



СОЮЗ СОВЕТСКИХ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ  
РЕСПУБЛИК

(19) **SU** (11) **1453337** **A1**

СП 4 G 01 R 27/26

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ  
ПРИ ГНТ СССР

## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

### К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 4126793/24-09

(22) 14.07.86

(46) 23.01.89. Бюл. № 3

(71) Киевский технологический инсти-  
тут легкой промышленности

(72) Д.В.Головко, Ю.А.Скрипник,

В.Н.Замарашкина и А.Ф.Яненко

(53) 621.317.335.3(088.8)

(56) Авторское свидетельство СССР

№ 113390, кл. G 01 R 27/26, 1957.

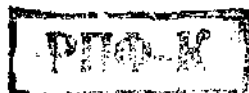
Авторское свидетельство СССР

№ 1116371, кл. G 01 N 22/04, 1983.

(54) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ  
ПРОНИЦАЕМОСТИ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

(57) Изобретение относится к технике  
измерений на СВЧ. Цель изобретения -  
повышение точности измерений. Способ  
измерения реализуется следующим об-  
разом. СВЧ-сигнал фиксированной ста-  
бильной частоты  $\omega$  разделяют на изме-  
рительный сигнал (ИС) и опорный сиг-  
нал. ИС смещают по частоте низкочас-  
тотным сигналом  $U_2$ . Смещенный по час-  
тоте СВЧ-сигнал проходит через ис-

следуемый материал с диэлектрической  
проницаемостью и принимается прием-  
ной антенной. ИС с частотой  $\omega - \Omega$ , про-  
шедший через исследуемый материал,  
смешивается с опорным сигналом и вы-  
деляется низкочастотный ИС, который  
сравнивают по фазе с сигналом  $U_2$  и  
уменьшают частоту низкочастотного  
сигнала до получения нулевой разности  
фаз. Затем дополнительно задерживают  
опорный сигнал фиксированной частоты  
 $\omega$  на фазовый угол  $\varphi_0$  и вновь умень-  
шают частоту низкочастотного сигнала  
до восстановления нулевой разности  
фаз. Диэлектрическую проницаемость  
исследуемого материала определяют  
по формуле  $\epsilon = [\varphi_0 / 2\pi C / (F_1 - F_2) d + 1]^2$ ,  
где  $\varphi_0$  - величина дополнительного  
фазового сдвига (ФС);  $C$  - скорость  
распространения электромагнитной  
энергии в свободном пространстве;  
 $d$  - толщина исследуемого материала;  
 $F_1$  и  $F_2$  - смещение частоты низко-  
частотного сигнала до и после введе-  
ния дополнительного ФС. 1 ил.



(19) **SU** (11) **1453337** **A1**

Изобретение относится к технике измерений на СВЧ.

Цель изобретения - повышение точности измерений.

На чертеже представлена структурная электрическая схема устройства, реализующего способ измерения диэлектрической проницаемости листовых материалов.

Устройство содержит СВЧ-генератор 1, направленный ответвитель 2, блок 3 сдвига частоты, низкочастотный генератор 4, излучающую антенну 5, исследуемый материал 6, приемную антенну 7, смеситель 8, фазовращатель 9, фильтр 10 нижних частот (НЧ), усилитель 11 низкой частоты, фазовый детектор 12, фильтр 13 НЧ, индикатор 14, фильтр 15 НЧ, частотомер 16.

Устройство работает следующим образом.

Сигнал СВЧ-генератора 1 с помощью направленного ответвителя 2 разделяется на измерительный и опорный. Измерительный сигнал смещается по частоте в блоке 3 сдвига частоты сигналом НЧ-генератора 4. Смещенный по частоте сигнал поступает в излучающую антенну 5. Энергия СВЧ-сигнала, прошедшего через исследуемый материал 6, принимается приемной антенной 7 и поступает на один из входов смесителя 8, на другой вход которого поступает опорный сигнал. В опорном канале включен фазовращатель 9, вначале установленный в нулевое положение. Из смешанных СВЧ-колебаний фильтром 10 нижних частот выделяется сигнал с частотой НЧ-генератора 4, фаза которого пропорциональна значению диэлектрической проницаемости исследуемого материала 6. Выделенный сигнал усиливается усилителем 11 и поступает на один из входов фазового детектора 12, на другой вход которого поступает через фильтр 15 НЧ, аналогичный фильтру 10, напряжение с генератора 4. Выходное напряжение фазового детектора 12, пропорциональное разности фаз входных напряжений, через фильтр 13 НЧ, который выделяет постоянную составляющую напряжения, воздействует на индикатор 14.

Изменением частоты НЧ-генератора 4 устанавливают нулевое показание индикатора 14 и производят отсчет частоты  $F_1$  НЧ-сигнала по цифровому частотомеру 16. Затем фазовращате-

лем 9 вводят дополнительный фазовый сдвиг  $\varphi_0$  в опорный канал. Изменением частоты НЧ-генератора 4 восстанавливают нулевое показание индикатора 14 и измеряют частоту  $F_2$  НЧ-сигнала. По калиброванному фазовому сдвигу  $\varphi_0$  фазовращателя 9 и двум значениям частот  $F_1$  и  $F_2$  НЧ-генератора 4 определяют диэлектрическую проницаемость исследуемого материала 6, который может перемещаться между антеннами 5 и 7.

Таким образом, предлагаемый способ соответствует критерию новизны. Соответствие критерию изобретения существенные отличия заключается в следующем. Совокупность новых операций смешивания смещенного по частоте СВЧ-сигнала с СВЧ-сигналом фиксированной частоты, выделение сигнала частоты смещения, регулирования его частоты до совпадения его фазы с фазой смещающего сигнала, измерения ее значения, введения дополнительного фазового сдвига в СВЧ-сигнал фиксированной частоты, который выбирают больше порога чувствительности в пять-десять раз, измерения ее значения и вычисления диэлектрической проницаемости исследуемого материала по формуле позволяет повысить точность измерения диэлектрической проницаемости листовых и рулонных материалов.

Способ измерения диэлектрической проницаемости листовых материалов реализуется следующим образом.

СВЧ-сигнал фиксированной стабильной частоты  $\omega$ :  $U_1 = U_{m1} \cos(\omega t + \varphi_1)$ , где  $U_{m1}$  - амплитуда сигнала;  $\varphi_1$  - его фаза, разделяют на измерительный и опорный. Измерительный сигнал смещают по частоте НЧ-сигналом  $U_2 = U_{m2} \cos(\Omega t + \varphi_2)$ , где  $U_{m2}$  - амплитуда сигнала;  $\varphi_2$  - его фаза, и передают на излучающую антенну. Смещенный по частоте СВЧ-сигнал

$$U_3 = U_{m3} \cos[(\omega - \Omega)t + \varphi_1 - \varphi_2],$$

где  $U_{m3}$  - амплитуда сигнала;

$\varphi_1 - \varphi_2$  - его фаза,

проходит через исследуемый материал с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  и принимается приемной антенной. При толщине исследуемого материала  $d$  принятый сигнал запаздывает относительно опорного сигнала на время  $\Delta t = \frac{d}{C}(\sqrt{\epsilon} - 1)$ , где  $C$  - скорость распространения

электромагнитной энергии в свободном пространстве.

Измерительный сигнал с частотой  $\omega - \Omega$ , прошедший через исследуемый материал, смешивается с опорным сигналом, и выделяется низкочастотный измерительный сигнал

$$U_4 = U_{m4} \cos[\Omega t - (\omega - \Omega) \Delta t + \varphi_2],$$

где  $U_{m4}$  - амплитуда сигнала.

Низкочастотный измерительный сигнал сравнивают по фазе с низкочастотным сигналом  $U_2$  и уменьшают частоту низкочастотного сигнала до получения нулевой разности фаз

$$2\pi(\omega - \Omega_1) \frac{d}{c} (\sqrt{\epsilon} - 1) = 2\pi K,$$

где  $K = 0, 1, 2, 3, \dots$  - целые числа, характеризующие число полных циклов;

$\Omega_1$  - круговая частота смещения, соответствующая нулевой разности фаз ( $\Omega_1 < \Omega$ )

Затем дополнительно задерживают опорный сигнал фиксированной частоты  $\omega$  на фазовый угол  $\varphi_0$  и вновь уменьшают частоту НЧ-сигнала до восстановления нулевой разности фаз

$$2\pi(\omega - \Omega_2) \frac{d}{c} (\sqrt{\epsilon} - 1) - \varphi_0 = 2\pi K,$$

где  $\Omega_2$  - круговая частота смещения, восстанавливающая нулевую разность фаз ( $\Omega_2 < \Omega_1$ ).

Диэлектрическую проницаемость исследуемого материала определяют по формуле

$$\epsilon = \left[ \frac{\varphi_0 c}{(\Omega_1 - \Omega_2) d} + 1 \right]^2 = \left[ \frac{\varphi_0}{2\pi} \frac{c}{(F_1 - F_2) d} + 1 \right]^2,$$

где  $F_1, F_2$  - значения частоты НЧ-сигнала до и после введения дополнительной задержки опорного сигнала.

Однозначность определения диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  по разности частот  $F_1 - F_2$  обеспечивается при выборе фазового сдвига  $\varphi_0$  из условия

$$\varphi_0 = (5 - 10) \Delta \varphi,$$

где  $\Delta \varphi$  - порог чувствительности фазового детектора.

Значение частоты низкочастотного второго сигнала  $F$  выбирают такой, чтобы частота низкочастотного измерительного сигнала, образованная в ре-

зультате смешивания смещенных по частоте сигналов с СВЧ-сигналом, находилась в пределах 20 - 30 МГц.

## 5 Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Способ измерения диэлектрической проницаемости листовых материалов на СВЧ, заключающийся в разделении СВЧ-сигнала на опорный и измерительный сигналы, облучении измерительным сигналом, смещенным по частоте низкочастотным сигналом исследуемого материала, формировании смешанного сигнала путем смешения опорного и прошедшего через исследуемый материал сигналов, регулировании частоты низкочастотного сигнала до совпадения фаз сигналов, смещении частоты СВЧ-сигнала низкочастотным сигналом до следующего совпадения фаз, измерении смещения частоты сигнала с последующим расчетом диэлектрической проницаемости, отличающийся тем, что, с целью повышения точности, выделяют измерительный низкочастотный сигнал из смешанного сигнала, смешивают его с низкочастотным сигналом, добиваются совпадения фаз измерительного низкочастотного сигнала и низкочастотного сигнала, изменяют фазу опорного сигнала, вновь перестраивают частоту низкочастотного сигнала до совпадения фаз измерительного низкочастотного сигнала и низкочастотного сигнала, измеряют второе смещение частоты, а диэлектрическую проницаемость рассчитывают по формуле

$$\epsilon = \left[ \frac{\varphi_0}{2\pi} \frac{c}{(F_1 - F_2) d} + 1 \right]^2,$$

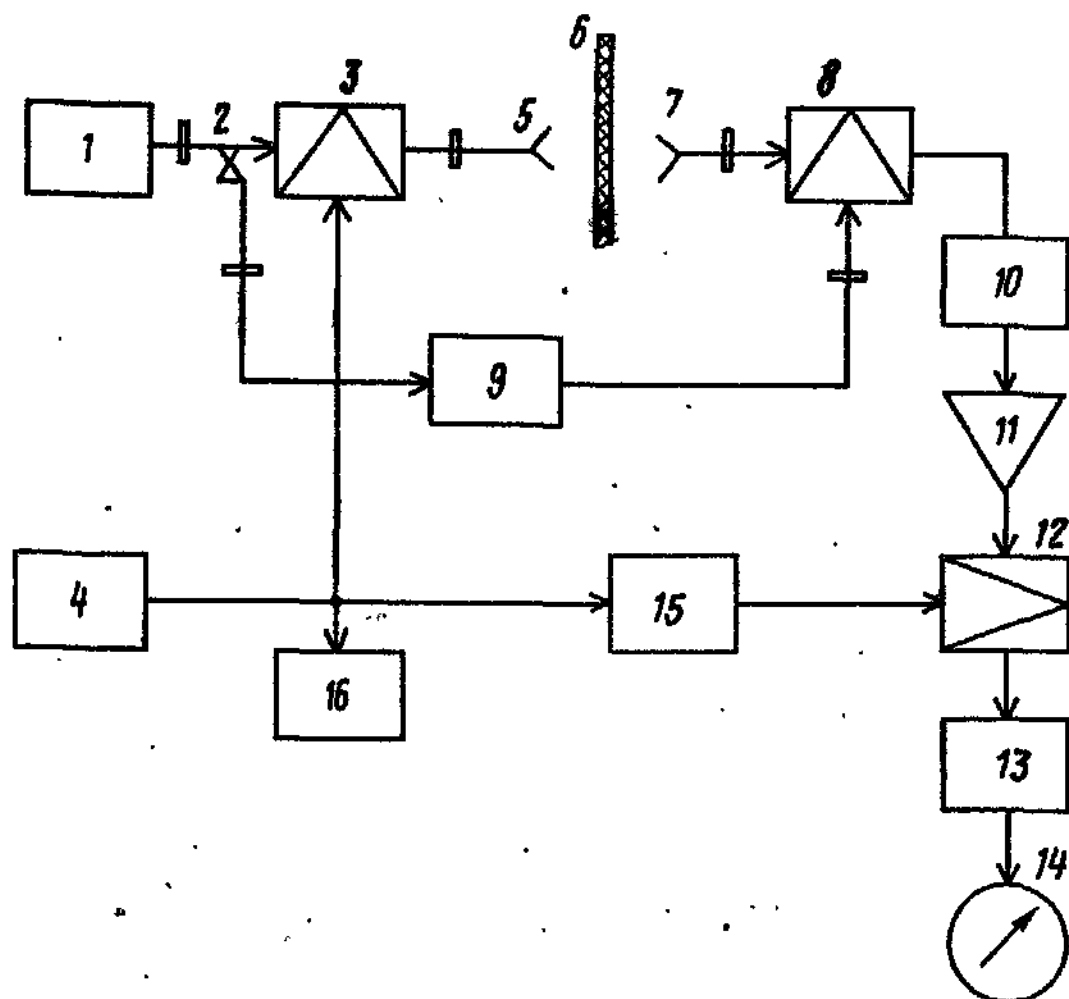
где  $\varphi_0$  - величина дополнительного фазового сдвига;

$c$  - скорость распространения электромагнитной энергии в свободном пространстве;

$d$  - толщина исследуемого материала;

$F_1$  - смещение частоты низкочастотного сигнала до введения дополнительного фазового сдвига;

$F_2$  - второе смещение частоты после введения дополнительного фазового сдвига.



Составитель В. Гончаров

Редактор И. Шулиа

Техред М. Дидык

Корректор С. Черни

Заказ 7280/42

Тираж 711

Подписное

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

Производственно-полиграфическое предприятие, г. Ужгород, ул. Проектная, 4