



Государственный комитет
СССР
по делам изобретений
и открытий

О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11)800910

(61) Дополнительное к авт. свид-ву
(22) Заявлено 07.09.78 (21) 2667992/18-25
с присоединением заявки № -
(23) Приоритет -
Опубликовано 30.01.81. Бюллетень № 4
Дата опубликования описания 10.02.81

(51) М. Кл.³
G 01 R 31/26
G 01 R 27/26

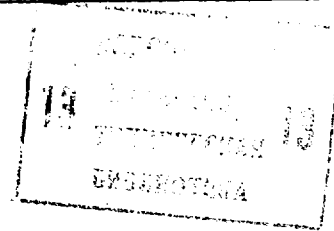
(53) УДК 621.382.
.2(088.8)

(72) Автор
изобретения

В.Л. Свирид

(71) Заявитель

Минский радиотехнический институт



(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДОБРОТНОСТИ И ЕМКОСТИ
ВАРИКАПОВ

1

Изобретение относится к радиоизмерительной технике, предназначено для измерения добротности и емкости варикапов в параллельной схеме замещения и может быть использовано при технологическом контроле параметров полупроводниковых приборов и других объектов с неблагоприятными соотношениями составляющих полных проводимостей.

Известное устройство для измерения добротности и емкости полупроводниковых приборов, основанное на компенсации вносимых потерь в измерительном контуре при его ударном возбуждении и содержащее измерительный контур с образцовым конденсатором переменной емкости и образцовой отрицательной активной проводимостью, системы ударного возбуждения колебаний и автокомпенсации потерь, а также аналоговый делитель с регистрирующим прибором и исследуемый элемент с источником и измерителем напряжения смещения [1].

Это устройство может работать на повышенных частотах (несколько единиц или десятков МГц), однако, из-за влияния неравномерности активных потерь образцового конденсатора при за-

2

мещении его емкости емкостью варикапа, оно не обеспечивает необходимой точности измерений. Кроме этого, устройство имеет низкую производительность вследствие трудностей автоматизации измерений по реактивной составляющей.

Известно устройство для измерения добротности и емкости варикапов, содержащее регистрирующий прибор, источник напряжения смещения, а также последовательно соединенные генератор, управляемый по частоте, частотный модулятор, измерительный блок, систему авторегулировки приращения частоты, подключенную ко второму входу частотного модулятора, а систему поиска резонансной частоты, один из выходов которой соединен с генератором, управляемым по частоте, а второй - с системой авторегулировки приращения частоты [2].

При измерении параметров варикапов с помощью этого устройства, необходимо располагать образцовым конденсатором переменной емкости, включенным в состав измерительного блока, а также источником напряжения смещения. Следует отметить, что применение образцовых конденсаторов переменной

емкости является обязательным условием практически для всех методов измерения параметров варикапов.

Цель изобретения - повышение точности и автоматизации измерений.

Поставленная цель достигается тем, что в устройство для измерения добротности и емкости варикапов, содержащее регистрирующий прибор, источник напряжения смещения, последовательно соединенные генератор, управляемый по частоте, частотный модулятор, измерительный блок, систему авторегулировки приращения частоты, подключенную ко второму входу частотного модулятора, и систему поиска резонансной частоты, один из выходов которой соединен с генератором, управляемым по частоте, а второй - с системой авторегулировки приращения частоты, введены переключатель, генератор управляющих импульсов, линейный и квадратичный преобразователи, пять синхронных демодуляторов, одно сравняющее, два вычитающих, два множительных и два множительно-делительных устройств и источник опорного напряжения, подключенный к одному из входов сравняющего устройства, выход которого соединен с измерительным блоком, причем вход линейного преобразователя подключен к выходу системы авторегулировки приращения частоты, а вход квадратичного преобразователя - к точке соединения системы поиска резонансной частоты и генератора, управляемого по частоте, к которой подключен также информационный вход первого синхронного демодулятора, информационные входы второго и третьего синхронных демодуляторов соединены с выходом квадратичного, а четвертого и пятого - с выходом линейных преобразователей, управляющие входы второго и четвертого синхронных демодуляторов подключены к одному выходу, а первого, третьего и пятого - ко второму выходу генератора управляющих импульсов, соединенному с переключателем, один вывод которого подключен к измерительному блоку, а второй - к исследуемому элементу, выходы второго и третьего синхронных демодуляторов соединены с соответствующими входами первого вычитающего и делительного устройств, а также первыми входами второго и первого множительных устройств, вторые входы которых подключены к выходам соответственно пятого и четвертого синхронных демодуляторов, а выходы - к соответствующим входам второго вычитающего устройства, выход которого соединен с делительным входом второго множительно-делительного устройства, один из множительных входов которого подключен к выходу первого синхронного

демодулятора, а второй - к выходу первого вычитающего устройства, соединенному с множительным входом первого множительно-делительного устройства, выход которого соединен с одним входом регистрирующего прибора, другие входы которого подключены к выходам первого синхронного демодулятора, соединенного со вторым входом сравняющего устройства, второго множительно-делительного устройства и источника напряжения смещения, соединенного с измерительным блоком.

Измеряемые добротность и емкость варикапа в параллельной схеме замещения представлены в следующем виде:

$$Q_b = \frac{(A_1^2 - A_2^2) f_2}{2h(\Delta f_2 f_1^2 - \Delta f_1 f_2^2)} = \frac{m(U_1^2 - U_2^2) U_2}{2hK(\Delta U_2 U_1^2 - \Delta U_1 U_2^2)} \quad (1)$$

$$C_b = \frac{f_1^2 - f_2^2}{4\pi^2 L f_1^2 f_2^2} = \frac{U_1^2 - U_2^2}{4\pi^2 L m^2 U_1^2 U_2^2} \quad (2)$$

где f_1, f_2 и $\Delta f_1, \Delta f_2$ - резонансные частоты и приращения частот, задаваемые при определении второй производной от АЧХ измерительного блока, соответственно при отключенном и подключенном исследуемом элементе;

W - число, показывающее во сколько раз половина полосы пропускания измерительного блока на уровне 0,707 ($\Delta f_{0,707}$) больше приращения частоты Δf , задаваемого при определении второй производной, равное

$$h = \frac{\Delta f_{0,707}}{\Delta f} = \frac{f_1}{2\Delta f_1 Q_1} = \frac{f_2}{2\Delta f_2 Q_2} \quad (3)$$

m и K - коэффициенты преобразования частот f_1, f_2 и приращений частот $\Delta f_1, \Delta f_2$ в напряжения, соответственно U_1, U_2 и $\Delta U_1, \Delta U_2$;

Q_1 и Q_2 - добротности измерительного блока, соответственно при отключенном и подключенном исследуемом элементе;

L - индуктивность измерительного блока.

Действительно, при отключенном варикапе измерительный блок, характеризующийся добротностью Q_1 , емкостью C_1 и резонансной частотой f_1 имеет эквивалентное сопротивление

$$R_{oe1} = \frac{Q_1}{2\pi f_1 C_1} \quad (4)$$

При подключении к измерительному блоку исследуемого варикапа изменяется его резонансная частота и добротность, которые принимают значения f_2 и Q_2 , при этом эквивалентное сопротивление блока равно

$$R_{oe2} = \frac{Q_2}{2\pi f_2 C_2} \quad (5)$$

где $C_2 = C_1 + C_b$ (6)

Так как частота, на которой работает варикап, приобрела значение f_2 то эквивалентное сопротивление исследуемого варикапа определяем на этой частоте по формуле

$$R_{oeb} = \frac{Q_b}{2\pi f_2 C_b} \quad (7)$$

Известно, что при параллельном включении двух элементов их проводимости складываются

$$\frac{1}{R_{oe2}} = \frac{1}{R_{oe1}} + \frac{1}{R_{oeb}}$$

Подставляя в это выражение (4) - (7), получаем

$$\frac{2\pi f_2 (C_1 + C_b)}{Q_2} = \frac{2\pi f_1 C_1}{Q_1} + \frac{2\pi f_2 C_b}{Q_b}$$

Отсюда искомая добротность варикапа равна

$$Q_b = \frac{Q_2 C_b}{C_2 - \frac{f_1}{f_2} \frac{Q_2}{Q_1} C_1} \quad (8)$$

Используя известное уравнение Томсона, связывающее резонансную частоту с индуктивностью и емкостью контура, подставляем неизвестные величины емкостей C_1 и C_2 через соответствующие резонансные частоты и индуктивность L измерительного блока

$$C_2 = \frac{1}{(2\pi f_2)^2 L}; \quad C_1 = \frac{1}{(2\pi f_1)^2 L} \quad (9)$$

При подстановке (9) в (6) выражение для искомой емкости варикапа приобретает вид (2).

Для определения неизвестных величин Q_1 и Q_2 воспользуемся соотношением (3), описывающим работу известного устройства. Подставляя (9), (2) и (3) в (8), получаем напряжение для искомой добротности варикапа в виде уравнения (1).

Устройство в автоматическом режиме осуществляет модуляцию параметров измерительного блока путем поочередного подключения и отключения исследуемого элемента с одновременным непрерывным слежением за состоянием резонанса и приращением частоты, соответствующим заданному числу n и добротности измерительного блока, последующей обработкой получаемой при этом информации в виде напряжений $U_1, U_2, \Delta U_1, \Delta U_2$ и вычислением по (1) и (2) величин искомых параметров.

На чертеже представлена структурная схема устройства для измерения добротности и емкости варикапов.

Устройство включает следующие основные, соединенные в кольцо, функциональные блоки: генератор 1, управляемый по частоте, частотный модулятор 2, измерительный блок 3, систему 4 авторегулировки приращения частоты, осуществляющую стабилизацию числа n независимо от модуляции параметров измерительного блока 1, путем изменения амплитуды ступенчатого напряжения, воздействующего на второй вход модулятора 2, и систему поиска 5 резонансной частоты, производящую непрерывное слежение за состоянием резонанса в измерительном блоке за счет изменения частоты генератора 1 и управляющую системой 4 при больших расстройках блока 3. Измерительный блок 3 представляет собой параллельный резонансный контур, включающий катушку индуктивности L , связанную посредством витка связи с выходом частотного модулятора 2, и варикап, который совместно с двумя разделительными конденсаторами образует управляемую напряжением емкость C , взамен образцового конденсатора переменной емкости.

Для осуществления модуляции параметров измерительного блока в устройство введен переключатель 6, коммутирующий исследуемый элемент 7 параллельно к блоку 3. Получаемая при этом информация обрабатывается в соответствующих каналах. Первый синхронный демодулятор 8 представляет собой канал регистрации частоты, на которой производятся измерения параметров варикапов, а квадратичный преобразователь 9 амплитуды импульсов, второй и третий синхронные демодуляторы 10 и 11, первое вычитающее устройство 12 и первое множителе-делительное устройство 13 - канал измерения емкости. В состав канала измерения добротности входят линейный преобразователь 14 амплитуды и частоты импульсов, четвертый и пятый синхронные демодуляторы 15 и 16 и устройства первое и второе множителе-делительные 17 и 18, второе вычитающее 19 и второе множителе-делительное 20. С помощью генератора 21 управляющих импульсов производится синхронизация работы переключателя 6 и демодуляторов 8, 10, 11, 15, 16. Сравнивающее устройство 22 с источником опорного напряжения 23 образует систему стабилизации частоты измерений независимо от величин реактивной составляющей исследуемых элементов. Источник 24 напряжения смещения через измерительный блок 3 и переключатель 6 осуществляет подачу необходимого смещения на исследуемый элемент 7, а регистриру-

щий прибор 25 - индикацию всех измеряемых величин.

