



СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

для служебного пользования ЭКЗ № 01

(19) **SU** (11) **1531663** **A1**

СВ 4 G 01 R 27/28

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ
ПРИ ГНТ СССР

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ И АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 4154517/24-21
(22) 03.11.86
(71) Киевский технологический инсти-
тут легкой промышленности
(72) Д.Б.Головко, Ю.А.Скрипник,
В.И.Водотовка и Л.А.Глазков
(53) 621.317(088.8)
(56) Скрипник Ю.А. Модуляционные из-
мерения параметров сигналов и цепей.
М.: Советское радио, 1975, с. 282-284.

(54) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ЗАТУХАНИЯ
(57) Изобретение относится к радио-
скопии и может быть использовано для
измерения зависимости затухания ра-
диоволн в исследуемой среде или мате-

риале от частоты электромагнитных ко-
лебаний в полосе их поглощения. Цель
изобретения - повышение точности из-
мерений достигается тем, что на ис-
следуемую среду подают сигнал опор-
ной частоты, прошедший исследуемую
среду сигнал преобразуют в колебания
суммарно-разностных частот путем сме-
шивания с сигналом переменной частоты,
детектируют полученные колебания.
На исследуемую среду подают сигнал
переменной частоты, затем этот сигнал
преобразуют в колебания разностно сум-
марных частот путем смешивания с сиг-
налом опорной частоты, полученные ко-
лебания детектируют. 1 ил.

Изобретение относится к радио-
спектроскопии и может быть использо-
вано для измерения зависимости зату-
хания радиоволн в исследуемой среде
или материале от частоты электромаг-
нитных колебаний в полосе их поглоще-
ния, в частности для измерения физи-
ко-химических свойств диэлектрических
материалов в диапазоне сверхвысоких
частот (СВЧ) по значению диэлектричес-
ких потерь на частотах релаксаций
поляризационных процессов.

Цель изобретения - повышение точ-
ности измерений.

Сущность предлагаемого способа за-
ключается в следующем.

Для измерения затухания в полосе
поглощения исследуемой среды или ма-
териала выбирают два сверхвысокоча-
стотных сигнала $E_1(t, Z)$ и $E_2(t, Z)$,
характеризуемых мгновенными величи-

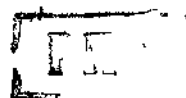
нами напряженностей полей, которые
являются функциями времени t и про-
странственной координаты Z . Частоту
первого из них ω_1 выбирают перемен-
ной в диапазоне частот, перекрываю-
щем возможные полосы поглощения, а
частоту второго ω_2 - фиксированной
на границе или вне полосы поглощения,
соответствующей минимальному затуха-
нию. Из непрерывных СВЧ-сигналов
 $E_1(t, Z)$ и $E_2(t, Z)$ путем периодическо-
го прерывания с низкой частотой Ω
формируют неперекрывающуюся последо-
вательность радиоимпульсов

$$E_3 = E_{m_1} \cos(\omega_1 t + \beta_1 Z), \quad 0 < t < \frac{T}{2},$$

$$E_4 = E_{m_2} \cos(\omega_2 t + \beta_2 Z), \quad \frac{T}{2} < t < T$$

где E_{m_1} , E_{m_2} , β_1 и β_2 - соответствен-
но амплитуды напряженностей

№ SU (11) 1531663 A1



полей и параметры распространения;

$T = \frac{2\lambda}{c}$ — период следования радиоимпульсов.

Объединяют радиоимпульсы E_3 и E_4 в один непрерывный, манипулированный по частоте сигнал, которым воздействуют на исследуемую среду или материал. Примаыкающие друг к другу радиоимпульсы E_3 и E_4 , образующие частотно-манипулированный сигнал, ослабляются в исследуемой среде или материале одинаково за счет неселективных потерь. Но радиоимпульс с частотой ω_1 , находящейся в пределах полосы поглощения, испытывает дополнительное ослабление за счет диэлектрических потерь от релаксационных процессов в исследуемой среде или материале. Если обозначить коэффициент передачи исследуемой среды вне полосы пропускания $K_1 = e^{-b}$, где b — затухание радиоволн в неперях, то коэффициент передачи в полосе поглощения

$$K = e^{-b - \Delta b(\omega_1)}$$

где $\Delta b(\omega_1)$ — затухание в полосе поглощения, зависящее от частоты СВЧ-колебаний.

