ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990

Seria: GÓRNICTWO z. 184 Nr kol. 1065

Adam HEYDUK

MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA MIKROPROCESORÓW W UKŁADACH ZABEZPIECZEŃ I STEROWANIA GÓRNICZYCH SILNIKÓW ELEKTRYCZNYCH

Streszczenie. W artykule rozważono celowość wykorzystania mikroprocesorów w układach zabezpieczeń silników elektrycznych przeznaczonych do napędu maszyn i urządzeń górniczych zarówno na powierzchni, jak i w podziemiach kopalń. Zasygnalizowano istniejące obecnie tendencje konstrukcyjne cyfrowych zabezpieczeń elektroenergetycznych. Zwrócono uwagę na możliwości konstrukcji złożonych algorytmów dokładniej identyfikujących stany pracy zabezpieczanego silnika, a w pewnym zakresie również napędzanego urządzenia. Podkreślono znaczenie procedur cyklicznie testujących prawidłowość pracy zabezpieczenia.
Przedstawiono również zagadnienia związane z integracją funkcji zabezpieczeniowych, sterowniczych i sygnalizacyjnych w jednym urządzeniu. Wskazano możliwości współpracy cyfrowych urządzeń zabezpieczających z oddziałowymi systemami kontroli stanu pracy maszyn i urządzeń górniczych.

1. WSTĘP

W dziedzinie elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej technika mikroprocesorowa nie znalazła dotąd tak szerokiego zastosowania, jak w innych gałęziach przemysłu, choć korzyści jakie oferować może komputeryzacja zabezpieczeń elektroenergetycznych dostrzegane były już w latach sześćdziesiątych. Dopiero właściwości funkcjonalne mikroprocesorów i współpracujących z nimi układów pozwoliły realnie spojrzeć na perspektywy zastosowań techniki cyfrowej w konstrukcjach elektronicznych urządzeń zabezpieczających.
Masowa produkcja cyfrowych układów scalonych VLSI przy ich malejących kosztach jednostkowych zaczyna stwarzać dogodne warunki dla zapewnienia efektywności stosowania systemów mikroprocesorowych nie tylko, jak dotąd, do zabezpieczeń dużych silników wysokonapięciowych, ale również do zabezpieczeń silników niskonapięciowych [1].

Przedmiotem niniejszego referatu jest analiza możliwości oferowanych przez technikę cyfrową w odniesieniu do zabezpieczeń silników elektrycznych, ze szczególnym uwzględnieniem celowości jej wykorzystania w specyficznych warunkach pracy silników stosowanych do napędu maszyn i urządzeń górniczych.

2. WPŁYW STRUKTURY ZABEZPIECZENIA NA JEGO MOŻLIWOŚCI FUNKCJONALNE

W prowadzonych obecnie w wielu ośrodkach pracach badawczo-rozwojowych i wdrożeniowych można wyróżnić dwa zasadnicze kierunki:

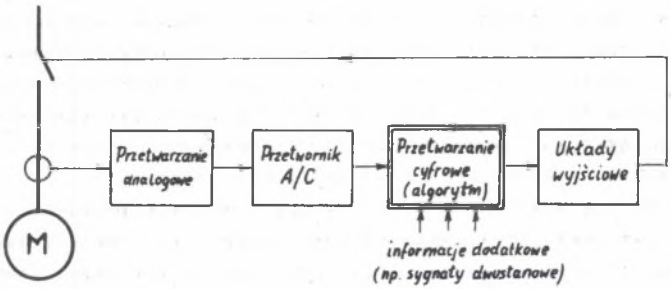
- rozwój rozbudowanych, wieloprocesorowych kompleksowych systemów zabezpieczeń, sygnalizacji i sterowania dla linii i stacji elektroenergetycznych średnich i wysokich napięć,
- opracowanie prostych, jednoprocesorowych układów przeznaczonych do zabezpieczania pojedynczych obiektów.

Rozmieszczenie przestrzenne i zależności technologiczne w pracy maszyn i urządzeń górniczych sprzyjają w pewnym stopniu połączeniu obu powyższych kierunków. Celowe wydaje się więc zastosowanie prostych układów przeznaczonych do zabezpieczania poszczególnych silników, lecz jednocześnie przystosowanych do ewentualnej współpracy z nadrzędnymi cyfrowymi systemami zdalnego nadzoru i sterowania. Umożliwiłoby to podwyższenie stopnia kontroli pracy silników przy relatywnie niewielkich nakładach początkowych wynikających z zastosowania prostych, a przez to stosunkowo tanich systemów jednoprocesorowych oraz stworzyłoby w dalszej przyszłości możliwość ułatwionego wprowadzania rozbudowanych hierarchicznych systemów automatycznego nadzoru i sterowania procesami technologicznymi w przemyśle wydobywczym, wykorzystujących zainstalowane wcześniej układy jako czujniki, rejestratory i elementy wykonawcze.

3. OGÓLNE ZASADY DZIAŁANIA MIKROPROCESOROWYCH ZABEZPIECZEŃ ELEKTROENERGETYCZNYCH I WYNIKAJĄCE Z NICH KORZYŚCI

Uproszczony schemat strukturalny przetwarzania sygnałów w układzie cyfrowego zabezpieczenia silnika elektrycznego przedstawiono na rys.1. Sygnał analogowy, odwzorowujący w określony sposób stan pracy zabezpieczanego silnika, przekazywany jest z czujnika pomiarowego do układu zabezpieczenia. Istotne jest przy tym zapewnienie odpowiedniej separacji galwanicznej między głównymi torami prądowymi chronionego obiektu a układami elektronicznymi wchodzącymi w skład zabezpieczenia. Otrzymany sygnał pomiarowy poddawany może być następnie takim procesom jak: odfiltrowanie zakłóceń, wyprostowanie i wygładzenie przebiegu, wyznaczenie wartości składowych symetrycznych i dopasowanie wartości uzyskanych sygnałów do zakresu przetwornika analogowo-cyfrowego. Po dokonaniu konwersji analogowo-cyfrowej aktualna wartość sygnału pomiarowego przetwarzana jest dalej cyfrowo przez system mikroprocesorowy działający według zaprogramowanego algorytmu. Jeżeli wynik cyfrowego przetwarzania sygnału przekroczy nastawioną uprzednio wartość graniczną, nastąpi zadziałanie zabezpieczenia -

wyłącznie zabezpieczanego silnika bądź też sygnalizowanie zakłócenia zidentyfikowanego według zapisanych w pamięci kryteriów. Sposób pracy i właściwości funkcjonalne takiego zabezpieczenia zależą głównie od algorytmu zapisanego w pamięci systemu mikroprocesorowego. Możliwe byłoby dzięki temu opracowanie jednej uniwersalnej konstrukcji zabezpieczenia, przystosowanej do warunków środowiskowych podziemi kopalń. Układ taki mógłby pełnić różnorodne funkcje (np. zabezpieczenia silnika, zabezpieczenia stacji transformatorowej, zabezpieczenia linii wysoko lub niskonapięciowej bądź też zabezpieczenia ziemnozwarciowego) jedynie przez zmianę przyłączonych czujników i zapisanego w pamięci ROM lub EPROM programu. Mogłoby to wpłynąć na znaczne ujednolicenie konstrukcji zabezpieczeń stosowanych w różnych typach górniczej aparatury elektrycznej. Uzyskane z układu czujników sygnały analogowe poddawane są konwersji na postać cyfrową, a następnie przetwarzane przez system mikroprocesorowy.



Rys.1. Ogólny schemat strukturalny mikroprocesorowego zabezpieczenia silnika elektrycznego

Fig.1. A structural diagram of microprocessor - based protection relay for an electric motor

Zapisany w pamięci systemu program przetwarzania danych pomiarowych zawierać może instrukcje wykonania podstawowych operacji arytmetycznych, operacji logicznych oraz operacji porównania. Dzięki możliwości wykonywania szeregu instrukcji w sposób warunkowy można zrealizować rozbudowane algorytmy identyfikacji stanów roboczych oraz stanów zakłóceniowych zabezpieczanego obiektu, wykorzystujące dużą ilość analogowych i dwustanowych danych wejściowych. Ze względu na dużą zmienność obciążenia charakteryzującą pracę napędów wielu maszyn i urządzeń górniczych szczególnie istotne wydaje się zwiększenie dokładności odwzorowania zachodzących w silniku zjawisk cieplnych. Opracowanie algorytmów umożliwiających bardziej selektywne rozgraniczenie stanów rozruchu silnika oraz zwarć w przewodach zasilających jak też w uzwojeniach silnika pozwoliłoby na znaczne zwiększenie czułości i wybiórczości zabezpieczeń zwarciowych, co

staje się szczególnie istotne przy dużych mocach instalowanych silników i dużych odległościach linii zasilających.

Oprogramowanie systemu mikroprocesorowego przeznaczonego do zabezpieczenia silnika elektrycznego powinno być opracowane w sposób zapewniający odpowiednią szybkość działania, adekwatną do realizowanych zadań oraz umożliwiający minimalizację wymaganej pojemności pamięci. Ze względu na powyższe wymagania szczególnie celowe wydaje się wykorzystanie języka asemblera, umożliwiającego tworzenie programów najbardziej efektywnych pod względem czasowym i pamięciowym. Programowalna pamięć RAM umożliwiać może rejestrowanie i wykorzystywanie informacji o minionych stanach pracy zabezpieczanego silnika lub napędzanego urządzenia oraz zapis nieliniowych funkcji charakteryzujących pracę zabezpieczenia. Należy podkreślić, że tworzenie rozbudowanych algorytmów zwiększających dokładność identyfikacji stanu zabezpieczanego obiektu oraz umożliwiających realizowanie dodatkowych funkcji sterowniczych i sygnalizacyjnych nie powoduje dodatkowej rozbudowy sprzętowej zabezpieczenia, ale tylko wydłużenie programu zapisanego w pamięci systemu mikroprocesorowego. Dzięki temu możliwe jest rozszerzenie funkcji zabezpieczenia silnika również o identyfikację niektórych stanów świadczących o nieprawidłowej pracy lub uszkodzeniu napędzanego urządzenia czy też o nieprawidłowym przebiegu procesu technologicznego - bez potrzeby dodatkowej rozbudowy układu.

Cykliczny charakter przetwarzania danych w układzie jednoprocesorowym umożliwiają realizację prostych procedur nadzorujących prawidłowość przebiegu wykonywania programu poprzez kontrolę czasu realizacji poszczególnych fragmentów tego programu (tzw. procedury testujące typu Watch-dog [2]). Wprawdzie programy samokontroli zabezpieczeń cyfrowych nie są w stanie wykryć wszystkich uszkodzeń sprzętu, to jednak stanowić mogą dużą zaletę w stosunku do rozwiązań analogowych, w których wykrywanie uszkodzeń możliwe jest podczas badań okresowych lub wskutek błędnego działania w stanach zakłóceniowych. Ta właśnie możliwość bieżącej samokontroli wydaje się być jedną z istotnych zalet mikroprocesorowych systemów zabezpieczeń, znacznie zwiększając ich niezawodność poprzez skrócenie okresu pomiędzy wystąpieniem uszkodzenia, a jego wykryciem.

4. MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA MIKROPROCESOROWYCH URZĄDZEŃ ZABEZPIECZAJĄCYCH W GÓRNICTWIE

Mikroprocesorowe układy zabezpieczeń silników elektrycznych mogłyby w pierwszej kolejności znaleźć zastosowanie do zabezpieczania dużych silników wysokonapięciowych napędzających tak odpowiedzialne urządzenia, jak: wentylatory głównego przewietrzania kopalń, pompy głównego odwadniania, sprężarki czy też przetwornice układu Leonarda. Koszt zainstalowanego układu mikroprocesorowego jest wówczas znacznie niższy od kosztu

ewentualnej przerwy w ich pracy. Stosunkowo łatwiejsze niż w przypadku urządzeń przeznaczonych do pracy w podziemiach kopalń wydaje się również zapewnienie odpowiedniego stopnia ochrony środowiskowej. Układ mikroprocesorowy mógłby - przy odpowiedniej rozbudowie programu oraz układów wejściowych i wyjściowych - spełniać zarówno funkcje zabezpieczeniowe, jak i sterownicze, pozwalając znacznie uprościć niezbędne obwody pomocnicze pola rozdzielczego, zmniejszając rozmiary tego pola oraz liczbę przekaźników pomocniczych i przyrządów pomiarowych. W zakres funkcji realizowanych przez zintegrowany mikroprocesorowy układ sterowniczo-zabezpieczeniowy wchodzić może - oprócz kontroli pracy zabezpieczanego silnika i sterowania pracą łącznika - również dokonywanie odpowiednich pomiarów i rejestracji wielkości elektrycznych, a także realizacja blokad manipulacyjnych, samoczynnych operacji łączeniowych oraz współpraca z systemami dyspozytorskimi.
Cyfrowe układy scalone VLSI charakteryzują się wartością średniej intensywności uszkodzeń rzędu 0,1 ... 0,6 10^{-6} h^{-1} [2] , czym znacznie przewyższają przekaźnikowe układy stykowe. Pozwoliłoby to na podwyższenie niezawodności układów sterowania, sygnalizacji i zabezpieczeń oraz obniżenie kosztów konserwacji.

Zastosowanie mikroprocesorowych układów sterowniczo-zabezpieczeniowych w podziemiach kopalń wymagałoby dokonania szeregu prac zmierzających do zapewnienia odpowiedniego stopnia ochrony środowiskowej i kompatybilności elektromagnetycznej. Należy tutaj wymienić przede wszystkim dążenie do maksymalnego uproszczenia konstrukcji, hermetyzację elementów oraz ekranowanie magnetyczne całego układu.

Odrębnym zagadnieniem jest niezawodność układu zasilania zabezpieczenia, a zwłaszcza jego niewrażliwość na chwilowe przerwy w dopływie energii. Celowe wydaje się więc bateryjne lub akumulatorowe podtrzymanie zawartości pamięci RAM lub też zastosowanie pamięci typu EEPROM, zachowującej niezbędne dane również po zaniku napięcia zasilania [3] . Przystosowane do warunków środowiskowych panujących w podziemiach kopalń mikroprocesorowe urządzenia kontrolno-ochronne mogłyby być montowane w niskonapięciową aparaturę łączeniową w miejsce stsowanych obecnie przekaźników statycznych typu PSN i RIAS, zapewniając wyższy stopień kontroli pracy silnika, a w pewnym zakresie również nadzorując pracę napędzanego urządzenia. Przy współpracy z dodatkowymi sygnałami wytwarzanymi przez zabezpieczenia upływnościowe i układy blokad technologicznych specjalizowane systemy mikroprocesorowe mogłyby również spełniać funkcje kompletnego układu sterowania łącznika stycznikowego, wzbogaconego o funkcje sygnalizacyjne oraz możliwość współdziałania z układami zdalnego sterowania i z systemami dyspozytorskimi.

Szczególnie interesująca wydaje się tu możliwość stosowania układów mikroprocesorowych w wieloodpływowych zespołach manewrowych, ponieważ jeden odpowiednio szybki system mikroprocesorowy mógłby jednocześnie kon-

trolować pracę wielu silników, sterować załączaniem i wyłączaniem styczników oraz zapewniać funkcjonowanie odpowiednich blokad technologicznych realizowanych na drodze programowej. Pozwolić by to mogło na znaczne obniżenie kosztów takiego zabezpieczenia ze względu na zastosowanie jednego układu mikroprocesorowego wspólnego dla kilku silników i sterujących nimi łączników manewrowych. Rozwiązanie takie może jednocześnie zapewnić dużą elastyczność kształtowania wewnętrznej struktury zespołu manewrowego przez możliwość dowolnego doboru odpływów pojedynczych, podwójnych, rewersyjnych oraz łatwe uzyskanie odpowiednich uzależnień czasowych niezbędnych dla prawidłowej pracy kompleksu ścianowego.

Cały system mikroprocesorowy, realizujący wymienione powyżej funkcje, zawierać może kilka lub kilkanaście układów scalonych. Oprócz jednostki centralnej (np. Z80, MCY7880), dekodera adresów i pamięci o pojemności kilku kilobajtów niezbędne są również układy wejść analogowych i dwustanowych, sterownik przerwań oraz dwustanowe wyjścia sterujące o odpowiednich parametrach. Dla potrzeb komunikacji z użytkownikiem przydatne byłyby również takie układy, jak: klawiatura numeryczna (do wprowadzania poleceń sterowniczych oraz nastawiania poszczególnych zabezpieczeń), a także niewielkie wskaźniki cyfrowe i układy diod elektroluminescencyjnych - sygnalizujące aktualny stopień obciążenia silnika i przyczynę jego ewentualnego wyłączenia lub rodzaj wykrytej niesprawności w układzie zabezpieczenia (np. brak zasilania, uszkodzenia przetwornika analogowo-cyfrowego itp.). Dla potrzeb komunikacji z innymi urządzeniami przydatne byłyby interfejsy szeregowe lub równoległe. Cały system mikroprocesorowy zmontowany może być w jednej kasecie, stanowiąc w ten sposób zwarty, wielofunkcyjny blok zabezpieczeń, sygnalizacji i sterowania wykorzystywany w różnych urządzeniach (łącznikach stycznikowych, zespołach manewrowych, stacjach transformatorowych), a jego konkretna adaptacja wymagałaby tylko zmiany oprogramowania zawartego w jednym lub kilku układach pamięci ROM.

