



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 054 684** ⁽¹³⁾ **C1**
(51) МПК⁶ **G 01 R 23/16**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 5055759/09, 22.07.1992

(46) Дата публикации: 20.02.1996

(56) Ссылки: Авторское свидетельство СССР N
1506346, кл. G 01P 23/16, 1987.

(71) Заявитель:
Слюсар В.И.

(72) Изобретатель: Слюсар В.И.

(73) Патентообладатель:
Дадочкин Сергей Васильевич

(54) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

(57) Реферат:

Использование: в
информационно-вычислительной технике для
оперативного исследования
амплитудно-частотных характеристик (АЧХ)
различных устройств. Сущность изобретения:
способ измерения АЧХ заключается в том, что
на испытуемый объект воздействуют
одновременно набором колебаний из М
заданных частот, полученные в 2S (2S

больше или равно М) моментах времени
цифровые отсчеты откликов объекта
подвергают операции S-точечного быстрого
преобразования Фурье (БПФ) и затем по
уровням спектральных составляющих
определяют модули выходных сигналов на
каждой из заданных частот, различия в
номиналах которых могут быть меньше
ширины характеристики синтезированного
БПФ-фильтра. 3 з. п. ф-лы, 1 ил.

RU 2 0 5 4 6 8 4 C 1

RU 2 0 5 4 6 8 4 C 1



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 054 684** ⁽¹³⁾ **C1**
 (51) Int. Cl.⁶ **G 01 R 23/16**

RUSSIAN AGENCY
 FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 5055759/09, 22.07.1992
 (46) Date of publication: 20.02.1996

(71) Applicant:
 Sljusar V.I.
 (72) Inventor: Sljusar V.I.
 (73) Proprietor:
 Dadochkin Sergej Vasil'evich

(54) **AMPLITUDE-FREQUENCY RESPONSE MEASUREMENT TECHNIQUE**

(57) Abstract:

FIELD: computer engineering. SUBSTANCE: amplitude-frequency response measurement involves subjecting entity under test to effect of set of oscillations of M preset frequencies, subjecting digital readings of entity responses obtained at 2-S (2-S is higher than or equal to M) time intervals to

fast S-dot Fourier transform, followed by determining output signal modules at each of preset frequencies by level of spectral components; ratings may differ by less than width of synthesized fast Fourier transform filter characteristics. EFFECT: facilitated procedure. 4 cl, 1 dwg

RU 2 0 5 4 6 8 4 C 1

RU 2 0 5 4 6 8 4 C 1

Изобретение относится к информационно-вычислительной технике и может быть использовано для оперативного контроля или экспериментального исследования амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) конструкций, приборов и устройств, в спектрометрии.

Суть всех известных способов измерения АЧХ, (например, по авт.св. N 1288622, 1215046, 1307373 и др.) заключается в том, что на вход испытуемого объекта последовательно подают гармонические сигналы различных частот из заданного набора, фиксируя отклик объекта на каждой из них.

Известные способы позволяют производить замеры АЧХ. Однако они сопровождаются заметными потерями времени на последовательный переход от одной частоты к другой, связанными с необходимостью управления генераторами перестраиваемой частоты, неизбежным к тому же наличием в них переходных процессов, которые вносят дополнительные погрешности. Кроме того, подобного рода тестирование является в ряде случаев вовсе неприемлемым. К числу таковых следует отнести контроль АЧХ устройств, оснащенных автоматической регулировкой усиления (АРУ), наличие которой нивелирует различия в значениях АЧХ на разных частотах при времени перехода от одной частоты к другой, большем постоянной срабатывания АРУ. Поэтому исследование АЧХ таких объектов известными способами без отключения АРУ невозможно. Существующие подходы за счет излишней затяжки во времени процесса измерения приводят к росту погрешностей, особенно для радиоэлектронных узлов, так как их параметры нестационарны во времени. Кроме того, возрастает вероятность случайных воздействий.

Наиболее близким по технической сущности к изобретению является способ измерения АЧХ, заложенный в основу устройства по авт.св. N 1506376, включающий последовательное воздействие на испытуемый объект M колебаниями заданных частот и аналого-цифровое преобразование его отклика на входные воздействия в M последовательных моментах времени.

