

Identyfikacja interfejsów sprzętowych w systemach współmiejscowych w oparciu o emisję promieniowaną

Streszczenie. W artykule opisano budowę systemów współmiejscowych, określono i oszacowano poziomy promieniowanych emisji niepożądanych pochodzących od współczesnego sprzętu informatycznego znajdującego się na rynku Unii Europejskiej. Ponadto w artykule przedstawiono analizę emisji promieniowanej dla poszczególnych interfejsów sprzętowych komputera przenośnego PC oraz wyniki identyfikacji interfejsów sprzętowych dla interfejsów sprzętowych komputera PC cechujących się podwyższoną emisją promieniowaną.

Abstract. This paper describes the construction of complex systems. This paper defined and estimated levels of radiated emissions coming from the modern computer equipment from the market in the European Union. In addition, the paper presents an analysis of radiated emissions for different hardware interfaces laptop PC and the results of the identification of hardware interfaces for PC hardware interfaces are characterized by increased radiated emissions. **Identification of hardware interfaces in complex systems based on radiated emissions.**

Słowa kluczowe: emisja promieniowana, system współmiejscowy, kompatybilność elektromagnetyczna, jednostka centralna.

Keywords: radiated emissions, the complex system, electromagnetic compatibility, the central unit of PC.

doi:10.12915/pe.2014.07.55

Wstęp

W dzisiejszych czasach prawie każdy człowiek uzależnił się od licznych urządzeń elektrycznych i elektronicznych. Wszelkie urządzenia emitują energię elektromagnetyczną. Urządzenia można więc podzielić na dwie grupy. Pierwsza obejmuje urządzenia budowane specjalnie w tym celu, aby energię promieniować, druga natomiast – to urządzenia, których promieniowanie energii nie jest zamierzonym celem, a stanowi swego rodzaju „produkt uboczny”.

W artykule szczególną uwagę zwrócono na emisje promieniowane niepożądane. Są one produktem ubocznym, wytwarzanym w sposób niezamierzony podczas realizacji podstawowej funkcji urządzenia. Powstają one w obwodach elektrycznych zawierających indukcyjności i pojemności, w których mają miejsce nagłe zmiany prądu lub napięcia względnie fluktuacyjne zmiany gęstości nośników ładunku elektrycznego lub w których występuje dodatnie sprzężenie zwrotne.

W artykule przedstawiono analizę emisji promieniowanej dla wybranych interfejsów sprzętowych komputera przenośnego PC oraz wyniki identyfikacji interfejsów sprzętowych dla urządzeń wewnętrznych komputera przenośnego PC cechujących się podwyższoną emisją promieniowaną

Emisja promieniowana

Energia emitowana przez dowolne źródło, ogólnie biorąc, może zależeć od częstotliwości (f), czasu (t) i kierunku (Φ) (Φ symbolicznie oznacza współrzędne określające kierunek i ujmuje również ewentualnie polaryzację fali elektromagnetycznej). Jej ilość wysyłana w chwili t w kierunku Φ , przy częstotliwości f , przypadająca na jednostkę czasu, jednostkowy kąt bryłowy oraz jednostkowy przedział częstotliwości (wyrażoną w przypadku przestrzeni trójwymiarowej w $[W \cdot sr^{-1} \cdot Hz^{-1}]$), można nazwać zdolnością emisyjną źródła:

$$(1) \quad \varepsilon = f(f, t).$$

Wielkość ε można uważać za operator opisujący przekształcenie energii wywołanej w źródle (która zależy tylko od częstotliwości i czasu) w przestrzenno-czasowo-częstotliwościowy rozkład energii w ośrodku otaczającym źródło. Jeżeli właściwości kierunkowe, częstotliwościowe i czasowe źródła są niezależne od siebie, to jego zdolność emisyjna ε może być przedstawiona w postaci iloczynu trzech funkcji, reprezentujących oddzielne charakterystyki

