



Государственный комитет
СССР
по делам изобретений
и открытий

О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(61) Дополнительное к авт. свид-ву -
(22) Заявлено 19.09.78 (21) 2668010/18-25
с присоединением заявки № -
(23) Приоритет -
Опубликовано 30.01.81, Бюллетень № 4
Дата опубликования описания 10.02.81

(11) 800911

(51) М. Кл.³
G 01 R 31/26

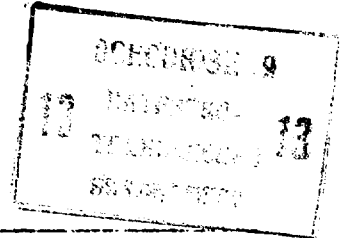
(53) УДК 621.382.
.2 (088.8)

(72) Автор
изобретения

В. Л. Свирид

(71) Заявитель

Минский радиотехнический институт



(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВАРИКАПОВ

1

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

Известно автоматизированное устройство для измерения добротности резонансных контуров в широком диапазоне частот (десятки кГц - сотни мГц), основанное на использовании первой и второй производных от амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) контура и содержащее регистрирующий прибор, генератор, управляемый по частоте, частотный модулятор, исследуемый контур, системы авторегулировки приращения частоты и поиска резонансной частоты [1].

Данное устройство отличается повышенной точностью и быстродействием при измерениях лишь добротности колебательных систем и не обладает такими качествами при определении параметров варикапов из-за необходи-

2

мости применения образцовых конденсаторов переменной емкости, вносящих существенные дополнительные погрешности и влияющих на уровень автоматизации.

Известно также устройство для измерения параметров варикапов, содержащее регистрирующий прибор, источник напряжения смещения, переключатель, генератор управляющих импульсов, линейный и квадратичный преобразователи, пять синхронных демодуляторов, одно сравнивающее, два вычитающих и два множительно-делительных устройств и источник опорного напряжения, подключенный к одному из входов сравнивающего устройства, а также последовательно соединенные генератор, управляемый по частоте, частотный модулятор, измерительный блок, включающий последовательно соединенные катушку индуктивности и управляемый напряжением конденсатор, второй вывод которого подключен к общей точке схемы, систему авторегулировки приращения частоты, подключенную ко второму входу частотного модулятора и линейному преобразователю, и систему поиска резонансной частоты,

5

10

15

20

25

30

один из выходов которой соединен со входами генератора, управляемого по частоте, квадратичного преобразователя и первого синхронного демодулятора, а второй - с системой авторегулировки приращения частоты, причем информационные входы второго и третьего синхронных демодуляторов соединены с выходом квадратичного преобразователя, а четвертого и пятого - с выходом линейного преобразователя, управляющие входы второго и четвертого синхронных демодуляторов подключены к одному выводу, а первого, третьего и пятого - ко второму выводу генератора управляющих импульсов, соединенному с переключателем, один вывод которого подключен к исследуемому прибору, выходы второго и третьего синхронных демодуляторов соединены с соответствующими входами первого вычитающего устройства, выход которого соединен с множительным входом первого множительно-делительного устройства, выход которого соединен с одним из входов регистрирующего прибора, другие входы которого подключены к выходам источника напряжения смещения, второго множительно-делительного устройства и первого синхронного демодулятора, соединенного со вторым входом сравнивающего устройства, выход которого соединен с управляемым напряжением конденсатором измерительного блока [2].

Несмотря на полную автоматизацию устройства и высокую точность измерений на относительно невысоких частотах, оно все же не может обеспечить необходимой точности в расширенной области верхних частот, работа в которой в ряде случаев оказывается просто невозможной. Основным фактором, препятствующим повышению точности измерений, является наличие индуктивности выводов переключателя и держателя исследуемых элементов. Так как в качестве переключателей наиболее эффективным оказывается использование герконовых реле (электронные переключатели имеют недопустимо высокие значения величин остаточных параметров), то расширение диапазона рабочих частот данного устройства возможно лишь за счет минимизации индуктивности выводов переключателя и держателя варикапов сугубо конструктивными решениями. И все же, на современном этапе развития коммутационной техники едва ли возможно с помощью этого устройства получить диапазон рабочих частот выше 10 МГц с приемлемой точностью (результатирующая погрешность не более 1-3% и пределами измеряемых емкостей в несколько сотен пикофард.

Цель изобретения - повышение точности измерений в расширении частотного диапазона работы устройства.

Поставленная цель достигается тем, что в устройство для измерения параметров варикапов, содержащее регистрирующий прибор, источник напряжения смещения, переключатель, генератор управляющих импульсов, линейный и квадратичный преобразователи, пять синхронных демодуляторов, одно сравнивающее, два вычитающих и два множительно-делительных устройств и источник опорного напряжения, подключенный к одному из входов сравнивающего устройства, а также последовательно соединенные генератор, управляемый по частоте, частотный модулятор, измерительный блок, включающий последовательно соединенные катушку индуктивности и управляемый напряжением конденсатор, второй вывод которого подключен к общей точке схемы, систему авторегулировки приращения частоты, подключенную ко второму входу частотного модулятора и линейному преобразователю, и систему поиска резонансной частоты, один из выходов которой соединен со входами генератора, управляемого по частоте, квадратичного преобразователя и первого синхронного демодулятора, а второй - с системой авторегулировки приращения частоты, причем информационные входы второго и третьего синхронных демодуляторов соединены с выходом квадратичного преобразователя, а четвертого и пятого - с выходом линейного преобразователя, управляющие входы второго и четвертого синхронных демодуляторов подключены к одному выводу, а первого, третьего и пятого - ко второму выводу генератора управляющих импульсов, соединенному с переключателем, один вывод которого подключен к исследуемому элементу, выходы второго и третьего синхронных демодуляторов соединены с соответствующими входами первого вычитающего устройства, выход которого соединен с множительным входом первого множительно-делительного устройства, выход которого соединен с одним из входов регистрирующего прибора, другие входы которого подключены к выходам источника напряжения смещения, второго множительно-делительного устройства и первого синхронного демодулятора, соединенного со вторым входом сравнивающего устройства, выход которого соединен с управляемым напряжением конденсатором измерительного блока, введены корректирующая катушка индуктивности и второй источник опорного напряжения, при этом один вывод корректирующей катушки индуктивности через отдельный конденсатор соединен со вто-

рым выводом управляемого напряжением конденсатора, а второй - со вторым выводом переключателя, общий вывод которого подключен к свободному выводу катушки индуктивности измерительного блока, выход второго источника опорного напряжения соединен с множительными входами второго множительно-делительного устройства, делительный вход которого подключен к выходу первого вычитающего устройства, соответствующие входы второго вычитающего устройства соединены раздельно с выходами четвертого и пятого синхронных демодуляторов, а выход - с регистрирующим прибором и с одним из делительных входов первого множительно-делительного устройства, второй вход которого подключен к выходу первого синхронного демодулятора, выход источника напряжения смещения подключен к точке соединения катушки индуктивности и управляемого напряжения конденсатора измерительного блока.

Измеряемые с помощью устройства параметры варикапов в последовательной схеме замещения, соответственно добротность, емкость и сопротивление потерь, представленные в следующем виде:

$$Q_b = \frac{f_2^2 - f_1^2}{2hf_2(\Delta f_2 - \Delta f_1)} = \frac{m}{2hk} \frac{U_2^2 - U_1^2}{U_2(\Delta U_2 - \Delta U_1)}; \quad (1)$$

$$C_b = \frac{1}{4\pi^2 L (f_2^2 - f_1^2)} = \frac{1}{4\pi^2 L m^2 (U_2^2 - U_1^2)}; \quad (2)$$

$$r_b = 4\pi L h (\Delta f_2 - \Delta f_1) = 4\pi L h k (\Delta U_2 - \Delta U_1); \quad (3)$$

где f_2 , f_1 и Δf_2 , Δf_1 - резонансные частоты и приращения частот, задаваемые при определении второй производной от АЧХ измерительного блока, соответственно при включенном и выключенном исследуемом элементе; h - число, показывающее во сколько раз половина полосы пропускания измерительного блока на уровне 0,707 (Δf 0,707) больше приращения частоты Δf , задаваемого при определении второй производной:

$$h = \frac{\Delta f_{0,707}}{\Delta f} = \frac{f_1}{2\Delta f_1 Q_1} = \frac{f_2}{2\Delta f_2 Q_2} \quad (4)$$

Q_1 и Q_2 - добротности измерительного блока при выключенном и включенном исследуемом элементе; m и k - коэффициенты преобразования частот f_1 , f_2 и приращения частот Δf_1 , Δf_2 в напряжения, соответственно U_1 , U_2 и ΔU_1 , ΔU_2 ; L - индуктивность измерительного блока.

Действительно, при отключенном варикапе измерительный блок, характеризующийся добротностью Q_1 , емкостью C_1 и резонансной частотой

f_1 , обладает эквивалентным сопротивлением потерь в последовательной схеме замещения

$$r_1 = \frac{1}{2\pi f_1 C_1 Q_1} \quad (5)$$

При последовательном введении в измерительный блок исследуемого варикапа с эквивалентными параметрами Q_b , C_b и r_b изменяются резонансная частота, добротность и емкость блока, которые принимают значения соответственно f_2 , Q_2 и C_2 , причем результирующее сопротивление потерь измерительного блока с варикапом r_2 представлено в виде алгебраической суммы отдельных составляющих

$$r_2 = r_1 + r_b = \frac{1}{2\pi f_2 C_2 Q_2} \quad (6)$$

Подставляя вместо r_1 его значение в соответствии с (5), получаем один из искоемых параметров варикапа

$$r_b = \frac{1}{2\pi f_2 C_2 Q_2} - \frac{1}{2\pi f_1 C_1 Q_1} \quad (7)$$

Емкость измерительного блока с подключенным варикапом C_2 представляет собой последовательное соединение двух емкостей C_1 и C_b , поэтому

$$C_2 = \frac{C_1 C_b}{C_1 + C_b}$$

Отсюда вытекает второй искоемый параметр

$$C_b = \frac{C_1 C_2}{C_1 - C_2} = \frac{1}{\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1}} \quad (8)$$

Зная два параметра эквивалентной схемы варикапа r_b и C_b на частоте измерения можно определить и третий искоемый параметр - добротность

$$Q_b = \frac{1}{2\pi f_2 r_b C_b} = \frac{Q_2 (1 - \frac{C_2}{C_1})}{1 - \frac{f_2}{f_1} \frac{Q_2 C_2}{Q_1 C_1}} \quad (9)$$

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

$$C_1 = \frac{1}{(2\pi f_1)^2 L}, \quad C_2 = \frac{1}{(2\pi f_2)^2 L} \quad (10)$$

При подстановке (10) в (8) выражение для искомой емкости варикапа приобретает вид уравнения (2).

Для определения неизвестных величин Q_1 и Q_2 воспользуемся соотношением (4), описывающим работу уст-

ройства. Подставляя (10) и (4) в (9) и (7), получаем выражения для искомого добротности и сопротивления потерь варикапа в виде уравнений (1) и (3).

Устройство в автоматическом режиме осуществляет модуляцию параметров измерительного блока путем поочередного включения и выключения исследуемого элемента с одновременным непрерывным слежением за состоянием резонанса и приращением частоты, соответствующим заданному числу h и добротности измерительного блока, последующей обработкой получаемой при этом информации в виде напряжений U_2 , U_1 , ΔU_2 , ΔU_1 и вычислением по (1), (2) и (3) величин искомого параметров, обеспечивая выигрыш в точности измерений и расширение частотного диапазона работы.

На чертеже представлена структурная схема устройства для измерения параметров варикапов.

