

УДК 621.317

МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА

© 2015 В.С. Мелентьев, В.В. Муратова, Ю.М. Иванов

Самарский государственный технический университет

Поступила в редакцию 20.03.2015

В статье рассматривается новый метод, позволяющий определять параметры периодических сигналов в процессе контроля усилительных трактов радиоэлектронной аппаратуры и обеспечивающий значительное сокращение времени и увеличение точности измерения. Приводятся результаты анализа погрешности измерения параметров из-за отклонения реального сигнала от гармонической модели. Полученные результаты позволяют оптимально выбирать блоки измерительной системы, реализующей метод.

Ключевые слова: *контроль, усилительный тракт, периодический процесс, гармоническая модель, фазосдвигающий блок, погрешность*

Постоянно растущие требования к современной радиоэлектронной аппаратуре (РЭА) и ее усложнение требуют совершенствования средств автоматического определения состояния РЭА в процессе производства на основе автоматизированных систем контроля параметров, обеспечивающих получение и обработку информации, устанавливающей соответствие состояния объекта предъявляемым требованиям, и принятие решения или выдачу управляющих воздействий [1]. Одной из важных задач контроля действительного состояния РЭА является оценка качества усилительных трактов, во многом определяющих метрологические характеристики аппаратуры в целом. В настоящее время для этого широко используется метод контроля, основанный на одновременном определении параметров сигналов на входе и выходе тракта и их сравнении с помощью двухканальных измерительных систем [2]. Для этого на один из входов измерительной системы и на контролируемый усилительный тракт РЭА обычно подают гармонический сигнал с генератора переменного тока, а на другой вход системы – сигнал с выхода РЭА. При этом одновременно определяют частоту сигнала, амплитудные значения входного и выходного напряжений, а также угол сдвига фаз между ними. Для измерения пара

периодических сигналов может быть успешно использован подход, основанный на их определении по отдельным мгновенным значениям сигналов, не связанным с их периодом, с последующей оценкой погрешности, обусловленной отклонением реального сигнала от гармонической модели [3]. Это позволяет значительно сократить время измерения.

При определении параметров гармонических сигналов (ПГС) дальнейшее сокращение времени измерения достигается за счет формирования дополнительных сигналов, сдвинутых по фазе относительно входных, и определении ПГС по мгновенным значениям как входных, так и дополнительных сигналов [4]. Однако при реализации такого подхода к определению ПГС возникает дополнительная погрешность по напряжению, обусловленная отличием амплитуд входного и дополнительного сигналов (погрешность по модулю) фазосдвигающих блоков (ФБ), формирующих дополнительные сигналы [5]. В [1] был предложен метод измерения ПГС, исключающий данный вид погрешности за счет коррекции мгновенных значений дополнительных сигналов, однако это приводит к увеличению времени измерения и усложняет алгоритм определения ПГС.

Цель работы: создание нового метода определения параметров периодических сигналов, реализация которого не требует введения дополнительной коррекции, поскольку предусматривает использование только мгновенных значений входных сигналов.

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

Метод измерения параметров сигналов, основанный на формировании дополнительных сигналов. Метод заключается в том, что на вход системы и на контролируемый усилительный тракт РЭА подают гармонический сигнал и формируют два дополнительных сигнала, первый из которых сдвинут относительно входного по фазе на угол $\Delta\alpha$, а второй – на $2\Delta\alpha$ соответственно в сторону опережения. В момент перехода второго дополнительного сигнала напряжения через ноль измеряют первые мгновенные значения входного напряжения и напряжения, поступающего с выхода усилительного тракта. В момент перехода первого дополнительного сигнала через ноль измеряют вторые мгновенные значения данных напряжений. Через интервал времени Δt одновременно измеряют мгновенные значения входного и выходного напряжений. Амплитудные значения входного и выходного напряжений усилительного тракта, а также угол сдвига фаз между ними и частоту сигнала определяют по измеренным значениям. Временные диаграммы, поясняющие метод, представлены на рис. 1.

