

# التحريك الكهربائي

محركات التيار المستمر والمتعدد كمحركات للجبر

**الجدارة:** معرفة خواص محركات التيار المستمر والتيار المتردد المستخدمة في الجبر الكهربائي.

#### **الأهداف:**

عندما تكمل التدريب هذه الوحدة يكون لديك القدرة بإذن الله علي:

- ١- معرفة خواص محركات التيار المستمر من النوع التوالي والمركب.
- ٢- معرفة خواص محركات التيار المتردد المستخدمة في الجبر.

**الوقت المتوقع للتدريب:** ٦ ساعات

#### **متطلبات الجدارة:**

اجتياز مقررات آلات التيار المستمر وآلات التيار المتردد.

## الوحدة الرابعة : محركات التيار المستمر والمتردد كمحركات للجبر

محركات التيار المستمر توصيلة التوالي والمركب تستخدم في نظم الجبر الكهربائي التي يستعمل فيها التيار المستمر، بينما يستخدم محرك التوالي العام والمحرك الحثي ثلاثي الأوجه في شبكات الجبر للتيار المتردد. ظروف التشغيل تكون دائماً قاسية جداً، لذلك يجب أن يخضع محرك الجبر لشروط صارمة عند التصميم، بحيث يكون المحرك ذا صلابة عالية ويكون من النوع المغلق، لحمايته من الأتربة والغبار والأمطار والأجسام الغريبة.

### المتطلبات العامة لمحركات الجبر

يجب أن تتمتع محركات الجبر بالخواص الآتية:

- أن يكون لديها خواص التوالي أثناء التشغيل مع عزم كبير لبدء الحركة.
- أن تكون صلابة التركيب مع صغر الوزن والحجم.
- أن يكون لديها المقدرة على تحمل الارتفاع المفاجيء في الجهد.
- أن يتم التحكم في سرعتها بسهولة ويسر.
- أن يكون من الممكن استخدام الفرامل الكهربائية بواسطتها.

### محركات التيار المستمر كمحركات للجبر

#### ١. خواص محرك التوالي:

في محركات التيار المستمر توصيلة التوالي توصل ملفات المجال على التوالي مع ملفات المنتج. تتكون ملفات المجال من سلك سميك ذي عدد قليل من اللفات، بحيث تكون ذات مقاومة مادية صغيرة. ومن الواضح أن تيار المنتج يمر بالكامل في ملفات المجال، فعند زيادة التحميل يزداد تيار المنتج وبالتالي تيار المجال. إذاً يزداد المجال المغناطيسي في محركات التوالي مع زيادة تيار المنتج بزيادة التحميل.

أ) علاقة العزم مع تيار المنتج ( $T/I_a$ ): يتناسب العزم طردياً مع كل من تيار المنتج والمجال المغناطيسي ( $T \propto \phi I_a$ ). يعتمد المجال المغناطيسي على تيار المجال أي على تيار المنتج ( $\phi \propto I_a$ )، إذاً يتناسب العزم مع مربع تيار المنتج ( $T \propto I_a^2$ ) طالما أن العلاقة بين المجال المغناطيسي وتيار المجال علاقة خطية، أي قبل أن يصل المحرك إلى مستوى التشبع المغناطيسي، المنحنى OA في الشكل (٤ - ١). بمجرد أن يصل المحرك إلى مستوى التشبع المغناطيسي يصبح المجال المغناطيسي ثابتاً لا يعتمد على أي زيادة في التيار. فيتناسب العزم طردياً مع تيار المجال ( $T \propto I_a$ ) المنحنى AB في الشكل (٤ - ١أ)

