



REJESTRATORY *MR2* W OCHRONIE KATODOWEJ

MR2 LOGGERS IN CATHODIC PROTECTION

Jacek Barański, Marian Hanasz

L.INSTRUMENTs

Słowa kluczowe: rejestrator czterokanałowy, niezależne synchroniczne kanały pomiarowe, korozja, pomiary w ochronie katodowej
Keywords: four-channel logger, independent synchronous measuring channels, corrosion, measurements in cathodic protection

Streszczenie

Omówiono budowę i działanie rejestratora *mr2*, przedstawiono kilka zastosowań w ochronie katodowej. Właściwości rejestratora rozszerzają horyzont badawczy zjawisk fizycznych w ochronie katodowej i ułatwiają wykonanie pomiarów zgodnie z normami.

Summary

Design and performance of the *mr2* logger and its application in cathodic protection is presented. Characteristics of the logger add to research the cathodic protection physical phenomena. They also help to perform measurements requested according to standards.

1. Wstęp

Opracowanie nowego modelu **mR2** wynikało z zapotrzebowania na małe rejestratory do pomiarów korozyjnych po zakończeniu produkcji znanych rejestratorów **mR0** i **mR1**, przedstawionych po raz pierwszy na konferencji w Juracie w r. 1998 [3], [8]. Rejestrator **mR2** posiada ich zalety, lecz oferuje dużo więcej. Jego właściwości znakomicie ułatwiają wykonywanie coraz bardziej wymagających pomiarów korozyjnych:

- cztery niezależne, separowane między sobą galwanicznie kanały pomiarowe,
- separacja galwaniczna realizowana również na poziomie łącza Bluetooth,
- próbkowanie synchroniczne we wszystkich kanałach,
- najkrótszy krok próbkowania: 1/16 sekundy,
- 24-bitowe przetworniki analogowo-cyfrowe sigma-delta w każdym kanale,
- oddzielnie wybierane zakresy:
jeden zakres pomiaru napięcia $\pm 100V$ z rozdzielczością lepszą niż 1mV,
zakres pomiaru spadku napięcia na boczniku prądowym do $\pm 280mV$ z rozdzielczością lepszą niż 20 μV lub $\pm 18mV$ z rozdzielczością lepszą niż 1 μV ,
- zegar RTC,
- wymienna karta pamięci Flash *microSD* w gestii użytkownika,
- moduł radiowy Bluetooth umożliwiający komunikację z komputerem (w planie także z telefonem komórkowym),
- łącze USB,
- wymienne akumulatory AA 1.2V (lub baterie AA 1.5V) w osobnym przedziale,
- całością steruje najnowszy 32-bitowy mikrokontroler ARM z rdzeniem *Cortex-M3*.

Rejestrator spełnia postulaty bezpieczeństwa w układach pomiarowych przedstawione w Juracie w r. 2008 [4].

2. Budowa i działanie

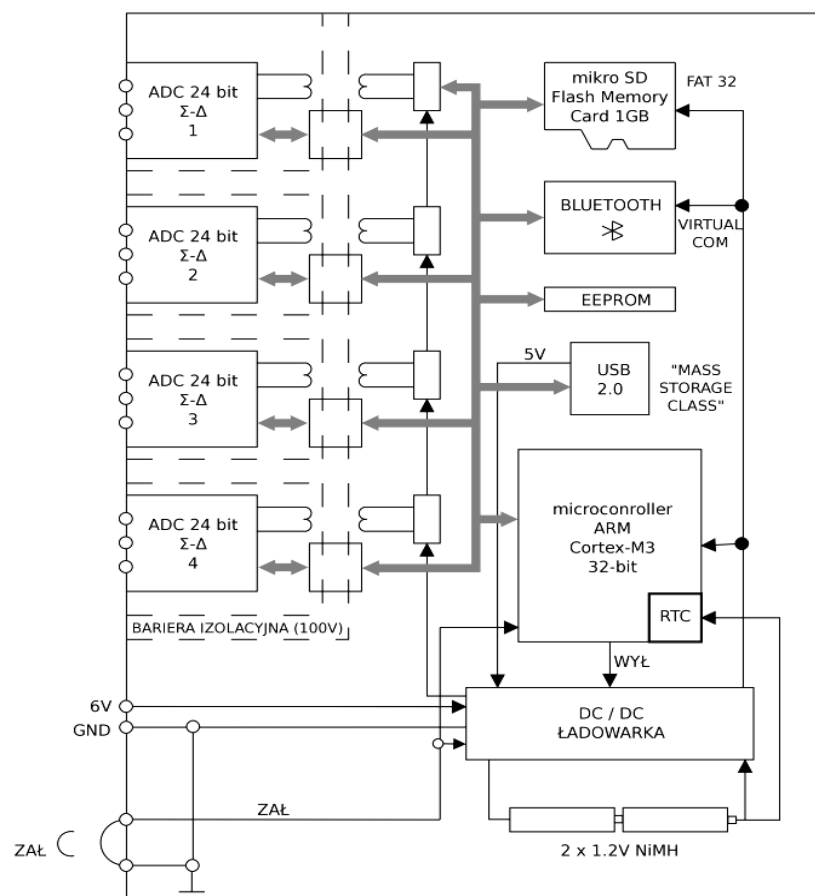
Schemat ideowy rejestratora **mR2** podano na rys. 1.

Zewnętrzne sygnały pomiarowe – wszystkie z wyjątkiem transmitowanych przez USB – są wprowadzane i wyprowadzane poprzez złącze 25-pinowe. Rejestrator zaczyna pracować po włożeniu w nie zakończonych przewodami pomiarowymi złącza, które zawiera zworkę ZAŁ. Zakończeniem pracy steruje procesor, który generuje sygnał WYŁ, gdy skończy się przewidziany czas rejestracji, lub gdy procesor stwierdzi brak obecności zworki ZAŁ po rozpięciu złącza 25-pinowego. W tym przypadku zakończenie pracy następuje po zamknięciu pliku rejestracji.

Wyniki rejestracji zapamiętywane są na karcie pamięci *microSD* w postaci plików tekstowych. Kartę pamięci można wyjąć, a następnie odczytać w dowolnym czytniku i przez dowolny system operacyjny dzięki zastosowaniu systemu plików FAT32.

W modelu rejestratora **mR2** użyto karty o bardzo dużej pamięci wynoszącej 1GB.

Tekstowe przedstawienie danych w postaci kolumn liczbowych pozwala na interpretację wyników zarówno w programach dostarczanych przez L.INSTRUMENTs, jak i we własnych programach użytkownika ściśle dostosowanych do jego potrzeb albo też w ogólnie znanych arkuszach kalkulacyjnych.



Rys. 1. Schemat ideowy rejestratora **mR2**

Nazwy plików są tworzone automatycznie. Nazwa jest datą rozpoczęcia rejestracji pobraną z zegara RTC, liczoną w sekundach od początku wieku, zapisaną z rozszerzeniem *.mR2 w kodzie hex. Takie podejście zdejmuję z użytkownika konieczność tworzenia i nazywania plików, jednocześnie zapewniając utrzymanie porządku w archiwach i łatwe wyszukiwanie najnowszych rejestracji.

Komunikacja z rejestratorem komputera – a w planie także telefonu komórkowego – odbywa się poprzez radiowe łącze Bluetooth, w które współczesne komputery są z reguły wyposażone. Po nawiązaniu łączności rejestrator widziany jest w komputerze jako łącze COMx, przez które może przepływać strumień danych w obie strony. Prędkość transmisji jest stosunkowo duża: 115kbitów/sec. Przez to łącze można dokonać wszystkich niezbędnych nastaw, można odczytać zarejestrowane wyniki, a także na bieżąco śledzić przebieg pomiarów niezależnie od tego, czy są one w danej chwili rejestrowane, czy nie. Połączenie radiowe Bluetooth zapewnia wygodę użytkowania (brak kabli) oraz bezpieczeństwo pracy (doskonała separacja galwaniczna na poziomie łącza).

Rejestrator jest dodatkowo wyposażony w łącze USB2.0 z zaimplementowaną klasą MASS STORAGE. Po połączeniu kablem komputer widzi rejestrator jako dysk wymienny. Niepotrzebne są oddzielne sterowniki, gdyż dla klasy MASS STORAGE zawiera je każdy system operacyjny. Za pomocą przeglądarki pliki można przenosić, kasować, a także – wskazując edytor tekstów – otwierać. W wyniku połączenia przez USB rejestrator staje się uniwersalnym dyskiem wymiennym komputera, można na nim nagrywać dowolne pliki, nawet muzykę i zdjęcia, ale także wirusy, na co warto uważać. W czasie pracy przez łącze USB2.0 nie można prowadzić rejestracji danych. Podobnie jest w cyfrowym aparacie fotograficznym, w którym w czasie transmisji do komputera nie można robić zdjęć.

Rejestrator zasilany jest z dwóch ogniw AA 1.2V NiMH. Ogniw o pojemności 2300mAh pozwalają na minimum 24 godziny ciągłej pracy przy wyłączonym module Bluetooth i co najmniej na połowę tego czasu przy włączonym module i stałe prowadzonej transmisji. Napięcie ogniw jest monitorowane bez przerwy. Przy spadku napięcia zasilającego poniżej ok. 2.1V rejestracja jest przerywana, pliki zamykane i rejestrator zostaje wyłączony. Zasilany jest tylko zegar RTC.

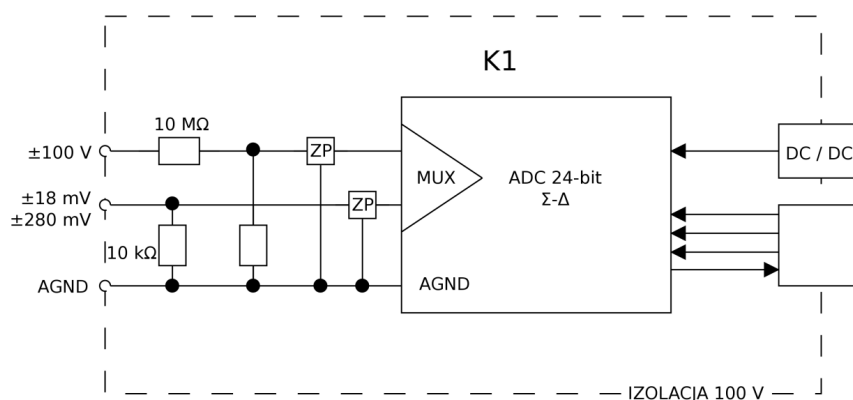
Rejestrator może być zasilany również z zewnętrznego źródła 6V: akumulatora lub zasilacza, z którego też czerpana jest energia do ładowania wewnętrznych akumulatorów. Ładowanie odbywa się pod nadzorem procesora. Zasilanie z zewnętrznego źródła 6V pozwala na nieograniczony czas pracy rejestratora.

W czasie pracy z aktywnym łączem USB, np. podczas odczytu danych przez komputer, energia pobierana jest z tego łącza. Pozwala to na odczyt wyników przy całkowicie rozładowanych akumulatorach lub po ich wyjęciu. Nie przewiduje się jednak ładowania akumulatorów z łącza USB.

3. Kanały pomiarowe

Rejestrator **mR2** jest wyposażony w cztery jednakowe, odseparowane galwanicznie kanały pomiarowe. Różnica napięć między kanałami podczas pracy nie może przekraczać 100V ze względu na małe gabaryty i niewielkie odległości międzysiężkowe.

Schemat ideowy kanałów pomiarowych przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Schemat ideowy kanału pomiarowego rejestratora **mR2**

Sercem każdego toru pomiarowego jest 24-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy typu sigma-delta, wyposażony dodatkowo w analogowy multiplekser służący do wyboru rodzaju wejścia oraz w wzmacniacz o regulowanym wzmacnieniu.

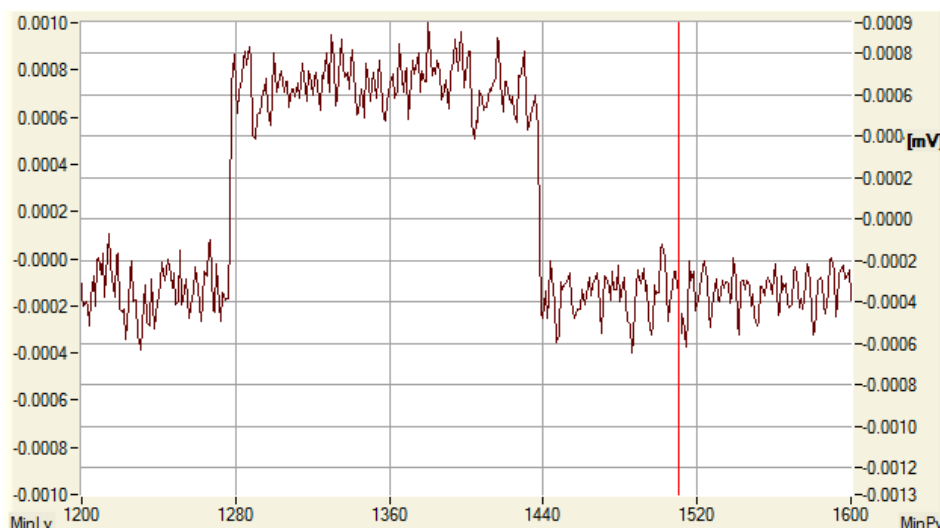
Sygnały analogowe są podawane na wejścia przetwornika poprzez dzielniki oporowe i zabezpieczenie przeciwprzepięciowe ZP, którego rolą jest ochrona przetwornika zarówno przed nadmiernym ładunkiem elektrostatycznym na wejściu jak i przed przekroczeniem zakresu.

Energia oraz cyfrowe sygnały sterujące są dostarczane do przetwornika przez barierę separacyjną. Przed rozpoczęciem każdej sesji pomiarowej przetwornik jest inicjowany, co polega na wyborze wzmacnienia oraz numeru wejścia, z którego pobierany jest sygnał. W prezentowanym modelu **mR2** przewidziano wejścia:

- do pomiaru napięcia: $\pm 100V$,
- do pomiaru spadku napięcia: $\pm 280mV$ lub $\pm 18mV$.

Zakres $\pm 280mV$ służy do pomiaru prądu w standardowych bocznikach $60mV$. Zakres $\pm 18mV$ o bardzo małym poziomie szumów własnych jest przeznaczony do pomiaru prądu w bocznikach o bardzo małych rezystancjach. Wybierając zakres $\pm 18mV$ otrzymuje się mikrowoltomierz bardzo wysokiej klasy.

Rys. 3 przedstawia skok jednostkowy bardzo małej wartości mierzonej $1\mu V$ na tle szumów własnych, których poziom nie przekracza $0.6\mu V$ szczyt-szczyt. Taki przebieg odpowiadałby skokowi prądu o $1mA$ na rezystancji $1m\Omega$ lub o $4mA$ na rezystancji rzędu $250\mu\Omega$ uzyskiwanej na rurociągach o dużej średnicy



Rys. 3. Skok jednostkowy o wartości $1\mu V$ na tle szumów własnych. Próbkowanie: 1/16sek. Przebieg odniesiony do prawej osi Y.

4. Niektóre właściwości

Pewne właściwości rejestratora **mR2** szczególnie ułatwiają wykonanie pomiarów w ochronie katodowej.

Dzięki niezależności kanałów można w różnych miejscach układu elektrycznego mierzyć dowolnie wybrane wielkości napięcia i prądu. Można wyznaczyć rezystancję metodą techniczną, mierząc w jednym kanale spadek napięcia na tej rezystancji, a w drugim płynący przez nią prąd. Połączenia przewodowe nie są dedykowane. Wszystkie wejścia są bipolarne, przy czym z zasady masie analogowej kanału przypisuje się znak (-), a wybranemu biegunowi znak (+).

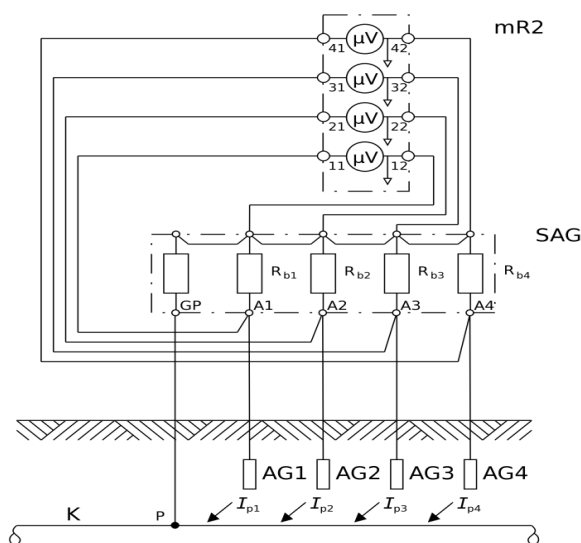
Cztery równorzędne kanały umożliwiają jednoczesne wykonanie takich pomiarów, które dotychczas wymagały użycia paru rejestratorów dwukanałowych **mR0**. We wszystkich czterech kanałach pobieranie próbek pomiarowych odbywa się synchronicznie, a nie w kolejności przełączeń jak w kanałach multipleksowanych.

Stosując rejestrator **mR2** o bardzo szerokiej skali pomiaru napięcia unika się problemu doboru zakresu pomiarowego, gdy nadmierna ostrożność utrudnia odczyt przebiegu, zbyt swobodne działanie kończy się utratą wartości ekstremalnych, zaś automatyczne przełączenie zakresu powoduje zakłócenia, trudne do oddzielenia od badanego przebiegu. Oferowany w rejestratorze **mR2** we wszystkich kanałach zakres $\pm 100V$ dzięki rozdzielczości 1mV jest przydatny do wszelkich pomiarów napięcia w ochronie katodowej.

W każdym kanale można też mierzyć dowolnie duży prąd dobierając odpowiedni typowy boczniak 60mV. Oddzielny zakres $\pm 18mV$ o rozdzielczości lepszej niż $1\mu V$ pozwala mierzyć bardzo małe prądy w rurociągach o dużych średnicach i to na stosunkowo krótkich boczniakach rurociągowych (skalowanych odcinkach pomiarowych).

5. Zastosowania w ochronie katodowej

Wyposażenie rejestratora w cztery kanały pomiarowe umożliwia na stacjach anod galwanicznych kontrolę rozkładu prądu ochrony I_p w gałęziach anod (rys. 4) oraz pomiar potencjałów i rezystancji anod. Podobnie na stacjach z zewnętrznym źródłem prądu można sprawdzić rozkład prądu ochrony w gałęziach uziomów anodowych i ich rezystancje [2].

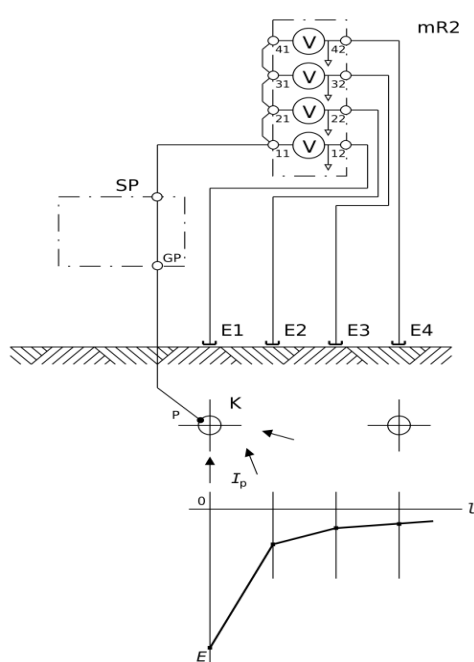


Rys. 4. Pomiar rozkładu prądu ochrony I_p między gałęziami anod galwanicznych AG1 ÷ AG4 w stacji anod galwanicznych SAG.

Analogicznie można mierzyć rozkład prądu między gałęziami uziomu anodowego w stacji z zewnętrznym źródłem prądu.

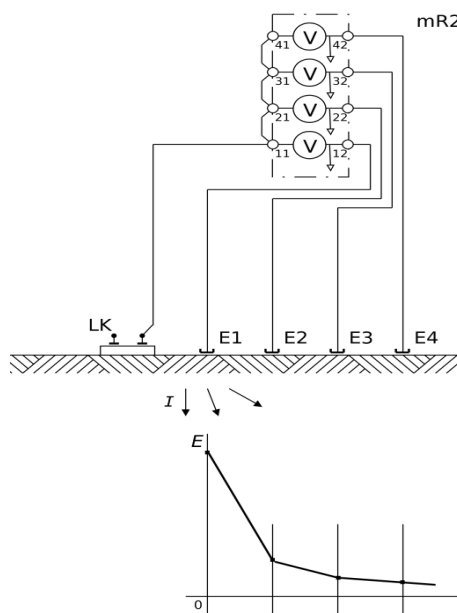
Konstrukcja chroniona – K, punkt pomiaru potencjału – P, przyłącze potencjałowe konstrukcji GP, przyłącza anod A1 ÷ A4, boczniaki prądowe – R_b ; obciążalność boczników dostosowana do spodziewanego prądu.

Można zbadać stoezek potencjałowy, czyli zmianę potencjału E w otoczeniu konstrukcji chronionej (rys. 5). Elektrody odniesienia ustawione prostopadle do konstrukcji mierzą potencjał konstrukcji w czterech punktach na powierzchni ziemi, co pozwala jednocześnie ocenić szerokość strefy l oddziaływania potencjału konstrukcji chronionej na inne konstrukcje podziemne. Okresowe wykonywanie tego rodzaju pomiarów wzdłuż tras rurociągów jest konieczne, ponieważ to oddziaływanie zmienia się z czasem i wzdłuż chronionej konstrukcji w zależności od stanu powłoki i lokalnej rezystywności gruntu wskutek czego szerokość strefy oddziaływania nie jest stała. Rejestrator **mR2** ułatwia tego rodzaju badania w fazie projektowania inwestycji, gdy konstrukcje podziemne mogą się zbliżyć lub skrzyżować. Podczas badania skuteczności ochrony w eksploatacji niezbędna jest kontrola potencjałów konstrukcji w stacjach wyrównania potencjałów. Analogiczne zastosowanie rejestrator **mR2** może znaleźć w ochronie zbiorników [10].



Rys. 5. Badanie oddziaływania konstrukcji chronionej K w strefie o szerokości l zmiany potencjału E wskutek przepływu prądu ochrony I_p

Stacja pomiarowa – SP, elektrody odniesienia E1 ÷ E4, punkt pomiaru potencjału – P, przyłącze potencjałowe konstrukcji GP

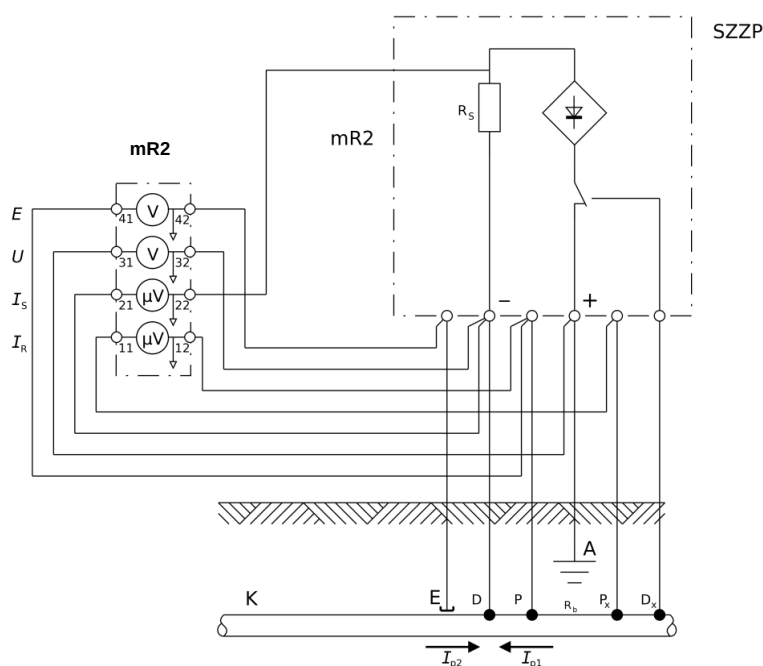


Rys. 6. Badanie oddziaływania zelektryfikowanej linii kolejowej LK w strefie o szerokości l zmiany potencjału E wskutek przepływu prądu błądzącego I

Elektrody odniesienia E1 ÷ E4

Podobny sens ma wyznaczanie szerokości strefy l oddziaływania prądów błędnych I (rys. 6), upływających z sieci powrotnej do ziemi na skrzyżowaniach ze zelektryfikowanymi liniami kolejowymi i liniami tramwajowymi [5], podczas projektowania tras rurociągów i/lub ustalania parametrów zakresu stosowania powłok wzmocnionych w strefach skrzyżowań.

Na stacjach ochrony katodowej z zewnętrznym źródłem prądu, stacjach drenażu i stacjach anod galwanicznych, podczas uruchamiania ochrony katodowej i w okresie eksploatacji, wykonuje się pomiary sprawdzające, czy stacja działa zgodnie z oczekiwaniami, co można uważać za wskazówkę spełnienia warunków ochrony [2]. W tym celu na wyjściu stacji mierzy się prąd i napięcie, a ponad to potencjał konstrukcji w miejscu przyłączenia stacji (rys. 7). Rejestrator **mR2** umożliwia jednoczesny pomiar tych trzech wielkości, a jeżeli konstrukcją chronioną jest rurociąg, którego odcinek został wykalibrowany jako bocznik, to w czwartym kanale pomiarowym można jednocześnie ustalić w tym miejscu rozływ prądu (kierunek, wartość). Można też okresowo metodą techniczną sprawdzać kalibrację boczników rurociągowych.



Rys. 7. Kontrola działania stacji ochrony katodowej SZZP z zewnętrznym źródłem prądu chroniącego konstrukcję (tu: Rurociąg)

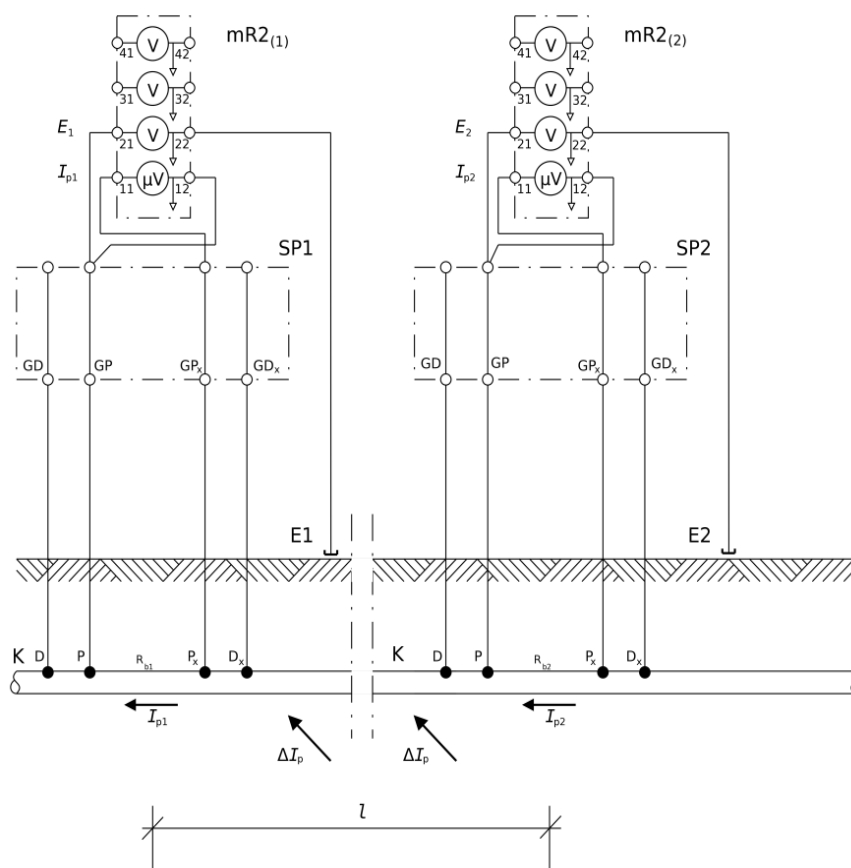
Rejestracja wyjściowego napięcia U (kanał 31–32), prądu w stacji I_s (kanał 22–21), potencjału konstrukcji E (kanał 42 –41). Analogicznie można mierzyć parametry U , I_s , E w stacjach drenażu polaryzowanego i stacjach anod galwanicznych.

Pokazano możliwość jednoczesnego pomiaru prądu w rurociągu I_r (kanał 11–12) na opcjonalnie zainstalowanym boczniku rurociągowym. W założeniu, że w rurociągu nie płyną obce prądy mamy: $I_r = I_{p1}$, a $I_{p2} = I_s - I_{p1}$, gdzie I_{p1} i I_{p2} są prądami ochrony spływającymi do stacji z dwóch stron rurociągu.

Konstrukcja (rurociąg) – K, uziom anodowy – A, elektroda odniesienia – E, punkty drenażu na konstrukcji – D i D_x, punkty potencjałowe na konstrukcji – P i P_x, bocznik rurociągowy – R_b, bocznik stacji – R_s

Rejestrator **mr2** może być z powodzeniem stosowany do badania stanu izolacji powłoki, gdy układ rurowy znajduje się wewnątrz rury osłonowej (ochronnej, otaczającej) [6]. Może też znaleźć zastosowanie na terenie obiektów zabezpieczanych jednocześnie ochroną katodową, przeciwporażeniową i odgromową w analizie pomiarów napięć anoda – katoda [9] i [10], analizie rozplywu prądów i potencjałów elektrod symulujących.

Precyzyjny synchroniczny pomiar prądu i potencjału na dwóch krańcach odcinka rurociągu (rys. 8) umożliwia wyznaczenie średniej rezystancji powłoki na tym odcinku [1] [2] [7], co znacznie ułatwia okresową ocenę poziomu ochrony ograniczając do minimum kosztowne i długotrwałe pomiary intensywne. Przez analogię rejestrator **mr2** można stosować do badania konduktancji izolowanych od ziemi torów tramwajowych, a w metrze do pomiarów konduktancji torów w stosunku do obudowy tunelu oraz obudowy do ziemi.



Rys. 8. Synchroniczny pomiar parametrów do wyznaczenia jednostkowej rezystancji powłoki r_{co} (jednostkowej konduktancji powłoki g_{co}) na odcinku l rurociągu podziemnego.

Prąd ochrony $I_{p1} = \Delta I_p + I_{p2}$, gdzie ΔI_p jest częścią prądu ochrony wpływającą przez powłokę do konstrukcji na odcinku l.

Można wykonać jednocześnie pomiary na liczbie odcinków x, co wymaga użycia x + 1 rejestratorów.

Konstrukcja (rurociąg) – K, stacje pomiarowe SP1 i SP2, elektrody odniesienia usytuowane na ziemi dalekiej – E1 i E2, punkty drenażu na konstrukcji – D i D_x, punkty potencjałowe na konstrukcji – P i P_x, boczniki rurociągowo – R_{b1} i R_{b2}

Literatura

- [1] St-IGG 0601:2008. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Wymagania funkcjonalne i zalecenia, Izba Gospodarcza Gazownictwa.
- [2] St-IGG 0602:2009. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Ochrona katodowa. Projektowanie, budowa i użytkowanie, Izba Gospodarcza Gazownictwa.
- [3] Barański J.: *Rejestrator mR do pomiaru prądów błędzących*. 02–04 06 1998 Jurata, V Konferencja Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej
- [4] Barański J.: *Separacja galwaniczna w nowoczesnych przyrządach i systemach pomiarowych*, 17–19 06 2008, Jurata, X Konferencja Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej.
- [5] Dziuba W.: *Sieć powrotna i prądy błędzące*, Instytut Elektrotechniki, Warszawa 1995
- [6] Fiedorowicz M.: *Zagrożenie korozyjne rur przewodowych ułożonych w rurach otaczających, Materiały KOR-GAZ-NET Słok 2010*, Konferencja Miejsce technologii ochrony katodowej we współczesnym gazownictwie.
- [7] Hanasz M.: *Pomiary prądu w ocenie powłoki rurociągu*, „Ochrona przed korozją” 8/2009, s. 308.
- [8] Hanasz M.: *Pomiary prądów błędzących za pomocą rejestratorów mR i programu mRgraph*, 02–04 06 1998, Jurata, V Konferencja Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej.
- [9] Markiewicz M., Zaborowska K.: *Pomiary ochrony katodowej rurociągów na tłoczni gazu*, Materiały 07–09 06 2006, Zakopane, IX Konferencja Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej.
- [10] Wartecki M., Al-Mahrous H.: *Nowa metoda uruchamiania instalacji i oceny parametrów pracy ochrony katodowej den zbiorników paliwowych w rafinerii ropy naftowej w Arabii Saudyjskiej*, Materiały 17–19 06 2008, Jurata, X Konferencja Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej.