УДК 681.2:621.3.072:621.317.725

В.М. Чинков, В.В. Мошаренков

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

УЗАГАЛЬНЕНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ ПРИ ВХІДНИХ ПЕРІОДИЧНИХ КУСКОВО-СХІДЧАСТИХ СИГНАЛАХ СКЛАДНОЇ ФОРМИ

Отримано вираз для узагальненої математичної моделі електровимірювальних приладів змінного струму при вхідних періодичних сигналах складної форми, за яку прийнята кореляційна функція між струмами (або напругами) у вимірювальних ланцюгах приладу.

***Ключові слова**: електровимірювальні прилади змінного струму, сигнали спеціальної форми, кореляційна функція, передатна функція, імпульсна перехідна характеристика.*

Вступ

Постановка задачі. На цей час класичні процедури повірки та калібрування (надалі повірки) електровимірювальних приладів змінного струму (ЕВПЗС) виконуються повірочними (або калібрувальними) сигналами синусоїдальної форми, причому технічні та метрологічні вимоги до робочих еталонів – калібраторів таких сигналів безперервно зростають. Враховуючи сучасні досягнення цифрової вимірювальної техніки, в тому числі цифрових калібраторів (генераторів) сигналів [1, 2], і мікросхемотехніки, необхідно дослідити можливості застосування в якості повірочних складних сигналів з кусково-східчастою апроксимацією, відтворення яких може бути забезпечено зі значно більшою точністю, або аналогових сигналів в класичних калібраторах сигналів.

Проте в реальних умовах експлуатації ЕВПЗС їх вхідні сигнали завжди відрізняються від ідеальної синусоїди. Більш того, і в калібраторах сигналів неможливо сформувати ідеальний синусоїдальний сигнал.

Тому певний науковий інтерес викликає проблема повірки ЕВПЗС не синусоїдальними, а сигналами складної форми, що з більшою вірогідністю відповідає практиці вимірювань.

Вихідною теоретичною базою для таких досліджень є розробка узагальненої математичної моделі ЕВПЗС при вхідних періодичних кусково-східчастих сигналах складної форми. Цим пояснюється актуальність даної статті.

Аналіз літератури. Вперше ідея використання сигналів найпростішої несинусоїдальної форми – прямокутної – висловлена в статті [3], а більш глибокі дослідження, результати яких підтвердили новизну і ефективність такого підходу до повірки ЕВПЗС, наведені в [4 – 7]. Перші теоретичні дослідження проведені і для повірки ЕВПЗС аналоговими сигналами спеціальної форми, які потім були розвинені в [9 – 14].

Мета статті. Ця стаття спрямована на розвиток теорії повірки і калібрування електровимірювальних приладів змінного струму кусково-східчастими (цифровими) сигналами складної форми до такого рівня, який дозволить перейти до практичної реалізації запропонованого методу.

Основний матеріал

Розглянемо повірочний кусково-східчастий сигнал $u_c(t)$, який апроксимує періодичний трапецеїдальний сигнал з періодом T (рис. 1).

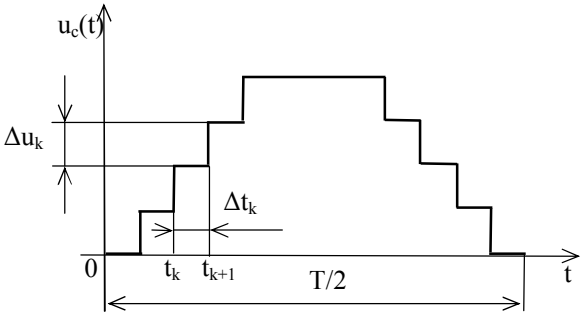

Рис. 1. Півперіод повірочного сигналу

Позначимо точки перемикання (моменти стрибків) через t_k, а рівень стрибків у цих точках через Δu_k, причому $\Delta u_k > 0$ при збільшенні і $\Delta u_k < 0$ при зменшенні кусково-східчастої напруги $u_c(t)$.

Оскільки напруга $u_c(t)$ є кусково-постійним періодичним сигналом, то кореляційна функція цієї напруги

$$R_0(\tau) = \frac{1}{T}\int_0^T u_c(t)u_c(t-\tau)dt \qquad (1)$$

є кусково-лінійною функцією.

Це означає, що її перша похідна $R_0'(\tau)$ є кусково-постійною функцією, а друга похідна $R_0''(\tau)$ є сумою δ – функцій в точках t_k.

© В.М. Чинков, В.В. Мошаренков

Для обчислення кореляційної функції струмів у котушках електровимірювального приладу змінного струму скористаємося формулою [9, 13]:

$$R(\tau) = \int_0^T g(\tau) R_0(\tau - t)dt , \qquad (2)$$

де $g(\tau)$ – імпульсна перехідна характеристика, яка грає роль передатної функції приладу для кореляційної функції $R_0(\tau)$.

Співвідношення (2) є основним для подальших досліджень, бо воно визначає зв'язок між кореляційною функцією вхідної напруги $R_0(\tau)$ і кореляційною функцією струму $R(\tau)$, від якої залежать покази електровимірювальних приладів змінного струму.

Зауважимо, що обидві кореляційні функції – $R_0(\tau)$ і $R(\tau)$ мають парний характер, тобто для них справедливі наступні умови:

$$R_0(-\tau) = R_0(\tau), \quad R_0(T + \tau) = R_0(\tau);$$

$$R(-\tau) = R(\tau), \quad R(T + \tau) = R(\tau).$$

Використаємо розкладання функції $R(\tau)$ за ступенями малого параметра $\varepsilon = \omega\Delta\tau$, де ω – кругова частота основної гармоніки періодичного сигналу $u_c(t)$; $\Delta\tau$ – постійна часу, що визначається реактивними елементами вимірювальних ланцюгів ЕВПЗС:

$$R(\tau) = G(0)R_0(\tau) + G'(0)R_0'(\tau) + \int_0^T g_1(t)R_0''(\tau - t)dt, \qquad (3)$$

де $G(p)$ – передатна функція приладу, для якої прийнято досить загальне припущення, що вона є дробово-раціональною функцією

$$G(p) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{p - p_n},$$

p_n – полюси передатної функції $G(p)$, що знаходяться як в лівій, так і в правій півплощинах; A_n – лишок в цих полюсах;

$$g_1(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{p_n^2} \frac{e^{p_n t}}{1 - e^{p_n T}}, 0 < t < T. \qquad (4)$$

Підсумовування в формулі (3) здійснюється за всіма полюсами p_n передатної функції ЕВПЗС $G(p)$.

Обчислимо похідні $R_0'(\tau)$ та $R_0''(\tau)$ кореляційної функції струмів $R_0(\tau)$.

Використавши співвідношення (1) для першої похідної, запишемо

$$R_0'(\tau) = -\frac{1}{T}\int_0^T u_c(t)u_c'(t - \tau)dt . \qquad (5)$$

Запишемо похідну $u_c'(t)$ через суму δ – функцій

$$u_c'(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \Delta u_k \delta(t - t_k). \qquad (6)$$

Підставимо цю рівність у формулу (5), отримаємо

$$R_0'(\tau) = -\frac{1}{T}\sum_{k=1}^{\infty} \Delta u_k \int_0^T u_c(t)\delta(t - \tau - t_k)dt,$$

або

$$R_0'(\tau) = -\frac{1}{T}\sum_{k=1}^{\infty} \Delta u_k u_c(\tau + t_k), \qquad (7)$$

де

$$u_c(\tau + t_k) = \int_0^T u_c(t)\delta(t - \tau - t_k)dt .$$

Підсумовування по k у формулі (7) проводиться по всіх стрибках функції $u_c(t)$ на інтервалі періодичності (0, T). Обчислимо другу похідну $R_0''(\tau)$, використовуючи вираз (7):

$$R_0''(\tau) = -\frac{1}{T}\sum_{k=1}^{\infty} \Delta u_k u_c'(\tau + t_k)$$

або з урахуванням співвідношення (6) маємо

$$R_0''(\tau) = -\frac{1}{T}\sum_{k=1}^{\infty}\sum_{l=1}^{\infty} \Delta u_k \Delta u_l \delta(\tau + t_l - t_k). \qquad (8)$$

Тоді для інтеграла в формулі (3) отримаємо

$$\int_0^T g_1(t)R_0''(\tau - t)dt = -\frac{1}{T}\sum_{k=1}^{\infty}\sum_{l=1}^{\infty} \Delta u_k \Delta u_l \times \int_0^T g_1(t)\delta(\tau - t + t_l - t_k)dt = -\frac{1}{T}\sum_{k=1}^{\infty}\sum_{l=1}^{\infty} \Delta u_k \Delta u_l g_1(\tau + t_l - t_k). \qquad (9)$$

Підсумовування по k у формулі (9) здійснюється по всіх точках t_k на інтервалі періодичності (0, T) і по всіх точках t_l, таким, що величина $(\tau + t_l - t_k)$ знаходиться в тому самому часовому інтервалі.

Підставимо вирази (7), (9) в формулу (3), отримуємо

$$R(\tau) = G(0)R_0(\tau) - \frac{G'(0)}{T}\sum_{k=1}^{\infty}\Delta u_k u_c(\tau + t_k) - \\ -\frac{1}{T}\sum_{k,l=1}^{\infty}\Delta u_k \Delta u_l g_l(\tau + t_l - t_k). \quad (10)$$

Формула (10) для кусково-східчастої функції $u_c(t)$ є точною.

Висновок

Вираз (10) є узагальненою математичною моделлю ЕВПЗС, що застосовується як для різних систем ЕВПЗС при вхідних періодичних кусково-східчастих сигналах складної форми. Вона дозволяє провести оцінювання методичних похибок повірки і калібрування ЕВПЗС конкретними високоточними сигналами кусково-східчастої форми, зокрема, спеціальними сигналами (прямокутної, трикутної та трапецеїдальної форми).

Список літератури

1. Дьяков В.П. Генерация и генераторы сигналов / В.П. Дьяков. – М.: ДМК Пресс, 2009 – 384 с.

2. Современные функциональные генераторы за рубежом: Экспресс-информация. – М.: ИНФОРМПРИБОР. – Сер. ТС-5. – 1988. – 13 с.

3. Туз Ю.М. Источник калибровочного напряжения / Ю.М. Туз, Ю.С. Есиков // Измерительная техника. – 1973. – №9. – С. 42-44.

4. Минц М.Я. Об использовании сигналов прямоугольной формы для поверки электромеханических приборов / М.Я. Минц, В.Н. Чинков // Измерительная техника. – 1980. – №3. – С. 42-43.

5. Минц М.Я. Поверка электромеханических приборов сигналами прямоугольной формы с регулируемой скважностью / М.Я. Минц, В.Н. Чинков // Измерительная техника. – 1987. – №4. – С. 64-66.

6. Чинков В.Н. Теоретические основы калибровки электромеханических измерительных приборов переменного тока сигналами прямоугольной формы / В.Н. Чинков, А.А. Каревик // Український метрологічний журнал. – 2002. – № 2. – С. 58-61.

7. Чинков В.Н. Методы поверки электромеханических измерительных приборов переменного тока сигналами прямоугольной формы с регулируемыми временными параметрами / В.Н. Чинков, А.А. Каревик // Український метрологічний журнал. – 2002. – №4. – С. 19-22.

8. Минц М.Я. О поверке электромеханических измерительных приборов сигналами специальной формы / М.Я. Минц, В.Н. Чинков // Измерительная техника. – 1989. – №8. – С. 63-65.

9. Чинков В.Н. Обобщенная математическая модель электроизмерительных приборов при входных периодических сигналах сложной формы / В.Н. Чинков, В.В. Мошаренков // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. 3(29). – С. 221-223.

10. Чинков В.Н. Частные математические модели электроизмерительных приборов переменного тока для входных сигналов специальной формы/ В.Н. Чинков, В.В. Мошаренков // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 1(30). – С. 175-178.

11. Чинков В.Н. Обобщенное выражение для оценивания методической погрешности поверки электроизмерительных приборов переменного тока сигналами сложной формы / В.Н. Чинков, В.В. Мошаренков // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 2(31) – С. 131-134.

12. Чинков В.Н. Оценки методических погрешностей при поверке электромеханических измерительных приборов сигналами специальной формы / В.Н. Чинков, В.В. Мошаренков // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 3(36). – С. 199-202.

13. Чинков В.Н. Методы поверки электроизмерительных приборов переменного тока аналоговими сигналами специальной формы / В.Н. Чинков, В.В. Мошаренков // Український метрологічний журнал. – 2012. – №2. – С. 10-16.

14. Чинков В.Н. Метод поверки электродинамических ваттметров сигналами прямоугольной формы типа «Меандр» / В.Н. Чинков, В.В. Мошаренков // Метрологія та прилади. – 2013. – №4. – С. 9-12.

Надійшла до редколегії 17.12.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОБОБЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ПРИ ВХОДНЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ КУСОЧНО-СТУПЕНЧАТЫХ СИГНАЛАХ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

В.Н. Чинков, В.В. Мошаренков

Получено выражение для обобщенной математической модели электроизмерительных приборов переменного тока при входных периодических сигналах сложной формы, в качестве которой принята корреляционная функция между токами (или напряжениями) в измерительных цепях прибора.

Ключевые слова: *электроизмерительные приборы переменного тока, сигналы специальной формы, корреляционная функция, передаточная функция, импульсная переходная характеристика.*

GENERALIZED MATHEMATICAL MODEL ELECTRICAL MEASURING INSTRUMENTS WHEN INPUT PERIODIC PIECEWISE-SPEED SIGNALS OF THE COMPLEX FORM

V.N. Chinkov, V.V. Mosharenkov

Expression is obtained for the generalized mathematical model of electric measuring devices of AC input periodic signals complex form, which adopted the correlation function between the current (or voltage) in measuring chains of the device.

Keywords: *electric measuring devices of AC signals of a special form, correlation function, transfer function, pulse transient response.*