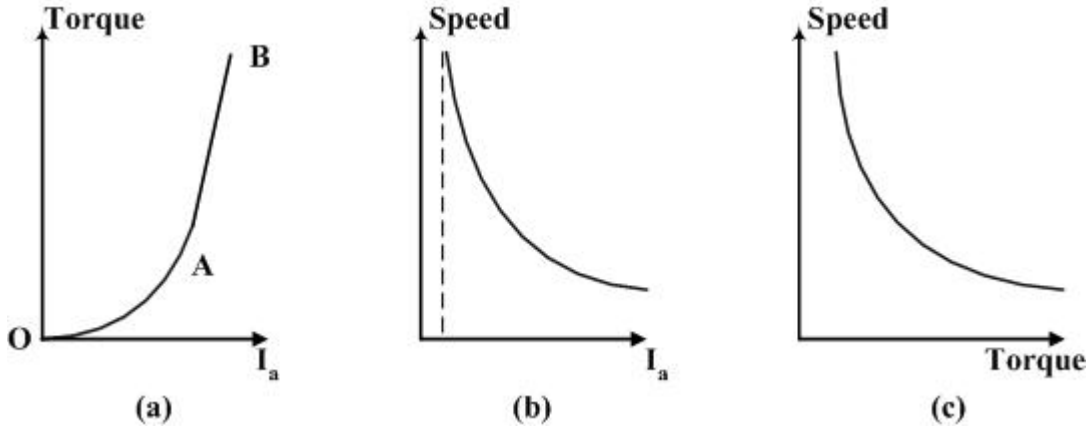
ب) علاقة السرعة مع تيار المنتج  $(N/I_a)$ : في محركات التيار المستمر

$$N \propto E/\phi$$

$$E = V - I_a(R_a + R_{se})$$

كلما ازداد تيار المنتج تنقص قيمة  $E$  نقصاً طفيفاً ( يمكن إهمال هذا النقص في قيمة  $E$  )، وتزداد قيمة  $\phi$  مع زيادة تيار المنتج قبل الوصول لمستوى التشبع المغناطيسي أي أن  $N \propto 1/\phi \propto 1/I_a$  ، عندما يصل المحرك لمستوى التشبع تثبت قيمة المجال المغناطيسي وتثبت السرعة أيضاً. سرعة محرك التوالي تتناسب عكسياً مع تيار المجال قبل التشبع المغناطيسي ثم تصبح ثابتة بعد الوصول إلى التشبع، الشكل (٤ - ب).

ج) علاقة العزم مع السرعة  $(T/N)$ : علاقة العزم مع السرعة يمكن استنتاجها من العلاقتين السابقتين و كما في مبينة في الشكل (٤ - ج). من الواضح أن محرك التوالي يولد عزمًا كبيراً عند السرعات المنخفضة والعكس صحيح. هذا بسبب أن الزيادة في العزم تتطلب زيادة في تيار المنتج وبالتالي زيادة بالتبعية في تيار المجال مما يؤدي إلى انخفاض السرعة.



الشكل (٤ - أ)

خواص محرك التوالي للتيار المستمر

يجب ملاحظة النقاط التالية في خواص محرك التوالي:

- محرك التوالي ذو سرعة متغيرة تلقائياً، أي أن المحرك يغير من سرعته ذاتياً حسب التحميل. عندما ينقص الحمل تزداد سرعة المحرك تلقائياً، هذه الخاصية مطلوبة للجبر الكهربائي حيث يضبط المحرك سرعته ذاتياً مع تغير التحميل.

• عندما يصل تيار المنتج إلى قيمته عند اللاحمل، بسبب ازالة الحمل، يصبح المجال المغناطيسي صغيراً جداً. وتزداد السرعة إلى قيمة عالية جداً إلى درجة الخطورة حيث يمكن أن يتحطم العضو الدوار تحت تأثير قوى الطرد المركزية. لذا يجب ألا يبدأ محرك التوالي حركته بدون أحمال، بل يجب أن يتم تحميله أولاً ثم تبدأ الحركة.

أقل حمل لمحرك التوالي يجب أن يكون بالقدر الكافي للحفاظ على السرعة في الحدود المعقولة، وللاحتياط لابد من تزويد المحرك بالأجهزة اللازمة لفصل المحرك مصدر الجهد عند زيادة السرعة عن الحد المسموح به.

