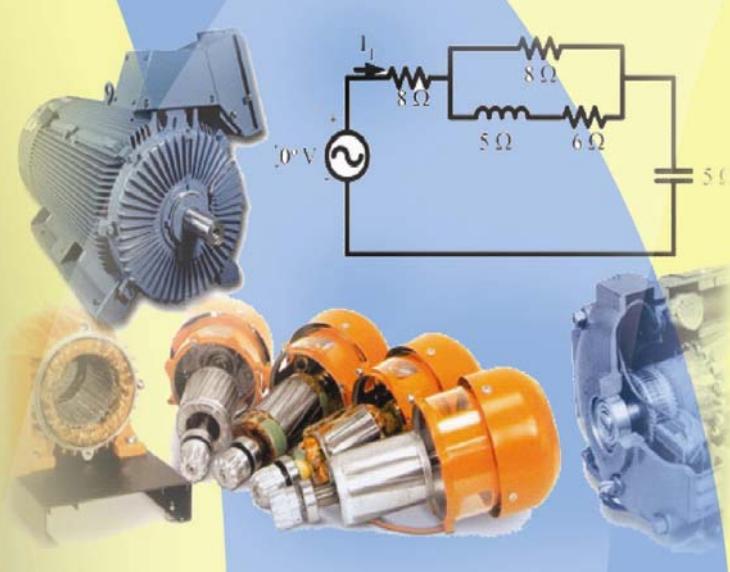


المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج



تخصص آلات ومعدات كهربائية التحريك الكهربائي كهر 214

مقدمة

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

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني 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 التموي؛ 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 لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريسي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيقة التدريبية "التحريك الكهربائي" لمتدرب تخصص "آلات ومعدات كهربائية" للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات الالزمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيقة 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.

تمهيد

الحمد لله رب العالمين ، والصلوة والسلام على سيدنا محمد بن عبد الله معلم الناس الخير. 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 في شكل 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 أرجاء 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 وأدائه في مختلف نظم القيادة الكهربائية.

هذه الحقيقة تحتوي على سبع وحدات تدريبية ، في الوحدة الأولى تم استعراض لأساسيات الهندسة الميكانيكية لكل من الحركة الخطية الدورانية والعلاقة بينهما. وفي الوحدة الثانية تم تناول 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. أما الوحدة الثالثة فستعرض الخواص العامة لمحركات التحرير الكهربائي وطرق الوقاية من ظروف الجو المحيط وكذلك فكرة عامة عن كيفية تبريد المحركات. وتتناول الوحدة الرابعة الخواص الكهربائية لمحركات التيار المستمر والمتردد المستخدمة في التحرير الكهربائي. بينما الوحدة الخامسة تتعرض لمميزات وعيوب الجر الكهربائي ونظم تغذية شبكات الجر. في حين تناولت الوحدة السادسة التعرف على أنواع الفرامل الكهربائية وكيفية تطبيقها على المحركات المختلفة. وأخيراً الوحدة السابعة استعرضت العوامل التي يجب مراعاتها عند اختيار المحرك الكهربائي المناسب لحمل معين.

التحريك الكهربائي

أساسيات الهندسة الميكانيكية

الجذارة: معرفة العلاقات الأساسية لديناميكا الحركة سواء أكانت الحركة خطية أم دورانية.

الأهداف:

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

- 1 معرفة العلاقات الأساسية لديناميكا الحركة الخطية.
- 2 معرفة العلاقات الأساسية لديناميكا الحركة الدورانية.
- 3 معرفة العلاقة بين الحركة الخطية والحركة الدورانية.

الوقت المتوقع للتدريب: ساعتان

متطلبات الجذارة:

يجب التدرب على جميع المهارات لأول مرة.

الوحدة الأولى : أساسيات الهندسة الميكانيكية

العلاقات الأساسية في التحريك الكهربائي

يبذل المحرك الكهربائي الطاقة الالزمه لتأدية التحريك الكهربائي المطلوب سواء أكانت الحركة المطلوبة للحمل خطية أم دورية، لذا يتعين أن نحدد القواعد الأساسية بدیناميكا الحركة لكل من نوعي الحركة.

(1) الحركة الخطية

أ) القانون الأول للحركة:

يبقى الجسم محافظاً على حالته من سكون أو حركة بسرعة ثابتة وعلى خط مستقيم ما لم تؤثر عليه قوة خارجية، وتنسب صياغة هذا القانون بهذا الشكل إلى نيوتن.

س1: مثلاً لجسم يظل على حالته الساكنة.

س2: لماذا تقل سرعة السيارة المتحركة شيئاً فشيئاً 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 (فرضياً) مثل الصابونة المبللة بالماء والمنزلقة على سطح زجاجي أفقي 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 النهاية $>$ السرعة الابتدائية
- التسارع يكون سالباً عندما تكون سرعة الجسم في تناقص، أي أن السرعة النهاية $<$ 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/ثانية² في نفس اتجاه القوة وفق العلاقة التالية:

$$F = m \cdot a = m \frac{dv}{dt}$$

د) علاقات التحريك 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 ²	القوة
W	جول = وات . ثانية = نيوتن.متر	الشغل
$G = m \cdot g$	نيوتون = كيلو.جرام.متر/ثانية ²	وزن الحمل
$g = 9.81$	متر/ثانية ²	تسارع الجاذبية الأرضية

هـ) القوى المؤثرة على جسم يتحرك خطياً لأعلى:

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

$F_t =$ قوة الرفع التي تبذلها وسيلة التحريك

$F_1 = m \cdot g$ القوة التي تضاد الحركة (قوة الحمل)

$F_f =$ القوة المضادة الناشئة عن الاحتكاك

$$F_t = F_1 + F_f + m \frac{dv}{dt}$$

يعرف الحد الأخير من المعادلة السابقة بأنه قوة القصور الذاتي، التي تعاكس بها كتلة الجسم الحركة أنشاء التسارع، وهذه القوة مساوية للصفر في حالة الحركة بسرعة ثابتة. يُعرف القصور الذاتي بأنه: مقاومة الجسم للتغير الطارئ في حالته الحركية. إذا كانت الحركة بسرعة ثابتة، فإن:

$$F_t = F_1 + F_f$$

(2) الحركة الزاوية (التحريك الدوراني)

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

باستخدام التقدير السطيني ($\pi = 180^\circ$) وباستخدام التقدير الدائري ($\pi = 3.14 \text{ rad.}$)

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

ج) التسارع الزاوي α : هو معدل التغير في السرعة الزاوية خلال وحدة الزمن ($\alpha = d\omega/dt$)، ووحداته رadians / ثانية²

د) علاقات التحريك الزاوي لجسم يدور بتسارع زاوي منتظم:

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

$$\theta = \omega_0 \cdot t + \frac{1}{2} \alpha \cdot t^2$$

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

$$P = \omega \cdot T$$

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

$$W = T \cdot \theta$$

حيث:

$\omega = v/r = 2\pi N/60$	راديان في الثانية	السرعة الزاوية النهائية
ω_0	راديان في الثانية	السرعة الزاوية الابتدائية
N	لفة في الدقيقة	السرعة الدورانية
θ	راديان	الإزاحة الزاوية
T	$\text{نيوتن}^2 = \text{كيلو. جرام. متر}/\text{ثانية}^2$	العزم
$J=GD^2/4g=m.r^2$	$\text{نيوتن. متر. ثانية}^2 = \text{كيلوجرام. متر}^2$	القصور الذاتي
$r=D/2$	متر	نصف قطر الذراع

٥) 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 للتتسارع الزاوي، ويختلاشى عند الدوران بسرعة منتظمة (ω) فتصبح المعادلة:

$$T_m = T_i + T_f$$

٦) الحالات المختلفة للحركة:

أ) الحركة بسرعة متزايدة (بتسارع):

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

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

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 خطية 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 $(s = 2\pi r)$ 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)
السرعة الدورانية n (لفة/ثانية)

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

$$\omega = 2\pi \cdot n$$

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

إذا

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

مثال 1-1 : جسم يتحرك على محيط دائرة نصف قطرها 50 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 1 - 1 : لماذا تدور الأقمار الصناعية بسرعة ثابتة في مداراتها حول الأرض؟

س 1 - 2 : لماذا تقل سرعة المحرك الكهربائي تدريجياً عند فصله من مصدر التغذية؟

س 1 - 3 : ما المقصود بالتسارع لجسم ما؟ وما وحداته؟ وما هي العوامل التي تؤدي إلى التسارع موجباً أو سالباً؟

س 1 - 4 : ما المقصود بقوة القصور الذاتي؟ وما تأثيرها على الأجسام المتحركة؟

س 1 - 5 : عرف كلاً من: الرadian و السرعة الزاوية و التسارع الزاوي.

تمرين 1 - 1 : جسم يتحرك على محيط دائرة نصف قطرها 60 cm ، ويدور الجسم ثلاثة دورات كاملة كل ثانية حول مركز الدائرة، احسب كلاً من: السرعة الزاوية والسرعة الخطية على محيط الدائرة، والزاوية المقطوعة خلال أربع ثوان والقوس المقطوع

التحريك الكهربائي

أنواع الأحمال وخصائصها

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

الأهداف:

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

- 1 معرفة منحنيات الخواص للأحمال الميكانيكية المختلفة.
- 2 تحديد نقطة التشغيل المستقرة بين المحرك والحمل.
- 3 حساب قدرة المحرك المطلوبة لتحرك حمل معين.
- 4 معرفة القواعد الخاصة بحساب تأثير الأحمال على المحرك.
- 5 حساب زمن بدء الحركة لوسائل التحريك.

الوقت المتوقع للتدريب: 6 ساعات

متطلبات الجدارة:

التدريب على جميع المهارات لأول مرة.

الوحدة الثانية : أنواع الأحمال الميكانيكية وخصائصها

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

- **الروافع والأوناش:** وت تكون الحركة الميكانيكية فيها من عدة أنواع : رفع أو خفض الحمولة وحركة الونش ذاته للأمام أو الخلف و حركة أذرع الونش في اتجاهات متعددة. أي أنه في الونش الواحد يمكن استخدام أكثر من محرك، المحركات الحثية ذات العضو الدائر الملفوف كثيرة الاستعمال في هذا النوع من التحريك وكذلك محركات التيار المستمر ذات التغذية الذاتية من النوع المركب.

- الطواحين الدوارة.

Compressors

- الضواغط.

Blowers

- الشفاطات.

Pumps

- المضخات.

- آلات القطع.

- نقل الحركة بالسيور.

- آلات التثقيب.

- المصاعد الكهربائية.

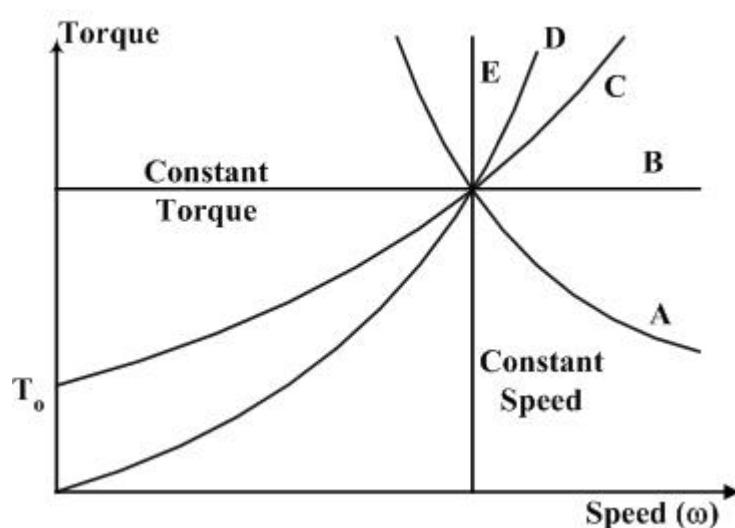
- القطارات والمركبات الكهربائية.

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

منحنيات خواص الأحمال:

الشكل (2-1) يبين أمثلة لخواص الأحمال:

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



الشكل 2-1

منحنيات خواص الأحمال

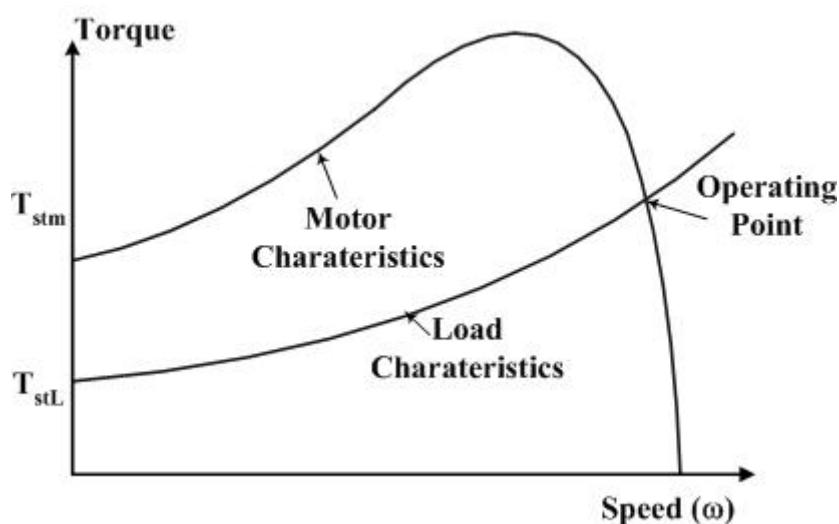
- ب. المنحني B: يمثل الحمل ذا العزم الثابت مهما تغيرت السرعة مثل أحمال الرفع والشد حيث تزداد القدرة المطلوبة لتشغيل الحمل تزايداً طردياً مع ارتفاع سرعة الدوران ($P_m \propto \omega$).
- ت. المنحني C: يمثل الحمل الذي تزداد فيه السرعة مع زيادة العزم مثل المضخات ($T = T_0 + K\omega$) حيث T_0 يمثل العزم عند بدء الحركة، K ثابت التناوب بين العزم والسرعة.
- ث. المنحني D: يمثل الحمل الذي يتاسب فيه العزم طردياً 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 الديناميكي بين الحمل والمحرك الكهر بائي:

يقوم المحرك الكهربائي بتوليد عزم دوران، عند السرعة الدورانية التي تفرضها الآلة العاملة، على محور الدوران المشترك بين المحرك والآلة، بناءً على العزم اللازم الدورانها وحسب نوعية وطبيعة تشغيلها. وبذلك تتحدد نقطة التشغيل على منحنى الخواص للمotor، 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 الناشيء 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 المفائد الميكانيكية، وهو الذي يتغلب على مقاومة الهواء لحركة الدوران ويتحلّب أيضاً على الاحتكاك الناشيء في المحاور والكراسي في المحرك والآلة العاملة.

لتحديد نقطة التشغيل، يلزمـنا معرفة المنحنى الذي يربط بين عزم الدوران والسرعة لكل من المحرك والآلـة العاملـة، حيث تتحدد نقطة التشغيل من تقاطع هذين المنحنيـن الشـكل(2-2)، ويمكن أن تتحدد نقطة التشغيل أيضاً بالطرق الحـاسـيـة. الشـكل(2-2) يـبيـن منـحـنيـات العـلاـقة بـين العـزم والـسـرـعة الدـورـانـية لـكـلـ منـ المـحـركـ وـالـحملـ المـيكـانـيـكيـ وـعـلـيـهـ تـظـهـرـ نـقـطـةـ التـشـغـيلـ وـهـيـ نـقـطـةـ تقـاطـعـ المنـحـنيـنـ.



الشكل 2 -2

منحنيات العلاقة بين العزم والسرعة لكل من المحرك والحمل الميكانيكي

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 تتوقف قيمة عزم الدوران المضاد على طبيعة العمل الذي تؤديه الآلة العاملة، وعلى نوع وخصائص الحمل المطلوب دورانه، الشكل (2-1) 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 الاستعanaة بآليات مماثلة مستخدمة في الصناعة. ويوجد هناك مجموعة صغيرة ومحددة من الآلات يمكن تعين قدرتها وفقاً لنظام الحمولة الدائمة، مثل المصاعد والمصادر والمراوح.

