

ГАРМОНІЙНИЙ СКЛАД ФІДЕРНИХ НАПРУГ ТА СТРУМІВ ПРИ АВАРІЙНИХ РЕЖИМАХ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ

Костін М.О., д.т.н., проф., зав. каф. ТОЕ, Михаліченко П.Є., к.т.н., доц., доц. каф. ТОЕ,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна.
вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпропетровськ, Україна
E-mail: miha_pavel@mail.ru

У статті представлено спектральний аналіз перехідних електричних величин в аварійному режимі короткого замикання тягової мережі системи електричної тяги постійного струму. Осцилограми струмів та напруг тягової підстанції, отримані в результаті експериментів на діючій ділянці залізниці, за допомогою дискретного перетворення Фур'є розкладені на гармонійні складові. Отримані комплексні амплітуди гармонік перехідних електричних величин дозволяють оцінити вплив аварійного режиму на показники якості електроенергії, а також електромагнітну сумісність системи тягового електропостачання постійного струму.

Ключові слова: система тягового електропостачання, аварійний режим, перехідні електричні величини, гармонійний аналіз, дискретне перетворення Фур'є, комплексна амплітуда.

Вступ. На сьогодні спектральний склад фідерних напруг і струмів, а також показники якості електричної енергії і непродуктивні її втрати визначають лише для ustalених режимів системи електричної тяги постійного струму.

Аналіз попередніх досліджень. Дослідження в цьому аспекті аварійних режимів відсутні або автономні невідомі. В той же час наслідки таких режимів можуть бути дієвими, виходячи із багатьох задач, зокрема, втрат електроенергії, електромагнітної сумісності, спрацювання захисту, безпеки обслуговуючого персоналу тощо.

Метою даної роботи є визначення гармонійного складу фідерних струмів в аварійних режимах роботи тягової мережі постійної напруги 3,3 кВ. Крім того, оцінити вплив гармонік струмів на величину непродуктивних втрат, а також електромагнітну сумісність.

Матеріал і результати дослідження. Визначення зазначених величин можливо методами моделювання, але, на нашу думку, в цьому випадку отримані результати будуть далекі від істини в силу нереальних умов експерименту.

Потрібні натурні експерименти на діючих ділянках залізниць з наступною математичною обробкою отриманих осцилограм напруг і струмів в елементах системи електричної тяги. Як відомо, напруги і струми в перехідних, особливо в аварійних режимах, являють собою короткочасні, тривалістю τ , одиночні неперіодичні імпульси (див., наприклад, рисунок 1). Передній фронт зростання струму обумовлений, перш за все, видом аварійного режиму, а також типом та конструктивними особливостями діагностичних систем та комутаційного обладнання, що застосовуються у фідерних чарунках тягового підстанції. Спадаючий фронт струму короткого замикання визначається лише конструктивною особливістю дугогасної камери вимикача [1]. Таким чином, неперіодичні перехідні електричні величини є випадковими функціями часу, форма і параметри яких залежить від багатьох зовнішніх та

внутрішніх факторів, що впливають на систему електричної тяги постійного струму.

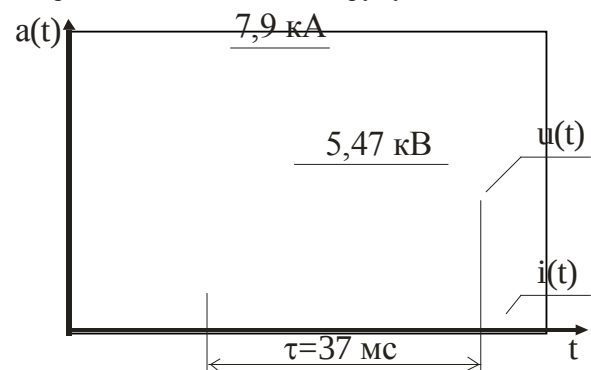


Рис.1 Осцилограми напруги $u(t)$ і струму $i(t)$ при вимиканні швидкодіючим вимикачем типу АБ-2/4 тягових підстанцій короткого замикання в тяговій мережі.