## ٢. خواص المحرك المركب:

يحتوي محرك التيار المستمر المركب على ملفين للمجال المغناطيسي، يوصل الملف الأول على التوازي مع المنتج ويوصل الثاني على التوالي مع المنتج. ويقسم المحرك المركب إلى نوعين بناءً على مجال ملف التوالي هل يساعد أم يعاكس مجال ملف التوازي، ففي الحالة الأولى يسمى المحرك بالمحرك المركب التراكمي وفي الثانية يسمى بالمحرك المركب الفرقي أو التفاضلي.

**خواص المحرك المركب تراكمياً :** في المحرك المركب تراكمياً يوصل ملف التوالي بحيث يكون المجال المغناطيسي الناتج عنه في نفس اتجاه المجال الناتج عن ملف التوازي، أي أن ملف التوالي يساعد ملف التوازي. فعند أي حمل يكون المجال المغناطيسي الإجمالي هو مجموع مجالي ملفي التوازي والتوالي  $(\phi_t = \phi_{sh} + \phi_{se})$ . إذاً محصلة المجال المغناطيسي تعتمد على قيمة التيار في كل من ملفي التوازي والتوالي.

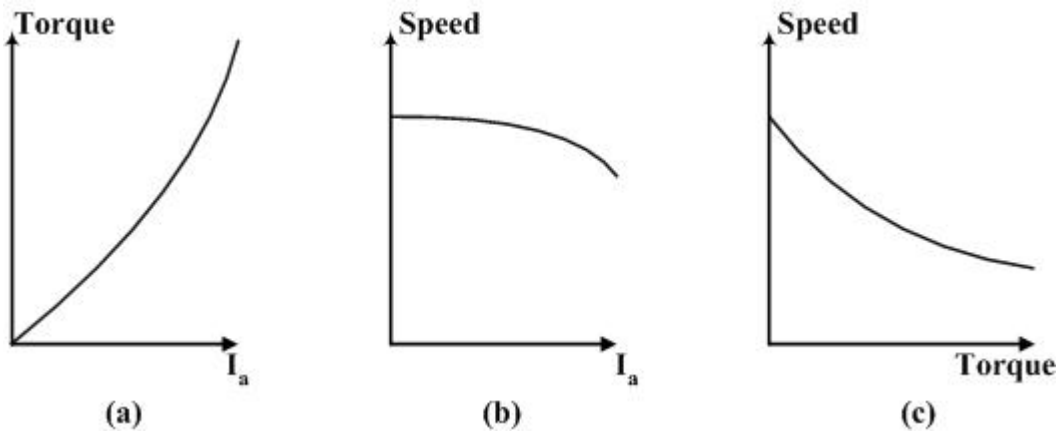
(أ) **علاقة العزم مع تيار المنتج  $(T/I_a)$ :** بما أن  $(T \propto I_a \cdot \phi_t)$  وأن  $(\phi_t = \phi_{sh} + \phi_{se})$  فإن محصلة المجال الكلي أصبحت أكبر من ذي قبل. وبالتالي سيزداد العزم بما يتناسب مع الزيادة في المجال الشكل (٤ - ٢). العزم المتولد سيكون أكبر من ذلك العزم المتولد عندما يعمل المحرك بأي من الملفين على حدة.

(ب) **علاقة السرعة مع تيار المنتج  $(N/I_a)$ :** بما أن  $(N \propto E/\phi_t)$  وأن  $(\phi_t = \phi_{sh} + \phi_{se})$ ، فعند زيادة الحمل فإن مجال ملف التوالي يساعد مجال ملف التوازي مما يزيد من المجال الكلي للمحرك، لذلك تقل سرعة المحرك مع زيادة الحمل. وتكون السرعة أقل من تلك السرعة التي يدور بها المحرك عندما يعمل بأي من الملفين كل على حدة، الشكل (٤ - ٢). يجب ملاحظة النقاط التالية:

• أن سرعة المحرك المركب التراكمي تقل مع زيادة التحميل كما في حالة محرك التوالي.

- أن سرعة المحرك تكون في الحدود المعقولة عندما يدور المحرك بدون أحمال، بسبب أن مجال ملف التوازي يكون موجوداً عند تلاشي مجال ملف التوالي.

