

WPLYW OPÓŹNIENIA WNOSZONEGO PRZEZ SZEREGOWY ODCZYT KANAŁÓW PRZETWORNIKA A/C STEROWNIKÓW PLC NA DOKŁADNOŚĆ OBLICZEŃ MOCY CZYNNEJ I BIERNEJ

Krzysztof LUDWINEK¹, Piotr MAKARSKI², Karol CIENCIAŁA³

1. Politechnika Świętokrzyska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
tel.: 41 342-46-83, e-mail: k.ludwinek@tu.kielce.pl
2. Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Inżynierii Produkcji
tel.: 81 531-97-47, e-mail: piotr.makarski@up.lublin.pl
3. „Automatica” Karol Cienciała w Kielcach
tel.: 41 241-24-01, e-mail: karol.cienciala@automatica.com.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono wpływ opóźnienia spowodowanego pracą multiplexera wejściowego przetwornika A/C na dokładność pomiaru mocy czynnej i biernej. Analizę błędów pomiaru mocy czynnej i biernej (wynikającej z przesunięcia fazowego składowych podstawowych napięcia i prądu) przeprowadzono dla prądu i napięcia jednej fazy podczas zasilania silnika indukcyjnego klatkowego w stanie biegu jałowego. Badania eksperymentalne przeprowadzono dla sumarycznego czasu opóźnienia zmieniającego się od 0,35 μ s do 2 ms.

Słowa kluczowe: przetwornik A/C, czas przetwarzania, czas opóźnienia, sterownik PLC, moc czynna i bierna.

1. WPROWADZENIE

Duży wybór kompaktowych i modułowych przemysłowych sterowników PLC i różnorodność ich zastosowania z jednoczesnym łatwym sposobem ich programowania (najczęściej w języku drabinkowym - LD) powoduje, że urządzenia te stosowane są nie tylko do zabezpieczeń, czy sterowania procesem załączania i wyłączania urządzeń elektrycznych, ale również w monitoringu na przykład do pomiaru wielkości elektrycznych i mechanicznych takich jak napięcia, prądy, moce chwilowe, moce czynne i bierne, momenty mechaniczne, prędkość kątowna (obrotowa) itp. Najłatwiej mierzy się te wielkości stosując czujniki pomiarowe wykorzystując technikę analogową, a następnie uzyskane informacje zamienia się na postać cyfrową wykorzystując w tym celu przetworniki analogowo-cyfrowe [1-6]. Na rynku istnieje bogata oferta przetworników analogowo-cyfrowych (A/C) [1-6]. Większość z nich jest wbudowana w kompaktowe sterowniki PLC lub dostarczana w postaci dodatkowych tzw. modułów rozszerzeń dołączonych do sterowników PLC [1, 2]. Zastosowanie przetworników A/C w technice pomiarowej zdecydowanie ułatwiło: pomiar sygnałów ciągłych, gromadzenie danych, diagnostykę i serwis. Ich głównym zadaniem jest przetwarzanie sygnału analogowego o określonym poziomie napięciowym lub zakresie prądowym, na odpowiadający im sygnał (liczbę) w postaci cyfrowej o określonej rozdzielczości.

Przykładowo, przetwornik 8 bitowy (8b) posiada rozdzielczość 256 poziomów, natomiast 12b posiada rozdzielczość 4096 poziomów itp. Jednym z ważniejszych parametrów przetworników A/C jest czas przetwarzania (próbkowanie - kwantowanie - kodowanie) [4-6]. Najczęściej mierzone sygnały napięciowe lub prądowe gromadzone są w pamięci sterownika PLC lub gromadzone są globalnie w postaci bazodanowych. W tabeli 1 podano kilka przykładowych typów przetworników PLC wraz z ich czasem przetwarzania i rodzajem wejść pomiarowych (równoległy lub multipleksowany).

