الآلات الكهربائية الصغيرة

محركات التحكم

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الوحدة الرابعة : محركات التحكم

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: ٦ ساعات

متطلبات الجدارة: اجتياز مقررات آلات التيار المستمر وآلات التيار المتردد.

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

محركات التحكم

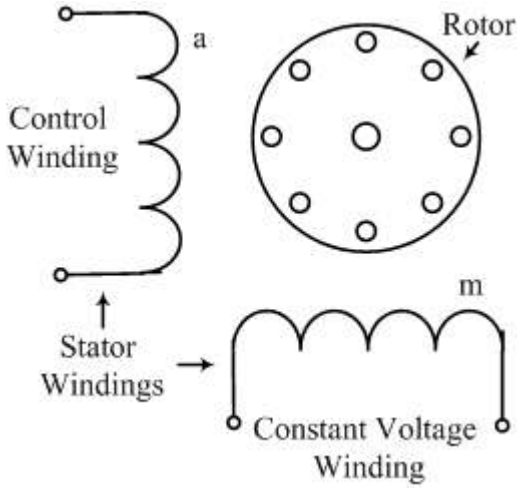
تسمى محركات التحكم أحيانا محركات الخدمة (Servo-Motors)، ولتعمل في أنظمة التحكم ذات التغذية العكسية،تصمم هذه المحركات بحيث تكون استجابتها سريعة، من حيث التغيير في السرعة لأي تغيير في الجهد، ويمكن تحقيق ذلك ببناء العضو الدوار من مواد خفيفة وصغيرة القطر، مما يجعل المحرك ذا قصور ذاتي صغير وذا استجابة سريعة للتغيير في السرعة. يوجد نوعان من محركات التحكم، وهما محركات التحكم للتيار المتردد، ومحركات التحكم للتيار المستمر.

٤- ١ محركات التحكم للتيار المتردد A.C Servo-Motors

محرك التحكم للتيار المتردد عبارة عن محرك حثي ثنائي الوجه ذي 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).

٤- ١- ١ 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(٤- ١) 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 تتم تغذية ملف الجهد الثابت، فإنه يلزم قصر ملف التحكم، لمنع المحرك من بدء الحركة كمحرك ذي وجه واحد في حالة تلقيه دفعة خارجية.



شكل ٤- ١ محركات التحكم للتيار المتردد

٤- ١- ٢ خواص محرك التحكم للتيار المتردد:

منحنى العلاقة بين العزم والسرعة لمحرك التحكم ثنائي الوجه، يشبه تماما نفس المنحنى للمحرك الحثي الثلاثي الأوجه، حيث يتكون مجال مغناطيسي دوار في كل منهما، هذه العلاقة تتأثر بقيمة مقاومة الدوار، فيتغير شكل منحنى العلاقة كلما ازدادت مقاومة الدوار كما في الشكل(٤- ٢). يتضح من الشكل، أنه كلما ازدادت مقاومة الدوار، فإن 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 المنحنى "c" المبين في الشكل(٤- ٢)، بحيث يتولد أقصى عزم عند بدء الحركة، وفي أحيانٍ كثيرة يصمم المحرك بحيث يتولد أقصى عزم عند سرعات 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 المنحنى "c" بتغيير جهد ملف التحكم(V_a) ، فنحصل على مجموعة من الخواص كما هو مبين في الشكل(٤- ٣)، يمكن كتابة معادلة الخواص كما في المعادلة ٤- ١:

$$T = -K_\omega \cdot \omega + K_v \cdot V_a \qquad ٤-١$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