Способ-прототип характеризуется теми же недостатками, что и аналог.

Сущность изобретения заключается в том, что на испытуемый объект воздействуют одновременно всем набором колебаний из M заданных частот, аналого-цифровое преобразование откликов испытуемого объекта выполняют с периодом дискретизации, кратным нечетному числу четвертей периода центрального для подаваемого пакета частот колебания, полученные в 2S. (2 · S ≥ M) последовательных моментах времени 2 · S откликов объекта на суммарное входное воздействие далее подвергают операции S-точечного БПФ (быстрое преобразование Фурье), сформировав предварительно из исходных 2 · S отсчетов сигнала S комплексных напряжений путем разделения последовательности цифровых отсчетов на четные и нечетные по номеру следования выборки с последующим использованием их в качестве квадратур, и затем по уровням спектральных составляющих определяют

модули выходных сигналов испытуемого объекта на каждой из заданных частот в соответствии с выражением

$$\hat{a}_m^c = \sqrt{\hat{a}_m^c{}^2 + \hat{a}_m^s{}^2}$$

где $\hat{a}_m^c(s) = \frac{\det c(s)}{S \cdot \det m}$ m 1,2,M; (1)

$$\det \begin{vmatrix} S & f_{12} & f_{13} & \dots & f_{1m} \\ f_{12} & S & f_{23} & \dots & f_{2m} \\ f_{13} & f_{23} & S & \dots & f_{3m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{1m} & f_{2m} & f_{3m} & \dots & S \end{vmatrix}$$

где $\det_m^{c(s)}$ частный определитель, полученный из det заменой соответствующего столбца вектором свободных членов [B^{c(s)}]

$$[B^c(s)] \begin{bmatrix} S-1 U_j^{c(s)} \cdot f_j(W_1) \\ \sum_{j=0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S-1 U_j^{c(s)} \cdot f_j(W_2) \\ \sum_{j=0} \end{bmatrix}$$

$$\sum_{j=0}^{S-1} U_j^{c(s)} \cdot f_j(W_m) \cdot T$$

где U^j(s) квадратурные составляющие комплексного значения отклика j-го БПФ-фильтра;

$$f_{jk} = \frac{\sin S \cdot (\omega_j - \omega_k)}{\sin (\omega_j - \omega_k)}, f_j(\omega_m)$$

$$\times \left[\sin \cdot \left(j \cdot \frac{\pi}{S} - \omega_m \right) \right]^{-1} \left[\sin S \cdot \left(j \cdot \frac{\pi}{S} - \omega_m \right) \right] \times$$

значения характеристик, синтезированных в результате БПФ частотных фильтров;

ω_j, ω_k, ω_m частоты из множества заданных, выраженные в долях ширины характеристики БПФ-фильтра.

Существенное отличие заявляемого способа заключается в том, что частоты входных воздействий в суммарном пакете могут быть разнесены на расстояние по частоте, меньшее релейского предела разрешения (ширины синтезированного БПФ-фильтра). Другими словами предлагаемый способ работоспособен в ситуациях, соответствующих сверхрелейскому разрешению сигналов по частоте.

Что касается точности измерения АЧХ, то в рамках заявляемого способа она определяется отношением сигнал/шум, а также разномом частот входных воздействий.

Для упрощения операций способа параметры БПФ (общее число точек и интервал между отсчетами во времени) можно выбрать такими, чтобы в итоге все или часть из заданных частот были "резонансными" для синтезируемых посредством БПФ частотных фильтров. Применительно к таким резонансным частотам амплитуды определяют нормировкой уровней соответствующих спектральных составляющих к количеству

точек БПФ. Что касается анализа остальных частот, не совпавших с максимумами частотных характеристик синтезированных БПФ-фильтров, то он должен проводиться в рамках рассмотренной выше процедуры.

При отсутствии возможности перекрыть набором из M гармоник весь интересующий диапазон частот АЧХ исследуемого объекта, все их множество разбивают на несколько поддиапазонов, в пределах каждого из которых последовательно осуществляют операции согласно выражению (1).

Для исключения влияния нестабильностей амплитуд входных воздействий на достоверность измерений, а также учета возможных различий в уровнях сигналов разных генераторов целесообразно сопровождать обработку откликов тестируемого блока измерением модулей амплитуд тест-воздействий по эталонному каналу приема, не обладающему частотной избирательностью. В качестве такового можно использовать обычный аналого-цифровой преобразователь (АЦП), сигналы на вход которого подают, минуя тестируемый объект, причем оценивание амплитуд сигналов по отсчетам эталонного канала также должно проводиться согласно выражению (1). В последующем полученные по эталонному каналу результаты должны быть использованы для нормировки оценок амплитуд откликов испытуемого объекта.

В качестве примера практической реализации заявляемого способа можно указать вариант измерительного стенда для исследования АЧХ радиоэлектронных устройств, функциональная схема которого приведена на чертеже, где 1 АЦП, 2 буферное ОЗУ со схемами управления, 3 аттенюатор, 4 усилитель промежуточной частоты, АЧХ которого требовалось исследовать, 5 формирователь тактовых импульсов, 6 сумматор, 7 ПЭВМ, 8 синтезатор частоты Ч6-31, 9 частотомер Ч3-38.

В качестве основного элемента стенда следует рассматривать ПЭВМ типа IBM, выполняющую одновременно функции управляющего и обрабатывающего вычислителя. Она обеспечивает дистанционное управление работой синтезаторов частоты, реализацию алгоритмов цифровой обработки сигналов, статистический анализ результатов эксперимента и их документирование.

Исходным звеном в цепи формирования входных воздействий являются синтезаторы частоты типа Ч3-38, обеспечивающие генерацию непрерывных гармонических сигналов требуемого набора частот. Один из них используется в качестве генератора тактовой частоты для аналого-цифрового преобразователя и схем управления буферным ОЗУ. В принципе при соответствующей доработке формирование требуемого пакета из M частот может быть осуществлено одним синтезатором частоты взамен M , предусмотренных в описываемом варианте стенда. Техническое решение синтезаторов частоты, аналогичных Ч6-31, позволяет сделать это без особого труда. Однако более предпочтительной явилась бы специальная промышленная разработка синтезаторов многочастотных пакетов, позволяющих одновременно генерировать произвольное число гармонических сигналов

одинаковой амплитуды (это устранило бы необходимость проведения операции нормировки откликов испытуемого объекта к амплитудам эталонного канала), задавать требуемую расстановку частот в пакете, гибко формировать поддиапазоны с дистанционным их переключением.

Формирователь тактовых импульсов преобразует непрерывный гармонический сигнал на выходе генератора такта Ч6-31 в импульсную последовательность типа "меандр" ЭСЛ-уровня.

Сумматор обеспечивает сложение M входных воздействий для канализации их по общему тракту.

Аттенюатор, подключенный к выходу сумматора, позволяет снижать мощность суммарного сигнала до 55 дБ, что необходимо для исключения перегрузки АЦП цифрового приемного модуля. Часть энергии сигнала по аттенюаторе отводится на осциллограф для визуального контроля.

Усилитель промежуточной частоты, АЧХ которого исследовалась, собран на ИС 174 УВ1.

Модуль АЦП выполнен на основе быстродействующей ИС 1107ПВЗА, формирующей шестиразрядный код напряжения сигнала, размер кванта по уровню составляет около 23 мВ.

Буферное ОЗУ обеспечивает запоминание 2048 отсчетов АЦП, разделение их на четные и нечетные по номеру следования выборки и передачу полученных таким образом 12-разрядных комплексных отсчетов через специально разработанный двухбайтовый порт ввода в ПЭВМ. Время заполнения буфера при тактовой частоте 12 МГц составляет 170,6 мкс.

Помимо аппаратных средств неотъемлемой частью экспериментального стенда следует считать его программное обеспечение, разработанное на языках TURBOBASIC 1.0 и TURBOASSEMBLER 1.0. В качестве отличительной особенности созданного программного пакета можно отметить функционирование в интерактивном режиме, широкое использование графических возможностей ПЭВМ, выполнение арифметических операций с помощью сопроцессора 1810VM87. В составе программного обеспечения функционально выделяется ряд модулей, реализующих тот или иной алгоритм обработки информации.

