

УДК 621.317

А. А. Ваганов, асп.; Ю. А. Скрипник, д. т. н., проф.; А. Ф. Яненко, д. т. н., проф.**ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ МАТЕРИАЛОВ
ОДЕЖДЫ В ДИАПАЗОНЕ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ (СВЧ)**

В последнее время особое внимание уделяется изучению поведения различных материалов в электромагнитных полях разной интенсивности. Работа посвящена дальнейшему развитию исследований отражательной способности материалов в полосе сверхвысоких частот (СВЧ) с использованием высокочувствительной радиометрической системы (РС) и резонансных свойств кожеевственных материалов для шитья одежды и обуви.

Авторами разработана структурная схема РС и исследованы особенности её работы.

Ключевые слова: радиометрическая система (РС), сверхвысокие частоты (СВЧ), коэффициент отражения, полоса частот, электромагнитное поле, плотность мощности.

Введение. Постановка проблемы

Исследование отражательной способности материалов одежды в широкой полосе частот СВЧ-диапазона является актуальной задачей для научных и технических исследований во внешних электромагнитных полях [1]. Для исследования отражательной способности материалов одежды в СВЧ-диапазоне используют устройства, генерирующие и излучающие, монохроматическое электромагнитное излучение при плавном изменении частоты в диапазоне от 40 до 80 ГГц при регулируемой плотности мощности, или шумовое излучение при регулируемой спектральной плотности мощности [2].

Однако существующие средства исследования отражательной способности материалов имеют значительные погрешности и не соответствуют современным требованиям технических и научных исследований.

Основная часть

В работе представлена новая радиометрическая система, которая поможет устранить указанные недостатки. Эта радиометрическая система объединяет генерирующую часть прибора с приемно-излучающей частью [3].

На рисунке представлена схема устройства для исследования отражательной способности материалов одежды в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ).

Монохроматические колебания СВЧ-генератора 1 частоты f_1 через делитель мощности 2, первый переменный аттенюатор 3 и первый направленный ответвитель 4 поступают на амплитудный модулятор 6, на руководящий вход которого влияет модулирующее напряжение частоты F_1 от НЧ-генератора 16 через делитель частоты 17. Амплитудный модулятор 6 выполнен на p - i - n -диодах и работает по принципу отражения СВЧ-сигнала от закрытого амплитудного модулятора, то есть со 100%-ным коэффициентом глубины амплитудной модуляции. Когда амплитудный модулятор 6 открыт, монохроматический СВЧ-сигнал через вентиль 7 и второй направленный ответвитель 8 поступает на приемно-излучающую антенну 9 и излучается на избранный участок 21 материала одежды. Интенсивность СВЧ-облучения устанавливается необходимого уровня с помощью первого переменного аттенюатора 3. Часть энергии излучаемого СВЧ-сигнала отражается от материала одежды и поступает на приемно-излучающую антенну 9. Принятый сигнал через плечо второго направленного ответвителя 8 та плечо двойного волноводного тройника 10 поступает на вход балансного смесителя 11.

Амплитудный модулятор 6 переключается напряжением частоты F_2 от делителя частоты 17. В следующий полупериод руководящего напряжения ($\frac{1}{2} F_2$) амплитудный модулятор 6 закрывается и сигнал СВЧ-генератора 1 отражается от закрытого амплитудного модулятора

6. Отраженный сигнал через плечо первого направленного ответвителя 4 поступает на второй переменный аттенюатор 5. Ослабленный сигнал из выхода второго переменного аттенюатора 5 через другое плечо двойного волноводного тройника 10 также поступает на вход балансного смесителя 11. Уравновешивание отраженного сигнала с частью падающего происходит благодаря второму переменному аттенюатору 5.

