



АПАРАТУРА ЗА ИЗМЕРВАНЕ НИВАТА НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ИЗЛЪЧВАНИЯ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ СЪОРЪЖЕНИЯ

Васил Димитров, Илко Търпов

vdimitroff@vtu.bg, itarpov@vtu.bg

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”
гр. София, ул. „Гео Милев” 158
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: електромагнитни излъчвания, тесламетър, гаусметър

Резюме: Измерването на магнитни полета е от все по-голямо значение: от една страна при разработването на нови електрически машини и съоръжения, за да може да се прецени точно какви магнити са най-подходящи с цел подобряване на техническите характеристики на изделието, а от друга – за оценка на електромагнитните излъчвания на електротехнически съоръжения с цел съобразяване с нормите за електромагнитна съвместимост. В доклада са разгледани съвременни уреди за измерване параметрите на магнитни полета. Показани са възможностите за провеждане на прецизни измервания посредством подходящи инструменти, както и за запис на получените резултати, експортирането им към компютър и допълнителна обработка с електронни таблици. Използването на подходяща апаратура и метод на измерване за всеки конкретен случай е важно условие за постигане на висока точност на получените резултати и за осигуряване на възможности за последващ анализ с цел оценка за удовлетворяване на изискванията за електромагнитна съвместимост.

ВЪВЕДЕНИЕ

Измервателната техника се развива с бързи темпове по отношение на измерването на параметрите на електромагнитните излъчвания [1]. Редица фирми предлагат уреди с различен клас на точност, размери, функционални възможности и диапазон на измерване: аналогови или цифрови; за директно измерване на индукцията на постоянно (DC) или на променливо (AC) магнитно поле или и на двете; опция за следене в реално време и запис на данни, както и за изпращането им към компютър; хранване с батерии или чрез адаптер от мрежата; сонди, базирани на различен принцип на действие, с един или няколко измервателни обхвата и т.н.

Ефективността и възможностите на магнитометрите (тесламетри, гаусметри) се описват в техническите им спецификации, които включват следните основни величини: обхват на измерване, честота на дискретизация, честотна лента, резолюция, абсолютна грешка, клас на точност, дрейф на грешката, температурна стабилност (температурен коефициент – $nT/^{\circ}C$), чувствителност и мъртва зона, линейност и др.

На пазара се предлагат уреди за измерване на параметрите на магнитни материали (тесламетър, гаусметър, магнитометър), като се разделят на два основни класа:

- скаларни - измерват интензитета на магнитното поле, към което са подложени (модула на магнитната индукция, но не и посоката);

- векторни - имат възможност за измерване на компоненти на магнитното поле в определена посока, по отношение на пространствената ориентация на устройството. В съвременните уреди най-често се използват сензори на Хол, тъй като изходното им напрежение е пропорционално на приложеното магнитно поле и на полярността му.

В доклада са разгледани съвременни уреди с висока точност, мултифункционалност и стабилност при измерванията на параметрите на магнитни материали, както и възможностите за използването им при определяне нивата на електромагнитни излъчвания от електрически съоръжения.

АПАРАТУРА ЗА ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА МАГНИТНИ ПОЛЕТА

Мултифункционална апаратура с висока точност и стабилност при измерванията се предлагат от германската фирма Wuntronic GmbH – основните уреди от серията Koshava са показани на фиг. 1:

- преносими тесламетри с дисплей с висока резолюция (напр. Koshava 5),
- уреди с USB - изход за връзка с компютър (без дисплей – напр. Koshava USB),
- уреди с аналогов изход (без дисплей, напр. Koshava AT/AA).

Всички уреди могат да се комбинират различни сонди в зависимост от целта на измерванията (фиг. 2) [2]. Най-често се използват трансверсалните сонди. Магнитната индукция се измерва, като силовите линии трябва да са перпендикулярно на повърхността на сондата (фиг. 3). В противен случай показанието е по-малко от действителната стойност на индукцията, тъй като зависи от ъгъла на наклон α :

$$(1) \quad B_{\text{изм.}} = B_{\text{max.}} \cdot \cos \alpha$$

Трансверсалните сонди могат да се прилагат за определяне на външното магнитно поле на пръчковидни магнити, както и във въздушната междина на магнити и електрически мотори. Те са много тънки и фино изработени. Магнитният сензор (базиран на ефекта на Хол) е монтиран върху тънка керамична лента (най-често 0,8 или 1,3 мм) и е много чувствителен към механични въздействия – огъване, натиск и т.н. Ето защо тези сонди се предлагат със защитна тръба (пластмасова или месингова в зависимост от дебелината на керамичната лента).

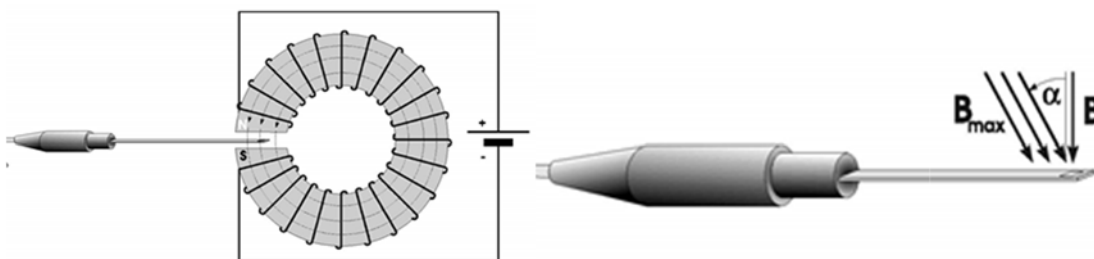
При използване на аксиална сонда магнитната индукция трябва да е успоредна на повърхността на сондата (фиг. 4). Ако магнитните линии не са в паралел със сондата, измерената индукция (B_V) ще е по-малка от действителната стойност:



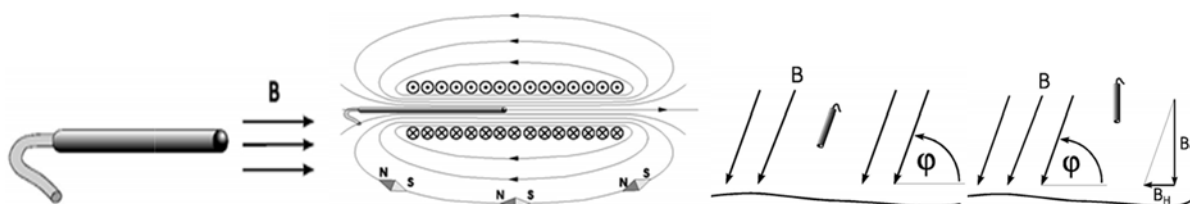
Фиг. 1. Тесламетри от серията Koshava



Фиг. 2. Сонди за тесламетри от серията Koshava



Фиг. 3. Измерване с трансверсални сонди



Фиг. 4. Измерване с аксилални сонди

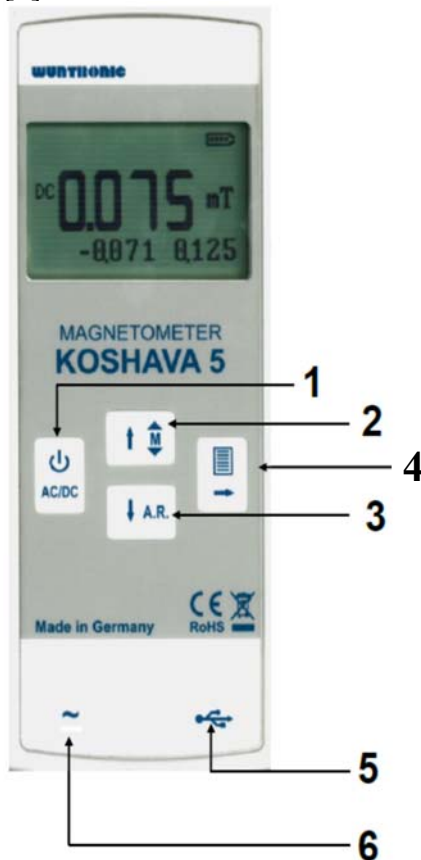
$$(2) \quad B = \sqrt{B_V^2 + B_H^2} ; \quad B_V = \sqrt{B^2 - B_H^2}$$

Използва се, например, при измерване на магнитни полета във вътрешността на дросели с въздушна сърцевина.




Фиг. 5. Изглед на дисплея на тесламетър Koshava 5

На дисплея на тесламетър Koshava 5 се изобразява не само измерената стойност на индукцията, но и още няколко величини (фиг. 5), лесен е за използване с 4 бутона [3]:





Бутон 1:

 – включване и изключване чрез продължително натискане на бутон 1;

AC/DC – чрез кратко натискане на бутон 1 се превключва измерване на постоянно или променливо магнитно поле (с честота до 10 kHz).

Бутон 2:

 – кратко натискане на бутон 2 води до увеличаване на обхвата на измерване;

 – нулиране на отрицателната и положителната максимални измерени пикови стойности (чрез продължително натискане на бутон 2);

Бутон 3:

 – кратко натискане на бутон 3 води до намаляване на обхвата на измерване;

A.R. – автоматичен избор на оптимален обхват (чрез продължително натискане на бутон 3).

Бутон 4: избор на меню (чрез кратко натискане).

Продължителното и едновременно натискане на бутони 3 и 4 води до рестартиране на уреда.

5 – USB интерфейс.

Ако се използва специализираният софтуер [4], измерванията могат да бъдат изобразявани на компютър и записвани в паметта с период на дискретизация между 0,5 и 50s. Уредът може да се захранва чрез този порт (от компютъра или от адаптор с USB).

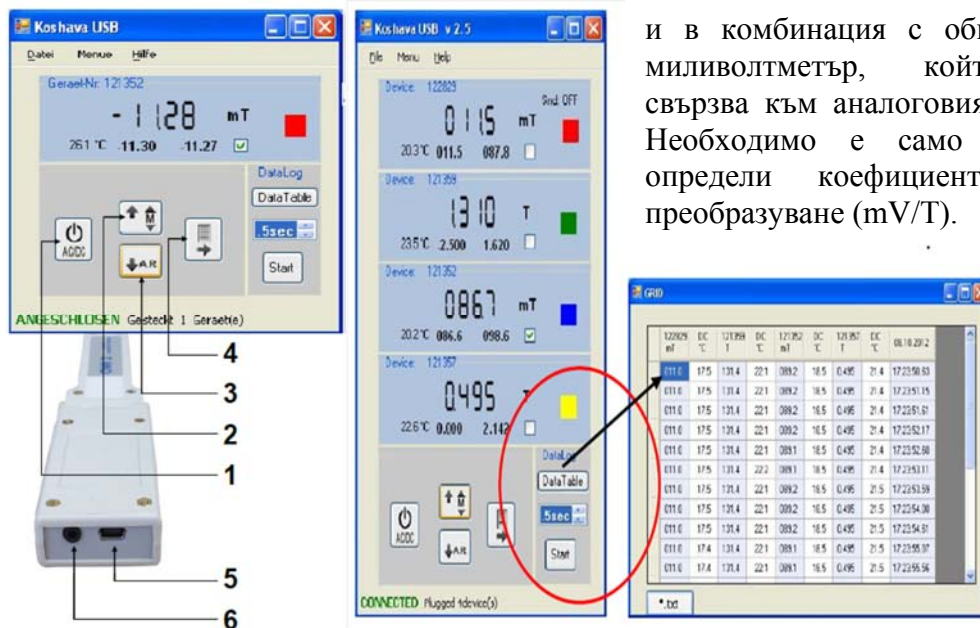
6 – аналогов изход $\pm 800\text{mV}$ с честота до 10 kHz (2,5 mm моно конектор). Може да се използва за връзка с PLC или друго устройство за автоматизация.

Менюто предлага възможност за избор на език (английски или немски) и на мерна единица (T, G, kA/m, A/cm, Oe): $1\text{ mT} = 10\text{ G} = 10\text{ Oe} = 794,3\text{ A/m}$.

Интересна опция е възможността за подтискане влиянието на полето на околната среда - при избор на третия ред от менюто уредът се нулира и по този начин се измерва само магнитното поле на тествания обект. Добре е тази процедура да се изпълнява преди всяко измерване, за да се повиши точността на определяне на магнитната индукция на изследвания обект.

Моделът Koshava-USB е алтернатива на Koshava 5 с по-ниска цена. Предназначен е за компютърно-базирани автоматично повтарящи се измервания с висока точност (фиг. 7) [5]. От едната страна се монтира избраната сонда, а от другата – кабелът за връзка с компютър (извод 5). Също има аналогов изход (извод 6). Работи съвместно със специализиран софтуер, благодарение на който на екрана на компютъра се изобразява прозорец, подобен на дисплея на уреда Koshava 5. Бутоните 1-4 имат същите функции, но се задействат с мишката. Едновременно могат да бъдат свързани и контролирани до 4 уреда Koshava-USB или Koshava 5. Софтуерът позволява запис на измерените стойности в паметта на компютъра, като периодът на дискретизация може да се избира между 0,2 и 50 s, а данните могат да бъдат прехвърлени автоматично към таблица в Excel или текстови файл. За всеки уред се записват измерените стойности за

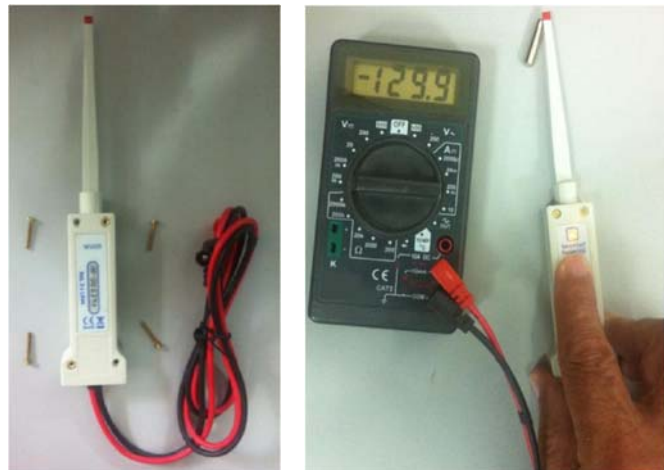
магнитната индукция и температурата през избрания интервал от време. Уредът може да се използва



Фиг. 7. Тесламетър Koshava-USB и изглед на екрана на компютъра

Моделът Koshava AT/AA е с обикновени проводници на изхода и е предназначен за измерване в комбинация с милivolтметър, като за улеснение коефициентът на преобразуване е равен на 1 (1 mV = 1 mT) – фиг. 8 [3].

Точността на измерване на уредите от серията Koshava е 0,2% от обхвата. Измервателните обхвати са: 2 mT (с резолюция 1μT), 20 mT, 200 mT, 2 T или съответните им аналози в другите единици, като зависят от вида на използваната сонда.



Фиг. 8. Тесламетър Koshava 5 AT/AA

За всяка сонда и измервателен обхват има индивидуална таблица с информация за дигитално линеаризираната характеристика и калибриране, както и температурна компенсация. По този начин се повишава значително точността на изчисляване на измерваните стойности (преобразуването на напрежението на изхода на сензора на Хол в магнитна индукция).

Точността на сондите е 0,3% от обхвата (за постоянни магнитни полета) и 2% от обхвата (за променливи магнитни полета). Температурният коефициент е 0,01%/°C, в работен диапазон 10°C ... 45°C.

Уреди за измерване на интензитет на магнитното поле предлага на конкурентна цена фирма Tenmars Electronics. Моделът TM-197 е с измервателен обхват 0 ... 3000 mT при работна честота DC / 40 ... 500 Hz [6]. Вградени са функции AUTO HOLD, MIN/MAX, PEAK HOLD (запомняне на импулсни сигнали), памет за 200 събития. Снабден е със специализиран софтуер (USB кабел) [7].

Триосовият уред T92 (Гаус/Тесла метър) е високо прецизен инструмент за измерване на статични и динамични електромагнитни полета (EMF) с честота 30 ... 2000 Hz (extremely low frequency - ELF). Използва три вътрешни ортогонални сензора (X, Y, Z, вземане на проби 2.5 пъти в секунда) за тестване на магнитното поле в широк диапазон, независимо от ъгъла на измерване (фиг. 10). Данните от измерването се отчитат в mG и μT , като принципът на измерването може да се променя по всяко време с натискането на бутон (памет с капацитет за регистриране на данни до 500 записа). T92 предлага възможност за задържане на отчетените резултати (функция Hold), а също и функции за автоматично изключване и за записване на максимално и минимално измерените стойности.



Фиг. 9 . Тесламетър TM 197



Фиг. 10. Гаус/Тесла метър T92

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Измерването на магнитни полета е от все по-голямо значение не само при разработването на нови електрически машини и съоръжения, за да може да се прецени точно какви магнити са най-подходящи с цел подобряване на техническите характеристики, но и за оценка на електромагнитните излъчвания и съобразяване с нормите за електромагнитна съвместимост [1, 9].

В доклада са разгледани съвременни уреди, които предлагат възможности за измерване на магнитното поле, генерирано от постоянен или променлив ток, включително с високи честоти, на остатъчната магнитност след обработка на механични части, на силата на магнитното поле на двигатели в различни електрически уреди и др.

Използването на подходяща апаратура и метод на измерване за всеки конкретен случай е важно условие за постигане на висока точност на получените резултати.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Иванов Е., Електромагнитна съвместимост, София 2011
- [2] Orientation and Accuracy of measurements, Projekt Elektronik, 2010
- [3] Tesla meters / Gauss meters with USB interface and analog output Koshava, Technical specification, WuntronicGmbH, 2014
- [4] Magnetometer Koshava 5 – User Manual, WuntronicGmbH, 2013
- [5] Magnetometer Koshava USB – User Manual, WuntronicGmbH, 2013

- [6] AC/DC Magnetic Field Meter TM-197, User Manual & Technical specification, Tenmars Electronics Co., Ltd., 2021
- [7] AC/DC Magnetic Meter – Software User's Manual, Tenmars Electronics Co., Ltd., 2021
- [8] EMF/ELF Tri-Axis Gauss Meter T92 – Technical specification, Tenmars Electronics Co., Ltd., 2021
- [9] Dimitrova E., Methods for Diagnostics of the Status of Equipment for Signalling Systems, IEEE Xplore Digital Library, DOI: 10.1109/BuleF48056.2019.9030740

EQUIPMENT FOR MEASURING LEVELS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION OF ELECTRICAL DEVICES

Vasil Dimitrov, Ilko Tarpov
vdimitroff@vtu.bg, itarpov@vtu.bg

Todor Kableshkov Higher School of Transport - Sofia
158 "Geo Milev" Str., Sofia, BULGARIA
THE REPUBLIC OF BULGARIA

Key words: *electromagnetic radiation, Tesla Meter, Gauss Meter*

Abstract: *The measurement of magnetic fields is of increasing importance: on the one hand in the development of new electrical machinery and equipment, so as to be able to assess exactly which magnets are most suitable in order to improve the technical characteristics of the product, and on the other - to evaluate the electromagnetic emissions of electrotechnical equipment with a view to comply with the norms of electromagnetic compatibility. The report examines contemporary devices for measuring the parameters of magnetic fields. The possibilities for carrying out precise measurements by means of appropriate instruments, as well as for recording the obtained results, exporting them to a computer and additional processing with spreadsheets, are shown. The use of appropriate equipment and measurement method for each specific case is an important condition for achieving high accuracy of the obtained results and for providing opportunities for subsequent analysis in order to assess compliance with electromagnetic compatibility requirements.*