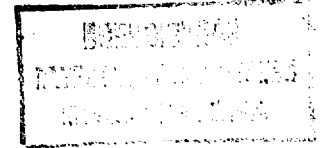




ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ
ПРИ ГКНТ СССР

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



1

2

(21) 4193483/21
(22) 11.02.87
(46) 30.09.91, Бюл. № 36
(71) Минский радиотехнический институт
(72) В.Л.Свирид
(53) 621.317 (088.8)
(56) Авторское свидетельство СССР
№ 1071972, кл. G 01 R 27/26, 1982.
Авторское свидетельство СССР
№ 1594447, кл. G 01 R 27/26, 10.11.86.
(54) АВТОМАТИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ПА-
РАМЕТРОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ЭЛЕ-
МЕНТОВ И УСТРОЙСТВ
(57) Изобретение относится к радиоизмери-
тельной технике и может быть использовано
для измерения центральной частоты, поло-
сы пропускания и/или добротности радио-
технических элементов и устройств, а также
для измерения емкости, индуктивности,
тангенса угла потерь и др. параметров. Цель
изобретения – расширение частотного диа-
пазона измерений. Устройство содержит
линейно управляемый по частоте генератор

1, частотный модулятор 2, управляемый ат-
тенюатор 3, клеммы 4 для подключения ис-
следуемых радиотехнических элементов
или устройств 5, амплитудный демодулятор
6, блок 7 формирования нормированной ха-
рактеристики второй производной, время-
амплитудный преобразователь 8,
синхронные демодуляторы 9 и 10, вычисли-
тельный блок 11, компаратор 15, элементы
ИЛИ 20 и 21, RS-триггеры 22 и 23, индикатор-
ный блок 24, генератор 25 запускающих им-
пульсов и дифференцирующий блок 26.
Введение блока 12 формирования нормиро-
ванной характеристики первой производной,
делителя 13 частоты, управляемого усилителя
14, компараторов 16 и 17, источника 18 опор-
ного напряжения и элемента И 19 позволяет
получить информацию об интервалах време-
ни, в пределах которых находятся истинные
координаты точек перехода через нуль харак-
теристики второй производной, являющиеся
источником достоверной информации об ис-
комых параметрах. 1 табл., 2 ил.

Изобретение относится к радиоизмери-
тельной технике и может быть использовано
при построении устройств для измерения
параметров радиотехнических элементов.

Цель изобретения – расширение диапа-
зона величин измеряемых параметров.

На фиг. 1 представлена блок-схема ав-
томатического измерителя параметров ра-
диотехнических элементов; на фиг. 2 –
диаграммы, поясняющие принцип работы
измерителя.

Автоматический измеритель парамет-
ров радиотехнических элементов и уст-
ройств содержит линейно управляемый по
частоте генератор 1, частотный модулятор 2,
управляемый аттенюатор 3, клеммы 4 для
подключения объекта 5 измерения, амплитуд-
ный демодулятор 6 и блок 7 формирования
нормированной характеристики второй про-
изводной, которые образуют подсистему
формирования измерительной информации.

Времяамплитудный преобразователь 8,
первый и второй синхронные демодуляторы

9 и 10 и вычислительный блок 11 образуют подсистему обработки и преобразования измерительной информации.

Формирование управляющих сигналов производится с помощью подсистемы управления, в состав которой входят блок 12 формирования нормированной характеристики первой производной с делителем 13 частоты на два, управляемый усилитель 14, первый, второй и третий компараторы 15, 16 и 17, источник 18 опорного напряжения, элемент 19 И, первый и второй элементы ИЛИ 20 и 21, а также первый и второй RS-триггеры 22 и 23.

Индикаторный блок 24 позволяет по заданной программе автоматически распределять последовательно во времени измерительную информацию, осуществлять измерение и индикацию искомым параметров и вырабатывать сигналы для автоматического или ручного управления измерителем в целом.

Синхронизация работы всех функциональных блоков и подсистем автоматического измерителя осуществляется генератором 25 запускающих импульсов и дифференцирующим блоком 26.

Времяамплитудный преобразователь 8, линейно управляемый по частоте генератор 1, частотный модулятор 2, управляемый аттенюатор 3 и одна из клемм 4 для подключения исследуемых радиотехнических элементов и устройств 5 (объект) соединены последовательно. Вторая клемма соединена с общей шиной измерителя, а третья клемма через амплитудный демодулятор 6 соединена с входом блока 7 формирования нормированной характеристики второй производной, первый выход которого соединен с одним из входов первого компаратора 15. Второй вход первого компаратора 15 соединен с общей шиной измерителя.

Информационные входы первого 9 и второго 10 синхронных демодуляторов соединены с выходами времяамплитудного преобразователя 8, а их управляющие входы соединены с прямыми выходами соответственно первого 22 и второго 23 RS-триггеров, R-входы которых соединены с выходами соответственно первого 20 и второго 21 элементов ИЛИ, а S-входы через дифференцирующий блок 26 — с выходом генератора 25 запускающих импульсов, вход которого соединен с выходом индикаторного блока 24. Выходы первого 9 и второго 10 синхронных демодуляторов соединены с соответствующими входами вычислительного блока 11, выходы которого соединены с соответствующими информационными входами индикаторного блока 24.

Вход времяамплитудного преобразователя 8 соединен с прямым выходом второго RS-триггера 23, а модуляционный вход частотного модулятора 2 и управляющий вход управляемого аттенюатора 3 соединены соответственно с вторым и третьим выходами блока 7 формирования нормированной характеристики второй производной, установочный вход которого и первые входы первого 20 и второго 21 элементов ИЛИ совместно с установочными входами первого 9 и второго 10 синхронных демодуляторов и индикаторного блока 24 соединены с выходом генератора 25 запускающих импульсов.

Информационный вход и первый и второй управляющие входы блока 12 формирования нормированной характеристики первой производной соединены соответственно с первым, вторым и третьим дополнительными выходами блока 7 формирования нормированной характеристики второй производной, четвертый дополнительный выход которого соединен с входом делителя 13 частоты. Третий и четвертый управляющие входы блока 12 формирования нормированной характеристики первой производной соединены с соответствующими выходами делителя 13 частоты, а выход блока 12 соединен через управляемый усилитель 14 с одним из входов третьего компаратора 17, второй вход которого соединен с выходом источника 18 опорного напряжения.

Выход третьего компаратора 17 соединен со стробирующим входом первого компаратора 15 и одним из входов элемента ИЛИ 19, выход которого соединен со стробирующим входом второго компаратора 16. Управляющий вход управляемого усилителя 14 соединен с прямым выходом первого RS-триггера 22, инверсный выход которого соединен с вторым входом элемента И 19.

