

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2584730

ИЗМЕРИТЕЛЬ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ АМПЛИТУДНО- ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Патентообладатель(ли): *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный минерально-сырьевой университет "Горный" (RU)*

Автор(ы): *Сытько Иван Иванович (RU)*

Заявка № 2015108551

Приоритет изобретения **11 марта 2015 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **26 апреля 2016 г.**

Срок действия патента истекает **11 марта 2035 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.П. Ивлиев





**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015108551/28, 11.03.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.03.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.03.2015

(45) Опубликовано: 20.05.2016 Бюл. № 14

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2291452 C2, 10.01.2007. RU 2341807 C1, 20.12.2008. US 6344749 B1, 05.02.2002. US 7069167 B2, 27.06.2006.

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
ФГБОУ ВПО "Национальный минерально-сырьевой университет "Горный", отдел интеллектуальной собственности и трансфера технологий (отдел ИС и ТТ)

(72) Автор(ы):

Сытько Иван Иванович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный минерально-сырьевой университет "Горный" (RU)

(54) ИЗМЕРИТЕЛЬ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

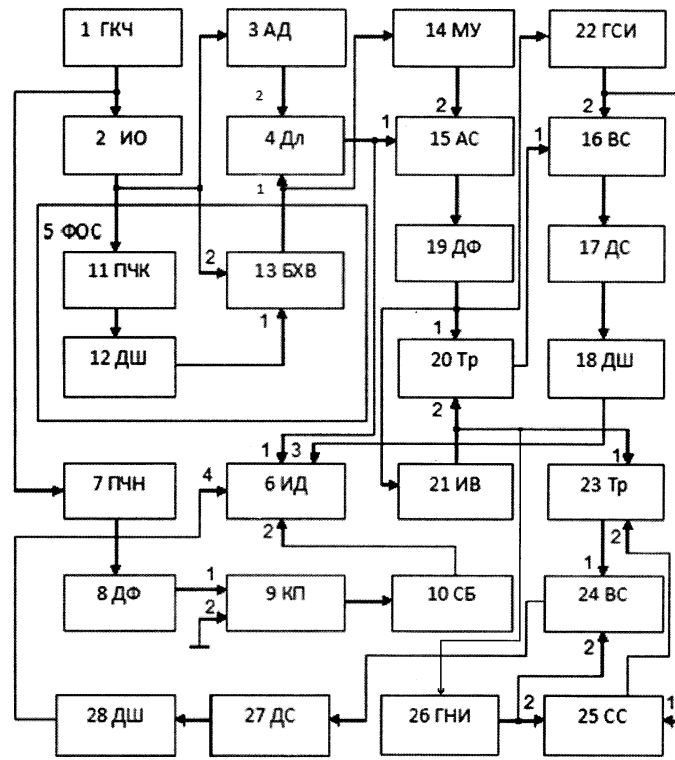
(57) Реферат:

Изобретение относится к области радиоизмерений и может быть использовано при контроле амплитудно-частотных характеристик различных радиотехнических блоков. Измеритель содержит генератор качающейся частоты (ГКЧ) 1, измеряемый объект (ИО) 2, амплитудный детектор (АД) 3, делитель (Дл) 4, формирователь опорного сигнала (ФОС) 5, индикатор (ИД) 6, преобразователь частоты в напряжение (ПЧН) 7, первый дифференциатор (ДФ) 8, компаратор (КП) 9, согласующий блок (СБ) 10, масштабный усилитель (МУ) 14, амплитудный селектор (АС) 15, первый временной селектор (ВС) 16, первый декадный счетчик (ДС) 17, второй дешифратор (ДШ) 18. Формирователь опорного сигнала

(ФОС) 5 содержит преобразователь частоты в код (ПЧК) 11, первый дешифратор (ДШ) 12, блок хранения и выборки (БХВ) 13. В измеритель дополнительно введены второй дифференциатор (ДФ) 19, первый триггер (Тр) 20, инвертор (ИВ) 21, генератор счетных импульсов (ГСИ) 22, второй триггер (Тр) 23, второй временной селектор (ВС) 24, схема совпадения (СС) 25, генератор нониусных импульсов (ГНИ) 26, второй декадный счетчик (ДС) 27, третий дешифратор (ДШ) 28. Технический результат заключается в повышении точности цифрового измерения полосы пропускания амплитудно-частотных характеристик. 4 ил.

RU 2 584 730 C1

RU 2 584 730 C1



Фиг.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2015108551/28, 11.03.2015

(24) Effective date for property rights:
11.03.2015

Priority:

(22) Date of filing: 11.03.2015

(45) Date of publication: 20.05.2016 Bull. № 14

Mail address:

199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, FGBOU
VPO "Natsionalnyj mineralno-syrevoj universitet
"Gornyj", otdel intellektualnoj sobstvennosti i
transfera tekhnologij (otdel IS i TT)

(72) Inventor(s):

Sytko Ivan Ivanovich (RU)

(73) Proprietor(s):

federalnoe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
professionalnogo obrazovaniya "Natsionalnyj
mineralno-syrevoj universitet "Gornyj" (RU)

(54) **DEVICE FOR MEASURING RELATIVE AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTICS**

(57) Abstract:

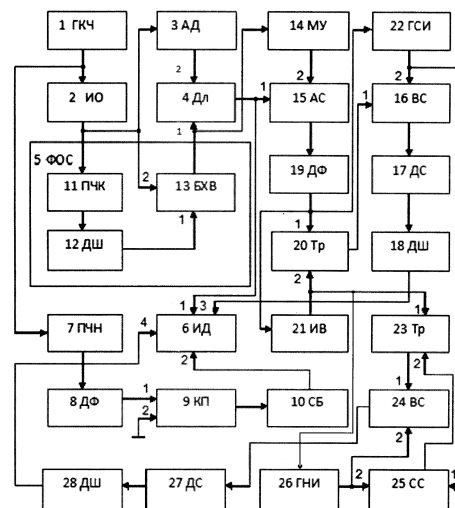
FIELD: radio engineering and communication; measurement equipment.

SUBSTANCE: invention relates to radar measurements and can be used for control of amplitude-frequency characteristics of various radio blocks. Meter comprises swept frequency generator (SFG) 1, measured object (MO) 2, amplitude detector (AD) 3, divider (DI) 4, reference signal generator (RSG) 5, indicator (ID) 6, frequency-to-voltage converter (FVC) 7, first differentiator (FG) 8, comparator (CU) 9, matching unit (MU) 10, scaling amplifier (SA) 14, amplitude selector (AS) 15, first time selector (FTS) 16, first decade counter (FDC) 17, and second decoder (SD) 18. Reference signal generator (RSG) 5 comprises frequency-to-number converter (FNC) 11, first decoder (FD) 12, storing and sampling unit (SSU) 13. Meter further includes a second differentiator (SDF) 19, first trigger (FT) 20, inverter (IV) 21, counting pulses generator (CPG) 22, second trigger (ST) 23, second time selector (STS) 24, coincidence circuit (CC) 25, vernier pulses generator (VPG) 26, second decade

counter (SDC) 27, third decoder (TD) 28.

EFFECT: technical result consists in improvement of accuracy of digital measurement bandwidth amplitude-frequency characteristics.

1 cl, 4 dwg



Фиг.1

RU 2 584 730 C1

RU 2 584 730 C1

Изобретение относится к области радиоизмерений и может быть использовано при контроле амплитудно-частотных характеристик различных радиотехнических блоков.

Известен измеритель относительных амплитудно-частотных характеристик (Авторское свидетельство СССР №1184102, опубликовано 07.10.1985 г.), содержащий генератор качающейся частоты, измеряемый объект, амплитудный детектор, блок вычитания, индикатор, формирователь опорного сигнала, который включает преобразователь частоты в код, дешифратор и блок хранения и выборки.

Данный измеритель имеет низкую достоверность измерения из-за вывода информации на экран электронно-лучевой трубки индикатора во время обратного хода генератора качающейся частоты.

Известен измеритель относительных амплитудно-частотных характеристик (Авторское свидетельство СССР №1608590, опубликовано 23.11.1990 г.), содержащий генератор качающейся частоты, выход которого подключен к входу измеряемого объекта, выход которого подключен к входам амплитудного детектора и формирователя опорного сигнала, выполненного в виде последовательно соединенных преобразователя частоты в код, дешифратора и блока хранения и выборки, второй вход которого соединен с входом преобразователя частоты в код, являющимся входом формирователя опорного сигнала, выход блока хранения и выборки, являющийся выходом формирователя опорного сигнала, подключен к первому входу блока вычитания, второй вход которого соединен с выходом амплитудного детектора, а выход подключен к первому входу индикатора, при этом последовательно соединенные преобразователь частоты в напряжение, дифференциатор, компаратор и согласующий блок, выход которого подключен к второму входу индикатора, вход преобразователя частоты в напряжение подключен к выходу генератора качающейся частоты, а второй вход компаратора соединен с общей шиной.

Недостатком являются низкая точность измерения амплитудно-частотных характеристик, обусловленная наличием динамической погрешности, которая возникает из-за конечной скорости изменения частоты генератора качающейся частоты и приводит к уменьшению максимума амплитудно-частотных характеристик; смещение их по оси частот и увеличению полосы пропускания, а также большая погрешность воспроизведения формы амплитудно-частотных характеристик, вызванная тем, что луч электронно-лучевой трубки не стабилен по ширине развертки. Поэтому при считывании информации с экрана электронно-лучевой трубки вносится погрешность ширины луча.

Известно также устройство для измерения амплитудно-частотных характеристик четырехполюсников (Патент РФ №2364877, опубликовано 20.08.2009 г.), содержащее генератор качающейся частоты, измерительный детектор, переключатели, компьютер и панорамный индикатор, управляющий вход которого соединен с первым выходом компьютера и управляющим входом генератора качающейся частоты, выход испытательного сигнала СВЧ которого через переключатель в первом положении его подвижного контакта соединен со входом испытуемого четырехполюсника СВЧ, выход которого через третий переключатель во втором положении его подвижного контакта соединен с сигнальным входом измерительного детектора, выход контроллера соединен с сигнальным входом панорамного индикатора, первый вход контроллера соединен с подвижным контактом второго переключателя, неподвижный контакт которого в первом положении соединен с третьим выходом компьютера, первый вход которого соединен с первым неподвижным контактом четвертого переключателя, подвижный контакт которого соединен с сигнальным выходом измерительного детектора, который

соединен с датчиком температуры, выход которого соединен со вторым входом компьютера, четвертый выход которого соединен с управляющим входом управляемого аттенюатора, сигнальный выход которого соединен с третьим неподвижным контактом третьего переключателя, первый неподвижный контакт которого соединен с первым неподвижным контактом первого переключателя, калибратор соединен с сигнальным входом управляемого аттенюатора, вторые контакты второго и четвертого переключателей соединены между собой, второй выход компьютера соединен со вторым входом контроллера.

Недостатком является низкая достоверность измерения из-за вывода информации на экран панорамного индикатора во время обратного хода генератора качающейся частоты.

Известен измеритель относительных амплитудно-частотных характеристик (Патент РФ №2341807, опубликовано 20.12.2008 г.), содержащий генератор качающейся частоты, выход которого подключен к входу измеряемого объекта, выход которого подключен к входам амплитудного детектора и формирователя опорного сигнала, выполненного в виде последовательно соединенных преобразователя частоты в код, дешифратора и блока хранения и выборки, выход которого является выходом формирователя опорного сигнала, а второй вход соединен с входом преобразователя частоты в код, являющимся входом формирователя опорного сигнала, последовательно соединенные преобразователь частоты в напряжение, дифференциатор, компаратор, второй вход которого соединен с общей шиной, вход преобразователя частоты в напряжение подключен к выходу генератора качающейся частоты, последовательно соединенные временной селектор, декадный счетчик и второй дешифратор, выход которого подключен к третьему входу индикатора, первый вход которого соединен с выходом делителя, второй вход которого соединен с выходом амплитудного детектора, а первый вход соединен с выходом формирователя опорного сигнала, выход масштабного усилителя подключен ко второму входу амплитудного селектора, второй вход временного селектора соединен с входной шиной, последовательно соединенные второй дифференциатор, первый инвертор, второй временной селектор, реверсивный счетчик, второй компаратор и ключ, выход которого подключен к первому входу первого временного селектора, а второй вход соединен с входом второго дифференциатора и выходом первого амплитудного селектора, первый вход которого соединен с первым выходом коммутатора, второй выход которого подключен к первому входу второго амплитудного селектора, второй вход которого соединен с выходом масштабного усилителя, вход которого соединен с выходом второго делителя, объединенные первый и второй входы которого соединены с первым входом первого делителя, выход которого подключен к первому входу коммутатора, второй вход которого соединен с выходом первого компаратора и входом четвертого дифференциатора, последовательно соединенные второй амплитудный селектор, третий дифференциатор, второй инвертор и третий временной селектор, выход которого подключен ко второму входу реверсивного счетчика, а третий вход соединен со вторым входом первого временного селектора и третьим входом второго временного селектора, второй вход которого соединен с выходом четвертого дифференциатора и входом третьего инвертора, выход которого подключен к первому входу третьего временного селектора, второй вход второго компаратора соединен с входной шиной.

Недостатком является малое быстродействие и наличие значительной большой погрешности дискретности при цифровом измерении полосы пропускания амплитудно-частотных характеристик (особенно узкополосных), которая зависит от периода

повторения (частоты) счетных импульсов и составляет «плюс-минус» единице младшего разряда счета.

Известен измеритель относительных амплитудно-частотных характеристик (Патент РФ №2291452, опубликовано 10.01.2007 г.), принятый за прототип. Измеритель содержит генератор качающейся частоты, выход которого подключен к входу измеряемого объекта, выход которого подключен к входам амплитудного детектора и формирователя опорного сигнала, выполненного в виде последовательно соединенных преобразователя частоты в код, дешифратора и блока хранения и выборки, выход которого является выходом формирователя опорного сигнала, а второй вход соединен с входом преобразователя частоты в код, являющегося входом формирователя опорного сигнала, последовательно соединенные преобразователь частоты в напряжение, дифференциатор, компаратор и согласующий блок, выход которого подключен к второму входу индикатора, вход преобразователя частоты в напряжение подключен к выходу генератора качающейся частоты, а второй вход компаратора соединен с общей шиной, последовательно соединенные масштабный усилитель, амплитудный селектор, временной селектор, декадный счетчик и второй дешифратор, выход которого подключен к третьему входу индикатора, первый вход которого соединен с первым входом амплитудного селектора и выходом делителя, второй вход которого соединен с выходом амплитудного детектора, а первый - соединен с выходом формирователя опорного сигнала и входом масштабного усилителя, второй вход временного селектора соединен с входной шиной.

Недостатком является наличие значительной большой погрешности дискретности при цифровом измерении полосы пропускания амплитудно-частотных характеристик (особенно узкополосных), которая зависит от периода повторения (частоты) счетных импульсов и составляет «плюс-минус» единице младшего разряда счета.

Технический результат заключается в повышении точности цифрового измерения полосы пропускания амплитудно-частотных характеристик путем уменьшения погрешности дискретности в конце счета за счет нониусного способа снижения погрешности дискретности и исключение погрешности дискретности в начале счета путем синхронизации начала счета с опорным импульсом.

Технический результат достигается тем, что в него введены последовательно соединенные инвертор, второй триггер, второй временной селектор, второй декадный счетчик и третий дешифратор, выход которого подключен к четвертому входу индикатора, выход генератора нониусных импульсов подключен к вторым входам второго временного селектора и схемы совпадения, выход которой подключен к второму входу второго триггера, а первый вход - соединен с вторым входом первого временного селектора и выходом генератора счетных импульсов, вход которого соединен с входом инвертора и первым входом первого триггера, выход которого подключен к первому входу первого временного селектора, а второй вход соединен с входом генератора нониусных импульсов, первым входом второго триггера и выходом инвертора, вход второго дифференциатора соединен с выходом амплитудного селектора, а выход - подключен к входам инвертора, генератора счетных импульсов и первому входу первого триггера.

Измеритель амплитудно-частотных характеристик поясняется следующими чертежами:

фиг. 1 - структурная электрическая схема измерителя;

фиг. 2 - временные диаграммы, поясняющие работу измерителя в динамическом режиме;

фиг. 3 - временные диаграммы, поясняющие принцип цифрового способа измерения полосы пропускания и появления погрешности дискретности;

фиг. 4 - временные диаграммы, поясняющие принцип цифрового измерения полосы пропускания амплитудно-частотных характеристик, уменьшения погрешности дискретности в конце счета за счет нониусного способа снижения погрешности дискретности и исключение погрешности дискретности в начале счета путем синхронизации начала счета с опорным импульсом.

Предлагаемый измеритель (фиг. 1) содержит так же, как и прототип, генератор качающейся частоты (ГКЧ) 1, измеряемый объект (ИО) 2, амплитудный детектор (АД) 3, делитель (Дл) 4, формирователь опорного сигнала (ФОС) 5, индикатор (ИД) 6, преобразователь частоты в напряжение (ПЧН) 7, первый дифференциатор (ДФ) 8, компаратор (КП) 9, согласующий блок (СБ) 10, масштабный усилитель (МУ) 14, амплитудный селектор (АС) 15, первый временной селектор (ВС) 16, первый декадный счетчик (ДС) 17, второй дешифратор (ДШ) 18. Формирователь опорного сигнала (ФОС) 5 содержит преобразователь частоты в код (ПЧК) 11, первый дешифратор (ДШ) 12, блок хранения и выборки (БХВ) 13.

В отличие от прототипа в измеритель дополнительно введены второй дифференциатор (ДФ) 19, первый триггер (Тр) 20, инвертор (ИВ) 21, генератор счетных импульсов (ГСИ) 22, второй триггер (Тр) 23, второй временной селектор (ВС) 24, схема совпадения (СС) 25, генератор нониусных импульсов (ГНИ) 26, второй декадный счетчик (ДС) 27, третий дешифратор (ДШ) 28.

Выход генератора 1 качающейся частоты подключен к входу измеряемого объекта 2, выход которого подключен к входам амплитудного детектора 3 и формирователя 5 опорного сигнала, выполненного в виде последовательно соединенных преобразователя 11 частоты в код, первого дешифратора 12 и блока 13 хранения и выборки, выход которого является выходом формирователя 5 опорного сигнала, а второй вход соединен с входом преобразователя 11 частоты в код, являющегося входом формирователя 5 опорного сигнала, последовательно соединенные преобразователь 7 частоты в напряжение, первый дифференциатор 8, компаратор 9 и согласующий блок 10, выход которого подключен к второму входу индикатора 6, вход преобразователя 7 частоты в напряжение подключен к выходу генератора 1 качающейся частоты, а второй вход компаратора 9 соединен с общей шиной, второй вход амплитудного селектора 15 соединен с выходом масштабного усилителя 14, вход которого соединен с выходом формирователя 5 опорного сигнала и первым входом делителя 4, второй вход которого соединен с выходом амплитудного детектора 3, а выход подключен к первым входам амплитудного селектора 15 и индикатора 6, третий вход которого соединен с выходом второго дешифратора 18, вход которого соединен с выходом первого декадного счетчика 17, вход которого соединен с выходом первого временного селектора 16, последовательно соединенные инвертор 21, второй триггер 23, второй временной селектор 24, второй декадный счетчик 27 и третий дешифратор 28, выход которого подключен к четвертому входу индикатора 6, выход генератора 26 нониусных импульсов подключен к вторым входам второго временного селектора 24 и схемы совпадения 25, выход которой подключен к второму входу второго триггера 23, а первый вход - соединен с вторым входом первого временного селектора 16 и выходом генератора 22 счетных импульсов, вход которого соединен с входом инвертора 21 и первым входом первого триггера 20, выход которого подключен к первому входу первого временного селектора 16, а второй вход - соединен с входом генератора 26 нониусных импульсов, первым входом второго триггера 23 и выходом инвертора 21, вход второго

дифференциатора 19 соединен с выходом амплитудного селектора 15, а выход подключен к входам инвертора 21, генератора 22 счетных импульсов и первому входу первого триггера 20.

Измеритель работает следующим образом.

5 Сигнал качающейся частоты с выхода генератора 1 качающейся частоты поступает на объединенные входы преобразователя 7 частоты в напряжение и измеряемый объект 2, амплитудно-частотная характеристика которого показана на фиг. 2, а. С выхода измеряемого объекта 2 сигнал поступает на вход амплитудного детектора 3, огибающая которого пропорциональна измеряемой амплитудно-частотной характеристике,
 10 поступает на второй вход делителя 4. С выхода измеряемого объекта 2 сигнал поступает также на формирователь 5 опорного сигнала, выделяющий и запоминающий уровень входного сигнала опорной частоты, относительно которой производится нормирование амплитудно-частотной характеристики. При этом, огибающая сигнала на выходе делителя 4 является нормированной, пропорциональна измеряемой амплитудно-
 15 частотной характеристике и равна отношению сигнала на выходе амплитудного детектора 3 к уровню сигнала на опорной частоте, поступающего с выхода формирователя 5 опорного сигнала. Таким образом, огибающая сигнала на выходе делителя 4 пропорциональна измеряемой амплитудно-частотной характеристике, является нормированной, изменяется от 0 до 1, независимо от амплитуды сигнала на
 20 выходе амплитудного детектора 3. Длительность сигнала относительно уровня 0,707 на выходе делителя 4 (см. фиг. 2, в) прямо пропорциональна полосе пропускания амплитудно-частотной характеристики измеряемого объекта 2 и обратно пропорциональна скорости изменения частоты генератора 1 качающейся частоты [Винокуров В.И. Электрорадиоизмерения: учебное пособие для радиотехнич. спец.
 25 вузов / В.И. Винокуров, С.И. Каплин, И.Г. Петелин // Под ред. В.И. Винокурова. - 2-ое изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1986. - 351 с., с.284-286] и определяется по формуле

$$30 \quad \Delta t = \frac{\Delta F}{V_{ГКЧ}},$$

$$35 \quad V_{ГКЧ} = \frac{\Delta f_{КАЧ}}{T_p},$$

где ΔF - полоса пропускания амплитудно-частотной характеристики измеряемого объекта 2;

$\Delta f_{КАЧ}$ - полоса качания генератора 1 качающейся частоты;

T_p - период развертки.

Полоса качания генератора 1 качающейся частоты и период развертки показаны на фиг. 2, б.

45 Сигнал с выхода делителя 4 подается на первый вход индикатора 6, на экране электронно-лучевой трубки которого отображается нормированная амплитудно-частотная характеристика измеряемого объекта 2, а вертикальные размеры изображения занимают не только оптимальную рабочую площадь экрана, но и остаются постоянными независимо от коэффициента передачи измеряемого объекта 2.

Формирователь 5 опорного сигнала посредством преобразователя 11 частоты в код формирует импульсы в моменты прохождения входного сигнала через нуль, подсчитывает число импульсов в заданном интервале времени, определяемом формирователем интервалов, первый дешифратор 12 выдает управляющий сигнал на второй вход блока 13 хранения и выборки в момент времени, когда текущая частота сигнала достигает значения заданной опорной частоты. Блок 13 хранения и выборки выделяет из входного сигнала и запоминает уровень на опорной частоте, который подается на первый вход делителя 4. Делитель 4 может быть выполнен по схеме, приведенной в (Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы: Справочное пособие / С.В. Якубовский, Н.А. Барканов, Л.И. Нисельсон и др. // Под редакцией С.В. Якубовского - 2-е изд., переработанное и доп. - М.: Радио и связь, 1984 - 432 с., с. 321).

Сигнал с выхода генератора 1 качающейся частоты поступает на вход преобразователя 7 частоты в напряжение, на выходе которого напряжение изменяется пропорционально частоте входного сигнала, имеет пилообразную форму и поступает на вход первого дифференциатора 8. На выходе дифференциатора 8 во время обратного хода генератора 1 качающейся частоты формируется импульс отрицательной полярности, который поступает на первый вход компаратора 9, второй вход которого соединен с корпусом. Компаратор 9 предназначен для обострения фронтов импульса, формируемого дифференциатором 8. Выход компаратора 9 подключен к входу согласующего блока 10, который предназначен для согласования выхода компаратора 9 с входом индикатора 6. Импульс с выхода согласующего блока 10 поступает на модулятор электронно-лучевой трубки индикатора 6 и закрывает ее во время обратного хода генератора 1.

С выхода формирователя 5 опорного сигнала уровень сигнала опорной частоты, относительно которой производится нормирование амплитудно-частотной характеристики, также поступает на вход масштабного усилителя 14, который может быть выполнен по схеме, приведенной в (Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы: Справочное пособие / С.В. Якубовский, Н.А. Барканов, Л.И. Нисельсон и др. // Под редакцией С.В. Якубовского - 2-е изд., переработанное и доп. - М.: Радио и связь, 1984 - 432 с., с. 231).

Масштабный усилитель 14 с коэффициентом усиления 0,707 формирует уровень сигнала, относительно которого измеряется полоса пропускания амплитудно-частотной характеристики измеряемого объекта 2. Выход масштабного усилителя 14 подключен к второму входу амплитудного селектора 15, первый вход которого также соединен с выходом делителя 4. Амплитудный селектор 15 вырабатывает прямоугольный импульс единичной амплитуды, длительность которого соответствует интервалу времени, когда нормированная огибающая сигнала на первом входе превышает уровень сигнала на его втором входе.

Длительность прямоугольных импульсов единичной амплитуды, которые вырабатывает амплитудный селектор 15, прямо пропорциональна полосе пропускания амплитудно-частотной характеристики измеряемого объекта 2 и обратно пропорциональна скорости изменения частоты генератора 1 качающейся частоты (фиг. 2, в, фиг. 3, а, фиг.4, а).

Выход амплитудного селектора 15, который может быть выполнен по схеме, приведенной в (Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы: Справочное пособие / С.В. Якубовский, Н.А. Барканов, Л.И. Нисельсон и др. // Под редакцией С.В. Якубовского - 2-е изд., переработанное и доп. - М.: Радио и связь, 1984 - 432 с., с. 374), подключен к входу второго дифференциатора 19, который вырабатывает два импульса

(1- опорный и 2-интервальный), соответствующие началу и концу измеряемого интервала Δt (фиг. 4, б). Выход второго дифференциатора 19 подключен входу генератора 22 счетных импульсов, первому входу триггера 20 и входу инвертора 21. Опорный импульс запускает генератор 22 счетных импульсов и одновременно через триггер 20 первый временной селектор 16. С этого момента начинается счет импульсов генератора 22 счетных импульсов (фиг. 4, г). Так как начало счета совпадает с опорным импульсом (фиг. 4,а, б, г), поэтому в начале счета исключена погрешность дискретности $\Delta t_{\text{д}}$, которая лежит в диапазоне $(0, -T_{\text{сч}})$ (фиг. 3). Интервальный импульс (фиг. 4, в) с выхода инвертора 21, воздействуя на триггер 20, закрывает первый временной селектор 16, фиксируя тем самым целое число N_x импульсов, поступающих на первый декадный счетчик 17. Первый временной селектор 16 открыт в течение времени, равного длительности прямоугольного импульса единичной амплитуды, вырабатываемого амплитудным селектором 15, которое прямо пропорционально полосе пропускания амплитудно-частотной характеристики измеряемого объекта 2 и обратно пропорционально скорости изменения частоты генератора 1. При этом значение измеряемого интервала Δt будет определяться выражением

$$\Delta t = N_x \cdot T_{\text{сч}} + \Delta t_{\text{к}}.$$

В конце счета импульсов погрешность дискретности $\Delta t_{\text{к}}$ лежит в диапазоне $(0, +T_{\text{сч}})$. Для уменьшения погрешности дискретности $\Delta t_{\text{к}}$ интервальный импульс (фиг. 4, в) с выхода инвертора 21 одновременно с закрытием первого временного селектора 16 запускает генератор 26 нониусных импульсов и через триггер 23 открывает второй временной селектор 24. Первый и второй временные селекторы 16 и 24 могут быть выполнены по схеме, приведенной в (Коломбет Е.А., Юркович К., Зодл Я. Примечание аналоговых микросхем. - М.: Радио и связь, 1990, 320 с.), а генератор 22 счетных импульсов и генератор 26 нониусных импульсов по схеме, приведенной в (Коломбет Е.А., Юркович К., Зодл Я. Примечание аналоговых микросхем. - М.: Радио и связь, 1990. - 320 с. и Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы: Справочное пособие / С.В. Якубовский, Н.А. Барканов, Л.И. Нисельсон и др. // Под редакцией С.В. Якубовского - 2-е изд., переработанное и доп. - М.: Радио и связь, 1984 - 432 с.). В результате начинается счет нониусных импульсов (см. фиг.4, д). Нониусные импульсы с выхода генератора 26 и счетные импульсы с выхода генератора 22 поступают на схему 25 совпадения, которая может быть выполнена по схеме, приведенной в (Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы: Справочное пособие / С.В. Якубовский, Н.А. Барканов, Л.И. Нисельсон и др. // Под редакцией С.В. Якубовского - 2-е изд., переработанное и доп. - М.: Радио и связь, 1984 - 432 с. и Коломбет Е.А., Юркович К., Зодл Я. Примечание аналоговых микросхем. - М.: Радио и связь, 1990. - 320 с.).

Период следования нониусных импульсов $T_{\text{сн}}$ выбирают из соотношения

$$T_{\text{сн}} = \frac{k-1}{k} \cdot T_{\text{сч}},$$

где $T_{\text{сч}}$ - период повторения счетных импульсов генератора 22 счетных импульсов; $k=10$ или 100 .

Спустя некоторое время произойдет совпадение импульсов генератора 26 нониусных

импульсов и генератора 22 счетных импульсов. При этом срабатывает схема совпадения 25, а ее импульс «сброса» (см. фиг. 4, е) зафиксировывает число импульсов N_H (см. фиг. 4, д), поступающих на второй декадный счетчик 27, и вернет всю схему в исходное состояние.

Зная число N_H , погрешность дискретности Δt_k определим из соотношения

$$\Delta t_k = N_H \cdot T_{сч} - N_H \cdot T_{сн} = N_H \cdot T_{сч} - N_H \cdot T_{сч} \frac{k-1}{k} = \frac{N_H \cdot T_{сч}}{k}$$

Следовательно, погрешность дискретности Δt_k уменьшается в k раз, а погрешность дискретности в начале счета $\Delta t_H=0$.

Выход первого декадного счетчика 17, который осуществляет счет поступающих импульсов N_x , т.е. преобразует унитарный код в двоично-десятичный, подключен к входу второго дешифратора 18, который осуществляет преобразование двоично-десятичного кода, в котором представлена измерительная информация на выходе первого декадного счетчика 17 в сигналы кода, используемого цифрового индикатора 6, который может быть выполнен по схеме, приведенной (Цифровые интегральные микросхемы: Справочник / М.И. Богданович, И.Н. Грель, В.А. Прохоренко, В.С. Шалимо - Мн.: Беларусь, 1991. - 493 с). Выход второго декадного счетчика 27, который осуществляет счет поступающих импульсов N_H , подключен к входу третьего дешифратора 28, выход которого подключен к четвертому входу индикатора 6. Показание первого и второго декадных счетчиков 18 и 28 объединено в отсчетном устройстве индикатора 6. При этом N_x фиксируют в старших разрядах, а N_H - в младших.

Декадные счетчики 17 и 27, дешифраторы 18 и 28 могут быть выполнены, соответственно, по схемам, приведенным в [Цифровые интегральные микросхемы: Справочник / М.И. Богданович, И.Н. Грель, В.А. Прохоренко, В.С. Шалимо - Мн.: Беларусь, 1991. - 493 с. и Пухальский Г.И., Новосельцева Т.Я. Цифровые устройства: Учебное пособие для вузов. - СПб.: Политехника, 1996. - 885 с.].

Первый временной селектор 16 открывается на время $\Delta t_1 = \Delta t$, за которое общее число счетных импульсов, поступающих на вход первого декадного счетчика 17, составит N_x .

Второй временной селектор 24 открывается на время

$$\Delta t_2 = \Delta t_k \cdot k.$$

При этом общее число нониусных импульсов, поступающих на вход второго декадного счетчика 27, составит

$$N_H = \frac{\Delta t_k \cdot k}{T_{сч}} = \frac{\Delta t_k \cdot (k-1)}{T_{сн}} = \Delta t_k \cdot k \cdot F_{сч} = \Delta t_k \cdot (k-1) \cdot F_{сн}.$$

Поэтому

$$\Delta t = N_x \cdot T_{сч} + \Delta t_k = N_x \cdot T_{сч} + \frac{N_H \cdot T_{сч}}{k} = T_{сч} \left(N_x + \frac{N_H}{k} \right) = \frac{\Delta F}{\Delta f_{кач}} \cdot T_p$$

Следовательно, результат измерения полосы пропускания измеряемой амплитудно-частотной характеристикой определяется выражением

$$\Delta F = \frac{T_{сч} (N_x + \frac{N_n}{k}) \cdot \Delta f_{кач}}{T_p} = \frac{(N_x + \frac{N_n}{k})}{F_{сч}} \cdot V_{зкч}.$$

5

Точность цифрового измерения полосы пропускания измеряемой амплитудно-частотной характеристикой определяется погрешностью дискретности в конце счета, которая равна единице младшего разряда и зависит от периода повторения (частоты) нониусных импульсов, периода развертки и полосы качания генератора 1 качающейся частоты.

10

Достоверность измерения амплитудно-частотных характеристик зависит от скорости измерения частоты генератора 1 качающейся частоты и полосы пропускания измеряемого объекта 2 и определяется выражением

15

$$\mu = \frac{V_{зкч}}{\Delta F^2},$$

которое характеризует динамические погрешности. Увеличение параметра μ приводит к уменьшению максимума амплитудно-частотной характеристики, смещение ее по оси частот и увеличению полосы пропускания. Для уменьшения динамической погрешности необходимо, чтобы измеритель работал в квазистатическом режиме - малой скорости изменения частоты генератора 4 качающейся частоты.

20

Таким образом, в предлагаемом измерителе относительных амплитудно-частотных характеристик по сравнению с прототипом обеспечивается повышение точности цифрового измерения полосы пропускания амплитудно-частотных характеристик путем уменьшения погрешности дискретности в конце счета за счет нониусного способа снижения погрешности дискретности и исключение погрешности дискретности в начале счета путем синхронизации начала счета с опорным импульсом.

25

Формула изобретения

30

Измеритель амплитудно-частотных характеристик, содержащий генератор качающейся частоты, выход которого подключен к входу измеряемого объекта, выход которого подключен к входам амплитудного детектора и формирователя опорного сигнала, выполненного в виде последовательно соединенных преобразователя частоты в код, первого дешифратора и блока хранения и выборки, выход которого является выходом формирователя опорного сигнала, а второй вход - соединен с входом преобразователя частоты в код, являющегося входом формирователя опорного сигнала, последовательно соединенные преобразователь частоты в напряжение, первый дифференциатор, компаратор и согласующий блок, выход которого подключен к второму входу индикатора, вход преобразователя частоты в напряжение подключен к выходу генератора качающейся частоты, а второй вход компаратора соединен с общей шиной, второй вход амплитудного селектора соединен с выходом масштабного усилителя, вход которого соединен с выходом формирователя опорного сигнала и первым входом делителя, второй вход которого соединен с выходом амплитудного детектора, а выход - подключен к первым входам амплитудного селектора и индикатора, третий вход которого соединен с выходом второго дешифратора, вход которого соединен с выходом первого декадного счетчика, вход которого соединен с выходом первого временного селектора, отличающийся тем, что в него введены последовательно соединенные инвертор, второй триггер, второй временной селектор, второй декадный

