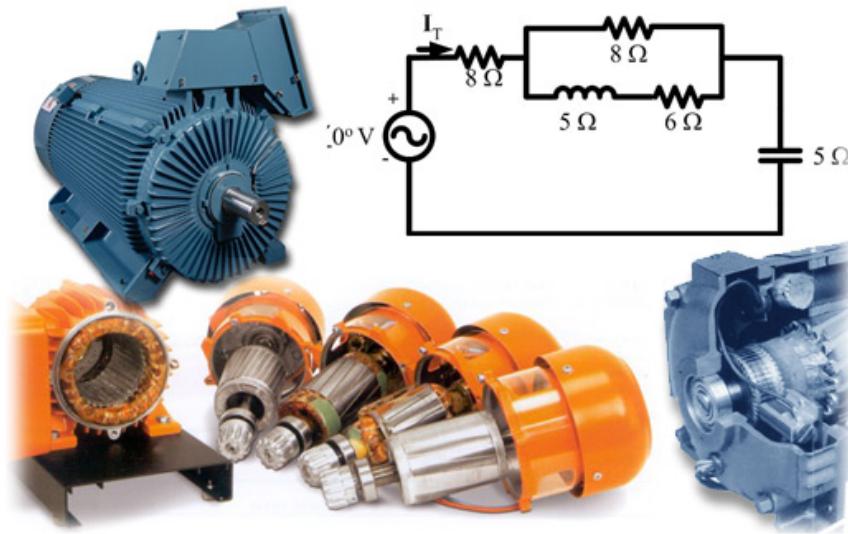




## الآلات ومعدات كهربائية

### الجر الكهربائي

#### ٢٤٦ كهر



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

تسعى المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدرية 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 خططت 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 لتلبى 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، لخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريسي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية "الجر الكهربائي" لتدريب قسم "آلات ومعدات كهربائية" للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات الالزمة 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 الالزمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

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

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

الحمد لله رب العالمين ، والصلوة والسلام على سيدنا محمد معلم الناس إلخ. وبعد :

تعتبر القيادة الكهربائية إحدى الحلقات الرئيسية في علم الطاقة الكهربائية إذ أنها تمثل العلاقة بين المحرك الكهربائي كأداة لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية وبين الآلة التي يديرها أو الجهاز الميكانيكي الذي يحركه وكذلك كل ما يتصل بهذه العلاقة من أجهزة لنقل الحركة مثل السيور أو صناديق التروس. حيث يتم التحكم بشكل وسرعة هذه الحركة بما يتاسب وعمل الآلة سواء أكانت هذه الآلة أو الجهاز الميكانيكي بسيطاً كمروحة أو مضخة مثلاً أو كان كثير التعقيد كونش كهربائي أو خط إنتاج آلي.

وتكون أهمية القيادة الكهربائية في أهمية الآلة ودورها في كل من الصناعة بمختلف أنواعها وفي نقل الركاب والبضائع ، اللذين يعتبران أساس التنمية الاقتصادية في جميع أنحاء العالم.

وقد ساعد تطور علم القيادة الكهربائية في تطوير تصميم وأداء الآلة وزيادة إنتاجيتها إلى حد كبير وكذلك تخفيف العمل الجسماني للإنسان أو الاستغناء عنه كلياً في الأوساط الضارة بصحته إذ أمكن التحكم في الآلة عن بعد ، ووضعت طرق لاختيار نوع وقدرة المحرك الكهربائي المطلوب لعمل الآلة، وكذلك دراسة خواص عمله وإدائه في مختلف نظم القيادة الكهربائية.

تحتوي هذه الحقيقة على سبع وحدات تدريبية ، في الوحدة الأولى تم استعراض لأسسيات الهندسة الميكانيكية لكل من الحركة الخطية والدورانية والعلاقة بينهما. الوحدة الثانية تتناول أنواع وطبيعة الأحمال الميكانيكية وكيفية تحديد نقطة التشغيل المستقرة بين المحرك الكهربائي والحمل الميكانيكي وأمثلة لكيفية حساب قدرة المحرك المطلوبة لحمل معين وكذلك معرفة القواعد الخاصة بحساب تأثير الأحمال على المحرك. الوحدة الثالثة تستعرض الخواص العامة لمحركات الجر وطرق الوقاية من ظروف الجو المحيط وكذلك فكرة عامة عن كيفية تبريد المحركات. الوحدة الرابعة تتناول الخواص الكهربائية لمحركات التيار المستمر والمتردد المستخدمة في الجر الكهربائي. الوحدة الخامسة تتعرض لمميزات وعيوب الجر الكهربائي ونظم تغذية شبكات الجر. في الوحدة السادسة تم التعرف على أنواع الفرامل الكهربائية وكيفية تطبيقها على المحركات المختلفة. الوحدة السابعة تستعرض العوامل التي يجب مراعاتها عند اختيار المحرك الكهربائي المناسب لحمل معين.



## الجر الكهربائي

### أساسيات الهندسة الميكانيكية

**الجذارة:** معرفة العلاقات الأساسية لديناميكا الحركة سواء كانت الحركة خطية أم دورية.

**الأهداف:**

عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على :

- ١ - معرفة العلاقات الأساسية لديناميكا الحركة الخطية.
- ٢ - معرفة العلاقات الأساسية لديناميكا الحركة الدورانية.
- ٣ - معرفة العلاقة بين الحركة الخطية والدورانية.

**الوقت المتوقع للتدريب:** ساعتان

**متطلبات الجذارة:**

يجب التدرب على جميع المهارات لأول مرة.

## العلاقات الأساسية في التحريك الكهربائي

يبذل المحرك الكهربائي الطاقة اللازمة لتأدية التحريك الكهربائي المطلوب سواء كانت الحركة المطلوبة للحمل خطية أو دورانية، لذا يتعين أن نحدد القواعد الأساسية بدیناميكا الحركة لكل من نوعي الحركة.

### (١) الحركة الخطية

#### أ) القانون الأول للحركة:

يبقى الجسم محافظاً على حالته من سكون أو حركة بسرعة ثابتة وعلى خط مستقيم مالم تؤثر عليه قوة خارجية ، وتنسب صياغة هذا القانون بهذا الشكل إلى نيوتن .  
س١ : مثل لجسم يظل على حالته الساكنة .

س٢ : لماذا تقل سرعة السيارة المتحركة شيئاً شيئاً عند إطفاء المحرك حتى تتوقف ؟ وهل يتناقض هذا مع القانون الأول للحركة؟

ومن الأمثلة على بقاء الأجسام المتحركة على حالتها:

- حركة الأرض والكواكب.
- حركة الأقمار الصناعية.
- الحركة بدون احتكاك ( فرضيا ) مثل الصابونة المبللة بالماء والمنزلقة على سطح زجاجي أفقى أملس.

#### ب) التسارع:

يطلق على الزيادة في السرعة خلال الثانية الواحدة مصطلح التسارع . يعرف التسارع  $a$ : بأنه معدل التغير في السرعة خلال وحدة الزمن (  $a = dv/dt$  ) .

- التسارع يكون موجباً عندما تكون سرعة الجسم في تزايد، أي أن السرعة النهائية > السرعة الابتدائية
- التسارع يكون سالباً عندما تكون سرعة الجسم في تناقص، أي أن السرعة النهائية < السرعة الابتدائية.

ج) منحنى العزم / السرعة القانون الثاني للحركة:

إذا أثرت قوة مقدارها  $F$  نيوتن على جسم كتلته  $m$  كيلوجرام فإنها تكسبه تسارعاً مقداره  $a$  متر/ثانية<sup>٢</sup> في نفس اتجاه القوة وفق العلاقة التالية:

$$F = m \cdot a = m \cdot dv/dt$$

د) علاقات التحرير الخطى لجسم يتحرك بتسارع منتظم:

$$v = v_0 + a \cdot t$$

$$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot s$$

$$P = F \cdot v$$

$$F = m \cdot a$$

$$W = F \cdot s$$

حيث:

$v$	متر في الثانية	السرعة النهائية
$v_0$	متر في الثانية	السرعة الابتدائية
$t$	ثانية	الزمن
$s$	متر	المسافة
$P$	وات = نيوتن.متر / الثانية	القدرة
$F$	نيوتون = كيلو.جرام.متر/ثانية <sup>٢</sup>	القوة
$W$	جول = وات . ثانية = نيوتن.متر	الشغل
$G = m \cdot g$	نيوتون = كيلو.جرام.متر/ثانية <sup>٢</sup>	وزن الحمل
$g = ٩,٨١$	متر/ثانية <sup>٢</sup>	تسارع الجاذبية الأرضية

٥) القوى المؤثرة على جسم يتحرك خطياً لأعلى:

$G = m \cdot g$  وزن الجسم المطلوب رفعه إلى أعلى

$F_t =$  قوة الرفع التي تبذلها وسيلة التحرير

$F_h = m \cdot g$  القوة التي تضاد الحركة (قوة الحمل)

$$F_f =$$

القوة المضادة الناشئة عن الاحتكاك

$$F_t = F_i + F_f + m \frac{dv}{dt}$$

يعرف الحد الأخير من المعادلة السابقة بأنه قوة القصور الذاتي، التي تعكس بها كتلة الجسم الحركة أثناء التسارع، وهذه القوة متساوية للصفر في حالة الحركة بسرعة ثابتة. يعرف القصور الذاتي بأنه: مقاومة الجسم للتغير الطارئ في حالته الحركية. إذا عند الحركة بسرعة ثابتة، فإن:

$$F_t = F_i + F_f$$

#### (٤) الحركة الزاوية (التحريك الدوراني)

أ) الإزاحة الزاوية  $\theta$ : عندما تدور أسطوانة حول محورها دورةً كاملةً، بسرعة زاوية  $\omega$  ، فإنها ستقطع زاوية ( $2\pi = \theta$ ) رadian، والراديان هو وحدة قياس الزوايا بالتقدير الدائري. ويعرف الرادييان: بأنه الزاوية المركزية التي تقابل قوساً طوله يساوي نصف قطر دائرته.

باستخدام التقدير السنتيني ( $180^\circ = \pi$ ) وباستخدام التقدير الدائري ( $\pi = 3,14 \text{ rad.}$ )

ب) السرعة الزاوية  $\omega$ : هي الإزاحة الزاوية المقطوعة خلال وحدة الزمن ( $\omega = \theta/t = \Delta\theta/\Delta t = d\theta/dt$ ) ووحداتها رadian / ثانية

ج) التسارع الزاوي  $\alpha$ : هو معدل التغير في السرعة الزاوية خلال وحدة الزمن ( $\alpha = d\omega/dt$ ) ، ووحداته رadian / ثانية<sup>٢</sup>

د) علاقات التحريك الزاوي لجسم يدور بتسارع زاوي منتظم:

$$\omega = \omega_0 + \alpha \cdot t$$

$$\theta = \theta_0 \cdot t + \frac{1}{2} \alpha \cdot t^2$$

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha s$$

$$P = \omega \cdot T$$

$$T = F \cdot r = J \cdot \alpha$$

$$W = T \cdot \theta$$

حيث:

$\omega = v/r = 2\pi N/60$	راديان في الثانية	السرعة الزاوية النهائية
$\omega_0$	راديان في الثانية	السرعة الزاوية الابتدائية
N	لفة في الدقيقة	السرعة الدورانية
$\theta$	راديان	الإزاحة الزاوية
T	نيوتون = كيلو. جرام. متر/ثانية٢	العزم
$J=GD^2/4g=m.r^2$	نيوتون. متر . ثانية٢ = كيلوجرام. متر٢	القصور الذاتي
$r=D/2$	متر	نصف قطر الدرّاع

ه) العزوم المؤثرة على جسم يتحرك حركة زاوية:

$T_m =$  عزم الدوران الذي تبذله وسيلة التحرير

$T_i =$  عزم الدوران المعاكس للحركة (عزم الحمل)

$T_f =$  عزم الدوران المقاوم الناشئ عن الاحتكاك

$J =$  القصور الذاتي

$$T_m = T_i + T_f + J \frac{d\omega}{dt}$$

يعرف الحد الأخير من المعادلة السابقة بأنه عزم القصور الذاتي، وهو العزم المسبب للتسرّع الزاوي، ويتلاشى عند الدوران بسرعة منتظمة  $\omega$  فتصبح المعادلة:

$$T_m = T_i + T_f$$

#### • الحالات المختلفة للحركة:

أ) الحركة بسرعة متزايدة (تسارع):

$$F_t > F_i + F_f , \quad \frac{dv}{dt} > 0$$

$$T_m > T_i + T_f , \quad \frac{d\omega}{dt} > 0$$

ب) الحركة بسرعة تناقصية ( بتباطؤ ) :

$$F_t < F_i + F_f \quad , \quad \frac{dv}{dt} < 0$$

$$T_m < T_i + T_f \quad , \quad \frac{d\omega}{dt} < 0$$

ج) الحركة بسرعة منتظمة ( أو في حالة السكون ، إذا لم تكن قد بدأت الحركة ) :

$$F_t = F_i + F_f \quad , \quad \frac{dv}{dt} = 0$$

$$T_m = T_i + T_f \quad , \quad \frac{d\omega}{dt} = 0$$

#### • العلاقة بين الحركة الخطية والحركة الدائرية :

عندما يتحرك جسم حركة خطية على محيط دائرة ثابتة قدرها  $v$  ، فإنه سيقطع مسافات متساوية مقدارها  $s$  على محيط الدائرة خلال كل زمن معين  $t$  بحيث ( $s = v \cdot t$ ) ، فإذا أكمل الجسم دائرةً كاملةً فإنه سيقطع مسافة محيط الدائرة ، وهي المسافة الخطية المقطوعة لدائرة كاملة ( $s = 2\pi \cdot r$ ) والزاوية المقطوعة في هذه الحالة هي ( $\theta = 2\pi$ ) ، إذا :

$$s = v \cdot t$$

$$s = 2\pi \cdot r = \theta \cdot r$$

أي أن طول القوس المقطوع (متر) = الزاوية التي قطعها الجسم (راديان)  $\times$  نصف قطر الدائرة (متر)  
وبقسمة الطرفين على الزمن ينتج أن :

$$v = \omega r$$

أي أن السرعة الخطية (متر/ثانية) = السرعة الزاوية (راديان/ثانية)  $\times$  نصف قطر الدائرة (متر)

$$n = \omega / 2\pi$$

السرعة الدورانية  $n$  ( لفة/ثانية )

$$\omega = 2\pi n$$

إذا

$$\omega = 2\pi N / 60$$

إذا كانت  $N$  هي السرعة الدورانية ( لفة/دقيقة ) فإن

**مثال ١** : جسم يتحرك على محيط دائرة نصف قطرها ٥٠ cm ، ويدور الجسم أربع دورات كاملة كل ثانية حول مركز الدائرة، فاحسب:

(i) السرعة الزاوية.

(ii) السرعة الخطية.

(iii) الزاوية المقطوعة خلال خمس ثوان.

(iv) القوس المقطوع خلال خمس ثوان.

سرعة الدوران تساوي  $n$  دورة في الثانية

$$n = 4 \text{ rev/sec.}$$

$$\text{i)} \omega = 2\pi n = 2\pi \times 4 = 25.12 \text{ rad/sec.}$$

$$\text{ii)} v = \omega \cdot r = 25.12 \times 0.5 = 12.56 \text{ m/sec.}$$

$$\text{iii)} \theta = \omega \cdot t = 25.12 \times 5 = 125.6 \text{ rad.}$$

$$\text{iv)} s = v \cdot t = 12.56 \times 5 = 62.8 \text{ m}$$

### أسئلة وتمارين متنوعة:

**س ١** : لماذا تدور الأقمار الصناعية بسرعة ثابتة في مداراتها حول الأرض؟

**س ٢** : لماذا تقل سرعة المحرك الكهربائي تدريجياً عند فصله من مصدر التغذية؟

**س ٣** : ما هو المقصود بالتسارع لجسم ما وما هي وحداته، ومتى يكون التسارع موجباً ومتى يكون سالباً ومتى يكون صفر؟

**س ٤** : ما هو المقصود بقوة القصور الذاتي؟ وما هو تأثيرها على الأجسام المتحركة؟

**س ٥** : عرف كل من: الرadian، السرعة الزاوية، التسارع الزاوي.

**تمرين ١** : جسم يتحرك على محيط دائرة نصف قطرها ٦٠ cm ، ويدور الجسم ثلاثة دورات كاملة كل ثانية حول مركز الدائرة، فاحسب كل من: السرعة الزاوية، السرعة الخطية على محيط الدائرة، الزاوية المقطوعة خلال أربع ثوان، القوس المقطوع خلال أربع ثوان.



## الجر الكهربائي

### أنواع الأحمال وخصائصها

أنواع الأحمال وخصائصها

٢

**الجادة:** معرفة أنواع وطبيعة الأحمال الميكانيكية المختلفة وكيفية تحديد نقطة التشغيل المستقرة بين المحرك الكهربائي والحمل الميكانيكي.

### الأهداف:

عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

- ١ - معرفة منحنيات الخواص للأحمال الميكانيكية المختلفة.
- ٢ - تحديد نقطة التشغيل المستقرة بين المحرك والحمل.
- ٣ - حساب قدرة المحرك المطلوبة لتحررك حمل معين.
- ٤ - معرفة القواعد الخاصة بحساب تأثير الأحمال على المحرك.
- ٥ - حساب زمن بدء الحركة لوسائل التحرير.

**الوقت المتوقع للتدريب:** ٦ ساعات

### متطلبات الجادة:

التدريب على جميع المهارات لأول مرة.

## أنواع الأحمال الميكانيكية وخصائصها

هناك العديد من الأحمال الميكانيكية المختلفة التي يمكن تحريكها أو تدويرها باستخدام المحركات الكهربائية وفيما يلي أهم تلك الأحمال:

- **الروافع والأوناش:** وت تكون الحركة الميكانيكية بها من عدة أنواع، رفع أو خفض الحمولة، حركة الونش ذاته للأمام أو الخلف، حركة أزرع الونش في اتجاهات متعددة . لهذا فإنة في الونش الواحد يمكن استخدام أكثر من محرك، المحركات الحية ذات العضو الدائر الملفوف كثيرة الاستعمال في هذا النوع من التحريك كذلك محركات التيار المستمر ذات التغذية الذاتية من النوع المركب.

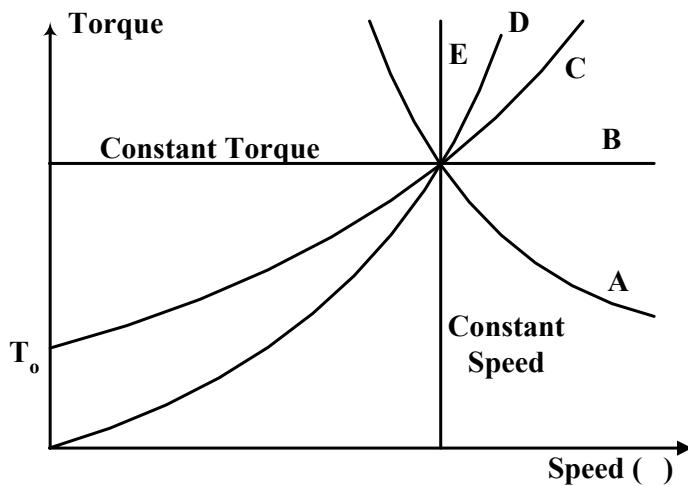
- الطواحين الدوارة.
- الضواغط.
- الشفاطات.
- المضخات.
- آلات القطع.
- نقل الحركة بالسيور.
- آلات التشغيل.
- المصاعد الكهربائية.
- القطارات والمركبات الكهربائية.

تستخدم في تحريك هذه الأحمال، محركات التيار المستمر أو محركات التيار المتردد الحثية منها والتزامنية، حسب نوع وطبيعة تشغيل الحمل الميكانيكي، وبحيث يفي المحرك بمتطلبات بدء الحركة وتنظيم السرعة. أهم ما يجب معرفته من خواص الحمل الميكانيكي هي العلاقة بين العزم والسرعة، حتى يمكن اختيار نوع المحرك المناسب

### منحنيات خواص الأحمال:

الشكل ١ ٢ يبين أمثلة لخواص الأحمال:

- أ. المنحني A: في هذا النوع من الأحمال يتاسب العزم مع السرعة تابيا عكسيًا ( $T \propto 1/\omega$ ) بحيث يكون حاصل ضربهما ثابتا ويساوي القدرة المطلوبة لتشغيل الحمل ( $P_m = T \times \omega$ ).



شكل ١ ٢

### منحنيات خواص الأحمال

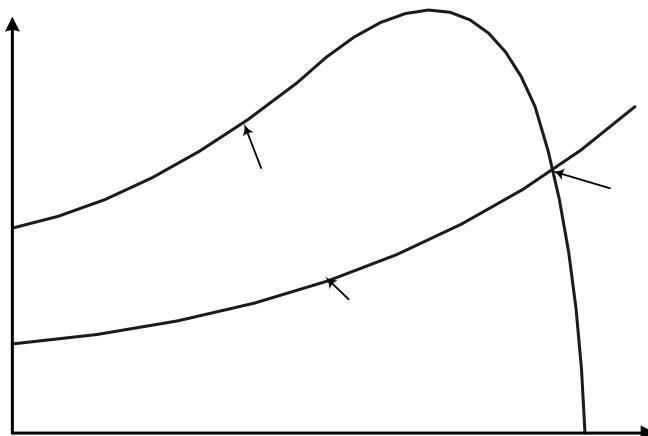
- ب. المنحني B: يمثل الحمل ذات العزم الثابت مهما تغيرت السرعة مثل أحمال الرفع والشد، تزداد القدرة المطلوبة لتشغيل الحمل تزايدا طرديا مع أزيداد سرعة الدوران ( $P_m \propto \omega$ ).
- ت. المنحني C: يمثل الحمل الذي تزداد فيه السرعة مع زيادة العزم مثل المضخات ( $T = T_0 + K\omega$ ) حيث  $T_0$  يمثل العزم عند بدء الحركة، K ثابت التباسب بين العزم والسرعة.
- ث. المنحني D: يمثل الحمل الذي يتاسب فيه العزم طرديا مع مربع السرعة كما في المراوح والشفاطات ( $T = K \times \omega^2$ ).
- ج. المنحني E: يمثل الحمل الذي يدور بسرعة ثابتة بصرف النظر عن قيمة العزم، فيزداد العزم دون أن تتأثر السرعة مثل المولدات التزامنية المرتبطة بشبكة لانهائيّة.

### التوازن динاميكي بين الحمل والمحرك الكهربائي:

يقوم المحرك الكهربائي بتوليد عزم دوران، عند السرعة الدورانية التي تفرضها الآلة العاملة، على محور الأدارة المشترك بين المحرك والآلة، بناء على العزم اللازم لإدارتها وحسب نوعية وطبيعة تشغيلها. بذلك تتحدد نقطة التشغيل على منحنى الخواص للمحرك، والذي يربط بين العزم والسرعة الدورانية. ويحدث توازن ديناميكي بين عزم الدوران الذي يبذله المحرك من جهة، ورد فعل الآلة العاملة من جهة أخرى، والذي يتكون من محصلة ثلاثة مركبات لعزم الدوران المضاد، وهي:

- عزم التسارع أو التباطؤ الناشئ عن القصور الذاتي للكتل الدوارة عندما تكون سرعة الدوران متغيرة، وتتلاشى هذه المركبة لعزم الدوران المضاد عندما يدور المحرك بسرعة ثابتة.
- عزم الدوران المستفاد منه، وهو العزم الذي يستفاد به لأداء الشغل المطلوب من الآلة العاملة.
- عزم دوران المفقودات الميكانيكية، وهو الذي يتغلب على مقاومة الهواء لحركة الدوران ويتحلّب أيضاً على الاحتكاك الناشئ في المحاور والكراسي في المحرك والآلة العاملة.

لتحديد نقطة التشغيل، يلزمـنا معرفة المنحني الذي يربط بين عزم الدوران والسرعة لكل من المحرك والآلة العاملة، حيث تتحدد نقطة التشغيل من تقاطع هذين المنحنيين الشكل ٢٢، ويمكن أن تتحدد نقطة التشغيل أيضاً بالطرق الحاسوبية. الشكل ٢٢ يبين منحنـيات العلاقة بين العزم والسرعة الدورانية لكل من المحرك والحمل الميكانيكي وعليـه تظـهر نقطة التشـغيل وهي نقطـة تقاطـع المنـحنيـن.