Tabela 1. Zestawienie czasów przetwarzania i rodzaju wejść pomiarowych przetworników PLC

Typ	Czas przetwarzania	Rodzaj wejść	Producent
Q64AD	80 μ s	Multipleksowany	Mitsubishi
CJ1W-MAD42	500/1000 μ s	Multipleksowany	Omron
CJ1W-MAD11	2 ms	Multipleksowany	Omron
CJ1W-AD042	20 μ s – 1 kan. 25 μ s – 2 kan. 30 μ s – 3 kan. 35 μ s – 4 kan.	Równoległy	Omron
EL3356-0010 XFC	100 μ s	Równoległy	Beckhoff
EPM-S406	240 μ s	Równoległy	Lenze
031-1BD70	480 μ s	Równoległy	Vipa
6ES7231-4HD32-0XB0	625 μ s	Równoległy	Siemens
EL3004	625 μ s	Równoległy	Beckhoff

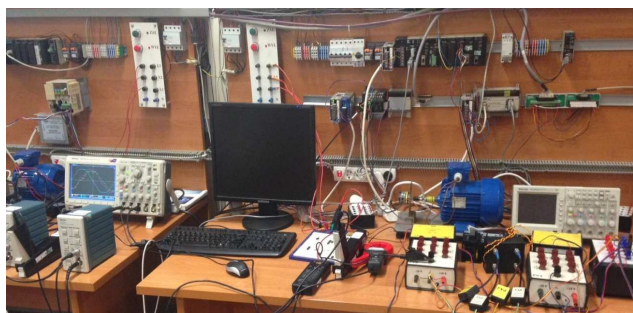
W przypadku równoległych wejść pomiarowych przetwornika A/C, dłuższy czas przetwarzania (Tabela 1) będzie powodował jedynie zmniejszanie liczby

gromadzonych próbek za okres. Natomiast w przypadku multipleksowanego wejścia przetwornika A/C, występuje też dłuższy czas przetwarzania (na kanał), ilość gromadzonych próbek jest mniejszą, ale dodatkowo będzie wprowadzane przesunięcie fazowe pomiędzy mierzonymi sygnałami. Wprowadzie w sterownikach PLC współpracującymi z przetwornikami A/C z multipleksowanym kanałem wejściowym opóźnienia nie mają wpływu na pomiar amplitudy i wartości skutecznej za okres np. dla składowej podstawowej mierzonego sygnału napięcia lub prądu, ale będą miały wpływ na dokładność pomiaru np. mocy czynnej i biernej wynikającej z iloczynu kolejnych próbek dwóch sygnałów reprezentujących mierzone napięcie i prąd fazowy. Z tego jednoznacznie wynika, że aby nie generować dodatkowego przesunięcia fazowego sygnały napięcia i prądu (próbki gromadzone są nie w tym samym czasie) powinny być wprowadzone na dwa sąsiednie kanały wejściowe przetwornika (kanały wejściowe są odczytywane po kolei).

Dlatego w artykule przedstawiono wpływ czasu opóźnienia pobierania próbek z sąsiednich kanałów multipleksowanego przetwornika A/C typu CJ1W-MAD42 na dokładność pomiaru mocy czynnej i biernej pobieranej z sieci zasilającej. Konfiguracja i programowanie tego przetwornika została przedstawiona w [1, 2].

2. BADANIA EKSPERYMENTALNE

Na rysunku 1 przedstawiono widok stanowiska do badań eksperymentalnych wpływu czasu opóźnienia wejść przetwornika A/C typu CJ1W-MAD42 współpracującego ze sterownikiem PLC typu CJ2H-CPU64-EIP na dokładność pomiaru mocy czynnej i biernej. Badania przeprowadzono w zakresie czasów opóźnienia od 35 μ s do 2 ms pomiędzy mierzonymi sygnałami napięcia i prądu zasilania trójfazowego silnika indukcyjnego klatkowego firmy Besel Sh-80-8/4A.



Rys. 1. Widok stanowiska badawczego

Stanowisko badawcze składało się z następujących urządzeń:

- MSO3014 - oscyloskop cyfrowy (Tektronix), podczas badań częstotliwość próbkowania wynosiła 1 MHz/kanał,
- zestaw: wzmacniacz TCPA300 (Tektronix) - zakres: DC - 50 MHz, czas narastania sygnału dla zestawu \leq 23 ns, sonda prądowa TCP303 - zakres: DC - 15 MHz (-3 dB),
- sonda napięciowa P5200 (Tektronix), zakres: DC - 25 MHz (-3dB), czas narastania sygnału \leq 14 ns,
- sterownik PLC typu CJ2H-CPU64-EIP wraz z modułem A/C i C/A typu CJ1W-MAD42 (4 wejścia i 2 wyjścia) firmy Omron, do modułu wprowadzono sygnały

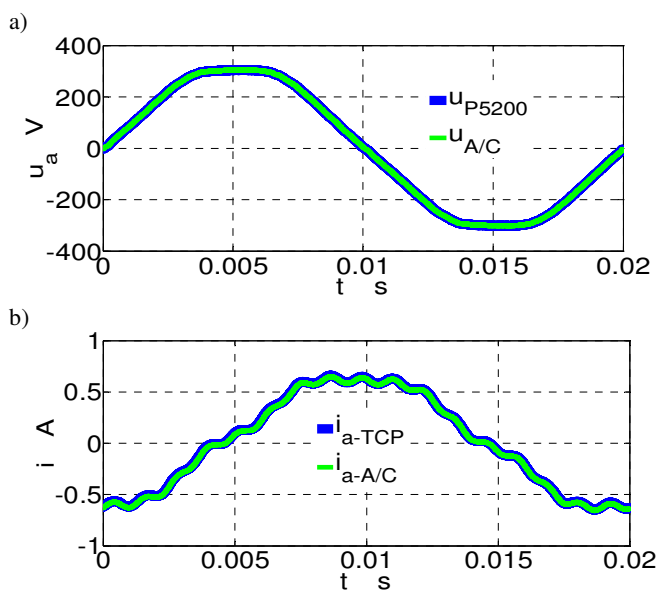
napięciowe z przetwornika napięciowego LV - 100 oraz z przetwornika prądowego LA - 25 firmy LEM [7, 8],

- trójfazowy silnik indukcyjny klatkowy Sh-80-8/4A Besel o danych znamionowych $P_N = 0,40$ kW, $U_N = 400$ V, $n_N = 670$ obr/min,
- zestaw komputerowy PC.

2.1. Badania przy zasilaniu z sieci elektroenergetycznej

Na rysunku 2 przedstawiono porównanie zarejestrowanych przebiegów:

- napięcia (sondą P5200 i odtworzone z próbek przetwornika A/C typu CJ1W-MAD42),
- prądu (sondą TCP303 i odtworzone z próbek przetwornika A/C typu CJ1W-MAD42).

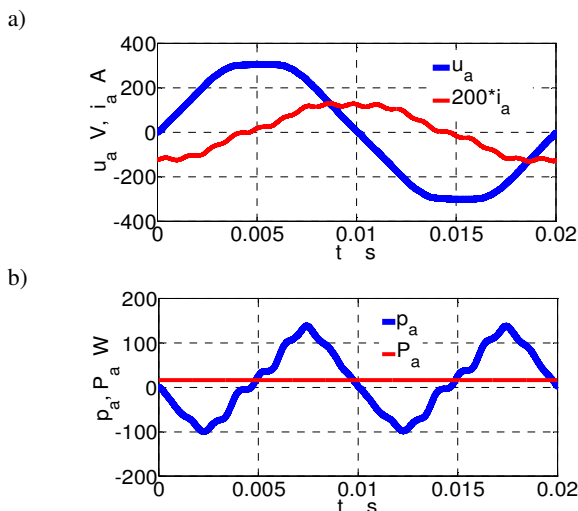


Rys. 2. Zarejestrowane przebiegi w ustalonym stanie obciążenia a) napięcia fazowego sondą P5200 i odtworzone z próbek przetwornika CJ1W-MAD42, b) prądu fazowego sondą TCP303 i odtworzone z próbek przetwornika CJ1W-MAD42

Z przedstawionego porównania przebiegów napięć i prądów (rys. 2) wynika, że przebiegi te pokrywają się. Różnice w obliczeniach wartości skutecznych dla składowych podstawowych (rys. 2) wynoszą:

