

УДК 629.433+338.47

Б. І. Мокін, д. т. н., проф.;

М. П. Розводюк, к. т. н.;

В. Б. Дудко

СПОСІБ ЕКОНОМІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТРАМВАЄМ КТ-4СУ В ХОЛОДНУ ПОРУ РОКУ

Запропоновано один із способів економії електроенергії трамваєм КТ-4СУ: відключення системи вентиляції (двигун-вентилятора) тягових електричних двигунів першого візка. Доведено, що при цьому перегріву самих двигунів не буде. Розроблені рекомендації з реалізації такого режиму роботи електропривода.

Вихідні передумови та постановка задачі дослідження

Проблема економії електроенергії будь-яким видом електротранспорту, в тому числі і трамвая, завжди є актуальною. Тому розглянемо один із способів зниження рівня споживання електричної енергії трамваєм КТ-4СУ в холодну пору року.

Потужність, яка споживається трамваєм, можна представити виразом

$$P = P_T + P_{ДГ} + P_{ДВ} + P_{оп} + \Delta P, \quad (1)$$

де P_T — потужність тяги електропривода; $P_{ДГ}$ — потужність двигун-генератора; $P_{ДВ}$ — потужність двигун-вентилятора; $P_{оп}$ — потужність, що витрачається на опалення вагону в холодну пору року; ΔP — втрати потужності.

Виходячи з рівняння балансу потужності трамвая (1), припустимо, що в холодну пору року, коли температура навколишнього повітря не перевищує 10...15 °С і коли різко зростає споживання електроенергії вагонами, можна відключити систему вентиляції двигунів першого візка, яку забезпечує двигун-вентилятор з номінальною потужністю $P_{ДВ ном} = 1,2$ кВт [1]. Таку економію можна реалізувати лише за умови, що не будуть перегріватися тягові електродвигуни типу ТЕ022.

Розв'язок поставленої задачі

Процес нагрівання двигуна протягом часу t згідно з [2, 3] можна описати виразом

$$\Theta = \Theta_{вст} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \Theta_0 e^{-\frac{t}{T}}, \quad (2)$$

де $\Theta_{вст}$ — встановлене значення перевищення температури, °С; Θ_0 — температура машини до початку нагрівання, °С; T — стала часу нагрівання:

$$T = \frac{cm}{\alpha S}, \quad (3)$$

де c — питома теплоємність машини ($c = 0,460$ кДж/(кг·°С) для 20 °С [4]); m — маса машини ($m = 320$ кг); α — коефіцієнт тепловіддачі з поверхні машини (згідно з [4] $\alpha = 45,4$ Вт/(м²·°С)); S — площа охолодження машини ($S = 0,75$ м²).

З урахуванням цих даних стала часу нагрівання складає

$$T = \frac{460 \cdot 320}{45,4 \cdot 0,65} = 4323 \text{ (с)} \cong 1,2 \text{ (год.)}.$$

Встановлене значення перевищення температури згідно з [2, 3] можна визначити з виразу

$$\Theta_{вст} = \frac{Q}{\alpha S}, \quad (4)$$

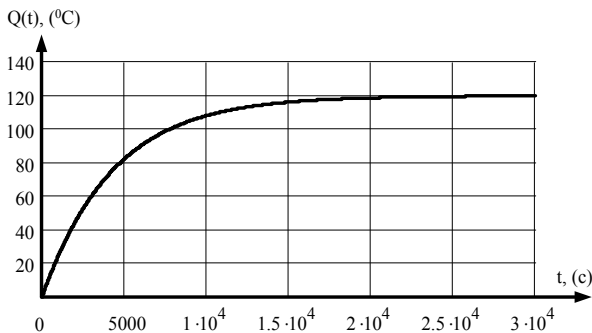
де Q — загальна кількість тепла, що виділяється за одиницю часу, Вт.