Второй вход первого элемента ИЛИ 20 соединен с выходом первого компаратора 15, а второй вход второго элемента ИЛИ 21 и управляющий вход индикаторного блока 24 соединены с выходом второго компаратора 16, один из входов которого соединен с общей шиной измерителя, а второй — с первым выходом блока 7 формирования нормированной характеристики второй производной.

Масштабный коэффициент передачи вычислительного блока 11, удовлетворяющий требованиям непосредственного отсчета полосы пропускания исследуемых радиотехнических элементов и устройств на произвольном уровне γ ($\Gamma\gamma$), можно определить на основании соотношения

$$M_{\gamma} = \frac{M_{\gamma}}{\Pi_{\gamma_0}} \quad (1)$$

где Π_{γ_0} – полоса пропускания исследуемых элементов и устройств на уровне γ_0 , соответствующем координатам точек перехода через нуль характеристики второй производной.

Частоты f_1 и f_2 , соответствующие данным координатам, позволяют определить полосу пропускания на уровне γ_0 :

$$\Pi_{\gamma_0} = f_2 - f_1 \quad (2)$$

В таблице приведены необходимые исходные и расчетные данные для наиболее распространенных типов радиотехнических элементов и устройств, в соответствии с которыми можно найти требуемые значения масштабного коэффициента M_{γ} (1) при конкретных условиях измерений. В этой таблице использованы следующие обозначения: K и K_0 – коэффициенты передачи исследуемых элементов и устройств на текущей f и центральной (резонансной) f_0 частотах соответственно; ξ – текущая обобщенная расстройка, отсчитываемая от частоты f_0 ; Π_1 – полоса пропускания одиночного резонансного контура на уровне $\gamma = 0,707$; n – число усилительных каскадов в исследуемом устройстве; ξ_0 – обобщенная расстройка контура относительно f_0 , определяющая форму амплитудно-частотной характеристики пары каскадов; $\xi_{окр}$ – критическое значение обобщенной расстройки контуров относительно частоты f_0 ; $\beta_{кр} = 1$ – критическое значение параметра связи между контурами.

Полоса пропускания на произвольном уровне γ исследуемых радиотехнических элементов и устройств, выраженная через частоты f_1 и f_2 (2) и соответствующие им напряжения U_1 и U_2 , имеет вид:

$$\Pi_{\gamma} = M_{\gamma}(f_2 - f_1) = M_{\gamma} K_n(U_2 - U_1) \quad (3)$$

где K_n – коэффициент преобразования напряжения в частоту линейно управляемого по частоте генератора 1, Гц/В.

Центральная (резонансная) частота исследуемых элементов и устройств описывается выражением

$$f_0 = \frac{f_1 + f_2}{2} = f_1 + \frac{f_2 - f_1}{2} = K_n \left(U_1 + \frac{U_2 - U_1}{2} \right) \quad (4)$$

Искомая добротность исследуемых узкополосных элементов и устройств (резонансных контуров, полосовых активных фильтров), имеющих форму амплитудно-частотных характеристик в виде резонансных кривых с одним максимумом, определяется на основании соотношений (3) и (4) при $M_{0,707} = \sqrt{2}$:

$$Q = \frac{f_0}{\Pi_1} = \frac{f_2 + f_1}{2\sqrt{2}(f_2 - f_1)} = \frac{U_1 + \frac{U_2 - U_1}{2}}{\sqrt{2}(U_2 - U_1)} \quad (5)$$

Автоматический измеритель параметров радиотехнических элементов работает следующим образом.

Все подсистемы и функциональные блоки автоматического измерителя (фиг. 1) с помощью генератора 25 запускающих импульсов приводятся в исходное состояние при подключенном к клеммам 4 исследуемом радиотехническом элементе или устройстве 5, представленном в виде четырехполюсника, вход которого соединяется с первой клеммой, общая шина – с второй клеммой, а выход – с третьей клеммой. Запускающий импульс (фиг. 2, а) генератора 25, поступая через первый 20 и второй 21 элементы ИЛИ на R-входы первого 22 и второго 23 RS-триггеров, своим передним фронтом устанавливает последние в исходные состояния с образованием нулевых потенциалов на их прямых выходах, что переводит в режим хранения информации первый 9 и второй 10 синхронные демодуляторы. Этот импульс, поступая непосредственно на установочный вход индикаторного блока 24, своим передним фронтом устанавливает последний в исходное состояние с образованием на его цифровом табло нулевых показаний.

Одновременно запускающий импульс (фиг. 2, а), воздействуя на протяжении своей длительности на установочные входы блока 7 формирования нормированной характеристики второй производной, первого 9 и второго 10 синхронных демодуляторов, переводит данные функциональные блоки в режим разряда собственных емкостных элементов памяти независимо от наличия в них информации (как правило, в первоначальный момент времени она отсутствует).

Времяамплитудный преобразователь 8, реализующий функцию линейного преобразователя импульсных сигналов в пилообразные, выполнен на основе аналогового

интегратора со сбросом, и его разрядный ключ управляется анализируемым импульсным сигналом, получаемым на прямом выходе второго RS-триггера 23, поэтому он не нуждается в стирании информации извне. В связи с тем, что в данный момент времени на прямом выходе второго RS-триггера 23 потенциал отсутствует, времяамплитудный преобразователь 8 находится в режиме саморазряда.

В результате разряда емкостных элементов памяти блок 7 формирования нормированной характеристики второй производной приобретает максимальный коэффициент передачи, а времяамплитудный преобразователь 8, первый 9 и второй 10 синхронные демодуляторы — нулевой уровень выходных напряжений. Образованное при этом напряжение на третьем выходе блока 7, воздействуя на управляющий вход, переводит управляемый аттенюатор 3 в режим максимального коэффициента передачи.

Нулевой потенциал, получаемый на выходе времяамплитудного преобразователя 8, воздействует на линейно управляемый по частоте генератор 1 и смещает его частоту в область нижней границы частотного диапазона работы автоматического измерителя, которая определяется схемотехническими решениями генератора 1.

Напряжение несущей линейно управляемого по частоте генератора 1, взаимодействуя в частотном модуляторе 2 с синусоидальным напряжением, поступающим на модуляционный вход с второго выхода блока 7 формирования нормированной характеристики второй производной, приобретает частотную модуляцию с малой девиацией и воздействует на управляемый аттенюатор 3, который, реализуя максимальный коэффициент передачи (на его управляющем входе действует соответствующее напряжение с третьего выхода блока 7), передает этот сигнал посредством клемм 4 на вход исследуемого радиотехнического элемента или устройства 5 и таким образом, подготавливает к работе подсистему формирования измерительной информации.

Исследуемый радиотехнический элемент или устройство 5, обладая собственной центральной частотой, как правило, отличной от исходной частоты несущей линейно управляемого по частоте генератора 1, не пропускает частотно-модулированный испытательный сигнал на свой выход и, следовательно, не образует полезной информации на выходе амплитудного демодулятора 6. В результате на информа-

ционном входе блока 7 формирования нормированной характеристики второй производной сигнал отсутствует и это способствует сохранению максимальных коэффициентов передачи как блока 7, так и управляемого аттенюатора 3 в течение некоторого интервала времени, даже после окончания действия запускающего импульса (фиг. 2, а).

В рассматриваемой ситуации сигнал на первом выходе блока 7 формирования нормированной характеристики второй производной отсутствует также и потому, что выполняемые в данном блоке функции пока реализуются не в полном объеме. Блок 7 производит операцию быстрого нормирования характеристик (до наступления первого перехода через нуль второй производной), вырабатывает синусоидальное модулирующее напряжение для подсистемы формирования измерительной информации (операция частотной модуляции с малой девиацией реализуется путем подачи сигнала с второго выхода блока 7 на модуляционный вход частотного модулятора 2) и осуществляет синхронную селекцию второй гармонической составляющей этого моделирующего сигнала независимо от его фазы (вторая гармоническая образуется в результате взаимодействия частотно-модулированного испытательного сигнала в исследуемом элементе или устройстве и амплитудном демодуляторе 6) с последующей операцией инвертирования и фазочувствительной демодуляции, восстанавливающей утраченную ранее фазовую компоненту второй гармонической составляющей модулирующего сигнала, пропорциональной второй производной от амплитудно-частотной характеристики.

В блоке 12 формирования нормированной характеристики первой производной в отличие от блока 7 осуществляется только операция синхронной селекции первой гармонической составляющей модулирующего сигнала независимо от его фазы (первая гармоническая составляющая образуется по аналогии со второй на выходе амплитудного демодулятора 6) с последующей операцией фазочувствительной демодуляции. В результате последней операции образуется сигнал нормальной полярности, пропорциональный первой производной от амплитудно-частотной характеристики объекта 5 измерения.

Операция нормирования характеристики первой производной производится в блоке 7 формирования нормированной характеристики второй производной по аналогии с операцией нормирования амплитудно-частотной характеристики объекта 5 измерения.

литудно-частотной характеристики в устройстве благодаря именно подключению, как было отмечено выше, информационного выхода блока 12 к первому дополнительному выходу блока 7.

Операции нормирования напрямую подвергается лишь характеристика второй производной путем обеспечения сквозного коэффициента передачи всей подсистемы формирования измерительной информации, не зависящего от величины добротности объекта 5 измерения. Операция нормирования амплитудно-частотной характеристики и характеристики первой производной в данном случае осуществляется косвенно благодаря реализации характеристики управления управляемого аттенюатора 3 с постоянным угловым коэффициентом и равным угловым коэффициентам последовательно соединенных двух идентичных регулирующих блоков подсистемы нормирования блока 7 формирования нормированной характеристики второй производной, так как при этом распределение коэффициента передачи между всеми блоками, участвующими в регулировании сквозного коэффициента передачи подсистемы формирования измерительной информации, происходит равномерно.

Вследствие отсутствия в рассматриваемый интервал времени сигналов на информационном входе блока 7 формирования нормированной характеристики второй производной отсутствуют также сигналы и на его первом основном и первом дополнительном выходах несмотря на то, что коэффициенты данного блока и управляемого аттенюатора 3 остаются максимальными. Это определяет отсутствие сигналов на выходах блока 12 формирования нормированной характеристики первой производной и управляемого усилителя 14 (последний под влиянием нулевого потенциала с прямого выхода первого RS-триггера 22 в данный момент времени формируют коэффициент передачи -K). При этом третий компаратор 17 под действием только опорного напряжения источника 18 формирует на своем выходе также нулевой потенциал, который, поступая непосредственно на стробирующий вход первого компаратора 15 и первый вход элемента И 19, исключает возможность работы первого 15 и второго 16 компараторов несмотря на присутствие единичного потенциала с инверсного выхода первого RS-триггера 22 на втором входе элемента И 19. Находясь в нерабочем состоянии, первый 15 и второй 16 компараторы 15 и 16 не влияют на состояние первого 22 и второго 23 RS-триггеров, а также индикаторного

блока 24 даже в том случае, если на их входах имеется информация.

По окончании переходных процессов в рассматриваемых подсистемах и функциональных блоках и по истечении длительности запускаящего импульса (фиг. 2, а) блок 7 формирования нормированной характеристики второй производной, первый 9 и второй 10 синхронные демодуляторы, возвращаясь в исходное состояние, разрывают соответствующие цепи разряда емкостных элементов памяти и подготавливаются к приему информации. Одновременно с этим в момент окончания действия запускаящего импульса (фиг. 2, а) на выходе дифференцирующего блока 26 формируется остроконечный импульс (фиг. 2, б), который приводит в действие подсистему управления и другие функциональные блоки измерителя.

Полученный импульс (фиг. 2, б), воздействуя на S-входы, опрокидывает первый 22 и 23 RS-триггеры с образованием на их прямых выходах единичных потенциалов (фиг. 2, в и г соответственно), а на инверсных - нулевых. Нулевой потенциал, полученный на инверсном выходе первого RS-триггера 22, исключает возможность появления каких-либо сигналов на выходе элемента И 19 и, следовательно, на стробирующем входе второго компаратора 16. Появление указанных единичных сигналов открывает для приема информации первый 9 и второй 10 синхронные демодуляторы и тем самым подготавливает к работе подсистему обработки и преобразования информации, а также переводит управляемый усилитель 14 в режим формирования коэффициента передачи +K, т.е. без сдвига фазы между входным и выходным напряжениями, и начинает преобразование импульсного сигнала (фиг. 2, г) с прямого выхода второго RS-триггера 23 во время амплитудном преобразователе 8, на выходе которого возникает линейно нарастающее напряжение (фиг. 2, д). Это напряжение воздействует на информационные входы первого 9 и второго 10 синхронных демодуляторов и вход линейно управляемого по частоте генератора 1.