Модуль ввода информации обеспечивает управление режимами работы буферного ОЗУ, производит из него ввод информации через двухбайтный порт ввода и осуществляет ее распаковку. В рамках данного программного сегмента предусмотрена возможность графического отображения выходных кодов АЦП на дисплее ПЭВМ и вывода их на печать.

Модуль БПФ синтезирует 16 частотных фильтров путем операции комплексного 16-точечного преобразования Фурье над массивом кодов, сформированным модулем ввода информации.

Блок измерительных модулей представляет собой пакет алгоритмов оценивания амплитуд нескольких сигналов.

Модуль набора статистики осуществляет статистическую обработку результатов эксперимента.

Модуль оценки параметров шума

производит по заданному числу 2048-отчетных ансамблей построение гистограммы распределения реализаций шума на выходе АЦП, рассчитывает ее математическое ожидание, СКО, эксцесс, асимметрию и коэффициент корреляции.

В целом рассмотренный стенд обладает широкими демонстрационными и техническими возможностями, которые полностью удовлетворяют задачам экспериментального исследования АЧХ радиоэлектронных устройств.

Формула изобретения:

1. СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК, включающий воздействие на испытуемый объект М колебаниями заданных частот и аналого-цифровое преобразование от отклика на входные воздействия в М последовательных моментах времени, отличающийся тем, что на испытуемый объект воздействуют одновременно всем набором колебаний из М заданных частот, аналого-цифровое преобразование откликов испытуемого объекта выполняют с периодом дискретизации, кратным нечетному числу четвертей периода центрального для подаваемого пакета частот колебаний, полученные в $2 : S$ ($2 : S \geq M$) последовательных моментах времени $2 : S$ откликов объекта на суммарное входное воздействие далее подвергают операции точечного БПФ (быстрое преобразование Фурье), сформировав предварительно из исходных $2 \cdot S$ отсчетов сигнала S комплексных напряжений путем разделения последовательности цифровых отсчетов на четные и нечетные по номеру следования выборки с последующим использованием их в качестве квадратур, и затем по уровням спектральных составляющих определяют модули выходных сигналов испытуемого объекта на каждой из заданных частот в соответствии с выражением

$$\hat{a}_m = \sqrt{\hat{a}_m^2 + \hat{a}_m^2}$$

где $\hat{a}_m^{c(s)} = \frac{\det_m^{c(s)}}{S \cdot \det}$;

$m = 1, 2, \dots, M$;

$$\det = \begin{vmatrix} S & f_{12} & f_{13} \dots f_{1M} \\ f_{12} & S & f_{23} \dots f_{2M} \\ f_{13} & f_{23} & S \dots f_{3M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{1M} & f_{2M} & f_{3M} \dots S \end{vmatrix}$$

$\det t_m^{c(s)}$ - частный определитель полученный из \det заменой соответствующего столбца вектором свободных членов $[B^{c/s}]$,

$$5 \quad \begin{bmatrix} B^{c(s)} \\ \times \sum_{j=0}^{S-1} U_j^{c(s)} \cdot f_j^{(M_1)} \dots \sum_{j=0}^{S-1} U_j^{c(s)} \cdot f_j^{(M_M)} \end{bmatrix}^{-1}$$

10 $U_j^{c(s)}$ - квадратурные составляющие комплексного значения отклика i-го БПФ-фильтра

$$15 \quad f_{jk} = \frac{\sin S \cdot (W_j - W_k)}{\sin(W_j - W_k)}$$

и

$$20 \quad f_j^{(M_m)} = \left[\sin S \cdot \left(j \cdot \frac{\pi}{S} - W_m \right) \right] \times \left[\sin \left(j \cdot \frac{\pi}{S} - W_m \right) \right]^{-1}$$

значения характеристик, синтезированных в результате БПФ-частотных фильтров;

