

Adam Piłat*, Paweł Piątek*, Dariusz Marchewka*, Mariusz Pauluk*

Przetwarzanie i analiza sygnałów w dedykowanym środowisku szybkiego prototypowania regulatorów dla silników elektrycznych

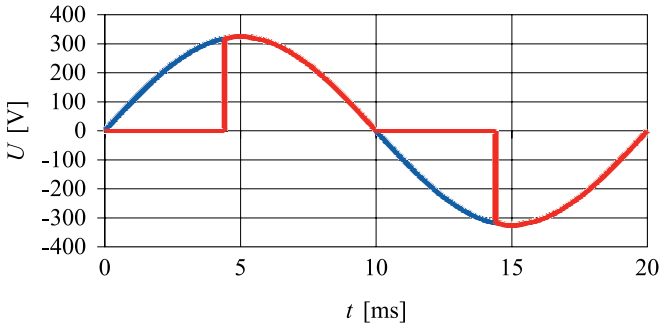
1. Wstęp

Mikroprocesorowe systemy sterowania i akwizycji danych są wykorzystywane w różnorodnych aplikacjach. Jednym z interesujących zastosowań wspomnianych systemów może być sterowanie silnikiem uniwersalnym z wykorzystaniem 8-bitowego mikrokontrolera [3, 6] przy jednoczesnej akwizycji danych poprzez łącze USB. Takie systemy przy odpowiednim zaprojektowaniu układu regulacji można stosować do realizacji zadań krytycznych czasowo [4]. Opracowane rozwiązanie wypełnia lukę w dostępnych na rynku sterownikach silników uniwersalnych. Jego cechami charakterystycznymi są niskie koszty wytworzenia, możliwość implementacji cyfrowego algorytmu sterowania i diagnostyka pracy urządzenia. W przypadku zastosowania silnika do pracy przy zmiennym obciążeniu opracowany system umożliwi prowadzenie badań naukowych zorientowanych na identyfikację, obserwację stanu [1] i syntezę optymalnej struktury algorytmu sterującego.

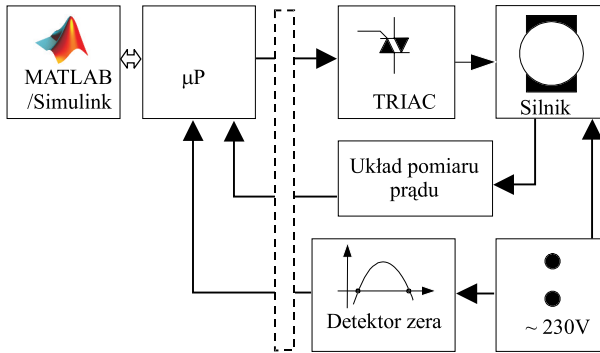
2. Idea sterowania i przeznaczenie

W przypadku zasilania silnika uniwersalnego napięciem zmiennym 230 V do jego sterowania stosuje się tyrystory lub triaki [2, 8]. W omawianej aplikacji zastosowano triak włączany synchronicznie z napięciem sieci [5] (rys. 1). Ilość dostarczonej energii zależy od czasu opóźnienia impulsu sterującego względem początku półokresu napięcia zasilania. Sterowanie triakiem odbywa się bezpośrednio z układu mikroprocesorowego, na podstawie pomiaru fazy napięcia sieci. Mikrokontroler realizuje również zadania akwizycji sygnałów napięcia zasilania silnika i natężenia prądu w uzwojeniach silnika. Pozyskane dane pozwalają na prowadzenie zaawansowanych badań identyfikacyjnych. Na ich podstawie wyliczane są nastawy regulatora wykonywanego w czasie rzeczywistym.

* Katedra Automatyki, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie



Rys. 1. Sterowanie triakiem



Rys. 2. Schemat blokowy systemu

Wykonane układy elektroniczne zapewniają galwaniczną separację stopnia mocy i pomiarów od układu mikroprocesora (rys. 2). Tak opracowana konfiguracja pozwala na różnorodnie zastosowanie rozwiązania do realizacji zadań sterowania silnikami uniwersalnym. W szczególności opracowany układ może być wykorzystany do sterowania prędkością obrotową i momentem obrotowym.

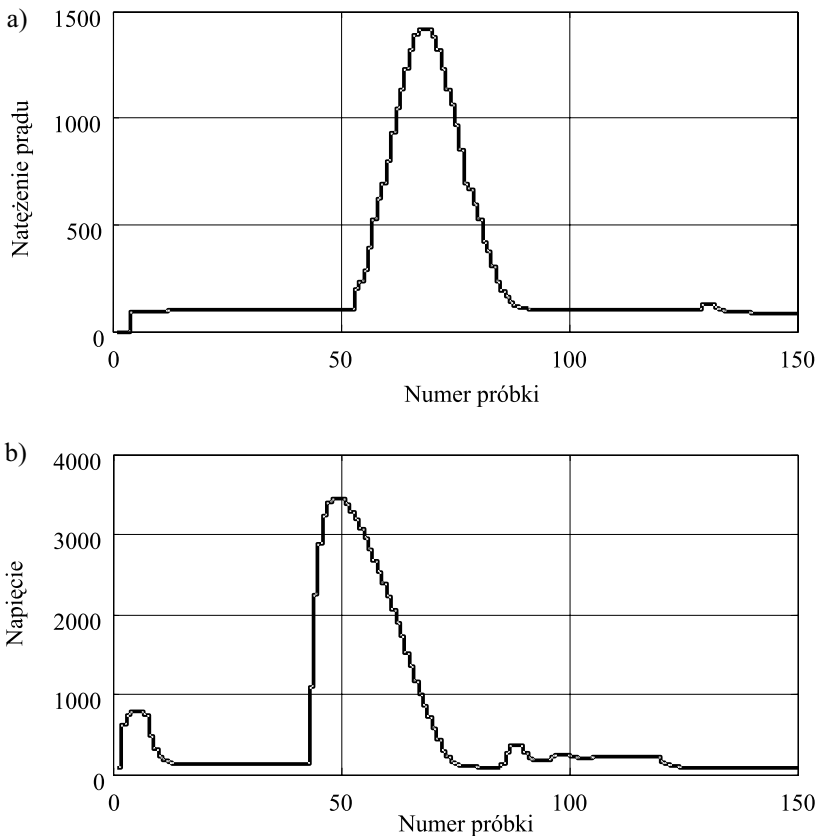
3. Architektura systemu

Doposażenie układu mikroprocesorowego w interfejs USB oraz procedury komunikacyjne umożliwia pozyskiwanie danych pomiarowych przez komputer nadrzędny (np. laptop). Zastosowanie środowiska MATLAB/Simulink w komputerze nadrzędnym wraz z indywidualnie opracowaną biblioteką komunikacyjną pozwala na realizację zadań akwizycji danych pomiarowych. Akwizycja sygnałów napięcia i prądu płynącego w uzwojeniach wskutek zastosowanej metody sterowania ma na celu:

- zbadanie dynamiki układu wykonawczego,
- estymację parametrów,

- opracowanie modelu symulacyjnego,
- syntezę optymalnych nastaw regulatora pracującego przy zmiennym obciążeniu silnika.

W związku z powyższym wykorzystano w mikroprocesorze mechanizm DMA celem pozyskania 149 pomiarów w czasie jednego okresu sieci energetycznej. Dane są rejestrowane z częstotliwością 14,9 kHz. Przykładowe przebiegi sygnałów analogowych napięcia mierzonego na zaciskach silnika oraz natężenia prądu płynącego przez uzwojenia stojana przedstawia rysunek 3.



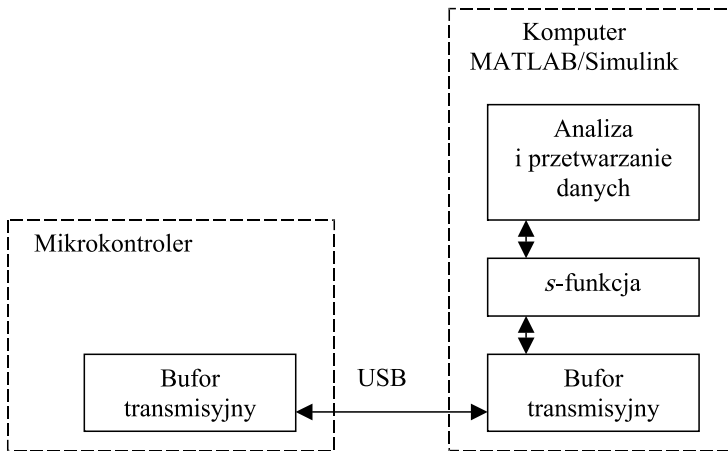
Rys. 3. Sygnały natężenia i napięcia prądu płynącego w uzwojeniach silnika uniwersalnego

Wartości napięcia i natężenia prądu są podane w jednostkach przetwornika. Sygnały analogowe podlegają 12-bitowemu przetwarzaniu analogowo-cyfrowemu i są zapamiętywane w pamięci mikrokontrolera.

Dzięki zastosowaniu optoizolowanego łącza USB skonfigurowanego do przesyłania bitowych ramek danych z prędkością transmisji równą 430 600 bps, możliwe jest pobranie

kompletu danych (napięcia i prądu) zmierzonych w jednym okresie sieci, w czasie 13 ms. Do tego celu opracowano dedykowany protokół komunikacyjny.

W środowisku MATLAB/Simulink działającym na komputerze uruchomiono indywidualnie opracowaną bibliotekę komunikacyjną pozwalającą na realizację zadań sterowania i akwizycji danych pomiarowych. Model Simulinka umożliwił prowadzenie badań eksperymentalnych. Głównym elementem tego modelu jest specjalna *s*-funkcja (rys. 4) odpowiedzialna za komunikację poprzez łącze USB wraz obsługą danych wejściowych i wyjściowych. Cechą szczególną tej *s*-funkcji jest możliwość buforowego przesyłania danych podczas jednego kroku symulacji. Opracowana metoda przesyłania i przetwarzania danych pozwoliła na pobieranie danych z systemu mikroprocesorowego i wyświetlanie kompletnego przebiegu w oknie symulacji.

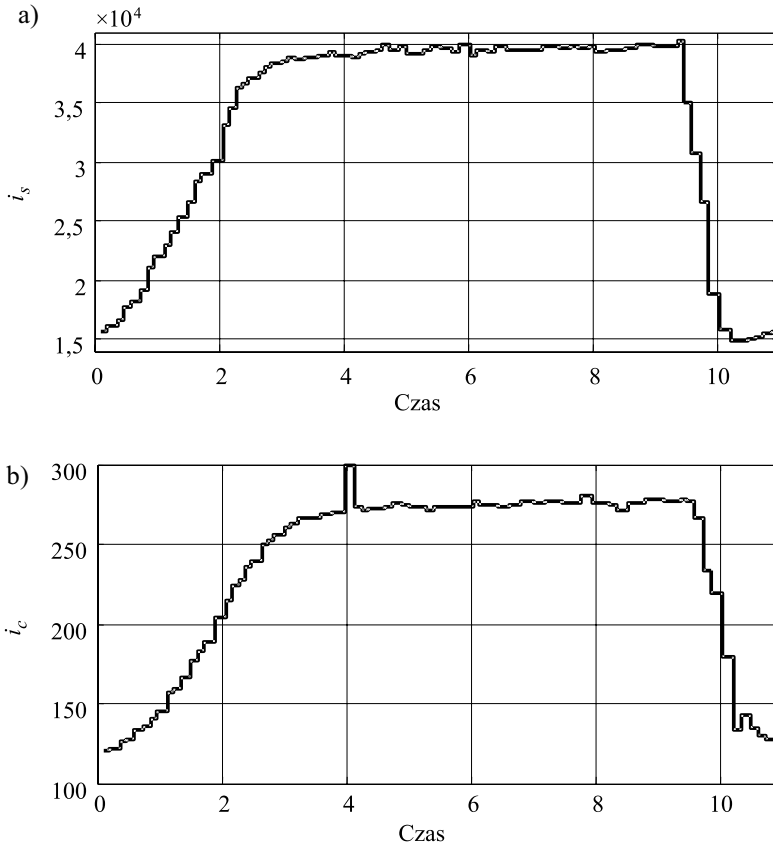


Rys. 4. Wymiana danych w zintegrowanym środowisku projektowania systemów wbudowanych z komunikacją szeregową

Oprócz kompletu danych pomiarowych reprezentujących natężenie prądu i napięcie pobierane są i_s – suma natężenia w jednym półokresie sieci oraz i_c – wartość całki z przebiegu natężenia prądu wyznaczona w sposób analogowy. Pozyskanie tych danych liczbowych wraz z przebiegami czasowymi sygnałów pozwala na weryfikację obliczeń realizowanych przez mikroprocesor, symulację modelu odniesienia i obserwację stanu służące do wyznaczenia optymalnych wartości sterowania. Zarejestrowany przebieg sygnałów i_s i i_c (w wartościach przetwornika) dla zadania rozpędzania silnika aż do momentu osiągnięcia zadanej wartości natężenia prądu przedstawia rysunek 5.

Istotną cechą opracowanego systemu mikroprocesorowego wraz z komputerem nadrzędnym jest możliwość wykonywania zadań kontrolno-pomiarowych w czasie rzeczywistym [7]. Mikroprocesor jako jednostka sterowania docelowego wykonuje obliczenia w tzw. twardym czasie rzeczywistym z częstotliwością 10 Hz. Komputer jako jednostka

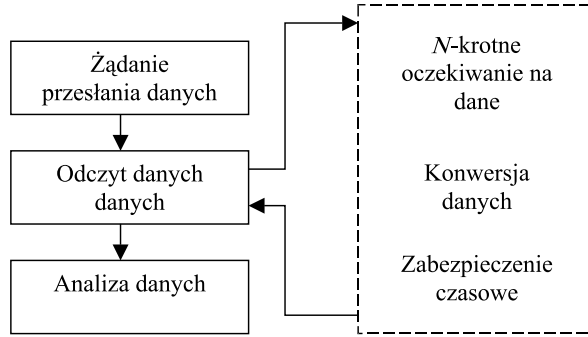
diagnostyczna i sterowania nadrzędnego wykonuje obliczenia w wyniku pozyskiwanych informacji z systemu mikroprocesorowego. Symulacja jest prowadzona w trybie normalnym, a determinizm czasowy związany z protokołem komunikacyjnym i wykonywaną sekwencją zapytań pozwala zakwalifikować go jako miękki system czasu rzeczywistego.



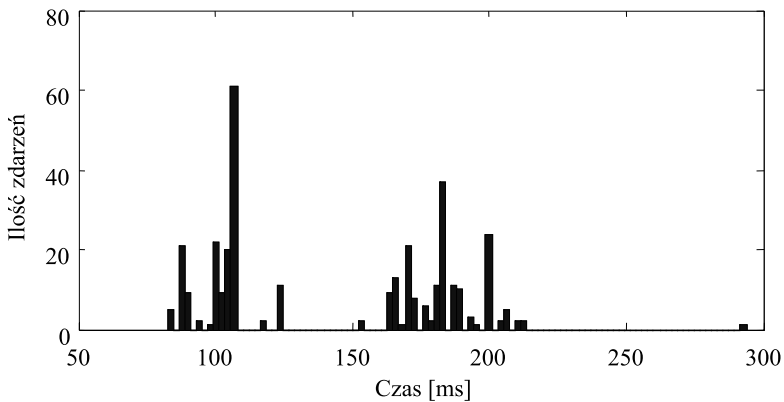
Rys. 5. Sygnały i_s i i_c zarejestrowane i obliczone

