

Krzysztof DUZINKIEWICZ

UNIwersytet Zielonogórski, Wydział Elektrotechniki, Informatyki i Telekomunikacji
ul. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra

Wizualizacja wyników pomiarów w otwartym systemie pomiarowym zaburzeń przewodzonych i promieniowanych EMC

Mgr Krzysztof DUZINKIEWICZ

Absolwent Wydziału Matematyki, Informatyki i Ekonomometrii Uniwersytetu Zielonogórskiego. Pracownik Urzędu Komunikacji Elektronicznej Delegatury w Zielonej Górze na stanowisku Starszy specjalista w zakresie kontroli rynku wyrobów, kontroli przedsiębiorców telekomunikacyjnych oraz administracji informatycznych zasobów lokalnych. Słuchacz studiów doktoranckich na Wydziale Elektrotechniki, Informatyki i Telekomunikacji, prowadzący badania w obszarze kompatybilności elektromagnetycznej.



e-mail: k.duzinkiewicz@uke.gov.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono otwarty system pomiarowy do badań zaburzeń przewodzonych w kabine ekranowanej oraz zaburzeń promieniowanych na ławie pomiarowej za pomocą specjalizowanego odbiornika pomiarowego EMC. Do komunikacji miernika z komputerem wykorzystano interfejs GPIB. System został zintegrowany ze środowiskiem Mathematica, pakietem dostarczającym zaawansowanych narzędzi obliczeń numerycznych oraz graficznej reprezentacji uzyskanych wyników. Zaprezentowany system pomiarowy dostarcza narzędzia badawcze do prowadzenia badań pozanormatywnych wspomagających proces określania kompatybilności elektromagnetycznej.

Słowa kluczowe: otwarty system pomiarowy, wizualizacja wyników pomiarów, EMC, zaburzenia przewodzone, zaburzenia promieniowane.

Visualization of measurement results in an open measurement system of conducted and radiated EMC

Abstract

This paper presents an open measurement system (Fig. 4) for analysis of conducted and radiated interferences. The system was integrated with Mathematica environment offering advanced tools for numerical calculations and graphical representation of the obtained results. The control application (user interface) was realized in the programming language Java. Measurements were taken with a specialized test receiver ESCS30 by Rohde & Schwarz [4], the leading product for complex measurements of electromagnetic compatibility. Communication between the test receiver and a computer was realized through a GPIB interface (Fig. 5) allowing coupling the control-measurement equipment with an IT system. The test receiver has a built-in hardware programming language R&S-Basic providing a complete list of control commands sending measurement data. Moreover, the paper describes examples of measurement stands for investigating conducted (Fig. 1) and radiated interferences (Fig. 2) as well as responsibilities of a competent institution realizing regulations of the product market under the Electromagnetic Compatibility Directive (2004/108/WE). The proposed measurement system integrated with expanded mathematical apparatus delivers research tools for gathering and automation of the results, analysis and improvement of electromagnetic compatibility issues.

Keywords: open measurement system, visualization of measurement results, EMC, conducted and radiated interferences, GPIB interface.

1. Wprowadzenie

Po przystąpieniu Polski do Unii Europejskiej podmioty wprowadzające na nasz rynek elektryczne i elektroniczne urządzenia zostały zobowiązane do przestrzegania postanowień Dyrektywy EMC. Obecnie obowiązuje Dyrektywa 2004/108/WE z dnia 15 grudnia 2004 r. Dyrektywa ta ma na celu zapewnienie funkcjonowania rynku wewnętrznego poprzez wprowadzenie wymogu, aby urządzenia osiągały odpowiedni poziom kompatybilności elektromagnetycznej.

Oznacza to, że urządzenia wprowadzone do obrotu muszą spełniać określone w Dyrektywie wymagania zasadnicze. Powinny one być projektowane i produkowane w taki sposób, aby:

- poziom wytwarzanych zaburzeń przez urządzenie nie powodował pogorszenia (degradacji) pracy innych urządzeń;
- urządzenie powinno być niewrażliwe (odporne) na zakłócenia emitowane przez inne urządzenia;
- poziom wytwarzanych zaburzeń przez urządzenie nie może powodować pogorszenia jakości jego użytkowania zgodnie z przeznaczeniem.

