

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЦЕНКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

Т.И. Чернышова, М.А. Каменская

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор Д.М. Мордасов

Ключевые слова и фразы: межповерочный интервал; метрологическая характеристика; электронное измерительное средство.

Аннотация: Определены основные этапы реализации информационной технологии оценки метрологической стабильности электронных измерительных средств. Информационная технология позволяет определять показатели метрологической надежности, а также устанавливать рекомендации к предстоящей эксплуатации проектируемого электронного измерительного средства, в том числе межповерочные интервалы с учетом условия постоянства степени накопления метрологической нестабильности.

Усложнение измерительной аппаратуры, повышенные требования к точности и все возрастающая роль электронных измерительных средств (ЭИС) в производственном процессе выдвигают на первый план вопрос обеспечения их высокой метрологической надежности (МН), которая оценивается характером и темпом изменения нормируемых метрологических характеристик (МХ) проектируемого ЭИС в течение всего времени эксплуатации.

Степень изменения во времени МХ ЭИС как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации определяет его метрологическую стабильность. Метрологическая стабильность ЭИС – это их качественная характеристика, отражающая неизменность во времени МХ [2].

Существуют два основных подхода к проблеме оценки и прогнозирования МН ЭИС. Первый подход заключается в проведении длительных

Чернышова Татьяна Ивановна – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», декан энергетического факультета; Каменская Мария Анатольевна – аспирант кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», e-mail: art_mari@rambler.ru, ТамбГТУ, г. Тамбов.

испытаний ЭИС на стабильность, причем срок проведения испытаний должен совпадать с длительностью эксплуатации данного ЭИС. Это обстоятельство приводит к тому, что стоимость испытаний возрастает, и сроки, отводимые на проектирование ЭИС, значительно меньше по сравнению со временем проведения испытаний. В основе второго подхода лежит математическое моделирование нестационарных случайных процессов изменения во времени метрологических характеристик исследуемых объектов с использованием аппарата аналитико-вероятностного прогнозирования [1].

Оценка и прогнозирование метрологической надежности ЭИС производится в следующей последовательности. Сначала осуществляется построение математической модели (ММ) функционирования ЭИС. В общем случае ММ выражает зависимость выходной характеристики от значений входного параметра, параметров комплектующих элементов и внешних влияющих факторов

$$y = F_1(x, \bar{\xi}, \bar{\varphi}), \quad (1)$$

где y , x – выходной и входной параметры; $\bar{\xi}$, $\bar{\varphi}$ – векторы параметров комплектующих элементов и влияющих факторов соответственно.

Эта модель строится на основе структурной и принципиальной схем, с привлечением теории графов, теоретических основ электротехники.

Для изучения метрологических свойств ЭИС необходимо иметь аналитические выражения для исследуемых МХ, поэтому математическая модель МХ ЭИС примет вид

$$S(t) = F_2(x, \bar{\xi}(t)). \quad (2)$$

Метрологические характеристики можно определять, опираясь на данные об изменении параметров элементной базы ЭИС, поэтому целесообразно для формирования базы данных о значениях МХ в различные моменты времени эксплуатации применять статистическое моделирование по данным об изменении во времени случайных параметров элементов.

Результатом проведенного статистического моделирования является полученная совокупность данных, характеризующих математическое ожидание $m_s(t_1), m_s(t_2), \dots, m_s(t_{k_1})$ и среднеквадратическое отклонение $\sigma_s(t_1), \sigma_s(t_2), \dots, \sigma_s(t_k)$. Опираясь на полученные данные, проводится построение математической модели процесса изменения во времени метрологических характеристик ЭИС вида

$$\psi_{\pm\sigma}(t) = M_S(t) \pm c\sigma_S(t), \quad (3)$$

где $c = 3$ при $P = 0,997$.

Экстраполяция полученной ММ изменения во времени МХ, которая представлена совокупностью аналитических зависимостей, полученных

для функции изменения во времени математического ожидания $M_S(t)$ и функций, характеризующих изменение во времени границ отклонения возможных значений метрологической характеристики от ее математического ожидания, на область будущих значений времени эксплуатации ЭИС дает решение задачи прогнозирования его МН.

Для реализации такого подхода к проблеме оценки МН была создана информационная технология (ИТ), позволяющая на основе выбора электронного измерительного средства и соответствующих ему структурных и принципиальных схем производить выбор из базы данных соответствующих параметров элементов, таких как его номинальное значение, отклонение от номинала, коэффициент старения. Интерфейс ИТ позволяет добавить в библиотеку новые данные, не заложенные ранее в нее разработчиком. После ввода пользователем ММ функционирования ЭИС производится статистическая обработка данных, затем рассчитывается математическое ожидание $M_S(t)$ и среднее квадратическое отклонение $\sigma_S(t)$ на области контроля. Пользователь имеет возможность установить оптимальные параметры моделирования: допустимые значения МХ и контрольные временные сечения. Информационная технология предусматривает выбор оптимального математического описания процессов изменения МХ ЭИС, исходя из возможного вида ММ. Основные этапы разработанной и реализуемой ИТ представлены на рис. 1.

