$$

الجهد المتولد في الملف المساعد ٦٩,٦٥ ومتقدم عن جهد الملف الرئيسي بزاوية مقدارها ٩٠,٢٢°

مولدات التاكو التزامنية Synchronous Tacho-generators

هي عبارة عن مولدات تزامنيه صغيرة الحجم، يتم الحصول على المجال المغناطيسي بواسطة مغناطيسات دائمة على العضو الدوار، العضو الثابت يتكون من ملف أحادي الوجه أو من ملفات ثلاثية متماثلة.

عند دوران العضو الدوار يتولد جهد متردد في الملف الثابت يتناسب مع سرعة الدوران في القيمة والتردد، يزداد الجهد والتردد معا بنفس المعدل مع ازدياد سرعة الدوار. فيمكن قياس السرعة، أما بقياس قيمة الجهد المتولد أو بقياس تردد هذا الجهد. قياس السرعة بواسطة قياس التردد يكون عادة أكثر دقة، وسبب ذلك، أن التردد لا يتأثر بتغير ممانعة الدائرة المغناطيسية أو كثافة المجال المغناطيسي، ولا يتأثر أيضا بتغير الحمل أو تأثيرات درجة الحرارة.

معايرة التاكومترات :

حيث إن التاكومترات تعتبر من أجهزة القياس، فيجب الحرص على دقة قياس السرعة بواسطتها، ذلك يستلزم معايرتها كل فترة زمنية محددة للتأكد من صحة قراءة السرعة المقاسة بواسطتها. ذلك يتحقق بمقارنة نتائجها مع نتائج وسيلة أخرى دقيقة لقياس السرعة، مثل الإستروبوسكوب، وتصحيح ثابت توليد الجهد كلما لزم الأمر.

أسئلة وتمارين متنوعة :

س ١□٣ ما هي المتطلبات الواجب مراعاتها في تصميم مولدات التاكو ؟

س ٢□٣ ما هي أسباب الخطأ الذي يمكن أن يحدث في قراءة السرعة المقاسة بواسطة تاكومترات التيار المستمر؟ وما هي الإجراءات المتخذة عند التصميم للتقليل من هذا الخطأ ؟

س ٣□٣ كيف تتم معايرة التاكومترات؟

تمرين١□٣ أثبت العلاقة الرياضية التي تربط بين الجهد المتولد على أطراف مولدات التاكو للتيار المستمر وسرعة الدوران المراد قياسها (المعادلة ٨□٣) . ارسم هذه العلاقة ووضح أنها غير خطية.

تمرين٢□٣ أثبت أن الجهد المتولد على ملف التوليد في مولدات التاكو الحثية يتناسب طرديا مع سرعة الدوار وبنفس تردد جهد ملف المجال.

تمرين٣□٣ إذا استخدم المحرك أحادي الوجه المشار إليه في التمرين ٦□١ كمولد تاكو حثي لقياس السرعة، احسب الجهد المتولد على الملفات المساعدة وزاوية الطور مع جهد الملف الرئيسي عند انزلاق s=٠,٠٤ . إذا كانت النسبة بين عدد لفات الملف المساعد إلى عدد لفات الملف الرئيسي n=٠,٩

الآلات الكهربائية الصغيرة

محركات التحكم

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة: معرفة أنواع وتركيب وخواص وكيفية عمل محركات التحكم.

الأهداف:

عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على معرفة:

١. أنواع وتركيب محركات التحكم.

٢. كيفية عمل محركات التحكم

٣. الشروط الواجب توافرها في محركات التحكم.

٤. خواص محركات التحكم واستخداماتها.

الوقت المتوقع للتدريب: ٤ ساعات

متطلبات الجدارة: اجتياز مقررات آلات التيار المستمر والمتردد.

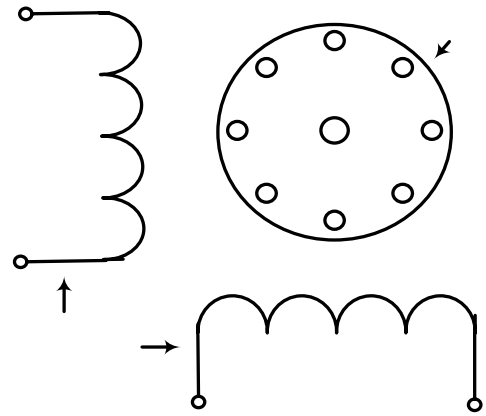
محركات التحكم وتسمي أحيانا محركات الخدمة، تصمم وتبنى خصيصا لتعمل في أنظمة التحكم ذات التغذية العكسية، تصمم هذه المحركات بحيث تكون استجابتها سريعة، من حيث التغيير في السرعة لأي تغيير في الجهد، يمكن تحقيق ذلك ببناء العضو الدوار من مواد خفيفة وصغير القطر، مما يجعل المحرك ذا قصور ذاتي صغير ذا استجابة سريعة للتغيير في السرعة. يوجد نوعان من محركات التحكم، وهما محركات التحكم للتيار المتردد، ومحركات التحكم للتيار المستمر.

♦ محركات التحكم للتيار المتردد A.C Servomotors

محرك التحكم للتيار المتردد عبارة عن محرك حثي ثنائي الوجه ذا ملفين على العضو الثابت، بينهما زاوية تسعون درجة في الفراغ، العضو الدوار عليه ملفات القفص السنجابي، ويكون عادة صغير القطر، للحرص على تصغير القصور الذاتي للمحرك، لكي يكون سريع الاستجابة. كما يجب أن تكون المقاومة المادية للقفص السنجابي كبيرة نسبياً، حتى يمكننا الحصول على علاقة خطية، بين العزم والسرعة، ابتداء من اللاحمل وحتى أقصى حمل للمحرك (حيث يتوقف المحرك).

كيفية عمل المحرك:

يعمل المحرك بتسليط مصدر جهد ثابت القيمة والتردد، على أحد ملفات العضو الثابت، ويسمى بملف الجهد الثابت (constant voltage winding)، وجهد متغير يمكن التحكم فيه على الملف الآخر، ويسمى بملف التحكم (control winding). الشكل ١□٤ يوضح تركيب محركات التحكم للتيار المتردد . يمكن تشغيل المحرك من مصدر ثنائي الوجه، أو من مصدر أحادي الوجه (في حالة تعذر الحصول على مصدر ثنائي الوجه)، في الحالة الأخيرة يكون من الضروري استخدام مكثف يوصل بصفة دائمة على التوالي مع ملف الجهد الثابت، وذلك للحصول على فارق زمني مقداره تسعون درجة بين تياري ملفات العضو الثابت، في كلا الحالتين يظل الجهد ثابتا على ملف الجهد الثابت. عندما يكون الجهد على ملف التحكم صفراً، بينما يتم تغذية ملف الجهد الثابت، فإنه يلزم قصر ملف التحكم، لمنع المحرك من بدء الحركة كمحرك ذا وجه واحد في حالة تلقيه دفعة خارجية.

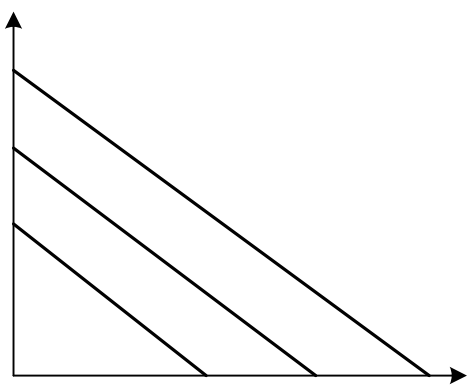


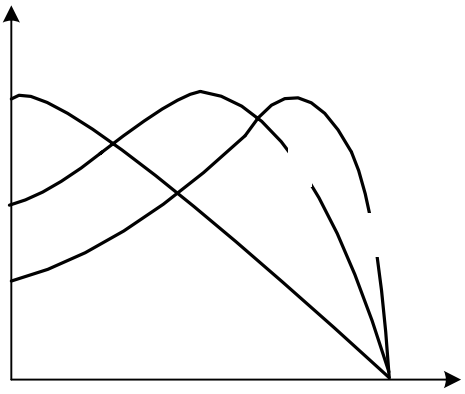
شكل ١-٤ محركات التحكم للتيار المتردد

خواص محرك التحكم للتيار المتردد:

منحني العلاقة بين العزم والسرعة لمحرك التحكم ثنائي الوجه، يشبه تماما نفس المنحني للمحرك الحثي الثلاثي الأوجه، حيث يتكون مجال مغناطيسي دوار في كل منهما، هذه العلاقة تتأثر بقيمة مقاومة الدوار، فيتغير شكل منحني العلاقة كلما ازدادت مقاومة الدوار كما في الشكل ٢-٤ . يتضح من الشكل، أنه كلما ازدادت مقاومة الدوار، فأن أقصى عزم يولده المحرك يظل ثابتا، بينما تقل السرعة التي يحدث عندها أقصى عزم. عند تصميم محركات التحكم ثنائية الوجه، يصمم الدوار بزيادة مقاومته حتى نحصل على المنحني "c" المبين في الشكل ٢-٤ ، بحيث يتولد أقصى عزم عند بدء الحركة، وفي أحيانا كثيرة يصمم المحرك بحيث يتولد أقصى عزم عند سر عات في عكس اتجاه دوران مجاله الدوار، بحيث تصبح العلاقة بين العزم والسرعة خطاً مستقيماً ذا ميل سالب، فيتحقق بذلك تشغيل المحرك بصورة مستقرة عند أي سرعة ابتداء من الصفر وحتى سرعة اللاحمل. يمكن أيضا التحكم في المنحني "c" بتغيير جهد ملف التحكم (V_a) ، فنحصل على مجموعة من الخواص كما هو مبين في الشكل ٣-٤ ، يمكن كتابة معادلة الخواص كما في المعادلة ١-٤ :

$$T = -K_{\omega} . \omega + K_{v} . V_a \qquad 4-1$$





شكل ٢□٤ كيفية تغيير خواص المحرك الحثي مع تغيير مقاومة الدوار

شكل ٣□٤ خواص محرك التحكم ثنائي الوجه مع تغيير جهد ملف التحكم

Torque

V=1.0 pu

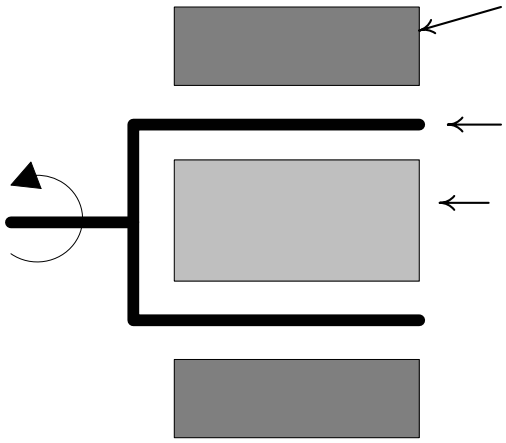
V=0.8 pu

V=0.6 pu

محركات التحكم ذات الكأس المجرور (Drag-Cup Servomotors)

أحد أشكال محركات التحكم للتيار المتردد، العضو الثابت يشبه تماما العضو الثابت في المحركات الأخرى، العضو الدوار يتكون من النحاس أو سبيكة من النحاس على شكل كأس (كوب) مفرغ ذي محور واحد على أحد جانبيه، الدائرة المغناطيسية تكتمل بواسطة حديد داخل الكأس ومثبت بهيكل المحرك.