В результате разных ослаблений радиоимпульсов частотно-манипулированный сигнал на выходе исследуемой среды или материала окажется манипулированным еще и по амплитуде

$$E_5 = K_2 E_3 = K_2 E_{m1} \cos(\omega_1 t + \beta_3 Z), \quad 0 < t < \frac{T}{2},$$

$$E_6 = K_1 E_4 = K_1 E_{m2} \cos(\omega_2 t + \beta_4 Z), \quad \frac{T}{2} < t < T,$$

где $K_2 < K_1$ в пределах полосы поглощения радиоволн.

Предусматривают возможность уменьшения амплитуды СВЧ-радиоимпульсов фиксированной частоты ω_2 с помощью переменного аттенюатора с калиброванным затуханием в тракте непрерывного сигнала $E_2(t, Z)$

$$E'_6 = K_3 K_2 E_{m2} \cos(\omega_2 t + \beta_2 Z), \quad 0 < t < \frac{T}{2},$$

где $K_3 = e^{b_0}$ — коэффициент передачи аттенюатора с калиброванным затуханием b_0 .

Из непрерывных сигналов $E_1(t, Z)$ и $E_2(t, Z)$ путем противофазного прерывания с частотой Ω формируют также

последовательность неперекрывающихся радиоимпульсов вида

$$5 \quad E_7 = E_{m2} \cos(\omega_2 t + \beta_2 Z), \quad 0 < t < \frac{T}{2},$$

$$E_8 = E_{m1} \cos(\omega_1 t + \beta_1 Z), \quad \frac{T}{2} < t < T.$$

Из полученной последовательности радиоимпульсов путем объединения формируют частотно-манипулированный сигнал с противоположным чередованием частот ω_1 и ω_2 в примыкающих друг к другу радиоимпульсах. Смешивают частотно-манипулированный сигнал, прошедший исследуемую среду или материал, с частотно-манипулированным сигналом с противоположным чередованием частот. В результате балансного смешивания колебаний перекрывающихся радиоимпульсов E_5 , E_7 и E'_6 , E_8 образуются двухчастотные радиоимпульсы

$$25 \quad E_9 = S_1 E_5 E_7 = \frac{S_1}{2} E_{m1} E_{m2} K_2 \left\{ \cos[(\omega_1 + \omega_2)t + (\beta_3 + \beta_2)Z] + \cos[(\omega_1 - \omega_2)t + (\beta_3 - \beta_2)Z] \right\};$$

$$30 \quad E_{10} = S_1 E'_6 E_8 = \frac{S_1}{2} E_{m1} E_{m2} K_1 K_3 \left\{ \cos[(\omega_1 + \omega_2)t + (\beta_4 + \beta_1)Z] + \cos[(\omega_1 - \omega_2)t + (\beta_4 - \beta_1)Z] \right\},$$

где S_1 — крутизна характеристики смешивания СВЧ-колебаний.

Из смешанных СВЧ-колебаний формируется последовательность радиоимпульсов суммарной $\omega_1 + \omega_2$ и разностной $\omega_1 - \omega_2$ частот. Эти радиоимпульсы поочередно усиливаются и детектируются по амплитуде. В результате квадратичного детектирования образуются видеоимпульсы с амплитудами

$$45 \quad U_1 = S_2 (S_1 K_2 K_4 E_{m1} E_{m2})^2 + S_3 (S_1 K_2 K_5 E_{m1} E_{m2})^2;$$

$$U_2 = S_2 (S_1 K_1 K_3 K_4 E_{m1} E_{m2})^2 + S_3 (S_1 K_1 K_3 K_5 E_{m1} E_{m2})^2,$$

где S_2 и S_3 — крутизна преобразования детектора соответственно на суммарной $\omega_1 + \omega_2$ и разностной $\omega_1 - \omega_2$ частотах;

K_4 и K_5 — коэффициент усиления усилителя соответственно на частотах $\omega_1 + \omega_2$ и $\omega_1 - \omega_2$.

