

Niepewność pomiaru w badaniach emisji zaburzeń przewodzonych

Measurement uncertainty in conducted disturbance emission tests

Streszczenie. W artykule przedstawiono ogólne podstawy teoretyczne związane z określaniem niepewności pomiaru i wyznaczaniem budżetu niepewności pomiaru. W sposób ogólny omówiono podstawowe definicje związane z wykonywaniem pomiarów i wyznaczaniem budżetu niepewności. Scharakteryzowano budżet niepewności pomiaru. Zaprezentowano podział niepewności na niepewność typu A oraz typu B, a następnie przeanalizowano czynniki będące źródłami tych niepewności. W artykule przedstawiono sposób wyznaczania składników budżetu niepewności, a także metodę wyznaczania niepewności złożonej, na podstawie których wyznaczono budżet niepewności związany z pomiarem emisji zaburzeń przewodzonych na przyłączy sieciowym z użyciem sieci sztucznej (AMN).

Abstract. The article presents general theoretical foundations related to determining measurement uncertainty and determining the measurement uncertainty budget. Basic definitions related to performing measurements and determining the uncertainty budget are discussed in a general way. The measurement uncertainty budget is characterized. The division of uncertainty into type A and type B uncertainty is presented, and then the factors that are the sources of these uncertainties are analyzed. The article presents a method for determining the components of the uncertainty budget, as well as a method for determining the combined uncertainty, based on which the uncertainty budget related to the measurement of conducted disturbance emission at the network connection using an artificial network (AMN) was determined.

Słowa kluczowe: niepewność pomiaru, budżet niepewności, emisja przewodzona, zaburzenia przewodzone, sieć sztuczna.

Keywords: measurement uncertainty, uncertainty budget, conducted emission, conducted disturbances, artificial network..

Wstęp

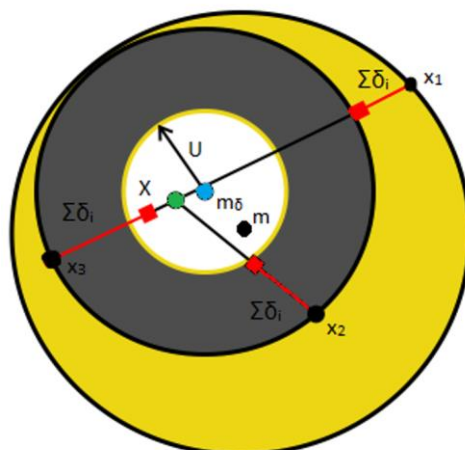
Wykonując jakiegokolwiek pomiary powinniśmy nierozłącznie analizować niepewność ich wyników. Podając wyniki pomiarów wielkości fizycznych, należy podać również informację ilościową o dokładności danych pomiarów. Jest to niezbędne dla każdego, kto wykorzystuje dane pomiary w swojej pracy, aby oszacować ich wiarygodność. Bez takiej informacji wyniki pomiarów nie mogą być porównywane ze sobą, ani z wartościami odniesienia podawanymi w specyfikacjach lub normach. Konieczne jest więc obliczanie i wyrażanie niepewności pomiaru. Pomiary EMC (Electromagnetic Compatibility) nie różnią się szczególnie od innych pomiarów, ale temat niepewności pomiaru w testach EMC jest bardziej złożony niż dla większości innych pomiarów.

Jednym z wiodących pomiarów związanych z kompatybilnością elektromagnetyczną urządzeń jest pomiar emisji zaburzeń przewodzonych na zaciskach zasilania urządzenia badanego polegający na pomiarze napięcia niesymetrycznego (w dB μ V) na przyłączy EUT (ang. Equipment Under Test) względem płaszczyzny ziemi odniesienia z wykorzystaniem sieci sztucznej.

