

## UKŁAD LABORATORYJNY Z WEKTOROWĄ PRZETWORNICĄ CZĘSTOTLIWOŚCI

### STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wykonane w Laboratorium Elektroniki Przemysłowej stanowisko dydaktyczne układu napędowego z silnikiem indukcyjnym klatkowym zasilanym z wektorowej przetwornicy częstotliwości. Stanowisko powstało dzięki współpracy Katedr Automatyki Napędu i Urzędzeń Przemysłowych z firmą Moeller Electric. Studenci mają więc możliwość zapoznania się z urządzeniami stosowanymi w zakładach przemysłowych. Badanie układu zostało wykonane przez studentów Koła Naukowego Elektroniki Przemysłowej pod nadzorem autorów.

**Słowa kluczowe:** wektorowa przetwornica częstotliwości, silnik indukcyjny klatkowy

### THE LABORATORY UNIT WITH VECTOR FREQUENCY INVERTER

This paper presents the laboratory unit with squirrel cage induction motor supplied by vector frequency inverter. This unit was made thanks to cooperation the Department of Electrical Drive and Industrial Equipment with Moeller Electric. The students have the possibility to know the industrial devices. The research was made by students under the direction of authors.

**Keywords:** Vector Frequency Inverter, squirrel cage induction motor

### 1. WSTĘP

W lutym 2004 roku rozpoczęła się współpraca pomiędzy Katedrą Automatyki Napędu i Urzędzeń Przemysłowych a firmą Moeller Electric. Wynikiem tego jest powstanie stanowisk laboratoryjnych wykonanych w Laboratorium Elektroniki Przemysłowej z urządzeń przekazanych przez firmę Moeller. Korzyści, jakie płyną z takiej współpracy, są bardzo duże dla każdej ze stron. Katedra zyskała nowoczesne stanowiska dydaktyczne, gdzie studenci mają możliwość poznania urządzeń stosowanych w warunkach przemysłowych, natomiast dla firmy Moeller jest to sposób na reklamę swoich rozwiązań. Jednym ze stanowisk jest układ napędowy z silnikiem indukcyjnym klatkowym zasilanym z wektorowej przetwornicy częstotliwości.

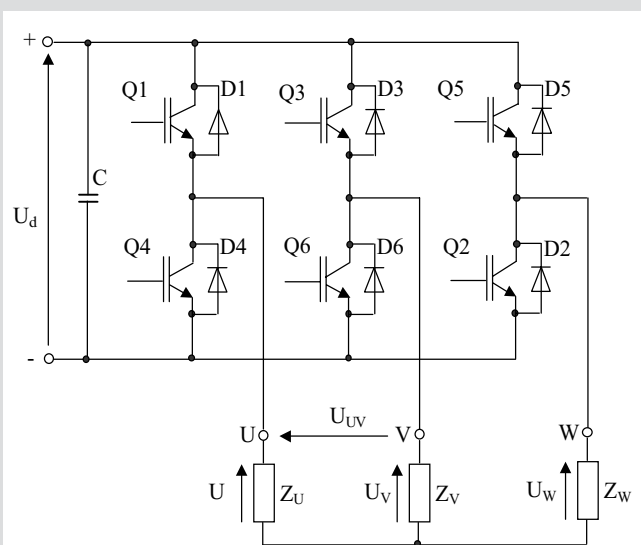
### 2. WEKTOROWA PRZETWORNICA CZĘSTOTLIWOŚCI

W układach napędowych z silnikami indukcyjnymi klatkowymi, gdzie proces przemysłowy determinuje wartości wielkości wyjściowych (np.: prędkości, momentu), konieczne jest zastosowanie odpowiedniego układu zasilania. Obecnie stosowane są przetwornice częstotliwości, w których napięcie wyjściowe jest ciągiem impulsów o modulowanej szerokości. Uzyskiwane jest to w układzie przedstawionym na rysunku 1.

Sposób sterowania falownikiem polega na generowaniu impulsów, o zmiennej w czasie szerokości, sterujących łącznikami. Czas trwania impulsów napięcia i stopień odkształcenia napięcia wyjściowego falownika od przebiegu sinusoidalnego jest zależny od sposobu modulacji. Ste-

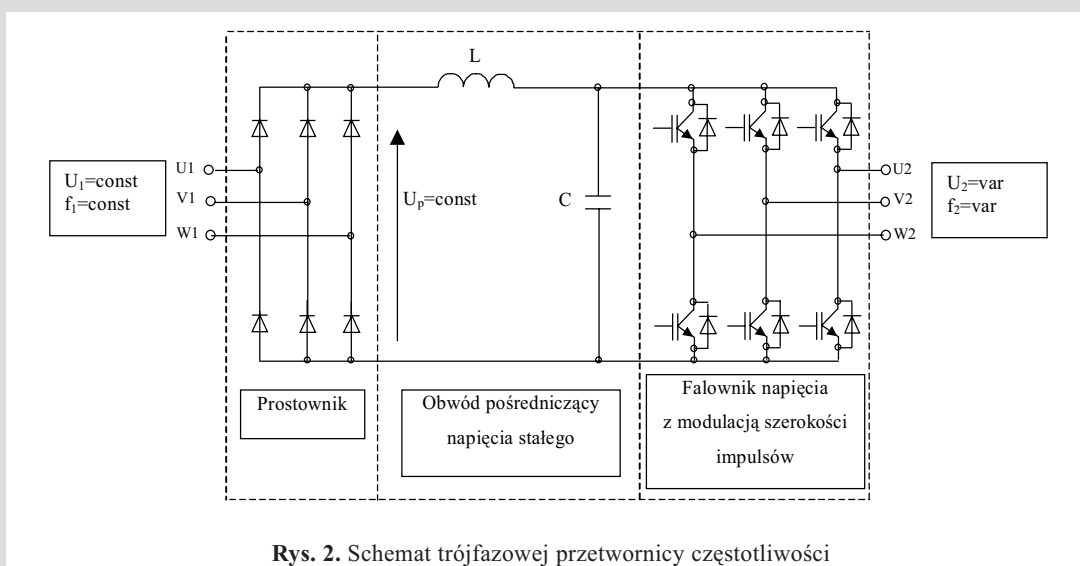
rowanie pozwala również na zmianę wartości amplitudy i częstotliwości przebiegów podstawowej harmonicznej kształtowanej w układzie. Znane są różne sposoby modulacji szerokości impulsów. Jednym z nich jest metoda modulacji szerokości impulsów według zadanego wektora przestrzennego napięcia wyjściowego falownika (*Voltage Space Vector Method*). Umożliwia ona pośrednio powiązanie modulacji szerokości impulsów z prędkością lub momentem, które wyznaczają wektor przestrzenny.

Informacje na temat wektora przestrzennego, modulacji szerokości impulsów i sterowania na podstawie wektora przestrzennego zostały szeroko opisane w literaturze [2, 3, 4, 5, 6, 7].



Rys. 1. Trójfazowy falownik napięcia

\* Katedra Automatyki Napędu i Urzędzeń Przemysłowych

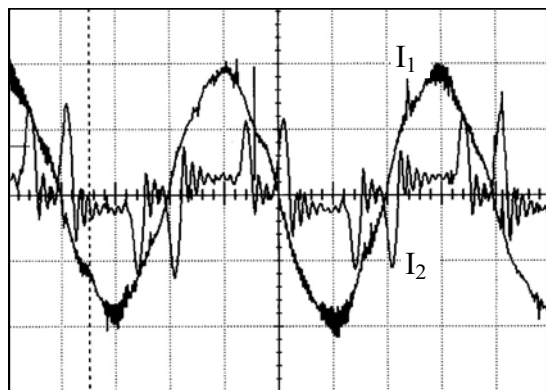


Rys. 2. Schemat trójfazowej przetwornicy częstotliwości

### 3. UKŁAD LABORATORYJNY

W zestawie laboratoryjnym została zastosowana wektorowa przetwornica częstotliwości o mocy 2,2 kW. Uproszczonego schematu przetwornicy pokazano na rysunku 2.

Ze względu na to, że pierwszym blokiem w tej przetwornicy jest trójfazowy prostownik diodowy, konieczne było zastosowanie dławika i filtra sieciowego, w celu ograniczenia oddziaływania układu na sieć zasilającą. Zarejestrowane przebiegi prądów fazowych przedstawione są na rysunku 3.

Rys. 3. Przebiegi prądów fazowych:  $I_1$  – prąd wyjściowy przetwornicy,  $I_2$  – prąd od strony sieci zasilającej przed filtrem sieciowym

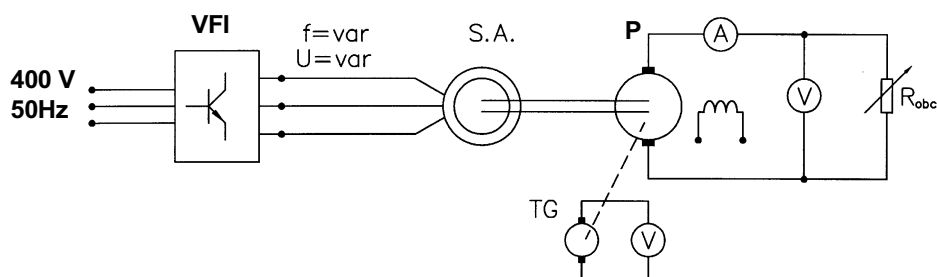
ku 3. Wyraźnie widać wpływ prostownika diodowego na przebieg prądu fazowego sieci zasilającej.

Przetwornica jest elementem zasilającym silnik indukcyjny klatkowy o mocy 1,5 kW. Regulowane obciążenie dla silnika stanowi obciążenie prądu stałego z obciążeniem rezystancyjnym.

Schemat stanowiska laboratoryjnego przedstawiono na rysunku 4.

### 4. USTAWIENIA PODSTAWOWYCH PARAMETRÓW PRZETWORNICY

Ustawienia fabryczne urządzenia często nie pozwalają na realizację zamierzonej funkcji, stąd pierwszym etapem po fizycznym zainstalowaniu urządzenia jest jego parametryzacja. Oprócz wprowadzenia podstawowych informacji o zasilanym silniku (napięcie, moc, częstotliwość znamionowa, ilość biegunów) oraz całym napędzie (przyspieszenie, opóźnienie, częstotliwość maksymalna itp.), można także określić funkcję wejść i wyjść, w które urządzenie jest wyposażone. Do urządzenia dołączone jest oprogramowanie, które pozwala na szybkie ustawienie parametrów wpływających na poprawną pracę układu napędowego. W następnej części artykułu zamieszczono skrócony opis wyników prac zawiązanych z parametryzacją przetwornicy wykonaną przez autorów wspólnie z studentami V roku wydziału EAIiE.



Rys. 4. Schemat stanowiska laboratoryjnego

## 5. PARAMETRYZACJA PRZETWORNICY DV5

Parametryzacja wektorowej przetwornicy częstotliwości DV5 może być przeprowadzona na trzy sposoby:

- 1) poprzez przyciski na urządzeniu;
- 2) poprzez panel operatorski DEX-KEY;
- 3) za pomocą komputera z oprogramowaniem DriveSoft; korzystanie z komputera znacznie usprawnia i przyspiesza proces konfiguracji przetwornicy.

Dodatkowo program DriveSoft został wyposażony w następujące narzędzia:

- Virtual Inverter – symuluje reakcje falownika na sygnały zewnętrzne przy zadanych zestawie parametrów;
- DEX-KEY-10 – pełni funkcję wirtualnego panelu operatorskiego umożliwiając kontrolowanie urządzenia bezpośrednio z komputera;
- Trend – pozwala wyświetlać w czasie rzeczywistym wartości prądu, częstotliwości, napięcia DC itp.

Nie jest możliwe jednoczesne uruchomienie wirtualnego panelu operatorskiego i opcji Trend, ponieważ podczas pracy korzystają z portu szeregowego komputera, komunikując się z przetwornicą. Nie można również w tym samym czasie wysyłać lub odczytywać parametrów przetwornicy. Aplikacja operuje na plikach ISF (*Inverter Setup File*). Zapisuje w nich m.in. typ urządzenia i wartości wszystkich parametrów. Istnieje możliwość wydrukowania listy parametrów wraz z opisem, a także wygenerowanie raportu z różnic pomiędzy dwoma konfiguracjami dla tego samego typu urządzenia.

### 5.1. Edycja parametrów

Po uruchomieniu programu wyświetlane jest okno dialogowe (rys. 5).



Rys. 5. Okno dialogowe wyboru rodzaju przetwornicy

W oknie tym dokonuje się wyboru rodzaju falownika, dla którego zostanie utworzony plik zawierający ustawienia fabryczne.

### 5.2. Podstawowe ustawienia

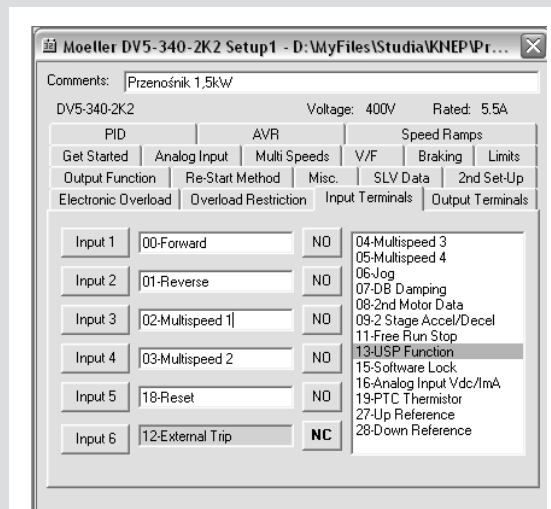
Parametryzację rozpoczyna się od zakładki Get Started. Oprócz częstotliwości nominalnej oraz maksymalnej silnika należy określić przyspieszenie i opóźnienie napędu, jako czas zmiany częstotliwości wyjściowej między 0 Hz i częstotliwością maksymalną.

Podawany jest również sposób kontrolowania pracy przetwornicy.

W przypadku rozkazu start/stop (*Metod of Run Command*) możliwe są dwa sposoby sterowania za pomocą:

- 1) przycisków na płycie czołowej (*Start/Stop Buttons*),
- 2) sygnału logicznego podawanego na wejście cyfrowe.

Przy drugim sposobie sterowania należy przypisać odpowiednią funkcję jednemu z wejść. Dokonuje się tego, ustawiając odpowiedni parametr w oknie Input Terminals pokazanym na rysunku 6.



Rys. 6. Widok panelu do ustawienia wejść cyfrowych

Konfigurując sposób sterowania częstotliwością wyjściową urządzenia można wybrać jedną spośród trzech metod.

W pierwszej metodzie prędkość silnika jest zadawana przy użyciu potencjometru zainstalowanego na płycie czołowej przetwornicy.

Druga metoda korzysta z sygnałów podawanych na listwę zaciskową. Są one interpretowane jako liczba binarna (do 4 bitów). Wartość tej liczby jest numerem częstotliwości zdefiniowanej w zakładce Multi Speeds. Jeżeli żadne z wejść nie zostanie przypisane do zacisku wejściowego lub na wszystkich przypisanych występują stany niskie (logiczne 0), to przetwornica przełącza się w tryb analogowego zadawania prędkości.

Trzecia metoda sterowania częstotliwością polega na zadawaniu jej wartości poprzez wewnętrzny parametr o nazwie Internal Pre-set Speed.

**Tabela 1**

Wejścia cyfrowe – opis parametrów

Nazwa funkcji	Opis
00-Forward	Ruch w przód
01-Reverse	Ruch w tył
02-Multispeed 1	Bity określające numer zdefiniowanej w zakładce Multi Speeds częstotliwości (najmłodszy bit ma numer 1)
03-Multispeed 2	
04-Multispeed 3	
05-Multispeed 4	
06-Jog	Tryb pracy chwilowej
07-DB Dumping	Hamowanie dynamiczne z zewnętrznym rezystorem
08-2 <sup>nd</sup> Motor Data	Aktywacja zestawu parametrów dla drugiego silnika
09-2stage Acc/Dec	Aktywacja drugiej rampy czasowej
11-Free Run Stop	Hamowanie wybiegiem
12-External Trip	Zewnętrzny sygnał awarii
13-USP Function	Blokada ponownego rozruchu po skasowaniu awarii przy aktywnym sygnale RUN
15-Software Lock	Blokada zmian wartości parametrów
16-Analog Input Vdc/ImA	Wybór analogowego źródła wymuszenia (napięciowe lub prądowe)
18-Reset	Kasowanie sygnału błędu
19-PTC Thermistor	Wejście termistora (możliwe tylko na wejściu 5 i 6)
27-Up Reference	Zwiększanie i zmniejszanie częstotliwości wyjściowej
27-Down Reference	

### 5.3. Konfiguracja wejść cyfrowych

Korzystając z zakładki Input Terminals należy zdefiniować funkcje poszczególnych wejść cyfrowych (rys. 6). Dokonujemy tego, zaznaczając wybraną funkcję, a następnie klikamy w przycisk odpowiedniego wejścia. Wybrana funkcja pojawi się w okienku przypisanemu danemu zaciskowi i zostanie usunięta z listy niewykorzystywanych funkcji. Standardowo wejścia ustawione są jako normalnie otwarte. Jeżeli istnieje taka potrzeba, możemy to zmienić przyciskiem umieszczonym po prawej stronie okna nazwy przypisanej zaciskowi funkcji.

W tabeli 1 przedstawiono opis parametrów możliwych do przypisania poszczególnym wejściom cyfrowym.

### 5.4. Konfiguracja wyjść

Dla każdego wyjścia można przypisać jedną z sześciu funkcji (tab. 2). Funkcje przypisuje się przez wybranie odpowiedniej opcji z rozwijalnej listy znajdującej się w oknie Output Terminals. Wyjście, podobnie jak wejście, można zdefiniować jako NO lub NC.

W tym samym miejscu dokonujemy konfiguracji wyjścia analogowego FM. Można mu przypisać jeden z trzech dostępnych sygnałów wyjściowych (tab. 3).

**Tabela 2**

Funkcje możliwe do przypisania dla każdego wyjścia

Nazwa funkcji	Opis (sygnał logiczny wystawiany, gdy:)
00-Run Signal	Przetwornica ustawiona w tryb pracy
01-Arrival at Constant Speed	Uzyskano zadaną częstotliwość wyjściową
02-Arrival>Set Frequency	Częstotliwość wyjściowa jest na zaprogramowanym wcześniej poziomie lub wyższa
03-Overload Signal	Nastąpiło przeciążenie
04-PID Deviation Signal	Wartość uchybu regulacji przekracza wartość procentową określoną w parametrze Level of deviation signal PID z zakładki Output Function
05-Alarm Signal	Wystąpiło zakłócenie

**Tabela 3**  
 Funkcje wyjścia analogowego FM

Nazwa funkcji	Opis
0-Analog Output Frequency	Napięcie 0–10 V proporcjonalne do częstotliwości wyjściowej
1-Analog Output Current	Napięcie 0–10 V proporcjonalne do prądu wyjściowego przetwornicy
2-Digital Output Frequency	Ciąg impulsów napięciowych o częstotliwości proporcjonalnej do częstotliwości wyjściowej

### 5.5. Sterowanie charakterystyką $U/f$

Korzystając z zakładki  $V/f$  można wybrać sposób kształtowania charakterystyki  $U/f$  ( $V/F$  Characteristic Setting).

Do wyboru są następujące charakterystyki:

- liniowa – stały moment (*Constant Torque*),
- kwadratowa – zredukowany moment (*Reduced Torque*),
- sterowanie wektorowe (*Sensorless Vector*).

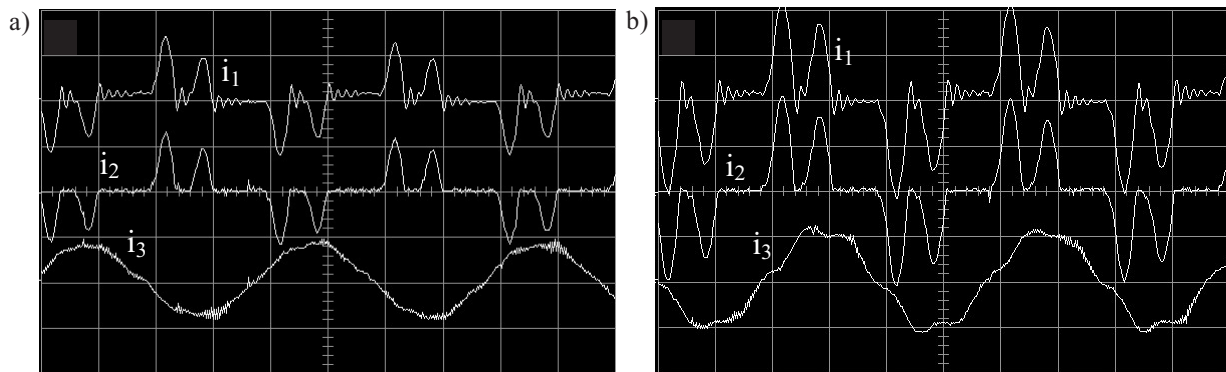
Urządzenie umożliwia załączenie manualnego i automatycznego zwiększenia charakterystyki  $U/f$  w określonych przedziałach. Korzystając z parametru Voltage Gain Setting można w razie potrzeby dodatkowo obniżyć napięcie wyjściowe w całym przedziale częstotliwości.

### 6. WYNIKI BADAŃ

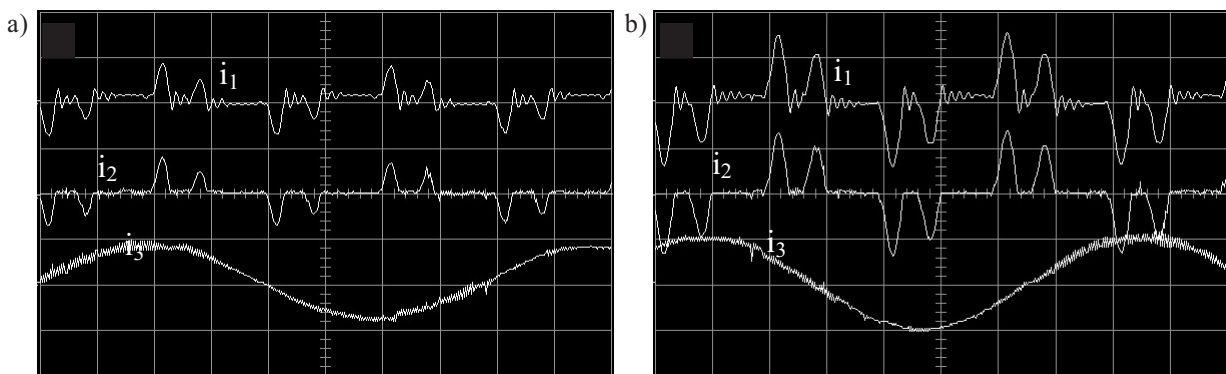
Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono wyniki pracy przetwornicy dla dwóch przypadków częstotliwości zasilającej. Wybrane częstotliwości to 25 Hz i 50 Hz. Przedstawiono oscylogramy prądów z obciążeniem (rys. 7a i 8a) i bez obciążenia (rys. 7b i 8b). We wszystkich przypadkach przetwornica realizuje prawie sinusoidalny prąd zasilający silnik indukcyjny.

### 7. PODSUMOWANIE

W roku akademickim 2004/2005, dzięki zrealizowanym pracom, prowadzone są zajęcia z wykorzystaniem zbudowanego stanowiska dydaktycznego.



**Rys. 7.** Przebiegi prądu jednej fazy przy częstotliwości napięcia zasilającego silnik 50 Hz: bez obciążenia (a); z obciążeniem (b);  $i_1$  – prąd sieci zasilającej,  $i_2$  – prąd wejściowy prostownika (po filtrze sieciowym),  $i_3$  – prąd wyjściowy przetwornicy



**Rys. 8.** Przebiegi prądu jednej fazy przy częstotliwości napięcia zasilającego silnik 25 Hz: bez obciążenia (a); z obciążeniem (b);  $i_1$  – prąd sieci zasilającej,  $i_2$  – prąd wejściowy prostownika (po filtrze sieciowym),  $i_3$  – prąd wyjściowy przetwornicy

Następnym etapem działań jest zaimplementowanie regulatora PID w przetwornicy i porównanie jego parametrów z parametrami zewnętrznego regulatora. Na uwagę zasługuje fakt, że większość prac związanych z no-

wymi urządzeniami wykonywana jest przez studentów Koła Naukowego Elektroniki Przemysłowej pod nadzorem pracowników Laboratorium Elektroniki Przemysłowej.

## Literatura

- [1] Moeller Electric: *Instrukcja użytkownika przetwornic częstotliwości DV5*
- [2] Mohan N., Undeland T.M., Robbins W.P.: *Power electronics. Converters, applications and design*. John Wiley, 1995, ISBN 0-471-58408-8
- [3] Nowacki Z.: *Modulacja szerokości impulsów w napędach przekształtnikowych prądu przemiennego*. Warszawa, PWN 1991, ISBN 83-01-10402-3
- [4] Nowak M., Barlik R.: *Poradnik inżyniera energoelektronika*. Warszawa, WNT 1998, ISBN 83-204-2223-X
- [5] Piróg S.: *Energoelektronika*. Kraków, Wyd. AGH 1998, ISBN 83-907806-6-6
- [6] Tunia H., Kaźmierkowski M.: *Automatyka napędu przekształtnikowego*. Warszawa, PWN 1987, ISBN 83-01-06851-5
- [7] Tunia H., Winiarski B.: *Energoelektronika*. Warszawa, WNT 1994, ISBN 83-204-1648-5

Wpłynęło: 16.02.2005



Tomasz SIOSTRZONEK

Ukończył studia na Wydziale EAIiE Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w 2000 roku. Po ukończeniu studiów pracował w Zakładzie Energetycznym w Krakowie a następnie w Gliwickim Biurze Projektów Budownictwa Przemysłowego. Od 2002 roku, jest asy-

stentem w Katedrze Automatyki Napędu i Urządzeń Przemysłowych. Zajmuje się problemami związanymi ze sterowaniem napędem elektrycznym i układami energoelektronicznymi do zasilania silników z magnesami trwałymi.

e-mail: [tsios@uci.agh.edu.pl](mailto:tsios@uci.agh.edu.pl)



Andrzej MONDZIK

Ukończył studia na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w 1997 roku. Obecnie jest pracownikiem Katedry Automatyki Napędu i Urządzeń Przemysłowych AGH. Zajmuje się problemami związanymi z kompensacją mocy biernej i filtracją aktywną. W styczniu 2005 roku otrzymał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie elektrotechnika.

e-mail: [mondzik@uci.agh.edu.pl](mailto:mondzik@uci.agh.edu.pl)