



**NOWE PRZYRZĄDY DO POMIARÓW INTENSYWNYCH
I POMIARÓW KONTROLNYCH
OCHRONY KATODOWEJ PODZIEMNYCH RUROCIĄGÓW**

**NEW INSTRUMENTS
FOR INTENSIVE MEASUREMENTS AND CATHODIC
PROTECTION CONTROL OF BURIED PIPELINES**

Jacek Barański

L.INSTRUMENTs, Warszawa

Słowa kluczowe: pomiary intensywne, rejestrator, przerywacz taktujący
Keywords: intensive measurements, recorder (logger), protection current breaker

Streszczenie

Opisano budowę i zasady działania rejestratora graficznego do pomiarów intensywnych i okresowych pomiarów kontrolnych parametrów ochrony katodowej podziemnych rurociągow. Przedstawiono główne walory rejestratora takie, jak łatwość synchronizacji z cyklem ZAŁ/WYŁ (ON/OFF), możliwość pracy w szerokim zakresie długości cykli ZAŁ/WYŁ (ON/OFF), wizualizacja przebiegu mierzonych sygnałów, niewielkie wymiary, duże możliwości obliczeniowe, prosta obsługa. Omówiono też przeznaczony do współpracy z rejestratorem taktujący przerywacz prądu polaryzacji, którego zalety to ograniczony pobór mocy, mnogość nastaw, niewielkie wymiary, łatwość synchronizacji.

Summary

Performance and design of the graphic recorder for intensive measurements and cathodic protection control of buried pipelines are presented, including its main advantages such as easy synchronization with ON/OFF cycle, wide range of lengths of the ON/OFF cycles, visualization of the signals measured, small size, high computing capabilities, easy operation. Protection current breaker designed for cooperation with the recorder is also presented. Low power consumption, multitude of settings, small size, easy synchronization constitute main qualities of the breaker.

Wstęp

W badaniach skuteczności ochrony katodowej podziemnych rurociągów, w pomiarach kontrolnych, pomiarach intensywnych i innych, powszechnie stosuje się technikę wyłączeniową, która polega na tym, że podczas cyklicznego, synchronicznego przerywania pracy źródeł polaryzacji wykonuje się pomiary parametrów załączeniowych ZAŁ (ON) i wyłączeniowych WYŁ (OFF), bezpośrednio przed i chwilę po przzerwaniu polaryzacji. Wyróżnić można dwa zasadnicze rodzaje pomiarów.

1. Pomiary wykonywane w punktach pomiarowych, przy czym podstawowe mierzone parametry to:
 - potencjał załączeniowy i wyłączeniowy E_{zat} , E_{wyt} ,
 - spadek napięcia w rurociągu na odcinku pomiarowym, wywołany przepływem prądu polaryzacji, wyznaczany najczęściej jako różnica pomiędzy załączeniowym i wyłączeniowym spadkiem napięcia $\Delta U = \Delta U_{zat} - \Delta U_{wyt}$,
 - spadek napięcia na boczniku montowanym na połączeniu wyrównawczym lub na połączeniu sondy symulującej z rurociągiem.
2. Pomiary przy zastosowaniu technik intensywnych, pozwalające zlokalizować defekty powłoki podziemnych rurociągów (pomiary intensywne, IFO, DCVG, i in.) i umożliwiające ocenę stopnia spolaryzowania rurociągu w miejscu defektu (pomiary intensywne).

W pomiarach tych mierzy się jeden lub kilka niżej wymienionych parametrów:

- potencjał załączeniowy i wyłączeniowy E_{zat} , E_{wyt} ,
- spadki napięcia na powierzchni ziemi (gradienty potencjału) załączeniowe i wyłączeniowe ΔE_{1zat} , ΔE_{2zat} , ΔE_{1wyt} , ΔE_{2wyt} .

Przy wykonywaniu obu rodzajów pomiarów niezwykle przydatne, a w pomiarach intensywnych wręcz nieodzowne, są odpowiednie specjalistyczne przyrządy rejestrujące. Przyrządy te muszą wykazywać wiele szczególnych właściwości:

- pomiar wartości załączeniowych i wyłączeniowych musi być wykonywany synchronicznie z cyklem przerywania prądu polaryzacji ZAŁ/WYŁ. Innymi słowy, cykl pomiarowy rejestratora musi być synchroniczny z cyklem przerywaczy montowanych w stacjach katodowych i w innych źródłach polaryzacji,
- synchronizacja przyrządu z rytmem pracy urządzeń przerywających powinna być łatwa do osiągnięcia i utrzymywana przez wiele godzin pracy,
- chwila pomiaru wartości załączeniowych i wyłączeniowych powinna być możliwie bliska chwili przzerwania prądu polaryzacji, zwanej dalej progiem wyłączenia,
- spadki napięć ΔU powinny być mierzone z rozdzielczością 0,1 μ V,
- składowe napięć przemiennych (w warunkach polskich 50Hz) powinny być silnie tłumione, ponieważ często pomiary wykonywane są w bezpośrednim sąsiedztwie linii wysokiego napięcia,
- wewnętrzna pamięć przyrządu musi być niezawodna, odporna na rozładowanie źródła zasilania, a jej pojemność winna zapewnić przechowanie wyników pomiarów całej sesji pomiarowej, a więc kilku tysięcy rekordów,
- w rekordzie, obok wyników pomiarów, powinna być możliwość zapisywania danych przypisujących zmierzone wartości do konkretnego miejsca. Dla pomiarów pierwszego rodzaju może to być np. kilometr i symbol punktu pomiarowego, dla pomiarów drugiego rodzaju numer serii i odległość od punktu zerowego,

- przyrząd do wykonywania pomiarów intensywnych powinien umożliwiać przeprowadzanie prostych automatycznych obliczeń,
- w kanałach pomiaru E i ΔE rezystancja wejścia musi być odpowiednio duża, rzędu kilku $M\Omega$,
- obudowa przyrządu powinna zapewniać dobrą ochronę przed wpływami środowiska.

Firma L.INSTRUMENTs, która od lat dostarcza przyrządy pomiarowe ośrodkom zajmującym się elektrochemiczną ochroną przed korozją, przygotowała uniwersalny graficzny minirejestrator pomiarowy *mRG*, który nadaje się do wszystkich wymienionych rodzajów pomiarów. W dalszym ciągu przedstawiono jego cechy charakterystyczne.

Wielkości mierzone

Układy pomiarowe dobrano w taki sposób, żeby uzyskać jak największą dokładność pomiarów, aby wpływ częstotliwości przemiennych, zwłaszcza 50Hz, był jak najmniejszy, a odpowiedź na skok jednostkowy jak najkrótsza. Użyto przetworników pomiarowych o efektywnej rozdzielczości ok. 18 bitów i doskonałej liniowości przetwarzania wielkości analogowej na cyfrową. Pracę ich ustawiono tak, aby okres próbkowania wynosił 20ms. Uzyskano dzięki temu bardzo dobre tłumienie częstotliwości 50Hz (ponad 100dB) i krótki czas odpowiedzi na skok jednostkowy: 60 do 80ms.

Rejestrator zawiera trzy niezależne kanały pomiarowe, odniesione do wspólnej masy, w których może być wykonywany synchroniczny pomiar napięcia (potencjału E , gradientów potencjału ΔE_1 , ΔE_2) w zakresie $\pm 10V$. Rozdzielczość pomiaru w każdym z kanałów wynosi 0,1mV, a rezystancja wejścia 5 $M\Omega$.

Oddzielny kanał jest przeznaczony do pomiarów spadków napięcia ΔU w zakresie $\pm 10mV$, z rozdzielczością 0,1 μV . Rezystancja wejścia w tym kanale wynosi 200 Ω . Synchronicznie z pomiarem ΔU możliwy jest w jednym kanale także pomiar napięcia (potencjału E) w zakresie $\pm 10 V$. Mierzone są wartości załączeniowe i wyłączeniowe, które są wyświetlane i, po wydaniu komendy, zapamiętywane. Mogą one także służyć jako podstawa do obliczania potencjału E_0 wg DIN 50925¹, różnicowego gradientu potencjału $\Delta E = \Delta E_{zat} - \Delta E_{wyt}$, omowego spadku napięcia $IR = E_{wyt} - E_{zat}$ i innych parametrów, które również można odczytać na ekranie.