يمكن وصف تركيب الدوار ذي الكأس، على أنه حالة خاصة من الدوار ذي القفص السنجابي، حيث أزيلت الأسنان وأصبح القفص السنجابي على شكل أسطوانة مكتملة، وأصبح القلب الحديدي للعضو الدوار ثابتا، ووظيفته هي فقط لتكملة الدائرة المغناطيسية. يمتاز هذا النوع من المحركات بخلوه من المجاري والأسنان، وبالتالي بدورة يؤدي إلى خلو المحرك تماما من الفرملة (العضة) المغناطيسية، التي تحدث بين أسنان العضو الثابت وأسنان الدوار، الشكل ٤□٤ يوضح تركيب المحرك.



شكل ٤□٤ تركيب المحرك ذو الكأس المجرور

بعض المصطلحات المستخدمة لمحركات التحكم:

I. **سرعة اللاحمل (ω_o)** : هي السرعة التي يدور بها المحرك عند تشغيله بدون أحمال، ووحداتها راديان/ثانية.

II. **عزم بدء الحركة (T_{st})** : العزم المتولد عند بدء الحركة وهو أقصى عزم للمحرك، ووحداته نيوتن.متر.

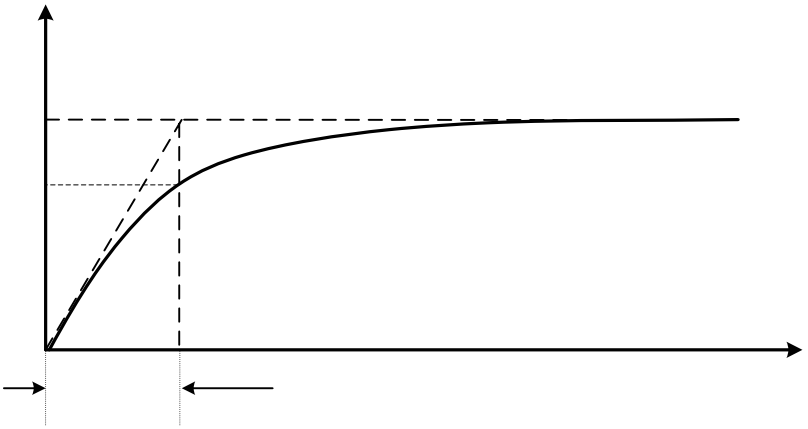
III. **القصور الذاتي للمحرك (J)** : (أو عزم الحذافة)، ووحداته كيلوجرام.متر^2.

IV. **التسارع (α)** : يقصد به التسارع عند بدء الحركة، ويحسب من خارج قسمة العزم عند بدء الحركة على القصور الذاتي، .ووحداته راديان/ثانية^2.

V. **ثابت الزمن الميكانيكي (τ)** : ويعرف بالزمن اللازم للدوار ليتسارع من السكون وحتى تصل سرعته إلى ٦٣,٢٪ من سرعة اللاحمل عند تسليط الجهد الكامل على ملف التحكم، ووحداته بالثانية. عند حساب هذا الزمن فإنه يفترض أن العزم يتناقص خطيا من أقصى عزم عند سرعة الصفر وحتى سرعة اللاحمل، متسبباً في زيادة السرعة في منحني أسي مع الزمن، كما في الشكل ٥□٤. ويحسب ثابت الزمن الميكانيكي من العلاقة:

ثابت الزمن الميكانيكي = القصور الذاتي X سرعة اللاحمل /عزم بدء الحركة.

$$\tau = \frac{J \times \omega_o}{T_{st}} \qquad 4-2$$



شكل ٥□٤ منحني السرعة مع الزمن.

و. **زمن عكس الحركة (τ_r)** : هو الزمن اللازم للمحرك لكي يعكس اتجاه حركته الدورانية، ابتدءا من سرعة اللاحمل في اتجاه معين وحتى تصل سرعته إلى ٦٣,٢٪ من سرعة اللاحمل في الاتجاه المضاد، وذلك عند عكس اتجاه جهد ملف التحكم مئة وثمانين درجة بينما يكون المحرك بدون أحمال، وعلى وجه العموم فإن:

زمن عكس الحركة = ١,٧ X ثابت الزمن الميكانيكي

مثال ١□٤:

محرك تحكم للتيار المتردد، ثنائي الوجه ١٢٠ فولت، ٦٠ هيرتز، له منحنيات الخواص المبينة بالشكل ٦□٤، عصم الذاتي ٠,١ كيلوجرام.متر^2، الجهد على ملف التحكم ٩٥ فولت أوجد:

أ. المعادلة التي تصف منحني الخواص (العلاقة بين العزم والسرعة).

ب. التسارع عند بدء الحركة.

ج. سرعة اللاحمل.

د. ثابت الزمن الميكانيكي.

ه. زمن عكس الحركة.

و. معادلة السرعة مع الزمن.

الحل:

$T = -K_{\omega} . \omega + K_v . V_a$

at $V_a = 95$ volt and $\omega = 0.0$

$\therefore T = 0.75 = K_v . V_a$

$$\therefore K_v = \frac{0.75}{V_a} = \frac{0.75}{95} = 0.00789$$

at $T = 0.0$ $\omega = 225$ rad/sec.

$\therefore 0.0 = -K_{\omega} \times 225 + 0.75$

$$K_v = \frac{0.75}{225} = 0.0033 = \text{slope of torque speed line}$$

The torque equation is:

$T = -0.0033\ \omega + 0.00789\ V_a$

$T = -0.00176\ \omega + 0.75$ N.m

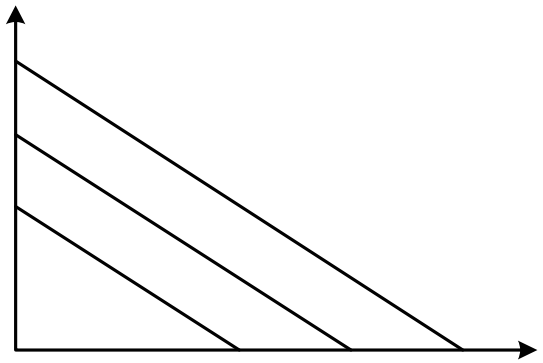
$$\alpha = \frac{T_{st}}{J} = \frac{0.75}{0.01} = 75$$ rad/sec.^{2}

$\omega_o = 225$ rad/sec.

$$\tau = \frac{J \times \omega_o}{T_{st}} = \frac{0.01 \times 225}{0.75} = 3$$ sec.

$\tau_r = 1.7 \times \tau = 1.7 \times 3 = 5.1$ sec.

$$\omega = \omega_o \left(1 - e^{\frac{-t}{\tau}}\right) = 225\left(1 - e^{\frac{-t}{3}}\right) = 225\left(1 - e^{-0..33t}\right)$$ rad/sec.



شكل ٦□٤ مثال ١□٤

Torque

محركات التحكم للتيار المستمر D.C Servomotors

الأجزاء الرئيسية لهذا المحركات هي نفس الأجزاء الرئيسية لآلات التيار المستمر، إلا أنه تم تعديل التصميم، من أجل أن يتناسب مع تطبيقات التحكم، ما يلي بعض الأشكال المختلفة للمحرك:

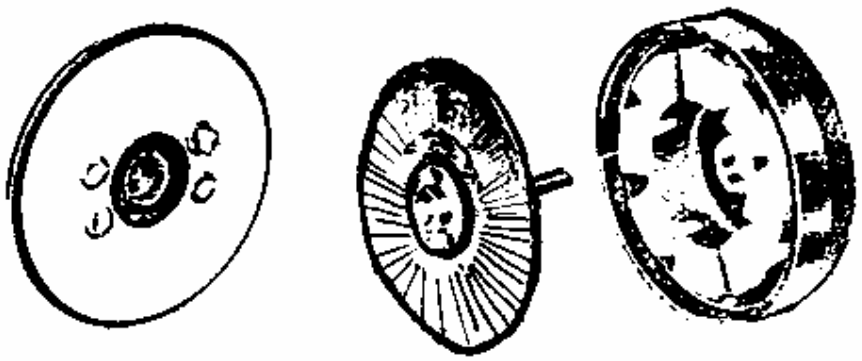
- **محركات التحكم ذات الدائرة المطبوعة: (Printed- Circuit Motors)**

1.0

أنتجت فرنسا هذا النوع من المحركات في الخمسينيات الميلادية، وتركيبه كما في الشكل ٧□٤ العضو الثابت يتكون من عدد من الأقطاب المغناطيسية الدائمة (الشكل يبين ثمانية أقطاب دائمة)، تكتمل الدائرة المغناطيسية بواسطة الغطاء الذي يستعمل أيضا لتثبيت الفرش. العضو الدوار على شكل قرص خال من الحديد، ملفات المنتج وضعت على جانبي القرص باستخدام تقنية الدائرة المطبوعة، التوصيل بين جانبي القرص يتم بواسطة ثقوب موصلة بين الجانبين، الفرش تتلامس مباشرة مع الملفات وتقوم بعمل المبدل.