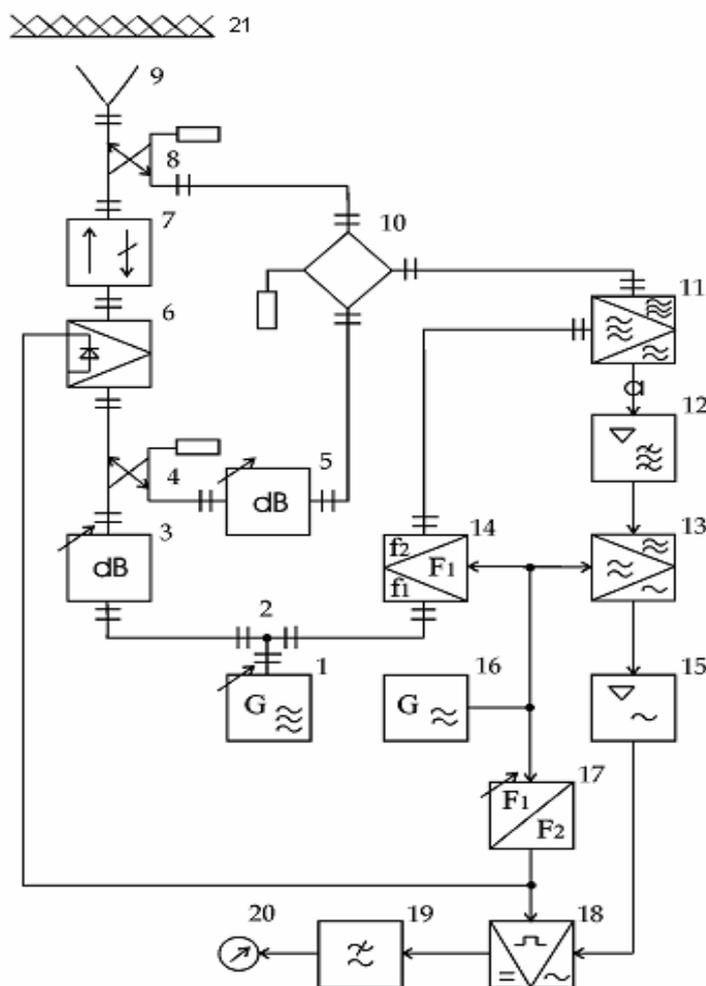


Рис. Схема устройства для исследования отражательной способности материалов одежды в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ)

При периодической работе амплитудного модулятора 6 (открытый – закрытый) на вход балансного смесителя 11 по очереди влияют пакеты отраженных СВЧ-сигналов с низкой частотой повторения F_2 , которая задается делителем частоты 17.

На другой вход балансного смесителя 11 поступает непрерывный, смещенный по частоте блоком 14, сигнал от СВЧ-генератора 1. В качестве блока 14 смещения СВЧ использована, например, схема квадратурного модулятора с суммированием балансно-модулируемых сигналов, или фазовращателя в динамическом режиме.

Таким способом на выходе блока 14 смещения СВЧ формируется СВЧ-сигнал смещенной частоты $f_2 = f_1 - F_1$ при изменении частоты f_1 СВЧ-сигнала в широком диапазоне частот. В балансном смесителе 11 происходит смешивание (перемножение) непрерывного смещенного по частоте СВЧ-сигнала с пакетами отраженных СВЧ-сигналов.

В первый полупериод ($\frac{1}{2}F_2$) НЧ-модулирующего сигнала на выходе балансного смесителя 11 формируется радиоимпульс разностной ($f_1 - f_2$) частоты с амплитудой:

$$U_{m1} = |T_2| |T_3| |T_6| |T_7| |T_9|^2 |T_8| |T_{10}| |T_0| |S_{11}| |T_{14}| |E_1|^2, \quad (1)$$

где $|T_2|$ – модуль коэффициента передачи делителя мощности 2; $|T_3|$ – модуль коэффициента передачи первого переменного аттенюатора 3; $|T_6|$ – модуль коэффициента передачи амплитудного модулятора 6; $|T_7|$ – модуль коэффициента передачи вентиля 7; $|T_9|$ – модуль коэффициента передачи приемно-излучающей антенны 9; $|T_8|$ – модуль коэффициента передачи второго направленного ответвителя 8; $|T_{10}|$ – модуль коэффициента передачи двойного волноводного тройника 10; $|T_0|$ – модуль коэффициента отражения от материала одежды; S_{11} – крутизна превращения балансного смесителя 11; $|T_{14}|$ – модуль коэффициента передачи блока 14 смещения СВЧ; $|E_1|$ – модуль комплексной амплитуды напряженности поля на выходе СВЧ-генератора 1.

Во второй полупериод ($\frac{1}{2}F_2$) НЧ-модулирующего сигнала, когда амплитудный модулятор 6 закрыт, амплитуда радиоимпульса разностной частоты на выходе балансного смесителя 11 принимает значение:

$$U_{m2} = |T_2| |T_3| |T_4| |T_5| |T_{10}| |S_{11}| |T_{14}| |E_1|^2, \quad (2)$$

где $|T_4|$ – модуль коэффициента передачи первого направленного ответвителя 4; $|T_5|$ – модуль коэффициента передачи второго переменного аттенюатора 5.

Выборочным НЧ-услителем 12, настроенным на частоту НЧ-генератора 16, выделяется и усиливается напряжение разностной частоты $f_1 - f_2 = F_1$. Это напряжение выпрямляется первым синхронным детектором 13, который руководствуется непосредственно напряжением НЧ-генератора 16. На выходе первого синхронного детектора 13 из радиоимпульсов с амплитудами (1) и (2) формируется временная последовательность видеоимпульсов с амплитудами:

$$U_{m3} = S_{13} K_{12} U_{m1}, \quad (3)$$

$$U_{m4} = S_{13} K_{12} U_{m2}, \quad (4)$$

где K_{12} – коэффициент усиления выборочного НЧ-усилителя 12; S_{13} – чувствительность первого синхронного детектора 13.

