

**Секція: ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ В РАДІОТЕХНІЦІ І ПРИЛАДОБУДУВАННІ**

**Керівник: проф. Михайло Паламар**

**УДК 621.39**

**Антон Абрамович, Володимир Піддубний, доц.**

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**МОДИФІКОВАНА РАМОЧНА АНТЕННА ВИХРОСТРУМОВОГО ПРИСТРОЮ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МЕТАЛІВ**

Для ідентифікації металів можна використовувати як хімічні, оптоемісійні, рентгенівські методи та і вихрострумівий метод, активним елементом якого є антена. Питання побудови антени, моделювання її параметрів і розглядається у даній публікації.

Ключові слова: ідентифікація металів, антена, моделювання, низька частота.

**Anton Abramovych, Volodymyr Piddubnyi**

**MODIFIED FRAME ANTENNA EDDY-CURRENT DEVICE FOR IDENTIFICATION OF METALS**

For identification of metals can be used as chemical, optoelectric, X-ray methods and the eddy-current method, the active element of which is the antenna. The question of constructing an antenna, modeling its parameters and is considered in this publication.

Keywords: metal identification, antenna, simulation, low frequency.

В вихрострумівих пристроях (ВСП) використовується антенна система, яка складається з двох рамочних антен (приймальної та передавальної), які працюють в діапазоні частот 5-10 кГц. Передавальна антена випромінює електромагнітне поле, яке при взаємодії із прихованим металевим [1] об'єктом створює відгук. Приймальна антена його реєструє та передає на блок обробки сигналу [2,3], що і дозволяє ідентифікувати прихований об'єкт.

Існує два основних типи антен – рамочні коаксіально розміщені антени та антени типу DD. Зовнішній вигляд антенного блоку, в якому випромінювання зондуємого та прийом відбитого від прихованого об'єкту сигналу [2,5] здійснюється за допомогою рамочних антен (котушок) круглої форми розміщених коаксіально та планарно одна відносно іншої показано на рис.1. Недоліком такої антенної системи є достатньо низька чутливість, нерівномірність чутливості по глибині зондування та значний паразитний зв'язок між приймальною та передавальною антенами. Зона чутливості такої системи має вигляд конуса направлено в бік об'єкту дослідження, який звужується біля вершини. Максимальна відстань, на якій можна виявити прихований метал, знаходиться в кінці конуса в центрі кола.

Антена зручна для роботи на засміченій території та в випадку проведення одночасного виявлення та дихотомічної ідентифікація металу (магнітний чи немагнітний). При роботі з такою антенною системою необхідно слідкувати, щоб кожен наступний прохід сканування частково перекривав попередній, а це збільшує кількість проходів при скануванні території заданної площі, зменшує швидкість переміщення, наприклад, сапера по замінованій території.

Антенна система типу DD (рис.2) використовує приймальну та передавальну антени, які виготовлені в вигляді котушок, що мають форму латинської букви «D».

Система складається з двох котушок «D» типу розміщених в дзеркальному відображенні. Витки приймальної та передавальної антен перетинаються в середній частині антенної системи створюючи активну зону випромінювання електромагнітних хвиль. Випромінювання антени розповсюджується в вигляді прямокутника. Завдяки цьому краще виявляються об'єкти малих розмірів, що лежать на достатньо великій відстані від антени. Крім того відпадає необхідність в жорсткому слідкуванні за тим, що б один прохід сканування перекривав інший.

Авторами були виготовлені такі антени приблизно однакових розмірів (діаметр антенної системи близько 150 мм). Приймальна та передавальна антени мають по 100 витків проводу діаметром 0,33 мм. Індуктивність антен – близько 4 мГн. Дослідження проводилися на круглих зразках діаметром 25 мм та товщиною 3 мм, виготовлених із міді та алюмінію. Проведені тестові дослідження таких антен, результати яких наведені в табл. 1.

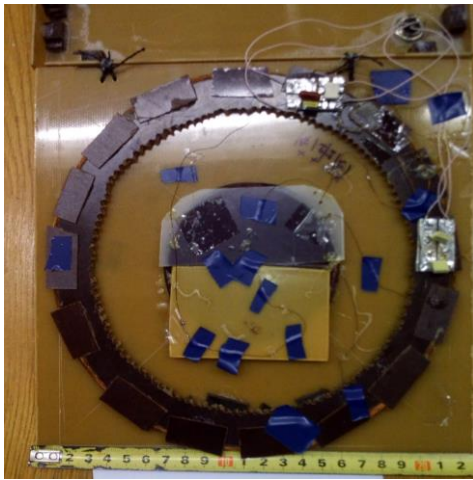


Рис. 1. Зовнішній вигляд антенної системи рамочної типу, що використовується в макеті ВСП

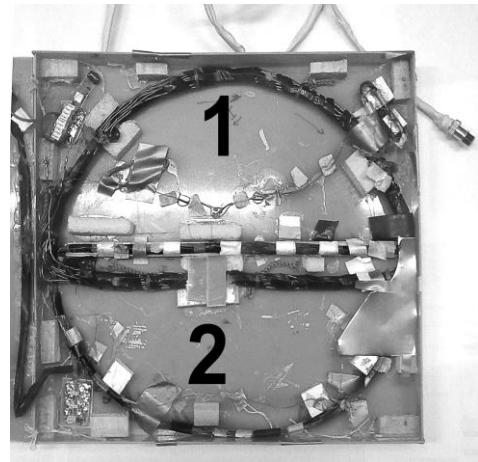


Рис. 2. Зовнішній макету DD антенної системи (1 – передавальна, 2 – приймальна антена)

Перше число – відстань від зразка до антенної системи, що характеризується стабільним виявленням при скануванні в обидві сторони. Друге число – нестабільний сигнал, виявлений при скануванні лише в один бік або через раз.

Як видно використання DD антени дозволяє майже в двічі збільшити відстань виявлення прихованого об'єкту [6], тобто збільшити чутливість приладу.

Сигнал на виході приймальної котушки DD антенної системи при

скануванні мідного зразка показано на рис. 3.

Як бачимо, сигнал для DD антени (рис. 4) відрізняється від сигналу для коаксіальної антенної системи. Він схожий на сигнал знятий з одного плеча рамочної коаксіальної антени.

Обробка сигналу знятого з приймальної антени здійснювалася в електронному блоці радіотехнічної системи ідентифікації металів почергово програмами, що реалізують методи описані в [2] (спектральна обробка сигналу) та [5,7] (метод графічних образів). Слід сказати, що ця методика не дозволяє використовувати антенну систему типу DD для ідентифікації металу, тому що для її коректної роботи обов'язково потрібні два плеча антени. Антена типу DD може бути використана лише для виявлення металу без аналізу його складу.

Таблиця 1

Тип антени	Зразок/Відстань мм	
	Мідь	алюміній
коаксіальна	200-310	170-280
DD	300-380	260-330



Рис. 3. Сигнал, який знімається з антени

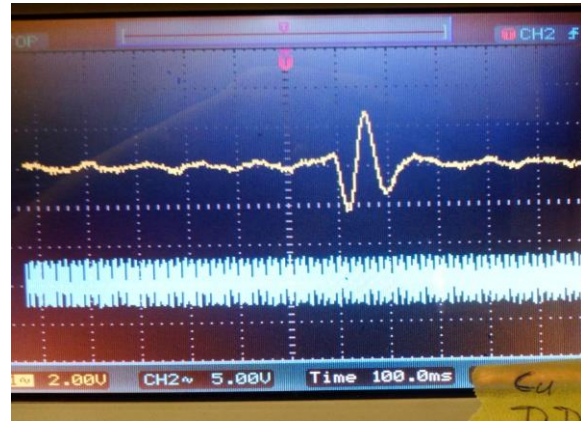


Рис. 4. Сигнал від мідного зразка, який знімається із антени DD

Тому пропонується модифікована антена, яка поєднує переваги антен як одного так і іншого типу. Схематичний вигляд запропонованої антени показано на рис. 5 [8].

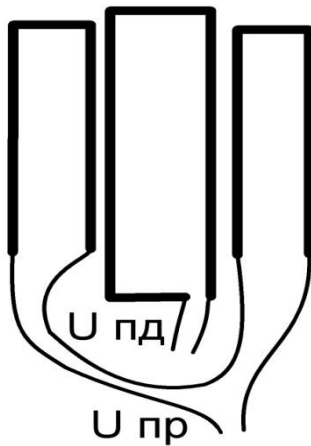


Рис. 5. Схематичне зображення запропонованої антени

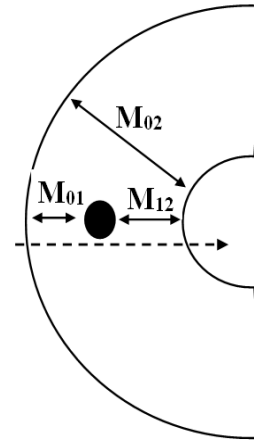


Рис. 6. Вплив металу на взаємозв'язок між антенами

Моделювання вихідного сигналу запропонованої антени проведено на основі моделі запропонованої в [9], де розглядається зміна потокозчеплення між витками та металом, що проноситься над ними, рис. 6.

На приймальну котушку наводиться напруга від передавальної  $U^{(p)}$  та від зразка  $U^{(s)}$  [9]

$$U_2^{(p)}(t) = -i\omega M_{02} I_0 e^{i\omega t}; \quad U_2^{(s)}(t) = -i\omega M_{12} I_1 e^{i\omega t}$$

$$I_1 e^{i\omega t} = -\frac{M_{01}}{L} \left[ \frac{i\omega L(R - i\omega L)}{R^2 + \omega^2 L^2} \right] I_0 e^{i\omega t} \quad \varphi(t) = \arctg \left[ \frac{\text{Im}(U_2^{(p)}(t) + U_2^{(s)}(t))}{\text{Re}(U_2^{(p)}(t) + U_2^{(s)}(t))} \right]$$

де  $M$  – взаємодукція, що визначається потокозчепленням між елементами системи,  $R$  – та  $L$  – опір та індуктивність, що вносяться досліджуваним зразком в антенну систему.

Для антени  $M_{02}$  це технічна константа, що визначається потокозчепленням між приймальною та передавальною котушками антенної системи, а  $M_{01}$  та  $M_{12}$  – це змінні величини, які залежать від властивостей зразка та його положенням відносно котушок антени. При пронесенні металевого досліджуваного зразка над котушками одна величина зростає, а інша зменшується.

В табл. 2 наведені значення розрахованих взаємоіндукцій та напруги на виході антени а форма сигналу антени при пронесенні мідного зразка над одним із плечей антени – на рис.10 [2,5].

Табл. 2. Значення величин  $M_{01}$  та  $M_{12}$  та напруги на приймальній антені

Координати	$M_{01}$	$M_{12}$	Напруга
0	-9,9523e-10	-1,0477e-10	-0.000
100	-9,9502e-10	-1,0498e-10	-0.052
150	-9,9492e-10	-1,0508e-10	0.480
200	-9,9481e-10	-1,0519e-10	-0.977

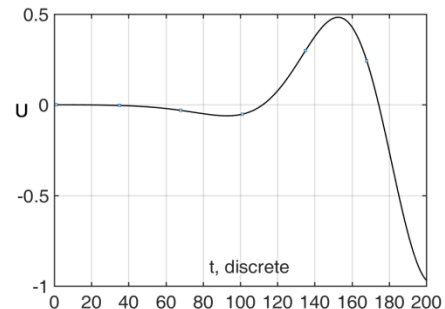


Рис. 7. Сигнал на виході антени

Змодельований сигнал на виході модифікованої антени (рис.10) подібний за формою до сигналу рамочної коаксіальної антени, що використовувалася раніше (рис. 2) ), що дозволяє використовувати методику, запропоновану в [2] для ідентифікації типу металу.

### Література

1. Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" Series – Radio Engineering. Radio equipment construction., 2011, No. 46, pp. 186 – 193.
2. A. O. Abramovych, V. O. Poddubny "Application of spectral analysis for distinguishing metals by 1. A. O. Abramovych, S. M. Diachenko "Metal detectors", Bulletin of the National signals from eddy current converters", The East European Journal of Advanced Technology, Kharkiv, 2017. Vol. 89 (No. 5), pp. 51 – 57 (Scopus) DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110177>
3. Абрамович А.О. Радіолокаційно-вихрострумний радар / А.О. Абрамович // Вісник НТТУ «КПІ» . Сер. Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2014. – Вип. №57. – С. 77-82.
4. Jol M. H. Ground Penetrating Radar Theory and Applications / H. M. Joy // – Oxford GB.: Elsevier B.V. 2009. – 574с. – ISBN: 978-0-444-53348-7.
5. A. O. Abramovych, V. O. Poddubny, I. S. Kashirsky "Method of processing of reflected signals eddy-current pulse converters", Scientific Bulletin of Zaporizhzhya National Technical University, Radioelektronika, Informatics, Management, Zaporizhzhia, 2017. №4, pp.7 – 14. (Scopus) DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2017-4-1>
6. Щербаков Г.Н. Увеличение предельной глубины обнаружения локальных ферромагнитных объектов в толще проводящих укрывающих сред методом дистанционного параметрического подмагничивания / Г.Н. Щербаков // Радиотехника. – 2005. – № 12. – С. 42-45.
7. А. О. Абрамович, В. О. Піддубний, І. С. Каширський, Міжнародний науково-технічний журнал "Металофізика і новітні технології", 39, №. 8: 1035 (2017) DOI: <https://doi.org/10.15407/mfint>.
8. Diamanti, L., Annan, P., 2013. Characterizing the energy distribution around GPR antennas. J. Appl.Geophys., this issue.
9. Claudio Bruschini A Multidisciplinary Analysis of Frequency Domain Metal Detectors for Humanitarian Demining: Doctor in Applied Sciences Thesis: Claudio Bruschini. – Brussels, 2002 p. – 242p.