

Jerzy KOZŁOWSKI, Wojciech MACHCZYŃSKI

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

INSTYTUT ELEKTROTECHNIKI PRZEMYSŁOWEJ

Romuald PAZOŁA

ZAKŁAD ELEKTRONIKI PROFESJONALNEJ „PC-SERVICE”

w LESZNIE

Mikroprocesorowy rejestrator napięć wolnozmiennych

Rejestrator mikroprocesorowy RP 97 jest specjalizowanym, dwukanałowym miernikiem z pamięcią wewnętrzną o zakresach 20 V i 2 V, stosowanym w korelacyjnej technice pomiarowej prądów błądzących. Mierzone sygnały są próbkowane z częstotliwością 0,5, 1 lub 2 Hz. Pomiar opiera się na zasadzie podwójnego całkowania i trwa 100 ms w każdym kanale. Rejestrator może zapamiętać 65 410 pomiarów z rozdzielczością 12 bitów. Zgromadzone dane wczytuje się do komputera za pośrednictwem łącza szeregowego RS-232.

ABSTRACT

The microprocessor data logger is a specialized two-channel measuring instrument with an operating store 20 V and 2 V ranges, intended for use in a correlation technique for measuring stray currents. The signals under measurement are sampled at a frequency 0,5, 1 and 2 Hz. The measurement is based on the principle of double integration and lasts 100 milliseconds in each channel. The 12-bit data logger can collect 65 410 measurement dates. The data collected can be loaded into a computer through the RS-232 connector.

Wprowadzenie

W praktyce pomiarowej ochrony metalowych konstrukcji podziemnych przed korozją elektrolityczną powodowaną prądami błądzącymi pochodzenia trakcyjnego stosuje się powszechnie metodę korelacyjną. Podczas pomiarów, których celem jest określenie zagrożenia korozyjnego badanej konstrukcji, rejestruje się dwie wielkości charakteryzujące oddziaływanie prądów błądzących: potencjał konstrukcji mierzony względem niepolaryzującej się elektrody odniesienia Cu/CuSO₄ oraz napięcie między badaną konstrukcją i szynami trakcji elektrycznej, a następnie poddaje się analizie widmo ich wzajemnej korelacji. Mierzone sygnały (wolnozmiennne sygnały napięciowe) próbkowane powinny być z częstotliwością kilku herców w czasie 20–30 min. Ze względu na losowy charakter przebiegów, właściwa ich interpretacja możliwa jest w przypadku dysponowania zbiorami kilku tysięcy danych pomiarowych.

Instytut Elektrotechniki Przemysłowej Politechniki Poznańskiej prowadzi od szeregu lat prace w dziedzinie przeciwkorozyjnej techniki pomiarowej. Opracował między innymi 8- i 10-bitowe mikroprocesorowe rejestratory [1], które posiadały pewne wady jak: stosunkowo niska rozdzielczość, konieczność używania komputera klasy PC w terenie do ustawiania parametrów pracy rejestratora, brak wskaźnika zajętości pamięci oraz niskie parametry toru pomiarowego. Opracowany w dal-

szej kolejności baterijny rejestrator cyfrowy [2] był dwukanałowym miernikiem z pamięcią wewnętrzną, mogącym zbierać dane z trzema szybkościami i rozdzielczością 12 bitów. Rejestrator wykonano przy użyciu elementów dyskretnej technologii CMOS, co zapewnia bardzo mały pobór prądu i nieprzerwaną pracę przez ponad trzy doby.

Celem niniejszej pracy jest zaprezentowanie zaprojektowanego i wykonanego w Instytucie Elektrotechniki Przemysłowej Politechniki Poznańskiej nowoczesnego rejestratora wolnozmiennych sygnałów napięciowych sterowanego mikroprocesorem. Założenia projektowe obejmowały między innymi wymóg pracy rejestratora z rozdzielczością 12 bitów, możliwość programowania w terenie bez użycia komputera, wyświetlanie podczas dokonywania pomiarów aktualnej wartości napięć w poszczególnych kanałach oraz adresu komórki do której dokonywany jest zapis, zapis aktualnego czasu i daty wykonywania pomiarów, kontrolę stanu baterii oraz możliwość zdalnego sterowania rejestratorem.

Mikroprocesorowy rejestrator RP 97 (rys. 1) został zaprojektowany i wykonany jako specjalistyczny przyrząd pomiarowy, stosowany w technice antykorozyjnej przy określaniu stopnia zagrożenia korozją elektrolityczną metalowych urządzeń podziemnych. Urządzenie jest przystosowane do rejestracji napięć stałych i wolnozmiennych w dwóch niezależnych kanałach o zakresach 20,47 V oraz 2,047 V i może zarejestrować 65 410 pomiarów z rozdzielczością 12 bitów na jednym lub dwóch kanałach wybieranych opcjonalnie. Pomiary są pamiętane w pamięci statycznej RAM w postaci „paczek” pomiarowych. Na początku każdej paczki zapisywany jest znacznik początku oraz czas i data dokonania pomiarów. Przy konstrukcji przyrządu duży nacisk położono na:

- wysoką jakość toru pomiarowego (zastosowano układy integracyjne o czasie całkowania 100 ms, co zapewnia skuteczne tłumienie sygnałów zakłócających o okresie 20 ms pochodzących od trakcji elektrycznej [3, 4]),
- łatwość obsługi (wszystkie informacje dotyczące urządzenia są stale wyświetlane na podświetlanym ekranie ciekłokrystalicznym 2×16 znaków),

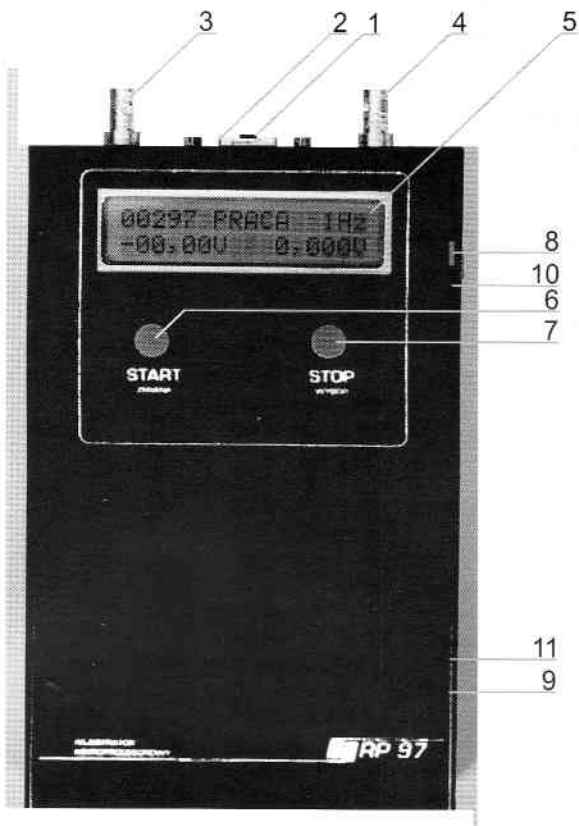
Dane techniczne rejestratora

Zakres pomiarowy dla kanału I	20,47 V
Zakres pomiarowy dla kanału II	2,047 V
Przetwornik A/C	12-bitowy
Rozdzielczość kanału I	0,005 V
Rozdzielczość kanału II	0,0005 V
Rezystancja wejściowa (kan. I i II)	1 MΩ
Częstotliwość pobierania pomiarów	0,5 Hz, 1 Hz, 2 Hz
Pojemność pamięci (ilość pomiarów)	65 410
Min. czas rejestracji (dwa kan. /2Hz)	273 min.
Max czas rejestracji (jeden kan. /0,5Hz)	2184 min.
Pobór prądu w stanie uśpienia	20 mA
Pobór prądu podczas pracy	30 mA
Zasilanie	6 V
Transmisja do komputera	szeregowo (asynchroniczna)
Wymiary	140×110×45 mm
Masa	400 g

Dr hab. inż. Wojciech MACHCZYŃSKI – Wydział Elektryczny Politechniki Poznańskiej ukończył w 1971 r. Doktoryzował się i habilitował na tym Wydziale odpowiednio w latach 1976 i 1989. Zajmuje się teorią i praktyką obwodów ziemnopowrotnych, w tym ochroną katodową i prądami błądzącymi. Opublikował w tej dziedzinie ponad 90 prac naukowych. Od roku 1991 jest profesorem nadzwyczajnym w Instytucie Elektrotechniki Przemysłowej Politechniki Poznańskiej.

Dr inż. Jerzy KOZŁOWSKI – Wydział Elektryczny Politechniki Poznańskiej ukończył w 1963 r. Doktoryzował się na tym Wydziale w 1974 r. Zajmuje się teorią i praktyką ochrony katodowej i prądów błądzących. Jest autorem i współautorem około 40 publikacji naukowych. Jest kierownikiem Pracowni Elektrotechniki Teoretycznej w Instytucie Elektrotechniki Przemysłowej Politechniki Poznańskiej.

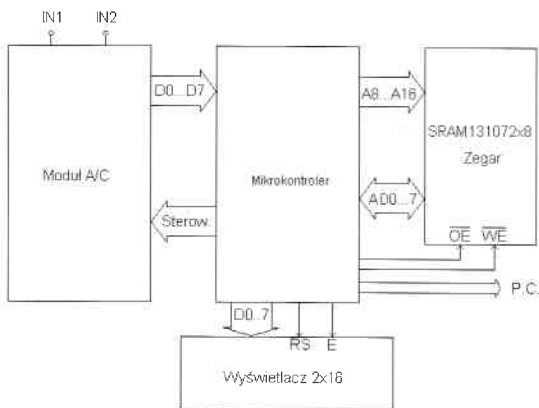
Mgr inż. Romuald PAZOŁA – studia magisterskie na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej ukończył w 1998 r. Prowadzi Zakład Elektroniki Profesjonalnej PC-SERVICE w Lesznie.



Rys. 1. Wygląd zewnętrzny rejestratora: 1 — wyłącznik napięcia, 2 — gniazdo we/wy, 3 — wejście kanału 20 V, 4 — wejście kanału 2 V, 5 — ekran ciekłokrystaliczny, 6 — przycisk START/ZMIANA, 7 — przycisk STOP/WYBÓR, 8 — przycisk podświetlenia ekranu, 9 — gniazdo ładowania baterii, 10 — kalibracja kanału I, 11 — kalibracja kanału II

- bezpieczeństwo danych (zastosowanie nowoczesnej modułowej pamięci statycznej NV SRAM wraz z zegarem czasu rzeczywistego).

Całością steruje 8-bitowy mikrokontroler, który również zarządza pracą monitora stanu baterii zasilających oraz układem



Rys. 2. Schemat blokowy rejestratora

kontrolna (w postaci jednego bajtu) obliczona ze wszystkich bajtów paczek pomiarowych. Wyzwalanie zdalne rejestratora umożliwia zewnętrzny sterownik współpracujący z pagerem.

Budowa rejestratora

Na rys. 2 przedstawiony jest schemat blokowy rejestratora, na którym przedstawiono wszystkie moduły oraz sygnały przepływające między nimi.