1- أحمال ذات حركة خطية:

$P_1 =$	القدرة اللازمة لتحريك الحمل 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
$F_1 =$	القوة المطلوبة لتحريك الحمل خطياً (نيوتون)
$v =$	السرعة الخطية (متر / ثانية)

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

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

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

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

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

ب- أحمال ذات حركة دورانية بواسطة صندوق تروس:

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

$$N = \quad \text{سرعة دوران الحمل}$$

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

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

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:

في حالة المصاعد تعادل حمولة جسم المصعد ونصف حمولة الاستخدام بأشقال موازنة، لذا تقسم القدرة على 2.

$$P_m = \frac{F_1 \times v}{2 \times 1000 \times \eta} \quad \text{KW}$$

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 (9,81 متر/ثانية²)

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

ه) حساب قدرة المحركات المستخدمة في أجهزة التهوية:

$Q =$ معدل تدفق الهواء (متر³/ثانية)

$p =$ ضغط الهواء بالباسكال عند فتحة خروج الهواء (1 باسكال = 1 نيوتن/متر²)

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

أمثلة:

مثال 2 - 1: محرك حتى ثلاثي الأوجه، V-380، سرعته 1710 لفة في الدقيقة، يستعمل لتدوير حمل عزم 78 نيوتن.متر عند سرعة دوران 1410 لفة في الدقيقة، إذا كانت كفاءة صندوق التروس 78%， وكفاءة المحرك 75%， ومعامل القدرة 82% احسب: قدرة خرج المحرك بالكيلووات، وعزم المحرك، وتيار 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 2 - 2: محرك حتى ثلاثي الأوجه، 380-V، كفاءته 82%， ومعامل قدرته 85%， يستعمل لتحريك مصعد، كفاءته 48%， لرفع 5000 Kg. إلى ارتفاع 30 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.

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

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

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

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

مثال 2 - 3: محرك تيار مستمر، 220-V، كفاءته 88%， يستخدم لتشغيل مضخة مياه كفاءتها 75%， لضخ 15 متر مكعب من الماء في الساعة، إلى ارتفاع 18 متر، وكانت كفاءة مجموعة التروس بين المحرك والمضخة 85%， احسب قدرة خرج المحرك وقدرة دخل المحرك وتيار المحرك.

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

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

$$\text{The motor current } \equiv I = \frac{1.312 \times 1000}{220} = 5.96 \text{ Amp.}$$

مثال 2 - 4: محرك حتى ثلاثي الأوجه، 380-V، كفاءته 85%， ومعامل قدرته 80%， يستخدم لتدوير مروحة تهوية كفاءتها 65%， تقوم بضغط 100 متر مكعب من الهواء كل دقيقة، بضغط 25 باسكال من خلال فتحة طرد قطرها 80 سم، احسب: القدرة المستفادة من المحرك وتيار المسحوب من المصدر

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

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

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

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 والقصور الذاتي وعزم 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 وزناً مقداره W ، يتم رفعه خطياً لأعلى و بسرعة مقدارها (v m/sec)، ويحصل على حركته من محرك، بواسطة مرحلتين من التروس، كما هو موضح في شكل (2-3).

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

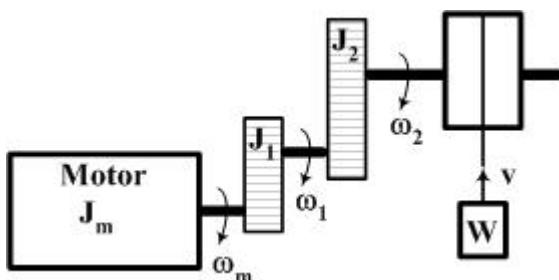
$$\text{عزم القصور الذاتي المكافئ منسوباً إلى محور المحرك} (J_d) =$$

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

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

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

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) بالأكيولوجرام. متر²، بدلاً من القصور الذاتي للكتل التي تدور على محور المحرك الكهربائي.



(الشكل 2 - 3)

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 ω_m حول محور المحرك.

بمساواة طاقتى الحركة الكامنة الحقيقية والاعتبارية E_n

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

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

$$GD^2 = 4 g J_m \quad \text{عزم الحداقة}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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 2 - 5: احسب طاقة الحركة الكامنة في محرك كهربائي قدرته KW 50، ويدور بسرعة 1000 لفة في الدقيقة، علماً بأن عزم الحداقة للمحرك، 10 Kg.m^2

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

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

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

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

مثال 2 - 6: محرك حي ثلاسي الأوجه، 3000-V, 60 Hz، ذو ستة أقطاب، ومعامل قدرته 82% موصل دلتا، يستخدم لرفع ثقل مقداره، 6000 Kg. بسرعة 1.5 m/sec. احسب تيار الخط وتيار الوجه، بافتراض أن الكفاءة الكلية 80%

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

$$\begin{aligned} \text{The motor torque} &= T_m = 9.55 \times \frac{F_l \times v}{\eta_e \times N_m} \\ &= 9.55 \frac{6000 \times 9.81 \times 1.5}{0.8 \times 1200} = 878.33 \text{ N.m.} \end{aligned}$$

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

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

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

مثال 2 - 7: محرك كهربائي متصل ميكانيكيًا مباشرة مع ونش، لرفع ثقل مقداره 3 أطنان، بسرعة 0.9m/sec. أوجد عزم الحداقة المكافئة منسوباً لمحور المحرك، بافتراض المعلومات الآتية: عزم حداقة

المحرك 10 كيلوجرام.متر²، عزم حداقة الونش 60 كيلوجرام.متر²، سرعة المحرك 720 لفة في الدقيقة، قطر حداقة الونش 1.0 متر.

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

$$N_1 = \frac{60 \times v_1}{\pi \times D_1} = \frac{60 \times 0.9}{\pi \times 1.0} = 17.18 \text{ rpm}$$

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

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

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

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

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، نظراً لأن هذه الكتل سوف تختزن كميات من الطاقة الكامنة، التي تعتمد قيمتها على السرعة النهائية، بالإضافة إلى الأوزان المتحركة. فإذا افترضا 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)

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

بفرض أن التسارع يتم بمعدل منتظم، فيمكن الحصول على الزمن t_{st12} اللازم لزيادة السرعة من N_1 إلى N_2 :

$$t_{st12} = \frac{9.81 \times (GD^2)_d \times (N_2 - N_1)}{375 \times (T_{st} - T_1)} \text{ sec.}$$

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 θ_m .

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

حيث N_{mo} هي سرعة المحرك عند اللاملا.

مثال 2 - 8: ونش وزنه 39 طناً حمولته 30 طناً يتحرك بواسطة محرك كهربائي قدرته المقننة 26 كيلووات، والذي يحقق سرعة ثابتة للحمل قيمتها 100 متر في الدقيقة، عندما يدور بسرعة 700 لفة في الدقيقة. أوجد زمن البدء للكتلة المتحركة، إذا بدأ المحرك حركته بعزم دوران يساوي ضعف عزم الحمل الكامل، العضو الدوار للمحرك له عزم حداقة 12 كيلوجرام متر²، ما أقصى مسافة يتحركها الحمل أثناء فترة البدء الحركية، قبل أن يصل إلى سرعته الثابتة.

الحل: سوف يتحرك الوزن $(30 + 39) = 69$ طناً، بعد انتهاء زمن البدء الحركية، بسرعة ثابتة v مقدارها 100 متر في الدقيقة، فيكون عزم الحداقة المعايرة متساوياً إلى محور المحرك:

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

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

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

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

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

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

أي أن المحرك يستغرق 8.02 ثانية أثناء بدء الحركة، حتى يصل إلى سرعة قيمتها 700 لفة في الدقيقة، يبدأ الحمل خلالها، حركته من السكون، حتى يصل إلى سرعة قيمتها (100/60) متر في الثانية، فيكون متوسط سرعته (50/60) مترًا في الثانية، والمسافة التي يتم قطعها أثناء هذا الزمن

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

أي أن المسافة = متوسط السرعة × الزمن.

أسئلة وتمارين متنوعة:

- س 2 - 1 : ما الأنواع المختلفة للأحمال، ارسم منحنيات خواص الأحمال الشائعة الاستعمال في الصناعة؟
- س 2 - 2 : اشرح كيف يحدث التوازن الديناميكي بين الحمل والمحرك.
- س 2 - 3 : ماذا يحدث إذا تغير الحمل على المحرك بالزيادة أو النقصان؟
- س 2 - 4 : عرف طاقة الحركة الكامنة في الكتل المتحركة وكيفية حسابها للكتل المتحركة خطية - دورية.
- س 2 - 5 : عرف القصور الذاتي المكافئ على محور المحرك وكيفية حسابه.
- س 2 - 6 : ما العوامل التي تؤثر على زمن بدء حركة المحركات؟
- س 2 - 7 : ما الأهمية الاقتصادية من تقليل زمن بدء الحركة؟
- س 2 - 8 : ما الأضرار التي قد تحدث للمحرك إذا طال زمن بدء حركته؟
- س 2 - 9 : عرف ثابت الزمن الميكانيكي للمحركات الكهربائية.

- تمرين 2 - 1 : محرك حثي ثلاثي الأوجه، V-380-V، سرعته 1728 لفة في الدقيقة، يستعمل لتدوير حمل عزمه 90 نيوتن.متر عند سرعة دوران 1440 لفة في الدقيقة، إذا كانت كفاءة صندوق التروس 75%， وكفاءة المحرك 85%， ومعامل القدرة 80% احسب: قدرة خرج المحرك بالكيلووات وبالحصان، وعزم المحرك وتيار المحرك.

تمرين 2 - 2: محرك حشبي ثلاثي الأوجه، 420-V ، كفاءته 85%， ومعامل قدرته 80%， يستعمل لتحريك مصعد، كفاءته 52%， لرفع كتلة مقدارها 4000 Kg ، إلى ارتفاع 25 m . خلال زمن مقداره 30 ثانية، تمت موازنة نصف حمولة التشغيل، وكل من وزن المصعد والحبال، بواسطة أثقال موازنة. احسب قدرة المحرك بالكيلووات، وتيار المحرك.

تمرين 2 - 3: مmotor تيار مستمر، 230-V ، كفاءته 88%， يستخدم لتشغيل مضخة مياه كفاءتها 72%， لضخ 18 متر مكعب من الماء في الساعة، إلى ارتفاع 15 متراً، وكانت كفاءة مجموعة التروس بين المحرك والمضخة 80%， احسب قدرة خرج المحرك وقدرة دخل المحرك وتيار المحرك.

تمرين 2 - 4: مmotor كهربائي متصل ميكانيكيًا مباشرة مع ونش لرفع ثقل مقداره 5 طن، بسرعة 1.2m/sec . أوجد عزم الحداقة المكافئ منسوباً لمحور المحرك، بافتراض المعلومات الآتية: عزم حداقة المحرك 12 كيلوجرام متر^2 ، وعزم حداقة الونش 80 كيلوجرام متر^2 ، وسرعة المحرك 720 لفة في الدقيقة، وقطر حداقة الونش 0.8 متراً.

تمرين 2 - 5: ونش وزنه 35 طناً حمولته 40 طناً، يتحرك بواسطة محرك كهربائي قدرته المقننة 30 كيلووات، والذي يحقق سرعة ثابتة للحمل قيمتها 90 متراً في الدقيقة، عندما يدور بسرعة 720 لفة في الدقيقة. أوجد زمن البدء للكتلة المتحركة، إذا بدأ المحرك حركته بعزم دوران يساوي 1.8 عزم الحمل الكامل، والعضو الدوار للمotor له عزم حداقة 12 كيلوجرام متر^2 ، ما أقصى مسافة يتحركها الحمل أثناء فترة البدء الحركي، قبل أن يصل إلى سرعته الثابتة؟

التحريك الكهربائي

الخواص العامة لمحركات التحريك الكهربائي

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

الأهداف:

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

- 1 معرفة الخواص الكهربائية والميكانيكية لمحركات الكهربائية.
- 2 معرفة تركيب المحركات الكهربائية لحمايتها من ظروف الجو المحيط.
- 3 طرق التبريد المختلفة لمحركات الكهربائية.

الوقت المتوقع للتدريب: 4 ساعات

الوسائل المساعدة: لا توجد

متطلبات الجدارة:

اجتياز مقررات آلات التيار المستمر والتردد.

الوحدة الثالثة : الخواص العامة لمحركات التحريك الكهربائي

أنواع المحركات الكهربائية المستخدمة في التحريك الكهربائي :

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

1. 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

2. المحركات الحثية:

يوجد منها نوعان: النوع الأول عضوه الدوار من النوع ذي القفص السنجمي، 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.

3. 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

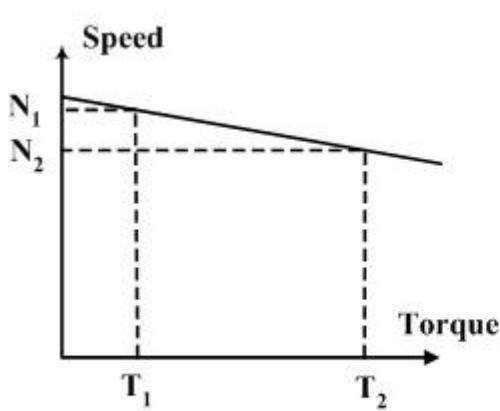
الخواص الكهربائية والميكانيكية العامة المطلوبة لمحركات الجر هي:

1) 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 مقاومة حركة القطار، بينما يكون المطلوب أثناء فترة الانطلاق الحر بسرعة منتظمة هو قوة الجر اللازمة للتغلب على مقاومة لحركة القطار فقط. أثناء صعود المرتفعات تلزم قوة جر إضافية للتغلب على تأثير الجاذبية الأرضية بالإضافة إلى القوى سابقة الذكر. ولابد أن يبذل المحرك عزماً كبيراً أثناء فترة البدء للحصول على قوة الجر الكبيرة المطلوبة أثناء بدء الحركة.

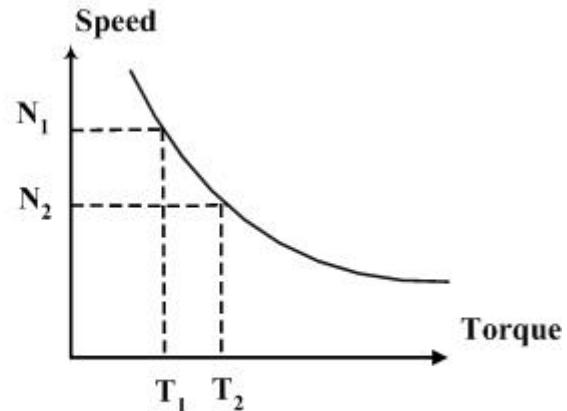
2) أن تكون لها خصائص محركات التوالي: من المرغوب فيه أن تكون العلاقة بين السرعة والعزم في محركات الجر كما هي في محركات التوالي للتيار المستمر للأسباب التالية:

أ) تشغيل أكثر من محرك في القاطرة الواحدة: تحتوي القاطرة الكهربائية عادةً على عدة محركات متماثلة مثبتة مع دواليب الحركة وطالما 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 متساوٍ للحمل على المحركات.

افترض أولاً أن محركين لهما خواص التوازي بين السرعة والعزم، الشكل(3-1)، يعملان معاً ومثبتان لدوالبين غير متساويين 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 في الشكل(3-1). من الواضح أن الفارق كبير في قيمة العزم المتولد من كلا المحركين. المحرك ذي السرعة الأكبر يبذل عزماً أقل بكثير من المحرك ذي السرعة الأقل.



(a) shunt characteristic



(b) series characteristic

شكل 3 - 1

خواص التوالي والتوازي لمحركات الجر

افترض الآن أن المحركين لهما خواص التوالي بين السرعة والعزم الشكل(3-1ب)، 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.

