

ОЦІНКА ТЕПЛООВОГО СТАНУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ПРИ ПЕРЕВАНТАЖЕННІ І ПОВТОРНО-КОРОТКОЧАСНОМУ РЕЖИМІ РОБОТИ

Павловська К.В., магістрантка, Дубчак Є.М., ст. викладач, Реуцький М.О., к.т.н., доц.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки

Одним із основних вимог до асинхронних двигунів (АД) являється надійність його роботи при мінімальних капітальних і експлуатаційних затратах. Ці вимоги можуть бути задоволені лише при правильному виборі двигуна відповідної потужності. Перевищення встановленої потужності АД, збільшує затрати на його придбання і експлуатацію за рахунок зниження ККД і погіршення коефіцієнта потужності. Застосування двигунів з недостатньою потужністю призводить до порушення роботи приводного механізму і може призвести до аварії. Критерієм правильного вибору двигуна в умовах навантаження, що періодично змінюється, являється його пусковий і максимальний момент, а також нагрів його обмоток. Обмеженням за нагрівом визначається теплостійкість ізоляції. Якщо температура обмоток не перевищує класу нагрівостійкості ізоляції, то двигун може бути навантажений вище ніж його номінальне навантаження.

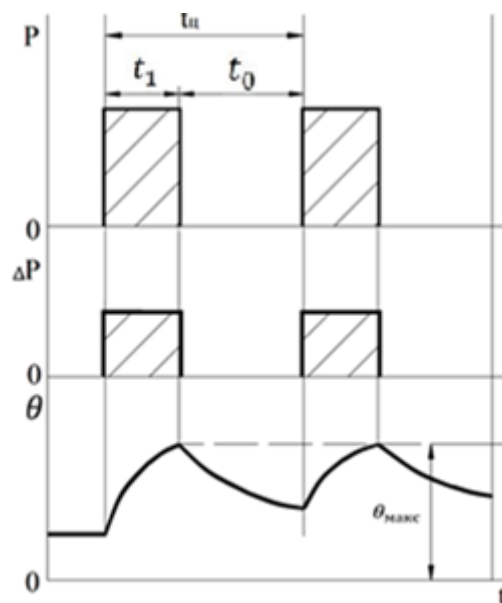


Рисунок 1 – Діаграма двигуна і навантажувальна діаграма втрат і температури обмоток

Для обґрунтованого вибору двигуна повинна бути відома необхідна навантажувальна діаграма механізму. Так, наприклад, для повторно-короткочасного режиму роботи (S3) тривалість включення (ТВ), виражають в процентах, що дорівнює відношенню тривалості робочого періоду до тривалості повного циклу:

$$ТВ = \frac{t_i}{t_{ц}} \cdot 100$$

де $t_{ц}$ – тривалість повного циклу.

Стандартними вважаються $ТВ = 15; 25; 40; 60 \%$. В повторно-короткочасному режимі тривалість циклу встановлюється рівною 10 хвилин. В умовному позначенні режиму вказують тривалість включення в процентах, наприклад S3 – 25%; S3 – 40%.

Вибір потужності електродвигуна для повторно-короткочасного режиму роботи S3 може бути виконаний для еквівалентної потужності чи моменту для заданого графіка навантаження.

$$P_e = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + P_3^2 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3}}$$

$$M_e = \sqrt{\frac{\Sigma(I_i^2 \cdot t_i)}{\Sigma t_i}}$$

де P_1, P_2, P_3 – потужності на ділянках циклу, кВт;
 t_1, t_2, t_3 – тривалість ділянок циклу, с.

Дійсні значення тривалості включення можуть бути підраховані за формулою:

$$ТВ = \frac{\Sigma t_{роб}}{\Sigma t_{роб} + \Sigma t_0} \cdot 100$$

де $\Sigma t_{роб}$ – сумарний час роботи періодів, с

Σt_0 – сумарний час зупинки, с

Еквівалентна потужність перераховується з дійсної тривалості включення ТВ на каталожну (стандартну) $ТВ_{ст} = 15, 25, 40, 60 \%$ за формулою:

$$P_{ст} = P_e \sqrt{\frac{ТВ_1}{ТВ_{ст}}}$$

Знаючи потужність $P_{ст}$, за каталогом для двигунів, призначених для роботи в режимі S1 чи S3, вибирається двигун з $P_H \geq P_{ст}$.