По мере возрастания линейно нарастающего напряжения (фиг. 2, д) и, следовательно, увеличения частоты несущей линейно управляемого по частоте генератор 1, а также образования частотно-модулированного испытательного сигнала в частотном модуляторе 2 и беспрепятственной его передачи через управляемый аттенюатор 3 на вход объекта 5 измерения, подключенного к клеммам 4, приступает к работе подсистема формирования измерительной

информации. При приближении частоты несущей частотно-модулированного испытательного сигнала к полосе пропускания исследуемого элемента или устройства 5 на его выходе появляется сложный изменяющийся во времени по амплитуде в соответствии с формой амплитудно-частотной характеристики частотно-модулированный сигнал. Этот сигнал, взаимодействуя в амплитудном демодуляторе 6, образует постоянную составляющую и ряд гармонических составляющих модулирующего сигнала, в том числе первую и вторую, пропорциональные соответственно первой и второй производным от амплитудно-частотной характеристики, которые беспрепятственно передаются с основного выхода демодулятора 6 на вход блока 7 формирования нормированной характеристики второй производной. Постоянную составляющую, пропорциональную амплитудно-частотной характеристике объекта 5 измерения, можно наблюдать на дополнительном выходе амплитудного демодулятора 6 (этот выход на блок-схеме измерителя не показан).

Блок 7 формирования нормированной характеристики второй производной передает с максимальным усилением полный по спектральному составу сигнал на свой первый дополнительный выход и далее на информационный вход блока 12 формирования нормированной характеристики первой производной, а также осуществляющую синхронную фазонечувствительную селекцию только второй гармонической составляющей, образует синусоидальный сигнал в виде отфильтрованной копии второй гармонической с сохранением ее фазовых соотношений, который затем, подвергаясь операции синхронной фазочувствительной демодуляции, преобразуется в постоянное напряжение, пропорциональное второй производной от амплитудно-частотной характеристики. Аналогичная операция синхронной фазонечувствительной селекции первой гармонической составляющей с последующей синхронной фазочувствительной демодуляцией происходит и в блоке 12 формирования нормированной характеристики первой производной под действием квадратурных импульсных сигналов, получаемых в блоке 7 формирования нормированной характеристики второй производной и делителе 13 частоты и передаваемых на его управляющие входы.

Получаемое постоянное напряжение, пропорциональное второй производной, приводит в действие блок 7 по выполнению операции нормирования характеристик, при этом коэффициент передачи управляе-

мого аттенюатора 3 и блока 7 изменяется таким образом, чтобы в установившемся режиме максимальный уровень сигнала, пропорциональный характеристике второй производной, устанавливался независимо от величины параметров объекта 5 вблизи значения опорного напряжения U_0'' (фиг. 2, з), задаваемого внутри блока 7.

В результате выполнения операции нормирования получаемый на первом выходе блока 7 сигнал может совершать колебательный процесс (фиг. 2, з) вблизи уровня опорного напряжения U_0'' , который, не выходя за границу допуска, заканчивается, как правило, не позднее момента времени t^1 , когда характеристика второй производной достигает первой экстремальной точки (максимума). В соответствии с этим процессом происходит изменение уровней сигналов, пропорциональных амплитудно-частотной характеристике (фиг. 2, е) и характеристике первой производной (фиг. 2, ж). Данные сигналы можно наблюдать соответственно на дополнительном выходе амплитудного демодулятора 6 и выходе блока 12 формирования нормированной характеристики производной, а при необходимости и на первом дополнительном выходе блока 7.

С момента времени t^1 (фиг. 2, з) блок 7 в целом (по всем выходам, включая и первый дополнительный выход) и, следовательно, управляемый аттенюатор 3 переходят в режим фиксированного коэффициента передачи, и в дальнейшем амплитудно-частотная характеристика и характеристики первой и второй производных приобретают нормированный вид (полный вид указанных нормированных характеристик U , U^1 и U'' показан на фиг. 2 е, ж, з штриховыми линиями, а спустя время t^1 — сплошными линиями, составляющими продолжение кривых переходного процесса нормирования).

Образуемый на первом выходе блока 7 сигнал (фиг. 2, з), пропорциональный нормированной характеристике второй производной, поступает на инверсный вход первого компаратора 15 и на прямой вход второго компаратора 16. В свою очередь, сигнал, получаемый на выходе блока 12 формирования нормированной характеристики первой производной после усиления без изменения фазы в управляемом усилителе 14, воздействует на прямой вход третьего компаратора 17 и непрерывно сравнивается в нем с опорным напряжением U_0 источника 18. При достижении этим сигналом точки 1 нормированной характеристики первой производной, соответствующей уровню опорного напряжения U_0^1 (фиг. 2, ж), третий компаратор 17 срабатывает, активизируя

работу подсистемы управления и формируя на своем выходе перепад напряжения положительной полярности, который впоследствии превращается в прямоугольный импульс (фиг. 2, и) с длительностью, равной времени пребывания первой производной на выходе управляемого усилителя 14 выше уровня опорного напряжения U_0^1 (фиг. 2, ж).

Уровень опорного напряжения U_0^1 источника 18 выбирают исходя из компромиссных соображений. С одной стороны, он должен быть несколько ниже самых максимальных по модулю значений первой производной, образуемых, как правило, на скатах амплитудно-частотной характеристики исследуемых радиотехнических элементов или устройств 5. С другой стороны, он должен быть несколько выше максимальных по модулю значений первой производной, возможно, образуемых внутри полосы пропускания объекта измерения при многогорбой амплитудно-частотной характеристике, например, такой, которая изображена на фиг. 2, е. Возможность такого выбора существует всегда, так как крутизна скатов амплитудно-частотной характеристики, как правило, выше крутизны неравномерности в полосе пропускания исследуемых радиотехнических элементов или устройств. В противном случае определение параметров любыми методами, в том числе и используемым в предлагаемом измерителе, становится проблематичным. Для таких неординарных характеристик необходимо проводить дополнительные исследования и решать вопрос о правомерности использования тех или иных методов оценки искоемых параметров.

Получаемый импульс (фиг. 2, и) на выходе третьего компаратора 17 непосредственно передается на стробирующий вход первого компаратора 15, подготавливая его к работе, и не проходит на стробирующий вход второго компаратора 16 в виду присутствия в данный момент запрещающего сигнала на втором входе элемента И 19. Первый компаратор 15, получивший разрешение на выполнение операции сравнения и воспринимающий, возможно, еще не полностью установившееся значение нормированной характеристики второй производной, так как стробирующий импульс (фиг. 2, и) образовался несколько раньше момента времени t^1 (фиг. 2, з), пока не формирует на своем выходе импульса. И только в момент времени t_1 (фиг. 2, з), когда первая производная (фиг. 2, ж) достигает своего максимального значения, а вторая производная переходит через нулевое значение, этот компаратор срабатывает, фор-

мируя на своем выходе положительный перепад напряжения (фиг. 2, к).

Перепад напряжений (фиг. 2, к) положительной полярности, получаемый на выходе первого компаратора 15, поступая через первый элемент ИЛИ 20 на R-вход, возвращает в исходное состояние первый RS-триггер 22 с образованием на его инверсном выходе единичного потенциала, а на прямом выходе нулевого потенциала (фиг. 2, в), переводящего первый синхронный демодулятор 9 в режим хранения информации, а управляемый усилитель 14 в режим инверсии фазы с коэффициентом передачи -К. При этом полярность напряжения, пропорционального первой производной, на выходе управляемого усилителя 14 изменяется на отрицательную и третий компаратор 17 прекращает формирование первого стробирующего импульса (показан на фиг. 2, и, сплошной линией). Если бы указанной инверсии фазы не происходило, то третий компаратор 17 сформировал бы более длительный стробирующий импульс, заканчивающийся в точке 2 характеристики первой производной, соответствующей уровню опорного напряжения U_0^1 (фиг. 2, ж). Отмеченное приращение стробирующего импульса показано на фиг. 2, и, штриховой линией.

В результате переключения перепад напряжения, едва появившись на выходе первого компаратора 15, исчезает, заканчивая формирование импульса (фиг. 2, к) весьма малой длительности (в сравнении с относительно медленным процессом формирования частотно-модулированного испытательного сигнала с большой девиацией), которая определяется временем распространения информации в рассматриваемых функциональных блоках.

К рассматриваемому моменту времени t_1 (фиг. 2, з) в первом синхронном демодуляторе 9, а также и во втором синхронном демодуляторе 10 накопилась информация в виде напряжения U_1 (фиг. 2, д), которая все это время поступала на их информационные входы с выхода времяамплитудного преобразователя 8. Выходное напряжение (фиг. 2, д) времяамплитудного преобразователя 8, продолжая нарастать, активизирует работу подсистемы обработки и преобразования измерительной информации и вызывает увеличение напряжения на выходе второго асинхронного демодулятора 10, которое совместно с напряжением U_1 (фиг. 2, д), хранимым в первом синхронном демодуляторе 9, подвергается непрерывному преобразованию в соответствии с выражениями (3)-(5) в вычислительном блоке 11.

При этом разностное напряжение, получаемое в соответствии с соотношением (3), после масштабного преобразования с коэффициентом M_γ передается на один из входов индикаторного блока 24. Это же разностное напряжение в соответствии с выражением (4) ослабляется в два раза и суммируется с напряжением U_1 , хранимым в первом синхронном демодуляторе 9. Результат данного преобразователя воздействует на соответствующий вход индикаторного блока 24 и подвергается внутри вычислительного блока 11 операции деления в соответствии с уравнением (5) на разностное напряжение с масштабным коэффициентом $M_{0,707} = \sqrt{2}$ и передается на следующий вход индикаторного блока 24.

Описанный процесс в подсистеме обработки и преобразования измерительной информации продолжается до тех пор, пока напряжение на выходе управляемого усилителя 14 не преодолеет уровень опорного напряжения U_0^1 (фиг. 2, ж) источника 18, а напряжение на первом выходе блока 7 не достигнет требуемой точки перехода через нуль нормированной характеристики второй производной (момента времени t_2 , показанного на фиг. 2, з).

Если амплитудно-частотная характеристика исследуемых радиотехнических элементов или устройств 5 имеет вид многогорбой кривой, например, такой, которая показана на фиг. 2, е, то нормированные характеристики первой и второй производных (фиг. 2, ж, з) могут иметь ряд экстремальных точек и переходить через нуль несколько раз. В случае идеально плоской вершины исследуемых амплитудно-частотных характеристик нормированные характеристики первой и второй производных дополнительных экстремальных точек и точек перехода через нуль не имеют. Независимо от этого благодаря рациональному выбору опорного напряжения U_0^1 , как было отмечено выше, удастся отыскать требуемую вторую координату перехода через нуль нормированной характеристики второй производной при практически произвольной форме амплитудно-частотных характеристик исследуемых радиотехнических элементов или устройств 5.

При достижении выходным напряжением управляемого усилителя 14 уровня опорного напряжения U_0^1 (точка 3), что соответствует точке 3 на нормированной характеристике первой производной (фиг. 2, ж), вторично срабатывает третий компаратор 17, формируя на своем выходе положи-

тельный перепад напряжения, который затем превращается, как отмечалось выше, в положительный импульс (фиг. 2, и), аналогичный первому.

Получаемый второй импульс (фиг. 2, и) на выходе третьего компаратора 17 вторично поступает на стробирующий вход первого компаратора 15 и беспрепятственно проходит через подготовленный для передачи информации элемент И 19 на стробирующий вход второго компаратора 16. Присутствующее при этом отрицательное напряжение, соответствующее нормированной характеристике второй производной, на инверсном входе первого компаратора 15 и прямом входе второго компаратора 16, вызывает срабатывание только лишь первого компаратора 15 с образованием на его выходе второго положительного импульса (фиг. 2, к), который, вторично воздействуя через первый элемент ИЛИ 20 на R-вход, не вызывает изменения состояния первого RS-триггера 22. Второй компаратор 16 срабатывает с образованием положительного перепада (фиг. 2, л) на своем выходе несколько позже, в момент времени t_2 (фиг. 2, з), когда нормированная характеристика второй производной переходит через нуль. В это же время первый компаратор 15 возвращается в исходное состояние, заканчивая тем самым формирование второго импульса (фиг. 2, к) на своем выходе.

Получаемый перепад напряжения (фиг. 2, л) на выходе второго компаратора 16, поступая непосредственно на управляющий вход индикаторного блока 24 и через второй элемент ИЛИ 21 на R-вход второго RS-триггера 23, запускает в работу индикаторный блок 24 и возвращает в исходное состояние RS-триггер 23 с образованием на его прямом выходе нулевого потенциала (фиг. 2, г), вызывающего перевод второго синхронного демодулятора 10 в режим хранения накопленной информации, а времяамплитудного преобразователя 8 в режим саморазряда собственного накопительного элемента интегратора.

К моменту времени t_2 (фиг. 2, з) во втором синхронном демодуляторе 10 накопилась информация в виде напряжения U_2 (фиг. 2, д), в точности соответствующего искомой второй координате перехода через нуль характеристики второй производной. Это напряжение совместно с напряжением U_1 , хранимым в первом синхронном демодуляторе 9 и в точности соответствующим первой искомой координате перехода через нуль нормированной характеристики второй производной, в результате вышеописан-

санного преобразования в подсистеме обработки и преобразования измерительной информации в соответствии с математическими соотношениями (3)–(5), создает на выходах вычислительного блока 11 достоверную информацию об искомым параметрах исследуемых радиотехнических элементов или устройств.

Полученная информация с помощью индикаторного блока 24 в соответствии с выбранной заранее программой его работы перераспределяется последовательно во времени, измеряется и индицируется. При этом в индикаторном блоке 24 в момент поступления на его управляющий вход короткого импульса (фиг. 2, л) с выхода второго компаратора 16 формируется импульс (фиг. 2, м), определяющий общее время индикации (фиг. 2, б) искомым параметром, а также импульсы (фиг. 2, н), определяющие время индикации одного параметра, и короткие импульсы (фиг. 2, о) управления цифровым вольтметром, входящим в состав индикаторного блока 24. При поступлении первого короткого импульса (фиг. 2, о) на установочный вход цифрового вольтметра последний вторично сбрасывает свои нулевые показания и спустя некоторый интервал времени, определяющийся собственной схематехникой, производит измерение поступающей на его информационный вход информации с последующей индикацией измеренной величины до тех пор, пока не образуется следующий управляющий импульс.

Одновременно с процессами, протекающими в индикаторном блоке 24, в момент времени t_2 (фиг. 2, з), когда времяамплитудный преобразователь 8 переходит в режим саморазряда собственного накопительного элемента, напряжение на его выходе начинает убывать по экспоненте (фиг. 2, д), что приводит к автоматическому снижению частоты несущей линейно управляемого по частоте генератора 1 и, следовательно, уменьшению напряжения на первом выходе блока 7 формирования нормированной характеристики второй производной, которое только что достигло нулевого уровня (фиг. 2, з). В результате быстро происходящих данных процессов положительный перепад напряжения, едва появившийся на выходе второго компаратора 16, исчезает, заканчивая формирование импульса (фиг. 2, л) весьма малой длительности (в сравнении с интервалом времени $t_2 - t_1$, соответствующим полосе пропускания $\Pi \gamma_0$ (фиг. 2, е) исследуемых радиотехнических элементов или устройств на уровне γ_0), которая определяется временем распространения ин-

формации в рассматриваемых функциональных блоках.

Дальнейшее уменьшение частоты линейно управляемого по частоте генератора 1 в соответствии с убывающим по экспоненте к нулю напряжением (фиг. 2, д) времяамплитудного преобразователя 8 сопровождается изменением сигналов на выходах амплитудного демодулятора 6 и блока 12 формирования нормированной характеристики первой производной, а также первом выходе блока 7 формирования нормированной характеристики второй производной, форма которых с точностью до масштабного коэффициента, учитывающего скорость перестройки частоты несущей частотно-модулированного испытательного сигнала, представляет собой зеркальное отображение полученных ранее нормированных характеристик: амплитудно-частотной (фиг. 2, е), первой (фиг. 2, ж) и второй (фиг. 2, з) производных. Полный вид данных характеристик при обратном ходе частотно-модулированного испытательного сигнала на фиг. 2, е, ж, з, не показан. Если бы напряжение на выходе времяамплитудного преобразователя 8 после момента времени t_2 (фиг. 2, з) продолжало линейно нарастать (штриховая линия, составляющая продолжение сплошной линии на фиг. 2, д), то форма указанных нормированных характеристик приобрела бы вид кривых, показанных соответственно на фиг. 2, е, ж, з, штриховыми линиями, составляющими продолжение сплошных.

Быстрое изменение напряжения на выходе блока 12 (с точки 4 до точки 5 на нормированной характеристике первой производной, показанной на фиг. 2, ж), соответствующее быстрому убыванию напряжения на выходе управляемого усилителя 14 до уровня опорного напряжения U_0 (точка 5'), приводит к тому, что, практически сразу или спустя некоторое непродолжительное время после момента времени t_2 (фиг. 2, з) третий компаратор 17, возвращаясь в исходное состояние, заканчивает формирование второго стробирующего импульса (фиг. 2, и) на своем выходе. Если бы напряжение на выходе времяамплитудного преобразователя 8 продолжало нарастать по линейному закону, то длительность импульсов на выходах третьего и второго компараторов 17 и 16 возросла бы и определялась, как и прежде, временем пребывания нормированной характеристики первой производной (фиг. 2, ж) ниже уровня, обозначенного точками 3 и 6 или точками 3' и 6', судя по уровню напряжения на выходе управляемого усилителя 14 (увеличение дли-

тельности данных импульсов показано на фиг. 2, и, л штриховыми линиями). Однако это не сказывается на состоянии подсистемы управления и других функциональных блоков измерителя.

При приближении второй производной (фиг. 2, з) к своему экстремальному значению на участке характеристики выше нулевого значения (самая максимальная точка) возможно срабатывание подсистемы нормирования блока 7 формирования нормированной характеристики второй производной и осуществление описанной выше операции подстройки коэффициентов передачи блока 7 и управляемого аттенюатора 3, однако этот процесс не имеет никакого значения, так как происходит за пределами интервала рабочего времени, когда подсистема формирования измерительной информации по существу возвращается в исходное состояние.

Следует отметить, что на временном интервале $T_2 - T_1$, соответствующем полосе пропускания Π_{γ_0} (фиг. 2, е), в пределах которой вторая производная имеет ряд максимумов, срабатывание подсистемы нормирования не происходит за счет выбора соответствующей постоянной времени функциональных блоков, входящих в состав подсистемы нормирования блока 7.

По истечении определенного интервала времени, когда выходное напряжение времязадающего преобразователя 8 и напряжение на первом выходе блока 7 формирования нормированной характеристики второй производной приближаются к нулевому значению, частота несущей линейно управляемого по частоте генератора 1 возвращается в область нижней границы частотного диапазона работы измерителя, а коэффициенты передачи блока 7 и управляемого аттенюатора 3 начинают постепенно увеличиваться по мере того, как происходит собственный разряд (в ожидании принудительного) элемента памяти подсистемы нормирования и изменение напряжения на третьем выходе блока 7 (на диаграммах, представленных на фиг. 2, этот процесс не отражен).

Процессы, протекающие в индикаторном блоке 24 в дальнейшем, сводятся к следующему. По истечении первого полупериода (фиг. 2, н), определяющего время индикации одного параметра, например центральной (резонансной) частоты f_0 , на табло индикаторного блока 24 в соответствии с предусмотренной программой его работы появляется информация о другом искомом параметре, например о полосе

пропускания Π_{γ} (3) или добротности Q (5) при исследовании узкополосных радиотехнических элементов или устройств. При этом вырабатывается второй остроконечный импульс (фиг. 2, о), который снова приводит в действие цифровой вольтметр индикаторного блока 24 по выполнению операций сброса предыдущих показаний и измерения подведенной информации с последующей ее индикацией.

