

УДК 629.381

О.І. Тимочко¹, Д.В. Чуйков², А.М. Булай¹¹ Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків² Метрологічний центр військових еталонів, Харків

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ МАГНІТНИХ ПОЛІВ ПЕРСПЕКТИВНОГО КОРВЕТУ

Обґрунтовано, що розв'язання задачі контролю магнітних полів перспективного корвету залежить від удосконалення засобів вимірювання його магнітних величин. Розглянуті методи вимірювання магнітних величин електромагнітних матеріалів, визначені їх недоліки. Запропонований засіб вимірювання магнітних полів перспективного корвету, заснований на використанні цифрового індукційного методу вимірювання магнітних величин. Для підвищення точності цифрових індукційних тесламетрів запропонована схема компенсаційного вимірювання магнітних величин.

Ключові слова: корвет, магнітне поле корабля, вимірювання параметрів магнітного поля, магнітна індукція.

Вступ

Постановка проблеми та аналіз літератури.

Сучасний стан озброєння військово-морських сил в державі свідчить про необхідність оновлення надводної складової, в тому числі створення нових зразків кораблів з урахуванням тенденцій розвитку військової науки та науково-технічного прогресу. Таким чином, створення перспективного корвету є пріоритетним напрямком у програмі розвитку озброєння та військової техніки на найближчу перспективу [1].

Однією з особливостей сучасних кораблів є можливість автономно виконувати низку задач: від завдання вогневого удару до забезпечення захисту від засобів ураження (нападу) противника.

Однією з функцій забезпечення захисту від засобів ураження противника є захист від протикорабельних мін та торпед, які, як правило, працюють на „фізичних” принципах [2 – 4]. Тому забезпечення необхідного рівня фізичних полів перспективного корвету з метою підвищення рівня захищеності є актуальною задачею [1].

У теперішній час втрачені технічні засоби з контролю фізичних полів кораблів і частково втрачена нормативна база з цього питання. Отже, актуальним є питання з розробки та удосконалення методів і засобів вимірювання магнітних полів перспективного корвету.

Метою статті є обґрунтування шляхів удосконалення технічної основи з вимірювання параметрів магнітних полів перспективного корвету для забезпечення необхідного рівня його захищеності.

Основна частина

Аналіз нормативної бази з вимірювання магнітної індукції постійного та змінного магнітних полів кораблів Військово-Морських Сил Збройних Сил України, що проводився до 2014 року, виявив низку проблем у цьому питанні. Так, практично усі документи застаріли, деякі з них не відповідають норма-

тивним документам з метрології та метрологічної діяльності в Україні [5].

Крім того, досі відсутні відомчі повірочні схеми одиниць магнітної індукції постійного та змінного магнітних полів, які б діяли в рамках Міністерства оборони. Це можна пояснити відсутністю відомчих еталонів одиниць магнітної індукції постійного та змінного магнітних полів. Тому після розробки, виготовлення та прийняття на озброєння військових еталонів одиниць магнітної індукції постійного та змінного магнітних полів кораблів необхідно розробити та затвердити відповідні відомчі повірочні схеми.

У зв'язку з цим відзначимо, що напрям досліджень, пов'язаний з розробкою методів і засобів метрологічного забезпечення приладів з вимірювання одиниць магнітної індукції змінного та постійного магнітних полів, є перспективним. Очевидно, цей напрям повинен ґрунтуватися на врахуванні реальних умов роботи цих приладів, оскільки дані умови істотно розрізняються при використанні в різних широтних зонах.

При обґрунтуванні засобів вимірювання параметрів магнітних полів кораблів скористаємось відомими засобами вимірювань магнітних величин.

Необхідність вимірювання характеристик магнітних полів матеріалів виникає при дослідженні електромагнітних механізмів і приладів, полів магнітів і електромагнітів, контролі якості магнітних матеріалів і виробів з них, визначенні фізичних властивостей матеріалів за їх магнітними характеристиками, вивченні магнітного поля Землі, розвідці корисних копалин тощо.

