

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **23827**

(13) **С1**

(46) **2022.10.30**

(51) МПК

H 04B 3/46 (2015.01)

(54) **СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКА**

(21) Номер заявки: а 20200090

(22) 2020.03.17

(43) 2021.10.30

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Зеленко Валентина Владимировна; Суходолов Юрий Викторович; Исаев Александр Витальевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) RU 2012140 С1, 1994.

SU 1800625 А1, 1993.

RU 2054684 С1, 1996.

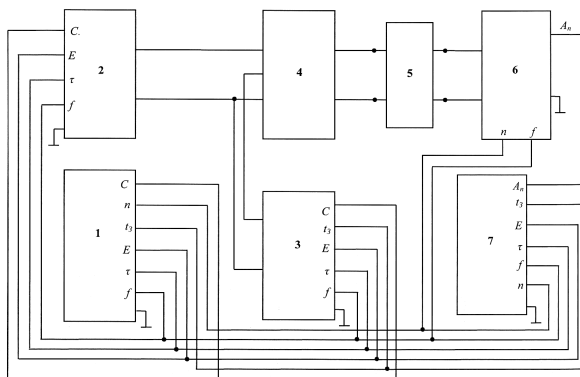
UA 65174 А, 2004.

СЫТЬКО И.И. Измерение АЧХ РТУ, обеспечивающих минимальную динамическую погрешность. Компоненты и технологии, 2012, № 9, с. 166-168.

CN 103929143 А, 2014.

(57)

Способ формирования амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) четырехполосника, при котором на вход четырехполосника подают входной сигнал в виде периодической последовательности двух прямоугольных разнополярных импульсов с управляемыми частотой следования импульсов, длительностью импульсов и временем задержки прямоугольного импульса отрицательной полярности относительно прямоугольного импульса положительной полярности, причем длительность импульсов устанавливают таким образом, чтобы определяемая ею нулевая составляющая амплитудного спектра следовала за n -й составляющей упомянутого амплитудного спектра, а время задержки устанавливают так, чтобы определяемая им нулевая составляющая упомянутого амплитудного спектра следовала перед упомянутой n -й составляющей, затем на выходе четырехполосника выделяют упомянутую n -ю составляющую и измеряют ее амплитуду A_n , после чего вычисляют значение амплитуды n -й составляющей АЧХ из уравнения:



ВУ 23827 С1 2022.10.30

$$A_n(f) = \frac{A_n \cdot \pi f_n}{4E_u f \left| \sin \frac{\pi}{1 + \frac{1}{n}} \right| \cdot \left| \sin \frac{\pi}{1 - \frac{1}{n}} \right|},$$

где E_u - амплитуда импульсов;

f - частота следования импульсов;

f_n - частота упомянутой n -й составляющей амплитудного спектра;

n - порядковый номер составляющей амплитудного спектра, равный 3, 5, 7...;

далее изменяют частоту следования импульсов, длительность импульсов и время задержки прямоугольного импульса отрицательной полярности относительно прямоугольного импульса положительной полярности, осуществляют аналогичные операции и по полученным значениям амплитуд составляющих АЧХ формируют АЧХ четырехполюсника.

Изобретение относится к радиоэлектронике и может быть использовано для формирования амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) таких объектов контроля, как четырехполюсники, электронные схемы устройств, обмотки электрических машин, электромагнитные устройства различного назначения, измерительные каналы, каналы связи, кабельные линии, преобразователи.

Известен способ определения частотных характеристик [1], заключающийся в подаче на его вход сигнала с изменяющейся частотой и получении АЧХ в виде огибающей выходного сигнала четырехполюсника.

Этот способ обладает низкой точностью и производительностью, так как даже при медленном изменении частоты входного сигнала возникающие динамические погрешности выходного сигнала, зависящие от закона изменения частоты, искажают результат измерения.

Наиболее близким техническим решением, выбранным в качестве прототипа, является способ получения АЧХ четырехполюсников и каналов связи [2], основанный на подаче сигнала с изменяемыми параметрами и последовательном спектральном анализе выходного сигнала. Изменяемым параметром является частота сигнала.

Вышеприведенному способу присущи следующие недостатки:

низкая точность, обусловленная влиянием на результат измерения анализатором спектра соседних, близко расположенных спектральных составляющих;

высокая динамическая погрешность, обусловленная тем, что чем больше скорость изменения частоты, тем более отличается полученная АЧХ от статической.

Задачей предлагаемого способа является увеличение точности формирования АЧХ.