Из последовательности видеоимпульсов частоты прохождения F_2 с амплитудами U_{m3} и U_{m4} услителем 15 переменного напряжения выделяется и усиливается напряжение обводной этой последовательности:

$$U_5(t) = K_{15} \text{sign} \sin(2\pi F_2 t - \Phi) = K_{15} \frac{U_{m5}}{2} \text{sign} \sin(2\pi F_2 t - \Phi), \quad (5)$$

где K_{15} – коэффициент усиления усилителя переменного напряжения 15; Φ – фаза обводной; $\text{sign} \sin(2\pi F_2 t - \Phi)$ – прямоугольная обводная последовательности видеоимпульсов.

Усиленное переменное напряжение выпрямляется вторым синхронным детектором 18, который руководствуется исходным напряжением делителя частоты 17. Выпрямленное напряжение из выхода второго синхронного детектора 18 сглаживается фильтром нижних частот 19 и с учетом выражений (1) ... (4) имеет вид:

$$U_6 = K_{19} S_{18} U_{m5} = \frac{|T_2|}{2} |T_3| |T_{10}| |T_{14}| |S_{11}| |S_{13}| |K_{12}| |K_{15}| |E_1|^2 K_{19} S_{18} \times \\ \times \left(|T_4| |T_5| - |T_6| |T_7| |T_9|^2 |T_0| \right), \quad (6)$$

где S_{18} – чувствительность второго синхронного детектора 18; K_{19} – коэффициент передачи фильтра нижних частот 19.

Постоянное напряжение U_6 , которое соответствует частоте f_1 СВЧ-генератора 1, измеряется вольтметром 20. Из выражения (6) видно, что исходное напряжение фильтра нижних частот пропорционально разнице между излучаемой энергией и отраженной. Поэтому вычисляемое напряжение пропорционально поглощенной энергии.

Регуляцию частоты f_1 СВЧ-генератора 1 осуществляют в такой последовательности. Сначала частоту f_1 СВЧ-генератора 1 устанавливают на нижней границе рабочего частотного диапазона (37 – 40 ГГц). Частота F_1 НЧ-генератора 16 выбирается фиксированной (1 – 2 кГц), что обеспечивает постоянное смещение регулируемой частоты СВЧ-генератора 1. Коэффициент распределения делителя частоты 17 регулируется таким образом, чтобы частоту модуляции F_2 можно было изменять в пределах от 1 до 100 Гц.

Регуляцией коэффициента передачи второго переменного аттенюатора 5 достигают нулевого значения напряжения вольтметра 20. При $U_6 = 0$ устанавливается равенство:

$$|T_4| |T_5'| = |T_6| |T_7| |T_9|^2 |T_0|, \quad (7)$$

где $|T_5'|$ – модуль коэффициента передачи второго переменного аттенюатора 5, который соответствует нулевому значению напряжения вольтметра 20.

Дальше плавно увеличивают частоту излучения и наблюдают за показателями вольтметра 20. При совпадении частоты СВЧ-излучения с резонансной частотой поглощения материала одежды резко уменьшается коэффициент отражения T_0 материала. В режиме резонансного поглощения СВЧ-энергии коэффициент отражения близок нулю ($T_0 \approx 0$), и показания вольтметра 20 с учетом равенства (7) возрастают до значения:

$$U_7 = \frac{|T_2|}{2} |T_3| |T_4| |T_5'| |T_{10}| |T_{14}| |S_{11}| |S_{13}| |S_{18}| |K_{12}| |K_{15}| |K_{19}| |E_1|^2. \quad (8)$$

При последующем увеличении частоты СВЧ-генератора 1 снова уменьшаются показания вольтметра 20 практически до нуля, что свидетельствует о выходе из зоны резонанса. Увеличивая дальше частоту СВЧ-генератора 1 к верхней границе частотного диапазона, можно определить и другие резонансные частоты поглощения.

Выводы

Предыдущие эксперименты показали, что в диапазоне частот 37 ... 78 ГГц при исследовании материалов из кожи наблюдается, рядом с монотонным изменением коэффициента поглощения, резонансное поглощение на некоторых частотах. При этом плотность излучаемой мощности изменялась в диапазоне от 0,001 до 0,01 мкВт / см².

Следовательно, предложенная высокочувствительная радиометрическая система позволяет определять точнее некоторые характеристики материалов из кожи для пошива одежды и обуви.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зурабян К.М., Краснов Б.Я., Устильников Я.И. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности. – М., 2003. – 384 с.
2. Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф., Манойлов В.Ф., Куценко В.П., Гимпилевич Ю.Б. Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов. – Житомир: изд-во «Волынь», 2003. – 408 с.

3. Пристрій для мікрохвильової терапії: Деклараційний патент на корисну модель № 13740. Україна, МПК (2006) А61Н 39/00 А61N 5/02, Ю.О. Скрипник, О.П. Яненко, С.М. Перегудов, О.А. Ваганов. – Заявлено 21.10.2005. Опубл. 17.04.2006. Бюл. № 4. – 10 с., 1 іл.

Ваганов Алексей Анатольевич – аспірант кафедри;

Скрипник Юрий Алексеевич – професор кафедри;

Кафедра автоматизации и компьютерных систем, Киевский национальный университет технологий и дизайна;

Яненко Алексей Филиппович – заступитель директора по научной работе НДЦ КМ «Відгук».