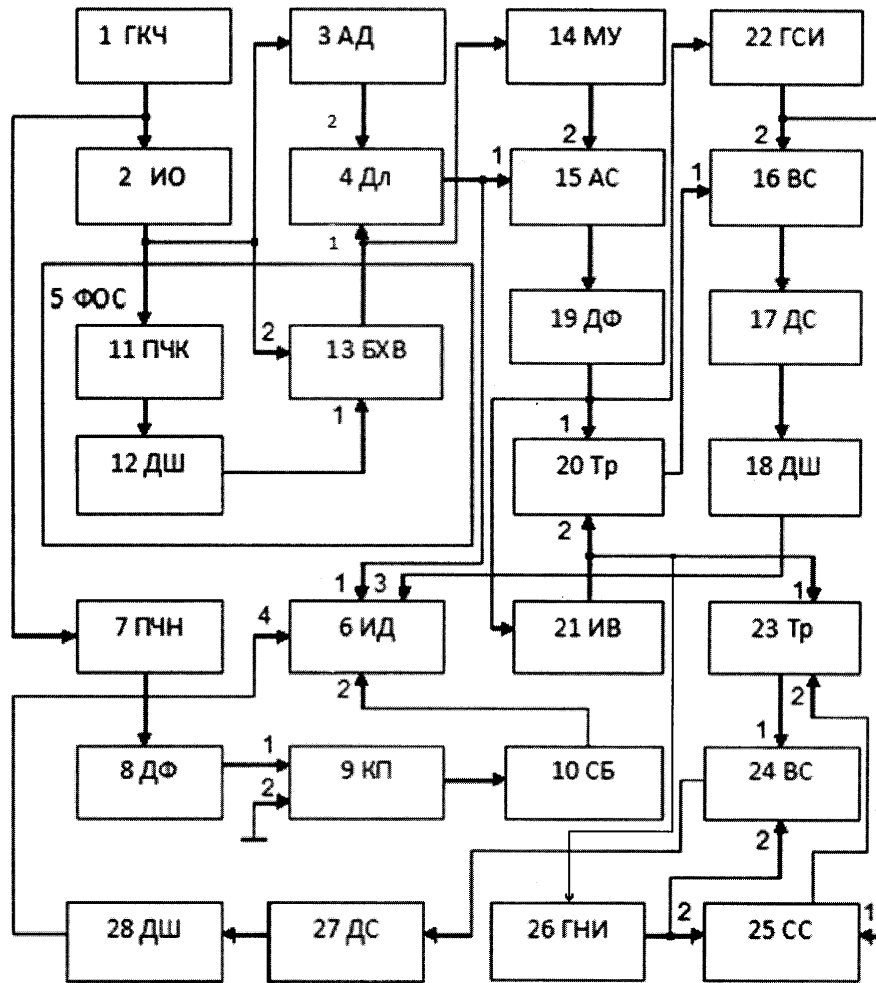
35

40

45

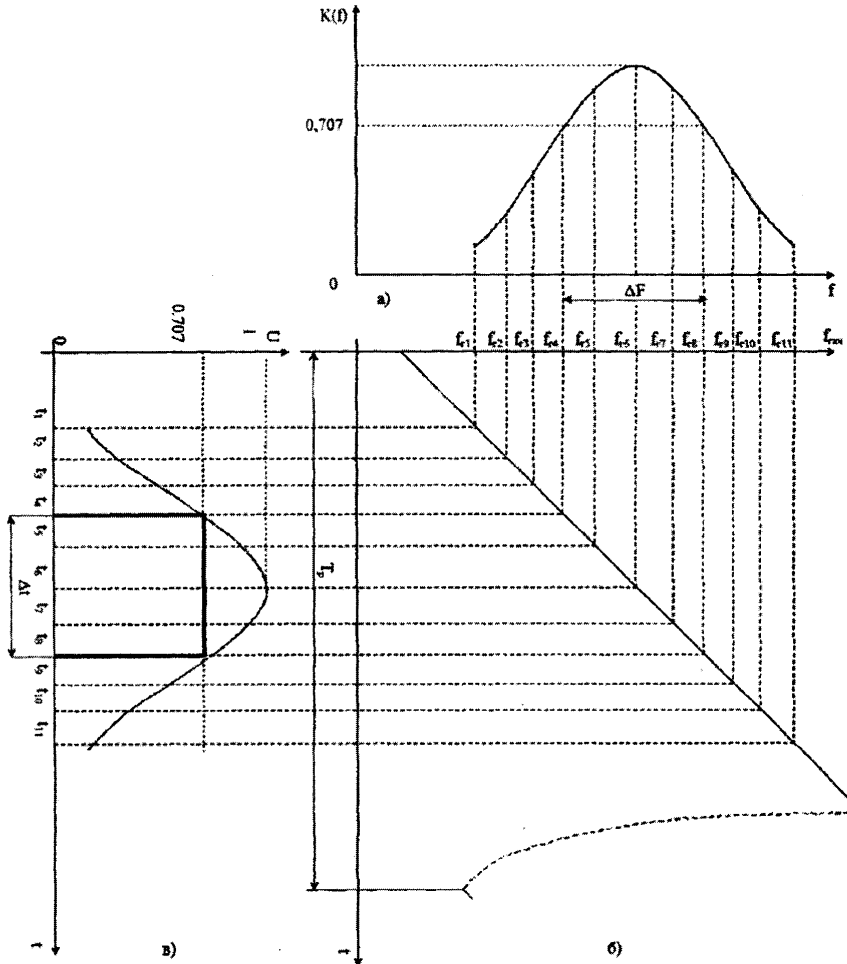
счетчик и третий дешифратор, выход которого подключен к четвертому входу индикатора, выход генератора нониусных импульсов подключен к вторым входам второго временного селектора и схемы совпадения, выход которой подключен к второму входу второго триггера, а первый вход - соединен с вторым входом первого временного селектора и выходом генератора счетных импульсов, вход которого соединен с входом инвертора и первым входом первого триггера, выход которого подключен к первому входу первого временного селектора, а второй вход - соединен с входом генератора нониусных импульсов, первым входом второго триггера и выходом инвертора, вход второго дифференциатора соединен с выходом амплитудного селектора, а выход -
5
10
15
20
25
30
35
40
45

Измеритель относительных
амплитудно-частотных характеристик



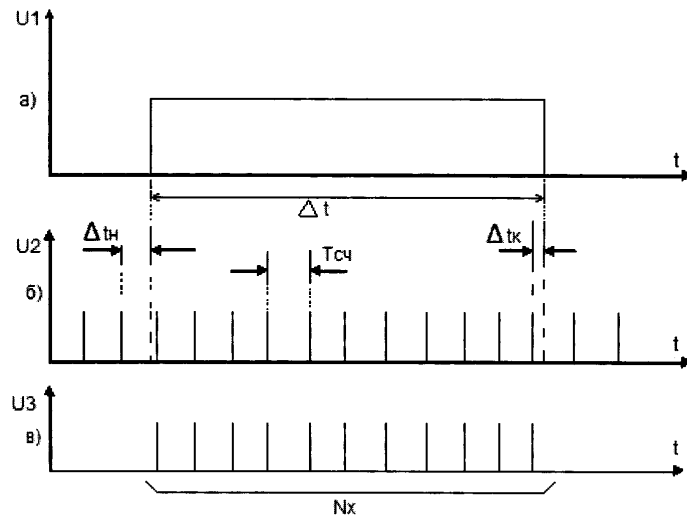
Фиг.1

**Измеритель относительных
амплитудно-частотных
характеристик**



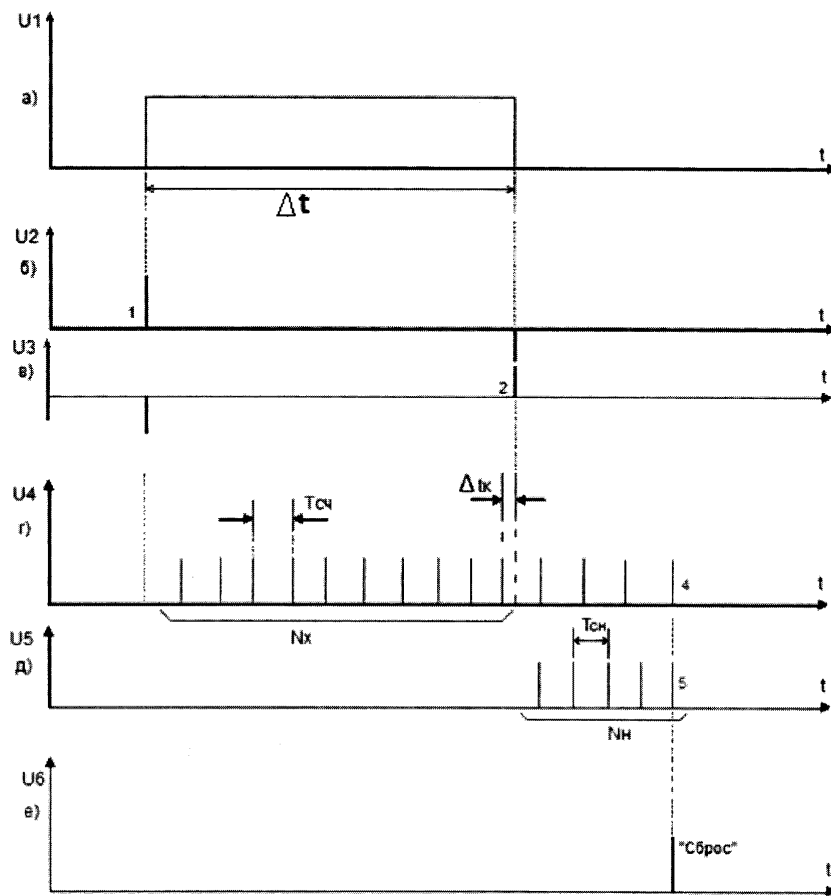
Фиг. 2

**Измеритель относительных
амплитудно-частотных характеристик**



Фиг.3

Измеритель относительных
амплитудно-частотных характеристик



Фиг.4