

Andrzej BIENÍ, Andrzej WETULA
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
Wydział EAIiB

CZUJNIK NAPIĘCIA DO ZASTOSOWANIA W ZDALNYCH SYSTEMACH POMIARU PARAMETRÓW ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Praca przedstawia konstrukcję oraz wyniki wstępnych badań czujnika napięcia przeznaczonego do instalacji bezpośrednio na przewodzie pod napięciem. Wyniki testów laboratoryjnych pokazują, że czujnik działa zgodnie z założeniami, jednak wymaga dalszych prac z systemem transmisji danych.

VOLTAGE SENSOR FOR APPLICATION IN REMOTE ELECTRIC ENERGY PARAMETERS MEASUREMENT SYSTEMS

Paper presents a construction and results of preliminary experiments with a voltage sensor designed for installation on a live wire. Results show that the sensor operates as intended but requires improvements to a data transmission system.

1. WSTĘP

Pomiar parametrów energii elektrycznej wymaga dostosowania wartości napięcia mierzonego do zakresu wymaganego przez scalone przetworniki pomiarowe oraz zapewnienie bezpieczeństwa. Najpopularniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie przekładników indukcyjnych lub pojemnościowo-indukcyjnych. Układy takie charakteryzują się dużymi wymiarami i masą oraz ograniczonym pasmem przenoszenia. W związku z tym prowadzone są prace nad przetwornikami napięcia o mniejszych rozmiarach i szerszym paśmie przenoszenia [1][2]. Prezentowane rozwiązanie zawiera przetworniki mogące współpracować z przetwornikami prądowymi zainstalowanymi na przewodzie roboczym pod napięciem takimi jak zaprezentowane w pracach [3][4], tworząc system do zbierania danych pomiarowych instalowany w całości na przewodzie pod wysokim napięciem.

2. KONSTRUKCJA CZUJNIKA

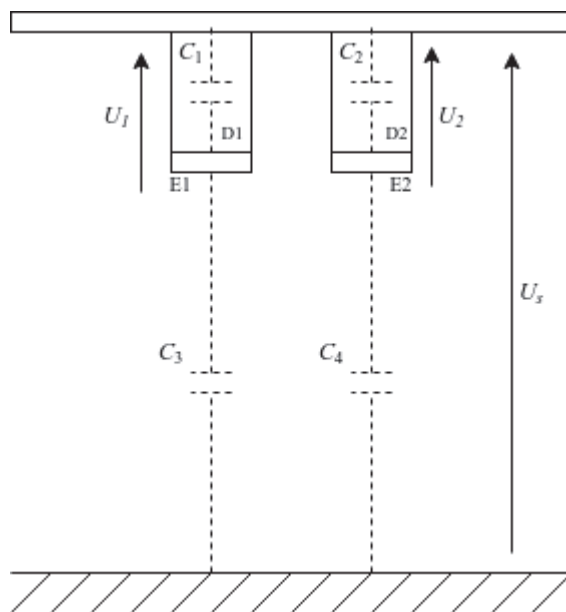
Proponowaną konstrukcję czujnika przedstawia rysunek 1. Czujnik jest zbudowany z dwóch elementów nieprzewodzących D1, D2 przymocowanych jedną stroną do przewodu pod napięciem, a drugą do odseparowanych od siebie metalowych elementów (elektrod) E1, E2. Zakładając pomijalnie wysoką rezystancję elementów dielektrycznych, z punktu widzenia odczytu napięcia mierzonego układ można modelować jako dwa dzielniki pojemnościowe których elementy C_1 - C_4 zaznaczono na rysunku linią przerywaną. Konstruując elementy D1, D2, E1, E2 o takich samych wymiarach i umieszczając elementy D1 i D2 możliwie blisko siebie można uzyskać niemal identyczne wartości pojemności C_3 i C_4 między elektrodami a otoczeniem, co pozwala zapisać: $C_3 = C_4 = C_d$. Tym samym napięcia wyjściowe U_1 i U_2 opisują uproszczone równania:

$$U_1 = U_s \frac{C_1}{C_1 + C_d}, \quad (1)$$

$$U_2 = U_s \frac{C_2}{C_2 + C_d}. \quad (2)$$

W powyższych równaniach wartości C_1 i C_2 są znane a wartości U_s oraz C_d podlegają wyznaczeniu. Tym samym proponowany czujnik pozwala odczytywać poprawne wartości napięcia bez konieczności

kalibrowania w miejscu instalacji. Dodatkowo możliwe jest analizowanie zachowania mechanicznego linii poprzez śledzenie zmian pojemności C_d .



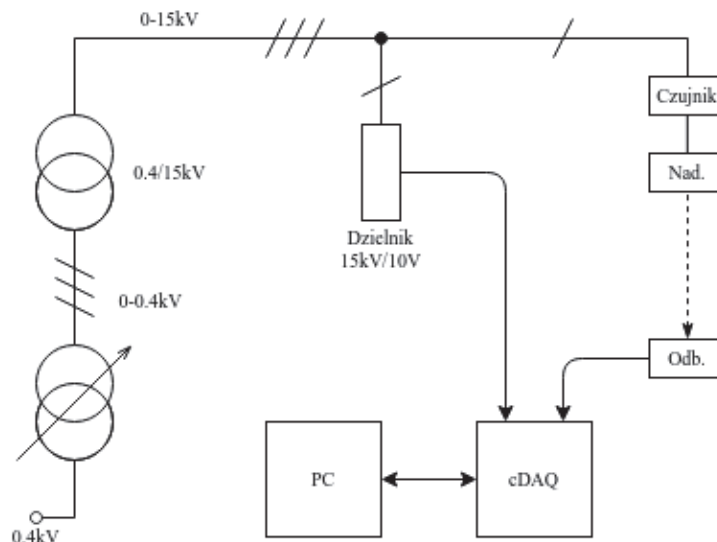
Rys.1. Proponowana konstrukcja czujnika z zaznaczonymi istotnymi pojemnościami i napięciami.
Fig.1. Proposed sensor construction with important capacitances and voltages marked.

Układ równań (1) i (2) jest poprawnie określony tylko wtedy gdy zachodzi $C_1=C_2$. Dla uzyskania $C_3=C_4$ konieczne jest zachowanie takich samych wymiarów elementów D1 i D2. Oznacza to że jedynym sposobem zróżnicowania pojemności C_1 i C_2 jest zróżnicowanie współczynników przenikalności materiałów. Należy zatem elementy D1 i D2 wykonać z materiałów dielektrycznych o możliwie różnych współczynnikach przenikalności.

3. EKSPERYMENT

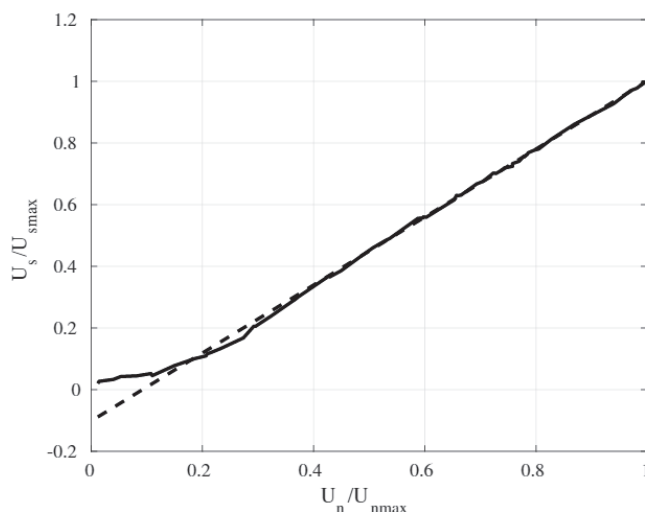
Przeprowadzony eksperyment miał na celu weryfikację podstawowych właściwości czujnika. Prototyp zbudowano z cylindrycznych elementów o długości i średnicy 15mm, wykonanych z tetrafluoroetyleny (teflonu) o $\epsilon=2,1$ oraz poliksymetyleny (POM) o $\epsilon=3,7$. Taki dobór materiałów był podyktowany faktem, że są to powszechnie dostępne i łatwe w obróbce materiały dielektryczne o mocno zróżnicowanych współczynnikach przenikalności elektrycznej. Dla uproszczenia montażu na szynie pod napięciem obydwie elementy zostały przyklejone do blachy aluminiowej o wymiarach 30 na 50mm i grubości 1mm. Elektrody E1 i E2 zrealizowano przez naklejenie na końcach elementów dielektrycznych samoprzylepnej folii miedzianej, do której następnie przylutowano przewody pozwalające podłączyć układ rejestracji napięć. Układ ten składał się z pary wzmacniaczy o wysokiej impedancji wejściowej, stanowiących bufor dla przetwornika analogowo-cyfrowego. Zastosowano 10-bitowy przetwornik wbudowany w mikrokontroler służący jednocześnie do transmisji danych. Rozwiązanie takie jest niedoskonałe z metrologicznego punktu widzenia, jednak celem eksperymentu nie było uzyskanie maksymalnej dokładności. Cały układ był zasilany z pary baterii 6F22, przy czym masa układu znajdowała się na szynie pod napięciem. Pozwoliło to w łatwy sposób uzyskać dodatnie i ujemne napięcie dla zasilania wzmacniaczy, przy jednoczesnym zagwarantowaniu separacji galwanicznej układu. Do transmisji danych wykorzystano parę światłowodów z tworzywa sztucznego, przesyłając nimi bezpośrednio sygnały interfejsu SPI. Po stronie odbiorczej sygnały były dostarczane do procesora, który odpowiadał za identyfikację kolejnych próbek z poszczególnych kanałów i przekazanie do systemu akwizycji danych. System ten jednocześnie rejestrował sygnały analogowe z

dzielników napięcia stanowiska. Całość zainstalowano w rozdzielni eksperymentalnej SN, wyposażonej w możliwość kontroli napięcia i precyzyjne dzielniki rezystancyjne (niepewność 1% w paśmie do 1MHz). Schemat blokowy kompletnego stanowiska przedstawia rysunek 2.



Rys.2. Schemat stanowiska laboratoryjnego użytego do przeprowadzenia eksperymentów
Fig.2. Schematic diagram of a laboratory setup used for conducting experiments

Rejestrowano sygnały z szynoprzewodu, na którym został zainstalowany czujnik oraz jednocześnie z dzielnika napięcia przetwarzającego napięcie na tym samym szynoprzewodzie. Analiza widmowa odbieranego sygnału wykazała pojawienie się w nim drugiej harmonicznej, nie występującej w mierzonym napięciu. Sugeruje to występowanie nieliniowości toru przetwarzania. W związku z tym zmieniając napięcia w zakresie 0-4 kV wyznaczono charakterystykę tego toru. Jest ona przedstawiona na rysunku 3.



Rys.3. Wyznaczona (linia ciągła) oraz interpolowana (linia przerywana) charakterystyka czujnika dla zakresu 0-4kV
Fig.3. Measured (solid line) and interpolated (dashed line) sensor characteristic for range 0-4kV

Charakterystyka ta pokazuje, że układ jest liniowy dopiero powyżej 1,5kV. Dodatkowe badania przeprowadzone przy niskim napięciu potwierdziły, że źródłem nieliniowości są wzmacniacze systemu transmisji danych.

4. PODSUMOWANIE

W publikacji zaprezentowano konstrukcję czujnika napięcia przeznaczonego do wykorzystania jako element niezależnego, zdalnego systemu pomiaru parametrów energii elektrycznej. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdzają poprawne działanie czujnika. Stwierdzono, że czujnik zachowuje liniowość dla napięć mierzonych powyżej 1,5 kV, a nieliniowość poniżej tej wartości wynika najprawdopodobniej z niedoskonałości systemu transmisji danych oraz uproszczeń w analizie rozkładu pojemności.

LITERATURA

1. Simkin D. C., Gerrard A., Gibson J. R., Jones G. R, Holt L. Measurements of power system voltages using remote electric field monitoring. IEE Proceedings online no 19981930.
2. Falvo M. C., Grasselli U., Lamedica R., Lampasi D. A., Maranzano G., Podest'a L.: PQ Events Measurement in an Electrified Metro-Transit System, IVT Influence Analysis. 9th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems KTH, Stockholm, Sweden, June 11-15 2006.
3. Campbell B., Dutta P.: Gemini: A Non-invasive, Energy-Harvesting True Power Meter, 2014 IEEE Real-Time Systems Symposium, Rome 2014
4. Wang W., Huang X., Tan L., Guo J., Liu H.: Optimization Design of an Inductive Energy Harvesting Device for Wireless Power Supply System Overhead High-Voltage Power Lines, MDPI Energies, 9(4), 242, 2016