



TRUDNE POMIARY MOGĄ BYĆ ŁATWIEJSZE

DIFFICULTIES TURN OUT TO BE PIECE OF CAKE

Jacek Barański

L.INSTRUMENTs Warszawa

Słowa kluczowe: korozja, ochrona katodowa, pomiary, rejestratory, adaptery
Keywords: corrosion, cathodic protection, measurements, process loggers, adaptors

Streszczenie

Niektóre specjalistyczne pomiary w ochronie katodowej można usprawnić stosując do rejestratorów *mR4* i *mR3p* dedykowane w tym celu adaptery nazywane tu wtyczkami. Przedstawiono ułatwiony sposób kalibracji bocznika rurociągowego i pomiaru w nim prądu, wykonania pomiarów liniowych metodą pomiarowo-ekstrapolacyjną i DCVG, pomiaru napięcia przemiennego i pomiarów korelacyjnych, bezpieczne przerywanie dużych prądów d.c. i bardzo dokładny pomiar małych prądów.

Summary

Some specialized cathodic protection measurements can turn out to be easy when together with *mR4* and *mR3p* loggers dedicated adaptors are applied. This includes calibration of a sector of the pipeline as a shunt, measurements of pipeline current, application of close-interval potential surveys, surface DC potential gradient surveys, measurement of a.c. voltage, correlation of potential versus voltage, reliable interruption of d.c. currents and precise measurement of small currents.

1. Wstęp

Przystępując do pomiarów wybiera się przyrząd pomiarowy, następnie trzeba go nastawić, czyli adaptować do warunków pomiaru. W badaniach przebiegów zmian sygnałów napięciowych używamy rejestratorów. Uniwersalne wielokanałowe rejestratory *mR3p* i *mR4* produkcji L.INSTRUMENTS zapisują przebiegi WSZELKICH wielkości fizycznych przetwarzanych w czujnikach na sygnał napięciowy, a wbudowany odbiornik GPS umożliwia lokalizację miejsca pomiaru [1].

Oferta możliwości pomiarowych rejestratorów *mR3p* i *mR4* jest bardzo bogata. W sprawie wyboru nastaw właściwych dla planowanego eksperymentu wskazówki zawiera obszerna instrukcja obsługi, nie trzeba jednak za każdym razem pogrążyć się w studiach, ponieważ omawiane rejestratory odznaczają się kapitalną zaletą: ręczne nastawianie można w znacznym stopniu, w niektórych przypadkach całkowicie, zastąpić specjalnie w tym celu zaprojektowaną WTYCZKĄ INTELIGENTNĄ. W pełni zasługuje na tę nazwę interfejs adaptujący rejestrator do wybranego rodzaju pomiarów. Uniwersalna wtyczka inteligentna *WU* należy do podstawowego wyposażenia rejestratora. Kanały i zakresy pomiarowe wybrane dla planowanego rodzaju pomiarów mogą być przechowywane dowolnie długo w jej pamięci EEPROM.

Jak wiadomo, niektóre pomiary stosowane w katodowej ochronie przed korozją wymagają skomplikowanych układów elektrycznych, a co za tym idzie dodatkowego, często nietypowego, często precyzyjnego wyposażenia. W razie potrzeby dobrze mieć je pod ręką. Z tą myślą przygotowano rodzinę inteligentnych, specjalnie dedykowanych wtyczek *WD*, które takie układy i wyposażenie zawierają. To nie tylko ułatwia pracę, lecz przede wszystkim zapewnia stałe, znane i porównywalne parametry pomiaru. Nastawy zapisane w pamięci EEPROM wtyczki powodują zaprogramowanie rejestratora po prostu przez jej dołączenie. Nie trzeba wykonywać żadnych operacji nastawczych.

Każda wtyczka dedykowana ma na celu realizację konkretnego pomiaru. Zgodnie z tym jest jej przypisany odpowiedni zakres pomiarowy, układ połączeń i wyposażenie. I tak do kalibracji boczników rurociągowych (punktów prądowych) i pomiaru prądu w rurociągu służy wtyczka *WDB*; do pomiarów liniowych DCVG oraz intensywnych – *WDG*; do pomiaru sygnałów skorelowanych d.c. i a.c. – *WDP*; do przerywania dużych prądów – *WDR*; do precyzyjnych pomiarów małych prądów – *WDI*. Przewiduje się również wtyczkę do kontroli elektrody symulującej. Przypisane odpowiednim kanałom na stałe wejścia pomiarowe są identyfikowanym kolorem gniazd wejść pomiarowych. Każdy egzemplarz posiada własny numer seryjny i certyfikat wyrobu. Gdyby zawartość pamięci EEPROM wtyczki została przypadkowo utracona, dane zawarte w certyfikacie umożliwiają jej odtworzenie.

Dalej przedstawiono zasady działania poszczególnych typów wtyczek dedykowanych do pomiarów korozyjnych. Instrukcja obsługi rejestratorów *mR4* i *mR3p'* przedstawia odnoszące się do nich metody pomiarowe, schematy połączeń i sposób odbioru sygnałów pomiarowych [3].

2. Pomiar prądu w rurociągu wtyczką dedykowaną *WDB*

W ocenie stanu powłoki rurociągów o wysokim poziomie szczelności główną rolę przypisuje się wynikowi pomiaru płynącego w nim prądu ochrony katodowej. Miarodajny jest prąd ochrony wnikający w powłokę na odcinku między stacjami (punktami prądowymi), obliczany jako różnica prądów zmierzonych w sąsiednich stacjach (punktach). Te prądy są siłą rzeczy bardzo małe, czasem nawet rzędu paru miliamperów, mimo to dostrzegalna mię-

dzy zmierzonymi prądami różnica musi być wyraźna. Wymaga to bardzo wysokiej rozdzielczości pomiaru.

Prąd mierzy się z reguły jako spadek napięcia na znanej rezystancji zwanej bocznikiem. Żeby zmierzyć prąd płynący w rurociągu należy jako bocznik wybrać wydzielony odcinek rurociągu i wyznaczyć jego rezystancję R . Czynność tę nazywa się kalibracją. Ideowy schemat kalibracji bocznika rurociągowego przedstawia rys. 1.

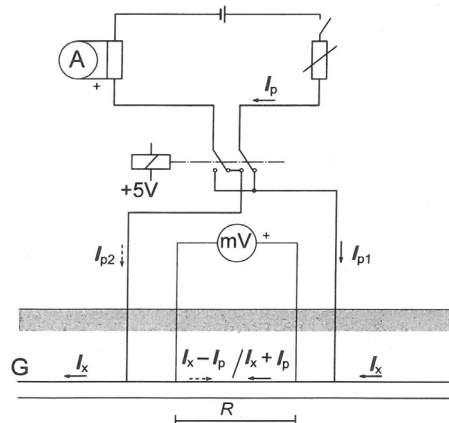
Przeznaczona do tego wtyczka **WDB** zasila układ pomiarowy z własnego źródła prądowego [4]. Aby wyeliminować wpływ nieznanego prądu I_x , który może płynąć w czasie kalibracji w rurociągu, przełącznik zainstalowany wewnątrz wtyczki kilkakrotnie zmienia automatycznie kierunek prądu pomiarowego I_p . Tym nieznanym prądem I_x – lub jego częścią – może być prąd ochrony. Na czas kalibracji nie trzeba go wyłączać, co stanowi dużą zaletę tego rozwiązania.

Kiedy przez bocznik R płynie prąd pomiarowy I_{p1} zgodny z kierunkiem nieznanego prądu I_x , to zmierzony przez miliwoltomierz (mV) spadek napięcia ΔU_1 na boczniku R wynosi:

$$\Delta U_1 = (I_x + I_{p1}) \cdot R$$

Kiedy przez bocznik R w kierunku przeciwnym do nieznanego prądu I_x płynie prąd I_{p2} , to zmierzony przez miliwoltomierz (mV) spadek napięcia ΔU_1 na boczniku R wynosi:

