

УДК 621.371:550.837.6

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ФАЗОВЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ИМПЕДАНСА АНИЗОТРОПНОЙ СРЕДЫ ПЛАЗМАПОДОБНОГО ТИПА

канд. техн. наук, доц. Д.В. ГОЛОЛОБОВ

(Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск);

О.В. ОРЛОВА, канд. техн. наук, доц. В.Ф. ЯНУШКЕВИЧ

(Полоцкий государственный университет)

*Представлены результаты теоретического анализа взаимодействия амплитудно-модулированных сигналов с углеводородной залежью. В качестве исследуемых характеристик залежей нефти и газа взяты импедансные граничные условия. Анализ проведен в рамках квазигидродинамического метода исследования параметров сред. Компоненты поверхностного импеданса выведены из уравнения движения электронов. Для расчетов используются экспериментально полученные данные параметров среды над залежами углеводородов. Проанализированы частотные зависимости фазовых составляющих поверхностного импеданса. Установлены наиболее значимые соотношения параметров сигналов для оптимального поиска и оконтуривания углеводородных залежей. Даны рекомендации по построению радиотехнических систем для георазведки углеводородов.*

**Введение.** Рассматриваемый класс анизотропных сред проявляется в естественных условиях залегания некоторых видов полезных ископаемых, к которым в частности относятся углеводородные залежи (УВЗ). Применение амплитудно-модулированных (АМ) сигналов для целей поиска и разведки УВЗ позволяет повысить точность и достоверность методов электроразведки [1].

Цель настоящей работы заключается в обосновании выбора характеристик электромагнитных волн (ЭМВ) с АМ, в разработке методов и аппаратурных средств для качественного повышения уровня достоверности геологоразведочных работ.

В качестве объекта исследования выбраны фазовые составляющие компонентов матрицы поверхностного импеданса, оказывающие влияние на фазовое распределение токов антенн, находящихся вблизи среды над УВЗ. Трансформация фазового распределения тока при этом может привести к существенным искажениям пространственных характеристик и параметров антенн, что должно быть использовано при реализации новых методов электроразведки.

Исследованные ранее модули составляющих компонентов матрицы поверхностного импеданса позволили разработать простые подходы при реализации методов диагностики плазмаподобных сред на основе использования поляризационных свойств воздействующей гармонической волны [2].

**Теоретический анализ.** Пусть на границу раздела «воздух – анизотропная среда» воздействует ЭМВ в режиме АМ:

$$e(t) = E(1 + k_m \cos \Omega t) \cos \omega t, \quad (1)$$

где  $E$  – амплитуда несущего колебания частоты  $\omega$ ;  $k_m$  – коэффициент амплитудной модуляции;  $\Omega = 2\pi F$  – частота модуляции.

Импедансные граничные условия описываются матрицей [3]:

$$\begin{aligned} E_x &= -Z_0(\dot{Z}_{11}\dot{H}_x - \dot{Z}_{12}\dot{H}_y), \\ E_y &= -Z_0(\dot{Z}_{12}\dot{H}_x - \dot{Z}_{22}\dot{H}_y) \end{aligned} \quad (2)$$

с элементами

$$\dot{Z}_{11} = \dot{Z}_{22} = -\frac{1}{2j\sqrt{\dot{\epsilon}_R\dot{\epsilon}_L}}(\sqrt{\dot{\epsilon}_R} - \sqrt{\dot{\epsilon}_L}); \quad \dot{Z}_{12} = \dot{Z}_{21} = -\frac{1}{2j\sqrt{\dot{\epsilon}_R\dot{\epsilon}_L}}(\sqrt{\dot{\epsilon}_R} + \sqrt{\dot{\epsilon}_L}),$$

где  $E_{x,y}$ ,  $H_{x,y}$  – проекции падающей и отражённой волны на соответствующие координатные оси;  $\dot{Z}_0$  – характеристическое сопротивление среды, окружающей анизотропную неоднородность (АН);  $\dot{\epsilon}_R = \dot{\epsilon}_1 + \dot{\epsilon}_2$ ,  $\dot{\epsilon}_L = \dot{\epsilon}_1 - \dot{\epsilon}_2$ , а  $\dot{\epsilon}_1$  и  $\dot{\epsilon}_2$  – компоненты тензора диэлектрической проницаемости [1, 2]:

$$\dot{\epsilon} = \begin{vmatrix} \dot{\epsilon}_1 & -j\dot{\epsilon}_2 & 0 \\ -j\dot{\epsilon}_2 & \dot{\epsilon}_1 & 0 \\ 0 & 0 & \dot{\epsilon}_1 \end{vmatrix}, \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \dot{\varepsilon}_1 &= \varepsilon_r + \sum_{i=1}^2 \omega_{Pi}^2 \frac{\omega_{Gi}^2 - \omega^2 - \nu_i^2}{(\nu_i^2 + \omega_{Gi}^2 - \omega^2) + 4\omega^2 \nu_i^2} + j \left[ \frac{\varepsilon_r \cdot k_m \cdot \Omega \cdot \sin \Omega t}{\omega + (1 + k_m \cdot \cos \Omega t)} - \frac{\sigma_r}{\omega \varepsilon_0} - \frac{\omega_{Pi}^2 \nu_i}{\omega} \cdot \frac{\omega^2 + \nu_i^2 + \omega_{Gi}^2}{(\nu_i^2 + \omega_{Gi}^2 - \omega^2) + 4\omega^2 \nu_i^2} \right], \\ \dot{\varepsilon}_2 &= \sum_{i=1}^2 \left\{ \frac{\omega_{Pi}^2 \omega_{Gi}}{\omega} \cdot \frac{\omega_{Gi}^2 - \omega^2 + \nu_i^2}{(\nu_i^2 + \omega_{Gi}^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \nu_i^2} - \frac{2j \nu_i \omega_{Pi}^2 \omega_{Gi}}{(\nu_i^2 + \omega_{Gi}^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \nu_i^2} \right\}, \\ \dot{\varepsilon}_3 &= \varepsilon_r + \sum_{i=1}^2 \left\{ \omega_{Pi}^2 \cdot \frac{1}{\nu_i^2 + \omega^2} + j \left[ \frac{\varepsilon_r \cdot k_m \cdot \Omega \cdot \sin \Omega t}{\omega(1 + k_m \cdot \cos \Omega t)} - \frac{\sigma_r}{\omega \varepsilon_0} - \frac{\omega_{Pi}^2 \nu_i^2}{\omega} \cdot \frac{1}{\nu_i^2 + \omega^2} \right] \right\}, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\varepsilon_r$  – диэлектрическая проницаемость среды над АН;  $\omega_{Pi}, \omega_{Gi}$  – плазменная и гиротропная частоты;  $\nu_i$  – частота столкновений электрона с тяжелыми частицами;  $\sigma_r$  – удельная электрическая проводимость.

Расчёт компонентов поверхностного импеданса (2) проводился на основании экспериментально полученных данных над залежами углеводородов, таких как [1]:

- диэлектрическая проницаемость вмещающих пород  $\varepsilon_r = 10$ ;
- удельная электрическая проводимость  $\sigma_r = 0,03$  См/м;
- эффективная частота столкновений электронов  $\nu_e = 10^9$  с<sup>-1</sup> и электронно-ионная  $\nu_i = 0,5 \cdot 10^7$  с<sup>-1</sup>.

Представим выражение (2) в виде:

$$\begin{aligned} \dot{Z}_{11} = \dot{Z}_{22} &= |Z_{11}| \cdot e^{j\varphi_{Z11}} = |Z_{22}| \cdot e^{j\varphi_{Z22}}, \\ \dot{Z}_{12} = \dot{Z}_{21} &= |Z_{12}| \cdot e^{j\varphi_{Z12}} = |Z_{21}| \cdot e^{j\varphi_{Z21}}, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\varphi_{Z11}$  и  $\varphi_{Z22}$  фазовые составляющие компонентов (ФСК) матрицы, подлежащие исследованию.

**Результаты и их обсуждение.** В работе исследованы частотные характеристики ФСК при вариациях параметров модулирующего сигнала, представленные на рисунках 1, 2. По рисунку 1 видно, что фазовая компонента  $\varphi_{Z11}$  изменяется в диапазоне от  $-1,3$  до  $1,3$  рад.