0.75

0.5



شكل ٧□٤ المحرك ذو الدائرة المطبوعة

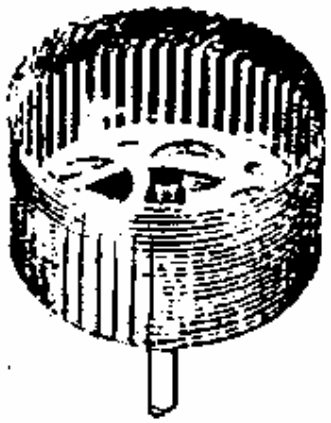
بسبب خلو تركيب العضو الدوار من الحديد فإن قصوره الذاتي يصبح صغيرا جداً، كما أن محاثة ملفاته تكون صغيرة جداً وبالتالي ذات ثابت زمني صغير جداً، وهذه من أهم متطلبات نظم التحكم الآلي، كما أن وجود ملفات الدوار على السطح الخارجي للقرص يحسن من تبريد الملفات، يستخدم هذا النوع من المحركات في أنظمة التحكم التي تتطلب حركة متقطعة.

- **محركات التحكم ذات ملفات المنتج السطحية:**

في هذا التصميم لا توجد مجار على السطح الخارجي للدوار، ملفات النتج مثبتة على السطح الخارجي للدوار بواسطة مواد لاصقة قوية، العضو الثابت يتكون من أقطاب مغناطيسية دائمة، أو مغناطيسات كهربائية في المحركات الكبيرة نسبياً. العضو الدوار يصمم بحيث يكون طويلا وصغير القطر للتقليل من قوة الطرد المركزية على ملفاته أيضا ليكون قصوره الذاتي صغيراً.

- **محركات التحكم ذات الملف المتحرك:**

تصميم آخرلمحركات التحكم للتيار المستمر بحيث يراعى فيه، صغر القصور الذاتي للدوار وصغر محاثة ملفات الدوار، لتلبية متطلبات نظم التحكم. الجزء الوحيد المتحرك في هذا المحرك هو ملفات الدوار، حيث تم لفها على مادة غير موصلة وغير مغناطيسية على هيئة سلة (Basket) ذات محور واحد على أحد جانبيها، المجال المغناطيسي للعضو الثابت يحصل عليه بواسطة أقطاب مغناطيسية دائمة قوية الشكل ٨□٤ يوضح تركيب الدوار لهذا المحرك.



شكل ٨□٤ المحرك ذو الملف المتحرك.

أسئلة وتمارين متنوعة:

س ١ ٤ عرف كلا من المصطلحات التالية لمحركات التحكم:

التسارع - ثابت الزمن الميكانيكي – زمن عكس الحركة .

س ٢ ٤ ما هي الاعتبارات الواجب اتخاذها عند تصميم محركات التحكم؟

س ٣ ٤ في محركات التحكم، كيف يمكن الحصول على علاقة خطية بين العزم والسرعة ابتدءا من بدء الحركة وحتى سرعة اللاحمل؟

س ٤ ٤ ما فائدة الحصول على علاقة خطية بين العزم والسرعة في محركات التحكم؟

س ٥ ٤ ما هي التعديلات التي أدخلت على تصميم محركات التحكم للتيار المستمر ذات الدائرة المطبوعة لتتلائم مع متطلبات التحكم؟

س ٦ ٤ ما فائدة تصغير محاثة ملفات المنتج في محركات التحكم للتيار المستمر؟ وكيف يمكن تحقيق ذلك؟

تمرين ١ ٤ محرك تحكم للتيار المتردد ثنائي الوجه ١١٥ فولت، ٦٠ هيرتز قصوره الذاتي ٠,٠٠٥ كيلوجرام.متر^{٢}، له الخواص المبينة بالشكل ٩ ٤ إذا كان جهد ملف التحكم ١١٥ فولت أوجد:

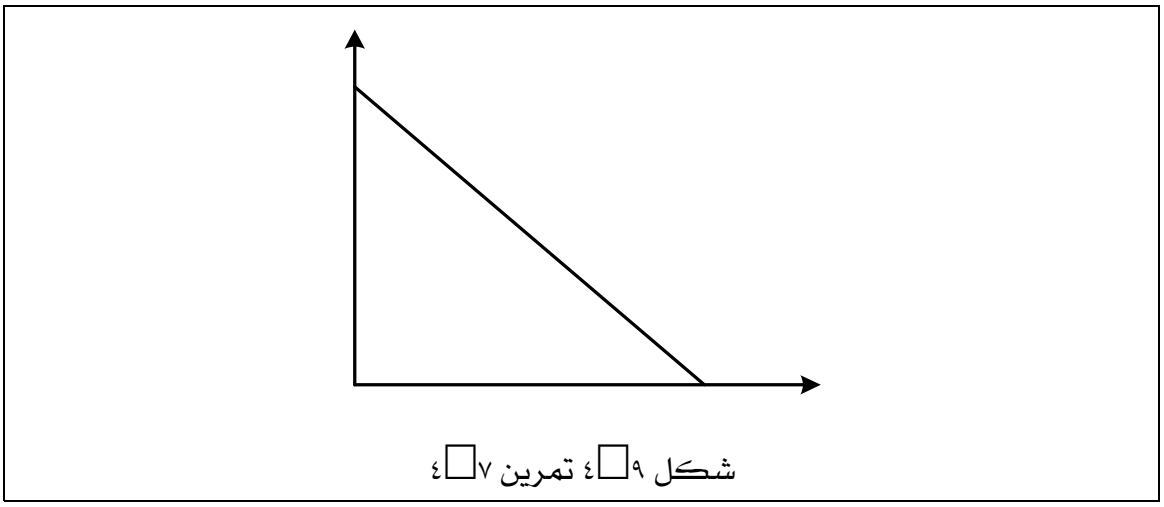
أ. التسارع عند بدء الحركة.

ب. ثابت الزمن الميكانيكي للمحرك.

ج. الزمن اللازم لعكس اتجاه دوران المحرك.

د. معادلة السرعة مع الزمن.

ه. السرعة بعد انقضاء زمن يساوي ثابت الزمن الميكانيكي للمحرك.



شكل ٩□٤ تمرين ٧□٤

تمرين ٢□٤ محرك تحكم للتيار المتردد ثنائي الوجه ١٢٠ فولت، قصوره الذاتي ٠,٠٠٨ كيلوجرام.متر^{٢}، العلاقة بين العزم والسرعة تعطي من المعادلة الآتية:

$$T = -0.002\ \omega + 0.6 \qquad Nm$$

0.5

حيث T هو العزم بالنيوتن متر، ω سرعة الدوران بالراديان لكل ثانية، المطلوب:

أ. رسم العلاقة بين العزم والسرعة.

ب. التسارع عند بدء الحركة.

ج. سرعة المحرك عند اللاحمل.

د. ثابت الزمن الميكانيكي للمحرك.

ه. الزمن اللازم لعكس اتجاه دوران المحرك.

و. معادلة السرعة مع الزمن.

ز. السرعة بعد انقضاء ثانيتين من بدء الحركة.

تمرين ٣□٤ محرك تحكم للتيار المتردد ثنائي الوجه ١٢٠ فولت، قصوره الذاتي ٠,٠٠٦ كيلوجرام.متر^{٢}، عزم بدء الحركة ٠,٦ نيوتن متر وسرعة اللاحمل ٣٠٠ راديان في الثانية:

أ. ارسم العلاقة بين العزم والسرعة.

ب. احسب التسارع عند بدء الحركة.

ج. احسب ثابت الزمن الميكانيكي للمحرك.

د. احسب الزمن اللازم لعكس اتجاه دوران المحرك.

ه. ارسم منحني السرعة مع الزمن خلال ست ثوان من بدء الحركة.

الآلات الكهربائية الصغيرة

المحرك العام والمحرك التنافري

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة: معرفة تركيب وخواص واستخدام كل من محرك التوالي العام والمحرك التنافري.

الأهداف: عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على معرفة:

تركيب وخواص محرك التوالي العام واستخداماته.

تركيب وكيفية عمل وخواص المحرك التنافري واستخداماته.

الوقت المتوقع للتدريب: ٤ ساعات

متطلبات الجدارة: اجتياز جميع المقررات السابقة.

محرك التوالي العام

محرك التوالي العام أو المحرك العام هو محرك يعمل على كل من مصدري التيار المستمر والتيار المتردد، من هنا جاءت التسمية بالمحرك العام، إذا قمنا بعكس قطبية كل من تياري المنتج والمجال في محركات التيار المستمر في نفس اللحظة سيستمر المحرك في الدوران في نفس الاتجاه، لأن اتجاه العزم المتولد لم يتغير. بما أن ملفات المنتج وملفات المجال موصلان على التوالي، في محركات التيار المستمر ذي تغذية التوالي، فإن تياري المنتج والمجال يكونان منطبقان، الزاوية بينهما صفر، وينعكسان في نفس اللحظة عندما يوصل المحرك مع مصدر للتيار المتردد، وبالتالي سيتولد عزم نابض بضعف تردد المصدر ولكن في اتجاه واحد، وذي قيمة متوسطة تعمل على دوران المحرك.

