القيادة الكهربائية
السنة ٤ تغذية
المحاضرة ٦

معايير اختيار استطاعة المحركات الكهربائية

من أجل اختيار محرك كهربائي ليناسب حمل ما يتوجب اختيار استطاعته تبعاً لخصائص تحميله وتسخينه، وهذا ما يحدد أبعاده التصميمية. فإذا كانت استطاعة المحرك غير كافية للحمولة سيتعرض المحرك للتحميل الزائد وسترتفع درجة حرارته وقد يحترق. كما أن استخدام محرك باستطاعة أكبر من اللازم سيؤدي ذلك إلى انخفاض المردود الاقتصادي، ويؤدي كذلك إلى ضياعات كبيرة في الطاقة نتيجة المردود المنخفض للمحركات عند الحمولات المنخفضة. يضاف إلى ذلك بأنه من أجل المحركات ذات التيار المتناوب سينخفض عامل الاستطاعة عند الحمولات المنخفضة.

أسس اختيار استطاعة المحركات الكهربائية :

يعتمد اختيار المحرك على :
١- شروط الحمولة.
٢- نوع العازل المستخدم أو درجة الحرارة العظمى المسموح بها.

إن الاختيار الصحيح والمناسب لاستطاعة المحرك يجب أن لا يكون تحت شروط العمل الطبيعية أو الاسمية فقط، بل أيضاً في ظروف الحالات العابرة التي يمكن أن تحدث (إقلاع، فرملة، عكس اتجاه دوران، تغيرات مفاجئة بالحمولة...). يمكن القول بأن صلاحية اختيار استطاعة المحرك الكهربائي وتجهيزات التحكم وتصميم دارات القيادة تعتمد على معرفة سلوك أنظمة القيادة الكهربائية تحت شروط الحالات العابرة.

لحساب الحمولة خلال الحالات المستقرة والعابرة يتم الاعتماد على ما يسمى بمخططات الحمولة، وهي عبارة عن علاقة العزم الدوراني مع الزمن $T=f(t)$، أو تيار الحمولة مع الزمن $I_L=f(t)$. استناداً إلى هذه المخططات يتم اختيار المحرك ليعمل بحمولته الكاملة مع الحفاظ على الشروط الحرارية للمواد العازلة الداخلة في تركيبه، شدة تحمل المواد العازلة للحرارة تختلف من مادة عازلة إلى أخرى. تصنف عادةً المواد العازلة للمحركات الكهربائية إلى عدة أصناف كما هو مبين بالجدول الآتي:

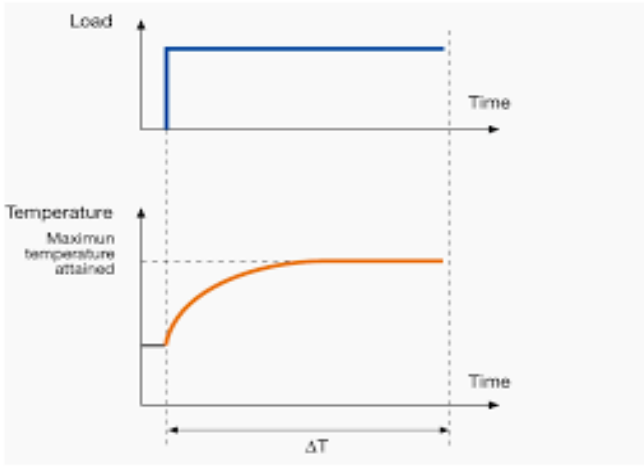
نـــوع المـــادة العازلة	Y	A	E	B	F	H	C

بشكل عام فإن الشرط المطلوب تحقيقه للزيادة الآنية للتحميل مقارنةً مع الحمولة الأسمية يعبر عنها بما يسمى بمعامل زيادة التحميل λ_n، والتي تعبر عن النسبة بين العزم الأعظمي إلى العزم الاسمي ($\lambda_n=T_{max}/T_n$). يتم تصميم المحركات الكهربائية بحيث تحافظ على تحقيق هذا الشرط وضمن حدود معينة. يبين الجدول قيم عوامل التحميل لبعض المحركات الكهربائية.

نوع المحرك الكهربائي	**معامل زيادة التحميل λ_n**
محركات التيار المستمر	2-4
محركات التيار المتناوب ذات القفص السنجابي	1,7-2,5
محركات التيار المتناوب ذات الدائر الملفوف	2-2,5
المحركات المتواقتة	2-4

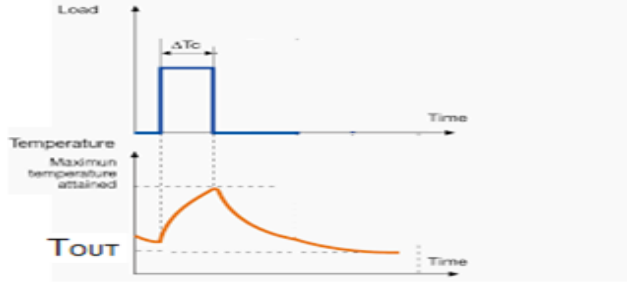
بالمختصر يجب أن يعمل المحرك تحت أي شرط من شروط التشغيل الآتية :

١- **حمولة مستمرة:** على المحرك في هذا الشرط أن يستمر بتدوير وقيادة الحمولة الميكانيكية لفترة زمنية طويلة (قد تصل لعدة أيام)، وهذا ما يسمح لدرجة حرارة المحرك أن تصل إلى قيمتها الثابتة النهائية. يمثل مخطط الحمولة في هذه الحمولة بخط مستقيم مواز للزمن.

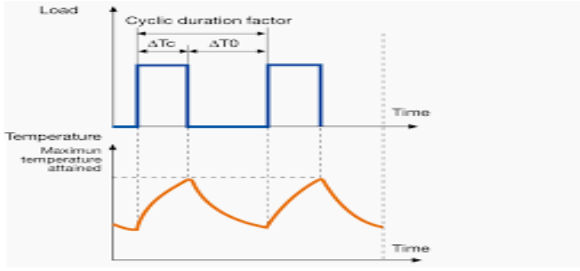


مخطط الحمل المستمر

٢- **حمولة ذات فترة قصيرة**: في هذه الحالة يكون زمن التشغيل قصيراً جداً، بحيث أن المحرك لا يستطيع الوصول إلى درجة حرارة دائمة ونهائية (مستقرة)، ويكون زمن توقفه عن العمل طويلاً نسبياً بحيث أن درجة حرارته يمكن أن تهبط لتساوي درجة حرارة الوسط المحيط..



٣- **حمولة دورية متقطعة**: تكون هنا فترة العمل قصيرة جداً بحيث لاتصل درجة حرارة المحرك إلى قيمتها الثابتة النهائية، كما تكون فترات التوقف عن العمل قصيرة جداً لدرجة أن حرارة المحرك لا تستطيع أن تنخفض حتى درجة حرارة الوسط المحيط.



- تسخين وارتفاع درجة حرارة المحركات الكهربائية :

ترتفع درجة حرارة المحرك بسبب الضياعات التي تحدث أثناء تحويل الطاقة الكهربائية المستمدة من المنبع إلى طاقة ميكانيكية مفيدة على المحور. هذه الضياعات تحدث في معدن النواة وفي الملفات النحاسية والأجزاء الدوارة في المحرك، وتسبب ارتفاع موضعي ثم كلي في المحرك بسبب انتقال الحرارة من جزء إلى آخر. ئ

إذا لم يكن المحرك قادراً على تبديد الحرارة التي تسببها ضياعاته فإنها ستسبب تسخيناً خطراً ممكن أن يتلف ملفاته. إن عملية التبريد الطبيعية للمحرك تعتمد على عملية انتقال الحرارة من أجزاءه المعدنية إلى الوسط الخارجي، وهذه العملية تستمر حتى تتساوى نظرياً كمية الحرارة المتولدة في المحرك مع كمية الحرارة المنتشرة إلى الوسط الخارجي خلال واحدة الزمن، هذه الحالة ندعوها بالتوازن الحراري للمحرك. باعتبار أن المحرك مؤلف من أجزاء حديدية وأخرى نحاسية لذلك فإن كتلة المحرك لا تعتبر متجانسة،

- **<u>اختيار استطاعة المحرك من أجل التشغيل المستمر :</u>**

عملياً هناك العديد من الآلات التي تحتاج لتشغيل مستمر عند حمولة ثابتة، واختيار المحرك المناسب في هذه الحالة تكون مسألة في غاية البساطة، وخاصة إذا علمنا وبشكل تقريبي استطاعة الدخل الثابتة التي تحتاجها آلية التشغيل.

إن اختيار المحرك باستطاعة تساوي استطاعة الدخل المطلوبة تضمن أن هذه القيمة الاسمية للمحرك هي القيمة الأعظمية المسموحة بالنسبة للتسخين، وذلك لأن تصميم المحرك يعتمد على الاستثمار الأعظمي للمواد الداخلة في تركيب المحرك عند استطاعة الخرج الاسمية. إن الإقلاع تحت شروط التشغيل المستمر ليس له تأثير على تسخين المحرك لأن زمن حدوثه يكون مهملاً أمام زمن العمل المستمر للمحرك.

١- اختيار استطاعة المحرك لقيادة مضخة :

تستخدم المضخات على نطاق واسع في حياتنا اليومية، حيث يتم استثمارها بشكل عام لضغط السوائل كالماء والزيوت وسوائل التبريد وغيرها. تعتمد استطاعة الضخ المطلوبة من المضخة على معدل جريان السائل الذي تقدمه، بينما يعتمد ارتفاع السائل على طول الأنابيب وعلى الفرق في الارتفاع بين نقطة الامتصاص ونقطة الضخ. تعطى استطاعة المحرك المطلوبة (بالوات) لتشغيل مضخة بالعلاقة الآتية :

$$P = \frac{\upsilon . G . H}{\eta_p . \eta_t} \quad (W) \qquad (٢٠ - ١١)$$

حيث :

υ : التدفق (m^3/sec).

G : كثافة السائل (N/m^3).

H : الارتفاع التصميمي (m) ويتألف من أربعة عناصر :

H_1: ارتفاع الامتصاص ، وهو المسافة على طرف الامتصاص إلى محور المضخة.

H_2: ارتفاع التفريغ، وهو المسافة من محور المضخة إلى أعلى نقطة للتفريغ.

H_3 : ارتفاع الاحتكاك، وهو الضياع في الارتفاع في جريان السائل عبر الأنابيب والصمامات وغيرها...

H_4 : ارتفاع السرعة، وهو الارتفاع المطلوب لتفريغ السائل بسرعة معينة.

η_p : مردود المضخة.

η_t : مردود النقل بين المحرك والمضخة.
عملياً يوجد نوعين من المضخات: مضخات مكبسية مردودها بين 0,8 و 0,9، ومضخات طاردة مردودها بين 0,5 و0,8. الاستطاعة المحسوبة من المعادلة (١١-٢٠) هي الاستطاعة المفيدة والمطلوبة من المحرك.

٢- اختيار استطاعة المحرك لقيادة مروحة :

تعتمد استطاعة المحرك الذي يقود مروحة على عوامل عدة أهمها تدفق المروحة والضغط الذي تعمل عليه. تعطى استطاعة المحرك المطلوبة للمروحة بالعلاقة الآتية :

$$P = \frac{\nu . h}{\eta_f . \eta_T} \quad (W) \qquad (٢١ - ١١)$$

حيث :
ν : تدفق المروحة (m^3/sec).
h : الضغط الذي يعاكس عمل المروحة (N/m^3).
η_P : مردود المروحة.
η_T : مردود النقل بين المروحة والمحرك.

- **اختيار استطاعة المحرك من أجل التحميل المستمر المتغير:**

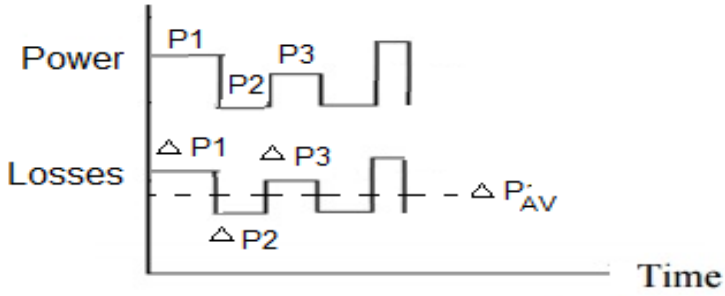
توجد طرق هندسية عدة لتحديد ومعرفة استطاعة محرك يقود آلة ذات حمولة متغيرة بانتظام.

١- طريقة الضياعات الوسطية :

عندما تكون حمولة المحرك متغيرة باستمرار ستكون عندها درجة حرارته متغيرة باستمرار أيضاً، في هذه الحالة سيكون مخطط الحمولة غير منتظم وذا عدد كبير من الخطوات، وسيكون من الصعب اختيار استطاعة المحرك المناسبة وفقاً للتسخين. في هذه الحالة من الضروري اتباع طرق أكثر ملائمة لاختيار استطاعة المحرك من أجل حمولة متغيرة. من الطرق المستخدمة هي طريقة الضياعات الوسطية، تتلخص هذه الطريقة بإيجاد متوسط ضياعات المحرك ΔP_{av} عندما يعمل وفق مخطط حمولة معطى ومن ثم مقارنة هذه الضياعات مع ضياعات المحرك الاسمية ΔP_n المتعلقة بالتشغيل المستمر للمحرك. في هذه الطريقة يجب أن يكون $\Delta P_n > \Delta P_{av}$، وهذا يعني أن المحرك سيعمل ضمن المجال المسموح به لارتفاع درجة الحرارة ζ_P :

$$\zeta_P = \frac{\Delta P_n}{A} > \frac{\Delta P_{av}}{A} \qquad (٢٢ - ١١)$$

حيث A عامل الانتقال الحراري ($j/sce.\ C^o$).
عندئذٍ فإن الزيادة الممكنة في درجة حرارة المحرك والتي تتجاوز ζ_P لا تغير زمن خدمة المحرك أو أدائه.



منحني استطاعة الحمولة والضياعات

يمكن ايجاد استطاعة المحرك في هذه الحالة بطريقة التقريبات المتتالية، حيث نقوم بحساب الاستطاعة الوسطية للحمولة مضروبة بعامل أمان.

الاستطاعة الوسطية للآلية تحسب من العلاقة الآتية :

$$P_{av} = \frac{P_{1.}t_{1+}P_{2.}t_{2+}P_{3.}t_{3+}..P_{n.}t_{n}}{t_{1+}t_{2+}t_{3+}..t_{n}} \qquad (٢٣ - ١١)$$

حيث t_1 الزمن المقابل للاستطاعة P_1 وهكذا..

بضرب الاستطاعة الوسطية المحسوبة من العلاقة (١١-٢٣) بعامل الأمان K_S نحصل على الاستطاعة المطلوبة من محرك التشغيل P .

$$P = K_{s.}P_{av} \qquad (٢٤ - ١١)$$

تتراوح قيمة K_S بين 1,1 و 1,3.

ولرسم مخطط الحمولة لابد من معرفة منحني المردود η=f(t) وإذا لم يتوفر هذا المنحني عندها لابد من حساب مردود المحرك من أجل حمولات جزئية من مردوده الاسمي وذلك باستخدام العلاقة الآتية :

$$\eta_X = \frac{1}{1 + (\frac{1}{\eta_n} - 1)\frac{1 + a/X}{1 + a}} \qquad (٢٥ - ١١)$$

حيث $a = \Delta P_{const}/\Delta P_{varn}$ هي نسبة الضياعات الثابتة للمحرك ΔP_{const} إلى الضياعات المتغيرة الاسمية ΔP_{varn}. وفقاً لتصميم المحرك فإن قيمة a تتراوح بين 0,4 و 1,1.

$X = I_X/I_n$ هي نسبة تيار المحرك عند حمولة جزئية معينة I_X إلى تيار المحرك الاسمي I_n.

بعد إيجاد قيمة الضياعات الوسطية من العلاقة (١١-٢٣) نقوم بمقارنتها مع الضياعات الموافقة لمردود المحرك الاسمي. إذا كان الفرق بين هاتين القيمتين كبيراً عندئذٍ يجب اختيار محرك آخر وإعادة الحسابات،

٢- طريقة التيار المكافئ :

في هذه الطريقة نفترض أن تيار المحرك المتغير والفعلي المسحوب من الشبكة الكهربائية يمكن التعويض عنه بتيار مكافئ I_{eq}

$$I_{eq} = \sqrt{\frac{(I_1^2)t_1 + (I_2^2)t_2 + \cdots + (I_n^2)t_n}{t_1 + t_{2+}..+t_n}} \qquad (٢٨ - ١١)$$

بناءً على القيمة المحسوبة للتيار المكافئ يمكننا وبالاعتماد على الجداول المرفقة مع المحركات اختيار محركاً تياره الاسمي I_n مساوٍ أو قريب من قيمة التيار المكافئ المحسوب. ولكن يجب مراعاة شرط

التحميل الزائد للمحرك وهو أن يكون $\lambda_i \leq \frac{I_{max}}{I_n}$، حيث λ_i يعبر عن نسبة تيار الحمولة الأعظمي إلى تيار المحرك الاسمي، قيمته تتراوح بين 2 و2,5 بالنسبة لمحركات التيار المستمر وبين 1,7 و 2,5 بالنسبة للمحركات التحريضية.

٣- طريقة العزم المكافئ :

عندما يكون فيض المحرك الكهربائي ثابتاً فإن عزم المحرك يتناسب طرداً مع التيار، في هذه الحالة يمكننا كتابة معادلة العزم المكافئ للمحرك بالشكل الآتي :

$$T_{eq} = \sqrt{\frac{(T_1^2)t_1 + (T_2^2)t_2 + \cdots + (T_n^2)t_n}{t_1 + t_2 + .. + t_n}} \qquad (٣٠ - ١١)$$

هذه الطريقة لا تناسب المحركات ذات الفيض المتغير مع الحمولة كالمحركات المستمرة التسلسلية أو المحركات المتناوبة ذات الدائر المقصور.

٤- طريقة الاستطاعة المكافئة :

عند ثبات السرعة فإن العزم يتناسب طرداً مع الاستطاعة، وبالتالي يمكن كتابة معادلة الاستطاعة المكافئة للمحرك بالشكل الآتي :

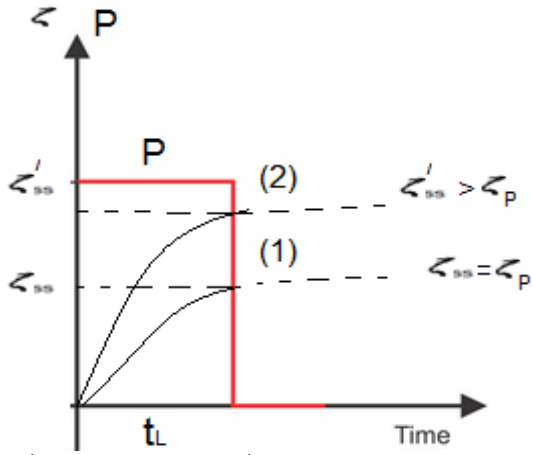
$$P_{eq} = \sqrt{\frac{(P_1^2)t_1 + (P_2^2)t_2 + \cdots + (P_n^2)t_n}{t_1 + t_2 + .. + t_n}} \qquad (٣١ - ١١)$$

علماً بأنه لا يجوز استخدام هذه الطريقة عندما تكون السرعة متغيرة بشكل ملحوظ كما في حالة المحركات المستمرة التسلسلية. هذه الطريقة في اختيار استطاعة المحرك تعد الأكثر شيوعاً باعتبار أن أغلب مخططات الحمولة مبنية على أساس الاستطاعة.

- <u>اختيار استطاعة المحرك من أجل التحميل قصير الزمن :</u>

نعتبر أن منحنيات ارتفاع درجة حرارة المحرك في حالة التشغيل لفترة زمنية قصيرة يمكن تمثيلها بمخطط حمولة مبسط ذي مرحلة واحدة كما يبين الشكل (١١-٨). من المعروف بأن المحرك عندما يتم تشغيله لفترة زمنية قصيرة فإنه سيملك الوقت الكافي لأن يبرد حتى درجة حرارة الوسط المحيط.

إذا اخترنا محرك ليعمل بشكل مستمر ثم تم تشغيله لفترة زمنية قصيرة t_L سيسخن وترتفع درجة حرارته إلى درجة أقل من درجة الحرارة المسموحة ζ_{ss} وذلك من أجل حمولة P، نمثل هذه الحالة على المنحني (1)، هذا يعني أن سعة التسخين الكاملة لم يتم استثمارها. لذلك وفي هذه الحالة يمكننا أن نستخدم محرك باستطاعة أقل من استطاعة الآلة التي يديرها بحيث تكون الفترة الزمنية القصيرة t_L كافية لتسخينه حتى درجة الحرارة المسموح بها ζ_P ، والتي تساوي درجة الحرارة المسموحة عند العمل بحمولة مستمرة ζ_{ss} ، وهذا موضح على المنحني (2).



الشكل (١١-٨): منحني ارتفاع درجة الحرارة عند الحمولة القصيرة

نعرف نسبة التحميل الزائدة للتسخين P_h على أنها نسبة الضياعات خلال العمل لفترة زمنية قصيرة إلى الضياعات الموافقة لحمولة اسمية وتشغيل مستمر وذلك من أجل درجة حرارة المحرك نفسها.

$$P_h = \frac{\Delta P_{sh}}{\Delta P_n}$$

حيث :

ΔP_{sh}: ضياعات المحرك من أجل التشغيل لفترة زمنية قصيرة (W).

ΔP_n: ضياعات المحرك الاسمية (W).

$$P_h = \frac{1}{(1 - e^{-\frac{t_L}{T_H}})}$$

ومنه يمكن حساب زمن الحمولة القصير المسموح به t_L وذلك عند معرفتنا بقيمة نسبة التحميل الزائدة

TH الثابت الزمني لزيادة درجة حرارة المحرك ويمكن استنتاجها من العلاقة السابقة.

$$t_L = T_H . ln \frac{P_h}{P_h - 1}$$

- **<u>اختيار استطاعة المحرك من أجل التحميل الدوري المتقطع:</u>**

نعرف معامل التشغيل ϵ بأنه النسبة بين زمن التحميل الفعلي للمحرك t_L إلى زمن استمرار الدورة الكلي t_C، ويعطى بالعلاقة التالية :

$$\epsilon = \frac{t_L}{t_C} = \frac{t_L}{t_L + t_r} \qquad (٤٢ - ١١)$$

حيث t_r هو زمن راحة المحرك (Sec).

هذه الحالة توافق حالة عمل المحرك لفترات زمنية متكررة خلال زمن التحميل، ومن أجل حمولة P سيكون من الخطأ اختيار محرك له نفس الاستطاعة لأنه سيملك سعة تسخين زائدة لا يتم الاستفادة منها. يمكننا في هذه الحالة اختيار محرك باستطاعة أصغر فيما لو كانت فترة تسخين المحرك لا تسمح بتجاوز

درجة الحرارة المسموحة. يجب اختيار استطاعة المحرك بحيث تصبح درجة حرارته بعد عدة دورات للتشغيل مساوية لدرجة الحرارة المستقرة ζ_{ss} والتي تحسب بالعلاقة التالية:

$$\zeta_{ss} = \zeta'_{ss}\ (1 - e^{-\frac{t_L}{T_H}}) + \zeta_0 . e^{-\frac{t_L}{T_H}} \qquad (٤٣ - ١١)$$

حيث :

ζ_0: القيمة الابتدائية لارتفاع درجة حرارة المحرك فوق درجة حرارة الوسط المحيط (C^o).

ζ'_{ss}: زيادة الحرارة المستقرة للمحرك فوق حرارة الوسط المحيط (C^o).

إذا اعتبرنا أن الثابت الزمني للتسخين T_H له نفس القيمة أثناء تسخين المحرك وأثناء التبريد، فإن معادلة تبريد المحرك من أجل فترة الحرارة تعطى بالعلاقة الآتية:

$$\zeta_0 = \zeta_{ss} . e^{-\frac{t_r}{T_H}}) \qquad (٤٤ - ١١)$$

نعوض في (١١-٤٣) فتكون معادلة ارتفاع درجة حرارة المحرك :

$$\zeta_{ss} = \zeta'_{ss}\ (1 - e^{-\frac{t_L}{T_H}}) + \zeta_{ss} . e^{-\frac{(t_L + t_r)}{T_H}} \qquad (٤٥ - ١١)$$

نقسم العلاقة السابقة على ζ_{ss} مع الأخذ بعين الاعتبار أن $P_h = \frac{\zeta'_{ss}}{\zeta_{ss}}$:

$$1 = P_h\ (1 - e^{-\frac{t_L}{T_H}}) + e^{-\frac{(t_L + t_r)}{T_H}} \qquad (٤٦ - ١١)$$

ومنه نحصل على علاقة عامل زيادة التحميل الزائد للمحرك :

$$P_h = \frac{1 - e^{-\frac{(t_L + t_r)}{T_H}}}{1 - e^{-\frac{t_L}{T_H}}} \qquad (٤٧ - ١١)$$

فإذا فرضنا أن فترة الراحة كبيرة جداً $(t_r = \infty)$ فإننا سنحصل على نفس العلاقة في حالة التشغيل لفترة قصيرة :

$$P_h = \frac{1}{1 - e^{-\frac{t_L}{T_H}}} \qquad (٤٨ - ١١)$$

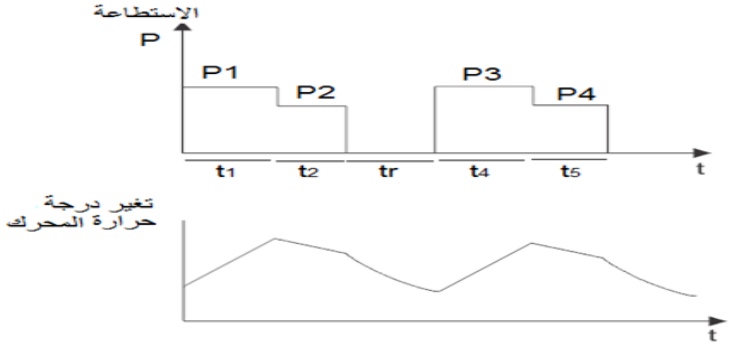
يمكننا تحديد نوع الحمولة تجريبياً بالاعتماد على قيمة معامل التشغيل أو معامل استمرار الحمولة ϵ كما يأتي :

من أجل $(\epsilon > 0{,}6)$ فإن $(P_h \approx 1)$، أي نفترض أن الحمولة مستمرة وبناءً عليه نختار المحرك المناسب. أما إذا كانت $(\epsilon < 0{,}1)$ ففي هذه الحالة نفترض أن الحمولة قصيرة الزمن ونختار لها المحرك المناسب. ما يميز عمل المحركات مع الحمولات المتقطعة الدورية هو إقلاعها وتوقفها المتكرر، لذلك على هذه المحركات أن تتحمل تيارات الاقلاع والكبح المتكررين مع الأخذ بعين الاعتبار قيمة معامل التشغيل عند الإقلاع ϵ_{st}:

$(\epsilon_{st} = 0{,}15 - 0{,}25 - 0{,}40 - 0{,}60)$

من أجل الحمولات المتقطعة الدورية يتم اختيار استطاعة المحرك المناسبة على أساس الضياعات الوسطية ΔP_{av}، والتي تتم مقارنتها مع ضياعات المحرك الاسمية ΔP_n الموجود في النشرة الفنية للمحرك. مع ضرورة التأكد من عزم إقلاع المحرك والذي يجب أن يزيد عن عزم الحمولة. في حالة

الأحمال الدورية المتقطعة إذا زادت دورة العمل عن 10 دقائق في هذه الحالة نتعامل مع الحمولة وكأنها حمولة مستمرة ويتم اختيار المحرك المناسب بناءً على هذا الأساس.
بالاعتماد على الشكل وبإهمال ضياعات المحرك الثابتة يمكننا أن نحدد استطاعة المحرك المكافئة P_{eq}.



منحني تغير استطاعة ودرجة حرارة لمحرك من أجل الحمولات المتقطعة الدورية

قيمة الاستطاعة المكافئة للمحرك يمكن تحديدها من العلاقة :

$$P_{eq} = \sqrt{\frac{(P_1^2)t_1 + (P_2^2)t_2 + \cdots + (P_n^2)t_n}{t_1 + t_2 + .. + t_n + \cdots t_r}} \qquad (٤٩ - ١١)$$

بضرب البسط والمقام بزمن التشغيل الفعلي للمحرك $(t_1 + t_2 + .. + t_n)$ (أي نستثني زمن الراحة t_r) نحصل على :

$$P_{eq} = \sqrt{\frac{(P_1^2)t_1 + \cdots + (P_n^2)t_n}{t_1 + .. + t_n} \cdot \frac{t_1 + .. + t_n}{t_1 + .. + t_n + \cdots t_r}} \qquad (٥٠ - ١١)$$

ومنه:

$$P_{eq} = \sqrt{\frac{(P_1^2)t_1 + (P_2^2)t_2 + \cdots + (P_n^2)t_n}{t_1 + t_2 + .. + t_n}} \cdot \sqrt{\epsilon} \qquad (٥١ - ١١)$$

وبالتالي :

$$P_{eq} = P' \cdot \sqrt{\epsilon} \qquad (٥٢ - ١١)$$

حيث :
P' : الاستطاعة المكافئة للمحرك خلال زمن العمل الفعلي للمحرك (W).
P_{eq} : استطاعة المحرك المكافئة (W).

نقوم بحساب ϵ ونقارن تلك القيمة المحسوبة مع أقرب قيمة معطاة في النشرات الفنية للمحرك الذي تم اختيار للعمل مع الحمولات الدورية المتقطعة ونختار تلك القيمة. في هذه الحالة ستكون هناك قيمة محسوبة للاستطاعة المكافئة للمحرك وأخرى قياسية تعتمد على النشرة الفنية للمحرك وذلك حسب قيمة ϵ المعتمدة.

يمكن حساب قيمة استطاعة المحرك الثابتة و المطلوبة من العلاقة الآتية :

$$P_2' = P_1' . \sqrt{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_{st}}} \qquad (٥٣ - ١١)$$

حيث :

ϵ_1: معامل التشغيل المحسوب.

ϵ_{st}: معامل التشغيل القياسي (من النشرة الفنية للمحرك).

P_1': استطاعة المحرك الثابتة والمحسوبة من دون الأخذ بعين الاعتبار زمن راحة المحرك (W).

يمكن حساب استطاعة المحرك بإحدى طريقتين :

الطريقة الأولى : من دون الأخذ بعين الاعتبار زمن راحة المحرك بالنسبة للاستطاعة المكافئة. حيث نحسب بالبداية استطاعة المحرك الثابتة بالاعتماد على مخطط الحمولة للمحرك :

$$P_{eq} = \sqrt{\frac{(P_1^2)t_1 + (P_2^2)t_2 + \cdots + (P_n^2)t_n}{t_1 + t_2 + .. + t_n}}$$

ثم نحسب قيمة معامل التشغيل الحقيقية بالاعتماد على مخطط الحمولة :

$$\epsilon_1 \% = \frac{\sum t_L}{\sum t_L + \sum t_r} . 100\%$$

بعد حساب ϵ_1 نقارنها مع أقرب قيمة موجودة بالنشرة الفنية للمحرك ϵ_{st} ونقوم باعتماد تلك القيمة. ثم نحسب من جديد استطاعة المحرك المطلوبة بناءً على العلاقة (١١-٥٣).

بعد حساب P_2' نحدد من النشرة الفنية للمحرك المصمم للعمل على حمولات دورية متقطعة قيمة الاستطاعة الاسمية المناسبة والقريبة من P_2' (المقابلة للمعامل ϵ_{st}).

الطريقة الثانية : مع الأخذ بعين الاعتبار زمن راحة المحرك بالنسبة للاستطاعة المكافئة. نحسب أولاً الاستطاعة المكافئة للمحرك بالاعتماد على مخطط حمولته :

$$P_{eq} = \sqrt{\frac{(P_1^2)t_1 + (P_2^2)t_2 + \cdots + (P_n^2)t_n}{t_1 + t_2 + .. + t_n + \cdots t_r}}$$

ثم نحسب قيمة معامل التشغيل الحقيقية ϵ_1 بالاعتماد على مخطط الحمولة كما في الطريقة الأولى، ثم نقارنها مع أقرب قيمة موجودة بالنشرة الفنية للمحرك ϵ_{st}. بعد ذلك نقوم بحساب قيمة الاستطاعة المكافئة الثابتة للمحرك من العلاقة الآتية :

$$P' = \frac{P_{eq}}{\sqrt{\epsilon_{st}}}$$

بعد ذلك نحدد من النشرة الفنية المرفقة مع المحرك قيمة الاستطاعة الاسمية المطلوبة للمحرك بحيث تكون قريبة من القيمة P'.

ونذكر بأن اختيار استطاعة المحرك من أجل الحمولات الدورية المتقطعة يتم على أساس ($\epsilon_{st} > 0{,}6$)، فإذا كانت ($\epsilon_{st} < 0{,}6$) عندها يتم اختيار استطاعة المحرك من أجل الحمولة المستمرة. في

حال كانت $\epsilon_{st} < 0,1$ عندئذٍ نختار استطاعة المحرك المناسبة لتشغيل حمولة قصيرة الزمن، وهذا ما درسناه سابقاً.

مثال ١- لدينا محرك تحريضي ثلاثي الطور يعمل عند حمولة قصيرة الزمن، المطلوب حساب الثابت الزمني الحراري للمحرك T_H في الحالتين الآتيتين :

١- من أجل العمل عند الحمولة الاسمية.

$$P_n = 7\ KW,\ \ \eta_n = 0,775$$

٢- من أجل العمل لساعة واحدة فقط.

$$P_s = 13\ KW,\ \ \eta_n = 0,825$$

الحل :

١- نحسب ضياعات المحرك الاسمية عند الحمولة المستمرة :

$$\Delta P_n = \frac{P_n}{\eta_n} - P_n = \frac{7}{0,775} - 7 = 2,05\ KW$$

٢- نحسب الضياعات من أجل الحمولة قصيرة الزمن :

$$\Delta P_s = \frac{P_s}{\eta_s} - P_s = \frac{13}{0,775} - 13 = 2,75\ KW$$

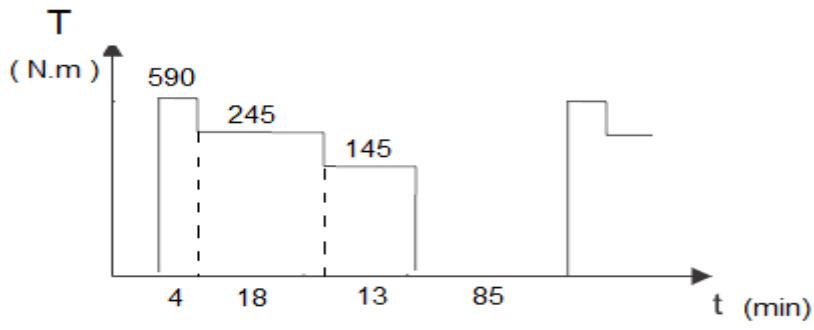
٣- نحسب معمل زيادة التحميل الحراري :

$$P_h = \frac{\Delta P_s}{\Delta P_n} = \frac{2,75}{2,05} = 1,34$$

٤- نحسب الثابت الزمني T_H :

$$T_H = \frac{t_L}{ln.\frac{P_h}{P_h - 1}} = \frac{60}{ln.\frac{1,34}{0,34}} = 2625\ sec$$

مثال ٢- لدينا محرك تحريضي ثلاثي الطور يعمل بتوتر 220V وبسرعة 750 r.p.m ومعامل تشغيله الاسمي $\epsilon_{st} = 0,25$. احسب استطاعة هذا المحرك بالاعتماد على مخطط الحمولة الساكن المبين بالشكل الآتي :



وذلك في حالتين :

١- من دون حساب زمن الراحة.

٢- مع حساب زمن الراحة.

الحل :

١- من دون زمن الاستراحة :

- نحسب العزم المكافئ من العلاقة :

$$T_{1eq} = \sqrt{\frac{(T_1^2)t_1 + (T_2^2)t_2 + \cdots + (T_n^2)t_n}{t_1 + t_2 + .. + t_n}}$$

$$= \sqrt{\frac{590^2.4 + 245^2.18 + 145^2.13}{4 + 18 + 13}} = 286\ N.m$$

- نحسب معامل التشغيل :

$$\epsilon_1\% = \frac{\sum t_L}{\sum t_L + \sum t_r}.100\% = \frac{4 + 18 + 13}{120}.100\% = 29\%$$

- نحسب الاستطاعة المكافئة للمحرك :

$$P_{1eq} = T_{1eq}.\boldsymbol{\omega} = \frac{T_{eq}.2\pi n}{60} = 22{,}5\ KW$$

فتكون الاستطاعة المطلوبة من المحرك :

$$P_2' = P_{1eq}.\sqrt{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_{st}}} = 22{,}5\sqrt{\frac{0.29}{0{,}25}} = 24\ KW$$

١- مع أخذ زمن الراحة بعين الاعتبار :

- نحسب من جديد العزم المكافئ :

$$T_{1eq} = \sqrt{\frac{590^2.4+245^2.18+145^2.13}{4+18+13+85}} = 155\ N.m$$

- نحسب الاستطاعة المكافئة :

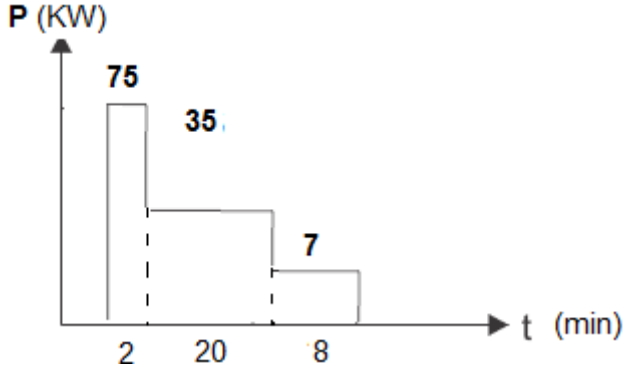
$$P_{1eq} = T_{1eq}.\boldsymbol{\omega} = \frac{T_{eq}.2\pi n}{60} = 12{,}25\ KW$$

- فتكون الاستطاعة المطلوبة من المحرك عند $\epsilon_{st} = 0.25$:

$$P' = \frac{P_{1eq}}{\sqrt{\epsilon_{st}}} = \frac{12.25}{\sqrt{0.25}} = 24.5\ KW$$

وبذلك يمكننا تحديد استطاعة المحرك المناسبة وفقاً لإحدى الطريقتين السابقتين، وذلك بعد معرفة أو اختيار قيمة معامل التشغيل ϵ_{st} من نشرات المحرك الفنية المرفقة.

مثال ٣- آلة ميكانيكية تعمل على حمولة مستمرة متغيرة كما يوضح الشكل الآتي.



والمطلوب اختيار استطاعة المحرك الكهربائي المناسب علماً بأنه محرك مستمر تسلسلي يتغذى بجهد قدره 200V ويدور بسرعة ثابتة في الحالة المستقرة وقدرها 600 r.p.m.

الحل :

باعتبار أن المحرك مستمر تسلسلي إذاً فطريقة تحديد استطاعة المحرك المناسبة عن طريق الاستطاعة المكافئة ليست مناسبة، في هذه الحالة سنستخدم طريقة الضياعات الوسطية.

بالاعتماد على مخطط الحمولة المعطى نحسب الاستطاعة P باعتبار أن عامل الأمان $K_s = 1.15$:

$$P = \frac{P_{1.}t_{1+}P_{2.}t_{2+}P_{3.}t_{3+}..P_{n.}t_n}{t_{1+}t_{2+}t_{3+}..t_n}.K_s$$

$$P = \frac{75 * 2 + 35 * 20 + 7 * 8}{2 + 20 + 8} * 1.15 = 34.7\ KW$$

نبحث في النشرات الفنية للمحركات المستمرة ونفرض أننا وجدنا محركاً يملك المواصفات الآتية :

$P_n = 35\ KW$
$U_n = 220\ V$
$I_n = 185\ A$
$n_n = 575\ r.p.m$
$R_a = 0.057\ \Omega, \quad R_{as} = 0.026\ \Omega$

استطاعة هذا المحرك والمسحوبة من الشبكة هي :

$$P_1 = U_n.I_n = 40.7\ KW$$

فتكون قيمة الضياعات الاسمية :

$$\Delta P = P_1 - P_n = 40{,}7 - 35 = 5{,}7\ KW$$

- ضياعات المحرك الكهربائية تحسب من العلاقة الآتية :

$$\Delta P_{el} = I_n^2.(R_a + R_{as}) = 2{,}91\ KW$$

- أما الضياعات الثابتة فتحسب كما يلي :

$$\Delta P_{const} = 5{,}7 - 2{,}91 = 2{,}79\ KW$$

- نحسب الضياعات الكهربائية في كل جزء من مخطط الحمولة من العلاقة الآتية :

$$\Delta P_1 = \Delta P_{el} . \frac{P_x^2}{P_n^2}$$

$$\Delta P_1 = 2{,}91 * (\frac{75^2}{35^2}) = 13{,}39\ KW$$

$$\Delta P_2 = 2{,}91 * (\frac{35^2}{35^2}) = 2{,}91\ KW$$

$$\Delta P_3 = 2{,}91 * (\frac{7^2}{35^2}) = 0{,}117\ KW$$

- نحسب الطاقة المصروفة على الضياعات الثابتة خلال دورة تشغيل كاملة :

$$E_1 = 2{,}79 * (2 + 20 + 8) = 83{,}7\ KW.min$$

- أما الطاقة المصروفة على الضياعات النحاسية الكلية خلال دورة تشغيل كاملة :

$$E_2 = 13{,}39 * (2) + 2{,}91 * (20) + 0{,}117 * (8) = 86\ KW.min$$

- فتكون ضياعات القدرة للمحرك خلال دورة العمل :

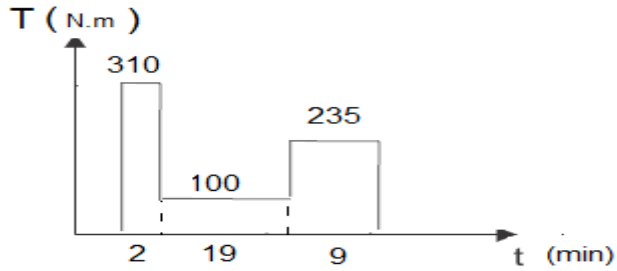
$$E_T = E_1 + E_2 \approx 170\ KW.min$$

- ومنه فإن ضياعات المحرك الوسطية خلال دورة العمل :

$$\Delta P_{av} = \frac{170}{30} = 5{,}67\ KW$$

وهي قريبة جداً من الضياعات المحسوبة عند الحمولة الاسمية $5{,}7\ KW$، وهذا يعني صحة اختيارنا للمحرك المناسب لهذه الحمولة.

مثال ٤ - محرك تحريضي ثلاثي الطور يقود آلة تعمل بحمولة مستمرة متغيرة كما يوضح الشكل الآتي :



مواصفاته :

$$P_n = 14\ KW$$
$$U_n = 220\ V$$
$$I_n = 57\ A$$
$$n_n = 700\ r.p.m$$

$\eta_n = 0{,}84$

أما معامل التحميل الزائد فيساوي $\lambda = \frac{T_{max}}{T_n} = 1{,}9$. المطلوب التحقق من صلاحية هذا المحرك لقيادة الآلة المذكورة.

الحل :

نحسب العزم المكافئ للمحرك من العلاقة الآتية :

$$T_{eq} = \sqrt{\frac{(T_1^2)t_1 + (T_2^2)t_2 + (T_3^2)t_3}{t_1 + t_2 + t_3}}$$

$$= \sqrt{\frac{(310)^2 * 2 + (100)^2 * 19 + (235)^2 * 9}{2 + 19 + 9}} = 172\ N.m$$

ومنه تكون الاستطاعة المكافئة :

$$P_{eq} = T_{eq} \cdot \frac{n_n}{9500} = 172 * \left(\frac{700}{9500}\right) = 12{,}6\ KW$$

وهذه القيمة أصغر من الاستطاعة الاسمية للمحرك المذكر، إذاً اختيارنا لاستطاعة المحرك صحيحة.

نتحقق من شرط زيادة التحميل عن طريق حساب العزم الاسمي للمحرك :

$$T_n = 9500.\left(\frac{P_n}{n_n}\right) = 9500 * \left(\frac{14}{700}\right) = 190\ N.m$$

ومن مخطط الحمولة نلاحظ أن العزم الأعظمي للمحرك هو $310\ N.m$، ننسب تلك القيمة الأعظمية على قيمة العزم الاسمي للمحرك المختار فنجد :

$$\frac{T_{max}}{T_n} = \frac{310}{190} = 1{,}63$$

وهذا يعني أن المحرك المختار يحقق شرط زيادة التحميل لأن $(1{,}9 > 1{,}63)$. حيث 1,9 هو معامل زيادة تحميل.