

Лекція №29. Перевірка допустимого навантаження двигуна за методом еквівалентного середньоквадратичного струму.

29.1. Загальні положення.

Суть цього методу заснована на тому, що дійсний струм, що протікає в двигуні і змінюється за величиною замінюється в розрахунках деяким постійним за величиною струмом I_e , що викликає в двигуні також втрати, що й дійсний.

При роботі двигуна по деякому графіку навантаження втрати на кожній окремій ділянці можна виразити у вигляді суми постійних і змінних втрат, якщо зробити припущення, що струм і втрати змінюються ступенями, залишаючись незмінними в межах кожного ступеня (в дійсності крива струму $I = f(t)$ не має ступеневого характеру).

Змінні втрати пропорційні квадрату струму головного кола – струму якоря для машин постійного струму і струму ротора для АД (для СД - струму статора). Таким чином

$$\Delta P_x = \kappa + V_H \left(\frac{I_x}{I_n} \right)^2 = \kappa + R \cdot I_x^2,$$

де R – враховує опір обмоток головного кола.

Підставляючи значення окремих складових втрат в вираз для ΔP_{cp} і представляючи середні втрати в двигуні як $\Delta P_{cp} = \kappa + R \cdot I_9^2$, отримаємо

$$\begin{aligned} \kappa + R \cdot I_9^2 &= \frac{(\kappa + I_1^2 \cdot R) \cdot t_1 + (\kappa + I_2^2 \cdot R) \cdot t_2 + \dots + (\kappa + I_n^2 \cdot R) \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} = \\ &= \frac{\kappa(t_1 + t_2 + \dots + t_n)}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} + \frac{R(I_1^2 \cdot t_1 + I_2^2 \cdot t_2 + \dots + I_n^2 \cdot t_n)}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}. \end{aligned}$$

Звідси після скорочень і перетворень отримаємо вираз для I_e

$$I_9 = \sqrt{\frac{I_1^2 \cdot t_1 + I_2^2 \cdot t_2 + \dots + I_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} = \sqrt{\frac{\sum I_x^2 \cdot t_x}{\sum t_x}} = \sqrt{\frac{\int_0^{t_x} i_x^2 dt}{\sum t_x}}.$$

Тут в знаменнику час всього робочого циклу з урахуванням пауз. Умова перевірки зводиться до порівняння I_e з номінальним струмом попередньо обраного двигуна, тобто $I_e \leq I_n$. Двигун додатково потрібно перевірити за умовою допустимого перевантаження, тобто переконатися,

$$\text{що } \lambda_I \geq \frac{I_{\text{макс}}}{I_n}.$$

Якщо ця остання умова не виконується, необхідно вибрати двигун більшої потужності, керуючись при цьому вже не умовами нагріву, а перевантажувальною здатністю двигуна.

Слід мати на увазі, що при виведенні вирази для I_E змінні втрати приймалися пропорційними квадрату головного струму двигуна. Це положення справедливо лише в тому разі, якщо протягом робочого циклу немає підключення головної кола, а АД з к. з. ротором, мають подвійну білячу клітку або глибокі пази, працюють приблизно при постійній швидкості. Крім того, цей метод не враховує можливі зміни постійних втрат при зміні швидкості в широких межах. Тим не менш, цей метод може використовуватися для перевірки за умовами нагрівання всіх типів попередньо обраних двигунів з достатньою точністю.

У випадках, коли постійна нагріву двигуна T_H не постійна і цикл містить періоди роботи із змінною швидкістю (зниженою), а також паузи, необхідно враховувати вплив погіршених умов охолодження. Еквівалентний струм у цьому випадку (стосовно до трьохперіодної тахограми) визначається за формулою

$$I_{\text{э}} = \sqrt{\frac{I_1^2 \cdot t_1 + I_2^2 \cdot t_2 + I_3^2 \cdot t_3}{\alpha(t_1 + t_3) + t_2 + \beta \cdot t_0}}$$

При різких змінах крива струму $I=f(t)$ при розрахунках замінюється не ступінчастою, як розглянуто вище, щоб уникнути значних похибок, а ламаною лінією, майже збігається з реальною кривою зміни струму, і обчислюються еквівалентні струми окремих ділянок. У цьому випадку площа графіка, обмежена такою ламаною лінією, розбивається на ряд фігур (див. рис.29.1), що мають форму трикутника, прямокутника і трапеції.

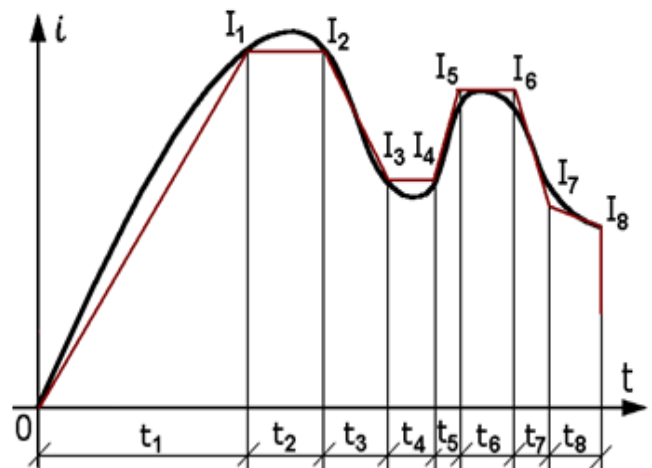


Рис.29.1.

Знайдемо, наприклад, еквівалентну значення струму на лінійній ділянці тривалістю t_1 (площа ділянки має форму трикутника). На ньому струм змінюється за законом

$$I = \alpha \cdot t, \text{ де } \alpha = \frac{I_1}{t_1} = \text{const}.$$

Еквівалентний струм на цій ділянці:

$$I_{\text{э1}} = \sqrt{\frac{\int_0^{t_1} I^2 dt}{t_1}} = \sqrt{\frac{\int_0^{t_1} \alpha^2 \cdot t^2 dt}{t_1}} = \frac{\alpha \cdot t_1}{\sqrt{3}} = \frac{I_1 \cdot t_1}{\sqrt{3} \cdot t_1} = \frac{I_1}{\sqrt{3}}$$

- розрахунок виконується для трикутника.

На ділянці тривалістю, наприклад, t_3 має форму трапеції аналогічно можна отримати вираз

$$I_{\text{э3}} = \sqrt{\frac{I_2^2 + I_2 \cdot I_3 + I_3^2}{3}}$$

- розрахунок виконується для трапеції.

На ділянках, що мають форму прямокутника (тривалістю t_4, t_6), еквівалентний струм дорівнює дійсному струму. Використовуючи отримані залежності, визначається результуючий еквівалентний струм, який потім порівнюється з номінальним струмом попередньо обраного двигуна і робиться висновок про можливість його застосування, тобто $I_E \leq I_H$

$$I_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum I_{\text{э1}}^2 \cdot t_{\Delta} + \sum I_{\text{э2}}^2 \cdot t_{\square} + \sum I_{\text{э3}}^2 \cdot t_{\triangle}}{\sum t_{\Delta} + \sum t_{\square} + \sum t_{\triangle}}}$$

- розрахунок виконується для результуючого еквівалентного струму.

Метод еквівалентного струму є кращим при перевірці потужності ДПС із змінним потоком, а також для АД зі значним струмом холостого ходу (40 ÷ 60% номінального струму).

29.2. Перевірка допустимого навантаження двигуна по методах еквівалентного моменту і еквівалентної потужності

Метод еквівалентного моменту заснований на тому, що в двигунах, що працюють при $\Phi = \text{const}$ момент пропорційний струму. Так, в разі двигунів постійного струму з незалежним збудженням $M = \kappa \Phi \cdot I_{\text{я}} \equiv I_{\text{я}}$.

З деякими припущеннями він може бути використаний і для перевірки потужності попередньо обраного АД, коли він повинен працювати при навантаженнях, близьких до номінального. Момент АД $M = C_M \cdot I_2 \cdot \Phi \cdot \cos \psi_2$.

При тих реальних навантаженнях, при яких зазвичай працює АД, $\cos \psi_2$ змінюється не настільки значно, і з деякою погрішністю його можна вважати постійним.

Оскільки при $U_1 = \text{const}$ і $f_1 = \text{const}$ потік АД постійний, можна вважати, що $i M \equiv I_2$.

Помноживши обидві частини виразу для I_c на деякий коефіцієнт пропорційності, отримаємо

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + \dots + M_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

Умова правильності попередньо обраного двигуна: $M_e \leq M_n$.

У разі, коли $\Phi \neq \text{const}$ (наприклад, при ослабленні його у ДНЗ), цим методом безпосередньо користуватися не можна, але якщо внести поправки в навантажувальну діаграму електропривода, то ординати графіка моменту можна зробити пропорційними струму і методом еквівалентного моменту можна буде користуватися.

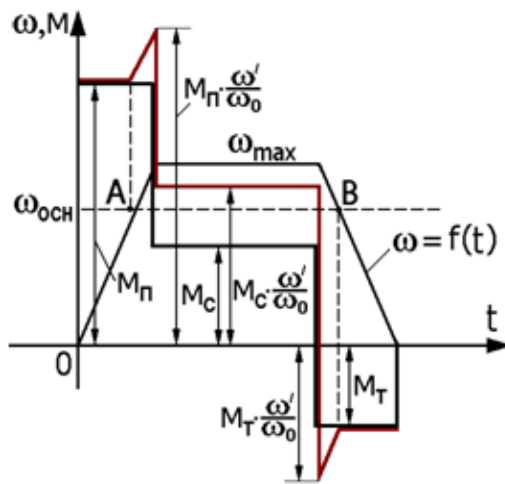


Рис.29.2.

Внесення поправок розглянемо на прикладі трьохперіодного графіка (рис.28.2). У сталому режимі двигун повинен працювати з ослабленим потоком $\Phi_{\text{осл}}$ зі швидкістю $\omega_{\text{макс}} > \omega_{\text{очн}}$. На ділянках діаграми, де двигун працює з $\Phi = \Phi_{\text{н}}$, ординати графіка моменту пропорційні струму (до точки А). При $\omega > \omega_{\text{очн}}$ ці ординати не пропорційні струму (від точки А до точки В). Якщо при $\Phi = \Phi_{\text{н}}$ двигун, розвиваючи момент M , споживає з мережі струм $I_{\text{я}}$, то при ослабленому потоці $\Phi_{\text{осл}}$, розвиваючи той же момент, він буде споживати більший струм $I_{\text{я}}$.

Таким чином на ділянках роботи з $\Phi_{\text{осл}}$ графік моменту не відображає картини нагріву двигуна.

Виходячи з рівності моментів, при роботі $\Phi_{\text{н}}$ і $\Phi_{\text{осл}}$, можна визначити величину поправки, яку потрібно ввести в графік моменту, щоб його ординати були пропорційні струму

$$M = k\Phi \cdot I_{\text{я}} = k\Phi_{\text{осл}} \cdot I'_{\text{я}}; \quad I'_{\text{я}} = I_{\text{я}} \cdot \frac{\Phi}{\Phi_{\text{осл}}}.$$

Відношення потоків можна замінити відношенням швидкостей. Нехтуючи падінням напруги в колі якоря, можна вважати $E = k\Phi \cdot \omega = k\Phi_{\text{осл}} \cdot \omega' \cong U = \text{const}$.

$$\text{Отже, } \frac{\Phi}{\Phi_{\text{осл}}} = \frac{\omega'}{\omega} \text{ і } I'_{\text{я}} = I_{\text{я}} \cdot \frac{\omega'}{\omega} = I_{\text{я}} \cdot \frac{\omega'}{\omega_{\text{очн}}}.$$

Помноживши ординати графіка моменту на ділянці роботи двигуна з ослабленим потоком (від точки А до точки В) на відношення $\frac{\omega'}{\omega_{\text{очн}}}$, де ω' -

фактична швидкість при ослабленому потоці, отримаємо новий графік, ординати якої пропорційні струму. Отже, маючи новий графік залежності $M = f(t)$ для перевірки потужності попередньо обраного двигуна можна використовувати метод еквівалентного моменту $M_{\text{е}}$.

В електроприводах, що працюють з постійною або малозмінною швидкістю, потужність $P = M \cdot \omega$ буде пропорційна моменту. В цьому випадку

для перевірки правильності вибору потужності двигуна можна знаходити значення еквівалент-ної потужності P_e , користуючись залежністю $P = f(t)$, отриманою розрахунковим або експериментальним шляхом. При цьому необхідно дотримуватися умови:

$$P_{ном} = M_{\omega} \cdot \omega = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + \dots + P_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \leq P_H.$$

Область застосування цього методу обмежується випадками роботи ДНЗ, АД і СД при $\omega = \text{const}$.