

ГАРМОНІЙНИЙ СКЛАД ФІДЕРНИХ НАПРУГ ТА СТРУМІВ ПРИ АВАРІЙНИХ РЕЖИМАХ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ

М. О. Костін, д.т.н., проф., П. Є. Михаліченко, к.т.н., доц.

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпропетровськ, Україна

E-mail: miha_pavel@mail.ru

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. Система тягового електропостачання постійного струму (СТЕП) досліджується багато років, від дня її заснування, але до недавнього часу дослідження, як правило, обмежувались аналізом усталених режимів роботи.

Аналіз попередніх досліджень. Перехідні, особливо аварійні режими вивчалися, такими видатними вченими, як Пупинін В.М., Векслер М.Й., Кучма К.Г. тощо, поверхнево, використовуючи, наскільки це дозволяло, аналітичний апарат математики [1–5]. Сьогодні, застосовуючи такі потужні системи комп'ютерної математики, як MathCad, Maple, MATLAB, можливо аналізувати вищезазначені процеси з різних сторін класичної електротехніки. Роботи в аспекті визначення спектрального складу фідерних напруг та струмів, а також показників якості електроенергії і не продуктивні її втрати авторам невідомі.

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. Оскільки, наслідки досліджень аварійних режимів у цьому напрямку можуть бути дієвими, виходячи із багатьох задач, зокрема, втрати електроенергії, електромагнітної сумісності, спрацювання захисту, безпеки обслуговуючого персоналу тощо.

Матеріал і результати дослідження. Часові залежності напруги і струмів, отриманих в аварійних режимах, є неперіодичними, довільної випадкової форми і тривалості рис. 1.

Для виконання спектрального аналізу, періодизуємо (з довільним періодом T) одиночний імпульс перехідної величини $a(t)$, отримавши періодичну послідовність таких імпульсів (рис. 2). Тепер функцію $a(t)$ можна розглядати не на інтервалі $[0...T]$ її існування, а продовжену періодично поза ним. Для такої функції $a(t)$, перетвореної в періодичну, є чинним розкладання в ряд Фур'є [1]:

$$a(t) = A_{m0} + \sum_{k=1}^{\infty} A_{m(k)} \sin(k\omega t + \psi_{a(k)}), \quad (1)$$

де $A_{m(k)}$, $\psi_{a(k)}$ – амплітуда і початкова фаза k -ої гармоніки ряду, які визначаються із комплексної амплітуди $\underline{A}_{m(k)} = A_{m(k)} e^{-j\psi_{a(k)}}$, що знаходиться за відомим виразом [2]:

$$\underline{A}_{m(k)} = \frac{2}{T} \int_0^T a(t) e^{-jk\omega t} dt. \quad (2)$$

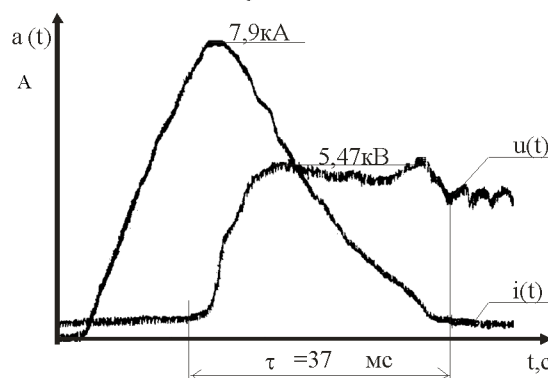


Рисунок 1 – Осцилограми напруги $u(t)$ і струму $i(t)$ при вимиканні швидкодіючим вимикачем типу АБ-2/4 тягових підстанцій короткого замикання в тяговій мережі.

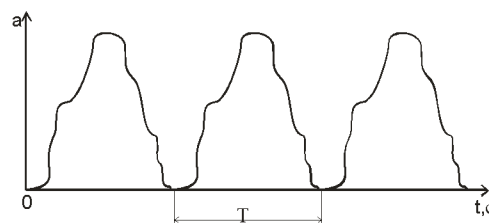


Рисунок 2 – Періодизація імпульс-функції $a(t)$

Для заданих графічно чи таблично перехідних функцій $a(t)$ необхідно знайти наближені аналітичні вирази, тобто здійснюють їх аналітичну апроксимацію або інтерполяцію. Особливістю цих матема-

тичних операцій є те, що апроксимуючі чи інтерполюючі функції $f(t)$ повинні найбільш точно відображати перехідні величини $a(t)$, інакше буде загублена важлива інформація, що призведе до неточних кінцевих результатів. Тому із усіх відомих у математиці критеріїв збіжності, збіжність в кожній точці

$$a(t) = \lim_{K \rightarrow \infty} f_K(t) \text{ в області } [0..T],$$

рівномірна збіжність

$$\lim_{K \rightarrow \infty} (\max |a(t) - f_K(t)|) = 0,$$

збіжність у середньоквадратичному

$$\lim_{K \rightarrow \infty} \int |a(t) - f_K(t)|^2 dt = 0,$$

найбільш доцільним для апроксимації є перший, найбільш жорсткий, критерій. При виборі методу наближення складної за формою $a(t)$, перевагу треба віддавати апроксимації, оскільки інтерполяційний многочлен буде дуже високого порядку, що робить розрахунки недопустимо громіздкими.

Функція $a(t)$ має задовольняти таким умовам [3]: визначена на всій вісі $t \in (-\infty; +\infty)$ і неперервна на цій вісі, за винятком лише скінченної кількості точок розриву першого роду на будь-якому скінченному проміжку вісі t ; будь-який скінченний проміжок вісі t можна поділити на скінченну кількість проміжків, у кожному з яких функція монотонна (умова Діріхле); для перетворення Фур'є функція $a(t)$ має бути абсолютно інтегрованою:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |a(t)| dt = C.$$

Після апроксимації осцилограм поліномами m -го степеня дві перші умови виконуються, але не виконується третя умова, тобто поліном не є абсолютно інтегрованим.

З урахуванням вищезазначеного, класичний Фур'є-аналіз та пряме перетворення Фур'є застосовувати некоректно, що й обумовило рішення про використання дискретного перетворення Фур'є, яке останнім часом широко розповсюджене при цифровій обробці сигналів [4, 5].

Аналогові перехідні функції $a(t)$ шляхом дискретизації з певним інтервалом часу $\Delta t = T/N$ перетворюють в імпульси, які містять масиви N значень досліджуваної величини $a(t)$ (рис. 3): $a_1 = a(t_1)$; $a_2 = a(t_2)$; $a_N = a(t_N)$; $n = 1, 2, 3, \dots, N$.

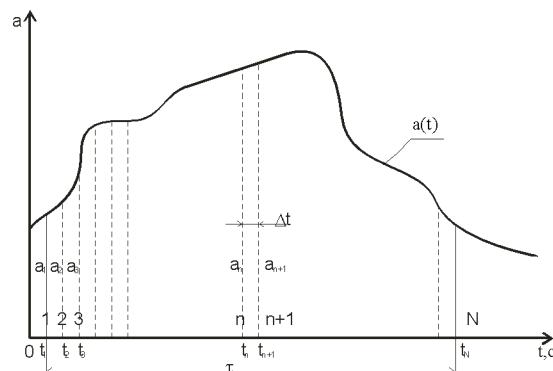


Рисунок 3 – Дискретизація неперервного імпульсу перехідної величини $a(t)$.

Для визначення Δt скористаємося теоремою Котельникова [6], згідно з якою будь-яка функція $a(t)$, з обмеженим спектром може бути без втрат інформації представлена своїми дискретними відліками $a_1, a_2, \dots, a_N$, (рис. 3), взятими з інтервалом Δt , який визначається за такою нерівністю:

$$\Delta t \leq \frac{1}{2f_{\max}} = \frac{\pi}{\omega_{\max}}.$$

де $\omega_{\max} = 2\pi f_{\max}$ – частота Найквіста (частота дискретизації)

Максимальну частоту обмеженого спектру, на який буде розкладено досліджувану функцію $a(t)$, визначаємо за формулою:

$$f_{\max} = \kappa f_{(1)},$$

де κ – номер гармоніки дискретного спектру; $f_{(1)} = 1/T$ – частота основної гармоніки.

Тоді значення $a_n = a(n \cdot \Delta t)$ є відліками тепер вже періодичної (рис. 2) аналогової функції $a(t)$ у вигляді послідовності дельта-функцій, «зваженої» відліками $a(n \cdot \Delta t)$ аналогової функції $a(t)$ (рис. 4) [7]:

$$a(t) = \sum_{n=1}^N a(n \cdot \Delta t) \delta(t - n \cdot \Delta t). \quad (3)$$

Підставивши (3) в (2), отримаємо

$$\underline{A}_{m(\kappa)} = \frac{2}{T} \int_0^T \sum_{n=1}^N a(n \cdot \Delta t) \delta(t - n \cdot \Delta t) \cdot e^{-j\kappa \omega t} dt. \quad (4)$$

Оскільки $a(n \cdot \Delta t)$ є константами, а функція $\delta(t - n \cdot \Delta t)$ дорівнює нулю при будь-якому t окрім $t = n \cdot \Delta t$, тоді (4) можна переписати у вигляді:

$$\underline{A}_{m(\kappa)} = \frac{2}{T} \sum_{n=1}^N a(n \cdot \Delta t) \int_0^T \delta(n \cdot \Delta t) e^{-j\kappa \omega t} dt. \quad (5)$$

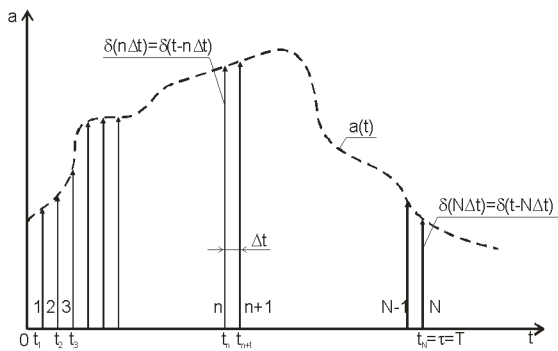


Рисунок 4 – Дискретизований імпульс-функція $a(t)$ у вигляді послідовності дельта-функцій

Врахуємо фільтруючу властивість дельта-функції [5], яка полягає у тому, що якщо ця функція присутня під інтегралом у якості множника, то результат інтегрування буде дорівнювати значенню іншої підінтегральної функції (чи виразу) у тій точці (часу), де зосереджена дельта-функція, незалежно від меж інтегрування. Тоді вираз (5) прийме вигляд

$$\underline{A}_{m(k)} = \frac{2}{T} \sum_{n=1}^N a(n \cdot \Delta t) e^{-jk\omega \Delta t}. \quad (6)$$

В (6) спектр є дискретним з частотною відстанню між гармоніками, яка, згідно рис. 4, дорівнює

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{N \cdot \Delta t}. \quad (7)$$

З урахуванням (7) і того, що $a(n \cdot \Delta t)$ - це значення відліків і тому $a(n \cdot \Delta t) = a(n)$, вираз (6) можна записати у вигляді

$$\underline{A}_{m(k)} = \frac{2}{N \cdot \Delta t} \sum_{n=1}^N a(n) e^{-j \frac{2\pi nk}{N}}. \quad (8)$$

Отже, комплексна амплітуда дискретного ряду Фур'є представляє собою лінійну комбінацію відліків $a(n)$ дискретизованої функції $a(t)$.