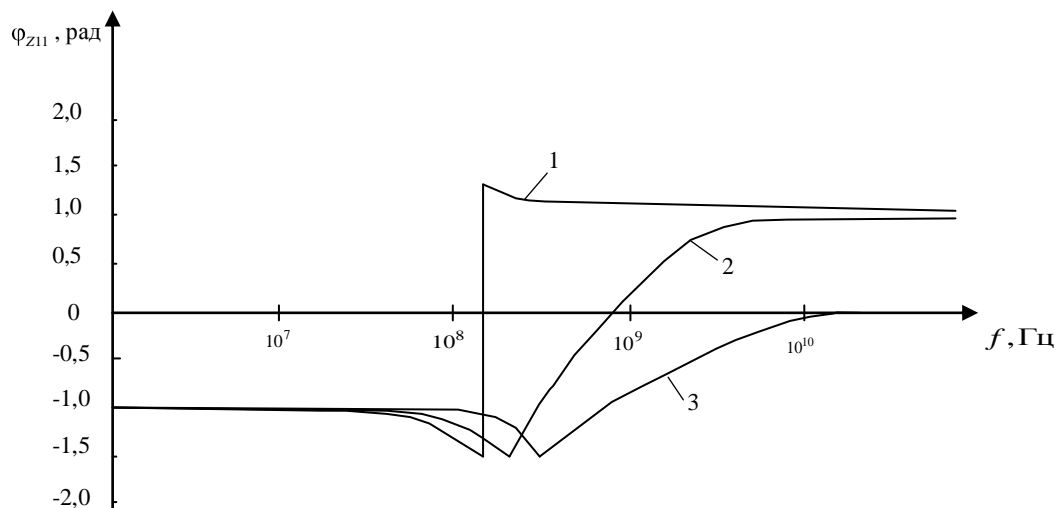


Рис. 1. Зависимости  $\varphi_{Z11} = \psi(f)$ :

1 – для  $F = 0,1$  МГц,  $k_m = 1$ ; 2 – для  $F = 10$  МГц,  $k_m = 0,5$ ; 3 – для  $F = 100$  МГц,  $k_m = 1$

При этом на малых частотах несущего колебания  $f$  фаза отрицательна и практически не изменяется. При увеличении величины  $f$  она незначительно уменьшается, а затем скачком меняет знак. Это характерно для значений модулирующего сигнала  $F = 0,1$  МГц и  $k_m = 1$  на частоте несущего колебания  $f \approx 200$  МГц. При увеличении частоты модулирующего сигнала  $F$  происходит более плавное изменение величины  $\varphi_{Z11}$ . Так, для  $F = 10$  МГц и  $k_m = 0,5$  точка перехода фазы через нуль соответствует частоте несущего колебания  $f \approx 1$  ГГц, а при  $F = 100$  МГц и  $k_m = 1$  фазовая компонента приближается к нулю на частоте  $f \approx 1$  ГГц и в дальнейшем практически не изменяется.

На величину  $\varphi_{Z12}$  (рис. 2) влияние несущего колебания сказывается на частотах  $f \approx (10...200)$  МГц.

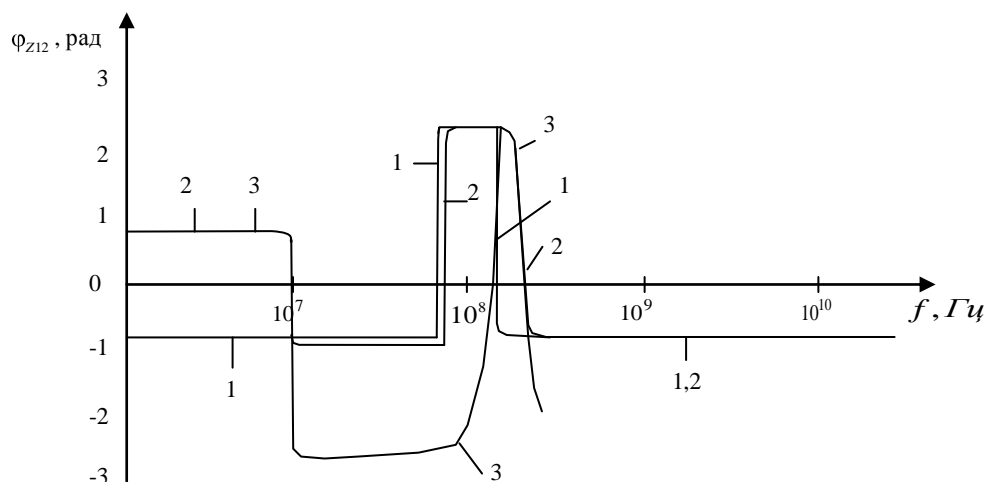


Рис. 2. Зависимости  $\varphi_{Z12} = \psi(f)$ :

1 – для  $F=0,1$  МГц,  $k_m=1$ ; 2 – для  $F=10$  МГц,  $k_m=0,5$ ; 3 – для  $F=100$  МГц,  $k_m=1$

При  $F=0,1$  МГц и  $k_m=1$  наблюдается скачкообразное увеличение фазы от  $-0,8$  до  $2,5$  рад на частоте  $f \approx 80$  МГц. В районе частоты  $f \approx 200$  МГц  $\varphi_{Z22}$  резко уменьшается до  $-0,8$  рад и при дальнейшем увеличении частоты несущего колебания постоянна. Для  $F=10$  МГц и  $k_m=0,5$  характерна аналогичная зависимость фазовой компоненты, с той лишь разницей, что частоты, соответствующие смене знака  $\varphi_{Z12}$ , смещаются вправо.

Анализ фазовых характеристик поверхностного импеданса в зависимости от изменения коэффициента амплитудной модуляции  $k_m$  (рис. 3, 4) показал следующие результаты.

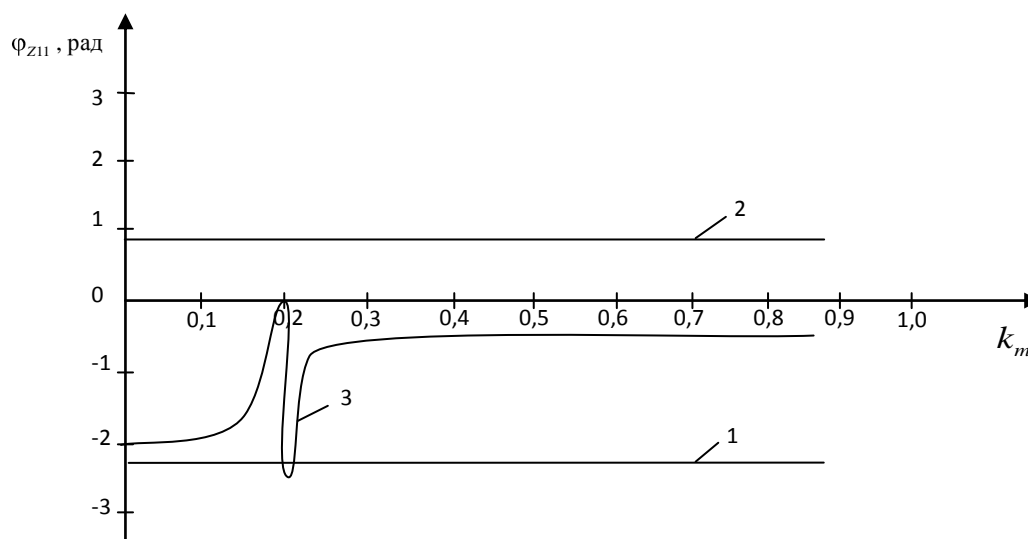
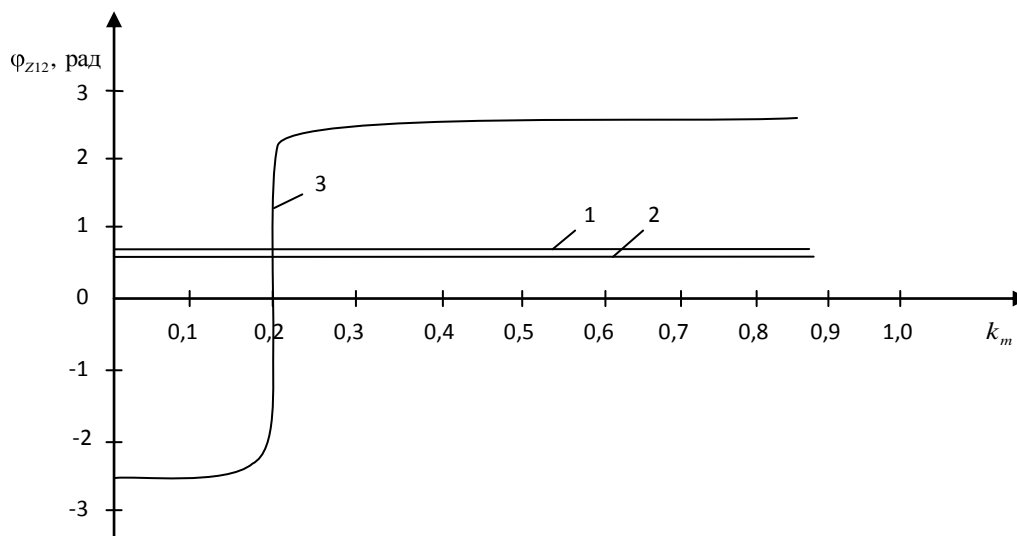