Organem kompetentnym do nadzoru rynku wyrobów w Polsce w myśl ustawy o systemie oceny zgodności [1] jest Prezes Urzędu Komunikacji Elektronicznej, którego zadaniem jest dbanie, żeby urządzenia wprowadzane do obrotu, czy już eksploatowane spełniały wymagania zasadnicze. Obowiązkiem Prezesa UKE jest przeprowadzanie badań technicznych w powołanych do tego celu jednostkach (laboratoriach) koordynowanych przez akredytowane Centralne Laboratorium Badań Technicznych (CLBT), notyfikowane przez Komisję Europejską.

Rozwój technologiczny przyrządów półprzewodnikowych dużej mocy, jak również gwałtowny postęp w branży systemów informatycznych i telekomunikacyjnych spowodował powstanie nowych jakościowo problemów związanych z zapewnieniem kompatybilności elektromagnetycznej [2].

Większa częstotliwość pracy układów wymusiła znaczne skrócenie czasu przełączania, co spowodowało powstawanie zaburzeń w zakresie wysokich częstotliwości sięgających zakresów megaherców.

Wytyczne szczegółowe do Dyrektywy EMC klasyfikują zakresy częstotliwości ze względu na drogę propagacji źródeł zaburzeń (tabela 1). Wyszczególniając dwa podzakresy: zakres przewodzony oraz zakres promieniowany. Determinuje to sposób prowadzenia pomiarów, różne podejście - konfigurację stanowiska pomiarowego. Zakres przewodzony lokuje się w paśmie od 9kHz do 150kHz (CISPR A) – są to głównie częstotliwości przyłączeniowe układów łącznikowych i ich wyższe harmoniczne [2] oraz w paśmie od 150kHz do 30MHz (CISPR B) – częstotliwości własne obwodów zaburzeń. Natomiast zakres promieniowany przypadający na pasmo od 30MHz do 300MHz (CISPR C) i pasmo od 300MHz do 1GHz (CISPR D) to głównie częstotliwości układów sterowania oraz wyższe harmoniczne częstotliwości własnych obwodów zaburzeń [2].

Tab. 1. Zakres częstotliwości źródeł zaburzeń EMC
Tab. 1. Frequency range of disturbance sources EMC

harmoniczne	60Hz±2,4/3kHz	
niska częstotliwość	2,4/3kHz±9kHz	
wysoka częstotliwość	zakres przewodzony	9kHz±150kHz
	zakres promieniowany	150kHz±30MHz
		30MHz±1/2/3GHz*
		powyżej 3GHz
<input checked="" type="checkbox"/> zakres regulowany przepisami <input type="checkbox"/> zakres regulowany dla niektórych urządzeń		
<input type="checkbox"/> zakres nieregulowany przepisami <input checked="" type="checkbox"/> * w zależności od urządzenia		

2. Odbiornik pomiarowy EMC

W badaniach kompatybilności elektromagnetycznej widmo częstotliwości sygnału stanowi jeden z ważniejszych sposobów charakteryzujących poziom zaburzeń emitowanych przez urządzenia elektryczne i elektroniczne. Nowoczesny odbiornik pomiarowy EMC to analizator widma wyposażony w detektory pomiarowe oraz stopień wejściowy – zespół kaskadowo połączonych superheterodynowych przemienników częstotliwości i preselektora –

selektywnie regulowanego zespołu wzmacniaczy wejściowych w.c.z. [3] Pozwala to na zwiększenie czułości odbiornika, zwiększenie dokładność pomiarów.

Odbiornik pomiarowy wyposażony jest w wyświetlacz LCD przedstawiający w czasie rzeczywistym przebieg pomiaru widma dla poszczególnych detektorów pomiarowych równocześnie wraz z określonymi przez normy limitami granicznymi. Pobranie wyników pomiarów odbywa się poprzez:

- ocenę bezpośrednią wyników z ekranu odbiornika;
- raport - wydruk przez podłączoną bezpośrednio do miernika drukarkę lub ploter;
- zapis w formacie binarnym na nośniku (dyskietce HDD 1.4Mb);
- wykorzystanie wbudowanej magistrali IEC-bus (GBIB), umożliwiającej przesyłanie danych pomiarowych do komputera.