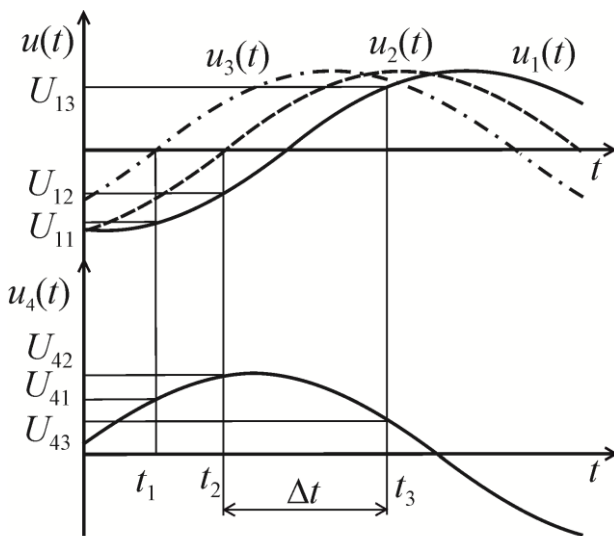


Рис. 1. Временные диаграммы, поясняющие метод

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

$$\begin{aligned} u_1(t) &= U_{m1} \sin \omega t; \\ u_2(t) &= U_{m2} \sin(\omega t + \Delta\alpha); \\ u_3(t) &= U_{m3} \sin(\omega t + 2\Delta\alpha); \\ u_4(t) &= U_{m4} \sin(\omega t + \varphi), \end{aligned}$$

где U_{m1} , U_{m2} , U_{m3} , U_{m4} – амплитудные значения входного и дополнительных сигналов и выходного напряжения усилительного тракта; ω – угловая частота входного сигнала; φ – угол сдвига фаз между выходным и входными сигналами усилительного тракта.

В момент времени t_1 , когда второй дополнительный сигнал напряжения переходит через ноль, мгновенные значения сигналов на входе и выходе РЭА примут вид:

$$\begin{aligned} U_{11} &= U_{m1} \sin(-2\Delta\alpha); \\ U_{41} &= U_{m4} \sin(\varphi - 2\Delta\alpha). \end{aligned}$$

В момент времени t_2 , когда первый дополнительный сигнал напряжения переходит через ноль, мгновенные значения сигналов будут равны:

$$\begin{aligned} U_{12} &= U_{m1} \sin(-\Delta\alpha); \\ U_{42} &= U_{m4} \sin(\varphi - \Delta\alpha). \end{aligned}$$

Через образцовый интервал времени Δt (в момент времени t_3) мгновенные значения сигналов будут соответствовать:

$$\begin{aligned} U_{13} &= U_{m1} \sin(\omega\Delta t - \Delta\alpha); \\ U_{43} &= U_{m3} \sin(\varphi + \omega\Delta t - \Delta\alpha). \end{aligned}$$

Используя мгновенные значения сигналов после преобразований можно получить выражения для определения информативных параметров в случае, если $\Delta\alpha < 90^\circ$:

- амплитудные значения сигналов на входе и выходе усилительного тракта РЭА

$$U_{m1} = \frac{2U_{12}^2}{\sqrt{4U_{12}^2 - U_{11}^2}}; \quad (1)$$

$$U_{m4} = 2 \left[\frac{U_{12}}{4U_{12}^2 - U_{11}^2} \times \left(U_{12}U_{42}^2 + U_{12}U_{41}^2 - U_{11}U_{41}U_{42} \right) \right]^{1/2}; \quad (2)$$

- частота сигнала

$$f = \frac{1}{2\pi\Delta t} \arccos \left\{ \frac{1}{U_{12}U_{41} - U_{11}U_{42}} \times \frac{U_{13}(2U_{12}U_{41} - U_{11}U_{42}) - U_{11}U_{12}U_{43}}{2U_{12}} \right\}; \quad (3)$$

- угол сдвига фаз между выходным и входными сигналами

$$\phi = \arcsin \left\{ \frac{U_{11}U_{42} - U_{12}U_{41}}{2U_{12}\sqrt{U_{12}}} \times \left[\frac{4U_{12}^2 - U_{11}^2}{(U_{12}U_{42}^2 + U_{12}U_{41}^2 - U_{11}U_{41}U_{42})} \right]^{1/2} \right\}. \quad (4)$$

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-органы НО1 и НО2, фазосдвигающие блоки ФБ1 и ФБ2, аналого-цифровые преобразователи АЦП1 и АЦП2, контроллер КНТ, шины управления ШУ и данных ШД.

