

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2668951

### ИЗМЕРИТЕЛЬ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ АМПЛИТУДНО- ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Сытько Иван Иванович (RU), Кремчеев Эльдар Абдоллович (RU), Махов Владимир Евгеньевич (RU)*

Заявка № 2017136510

Приоритет изобретения 16 октября 2017 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 05 октября 2018 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 16 октября 2037 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Измиев



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
G01R 27/28 (2018.05)

(21)(22) Заявка: 2017136510, 16.10.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
16.10.2017

Дата регистрации:  
05.10.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 16.10.2017

(45) Опубликовано: 05.10.2018 Бюл. № 28

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,  
ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский горный  
университет", отдел интеллектуальной  
собственности и трансфера технологий (отдел  
ИС и ТТ)

(72) Автор(ы):

Сытько Иван Иванович (RU),  
Кремчеев Эльдар Абдоллович (RU),  
Махов Владимир Евгеньевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Санкт-Петербургский горный  
университет" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете

о поиске: RU 2584730 C1, 20.05.2016. RU  
2341807 C1, 20.12.2008. SU 935809 A1,  
15.06.1982. SU 894603 A1, 30.12.1981. JP  
56160664 A, 10.12.1981. JP 4086572 A,  
19.03.1992.

## (54) ИЗМЕРИТЕЛЬ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

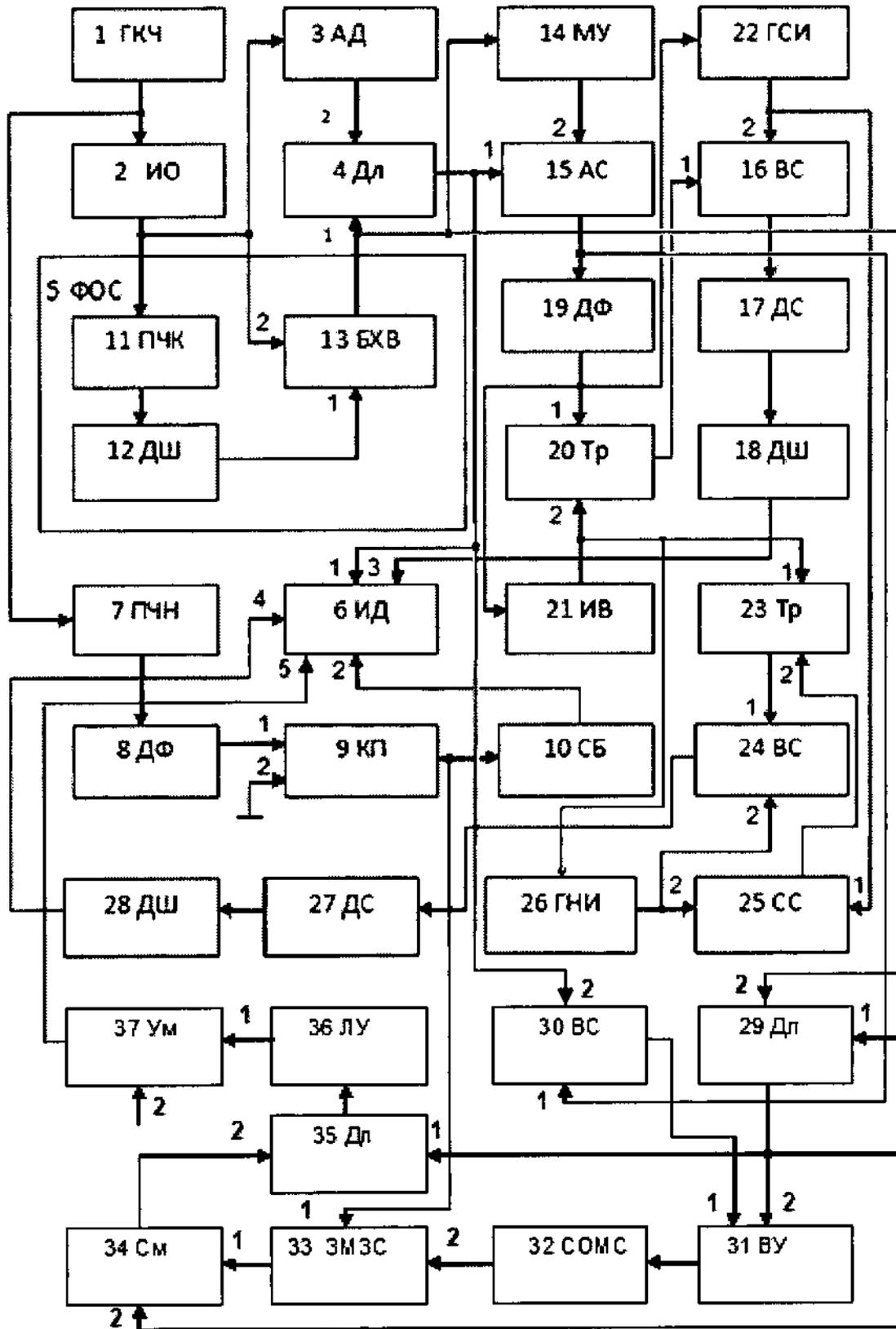
(57) Реферат:

