

УДК 621.317

О. А. Ваганов, асп.; Ю. О. Скрипник, д.т.н., проф.; О. П. Яненко, д.т.н., проф.**ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДБИВАЮЧОЇ ЗДАТНОСТІ МАТЕРІАЛІВ ОДЯГУ В ДІАПАЗОНІ НАДВИСОКИХ ЧАСТОТ (НВЧ)**

Останнім часом особлива увага приділяється вивченню поведінки різних матеріалів в електромагнітних полях різної інтенсивності. Робота присвячена подальшому розвитку досліджень відбиваючої здатності матеріалів у смузі надвисоких частот (НВЧ) з використанням високочутливої радіометричної системи (РС) та резонансних властивостей матеріалів із шкiри для пошиття одягу та взуття.

Авторами розроблена структурна схема РС та досліджено особливості її роботи.

Ключові слова: радіометрична система (РС), надвисокі частоти (НВЧ), коефіцієнт відбиття, смуга частот, електромагнітне поле, щільність потужності.

Вступ. Постановка проблеми

Дослідження відбиваючої здатності матеріалів одягу в широкій смузі частот НВЧ-діапазону є актуальною задачею для наукових і технічних досліджень в зовнішніх електромагнітних полях [1]. Для дослідження відбиваючої здатності матеріалів одягу в НВЧ-діапазоні використовують пристрої, що генерують і випромінюють монохроматичне електромагнітне випромінювання за плавної зміни частоти у діапазоні від 40 до 80 ГГц при регульованій щільності потужності, або шумове випромінювання при регульованій спектральній щільності потужності [2].

Однак існуючі засоби дослідження відбиваючої здатності матеріалів мають значні похибки і не відповідають сучасним вимогам технічних та наукових досліджень.

Основна частина

У роботі представлено нову радіометричну систему, яка допоможе усунути вказані недоліки. Ця радіометрична система поєднує генеруючу частину приладу з приймально-випромінюючою частиною [3].

На рисунку представлена схема пристрою для дослідження відбиваючої здатності матеріалів одягу в діапазоні надвисоких частот (НВЧ).

Монохроматичні коливання НВЧ-генератора 1 частоти f_1 через подільник потужності 2, перший змінний атенюатор 3 і перший направлений відгалужувач 4 надходять на амплітудний модулятор 6, на керівний вхід якого впливає модулююча напруга частоти F_1 від НЧ-генератора 16 через подільник частоти 17. Амплітудний модулятор 6 виконаний на $p-i-n$ -діодах і працює за принципом відбиття НВЧ-сигналу від закритого амплітудного модулятора, тобто із 100%-вим коефіцієнтом глибини амплітудної модуляції. Коли амплітудний модулятор 6 відкритий, монохроматичний НВЧ-сигнал через вентиль 7 і другий направлений відгалужувач 8 надходить на приймально-випромінюючу антену 9 і випромінюється на обрану ділянку 21 матеріалу одягу. Інтенсивність НВЧ-опромінення встановлюється необхідного рівня за допомогою першого змінного атенюатора 3. Частина енергії випромінюваного НВЧ-сигналу відбивається від матеріалу одягу і надходить на приймально-випромінюючу антену 9. Прийнятий сигнал через плече другого направлено відгалужувача 8 та плече подвійного хвилеводного трійника 10 надходить на вхід балансного змішувача 11.

Амплітудний модулятор 6 перемикається напругою частоти F_2 від подільника частоти 17.

У наступний напівперіод керівної напруги ($\frac{1}{2} F_2$) амплітудний модулятор 6 закривається і сигнал НВЧ-генератора 1 відбивається від закритого амплітудного модулятора 6. Відбитий

сигнал через плече першого направлено відгалужувача 4 надходить на другий змінний атенюатор 5. Ослаблений сигнал з виходу другого змінного атенюатора 5 через інше плече подвійного хвильоводного трійника 10 також надходить на вхід балансного змішувача 11. Врівноваження відбитого сигналу із частиною падаючого відбувається завдяки другому змінному атенюатору 5.