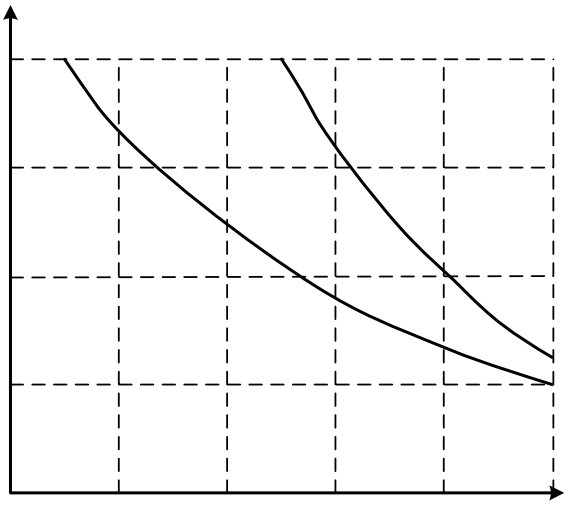
تركيب المحرك العام:

تركيب محرك التوالي العام هو نفس تركيب آلات التيار المستمر ذات تغذية التوالي، عند تصميم محرك التوالي ليعمل على مصدر للتيار المتردد، لابد من بذل الجهود لتحسين أداء المحرك ورفع كفاءته، فالإطار الخارجي والأقطاب البارزة للثابت يصنعان من شرائح الحديد، للتقليل من المفاقيد الحديدية التي تكون مصاحبة للتيار المتردد ومتناسبة مع تردد المصدر، كما يتم لف ملفات المجال بعدد أقل من اللفات للتقليل من المجال المغناطيسي وبالتالي التقليل من المفاقيد الحديدية، لتعويض النقص في عدد لفات ملف المجال نزيد من عدد الموصلات في ملفات المنتج،

عندما يعمل المحرك بالتيار المتردد تتولد جهود تحويل في ملفات المنتج، مما يتسبب في حدوث شرارة كهربائية بين الفرش الكربونية والمبدل، الشرارة الكهربائية تعمل على تأكل المبدل والتقليل من عمر الفرش الكربونية، للحد من هذا التأثير السلبي على أداء المحرك، تستخدم فرش كربونية ذات مقاومة مادية كبيرة لكبح الشرارة الكهربائية. كما يمكن تحسين عملية التبديل بإضافة أقطاب وزيادة عدد قطع المبدل، لتقليل فرق الجهد بين القطع المتجاورة، مما يقلل من (ιντερπολεσ)بينية الشرارة الكهربائية (راجع مقرر آلات التيار المستمر والمحولات).

خواص واستخدامات المحرك العام:

محرك التوالي العام يمكنه أن يعمل بسر عات عالية قد تصل إلى ١٥٠٠٠ لفة في الدقيقة، وينتج عزماً كبيراً، فهو ذو قدرة عالية مقارنة بحجمه، فيستخدم في التطبيقات التي تتطلب خفة في وزن المحرك المستخدم مع قدرات عالية، مثل الأجهزة المنزلية كالمكانس الكهربائية والخلاطات، وأيضا يستخدم في المثقاب الكهربائي وآلات الحياكة الكهربائية. شكل ١□٥ يوضح خواص محرك العام، يتضح من الشكل، أن خواص المحرك تختلف بعض الشي عند تشغيله بالتيار المتردد، عن خواصه عند التشغيل بالتيار المستمر، وذلك لسببين:



شكل ١□٥ خواص محرك التوالي العام

- معاوقة ملفات المنتج وملفات المجال تمتص جزء من جهد المصدر، وبالتالي تكون السرعة أقل عند استخدام الجهد المتردد عنها في حالة استخدام نفس الجهد المستمر.
- قد تصل الدائرة المغناطيسية إلى حالة التشبع المغناطيسي عند القيم العظمىللتيار المتردد، مما يقلل من قيمة المجال المغناطيسي وبالتالي العزم المتولد.

يمكن تحليل خواص المحرك العام باستخدام معادلات محرك التوالي للتيار المستمر مع إدخال التعديلات المناسبة كما يتضح من المثال التالي:

مثال ١□٥ محرك عام ١٢٠ فولت، ٦٠ هيرتز، ذو زوج واحد من الأقطاب، يدور بسرعة ٨٠٠٠ لفة في الدقيقة ويسحب تيار مقداره ١٧,٥٨ أمبير بمعامل قدره ٠,٩١٢ متأخر. ثوابت ملفات المنتج والمجال كالآتي:

مقاومة ملف المنتج: $Ra = ١,٣٦$ Ω

المعاوقة الحثية لملف المنتج: $Xa = ١,٦$ Ω

مقاومة ملف المجال: $Rs = ٠,٦٥$ Ω

المعاوقة الحثية لملف المجال: $Xs = ١,٢$ Ω

احسب: الجهد المتولد، قدرة الخرج، العزم المتولد، كفاءة المحرك، إذا كانت المفاقيد الحديدية والميكانيكية ٨٠ وات.

الحل: من معادلة جهد المحرك

a) $E_a = V_1 - I_a.Z_a - I_s.Z_s$

$E_a = V_1 - I_a (R_a + R_s + jX_a + jX_s)$

$=120-17.58\angle -24.58(1.36+0.65+j1.6+j1.2)$

$=120-17.58\angle -24.58\times(2.01+j2.8)$

$=120-17.58\angle -24.58\times(3.446\angle 54.327)$

$=120-60.68\angle 30.11$

$E_a = 74.05\angle -24.2$ volt

يلاحظ أن زاوية الوجه للقوة الدافعة الكهربائية المتولدة لها نفس قيمة زاوية الوجه للتيار.

b) The developed power is :

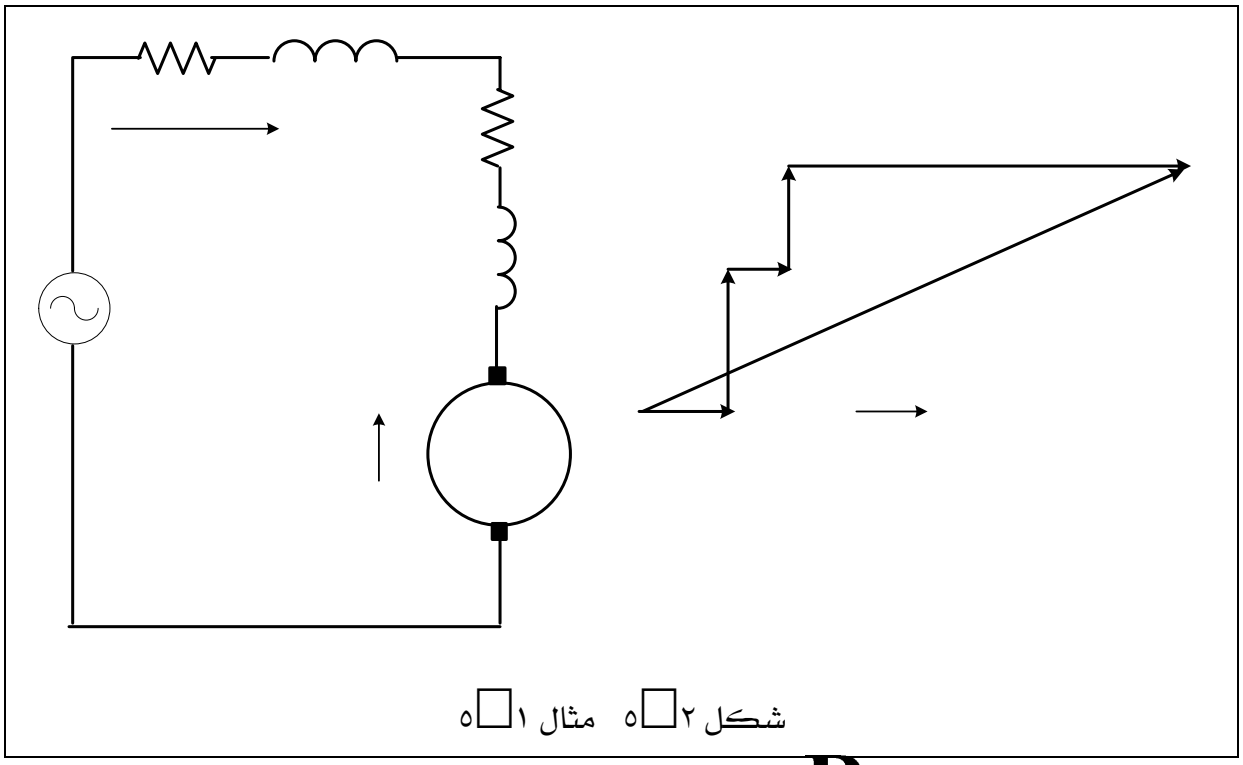
$P_d = E_a.I_a$

$=74.05\times17.58 = 1302$ watt

The output power is :

P_o = the developed power - losses

$P_o = 1302 - 80 = 1222$ watt



شكل ٢□٥ مثال ١□٥

c) the motor speed $\omega_m = \frac{2\pi N_m}{60} = \frac{2\pi \times 8000}{60} = 837.76$ rad/sec.

