

Tomasz BISKUP
Henryk KOŁODZIEJ
Dariusz SZCZĘŚNY

ENERGOELEKTRONICZNY UKŁAD ZASILANIA DO TESTOWANIA ROZRUSZNIKÓW SAMOCHODOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono energoelektroniczny układ zasilacza do testowania rozruszników samochodowych. Realizacja tego zadania napotkała na pewne problemy związane ze sterowaniem przemiennika MSI, który został zastosowany w zasilaczu. Problemy te pojawiły się na etapie uruchamiania urządzenia i dotyczyły możliwości zastosowanego w układzie sterowania mikrokontrolera Intel 80C196KC. Pokazano otrzymane rezultaty, obejmujące nie tylko pracę samego przemiennika, ale także uzyskane za pomocą skonstruowanego zasilacza wyniki badań, produkowanych przez przedsiębiorstwo rozruszników.

POWER ELECTRONIC SUPPLY SYSTEM FOR CAR STARTER TESTING

Summary. Power electronic supply system for car starter testing is presented in the paper. The authors faced some problems with PWM inverter installed in a starter supply system during realization of this task. The problems were connected with the implemented modulation method and inadequate gradation of the microcontroller timer. There are also given some results obtained in the inverter and supply system during the testing cycle.

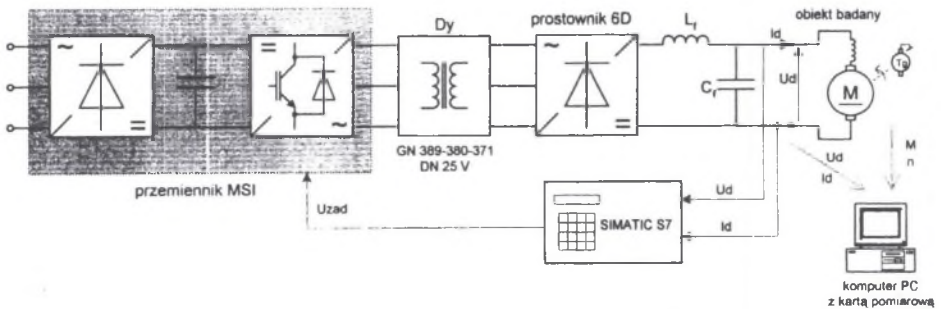
1. WPROWADZENIE

Lata 90 charakteryzują się zwiększonym zainteresowaniem energoelektroniką stosowaną w urządzeniach czy instalacjach przemysłowych. Dotyczy to tak samo rozwiązań typowych, np. przemienniki częstotliwości MSI z silnikiem indukcyjnym klatkowym do płynnej regulacji wydajności przepływu określonego medium (woda, powietrze), układy łagodnego rozruchu dla silników prądu przemiennego, jak i rozwiązań niekonwencjonalnych. Zawsze naczelnym celem jest poprawienie parametrów ekonomicznych przedsięwzięcia oraz polepszenie

wyników działania od strony funkcjonalnej (jakość produktu lub realizowanego procesu). Strona ekonomiczna wymusza obniżenie kosztów urządzenia, które obejmują nie tylko cenę samych części, ale także koszty uruchomienia. Ten ostatni czynnik może być znaczny, jeśli urządzenie jest wykonywane jednostkowo i jego specyfika wymusza większą, dodatkową pracę podczas uruchamiania. Dlatego najczęściej dąży się do wykorzystania dostępnych i sprawdzonych wcześniej modułów funkcjonalnych, obwodów siłowych, układu sterowania itp.

Z taką sytuacją autorzy niniejszego artykułu mieli do czynienia przy wykonywaniu zlecenia obejmującego zasilacz, mający służyć do badania rozruszników samochodowych. Ze względu na wymagania norm zleciodawca zamówił urządzenie mające zastąpić stosowany w laboratorium dotychczasowy układ zasilający, składający się z transformatora chłodzonego olejem, prostowników i zespołu oporników.

Ze względu na warunki pomiarów rozruszników zasilacz miał zastępować odpowiedni akumulator, stosowany w danym pojeździe. Oznaczało to konieczność realizacji przez zasilacz charakterystyk napięciowo-prądowych pewnej grupy akumulatorów. W celu obniżenia łącznych kosztów zdecydowano się na zastosowanie produkowanego przez firmę ENEL z Gliwic przemiennika częstotliwości, który miał zostać przystosowany do wymaganych warunków pracy całego urządzenia.



Rys. 1. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego do sprawdzania charakterystyk rozruszników

Fig. 1. Block diagram of power electronic testing system for car starters

2. KONSTRUKCJA ZASILACZA

Całość realizacji zasilacza była kierowana przez ABB Dolmel Drives. Schemat blokowy zasilacza został przedstawiony na rysunku 1. Pierwszy stopień przetwarzania stanowi przemiennik częstotliwości o wyjściu 3-fazowym, zasilający transformator obniżający napięcie. Przemiennik

pracuje ze stałą, podwyższoną częstotliwością 275Hz i nastawialną wartością napięcia wyjściowego.

Trójfazowy transformator suchy obniżający napięcie o grupie połączeń Dy posiada 3 odczepy, pozwalające na doregulowanie wartości napięcia wyjściowego. Wtórna strona transformatora jest dołączona do prostownika diodowego 6-pulsowego. Stopniem końcowym zasilacza jest filtr LC.

W układzie mierzone są prąd i napięcie wyjściowe zasilacza za pomocą przetworników firmy LEM. Układ jest przystosowany do badania rozruszników 12V i 24V przy prądach wyjściowych rzędu 2..3kA. Sygnały od sprzężenia prądowego i napięciowego są wprowadzone do sterownika PLC Simatic S7-314IFM. Sprawuje on ogólny nadzór nad pracą zasilacza oraz realizuje procedurę kształtowania charakterystyki prądowo-napięciowej, zgodnie z naturalnymi charakterystykami odpowiednich akumulatorów. Istnieje możliwość nastawy parametrów tej charakterystyki przez użytkownika. Mierzony prąd silnika i napięcie na wyjściu zasilacza pozwalają na określenie zadanej wartości napięcia wyjściowego przemiennika częstotliwości. Zadawanie jest realizowane za pomocą łącza prądowego 4...20mA.

Jednocześnie wszystkie znaczące wielkości elektryczne i mechaniczne silnika (prąd, napięcie, prędkość, moment) są rejestrowane za pomocą systemu z komputerem PC i kartą pomiarową. Pozwala to na późniejsze wyliczenie innych wielkości (moc na wale rozrusznika) oraz analizę funkcjonowania badanego rozrusznika.

3. UKŁAD STEROWANIA PRZEMIENNIKA

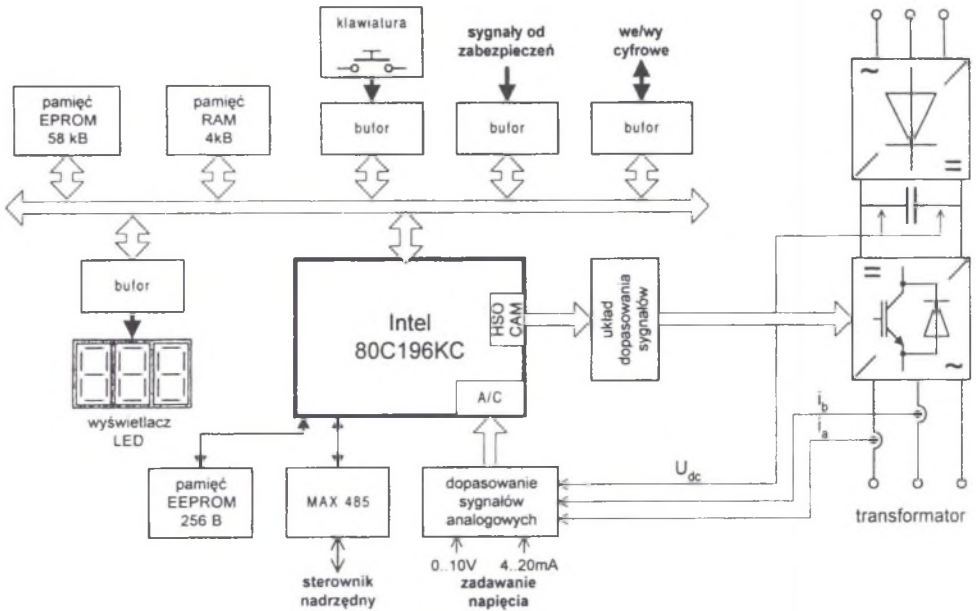
W celu obniżenia kosztów i przyspieszenia realizacji projektu zastosowano do zasilacza przemiennik częstotliwości firmy ENEL [1], przystosowany do wymogów tego urządzenia. Obwody siłowe pozostały w zasadzie bez zmian, natomiast dokonano pewnych modyfikacji w oprogramowaniu sterownika. Układ sterowania przemiennika przedstawiono na rysunku 2.

Zmiany te dotyczyły tylko sposobu zadawania wielkości wyjściowej. Bez zmian pozostawiono wszystkie procedury zabezpieczeń, komunikacji z użytkownikiem itp. Ze względu na obawy o interakcje między częstotliwością źródła zasilania (50Hz) i zakładaną pierwotnie częstotliwością wyjściową 300Hz zmieniono tę ostatnią do wartości 275Hz (stała). Napięcie wyjściowe zadawane jest przez łącze prądowe 4..20mA (lub wejście napięciowe 0..10V). Łącze MPI Simatica zostało wykorzystane do komunikacji z panelem operatorskim OP. Przyjęto zakres zmian napięcia wyjściowego przemiennika 7..380V.

Do przełączania zaworów przemiennika wykorzystano układ szybkich wyjść mikrokontrolera Intel 80C196KC [2]. Jest to układ pozwalający na dokonywanie przełączeń na wyjściach z niewielką ingerencją programową, ograniczającą się do podania numeru wyjścia, na którym ma nastąpić zmiana i czasu tej zmiany. Wszystkie zależności czasowe

mogą być odniesione do stanu licznika T1 lub T2. Rozdzielczość tych 16-bitowych liczników wynosi $0,8\mu\text{s}$, przy 20MHz rezonatorze przyłączonym do mikrokontrolera.

W omawianych przemiennikach częstotliwości standardowo wykorzystuje się dobrze znaną modulację metodą wektora przestrzennego, synchronizowaną [3]. Dla każdego zadanego wektora napięcia można otrzymać wartości czasów między kolejnymi przełączeniami. Sekwencja przełączeń zawiera wektory wyznaczające granice danego sektora i wektory zerowe - rysunek 3.



Rys.2. Schemat blokowy sterownika przemiennika MSI

Fig.2. Block diagram of frequency inverter control unit

Dla takich założeń obowiązują znane zależności, przedstawione tu tylko dla wybranego sektora 1:

$$t_1 = \frac{1}{\sqrt{3}} m_1 T_c \sin\left(\frac{\pi}{3} - \omega_0 t\right) ,$$

$$t_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} m_1 T_c \sin \omega_0 t ,$$

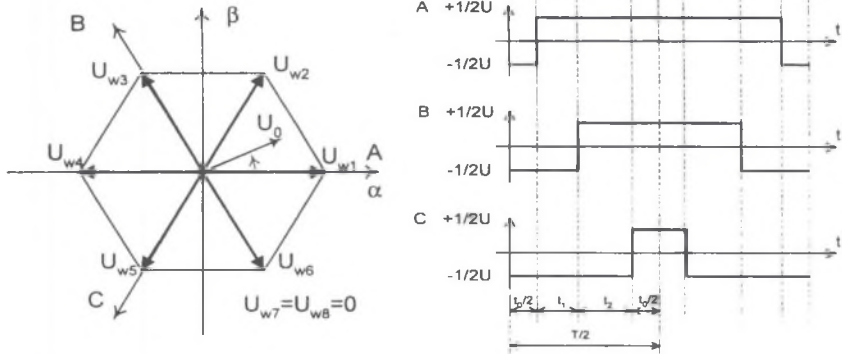
$$t_0 = \frac{T_c}{2} - (t_1 + t_2) ,$$

$$\text{gdzie } m_1 = \frac{U_{hi}}{\frac{2}{3}U} .$$

W wersji pierwotnej zakładano ustalenie parametru r , który jest równy stosunkowi częstotliwości przełączania do częstotliwości napięcia wyjściowego na poziomie: 21, 15, 9 (wartości opcjonalnie wybierane przez użytkownika).

Przeprowadzone pierwsze badania rozruszników z wykorzystaniem zasilacza wskazały na pewne zasadnicze problemy niniejszego rozwiązania. Najważniejszy z nich to zbyt mała gradacja zmian napięcia wyjściowego. Przy pomiarach z rozrusznikiem 12V zmiany napięcia wyjściowego z zasilacza były wyraźnie widoczne w postaci skoków na poziomie 0,2V.

Pierwotną przyczyną była tu zbyt wysoka częstotliwość przełączeń, osiągająca wartość 6,3kHz. Okres impulsowania T_r osiągnął wartość 158,7 μ s, co przy rozdzielczości licznika odmierzającego czas w mikrokontrolerze Intel 80C196KC, która wynosiła 0,8 μ s, powodowało znaczne pogorszenie gradacji napięcia wyjściowego (min. 0,5%, przy zakładanej 0,1%).



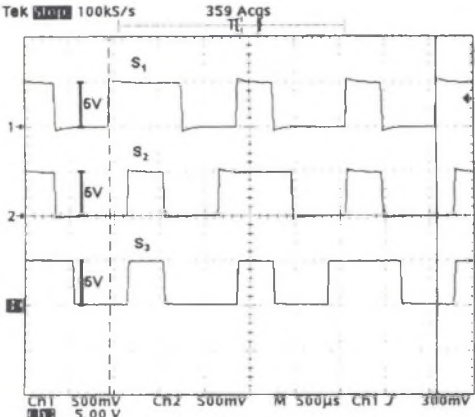
Rys.3. Stany zaworów falownika i odwzorowanie napięcia wyjściowego na płaszczyźnie ($\alpha\beta$)

Fig.3. Control signals of frequency inverter and inverter output voltage space vector representation ($\alpha\beta$)

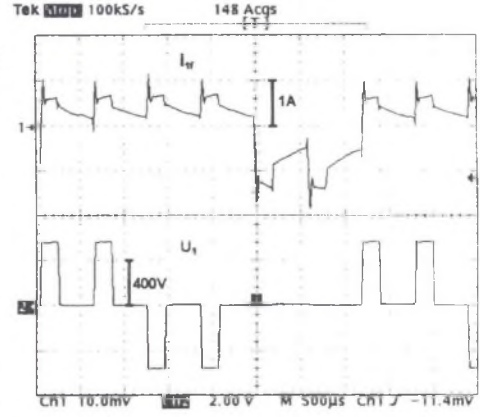
Wprowadzie wartość zadana przez sterownik nadrzędny jest przetwarzana na wartość cyfrową za pomocą 10-bitowego przetwornika A/C, ale problem tkwi w gradacji licznika, na bazie którego realizowane są przełączenia. W tym układzie sterowania z zastosowanym mikrokontrolerem Intela nie istniała możliwość powiększenia rozdzielczości licznika. Zdecydowano się więc na wydłużenie okresu impulsowania do satysfakcjonującego poziomu ze względu na gradację napięcia DC. Dla parametru $r=3$ osiągnięto wystarczającą dokładność. Spowodowało to jednak znaczne obniżenie częstotliwości przełączeń, a tym samym złamano podstawowe założenie stosowanej modulacji metodą wektora przestrzennego, że okres impulsowania jest dostatecznie mały. Kształt impulsów sterujących dla zaworów został przedstawiony na rysunku 4.

Z przeprowadzonej analizy działania układu wynika, że w przebiegach prądu i napięcia strony pierwotnej jak i wtórnej pojawiają się pewne niesymetrie. Nie mają one jednak wpływu na powiększenie tętnień napięcia i prądu wyjściowego zasilacza, co było naczelnym celem tego projektu, a jednocześnie jest zachowana liniowość pomiędzy wartością zadaną a napięciem wyjściowym z zasilacza.

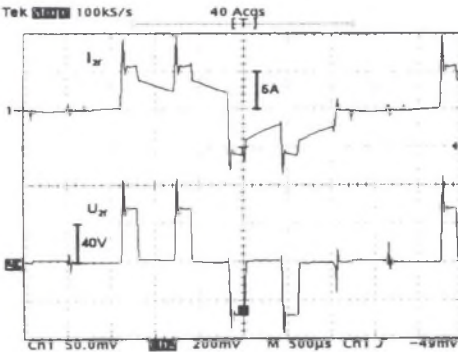
Ze względu na brak możliwości dokonania pomiarów oscyloskopowych w gotowym zasilaczu zbudowano jego model laboratoryjny o obniżonej wartości prądu wyjściowego (około 200-krotnie), tak aby kształt przebiegów w modelu odpowiadał układowi rzeczywistemu. Podstawowe przebiegi dla modelu zasilacza zostały zamieszczone na rysunkach 5,6,7.



Rys.4.Przebiegi impulsów sterujących dla zaworów falownika
Fig.4.Inverter control signals

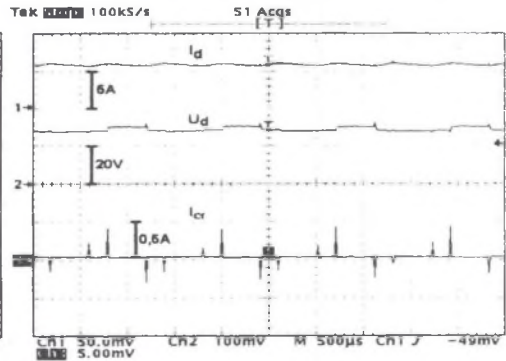


Rys.5.Przebiegi prądu fazowego i napięcia międzyfazowego z przekształtnika
Fig.5.Output current and voltage of the inverter



Rys.6.Przebiegi prądu i napięcia fazowego strony wtórnej transformatora

Fig.6.Output current and phase voltage of the transformer



Rys.7.Przebiegi prądu i napięcia wyjściowego z zasilacza oraz prądu kondensatora C_f

Fig.7.Output current and voltage of the supply system, current of the capacitor C_f

Wszystkie pomiary zostały wykonane dla następujących warunków pracy modelu:

- napięcie międzyfazowe zadane przekształtnika $U_{zad}=150V$,
- napięcie wyjściowe z zasilacza $U_d=28,5V$,
- prąd wyjściowy zasilacza $I_d=6A$.

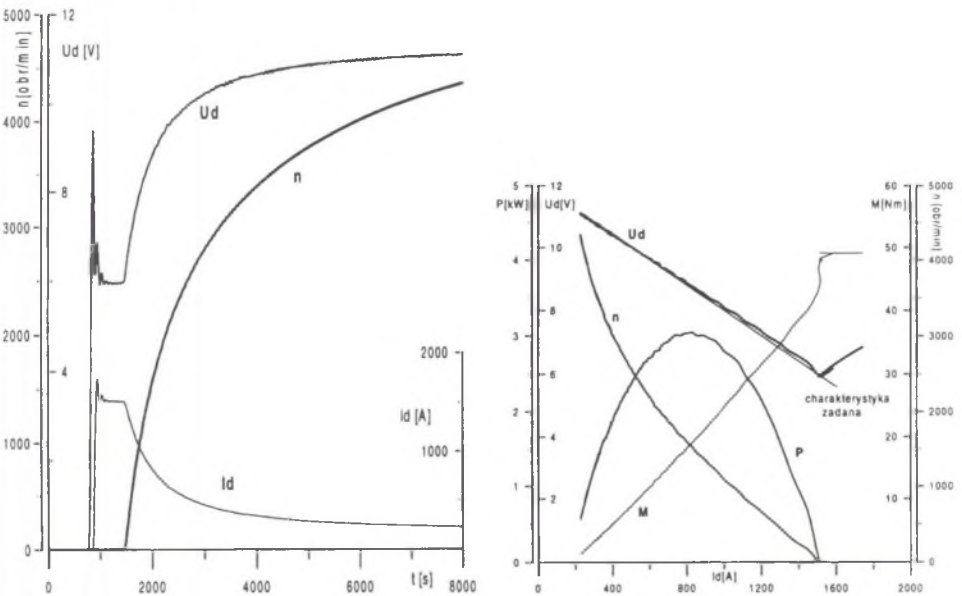
Okazuje się, że przy zastosowaniu takiej metody modulacji napięcie fazowe wtórnej strony transformatora składa się z 2 impulsów dodatnich i ujemnych. Ich szerokość jest liniowo zależna od wartości napięcia zadanego U_{zad} . Tak więc mimo pewnych zniekształceń w przebiegach napięć i prądów wynik końcowy, czyli napięcie i prąd wyjściowy z zasilacza, jest zadowalający.

4. BADANIA PRÓBNE ZASILACZA

Kończącym etapem wdrożenia było przeprowadzenie próbných badań realizowanego zasilacza w układzie pomiarowym. Wykonano wiele testów z wykorzystaniem różnych typów rozruszników produkowanych w zakładzie zleceniodawcy. Na rysunku 8 pokazano przebiegi czasowe i hodografy podstawowych mierzonych i obliczanych wielkości dla przykładowego rozrusznika 12V (opis wielkości zgodny z rys.1). W podobny sposób zobrazowano wyniki dla rozrusznika 24V na rysunku 9.

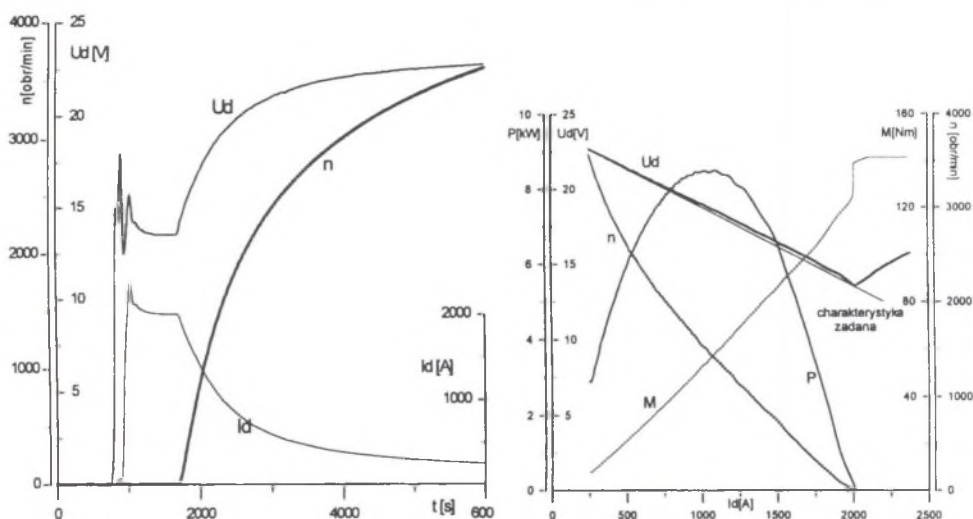
W przebiegach czasowych można zaobserwować trzy fazy:

- pierwsza przed załączeniem urządzenia, gdzie mierzone wielkości są zerowe;
- druga, w czasie której silnik jest zatrzymany;
- trzecia, rzeczywisty start rozrusznika.



Rys.8.Przebiegi czasowe i hodografy podstawowych wielkości dla próby rozrusznika 12V

Fig.8. Main waveforms of the 12V starter measured during test



Rys.9.Przebiegi czasowe i hodografy podstawowych wielkości dla próby rozrusznika 24V
 Fig.9. Main waveforms of the 24V starter measured during test

W hodografach wyróżniono zadaną charakterystykę prądowo-napięciową. Jak widać, osiągnięte przebiegi są do niej mocno zbliżone. Wzajemne położenie tych charakterystyk jest uzależnione przede wszystkim od nastaw regulatora napięcia, realizowanego przez nadrzędny sterownik Simatic S7-314IFM.

5. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono układ zasilacza do badania charakterystyk rozruszników, bazujący na wykorzystaniu typowego przemiennika częstotliwości MSI. Dostosowanie przemiennika do zaprojektowanego urządzenia polegało wyłącznie na wprowadzeniu zmian programowych do sterownika. Zasadnicze problemy, na jakie natrafiono w fazie uruchamiania, były związane z ograniczoną i niewystarczającą rozdzielczością licznika mikrokontrolera, który stanowił rdzeń sterownika.

Problemy te pokonano poprzez obniżenie częstotliwości przełączania zaworów przy zachowaniu właściwego wygładzenia prądu i napięcia wyjściowego zasilacza. Układ wprawdzie wykazuje pewne zniekształcenia w napięciach i prądach wyjściowych z przekształtnika, ale nie wpływa to na parametry wyjściowe zasilacza.

Na końcu należy podkreślić stosunkowo niskie koszty całego przedsięwzięcia, uzyskane dzięki zastosowaniu typowego urządzenia wykonawczego, jakim był przemiennik częstotliwości MSI.

LITERATURA

1. Biskup T.: *Zastosowanie mikrokontrolera Intel 80C196KC do sterowania falownikiem napięcia 80kVA*, Materiały konferencji Nowoczesne Metody Sterowania w Energoelektronice i Napędzie Elektrycznym, Łódź-Dobieszków 8-10.12.93 r.
2. Intel *16-bit Embedded Controller Handbook*, Intel Corporation 1991.
3. Nowacki Z.: *Modulacja szerokości impulsów w napędach przekształtnikowych prądu przemiennego*. PWN, Warszawa 1991.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stanisław Piróg

Wpłynęło do Redakcji dnia 5 kwietnia 2000 r.

Abstract

The paper presents some problems connected with a PWM inverter installed in a starter supply system.

During the last decade great interest has been focused on problems with implementation power electronics in Polish industry. Some of them are well known PWM inverters for AC motors, some of them are rather individual solutions. The presented supply system is a good example of the second ones.

This device is to test starters. Its schematic diagram is presented in Fig 1. The supply system consists of a PWM inverter, 3-phase transformer and LC output filter. Simatic S7 is the main control unit. PC computer with a measurement card is used to receive the basic electrical and mechanical values of starters.

The PWM inverter is one of the most important part of the system. The schematic diagram of the PWM inverter control unit is presented in Figure 2. The authors of the project faced some problems during first tests of the supply system. The problems were connected with the implemented modulation method and inadequate gradation of the microcontroller timer. The problems were solved by increasing transistor switching period.

On the other hand, this change caused some distortion in the inverter phase currents and voltages. Fortunately, they did not cause any distortion in the output voltage and current of the starter supply system. Some examples of the obtained waveforms are presented in Figs. 5,6,7. There are also included some results of measurements of two types of starters: 12V and 24V Figs. 8 and 9.