

УДК 621.3172

Ю.М. Туз, М.В. Добролюбова

Національний технічний університет України «КПІ», Київ, Україна

МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ КОРОТКОЧАСОВОЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ ВИХІДНОГО СИГНАЛУ ПРЕЦИЗІЙНИХ ДЖЕРЕЛ НАПРУГИ

Представлені матеріали щодо визначення короткочасової нестабільності вихідного сигналу деяких прецизійних джерел напруги; надано методики встановлення інтервалів кореляції та отримання розширеної невизначеності як функції часу.

Ключові слова: *еталон, похибки первинних еталонів, нестационарний процес, автокореляційна функція, розширена невизначеність.*

Постановка проблеми

За статтю 1 Закону України «Про внесення змін до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 15.06.2004 р. та ДСТУ 2681-94 [1,2] вихідний еталон – це еталон, який має найвищі метрологічні властивості серед еталонів даної одиниці, що є у державі, на підприємстві, в установі чи організації. Найвищі метрологічні властивості еталону забезпечуються завдяки різним методам підвищення точності, а саме: конструктивно-технологічним, захисно-запобіжним та структурно-алгоритмічним.

Конструктивно-технологічні методи передбачають використання високостабільних, інваріантних до часу матеріалів, розміщення приладів в спеціальних місцях.

Захисно-запобіжні методи передбачають захист від зовнішніх впливів – полів різної природи, вологи, тепла, кліматичних умов, механічних впливів. Метою захисно-запобіжних методів є створення стабільних зовнішніх умов.

Як вже було зазначено, еталони є приладами високої точності, тобто для них використовуються всі три методи.

До конструктивно-технологічних методів належать критерії коротко часової нестабільності та різнополярності [3], за якими визначається придатність ЗВТ, що досліджується, входити в комплект апаратури еталону.

Метрологічними характеристиками засобу вимірювань називають характеристики його властивостей, що впливають на результат вимірювання та на його похибку. Нормовані метрологічні характеристики (НМХ) засобу вимірювань – це сукупність метрологічних характеристик, яка встановлюється нормативними документами. Основні НМХ еталонів – номінальне значення одиниці, що відтворюється, характеристики похибки та невизначеності.

Похибка первинних еталонів характеризується [4, 5]:

- невиключеною систематичною похибкою;

- випадковою похибкою;
- нестабільністю;
- похибкою передавання розміру одиниці ФВ від еталона до зразкових засобів вимірювання.

За ДСТУ 3231:2007 оцінку нестабільності еталону, що викликана впливом старіння його окремих елементів та іншими причинами, знаходять на основі досліджень еталона у часі, а також за даними періодичних міжнародних звірянь. Різниця між оцінкою нестабільності еталону за ДСТУ 3231:2007 та оцінкою розглянутої короткочасової нестабільності полягає у тривалості часового інтервалу: для першої – інтервал часу складає місяці або роки, для другої – хвилини впродовж однієї години.

Це дуже важливо, якщо мова ведеться про еталони напруги змінного струму термокомпараторного типу, тому що часовий графік термокомпарування складається з часу підключення до термокомпаратора змінної напруги, приблизно рівної їй постійної напруги однієї полярності, рівної їй постійної напруги протилежної полярності. Значення і полярність напруги постійного струму на виході ідеального еталона залишається постійною на протязі усього часу відтворення значення, що потребується, а напруга змінного струму змінює свою полярність і її значення зазвичай не залишається постійним між змінами полярності. Процес компарування триває від декількох десятків секунд до декількох хвилин. Це залежить від сталої часу термокомпаратора. За цей час значення напруг постійного та змінного струмів повинні залишатись в межах заданих похибок. А на рівні еталонів це становить одиниці ppm. Тому процедура визначення оптимального часового інтервалу між тактами компарування носить дуже суттєвий характер.

Основний зміст досліджень

Авторами статті запропоновано дві методики оцінки оптимального часу термокомпарування шляхом структурного аналізу вихідних нестационарних випадкових процесів, а саме: методику встановлення інтервалів кореляції та методику отримання роз-

ширеної невизначеності як функції часу з метою мінімізації похибки еталону.

