

Отже, при перевищенні завади над сигналом на вході макета „надвибірною” приймача 12 дБ, на виході в смузі частот 0,1 ... 20 кГц одержано перевищення сигналу над завадою +4 дБ, тобто з врахуванням глибини модуляції  $m_c$  та  $m_n$  загальний вигравш у відношенні сигнал/завада між входом і виходом становить 12,8 дБ. Порівняно із звичайним приймачем з діодним амплітудним детектором, який за великих завад працює як квадратичний, вигравш „надвибірною” приймача становить близько 30 дБ.

Проводилось також прослуховування при модуляції мовним і музичним повідомленнями. Помічено значне покращення якості сигналів порівняно з сигналами на виході звичайного діодного детектора, хоча провали з проміжною частотою давали дещо неприємний тон.

1. Бабанов Ю.Н. Радиоприем при перекрывающихся частотных спектрах полезного и мешающего АМ сигналов и флуктуационных шумах // *Электросвязь*. – 1965. – №2. – С. 1–8.  
2. Бриджес Дж. Ортогональное детектирование, уменьшающее помехи от своего канала // *ТИИЭР*. – 1969. – № 9. – С. 1004–1101. 3. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. – М., 1971. 4. Павлов Б.А. Синхронный прием. – М., 1977. 5. Поляков Д.Т. Радиовещательные ЧМ приемники с фазовой автоподстройкой. – М., 1983. 6. Силин А.В. Один способ разделения двух АМ сигналов с перекрывающимися частотными спектрами // *Радиотехника*. – 1969. – № 4. – С. 60–65. 7. Шахгильдян В.В., Ляховкин А.А. Системы фазовой автоподстройки частоты. – М., 1972. 8. Taylor P.L. Methods of separating overlapping amplitude-modulated signals // *Electronics letters*. – 1976. – № 17. – P. 424–425.

УДК 621.317

Юрій Михайлюк<sup>1</sup>, Любомира Михайлюк<sup>1</sup>, Ярополк Притуляк<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Карпатське відділення інституту геофізики НАН України,

<sup>2</sup>Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра радіоелектронних пристроїв та систем

## ЗАСТОСУВАННЯ СКАНУЮЧОГО ІНДУКЦІЙНОГО МЕТОДУ В ЕЛЕКТРОРОЗВІДЦІ

© Михайлюк Юрій, Михайлюк Любомира, Притуляк Ярополк, 2004

**Запропоновано застосування скануючого індукційного методу в електророзвідці з метою підвищення інформативності геофізичної апаратури.**

**Authors propose application of scanning induction method in electrical prospecting with the purpose of increasing of comprehension of geophysical equipment.**

Ефективність електророзвідки значною мірою залежить від технічного рівня приладів і обладнання, від їх точності, розширення діапазонів вимірювання, підвищення інформативності і продуктивності контролю. Електророзвідувальною апаратурою виділяються параметри гармонічного електромагнітного поля, яке індукується в струмопровідних рудоносних породах, що дає можливість визначити місце їх залягання, межі досліджуваних ділянок, і більше того, можна отримати реконструкцію зображення, якщо значно збільшити інформативність контролю площі, в якій знаходяться корисні копалини при організації томографічного експерименту. За допомогою традиційних методів електророзвідки неможливо отримати достатню кількість інформації, необхідної для побудови зображення, оскільки в каналі відбору і обробки сигналу первинні перетворювачі – антени обмежують інформативність контролю.

На наш погляд, застосування методу електричного сканування з використанням скануючих перетворювачів з обертовим магнітним полем [1] і, особливо, з обертовою азимутальною неоднор-

рідністю [2] дасть змогу розв'язати поставлені завдання і отримати реконструкцію зображення геоелектричних розрізів, розв'язати задачі картування порід за питомими провідностями з можливістю визначення їх розмірів і конфігурації.

Скористаємось методикою [3] для визначення продуктивності вимірювальної інформації поля скануючого перетворювача з обертовим магнітним полем, яка є зворотною до міри ознаки і дорівнює числу біт інформації, яку знімаємо з одиниці площі за одиницю часу

$$P_{\mu} = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_s \mu_T \mu_a \mu_{\varphi} \mu_{\alpha}} = \frac{1}{T S} \log_2 \left(1 + \frac{1}{\beta_a}\right) \left(1 + \frac{1}{\beta_{\varphi}}\right) \left(1 + \frac{1}{\beta_{\alpha}}\right), \text{ т/м}^2\text{с}, \quad (1)$$

де  $\mu_s$ ,  $\mu_T$ ,  $\mu_a$ ,  $\mu_{\varphi}$ ,  $\mu_{\alpha}$  – відповідно просторова, часова, амплітудна, фазова міри топології і поточна координата вектора магнітного поля;

$$\mu = \frac{1}{H}; H = \log_2 \left(1 + \frac{1}{\beta}\right); \beta = \frac{\Delta}{d_{\max}},$$

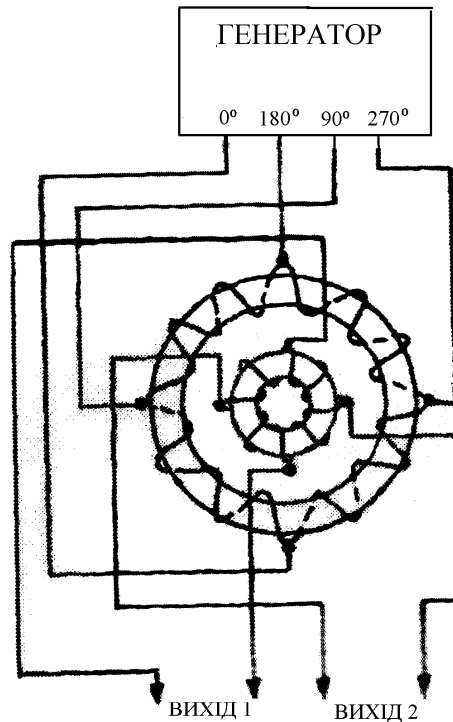
де  $H$  – ентропія відповідної міри;  $\beta$  – діапазон зміни відповідних компонент поля.

У продуктивності перетворювачів традиційних конструкцій буде відсутня міра  $\mu_{\alpha}$  і відповідно на цю величину буде зменшена інформативність. Окрім того, інформативність поля в традиційних конструкціях з лінійною поляризацією залежить від орієнтації неоднорідності відносно напрямку вектора магнітної індукції збуджувального магнітного поля, тому амплітудна  $a_{\max}$  і фазова  $\varphi_{\max}$  міри будуть приймати значення в діапазоні від 0 до 1. У разі скануючого обертового поля шукані міри матимуть максимальні значення за рахунок того, що неоднорідність опромінюватиметься з усіх боків.

Застосування методів томографії уможлиблює з більшою точністю відтворити структуру контрольованої ділянки, підвищити ефективність методу вимірювання напруженості низько-частотних електромагнітних полів, але для цього необхідно отримувати ще більшу кількість інформації, яку можуть забезпечити скануючі перетворювачі з обертовою азимутальною неоднорідністю. Просторово-часовий розподіл інтенсивності випромінювання контрольованої ділянки при азимутальній неоднорідності формується шляхом використання  $n$  гармонік. В результаті утворюється скануюча азимутальна віялоподібна неоднорідність, яка займає площу, набагато меншу від площі однієї гармоніки. Таким чином, відбувається сканування і концентрація потужностей всіх використаних  $n$  гармонік в обмеженій за розмірами ділянці, а локалізація збуджувального поля веде до значного збільшення відношення  $U_{\text{сигналу}}/U_{\text{шуму}}$ , тобто збільшення реальної чутливості контролю. Окрім того, з'являється роздільна здатність за азимутом і за глибиною проникнення магнітного поля. При цьому, чим більше буде використано в азимутальній неоднорідності гармонік, тим більшою будуть азимутальна  $\mu_{\alpha z}$  та за глибиною  $\mu_{\Delta}$  міри. Водночас різні частоти проникають на різну глибину, тому застосування збудження полями з великим спектром частот дає змогу забезпечити максимальну чутливість до вторинного поля порід з різними провідностями і глибиною залягання. Із аналізу випливає, що продуктивність перетворювачів з азимутальною неоднорідністю буде набагато більшою, ніж у перетворювачів з обертовим полем.