$$\Delta U_2 = (I_x - I_{p2}) \cdot R$$



Rys. 1. Kalibracja bocznika rurociągowego R przy użyciu wtyczki **WDB**

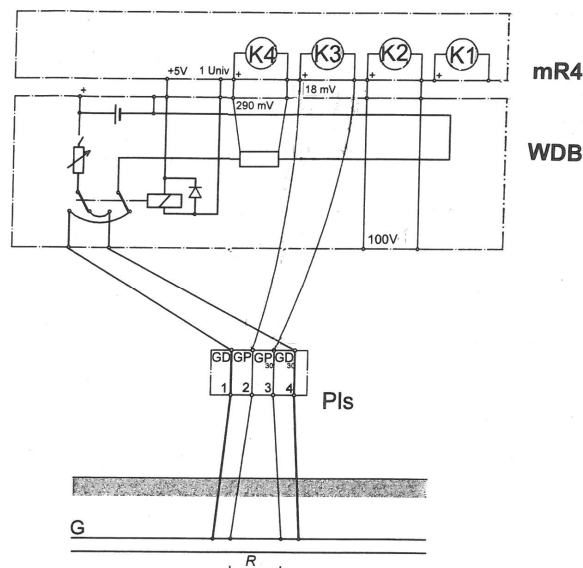
Oznaczenia:

- I_x – nieznaną prąd w rurociągu, nie ulegający zmianie w chwili pomiaru,
- I_p – nastawiony programowo w **WDB** prąd pomiarowy $\sim 1A$,
- I_{p1} – prąd pomiarowy zgodny z kierunkiem prądu I_x ,
- I_{p2} – prąd pomiarowy o kierunku przeciwnym prądowi I_x ,
- R – rezystancja bocznika rurociągowego,
- ΔU – spadek napięcia na boczniku w μV .

Metoda przełączania kierunku prądu eliminuje błędy termooogniw na styku dwóch różnych metali przy pomiarze bardzo małych spadków napięć oraz wpływ nieznanego prądu płynącego w rurociągu.

Przyjmuje się, że w chwili wymuszonej programowo zmiany kierunku prądu pomiarowego I_p nieznaną prąd I_x nie zdąży zmienić swej wartości. Na wszelki wypadek układ automatycznie mierzy spadki napięcia pięciokrotnie, po czym dla poprawy jakości średniej dwie wartości skrajne są programowo odrzucane, a z pozostałych trzech, na podstawie wyżej podanych równań, zostaje obliczona i automatycznie zaprezentowana rezystancja R bocznika rurowciągowego:

$$R = \frac{\Delta U_1 - \Delta U_2}{I_{p1} + I_{p2}} [\Omega] \text{ oraz stosowana w gazownictwie stała skalowania } C = \frac{1}{R} \left[\frac{\text{mA}}{\mu\text{V}} \right]$$



Rys. 2. Rejestrator *mR4* z wtyczką *WDB* przyłączony do gazociągu podczas kalibracji

Tą samą wtyczką mierzy się również prąd w rurowciągu i jego potencjał, co zapewnia komplet danych do obliczenia rezystancji przejścia R_{CO} i rezystywności jednostkowej powłoki r_{CO} badanego odcinka rurowciągu między kolejnymi stacjami (punktami prądowymi).

Każdorazowe wykonanie przed pomiarem niekłopotliwej – jak widać – kalibracji eliminuje błędy wynikające z okresowych zmian temperatury rurowciągu. Metodę wspiera dostarczany z rejestratorem program *mRgui* [2].

3. Pomiary metodami DCVG, potencjałową i ekstrapolacyjną przy użyciu wtyczki *WDG*

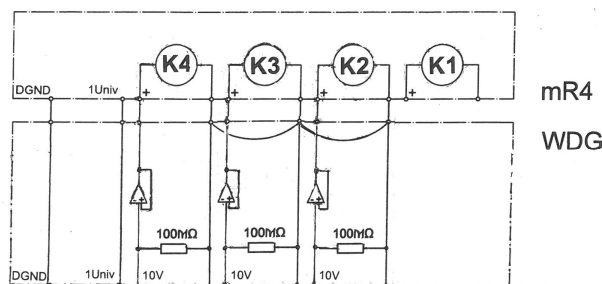
Specjalna wtyczka *WDG* ma na celu wysoką jakość i usprawnienie pomiarów liniowych, wykonywanych metodami: DCVG (dwie elektrody), potencjałową (jedna elektroda) i ekstrapolacyjną (dwie lub trzy elektrody) [3]. Ze względu na pomiar bardzo małych wartości wszystkie te metody wymagają dużej rozdzielczości układów pomiarowych. Wtyczka *WDG*

przy zakresie $\pm 10V$ zapewnia rozdzielczość 0.1mV (JEDNA DZIESIĘCIOTYSIĘCZNA WOLTA).