У виразі (8) реальний масштаб часу фігурує лише у множнику $1/\Delta t$ перед оператором додавання. При аналізі дискретних послідовностей зазвичай оперують номерами відліків (1, 2, ..., N, рис. 3 і 4) та спектральних гармонік без прив'язки до дійсного масштабу часу і частоти [4]. Тому множник $1/\Delta t$ вилучимо із виразу (8), тобто будемо вважати частоту дискретизації рівною одиниці. І тоді остаточний вираз комплексної амплітуди «к»-ої гармоніки буде

$$\underline{A}_{m(k)} = \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N a(n) e^{-j \frac{2\pi nk}{N}} = A_{m(k)} \cdot e^{j\psi_{a(k)}}, \quad (9)$$

який і є виразом дискретного перетворення Фур'є аналогової функції $a(t)$.

Таким чином, для отримання спектрального складу реалізації випадкової функції $a(t)$ після її квантування можна користуватися виразами (9).

Формула (9) визначає гармоніки у вигляді комплексної амплітуди $\underline{A}_{m(k)}$. Тоді для ряду Фур'є (1) функції $a(t)$ амплітуду k -ої гармоніки визначаємо як модуль комплексного числа

$$A_{m(k)} = |\underline{A}_{m(k)}|,$$

а початкова фаза, як аргумент цього комплексного числа:

$$\psi_{(k)} = \arg(\underline{A}_{m(k)})$$

Викладений спосіб спектрального аналізу, дозволяє визначити дискретний спектр амплітуди та фази характеристики конкретної реалізації досліджуваних функцій $a(t)$.

Визначення перехідних електричних величин можливо методами математичного та фізичного моделювання, але жодна теоретична викладка чи розрахунок не може замінити реального експерименту, що виконується в умовах реальної експлуатації елементів СТЕП. Враховуючи вищезазначене, авторами на одній із діючих електрифікованих ділянок ДП «Придніпровська Залізниця» було проведено натурні експерименти по визначенню фідерного струму та напруг на елементах тягової підстанції при близькому, середньому та дальньому коротких замиканнях. Номінальна потужність однієї випрямної установки тягової підстанції складає 7,4 МВт, номінальна напруга на її затискачах 3300 кВ, схема випрямлення шестипульсна з ввімкненим пасивним фільтром, уставки швидкодіючих вимикачів при різних видах короткого замикання: ближнє – 3500 А, середнє – 3500 А, дальнє – 2550 А, довжина фідерної зони складає 17,7 км. Виміри були виконані за допомогою цифрового запам'ятовуючого осцилографа АСК-3106. На рис. 5 приведено осцилограми струму фідера $i_n(t)$, напруги на затискачах тягової підстанції $u_n(t)$, а також різниці потенціалів на затискачах швидкодіючих вимикачів при горінні дуги $u_d(t)$

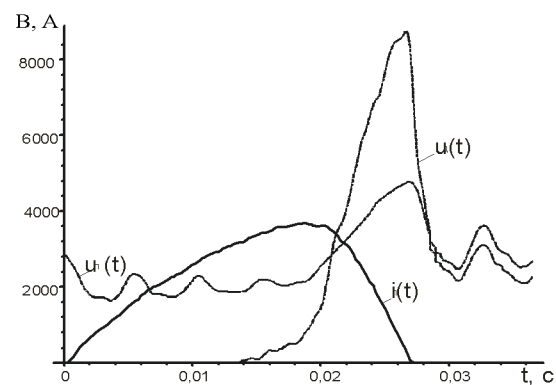


Рисунок 5 – Осцилограми експериментальних досліджень короткого замикання в тяговій мережі постійного струму

Виконаємо гармонійний аналіз цих функцій. Враховуючи вимоги міжнародного стандарту IEEE 519-1981, згідно якого для визначення інтегрального показника гармонійного складу струму необхідно враховувати 49 гармонік [8], приймаємо $k = 50$. Врахувавши те, що перехідний процес навіть при близькому короткому замиканні не може тривати менше $T = 0,02$ с, отримаємо $\Delta t = 0,2$ мс.

