

ВПЛИВ НАМАГНІЧУВАЛЬНОГО СТРУМУ ТРАНСФОРМАТОРА ТА КОМУТАЦІЇ ТИРИСТОРІВ НА КОЕФІЦІЄНТ ПОТУЖНОСТІ СТАТИЧНИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ УНІФІКОВАНИХ СТЕНДІВ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ

Проведено дослідження з метою розробки рекомендацій з підвищення коефіцієнту потужності статичних перетворювачів стендів випробування тягових електричних машин.

Проведено исследование с целью разработки рекомендаций по повышению коэффициента мощности статических преобразователей стендов испытания тяговых электрических машин.

With the aim to develop the recommendations for increasing the capacity factor of static converters for the traction electric machines' test stand this research has been carried out.

Вступ

У теперішній час лінійні генератори (ЛГ) та вольтододавальні машини (ВДМ), які у стендах для випробування тягових електричних машин традиційно виконувалися на базі обертальних електричних машин, доцільно замінити статичними напівпровідниковими перетворювачами. Дослідження енергетичних та інших показників статичних перетворювачів з урахуванням особливостей роботи вказаних стендів є актуальною задачею у зв'язку з обмеженими досвідом роботи таких перетворювачів та теоретичними дослідженнями їх властивостей. Основними факторами, які називають при обґрунтуванні доцільності заміни електромашинних ВДМ та ЛГ на статичні напівпровідникові (ВДП та ЛП) – це зменшення кількості електричних машин у схемі випробувального стенду, зменшення шуму при випробуваннях. Дослідження з метою розробки рекомендацій з підвищення коефіцієнту потужності з урахуванням особливостей випробувань, в першу чергу з урахуванням потужності машини, що випробується, відсутні. У даній статті дослідження проводяться для уніфікованого стенду, тобто для стенду, який передбачає можливість випробувань як двигунів електрорухомого складу, так і тепловозних двигунів.

Матеріали та результати досліджень

Розглянемо вказану задачу відносно статичного ЛП.

Потужність тягових двигунів електровозів, які у значній кількості експлуатуються на залізницях України, дорівнює в основному від

900 кВт (5АЛ-4442пР) до 525 кВт (НБ-406Б), електропоїздів від 235 кВт (1ДТ.003.6) до 180 кВт (ДК-103Г) [3].

Для тягових двигунів тепловозів – від 411 кВт (ЭД-120А) до 305 кВт (ЭД-118) [4].

Проведені розрахунки показують, що при випробуванні тягового двигуна АЛ4846дТ (770 кВт) потужність ЛП орієнтовно дорівнює 60 кВт. При наших дослідженнях приймаємо вказану потужність за базову. Один з можливих варіантів схеми статичного перетворювача наведений на рис. 1.

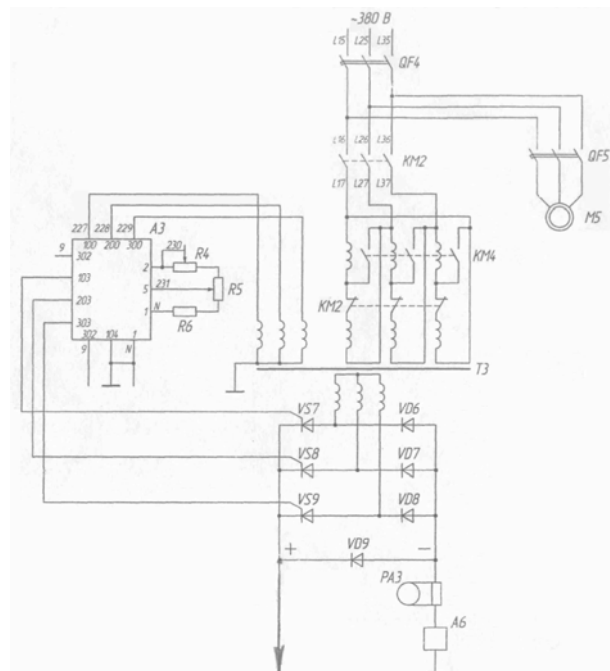


Рис. 1. Схема статичного перетворювача

Якщо прийняти орієнтовно значення $\cos \varphi = 0.8$, то потужність трансформатору статичного перетворювача ЛП випробувального стенду складає:

$$\frac{60}{0.8} = 75 \text{ кВА.}$$

Згідно ГОСТ 12022-76, обираємо найближчу потужність трифазного масляного силового трансформатора загального призначення на $S = 100$ кВА.