Поставленная задача достигается тем, что в качестве входного сигнала используют периодическую последовательность двух прямоугольных разнополярных импульсов с управляемой частотой следования импульсов, длительностью импульсов и временем задержки прямоугольного импульса отрицательной полярности относительно прямоугольного импульса положительной полярности, причем длительность импульсов устанавливают таким образом, чтобы определяемая ею нулевая составляющая амплитудного спектра следовала за n -й составляющей амплитудного спектра, а время задержки устанавливают так, чтобы определяемая им нулевая составляющая амплитудного спектра следовала перед выделяемой n -й составляющей, затем на выходе четырехполюсника выделяют n -ю составляющую и измеряют ее амплитуду A_n , после чего вычисляют значение амплитуды n -й составляющей АЧХ из уравнения:

$$A_n(f) = \frac{A_n \cdot \pi f_n}{4E_u f \left| \sin \frac{\pi}{1 + \frac{1}{n}} \right| \left| \sin \frac{\pi}{1 - \frac{1}{n}} \right|}, \quad (1)$$

где E_u - амплитуда импульсов;

f - частота следования импульсов;

f_n - частота упомянутой n -й составляющей амплитудного спектра;

n - порядковый номер составляющей амплитудного спектра, равный 3, 5, 7...;

далее изменяют частоту следования импульсов, длительность импульсов и время задержки прямоугольного импульса отрицательной полярности относительно прямоугольного импульса положительной полярности, осуществляют аналогичные операции и по полученным значениям амплитуд составляющих АЧХ формируют АЧХ четырехполосника.

На фигуре показана блок-схема устройства, реализующего предлагаемый способ, которая содержит: блок управления и синхронизации 1, генератор прямоугольных импульсов положительной полярности 2, генератор прямоугольных импульсов отрицательной полярности 3, смеситель 4, четырехполосник 5, анализатор спектра 6, вычислительное устройство 7.

Суть предлагаемого изобретения заключается в следующем.

На вход четырехполосника подают сигнал, представляющий собой периодическую последовательность двух прямоугольных разнополярных импульсов с равной длительностью τ и временем t_3 задержки между ними. Амплитуду спектральных составляющих этого входного сигнала определяют по выражению:

$$A_{вн} = \frac{4E_u \times f}{\pi \times f_n} \left| \sin n f \tau \right| \times \left| \sin n f \tau_3 \right|, \quad (2)$$

где f_n - частота n -й спектральной составляющей.

Устанавливают длительность τ прямоугольных разнополярных импульсов таким образом, чтобы определяемый ей ноль амплитудного спектра n_τ соответствовал следующей за выделяемой анализатором спектра спектральной составляющей n :

$$n_\tau = n + 1 = N_\tau \frac{T}{\tau}, \quad (3)$$

где $f_{n\tau}$ - частота спектральной составляющей, соответствующая нулю огибающей амплитудного спектра, зависящего от длительности τ разнополярных импульсов;

$N_\tau = 1, 2, 3 \dots$ - номер нуля огибающей амплитудного спектра, определяемый длительностью разнополярных импульсов;

T - период последовательности прямоугольных разнополярных импульсов.

Время t_3 задержки между прямоугольными разнополярными импульсами устанавливают так, чтобы определяемый им ноль амплитудного спектра n_t соответствовал предыдущей относительно выделяемой анализатором спектра спектральной составляющей n :

$$n_t = n - 1 = N_t \frac{T}{t_3}, \quad (4)$$

где f_{nt} - частота спектральной составляющей, соответствующая нулю огибающей амплитудного спектра, зависящего от времени задержки t_3 между разнополярными импульсами;

$N_t = 1, 2, 3 \dots$ - номер нуля огибающей амплитудного спектра, определяемый временем задержки t_3 .

По выражениям (3 и 4) для $N_\tau = 1$ и $N_t = 1$ получим:

$$\tau = \frac{T}{n + 1}, \quad (5)$$

$$t_3 = \frac{T}{n-1}. \quad (6)$$

Тогда амплитуда входного сигнала будет определяться:

$$A_{вн} = \frac{4E_u \cdot f}{\pi \cdot f_n} \left| \sin n \frac{\pi}{1 + 1/n} \right| \cdot \left| \sin n \frac{\pi}{1 - 1/n} \right|. \quad (7)$$

Таким образом, во входном сигнале, а значит и в выходном, подавляются соседние с выделяемой составляющие, что снижает погрешность, вызванную захватом соседних спектральных составляющих.

Так как $A_n(f) = \frac{A_n}{A_{вн}}$, значения $A_n(f)$ АЧХ будут находиться по уравнению измерительного преобразования (1) после определения соответствующей по частоте f_n величины амплитуды A_n спектральной составляющей выходного сигнала с номером $n = \frac{f_n}{f}$.

Предлагаемый способ может быть реализован с помощью устройства, блок-схема которого представлена на фигуре.

Измерения согласно способу выполняют в следующей последовательности.

Блоком управления и синхронизации 1 задают равные значения амплитуд импульсов E , частоты следования импульсов f , длительности τ импульсов генератора прямоугольных импульсов положительной полярности 2 и генератора прямоугольных импульсов отрицательной полярности 3 по входам управления E , f и τ и синхронизируют их по входам синхронизации C . Задают с блока управления и синхронизации 1 время t_3 задержки импульсной последовательности прямоугольных импульсов отрицательной полярности генератора 3 по его входу управления t_3 относительно импульсной последовательности прямоугольных импульсов положительной полярности генератора 2. Значения установленных амплитуды E , частоты следования импульсов f , времени длительности τ и времени задержки t_3 импульсных последовательностей прямоугольных импульсов с выхода блока управления и синхронизации 1 подают на вход вычислительного устройства 7. Импульсные последовательности прямоугольных импульсов с выходов генератора прямоугольных импульсов положительной полярности 2 и генератора прямоугольных импульсов отрицательной полярности 3 подают на входы смесителя 4, на выходе которого получают суммарный сигнал - периодическую последовательность прямоугольных импульсов с временем задержки между разнополярными импульсами, равным t_3 . Сформированную импульсную последовательность разнополярных прямоугольных импульсов подают на вход контролируемого четырехполосника 5, с выхода которого сигнал подают на вход анализатора спектра 6. Анализатором спектра 6 выделяют составляющие, каждая из которых имеет номер в спектре n и зависящую от него частоту $f_n = nf$, и определяют амплитуды A_n этих спектральных составляющих следующим образом.