Выделяют из последовательности видеоимпульсов U_1 и U_2 , имеющих раз-

ные амплитуды, низкочастотные колебания с частотой следования радиоимпульсов

$$U_3(\Omega) = \frac{U_1 - U_2}{2} \operatorname{sign} \sin \Omega t = (S_2 K_4^2 + S_3 K_5^2) (S_1 E_{m1} E_{m2})^2 \frac{K_2^2 - K_1^2 K_3^2}{2} \operatorname{sign} \sin \Omega t,$$

где $\operatorname{sign} \sin \Omega t$ — прямоугольная огибающая видеоимпульсов.

Уменьшают амплитуду СВЧ-колебаний фиксированной частоты изменением коэффициента передачи K_3 до достижения равенства амплитуд видеоимпульсов, т.е. исчезновения низкочастотной огибающей в последовательности видеоимпульсов ($U_3(\Omega) = 0$). В момент достижения равенства амплитуд видеоимпульсов имеет место равенство

$$K_3 = K_1 K_3.$$

откуда затухание в полосе поглощения на частоте ω_1

$$\Delta b(\omega_1) = b_0(\omega_1),$$

где b_0 — калиброванное затухание, задаваемое на фиксированной частоте ω_2 .

Таким образом, изменяя частоту ω_1 сигнала $E_1(t, Z)$ в пределах полосы поглощения, можно измерить зависимость затухания от поглощения радиоволн в функции частоты, т.е. дисперсию затухания $\Delta b(\omega_1)$. При этом аттенуатор, вносящий калиброванное затухание, работает на фиксированной частоте ω_2 и его частотные погрешности не влияют на точность измерения $\Delta b(\omega_1)$. Благодаря операции смешивания исключено влияние непостоянства амплитуды (мощности) сигнала E_{m1} изменяемой частоты ω_1 и неравномерности частотной характеристики усилителя ($K_4 \neq K_5$) на результаты измерения. Возможность усиления слабого сигнала на выходе исследуемой среды до детектора позволяет измерять затухание в полосах резонансного поглощения в широком динамическом диапазоне, определять максимальное затухание и соответствующую ему характеристическую частоту, а также полуширину полосы поглощения. Отсчет затухания в полосе поглощения по калиброванному затуханию в цепи фиксированной частоты исключает влияние непостоянства коэффициентов усиления и преобразования на точность измерения.

На чертеже 1 приведен вариант устройства для реализации способа измерения затухания в полосе поглощения радиоволн.

Устройство содержит СВЧ-генераторы 1 и 2, из которых генератор 1 — генератор перестраиваемой частоты, а генератор 2 — фиксированной частоты. Сигнал СВЧ-генератора 1 через направленные ответвители 3 и 4 поступает на СВЧ-выключатели 5 и 6, управляемые прямоугольными противофазными сигналами генератора 7 низкой частоты. Сигнал СВЧ-генератора 2 через направленный ответвитель 8 поступает на СВЧ-выключатель 9 и через направленный ответвитель 10 и переменный аттенуатор 11 поступает на СВЧ-выключатель 12. Прерываемые СВЧ-выключателями 6 и 12 СВЧ-сигналы через направленные ответвители 13 и 14 поступают на вход измерительной ячейки 15, содержащей излучающую 16 и приемную 17 антенны. Прерываемые СВЧ-выключателями 5 и 9 СВЧ-сигналы через направленные ответвители 18 и 19 поступают на вход балансного смесителя 20. К выходу балансного смесителя 20 подключены последовательно соединенные СВЧ-усилитель 21, детекторная секция 22, усилитель низкой частоты 23, синхронный детектор 24 и индикатор 25. СВЧ-генератор 1 нагружен на согласованную нагрузку 26, а СВЧ-генератор 2 — на согласованную нагрузку 27. Вход измерительной ячейки 15 соединен с согласованной нагрузкой 28, а вход балансного смесителя 20 соединен с согласованной нагрузкой 29.