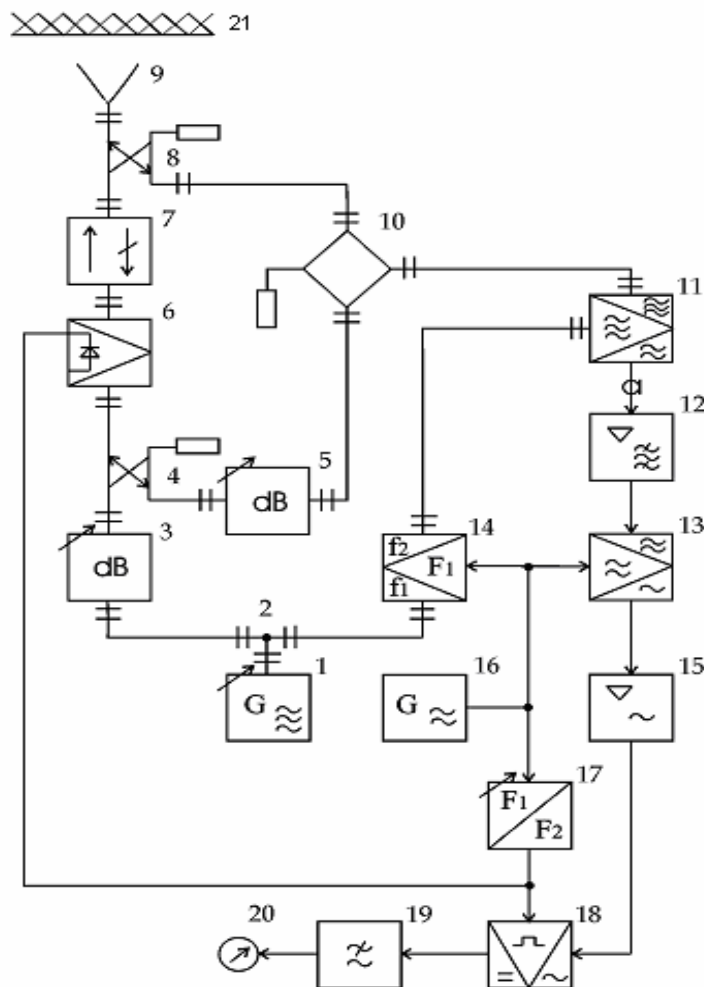


Рис. Схема пристрою для дослідження відбиваючої здатності матеріалів одягу в діапазоні надвисоких частот (НВЧ)

При періодичній роботі амплітудного модулятора 6 (відкритий – закритий) на вхід балансного змішувача 11 по черзі впливають пакети відбитих НВЧ-сигналів з низькою частотою повторення F_2 , яка задається подільником частоти 17.

На інший вхід балансного змішувача 11 надходить безперервний, зміщений за частотою блоком 14, сигнал від НВЧ-генератора 1. В якості блоку 14 зміщення НВЧ використана, наприклад, схема квадратурного модулятора з підсумовуванням балансно-модульованих сигналів, або фазообертача в динамічному режимі.

У такий спосіб на виході блоку 14 зміщення НВЧ формується НВЧ-сигнал зміщеної частоти $f_2 = f_1 - F_1$ при зміні частоти f_1 НВЧ-сигналу в широкому діапазоні частот. У баланському змішувачі 11 відбувається змішування (перемножування) безперервного зміщеного за частотою НВЧ-сигналу з пакетами відбитих НВЧ-сигналів.

У перший напівперіод ($\frac{1}{2} F_2$) НЧ-модулюючого сигналу на виході балансного змішувача 11 формується радіоімпульс різницевої ($f_1 - f_2$) частоти з амплітудою

$$U_{m1} = |T_2| |T_3| |T_6| |T_7| |T_9|^2 |T_8| |T_{10}| |\Gamma_0| |S_{11}| |T_{14}| |E_1|^2, \quad (1)$$

де $|T_2|$ – модуль коефіцієнта передачі подільника потужності 2; $|T_3|$ – модуль коефіцієнта передачі першого змінного атенюатора 3; $|T_6|$ – модуль коефіцієнта передачі амплітудного модулятора 6; $|T_7|$ – модуль коефіцієнта передачі вентиля 7; $|T_9|$ – модуль коефіцієнта передачі приймально-випромінюючої антени 9; $|T_8|$ – модуль коефіцієнта передачі другого направленного відгалужувача 8; $|T_{10}|$ – модуль коефіцієнта передачі подвійного хвилеводного трійника 10; $|\Gamma_0|$ – модуль коефіцієнта відбиття від матеріалу одягу; S_{11} – крутизна перетворення балансного змішувача 11; $|T_{14}|$ – модуль коефіцієнта передачі блоку 14 зміщення НВЧ; $|E_1|$ – модуль комплексної амплітуди напружності поля на виході НВЧ-генератора 1.

У другий напівперіод ($\frac{1}{2}F_2$) НЧ-модулюючого сигналу, коли амплітудний модулятор 6 закритий, амплітуда радіоімпульсу різницевої частоти на виході балансного змішувача 11 приймає значення

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

де $|T_4|$ – модуль коефіцієнта передачі першого направленного відгалужувача 4; $|T_5|$ – модуль коефіцієнта передачі другого змінного атенюатора 5.