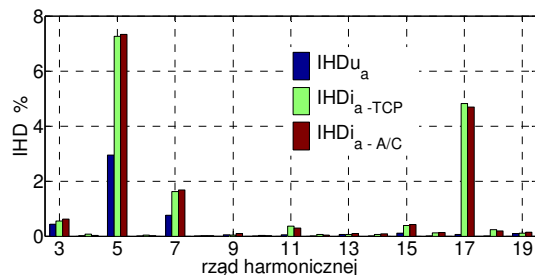
- dla napięcia $U_{P5200} = 221,63$ V, $U_{A/C} = 221,71$ V, co daje procentową różnicę 0,04%
- dla prądu $I_{TCP} = 0,45$ A, $I_{A/C} = 0,46$ A., co daje procentową różnicę 2,2%

Na rysunku 3 przedstawiono zarejestrowane przebiegi napięcia u_a i prądu fazowego i_a oraz obliczonej mocy chwilowej p_a w ustalonym stanie biegu jałowego trójfazowego silnika indukcyjnego klatkowego firmy Besel Sh-80-8/4A. Przebiegi napięcia i prądu zarejestrowano oscyloskopem cyfrowym MSO3014 przy użyciu sondy napięciowej P5200 i sondy prądowej TCP303. Na rysunku 3b linią ciągłą zaznaczono poziom mocy czynnej P_a jednej fazy (liczonej, jako średnią wartość z mocy chwilowej p_a za okres). Aby z rysunku 3a odczytać wartość rzeczywistą prądu należy podzielić ją przez 200. Przebiegi napięć i prądów w pozostałych fazach są takie same jak na rys. 2 z tą różnicą, że są przesunięte w fazie o $\pm 120^\circ$. Dlatego w dalszej części tego artykułu obliczenia będą wykonywane tylko dla fazy a .



Rys. 3. Przebiegi w ustalonym stanie biegu jałowego
a) zarejestrowanego napięcia i prądu fazowego, b) obliczonej mocy chwilowej i mocy czynnej

Na rysunku 4 przedstawiono procentowy udział nieparzystych wyższych harmonicznych w prądzie pobieranym przez silnik. Prąd silnika zmierzony został za pośrednictwem sondy prądowej TCP303 oraz przetwornika LA-25, z którego sygnał wprowadzono na wejście przetwornika A/C typu CJ1W-MAD42. Wartości wyższych harmonicznych napięcia i prądu zostały odniesione do wartości harmonicznej podstawowej odpowiednio napięcia, prądu i wyrażone w procentach.



Rys. 4. Procentowy udział wyższych harmonicznych

Z przedstawionych wyników badań eksperymentalnych (rys. 2 - 4) wynika, że podczas biegu jałowego silnik indukcyjny klatkowy Sh-80-8/4A:

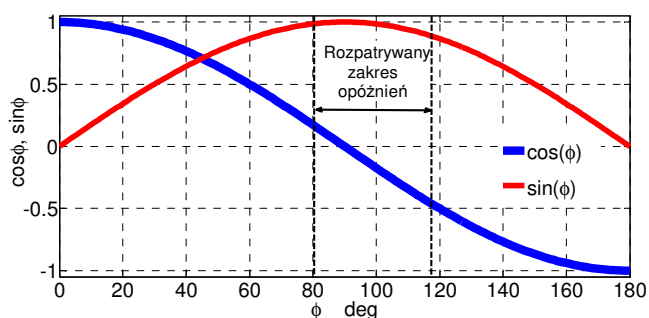
- pobiera, w analizowanej fazie zasilającej, moc czynną $P_a = 16,9$ W zmierzoną oscyloskopem cyfrowym MSO3014 przy użyciu sondy napięciowej P5200 i sondy prądowej TCP303 oraz moc $P_a = 16,7$ W, którą zmierzono przetwornikiem CJ1W-MAD42,
- pobiera, w analizowanej fazie zasilającej, moc bierną $Q_a = 100,1$ VAR zmierzoną oscyloskopem cyfrowym MSO3014 przy użyciu sondy napięciowej P5200 i sondy prądowej TCP303 oraz $Q_a = 100,4$ VAR, którą zmierzono przetwornikiem CJ1W-MAD42),
- wprowadza, w stanie biegu jałowego, przesunięcie fazowe pomiędzy prądem i napięciem wynoszące $80,2^\circ$,
- jest źródłem nieparzystych wyższych harmonicznych prądu. Z dominującymi harmonicznymi 5., 7. i 17., których wartości wynoszą odpowiednio, 7,2%, 1,6% i 4,8%.

Całkowita zawartość wyższych harmonicznych w prądzie liczona do 39 rzędu wg [9] wyniosła $THDi_a = 8,9\%$.

2.2. Badania przy opóźnieniu sygnałów wprowadzonych na wejścia przetwornika A/C

W tym podpunkcie przedstawiono badania wpływu opóźnienia sygnału pomiarowego prądu w zakresie od $35 \mu s$ do 2 ms wprowadzonego na wejścia przetwornika A/C. Opóźnienie prądu w zakresie od $35 \mu s$ do 2 ms spowoduje dodatkowe przesunięcie fazowe odpowiednio od $0,63^\circ$ do 36° . Będzie to miało wpływ na wartości $\cos\phi$ oraz $\sin\phi$, od których zależą wartości odpowiednio mocy czynnej i mocy biernej. Na rysunku 5 przedstawiono wpływ opóźnienia między próbkami napięcia i prądu od $35 \mu s$ do 2 ms na zmierzoną wartość współczynników $\cos\phi$ oraz $\sin\phi$.

Z rysunku 5 wynika, że dla badanego biegu jałowego silnika indukcyjnego Sh-80-8/4A czas opóźnienia na zmianę zmierzonej mocy czynnej będzie miał wpływ zbliżony do liniowego (w zakresie linearyzacji zmian funkcji $\cos\phi$). Natomiast wartość zmierzonej mocy biernej Q zależy w kwadracie od czasu opóźnienia.



Rys. 5. Wpływ czasu opóźnienia na wartość współczynników $\cos\phi$ oraz $\sin\phi$

W tabeli 2 i 3 dokonano zestawienia obliczonych mocy czynnych i biernych w zakresie zmian opóźnienia od $35 \mu s$ do 2 ms. W obliczeniach przyjęto oznaczenia mocy czynnych i biernych dla następujących czasów opóźnienia: P_a – moc czynna stanowiąca moc wzorcową, Q_a – moc bierna stanowiąca moc wzorcową, $P_{a35\mu s}$, $P_{a80\mu s}$, $P_{a100\mu s}$, $P_{a200\mu s}$, $P_{a400\mu s}$, $P_{a800\mu s}$, $P_{a1000\mu s}$, $P_{a2000\mu s}$ – moc czynna wynikająca z czasu opóźnienia odpowiednio $35 \mu s$, $80 \mu s$, $100 \mu s$, $200 \mu s$, $400 \mu s$, $800 \mu s$, $1000 \mu s$, $2000 \mu s$, $Q_{a35\mu s}$, $Q_{a80\mu s}$, $Q_{a100\mu s}$, $Q_{a200\mu s}$, $Q_{a400\mu s}$, $Q_{a800\mu s}$, $Q_{a1000\mu s}$, $Q_{a2000\mu s}$ – moc bierna wynikająca z czasu opóźnienia odpowiednio $35 \mu s$, $80 \mu s$, $100 \mu s$, $200 \mu s$, $400 \mu s$, $800 \mu s$, $1000 \mu s$, $2000 \mu s$.

Tabela 2. Zestawienie obliczonych mocy czynnych wynikających z czasu opóźnienia zmieniającego się od $35 \mu s$ do $2000 \mu s$.

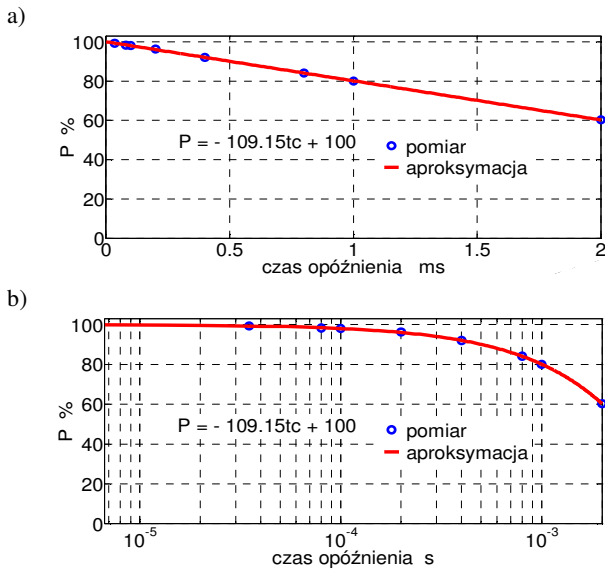
P_a [W]	P_{a35} [W]	P_{a80} [W]	P_{a100} [W]	P_{a200} [W]	P_{a400} [W]	P_{a800} [W]	P_{a1000} [W]	P_{a2000} [W]
16,7	15,6	14,2	13,6	10,4	3,9	-9,4	-15,	-49,2

Tabela 3. Zestawienie obliczonych mocy biernych wynikających z czasu opóźnienia zmieniającego opóźnienia od $35 \mu s$ do $2000 \mu s$.

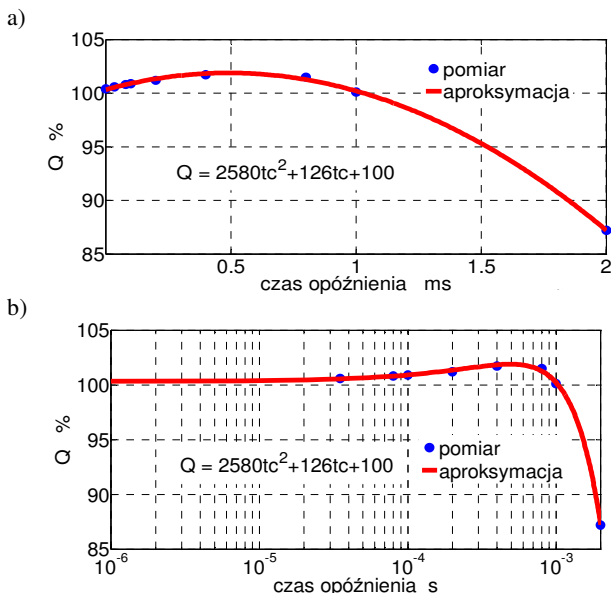
Q_a [VAR]	Q_{a35} [VAR]	Q_{a80} [VAR]	Q_{a100} [VAR]	Q_{a200} [VAR]	Q_{a400} [VAR]	Q_{a800} [VAR]	Q_{a1000} [VAR]	Q_{a2000} [VAR]
100,4	100,6	100,8	100,9	101,2	101,7	101,5	100,1	87,2

Wpływ czasu opóźnienia przetwornika A/C na procentowe zmiany mierzonej mocy czynnej, mocy biernej wraz z funkcjami aproksymującymi przedstawiono na rysunkach 6 i 7 wykonanych w skali liniowej oraz

półlogarytmicznej. Skala półlogarytmiczna dokładniej przedstawia początkowy krótki czas opóźnienia odczytu kolejnych kanałów t_c (w μs) na zmianę mocy czynnej i biernej.



Rys. 6. Wpływ opóźnienia na zmiany mierzonej mocy czynnej
a) w skali liniowej, b) w skali półlogarytmicznej



Rys. 7. Wpływ opóźnienia na zmiany mierzonej mocy biernej
a) w skali liniowej, b) w skali półlogarytmicznej

Z rysunku 6 i 7 wynika, że dla badanego przypadku pracy silnika indukcyjnego Sh-80-8/4A w stanie biegu jałowego na procentową zmianę mocy czynnej $P\%$ czas opóźnienia t_c wpływa liniowo (w zakresie zmian funkcji $\cos\varphi$ - rys. 5). Natomiast dla mocy biernej $Q\%$ czas opóźnienia t_c wpływa jako funkcja kwadratowa. Podane niżej równania (1) i (2) pozwalają w sposób analityczny obliczyć procentową zmianę mocy czynnej i biernej w zależności od zmian czasu opóźnienia t_c , które to zależności uzyskano aproksymując wartości zmierzone odpowiednio wielomianami pierwszego i drugiego stopnia.

$$P\% = -109.15t_c + 100 \quad (1)$$

$$Q\% = -2580t_c^2 + 126t_c + 100 \quad (2)$$

3. TEORETYCZNE BŁĘDY POMIARU MOCY

Błąd fazy $\Delta\varphi$ w stopniach wynikający z opóźnienia między momentami pobierania próbek z kolejnych kanałów:

$$\Delta\varphi = 360 \cdot \frac{t_c}{T} \quad (3)$$

gdzie: T jest okresem napięcia lub prądu sinusoidalnego. Jeżeli próbka prądu jest pobierana później niż próbka napięcia, to błąd będzie dodatni, w przeciwnym przypadku będzie ujemny. Uwzględniając, że częstotliwość jest odwrotnością okresu otrzymuje się:

$$\Delta\varphi = 360 \cdot t_c \cdot f \quad (4)$$

Jeżeli napięcie lub prąd są odkształcone, wtedy błąd fazy dla n -tej harmonicznej wyrazi się wzorem:

$$\Delta\varphi_n = 360 \cdot t_c \cdot n \cdot f \quad (5)$$

Moc czynna w obwodzie dla składowej podstawowej prądu i napięcia wyraża się wzorem:

$$P = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1 \quad (6)$$

Na skutek błędu fazy, moc czynna P_c zmierzona z wykorzystaniem przetwornika wyrazi się wzorem:

$$P_c = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos(\varphi_1 + \Delta\varphi_1) \quad (7)$$

Błąd bezwzględny pomiaru mocy czynnej ΔP będzie różnicą (6) i (7):

$$\Delta P = U_1 \cdot I_1 \cdot [\cos(\varphi_1 + \Delta\varphi_1) - \cos\varphi_1] \quad (8)$$

Dzieląc powyższe przez moc czynną (6) i mnożąc przez 100 otrzymamy względny błąd procentowy pomiaru mocy czynnej:

$$\delta P\% = \left[\frac{\cos(\varphi_1 + \Delta\varphi_1)}{\cos\varphi_1} - 1 \right] \cdot 100\% \quad (9)$$

Wstawiając (5) do (9) procentowy błąd pomiaru mocy n -tej harmonicznej wyrazi się wzorem:

$$\delta P_{n\%} = \left[\frac{\cos(\varphi_1 + 360 \cdot t_c \cdot n \cdot f)}{\cos\varphi_1} - 1 \right] \cdot 100\% \quad (10)$$

Ze wzoru (10) wynika, że błąd ten tym silniej zależy od czasu t_c im kąt przesunięcia fazowego φ jest bliższy 90° oraz im wyższy jest rząd harmonicznej n w przebiegu.

Analogiczne zależności można wyprowadzić do pomiaru mocy biernej. Moc bierna dla składowej podstawowej prądu i napięcia wyraża się wzorem:

$$Q = U_1 \cdot I_1 \cdot \sin\varphi_1 \quad (11)$$

Moc bierna zmierzona z wykorzystaniem przetwornika:

$$Q_c = U_1 \cdot I_1 \cdot \sin(\varphi_1 + \Delta\varphi_1) \quad (12)$$

Błąd bezwzględny pomiaru mocy biernej:

$$\Delta Q = U_1 \cdot I_1 \cdot [\sin(\varphi_1 + \Delta\varphi_1) - \sin\varphi_1] \quad (13)$$

Procentowy błąd pomiaru mocy biernej:

$$\delta Q_{\%} = \left[\frac{\sin(\varphi_1 + \Delta\varphi_1)}{\sin\varphi_1} - 1 \right] \cdot 100\% \quad (14)$$

Procentowy błąd pomiaru mocy biernej dla n -tej harmonicznej

$$\delta Q_{n\%} = \left[\frac{\sin(\varphi_1 + 360 \cdot t_c \cdot n \cdot f)}{\sin\varphi_1} - 1 \right] \cdot 100\% \quad (15)$$

Ze wzoru (15) wynika, że błąd ten tym silniej zależy od czasu t_c im kąt przesunięcia fazowego φ jest bliższy 0° oraz im wyższy jest rząd harmonicznej n w przebiegu.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Z przeprowadzonej analizy eksperymentalnej wpływu czasu opóźnień zmieniającego się od 35 μ s do 2 ms (spowodowanych przez badany modułowy przetwornik A/C współpracujący ze sterownikiem PLC) na dokładność pomiaru mocy czynnej i biernej jednej fazy trójfazowego silnika indukcyjnego klatkowego pracującego w stanie biegu jałowego wynikają następujące wnioski.

Z przedstawionych na rysunkach 6-7 wartości obliczonych mocy czynnych i biernych (moce obliczono uwzględniając tylko składową podstawową napięcia i prądu) oraz przebiegów funkcji $\cos\varphi$ i $\sin\varphi$ (rys. 5) widać, że podczas biegu jałowego badanego silnika indukcyjnego Besel Sh-80-8/4A opóźnienia wprowadzane przez poszczególne wejścia przetwornika A/C (w zakresie czasów opóźnienia od 35 μ s do 2 ms) mają wpływ na wyniki obliczeń mocy czynnej i biernej. Wzajemne opóźnienia sygnału pomiarowego (pomiędzy napięciem i prądem) zmieniają się od 35 μ s do 2 ms:

- są przyczyną zmiany wartości i zmiany znaku obliczanej mocy czynnej, co jest uzależnione zmianą wartości $\cos\varphi$ (rys. 5 i tab. 2),
- są przyczyną zmiany wartości obliczanej mocy biernej, gdyż zmienia się wartość $\sin\varphi$ (rys. 5 i tab. 3).

W przypadku znacznego czasu opóźnienia wynoszącego 2 ms, jeśli przyjmie się za wzorcową wartość obliczonej mocy czynnej wynoszącą 16,7 W, to nowa wartość zmierzonej mocy czynnej zmieni się o około 300% z jednoczesną zmianą znaku.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Ludwinek K., Chrzan K.: Konfiguracja modułów A/C i C/A sterowników PLC do pomiarów i sterowania. Napędy i sterowanie, Nr 9, 2009. s. 46-52.
2. Ludwinek K., Chrzan K.: Programowanie modułów A/C i C/A sterowników PLC do pomiarów i sterowania. Napędy i sterowanie, Nr 10, 2009. s. 70-75.
3. Kester W.: Which ADC Architecture Is Right for Your Application? Analog Dialogue Vol. 39. June 2005.
4. IEEE Standard for terminology and test methods for analog-to-digital converters. IEEE Instrumentation & Measurement Society. IEEE Std 1241™-2010. 14 January 2011
5. Li G., Tousi Y. M., Hassibi A., Afshari E.: Delay-line-based analog-to-digital converters. IEEE transactions on circuits and systems—II: Express Briefs, Vol. 56, No. 6, June 2009. PP. 464 - 468.
6. Farkhani H., Meymandi-Nejad M., Sachdev M.: A fully digital adc using a new delay element with enhanced linearity," in IEEE Int. Symp. Circuits Syst., 2008, pp. 2406–2409.
7. Voltage Transducer LV 100, August 2011/ver. 7 - karta katalogowa LEM (www.lem.com).
8. Current Transducer LA 25-NP/SP11, November 2011/ver. 3 - karta katalogowa LEM (www.lem.com).
9. PN-EN 61000-3-2:2014-10 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) Część 3-2: Dopuszczalne poziomy emisji harmonicznych prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika < 16 A).

EFFECT OF DELAY TIME IMPARTED BY THE SERIAL CHANNELS OF A/D CONVERTER OF PLC CONTROLLERS FOR PRECISION COMPUTATION OF ACTIVE AND REACTIVE POWER

The influence of the delay time resulting from the serial multiplexed measurement of the A/D converter on the accuracy of the active and reactive power calculations is presented in this paper. Calculations of the active and reactive power (resulting from the phase shift of the fundamental voltages and currents) are conducted for one phase current and voltage during the supply of the cage induction motor in a no load state. Experimental investigations are conducted for the total delay time varying from 0.35 μ s to 2 ms of the phase current with relation to a phase voltage.

Keywords: A/D converter, delay time, PLC controller, active and reactive power

