

# Rozproszony system pomiarowy z transmisją danych w sieci elektroenergetycznej

Jacek Suchanek  
Waldemar Nawrocki

W referacie zaprezentowano system pomiarowy przeznaczony do zbierania danych z liczników energii elektrycznej wykorzystujący technologię PLC (*Power Line Communication*). Przedstawiono wyniki badań jakości transmisji danych w sieci energetycznej w opisywanym systemie. Opisano wyniki badań głowicy optycznej pozyskującej dane z indukcyjnych liczników energii elektrycznej. Przedstawiono koncepcję rozwojową opisanego systemu pomiarowego polegającą na zastosowaniu technologii *sensor network*.

## ***Distributed measurement system using PLC data transmission***

*The paper presents distributed metering system designated for collecting data from electricity meters. The system uses Power Line Communication (PLC) technology for data transmission. Electricity meters were equipped with communication units with PLC modem. Here are presented results of quality test of PLC transmission in considered system. The reading head for data acquisition from classic electricity meters is presented as well, which enables data reading of measurement data without disturbing the meter. Some final remarks are devoted to development of the reading system using sensor network technology.*

## 1. Wprowadzenie

Zapowiadana deregulacja rynku dostaw energii elektrycznej dla odbiorców indywidualnych spowoduje konieczność wprowadzenia przez dostawców energii zaawansowanych metod odczytów stanów liczników energii elektrycznej. Autorzy referatu przebadali doświadczalny system automatycznych odczytów stanów liczników.

Badany system składał się z kilkunastu liczników energii elektrycznej zainstalowanych u odbiorców indywidualnych w domu wielorodzinnym oraz koncentratora zbierającego dane z liczników. Jako system transmisji danych między licznikami a koncentratorem wybrano transmisję danych w energetycznej sieci zasilającej (*power line communication* – PLC). Systemy transmisji PLC są rozwijane na świecie od wielu lat, niemniej w Polsce, poza nielicznymi aplikacjami nie znalazły dotychczas uznania. Autorzy wybrali ten system ze względu na oczywisty fakt, że

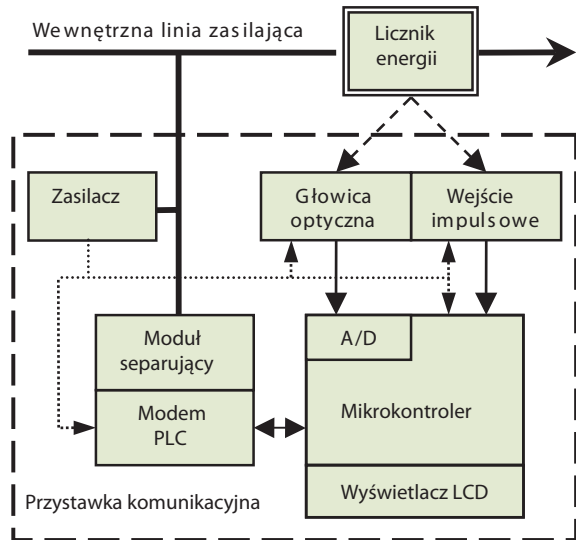
dostawcy energii elektrycznej są właścicielami sieci energetycznych i narzucającym się rozwiązaniem jest zastosowanie tego medium transmisji. Po wstąpieniu Polski do Unii Europejskiej stosowanie transmisji PLC zostało uregulowane przez normę europejską PN-EN 50065 [1]. Zbudowany system transmisji jest zgodny z tą normą.

## 2. Konfiguracja badanego systemu pomiarowego

Badany system pomiarowy składał się z piętnastu jednofazowych liczników energii elektrycznej wyposażonych w przystawki komunikacyjne oraz koncentratora danych zainstalowanego na przyłączu budynku WLZ (wewnętrzna linia zasilająca). W systemie zastosowano liczniki energii elektrycznej z wyjściem impulsowym wyposażone w przystawki transmisyjne. Dane o zużyciu energii elektrycznej były pozyskiwane za pomocą wejścia impulsowego przystawki. Aby można było w przyszłości wykorzystać zainstalowane już liczniki energii elektrycznej bez żadnego interfejsu elektrycznego, przewidziano możliwość dołączenia do przystawki głowicy optycznej pozyskującej informację z obrotów tarczy licznika.

Jacek Suchanek – suchanek@audens.win.pl  
„AUDENS” Elektronika, Informatyka, Automatyka  
Waldemar Nawrocki – nawrocki@et.put.poznan.pl  
Politechnika Poznańska, Instytut Elektroniki  
i Telekomunikacji

Schemat blokowy przystawki przedstawiono na rys. 1. Sygnały z wejścia impulsowego lub głowicy optycznej są podawane na wejścia mikrokontrolera UPD78F9418 firmy NEC, który zarządza pracą przystawki.



Rys. 1. Schemat blokowy przystawki komunikacyjnej licznika

Fig. 1. Block diagram of communication unit for electricity meter

Za pomocą mikrokontrolera sygnały są sumowane, aby uzyskać dane o zużyciu energii. Dane te są wyświetlane na wyświetlaczu LCD sterowanym przez mikrokontroler lub odczytywane zdalnie za pomocą transmisji w sieci energetycznej. Do transmisji danych służył modem PLC, w który jest wyposażona przystawka komunikacyjna.

Do budowy modemu PLC w przystawce wykorzystano scalony układ transmisji danych w sieci energetycznej typu ST7537 produkcji firmy ST Microelectronics. Układ modemu w przystawce komunikacyjnej wykonano zgodnie ze schematem

aplikacyjnym producenta [2]. Układ ST7537 jest przeznaczony do transmisji danych w sieci energetycznej w paśmie C według PN EN 50065 [1], czyli w paśmie odbiorców. Ze względu na dostępność tego układu, niską cenę oraz łatwą aplikację został on wybrany do instalacji doświadczalnej. Podstawowe parametry układu ST7537 przedstawiono w tabeli 1.

Przystawka z modemem PLC była podłączona do jednej fazy przewodów energetycznych za pomocą modułu separującego. Moduł ten zapewnia separację galwaniczną układu elektronicznego przystawki od napięcia sieci, zabezpieczenie przed przepięciami oraz dopasowanie impedancyjne.

Koncentrator danych ma podobną konstrukcję jak przystawka komunikacyjna. Modem w koncentratorze wykonano w taki sposób, aby był on podłączony do trzech przewodów fazowych, co pozwalało na komunikację koncentratora z licznikami podłączonymi do różnych przewodów fazowych. Zamiast wejścia impulsowego wprowadzono interfejs optyczny wg PN-EN 61107 [3], za pomocą którego można było odczytać zebrane dane pomiarowe. Opcjonalnie możliwe było podłączenie modemu telefonicznego do odczytów zdalnych.

Konfigurację wymiany danych w systemie oparto na strukturze *master-slave*. Elementem *master* był koncentrator i tylko on mógł inicjować transmisję. Liczniki będące elementami *slave* odpowiadały tylko na zapytania z koncentratora. Przyjęto zasadę, że koncentrator nawiązywał komunikację z każdym licznikiem co godzinę, gdyż w przypadku odczytów zużycia energii elektrycznej u odbiorców komunalnych nie ma potrzeby odczytu stanu licznika on line. Zebrane dane były przechowywane w pamięci koncentratora, skąd mogły być odczytane do komputera obsługi. Koncentrator prowadził także statystykę poprawności komunikacji.

Uzyskane w ten sposób dane pozwalały ocenić jakość wybranego systemu komunikacji, co zostało przedstawione w następnym punkcie.

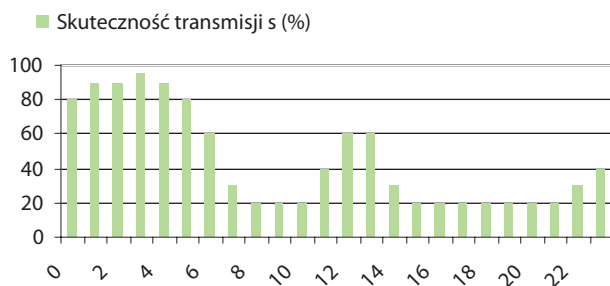
Tab. 1. Parametry układu transmisji PLC typu ST7537

Tab. 2. Technical data of the ST7537 modem for PLC

PARAMETR	WARTOŚĆ	UWAGI
Rodzaj modulacji	FSK	
Częstotliwość nośna	132,45 kHz	Pasma C wg PN-EN 50065
Odstęp częstotliwości	1,2 kHz	Między stanem „LOW” a „HIGH”
Czułość odbiornika	1 mV r.m.s.	Wartość typowa
Szybkość transmisji	1200 Bd	Wartość typowa
Napięcie wyjściowe nadajnika	1 V r.m.s.	Bez zewnętrznego stopnia końcowego

### 3. Wyniki obserwacji badanego układu pomiarowego

Badany system pomiarowy pracował sześć miesięcy. W tym czasie zebrano dane na temat skuteczności transmisji danych. W celu wyznaczenia skuteczności transmisji przyjęto następujące reguły: koncentrator nawiązywał transmisję ze wszystkimi licznikami co godzinę, wykonując 10 prób nawiązania połączenia. Jeżeli w ciągu danej godziny uzyskano połączenie, uznawano je za udane niezależnie od liczby prób. W ten sposób wyznaczono skuteczność odczytów danych z liczników w zależności od pory dnia.



Rys. 2. Wykres zależności skuteczności odczytów od pory dnia

Fig. 2. Diagram of effectiveness of reading versus time of day

Na rys. 2 przedstawiono w sposób graficzny tę zależność. Skuteczność odczytów  $s$  wyznaczono jako wyrażony w procentach stosunek zrealizowanych odczytów danych do całkowitej liczby liczników, z którymi podejmowano próby odczytów:

$$s = \frac{n}{N} \cdot 100 \% \quad (1)$$

gdzie:  $N$  jest całkowitą liczbą liczników, a  $n$  - liczbą odczytanych liczników w danej godzinie.

Uśredniona skuteczność odczytów w ciągu doby wyniosła 44 %.

Wykonano także pomiary skuteczności całego systemu na poziomie transmisji pojedynczych pakietów danych poprzez wyznaczenie stosunku pakietów odebranych i potwierdzonych przez elementy *slave* do całkowitej liczby pakietów wysłanych przez koncentrator. Całkowita skuteczność transmisji wahała się w granicach 15 - 20 %.

Na koniec wyznaczono dobową skuteczność systemu, tzn. stosunek uzyskanych odczytów o zużyciu energii na koniec doby do całkowitej liczby liczników w systemie. Skuteczność ta wyniosła 93 %. Mimo niskiej jakości toru transmisji danych, uzyskano współczynnik skuteczności całego systemu bliski 100 % w skali doby.

Z obserwacji systemu wynikają następujące wnioski:

1. Najtrudniejsze warunki komunikacji pokrywały się ze szczytem porannym i wieczornym poboru energii (tj. godziny 6:00 - 10:00 i 14:00 - 23:00), co wynikało ze zwiększonego poziomu zaburzeń radioelektrycznych w sieci w tym czasie. W tych godzinach skuteczność odczytów wynosiła 20 - 30 %.
2. W pozostałych godzinach doby skuteczność odczytów była na poziomie 70 - 90 %.
3. Zarejestrowano pojedyncze lokalizacje liczników, z którymi uzyskanie komunikacji było bardzo trudne i koncentrator nawiązywał z nimi poprawną komunikację raz na kilka dni w godzinach nocnych (ok. 1:00 - 4:00). Liczniki te były umieszczone na najwyższych piętrach, więc najdalej od koncentratora.

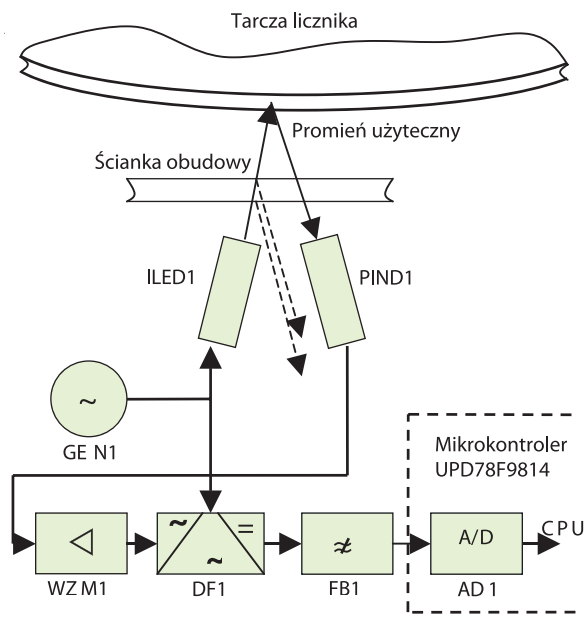
### 4. Głowica optyczna do odczytu informacji o zużyciu energii elektrycznej

W celu zapewnienia możliwości wykorzystania eksploatowanych już liczników indukcyjnych w systemach odczytowych skonstruowano specjalną głowicę optyczną. Dzięki temu stało się możliwe instalowanie przystawek komunikacyjnych przy eksploatowanych licznikach bez potrzeby ich demontażu lub ponownej legalizacji. Montaż głowicy polega na przyklejeniu jej na obudowie licznika w taki sposób, aby można było rejestrować ruch znaku barwnego na tarczy obrotowej licznika. Głowica jest podłączona do przetwornika analogowo-cyfrowego mikrokontrolera w przystawce. Możliwa jest oczywiście współpraca przystawki transmisyjnej z licznikami indukcyjnymi lub elektronicznymi wyposażonymi w interfejs elektroniczny, ale takich liczników praktycznie nie spotyka się w eksploatacji w gospodarstwach domowych.

Schemat blokowy głowicy optycznej przedstawiono na rys. 3. Rejestrację obrotów tarczy uzyskuje się poprzez umieszczenie na obudowie licznika zespołu optycznego składającego się z diody nadawczej podczerwieni ILED1 oraz diody odbiorczej podczerwieni typu PIN PIND1. Diody są tak umieszczone, aby promień nadawany przez diodę ILED1 odbijał się od krawędzi tarczy i wracał do diody PIND1. Kąt padania promienia nadawanego jest tak dobrany, aby zminimalizować wpływ częściowego odbicia promienia od ścianki obudowy licznika.

W celu zminimalizowania zakłóceń pochodzących od zewnętrznych źródeł promieniowania podczerwonego zastosowano sygnał z częstotliwością nośną. Dioda nadawcza ILED1 jest sterowana przebiegiem prostokątnym z generatora częstotliwości nośnej GEN1 8,6 kHz. Sygnał częstotliwości nośnej jest podany także na wejście odniesienia detektora fazoczułego DF1.

Sygnał odebrany przez diodę PIN PIND1 jest wzmacniany przez wzmacniacz prądu diody PIN WZM1.



Rys. 3. Schemat blokowy głowicy odczytowej  
Fig. 3. Block diagram of reading head

Następnie sygnał ze wzmacniacza jest poddany detekcji w detektorze fazoczułym DF1. Dzięki temu uzyskano odporność układu głowicy na zaburzenia zewnętrzne oraz zmianę oświetlenia tła. Po detekcji sygnał jest poddany filtracji w filtrze dolnoprzepustowym Bessele FB1 trzeciego rzędu o częstotliwości granicznej 500 Hz. Parametry pracy układu zostały tak dobrane, aby można było wykonać układ głowicy za pomocą tanich popularnych elementów elektronicznych, zastosowano diodę ILED1 IR333, diodę PIND1 SFH203FA, a część analogową wykonano na poczwórnym wzmacniaczu operacyjnym LM324.

Sygnał z filtru FB1 jest podany na wejście kompensacyjnego 10-bitowego przetwornika analogowo-cyfrowego AD1 znajdującego się w mikrokontrolerze typu UPD78F9418, który zarządza pracą przystawki transmisyjnej. Sygnał próbkowany jest z częstotliwością 300 Hz i po poddaniu obróbce programowej otrzymuje się informację o szybkości wirowania tarczy licznika. Po programowym scałkowaniu w czasie (zliczeniu obrotów tarczy) uzyskuje się informację cyfrową o zużytej energii elektrycznej.

Działanie głowicy optycznej przebadano na wybranych najpopularniejszych typach liczników energii elektrycznej. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Pomiary współpracy głowicy optycznej z wybranymi licznikami  
Tab. 2. Results of cooperation of the reading head with selected electricity meters

Licznik producent	$I_b(I_{max})(A)$ fazy	N(obr/kWh)	$f_{max}$ (Hz)	$U_{max}$ (V)	$U_{min}$ (V)
C52 PAFAL	10(40)3 fazy	120	0,92	2,21	1,67
C52 PAFAL	10(40)3 fazy	120	0,92	1,39	1,11
114KR1 ACTARIS	10(80)3 fazy	60	0,92	2,47	0,92
A55 PAFAL	10(40)1 faza	375	0,96	0,96	0,74
A52 PAFAL	10(40)1 faza	375	0,96	1,52	1,26
A52 PAFAL	10(40)1 faza	375	0,96	2,04	1,60
A52 PAFAL	10(40)1 faza	375	0,96	1,76	1,53
A49U ACTARIS	10(60)1 faza	375	1,44	1,47	0,98
M2XS6V2 ACTARIS	10(60)1 faza	400	1,53	2,86	1,18
M2XS6V2 ACTARIS	10(60)1 faza	400	1,53	2,83	1,31

Przedstawiono tam następujące dane:

- $I_b(I_{max})$  – prąd bazowy licznika, prąd maksymalny licznika oraz liczba faz licznika,  
 $N$  – stała licznika, czyli liczba obrotów tarczy na 1 kWh,  
 $f_{max}$  – maksymalna prędkość obrotowa tarczy licznika,  
 $U_{max}$  – maksymalne napięcie zmierzone przetwornikiem analogowo-cyfrowym odpowiadające polu jasnemu tarczy,  
 $U_{min}$  – minimalne napięcie zmierzone przetwornikiem analogowo-cyfrowym odpowiadające przejściu znaku barwnego na tarczy pod głowicą.

Napięcia  $U_{max}$  i  $U_{min}$  przedstawione w tabeli wyznaczono ze wzoru:

$$U = \frac{U_{ref} \cdot x}{1023} \quad (2)$$

gdzie  $U_{ref} = 5$  V oznacza napięcie odniesienia przetwornika analogowo-cyfrowego, a  $x$  – wartość odczytaną z przetwornika A-C.

Maksymalną prędkość obrotową tarczy licznika wyznaczono ze wzoru:

$$f_{max} = \frac{I_{max} \cdot U_n \cdot N}{3600000} \quad (3)$$

gdzie  $U_n = 230$  V.

Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że głowica poprawnie współpracowała z przedstawionymi najpopularniejszymi typami liczników. W ten sposób wykazano możliwość wykorzystania istniejącej bazy zainstalowanych liczników energii elektrycznej do budowy systemu automatycznych odczytów ich wskazań.

## 5. Wnioski i koncepcja rozwojowa

Badania opisanego systemu pomiarowego oraz inne prace nad transmisją PLC prowadzone przez autorów [4, 5] wykorzystano przy budowie następnej wersji systemu, która obecnie jest w opracowaniu.

Istotny wpływ na jakość systemu ma zastosowany sposób transmisji danych PLC. W opisywanym systemie zastosowano transmisję z modulacją FSK, która jest podatna na zakłócenia występujące w sieci energetycznej. Wybrany układ korzystał z częstotliwości nośnej 132 kHz w paśmie C. Jest to relatywnie duża częstotliwość podlegająca silnemu tłumieniu przez sieć energetyczną, szczególnie przy transmisji poza budynkami, gdyż pasmo C wg PN-EN 50065 [1] jest przeznaczone do transmisji wewnątrz budynków. Dlatego do następnej wersji systemu wybrano pasmo A, przeznaczone do transmisji poza budynkami do celów automatyzacji odczytów. Wykorzystano częstotliwo-

ści w zakresie 20–80 kHz, które są słabiej tłumione w sieci energetycznej. Zmieniono także sposób modulacji sygnału na modulację z rozproszonym widmem, co zapewnia większy zasięg i większą odporność na zakłócenia.

Drugim istotnym czynnikiem wpływającym na jakość systemu jest przyjęta konfiguracja. W badanym systemie przyjęto konfigurację *master-slave*, czyli bezpośrednią wymianę danych między koncentratorem a licznikami. Stwierdzono istnienie lokalizacji, z którymi nawiązanie transmisji było bardzo trudne. Z topografii budynku wynikało, że zawsze między miejscami o utrudnionej komunikacji a koncentratorem znajdowały się inne liczniki. Oczywiście staje się wykorzystanie innych liczników do retransmisji danych z liczników położonych dalej od koncentratora. W ten sposób w opracowywanym obecnie systemie przyjęto zasadę retransmisji danych przez liczniki położone bliżej koncentratora. Dzięki temu koncentrator może być umieszczony w rozdzielni lub stacji transformatorowej i może obsługiwać wszystkie liczniki zasilane z tej stacji.

Koncepcja retransmisji danych w takim systemie pomiarowym jest zbieżna z ideą bezprzewodowych sieci sensorowych (*wireless sensor networks*), które ostatnio są intensywnie rozwijane [6]. Szczególnie istotne w systemach sieci sensorowych są metody trasowania drogi transmisji. W budowanym systemie spotykamy się z podobnymi problemami, niemniej system wykorzystujący transmisję PLC różni się od bezprzewodowych sieci sensorowych. Nie występuje tu problem ograniczenia mocy (zasilanie sieciowe) oraz nie ma ruchliwości węzłów sieci. Natomiast jak wynika z przeprowadzonych badań, występuje problem zmiany zasięgu sygnału zależnie od poziomu zakłóceń w sieci. Ze względów ekonomicznych istotne jest nadal stosowanie tanich i prostych mikrokontrolerów. Te czynniki będą miały wpływ na opracowanie algorytmów routingu.

## 6. Literatura

1. PN-EN 50065:2002 *Transmisja sygnałów w sieciach elektrycznych niskiego napięcia w zakresie częstotliwości od 3 kHz do 148,5 kHz*.
2. ST7537 *Home Automation Modem*. ST – Microelectronics 1994.
3. PN-EN 61107:2002 *Wymiana danych odczytu licznika, taryf i sterowania mocą – Bezpośrednia lokalna wymiana danych*.
4. J. Suchanek, *Transmisja danych w energetycznej sieci zasilającej*, Materiały konferencji PWT, s. 193–197, Politechnika Poznańska, Poznań 2003.
5. J. Suchanek, W. Nawrocki, *System pomiarowy z transmisją danych w wydzielonej sieci zasilającej*, Materiały konferencji PWT, s. 242–246, Politechnika Poznańska, Poznań 2004.
6. A. Hać, *Wireless Sensor Network Design*, John Wiley & Sons, 2003. ■