

УДК 621.314

Я.В.ЩЕРБАК, д-р техн. наук

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, г.Харьков

В.Г.ЯГУП, д-р техн. наук

Харьковская национальная академия городского хозяйства

Е.Я.ИВАКИНА

Управление Южной железной дороги, г.Харьков

УЛУЧШЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

Рассматривается применение управляемого вольтодобавочного преобразователя для повышения энергетических показателей и улучшения электромагнитной совместимости с питающей и контактной сетями тяговой подстанции городского электрического транспорта.

Розглядається застосування керованого вольтододавального перетворювача для підвищення енергетичних показників та поліпшення електромагнітної сумісності з живильною і контактною мережами тягової підстанції міського електричного транспорту.

Application of the guided voltodobochnogo transformer for the increase of power indexes and improvement of electromagnetic compatibility from hauling substation of public electric transport feed and contact by networks is examined.

Ключевые слова: выпрямительная установка, вольтодобавочный преобразователь, гармоники, коэффициент мощности.

Технико-экономические показатели и вопросы электромагнитной совместимости тяговой подстанции, осуществляющей питание контактной сети городского электротранспорта, во многом определяются типом выпрямительной установки. Исторически сложилось, что до настоящего времени применяются неуправляемые шестипульсные выпрямительные установки. С точки зрения современных требований такие схемы характеризуются рядом существенных недостатков: относительно низким коэффициентом мощности, существенными искажениями формы потребляемого из питающей сети тока, нестабильностью выходного напряжения, большими пульсациями выходного напряжения, отсутствием возможности рекуперации из цепи постоянного тока в цепь переменного тока.

В большой степени влияние указанных недостатков на качество электрической энергии во входной и выходной цепях тяговой подстанции может быть ослаблено включением в состав выпрямительной установки управляемого вольтодобавочного преобразователя.

Данная проблема рассматривалась в работах [1-3].

Структурно выпрямительная установка тяговой подстанции с вольтодобавочным преобразователем состоит из последовательного

соединения диодного (ДВ) и тиристорного (ТВ) выпрямителей (рис.1). Управление тиристорным выпрямителем выполняет система импульсно-фазового управления (СИФУ). Питание обоих выпрямителей может осуществляться либо от одного силового трансформатора, имеющего две группы вторичных обмоток, либо от двух разных трансформаторов. Схемы соединения обмоток, питающих диодный и тиристорный выпрямители, могут быть Y/Y_D , Y/Y_S или Y/Y_D , Y/Δ_S . Здесь индексы D и S относятся соответственно к диодному и тиристорному выпрямителям.

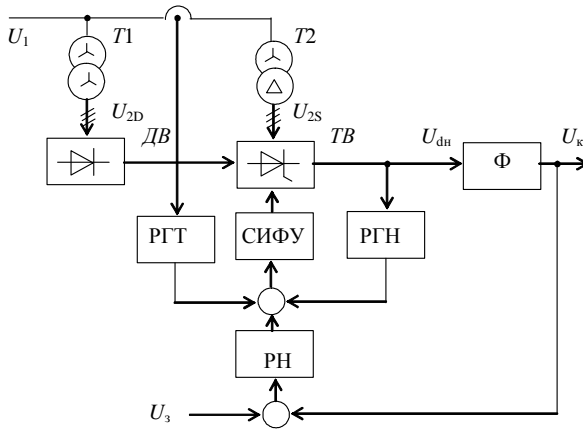


Рис.1

Выходное напряжение выпрямительного агрегата определяется суммой напряжений обоих выпрямителей

$$U_{дн} = U_D \pm U_{дс}, \quad (1)$$

где знак „+” соответствует выпрямительному режиму, знак „-” соответствует инверторному режиму.

Диодный выпрямитель создаст основной поток мощности, отдаваемой в контактную сеть, формируя при этом на выходе напряжение:

$$U_D = \frac{\sqrt{2}U_{2D}k_0m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m}, \quad (2)$$

где: m – пульсность выпрямителя; $k_0 = 1$ – для «лучевой схемы» и $k_0 = \sqrt{3}$ – для «мостовой схемы»; U_{2D} – действующее значение фазного напряжения.

Тиристорный выпрямитель построен по трехфазной мостовой схеме. Среднее значение его выходного напряжения зависит от величины угла управления α_0

$$U_{ds} = \frac{\sqrt{2}U_{2D}k_1m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} \cos \alpha_0, \quad (3)$$

где $k_1 = \frac{U_{2S}}{U_{2D}}$ – коэффициент, учитывающий соотношение величин фазных напряжений диодного и тиристорного выпрямителей.

Величину выходного напряжения тиристорного выпрямителя U_{ds} выбирают исходя из требуемого диапазона регулирования выходного напряжения выпрямительного агрегата U_{dn}

$$U_{ds} = k_1 U_{dn}. \quad (4)$$

В [1] предложена величина $k_1 = 0,2$. Гармонический состав тока, потребляемого из сети переменного напряжения, определяется суммой гармонических составляющих обоих выпрямителей

$$\dot{U}_k = \frac{2}{k\pi} \frac{I_d}{I_{dH}} [1 - (-1)^k \sin k \frac{\pi}{3} [1 + k_1 e^{-jk\alpha_0} \frac{2\sqrt{3}}{3} \cos k \frac{\pi}{6} \cos \alpha_0]]. \quad (5)$$

Из (5) следует, что во входном токе выпрямительного агрегата происходит компенсация гармоник $k = 5, 7, 17, 19, \dots$, аналогично тому как это происходит в двенадцатипульсной схеме.

Для анализа энергетических характеристиках выпрямительной установки тяговой подстанции с вольтодобавочным преобразователем примем следующие допущения: постоянная времени нагрузки $T_n \rightarrow \infty$, что предполагает идеальное сглаживание выпрямленного напряжения; силовой трансформатор является идеальным (активное сопротивление, индуктивность рассеивания и ток намагничивания равны нулю); диоды и тиристоры являются идеальными ключами.

При принятых допущениях среднее значение выпрямленного напряжения для режима непрерывного тока цепи нагрузки определяется выражением (1), которое с учетом коэффициента k_1 преобразуется к виду:

$$U_{dn} = \frac{\sqrt{6}U_{2D}m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} (1 + k_1 \cos \alpha_0). \quad (6)$$

Диапазон регулирования выходного напряжения

$$K_p = \frac{U_{du}}{U_{do}} = \frac{1 + k_1 \cos \alpha_o}{1 + k_1}, \quad (7)$$

где $U_{do} = \frac{\sqrt{6} U_{2D-m}}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} (1 + k_1)$.

Потребляемая выпрямительной установкой активная мощность

$$P = I_d \frac{\sqrt{6} U_{2D-m}}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} (1 + k_1 \cos \alpha_o). \quad (8)$$

Реактивная мощность выпрямительной установки

$$Q = \frac{1}{\pi} \sum_{n=1}^{m/2} I_d \int_{(n-1)\frac{2\pi}{m} + \alpha_o}^{n\frac{2\pi}{m}} \frac{dU(\theta)}{d\theta} d\theta, \quad (9)$$

где $U_1(\theta) = -\sqrt{2} U_{2S} \sin \theta = \sqrt{2} k_1 U_{2D} \sin \theta$; $\frac{dU}{d\theta} = -\sqrt{2} k_1 U_{2D} \cos \theta$.

Выполнив в (9) интегральные преобразования, получим

$$Q = -k_1 \frac{2\sqrt{6}}{3\pi} I_d U_{2D} [\cos(\alpha_o + \frac{3\pi}{m}) \sin \frac{\pi}{m} - \sin \alpha_o]. \quad (10)$$

Для $m=6$ из выражения (8) и (10) получим:

$$P = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d U_{2D} [1 + k_1 \cos \alpha_o]; \quad (11)$$

$$Q = k_1 \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d U_{2D} \sin \alpha_o. \quad (12)$$

Коэффициент сдвига сетевого тока

$$K_c = \frac{1 + K_1 \cos \alpha_o}{\sqrt{1 + 2K_1 \cos \alpha_o + K_1^2}}. \quad (13)$$

Действующее значение потребляемой установкой из питающей сети тока

$$I_{1o} = I_d \sqrt{\frac{2}{3} [k_1(k_1 + \sqrt{3}) + 1]}. \quad (14)$$

Действующее значение первой гармоники потребляемого из питающей сети тока

$$I_{(1)o} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi\sqrt{2}} I_d \sqrt{(1 + k_1 \cos \alpha_o)^2 + k_1^2 \sin^2 \alpha_o}. \quad (15)$$

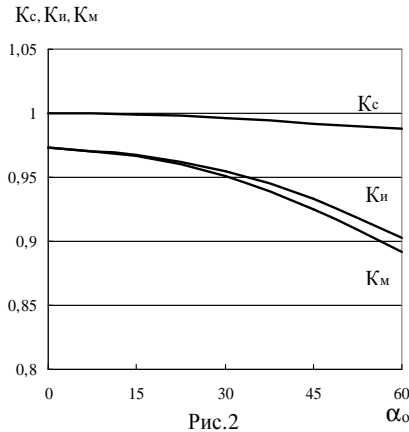
Коэффициент искажения сетевого тока получим как отношение выражений (15) и (14)

$$K_u = \frac{I_{(1)\delta}}{I_{1\delta}} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi\sqrt{2}} \frac{\sqrt{(1+k_1 \cos \alpha_o)^2 + k_1^2 \sin^2 \alpha_o}}{\sqrt{\frac{2}{3}[k_1(k_1+\sqrt{3})+1]}} \quad (16)$$

На основании формул (13) и (16) получим выражение для коэффициента мощности выпрямительной установки с вольтодобавочным преобразователем

$$K_M = K_c K_u = \frac{2\sqrt{3}}{\pi\sqrt{2}} \frac{(1+k_1 \cos \alpha_o)\sqrt{(1+k_1 \cos \alpha_o)^2 + k_1^2 \sin^2 \alpha_o}}{\sqrt{\frac{2}{3}(1+2k_1 \cos \alpha_o + k_1^2)[k_1(k_1+\sqrt{3})+1]}} \quad (17)$$

На рис.2 приведены зависимости, характеризующие изменения K_M , K_u и K_c в процессе регулирования вольтодобавочного тиристорного преобразователя. Из приведенных зависимостей следует, что регулирование угла управления вольтодобавочного тиристорного преобразователя вызывает изменение коэффициента мощности выпрямительной установки. Наибольшее влияние на коэффициент мощности оказывает коэффициент сдвига K_c . Из полученных результатов следует, что введение в состав выпрямительной установки тяговой подстанции повышает ее коэффициент мощности.



Включение вольтодобавочного преобразователя в замкнутые структуры автоматического регулирования (рис.1) позволяет стабилизировать выходное напряжение тяговой подстанции и улучшать гармонические составы входного тока и выходного напряжения. Стабилизация выходного напряжения осуществляется контуром регулирования, содержащем регулятор РН. Подавление неканонических гармоник входного тока и выходного напряжения выполняется регуляторами РГТ и РГН [2, 3].

1. Бей Ю.М., Мамошин Р.Р., Пупырин В.Н., Шалимов М.Г. Тяговые подстанции. – М.: Транспорт, 1986. – 319 с.

2. Щербак Я.В., Ягуп Е.В. Подавление гармоник входного тока управляемого выпрямителя в замкнутой структуре // Технічна електродинаміка. – 2006. – Ч.4. – С.61-64.

3.Щербак Я.В. Замкнутые системы компенсации неканонических гармоник полупроводниковых преобразователей. – Харьков: Транспорт Украины, 1999. – 255 с.

Получено 08.12.2010

УДК 543.428

Д.Ю.ЗУБЕНКО, канд. техн. наук

Харківська національна академія міського господарства

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РУХОМОГО СКЛАДУ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Розглянуто проблеми коригування системи контролю технічного стану рухомого складу міського електротранспорту при його технічному обслуговуванні і ремонті на основі побудови математичної моделі залежності появи дефекту від напрацювання.

Рассмотрены проблемы корректировки системы контроля технического состояния подвижного состава городского электротранспорта при его техническом обслуживании и ремонте на основе построения математической модели зависимости появления дефекта от наработки.

The problems of technical condition monitoring systems adjustment of the municipal electric rolling stock at its maintenance and repair based on the mathematical model of the relation between the operating time and the occurrence of defects have been investigated.

Ключові слова: контроль технічного стану, ремонт рухомого складу, математична модель.

Система контролю технічного стану (ТС) рухомого складу електротранспорту (РС) передбачає встановлення початкових інтервалів контролю виробником та їх узгодження відповідними органами державного регулювання. Інтервали повторного контролю повинні базуватись на досвіді експлуатації і враховувати границі допустимості пошкоджень [1].

Втомні пошкодження необхідно виявляти з достатньою вірогідністю для визначених розмірів пошкоджень з урахуванням докладного логічного аналізу конструкції і пошкоджень. В системі обґрунтовано використовуються вибіркові огляди, програми яких розробляються на базі статистичних даних.

Організація робіт по діагностуванню і контролю при технічному обслуговуванні (ТО) і ремонті АТ здійснюється, наприклад, згідно з технічними вимогами, що розроблюються державним органом [2]. Відповідно до вимог основними завданнями системи контролю є не тільки встановлення місця і причини відмови, але й прогнозування технічного стану та вдосконалення системи експлуатації [2], що передбачає зміни періодичності обслуговування і контролю.