the output torque of the motor is :

$$T_o = \frac{P_o}{\omega_m} = \frac{1222}{837.76} = 1.46 \quad \text{N.m}$$

d) the power input is :

$$P_{in} = V_1 I_a .\cos(\phi) = 120 \times 17.58 \times 0.912 = 1923.96 \quad \text{watt}$$

the efficiency is :

$$\eta = \frac{P_o}{P_{in}} = \frac{1222}{193.96} = 0.635$$

$$= 63.5\%$$

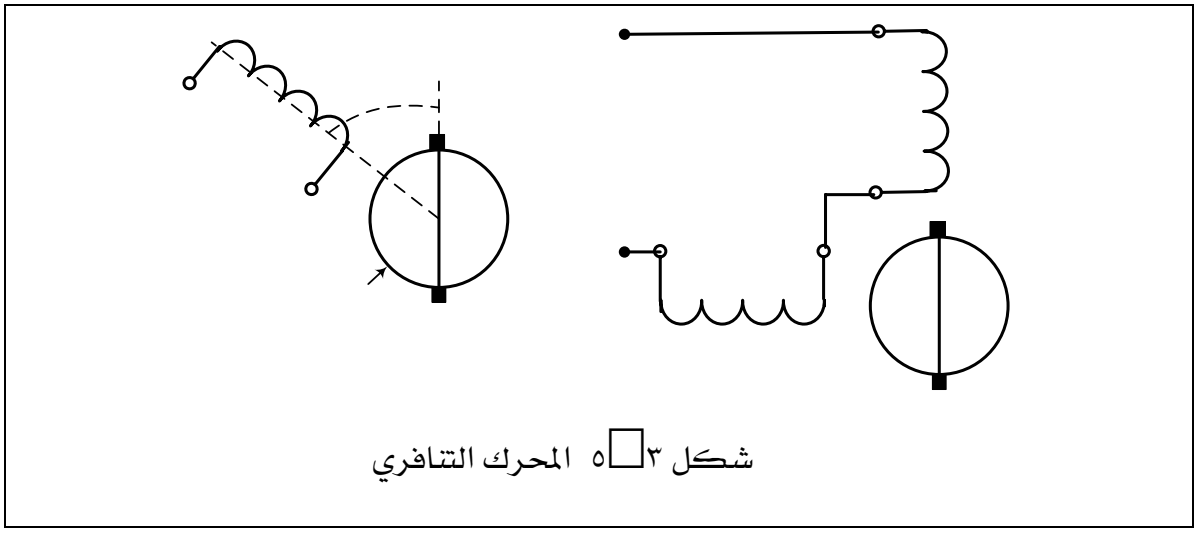
المحرك التنافري

تركيب المحرك:

يتكون المحرك التنافري من عضو ثابت يشبه في تركيبه للعضو الثابت للمحرك الحثي أحادي الوجه ملفوف عليه الملفات الرئيسية فقط، ومن عضو دوار يشبه تماما العضو الدوار لآلات التيار المستمر عليه ملفات المنتج موصلة لعضو التبديل (التوحيد)، تقصر الفرش الكربونية لهذا المحرك ويصنع محورها مع محور ملفات العضو الثابت زاوية تتوقف على قيمتها خصائص المحرك وسرعته.

نظرية عمل المحرك التنافري:

يمكن تحليل وظيفة المجال المغناطيسي A ، الناشئ عن ملف العضو الثابت، بتقسيمه واستبداله نظرياً بملفين متعامدين، الشكل ٣-٥ ، الأول ينطبق محوره مع محور ملف الدوار، ويسمى بملف التحويل (Transformer winding) T=A cosα ، والآخر يتعامد محوره مع محور ملف الدوار، ويسمى بملف المجال (Field winding) F=A sinα ، يتوقف تأثير كل منهما على مقدار الزاوية □ . يعمل ملف التحويل (T)، على توليد تيار بملفات المنتج بالتأثير الحثي، كما يحدث في المحولات (حيث تكون ملفات المنتج مقصورة على نفسها)، فيتولد مجال مغناطيسي مضاد لمجال ملف التحويل، فتتكون محصلة لهذين المجالين في اتجاه محور ملف التحويل (محور الفرش). أما ملف المجال (F) فيعطي مجالاً مغناطيسياً متعامداً مع محور الفرش، فيتولد عزم دوران نتيجة للمجالين المتعامدين. شكل ٣-٥ يبين تركيب المحرك التنافري ويبين أيضا كيفية تقسيم ملف العضو الثابت إلى ملفين متعامدين.



شكل ٣-٥ المحرك التنافري

أما تسميته بالمحرك التنافري فذلك لأنه يمكن تفسير العزم المتولد على أنه عزم تنافر، بين قطب مغناطيسي شمالي (مثلا)، تكون في لحظة معينة نتيجة للتيار المتردد، على العضو الثابت، مع قطب مشابه له تكون بالحث على سطح الدوار، فتولد عزم الدوران نتيجة لتنافر الأقطاب المتشابهة.

خواص المحرك التنافري:

يشبه هذا المحرك في خصائصه محرك التوالي العام، مع الفارق بأن ملف المنتج في حالة محرك التوالي العام يمر فيه التيار بالتوصيل المباشر من المصدر الكهربائي، أما في المحرك التنافري فملف المنتج (الدوار) يستمد التيار من ملفات العضو الثابت بالتأثير.

يمتاز المحرك التنافري عن محرك التوالي العام بإمكانية التحكم في سرعته بتغيير الزاوية α بين صفر وتسعين درجة. عندما تكون الزاوية α صفراً يتلاشى ملف المجال ويتلاشى عزم الدوران، ويصبح المحرك في هذه الحالة مشابها لمحول ملفه الثانوي مقصور فتمر أكبر قيمة لتيار العضو الثابت، ويسمى موقع الفرش في هذه الحالة بموقع المعاوقة الصغيرة. أما عندما تكون الزاوية α تسعين درجة يتلاشى ملف التحويل ويتلاشى معه تيار ملفات المنتج ويتلاشى أيضا عزم الدوران، ويصبح المحرك في هذه الحالة مشابها لمحول ملفه الثانوي مفتوح فتمر أصغر قيمة لتيار العضو الثابت، ويسمى موقع الفرش في هذه الحالة بموقع المعاوقة الكبيرة.

عند بدء حركة المحرك التنافري يجب أن تكون الفرش في موقع المعاوقة الكبيرة حيث يكون تيار البدء في هذه الحالة أقل ما يمكن، ثم يتم إزاحتها من هذا الموقع، فيدور المحرك في اتجاه معاكس لاتجاه إزاحة الفرش من موقع المعاوقة الكبيرة.

اختبار ذاتي : اختر الإجابة أو الإجابات الصحيحة.

س١ : المحرك العام هو المحرك الذي .....

أ. يمكن استخدامه في جميع الأغراض.

ب. يمكن أن يعمل على كل من التيار المستمر والمتردد.

ج. يعمل على التيار المتردد فقط.

د. يعمل على التيار المستمر فقط.

س٢ : عندما يوصل محرك التوالي للتيار المستمر بمصدر للتيار المتردد ، فإنه .....

أ. يعمل بكفاءة منخفضة.

ب. يعمل بمعامل قدرة منخفض.

ج. تحدث شرارة بين الموحد والفرش.

د. جميع ما سبق.

س٣ : عندما يعمل المحرك العام على مصدر للتيار المستمر

أ. يعمل بكفاءة عالية.

ب. يولد عزم أكبر.

ج. يدور بسرعة أعلى.

د. جميع ما سبق.

ه. عكس ما سبق.

س٤ : من أهم خواص المحرك العام

أ. أداؤه الجيد عند التشغيل بالتيار المتردد.

ب. أداؤه الجيد عند التشغيل بالتيار المستمر.

ج. سرعته المنخفضة عند جميع الأحمال.

د. سرعته العالية عند جميع الأحمال.

ه. قدرته العالية مقارنة بحجمه.

س٥ : المحرك التنافري مزود ب.....

أ. موحد للتيار.

ب. حلقات انزلاق.

ج. ملف لبدء الحركة.

د. أقطاب متنافرة.

أسئلة وتمارين متنوعة :

س١□٥ : ما هو المحرك العام؟ لم سمي بهذا الأسم، تحدث عن تركيبه، وخواصه.

س٢□٥ : ما هو المحرك التنافري؟

س٣□٥ : كيف يمكن عكس اتجاه دوران المحرك العام؟

س٤□٥ : كيف يمكن عكس اتجاه دوران المحرك التنافري؟

س٥□٥ : ماذا يمكن أن يكون السبب إذا لم يبدأ المحرك التنافري الدوران عند توصيله مع مصدر التغذية؟

تمرين ١□٥ محرك عام ٢٤٠ فولت، ٦٠ هيرتز، ذو زوج واحد من الأقطاب، يدور بسرعة ١٢٠٠٠ لفة في الدقيقة ويسحب تيار مقداره ٦,٥ أمبير ومعامل قدره ٠,٩٤ متأخر ثوابت ملفات المنتج والمجال كالآتي:

معاوقة ملف المنتج: $Za = ٦,١٥ + j\ ٩,٤\ \Omega$

معاوقة ملف المجال : $Zs = ٤,٥٥ + j\ ٣,٢\ \Omega$

احسب: الجهد المتولد، قدرة الخرج، العزم المتولد، كفاءة المحرك، إذا كانت المفاقيد الحديدية والميكانيكية ٦٥ وات .

تمرين ٢□٥ محرك توالٍ عام ٢٢٠ فولت، ٦٠ هيرتز، ذو زوجين من الأقطاب، يدور بسرعة ٦٠٠٠ لفة في الدقيقة ويسحب تيار مقداره ٧ أمبير، وثوابت ملفات المنتج والمجال (التوالي) كالآتي:

معاوقة ملف المنتج: $Za = ٥,٥ + j\ ٧,٤\ \Omega$

معاوقة ملف التوالي: $Zs = ٣,٥ + j\ ٣,٢\ \Omega$

احسب: معامل القدرة، الجهد المتولد، قدرة الخرج، العزم المتولد، كفاءة المحرك، إذا كانت المفاقيد الحديدية والميكانيكية ٧٠ وات.

الآلات الكهربائية الصغيرة

الآلات ذاتية التزامن

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة: معرفة عناصر واستخدامات الآلات ذاتية التزامن.

الأهداف:

عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على معرفة:

١. عناصر الآلات ذاتية التزامن: مرسل التحكم، محول التحكم، مستقبل التحكم، المتحكم الفرقي.

٢. تطبيقات على استخدام عناصر الآلات ذاتية التزامن في اجهزة نقل البيانات وأجهزة نقل العزم.

الوقت المتوقع للتدريب: ٤ ساعات

متطلبات الجدارة: اجتياز جميع المقررات السابقة.

الآلات ذاتية التزامن

الآلات ذاتية التزامن عبارة عن أجهزة تيار متردد كهرومغناطيسية لها تطبيقات واسعة في نظم التحكم الآلي ذات التغذية العكسية، فيمكن استخدامها كجهاز لنقل بيانات موضع محور ميكانيكي أو كجهاز لنقل العزم. سوف نستعرض في هذه الوحدة عناصر الآلات ذاتية التزامن وتركيبها أولا ثم بعض التطبيقات لاستخداماتها.

تركيب الآلات ذاتية التزامن:

هناك أربع أنواع أساسية لأجهزة التزامن الذاتية

١. مرسل التحكم The control transmitter (CX)

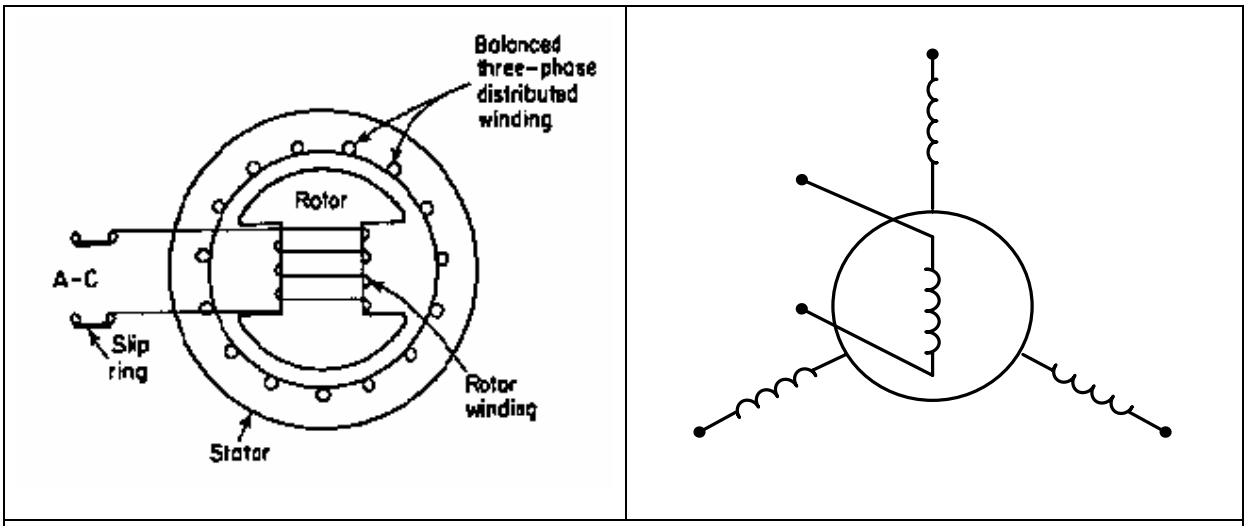
٢. محول التحكم The control transformer (CT)

٣. المتحكم الفرقي The control differential (CD)

٤. مستقبل التحكم The control receiver (CR)

مرسل التحكم (CX):

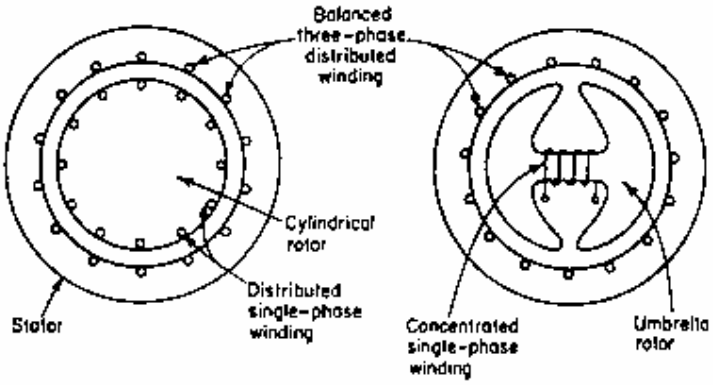
يتركب من عضو ثابت وآخر دوار، توجد مجاري على السطح الداخلي للعضو الثابت ملفوف بداخلها ثلاث ملفات مركزة ومتماثلة وموصلة على شكل نجمة وبحيث تكون الزاوية بين محاورها □١٢٠ كهربائية (تشبه الملفات ثلاثية الأوجه المتزنة). الدوار له قطبان بارزان وملفوف على جزعه ملف أحادي الوجه ذي عدد كبير من اللفات. يعرف موضع الصفر بأنه عندما ينطبق محور ملف الدوار مع محور أحد ملفات الثابت (عادة ملف رقم واحد). عند تغذية الدوار بالتيار المتردد عبر زوج من حلقات الانزلاق ينشأ مجال مغناطيسي متردد ويتولد جهد تحويل في كل ملف من ملفات الثابت، تعتمد قيمه الجهد المتولد على مقدار الزاوية بين محور الملف المعني ومحور ملف الدوار، تقاس الزاوية من موضع الصفر. الشكل ١□٦ يوضح تركيب وكيفية تمثيل مرسل التحكم في الدائرة الكهربائية.



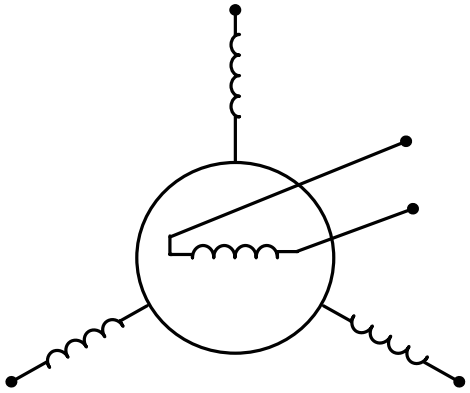
شكل ١□٦ تركيب وكيفية تمثيل مرسل التحكم.

محول التحكم (CT) :

تركيبه يشبه تركيب مرسل التحكم، إلا أن هناك بعض الاختلافات، أهمها أن الدوار مختلف في الشكل بحيث يأخذ الشكل الأسطواني أو على شكل يشبه الشمسية (umbrella construction)، بحيث تكون الثغرة منتظمة وصغيرة من جميع الجهات للتقليل من تيار المغنطة، يختلف الثابت في أن ملفاته الثلاثية لها معاوقة كبيرة، هذه الاختلافات تتيح إمكانية توصيل مرسل واحد لعدة محولات تحكم. كما أن موضع الصفر مختلف، بحيث يعرف بأنه عند تعامد محور ملف الدوار مع محور الملف رقم واحد للثابت. الشكل ٢□٦ يبين تركيب وكيفية تمثيل محول التحكم.



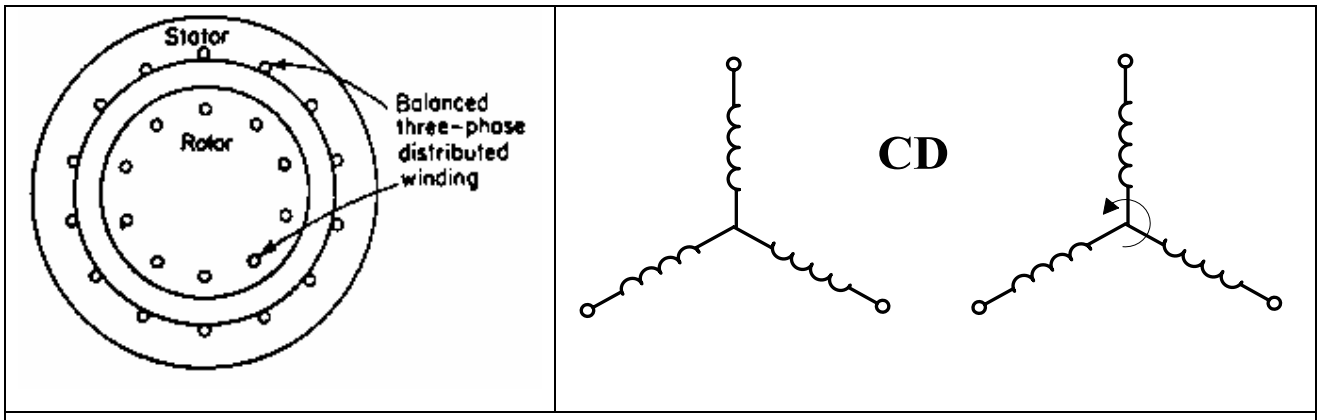
شكل ٦□٢a تركيب محول التحكم.



شكل ٦□٢b كيفية تمثيل محول التحكم.

المتحكم الفرقي (CD) :

كل من عضوه الثابت والدوار على شكل أسطواني، وكل منهم يحمل ملفات ثلاثية، موزعة داخل مجار وموصلة على شكل نجمة. فهو يشبه محول ثلاثي الأوجه ملفاته الثانوية قابلة للدوران. الشكل ٦□٣ يوضح تركيب وكيفية تمثيل المتحكم الفرقي.



شكل ٣□٦ تركيب وكيفية تمثيل المتحكم الفرقي.

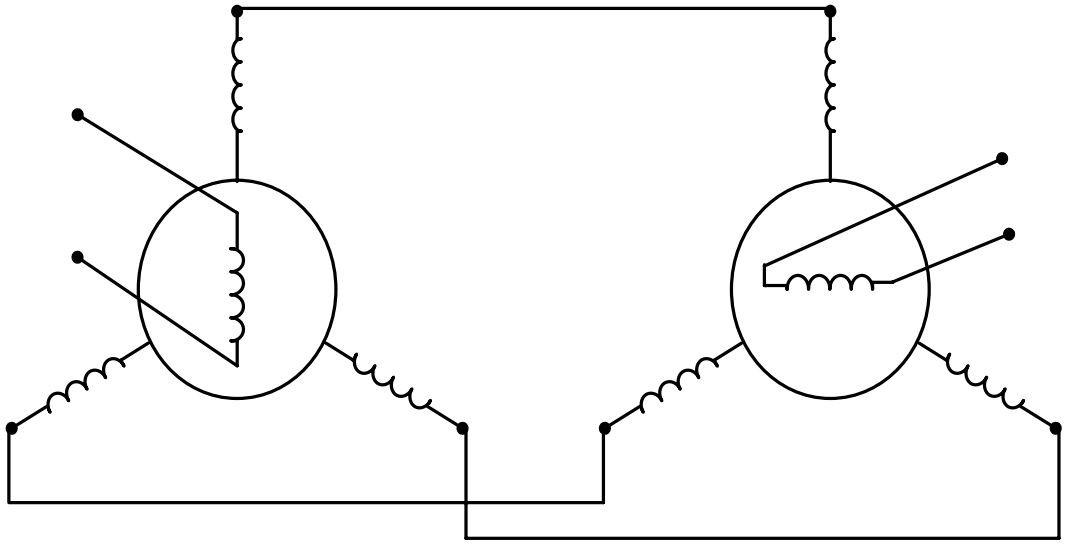
مستقبل التحكم (CR):

يشبه تماما مرسل التحكم فيتكون من عضو ثابت عليه ملفات ثلاثية، وعضو دوار ذو أقطاب بارزة ويحمل ملف أحادي الوجه. إلا أن المستقبل مزود بعنصر كبح على محوره.

تطبيقات على استخدام أجهزة التزامن الذاتية:

أجهزة نقل المعلومات أو البيانات: Data Transmitting Elements

استخدام أجهزة التزامن الذاتية في نظم التحكم الآلي العكسية يعتبر من أهم تطبيقات هذه الأجهزة، الشكل ٤□٦ يبين جزء من أحد هذه المنظومات، هذا الجزء من المنظومة يسمي بكاشف الخطأ (error detector)، مهمته الرئيسية هي تحويل توجيه ميكانيكي في شكل زاوية انحراف ميكانيكية لمحور المرسل، إلى إشارة كهربائية تظهر بشكل جهد على أطراف ملف الدوار لمحول التحكم (CT)، فيوفر فائدة عظيمة، ألا وهي الإدلاء بمعلومات عن إزاحة محور بواسطة أسلاك مما يسمح بوضع محول التحكم (CT) بعيدا عن مرسل التحكم(CX).

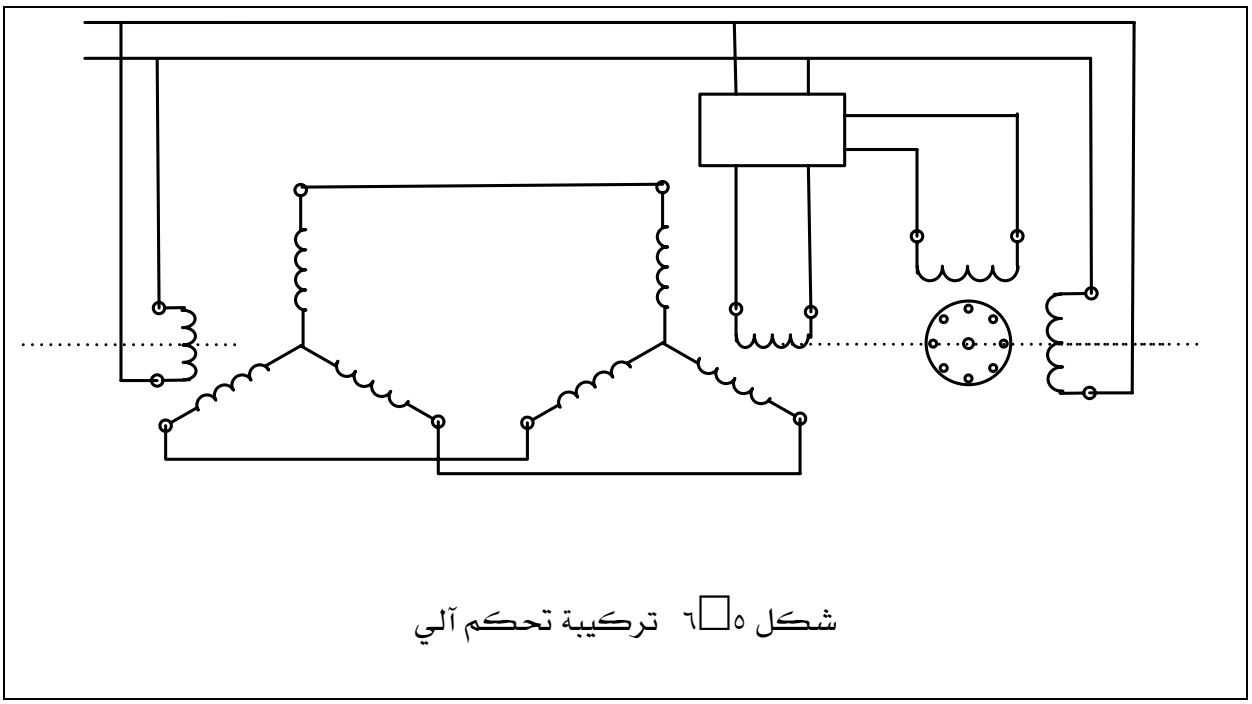


شكل ٤□٦ نظام تزامني لتحويل زاوية ميكانيكية إلى جهد كهربائي على ملف دوار المحول

لشرح كيفية عمل التركيبة المبينة في الشكل ٤□٦ ، يتم تغذية ملف دوار المرسل بتيار متردد، فتتولد جهود بالتحويل في ملفات الثابت الثلاثية للمرسل، كل جهد يعتمد على الزاوية بين محور الدوار ومحور الملف المعني، تنتقل الجهود المتولدة عبر الأسلاك إلى الملفات الثلاثية لثابت المحول، وبإهمال الجهد المفقود في النقل، تتساوى الجهود في كل من الملفات الثلاثية للمرسل والمحول في القيمة والزاوية، وتكون ضد بعضها في الدائرة الكهربائية المشتركة، فينتج كل عضو ثابت مجال مغناطيسي مشابه للآخر.

تعمل المجموعة كما لو كانت ملفات الدوارين مشتركة في نفس الدائرة المغناطيسية، وكل من الملفين له الحرية بأن يأخذ أي وضع اختياري في الفراغ. فالتركيبة إذا تكافئ محاثة متبادلة قابلة للضبط بين ملفي الدوارين، مع إمكانية تواجد كل من الملفين بعيدا عن الآخر.

عندما تكون الزاوية بين محور الملفين تسعين درجة ويكون كل من الملفين في وضع الصفر حسب التعريف السابق، لا يتولد أي جهد على ملف دوار المحول، وهو يمثل وضع الاتزان بين الملفين، وضع الاتزان يحدث أيضا عندما تكون الزاوية بين الملفين تسعين أو مئتين وسبعين درجة بصرف النظر عن تواجد الدوارين في موضع الصفر، عندما تكتسب الزاوية بين الملفين أي قيمة غير تسعين أو مئتين وسبعين درجة يتولد جهد في ملف المحول تعتمد قيمته على فرق الزاوية من وضع الاتزان ($e = E_r \sin\alpha$).



شكل ٥-٦ تركيبة تحكم آلي

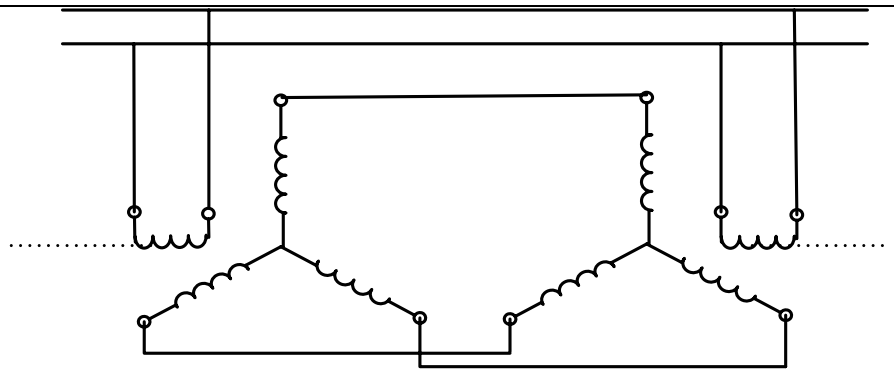
الشكل ٥-٦ يوضح إحدى تطبيقات التركيبة الموضحة في الشكل ٤-٦ ، للتحكم في موضع محور خرج (output shaft)، طبقا لمحور دخل (input shaft)، محور الدخل متصل ميكانيكيا مع دوار المرسل، بينما ملف دوار محول التحكم متصل كهربائيا مع ملف التحكم لمحرك تحكم حثي ثنائي الوجه (سبق شرحه في الوحدة الرابعة) عبر مكبر للقدرة. محور محرك التحكم متصل ميكانيكا بمحور الخرج لإدارة الحمل وفي نفس الوقت متصل ميكانيكيا بدوار المحول. القدرة الميكانيكية اللازمة لإدارة محور الخرج والحمل الميكانيكي المرتبط به يوفرها محرك التحكم الثنائي الوجه.

عندما يكون دوارا كل من المرسل والمحول متعامدين، أي في وضع الاتزان، فإن الجهد الداخل لمكبر القدرة يكون صفرا، فيظل محرك التحكم ساكنا، عندما يدور محور الدخل ومعه محور دوار المرسل بزاوية α (مثلا) في الاتجاه الموجب مبتعدا عن موضع الاتزان، يتولد جهد على ملف دوار المحول قيمته (E sin α) حيث (E) هي أقصى قيمة للجهد المتولد على ملف دوار المحول.

الجهد المتولد يتسبب في دوران محرك التحكم ومحور الخرج، وفي نفس الوقت يعيد دوار المحول لوضع الاتزان من جديد مع دوار المرسل فيتوقف المحرك عن الدوران.

