



ALEKSANDER MARSZAŁEK

Pole elektromagnetyczne emitowane przez elektroniczne przyrządy laboratoryjne

Electromagnetic Field Emitted by Electronic Laboratory Instruments

Doktor habilitowany profesor UR, Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Centrum Innowacji i Transferu Wiedzy Techniczno-Przyrodniczej, Katedra Inżynierii Komputerowej, Polska

Streszczenie

W artykule ukazano aktualność i uzasadniono potrzebę badań pola elektromagnetycznego emitowanego przez elektroniczne przyrządy laboratoryjne. Teoretyczne rozważania na temat istoty pola elektromagnetycznego, jego źródeł, możliwości pomiaru uzupełniono badaniami pola elektromagnetycznego w otoczeniu dwóch przyrządów powszechnie stosowanych w laboratorium elektroniki: generatora funkcyjnego oraz zasilacza laboratoryjnego. Przeprowadzone badania wykazały, że przyrządy laboratoryjne emitują fale elektromagnetyczne w znacznym zakresie częstotliwości od 50 Hz do 10 kHz. Natężenie pola elektromagnetycznego w otoczeniu badanych urządzeń mieści się w granicach normy, a jego maksymalna wartość dla generatora funkcyjnego wynosi 218,6 V/m (składowa elektryczna) oraz 44,15 μ T (składowa magnetyczna), a dla zasilacza laboratoryjnego – 221 V/m oraz 37,05 μ T.

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, zasilacz laboratoryjny, generator funkcyjny, dydaktyka elektroniki

Abstract

In the article the need for research the electromagnetic field emitted by electronic laboratory instruments is shown and justified. Theoretical considerations about the essence of the electromagnetic field, its sources, and the possibilities of the electromagnetic field were surrounded by two devices commonly used in the electronics laboratory: a function generator and a laboratory power supply. The tests have shown that laboratory instruments emit electromagnetic waves over a large frequency range from 50 Hz to 10 kHz. The intensity of the electromagnetic field around the tested devices is within the normal range, and is maximum value for the functional generator is 218.6 V/m (electric component) and 44.15 μ T (magnetic component), and for the power supply – 221 V/m and 37.05 μ T.

Keywords: electromagnetic field, laboratory power supply, function generator, electronic education

Wstęp

Od zarania dziejów człowiek funkcjonuje w otoczeniu elektromagnetycznym. Przez pole elektromagnetyczne rozumiemy przy tym stan przestrzeni, w której na obiekt fizyczny mający ładunek elektryczny działają siły o naturze elektromagnetycznej. Pole elektromagnetyczne jest układem dwóch pól: pola elektrycznego i pola magnetycznego (por. Rawa, 2001). Pole elektromagnetyczne charakteryzuje szereg parametrów, które można poddawać analizie. Parametry te często umieszcza się umownie w trzech grupach: widmo, amplituda i polaryzacja. Do parametrów związanych z widmem zaliczamy: częstotliwość f w Hz, szerokość pasma zajmowanego przez sygnał i rodzaj modulacji. Amplitudę charakteryzują: natężenie pola – w tym natężenie składowej elektrycznej E mierzone w V/m oraz składowej magnetycznej H wyrażane w jednostkach A/m lub T oraz gęstość mocy S w W/m^2 . Polaryzacja pola niesie informację o położeniu wektora E i H w przestrzeni i zmianach (Mazurek, 2012, s. 12).

Naturalne pole elektryczne występuje między jonosferą a powierzchnią Ziemi. Jego natężenie przy dobrej pogodzie wynosi około kilkuset V/m, a podczas burzy może przekraczać 20 kV/m. Natężenie naturalnego pola magnetycznego ziemskiego wynosi około 30 A/m (Strojny, 2003, s. 47).

Przesłanki teoretyczne badań

Powszechne wykorzystanie urządzeń elektrycznych, elektroenergetycznych oraz teletransmisyjnych związane jest ze znacznym zwiększeniem natężenia pola elektromagnetycznego. Biologiczna aktywność pola elektromagnetycznego od wielu już lat jest faktem znanym i niekwestionowanym, ale nie oznacza to jej bezwarunkowej szkodliwości. Niemniej zwielokrotnienie pola elektromagnetycznego w stosunku do pola naturalnego może wpłynąć negatywnie nie tylko na zdrowie człowieka i organizmów żywych, ale również na pracę innych urządzeń.

Przeprowadzone badania świadczą o zwiększeniu ryzyka zachorowania na choroby nowotworowe, nerwice wegetatywne nawet przy nieznacznie podwyższonym natężeniu pola elektromagnetycznego (por. Kalisz, 1999; Inglot-Siemaszkowski, 1999; Rawa, 2001; *Extremely...*, 2007). Dlatego przebywanie człowieka w podwyższonym polu elektromagnetycznym regulują odpowiednie normy i przepisy prawne. Przykładowo Rozporządzenie (2016) określa m.in. wymagania dotyczące: rozpoznawania obiektów technicznych emitujących pole elektromagnetyczne mające wpływ na bezpieczeństwo i higienę pracy, miary oraz oceny narażenia na pole elektromagnetyczne, miary i limity oraz oceny bezpośredniego oddziaływania pola elektromagnetycznego na organizm człowieka.

Promieniowanie elektromagnetyczne emitowane przez jedno urządzenie może zakłócić lub uniemożliwić pracę innych urządzeń. Do niedawna urządzenia elektroniczne lub elektryczne dopuszczane do pracy w Polsce były kontrolowane jedynie w zakresie spełnienia parametrów podstawowych. Zagadnienia

kompatybilności elektromagnetycznej (*Electro Magnetic Compatibility* – EMC) były kwestią drugorzędną, obowiązek badań EMC obejmował tylko niektóre wyroby. Od 1 maja 2004 r. na rynku mogą znajdować się tylko wyroby spełniające wymagania kompatybilności elektromagnetycznej (Rozporządzenie, 2004). Dlatego producenci wprowadzają zmiany w produkowanych w kraju urządzeniach uwzględniające aspekt kompatybilności elektromagnetycznej, a w szczególności emisji zaburzeń elektromagnetycznych promieniowanych (*Radiated EMI*) i przewodzonych (*Conducted EMI*) oraz odporności elektromagnetycznej na różne zakłócenia elektromagnetyczne. Badania wykonane w Instytucie Łączności w Warszawie wskazują, że krajowi producenci sprzętu elektronicznego i elektrycznego mają największe trudności ze spełnieniem – spośród wszystkich wymienionych wymagań dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej – warunku, aby urządzenie nie emitowało zaburzeń elektromagnetycznych powyżej wartości dopuszczalnych podanych w normach (Bogucki, Chudziński, Połujan, 2007).

W literaturze przedmiotu wiele miejsca poświęca się badaniu urządzeń emitujących promieniowanie elektromagnetyczne wysokiej częstotliwości, które wywołuje efekty cieplne. Mniej miejsca natomiast poświęca się urządzeniom elektrycznym, elektronicznym emitującym promieniowanie z zakresu niskiej i średniej częstotliwości. Takie urządzenia w dużym nasyceniu oraz zaawansowaniu wiekowym znajdują się w laboratoriach badawczych, centrach serwisowych czy laboratoriach, pracowniach uczelnianych lub szkolnych.

Badanie promieniowania elektromagnetycznego

Wymienione przesłanki wyłoniły potrzebę podjęcia badań pola elektromagnetycznego w otoczeniu przyrządów laboratoryjnych używanych w pracowni elektronicznej. W toku realizacji badań oczekiwano odpowiedzi na dwa pytania: Jakie jest natężenie promieniowania elektromagnetycznego emitowanego przez urządzenia laboratoryjne? Czy pole elektromagnetyczne emitowane przez przyrządy laboratoryjne jest zgodne z normami bezpieczeństwa? Do badań wybraliśmy dwa powszechnie występujące w pracowni urządzenia starszego typu: generator funkcyjny oraz zasilacz laboratoryjny.

Przebieg badań

Badanie promieniowania elektromagnetycznego przeprowadzono w czerwcu 2018 r. w pracowni Innowacyjnych Konstrukcji Elektronicznych w Centrum Transferu Wiedzy Techniczno-Przyrodniczej Uniwersytetu Rzeszowskiego. Pomiar został wykonany miernikiem pola elektromagnetycznego EMS-100 Maschek, który charakteryzuje się następującymi parametrami technicznymi: zakres częstotliwości mierzonych od 5 Hz do 400 kHz; zakres pomiaru natężenia pola elektrycznego od 0,1 V/m do 100 kV/m; zakres pomiaru natężenia pola

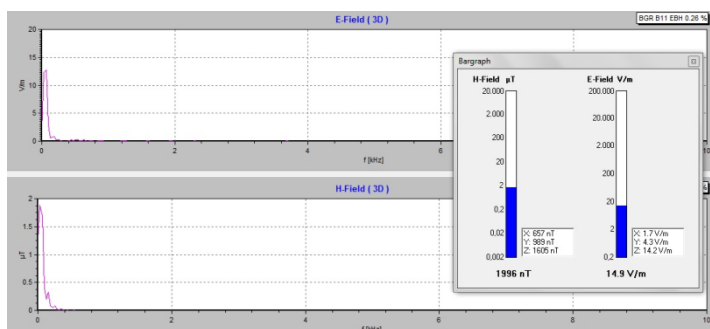
magnetycznego od 1 nT do 20 mT; dokładność pomiaru $\pm 5\%$; zgodność z normami BHP oraz ochrony środowiska; odporność na pole pozapasmowe.

Zbadane urządzenia laboratoryjne posiadają następujące parametry. Zasilacz laboratoryjny o pracy ciągłej INCO Z-3010 o regulowanym napięciu wyjściowym od 0,1 do 30 V i prądzie wyjściowym od 0 do 10 A, z ograniczeniem prądowym regulowanym co 0,1 A oraz z zabezpieczeniem zwarciovym. Generator funkcyjny ZOPAN KZ1405, który jest źródłem sygnału sinusoidalnego, prostokątnego i trójkątnego o częstotliwości od 0,01 Hz do 1 MHz, z możliwością regulacji symetrii, fazy oraz amplitudy od 0 do 10 V, o rezystancji wyjściowej 50 Ω .

Badania przeprowadzono zgodnie z procedurą opisaną w materiałach (Mazurek, 2012; Więckowski, 1997) w pracowni elektronicznej w znacznej odległości od źródeł promieniowania. Promieniowanie tła było na poziomie $B = 14$ nT i $E = 3,1$ V/m. Pomiar emisyjności sprowadził się do określenia natężenia pola elektromagnetycznego na kierunku maksymalnego promieniowania. Badany obiekt umieszczono na wysokości 1 m nad podłożem na izolowanej podstawie obrotowej. Wyszukanie kierunku maksymalnego promieniowania odbywało się przez obrót badanego obiektu w płaszczyźnie poziomej od 0° do 360° co 30° oraz zmian położenia sondy pomiarowej w płaszczyźnie pionowej. Pomiary wykonano dla trzech wysokości: poziom zerowy równy podstawie urządzenia, poziom pierwszy – 1/2 wysokości urządzenia, poziom drugi równy wysokości urządzenia.

Wyniki badań

Pierwszym badanym urządzeniem był generator funkcyjny. Ustawiono go na sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz i amplitudzie 10 V.



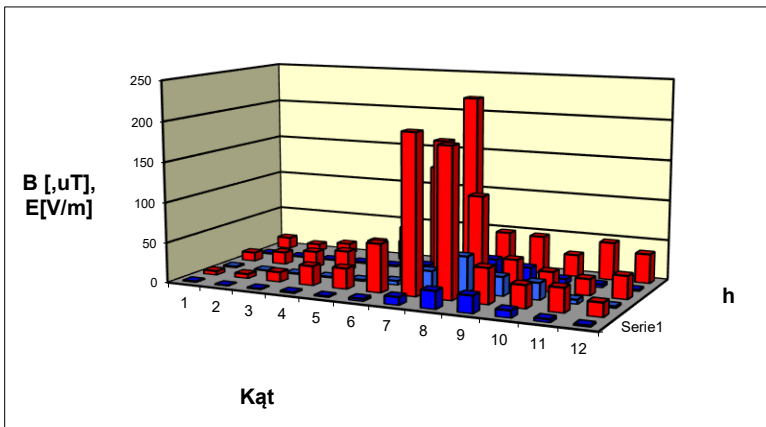
Rysunek 1. Widmo promieniowania elektromagnetycznego generatora funkcyjnego.

Źródło: badania własne.

Przy tych ustawieniach generator emituje pole elektromagnetyczne o najwyższej amplitudzie w częstotliwości sieciowej (50 Hz) o wartościach $B = 1996$ nT i $M = 14,9$ V/m (rys. 1). Harmoniczne częstotliwości sieciowej mają znacznie

mniejszą amplitudę. W przypadku umieszczenia anteny dipolowej w gnieździe wyjściowym zwiększa się składowa elektryczna do 40 V/m i występują harmoniczne co 100 Hz do 10 kHz na poziomie 5 V/m.

Generator emituje pole elektromagnetyczne o różnej wartości w zależności od położenia przetwornika pomiarowego. Na rysunku 2 przedstawiono wartość składowej magnetycznej i elektrycznej PEM wokół generatora funkcyjnego na trzech przyjętych w założeniu wysokościach.

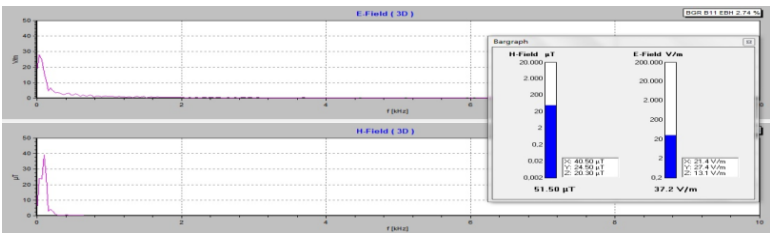


Rysunek 2. Wartość składowej magnetycznej B (kolor niebieski) i elektrycznej E (kolor czerwony) PEM wokół generatora funkcyjnego na trzech wysokościach h

Źródło: badania własne.

Natężenie pola elektrycznego zmienia się w zakresie od 5,2 do 218,6 V/m. Najmniejsze jest na wysokości podstawy przy kącie 0° , a wartość najwyższą osiąga na poziomie górnej krawędzi urządzenia i przy kącie 180° . Indukcja pola magnetycznego natomiast zmienia się w szerszym zakresie od 803 nT dla wysokości podstawy i kąta 30° do 44150 nT dla wysokości 1/2 i kąta 210° .

Następnie zbadano pole elektromagnetyczne wokół zasilacza laboratoryjnego. Zasilacz ustawiono na 12 V i obciążono prądem 5 A.

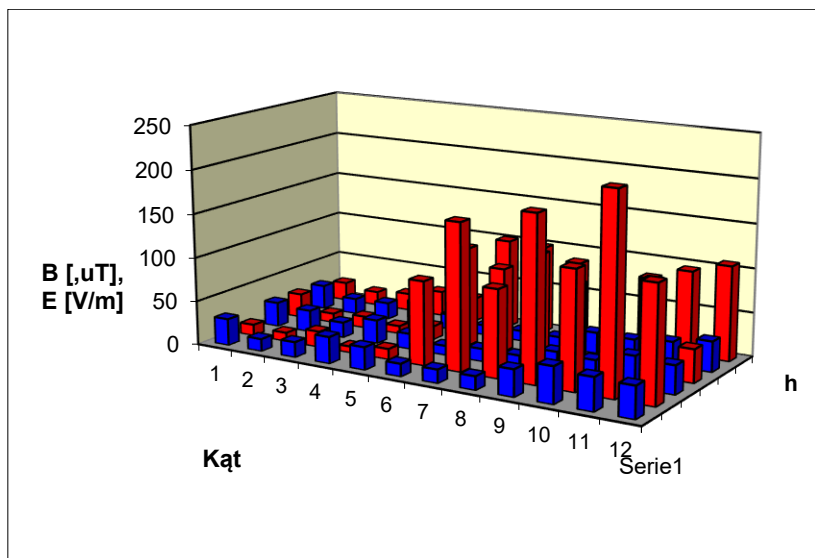


Rysunek 3. Widmo promieniowania elektromagnetycznego zasilacza laboratoryjnego

Źródło: badania własne.

Przy tym reżimie pracy zasilacz emituje pole elektromagnetyczne o najwyższej amplitudzie w częstotliwości sieciowej (50 Hz) o wartościach $B = 51,5 \mu\text{T}$ i $E = 37,2 \text{ V/m}$ (rys. 3). Kolejne harmoniczne natężenia pola elektrycznego do 3 kHz mają znacznie mniejszą amplitudę, około 3 V/m.

Zasilacz emituje pole elektromagnetyczne o różnej wartości w zależności od położenia sondy pomiarowej. Na rysunku 4 przedstawiono wartość składowej magnetycznej i elektrycznej PEM wokół zasilacza laboratoryjnego na trzech wysokościach h .



Rysunek 4. Wartość składowej magnetycznej B (kolor niebieski) i elektrycznej E (kolor czerwony) PEM wokół generatora funkcyjnego na trzech wysokościach h

Źródło: badania własne.

Natężenie pola elektrycznego zmienia się w zakresie od 7,3 do 221 V/m. Najmniejsze jest na wysokości podstawy przy kącie 90° , a wartość najwyższą osiąga na tym samym poziomie wysokości urządzenia i przy kącie 300° . Indukcja pola magnetycznego występuje na wysokim poziomie i zmienia się w zakresie od 10752 nT dla wysokości 1/2 urządzenia i kąta 150° do 37051 nT dla wysokości podstawy i kąta 300° .

Dyskusja i podsumowanie

Badane przyrządy laboratoryjne emitują promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwości głównej 50 Hz, o różnym natężeniu w zależności od kierunku i wysokości pomiaru. Największe wartości natężenia pola elektromagnetycznego występują w miejscach, które znajdują się w najbliższej odległości układów

zasilających, a szczególnie transformatorów sieciowych. Wówczas wartość PEM sięga 218,6 V/m oraz 44150 nT (35,22 A/m) dla generatora funkcyjnego i 221 V/m oraz 37051 nT (29,55 A/m) dla zasilacza laboratoryjnego.

Wartości te są niższe od dopuszczalnych dla strefy bezpiecznej, które wynoszą $5 \cdot 10^4/f$ V/m oraz $3 \cdot 10^3/f$ A/m (Rozporządzenie, 2016). Przy pracach w laboratorium elektronicznym stosowanych jest wiele przyrządów, które emitują promieniowanie elektromagnetyczne. W takim przypadku należy brać pod uwagę wypadkową pól od wszystkich źródeł znajdujących się na danym stanowisku.

Literatura

- Bogucki, J., Chudziński, A., Połujan, J. (2007). Emisja elektromagnetyczna urządzeń w praktyce. *Telekomunikacja i Techniki Informacyjne*, 1–2, 85–95.
- Extremely Low Frequency Fields* (2007). Geneva: WHO Press.
- Inglot-Siemaszkowski, M. (1999). *Człowiek w otoczeniu elektromagnetycznym*. Rzeszów: Wyd. PR.
- Kalisz, J. (1999). Pola elektromagnetyczne a zdrowie człowieka. *Radioelektronik. Audio-HiFi-Video*, 10, 12–13.
- Kalisz, J. (1999). Pomiar pól elektromagnetycznych. W: *Radioelektronik. Audio-HiFi-Video*, 7, 7–9.
- Marszałek, A. (2013). *Elektronika*. Rzeszów: Wyd. UR.
- Mazurek, P.A. (2012). *Laboratorium podstaw kompatybilności elektromagnetycznej*. Lublin: Wyd. PL.
- Rawa, H. (2001). *Elektryczność i magnetyzm w technice*. Warszawa: PWN.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 15.04.2004 w sprawie dokonywania oceny zgodności telekomunikacyjnych urządzeń końcowych przeznaczonych do dołączania do zakończeń sieci publicznej i urządzeń radiowych z zasadniczymi wymaganiami oraz ich oznakowania. Dz.U., 2004, nr 73, poz. 659.
- Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z 29.06.2016 w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na pole elektromagnetyczne. Dz.U. 2016, poz. 950.
- Strojny, J. (2003). *Bezpieczeństwo użytkowania urządzeń elektrycznych*. Kraków: Wyd. AGH.
- Więckowski, T.W. (1997). *Pomiar emisyjności urządzeń elektrycznych i elektronicznych*. Wrocław: Wyd. PWr.