Ці методики було застосовано для дослідження стабільності вихідного сигналу наступних прецизійних джерел напруги: калібратор напруги змінного струму ТВ1-29, калібратор-вольтметр універсальний В1-28, калібратор напруги змінного струму В1-29, калібратор універсальний Н4-6, калібратор універсальний Н4-7, калібратор універсальний Fluke 5720А та джерело опорної напруги AD586.

Стабільність вихідної напруги змінного струму досліджується для ТВ1-29, В1-28, В1-29, Н4-6, Н4-7 та Fluke 5720А.

Стабільність вихідної напруги постійного струму досліджується для В1-28, Н4-6, Н4-7, Fluke 5720А та AD586.

Методика встановлення інтервалів кореляції побудована на основі аналізу автокореляційних функцій, що дозволяє встановити ймовірнісний зв'язок між вибірковими значеннями випадкового процесу у різні моменти часу [6].

Методика отримання розширеної невизначеності як функції часу побудована на основі аналізу гістограм розподілу відхилень від середнього значення [3,7,8].

Методика встановлення інтервалів кореляції. Випадковий процес на виході прецизійних джерел є нестационарним тому, що його статистичні характеристики змінюються з часом [9].

Тому для знаходження автокореляційної функції використовується формула

$$R_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{[x(t_i) - m(t_i)]}{m(t_i)} \times \frac{[x(t_i - \tau_j) - m(t_i - \tau_j)]}{m(t_i - \tau_j)} \quad (1)$$

По-перше, треба відзначити, що математичне сподівання у формулі (1) апроксимується за мето-

дом найменших квадратів поліномом 6-ого порядку.

Наступним кроком є побудова автокореляційних функцій для масиву відносних відхилень значень вихідної напруги на 10 хвилинних інтервалах часу протягом 1 години, і протягом інтервалу часу, рівного двом хвилинам для масиву значень напруги і масиву відносних відхилень значень напруги на виході досліджуваних прецизійних джерел напруги.

З урахуванням обраного методу розрахунку точного математичного сподівання отримані автокореляційні функції для загальних та приватних реалізацій, т.т. масивів вибірових значень випадкового процесу на інтервалі часу, що дорівнює одній годині та на короткочасових інтервалах спостереження.

Дослідження отриманих автокореляційних функцій показали, що кореляція спостерігається на короткому інтервалі часу (рис. 1, 2).

Завершуючим етапом є обчислення середньоквадратичного відхилення (скв) на основі результатів проведеного кореляційного аналізу. Як відомо, вибірова дисперсія s^2 пов'язана із значенням $R_x(0)$ автокореляційної функції співвідношенням [10]

$$R_x(0) = \left(\frac{N-1}{N} \right) s^2, \quad (2)$$

де $s^2 = D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$, N – кількість вимі-

рювань на інтервалі спостережень, а скв обчислюється за формулою $\sigma = \sqrt{D}$.

Виходячи з цього, співвідношення (2) використовується для перевірки адекватності отриманих результатів дослідження.

В межах поставленого завдання автори приділяють особливу увагу приватним реалізаціям. В табл. 1, 2 надані результати розрахунків скв для приватних реалізацій масиву відносних відхилень значень напруги на виході досліджуваних прецизійних джерел змінної та постійної напруги.

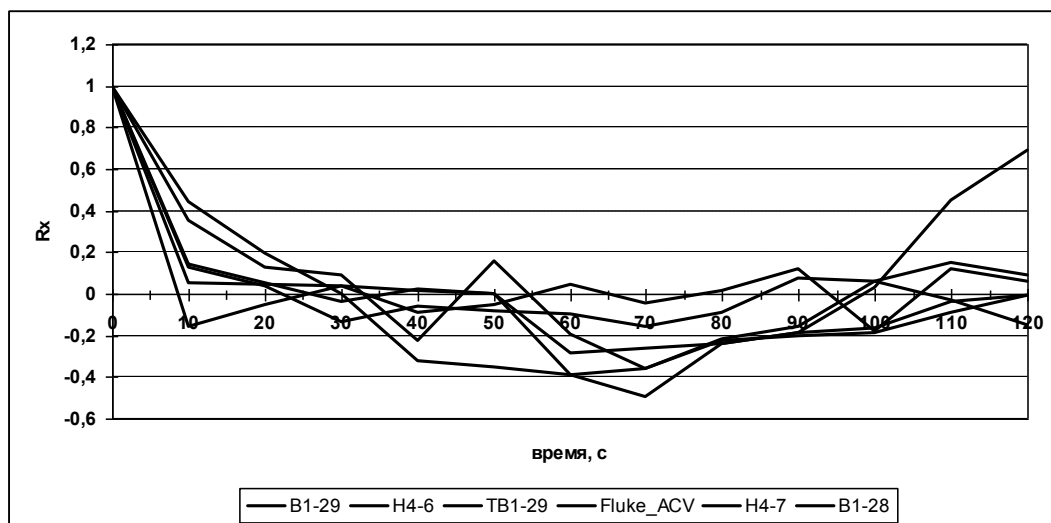


Рис. 1. Графіки автокореляційних функцій, отриманих на основі вимірювань приладами інтегруючого перетворення з часом інтегрування 10 с, для прецизійних джерел напруги

у режимі відтворення напруги змінного струму

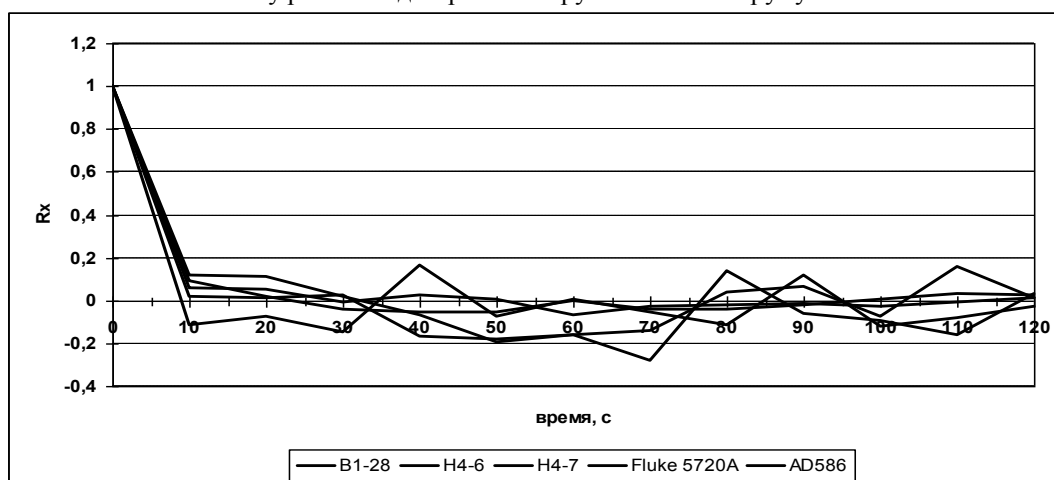


Рис. 2. Графіки автокореляційних функцій, отриманих на основі вимірювань приладами інтегруючого перетворення з часом інтегрування 10 с, для прецизійних джерел напруги у режимі відтворення напруги постійного струму

Таблиця 1

Середнє квадратичне відхилення для приватних реалізацій масиву відносних відхилень значень напруги на виході досліджуваних прецизійних джерел змінної напруги

