

**Висновки**

1. Створена схема дає можливість використовувати для оцінки активності радіонуклідів методи нормування вираховань, оптимальних спектральних областей, аналізу піків повного поглинання, найменших квадратів, максимальної правдоподібності, ін.

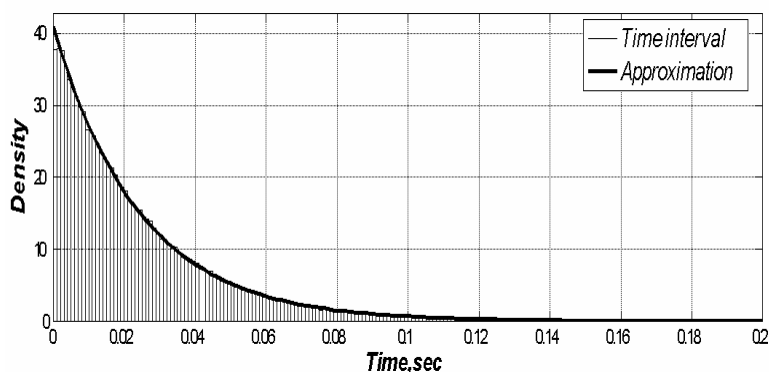


Рис.2

2. Завдяки зв'язку інформації про енергію частки і час між сусідніми актами розпаду обробку результатів вимірювань можна здійснювати програмно на сучасних потужних ЕОМ за новими алгоритмами, а також безпосередньо у відомих статистичних та математичних пакетах..

3. Проведений аналіз часових інтервалів підтверджує експоненціальний розподіл часових проміжків між актами розпаду. Відповідно, на одиницю часу радіоактивний потік є пуасонівським.

**Література**

1. Низкофоновая радиометрия / Лаврухина А.К. и др. М.: Наука, 1992. – 259 с.
2. Silicon Laboratories, [www.silabs.com](http://www.silabs.com).
3. Гольданский В.И., Куценко А.В., Подгорецкий М.И. Статистика отсчетов при регистрации ядерных частиц. – М.: Госфизматиздат. 1959. – 411 с.
4. Толстов С.А. Математическое и методическое обеспечение оценки малых активностей радионуклидов в сцинтилляционной гамма- и бета-спектрометрии. Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. Минск, 2000. – 17 с.

Стоколос М.О., Литвиненко О.О., Глушенко В.М. <b>Устройство временного и спектрометрического анализа радионуклидов</b> Приведены результаты испытания устройства временного и спектрометрического анализа радионуклидов, для исследования низких уровней радиоактивности	Stokolos M.O., Litvinenko O.O., Glushenko V.M. <b>The device of the time and spectrometer analysis radioactive nuclides</b> Results of the spectrometer and time analysis radioactive nuclide, developed for research of low levels radio-activity, are described.
--	--

УДК 621.312

**ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА НИЗЬКИХ ТА СЕРЕДНІХ ЧАСТОТАХ "IN SITU"**

*Витяганець А. І., Вунтесмері Вал. С.*

*Наведені основні засоби вимірювання активної потужності на низьких та середніх частотах "in situ" та визначено перспективність використання для цих цілей магніторезистивних перетворювачів електромагнітного поля на основі феромагнітних плівок.*

**Вступ. Постановка задачі**

Вимірювання потужності, яка є важливою енергетичною характеристикою

кою, займає значне місце в сучасній вимірювальній техніці, є одним з основних видів вимірювань в багатьох галузях науки і техніки [1]. Особливе значення має вимірювання активної потужності там, де використовується електромагнітна енергія в технологічних, медичних та інших процесах, так як саме активна потужність обумовлює інтенсивність таких процесів. Для управління потужністю використовують різні нелінійні та ключові пристрої, які спотворюють, "розширюють" спектр сигналу, що погіршує показники систем, процесів, визначає необхідність постійного контролю активної потужності в режимі "in situ", робить актуальною розробку простих вимірювальних датчиків активної потужності в широкому діапазоні частот.

В колах змінного струму при миттєвих значеннях напруги  $u(t)$  і струму  $i(t)$  миттєва потужність  $p = u(t)i(t)$ . Середнє значення цієї потужності за період  $T$  є активна потужність, яка підлягає вимірюванню:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t) dt \quad (1)$$

Засоби вимірювання активної потужності на низьких та середніх частотах будемо класифікувати за принципом роботи датчика:

- помножувачі миттєвих значень напруг і струмів з усередненням;
- електродинамічні і феродинамічні ватметри;
- ватметри з перетворювачами Холла;
- магніторезистивні вимірювальні перетворювачі.

### Помножувачі миттєвих значень напруг і струмів з усередненням

Середню потужність, споживану навантаженням кола змінного струму, можна знайти шляхом перемноження миттєвих значень напруги і струму з усередненням добутку. Ця задача вирішується схемами, що перемножують – аналоговими і цифровими. Сучасна мікроелектроніка має у своєму розпорядженні інтегральні аналогові помножувачі, які реалізують різні методи множення: змінної крутості, широтної модуляції, "логарифм - антилогарифм" та ін. Ватметри побудовані на основі аналогових помножувачів [2], за звичай, мають цифровий відліковий пристрій (дисплей). Структурна схема подібного ватметра наведена на рис. 1 і не потребує пояснень.



Рис. 1. Структурна схема аналогового ватметра



Рис. 2. Структурна схема цифрового ватметра

На рис. 2 зображена структурна схема цифрового ватметра, в якому миттєві значення  $u(t)$  і  $i(t)$  перетворюються в числові еквіваленти. Пере-

множення отриманих чисел виконує цифровий помножувач (за звичай - велика інтегральна мікросхема). Такий ватметр характеризується порівняно високою швидкодією, що визначається характеристиками аналого-цифрових перетворювачів і цифрового помножувача. До недоліків таких ватметрів слід віднести складність схеми обробки сигналу та обмежений діапазон частот аналого-цифрових перетворювачів.

### Електродинамічні і феродинамічні ватметри

Електродинамічні і феродинамічні ватметри є найбільш розповсюдженими засобами вимірювання електричної потужності. У конструкції цих приладів застосовані дві нерухомі котушки, з'єднані і розміщені співвісно на невеликій відстані одна від одної. Між цими нерухомими котушками розміщена рухома котушка, струм в якій дорівнює струмові споживача, а струм в рухомій котушці пропорційний прикладеній напрузі. Одним з недоліків цього типу ватметрів є слабе внутрішнє магнітне поле, що зумовлює низьку чутливість та велику залежність показів від впливу зовнішніх магнітних полів. Цей недолік усунений у феродинамічних ватметрах, які фактично є різновидом електродинамічних ватметрів, від яких вони відрізняються не принципом дії, а конструкцією [3]. Для збільшення чутливості та внутрішнього магнітного поля нерухома котушка феродинамічних ватметрів розміщена на феромагнітному осерді, між полюсами якого розміщена рухома котушка. Наявність феромагнітного осердя у феродинамічному механізмі істотно збільшує внутрішнє магнітне поле нерухомої котушки і, відповідно, обертальний момент і чутливість, а також зменшує власне споживання приладу. Проте, з іншого боку, наявність феромагнітного осердя через нелінійність його магнітних характеристик знижує точність приладу, зокрема, збільшується частотна похибка і звужується частотний діапазон. У зв'язку з цим, феродинамічні ватметри мають клас точності 0,5 і застосовуються, здебільшого, як щитові ватметри у колах промислової частоти з малими спотвореннями.

### Ватметри з перетворювачами Холла

Ефект Холла реалізується у перетворювачах Холла [3], що являють собою тонку напівпровідникову пластину, на бокових сторонах якої нанесені контакти і встановлені затискачі для приєднання зовнішнього джерела струму і "знімання" напруги, названої електрорушійною силою Холла:

$$E_x = R_x \frac{I B}{n} F\left(\frac{l}{a}, \mu, B\right) \sin \alpha$$
, де  $R_x$  - постійна Холла (залежить від властивостей напівпровідника);  $a$ ,  $l$ ,  $n$  - геометричні розміри перетворювача;  $\mu$  - рухливість носіїв струму;  $I$  - струм у перетворювачі;  $\alpha$  - кут між вектором індукції  $B$  і площиною перетворювача.

Основною характеристикою перетворювача Холла, як елемента вимірювального пристрою, є його чутливість  $S_x$ , під якою розуміють відно-

шення  $E_x$  до добутку  $IV$ . Несталість  $S_x$  обумовлюється як конструктивними параметрами перетворювача, так і умовами його виготовлення та застосування. Так,  $S_x$  може змінюватися до 40 % при зміні відношення  $l/a$  від 2 до 1, при цьому вона стає істотно нелінійною;  $S_x$  змінюється також через зміну параметрів  $\mu$  і  $R_x$  при відхиленні температури. На сталість  $S_x$  істотно впливає і технологія виготовлення перетворювачів.

Ці особливості перетворювачів Холла обмежують їх застосування у приладах високої точності. Однак ряд переваг, таких як можливість створення на їхній основі приладів з малим споживанням, простота, з якою досягається зміна діапазонів вимірювання обумовлюють все нові спроби створити на основі цих перетворювачів прилади для вимірювання потужності [1].

При вимірюванні потужності в перетворювачі варто забезпечити залежність однієї із вхідних величин від падіння напруги на навантаженні, а іншої – від струму через неї. На практиці це можна досягнути тоді, коли обмотка, що створює магнітне поле, обтікається струмом через навантаження, а струм через перетворювач пропорційний падінню напруги на ній.

Ватметри з перетворювачем Холла конструктивно складаються з трьох елементів: перетворювача або помножуючого пристрою, магнітної системи і вимірювальної системи, що складається, у свою чергу, з первинних перетворювачів і з вимірювального приладу постійного струму. Кожному з елементів таких ватметрів властиві похибки всіх трьох груп.

До похибок зумовлених магнітопроводом варто віднести похибки, що обумовлюються залежністю магнітної проникності від частоти, втратами на вихрові струми і перемагнічування, через появу яких відбувається зсув фаз між магнітним потоком і струмом, що намагнічує.

Похибки самих перетворювачів Холла включають похибки внаслідок нелінійної залежності вихідної електрорушійної сили від магнітного поля та похибки, що обумовлені власним полем перетворювача. Більш детальний розгляд похибок перетворювачів Холла показує, що на їхній основі можуть бути створені ватметри з похибкою 0,2 – 0,5 % [1]. Але значна похибка, яку дає терморухливість сили та випрямляючі контакти в напівпровідниках за невеликої чутливості ефекту зводить нанівець переваги перетворювачів Холла. Однак, основними перевагами цих перетворювачів залишаються можливість використання їх при більших струмах, тому що відповідає ряд труднощів, що виникають при створенні трансформаторів струму і шунтів на широкий діапазон частот, а також використання при сильно перекручених формах кривих і при малих коефіцієнтах потужності.

#### **Магніторезистивні перетворювачі електричної потужності**

Іншим типом для вимірювання активної потужності є конструкція, яка включає магніторезистори MICRO-R фірми "American Aerospace Controls" (США) [4].

При підмагнічуванні сильним постійним магнітним полем  $B_0$  в слабких магнітних полях  $B_X(i(t))$ , створених струмом  $i(t)$ , що проходить через навантаження, можна лінеаризувати загальну функцію перетворення індукції в приріст магнітоопору, якщо використовувати два магніторезистора, один з яких знаходиться в магнітному полі з індукцією  $(B_0+B_X)$ , а другий з індукцією  $(B_0-B_X)$ . При перетворенні різниці відносних приростів  $\Delta R_{M1}$  і  $\Delta R_{M2}$ , отримуємо:  $(\Delta R_{M1} - \Delta R_{M2})I(u(t)) = 4 K_M B_0 B_X I(u(t))$ , де  $K_M$  – магніторезистивна постійна, яка повинна бути однаковою для обох магніторезисторів,  $I(u(t))$  – струм, пропорційний напрузі у лінії. Цей принцип покладений в основу реалізації помножуючого пристрою з похибкою 0,2 % в частотному діапазоні вхідних сигналів до 10 кГц [4]. Нелінійність множення не більше 0,1 %, температурна похибка 0,01 % / °С, частотний діапазон до 1 МГц. Недоліком подібного вимірювача є те, що дуже важко підібрати два магніторезистори з однаковими параметрами та їх правильне розташування, а також значна терморушійна сила та випрямляючі контакти в напівпровідниках, що обмежує область його застосування.

Недоліки розглянутого помножувача усунені в магніторезистивному помножувачі основанийому на гальваноманітних явищах у феромагнітних плівках, типу аномального ефекту Холла і магнітоопору. Цей вид помножувача має два незалежних входи. Електричний вхід пов'язаний з поперечним електричним полем у лінії передачі або з напругою, прикладеною до перетворювача і магнітний вхід, який пов'язаний з поперечним магнітним полем лінії передачі або зі струмом, який протікає у схемі. Сигнал параметричного множення знімається з кінців магніторезистора. Загальна теорія помножувача розроблена в [6]. Топологія і електрична схема помножувача представлені на рис. 3. Вона складається з двох симетричних магніторезистивних петлеподібних гілок, які виготовлені електронним напилюванням магніторезистивного (80Ni20Fe) і провідникового (Cu) матеріалів на діелектричну підкладку з наступним багатошаровим процесом мікролітографії. Довжина петлі 2.8 мм, ширина смужки 50 мкм, товщини плівок 60 нм і 500 нм, відповідно. Розміри підкладки 7.5x5.0x0.5 мм. Для низької частоти і показано на рис. 3 геометричного співвідношення векторів, вихідний сигнал постійного струму  $V_0$  пов'язаний з комплексними амплітудами вхідних змінних сигналів  $V$  і  $h$  як [5]:

$$V_0 = \frac{\Delta\rho}{\rho} \frac{1}{H_0} \operatorname{Re}(V h^*), \quad (1)$$

де  $\Delta\rho/\rho$  - анізотропія магніторезистивності матеріалу магніторезистора,  $H_0$  – інтенсивність магнітного поля зміщення.

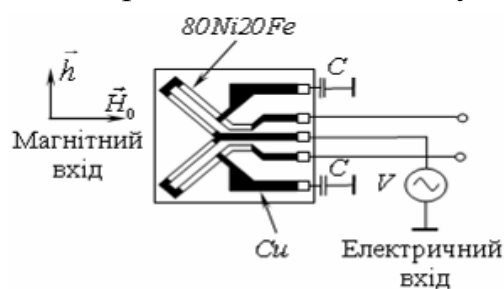


Рис. 3

Припустимо, що помножувач з'єднаний з частиною лінії передачі, де змінна напруга  $U$  і струм  $I$ . Крім того, припустимо, що вони пов'язані із вхідними сигналами помножувача співвідношеннями  $V = k_V U$  і  $h = k_I I$ , де  $k_V, k_I$  – відносні комплексні коефіцієнти передачі напруги і струму відповідно. Отже, згідно (1), вихідний сигнал постійного струму помножувача  $V_0 = \text{Re}(KS)$ , де  $K = 2 \frac{\Delta \rho}{\rho} \frac{1}{H_0} k_V k_I^*$  – комплексна чутливість помножувача,  $S = 0,5(U I^*) = P + jQ$  – комплексна потужність, що проходить через поперечний переріз лінії передачі,  $P$  – активна потужність,  $Q$  – реактивна потужність. Для досягнення ідеальних характеристик необхідно, щоб чутливість помножувача була дійсною величиною. Це не можливо, чутливість має комплексне значення, яке може бути записане в експонентній формі як  $K = K_0 \exp(j\Delta)$ , де  $K_0$  – абсолютне значення чутливості і  $\Delta$  – фаза чутливості. Діапазон  $\pm\Delta$  дорівнює частковій похибці вимірювання активної потужності в присутності реактивної потужності тієї ж величини.

Головною перевагою магніторезистивного перетворювача на феромагнітних плівках є використання металевих структур, які на відміну від напівпровідників, мають на 2 порядки вищу чутливість, на 3 порядки меншу термоелектрорушійну силу та відсутність випрямляючих контактів. Це надає переваги (над напівпровідниками) по співвідношенню сигнал–завада на 5 порядків, що є підставою для вибору магніторезистивного перетворювача для подальшого дослідження.

### Висновки

Запропонована конструкція магніторезистивного вимірювального перетворювача електричної потужності середніх частот відрізняється малими розмірами, можливістю використання методів мікроелектронної технології, високим співвідношення сигнал–завада. Основні напрямки дослідження таких перетворювачів: дослідження магніторезистивного перетворювача при вимірюванні різних співвідношень гармонік вхідного сигналу (основної і вищих) та реакції на комплексне навантаження; виведення формули вимірювання перетворювача, яка встановлюватиме зв'язок комплексного коефіцієнта перетворення з похибкою вимірювання при різних співвідношеннях активної і реактивної потужностей; дослідження частотної залежності перетворювача при різних підмагнічуючих полях.

### Література

1. Безикович А. Я., Шапиро Е. З. Измерение электрической мощности в звуковом диапазоне частот. – Л.: Энергия, 1980. – 168 с.
2. Основи метрології та вимірювальної техніки/ М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник. ін. Львів: Львівська політехніка, 2005. Т. 2: Вимірювальна техніка. – 656 с.
3. Мейзда Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений. М.: Мир, 1990. – 535 с.
4. Stricker S., Even R. K., Rogowski Z. Magnetoresistance multiplier for the accurate measurement of power in the audio frequency range // IEEE. Trans. on Instrum. and Meas. – 1971. – № 4. – P. 301–307.

5. Vountesmeri V. Audio frequency magnetoresistive watt-converter // IEEE. Trans. Instrum. and Meas. – 2002. – № 51. – P. 63–66.
6. Vountesmeri V., Martynyuk A. Magnetoresistive thin film sensor for active RF power // Sensors and Actuators: A Physical. – 1998. – № 69. – P. 21–26.

Вытяганец А.И. <b>Средства измерения активной мощности на низких и средних частотах "IN SITU"</b> Приведены основные способы измерения активной мощности на низких и средних частотах "in situ" и определена перспективность использования для этих целей магниторезистивных преобразователей электромагнитного поля на основе ферромагнитных пленок.	Vytyaganets A.I. <b>Means of measurement of active capacity on low and average frequencies "IN SITU"</b> The basic ways of measurement of active capacity on low and average frequencies "in situ" are given and perspectives of use for these purposes of magnetoresistive converters of an electromagnetic field on basis ferromagnetic tapes is determined. The list of tasks of further research these tapes are determined.
---	--