الآلات الكهربائية الصغيرة

محركات الخطوة

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

الوحدة الثانية : محركات الخطوة

الجدارة: معرفة تركيب وأنواع محركات الخطوة واستخداماتها.

الأهداف: عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

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: ٨ ساعات

متطلبات الجدارة: اجتياز جميع المهارات السابقة.

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

محركات الخطوة (Stepping Motors)

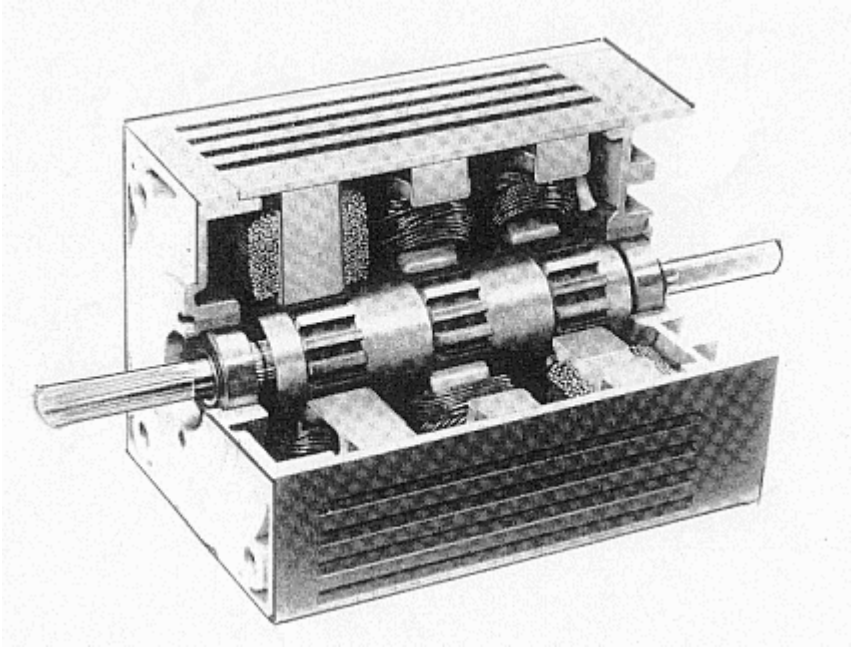
تسمى أيضا المحركات متدرجة الحركة، وقد عرفت منذ زمن بعيد، إلا أن إنتاجها تجاريا بدأ في الستينيات الميلادية، بعد التقدم العلمي الذي أحرز في مجال إلكترونيات القدرة، وفي إمكانية توصيل وفصل تيار مستمر ذي قيمة عالية في ملفات المحركات، ولقد بدأ التفكير في استخدامها عندما بدأ الطلب على جهاز يمكن أن يعطي حركة دورانية في صورة انحراف زاوي ثابت. يمكن ربط محرك الخطوة مع الحاسب الآلي أو المعالجات الصغيرة، التي تتحكم في أداء وظائف محددة لبعض الآلات مثل آلات القطع حيث يمكن استخدام 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، ثم ثباته 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 رئيسين:

١. محركات الخطوة ذات المانعة المغناطيسية المتغيرة:

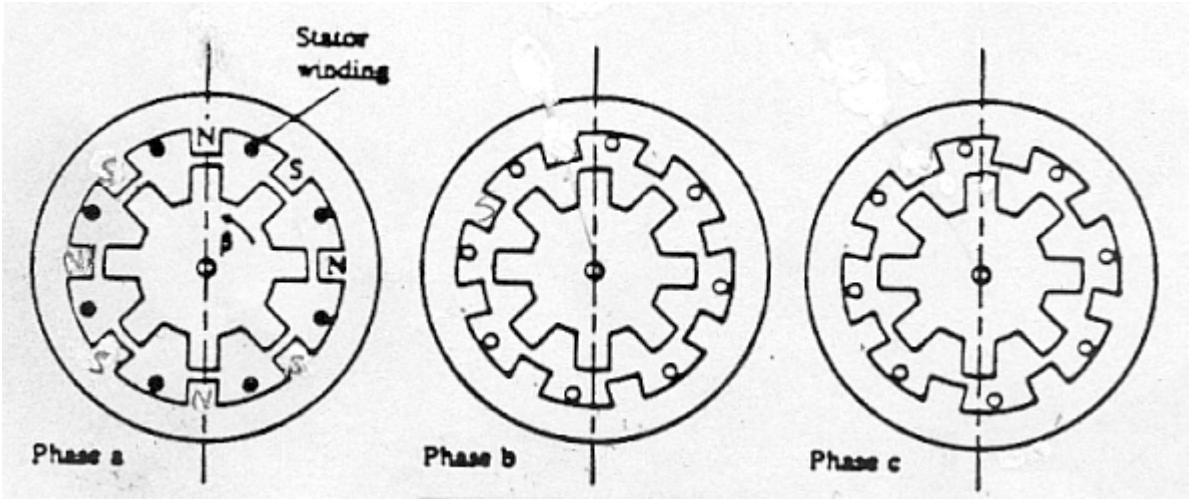
العضو الثابت لمحرك الخطوة ذي المانعة المتغيرة، مجزأ على طول محوره إلى عدة مجموعات من الأقطاب (Stacks)، المستقلة مغناطيسيا عن بعضها ، كل مجموعة من الأقطاب، يمكن إثارتها مغناطيسيا بواسطة ملفات مستقلة (Phases)، العضو الدوار يتركب من أسنان بارزة، كل من العضو الثابت والدوار يصنع من شرائح الحديد، لإمكانية 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 مجالاً مغناطيسياً في اتجاه قطر المحرك، وبحيث تكون الأقطاب المتجاورة مختلفة في قطبيتها عن بعضها. شكل(٢- ١) يوضح قطاعاً في أحد محركات الخطوة ذات المانعة المتغيرة يحتوي على ثلاث مجموعات على عضوه الثابت.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٢- ١ قطاع في محرك خطوة ذي الممانعة المتغيرة