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

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

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

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

إذاً زيادة العزم إلى ثلاثة أمثال عزم الحمل الكامل، تقابلها زيادة في قدرة المحرك مقدارها ($\sqrt{3} = 1.73$) من قدرة الحمل الكامل، أي أن المحرك يحمي نفسه ذاتياً ضد زيادة الحمل.

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

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

(3) بساطة التحكم في سرعة المحرك: يجب أن تكون الطرق المستخدمة للتحكم في محركات الجر بسيطة في كيفية تفديها.

(4) 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.

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

(6) 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 في المحرك.

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

8) 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 تبریدها:

يستخدم الإطار الخارجي لمحرك لتوفير الحماية لمحرك من ظروف الجو المحيط، مثل، الرطوبة والأوساخ والأترية والأجسام الغريبة، وما قد يتسرّب لمحرك من أبخرة ومواد قابلة للاشتعال، 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:

1. النوع المفتوح: في هذا النوع يكون المحرك مفتوحاً من كلا طرفيه، وهذا النوع يوفر تبريدًا حراً لمحرك، حيث يكون كل من الثابت والدوار في اتصال مباشر مع الهواء المحيط، ويستخدم في آلات التيار المستمر الكبيرة الحجم.

2. 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 الصغيرة مثل المفكات، إلخ.....، داخل الآلة، ولكنها لا توفر الحماية من الأوساخ والأترية والأمطار أو المواد القابلة للاشتعال. تستعمل هذه المحركات بكثرة في معظم التطبيقات الصناعية، حيث يكون الجو المحيط نظيفاً خالياً من الأوساخ والغبار والمواد الكيميائية.

3. النوع محمي ضد تاثير السوائل والغبار: في هذا النوع تكون الفتحات المخصصة للتبريد المحرك مصممة بحيث لا تسمح بدخول قطرات السوائل أو ذرات الغبار.

4. 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 أن تأتي من جانبي الآلة بزاوية

لا تزيد عن مئة درجة من الاتجاه الرأسي، وهذا يمكن من استخدام هذه المحركات تحت الأمطار المباشرة.

5. 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 3 - 5 حصان فقط.

6. النوع المغلق ذو التبريد المنفصل: هذا النوع من المحركات مزود بمروحة خاصة للتبريد، مثبتة مع محور المحرك وخارج الإطار المغلق للمحرك ومجعلة بغطاء خاص بها وتدفع الهواء لتبريد السطح الخارجي للمحرك، والذي يكون في العادة مزوداً بزعانف لزيادة المساحة السطحية. يستخدم هذا النوع في مطاحن الدقيق ومصانع الإسمنت والمناجم.

7. 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.

8. النوع المصمم ضد الانفجار: يستخدم هذا النوع من المحركات في الأجزاء التي تبعث فيها غازات أو تتواجد فيها مواد قابلة للاشتعال، حيث يكون الإطار الخارجي مصمماً ليتحمل أي انفجار يحدث داخل المحرك ويعمل اشتعال الغازات خارج المحرك وفتحات 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 للاشتعال المحيطة بالمحرك، ويستخدم هذا النوع في مصانع تكرير البترول ومحطات الوقود ومصانع البتروكيماويات.



أسئلة متنوعة :

س 3 - 1: وضح كيف يحمي محرك التوالي نفسه ضد زيادة الحمل ؟

س 3 - 2: خواص التوالي أكثر مناسبة من خواص التوازي للمحركات المستخدمة في الجر الكهربائي.
لماذا ؟

س 3 - 3: ما فائدة الإطار الخارجي للmotor ؟

س 3 - 4: المحركات المغلفة أكثر كلفة من المحركات المحمية بشبكة. لماذا ؟

س 3 - 5: أي أنواع المحركات مناسبة للاستخدام في
أ. مصانع تكرير البترول ومحطات الوقود ؟
ب. المناجم ومصانع الأسمنت ؟

التحريك الكهربائي

محركات التيار المستمر والمتردد كمحركات للجر

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

الأهداف:

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

- 1 معرفة خواص محركات التيار المستمر من النوع التوالي والمركب.
- 2 معرفة خواص محركات التيار المتردد المستخدمة في الجر.

الوقت المتوقع للتدريب: 4 ساعات

متطلبات الجذارة:

اجتياز مقررات آلات التيار المستمر وآلات التيار المتردد.

الوحدة الرابعة : 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 الأوجه في شبكات الجر للتيار المتردد. ظروف التشغيل تكون دائمًا قاسية جداً، لذلك يجب أن يخضع محرك الجر لشروط صارمة عند التصميم، بحيث يكون المحرك ذا 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 أثناء التشغيل مع عزم كبير لبدء الحركة.
- أن تكون صلبة التركيب مع صغر الوزن والحجم.
- أن يكون لديها القدرة على تحمل الارتفاع المفاجيء في الجهد.
- أن يتم التحكم في سرعتها بسهولة ويسر.
- أن يكون من الممكن استخدام الفرامل الكهربائية بواسطتها.

محركات التيار المستمر كمحركات للجر

1. خواص محرك التوالي:

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

a) علاقة العزم مع تيار المنتج (T/I_a): يتاسب العزم طردياً مع كل من تيار المنتج والمجال المغناطيسي ($T \propto I_a$). يعتمد المجال المغناطيسي على تيار المجال أي على تيار المنتج ($\Phi \propto I_a$)، إذاً يتاسب العزم مع مربع تيار المنتج ($T \propto I_a^2$) طالما أن العلاقة بين المجال المغناطيسي وتيار المجال علاقة خطية، أي قبل أن يصل المحرك إلى مستوى التشبع المغناطيسي، المنحنى OA في الشكل (4-1). بمجرد أن يصل المحرك إلى مستوى التشبع المغناطيسي يصبح المجال المغناطيسي ثابتاً لا يعتمد على أي زيادة في التيار. فيتناسب العزم طردياً مع تيار المجال ($T \propto I_a$) المنحنى AB في الشكل (4-1).

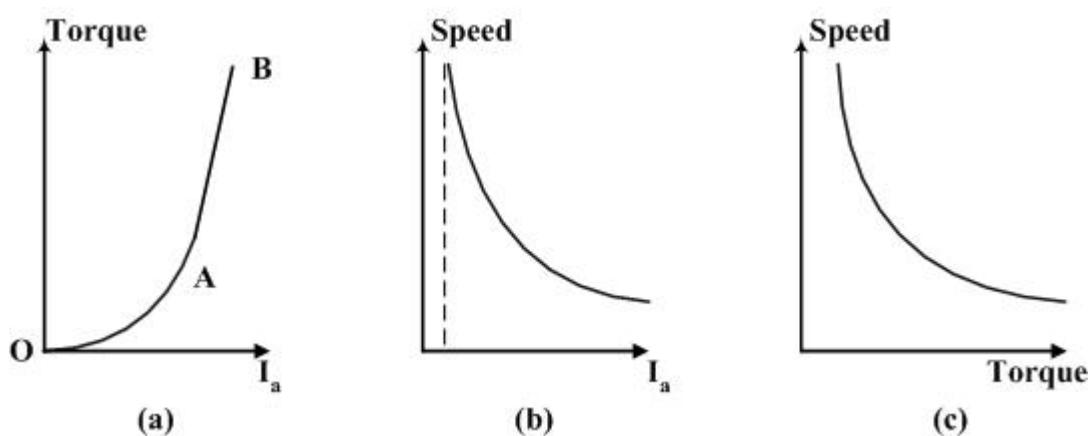
ب) علاقة السرعة مع تيار المنتج (N/I_a): في محركات التيار المستمر

$$N \propto E/\phi$$

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

كلما ازداد تيار المنتج تنقص قيمة E نسقاً طفيفاً (يمكن إهمال هذا النقص في قيمة E)، وتزداد قيمة ϕ مع زيادة تيار المنتج قبل الوصول لمستوى التشبع المغناطيسي أي أن $N \propto 1/\phi \propto 1/I_a$ ، عندما يصل المحرك لمستوى التشبع ثبتت 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 (4-1).

ج) علاقة العزم مع السرعة (T/N): علاقة العزم مع السرعة يمكن استنتاجها من العلاقاتين السابقتين و كما في مبينة في الشكل (4-1ج). من الواضح أن محرك التوالي يولد عزماً كبيراً عند السرعات المنخفضة والعكس صحيح. هذا بسبب أن الزيادة في العزم تتطلب زيادة في تيار المنتج وبالتالي زيادة بالتبعية في تيار المجال مما يؤدي إلى انخفاض السرعة.



الشكل (4-1)

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 ازالة الحمل، يصبح المجال المغناطيسي صغيراً جداً. وتزداد السرعة إلى قيمة عالية جداً إلى درجة الخطورة حيث يمكن أن يتحطم العضو الدوار تحت تأثير قوى الطرد المركزية. لذا يجب ألا يبدأ محرك التوالي حركته بدون أحmal، بل يجب أن يتم تحميده أولاً ثم تبدأ الحركة.

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

2. خواص المحرك المركب:

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

خواص المحرك المركب تراكmicia : في المحرك المركب تراكmicia 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 ($\phi_t + \phi_{sh}$). إذاً محصلة المجال المغناطيسي تعتمد على قيمة التيار في كل من ملفي التوازي والتوالي.

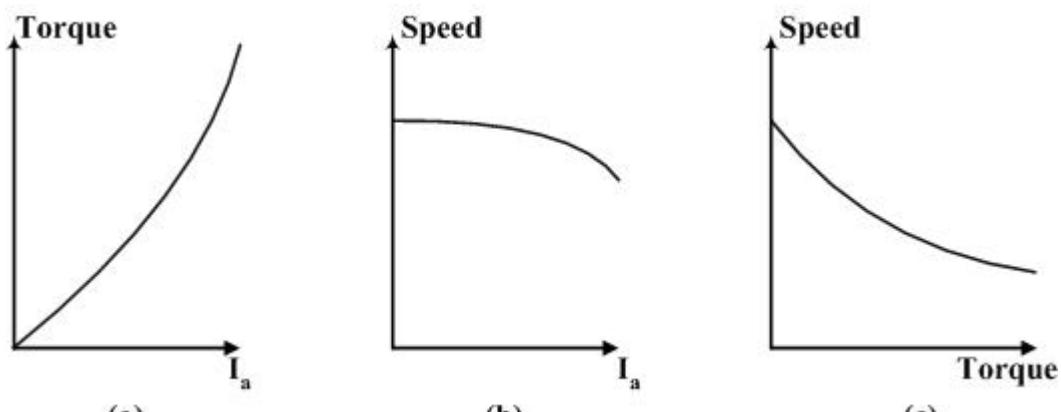
أ) علاقة العزم مع تيار المنتج (T/I_a): بما أن ($\phi_t = \phi_{sh} + \phi_{se}$) وأن ($T = I_a \cdot \alpha \cdot \phi_t$) فإن محصلة المجال الكلي أصبحت أكبر من ذي قبل. وبالتالي سيزداد العزم بما يتاسب مع الزيادة في المجال الشكل(4-4). العزم المتولد سيكون أكبر من ذلك العزم المتولد عندما يعمل المحرك بأي من الملفين على حدة.

ب) علاقة السرعة مع تيار المنتج (N/I_a): بما أن ($N = E/\phi_t$) وأن ($E = I_a \cdot \alpha \cdot \phi_{sh} + I_a \cdot \alpha \cdot \phi_{se}$)، فعند زيادة الحمل فإن مجال ملف التوالي يساعد مجال ملف التوازي مما يزيد من المجال الكلي للمحرك، لذلك تقل سرعة المحرك مع زيادة الحمل. وتكون السرعة أقل من تلك السرعة التي يدور بها المحرك عندما يعمل بأي من الملفين كل على حدة، الشكل(4-2 ب). 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 التوازي.

ج) علاقة العزم مع السرعة (T/N): علاقة العزم مع السرعة أو كما تسمى أحياناً الخواص الميكانيكية للمحرك تظهر في الشكل (4-2ج). وهي تقع بين خواص محرك التوازي ومحرك التوازي. يتضح من الشكل أن للمحرك خواص التوازي، أي انخفاض السرعة مع زيادة الحمل، ويوضح أيضاً أن سرعة اللاحمل تكون في الحدود المسموح بها ميكانيكيا.



الشكل (4-2)

خواص المحرك المركب تراكمياً

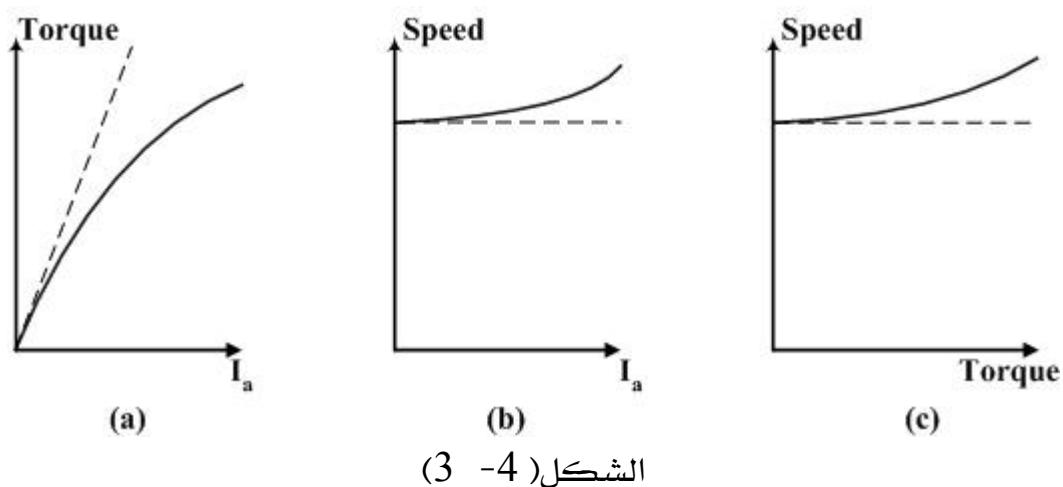
خواص المحرك المركب فرقياً (أو التفاضلي): في المحرك المركب فرقياً يوصل ملف التوازي بحيث يكون المجال المغناطيسي الناتج عنه في عكس اتجاه المجال الناتج عن ملف التوازي، أي أن ملف التوازي يعاكس ملف التوازي. فعند أي حمل تكون محصلة المجال المغناطيسي هي الفرق بين مجالي ملفي التوازي والتوازي ($\phi_t = \phi_{sh}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

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. في هذه الحالة سيزداد العزم المترولد ولكن بمعدل أقل من محرك التوازي الشكل (4-3).

ب) علاقة السرعة مع تيار المنتج (N/I_a): مع زيادة الحمل تتناقص محصلة المجال المغناطيسي، وبالتالي تزداد سرعة المحرك الشكل (4-3 ب) أي أن سرعة المحرك تزداد بزيادة الحمل، هذه الخاصية تشكل خطورة على المحرك إذا ما ازداد التحميل عليه وازدادت السرعة عن الحدود المعقولة.

ج) علاقـة العـزم مـع السـرـعة (T/N): أو الخـواص المـيكـانيـكـية لـلـمـحـرك مـبـيـنة في الشـكـل (4-3ج). كـما يـتـضـح من الشـكـل أـنـه كـلـما ازـدـاد العـزم ازـدـادـت السـرـعة. فـعـند زـيـادة العـزم زـيـادة كـبـيرـة تـزـاد السـرـعة عن الحـدـود المـسـمـوحـ بها

ملحوظة: يجب تجنب استخدام هذا النوع كمحرك للجر.



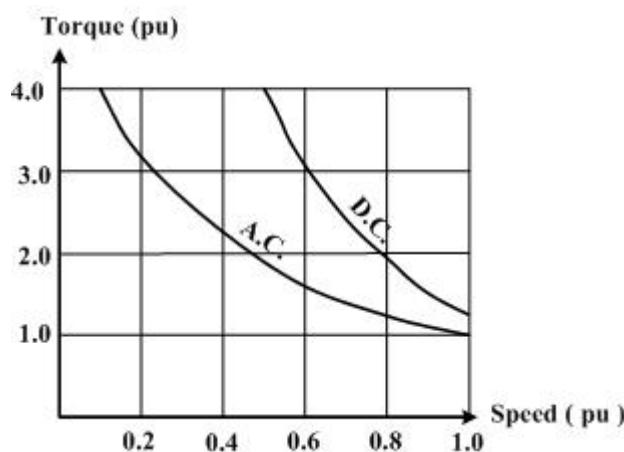
خواص المحرك المركب التفاضلي

محركات التيار المتردد كمحركات للجر

١) محرك التوالي العام : في محركات التيار المستمر توصيله التوالي، تيار المجال هو نفس تيار المنتج ويكونان متزامنين 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 مرغبة 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 الحديدى والإطار الخارجى وسترتفع درجة حرارة المحرك وتتخفض كفاءته.

- جهود التحويل المترولة في ملفات المنتج، بسبب المجال المتردد، ستنسب في إحداث شرارة عالية بين الموحد والفرش الكربونية.
- المعاورة الحثية لملفات المجال والمنتج ستنسب في خفض كبير للجهد، ومعامل قدرة صغير، مما ينتج عنه أداء سيء للmotor. الفرق في أداء Motor التوالي عند تشغيله من مصدر للتيار المتردد عن أداءه عند تشغيله من مصدر للتيار المستمر موضح في الشكل (4-4).



الشكل (4-4)

خواص Motor التوالي العام

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

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

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

حيث K ثابت، ϕ المجال المغناطيسي لكل قطب، N سرعة دوران motor.

افتراض الآن أن نفس motor تمت تغذيته من مصدر للتيار المتردد بنفس الجهد. سيصبح المجال المغناطيسي المترول متراجعاً بنفس تردد المصدر وله نفس زاوية طور التيار (تيار المجال أو تيار المنتج). القوة

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

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

- يحب تخفيض عدد لفات التوالي من أجل تخفيض ممانعته الحثية وبالتالي التخفيض من الجهد المفقود على المانعة الحثية.
- تخفيض عدد لفات ملف التوالي ينتج عنه أيضاً تخفيض في قيمة المجال المغناطيسي الناتج لكل قطب لنفس التيار المار في الملف، وهذا سوف يؤدي بدوره لزيادة سرعة المحرك وتخفيض العزم المتولد لنفس التيار. ولزيادة العزم وتعويض النقص المذكور يجب زيادة عدد موصلات ملف المنتج بنفس النسبة.
- زيادة عدد موصلات المنتج ستترفع من قيمة المانعة الحثية للفيات المنتج، وبالتالي فإن المانعة الحثية الكلية لدائرة المحرك لن تتغير، لأن هذه الزيادة ستغوض النقص الذي سببه تخفيض عدد لفات ملف التوالي. للتغلب على هذه الصعوبة يزود المحرك بملفات تعويضية (Compensating Winding) التي تقوم بمعادلة المجال المغناطيسي الناتج عن ملفات المنتج فتمحو تأثير المانعة الحثية للف المنتج.
- للتقليل من جهود التحويل المتولدة في ملفات المنتج والشارة الناتجة بسبب ذلك، يبني محرك التوالي العام بعدد أكبر من الأقطاب وبمجال مغناطيسي أقل لكل قطب ولكن بحيث يظل المجال الكلي للمحرك كما هو.
- للتقليل من الشارة 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 تقصير أكثر من قطع 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 للمotor من شرائح الحديد المعزول للحد من مفقودات التيار الدوامية.

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

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

عند بدء الحركة ($E=0$) يكون معامل القدرة ردئاً (منخفضاً) إذاً لنفس التيار يكون عزم بدء الحركة أقل بكثير من العزم المتولد في محرك التيار المستمر. نتيجة لقلة عزم بدء الحركة لذلك فإن هذه المحركات ليست مناسبة لوسائل 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.

2) المحرك الحثي ثلاثي الأوجه:

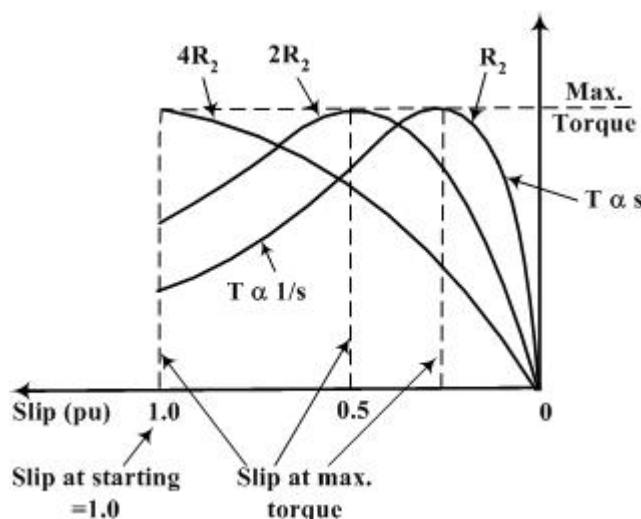
علاقة العزم مع الانزلاق : سبق أن عرفنا من مقرر آلات التيار المتردد أن العزم المتولد في المحركات الحثية

$$T = \frac{K \cdot S \cdot R_2}{R_2^2 + (S X_2)^2}$$

ثلاثية الأوجه يعطي من العلاقة الآتية:

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

إذا رسمنا العلاقة بين العزم والانزلاق لعدة قيم من مقاومة الدوار، الشكل(4-5)، يمكن ملاحظة النقاط التالية لخواص المحرك:



شكل 4 - 5 العلاقة بين العزم والانزلاق لمحرك حي ثلاثي الأوجه

لعدة قيم من مقاومة الدوار

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

مثال 4 - 1 : قاطرة كهربائية تتحرك بواسطة محرك توالٍ للتيار المستمر، يبذل المحرك قوة جر مقدارها 20000-N عندما تسير القاطرة بسرعة 50-Km/h . أوجد التيار المسحب من المصدر إذا كان جهد المصدر V=500 و كفاءة المحرك 80%

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

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

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

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

مثال 4 - 2 : قاطرة كهربائية تبذل قوة جر مقدارها 4000-Kg عند السير على مستوى أفقى بسرعة 50-km/h ، وتبذل قوة مقدارها 5000-Kg عندما تصعد مستوى مائل. أوجد قدرة المحرك بالحصان إذ

كان:

- المحرك توالٍ للتيار مستمر.

- المحرك حتى ثلاثي الأوجه

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

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

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

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

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

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

هذا يوضح فائدة استخدام محركات التوالي للتيار المستمر.

أسئلة وتمارين متنوعة:

- س 4 - 1:** ما المتطلبات العامة لمحركات الجر؟
- س 4 - 2:** لماذا كان محرك التوالي للتيار المستمر هو الأكثر مناسبة للاستخدام في الجر الكهربائي؟
- س 4 - 3:** ما التعديلات التي يجب إدخالها على محرك التوالي للتيار المستمر ليعمل كمحرك عام؟
- س 4 - 4:** لماذا كان محرك التوالي العام مناسباً للاستخدام في شبكات الجر للتيار المستمر أو المتردد؟
- س 4 - 5:** لماذا يجب تجنب استخدام محرك التيار المستمر المركب فرقياً كمحرك جر؟
- س 4 - 6:** ما الشكل العام لعلاقة العزم/الانزلاق لمحركات الحثية ثلاثة الأوجه؟ وضح بالرسم كيف تتأثر هذه العلاقة بزيادة مقاومة الدوران؟
- تمرين 4 - 1:** قاطرة كهربائية تبذل قوة جر مقدارها $N = 33800$ عند السير على مستوى أفقى بسرعة 48.3 km/h , وتبذل قوة مقدارها $N = 53400$ عندما تصعد مستوى مائلاً. أوجد قدرة المحرك بالحصان إذا كان:
أ - المحرك توالٍ للتيار مستمر.
ب - المحرك حتى ثلاثي الأوجه.

التحريك الكهربائي

الجر الكهربائي

الجذارة: معرفة مميزات وعيوب الجر الكهربائي ونظم تغذية شبكات الجرو حساب القدرة المحركة، ومنحنى السرعة مع الزمن لحركة القطارات.

الأهداف:

عندما تكمل التدرب على هذه الوحدة يكون لديك القدرة بإذن الله على:

- 1 معرفة مميزات وعيوب الجر الكهربائي.
- 2 معرفة نظم تغذية شبكات الجر.
- 3 حساب القدرة المحركة لدواليب الحركة.
- 4 معرفة ميكانيكية حركة القطارات.
- 5 معرفة منحنى السرعة مع الزمن لحركة القطارات.

الوقت المتوقع للتدريب: 6 ساعات

متطلبات الجذارة:

يجب التدرب على جميع المهارات لأول مرة.

الوحدة الخامسة : الجر الكهربائي

الجر الكهربائي يقصد به حركة المركبات والقطارات التي تستخدم المحركات الكهربائية لإنتاج الطاقة الميكانيكية اللازمة للتحريك، مثل القطارات والحافلات الكهربائية وعربات الترام ومركبات дизل 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 أكانت مركبة أرضية أم 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. ويستخدم هذا النوع بالطبع في وسائل النقل البري فقط وتحتاج محطات التوليد من حيث كونها للتيار المستمر أو التيار المتردد، على حسب نوع المحركات المستخدمة في الجر، فعند 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 :

- النظافة التي تصاحب استخدام المحركات الكهربائية

• يوفر المحرك الكهربائي عزماً كبيراً لبدء الحركة، مما يسمح بتسارع عالي القيمة عند بدء الحركة. وذلك 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 توفير في استخدام الفرامل الميكانيكية مما يطيل من عمرها، ويقلل من التأكّل في الدواليب الدواره 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 الأنفاق 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 600 إلى 700 مستخدم عالمياً لعربات الترام داخل المدن، بينما يستخدم جهد مستمر من V 1500 إلى 3000 خارج المدن، وتمثل القصبيان الخط الرا�ع بالتيار، وتحص المواصفات على ألا يزيد هبوط الجهد عن 7 فولت بين أي نقطتين على الخط الرا�ع بالتيار. أما بالنسبة للحافلات الكهربائية (Trolleybus) فيكون الخطان هوائيين، خط التغذية والخط الرا�ع، كما يجب ألا يتعدى الجهد 10% بالزيادة أو النقصان. ويتم تغذية شبكة التيار المستمر من محطات تغذية تبعد عن بعضها البعض من 3 إلى 5 كيلومترات داخل المدن، ومن 40 إلى 50 كيلومتر خارج المدن . كما يتم إمداد محطات التغذية بالطاقة من شبكات التيار المتردد بجهد من 110 إلى 132 كيلو فولت، حيث يتم تحويله إلى تيار مستمر بالجهد المطلوب.

(2) نظام التيار المتردد أحادي الوجه: في هذا النظام يستخدم جهد من 11 إلى 15 كيلو فولت بتردد 50% أو 25 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 50 أو 60 هيرتز فيلزم خفض التردد للحد المطلوب (يستخدم محرك تزامني ثلاثي الأوجه لتشغيل مولد أحادي الوجه لتوليد الجهد والتردد المطلوبين).

تكون شبكة الجر في هذه الحالة من خط هوائي واحد وتمثل القسبان الخط الراجع، تحمل القاطرة محولاً لخفض الجهد إلى 300 أو 400 فولت لتغذية محرك التوالي العام ويمكن التحكم في سرعة المحرك بتغيير جهد المحوّل.

يستخدم التردد المنخفض 16% أو 25 هيرتز لتحسين الكفاءة ومعامل القدرة للمحرك، كما يساعد على الحد من الشرارة الكهربائية بين الموحد والفرش، هذا بالإضافة لتقليل الممانعة الحرية لموصلات شبكة الجر وبالتالي التقليل من الجهد المفقود. يؤدي هذا إلى زيادة المسافة بين محطات التغذية لتصبح من 50 إلى 80 كيلومتر. كما يساعد استعمال التردد المنخفض أيضاً إلى التقليل من التداخل مع شبكات الهاتف والاتصالات.

(3) نظام التيار المتردد ثلاثي الأوجه: تستخدم المحركات الحثية الثلاثية الأوجه كمحركات جر في هذه الحالة بجهد 3.3KV وتردد $3.3\frac{2}{3}Hz$ ، تستقبل محطات التغذية الطاقة من شبكات الجهد العالي ويتم خفض الجهد والتردد للحد المطلوب وت 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، و 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 فإن

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

$$F_a$$

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 فإن

$$F_a = m \cdot a = (W/g) \cdot a$$

Newton

بما أن القطار يحتوي على أجزاء دوارة، مثل الدواليب والمحاور ومحركات التحرير وصندوق التروس ... إلخ، فإن الكتلة المكافئة للقطار m_e تزيد بمقدار 10% إلى 20% عن الكتلة الساكنة للقطار، وتحسب القوة اللازمة للتسارع

$$F_a = m_e \cdot a = (W_e/g) \cdot a$$

Newton

إذا كانت الكتلة المكافئة بالكيلوجرام والوزن المكافئ بالنيوتون والتسارع بالمتر/ثانية² فإن وحدات القوة تكون بالنيوتون، أما إذا كانت الكتلة بالطن والتسارع بالكيلومتر/ساعة/ثانية فإن:

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

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 دوالب الحركة ... إلخ، وهي لا تعتمد على سرعة القطار ولكن تعتمد على كتلة القطار فقط. مقاومة الرياح وتناسب مع مربع سرعة القطار.

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

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

حساب القوة اللازمة للتغلب على تأثير الجاذبية الأرضية:

إذا كان القطار يصعد منحدراً بزاوية ميل θ

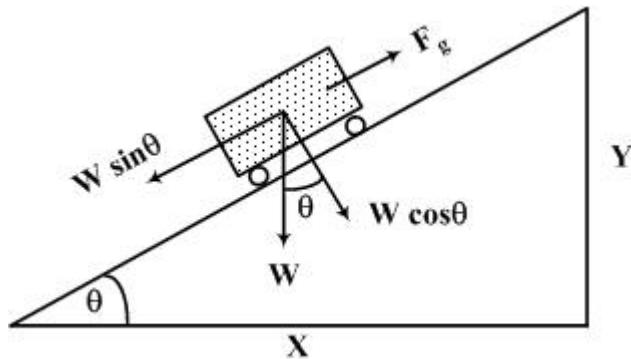
$$F_g = W \sin \theta = m \cdot g \cdot \sin \theta$$

فإذا كانت C هي النسبة المئوية لميل المستوي الشكل (5-1) فإن

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

$$F_g = 1000 \text{ m} \cdot g \cdot C/100 = 98.1 \text{ m} \cdot C$$

حيث m الكتلة الساكنة بالطن.



الشكل (5 - 1)

جسم يصعد مستوى مائلاً

إذاً قوة الجر الكلية اللازمة على دولاب التحرير:

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

$$F_t = 277.8 \text{ me. a} + m \cdot r \pm 98.1 \text{ m} \cdot C \quad \text{N}$$

من فضلك تذكر أن وحدات الكتلة بالطن والتسارع بالكيلومتر/ساعة/ثانية و C نسبة مئوية لميل المستوي و I بالنيوتن/طن. الإشارة الموجبة تستعمل عندما يكون القطار صاعداً للمستوى المائل، والإشارة السالبة تستعمل عندما يكون القطار هابطاً للمستوى المائل، $F_g = 0.0$ عندما يسير القطار على مستوى أفقى.

القدرة المحركة لدوالib الحركة

إذا كان القطار يسير بسرعة ثابتة 7 متر/ثانية فإن القدرة المطلوبة للتحريك

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

إذا كانت سرعة القطار بالكيلومتر/ساعة

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

إذا كانت η هي كفاءة صندوق التروس، فإن القدرة المطلوبة من محركات الجر

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

مثال 5 - 1: قطار يزن 240 طن، بدأ حركته صاعداً لمستوى مائل 1:250 بتسارع 2 كيلومتر/ساعة/ثانية حتى وصلت سرعته 60 كيلومتر/ساعة. أوجد مقدار قوة الجر اللازمة في هذه الحالة والقدرة اللازمة لدوالib التحريك عند نهاية فترة التسارع. إذا كانت المقاومة النوعية لحركة القطار $50N/t$ والوزن المكافئ يزيد 10% عن الوزن الساكن.

$$a = 2 \text{ Km} / \text{h} / \text{sec} .$$

$$m = 240 \text{ tonne}$$

$$m_e = 1.1 \times 240 = 264$$

$$\text{tonne}$$

$$r = 50 \text{ N} / \text{t}$$

$$C = \frac{1}{250} \times 100 = 0.4 \%$$

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 دولايب التحرير

$F_1 \equiv$ قوة الجر التي تحرك التروس

$F_t \equiv$ قوة الجر على دولايب التحرير

$N_m \equiv$ سرعة دوران المحرك

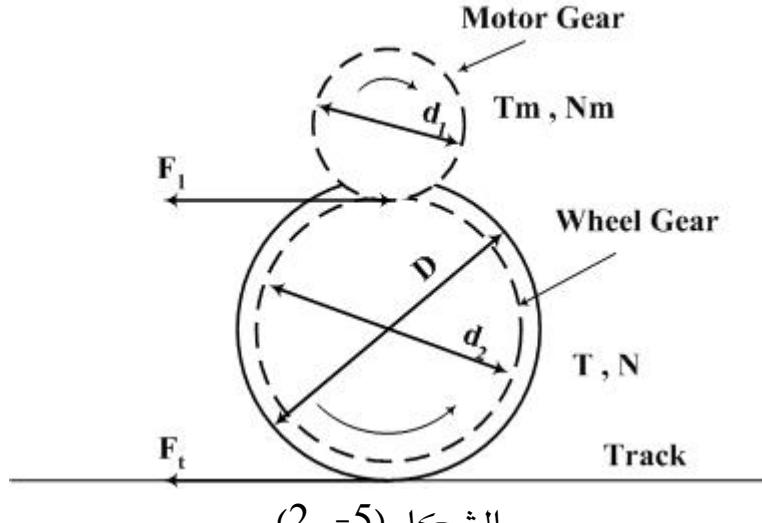
$N \equiv$ سرعة دوران دولايب التحرير

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

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

$D \equiv$ قطر دولايب التحرير

$\eta \equiv$ كفاءة صندوق التروس



الشكل (2 - 5)

نقل الحركة لدواليب القطار

$$T_m = F_1 \times \frac{d_1}{2} \quad \text{or} \quad F_1 = \frac{2 T_m}{d_1}$$

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

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

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

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

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

أقصى قوة جر ممكنة بدون انزلاق الدواليب = الوزن المركب 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 5 - 2: قطار يزن 250 طناً، يتحرك بواسطة أربعة محركات، بدأ حركته من السكون صاعداً لمستوى مائل 80:1 واستغرق 20 ثانية لتصل سرعته 42 كيلومتر/ساعة. إذا كانت نسبة تحويل صندوق التروس 3.5 وكفاءته 92%، المقاومة النوعية لحركة القطار $40N/t$ ، الوزن المتحرك يزيد 10% عن الوزن الساكن، قطر الدوّلاب 92 سم. أوجد مقدار العزم المتولد من كل محرك.

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

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

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

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

$$F_t = 277.8 \times 275 \times 2.1 + 250 \times 40 + 98.1 \times 250 \times 1.25 = 201054.5 \quad N$$

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

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

مثال 5 - 3: قطار يزن 250 طناً، يتحرك بواسطة أربعة محركات، كل منها يولد عزماً يبلغ 8000 نيوتن متر، بدأ حركته من السكون صاعداً لمستوي مائل 30: 1000 إذا كانت نسبة تحويل صندوق التروس 3.5 وكفاءته 90% والمقاومة النوعية لحركة القطار 50N/t والوزن المتحرك يزيد 10% عن الوزن الساكن وقطر الدوّلاب 90 سم. احسب الزمن اللازم لكي تصل سرعة القطار إلى 80 كيلومتر/ساعة إذا كان جهد المصدر $V=3000\text{V}$ وكفاءة المحرك 85%， احسب تيار المحرك أثناء فترة التسارع.

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

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

$$F_t = F_a + F_r + F_g$$

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

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

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

$$F_a = 277.8 \times m_e \times a = 137925 \text{ N}$$

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

Time taken to achieve a speed of 80 Km / h.

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

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

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

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

أنواع خدمات نقل الركاب بالجر الكهربائي

هناك ثلاثة أنواع من خدمات نقل الركاب بالجر الكهربائي:

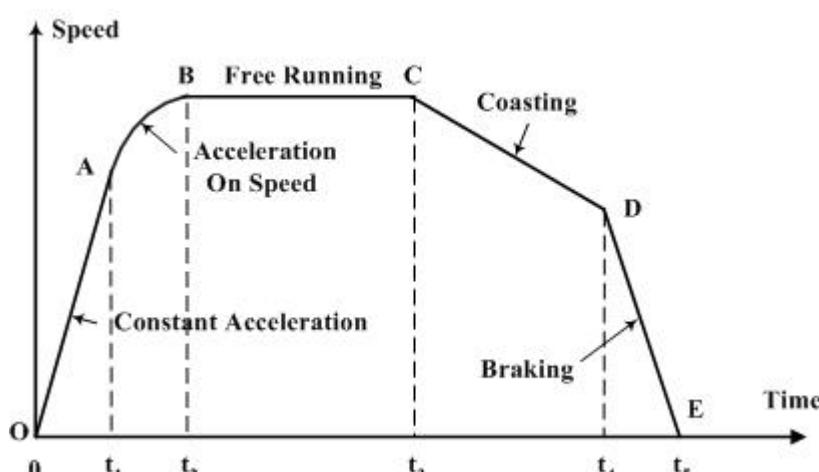
- النقل داخل المدن: يكثر توقف القطارات في حالة النقل داخل المدن، حيث يحدث التوقف في كل مسافة (كيلومتر واحد أو أقل أو أكثر ، معدل التسارع والتباطؤ العالي ضروري لتحقيق سرعة حسابية متوسطة بين محطات التوقف.
- النقل إلى ضواحي المدن: تكون المسافة بين الوقفتين من 3 إلى 5 كيلومترات ومسافة الرحلة الكلية من 30 إلى 40 كيلومتر ومعدل التسارع والتباطؤ العالي ضروري أيضاً في هذه الحالة.
- النقل بين المدن: حيث تكون المسافات طويلة والوقفات قليلة متباينة. السرعات العالية مرغوب فيها أما المعدل العالي للتسارع والتباطؤ فغير ضروري.

منحنى السرعة مع الزمن

حركة القطارات والطاقة الكهربائية اللازمة لتلك الحركة يمكن دراستها بواسطة منحنيات السرعة/الزمن والسرعة/المسافة. المنحنى الأول يعطي 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 مباشرة 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 (5-3) ويمكن تقسيم هذا المنحنى إلى خمسة أجزاء متتالية.

1. فترة التسارع الثابت (t_0 to t_1) : الجزء OA ابتداء من بدء الحركة وحتى الوصول إلى السرعة المطلوبة، يبذل المحرك أشغال تلك الفترة قوة الجر اللازمة لحفظ تسارع ثابت.
2. فترة التسارع على السرعة (t_1 to t_2) : الجزء AB، أشغال هذه الفترة يتراقص التسارع تدريجياً حتى تتساوى القوة المولدة مع المقاومة لحركة القطار، عندها تصبح السرعة ثابتة.
3. 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
4. فترة الإرساء (t_3 to t_4) : يتم أشغال 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 التوقف (الفرامل)، فترة الإرساء مرغوب فيها بسبب استغلال جزء من طاقة الحركة في الكتلة المتحركة بدلاً من إصواتها أشغال فترة الفرامل.
5. فترة الكوابح (الفرامل) (t_4 to t_5) : حيث يتم توقف (فرملة) القطار، باستخدام الكوابح الفرامل الكهربائية أو الميكانيكية أو أحدهما بعد الأخرى، فتتناقص سرعته حتى يتوقف، الجزء DE



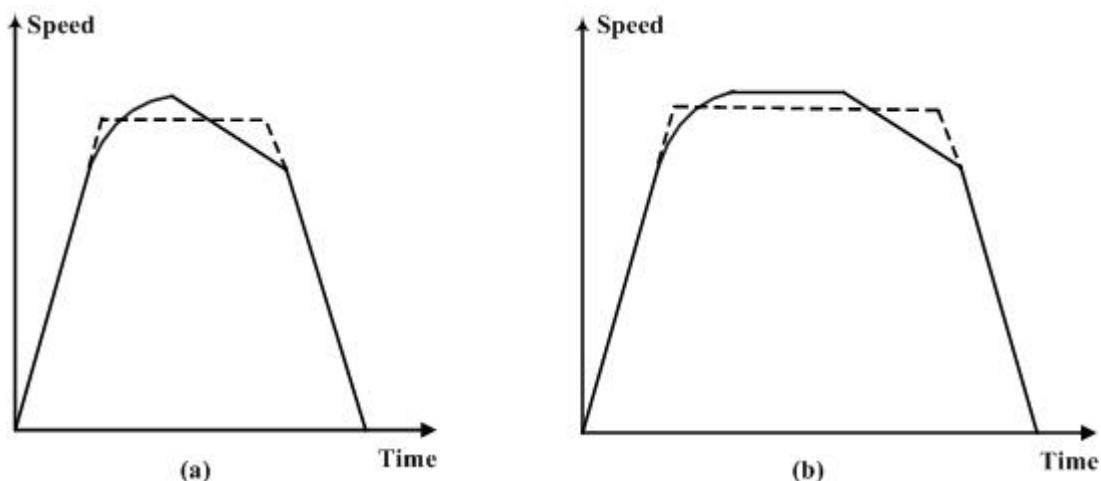
الشكل (3 - 5)

المنحني التقليدي للسرعة مع الزمن

منحنى السرعة مع الزمن للخدمات المختلفة

الشكل (5-4) 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، وفترة الإرساء تبدأ مباشرة بعد انتهاء فترة التسارع على السرعة، وفترة الإرساء تكون طويلة نسبياً في النقل إلى ضواحي المدن عنها في حالة النقل داخل المدن.

الشكل (5-4 ب) يبين منحنى السرعة/الزمن للنقل بين المدن حيث توجد فترة طويلة للانطلاق الحر بسرعات عالية.



شكل 5 - 4 منحنى للسرعة/الزمن
(أ) للنقل داخل أو إلى ضواحي المدن. (ب) للنقل بين المدن

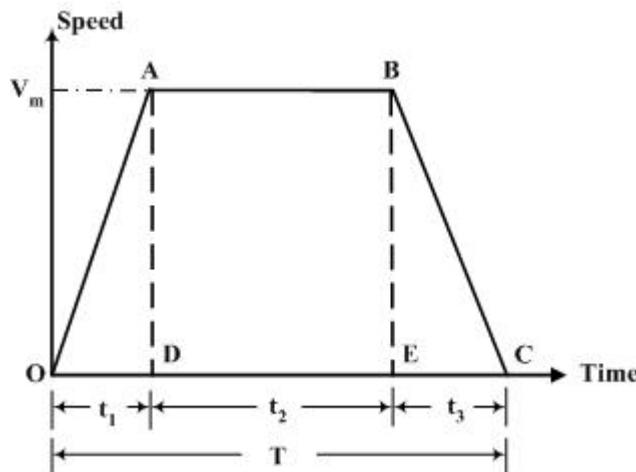
السرعة المتوسطة والسرعة الحسابية

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 الوقفتين = المسافة بين الوقفتين / الزمن الفعلى للسير.
- السرعة الحسابية (schedule speed): هي متوسط قيمة السرعة بين الوقفتين معأخذ فترة الوقف في الحساب = المسافة بين الوقفتين / (الزمن الفعلى للسير + زمن التوقف).

منحنى شبه المنحرف بين السرعة/الزمن

لتسهيل الحسابات دون الوقوع في خطأ يذكر، يمكننا تقرير منحنى السرعة/الزمن إلى شبه منحرف ثابت الارتفاع كما موضح بالخط المقطعي في الشكل(5 - 4)، سواء أكان النقل داخل المدن أم خارجها. ينقسم المنحنى في هذه الحالة إلى ثلاثة فترات كما في الشكل(5 - 5):



الشكل 5 - 5

منحنى شبه المنحرف للسرعة/الزمن

- الفترة الزمنية t_1 ثانية وهي فترة التسارع، تزداد سرعة القطار بتسارع 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_3 ثانية وهي فترة التوقف (الفرملة) تتحفظ سرعة القطار بتقصير منتظم b كيلومتر/ساعة/ثانية، ويقطع أثناءها مسافة S_3 كيلومتر.
- الفترة الزمنية المتوسطة t_2 ثانية: حيث يسير القطار بسرعة ثابتة V_m ، ويقطع أثناءها مسافة S_2 كيلومتر، حيث الزمن الكلي للرحلة T وتحسب t_2 من $\{t_2 = T - (t_1 + t_3)\}$

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

$$b = \frac{V_m}{t_3} \quad \text{or} \quad t_3 = \frac{V_m}{b} \quad \text{and} \quad S_3 = \frac{1}{2} V_m \times \frac{t_3}{3600} \quad \text{Km}$$

مساحة شبه المنحرف OABC في الشكل(5 - 5) تعطي المسافة الكلية بين الوقفتين S بالكيلومتر.

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

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

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

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

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

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

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

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

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

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

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

Taking the negative sign only

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

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

مثال 5 - 3: قطار يسير بسرعة متوسطة مقدارها 36 كيلومتر/ساعة بين محطتين المسافة بينهما 2 كيلومتر، ويتوقف 25 ثانية في كل محطة. يسير القطار بتسارع ثابت مقداره 1.8 كيلومتر/ساعة/ثانية أثناء فترة التسارع، وبتقسيم ثابت مقداره 3.6 كيلومتر/ساعة/ثانية أثناء فترة التوقف (الفرامل). احسب قيمة السرعة القصوى التي يصل إليها القطار بافتراض أن منحنى السرعة/الزمن شبه منحرف ثابت الارتفاع. احسب أيضاً السرعة الحسابية للقطار.

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

$$V_a = 36$$

$$a = 1.8 \quad \text{and} \quad b = 3.6$$

Km/h

Km/h/sec.

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

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

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

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

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

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

$$= \frac{2}{(200 + 25) / 3600} = 32 \text{ Km/h}$$

مثال 5 - 4: قطار يسير بسرعة حسابية مقدارها 40 كيلومتر/ساعة بين محطتين المسافة بينهما 2.5 كيلومتر، ويتوقف 25 ثانية في كل محطة. يسير القطار بتسارع ثابت مقداره 2.2 كيلومتر/ساعة/ثانية أثناء فترة التسارع، وبتقصير ثابت مقداره 3.5 كيلومتر/ساعة/ثانية أثناء فترة التوقف (الفرامل). احسب قيمة السرعة القصوى التي يصل إليها القطار بافتراض أن منحنى السرعة/الزمن شبه منحرف ثابت الارتفاع. ارسم هذا المنحني. احسب أيضاً السرعة المتوسطة.

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

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

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

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

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

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

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

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

To draw the speed time curve , find :

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

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

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

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

اختبار ذاتي

اختر الإجابة أو الإجابات الصحيحة للأسئلة التالية.

1. 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.

2. 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.

3. منحني السرعة/الزمن للنقل داخل المدن ليس بـ فترة

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

4. زيادة زمن توقف القطارات في المحطات

- أ. يزيد من السرعة الحسابية.
- ب. ينقص من أقصى سرعة.
- ج. ينقص من السرعة الحسابية.
- د. يزيد من أقصى سرعة.

5. قطار يزن 490 طناً ويسير بسرعة 90 كيلومتر/ساعة، تكون كتلته كجم وسرعته متر/ثانية.

- أ. 25 & 50000 .
- ب. 25 & 490000 .

- ج. 25 & 490
د. 324 & 50

6. فترة الانطلاق الحر لمنحنى السرعة/الزمن لا تعتمد على:

- أ. فترة التوقف.
ب. المسافة بين الوقفتين.
ج. الزمن الكلي للرحلة.
د. فترة التسارع.