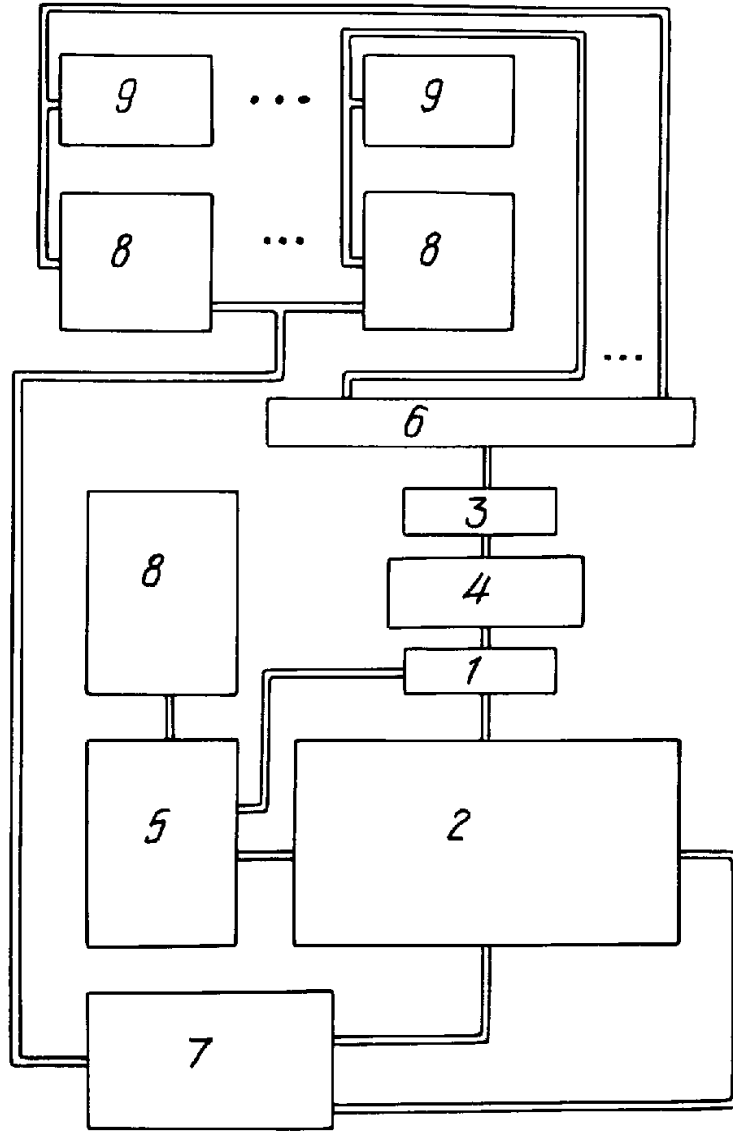
25 W_j, W_k, W_m - частоты из множества заданных, выраженные в долях ширины характеристики БПФ-фильтра.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что параметры БПФ (общее число точек и интервал между отсчетами во времени) выбраны так, чтобы все или часть из заданных частот были "резонансными" для синтезируемых посредством БПФ частотных фильтров, применительно к таким резонансным частотам амплитуды определяют нормировкой уровней соответствующих спектральных составляющих к количеству S точек БПФ, что касается анализа остальных частот, не совпавших с максимумами частотных характеристик синтезированных БПФ-фильтров, то он проводится согласно п.1.

3. Способ по пп. 1 и 2, отличающийся тем, что все множество из M частот разбивают на несколько поддиапазонов, в пределах каждого из которых последовательно осуществляют операции согласно пп. 1 и 2.

4. Способ по пп. 1 - 3, отличающийся тем, что обработку откликов тестируемого блока сопровождают измерением модулей амплитуд тест-воздействий по эталонному каналу приема, не обладающему частотной избирательностью, в качестве такового используют обычный АЦП, сигналы на вход которого подают, минуя тестируемый объект, причем оценивание амплитуд сигналов по отсчетам эталонного канала производят согласно пп. 1 и 2, а полученные по эталонному каналу результаты используют для нормировки оценок амплитуд откликов испытуемого объекта.

RU 2054684 C1



RU 2054684 C1