З практичної точки зору, великий інтерес викликає спектральний склад струму, що протікає через фідерну чарунку. На рис. 6 представлено дискретний спектр амплітуди струму при близькому короткому замиканні.

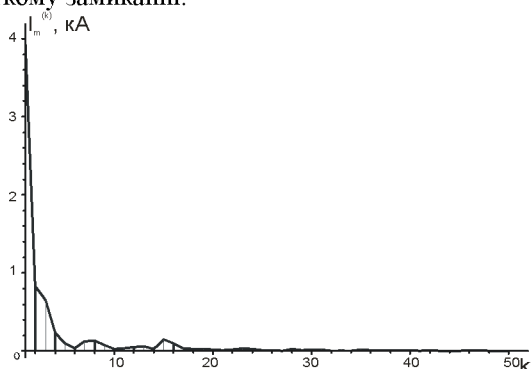


Рисунок 6– Дискретний спектр амплітуди струму близького короткого замикання

Слід зазначити що по вісі абсцис відкладені номери гармонік $k = 1 \dots 50$. Нульова гармоніка є середньоарифметичним значенням неперервної функції $a(t)$ і як відомо з курсу ТОЕ [9]: визначається інтегралом виду $A_{(0)} = A_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T a(t) dt$. Для квантованої функції інтеграл замінюємо кінцевою сумою:

$$A_{(0)} = A_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N a_n$$

У таблиці 1 представлені спектрограми різних перехідних електричних величин системи тягового електропостачання постійного струму в аварійному режимі короткого замикання її роботи.

Таблиця 1 – Спектральний склад струму при різних видах короткого замикання тягової мережі постійного струму 3,3 кВ

Вид КЗ		Ближнє			Середнє			Дальнє		
Частота ОГ, Гц		33,6			33,6			25,1		
ПЕВ		$I_{nm(k)}$, А	$U_{nm(k)}$, В	$U_{Дm(k)}$, В	$I_{nm(k)}$, А	$U_{nm(k)}$, В	$U_{Дm(k)}$, В	$I_{nm(k)}$, А	$U_{nm(k)}$, В	$U_{Дm(k)}$, В
Амплітудний спектр за номерами гармонік	0	3084	2557,1	1971,9	2387	2941,2	2021,7	1548	2593,2	1866,2
	1	3927	2479,7	2878	222,5	1540,2	3430	1929	830,2	2895,3
	2	829,7	931,9	876,6	633,5	858,2	2177,5	350,5	446,2	1322,2
	3	651,5	983,8	489,2	179,7	285	1128,9	328,8	454,8	812,3
	4	230,7	284	580	101,8	124,2	548,1	111,8	169,7	887
	5	105,3	231,2	42,4	78,6	127,6	370,2	55,5	164,8	602,1
	6	34,3	52,9	380,4	100,8	423,2	358,3	47,9	265,6	284,3
	7	128,8	418,1	364,2	64,8	117,3	288,7	25,7	248,2	156,5
	8	130,7	170,7	187,4	8,5	45,4	187	3,5	62,7	222,5
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	49	5,3	29,2	26,7	3	42,8	28,8	0,4	25	15
	50	2,5	30,2	25,8	3,9	39,8	27	0,5	24,7	13,3
Коефіцієнти	K_ϕ	1,37	1,28	1,53	1,21	1,1	1,82	1,35	1,105	1,66
	K_A	1,86	2,21	2,36	1,62	1,89	2,66	1,76	1,76	2,81
	$K_{сп}$	0,657	0,534	0,674	0,543	0,338	0,658	0,651	0,216	0,659
	K_r	0,287	0,62	0,508	0,308	0,697	0,781	0,26	0,966	0,681
Частка енергії, %	$\delta^{[0]}$	53,2	60,5	42,6	67,8	83,2	30	54,7	91,1	36,2
	$\delta^{[1]}$	42,2	28,5	45,3	29,5	11,4	43,3	42,4	4,7	43,5
	$\delta^{[k \geq 2]}$	4,6	11	12,1	2,7	5,4	26,7	2,9	4,2	20,3