Wyświetlacz

Rejestrator wyposażony jest w wyświetlacz graficzny o rozdzielczości 128*128 punktów, na którym mogą być jednocześnie wyświetlane dwie „warstwy”: graficzna i tekstowa. W warstwie tekstowej może być wyświetlone 16 linii po 64 znaki. W warstwie graficznej mogą być wyświetlane wybrane przebiegi dla przedziału czasu 20ms*128=2.56s, a więc w przypadku idealnej synchronizacji będzie to 1.28s przed i 1.28s za progiem wyłączenia.

Synchronizacja minirejestratora *mRG* z cyklem ZAL/WYL taktujących przerywaczy prądu

Rejestrator zawiera zegar czasu rzeczywistego RTC, pracujący także przy wyłączonym zasilaniu. Zegar może być ustawiany ręcznie lub strojony za pomocą anteny

¹ DIN 50925. Korrosion der Metalle. Nachweis der Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes erdverlegter Anlagen. Oktober 1992.

DCF77, odbierającej radiowy wzorzec czasu z Frankfurtu. Do tego zegara dostosowany jest wewnętrzny cykl pomiarowy rejestratora.

Jeśli zegary przerywaczy taktujących dostrajane są sygnałem czasu rzeczywistego (DCF77 lub GPS), to rejestrator po dostrojeniu wewnętrznego zegara jest gotowy do pracy. Ten tryb synchronizacji zaleca się, gdy trzeba skorelować wyniki pomiarów przeprowadzonych w różnych miejscach rurociągu.

Bardzo dogodnie i szybko można zsynchronizować rejestrator *mRG* z rytmem przerywacza na podstawie obserwacji przebiegu sygnału na wyświetlaczu, wykorzystując oryginalne, autorskie oprogramowanie minirejestratora. Warstwa graficzna odświeża się w zadanym odstępnie czasu, równym okresowi pełnego cyklu ZAŁ/WYŁ przerywacza. Poprzez ręczne ustawienie zegara lub przy pomocy parametru *TW*, rozumianego jako przesunięcie chwili przerwania prądu polaryzacji względem wewnętrznego cyklu pomiarowego rejestratora, dokonuje się takiej regulacji by na wyświetlaczu widoczny był próg wyłączenia (chwila przerwania polaryzacji). Najczęściej ustawia się próg wyłączenia pośrodku ekranu. Dokładność przeprowadzonej tym sposobem synchronizacji wynosi 20ms. Korektę synchronizacji przy pomocy parametru *TW* można przeprowadzić w dowolnej chwili sesji pomiarowej.

W przypadku stosowania opisanego dalej przerywacza taktującego *pR0*, opracowanego przez firmę L.INSTRUMENTS, można zsynchronizować zegary obu przyrządów po połączeniu ich łączem RS232.

Pomiar wartości załączeniowych i wyłączeniowych

Za pomocą rejestratora *mRG* można w szerokim zakresie ustalać chwilę pomiaru wartości ZAŁ i WYŁ w stosunku do progu wyłączenia. Wynik pomiaru może być także średnią z próbek dla okresu, którego długość można ustalić według potrzeb. Właściwość ta jest szczególnie istotna przy pomiarach spadków napięcia ΔU w zakresie μV . Parametry te można regulować zadając konkretne wartości liczbowe lub nawigując kursorami po ekranie graficznym.

Wokół środka ekranu (rys. 1.) zorganizowano dwa kursory graficzne: *LK* i *PK*. Każdy przedstawia pewną strefę czasu, której szerokość i przesunięcie w stosunku do linii środkowej można zmieniać.

LK - (lewy kursor) określa wartość czasu przebiegu przy załączonym prądzie ochrony,

PK - (prawy kursor) określa wartość czasu przebiegów przy wyłączonym prądzie ochrony.