Учитывая, что первый 9 и второй 10 синхронные демодуляторы не в состоянии сколько угодно долго хранить измерительную информацию, индикаторный блок 24 целесообразно использовать преимущественно в автоматическом режиме работы. В связи с этим по истечении времени индикации $t_{\text{и}}$ (фиг. 2, б) двух измеряемых параметров, в момент начала формирования второго положительного перепада напряжения (фиг. 2, н), на выходе индикаторного блока 24 появляется короткий импульс (фиг. 2, п), который запускает в работу генератор 25 запускающих импульсов. Последний, формируя на своем выходе очередной (второй) прямоугольный импульс (фиг. 2, а), возвращает в исходное (нулевое) состояние все функциональные блоки и подсистемы автоматического измерителя в целом и индикаторный блок 24 в частности, и процессы в измерителе (фиг. 1) повторяются в описанной последовательности, производя измерение параметров следующего радиотехнического элемента или устройства или тех же элементов или устройств при других режимных условиях.

За время возвращения автоматического измерителя в исходное состояние t_3 и время измерения $t_{\text{изм}}$ (фиг. 2, б) индикаторный блок 24 может быть перепрограммирован на измерение других параметров или на другую последовательность их представления, например только одной центральной (резонансной) частоты f_0 , только полосы пропускания на произвольном уровне Π_{γ} , только добротности Q при исследовании узкополосных элементов или устройств или совместно центральной (резонансной) частоты и одного из тех параметров, который не измерялся в предыдущем цикле. При необходимости получения отсчета полосы пропускания на другом уровне одновременно изменяют масштабный коэффициент $M_{\gamma}(1)$ вычислительного блока 11.

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Автоматический измеритель параметров радиотехнических элементов и уст-

ройств, содержащий индикаторный, вычислительный и дифференцирующий блоки, два синхронных демодулятора, два RS-триггера, два элемента ИЛИ, генератор запускающих импульсов и последовательно соединенные времяамплитудный преобразователь, линейно управляемый по частоте генератор, частотный модулятор, управляемый аттенюатор, клеммы для подключения объекта измерения, амплитудный демодулятор, блок формирования нормированной характеристики второй производной и первый компаратор, второй вход которого соединен с общей шиной измерителя, при этом информационные входы первого и второго синхронных демодуляторов соединены с выходом времяамплитудного преобразователя, а их управляющие входы соединены с прямыми выходами соответственно первого и второго RS-триггеров, R-входы которых соединены с выходами соответственно первого и второго элементов ИЛИ, а S-входы через дифференцирующий блок соединены с выходом генератора запускающих импульсов, вход которого соединен с выходом индикаторного блока, выходы первого и второго синхронных демодуляторов соединены с соответствующими входами вычислительного блока, выходы которого соединены с соответствующими информационными входами индикаторного блока, вход времяамплитудного преобразователя соединен с прямым выходом второго RS-триггера, а модуляционный вход частотного модулятора и управляющий вход управляемого аттенюатора соединены соответственно с вторым и третьим выходами блока формирования нормированной характеристики второй производной, установочный вход которого и первые входы первого и второго элементов ИЛИ совместно с установочными входами первого и второго синхронных демодуляторов и индикаторного блока соединены с выходом генератора за-

пускающих импульсов, отличающееся тем, что, с целью расширения диапазона величин измеряемых параметров, в него введены блок формирования нормированной характеристики первой производной, делитель частоты, управляемый усилитель, второй и третий компараторы, источник опорного напряжения и элемент И, причем информационный вход и первый и второй управляющие входы блока формирования нормированной характеристики первой производной соединены соответственно с первым, вторым и третьим дополнительными выходами блока формирования нормированной характеристики второй производной, четвертый дополнительный выход которого соединен с входом делителя частоты, третий и четвертый управляющие входы блока формирования нормированной характеристики первой производной соединены с соответствующими выходами делителя частоты, выход блока формирования нормированной характеристики первой производной через управляемый усилитель соединен с одним из входов третьего компаратора, второй вход которого соединен с выходом источника опорного напряжения, выход третьего компаратора соединен со стробирующим входом первого компаратора и одним из входов элемента И, выход которого соединен со стробирующим входом второго компаратора, управляющий вход управляемого усилителя соединен с прямым выходом первого RS-триггера, инверсный выход которого соединен с вторым входом элемента И, второй вход первого элемента ИЛИ соединен с выходом первого компаратора, а второй вход второго элемента ИЛИ и управляющий вход индикаторного блока соединены с выходом второго компаратора, один из входов которого соединен с общей шиной измерителя, а второй – с первым выходом блока формирования нормированной характеристики второй производной.

Тип радиотехнических устройств	Вид аппроксимации нормированных АЧХ $\gamma = \frac{K}{K_0}$	Полоса частот, соответствующая произвольному уровню γ	Полоса частот, соответствующая уровню γ^0	Масштабный коэффициент, соответствующий полосе частот на уровне $\gamma = 0,707$	Масштабный коэффициент, соответствующий полосе частот на уровне $\gamma = 0,707$
1. С одиночным резонансным контуром	$\frac{1}{\sqrt{1+\xi^2}}$	$\Pi_1 \sqrt{\frac{1}{\gamma^2} - 1}$	$\frac{\Pi_1}{\sqrt{2}}$	$\sqrt{2(\frac{1}{\gamma^2} - 1)}$	$\sqrt{2}$
2. С одиночными контурами, настроенными на одну частоту.	$(\frac{1}{\sqrt{1+\xi^2}})^2$	$\dots \Pi_1 \sqrt{\frac{1}{\gamma^2} - 1}$	$\frac{\Pi_1}{\sqrt{n+1}}$	$\sqrt{(n+1)(\frac{1}{\gamma^2} - 1)}$	$\sqrt{(n+1)(\sqrt{2}-1)}$
3. С одинаковыми парами настроенными контурами	$(\frac{2}{\sqrt{4+\xi^2}})^2$	$\sqrt{2} \Pi_1 \sqrt{\frac{1}{\gamma^4} - 1}$	$\sqrt{2} \Pi_1 \sqrt{\frac{3}{n+1}}$	$\sqrt[4]{(\frac{n+1}{3})(\frac{1}{\gamma^4} - 1)}$	$\sqrt[4]{\frac{n+1}{3}(\sqrt{4}-1)}$
4. С одинаковыми контурами, настроенными на три частоты при $\xi_{окр} = \sqrt{3}$	$\left[\frac{1}{\sqrt{1+(\frac{\xi}{2})^6}} \right]^3$	$2 \Pi_1 \sqrt[6]{\frac{1}{\gamma^6} - 1}$	$2 \Pi_1 \sqrt[6]{\frac{5}{n+1}}$	$\sqrt[6]{\frac{n+1}{5}(\sqrt{\frac{1}{\gamma^6} - 1})}$	$\sqrt[6]{\frac{n+1}{5}(\sqrt[6]{8}-1)}$
5. С двумя связанными контурами в каждом каскаде при $\beta_{кр} = 1$	$(\frac{2}{\sqrt{4+\xi^6}})^2$	$\sqrt{2} \Pi_1 \sqrt[4]{\frac{1}{\gamma^2} - 1}$	$\sqrt{2} \Pi_1 \sqrt[4]{\frac{3}{2n+1}}$	$\sqrt[4]{\frac{2n+1}{3}(\sqrt{\frac{1}{\gamma^2} - 1})}$	$\sqrt[4]{\frac{2n+1}{3}(\sqrt[4]{2}-1)}$

