

Domowe urządzenia elektryczne i ich cechy przydatne w metodach identyfikacji stosowanych w systemach Smart Metering

Streszczenie. Niniejszy referat dotyczy właściwości urządzeń elektrycznych wykorzystywanych w gospodarstwach domowych. Skupiono się w nim na określeniu zmian wielkości takich jak prąd, napięcie, moc, które mogą posłużyć w algorytmach pomiarowych/identyfikacji stosowanych w urządzeniach systemów smart metering, do stwierdzenia czy dane urządzenie zostało włączone. Ograniczenie zakresu wielkości mierzonych do 3 wspomnianych, było związane z założeniem łatwego przeprowadzenia pomiarów wielkości w jednym miejscu, którym w zamierzeniach powinien być punkt instalacji licznika energii elektrycznej. Część prezentowanych przebiegów pomiarowych pochodzi z testów zrealizowanych w laboratorium Instytutu Elektroenergetyki w ramach realizacji projektu badawczego NCBiR PBS2/A4/8/2013.

Abstract. This paper concerns the properties of electrical equipment in households. It focuses on specific characteristics such as electrical quantities of the current, voltage, power which can be used in algorithms for measuring/identifying devices used in smart metering systems, to determine whether the device is working or not. Limiting the scope of the measured values to the 3 mentioned quantities, was associated with the founding to easily perform measurements of them in one point, usually a point of electricity meter installation. (**Household electrical equipment and their features useful in methods of identification used in smart metering systems**).

Słowa kluczowe: inteligentne układy pomiarowe.

Keywords: smart metering.

doi:10.12915/pe.2014.11.08

Wstęp

Zagadnienia związane z określeniem stanu włączenia lub wyłączenia domowych urządzeń elektrycznych są jednym z popularniejszych problemów z jakimi borykają się szeroko rozumiane systemy „smart metering”. Określenie stanu wyłączenia lub włączenia danego odbiornika domowego wiąże się z opisaniem cech źródła zasilania oraz samych urządzeń. Konieczne jest zatem znalezienie łatwo mierzalnych kryteriów, występujących np. w sygnałach prądu lub napięcia, pozwalających na jednoznaczną identyfikację stanu włączenia/wyłączenia danego odbiornika. W Polsce urządzenia domowe korzystają z sieci niskiego napięcia (nn)¹.

Urządzenia domowe czyli odbiorniki instalowane w gospodarstwie domowym (w domu jednorodzinnym lub mieszkaniu) mogą być urządzeniami zasilanymi z 1, 2 lub 3 faz. Ich moce nie są z reguły większe niż 5.5kW/fazę, co powoduje, że prądy fazowe obciążenia nie są większe niż 25A. Regułą w instalacjach domowych jest występowanie wspólnego punktu przyłączeniowego, z którego energia jest rozdzielana na obwody, do których podłączone są poszczególne odbiorniki. W punkcie tym instalowane jest urządzenie pomiarowe (licznik energii elektrycznej) mierzące wartość prądów i napięć i wyliczające na ich podstawie energię zużywaną przez wszystkie odbiorniki. W wielu systemach smart metering ten punkt jest również miejscem instalowania inteligentnych mierników, wykorzystujących algorytmy identyfikujące stan odbiorników na podstawie mierzonych sygnałów prądów i napięć. Sygnały te mają szerokie pasmo występujących częstotliwości niosących użyteczne informacje, a algorytmy pomiarowe wykorzystują informacje zawarte w kilku wybranych pasmach częstotliwości (wartości skuteczne, wartości amplitud podstawowej harmonicznej 50Hz, sygnały o częstotliwościach rzędu kilkudziesięciu kHz). Informacje w wybranych pasmach częstotliwości pojawiają się we wspomnianych sygnałach w przypadku

występowania określonych stanów pracy odbiorników (np. włączenie, praca ciągła, praca z obniżonym poborem mocy, wyłączenie).

Typowe domowe odbiorniki elektrycznej

W gospodarstwach domowych wykorzystywana jest cała gama różnorodnych, często złożonych odbiorników energii elektrycznej. Ponadto, tylko niektóre z urządzeń występują jako pojedyncze jednostki. 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. Rozpatrując monitoring odbiorników energii elektrycznej w pierwszym rzędzie należy rozpatrywać odbiorniki najbardziej energochłonne oraz te, które nie mają określonej pory pracy. Pranie, bądź zmywanie można odłożyć w czasie, a część odbiorników, jak np. lodówka musi pracować 24 godziny na dobę. Odbiornikami przeciętnie zużywającymi najwięcej energii są: lodówka, oświetlenie, kuchnia elektryczna oraz pralka. Bardzo dużo energii zużywa ogrzewanie elektryczne, bądź urządzenia podgrzewające wodę użytkową, lecz nie występują one w każdym gospodarstwie domowym.

W 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). Aczkolwiek w literaturze większość opisów pracy urządzeń elektrycznych dotyczy stanów statycznych [1], informacje dotyczące szybkozmiennych stanów nieustalonych są szczątkowe. Konieczne jest zatem wykonanie szczegółowych badań stanów przejściowych różnych odbiorników energii elektrycznej [2].

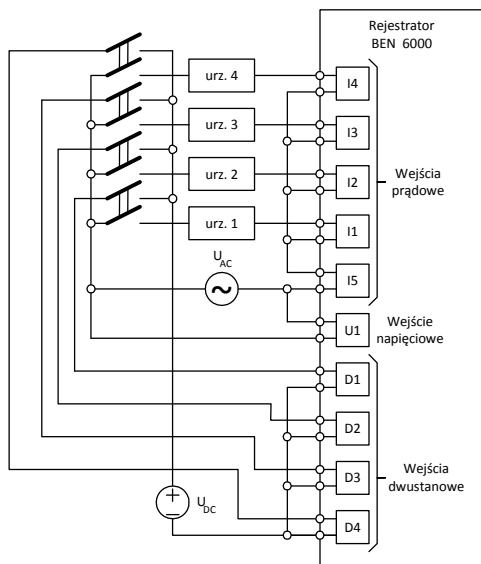
Układ testowy z wykorzystaniem rejestratora zakłóceń BEN 6000

Konieczność określenia cech wybranych urządzeń elektrycznych wymusiła zastosowanie do tego celu urządzenia, które typowo stosowane jest do rejestracji zakłóceń w systemie elektroenergetycznym. Urządzeniem tym jest rejestrator BEN 6000, znajdujący się

¹ nn oznacza sieć niskiego napięcia. W Polsce jest to napięcie o wartości 400V między przewodami fazowymi oraz 230V między przewodami fazowymi i ziemią, przy poziomie dopuszczalnych zmian w zakresie $\pm 10\%$.

laboratorium Zakładu Aparatów i Automatyki Elektroenergetycznej PW. Urządzenie to posiada zestaw wejść analogowych prądowych i napięciowych, które zostały skalibrowane zgodnie z oczekiwanymi wartościami napięć i prądów występujących w testowanych układach. Zakres pomiarowy prądów zawierał się od 0 do 50ARMS, zakres pomiarowy napięć od 0 do 300VRMS, częstotliwość próbkowania wynosiła 12kHz, a przetwornik wykorzystuje 16 bitów, co jest wartością wystarczającą do obserwacji przebiegów przejściowych podczas załączania i wyłączenia odbiorników domowych. Czas zapisywanej rejestracji dla takich parametrów rejestracji wynosi kilkanaście sekund. Dodatkową cechą rejestratora jest możliwość wykonania rejestracji wolnych, z częstotliwością 50 Hz, pozwalających na zapisanie stanów ustalonych. Możliwe czasy rejestracji dla tego przypadku wynoszą kilkanaście minut lub godzin.

Przykładowy układ pomiarowy wykorzystywany podczas testów pokazano na rys. 1. Warto zauważyć, że układ pomiarowy pozwala na rejestrowanie pojedynczych prądów dla każdego urządzenia oraz prądów sumarycznych płynących w głównym obwodzie zasilającym. Odbiorniki są załączane poprzez łączniki, których styki sygnalizacyjne podają napięcie UDC na wejścia dwustanowe rejestratora. W ten sposób włącznie określonego odbiornika (np. urz. 1), jest jednocześnie sygnalizowane pojawieniem się sygnału wysokiego na odpowiednim wejściu dwustanowych (w tym przypadku D1).



Rys. 1. Przykładowe stanowisko laboratoryjne pozwalający na rejestrację przebiegów przejściowych

Wybrane testy pojedynczych urządzeń domowych oraz ich parametry

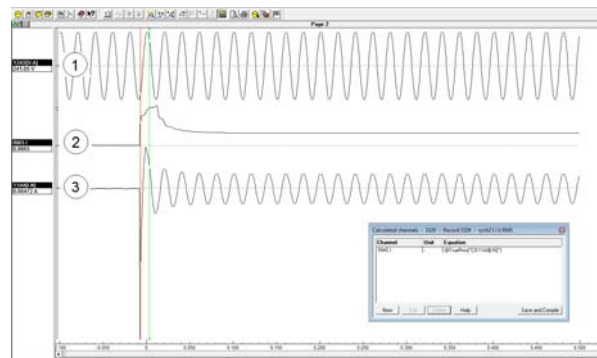
W celu usystematyzowania cech domowych odbiorników elektrycznych biorąc jako kryterium ich konstrukcję, można wprowadzić podział na urządzenia proste i złożone. Złożone będą wykonane z kilku (np. 2 w przypadku prostej nagrzewnicy składającej się z grzałki oraz wentylatora) lub wielu (np. w przypadku skomplikowanej pralki składającej się z grzałki, silnika głównego, 2 lub 3 silników pomp, zasilacza impulsowego, sterownika mikroprocesorowego itd.) prostych odbiorników. Warto podkreślić, że proste urządzenia mają rozmaite zasady działania oraz mogą w różny sposób wpływać na 3, 2 lub 1 fazowe układy zasilania. Z tego powodu wydaje się właściwe dokonanie analizy wpływu wspomnianych odbiorników na sygnały prądów i napięć zasilających biorąc

pod uwagę kilka stanów ich pracy oraz zakresy częstotliwości/czasu, w których są one widoczne.

Biorąc pod uwagę wspomnianą zasadę działania oraz wpływ na sygnały zasilające, proste odbiorniki elektryczne mogą być podzielone w następujący sposób: lampy żarowe (żarówki klasyczne), żarówki halogenowe, świetlówki kompaktowe (żarówki energooszczędne), świetlówki, zasilacze transformatorowe, zasilacze impulsowe bez układu PFC, zasilacze impulsowe z układem PFC, grzejniki, kuchenki mikrofalowe, silniki elektryczne.

Przykładem prostego odbiornika jak wspomniano jest lampa żarowa nazywana często klasyczną żarówką. To sztuczne źródła światła wykorzystujące zasilanie 1 fazowe. Elementem świecącym (żarnik) jest włókno wolframowe, które ze względu na przepływ prądu rozgrzewa się do temperatury ok. 3000°C. Moce znamionowe żarówek są znormalizowane. W gospodarstwach domowych najczęściej wykorzystywane są żarówki o mocach od 25 do 60W.

Podczas ciągłej pracy żarówka zachowuje się jak liniowy odbiornik o współczynniku mocy $\cos(\varphi)$ bliskim wartości 1. Jedną z cech żarówki jest to iż rezystancja żarnika silnie zależy od jego temperatury. Dla zimnej żarówki rezystancja żarnika jest ok. 15 razy mniejsza niż w stanie pełnego rozgrzania². Tego rodzaju właściwość powoduje, że podczas włączenia żarówki występuje skok wartości prądu trwający kilkadziesiąt ms (ok. 50ms), przy czym wspomniana powyżej (największa) wartość prądu utrzymuje się przez czas kilku ms (np. 4ms). Przykładowe przebiegi prądu i napięcia żarówki w chwili włączenia zaobserwowane podczas testów laboratoryjnych zostały pokazane na rys. 2. Podczas stabilnej pracy żarówki tradycyjne nie powodują powstawania harmonicznych prądu i napięcia, jednak podczas włączenia żarówki, mogą wystąpić harmoniczne prądu (ze względu na nieliniowy charakter rezystancji w funkcji temperatury żarnika), których dokładna analiza nie jest znana.



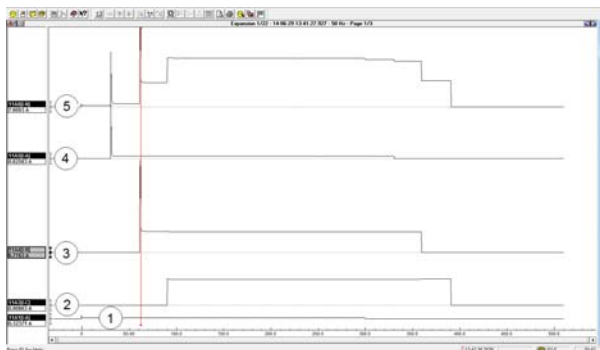
Rys. 2. Przebiegi prądu i napięcia klasycznej żarówki w chwili załączenia napięcia w pobliżu wartości szczytowej 1 – sygnał napięcia, 2 – wartość prądu RMS wyliczona na podstawie wartości chwilowych przebiegu 3, 3 – sygnał prądu

Wybrane testy grupy urządzeń domowych

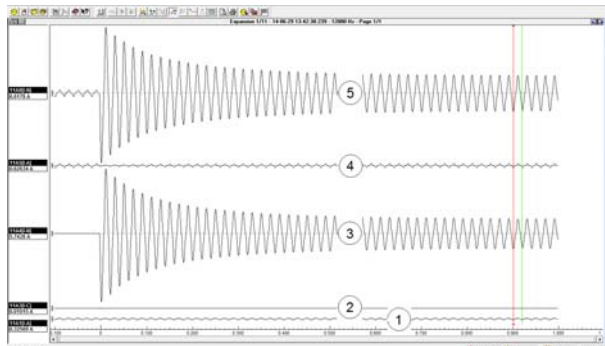
W celu sprawdzenia możliwości poprawnej analizy sygnałów zawierających sumę prądów pochodzących z urządzeń domowych wykonano serię testów, w których włączano i wyłączano po kolei poszczególne odbiorniki, rejestrując ich indywidualne prądy, wspólne napięcie, moce

² Np. żarówka o mocy znamionowej 100W, zasilana napięciem 230V podczas stabilnej pracy charakteryzuje się rezystancją wynoszącą ok. 500Ω, podczas gdy w stanie zimnym je rezystancja wynosi ok. 35Ω. Tego rodzaju działanie powoduje, że wartość prądu w czasie normalnej pracy wynosi ok. 0.4A, natomiast podczas załączenia kilka A (np. 5A).

czynne, bierne oraz sygnały dwustanowe pokazujące ich stan włączenia. Rejestracje były prowadzone zarówno z próbkowaniem wartości chwilowych (częstotliwość próbkowania 12kHz) jak i wartości RMS wycieczonych na ich podstawie (częstotliwość próbkowania 50Hz). W jednym z testów wykorzystano następujące urządzenia podłączone do poszczególnych kanałów prądowych: żarówka klasyczna 75W - kanał 1 (oznaczenie na rys. 3,4 – 1), suszarka Clatronic HTD2940 2kW (max. obr, max. moc) - kanał 3 (oznaczenie na rys. 3,4 – 2), odkurzacz Zelmer (max. moc) - kanał 4 (oznaczenie na rys. 3,4 – 3), sokowirówka Bosh (bieg 2) - kanał 5 (oznaczenie na rys. 3,4 – 4), suma prądów wszystkich odbiorników - kanał 8 (oznaczenie na rys. 3,4 – 5).



Rys. 3. Przebiegi wartości RMS prądów obciążenia 4 urządzeń zarejestrowanych z częstotliwością próbkowania 50Hz. 1 – klasyczna żarówka 75W, 2 - suszarka Clatronic HTD2940 2kW (min. obr, min. moc) - kanał 3 (oznaczenie na rys. 3,4 – 2), odkurzacz Zelmer Odyssey typ 450.0.P05S, Pnom. 1450W+100W, max 1700W (max. moc) - kanał 4 (oznaczenie na rys. 3,4 – 3), sokowirówka Bosch FD9202 E-Nr. MES20A0/01 Type CNCJ03, 700W (bieg 1) - kanał 5 (oznaczenie na rys. 3,4 – 4), suma prądów wszystkich odbiorników - kanał 8 (oznaczenie na rys. 3,4 – 5).



Rys. 4. Przebiegi wartości chwilowych prądów obciążenia 4 urządzeń zarejestrowanych z częstotliwością próbkowania 12kHz w chwili włączenia suszarki (chwila oznaczona pionowa linia na rys 3). Oznaczenie sygnałów takie same jak na rys 3.

Na rys. 3 pokazano przebiegi sygnałów RMS prądów zarejestrowanych z częstotliwością 50Hz dla wspomnianych urządzeń w czasie ok. 500s, natomiast na rys. 4 przebiegi tych samych prądów zarejestrowanych w chwili włączenia odkurzacza Zelmer (max. moc) podłączonego do kanału 4 (oznaczenie na rys. 3,4 – 3) (widoczne prądy obciążenia żarówki oraz sokowirówki, które już były włączone). Należy zaznaczyć, że w przebiegu napięcia, które również było rejestrowane po włączeniu oraz wyłączeniu odbiorników dają się zauważyć niewielkie zmiany wartości począwszy od 222.9V (brak obciążenia) do 215.9V po włączeniu suszarki. Podobnie niewielkie zmiany napięcia o odwrotnej tendencji występują podczas wyłączenia urządzeń.

Podsumowanie

Przedstawione powyżej przebiegi zostały uzyskane podczas testów laboratoryjnych weryfikujących cechy odbiorników elektrycznych. Do testów wykorzystano urządzenie rejestrujące przebiegi sygnałów prądów i napięć w postaci zaawansowanego rejestratora zakłóceń elektroenergetycznych, który przystosowano w sensie zakresów pomiarowych oraz częstotliwości próbkowania do amplitud mierzonych sygnałów i zakresów mierzonych częstotliwości (częstotliwość próbkowania 12kHz w przypadku wartości chwilowych oraz 50Hz w przypadku wartości RMS). Analizę zarejestrowanych danych wykonano z użyciem programu BEN32 współpracującego z wspomnianym rejestratorem. Zarejestrowane przebiegi zostały również zachowane w postaci zbiorów próbek zapisanych w formacie liczb oddzielonych przecinkami, możliwych do odczytania i właściwego zinterpretowania przez powszechnie używane programy takie jak m.in. EXCEL, Matlab, co pozwalana na użycie ich jako zbiorów danych weryfikujących działanie algorytmów identyfikujących odbiorniki elektryczne.

LITERATURA

- [1] 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*
- [2] Łukasz Nogał: Raport dotyczący cech pomiarowych domowych urządzeń elektrycznych przygotowany w celu realizacji projektu badawczego NCBiR PBS2/A4/8/2013, IEN PW, 2013.

Autorzy: dr. inż. Ryszard Kowalik, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: ryszard.kowalik@ien.pw.edu.pl; dr hab. inż. Łukasz Nogał Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: lukasz.nogal@ien.pw.edu.pl; dr inż. Marcin Januszewski, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: marcin.januszewski@ien.pw.edu.pl; prof. nzw. dr hab. Desire Rasolomampionona Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: desire.rasolomampionona@ien.pw.edu.pl