Устройство включает 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 h независимо от модуляции параметров измерительного блока 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 последовательный колебательный контур, включающий катушку индуктивности L , связанную посредством витков связи с выходом частотного модулятора 2 и входом системы 4 авторегулировки приращения частоты, и управляемый напряжением конденсатор C , содержащий разделительный конденсатор и варикап. Индуктивная связь измерительного блока с системой 4 приращения частоты в данном случае является предпочтительной по сравнению с другими видами связи, так как она обеспечивает постоянный коэффициент передачи независимо от соотношения емкостей исследуемого элемента и управляемого напряжением конденсатора, которое в процессе измерений может изменяться в широких пределах. Для коммутации исследуемого варикапа 6 последовательно в измерительный блок 3 введен переключатель 7, общий вывод которого соединен с выводом катушки индуктивности L . С целью исключения влияния индуктивностей вы-

водов переключателя 7 и держателя варикапа 6 на погрешность измерений, введена корректирующая катушка 8 индуктивности, один вывод которой через разделительный конденсатор C_p подключен к выводу управляемого напряжением конденсатора C , соединенному с общей точкой схемы, а второй - ко второму выводу переключателя 7. Имеющиеся в составе измерительного блока 3 разделительные конденсаторы не влияют на работу устройства в рабочем диапазоне частот. Таким образом, в одном положении переключателя 7 последовательно в измерительный блок включается исследуемый варикап 6, а во втором - корректирующая катушка 8, с помощью которой можно существенно снизить погрешность измерений и расширить частотный диапазон.

При коммутации исследуемого элемента 6 происходит модуляция параметров измерительного блока 3 и, следовательно, образуется необходимая информация, которая обрабатывается в соответствующих каналах. Первый синхронный демодулятор 9 представляет собой канал регистрации частоты, на которой производятся измерения параметров варикапов, а сравнивающее устройство 10 с первым источником напряжения смещения 11 - систему стабилизации этой частоты, независимо от величины реактивной составляющей исследуемых элементов. Квадратичный преобразователь 12 амплитуды импульсов, второй и третий синхронные демодуляторы 13 и 14, первое вычитающее устройство 15 и второе множителем-делительное устройство 16 со вторым источником 17 опорного напряжения образуют канал измерения емкости. В состав канала измерения сопротивления потерь входят линейный преобразователь 18 амплитуды и частоты импульсов, четвертый и пятый синхронные демодуляторы 19 и 20 и второе вычитающее устройство 21. Первое множителем-делительное устройство 22 позволяет получить непосредственный отсчет добротности. С помощью генератора 23 управляющих импульсов производится синхронизация работы переключателя 7 и демодуляторов 9, 13, 14, 19 и 20. Источник 24 напряжения смещения через катушку индуктивности L измерительного блока 3 и переключатель 7 осуществляет подачу необходимого напряжения смещения на исследуемый элемент 6, а регистрирующий прибор 25 - индикацию всех измеряемых величин. Источник 24 напряжения смещения и сравнивающее устройство 10 выполнены с большими выходными сопротивлениями по переменному току и заметно не шунтируют измерительный блок 3.

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

Измерительный блок 3 с включенным исследуемым варикапом 6 настраивается на определенную частоту, например f_2 (1), (2). Это связано с тем, что добротность варикапа является частотно-зависимым параметром и частоту измерения необходимо фиксировать, иначе затрудняется сравнение результатов измерения. В установленном режиме эта настройка осуществляется с помощью системы стабилизации частоты измерения путем замещения емкости измерительного блока 3 емкостью исследуемого варикапа 6, причем резонанс в измерительном блоке поддерживается непрерывно с помощью системы 5 поиска резонансной частоты за счет перестройки частоты генератора 1.

На заданной частоте (f_2) определяется добротность Q_2 (4) и емкость C_2 (10) измерительного блока с включенным варикапом, т.е. эквивалентные им Δf_2 и f_2^2 или их аналоги ΔU_2 и U_2^2 (1)-(3) с последующим хранением информации об этих параметрах.

Исследуемый варикап исключается из измерительного блока, а на его место включается корректирующая индуктивность 8, образуя замкнутую цепь измерительного блока 3, при этом не изменяя емкости C_1 (10) измерительного блока с отключенным варикапом, достигается резонанс на новой частоте f_1 путем перестройки частоты генератора 1.

На частоте f_1 определяются новые значения добротности Q_1 (4) и емкости C_1 (10) измерительного блока 3, т.е. эквивалентные им Δf_1 и f_1^2 или их аналоги ΔU_1 и U_1^2 (1)-(3) с последующим хранением информации об этих параметрах.

Полученная информация о параметрах измерительного блока с включенным (Q_2 , C_2 , f_2) и выключенным (Q_1 , C_1 , f_1) исследуемым варикапом обрабатывается в соответствующих каналах с последующим вычислением в соответствии с формулами (1)-(3) величин искомых параметров.

Приведенный алгоритм работы устройства реализуется следующим образом.

В исходном состоянии, когда под влиянием управляющих импульсов генератора 23 переключатель 7 находится в одном из состояний, включаются в измерительный блок 3 исследуемый элемент 6, смещенный необходимым напряжением источника 24, а синхронные демодуляторы 9, 14, 20 и 13, 19 соответственно в режимах накопления и хранения информации, на один из входов частотного модулятора 2 поступает напряжение произ-

вольной частоты от генератора 1, а на второй - ступенчатое напряжение 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 совпадет с резонансной. Резонансная частота измерительного блока 3 в начальный момент времени оказывается смещенной в противоположный началу перестройки края диапазона генератора 1 под влиянием большого разностного сигнала, возникающего в сравнивающем устройстве 10 за счет преобладания одного из напряжений: опорного напряжения источника 11 или выходного напряжения синхронного демодулятора 9, 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 9, которое, преодолевая в сравнивающем устройстве 10 опорное напряжение источника 11, способствует вхождение 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 второй 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 9, непрерывно сравниваясь с опорным напряжением источника 11 в устройстве 10, продолжает перестраивать измерительный блок 3, приближая его резонансную частоту к частоте измерения f_2 (1), (2), определяемой начальными условиями (уровнем опорного напряжения источника 11) с последующей ее стабилизацией в установленном 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 измеритель-

ного блока 3 и воздействуя на систему 4, разрешает ей авторегулировку приращения частоты, при этом начинает изменяться амплитуда ступенчатого напряжения на второй входе частотного модулятора 2. Эта амплитуда продолжает изменяться до тех пор, пока выходное напряжение модулятора 2, получив приращение частот, пропорциональные Δf_2 (1), (3), 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 h (4). 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 3, величину амплитуды ступенчатого напряжения, пропорциональную Δf_2 (1), (3), независимо от действия различных факторов.

Одновременно с протеканием переходных процессов в рассматриваемых системах производится непрерывная обработка их выходных сигналов. В линейном преобразователе 18 происходит выпрямление ступенчатого напряжения с выхода системы 4, а в квадратичном преобразователе 12 - возведение в квадрат напряжения с выхода системы 5 поиска. Преобразованные напряжения воздействуют на информационные входы синхронных демодуляторов 19, 20 и 13, 14.

К моменту окончания переходных процессов установившиеся выходные напряжения систем 4 и 5, пропорциональные приращению частоты Δf_2 и резонансной частоте f_2 , преобразовавшись в линейном и квадратичном преобразователях 18 и 12 в напряжения ΔU_2 и U_2^2 , оказываются накопленными соответственно в синхронных демодуляторах 20 и 14, находившихся все это время в режиме накопления информации под влиянием генератора 23. По окончании управляющего импульса генератора 23, длительность которого согласована со временем установления переходных процессов в системах 4 и 5, синхронные демодуляторы 9, 14 и 20 переходят в режим хранения информации, причем синхронный демодулятор 9, сохраняя накопленную информацию, удерживает на определенное, наперед заданное, время постоянным выходное напряжение сравнивающего устройства 10, а следовательно, и величину емкости управляемого напряжением конденсатора С измерительного блока 3, соответствующую его точной настройке с включенным ис-

следуемым элементом 6 на резонансную частоту f_2 (1), (2). Одновременно с этим на втором выходе генератора 23 образуется импульс, который переводит синхронные демодуляторы 13 и 19 в режим накопления информации, а переключатель 7 - во второе состояние, выключающее исследуемый элемент из измерительного блока 3 и включающее вместо него корректирующую катушку 8 индуктивности.

При выключении исследуемого элемента 6 происходит модуляция параметров измерительного блока 3, при этом системы 4 и 5, стремясь сохранить условия резонанса на новой частоте f_1 и постоянство числа h (4) при другой добротности Q_1 измерительного блока 3, вызывают описанным выше способом изменение напряжений на втором входе частотного модулятора 2 и управляющем входе генератора 1, что приводит к ступенчатому изменению напряжений на выходах линейного и квадратичного преобразователей 18 и 12, и, следовательно, к непрерывному накоплению информации о текущих значениях приращения частоты и квадрата частоты раздельно в синхронных демодуляторах 19 и 13.

Изменяющееся напряжение демодулятора 13 обрабатывается в соответствии с (2) в канале измерения емкости, т.е. вычитается в устройстве 15 с хранимым напряжением демодулятора 14, а образующаяся разность напряжений, воздействуя на делительный вход множительно-делительного устройства 16 производит в нем деление опорного напряжения источника 17. Получаемый при этом результат деления в виде напряжения, пропорционального измеряемой емкости варикапа, поступает на регистрирующий прибор 25. Одновременно с этим выходное напряжение демодулятора 19 обрабатывается в соответствии с (3) в канале измерения сопротивления потерь, т.е. вычитается в устройстве 21 с хранимым напряжением демодулятора 20, а образующаяся разность напряжений, пропорциональная сопротивлению потерь исследуемого варикапа, поступает на регистрирующий прибор 25 и воздействует на один из делительных входов первого множительно-делительного устройства 22. В этом устройстве разностное напряжение вычитающего устройства 15 подвергается делению на хранимое напряжение демодулятора 9 и разностное напряжение вычитающего устройства 21, образуя напряжение, пропорциональное измеряемой добротности варикапа, которое регистрируется прибором 25.

Спустя некоторое предельно короткое время, достаточное только для регистрации измеряемых параметров

варикапов (индикация измеренных величин может производиться; напряжения смещения и частоты измерения f_2 - за время действия соответственно первого и второго управляющих импульсов генератора 22; добротности, емкости и сопротивления потерь - за время измерения параметров следующего варикапа; смена варикапов - за время действия второго импульса генератора 23; указанные связи генератора 23, синхронизирующие работу регистрирующего прибора 25 и смену варикапа 6, на чертеже не показаны), снова срабатывает генератор 23 управляющих импульсов и процессы в измерительном устройстве периодически повторяются, производя измерения параметров следующих варикапов.

Предложенное устройство выгодно отличается от известного устройства повышенной точностью в расширенном диапазоне верхних частот порядка 100 мГц и выше. Выигрыш в точности измерений заключен прежде всего в методе определения параметров варикапов, позволяющем путем последовательного включения исследуемого элемента в измерительный блок практически полностью исключить составляющие погрешности, обусловленные влиянием индуктивности выводов переключателя и держателя варикапов, которые присущи известным методам и устройствам и являются преобладающими на повышенных частотах, достигая десятков процентов. Действительно, эти составляющие при измерении добротности и емкости варикапов с помощью известного устройства определяются выражениями

$$\delta Q_{bc} = -\omega^2(L_n + L_A)C_b, \quad (11)$$

$$\delta C_{bc} = \frac{\omega^2(L_n + L_A)C_b}{1 - \omega^2(L_n + L_A)C_b} \quad (12)$$

и на частоте 100 мГц при $C_b = 100$ пФ и величине суммарной индуктивности выводов переключателя L_n и держателя варикапа L_A порядка 25 нГ (индуктивность выводов промышленных герконовых реле находится в пределах 20-60 нГ) приближаются соответственно к 100% и бесконечности.

В устройстве рассматриваемые составляющие погрешности определяются не абсолютной величиной индуктивности $(L_n + L_A)$, влияющей лишь на резонансную частоту измерительного блока, которую можно смещать, используя подстроечные элементы, а разностью индуктивностей $\Delta(L_n + L_A)$ при двух положениях переключателя. Поэтому выигрыш в точности измерений, который обеспечивает устройство по сравнению с известным устройством и имеет вид

$$B\delta = \frac{L_n + L_A}{\Delta(L_n + L_A)}$$

Так как величина $\Delta(L_n + L_A)$ поддается регулированию (вместо исследуемого варикапа 6 включают короткозамыкатель и, регулируя индуктивность корректирующей катушки 8, добиваются минимального отклонения резонансной частоты измерительного блока 3 при работе переключателя 7), получить нескомпенсированную разность индуктивностей менее 0,1 нГ не представляет труда. Следовательно, используя в качестве переключателя 7 обыкновенные герконовые реле, выигрыш в точности измерений $B\delta$ составляет примерно 250 раз.

Выигрыш в расширении диапазона частот $B\omega$ получаем из условия равенства составляющих погрешностей при измерениях параметров варикапов на сравниваемых устройствах. Так как погрешности (11) и (12) пропорциональны квадрату частоты и линейно зависят от величин индуктивностей $(L_n + L_A)$ и емкости C_b , то, очевидно

$$B\omega = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \sqrt{B\delta} > 15 \text{ раз,}$$

где ω_2 и ω_1 - граничные частоты диапазона, соответствующие одним и тем же значениям погрешностей (11) и (12) при измерении параметров варикапов с помощью предложенного устройства и известного.

Таким образом, данное устройство открывает неограниченные возможности для повышения точности и быстроты действия измерений параметров варикапов на поточной линии. В устройстве исключено влияние неравномерности активных потерь управляемого напряжением конденсатора измерительного блока при замещении его емкости емкостью варикапа, причем время измерения параметров не превышает одного периода колебания генератора управляющих импульсов.

Формула изобретения

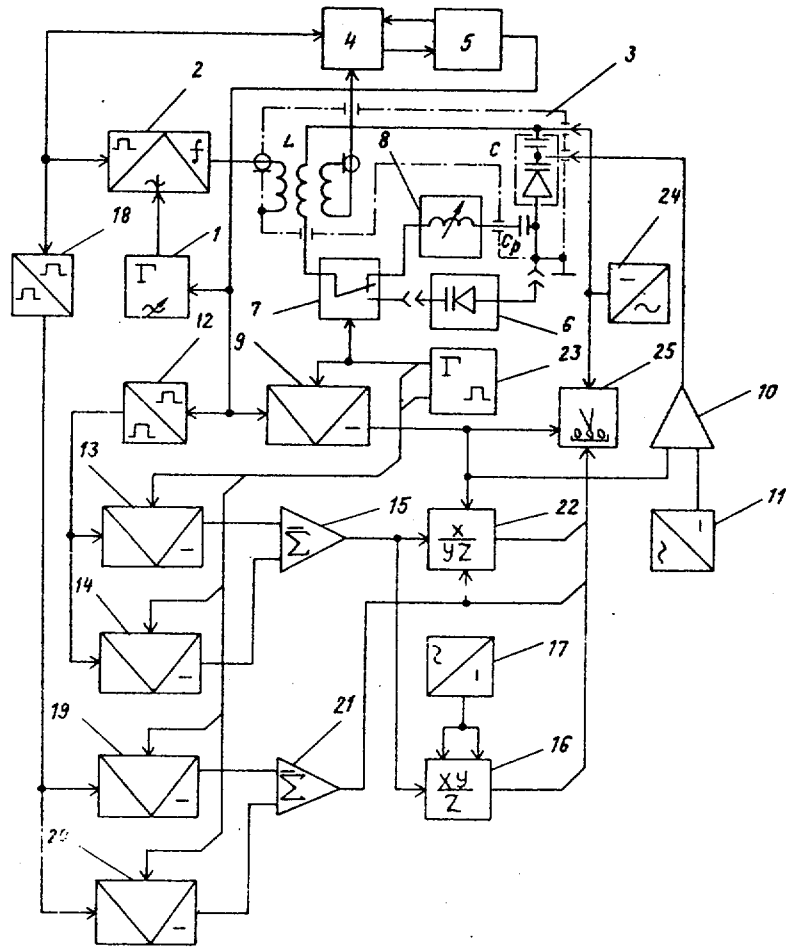
Устройство для измерения параметров варикапов, содержащее регистрирующий прибор, источник напряжения смещения, переключатель, генератор управляющих импульсов, линейный и квадратичный преобразователи, пять синхронных демодуляторов, одно сравнивающее, два вычитающих и два множитительно-делительных устройств и источник опорного напряжения, подключенный к одному из входов сравнивающего устройства, а также последовательно соединенные генератор, управляемый по частоте, частотный модулятор, измерительный блок, включающий последовательно соединенные катушку индуктивности и управляемый напряжением конденсатор, второй вывод которого подключен к общей точке схемы, систему авторегулировки

приращения частоты, подключенную ко второму входу частотного модулятора и линейному преобразователю, и систему поиска резонансной частоты, один из выходов которой соединен со входами генератора, управляемого по частоте, квадратичного преобразователя и первого синхронного демодулятора, а второй - с системой авто-регулировки приращения частоты, причем информационные входы второго и третьего синхронных демодуляторов соединены с выходом квадратичного преобразователя, а четвертого и пятого - с выходом линейного преобразователя, 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 исследуемому прибору, выходы второго и третьего синхронных демодуляторов соединены с соответствующими входами первого вычитающего устройства, выход которого соединен с множительным входом первого множительно-делительного устройства, выход которого соединен с одним из входов регистрирующего прибора, другие входы которого подключены к выходам источника напряжения смещения, второго множительно-делительного устройства и первого синхронного демодулятора, соединенного со вторым входом сравнивающего устройства, выход которого соединен с управляемым напряжением конденсатором измерительного блока, о т л и ч а ю щ е с я тем, что, с целью повышения точности измерений и расши-

рения частотного диапазона работы устройства, в него введены корректирующая катушка индуктивности и второй источник опорного напряжения, при этом один вывод корректирующей катушки индуктивности через, раз-
5 делительный конденсатор соединен со вторым выводом управляемого напряжением конденсатора, а второй - со вторым выводом переключателя, общий вывод которого подключен к
10 свободному выводу катушки индуктивности измерительного блока, выход второго источника опорного напряжения соединен с множительными входами второго множительно-делительного устройства, делительный вход
15 которого подключен к выходу первого вычитающего устройства, соответствующие входы второго вычитающего устройства соединены раздельно с выходами четвертого и пятого синхронных
20 демодуляторов, а выход - с регистрирующим прибором и с одним из делительных входов первого множительно-делительного устройства, второй вход которого подключен к выходу
25 первого синхронного демодулятора, выход источника напряжения смещения подключен к точке соединения катушки индуктивности и управляемого напряжения конденсатора измерительного блока.
30

Источники информации, принятые во внимание при экспертизе

- 35** 1. Авторское свидетельство СССР по заявке № 2402461/21, кл. G 01 R 27/26, 1976.
 2. Авторское свидетельство СССР по заявке № 2667992/25, кл. G 01 R 27/26, 1978 (прототип).



Составитель В. Немцев

Редактор Е. Лушникова Техред С. Мигунова Корректор Г. Назарова

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