Nastawianie szerokości stref kursorów Δt_{zat} , $\Delta t_{wył}$ oraz ich przesunięć względem progu wyłączenia t_{zat} , $t_{wył}$ pozwala uśredniać pomiary składające się z więcej niż jednej próbki, a także odstroić się od stanów nieustalonych, występujących bezpośrednio po wyłączeniu. Przesuwając kursory można także, niezależnie od regulacji przy pomocy parametru *TW*, dostroić rejestrator do cyklu wyłączeniowego stacji ochrony katodowej.

Parametry t_{zat} , $t_{wył}$, Δt_{zat} , $\Delta t_{wył}$ można zmieniać w granicach od 20ms do 0,98s, z rozdzielczością 20ms.

Długość cyklu pomiarowego ZAŁ/WYŁ, to jest długość czasu pomiędzy kolejnymi progami wyłączenia prądu polaryzacji, można nastawić na jedną z następujących wartości: 60, 30, 20, 15, 12, 10, 6, 5, 4, 3s. Odpowiada to liczbie wyłączeń na minutę: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20.

Długość czasu WYŁ (nastawiana w przerywaczu prądu polaryzacyjnego) zależy od szeregu czynników, których omówienie nie wchodzi w zakres tej pracy. Z doświad-

czeń praktycznych wynika, że np. przy wykonywaniu pomiarów intensywnych za pomocą rejestratora *mRG* minimalny czas WYŁ może wynosić już ok. 200ms.

Wielkości zapisywane w pamięci rejestratora

Zapis do pamięci następuje po wzrokowej akceptacji i wciśnięciu przycisku “↵” (ENTER). Istnieje również możliwość pracy automatycznej, tzn. można ustalić liczbę zapisywanych rekordów bez konieczności wielokrotnego wciskania przycisku “↵” (ENTER). Dane są pamiętane w nieulotnej pamięci RAM, w postaci rekordów (maksymalnie 8192).

Obok wartości ZAŁ i WYŁ dla trzech kanałów, w jednym rekordzie zapisywane są również inne wielkości. Przykładowa postać rekordu danych dla metody trójelektrodowej przedstawiona jest poniżej:

00 05 02 10 02 10 30 53 130.7 -1.2752 0.1212 0.2273 -0.8550 -0.0300 0.1015 TEXT

Interpretacja tych liczb jest następująca:

00	<i>metoda</i>	(numer 00 przypisany jest metodzie trójelektrodowej, numer 01 oznacza metodę dwuelektrodową itd.)
05	<i>seria</i>	(<i>seria</i> może przyjmować wartości od 1 do 99, w dowolnej chwili można rozpocząć nową serię pomiarową, zawsze można również powrócić do poprzedniej serii. UWAGA. parametr <i>odległość</i> jest niezależny od <i>serii</i>)
02	<i>rok</i>	
10	<i>dzień</i>	
10	<i>godzina</i>	
30	<i>minuta</i>	
53	<i>sekunda</i>	
130.7	<i>odległość</i> [m]	(<i>odległość</i> może przyjmować wartość od 0 do ± 9999,9 z rozdzielczością 0.1; <i>odległość</i> wyliczana jest przy pomocy parametru <i>krok</i> , może też być wprowadzona ręcznie
-1.2752	(K1) E_z [V]	potencjał załączeniowy
0.1212	(K2) ΔE_{lz} [V]	gradient potencjału załączeniowego, lewa strona
0.2273	(K3) ΔE_{pz} [V]	jw., prawa strona
-0.8550	(K1) E_w [V]	potencjał wyłączeniowy
-0.0300	(K2) ΔE_{lw} [V]	gradient potencjału wyłączeniowego, lewa strona
0.1015	(K3) ΔE_{pw} [V]	jw., prawa strona
TEXT	tekst 8 znaków	

Zapamiętane dane są dostępne w oknie “Wyniki pomiarów”, w którym można wyświetlić wyniki dotyczące dowolnie wybranego rekordu danych.

Okno pomiarowe

W czasie wykonywania pomiarów wyświetlane jest okno pomiarowe. Przykładowe okno pomiarowe przedstawia rys. 1.

Rys 1. Okno pomiarowe: czas cyklu – 2 s, czas wyłączenia – 1 s
(liczby przykładowe)

Na ekranie wyświetlacza widać szereg informacji tekstowych oraz przedstawione w sposób graficzny przebiegi z dowolnie wybranych kanałów pomiarowych. Po ekranie można się poruszać za pomocą kursora znakowego przesuwanego przyciskiem \uparrow (góra) lub \downarrow (dół). Po wyróżnieniu kursorem można zmieniać parametry:

<i>krok</i>	(od 0 do $\pm 9,99$ z rozdzielczością 0.1),
<i>odległość</i>	(od 0 do ± 9999.1 z rozdzielczością 0.1) <i>odległość</i> jest funkcją <i>kroku</i> , po naciśnięciu przycisku “ \downarrow ” <i>odległość</i> zostaje zwiększona lub zmniejszona o wartość aktualną <i>kroku</i> . Jeśli początkowa <i>odległość</i> = 0, to <i>odległość</i> aktualna jest sumą <i>kroków</i> w kolejnych rekordach; nową wartość <i>odległości</i> można również wprowadzić ręcznie, nie ma to wpływu na zmianę wartości <i>kroku</i>
<i>tekst</i>	(max 8 znaków ASCII),
<i>zakres</i>	<i>zakres górny</i> i <i>dolny</i> mogą być równe co do wartości bezwzględnej, mogą też przyjmować wartość 0; <i>zakres (górny/dolny)</i> można wybierać spośród wartości +/-10, 20, 50, 100, 200 i 500 mV, 1, 2, 5, 10 i 20 V; jeśli wykonywany jest pomiar spadku napięcia ΔU dodatkowo <i>zakres</i> może wynosić +/-10, 20, 50, 100, 200 i 500 μV oraz 1, 2, 5 mV; <i>zakres</i> dobiera się zwykle tak by obejmował maksymalną i minimalną wartość przebiegu z wybranego, interesującego nas kanału pomiarowego.
<i>Nr rekordu</i>	w przypadku błędnego zapisu, dowolny ciąg rekordów można wykasować nadpisując w miejsce rekordów starych – rekordy nowe.

Na ekranie wyświetlane są również parametry:

R (*ready*) gotowość rekordu do zapisu do pamięci
[47.98s] (przykładowo) chwila najbliższego progu wyłączenia wskazuje czas najbliższego wyłączenia prądu w okresie jednominutowym; porównując tę liczbę z czasem rzeczywistym (w prawym górnym rogu rysunku) można się zorientować, kiedy nastąpi kolejne wyłączenie

46 (przykładowo) bieżąca sekunda

Okno pomiarowe jest uaktualniane w wyznaczonej przez zegar czasu rzeczywistego chwili przejścia przez próg wyłączenia. Aktualizację okna potwierdza delikatne mrugnięcie ekranu. Dane są gotowe do zapisu, gdy na ekranie pojawia się literka "R" - *ready*.

W liniach od nr 9 do nr 14 mogą być wyświetlane wartości ZAL/WYL zmierzone (jak na rys. 1), bądź wyliczone. Można również wygasić wyświetlane w nich dane tekstowe. W liniach od nr 3 do nr 5 można wyświetlać i wygaszać wartości chwilowe mierzone w poszczególnych kanałach pomiarowych (na rys. 1. wyświetlane są wartości z wszystkich kanałów).

W warstwie graficznej można wyświetlać przebiegi z dowolnych kanałów (na rys. 1. wybrano przebieg z kanału 1: znak „+” w linii nr 5).

Komunikacja rejestratora *mRG* z komputerem

Zapisane w pamięci dane można przetransmitować do komputera PC poprzez łącze szeregowe RS232. Istnieje możliwość wysłania wszystkich danych lub tylko danych z wybranej serii pomiarowej. Takie rozwiązanie ułatwia interpretację wyników.

Dane są wysyłane w postaci strumienia znaków ASCII o następującej postaci:

linia 1 L.INSTRUMENTs **mRG ver.1.0**

linia 2 rekord 1

linia 3 rekord 2

....

Tak zorganizowane dane są łatwe do interpretacji dla programów takich jak **EXCEL**.

Do odbioru danych i zapisywania ich w postaci plikowej firma L.INSTRUMENTs udostępnia własny program typu **TERMINAL**, działający dla systemów operacyjnych **WINDOWS XX**.