Рис. 3. Зависимости  $\varphi_{Z11} = \psi(k_m)$ :

1 – для  $F=0,1$  МГц,  $f=1$  МГц; 2 – для  $F=10$  МГц;  $f=100$  МГц; 3 – для  $F=100$  МГц,  $f=1000$  МГц

Для низких значений частоты модуляции вариация величины  $k_m$  не оказывает влияния на величины  $\varphi_{Z11}$  и  $\varphi_{Z12}$ . При увеличении частоты модулирующего сигнала до  $F=100$  МГц фаза ведет себя неравномерно при изменении его амплитуды. Когда  $k_m=0,2$   $\varphi_{Z11}$  увеличивается до нуля, а затем резко падает до  $-2,5$  рад.

Для второй ФСК также при  $k_m=0,2$  наблюдаются изменение величины  $\varphi_{Z12}$ , которая резко увеличивается от  $-2,5$  до  $2,5$  рад.

Рис. 4. Зависимости  $\varphi_{Z12} = \psi(k_m)$  :

1 – для  $F = 0,1$  МГц,  $f = 1$  МГц; 2 – для  $F = 10$  МГц,  $f = 100$  МГц; 3 – для  $F = 100$  МГц,  $f = 1000$  МГц

**Заключение.** Проведенный анализ показал, что фазовые компоненты поверхностного импеданса имеют частотную зависимость в режиме АМ-воздействия. Импедансные характеристики среды над УВЗ дают возможность осуществлять качественную и количественную оценку электродинамических параметров сред. Использование нескольких альтернативных частот, на которых имеются отличия фазовых компонентов поверхностного импеданса, позволяет улучшить идентификацию УВЗ. Результаты исследования могут быть использованы для разработки радиотехнических систем ближней и дальней радиолокации, для обнаружения локальных и плазменных образований, для оптимизации методов поиска и оконтуривания залежей нефти и газа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гололобов, Д.В. Фазовые методы идентификации углеводородных залежей / Д.В. Гололобов, В.Ф. Янушкевич, А.О. Рак // Инженерный вестн. – Минск, 2005. – № 1(20). – С. 16 – 18.
2. Гололобов, Д.В. Использование поляризационных свойств зондирующего сигнала при диагностике плазматипных сред / Д.В. Гололобов, В.Н. Москвичев // Радиотехника и электроника. – Минск: Высш. шк., 1993. – Вып. 22. – С. 60 – 74.
3. Хаскинд, М.Д. Распространение электромагнитных волн над гиротропной средой / М.Д. Хаскинд // Радиотехника и электроника. – М.: Наука, 1961. – Т. 6, № 6. – С. 886 – 894.

Поступила 07.07.2010

#### EFFECT OF THE PARAMETERS OF THE AMPLITUDE-MODULATED IMPACT ON PHASE COMPONENTS OF THE SURFACE IMPEDANCE OF ANISOTROPIC PLASMA-TYPE MEDIUM

**D. GOLOLOBOV, O. ORLOVA, V. YANUSHKEVICH**

*The results of theoretical analysis of the interaction of the amplitude - modulated signals with hydrocarbon deposits are presented. Impedance boundary conditions are taken as the investigated characteristics. Analysis was carried out under quasi-hydrodynamic method of investigation of medium's parameters. The components of the surface impedance derived from the equations of motion of electrons. The experimentally obtained data of the parameters of the medium over deposits of hydrocarbons is used for calculations. Frequency dependence of the phase components of the surface impedance are analyzed. The most significant correlation of signal parameters for the optimal search and delineation of hydrocarbon deposits are established. Recommendations on building radio systems for hydrocarbon exploration are presented.*