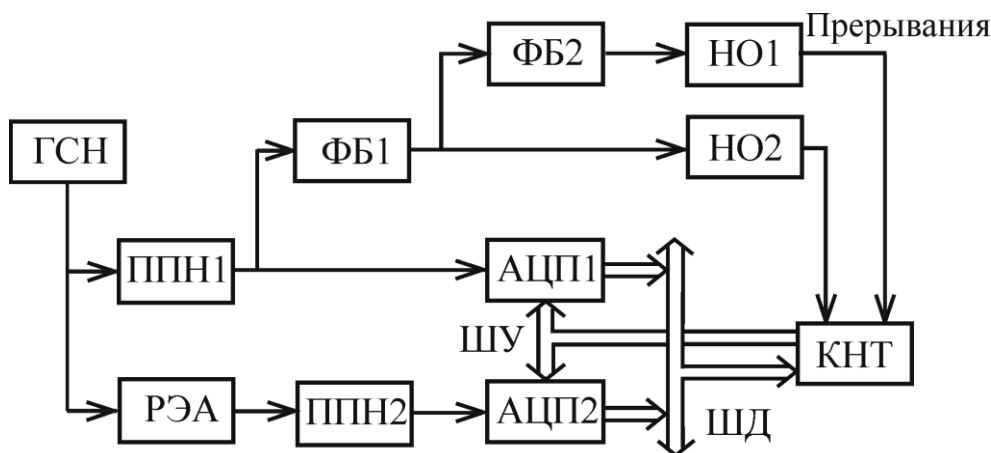


Рис. 2. Схема системы, реализующей метод

Рассматриваемый метод предназначен для определения параметров гармонических сигналов. Если усилительный тракт РЭА вносит нелинейные искажения, то при гармоническом входном сигнале неизбежно возникает погрешность, обусловленная наличием высших гармоник. При этом амплитудное значение и частота входного сигнала в соответствии с выражениями (1) и (3) определяются без методической погрешности.

Анализ погрешности метода из-за отклонения реального сигнала от гармонической модели. Проведем оценку погрешности, обусловленной отклонением реального сигнала от гармонической модели, используя методику оценки погрешности результата измерения параметра как функции, аргументы которой заданы приближенно с погрешностью, соответствующей отклонению реального сигнала от модели [3]. Если абсолютные погрешности аргументов соответствуют наибольшему отклонению модели от реального сигнала, то предельные значения абсолютных погрешностей определения амплитудного значения выходного напряжения угла сдвига фазы между сигналами на входе и выходе РЭА в соответствии с (2) и (4) примут вид:

$$\Delta U_m = \left(\left| \frac{\partial U_{m4}}{\partial U_{41}} \right| + \left| \frac{\partial U_{m4}}{\partial U_{42}} \right| \right) \Delta U_{\max}; \quad (5)$$

$$\Delta\varphi = \left(\left| \frac{\partial\varphi}{\partial U_{41}} \right| + \left| \frac{\partial\varphi}{\partial U_{42}} \right| \right) \Delta U_{\max}, \quad (6)$$

где $\Delta U_{\max} = U_{m4} \sum_{k=2}^{\infty} h_k$ - предельная абсолютная погрешность аргумента, соответствующая наибольшему отклонению реального выходного сигнала РЭА от гармонической модели;

$$h_k = \frac{U_{km}}{U_{m4}}$$

- коэффициент k -той гармоники выходного 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:

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

$$\gamma_\varphi = \frac{\sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}}{2\pi |\sin \Delta\alpha \cos \varphi|} [\cos \varphi \sin(\varphi - \Delta\alpha) + |\sin 2\Delta\alpha + \cos(\varphi - 2\Delta\alpha)|]. \quad (8)$$

Анализ выражений (7) и (8) показывает, что погрешности измерения данных параметров зависят от спектра сигнала, угла сдвига фаз φ и угла сдвига фазы ФБ $\Delta\alpha$. На рис. 3 и 4 представлены графики зависимости относительной погрешности измерения амплитудного значения выходного напряжения и приведенной к 360° погрешности определения угла сдвига фаз от $\Delta\alpha$ и φ при наличии в сигнале напряжения 1-ой и 3-ей гармоники с коэффициентом $h_3=0,1\%$.

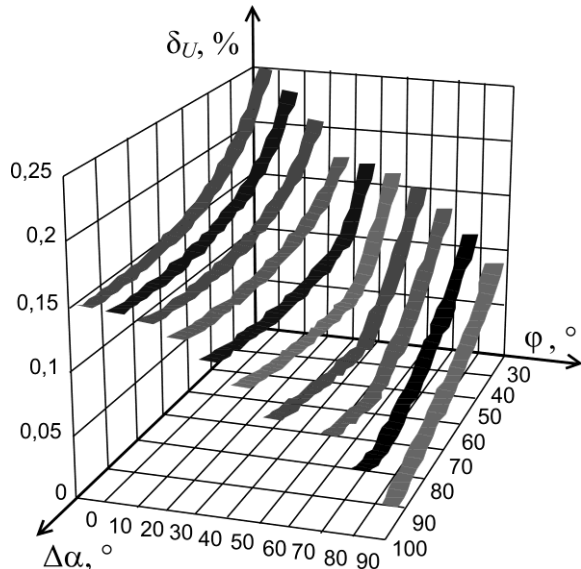


Рис. 3. Графики зависимости погрешности δ_U от $\Delta\alpha$ и φ

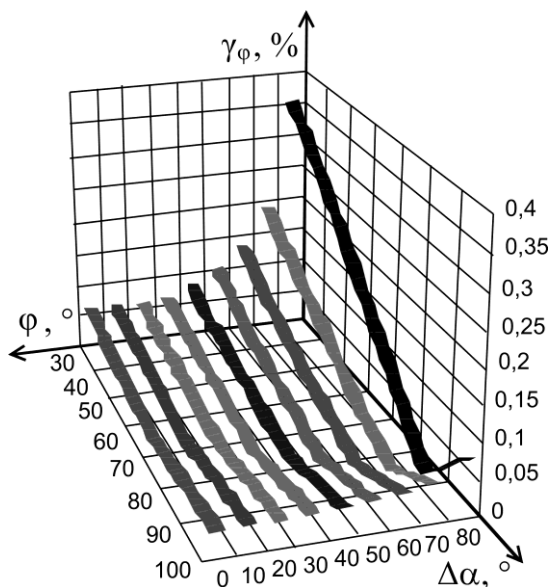


Рис. 4. Графики зависимости погрешности γ_φ от $\Delta\alpha$ и φ

Анализ рис. 3 и 4 показывает, что при увеличении угла сдвига ФБ $\Delta\alpha$ погрешности измерения амплитуды и угла сдвига фазы снижаются

и достигают минимальных значений при $\Delta\alpha=90^\circ$, однако это приводит к возрастанию общего времени измерения. При дальнейшем увеличении угла сдвига $\Delta\alpha$ погрешности снова возрастают.

Выводы: разработанный метод измерения параметров гармонических сигналов использует формирование только дополнительных сигналов напряжения, сдвинутых на произвольные, в общем случае, углы $\Delta\alpha$ и $2\Delta\alpha$ относительно входного. Это позволяет исключить частотную погрешность фазосдвигающих блоков. Кроме того, за счет использования мгновенных значений только входного сигнала исключается погрешность по напряжению (погрешность по модулю) ФБ. Проведенный анализ показывает, что наличие в сигналах высших гармоник приводит к существенному увеличению погрешности измерения ПГС. Полученные результаты позволяют подбирать оптимальные блоки системы, реализующей метод, исходя из требований по точности и времени измерения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части государственного задания ФГБОУ ВПО «СамГТУ» (код проекта: 1392).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мелентьев, В.С. Совершенствование методов контроля параметров радиоэлектронной аппаратуры / В.С. Мелентьев, В.В. Муратова, Ю.М. Иванов // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Том 16, №4(3). С. 590-593.
2. Мелентьев, В.С. Метод измерения параметров сигналов для систем контроля и испытаний радиоэлектронной аппаратуры / В.С. Мелентьев, В.В. Муратова, Ю.М. Иванов // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Том 15, № 6(2). С. 417-420.
3. Мелентьев, В.С. Аппроксимационные методы и системы измерения и контроля параметров периодических сигналов / В.С. Мелентьев, В.И. Батищев. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. 240 с.
4. Мелентьев, В.С. Методы измерения интегральных характеристик на основе формирования дополнительных сигналов / В.С. Мелентьев, Ю.М. Иванов, А.Е. Сеницын // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Технические науки. 2013. № 2 (38). С. 56-63.
5. Мелентьев, В.С. Оценка влияния погрешности, обусловленной формированием дополнительных сигналов, на результат измерения параметров гармонических сигналов / В.С. Мелентьев, В.И. Батищев, В.В. Муратова // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации: сб. науч. ст. Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза: ПГУ, 2014. С. 12-15.

THE METHOD OF AUTOMATIC CONTROL THE PARAMETERS OF RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT IN THE PRODUCTION PROCESS

© 2015 V.S. Melentyev, V.V. Muratova, Yu.M. Ivanov

Samara State Technical University

In article the new method allowing to determine the parameters of periodic signals in the control process of amplification paths of radio-electronic equipment and providing considerable reduction of time and increase in accuracy of measurement is considered. Results of the analysis of parameters measurement error because of deviation the real signal from harmonious model are given. The received results allow to choose the optimum units of measuring system, realizing the method.

Key words: *control, amplification path, periodic process, harmonious model, phase-shifting unit, error*

*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*