

## Cechy domowych urządzeń elektrycznych przydatne w metodach ich identyfikacji stosowanych w systemach Home - meteringu opracowane na podstawie pomiarów laboratoryjnych

**Streszczenie:** Zagadnienia związane z określeniem stanu włączenia lub wyłączenia domowych urządzeń elektrycznych, są jednym z ważniejszych problemów z jakimi borykają się systemy sieci inteligentnych (ang. smart metering). Określenie stanu wyłączenia lub włączenia danego odbiornika, wiąże się z wykonaniem pomiaru sygnałów dostępnych w domowej sieci nn, takich jak napięcie zasilania oraz prąd obciążenia. Na ich podstawie istnieje możliwość wykrycia faktu włączenia lub wyłączenia urządzenia, natomiast jego identyfikacja może być o wiele bardziej kłopotliwa. Artykuł opisuje wyniki testów i analiz związanych z zagadnieniami identyfikacji domowych urządzeń elektrycznych oraz ich stanów, wykonane w laboratorium IEN PW z wykorzystaniem rzeczywistych urządzeń.

**Abstract:** Issues related to the identification of on or off state of household electrical appliances are one of the major problems faced by the intelligent network systems (ang. Smart metering). Discovery of such status is based on the measurement of signals available in a building wiring. Those signals are voltage and load current. On this basis, it is possible to detect the on or off state of a device, while identification of device type can be much more difficult. The article describes the results of tests performed in the IEN PW laboratory using real world equipment and analyzes the issues of identification of household electrical appliances and their states. (**Household electrical equipment and their characteristics useful in methods of identification systems used in home metering developed on the basis of measurements made using real devices**).

**Słowa kluczowe:** metody identyfikacji, domowe urządzenia elektryczne, home metering

**Keywords:** methods of identification, household electrical equipment, home metering

### Wprowadzenie

Zagadnienia związane z określeniem stanu włączenia lub wyłączenia domowych urządzeń elektrycznych są jednym z głównych problemów inteligentnych systemów pomiarowych. Jak wiadomo w gospodarstwach domowych wykorzystywana jest cała gama różnorodnych, często złożonych odbiorników energii elektrycznej. Tylko niektóre z urządzeń występują jako pojedyncze jednostki. Dodatkowo w przypadku urządzeń grzejnych, oświetlenia, czy sprzętu powszechnego użytku w konkretnym gospodarstwie domowym, zazwyczaj występuje większa ilość odbiorników danego typu. Różne są również cykle i czasy pracy poszczególnych odbiorników.

Do identyfikacji urządzenia na podstawie przebiegów czasowych wielkości elektrycznych, znamieny jest początkowy pik prądu, a w zasadzie jego stosunek do kolejnych pików (różny czas rozruchu poszczególnych urządzeń). W literaturze większość opisów pracy urządzeń elektrycznych dotyczy stanów statycznych [1], informacje dotyczące szybkozmiennych stanów nieustalonych są szczerkowane. Konieczne było zatem wykonanie szczegółowych badań stanów przejściowych różnych odbiorników energii elektrycznej [2].

W ramach zadań realizowanych przez Instytut Elektroenergetyki P.W. zostały wybrane typowe urządzenia domowe, które podlegały sprawdzeniom i dla wybranych urządzeń została opracowana analiza ich parametrów pracy, w tym przede wszystkim parametrów elektrycznych (wartości napięć, prądów, mocy nominalnych, maksymalnych, minimalnych, czynnych i biernych) oraz trybów pracy wraz z ich spodziewanymi czasami trwania. Wyniki analiz zostały zweryfikowane dla wybranych urządzeń domowych, poprzez wykonanie pomiarów wspomnianych parametrów w zaprojektowanym środowisku pomiarowym. Zebrane dane posłużyły do identyfikacji parametrów elektrycznych oraz trybów pracy urządzeń (charakterystyk energetycznych różnego rodzaju urządzeń) oraz opracowania w IRI<sup>TM</sup> PW metod identyfikacji opisanych w [6] i [7]. Niniejszy artykuł przedstawia wyniki opracowania i projekt części testowego środowiska badawczego (kolejnej wersji stanowiska laboratoryjnego)

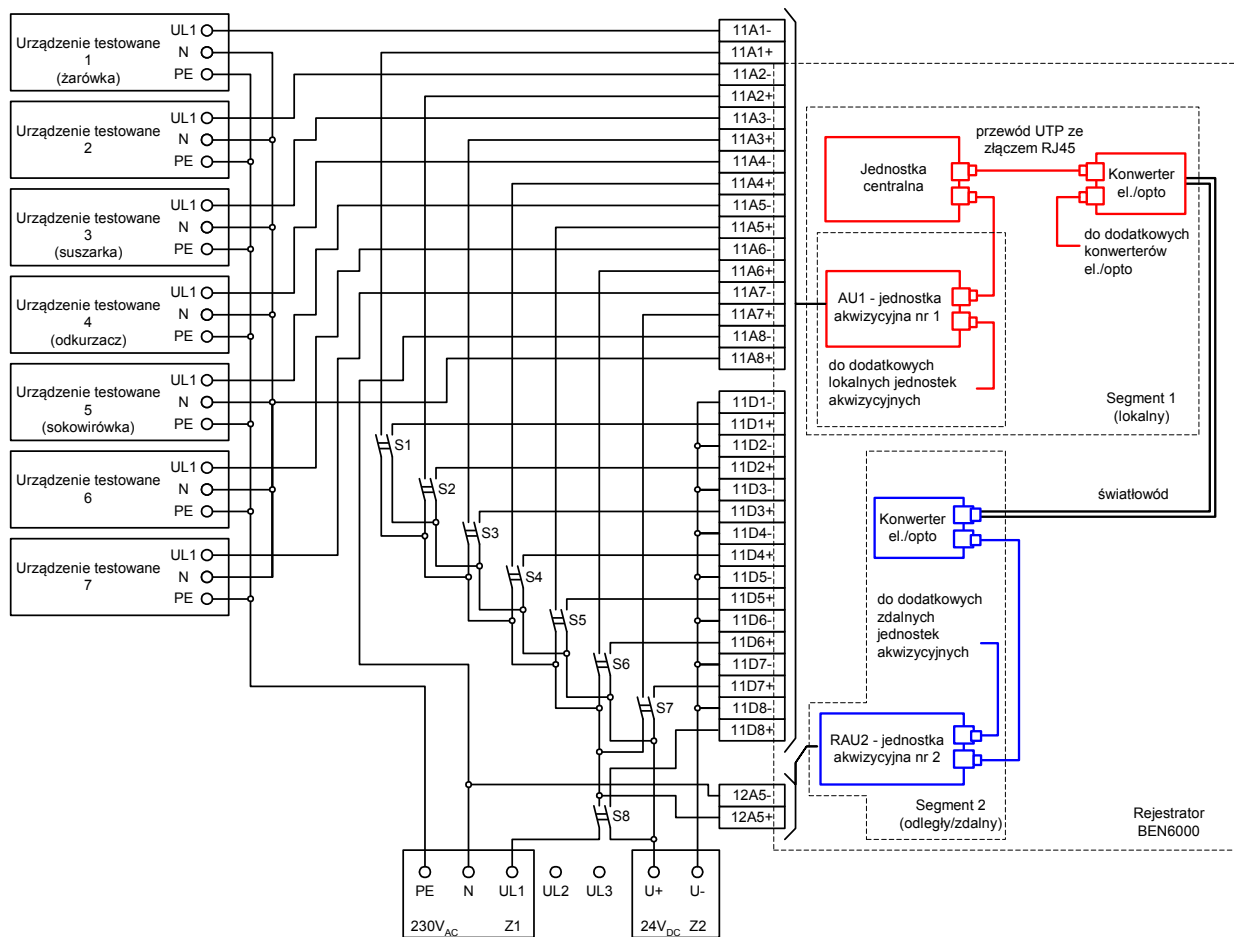
oraz opis wykonanych testów domowych odbiorników energii elektrycznej.

### Stanowisko testowe

W układzie pomiarowym główną rolę odgrywał rejestrator zakłóceń BEN6000, który pozwalał na przeprowadzenie właściwych pomiarów sygnałów analogowych oraz umożliwiał zapis stanów sygnałów dwustanowych.

W celu umożliwienia późniejszej analizy uzyskanych danych w środowisku Matlab/Simulink, rejestracji poddane zostały sygnały prądów i napięć fazowych. Zakres pomiarowy dla napięć wynosił od 0 do ok. 260V<sub>RMS</sub>, natomiast dla prądów od 0 do 20A<sub>RMS</sub>. Fakt włączenia odbiornika był sygnalizowany odpowiednim sygnałem dwustanowym. Pomiar wartości chwilowych był realizowany z częstotliwością próbkowania do 12 kHz, natomiast pomiar wartości skutecznych był wykonywany raz na 20ms - czyli z częstotliwością 50Hz.

Stanowisko laboratoryjne zostało wykonane poprzez zmodyfikowanie układu pomiarowego wykorzystywanego podczas wielu poprzednich testów oraz opisanego w [5]. Poglądowy schemat podłączenia sprawdzanych urządzeń pokazano na rysunku 1. W układzie pomiarowym zasilanie 230V<sub>AC</sub> było doprowadzone z gniazda jednofazowego z bolcem, oznaczonego na rysunku 1 jako Z1. Napięcie to zasilalo odbiorniki energii elektrycznej będące urządzeniami testowymi oraz rejestrator BEN6000. Napięcie na urządzeniu testowane było podawane poprzez przełączniki instalacyjne oznaczone jako S1 do S7, których stany zostały odwzorowywane poprzez dodatkowe zestyki podające na wejścia dwustanowe rejestratora (oznaczone jako D1 do D7) stałe napięcie pomocnicze o wartości 24V<sub>DC</sub> (napięcie oznaczone na rysunku 1 jako U+ i U-). Sygnały analogowe w postaci prądów płynących przez odpowiednie urządzenia testowe były mierzone przez prądowe obwody wejściowe rejestratora, oznaczone jako 11A1, 11A3, 11A4, 11A5 oraz 11A8, przy czym na ostatnim z nich mierzona była suma prądów płynących przez odbiorniki. Dodatkowo w rejestratorze na wejściu 12A5 jednostki akwizycyjnej nr 2, mierzone było również napięcie fazowe zasilające urządzenia testowe.



Rys. 1. Układ testowego środowiska badawczego (stanowiska laboratoryjnego) w wersji wykorzystywanej w trakcie badań urządzeń domowych. 11A1 – kanał I1 (pomiar prądu żarówki), 11A3 – kanał I3 (pomiar prądu suszarki), 11A4 – kanał I4 (pomiar prądu odkurzacza), 11A5 – kanał I5 (pomiar prądu sokowirówki), 11A8 – kanał I8 (pomiar sumy prądów odbiorników, 12A5 - kanał U1 (pomiar napięcia zasilania)

Zgodnie z założonym efektem wykonania testów, dane zapisywane były w formie plików zawierających przebiegi: napięcia zasilania urządzeń testowych, prądów każdego z urządzeń testowych i sumy prądów urządzeń testowych.

Analizując parametry urządzeń testowanych ustawiono parametry pracy rejestratora w następujący sposób:

- czas rejestracji szybkiej 1s,
- czas przed zakłóceniem dla rejestracji szybkiej 1s,
- pobudzenie rejestracji szybkiej od:
  - zmiany stanu sygnału dwustanowego z zera na jeden,
  - zwiększenia wartości chwilowej prądu powyżej 0.5A,
- czas rejestracji wolnej 510s,
- czas przed zakłóceniem dla rejestracji wolnej 30s,
- pobudzenie rejestracji wolnej od:
  - zmiany stanu sygnału dwustanowego z zera na jeden,
  - zwiększenia wartości skutecznej prądu powyżej wartości  $0.5A_{RMS}$ .

### Wyniki wybranych testów

W trakcie prac badawczych wykonano wiele wersji stanowiska laboratoryjnego, odpowiednio je przebudowując w celu dostosowania do określonych warunków zasilania, liczby odbiorników itp. Opracowanie i wykonanie zmodyfikowanej wersji stanowiska pozwoliło na przeprowadzenie badań wszystkich typów testowanych urządzeń, zapisanie danych oraz ich późniejszą analizę w trybie offline.

W przypadku tych testów ważnym celem było określenie i wybranie sygnałów, które byłyby najbardziej właściwe w procesie identyfikacji.

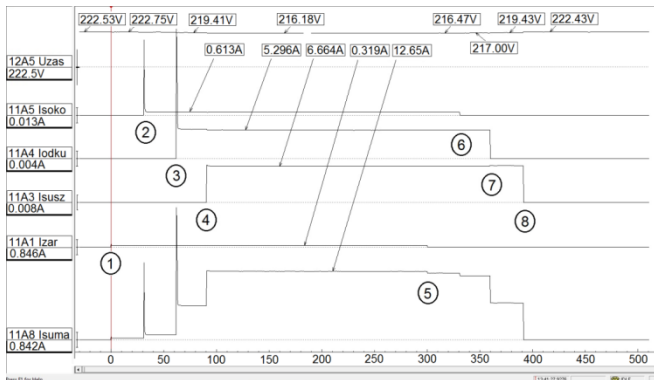
Sposób przeprowadzania testów umożliwił wykonanie pomiarów indywidualnych dla każdego z urządzeń testowych osobno oraz określonych sekwencji pracy urządzeń testowych, np. praca żarówki, która jest załączana po pewnym czasie od załączenia sokowirówki, odkurzacza, grzejnika itp. Wykonane rejestracje były prowadzone w taki sposób, aby na tle rejestracji wolnej prowadzonej z częstotliwością 50 Hz w czasie kilkuset sekund zawierającej przebiegi RMS sygnałów, były wykonywane rejestracje szybkie z częstotliwością 12 kHz. Intencją było uzyskanie rejestracji zawierającej tło składające się z wartości RMS prądów każdego z urządzeń, sumy prądów i napięcia zasilającego RMS oraz rejestracji szybkich zawierających przebiegi chwilowe wspomnianych sygnałów, występujące w momentach ich istotnych zmian.

Jak wspomniano, sekwencje pracy urządzeń pozwalały na zaobserwowanie wpływu działania jednego urządzenia na sygnały prądu i napięcia zasilania innych urządzeń zasilanych z tego samego źródła 230V<sub>AC</sub>.

Na rysunku 2 pokazano typową sekwencję pracy kilku urządzeń. Rysunek 2 przedstawia przebiegi RMS sygnałów napięcia oraz prądów zasilania tych urządzeń, zarejestrowane z częstotliwością 50Hz. Sekwencja składała się w tym przypadku z następujących operacji:

- chwila 1 - włączenie klasycznej żarówki 75W,
- chwila 2 - włączenie sokowirówki Bosch FD9202 E-Nr. MES20A0/01 Type CNCJ03 700W (bieg 1),

- chwila 3 - włączenie odkurzacza Zelmer Odyssey typ 450.0.P05S,  $P_{nom.}$  1450W+100W, max 1700W (maksymalna moc),
- chwila 4 - włączenie suszarki Clatronic HTD2940 2kW (minimalne obroty i moc),
- chwila 5, 6, 7, 8- wyłączenie żarówki, sokowirówki, odkurzacza i suszarki.



Rys. 2. Przebiegi -wartości RMS prądów w rejestracji wykonanej z częstotliwością próbkowania 50 Hz

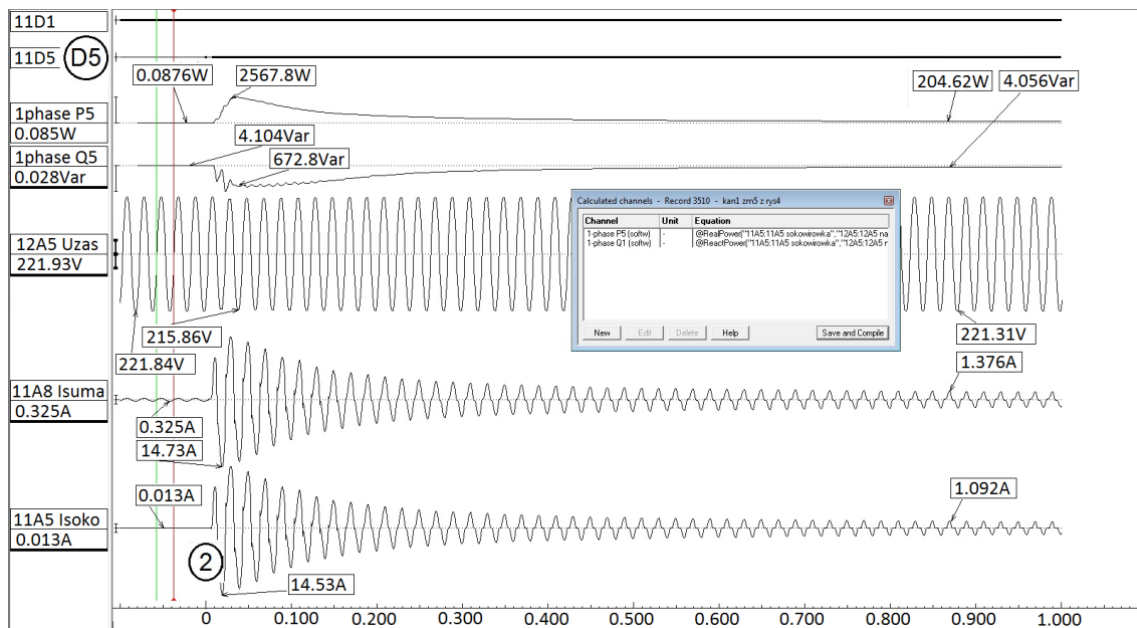
Wykorzystując dane zawarte w przebiegach prądu (sygnał "11A5") i napięcia (sygnał "12A5") zasilania, pokazane w rejestracji na rysunku 3 można dokonać dalszej analizy uzyskanych wyników określając np. zawartość harmonicznych w prądzie lub napięciu, wartość mocy czynnej, biernej, impedancji, admitancji badanego urządzenia w pewnych ustalonych chwilach. Dla przykładu pokazany na rysunku 3 sygnał o nazwie "1 phase P5" to sygnał mocy czynnej wyliczanej w programie do analizy BEN32 na podstawie próbek prądu i napięcia zasilania sokowirówki. Sygnał "1 phase Q5" przedstawia natomiast przebieg mocy biernej wyliczanej w programie do analizy BEN32 na podstawie próbek prądu i napięcia zasilania sokowirówki. Jak można zauważyć przebiegi mocy zmieniają się w czasie w momencie włączenia

urządzenia i dopiero po dłuższym czasie - w tym przypadku po ponad kilkuset ms, stabilizują się na określonych wartościach zależnych od poziomu napięcia zasilającego i obciążenia mechanicznego urządzenia. Na rysunku 4 pokazano wartości impedancji dla poszczególnych harmonicznych wyliczone na podstawie tych samych danych, które wykorzystano dla obliczenia mocy czynnych i biernych sokowirówki o mocy 700 W. Z uzyskanych przebiegów wynika, że w czasie włączania urządzenia mierzona impedancja dla poszczególnych harmonicznych zmienia się w czasie i podobnie jak w przypadku mocy stabilizuje się po kilkuset ms.

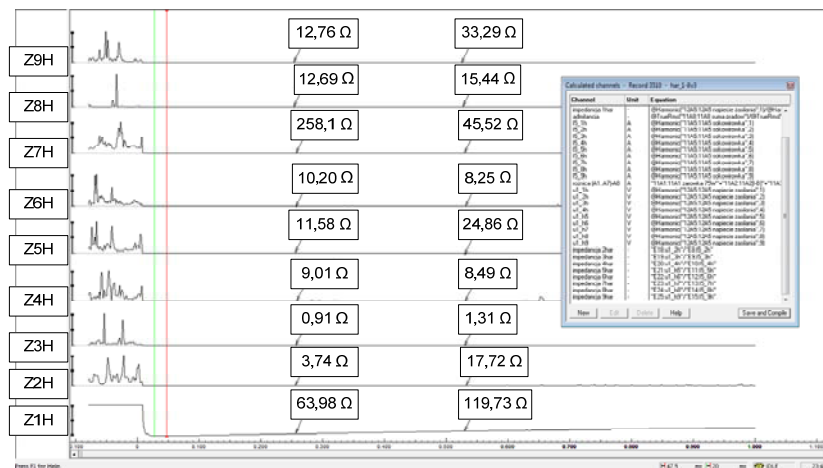
W trakcie testów zauważono niekorzystne z punktu widzenia identyfikacji odbiorników zjawisko występujące po załączeniu kolejnego odbiornika. Wynikało ono ze zmian napięcia zasilania, które wpływało na parametry pracy innych, już pracujących odbiorników. Zmiany napięcia skutkowały zmianami mocy pobieranych przez testowane urządzenia, co utrudniało identyfikację ich stanu pracy wykorzystującą wspomniane pomiary mocy.

Tego rodzaju wpływ można zaobserwować analizując przebiegi pokazane na rysunku 5, zarejestrowane w momencie załączenia odkurzacza Zelmer podczas pracy sokowirówki i żarówki, czyli w chwili oznaczonej jako 3 na rysunku 2.

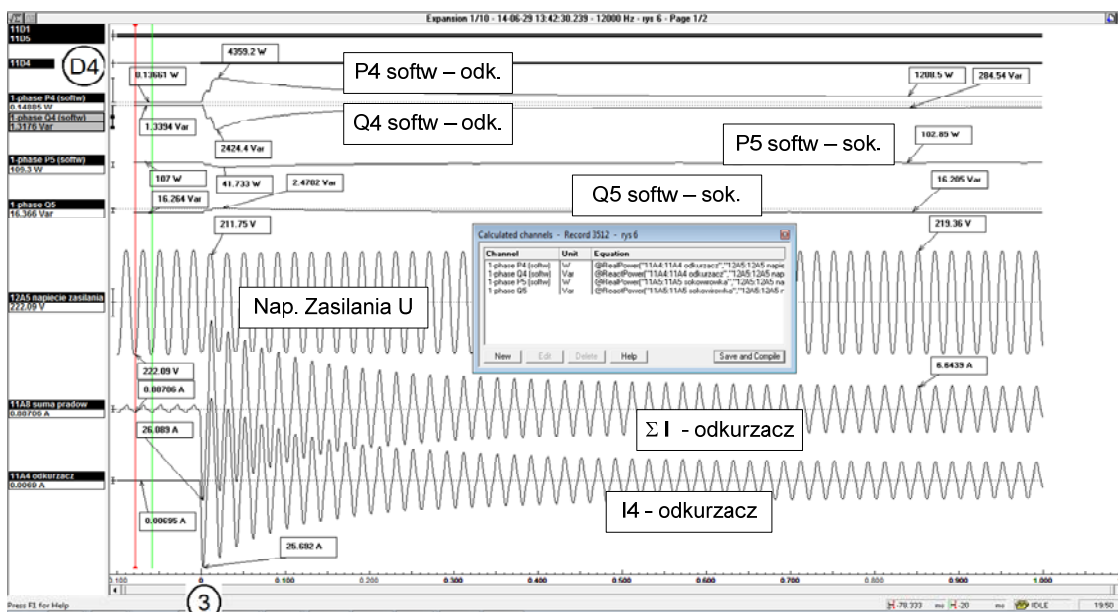
Na rysunku 5 moce czynna i bierna sokowirówki zostały oznaczone jako "P5 softw - sok" oraz "Q5 softw - sok"). Ulegają one znacznym zmianom w chwili włączenia odkurzacza i pojawienia się dużej wartości (25A) prądu odkurzacza oznaczonego jako "I4 - odkurzacz", które wywołują zmiany w napięciu zasilania oznaczonym jako "Nap. Zasilania U" z 222.09V przed włączeniem, do 211.25V w chwili wystąpienia maksymalnego prądu, do 219.36V po ponad 800ms od chwili włączenia. Co więcej moc czynna ulega trwałej zmianie z wartości 107W do 102.05W co również wynika ze zmian napięcia zasilającego spowodowanego włączeniem innego odbiornika.



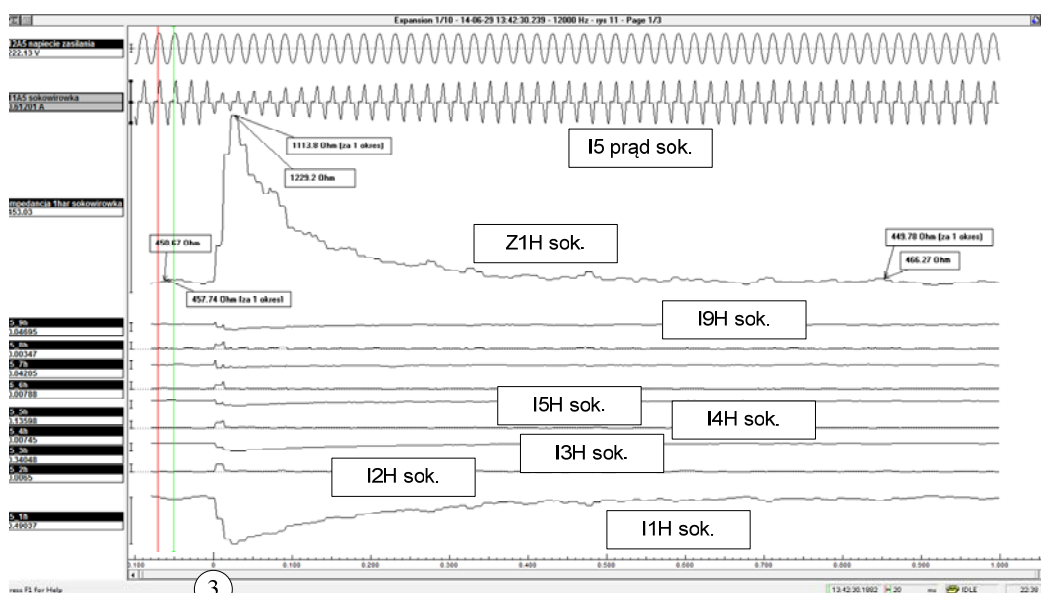
Rys. 3. Przebiegi wartości chwilowych prądów i napięcia oraz wyliczonych na ich podstawie wartości mocy czynnej i biernej w rejestracji wykonanej z częstotliwością próbkowania 12kHz w chwili 2, załączenia sokowirówki



Rys. 4. Przebiegi mierzonej impedancji dla poszczególnych harmonicznych podczas włączenia sokowirówki 700W 1 bieg



Rys. 5. Przebiegi wartości chwilowych prądów i napięcia oraz wyliczonych na ich podstawie wartości mocy czynnych i biernych w rejestracji wykonanej z częstotliwością próbkowania 12 kHz w chwili 3 włączenia odkurzacza Zelmer Odyssey typ 450.0.P05S,  $P_{nom.}$  1450W+100W,  $P_{max.}$  1700W oraz pracy sokowirówki 700 W



Rys. 6. Przebiegi wartości chwilowych prądów i napięcia sokowirówki oraz wyliczonych na ich podstawie przebiegów wartości harmonicznych prądu oraz impedancji 1 harmonicznej w rejestracji wykonanej z częstotliwością próbkowania 12 kHz w chwili 3 włączenia odkurzacza

Tabela 1. Przykładowe parametry testowanego odbiornika energii elektrycznej – sokowirówka 700 W

Odbiornik podstawowy	Moc	Zawartość harmonicznych w prądzie po czasie stanu przejściowego	$\cos\varphi$ dla 50Hz	$kr=Ir/Iu$ przetężenie po włączeniu (w stosunku do wartości ustalonej)	$t_r$ czas trwania stanu przejściowego o po wł.	Zawartość wyższych harmonicznych w prądzie bezpośrednio po wł.
Sokowirówka (silnik + układ ster.)  Moc minimalna (pomiar)	700 W	$I_{dc}=20$ mA (51 %) $I_{1h}=384$ mA $I_{2h}=31$ mA (8 %) $I_{3h}=362$ mA (94 %) $I_{4h}=97$ mA (8 %) $I_{5h}=265$ mA (69 %) $I_{6h}=10$ mA (3 %) $I_{7h}=155$ mA (40 %) $I_{8h}=7$ mA (2 %) $I_{9h}=59$ mA (15 %) $I_{10h}=8$ mA (2 %) $I_{11h}=11$ mA (3 %) $I_{12h}=7$ mA (2 %) $I_{13h}=35$ mA (9 %) $I_{14h}=5$ mA (1 %) $I_{15h}=31$ mA (8 %) $I_{16h}=4$ mA (1 %) $I_{17h}=13$ mA (4 %) $I_{18h}=5$ mA (1 %) $I_{19h}=7$ mA (2 %) ... $I_{49h}=0$ mA (0 %)	Przebieg odkształcony (istotna składowa DC).	24.3  Długo trwający (kilka sekund) stan przejściowy  $I(0\text{ ms})=12477$ mA  $I(1000\text{ ms})=625$ mA  $I(1500\text{ ms})=513$ mA  $I(50s)=492$ mA	1500 ms  ( $\Delta I=$ ok. 150 mA - maksymalna różnica w amplitudach prądu (stan dla 1.5 s - stan w trakcie pracy do momentu wyłączenia)	$I_{dc}=30$ mA $I_{1h}=10678$ mA $I_{2h}=2883$ mA $I_{3h}=3587$ mA $I_{4h}=747$ mA $I_{5h}=1388$ mA $I_{6h}=213$ mA $I_{7h}=961$ mA $I_{8h}=128$ mA $I_{9h}=555$ mA $I_{10h}=192$ mA $I_{11h}=576$ mA $I_{12h}=181$ mA $I_{13h}=683$ mA $I_{14h}=138$ mA $I_{15h}=491$ mA $I_{16h}=117$ mA $I_{17h}=331$ mA $I_{18h}=106$ mA $I_{19h}=234$ mA ... $I_{49h}=53$ mA

Na rysunku 6 przedstawiono wpływ włączenia odkurzacza Zelmer na impedancję pierwszej harmonicznej sokowirówki oraz kolejnych harmonicznych prądu. Widoczna jest zmiana impedancji sokowirówki w momencie włączenia odkurzacza, która zanika po około 600ms.

Opisywane testy laboratoryjne pozwoliły na określenie cech charakterystycznych wyselekcjonowanych wcześniej domowych odbiorników energii elektrycznej oraz na określenie ich stanów, w tym stanu pracy i stanu załączenia.

W tabelicy 1 pokazano wybrane parametry jednego z testowanych urządzeń, tj. sokowirówki Bosch FD9202 E-Nr. MES20A0/01 Type CNCJ03 700W. Były to między innymi zawartość harmonicznych po upływie czasu przejściowego, czas trwania stanu przejściowego, przetężenie po włączeniu (w stosunku do wartości ustalonej), wartości impedancji dla poszczególnych harmonicznych. Zestaw tych cech pozwala na identyfikację odbiornika wykonywaną na podstawie pomiarów wartości sygnałów prądu i napięcia zasilania próbkowanych z częstotliwością 12kHz.

### Podsumowanie

Na podstawie danych zgromadzonych podczas testów, zweryfikowano część zebranych wcześniej informacji dotyczących parametrów pracy urządzeń oraz ich trybów pracy. Określono możliwe parametry pozwalające na bezinwazyjną detekcję stanu włączenia konkretnego urządzenia domowego. Analizując duże ilości danych określono, że korzystnymi cechami pod względem identyfikacji urządzeń domowych charakteryzują się sygnały mocy czynnych i biernych oraz impedancje dla poszczególnych harmonicznych.

Wydaje się, że najlepszymi sygnałami w zakresie częstotliwości niskich do kilkuset Hz, identyfikującymi odbiorniki są wartości impedancji lub admitancji dla poszczególnych harmonicznych, wyliczane po okresie przejściowym wynoszącym co najmniej paręset ms od chwili zmiany stanu zasilania.

*Praca wykonana w ramach projektu badawczego NCBiR PBS2/A4/8/2013*

### LITERATURA

- [1] Instrukcja obsługi urządzenia BEN6000 oprogramowania do analizy BEN32, wer. MAN018E.01RevA. z 2005 r.
- [2] Instrukcja obsługi oprogramowania do analizy BEN32, wer. MAN004PL01 BEN32 z 2001r
- [3] Haroon Farooq, Chengke Zhou, Mohamed Emad Farrag: Analyzing the Harmonic Distortion in a Distribution System Caused by the Non-Linear Residential Loads, International Journal of Smart Grid and Clean Energy, vol. 2, no. 1, January 2013: pp. 46–51.
- [4] Nogal Ł.: Raport dotyczący cech pomiarowych domowych urządzeń elektrycznych przygotowany w celu realizacji projektu badawczego NCBiR PBS2/A4/8/2013, IEN PW, 2013.
- [5] Kowalik R., Nogal Ł., Januszewski M., Rasolomampionona D., Domowe urządzenia elektryczne i ich cechy przydatne w metodach identyfikacji stosowanych w systemach Smart Metering, Przegląd Elektrotechniczny, nr 11/2014, s. 26-28.
- [6] Biłski P.: Nieinwazyjna identyfikacja odbiorników energii elektrycznej w paśmie średnich częstotliwości z wykorzystaniem lasu losowego, Mat. konf. SP'2016 (Łągow, 12-16 czerwca 2016).
- [7] Biłski P., Wójcik A.: Metody selekcji cech sygnałów prądowo-napięciowych w nieinwazyjnej identyfikacji odbiorników energii elektrycznej, Mat. konf. SP'2016 (Łągow, 12-16.06. 2016).