W tak zrealizowanym systemie czasu rzeczywistego ramki danych determinują częstotliwość wykonywania pętli monitorująco-sterującej. Wprowadzone zabezpieczenie czasowe zapobiega zakleszczeniu się zadania odczytu danych na wypadek zaniku lub błędów transmisji (patrz rys. 6). N -krotne (zazwyczaj 3-krotne) oczekiwanie na dane umożliwia skompletowanie pełnej ramki danych. Ponowne sprawdzenie i odczytanie zawartości bufora komunikacyjnego zostało wymuszone poprzez architekturę programową realizowaną poprzez mikroprocesor, gdzie pełny cykl przetwarzania danych wynosi 100 ms. Na rysunku 7 przedstawiono histogram wzbudzania modelu Simulinka do wykonania kroku symulacji

w zależności od zakończenia zadania komunikacji z modułem mikroprocesorowym. Tak otrzymany system spełnia kryteria stawiane miękkim systemom czasu rzeczywistego, gwarantując tym samym dostarczenie kompletnych danych mimo opóźnień komunikacyjnych.



Rys. 6. Schemat miękkiego systemu czasu rzeczywistego opartego na komunikacji USB



Rys. 7. Histogram wykonywania modelu Simulinka zależnie od czasu realizacji komunikacji USB

Komputer nadrzędny programuje parametry wykonywania się zadania sterowania takie jak prędkość zmiany sygnału sterującego oraz ograniczenie prądowe.

4. Podsumowanie

Opracowany system mikroprocesorowo-komputerowy stanowi przykład narzędzia i metod wykorzystanych do realizacji wbudowanych sterowników urządzeń. W pracy przedstawiono wyniki dotyczące sterowania i monitorowania pracy silnika uniwersalnego. Zastosowanie przesyłania informacji w postaci ramek danych wraz z dedykowaną obsługą

komunikacji szeregowej pozwoliło na realizację nadrzędnych zadań monitorowania, identyfikacji i optymalizacji. Realizacja w postaci otwartego systemu gwarantuje uniwersalność zastosowania opracowanej metodyki projektowania systemów wbudowanych wykorzystujących medium komunikacyjne w postaci standardu USB. Zagwarantowanie rekonfigurowalności architektury pozwala na jego wykorzystanie również do prowadzenia eksperymentów naukowych zorientowanych na estymację stanu i optymalizację sterowania.

Literatura

- [1] Baranowski J., *Projektowanie obserwatora dla silnika szeregowego prądu stałego*. Automatyka (półrocznik AGH), 10(1), 2006, 33–52.
- [2] Januszewski S., Świątek H., *Miernictwo tyrystorowe*. WNT, Warszawa, 1984.
- [3] Marchewka D., Piątek P., Piłat A., *Prototypownie mikroprocesorowych układów sterowania z łączem szeregowym*. 5th Conference on Computer Methods and Systems, AGH University of Science and Technology, Kraków, Poland, 2005.
- [4] Piątek P., Piłat A., Marchewka D., *Magnetyczne zawieszenie sterowane 8-bitowym mikrokontrolerem*. 5th Conference on Computer Methods and Systems, AGH University of Science and Technology, Kraków, Poland, 2005.
- [5] Piątek P., Piłat A., Marchewka D., Pauluk M., *Real time controller design system for electric motors*. XXXII IC – SPETO International Conference On Fundamentals Of Electrotechnics and Circuit Theory, Silesian University of Technology, Ustroń, Poland, 2009.
- [6] Rydzewski A., *Mikrokomputery jednocukładowe rodziny MCS-51*. WNT, Warszawa, 1995.
- [7] Szmuc T., Motet G., *Specyfikacja i projektowanie oprogramowania czasu rzeczywistego*. CCATIE Krakowskie Centrum Informatyki Stosowanej, vol. 6, Kraków, 1998.
- [8] Wawelski W., *Sterowanie tyrystorowe*. WNT, Warszawa, 1974.