Bezpośredni wydruk w formie raportu z pomiarów, czy odczyt - ocena wyników pomiarów bezpośrednio z wyświetlacza odbiornika może być metodą wystarczającą do celów kontroli jednostki kompetentnej do prowadzenia nadzoru urządzeń wprowadzanych do obrotu, ale nie jest wystarczająca do prowadzenia szerszych badań kompatybilnościowych.

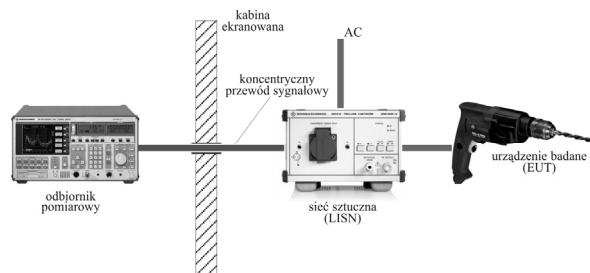
Oczywiście producenci specjalizowanych mierników, w tym przypadku odbiornika pomiarowego EMC firmy Rohde-Schwarz ESCS 30 [4], dostarczają z urządzeniem specjalizowane oprogramowanie do wyznaczania charakterystyk pomiarowych w komputerze. Oprogramowanie to ma jednak najczęściej ograniczone możliwości analityczne. Wykorzystując zbudowany system pomiarowy zintegrowany z pakietem Mathematica, oprócz zaawansowanych narzędzi do tworzenia wykresów funkcji dysponujemy aparatem matematycznym, umożliwiającym analizę danych pomiarowych i duże możliwości reprezentacji graficznej wyników pomiarów.

3. Pomiary laboratoryjne

Jak wspomiano na wstępie konfiguracja stanowiska pomiarowego i technika prowadzenia pomiaru zależy od zakresu częstotliwości i typu badanego urządzenia. Przykładowo dla elektrycznych urządzeń oświetleniowych norma przedmiotowa (PN-EN 55015) przewiduje tylko pomiary zaburzeń przewodzonych, ale rozszerza pasmo o CISPR A (od 9kHz). Natomiast dla przyrządów powszechnego użytku i narzędzi elektrycznych (PN-EN 55014) badania prowadzone są dla zaburzeń przewodzonych w paśmie CISPR B i promieniowanych w paśmie CISPR C.

3.1. Stanowisko do badań zaburzeń przewodzonych

Stanowisko do badań zaburzeń przewodzonych (pomiar napięć w.c.z. w zakresie do 30MHz) przedstawiono na rysunku 1.



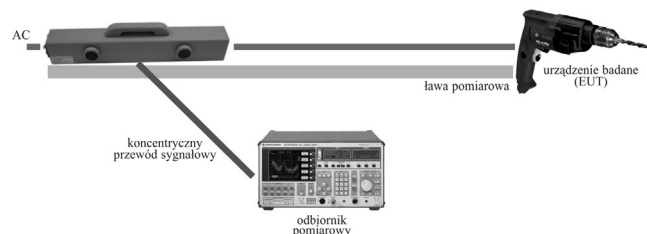
Rys. 1. Pomiar napięcia w.c.z. w zakresie do 30MHz
Fig. 1. Measurement of RFI voltage in the frequency range up to 30 MHz

Badane urządzenie (EUT) umieszczone jest w kabine ekranowanej (klatce faraday'a). Urządzenie zasilane jest z sieci energetycznej poprzez sprzęgacz – sieć sztuczną (LISN, ang. *line impedance stabilization network*) o stałej impedancji 50Ω. Odbiornik pomiarowy został umieszczony na zewnątrz kabiny. Sieć sztuczną połączono z miernikiem zaburzeń za pomocą kabła kon-

centrycznego o impedancji 50 Ω przez przepust koncentryczny oraz za pomocą przewodu sterującego przez przepust AF. Pomiar wykonuje się odpowiednio detektorem PK (wartości szczytowych) i AV (wartości średnich). Szczelność kabiny musi być zagwarantowana w całym paśmie. Taka konfiguracja stanowiska gwarantuje, że wyniki pomiarów nie są obciążone czynnikami zewnętrznymi pochodzącymi z sieci zasilającej oraz otoczenia.

