

**МИКРОВОЛНОВЫЕ ФАЗОРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ
КОМПЛЕКСНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ
КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ¹**

Целью дистанционного зондирования, как правило, является задача определения электрофизических, физико-механических и других свойств материалов разного фазового состояния. Характеристики рассеянных объектом радиоволн непосредственно связаны с их геометрическими параметрами и комплексной диэлектрической проницаемостью $\dot{\epsilon}$ [1].

Нами предлагается новый метод определения комплексной диэлектрической проницаемости $\dot{\epsilon}$ по результатам относительных измерений сигналов в ортогональных каналах приемного устройства как отношение напряжений и разности фаз.

Суть предлагаемого метода заключается в зондировании исследуемой поверхности материала электромагнитной волной круговой поляризации и анализе изменения поляризации отраженной волны.

В отличие от радиолокационной поляриметрии земной поверхности [2], решение задачи определения действительной ϵ' и мнимой ϵ'' частей комплексной диэлектрической проницаемости полубесконечных слоев материалов возможно следующими способами.

1. Непрерывное облучение с развязкой падающей и отраженной волн от одной приемопередающей антенны специальной конструкции при нормальном к поверхности падении электромагнитной волны (рис. 1).

В этом случае для приближения нормально падающей плоской электромагнитной волны с радиусом R зоны существенной при отражении, определяемой 1–2 зонами Френеля, величины коэффициентов отражения вертикально \dot{R}_{\parallel} и горизонтально \dot{R}_{\perp} поляризованных волн равны

$$\dot{R}_{\parallel} = \dot{R}_{\perp} = \frac{1 - \dot{\epsilon}^{1/2}}{1 + \dot{\epsilon}^{1/2}}.$$

Однако лучи реальной диаграммы направленности (ДН) шириной $\Delta\theta$ падают под разными углами на поверхность материала, и для них коэффициенты отражения не равны.

Следовательно, по ширине реальной ДН при разном в ней ходе лучей (угол падения которых на поверхность $\theta \neq 0$) необходимо ввести «интегральные» величины \dot{R}_{\parallel} и \dot{R}_{\perp} , интегрируя всю напряженность

¹ Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. Д.А. Дмитриева и д-ра техн. наук, проф. В.Н. Чернышова.

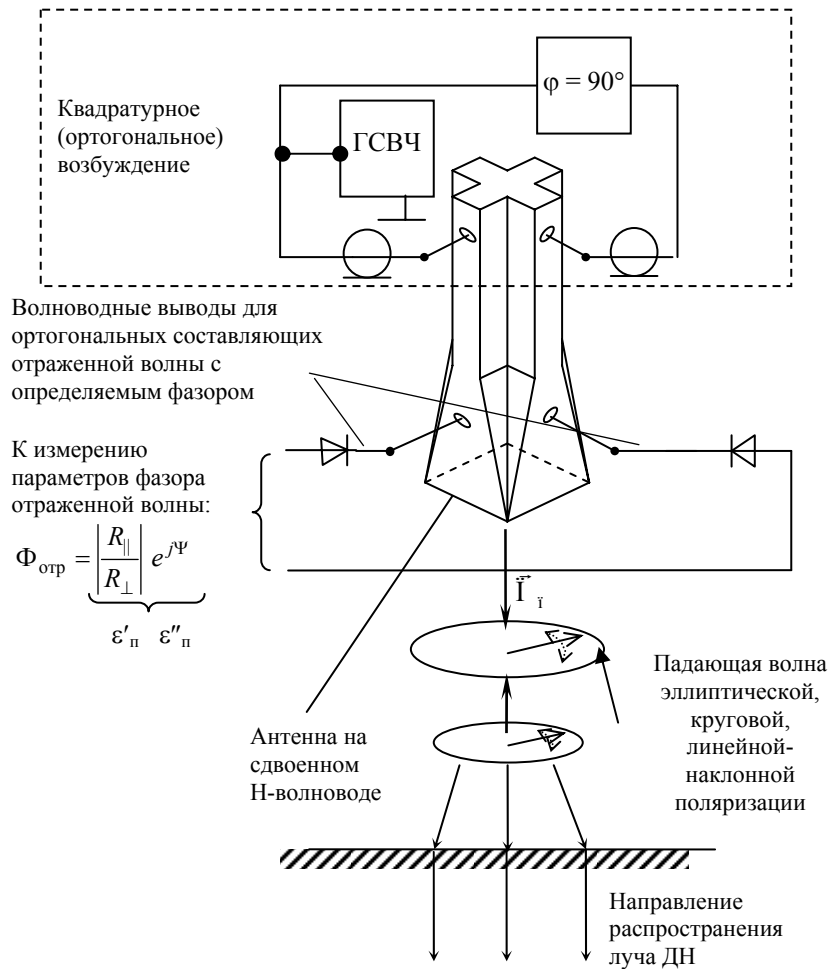


Рис. 1. Структурная схема реализации метода

падающей волны в ширине ДН – $E_{\text{пад}}(\theta \in 2\Delta\theta_{0,5}) \cdot \dot{R}_{\parallel}(\theta \in 2\Delta\theta_{0,5})$ по раскрытию приемной апертуры. Направление затухания любого луча в преломленной ДН нормально.

2. Непрерывное облучение при наклонном падении электромагнитной волны:

а) две антенны с круговой поляризацией – приемная и передающая в непрерывном режиме с фиксированными длиной волны генератора и шириной ДН или просто две кресто-щелевые антенны; возможен также вариант применения одной кресто-щелевой приемопередающей антенны;

б) одна антенна приемопередающая при широкополосном импульсном облучении с приемом рассеянного отраженного сигнала.

Введем следующее обозначение

$$\dot{\Phi} = \frac{\dot{R}_{\parallel}}{\dot{R}_{\perp}} = |\dot{\Phi}| e^{j\Psi}.$$

Параметр $\dot{\Phi}$ называется поляризационным отношением – фазором. Он равен отношению напряжений сигнала в ортогональных каналах приемного антенного устройства. Этот параметр может быть измерен с достаточно высокой степенью точности. Это отношение является комплексным: зависит от соотношения не только мощностей сигнала, но и от фаз сигналов в ортогональных каналах приемного устройства.

Фазор падающей волны равен

$$\dot{\Phi}_{\text{п}} = \Phi_{\text{п}} e^{j\Psi_{\text{п}}}.$$

Для эллиптической поляризации:

$$0 < \Phi_{\text{п}} < 1; \quad \Psi_{\text{п}} = 0,5\pi;$$

круговой поляризации:

$$\Phi_{\text{п}} = 1; \quad \Psi_{\text{п}} = 0,5\pi;$$

линейной наклонной поляризации:

$$0 < \Phi_n < 1; \quad \Psi_n = 0.$$

Определим параметры фазора отраженной волны.

Фазор отраженной электромагнитной волны

$$\dot{\Phi}_{\text{отр}} = \frac{\dot{R}_{\parallel}}{\dot{R}_{\perp}} e^{j(\Psi_{\parallel 0} - \Psi_{\perp 0})},$$

т.е. $\Phi_o = \frac{\dot{R}_{\parallel}}{\dot{R}_{\perp}} = f_1(\varepsilon', \varepsilon'', \theta)$ и $\Psi_0 = \Psi_{\parallel 0} - \Psi_{\perp 0} = f_2(\varepsilon', \varepsilon'', \theta)$ при известном значении θ совместное решение системы для определения $\varepsilon', \varepsilon''$ по двум измеряемым величинам Φ_o и Ψ_0 .

Для коэффициента отражения горизонтально поляризованной волны $\dot{R}_{\perp} = f_1(\varepsilon', \varepsilon'', \theta)$ по методике определения $\dot{R}_{\parallel} = f_1(\varepsilon', \varepsilon'', \theta)$ с учетом неоднородности преломленной волны (определение $\cos \theta_n$ с учетом $\varepsilon'' > 0$, где θ_n – угол падения ЭМВ) получены следующие выражения:

$$|\dot{R}_{\perp}| = \left[\frac{\cos^2 \theta + A|\dot{\varepsilon}| - 2 \operatorname{Re} \sqrt{\dot{\varepsilon}} A^{1/2} \cos \theta}{\cos^2 \theta + A|\dot{\varepsilon}| + 2 \operatorname{Re} \sqrt{\dot{\varepsilon}} A^{1/2} \cos \theta} \right]^{1/2};$$

$$|\dot{R}_{\parallel}| = \left[\frac{|\dot{\varepsilon}| \cos^2 \theta + A - 2 \operatorname{Re} \sqrt{\dot{\varepsilon}} A^{1/2} \cos \theta}{|\dot{\varepsilon}| \cos^2 \theta + A + 2 \operatorname{Re} \sqrt{\dot{\varepsilon}} A^{1/2} \cos \theta} \right]^{1/2},$$

где

$$A = \left[\frac{\varepsilon'_1 + |\dot{\varepsilon}(\theta)|}{\varepsilon'_2 + |\dot{\varepsilon}(\theta)|} \right].$$

Величины

$$\Psi_{\perp} = \operatorname{arctg} \frac{2A^{1/2} Jm \sqrt{\dot{\varepsilon}} \cos \theta}{\cos^2 \theta - A\varepsilon'}, \quad \Psi_{\parallel} = \operatorname{arctg} \frac{2A^{1/2} Jm \sqrt{\dot{\varepsilon}} \cos \theta}{A - \cos^2 \theta \varepsilon'}.$$

Фазор $\dot{\Phi}_{\text{отр}} = \frac{\dot{R}_{\parallel}}{\dot{R}_{\perp}} e^{j(\Psi_{\parallel 0} - \Psi_{\perp 0})} = |\dot{\Phi}_{\text{отр}}| e^{j\Psi_0}.$

$$\Psi_0 = \operatorname{arctg} \frac{2A^{1/2} Jm \sqrt{\dot{\varepsilon}} \cos \theta (1 + \varepsilon') \{A - \cos^2 \theta\}}{A \cos^2 \theta [(\varepsilon' - 1)^2 + 2|\dot{\varepsilon}|] - \varepsilon' \{A^2 + \cos^4 \theta\}}.$$

Измеряя модуль интегральных фазора $|\dot{\Phi}_n|$ и аргумента Ψ_{0n} , можно определить действительную часть комплексной диэлектрической проницаемости и влажности материала.

Предложенная нами конструкция (рис. 1) антенны представляет собой два ортогонально соединенных Н-волновода. Преимущества данной конструкции будут рассмотрены в следующих публикациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов, А.И. Поляризационный метод определения и визуализации комплексной диэлектрической проницаемости в задачах дистанционного зондирования / А.И. Козлов и др. // Научный вестник МГТУГА. Сер. Радиофизика и радиотехника. – 1999–2000. – Ч. 1–2. – № 14.
2. Подповерхностная радиолокация / М.И. Финкельштейн, В.И. Карпунин, В.А. Кутеев, В.Н. Метелкин. – М. : Радио и связь, 1994. – 216 с.
3. Микроволновая термовлагодетрия : монография / П.А. Федюнин, Д.А. Дмитриев, А.А. Воробьев, В.Н. Чернышов. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 208 с.

Кафедра «Криминалистика и информатизация правовой деятельности»