(ج) علاقة العزم مع السرعة  $(T/N)$ : علاقة العزم مع السرعة أو كما تسمى أحياناً إخواص الميكانيكية للمحرك تظهر في الشكل (٤ - ٢ج)، وهي تقع بين خواص محرك التوازي ومحرك التوالي. يتضح من الشكل أن للمحرك خواص التوالي، أي انخفاض السرعة مع زيادة الحمل، ويتضح أيضاً أن سرعة اللاحمل تكون في الحدود المسموح بها ميكانيكياً.



الشكل (٤ - ٢)

خواص المحرك المركب تراكمياً

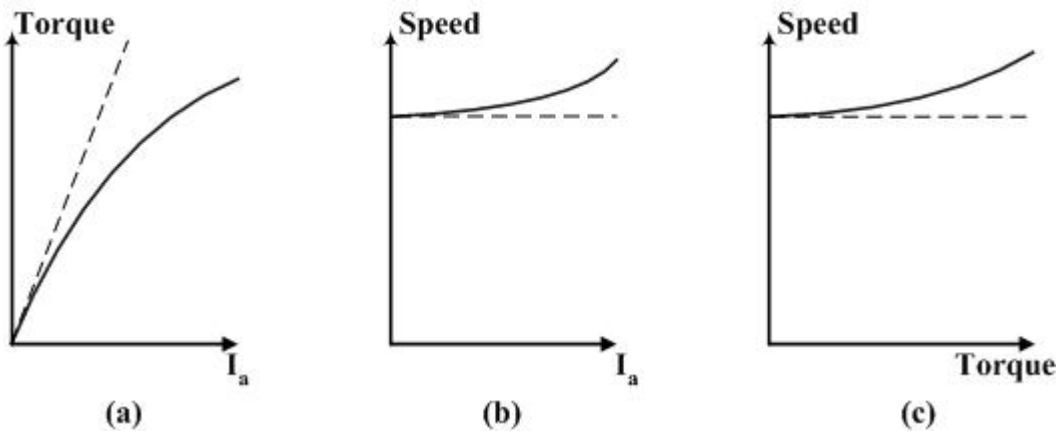
خواص المحرك المركب فرقياً (أو التفاضلي): في المحرك المركب فرقياً يوصل ملف التوالي بحيث يكون المجال المغناطيسي الناتج عنه في عكس اتجاه المجال الناتج عن ملف التوازي، أي أن ملف التوالي يعاكس ملف التوازي. فعند أي حمل تكون محصلة المجال المغناطيسي هي الفرق بين مجالي ملفي التوالي والتوالي  $(\phi_t = \phi_{sh} - \phi_{se})$

(أ) علاقة العزم مع تيار المنتج  $(T/I_a)$ : بما أن مجال ملف التوالي يعاكس مجال ملف التوازي، فإن محصلة المجال المغناطيسي تتناقص مع زيادة تيار الحمل. في هذه الحالة سيزداد العزم المتولد ولكن بمعدل أقل من محرك التوالي الشكل (٤ - ٣أ).

(ب) علاقة السرعة مع تيار المنتج  $(N/I_a)$ : مع زيادة الحمل تتناقص محصلة المجال المغناطيسي، وبالتالي تزداد سرعة المحرك الشكل (٤ - ٣ب) أي أن سرعة المحرك تزداد بزيادة الحمل، هذه الخاصية تشكل خطورة على المحرك إذا ما ازداد التحميل عليه وازدادت السرعة عن الحدود المعقولة.

(ج) علاقة العزم مع السرعة ( $T/N$ ): أو الخواص الميكانيكية للمحرك مبينة في الشكل (٤ - ٣). كما يتضح من الشكل أنه كلما ازداد العزم ازدادت السرعة. فعند زيادة العزم زيادة كبيرة تزداد السرعة عن الحدود المسموح بها

ملحوظة: يجب تجنب استخدام هذا النوع كمحرك للجبر.



الشكل (٤ - ٣)

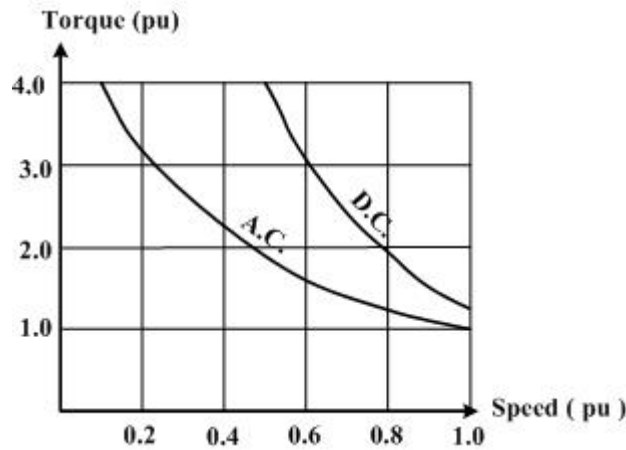
خواص المحرك المركب التفاضلي

### محركات التيار المتردد كمحركات للجبر

(١) محرك التوالي العام : في محركات التيار المستمر توصيلة التوالي، تيار المجال هو نفس تيار المنتج، ويكونان متحدين في زاوية الطور عند توصيل المحرك بمصدر تيار متردد. من الناحية النظرية عندما يمر تيار متردد ذو قيمة معينة فإن المحرك سيولد نفس العزم الذي يولده عند مرور تيار مستمر بنفس القيمة. عند توصيل محرك للتيار المستمر توصيلة التوالي إلى مصدر للتيار المتردد، سيعمل المحرك ولكن بصورة غير مرضية للأسباب الآتية :

- سيتولد عزم في اتجاه واحد ولكنه ينبض بضعف تردد المصدر، بسبب أن التيار يعكس اتجاهه مرتين كل ذبذبة واحدة.
- المجال المغناطيسي المتردد المتولد في هذه الحالة سيتسبب في مفقودات عالية، نتيجة للتيارات الدوامية المتولدة في القلب الحديدي والإطار الخارجي و سترتفع درجة حرارة المحرك وتخفض كفاءته.

- جهود التحويل المتولدة في ملفات المنتج، بسبب المجال المتردد، ستتسبب في إحداث حرارة عالية بين الموحد والفرش الكربونية.
- المعاوقة الحثية لملفات المجال والمنتج ستتسبب في خفض كبير للجهد، ومعامل قدرة صغير، مما ينتج عنه أداء سيء للمحرك. الفرق في أداء محرك التوالي عند تشغيله من مصدر للتيار المتردد عن أدائه
- عند تشغيله من مصدر للتيار المستمر موضح في الشكل (٤ - ٤).



الشكل (٤ - ٤)

خواص محرك التوالي العام

إذا اعتبرنا محرك توالٍ للتيار المستمر قلبه الحديدي وجميع أجزاء دائرته المغناطيسية مصنوعة من شرائح الحديد المعزول، للحد من التيارات الدوامية، ويتغذى من مصدر للتيار المستمر فإنه عند الحمل الكامل سيفقد جهداً مقداره حوالي 10% فقط بسبب مقاومة ملفات المنتج وملفات التوالي وتكون القوة الدافعة الكهربائية العكسية حوالي 90% من جهد المصدر، وهي كبيرة إذا ما قورنت بالجهد المفقود. إذاً عند استعمال التيار المستمر يمكن اعتبار أن  $E$  ثابتة القيمة على مدى تشغيل المحرك وتقل قليلاً عن جهد المصدر، حيث:

$$V = E + I_a (R_a + R_{se})$$

$$E = K \cdot \phi \cdot N$$

حيث  $K$  ثابت،  $\phi$  المجال المغناطيسي لكل قطب،  $N$  سرعة دوران المحرك.

افترض الآن أن نفس المحرك تمت تغذيته من مصدر للتيار المتردد بنفس الجهد. سيصبح المجال المغناطيسي المتولد متردداً بنفس تردد المصدر وله نفس زاوية طور التيار (تيار المجال أو تيار المنتج). القوة



الدافعة الكهربائية E سيكون لها أيضاً نفس زاوية طور التيار. وسيفقد جزءاً كبيراً من الجهد في هذه الحالة على الممانعة الحثية لكل من ملفات المنتج والمجال بالإضافة إلى الجهد المفقود على المقاومات.

إذاً في حالة استعمال التيار المتردد تكون القوة الدافعة الكهربائية العكسية المتولدة أقل بكثير عنها في حالة استعمال التيار المستمر وهذا يعني أنه لنفس العزم المتولد في الحالتين تكون سرعة المحرك في حالة التشغيل بالتيار المتردد أقل من سرعته في حالة التشغيل بالتيار المستمر، معامل القدرة يكون أيضاً منخفضاً و بالتالي يجب إدخال بعض التعديلات لتحسين أداء المحرك عند تشغيله بالتيار المتردد، هذه التعديلات هي:

- يجب تخفيض عدد لفات ملف التوالي من أجل تخفيض ممانعته الحثية وبالتالي التخفيض من الجهد المفقود على الممانعة الحثية.
- تخفيض عدد لفات ملف التوالي ينتج عنه أيضاً تخفيض في قيمة المجال المغناطيسي الناتج لكل قطب لنفس التيار المار في الملف، وهذا سوف يؤدي بدوره لزيادة سرعة المحرك وتخفيض العزم المتولد لنفس التيار. ولزيادة العزم وتعويض النقص المذكور يجب زيادة عدد موصلات ملف المنتج بنفس النسبة.
- زيادة عدد موصلات المنتج سترفع من قيمة الممانعة الحثية لملفات المنتج، وبالتالي فإن الممانعة الحثية الكلية لدائرة المحرك لن تتغير، لأن هذه الزيادة ستعوض النقص الذي سببه تخفيض عدد لفات ملف التوالي. للتغلب على هذه الصعوبة يزود المحرك بملفات تعويضية (Compensating Winding) التي تقوم بمعادلة المجال المغناطيسي الناتج عن ملفات المنتج فتتمحو تأثير الممانعة الحثية لملف المنتج.
- للتقليل من جهود التحويل المتولدة في ملفات المنتج والشرارة الناتجة بسبب ذلك، يبنى محرك التوالي العام بعدد أكبر من الأقطاب وبمجال مغناطيسي أقل لكل قطب ولكن بحيث يظل المجال الكلي للمحرك كما هو.
- للتقليل من الشرارة الكهربائية بين الموحد والفرش يتم لف المنتج بلفة واحدة لكل ملف من ملفات المنتج ويزاد في عدد قطع الموحد لتخفيض الجهد بين القطع المتجاورة، كما تستعمل فرش كربونية أقل عرضاً حتى لا تقصر أكثر من قطعتي مبدل (لفة واحدة من المنتج) في نفس اللحظة.
- تقلل الشفرة الهوائية بقدر الإمكان لتعويض النقص في المجال المغناطيسي لكل قطب، الذي يكون ضرورياً لتحسين معامل القدرة.
- تصنع جميع أجزاء الدائرة المغناطيسية للمحرك من شرائح الحديد المعزول للحد من مفقودات التيارات الدوامية.

- يجب استخدام جهد منخفض لشبكة الجبر الكهربائية بحيث يكون في حدود (300 to 400-V) من أجل تخفيض المحاطة و يمكن تفسير ذلك بأن استخدام جهد منخفض يعني أيضا استخدام تيار أكبر وبالتالي عدد لفات أقل للمفات التوالي لتوليد نفس المجال المغناطيسي المطلوب.
- بما أن الممانعة الحثية تتناسب مباشرة مع تردد المصدر، فإن شبكات الجبر ومحرك التوالي العام المستخدم في الجبر الكهربائي تصمم ليعملا على تردد  $16\frac{2}{3}\text{Hz}$  أو  $25\text{Hz}$ ، للتخفيض من قيمة الممانعة الحثية للمحرك.

خواص محرك التوالي العام : محرك التوالي العام عملياً له نفس خواص محرك التوالي للتيار المستمر. وعزم الجبر المتولد يتناسب طردياً مع مربع تيار المنتج وتتناسب السرعة عكسياً مع التيار. لنفس قدرة الخرج و يكون وزن محرك التوالي العام ماوياً من مرة ونصف إلى مرتين من وزن محرك التوالي للتيار المستمر.