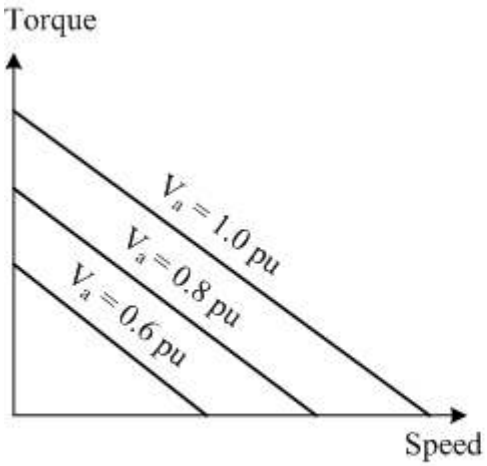


Fig4-3 .Effect of control voltage

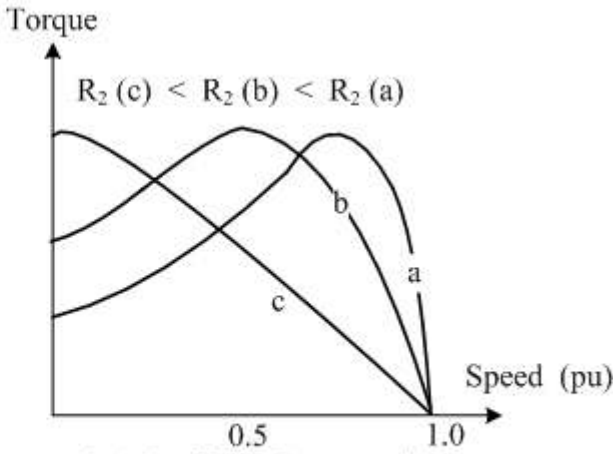


Fig4-2 .Effect of rotor resistance on torque speed characteristic

شكل٤- ٢ كيفية تغيير خواص المحرك الحثي مع تغيير مقاومة الدوار

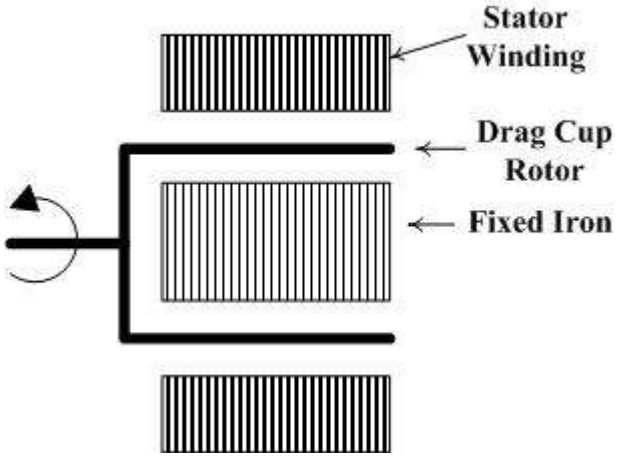
شكل ٤- ٣ خواص محرك التحكم ثنائي الوجه مع تغيير جهد ملف التحكم

٤- ١- ٣ محركات التحكم ذات الكأس المجرور (Drag-Cup Servo-Motors)

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، وهذا بدوره يؤدي إلى خلو المحرك تماما من الفرملة (العضة) المغناطيسية، التي تحدث بين أسنان العضو الثابت وأسنان الدوار، الشكل(٤- ٤) يوضح تركيب المحرك.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٤- ٤ تركيب المحرك ذي الكأس المجرور

بعض المصطلحات المستخدمة لمحركات التحكم:

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

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

ت- **القصور الذاتي للمحرك (J)**: (أو عزم الحدافة)، ووحداته كيلوجرام.متر^2.

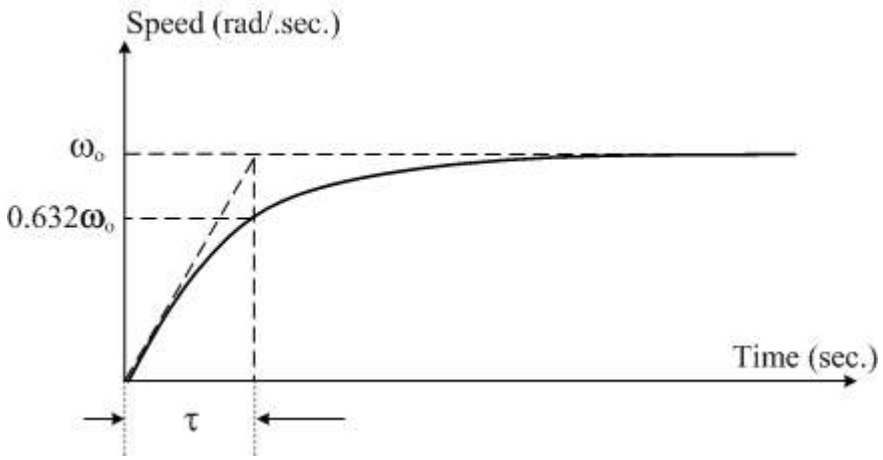
ث- **التسارع (α)**: يقصد به التسارع عند بدء الحركة، ويحسب من خارج قسمة العزم عند بدء الحركة على القصور الذاتي، .ووحداته راديان/ثانية^2.