W tych pomiarach przyczyną dużego błędu bywa wysoka rezystywność wysuszonej powierzchniowej warstwy gruntu, wskutek czego rezystancja przejścia elektrody odniesienia znacząco rośnie. Z tego powodu dla poprawienia jakości pomiaru w każdym z trzech używanych kanałów pomiarowych (**K2**, **K3**, **K4**) zastosowano rezystancję wejścia 100M Ω (STO MEGAOMÓW). To umożliwia dokładny pomiar w niesprzyjających warunkach.

Dla uniknięcia przypadkowych błędów połączeń przewodów pomiarowych wejściom są przypisane stałe kolory złączbananowych i kieliszkowych.

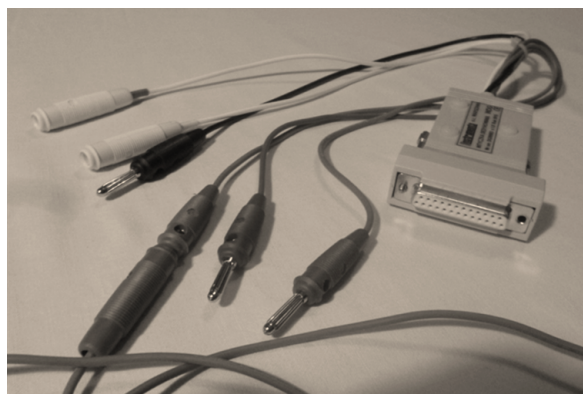
Do wtyczki **WDG** dostosowano specjalne uchwyty **UE** elektrod odniesienia zaopatrzone w przewody dobrane pod względem koloru i długości [4].



Rys. 3. Rejestrator **mR4z** wtyczką dedykowaną **WDG**

do pomiarów DCVG, potencjałowych i ekstrapolacyjnych

Pomiary wspiera panel w programie **mRgui** zainstalowanym w przemysłowym tablecie. Niesie go przed sobą operator, za każdym krokiem wbijając w ziemię elektrody. Po uzyskaniu właściwego obrazu na ekranie tabletu – to jest po pełnej synchronizacji cyklu ON/OFF – operator akceptuje wynik przyciskiem wbudowanym w uchwyt elektrody. Następnie robi kolejny krok i kolejny pomiar.

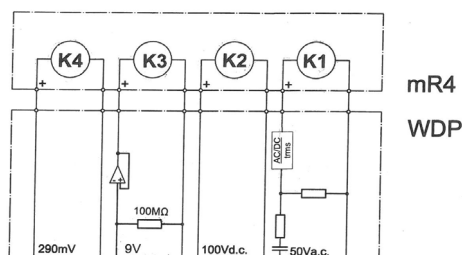


Rys. 4. Z prawej wtyczka dedykowana **WDG**

Widać bananki do uchwytów elektrod **UE**, jeden dołączony do przedłużacza kabla wynoszącego potencjał rurociągu; białe gniazda kieliszkowe przekazują impuls akceptu pomiaru

W tablicy zapisywane są rekordy zawierające wyniki każdego kroku pomiarowego ON/OFF wraz z pozycją geograficzną pobraną z wbudowanego w rejestrator modułu GPS. Niezależnie od tego w rejestratorze można utworzyć plik pomiarów ciągłych, czyli rejestracji ciągłej w czasie, bez względu na to, czy elektrody przylegają do ziemi, czy nie. Taki plik może być przydatny w analizie wyników, gdy niektóre z zarejestrowanych stanów ON/OFF nasuwają wątpliwości interpretacyjne.

4. Pomiar napięć przemiennych i pomiary korelacyjne wtyczką **WDP**



Rys. 5. Rejestrator **mR4** z wtyczką dedykowaną **WDP** do pomiaru sygnałów a.c. i d.c.
W **K3** rezystancja wewnętrzna 100 MΩ

Rejestratory **mR4** i **mR3p** są przystosowane do pomiarów sygnałów (d.c.), które w ochronie przed korozją wykonuje się najczęściej. Jednak ze względu na niebezpieczeństwo porażenia obsługi, a również dla oceny zagrożenia korozyjnego trzeba wykonać pomiar napięcia przemiennego (a.c.). W tym celu kanał **K1** wtyczki **WDP** został wyposażony w układ pomiaru napięcia 50Va.c. (trueRMS) [4].

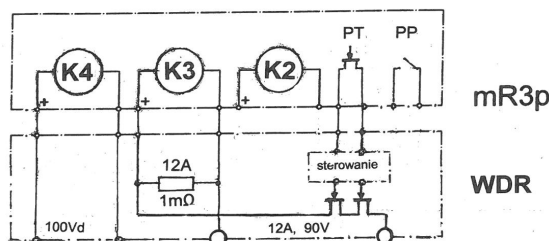
Wtyczka **WDP** pomaga również wykonać często stosowane pomiary korelacyjne. Napięcie między konstrukcją badaną, a szynami toru tramwajowego lub kolejowego, które sięga niekiedy kilkudziesięciu woltów, mierzy się w kanale **K2** – zakres 100V, jednocześnie z potencjałem tej konstrukcji, zazwyczaj w granicach kilku woltów, w kanale **K3** – zakres 9V (rys. 5), wyposażonym we wzmacniacz operacyjny zwiększający rezystancję wejściową do 100MΩ (zakres 9V). W kanale **K4** można mierzyć prąd drenażu na boczniku 60mV.

Dla uniknięcia pomyłek sygnały (+) są wyprowadzone na gniazda w kolorach przypisanych kanałom pomiarowym. Kolorom tym odpowiadają kolory wykresów w programach wizualizacyjnych **mRgui** i **mRdroid**. Kolorem czarnym oznaczono masę analogową (-). Każdy z kanałów pomiarowych stanowi dzięki wewnętrznej separacji galwanicznej niezależny, ale synchronicznie działający woltomierz.

Zaletą separacji jest wyeliminowanie błędów związanych ze spadkami napięć na przewodach pomiarowych, co jest szczególnie ważne przy pomiarze prądów (czyli spadków napięcia na boczniku 60mV). Separacja galwaniczna umożliwia łączenie równoległe kanałów, np. pomiar składowej stałej i przemiennego jednocześnie potencjału (**K1**||**K3**) lub napięcia rurociąg-szyny (**K1**||**K2**),

Powiększenie rezystancji wejściowej do $100M\Omega$ pozwala ograniczyć błędy pomiarowe potencjału związane z rezystancją przejścia w gruntach o dużej rezystywności. Wtyczka **WDP** może być w pełnym zakresie wykorzystana do współpracy z rejestratorem **mR4**, zaś w nieco mniejszym zakresie z rejestratorem **mR3p**, w którym nie ma kanału **K1** do pomiaru napięcia przemiennego [3].

5. Przerwanie prądu wtyczką **WDR** we współpracy z rejestratorem **mR3p**



Rys. 6. Rejestrator **mR3p** z wtyczką dedykowaną **WDR** do przerywania dużych prądów

Przerwanie prądu jest jednym z procesów typowych w ochronie katodowej rurociągów. Prądy ochrony w rurociągach o powłokach niskiej szczelności mogą osiągać znaczne wartości, rzędu kilkunastu i więcej amperów d.c., przy czym wymaga się czasem nawet 10 cykli przerwań w ciągu minuty. Praktycznie eliminuje to stosowanie do tych celów typowych styczników prądu stałego, których trwałość układów ruchomych wynosi około 10^7 cykli.

Rejestratory **mR3p**, zamiast kanału pomiarowego **K1**, w który jest wyposażony bliźniaczy rejestrator **mR4**, posiadają dwa kanały **PT** i **PP**, jednak ich zdolność łączeniowa jest ograniczona i wynosi dla **PT**: 2A (maksymalny prąd) i 30V (maksymalne napięcie przerwy), a dla **PP**: 0,5A (maksymalny prąd) i 30V (maksymalne napięcie przerwy).