Значение номера n каждой выделяемой составляющей подают с выхода блока управления и синхронизации 1 на вход вычислительного устройства 7 и на вход управления анализатора спектра 6. Блоком управления и синхронизации 1 в соответствии со значением номера n выделяемой гармоники задают длительность τ импульсов для генератора прямоугольных импульсов положительной полярности 2 и генератора прямоугольных импульсов отрицательной полярности 3 и время t_3 задержки для генератора прямоугольных импульсов отрицательной полярности 3. Значения устанавливаемых длительностей τ импульсов и времени задержки t_3 определяют в соответствии с выражениями:

$$\tau = \frac{1}{f(n+1)}, \quad (8)$$

$$t_3 = \frac{1}{f(n-1)}. \quad (9)$$

После установки значений длительности импульсов τ для генераторов прямоугольных импульсов положительной полярности 2 и прямоугольных отрицательных импульсов 3 и времени t_3 задержки для генератора прямоугольных импульсов отрицательной полярности 3 с помощью анализатора спектра 6, на управляющий вход которого подают значение частоты следования импульсов f и номер выделяемой n -спектральной составляющей, измеряют A_n , значение которой подают на вход вычислительного устройства 7. С выхода блока управления и синхронизации 1 на вход вычислительного устройства 7 подают значения амплитуд импульсов E , частоту следования f , значение длительности импульсов τ , время задержки импульсов t_3 и номер выделяемой гармоники n . Измеряют амплитуды A_n необходимого количества спектральных составляющих с частотой f_n и номерами n при частоте следования f и определяют АЧХ в вычислительном устройстве 7 по уравнению измерительного преобразования.

Сравнение точности предлагаемого способа и прототипа произведено следующим образом.

Для проведения сравнения в качестве четырехполюсника были использованы фазные обмотки статора асинхронного двигателя 4А100S4У3; в качестве источника входного сигнала - генератор сигналов специальной формы AFG-73081; в качестве измерительных приборов - измеритель амплитуд спектра выходного сигнала - анализатор спектра СК4-58 и цифровой осциллограф GDS-72104А, сопряженный с ПЭВМ.

На начало двух фаз обмотки статора асинхронного двигателя 4А100S4У3 подавался сигнал с генератора сигналов специальной формы AFG-73081. С концов двух фаз обмотки статора асинхронного двигателя 4А100S4У3 сигнал подавался на вход анализатора спектра СК4-58, с выхода которого сигнал подавался на вход цифрового осциллографа GDS-72104А, сопряженного с ПЭВМ. Коэффициент гармоник K_Γ определялся согласно выражению:

$$K_\Gamma = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^m A_n^2}}{A_1}, \quad (10)$$

где A_n - амплитуды спектральных составляющих анализируемого сигнала;

A_1 - амплитуда первой спектральной составляющей анализируемого сигнала.

В соответствии с прототипом производились следующие измерения. Генератором сигналов специальной формы AFG-73081 генерировался частотно-модулированный сигнал с линейно изменяющейся частотой согласно прототипу в диапазоне 2-200 кГц с периодом повторения 5 мс и амплитудой 2 В. Выделялись спектральные составляющие анализатором спектра и измерялись их искажения. По результатам измерений получены значения коэффициента гармоник K_Γ , изменяющиеся от 1,6 до 14 % с увеличением номера гармонической составляющей с 3 до 45.

Согласно предлагаемому способу генератором сигналов специальной формы AFG-73081 формировался сигнал, представляющий собой периодическую последовательность двух разнополярных импульсов с периодом повторения 2 мс, длительностью τ и временем задержки t_3 , также выделялись гармоники и измерялись их искажения. По результатам измерений получены значения коэффициента гармоник K_Γ , изменяющиеся от 0,2 до 0,6 % с увеличением номера спектральной составляющей с 3 до 45.

BY 23827 C1 2022.10.30

Сравнение коэффициентов гармоник K_n , полученных с использованием способа формирования АЧХ по прототипу и при использовании предлагаемого способа, показывает, что достигается снижение искажения при выделении спектральных составляющих за счет уменьшения влияния боковых спектральных составляющих, что обеспечивает увеличение точности получения АЧХ.

Источники информации:

1. КУЗНЕЦОВА В.А. Измерения в электронике: Справочник. Москва: Энергоатомиздат, 1987, 512 с.: ил. С. 368-369.
2. RU 2012140, 1994.