

УДК 621.391

## **КАЛІБРАТОР МАГНІТОМЕТРІВ ЗМІННИХ ПОЛІВ**

Луб'янюк А.О.

Науковий керівник – к.т.н. Огар В.І.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. КРіСТЗІ.

м. Харків, Україна

тел. +38(095) 104-34-50, e-mail: valeriy.ogar@nure.ua.

The development and research of a calibrator for calibration of magnetometers is described.

Низькочастотні змінні магнітні поля набувають все більшого застосування в різних технологіях. Для контролю їх рівня і забезпечення безпеки при оцінці умов праці, робочих місць, офісних і житлових приміщень, дослідженнях негативного впливу магнітних полів на організм людини використовуються магнітометри в діапазоні від одиниць нТл до 25 мТл та тесламіри в діапазоні від 1 мТл до 1,5 Тл.

Промислові портативні магнітометри призначені для вимірювання індукції магнітних полів у значному динамічному і частотному діапазоні до 100 кГц. Магнітне поле вловлюється трьома датчиками на ортогональних вісях X,Y,Z, далі відбувається аналого-цифрове перетворення сигналу в числову інформацію. Робочі засоби вимірювання магнітної індукції мають похибки, що досягають 15-20%.

Для достовірності вимірювань і впевненості в їх результатах, вимірювачі магнітної індукції повинні проходити періодичні калібрування. Тому було розроблено калібратор вимірювачів індукції змінних низькочастотних магнітних полів, невизначеність вимірювань якого в 2..3 рази менше невизначеності вимірювань робочих засобів.

Для отримання каліброваних значень магнітної індукції використана котушка Гельмгольца. За відомою формулою зв'язку індукцією, струмом і радіусом котушок можна розрахувати значення магнітної індукції в центрі між котушками. Магнітне поле в котушці Гельмгольца пропорційне струму, тому для генерації магнітних полів необхідний значний струм. Живлення може подаватися від спеціальних промислових підсилювачів, наприклад типу TS250, який є високовольтним джерелом змінного струму, але має досить велику ціну.

В розробленому калібраторі використаний генератор типу FY6900 з діапазоном частот від 1 мГц до 60 МГц і підсилювач низької частоти на модулі TDA 1875. Цей модуль складається з мінімальної кількості зовнішніх компонентів, побудований на операційному підсилювачі типу LM1875, що має захист від перенавантаження і коротких замикань на землю, внутрішні захисні діоди на виході, внутрішнє обмеження струму, теплове відключення, високу швидкість наростання, смугу пропускання 20 Гц...70 кГц, розмах вихідної напруги до 25 В, струм до 4 А, широкий діапазон живлен-

ня до  $\pm 30$  В, вихідну потужність до 20...25 Вт при опорі навантаження 4-8 Ом. Підсилювач має низькі нелінійні спотворення сигналу  $K_T=0.015\%$  в діапазоні до 20 кГц. Типове значення коефіцієнта підсилення операційного підсилювача LM1875 складає 90дБ, він має внутрішню компенсацію і стабільно працює при коефіцієнті посилення 10 і вище навіть при індуктивному навантаженні.

Для розширення діапазону частот в сторону низьких частот до 4 Гц в схемі модуля TDA 1875 були збільшені номінали перехідних конденсаторів, а для підвищення надійності роботи значно збільшений радіатор охолодження мікросхеми LM1875.

Котушка Гельмгольца, що є в нашому розпорядженні, має велику індуктивність, опір якої змінному струму зростає з ростом частоти і викликає зменшення струму і відповідно магнітної індукції на частотах вище 50 Гц. Для рішення даної проблеми використовується послідовний резонанс [1], при якому досягається компенсація індуктивного опору котушки  $\omega L$  ємнісним опором конденсатора  $1/\omega C$  і струм  $I$  досягає максимального значення на резонансній частоті  $f_0$ .

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$$

Перевага такого метода в збільшенні магнітної індукції поля при однаковій напрузі джерела  $E$ . Перемикаючи різні конденсатори, отримуємо максимальне значення струму на низькі резонансних частот і діапазон частот відтворюваних індукцій розширено до 20 кГц на рівні до 10 мкТл. При виборі конденсаторів враховувались необхідність вибору неполярних електrolітичних конденсаторів, вибору малоіндуктивних конденсаторів з високими робочими напругами. Напруги при резонансі на котушці Гельмгольца і конденсаторах при вихідній напрузі підсилювача 15 В можуть досягати значень до сотень Вольт, тому необхідні заходи з захисту від електричного пробоя обладнання і забезпечення безпеки персоналу.

Для уточнення коефіцієнта пропорційності між струмом і магнітною індукцією було проведено ряд вимірювань індукції на різних значеннях струму і частот за допомогою вимірювача фірми Narda типа ENP-50F ANALYZER, який має невизначеність 3-5 % .

Список використаних джерел:

1. КС Yang. Використання котушок Гельмгольца для створення високочастотних магнітних полів. Журнал РАДІОЛОЦМАН, травень 2016 року.