

Pomiary zaburzeń elektromagnetycznych (EMI) przyrządami Rigola

Badania i pomiary

Dodatkowe informacje
NDN-Zbigniew Daniluk
 ul. Janowskiego 15, 02-784 Warszawa
 tel. 22-644-42-50, 22-641-15-47
 tel./faks 22-641-61-96
 ndn@ndn.com.pl, www.ndn.com.pl

Pomiary kompatybilności EMC stanowią już integralny etap produkcji urządzeń elektronicznych, bez którego w zasadzie nie jest możliwe wprowadzenie produktu na rynek. Każde nowo zaprojektowane urządzenie musi przejść serię dokładnych pomiarów i badań określających czy spełnia ono coraz bardziej restrykcyjne normy. Wszystko dla dobra użytkowników i pognębienia konstruktorów, przed którymi pojawiają się problemy niemal nie do pokonania.

Badanie urządzeń elektronicznych pod kątem spełniania norm dotyczących dopuszczalnego poziomu zaburzeń promieniowanych oraz odporności na oddziaływanie pola elektromagnetycznego o częstotliwości radiowej odbywa się w specjalnych komorach bezodbiciowych, w jakie wyposażane są laboratoria certyfikacyjne. Komora taka, to całkiem spore, bardzo dokładnie ekranowane pomieszczenie, które powinno jak najwierniej odpowiadać teoretycznej klatce Faradaya. Wewnątrz znajduje się obrotowy stół pomiarowy, na którym jest umieszczane badane urządzenie, a w określonej odległości od niego na specjalnym maszynie ustawiana jest antena dobierana w zależności od wykonywanego pomiaru i zakresu częstotliwości. Poza urządzeniem badanym i zestawem anten w komorze nie powinny znajdować się żadne inne urządzenia, w tym mierniki i analizatory wykonujące pomiar. Wyjątkiem są kamery, za których pośrednictwem jest możliwa obserwacja urządzenia z pomieszczenia aparaturowego. Schemat poglądowy typowej, certyfikacyjnej komory bezodbiciowej przedstawiono na **rysunku 9**. Koszt organizacji najlepiej wyposażonych

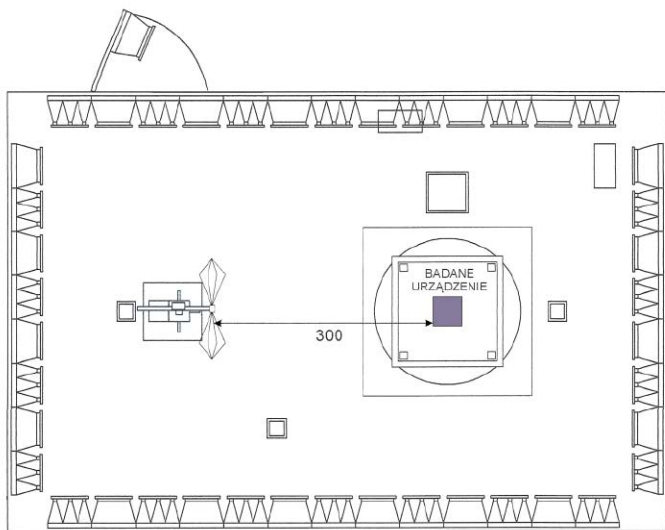
komór na świecie jest rzędu miliona dolarów. Może to w pewnym stopniu usprawiedliwiać wysokie ceny usług certyfikacyjnych.

Z oczywistych, wymienianych tu względów, na takie wyposażenie nie stać większości producentów lub dystrybutorów sprzętu. Stąd przy coraz powszechniejszej dostępności względnie tanich analizatorów widma pojawiła się koncepcja badań przedcertyfikacyjnych. Okazuje się, że namiastkę prawdziwej komory bezodbiciowej może mieć prawie każdy.

Pomiary emisji z użyciem komory TEM

Konstrukcję komory TEM opisano w pierwszej części artykułu, zamieszczonej w EP7/2016. Obecnie skupimy się na pomiarach z jej użyciem.