الرسم التوضيحي في شكل(٢- ٢) يوضح تركيب محرك خطوة ذي 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 ثلاث وحتى سبع 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.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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 إن 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 وذلك لانجذاب الأسنان البارزة للقطب الأقرب وهو في اتجاه دوران 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. الجداول التالية توضح التسلسل المنطقي لتتابع تغذية ملفات مجموعات العضو الثابت ليخطو المحرك خطوة كاملة

C	B	A
		+
+		
	+	
		+
+		
	+	

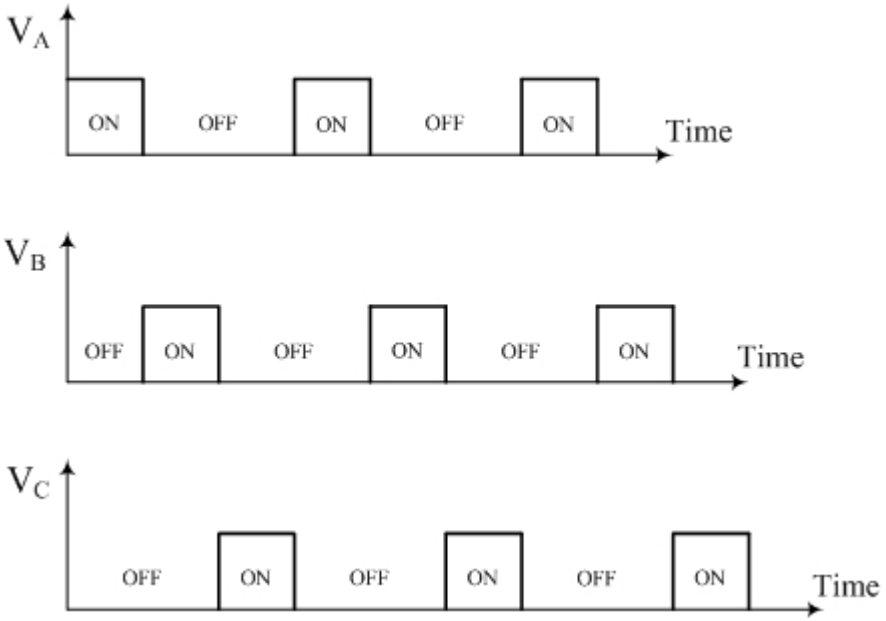
الجدول ٢- ٢ التسلسل المنطقي لتتابع تغذية الأوجه بحيث يخطو المحرك خطوات كاملة مع عقارب الساعة

C	B	A
		+
	+	
+		
		+
	+	
+		

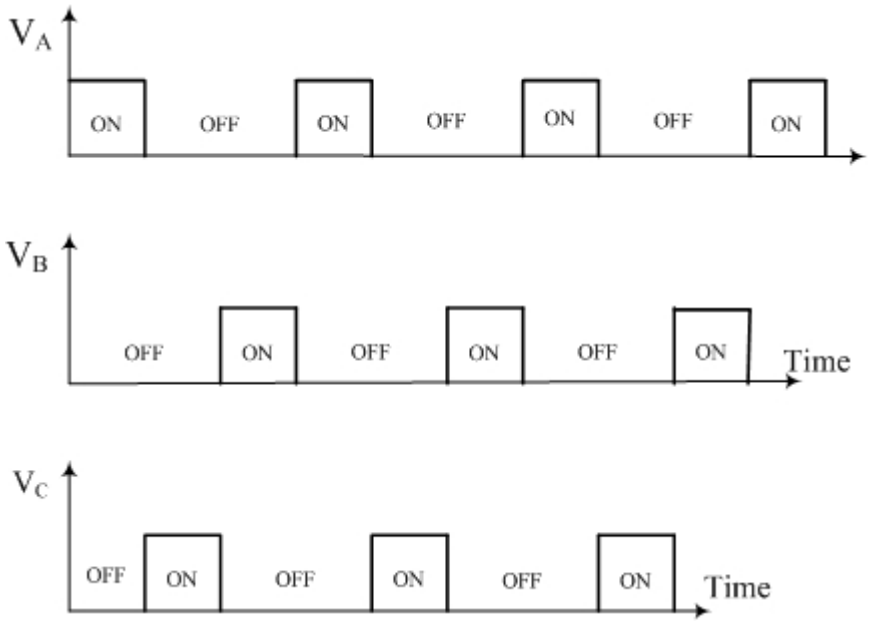
الجدول ٢- ١ التسلسل المنطقي لتتابع تغذية الأوجه بحيث يخطو المحرك خطوات كاملة ضد عقارب الساعة

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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



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



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

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

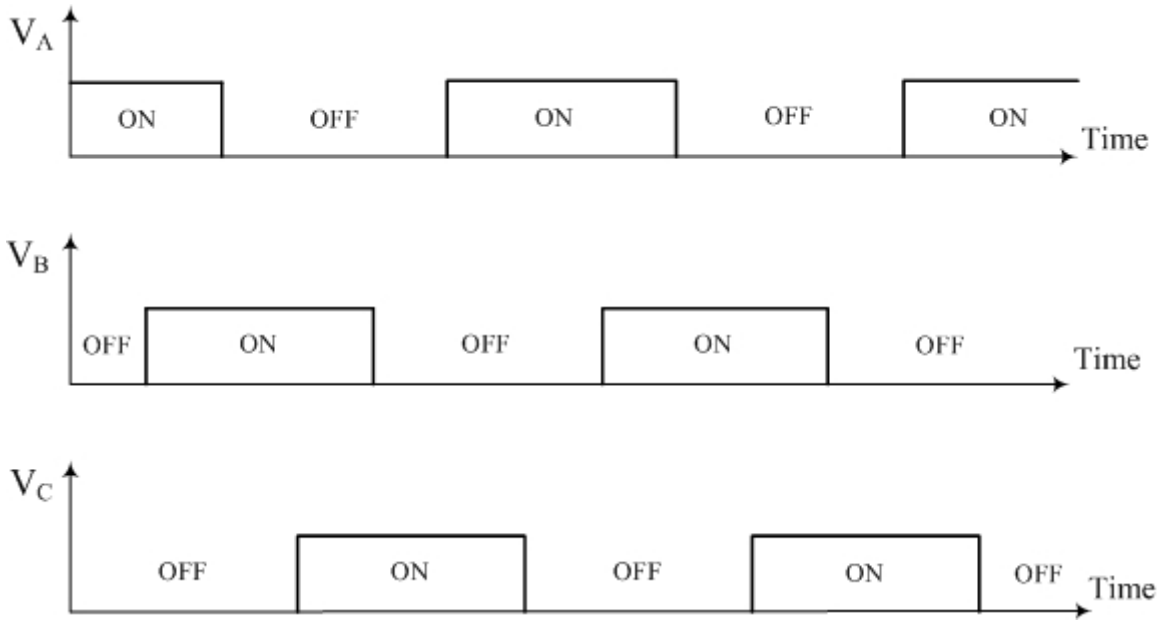
C	B	A
		+
+		+
+		
+	+	
	+	
	+	+
		+

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

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

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

موجات الجهد الموصل مع مجموعات الثابت في حالة دوران المحرك بنصف خطوة ضد عقارب الساعة مبينة بالشكل(٢- ٥).

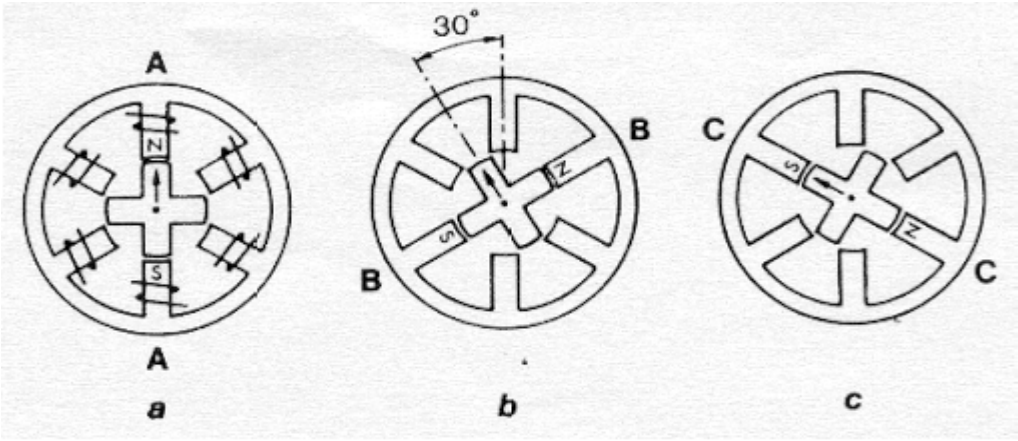


شكل ٢- ٥ موجات الجهد في حالة دوران المحرك بنصف خطوة ضد عقارب

الشكل(٢- ٦) يوضح تصميماً آخر من محركات الخطوة ذات الممانعة 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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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(٢- ٦أ) يوضح وضع الدوار، أثناء تغذية المجموعة A فقط، والشكل(٢- ٦ب) 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(٢- ٦ج) 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 ٢- ٣ و ٢- ٤.



شكل ٢- ٦ تصميم آخر لمحركات الخطوة ذات الممانعة 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:

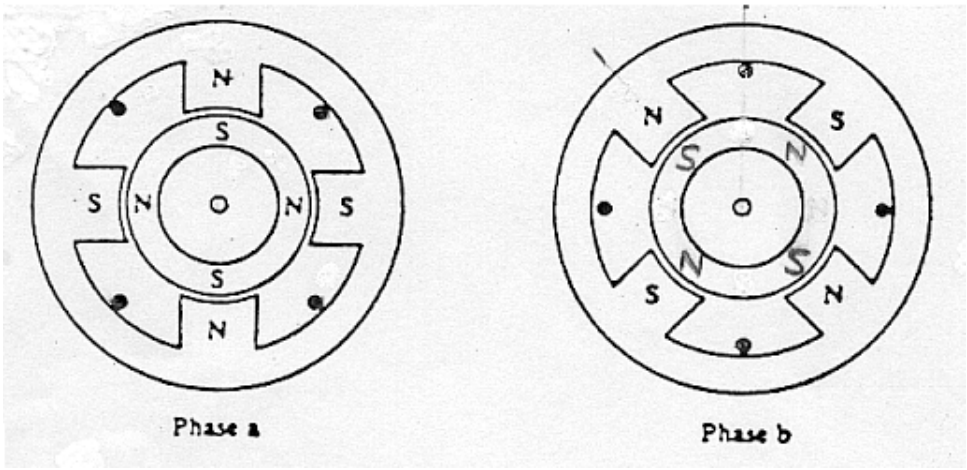
$$\theta = \frac{360}{N \cdot p} \qquad ٢-١$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

عند تطبيق المعادلة ٢- ١ على المحرك المبين في الشكل (٢- ٢)، ينتج أن خطوته 15 درجة، وعند تطبيقها على المحرك المبين في الشكل(٢- ٦)، ينتج أن خطوته 30 درجة.

٢. محركات الخطوة ذات الأقطاب المغناطيسية الدائمة :

يمكن زيادة العزم المتولد من محرك الخطوة باستخدام مغناطيسات دائمة قوية على العضو الدوار، لتزويد المحرك بوسيلة دائمة على الدوار لتأسيس مجال مغناطيسي قوي ذي قيمة ثابتة، الشكل(٢- ٧) يوضح محركاً من هذا النوع ذا مجموعتين من أربعة أقطاب على عضوه الثابت تثار مغناطيسيا بواسطة مجموعتين من الملفات كل منها مستقلة عن الأخرى، العضوالدوار يتكون من أربعة أقطاب مغناطيسية دائمة على شكل أسطوانة دائرية. لحساب خطوة المحرك تستخدم نفس العلاقة المعطاة بالمعادلة (٢- ١) (يكون الناتج ٤٥ درجة).



شكل ٢- ٧ محرك خطوة ذو أقطاب مغناطيسية دائمة

كيفية عمل المحركات ذات الأقطاب المغناطيسية الدائمة :

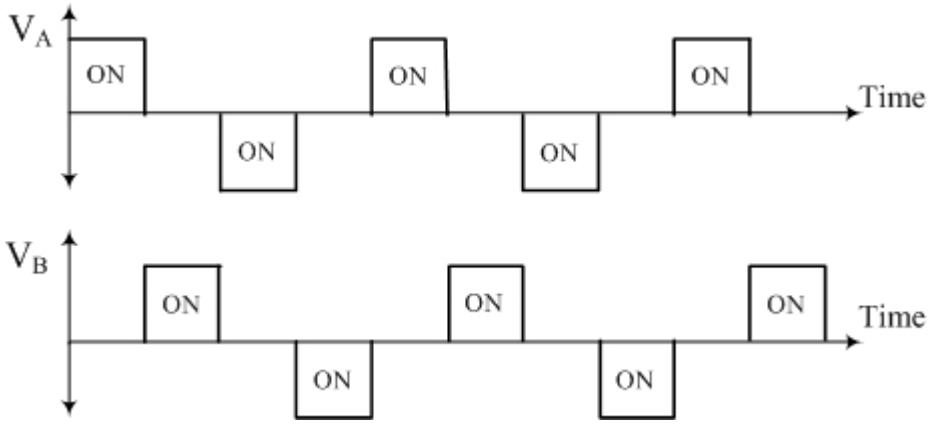
عند تغذية المجموعة 'A' بتيار مستمر، تتحد محاور أقطاب الدوار مع محاور أقطاب المجموعة 'A'، بحيث يتجاذب كل قطبين مختلفين، ويثبت الدوار على هذا الوضع الموضح بالشكل(٢- ٧أ). عند فصل المجموعة 'A' وتغذية المجموعة 'B' بتيار مستمر، يخطو الدوار ٤٥ درجة (خطوة كاملة) في عكس اتجاه عقارب الساعة، لتتحد محاور أقطابه مع محاور أقطاب المجموعة'B' ، ويثبت الدوار أيضا في هذا الوضع الموضح في الشكل(٢- ٧ب). 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(٢- ٥) والإشارة السالبة تعني عكس قطبية التغذية.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

A	B
+	
	+
-	
	-
+	

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

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



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

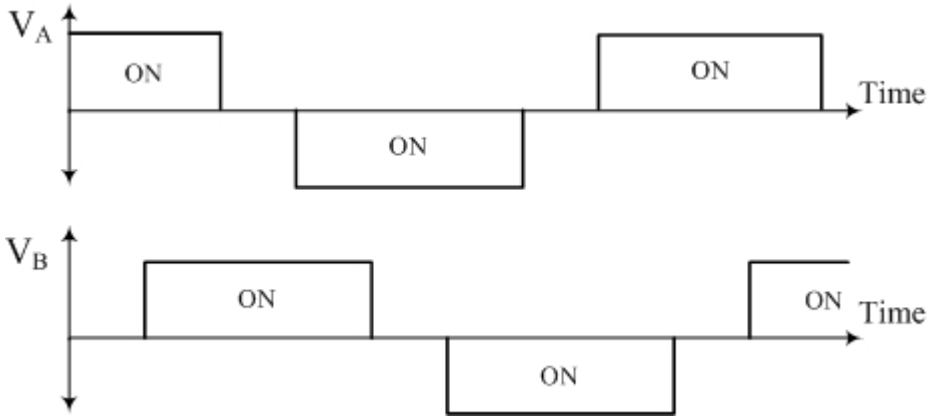
يمكن تشغيل المحرك بنصف خطوة إذا تم اتباع التسلسل المنطقي المبين بالجدول ٢- ٦

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

الجدول ٢- ٦يبين التسلسل المنطقي لتتابع توصيل المجموعات بحيث يخطو المحرك المبين بالشكل(٢- ٧) بنصف خطوة 22.5 درجة عكس عقارب الساعة.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الشكل(٢- ٩) 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 ٢- ٥ و٢- ٦ على الترتيب.



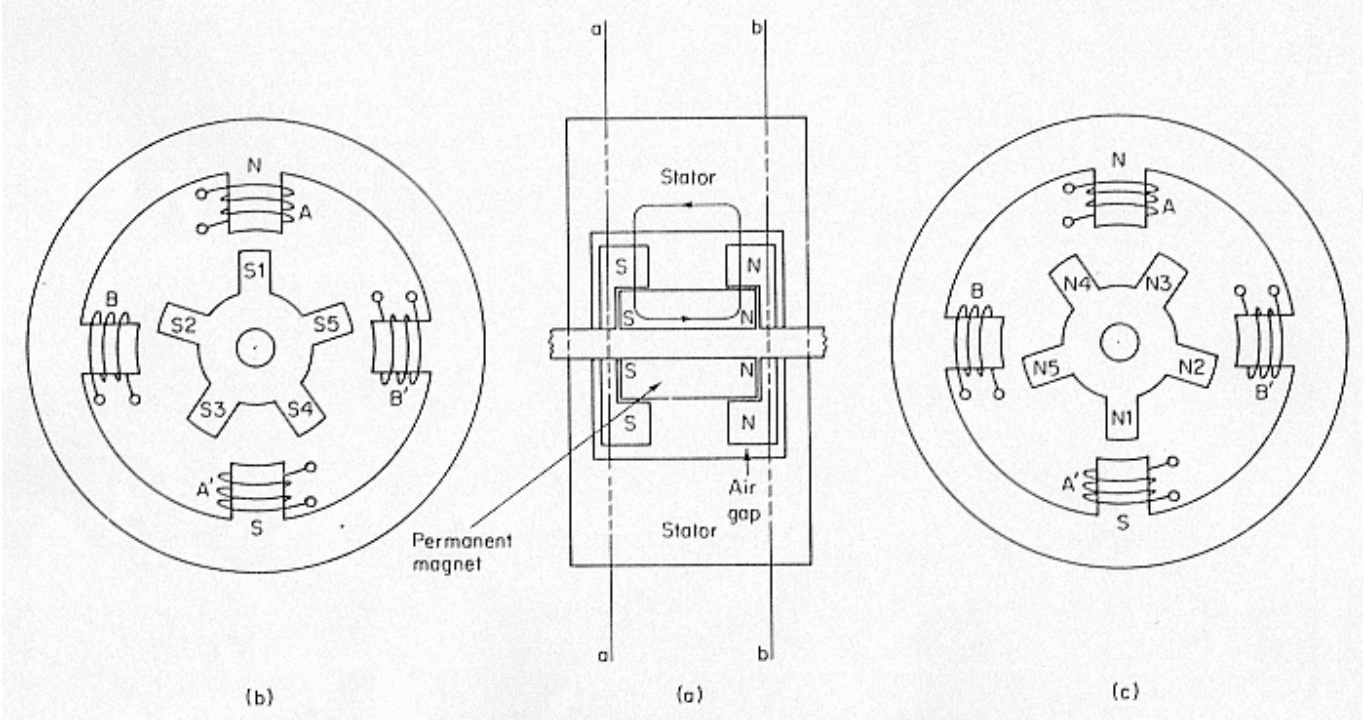
شكل ٢- ٩ موجات الجهد في حالة دوران المحرك المبين بالشكل(٢- ٧) بنصف خطوة ضد عقارب الساعة

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(٢- ١٠)، العضو الثابت مكون من مجموعتين من الأقطاب، كل مجموعة مكونة من قطبين، ملفات أقطاب المجموعة الواحدة موصلة على التوالي، لتُكون عند تغذيتها بتيار مستمر قطباً شمالياً وآخر جنوبياً. العضو 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′)

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

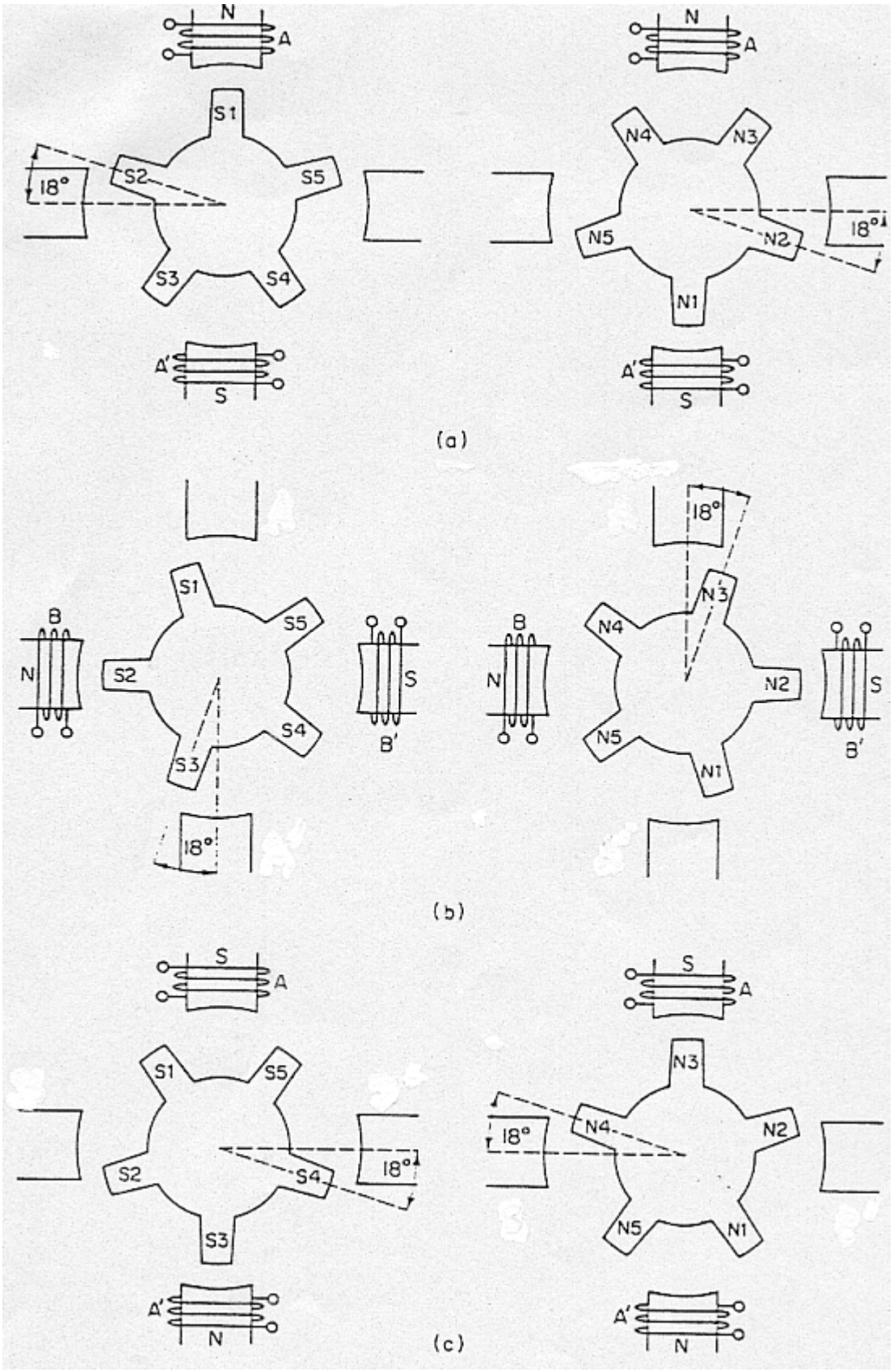


شكل ٢- ١٠ محرك الخطوة من النوع الهجين

طريقة عمل المحرك الهجين:

طريقة عمل المحرك لكي يخطو خطوة محددة، ويثبت في وضع محدد بدقة، يمكن فهمها بفحص الرسومات التوضيحية في الشكل(٢- ١١). 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(٢- ١١أ) 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 (18°) ضد اتجاه دوران عقارب الساعة، ويستقر في الوضع المبين في الشكل(٢- ١١ب). يخطو المحرك خطوة أخرى ضد دوران عقارب الساعة إذا فصلت المجموعة (B-B′) ووصلت المجموعة (A-A′) مرة أخرى ولكن بقطبية سالبة الشكل(٢- ١١ج) وهكذا.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٢- ١١كيفية عمل محرك الخطوة الهجين

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

إذا افترضنا أن أقصى عزم متولد هو T_m فيمكن حساب العزم عند أي زاوية 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 (90°)، فهو إذا يخضع لقانون جيب الزاوية. أما في حالة التنافر بين الأقطاب المغناطيسية المتشابهة، فيبلغ العزم أقصى قيمة له عندما تكون الزاوية بين محوري القطبين صفرا، إذا فهو يخضع لقانون جيب تمام الزاوية.

عندما يتم فصل $(A\text{-}A')$ تغذية $(B\text{-}B')$ ومازال الدوار في الوضع(٢- ١١أ)، فيحسب العزم من:

$$T = T_m \left[\sin\angle_N^{S2} + \sin\angle_N^{S1} - \sin\angle_N^{S3} + \cos\angle_S^{S5} - \cos\angle_S^{S4} \right] \qquad ٢\text{-}٢$$

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- ٢ينتج:

$$T = T_m \left[\sin 18^\circ + \sin 90^\circ - \sin 54^\circ + \cos 18^\circ - \cos 54^\circ \right]$$
$$T = T_m \left[0.309 + 1.0 - 0.809 + 0.951 - 0.588 \right]$$
$$T = 0.863\, T_m \qquad ٣\text{-}٢$$

لأن محصلة العزم موجبة، فسيخطو الدوار 18° ضد عقارب الساعة، حتى يصل إلى وضع الاتزان المبين بالشكل(٢- ١١ب).

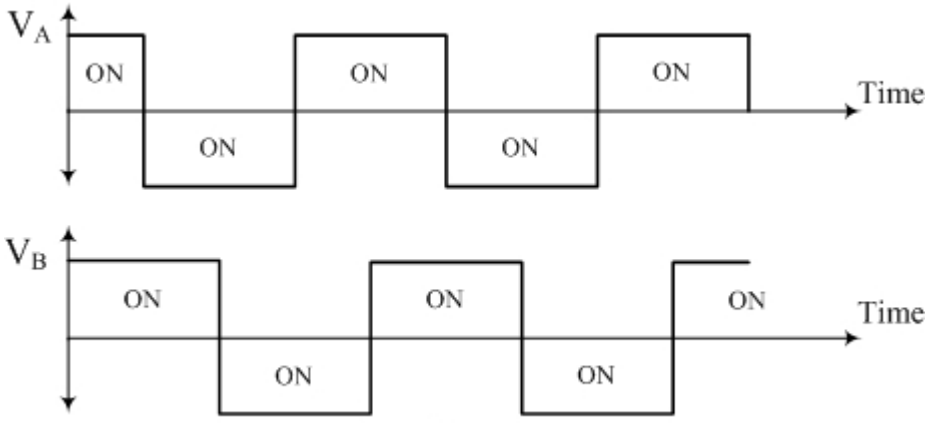
خطوة المحرك تحسب بتطبيق المعادلة ٢- ١، جداول التسلسل المنطقي لحركة المحرك بخطوة كاملة وبنصف خطوة ضد عقارب الساعة، هي نفس الجداول ٢- ٥ و ٢- ٦ على الترتيب. كما يمكن عكس اتجاه خطوة المحرك بعكس التسلسل الوارد في الجداول المذكورة. يمكن أيضا تشغيل المحرك بخطوة كاملة في كل من اتجاهي الحركة بتغذية مجموعتي العضو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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

A	B	
+	+	الجدول ٢- ٧ يبين التسلسل المنطقي لتتابع توصيل المجموعات بحيث تتم تغذية مجموعتي الثابت معاً ويخطو المحرك بخطوة كاملة ١٨ درجة ضد عقارب الساعة.
-	+	
-	-	
+	-	
+	+	

A	B	
+	+	الجدول ٢- ٨ يبين التسلسل المنطقي لتتابع توصيل المجموعات بحيث تتم تغذية مجموعتي الثابت معاً ويخطو المحرك بخطوة كاملة ١٨ درجة مع عقارب الساعة.
+	-	
-	-	
-	+	
+	+	

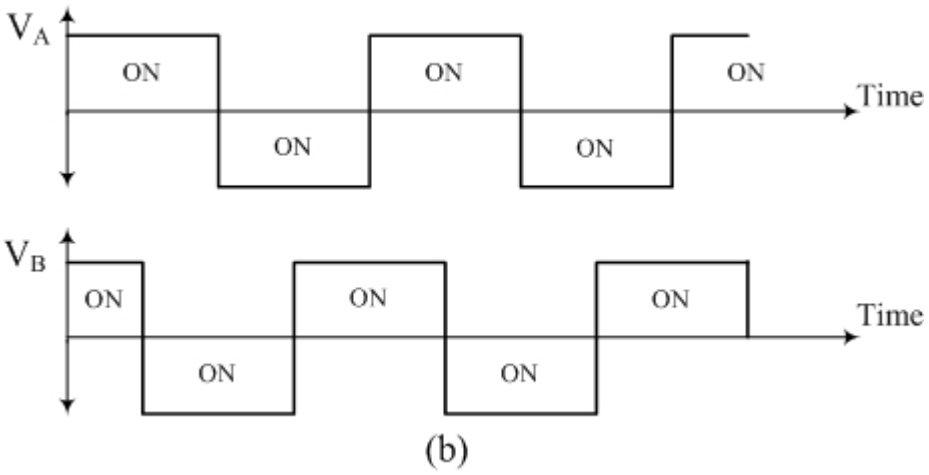
الشكل(٢- ١٢) يبين موجات الجهد الموصل مع مجموعات الثابت في الحالتين السابقتين



(a)

شكل ٢- ١٢أ

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٢- ١٢ب

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

اختبار ذاتي

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 الدائمة .....

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 المغناطيسية المتغيرة يجب أن يكون عدد مجموعات الثابت .....

أ. مجموعتين فقط.

ب. ثلاث مجموعات فقط.

ج. أكثر من مجموعتين.

د. أكثر من ثلاث مجموعات.

س٤ : تتم 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.

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

أسئلة وتمارين متنوعة :

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

س ٢- ٢ : كيف تحسب خطوة محرك الخطوة.

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

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

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

س ٢- ٦ : صف مع الرسم شكلن مختلفين من أشكال محركات الخطوة ذات الأقطاب الدائمة.

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

أ. حساب خطوة المحرك.

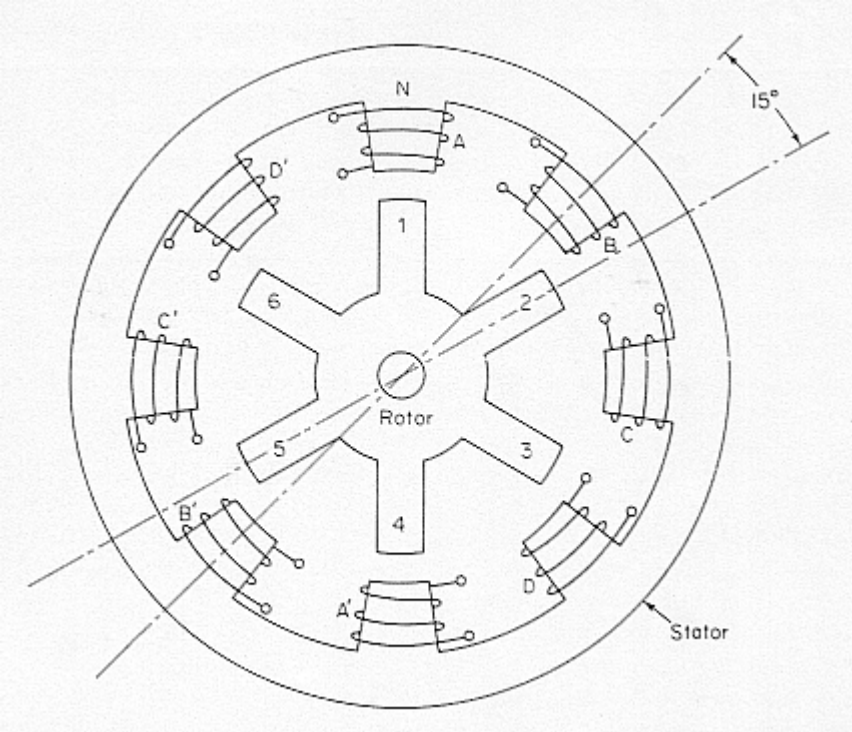
ب. التسلسل المنطقي لتغذية المجموعات، بحيث يدور المحرك مع عقارب الساعة، بخطوة كاملة.

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؟

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM



شكل ٢- ١٣ تمرين ٢- ١

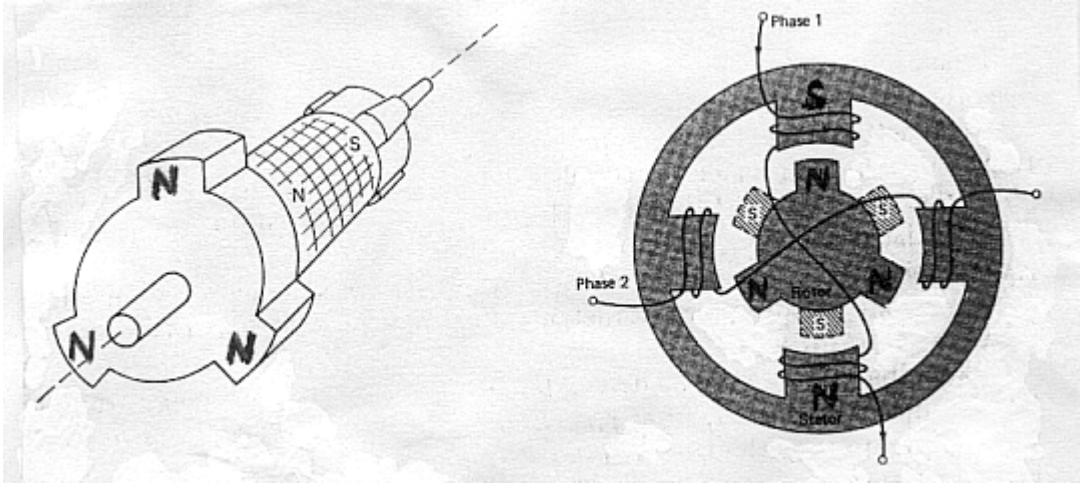
تمرين ٢- ٢: للمحرك متدرج الحركة من النوع الهجين، المبين بالشكل(٢- ١٤)، أوجد:

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 ٢- ١٤ تمرين ٢- ٢

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

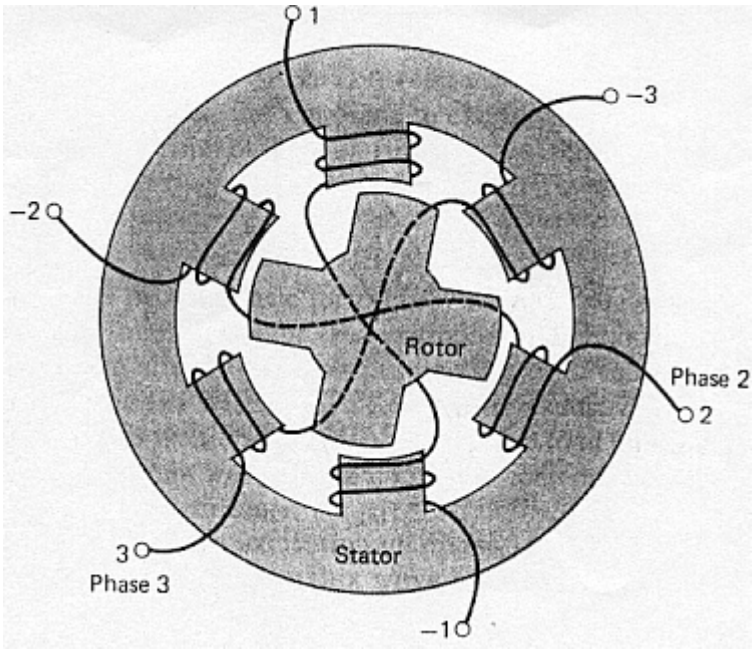
تمرين ٢- ٣: محرك الخطوة المبين بالشكل(٢- ١٥)، من النوع ذي الممانعة المغناطيسية المتغيرة، العضو الثابت يحتوي على ثلاث مجموعات من الأقطاب، كل مجموعة بها قطبان، الدوار يحتوي على أربعة أسنان، المطلوب:

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 ٢- ١٥ تمرين ٢- ٣

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM