



СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

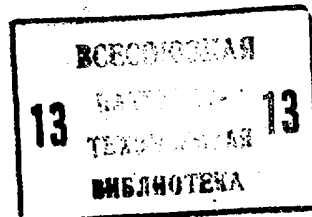
(19) **SU** (11) **1133563 A**

4(51) G 01 R 27/02

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



(61) 987535
(21) 3406389/24-21
(22) 11.03.82
(46) 07.01.85. Бюл. № 1
(72) В.И. Усик и С.Б. Севастьянов
(71) Новосибирский государственный университет им. Ленинского комсомола
(53) 621.317.738(088.8)
(56) 1. Авторское свидетельство СССР № 987535, кл. G 01 R 27/02, 30.06.82.
(54)(57) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПРОВОДИМОСТИ по авт. св. № 987535, отличающееся тем, что, с целью увеличения точности измерений, в него введены четвертый синхронный детектор, четвертый

усилитель постоянного тока, второй источник опорного напряжения и вторая RC-цепь, причем первый вход четвертого синхронного детектора подключен к выходу второго селективного усилителя, а второй вход подключен к второму выходу первого высокочастотного генератора, а выход четвертого синхронного детектора подключен к первому входу четвертого усилителя постоянного тока, второй вход которого соединен с вторым источником опорного напряжения, а выход через вторую RS-цепь соединен с вторым входом выходного блока, выполненного управляемым.

(19) **SU** (11) **1133563 A**

Изобретение относится к контрольно-измерительной технике и может быть использовано для автоматического измерения и контроля электро- и радиотехнических компонент типа двухполюсников, а также для измерения комплексной проводимости полупроводниковых структур (МДП, диоды, барьеры Шоттки, фотодиоды, транзисторы и др.) в зависимости от постоянного поляризуемого напряжения и частоты переменного тест-сигнала.

По основному авт. св. № 987535 известно устройство, содержащее высокочастотный первый генератор, первым выходом соединенный с первым входом управляющего фазовращателя, выход которого соединен с первым входом первого балансного смесителя, выход которого через фильтр низких частот соединен с входом выходного блока, первый выход которого соединен с первым выводом измеряемого двухполюсника, второй вывод которого соединен с входом переключателя пределов, выходом соединенного с входом первого широкополосного усилителя, выход которого соединен с первым входом второго балансного смесителя, выход которого соединен с входом первого селективного усилителя, выходом соединенного с первыми входами первого и третьего синхронных детекторов, выходы которых соединены с входами соответственно третьего и второго усилителей постоянного тока, выходы которых подсоединены к регистраторам проводимости и емкости соответственно, первый выход выходного блока соединен также с первым выводом эталонного конденсатора, второй вывод которого соединен с первым выводом измерительного конденсатора, второй вывод которого соединен с земляной шиной, первый вывод измерительного конденсатора соединен с входом второго широкополосного усилителя, выход которого соединен с первым входом третьего балансного смесителя, выход которого соединен с входом второго селективного усилителя, выходом соединенного с первым входом второго синхронного детектора, выход которого соединен с первым входом первого усилителя постоянного тока, второй вход которого подключен к первому источнику опорного напряжения, а выход через первую R5-цепь соединен с вторым входом управляемого фазовращателя, блок

постоянных смещений, первый выход которого соединен с первым выводом измеряемого образца, а второй выход подключен к внешнему регистратору напряжения, второй выход выходного блока подключен к внешнему регистратору частоты и к входу преобразователя частота - напряжение, выход которого подключен к внешнему регистратору, второй выход первого высокочастотного генератора подключен к вторым входам первого, второго и третьего синхронных детекторов, автоматический блок управления, выход которого подключен к входу второго (перестраиваемого) высокочастотного генератора, выход которого соединен с вторым входом первого, второго и третьего балансных смесителей [1].

Недостатком известного устройства являются погрешности ввиду неравномерности амплитудно-частотной характеристики усилительного тракта. Дополнительные погрешности в устройстве имеют место также ввиду нестабильности амплитуды перестраиваемого высокочастотного генератора при изменении частоты.

Цель изобретения - увеличение точности измерений.

Поставленная цель достигается тем, что в устройство для измерения комплексной проводимости введены четвертый синхронный детектор, четвертый усилитель постоянного тока, второй источник опорного напряжения и вторая R5-цепь, причем первый вход четвертого синхронного детектора подключен к выходу второго селективного усилителя, а второй вход подключен к второму выходу первого высокочастотного генератора, а выход четвертого синхронного детектора подключен к первому входу четвертого усилителя постоянного тока, второй вход которого соединен с вторым источником опорного напряжения, а выход через вторую R5-цепь соединен с вторым входом выходного блока, выполненного управляемым.

Введение новых блоков и их связей позволяет полностью устранить погрешности, возникающие вследствие нестабильности амплитуды перестраиваемого ВЧ-генератора и выходного блока, а также вследствие нелинейности амплитудно-частотной характеристики широкополосных усилителей и ба-

лансных смесителей. Это позволяет повысить точность измерения устройства.

На чертеже приведена блок-схема устройства.

Устройство содержит первый высокочастотный генератор 1, управляемый фазовращатель 2, первый балансный смеситель 3, фильтр 4 низких частот, управляемый выходной блок 5, блок 6 постоянных смещений, автоматический блок 7 управления, второй (перестраиваемый) высокочастотный генератор 8, первый широкополосный усилитель 9, второй балансный смеситель 10, первый селективный усилитель 11, первый синхронный детектор 12, третий усилитель 13 постоянного тока, третий синхронный детектор 14, второй усилитель 15 постоянного тока, второй широкополосный усилитель 16, третий балансный смеситель 17, второй селективный усилитель 18, второй синхронный детектор 19, первый усилитель 20 постоянного тока, первую RS-цепь 21, преобразователь 22 частота-напряжение, измеряемый двухполюсник 23, переключатель 24 пределов, эталонный конденсатор 25, измерительный конденсатор 26, первый источник 27 опорного напряжения, четвертый синхронный детектор 28, четвертый усилитель 29 постоянного тока, второй источник 30 опорного напряжения, вторую RS-цепь 31.

Первый генератор 1 первым выходом соединен с первым входом управляемого фазовращателя 2, выход которого соединен с первым входом первого балансного смесителя 3, выход которого соединен с входом фильтра 4 низких частот, выход которого соединен с входом управляемого выходного блока 5, первый выход которого соединен с первым выводом измеряемого двухполюсника 23, второй вывод которого соединен с входом переключателя 24 пределов, выход которого соединен с входом первого широкополосного усилителя 9, выход которого соединен с первым входом второго балансного смесителя 10, выход которого соединен с входом первого селективного усилителя 11, выходом соединенного с первыми входами первого 12 и третьего 14 синхронных детекторов, выходы которых соединены с входами соответственно третьего 13 и второго 15 усилителей

постоянного тока, выходы которых подключены к внешним регистраторам проводимости и емкости соответственно; первый выход выходного блока 5 соединен также с первым выводом эталонного конденсатора 25, второй вывод которого соединен с первым выводом измерительного конденсатора 26, второй вывод которого соединен с общей шиной; первый вывод измерительного конденсатора соединен также с входом второго широкополосного усилителя 16, выход которого соединен с первым входом третьего балансного смесителя 17, выход которого соединен с входом второго селективного усилителя 18, выход которого соединен с первыми входами второго 19 и четвертого 28 синхронных детекторов, выходы которых подключены к первым входам первого 20 и четвертого 29 усилителей постоянного тока, к вторым входам которых подключены выходы соответственно первого 27 и второго 30 источников опорного напряжения; выход первого усилителя 20 постоянного тока через первую RS-цепь 21 подключен к второму входу управляемого фазовращателя 2, а выход четвертого усилителя 29 постоянного тока через вторую RS-цепь 31 подключен к второму входу выходного блока 5. Блок 6 постоянных смещений, первый выход которого соединен с первым выходом выходного блока 5, вторым выходом подключен к внешнему регистратору напряжения; второй выход выходного блока 5 подключен к внешнему регистратору частоты и к входу преобразователя 22 частота-напряжение, выход которого подключен к внешнему регистратору; второй выход первого ВЧ-генератора 1 подключен к вторым входам первого 12, второго 19, третьего 24 и четвертого 28 синхронных детекторов, вход второго (перестраиваемого) ВЧ-генератора 8 подключен к выходу автоматического блока 7 управления, а выход подключен к вторым входам первого 3, второго 10 и третьего 17 балансных смесителей.

Устройство работает следующим образом.

ВЧ-сигнал от ВЧ-генератора 1 с частотой Ω поступает через управляемый фазовращатель 2 на вход балансного смесителя 3, на второй вход которого поступает ВЧ-сигнал от перестра-

иваемого ВЧ генератора 8, частота которого может автоматически изменяться от значения ω_2 до ω_3 . После смешивания в балансном смесителе 3 и прохождения через фильтр низких частот 4 на входе выходного блока 5 появляется сигнал, частота которого равна $\omega_n = \omega_2 - \Omega$ до $\omega_b = \omega_3 - \Omega$. Таким образом, на выходе выходного блока 5 в точке А появляется напряжение $U_A e^{i\omega t} e^{i\varphi_A}$, где U_A — амплитуда переменного сигнала, которая может регулироваться в выходном блоке 5; φ_A — фаза этого сигнала, которая может регулироваться в управляемом фазовращателе 2. Далее к точке А подключены два структурно-идентичных канала, один из которых является непосредственно измерительным, а второй используется в целях автоподстройки амплитуды и автоподстройки фазы. Таким образом, сигнал с выхода выходного блока 5 поступает на эталонный конденсатор 25 ($C_{эТ}$) с большой добротностью, при этом на измерительном конденсаторе 26 ($C_{изМ}$) выделяется напряжение, пропорциональное току, текущему через конденсатор 25 ($C_{эТ}$), так что напряжение, присутствующее на входе широкополосного усилителя 16 в точке В, равно

$$\hat{U}_B = U_A e^{i\omega t} e^{i\varphi_A} \frac{C_{эТ}}{C_{изМ}}.$$

С выхода широкополосного усилителя 16 усиленный сигнал с частотой $\omega_n < \omega_b$ поступает на вход балансного смесителя 17, на второй вход которого от перестраиваемого ВЧ-генератора 8 поступает напряжение постоянной амплитуды с частотой от ω_2 до ω_3 . Сигналы этих частот смешиваются в балансном смесителе 17 и поступают на вход селективного усилителя 18, где происходит выделение частоты Ω ($\Omega = \omega_2 - \omega_1 = \omega_3 - \omega_8$).

Таким образом, на выходе селективного усилителя 18 появляется напряжение с частотой Ω , равное

$$U_A e^{i\Omega t} e^{i\varphi_A} \frac{C_{эТ}}{C_{изМ}} A(\omega) e^{i\Delta\varphi(\omega)},$$

где $U_A \frac{C_{эТ}}{C_{изМ}}$ и $e^{i\varphi_A}$ — соответственно амплитуда и фаза сигнала на входе широкополосного усилителя 16; множители $A(\omega)$ и $e^{i\Delta\varphi(\omega)}$ определяют амплитудно-частотную и фазочастотную

характеристики трактов усиления и преобразования частоты. Это напряжение поступает на входы синхронных детекторов 19 и 28, на вторые входы которых поступает опорное напряжение от ВЧ-генератора 1 с частотой Ω . Синхронный детектор 19 настроен на реактивную компоненту сигнала, так что на его выходе появляется постоянное напряжение, пропорциональное

$$U_A A(\omega) \frac{C_{эТ}}{C_{изМ}} \sin(\varphi_A + \Delta\varphi(\omega)).$$

Это постоянное напряжение поступает на усилитель 20 постоянного тока, где сравнивается с опорным напряжением от источника 27 опорного напряжения, усиливается и через $R5$ -цепь 21 подводится к второму входу управляемого фазовращателя 2, замыкая цепь отрицательной обратной связи автоподстройки фазы. Эта связь работает таким образом, что напряжение на выходе синхронного детектора 19 поддерживается равным нулю, т.е. выполняется условие

$$\sin(\varphi_A + \Delta\varphi(\omega)) = 0 \text{ или } \varphi_A + \Delta\varphi(\omega) = 0, \quad (1)$$

так что набег фазы в усилительных трактах $\Delta\varphi(\omega)$ при изменении частоты сигнала автоматически компенсируется изменением фазы в точке А. Синхронный детектор 28 настроен на активную компоненту сигнала, так что на его выходе появляется постоянное напряжение, пропорциональное

$$\sim U_A A(\omega) \frac{C_{эТ}}{C_{изМ}} \cos(\varphi_A + \Delta\varphi(\omega))$$

или, учитывая (1),

$$\sim U_A A(\omega) \frac{C_{эТ}}{C_{изМ}}.$$

Это постоянное напряжение поступает на усилитель 29 постоянного тока, где сравнивается с опорным напряжением от источника 30, усиливается и через $R5$ -цепь 31 подводится к второму входу управляемого выходного блока 5, замыкая цепь отрицательной обратной связи автоподстройки амплитуды. Эта связь работает таким образом, что напряжение на выходе синхронного детектора 28 поддерживается равным опорному напряжению источника 30 с точностью лучше 1%.

$$U_A A(\omega) \frac{C_{ЭТ}}{C_{ИЗМ}} = \text{const},$$

или, учитывая, что $C_{ЭТ}$ и $C_{ИЗМ}$ — постоянные величины, имеем на выходе синхронного детектора 28

$$U_A A(\omega) = \text{const}. \quad (2)$$

Таким образом, нелинейность АЧХ усилительных и частотнопреобразовательных блоков, а также нестабильность амплитуды сигнала от перестраиваемого ВЧ-генератора 8 автоматически компенсируется изменением амплитуды тест-сигнала в точке А.

Одновременно сигнал с выхода выходного блока 5 поступает на измеряемый двухполюсник 23, при этом на измерительном конденсаторе 26 ($C_{ИЗМ}$), 20 который в зависимости от требуемой точности и диапазона измерений выбирается переключателем 24 пределов, возникает напряжение, пропорциональное току, текущему через образец, так что напряжение, присутствующее на входе широкополосного усилителя 9 в точке С, равно

$$\hat{U}_C = U_A e^{i\omega t} e^{i\varphi_A} \frac{1}{C_{24}} \left(C_X - i \frac{G}{\omega} \right).$$

С выхода широкополосного усилителя 9 усиленный сигнал с частотой $\omega_H < \omega < \omega_B$ поступает на вход балансного смесителя 10, на второй вход которого от перестраиваемого ВЧ-генератора 8 поступает напряжение постоянной амплитуды с частотой от ω_2 до ω_3 . Сигналы этих частот смешиваются в балансном смесителе 10 и поступают на вход селективного усилителя 11, где происходит выделение частоты Ω ($\Omega = \omega_2 - \omega_H = \omega_3 - \omega_B$). Таким образом, на выходе селективного усилителя 11 появляется напряжение с частотой Ω , равное

$$U_A e^{i\Omega t} e^{i\varphi_A} \frac{1}{C_{24}} \left(C_X - i \frac{G_X}{\omega} \right) A(\omega) e^{i\Delta\varphi(\omega)}.$$

Это напряжение поступает на синхронные детекторы 12 и 14 и далее через усилители 13 и 15 постоянного тока на внешние регистраторы. На вторые входы синхронных детекторов 12 и 14 поступает опорное напряжение от ВЧ-генератора 1 с частотой Ω . Синхронный детектор 12 настроен на реактив-

ную компоненту сигнала, так что на его выходе присутствует постоянное напряжение, равное

$$U_A A(\omega) \left[C_X \sin(\varphi_A + \Delta\varphi(\omega)) - \frac{G_X}{\omega} \cos(\varphi_A + \Delta\varphi(\omega)) \right].$$

Синхронный детектор 14 настроен на активную компоненту сигнала, так что на его выходе имеем постоянное напряжение, равное:

$$U_A A(\omega) \left[C_X \cos(\varphi_A + \Delta\varphi(\omega)) + \frac{G_X}{\omega} \sin(\varphi_A + \Delta\varphi(\omega)) \right].$$

Так как каналы, содержащие усилитель 9, смеситель 10, усилитель 11 и усилитель 16, смеситель 17, усилитель 18, выполнены идентичными и, учитывая выполнение условий (1) и (2), при изменении частоты переменного тест-сигнала имеем на выходе синхронного детектора 12, согласно (3), сигнал, пропорциональный G_X/ω , а на выходе синхронного детектора 14, согласно (4), сигнал, пропорциональный C_X , которые через усилители 13 и 15 постоянного тока поступают на внешние регистрирующие блоки.

С выхода выходного блока 5 сигнал поступает на вход преобразователя 22 частота — напряжение, где происходит логарифмическое преобразование частоты $\omega_H - \omega_B$ в напряжение, которое далее подается на один из входов двухкоординатного самописца для записи зависимостей $G_X/\omega - \ln(\omega)$ или $C_X - \ln(\omega)$. Одновременно на выходе f происходит цифровая индикация частоты, подаваемой на исследуемый образец.

С выхода автоматического блока 7 управления на вход (перестраиваемого ВЧ-генератора 8) поступает постоянное или пилообразное напряжение для электронной перестройки частоты генератора. В первом случае снимаются $G_X/\omega - U$ и $C_X - U$ зависимости при фиксированной частоте, во втором случае $G_X/\omega - \omega$ и $C_X - \omega$ зависимости при фиксированном поляризующем напряжении.

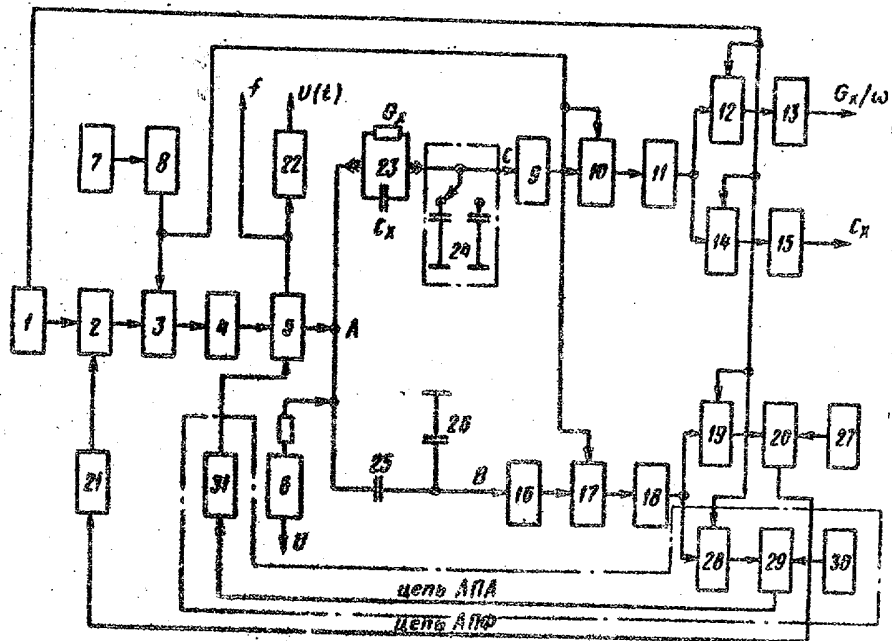
С выхода блока 6 постоянных смещений на двухполюсник 23 поступает постоянное поляризующее напряжение, которое также может изменяться пилообразно для записи соответствующих зависимостей $G_X/\omega - U$ или $C_X - U$. Одновременно на выходе U может подключаться

внешний цифровой вольтметр для точного измерения напряжения.

По сравнению с известным предлагаемое устройство для измерения и регистрации С- Π обеспечивает возможность измерения на любой частоте в диапазоне 0,3-400 кГц, возможность вести частотнозависимые измерения в автоматическом режиме с временем пе-

рестройки по частоте от 10 до 300 с при той же точности измерений.

Использование предлагаемого устройства для исследовательских целей дает возможность регистрировать новые процессы, которые ввиду малых постоянных времени не могут быть зарегистрированы на измерительных устройствах с ручной перестройкой частоты.



Редактор В. Петраш Составитель В. Стукан
Техред Л. Микеш Корректор О. Луговая

Зказ 9946/38

Тираж 748

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР
по делам изобретений и открытий
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ИИИ "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4