Opisywana komora TBTC1 ma orientacyjne wymiary 360 mm×200 mm, przy czym jednorodne pole elektromagnetyczne jest wytwarzane na powierzchni 200 mm×200 mm. Komora jest elementem 2-portowym. Do jednego portu jest dołączany terminator



Rysunek 9. Przykładowa certyfikacyjna komora bezodbiornicza

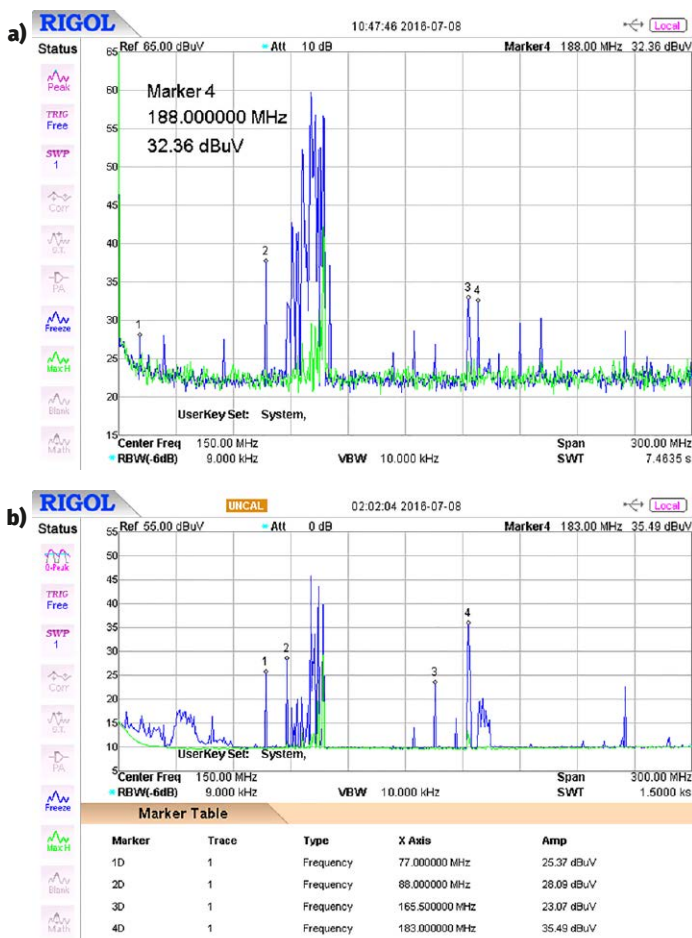
50 Ω/25 W, z drugiego natomiast jest odprowadzany sygnał do analizatora DSA815 poprzez eliminator składowej stałej. Sygnał ten jest pobierany z linii paskowej pełniącej funkcję anteny. Jest ona zamontowana fabrycznie w środkowej przegrodzie komory. Badany element należy umieścić na dolnej półce. Cała komora powinna być ustawiona na blaszanej podstawie o wymiarach ok. 1 m×1 m. Blacha powinna być uziemiona.

Badane urządzenie (DUT – Device Under Test) musi być oczywiście włączone podczas pomiarów, należy więc zadbać o doprowadzenie odpowiedniego źródła zasilania. W większości przypadków wymagane będzie ustawienie zerowego tłumienia wbudowanego

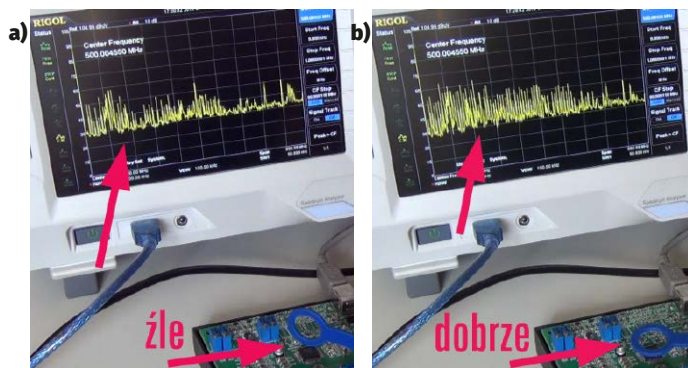
w analizatorze DSA815 tłumika. Co więcej, do prawidłowego wykonania pomiaru może być potrzebny dodatkowy przedwzmacniacz zwiększający zakres dynamiki. Rozdzielczość pomiaru (RBW) zależy od standardu, według którego badane jest urządzenie. Zwykle jest to 9 kHz. Pomiar wykonuje się z włączoną opcją *Max Hold*. W celu lokalizacji przypadkowych sygnałów emitowanych przez DUT należy zapewnić kilkakrotne skanowanie widma. Istotne jest również włączenie filtra EMI w analizatorze. Wiąże się to z zakupem odpowiedniej opcji rozszerzającej firmware przyrządu. Pomiar ze standardowym filtrem nie da dobrych wyników.

Jedną z opcji analizatora DSA815 określającą typ detekcji pozwala na włączenie detektora *Quasi Peak*. Eliminuje on widoczne w widmie „szpilki” pozornie przekraczające dozwolone poziomy, gdyż mierzy ważoną wartość szczytową obwiedni sygnału. Waga sygnału zależy od czasu jego trwania i częstości powtarzania. Sygnały pojawiające się rzadko będą miały mniejszą wartość pseudoszczytową niż sygnały występujące często. Wadą takiego pomiaru jest jednak znaczne wydłużenie czasu przemiatania widma. Na przykład pomiar w zakresie od 9 kHz do 300 MHz z rozdzielczością 9 kHz trwa 25 minut. Z detektora tego typu warto jednak korzystać, gdyż jest on wykorzystywany standardowo w pomiarach certyfikacyjnych.

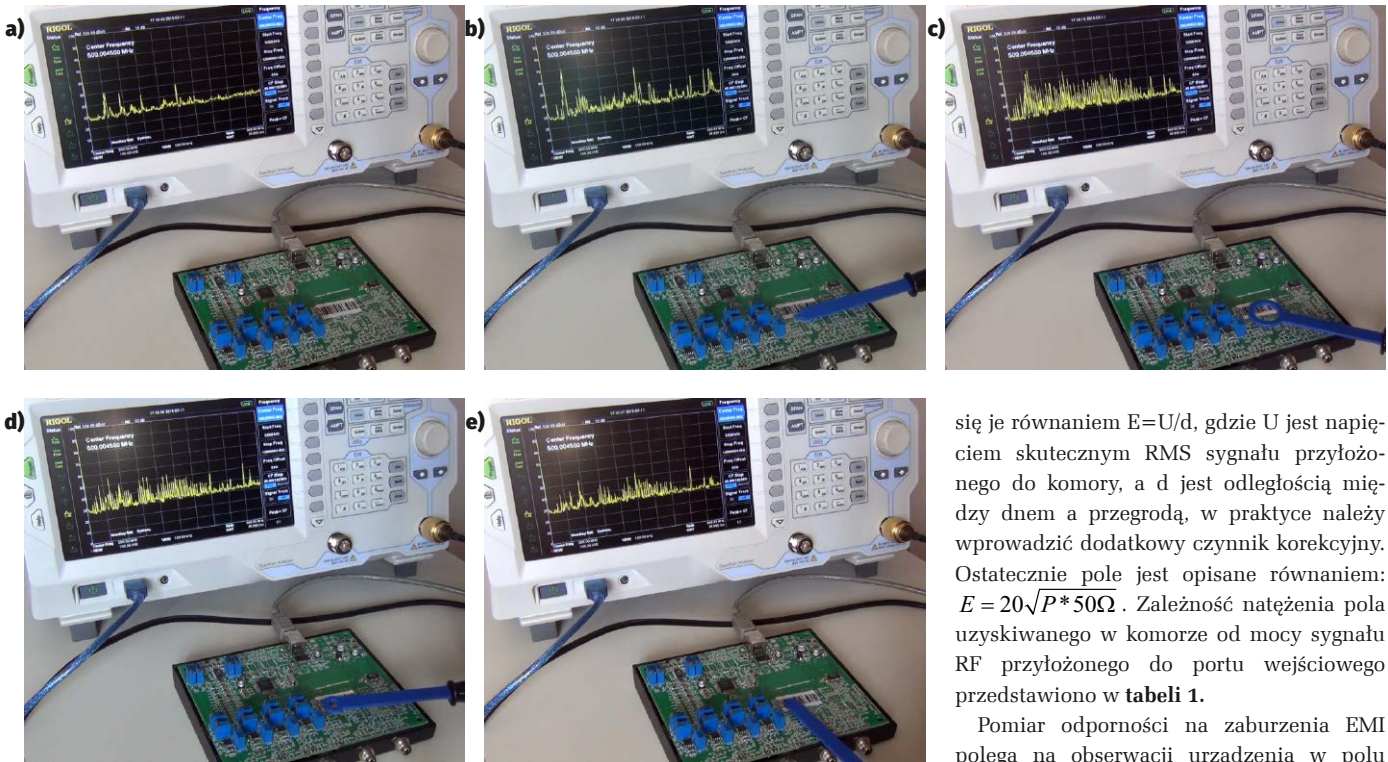
Zakładając, że płytka drukowana badanego urządzenia znajduje się w odległości 1...2 cm od podstawy komory TEM można przyjąć, że wszystkie wykryte poziomy ponad 40 dBμV będą stanowiły problem w pomiarze certyfikacyjnym. Budowa komory TBTC1 zapewnia stosunkowo małą wrażliwość na pola zewnętrzne, mogą się one jednak pojawiać w zależności od usytuowania komory, jakości ekranowania czy naturalnej obecności obcych pól w otoczeniu, więc należy uwzględnić fałszowanie widma sygnałami zewnętrznymi. Można je łatwo identyfikować dokonując pomiaru z wyłączonym zasilaniem układu badanego. Na rysunku 10 przedstawiono wyniki pomiarów pewnego urządzenia w komorze TEM typu TBTC1 w zakresie częstotliwości od 9 kHz do 300 MHz. Na rysunku 10a widoczne są wykresy dla pomiaru z detektorem pracującym w trybie *Pos Peak* i śledzeniem *Max Hold*. Wykresy z rysunku 10b utworzono po przełączeniu detektora w tryb *Quasi Peak*. Na obu wykresach uwzględniono pomiar tła (ślad zielony) i pomiar z włączonym urządzeniem (ślad niebieski). Niestety, w redakcyjnym laboratorium trudno było uzyskać względnie dobre warunki pomiarowe. W zależności od zakresu przemiatania widma, widoczne były częstotliwości radiowe, telewizyjne i GSM przedostające się do komory. Mimo to, w pomiarach badanego urządzenia wyraźnie są widoczne harmoniczne oscylatora procesora (ok. 11 MHz), których poziom wprawdzie nie przekracza 40 dBμV, ale bardzo się zbliża do tej granicy dla harmonicznych 77 MHz i 188 MHz. Pomijając fragment widma pokrywający się z częstotliwościami radiowymi (85...107 MHz), w którym poziom 40 dBμV został przekroczony, ogólnie można mieć nadzieję, że urządzenie przejdzie testy certyfikacyjne.



Fotografia 10. Wyniki pomiarów w komorze TEM ze śledzeniem *Max Hold* i detektorem: a) *Pos Peak*, b) *Quasi Peak*



Fotografia 11. Wpływ orientacji sondy bliskiego pola (pole H) względem płaszczyzny płytki: a) położenie nieprawidłowe, b) położenie prawidłowe



Fotografia 12. Pomiary sondami bliskiego pola a) tło, b) sonda E, c) sonda H największa, d) sonda H średnia, e) sonda H najmniejsza

Pierwsze doświadczenie użytkownika z komorą TBTC1 można określić jako swego rodzaju „grę w ciemno”. Pomiary dostarczają wprawdzie obraz widma emitowanego przez badane urządzenie, ale tak naprawdę dopiero porównanie tych wyników z wynikami uzyskanymi w laboratorium certyfikacyjnym pozwoli wyciągnąć konkretne wnioski na przyszłość. Zupełnie innym zagadnieniem są natomiast konkretne działania inżynierskie mające na celu eliminację ewentualnych przekroczeń poziomów. Pomiary emisji wykonane w komorze TEM dają nam skutek pewnych wad konstrukcyjnych, określenie przyczyn zwykle nie jest proste. Niestety, nie zawsze np. dodanie terminatora na wrażliwej ścieżce da zadowalający wynik. Inżynierowie zmuszeni są więc do przeprowadzania zmian konstrukcyjnych urządzenia z gruntownym przeprojektowaniem płytki włącznej. Związanych z tym kosztów nie da się uniknąć, w portfelu pozostają natomiast pieniądze zaoszczędzone na badaniach w laboratorium certyfikacyjnym.

Pomiary odporności na zaburzenia EMI z wykorzystaniem komory TEM

W tym pomiarze działania są odwrotne niż w poprzednim. Badane urządzenie jest umieszczone w komorze TEM najlepiej tak, aby elektronika znajdowała się w równych odległościach od dna i przegrody. Do jednego z portów komory, tak jak poprzednio powinien być dołączony 50-omowy terminator. Do drugiego portu należy dołączyć generator sygnałowy, ewentualnie przez dodatkowy wzmacniacz mocy. Generator powinien wytwarzać sygnał radiowy w.cz. (RF) z 80-procentową modulacją amplitudy. Można uznać, że natężenie pola wewnątrz komory jest jednorodne. Choćby teoretycznie opisuje

się je równaniem $E=U/d$, gdzie U jest napięciem skutecznym RMS sygnału przyłożonego do komory, a d jest odległością między dnem a przegrodą, w praktyce należy wprowadzić dodatkowy czynnik korekcyjny. Ostatecznie pole jest opisane równaniem: $E = 20\sqrt{P*50\Omega}$. Zależność natężenia pola uzyskiwanego w komorze od mocy sygnału RF przyłożonego do portu wejściowego przedstawiono w tabeli 1.

Pomiar odporności na zaburzenia EMI polega na obserwacji urządzenia w polu elektromagnetycznym o określonych parametrach (natężeniu pola, zakres częstotliwości). Ze względu na niewielkie rozmiary komory zadanie to może być nieco utrudnione, gdyż urządzenie jest – delikatnie mówiąc – słabo widoczne w komorze. Jeśli obserwacja ogranicza się do odczytywania informacji z wyświetlacza lub sprawdzania stanu lampek znajdujących się na pulpicie, to może być z tym problem.

W pomiarach można stosować sprzęgacz kierunkowy wstawiany pomiędzy wzmacniacz mocy i komorę. Umożliwi to pomiar mocy dostarczanej i odbijanej. Trzeba ponadto uwzględniać dość duże rozbieżności wymaganego natężenia pola określanego przez poszczególne normy. Należy więc zapewnić generację pól o natężeniu od 10 V/m do 400 V/m (tabela 1).

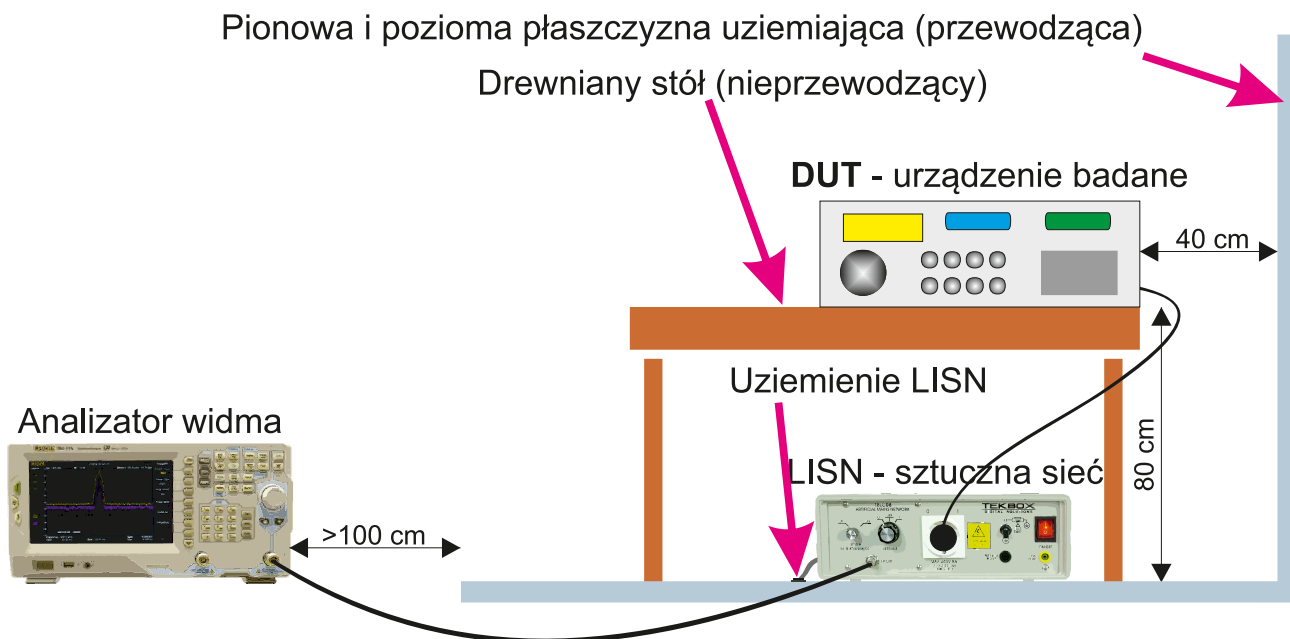
Pomiary emisji z zastosowaniem sond bliskiego pola

Pomiar w komorze TEM w mniejszym lub większym stopniu odwzorowuje ewentualne wyniki, jakich można się spodziewać po pomiarach w komorze bezodbiciowej laboratorium certyfikacyjnego, gdyby urządzenie trafiło do badań w takim stanie, w jakim jest aktualnie. Ewentualne przekroczenia poziomów widma uwidocznione w pomiarach w komorze TEM powinny być powodem do zastanowienia się nad dokonaniem zmian konstrukcyjnych urządzenia. Pierwszym krokiem powinna być lokalizacja „wycieków” za pomocą sond bliskiego pola. Na tej podstawie konstruktor uzyska najdokładniejszą informację o miejscach, w których generowane są zaburzenia EMI. Oczywiście nie rozwiązuje to problemu, gdyż trzeba jeszcze zdecydować o środkach zaradczych, jakie należy podjąć w celu eliminacji szkodliwych zaburzeń. Może to być na przykład poprawa ekranowania, dołożenie terminatorów na końcach wrażliwych ścieżek, optymalizacja powierzchni masy oblewającej ścieżki, zadbanie o rozdzielenie masy sygnałowej od zasilającej, skrócenie połączeń czy w ostateczności gruntowne przeprojektowanie całej PCB.

Pomiary prowadzi się z użyciem sond bliskiego pola. Przykładem są opisane w pierwszej części artykułu sondy Rigola. Firma ta oferuje komplet składający się z 4 takich sond. Do pomiarów można wykorzystywać również sondy innych producentów, np. Tekboksa. Sondy Rigola są dołączane bezpośrednio do analizatora, natomiast sondy Tekboksa wymagają dodatkowego, znajdującego się w zestawie

Tabela 1. Zależność natężenia pola wewnątrz komory od mocy sygnału RF

| Moc sygnału RF | Maksymalne natężenie pola pomiędzy przegrodą a dnem komory TEM |
|-----------------|--|
| 10 W (40 dBm) | 447 V/m |
| 1 W (30 dBm) | 141 V/m |
| 0,1 W (20 dBm) | 44 V/m |
| 0,01 W (10 dBm) | 14 V/m |



Rysunek 13. Przykładowe stanowisko do pomiaru zaburzeń EMI przewodzonych

szerokopasmowego wzmacniacza zasilanego z gniazda USB. Można korzystać z gniazda dostępnego na płycie czołowej analizatora. Sondy firmowe nie są bardzo drogie, ale gdyby ktoś szukał minimalizacji kosztów, w ostateczności może takie sondy wykonać nawet samodzielnie. Wykorzystuje się do tego krótki odcinek kabla koncentrycznego. Trudno jednak spodziewać się, aby tak zrobione narzędzie miało porównywalne parametry z wyrobami fabrycznymi.

Sondy zakończone pierścieniem mierzą pole magnetyczne, sondy z płaskim zakończeniem mierzą pole elektryczne. W przypadku pomiarów pola bliskiego ma to dość duże znaczenie, gdyż w tym zakresie szczególnie wyraźnie uwidaczniają się różnice pomiędzy polem elektrycznym i magnetycznym. Pole elektryczne jest generowane w wyniku zmian napięcia w obwodzie, natomiast źródłem pola magnetycznego są zmiany natężenia prądu. Oba pola są wielkościami wektorowymi i są ortogonalne w stosunku do siebie. Należy zwracać uwagę na orientację końcówki względem obiektów mierzonych. Nieprawidłowe skierowanie sondy na wybrany punkt może dać zafałszowany wynik lub wręcz uniemożliwić pomiar (fotografia 11).

W pomiarach z użyciem sond bliskiego pola nie korzysta się z detektora *Quasi Peak*. Byłoby to raczej bezcelowe i trudne w realizacji choćby z uwagi na bardzo długi czas przemiatania widma. Celem tego pomiaru jest szybka lokalizacja źródeł emisji. Należy więc wybierać raczej opcję *ClearWrite*. Na fotografii 12 przedstawiono przykładowe wyniki pomiaru opisywanego wcześniej

urządzenia za pomocą sond bliskiego pola z detektorem pracującym w trybie *ClearWrite*. W pomiarze zastosowano zarówno sondę pola E, jak i sondy pola H. Rozmiary pętli sond H decydują o rozdzielczości. Sonda z największą pętlą umożliwia szybką lokalizację obszarów, w których dochodzi do emisji zaburzeń, natomiast sonda z małym oczkiem może być wykorzystywana do emisji występujących w bardzo dokładnie określonych miejscach. Sondą tą można lokalizować „wycieki” niemal na pojedynczych wyprowadzeniach układów scalonych.

Pomiary emisji przewodzonej

Przed przystąpieniem do pomiarów emisji przewodzonej należy zwrócić uwagę na odpowiednie przygotowanie stanowiska pomiarowego. Trzeba zdawać sobie sprawę, że w realiach konstruktora urządzenia trudno będzie spełnić wszystkie ostre wymagania, które są zachowane w laboratorium certyfikacyjnym. Skoro jednak konstruktor decyduje się na badania wstępne prowadzone we własnym zakresie warto, aby pokusił się na zorganizowanie stanowiska pomiarowego w jak największym stopniu spełniającego stosowne kryteria.

Podstawowym wymogiem jest ustawienie drewnianego (nieprzewodzącego) stołu pomiarowego na przewodzącej płaszczyźnie uziemiającej (poziomej) przechodzącej w płaszczyznę pionową (również przewodzącą). Ustawiając wyposażenie stanowiska należy zwrócić uwagę na zachowanie wymiarów i odległości pomiędzy

REKLAMA

SDS1102CML

- 100 MHz, 1GSa/s., 2 Mpkt., 2 kanały + 1 kanał zewnętrzny
- Zakres czułości: 2 mV/dz - 10 V/dz.
- Różnorodne tryby wyzwalania: Edge, Puls, Slope, Video i ALT.
- 7" TFT LCD, jasny i wyraźny obraz przebiegu.
- Podświetlane przyciski.
- Unikalny filtr cyfrowy i funkcje nagrywania danych.
- Host USB, urządzenie USB, RS-232.
- Pass/Fail wyjścia.
- Wielojęzyczne wyświetlacz (12 języków): m.in. polski.

PC5000a

- Odczyt 50000 i 500000 na zakr. DCV i Hz;
- True RMS (dla AC / AC+DC)
- Dokładność na zakresie DCV 0,03%
- Pomiar: pojemności, częstotliwości, częstotliwości sygnałów cyfrowych, poziomu (dBm), wypełnienia impulsów, pętli prądowej (%4-20mA), test diod i akustyczny test ciągłości, (MAX/MIN), (Peak Hold)
- Automatykny dobór zakresu, wyłącznik zasilania
- Współpraca z komputerem (oprogramowanie oraz kabel jest wyposażeniem opcjonalnym)

PROMOCJA! Z KODEM* SIGSAN:0816

1150 zł +vat

* Przyślij zamówienie z tym kodem i skorzystaj z promocji

NDN e-mail: ndn@ndn.com.pl

Tabela 2. Dopuszczalne poziomy zaburzeń przewodzonych (norma EN55022) – wartości quasi peak

| Zakres częstotliwości [MHz] | Klasa | Dopuszczalny poziom [dB μ V] |
|-----------------------------|-------|----------------------------------|
| 0,15...0,50 | A | 79 |
| 0,5...30 | A | 73 |
| 0,15...0,50 | B | 66...56 |
| 0,5...5,00 | B | 56 |
| 5...30 | B | 60 |

wyposażeniem i oprzyrządowaniem podanymi np. na rysunku 13. Obie płaszczyzny uziemiające powinny mieć wymiary co najmniej dwa razy większą od wymiarów badanego urządzenia. Ideałem byłaby całkowicie ekranowana komora, ale możliwości jej budowy są w większości przypadków raczej niewielkie.

Pomiar emisji przewodzonej prowadzi się w zakresie częstotliwości od 9 kHz do 30 MHz z użyciem dwóch przyrządów. Jednym z nich jest LISN – stabilizator impedancji sieci (tzw. sztuczna sieć). Urządzenie to powinno być bardzo dokładnie uziemione, do czego służy stalowa taśma wychodząca z tylnej ścianki przyrządu. Jest ona przykręcana do płaszczyzny uziemiającej z zachowaniem jak najmniejszej oporności połączenia (fotografia 14). Zadaniem LISN jest separacja zakłóceń przedostających się wzajemnie pomiędzy siecią zasilającą 230 V i urządzeniem badanym od zakłóceń przewodzonych, generowanych przez badane urządzenie. W niektórych przypadkach wskazane może być włączenie dodatkowego transformatora separującego. Sam pomiar zaburzeń jest natomiast realizowany najczęściej przez analizator widma, np. opisany w poprzednich pomiarach DS815.

Urządzenia elektroniczne badane pod kątem emisyjności przewodzonej są rozpatrywane w dwóch kategoriach (klasach). Ogólnie można przyjąć, że klasa A obejmuje urządzenia przeznaczone do użytku przemysłowego i komercyjnego, natomiast klasa B to urządzenia do użytku domowego. Dopuszczalne poziomy zaburzeń przewodzonych są dla nich określone w normie EN55022. Zestawiono je w tabeli 2. Szybki pomiar orientacyjny może być prowadzony z detektorem Peak Max. Do pomiaru ostatecznego należy jednak użyć detektora Quasi Peak. Wiemy już, że wiąże się to ze znacznym wydłużeniem czasu przetwarzania wyznaczonego zakresu widma. Jako jednostkę poziomów zaburzeń należy wybrać dB μ V.

Ostateczną ocenę wyników można przetrzeć na analizator przez uaktywnienie testu Pass/Fail. Wcześniej definiuje się linię łamaną określającą limity poziomów dla poszczególnych zakresów częstotliwości. Oprogramowanie firmowe analizatora DS815 zawiera przeznaczony do tego celu prosty edytor.

W ramach redakcyjnego testu zmierzono komputerową lampkę USB z opcjonalnym adapterem dla sieci 230 V. W pierwszym podejściu adapter był włączony do sieci zasilającej bezpośrednio, ale sprawdzono również przy okazji skuteczność działania dostępnego w handlu filtru antyzakłóceńowego. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 15. Należy je jednak traktować z pewnym dystansem, gdyż stanowisko pomiarowe nie spełniało wszystkich kryteriów. Pomimo to wyraźnie jest widoczna redukcja zaburzeń w układzie z filtrem.

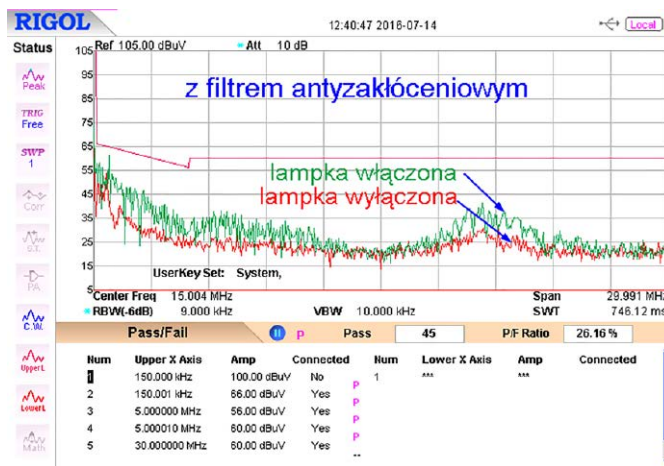
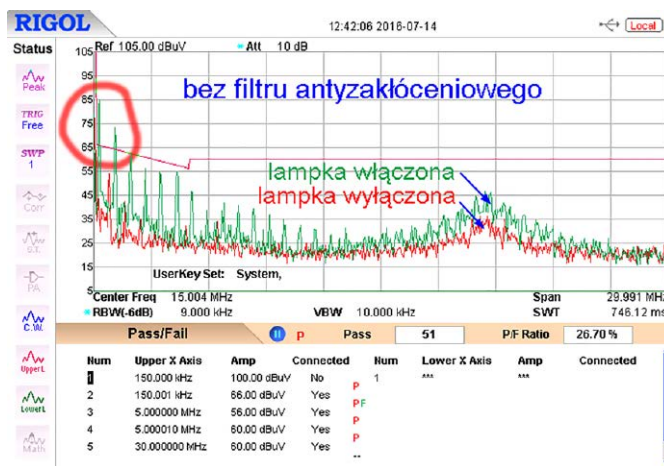
Trudne wybory

Niewątpliwie konstruktorzy i producenci mają dylemat z ewentualnym podjęciem decyzji o zakupie przyrządów wykorzystywanych do badań przedcertyfikacyjnych. Jednorazowy, sumaryczny wydatek (analizator, komplet sond bliskiego pola, komora TEM, stabilizator impedancji sieci LISN) nie jest mały, ale jak widać na podstawie przedstawionych rozwiązań może przyczynić się do ponoszenia znacznie większych kosztów związanych z nieudanymi pomiarami w laboratorium certyfikacyjnym.

Jarostaw Doliński, EP



Rysunek 14. Taśma uziemiająca stabilizatora impedancji sieci (LISN)



Rysunek 15. Badanie emisyjności przewodzonej lampki LED USB z adapterem 230 V: a) bez zewnętrznego sieciowego filtru antyzakłóceńowego, b) z filtrem antyzakłóceńowym, c) z filtrem antyzakłóceńowym, pomiar z detektorem Quasi Peak