В рамках представленной ИТ может быть решена важная для метрологического обслуживания задача по определению величины межповерочного интервала (МПИ) при эксплуатации ЭИС.

В основу метода определения МПИ положено условие постоянства степени накопления метрологической нестабильности за МПИ.

Основная идея метода показана на рис. 2. Накопление метрологической нестабильности на j -ом МПИ в общем случае определяется зависимостью

$$A_j = \int_{t_{j-1}}^{t_j} S(t) dt, \quad (4)$$

где $S(t)$ – метрологическая характеристика исследуемого ЭИС, аналитическое выражение и численное значение которой определяется принятой ММ; t_{j-1}, t_j – границы МПИ.

Метод основан на предположении, что минимальная величина МПИ выбирается такой, чтобы степень накопления метрологических дефектов оставалась постоянной (см. рис. 2). Соответственно для МПИ Δt_k выражение (4) имеет вид:

$$A_k = \int_{t_{k-1}}^{t_k} S(t) dt \text{ и для прогнозируемого момента следующей поверки } \Delta t_{k+1}: A_{k+1} = \int_{t_k}^{t_{k+1}} S(t) dt .$$



Рис. 1. Обобщенная схема функционирования ИТ оценки метрологической стабильности ЭИС

Используя условие сохранения степени накопления нестабильности на МПИ, можно записать $A_k = A_{k+1}$, решение этого уравнения позволяет определять время предстоящей метрологической поверки t_{k+1} .

Очевидно, что нахождение искомого значения t_{k+1} однозначно определяется принятым видом ММ МХ $S(t)$. Как известно [1], процесс изменения МХ может быть с достаточной точностью описан полиномиальными зависимостями не выше третьего порядка.

В частности, при использовании ММ МХ в виде полинома второго порядка

$$S(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2,$$

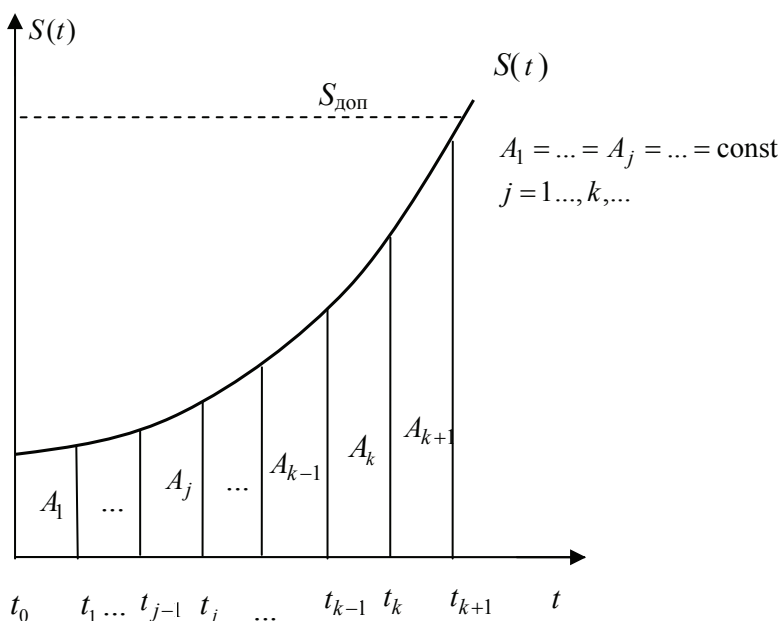


Рис. 2. Математическая модель изменения во времени метрологической характеристики:

A_j, A_k – степень накопления метрологической нестабильности на МПИ $\Delta t_j = t_j - t_{j-1}$, $\Delta t_k = t_k - t_{k-1}$ соответственно; A_{k+1} – величина степени накопления метрологической нестабильности на прогнозируемом МПИ; $t_{j-1}, t_j, t_{k-1}, t_k, t_{k+1}$ – моменты времени контроля (поверки) состояния МХ

где a_0, a_1, a_2 – коэффициенты модели; t – время эксплуатации, расчетная формула для определения времени предстоящей поверки имеет вид

$$t_{k+1}^{\text{int}} = \frac{\sqrt[3]{q}}{2a_2} + \frac{a_1^2 - 4a_0a_2}{2\sqrt[3]{q}a_2} - \frac{a_1}{2a_2}, \quad (5)$$