عند بدء الحركة ( $E=0$ ) يكون معامل القدرة رديئاً (منخفضاً) إذاً لنفس التيار يكون عزم بدء الحركة أقل بكثير من العزم المتولد في محرك التيار المستمر. نتيجة لقلة عزم بدء الحركة لذلك فإن هذه المحركات ليست مناسبة لوسائل الجبر داخل المدن حيث يتكرر الوقوف وبدء الحركة، لكنها تكون مناسبة للاستعمال في وسائل الجبر خارج المدن حيث تكون المسافات طويلة بين الوقفات، ولا يكون التسارع العالي ضرورياً في هذه الحالة.

## (٢) المحرك الحثي ثلاثي الأوجه:

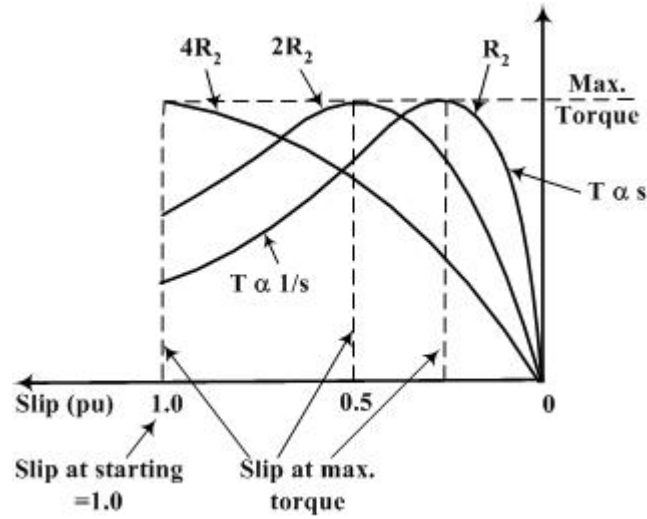
علاقة العزم مع الانزلاق : سبق أن عرفنا من مقرر آلات التيار المتردد أن العزم المتولد في المحركات الحثية

$$T = \frac{K.s.R_2}{R_2^2 + (sX_2)^2} \text{ : ثلاثية الأوجه يعطي من العلاقة الآتية:}$$

حيث  $s$  الانزلاق و  $R_2$  ،  $X_2$  المقاومة والمعاوقة الحثية للدوار و  $K$  ثابت.

إذا رسمنا العلاقة بين العزم والانزلاق لعدة قيم من مقاومة الدوار، الشكل (٤ - ٥)، يمكن

ملاحظة النقاط التالية لخواص المحرك:



شكل ٤-٥ العلاقة بين العزم والانزلاق لمحرك حثي ثلاثي الأوجه  
لعدة قيم من مقاومة الدوار

- عند دوران المحرك بسرعة التزامن حيث ( $s=0$ ) يكون العزم مساوياً للصفر، أي أن العلاقة بين العزم والانزلاق تبدأ من الصفر.
- عند الدوران بالسرعات العادية بانزلاق صغير، يمكننا إهمال  $(sX_2)^2$  بالمقارنة مع  $R_2^2$ ، ويصبح العزم  $T = K \frac{s}{R_2}$  وعند ثبات قيمة  $R_2$  فإن العزم ( $T \propto s$ )، أي أن العزم يتناسب طردياً مع الانزلاق في السرعات العادية وتكون العلاقة بينهما خطية ابتداء من الصفر وحتى الحمل الكامل للمحرك.
- عند ازدياد الانزلاق عن قيمته عند الحمل الكامل يزداد العزم حتى يصل إلى أقصى قيمة له عند انزلاق يساوي  $s = \frac{R_2}{X_2}$  أقصى عزم للمحرك يعرف بعزم التعثر وتصل قيمته إلى حوالي ضعف قيمة عزم الحمل الكامل عندما يعمل المحرك بالجهد والتردد المقننين.
- عندما يزداد الانزلاق عن قيمته عند أقصى عزم تصبح قيمة  $(sX_2)^2$  أكبر بكثير من  $R_2^2$ ، حيث يمكن إهمال  $R_2^2$  مقارنة مع  $(sX_2)^2$  ويصبح العزم متناسباً عكسياً مع الانزلاق  $T \propto \frac{1}{s}$
- من علاقة العزم مع الانزلاق لعدة قيم من  $R_2$  يمكن ملاحظة أن الزيادة في قيمة مقاومة الدوار، لا تؤثر في قيمة أقصى عزم يبذله المحرك، ولكن تزيد من قيمة العزم عند بدء الحركة.

مثال ٤ - ١ : قاطرة كهربائية تتحرك بواسطة محرك توالٍ للتيار المستمر، يبذل المحرك قوة جر مقدارها 20000-N عندما تسير القاطرة بسرعة 50-Km/h . أوجد التيار المسحوب من المصدر إذا كان جهد المصدر 500-V وكفاءة المحرك 80%

$$\text{Power required} \equiv P (W) = F (N) \times v (m / sec .)$$

$$P = 20000 \times \frac{50 \times 1000}{60 \times 60} \times \frac{1}{1000} = 277.8 \quad \text{KW}$$

$$P_{in} = \frac{P_o}{\eta} = \frac{277.8}{0.8} = 347.2 \quad \text{KW}$$

$$\text{The motor current} = \frac{P_{in}}{\text{Volt}} = \frac{347.2 \times 1000}{500} = 694.4 \quad \text{Amp.}$$

مثال ٤ - ٢ : قاطرة كهربائية تبذل قوة جر مقدارها 4000-Kg عند السير على مستوى أفقي بسرعة 50-km/h ، وتبذل قوة مقدارها 5000-Kg عندما تصعد مستوى مائل. أوجد قدرة المحرك بالحصان إذا كان:

• المحرك توالٍ للتيار المستمر.

• المحرك حثٍ ثلاثي الأوجه

$$P = 4000 \times 9.81 \times \frac{50 \times 1000}{60 \times 60} \times \frac{1}{1000} = 545 \quad \text{KW}$$

$$P = \frac{545 \times 1000}{746} = 730.6 \quad \text{H.P.}$$

In the case of DC series motor  $P \propto \sqrt{T}$

$$\therefore \text{The power required} = 730.6 \times \sqrt{\frac{5000}{4000}} = 816.8 \quad \text{H.P.}$$

In the case of 3 – phase induction motor  $P \propto T$

$$\therefore \text{The power required} = 730.6 \times \frac{5000}{4000} = 925 \quad \text{H.P.}$$

هذا يوضح فائدة استخدام محركات التوالي للتيار المستمر.

أسئلة وتمارين متنوعة :

س ٤ - ١ : ما المتطلبات العامة لمحركات الجبر؟

س ٤ - ٢ : لماذا كان محرك التوالي للتيار المستمر هو الأكثر مناسبة للاستخدام في الجبر الكهربائي؟

س ٤ - ٣ : ما التعديلات التي يجب إدخالها على محرك التوالي للتيار المستمر ليعمل كمحرك عام؟

س ٤ - ٤ : لماذا كان محرك التوالي العام مناسباً للاستخدام في شبكات الجبر للتيار المستمر أو المتردد؟

س ٤ - ٥ : لماذا يجب تجنب استخدام محرك التيار المستمر المركب فرقياً كمحرك جبر؟

س ٤ - ٦ : ما الشكل العام لعلاقة العزم/الانزلاق للمحركات الحثية ثلاثية الأوجه؟ وضح بالرسم كيف

تتأثر هذه العلاقة بزيادة مقاومة الدوران؟

تمرين ٤ - ١ : قاطرة كهربائية تبذل قوة جر مقدارها 33800-N عند السير على مستوى أفقي بسرعة

48.3-km/h، وتبذل قوة مقدارها 53400-N عندما تصعد مستوى مائلاً. أوجد قدرة المحرك بالحصان

إذا كان: أ - المحرك توالٍ للتيار مستمر. ب - المحرك حثٍ ثلاثي الأوجه.