شكل ٢٢

منحـيات العلاقة بين العزم والسرعة لكل من المحرك والحمل الميكانيـكي

عندما يتغير الحمل على الآلة العاملة بالزيادة أو النقصان، يختل التوازن الديناميكي بين عزم الدوران المحرك وعزم الدوران المضاد، مما يؤدي إما إلى زيادة سرعة الدوران، نتيجة لوجود عزم تسارع، إذا قل الحمل وتغلب عزم الدوران المحرك، وإما إلى انخفاض سرعة الدوران، نتيجة لوجود عزم تقصير، إذا زاد الحمل وتغلب عزم الدوران المضاد. فإذا كان المحرك يعمل في الجزء المتزن من منحنى خواصه الذي يربط بين العزم وسرعة الدوران، فإن تغيير السرعة سوف يؤدي إلى تحريك نقطة التشغيل إلى الموقع الذي يحدث فيه التوازن الديناميكي مرة أخرى بين عزم الدوران المضاد الجديد، الذي حدده الحمل، وعزم الدوران المحرك الذي تحددت قيمته عند نقطة التوازن الجديدة.

توقف قيمة عزم الدوران المحرك على نوع المحرك المستخدم وكيفية توصيله مع المصدر المغذي له، في حين توقف قيمة عزم الدوران المضاد على طبيعة العمل الذي تؤديه الآلة العاملة، وعلى نوع وخصائص الحمل المطلوب إدارته، الشكل ٢١ يوضح بعض الأمثلة لخواص الأحمال.

#### كيفية حساب قدرة المحرك المقننة لتحريك حمل معين:

تحسب القدرة اللازمة نظرياً أو بعلاقات تجريبية معينة على أساس عدد كبير من الاختبارات، وقد يضطر لتحديد القدرة الضرورية، الاستعانة باليات مماثلة مستخدمة في الصناعة. ونسبة هناك مجموعة صغيرة ومحددة من الآلات يمكن تعين قدرتها وفقاً لنظام الحمولة الدائمة، مثل المصاعد والمضخات والراوح.

#### عند تأدية الحمل حركة خطية:

$P_1 =$	القدرة اللازمة للحمل لتنفيذ الحركة في خط مستقيم (كيلووات)
$P_m =$	قدرة المحرك الخارجية على محور الدوران (كيلووات)
$N_m =$	سرعة دوران المحرك (لفة / دقيقة)
$\omega_m =$	سرعة دوران المحرك (راديان / ثانية)
$\eta_c =$	كفاءة وسيلة نقل الحركة بين الحمل والمحرك
$F_c =$	القوة المطلوبة لتحريك الحمل خطياً (نيوتون)
$v =$	السرعة الخطية (متر / ثانية)

$$P_1 = \frac{F_1 \cdot v}{1000} = \eta_c \cdot P_m \quad \text{KW}$$

$$P_m = \frac{F_1 \cdot v}{1000 \times \eta_c} \quad \text{KW}$$

$$T_m = \frac{P_m \times 1000}{\omega_m} = \frac{9550 \times P_m}{N_m} \quad \text{N.m.}$$

$$T_m = \frac{9.55 F v}{\eta_c N_m} \quad \text{N.m.}$$

$$P_m = \frac{T_m \cdot N_m}{9550} \quad \text{KW}$$

عند تأدية الحمل حركة دورانية بواسطة صندوق للتروس:

$$\sigma = N_m / N \quad \text{نسبة نقل السرعة بواسطة التروس}$$

$$N = \quad \text{سرعة دوران الحمل}$$

$$N_m = \quad \text{سرعة دوران المحرك}$$

$$\eta = \quad \text{كفاءة نقل الحركة بواسطة صندوق التروس}$$

إذا كان هناك عدة تروس متتالية عددها S

$$\sigma_t = \frac{N_m}{N_1} \times \frac{N_1}{N_2} \times \frac{N_2}{N_3} \times \dots \times \frac{N_s}{N} = \frac{N_m}{N}$$

$$\eta_t = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \dots \times \eta_s$$

$$T_m = \frac{T_1}{\eta_t \times \sigma_t} \quad \text{N.m.}$$

$$P_1 = \frac{T_1 \cdot N}{9550} \quad \text{KW}$$

$$P_m = \frac{P_1}{\eta_t} = \frac{T_1 \cdot N}{9550 \times \eta_t} \quad \text{KW}$$

حيث ( $T_1$ ) العزم النافع لدوران الحمل.

### ج) حساب قدرة المحركات المستخدمة لتحريك المصاعد:

غالباً ما تتعادل في المصاعد حمولة المصعد ونصف حمولة الاستخدام بائقال موازنة

$$P_m = \frac{F_i \times v}{2 \times 1000 \times \eta} \quad \text{KW}$$

### د) حساب قدرة المحركات المستخدمة في المضخات:

$$P_m = \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot h}{\eta} \quad \text{KW}$$

$Q =$  معدل تدفق السائل (متر³ / ثانية)

$\rho =$  كثافة السائل (كيلوجرام / ديسيمتر³)

$g =$  عجلة الجاذبية الأرضية (٩٨١ متر / ثانية²)

$h =$  فرق الارتفاع بين نقطة الامتصاص ونقطة الدفع + مجموع المقاومات (متر)

### هـ) حساب قدرة المحركات المستخدمة في أجهزة التهوية:

$Q =$  معدل تدفق الهواء (متر³ / ثانية)

$p =$  ضغط الهواء بالباسكال عند فتحة خروج الهواء (١ باسكال = ١ نيوتن / متر³)

$$P_m = \frac{Q \times p}{1000 \times \eta} \quad \text{KW}$$

أمثلة:

مثال ١ □ : محرك حي ثلاثي الأوجه، V-٣٨٠، سرعته ١٧١٠ لفة في الدقيقة، يستعمل لتدوير حمل عزمه ٧٨ نيوتن.متر عند سرعة دوران ١٤١٠ لفة في الدقيقة، إذا كانت كفاءة صندوق التروس ٧٨٪، وكماء المحرك ٧٥٪، ومعامل القدرة ٨٢٪ احسب: قدرة خرج المحرك بالكيلووات، عزم المحرك، تيار المحرك.

The output power of the motor

$$P_m = \frac{T_1 N}{9550 \times \eta} = \frac{78 \times 1410}{9550 \times 0.78} = 14.76 \text{ KW}$$

$$T_m = \frac{T_1}{\eta \times \sigma} = \frac{78}{0.78 \times \frac{1710}{1410}} = 82.5 \text{ N.m.}$$

$$\text{The input power to the motor} \equiv P_{in} = \frac{P_m}{\eta_m} = \frac{14.76}{0.75} = 19.635 \text{ KW}$$

$$P_{in} = \sqrt{3} V I \cos \phi$$

$$I = \frac{19635}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.82} = 36.5 \text{ Amp.}$$

مثال ٢ : محرك حثي ثلاثي الأوجه، ٣٨٠-V، كفاءة ٨٢٪، ومعامل قدرته ٨٥٪، يستعمل لتحريك مصعد، كفاءته ٤٨٪، لرفع ٥٠٠ Kg. إلى ارتفاع ٣٠ m. خلال زمن مقداره نصف دقيقة، تمت موازنة نصف حمولة التشغيل، وكل من وزن المصعد والحبال، بواسطة أثقال موازنة. احسب قدرة المحرك بالكيلووات، وتيار المحرك.

$$v = \frac{s}{t} = \frac{30}{0.5 \times 60} = 1.0 \text{ m/sec.}$$

$$P_m = \frac{F_1 \cdot v}{2 \times 1000 \times \eta} = \frac{5000 \times 9.81 \times 1.0}{2000 \times 0.48} = 51.1 \text{ KW}$$

$$P_{in} = \frac{P_m}{\eta_m} = \sqrt{3} V I \cos \phi$$

$$I = \frac{51.1 \times 1000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.85 \times 0.82} = 111.5 \text{ Amp.}$$

**مثال ٣ :** محرك تيار مستمر، ٢٢٠-V، كفاءته ٨٨٪، يستخدم لتشغيل مضخة مياه كفاءتها ٧٥٪، لضخ ١٥ متر مكعب من الماء في الساعة، إلى ارتفاع ١٨ متر، وكانت كفاءة مجموعة التروس بين المحرك والمضخة ٨٥٪، احسب قدرة خرج المحرك، قدرة دخل المحرك، تيار المحرك.

$$P_m = \frac{Q \rho g h}{\eta_t} = \frac{15 \times 9.81 \times 1 \times 18}{60 \times 60 \times (0.85 \times 0.75)} = 1.155 \quad \text{KW}$$

$$P_{in} = \frac{P_m}{\eta_m} = \frac{1.155}{0.88} = 1.312 \quad \text{KW}$$

$$\text{The motor current} \equiv I = \frac{1.312 \times 1000}{220} = 5.964 \quad \text{Amp.}$$

**مثال ٤ :** محرك حي ثلاثي الأوجه، ٣٨٠-V، كفاءته ٨٥٪، ومعامل قدرته ٨٠٪، يستخدم لتدوير مروحة تهوية كفاءتها ٦٥٪، تقوم بضغط ١٠٠ متر مكعب من الهواء كل دقيقة، بضغط ٢٥ باسكال من خلال فتحة طرد قطرها ٨٠ سم، احسب: القدرة المستفادة من المحرك و التيار المسحوب من المصدر

$$P_m = \frac{Q \times p}{1000 \times \eta} = \frac{100 \times 25}{60 \times 1000 \times 0.65} = 0.065 \quad \text{KW}$$

$$P_{in} = \frac{P_m}{\eta_m} = \frac{0.065}{0.85} = 0.0765 \quad \text{KW}$$

$$I = \frac{P_m}{\sqrt{3} V \cos \phi} = \frac{0.0765 \times 1000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.8} = 0.145 \quad \text{Amp.}$$

### القواعد الخاصة لحساب تأثير الأحمال على المحرك:

عندما تتعدد عناصر الحركة وأشكالها في وسيلة التحريك الواحدة، ويكون مصدرها كلها محرك كهربائي واحد، يصبح من اللازم معرفة تأثير تلك العناصر المختلفة الموجودة على محور دوران المحرك، من حيث طاقة الحركة الكامنة في الكتل الدوارة، القصور الذاتي، عزم الحداقة، حتى يمكن معرفة عزم الدوران المطلوب بذلك بواسطة المحرك عند سرعة الدوران المناسبة. عندما يتغير الحمل على الآلة العاملة، بالنقصان أو الزيادة، يختل التوازن الديناميكي بين عزم المحرك وعزم الدوران

المضاد، مما يؤدي إلى زيادة أو نقصان في سرعة الدوران، نتيجة لظهور عزم التسارع أو التباطؤ الناشئ عن القصور الذاتي للكتل الدوارة، عندما تكون سرعة الدوران متغيرة.

#### حساب القصور الذاتي المكافئ على محور المحرك:

نفترض أن لدينا وزن مقداره  $W$ ، يتم رفعه خطياً لأعلى، بسرعة مقدارها ( $m/sec$ )  $v$  ، ويحصل على حركته من محرك، بواسطة مرحلتين من التروس، كما هو موضح بالشكل ٢٣.

**طاقة الحركة المكافئة على محور المحرك = مجموع طاقة الحركة الكامنة في الكتل الدوارة**

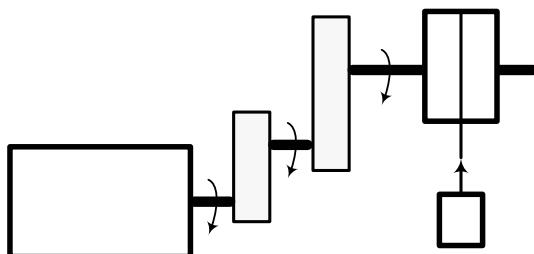
عزم القصور الذاتي المكافئ منسوباً إلى محور المحرك ( $J_d$ )

$$\frac{1}{2} J_d \omega_m^2 = \frac{1}{2} J_m \omega_m^2 + \frac{1}{2} J_1 \omega_1^2 + \frac{1}{2} J_2 \omega_2^2 + \frac{1}{2} m v^2$$

$$J_d = J_m + \frac{J_1}{\sigma_1^2} + \frac{J_2}{\sigma_2^2} + m \left( \frac{v}{\omega_m} \right)^2$$

where       $\sigma_1 = \frac{\omega_m}{\omega_1}$       ,       $\sigma_2 = \frac{\omega_m}{\omega_2}$

**طاقة الحركة في القصور الذاتي المكافئ ( $J_d \omega_m^2/2$ ) ، تغطي كل احتياجات طاقة الحركة في الأجزاء المختلفة في وسيلة التحريك.** يعطي المصنع من بين معلومات التصميم، عزم الحداقة ( $GD^2$ ) بالكيلوجرام. متر٢، بدلاً من القصور الذاتي للكتل التي تدور على محور المحرك الكهربائي.



شكل ٢٣

رفع حمل خطى لأعلى بواسطة مرحلتين من التروس

نحصل على عزم الحداقة للمحرك، باعتبار أن طاقة الحركة الكامنة في الكتل الدائرة على محور المحرك ( $J_m \omega_m^2 / 2$ ) ، تنشأ بفعل وزن اعتباري مكافئ، مقداره  $G$  نيوتن، مركز في نقطة، ويدور على محيط دائرة، قطرها  $D$  متر، بنفس السرعة الزاوية  $\omega_m$  حول محور المحرك.

بمساواة طاقتى الحركة الكامنة الحقيقية والاعتبارية  $E_n$

$$E_n = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \times \frac{G}{g} \times \left( \frac{\pi D N_m}{60} \right)^2$$

$$= \frac{1}{2} J_m \omega_m^2 = \frac{1}{2} J_m \left( \frac{2\pi N_m}{60} \right)^2$$

عزم الحداقة  $GD^2 = \frac{1}{2} g J_m$

يمكن استخدام عزم الحداقة المناظر للأحمال، بدلاً من القصور الذاتي، على محور الدوران، حيث:

$$J_d = \frac{(GD^2)_d}{4g}, \quad J_m = \frac{(GD^2)_m}{4g}$$

$$J_1 = \frac{(GD^2)_1}{4g}, \quad J_2 = \frac{(GD^2)_2}{4g}$$

بالنسبة للوزن  $W$  نحصل  $GD^2$  بمساواة طاقتى الحركة الكامنة في الوزن المتحرك كالتالي:

$$\frac{1}{2} J \omega_m^2 = \frac{1}{2} m v^2$$

$$\frac{1}{2} \frac{(GD^2)}{4g} \omega_m^2 = \frac{1}{2} \times \frac{W}{g} \times v^2$$

$$(GD^2) = 4 \times \frac{W v^2}{\omega_m^2} = 4 \times \frac{W v^2}{\left( \frac{2\pi N_m}{60} \right)^2}$$

$$(GD^2) = 365 \times \frac{W v^2}{N_m^2}$$

عزم الحداقة الكلي المكافئ على محور المحرك:

$$(GD^2)_d = \left[ (GD^2)_m + 365 \frac{W v^2}{N_m^2} \right] + \frac{(GD^2)_1}{\sigma_1^2} + \frac{(GD^2)_2}{\sigma_2^2}$$

**مثال ٥** : احسب طاقة الحركة الكامنة في محرك كهربائي قدرته KW ٥٠، ويدور بسرعة ١٠٠٠ لفة في الدقيقة، علما بأن عزم الحداقة للمحرك،  $10 \text{ Kg.m}^2$ .

$$J_m = \frac{(GD^2)_m}{4g} = \frac{10}{4 \times 9.81} = 0.2548 \text{ kg.m.sec}^2.$$

$$\omega_m = \frac{2\pi N_m}{60} = \frac{2\pi \times 1000}{60} = 104.72 \text{ rad/sec}$$

$$E_n = \frac{1}{2} J_m \omega_m^2 = \frac{1}{2} \times 0.2548 \times (104.72)^2 = 1396 \text{ kg.m}$$

$$E_n = 1396 \times 9.81 = 13695 \text{ Joules} \equiv \text{watt.sec.}$$

**مثال ٦** : محرك حثي ثلاثي الأوجه، ٣٠٠٠-V، ٦٠ Hz، ذو ستة أقطاب، ومعامل قدرته ٨٢٪، موصل دلتا، يستخدم لرفع ثقل مقداره، Kg. ٦٠٠، بسرعة ١.٥ m/sec. احسب تيار الخط وتيار الوجه، بافتراض أن الكفاءة الكلية ٨٠٪

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

$$\text{The motor torque} \equiv T_m = 9.55 \times \frac{F_l \times v}{\eta_c \times N_m} = 9.55 \frac{6000 \times 9.81 \times 1.5}{0.8 \times 1200} = 878.33 \text{ N.m.}$$

$$P_m = \omega_m T_m = \frac{2\pi N_m}{60} \times T_m = \frac{2\pi \times 1200}{60} \times 878.33 = 110370 \text{ W} = 110.37 \text{ KW}$$

$$\text{The line current} \equiv I_L = \frac{P_m}{\sqrt{3} V \cos \phi} = \frac{110370}{\sqrt{3} \times 3000 \times 0.82} = 25.9 \text{ Amp.}$$

$$\text{The phase current} \equiv I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{25.9}{\sqrt{3}} = 15 \text{ Amp.}$$

**مثال ٧** : محرك كهربائي متصل ميكانيكيًا مباشرة مع ونش، لرفع ثقل مقداره ٣ أطنان، بسرعة ٠.٩ m/sec. . أوجد عزم الحداقة المكافئ منسوباً لمحور المحرك، بافتراض المعلومات الآتية : عزم حداقة المحرك ١٠ كيلوجرام.متر، عزم حداقة الونش ٦٠ كيلوجرام.متر، سرعة المحرك ٧٢٠ لفة في الدقيقة، قطر حداقة الونش ١.٠ متر.

$$v_1 = \omega r = \frac{2\pi N_1}{60} \times r = \frac{2\pi N_1}{60} \times \frac{D_1}{2}$$

$$N_1 = \frac{60 \times v_1}{\pi \times D_1} = \frac{60 \times 0.9}{\pi \times 1.0} = 17.18 \quad \text{r.p.m.}$$

$$\sigma_1 = \frac{N_m}{N_1} = \frac{720}{17.18} = 41.9$$

$$(GD^2)_d = \left[ (GD^2)_m + 365 \frac{Wv^2}{N_m^2} \right] + \frac{(GD^2)_l}{\sigma_1^2}$$

$$= 1.1 \times 10 + 365 \frac{3000 \times (0.9)^2}{(720)^2} + \frac{60}{(41.9)^2}$$

$$= 11 + 1.71 + 0.034 = 12.744 \quad \text{kg.m}^2$$

### حساب زمن بدء الحركة لوسائل التحريك:

يستغرق المحرك الكهربائي والأحمال المتصلة معه وقتاً حتى يصل إلى سرعة الدوران المعتادة له، تتوقف قيمة هذا الوقت على الكتل الموجودة على محور المحرك وعزم دوران المحرك. تختلف قيمة زمن البدء، إذا كان المحرك متصلًا بالآلية العاملة أثناء فترة البدء، مما إذا كان يبدأ الدوران بدون حمل، يكون الاختلاف ناشئًا عن التغيير في قيمة الكتل المتسارعة، في الحالتين، نظرًا لأن هذه الكتل سوف تختزن كميات من الطاقة الكامنة، التي تعتمد قيمتها على السرعة النهائية، بالإضافة إلى الأوزان المتحركة. فإذا افترضنا أن:

$T_{st}$  = متوسط عزم الدوران أثناء فترة البدء (نيوتن.متر)

$T_1$  = عزم دوران الحمل المضاد (نيوتن.متر)

$N_m$  = سرعة الدوران التي يصل إليها المحرك في نهاية فترة البدء (لفة في الدقيقة)

$t_{st}$  = زمن البدء الذي يستغرقه المحرك ليصل إلى سرعته المعتادة (ثانية)

$$t_{st} = \frac{9.81 \times (GD^2)_d \times N_m}{375 \times (T_{st} - T_1)} \quad \text{Sec.}$$

بفرض أن التسارع يتم بمعدل منتظم، فيمكن الحصول على الزمن  $t_{st,2}$  اللازم لزيادة السرعة من  $N_1$  إلى  $N_2$ :

$$t_{st,2} = \frac{9.81 \times (GD^2)_d \times (N_2 - N_1)}{375 \times (T_{st} - T_1)} \quad \text{Sec.}$$

عندما يدور المحرك بدون حمل، ويكون عزم الدوران الذي يبذله أثناء فترة البدء يساوي عزم الحمل الكامل، الذي يستهلك المحرك على أساسه قدرة  $P_m$  كيلووات، فإن زمن البدء الذي يستغرقه المحرك في هذه الحالة، هو ثابت الزمن الميكانيكي للمحرك  $\theta_m$ .

$$\theta_m = \frac{(GD^2)_m}{36.5} \times \left( \frac{N_{mo}}{100} \right)^2 \times \frac{1}{P_m} \quad \text{Sec.}$$

حيث  $N_{mo}$  هي سرعة المحرك عند اللاملا.

**مثال ٢٨ :** ونش وزنه ٣٩ طناً وحموته ٣٠ طناً يتحرك بواسطة محرك كهربائي قدرته المقننة ٢٦ كيلووات، والذي يحقق سرعته ثابتة للحمل قيمتها ١٠٠ متر في الدقيقة، عندما يدور بسرعة ٧٠٠ لفة في الدقيقة . أوجد زمن البدء لكتلة المتحركة، إذا بدء المحرك حركته بعزم دوران يساوي ضعف عزم الحمل الكامل، العضو الدوار للمحرك له عزم حداقة ١٢ كيلوجرام متر، وماهي أقصى مسافة يتحركها الحمل أثناء فترة بدء الحركة، قبل أن يصل إلى سرعته الثابتة.

**الحل:** سوف يتحرك الوزن  $(30 + 39) = 69$  كيلوجرام، بعد انتهاء زمن بدء الحركة، بسرعة ثابتة ٧٠٠ متر في الدقيقة، فيكون عزم الحداقة المناظرة منسوباً إلى محور المحرك

$$(GD^2)_L = 365 \times \frac{W v^2}{N_m^2} = 365 \times \frac{69000 \times \left(\frac{100}{60}\right)^2}{(700)^2} = 142.4 \quad \text{Kg.m}^2$$

$$(GD^2)_d = (GD^2)_m + (GD^2)_L \\ = 1.1 \times 12 + 142.5 = 155.6 \quad \text{Kg.m}^2$$

$$P_m = 26 \text{ KW} = \frac{T_m N_m}{9550}$$

$$T_m = \frac{9550 \times 26}{700} = 355 \quad \text{N.m.}$$

$$T_{st} = 2 \times 355 = 710 \quad \text{N.m.}$$

$$t_{st} = \frac{9.81 \times (GD^2)_{d} \times N_m}{375 \times (T_{st} - T_1)} = \frac{9.81 \times 155.6 \times 700}{375 \times (710 - 355)} = 8.02 \text{ sec.}$$

أي أن المحرك يستغرق ٨.٠٢ ثانية أثناء بدء الحركة، حتى يصل إلى سرعة قيمتها ٧٠٠ لفة في الدقيقة، يبدأ الحمل خلالها، حركته من السكون، حتى يصل إلى سرعة قيمتها (١٠٠/٦٠) متر في الثانية، فيكون متوسط سرعته (٥٠/٦٠) متر في الثانية، والمسافة التي يتمقطعها أثناء هذا الزمن

$$h = 8.02 \times \frac{50}{60} = 6.7 \text{ m.}$$

أي أن المسافة = متوسط السرعة × الزمن.

#### أسئلة وتمارين متنوعة:

س ١ ٢ : ما هي الأنواع المختلفة للأحمال، ارسم منحنيات خواص الأحمال الشائعة الاستعمال في الصناعة؟

س ٢ ٢ : اشرح كيف يحدث التوازن الديناميكي بين الحمل والمحرك.

س ٣ ٢ : ماذا يحدث إذا تغير الحمل على المحرك بالزيادة أو النقصان؟

س ٤ ٢ : عرف طاقة الحركة الكامنة في الكتل المتحركة وكيفية حسابها للكتل المتحركة حرارة: خطية - دورانية.

س ٥ ٢ : عرف القصور الذاتي المكافئ على محور المحرك وكيفية حسابه.

س ٦ ٢ : ما هي العوامل التي تؤثر على زمن بدء حركة المحركات؟

س ٧ ٢ : ما هي الأهمية الاقتصادية من تقليل زمن بدء الحركة؟

س ٨ ٢ : ما هي الأضرار التي قد تحدث للمحرك إذا طال زمن بدء حركته؟

س ٩ ٢ : عرف ثابت الزمن الميكانيكي للمحركات الكهربائية.

تمرين ١ ٢ : محرك حسي ثلاثي الأوجه، V٣٨٠-٧، سرعته ١٧٢٨ لفة في الدقيقة، يستعمل لتدوير حمل عزمه ٩٠ نيوتن.متر عند سرعة دوران ١٤٤٠ لفة في الدقيقة، إذا كانت كفاءة صندوق التروس ٧٥%.

وكفاءة المحرك ٨٥٪، ومعامل القدرة ٨٠٪ احسب: قدرة خرج المحرك بالكيلووات وبالحصان، عزم المحرك، تيار المحرك.