Вибраний двигун необхідно перевірити на достатність пускового моменту і перевантажувальну здатність

$$\lambda_M = \frac{P_{M \max}}{P_H}$$

де $P_{M \max}$ – максимальне значення потужності із графіка навантаження, кВт

При визначенні потужності за методом еквівалентних величин необхідно ввести поправочні коефіцієнти, що враховують погіршення охолодження електродвигунів в періоди пауз β_0 , пусків $\beta_{\text{п}}$ та гальмування $\beta_{\text{т}}$. Зазвичай $\beta_{\text{п}} = \beta_{\text{т}} = \frac{\beta_0}{2}$.

Еквівалентна потужність двигуна, наприклад, для навантажувальної діаграми (рисунок 2), визначається за формулою:

$$P_e = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + P_3^2 \cdot t_3)}{\beta_0 \cdot (t_1 + t_2 + t_3) + 2 \cdot t_2}}$$

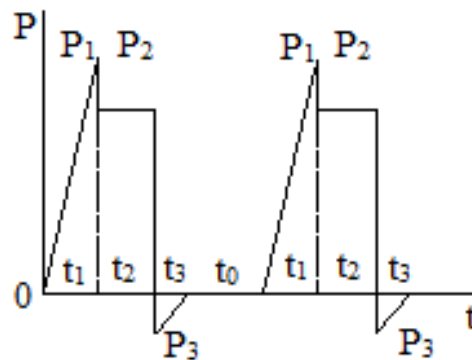


Рисунок 2 – Навантажувальна діаграма порторно-короткочасного режиму

Якщо відома навантажувальна діаграма двигуна і його теплові параметри, то можна побудувати графік зміни температури в часі і порівняти його з допустимим класом нагрівостійкості ізоляції. Практично температуру обмоток можна оцінити спрощеним способом, що заснований на методі середніх втрат.

Максимальне усталене значення температури при повторно-короткочасному режимі роботи може бути визначено за формулою:

$$\theta_{\text{maxn}}^{\circ} = \theta_{\text{max}} \cdot \frac{1 - e^{-\frac{t_1}{\tau_0}}}{1 - e^{-\frac{t_1+t_2}{\tau_0}}}$$

де θ_{max} – максимальна температура при безперервному режимі роботи S1 і тій же потужності навантаження.

τ – теплова постійна для АД потужністю до 10 кВт приймається рівною 8 хв [1].

При періодичному режимі роботи тривалість циклу відповідно ГОСТ 183-74 10 хв ($t_i = 10$ хв), відповідно t_i і t_0 – тривалість нагрівання і пауз.

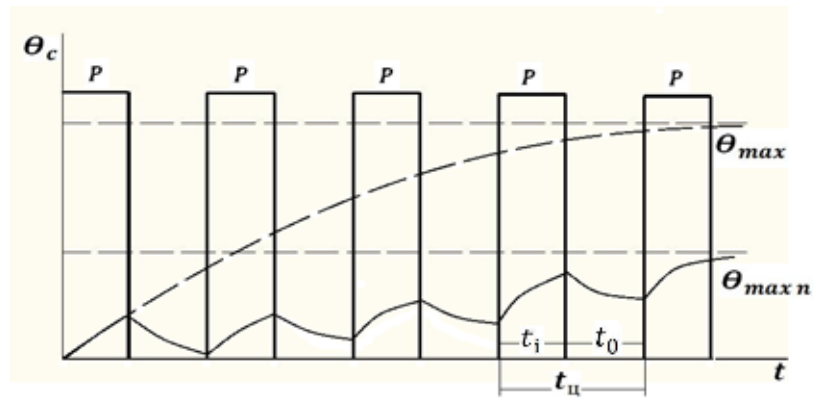


Рисунок 3 – Тепловий режим при повторно-короткочасному навантаженні

Тепловий режим АД при повторно-короткочасному навантаженні S3 представлений на рис. 3. Наприклад для вентиляторної характеристики, навантаження на валу від $P_{2\text{НОМ}}$ до $1,4P_{2\text{НОМ}}$ представлені на рисунку 4.

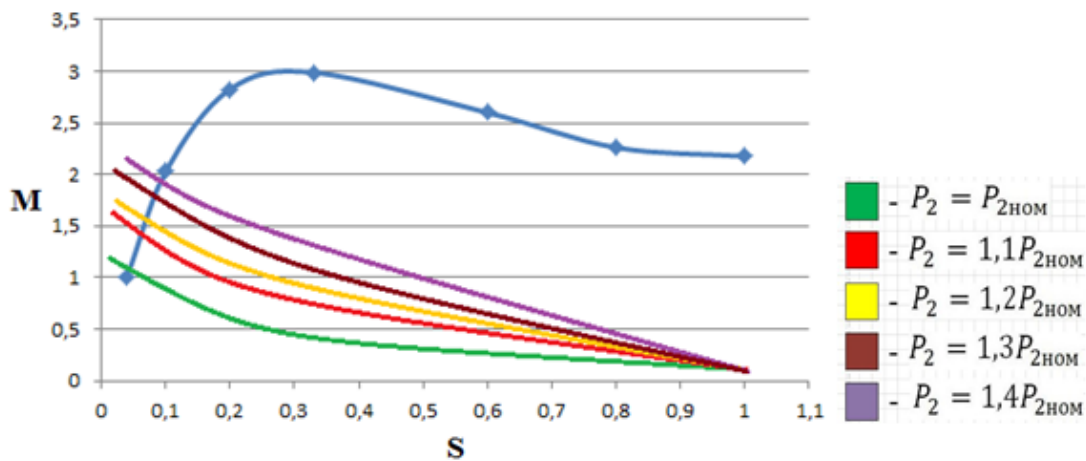


Рисунок 4 – Навантажувальні характеристики

Розрахункові значення усталених значень температури при тривалому режимі роботи і зміні навантаження в діапазоні від $P_{2\text{НОМ}}$ до $1,4P_{2\text{НОМ}}$ представлені в таблиці 1.

Аналіз результатів показує, що АД потужністю 3кВт може бути навантажений до $P_2 = 1,4P_{2\text{НОМ}}$ при ТВ 40% - температура перевищення нагріву обмоток складає 81° .

При ТВ 60% перевищення температури нагріву обмоток складає майже 110° , що недопустимо для класу нагрівостійкості ізоляції В і F.

Гранично допустимий перегрів АД при ТВ 60% складає $P_2 = 1,3P_{2\text{НОМ}}$ - перевищення температури обмотки складає 87° .

При інших характеристиках навантаження, наприклад при екскаваторній характеристиці, критерієм перевищення навантаження крім теплового, повинно бути більше значення пускового і перевантажувального моменту.

В даному випадку при вентиляторному навантаженні пусковий струм та момент, а також максимальний момент не являють собою критичних величин.

Тому розрахунок теплового режиму проводився тільки при усталеному режимі навантаження S1 та повторно-короткочасному S3 при зміні ТВ 15-60%.

Таблиця 1 – Значення температури обмоток при усталеному режимі роботи АД типу АН90L2У3 номінальною потужністю 3 кВ

ТВ	S	P_2	S	P_2	S	P_2	S	P_2	S	P_2
	0.052	1.0	0.059	1.1	0.067	1.2	0.075	1.3	0.087	1.4
15	$t_{S1}^{\circ} = 68^{\circ}$ $t_{S3}^{\circ} = 16.294^{\circ}$ $\eta_{S1} = 0.831$ $\cos\varphi_{S1} = 0.893$	$t_{S1}^{\circ} = 82^{\circ}$ $t_{S3}^{\circ} = 19.649^{\circ}$ $\eta_{S1} = 0.821$ $\cos\varphi_{S1} = 0.894$	$t_{S1}^{\circ} = 100^{\circ}$ $t_{S3}^{\circ} = 23.962^{\circ}$ $\eta_{S1} = 0.808$ $\cos\varphi_{S1} = 0.893$	$t_{S1}^{\circ} = 118^{\circ}$ $t_{S3}^{\circ} = 28.276^{\circ}$ $\eta_{S1} = 0.796$ $\cos\varphi_{S1} = 0.889$	$t_{S1}^{\circ} = 148^{\circ}$ $t_{S3}^{\circ} = 35.464^{\circ}$ $\eta_{S1} = 0.776$ $\cos\varphi_{S1} = 0.883$					
25	$t_{S1}^{\circ} = 68^{\circ}$ $t_{S3}^{\circ} = 25.578^{\circ}$ $\eta_{S1} = 0.831$ $\cos\varphi_{S1} = 0.893$	$t_{S1}^{\circ} = 82^{\circ}$ $t_{S3}^{\circ} = 30.844^{\circ}$ $\eta_{S1} = 0.821$ $\cos\varphi_{S1} = 0.894$	$t_{S1}^{\circ} = 100^{\circ}$ $t_{S3}^{\circ} = 37.615^{\circ}$ $\eta_{S1} = 0.808$ $\cos\varphi_{S1} = 0.893$	$t_{S1}^{\circ} = 118^{\circ}$ $t_{S3}^{\circ} = 44.386^{\circ}$ $\eta_{S1} = 0.796$ $\cos\varphi_{S1} = 0.889$	$t_{S1}^{\circ} = 148^{\circ}$ $t_{S3}^{\circ} = 55.671^{\circ}$ $\eta_{S1} = 0.776$ $\cos\varphi_{S1} = 0.883$					
40	$t_{S1}^{\circ} = 68^{\circ}$ $t_{S3}^{\circ} = 37.499^{\circ}$ $\eta_{S1} = 0.831$ $\cos\varphi_{S1} = 0.893$	$t_{S1}^{\circ} = 82^{\circ}$ $t_{S3}^{\circ} = 45.22^{\circ}$ $\eta_{S1} = 0.821$ $\cos\varphi_{S1} = 0.894$	$t_{S1}^{\circ} = 100^{\circ}$ $t_{S3}^{\circ} = 55.147^{\circ}$ $\eta_{S1} = 0.808$ $\cos\varphi_{S1} = 0.893$	$t_{S1}^{\circ} = 118^{\circ}$ $t_{S3}^{\circ} = 65.073^{\circ}$ $\eta_{S1} = 0.796$ $\cos\varphi_{S1} = 0.889$	$t_{S1}^{\circ} = 148^{\circ}$ $t_{S3}^{\circ} = 81.617^{\circ}$ $\eta_{S1} = 0.776$ $\cos\varphi_{S1} = 0.883$					
60	$t_{S1}^{\circ} = 68^{\circ}$ $t_{S3}^{\circ} = 50.286^{\circ}$ $\eta_{S1} = 0.831$ $\cos\varphi_{S1} = 0.893$	$t_{S1}^{\circ} = 82^{\circ}$ $t_{S3}^{\circ} = 60.639^{\circ}$ $\eta_{S1} = 0.821$ $\cos\varphi_{S1} = 0.894$	$t_{S1}^{\circ} = 100^{\circ}$ $t_{S3}^{\circ} = 73.95^{\circ}$ $\eta_{S1} = 0.808$ $\cos\varphi_{S1} = 0.893$	$t_{S1}^{\circ} = 118^{\circ}$ $t_{S3}^{\circ} = 87.262^{\circ}$ $\eta_{S1} = 0.796$ $\cos\varphi_{S1} = 0.889$	$t_{S1}^{\circ} = 148^{\circ}$ $t_{S3}^{\circ} = 109.45^{\circ}$ $\eta_{S1} = 0.776$ $\cos\varphi_{S1} = 0.883$					

Представлені розрахунки показують, що в повторно-короткочасному режимі можуть працювати як стандартні двигуни, що призначені для тривалого режиму, так і двигуни, спеціально призначені для повторно-короткочасного режиму.

Якщо вимоги за критеріями пускового і максимального моментів виконані, то для оцінки теплового стану обмоток необхідний тепловий розрахунок в усталеному режимі перевантаження двигуна.

Перелік посилань

1. Сотсков Б. С. «Методические указания и справочные данные для расчета надежности элементов и устройств»; Москва 1964
2. «Проектирование электрических машин» под редакцией И. П. Копылова, Москва Энергия 1980