Устройство работает следующим образом.

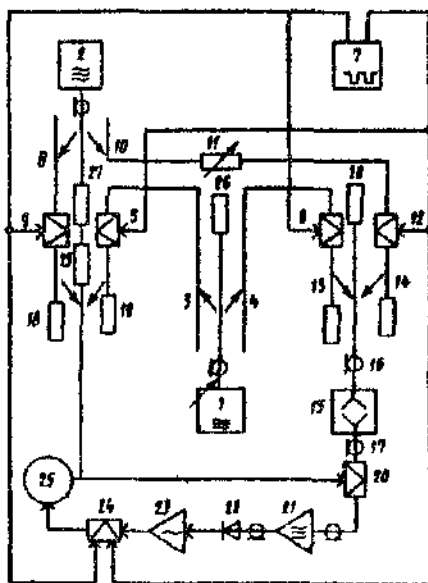
Сверхвысокочастотные сигналы переменной частоты генератора 1 и фиксированной частоты генератора 2 периодически прерываются с низкой частотой генератора 7 прерывателями 5, 6, 9, 12. Прерыватели 5 и 9 работают в противофазе с прерывателями 6 и 12, а прерыватели 5 и 12 — синфазно с прерывателями 6 и 9. В результате противофазной работы прерывателей 6 и 12 через измерительную ячейку 15 проходит последовательность примыкающих друг к другу радиоимпульсов переменной и фиксированной частот, которая после ослабления в ячейке 15, связанного с поглощением СВЧ-колебаний в

исследуемой среде или материале, поступает на один вход балансного смесителя 20. При этом СВЧ-сигнал фиксированной частоты в этой последовательности радиоимпульсов может ослабляться переменным аттенюатором 11. Последовательность примыкающих друг к другу радиоимпульсов с противоположным чередованием переменной и фиксированной частот прерывателя 5 и 9 поступает на другой вход балансного смесителя 20. Двухчастотные радиоимпульсы с выхода балансного смесителя 20 усиливаются СВЧ-усилителем 21 и детектируются с помощью детекторной секции 22. Напряжение огибающей видеоимпульсов усиливается усилителем 23 низкой частоты и выпрямляется синхронным детектором 24. Переменным аттенюатором 11 устанавливают калиброванное затухание в сигнал фиксированной частоты, который соответствует исчезновению низкочастотной огибающей в последовательности видеоимпульсов, что фиксируется по нулевому показанию индикатора 25.

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Способ измерения затухания, ос-

нованный на формировании частотно-манипулированного сигнала из последовательности СВЧ-радиоимпульсов двух частот, одна из которых опорная, а вторая переменная, подача его на исследуемую среду, амплитудном детектировании, выделении из продетектированного сигнала низкочастотных колебаний с частотой манипуляции, измерении их амплитуд и сравнении их с калиброванным сигналом, соответствующим заданному затуханию, и индикации затухания, отличающийся тем, что, с целью повышения точности измерений, на исследуемую среду подают сигнал опорной частоты, сигнал, прошедший исследуемую среду преобразуют в колебания суммарно-разностных частот путем смешивания с сигналом переменной частоты, полученные колебания детектируют, затем на исследуемую среду подают сигнал переменной частоты, сигнал, прошедший исследуемую среду, преобразуют в колебания разностно-суммарных частот путем смешивания с сигналом опорной частоты, полученные колебания детектируют.



Составитель Л. Устинова

Редактор Т. Шагова

Техред М. Ходанич

Корректор М. Максимович

Заказ 2488/ДСП

Тираж 657

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР

113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Производственно-издательский комбинат "Патент", г. Ужгород, ул. Гагарина, 101