где $q = b + 2a_2\sqrt{x + y + z + c}$;

$$b = 6a_1a_2(a_0 + a_2t_k^2) + 4a_2^2[3(a_0t_k + A) + a_2t_k^3] - a_1^3;$$

$$x = 3a_0a_1(4a_2t_k^3 + 3A) - a_1(a_0 + 2a_1t_k);$$

$$y = a_1a_2t_k^2(12a_2(a_2t_k^3 + 3A) + a_1t_k(9a_2t_k - 2a_1));$$

$$z = 4a_0a_2(9a_0t_k(a_2t_k + a_1) + 6a_2t_k(a_2t_k^3 + 3A) + 4a_0^2);$$

$$c = 6A(6a_2^2A - a_1^3) + t_k^2[4a_2^3t_k(a_2t_k^3 + 6A) + 3a_1^2(6a_0a_2 - a_1^2)].$$

Анализ возможностей использования данного метода для определения времени следующей поверки рассматривается на примере нормирующего преобразователя, входящего в измерительный канал большого числа электронных измерительных средств. Электрическая схема этого блока представлена на рис. 3.

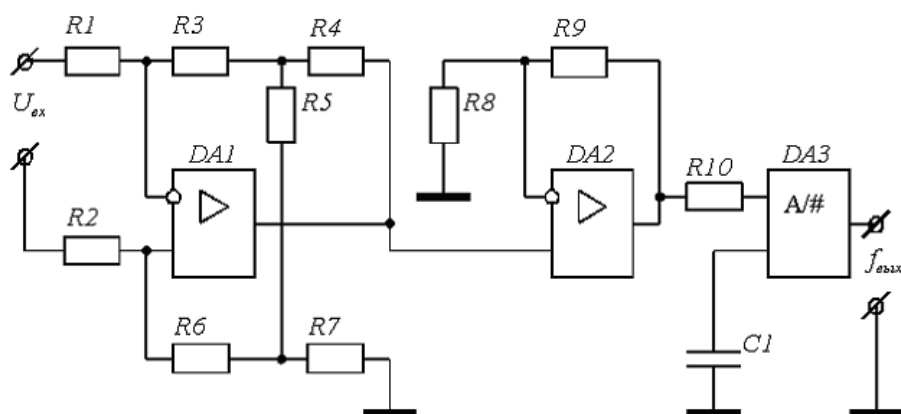


Рис. 3. Электрическая схема нормирующего преобразователя

Нормируемой МХ является основная относительная погрешность δ . Математическая модель исследуемого нормирующего преобразователя, построенная на основе анализа его электрической принципиальной схемы, имеет вид

$$\begin{cases} \delta = \frac{K^p - K^H}{K^H}; \\ K = \frac{\left(\frac{R_3 + R_4}{R_1} + \frac{R_3 R_4}{R_1 R_5} \right) \left(1 + \frac{R_9}{R_8} \right)}{7,5 R_{10} C_1}. \end{cases} \quad (6)$$

где R_1, \dots, R_{10}, C_1 – параметры элементной базы нормирующего преобразователя.

Математическая модель изменения во времени математического ожидания основной относительной погрешности нормирующего преобразователя, построенная с помощью полиномиальной зависимости второго порядка, имеет следующий вид

$$M_s(t) = 1,70 \cdot 10^{-12} t^2 + 1,0 \cdot 10^{-4} t - 0,0023, \quad (7)$$

$$t_{k+1}^{\text{int}} = 17834 \text{ ч.}$$

Таким образом, рассматриваемая ИТ содержит один из важных этапов метрологического обслуживания эксплуатируемых ЭИС, который состоит в определении значений предстоящей поверки с учетом стабильности во времени МХ исследуемых ЭИС.

Работа выполнена в рамках государственного контракта № 14.741.12.0150 федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Список литературы

1. Мищенко, С.В. Метрологическая надежность измерительных средств / С.В. Мищенко, Э.И. Цветков, Т.И. Чернышова. – М. : Машиностроение-1, 2001. – 96 с.

2. РМГ 74–2004. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений. – Введ. 2005–03–01. – М. : Стандартинформ, 2005. – 38 с.

Information Technology of Assessment of Metrological Stability of Electronic Measuring Equipment

T.I. Chernyshova, M.A. Kamenskaya

Key words and phrases: electronic measurement equipment; inter-testing interval; metrological characteristic.

Abstract: The key stages of the information technology of assessment of metrological stability of electronic measuring equipment are identified. Information technology makes it possible to determine the metrological reliability indices, as well as to establish recommendations for the upcoming operation of the designed electronic measuring equipment, including the inter-testing interval, taking into account the constancy of the accumulation of metrological instability.

© Т.И. Чернышова, М.А. Каменская, 2011