تمرين ٢ : محرك حشبي ثلاثي الأوجه،  $420\text{-}V$ ، كفاءة ٨٥٪، ومعامل قدرته ٨٠٪، يستعمل لتحرير مصعد، كفاءته ٥٢٪، لرفع كتلة مقدارها  $4000 \text{ Kg}$ ، إلى ارتفاع  $25 \text{ m}$ ، خلال زمن مقداره ٣٠ ثانية، تمت موازنة نصف حمولة التشغيل، وكل من وزن المصعد والحبال، بواسطة أثقال موازنة . احسب قدرة المحرك بالكيلووات، وتيار المحرك.

تمرين ٣ : محرك تيار مستمر،  $230\text{-}V$ ، كفاءة ٨٨٪، يستخدم لتشغيل مضخة مياه كفاءتها ٧٢٪، لضخ ١٨ متر مكعب من الماء في الساعة، إلى ارتفاع ١٥ متر، وكانت كفاءة مجموعة التروس بين المحرك والمضخة ٨٠٪، احسب قدرة خرج المحرك، قدرة دخل المحرك، تيار المحرك.

تمرين ٤ : محرك كهربائي متصل ميكانيكيًا مباشرة مع ونش لرفع ثقل مقداره ٥ أطناء، بسرعة  $1.2 \text{ m/sec}$ . أوجد عزم الحداقة المكافئ منسوباً لمحور المحرك، بافتراض المعلومات الآتية: عزم حداقة المحرك  $12 \text{ كيلوجرام متر}$ ، عزم حداقة الونش  $80 \text{ كيلوجرام متر}$ ، سرعة المحرك  $720 \text{ لفة في الدقيقة}$ ، قطر حداقة الونش  $0.8 \text{ متر}$ .

تمرين ٥ : ونش وزنه  $25 \text{ طناً}$  وحموته  $40 \text{ طناً}$ ، يتحرك بواسطة محرك كهربائي قدرته المقننة  $30 \text{ كيلووات}$ ، والذي يحقق سرعته ثابتة للحمل قيمتها  $90 \text{ متر في الدقيقة}$ ، عندما يدور بسرعة  $720 \text{ لفة في الدقيقة}$ . أوجد زمن البدء للكتلة المتحركة، إذا بدء المحرك حركته بعزم دوران يساوي  $1.8 \text{ عزم الحمل الكامل}$ ، العضو الدوار للمحرك له عزم حداقة  $12 \text{ كيلوجرام متر}$ ، وما هي أقصى مسافة يتحركها الحمل أثناء فترة البدء، قبل أن يصل إلى سرعته الثابتة.



## الجر الكهربائي

### الخواص العامة لحركات الجر

**الجادة:** معرفة الخواص العامة المطلوبة، وطرق الوقاية من الجو المحيط، لمحركات الكهربائية.

**الأهداف:**

عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

- ١ - معرفة الخواص الكهربائية والميكانيكية لمحركات الكهربائية.
- ٢ - معرفة تركيب المحركات الكهربائية لحمايتها من ظروف الجو المحيط.
- ٣ - طرق التبريد المختلفة لمحركات الكهربائية.

**الوقت المتوقع للتدريب:** ٤ ساعات

**الوسائل المساعدة:** لا توجد

**متطلبات الجادة:**

اجتياز مقررات آلات التيار المستمر والتردد.

## أنواع المحركات الكهربائية المستخدمة في القيادة الكهربائية:

هناك عدة أنواع من المحركات الكهربائية، المستخدمة في التحرير الكهربائي بصفة عامة وفي الجر الكهربائي بصفة خاصة، تختلف فيما بينها، حسب طبيعة مصدر التغذية، وطريقة تركيبها ونظرية عملها، وأهم هذه المحركات:

### ١. محركات التيار المستمر:

تتميز محركات التيار المستمر بأنها تدور بالسرعات المطلوبة بدقة، وذات مدى واسع لتغيير السرعة، مع إمكانية السيطرة عليها بسهولة، وإمكانية عكس اتجاه حركتها الدورانية، بالإضافة إلى تميزها بعزم بدء حركة مناسب

### ٢. المحركات الحثية:

يوجد منها نوعان، النوع الأول عضوه الدوار من النوع ذي القفص السننجابي، ويتميز ببساطة تركيبه وبقلة تكاليفه وصلابته، هذا النوع مناسب للتطبيقات التي تحتاج إلى سرعة دوران ثابتة . النوع الثاني هو المحرك ذو العضو الدائري الملفوف، وهو مناسب للتطبيقات التي تحتاج لعزم كبير لبدء حركتها مع نقص في قيمة تيار بدء الحركة، ويمتاز هذا النوع عن سابقه بسهولة التحكم فيه من حيث السرعة وعزم وتيار بدء الحركة.

### ٣. المحركات التزامنية:

هذا النوع من المحركات مناسب للتطبيقات التي تحتاج سرعة دوران ثابتة القيمة وقدرات كبيرة بالإضافة إلى إمكانية تصميمها لعمل عند سرعات بطيئة بمعامل قدرة عالي وبكفاءة تشغيل مرتفعة.

## الخواص العامة لمحركات الجر

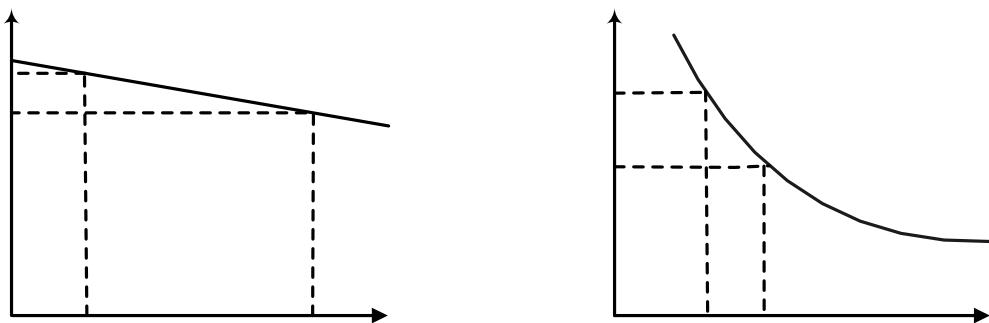
**الخواص الكهربائية والميكانيكية العامة المطلوبة لمحركات الجر هي:**

(١) عزم كبير أثناء بدء الحركة: أثناء بدء الحركة والتسارع تحتاج القاطرة الكهربائية لقوة جر كبيرة للحصول على التسارع المطلوب بالإضافة إلى قوة الجر اللازمة للتغلب على المقاومة لحركة القطار، بينما يكون المطلوب أثناء فترة الانطلاق الحر بسرعة منتظمة فقط قوة الجر اللازمة للتغلب على المقاومة لحركة القطار. أثناء السير لأعلى المستويات المائلة يلزم قوة جر إضافية للتغلب على تأثير الجاذبية الأرضية بالإضافة إلى القوى سابقة الذكر. لابد أن يبذل المحرك عزماً كبيراً أثناء فترة البدء للحصول على قوة الجر الكبيرة المطلوبة أثناء بدء الحركة.

٢) خواص التوالي بين السرعة والعزم: من المرغوب فيه أن يكون لمحركات الجر خواص محرك التوالي بين السرعة والعزم، للأسباب التالية:

- تشغيل أكثر من محرك في القاطرة الواحدة: تحتوي القاطرة الكهربائية عادةً على عدة محركات متماثلة مثبتة مع دواليب الحركة. طالما أن دواليب الحركة لها نفس القطر فإن سرعة المحركات تكون متساوية ويكون الحمل موزعاً بالتساوي بين المحركات. ولكن بسبب التآكل غير المتساوي في الدواليب تختلف أقطارها بعض الشيء، مما قد يتسبب في توزيع غير متساوي للحمل على المحركات.

افترض أولاً أن محركين لهما خواص التوازي بين السرعة والعزم، الشكل ١a<sup>٣</sup>، يعملان معاً ومثبتان لدولابان غير متساوين في القطر. إذا كانت سرعة المحرك الأول  $N_1$  وسرعة الثاني  $N_2$  فإن العزم المتولد من المحرك الأول هو  $T_1$  ومن الثاني  $T_2$ ، كما هو موضح بالشكل ١a<sup>٣</sup>، من الواضح أن الفارق كبير في قيمة العزم المتولد من كلا المحركين. المحرك ذو السرعة الأكبر يبذل عزم أقل بكثير من المحرك ذي السرعة الأقل.



شكل ١a

### خواص التوالي والتوازي لمحركات الجر

اففترض الآن أن المحركين لهما خواص التوالي بين السرعة والعزم الشكل ١b<sup>٣</sup>، يوضح الشكل أن الفرق صغير بين قيمة العزم المتولد من كلا المحركين  $T_1$  و  $T_2$ . لذلك فمن المرغوب فيه استعمال محركات لها خواص التوالي.

- خاصية الحماية الذاتية: بسبب خواص التوالي بين السرعة والعزم تنخفض سرعة المحرك كلما زاد عزم الحمل، العلاقات التالية صحيحة عند إهمال التشبع المغناطيسي:

$$N \propto \frac{1}{I_a} \text{ and } T \propto I_a^2$$

$$N \propto \frac{1}{\sqrt{T}}$$

$$\text{The power output} \propto T \cdot N \propto T \cdot \frac{1}{\sqrt{T}} \propto \sqrt{T}$$

إذا زيادة العزم إلى ثلاثة أمثال عزم الحمل الكامل، تقابلها زيادة في قدرة المحرك مقدارها (١٧٣ = ٧٣) من قدرة الحمل الكامل، أي أن المحرك يحمي نفسه ذاتيا ضد زيادة الحمل.

في حالة المحركات ذات خواص التوازي بين السرعة والعزم، قدرة الخرج تتناسب مباشرة مع العزم، إذا ازداد العزم إلى ثلاثة أمثال عزم الحمل الكامل تزداد قدرة الخرج إلى ثلاثة أمثال الحمل الكامل.

• استهلاك أقل للقدرة أثناء زيادة الحمل: أثناء زيادة التحميل أي زيادة قوة الجر المطلوبة، كما يحدث عند صعود مستوى مائل، فإن القدرة المسحوبة من المصدر بواسطة المحركات التي لها خاصية التوالي بين السرعة والعزم، تكون أقل بكثير من القدرة المسحوبة بواسطة المحركات التي لها خاصية التوازي، للأسباب السابق ذكرها.

٣) بساطة التحكم في سرعة المحرك: يجب أن تكون الطرق المستخدمة للتحكم في محركات الجر بسيطة في كيفية تفيذها.

٤) قابليتها للتعديل لاستخدام الفرامل الكهربائية: يجب أن تكون محركات الجر قابلة لتطبيق الطرق المختلفة للفرامل الكهربائية عليها بسهولة، مثل الفرامل الديناميكية والفرامل بإعادة التوليد والفرامل باستخدام التيار المعكوس أو التبديل.

٥) قابليتها لتحمل الارتفاع المفاجيء في الجهد: يحدث في بعض الأحيان ارتفاع مفاجئ في الجهد، بسبب عمل أحد قواطع التيار لإزالة خطأ ما بشبكة الجر. هذا الارتفاع المفاجيء يسبب زيادة مفاجئة في التيار، يجب على المحرك أن يتحملها دون إحداث أي ضرر به.

٦) تحمل الانقطاع المؤقت لمصدر الجهد: الانقطاع المؤقت لمصدر الجهد قد يحدث عند تقاطع الطرق والانتقال من شبكة جر إلى أخرى. عند إعادة جهد المصدر، ربما تكون القوة الدافعة الكهربائية العكسية قد انخفضت كثيراً عن قيمتها الأولى، مما يتسبب عنه مرور تيار كبير بالمحرك.

٧) الصلابة: يجب أن تكون محركات الجر صلبة في هيكلها الخارجي وتركيبها الداخلي، لتحمل عزم الجر الكبير المتولد بواسطتها، وتتحمل كذلك الاهتزاز والارتجاج الذي تتعرض لهما أثناء حركة القطار.

٨) وزن وحجم المحرك: يجب انقاص وزن محرك الجر بقدر الإمكان لسهولة تثبيته مع دواليب الحركة، وللتوفير في الطاقة المستهلكة. يجب أيضاً الحرص على الإنقاص من حجم محرك الجر بسبب محدودية وضيق المكان المخصص لتنبيتها.

### **طرق الوقاية المختلفة لمحركات الكهربائية وكيفية تبريدها:**

يستخدم الإطار الخارجي للمحرك لتوفير الحماية للمحرك من ظروف الجو المحيط، مثل، الرطوبة والأوساخ والأترية والأجسام الغريبة، وما قد يتسرّب للمحرك من أبخرة ومواد قابلة للإشتعال، وفي نفس الوقت لا يجب أن يؤثر الإطار سلباً على تبريد المحرك . هناك عدة أنواع من الأغلفة التي تستخدم في المحركات لتوفير درجات مختلفة من الحماية، ولمراعاة ظروف التشغيل المحيطة بنظام التحريك الكهربائي :

١. النوع المفتوح: في هذا النوع يكون المحرك مفتوحاً على كلتا طرفيه، يوفر هذا النوع تبريد حر للمحرك، حيث يكون كل من الثابت والدوار في اتصال مباشر مع الهواء المحيط، ويستخدم في آلات التيار المستمر الكبيرة الحجم.
٢. النوع محمي بشبكة: في هذا النوع يحتوي الغلاف الخارجي للآلية على فتحات كبيرة للتبريد الحر، هذه الفتحات مغطاة بشبكة لمنع دخول الفئران والزواحف، أو سقوط العدد الصغير مثل المفصّلات، إلخ...، داخل الآلة، ولكنها لا توفر الحماية من الأوساخ والأترية والأمطار أو المواد القابلة للإشتعال. تستعمل هذه المحركات بكثرة في أغليبية التطبيقات الصناعية، حيث يكون الجو المحيط نظيفاً خالياً من الأوساخ والغبار والمواد الكيميائية.
٣. النوع محمي ضد تاثير السوائل والغبار: في هذا النوع تكون الفتحات المخصصة للتبريد المحرك مصممة بحيث لا تسمح بدخول قطرات السوائل أو ذرات الغبار.
٤. النوع محمي ضد الأمطار: في هذا النوع تكون الفتحات المخصصة للتبريد المحرك، مصممة بحيث لا تسمح بدخول الأمطار أو السوائل وذرات الغبار الساقطة على الآلة أو تأتي من جانبي الآلة بزاوية لا تزيد عن مئة درجة من الاتجاه الرأسي، يمكن استخدام هذه المحركات تحت الأمطار المباشرة.

٥. النوع المغلق ذو التبريد الذاتي: في هذا النوع يكون المحرك مغلقاً بالكامل ولا توجد أي فتحات للتهوية، ويتم تبريد المحرك بواسطة انتشار الحرارة من على سطحه الخارجي، الذي يزود بزعانف لزيادة مساحة السطح الخارجي للمحرك وتحسين التبريد، يستخدم هذا النوع في الأماكن حيث يتواجد الغبار والمياه والمحاليل الكيميائية. بسبب صعوبة التبريد فإن قدرة المحرك تحدد بحوالي ستين إلى سبعين في المئة من قدرة المحرك من نفس الحجم من النوع المفتوح، تبني هذه المحركات بقدرات محدودة حوالي ٣ - ٥ حصان فقط.
٦. النوع المغلق ذو التبريد المنفصل: هذا النوع من المحركات مزود بمروحة خاصة للتبريد، مثبتة مع محور المحرك وخارج الإطار المغلق للمحرك ومغطاة بغطاء خاص بها وتدفع الهواء لتبريد السطح الخارجي للمحرك، والذي يكون في العادة مزود بزعانف لزيادة المساحة السطحية. يستخدم هذا النوع في مطاحن الدقيق ومصانع الأسمنت والمناجم.
٧. النوع المزود بأنابيب للتبريد: في هذا النوع يكون المحرك مغلقاً تماماً، ويتم تبريده بواسطة هواء نظيف يدفع داخل أنابيب خاصة من خارج منطقة الغبار. الكلفة الزائدة بسبب استخدام أنابيب التبريد تقابل باستخدام محرك أصغر حجماً وأقل كلفة، إذا أخذنا في الاعتبار التبريد الجيد للمحرك في هذه الحالة.
٨. النوع المصمم ضد الانفجار: يستخدم هذا النوع من المحركات في الأجزاء التي تتبعث فيها غازات أو تتواجد فيها مواد قابلة للإشتعال، الإطار الخارجي مصمم بحيث يتحمل أي انفجار يحدث داخل المحرك ويمنع اشتعال الغازات خارج المحرك، فتحات التبريد مصممة بحيث تحتوي اللهب داخل الإطار. وكذلك يصمم المحرك بحيث تكون أقصى درجة حرارة للسطح الخارجي أقل بكثير من درجة الحرارة التي تشتعل عندها الغازات أو المواد القابلة للأشتعال المحيطة بالمحرك، يستخدم هذا النوع في مصانع تكرير البترول ومحطات الوقود ومصانع البتروكيماويات.

أسئلة متنوعة :

س ١ ٣ : وضع كيف يحمي محرك التوالي نفسه ضد زيادة الحمل.

س ٢ ٣ : خواص التوالي أكثر مناسبة من خواص التوازي للمحركات المستخدمة في الجر الكهربائي.  
لماذا؟

س ٣ ٣ : ما فائدة الإطار الخارجي للmotor.

س ٤ ٣ : المحركات المقفلة أكثر كلفة من المحركات المحمية بشبكة. لماذا؟

س ٥ ٣ : أي أنواع المحركات مناسبة للاستخدام في .....:  
أ. مصافي تكرير البترول ومحطات الوقود.

ب. المناجم ومصانع الأسمنت.



## الجر الكهربائي

### محركات التيار المستمر والمتردد كمحركات للجر

محركات التيار المستمر والمتردد كمحركات للجر

ج

**الجذارة:** معرفة خواص محركات التيار المستمر والتيار المتردد المستخدمة في الجر الكهربائي.

**الأهداف:**

عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

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

**الوقت المتوقع للتدريب:** ٤ ساعات

**متطلبات الجذارة:**

احتياز مقررات آلات التيار المستمر وآلات التيار المتردد.

## محركات التيار المستمر والمتردد كمحركات للجر

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

### المتطلبات العامة لمحركات الجر

يجب أن تتمتع محركات الجر بالخصائص الآتية:

- أن يكون لديها خواص التوالي أثاء التشغيل مع عزم كبير لبدء الحركة.
- يجب أن تكون صلبة التركيب مع صغر الوزن والحجم.
- أن يكون لديها القدرة على تحمل الإرتفاع المفاجئ في الجهد.
- أن يتم التحكم في سرعتها بسهولة ويسر.
- أن يكون من الممكن استخدام الفرامل الكهربائية بواسطتها.

## محركات التيار المستمر كمحركات للجر

### 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. من الواضح أن تيار المنتج يمر بالكامل في ملفات المجال، فعند زيادة التحميل يزداد تيار المنتج وبالتالي تيار المجال. إذا يزداد المجال المغناطيسي في محركات التوالي مع زيادة تيار المنتج بزيادة التحميل.

(١) علاقة العزم مع تيار المنتج ( $T/I_a$ ) : يتناسب العزم طردية مع كل من تيار المنتج والمجال المغناطيسي ( $T \propto I_a \cdot \Phi$ ). يعتمد المجال المغناطيسي على تيار المجال أي على تيار المنتج ( $\Phi \propto I_a$ )، فإذا 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، المنحني OA في الشكل ١ . بمجرد أن يصل المحرك إلى مستوى التشبع المغناطيسي يصبح المجال المغناطيسي ثابتاً لا يعتمد على أي زيادة في التيار . فيتناسب العزم طردية مع تيار المجال ( $T \propto I_a$ ) المنحني AB في الشكل ١a .

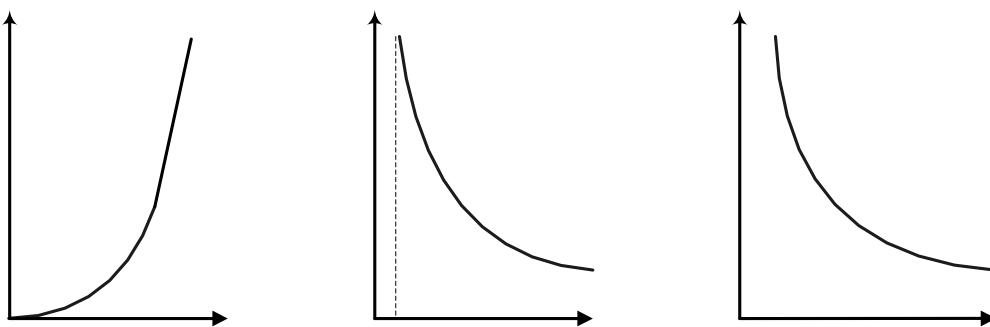
ب) علاقة السرعة مع تيار المنتج ( $N/I_a$ ) : في محركات التيار المستمر

$$N \propto E/\Phi$$

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

كلما ازداد تيار المنتج تقص قيمة  $E$  نسبياً 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 تتاسب عكسياً مع تيار المجال قبل التشبع المغناطيسي ثم تصبح ثابتة بعد الوصول إلى التشبع، الشكل ١b.

ج) علاقة العزم مع السرعة ( $T/N$ ) : علاقة العزم مع السرعة يمكن استنتاجها من العلاقاتين السابقتين وهي كما مبينة بالشكل ١c، من الواضح أن محرك التوالي يولد عزماً كبيراً عند السرعات العالية والعكس صحيح. هذا بسبب أن الزيادة في العزم تتطلب زيادة في تيار المنتج وبالتالي زيادة بالتبعية في تيار المجال مما يؤدي إلى نقص في السرعة.



شكل ١c

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 للجر الكهربائي حيث يضبط المحرك سرعته ذاتياً مع تغير التحميل.
- عندما يصل تيار المنتج إلى قيمته عند اللاحمel، بسبب إزالة الحمل، يصبح المجال المغناطيسي صغيراً جداً. تزداد السرعة إلى قيمة عالية جداً إلى درجة الخطورة حيث يمكن أن يتحطم العضو الدوار تحت تأثير قوي الطرد المركزية. يجب ألا يبدأ محرك التوالي حركته بدون أحmal، بل يجب أن يتم تحميله أولاً ثم بدء الحركة.

أقل حمل لمحرك التوالي يجب أن يكون بالقدر الكافي للحفاظ على السرعة في الحدود المعقولة، ولل الاحتياط لابد من تزويد المحرك بالأجهزة الالزمة لفصل المحرك من 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 من حيث إذا ما كان مجال ملف التوالي يساعد أم يعاكس مجال ملف التوازي، ففي الحالة الأولى يسمى المحرك بالمحرك المركب التراكمي وفي الثانية يسمى بالمحرك المركب الفرقي أو التفاضلي.

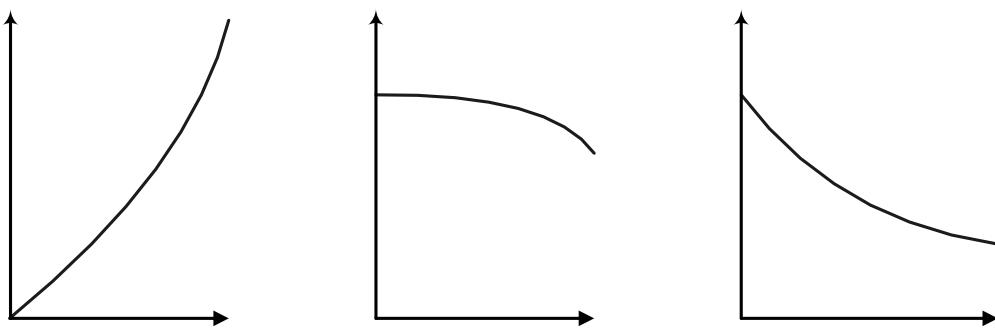
**خواص المحرك المركب التراكمي :** في المحرك المركب التراكمي يوصل ملف التوالي بحيث يكون المجال المغناطيسي الناتج عنه في نفس اتجاه المجال الناتج عن ملف التوازي، أي أن ملف التوالي يساعد ملف التوازي. فعند أي حمل يكون المجال المغناطيسي الإجمالي هو مجموع مجالي ملفي التوازي والتوازي  $(\Phi_{sh} + \Phi_{se})$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

**أ) علاقة العزم مع تيار المنتج  $(T/I_a)$  :** بما أن  $(\Phi_t = \Phi_{sh} + \Phi_{se})$  فإن محصلة المجال الكلي أصبحت أكبر من ذي قبل. وبالتالي سيزيد العزم بما يتاسب مع الزيادة في المجال الشكل ٢a. 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  $(N \propto E/\Phi_t)$ ، فعند زيادة الحمل فإن مجال ملف التوالي يساعد مجال 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 على حدة، الشكل ٢b . 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 أحصار، 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 الخواص الميكانيكية للمحرك تظهر في الشكل ٢c . وهي تقع بين خواص محرك التوازي ومحرك التوالي. يتضح من الشكل أن المحرك خواص التوالي، أي انخفاض السرعة مع زيادة الحمل، ويوضح أيضاً أن سرعة اللاحمل تكون في الحدود المعقولة.



شكل ٢

### خواص المحرك المركب التراكمي

خواص المحرك المركب الفرقي (أو التفاضلي) : في المحرك المركب الفرقي يوصل ملف التوالي بحيث يكون المجال المغناطيسي الناتج عنه في عكس اتجاه المجال الناتج عن ملف التوازي، أي أن ملف

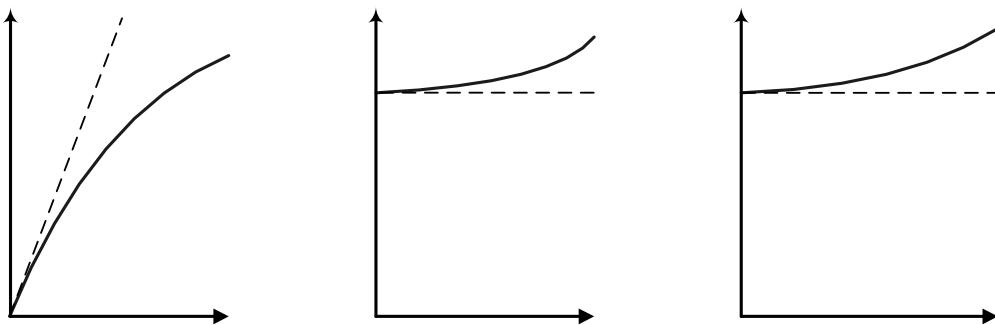
التوازي يعاكس ملف التوازي. فعند أي حمل تكون محصلة المجال المغناطيسي هي الفرق بين مجالي ملفي التوازي والتوازي (Φ<sub>t</sub> = Φ<sub>sh</sub> - Φ<sub>se</sub>)

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

ب) علاقة السرعة مع تيار المنتج ( $N/I_a$ ) : مع زيادة الحمل تتناقص محصلة المجال المغناطيسي، وبالتالي تزداد سرعة المحرك **شكل ٣b**. أي أن سرعة المحرك تزداد بزيادة الحمل، هذه الخاصية تظهر 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 **شكل ٣c**. 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 للجر.



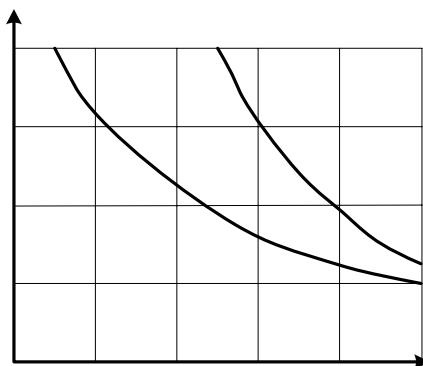
**شكل ٣**

خواص المحرك المركب التفاضلي

## محركات التيار المتردد كمحركات للجر

١) محرك التوالي العام : في محركات التيار المستمر توصيله التوالي، تيار المجال هو نفس تيار المنتج، ويكونان متزدين 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 توصيله التوالي إلى مصدر للتيار المتردد، سيعمل المحرك ولكن بصورة غير مرضية للأسباب الآتية :

- سيولد عزم في اتجاه واحد ولكنه ينبع بضعف تردد المصدر، بسبب أن التيار يعكس اتجاهه مرتين كل ذبذبة واحدة.
- المجال المغناطيسي المتردد المتولد في هذه الحالة سيتسبب في مفقودات عالية، نتيجة للتغيرات الدوامية المتولدة في القلب الحديدي والإطار الخارجي. ستترتفع درجة حرارة المحرك وتتخفض كفاءته.
- جهود التحويل المتولدة في ملفات المنتج، بسبب المجال المتردد، ستتسبب في إحداث شرارة عالية بين الموحد والفرش الكربونية.
- المعاوقة الحثية للفلأت المجال والمنتج ستسبب 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 .



شكل ٤

خواص محرك التوالي العام

إذا اعتبرنا محرك توالى للتيار المستمر قلبه الحديدى وجميع أجزاء دائرته المغناطيسية مصنوعة من شرائح الحديد المعزول، للحد من التيارات الدوامية، يتغدى من مصدر للتيار المستمر. عند الحمل الكامل سيفقد جهداً مقداره حوالى ١٠٪ فقط بسبب مقاومة ملفات المنتج وملفات التوالى وتكون القوة الدافعة الكهربائية العكسيّة حوالى ٩٠٪ من جهد المصدر، وهي كبيرة إذا ما قورنت بالجهد المفقود. إذا 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.

افرض الان أن نفس المحرك تمت تغذيته من مصدر للتيار المتردد بنفس الجهد. سيصبح المجال المغناطيسي المتولد متراجعاً بنفس تردد المصدر وله نفس زاوية طور التيار (تيار المجال أو تيار المنتج). القوة الدافعة الكهربائية  $E$  سيكون لها أيضاً نفس زاوية طور التيار. سيفقد جزءاً كبيراً من الجهد في هذه الحالة على المانعة الحثية لكل من ملفات المنتج والمجال بالإضافة إلى الجهد المفقود على المقاومات.

إذا في حالة استعمال التيار المتردد تكون القوة الدافعة الكهربائية العكسيّة المتولدة أقل بكثير عنها في حالة استعمال التيار المستمر. هذا 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 منخفض. وبالتالي يجب إدخال بعض التعديلات لتحسين أداء المحرك عند تشغيله بالتيار المتردد، هذه التعديلات هي:

- يجب تخفيض عدد ملفات ملف التوالى من أجل تخفيض ممانعه الحثية وبالتالي التخفيض من الجهد المفقود على المانعة الحثية.
- تخفيض عدد ملفات ملف التوالى ينتج عنه أيضاً تخفيض في قيمة المجال المغناطيسي الناتج لكل قطب لنفس التيار المار في الملف، هذا سوف يؤدي بدوره لزيادة سرعة المحرك وتخفيض العزم المتولد لنفس التيار. لزيادة العزم وتعويض النقص المذكور يجب زيادة عدد موصلات ملف المنتج بنفس النسبة.
- زيادة عدد موصلات المنتج سترفع من قيمة المانعة الحثية لملفات المنتج، وبالتالي فإن المانعة الحثية الكلية لدائرة المحرك لن تتغير، لأن هذه الزيادة ستتعوض النقص الذي سببه تخفيض عدد ملفات ملف التوالى. للتغلب على هذه الصعوبة يزود المحرك بملفات تعويضية (Compensating Winding) التي تقوم بمعادلة المجال المغناطيسي الناتج عن ملفات المنتج فتتمحى تأثير المانعة الحثية لملف المنتج.

- للتقليل من جهود التحويل المترولة في ملفات المنتج والشرارة الناتجة بسبب ذلك، يبني محرك التوالي العام بعده 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 ملفاته ويزاد في عدد قطع الموحد لتخفيض الجهد بين القطع المجاورة، كما تستعمل فرش كربونية أقل عرضاً حتى لا تقصّر أكثر من قطعه مبدل (لفة واحدة من المنتج) في نفس اللحظة.
- تقلل الثغرة 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 الجر الكهربائية بحيث يكون في حدود (٤٠٠ to ٣٠٠ V) من أجل تخفيض المحاثة. يمكن تفسير ذلك لأن استخدام جهد منخفض يعني أيضاً استخدام تيار أكبر وبالتالي عدد لفات أقل لملفات التوالي لتوليد نفس المجال المغناطيسي المطلوب.
- بما أن المانعة الحثية تتاسب مباشرة مع تردد المصدر، تصمم شبكات الجر ومحرك التوالي العام المستخدم في الجر الكهربائي ليعملا على تردد  $25\text{Hz}$  أو  $16\frac{2}{3}\text{Hz}$ ، للتخفيض من قيمة المانعة الحثية للمحرك.

**خواص محرك التوالي العام :** محرك التوالي العام عملياً له نفس خواص محرك التوالي للتيار المستمر. عزم الجر المترول يتاسب طردياً مع مربع تيار المنتج وتتناسب السرعة عكسياً مع التيار. لنفس قدرة إلخراج يكون وزن محرك التوالي العام من مرة ونصف إلى مرتين وزن محرك التوالي للتيار المستمر. عند بدء الحركة ( $E=0$ ) يكون معامل القدرة ردئاً (منخفض) إذا لفنت التيار يكون عزم بدء الحركة أقل بكثير من العزم المترول في محرك التيار المستمر. نتيجة لقلة عزم بدء الحركة فإن هذه المحركات ليست مناسبة لوسائل الجر داخل المدن حيث يتكرر الوقوف وبدء الحركة، لكنها تكون مناسبة للاستعمال في وسائل الجر خارج المدن حيث تكون المسافات طويلة بين الوقفات، ولا يكون التسارع العالي ضرورياً في هذه الحالة.

## ٢) المحرك الحثي ثلاثي الأوجه:

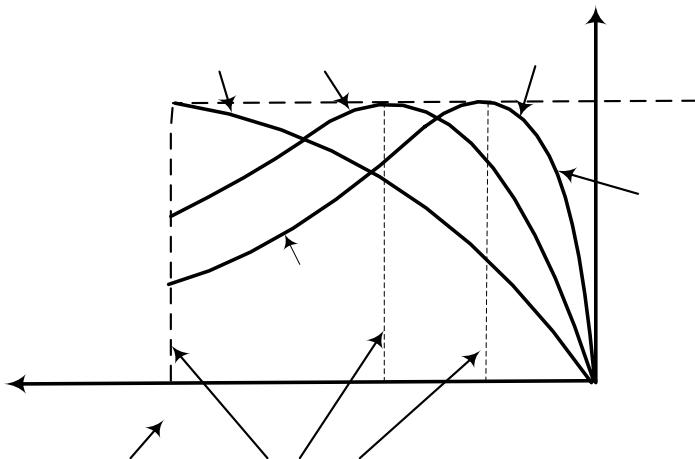
**علاقة العزم مع الانزلاق :** سبق أن عرفنا من مقرر آلات التيار المتردد أن العزم المتولد في المحركات الحثية

$$T = \frac{K \cdot s \cdot R_2}{R_2^2 + (sX_2)^2}$$

حيث  $s$  الإنزلاق و  $R_2$  ،  $X_2$  المقاومة والمعاوقة الحثية للدوران و  $K$  ثابت.

إذا رسمنا العلاقة بين العزم والإنزلاق لعدة قيم من مقاومة الدوار، الشكل ٥ □، يمكن ملاحظة

النقاط التالية لخواص المحرك:



شكل ٥ □، العلاقة بين العزم والإنزلاق 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 والإنزلاق تبدأ من الصفر.

- عند الدوران بالسرعات العادية بإنزلاق صغير، يمكننا أهتمال  $(sX_2)$  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 يتاسب طردياً مع الإنزلاق في السرعات العادية وتكون العلاقة بينهما خطية ابتداءً من الصفر وحتى الحمل الكامل للمotor.

- 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 التعر 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  $(sX_2)$  أكبر بكثير من  $R_2^2$  ، حيث يمكن إهمال  $R_2^2$  مقارنة مع  $(sX_2)$  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 يبذل المحرك، ولكن تزيد من قيمة العزم عند بدء الحركة.

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

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

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

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

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

**مثال 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 إذ كان:

- محرك توالى للتيار مستمر.

- محرك حثي 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  $P \propto \sqrt{T}$

$$\therefore \text{The power required} = 730.6 \times \sqrt{\frac{500}{400}} = 816.8 \quad \text{H.P.}$$

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 ١ : ما هي المتطلبات العامة لمحركات الجر؟

س ٢ : لماذا محرك التوالي للتيار المستمر هو الأكثر مناسبة للاستخدام في الجر الكهربائي؟

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

س ٤ : لماذا محرك التوالي العام مناسب للاستخدام في شبكات الجر للتيار المستمر أو المتردد؟

س ٥ : لماذا يجب تجنب استخدام محرك التيار المستمر المركب الفرقي كمحرك جر؟

س ٦ : ما هو الشكل العام لعلاقة العزم/الانزلاق لمحركات الحثية ثلاثية الأوجه؟ وضح بالرسم كيف تتأثر هذه العلاقة بزيادة مقاومة الدوار.

تمرين ١ : قطرة كهربائية تبذل قوة جر مقدارها  $N-32800$  عند السير على مستوى أفقى بسرعة  $48.3\text{-km/h}$ ، وتبذل قوة مقدارها  $N-52400$  عندما تصعد مستوى مائلاً. أوجد قدرة المحرك بالحصان إذا كان:

أ - محرك توالي للتيار مستمر.      ب - محرك ثحي ثلاثي الأوجه.



## الجر الكهربائي

### الجر الكهربائي

**الجذارة:** معرفة مميزات وعيوب الجر الكهربائي، نظم تغذية شبكات الجر، حساب القدرة المحركة، منحنى السرعة مع الزمن لحركة القطارات.

#### الأهداف:

عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

- ١ - معرفة مميزات وعيوب الجر الكهربائي.
- ٢ - معرفة نظم تغذية شبكات الجر.
- ٣ - حساب القدرة المحركة لدواليب الحركة.
- ٤ - معرفة ميكانيكية حركة القطارات.
- ٥ - معرفة منحنى السرعة مع الزمن لحركة القطارات.

**الوقت المتوقع للتدريب:** ٦ ساعات

#### متطلبات الجذارة:

يجب التدرب على جميع المهارات لأول مرة.

الجر الكهربائي يقصد به حركة المركبات والقطارات التي تستخدم المحركات الكهربائية لانتاج الطاقة الميكانيكية اللازمة للتحريك، مثل القطارات والحافلات الكهربائية وعربات الترام ومركبات дизيل الكهربائية. تستخدم الطاقة الكهربائية في الجر الكهربائي، لما تميز به من نظافة وسهولة في السيطرة على سرعة المحركات الكهربائية وعدم وجود غازات العادم، كما أن القاطرات الكهربائية تحتاج إلى صيانة أقل من نظيرتها الميكانيكية.

### **أنواع الجر الكهربائي**

يوجد نوعان أساسيان من الجر الكهربائي، يختلف كل منهما عن الآخر في نوع المصدر الذي يغذي المحرك الكهربائي:

**النوع الأول:** وهو الذي تحمل فيه وسيلة النقل على متها، سواء كانت مركبة أرضية أو سفينة، إلخ...، جميع مستلزمات توليد الطاقة الكهربائية وتخزينها. هذا النوع مستقل ذاتياً حيث يشتمل على محرك ديزل لتشغيل مولد كهربائي، وعادة يكون من نوع التيار المستمر، والذي بدوره يمد محركات الجر بالطاقة الكهربائية اللازمة.

**النوع الثاني:** وهو الذي تستمد فيه المركبة أو القاطرة، الطاقة الكهربائية اللازمة من شبكة توزيع ممتدة من محطة أو محطات التوليد، أي أن الأمر يستدعي في هذه الحالة إنشاء شبكة توزيع كهربائي ممتدة على طول الطرق التي تسلكها المركبة الكهربائية، وقد يستدعي الأمر أيضاً وجود محطات فرعية لتعويض الجهد المفقود في موصلات نقل الطاقة. يستخدم هذا النوع بالطبع في وسائل النقل البري فقط. تختلف محطات التوليد من حيث كونها للتيار المستمر أو التيار المتردد، على حسب نوع المحركات المستخدمة في الجر، عند استخدام محركات التيار المستمر مع وجود شبكة للتيار المتردد، لابد من إنشاء محطات تحويل لتغذية شبكة الجر الكهربائي، أو تزويد المركبات الكهربائية بأجهزة التحويل المناسبة، مع تغذيتها من شبكة التيار المتردد مباشرة

### **مميزات وعيوب الجر الكهربائي**

من أهم مزايا استخدام المحركات الكهربائية في الجر هي:

- النظافة التي تصاحب استخدام المحركات الكهربائية

- يوفر المحرك الكهربائي عزماً كبيراً لبدء الحركة، مما يسمح بتسارع عالي القيمة عند بدء الحركة. ذلك يتيح حمل ضعف عدد الأشخاص على نفس الطريق بسبب ارتفاع سرعة سير المركبات.
- يوفر المحرك الكهربائي تغيراً بالغ النعومة في السرعة.
- يوفر المحرك الكهربائي إمكانية استخدام الفرامل الكهربائية، وهي تتيح إعادة الطاقة إلى الشبكة الكهربائية عند استخدام الفرامل بإعادة التوليد أثناء السير إلى أسفل المنحدرات. كما أن استخدام الفرامل الكهربائية يؤدي إلى التوفير في استخدام الفرامل الميكانيكية مما يطيل من عمرها، ويقلل من التأكّل في الدواليب الدوارة والقضبان الحديدية.
- الوقت اللازم لصيانة وإصلاح المركبة الكهربائية أقل بكثير مما تحتاجه المركبات الأخرى.
- تكاليف الصيانة والإصلاح للمركبات الكهربائية تبلغ حوالي نصف تلك التكاليف في المركبات الأخرى.
- لا تحتاج المركبات الكهربائية إلى وقت لكي تصبح جاهزة للعمل.
- التخلص من الأدخنة والعادم الذي قد يحتوي على عناصر سامة، يعتبر من أهم مزايا الجر الكهربائي، خصوصاً في النفاق والطرق تحت الأرضية.

أما بالنسبة لعيوب الجر الكهربائي فهي:

- تكلفة الإنشاء مرتفعة.
- أي عطل في الشبكة الكهربائية ولو لفترة وجيزة سوف يؤدي إلى شلل تام في حركة السير قد يمتد لساعات طويلة.
- التداخل الذي يحدث بين شبكة الجر الكهربائي وخطوط الهاتف والاتصالات.

### **نظم تغذية شبكات الجر الكهربائي**

يوجد ثلاثة أنواع مختلفة لتغذية شبكات الجر الكهربائي:

- التيار المستمر.
- التيار المتردد أحادي الوجه.
- التيار المتردد ثلاثي الأوجه.

١) نظام التيار المستمر: التيار المستمر بجهد من  $V$  ٦٠٠ إلى  $V$  ٧٠٠ مستخدم عالمياً لعربات الترام داخل المدن، بينما يستخدم جهد مستمر من  $V$  ١٥٠٠ إلى  $V$  ٣٠٠٠ خارج المدن، وتمثل القصبان الخط الرابع بالتيار، وتنص الموصفات على ألا يزيد هبوط الجهد عن ٧ فولت بين أي نقطتين على الخط الرابع بالتيار . أما بالنسبة للحافلات الكهربائية (Trolleybus) فيكون الخطان هوائيين، خط التغذية والخط الرابع، كما يجب ألا يتعدى الجهد ١٠٪ بالزيادة أو النقصان. يتم تغذية شبكة التيار المستمر من محطات تغذية تبعد عن بعضها من ٣ إلى ٥ كيلومترات داخل المدن، ومن ٤٠ إلى ٥٠ كيلومتر خارج المدن . كما يتم إمداد محطات التغذية بالطاقة من شبكات التيار المتردد بجهد من ١١٠ إلى ١٣٢ كيلوفولت، حيث يتم تحويله إلى تيار مستمر بالجهد المطلوب.

٢) نظام التيار المتردد أحادي الوجه: في هذا النظام يستخدم جهد من ١١ إلى ١٥ كيلوفولت بتردد ١٦٣/٢٠ هيرتز. إذا خصصت محطات توليد لتغذية محطات الجر، فلن يكون هناك صعوبة في توليد الجهد والتردد المطلوبين، أما في حالة استخدام شبكات الجهد العالي بتردد ٥٠ أو ٦٠ هيرتز فيلزم خفض التردد للحد المطلوب (يستخدم محرك تزامني ثلاثي الأوجه لتشغيل مولد أحادي الوجه لتوليد الجهد والتردد المطلوبين).

ت تكون شبكة الجر في هذه الحالة من خط هوائي واحد و تمثل القصبان الخط الراجع، تحمل القاطرة محول لخفض الجهد إلى ٣٠٠ أو ٤٠٠ فولت لتغذية محرك التوالي العام، يمكن التحكم في سرعة المحرك بتغيير جهد المحول.

يستخدم التردد المنخفض ١٦٪ أو ٢٥ هيرتز لتحسين الكفاءة ومعامل القدرة للمحرك، كما يساعد على الحد من الشرارة الكهربائية بين الموحد والفرش، هذا بالإضافة لتقليل الممانعة الحثية لموصلات شبكة الجر وبالتالي التقليل من الجهد المفقود. يؤدي هذا إلى زيادة المسافة بين محطات التغذية لتصبح من ٥٠ إلى ٨٠ كيلومتر. كما يساعد استعمال التردد المنخفض أيضاً إلى التقليل من التداخل مع شبكات الهاتف والاتصالات.

٣) نظام التيار المتردد ثلاثي الأوجه: تستخدم المحركات الحثية الثلاثية الأوجه كمحركات جر في هذه الحالة بجهد ٣٢KV وتردد  $\frac{٦٧}{٣} Hz$ ، تستقبل محطات التغذية الطاقة من شبكات الجهد العالي ويتم خفض الجهد والتردد للحد المطلوب. تكون شبكة الجر من خطين هوائيين ويمثل أحد القصبان الخط الثالث. المميزات المذكورة نتيجة لاستخدام تردد منخفض يمكن ذكرها أيضاً في هذا النظام.

## قوة الجر اللازمة على دوّاب تحريك القطار $F_t$

قوة الجر  $F_t$  هي القوة المولدة على حافة دوّاب تحريك القاطرة، لتحريك القاطرة نفسها والعربات المجرورة. قوة الجر المطلوبة لقاطرة تسير على أرض مستوية

$$F_t = F_a + F_r$$

إذا كانت القاطرة تسير على مستوى مائل فأن

$$F_t = F_a + F_r \pm F_g$$

$$F_a$$

القوة اللازمة للتسارع الخطى للقطار

$$F_r$$

القوة اللازمة للتغلب على قوة المقاومة لحركة القطار

$$F_g$$

القوة اللازمة للتغلب على تأثير الجاذبية الأرضية

الإشارة الموجبة تستعمل في حالة صعود القطار للمستوى المائل، الإشارة السالبة تستعمل في حالة هبوط القطار للمستوى المائل.

### حساب القوة اللازمة للتسارع:

إذا أثرت قوة جر  $F_a$  نيوتن على كتلة مقدارها  $m$  كيلوجرام وزنها  $W$  نيوتن وكانت قيمة التسارع الخطى الناتج  $a$  فأن

$$F_a = m \cdot a = (W/g) \cdot a \quad \text{Newton}$$

بما أن القطار يحتوي على أجزاء دوارة، مثل الداليب والمحاور ومحركات التحريك وصندوق التروس إلخ...، فإن الكتلة المكافئة للقطار  $m_e$  تزيد بمقدار ١٠٪ إلى ٢٠٪ عن الكتلة الساكنة للقطار، وتحسب القوة اللازمة للتسارع

$$F_a = m_e \cdot a = (W_e/g) \cdot a \quad \text{Newton}$$

إذا كانت الكتلة المكافئة بالكيلوجرام والوزن المكافئ بالنيوتن والتسارع بالمتر/ثانية٢ فأن وحدات القوة تكون بالنيوتن، أما إذا كانت الكتلة بالطن والتسارع بالكيلومتر/ساعة/ثانية فأن:

$$F_a = (1000 m_e) \times (1000/3600) a = 277.8 m_e \cdot a \quad \text{Newton}$$

### حساب القوة اللازمة للتغلب على المقاومة لحركة القطار:

القوة المقاومة لحركة القطار تشتمل على كل القوى التي تعاكس الحركة، وهي: المقاومة الميكانيكية مثل الاحتكاك في المحاور وفي دوايب الحركة إلخ...، وهي لا تعتمد على سرعة القطار ولكن تعتمد على كتلة القطار فقط. مقاومة الرياح وتناسب مع مربع سرعة القطار.

إذا افترضنا أن  $r$  هي المقاومة النوعية لحركة القطار بالنيوتن/طن ( $N/t$ ) من كتلة القطار

$$F_r = m \text{ (tonne)} \times r \text{ (Newton/tonne)} = m \cdot r \quad \text{Newton}$$

### حساب القوة اللازمة للتغلب على تأثير الجاذبية الأرضية:

إذا كان القطار يصعد منحدراً بزاوية ميل  $\theta$

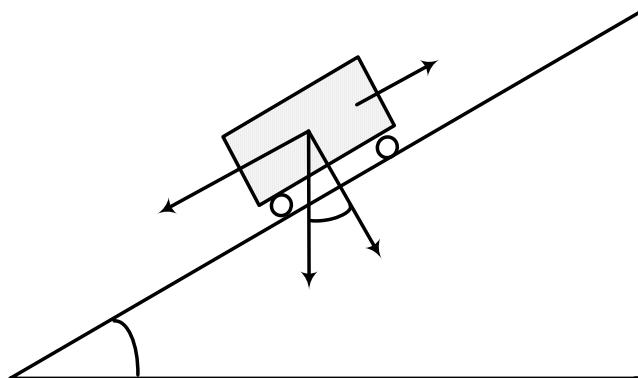
$$F_g = W \sin \theta = m \cdot g \cdot \sin \theta$$

فإذا كانت  $C$  هي النسبة المئوية لميل المستوي الشكل ١٥ فأن

$$C\% = (Y/X) \cdot 100 = 100 \sin \theta$$

$$F_g = 1000 \text{ m} \cdot g \cdot C/100 = 98,1 \text{ m} \cdot C$$

حيث  $m$  الكتلة الساكنة بالطن.



شكل ١٥

جسم يصعد مستوي مائل

إذا قوة الجر الكلية اللازمة على دولاب التحرير

$$F_t = F_a + F_r \pm F_g$$

$$F_t = 277.8 m_e \cdot a + m \cdot r \pm 98.1 m \cdot C \quad N$$

من فضلك تذكر أن وحدات الكتلة بالطن والتسارع بالكيلومتر/ساعة/ثانية و  $C$  نسبة مؤية لميل المستوي و  $r$  بالنيوتون/طن. الإشارة الموجبة تستعمل عندما يكون القطار صاعداً للمستوى المائل، والإشارة السالبة تستعمل عندما يكون القطار هابطاً للمستوى المائل،  $F_g = 0$  عندما يسير القطار على مستوى أفقى.

### القدرة المحركة لدوالib الحركة

إذا كان القطار يسير بسرعة ثابتة  $V$  متر/ثانية فإن القدرة المطلوبة للتحريك

$$P_o = F_t \cdot v \quad \text{watt}$$

فإذا كانت سرعة القطار بالكيلومتر/ساعة

$$P_o = F_t \cdot (1000/3600) v = F_t \cdot v / 3600 \quad \text{watt}$$

إذا كانت  $\eta$  هي كفاءة صندوق التروس، فإن القدرة المطلوبة من محركات الجر

$$P_m = P_o / \eta = F_t \cdot v / 3600 \eta \quad \text{watt}$$

مثال ١ : قطار يزن ٢٤٠ طن، بدء حركته صاعداً لمستوى مائل ٢٥٠ : ١ بتسارع ٢ كيلومتر/ساعة/ثانية حتى وصلت سرعته ٦٠ كيلومتر/ساعة. أوجد مقدار قوة الجر اللازمة في هذه الحالة والقدرة اللازمة لدوالib التحريك عند نهاية فترة التسارع . إذا كانت المقاومة النوعية لقطار  $t = 50 N/t$  والوزن المكافئ يزيد ١٠% عن الوزن الساكن

$$a = 2 \text{ Km/h/sec.} \quad m = 240 \text{ tonne}$$

$$m_e = 1.1 \times 240 = 264 \quad \text{tonne}$$

$$r = 50 \text{ N/t} \quad C = \frac{1}{250} \times 100 = 0.4\%$$

The tractive effort required for train

$$F_t = 277.8 m_e \cdot a + m \cdot r + 98.1 m \cdot C$$

$$F_t = 277.8 \times 264 \times 2 + 240 \times 50 + 98.1 \times 240 \times 0.4 = 168096 \text{ N}$$

The tractive power required for train

$$P_o = \frac{F_t \cdot v}{3600} = \frac{168096 \times 60}{3600} = 2802 \text{ KW}$$

## ميكانيكية حركة القطارات

تنقل الحركة من محور دوران المحرك، الذي يبذل عزم دوران  $T_m$  نيوتن.متر، إلى محور دوران الدواليب الدوارة، باستخدام صندوق للتروس لخفض السرعة من  $N_m$  إلى  $N$  لفة/دقيقة. فإذا كان:

$T_m \equiv$  العزم المولود من المحرك (نيوتن.متر)

$T \equiv$  العزم الناشئ عن قوة الجر على دوّلاب التحرير

$F_t \equiv$  قوة الجر التي تحرّك التروس

$F_t \equiv$  قوة الجر على دوّلاب التحرير

$N_m \equiv$  سرعة دوران المحرك

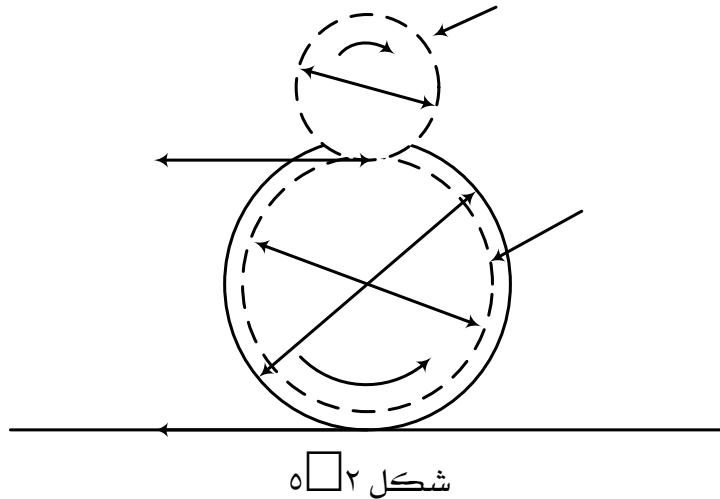
$N \equiv$  سرعة دوران دوّلاب التحرير

$\sigma \equiv d_2/d_1$  نسبة تحويل صندوق التروس

$d_1, d_2 \equiv$  قطر ترس المحرك / قطر ترس دوّلاب التحرير

$D \equiv$  قطر دوّلاب التحرير

$\eta \equiv$  كفاءة صندوق التروس



شكل ٥

نقل الحركة لدواليب القطار

$$T_m = F_l \times \frac{d_1}{2} \quad \text{or} \quad F_l = \frac{2 T_m}{d_1}$$

$$T_t = F_t \times \frac{D}{2} = \eta \times F_l \times \frac{d_2}{2} \quad \text{or} \quad F_t = \frac{2 T}{D} \quad \text{and} \quad F_l = \frac{2 T}{\eta \times d_2}$$

$$F_t = F_l \times \eta \times \left( \frac{d_2}{D} \right)$$

$$F_t = \eta \times F_l \times \left( \frac{d_2}{D} \right) = \eta \times \frac{2 T_m}{d_1} \times \left( \frac{d_2}{D} \right) = 2 \eta \sigma \frac{T_m}{D}$$

توقف قيمة قوة الجر التي يمكن الاستفادة منها، على الوزن الراكب فوق دواليب القيادة  $W$ ،

$$F_t = \mu_a \cdot W \quad : \quad \text{وعلي معامل الالتصاق بين دواليب القطار والقضبان } \mu_a$$

أقصى قوة الجر ممكنة بدون انزلاق الدواليب = الوزن الراكب فوق الدواليب  $\times$  معامل الالتصاق.

$$F_t = \mu_a \cdot W = \mu_a \cdot m \cdot g$$

إذا كانت الكتلة بالطن

$$F_t = 1000 * 9.81 * \mu_a \cdot m = 9810 \mu_a \cdot m \quad \text{Newton}$$

مثال ٥ : قطار يزن ٢٥٠ طن، يتحرك بواسطة أربعة محركات، بدء حركته من السكون صاعداً لمستوى مائل ٨٪ واستغرق ٢٠ ثانية لتصل سرعته ٤٢ كيلومتر/ساعة. إذا كانت نسبة تحويل صندوق التروس ٣.٥ وكفاءته ٩٢٪، المقاومة النوعية لحركة القطار  $40 N/t$ ، الوزن المتحرك يزيد ١٠٪ عن الوزن الساكن، قطر الدوّلاب ٩٢ سم. أوجد مقدار العزم المتولد من كل محرك.

$$a = \frac{v}{t} = \frac{42}{20} = 2.1 \text{ Km/h/sec.}$$

$$m_e = 1.1 \times 250 = 275 \text{ tonne}$$

$$C = \frac{1}{80} \times 100 = 1.25\%$$

$$F_t = 277.8 m_e \cdot a + m \cdot r + 98.1 m \cdot C$$

$$F_t = 277.8 \times 275 \times 2.1 + 250 \times 40 + 98.1 \times 250 \times 1.25 = 201054.5 \text{ N}$$

$$F_t = 2 \eta \sigma \frac{T_m}{D} \quad \text{or} \quad T_m = \frac{F_t \times D}{2 \eta \sigma} = \frac{201054.5 \times 0.92}{2 \times 0.92 \times 3.5} = 28722 \text{ N.m}$$

$$\text{Torque/motor} = 28722 / 4 = 7180 \text{ N.m}$$

مثال ٣ : قطار يزن ٢٥٠ طن، يتحرك بواسطة أربعة محركات، كل منهم يولد عزم ٨٠٠٠ نيوتن متر، بدء حركته من السكون صاعداً لمستوي مائل ٣٠: ١٠٠ إذا كانت نسبة تحويل صندوق التروس ٢.٥ وكمائه ٩٠٪ والمقاومة النوعية لحركة القطار  $50 \text{ N/t}$  والوزن المتحرك يزيد ١٠٪ عن الوزن الساكن وقطر الدوّلاب ٩٠ سم . احسب الزمن اللازم لكي تصل سرعة القطار إلى ٨٠ كيلومتر/ساعة. إذا كان جهد المصدر ٣٠٠٠-٧ وكماءة المحرك ٨٥٪، احسب تيار المحرك أثناء فترة التسارع.

$$F_t = 2 \eta \sigma \frac{T_m}{D} = 2 \times 0.9 \times 3.5 \times \frac{8000 \times 4}{0.9} = 224000 \text{ N}$$

$$C = \frac{30}{1000} \times 100 = 3\%$$

$$F_t = F_a + F_r + F_g$$

$$F_t = F_a + m \cdot r + 98.1 m \cdot C \quad \text{N}$$

$$224000 = F_a + 250 \times 50 + 98.1 \times 250 \times 3 = F_a + 86075$$

$$F_a = 224000 - 86075 = 137925 \quad \text{N}$$

$$F_a = 277.8 \times m_e \times a = 137925$$

$$a = \frac{137925}{277.8 m_e} = \frac{137925}{277.8 \times 1.1 \times 250} = 1.8 \text{ Km/h/sec.}$$

Time taken to achieve a speed of 80 Km/h

$$t = \frac{v}{a} = \frac{80}{1.8} = 44.44 \text{ sec.}$$

$$\text{Power taken by motors} = \frac{F_t v \left( \frac{1000}{3600} \right)}{\eta} = 224000 \times \left( \frac{1000}{3600} \right) \times \frac{80}{0.85} = 5856 \text{ KW}$$

$$\text{Total current taken} = \frac{5856000}{3000} = 1952 \text{ Amp}$$

$$\text{Current/motor} = 1952/4 = 488 \text{ Amp.}$$

## أنواع خدمات نقل الركاب بالجر الكهربائي

هناك ثلاثة أنواع من خدمات نقل الركاب بالجر الكهربائي:

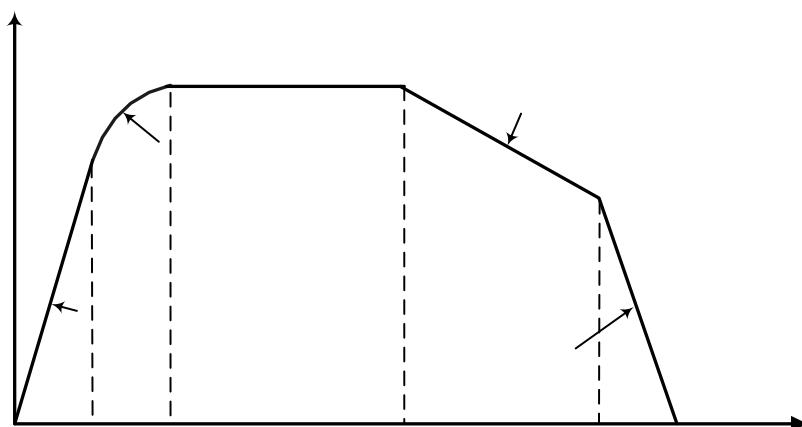
- النقل داخل المدن: يكثر توقف القطارات في حالة النقل داخل المدن، حيث يحدث التوقف كل مسافة كيلومتر واحد أو أقل، معدل التسارع والتباطؤ العالي ضروري لتحقيق سرعة حسابية متوسطة بين محطات التوقف.
- النقل إلى ضواحي المدن: تكون المسافة بين الوقتين من ٣ إلى ٥ كيلومترات ومسافة الرحلة الكلية من ٣٠ إلى ٤٠ كيلومتر. معدل التسارع والتباطؤ العالي ضروري أيضاً في هذه الحالة.
- النقل بين المدن: حيث تكون المسافات طويلة والوقفات قليلة متباعدة. السرعات العالية مرغوب فيها أما معدل العالي للتسارع والتباطؤ فيغير ضروري.

## منحنى السرعة مع الزمن

حركة القطارات والطاقة الكهربائية اللازمة لتلك الحركة يمكن دراستها بواسطة منحنيات السرعة/الزمن والسرعة/المسافة. يعطي المنحنى الأول سرعة القطار عند أي زمن بعد أن يبدأ الرحلة، ويعطي المنحنى الثاني السرعة عند مسافات مختلفة من بدء الرحلة. منحنى السرعة/الزمن هو الأكثر أهمية عند دراسة حركة القطارات للأسباب الآتية:

- يمكن قراءة السرعة مباشرةً من المنحنى عند أي لحظة.
  - ميل المماس للمنحنى عند أي لحظة معينة يعطي التسارع أو التباطؤ عند تلك اللحظة.
  - المساحة المحصورة بين المنحنى والمحور الأفقي (محور الزمن) تمثل المسافة المقطوعة حتى تلك اللحظة، كما أن المسافة التي يقطعها القطار بين لحظتين متتاليتين تعطي بالمساحة التي يحصرها المنحنى مع محور الزمن بين إحداثي اللحظتين.
  - الطاقة المطلوبة للحركة يمكن حسابها في حال معرفة مقدار المقاومة لحركة القطار.
- المنحنى التقليدي للسرعة/الزمن للقطارات الكهربائية التي تعمل في خدمات نقل الركاب مبين في الشكل ٢ . يمكن تقسيم هذا المنحنى إلى خمس أجزاء متتالية.

١. فترة التسارع الثابت ( $t_0$  to  $t_1$ ) : الجزء OA ابتداء من بدء الحركة وحتى الوصول إلى السرعة المطلوبة، يبذل المحرك أشاء تلك الفترة قوة الجر اللازمة لاحفاظ على تسارع ثابت.
٢. فترة التسارع على السرعة ( $t_1$  to  $t_2$ ) : الجزء AB، أشاء هذه الفترة يتناقص التسارع تدريجياً حتى تتساوى القوة المولدة مع المقاومة لحركة القطار، عندها تصبح السرعة ثابتة.
٣. فترة الانطلاق الحر ( $t_2$  to  $t_3$ ) : حيث يسير القطار بسرعة ثابتة بالقيمة التي وصل إليها في نهاية فترة التسارع على السرعة الجزء BC
٤. فترة الإرساء ( $t_3$  to  $t_4$ ) : يتم أشاء هذه الفترة فصل المحركات من مصدر التغذية، فيتحرك القطار بفعل القصور الذاتي، الجزء CD، تبدأ السرعة في الانخفاض تدريجياً إلى مستوى معين نتيجة للمقاومة لحركة القطار حيث تبدأ فترة الفرامل، فترة الإرساء مرغوب فيها بسبب استغلال جزء من طاقة الحركة في الكتلة المتحركة بدلاً من إضاعتها أثناء فترة الفرامل.
- a. فترة الفرامل ( $t_4$  to  $t_5$ ) : حيث يتم فرملة القطار، باستخدام الفرامل الكهربائية أو الميكانيكية أو أحدهما بعد الأخرى، فتناقص سرعته حتى يتوقف، الجزء DE



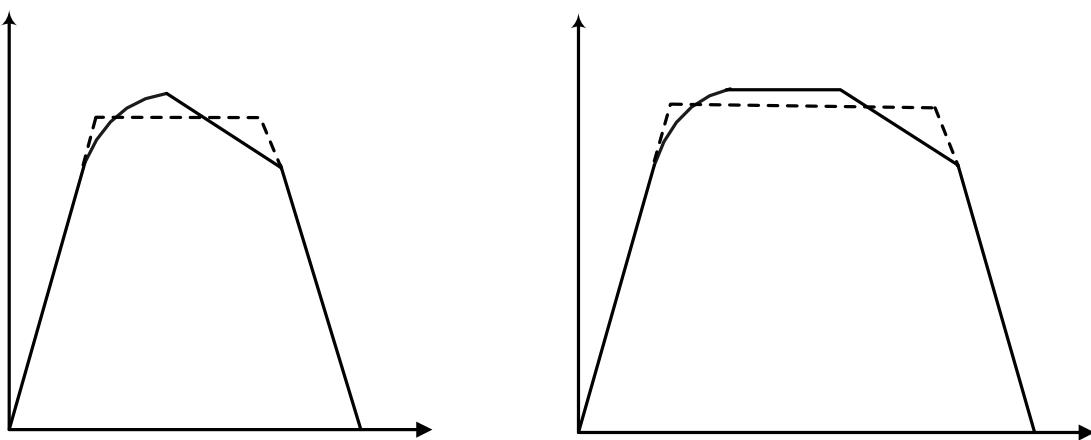
شكل ٣

المنحني التقليدي للسرعة مع الزمن

### منحنى السرعة مع الزمن للخدمات المختلفة

الشكل ٤a يبين منحنى السرعة/الزمن للنقل داخل أو إلى ضواحي المدن، حيث يكون معدل التسارع والتباطؤ عالي القيمة. ليست هناك إمكانية لفترة الانطلاق الحر وذلك لقصر المسافة بين الوقفات المتتالية، فترة الإرساء تبدأ مباشرة بعد انتهاء فترة التسارع على السرعة، فترة الإرساء تكون طويلة نسبياً في النقل إلى ضواحي المدن عنها في حالة النقل داخل المدن.

الشكل ٤b يبين منحنى السرعة/الزمن للنقل بين المدن حيث توجد فترة طويلة لانطلاق الحر بسرعات عالية.



شكل ٤ منحنى للسرعة/الزمن  
(a) للنقل داخل أو إلى ضواحي المدن. (b) للنقل بين المدن

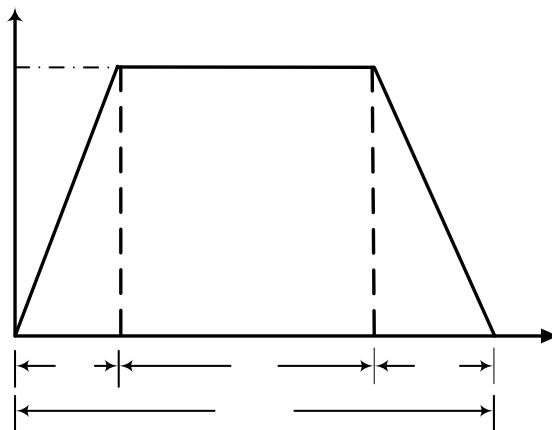
### السرعة المتوسطة والسرعة الحسابية

توجد في منحنى السرعة/الزمن ثلاثة سرعات ذات أهمية خاصة:

- السرعة القصوى (crest speed) وهي أقصى سرعة يصل إليها القطار أثناء رحلته.
- السرعة المتوسطة (average speed) هي متوسط قيمة السرعة بين الوقوفين = المسافة بين الوقتين/الزمن الفعلى للسير.
- السرعة الحسابية (schedule speed) هي متوسط قيمة السرعة بين الوقوفين معأخذ فترة الوقف في الحساب = المسافة بين الوقتين/(الزمن الفعلى للسير+ زمن التوقف).

**منحنى شبه المنحرف بين السرعة/الزمن**

لتسهيل الحسابات دون الوقوع في خطأ يذكر، يمكننا تقريب منحنى السرعة/الزمن إلى شبه منحرف ثابت الارتفاع كما موضح بالخط المتقطع في الشكل ٥، سواء كان النقل داخل المدن أم خارجها. ينقسم المنحنى في هذه الحالة إلى ثلاثة فترات كما في الشكل ٥:



شكل ٥

**منحنى شبه المنحرف للسرعة/الزمن**

- الفترة الزمنية  $t_1$  ثانية وهي فترة التسارع، تزداد سرعة القطار بتتسارع ثابت  $a$  كيلومتر/ساعة/ثانية من صفر وحتى تصل إلى أقصى سرعة للقطار  $V_m$  كيلومتر/ساعة، ويقطع أثناءها مسافة  $S_1$  كيلومتر.
- الفترة الزمنية  $t_2$  ثانية وهي فترة الفرملة تتحفظ سرعة القطار بتقصير منتظم  $b$  كيلومتر/ساعة/ثانية، ويقطع أثناءها مسافة  $S_2$  كيلومتر.
- الفترة الزمنية المتوسطة  $t_r$  ثانية : حيث يسير القطار بسرعة ثابتة  $V_m$ ، ويقطع أثناءها مسافة  $S_r$  كيلومتر، حيث الزمن الكلي للرحلة  $T$  وتحسب  $t_r$  من  $\{t_r = T - (t_1 + t_2)\}$

$$a = \frac{V_m}{t_1} \quad \text{or} \quad t_1 = \frac{V_m}{a} \quad \text{and} \quad S_1 = \frac{1}{2} V_m \times \frac{t_1}{3600} \quad \text{Km}$$

$$b = \frac{V_m}{t_2} \quad \text{or} \quad t_2 = \frac{V_m}{b} \quad \text{and} \quad S_2 = \frac{1}{2} V_m \times \frac{t_2}{3600} \quad \text{Km}$$

مساحة شبه المنحرف OABC بالشكل ٥ تعطي المسافة الكلية بين الوقتين  $S$  بالكيلومتر.

