

УДК 621.39.

**IMPLEMENTATION OF ADVANCED SIGNAL PROCESSING
TECHNOLOGIES IN METAL DETECTORS: INCREASING THE
ACCURACY AND EFFICIENCY OF DETECTION**
**ВПРОВАДЖЕННЯ ПЕРЕДОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ СИГНАЛЬНОЇ ОБРОБКИ В
МЕТАЛОДЕТЕКТОРАХ: ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ
ВИЯВЛЕННЯ**

Vintoniak V. M. / Вінтоняк В. М.*Postgraduate student / аспірант*

0009-0002-1538-1881

*Vasyl Stefanyk Precarpathian National University,**Ivano-Frankivsk, 57 Shevchenko St., 76018**Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,**Івано-Франківськ, Шевченка, 57, 76018*

***Анотація.** В роботі проаналізовано будову металодетектора та приведено його структурну схему. Наведено підходи до їх класифікації та розглянуто найбільш перспективні методи вдосконалення методики обробки сигналу металодетектору. Розглянуто роботу вихрострумове диференційного перетворювача, що в своєму складі має передавальну і дві вимірювальні котушки і присутність якого підвищує точність детектування.*

***Ключові слова:** металошукач, фазовий детектор, приймач, вихрострумний перетворювач, метод індукційного балансу, тепловізійний принцип.*

***Abstract.** The paper analyzes the structure of the metal detector and provides its block diagram. Approaches to their classification are presented and the most promising methods for improving the metal detector signal processing technique are considered. The operation of an eddy current differential converter, which consists of a transmission and two measuring coils and the presence of which increases the detection accuracy, is considered.*

***Keywords:** metal detector, phase detector, receiver, eddy current converter, induction balance method, thermal imaging principle.*

Вступ

Металодетектор – це спеціалізований прилад, який використовується з метою виявлення різноманітних металомістких об'єктів в тих чи інших умовах. Такі прилади здійснюють ефективне виявлення предметів в стінах, під одягом, в багажі або навіть організмі людини. Таким чином, в залежності від конкретних потреб прийнято використовувати різні типи таких пристроїв. На сьогоднішній день існує кілька різних типів металошукачів, кожен з яких призначається для активного виконання різних завдань [3].

На даний час розрізняють такі основні підходи до побудови схемотехніки металошукачів: – метод биття – BFO (Beat Frequency Oscillation); – метод індукційного балансу – IB / TR (Induction Balance / Transmitter-Receiver); – метод індукційного балансу з використанням дуже низьких частот – VLF / TR (Very Low Frequency / Transmitter – Receiver); – метод індукційного балансу з рознесеними котушками – RF (Radio Frequency); – імпульсний метод – PI (Pulse Induction); – метод зриву резонансу – OR (OfTResonance) [1].

В сучасних металодетекторах ідентифікація типу металу здійснюється шляхом виділення інформативного сигналу на фоні заважаючого фактору. Для

виділення інформативного сигналу використовують амплітудний, фазовий та частотний методи обробки сигналу (рисунок 1б).

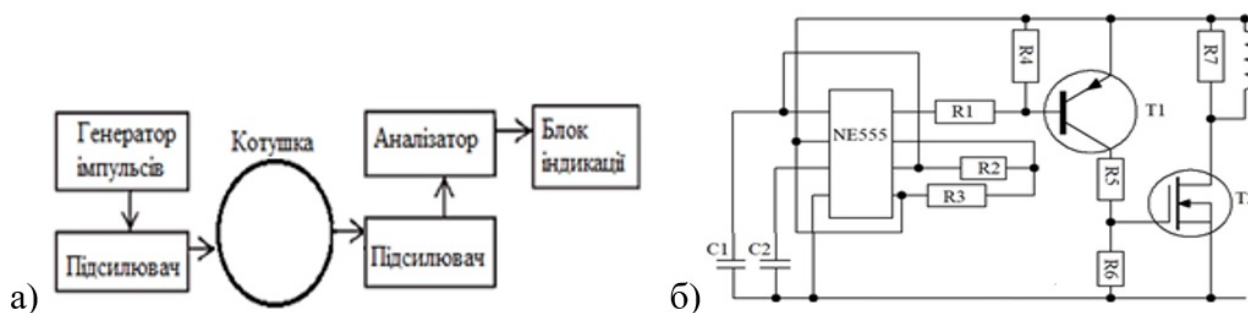


Рисунок 1 – Схема електрична принципова генератора частоти – а) та структурна схема металодетектора – б)

Джерело: [2]

Сучасні технічні засоби дозволяють реалізувати компактний прилад, що має високу точність і оцінювати в реальному масштабі часу невеликі девіації частоти вимірювального генератора. Такі прилади можна назвати металошукачами, що працюють за принципом частотоміра (рисунок 1а). Прилади цього класу, крім маси сервісних можливостей мікропроцесорної реалізації, мають можливість оцінки знаку збільшення частоти. В них феромагнітний досліджуваний об'єкт зазвичай призводить до зниження частоти «вимірювального» генератора, а об'єкт з металу-неферомагнетика – до підвищення частоти.

Серед усіх існуючих на даний час принципів, що переглянуті у цій статті перспективним принципом пошуку металів з різною магнітною проникністю (чорних та кольорових) є принцип дистанційного параметричного підмагнічування та тепловізійний. Принцип дистанційного параметричного підмагнічування дозволяє у разі підвищити відстань фіксації чорних металів. Тепловізійний принцип дозволяє виявляти немагнітні матеріали металодетектором та виводити зображення схованої мішені [5].

Принцип параметричного підмагнічування полягає у реєстрації штучно викликаних контрастів між об'єктом пошуку та природним фоном за рахунок додаткового опромінення досліджуваного простору. Даний принцип є окремим випадком нелінійно-параметричної локації. Можливості збільшення глибини виявлення металевих предметів обмежені завадами, що роблять недоцільним підвищення чутливості пошукових приладів. Збільшення глибини виявлення феромагнітних об'єктів штучного походження можливе завдяки створенню таких умов, при яких тіло буде сильніше спотворювати магнітне поле Землі чим при звичайних умовах. При напруженості намагнічуючого поля більш ніж на два порядки в порівнянні із геомагнітним полем Землі, дальність виявлення збільшується у 1.5–3.0 рази.

Для підвищення точності та ефективності виявлення з використанням тепловізійного принципу для сигнальної обробки в металодетекторах вимірюють зміну довжини хвилі або інтенсивності теплового випромінювання ґрунту, структура якого була порушена при закопуванні міни, як приклад.

Міни, закладені на глибину 10–20 см, зазвичай не впливають на температуру поверхні ґрунту, але порушення її структури може бути помітне через декілька місяців. Інфрачервоні системи, що формують зображення, мають просторову і температурну роздільну здатність (близько 0.1 °C), яка достатня для виявлення порушення структури ґрунту пов'язаного із закладанням міни [8].

Прилади за цим принципом використовуються військовими для розмінувань. Цей принцип використовувався у проекті SMART (Space and airborne Mined Area Reduction Tools – обладнання зменшення замінованих площ за допомогою авіакосмічних систем).

Наукові роботи у напрямку поліпшення технічних характеристик металодетекторів проводяться достатньо інтенсивно.

Для підвищення точності та ефективності виявлення з використанням металодетектора використовується обробка сигналів отриманих внаслідок вихрострумової взаємодії з металом з метою розрізнення металевих предметів за вимірюванням фазового зсуву прийнятого сигналу з опорним сигналом. В роботі пропонуються методи обробки сигналів в часовій області для виявлення інформаційних ознак про склад металу, які не є традиційними при виявленні металевих об'єктів [4].

Розрізнення металевих предметів здійснюється за зміною фазового зсуву прийнятого сигналу, для цього використовувалися метод Баєса, метод ближніх сусідів (KNN) та метод опорного автоматичного вектору (SVM) [6]. Для пояснення виникнення сигналу на виході приймальної антени, використовується модель, розроблена у дисертації Claudio Bruschini. Його модель побудована на аналізі електричного кола, яке складається з індуктивно зв'язаних між собою елементів. Розглянуто вплив параметрів металу (індуктивність, провідність) на сигнал у приймальній антені. Основні складові моделі це: передавальна магнітна рамочна антена (катушка), приймальна магнітна рамочна антена та металевий зразок, який рухається поруч із зоною дії антен. Зразок металу характеризується такими параметрами як індуктивність та опір [7].

Розглянемо роботу вихрострумового диференційного перетворювача, що в своєму складі має передавальну і дві вимірювальні котушки (рисунок 2а). Передавальна катушка підключена до джерела живлення і призначена для збудження вихрових струмів в об'єкті контролю. Вимірювальні котушки KB1 та KB2 включені послідовно, зустрічно, утворюючи вимірювальну обмотку з загальними виводами. Якщо перетворювач не встановлено над об'єктом контролю, магнітний потік Φ_1 , створений обмоткою передавальної котушки W1, наводить в вимірювальних котушках е. р. с. e_1 і e_2 (рисунок 2б).

Оскільки, вимірювальні котушки включені зустрічно, то наведені в них е. р. с. діятимуть в протифазі і сумарна е. р. с на виводах вимірювальної обмотки буде дорівнювати нулю. Якщо перетворювач встановити над об'єктом контролю, то наведені вихрові струми створять власний магнітний потік Φ_2 , спрямований зустрічно потоку перетворювача.

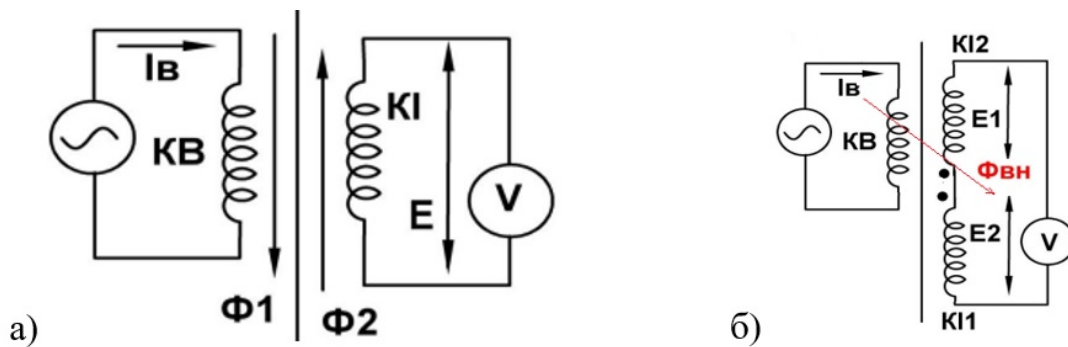


Рисунок 2 – Схема котушок перетворювачів абсолютного – а) та диференційного – б)

Джерело: Авторська розробка

Як наслідок, е. р. с. вимірювальних обмоток e_1 і e_2 буде зменшуватися. При цьому потік вихрових струмів буде чинити більший вплив на найближче розташовану до об'єкту контролю вимірювальну котушку KB_2 , викликаючи істотне зменшення її е. р. с.

Висновки.

Було проведено огляд існуючих найбільш поширених методів ідентифікації сигналів металодетекторами та вказано їхні недоліки. Було показано, що спектральний метод дозволяє ідентифікувати тип металу, оскільки існує різниця в характеристиках спектрів сигналів отриманих від різних металів. Перелічено найбільш перспективні методи стосовно підвищення точності та ефективності виявлення з використанням металодетектора.

Література:

1. Агєєв А. А., Савінов В. Ю. Роботизований комплекс детектування металевих об'єктів на базі Raspberry Pi. Могилянські читання – 2022: тези доп. XXV Всеукр. наук. – метод. конф. Миколаїв, 7–11 листоп. 2022 р. Миколаїв: Чорном. нац. ун-т ім. Петра Могили, 2022. С. 121–123.
2. Abramovych A. Eddy-current system for identification of metal objects / A. Abramovych, V. Bazhenov, V. Piddubnyi // Sciences of Europe. – Praha, Czech Republic. 2020. Vol 1. №56. p. 44–53.
3. Bilik Y., Haridim M., Bilik D. Reflectivity and Resolution Improvement of Underground Rectilinear Objects Detection Using GPR. IEEE Geosci. Remote Sens. Lett. 2020;5:799–803. doi: 10.1109 / LGRS. 2019.2933331.
4. Bryakin IV, Bochkarev IV, Khrumshin VR, Gasiyarov VR. Overview of Promising Solutions in Subsurface Sounding Equipment. Sensors (Basel). 2023 Oct 14;23 (20): 8461. doi: 10.3390 / s23208461. PMID: 37896554; PMCID: PMC10611253.
5. Choi K. N. Two-Channel Metal Detector Using Two Perpendicular Antennas. J. Sens. 2014;2014:412621. doi: 10.1155 / 2014 / 412621.
6. Haimovich, Hernan & Marelli, Damian & Sarlinga, Diego. (2020). A Signal Processing Method for Metal Detection Sensitivity Improvement in Balance-Coil Metal Detectors for Food Products. 645–651. 10.1109 / ICIT45562.2020.9067312.

7. Karimov, T.; Druzhina, O.; Vatnik, V.; Ivanova, E.; Kulagin, M.; Ponomareva, V.; Voroshilova, A.; Rybin, V. Sensitivity Optimization and Experimental Study of the Long-Range Metal Detector Based on Chaotic Duffing Oscillator. *Sensors* **2022**, *22*, 5212. <https://doi.org/10.3390/s22145212>.

8. Wenjing Hu. An Improved Chaotic Detection System for Metal Detectors. *Journal of Physics: Conference Series*. 2087 (2021) 012065. doi: 10.1088/1742-6596/2087/1/012065.

Науковий керівник: к. т. н., доцент. Грига В. М.

Стаття відправлена: 20.04.2024 г.

© Вінтоняк В.М.