Изобретение относится к области радиоизмерений и может быть использовано при контроле амплитудно-частотных характеристик различных радиотехнических блоков. Измеритель относительных амплитудно-частотных характеристик содержит генератор качающейся частоты 1, амплитудный детектор 3, делитель 4, формирователь опорного сигнала 5, индикатор 6, преобразователь частоты в напряжение 7, первый дифференциатор 8, компаратор 9, согласующий блок 10, преобразователь частоты в код 11, первый дешифратор 12, блок хранения и выборки 13, масштабный усилитель 14, амплитудный селектор 15, первый временной селектор 16, первый декадный счетчик 17, второй дешифратор 18, второй дифференциатор 19, первый триггер 20, инвертор 21, генератор

счетных импульсов 22, второй триггер 23, второй временной селектор 24, схему совпадения 25, генератор нониусных импульсов 26, второй декадный счетчик 27, третий дешифратор 28, второй делитель 29, третий временной селектор 30, вычитающее устройство 31, схему определения модуля сигнала 32, запоминатель максимального значения сигнала 33, сумматор 34, третий делитель 35, логарифмический усилитель 36, умножитель 37. Схема соединения элементов измерителя представлена на фиг. 1. Измеритель обеспечивает расширение функциональных возможностей путем автоматического дополнительного определения неравномерности амплитудно-частотных характеристик измеряемых объектов. 5 ил.

RU 2 668 951 C1

RU 2 668 951 C1



Фиг.1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*G01R 27/28 (2018.05)*

(21)(22) Application: **2017136510, 16.10.2017**

(24) Effective date for property rights:  
**16.10.2017**

Registration date:  
**05.10.2018**

Priority:

(22) Date of filing: **16.10.2017**

(45) Date of publication: **05.10.2018** Bull. № 28

Mail address:

**199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, FGBOU  
VO "Sankt-Peterburgskij gornyj universitet", otdel  
intellektualnoj sobstvennosti i transfera  
tehnologij (otdel IS i TT)**

(72) Inventor(s):

**Sytko Ivan Ivanovich (RU),  
Kremcheev Eldar Abdollovich (RU),  
Makhov Vladimir Evgenevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij gornyj  
universitet" (RU)**

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

(57) Abstract:

FIELD: radio engineering; measurement equipment.

SUBSTANCE: invention relates to radar measurements and can be used for control of amplitude-frequency characteristics of various radio blocks. Relative amplitude-frequency characteristics meter contains wobble generator 1, amplitude detector 3, divider 4, driver of the reference signal 5, indicator 6, frequency converter 7, first differentiator 8, comparator 9, matching unit 10, frequency converter into a code 11, first decoder 12, storage and retrieval unit 13, scale amplifier 14, amplitude selector 15, first time selector 16, first decadal counter 17, second decoder 18, second differentiator 19, first flip-flop 20, inverter 21, counting pulse generator 22, second flip-flop 23, second time

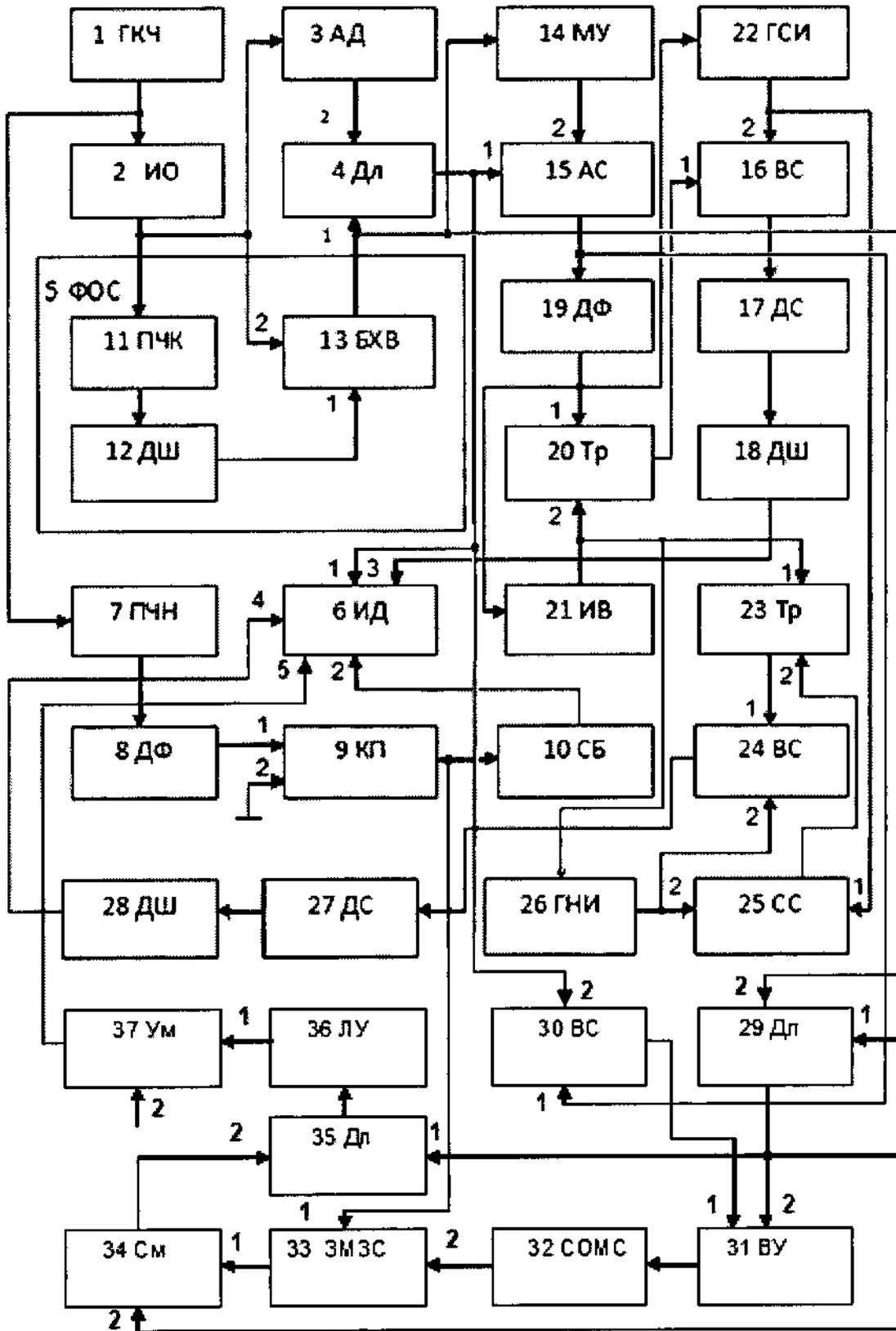
selector 24, coincidence circuit 25, vernier pulse generator 26, second decadal counter 27, third decoder 28, second divider 29, third time selector 30, subtractor 31, signal modulus determination circuit 32, maximum signal value memory 33, adder 34, third divider 35, logarithmic amplifier 36, multiplier 37. Connection diagram of the elements of the meter is shown in Fig. 1.

EFFECT: meter provides expansion of functional possibilities by means of automatic additional definition of non-uniformity of amplitude-frequency characteristics of measured objects.

1 cl, 5 dwg

RU 2 668 951 C1

RU 2 668 951 C1



Фиг.1

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 5 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 10 качающейся частоты, а также не обеспечивает автоматическое определение неравномерности амплитудно-частотных характеристик измеряемых объектов.

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 15 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 20 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 25 подключен к второму входу индикатора, вход преобразователя частоты в напряжение соединен с выходом 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 30 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 35 ширины луча. Кроме того, данный измеритель не обеспечивает автоматическое определение неравномерности амплитудно-частотных характеристик измеряемых объектов.

Известен измеритель относительных амплитудно-частотных характеристик (патент РФ №2341807 опубликовано 20.12.2008 г.), содержащий генератор качающейся частоты, 40 измеряемый объект, амплитудный детектор, первый делитель и формирователь опорного сигнала, выполненного в виде последовательно соединенных преобразователя частоты в код, дешифратора и блока хранения и выборки, индикатор, преобразователь частоты в напряжение, первый дифференциатор, первый компаратор, масштабный усилитель, первый амплитудный селектор, первый временной селектор, второй декадный счетчик, 45 второй дешифратор, первый коммутатор, второй амплитудный селектор, второй делитель, второй дифференциатор, третий дифференциатор, первый инвертор, второй инвертор, второй временной селектор, третий временной селектор, реверсивный счетчик, третий инвертор, второй компаратор, ключ, четвертый дифференциатор.

Недостатком измерителя 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. Кроме того, данный измеритель не позволяет автоматически определять неравномерность амплитудно-частотных характеристик измеряемых объектов.

Известен измеритель относительных амплитудно-частотных характеристик (патент РФ №2291452, опубликовано 10.01.2007 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, 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, а также ограниченные функциональные возможности. Кроме того, данный измеритель не позволяет автоматически определять неравномерность амплитудно-частотных характеристик измеряемых объектов.

Известен измеритель относительных амплитудно-частотных характеристик (патент РФ №2584730, опубликовано 20.05.2016), принятый за прототип. Измеритель содержит генератор качающейся частоты, измеряемый объект, амплитудный детектор, делитель и формирователь опорного сигнала, выполненного в виде последовательно соединенных преобразователя частоты в код, дешифратора и блока хранения и выборки, индикатор, преобразователь частоты в напряжение, первый дифференциатор, компаратор, согласующий блок, масштабный усилитель, амплитудный селектор, первый временной селектор, первый декадный счетчик, второй дешифратор, второй дифференциатор, первый триггер, инвертор, генератор счетных импульсов, второй триггер, второй временной селектор, схема совпадения, генератор нониусных импульсов, второй декадный счетчик, третий дешифратор.

Недостатком известного измерителя является невозможность автоматического определения неравномерности амплитудно-частотных характеристик исследуемых объектов.

Технический результат заключается в расширении функциональных возможностей - автоматическое дополнительное определение неравномерности амплитудно-частотных

характеристик исследуемых объектов.

Технический результат достигается тем, в измеритель введены последовательно соединенные второй делитель, вычитающее устройство, схема определения модуля сигнала, запоминатель максимального значения сигнала, первый вход которого соединен с выходом компаратора, а выход - подключен к первому входу сумматора, второй вход которого соединен с объединенными вторым входом вычитающего устройства и первым входом третьего делителя, второй вход которого соединен с выходом сумматора, а выход - подключен к входу логарифмического усилителя, выход которого подключен к первому входу умножителя, второй вход которого соединен с входной шиной, а выход - подключен к пятому входу индикатора, первый вход третьего временного селектора соединен с выходом амплитудного селектора, первый вход которого соединен с вторым входом третьего временного селектора, выход которого подключен к первому входу вычитающего устройства, объединенные первый и второй входы второго делителя соединены с выходом формирователя опорного сигнала

Измеритель относительных амплитудно-частотных характеристик поясняется следующими фигурами:

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;

фиг. 5 - временные диаграммы, поясняющие принцип определения неравномерности амплитудно-частотных характеристик, где:

1 - генератор качающейся частоты (ГКЧ);

2 - измеряемый объект (ИО);

3 - амплитудный детектор (АД);

4 - делитель (Дл);

5 - формирователь опорного сигнала (ФОС);

6 - индикатор (ИД);

7 - преобразователь частоты в напряжение (ПЧН);

8 - первый дифференциатор (ДФ);

9 - компаратор (КП);

10 - согласующий блок (СБ);

11 - преобразователь частоты в код (ПЧК);

12 - первый дешифратор (ДШ);

13 - блок хранения и выборки (БХВ);

14 - масштабный усилитель (МУ);

15 - амплитудный селектор (АС);

16 - первый временной селектор (ВС);

17 - первый декадный счетчик (ДС);

18 - второй дешифратор (ДШ);

19 - второй дифференциатор (ДФ);

20 - первый триггер (Тр);

- 21 - инвертор (ИВ);
- 22 - генератор счетных импульсов (ГСИ);
- 23 - второй триггер (Тр);
- 24 - второй временной селектор (ВС);
- 5 25 - схема совпадения (СС);
- 26 - генератор нониусных импульсов (ГНИ);
- 27 - второй декадный счетчик (ДС);
- 28 - третий дешифратор (ДШ);
- 29 - второй делитель (Дл);
- 10 30 - третий временной селектор (ВС);
- 31 - вычитающее устройство (ВУ);
- 32 - схема определения модуля сигнала (СОМС);
- 33 - запоминатель максимального значения сигнала (ЗМЗС);
- 34 - сумматор (См);
- 15 35 - третий делитель (Дл);
- 36 - логарифмический усилитель (ЛУ);
- 37 - умножитель (Ум).

Измеритель относительных амплитудно-частотных характеристик содержит генератор качающейся частоты (ГКЧ) 1 (фиг. 1), выход которого подключен к входу

20 измеряемого объекта 2, выход которого подключен к входам амплитудного детектора 3 и формирователя опорного сигнала 5, выполненного в виде последовательно соединенных преобразователя частоты в код 11, первого дешифратора 12 и блока хранения и выборки 13, выход которого является выходом формирователя опорного сигнала 5, а второй вход-соединен с входом преобразователя частоты в код 11,

25 являющегося входом формирователя опорного сигнала 5, последовательно соединенные преобразователь частоты в напряжение 7, первый дифференциатор 8, компаратор 9 и согласующий блок 10, выход которого подключен к второму входу индикатора 6, вход преобразователя частоты в напряжение 7 подключен к выходу генератора качающейся частоты 1, а второй вход компаратора 9 соединен с общей шиной, второй вход

30 амплитудного селектора 15 соединен с выходом масштабного усилителя 14, вход которого соединен с выходом формирователя опорного сигнала 5 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

35 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 нониусных импульсов 26 подключен к вторым входам второго временного селектора

40 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 счетных импульсов 22, 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

45 нониусных импульсов 26, 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 счетных импульсов 22 и первому входу первого триггера 20, последовательно соединенные второй делитель 29,

вычитающее устройство 31, схема определения модуля сигнала 32, запоминатель максимального значения сигнала 33, первый вход которого соединен с выходом компаратора 9, а выход - подключен к первому входу сумматора 34, второй вход которого соединен с объединенным вторым входом вычитающего устройства 31 и первым входом третьего делителя 35, второй вход которого соединен с выходом сумматора 34, а выход - подключен к входу логарифмического усилителя 36, выход которого подключен к первому входу умножителя 37, второй вход которого соединен с входной шиной, а выход - подключен к пятому входу индикатора 6, первый вход третьего временного селектора 30 соединен с выходом амплитудного селектора 15, первый вход которого соединен с вторым входом третьего временного селектора 30, выход которого подключен к первому входу вычитающего устройства 31, объединенные первый и второй входы второго делителя 29 соединены с выходом формирователя опорного сигнала 5.

Измеритель работает следующим образом. Сигнал качающейся частоты с выхода генератора качающейся частоты 1 поступает на объединенные входы преобразователя частоты в напряжение 7 и измеряемый объект 2, амплитудно-частотная характеристика которого показана на эюре 1 фиг. 2. С выхода измеряемого объекта 2 сигнал поступает на вход амплитудного детектора 3, огибающая которого пропорциональна измеряемой амплитудно-частотной характеристике, поступает на второй вход делителя 4. С выхода измеряемого объекта 2 сигнал поступает также на формирователь опорного сигнала 5, 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-частотной характеристике и равна отношению сигнала на выходе амплитудного детектора 3 к уровню сигнала на опорной частоте, поступающего с выхода формирователя опорного сигнала 5. 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 выходе амплитудного детектора 3. Длительность сигнала относительно уровня 0,707 на выходе делителя 4, которая показана на эюре 3 фиг. 2, прямо пропорциональна полосе пропускания амплитудно-частотной характеристике измеряемого объекта 2 и обратно пропорциональна скорости изменения частоты генератора качающейся частоты 1 и определяется по формуле

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

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

где  $\Delta F$  - 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 эюре 2 фиг. 2.

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 не зависимо от коэффициента передачи измеряемого объекта 2.

Формирователь 5 опорного сигнала посредством преобразователя частоты в код 11 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 хранения и выборки 13 в момент времени, когда текущая частота сигнала достигает значения заданной опорной частоты. Блок хранения и выборки 13 выделяет из входного сигнала и запоминает уровень на опорной частоте, который подается на первый вход делителя 4.

Сигнал с выхода генератора качающейся частоты 1 поступает на вход преобразователя частоты в напряжение 7, на выходе которого напряжение изменяется пропорционально частоте входного сигнала, имеет пилообразную форму и поступает на вход первого дифференциатора 8. На выходе первого дифференциатора 8 во время обратного хода генератора качающейся частоты 1 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 первым 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 генератор качающейся частоты 1.

С выхода формирователя опорного сигнала 5, уровень сигнала опорной частоты, относительно которой производится нормирование амплитудно-частотной характеристики также поступает на вход масштабного усилителя 14.

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 качающейся частоты 1, которые показаны соответственно на эюре 3 фиг. 2, эюре 1 фиг. 3 и эюре 1 фиг. 4.

Выход амплитудного селектора 15 подключен к входу второго дифференциатора 19, который вырабатывает два импульса - первый опорный и второй интервальный, которые показаны на эюре 2 фиг. 4 и соответствуют началу и концу измеряемого интервала  $\Delta t$ . Выход второго дифференциатора 19 подключен к входу генератора счетных импульсов 22, первому входу триггера 20 и входу инвертора 21. Опорный импульс запускает генератор счетных импульсов 22 и одновременно через триггер 20 первый временной селектор 16. С этого момента начинается счет импульсов генератора счетных импульсов 22 (эюра 4 фиг. 4). Так как начало счета совпадает с опорным импульсом (эюры 1, 2 и 4 фиг. 4), поэтому в начале счета исключена погрешность дискретности  $\Delta t_n$ , которая лежит в диапазоне  $(0, - T_{сч})$  (фиг. 3). Интервальный импульс (эюра 3 фиг.

4) 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 характеристике измеряемого объекта 2 и обратно пропорционально скорости изменения частоты генератора качающейся частоты 1. При этом значение измеряемого интервала  $\Delta t$  будет определяться выражением

$$\Delta t = N_x \cdot T_{сч} + \Delta t_k.$$

В конце счета импульсов погрешность дискретности лежит в диапазоне  $(0, +T_{сч})$ .

Для уменьшения погрешности дискретности  $\Delta t_k$  интервальный импульс (эюра 3 фиг. 4) с выхода инвертора 21 одновременно с закрытием первого временного селектора 16 запускает генератор нониусных импульсов 26 и через триггер 23 открывает второй временной селектор 24. В результате начинается счет нониусных импульсов (эюра 5 фиг. 4). Нониусные импульсы с выхода генератора нониусных импульсов 26 и счетные импульсы с выхода генератора счетных импульсов 22 поступают на схему 25 совпадения.

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

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

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

Спустя некоторое время произойдет совпадение импульсов генератора нониусных импульсов 26 и генератора счетных импульсов 22. При этом срабатывает схема совпадения 25, а ее импульс «сброса» (эюра 6 фиг. 4) зафиксирует число импульсов  $N_n$  (эюра 5 фиг. 4), поступающих на второй декадный счетчик 27 и вернет всю схему в исходное состояние.

Зная число  $N_n$ , погрешность дискретности  $\Delta t_k$  определим из соотношения

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

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

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. Выход второго декадного счетчика 27, который осуществляет счет поступающих импульсов  $N_n$ , подключен к входу третьего дешифратора 28, выход которого подключен к четвертому входу индикатора 6. Показание первого и второго декадных счетчиков 17 и 27 объединено в отсчетном устройстве индикатора 6. При этом  $N_x$  фиксируют в старших разрядах, а  $N_n$  - в младших.

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

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

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

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

Автоматическое определение неравномерности амплитудно-частотных характеристик измеряемых объектов 2 производится следующим образом. Выход формирователя опорного сигнала 5 подключен к первому и второму входам второго делителя 29, на выходе которого формируется напряжение пропорциональное единице (нормированное напряжение на опорной (заданной) частоте  $f_0$   $U_{вых f_0}$ ), которое поступает на второй вход вычитающего устройства 31, второй вход сумматора 34 и первый вход третьего делителя 35.

На второй вход третьего временного селектора 30 с коэффициентом передачи равный единице поступает нормированная амплитудно-частотная характеристика измеряемого объекта 2 с выхода делителя 4 (эпюра 1 фиг. 5), а на первый вход с выхода амплитудного селектора 15 (эпюра 2 фиг. 5) поступает прямоугольный импульс единичной амплитуды и длительностью прямо пропорциональной полосе пропускания амплитудно-частотной характеристике измеряемого объекта 2 и обратно пропорциональна скорости изменения частоты генератора качающейся частоты 1.

На выходе третьего временного селектора 30 формируется сигнал, представленный на эпюре 3 фиг. 5. Выход третьего временного селектора 30 подключен к первому входу вычитающего устройства 31, на выходе которого формируется сигнал, представленный на эпюре 4 фиг. 5. Выход вычитающего устройства 31, подключен к входу схемы определения модуля сигнала 32, на выходе которой формируется сигнал, представленный на эпюре 5 фиг. 5.