**V<sub>m</sub>**

$$S = \text{area } OABC$$

$$S = \text{area } OAD + \text{area } ABED + \text{area } BCE$$

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

$$S = \frac{1}{2} \times V_m \times \frac{t_1}{3600} + V_m \times \frac{t_2}{3600} + \frac{1}{2} \times V_m \times \frac{t_3}{3600} \quad Km$$

$$= \frac{1}{2} \times V_m \times \frac{t_1}{3600} + \frac{V_m}{3600} [T - (t_1 + t_3)] + \frac{1}{2} \times V_m \times \frac{t_3}{3600}$$

$$= \frac{V_m}{3600} \left[ \frac{t_1}{2} + T - t_1 - t_3 + \frac{t_3}{2} \right] = \frac{V_m}{3600} \left[ T - \frac{1}{2}(t_1 + t_3) \right]$$

$$S = \frac{V_m}{3600} \left[ T - \frac{V_m}{2} \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) \right]$$

$$\text{Let } K = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) = \frac{a+b}{2ab}$$

$$S = \frac{V_m}{3600} (T - K \cdot V_m) \quad \text{or} \quad 3600 S = V_m (T - K \cdot V_m)$$

$$\therefore K \cdot V_m^2 - V_m \cdot T + 3600 \cdot S = 0$$

$$V_m = \frac{T \pm \sqrt{T^2 - 4K \times 3600S}}{2 \times K} \quad Km/h$$

Taking the negative sign only

$$V_m = \frac{T - \sqrt{T^2 - 4K \times 3600S}}{2 \times K} \quad Km/h$$

$$V_m = \frac{1}{2K} \left[ T - \sqrt{T^2 - 14400K \cdot S} \right] \quad Km/h$$

مثال ٣ قطار يسير بسرعة متوسطة مقدارها ٣٦ كيلومتر/ساعة بين محطتين المسافة بينهما ٢ كيلومتر، ويتوقف ٢٥ ثانية في كل محطة. يسير القطار بتسارع ثابت مقداره ١,٨ كيلومتر/ساعة/ثانية أثناء فترة التسارع، ويتقصير ثابت مقداره ٣,٦ كيلومتر/ساعة/ثانية أثناء فترة الفرامل. احسب قيمة السرعة القصوى التي يصل إليها القطار بافتراض أن منحنى السرعة/الزمن شبه منحرف ثابت الارتفاع. احسب أيضاً السرعة الحسابية للقطار.

$$V_a = 36 \text{ Km/h}$$

$$a = 1.8 \text{ Km/h/sec.} \quad \text{and} \quad b = 3.6 \text{ Km/h/sec.}$$

$$\text{average speed} = \frac{\text{distance between stops}}{\text{actual time of run}}$$

$$36 = \frac{2}{T} \quad \text{or} \quad T = \frac{2}{36} = 0.0555 \text{ Hr} = 0.0555 \times 3600 = 200 \text{ sec}$$

$$K = \frac{a+b}{2.a.b} = \frac{1.8 + 3.6}{2 \times 1.8 \times 3.6} = 0.4167$$

$$V_m = \frac{1}{2.K} \left[ T - \sqrt{T^2 - 14400 K S} \right]$$

$$V_m = \frac{1}{2 \times 0.4167} \left[ 200 - \sqrt{(200)^2 - 14400 \times 0.4167 \times 2} \right] = 39.6 \text{ Km/h}$$

$$\text{Schedule speed} = \frac{\text{distance between stops}}{\text{actual time of run} + \text{stop time}} = \frac{2}{(200+25)/3600} = 32 \text{ Km/h}$$

مثال ٤: قطار يسير بسرعة حسابية مقدارها ٤٠ كيلومتر/ساعة بين محطتين المسافة بينهما ٢.٥ كيلومتر، ويتوقف ٢٥ ثانية في كل محطة. يسير القطار بتسارع ثابت مقداره ٢.٢ كيلومتر/ساعة/ثانية أثناء فترة التسارع، ويتقصير ثابت مقداره ٣.٥ كيلومتر/ساعة/ثانية أثناء فترة الفرامل. احسب قيمة السرعة القصوى التي يصل إليها القطار بافتراض أن منحنى السرعة/الزمن شبه منحرف ثابت الارتفاع. أرسم هذا المنحني. احسب أيضاً السرعة المتوسطة.

$$a = 2.2 \text{ Km / h / sec} \quad \text{and} \quad b = 3.5 \text{ Km / h / sec.}$$

$$\text{Schedule speed} = \frac{\text{distance between stops}}{\text{actual time of run} + \text{stop time}}$$

$$40 = \frac{2.5}{T + t}$$

$$T + t = \frac{2.5}{40} = 0.0626 \text{ Hr} = 0.0625 \times 3600 = 225 \text{ sec.}$$

$$T = 225 - 25 = 200 \text{ sec.}$$

$$K = \frac{a+b}{2.a.b} = \frac{2.2 + 3.5}{2 \times 2.2 \times 3.5} = 0.37$$

$$V_m = \frac{1}{2 \cdot K} \left[ T - \sqrt{T^2 - 14400 K S} \right]$$

$$V_m = \frac{1}{2 \times 0.37} \left[ 200 - \sqrt{(200)^2 - 14400 \times 0.37 \times 2.5} \right] = 49.3 \text{ Km/h}$$

To draw the speed time curve , find:

$$t_1 = \frac{V_m}{a} = \frac{49.3}{2.2} = 22.4 \text{ sec.}$$

$$t_3 = \frac{V_m}{b} = \frac{49.3}{3.5} = 14.1 \text{ sec.}$$

$$t_2 = T - (t_1 + t_3) = 200 - (22.4 - 14.1) = 163.5 \text{ sec.}$$

$$\text{average speed} = \frac{\text{distance between stops (Km)}}{\text{actual time of run (Hr)}} = \frac{2.5}{200 / 3600} = 45 \text{ Km/h}$$

**اختبار ذاتي: أختير الإجابة أو الإجابات الصحيحة للأسئلة التالية.**

١. العامل الرئيسي ضد استخدام الجر الكهربائي هو:

- أ. ضرورة استخدام محطات تقوية لشبكات الجر.
- ب. احتمال انقطاع التيار الكهربائي في شبكة الحر.
- ج. صعوبة صيانة محركات الجر.
- د. تكلفة إنشاء مرتفعة.

٢. التردد المنخفض لشبكات الجر ذات التيار المتردد أحادي الوجه، يفضل بسبب:

- أ. زيادة كفاءة المحركات المستخدمة.

- ب. يحسن من معامل قدرة المحركات.
- ج. يقلل من الشرارة الكهربائية بين الموحد والفرش.
- د. جميع ما سبق.

٣. منحني السرعة/الزمن للنقل داخل المدن ليست به فترة ..... .

- أ. إرساء.
- ب. انطلاق حر.
- ج. تسارع.
- د. فرامل.

٤. زيادة زمن توقف القطارات بالمحطات ..... .
- يزيد من السرعة الحسابية.
  - ينقص من أقصى سرعة.
  - ينقص من السرعة الحسابية.
  - يزيد من أقصى سرعة.
٥. قطار يزن ٤٩٠ طناً ويسير بسرعة ٩٠ كيلومتر/ساعة، فإن كتلته ..... كجم وسرعته ..... متر/ثانية.
- ٢٥ & ٥٠٠٠ .
  - ٢٥ & ٤٩٠٠٠ .
  - ٢٥ & ٤٩٠ .
  - ٣٢٤ & ٥٠ .
٦. فترة الانطلاق الحر لمنحنى السرعة/الزمن لا تعتمد على:
- فترة التوقف.
  - المسافة بين الوقفتين.
  - الזמן الكلي للرحلة.
  - فترة التسارع.
٧. يمكن زيادة قوة الجر للقطارات الكهربائية ..... .
- بزيادة جهد المصدر.
  - باستخدام محركات ذات قدرة أعلى.
  - بزيادة الوزن على دواليب الحركة.
  - أ و ب مما سبق.
  - ب و ج مما سبق.
٨. تستخدم قوة الجر المولدة في القطارات الكهربائية ..... .
- لتسارع القطار.
  - للتغلب على تأثير الجاذبية الأرضية.
  - للتغلب على قوة المقاومة لحركة القطار.
  - جميع العناصر السابقة.

**أسئلة وتمارين متنوعة:**

**س ١** : ما هي مميزات استخدام الجر الكهربائي خاصة داخل المدن مقارنة بأنواع الجر الأخرى؟

**س ٢** : ناقش الأنواع المختلفة لنظم تغذية شبكات الجر الكهربائي.

**س ٣** : ما هو المقصود بمنحنى السرعة/الزمن؟ وماذا يمكن أن تستفيد منه عملياً؟

**س ٤** : عرف كل من: أقصى سرعة - السرعة المتوسطة - السرعة الحسابية. ثم ناقش العوامل التي تؤثر على السرعة الحسابية لحركة القطارات.

**س ٥** : ما هو المقصود بكل من فترة الإرساء - فترة الإنطلاق الحر لحركة القطارات؟

**تمرين ١** : قطار يزن ٢٦٠ طناً، بدأ حركته صاعداً لمستوى مائل ١:٢٠ بتسارع ١,٨ كيلومتر/ساعة/ثانية حتى وصلت سرعته ٧٠ كيلومتر/ساعة. أوجد مقدار قوة الجر اللازمة في هذه الحالة والقدرة اللازمة لدوالib التحرير عند نهاية فترة التسارع. إذا كانت المقاومة النوعية لحركة القطار  $t/N = 50$  والوزن المكافئ يزيد ١٥% عن الوزن الساكن.

**تمرين ٢** : قطار يزن ٢٥٠ طناً، بدأ حركته من السكون صاعداً لمستوى مائل ١:١٠٠ واستغرق ٢٠ ثانية لتصل سرعته ٤٥ كيلومتر/ساعة. إذا كانت نسبة تحويل صندوق التروس ٣,٢ وكفاءته ٩٢%، المقاومة النوعية لحركة القطار  $t/N = 40$ ، الوزن المتحرك يزيد ١٠% عن الوزن الساكن، قطر الدوّلاب ٩٢ سم. أوجد مقدار العزم المتولد بواسطة المحركات.

**تمرين ٣** : قاطرة تجر قطاراً يزن ٤٠٠ طن ليصعد مستوىً مائل ١:١٠٠ بتسارع ٠,٨ كيلومتر/ساعة/ثانية. معامل الالتصاق ٠,٢٥. احسب أقل وزن للقاطرة. إذا كانت المقاومة النوعية لحركة القطار  $t/N = 60$  والوزن المتحرك يزيد ١٠% عن الوزن الساكن.

**تمرين ٤** : قطار يسير بسرعة متوسطة مقدارها ٤٠ كيلومتر/ساعة بين محطتين المسافة بينهما ٢ كيلومتر، ويتوقف ٣٠ ثانية في كل محطة. يسير القطار بتسارع ثابت مقداره ١,٨ كيلومتر/ساعة/ثانية أثناء فترة التسارع، وبتقسيم ثابت مقداره ٣,٥ كيلومتر/ساعة/ثانية أثناء فترة الفرامل. احسب قيمة السرعة القصوى التي يصل إليها القطار بافتراض أن منحنى السرعة/الزمن شبه منحرف ثابت الارتفاع. احسب أيضاً السرعة الحسابية للقطار.



## الجر الكهربائي

### فرمولة الحركات الكهربائية

**الجذارة:** معرفة أنواع الفرامل الكهربائية وكيفية تطبيقها على المحركات الكهربائية.

### الأهداف:

عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

- ١ - معرفة الفرمula بإعادة التوليد وكيفية تطبيقها على محركات التيار المستمر والمتعدد.
- ٢ - معرفة الفرمula الديناميكية وكيفية تطبيقها على محركات التيار المستمر والمتعدد.
- ٣ - معرفة الفرمula بالتيار المعكوس أو التبديل وكيفية تطبيقها على محركات التيار المستمر والمتعدد.
- ٤ - مميزات وعيوب الطرق المختلفة لأنواع الفرامل الكهربائية.

**الوقت المتوقع للتدريب:** ٤ ساعات

### متطلبات الجذارة:

اجتياز مقررات آلات التيار المستمر والمتعدد.

## أنواع الفرامل الكهربائية

في كثير من التطبيقات الصناعية لابد من تواجد وسيلة لإيقاف فرملة الكتل المتحركة، ممثلاً في المحرك والحمل الميكانيكي المتصل به، لأسباب اقتصادية ولتحقيق السلامة الصناعية، ولا بد أيضاً من تواجد وسيلة للحد من السرعة الزائدة، في حالة الأحمال الهابطة تحت تأثير الجاذبية الأرضية، كما في الروافع والأوناش والمصاعد الكهربائية أو الكتل المنحدرة على مستوى مائل كما يحدث في المركبات الكهربائية. حيث تمتلك هذه الكتل كميات كبيرة من طاقة الوضع (Potential Energy) التي تحول إلى طاقة حركة (Kinetic Energy) فتكتسب هذه الكتل المتحركة سرعات كبيرة، فإنه يلزم في مثل هذه الحالات بذل عزم مضاد لاتجاه حركة الدوران، للتأثير على الكتل المتحركة لكي يمنع زيادة سرعتها عن الحد المسموح به، وقد يعمل أيضاً على تباطؤ سرعتها حتى توقف تماماً. هذا العزم المضاد يمكن توليده والحصول عليه بواسطة النوع المناسب من الفرامل، لذلك فإنه يجب اختيار نوع الفرملة المناسب حسب نوع نظام التحريك، وبصفة عامة فهناك نوعان من الفرامل:

### ♦ الفرامل الميكانيكية.

### ♦ الفرامل الكهربائية.

**تمتاز الفرامل الكهربائية عن نظيرتها الميكانيكية بما يلي:**

- تحتاج إلى جهد وتكلفة أقل للصيانة وللعناية بالأجهزة المستخدمة.
  - النظافة لعدم وجود المخلفات الناتجة عن الاحتكاك كما في الفرامل الميكانيكية.
  - يمكن السيطرة على كميات الحرارة الكبيرة الناتجة عن عملية تحويل طاقة الحركة، ففي معظم الأحيان يمكن تجهيز الوسائل المناسبة للاستفادة من الحرارة المتولدة أثناء الفرامل، باستعمالها للتتدفئة (مثلاً) أثناء فصل الشتاء، أو لإعادة تحويل طاقة الحركة إلى طاقة كهربائية، وإعادة تغذيتها إلى الشبكة الكهربائية.
  - يمكن الحصول على تباطؤ أقل بكثير في حالة الفرامل الكهربائية، عن نظيرتها الميكانيكية، بحيث يتم الإيقاف بنعومة تامة، حفاظاً على راحة الركاب على ظهر المصعد أو الحافلة الكهربائية.
- في حالة الأحمال الميكانيكية الثقيلة، فإن الفرامل الكهربائية والميكانيكية يستخدمان معاً للتحكم الجيد في فرملة الأجزاء المتحركة.

يمكن تقسيم الفرامل الكهربائية إلى نوعين:

- الفرامل بواسطة المحرك الكهربائي نفسه المستخدم للتحريك بعد إجراء التعديلات اللازمة لدائرته الكهربائية.
- الفرامل بواسطة وحدة فرامل كهربائية مستقلة بذاتها مثل وحدة الفرامل باستخدام التيارات الإعصارية.

وفيما يلي سوف نستعرض أنواع الفرامل بواسطة المحرك الكهربائي المستخدم للتحريك وطرقها المختلفة الشائعة الاستعمال في الحياة العملية وكيفية تطبيقها:

- أ. فرملة بإعادة التوليد.
- ب. فرملة الديناميكية أو باستخدام المقاومة المتغيرة.
- ت. فرملة بالتيار المعكوس أو التبديل.

يمكن تطبيق هذه الطرق الثلاث على أنواع آلات التيار المستمر والتردد الشائعة الاستخدام في الصناعة.

#### أولاً: فرملة محركات التيار المستمر.

##### ١. الفرملة بإعادة التوليد: Regenerative Braking

عند تطبيق هذه الطريقة، يعمل المحرك الكهربائي كمولد للطاقة الكهربائية بينما يظل موصلاً بمصدر الجهد، وعندما يقوم بتحويل طاقة الحركة المخزونة بالكتل المتحركة إلى طاقة كهربائية، ويعيدها إلى الشبكة. يجب أن تكون قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة، أكبر من جهد المصدر المتصل به المحرك، هذا يتحقق إما بخفض جهد المصدر حتى يصبح أقل من القوة الدافعة الكهربائية للمحرك، أو بزيادة القوة الدافعة الكهربائية للمحرك بزيادة تيار المجال.

ففي حالة محركات التيار المستمر سواء كان من النوع ذي التغذية المستقلة أو من النوع ذي التغذية الذاتية (توصيله التوازي)، فإن قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة يتم زيتها عن طريق زيادة قيمة تيار المجال، أو عندما تزداد سرعة المحرك عن سرعة اللاحمel (كما يحدث في حالة الأحمال الهابطة تحت تأثير الجاذبية الأرضية).

يجب أن يكون واضحاً للمتدرب أن الفرملة بإعادة التوليد تخفض من سرعة المحرك فقط ولا تسبب أيقافه كلياً عن الدوران. ومن أهم مميزاتها هي التوفير في الطاقة المستخدمة، وإعادة طاقة الحركة المخزنة بالكتل المتحركة إلى مصدر الجهد.

مثال ١ □ : محرك تيار مستمر توصيله توازي، ٢٢٠-V، القوة الدافعة الكهربائية المترولة V-٢١٥، عندما كانت سرعة المحرك ١١٥٠-r.p.m. مقاومة المنتج  $\Omega_{٠٠٤}$ ، الحمل عبارة عن عزم دوران مقداره (  $١٩ \text{ Kg.m}^٢$  ). أوجد أقل سرعة فرمليّة للمotor، إذا كان المطلوب استخدام الفرمula بطريقة التوليد المرتجل مع الإحتفاظ بثبات تيار المجال.

أقل سرعة فرمليّة للمmotor، هي تلك السرعة التي تصل إليها الآلة ويصبح عندها عزم الدوران المضاد للمولد مساوياً لعزم الحمل (  $١٩ \text{ Kg.m}^٢$  ).

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{where } 1 \text{ for the motor case, } 2 \text{ for the generator case}$$

$$T = \frac{E_1 \cdot I_{a1}}{\omega_1} = \frac{E_2 \cdot I_{a2}}{\omega_2} \quad \text{N.m.}$$

$$I_{a2} = T \times \frac{\omega_2}{E_2} = T \times \frac{\omega_1}{E_1} = 19 \times 9.81 \times \frac{2\pi N_1}{60} \times \frac{1}{E_1} \quad \text{Amp.}$$

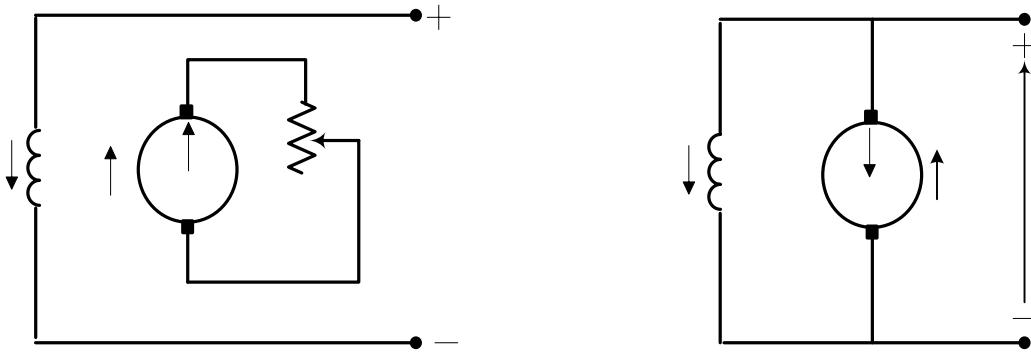
$$I_{a2} = 19 \times 9.81 \times \frac{2\pi \times 1150}{60} \times \frac{1}{215} = 104.4 \quad \text{Amp.}$$

$$E_2 = V + I_{a2} R_a = 220 + 104.4 \times 0.04 = 224.17 \quad \text{Volt}$$

$$N_2 = N_1 \frac{E_2}{E_1} = 1150 \times \frac{224.17}{215} = 1200 \quad \text{r.p.m.}$$

## ٢. الفرمula الديناميكية: Dynamic Braking

في هذه الطريقة يعمل المحرك الكهربائي أيضاً كمولد للطاقة الكهربائية، وبدلاً من إعادة الطاقة المترولة إلى مصدر الجهد، فإنها تستهلك على شكل حرارة في مقاومة إضافية خصصت لهذا الغرض مضافة بدائرة المحرك، فيتم توصيل المحرك بها بعد فصله من المصدر مباشرة، فيؤدي ذلك إلى تباطؤ الآلة تدريجياً. يفضل في هذه الحالة، الاحتفاظ بقيمة ثابتة للتيار المار في المقاييس الإضافية، وذلك أما بخفض قيمة المقاومة بما يتاسب مع الخفض المستمر في السرعة، أو بزيادة تيار المجال تدريجياً لزيادة الجهد المترول وتعويض النقص المستمر الناتج عن تباطؤ السرعة، وهذا ما يحدث في محركات التيار المستمر ذات التغذية المستقلة أو الموصولة على التوازي. الشكل ١ □ يبين كيفية توصيل محرك التوازي أثناء الفرمula الديناميكية.



شكل ١

كيفية توصيل محرك التوازي أثناء الفرملة الديناميكية

مثال ٦ : محرك تيار مستمر، توالى، قدرته ١٥ حصان،  $230\text{-}V$ ، مقاومة المنتج  $\Omega = 0.38$ ، وتيار حمله الكامل  $54\text{ Amp}$ . المطلوب فرمليته ديناميكيا . احسب قيمة المقاومة الإضافية، التي يجب أن توصل مع المنتج لاستهلاك القدرة المتولدة أثناء الفرملة، بفرض أن القوة الدافعة المتولدة عند لحظة الفرملة، تساوي  $0.9$  من قيمة جهد المصدر، وإن أقصى قيمة للتيار أثناء الفرملة ينبغي ألا تتعدي  $1.75$  من قيمة تيار الحمل الكامل.

$$\mathbf{E_b}$$

$$\text{The back e.m.f.} = 0.9 \times 230 = 207 \text{ volt}$$

$$\text{The max. braking current} = 1.75 \times 54 = 94.5 \text{ Amp.}$$

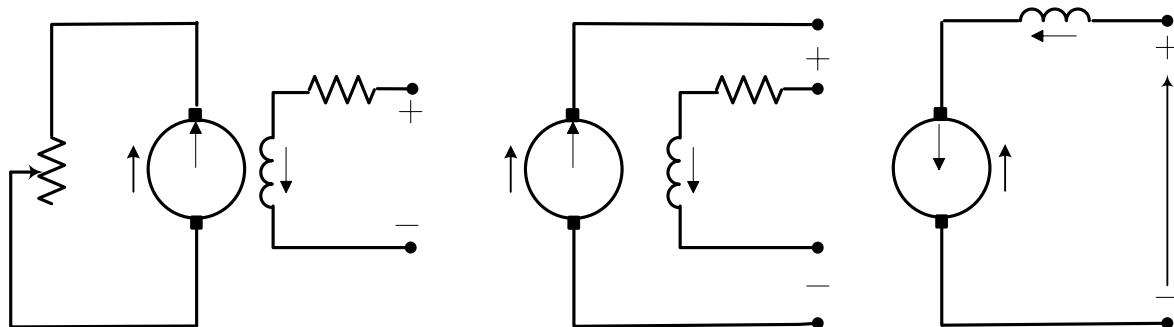
$$\text{The total resis tan ce} = R_a + R = \frac{207}{94.5} = 2.19 \Omega$$

$$\text{The additional resis tan ce} = 2.19 - 0.38 = 1.81 \Omega$$

$$\mathbf{I_a}$$

عند استخدام الطريقتين السابقتين، في حالة محركات التيار المستمر ذات تغذية التوالى، لابد من فصل ملفات المجال عن ملفات المنتج، وتغذيتها تغذية مستقلة أثناء استخدام الفرامل، حتى يتثنى زيادة تيار المجال للحصول على قيمة القوة الدافعة الكهربائية اللازمة لتحويل الآلة إلى مولد. الشكل ٦ يبين كيفية توصيل محرك التيار المستمر ذي تغذية التوالى، أثناء التشغيل العادى (a)، وأثناء استعمال الفرامل بطريقة إعادة التوليد (b)، وأثناء تطبيق الفرملة الديناميكية (C)

ومما يجدر بالذكر هنا أن جميع أنواع الآلات الكهربائية تحول في نعومة تامة من محرك إلى مولد إذا ما انعكس اتجاه تيار المنتج بها.



شكل ٦-٢

توصيل مotor التوالي أثناء الفرامل الكهربائية.

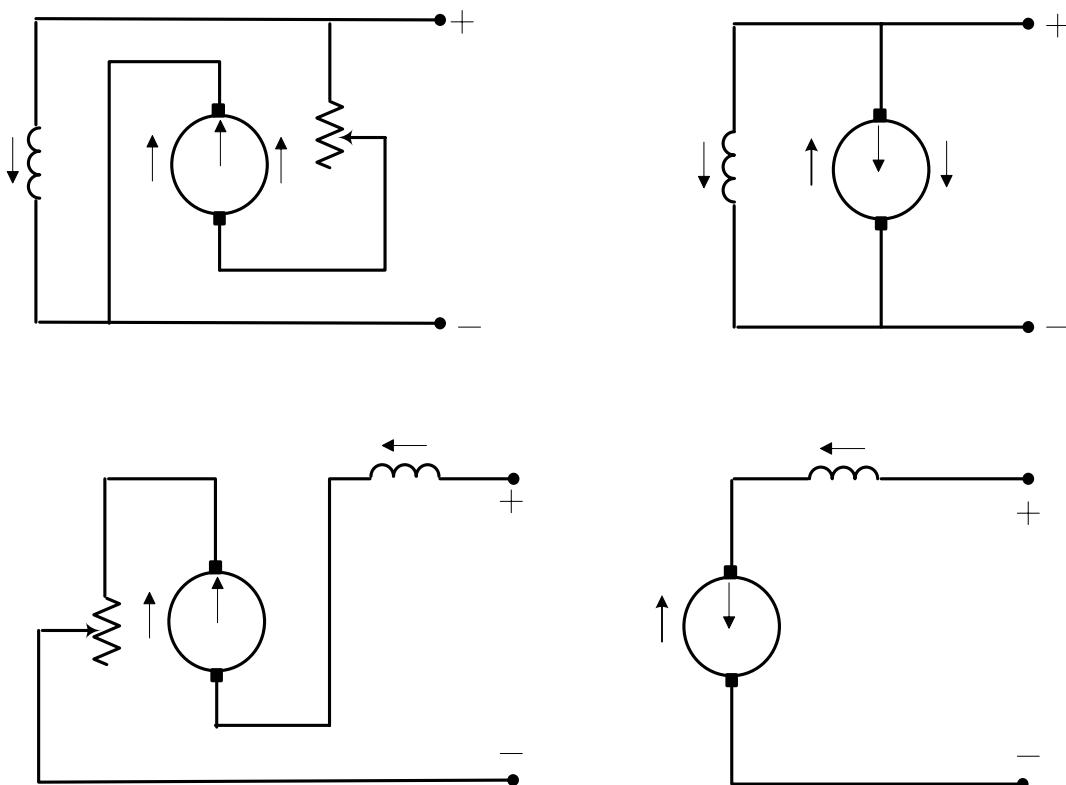
### ٣. الفرملة بالتيار المعكوس أو التبديل :

في هذه الطريقة يتم عكس اتجاه عزم دوران المmotor، بحيث يحاول عكس اتجاه دورانه، وذلك بعكس اتجاه التيار إما في ملف المنتج أو في ملف المجال (ولكن ليس في الأثنين معاً)، والأنسب هو عكس اتجاه التيار في ملف المنتج، فتتبايناً سرعة المmotor والآلية العاملة حتى تصل إلى الصفر، ثم يبدأ المmotor حركته في الاتجاه المضاد، لذلك فإنه يلزم استخدام جهاز خاص لفصل التيار عن المmotor، عندما تصل سرعته إلى الصفر.

يلاحظ أنه عند تبديل طريقة المنتج أثناء دوران المmotor، تصبح قطبية القوة الدافعة الكهربائية المتولدة مضافة لجهد المصدر بعد أن كانت تضاده، وهذا يعني أن ضعف جهد المصدر أصبح مسلطاً على طرفي المنتج، مما يستدعي ضرورة اتخاذ الاحتياطات اللازمة لحماية ملفات المنتج من التيار الابتدائي لفرملة، وذلك بتوصيل مقاومة خارجية على التوالي مع مقاومة المنتج، تماماً كما يحدث عند بدء الحركة، ومن عيوب هذه الطريقة، الملاقط المهدمة من المصدر، بالإضافة إلى الطاقة المطلوب تبديدها من الكتل المتحركة، واحتمال عدم الدقة في فصل المصدر الكهربائي عند وصول السرعة إلى الصفر، إلا

$I_f$   $I_a$   $F$   
أنها طريقة فعالة لفرملة المmotor.

الشكل ٣ يبين كيفية توصيل محركات التيار المستمر أشاء التشغيل العادي، والتوصيل أشاء استعمال الفرامل بالتبديل، لمحرك التوازي (a)، ومحرك التوالي (b).



شكل ٣ توصيل محركات التيار المستمر أشاء الفرملة بالتبديل

مثال ٣ : محرك للتيار المستمر توصيلة التوازي، ٢٢٠ فولت، ١٨.٤ وات، سرعته عند الحمل الكامل ٦٠٠ لفة في الدقيقة، مطلوب فرمته بالتيار المعاكس (التبديل)، أوجد :

أ. قيمة المقاومة الإطالة التي يجب توصيلها على التوالي مع ملف المنتج، إذا كانت قيمة التيار الإبتدائي أشاء الفرملة ينبغي ألا تتعدي ١٥٠ أمبير.

ب. القيمة الإبتدائية لعزم الفرملة.

ج. قيمة عزم الفرملة عندما تهبط سرعة الدوران إلى نصف قيمتها عند الحمل الكامل.

د. إذا كان تيار الحمل الكامل ٩٥ أمبير، ومقاومة المنتج ٠.١ او.

V

$$T \propto I$$

$$\frac{\text{Full load torque}}{\text{Initial braking Torque}} = \frac{\text{Full load current}}{\text{Initial braking current}}$$

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} = 62.8 \text{ rad/sec.}$$

$$\text{Full load Torque} = \frac{P}{\omega} = \frac{18.4 \times 1000}{62.8} = 293 \text{ N.m}$$

$$\text{Initial braking Torque} = 293 \times \frac{130}{95} = 401 \text{ N.m}$$

عندما تهبط سرعة الدوران إلى نصف قيمتها عند الحمل الكامل، تهبط أيضاً قيمة القوة الدافعة الكهربائية العكسية إلى نصف قيمتها عند الحمل الكامل.

When the speed has fallen to half its full load value, the back e.m.f. also

$$\text{falls to half of its original value i.e. } \equiv \frac{210.5}{2} = 105.25 \text{ Volt}$$

$$\text{The current} = \frac{220 + 105.25}{3.3123} = 98 \text{ Apm.}$$

$$\text{Electric braking torque at half full speed} = 293 \times \frac{98}{95} = 302 \text{ N.m}$$

مثال ٤ : محرك للتيار المستمر توصيله التوازي، ٤٠٠ فولت، تيار الحمل الكامل ٢٠٠ أمبير، ومقاومة المنتج ١٠ أوم، سرعته عند الحمل الكامل ٦٠٠ لفة في الدقيقة، مطلوب فرمليته بالتيار المعاكس (التبديل) أحسب:

- أ. قيمة المقاومة التي يجب توصيلها على التوالى مع دائرة المنتج، لمنع زيادة التيار الابتدائى أشاء الفرملا الكهربائية عن ٣٠٠ أمبير.
- ب. القيمة الابتدائية لعزم الفرملا.
- ج. قيمة عزم الفرملا عندما تهبط سرعة الدوران إلى نصف قيمتها عند الحمل الكامل.

Full load current  $\equiv I_a = 200$  Amp.

Terminal voltage  $\equiv V = 220$  Volt

$$E_b = V - I_a \cdot R_a = 400 - 200 \times 0.1 = 380 \text{ Volt}$$

Voltage across the armature at the instant of braking  $= V + E_b$

$$= 400 + 380 = 780 \text{ Volt}$$

Resistance required in the armature circuit to limit the current to 130 Amp.

$$= \frac{780}{300} = 2.6 \Omega$$

The external resistance required in the armature circuit  $= 2.6 - 0.1 = 2.5 \Omega$

$$T \propto I_a$$

$$\frac{\text{Full load torque}}{\text{Initial braking Torque}} = \frac{\text{Full load current}}{\text{Initial braking current}}$$

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} = 62.8 \text{ rad/sec.}$$

$$\text{Full load Torque} = \frac{P}{\omega} = \frac{E_b \cdot I_a}{\omega} = \frac{380 \times 200}{62.8} = 1209 \text{ N.m}$$

$$\text{Initial braking Torque} = 1209 \times \frac{300}{200} = 1813.5 \text{ N.m}$$

## ثانياً: فرملة المحركات الحثية ثلاثية الأوجه.

### • الفرملة بإعادة التوليد: Regenerative Braking

يمكن تطبيق هذه الطريقة على المحركات الحثية ثلاثية الأوجه، عندما تصبح سرعة المحرك أكبر من سرعة التزامن ويصبح الانزلاق سالباً، فيتحول المحرك الحثي إلى مولد حثي، يحدث هذا غالباً في حالة الأحمال الهاابطة تحت تأثير الجاذبية الأرضية كما في المصاعد والروافع والأوناش. يمكن التحكم في سرعة التزامن باستخدام مصدر متغير التردد لتغذية المحرك، فكلما قلت سرعة المحرك تُقصى من قيمة التردد، بحيث تتم عملية الفرامل بعزم فرولي ثابت، وبالتالي تيار ثابت القيمة بملفات العضو الثابت.

يمكن أيضاً في حالة المحركات الحثية ثلاثية الأوجه، ذات العضو الدائري ذي القفص السنجابي، إنقاص سرعة التزامن، بزيادة عدد الأقطاب في العضو الثابت (بواسطة توصيلات خاصة)، فتقل سرعة التزامن عن سرعة المحرك وتبدأ عملية الفرامل.

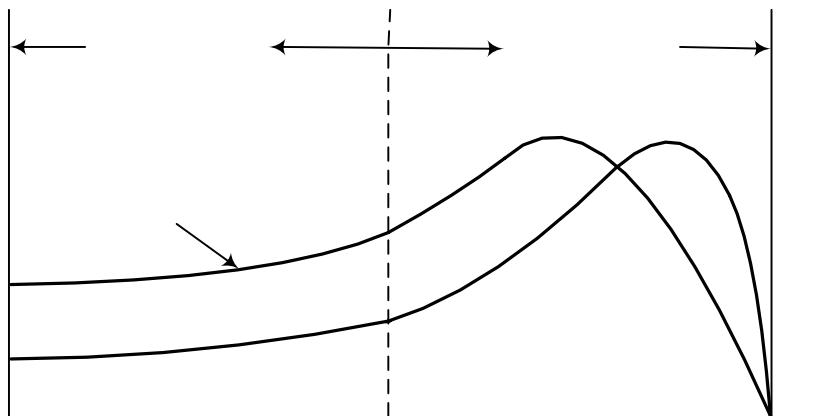
### • الفرملة الديناميكية باستخدام التيار المستمر: Rheostatic or DC Dynamic Braking

يتم تطبيق هذه الطريقة على المحركات الحثية ثلاثية الأوجه، بفصل ملفات العضو الثابت الثلاثية، من مصدر التيار المتردد، وتغذيتها من مصدر تيار مستمر، بين طرفين أو ثلاثة أطراف، لتوليد مجال مغناطيسي ثابت. تتولد قوة دافعة كهربائية في ملفات الدوار المقصورة نتيجة لدورانها في المجال المغناطيسي الناتج عن تغذية ملفات العضو الثابت بالتيار المستمر، لذلك سوف يسري تيار في ملفات الدوار نتيجة للقوة الدافعة الكهربائية المتولدة مسبباً عزماً فرملياً. يمكن التحكم في قيمة العزم الفرولي المتولد، بالإضافة مقاومات خارجية للدوار في حالة المحرك ذي العضو الدائري الملفوف، وقد تُستعمل هذه المقاومات نفسها كمقاومات لبدء الحركة، أما في حالة المحركات الحثية ثلاثية الأوجه ذات العضو الدائري ذي القفص السنجابي، فإنه يكتفى بالمقاومات الداخلية للفصل السنجابي لتبييد الطاقة الكهربائية المتولدة بها

• الفرملة بالتيار المعاكس أو التبديل: Reverse Current Braking or Plugging:

يمكن تطبيق هذه الطريقة في حالة المحركات الحثية ثلاثية الأوجه، وذلك بتبديل أي طرفين من أطراف تغذية المحرك، فينعكس اتجاه دوران المجال المغناطيسي الدوار، وينعكس تبعاً لذلك اتجاه العزم المولد، فتبطأ سرعة المحرك حتى تصل إلى الصفر في فترة زمنية وجيزة جداً، حيث يستوجب لحظتها فصل المحرك عن مصدر الجهد، وإلا فسوف يبدأ المحرك حركته في الاتجاه المضاد.

الشكل ٤-٦ يبين العلاقة بين العزم والسرعة خلال فترة الفرامل. عند اللحظة الأولى، بعد تبديل طرفي المحرك، يكون الدوار دائراً بالسرعة  $N_s$  ضد اتجاه المجال المغناطيسي، فتكون سرعته بالنسبة للمجال هي  $(N_s + N \approx 2N_s)$ ، ويكون الإنزلاق مساوياً ( ٢ p.u ) . العزم BC المبين بالشكل، يمثل عزم الدوران الفريلي عند اللحظة الأولى للتبديل، يتزايد هذا العزم كلما تباطأ المحرك واقتربت سرعته من الصفر . المحركات الحثية ذات العضو الدائري الملفوف أكثر ملائمة لتطبيق هذه الطريقة، حيث يمكن إضافة مقاومة خارجية مع مقاومة الدوران، فيزداد عزم الفرامل إلى القيمة AC كما هو مبين بالشكل ٤-٦



شكل ٤-٦

علاقة العزم مع السرعة للمحركات الحثية أثناء الفرملة بالتبديل

- فرملة المحركات الحثية ثلاثية الأوجه باستخدام التوصيلات غير المتماثلة:

يتم تغيير توصيلات ملفات العضو الثابت للمحرك الحثي ثلاثي الوجه لتتصبح موصلة بصورة غير متماثلة مع الشبكة الكهربائية، بحيث يتكون مجال مغناطيسي دوار خلفي يدور ضد اتجاه دوران العضو الدائر مما ينتج عنه عزم دوران خلفي يعمل على فرملة المحرك. ولكي يتمكن العزم الخلفي من إيقاف المحرك يجب أن يكون أكبر من عزم الدوران الناتج عن المجال المغناطيسي الأمامي، كما أنه يكون من الضروري تلاشي الفرق بين عزمي الدوران الفرولي والأمامي عندما تصل سرعة المحرك إلى الصفر (وهذا يتحقق فقط باستخدام التوصيلات غير المتماثلة المحققة لهذا الشرط)، حتى لا يبدأ المحرك في الدوران في الاتجاه المضاد.

**أسئلة وتمارين متنوعة:**

**س ١** : أذكر مميزات استخدام الفرامل الكهربائية عن نظيرتها الميكانيكية.

**س ٢** :وضح كيف يمكن استخدام الفرامل بكل من الطرق الآتية لمحركات التيار المستمر: التيار المعاكس - الفرامل الديناميكية - الفرامل بإعادة التوليد.

**س ٣** :وضح كيف يمكن استخدام الفرامل بكل من الطرق الآتية للمحركات الحثية ثلاثة الأوجه: التيار المعاكس - الفرامل الديناميكية - الفرامل بإعادة التوليد.

**س ٤** : لماذا يجب أن تكون المقاومة المضافة لدائرة المنتج، أثناء استعمال الفرامل الديناميكية في محركات التوالي للتيار المستمر، أقل من المقاومة الحرجة؟

**س ٥** : ما فائدة إضافة مقاومة خارجية للدوران للمحركات الحثية ثلاثة الأوجه ذات العضو الدوار الملفوف أثناء فترة الفرامل باستخدام التيار المعاكس؟ وضح اجابتك بالرسم.

**تمرين ٦-١** : محرك تيار مستمر، توالي، قدرته ٢٥ حصان، ٧٠٣٨  $\Omega$ ، وتيار حمله الكامل ٩٠ Amp، المطلوب فرملته ديناميكياً. احسب قيمة المقاومة الإضافية التي يجب أن توصل مع المنتج لاستهلاك القدرة المتولدة أثناء الفرملة، بفرض أن القوة الدافعة المتولدة عند لحظة الفرملة تساوي ٩٥٪ من قيمة جهد المصدر، وإن أقصى قيمة للتيار أثناء الفرملة ينبغي ألا تتعدي ١.٦ من قيمة تيار الحمل الكامل .

$$(Ans. R_{ad} = 1.2 \Omega)$$

**تمرين ٦-٢** : محرك للتيار المستمر توصيله التوازي، ٢٥ حصان، ٤٠٠ فولت، و مقاومة المنتج ٢٠٪، سرعته عند الحمل الكامل ٤٥٠ لفة في الدقيقة، كفاءة عند الحمل الكامل ٧٤.٦٪، مطلوب فرملته بالتيار المعاكس (التبديل) أحسب:

- i) قيمة المقاومة التي يجب توصيلها على التوالي مع دائرة المنتج، إذا كان أقصى تيار أثناء الفرملة ينبغي ألا يتعدى ضعف تيار الحمل الكامل. (Ans. ٦.١  $\Omega$ )
- ii) أقصى عزم فرمي. (Ans. ١٠٢٨ N.m.)
- iii) قيمة العزم عندما يتوقف المحرك. (Ans. ٥٢٢ N.m.)

تمرين ٦-٣ : محرك تيار مستمر، توازي،  $250\text{-V}$ ، القوة الدافعة الكهربائية المتولدة  $245\text{-V}$ ، عندما كانت سرعة المحرك  $1200\text{-r.p.m.}$ ، مقاومة المنتج  $0.05 \Omega$ ، وكان الحمل ذا عزم دوران مقداره  $200 \text{ N.m}$ . احسب أقل سرعة فرملية للمحرك، إذا كان المطلوب استخدام الفرمولة بطريقة التوليد المرتجل، مع الاحتفاظ بثبات تيار المجال.

(Ans.  $N_b = 1250 \text{ r.p.m.}$ )



## الجر الكهربائي

### اختيار محرك الجر المناسب

اختيار محرك الجر المناسب

٧

**الجدارة:** معرفة العوامل التي يجب مراعاتها عند اختيار المحرك الكهربائي المناسب لقيادة حمل معين.

#### **الأهداف:**

عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على معرفة كيفية اختيار المحرك الكهربائي المناسب لحمل معين اعتماداً على:

- ١ - الخواص الكهربائية.
- ٢ - العوامل الميكانيكية.
- ٣ - حجم المحرك وقدرته.
- ٤ - كلفة المحرك.

**الوقت المتوقع للتدريب:** ساعتان

#### **متطلبات الجدارة:**

التدريب على جميع المهارات لأول مرة.

## اختيار محرك الجر المناسب لحمل معين

تتمتع وسائل التحرير الكهربائي بمميزات متعددة لذلك فهي أفضل وسائل التحرير والتدوير المستخدمة في أغلبية التطبيقات الصناعية، العنصر الرئيسي في هذه الوسائل هو المحرك الكهربائي الذي له مميزات عديدة أهمها:

- ملاءمتها التقنية والاقتصادية للمتطلبات الخاصة في التطبيقات الصناعية.
- يمكن تصميمه بقدرات متفاوتة تتراوح من جزء من ألف من الوات إلى عشرات الآلاف من الكيلووات.
- ذو مدى كبير في السرعة يتراوح من خمسين لفة في الدقيقة إلى عشرين ألف لفة في الدقيقة.
- إمكانية التنظيم والتحكم السهل في سرعة الدوران.
- سهولة بدء حركته وإيقافه وعكس اتجاه دورانه.
- لا يحتاج إلى وقت لتجهيزه للعمل.
- سهولة صيانته وقلة كلفتها.

## العوامل التي يجب مراعاتها عند اختيار المحرك الكهربائي

اختيار المحرك الكهربائي يعتمد على الظروف التي سيعمل تحتها ونوع الحمل الذي سيحركه، فهناك عدة عوامل يجب مراعاتها عند اختيار المحرك الكهربائي ليناسب أحدى التطبيقات الصناعية وأهمها:

### ١) الخواص الكهربائية:

- أ. خواص بدء الحركة، من حيث قيمة كل من عزم بدء الحركة وتيار بدء الحركة.
- ب. خواص المحرك أثناء التشغيل، العلاقة بين عزم الدوران والسرعة، العلاقة بين السرعة والتيار، المفقودات، الكفاءة، إلخ.... .
- ج. مدى التحكم في سرعة الدوران أثناء التشغيل.
- د. كيفية إيقاف المحرك وفرملته.

**٢) اعتبارات ميكانيكية:**

- أ. نوع الغلاف الخارجي للmotor، وكيفية ونوع التبريد المستخدم للمotor.
- ب. نوع الكراسي المستخدمة.
- ج. كيفية نقل الحركة بين المحرك والحمل.
- د. مستوى الضوضاء الذي يصدره المحرك.

**٣) حجم المحرك والقدرة المصمم عليها:**

- أ. متطلبات التحميل من حيث إنه مستمر أو قصير الأمد أو متقطع.
- ب. مقدرة المحرك للتعامل مع أحمال زائدة عن قدرته المقننة.

**٤) كلفة المحرك:**

- أ. من حيث الكلفة الابتدائية وكلفة التشغيل.

بالإضافة إلى العوامل السابقة يجب أن نأخذ في الاعتبار نوع التيار المستخدم، من حيث كونه تياراً مستمراً أو متزدراً أحادي أو ثلاثي الأوجه. مما سبق يتضح أن هناك عوامل كثيرة، يجب إعتبارها عند اختيار محرك لقيادة حمل معين، وبالرغم من أن كلفة المحرك جاءت في آخر القائمة السابقة، إلا أن القرار الأخير في اختيار المحرك، يتوقف عليها بدرجة كبيرة. المحرك المطلوب اختياره يجب أن يلبي كل متطلبات الحمل التقنية، وفي نفس الوقت يجب أن لا يكون عالي الكلفة حتى يكتب له النجاح من الناحية الاقتصادية. في الواقع فإن كيفية الاختيار الموفق للمotor يتطلب دراسة دقيقة وتحليل لخواص المحرك والحمل معاً، بالإضافة إلى الدراية التامة بمجمل نظام التحريك وأجهزة التحكم المطلوبة التي يمكن أن تحتوي على أجهزة تبديل التيار وتغيير التردد.

العوامل سالفة الذكر وتأثيرها على أنواع المحركات المختلفة، سوف تناقش بالتفصيل كل على حدة في الجزء التالي، لتوضيح تأثير كل منها:

**١) الخواص الكهربائية :**

خواص المحركات المختلفة من حيث خواص التشغيل وخواص بدء الحركة والتحكم في السرعة، تم دراستها في مقررات آلات التيار المستمر وآلات التيار المتردد والآلات صغيرة القدرة.

**٢) الاعتبارات اليكаниكية :**

**أ) نوع الغلاف المستخدم:** الهدف الرئيسي من الإطار الخارجي للmotor، هو لتوفير الحماية ليس فقط للأشخاص والعاملين، ولكن أيضا لتوفير الحماية للمotor نفسه، ضد الرطوبة والأوساخ والأترية والأجسام الغريبة، وما قد يتسرّب للmotor من أبخرة ومواد قابلة للاشتعال.

١. النوع المفتوح.
٢. النوع محمي بشبكة.
٣. النوع محمي ضد تاثير السوائل والغبار.
٤. النوع محمي ضد الأمطار.
٥. النوع المغلق ذو التبريد الذاتي.
٦. النوع المغلق ذو التبريد المنفصل.
٧. النوع المزود بانابيب للتبريد.
٨. النوع المصمم ضد الانفجار.

**ب) نوع الكراسي المستخدمة:** هناك نوعان من الكراسي المستخدمة في المحركات الكهربائية وهما: كراسي المحور الكروية وكراسي المحور الإسطوانية.

**١) كراسي المحور الكروية:** تستخدم في المحركات التي تصل قدرتها حتى مئة حصان، وهي تفضل عن الأنواع الأخرى بسبب فوائدها العديدة التي أهمها: قلة مفقودات الإحتكاك، تحتاج لصيانة أقل، وتدوم أطول من الكراسي الأخرى، كما أن استخدامها في المحركات الحثية يتيح إمكانية تصغير الثغرة الهوائية بين الثابت والدوار. إلا أن عيوبها الرئيسية هي كلفتها العالية والضوضاء التي تحدثها خصوصا عند السرعات العالية.

(ii) **كراسي المحور الإسطوانية:** وتمتاز بهدوء الصوت، وتستخدم في المحركات التي تعمل في الأماكن التي يجب الحرص على تقليل مستوى الضوضاء فيها، كالمستشفيات والمكاتب والقاعات الدراسية.

(ج) **كيفية نقل الحركة:** يجب نقل القدرة الميكانيكية المتولدة على محور المحرك لقيادة الحمل الميكانيكي، فهناك طرق عديدة لقيادة الحمل وأهمها:

(i) **القيادة المباشرة:** في هذا النوع من القيادة، وهو أبسط طريقة لقيادة الحمل، يوصل المحرك بالحمل مباشرة بواسطة إزدوج ميكانيكي صلب أو مرن، وصلة الإزدوج المرنة تتيح امكانية عدم تطابق المحورين افقياً أو رأسياً في حدود قليلة. تستخدم القيادة المباشرة فقط عندما تكون سرعة الحمل متساوية لسرعة المحرك.

(ii) **القيادة بواسطة السيور البسططة:** يمكن بواسطتها نقل قدرة حتى مئتين وخمسين كيلووات، ويستحسن عند استخدام هذه الطريقة أن تكون أقل مسافة بين محور البكرتين متساوية لأربعة إلى خمسة أضعاف قطر البكرة الأكبر، وبحيث تكون أقصى نسبة بين قطري البكرتين هي ٦:١، كما يوجد في هذه الحالة إنزلاق في حدود ثلاثة إلى أربعة في المئة. من عيوب هذه الطريقة أنها تحتاج لمساحة كبيرة، كما أن السيور تبذل شدًا جانبياً على الكراسي مما يتسبب في زيادة المفقودات الإحتكاكية بها وتأكلها.

(iii) **القيادة بواسطة السيور التي على شكل V:** في هذا النوع تستخدم مجموعة من السيور على شكل V، بين بكرتين بهما مجار على نفس الشكل، وتستخدم هذه الطريقة لنقل العزم الكبير التي تفوق قدرة السيور البسططة، كما أنها تعمل بانزلاق صغير يمكن اهماله.

(iv) **القيادة بواسطة السلاسل:** هذه الطريقة أكثر كفاءة وتستخدم في السرعات العالية، إلا أن كلفها أكبر، ولكنها تحتاج لمساحة أقل من سابقتها، حيث تكون المسافة المطلوبة بين محور البكرتين، من مرة ونصف إلى مرتين من قطر البكرة الأكبر. وتستعمل في الأماكن الرطبة وكثيرة الغبار بحيث تكون السلاسل محمية بواسطة غطاء خاص بها، كما يجب أن يكون المحوران متوازيين تماماً، لتفادي الشد الجانبي على محور البكرتين.

(v) **القيادة بواسطة صندوق التروس:** تستخدم هذه الطريقة عندما يستعمل محرك ذو سرعة عالية لقيادة حمل ذي سرعة بطئ، وبيني المحرك في هذه الحالة وبداخله صندوق التروس بنسبة التحويل المطلوبة لتعديل السرعة.

**د) مستوى الضوضاء الذي يصدره المحرك :** الضوضاء تتوج داخل المحرك للأسباب الآتية:

أ) المجال المغناطيسي المتعدد داخل الآلة، وما يسببه من اهتزازات في شرائح الحديد وجسم المحرك.

ب) حركة الهواء داخل الآلة.

ج) الإحتكاك في الكراسي.

يجب خفض مستوى الضوضاء إلى أقل مستوى ممكن، خصوصا في المحركات التي تستخدم في المستشفيات والمكاتب والمسارح والقاعات الدراسية. ولخفض انتقال الضوضاء من المحرك إلى الأماكن الأخرى، يجب استعمال قواعد ثبيت مطاطية أو زنبركات حلزونية لثبيت المحرك وامتصاص الاهتزازات.

### ٣) حجم المحرك وقدرته المقننة :

العوامل التي تحكم في حجم وقدرة المحرك هي أقصى درجة حرارة يصل إليها المحرك أثناء الخدمة تحت ظروف تشغيل الحمل، من حيث أنه مستمر أو متقطع أو قصير الأمد، وأقصى عزم دوران مطلوب من المحرك. وقد وجد أن المحرك الذي يحقق الشرط الأول إلخاًص بدرجة الحرارة، يحقق أيضاً الشرط الثاني إلخاًص بالعزم المطلوب . والجدير بالذكر هنا أن أقصى درجة حرارة يتم تصميم المحرك على أساسها تعتمد على نوع المواد العازلة المستخدمة في المحرك، وتصنف هذه المواد العازلة إلى أنواع حسب درجة الحرارة القصوى التي تتحملها

**أ) متطلبات التحميل من حيث إنه مستمر أو قصير الأمد أو متقطع:**

يتم عادة تصميم المحركات الكهربائية على أساس مقدار الزمن الذي تعمل فيه الآلة بالحمل المطلوب وكذلك مقدار الزمن الذي تكون فيه الآلة متوقفة عن العمل أو تدور فيه بدون حمل، على هذا الأساس فإن القواعد التي تتبع لاختيار المحركات الكهربائية تشير لإمكانية تصنيف المحركات حسب خطة التشغيل الزمني لها، وما يلي بعض أنواع التشغيل للمحركات:

**أ) التشغيل المستمر:** تحتاج الآلة العاملة لأداء وظيفتها في هذه الحالة إلى تشغيل المحرك بالحمل الكامل

وبصفة مستمرة بحيث تصل درجة الحرارة في جميع أجزاء المحرك إلى قيمتها القصوى التي تم

تصميم المحرك على أساسها ولا تتعادها مع استمرار التشغيل لأية فترة بعد ذلك، الشكل ١٨. □ ٧.

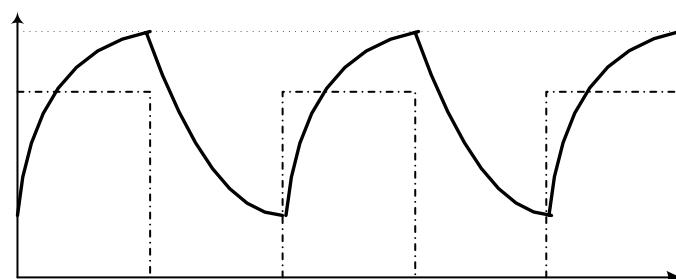
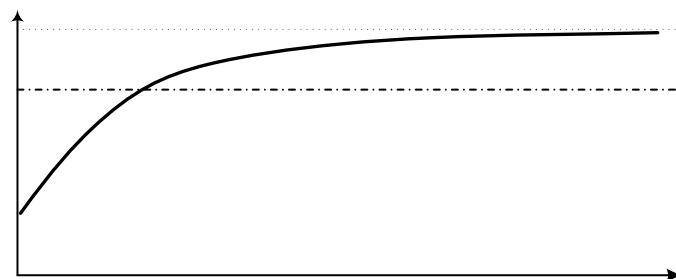
**ب) التشغيل قصير الأمد:** تعمل الآلة العاملة في هذا النوع من التشغيل بفترات تشغيل متفرقة تمتد كل منها على فترة زمنية محددة، بحيث لا تتعدي درجة الحرارة في جميع أجزاء المحرك قيمتها القصوى

التي تم تصميم المحرك على أساسها خلال أي فترة من فترات التشغيل، كما أن فترة الراحة التي تفصل بين فترتي تشغيل تكفي لكي يبرد المحرك ويأخذ درجة حرارة الجو المحيط به، ويطلق على حمل المحرك الذي يعطيه خلال فترة التشغيل اسم الحمل الأتمي (الحمل ذي الفترة المحددة) وهو يقترن دائماً بفترة التشغيل، فيقال مثلاً محرك عشرون حصاناً - ثلاثون دقيقة، الشكل ١٦.

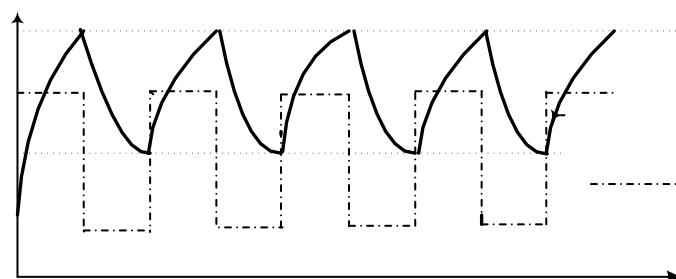
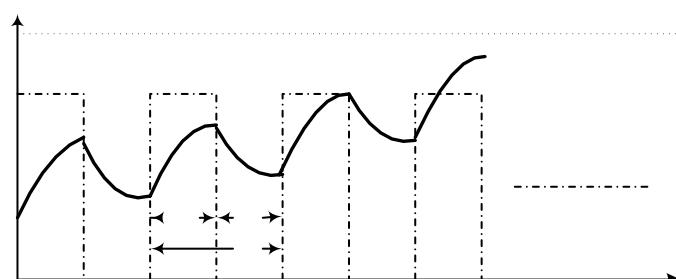
**ج) التشغيل المتقطع:** يكون تشغيل المحرك في هذه الحالة لفترات قصيرة تخللها فترات من الراحة يتوقف فيها المحرك تماماً، لكن فترات الراحة هذه لا تكفي لكي تخفيض درجة حرارة المحرك إلى الدرجة المطلوبة ( وهي درجة حرارة الجو المحيط )، لكنها تخفيض بعض الشئ لكي تعاود الارتفاع في فترة التشغيل التالية إلى درجة حرارة أعلى منها في فترة التشغيل السابقة، وهذا دون أن تتعدي درجة الحرارة في جميع أجزاء المحرك قيمتها القصوى . تُحدد فترة التشغيل ( $T_0$ ) بالدقيقة مثلاً، كما تُحدد فترة الراحة أو السكون ( $T_s$ ) بالدقيقة أيضاً، بحيث لا يتعدى أمد الدورة ( $T_a$ ) حيث ( $T_a = T_0 + T_s$ ) عشر دقائق بأية حال من الأحوال. وتسمى النسبة بين زمن فترة التشغيل وأمد الدورة ( $T_0/T_s$ ) بفترة التوصيل النسبية، ويطلق اسم الحمل المقمن على الحمل الذي يمكن تشغيل المحرك به على النحو السالف الذكر، لأنّة فترة زمنية مهما بلغت من الطول، دون أن يتعدى المحرك درجة الحرارة القصوى المسموح بها، الشكل ١٥.

**د) التشغيل المتواصل بفترات تحمل قصيرة الأمد:** بعد تحميل المحرك لفترة زمنية قصيرة الأمد، يترك في حالة دوران بدون حمل مدة كافية بحيث تهبط درجة حرارته إلى الحد الذي تكون عليه عند دورانه بصفة مستمرة بدون حمل، الشكل ١٤.

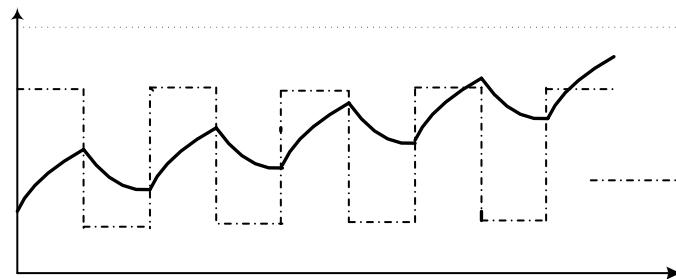
**ه) التشغيل المتواصل بفترات تحمل متقطعة:** يمر المحرك بفترات متعاقبة من التشغيل بالحمل الكامل والدوران بدون حمل، بدلاً من السكون كما في حالة التشغيل المتقطع، الشكل ١٥.



Temperature  
 $t_m$



$t_r$



Temperature  
 $t_m$

شكل ١٧ أنواع تشغيل المحركات

**ب) مقدرة المحرك على التعامل مع أحمال زائدة عن قدرته المقصنة:**

يجب على المحرك الكهربائي أن يحقق غرضين أساسيين مهما اختلفت طريقة تشغيله وهما:

i) ألا تتعدى درجة حرارته أثناء التشغيل بأي حال من الأحوال درجة الحرارة القصوى التي تم تصميم المحرك على أساسها، طبقاً للمواصفات القياسية التي تم تنفيذ تصميمه عليها.

ii) يجب أن يكون المحرك قادراً على توليد عزم الدوران الذي تحتاجه الآلة عند سرعة الدوران المطلوبة. تصمم المحركات عادة بحيث يمكنها أن تعطي عزماً أكبر من عزم الحمل الكامل بحوالي مرة ونصف إلى مرتين، ويسمى أقصى عزم في هذه الحالة بعزم الت العذر. فكثيراً ما نجد أن المحرك الكهربائي أثناء تشغيله بصفة مستمرة يتعدى درجة الحرارة القصوى التي تم تنفيذ تصميمه على أساسها، وذلك عند تجاوز عزم الحمل الكامل، ولكن دون أن يتعدى عزم الت العذر. وهذا يعني أن الفيصل في وضع حدود التشغيل يكون عادة درجة الحرارة القصوى، التي لا يجب أن يتعداها المحرك، قبل الزيادة المحتملة في قيمة عزم الدوران الذي يمكن أن تحتاج إليه الآلة العاملة.

هذا وعندما يصمم المحرك الكهربائي على أساس التشغيل المتواصل بقدرة معينة، فإن المحرك يبلغ درجة حرارته القصوى عند تشغيله بهذه القدرة، ويظل محتفظاً بها مهما طال وقت تشغيله. فإذا تم تشغيل المحرك بنفس هذه القدرة تشغيلاً قصير الأمد أو تشغيلاً متقطعاً، فمن الواضح أن المحرك لن يبلغ درجة حرارته القصوى، وذلك بسبب فترات التوقف التي تخفض درجة حرارته أثناءها. هذا يعني أننا نستطيع تشغيل المحرك على أي نحو من النحوين المذكورين بحمل يزيد عن الحمل الكامل . ولكن يجب أن نراعي ألا يتعدى عزم الدوران الذي يؤخذ من المحرك عزم الت العذر، أي أن الفيصل في وضع حد للزيادة في الحمل التي يمكن أن تتجاوز بها الحمل الكامل في هذه الحالة هو عزم الت العذر، وليس درجة الحرارة القصوى كما كان الأمر في الحالة السابقة.

**٤) كلفة المحرك:** بالرغم من أن كلفة المحرك جاءت في آخر القائمة، إلا أنها العامل الأكثر أهمية في اختيار المحرك . عند حساب الكلفة الكلية لنظام التحريك يجب الأخذ في الاعتبار:

i) **الكلفة الإبتدائية.**

ii) **تكلفة التشغيل والصيانة:** وتشمل أيضاً حساب التناقص في قيمة الآلة العاملة، مع الأخذ في الاعتبار للعمر الافتراضي للمحرك، كما أن كلفة التشغيل تتأثر بالمفقودات داخل الآلة وبمعامل القدرة.

**أسئلة متنوعة :**

**س ١** : ما هي العوامل التي تتحكم في اختيار المحرك الكهربائي لتطبيق معين؟

**س ٢** : ما هي أنواع تشغيل المحركات الكهربائية؟ وضح إجابتك بالرسم.

**س ٣** : ما هو المقصود بكل من الحمل الأتمي - الحمل المقنن؟

**س ٤** : ما هي أنواع الكراسي المستخدمة في المحركات الكهربائية؟ وما هي مميزات وعيوب كل منها؟

**س ٥** : ما هي أنواع نقل الحركة بين المحرك الكهربائي والحمل الميكانيكي؟

**س ٦** : ما هي أسباب الضجة التي تحدث في المحركات الكهربائية؟ وكيف يمكن تقليلها؟

**س ٧** : ما هو المقصود بعزم التعلّر؟

**س ٨** : ما هو المقصود بكلفة التشغيل والصيانة؟ وما هي العوامل التي تؤثر على تلك الكلفة؟

آلات ومعدات				تخصص	التقنية الكهربائية	قسم
				الرمز	الـجـرـ الـكـهـرـيـاـئـيـ	مقرر
				آلات التيار المتردد		متطلب سابق
٤	٣	٢	١	فصل دراسي		وصف المقرر:
٢				ساعات معتمدة (ساعة/أسبوع)		يحتوى المقرر على وصف شامل لاستخدام المحركات الكهربائية بأنواعها المستمر والمتردد في وسائل التحرير المختلفة المستخدمة في الصناعة.
٢				نظري	ساعات اتصال (ساعة/ أسبوع)	
				عملي		
<b>الهدف العام :</b>						
يهدف المقرر إلى تعريف المتدرب التمييز بين الأنواع المختلفة للأحمال كما يمكن المتدرب من القدرة على اختيار المحرك المناسب لنوع معين من الأحمال ذي منحني خصائص محددة						
<b>الأهداف الموضوعية :</b>						
دراسة هذا المقرر تمكـنـ المـتـدـرـبـ منـ :						
<ul style="list-style-type: none"> <li>• الإلمام بأنواع الأحمال (مصاعد - سلالم - سيور - مضخات)</li> <li>• الإلمام بأنواع وتكوينات آلات الـجـرـ الـكـهـرـيـاـئـيـ</li> <li>• الإلمام بخواص آلات الـجـرـ الـكـهـرـيـاـئـيـ وطبيعة عملها</li> <li>• الإلمام بكيفية اختيار المحرك الكهربائي المناسب لحمل معين</li> <li>• الإلمام بكيفية تأثير الأحمال على المحركات وحساب زمن بدء الحركة</li> <li>• الإلمام بأنواع الفرامل الكهربائية وكيفية تطبيقها على المحركات المختلفة</li> </ul>						

**الموضوعات:**

- أساسيات الهندسة الميكانيكية
- أنواع الأحمال وخصائصها
- الخواص العامة المطلوبة لمحركات الجر
- محركات التيار المستمر والمتردد كمحركات جر
- الجر الكهربائي
- فرمula المحركات الكهربائية
- اختيار محرك الجر المناسب لحمل معين

• المحركات الكهربائية ومبادئ التحريك الكهربائي.  
د. محمد أحمد قمر - منشأة المعارف بالأسكندرية ج.م.ع.  
• القيادة الآلية الكهربائية. م شيليكين ترجمة د. إلياس فرج الله طوشان د. حسان الريشة - مطبعة جامعة حلب.

- Electric Motors and Drives Fundamentals, A. Hughes, Heinemann Newnes, 1990.
- Electric Drives: Concepts and Applications, V. Subrahmanyam, McGraw-Hill, 1990.

Utilisation of Electric Power & Electric Traction, , G. C. Garg, KHANNA PUBLISHERS DELHI, 1988.

**المراجع:**

**الوصف التفصيلي (نظري)**

المهارات المكتسبة	المحتويات	الساعات الأسبوعية
<p>يتتمكن المتدرب من:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• فهم العلاقات الأساسية في علم الميكانيكا.</li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">(مهارات أساسية)</div>	<ol style="list-style-type: none"> <li>١. أساسيات الهندسة الميكانيكية</li> <li>• العلاقات الأساسية بين السرعة والجهة والمسافة</li> <li>• الوزن - الكتلة - القصور الذاتي</li> <li>• الحركة الدورانية والحركة الخطية والعلاقة بينهما</li> </ol>	٢
<ul style="list-style-type: none"> <li>• فهم طبيعة الأحمال وكيفية تحديد نقطة التشغيل المستقرة</li> <li>• القدرة على حساب قدرة المحرك المطلوبة وتأثير الأحمال على المحرك، وحساب زمن بدء الحركة للمحرك والحمل معاً.</li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">(C٥)</div>	<ol style="list-style-type: none"> <li>٢. أنواع الأحمال وخصائصها</li> <li>• منحنيات خواص الأحمال</li> <li>• طبيعة الأحمال (متصلة - متقطعة)</li> <li>• تحديد نقطة التشغيل المستقرة</li> <li>• ديناميكا الحمل والمحرك معاً</li> <li>• حساب قدرة المحرك لتحريك حمل معين</li> <li>• تأثير الأحمال المختلفة على المحرك</li> <li>• زمن بدء الحركة للأحمال</li> </ol>	٦
<ul style="list-style-type: none"> <li>• معرفة الخواص الكهربائية والميكانيكية العامة لمحركات الجر</li> <li>• فهم تركيب وبناء محركات الجر ليتواء مع متطلبات الجر وظروف الجو المحيط (درجة الحرارة - درجة الرطوبة ....) وكيفية تبريد وحمايته</li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">(B١, C١, D٥, D٨, E١, E٩, J١, J٢, J٤, J٥, J٦)</div>	<ol style="list-style-type: none"> <li>٣. الخواص العامة المطلوبة لمحركات الجر</li> <li>• الخواص العامة لمحركات الجر</li> <li>• الشكل (التركيب - البناء)</li> <li>• طرق الوقاية المختلفة لمحركات الجر</li> <li>• وكيفية تبریدها</li> </ol>	٤
<ul style="list-style-type: none"> <li>• معرفة المتطلبات العامة لمحركات الجر</li> <li>• معرفة كيفية تطوير خواص المحركات الكهربائية لاستخدامها في الجر</li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">C٢, C٣, C٥, C٦, D٩, E٣, E٤</div>	<ol style="list-style-type: none"> <li>٤. محركات التيار المستمر والتردد كمحركات جر</li> <li>• المتطلبات العامة لمحركات الجر</li> <li>• محركات التيار المستمر كمحركات جر</li> <li>• محركات التيار المتردد</li> </ol>	٤

E٧, E٨, J١, J٢, J٤, J٦)	كمحركات جر	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• معرفة مميزات وعيوب الجر الكهربائي وأنواعه</li> <li>• معرفة ميكانيكية حركة القطارات وكيفية حساب القوة والقدرة اللازمتين للجر الكهربائي</li> <li>• معرفة أنواع خدمات النقل الكهربائي ومنحنى السرعة/الזמן لكل منها</li> </ul> <p>(C٢, C٣, C٥, C٦, D٩, E٣, E٤, E٧, E٨, J١, J٢, J٤, J٦)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>5. الجر الكهربائي           <ul style="list-style-type: none"> <li>• أنواع الجر الكهربائي</li> <li>• مميزات وعيوب الجر الكهربائي</li> <li>• قوة الجر اللازمة على دوّاب تحريك القطار</li> <li>• القدرة المحركة لدوّالب الحركة</li> <li>• ميكانيكية حركة القطارات</li> <li>• أنواع خدمات النقل بالجر الكهربائي</li> <li>• منحنى السرعة مع الزمن</li> </ul> </li> </ul>	٦
<ul style="list-style-type: none"> <li>• فهم ومقارنة الطرق المختلفة للفرمولة الكهربائية وكيفية تطبيقها على المحركات المختلفة.</li> </ul> <p>(D٩, E٨)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>6. فرمولة المحركات الكهربائية           <ul style="list-style-type: none"> <li>• الفرمولة بإعادة التوليد</li> <li>• الفرمولة الديناميكية</li> <li>• الفرمولة بالتيار المعكوس أو بالتبديل</li> </ul> </li> </ul>	٤
<ul style="list-style-type: none"> <li>• معرفة وفهم العوامل الكهربائية والميكانيكية التي يتوقف عليها اختيار المحرك المناسب لطبيعة الحمل</li> </ul> <p>(معارف أساسية)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>7. اختيار محرك الجر المناسب لحمل معين           <ul style="list-style-type: none"> <li>• العوامل التي يجب مراعاتها عند اختيار المحرك المناسب لقيادة حمل معين.</li> </ul> </li> </ul>	٢

## المراجع

- المحركات الكهربائية ومبادئ التحريك الكهربائي. د. محمد أحمد قمر - منشأة المعارف بالأسكندرية - ج. م. ع.
- القيادة الآلية الكهربائية. م شيليكين ترجمة د. الياس فرج الله طوشان د. حسان الريشة - مطبعة جامعة حلب.
- Electric Motors and Drives Fundamentals, A. Hughes, Heinemann Newnes, ١٩٩٠.
- Electric Drives: Concepts and Applications, V. Subrahmanyam, McGraw-Hill, ١٩٩٠.
- Utilisation of Electric Power & Electric Traction, G. C. Garg, KHANNA PUBLISHERS DELHI, ١٩٨٨.

## الفهرس

١	الوحدة الأولى: أساسيات الهندسة الميكانيكية.
٢	العلاقات الأساسية في التحريك الكهربائي ◆
٢	• الحركة الخطية
٤	• الحركة الزاوية
٥	• الحالات المختلفة للحركة
٦	• العلاقة بين الحركة الخطية والحركة الدائرية
٧	أسئلة وتمارين متعددة ◆
الوحدة الثانية: أنواع الأحمال وخصائصها.	
٨	منحنيات خواص الأحمال ◆
١٠	• التوازن الديناميكي بين الحمل والمحرك
١١	• كيفية حساب قدرة المحرك المقننة لتحريك حمل معين
١٢	• القواعد الخاصة لحساب تأثير الأحمال على المحرك
١٦	• حساب زمن بدء الحركة لوسائل التحريك
٢٠	• أسئلة وتمارين متعددة
الوحدة الثالثة: الخواص العامة لمحركات الجر.	
٢٢	خواص العامة لمحركات الجر ◆
٢٤	• طرق الوقاية المختلفة لمحركات الكهربائية وكيفية تبریدها
٢٥	• أسئلة متعددة
الوحدة الرابعة: محركات التيار المستمر والمتردد كمحركات جر.	
٣١	المطلبات العامة لمحركات الجر ◆
٣٢	محركات التيار المستمر كمحركات للجر ◆
٣٢	محركات التيار المتردد كمحركات للجر ◆
٣٧	• أسئلة وتمارين متعددة ◆
٤٢	

٤٣	الوحدة الخامسة : الجر الكهربائي .
٤٤	أنواع الجر الكهربائي ◆
٤٤	مميزات وعيوب الجر الكهربائي ◆
٤٥	نظم تغذية شبكات الجر الكهربائي ◆
٤٧	قوة الجر اللازمة على دوالib تحريك القطار ◆
٤٩	القدرة المحركة لدوالib الحركة ◆
٥٠	ميكانيكية حركة القطارات ◆
٥٣	أنواع خدمات نقل الركاب بالجر الكهربائي ◆
٥٣	منحنى السرعة مع الزمن ◆
٥٥	منحنى السرعة مع الزمن للخدمات المختلفة ◆
٥٥	السرعة المتوسطة والسرعة الحسابية ◆
٥٦	منحنى شبة المنحرف بين السرعة والزمن ◆
٦٢	أسئلة وتمارين متوعة ◆
٦٣	الوحدة السادسة : فرملاة المحركات الكهربائية .
٦٤	أنواع الفرامل الكهربائية ◆
٦٥	أولاً : فرملاة محركات التيار المستمر ◆
٦٥	• الفرملاة بإعادة التوليد
٦٦	• الفرملاة الديناميكية
٦٨	• الفرملاة بالتيار المعكوس أو التبديل
٧٢	ثانياً : فرملاة المحركات الحثية ثلاثة الأوجه ◆
٧٢	• الفرملاة بإعادة التوليد
٧٢	• الفرملاة الديناميكية باستخدام التيار المستمر
٧٣	• الفرملاة بالتيار المعكوس أو التبديل
٧٤	• فرملاة المحركات الحثية ثلاثة الأوجه باستخدام التوصيلات غير المتماثلة
٧٥	أسئلة وتمارين متوعة ◆

٧٧	الوحدة السابعة : اختيار محرك الجر المناسب لحمل معين.
٧٨	♦ العوامل التي يجب مراعاتها عند اختيار المحرك الكهربائي
٨٠	• الخواص الكهربائية
٨٠	• الإعتبارات الميكانيكية
٨٠	نوع الغلاف المستخدم ...
٨٠	نوع الكراسي المستخدمة ...
٨١	كيفية نقل الحركة ...
٨٢	مستوى الضوضاء الذي يصدره المحرك ...
٨٢	• حجم المحرك وقدرته المقننة
٨٢	متطلبات التحميل من حيث أنه مستمر أو متقطع ...
٨٥	قدرة المحرك على التعامل مع أحمال زائدة عن قدرته المقننة ...
٨٥	• كلفة المحرك
٨٦	أسئلة وتمارين متعددة ♦
٩١	المراجع
	المحتويات

تقدير المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الدعم

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

GOTEVOT appreciates the financial support provided by BAE SYSTEMS