Основними характеристиками магнітного поля є вектор магнітної індукції \vec{B} і вектор напруженості магнітного поля \vec{H} . Вектори \vec{B} і \vec{H} зв'язані між собою співвідношенням [6]:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}, \quad (1)$$

де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – магнітна постійна.

Для середовища з магнітною проникністю μ_r зв'язок між \vec{B} і \vec{H} має вигляд:

$$\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H}. \quad (2)$$

Важливою характеристикою магнітного поля є магнітний момент.

Магнітний момент може бути визначений дво-яким чином:

– для контуру із струмом:

$$\vec{M} = I \vec{S}, \quad (3)$$

де I – струм у контурі; \vec{S} – векторне позначення площі контуру;

– для тіла:

$$\vec{M} = \vec{J} V, \quad (4)$$

де \vec{J} – намагніченість тіла; V – об'єм тіла.

Намагніченість може бути визначена через напруженість магнітного поля:

$$\vec{J} = \chi \vec{H}, \quad (5)$$

де χ – магнітна сприйнятливість.

Основні величини \vec{B} , \vec{H} і \vec{J} , що характеризують магнітне поле в середовищах, зв'язані між собою співвідношенням:

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{J}). \quad (6)$$

Зв'язок між магнітною проникністю та магнітною сприйнятливістю має вигляд:

$$\mu_r = \chi + 1. \quad (7)$$

Особливістю магнітних вимірювань є те, що в більшості випадків у ході експерименту вимірюються не магнітні, а електричні величини. Магнітні величини розраховуються за відповідними формулами (1 – 7) для електричних і магнітних величин.

Методи дослідження магнітних властивостей речовини дуже різноманітні. Вибір того або іншого методу вимірювання визначається необхідною точністю результату, властивостями матеріалу, формою та геометричними розмірами зразка, значеннями магнітного поля, де вимірюватимуться магнітні властивості, умовами проведення експерименту тощо.

За допомогою сучасних засобів вимірювань визначають основні параметри магнітного поля: магнітну індукцію B , напруженість магнітного поля H і магнітний потік Φ . Найбільш часто для вимірювання цих величин на постійному й змінному струмі застосовують індукційні, гальваномагнітні та квантові прилади.

Розглянемо принцип дії індукційних приладів для вимірювання постійних і змінних магнітних полів за причини їх розповсюдженості та застосування при вимірюванні магнітних полів кораблів на полігонах [5, 6]. Принцип дії індукційних приладів заснований на використанні явища електромагнітної індукції. Прилад, що реалізує цей метод, складається з перетворювача магнітної величини в електрич-

ну й пристрою для вимірювання вихідної величини перетворювача. Вимірювальним перетворювачем є котушка, витки якої зчіплюються з магнітним потоком. При зміні потоку Φ , зчепленого з витками вимірювальної котушки, в останній виникає електро-рушійна сила (ЕРС):

$$e = -\omega_k \frac{d\Phi}{dt} = -\omega_k S_k \frac{dB}{dt} = -\omega_k \mu_0 S_k \frac{dH}{dt}, \quad (8)$$

де ω_k , S_k – відповідно число витків і площа витка вимірювальної котушки.

Форма й розміри вимірювальної котушки можуть бути різними залежно від характеру вимірюваної величини. Зазвичай розміри котушок вибирають мінімальними: діаметр 1,5...20 мм, товщина котушки 1,0...1,5 мм і навіть 0,3...0,5 мм. Основною характеристикою вимірювальної котушки є множення числа витків і площі витка ω_k і S_k . Результат такого множення називають характеристикою постійної вимірювальної котушки, а прилади – веберметри.

Веберметри різних типів застосовуються для вимірювань у постійних магнітних полях. Так, для вимірювання постійного магнітного поля кораблів застосовувались кільця Гельмгольца [6].

Однак, найбільш перспективними є гальваномагнітні тесламетри. Розглянемо їх принцип дії.

Гальваномагнітні тесламетри засновані на використанні перетворювачів Хола. Для цілей вимірювання перетворювач Хола поміщають в повітряний зазор магнітопроводу так, щоб вектор магнітної індукції був би перпендикулярний площині пластини. При протіканні електричного струму по пластині на її бічних гранях виникає напруга, яка називається ЕРС Хола. Значення ЕРС Хола знаходять так:

$$e_x = k i B, \quad (9)$$

де k – постійна Хола, яка визначається матеріалом і розмірами пластини перетворювача; i – струм в пластині; B – нормальна складова вектора магнітної індукції.

Перетворювачі за формулами (8), (9) можуть бути застосовані для вимірювання напруженості або індукції постійного та змінного у часі магнітних полів, при цьому прагнуть отримати ЕРС Хола змінну, оскільки підсилювач змінного струму, підключений до виводів перетворювача Хола Х-Х, стабільніший (рис. 1).

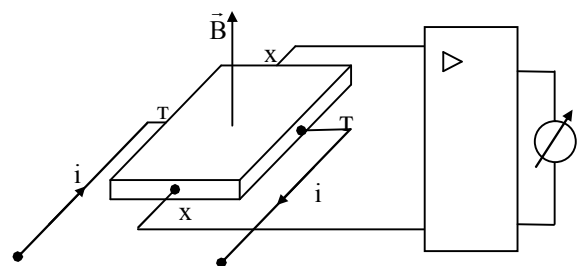


Рис. 1. Перетворювач Хола

На рис. 2 зображена спрощена схема тесламетра з перетворювачем Холу для вимірювання індукції постійних магнітних полів.

Перетворювач Холу живиться змінним струмом частотної 1000 Гц від вбудованого генератора G через розділовий трансформатор Tr. З метою підвищення точності вимірювання в схемі використаний компенсаційний метод. ЕРС Холу E_x компенсу-

ється напругою U_k , що знімається з резистора R_1 . ЕРС Холу та напруга U_k через резистори R_3 і R_4 подаються в протифазі на вхід підсилювача, а потім на фазочутливий випрямляч. Кут зсуву фаз між E_x і U_k , рівний 180° , забезпечується вибором фази струму в перетворювачі Холу, залежно від напрямку поля, що досліджується.

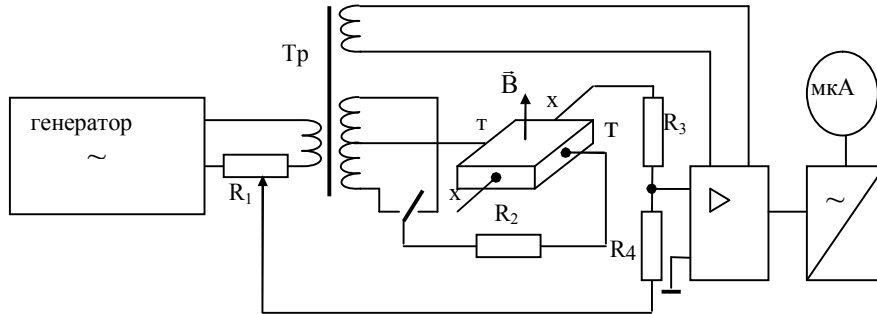


Рис. 2. Тесламетр на основі перетворювача Холу

Серед недоліків перетворювачів Холу відмітимо наступні:

- ЕРС Холу залежить від температури навколишнього середовища;
- вольт-амперна характеристика нелінійна;
- при роботі перетворювача під навантаженням виникає вторинна ЕРС, яка має таку ж природу, що й основна, з тією різницею, що ця ЕРС створює напругу на струмових електродах пластини.

Більш досконалими та перспективними є засоби, засновані на цифрових методах вимірювання магнітних величин. Вони ґрунтуються на попередньому перетворенні магнітних величин в інші фізичні величини, звичайно в напругу або в частоту. Як первинний вимірювальний перетворювач магнітних величин у пропорційну напругу (або ЕРС) використовуються індукційні перетворювачі та гальваноманітні перетворювачі на датчиках Холу.

Узагальнена структурна схема цифрових магнітовимірювальних приладів з індукційними вимірювальними перетворювачами наведена на рис. 3.

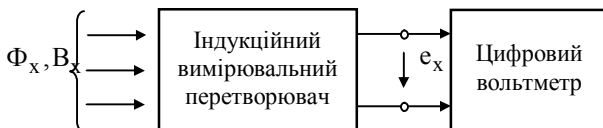


Рис. 3. Узагальнена структурна схема цифрового приладу з індукційним вимірювальним перетворювачем

Вхідною величиною, що впливає на індукційний вимірювальний перетворювач, є магнітний потік Φ_x .

На виході перетворювача за певних умов індукується ЕРС e_x , яка вимірюється цифровим вольт-

метром, проградуєваним в одиницях вимірюваної величини.

При вимірюванні характеристик постійних магнітних полів змінювання поточкозчеплення здійснюється або виведенням плоскої вимірювальної котушки (рамки) з досліджуваного магнітного поля, або, навпаки, введенням котушки в магнітне поле. Використовуються також оберտальна та віброуюча котушки. Переміщення вимірювальної котушки, названої магнітним зондом, повинна зберігатися її орієнтація відносно вектора магнітної індукції поля. Звичайно площину вимірювальної котушки розміщують так, щоб її нормаль співпадала з вектором магнітної індукції. Тоді ЕРС e_x , що індукується на виході котушки при її переміщенні в магнітному полі, визначається за формулою електромагнітної індукції:

$$e_x = -wS \frac{dB_x}{dt}, \quad (10)$$

де w, S – число витків і площа вимірювальної котушки відповідно.

З виразу (10) знаходимо:

$$B_x = -\frac{1}{wS} \int_0^t e_x dt, \quad (11)$$

або

$$\Phi_x = B_x S = -\frac{1}{w} \int_0^t e_x dt. \quad (12)$$

Для реалізації співвідношень (11) і (12) найбільш доцільно використання інтегровальних вольтметрів.

Підвищення точності цифрових індукційних тесламетрів досягається використанням компенсаційного методу вимірювання (рис. 4).

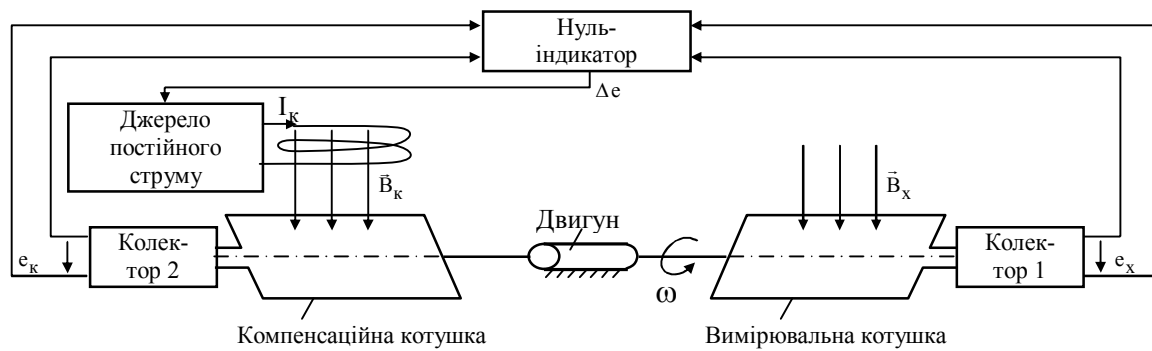


Рис. 4. Структурна схема цифрового компенсційного індукційного вимірювача магнітних величин

Основна відносна похибка цифрових компенсційних вимірювачів магнітної індукції може бути доведена до $\pm(0,1 \dots 0,2) \%$.

Подальші перспективи розвитку магнітовимірювальних приладів підвищеної чутливості, точності та швидкодії пов'язані з використанням у них явища надпровідності в сполученні з ефектами Мейснера та Джозефсона.

Відомі зразки таких тесламетрів дозволяють вимірювати напруженість магнітного поля порядку $(10^{-6} \dots 10^{-7})$ А/м. Отже, вони можуть бути придатні для вимірювання магнітних полів перспективного корвету.

Висновки

Таким чином, найбільш перспективним є застосування цифрового компенсційного індукційного вимірювача магнітних величин для контролю за магнітним полем кораблів.

Необхідні також розробка нормативної документації з метрологічного забезпечення приладів з вимірювання одиниць магнітної індукції постійного та змінного магнітних полів, стандартизації нормованих характеристик цих приладів, а також термінів і визначень.

Список літератури

1. Тимочко О.І. Вимоги до точності вимірювань параметрів магнітних полів перспективного корвету / О.І. Тимочко, Д.В. Чуйков, А.М. Булай // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2014. – Вип. 2 (39). – С. 199-202.
2. Майборода В.Г. Досвід ведення мінної війни на морі у локальних конфліктах другої половини ХХ сторіччя / В.Г. Майборода, В.А. Почужевський // Зб. наук. праць СВМІ ім. Нахімова. – 2006. – № 1. – С. 9-18.
3. Мосалев В. Морские мины ВМС зарубежных стран / В. Мосалев // Морской сборник. – 2004. – № 10. – С. 65-72.
4. Федін А. Минное оружие ВМС иностранных государств / А. Федін // Зарубежное военное обозрение. – 1996. – № 7. – С. 44-52. – № 8. – С. 49-55.
5. Герасимов С.В. Обґрунтування пропозицій щодо створення військового еталону одиниці магнітної індукції змінного магнітного поля / С.В. Герасимов, Г.М. Зубрицький, О.І. Тимочко // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – № 2 (26). – С. 151-155.
6. Чинков В.М. Основи метрології та вимірювальної техніки: Навчальний посібник / В.М. Чинков. – Х.: НТУ "ХПИ", 2005. – 524 с.

Надійшла до редколегії 12.07.2016

Рецензент: д-р техн. наук, ст. наук співр. М.Ю. Яковлев, Національна академія Сухопутних військ імені Петра Сагайдачного, Львів.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПЕРСПЕКТИВНОГО КОРВЕТА

А.И. Тимочко, Д.В. Чуйков, А.М. Булай

Обосновано, что решение задачи контроля магнитных полей перспективного корвета зависит от усовершенствования средств измерения его магнитных величин. Рассмотрены методы измерения магнитных величин электромагнитных материалов, определены их недостатки. Предложено средство измерения магнитных полей перспективного корвета, основанное на использовании цифрового индукционного метода измерения магнитных величин. Для повышения точности цифрового индукционного тесламетра предложена схема компенсационного измерения магнитных величин.

Ключевые слова: корвет, магнитное поле корабля, измерения параметров магнитного поля, магнитная индукция.

SUGGESTION ON IMPROVEMENT OF FACILITIES OF MEASURING PARAMETERS OF THE MAGNETIC FIELDS OF PERSPECTIVE CORVETTE

O.I. Tymochko, D.V. Chuykov, A.M. Bulay

It is reasonable, that the decision of task of control of the magnetic fields of perspective corvette depends on the improvement of facilities of measuring of his magnetic sizes. The methods of measuring of the magnetic sizes of electromagnetic materials are considered, their defects are certain. Offered mean of measuring of the magnetic fields of perspective corvette, based on the use of digital induction method of measuring of magnetic sizes. For the increase of exactness of digital induction teslameter the chart of the compensative measuring of magnetic sizes is offered.

Keywords: corvette, magnetic field of ship, measuring of parameters of magnetic-field, magnetic induction.