Час приватної реалізації, хв.	$\sqrt{R_x(t_1, t_2)^*}$					
	ТВ1-29	B1-28	B1-29	H4-6	H4-7	Fluke 5720A
0 – 10	$1,35 \cdot 10^{-6}$	$5,3 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$2,36 \cdot 10^{-6}$	$6,36 \cdot 10^{-7}$	$4,35 \cdot 10^{-7}$
10 – 20	$1,23 \cdot 10^{-6}$	$4,67 \cdot 10^{-6}$	$3,88 \cdot 10^{-6}$	$2,54 \cdot 10^{-6}$	$2,77 \cdot 10^{-6}$	$3,6 \cdot 10^{-7}$
20 – 30	$1,36 \cdot 10^{-6}$	$1,44 \cdot 10^{-5}$	$2,92 \cdot 10^{-6}$	$2,62 \cdot 10^{-6}$	$2,32 \cdot 10^{-6}$	$5,57 \cdot 10^{-7}$
30 – 40	$1,21 \cdot 10^{-6}$	$2,98 \cdot 10^{-6}$	$2,93 \cdot 10^{-6}$	$2,41 \cdot 10^{-6}$	$1,87 \cdot 10^{-6}$	$3,36 \cdot 10^{-7}$
40 – 50	$1,42 \cdot 10^{-6}$	$2,14 \cdot 10^{-6}$	$2,79 \cdot 10^{-6}$	$1,92 \cdot 10^{-6}$	$1,67 \cdot 10^{-6}$	$3,98 \cdot 10^{-7}$
50 – 60	$1,21 \cdot 10^{-6}$	$3,96 \cdot 10^{-6}$	$3,11 \cdot 10^{-6}$	$4,55 \cdot 10^{-7}$	$1,67 \cdot 10^{-7}$	$5,23 \cdot 10^{-7}$

* t_1 – початок кожної нової реалізації, t_2 – поточний час реалізації.

Таблиця 2

Середнє квадратичне відхилення для приватних реалізацій масиву відносних відхилень значень напруги на виході досліджуваних прецизійних джерел постійної напруги

Час приватної реалізації, хв.	$\sqrt{R_x(t_1, t_2)^*}$				
	B1-28	H4-6	H4-7	Fluke 5720A	AD586
0 – 10	$1,89 \cdot 10^{-6}$	$9,66 \cdot 10^{-8}$	$1,64 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-7}$	$5,89 \cdot 10^{-7}$
10 – 20	$9,21 \cdot 10^{-7}$	$1,11 \cdot 10^{-7}$	$1,14 \cdot 10^{-7}$	$4,13 \cdot 10^{-9}$	$6,01 \cdot 10^{-7}$
20 – 30	$8,74 \cdot 10^{-7}$	$1,38 \cdot 10^{-7}$	$1,17 \cdot 10^{-7}$	$1,19 \cdot 10^{-7}$	$6,14 \cdot 10^{-7}$
30 – 40	$6,89 \cdot 10^{-7}$	$1,41 \cdot 10^{-7}$	$1,77 \cdot 10^{-7}$	$1,05 \cdot 10^{-7}$	$5,79 \cdot 10^{-7}$
40 – 50	$6,47 \cdot 10^{-7}$	$1,14 \cdot 10^{-7}$	$1,71 \cdot 10^{-7}$	$1,45 \cdot 10^{-7}$	$6,08 \cdot 10^{-7}$
50 – 60	$6,22 \cdot 10^{-7}$	$1,03 \cdot 10^{-7}$	$8,03 \cdot 10^{-8}$	$9,96 \cdot 10^{-8}$	$6,35 \cdot 10^{-7}$

* t_1 – початок кожної нової реалізації, t_2 – поточний час реалізації.

Методика отримання розширеної невизначеності як функції часу. Методика отримання розширеної невизначеності як функції часу передбачає побудову гістограми нестабільності відхилень від середнього значення для прецизійних джерел напруги на 60-хвилинному поточному інтервалі часу та двох 30-хвилинних, шести 10-хвилинних, дванадцяти 5-хвилинних, тридцяти 2-хвилинних, шестидесяти 1-хвилинних поточних інтервалах часу на протязі години; знаходження діапазону відхилень, який відповідає ймовірності 0,95, на 60-хвилинному та кож-

ному 30, 10, 5, 2, 1-хвилинному поточному інтервалі часу; знаходження осередненого діапазону відхилень, який відповідає вірогідності 0,95 за двома 30-хвилинними, шістьма 10-хвилинними, дванадцятьма 5-хвилинними, тридцятьма 2-хвилинними та шістьдесятьма 1-хвилинними гістограмами; побудову графіку залежності усереднених відхилень від часу спостереження з вірогідністю 0,95.

Аналіз стабільності вихідного сигналу всіх джерел напруги постійного та змінного струмів, які розглядаються, проводиться за результатами двох експериментів. Вихідні дані, отримані у кожному з експериментів, обробляються за методикою, що описано вище. Отримані результати осереднюються та будується загальний графік осереднених залежностей усереднених відхилень вихідного сигналу від часу спостережень для всіх прецизійних джерел напруги у режимах відтворення напруги постійного та змінного струмів (рис. 3, 4).

Висновки

Перемикання калібраторів з одного режиму на інший, або релейних комутаторів не є миттєвим, необхідно правильно визначити тривалість підключення до еталонних перетворювачів напруги термоелектричних (ЕПНТЕ) напруг, початок інтегрування з метою запобігання похибок від перехідних процесів. Перехідні процеси зумовлені розривами вхідних сигналів при комутації, також деякою нерівністю напруг, що по чергово підключаються до ЕПНТЕ.

В результаті проведених досліджень автори дійшли висновку, що і методика встановлення інтервалів кореляції, і методика отримання розширеної невизначеності як функції часу показали, що інтервал між тактами компарування не повинен перевищувати двох хвилин. Тобто в складі еталонів термокомпараторного типу з усіх розглянутих прецизійних джерел напруги можуть застосовуватись калібратори змінної напруги B1-29 та ТВ1-29, калібратори

ри універсальні Н4-6 та Н4-7, джерело опорної на- пруги AD586, калібратор Fluke 5720A.

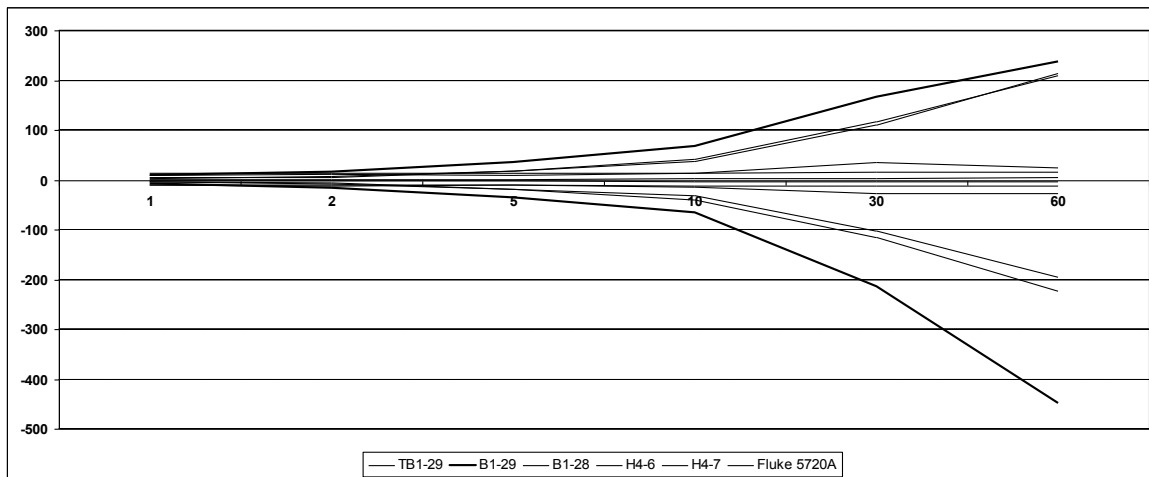


Рис. 3. Загальний графік осереднених залежностей усереднених відхилень вихідного сигналу від часу спостережень для всіх прецизійних джерел напруги у режимі відтворення напруги змінного струму