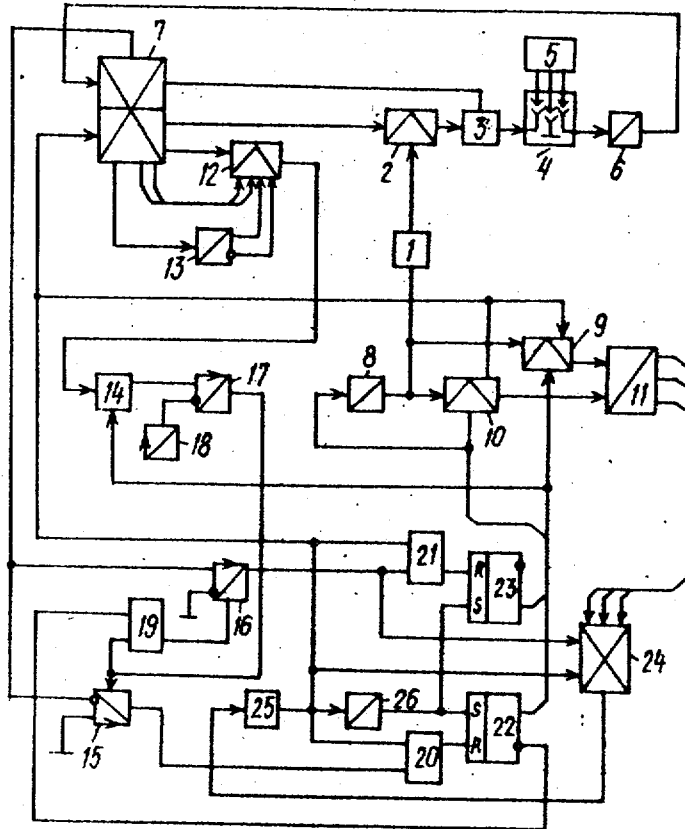
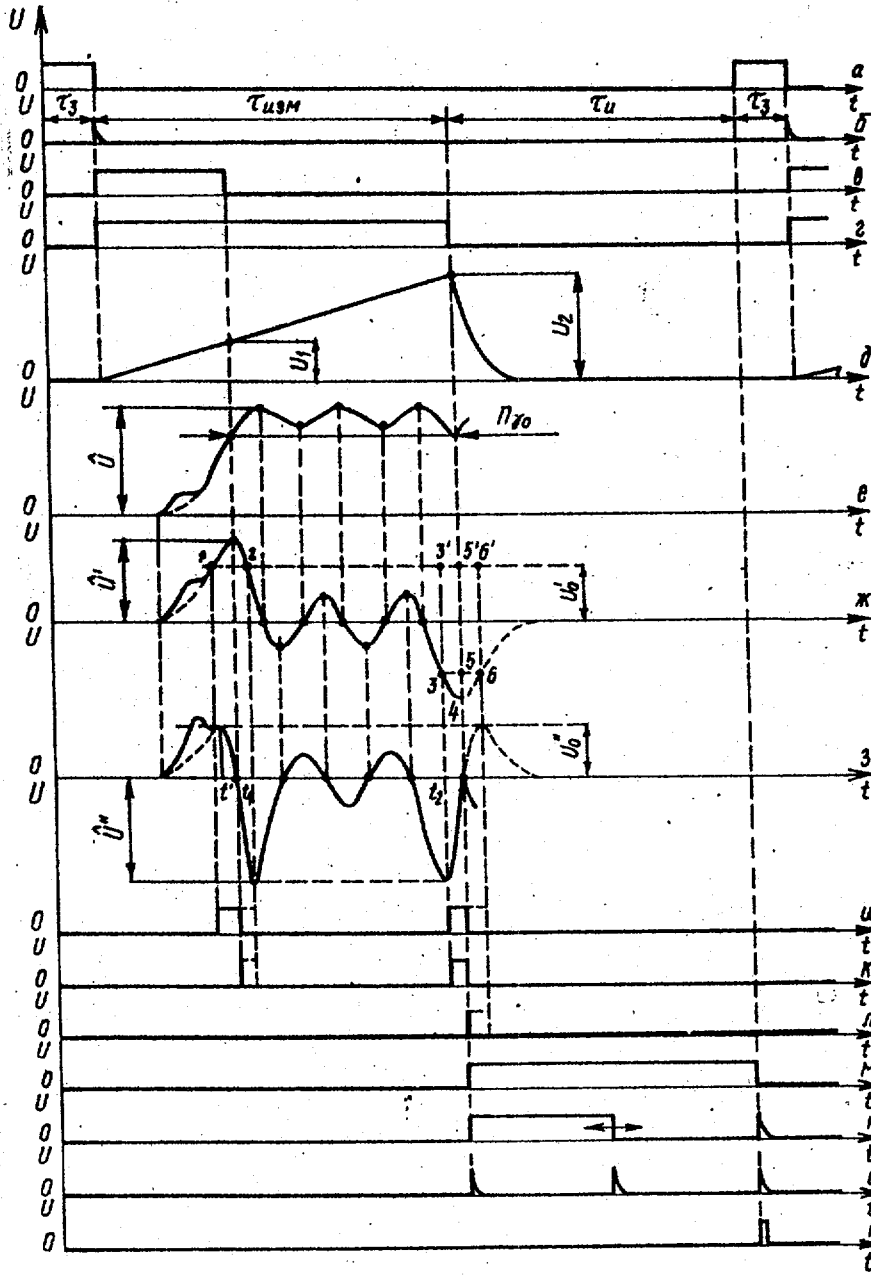


Fig. 1



Фиг. 2

Редактор Л.Веселовская Составитель В.Стукан Корректор И.Муска
 Техред М.Моргентал

Заказ 3311 Тираж Подписное
 ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР
 113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., 4/5