opisujące selektywność (wybiórczość) częstotliwościową, kierunkową i czasową źródła. W najprostszym przypadku jest ona stała, czyli $\varepsilon = W = \text{const}$. Przypadek taki ma jednak znaczenie wyłącznie teoretyczne, źródło bowiem emisji energii elektromagnetycznej o takich właściwościach nie jest realizowane fizycznie. Takie źródła nazywamy źródłami bezpośrednio emitującymi energię elektromagnetyczną. Przy dużej ilości źródeł emisji działających jednocześnie wypadkowy proces zawiera dominujące dyskretne składowe o szczególnie dużej intensywności oraz tło elektromagnetyczne, zbliżone do szumu. Intensywność emisji zamierzonej w zasadzie można oszacować na podstawie rozmieszczenia przestrzenno-czasowo-częstotliwościowego źródeł, promieniowanej mocy i innych znamionowych parametrów wchodzących w grę urządzeń. Natomiast emisja niezamierzona jest znacznie trudniejsza do oceny ilościowej. Takim przykładem jest system współmiejscowy, w którym jednocześnie znajduje się kilka źródeł emisji elektromagnetycznej.

Systemy współmiejscowe

System współmiejscowy to system będący systemem kompatybilnym wewnątrzsystemowo. Systemem współmiejscowym możemy nazwać zbiór źródeł sygnałów elektromagnetycznych oraz relacji między nimi i ich atrybutami. Relację między źródłami reprezentują oddziaływanie ich między sobą (oddziaływanie wewnętrzne) oraz oddziaływanie względem otoczenia (oddziaływanie zewnętrzne).

Przykładem systemu współmiejscowego jest urządzenie informatyczne zbudowane z wielu komponentów elektronicznych o określonych cechach dystynktywnych. Jedną z takich cech jest widmo emisji promieniowanej będące odwzorowaniem emisji zaburzeń promieniowanych. W przypadku systemu współmiejscowego urządzenia elektroniczne współpracują ze sobą tworząc cały system. Przykładem systemu współmiejscowego jest więc jednostka centralna komputera PC lub komputer przenośny, który składa się z wielu komponentów elektronicznych, oraz interfejsów sprzętowych umieszczonych w jednej obudowie tworząc w całości system informatyczny.

Stanowisko pomiarowe do pomiaru emisji promieniowanej oraz aplikacja sterująca pracą komputera PC – BurnInTest

Miejsce, w którym przeprowadzane są pomiary musi umożliwiać odróżnienie zaburzeń generowanych przed

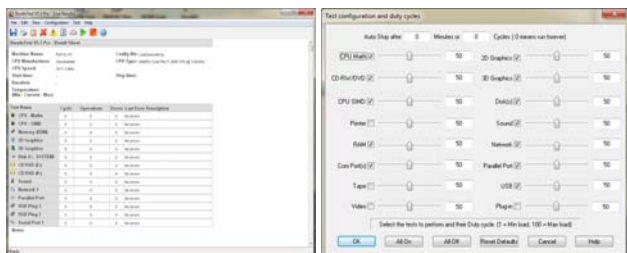
urządzenie od zaburzeń tła otaczającego badane urządzenie. Pomiar wykonano bazując na metodologii badań zgodną z normą PN-EN 55022:2006, która zawiera metodyki badawcze oraz opisuje sposób przeprowadzenia pomiarów. Widok stanowiska pomiarowego w komorze bezodbiwojowej pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Widok stanowiska pomiarowego podczas badań w komorze bezodbiwojowej

Do automatycznego pobudzenia pracy wybranych modułów komputera wykorzystano program BurnInTest. Okno główne oraz wyboru testów programu zostało przedstawione na rysunku 2. Na badanym komputerze przenośnym ACER IconiaTab W700 konieczne było zainstalowanie i uruchomienie oprogramowania BurnInTest, które umożliwia wybranie testów wykorzystywanych podczas badań. Spośród dostępnych testów zostały wybrane testy: karty graficznej, dysków twardych, USB, procesora, pamięci RAM. Podczas przeprowadzania badań emisyjności zostały wykonane trzy rodzaje pomiarów:

- wszystkie interfejsy pracowały jednocześnie,
- wszystkie interfejsy były wyłączone. Komputer pracował z uruchomionym systemem operacyjnym w stanie oczekiwania na pracę. Dzięki temu uzyskano emisyjność tła szumowego środowiska pomiarowego,
- włączane pojedynczo te interfejsy, które w danej chwili były badane: RS-232, USB, LPT, LAN, VGA, Serial ATA IDE (dysk HDD).