ج- **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 منحنى أسي مع الزمن، كما في الشكل(٤- ٥) ويحسب ثابت الزمن الميكانيكي من العلاقة:

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

$$\tau = \frac{J \times \omega_o}{T_{st}} \qquad ٤-٢$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٤- ٥ منحنى السرعة مع الزمن.

و. **زمن عكس الحركة (τ_r):** هو الزمن اللازم للمحرك لكي يعكس اتجاه حركته الدورانية، ابتداءً 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 ٤- ١:

محرك تحكم للتيار المتردد، ثنائي الوجه 120 فولت، 60 هيرتز، له منحنيات الخواص المبينة بالشكل (٤- ٦)، قصوره الذاتي 0.01 كيلوجرام.متر٢، الجهد على ملف التحكم 95 فولت أوجد:

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

ب. التسارع عند بدء الحركة.

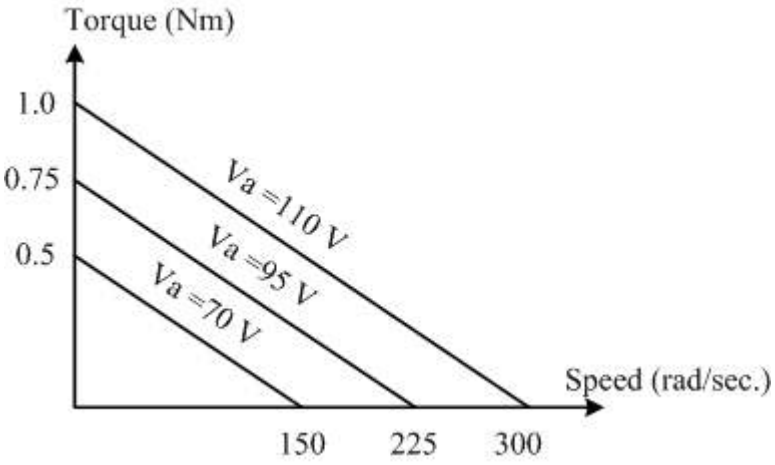
ج. سرعة اللاحمل.

د. ثابت الزمن الميكانيكي.

ه. زمن عكس الحركة.

و. معادلة السرعة مع الزمن.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٤- ٦ مثال ٤- ١

الحل:

معادلة العزم لمحرك التحكم للتيار المتردد:

$$T = -K_{\omega} \cdot \omega + K_{v} \cdot V_{a}$$

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

$$\therefore T = 0.75 = K_{v} \cdot V_{a}$$

$$\therefore K_{v} = \frac{0.75}{V_a} = \frac{0.75}{95} = 0.00789$$

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

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

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

المعادلة التي تصف منحنى الخواص (العلاقة بين العزم والسرعة):

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

$$T = -0.0033\ \omega + 0.75 \quad \text{N.m.}$$

التسارع = α

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

سرعة اللاحمل ω_o

$$\omega_o = 225 \quad \text{rad/sec.}$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

ثابت الزمن الميكانيكي:

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

زمن عكس الحركة:

$$\tau_r = 1.7 \times \tau = 1.7 \times 3 = 5.1 \quad \text{Sec.}$$

معادلة السرعة مع الزمن:

$$\omega = \omega_o \left(1 - e^{\frac{-t}{\tau}}\right)$$

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

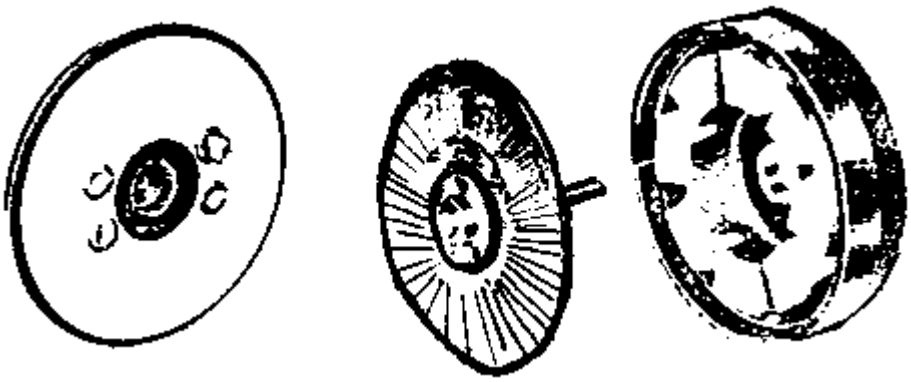
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

٤- ٢ محركات التحكم للتيار المستمر D.C Servo-Motors

الأجزاء الرئيسية لهذه 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:

٤- ٢- ١ محركات التحكم ذات الدائرة المطبوعة: (Printed- Circuit Motors)

أنتجت فرنسا هذا النوع من المحركات في الخمسينيات الميلادية، وتركيبه كما هو مبين في الشكل(٤- ٧) 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.



شكل ٤- ٧ 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.

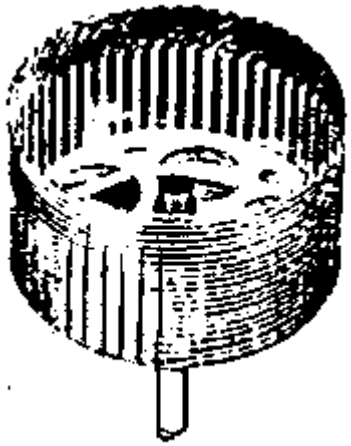
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

٤- ٢- ٢محركات التحكم ذات ملفات المنتج السطحية:

في هذا التصميم لا توجد مجار على السطح الخارجي للدوار، ملفات المنتج 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 وأيضا ليكون قصوره الذاتي صغيراً.

٤- ٢- ٣محركات التحكم ذات الملف المتحرك:

تصميم آخر لمحركات 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(٤- ٨) يوضح تركيب الدوار لهذا المحرك.



شكل ٤- ٨ المحرك ذو الملف المتحرك.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

أسئلة وتمارين متنوعة :

س ٤- ١ : عرف كلا من المصطلحات التالية لمحركات التحكم:

التسارع - ثابت الزمن الميكانيكي – زمن عكس الحركة .

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

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

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

س ٤- ٥ : ما هي التعديلات التي أدخلت على تصميم محركات التحكم للتيار المستمر ذي الدائرة المطبوعة لتتلاءم مع متطلبات التحكم؟

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

تمرين ٤- ١ : محرك تحكم للتيار المتردد ثنائي الوجه 115 فولت، 60 هيرتز قصوره الذاتي 0.005 كيلوجرام.متر^2 ، له الخواص المبينة بالشكل(٤- ٩) إذا كان جهد ملف التحكم 115 فولت أوجد :

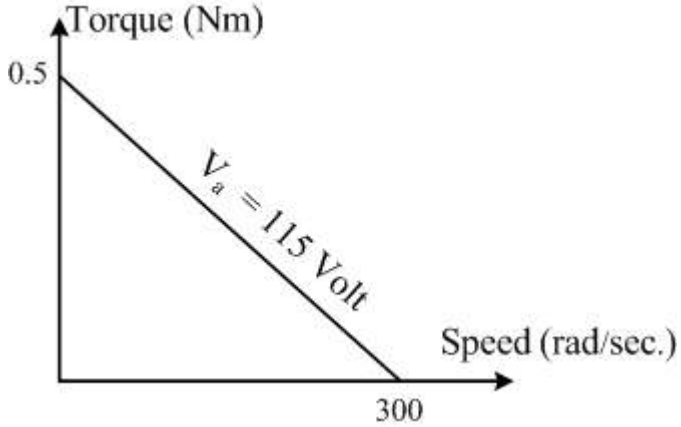
أ. التسارع عند بدء الحركة.

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 ٤- ٩ تمرين ٤- ١

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

تمرين ٤- ٢: محرك تحكم للتيار المتردد ثنائي الوجه 120فولت، قصوره الذاتي 0.008 كيلوجرام.متر^{٢} ، العلاقة بين العزم والسرعة تعطى من المعادلة الآتية:

$$T = -0.002 \cdot \omega + 0.6 \qquad \text{N.m.}$$

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 ٤- ٣: محرك تحكم للتيار المتردد ثنائي الوجه 120فولت، قصوره الذاتي 0.006 كيلوجرام.متر٢ ، عزم بدء الحركة 0.6 نيوتن متر وسرعة اللاحمل 300 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 منحنى السرعة مع الزمن خلال ست ثوان من بدء الحركة.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر