التحريك الكهربائي

الجر الكهربائي

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الجدارة: 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 علي:

١- معرفة مميزات وعيوب الجر الكهربائي.

٢- معرفة نظم تغذية شبكات الجر.

٣- حساب القدرة المحركة لدواليب الحركة.

٤- معرفة ميكانيكية حركة القطارات.

٥- معرفة منحنى السرعة مع الزمن لحركة القطارات.

الوقت المتوقع للتدريب: ٦ ساعات

متطلبات الجدارة:

يجب التدرُب على جميع المهارات لأول مرة.

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

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 الديزل الكهربائية. تستخدم الطاقة الكهربائية في الجر الكهربائي، لما تتميز 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 متنها، 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 أيضا وجود محطات فرعية لتعويض الجهد المفقود في موصلات نقل الطاقة. ويستخدم هذا النوع بالطبع في وسائل النقل البري فقط وتختلف 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 التوفير في استخدام الفرامل الميكانيكية مما يطيل من عمرها، ويقلل من التآكل في الدواليب الدوارة والقضبان الحديدية.
- الوقت اللازم لصيانة وإصلاح المركبة الكهربائية أقل بكثير مما تحتاجه المركبات الأخرى.
- تكاليف الصيانة والإصلاح للمركبات الكهربائية تبلغ حوالي نصف تلك التكاليف في المركبات الأخرى.
- لا تحتاج المركبات الكهربائية إلى وقت لكي تصبح جاهزة للعمل.
- التخلص من الأدخنة والعادم الذي قد يحتوي على عناصر سامة، يعتبر من أهم مزايا الجر الكهربائي، خصوصاً في 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.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

١) **نظام التيار المستمر:** التيار المستمر بجهد من 600 V إلى 700 V مستخدم عالمياً لعربات الترام داخل المدن، بينما يستخدم جهد مستمر من 1500 V إلى 3000 V خارج المدن، وتمثل القضبان الخط الراجع بالتيار، وتنص المواصفات على ألا يزيد هبوط الجهد عن 7 فولت بين أي نقطتين على الخط الراجع بالتيار. أما بالنسبة للحافلات الكهربائية (Trolleybus) فيكون الخطان هوائيين، خط التغذية والخط الراجع، 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 110إلي 132 كيلو فولت، حيث يتم تحويله إلى تيار مستمر بالجهد المطلوب.

٢) **نظام التيار المتردد أحادي الوجه:** في هذا النظام يستخدم جهد من 11 إلى 15 كيلو فولت بتردد ⅔16 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).

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

يستخدم التردد المنخفض ⅔16 أو 25 هيرتز لتحسين الكفاءة ومعامل القدرة للمحرك، كما يساعد على الحد من الشرارة الكهربائية بين الموحد والفرش، هذا بالإضافة لتقليل الممانعة الحثية لموصلات شبكة الجر وبالتالي التقليل من الجهد المفقود. يؤدي هذا إلى زيادة المسافة بين محطات التغذية لتصبح من 50 إلى 80 كيلومتر. كما يساعد استعمال التردد المنخفض أيضاً إلى التقليل من التداخل مع شبكات الهاتف والاتصالات.

٣) **نظام التيار المتردد ثلاثي الأوجه:** تستخدم المحركات الحثية الثلاثية الأوجه كمحركات جر في هذه الحالة بجهد 3.3KV وتردد ⅔16Hz، تستقبل محطات التغذية الطاقة من شبكات الجهد العالي ويتم خفض الجهد والتردد للحد المطلوب وتتكون شبكة الجر من خطين هوائيين ويمثل أحد القضبان الخط الثالث. المميزات المذكورة نتيجة لاستخدام تردد منخفض يمكن ذكرها أيضاً في هذا النظام.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

قوة الجر اللازمة على دولاب تحريك القطار F_t

قوة الجر F_t هي القوة المتولدة على حافة دولاب 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 الخطي 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 للمستوي المائل، الإشارة السالبة تستعمل في حالة هبوط القطار للمستوي المائل.

حساب القوة اللازمة للتسارع:

إذا أثرت قوة جر F_a نيوتن على كتلة مقدارها m كيلوجرام ووزنها W نيوتن وكانت قيمة التسارع الخطي الناتج a فإن

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

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

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

إذا كانت الكتلة المكافئة بالكيلوجرام والوزن المكافئ بالنيوتن والتسارع بالمتر/ثانية^2 فإن وحدات القوة تكون بالنيوتن، أما إذا كانت الكتلة بالطن والتسارع بالكيلومتر/ساعة/ثانية فإن:

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

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

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

حساب القوة اللازمة للتغلب على تأثير الجاذبية الأرضية:

إذا كان القطار يصعد منحدراً بزاوية ميل θ

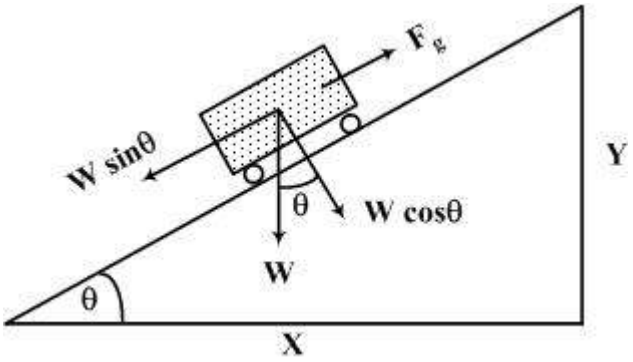
$$F_g = W \sin\theta = m \cdot g \cdot \sin\theta$$

فإذا كانت C هي النسبة المئوية لميل المستوي الشكل(٥- ١) فإن

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

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

حيث m الكتلة الساكنة بالطن.



الشكل (٥- ١)

جسم يصعد مستوى مائلاً

إذاً قوة الجر الكلية اللازمة على دولاب التحريك:

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

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

القدرة المحركة لدواليب الحركة

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

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

فإذا كانت سرعة القطار بالكيلومتر/ساعة

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

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

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

مثال ٥- ١: 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 لدواليب التحريك عند نهاية فترة التسارع. إذا كانت المقاومة النوعية لحركة القطار 50N/t والوزن المكافئ يزيد 10% عن الوزن الساكن.

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

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

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

The tractive effort required for train

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

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

The tractive power required for train

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

ميكانيكية حركة القطارات

تنتقل 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:

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

العزم الناشئ عن قوة الجر على دولاب التحريك $\equiv T$

قوة الجر التي تحرك التروس $\equiv F_1$

قوة الجر على دولاب التحريك $\equiv F_t$

سرعة دوران المحرك $\equiv Nm$

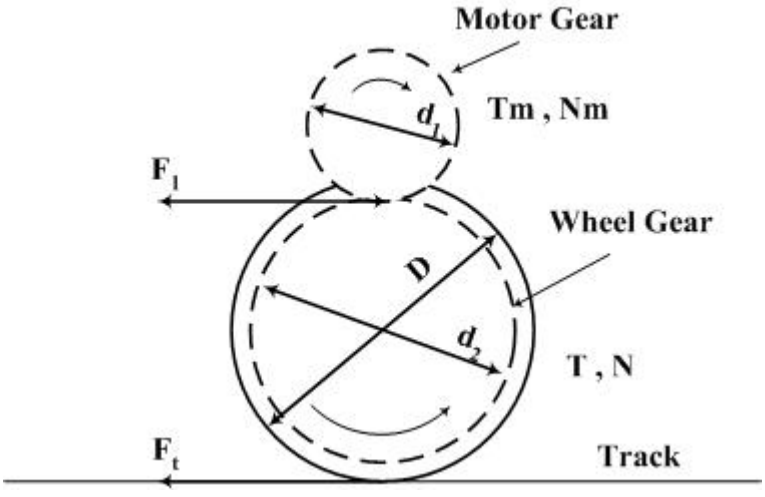
سرعة دوران دولاب التحريك $\equiv N$

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

قطر ترس المحرك / قطر ترس دولاب التحريك $\equiv d_1, d_2$

قطر دولاب التحريك $\equiv D$

كفاءة صندوق التروس $\equiv \eta$



الشكل (٥- ٢)

نقل الحركة لدواليب القطار

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

$$T = F_t \times \frac{D}{2} = \eta \times F_1 \times \frac{d_2}{2} \quad \text{or} \quad F_t = \frac{2\ T}{D} \quad \text{and} \quad F_1 = \frac{2\,T}{\eta \times d_2}$$

$$F_t = F_1 \times \eta \times \left(\frac{d_2}{D}\right)$$

$$F_t = \eta \times F_1 \times \left(\frac{d_2}{D}\right) = \eta \times \frac{2\ T_m}{d_1} \times \left(\frac{d_2}{D}\right) = 2\ \eta\ \sigma\ \frac{T_m}{D}$$

تتوقف قيمة قوة الجر التي يمكن الاستفادة منها، على الوزن المركب فوق دواليب القيادة W، وعلى معامل الالتصاق بين دواليب القطار والقضبان μ_a :

$$F_t = \mu_a \,.\, W$$

أقصى قوة جر ممكنة بدون انزلاق الدواليب = الوزن المركب فوق الدواليب X معامل الالتصاق.

$$F_t = \mu_a \,.\, W = \mu_a \,.\, m \,.\, g$$

فإذا كانت الكتلة بالطن

$$F_t = 1000 * 9.81 * \mu_a \,.\, m = 9810\ \mu_a \,.\, m \qquad \text{Newton}$$

مثال ٥- ٢: قطار يزن 250 طناً، يتحرك بواسطة أربعة محركات، بدأ حركته من السكون صاعداً لمستوى مائل 1: 80 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 الدولاب 92 سم. أوجد مقدار العزم المتولد من كل محرك.

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

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

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

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

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

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

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

مثال ٥- ٣: 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 التروس3.5 وكفاءته 90% والمقاومة النوعية لحركة القطار 50N/t والوزن المتحرك يزيد 10% عن الوزن الساكن وقطر الدولاب 90 سم. احسب الزمن اللازم لكي تصل سرعة القطار إلى 80 كيلومتر/ساعة إذا كان جهد المصدر 3000-V وكفاءة المحرك 85%، احسب تيار المحرك أثناء فترة التسارع.

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

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

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

$$F_t = F_a + m.r + 98.1\ m.C \quad N$$

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

$$F_a = 224000 - 86075 = 137925 \quad N$$

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

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

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

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

$$\text{Power taken by motors} = \frac{F_t\ v\left(\frac{1000}{3600}\right)}{\eta} = \quad KW$$

$$= 224000\times\left(\frac{1000}{3600}\right)\times\frac{80}{0.85} = 5856$$

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

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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 متباعدة. السرعات العالية مرغوب فيها أما المعدل العالي للتسارع والتباطؤ فغير ضروري.

منحني 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، ويعطى المنحني 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 (٥- ٣) ويمكن تقسيم هذا المنحنى إلى خمسة أجزاء متتالية.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

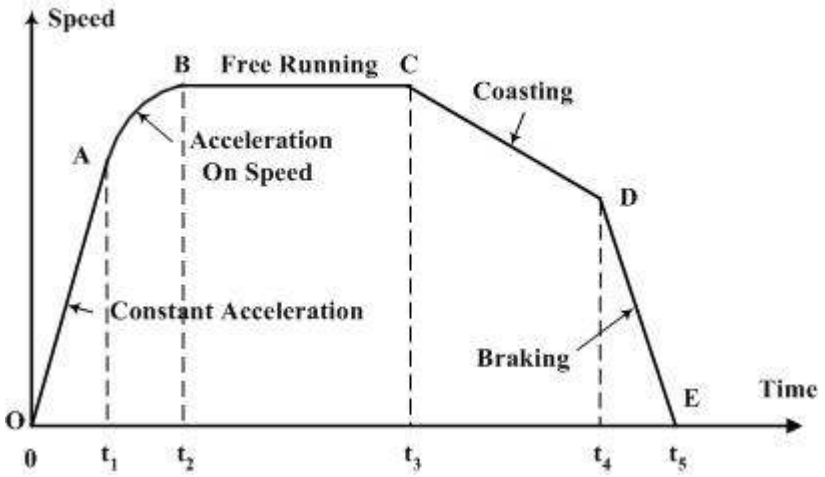
١. **فترة التسارع الثابت (0 to t_1)**: الجزء OA ابتداء من بدء الحركة وحتى الوصول إلى السرعة المطلوبة، يبذل المحرك أثناء تلك الفترة قوة الجر اللازمة للحفاظ على تسارع ثابت.

٢. **فترة التسارع على السرعة (t_1 to t_2)**: الجزء AB، أثناء هذه الفترة يتناقص التسارع تدريجياً حتى تتساوى القوة المتولدة مع المقاومة لحركة القطار، عندها تصبح السرعة ثابتة.

٣. **فترة الانطلاق الحر (t_2 to t_3)**: حيث يسير القطار بسرعة ثابتة بالقيمة التي وصل إليها في نهاية فترة التسارع على السرعة الجزء BC

٤. **فترة الإرساء (t_3 to t_4)**: يتم أثناء 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 إضاعتها أثناء فترة الفرامل.

٥. **فترة الكوابح (الفرامل) (t_4 to t_5)**: حيث يتم توقيف (فرملة) القطار، باستخدام الكوابح الفرامل الكهربائية أو الميكانيكية أو أحداهما بعد الأخرى، فتتناقص سرعته حتى يتوقف، الجزء DE



الشكل(٥- ٣)

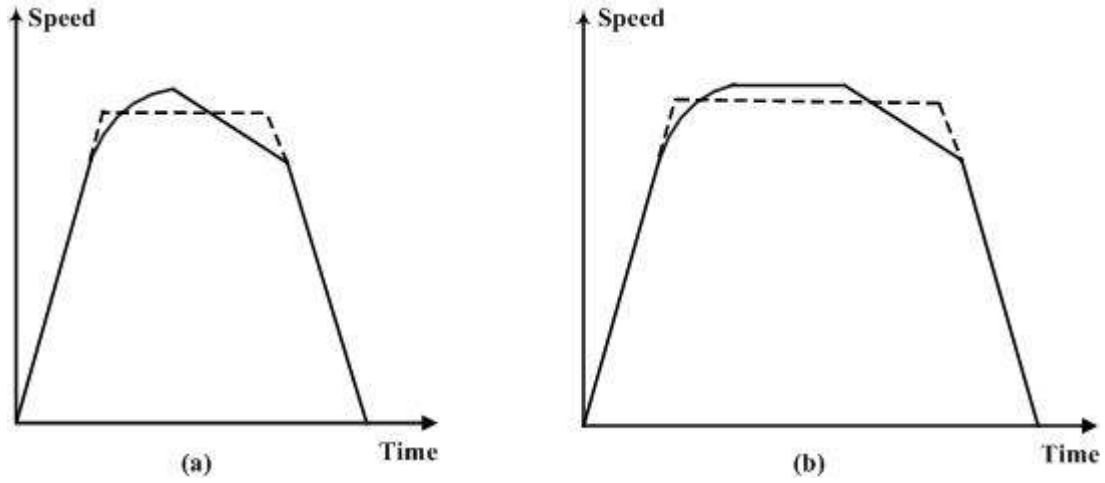
المنحني التقليدي للسرعة مع الزمن

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

منحني السرعة مع الزمن للخدمات المختلفة

الشكل(٥- ٤أ) 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(٥- ٤ب) يبين منحنى السرعة/الزمن للنقل بين المدن حيث توجد فترة طويلة للانطلاق الحر بسرعات عالية.



شكل ٥- ٤ منحنى للسرعة/الزمن

(أ) للنقل داخل أو إلى ضواحي المدن. (ب) للنقل بين المدن

السرعة المتوسطة والسرعة الحسابية

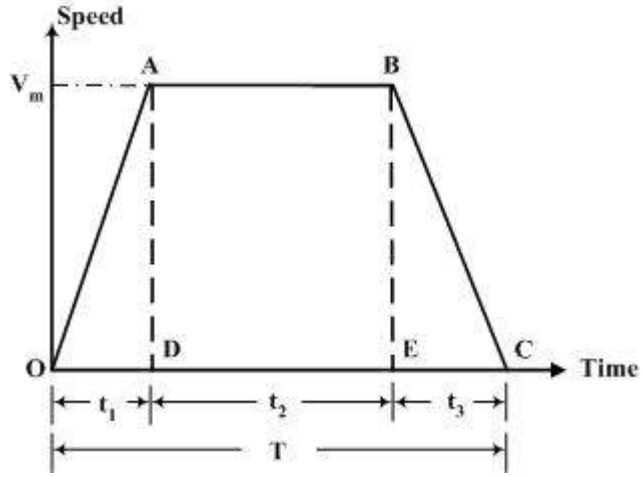
توجد في منحنى السرعة/الزمن ثلاث سرعات ذات أهمية خاصة:

- 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 الفعلي للسير.
- السرعة الحسابية (schedule speed): هي متوسط قيمة السرعة بين الوقفتين مع أخذ فترة الوقوف في الحساب = المسافة بين الوقفتين/(الزمن الفعلي للسير+ زمن التوقف).

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

منحني شبه المنحرف بين السرعة/الزمن

لتسهيل الحسابات دون الوقوع في خطأ يذكر، يمكننا تقريب منحنى السرعة/الزمن إلى شبه منحرف ثابت الارتفاع كما موضح بالخط المتقطع في الشكل(٥- ٤)، سواء أكان النقل داخل المدن أم خارجها. ينقسم المنحنى في هذه الحالة إلى ثلاث فترات كما في الشكل(٥- ٥):



الشكل ٥- ٥

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) تنخفض 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(٥- ٥)تعطي المسافة الكلية بين الوقفتين S بالكيلومتر.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

S = area OABC

S = area OAD + area ABED + area BCE

$S = S_1 + S_2 + S_3$

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

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

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

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

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

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

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

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

Taking the nagative sign only

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

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

مثال ٥- ٣: 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، وبتقصير 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 = area OABC

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$V_a = 36$ Km/h

$a = 1.8$ and $b = 3.6$ Km/h/sec.

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

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

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

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

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

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

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

مثال ٥- ٤: 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.

$a = 2.2$ Km / h / sec and $b = 3.5$ Km / h / sec .

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

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

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

$T = 225 - 25 = 200$ sec.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

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

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

To draw the speed time curve , find :

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

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

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

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

$$= \frac{2.5}{200 / 3600} = 45 \quad \text{Km/h}$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

اختبار ذاتي

اختر الإجابة أو الإجابات الصحيحة للأسئلة التالية.

١. **العامل الرئيسي ضد استخدام الجر الكهربائي هو:**

أ. ضرورة استخدام محطات تقوية لشبكات الجر.

ب. احتمال انقطاع التيار الكهربائي في شبكة الحر.

ج. صعوبة صيانة محركات الجر.

د. تكلفة الإنشاء مرتفعة.

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

أ. زيادة كفاءة المحركات المستخدمة.

ب. يحسن من معامل قدرة المحركات.

ج. يقلل من الشرارة الكهربائية بين الموحد والفرش.

د. جميع ما سبق.

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

أ. إرساء.

ب. انطلاق حر.

ج. تسارع.

د. فرامل.

٤. **زيادة زمن توقف القطارات في المحطات ..... .**

أ. يزيد من السرعة الحسابية.

ب. ينقص من أقصي سرعة.

ج. ينقص من السرعة الحسابية.

د. يزيد من أقصي سرعة.

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

أ. 50000 & 25 .

ب. 490000 & 25 .

ج. 490 & 25 .

د. 50 & 324 .

٦. فترة الانطلاق الحر لمنحني السرعة/الزمن لا تعتمد على:

أ. فترة التوقف.

ب. المسافة بين الوقفتين.

ج. الزمن الكلي للرحلة.

د. فترة التسارع.

٧. 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.

ه. ب و ج مما سبق.

٨. تستخدم قوة الجر المتولدة 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 ٥- ١ : ما مميزات استخدام الجر الكهربائي خاصة داخل المدن مقارنة بأنواع الجر الأخرى؟

س ٥- ٢ : ناقش الأنواع المختلفة لنظم تغذية شبكات الجر الكهربائي.

س ٥- ٣ : ما المقصود بمنحنى السرعة/الزمن؟ وماذا يمكن أن تستفيد منه عملياً؟

س ٥- ٤ : عرف كلاً من: أقصى سرعة و السرعة المتوسطة والسرعة الحسابية. ثم ناقش العوامل التي تؤثر على السرعة الحسابية لحركة القطارات.

س ٥- ٥ : ما المقصود بكل من : فترة الإرساء و فترة الانطلاق الحر لحركة القطارات ؟

تمرين ٥- ١ : 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 التحريك عند نهاية فترة التسارع . إذا كانت المقاومة النوعية لحركة القطار 50N/t والوزن المكافئ يزيد 15% عن الوزن الساكن.

تمرين ٥- ٢ : 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 الدولاب 92 سم . أوجد مقدار العزم المتولد بواسطة المحركات.

تمرين ٥- ٣ : قاطرة تجر قطاراً يزن 400 طن ليصعد مستوى مائلا 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 ٥- ٤ : 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 1.8كيلومتر/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. احسب أيضاً السرعة الحسابية للقطار.

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM