

ПУЛЬСАЦІЙНА СКЛАДОВА ВИХІДНОЇ НАПРУГИ ВИПРЯМНОЇ УСТАНОВКИ
ТЯГОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ ТА ВИБІР ПОСТІЙНОЇ ЧАСУ
ЗГЛАДЖУВАЛЬНОГО LC-ФІЛЬТРА

Y. O. Semenenko, O. I. Semenenko

FLUCTUATION COMPONENT OF THE OUTPUT VOLTAGE RECTIFIER TRACTION
SUBSTATION INSTALLATION AND CHOICE OF TIME CONSTANT
SMOOTHING LC-FILTER

На залізницях України в системі тягового електропостачання постійного струму суттєвою проблемою є необхідність забезпечення електромагнітної сумісності тягової мережі із засобами залізничної автоматики, сигналізації, автоблокування, а також лініями зв'язку [1]. Ця проблема суттєво ускладнюється впровадженням електричного рухомого складу з імпульсними перетворювачами та з асинхронним приводом. Досвід експлуатації систем електропостачання електричного транспорту показує, що застосування пасивних детермінованих методів фільтрації має ряд суттєвих недоліків [2]. Це потребує пошуку більш ефективних підходів шляхом застосування комбінованих систем, які складаються із пасивного та активного фільтрів [2, 3]. При цьому на початку слід мінімізувати параметри пасивної частини фільтра.

Вихідна напруга випрямної установки разом з гладкою складовою містить пульсаційну складову, вектор якої визначається сумою

$$\dot{U}_n = \dot{U}_k + \dot{U}_v, \quad (1)$$

де \dot{U}_k – складова, що визначається канонічними гармоніками;

\dot{U}_v – складова, що визначається неканонічними гармоніками.

При симетриях мережі живлення і перетворювального агрегату гармонічний склад його вихідної напруги визначається виразом

$$U_k = (-1)^{k+1} \frac{2U_{do}}{k^2 m^2 - 1}, \quad (2)$$

де $k = 1, 2, 3, \dots$ – номер k -ї гармонічної складової;

m – пульсність випрямляча.

Частота k -ї гармонічної складової рівна $f_n = k \cdot m \cdot f_o$.

При несиметрії випрямної установки тягової підстанції, викликаної різноманітним падінням напруг на прямозміщених діодах, її вихідна напруга містить неканонічні гармоніки з частотами, кратними мережі живлення:

$$f_v = v \cdot f_o, \quad (3)$$

де f_o – частота живильної мережі;

$v = 1, 2, 3, \dots$ – номер неканонічної гармоніки.

Амплітуди гармонік визначаються відхиленнями ΔU_{Di} прямих падіннь напруг на діодах випрямляча:

$$U_{vD} = \frac{2}{m} \sum_{i=1}^m \Delta U_{Di} \cdot e^{-jv \frac{2\pi}{m}(i-1)}. \quad (4)$$

Несиметрія перетворювального трансформатора, викликана відхиленнями фазних напруг від номінального значення, аналогічно несиметрії живильних е.р.с., викликає появу у вихідній напрузі випрямної установки неканонічних гармонік з частотами, кратними подвоєній частоті мережі живлення:

$$f_v = 2\nu \cdot f_o. \quad (5)$$

Одним з основних показників якості вихідної напруги тягової підстанції постійного струму є еквівалентна заважаюча напруга, яку можна подати як

$$U_m = \sqrt{\sum_{q=1}^{\infty} U_q^2 \rho^2}, \quad (6)$$

де U_q – амплітуда напруги q -ї гармоніки;

ρ – коефіцієнт психофотометричного впливу.

Найбільших значень коефіцієнт психофотометричного впливу досягає в діапазоні частот $f_q = 800 \div 1200$ Гц. На тягових підстанціях постійного струму застосовуються одно- або дволанкові згладжувальні фільтри, у яких заглушення пульсацій виконується аперіодичним LC -фільтром, а для підвищення коефіцієнта фільтрації пульсацій на фіксованих частотах застосовують режекторні (резонансні) ланки. В основу цих досліджень LC -фільтра покладені: необхідна величина коефіцієнта фільтрації; низька чутливість коефіцієнта фільтрації до зміни параметрів навантаження; оптимізація масогабаритних показників фільтра. За допомогою методу сигнальних графів та відповідно до формули Мейсона отримуємо передавальну функцію LC -фільтра в комплексній формі

$$H_\phi(p) = \frac{1}{T_\phi^2 p^2 + 2\xi T_\phi p + 1}, \quad (7)$$

де $T_\phi^2 = L_\phi C_\phi$ – постійна часу фільтра;

$$\xi = \frac{1}{2Z_n(p)} \sqrt{\frac{L_\phi}{C_\phi}} \quad \text{– коефіцієнт демпфування.}$$