Rejestrator składa się z czterech zasadniczych podzespołów:

1. Moduł przetworników A/C
2. Mikrokontroler sterujący
3. Wyświetlacz
4. Pamięć danych z zegarem czasu rzeczywistego.

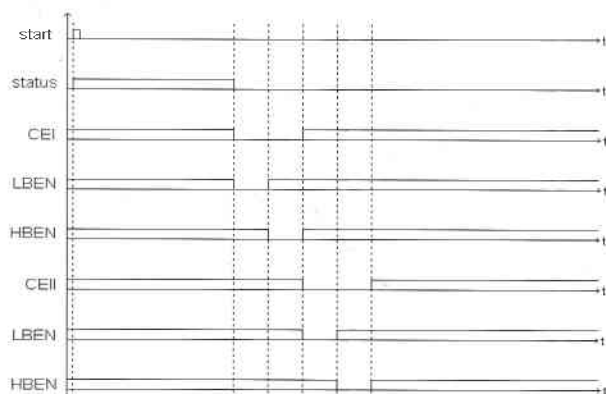
W dalszej części zostanie opisana zasada działania oraz funkcje poszczególnych modułów.

Moduł przetworników A/C

Moduł analogowo-cyfrowy został zaprojektowany w sposób umożliwiający bezpośrednią współpracę z 8-bitowym mikrokontrolerem. W module tym pracują dwa 12-bitowe przetworniki analogowo-cyfrowe z wyjściami przystosowanymi do magistrali 8-bitowej. Układy posiadają trójstanowe wyjścia, pracują na zasadzie podwójnego całkowania i wykonane są technologią CMOS. Przetworniki posiadają własny generator kwarcowy oraz wysokostabilny zasilacz. Układy przetworników są zasilane stabilnym napięciem +5 V, napięcie -5 V powstaje za pośrednictwem inwertera napięcia.

Moduł posiada następujące wejścia/wyjścia:

- D0... D7 – wyjścia danych pomiarowych,
- STATUS – wyjście informujące o trybie wykonywanej operacji, „1” przetwarzanie, „0” dane z wyjścia można odczytać (przetwarzanie zakończone),
- START – wejście sygnału inicjującego przetwarzanie,
- /CEI – wejście sygnału uaktywniającego wyjścia przetwornika kanału pierwszego,
- /CEII – wejście sygnału uaktywniającego wyjścia przetwornika kanału drugiego,
- /LBEN – wejście sygnału odczytu bajtu mniej znaczącego,
- /HBEN – wejście sygnału odczytu bajtu bardziej znaczącego,
- IN1 – wejście analogowe pierwszego kanału,
- IN2 – wejście analogowe drugiego kanału,
- SD – wejście sygnału włączenia napięcia na sekcję analogowo-cyfrową,



Rys. 3. Cykl pomiaru i odczytu w dwóch kanałach

- +PWR – wejście napięcia zasilania (+5,7 V... +7,2 V),
- GND – masa.

W stanie STOP mikrokomputer rejestratora wyłącza napięcie zasilające moduł analogowo-cyfrowy za pomocą sygnału SD = 0. W chwili rozpoczęcia pomiarów następuje włączenie napięcia zasilania (SD=1), a po upływie kilku sekund wysłanie sygnału

zdalnego wyzwalania. Dane można w każdej chwili wczytać do komputera klasy PC za pomocą łącza szeregowego RS 232, gdzie w dalszej kolejności dokonuje się analizy zarejestrowanych przebiegów. Transmisja przebiega w trybie asynchronicznym z szybkością 9600 bodów. Ramka transmisji danych zawiera bit startu, osiem bitów danych oraz jeden bit stopu bez kontroli parzystości. Na końcu przesyłany jest bajt C0h, a następnie suma

START. Po zakończeniu pomiarów (naciśnięciu przycisku STOP), przetworniki A/C są ponownie wyłączane.

Wyjścia przetworników są połączone ze sobą w sposób umożliwiający odczyt w postaci bajtów, co umożliwia bezpośrednie podłączenie do mikrokontrolera. Cykl pomiaru i odczytu danych z przetworników przedstawia rys. 3.

Pomiar rozpoczyna się po wysłaniu przez mikrokomputer sygnału START. Wówczas każdy przetwornik wystawia na swym wyjściu sygnał STATUS = 1, co oznacza, że trwa cykl przetwarzania analogowo-cyfrowego. Sygnały te są sumowane i podawane jako informacja na wejście mikrokontrolera. W ten sposób sygnał STATUS zaniknie dopiero, gdy obydwa przetworniki zakończą cykl pomiarowy.

Gdy STATUS = 0, rozpoczyna się odczyt danych. Jako pierwszy odczytywany jest kanał 20 V (sygnał /CEI w stanie niskim). Tutaj odczyt następuje w dwóch cyklach. Najpierw bajt mniej znaczący (/LBEN w stanie niskim), a następnie bajt bardziej znaczący (/HBEN w stanie niskim). Po odczycie dwóch bajtów można uaktywnić odczyt kanału 2 V (po uprzednim wyłączeniu sygnału /CEI), który przebiega w podobny sposób jak dla kanału 20 V.

Napięcie wejściowe podawane jest za pomocą dzielników obliczonych na odpowiednie zakresy 20,48 V oraz 2,048 V. Precyzyjne dostrójenie do zakresu jest realizowane za pomocą potencjometrów wieloobrotowych P1 oraz P2. Pokręta tych regulatorów są dostępne przez otwory w bocznej ścianie rejestratora.

Mikrokontroler sterujący

Moduł mikrokontrolera sterującego pracuje z częstotliwością 3,6864 MHz i jest bezpośrednio połączony ze wszystkimi modułami urządzenia. Mikrokontroler steruje pracą przetworników A/C, oblicza i podaje wyniki na wyświetlaczu alfanumerycznym, zarządza pamięcią danych oraz obsługuje transmisję szeregową [5].

Funkcje modułu mikrokontrolera opisano poniżej:

a) sterowanie przetwornikami analogowo-cyfrowymi

Do sterowania wykorzystano jeden port mikrokontrolera (8 linii), na którym znajdują się sygnały sterujące pracą przetworników. Drugi port pracuje jako wejście danych odczytanych z przetworników A/C.

b) sterowanie wyświetlaczem alfanumerycznym

Wyświetlacz jest podłączony bezpośrednio do linii mikrokontrolera i pracuje z 8-bitową szyną danych. Dodatkowym sygnałem jest strobowanie danych oraz sygnał określający rodzaj instrukcji do wykonania.

c) sterowanie pamięcią danych

Jako pamięć danych wykorzystano układ pamięci statycznej o organizacji 128k x 8. Układ posiada wbudowany zegar czasu rzeczywistego oraz baterię zasilającą całość. Układ podłączono do mikrokomputera jako standardową pamięć zewnętrzną. Ze względu na zbyt małą liczbę linii adresowych wykorzystano jako adres A16 jedną linię portu.

d) generator 8 Hz

Generator kwarcowy pracuje z częstotliwością 32 768 Hz. Sygnał wyjściowy jest dzielony przez 2^{12} , co w wyniku daje 8 Hz. Częstotliwość ta jest zliczana przez odpowiednio zaprogramowany licznik T0, który generuje przerwania inicjujące pomiar w ściśle określonym czasie z częstotliwością nastawioną przez użytkownika (0,5 Hz, 1 Hz, 2 Hz).

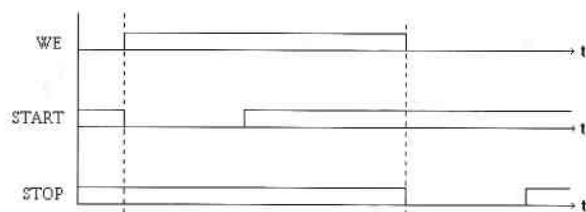
e) układ START/STOP

Klawiatura rejestratora jest podłączona do linii portu jako wejścia przerwań. Podczas obsługi ręcznej rejestratora wymusza się na tych liniach stan niski, przez naciśnięcie odpowiedniego klawisza. Wejścia te są celowo wybrane, gdyż mogą one być obsługiwane jako przerwania zewnętrzne /INT0, /INT1. Wykorzystane to jest w celu „obudzenia” mikrokomputera ze stanu zmniejszonego poboru mocy. Rejestrator może być także wyzwalany zdalnie za pomocą zewnętrznego sterownika. Sterownik ten posiada tylko dwa wyjścia, które w stanie spoczynku są rozwarte, natomiast w stanie pracy zwarte. Dopasowanie polega

na generacji sygnału START podczas zbocza narastającego oraz sygnału STOP podczas zbocza opadającego (rys. 4). Do tego celu służą dwa przerzutniki, reagujące na odpowiednie zbocza. Jako elementy wykonawcze zastosowano tranzystory impulsowe.

f) układ zasilania

Mikrokomputer zasilany jest z wysokostabilnego stabilizatora,



Rys. 4. Przebiegi w układzie START/STOP

który daje napięcie +5 V oraz posiada układ kontroli stanu napięcia wejściowego. Rezystancję dzielnika wejściowego obliczono tak, że na wyjściu LBO powstaje stan niski, gdy napięcie wejściowe spadnie do +5,7 V.

g) układ transmisji

Dane są wysyłane za pośrednictwem układu transmisji szeregowej według standardu RS-232, który współpracuje bezpośrednio z mikrokontrolerem. Podczas pomiarów jest on odłączony od zasilania, co zmniejsza pobór prądu. Po włączeniu przewodu interfejsu układ transmisji jest gotowy do pracy.

Wyświetlacz

Aby zapewnić łatwą obsługę urządzenia, rejestrator został wyposażony w ciekłokrystaliczny ekran alfanumeryczny, umożliwiający wyświetlenie 32 znaków w dwóch liniach, posiadający własny generator znaków oraz możliwość podświetlania. Pobór prądu przez wyświetlacz wynosi 1 mA.

Do komunikacji z mikrokontrolerem służy 8 linii danych oraz 3 linie sterujące:

- RS: sygnalizuje, czy dana na wejściu jest kodem znaku do wpisania (stan H), czy też instrukcją do wykonania (stan L),
- R/W: sygnalizuje czy dana będzie czytana (H), czy wpisywana (L) do wyświetlacza,
- E: sygnał strobujący (aktywny poziomem wysokim).

Przed rozpoczęciem wpisywania znaków konieczne jest zaprogramowanie trybu pracy wyświetlacza oraz jego „wyzercowanie”. Uzyskuje się to przez wysłanie kolejnych instrukcji ustalających parametry pracy (F), tryb wprowadzania danych (C), czyszczącej ekran (A) oraz włączającej ekran (D).

Pamięć danych z zegarem czasu rzeczywistego

Dane pomiarowe są gromadzone w module NV SRAM o pojemności 128k x 8. Układ ten oprócz pamięci posiada wbudowany zegar czasu rzeczywistego (Phantom Clock) oraz baterię zasilającą z gwarantowanym przez producenta 10-letnim okresem żywotności. Komunikacja z zegarem możliwa jest po rozpoznaniu 64-bitowego wzorca szeregowego, który jest podany przez zapisanie kolejnych cykli zawierających odpowiednie dane. Wszystkie rozkazy przed rozpoznaniem wzorca są kierowane do pamięci.

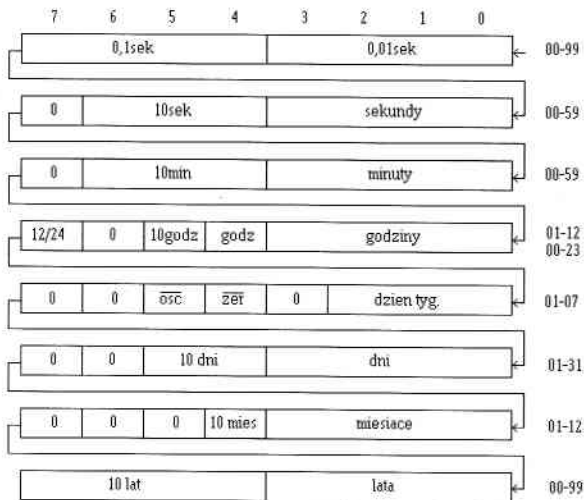
Po rozpoznaniu następuje 64 cykle odczytu lub zapisu kierowane są do zegara, natomiast dostęp do pamięci jest wstrzymany. Transfer danych jest realizowany szeregowym strumieniem bitów. Rozwiązanie takie umożliwia dostęp do zegara pod każdym adresem. Odczyt lub zapis danych następuje według ściśle określonej kolejności (rys. 5).

Zegar nie posiada regulatora do przestrojenia generatora kwarcowego, a producent zapewnia dokładność ± 1 min./mies.

Uwagi końcowe

Mikroprocesorowy rejestrator RP 97 jest urządzeniem oryginalnym, odznaczającym się:

- wysoką dokładnością pomiarów,
- ciągłym wyświetlaniem pełnej informacji o stanie rejestratora,
- możliwością pracy bez komputera klasy PC w terenie,
- możliwością zdalnego wyzwalania rejestratora,
- pamiętaniem wielu paczek pomiarowych,
- automatyczną rejestracją czasu pomiaru,
- małymi wymiarami,
- pracą dwukanałową w jednoczesnym czasie,
- zabezpieczeniem przed błędnymi pomiarami na skutek wyladowania baterii,
- eliminacją zakłóceń nakładanych na mierzone napięcie stałe,
- maksymalnym zabezpieczeniem przed utratą danych.



Rys. 5. Rozmieszczenie danych zegarowych w pamięci RAM

Mikroprocesorowy rejestrator jest urządzeniem o dokładności zależnej wyłącznie od dokładności zastosowanych przetworników A/C. 12-bitowe integracyjne przetworniki o czasie całkowania 100 ms (stabilizowane kwarcem) skutecznie eliminują zakłócenia. Zastosowanie dwóch niezależnych układów pozwoliło uzyskać jednoczesny pomiar na obydwu kanałach, co jest bardzo istotne podczas pomiarów antykorozyjnych. Urządzenie posiada również wbudowany zegar czasu rzeczywistego. Informacja o dacie i czasie wykonywania pomiarów dopisywana jest do pliku danych pomiarowych. Wyjście zewnętrznego wyzwalania zapewnia możliwość zdalnego sterowania. Centralny mikroprocesor umożliwia ponadto łatwą obsługę w terenie, wyświetlając odpowiednio komunikaty w języku polskim na alfanumerycznym ekranie ciekłokrystalicznym. Duży nacisk położono na zabezpieczenie danych, które można wykasować tylko świadomie, używając odpowiedniej kombinacji klawiszy. Danych nie utraci się nawet po rozmontowaniu rejestratora na części.

Praca wykonana w ramach projektu badawczego Nr 8T10C 013 14 finansowanego przez KBN.

LITERATURA

- [1] J. KOZŁOWSKI, W. MACHCZYŃSKI: Technika pomiarowa w praktyce prądów błędzących. *Ochrona Przed Korozją* 1995, nr 10, s. 228-231.
- [2] J. KOZŁOWSKI, W. MACHCZYŃSKI, R. PAZOŁA: Dwukanałowy rejestrator cyfrowy z pamięcią wewnętrzną. *Pomiary, Automatyka, Kontrola* 1997, nr 9, s. 266-269.
- [3] A. CHWALEBA, M. PONIŃSKI, A. SIEDLECKI: Metrologia elektryczna. WNT, Warszawa 1991.
- [4] Z. KULKA, A. LIBURA, M. NADACHOWSKI: Przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe. WKŁ, Warszawa 1987.
- [5] T. STARECKI: Mikrokontrolery jednocukładowe rodziny 51. NOZOMI, Warszawa 1996.

Otrzymano: 12.05.1998