Błąd i niepewność pomiaru

Podczas pomiaru danej wielkości, otrzymujemy różne wyniki, które są zbliżone do siebie. Statystyka matematyczna określa to jako wybór populacji próbnej (próbki), z populacji generalnej. W populacji próbnej, zmienna losowa X przyjmuje różne wartości x_i . Z definicji metrologii określa się to wynikiem pomiarów wielkości prawdziwej X , który stanowi zbiór liczb x_i . Wyniki otrzymanych pomiarów są dyskretnymi zmiennymi losowymi. W analizie statystycznej danego zbioru wyników pomiarów wykorzystuje się aparat statystyki matematycznej dla zmiennych losowych ciągłych. Rysunek 1 ilustruje błąd i niepewność pomiaru [1]. Obszar żółty obejmuje dyskretny zbiór uzyskanych wyników pomiarów wielkości prawdziwej X , którego środek stanowi średnia arytmetyczna pomiarów m . W dowolnym punkcie tego koła znajduje się nieznaną wartość prawdziwą X wielkości mierzonej. Oznaczona została zielonym punktem. Błędem pomiaru określa się różnicę między wynikiem pomiaru x_i , a

wielkością prawdziwą X . W przypadku pomiarów, wykorzystywana w tym celu metoda lub aparatura pomiarowa wprowadza owy błąd, który jesteśmy w stanie określić ilościowo (deterministycznie).



Rys. 1. Ilustracja błędu i niepewności pomiaru [1]

Istnieje wiele źródeł deterministycznego błędu, które dają oddzielny składnik δ_i . Starając się jak najdokładniej określić mierzoną wartość podaje poprawkę (na rys. 1 przedstawiono jako czerwone odcinki), która stanowi sumę tych błędów $\Sigma\delta_i$. W ten sposób zmniejsza się rozrzut mierzonych wartości zilustrowany na rys. 1 w postaci szarego koła. W centrum koła szarego umieszczona jest średnia arytmetyczna pomiarów ze skompensowanym błędem oznaczona niebieskim punktem, która różni się od X i od m .

Pozostałe elementy składowe błędu, które nie mogą być określone ilościowo, należy oszacować. Wynikiem tego oszacowania jest niepewność pomiaru. Celem szacowania niepewności pomiaru jest uzyskanie koła o takim promieniu U (na rysunku 1 oznaczone kolorem białym), w którym znajdują się wartości prawdziwe oraz średnia arytmetyczna pomiarów. Jak widać na rysunku, chodzi o to, by odległość między tymi wartościami była mniejsza niż promień koła U .

Z racji tego, że wartość X jest nieznaną, zadanie to nie ma rozwiązania deterministycznego, jednoznacznego. W tym przypadku, jedyną możliwością jest znalezienie rozwiązania z pewnym prawdopodobieństwem. Szare koło U , w którym zawiera się wartość prawdziwa X oraz wartość średnia m , nazywane jest przedziałem ufności. Natomiast poziom ufności, stanowi prawdopodobieństwo znalezienia się tam obu wartości.

Niepewność typu A i B

Jeśli wielkość mierzona można bezpośrednio porównać ze wzorcem lub gdy pomiar wykonywany jest przy użyciu jednego przyrządu dającego od razu gotowy wynik, to taki pomiar nazywa się pomiarem bezpośrednim. Do tego typu pomiarów należą na przykład: pomiar długości przy użyciu linijki, pomiar średnicy pręta przy użyciu śruby mikrometrycznej, pomiar czasu przy użyciu stopera, pomiar natężenia prądu elektrycznego przy użyciu amperomierza, czy pomiar napięcia przy użyciu woltomierza.

Innym typem pomiarów są pomiary bezpośrednie jednej lub kilku wielkości fizycznych, których celem jest określenie wielkości od nich zależnej. Tego typu pomiary nazywa się pomiarami pośrednimi. Należą do nich na przykład: pomiar (wyznaczenie) rezystancji na podstawie pomiarów natężenia prądu i napięcia, wyznaczenie objętości walca na podstawie pomiarów jego średnicy i wysokości, wyznaczenie przyspieszenia ziemskiego na podstawie długości i okresu drgań wahadła matematycznego.

Metody obliczania niepewności zależą od tego, czy pomiary wykonywane były w sposób bezpośredni lub pośredni. Składowe niepewności pomiaru uzyskiwane przy pomocy metod statystycznych określane są mianem niepewności typu A (type A uncertainty). Wartości składowe niepewności, które uzyskuje się metodami deterministycznymi określa się jako niepewności typu B (type B uncertainty).

Metoda typu A obliczania niepewności standardowej polega więc na analizie statystycznej serii obserwacji. Niepewność standardowa w tym przypadku to odchylenie standardowe. Metoda ta wymaga odpowiednio dużej liczby powtórzeń pomiaru i ma zastosowanie do błędów przypadkowych. Stosuje się ją wtedy, gdy istnieje możliwość przeprowadzenia wielu powtórzeń pomiaru tej samej wielkości w identycznych warunkach pomiarowych. Przykładem może być pomiar powtarzalności wagi elektronicznej.

Wykonujemy w określonym punkcie pomiarowym serię na przykład dziesięciu powtórzeń. Ważne jest, aby pomiary wykonać tym samym wzorcem, przez tego samego operatora, w krótkim przedziale czasu, przy nie zmieniających się warunkach środowiskowych. Po wykonaniu pomiarów możemy obliczyć odchylenie standardowe pojedynczego wyniku według zależności:

$$(1) \quad s(X) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

gdzie: n – liczba powtórzeń (pomiarów), x_i – wynik i tego pomiaru, \bar{x} – wartość średnia wyniku pomiarów dla n powtórzeń, obliczona według zależności:

$$(2) \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Obie zależności są znane z matematyki i powszechnie stosowane w analizach pomiarów. Dla niepewności typu A przyjmuje się rozkład normalny, który graficznie przedstawia się za pomocą krzywej Gaussa. Do bardzo dużej ilości pomiarów (np. $n = 400$) możemy sobie doświadczać samemu wyznaczyć taką krzywą. Jest to dobry przykład,

który można wykorzystać do szkolenia młodych adeptów sztuki pomiaru w celu zrozumienia zjawiska.

Niepewność pomiaru zawiera na ogół wiele składników. Niektóre z nich można wyznaczyć na podstawie rozkładu statystycznego wyników szeregu pomiarów i można je scharakteryzować odchyleniem standardowym, tak jak to przedstawiono powyżej. Inne składniki niepewności, które mogą również zostać scharakteryzowane odchyleniami standardowymi, są szacowane na podstawie zakładanych rozkładów prawdopodobieństwa opartych na doświadczeniu lub innych informacjach. Dochodzimy w ten sposób do drugiego typu niepewności – B.

Często w praktyce pomiarowej występują sytuacje, gdy wykonywany jest tylko jeden pomiar (lub po jednym pomiarze każdej z wielkości mierzonych) lub wyniki nie wykazują rozrzutu. Na przykład, mierząc wielokrotnie grubość płytki śrubą mikrometryczną otrzymamy różne wyniki, a pomiar tej samej płytki linijką milimetrową da nam zawsze ten sam wynik. Dokładność przyrządu pomiarowego Δx określa tzw. maksymalny błąd graniczny (ang. MPE, maximum permissible error). Jest to liczba określona przez producenta urządzenia pomiarowego lub oszacowana na podstawie wartości działki elementarnej stosowanego miernika. Oczywistym jest fakt, że prawdopodobieństwo uzyskania dowolnego wyniku mieszczącego się w przedziale wyznaczonym przez błąd graniczny MPE jest takie samo. Tego typu rozkład prawdopodobieństwa nazywa się rozkładem jednostajnym, w którym odchylenie standardowe określone jest wzorem:

$$(3) \quad u(x) = \frac{\Delta x}{\sqrt{3}} = \sqrt{\frac{(\Delta x)^2}{3}}$$

Drugą przyczyną niepewności pomiarów typu B może być niepewność eksperymentatora Δx_e określana przez osobę wykonującą pomiary. Wartość jej jest szacowana na podstawie umiejętności i sposobu wykonywania pomiarów. Niepewność standardową oblicza się również przy użyciu wzoru (3), gdzie zamiast Δx należy wstawić Δx_e . Jeśli występują oba źródła niepewności typu B opisane powyżej, to dodają się ich kwadraty niepewności standardowych:

$$(4) \quad u(x) = \sqrt{\frac{(\Delta x)^2}{3} + \frac{(\Delta x_e)^2}{3}}$$

Niepewność typu B wyznaczana jest za pomocą analizy naukowej opartej na wszystkich dostępnych informacjach na temat zmienności wielkości wejściowej. Tymi informacjami mogą być: dane uzyskane z wcześniej przeprowadzonych pomiarów, posiadane doświadczenie, właściwości odpowiednich materiałów i przyrządów pomiarowych. Wykorzystuje się też informacje pochodzące ze specyfikacji producenta oraz niepewności związane z danymi odniesienia, uzyskane z podręczników, publikacji naukowych lub też innych źródeł. Ważną informacją są oczywiście także dane uzyskane ze świadectw wzorcowania przyrządów pomiarowych, wzorców wielkości fizycznych lub też z innych certyfikatów.

Oczywiście przy głębszej analizie można się doszukać wielu innych parametrów, jednak w zależności od dokładności pomiaru, mogą one nie mieć wpływu na wartość niepewności. W przypadku analizy niepewności typu B, najczęściej przyjmuje się rozkład prostokątny. W związku z tym, aby obliczyć wartość niepewności, wartość błędu granicznego należy podzielić przez pierwiastek z 3. Niepewność wyznaczenia błędu wskazania wyznaczamy dzieląc niepewność rozszerzoną (podaną w świadectwie wzorcowania) przez współczynnik rozszerzenia k , również podany w świadectwie wzorcowania.

Jeśli w pomiarach występują równocześnie oba typy niepewności (typu A – rozrzut wyników i typu B – niepewność wzorcowania i eksperymentatora), to należy dodać do siebie ich kwadraty, otrzymując następujący wzór na niepewność standardową (całkowitą):

$$(5) \quad u(x) = \sqrt{s_x^2 + \frac{(\Delta x)^2}{3} + \frac{(\Delta x_e)^2}{3}}$$

Należy zwrócić uwagę, że jeśli jedna z obliczonych niepewności jest mniejsza o rząd wielkości od innych, to można tę niepewność pominąć. Wzór (5) należy stosować tylko w przypadku, gdy wyznaczone niepewności są tego samego rzędu.

Niepewność złożona i rozszerzona

Niepewność standardowa $u(x)$ określa przedział od $\bar{x} - u(x)$ do $\bar{x} + u(x)$, w którym wartość prawdziwa znajduje się z prawdopodobieństwem około 68% dla niepewności typu A oraz z prawdopodobieństwem około 58% dla niepewności typu B (wartości te wynikają z rozkładów prawdopodobieństw: Gaussa i jednostajnego). Niepewność standardowa jest miarą dokładności pomiarów i umożliwia porównanie różnych metod pomiarowych. Dla umożliwienia porównania wyników pomiarów uzyskiwanych w różnych laboratoriach i warunkach wprowadzono pojęcie niepewności rozszerzonej U . Służy ona do wnioskowania o zgodności wyniku pomiaru z wynikami uzyskanymi w innych warunkach lub z wartościami tablicowymi. Niepewność rozszerzona wykorzystywana jest do celów komercyjnych i do ustalania norm przemysłowych, zdrowotnych, bezpieczeństwa, itd. Zgodnie z definicją, niepewność rozszerzona jest to zwiększona wartość niepewności standardowej tak, aby w przedziale $x \pm U(x)$ znalazła się przeważająca część wyników. Niepewność rozszerzoną oblicza się w sposób następujący:

$$(6) \quad U(x) = k \cdot u(x)$$

gdzie k nosi nazwę współczynnika rozszerzenia.

Dla większości zastosowań przyjmuje się wartość współczynnika rozszerzenia równą 2. Dla $k = 2$ prawdopodobieństwo znalezienia wartości prawdziwej w przedziale $x \pm U(x)$ wynosi 95% dla niepewności typu A oraz jest równe 100% dla niepewności typu B (prawdopodobieństwo równe 100% uzyskuje się już dla $k = 1,73$).

W danych technicznych przyrządów pomiarowych często jest podawana miara niepewności prezentowanych wielkości. Jeśli nie podano inaczej, jest to zazwyczaj niepewność rozszerzona obliczona dla współczynnika rozszerzenia $k = 3$, co odpowiada trzykrotnej wartości odchylenia standardowego wielkości średniej. Wówczas niepewność standardowa odpowiadająca prawdopodobieństwu 68% jest równa 1/3 podanej wartości niepewności.

Niepewność złożona – najprościej mówiąc – to połączona niepewność typu A i typu B. W praktyce występują zazwyczaj niepewności złożone, występują jednak pewne przypadki, gdzie cała analiza niepewności sprowadza się do typu B. Jednym z parametrów jest również tzw. współczynnik wrażliwości, związany z wielkością wejściową. Jest to pochodna cząstkowa, opisująca jak estymata wielkości wyjściowej zmienia się wraz ze zmianami wartości estymat wielkości wejściowych. Parametr ten opisuje zależność:

$$(7) \quad c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} = \frac{\partial f}{\partial x_i} | X_1 = x_1 \dots \dots X_N = x_N$$

gdzie: c_i – współczynnik wrażliwości, x_i – estymata wielkości wejściowej, X_i – wartość wielkości wejściowej

Udział w złożonej niepewności standardowej określony jest zależnością:

$$(8) \quad u_i(y) = c_i \cdot u(x_i)$$

gdzie: $u_i(y)$ – udział w złożonej niepewności standardowej, c_i – współczynnik wrażliwości, $u(x_i)$ – niepewność standardowa

Wyznaczanie budżetu niepewności

Standardy testów EMC zawierają specyfikację wielkości mierzonej oraz określają metodę pomiaru tej wielkości. Na przykład w przeprowadzonym pomiarze emisji przewodzonej, jest to napięcie RF zmierzone przez odbiornik pomiarowy podłączony do układu dopasowania impedancji LISN (ang. Line Impedance Stabilization Network). Proces pomiaru jest niedoskonały i zawiera błędy. W konsekwencji wynik pomiaru jest jedynie przybliżeniem rzeczywistej wartości wielkości mierzonej i jest tylko ostateczny, gdy zawiera stwierdzenie o niepewności tego przybliżenia. W przypadku dowolnej metody pomiaru zwykle istnieje kilka źródeł niepewności, chociaż tylko jedno lub dwa mogą dominować. Należy przeanalizować indywidualnie każde źródło, przypisać do niego wartość, a następnie zsumować wartości w odpowiedni sposób, aby uzyskać całkowitą niepewność pomiaru. Zasadniczo źródłem niepewności może być błąd losowy lub systematyczny; niepewność wynika bezpośrednio z efektów losowych, oraz ze skutków systematycznych, gdy są one niewłaściwie skorygowane lub nie poprawiane.

Budżet niepewności zawiera listę źródeł błędów i ich indywidualnych szacunków niepewności wraz z rozkładem prawdopodobieństwa. Aby ustalić listę prawdopodobnych źródeł błędów niezbędna jest dobra znajomość metody badania i aparatury pomiarowej wykorzystywanej w tym badaniu. Podczas tworzenia listy lepiej uwzględnić niż wykluczyć dany element, ponieważ jeśli okaże się nieistotny, to nadal jest lepiej potwierdzić jego obecność i uwzględnić go przy niskiej lub nawet zerowej wartości, niż zignorować jego wkład, który później może okazać się większy, niż na pierwszy rzut oka. Po przeanalizowaniu każdego komponentu poszczególne komponenty są zsumowane w celu uzyskania końcowego wyniku pomiaru. W analizie, źródła niepewności można pogrupować w jedną z dwóch kategorii na podstawie ich metody oceny [3].

Analizę złożonej niepewności pomiaru najlepiej jest przedstawić w postaci tabeli zwanej budżetem niepewności.

Niepewność złożona wyniku pomiaru wielkości, zgodnie z ogólnymi zasadami, szacowana jest w następujących etapach:

- identyfikacja źródeł niepewności,
- przyjęcie typów rozkładów gęstości prawdopodobieństwa dla wielkości wejściowych,
- estymacja odchylen standardowych $u(x_i)$,
- wyznaczenie współczynników wrażliwości c_i ,
- zestawienie budżetu niepewności,
- obliczenie wartości złożonej niepewności standardowej $u_s(Y)$,
- obliczanie niepewności rozszerzonej $U(Y)$.

Wynik pomiaru Y składa się z wartości mierzonej wielkości fizycznej y oraz niepewności rozszerzonej pomiaru $U(Y)$.

$$(9) \quad Y = y \pm U(Y)$$

Niepewność rozszerzona U jest określona jako:

$$(10) \quad U(Y) = k \cdot u_{cs}(y)$$

gdzie: $u_{cs}(y)$ – niepewność standardowa całkowita, k – współczynnik rozszerzenia, który odzwierciedla pewien poziom ufności dla przedziału $(y-U, y+U)$.

Zwykle wartość k zawiera się w granicach 2 do 3, ale dla specjalnych zastosowań może być wybrana spoza tego przedziału. Ideałem byłoby możliwość wyboru współczynnika k , który wyznaczałby przedział $y \pm U$ odpowiadający ściśle określonej ufności p (wynoszącemu np.: 95% lub 99%). Nie jest to jednak łatwe do wykonania w praktyce, ponieważ nie mamy dokładnej wiedzy o rozkładzie prawdopodobieństwa wyniku pomiaru i jego całkowitej niepewności standardowej. Zakładając rozkład normalny, co ma w większości przypadków uzasadnienie, szczególnie przy dużej liczbie stopni swobody, to dla $k=2$ otrzymamy przedział o poziomie ufności w przybliżeniu równym 95% zaś dla $k=3$ tworzy się przedział ufności w przybliżeniu równy 99%.

Metoda pomiaru emisji zaburzeń przewodzonych

Jednym z wiodących pomiarów związanych z kompatybilnością elektromagnetyczną urządzeń jest pomiar emisji zaburzeń przewodzonych na zaciskach zasilania urządzenia badanego. Polega on na pomiarze napięcia niesymetrycznego (w dB μ V) na przyłączy EUT (ang. Equipment Under Test) względem płaszczyzny ziemi odniesienia z wykorzystaniem sieci sztucznej. Stanowisko laboratoryjne do pomiaru emisji zaburzeń przewodzonych przedstawiono na rysunku 2.

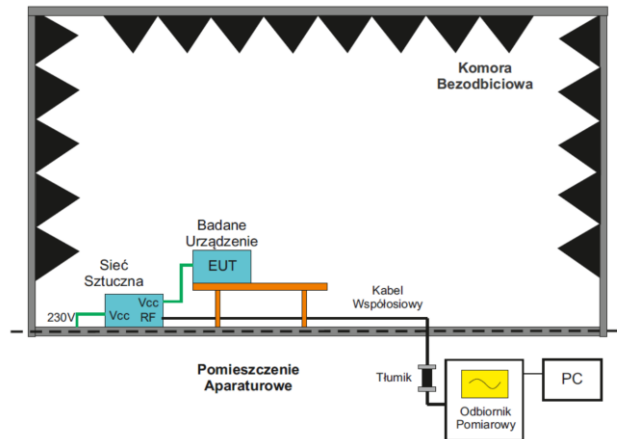
Przy pomiarach emisji przewodzonej pomiędzy badanym urządzeniem a miernikiem zaburzeń przewodzonych znajduje się sprzęgacz sygnałów radioelektronicznych oraz kabel koncentryczny. Rolę takiego sprzęgacza może spełniać sieć sztuczna typu V, w sytuacji pomiaru zaburzeń na przewodach zasilających może to być sonda napięciowa, stabilizator impedancji typu T lub sonda prądowa w sytuacji gdy mierzymy zaburzenia w przewodach sieci telekomunikacyjnej. Najczęściej wykorzystywana do pomiarów i przywoływana przez dokumenty normatywne jest sieć sztuczna typu V. W sytuacjach gdy wartości znamionowe prądów lub napięcia osiągają większe wartości niż wartości znamionowe sieci typu V wykorzystuje się sondy napięciowe. Wykorzystując sieć sztuczną w torze pomiarowym stosuje się często tłumik celem ograniczenia wartości sygnału docierającego do odbiornika pomiarowego.

Pomiary zaburzeń przewodzonych emitowanych przez urządzenia elektroniczne na zaciskach zasilania są wykonywane przy pomocy linii sztucznej AMN (ang. Artificial Means Network) oraz odbiornika pomiarowego w zakresie częstotliwości od 150 kHz do 30 MHz. W procesie pomiarowym linia sztuczna jest wykorzystywana do:

- ustalenia impedancji obciążenia wielkiej częstotliwości dla przewodów zasilania w punkcie pomiarów napięcia zaburzeń,
- zapewnienia izolacji badanego obwodu od zewnętrznych zaburzeń występujących na przewodach zasilania,
- doprowadzenia zasilania do badanego urządzenia,
- pomiaru zaburzeń elektromagnetycznych występujących na liniach zasilania badanego urządzenia.

Zaburzenia przewodzone mierzy się między przewodem fazowym a ziemią odniesienia oraz między przewodem neutralnym a ziemią odniesienia. Pomiary wykonuje się poprzez wyliczenie rzeczywistego poziomu zaburzeń przewodzonych, odpowiadającego poszczególnym częstotliwościom pomiarowym, uwzględniając współczynniki korekcyjne linii sztucznej i tłumienie toru w.c.z.

doprowadzającego sygnał mierzony do wejścia odbiornika pomiarowego



Rys. 2. Schemat blokowy stanowiska laboratoryjnego do pomiaru emisji zaburzeń przewodzonych

W celu przeprowadzenia badania należy wykonać następujące czynności:

- włączyć zasilanie przyrządów pomiarowych i pozostawić je w tym stanie przez czas niezbędny do uzyskania właściwej stabilności,
- sprawdzić, czy spełnione są wymagania dotyczące tła zakłóceń środowiskowych i jeśli jest to wymagane, należy sporządzić spektrogram tła zakłóceń,
- uruchomić przestrajanie odbiornika pomiarowego, przy czym pasma przepuszczania i parametry przestrajania powinny być utrzymywane zgodnie z wymaganiami podanymi w normie [2],
- wykonać uwierzytelnianie toru pomiarowego,
- pomiary należy wykonać dla każdego przewodu linii sztucznej (fazowego i neutralnego),
- przedstawić wyniki z badań w formie określonej wg. normy [2].

Budżet niepewności w pomiarach zaburzeń przewodzonych na przyłączy sieciowym

Przy pomiarach zaburzeń przewodzonych na przyłączy sieciowym z użyciem sieci sztucznej wielkością mierzoną jest napięcie niesymetryczne (V), w dB(μ V), mierzone na przyłączy EUT względem płaszczyzny ziemi odniesienia.

Wyznaczając budżet niepewności pomiaru dla pomiarów zaburzeń przewodzonych na przyłączy sieciowym z użyciem AMN powinno uwzględnąć się następujące wielkości wejściowe:

- Wskazania odbiornika.
- Tłumienie połączenia między AMN i odbiornikiem.
- Współczynnik podziału napięcia AMN.
- Interpolacja VDF sieci AMN w funkcji częstotliwości.
- Wielkości wejściowe związane z odbiornikiem:
 - Dokładność pomiarów napięcia sinusoidalnego odbiornika.
 - Odpowiedź amplitudowa odbiornika na impulsy.
 - Odpowiedź odbiornika na impulsy o zmiennej częstotliwości powtarzania.
 - Szumy własne odbiornika.
- Wpływ niedopasowania między przyłączem odbiornikowym AMN i odbiornikiem.
- Impedancja AMN.
- Wpływ zaburzeń sieciowych.
- Wpływ otoczenia.

Opisując wielkości wejściowe uwzględniane w budżecie niepewności pomiaru dla pomiarów zaburzeń

przewodzonych na przyłączy sieciowym z użyciem AMN proponuje się stosowanie symboli wielkości wejściowych wyszczególnionych poniżej:

- F_{AMN} – współczynnik podziału napięcia AMN, w dB;
- δF_{AMNf} – korekta ze względu na błąd oceny współczynnika podziału napięcia (VDF) wynikający z interpolacji częstotliwościowej, w dB;
- δD_{mains} – korekta ze względu na błąd powodowany zaburzeniami sieciowymi, w dB;
- δV_{env} – korekta ze względu na wpływ otoczenia, w dB;
- δZ_{AMN} – korekta ze względu na niedoskonałość impedancji AMN, w dB.

Wielkość mierzoną V oblicza się, stosując zależność:

$$(11) V = V_r + a_c + F_{AMN} + \delta F_{AMNf} + \delta V_{SW} + \delta V_{pa} + \delta V_{pr} + \delta V_{nf} + \delta M + \delta Z_{AMN} + \delta D_{mains} + \delta V_{env}$$

Tabela 1. Budżet niepewności dla pomiarów emisji zaburzeń przewodzonych od 9 kHz do 150 kHz z użyciem AMN

Wielkość wejściowa	X_i	Niepewność x_i		Dzielnik wg rozkładu prawdopodobieństwa	Współczynnik	$c_i u(x_i)$
		dB	Rozkład prawdopodobieństwa		wrażliwości	
		\pm			c_i	dB
Wskazania odbiornika	V_r	0,600	$k = 1$	1,000	1	0,600
Tłumienie toru: AMN-odbiornik	a_c	0,100	$k = 2$	2,000	1	0,050
Współczynnik podziału napięcia AMN	F_{AMN}	0,400	$k = 2$	2,000	1	0,200
Współczynniki korekcyjne odbiornika:						
Napięcie sinusoidalne	δV_{sw}	0,400	$k = 2$	2,000	1	0,200
Odpowiedź amplitudowa na impulsy	δV_{pa}	1,000	Prosto-kątny	1,732	1	0,577
Odpowiedź na impulsy o zmiennej częstotliwości powtarzania	δV_{pr}	1,000	Prosto-kątny	1,732	1	0,577
Bliskość szumów własnych	δV_{nf}	0,700	$k = 1$	1,000	1	0,700
Interpolacja częstotliwościowa VDF sieci AMN	δF_{AMNf}	0,100	Prosto-kątny	1,732	1	0,058
Niedopasowanie toru: AMN-odbiornik	δM	0,023	Typu U	1,414	1	0,016
Impedancja AMN	δZ_{AMN}	0,477	Trój-kątny	2,449	1	0,195
Wpływ zaburzeń sieciowych	δD_{mains}	0,000	$k = 1$	1,000	1	0,000
Wpływ otoczenia	δV_{env}	0,000	$k = 1$	1,000	1	0,000
$\sum(c_i u(x_i))^2$						1,641
$\sqrt{\sum(c_i u(x_i))^2}$						1,281
$k =$						2
Niepewność rozszerzona						2,562
Rozszerzona niepewność dla stanowiska pomiarowego						2,6

Z przedstawionego budżetu niepewności uznana rozszerzona niepewność pomiaru dla pomiarów zaburzeń przewodzonych na przyłączy sieciowym z użyciem sieci sztucznej AMN wynosi $u_c(V) = 2,562$ dB.

Podsumowanie

Przy pomiarach zaburzeń przewodzonych na przyłączy sieciowym z użyciem sieci sztucznej wielkością mierzona jest napięcie niesymetryczne (V), w dB(μV), mierzone na przyłączy EUT względem płaszczyzny ziemi odniesienia. W artykule przedstawiono ogólne podstawy teoretyczne związane z określaniem niepewności pomiaru i wyznaczaniem budżetu niepewności pomiaru. W sposób ogólny omówiono podstawowe definicje związane z wykonywaniem pomiarów oraz wyznaczaniem budżetu niepewności. Scharakteryzowano budżet niepewności pomiaru. Zaprezentowano podział niepewności na niepewność typu A oraz typu B, a następnie przeanalizowano czynniki będące źródłami tych niepewności. W opracowaniu przedstawiono sposób wyznaczania składników budżetu niepewności, a także metody wyznaczania niepewności złożonej.

Efekt końcowym opracowania jest przedstawienie budżetu niepewności związanych z pomiarem zaburzeń przewodzonych dla pomiarów dotyczących pomiaru zaburzeń przewodzonych na przyłączy sieciowym z użyciem sieci sztucznej (AMN).

Niniejszy artykuł pozwala na zapoznanie się z oszacowanymi budżetami niepewności dla różnych metod pomiarowych dotyczących pomiaru zaburzeń emisji przewodzonej. Artykuł zawiera więc podstawowy materiał wykorzystywany przy ustalaniu wartości niepewności aparatury pomiarowej ocenianej na podstawie wartości CISPR. Budżet niepewności pomiaru stanowi materiał podstawowy dla tych, którzy chcą mieć wstępne i dalsze informacje o niepewności aparatury pomiarowej, oraz o sposobie uwzględniania oddzielnych niepewności w łańcuchu pomiarowym. Wyznaczony budżet niepewności pomiaru można traktować jako podręcznik do nauki czy podstawy do opracowywania instrukcji stanowiskowej.

Praca została sfinansowana przez Wojskową Akademię Techniczną w ramach projektu nr UGB/749/2024 pt. "Anteny mikropaskowe o wysokim zysku energetycznym pracujące w paśmie milimetrowym"

Autorzy:

dr inż. Rafał Przesmycki, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: rafal.przesmycki@wat.edu.pl;

dr inż. Marek Bugaj, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: marek.bugaj@wat.edu.pl;

LITERATURA

- [1] Jan Sroka, Niepewność pomiarowa w badaniach EMC. Pomiary emisyjności radioelektrycznej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
- [2] PN-EN 55016-4-2:2011/A1:2014 10, Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej i metod pomiaru zaburzeń radioelektrycznych oraz odporności na zaburzenia – Część 4-2: Niepewności, statystyka i modelowanie poziomu dopuszczalnego – Niepewność aparatury pomiarowej. Polski Komitet Normalizacyjny.
- [3] EMC Measurement uncertainty, a hand guide. www.schafner.com
- [4] Skubis T., Podstawy metrologicznej interpretacji wyników pomiarów, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
- [5] Arendarski J.: Niepewność pomiarów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.