Выход схемы определения модуля сигнала 32 подключен к второму входу запоминающего максимального значения сигнала 33, который запоминает (эпюра 5 фиг. 5) максимальное значение напряжения сигнала  $\Delta U_{\max \text{ вых } f}$  (максимальное отличие от нулевого значения) за время длительности сигнала (эпюра 2 фиг. 5), который вырабатывает амплитудный селектор 15 и длительность которого прямо пропорциональна полосе пропускания амплитудно-частотной характеристике измеряемого объекта 2 и обратно пропорциональна скорости изменения частоты

генератора качающейся частоты 1. Перед следующим циклом измерения (качания частоты генератора 1 качающейся частоты) на первый вход запоминателя максимального значения сигнала 33 с выхода компаратора 9 поступает импульс отрицательной полярности (управляющий), длительность которого равна времени обратного хода качания частоты генератора 1 качающейся частоты и обнуляет (переводит в начальное состояние) запоминатель максимального значения сигнала 33.

Выход запоминателя максимального значения сигнала 33 подключен к первому входу сумматора 34, на второй ход которого поступает сигнал с выхода второго делителя 29. На выходе сумматора 34 формируется сигнал максимальной амплитуды в пределах полосы пропускания амплитудно-частотной характеристики измеряемого объекта 2 и определяется выражением

$$U_{\text{вых } f} = U_{\text{вых } f_0} + \Delta U_{\text{max вых } f},$$

где  $U_{\text{вых } f}$  - максимальное напряжение на частоте  $f$ ;

$U_{\text{вых } f_0}$  - нормированное напряжение на опорной (заданной) частоте пропорциональное единице;

$\Delta U_{\text{max вых } f}$  - максимальное отличие напряжения от нулевого значения на частоте  $f$ .

Выход сумматора 34 подключен к второму входу третьего делителя 35, на первый вход которого поступает сигнал с выхода второго делителя 29. На выходе третьего делителя 35 формируется сигнал пропорциональный

$$\frac{U_{\text{вых } f}}{U_{\text{вых } f_0}} = \frac{U_{\text{вых } f_0} + \Delta U_{\text{max вых } f}}{U_{\text{вых } f_0}} = 1 + \frac{\Delta U_{\text{max вых } f}}{U_{\text{вых } f_0}},$$

Выход третьего делителя подключен к входу логарифмического усилителя 36, на выходе которого формируется сигнал пропорциональный логарифму отношения максимальное напряжение на частоте  $f$  к напряжению на опорной (заданной) частоте и определяется выражением

$$\lg \frac{U_{\text{вых } f}}{U_{\text{вых } f_0}} = \lg \left( \frac{U_{\text{вых } f_0} + \Delta U_{\text{max вых } f}}{U_{\text{вых } f_0}} \right) = \lg \left( 1 + \frac{\Delta U_{\text{max вых } f}}{U_{\text{вых } f_0}} \right)$$

Выход логарифмического усилителя подключен к первому входу множителя 37, на второй вход которого подается напряжение пропорциональное двадцати. Выход множителя 37 подключен к пятому входу индикатора 6, на котором отображается значение неравномерности амплитудно-частотной характеристики ( $A$ ), которое определяется выражением

$$A = 20 \lg \frac{U_{\text{вых } f}}{U_{\text{вых } f_0}} = 20 \lg \left( \frac{U_{\text{вых } f_0} + \Delta U_{\text{max вых } f}}{U_{\text{вых } f_0}} \right) = 20 \lg \left( 1 + \frac{\Delta U_{\text{max вых } f}}{U_{\text{вых } f_0}} \right) \text{ дБ}$$

Таким образом, частотная неравномерность зависит от вида амплитудно-частотной характеристики исследуемого объекта 2 и приводит к нелинейным искажениям сигнала.

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

Достоверность измерения амплитудно-частотных характеристик зависит от скорости измерения частоты генератора качающейся частоты 1 и полосы пропускания

измеряемого объекта 2 и определяется выражением

$$\mu = \frac{V_{2КЧ}}{\Delta F^2},$$

5 которое характеризует динамические погрешности. Увеличение параметра  $\mu$  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 качающейся частоты 1.

10 Таким образом, в предлагаемом измерителе относительных амплитудно-частотных характеристик путем введения аналоговых и дискретных устройств обеспечивается расширение функциональных возможностей путем автоматического дополнительного определения неравномерности амплитудно-частотных характеристик исследуемых объектов.

15

#### (57) Формула изобретения

Измеритель относительных 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, при этом 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, отличающийся тем, что в него введены последовательно соединенные второй делитель, вычитающее устройство, схема определения модуля сигнала, запоминатель максимального значения сигнала, первый вход которого соединен с выходом

компаратора, а выход -подключен к первому входу сумматора, второй вход которого  
соединен с объединенными вторым входом вычитающего устройства и первым входом  
третьего делителя, второй вход которого соединен с выходом сумматора, а выход -  
подключен к входу логарифмического усилителя, выход которого подключен к первому  
5 входу умножителя, второй вход которого соединен с входной шиной, а выход -  
подключен к пятому входу индикатора, первый вход третьего временного селектора  
соединен с выходом амплитудного селектора, первый вход которого соединен с вторым  
входом третьего временного селектора, выход которого подключен к первому входу  
вычитающего устройства, объединенные первый и второй входы второго делителя  
10 соединены с выходом формирователя опорного сигнала.

15

20

25

30

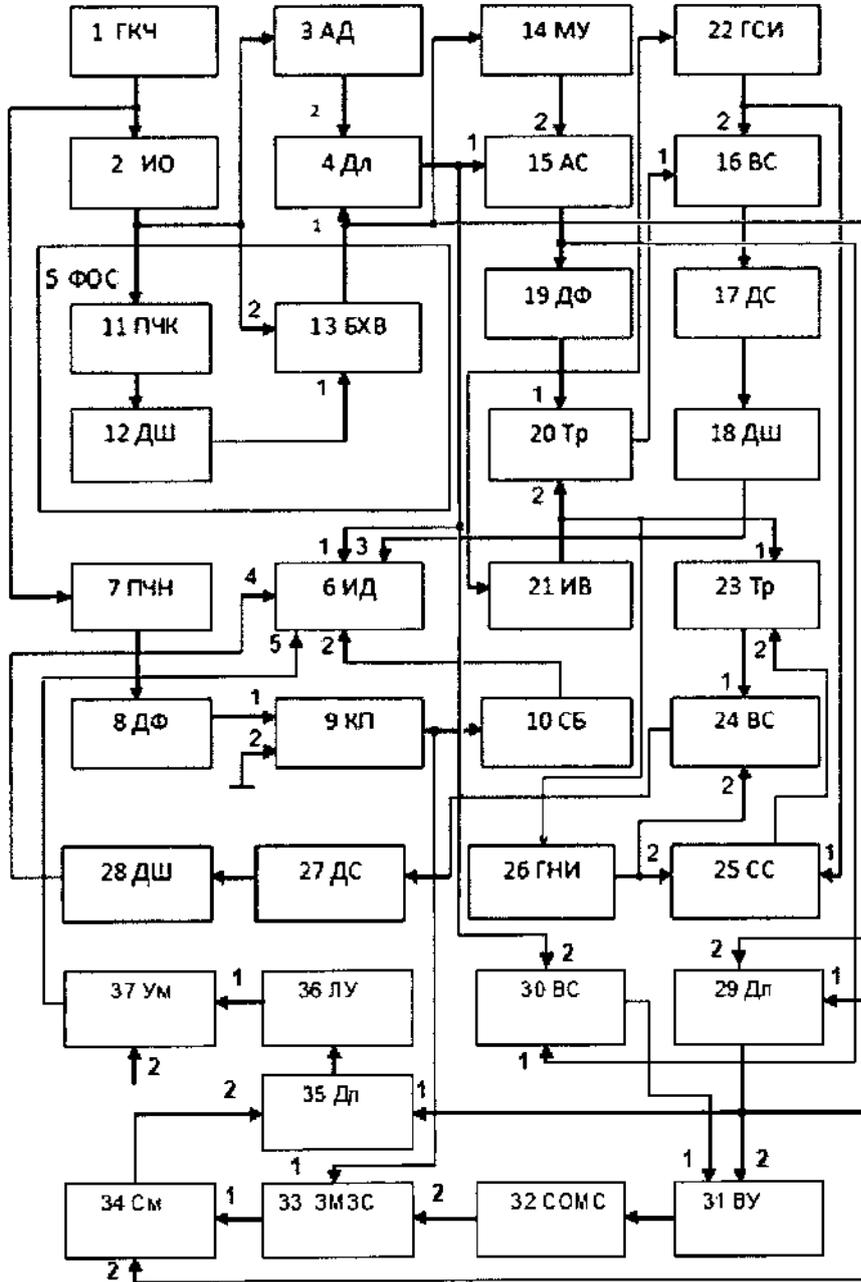
35

40

45

1

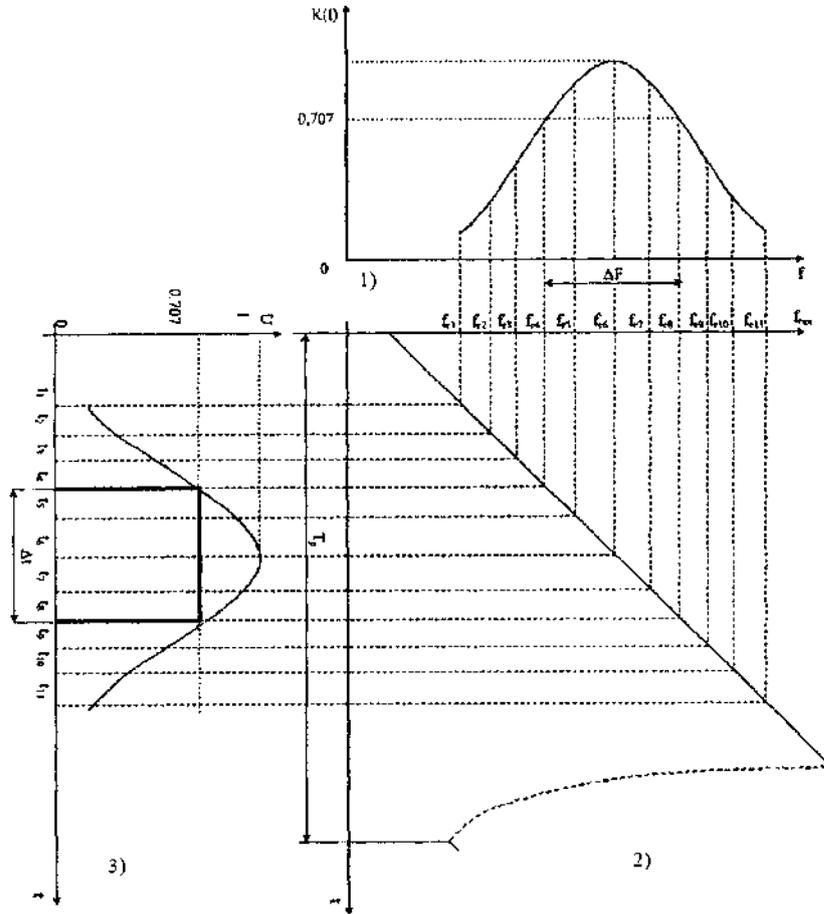
**ИЗМЕРИТЕЛЬ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ  
АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**



**Фиг.1**

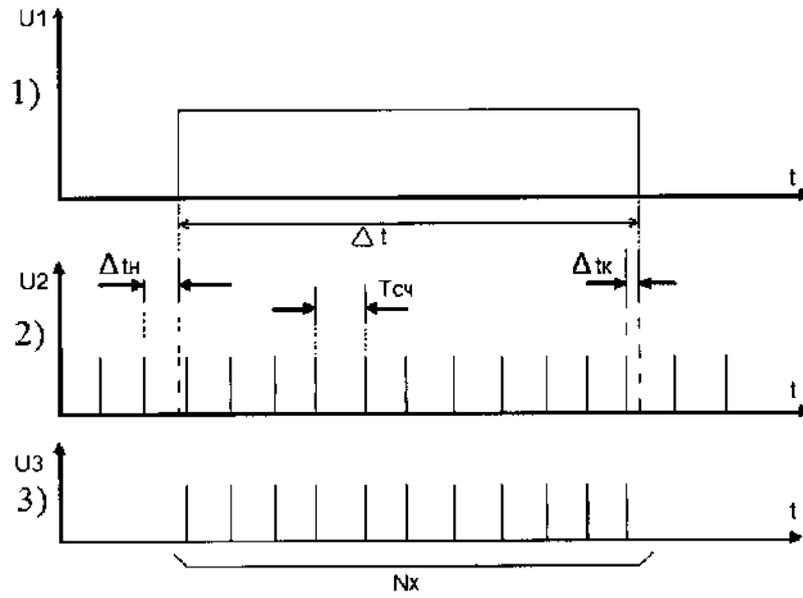
2

ИЗМЕРИТЕЛЬ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ  
АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК



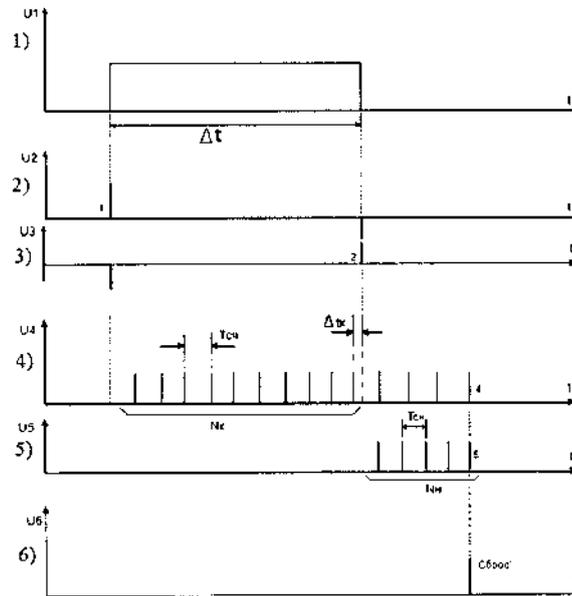
Фиг.2

**ИЗМЕРИТЕЛЬ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ  
АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**



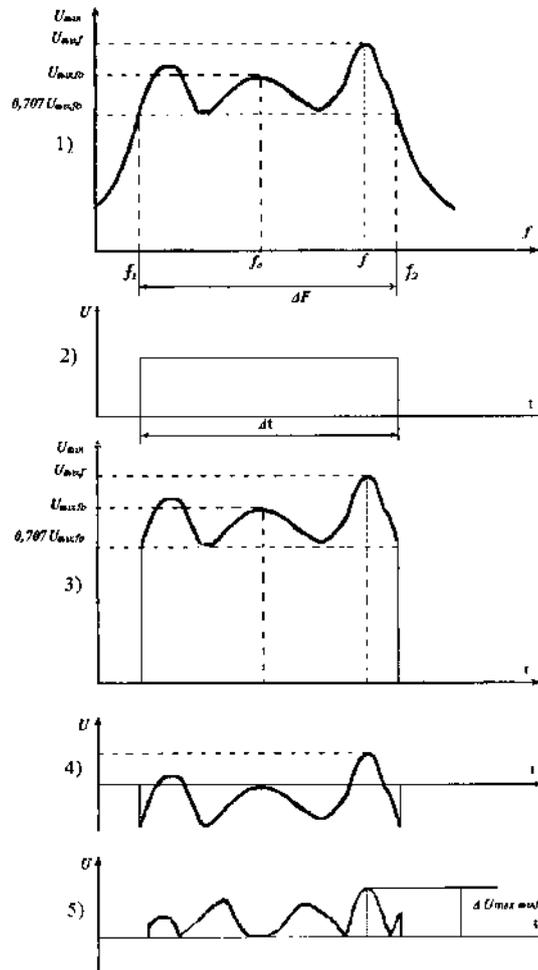
**Фиг.3**

**ИЗМЕРИТЕЛЬ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ  
АМПЛИТУДНО - ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**



**Фиг.4**

**ИЗМЕРИТЕЛЬ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ  
АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**



**Фиг.5**