أجهزة نقل العزم: Torque Transmitting Elements

الشكل ٦-٦ يبين تركيبة من مرسل ومستقبل تستعمل لنقل العزم، تعمل على تزامن محور الدخل (input shaft) مع محور الخرج (output shaft) . ملفات الدوار أحادية الوجه في كل من المرسل والمستقبل تتغذى من نفس مصدر التيار المتردد، الملفات الثلاثية لثابت كل من الجهازين موصلة مع بعضها البعض بالترتيب كما هو مبين بالشكل ٦-٦



شكل ٦-٦ تركيبة لنقل العزم تتكون من مرسل ومستقبل

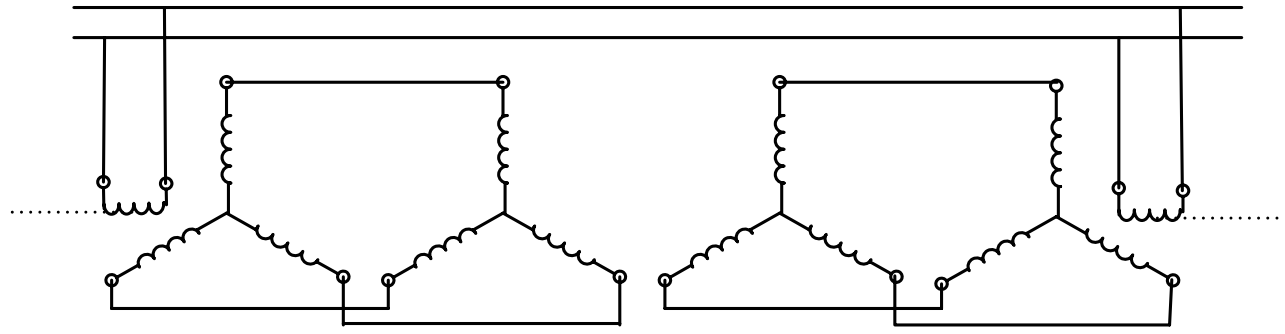
عند تغذية ملفات الدوار لكل من المرسل والمستقبل، تتولد جهود بالتحويل في كل وجه من الأوجه الثلاثية للثابت، عندما يكون الدواران متطابقين وفي نفس الموضع في الفراغ بالنسبة لملفات الثابت، فإن الجهود المتولدة على ملفات الثابت تكون متساوية لكل من المرسل والمستقبل، فلا يسرى تيار بين ملفات الثابت للجهازين. عندما تكون ملفات الدواران ليست في نفس الموضع في الفراغ، فإن الجهود المتولدة على ملفات الثابت تكون غير متساوية، مما يتسبب في سريان تيارات كهربائية بين ملفات الثابت لكل من المرسل والمستقبل، هذه التيارات بالإضافة إلى المجال المغناطيسي الناشئ عن تغذية ملفات الدوار لكل من

جهازي التزامن، تولد عزم يعمل على تطابق وتزامن الدوارين، قيمة هذا العزم تعتمد على الزاوية بين محور الدوارين.

يمكن إضافة المتحكم الفرقي(CD) إلى التركيبة السابقة، كما هو موضح في الشكل ٧-٦ بحيث تصبح زاوية دوران دوار المستقبل (محور الخرج)، تعتمد على مجموع أو الفرق بين زاوية دوران محورين آخرين (محور دوار المرسل ومحور دوار المتحكم الفرقي).

$$\alpha_R = \alpha_X - \alpha_D$$

الدوران ضد عقارب الساعة يعتبر موجباً ومع عقارب الساعة سالباً.



شكل ٧-٦ تركيبة لنقل العزم من مرسل ومستقبل ومتحكم فرقي

يمكن أيضا استخدام المتحكم الفرقي في التركيبة السابقة، كمحرك يتم تغذيته على كل من ملفاته الثابتة والمتحركة، بواسطة جهازين كل منهما مرسل تحكم، بحيث يدور المتحكم الفرقي، بمجموع أو بالفرق بين زاوية دوران جهازي الإرسال.

أسئلة وتمارين متنوعة :

س١□٦ : ما هي أجهزة التزامن الذاتية؟

س٢□٦ : لماذا يصنع دوار محول التحكم على شكل الشمسية؟

س٣□٦ : ما الفرق بين تركيب مرسل التحكم ومحول التحكم.

س٤□٦ : عرف وضع الصفر في كل من مرسل ومحول التحكم.

س٥□٦ : اشرح كيفية عمل جهاز نقل المعلومات.

س٦□٦ : اشرح كيفية عمل جهاز نقل العزم.

تمرين١□٦ : مجموعة مكونة من مرسل ومحول تحكم، مرسل التحكم يقوم بتغذية محول التحكم، كل من جهازي التزامن الذاتي مضبوط في موضع الصفر شكل ٤□٦. إذا أدير دوار المرسل ٦٠^{o} ضد عقارب الساعة، احسب الجهد المتولد على أطراف محول التحكم، إذا كان أقصى جهد يمكن توليده هو ١٠٠ فولت، ثم ارسم رسماً توضيحياً يوضح طريقة توصيل المجموعة.

تمرين٢□٦ : مجموعة مكونة من مرسل تحكم ومتحكم فرقي ومستقبل تحكم، مرسل التحكم يقوم بتغذية الثابث للمتحكم الفرقي والذي يقوم بدوره بتغذية مستقبل التحكم شكل ٧□٦، كل من العناصر الثلاثة للتزامن الذاتي مضبوط في موضع الصفر. إذا أدير دوار المرسل ٣٠^{o} ضد عقارب الساعة وأدير المتحكم الفرقي ٦٠^{o} مع عقارب الساعة، فبأي إتجاه وبأي مقدار يدور دوار المستقبل.

ارسم رسماً توضيحياً يبين المجموعة وهي في موضع الصفر، ثم أعد الرسم التوضيحي بعد دوران العناصر الثلاثة بالزوايا المذكورة.

المراجع

- المحركات التأثيرية. د. محمد أحمد قمر – منشأة المعارف بالأسكندرية –ج. م. ع.

- Principles of Electric Machines and Power Electronics, *P. C. Sen*, *Jon Wiley & sons*, Inc, ١٩٩٧.

- Electric Machinery, *M. S. Sarma, West Publishing Company*, ١٩٩٤.

- Electric Machines: Steady State Theory and Dynamic Performance, *A. E. Fitzgeralad, Mc. Graw-Hill*, ١٩٩٢.

- Electric Machinery, *A. e. Fitzgerald, C. Kingsley. S. D. Umans, Mc. Graw-Hill*, ١٩٩٤.

- STEPPING MOTORS: a guide to modern theory and practice. IEE **CONTROL** ENGINEERING SERIES, *P. J. Antsaklis, D. P. Atherton, K. Warwick, Peter peregrinus Ltd.* ١٩٩٢.

المحتويات

الوحدة الأولى : المحركات الحثية أحادية الوجه. ١

- **نظرية المجال المغناطيسي المزدوج الدوار** ٢
- **طرق البدء ومنحنيات الخواص للمحركات الحثية أحادية الوجه** ٦
  - المحرك مشطور الوجه ٦
  - المحركات ذات المكثفات ١٠
    - المحرك ذو مكثف البدء ١٠
    - المحرك ذو المكثف الدائم ١١
    - المحرك ذو المكثفين ١٣
  - المحرك ذو الوجه المظلل ١٦
- **تحليل خواص المحركات الحثية أحادية المرحلة** ١٧
- **أسئلة وتمارين متنوعة** ٢٩

الوحدة الثانية : محركات الخطوة. ٣٢

- **محركات الخطوة ذات الممانعة المغناطيسية المتغيرة** ٣٣
  - كيفية عمل المحرك ٣٥
  - حساب خطوة المحرك ٣٨
- **محركات الخطوة ذات الأقطاب المغناطيسية الدائمة** ٣٩
  - كيفية عمل المحرك ٣٩
- **محركات الخطوة ذات الأقطاب المغناطيسية الدائمة على طول المحور الدوار** ٤١
  - محرك الخطوة الهجين ٤١
  - طريقة عمل المحرك ٤٢
- **أسئلة وتمارين متنوعة** ٤٨

الوحدة الثالثة : مولدات التاكو ٥١
- **المتطلبات الرئيسية لمولدات التاكو** ٥٢
- **مولدات التاكو للتيار المستمر** ٥٣
- **كيفية التقليل من الخطأ في قراءة تاكومترات التيار المستمر** ٥٦
- **مولدات التاكو الحثية** ٥٦
  - نظرية عمل التاكومترات الحثية ٥٧
- **مولدات التاكو التزامنية** ٥٩
- **معايرة التاكومترات** ٦٠
- **أسئلة وتمارين متنوعة** ٦١

الوحدة الرابعة : محركات التحكم. ٦٢
- **محركات التحكم للتيار المتردد** ٦٣
  - كيفية عمل المحرك ٦٣
  - خواص محرك التحكم للتيار المتردد ٦٤
  - محركات التحكم ذات الكأس المجرور ٦٥
- **محركات التحكم للتيار المستمر** ٦٩
  - محركات التحكم ذات الدائرة المطبوعة ٦٩
  - محركات التحكم ذات ملفات المنتج السطحية ٧٠
  - محركات التحكم ذات الملف المتحرك ٧٠
- **أسئلة وتمارين متنوعة** ٧٢

الوحدة الخامسة : المحرك العام والمحرك التنافري. ٧٤
- **محرك التوالي العام** ٧٥
  - تركيب محرك التوالي العام ٧٥
  - خواص واستخدامات المحرك العام ٧٦
- **المحرك التنافري** ٧٩
  - تركيب المحرك التنافري ٧٩

- نظرية عمل المحرك التنافري ٧٩
- خواص المحرك التنافري ٨٠
- **أسئلة وتمارين متنوعة** ٨٣

الوحدة السادسة : الآلات ذاتية التزامن. ٨٤

- **تركيب الآلات ذاتية التزامن** ٨٥
  - مرسل التحكم ٨٥
  - محول التحكم ٨٦
  - المتحكم الفرقي ٨٧
  - مستقبل التحكم ٨٨
- **تطبيقات على استخدام أجهزة التزامن الذاتية** ٨٨
  - أجهزة نقل المعلومات أو البيانات ٨٨
  - أجهزة نقل العزم ٩١
- **أسئلة وتمارين متنوعة** ٩٣
- **المراجع** ٩٤

تقدر المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الدعم

المالي المقدم من شركة بي آيه إي سيستمز (العمليات) المحدودة

GOTEVOT appreciates the financial support provided by BAE SYSTEMS