

Krzysztof OLESIAK¹

POMIARY PRZEBIEGÓW CZASOWYCH WYBRANYCH WIELKOŚCI UKŁADU NAPĘDOWEGO Z TRÓJFAZOWYM STEROWNIKIEM NAPIĘCIA PRZEMIENNEGO

W referacie zaprezentowano komputerowy układ pomiarowy do rejestracji i wizualizacji wybranych wielkości elektromechanicznych napędu prądu przemiennego. Scharakteryzowano podstawowe parametry trójfazowego sterownika oraz zasady ich konfiguracji. Przeprowadzono badania pomiarowe układu napędowego podczas rozruchu. Rezultaty badań przedstawiono w postaci przebiegów czasowych prędkości obrotowej, napięcia międzyfazowego oraz prądu fazowego.

THE MEASUREMENTS OF TIME CHARACTERISTICS OF SELECTED QUANTITIES OF THE AC DRIVE WITH THE THREE-PHASE SOFT-START SYSTEM

The paper presents a computer measuring system for recording and visualization of selected electromechanical quantities of the alternating current drive. Basic parameters and configuration rules of the three-phase soft-start system have been characterized. Measurement tests of the drive system were conducted during start-up. The research results were presented in the form of time characteristics of the rotational speed, the phase-to-phase voltage and the phase current.

1. WSTĘP

Trójfazowy sterownik napięcia przemiennego zwany także układem soft-start, ze względu na to, że najczęściej jest wykorzystywany do łagodnego rozruchu silników asynchronicznych klatkowych znajduje obecnie coraz szersze zastosowanie w przemyśle. Szczególnie w odniesieniu do tych procesów technologicznych, gdzie wymagany jest łagodny rozruch i hamowanie jednego silnika lub też grupy silników asynchronicznych bez konieczności ciągłej regulacji prędkości kątowej [1].

Bardzo ważnym zagadnieniem jest wówczas prawidłowa konfiguracja parametrów rozruchowych trójfazowego sterownika napięcia takich jak: wartość początkowa napięcia wyjściowego, czas i szybkość narastania tego napięcia oraz wartość maksymalna prądu

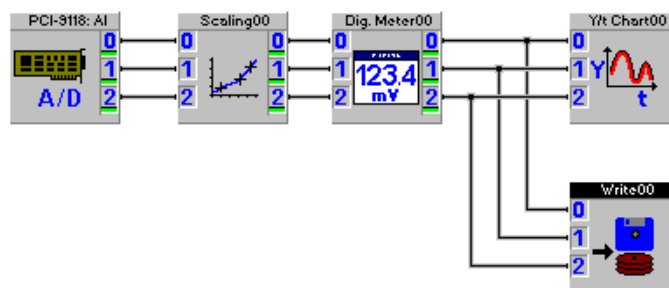
¹ Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, 42-200 Częstochowa, ul. Armii Krajowej 17,
tel.: + 48 34 32 50 884, fax: + 48 34 32 50 821, e-mail: kolesiak@el.pcz.czyst.pl

wyjściowego. Producenci sterowników dostarczają podstawowe oprogramowanie do konfigurowania parametrów rozruchowych, ale w wielu praktycznych rozwiązaniach występuje konieczność weryfikacji parametrów zadanych i rzeczywistych. Konieczna wówczas jest realizacja komputerowego układu do rejestracji, wizualizacji oraz przetwarzania wybranych wielkości układu napędowego takich jak: prąd fazowy, napięcie międzyfazowe i prędkość obrotowa.

2. SCHEMAT KOMPUTEROWEGO UKŁADU POMIAROWEGO

Na potrzeby prowadzonych badań przygotowano układ pomiarowy, którego zasadniczym elementem składowym jest komputer stacjonarny wyposażony w specjalistyczne oprogramowanie DASYLab oraz kartę pomiarową Adlink 9118L z 12-bitowym przetwornikiem A/C o maksymalnej częstotliwości próbkowania 100 kHz. Karta pomiarowa umożliwia jednoczesną rejestrację i wizualizację sygnałów napięciowych maksymalnie na ośmiu kanałach bipolarnych.