Работа устройства происходит в автоматическом режиме в соответствии со следующим алгоритмом.

Измерительный блок 3 с подключенным исследуемым варикапом 7 настраивается на определенную частоту, например, f_2 . Это связано с тем, что добротность варикапа является частотно-зависимым параметром и частоту измерения необходимо фиксировать, иначе затрудняется сравнение результатов измерения. В установившемся режиме эта настройка осуществляется с помощью системы стабилизации частоты измерения путем замещения емкости измерительного блока емкостью исследуемого варикапа, причем резонанс в измерительном блоке 3 поддерживается непрерывно с помощью системы 5 поиска резонансной частоты за счет перестройки частоты генератора 1.

На заданной частоте f_2 определяется добротность $Q_2(3)$ и емкость C_2 (9) измерительного блока с подключенным варикапом, т. е. эквивалентные им Δf_2 и f_2^2 или их аналоги ΔU_2 и U_2^2 , с последующим хранением информации об этих параметрах.

Исследуемый варикап отключается от измерительного блока, при этом емкость C_1 измерительного блока с отключенным варикапом сохраняется неизменной на определенное время, достаточное для протекания переходных процессов в системах автоматического регулирования и регистрации новых значений параметров измерительного блока, а резонанс достигается на новой частоте f_1 путем перестройки частоты генератора 1.

На частоте f_1 определяются новые значения добротности Q_1 и емкости C_1 измерительного блока 3, т. е. эквивалентные им Δf_1 и f_1^2 или их аналоги ΔU_1 и U_1^2 с последующим хранением информации об этих параметрах.

Полученная информация о параметрах измерительного блока с подключенным (Q_2, C_2, f_2) и отключенным (Q_1, C_1 и f_1) исследуемым варикапом обрабатывается в соответствующих каналах с последующим вычислением в соответствии с формулами (1) и (2) величин искомым параметрам.

В исходном состоянии, когда под влиянием управляющих импульсов генератора 21 переключатель 6 находится в состоянии, подключающем к измерительному блоку 3 исследуемый элемент 7, смещенный необходимым напряжением источника 24, а синхронные демодуляторы 8, 11, 16, 10, 15 соответственно в режиме накопления и хранения информации, на один из входов частотного модулятора 2 поступает напряжение произвольной частоты от генератора 1, а на второй - ступенчатое на-

пряжение определенной амплитуды с системы 4 авторегулировки приращения частоты, при этом система 5 поиска не получая управляющего сигнала через систему 4 с выхода измерительного блока 3, перестраивает генератор 1 в пределах диапазона частот до тех пор, пока его частота не войдет в полосу пропускания измерительного блока 3 и не совпадает с резонансной. Резонансная частота измерительного блока 3 в начальный момент времени оказывается смещенной в противоположный началу перестройки край диапазона генератора 1 под влиянием большего разностного сигнала, возникающего в сравнивающем устройстве 22 за счет преобладания одного из напряжений: опорного напряжения источника 23 или выходного напряжения синхронного демодулятора 8, в зависимости от того, с какого края диапазона начинается перестройка частоты генератора 1, снизу вверх или сверху вниз. Перестраивая частоту генератора 1 снизу вверх, выходное напряжение системы 5 поиска возрастает, вызывая увеличение напряжения на выходе синхронного демодулятора 8, которое, преодолевая в сравнивающем устройстве 22 опорное напряжение источника 23, способствует входу частоты генератора 1 в полосу пропускания измерительного блока 3 и появлению сигнала на выходе последнего. Это приводит в действие систему 4 регулировки приращения частоты, в которой образуются напряжения, пропорциональные первой и вторым производным в соответствующих точках АЧХ. При прохождении через точку резонанса первая производная изменяет свой знак на противоположный и останавливает систему 5 поиска, переводя ее в режим автоподстройки. С этого момента времени система стабилизации частоты измерения получает приоритет по отношению к системе 5 поиска и выходное напряжение синхронного демодулятора 8, непрерывно сравниваясь с опорным напряжением источника 23 в устройстве 22, продолжает перестраивать измерительный блок 3, приближая его резонансную частоту к частоте измерения f_2 (1), (2), определяемой начальными условиями (уровнем опорного напряжения источника 23), с последующей ее стабилизацией в установившемся режиме независимо от влияния различных факторов. В это же время система 5 поиска осуществляет непрерывное слежение за состоянием точной настройки генератора 1 на резонансную частоту измерительного блока 3 и, воздействуя на систему 4, разрешает ей авторегулировку приращения частоты, при этом начинает изменяться амплитуда ступенчатого напряжения во втором входе частотного модулятора 2. Эта амплитуда

тула продолжает изменяться до тех пор, пока выходное напряжение модулятора 2, получив приращение частот, пропорциональные Δf_2 , и пройдя измерительный блок 3, обладающий добротностью Q_2 , не создаст соотношение напряжений вторых производных в точке резонанса и точке, отстоящей от первой на величину Δf_2 , соответствующее установленному числу n . Спустя некоторое время система 4 авторегулировки приращения частоты приходит в равновесное состояние, непрерывно поддерживая постоянной с заданной степенью точности и в соответствии со значением добротности измерительного блока, величину амплитуды ступенчатого напряжения, пропорциональную Δf_2 , независимо от действия различных факторов.

Одновременно с протеканием переходных процессов в рассматриваемых системах производится непрерывная обработка их выходных сигналов. В линейном преобразователе 14 происходит выпрямление ступенчатого напряжения с выхода системы 4, а в квадратичном преобразователе 9 - возведение в квадрат напряжения с выхода системы 5 поиска. Преобразованные напряжения воздействуют на информационные входы синхронных демодуляторов 15, 16 и 10, 11.

К моменту окончания переходных процессов установившиеся выходные напряжения систем 4 и 5, пропорциональные приращению частоты Δf_2 и резонансной частоте f_2 , преобразованные в линейном и квадратичном преобразователях 14 и 9 в напряжения ΔU_2 и U_2^2 , оказываются накопленными соответственно в синхронных демодуляторах 16 и 11, находящихся все это время в режиме накопления информации под влиянием генератора 21. По окончании управляющего импульса генератора 21, длительность которого согласована со временем установления переходных процессов в системах 4 и 5, синхронные демодуляторы 8, 11 и 16 переходят в режим хранения информации, причем синхронный демодулятор 8, сохраняя накопленную информацию, удерживает на определенное наперед заданное время постоянным выходное напряжение сравнивающего устройства 22, а следовательно, и величину управляемой реактивной проводимости измерительного блока 3, соответствующую его точной настройке с подключенным исследуемым элементом 7 на резонансную частоту f_2 . Одновременно с этим на втором выходе генератора 21 образуется импульс, который переводит синхронные демодуляторы 10, 15 в режим накопления информации, а переключатель 6 во второе состояние, отключающее исследуемый элемент 7 от измерительного блока 3.

При отключении исследуемого элемента 7 происходит модуляция параметров измерительного блока 3, при этом системы 4 и 5, стремясь сохранить условия резонанса и постоянство числа n при другой добротности Q_1 измерительного блока 3, вызывают изменения напряжения на втором входе частотного модулятора 2 и управляющем входе генератора 1, что приводит к перепаду напряжений на выходах линейного и квадратичного преобразователей 14 и 9 и, следовательно, к непрерывному накоплению информации в синхронных демодуляторах 15 и 10.

Изменяющееся напряжение демодулятора 10 обрабатывается в соответствии с (2) в канале измерения емкости, т. е. вычитается в устройстве 12 с хранимым напряжением демодулятора 11, а образующаяся разность напряжений подвергается делению в множителе-делителем устройстве 13 на напряжения синхронных демодуляторов 10 и 11 и поступает на регистрирующий прибор 25. Одновременно с этим выходное напряжение демодулятора 15 обрабатывается в соответствии с (1) в канале измерения добротности, т. е. перемножается в множителем устройстве 17 с хранимым напряжением демодулятора 11 и вычитается в устройстве 19 с перемножаемым в множителем устройстве 18 напряжением демодулятора 16 и изменяющимся напряжением демодулятора 10, а получаемая разность, воздействуя на делительный вход множителе-делительного устройства 20, производит деление на данную разность перемножаемых в этом же устройстве напряжений с выходов синхронного демодулятора 8 и вычитающего устройства 12 и поступает на регулирующий прибор 25.

По установлению в рассматриваемом устройстве переходных процессов, когда выходные напряжения систем 4 и 5 станут соответствовать в точности приращению частоты Δf_1 и резонансной частоте f_1 , генератор 21, заканчивая формирование управляющего импульса на своем втором выходе, переводит синхронные демодуляторы 15 и 10 в режим хранения накопленной информации в виде напряжений Δf_1 и U_1^2 (1), (2), при этом выходные напряжения множителе-делительных устройств 13 и 20 оказываются точно соответствующими измеряемой емкости и добротности исследуемого варикапа и регистрируются прибором 25.

Спустя некоторое предельно короткое время, достаточное только для регистрации измеряемых емкости и добротности, индикация измеряемых параметров может производиться (напряжения смещения и частоты измерения f_2 - за время действия соответственно первого и второго управляющих импульсов

генератора 21; емкости и добротности за время измерения параметров следующего варикапа; смена варикапа - за время действия второго импульса генератора 21; указанные связи генератора 21, синхронизирующие работу регистрирующего прибора 25 и смену варикапа 7, не показаны), снова срабатывает генератор 21 управляющих импульсов и процессы в измерительном устройстве периодически повторяются, производя измерения параметров следующего варикапа.

Повышение точности измерений обеспечивается прежде всего, использованием в устройстве изложенного выше метода определения соответствующих параметров, позволяющим практически полностью исключить составляющие погрешности, обусловленные влиянием неравномерности активных потерь управляемой реактивной проводимости измерительного блока при замещении ее емкости емкостью варикапа, которые присущи всем известным методам измерений и являются преобладающими при больших значениях добротности исследуемых элементов, достигая десятков процентов. Таким образом, при учете остаточной погрешности, связанной с неравномерностью активных потерь управляемой реактивной проводимости измерительного блока, которую можно получить не выше $\pm 0,1\%$ выигрыш в точности по этой составляющей составляет несколько сотен раз.

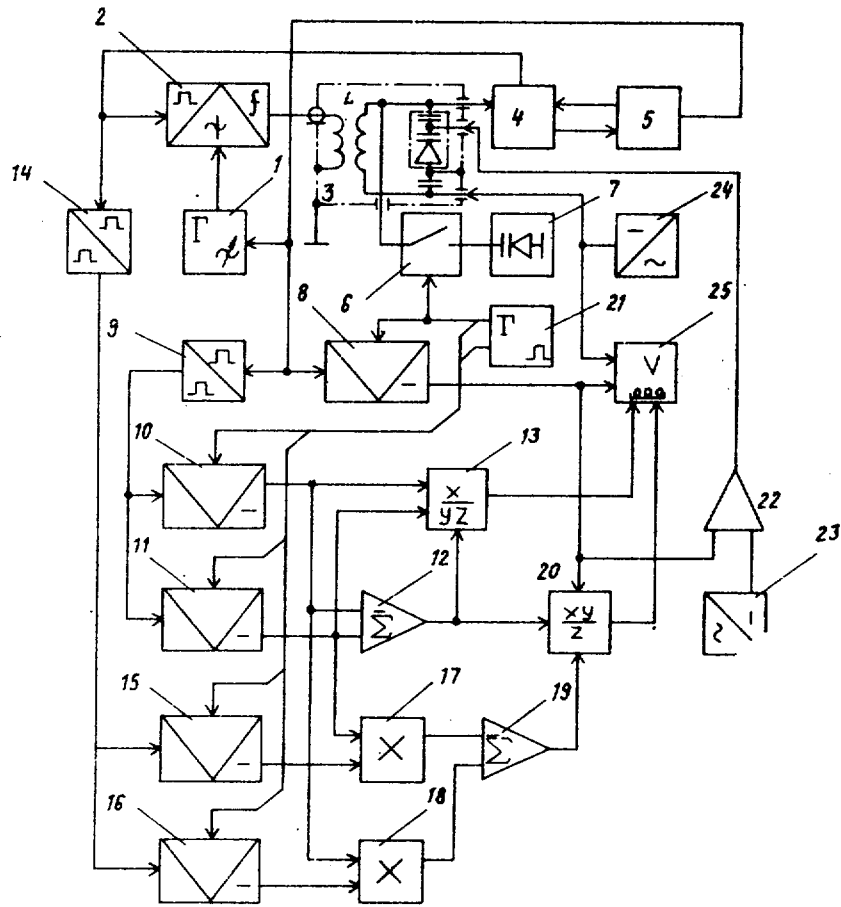
Формула изобретения

Устройство для измерения добротности и емкости варикапов, содержащее регистрирующий прибор, источник напряжения смещения, а также последовательно соединенные генератор, управляемый по частоте, частотный модулятор, измерительный блок, систему авторегулировки приращения частоты, подключенную ко второму входу частотного модулятора, и систему поиска резонансной частоты, один из выходов которой соединен с генератором, управляемым по частоте, а второй - с системой авторегулировки приращения частоты, отличающееся тем, что, с целью повышения точности и автоматизации измерений, в него введены переключатель, генератор управляющих импульсов, линейный и квадратичный преобразователи, пять синхронных демодуляторов, одно сравнивающее, два вычитающих, два множительных и два множительно-

делительных устройств и источник опорного напряжения, подключенный к одному из входов сравнивающего устройства, выход которого соединен с измерительным блоком, причем вход линейного преобразователя подключен к выходу системы авторегулировки приращения частоты, а вход квадратичного преобразователя - к точке соединения системы поиска резонансной частоты и генератора, управляемого по частоте, к которой подключен также информационный вход первого синхронного демодулятора, информационные входы второго и третьего синхронных демодуляторов соединены с выходом квадратичного, а четвертого и пятого - с выходом линейных преобразователей, управляющие входы второго и четвертого синхронных демодуляторов подключены к одному выходу, а первого, третьего и пятого - ко второму выходу генератора управляющих импульсов, соединенному с переключателем, один вывод которого подключен к измерительному блоку, а второй - к исследуемому элементу, выходы второго и третьего синхронных демодуляторов соединены с соответствующими входами первого вычитающего и делительных входами первого множительно-делительного устройств, а также с первыми входами второго и первого множительных устройств, вторые входы которых подключены к выходам соответственно пятого и четвертого синхронных демодуляторов, а выходы - к соответствующим входам второго вычитающего устройства, выход которого соединен с делительным входом второго множительно-делительного устройства, один из множительных входов которого подключен к выходу первого синхронного демодулятора, а второй - к выходу первого вычитающего устройства, соединенному с множительным входом первого множительно-делительного устройства, выход которого соединен с одним входом регистрирующего прибора, другие входы которого подключены к выходам первого синхронного демодулятора, соединенного со вторым входом сравнивающего устройства, второго множительно-делительного устройства и источника напряжения смещения, соединенного с измерительным блоком.

Источники информации,

- принятые во внимание при экспертизе
1. Авторское свидетельство СССР № 429375, кл. G 01 R 27/26, 1972.
 2. Авторское свидетельство СССР по заявке № 2402461/25/, кл. G 01 R 27/26, 1976 (прототип).



Редактор Е.Лушникова Составитель В.Немцев Корректор Н.Григорук
 Техред С.Мигунова
 Заказ 10413/61 Тираж 743 Подписное
 ВНИИПИ Государственного комитета СССР
 по делам изобретений и открытий
 113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5
 Филиал ППП "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4