Вибірковим НЧ-підсилювачем 12, налагодженим на частоту НЧ-генератора 16, виділяється і підсилюється напруга різницевої частоти $f_1 - f_2 = F_1$. Ця напруга випрямляється першим синхронним детектором 13, який керується безпосередньо напругою НЧ-генератора 16. На виході першого синхронного детектора 13 із радіоімпульсів із амплітудами (1) і (2) формується тимчасова послідовність відеоімпульсів з амплітудами

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

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

де K_{12} – коефіцієнт підсилення вибіркового НЧ-підсилювача 12; S_{13} – чутливість першого синхронного детектора 13.

З послідовності відеоімпульсів частоти проходження F_2 з амплітудами U_{m3} і U_{m4} підсилювачем 15 змінної напруги виділяється і підсилюється напруга обвідної цієї послідовності

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

де K_{15} – коефіцієнт підсилення підсилювача змінної напруги 15; Φ – фаза обвідної; $\text{sign} \sin(2\pi F_2 t - \Phi)$ – прямокутна обвідна послідовності відеоімпульсів.

Підсилена змінна напруга випрямляється другим синхронним детектором 18, який керується вихідною напругою подільника частоти 17. Випрямлена напруга з виходу другого синхронного детектора 18 згладжується фільтром нижніх частот 19 і з урахуванням виразів (1) ... (4) має вигляд

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

де S_{18} – чутливість другого синхронного детектора 18; K_{19} – коефіцієнт передачі фільтра нижніх частот 19.

Постійна напруга U_6 , що відповідає частоті f_1 НВЧ-генератора 1, вимірюється вольтметром 20. З виразу (6) видно, що вихідна напруга фільтра нижніх частот пропорційна різниці між випроміненою енергією і відбитою. Тому обчислювана напруга пропорційна поглинутій енергії.

Регулювання частоти f_1 НВЧ-генератора 1 здійснюють у такій послідовності. Спочатку частоту f_1 НВЧ-генератора 1 встановлюють на нижній межі робочого частотного діапазону (37 – 40 ГГц). Частота F_1 НЧ-генератора 16 обирається фіксованою (1 – 2 кГц), що забезпечує постійне зміщення регульованої частоти НВЧ-генератора 1. Коефіцієнт розподілу подільника частоти 17 регулюється таким чином, щоб частоту модуляції F_2 можна було змінювати у межах від 1 до 100 Гц.

Регулюванням коефіцієнта передачі другого змінного атенюатора 5 досягають нульового значення напруги вольтметра 20. При $U_6 = 0$ встановлюється рівність

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

де $|T_5'|$ – модуль коефіцієнта передачі другого змінного атенюатора 5, що відповідає нульовому значенню напруги вольтметра 20.

Далі плавно збільшують частоту випромінювання і спостерігають за показами вольтметра 20. При збігові частоти НВЧ-випромінювання з резонансною частотою поглинання матеріалу одягу різко зменшується коефіцієнт відбиття Γ_0 матеріалу. У режимі резонансного поглинання НВЧ-енергії коефіцієнт відбиття близький до нуля ($\Gamma_0 \approx 0$) і показання вольтметра 20 з урахуванням рівності (7) зростають до значення

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

При подальшому збільшенні частоти НВЧ-генератора 1 знову зменшуються покази вольтметра 20 практично до нуля, що свідчить про вихід із зони резонансу. Збільшуючи далі частоту НВЧ-генератора 1 до верхньої межі частотного діапазону, можна визначити й інші резонансні частоти поглинання.

Висновки

Попередні експерименти показали, що в діапазоні частот 37 ... 78 ГГц при дослідженні матеріалів зі шкіри спостерігається, поряд з монотонною зміною коефіцієнта поглинання, резонансне поглинання на деяких частотах. При цьому щільність випромінюваної потужності змінювалася в діапазоні від 0,001 до 0,01 мкВт / см².

Отже, запропонована високочутлива радіометрична система дозволяє визначити більш точно деякі характеристики матеріалів зі шкіри для пошиття одягу та взуття.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

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 «Волянь», 2003. – 408 с.

3. Пристрій для мікрохвильової терапії: Деклараційний патент на корисну модель № 13740. Україна, МПК (2006) А61Н 39/00 А61Н 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 Олексій Анатолійович – аспірант кафедри;

Скрипник Юрій Олексійович – професор кафедри;

Кафедра автоматизації та комп'ютерних систем, Київський національний університет технологій та дизайну;

Яненко Олексій Пилипович – заступник директора з наукової роботи НДЦ КМ «Відгук».