

*XV Seminarium*  
**ZASTOSOWANIE KOMPUTERÓW W NAUCE I TECHNICIE' 2005**  
Oddział Gdański PTETiS

**NOWOCZESNE UKŁADY NAPĘDOWE WYKORZYSTYWANE W  
DYDAKTYCE**

**Mirosław i WŁAS<sup>1</sup>, Paweł STANKIEWICZ<sup>2</sup>, Marcin GŁĄB<sup>3</sup>**

Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Katedra Energoelektroniki i  
Maszyn Elektrycznych 80-216 Gdańsk, ul. Sobieskiego 7

<sup>1</sup> tel: 3472337	fax: 3410880	e-mail: mwlas@ely.pg.gda.pl
<sup>2</sup> tel: 3472993	fax: 3410880	e-mail: pstank@ely.pg.gda.pl
<sup>3</sup> tel: 3472337	fax: 3410880	e-mail: marglab@ely.pg.gda.pl

Ciągły postęp w dziedzinie napędów elektrycznych, rozwój technik mikroprocesorowych oraz powszechne zastosowanie komputerów do wizualizacji układów automatyki wymusza na nauczycielach akademickich rozwój bazy dydaktycznej. Dzięki projektom badawczym i budowie stanowisk do prac doktorskich wprowadzono jednolitą kartę z procesorem sygnałowym SH65L co przyczyniło się do powstania w Laboratorium Automatyki Napędu Elektrycznego jednolitego systemu sprzętowo-programowego. W niniejszym referacie zebrano informacje na temat nowych stanowisk dydaktycznych wykorzystywanych w Laboratorium Automatyki Napędu Elektrycznego.

## **1. WPROWADZENIE**

W Laboratorium Automatyki Napędu Elektrycznego we wszystkich ćwiczeniach wykorzystuje się komputer jako podstawowe narzędzie służące do wizualizacji otrzymanych wyników badań oraz jako konsola do sterowania układem badawczym. Sterowanie układem napędowym odbywa się przy pomocy specjalnie napisanego panelu sterującego, zwanego również „konsolą operatora”. Panel sterujący to aplikacja napisana w języku C i pracująca w środowisku Windows. Komunikacja między mikrokontrolerem z procesorem sygnałowym ADSP-21065L, a komputerem PC odbywa się za pomocą interfejsu RS232. Wykorzystanie panelu sterowania umożliwia użytkownikowi następujące czynności [1,2]:

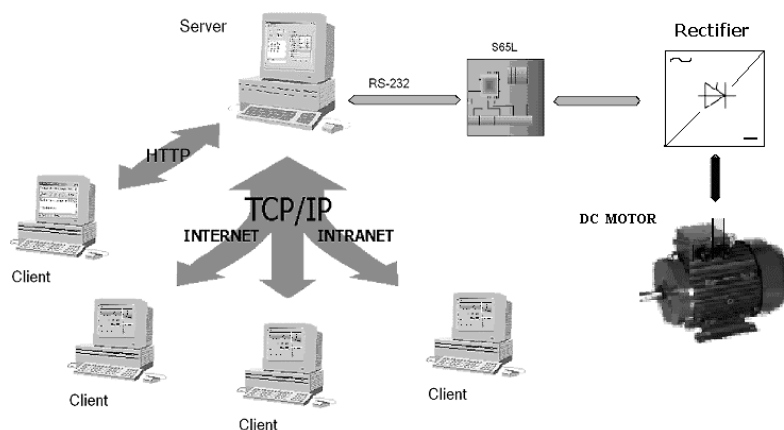
- ładowanie i wykonywanie programów sterujących silnikiem,
- sterowanie pracą silnika (np. zmiana prędkości obrotowej, parametrów regulatorów),
- dokonanie rejestracji kilku wielkości charakterystycznych dla pracy napędu (prądów i napięć),
- graficzna interpretacja zarejestrowanych wyników,
- dwustronna komunikacja użytkownika z mikrokontrolerem S65L.

Materiały pomocnicze do laboratorium oraz instrukcje poszczególnych ćwiczeń zarówno dla kierunku Elektrotechnika jak i Automatyka i Robotyka znajdują się na stronie internetowej Katedry Energoelektroniki i Maszyn Elektrycznych PG [3,4].

## 2. STANOWISKA LABORATORYJNE

### 2.1. Stanowisko do badań tyrystorowego napędu prądu stałego z wykorzystaniem sieci intranet/internet

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z systemem zdalnego sterowania układem napędowym prądu stałego z wykorzystaniem sieci Intranet/Internet, badanie jakości połączenia w sieci oraz zdalne badanie układu napędowego poprzez strojenie nastaw regulatorów i rejestracji przebiegów z poziomu aplikacji klienta. Sposób komunikacji w sieci Internet określa protokół sieciowy TCP/IP.

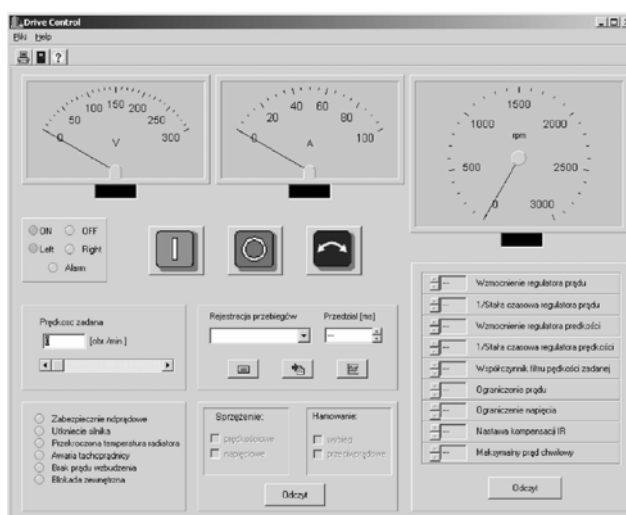


Rys. 1. Schemat układu komunikacji Klient-Serwer [4]

Nawrotny przekształtnik tyrystorowy zasilający silnik prądu stałego sterowany jest przez układ mikroprocesorowy SH65L z procesorem ADSP-21065L. Program lokalnego sterowania przekształtnikiem wczytywany jest do procesora z poziomu serwera lub klienta. Program „Server” realizuje dwustronną komunikację z procesorem, do którego wczytany został program sterowania lokalnego, programem lub programami „Klient” połączonymi przez sieć Intranet/Internet z serwerem, oraz przeglądarką WWW przez protokół HTTP. Program „Klient” uruchomiony na dowolnej stacji w sieci Intranet/Internet poprzez komunikację z serwerem realizuje nadrzędne sterowanie układem napędowym, modyfikację i monitorowanie parametrów układu sterowania, wizualizację pomiarów wartości chwilowych układu napędowego z wykorzystaniem wirtualnych przyrządów pomiarowych, wykrywanie stanów awaryjnych a także komunikację na poziomie użytkownika i administratora. Moduł pomiarowy programu „Klient” umożliwia badanie jakości połączenia z wybranym hostem przed ustanowieniem połączenia. Komunikacja serwera z przeglądarką stron internetowych znajduje zastosowanie podczas pracy bez administratora.

Wirtualne mierniki (rysunek 2) wskazują odpowiednio napięcie twornika, prąd twornika oraz prędkość obrotową. Układ sterowania może pracować ze sprzężeniem prędko-

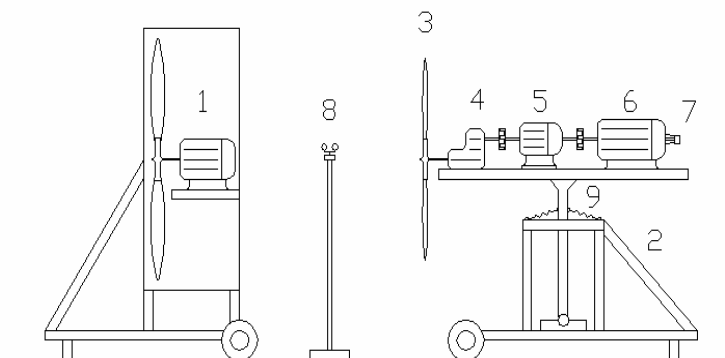
ściowym lub napięciowym. Zatrzymanie układu napędowego może być realizowane przeciwnieprądowo lub wybiegiem.



Rys. 2. Panel zdalnego sterowania układem napędowym i wizualizacji

## 2.2. Stanowisko do badań generatora wiatrowego z modelowaniem silnika wiatrowego

Celem ćwiczenia jest poznanie właściwości statycznych i dynamicznych maszyny dwustronnie zasilanej (MDZ) przy pracy generatorowej. Badaniu podlegają właściwości maszyny z bezczujnikowym układem sterowania mocą czynną i bierną oddawaną do systemu elektroenergetycznego przy różnych prędkościach kątowych maszyny i przy różnych rodzajach źródła energii mechanicznej. Schemat części mechanicznej stanowiska przedstawiono na rysunku 3. Stanowisko badawcze, składa się z trzech części: z elektrowni wiatrowej, generatora wiatru oraz z centralki sterowniczej. Wszystkie części stanowiska badawczego występują na osobnych mobilnych konstrukcjach, dzięki czemu stanowisko można przemieszczać. Można zmieniać odległość i kąt pomiędzy generatorem wiatru i elektrownią wiatrową, co powoduje, że stanowisko posiada cechy prawdziwej elektrowni wiatrowej, gdzie prędkość wiatru jest zmienna. Regulacja wiatru odbywa się poprzez gene-



Rys. 3 Elementy układ laboratoryjnego elektrowni wiatrowej: generator wiatru (1), anemometr (8), silnik wiatrowy (3), przekładnia (4), emulator wiatru (5), generator (6), konstrukcja (2), sprężyny (9)

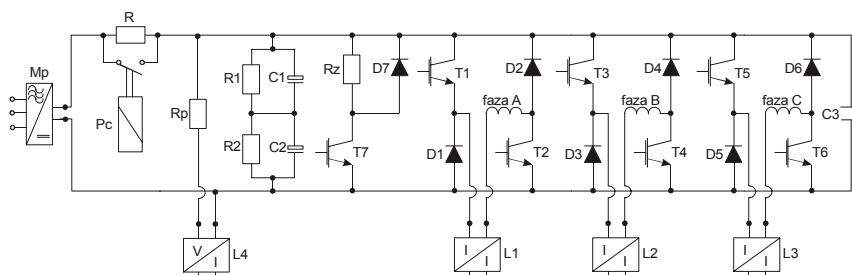
rator wiatru (wentylator o mocy 11kW) lub przez emulator wiatru (silnik indukcyjny klatkowy o mocy 3kW). Emulator wiatru sterowany jest przemiennikiem z procesorem ADSP-21065L, posiadającym panel operatorski umożliwiający kontrolę pracy emulatora. Wszystkie przemienniki, układy sterujące oraz pomiarowe znajdują się w centralce sterowniczej.

### 2.3. Stanowisko do badań układu napędowego z silnikiem przełączalnym reluktancyjnie

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z budową oraz zasadą działania napędu z silnikiem reluktancyjnym oraz zarejestrowanie przebiegów stanów ustalonych i nieustalonych. W ćwiczeniu zastosowano sterowanie prądowe z regulatorem histerezowym. Punkt pracy silnika SRM jest programowalny i prawie w całości określany przez układ regulacji.

Silnik zasilany jest z przekształtnika energoelektronicznego napięciem stałym  $U_{DC}$ . Odpowiednie tranzystory załączają wybraną fazę uzwojenia stojana w zależności od aktualnego położenia wału wirnika i zadanego kierunku wirowania. Aktualne położenie wirnika jest określone na podstawie sygnałów z przetwornika obrotowo-impulsowego. Na tej podstawie jest także obliczana bieżąca prędkość obrotowa. Główna część zadań jest realizowana w układzie logiki programowalnej firmy Altera, który jest sterownikiem rzeczywistego obiektu. W układzie porównywana jest zadana wartość prądu z wartością rzeczywistą, i na tej podstawie jest generowany sygnał dla odpowiedniej pary tranzystorów IGBT. Układ logiki programowalnej obsługuje przetworniki analogowo-cyfrowe oraz umożliwia prostą realizację sprzętową układów zabezpieczeń.

W trakcie pracy silnika program odczytuje z procesora wartości prądu zadanego, aktualną pozycję wirnika, prędkość rzeczywistą oraz prąd w każdej fazie silnika. Odczyt dokonywany jest co 500 ms. Możliwe jest także zadawanie prędkości i jej kierunku. Można zmienić wartości kąta załączania i wyłączania zasilania uzwojeń silnika, wartości współczynników KP i KI regulatora PI oraz szerokość pętli histerezy regulatora histerezowego. Zmiany mogą być wykonywane przy zatrzymanym silniku, jak i w czasie jego pracy. Panel sterowania umożliwia rejestrację prądów zmierzonych w każdej fazie, prędkości obrotowej oraz momentu elektromagnetycznego.

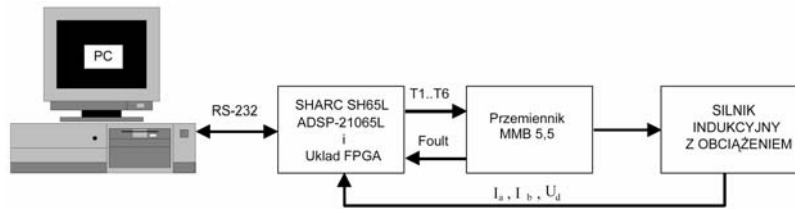


Rys. 4. Schemat układu napędowego z silnikiem przełączalnym reluktancyjnie

### 2.4. Stanowisko do badań układu sterowania multiskalarnego silnikiem indukcyjnym klatkowym zasilanym z przemiennika częstotliwości MMB 5.5

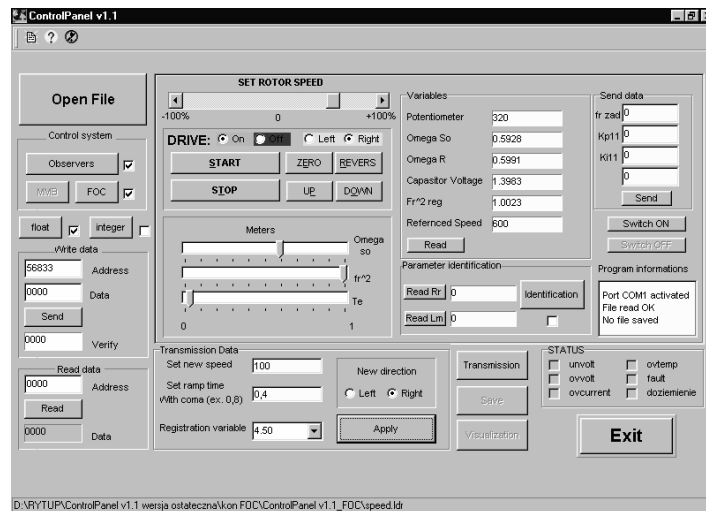
Celem ćwiczenia jest zapoznanie z działaniem układu regulacji prędkości kątowej silnika indukcyjnego zasilanego z przemiennika częstotliwości MMB 5.5, zbadanie i zarejestrowanie przebiegów w układzie i przeprowadzenie procedury strojenia regulatorów.

Stanowisko laboratoryjne składa się z silnika indukcyjnego o mocy 2,2kW zasilanego z przemiennika częstotliwości, oraz obciążenia w postaci mimośrodru z ekspanderem. Sterowanie składa się ze sterownika mikroprocesorowego i komputera PC (rys. 5).



Rys. 5. Sterowanie układu laboratoryjnego

Komputer PC, umożliwia ładowanie programu sterowania do pamięci sterownika mikroprocesorowego oraz obsługę układu napędowego przy pomocy programu pulpitu operatora - zadawanie i odczyt parametrów oraz wizualizację przebiegów (rys. 6.).



Rys. 6. Widok pulpitu operatora

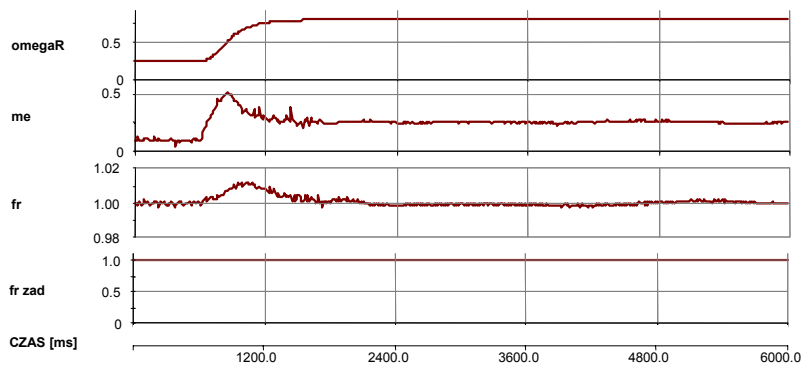
Za pomocą pulpitu operatora można zmieniać wartości zadane strumienia wirnika, prędkości, nastaw regulatorów PI. Można również dokonywać rejestracji oraz wizualizacji przebiegów czasowych i wartości chwilowych różnych zmiennych.

## 2.5. Stanowiska do badań układu napędowego z silnikiem indukcyjnym klatkowym – sterowanie skalarne, wektorowe

Celem ćwiczenia jest zbadanie właściwości statycznych i dynamicznych układu napędowego zasilanego z falownika napięcia ze sterowaniem skalarnym  $U/f=\text{const}$  lub ze sterowaniem wektorowym (FOC). Przy wykorzystaniu przekształtnika AMT-030 z mikroprocesorowym systemem sterowania.

Układ napędowy składa się z silnika indukcyjnego o mocy 5kW i obciążenia w postaci maszyny prądu stałego pracującej na rezystor. Oprogramowanie narzędziowe procesora umożliwia przygotowanie i kompilację programów sterujących przemiennikiem. Zastosowanie układu FPGA umożliwiło realizację części algorytmu sterującego w sposób sprzętowy, zwalniając procesor od części wykonywanych zadań. Układ FPGA w omawianym

stanowisku eksperymentalnym realizuje następujące funkcje: komunikacja dwukierunkowa pomiędzy procesorem sygnałowym a konsolą operatora, odmierzanie czasów załączeń poszczególnych tranzystorów dla jednego okresu impulsowania, wprowadzenie czasu martwego, sterowanie tranzystorem hamującym, obsługa przetworników analogowo – cyfrowych AD7864, wyłączenie falownika w przypadku wystąpienia jednego z sygnałów awarii tranzystorów, wymiana danych dwustanowych pomiędzy kartą procesora sygnałowego a układem napędowym.



Rys. 7. Rejestracja przebiegów prędkości, momentu i strumienia wirnika przy sterowaniu FOC

## 2.6. Stanowisko do badań układu napędowego z bezszczotkowym silnikiem prądu stałego

Układ napędowy składa się z silnika BLDC o mocy 1.1kW i obciążenia w postaci maszyny BLDC pracującej na rezystor.

Podstawowymi elementami systemu napędowego z wykorzystaniem silnika bezszczotkowego prądu stałego są: silnik BLDC, przekształtnik energoelektroniczny, przetworniki analogowo-cyfrowe, procesor sygnałowy, układ logiki programowalnej oraz komputer klasy PC.

Do sterowania silnikiem BLDC wykorzystano pomiar siły elektromotorycznej w wyłączonej fazie w celu określenia położenia wirnika. Bezszczotkowy silnik prądu stałego wykorzystany w ćwiczeniu sterowany jest w taki sposób, iż jednocześnie włączane są dwie fazy. Natomiast tranzystory w trzeciej fazie nie zostają załączone i w podstawowym stanie pracy silnika prąd w danej fazie nie płynie (rys. 7.)

Duża częstotliwość napięcia zasilania silnika ( $f=400$  Hz) powoduje problemy z zastosowaniem modulacji szerokości impulsów. W tym przypadku zastosowano regulację napięcia w obwodzie prądu stałego falownika za pomocą przerywacza. Przerywacz zastosowany w badanym układzie może pracować z częstotliwością kluczowania  $f=3,5$  kHz. Napięcie stałe  $U_{DC}$  podawane jest na tranzystory IGBT, które znajdują się w module IPM. Przełączanie tranzystorów falownika odbywa się w zależności od położenia wirnika sześć razy na okres.

### 3. WNIOSKI KOŃCOWE

Sterowanie pracą układów odbywa się za pośrednictwem komputera PC (funkcja oscyloskopu) lub Internetu. Dzięki dostępnym kodom źródłowym programów panelu operatora (język C++) i sterowania (język C) można dokonywać ich modyfikacji i wciąż je rozwijać. Prosta struktura programów ułatwia powtarzalność pewnych standardów na każdym stanowisku. Dostosowanie strony graficznej paneli do wymagań użytkownika ułatwia obsługę stanowiska oraz pomaga użytkownikom w poznaniu właściwości badanego obiektu. Dzięki pełnej dokumentacji programisty można łatwo rozbudować istniejące oprogramowanie i np. dostosować je do zastosowań przemysłowych.

### 4. BIBLIOGRAFIA

1. ASP SHARC Handbook, Document reference number SHARC M. 7 13 Copyright 1997 Transtech Parallel Systems
2. ADSP-2106x SHARC User's Manual 1995 Analog Devices, Inc.
3. Analog Devices, ADSP-2106x SHARC DSP Microcomputer Family
4. Instrukcje „Laboratorium Automatyki Napędu Elektrycznego” w Internecie pod adresem: [http://www.ely.pg.gda.pl/kelime/automatyka\\_ne/ane.htm](http://www.ely.pg.gda.pl/kelime/automatyka_ne/ane.htm)

### EXPERIMENTAL DRIVE SYSTEMS USED IN DIDACTICS

Constant development in electrical drives area, progress in microprocessor technics and widespread using computers cause to come into being Laboratory of Control Engineering of Electrical Drive on Faculty of Electrical and Control Engineering at Gdansk University of Technology. This paper summarized information about new drive systems used in Laboratory of Control Engineering of Electrical Drive.

## Fotografie

a)



d)



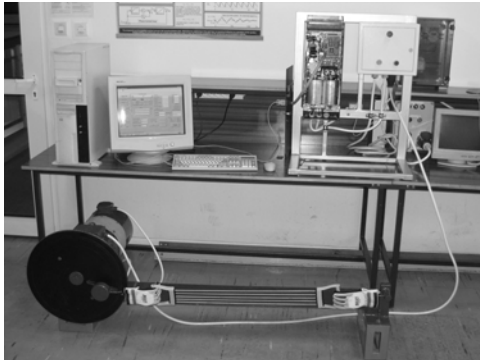
b)



e)



c)



Tyristorowy napęd prądu stałego z wykorzystaniem sieci intranet/internet – a), układ napędowy z silnikiem indukcyjnym klatkowym – sterowanie skalarne, wektorowe – b), układ sterowania multi-sklarnego silnikiem asynchronicznym – c), układ napędowy z bezszczotkowym silnikiem prądu stałego – d), generator wiatrowy z modelowaniem silnika wiatrowego – e)