Do rejestracji przebiegów czasowych napięcia międzyfazowego U_{UV} , prądu fazowego I_U oraz prędkości obrotowej n napędu prądu przemiennego wykorzystano oprogramowanie DASYLab w wersji 7.0 [3]. Sygnały pomiarowe odczytywane przez trzy kanały karty Adlink 9118L są wprowadzane do modułu skalowania w celu ponownego przeliczenia na wartości rzeczywiste występujące w układzie napędowym. Następnie przeskalowane sygnały są kierowane do modułu mierników cyfrowych. W odniesieniu do napięcia międzyfazowego U_{UV} oraz prądu I_U wyznaczane są wartości skuteczne, a w przypadku prędkości obrotowej n wartość średnia w danym przedziale czasu. W końcowej fazie otrzymane przebiegi czasowe są prezentowane na ekranie w postaci graficznej oraz zapisywane na dysku w pliku zgodnie z własnym standardem programu DASYLab. Schemat zrealizowanego układu do skalowania, wizualizacji i zapisu wybranych przebiegów czasowych układu napędowego zaprezentowano na rys. 1.



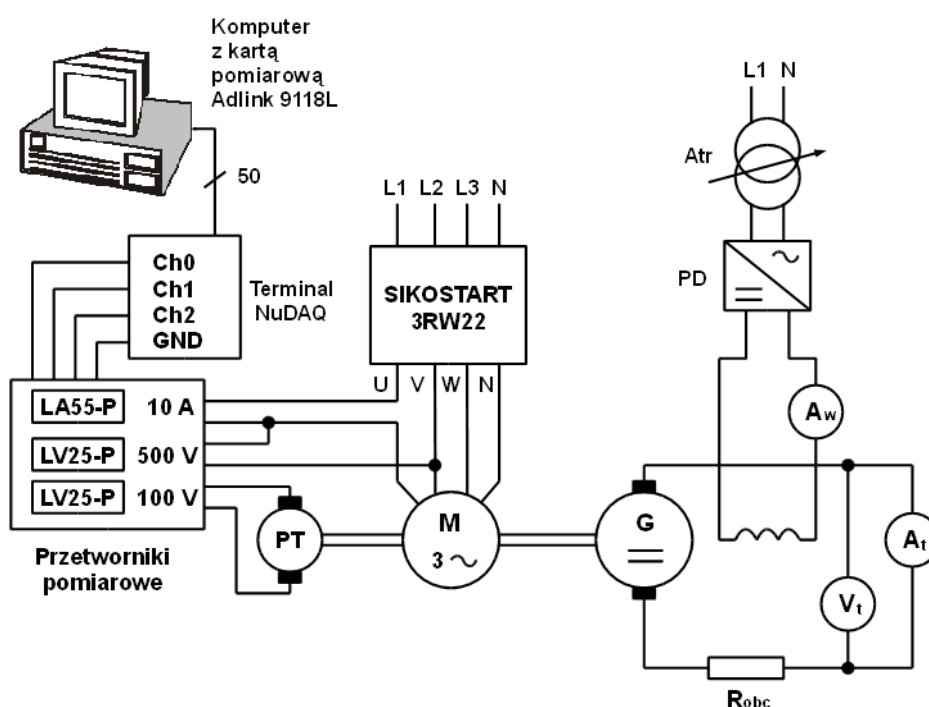
Rys. 1. Schemat blokowy układu do wizualizacji i zapisu przebiegów czasowych wielkości elektromechanicznych napędu prądu przemiennego

Ze względu na konieczność separacji galwanicznej obwodów napięciowych i prądowych napędu asynchronicznego od układu pomiarowego zastosowano przetworniki firmy LEM o odpowiednio dobranych zakresach [4]. W obwodach pomiarowych napięcia

międzyfazowego i prędkości obrotowej zastosowano przetworniki napięciowe LV25-P, a w obwodzie prądu fazowego wykorzystano przetwornik prądowy LA55-P.

Układ napędowy składa się z silnika asynchronicznego klatkowego oraz połączonej z nim za pomocą sztywnego mechanicznego wału maszyny obcowzbudnej prądu stałego, która pracuje jako generator. Silnik asynchroniczny jest zasilany przy wykorzystaniu 3-fazowo sterownika napięcia przemiennego SIKOSTART 3RW22 firmy Siemens. Z wirnikiem silnika prądu przemiennego mechanicznie połączono prądnicę tachometryczną, która służy do pomiaru prędkości obrotowej układu napędowego.

Schemat połączeń zrealizowanego układu pomiarowego oraz napędu prądu przemiennego zaprezentowano na rys. 2.



Rys. 2. Schemat połączeń napędu prądu przemiennego oraz komputerowego układu pomiarowego

Zestawienie elementów badanego napędu asynchronicznego oraz układu pomiarowego wraz z podstawowymi parametrami przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Parametry elementów układu napędowego oraz pomiarowego

Oznaczenie	Nazwa oraz podstawowe parametry
SIKOSTART 3RW22	Trójfazowy sterownik napięcia $P_N = 2,2\text{kW}$; $U_N = 380\div 415\text{V}$; $I_N = 5,2\text{A}$; $f = 45\div 66\text{Hz}$
M	Silnik asynchroniczny klatkowy $P_N = 1,1\text{kW}$; $U_N = 380\text{V}$; $I_N = 3,2\text{A}$; $n_N = 700\text{obr/min}$
G	Maszyna obcowzbudna prądu stałego $P_N = 0,8\text{kW}$; $U_{tN} = 220\text{V}$; $I_{tN} = 4,9\text{A}$; $I_{wN} = 0,41\text{A}$; $n_N = 750\text{obr/min}$
PT	Prądnicza tachometryczna: 1000 obr/min - 20V
PD	Prostownik diodowy: $U_d = 250\text{V}$; $I_d = 2\text{A}$
Atr	Autotransformator: $U_{zas} = 230\text{V}$; $U_{wy} = 0\div 230\text{V}$; $I_N = 10\text{A}$
R_{obc}	Rezystancja obciążenia obwodu twornika: $R = 24\Omega$; $I_{max} = 10\text{A}$
LV25-P	Przetworniki napięciowe: zakresy pomiarowe 100V, 500V, dokładność pomiaru $\pm 0,8\%$, liniowość $\pm 0,2\%$, czas reakcji 40 μs
LA55-P	Przetwornik prądowy: zakres pomiarowy 10A, dokładność pomiaru $\pm 0,65\%$, liniowość $\pm 0,15\%$, czas reakcji 40 μs
V_t	Woltomierz: zakres pomiarowy 250V, klasa 0.5
A_t	Amperomierz: zakres pomiarowy 10A, klasa 0.5
A_w	Amperomierz: zakres pomiarowy 1A, klasa 0.5

Przy konfiguracji parametrów sterownika należy uwzględnić to, iż moment krytyczny maszyny asynchronicznej zasilanej napięciem o regulowanej wartości skutecznej jest wprost proporcjonalny do kwadratu napięcia stojana, co przedstawia następująca zależność [2, 5]:

$$M_k(U_1) = \frac{1}{p} \cdot \frac{U_1^2}{2\pi f_1 \cdot 2 \cdot (X_1 + c_1 X'_{20})} \quad (1)$$

gdzie: M_k – moment krytyczny

U_1 – napięcie zasilania stojana

f_1 – częstotliwość napięcia zasilania

p – liczba par biegunów

X_1 – reaktancja uzwojenia stojana

X'_{20} – reaktancja uzwojenia wirnika sprowadzona na stronę stojana

c_1 – bezwymiarowa stała

3. BADANIA POMIAROWE NAPĘDU PRĄDU PRZEMIENNEGO

Podstawowym elementem badanego układu napędowego jest trójfazowy sterownik napięcia przemiennego SIKOSTART 3RW22 firmy Siemens. Sterownik posiada w każdej fazie układ dwóch tyrystorów połączonych przeciwobnie. Tyrystory są sterowane poprzez układ mikroprocesorowy, który umożliwia wprowadzenie podstawowych parametrów związanych z łagodnym rozruchem, łagodnym wybiegiem, wybiegiem pompy oraz hamowaniem prądem stałym. Zestawienie poszczególnych parametrów wraz z przykładowymi wartościami zamieszczono w tabeli 2.

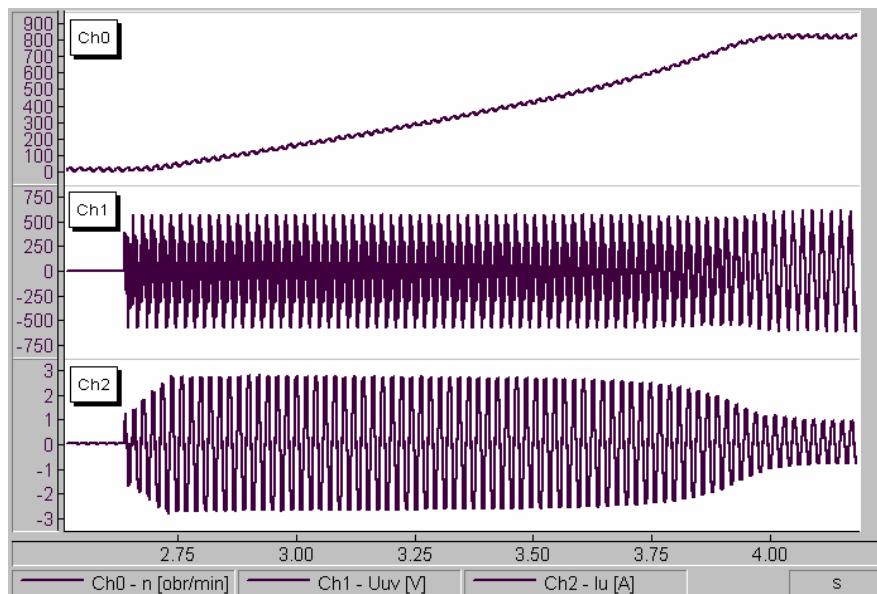
Tab. 2. Parametry łagodnego rozruchu, wybiegu i hamowania sterownika
SIKOSTART 3RW22

Parametry	Przykładowe wartości
Łagodny rozruch:	
Impuls startowy napięcia	80%
Impuls startowy - czas trwania	0 ms
Napięcie początkowe liniowego wzrostu	40 %
Czas trwania liniowego wzrostu	4s
Napięcie ograniczenia	90%
Czas ograniczenia	6s
Prąd ograniczenia	12A
Łagodny wybieg:	
Napięcie początkowe liniowego spadku napięcia	80%
Napięcie końcowe liniowego spadku napięcia	25%
Wybieg pompy:	
Napięcie końcowe	50%
Hamowanie DC:	
Moment hamujący	70%
Czas wybiegu	8s

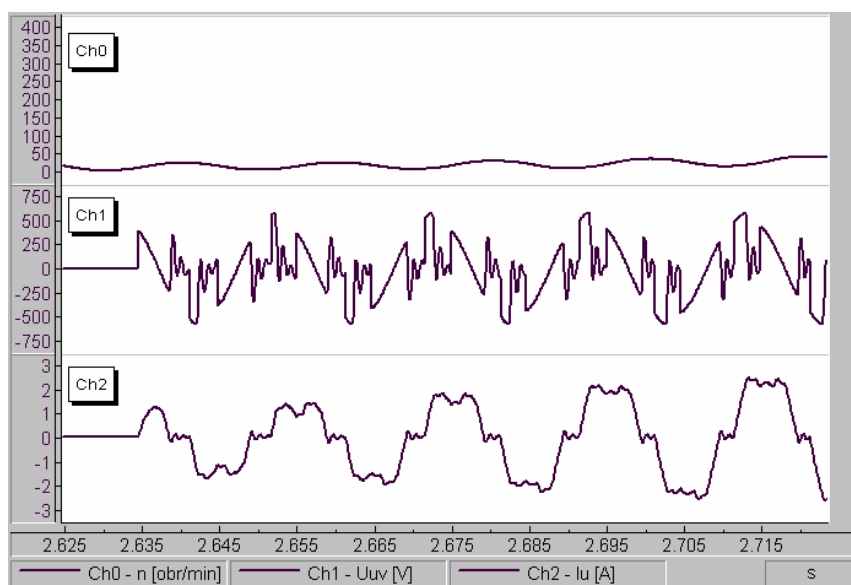
W odniesieniu do napięć oraz momentu hamującego parametry określone są w procentach odpowiednich wartości nominalnych. Natomiast w przypadku wartości prądu i czasów jednostki podawane są bezpośrednio.

Analizując zestawienie parametrów dotyczących łagodnego rozruchu, wybiegu i hamowania sterownika SIKOSTART 3RW22, które przedstawiono w tabeli 2 widać znaczny zakres możliwości, jakie oferuje badany układ. Zestaw wprowadzonych parametrów może być zapamiętany w pamięci EPROM sterownika. Dla różnych silników można zaprogramować odmienne parametry rozruchu np. rozruch wentylatora charakteryzującego się momentem obciążenia proporcjonalnym do kwadratu prędkości, a następnie rozruch taśmociągu o stałym momencie obciążenia. Sterownik SIKOSTART pozwala na wprowadzenie łącznie trzech niezależnych od siebie zestawów parametrów.

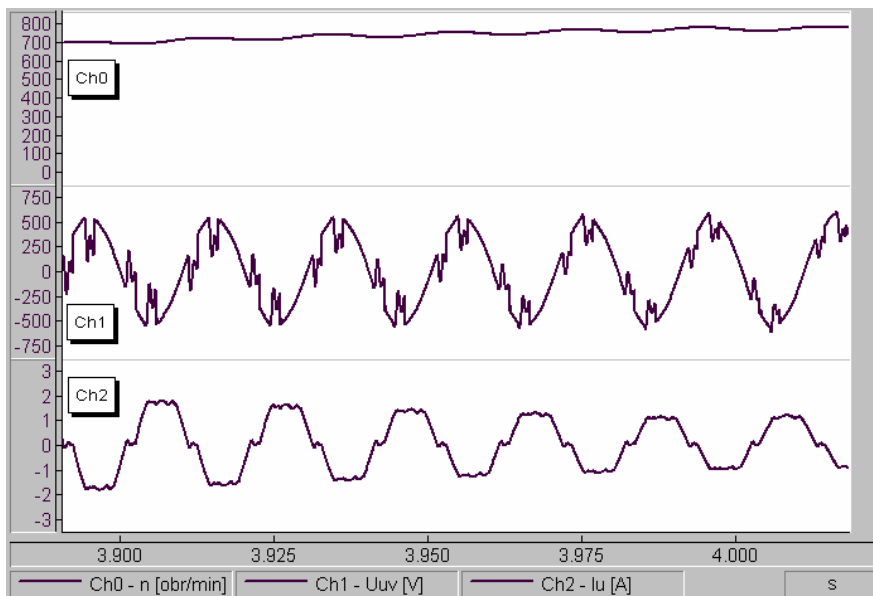
Producent dostarcza podstawowe oprogramowanie, które umożliwia konfigurację sterownika, niemniej w wielu praktycznych zastosowaniach, szczególnie przy rozruchu silnika asynchronicznego pod obciążeniem, konieczna jest weryfikacja parametrów rzeczywistych i zadanych. W tym celu przeprowadzono badania pomiarowe podczas rozruchu napędu prądu przemiennego. Wybrane rezultaty badań obejmujące przebiegi czasowe napięcia międzyfazowego, prądu fazowego oraz prędkości obrotowej przedstawiono na rys. 3-6.



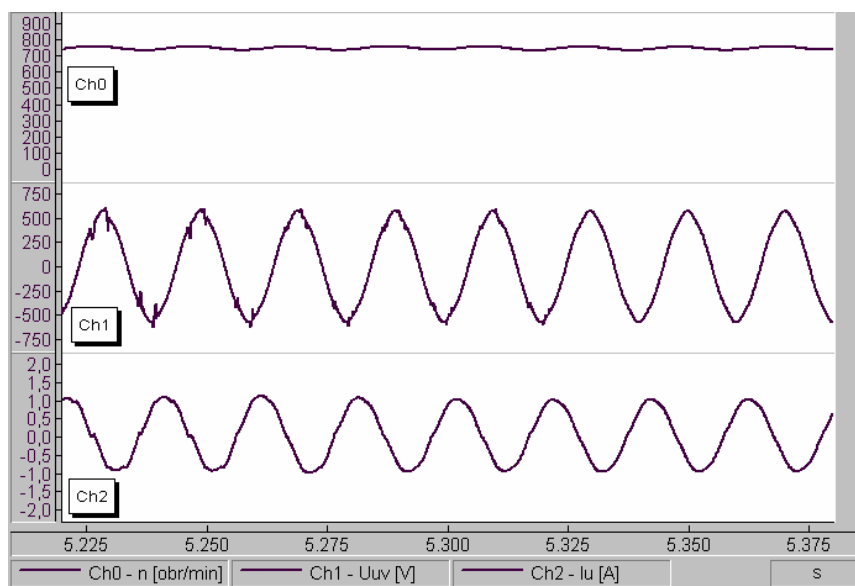
Rys. 3. Przebiegi czasowe prędkości obrotowej n , napięcia międzyfazowego U_{UV} i prądu fazowego I_U przy rozruchu układu napędowego



Rys. 4. Przebiegi czasowe prędkości obrotowej n , napięcia międzyfazowego U_{UV} i prądu fazowego I_U dla początkowego etapu rozruchu układu napędowego



Rys. 5. Przebiegi czasowe prędkości obrotowej n , napięcia międzyfazowego U_{UV} i prądu fazowego I_U dla końcowego etapu rozruchu układu napędowego



Rys. 6. Przebiegi czasowe prędkości obrotowej n , napięcia międzyfazowego U_{UV} i prądu fazowego I_U dla ustalonego stanu pracy układu napędowego

4. WNIOSKI

Zaprezentowany komputerowy układ do pomiarów, wizualizacji i przetwarzania wielkości elektromechanicznych napędu asynchronicznego zasilanego przez trójfazowy sterownik napięcia pozwala na dokładną analizę przebiegów czasowych napięcia międzyfazowego, prądu fazowego oraz prędkości obrotowej. Poprzez odpowiedni dobór parametrów sterownika SIKOSTART można przeprowadzić łagodny rozruch układu napędowego przy zachowaniu praktycznie stałej wartości prądu podczas narastania prędkości obrotowej. Przy czym wartość prądu fazowego może być mniejsza nie tylko od wartości rozruchowej, ale również nominalnej. Taki przykładowy rozruch napędu zaprezentowano na rys. 3. Skala czasu została tak dobrana, aby przedstawić pełny przebieg prędkości obrotowej. W początkowym etapie rozruchu napędu asynchronicznego, przedstawionym na rys. 4, praktycznie udało się wyeliminować udar prądowy poprzez odpowiedni dobór parametrów takich jak: napięcie początkowe liniowego wzrostu, czas trwania liniowego wzrostu i napięcie ograniczenia. Jednocześnie kształt napięcia międzyfazowego, które składa się z wycinków napięć sinusoidalnych fazy U i V powoduje znaczne odkształcenia prądu silnika. W końcowym etapie rozruchu układu napędowego, zaprezentowanym na rys. 5, odkształcenia prądu fazowego stają się coraz mniejsze, a prędkość obrotowa zbliża się do wartości ustalonej. Przejście z zasilania silnika asynchronicznego napięciem odkształconym do zasilania napięciem sinusoidalnym przedstawiono na rys. 6. Zazwyczaj parametry sterownika trójfazowego dobiera się w taki sposób, aby przełączenie na napięcie sinusoidalne nastąpiło po osiągnięciu przez prędkość obrotową i prąd fazowy wartości ustalonych.

Reasumując, opracowany komputerowy układ pomiarowy zrealizowany z wykorzystaniem przetworników pomiarowych firmy LEM, karty Adlink 9118L oraz komputera z oprogramowaniem DASYLab stanowi wygodne i użyteczne narzędzie do rejestracji i wizualizacji przebiegów czasowych silnika asynchronicznego oraz doboru parametrów trójfazowego sterownika napięcia SIKOSTART.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Barlik R., Nowak M.: *Technika tyrystorowa*, Warszawa, WNT 1994.
- [2] Boldea I., Nasar S. A.: *Electric Machine Dynamics*, New York, Macmillan Publishing Company 1986.
- [3] DASYTEC: *DASYLab Data Acquisition System Laboratory - User Guide*, version 7.0, Amherst, DASYTEC USA 2002.
- [4] LEM: *Industry Current & Voltage Transducers*, Switzerland, Geneva, LEM International SA 2008.
- [5] Plamitzer A. J.: *Maszyny elektryczne*, Warszawa, WNT 1982.