Враховуючи, що загальна кількість щіток тягового двигуна рівна 8 [1], величину тепла Q можна визначити із співвідношення [2]

$$Q = I^2 (R_a + R_3 + R_{д.п.}) m_T + 4 \Delta U_{щ} I, \quad (5)$$

де I — струм двигуна ($I = 150$ А [1]); $R_a, R_3, R_{д.п.}$ — відповідно опори обмотки якоря, збудження та додаткових полюсів ($R_a = 0,0545$ Ом, $R_3 = 0,026$ Ом, $R_{д.п.} = 0,0245$ Ом [1]); $\Delta U_{щ}$ — спад напруги на один щітковий контакт (приймаємо $\Delta U_{щ} = 2$ В [2]); m_T — коефіцієнт приведення опору обмоток до робочої температури ($m_T = 1,22$ [5]).

Підставляючи наведені вище значення параметрів у формулу (5), знайдемо, що кількість тепла становитиме — $Q = 150^2 (0,0545 + 0,026 + 0,0245) \cdot 1,22 + 4 \cdot 2 \cdot 150 = 4082$ (Вт), а встановлене значення перевищення температури — $\Theta_{вст} = \frac{4082}{45,4 \cdot 0,75} = 119,9$ (°C).



Крива нагрівання тягового двигуна трамвая типу ТЕ022

Нагадаємо, що тяговий двигун трамвая має клас ізоляції B, для якого гранично допустима температура становить 130 °C [5].

Припустимо, що в початковий момент часу $\Theta_0 = 0$. Тоді нагрівання машини відповідно до (2) описуватиметься моделлю

$$\Theta = 119,9 \left(1 - e^{-\frac{t}{4323}} \right),$$

графічна інтерпретація якої представлена на рисунку.

Як відомо з [3], для деякого $\Theta_0 > 0$, наприклад, $\Theta_0 = \Theta_1$, крива $\Theta = f(t)$ буде виходити з цього ж значення Θ_1 для $t = 0$, але на $\Theta_{вст}$ не вплине.

Режим роботи тягового двигуна є повторно-короткочасним. Нехай час роботи двигуна з навантаженням (час на подолання відстані між зупинками) в кожному циклі — τ_p , а час холостого ходу (час перебування трамвая на зупинці) — τ_0 . Тоді тривалість одного циклу складе $\tau = \tau_p + \tau_0$.

В усталеному повторно-короткочасному режимі роботи трамвая максимальна температура згідно з [3] визначається з моделі —

$$\Theta_{\max} = \frac{1 - e^{-\frac{\tau_p}{T}}}{1 - e^{-\frac{\tau}{T}}} \Theta_{вст}. \quad (6)$$

Із (6) випливає, що для $\tau_0 = 0$, матимемо $\Theta_{\max} = \Theta_{\min} = \Theta_{вст}$. Якщо тривалості вмикання 60 % (максимальне значення для такого класу двигунів), то відповідно до (6) $\Theta_{\max} = 73$ °C, тобто матимемо ще достатній запас по температурі. Виходячи з таких міркувань, можна зробити висновок, що при відключенні системи вентиляції двигунів першого візка останні перегріватися не будуть, тим більше що реалізацію такого режиму (без примусової вентиляції тягових двигунів першого візка) пропонується здійснювати лише в холодну пору року.

Проведені дослідження на трамваях № 194 і № 216 Вінницького підприємства «Трамвайно-тролейбусне управління», які були випробувані в режимі повного завантаження протягом двох днів, показали, що перевищення температури двигунів першого і другого візків не спостерігалось. Виявилось, що потоку повітря від руху самого вагону достатньо для охолодження тягових двигунів, причому середньочасова споживана потужність одним тяговим електродвигуном, заміряна лічильником постійного струму, складає приблизно 30 % від номінальної потужності самого двигуна, що є меншою від розрахункової 60 %.

На даний час вагони № 224 і № 219 експлуатуються за цією схемою вже протягом 4 років.

