

Emisja elektromagnetyczna urządzeń w praktyce

*Jan Bogucki, Andrzej Chudziński,
Justyn Połujan*

Opisano metodę pomiaru zaburzeń promieniowanych EMI wykonywanych w komorze GTEM. Przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów emisji zaburzeń elektromagnetycznych. Omówiono źródła promieniowania elektromagnetycznego.

kompatybilność elektromagnetyczna, emisja zaburzeń

Wprowadzenie

Różnego rodzaju urządzenia o charakterze elektrycznym i elektronicznym wprowadzają do środowiska zaburzenia elektromagnetyczne.

Zaburzenia powodowane emisją pożądaną eliminuje się racjonalną gospodarką widmem elektromagnetycznym – przez odpowiedni przydział częstotliwości lub pasm roboczych. Natomiast zaburzenia wywołane emisją niepożądaną powinny mieć tak określone poziomy, aby nie zakłócały pracy innych obiektów w miejscu ich zainstalowania. Zagadnienie to powinno być przedmiotem analizy już na etapie projektowania urządzeń.

Energia elektromagnetyczna przedostaje się do otaczającego środowiska na skutek: promieniowania elektromagnetycznego w wolnej przestrzeni, przewodzenia przez przewody zasilające, sygnałowe oraz łączące źródło emisji z otaczającym środowiskiem, sprzężenia pojemnościowego i sprzężenia indukcyjnego.

Zaburzenia są emitowane przez urządzenia wprowadzane do obrotu lub oddawane do użytku, takie jak: domowe odbiorniki radiowe i telewizyjne, przemysłowe urządzenia produkcyjne, urządzenia radiokomunikacji ruchomej i radiotelefonii, urządzenia aparatury medycznej i naukowej, urządzenia informatyczne, specjalistyczna aparatura radiowa morska i lotnicza, sieci i aparatura telekomunikacyjna, radiowe i telewizyjne nadajniki, oprawy oświetleniowe lamp fluorescencyjnych i innych źródeł światła. Urządzenia te powinny być tak zaprojektowane i wykonane, aby w normalnym środowisku elektromagnetycznym były odporne na określony poziom zakłóceń i nie wywoływały zaburzeń elektromagnetycznych o wartościach przekraczających odporność na te zaburzenia innego urządzenia występującego w tym środowisku.

Współczesne układy scalone pracują w pasmach częstotliwości, w których pasywne komponenty, np. kondensatory odprężające, płyty główne lub ich złącza, nie mogą być rozpatrywane jako idealne elementy, ale łącznie z elementami pasożytniczymi. Ich impedancja jest funkcją częstotliwości, a tym samym poziom generowanych zaburzeń, wywołanych zmianami napięć i prądów, a także sygnałami pasożytniczymi (np. szumami i przepięciami), może przekraczać wartości określone w normach dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej. Generowanie i rozkład energii zakłóceń w widmie częstotliwości oraz charakterystyki czasowe zależą od zastosowanych komponentów i ich charakterystyk w zakresie wielkiej częstotliwości. Dokładne określenie źródeł promieniowania zaburzeń danego

systemu jest niemożliwe. Możliwe jest natomiast zredukowanie poziomu zaburzeń do minimum, jeśli będzie się przestrzegać określonych zasad konstruowania i projektowania urządzeń.

W modelach analizy kompatybilności wyróżnia się trzy zasadnicze elementy:

- źródło zaburzeń: urządzenie generujące zaburzenia elektromagnetyczne;
- obiekt zakłócony: urządzenie elektroniczne odbierające zaburzenia, które powodują jego dysfunkcje;
- ścieżkę sprzęgającą: trasa przenosząca energię źródła do obiektu zakłócanego.

W niniejszym artykule opisano metodę pomiaru zaburzeń promieniowanych EMI (*Electromagnetic Interferences*) wykonywanych w komorze GTEM (*Gigahertz Transverse Electromagnetic*). Przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów poziomu zaburzeń elektromagnetycznych urządzeń. Ponadto omówiono przyczyny powstawania zaburzeń elektromagnetycznych i sposoby ich minimalizacji.

Maksymalne poziomy emitowanych zaburzeń przez urządzenia są ściśle określone w normach dla danego urządzenia. Poziomy te określa się, podając wartość natężenia pola elektromagnetycznego w otoczeniu obiektu lub mocy promieniowanej przez dany obiekt.