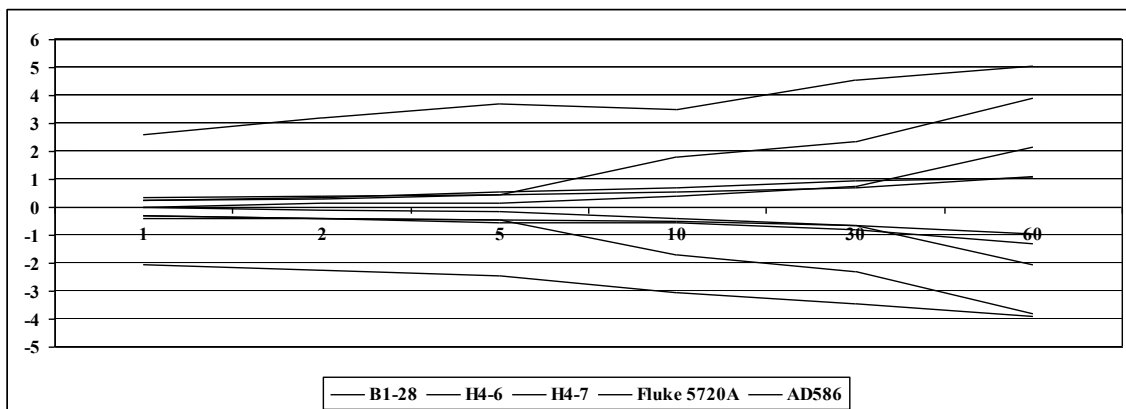


Рис. 4. Загальний графік осереднених залежностей усереднених відхилень вихідного сигналу від часу спостережень для всіх прецизійних джерел напруги у режимі відтворення напруги постійного струму

Список літератури

1. ДСТУ 2681-94 Метрологія. Терміни та визначення.
2. Закон України «Про внесення змін до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 15.06.2004 р.
3. Туз Ю.М. Оптимізація часу термокомпарування / Ю.М. Туз, М.В. Добролюбова, А.А. Ульянова // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 5 (86). – С. 139-143.
4. ГОСТ 8.381-80. Государственная система обеспечения единства измерений. Эталоны. Способы выражения погрешностей.
5. ДСТУ 3231:2007 Эталоны единиц вимірювань державні, первинні та вторинні.
6. Туз Ю.М. Исследование стабильности элементов эталона напряжения переменного тока / Ю.М. Туз, В.В. Литвих, М.В. Добролюбова // Метрологія та вимірювальна техніка: IV науково-технічна конференція. – Х., 2004.

7. Туз Ю.М. Похибки та невизначеність еталону одиниці електричної напруги від 0,001 до 1000 В змінного струму в діапазоні частот від 10 Гц до 30 МГц / Ю.М. Туз, М.В. Добролюбова, Ю.В. Артюхова // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2009. – Вип. 5 (79). – С. 112-114.

8. Туз Ю.М. Дослідження стабільності деяких прецизійних джерел напруги / Ю.М. Туз, М.В. Добролюбова // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – К., 2003. – № 5. – С. 99-104.

9. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления / В.С. Пугачев. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1957. – 660 с.

10. Бендат Дж. Измерение и анализ случайных процессов / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М.: Мир, 1971. – 257 с.

Надійшла до редколегії 9.12.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.П. Захаров, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРАТКОВРЕМЕННОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА ПРЕЦИЗИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Ю.М. Туз, М.В. Добролюбова

Представлены материалы для определения кратковременной нестабильности выходного сигнала некоторых прецизионных источников напряжения; приведены методики определения интервалов корреляции и получения расширенной неопределенности как функции времени.

Ключевые слова: эталон, погрешности первичных эталонов, нестационарный процесс, автокорреляционная функ-

ция, расширенная неопределенность.

**THE METHODS FOR A SHORT-TIME INSTABILITY DETERMINATION
FOR THE OUTPUT SIGNAL OF PRECISION REFERENCES**

Y.M. Tuz, M.V. Dobrolyubova

Materials for the definition of the short-term instability of the output signal for some precision voltage sources are presented. The techniques of determining the intervals of correlation and of the expanded uncertainty definition as a time function are given.

Keywords: *measurement standard, errors of primary standards, nonstationary process, autocorrelation function, the expanded uncertainty.*