5. ZAKOŃCZENIE

W związku z uruchomioną w kraju produkcją serii układów scalonych 8-bitowego systemu mikroprocesorowego, będącego odpowiednikiem rodziny MCS80 firmy Intel oraz produkcją niektórych odpowiedników rodziny MCS48 możliwe staje się obecnie opracowanie konstrukcji cyfrowych układów zabezpieczeń przeznaczonych do współpracy z górniczą aparaturą łączeniową i opartych na krajowej bazie elementowej.

Wydaje się, że mikroprocesorowe układy zabezpieczeń zintegrowane z układami pomiarów, sygnalizacji, sterowania i blokad technologicznych oraz przystosowane do współpracy z komputerowymi systemami nadzoru i sterowania, stanowiące wyposażenie niskonapięciowej aparatury łączeniowej, mogą

stać się dogodnymi elementami wykonawczymi dla cyfrowych systemów kompleksowej automatyzacji procesów technologicznych w górnictwie. Układy takie (montowane np. w łącznikach manewrowych) stanowić bowiem mogą najniższy poziom hierarchicznie zorganizowanych wieloprocesorowych struktur kontrolujących, rejestrujących i koordynujących pracę wszystkich silników napędzających maszyny i urządzenia górnicze pracujące w obrębie danego wyrobiska eksploatacyjnego.

LITERATURA

[1] Wernig J.: Der richtige Schutz für Niederspannungsmotoren. Siemens. Energie und Automation 1987, nr 3.

[2] Hedtke R.: Systemy mikroprocesorowe. Niezawodność, testowanie, tolerancja błędów. WNT, Warszawa 1987.

[3] Löber Ch., Will G.: Mikrokomputer w technice pomiarowej. WKiŁ, Warszawa 1989.

[4] Praca zbiorowa pod red. S. Stępnia: Poradnik konstruktora sprzętu elektronicznego, WKiŁ, Warszawa 1981.

[5] Heyduk A.: Mikroprocesorowy układ kontroli zasilania i pracy górniczych silników asynchronicznych. Praca dyplomowa magisterska. Instytut Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa Politechniki Śląskiej. Gliwice 1989.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРОВ В СИСТЕМАХ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ РУДНИЧНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Р е з ю м е

В работе рассуждено целесообразность прммнения микропроцессоров в системах релейной защиты рудничных электродвигателей предназначеных для привода горных машин и установок (подземных и поверхностных) . Представлены современные тенденции в разработке цифровых систем релейной защиты. Обращено внимание на возможности построения сложных алгоритмов точнее идентифицирующих состояние защищаемого электродвигателя, а в некоторой степени тоже привожденной установки. Подчеркнуто значение процедур циклически контролирующих правильность работы системы релейной защиты. Представлены тоже вопросы связаны с взаимодействием цифровых систем релейной защиты и участковых систем диспетчерского контроля работы горных машин и установок.

POSSIBILITIES OF MICROPROCESSORS APPLICATION IN PROTECTION AND CONTROL DEVICES FOR MINING ELECTRIC MOTORS

S u m m a r y

Usefulness of microprocessors application in protection devices for electric motors propelling mining machines both in the underground coal mines and on the surface has been considered in this paper. Actual constructional trends in digital protection relays design were outlined. Possibilities of involved algorithms design in order to more exactly identify operating conditions of a protected motor and (in a certain range) of a driven machine were pointed out. The importance of watch-dog type supervisory procedures was emphasised. Problems connected with integration of protective, control and signalling functions ints the same device were described. Possibilitions of digital protection relays interaction with face machines control systems were presented.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Florian Krasucki