

Piotr RUSZEL

POLITECHNIKA WROCLAWSKA, WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI,
WYDZIAŁOWY ZAKŁAD INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ I POMIAROWEJ

Sieć sztuczna elementem toru pomiarowego

Dr inż. Piotr RUSZEL

Studia magisterskie na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej w zakresie specjalności Metrologia Elektryczna ukończył w 1971r. W 1976 uzyskał stopień dra nauk technicznych. Od roku 1971 pracował w Instytucie Metrologii Elektrycznej a od maja 2005 w Zakładzie Wydziałowym Inżynierii Biomedycznej i Pomiarowej WPPPT Politechniki Wrocławskiej. Obszar zainteresowań zawodowych obejmuje zagadnienia z zakresu miernictwa w.cz, mikrofal, a od 1988 r. także kompatybilności elektromagnetycznej.

e-mail: piotr.ruszel@pwr.wroc.pl

**Streszczenie**

Pomiar energii przewodzonych zaburzeń elektromagnetycznych, generowanych przez badane urządzenie wymaga stosowania sieci sztucznej. Stanowi ona w tym przypadku element toru pomiarowego. Niniejsze opracowanie jest krótką analizą określającą główne aspekty wpływu sieci sztucznej na wynik pomiaru wartości energii (napięcia) zaburzeń przewodzonych. Przytoczony sposób analizy może być zastosowany dla sieci sztucznej o dowolnej strukturze. Precyzyjne pomiary wartości energii zakłóceń, o błędzie pomiaru mniejszym niż 2dBμV, wymagają uwzględnienia poprawek. Wartość tych poprawek, w funkcji częstotliwości, najlepiej określić indywidualnie dla danej sieci sztucznej. Można je wyznaczyć sposobem zastosowanym w niniejszej publikacji.

Słowa kluczowe: sieć sztuczna, zaburzenia przewodzone, pomiary zakłóceń.

Line Impedance Stabilization Network as an element of measuring circuit**Abstract**

The measurement of energy of conducted electromagnetic disturbances generated by tested equipment requires application of artificial mains network (AMN) known also as Line Impedance Stabilisation Network (LISN). In this case this network is a part of a measuring chain. This paper contains a short analysis presenting key aspects of LISN influence on the result of energy value measurement of conducted disturbances. The method of analysis might be applicable for the LISN of any structure. Precise value measurements of the energy of conducted EM distortions with a measurement error (or uncertainty) less than 2,0dBμV require taking into account correction factors. Values of these factors as a frequency function shall be specified at best individually for a given LISN. They can also be determined with the use of the method as applied in the paper hereof.

Keywords: Line Impedance Stabilization Network, Conducted EM disturbances, Measurement of EMI

1. Wprowadzenie

Poziom zakłóceń elektromagnetycznych, rozprzestrzeniających się drogą przewodzenia, jest jednym z elementów oceny jakości urządzenia [1, 2]. Jest on kontrolowany przez pomiar wartości napięć lub prądów zakłóceń występujących, między innymi, w obwodzie łączącym dane urządzenie z siecią zasilającą. Bezpośredni pomiar napięć zakłóceń w przewodach zasilających badane (mierzone) urządzenie, nie jest możliwy, z co najmniej dwu powodów. Są to:

- ograniczenie napięciowe wejść mierników zakłóceń (odbiorników pomiarowych),
- zmiany wartości impedancji sieci zasilającej w funkcji częstotliwości, implikujące niejednoznacznością otrzymywanych wyników pomiarów.

W przypadku bezpośredniego pomiaru napięcia zakłóceń, zmierzona wartość jest wartością wypadkową, na którą składają się: napięcie zakłóceń powstających w testowanym urządzeniu oraz napięcie zakłóceń występujących w sieci zasilającej, których źródłem nie jest testowane urządzenie.

W celu wyeliminowania tych ograniczeń stosuje się tak zwane sieci sztuczne (LISN – Line Impedance Stabilisation Network). Sieć sztuczna jest elementem osprzętu miernika zakłóceń. Jest ona włączana pomiędzy sieć zasilającą a testowane urządzenie. Dodatkowe wyjście sieci sztucznej (wyjście pomiarowe) umożliwia bezpieczne dołączenie odbiornika pomiarowego (odbiornika komunikacyjnego) lub analizatora widma. Konstrukcyjnie sieć sztuczna jest zespołem filtrów sieciowych, których zadaniem są:

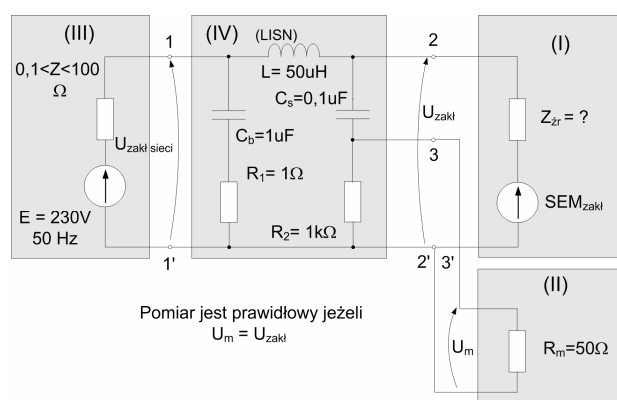
- separacja pomiarowego wejścia odbiornika od zakłóceń przewodzonych występujących w sieci zasilającej,
- separacja sieci zasilającej od zakłóceń przewodzonych generowanych przez testowane urządzenie,
- doprowadzenie zakłóceń generowanych przez testowane urządzenie do wejścia pomiarowego miernika zakłóceń (odbiornika pomiarowego),
- zapewnienie stałej wartości impedancji, na której występuje napięcie zakłóceń, mierzone przez miernik zakłóceń. Zalecane jest, aby część reaktancyjna tej impedancji była pomijalna w zakresie częstotliwości pracy danej sieci sztucznej,
- oddzielenie wejścia pomiarowego miernika zakłóceń od napięcia zasilania.

Istnieje, co najmniej kilka rodzajów sieci sztucznych. Ich struktura zależy od przepisów normalizacyjnych, których wymagania spełniają oraz zakresu częstotliwości w których zalecane jest ich stosowanie. Jednak w procesie pomiaru zaburzeń przewodzonych spełniają one tą samą rolę, pomimo, że różnią się między sobą, zarówno budową jak i wartościami zastosowanych elementów.

Jednym z parametrów sieci sztucznej jest impedancja wyjścia pomiarowego, będąca obciążeniem dla mierzonego napięcia zakłóceń. Niniejsza publikacja jest, między innymi, próbą oceny, wpływu tej impedancji na pomiar wartości mierzonych zakłóceń.

2. Układ jedнопrowodowej sieci sztucznej

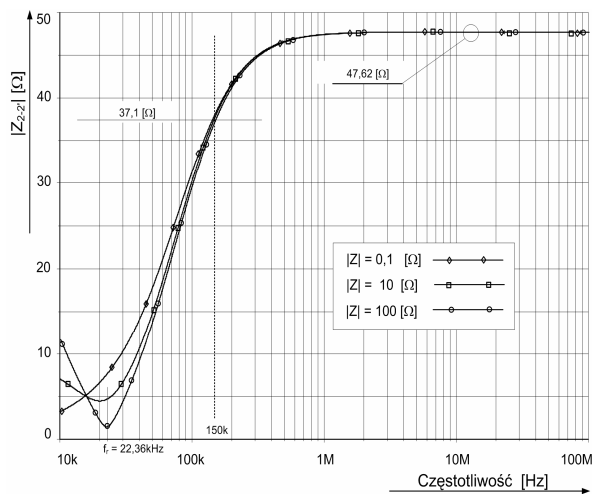
Schemat ideowy jednej z częściej stosowanych sieci sztucznych przedstawia fragment rysunku 1, oznaczony jako IV [MIL-STD-461].



Rys. 1. Ogólny schemat blokowy połączeń; urządzenia testowanego (I), miernika zakłóceń (II), sieci zasilającej (III) i jedнопrowodowej sieci sztucznej (IV)

Fig. 1. General unit scheme of the following connections: the device under test (I), the interference measuring device (II), the power supply net (III) and single-conductor artificial net (IV)

Do zacisków 1-1' sieci sztucznej dołączona jest impedancja jednofazowej sieci zasilającej. Wartość modułu tej impedancji zawiera się w większości praktycznie spotykanych przypadkach w zakresie $0,1 \Omega < |Z| < 100 \Omega$ [3]. Impedancja występująca między zaciskami 2-2' (oznaczenia z rysunku 1) jest impedancją dołączającą się do zacisków wejściowych bloku zasilania testowanego urządzenia. Ona też stanowi bezpośrednie obciążenie źródła zakłóceń zlokalizowanego w strukturze wewnętrznej urządzenia. Jej zmiany w funkcji częstotliwości przedstawiono na rys. 2. Zaciski 3-3' służą do dołączenia wejścia pomiarowego miernika zakłóceń. Do oporności R_2 sieci sztucznej dołącza się równolegle oporność wejściowa miernika $R_m = 50 \Omega$. Połączenie tych dwu oporności tworzy oporność wypadkową, na której odkłada się wartość mierzonego napięcia zakłóceń. Podstawowym warunkiem prawidłowego pomiaru wartości napięcia zakłóceń jest spełnienie warunku $U_m = U_{zakl}$.



Rys. 2. Zmiana wartości modułu impedancji na wyjściu sieci sztucznej przeznaczonym do zasilania testowanego urządzenia (impedancja między zaciskami 2-2' z rys. 1). Jako parametr przyjęto trzy wartości reprezentujące moduł impedancji sieci jednofazowej 230V/50Hz

Fig. 2. Change of the impedance module value at the artificial net exit which is designed to provide power to the device under test. (Impedance between the clamps 2-2' from drawing no. 1). As a parameter three values representing module of single-phase impedance 230V/50Hz were assumed

Podstawową przyczyną rozbieżności między poziomami wyżej wymienionych sygnałów jest różna od zera wartość impedancji załączonej między zaciskami testowanego urządzenia (zaciski 2-2' z rys. 1) a zaciskami (3-3') wyjścia pomiarowego sieci sztucznej. Elementy składające się na tą impedancję tworzą z opornością wypadkową wyjścia pomiarowego sieci sztucznej dzielnik napięcia. Przyjęty do analizy sposób połączenia poszczególnych elementów tego dzielnika, uwzględniający również impedancję podłączenia galwanicznego testowanego urządzenia do sieci sztucznej, przedstawiono na rys. 3.

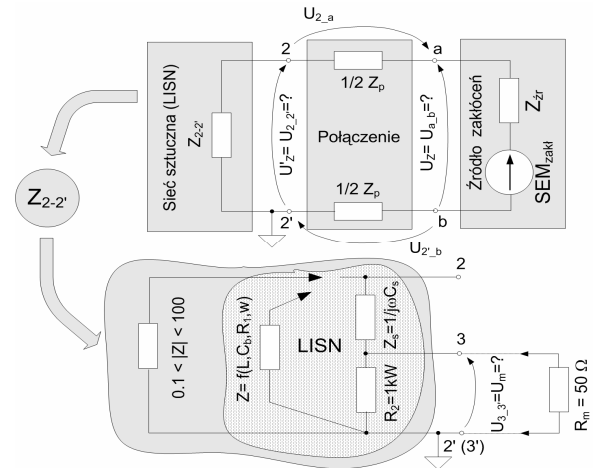
Zatem wartość napięcia zakłóceń U_Z między zaciskami a-b jest opisana zależnością:

$$U_Z = U_{a-b} = SEM_{zakl} \cdot \left(1 - \frac{Z_{\dot{z}r}}{Z_{2-2'} + Z_p + Z_{\dot{z}r}} \right) \quad (1)$$

w której zastosowano oznaczenia jak na rys.3. Natomiast wartość napięcia zakłóceń odkładającą się na impedancji $Z_{2-2'}$ (impedancja występująca między zaciskami zasilania sieciowego sieci sztucznej widziana od strony zasilanego urządzenia testowanego nazywana w dalszej części publikacji „impedancją wyjściową sieci sztucznej”) można oszacować z równania:

$$U_{Z'} = U_{2-2'} = SEM_{zakl} \cdot \left(1 - \frac{Z_{\dot{z}r}}{Z_{2-2'} + Z_p + Z_{\dot{z}r}} \right) \cdot \left(\frac{Z_{2-2'}}{Z_{2-2'} + Z_p} \right) \quad (2)$$

w której zastosowano oznaczenia jak na rys. 3.



Rys. 3. Przyjęty do analizy schemat zastępczy złożony z impedancji połączeń między testowanym urządzeniem a siecią sztuczną oraz z impedancji elementów sieci sztucznej:
a) schemat zastępczy połączenia; urządzenie testowane – sieć sztuczna,
b) uproszczony schemat zastępczy impedancji $Z_{2-2'}$ tworzonej przez elementy składowe sieci sztucznej i impedancję jednofazowej sieci zasilającej

Fig. 3. The substitute scheme, which was adapted for the analysis purpose, consisted of impedance of connections between the device under tests and the artificial net as well as impedance consisting of artificial net elements:
a) substitute scheme of the connection: the tested device – artificial net,
b) simplified substitute scheme of the impedance $Z_{2-2'}$ created by artificial net components and by single-phase impedance of the supply net

Doprowadzone do wejścia miernika mierzone napięcie zakłóceń U_m jest określone wyrażeniem:

$$U_m = U_{3-3'} = SEM_{zakl} \cdot \left(1 - \frac{Z_{\dot{z}r}}{Z_{2-2'} + Z_p + Z_{\dot{z}r}} \right) \cdot \left(\frac{Z_{2-2'}}{Z_{2-2'} + Z_p} \right) \cdot \left(\frac{R_w}{R_w + Z_s} \right) \quad (3)$$

gdzie: oporność wypadkowa $R_w = R_2 || R_m$. Pozostałe oznaczenia jak na rys. 3.

Z zależności (3) po przekształceniu można uzyskać wyrażenie określające bezpośrednio relację między napięciem zakłóceń doprowadzonym do wejścia miernika zakłóceń a napięciem źródła zakłóceń SEM_{zakl} lub napięciem zakłóceń pojawiającym się na wejściu bloku zasilania testowanego urządzenia. Są to odpowiednie, następujące zależności:

$$\frac{U_m}{SEM_{zakl}} = \left(1 - \frac{Z_{\dot{z}r}}{Z_{\dot{z}r} + Z_p + Z_{2-2'}} \right) \cdot \left(\frac{Z_{2-2'}}{Z_{2-2'} + Z_p} \right) \cdot \left(\frac{R_w}{R_w + Z_s} \right) \quad (4)$$

$$\frac{U_m}{U_Z} = \left(\frac{Z_{2-2'}}{Z_{2-2'} + Z_p} \right) \cdot \left(\frac{R_w}{R_w + Z_s} \right) \quad (5)$$

Należy zaznaczyć, że występująca w powyżej podanych równaniach impedancja wyjściowa sieci sztucznej ($Z_{2-2'}$) jest impedancją wypadkową, powstałą z połączenia elementów składowych sieci sztucznej i impedancji jednofazowej sieci zasilającej. Jej wartość można szacować z zależności:

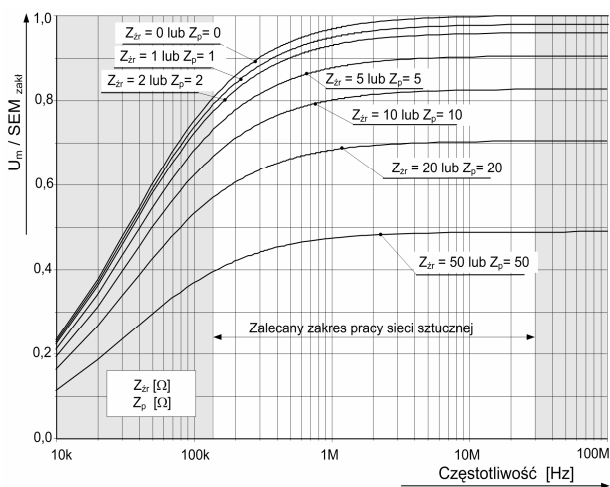
$$Z_{2,2'} = \frac{\left[\frac{Z \cdot \left(R_b + \frac{1}{j\omega C_b} \right)}{Z + R_b + \frac{1}{j\omega C_b}} + j\omega L \right] \cdot \left(R_w + \frac{1}{j\omega C_s} \right)}{\left[\frac{Z \cdot \left(R + \frac{1}{j\omega C_b} \right)}{Z + R_b + \frac{1}{j\omega C_b}} + j\omega L + R_w + \frac{1}{j\omega C_s} \right]} \quad (6)$$

W skład równań (1-6) wchodzi impedancje a więc elementy zależne od częstotliwości. W konsekwencji relacje między wartościami napięć U_m / U_Z jak również U_m / SEM_{zakl} są funkcjami częstotliwości a warunek $U_m = U_Z$ niekoniecznie musi być spełniany. Należy również zaznaczyć, że w podanych powyżej zależnościach, nie uwzględniano parametrów resztkowych elementów sieci sztucznej. Uwzględnienie takich parametrów jak; pojemność resztkowa indukcyjności L lub indukcyjności resztkowe pojemności blokującej C_b oraz sprzęgającej C_s czy efektów naskórkowości w połączeniach galwanicznych struktury wewnętrznej sieci sztucznej, spowodowałoby znaczny stopień skomplikowania powyższych równań. Z tego też powodu w pierwszym przybliżeniu założono, że parametry resztkowe rzeczywistych elementów mają pomijalne wartości w zalecanym zakresie częstotliwości pracy analizowanej sieci sztucznej.

3. Ocena wpływu wybranych impedancji na wartość mierzonego napięcia zakłóceń

Z równań (4) i (5) wynikają bezpośrednio następujące wnioski:

- Jeżeli, impedancja źródła zakłóceń dąży do zera to wartość napięcia zakłóceń U_Z na zaciskach bloku zasilania testowanego urządzenia dąży do wartości SEM_{zakl} (rys. 4). W rzeczywistym układzie impedancja wewnętrzna źródła zakłóceń jest z reguły większa od zera, a jej wartość nie jest znana.



Rys. 4. Zmiana wartości napięcia zakłóceń występująca na wyjściu pomiarowym analizowanej sieci sztucznej odniesiona do wartości SEM źródła zakłóceń. Jako parametr przyjęto wartości oporności wewnętrznej źródła zakłóceń lub oporności obwodu łączącego testowane urządzenie z siecią sztuczną

Fig. 4. Change of the voltage value of the interferences arising at the measuring exit of the analyzed artificial net referred to SEM value of the interference source. As a parameter the value of resistance of the inner source of interference was assumed and resistance of the circuit that connects the device under test with the artificial test was assumed

- Napięcie zakłóceń U_m na wyjściu pomiarowym sieci sztucznej dąży do wartości U_Z jeżeli; impedancja $Z_{2,2'}$ wyjścia sieci sztucznej jest znacznie większa od impedancji połączeń

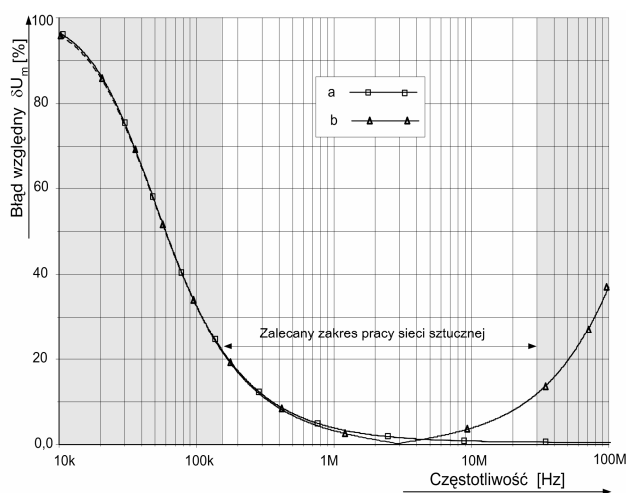
($Z_{2,2'} \gg Z_p$) oraz oporność wypadkowa R_w jest znacznie większa od modułu impedancji sprzęgającej ($R_w \gg |X_s|$). W praktyce, przy stałych wartościach elementów sieci sztucznej decydujących o wartości impedancji $Z_{2,2'}$, oznacza to, że im mniejsza jest impedancja Z_p połączeń tym wartość napięcia U_m jest bliższa wartości napięcia U_Z .

- Kierunek i wartość zmian poziomu napięcia zakłóceń na wyjściu pomiarowym sieci sztucznej jest taki sam w przypadku zmian wartości oporności wewnętrznej źródła zakłóceń jak w przypadku zmian wartości oporności połączeń galwanicznych łączących testowane urządzenie z siecią sztuczną (rys. 4). Bezpośrednie, proste rozdzielanie tych wpływów, na podstawie pomiaru wartości napięcia zakłóceń, nie jest możliwe. W każdym przypadku mierzony jest łączny wpływ obu tych czynników. Można, co najwyżej dążyć do takiej konfiguracji pomiarowej, aby wpływ połączenia galwanicznego był pomijalny.

Natomiast z równania (6) wynika, że:

- Wpływ impedancji Z jednofazowej sieci zasilającej, na wartość impedancji wyjściowej $Z_{2,2'}$ sieci sztucznej jest niewielki (rys. 2) i ograniczany przez jej elementy; pojemność blokującą C_b i indukcyjność L .

Odrębnym problemem mającym istotny wpływ na proces pomiaru napięć zakłóceń z zastosowaniem sieci sztucznej, są zjawiska rezonansów. Rezonans jest nieunikniony, jeżeli w obwodzie zmiennoprądowym występują jednocześnie reaktancje o charakterze indukcyjnym i pojemnościowym. Ograniczenie wpływu zjawiska rezonansu na wynik pomiaru napięcia zakłóceń jest możliwe, jeżeli częstotliwość rezonansu połączonych elementów reaktancyjnych leży daleko poza zakresem częstotliwości, w którym realizowane są pomiary. Stosowanie rezystancyjnych elementów tłumiących rezonanse (obniżanie dobroci powstałych obwodów rezonansowych) również ogranicza niekorzystny wpływ rezonansów na pomiar napięć zakłóceń.



Rys. 5. Względny błąd pomiaru wartości napięcia zakłóceń spowodowany: a) wpływem podziału napięcia na impedancjach struktury wewnętrznej sieci sztucznej, b) wpływem podziału napięcia na impedancjach struktury wewnętrznej sieci sztucznej i dodatkowo wpływem impedancji połączenia źródła zakłóceń z jej wyjściem zasilającym (oszacowane wartości reaktancji połączenia są $L_p \sim 30\text{nH}$, $C_p \sim 15\text{pF}$)

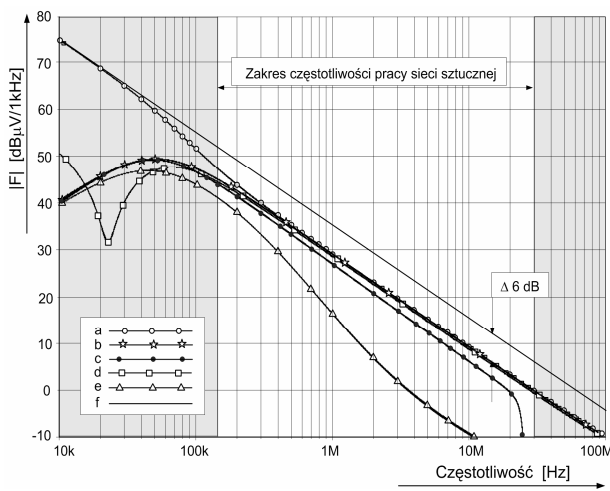
Fig. 5. Relative error in measuring interferences' voltage value caused by: a) influence of voltage division on impedances of the inner artificial net, b) influence of voltage division on impedances of the inner artificial net and additionally influence of impedance of the interference source with its supply exit (estimated values of reactance of the connection are $L_p \sim 30\text{nH}$, $C_p \sim 15\text{pF}$).

Wartości elementów reaktancyjnych struktury sieci sztucznej są dobrane w zależności od zakresu częstotliwości, w którym zale-

cane jest stosowanie danej sieci. Oznacza to, że wykonanie pomiaru w szerokim zakresie częstotliwości wymaga stosowania więcej niż jednej sieci. W przypadku rozważanej sieci, jej zastosowanie przy częstotliwościach pomiaru mniejszych od $f_p = 150\text{kHz}$ spowoduje znaczące błędy (rys. 5).

4. Wyniki eksperymentu

W konfiguracji jak na rys.1 podłączono w miejsce testowanego urządzenia (II) klucz kontaktronowy o stykach zwilżanych rtęcią. Obciążeniem klucza był rezystor o wartości $R_o = 1\text{k}\Omega \parallel 50\Omega$. Sieć sztuczna była zasilana obniżonym przez transformator wyprostowanym sygnałem sieci jednofazowej 230V/50Hz. Taki sposób zasilania klucza kontaktronowego włączanego w wybranym momencie czasowym, synchronicznie z przebiegiem sieci jednofazowej, umożliwił zastosowanie wspomnianego klucza jako źródła szerokopasmowych zakłóceń przewodzonych [4].



Rys. 6. Zestawienie wyników eksperymentu. Wyznaczone pomiarowo wartości modułu gęstości widmowej sygnału powstającego w czasie załączania klucza kontaktronowego. Wartość amplitudy załączanego sygnału $A = 1\text{[V]}$.

- Sygnał na obciążeniu klucza kontaktronowego, przy $|Z| = 0,1\Omega$
- Sygnał na wyjściu pomiarowym sieci sztucznej, przy $|Z| = 0,1\Omega$
- Sygnał na wyjściu pomiarowym sieci sztucznej, przy $|Z| = 0,1\Omega$. Dodatkowo w połączenie klucza z wyjściem zasilającym sieci sztucznej wstawiono równoległy obwód rezonansowy złożony z elementów: $L = 100\mu\text{H}$, $C = 50\text{pF}$, $R = 1\text{k}\Omega$. Widoczny jest wyraźny wpływ rezonansu przy częstotliwości $f_r \sim 23\text{MHz}$
- Sygnał na wyjściu pomiarowym sieci sztucznej, przy $|Z| = 100\Omega$
- Sygnał na wyjściu pomiarowym sieci sztucznej, w połączenie klucza z wyjściem zasilającym wstawiono równoległy obwód rezonansowy złożony z elementów: $L = 100\mu\text{H}$, $C = 200\text{pF}$, $R = 5\text{k}\Omega$. Widoczny wpływ rezonansu przy $f_r \sim 11\text{MHz}$
- Sygnał odniesienia. Zmierzony na wyjściu głowicy pomiarowej przy zastosowaniu takiego samego klucza kontaktronowego i amplitudzie przełączanego sygnału $A = 1\text{V}$

Fig. 6. Experiment results juxtaposition. The module values of spectrum density of the signal, which arises in the moment of switching on the vacuum relay switch, were specified by means of measuring. Value of amplitude of the switched $A = 1\text{V}$.

- Signal at vacuum relay switch loading while $|Z| = 0,1\Omega$
- Signal at the artificial net measuring exit while $|Z| = 0,1\Omega$
- Signal at the artificial net measuring exit while $|Z| = 0,1\Omega$. Additionally, in the connection of the switch with the artificial net supplying exit there was a parallel circuit resonance, consisting of such the elements $L = 100\mu\text{H}$, $C = 50\text{pF}$, $R = 1\text{k}\Omega$ installed. A very clear influence of resonance at frequency $f_r \sim 23\text{MHz}$ could be observed
- Signal at the artificial net measuring exit while $|Z| = 100\Omega$
- Signal at the artificial net measuring exit, in the connection of the switch with the artificial net supplying exit there was a parallel circuit resonance, consisting of such the elements $L = 100\mu\text{H}$, $C = 200\text{pF}$, $R = 5\text{k}\Omega$ installed. The influence of resonance at frequency $f_r \sim 11\text{MHz}$ could be observed
- Reference signal. Measured at the measuring head's end while applying the same vacuum relay switch and amplitude of the switched signal $A = 1\text{V}$

O wyborze kontaktronu o stykach zwilżanych rtęcią, jako źródła zakłóceń zdecydowały właściwości takiego źródła. Są one znacznie bliższe właściwościom źródła idealnego niż źródła zbudowane na półprzewodnikowych kluczach elektrycznych [5]. Otrzymane wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 6.

5. Uwagi i wnioski końcowe

Z przedstawionych powyżej uwag wynika, że:

- Sieć sztuczna stosowana w pomiarach napięć zakłóceń przewodzonych spełnia istotną rolę „stabilizatora” impedancji na której jest mierzone napięcie zakłóceń. Jednak wspomniane unormowanie wartości impedancji nie jest doskonałe (rys.2), również w zakresie częstotliwości, w którym dana sieć sztuczna jest zalecana.
- Zmiany wspomnianej impedancji powodują zmiany wartości mierzonego sygnału, nie wynikają z właściwości źródła zakłóceń, ale z podziału mierzonego napięcia (rys. 3).
- Szczególnie niekorzystny wpływ ma impedancja połączeń wyjścia zasilającego sieci sztucznej z testowanym urządzeniem (rys. 4, rys. 6). Wartość tej impedancji należy redukować do możliwie małej wartości. Nie ma możliwości rozdzielenia wpływu impedancji połączeń od impedancji wewnętrznej źródła zakłóceń (rys. 4).
- Wartość błędu pomiaru spowodowanego zmianą impedancji sieci sztucznej, zależy od jej konstrukcji i wartości oraz jakości zastosowanych podzespołów. W analizowanym przypadku są to błędy względne rzędu 20% (rys. 5).
- Wyniki przeprowadzonych pomiarów są zgodne z wynikami analizy. Rozbieżność o wartości 6-ciu dB między przebiegiem „a” a przebiegiem „f” (rys.6), wynika z zwierającego działania kondensatora C_s , powyżej częstotliwości $f = 200\text{kHz}$ i rozłożenia się wartości napięcia zakłóceń pomiędzy oporność obciążenia testowanego klucza, oraz oporność wyjścia pomiarowego sieci sztucznej.
- Wykonanie pomiarów wartości napięcia zakłóceń przewodzonych z dokładnością lepszą niż 3dB wymaga uwzględnienia wpływu sieci sztucznej na wyniki pomiarów. Jego oszacowanie można zrealizować w sposób zastosowany w niniejszej publikacji biorąc pod uwagę strukturę i wartości elementów składowych konkretnej sieci sztucznej.

6. Literatura

- Cz. Godzisz: Wprowadzenie do problematyki kompatybilności elektromagnetycznej. PAR, nr.3, 1997, str. 5, 31-33.
- P. Ruszel: Zalecenia normalizacyjne z zakresu kompatybilności elektromagnetycznej – barierą czy czynnikiem postępu dla krajowych producentów. PAK, nr.8, 1998, str. 306÷310.
- S. Dogger, H. Hemhill: Filter Selections Simplified with 0.1/100-Ohm data, ITEM, 1997, str. 150, 152, 155.
- P. Ruszel: Pomiar i modelowanie właściwości źródeł szerokopasmowych zakłóceń elektromagnetycznych. Elektronika, rok XLVII, nr 2, 2006, str. 18÷23.
- P. Ruszel: Półprzewodnikowe przyrządy przełączające źródłem szerokopasmowych zakłóceń elektromagnetycznych. PAK, rok XLIII, nr 2, 1997, str.33÷35.