Rys. 2. Okno główne oraz okno wyboru testów aplikacji BurnInTest

W aplikacji BurnInTest możemy dokonać wyboru testów wykorzystywanych do badania oprogramowania jak i sprzętu komputerowego. Każdy z testów przeznaczony jest do badania różnych modułów systemu komputerowego. Testy te mogą zostać przeprowadzone jednocześnie, ponieważ każdy test posiada własne indywidualne programy badań poszczególnych komponentów. Istnieje również możliwość zmiany obciążenia poszczególnego interfejsu na dany cykl zegara procesora poprzez powiększanie albo zmniejszanie liczby cykli dla poszczególnych testów.

Każdy z testów zapamiętuje oraz kontroluje liczbę błędów, cykli i wykonywanych operacji. Poniżej omówiono wybrane ustawienia i opisy testów wykorzystanych podczas badania komputera przenośnego ACER IconiaTab W700, a w kolejnym rozdziale przedstawiono wyniki pomiarowe dla tak przeprowadzonych testów.

Test procesora

Test ten umożliwia wybranie kilku podtestów podzielonych na dwie grupy. Pierwsza z nich to „Select Math Tests” a druga „Select SIMD Math Tests”. W pierwszej znajdują się dwa różne testy: test na liczbach całkowitych oparty na 32 bitowej tablicy liczb losowych, z której liczby przetwarzane są z wykorzystaniem operacji matematycznych. Drugim testem jest test wykorzystujący liczby zmiennoprzecinkowe. Wykonywane operacje matematyczne to: dodawanie, odejmowanie, mnożenie, dzielenie, dodawanie, odejmowanie liczb zmiennoprzecinkowych, oraz mnożenie i dzielenie liczb zmiennoprzecinkowych.

Każda operacja matematyczna jest wykonywana dwa razy i porównywane są wyniki. Jeżeli wyniki otrzymane w dwóch obliczeniach różnią się występuje błąd. Dla każdego testu każda operacja matematyczna trwa pół sekundy.

Test pamięci RAM

Test ten umożliwia sprawdzenie pamięci RAM zainstalowanej w komputerze. Działa on na zasadzie wpisania wzorca do pamięci RAM, następnie weryfikowane są odczytane numery sekwencji z pamięci RAM. Wzór zmienia się automatycznie po przejściu każdego cyklu. Możliwe wzory testowe, które mogą zostać wybrane to: dane sekwencyjne (0,1,2...255), dane binarne w postaci (10101010), dane binarne w postaci (01010101), same zera (00000000), same jedynki (11111111).

Test karty graficznej

Test ten wpisuje, odczytuje i weryfikuje dane do graficznego urządzenia wyjściowego używającego interfejsu Microsoft DirectDraw. W tym celu musi zostać zainstalowana w systemie wersja DirectX określona w wymaganiach systemowych. Istnieje możliwość wybrania jednego z kilku dostępnych testów grafiki:

- *Local Video Memory Only*: przetestowanie tylko lokalnej pamięci wideo.
- *All Video Memory*: testowanie całkowitej pamięci wideo, czyli lokalnej pamięci wideo i innej pamięci wideo, takiej jak pamięć RAM zarezerwowana dla grafiki.
- *EMC Scrolling Characters*: służy do badania emisyjności monitorów. Monitor i obraz wyświetlany muszą zostać dostosowane tak żeby maksymalizować pole elektromagnetyczne na wyjściu monitora. (np. poprzez wybieranie maksymalnej jasności i białego tekstu na czarnym tle, litera H, itp.).

W każdym przypadku, test najpierw określa jak dużo odpowiedniej pamięci jest wolnej a następnie wypełnia tę pamięć serią wzorów testu. Każdy testowy wzór jest wpisywany do pamięci wideo i pokazywany w oknie testowym. Po wyświetleniu dane testowego wzoru są odczytywane z powrotem z pamięci wideo i weryfikowane.

Test magistrali USB

Test ten umożliwia testowanie portów USB. W teście są dostępne dwie wersje badań: USB1 i USB2. Test USB1 wykorzystuje się do przetestowania wersji USB1.x (USB którego 1. x szybkość transmisji do 12 Mb/s), natomiast test USB2 umożliwia szersze testowanie wszystkich wersji interfejsów USB 1.x i 2.0 (USB 2.0 szybkość transmisji 480Mb/s). Liczba operacji w wykonywanym teście odpowiada liczbie bajtów wysłanych i otrzymanych do i z obciążenia interfejsu.

Używając wersji USB1 albo USB2 oraz programu BurnInTest, możliwe jest sprawdzenie:

- czy port USB jest włączony

- danych, które mogą zostać wysłane i są otrzymane przez USB
- stopy błędów USB i prędkości transmisji
- czy porty USB zostały zainstalowane poprawnie
- okablowania USB
- kilku portów USB równocześnie.

Test HDD

Test ten zawiera szereg operacji, które korzystają z urządzenia pamięci masowej (dysk twardy lub inny nośnik danych) podłączonej do komputera. W teście możemy podłączyć do dwudziestu napędów, które mogą być jednocześnie badane lub sprawdzane. Napędy mogą być podłączone za pośrednictwem magistrali IDE, SATA, SCSI, USB, FireWire lub jakiegokolwiek innej metody obsługiwanej przez system Windows.

Użytkownik może wybrać jedną z następujących sekwencji lub wybrać automatyczne przełączanie między wzorami. Dostępne sekwencje binarne w teście dysków HDD to:

- dane cykliczne
- wzór danych (0,1,2 ... 255)
- przypadkowe dane z losowych wnoszące wysoki lub niski poziom
- dane binarne (10101010)
- dane binarne (01010101)
- dane binarne (00000000)
- dane binarne (11111111)
- dane binarne pseudolosowe

Podczas każdego cyklu badań jest tworzony plik, który jest następnie zweryfikowany na badanym dysku HDD. Rozmiar pliku jest równy pewnemu procentowi pojemności dysków. Wszystkie pliki są tworzone w katalogu głównym wybranych dysków. Domyślny rozmiar pliku wynosi 1,0% wielkości dysku.

Pętle obciążające

Aby można było zbadać interfejsy sprzętowe komputera PC oprócz oprogramowania BurnInTest zostały wykorzystane również pętle obciążające interfejsy sprzętowe. Są to układy, które mają za zadanie zwieranie poszczególnych pinów w interfejsach. Dzięki temu istnieje możliwość zbadania szybkości transmisji, liczby występujących błędów oraz czy system działa prawidłowo, gdy przez długi czas przesyłane są informacje.

Podczas pomiarów wykorzystywane były pętłe firmy PassMark. Pętłe te są najszybszym i najskuteczniejszym sposobem żeby przetestować port RS-232, USB, LPT, Audio. Współpracują one z oprogramowaniem BurnInTest. Rolę pętli pełnią wtyczki z odpowiednio zwartymi pinami, które powodują, że przesyłany sygnał ulega zapętleniu. Następuje zwarcie pinów przesyłających dane z pinami otrzymującymi dane. Dzięki temu nie trzeba używać skomplikowanych urządzeń. Na rysunku 3 przedstawiono pętłe wykorzystywane dla interfejsów RS-232, LPT, USB oraz Audio.



Rys. 3. Okno główne oraz okno wyboru testów aplikacji BurnInTest. Pętla RS-232, LPT, USB oraz Audio

Wyniki pomiarów

Spośród dostępnych testów zostały wybrane testy: karty graficznej, dysków twardej, USB, procesora, pamięci

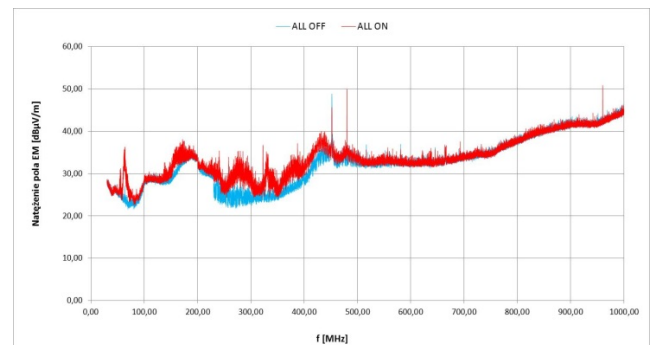
RAM. Podczas przeprowadzania badań emisyjności zostały wykonane trzy rodzaje pomiarów:

- wszystkie interfejsy pracowały jednocześnie,
- wszystkie interfejsy były wyłączone. Komputer pracował z uruchomionym systemem operacyjnym w stanie oczekiwania na pracę. Dzięki temu uzyskano emisyjność tła szumowego środowiska pomiarowego,
- włączane pojedynczo te interfejsy, które w danej chwili były badane: USB, VGA, Serial ATA IDE (dysk HDD).

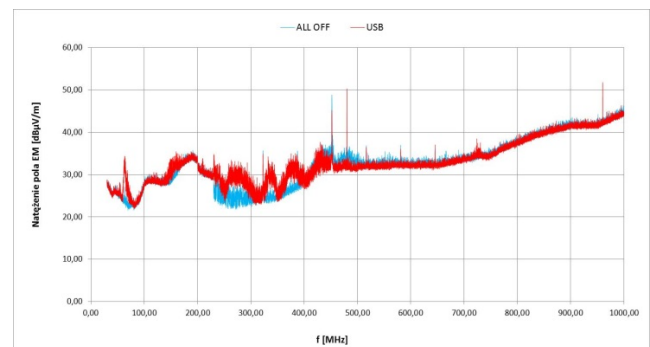
Po przeprowadzeniu badań emisji promieniowanej, kolejnym krokiem jest analiza otrzymanych wyników. Wynikami pomiarów są wykresy poziomów natężenia pola elektromagnetycznego EM [dB μ V/m] w funkcji częstotliwości od 30MHz do 1000MHz.

Na rys. 4 przedstawiono poziomy natężenia pola elektromagnetycznego w funkcji częstotliwości dla tła szumowego środowiska pomiarowego (kolor niebieski) oraz komputera przenośnego przy pracy wszystkich interfejsów sprzętowych (kolor czerwony). Przedstawione na rysunku 4 kolorem niebieskim tło szumowe (praca komputera bez wymuszenia ruchu na interfejsach) stanowi wykres odniesienia, do którego porównywane są pozostałe widma częstotliwościowe komputera przenośnego PC pracującego pod obciążeniem poszczególnych interfejsów. W ten sposób będzie można stwierdzić czy wystąpił wzrost emisyjności w danym zakresie częstotliwości dla badanego interfejsu.

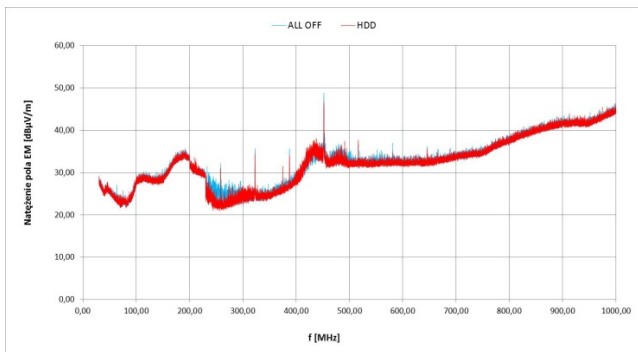
Na rysunkach od 5 do 8 przedstawiono pomierzone wartości poziomu tła szumowego wraz z wartościami natężenia pola elektromagnetycznego promieniowanego przez tablet ACER IconiaTab W700 w zakresie od 30MHz do 1000MHz dla różnych obciążeń urządzenia. Poprzez obciążenie należy rozumieć uruchamianie poszczególnych interfejsów sprzętowych urządzenia informatycznego.



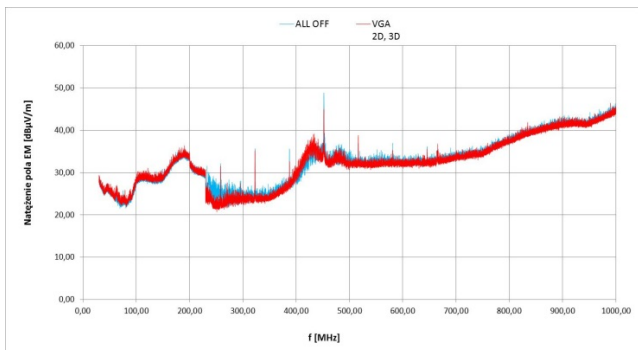
Rys. 4. Poziomy emisji promieniowanej tabletu ACER IconiaTab W700 przy braku obciążenia interfejsów sprzętowych (kolor niebieski) oraz przy pracy wszystkich interfejsów sprzętowych (kolor czerwony)



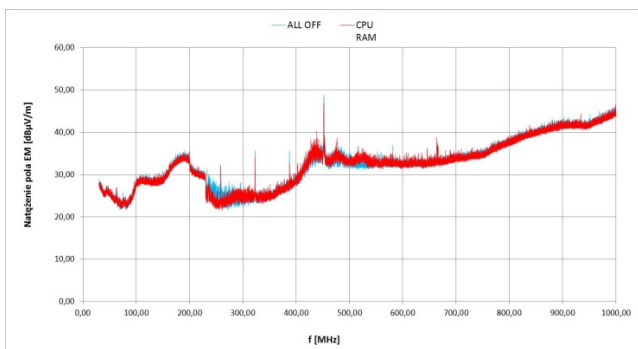
Rys. 5. Poziomy emisji promieniowanej tabletu ACER IconiaTab W700 przy braku obciążenia interfejsów sprzętowych (kolor niebieski) oraz przy pracy interfejsu USB (kolor czerwony)



Rys. 6. Poziomy emisji promieniowanej tabletu ACER IconiaTab W700 przy braku obciążenia interfejsów sprzętowych (kolor niebieski) oraz przy pracy dysku HDD (kolor czerwony)



Rys. 7. Poziomy emisji promieniowanej tabletu ACER IconiaTab W700 przy braku obciążenia interfejsów sprzętowych (kolor niebieski) oraz przy pracy grafiki VGA (kolor czerwony)



Rys. 8. Poziomy emisji promieniowanej tabletu ACER IconiaTab W700 przy braku obciążenia interfejsów sprzętowych (kolor niebieski) oraz przy pracy CPU i pamięci RAM (kolor czerwony)

Na podstawie otrzymanych wyników pomiarowych można stwierdzić, że istnieje możliwość zidentyfikowania interfejsów sprzętowych komputera PC powodujące wzrost poziomu emisyjności. Cechą dystyngywną pracy poszczególnych interfejsów jest więc jego częstotliwość pracy oraz poziom emisyjności pozwalające na identyfikację danego interfejsu sprzętowego. Wyniki identyfikacji interfejsów sprzętowych zostały zebrane w tabeli 1.

Wnioski

W artykule określono i oszacowano poziomy promieniowanych emisji niepożądanych pochodzących od współczesnego sprzętu informatycznego znajdującego się na rynku Unii Europejskiej. Emisje te są produktem ubocznym, wytwarzanym w sposób niezamierzony podczas realizacji podstawowej funkcji urządzenia, a zatem należy dążyć do tego aby ich poziom był jak najmniejszy.

Wyznaczone poziomy mogą stanowić podstawę w początkowych etapach projektowania zabezpieczeń

elektromagnetycznych współczesnych urządzeń informatycznych dążąc do zapewnienia zgodności z odpowiednimi normami obowiązującymi w Unii Europejskiej.

Ponadto dzięki identyfikacji komponentów wewnętrznych komputera PC powodujących podwyższoną emisję istnieje możliwość znacznego przyspieszenia procesu przygotowania urządzenia do sprzedaży w przypadku gdy jego poziom emisyjności jest niezgodny z normą.

Zgromadzone w ramach pracy wyniki pomiarów emisji promieniowanej generowanej przez poszczególne komponenty wyżej wymienionych urządzeń umożliwiły zbudowanie bazy danych, która będzie mogła być wykorzystana do identyfikacji komponentów cechujących się zbyt dużym poziomem emisji promieniowanej.

Tabela 1. Poziomy natężenia pola EM od zidentyfikowanych interfejsów sprzętowych znajdujących się w tablecie ACER

| Urządzenie/ rodzaj interfejsu | f [MHz] | Poziom emisji w odległości 3m od tabletu ACER IconiaTab W700 [dBµV/m] | |
|-------------------------------|-----------|---|----------------------|
| | | Przy pracy Interfejsu | Bez pracy Interfejsu |
| USB | 62 – 70 | 33,67 | 24,50 |
| USB | 140 – 160 | 33,18 | 28,79 |
| VGA | 153,00 | 37,22 | 28,92 |
| USB | 260 – 290 | 31,05 | 24,30 |
| VGA | 288,00 | 41,98 | 34,55 |
| HDD | 374,00 | 31,56 | 28,01 |
| VGA | 382,00 | 43,46 | 35,10 |
| VGA | 417 – 421 | 43,08 | 28,67 |
| USB | 480,00 | 50,28 | 34,14 |
| VGA | 511 – 514 | 38,42 | 32,61 |
| CPU, RAM | 663 – 666 | 36,89 | 33,04 |
| HDD | 680,00 | 46,91 | 40,02 |
| VGA | 820,00 | 46,71 | 38,84 |
| USB | 960,00 | 51,80 | 42,53 |

Projekt jest finansowany ze środków NCBiR w ramach Umowy NR 0024/R/ID2/2012/02 w latach 2012 – 2015.

LITERATURA

- [1] PN-EN 55022:2006: *Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Urządzenia informatyczne - Charakterystyki zaburzeń radioelektrycznych - Poziomy dopuszczalne i metody pomiaru*; Polski Komitet Normalizacyjny, (2006)
- [2] Gook M. „*Interfejsy sprzętowe komputerów PC*”, Helion, Gliwice (2005).
- [3] Rotkiewicz W. „*Kompatybilność elektromagnetyczna w radiotechnice*”, WKiŁ, Warszawa (1978).
- [4] Przesmycki R., Wnuk M., Nowosielski L., Piwowarczyk K, Bugaj M. „*The Conducted and Radiated Emission Levels from IT Devices*”, PIERS Proceedings (2012), str. 77-81, ISSN 1559-9450, ISBN: 978-1-934142-20-2.
- [5] Przesmycki R., Wnuk M., Nowosielski L., Piwowarczyk K, Bugaj M. „*Analysis of the Radiated Emissions of IT Equipment*”, PIERS Proceedings (2012), str. 1419-1423, ISSN 1559-9450, ISBN: 978-1-934142-22-6,
- [6] <http://www.passmark.com/products/loopback.htm>

Autor: mgr inż. Rafał Przesmycki, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. Gen S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
E-mail: rprzesmycki@wat.edu.pl