3.2. Stanowisko do badań zaburzeń promieniowanych

Stanowisko do badań zaburzeń promieniowanych (pomiar mocy w.c.z. powyżej 30MHz) przedstawia rysunek 2. Badanie wykonywane jest z wykorzystaniem cęgów absorpcyjnych [5] przesuwających się wzdłuż rozciągniętego na dystansie 6 metrów przewodu zasilającego po ławie pomiarowej. Przewód zasilający podłączono do sieci zasilającej umieszczając jego odcinek znajdujący się poza ławą w dodatkowych cęgach absorpcyjnych. Na jednym końcu cęgów nawinięty jest dodatkowo jeden zwój z koncentrycznym wyprowadzeniem i przez 6dB tłumik kablem pomiarowym doprowadzony jest do miernika zaburzeń. Są to tzw. wrota pomiarowe cęgów, gdzie badany przewód zasilający umieszczony w cęgach i uzwojenie jednozwojowe stanowią transformator o przekładni 1:1 [3]. Przesuwając cęgi wzdłuż przewodu AC szukamy maksymalne poziomy zaburzeń w paśmie od 30MHz do 300MHz.



Rys. 2. Pomiar mocy w.c.z. za pomocą cęgów absorpcyjnych
Fig. 2. Measurement of RFI power using tan absorber clamp

4. Wizualizacja wyników pomiarów, obsługa manualna miernika EMC

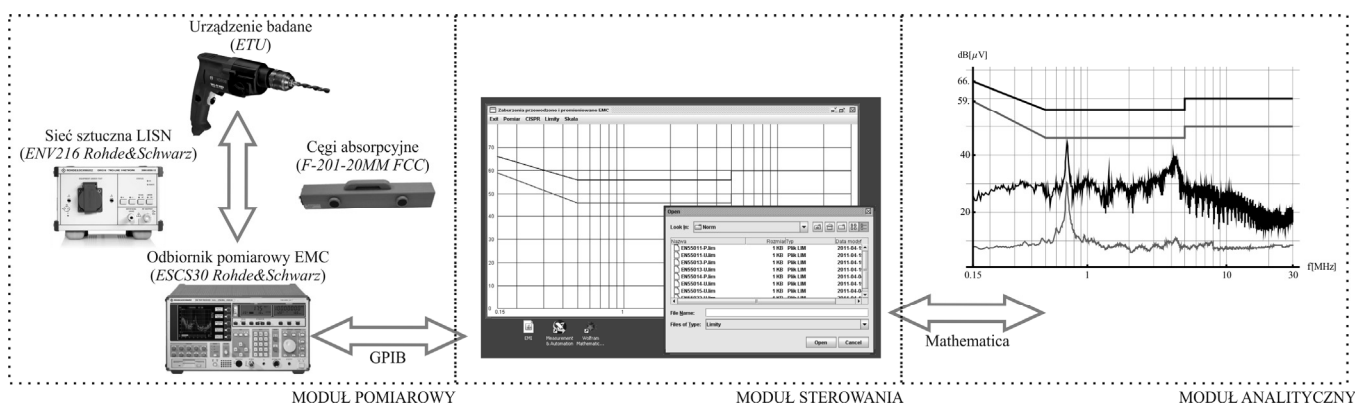
Jedną z metod prezentacji wyników pomiarów jest zapisanie danych pomiarowych na nośniku (dyskietce) za pomocą wbudowanej stacji w odbiorniku pomiarowym i przeniesienie zebranych wyników pomiarów do komputera. Wymaga to jednak wykonanie szeregu kolejnych czynności:

- konfiguracji wstępnej miernika, ustawienie zakresu częstotliwości, włączenie odpowiednich detektorów, szybkości skanowania itp.;
- wprowadzenie limitów granicznych i współczynników przetworników pomiarowych (sieci sztucznej lub cęgów absorpcyjnych);
- uruchomienie pomiaru;
- zapisanie danych na nośniku i przeniesienie do komputera;
- konwersja do pliku ASCII.

```
Frequency;;AV Level;;Delta Limit;;Phase;;PE:
kHz ; dBµV ; dBµV ; - ; -
no Results

Scan Results: 6635
Frequency;;Lev PK;;Lev AV:
kHz;dBµV;dBµV
150.000;67.4;56.1;
154.500;66.5;55.2;
159.000;66.2;54.8;
163.500;64.6;53.8;
168.000;63.9;52.6;
172.500;64.6;51.9;
177.000;63.4;50.8;
```

Rys. 3. Fragment pliku ASCII
Fig. 3. Section of an ASCII file



Rys. 4. System pomiarowy
Fig. 4. Measurement system

W wyniku konwersji pliku binarnego do formatu tekstowego (rys. 3) otrzymujemy kompletne dane pomiarowe w formacie możliwym do dalszej obróbki np. za pomocą arkusza kalkulacyjnego lub bardziej wyrafinowanego oprogramowania do tworzenia wykresów funkcji. Wymaga to jednak czasochłonnego przygotowania danych wejściowych.