7. يمكن زيادة قوة الجر للقطارات الكهربائية

- أ. بزيادة جهد المصدر.
ب. باستخدام محركات ذات قدرة أعلى.
ج. بزيادة الوزن على دواليب الحركة.
د. أ و ب مما سبق.
هـ. ب وج مما سبق.

8. تستخدم قوة الجر المولدة في القطارات الكهربائية

- أ. لتسارع القطار.
ب. للتغلب على تأثير الجاذبية الأرضية.
ج. للتغلب على قوة المقاومة لحركة القطار.
د. جميع العناصر السابقة.

أسئلة وتمارين متنوعة :

س 5 - 1: ما مميزات استخدام الجر الكهربائي خاصة داخل المدن مقارنة بأنواع الجر الأخرى؟

س 5 - 2: ناقش الأنواع المختلفة لنظم تغذية شبكات الجر الكهربائي.

س 5 - 3: ما المقصود بمعنى السرعة/الزمن؟ وماذا يمكن أن تستفيد منه عملياً؟

س 5 - 4: عرف كلاً من: أقصى سرعة والسرعة المتوسطة والسرعة الحسابية. ثم ناقش العوامل التي تؤثر على السرعة الحسابية لحركة القطارات.

س 5 - 5: ما المقصود بكل من : فترة الإرساء و فترة الانطلاق الحر لحركة القطارات ؟

تمرين 5 - 1: قطار يزن 260 طناً، بدأ حركته صاعداً لمستوى مائل 200 : 1 بتسارع 1.8 كيلومتر/ساعة/ثانية حتى وصلت سرعته 70 كيلومتر/ساعة. أوجد مقدار قوة الجر اللازمة في هذه الحالة والقدرة اللازمة لدواليب التحرير عند نهاية فترة التسارع . إذا كانت المقاومة النوعية لحركة القطار $50N/t$ والوزن المكافئ يزيد 15% عن الوزن الساكن.

تمرين 5 - 2: قطار يزن 250 طناً، بدأ حركته من السكون صاعداً لمستوى مائل 100 : 1 واستغرق 20 ثانية لتصل سرعته 45 كيلومتر/ساعة. إذا كانت نسبة تحويل صندوق التروس 3.2 وكفاءته 92%， المقاومة النوعية لحركة القطار $40N/t$ ، الوزن المتحرك يزيد 10% عن الوزن الساكن و قطر الدوّلاب 92 سم . أوجد مقدار العزم المتولد بواسطة المحركات.

تمرين 5 - 3: قاطرة تجر قطاراً يزن 400 طن ليصعد مستوى مائلاً 1:100 بتسارع 0.8 كيلومتر/ساعة/ثانية. معامل الالتصاق 0.25 . احسب أقل وزن للقاطرة. إذا كانت المقاومة النوعية لحركة القطار $60N/t$ والوزن المتحرك يزيد 10% عن الوزن الساكن.

تمرين 5 - 4: قطار يسير بسرعة متوسطة مقدارها 40 كيلومتر/ساعة بين محطتين المسافة بينهما 2 كيلومتر، ويتوقف 30 ثانية في كل محطة. يسير القطار بتسارع ثابت مقداره 1.8 كيلومتر/ساعة/ثانية أثناء فترة التسارع، وبتقسيم ثابت مقداره 3.5 كيلومتر/ساعة/ثانية أثناء فترة التوقف (الفرامل). احسب قيمة السرعة القصوى التي يصل إليها القطار بافتراض أن معنى السرعة/الزمن شبه منحرف ثابت الارتفاع. احسب أيضاً السرعة الحسابية للقطار.

التحريك الكهربائي

توقف (فرملة) المحركات الكهربائية

الجدارة: معرفة أنواع الكواكب (الفرامل) الكهربائية وكيفية تطبيقها على المحركات الكهربائية.

الأهداف:

عندما تكمل التدرب على هذه الوحدة يكون لديك القدرة بإذن الله على:

- 1 معرفة الفرمولة بإعادة التوليد وكيفية تطبيقها على محركات التيار المستمر والمتعدد.
- 2 معرفة الفرمولة الديناميكية وكيفية تطبيقها على محركات التيار المستمر والمتعدد.
- 3 معرفة الفرمولة بالتيار المعكوس أو التبديل وكيفية تطبيقها على محركات التيار المستمر والمتعدد.
- 4 مميزات وعيوب الطرق المختلفة لأنواع الفرامل الكهربائية.

الوقت المتوقع للتدريب: 4 ساعات

متطلبات الجدارة:

اجتياز مقررات آلات التيار المستمر والمتعدد.

الوحدة السادسة : فرمولة المحركات الكهربائية

أنواع الفرامل الكهربائية

في كثير من التطبيقات الصناعية لابد من تواجد وسيلة لإيقاف وفرمولة الكتل المتحركة، ممثلة في المحرك والحمل الميكانيكي المتصل به، لأسباب اقتصادية ولتحقيق السلامة الصناعية، ولا بد أيضاً من تواجد وسيلة للحد من السرعة الزائدة، في حالة الأحمال المأبطة تحت تأثير الجاذبية الأرضية، كما في الرفاف والأوناش والمصاعد الكهربائية أو الكتل المنحدرة على مستوى مائل كما يحدث في المركبات الكهربائية. حيث تمتلك هذه الكتل كميات كبيرة من الطاقة الكامنة (Potential Energy) التي تحول إلى طاقة حركة (Kinetic Energy) فتكتسب هذه الكتل المتحركة سرعات كبيرة، لذا 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 تتوقف تماماً. هذا العزم مضاد يمكن توليده والحصول عليه بواسطة النوع المناسب من الكواكب (الفرامل)، لذلك فإنه يجب اختيار نوع الفرمولة المناسب حسب نوع نظام التحريك، وبصفة عامة فهناك نوعان من الكواكب (الفرامل) :

♦ الكواكب (الفرامل) الميكانيكية.

♦ الكواكب (الفرامل) الكهربائية.

تمتاز الكواكب (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 فرمولة الأجزاء المتحركة.

يمكن تقسيم الفرامل الكهربائية إلى نوعين:

- الفرامل بواسطة المحرك الكهربائي نفسه المستخدم للتحريك بعد إجراء التعديلات اللازمة لدائرة 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. الفرملة بإعادة التوليد.
- ب. الفرملة الديناميكية أو باستخدام المقاومة المتغيرة.
- ت. الفرملة بالتيار المعكوس أو التبديل.

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

أولاً: فرملة محركات التيار المستمر.

1. الفرملة بإعادة التوليد: Regenerative Braking

عند تطبيق هذه الطريقة، يعمل المحرك الكهربائي كمولد للطاقة الكهربائية بينما يظل موصلًا بمصدر الجهد، وعندما يقوم بتحويل طاقة الحركة المخزنة في الكتل المتحركة إلى طاقة كهربائية، ويعيدها إلى الشبكة. يجب أن تكون قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة، أكبر من جهد المصدر المتصل به المحرك وهذا 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 أكان من النوع ذي التغذية المستقلة أم 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 واضحًا للمتدرب أن الفرملة بإعادة التوليد تخفض من سرعة المحرك فقط ولا تسبب إيقافه كلياً عن الدوران. ومن أهم مميزاتها التوفير في الطاقة المستخدمة، وإعادة طاقة الحركة المخزنة في الكتل المتحركة إلى مصدر للجهد.

مثال 6 - 1 : محرك تيار مستمر توصيله توازي، $V = 220$ ، القوة الدافعة الكهربائية المتولدة $V = 215$ ، عندما كانت سرعة المحرك 1150 rpm ، مقاومة المنتج $\Omega = 0.04$ ، الحمل عبارة عن عزم دوران مقداره (19 Kg.m^2) . أوجد أقل سرعة فرمولية للمotor، إذا كان المطلوب استخدام الفرمولة بطريقة التوليد المرتجل مع الاحتفاظ بثبات تيار المجال.

أقل سرعة فرمولية للمotor، هي تلك السرعة التي تصل إليها الآلة ويصبح عندها عزم الدوران المضاد للمولد مساوياً لعزم دوران الحمل (19 Kg.m^2) .

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

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

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

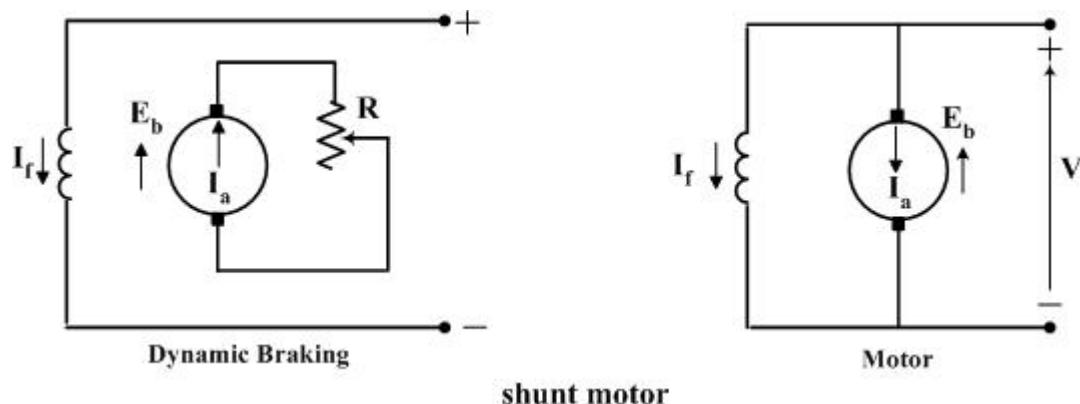
$$I_{a2} = 19 \times 9.81 \times \frac{2\pi \times 1150}{60} \times \frac{1}{215} = 104.4 \quad \text{Amp.}$$

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

$$N_2 = N_1 \frac{E_2}{E_1} = 1150 \times \frac{224.17}{215} = 1200 \quad \text{rpm}$$

2. الفرمولة الديناميكية: Dynamic Braking

في هذه الطريقة يعمل المحرك الكهربائي أيضاً كمولد للطاقة الكهربائية، وبدلاً من إعادة الطاقة المتولدة إلى مصدر الجهد، فإنها تستهلك على شكل حرارة في مقاومة إضافية خصصت لهذا الغرض مضاقة 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 المقاومة الإضافية، وذلك إما بخفض قيمة المقاومة بما يتاسب مع الخفض المستمر في السرعة، أو بزيادة تيار المجال تدريجياً لزيادة الجهد المتولد وتعويض النقص المستمر الناتج عن تباطؤ السرعة، وهذا ما يحدث في محركات التيار المستمر ذات التغذية المستقلة أو الموصلة على التوازي. الشكل(6-1) يبين كيفية توصيل محرك التوازي أثناء الفرمولة الديناميكية.



الشكل (6 - 1)

كيفية توصيل محرك التوازي أثناء الفرملة الديناميكية

مثال 6 - 2: محرك تيار مستمر، توالى، قدرته 15 حصان، $V=230$ V، مقاومة المنتج $\Omega = 0.38$ ، وتيار حمله الكامل 54 Amp، المطلوب فرملته ديناميكياً. احسب قيمة المقاومة الإضافية، التي يجب أن توصل مع المنتج لاستهلاك القدرة المترددة أثناء الفرملة، بفرض أن القوة الدافعة المترددة عند لحظة الفرملة، تساوي 0.9 من قيمة جهد المصدر، وأن أقصى قيمة للتيار أثناء الفرملة ينبغي ألا تتعدي 1.75 من قيمة تيار الحمل الكامل.

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

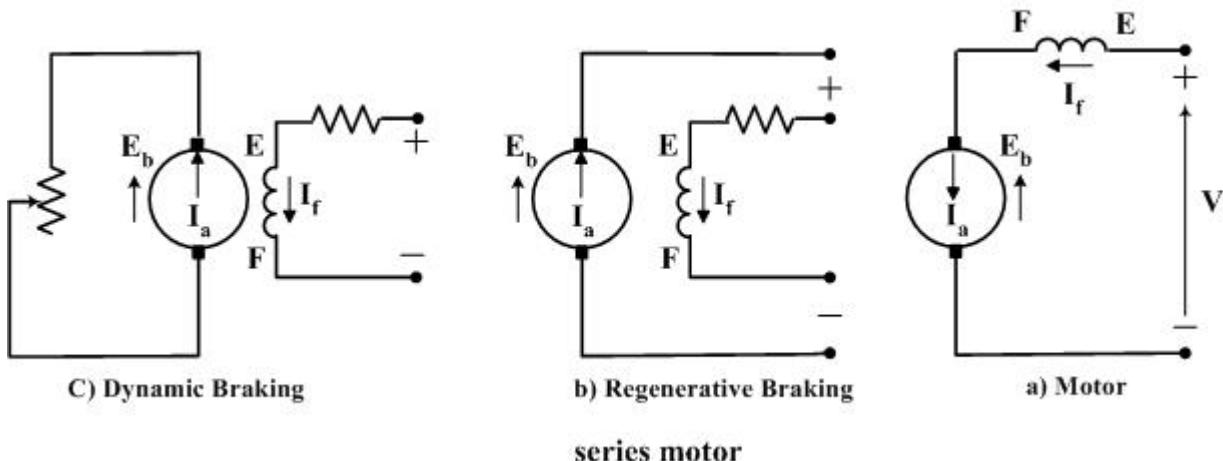
$$\text{The maximum braking current} = 1.75 \times 54 = 94.5 \text{ Amp.}$$

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

$$\text{The additional resistance} = 2.19 - 0.38 = 1.81 \Omega$$

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 يتسمى زيادة تيار المجال للحصول على قيمة القوة الدافعة الكهربائية اللازمة لتحويل الآلة إلى مولد. الشكل (6 - 2) 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 تتحوال في نعومة تامة من محرك إلى مولد إذا ما انعكس اتجاه تيار المنتج بها.



الشكل (2 - 6)

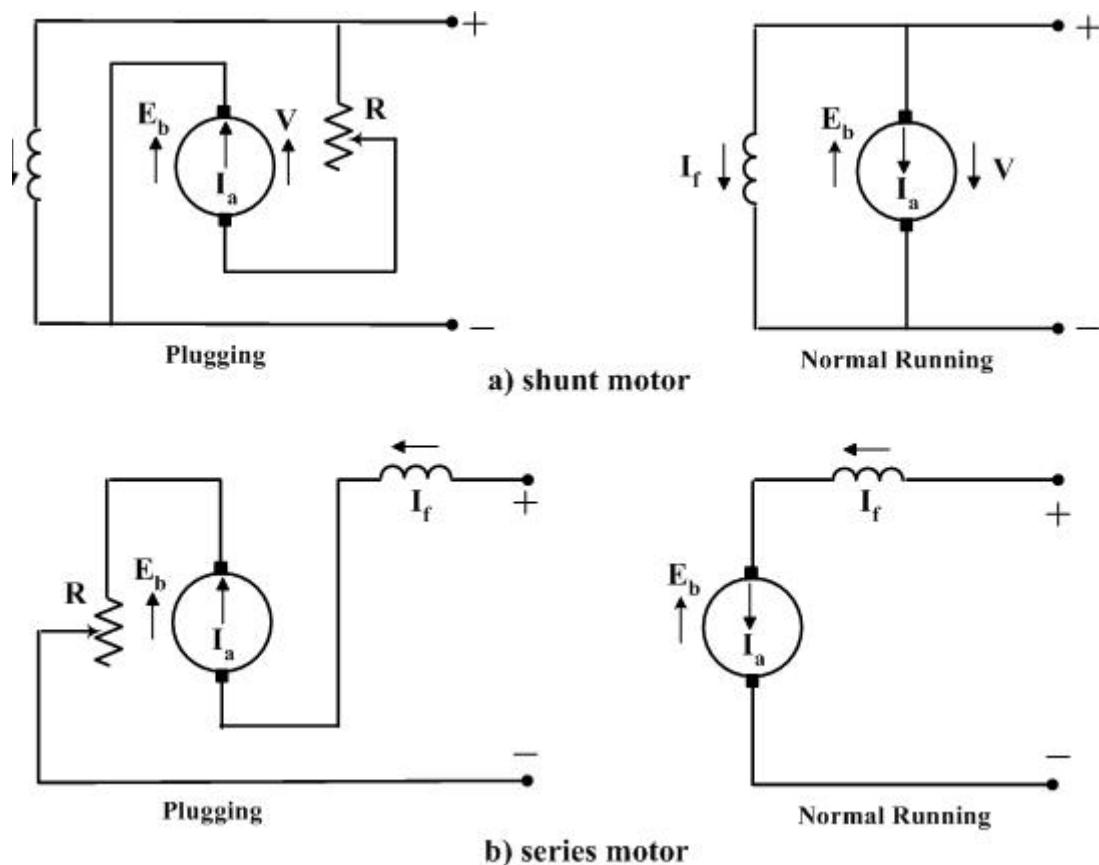
توصيل محرك التوالي أثناء الفرامل الكهربائية.