Реактивна потужність Q_{TP} , яка споживається керованим тиристорним перетворювачем ЛП, може бути розділена на три складові: реактивна потужність, яка споживається трансформатором перетворювача; реактивна потужність, яка зумовлена процесами комутації Q_{κ} ; та реактивна потужність керування Q_{α} .

Перша складова реактивної потужності може бути визначена із співвідношення [1]:

$$Q_{TP} (i_0 + \beta^2 u_p) \cdot \frac{S}{100}, \text{ кВАР} \quad (1)$$

де i_0 – струм холостого ходу (ХХ), %;

u_p – реактивна складова напруги КЗ, %;

$\beta = \frac{I}{I_{\text{ном}}} = \frac{P}{P_{\text{ном}}}$ – коефіцієнт навантаження трансформатора.

$$u_p = \sqrt{u_{\kappa}^2 - u_a^2}, \quad (2)$$

де u_{κ} – напруга КЗ трансформатора, %;

u_a – активна складова напруги КЗ, %.

Згідно [2]:

$$u_a = \frac{P_{\kappa}}{10S}, \quad (3)$$

де P_{κ} – втрати КЗ трансформатора, Вт;

S – номінальна потужність трансформатора, кВА.

Для обраного трансформатора згідно з ГОСТ 12022-76: $P_{\kappa} = 1970$ Вт; $u_{\kappa} = 4.5\%$; $i_0 = 2.6\%$.

$$\text{У нашому випадку: } u_a = \frac{1970}{10 \cdot 100} = 1.97\%;$$

$$u_p = \sqrt{4.5^2 - 1.97^2} = 4.05\%.$$

Значення $Q_{TP} = f(\beta)$ наведені у табл. 1. Вважаємо, що потрібна при випробуваннях потужність трансформатора ЛП пропорційна потужності випробувального двигуна. Тобто орієнтовно можна вважати, що мінімальне значення коефіцієнта навантаження трансформатора дорівнює $\frac{180}{770} = 0.23$; 180 кВт – потужність двигуна ДК103Г, яка є мінімальною серед тягових двигунів.

Таблиця 1

Значення реактивної потужності, яка споживається трансформатором ЛП, в залежності від коефіцієнту навантаження

β	0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1
Q_{TP} , кВАР	2.6	2.640	2.964	3.612	4.584	5.88	6.65

Відповідна залежність $Q_{TP} = f(\beta)$ наведена на рис 2. З рис. 2 видно, що значення Q_{TP} зростає при $\beta > 0.3$. Зростання реактивної потужності трансформатора Q_{TP} при збільшенні β від 0.3 до 1.0 складає $(6.65 - 2.6) = 4.05$ кВАР.

Явище перекриття струмів при комутації приводить до того, що імпульс струму у мережі живлення спотворюється, що у свою чергу впливає на амплітуду основної гармоніки.

Реактивна потужність Q_{κ} , зумовлена цією причиною, зростає із зростанням кута комутації γ_{κ} у відповідності з формулою [1]:

$$Q_{\kappa} = K_{\kappa} U_{d_0} I_d, \quad (4)$$

де U_{d_0} – середнє значення випрямленої напруги у режимі ХХ перетворювача;

I_d – середнє значення випрямленого струму;

K_{κ} – коефіцієнт потужності, зумовлений комутацією.

При випробуванні базового двигуна (AL4846dT) розрахункові значення для перетворювача ЛП: $U_{d_0} = 2000$ В, $I_d = 30$ А.