Базова конструкція скануючих перетворювачів [1] складається із збуджувальної і приймальної котушок. Збуджувальна котушка складається із чотирьох ідентичних секцій. Секції живляться від генератора квадратурних напруг з коловою частотою  $\omega$ , але зсунутими на  $90^\circ$ , при цьому вектор напруженості збуджувального магнітного поля  $\vec{H}$  обертається і в кожній точці контрольованого простору визначатиметься ортогональними компонентами. Водночас за кожний період коливань вектор поля  $\vec{H}$  обертається по колу, радіус якого дорівнює модулю напруженості поля, а початкова фаза  $\varphi$  визначається початковим положенням вектора:

$$H \left[ \cos(\omega t + \varphi) + j \sin(\omega t + \varphi) / \sqrt{2} \right].$$



Скануючий перетворювач з обертовим магнітним полем

Вимірювальна котушка, як це показано на рисунку, розташована коаксіально, складається з чотирьох ідентичних і з'єднаних між собою секторів обмотки. З взаємно ортогональних виводів знімаються, відповідно, квадратурні тангенціальні складові ЕРС за напрямками їх прийому  $\vec{H}_x$ ,  $\vec{H}_y$  і визначаємо як циркуляцію напруженості магнітного поля вздовж контуру вимірювальної котушки перетворювача [4]

$$e_{вихx,y} = -j \frac{\Pi \omega \mu_0 \omega_{зб/2}^2 \omega_{6/2}}{I_{зб/2}} R_g R I \rho \int_0^{\infty} J_1(\lambda \rho) J(\lambda R) \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \rho^2 \cos \varphi \sin \varphi d\varphi d\lambda, \quad (2)$$

де  $\omega_{зб/2}$ ,  $I_{зб/2}$  – кількість і довжина збуджувальної напівкатушки;  $\omega_{6/2}$  – кількість витків вимірювальної напівкатушки;  $I$  – струм, який протікає в еквівалентному витку з радіусом  $R$ ;  $J_1$  – функція Бесселя першого роду (першого порядку);  $\Pi$  – параметр перетворення;  $R_g$  – радіус витка у вимірювальній котушці.

У скануючих перетворювачах компоненти векторів напруженості поля одночасно взаємно ортогональні і взаємно квадратурні. Щоб отримати повний обсяг інформації про магнітне поле, у цій точці контрольованої поверхні необхідно визначити величини трьох ортогональних складових:  $\vec{H}_x$ ,  $\vec{H}_y$ ,  $\vec{H}_z$ ,  $\varphi_x$ ,  $\varphi_y$ ,  $\varphi_z$ , які є функціями просторових координат [5]. Вимірювання усіх цих величин також необхідне для реконструкції зображення аномалій.

Для постановки томографічного експерименту для таких вимірів необхідно застосувати скануючий перетворювач [6]. Розв'язуючи багато задач для їх спрощення достатньо обмежитись вимірюванням на площині. Інформація про просторовий розподіл поля отримується за рахунок електричного сканування і механічного поздовжнього руху перетворювача шляхом проекції вимірювальних параметрів вимірювальної котушки на площину досліджуваної поверхні (2)  $U_{вих1}$ ,  $U_{вих2}$ . При цьому відбір інформації відбувається з високою надійністю і простою реалізацією.

Електророзвідувальна апаратура, в якій вимірюються параметри гармонічного магнітного поля, призначена для добре провідних локальних аномалій і дає змогу отримати геологічну

побудову досліджуваних ділянок та визначити їх рудоносність. У скануючих перетворювачах реєструється магнітне поле, яке зводиться до вимірювання параметрів ортогональних компонент вектора напруженості  $\vec{H} = \vec{H}_1 + \vec{H}_2$ , що складається із збуджувального первинного поля  $\vec{H}_1$  і вторинного поля  $\vec{H}_2$ , яке несе в собі інформацію про струмопровідну неоднорідність контрольованої ділянки Землі. Сумарне поле  $\vec{H}$  виділяється у витках вимірювальної котушки і знімається з ортогональних виходів 1 і 2 (рисунок). Первинне поле визначає інтенсивність і кут місця знаходження джерела вторинного поля. Вторинне поле визначається проекціями вектора  $\vec{H}_2$  на осі координат – це квадратурні компоненти вторинного поля  $\vec{H}_{2x}$  і  $\vec{H}_{2y}$ .

Проблемою скануючих методів є складність виділення  $\vec{H}_2$ , яке на три порядки є меншим від  $\vec{H}_1$ . Для перетворювачів традиційних конструкцій компенсація  $\vec{H}_1$  відбувається за рахунок застосування диференціальних обмоток. У скануючих перетворювачах знімається просторово-часова інформація, де за одне обертання вектора змінюватимуться локальні властивості середовища. Тому в приладах з використанням скануючих перетворювачів необхідно вводити цифрові 14–16 розрядні компенсатори з синхронним відніманням. Періодичне калібрування дає змогу скомпенсувати додаткові похибки, обумовлені зміною електропровідності або магнітної проникності контрольованої ділянки.

Вихідні напруги, зняті з виходу компенсатора, подаються на підсилювачі квадратурних сигналів X і Y, за допомогою яких відбувається підсилення сигналів до рівня, який забезпечує роботу АЦП. Тут немає необхідності застосовувати схеми широкосмугових фазообертачів, оскільки сигнали, зняті з вимірювальної котушки строго ортогональні.

Отже, отримати великий обсяг інформації про геологічну побудову досліджуваних ділянок для електророзвідки можна шляхом застосування скануючого методу з обертовим магнітним полем. Для складних задач геоелектричного картування гірських струмопровідних порід і отримання реконструкції їх зображення можна використовувати метод електричного сканування з обертовою азимутальною неоднорідністю.

1. А.С.(СССР) №1073689А / И.П. Мороз. Вихретоковый преобразователь с вращающимся полем. Бюл. №6. 15.02.84.
2. А.С.(СССР) №1820314А1 / В.А. Гуляев, Я.Г. Притуляк, В.М. Чаплыга. Способ электрического сканирования для неразрушающего контроля электропроводящих изделий. Бюл. №21. 07.06.93.
3. Притуляк Я.Г. Інформаційні характеристики вихрострумів перетворювачів з обертовим полем // Вісник ЛПІ “Теорія і проектування напівпровідникових та радіоелектронних пристроїв”. – 1992. – №264. – С. 45–48.
4. Притуляк Я.Г. Формування сигналу електрично-скануючими вихрострумівими перетворювачами з обертовим полем // Вісник ЛПІ “Теорія і проектування напівпровідникових та радіоелектронних пристроїв”. – 1993. – №272. – С.62–66.
5. Мизюк Л.Я., Поджарый В.М., Праць Р.В. Измерения инвариантов магнитного поля при электроразведке. – Изд.НД.К. – 1976. – 231 с.
6. Патент України №2222А. Трансформаторний вихрострумівий перетворювач. Бюл. №3. 30.06.98 / Я.Г. Притуляк, І.Н. Прудіус, Й.А. Захарія, А.Ф. Обшита, В.І. Мороз.