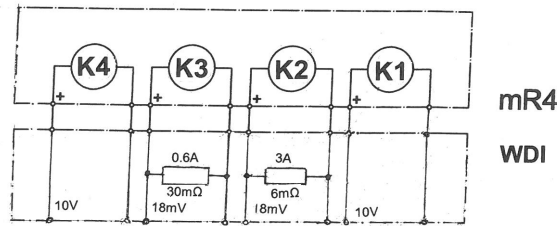
Przerwanie większych prądów umożliwia wyposażona w klucz tranzystorowy wtyczka dedykowana **WDR** [4], którą zgodnie z wybranym czasem cykli i przerw steruje rejestrator **mR3p**, zapewniając synchronizację z GPS. Wtyczka posiada zdolność łączeniową 12A dla prądu ciągłego; zdolność łączeniowa dla 80% wypełnienia czasowego wynosi $\pm 14A$, dla 50% $\pm 16A$, dla 20% $\pm 18A$. Maksymalne napięcie przerwy wynosi 90V.

Kanał **K3** umożliwia pomiar przerywanego prądu (rys. 6). Jednocześnie można mierzyć w kanale **K4** napięcie lub potencjał w zakresie $\pm 100V$, obserwując kształt i napięcie przerwy.

Na zamówienie są dostępne przerywacze o większej zdolności łączeniowej: 16A/50V i 25A/20V.

6. Dokładny pomiar małych prądów wtyczką **WDI**

W ochronie katodowej przed korozją często mierzy się bardzo małe prądy, generowane przez ogniwa o niewielkiej sile elektromotorycznej w obwodach o dużej rezystancji. Do pomiaru takich prądów służy wtyczka **WDI** [4]. Prądy można mierzyć w kanałach **K2** i **K3**. Kanały **K1** i **K4** użytkownik może wykorzystać według potrzeby.



Rys. 7. Wtyczka dedykowana **WDI** wyposażona w boczники prądowe
K1: 10V; **K2**: 3A, 6mΩ; **K3**: 0.6A, 30mΩ; **K4**: 10V

Do wyboru użytkownika są zakresy: 3A, 2.5A, 2A, 1.8A, 1.5A, 1.2A, 1A, 0.8A, 0.6A, 0.45A, 0.36A, 0.3A, 0.25A, 0.225A, 0.21A, 0.2A, 150mA, 120mA, 100mA, 80mA, 72mA, 50mA, 18mA, 11.25mA, 1.8mA, 180μA.

Przykładowe zastosowanie boczników przedstawia rys. 5: **K2**: 3A, 6mΩ, **K3**: 0.6A, 30mΩ.

W zamówieniu należy podać wymagane zakresy prądowe, do których zostaną dobrane boczники. Kalibracja zapewnia wysoką dokładność. Do pomiaru prądów wykorzystuje się zakresy pomiarowe rejestratorów ±18mV. Boczники mają zdolność rozproszenia mocy co najmniej 1W. Rozdzielczość napięciowa wynosi 1μV. Maksymalny zakres prądowy wynosi 3A ze względu na obciążalność zacisków i przewodów.

W przypadku wykorzystania pozostałych kanałów **K1** i **K4** do pomiarów napięciowych można w czasie rzeczywistym obliczać:

- rezystancję metodą techniczną U_x / I_y ,
- przewodność I_x / U_y ,
- moc $I_x \times U_y$

i wykonywać inne złożone obliczenia. Służą do tego odpowiednie funkcje przewidziane w programie **mRgui**. Wtyczka może współpracować z rejestratorami **mR4i mR3p**.

Możliwe jest wykonanie wtyczek do pomiarów większych prądów w innych obudowach, wyposażonych w odpowiednie zaciski prądowe.

Literatura

Rejestrator pomiarowy czterokanałowy **mR4** i rejestrator pomiarowy trójkanałowy z przełączaczem **mR3p**.

- [1] Obsługa
 - [2] Program **mRgui**
 - [3] Zastosowania w ochronie katodowej przed korozją
 - [4] Wyposażenie pomocnicze
- Opis: www.linstruments.com.pl