System badań kompatybilności elektromagnetycznej w Instytucie Łączności

W Instytucie Łączności (IŁ) wdrożono system badań kompatybilności elektromagnetycznej. Umożliwia on badanie:

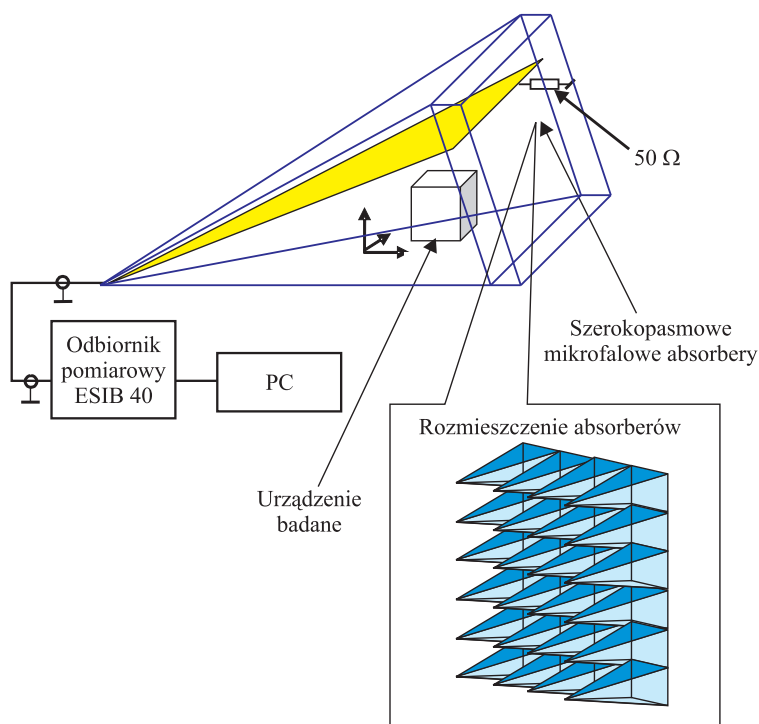
- emisji zaburzeń elektromagnetycznych:
 - promieniowanych (*Radiated EMI*),
 - przewodzonych (*Conducted EMI*);
- odporności elektromagnetycznej:
 - na serie szybkich elektrycznych stanów przejściowych typu „Burst” (*Electrical Fast Transient/Burst*);
 - na udary typu „Surge”(Surge Immunity);
 - na wyładowania elektrostatyczne ESD (*Electrostatic Discharge*);
 - na impulsowe pole magnetyczne (*Pulsed Magnetics*);
 - na zapady napięcia, krótkie przerwy i zmiany napięcia (*AC/DC Supply Dips/Drops*) na zaciskach zasilających prądem przemiennym AC (*Alternating Current*) lub stałym DC (*Direct Current*);
 - na pole magnetyczne o częstotliwości sieci elektroenergetycznej;
 - na zaburzenia o częstotliwości radiowej EMS (*Electromagnetic Susceptibility*).

Z wykonanych badań wynika, 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.

W Centralnym Laboratorium Badawczym Instytutu Łączności przeprowadzono dotychczas badania wielu urządzeń, między innymi: terminali sieci radiowej, radiotelefonów, modemów, modułów komunikacji radiowej, adapterów Bluetooth/RS, radiowych urządzeń nadawczo-odbiorczych, aparatów telefonicznych, rozdzielaczy sygnału synchronizacji 2048 kHz, zasilacze, kabli współosiowych, drukarek mozaikowych, termicznych drukarek samochodowych, centrali sygnalizacyjno-sterujących, komputerowych systemów analiz zdrowotnych, systemów zabezpieczenia gazowego, analizatorów rytmów biologicznych człowieka, modułów do transmisji danych w trybie komutowanym i w sieciach telefonii komórkowej, przyrządów do pomiaru i rejestracji prędkości pojazdów, odbiorników naziemnej telewizji cyfrowej, urządzeń transmisji danych umożliwiających odczyt przez internet ciepłomierzy, przetworników indukcyjnych czujników położenia, cyfrowych telewizyjnych systemów transmisyjnych 34/45 Mbit/s, przetworników ciśnienia oraz wielofunkcyjnych urządzeń szyfrujących.