3. الفرمولة بالتيار المعكوس أو التبديل :

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

يلاحظ أنه عند تبديل طرفي المنتج أثناء دوران المmotor، تصبح قطبية القوة الدافعة الكهربائية المتولدة مضادة 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 الابتداي للفرملة، وذلك بتوصيل مقاومة خارجية على التوالي مع مقاومة المنتج، تماماً كما يحدث عند بدء الحركة، ومن عيوب هذه الطريقة، الطاقة المهدمة من المصدر، بالإضافة إلى الطاقة المطلوب تبديدها من الكتل المتحركة، واحتمال عدم الدقة في فصل المصدر الكهربائي عند وصول السرعة إلى الصفر، إلا أنها طريقة فعالة لفرملة المmotor.

الشكل(6-3) يبين كيفية توصيل محركات التيار المستمر أثناء التشغيل العادي، والتوصيل أثناء استعمال الفرامل بالتبديل، لمحرك التوازي (أ) ومحرك التوالي (ب)



الشكل (6-3) توصيل محركات التيار المستمر أثناء الفرملة بالتبديل

مثال 6-3: محرك للتيار المستمر توصيلة التوازي، 220 فولت، 18.4 كيلو وات، سرعته عند الحمل الكامل 600 لفة في الدقيقة، مطلوب فرملته بالتيار المعكوس (التبديل)، إذا كان تيار الحمل الكامل 95 أمبير، ومقاومة المنتج 0.1 أوم. أوجد :

- قيمة المقاومة الإضافية التي يجب توصيلها على التوازي مع ملف المنتج، إذا كانت قيمة التيار الابتدائي أثناء الفرملة ينبغي أن لا تتعدي 130 أمبير.
- القيمة الابتدائية لعزم الفرملة.
- قيمة عزم الفرملة عندما تهبط سرعة الدوران إلى نصف قيمتها عند الحمل الكامل.

$$T \propto I$$

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

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} = \frac{2\pi \times 600}{60} = 62.8 \text{ rad/sec.}$$

$$\text{The full load torque} = \frac{P}{\omega} = \frac{18.4 \times 1000}{62.8} = 293 \text{ N.m.}$$

$$\text{The initial braking torque} = 293 \times \frac{130}{95} = 401$$

$$E_b = V - I_a \cdot R_a = 220 - 95 \times 0.1 = 210.5 \text{ Volt}$$

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

$$= 220 + 210.5 = 430.5 \text{ Volt}$$

The resistance required in the armature circuit to limit the

$$\text{current to 130 ampere} = \frac{430.5}{130} = 3.312 \Omega$$

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 its full load value, the back e.m.f. also

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

$$\text{The Current} = \frac{220 + 105.25}{3.3123} = 98.2 \text{ Amp.}$$

The electric braking Torque at half full speed

$$= 293 \times \frac{98.2}{95} = 302 \text{ N.m.}$$

مثال 6 - 4: محرك للتيار المستمر توصيله التوازي، 400 فولت، تيار الحمل الكامل 200 أمبير، ومقاومة المنتج 0.1 أوم، سرعته عند الحمل الكامل 600 لفة في الدقيقة، مطلوب فرمـلة الكـهـربـائـيـة بالـتـبـدـيلـ اـحـسـبـ:

- أ. قيمة المقاومة التي يجب توصيلها على التوالى مع دائرة المنتج، لمنع زيادة التيار الابتدائي أثناء الفرمـلة الكـهـربـائـيـة عن 300 أمبير.
- ب. القيمة الابتدائية لعزم الفرمـلة.

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

$$\text{The full load current} = I_a = 200 \text{ Amp.}$$

$$\text{The terminal Voltage} = V = 220 \text{ Volt}$$

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

$$\text{The voltage across the armature at the instant of braking} = V + E_b = 400 + 380 = 780 \text{ Volt}$$

The resistance required in the armature to limit the current to 300

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

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

$$T \propto I_a$$

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

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

$$\text{The full load torque} = \frac{P}{\omega} = \frac{E_b \cdot I_a}{\omega} = \frac{380 \times 200}{62.8} = 1209.2 \text{ N.m.}$$

$$\text{The initial braking torque} = 1209.2 \times \frac{300}{200} = 1815.3 \text{ N.m.}$$

When the speed has fallen to half of its initial value, the back e.m.f.

$$\text{also falls to half of its original value i.e.} = \frac{380}{2} = 190 \text{ Volt}$$

$$\text{The current} = \frac{400 + 190}{2.6} = 226.92 \text{ Amp.}$$

The electric braking torque at half full load

$$\text{speed} = 1209.2 \times \frac{226.92}{200} = 1371.96 \text{ N.m.}$$

ثانياً : فرملة المحركات الحية ثلاثة الأوجه .

• الفرملة بإعادة التوليد : Regenerative Braking

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

يمكن أيضاً في حالة المحركات الحية ثلاثة 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.

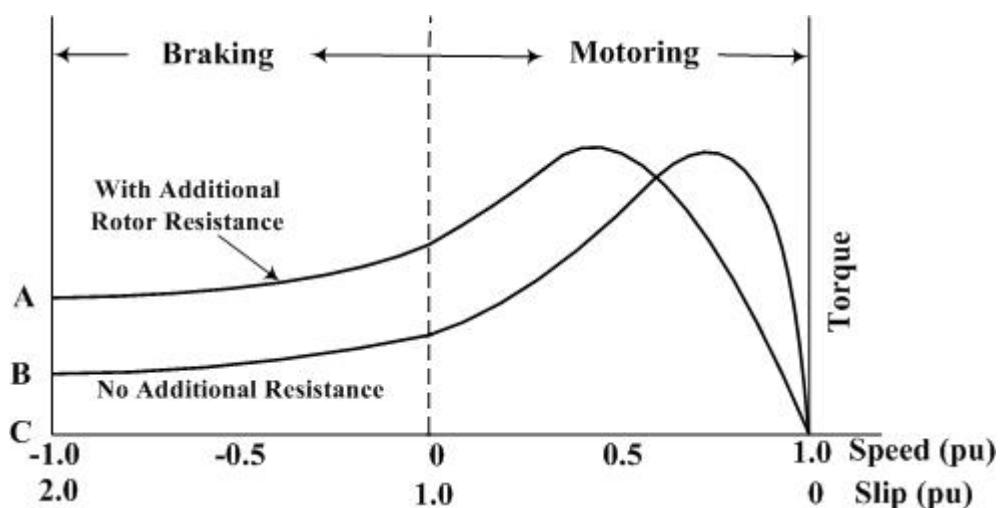
• الفرملة الديناميكية باستخدام التيار المستمر : Rheostatic or DC Dynamic Braking

يتم تطبيق هذه الطريقة على المحركات الحية ثلاثة 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 الفرملي المتولد، بإضافة مقاومات خارجية للدوار في حالة المحرك ذي العضو الدائري الملفوف، وقد تستعمل هذه المقاومات نفسها كمقاومات لبدء الحركة، أما في حالة المحركات الحية ثلاثة الأوجه ذات العضو الدائري ذي القفص السنجابي، فإنه يكتفى بالمقاومات الداخلية للقفص السنجابي لتبييد الطاقة الكهربائية المتولدة فيها.

Reverse Current Braking or Plugging: الفرملا بالتيار المعاكس أو التبديل:

يمكن تطبيق هذه الطريقة في حالة المحركات الحثية ثلاثية الأوجه، وذلك بتبدل أي طرفين من أطراف تغذية المحرك، فينعكس اتجاه دوران المجال المغناطيسي الدوار، وينعكس تبعاً لذلك اتجاه العزم المترولد، فتتباطأ 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(6-4) يبين العلاقة بين العزم والسرعة خلال فترة الفرامل. عند اللحظة الأولى، بعد تبديل طرفي المحرك، يكون الدوار دائراً بالسرعة N ضد اتجاه المجال المغناطيسي، فتكون سرعته بالنسبة للمجال هي $(N_s + N \approx 2N_s)$ ، ويكون الانزلاق مساوياً (2 p.u.) . العزم BC المبين بالشكل، يمثل عزم الدوران الفرولي 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 الدوار، فيزداد عزم الفرامل إلى القيمة AC كما هو مبين في الشكل(6-4)



شكل 6-4

علاقة العزم مع السرعة للمحركات الحثية أثناء الفرملا بالتبديل

أسئلة وتمارين متنوعة :

س 6 - 1: اذكر مميزات استخدام الكواكب (الفرامل) الكهربائية عن نظيرتها الميكانيكية.

س 6 - 2: وضح كيف يمكن استخدام الفرامل بكل من الطرق الآتية لمحركات التيار المستمر: التيار المعاكس والفرامل الديناميكية والفرامل بإعادة التوليد.

س 6 - 3: وضح كيف يمكن استخدام الفرامل بكل من الطرق الآتية لمحركات الحثية ثلاثية الأوجه: التيار المعاكس والفرامل الديناميكية والفرامل بإعادة التوليد.

س 6 - 4: لماذا يجب أن تكون المقاومة المضافة لدائرة المنتج، أثناء استعمال الفرامل الديناميكية في محركات التوالي للتيار المستمر، أقل من المقاومة الحرجة؟

س 6 - 5: ما فائدة إضافة مقاومة خارجية لدوران المحركات الحثية ثلاثية الأوجه ذات العضو الدوار الملفوف أثناء فترة الفرامل باستخدام التيار المعاكس؟ ووضح إجابتك بالرسم.

تمرين 6 - 1: محرك تيار مستمر، توالي، قدرته 25 حصان، 240-V ، مقاومة المنتج $0.38\ \Omega$ ، وتيار حمله الكامل 90 amp . المطلوب فرمليته 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 0.95 من قيمة جهد المصدر، وإن أقصى قيمة للتيار أثناء الفرملة ينبغي ألا تتعدي 1.6 من قيمة تيار الحمل الكامل .
(Ans. $R_{ad} = 1.2\ \Omega$)

س 6 - 2: محرك للتيار المستمر توصيله التوازي، 25 حصان، 400 فولت، ومقاومة المنتج 0.2 أوم، سرعته عند الحمل الكامل 450 لفة في الدقيقة، كفاءة عند الحمل الكامل 74.6% ، مطلوب فرمليته بالتيار المعاكس (التبديل) احسب:

(i) قيمة المقاومة التي يجب توصيلها على التوالي مع دائرة المنتج، إذا كان أقصى تيار أثناء الفرملة ينبع ألا يتعدى ضعف تيار الحمل الكامل.
(Ans. 6.1Ω)

(ii) أقصى عزم فرولي .
(Ans. 1028 N.m.)

(iii) قيمة العزم عندما يتوقف المحرك.
(Ans. 522 N.m.)

س 6 - 3: محرك تيار مستمر، توازي، القوة الدافعة الكهربائية المتولدة $V = 250\text{-V}$ ، عندما كانت سرعة المحرك 1200-rpm ، مقاومة المنتج $\Omega = 0.05$ ، وكان الحمل ذا عزم دوران مقداره 200 N.m . احسب أقل سرعة فرملية للمحرك، إذا كان المطلوب استخدام الفرمولة بطريقة التوليد المرتجل، مع الاحتفاظ بثبات تيار المجال.

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

التحريك الكهربائي

آلية اختيار محرك التحريك المناسب

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

الأهداف:

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

- 1 الخواص الكهربائية.
- 2 العوامل الميكانيكية.
- 3 حجم المحرك وقدرته.
- 4 كلفة المحرك.

الوقت المتوقع للتدريب: ساعتان

متطلبات الجدارة:

التدرب على جميع المهارات لأول مرة.

الوحدة السابعة : آلية اختيار محرك التحريك المناسب لحمل معين

تتمتع وسائل التحريك الكهربائي بمميزات متعددة لذلك فهي أفضل وسائل التحريك والتدوير المستخدمة في أغلبية التطبيقات الصناعية والعنصر الرئيسي في هذه الوسائل هو المotor الكهربائي الذي له مميزات عديدة أهمها :

- ملائمة التقنية والاقتصادية للمطلبات الخاصة في التطبيقات الصناعية.
- إمكانية تصميمه بقدرات متفاوتة تتراوح من جزء من الألف من الحصان إلى عشرات الآلاف من الأحصنة.
- سرعته ذات مدى كبير تتراوح من خمسين لفة في الدقيقة إلى عدة آلاف لفة في الدقيقة.
- إمكانية التنظيم والتحكم السهل في سرعة الدوران.
- سهولة بدء حركته وإيقافه وعكس اتجاه دورانه.
- عدم احتياجه إلى وقت لتجهيزه للعمل.
- سهولة صيانته وقلة كلفتها.

العوامل التي يجب مراعاتها عند اختيار المotor الكهربائي

اختيار المotor الكهربائي يعتمد على الظروف التي سيعمل تحتها ونوع الحمل الذي سيحركه، فهناك عدة عوامل تجب مراعاتها عند اختيار المotor الكهربائي ليناسب إحدى التطبيقات الصناعية وأهمها :

1) الخواص الكهربائية:

- أ. خواص بدء الحركة، من حيث قيمة كل من عزم بدء الحركة وتيار بدء الحركة.
- ب. خواص المmotor أثناء التشغيل والعلاقة بين عزم الدوران والسرعة والعلاقة بين السرعة والتيار، والمفقودات، والكافاءة، إلخ.
- ج. مدى التحكم في سرعة الدوران أثناء التشغيل.
- د. كيفية إيقاف المmotor وفرملته.
- هـ. الجهد والتردد.

(2) اعتبارات ميكانيكية:

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

(3) 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.

(4) 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 متربداً أحادي أو ثلاثي الأوجه. مما سبق يتضح أن هناك عوامل كثيرة، يجب اعتبارها 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 تتطلب 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 :

**1) 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.

2) الاعتبارات الميكانيكية:

أ) نوع الغلاف المستخدم: الهدف الرئيس من الإطار الخارجي للمotor، هو لتوفير الحماية ليس فقط للأشخاص والعاملين، ولكن أيضاً لتوفير الحماية للمotor نفسه، ضد الرطوبة والأوساخ والأترية والأجسام الغريبة، وما قد يتسرّب للمotor من أبخرة ومواد قابلة للاشتعال. وهي كمل يلي:

1. النوع المفتوح.
2. النوع محمي بشبكة.
3. النوع محمي ضد تناول السوائل والغبار.
4. النوع محمي ضد الأمطار.
5. النوع المغلق ذو التبريد الذاتي.
6. النوع المغلق ذو التبريد المنفصل.
7. النوع المزود بأنابيب للتبريد.
8. النوع المصمم ضد الانفجار.

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

(i) كراسي المحور الكروية: تستخدم في المحركات التي تصل قدرتها حتى مئه حصان، وهي تفضل عن الأنوع الأخرى بسبب فوائدها العديدة التي أهمها: قلة مفقودات الاحتكاك، واحتياجها لصيانة أقل، وعمرها أطول من الكراسي الأخرى، كما أن استخدامها في المحركات الحثية يتيح إمكانية تصفير الثغرة الهوائية بين الثابت والدوار. إلا أن عيوبها الرئيسية هي كلفتها العالية والضوابط التي تحدّثها خصوصاً عند السرعات العالية.

