

УДК 621.317

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ ДЛЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И ИСПЫТАНИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

© 2013 В.С. Мелентьев, В.В. Муратова, Ю.М. Иванов

Самарский государственный технический университет

Поступила в редакцию 04.12.2013

В статье рассматривается новый метод, позволяющий определять параметры периодических сигналов в процессе контроля усилительных трактов радиоэлектронной аппаратуры и обеспечивающий значительное сокращение времени измерения. Приводятся результаты анализа погрешности измерения параметров из-за отклонения реального сигнала от гармонической модели.

Ключевые слова: *метод контроля, усилительный тракт, периодический процесс, гармоническая модель, высшие гармоники*

Качество радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) как совокупность свойств, определяющих способность изделий удовлетворять заданным требованиям, закладывается в процессе разработки и изготовления продукции. Оценка качества усилительных трактов РЭА осуществляется путем контроля их параметров и проведения испытаний на всех этапах производства. Для этого широко используется метод контроля, основанный на сравнении параметров сигналов на входе и выходе усилительного тракта с помощью двухканальных измерительных систем, осуществляющих одновременное определение параметров. При этом на один из входов системы и на контролируемый усилительный тракт РЭА обычно подают гармонический сигнал с генератора переменного тока, а на другой вход системы – сигнал с выхода РЭА. Одновременно определяют частоту, амплитудные значения входного и выходного сигналов, а также угол сдвига фаз между ними. Испытания усилительного тракта проводят во всем диапазоне рабочих частот.

В настоящее время успешно развивается направление, связанное с разработкой методов и средств измерения параметров гармонических сигналов (ПГС) по отдельным мгновенным значениям, не связанным с периодом входного сигнала [1]. Одним из путей сокращения времени определения ПГС является разделение

мгновенных значений в пространстве за счет формирования дополнительных сигналов, сдвинутых по фазе относительно входных [2]. Использование в качестве дополнительных сигналов ортогональных составляющих обеспечивает простоту аппаратной реализации методов и дальнейшее сокращение времени измерения [3]. Однако при реализации данных методов возникает частотная погрешность фазосдвигающих блоков (ФСБ), формирующих дополнительные сигналы. В результате этого изменение частоты входного сигнала приводит к нарушению ортогональности сигналов. Исключение частотной погрешности ФСБ обеспечивают методы измерения ПГС, при реализации которых используется формирование дополнительных сигналов, сдвинутых относительно входных на произвольный угол $\Delta\alpha$ [4]. Однако при отличии углов сдвига фаз в измерительных каналах контроля возникает дополнительная погрешность определения параметров. В статье рассматривается новый метод, реализация которого предусматривает формирование дополнительного сигнала только в одном из каналов, что обеспечивает повышение точности измерения ПГС за счет исключения данного вида погрешности.

Метод измерения параметров сигналов с пространственным разделением мгновенных значений. Метод заключается в том, что в момент перехода поступающего с генератора входного сигнала напряжения через ноль одновременно измеряют мгновенное значение дополнительного напряжения, сдвинутого по фазе относительно входного на угол $\Delta\alpha$, и мгновенное значение напряжения, поступающего с выхода усилительного тракта; через интервал времени Δt одновременно измеряют мгновенные значения

Мелентьев Владимир Сергеевич, доктор технических наук, заведующий кафедрой. E-mail: vs_mel@mail.ru
Муратова Вера Владимировна, преподаватель. E-mail: muratova1991@yandex.ru

Иванов Юрий Михайлович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. E-mail: fuego27@rambler.ru

входного, дополнительного и выходного сигналов напряжения. Частоту, амплитудные значения входного и выходного сигналов, а также угол сдвига фаз между ними определяют по измеренным значениям. Временные диаграммы, поясняющие метод, представлены на рис. 1.

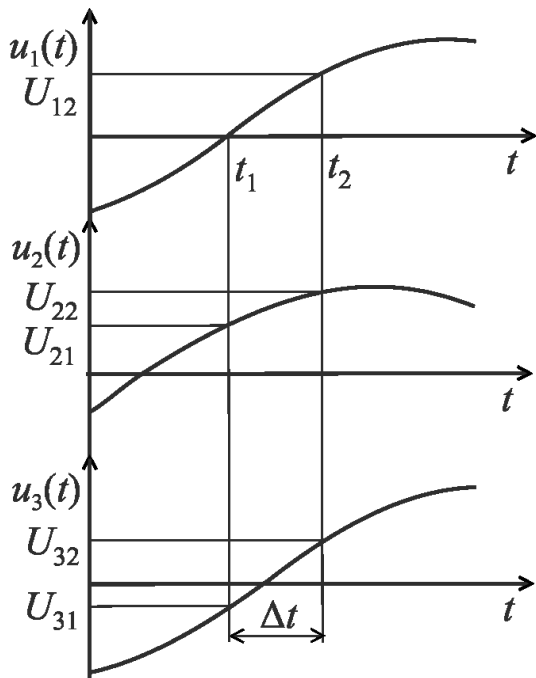


Рис. 1. Временные диаграммы, поясняющие метод

Входной и дополнительный сигналы напряжения и напряжение на выходе РЭА, имеющие гармонические модели, соответствуют следующим выражениям:

$$\begin{aligned} u_1(t) &= U_{m1} \sin \omega t; \\ u_2(t) &= U_{m1} \sin(\omega t + \Delta\alpha); \\ u_3(t) &= U_{m2} \sin(\omega t + \varphi), \end{aligned}$$

где U_{m1}, U_{m2} – амплитудные значения входного и выходного напряжений; ω – угловая частота входного сигнала; φ – угол сдвига фаз между выходным и входным сигналами.

В момент времени t_1 , когда входной сигнал напряжения переходит через ноль, выражения для мгновенных значений примут вид:

$$U_{21} = U_{m1} \sin \Delta\alpha; \quad U_{31} = U_{m3} \sin \varphi.$$

Через образцовый интервал времени Δt (в момент времени t_2) мгновенные значения сигналов будут равны: $U_{12} = U_{m1} \sin \omega \Delta t$; $U_{22} = U_{m1} \sin(\Delta\alpha + \omega \Delta t)$; $U_{32} = U_{m2} \sin(\varphi + \omega \Delta t)$. Используя мгновенные значения сигналов, после преобразований можно получить выражения для определения основных параметров сигналов:

- амплитудные значения входного и выходного напряжений

$$U_{m1} = \frac{2|U_{12}U_{21}U_{22}|}{\sqrt{2[4U_{21}^2U_{22}^2 - (U_{21}^2 - U_{12}^2 + U_{22}^2)^2]}}; \quad (1)$$

$$\begin{aligned} U_{m2} &= \left\{ \frac{2U_{21}U_{22}}{2[4U_{21}^2U_{22}^2 - (U_{21}^2 - U_{12}^2 + U_{22}^2)^2]} \times \right. \\ &\times \left. [2U_{21}U_{22}(U_{31}^2 + U_{32}^2) - U_{31}U_{32}(U_{21}^2 - U_{12}^2 + U_{22}^2)] \right\}^{\frac{1}{2}}; \quad (2) \end{aligned}$$

- частота сигнала

$$f = \frac{1}{2\pi\Delta t} \arccos \left| \frac{U_{21}^2 - U_{12}^2 + U_{22}^2}{2U_{22}U_{21}} \right|; \quad (3)$$

- угол сдвига фаз между выходным и входным сигналами

$$\begin{aligned} \varphi &= \arctg \left\{ \frac{U_{31} \sqrt{4U_{22}^2U_{21}^2 - (U_{21}^2 - U_{12}^2 + U_{22}^2)^2}}{[2U_{32}U_{22}U_{21} - U_{31}(U_{21}^2 - U_{12}^2 + U_{22}^2)]} \right\}. \quad (4) \end{aligned}$$

Схема системы контроля и испытаний РЭА, реализующей данный метод, представлена на рис. 2. В состав системы входят: генератор синусоидального напряжения ГСН, первичные преобразователи напряжения ППН1 и ППН2, нуль-орган НО, фазосдвигающий блок ФСБ, аналого-цифровые преобразователи АЦП1 – АЦП3, контроллер КНТ, шины управления ШУ и данных ШД.

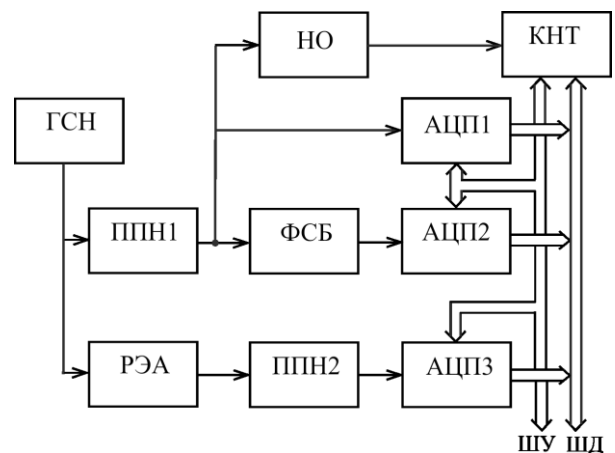


Рис. 2. Схема системы, реализующей метод

Рассматриваемый метод предназначен для определения параметров сигналов с гармоническими моделями. Если усилительный тракт РЭА вносит нелинейные искажения, то при гармоническом входном сигнале неизбежно возникает погрешность, обусловленная наличием высших

гармоник. При этом амплитудное значение входного сигнала и частота в соответствии с выражениями (1) и (3) определяются без погрешности.

Анализ погрешности метода из-за отклонения реального сигнала от гармонической модели. Проведем оценку методической погрешности, обусловленной отклонением реального сигнала от гармонической модели. Для этого может быть использована методика оценки погрешности результата измерения параметра как функции, аргументы которой заданы приближенно с погрешностью, соответствующей отклонению модели от реального сигнала [1]. В случае, когда абсолютные погрешности аргументов соответствуют наибольшему отклонению модели от реального сигнала, предельные значения абсолютных погрешностей определения амплитудного значения выходного напряжения и угла сдвига фаз между выходным и входным сигналами в соответствии с (2) и (4) примут вид:

$$\Delta U_{m2} = \left(\left| \frac{\partial U_m}{\partial U_{31}} \right| + \left| \frac{\partial U_m}{\partial U_{32}} \right| \right) \Delta U_m ; \quad (5)$$

$$\Delta \varphi = \left(\left| \frac{\partial \varphi}{\partial U_{31}} \right| + \left| \frac{\partial \varphi}{\partial U_{32}} \right| \right) \Delta U_m , \quad (6)$$

где $\Delta U_{\max} = U_{m2} \sum_{k=2}^{\infty} h_k$ - предельная абсолютная погрешность аргумента, соответствующая наибольшему отклонению гармонической модели от реального выходного сигнала РЭА; $h_k = U_{km}/U_{m2}$ - коэффициент k -той гармоники напряжения.

Используя предельные значения абсолютных погрешностей (5) и (6) и выражения (2) и (4), можно определить относительную погрешность определения амплитудного значения напряжения и приведенную погрешность измерения угла сдвига фаз:

$$\delta_U = \frac{\sum_{k=2}^{\infty} h_k [\cos \varphi + |\cos(\varphi - \omega \Delta t)|]}{\sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_k^2 |\sin \omega \Delta t|}} ; \quad (7)$$

$$\gamma_{\varphi} = \frac{\sum_{k=2}^{\infty} h_k |\sin 2\varphi| [\sin \varphi + |\sin(\varphi + \omega \Delta t)|]}{\sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_k^2 |\sin \omega \Delta t|}} . \quad (8)$$

Анализ выражений (7) и (8) показывает, что погрешности измерения данных параметров зависят от спектра сигнала, угла сдвига фаз φ и

интервала времени Δt . На рис. 3 и 4 представлены графики зависимости относительной погрешности измерения амплитудного значения выходного напряжения и приведенной к 90° погрешности определения угла сдвига фаз от $\omega \Delta t$ и φ при наличии в сигнале напряжения 1-ой и 3-ей гармоник с коэффициентом $h_3=1\%$. Анализ рис. 3 и 4 показывает, что при увеличении интервала времени Δt погрешности измерения амплитуды и угла сдвига фаз снижаются, однако это приводит к возрастанию общего времени измерения.

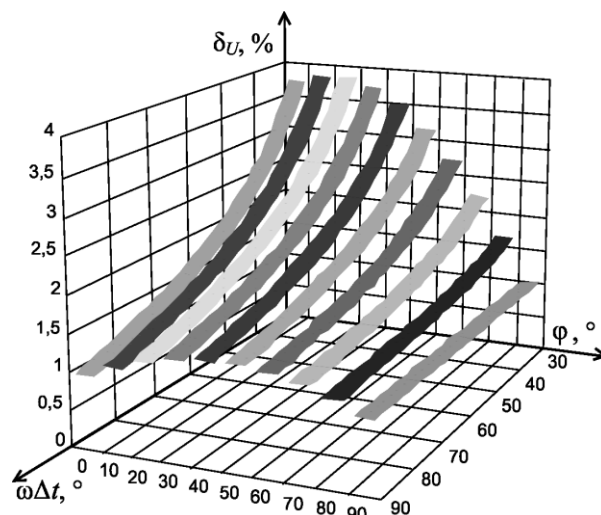


Рис. 3. Графики зависимости погрешности δ_U от $\omega \Delta t$ и φ при $h_3=1\%$

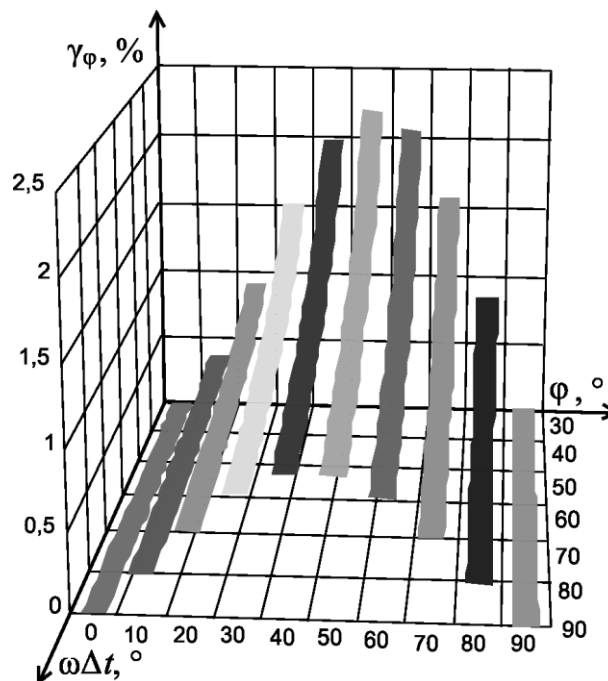


Рис. 4. Графики зависимости погрешности γ_{φ} от $\omega \Delta t$ и φ при $h_3=1\%$

Выводы: разработанный метод измерения параметров гармонических сигналов использует формирование только дополнительного сигнала

напряжения, сдвинутого на произвольный угол относительно входного. Это позволяет исключить частотную погрешность ФСБ и погрешность из-за отличия углов сдвига фаз в измерительных каналах контроля. Проведенный анализ показывает, что наличие в сигналах высших гармоник приводит к существенному увеличению погрешности измерения ПГС. Полученные результаты позволяют подбирать оптимальные параметры измерительного процесса, исходя из требований по точности и времени измерения.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 13-08-00173-а)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мелентьев, В.С. Аппроксимационные методы и системы измерения и контроля параметров периодических сигналов / В.С. Мелентьев, В.И. Батищев. – М.: Физматлит, 2011. 240 с.
2. Мелентьев, В.С. Методы измерения интегральных характеристик на основе формирования дополнительных сигналов / В.С. Мелентьев, Ю.М. Иванов, А.Е. Симицын // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Технические науки. 2013. № 2 (38). С. 56-63.
3. Мелентьев, В.С. Синтез методов и систем измерения интегральных характеристик с использованием ортогональных составляющих гармонических сигналов / В.С. Мелентьев, А.О. Лычев, А.А. Миронов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XIV междунар. конф. – Самара: Самар. науч. центр РАН, 2012. С. 625-633.
4. Мелентьев, В.С. Анализ влияния погрешностей формирования дополнительных сигналов на погрешность измерения интегральных характеристик гармонических сигналов / В.С. Мелентьев, Ю.М. Иванов, А.Е. Симицын, В.В. Муратова // Информационные технологии в науке и производстве: Матер. Всерос. науч.-техн. конф. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. С. 86-90.

METHOD OF MEASUREMENT THE PARAMETERS OF SIGNALS FOR MONITORING AND TESTING SYSTEMS FOR RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT

© 2013 V.S. Melentyev, V.V. Muratova, Yu.M. Ivanov

Samara State Technical University

In article the new method, allowing to determine parameters of periodic signals in course of control the amplifier tracts of radio-electronic equipment and providing considerable reduction of measurement time is considered. Results of the analysis of measurement error of parameters because of deviation of a real signal from harmonious model are given.

Key words: *control method, amplifier tract, periodic process, harmonious model, highest harmonicas*

Vladimir Melentyev, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department. E-mail: vs_mel@mail.ru

Vera Muratova, Teacher. E-mail: muratova1991@yandex.ru

Yuriy Ivanov, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow. E-mail: fuego27@rambler.ru