Korzystając ze środowiska Mathematica, opracowany skrypt dokonuje analizę leksykalną pliku wejściowego, usuwa nagłówki i zamienia ciągi tekstowe odpowiadające wartościom pomiarowym na format liczbowy oraz grupuje je w macierze (1). Poszczególne kolumny opisują częstotliwość F , poziom sygnału wartości szczytowej Lpk i poziom sygnału wartości średniej Lav dla pomiaru ciągłego (*prescan*).

$$\begin{bmatrix} F_1 & Lpk_1 \\ \vdots & \vdots \\ F_n & Lpk_n \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} F_1 & Lak_1 \\ \vdots & \vdots \\ F_n & Lak_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

Analogicznie wartości limitów granicznych (2) dla ustalonej częstotliwości oraz dla pomiaru punktowego (*final meas*) zmierzone detektorem quasi-peak.

$$\begin{bmatrix} 0.15 & 66 \\ 0.5 & 56 \\ 5 & 56 \\ 5 & 60 \\ 30 & 60 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0.15 & 59 \\ 0.5 & 46 \\ 5 & 46 \\ 5 & 50 \\ 30 & 50 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Polecenie *ListLogLinearPlot* (3) na podstawie wartości macierzy wyznacza reprezentację graficzną pomiaru.

$$\text{ListLogLinearPlot}[\{\{list_1, list_2, \dots\}\}] \quad (3)$$

5. System pomiarowy

System pomiarowy (rys. 4) został zbudowany w oparciu o magistralę GPIB (rys. 5), dzięki której jest możliwa dwustronna komunikacja między odbiornikiem pomiarowym a komputerem. Umożliwiło to zbudowanie systemu pomiarowego, gdzie sterowanie i konfiguracja miernika odbywa się za pomocą aplikacji sterującej. Dane pomiarowe prezentowane są w komputerze w czasie rzeczywistym równolegle w trakcie wykonywania przez odbiornik EMC cyklu pomiarowego.

Standard GPIB (ang. *General Purpose Interface Bus*) jest obecnie najpopularniejszym standardem interfejsu umożliwiającym połączenie aparatury kontrolno-pomiarowej i informatycznej w system pomiarowy. Przesyłanie przez magistralę informacji w postaci bajtów odbywa się asynchronicznie, ze zwrotnym potwierdzeniem odbioru. Firma National Instruments (NI) wprowadziła rozwiązanie pozwalające na zwiększenie szybkości transmisji danych na magistrali GPIB do 8MB/s.



Rys. 5. Interfejs GPIB
Fig. 5. GPIB interface

Do budowy aplikacji sterującej wykorzystano język programowania obiektowego JAVA. Biblioteka komponentów Swing [6] posłużyła do stworzenia graficznego interfejsu użytkownika. Dane pomiarowe gromadzone są na twardym dysku komputera, zapisywane w formacie tekstowym.

Biblioteka dynamiczna (*gpib-32.dll*) dostarczająca funkcje we/wy dla karty GPIB firmy NI nie wspiera języka Java, dlatego wykorzystano mechanizmy JNI (ang. *Java Native Interface*). Technologia ta pozwala na wywoływanie z poziomu Javy funkcje zaimplementowane w języku C/C++, w którym sterownik programowy został dostarczony.

5.1. Sterowanie miernikiem

Sterowanie miernikiem z poziomu systemu informatycznego możliwe jest przez odwołanie do wewnętrznych rozkazów procesora. Wbudowany język sprzętowy R&S-Basic miernika ESCS [4] składa się z listy poleceń, niezbędnych do wykonania automatycznych pomiarów zgodnych z normami CISPR. Rozkazy umożliwiające sterowanie zdalne miernikiem obejmują wszystkie funkcje, jakie posiada miernik przy obsłudze manualnej.

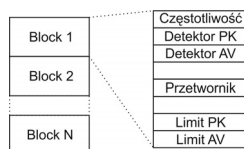
Komunikacja odbiornika pomiarowego w kierunku systemu informatycznego odbywa się po podaniu poleceń ze znakiem zapytania „?”. Na rysunku 6 przedstawiono fragment kodu w języku Java, z wyróżnionym pogrubioną czcionką poleceniem mikrokontrolera odbiornika EMC.

```
public String Write(File file) {
    try {
        FileOutputStream fos=new FileOutputStream(file);
        OutputStreamWriter osw = new OutputStreamWriter(fos,"Cp1250");
        BufferedWriter bw = new BufferedWriter(osw);

        for(int i=0;i<(int)step+1; i++) {
            value=myDevice.sendCommand("SC:B:F A; SC:B:C 1; *CLS;
*ESE 1; *SRE 33; ERDE 65535; SC:B?");
            bw.write(value.replaceAll(",",""));
            bw.newLine();
        }
        bw.close();
    }
    catch(Throwable e) {
        JOptionPane.showMessageDialog(null, "write: "+e,"error", 0);
    }
    return value;
}
```

Rys. 6. Fragment kodu Java
Fig. 6. Java code fragment

Strukturę przesłanych danych pomiarowych przedstawia rysunek 7, przestrzeń pojedynczego pomiaru (bloku) wymaga wcześniejszego zdefiniowania przed wykonaniem polecenia SCAN BLOCK [4] (patrz przykład wyżej).



Rys. 7. Format danych
Fig. 7. Data format

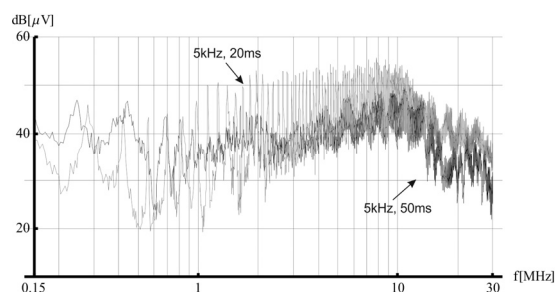
5.2. Biblioteka norm i współczynników przetworników

Do systemu pomiarowego dodano biblioteki (słowniki) norm oraz współczynników korekcyjnych przetworników pomiarowych. Parametry normy dostarczane są do systemu za pomocą skryptów w oddzielnych plikach, co daje większą elastyczność systemu. Nie ma potrzeby rekompilacji kodu, chcąc zmienić lub dodać daną normę czy wprowadzić współczynniki korekcyjne danego przetwornika pomiarowego. Dołączone biblioteki obejmują:

- normy CISPR A-D (które określają zakres częstotliwości, krok skanowania, szerokość pasma, rodzaj detektorów biorących udział w pomiarze, czas pomiaru, rodzaj i poziom tłumienia);
- limity poziomów granicznych wynikające z norm typu badanej grupy urządzeń (urządzenia informatyczne – PN-EN 55022, elektryczne urządzenia oświetleniowe – PN-EN 55015, przemysłowe, medyczne i naukowe (PMN) urządzenia o częstotliwości radiowej – PN-EN 55011, itd.);
- współczynniki korekcyjne przetworników pomiarowych (współczynniki dla cęg absorpcyjnych przy pomiarze zaburzeń promieniowanych oraz współczynniki dla sieci sztucznej przy pomiarze zaburzeń przewodzonych).

5.3. Moduł analityczny

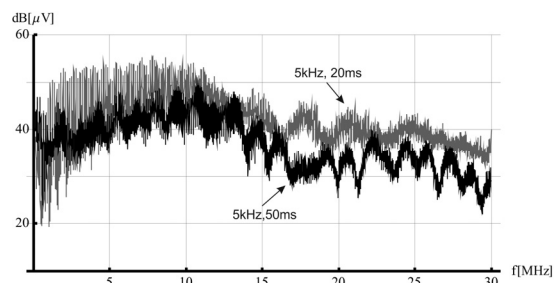
System pomiarowy został zintegrowany ze środowiskiem Mathematica w celu wizualizacji wyników pomiarów, ale przede wszystkim dostarczenia narzędzi analitycznych. Reprezentacja graficzna widma częstotliwości sygnału wykonana jest analogicznie jak dla pomiaru metodą manualną (bez udziału systemu informatycznego). W trakcie wykonywania badania system pomiarowy dane pomiarowe zapisuje do pliku. Dane zamieniane są na postać macierzową i za pomocą odpowiednio sparametryzowanego polecenia *ListLogLinearPlot* (3) prezentowane w postaci graficznej.



Rys. 8. Widmo zaburzeń przewodzonych w skali logarytmicznej
Fig. 8. Spectrum of conducted interferences in logarithmic scale

Rysunek 8 przedstawia widmo zaburzeń przewodzonych przetwornika impulsowego. Wykonano dwa pomiary detektorem wartości szczytowych (ang. *detector peak*) dla różnych czasów pomiaru próbki i jednakowej częstotliwości próbkowania (kroku skanowania). Pomiary umieszczono na wspólnym wykresie graficznym. Pomiar pierwszy wykonany został zgodnie z normą PN-EN 55014 dla pasma CISPR B, natomiast dla pomiaru drugiego ustawiono (zwiększono) czasu pomiaru na 50ms.

Zmieniając skalę logarytmiczną częstotliwości na skalę liniową (rys. 9) można wyraźnie stwierdzić, że kształt obwiedni [7] zaburzeń obu pomiarów różni się. Zwiększając czas wykonywania pomiaru zmianą ulega, zwiększa się częstotliwość oscylacji zaburzeń oraz maleje wartość poszczególnych prądów zaburzeń. Podobne informacje uzyskujemy przeprowadzając pomiary dla stałego czasu pomiaru i różnej częstotliwości próbkowania.



Rys. 9. Widmo zaburzeń przewodzonych w skali liniowej
Fig. 9. Spectrum of conducted interferences in linear scale

6. Podsumowanie

Metody pomiaru zaburzeń przewodzonych i promieniowanych przy użyciu odbiornika pomiarowego są jednymi z podstawowych badań określonych przez dokumenty normalizacyjne. Pomiary zaburzeń radioelektrycznych uzasadnione z punktu widzenia wymagań Dyrektywy EMC mogą być niewystarczające do pełnej analizy zjawisk w kompatybilności elektromagnetycznej.

Zaproponowany system pomiarowy zintegrowany z modułem analitycznym dostarcza narzędzia badawcze do prowadzenia pomiarów pozanormatywnych. Realizacja aplikacji w technologii Java pozwala na bardziej efektywne wykonywanie badań, w szerszym zakresie, niż wymagania norm. Modułowa konstrukcja aplikacji umożliwia oczywiście dalszą jej rozbudowę, rozszerzając funkcjonalność systemu pomiarowego. Polecenia sterujące i konfiguracyjne odbiornika pomiarowego zapisane są w skryptach tekstowych poza kodem aplikacji. Pozwala to na opracowywanie własnych scenariuszy pomiarowych, co nie było by możliwe wykorzystując komercyjne oprogramowanie producenta miernika.

Korzystając ze środowiska Mathematica, możemy zmieniać sposób prezentacji danych oraz wykonując badania z parametrami innymi niż zalecenia normatywne, możemy uzyskać dodatkowe informacje, mogące przyczynić się do poprawy kompatybilności elektromagnetycznej.

7. Literatura

- [1] Ustawa z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności (Dz. U. z 2010 r., Nr 138, poz. 935, z późn. zm).
- [2] Kempki A.: Elektromagnetyczne zaburzenia przewodzone w układach napędów przekształtnikowych. Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, 2005.
- [3] Sroka J.: Niepewność pomiarowa w badaniach EMC. Pomiary emisyjności radioelektrycznej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2009.
- [4] Rohde & Schwarz GmbH: EMI test receiver 9kHz to 2750MHz ESCS 30. Operating manual, 1998.
- [5] Ficher Custom Communications, INC: FCC Absorbing Clamp. Operating manual.
- [6] Eckel B.: Thinking in Java. Wydawnictwo Helion, 2005.
- [7] Smoleński R., Kempki A., Kasperk R., Bojarski J., Sołtysiak A.: Zaburzenia przewodzone generowane przez grupę zasilaczy AC/DC z modulacją deterministyczną i pseudolosową. Przegląd elektrotechniczny, nr 8, ss.144-148, 2009.