Правильність використання виразу (9) для визначення коефіцієнтів ряду (1) підтверджуємо його відповідністю до розкладеної реалізації $a(t)$. Побудуємо на одному графіку (рис 8.) осцилограму (крива 1) напруги на затискачах тягової підстанції, та відтворену за рядом функцію (крива 2), що містить $k = 50$ гармонійних складових:

$$u_n(t) = 2941,15 + 1540,3 \sin(\omega_1 t + 144,2^\circ) + 858,2 \sin(2\omega_1 t + 184,2^\circ) + 285 \sin(3\omega_1 t + 211,6^\circ) + \dots + 39,8 \sin(50\omega_1 t + 206,2^\circ),$$

де $\omega_1 = 2\pi f_1$ – кутова частота основної гармоніки.

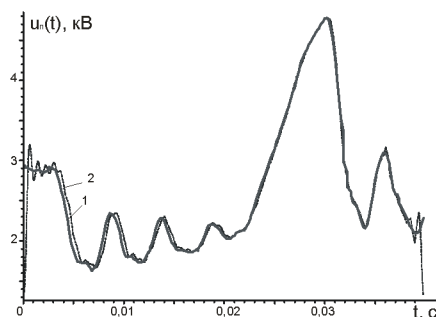


Рисунок 8 – Графіки зміни напруги та затискачах тягової підстанції при короткому замиканні

У роботі [10] зазначено, що відомі в класичній електротехніці, коефіцієнти, які характеризують форму кривих несинусоїдних електричних величин, можливо застосувати для визначення властивостей сигналів довільної форми. На думку авторів, це може бути прийнятним, якщо врахувати припущення, щодо періодизації неперіодичної функції перехідної електричної величини. Найпоширенішими коефіцієнтами є: форми K_F ; амплітуди K_A ; спотворення $K_{СП}$; гармонік K_H , які дають змогу оцінити наскільки досліджуваній сигнал відрізняється від гармонійного.

Слід зазначити, що діюче значення A перехідних квантованих функцій були визначені як середньоквадратичні [11]:

$$A = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N a_n^2}$$

На сьогодні, відповідно до міжнародних стандартів якості енергоспоживання, таких як IEC61000-3, IEEE 519-1992, TN 61000-3-2, основною величиною оцінки є інтегральний показник гармонічного складу електричної величини K_{THD} (Total Harmonik Distortion) [8]:

$$K_H = K_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{49} A_{(k)}^2}}{A_{(1)}},$$

де $A_{(1)}$, $A_{(k)}$ - діюче значення відповідно першої та k -ої гармонійної складової.

Результати розрахунків згаданих коефіцієнтів, для різних перехідних електричних величин приведені у таблиці 1.

Із даних таблиці 1 випливає, що частота основної гармоніки фідерного струму при всіх видах КЗ складає $f_1 = 25...35$ Гц, і вона співпадає з частотами сигнального струму в лінії СЦБ та зв'язку. До того ж, згідно рівняння Парсеваля теорема Рейлі [1], було визначено енергію сигналів перехідних напруги та струму, при різних режимах роботи КЗ,

$$W = \int_{-\infty}^{\infty} a^2(t) dt,$$

а також енергію нульових $W_{(0)}$, та перших $W_{(1)}$ гармонійних складових. Крім того за формулою [10]:

$$\delta^{[k]} = \frac{W_{(k)}}{W} 100\%$$

встановлено вагові частини нульової $\delta^{[0]}$, першої $\delta^{[1]}$ та вищих $\delta^{[k \geq 2]}$ гармонік по відношенню до енергії перехідних величин. Сумарні потужності нульової та першої гармоніки в різних випадках досягає $\sim 96\%$. Частка вищих гармонік коливається від $\delta^{[k \geq 2]} = 4...20\%$. Все це залежить від форми сигналу. Якщо сигнал вертикально видовжений, як наприклад для $u_D(t)$ і має значення відмінні від 0 не на всьому періоді перехідного процесу, то частка вищих гармонік збільшується. Крім того, з таблиці 1 бачимо, що для сигналів складної форми, як наприклад для $u_{II}(t)$, значення амплітуди основної гармоніки зменшується, а нульової та вищих збільшується.

Висновки. Отже впливом аварійних режимів в СТЕП не можна нехтувати при оцінці електромагнітної сумісності тягової мережі постійного струму з лініями СЦБ та зв'язку, що проходить поряд, а також визначені енергетичних показників пристроїв електричної тяги.

ЛІТЕРАТУРА

1. Костін М.О. Шейкіна О.Г. Теоретичні основи електротехніки – Д.: Видавництво ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна, 2007. – Т. 2. – 368 с.
2. Зевеке Г.В. Основы теории цепей– М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.
3. Овчиніков П.П., Михайленко В.М. Вища математика – К.: Техніка, 2004. – Ч. 2. – 792 с.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
5. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения – М.: Мир, 1990. – 584 с.
6. Гоноровский, И.С. Радиотехнические цепи и сигналы – М.: Сов. радио, 1977. – 608 с.
7. Фихтенгольц, Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Том 3. – М.: Наука, 1966. – 656 с.
8. Разанов Ю.К., Рябчицкий М.В. Современные методы улучшения качества электроэнергии (аналитический обзор)// Электротехника. – 1998. – Вип. 3. – С. 10-17.
9. Костін М.О. Шейкіна О.Г. Теоретичні основи електротехніки – Д.: Видавництво ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна, 2007. – Т. 1. – 368 с.
10. Гумен М.Б., Гуржій А.М., Співак В.М. Основы теории электрических кил. Анализ линейных электрических кил частотна область – К.: Вища школа, 2004. – Кн. 2. – 358 с.
11. Саблин О.И. Повышение эффективности электропотребления электроподвижного состава постоянного тока: Дис. канд. техн. наук – Д.: 2009. – 190 с.

Стаття надійшла 20.09.2011 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Чорним О.П.

ГАРМОНИЧЕСКИЙ СОСТАВ ФИДЕРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ ПРИ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ ТЯГОВОЙ СЕТИ

Н. А. Костин, д.т.н., проф., П. Е. Михаличенко, к.т.н., доц.

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. Академ. В. Лазаряна
ул. Лазаряна, 2, 49010, г. Днепропетровск, Украина*

E-mail: miha_pavel@mail.ru

В статье представлен спектральный анализ переходных электрических величин в аварийном режиме короткого замыкания тяговой сети системы электрической тяги постоянного тока. Осциллограммы токов и напряжений тяговой подстанции, полученные в результате экспериментов на действующем участке железной дороги, с помощью дискретного преобразования Фурье разложены на гармонические составляющие. Полученные 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 COMPONENTS FEEDER VOLTAGE AND CURRENT IN EMERGENCY MODE TRACTION NETWORK

N. Kostin, Doc. Sc. (Tech.), Prof., P. Mihalichenko, Cand. of Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

*Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician B. Lazaryan
str. Lazarian, 2, 49 010, Dnepropetrovsk, Ukraine*

E-mail: miha_pavel@mail.ru

This paper presents a spectral analysis of transient electrical quantities in an emergency short-circuit power train someone the electric traction system of direct current. Oscillograms of current and voltage substation-making derived from experiments on the operating section of the railway, using the discrete Fourier transformation vaniyu decomposed into harmonic components. The resulting complex amplitudes of the harmonics of the transition elektricheskikh variables allow us to estimate the effect of emergency mode on quality of electricity and electromagnetic compatibility of the traction current DC.

Key words: system of the traction power supply, emergency mode, the electrical transients of magnitude, m-rmoniyiny analysis, discrete Fourier transform, the complex amplitude.