Pomiar zaburzeń promieniowanych EMI

Pomiary poziomu zaburzeń elektromagnetycznych emitowanych przez urządzenia elektroniczne wykonuje się tradycyjnie na otwartym poligonie pomiarowym OATS (*Open Area Test Site*) lub w komorach bezchowych. Ostatnio powstaje wiele nowych metod, wykorzystujących komory rewerberacyjne i przewodnice falowe poprzecznych fal elektromagnetycznych TEM (*Transverse Electromagnetic*), takie jak linie paskowe lub komory TEM. Metody te są sprawdzane i zatwierdzane przez międzynarodowe organizacje, np. IEC (*International Electrotechnical Commission*)



Rys. 1. Układ pomiarowy do badań EMI w komorze GTEM

lub CISPR (*International Special Committee on Radio Interference*), jako niezależne i alternatywne do konwencjonalnych metod. Mogą być one bardzo przydatne do badań coraz popularniejszego przenośnego sprzętu radiowego, a więc urządzeń radiowych z integrowanymi antenami.

W IŁ komorę GTEM stosuje się do pomiaru natężenia pola zaburzeń promieniowanych przez urządzenia. Jest to alternatywna metoda do badań na otwartym poligonie pomiarowym OATS.

Podstawowymi elementami układu pomiarowego zaburzeń promieniowanych EMI są:

- komora GTEM,
- odbiornik pomiarowy.

Emisje urządzeń badanych określa się na podstawie pomiaru napięcia na wejściu komory, dla trzech płaszczyzn testowanego obiektu. Następnie oblicza się poziom zaburzeń promieniowanych, wykorzystując program korelacji między zmierzonymi wartościami a natężeniem pola w otwartym poligonie pomiarowym.

Komora GTEM jest przewidziana do pracy w zakresie częstotliwości 20 MHz ÷ 18 GHz; można w niej badać urządzenia o maksymalnych gabarytach 930 × 930 × 830 mm.

Układ do pomiaru zaburzeń promieniowanych EMI przedstawiono na rys. 1.

Odbiornik pomiarowy typu ESIB firmy Rohde&Schwarz mierzy napięcie zaburzeń promieniowanych w wymaganym pasmie częstotliwości i jest wyposażony w detektory wartości: quasi-szczytowej (*quasi-peak*), szczytowej (*peak*), średniej (*average*) i skutecznej RMS (*Root Mean Square*).

Tabl. 1. Dopuszczalne poziomy zaburzeń dla urządzeń informatycznych

| Zakres częstotliwości pomiarowej [MHz] | Natężenie pola [dB _{μV/m}] (wartość quasi-szczytowa) | |
|--|--|--------------------|
| | urządzenia klasy A | urządzenia klasy B |
| 30 – 230 | 40 | 30 |
| 230 – 1000 | 47 | 37 |

Wykonanie dokładnych badań, zgodnie z normą PN-EN55022 [8], w całym zakresie pomiarowym, tj. od 30 MHz do 1 GHz, z zastosowaniem detektora QP i szerokości pasma rozdzielczości, np. 120 kHz, wymaga bardzo długiego czasu – powyżej kilku dni. Aby ten czas ograniczyć, postępuje się w następujący sposób:

- a) przeprowadza się badania wstępne z wykorzystaniem detektora szczytowego;
- b) wybiera się te częstotliwości, przy których zaburzenia przekraczają dopuszczalne wartości lub zbliżają się do nich – w tabelicy 1 podano dopuszczalne natężenia pól zaburzeń i zakres częstotliwości pomiarowych dla urządzeń informatycznych;
- c) analizuje się dokładnie wybrane przedziały częstotliwości, przeprowadzając badania końcowe z wykorzystaniem detektora quasi-szczytowego;

d) uwzględnia się korelację między wynikami pomiarów kalibracyjnych źródła izotropowego w komorze GTEM a wynikami pomiarów tego źródła wykonanymi na otwartym poligonie pomiarowym OATS; uzyskane wyniki są przeliczane i przedstawiane tak, jakby pomiarów dokonano w wolnej przestrzeni.

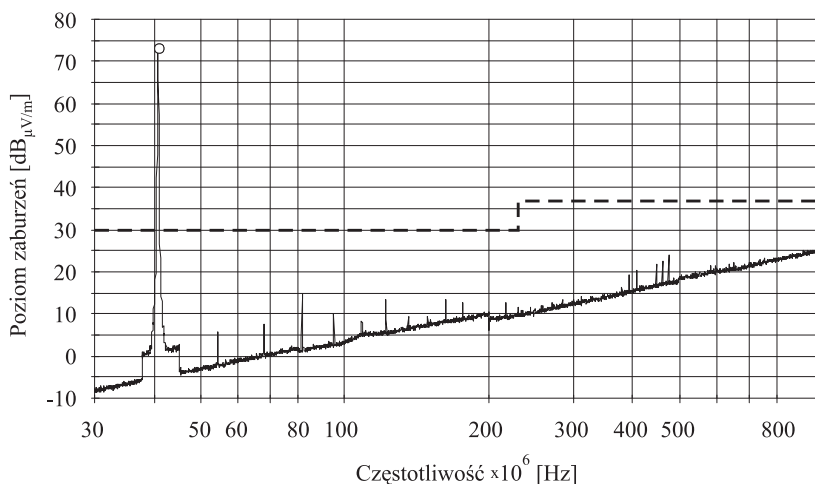
Pomiary są przeprowadzane, zgodnie z procedurą wymienioną w punktach a ÷ d, dla trzech ortogonalnych położenia badanego urządzenia w osiach x , y , z przestrzeni pomiarowej komory z wykorzystaniem programu komputerowego „EMC 32”. Wykresy prezentujące wyniki badań emisji zaburzeń przez drukarkę, konwerter i kasę fiskalną przedstawiono na rys. 2, 3 i 4. Kropkami są zaznaczone punkty wybrane we wstępnej fazie pomiaru. Przy parametrach określonych tymi kropkami przeprowadza się właściwy pomiar z wykorzystaniem detektora quasi-szczytowego.

Przykłady pomiarów poziomu zaburzeń

W opisanym układzie pomiarowym kontrolowano promieniowanie zaburzeń EMI. Badano między innymi drukarkę przeznaczoną do pracy w samochodzie i konwerter Ethernet. Sprawdzano dwa zasadnicze typy zaburzeń elektromagnetycznych: wąskopasmowe (rezonansowe) oraz szerokopasmowe (całego tła elektromagnetycznego w szerokim pasmie częstotliwości).

Zaburzenia elektromagnetyczne wąskopasmowe

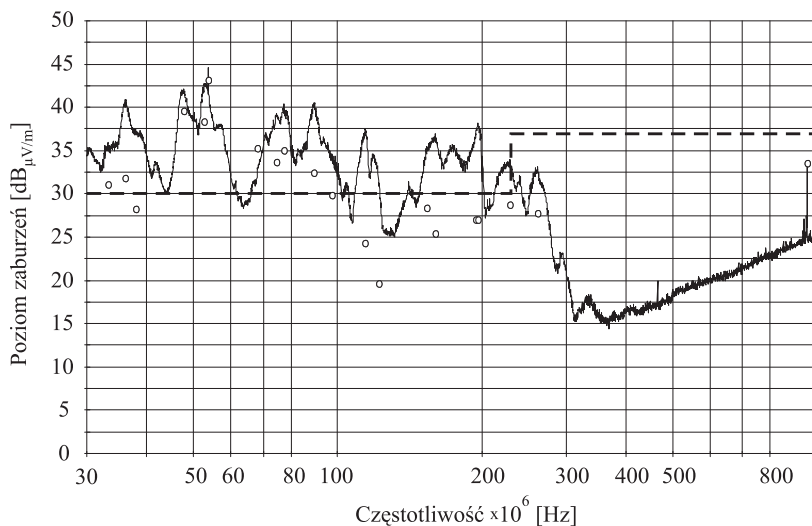
Na rys. 2 pokazano wynik badania drukarki, która emitowała zaburzenie wąskopasmowe. Widać, że dopuszczalny poziom zaburzeń jest przekroczony aż o 43,5 dB [8], ale tylko na jednej częstotliwości (40,7 MHz). Jest to związane z typowym zjawiskiem rezonansu, powodującym wysoki poziom zaburzenia elektromagnetycznego przy jednej częstotliwości.



Rys. 2. Emisja zaburzenia wąskopasmowego (linią przerywaną zaznaczono dopuszczalny poziom zaburzeń wg PN-EN 55022 [8])

Zaburzenia elektromagnetyczne szerokopasmowe

Wynik badań konwertera Ethernet, umożliwiającego łączenie niezależnych segmentów sieci lokalnych standardu Ethernet 10/100 BASE-TX, z wykorzystaniem sieci telekomunikacyjnej SDH lub PDH, przedstawiono na rys. 3. Konwerter emitował znaczne szerokopasmowe zaburzenie elektromagnetyczne. Dopuszczalny poziom zaburzeń elektromagnetycznych został przekroczony w pasmie częstotliwości 33 ÷ 89 MHz, maksymalnie o 13,2 dB.



Rys. 3. Emisja zaburzenia szerokopasmowego (linią przerywaną zaznaczono dopuszczalny poziom zaburzeń wg PN-EN 55022 [8])

Z dużej liczby przeprowadzonych badań różnych urządzeń wynika, że źródłem zaburzeń szerokopasmowych w zakresie częstotliwości do 350 MHz są przetwornice napięć zasilających. Natomiast zaburzenia powyżej 350 MHz wywołują układy cyfrowe sterowane sygnałem zegarowym o wielkiej częstotliwości.

Praktyczne wskazówki

Przy projektowaniu współczesnych urządzeń z układami cyfrowymi stosuje się coraz większe częstotliwości zegarowe, co jest powodem kłopotów z integralnością sygnałów. W urządzeniu, w którym np. zastosowano częstotliwość zegara 3 GHz, ścieżka na płycie drukowanej długości ok. 25 mm, jest prawie równa 1/4 długości fali, a więc może działać jak antena. Komponenty o znacznie mniejszych wymiarach należy także rozpatrywać szczególnie starannie, pamiętając o ich impedancji dla danej częstotliwości. Przykładowo: indukcyjność końcówki układu scalonego długości 2 mm jest rzędu kilku nanohenrów i tę wartość indukcyjności pasożytniczej należy uwzględnić w trakcie projektowania.

Sygnały zegarowe na wielowarstwowej płytce drukowanej powinny być prowadzone wewnętrzną warstwą, między płaszczyznami uziemienia i zasilania.

Konstrukcja obudowy i pokryć galwanicznych

Urządzenia z obudową metalową powinny być tak skonstruowane, aby zapewniała ona odpowiednią skuteczność ekranowania, a tym samym poziom zaburzeń, dopuszczalny w obowiązujących normach [8, 9]. Jednak ten rodzaj ekranowania jest niechętnie stosowany, gdyż komplikuje proces montażu urządzenia, a także powiększa jego koszt. Podobnie jest z wykorzystywaniem różnych pokryć galwanicznych, gdyż stanowią one dodatkową operację technologiczną. Trzeba jednak podkreślić, że mimo tych niedogodności są to najbardziej skuteczne sposoby ograniczania emisji zaburzeń.

Zastosowanie ferrytów

Innym sposobem redukcji zaburzeń, zarówno promieniowanych, jak i przewodzonych jest zastosowanie elementów ferrytowych na przewodach sygnałowych oraz doprowadzających zasilanie. Przykładowo na rys. 4a pokazano wynik pomiaru emisji zaburzeń kasy fiskalnej z zasilaczem. Urządzenie nie spełnia norm [8]. Na częstotliwości 107 MHz poziom dopuszczalny jest przekroczony o 3,3 dB.

Po umieszczeniu ferrytu na przewodzie łączącym kasę z zasilaczem poziom emisji spadł do 0,4 dB poniżej dopuszczalnego [8] (rys. 4b).

Zastosowanie układów rozpraszających widmo

Jednym ze sposobów obniżenia emisji zaburzeń urządzenia jest zastosowanie układów rozpraszających widmo (*spread-spectrum*). Może to być, np. układ scalony DS 1086 (firmy Dallas Semiconductor Maxim) przeznaczony do programowalnych generatorów z rozproszonym widmem. Generator taki może pracować w zakresie od 260 kHz do 133 MHz, a częstotliwość może zmieniać się (*Dithering*) o 2% lub 4%.

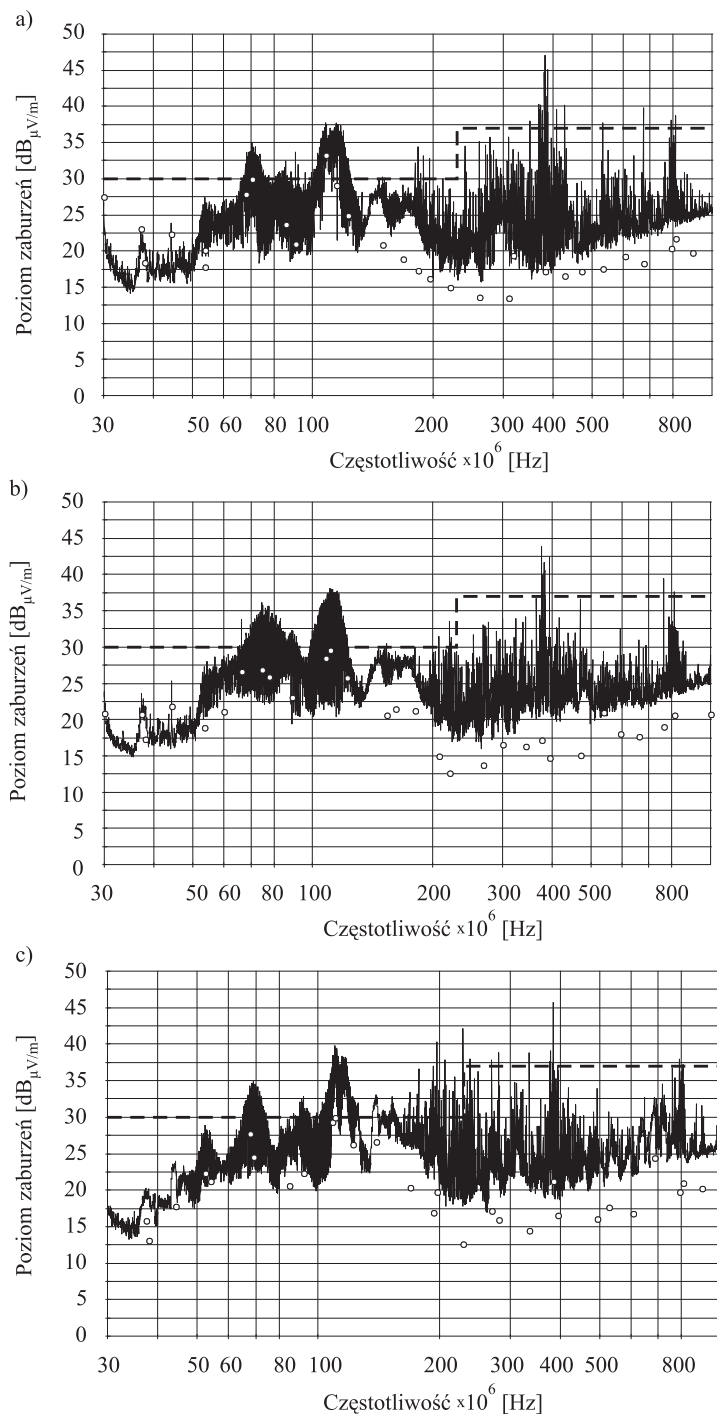
W badanej kasie fiskalnej zastosowano taki generator. Zmiana częstotliwości o 2% poprawiła parametry urządzenia. Poziom emisji obniżył się do zgodnego z obowiązującymi normami [8] (rys. 4c). Rozbudowanie kasy przez dodanie jednego układu scalonego spowodowało jednak wzrost poboru prądu o ok. 30 mA.

Dobór elementów

Skuteczną metodą zapobiegania zaburzeniom jest stosowanie kondensatorów:

- odprężających, które tworzą trasy o małej impedancji dla sygnałów wielkiej częstotliwości do uziemienia;
- blokujących, które mają małą impedancję dla składowych małej częstotliwości, a jednocześnie magazynują lokalnie ładunek dla poprawnej pracy kondensatorów odprężających.

Należy jednak uwzględnić fakt, że układ przestaje spełniać rolę filtra, gdy częstotliwość sygnału przekracza częstotliwość rezonansową danego elementu, np. reaktancja X kondensatora zmienia charakter pojemnościowy ($X < 0$) na indukcyjny ($X > 0$).



Rys. 4. Wynik pomiaru poziomu zaburzeń emitowanych przez kasę fiskalną: a) z zasilaczem; b) z ferrytem na przewodzie łączącym kasę z zasilaczem; c) po zastosowaniu układu rozpraszającego widmo (linią przerywaną zaznaczono dopuszczalny poziom zaburzeń wg PN-EN 55022 [8])

Trzeba też pamiętać, aby rozmieszczenie kondensatorów minimalizowało trasy i pętle prądowe, tym samym redukując promieniowanie i indukcyjności pasożytnicze; stąd kondensatory odprężające najlepiej umieszczać od spodu płytki, bezpośrednio przy doprowadzeniach przetworników sygnałów cyfrowych, natomiast umocowanie kondensatorów blokujących na górnej stronie płytki umożliwia zbliżenie ich do kondensatorów odprężających.

Idealnym sposobem (na razie nie do zrealizowania) byłoby wyeliminowanie kondensatorów odprężających dzięki umieszczeniu dwóch ścieżek zasilania w dwóch warstwach o minimalnej odległości między nimi. Tworzyłyby one wówczas kondensator o dużej pojemności, a obwody zasilające miałyby prawie zerową indukcyjność. Obecnie stosowane kondensatory ceramiczne, nawet jednowarstwowe, niestety wykazują do 0,5 nH indukcyjności, co powoduje, że przy pewnych częstotliwościach taki obwód odsprężania praktycznie staje się obwodem rezonansowym. Najważniejsze jest zapewnienie równomierności odsprężania, czyli niezmiennej i małej impedancji zasilania dla wielkich częstotliwości. W przeciwnym przypadku drogi prądów w.c.z. są trudne do przewidzenia i zwiększa się emisja zaburzeń.

Kondensatory stosowane w zakresie w.c.z. powinny być z dielektrykiem typu X7R [15]. Ich pojemność znamionowa, o wartościach od pojedynczych pikofaradów do kilkudziesięciu nanofaradów, zmienia się nie więcej niż o $\leq 15\%$ w zakresie temperatur od -55°C do $+125^{\circ}\text{C}$, a ich równoważna rezystancja szeregowa ESR (*Equivalent Series Resistance*) jest bardzo mała.

Przy konstrukcji urządzenia należy brać pod uwagę właściwości wszystkich użytych elementów i podzespołów. Przykładowo, wyświetlacze, które są wrażliwe na pole elektromagnetyczne, nie powinny być montowane przy interfejsach. Oczywiście ta uwaga dotyczy stosowania wyświetlaczy *no name*; zwykle nie ma tego problemu z wyświetlaczami markowymi.

Innym przykładem jest sposób wyeliminowania wąskopasmowych zaburzeń drukarki (rys. 2). Źródłem emisji jest tu generator procesora. W tym przypadku wystarczy do wyjścia generatora dołączyć szeregowo opornik (należy dobrać wartość ok. 20 Ω) – zmiana zbczy generowanego sygnału powinna spowodować wyeliminowanie tego zaburzenia.

Wnioski

Do niedawna urządzenia elektroniczne lub elektryczne dopuszczane do pracy w naszym kraju były kontrolowane jedynie w zakresie spełnienia parametrów zasadniczych. Natomiast zagadnienia kompatybilności elektromagnetycznej były sprawą drugorzędą, ponieważ do 1 maja 2004 r. obowiązek badań EMC obejmował tylko niektóre wyroby (wymienione w spisie urządzeń, które podlegały obowiązkowej certyfikacji).

Od 1 maja 2004 r. na rynku mogą znajdować się tylko wyroby spełniające wymagania kompatybilności elektromagnetycznej [12]. Dlatego producenci wprowadzają zmiany w produkowanych w kraju urządzeniach, uwzględniające aspekt kompatybilności elektromagnetycznej.

Przed wprowadzeniem urządzenia elektronicznego do obrotu producent jest zobowiązany sporządzić dokumentację techniczną tak opracowaną, aby umożliwiała ocenę, czy sprzęt spełnia warunki przedstawione w dyrektywach. Jednocześnie jest zobowiązany podjąć wszelkie konieczne środki do zagwarantowania procesu produkcji wyrobów elektronicznych, zgodnie z dokumentacją techniczną i dyrektywami [5].

Szacuje się, że 10% ceny wszystkich elementów współczesnego urządzenia stanowią koszty związane z koniecznością zastosowania komponentów, potrzebnych do zapewnienia jego poprawnej pracy z punktu widzenia kompatybilności elektromagnetycznej.

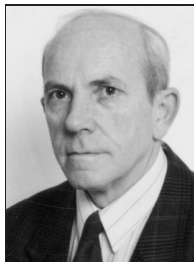
Dyrektywa EMC [5] dotyczy zdecydowanej większości wyrobów elektronicznych i elektrycznych wprowadzanych na rynek. Aparatura oraz instalacja stacjonarna przed wprowadzeniem do obrotu lub oddaniem do użytku podlega obowiązkowej ocenie zgodności z zasadniczymi wymaganiami. Niezwykle istotne jest więc zapewnienie niezależnej bazy badawczej, by móc w sposób wiarogodny ocenić stopień spełnienia przez dany wyrób ustalonych wymagań. Takie świadczenia pełnią akredytowane laboratoria, m.in. laboratoria Instytutu Łączności.

Bibliografia

- [1] Bogucki J., Chudziński A., Połujan J.: *Emisyjność elektromagnetyczna urządzeń*. Elektronika, 2006, nr 2, s. 31–33
- [2] Dane katalogowe firmy ASTAT
- [3] Dane katalogowe firmy Rohde&Schwarz
- [4] Dane katalogowe firmy Schaffner
- [5] *Directive 1999/5/EC of the European Parliament and of the Council of 9 March 1999 on radio equipment and telecommunications terminal equipment and the mutual recognition of their conformity* (R&TTE Directive), OJ L 91, 7.04.1999, p. 10; <http://eur-lex.europa.eu>
- [6] Kurjata-Pfitzner E., Szymański A.: *Wybrane problemy projektowania układów RF*. Elektronika, 2005, nr 2-3, s. 51–53
- [7] Montrose M. I., Nakauchi M.: *Testing for EMC Compliance. Approaches and Techniques*. New York, Wiley, 2004
- [8] PN-EN 55022:2006 (U): *Urządzenia informatyczne. Charakterystyki zaburzeń radioelektrycznych. Poziomy dopuszczalne i metody pomiaru*
- [9] PN-EN 55024:2000/A:2004: *Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Urządzenia informatyczne. Charakterystyki odporności. Metody pomiaru i dopuszczalne poziomy*
- [10] PN-EN 61000-4-3:2006 (U): *Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-3: Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na pole elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej. Podstawowa publikacja EMC*
- [11] *Projekt ustawy o kompatybilności elektromagnetycznej*; <http://kprm.gov.pl/bip/070214u4.pdf>
- [12] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 15 kwietnia 2004 r. w sprawie dokonywania oceny zgodności telekomunikacyjnych urządzeń końcowych przeznaczonych do dołączenia do zakończeń sieci publicznej i urządzeń radiowych z zasadniczymi wymaganiami oraz ich oznakowania*. Dz. U., 2004, nr 73, poz. 659
- [13] *Rozporządzenie Ministra Transportu i Budownictwa z dnia 27 grudnia 2005 r. w sprawie dokonywania oceny zgodności aparatury z zasadniczymi wymaganiami dotyczącymi kompatybilności elektromagnetycznej oraz sposobu jej oznakowania*. Dz.U., 2005, nr 265, poz. 2227

- [14] Więckowski T. W.: *Środowisko elektromagnetyczne a urządzenia radiokomunikacyjne*.
W: Materiały z Krajowej Konferencji Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji, Warszawa,
2004, s. 3–6
- [15] X7R dielectric, <http://www.avxcorp.com/docs/Catalogs/cx7r.pdf>

Jan Bogucki



Inż. Jan Bogucki (1947) – absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Warszawskiej (1972); długoletni pracownik Instytutu Łączności w Warszawie (od 1973); autor ponad stu publikacji naukowych; zainteresowania naukowe: cyfrowe linie radiowe, telewizja cyfrowa, propagacja fal w troposferze, kompatybilność elektromagnetyczna.
e-mail: J.Bogucki@itl.waw.pl

Andrzej Chudziński



Mgr inż. Andrzej Chudziński (1944) – absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Warszawskiej (1968); długoletni pracownik Instytutu Łączności w Warszawie (od 1968); zainteresowania naukowe: telewizja, radiokomunikacja, telekomunikacja, kompatybilność elektromagnetyczna.
e-mail: A.Chudzinski@itl.waw.pl

Justyn Połujan



Mgr inż. Justyn Połujan (1944) – absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Warszawskiej (1969); długoletni pracownik Instytutu Łączności w Warszawie (od 1969); zainteresowania naukowe: telewizja, radiokomunikacja, telekomunikacja, kompatybilność elektromagnetyczna.
e-mail: J.Polujan@itl.waw.pl