Для гармонійного аналізу таких імпульсів (позначимо їх, заради узагальнення, однією функцією $f(t)$) думкою утворимо уявно з них періодичну послідовність з довільним періодом T [2]. Тобто, перетворимо неперіодичну функцію $f(t)$ в періодичну з періодом T , для якої є справедливим розкладання в ряд Фур'є. Але оскільки імпульси $f(t)$ є довільної випадкової форми і тривалості, то для їх спектрального аналізу доцільно використання дискретного перетворення Фур'є [3]. Для цього аналоговий імпульс – функцію $f(t)$ дискретизуємо в часі з інтервалом Δt , замінивши його послідовністю дельта – функцій (рис.2), «зважуваних» миттєвими значеннями відліків $f(n \cdot \Delta t)$ в різні моменти часу дискретизації:

$$f_g(t) = \sum_{n=1} f(n \cdot \Delta t) \delta(t - n \cdot \Delta t), \quad (1)$$

де n - загальна кількість відліків чи інтервалів дискретизації ($n = 1, 2, \dots, N$).

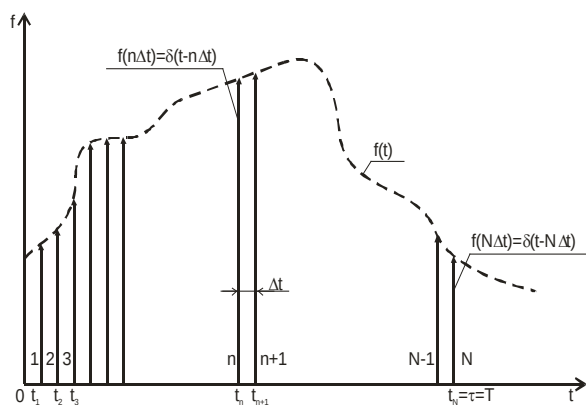


Рис.2 – Дискретизований імпульс-функція $f(t)$ у вигляді послідовності дельта-функцій.

Підставивши цей вираз у відому формулу комплексної амплітуди для k -ї гармоніки [4]:

$$E_{m(k)} = \frac{2}{T} \int_0^T f_g(t) e^{-jk\omega t} dt, \quad (2)$$

отримаємо кінцеву формулу для $E_{m(k)}$

$$E_{m(k)} = \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N f_g(n \cdot \Delta t) e^{-j \frac{2\pi n k}{N}}. \quad (3)$$

Користуючись викладеним методом, було визначено спектральний склад імпульсів струмів, отриманих в режимі короткого замикання (КЗ) в тяговій мережі системи електричної тяги постійного струму на одній з діючих ділянок ДП «Придніпровська залізниця» (таблиця 1).

Таблиця 1

Спектральний склад струму при різних видах короткого замикання тягової мережі постійного струму 3,3 кВ

Вид КЗ	Частота основної гармоніки, Гц	Амплітудний спектр за номерами гармонік, А							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Ближнє	47,6	4392,7	3316,6	1017,90	321,8	82,2	199,4	156	43
Середнє	40	2814,3	1849,5	663,3	253,50	118,40	121	81	42
Дальнє	36,7	2217,4	1493,9	511	189	72,6	48	56	39

Із даних таблиці випливає, що частота основної гармоніки фідерного струму 36,7...47,6 Гц при всіх видах КЗ співпадає з частотами сигнального струму в лінії СЦБ та зв'язку. До того ж, згідно з теоремою Рейлі [5], вагова частина першої гармоніки складає 30...40% енергії імпульсу струму КЗ. Не малі також значення амплітуд вищих гармонік.

Було також визначено коефіцієнти спотворення перехідного струму за коефіцієнтом гармонік (у відповідності з міжнародним стандартом IEEE 519-1992) [6]:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{49} I_{(n)}^2}}{I_{(1)}}, \quad (4)$$

і класичним коефіцієнтом $K_{СП}$ [7]:

$$K_{СП} = \frac{I_{(1)}}{I}, \quad (5)$$

де I - діюче значення імпульсу струму.

