**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 zaburzeń elektromagnetycznych (EMI) przyrządami Rigola

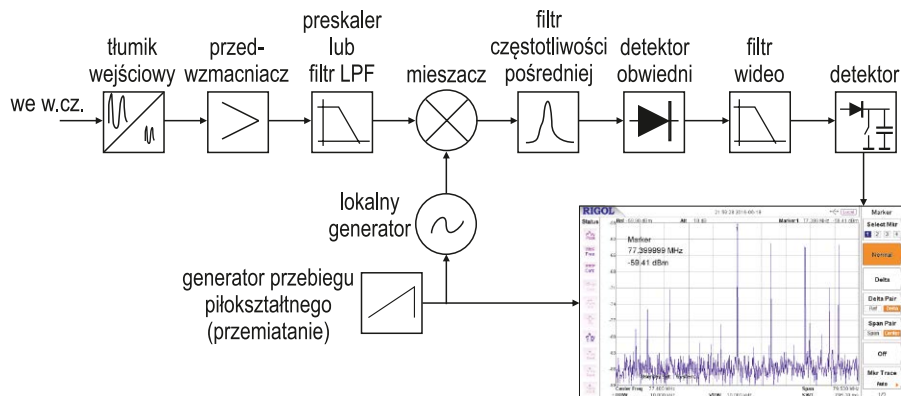
Przyrządy i oprogramowanie

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.

Na Ziemi coraz trudniej jest znaleźć miejsca wolne od zanieczyszczeń, jeśli w ogóle jeszcze takie są. Niestety, odnotowujemy coraz większą liczbę rodzajów tych zanieczyszczeń. Pierwszym skojarzeniem są oczywiście zwyczajne odpady komunalne, ale coraz częściej mówi się o zanieczyszczeniu elektromagnetycznym (EMI – *Electromagnetic Interference*) czy chociażby... światłem. Z fizycznego punktu widzenia zanieczyszczenie światłem można traktować jako specyficzną odmianę EMI, a chodzi o miejsca, w których obserwujemy permanentne światło sztuczne czy to w postaci bezpośrednio widzianych lamp czy łun pochodzących od wielkich miast. Ten

rodzaj zaburzeń EMI nie będzie nas jednak interesował, zajmiemy się natomiast typowymi zaburzeniami emitowanymi przez urządzenia elektroniczne.

Należy zauważyć, że zaburzenia EMI są generowane przez wszystkie urządzenia elektroniczne, bez względu na zasadę działania. Oczywiście można spodziewać się, że będą tu przodowały wszelkiego rodzaju nadajniki radiowe, telefony komórkowe, routery WiFi, Bluetooth, ZigBee itp., ale trzeba mieć na uwadze, że wytwarzanie pól elektromagnetycznych jest istotą ich działania. W tym przypadku będzie więc chodziło raczej o to czy parametry emisji nie wykraczają poza normy ustalone dla



Rysunek 1. Schemat blokowy typowego analizatora heterodynowego

wszystkich klas sprzętu. Gdyby tak się stało, mielibyśmy do czynienia ze szkodliwym oddziaływaniem danego urządzenia na inne.

Znacznie częściej będzie nas interesowała niezamierzona emisja promieniowania elektromagnetycznego wynikająca z zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych. Przykładem mogą być przetwornice impulsowe, niemal wszystkie urządzenia cyfrowe, przede wszystkim takie, w których występują szybkie przebiegi zegarowe, a więc systemy z procesorami, układami FPGA i pamięciami, a także inne urządzenia, w których występują sygnały napięciowe lub prądowe o bardzo szybko zmieniających się wartościach.

Zaburzenia EMI

Fale elektromagnetyczne generowane w sposób niezamierzony przez urządzenia elektryczne muszą być traktowane jako zaburzenia. Zaburzenia emitowane przez te urządzenia mogą powodować zakłócenia pracy ich samych oraz innych urządzeń. Istotna jest jednak nie tylko emisja EMI, ale również odporność na nie. Problem jest niezwykle trudny do opanowania, gdyż zaburzenia mogą występować niemal wszędzie, np. na źle poprowadzonych ścieżkach obwodu drukowanego, nieprawidłowo zaterminowanych magistralach przenoszących sygnały cyfrowe o dużych częstotliwościach, na skutek złego rozplanowania punktów uzziemiania, niewystarczającego ekranowania, a nawet w wyniku złej konstrukcji gniazd sygnałowych lub nieprawidłowym wykonaniu połączeń we wtykach.

Omawiane zagadnienia nazywane są ogólnie kompatybilnością elektromagnetyczną (EMC). Dopuszczalne limity emisji zaburzeń elektromagnetycznych i odporności na nie są określane przez szereg norm i dyrektyw ustanowionych dla różnych klas i standardów urządzeń i środowisk, w których pracują. Przykładowo, duża część urządzeń elektronicznych musi być zgodna z dyrektywą niskonapięciową 2006/95/WE i dyrektywą zgodności elektromagnetycznej 2004/108/WE. Współcześnie produkowane urządzenia elektroniczne coraz częściej zawierają różne rodzaje modułów transmisji bezprzewodowej, więc muszą dodatkowo zachowywać zgodność z dyrektywą radiową 1995/5/WE (nazywaną w skrócie R&TTE). Należy zwrócić uwagę na to, że poszczególne dyrektywy były wielokrotnie zmieniane od momentu ich wprowadzenia, więc urządzenia muszą także spełniać wymagania wszystkich poprawek. Niestety, w najbliższym czasie zapowiadane są kolejne, jeszcze bardziej restrykcyjne zmiany przepisów. Trzeba też mieć na uwadze, że są to przepisy międzynarodowe. Są one obowiązkowe niemal dla wszystkich urządzeń wprowadzanych do sprzedaży. Wyjątkiem jest np. sprzęt medyczny czy wojskowy, dla którego mogą obowiązywać nieco odmiennie dyrektywy.

Podczas badań kompatybilności elektromagnetycznej brane są pod uwagę dwa rodzaje zaburzeń EMI. Są to tzw. zaburzenia przewodzone obejmujące zakres częstotliwości od 150 kHz do 30 MHz oraz zaburzenia promieniowane badane w zakresie od 30 MHz do 1 GHz. Jak wynika z samej nazwy obu rodzajów zaburzeń, EMI przewodzone powstają w wyniku przepływu prądów w kablach i złączach, a promieniowane obejmują emisję radiową.

Pomiary przedcertyfikacyjne

Ostateczną decyzję o zgodności danego urządzenia z określonymi dyrektywami i normami podejmuje firma (najczęściej producent lub dystrybutor) wprowadzająca produkt na rynek. Teoretycznie nie są do tego wymagane żadne testy kompatybilności elektromagnetycznej, ale gdyby okazało się, że któreś z wymagań nie są spełnione, wystawienie świadectwa mogłoby być dla producenta zżubne w skutkach – do wycofania produktu z rynku włącznie. Wydaje się, że podejmowanie takiego ryzyka byłoby czystym szaleństwem, więc producenci lub

dystrybutorzy są poniekąd zmuszeni do ponoszenia kosztów certyfikacji. Problem polega na tym, że koszty te nie są małe, a w szczególności nieprzychylnych okolicznościach mogą być ponoszone wielokrotnie. Będzie tak wtedy, gdy pomiary prowadzone przez akredytowane laboratorium wykażą, że choćby jeden z parametrów urządzenia nie spełnia określonych dla niego norm. Obowiązkiem producenta jest wówczas poprawienie konstrukcji i ponowne wykonanie badań, przynajmniej w części dotyczącej zmian. Z dodatkową procedurą wiąże się oczywiście kolejne koszty.

Nietrudno wyobrazić sobie, że postępowanie według takiego scenariusza jest na dłuższą metę trudne do zaakceptowania, dlatego coraz częściej producenci decydują się na zakup sprzętu umożliwiającego wykonywanie badań przedcertyfikacyjnych we własnym zakresie. Pozwala to z dużo większą pewnością oddawać wyroby do ostatecznych badań certyfikacyjnych, gdyż ewentualne odstępstwa od norm mają szansę być zawczasu wykryte i skorygowane we własnym zakresie.

Oczywiście, całe zagadnienie nie jest tak proste, jakby mogło się wydawać. Mało kogo bowiem stać na wyposażenie firmy w komorę bezekową z drogimi analizatorami, stołem pomiarowym, antenami i odpowiednim oprogramowaniem. Nie o to jednak chodzi. Badania przedcertyfikacyjne mają na celu wyszukiwanie potencjalnych zagrożeń, wycieków pól elektromagnetycznych, interferencji itp. w trakcie realizacji kolejnych etapów konstruowania urządzenia. Z tego względu najczęściej nie ma potrzeby przeprowadzania pełnych badań, a kontrola ogranicza się zwykle do pomiarów tzw. bliskich pól i elektromagnetycznych emisji przewodzonych. Do ich przeprowadzenia wystarczą względnie tanie sondy, analizatory widma i tzw. LISN (*Line Impedance Stabilization Network*) nazywane też symulatorami sieci.

Oferta Rigola

W tej części artykułu zaprezentowano ofertę sprzętową i programową Rigola obejmującą narzędzia wykorzystywane do badań przedcertyfikacyjnych. W drugiej części natomiast zostaną przedstawione wybrane zagadnienia teoretyczne i przykładowe pomiary.

Analizator widma DSA815

Analizator widma jest podstawowym przyrządem pomiarowym, bez którego pomiary zaburzeń EMI byłyby w zasadzie niemożliwe. Konstrukcja analizatora umożliwia obserwację sygnału w dziedzinie częstotliwości. W tym momencie można by zastanawiać się nad możliwością stosowania oscyloskopów z funkcją FFT. Choć teoretycznie byłoby to możliwe, takie rozwiązania są nawet oferowane, w praktyce najczęściej jednak korzystamy z typowych analizatorów widma. Wynika to z zasady działania obu tych przyrządów. Oscyloskop z definicji przedstawia sygnał elektryczny w dziedzinie czasu, a ewentualne uzyskanie parametrów widmowych odbywa się na drodze obliczeń matematycznych (funkcją FFT). Jednym z poważniejszych problemów w przypadku stosowania oscyloskopów jest zapewnienie

szerokiego pasma pomiarowego. Badanie zaburzeń EMI jest związane z pomiarami w zakresie do co najmniej 1 GHz. Choć na rynku bez problemu można znaleźć oscyloskopy spełniające ten warunek, to na dzień dzisiejszy nadal są to przyrządy z najwyższych półek, z czym wiąże się relatywnie wysoka ich cena. Trudno więc zgodzić się na to, by przyrządy tego typu były idealne do pomiarów przedcertyfikacyjnych. Dużo tańszą konstrukcją odznaczają się typowe, analizatory widma z przemiataniem częstotliwości. Mowa tu jednak o najprostszych urządzeniach, pozwalających na wykonanie podstawowych badań, ale o takich właśnie jest mowa w artykule. Wykorzystywane w laboratoriach analizatory widma pracujące w szerokim zakresie częstotliwości, z licznymi funkcjami pomiarowymi i bogatym oprzyrządowaniem są przyrządami bardzo drogimi, najczęściej nieopłacalnymi dla większości producentów.

W typowych (heterodynowych), nawet najtańszych analizatorach widma montowane są obwody pracujące w zakresie gigahercowym. Zasada działania tych przyrządów jest zgoła odmienna od oscyloskopów cyfrowych. Na **rysunku 1** przedstawiono przykładowy schemat blokowy takiego przyrządu. Na wejściu umieszczono tłumik chroniący kolejne stopnie przed uszkodzeniem. Jego domyślne tłumienie w analizatorze DSA815, który będzie wykorzystywany w dalszych pomiarach jest równe 10 dB. Za tłumikiem znajduje się przedwzmacniacz. Zarówno tłumik, jak i przedwzmacniacz pozwalają elastycznie dobierać czułość analizatora w zależności od charakteru mierzonych sygnałów. Przed kolejnym, bardzo ważnym blokiem funkcjonalnym analizatora, jakim jest mieszacz, umieszczono jeszcze preskaler/filtr dolnoprzepustowy. Tak ukształtowany sygnał jest podawany na jedno z wejść miksera. Do drugiego wejścia jest dołączony przebieg z generatora lokalnego. W wyniku mieszania obu sygnałów uzyskuje się przesunięcie częstotliwości wejściowej do ustalonej częstotliwości pośredniej. Częstotliwość sygnału wytwarzanego przez generator lokalny decyduje o wielkości przesunięcia częstotliwości, tym samym generator ten decyduje o zakresie przemiatania. Parametry generatora lokalnego są ustalane przez podanie minimalnej i maksymalnej częstotliwości widma wyświetlanego na ekranie. Można też określać zakres przemiatania („Span”) i częstotliwość środkową. Częstotliwość generatora lokalnego jest przestrajana liniowo przebiegiem piłokształtnym, więc wykresy widma są przedstawiane w liniowej skali częstotliwości.

W wyniku mieszania sygnałów powstaje szereg produktów tej operacji. Spośród nich wydzielana jest tylko zasadnicza częstotliwość pośrednia, za co jest odpowiedzialny filtr p.cz. Amplituda tego sygnału jest równa amplitudzie składowej widma o częstotliwości aktualnie generowanej przez generator lokalny. Wystarczy teraz zastosować detektor obwiedni eliminujący częstotliwość pośrednią,

aby dowiedzieć się jaką wartość ma mierzona aktualnie składowa widma sygnału wejściowego. W takiej koncepcji pomiaru tkwi jednak pewien haczyk. Częstotliwości wejściowe mieszające się w zakresie przepustowym filtra p.cz. nie są rozróżniane, dlatego jego pasmo jest utożsamiane z rozdzielczością widmową analizatora. Odpowiada za nią parametr „RBW”.

Sygnał występujący za detektorem obwiedni to tzw. sygnał wideo. Wyświetlając kolejne poziomy tego sygnału zmieniające się wraz z przestrajaniem generatora lokalnego uzyskuje się wyświetlany na ekranie wykres widma sygnału wejściowego. Szerokość pasma wideo decyduje o skuteczności eliminacji szumów występujących w torze pomiarowym. Ustawia się ją parametrem „VBW”.

W torze pomiarowym analizatora znajduje się jeszcze detektor decydujący o interpretacji wykresu widma. W trybie „Sample” wykres jest modyfikowany po każdej akwizycji. Można uznać, że jest to domyślny tryb pracy pozwalający szybko oceniać charakter sygnału wejściowego. Dalsze pomiary są prowadzone zwykle po przełączeniu detektora w tryby: „Pos Peak”, „Neg Peak”, „Sample”, „Normal”, „RMS Avg”, „Voltage Avg” lub „Quasi Peak”.

Niezależnie od trybów pracy detektora, na wygląd wykresu widma można jeszcze wpływać ustawiając opcje „Trace Mode”. Wśród nich są m.in. „Clear Write”, „Max Hold”, „Min Hold”, „Video Avg”, „Power Avg”.

Analizator widma DSA815 był dokładniej opisywany w EP12/2012.

Sondy do pomiaru bliskich pól

Do pomiarów bliskich pól nie jest wymagane zaawansowane stanowisko pomiarowe, komory bezchłowe i specjalne anteny. Na tym właśnie polega idea stosowania tego typu badań. Całe oprzyrządowanie ogranicza się do analizatora widma i zestawu odpowiednio skonstruowanych sond. Sondy te powinny być nieczułe na promieniowanie RF pochodzące z otoczenia. Mierzą one jedynie pola w zasięgu co najwyżej kilkunastu centymetrów od źródła. Rigol oferuje zestaw składający się z czterech sond. Dwie z nich mierzą składową magnetycznego pola (**fotografia 2a i 2b**). Mają one charakterystyczną końcówkę wykonaną w kształcie pętli. Kolejne dwie sondy (**fotografia 2c i 2d**) mierzą składową elektryczną pola. Sondy są dołączane bezpośrednio do wejścia analizatora za pomocą znajdującego się w komplecie kabla.

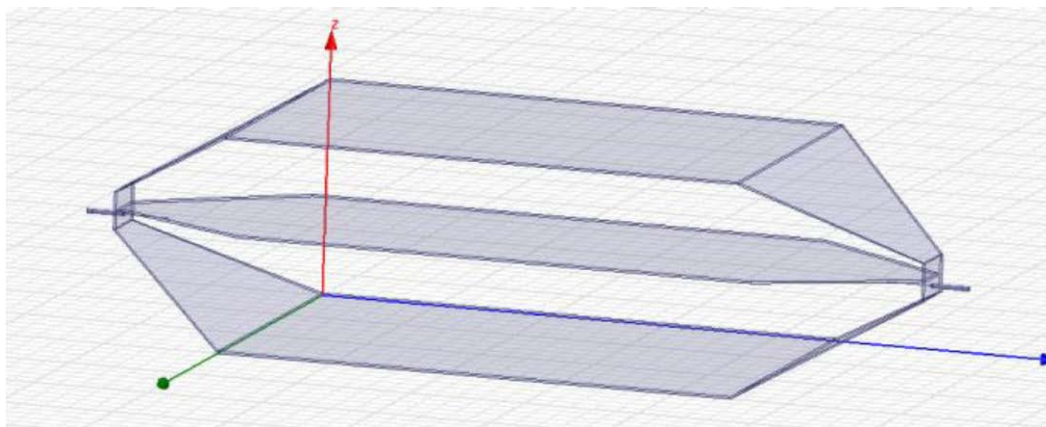
Komora TEM TBTC1 do przedcertyfikacyjnych badań EMC

Pomiary bliskiego pola z użyciem opisanych sond stanowią obecnie jedną z najczęściej stosowanych metod w badaniach przedcertyfikacyjnych. Sondami można mierzyć emisję zaburzeń EMI, jednak są one zupełnie nieprzydatne w szacowaniu odporności danego urządzenia na zaburzenia tego rodzaju. Jak już było powiedziane organizowanie własnego laboratorium z komorą bezchłową i odpowiednim oprzyrządowaniem byłoby dla większości producentów inwestycją trudną do zaakceptowania. Pewnym rozwiązaniem problemu są miniaturowe komory TEM (Transverse Electromagnetic Cell) umożliwiające prowadzenie pomiarów zarówno emisji, jak i odporności na nie w zakresie od zera do kilku gigaherców. Nie należy jednak spodziewać się identycznych wyników otrzymywanych w akredytowanym laboratorium. Mimo to, pomiary z zastosowaniem komór TEM na pewno będą pomocne w lokalizacji zagrożeń. Poza tym jest to narzędzie, które zawsze będzie pod ręką u producenta. Ewentualne poprawki konstrukcyjne urządzeń mogą więc być szybko weryfikowane pod kątem badań EMC. Konstruktorzy przestają działać po omacku, mogą osobiście szybko sprawdzać czy wnoszone zmiany konstrukcyjne dają pożądany rezultat.

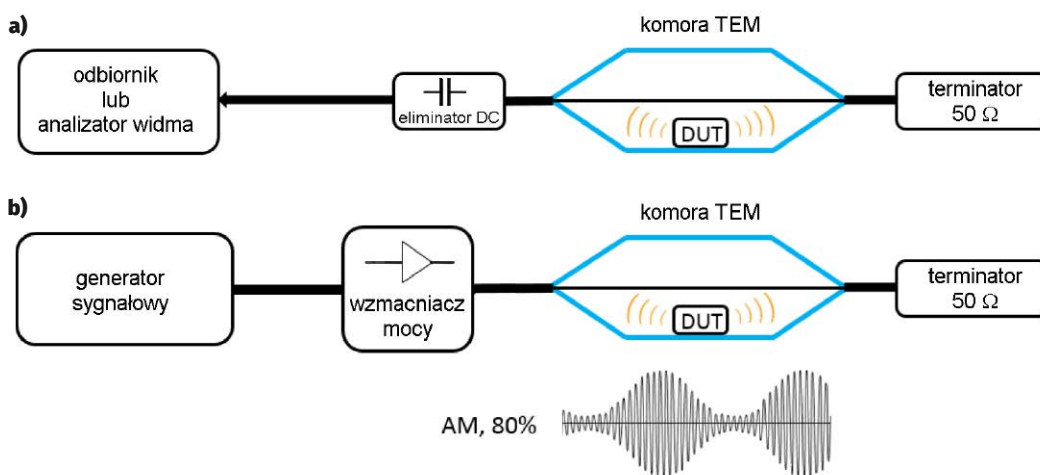
Konstrukcję komory TEM przedstawiono na **rysunku 3**. W trakcie pomiarów badane urządzenie jest umieszczane na uziemiwanej podstawie. Jest to możliwe, gdyż komora nie ma ścian bocznych. M.in. dlatego jest nazywana często otwartą komorą TEM. Znajdująca się nad podstawą półka zawiera linię paskową, której geometria zapewnia impedancję równą 50 Ω. Komora TEM TBTC1 jest urządzeniem dwuportowym. W pomiarach emisji do jednego portu jest dołączany



Fotografia 2. Sondy firmy Rigol służące do pomiarów bliskiego pola



Rysunek 3. Konstrukcja komory TEM (źródło: http://www.emcturkiye.org/papers/Session7_Talk4.pdf)



Rysunek 4. Komora TEM, a) konfiguracja do pomiaru emisji EMI, b) konfiguracja do badania odporności na EMI

terminator 50-omowy, do drugiego natomiast eliminator składowej stałej, a za nim odbiornik lub analizator widma (rysunek 4a). W pomiarach odporności na zaburzenia EMI zamiast analizatora do komory jest dołączany generator sygnałowy z eliminatorem DC (rysunek 4b). Stosowany jest sygnał z 80-procentową modulacją AM. Konstrukcja komory zapewnia quasi-jednorodne pole elektromagnetyczne w jej wnętrzu.

LISN – stabilizator impedancji sieci zasilającej TBLC08 (potocznie sztuczna sieć)

LISN to swego rodzaju filtr górnoprzepustowy wykorzystywany w pomiarach EMI w zakresie emisji przewodzonych w przedziale częstotliwości od 9 kHz do 30 MHz. Spełnia on wymagania określone w normie CISPR 16. Przyrządy LISN są wykorzystywane w badaniach urządzeń zasilanych z jednofazowej sieci AC o napięciu do 240 V. Mierzy się zaburzenia

przewodzone występujące w przewodzie fazowym oraz neutralnym. Stabilizator impedancji TBLC08, który będzie wykorzystywany w pomiarach (fotografia 5) wyposażono ponadto w dodatkowy ogranicznik/tłumik zabezpieczający końcowe urządzenie pomiarowe (np. analizator DSA815) przed uszkodzeniem. Dodatkowo jest tu również filtr, którego zadaniem jest ostateczna eliminacja harmonicznych pochodzących z sieci zasilającej.

W pomiarach emisji przewodzonej EMI urządzeń zasilanych z sieci i wymagających kontaktu z człowiekiem (np. ręczne suszarki do włosów, wiertarki, narzędzia kuchenne itp.) wymagany jest układ tzw. „sztucznej ręki”. W pomiarach takich uchwyty służące w normalnych warunkach pracy do utrzymywania narzędzia w rękach owijane są folią metalową łączoną następnie do specjalnego gniazda urządzenia LISN. Testowany stabilizator sieci TBLC08 jest w takie gniazdo wyposażony.

Podczas badań emisji przewodzonej użytkownik może mieć kontakt z wysokim napięciem groźnym dla życia. Producent zapewnił więc należyte środki bezpieczeństwa. Wszystkie elementy elektroniczne, przełączniki i gniazda zamknięto w bezpiecznej obudowie. Urządzenie powinno być dołączane do gniazd sieciowych z bolcem uziemiającym. W testowanym symulatorze, na płycie czołowej zamocowano gniazdo sieciowe z uziemieniem CEE7/4 typu F. Nie jest ono jednak w pełni zgodne z normami obowiązującymi w Polsce (u nas instalowane są gniazda CEE7/7 E). Zamiast bolca uziemiającego ma ono dwie listwy uziemiające umieszczone po przeciwnych stronach gniazda (fotografia 5). Należy na to zwrócić uwagę podczas badań.



Fotografia 5. Stabilizator impedancji sieci zasilającej TBLC08

Układ pomiarowy ze sztuczną siecią przedstawiono na **rysunku 6**. Połączenie z siecią zasilającą 230 V zapewnia przewód zasilający symulatora sieci. Badane urządzenie (DUT) jest dołączane do gniazda sieciowego znajdującego się na przedniej ścianie LISN. Jest tu też gniazdo przeznaczone dla odbiornika pomiarowego lub analizatora widma.

Impedancja sieci widziana od strony emitowanych zaburzeń jest równa $50 \Omega \parallel 50 \mu H$. Dla większej części zakresu pomiarowego jest ona równa 50Ω , tylko dla najniższych częstotliwości maleje (**rysunek 7**). Tym samym zapewniona jest stałość impedancji źródła zasilającego, co przekłada się na niezależnienie mierzonych zaburzeń od charakterystyki źródła.

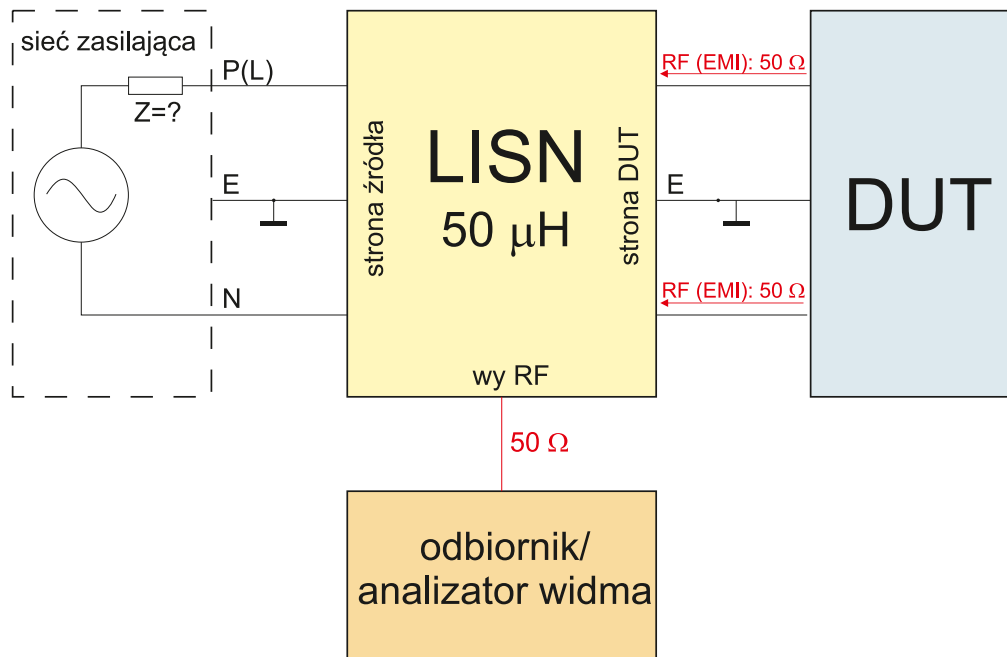
Urządzenie pomiarowe, jakim może być odbiornik RF lub analizator widma jest dołączane do przewodu fazowego lub neutralnego. Służy do tego przełącznik wyprowadzony na płytę czołową LISN. Poglądowy schemat stabilizatora impedancji sieci TBLC08 przedstawiono na **rysunku 8**.

Oprogramowanie EMI Test System

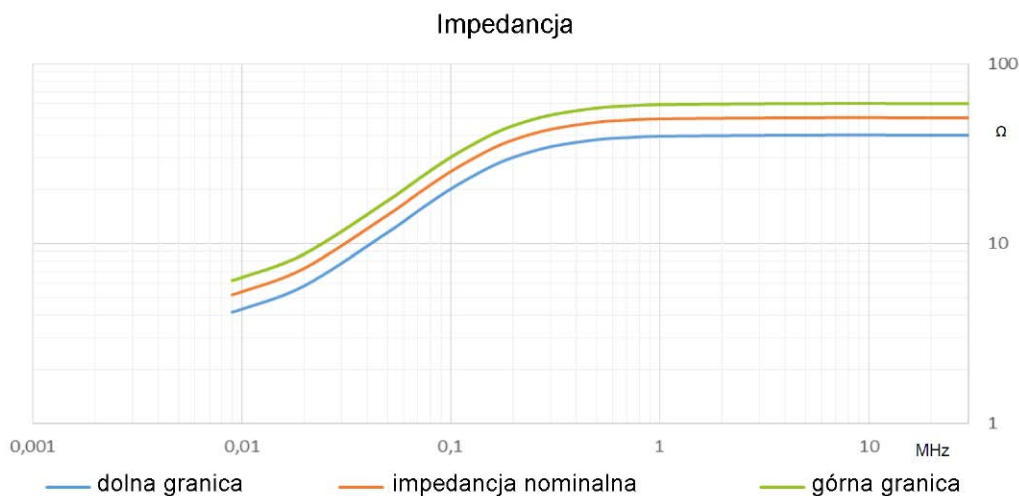
Rigol przygotował dla użytkowników jego przyrządów pomiarowych oprogramowanie dedykowane do badań zaburzeń EMI – „EMI Test System”. Wykorzystuje ono sterowniki VISA umożliwiające współpracę komputera z przyrządami Rigola, w tym przypadku z analizatorem DSA815. Oprogramowanie to udostępnia kilka przydanych funkcji związanych np. z definiowaniem, eksportowaniem i importowaniem linii limitów określonych w poszczególnych normach, przeszukiwaniem składowych widma, generowaniem raportów itd.

W drugiej części artykułu zostaną przedstawione przykładowe pomiary, w których użyto opisanych w tej części elementów stanowiska do przedcertyfikacyjnych pomiarów EMI.

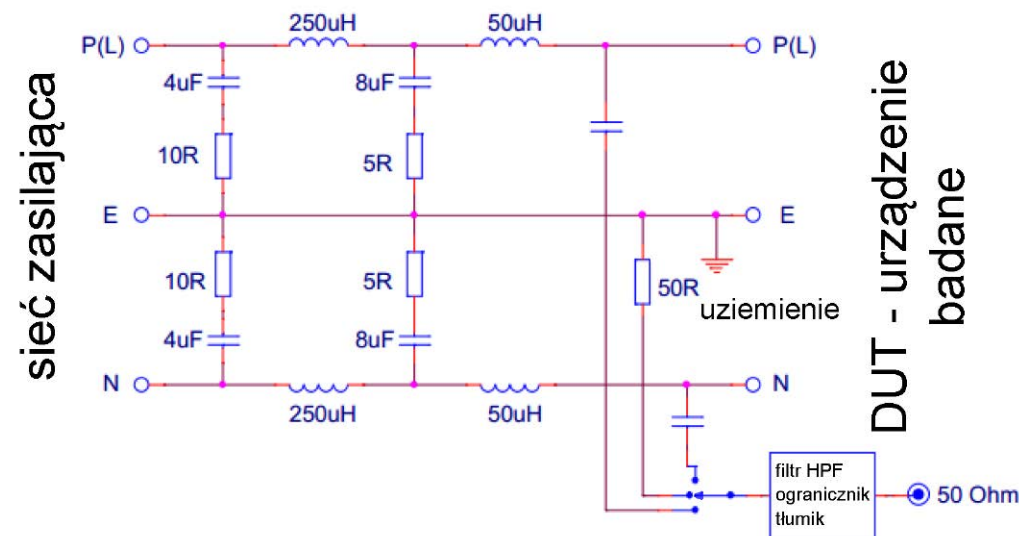
Jarostaw Dołęski, EP



Rysunek 6. Układ pomiarowy ze stabilizatorem impedancji sieci



Rysunek 7. Wykres impedancji sztucznej sieci TBLC08



Rysunek 8. Poglądowy schemat ideowy sztucznej sieci TBLC08