На основі виразів (2) і (6) установимо зв'язок між складовою еквівалентної заважаючої напруги $U_m|_{k=1}$, яка визначається амплітудним значенням $U_{k=1}$ першої гармоніки вихідної напруги випрямної установки:

$$U_m|_{k=1} = \rho_{k=1} \frac{U_{k=1}}{1 + \omega_{k=1}^2 T_\phi^2}, \quad (8)$$

де $\rho_{k=1}$ – коефіцієнт психофотометричного впливу для першої гармоніки;

$\omega_{k=1} = \frac{1}{2\pi m f_o}$ – кругова частота першої гармоніки.

Амплітуда першої гармоніки випрямної установки рівна

$$U_{k=1} = \frac{2U_{do}}{m^2 - 1}. \quad (9)$$

Підставивши вираз (10) у рівняння (9) та записавши його відносно постійної часу фільтра T_ϕ , отримаємо таку залежність:

$$T_\phi = \frac{1}{2\pi m f_o} \sqrt{\rho_{k=1} \frac{2U_{do}}{(m^2 - 1)U_m} - 1}. \quad (10)$$

Отриманий вираз (10) дає змогу визначити значення постійної часу згладжувального LC -фільтра тягової підстанції за заданою величиною еквівалентної заважаючої напруги.

Список використаних джерел

1. Правила улаштування системи тягового електропостачання залізниць

України [Текст]: № ЦЕ-0009. – К.: ТОВ „Швидкий рух”, 2005. – 80 с.

2. Щербак, Я. В. Аналіз роботи пасивних фільтрів тягової підстанції постійного струму [Текст] / Я. В. Щербак, Ю. О. Семененко // Інформаційно-керуючі

системи на залізничному транспорті. – 2015. – №1(110). – С. 53-57.

3. Design considerations for maintaining DC side voltage of hybrid active power filter with injection circuit / A.Luo, Z.Shuai, J.Shen [et. al.] // Power Electronics, IEEE Transactions. – 2009. – Vol. 24. – P. 75-84.

УДК 629.4.014

О. О. Шкурпела, Г. І. Яровий, С. І. Яцько

УТОЧНЕНА ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДА ДЕЛ-02

O. Shkurpela, G. Yarovyi, S. Yatsko

REFINED SIMULATION MODEL OF TRACTION ELECTRIC DRIVE OF A DIESEL TRAIN DEL-02

У процесі розроблення нових або модернізації існуючих тягових електроприводів рухомого складу широко застосовується імітаційне моделювання для дослідження роботи систем як у штатних, так і в аварійних режимах [1]. Це дає змогу суттєво скоротити терміни виконання досліджень та знизити їх вартість. При цьому, як правило, при завершенні розроблення, роботи з удосконалення моделей тривають, так як з'являються нові дані за результатами експлуатації. Вищесказане повною мірою стосується тягового асинхронного електропривода дизель-поїзда ДЕЛ-02 та його імітаційної моделі [2].

Аналізуючи отримані результати [2, 3] та ураховуючи розроблені заходи щодо покращення характеристик існуючого тягового електропривода дизель-поїзда ДЕЛ-02 №006, виникла необхідність удосконалення імітаційної моделі модернізованого зразка тягового електропривода дизель-поїзда з використанням імітаційних моделей

елементів, що отримані у [2, 3], та проведення дослідження роботи тягового електропривода в режимі тяги.

Проведені дослідження підтвердили адекватність удосконаленої імітаційної моделі, розробленої в програмному середовищі MATLAB, реальному тяговому асинхронному електроприводу дизель-поїзда ДЕЛ-02. Отримана модель дає можливість більш детально аналізувати процеси в нештатних ситуаціях. На рисунку наведено як ілюстрацію графіки процесу розгону дизель-поїзда на рівній ділянці шляху без ухилу, де Nt – положення головної рукоятки машиніста, у відсотках; n – частоти обертання колінчастого вала дизеля; V – швидкості руху дизель-поїзда; a – прискорення дизель-поїзда; U_{dc} – напруги на вході тягового інвертора; I_{dc} – вхідний струм тягового інвертора; P_{dc} – потужність, що споживається тяговим інвертором; M – електромагнітний момент тягового асинхронного двигуна.