

Artur SZCZĘSNY, Krzysztof PACHOLSKI

INSTYTUT ELEKTROTECHNIKI TEORETYCZNEJ, METROLOGII I MATERIAŁOZNAWSTWA POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ

Nowy sposób minimalizacji błędów przetwarzania elektronicznych przekładników prądowych

Mgr inż. Artur SZCZĘSNY

Urodził się w 1979 r. w Łodzi (Polska). Ukończył 5-cio letnie studium magisterskie na Wydziale Elektrotechniki i Elektroniki Politechniki Łódzkiej, w specjalności Automatyka i Metrologia Elektryczna. Obecnie pracuje w Instytucie Elektrotechniki Teoretycznej, Metrologii i Materiałoznawstwa P. Ł. Tematem jego zainteresowań i pracy naukowej jest zastosowanie elektronicznych przekładników prądowych do przetwarzania sygnałów odkształconych.



e-mail: aszczesny@o2.pl

Dr hab. inż. Krzysztof PACHOLSKI

Jest pracownikiem Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej, obecnie zatrudniony jest na stanowisku profesora nadzwyczajnego w Zakładzie Metrologii Elektrycznej i Elektrotechniki Samochodowej. Jest autorem ponad 90 referatów i artykułów naukowych krajowych i zagranicznych. Główne zainteresowania naukowe to wpływ sygnałów odkształconych na właściwości metrologiczne przetworników pomiarowych wielkości elektrycznych.



e-mail: kpacholski@o2.pl

Streszczenie

Wyniki analizy właściwości przekładników elektronicznych wykazały, że w paśmie częstotliwości, w którym przekładnik jest wspomagany elektronicznie, wartości błędów przetwarzania, są mniejsze w porównaniu z błędami przekładnika pracującego bez wspomagania. Zdaniem autorów, najbardziej wydajnym sposobem minimalizacji błędów przekładników, jest prezentowany w referacie sposób wykorzystujący dynamiczną redukcję impedancji obwodu kompensującego strumień magnetyczny w rdzeniu, pozwalający na rozszerzenie pasma pracy bloku elektronicznego bez ingerencji w ich strukturę wewnętrzną.

Słowa kluczowe: elektroniczny przekładnik prądowy, impedancja aktywna.

New method, of the minimization of the electronic current transducer processing errors

Abstract

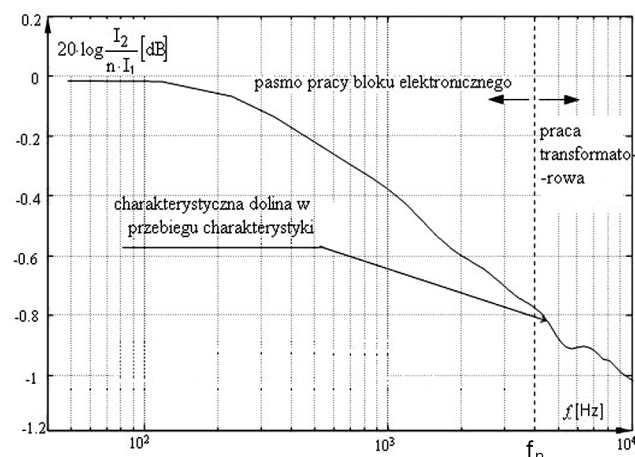
Verified with laboratory-research the results of analysis the basis of function showed that transducers aided electronically can processing the de-formed current at the frequency to belong to the band of work of electronic block controlling of the compensation circuit of the stream in the core. A reason of limitation the band of work of this block is the saturation two transistors, determining the power output-degree the electronic block of transducer. The method permissive on the reduction of deviations put in by transducers helped electronically without the interference into its structure is not exist till now. In opinion of authors, a most effective method of correction of errors, is presented in paper the method which used dynamic reduction of the impedance of the circuit compensating. Presented below the method of the minimization of electronic transducers errors can be use for accessible on the market of system without the intervention into their internal structure.

Keywords: electronic current transducer, active impedance.

1. Wstęp

Istotą pracy prądowych przekładników elektronicznych jest kompensacja strumienia magnetycznego w rdzeniu. Właściwości metrologiczne tych przekładników, przy przetwarzaniu sygnałów sinusoidalnych i odkształconych, określa stan pracy ich układu. Analizując przebieg charakterystyk częstotliwościowych błęd prądowego oraz błędu kąтового produkowanych obecnie przekładników elektronicznych [1, 2, 3], można stwierdzić, że w zakresie pasma częstotliwości, w którym pracuje blok elektroniczny wartości wymienionych błędów są mniejsze w porównaniu z błędami przekładnika pracującego bez wspomagania elektronicznego. Niezależnie od przebiegu mierzonego prądu, przyczyną ograniczenia pasma przetwarzania tego bloku jest nasycenie wyjściowego stopnia mocy, co zostało wyjaśnione przez autorów w pracach [4, 5, 6].

Wpływ nasycenia układu elektronicznego na pracę przekładnika prądowego typu LA 25-NP/SP13 ilustruje przebieg charakterystyki częstotliwościowej przedstawionej na rys. 1.



Rys. 1. Charakterystyka częstotliwościowa przekładnika LA 25NP/SP13
Fig. 1. Frequency characteristic of transducer type LA 25NP/SP13

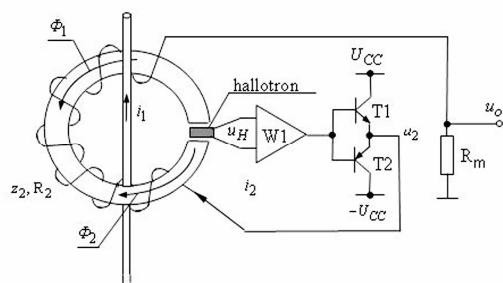
Nasycenie wyjściowego stopnia mocy bloku elektronicznego powoduje, że w przebiegu charakterystyki częstotliwościowej prądowych przekładników elektronicznych występuje charakterystyczna dolina, która ogranicza od góry pasmo pracy, w którym przekładnik jest wspomagany elektronicznie. Dla sygnałów, których częstotliwość jest większa od częstotliwości „doliny” przekładnik pracuje jako klasyczny transformator prądu [7].

Stosowane dotychczas sposoby polepszenia właściwości metrologicznych przekładników elektronicznych opisano w pracy [8]. Opierały się one na zmianach w konstrukcji cewki kompensacyjnej w celu redukcji jej indukcyjności rozproszenia. Największą wadą znanych sposobów minimalizacji błędów jest konieczność zmian konstrukcyjnych istniejących układów, które mogą być realizowane jedynie na etapie projektu i produkcji przekładników. Mankamenty wymienionych sposobów minimalizacji błędów przekładników elektronicznych, przedstawionych w opracowaniu [8], autorzy referatu wyeliminowali w prezentowanym poniżej rozwiązaniu.

2. Minimalizacja błędów przetwarzania przekładników elektronicznych

W układach przekładników elektronicznych wyjściowy stopień mocy tworzy komplementarna para tranzystorów T_1 i T_2 (rys. 2).

Dla prądu pierwotnego i_1 , którego częstotliwość jest mniejsza od częstotliwości granicznej f_n (rys. 1), elektroniczny blok przekładnika pracuje liniowo, a wyjściowy stopień mocy (tranzystory T_1 i T_2 – rys. 2) jest wzmacniaczem transkonduktacyjnym wymuszającym przepływ prądu i_2 w cewce kompensującej strumień magnetyczny w rdzeniu przekładnika. Wraz ze zwiększeniem częstotliwości prądu pierwotnego wzrasta spadek napięcia na szeregowym połączeniu uzwojenia kompensującego z_2 i rezystora pomiarowego R_m (rys. 2). Gdy częstotliwość prądu i_1 będzie równa f_n spadek ten osiągnie wartość, przy której tranzystory wyjściowe elektronicznego bloku przekładnika znajdują się na granicy pracy aktywnej. Wzrost częstotliwości prądu i_1 ponad wartość f_n spowoduje nasycenie tych tranzystorów. Schemat układu przekładnika elektronicznego przedstawiono na rys. 2.

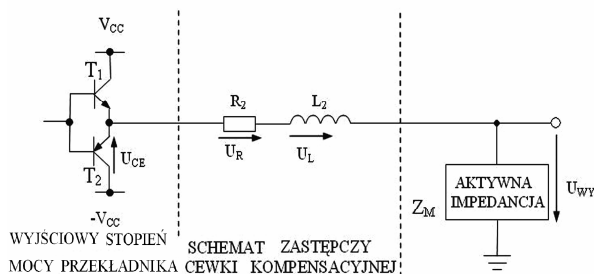


Rys. 2. Schemat ilustrujący działanie przekładnika z kompensacją strumienia w rdzeniu

Fig. 2. The schematic diagram illustrative the work of transducer with the compensation of the stream in the magnetic core

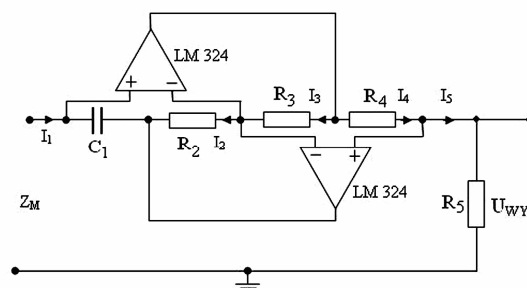
Opracowany przez autorów referatu sposób minimalizacji błędów przekładników elektronicznych, polega na zastąpieniu wyjściowego opornika pomiarowego, impedancją aktywną Z_M , której wartość zmienia się wraz z częstotliwością prądu pierwotnego. Zmiany wartości tej impedancji następują w taki sposób, że impedancja wypadkowa szeregowego połączenia cewki kompensacyjnej o rezystancji R_2 i indukcyjności L_2 oraz impedancji Z_M ma stałą wartość w założonym zakresie zmian częstotliwości prądu pierwotnego. Dzięki temu stopień wyjściowy mocy bloku elektronicznego, który w rzeczywistym układzie stanowi komplementarna para tranzystorów T_1 i T_2 (rys.3), nie będzie nasycany. Realizacja fizyczna układu korekcyjnego polega na dołączeniu do wyjścia przekładnika obciążenia aktywnego o charakterze pojemnościowym, którego reaktancja zmienia się w funkcji częstotliwości w taki sposób że:

- 1) redukuje wzrost reaktancji cewki kompensującej przy wzroście częstotliwości prądu pierwotnego,
- 2) nie zwiększa zastępczej stałej czasowej obciążenia wyjściowego stopnia mocy elektronicznego bloku przekładnika.



Rys. 3. Sposób dołączenia obciążenia aktywnego do wyjścia przekładnika
Fig. 3. The method of the addition of the active load to the output of transducer

Zastosowanie nowej metody minimalizacji błędów nie wymaga ingerencji w strukturę bloku elektronicznego przekładnika. Należy jednak pamiętać, że sygnał wyjściowy i duża wartość pojemności dołączonej do wyjścia przekładnika spowodować może zwiększenie stałej czasowej obwodu obciążającego blok elektroniczny przekładnika, czego konsekwencją jest wydłużenie czasu ustalania się sygnału na wyjściu przekładnika. Obciążeniem aktywnym Z_M które nie zwiększa stałej czasowej obwodu cewki kompensującej jest układ żyratorowy przedstawiony na rysunku 4 [9, 10, 11].



Rys. 4. Żyratorowe obciążenie aktywne przekładnika
Fig. 4. Gyrator active load of transducer

Wypadkowy moduł impedancji układu z rys. 4 wyliczyć można z zależności:

$$Z_M = \frac{1}{\omega C_1} \frac{R_3 \cdot R_5}{R_2 \cdot R_4}, \quad (1)$$

gdzie:

C_1, R_2, R_3, R_4 i R_5 - elementy biernie układu z rys. 4.

Z zależności tej wynika, że za pomocą przedstawionego układu uzyskać można odpowiednią reaktancję pojemnościową, której wartość będzie się zmieniała w funkcji częstotliwości w przedziale mniejszych wartości w porównaniu z wartościami uzyskanymi za pomocą pojemności pasywnej.

Z badań symulacyjnych wynika, że w zadanym przedziale pulsacji prądu pierwotnego i_1 wartość pojemności C_1 oraz wartości rezystancji oporników R_2, R_3, R_4 i R_5 muszą być tak dobrane aby:

$$|Z_M(\omega) + Z_L(\omega)| \leq R_{OM}, \quad (2)$$

gdzie:

R_{OM} - maksymalna wartość rezystancji obciążenia dopuszczana przez producenta dla danego typu przekładnika,

Z_L - moduł impedancji obwodu cewki kompensacyjnej,

Z_M - oznacza moduł impedancji zastępczej układu żyratorowego z rys. 4.

Prawidłowy dobór pojemności C_1 wymaga znajomości wartości indukcyjności L_2 uzwojenia kompensującego przekładnika. Do tychczas producenci w materiałach katalogowych nie podają wartości tego parametru. Z tego względu wartość indukcyjności L_2 uzwojenia kompensującego wyznaczono doświadczalnie. W badaniach laboratoryjnych wykorzystano przekładnik typu LA 55P, zamknięty w niehermetycznej obudowie, którą można łatwo zdemontować. Dzięki temu zmierzono za pomocą mostka laboratoryjnego wartość indukcyjności L_2 uzwojenia kompensującego, która dla badanego przekładnika była równa 22,3 mH. Ze względu na fakt, że mostek pozwalał na wyznaczenie wartości indukcyjności L_2 sygnałem sinusoidalnym o częstotliwości równej

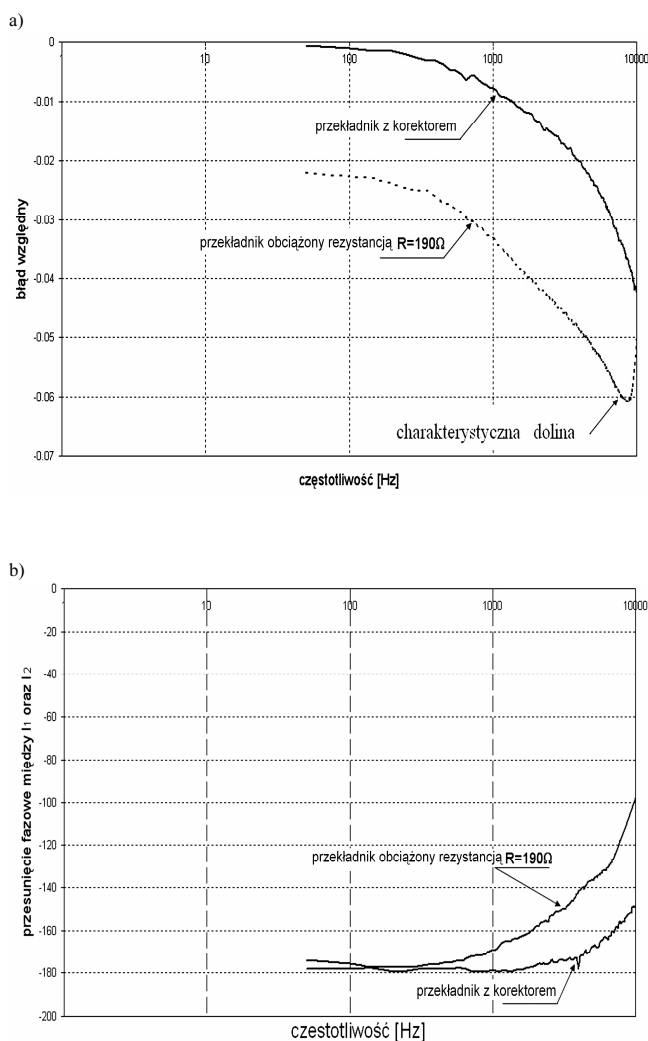
1kHz, wartość modułu impedancji zastępczej Z_L wyznaczono także dla tej częstotliwości i jest ona równa:

$$Z_L = 2\pi f L_2 = 2\pi \cdot 10^3 \cdot 0,0223 = 140,1\Omega, \quad (3)$$

gdzie:

Z_L - moduł impedancji odvodu cewki kompensacyjnej,
 L_2 - indukcyjność cewki kompensującej strumień magnetyczny w rdzeniu.

Spełniającą zależność(2), wartość modułu impedancji zastępczej $|Z_M| \approx 160\Omega$, uzyskać można gdy jego elementy bierne mają następujące wartości: $C_1=1000\mu\text{F}$, $R_2=5\Omega$, $R_3=40\Omega$, $R_4=8\Omega$, $R_5=100\Omega$. Pozwala to na zwiększenie szerokości częstotliwościowego pasma pracy przekładnika wspomaganego elektronicznie. Świadczy o tym przebieg charakterystyk przedstawionych na rys. 5. Na rysunku tym przedstawiono charakterystyki częstotliwościowe błędów prądowego i kąтового przekładnika typu LA25 NP.



Rys. 5. Charakterystyki częstotliwościowe błędów przekładnika typu LA25 NP wyznaczone dla $I_1=10\text{A}$; a) prądowego, b) kąтового

Fig. 5. The frequency characteristics of transducer error LA25 NP type for $I_1=10\text{A}$; a) the amplitude error, b) the phase error

W trakcie badań do wyjścia przekładnika dołączone było aktywne obciążenie żyratorowe wykorzystujące wzmacniacz operacyjny LM 324. Napięciowy sygnał przekładnika z korektorem na wyjściu mierzono na rezystorze R_5 (rys. 4). Wartość tego rezystora

tak dobrano, aby wartość skuteczna napięcia wyjściowego przekładnika u_0 , przy nominalnej wartości skutecznej prądu wtórnego i_2 przekładnika równej 25mA, była równa 2,5 V.

Przebieg charakterystyk z rys. 5 stanowi dowód przydatności obciążenia żyratorowego do minimalizacji błędów przekładników elektronicznych z kompensacją strumienia w rdzeniu. Dołączenie do wyjścia przekładnika układu żyratorowego powoduje przesunięcie doliny rozgraniczającej stany pracy przekładnika w kierunku wyższych częstotliwości. Oznacza to, że aktywne obciążenie żyratorowe zwiększa szerokość częstotliwościowego pasma przetwarzania bloku elektronicznego prądowego przekładnika z kompensacją strumienia w rdzeniu, w którym błędy przetwarzania mają mniejsze wartości.

3. Wnioski

Właściwości metrologiczne przekładników elektronicznych z kompensacją strumienia w rdzeniu polepszyć można zastępując pomiarowe obciążenie rezystancyjne, obciążeniem aktywnym o charakterze pojemnościowym, w postaci układu żyratorowego. Rozwiązanie takie pozwala na zwiększenie szerokości częstotliwościowego pasma pracy bloku elektronicznego przekładników, gdy moduł reaktancji zastępczej obwodu kompensacyjnego przekładnika zawiera się w granicach maksymalnej rezystancji obciążenia zalecanej przez producentów przekładników. Do wyznaczenia wartości tej reaktancji niezbędna jest znajomość indukcyjności uzwojenia kompensującego strumień magnetyczny w rdzeniu. Wartość tej indukcyjności w funkcji częstotliwości producenci przekładników wspomaganego elektronicznie powinni podawać w materiałach katalogowych.

4. Literatura

- [1] Current and Voltage Transducers for Industrial Applications, LEM 2004.
- [2] Isolated Current and Voltage Transducers. Characteristics, Applications, Calculations, LEM 2004.
- [3] LTSR: ASIC Based Closed-Loop Transducers from 6A up to 25A nominal with reference access, LEM 2003.
- [4] K. Pacholski, Z. Kuśmerek, A. Szczęsny, J. Piwowarczyk: Utilization of electronic trasducers for measuring current and voltage in the power electronic system. Proceedings of the 8th International Conference „Electrical Power Quality and Utilisation, Kraków 2005.
- [5] K. Pacholski, Z. Kuśmerek, A. Szczęsny, J. Piwowarczyk: Utilization of electronic trasducers for measuring current and voltage in the power electronic system. Proceedings of the 8th International Conference „Electrical Power Quality and Utilisation, Kraków 2005.
- [6] K. Pacholski, Z. Kuśmerek, A. Szczęsny, J. Piwowarczyk: Wpływ sygnałów okształconych na właściwości elektronicznych przekładników prądowych. XXXVII MKM, Zielona Góra 2005.
- [7] Starczakow W.: Przekładniki. Państwowe Wydawnictwo Techniczne, Warszawa 1959.
- [8] J. Łostowiecki: Układy pomiarowe prądu w energoelektronice. Centralny Ośrodek Szkolenia i Wydawnictw SEP, Warszawa 2003.
- [9] P. Horowitz i W. Hill: Sztuka elektroniki cz.1
- [10] M. Nadachowski, Z. Kulka: Analogowe układy scalone, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1979.
- [11] J. Pawłowski: Podstawowe układy elektroniczne. Wzmacniacze i generatory. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 1975.