

**Jakub RZESZUTKO**

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA,  
Al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

## Metoda analizy obwodów wejściowych systemów pomiarowych pracujących z sygnałami elektroenergetycznymi

Mgr inż. Jakub RZESZUTKO

Urodził się 27 maja 1984 roku w Tarnowie. W 2008 ukończył studia na wydziale Elektrotechniki Automatyki Informatyki i Elektroniki na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Obecnie uczestnik trzeciego roku studiów doktoranckich oraz pracownik firmy A-STER S.C. na stanowisku projektant elektronik. Od trzech lat zajmuje się tematyką oceny parametrów metrologicznych aparatury pomiarowej, w szczególności obwodów wejściowych aparatury do pomiarów parametrów energii elektrycznej.



e-mail: jr@agh.edu.pl

### Streszczenie

Monitorowanie jakości dostarczanej energii elektrycznej jest problemem aktualnym, któremu poświęca się wiele uwagi. Systemy pomiarowe wykonujące tego typu pomiary muszą posiadać odpowiednie własności metrologiczne. Podstawowym elementem aparatury pomiarowej, monitorującej jakość przesyłanej energii elektrycznej są obwody wejściowe. Do ich budowy stosuje się m.in.: indukcyjne przekładniki napięcia, dzielniki pojemnościowe lub rezystancyjne, układy wykorzystujące modulację światła. Zapoznając się z najnowszymi publikacjami z tej tematyki, można dojść do wniosku, że brak wiedzy o wpływie obwodów wejściowych na mierzony sygnał, w całym jego zakresie częstotliwości prowadzi do niepoprawnych wyników. Znając charakterystyki częstotliwościowe obwodów wejściowych można ocenić ich wpływ na niepewność pomiarów mocy i energii oraz wskaźników odkształceń przebiegów napięć i prądów. W artykule przedstawiono metodę, która umożliwia estymację transmitancji częstotliwościowej obwodów wejściowych zbudowanych z indukcyjnego przekładnika napięcia oraz filtru aktywnego 8-go rzędu. Metoda ta wykorzystuje widmowe gęstości mocy sygnałów napięć, co pozwala na identyfikację charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej oraz fazowo-częstotliwościowej obwodów wejściowych bez konieczności dysponowania wyspecjalizowaną aparaturą pomiarową.

**Słowa kluczowe:** indukcyjny przekładnik napięcia, estymacja transmitancji częstotliwościowej, obwody wejściowe.

### The method used for analysis of input circuits working with electroenergetical signals

#### Abstract

The paper describes the method used to estimate frequency characteristics of input circuits used in power measurement systems. The advantage of this method is the ability to estimate the tested object spectral transmittance without the need to provide a specialized measuring instrument. Identification of the transmittance is performed by observing signals at the input and output of the tested object. From that we can estimate the spectral power density of the input signal and cross-spectral power density between the input signal and its response. This allows the estimation of spectral transmittance according to formula (1). Details of these calculations are shown in [3]. There was conducted an experiment aiming at determining the frequency characteristics of input circuits containing an inductive voltage transformer and eight row active filter. In addition to this, a measurement scheme was prepared as depicted in Fig. 1. The next step was to measure signals at the input and output of the input circuit (Fig. 2) and to determine the frequency spectrum (Fig. 3). For the harmonics presented in the analysed signals it was possible to estimate the frequency characteristic, result of which is shown in Figs. 4 and 5. Based on the experiment results, it should be noted that these particular input circuits are not to be used in a device for measuring parameters of power quality. The reason for this is that the inductive voltage transformer used in the experiment has a strong, non-linear amplitude-frequency response. For this reason the obtained results would be biased.

**Keywords:** spectral transmittance estimation, frequency characteristics, THD, input circuits.

### 1. Wstęp

W ostatnim czasie wiele uwagi poświęca się zagadnieniu jakości energii elektrycznej. Wraz z rozwojem energoelektroniki do sieci energetycznej podpiętych jest coraz więcej urządzeń o nieliniowej charakterystyce prądowo napięciowej. Przyczyniają się one do znaczącej degradacji jakości energii elektrycznej. W praktyce dzisiejsze rozwiązania z zakresu energoelektroniki pozwalają rozwiązywać dotychczasowe problemy związane z harmonicznymi niższymi rzędami, jednak problem jakości energii elektrycznej przeniósł się na wyższe harmoniczne oraz interharmoniczne.

W związku z powyższym pojawiła się potrzeba budowy systemów pomiarowych wykonujących tego typu pomiary. Kluczowym elementem aparatury pomiarowej wyznaczającej parametry jakości energii elektrycznej są obwody wejściowe. Muszą być tak zaprojektowane, aby wprowadzały możliwie jak najmniej zniekształceń do analizowanego sygnału. Jeżeli nie można usunąć wszystkich negatywnych oddziaływań obwodów wejściowych, należy je zidentyfikować, a następnie przeprowadzić ich cyfrową korekcję.

Proponowana przez autora metoda, pozwala na identyfikację obwodów wejściowych bez konieczności dysponowania wyspecjalizowaną aparaturą pomiarową. Metoda ta polega na estymacji transmitancji częstotliwościowej przy pomocy widmowych gęstości mocy sygnałów napięć. Dzięki temu uzyskuje się charakterystyki częstotliwościowe obwodów wejściowych, znajdujących się w ich naturalnym środowisku pracy. Transmitancja częstotliwościowa wyznaczana jest poniższym wzorem:

$$\hat{H}_{xy}(\Omega) = \frac{\hat{P}_{xy}(\Omega)}{\hat{P}_{xx}(\Omega)} \quad (1)$$

gdzie:  $\hat{P}_{xx}(\Omega)$  - estymata widmowej gęstości mocy sygnału wejściowego,  $\hat{P}_{xy}(\Omega)$  - estymata wzajemnej widmowej gęstości mocy pomiędzy wymuszeniem a odpowiedzią,  $\Omega$  - jest pulsacją kątową unormowaną względem częstotliwości próbkowania.

Na podstawie estymaty (1) można wyznaczyć charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową:

$$|\hat{H}_{xy}(\Omega)| = \sqrt{\text{Re}(\hat{H}_{xy}(\Omega))^2 + \text{Im}(\hat{H}_{xy}(\Omega))^2} \quad (2)$$

oraz fazowo-częstotliwościową:

$$\arg(\hat{H}_{xy}(\Omega)) = \arctan\left(\frac{\text{Im}(\hat{H}_{xy}(\Omega))}{\text{Re}(\hat{H}_{xy}(\Omega))}\right) \quad (3)$$

Szczegóły obliczeń wraz z przykładami można znaleźć w [3].

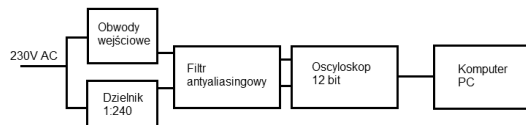
W ramach przeprowadzonego eksperymentu estymowano charakterystyki częstotliwościowe obwodów wejściowych zbudowanych z transformatora oraz filtru aktywnego 8-go rzędu. Badania wykazały, że zastosowany przekładnik napięcia nie jest odpowiedni do pomiarów współczynnika jakości energii elektrycznej THD (Total Harmonic Distortion) [4], z uwagi na jego nieliniową charakterystykę w paśmie, w którym mierzony jest współczynnik THD.

### 2. Eksperyment Laboratoryjny

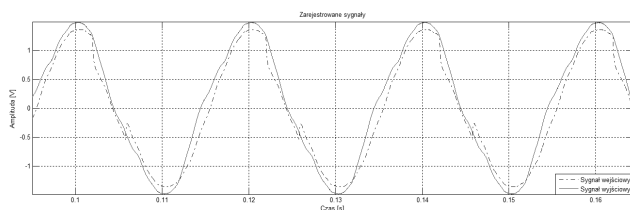
Eksperyment miał na celu estymację charakterystyk częstotliwościowych prototypowych obwodów wejściowych do zastosowania w mierniku wyznaczającym współczynnik jakości energii

elektrycznej THD. Aparatura ta była zaprojektowana do pomiarów w sieci elektroenergetycznej o napięciu 230VAC. Obwody wejściowe zbudowane zostały z indukcyjnego przekładnika napięcia oraz aktywnego filtra 8-go rzędu typu Butterwortha, którego częstotliwość graniczna wynosiła 10kHz. Jako przekładnik wykorzystano zwykły transformator zasilający 230:12V o mocy znamionowej 0.5VA.

Na wejście obwodów wejściowych podano napięcie o wartości 230VAC, po czym sygnał wyjściowy zarejestrowano 12 bitowym oscyloskopem cyfrowym. Równocześnie na drugim kanale oscyloskopu zmierzono napięcie wejściowe obwodów poprzez dzielnik rezystancyjny 1:230. Schemat ideowy układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 1. Częstotliwość próbkowania sygnałów wynosiła 125kHz, natomiast czas rejestracji trwał 1 sekundę. Zarejestrowane przebiegi zaprezentowano na rysunku 2.



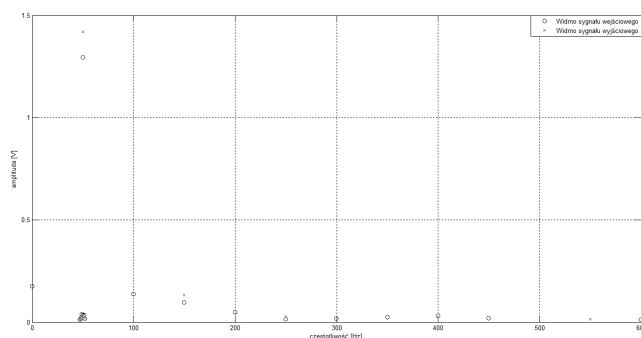
Rys. 1. Schemat pomiarowy obwodów wejściowych  
Fig. 1. Schematic of the measuring input circuit



Rys. 2. Zarejestrowane sygnały wejściowe  
Fig. 2. Measured input signals

Opisywany eksperyment przeprowadzony został w pobliżu Huty im. Tadeusza Sędzimir w Krakowie. Miejsce to wybrano z uwagi na fakt występowania wielu harmonicznych w napięciu sieciowym. Taka sytuacja z punktu widzenia estymacji transmitancji częstotliwościowej przy użyciu widmowych gęstości mocy jest korzystna, ponieważ metoda ta estymuje charakterystyki dla tych częstotliwości, które pojawiły się w analizowanych sygnałach. Im szersze jest pasmo częstotliwościowe analizowanych sygnałów, tym więcej informacji uzyskuje się w estymowanej transmitancji.

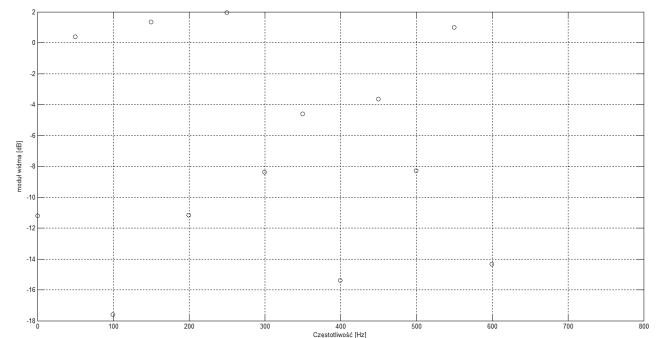
W kolejnym kroku wybrano częstotliwości, dla których estymowana była transmitancja częstotliwościowa. W tym celu wyznaczono widma sygnałów wejściowego i wyjściowego. Następnie do dalszej analizy wybrano te harmoniczne, których moduł stanowił przynajmniej 1% modułu składowej podstawowej danego przebiegu. Widma te zostały przedstawione na rysunku 3.



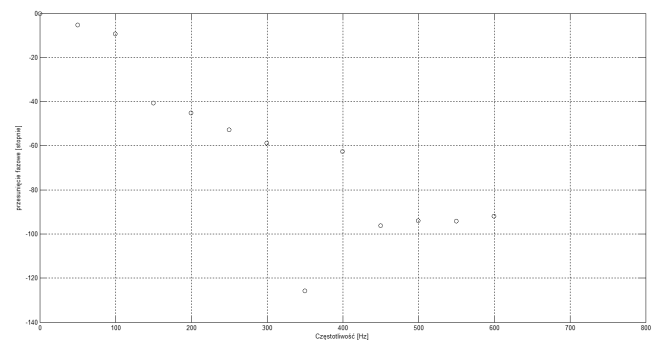
Rys. 3. Widmo amplitudowe sygnału wejściowego i wyjściowego  
Fig. 3. Spectrum of input and output signals

Pierwsze na co zwracają uwagę rysunki 2 i 3 to fakt, iż obwody wejściowe wyglądają mierzone napięcie poprzez tłumienie parzystych harmonicznych występujących w sygnale wejściowym. Taka sytuacja jest niekorzystna z metrologicznego punktu widzenia, ponieważ tracona jest informacja o mierzonym sygnale. Można oczywiście wykonać cyfrową korekcję otrzymanych wyników na podstawie zidentyfikowanej transmitancji obwodów wejściowych, poprzez odpowiednie wzmocnienie tłumionych częstotliwości. Należy mieć jednak na uwadze, że operacja ta pogorszy stosunek szumu do sygnału (SNR).

W celu dokładniejszego przeanalizowania charakterystyk badanych obwodów estymowano ich transmitancję częstotliwościową na podstawie wzoru (1). Estymowane charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowa oraz fazowo-częstotliwościowa przedstawiono na rysunkach 4 i 5.



Rys. 4. Estymowana charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa  
Fig. 4. Estimated transfer function



Rys. 5. Estymowana charakterystyka fazowo-częstotliwościowa  
Fig. 5. Estimated phase-frequency characteristics

Po przeanalizowaniu danych z rysunku 5 wnioskuje się, że przekładnik napięciowy tłumi wszystkie parzyste harmoniczne oraz dodatkowo: 7 i 9. Pozostałe harmoniczne nieparzyste: 1, 3, 5 i 11 są wzmacniane. Tak estymowanych charakterystyk częstotliwościowych nie można wiarygodnie przybliżyć, ponieważ zachowanie przekładnika jest trudno przewidywalne w analizowanym paśmie.

### 3. Podsumowanie

Przeprowadzono eksperyment mający na celu określenie czy obwody wejściowe zbudowane z transformatora zasilającego oraz filtra aktywnego sprawdzą się w pomiarach wskaźnika jakości energii elektrycznej THD. Do tego celu wykorzystano metodę estymacji transmitancji częstotliwościowej przy użyciu widmowych gęstości mocy sygnałów napięć. W wyniku zrealizowanej estymacji charakterystyk częstotliwościowych należy stwierdzić, że aparatura pomiarowa wyposażona w badane obwody wejściowe charakteryzowałaby się nieakceptowalną niepewnością wykonywanych pomiarów. Wynika to z faktu, że zastosowany w eksperymencie model przekładnika napięcia posiada złe własności dynamiczne z punktu widzenia metrologicznego.

#### 4. Literatura

- [1] Bień A.: Metrologia jakości energii elektrycznej w obszarze niskoczęstotliwościowych zaburzeń napięcia sieci. Rozprawy Monografie 127, AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2003.
- [2] Gajda J.: Statystyczna analiza danych pomiarowych, Wydział EAIiE AGH, Kraków 2002.
- [3] RZESZUTKO J.: Obwód wejściowy układu do pomiaru parametrów napięcia w sieci elektroenergetycznej — The input circuit for the measurement of voltage parameters in a power network // PAR

Pomiary Automatyka Robotyka ; ISSN 1427-9126. — 2010 R. 14 nr 7–8 s. 58–62. — Bibliogr. s. 62, Streszcz., Abstr.

- [4] Polska Norma: PN-EN 61000-4-7, Kompatybilność elektromagnetyczna. Część 4 - 7: Metody badań i pomiarów. Ogólny przewodnik dotyczący pomiarów harmonicznych i interharmonicznych oraz przyrządów pomiarowych dla sieci zasilających i przyłączonych do nich urządzeń.

otrzymano / received: 28.09.2011

przyjęto do druku / accepted: 02.11.2011

artykuł recenzowany

## INFORMACJE

### XV KONFERENCJA AUTOMATYKÓW „RYTRO'2011”

W dniach 17-18 maja 2011 roku w hotelu „Perła Południa” w Ryttrze odbyła się po raz 15. Konferencja Automatyków, która należy do najważniejszych wydarzeń branżowych roku. Zgromadziła ona ponad 200 uczestników z całego kraju. Jej tradycyjnym celem było przedstawienie tendencji rozwoju i aplikacji systemów automatyki i pomiarów, promocja najnowszych wyrobów producentów urządzeń pomiarowych i automatyki, wzajemne poznanie potrzeb i możliwości współczesnej automatyki oraz integracja środowiska automatyków.

Sponsorami konferencji było 12 ważnych firm z branży automatyki: ABB Sp. z o.o., Danfoss Sp. z o.o., Emerson Process Management Sp. z o.o., Honeywell Sp. z o.o., Jumo Sp. z o.o., Krohne Polska Sp. z o.o., Limatherm Sensor Sp. z o.o., Schneider Electric, Skamer-ACM Sp. z o.o., Technokabel S.A., Turck Sp. z o.o., Wika Polska S.A. Firmy były reprezentowane przez prezesów i członków kierownictwa, oraz przez kompetentnych pracowników technicznych. Konferencja odbywała się pod patronatem Komitetu Automatyki i Robotyki PAN, Akademii Górniczo – Hutniczej oraz Politechnik Warszawskiej, Rzeszowskiej i Śląskiej, gdzie istnieją silne ośrodki naukowe w zakresie automatyki i pomiarów. Patronat medialny sprawowały 4 czasopisma techniczne, wśród nich miesięcznik naukowo-techniczny Pomiary Automatyka Kontrola, oraz 2 portale internetowe.

Tematyka konferencji odzwierciedlała więź pracowników nauki, projektantów, producentów i użytkowników sprzętu z branży automatyki przemysłowej. Środowisko naukowe reprezentowali profesorowie: Ryszard Tadeusiewicz (AGH), Leszek Trybus (Pol. Rzeszowska), Jan Maciej Kościelny (Pol. Warszawska), Tadeusz Skubis (Pol. Śląska), oraz profesorowie Barbara Tora (AGH) i Ireneusz Soliński (AGH), którzy reprezentowali Małopolsko – Podkarpacki Klaster Czystej Energii.

W części naukowej konferencji Prof. Ryszard Tadeusiewicz w referacie pt. „Nowa filozofia promowania innowacji w nauce i technice. Open Access kontra tradycyjne patenty” omawiał różne aspekty odpowiedzi na pytanie: jak najskuteczniej można przekształcić innowacje naukowe na postęp i osiągnięcia techniczne. Prof. Leszek Trybus przedstawił referat „Projektowanie i uruchamianie mini-systemu sterowania w zintegrowanym środowisku CPDev. Prof. Jan M. Kościelny omawiał inspiracje przyrodnicze w algorytmach inteligencji obliczeniowej. Prof. Tadeusz Skubis w swoim referacie skupił się na problematyce internetu w systemach pomiarowych.

W czasie konferencji ogłoszone zostały wyniki konkursu Innowacje 2011. Został on zorganizowany przez redakcję czasopisma Napędy i Sterowanie, pod patronatem Katedry Automatyki i Informatyki AGH oraz firmy Skamer ACM. Komisja konkursowa przyznała statuetki konkursowe w trzech kategoriach:

- 1) Aparatura kontrolno – pomiarowa i systemy sterowania, dla firmy Krohne, za przepływomierz ultradźwiękowy ALTOSONIC VT12.
- 2) Napędy i instalacje elektryczne, dla firmy Danfoss, za filtr aktywny AAF.

- 3) Najbardziej innowacyjny produkt – rozwiązanie, dla firmy Emerson Process Management, za System DCS Delta V.

W części technicznej konferencji prezentowane były najnowsze osiągnięcia z dziedziny automatyki, stosowane aktualnie w praktyce, oferowane przez firmy obecne na konferencji.

Formuła sesji firmowej polegała na przedstawieniu odpowiedzi na pytania, przesłane wcześniej do firm przez automatyków z całego kraju. Prezentacje były bardzo dynamiczne, prelegenci często się zmieniali. Wystąpili przedstawiciele wszystkich firm wspierających konferencję. Zaprezentowana została także w różnych aspektach działalność i pozycja firm z branży automatyki, w realiach współczesnych uwarunkowań ekonomicznych i technicznych, na które silnie wpłynął światowy kryzys gospodarczy. Firma Skamer – ACM przedstawiła wdrożone narzędzie informatyczne dla projektantów systemów pomiarowo – sterujących i automatyki – Katalog Automatyki. Ma on formę aktywnego portalu internetowego ([www.katalogautomatyki.pl](http://www.katalogautomatyki.pl)), w którym można znaleźć aktualne dane o sprzęcie produkowanym przez różne firmy z branży, sporządzić zapytanie ofertowe, porównać oferty, złożyć zamówienie.

Przedstawiciele producentów i użytkowników sprzętu automatyki przemysłowej mieli możliwość nawiązania i poszerzenia kontaktów, przez rzeczowe dyskusje na sali obrad, przy stoiskach firmowych oraz w kuluarach. Formuła części technicznej konferencji była bardzo atrakcyjna dla uczestników. O zainteresowaniu uczestników programem świadczyła bardzo duża frekwencja na salach obrad.

Organizatorem przedsięwzięcia była firma Skamer – ACM z Tarnowa, której wiceprezes pan Andrzej Turak był głównym animatorem wszystkich działań. Organizatorzy zadbali o doskonałe warunki pobytu i przyjemne spędzenie przez uczestników czasu wolnego. W czasie uroczystej kolacji, wystąpiły znane grupy i artyści estradowi: Robert Gawliński z zespołem Wilki, Cezary Pazura, zespół Omen Band. W nocy zaprezentowany został multimedialny pokaz fontann oraz sztucznych ogni (zob. IV stronę okładki). Szczególne wrażenie na widzach zrobił pokaz fontann, który był wspaniałą ilustracją aplikacji automatycznego systemu sterowania dyszami wody o różnych natężeniach, kątach i kształtach strumieni, światła o różnych kolorach, natężeniach i kierunkach, oraz wspaniałej przebojowej muzyki takich twórców jak Vangelis, W. Kilar, F. Chopin, Vivaldi. Wszystkie elementy były doskonale zsynchronizowane, tworząc niezapomniane, dynamiczne widowisko multimedialne. Był to efekt symbiozy pięknej sztuki i doskonałej techniki, połączonych wizją artysty.

Uczestnicy konferencji wyrażali zadowolenie z poziomu merytorycznego konferencji i poszerzenia swojej wiedzy o nowych rozwiązaniach. W rozmowach kuluarowych podkreślali oryginalną formułę i specyfikę konferencji, oraz jej znaczenie dla środowiska automatyków. Na III stronie okładki kilka retrospektywnych fotografii oddaje atmosferę konferencji.

Opracowanie: Tadeusz Skubis