Зазначені коефіцієнти склали, наприклад для близького КЗ:

$$THD_I = 0,343. \quad K_{СП} = 0,465.$$

Висновки. Отже, результатами гармонійного аналізу перехідних величин не можна нехтувати не лише при оцінці електромагнітної сумісності, але й при визначенні енергетичних показників системи електричної тяги.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пупынин В.Н., Дарчиев С.Х. Сравнение фидерных выключателей постоянного тока 2*ВАБ-49-3200/30-Л и GeRapid 4207 2*4//Железные дороги мира. – 2006. – №5. – С. 64-71.
2. Костін М.О. Шейкіна О.Г. Теоретичні основи електротехніки – Д.: Видавництво ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна, 2007. – Т. 2. – 368 с.
3. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
4. Саблін О.И. Повышение эффективности электропотребления электроподвижного состава постоянного тока: Дис. канд. техн. наук – Д.: 2009. – 190 с.
5. Гумен М.Б., Гуржій А.М., Співак В.М. Основи теорії електричних кіл. Аналіз лінійних електричних кіл частотна область – К.: Вища школа, 2004. – Кн. 2. – 358 с.
6. Разанов Ю.К., Рябчицкий М.В. Современные методы улучшения качества электроэнергии (аналитический обзор)// Электротехника. – 1998. – Вип. 3. – С. 10-17.
7. Костін М.О. Шейкіна О.Г. Теоретичні основи електротехніки – Д.: Видавництво ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна, 2007. – Т. 1. – 368 с.

ГАРМОНИЧЕСКИЙ СОСТАВ ФИДЭРНЫХ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА ПРИ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ ТЯГОВОЙ СЕТИ

*Костин Н.О., д.т.н., проф., зав. каф. ТОЭ, Михаличенко П.Е., к.т.н., доц., доц. каф. ТОЭ,
Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика
В.Лазаряна.*

ул. Лазаряна, 2, 49010, г. Днепропетровск, Украина

E-mail: miha_pavel@mail.ru

В статье представлено спектральный анализ переходных электрических величин в аварийном режиме короткого замыкания тяговой сети системы электрической тяги постоянного тока. Осциллограммы токов и напряжений тяговых подстанций, полученные в результате экспериментов на действующих участках железной дороги, при помощи дискретного преобразования Фурье разложены на гармонические составляющие. Комплексные амплитуды гармоник переходных электрических величин позволяют оценить влияние аварийного режима на показатели качества электроэнергии, а также электромагнитную совместимость системы тягового электроснабжения постоянного тока.

Ключевые слова: система тягового электроснабжения, аварийный режим, переходные электрические величины, гармонический анализ, дискретное преобразование Фурье, комплексная амплитуда.

HARMONIC COMPOSITION FIDERNYH VOLTAGES AND CURRENT UNDER EMERGENCY MODE OF THE TRACTIVE NETWORK

*Kostin N. Doc. of Sc. (Tech.), Prof., Mihalichenko P., Cand. of Sc. (Tech.), Assoc. Prof.
Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan*

st. Lazaryan, 2, 49010, Dnipropetrovsk, Ukraine

E-mail: miha_pavel@mail.ru

Spectral analysis of the connecting electric values is presented In article in emergency mode cortex of the closing to traction network of the system of the electric pulling of the direct current. Oscillogrammy current and voltage tractive substation, got as a result experiment on acting area iron railway, with the help of discrete transformation Furie are distributed on harmonic component. The Complex amplitudes of the harmonicas of the connecting electric values allow to value the influence of the emergency mode on factors quality to electric powers, as well as electromagnetic compatibility of the system tractive supply the direct current.

Key words:: system of tractive supply, emergency mode, connecting electric-ranks, harmonic analysis, discrete transformation Furie, complex amplitude.