Коефіцієнт K_{κ} є функція кута комутації:

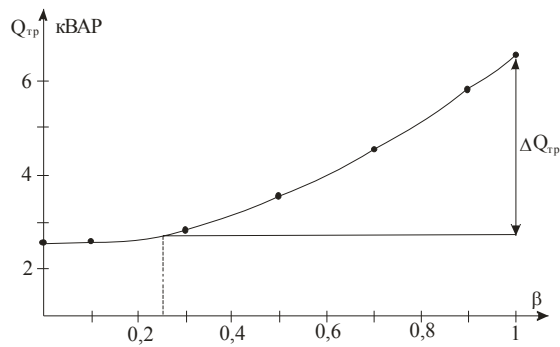


Рис. 2. Залежність реактивної потужності, яка споживається трансформатором ЛП, від коефіцієнту навантаження трансформатора

$$K_k \approx \frac{2}{3} \gamma_k - \frac{1}{13} \gamma_k^3, \quad (5)$$

де γ_k у радіанах.

Результати розрахунку Q_k при випробуванні двигуна AL4846dT наведені у табл. 2.

Відповідна залежність $Q_k = f(\gamma_k)$ наведена на рис. 3.

Реактивна потужність керування Q_α обумовлена зсувом фаз струму та напруги живлячої мережі перетворювача при кутах затримки $\alpha > 0^\circ$.

Згідно [1]:

$$Q_\alpha = K_\alpha U_{d_0} I_d, \quad (6)$$

де K_α – коефіцієнт, значення якого залежить від α та γ_k .

Таблиця 2

Значення реактивної потужності комутації при випробуванні базового тягового двигуна

γ_k , град радиан	5	10	20	30	40	45
K_k	0.064	0.128	0.229	0.237	0.438	0.486
Q_k , кВАР	3.84	7.68	13.74	14.22	26.28	29.16

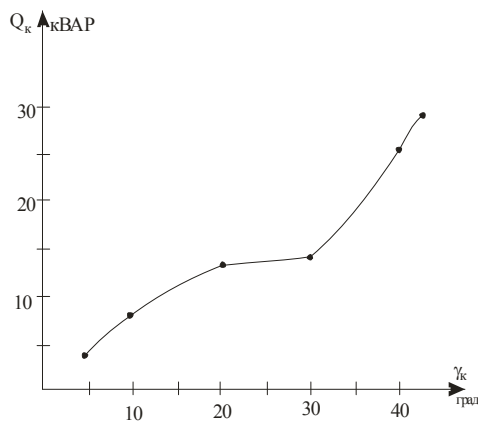


Рис. 3. Залежність реактивної потужності Q_k , яка зумовлена процесами комутації, від кута комутації

У нашому випадку значення кута α мале. У першому наближенні приймаємо $\alpha = 5^\circ$. Тоді $K_\alpha \approx 0.25$, [1] при $\gamma_k = 20^\circ$.

Потужність $Q_\alpha = 0.25 \cdot 2000 \cdot 30 = 15$ кВАР.

Сума $\sum Q$ усіх реактивних потужностей при $\beta = 1$ та $\gamma_k = 20^\circ$ при випробуванні двигуна AL4846dT дорівнює:

$$\begin{aligned} \sum Q &= Q_{TP} + Q_k + Q_\alpha = 6.65 + 13.74 + 15 = \\ &= 35.39 \text{ кВАР.} \end{aligned}$$

Повна потужність:

$$S = \sqrt{P^2 + (\sum Q)^2} = \sqrt{60^2 + 35.39^2} = 69.65 \text{ кВАР.}$$

Тоді:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{60}{69.65} = 0.861.$$

Висновки

1. Розроблена автором методика дає змогу визначити коефіцієнт потужності статичних перетворювачів стендів для випробування тягових двигунів локомотивів методом взаємного навантаження.

2. Отримані чисельні значення параметрів можуть бути орієнтирами при визначенні коефіцієнту потужності під час випробувань двигунів різних типів та при розробці рекомендацій з підвищення цього коефіцієнту.

3. З точки зору зменшення реактивної потужності, яка зумовлена процесами комутації, кут комутації статичного перетворювача не повинен перевищувати 30° .

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Супронович, Г. Улучшение коэффициента мощности преобразовательных установок [Текст] / Г. Супронович. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 136 с.

2. Тихомиров, П. М. Расчет трансформаторов [Текст] / П. М. Тихомиров. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 526 с.
3. Правила ремонту електричних машин електровозів і електропоїздів [Текст]. ЦТ-0063, 2003. – 286 с.
4. Правила ремонту електричних машин тепловозів [Текст]. ЦТ-0064, 2003. – 122 с.

Надійшла до редколегії 01.09.2008.