Для модернізації вагона, тобто відключення вентиляції тягових двигунів першого візка в холодну пору року, потрібно в електричній схемі вагона закортити блок-контакти реле RMV і витяг-

нути запобіжник MV 6 A (600 В). Додаткових матеріальних затрат непотрібно. Всі роботи з переробки схеми трамвая займають 0,25 год.

Крім прямої економії електроенергії, а це $E = 1,2$ кВт·год., ще отримаємо непряму економію від зниження затрат на ремонт і технічне обслуговування двигун-вентиляторів.

Підрахуємо економічний ефект від такого впровадження. Якщо врахувати, що трамвай на добу відпрацьовує $l = 2$ зміни по $g = 8$ год., а в місяці $h = 30$ днів, то для тарифу оплати за електроенергію $c = 0,38$ грн/кВт·год за 1 рік ($d = 6$ місяців холодної пори) вийде економія електроенергії одним трамваем ΔW_1 з відключеною вентиляцією першого візка

$$\Delta W_1 = \Delta P g l h d c = 1,2 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 30 \cdot 6 \cdot 0,38 = 1313,3 \text{ (грн)}. \quad (7)$$

Припустивши, що з усього наявного парку Вінницького трамвайного депо із 112 трамваїв протягом робочого дня працюватиме лише $q = 50$ трамваїв, встановимо, що річна економія ΔW_{50} становитиме

$$\Delta W_{50} = \Delta W_1 q = 1313,3 \cdot 50 = 65665 \text{ (грн)}. \quad (8)$$

Крім того, слід зазначити, що споживана потужність двигун-вентиляторами в трамваях може і перевищувати 1,2 кВт і складати не менше 1,5 кВт, якщо в контактній мережі замість 550 В використовується, наприклад, 640 В, що є досить поширеним. За таких умов внаслідок природного охолодження тягових двигунів першого візка трамваїв річна економія буде ще суттєвішою.

Висновок

Показано, що можна отримати суттєву економію електроенергії трамваями КТ-4СУ в холодну пору року шляхом відключення системи вентиляції (двигун-вентилятора) тягових електричних двигунів першого візка без їх перегріву. Дані рекомендації з реалізації такого режиму роботи електроприводу. Звернено увагу і на те, що може бути отримана додаткова економія внаслідок того, що не доведеться на ці холодні місяці року виділяти кошти та час на ремонт і технічне обслуговування двигун-вентиляторів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. КТ-4СУ. Описание и инструкция по уходу за электрооборудованием. — СКД ПРАНА: Zavod TRAKSE, 1989. — 231 с.
2. Электрические машины: В 2-х ч. Ч.2: Учеб. для электотехн. спец. вузов. — 2-е изд. перераб. и доп. / Д. Э. Брускин, А. Е. Зорохович, В. С. Хвостов. — М.: Высш. шк., 1987. — 335 с.
3. Филиппов И. Ф. Основы теплообмена в электрических машинах. — Л.: Энергия, Ленинградское отделение, 1974. — 384 с.
4. Кошкин Н. И., Ширкевич М. Г. Справочник по элементарной физике. — 8-е изд. перераб. — М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1980. — 208 с.
5. Гольдберг О. Д., Гурин Я. С., Свириденко И. С. Проектирование электрических машин: Учебник для вузов / Под ред. О. Д. Гольдберга. — М.: Высш. шк., 1984. — 431 с.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем автоматизації

Надійшла до редакції 31.03.05
Рекомендована до друку 30.06.05

Мокін Борис Іванович — професор кафедри моделювання та моніторингу складних систем, **Розводюк Михайло Петрович** — старший викладач кафедри електромеханічних систем автоматизації.

Вінницький національний технічний університет;

Дудко Володимир Борисович — головний інженер трамвайного депо Вінницького підприємства «Трамвайно-тролейбусне управління»