(ii) **كراسي المحور الاسطوانية:** 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، وهناك طرق عديدة لقيادة الحمل أهمها:

(i) **القيادة المباشرة:** في هذا النوع من القيادة، وهو أبسط طريقة لقيادة الحمل، يوصل المحرك بالحمل مباشرةً بواسطة ازدواج ميكانيكي صلب أو مرن، وصلة الازدواج المرنة تتيح إمكانية عدم تطابق المحورين أفقياً أو رأسياً في حدود قليلة. وتستخدم القيادة المباشرة فقط عندما تكون سرعة الحمل متساوية لسرعة المحرك.

(ii) **القيادة بواسطة السيور المبططة:** 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 قطرى البكرتين هي 1:6، كما يوجد في هذه الحالة انزلاق في حدود ثلاثة إلى أربعة في المئة. ومن عيوب هذه الطريقة أنها تحتاج لمساحة كبيرة، كما أن السيور تبذل شدًا جانبياً على الكراسي مما يتسبب في زيادة المفقودات الاحتكاكية 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 المبططة، كما أنها تعمل بانزلاق صغير يمكن إهماله.

(iv) **القيادة بواسطة السلسل:** هذه الطريقة أكثر كفاءة وتستخدم في السرعات العالية، إلا أن كلها 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 السلسل 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 بطيئة، ويبني المحرك في هذه الحالة وبداخله صندوق التروس بنسبة التحويل المطلوبة لتغيير السرعة.

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

- المجال المغناطيسي المتعدد داخل الآلة، وما يسببه من اهتزازات في شرائح الحديد وجسم المحرك.
- حركة الهواء داخل الآلة.
- الاحتكاك في الكراسي.

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

(3) حجم المحرك وقدرته المقننة :

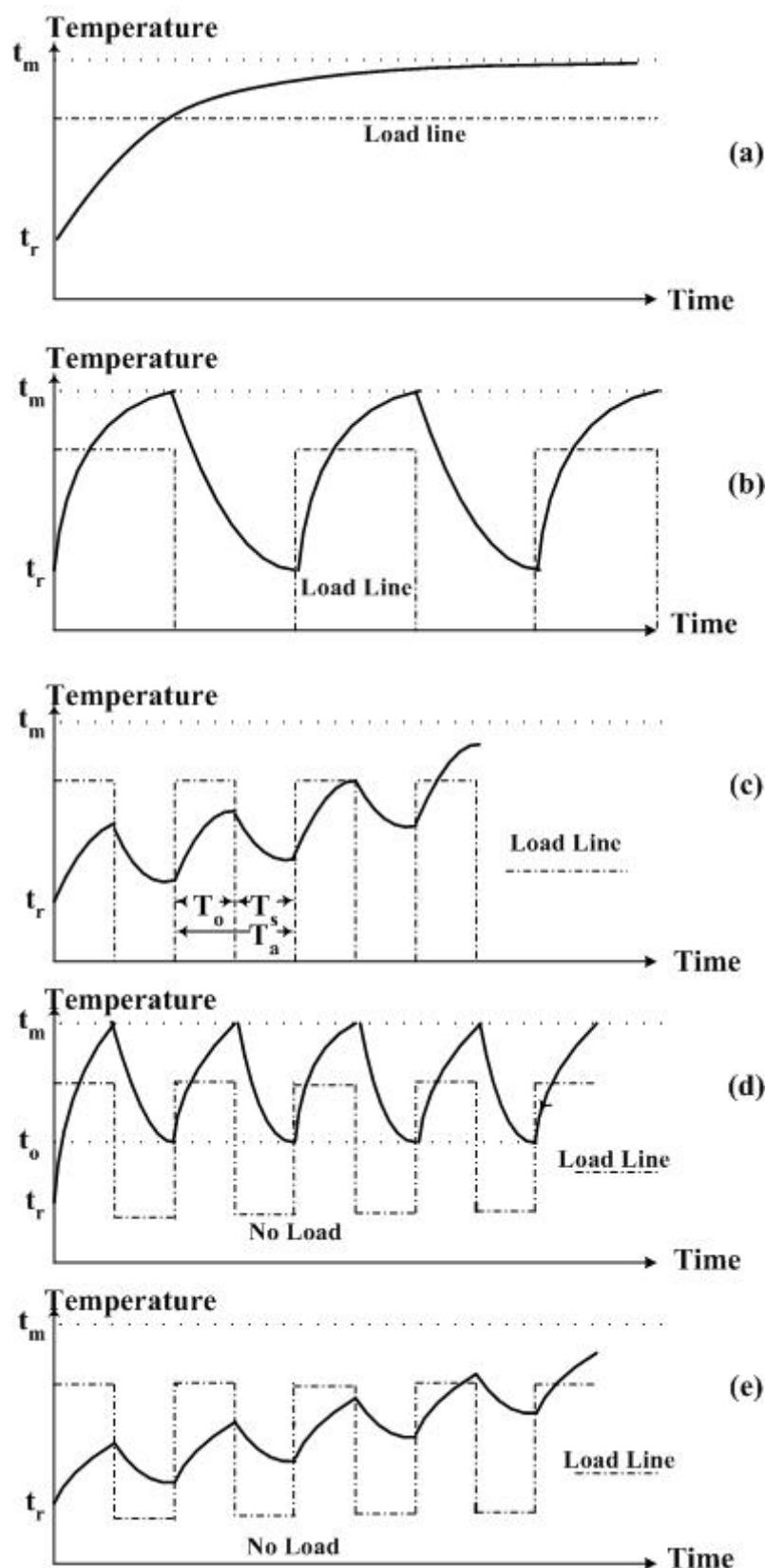
العوامل التي تتحكم في حجم وقدرة المحرك هي أقصى درجة حرارة يصل إليها المحرك أثناء الخدمة تحت ظروف تشغيل الحمل، من حيث إنه مستمر أو متقطع أو قصير الأمد، وأقصى عزم دوران مطلوب من المحرك. وقد وجد أن المحرك الذي يحقق الشرط الأول الخاص بدرجة الحرارة، يحقق أيضاً الشرط الثاني الخاص بالعزم المطلوب . والجدير بالذكر 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 ، وفيما 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 تتعداها مع استمرار التشغيل لأية فترة بعد ذلك، الشكل(7-1).

- ب) التشغيل قصير الأمد:** تعمل الآلة العاملة في هذا النوع من التشغيل بفترات تشغيل متفرقة تمتد كل منها على فترة زمنية محددة، بحيث لا تتعذر 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 يقترب دائماً بفترة التشغيل، فيقال مثلاً محرك عشرون حصاناً - ثلاثون دقيقة، الشكل (7-1ب)
- ج) التشغيل المتقطع:** يكون تشغيل المحرك في هذه الحالة لفترات قصيرة تتخللها فترات من الراحة يتوقف فيها المحرك تماماً، لكن فترات الراحة هذه لا تكفي لكي تخفض درجة حرارة المحرك إلى الدرجة المطلوبة (وهي درجة حرارة الجو المحيط)، لكنها تخفض بعض الشئ لكي تعاود الارتفاع في فترة التشغيل التالية إلى درجة حرارة أعلى منها في فترة التشغيل السابقة، وهكذا دون أن تتعذر درجة الحرارة في جميع أجزاء المحرك قيمتها القصوى . تُحدد فترة التشغيل (T_o) بالدقيقة مثلاً، كما تُحدد فترة الراحة أو السكون (T_s) بالدقيقة أيضاً، بحيث لا يتعدى أمد الدورة (T_a) حيث ($T_a = T_o + T_s$) عشر دقائق بأية حال من الأحوال. وتسمى النسبة بين زمن فترة التشغيل وأمد الدورة (T_o/T_s) بفترة التوصيل النسبية، ويطلق اسم الحمل المقمن على الحمل الذي يمكن تشغيل المحرك به على النحو السالف الذكر، لأن فترة زمنية مهما بلغت من الطول، دون أن يتعدى المحرك درجة الحرارة القصوى المسموح بها، الشكل (7-1ج).
- د) التشغيل المتواصل بفترات تحميل 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 (7-1د).
- ه) التشغيل المتواصل بفترات تحميل متقطعة:** يمر المحرك بفترات متلاحقة من التشغيل بالحمل الكامل والدوران بدون حمل، بدلاً من السكون كما في حالة التشغيل المتقطع، الشكل (7-1ه).



شكل 7 - 1 أنواع تشغيل المحركات

مقدرة المحرك على التعامل مع أحمال زائدة عن قدرته المقننة:

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

- (i) ألا تتعذر 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 التعرّض. 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 التعرّض. 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 محظوظاً 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 تتخفض درجة حرارته أثناءها. وهذا 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 التعرّض، أي أن الفيصل في وضع حد للزيادة في الحمل التي يمكن أن تتجاوز بها الحمل الكامل في هذه الحالة هو عزم التعرّض، وليس درجة الحرارة القصوى كما كان الأمر في الحالة السابقة.

4) كلفة المحرك:

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

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

أسئلة متنوعة :

- س 7 - 1 : ما العوامل التي تتحكم في اختيار المحرك الكهربائي لتطبيق معين؟
- س 7 - 2 : ما أنواع تشغيل المحركات الكهربائية؟ وضح إجابتك بالرسم.
- س 7 - 3 : ما المقصود بكل من الحمل الأتمي - الحمل المقنن؟
- س 7 - 4 : ما أنواع الكراسي المستخدمة في المحركات الكهربائية؟ وما مميزات وعيوب كل منها؟
- س 7 - 5 : ما أنواع نقل الحركة بين المحرك الكهربائي والحمل الميكانيكي؟
- س 7 - 6 : ما أسباب الضجة التي تحدث في المحركات الكهربائية؟ وكيف يمكن تقليلها؟
- س 7 - 7 : ما المقصود بعزم التعلق؟
- س 7 - 8 : ما المقصود بكلفة التشغيل والصيانة؟ وما العوامل التي تؤثر على تلك الكلفة؟

المراجع

- المحركات الكهربائية ومبادئ التحرير الكهربائي. د. محمد أحمد قمر - منشأة المعارف بالإسكندرية - 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.

المحتويات

.....	مقدمة
.....	تمهيد
- 2 -	الوحدة الأولى : أساسيات الهندسة الميكانيكية
- 2 -	العلاقات الأساسية في التحريك الكهربائي
- 2 -	(1) الحركة الخطية.
- 2 -	أ) القانون الأول للحركة:
- 2 -	ب) التسارع:
- 3 -	ج) منحنى العزم/السرعة القانون الثاني للحركة:
- 3 -	د) علاقات التحريك الخطي لجسم يتحرك بتسارع منتظم:
- 3 -	ه) القوى المؤثرة على جسم يتحرك خطياً لأعلى:
- 4 -	(2) الحركة الزاوية (التحريك الدوراني)
- 5 -	• الحالات المختلفة للحركة :
- 5 -	أ) الحركة بسرعة متزايدة (بتسارع):
- 6 -	ب) الحركة بسرعة تناقصية (بتباطؤ):
- 6 -	ج) الحركة بسرعة منتظمة (أو في حالة السكون، إذا لم تكن قد بدأت الحركة):
- 6 -	• العلاقة بين الحركة الخطية والحركة الدائرية:
- 7 -	أسئلة وتمارين متنوعة :
- 9 -	الوحدة الثانية : أنواع الأحمال الميكانيكية وخصائصها
- 10 -	منحنيات خواص الأحمال:
- 11 -	التوازن الديناميكي بين الحمل والمحرك الكهربائي :
- 12 -	كيفية حساب قدرة المحرك المقننة لتحريك حمل معين :
- 13 -	عند تأدية الحمل حركة دورانية بواسطة صندوق للتروس:
- 14 -	ج) حساب قدرة المحركات المستخدمة لتحريك المصاعد:
- 14 -	د) حساب قدرة المحركات المستخدمة في المصاعد:
- 14 -	ه) حساب قدرة المحركات المستخدمة في أجهزة التهوية:
- 16 -	القواعد الخاصة لحساب تأثير الأحمال على المحرك:
Error! Bookmark not defined.	حساب القصور الذاتي المكافحة على محور المحرك:
- 20 -	حساب زمن بدء الحركة لوسائل التحريك:
- 22 -	أسئلة وتمارين متنوعة :
25	الوحدة الثالثة : الخواص العامة لمحركات التحريك الكهربائي
25	أنواع المحركات الكهربائية المستخدمة في القيادة الكهربائية :
25	1. محركات التيار المستمر:
25	2. المحركات الحية:

25	3. المحركات التزامنية:
25	الخواص العامة لمحركات الجر
28	طرق الوقاية المختلفة للمحركات الكهربائية وكيفية تبريدها :
30	أسئلة متنوعة :
32	الوحدة الرابعة : محركات التيار المستمر والمتردد كمحركات للجر
32	المتطلبات العامة لمحركات الجر
32	محركات التيار المستمر كمحركات للجر
32	1. خواص محرك التوالي :
34	2. خواص المحرك المركب:
36	محركات التيار المتردد كمحركات للجر
39	(2) المحرك الحشبي ثلاثي الأوجه:
41	أسئلة وتمارين متنوعة :
44	الوحدة الخامسة : الجر الكهربائي
44	أنواع الجر الكهربائي
44	مميزات وعيوب الجر الكهربائي
45	نظم تغذية شبكات الجر الكهربائي
47	فوة الجر اللازمة على دوّلاب تحريك القطار F.
47	حساب القوة اللازمة للتسارع:
48	حساب القوة اللازمة للتغلب على المقاومة لحركة القطار:
48	حساب القوة اللازمة للتغلب على تأثير الجاذبية الأرضية:
49	القدرة المحركة لدواليب الحركة
50	ميكانيكية حركة القطارات
53	أنواع خدمات نقل الركاب بالجر الكهربائي
53	منحنى السرعة مع الزمن
55	منحنى السرعة مع الزمن لخدمات المختلفة
55	السرعة المتوسطة والسرعة الحسابية
56	منحنى شبه المنحرف بين السرعة/الزمن
60	اختبار ذاتي
62	أسئلة وتمارين متنوعة :
64	الوحدة السادسة : فرمولة المحركات الكهربائية
64	أنواع الفرامل الكهربائية
65	أولاً: فرمولة محركات التيار المستمر
65	1. الفرمولة بإعادة التوليد: Regenerative Braking
66	2. الفرمولة الديناميكية: Dynamic Braking
68	3. الفرمولة بالتيار المعاكس أو التبديل : Reverse Current Braking or Plugging

72	ثانياً: فرمula المحركات الحثية ثلاثة الأوجه.
72	• الفرمula بإعادة التوليد: Regenerative Braking
72	• الفرمula الديناميكية باستخدام التيار المستمر: Rheostatic or DC Dynamic Braking
73	• الفرمula بالتيار المعاكس أو التبديل: Reverse Current Braking or Plugging
Error! Bookmark not defined.....	• فرمula المحركات الحثية ثلاثة الأوجه باستخدام التوصيلات غير المتماثلة:
74	أسئلة وتمارين متنوعة :
- 77 -	الوحدة السابعة : آلية اختيار محرك التحرير المناسب
- 77 -	العوامل التي يجب مراعاتها عند اختيار المحرك الكهربائي
- 77 -	(1) الخواص الكهربائية:
- 78 -	(2) اعتبارات ميكانيكية:
- 78 -	(3) حجم المحرك والقدرة المصمم عليها:
- 78 -	(4) كلفة المحرك:
- 79 -	(1) الخواص الكهربائية:
- 79 -	(2) الاعتبارات الميكانيكية:
- 81 -	(3) حجم المحرك وقدرته المقننة :
- 81 -	أ) متطلبات التحميل من حيث إنه مستمر أو قصير الأمد أو متقطع:
- 84 -	ب) مقدرة المحرك على التعامل مع أحمال زائدة عن قدرته المقننة:
- 84 -	(4) كلفة المحرك :
- 85 -	أسئلة متنوعة :
91	المراجع

