

Ocena poziomu zakłóceń środowiskowych

Streszczenie. W artykule przedstawiono opis systemu do automatycznego pomiaru współczynnika szumów otoczenia $F_a(f)$. W zaproponowanym systemie pomiarowym zwrócono szczególną uwagę na zakłócenia generowane przez urządzenia pomiarowe i sterujące procesem pomiarowym, które nie powinny wpływać na wartość mierzonego poziomu zakłóceń środowiskowych (współczynnika szumów otoczenia). W artykule przedstawiono algorytm oprogramowania sterującego procesem pomiarowym oraz opisano interfejs graficzny użytkownika.

Abstract. The article describes a system for automatic measurement of ambient noise factor $F_a(f)$. In proposed measurement system the particular attention is paid if the noise generated by measuring and controlling system doesn't affect the value of the measured levels of environment noise (ambient noise factor). This paper presents an algorithm for the measurement process control software and describes the graphical user interface. (**Ambient noise factor measurement**).

Słowa kluczowe: współczynnika szumów otoczenia, kompatybilność elektromagnetyczna.

Keywords: ambient noise factor, electromagnetic compatibility.

doi:10.12915/pe.2014.07.49

Wstęp

W pewnych zakresach częstotliwości zakłócenia zewnętrzne zwykle dominują nad szumem własnym odbiorczych systemów radiokomunikacyjnych i radiopelengacyjnych i często stanowią główną przeszkodę w odbiorze sygnałów radiowych. W celu maksymalizacji czułości odbiorczych stacjonarnych systemów radiokomunikacyjnego lub radiopelengacyjnych należy wybrać lokalizację cechującą się jak najniższym poziomem szumów środowiskowych. W tym celu przed instalacją tego typu urządzeń niezbędnym jest scharakteryzowanie właściwości środowiska zakłóceń radioelektrycznych w wybranej lokalizacji w zakresie częstotliwości obejmującym pracę instalowanych systemów odbiorczych. Na środowisko zakłóceń radioelektrycznych składają się zakłócenia naturalne (atmosferyczne, słoneczne i kosmiczne) oraz wytworzone przez człowieka - w wyniku działań zamierzonych i niezamierzonych - addytywne zakłócenia pochodzenia technicznego, często określane nazwą anglosaską man-made noise. Źródłem zakłóceń technicznych są trzy kategorie urządzeń technicznych. Są to, po pierwsze, urządzenia wytwarzające i wypromieniowujące energię fal radiowych (np. nadajniki radiokomunikacyjne i radiodufuzyjne, radiolokatory), po drugie, urządzenia elektroenergetyczne, technologiczne, naukowe, medyczne i inne, które wytwarzają energię elektromagnetyczną w.cz., nie przeznaczoną do wypromieniowania. Kategoria trzecia obejmuje wiele maszyn i urządzeń elektrycznych wytwarzających wyładowania iskrowe i łukowe celowo (zapłon iskrowy, lampy wyładowcze) lub w sposób niezamierzony (wyłączniki, pantografy, komutatory), które również wypromieniowują energię zakłóceń wielkiej częstotliwości.

Superpozycja wielu niezależnych impulsów losowych na ogół podlega centralnemu twierdzeniu granicznemu. Stąd rozkład prawdopodobieństwa wartości chwilowych szerokopasmowego ła szumów jest w przybliżeniu naturalny oraz tym bardziej normalny jest rozkład wartości chwilowych wąskopasmowego (po filtracji w odbiorniku) przebiegu szumów na wejściu detektora. Dlatego, przy braku silnych lokalnych źródeł zakłóceń, można założyć, że detekcja sygnałów mierzonych zachodzi w obecności źródeł szumów wąskopasmowych normalnych, tzn. w obecności szumu zewnętrznego z ła zakłóceń fluktuacyjnych, jak i szumu własnego (ciepłego) systemu pomiarowego.

Opis ilościowy szumów fluktuacyjnych, zarówno zewnętrznych, jak i własnych odbiornika, może być na potrzeby analizy szumów systemu pomiarowego bardzo

poważnie uproszczony i zredukowany do jednego wskaźnika liczbowego.

Oznaczmy częstotliwość dostrojenia odbiornika przez f , zastępując szerokość pasma całego toru przeddetekcyjnego w odbiorniku przez B . Uproszczona metodyka analizy wpływu szumu zewnętrznego polega na założeniu, że oddziałuje on na wejście odbiornika tylko w wąskim paśmie częstotliwości B . Można więc przyjąć stałą wartość widmowej gęstości mocy na wejściu odbiornika $G(f)$. Obliczeniowa moc średnia tego szumu na wejściu odbiornika jest równa:

$$(1) \quad P_n = GB,$$

W oparciu o wartość mocy szumu na wejściu odbiornika wyrażoną równaniem (1) wprowadza się pojęcie współczynnika szumu zewnętrznego f_a , analogicznie do znanego pojęcia współczynnika szumu elementu lub układu elektronicznego. Wychodzimy z ogólnego równania na moc szumu fluktuacyjnego:

$$(2) \quad P_n = kT_0 B f_a,$$

gdzie: k - stała Boltzmanna, równa $1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K, T_0 - temperatura bezwzględna w kelwinach, B - równoważna szerokość pasma odnośnego układu selektywnego w Hz, f_a - współczynnik szumu, o wymiarze W/W i wartości ≥ 1 .

Równanie (2) wiąże ze sobą wielkości: P_n , k , T_0 i B bezpośrednio lub pośrednio mierzalne i służy do definiowania współczynnika szumu f_a w jednostkach nielogarytmicznych:

$$(3) \quad f_a = \frac{P_n}{kT_0 B}$$

W praktyce technicznej współczynnik szumu wyraża się w decybelach i jest oznaczany za pomocą symbolu F_a (duża litera). Współczynnik ten, definiowany przez odpowiednio interpretowany wzór (3), stanowi miarę szumowości kanału radiowego, odniesioną do wejścia odbiornika (ewentualnie do otoczenia anteny odbiorczej). Wartość nieujemną ($f_a(f) \geq 0$) uważamy za stałą w wąskim otoczeniu częstotliwości f , ale w ogólności zmienną z częstotliwością.

W dalszej części niniejszego artykułu współczynnik szumu zewnętrznego będzie wykorzystany, jako miara oceny danej lokalizacji pod względem poziomu szumów zewnętrznych. Wartości współczynnika F_a dla wzorcowego obszaru QRSL (ang. Quiet Rural Site Line), predestynowanego do umieszczenia odbiorczych systemów

radiokomunikacyjnych i radiopelengacyjnych, wyznaczone są z zależności [2]:

$$(4) \quad F_a(f) = -28.6 \log_{10} f + 53.6,$$

natomiast wartości współczynnika F_a odpowiednio dla obszaru wiejskiego, podmiejskiego oraz zurbanizowanego miejskiego zostały wyznaczone zgodnie z [2] na podstawie zależności:

– dla terenu wiejskiego

$$(5) \quad F_a(f) = -27.7 \log_{10} f + 67.2,$$

– dla terenu podmiejskiego

$$(6) \quad F_a(f) = -27.7 \log_{10} f + 72.5,$$

– dla terenu zurbanizowanego miejskiego

$$(7) \quad F_a(f) = -27.7 \log_{10} f + 76.8,$$

gdzie:

$F_a(f)$ - współczynnik szumów otoczenia [dB],

f - częstotliwość mierzonego sygnału [MHz].

W dalszej części artykułu opisano przykładową implementację zestawu pomiarowego do oceny poziomu szumów zewnętrznych dla danej lokalizacji oraz procedurę pomiaru współczynnika szumu zewnętrznego F_a . Przedstawiono także przykładowe wyniki pomiarów dla obszaru wiejskiego i zurbanizowanego mające na celu ocenę danej lokalizacji do wykorzystania, jako miejsce instalacji odbiorczych systemów radiokomunikacyjnych.

Stanowisko pomiarowe

W skład stanowiska pomiarowego wchodzi:

aktywna antena pomiarowa SAS-550-25 pracująca w niezbędne jest określenie jego transmitancji $A(f)$, dla poszczególnych częstotliwości pomiarowych. Zarówno współczynniki antenowe oraz transmitancja linii przesyłowej stanowią dane wykorzystywane przez oprogramowanie sterujące procesem pomiarowym do obliczeń omówionych w dalszej części niniejszego artykułu.

Zadaniem odbiornika pomiarowego jest detekcja oraz pomiar poziomu sygnałów o częstotliwościach radiowych za pomocą detektora RMS oraz AVG. Wykorzystywany odbiornik jest wyposażony w interfejs Ethernet wykorzystywany do zdalnego sterowania odbiornika za pomocą oprogramowania zainstalowanego na komputerze PC.

Ważnymi elementami stanowiska pomiarowego są obudowa ekranująca oraz filtr zasilania AC, których zadaniem jest zapewnienie separacji anteny pomiarowej od sygnałów zaburzeń promieniowanych generowanych w sposób niezamierzony przez system pomiarowy. Powyższa separacja jest szczególnie ważna podczas pomiarów współczynników szumów środowiskowych terenów wiejskich, gdzie mierzone poziomy sygnałów zaburzeń środowiskowych są wielokrotnie niższe od poziomów zaburzeń generowanych przez system pomiarowy. Źródłem szczególnie dużych zaburzeń generowanych przez system pomiarowy są przewód Ethernet oraz komputer PC wykorzystywane do zdalnego sterowania odbiornikiem pomiarowym.

Procedura pomiarowa

Poniżej opisano algorytm postępowania podczas oceny danej lokalizacji do wykorzystania, jako miejsce instalacji odbiorczego systemu radiokomunikacyjnego pracującego w zakresie częstotliwości od 1MHz do 30MHz. Powyższy algorytm obejmuje niżej wymienione czynności:

- Wybór cichych częstotliwości radiowych

W celu przeprowadzenia powyższej procedury należy w pierwszej kolejności dokonać analizy widmowej pasma częstotliwości radiowych od 1MHz do 30MHz mającej na celu wyłonienie, co najmniej m częstotliwości pomiarowych równomiernie rozłożonych w całym analizowanym paśmie, na których nie występują emisje pochodzące od urządzeń wytwarzających i wypromieniowujące energię fal radiowych w sposób celowy (np. nadajniki radiokomunikacyjne i radiodyfuzyjne, radiolokatory). W dalszej części opracowania powyższe częstotliwości będą nazywane „cichymi częstotliwościami”. Na powyższych częstotliwościach występują wyłącznie zakłócenia naturalne (atmosferyczne, słoneczne i kosmiczne) oraz wytworzone przez człowieka w sposób niezamierzony.

- Pomiar natężenia pola elektrycznego na każdej z wybranych częstotliwości pomiarowych

Na wybranych cichych częstotliwościach należy dokonać pomiaru natężenia pola elektrycznego przy wykorzystaniu zestawu pomiarowego opisanego poprzednio. Podczas pomiarów należy uwzględnić wartość współczynników antenowych $AF(f)$ cechujących daną antenę pomiarową oraz tłumienie przewodu koncentrycznego $A(f)$ łączącego antenę z wejściem odbiornika pomiarowego. Pomiaru należy wykonać detektorem wartości skutecznej RMS i wartości średniej AVG. Poziomy pomiarzone detektorem AVG zostaną wykorzystane w piątym punkcie niniejszej procedury pomiarowej podczas wyliczania dewiacji poziomu sygnału $V_d(f)$. Należy wykonać n pomiarów natężenia pola elektrycznego dla każdej częstotliwości pomiarowej. Przy uwzględnieniu, że wartości wszystkich składników są zadane w mierze decybelowej, wartość natężenia pola elektrycznego w miejscu pomiaru należy określić za pomocą zależności:

$$(8) \quad E(f) = U_{RMS}(f) + AF(f) - A(f),$$

gdzie: $E(f)$ - natężenie pola elektrycznego w miejscu umieszczenia anteny pomiarowej [$\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$], $AF(f)$ - współczynnik antenowy [dB/m], $U_{RMS}(f)$ - poziom sygnału zmierzona przez odbiornik pomiarowy detektorem wartości skutecznej [$\text{dB}\mu\text{V}$], $A(f)$ - tłumienie kabla łączącego antenę pomiarową z odbiornikiem pomiarowym [dB].

- Wyznaczenie współczynnika szumu zewnętrznego dla każdej z częstotliwości pomiarowych
Współczynnik szumu zewnętrznego dla każdej z „cichych częstotliwości” należy wyznaczyć, dla każdej z n pomierzonych wartości natężenia pola elektrycznego, z zależności:

$$(9) \quad F_a(f) = E(f) - 20 \log_{10}(f) + 95.5 - 10 \log_{10}(B).$$

- Wyznaczenie mediany współczynnika szumu zewnętrznego dla każdej z częstotliwości pomiarowych
Wyznaczone w powyższy sposób wartości współczynnika szumów zewnętrznych $F_a(f)$ należy poddać obróbce statystycznej. Dla zbioru n współczynników szumów zewnętrznych dla każdej częstotliwości pomiarowej należy wyznaczyć medianę oraz przedział ufności, w którym mieści się 90% wyznaczonych wartości $F_a(f)$ (co odpowiada poziomowi istotności 0.1). Wyznaczone wartości współczynnika szumów otoczenia $F_a(f)$ wraz z zaznaczonymi przedziałami ufności należy przedstawić w formie graficznej.
- Wyznaczenie wartości dewiacji poziomu sygnału dla każdej z częstotliwości pomiarowych
Oprócz wartości współczynnika $F_a(f)$ dla każdej z „cichych częstotliwości” należy wyznaczyć wartość dewiacji poziomu $V_d(f)$ rozumianą, jako różnica pomiędzy wartością poziomu sygnału mierzoną przez odbiornik pomiarowy

wykorzystujący detektor wartości skutecznej RMS oraz detektor wartości średniej AVG, zgodnie z zależnością:

$$(10) \quad V_d(f) = U_{RMS}(f) - U_{AVG}(f),$$

$U_{RAVG}(f)$ - poziom sygnału zmierzony przez odbiornik pomiarowy detektorem wartości średniej [dB μ V].

Również i w tym przypadku każdy zbiór wartości dewiacji poziomu sygnału dla danej „cichej częstotliwości” należy poddać obróbce statystycznej celem wyznaczenia przedziału ufności, w którym mieści się 90% obliczonych wartości dewiacji. Wyznaczone wartości dewiacji poziomu sygnału wraz z zaznaczonymi przedziałami ufności należy przedstawić w formie graficznej.

- Ocena danej lokalizacji

Po wyliczeniu wartości $F_a(f)$ oraz $V_d(f)$ można przystąpić do podjęcia decyzji o jakości danej lokalizacji pod względem poziomu szumów zewnętrznych. Dobra lokalizacja powinna cechować się wartością $F_a(f)$ nie większą niż 3dB do 4dB od wartości współczynnika $F_a(f)$ dla wzorcowego obszaru QRSL. Dobra lokalizacja powinna także cechować się wartością dewiacji poziomu $V_d(f)$, dla poziomów sygnału pomierzonych w ciągu dnia, nie większą niż 3dB. Pomiary, których algorytm przedstawiono powyżej powinny być wykonane dla każdej z czterech pór roku. Przedziały czasowe na wykonanie pomiarów powinny obejmować godziny od 8.00 do 12.00 (najniższe poziomy zakłóceń pochodzenia technicznego) oraz od 20.00 do 24.00 (najwyższe poziomy zakłóceń pochodzenia technicznego). Liczba częstotliwości, na których należy przeprowadzić pomiary dla pasma częstotliwości radiowych od 3MHz do 30MHz wynosi, co najmniej $m=12$. Każdą serię pomiarów należy wykonać, co 15 sekund przez okres 3 minut w ciągu od 10 do 14 dni.

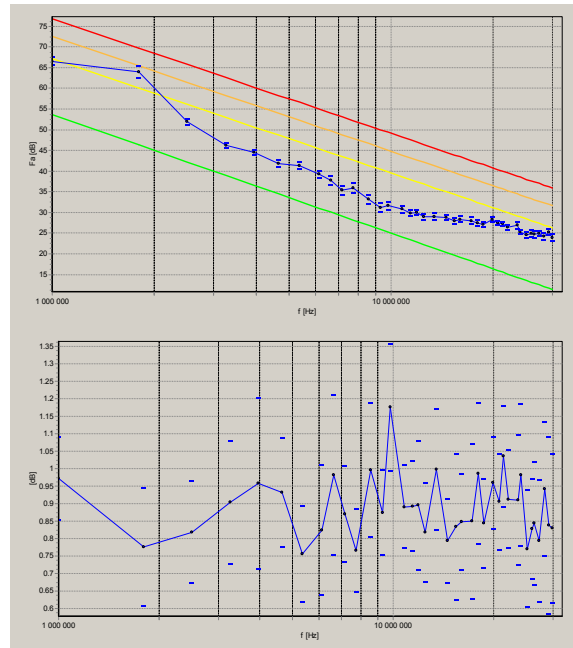
Wyniki badań

W celu sprawdzenia poprawności funkcjonowania opracowanego stanowiska pomiarowego oraz procedury pomiarowej przeprowadzono ocenę dla trzech niżej wymienionych lokalizacji:

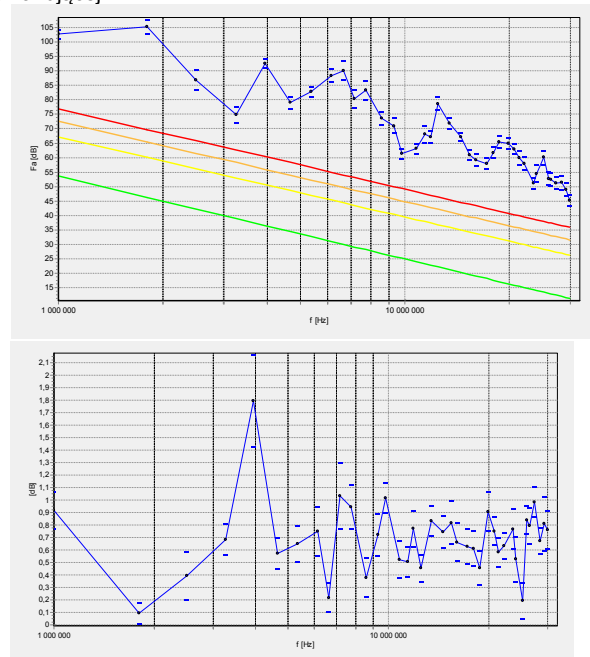
- bezodbiłowej komory ekranującej,
- terenu wiejskiego,
- terenu zurbanizowanego miejskiego.

Wyniki pomiarów dla powyżej wymienionych lokalizacji przedstawiono odpowiednio na rysunkach 3, 4 i 5. Wykresy w kolorach: zielonym, żółtym, pomarańczowym oraz czerwonym oznaczają wartości współczynnika szumów zewnętrznych $F_a(f)$ odpowiednio dla: QRSL, terenu wiejskiego, terenu podmiejskiego oraz dla terenu zurbanizowanego miejskiego. Wykres oznaczony kolorem niebieskim oznacza wartości $F_a(f)$ oraz $V_d(f)$ dla wybranej lokalizacji. Słupki błędów pokazują przedział ufności dla poziomu istotności równego 0.1. Porównując poziomy $F_a(f)$ pomierzone wewnątrz bezodbiłowej komory ekranującej (rysunek 3) oraz w terenie wiejskim można stwierdzić, że poziomy szumów zewnętrznych są porównywalne.

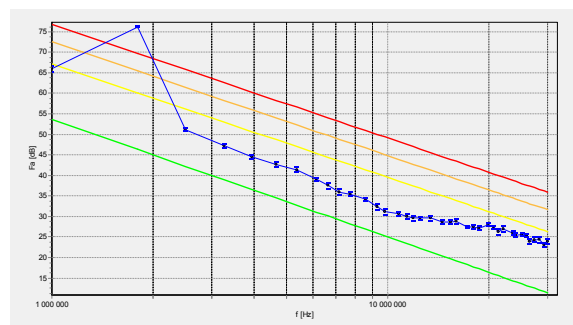
Dyskusyjny wydaje się poziom $F_a(f)$ na częstotliwościach poniżej 2.5MHz. W przypadku bezodbiłowej komory ekranującej składowa o takiej częstotliwości nie powinna posiadać tak znaczącego poziomu. Źródłem powyższego sygnału jest emisja zaburzeń promieniowanych komputera PC sterującego procesem pomiarowym. Zaburzenia powyższe, na przewodach zasilania AC 230V 50Hz, indukują sygnały, które przedostają się na zewnątrz obudowy ekranującej system pomiarowy drogą przewodową przez filtr zasilania. Powyższemu zjawisku można zapobiec stosując filtr zasilania AC 230V o większym tłumieniu w paśmie zaporowym.

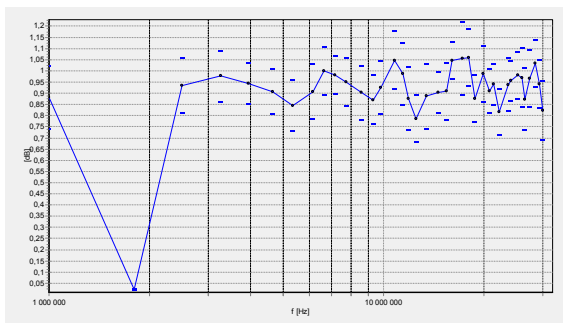


Rys. 3. Wartości współczynnika szumów otoczenia $F_a(f)$ oraz dewiacji poziomu $V_d(f)$ dla wnętrza bezodbiłowej komory ekranującej



Rys. 4. Wartości współczynnika szumów otoczenia $F_a(f)$ oraz dewiacji poziomu $V_d(f)$ dla terenu zurbanizowanego miejskiego





Rys. 5. Wartości współczynnika szumów otoczenia $F_a(f)$ oraz dewiacji poziomu $V_d(f)$ dla terenu wiejskiego

Wnioski

Na podstawie przedstawionych na rysunkach 3, 4 i 5 wyników pomiarów współczynnika szumów otoczenia $F_a(f)$ oraz wartości dewiacji poziomu $V_d(f)$ dla wybranych lokalizacji można stwierdzić, że opracowana procedura oraz zestaw pomiarowy pracują poprawnie. Otrzymane wyniki pomiarów potwierdzają charakter wybranego do testu środowiska elektromagnetycznego dla:

- bezodbiłowej komory ekranującej,
- terenu wiejskiego,
- terenu zurbanizowanego miejskiego.

Wyjątek stanowią sygnały na częstotliwościach poniżej 2.5MHz, dla których poziom współczynnika szumów

zewnętrznych przekracza założone dla danej lokalizacji poziomy dopuszczalne. Powyższe zjawisko wynika z niedostatecznego odfiltrowania (przez filtr AC 230V) zaburzeń przewodzonych generowanych przez system pomiarowy. Aby temu zapobiec należy stosować filtry sieciowe o większym tłumieniu w paśmie zaporowym.

Opracowana procedura oraz zestaw pomiarowy mogą być z powodzeniem wykorzystywane do wyboru lokalizacji dla stacjonarnych systemów radiokomunikacyjnego lub radiopelengacyjnych zapewniających najniższy poziom szumów zewnętrznych.

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

LITERATURA

- [1] IEEE Std 473-1985: IEEE Recommended Practice for an Electromagnetic Site Survey (10kHz to 10GHz).
- [2] AECTP-250 Edition 2: Electrical and Electromagnetic Environmental Conditions.

Autorzy: dr inż. Leszek Nowosielski, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. Gen S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: lnowosielski@wat.edu.pl; mgr inż. Rafał Przesmycki, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. Gen S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: rprzesmycki@wat.edu.pl; dr inż. Borys Bogdan, KenBIT Sp.j. ul. Żytnia 15/22, Warszawa 01-014