Zasilanie i obudowa

Rejestrator **mRG** jest zasilany z wewnętrznego żelowego akumulatora o napięciu 6V. Czas pracy ciągłej wynosi około 8 godzin. Istnieje możliwość dołączenia zewnętrznego zasilacza lub akumulatora o napięciu 12V. Napięcie akumulatora wewnętrznego, jak i zewnętrznego źródła zasilającego, może być w każdej chwili odczytane na wyświetlaczu graficznym.

Przyrząd został umieszczony w estetycznej obudowie z tworzywa typu ABS, o wymiarach 253*122*50mm. Stopień ochrony IP65 oferuje się jako opcję.

Przerywacz taktujący *pR0*

Rejestrator **mRG** może współpracować z dowolnym dostępnym na rynku przerywaczem prądu, ale – by wykorzystać w pełni jego możliwości – firma L.INSTRUMENTs opracowała własny przerywacz taktujący **pR0**. Podstawowym założeniem były małe gabaryty (możliwość schowania w słupku pomiarowym) oraz zasilanie bateryjne. W

tym celu wykorzystano obudowę podobną do zastosowanej w rejestratorach *mRO* i *mRI* o wymiarach 115*73*45mm, z wydzielonym miejscem przeznaczonym dla wymiennej baterii 9V. Dzięki zastosowaniu energooszczędnego mikroprocesora oraz specjalnych programowych trybów oszczędzania energii uzyskano bardzo niskie pobory mocy pozwalające na pracę ze zwykłą baterią 9V przez okres od kilku do kilkunastu dni, a z baterią alkaliczną nawet do 5-6 tygodni (bez anteny DCF).

Nastawienia czasów cyklu i przerwy można wykonać za pomocą łącza RS232 albo za pośrednictwem przełącznika typu "microswitch", znajdującego się wewnątrz złącza wyprowadzającego przewody. Możliwe cykle wyłączeniowe to: 60, 30, 20, 15, 12, 10, 6, 5, 3, 2, 1 sekunda, a czasy przerw: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1, 2, 3 sekundy.

W rejestratorze *mRG* istnieje specjalne okno przeznaczone do współpracy z przerywaczami typu *pR*. Umożliwia ono zarówno nastawianie parametrów cyklu wyłączeniowego, jak i synchronizację przerywacza do zegara RTC w rejestratorze *mRG*.

Dodatkowo w przerywaczu *pR* przewidziano wejście współpracujące z anteną DCF77. Synchronizacja może być dwójaka:

- jednokrotna na początku cyklu pomiarowego (poprawność synchronizacji potwierdzona diodą LED),
- ciągła (antena na stałe podłączona do przerywacza, większy pobór mocy, prawdopodobieństwo utraty synchronizmu bardzo małe - tylko przy całkowitym długotrwałym zaniku sygnału radiowego).

Do wyłączania prądu ochrony użyto tranzystora polowego FET, pozwalającego na wyłączenie prądu ciągłego 12A i prądu chwilowego ($t \leq 1s$) równego 50A. Napięcie źródło - dren w czasie wyłączania nie może przekraczać 50V DC.

Dzięki programowej kompensacji generatora kwarcowego, taktującego procesor, uzyskano stabilność cyklu wyłączeniowego lepszą niż 300ms/dobę. Dla porównania zegary firmy Dallas mają stabilność ± 1 minuta/miesiąc czyli $\pm 2s$ /dobę.

W planach firmy L.INSTRUMENTS jest wykonanie przerywacza w większej obudowie, zawierającego własny zasilacz, tranzystor polowy o większej wydajności prądowej oraz dodatkowo przekaźnik elektromechaniczny.

Autor wyraża podziękowanie dla panów Michała Jagiełły i Marka Fiedorowicza z Działu Ochrony Antykorozyjnej Regionalnego Oddziału Przesyłu w Gdańsku PGNiG za pomoc w opracowaniu założeń do obu przyrządów oraz za cierpliwość w testowaniu prototypów. Bez ich życzliwości te przyrządy nie mogłyby powstać.