



**METODA KORELACYJNA BADANIA PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH
PIĘTNAŚCIE LAT DOŚWIADCZEŃ**

**THE CORRELATION METHOD IN STRAY CURRENT MEASUREMENTS
FIFTEEN YEARS OF EXPERIENCE**

Wojciech Sokółski

Politechnika Gdańska
Katedra Technologii Zabezpieczeń Przeciwkorozyjnych

Słowa kluczowe: prądy błędzące, metody pomiarowe, metoda korelacyjna
Keywords: stray currents, measurement methods, correlation method

Streszczenie

Przedstawiono rys historyczny wprowadzenia i upowszechnienia korelacyjnej metody badania zagrożenia korozyjnego metalowych konstrukcji podziemnych szkodliwym oddziaływaniem prądów błędzących wpływających z trakcji elektrycznych prądu stałego. Przypomniano podstawy teoretyczne, wady i zalety, możliwości i ograniczenia tej techniki pomiarowej, o których zapomina się w typowych rutynowych zastosowaniach. Zwrócono uwagę na częste błędy zarówno w technice pomiarowej, jak również w interpretacji wyników. Wskazano na możliwe dalsze kierunki rozwoju metod oceny zagrożenia korozją elektrolityczną metalowych konstrukcji podziemnych

Summary

The historic background has been presented of introduction and development of the correlation method in investigations of the corrosion hazard of metal underground structures due to the harmful interaction of stray currents from direct current electric tractions. Theoretical assumptions have been reminded, advantages and disadvantages, possibilities and limitations of this measurement technique, about which one tends to forget in typical routine applications. Frequent errors have been pointed out in the measurement technique, as well as in the interpretation of results. Possible further directions have been shown of development of the methods of evaluation of hazard to underground metal structures caused by electrolytic corrosion.

Wprowadzenie

Podstawowe metody walki z prądami błędzącymi w zelektryfikowanych aglomeracjach miejskich oraz przemysłowych opracowane zostały na początku bieżącego stulecia i w niemal tej samej postaci wykorzystywane są do dnia dzisiejszego. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest niezwykle złożony charakter zjawiska w warunkach naturalnych, na który składa się różnorodność środowiska oraz konstrukcji podziemnych, ich właściwości elektrycznych i elektrochemicznych, konfiguracja źródeł prądów błędzących itp. Zasadniczą trudność stanowi także losowy charakter natężenia prądów błędzących. Te czynniki spowodowały, że dla celów technicznych do opisu prądów błędzących stosuje się ciągle daleko idące uproszczenia.

Znaczny postęp w dziedzinie elektroniki i mikroinformatyki stworzył nowe możliwości badania prądów błędzących. Umożliwił także opracowanie nowych podstaw teoretycznych korozji elektrolitycznej oraz zastosowanie skuteczniejszych środków eliminowania zagrożenia korozyjnego wywołanego przez prądy błędzące na konstrukcjach podziemnych [1-12].

Zagrożenie korozyjne konstrukcji podziemnych powodowane przez prądy błędzące jest stosunkowo łatwe do stwierdzenia jedynie w przypadku jednoznacznie ustalonego kierunku wypływu tych prądów z metalu do ziemi. Jednak w większości przypadków rzeczywistych, głównie w miastach gdzie eksploatowana jest trakcja tramwajowa, oddziaływanie prądów błędzących jest bardziej złożone. Obserwuje się tam nie tylko losowo zmienną w czasie wartość tych prądów, ale także zmianę ich kierunku. Znakoprzemienny (bipolarny) charakter prądów błędzących jest w miastach typowy. W takich przypadkach ustalenie stopnia zagrożenia korozyjnego konstrukcji podziemnych zazwyczaj nie jest jednoznaczne, ponieważ powszechnie stosowane kryteria ochrony konstrukcji podziemnych przed prądami błędzącymi, a także techniki pomiarowe zagrożenia korozją elektrolityczną czy oceny skuteczności ochrony przeciwkorozyjnej, w swojej istocie nie uwzględniają losowego i bipolarnego charakteru tych prądów.

Prace nad bliższym poznaniem procesu korozji elektrolitycznej powodowanej przez prąd o losowo zmiennej amplitudzie i polaryzacji zapoczątkowane zostały w Politechnice Gdańskiej pod koniec lat siedemdziesiątych [1-4]. Umożliwiły one nowe spojrzenie na problematykę korozji wywoływanej przez prądy błędzące, doprowadziły do opracowania nowej metodyki pomiarowej i techniki zwalczania prądów błędzących. Zaproponowane metody badania prądów błędzących w warunkach praktycznych (ocena zagrożenia korozyjnego, dobór metod ochrony i analiza ich skuteczności) eliminują w znacznej mierze napotykaną do tej pory trudność wynikającą z losowego charakteru prądów błędzących i niezwykle złożonego mechanizmu korozji elektrolitycznej. Pomimo dość szerokiego ich upowszechnienia w Polsce nadal wiele jej elementów jest ciągle nowatorskich, szczególnie ubogo rozwinięta jest interpretacja złożonych przypadków rzeczywistych.

Podstawy techniki pomiarowej prądów błędzących

Losowe zmiany natężenia i kierunku przepływu prądów błędzących przez granicę faz metal-środowisko elektrolityczne, charakterystyczne np. dla upływających prądów błędzących z trakcji elektrycznych prądu stałego w miastach, w klasycznym ujęciu nie były uwzględniane jako czynniki mające wpływ na kinetykę procesu korozji elektrolitycznej. Zmieniająca się dynamicznie polaryzacja nie może być w prosty sposób porównywana do oddziaływania prądu

stałego. Końcowy efekt przepływu prądu przez granicę faz uzależniony jest od stopnia odwracalności zachodzących tam reakcji elektrodowych. Istnieje zawsze taki stosunek składowej stałej i zmiennej, np. potencjału konstrukcji podziemnej, przy której szybkość wywoływanej przez prąd błądzący korozji elektrolitycznej jest równa zero. Wynika to z teorii prądów nałożonych, dla których kinetyka a nawet mechanizm reakcji elektrodowych zależą od obu składowych stałej i zmiennej. Wzajemny ich stosunek określa asymetrię zmian polaryzacji. Fakt ten umożliwił sformułowanie nowego kryterium zagrożenia prądami błądzącymi [6,7]. Jest nim współczynnik asymetrii zmian potencjału (γ) definiowany wzorem :

$$\gamma = T_a/T$$

gdzie : T_a - sumaryczny czas polaryzacji anodowej,
 T - całkowity czas pomiaru potencjału.

Wartość współczynnika asymetrii, przy którym korozja elektrolityczna stali węglowej nie przebiega, zawarta jest w przedziale od 0,2 w środowiskach kwaśnych do 0,5 w środowiskach alkalicznych [13-16]. Zaletą tak zdefiniowanego kryterium jest prostota w jego wyznaczeniu. Ponadto jest ono niezależne od omowego spadku napięcia IR. Warto w tym miejscu przypomnieć, że warunkiem stosowania omawianego kryterium jest:

- losowy charakter prądów błądzących w szerokim paśmie częstotliwości, oraz
- bipolarny charakter oddziaływania prądu błądzącego na konstrukcję podziemną.

Są dwie zasadnicze konsekwencje losowego charakteru prądów błądzących: pierwsza związana ze sposobem pomiaru wielkości stochastycznych i druga - znacznie poważniejsza - z mechanizmem korozji elektrolitycznej powodowanej przez prąd o charakterze losowym.

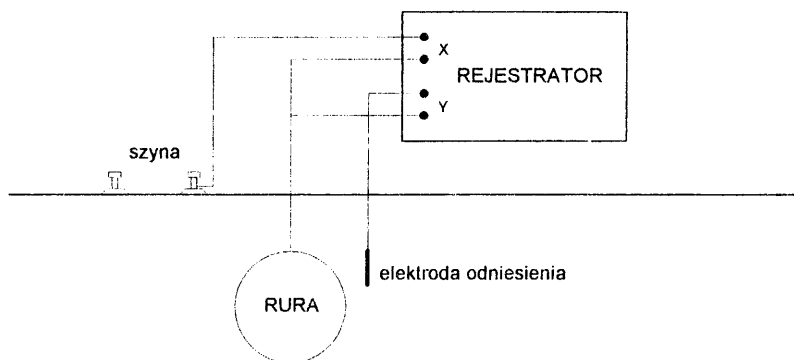
1. We wszystkich badaniach wielkości elektrycznych i elektrochemicznych w polu oddziaływań prądów błądzących konieczne jest stosowanie zasad pomiaru i analizy sygnałów losowych. Wynika z nich, że do wyznaczenia badanej wielkości z założoną dokładnością wymagane jest przeprowadzenie ściśle określonej ilości pomiarów w ustalonych odstępach czasu. Okres wykonywania takiego pomiaru i częstość odczytów zależą od właściwości badanego procesu stochastycznego. Realizacja takich badań (około kilku tysięcy odczytów) oraz interpretacja uzyskanych rezultatów może być przeprowadzona wyłącznie w sposób automatyczny z zastosowaniem pomiarowych i obliczeniowych możliwości techniki komputerowej. Wprowadzenie i zastosowanie metod komputerowych, ze względu na ich oczywiste zalety jak automatyzacja, szybkość, precyzja i obiektywizm obliczeń, stwarzają zupełnie nowe możliwości rozwoju badań nad korozją elektrolityczną i zastosowaniami przemysłowych metod ochrony.
2. Prąd o charakterze losowym przepływający przez granicę faz metal-środowisko elektrolityczne wywołuje zjawiska nieco odmienne od prądu stałego [2]. Polaryzacja elektrochemiczna nie jest zjawiskiem liniowym i powszechnie stosowane uśrednianie analizowanych wielkości związanych z prądami błądzącymi nie odzwierciedla rzeczywistego mechanizmu procesu korozji elektrolitycznej. W przypadku prądów bipolarnych, zmieniających kierunek przepływu przez granicę faz, o szybkości procesu korozji decyduje w znacznie większej mierze stopień odwracalności reakcji elektrochemicznych niż średni potencjał. Jeśli reakcje te przebiegałyby w kierunku anodowym idealnie nieodwracalnie, to brak szkodliwego oddziaływania prądów błądzących byłby obserwowany tylko przy jednokierunkowej polaryzacji katodowej, a najmniejsza nawet polaryzacja anodowa

wywoływałyby ubytek korozyjny. Dla reakcji idealnie odwracalnych warunk braku korozji elektrolitycznej wystąpiłby przy symetrycznych zmianach potencjału względem potencjału stacjonarnego. W układach rzeczywistych należy oczekiwać sytuacji pośredniej, ponieważ procesy korozyjne nie są w tych warunkach całkowicie odwracalne. Stwierdzenie to ma bardzo duże znaczenie praktyczne, ponieważ umożliwiło sformułowanie nowego, podanego wyżej, kryterium zagrożenia prądami błędzającymi [15].

Pomiar zależności korelacyjnych

Bez względu na przyjęty sposób określania stopnia zagrożenia korozyjnego punktem odniesienia powinna być sytuacja bez oddziaływania prądów błędzających, czyli w przypadku potencjału - potencjał stacjonarny konstrukcji. Określenie tej wielkości w warunkach technicznych bezpośrednio podczas przeprowadzania pomiarów potencjału było praktycznie niewykonalne. Zmiany potencjału konstrukcji podziemnej w strefach oddziaływania prądów błędzających odzwierciedlają skutek przepływu prądów przez granicę faz metal-środowisko elektrolityczne. Niestety nie mówią nic o kierunku przepływu prądu błędzającego (o kierunku polaryzacji elektrochemicznej), informacji niezbędnej do prawidłowego oszacowania zagrożenia korozyjną elektrolityczną.

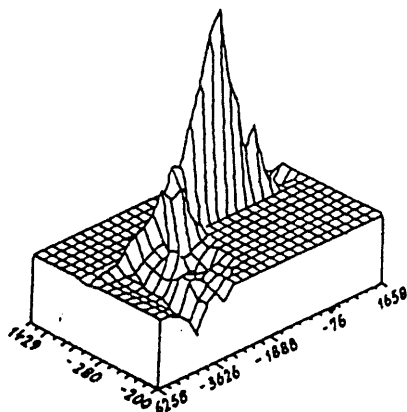
Nowe możliwości w tym zakresie dało badanie zależności korelacyjnych pomiędzy potencjałem konstrukcji a dowolnym innym sygnałem proporcjonalnym do natężenia prądu błędzającego, np. napięciem pomiędzy konstrukcją a źródłem prądów błędzających. Sposób takiego pomiaru przedstawia rys. 1.



Rys.1. Typowy schemat pomiaru zależności korelacyjnej w strefie oddziaływania prądów błędzających za pomocą rejestratora dwukanałowego.

Ponieważ wszystkie mierzone sygnały w strefie oddziaływania prądów błędzających mają charakter losowy wzajemne zależności pomiędzy nimi mają charakter korelacyjny. Rozkład wzajemny prawdopodobieństwa jest funkcją trójwymiarową a jej rzut na podstawę daje teoretycznie wzajemnie koncentryczne elipsy, tzw. widmo rozkładu. W rzeczywistości funkcje te są znacznie bardziej złożone.

Występujące zniekształcenia, związane z polaryzacją rurociągu, mogą wносить bardzo cenne informacje niezbędne do interpretacji rodzaju i wielkości zagrożenia korozją elektrolityczną. Przebieg zależności korelacyjnej przedstawiony w postaci funkcji trójwymiarowej ilustruje rys. 2.



Rys. 2. Rzeczywista postać rozkładu wzajemnego prawdopodobieństwa potencjału rurociągu i napięcia rurociąg-szyny (trójwymiarowa zależność korelacyjna).

Jeśli potencjał konstrukcji skoreluje się z inną wielkością, dla której zdefiniowana jest wartość zerowa, ustalenie najbardziej prawdopodobnej wartości potencjału odpowiadającej brakowi przepływu prądu błądzącego staje się możliwe. Doskonale nadaje się do tego celu napięcie pomiędzy konstrukcją a źródłem prądów błądzących, stanowiące bezpośrednią przyczynę przepływu tych prądów. Oczywiście należy sobie zdawać sprawę z faktu, że może zaistnieć taka sytuacja, w której bezpośredni związek mierzonego w danym miejscu potencjału konstrukcji z napięciem pomiędzy dwoma dużymi obiektami metalowymi w ziemi, jakimi są szyny trakcji tramwajowej i rurociąg, może być kwestionowany. Istotne ma znaczenie także lokalizacja elektrody pomiarowej.

Umieszczenie w prostokątnym układzie współrzędnych omawianej zależności korelacyjnej (widma) z zaznaczoną osią napięcia na wartości wyznaczonego potencjału stacjonarnego nadaje jej sens fizyczny i umożliwia interpretację pod kątem zagrożenia korozyjnego. Widma nadają się także do określenia optymalnej techniki ochrony przed prądami błądzącymi oraz oceny skuteczności jej działania. Włączenie w obwód konstrukcja - szyny trakcji elektrycznej urządzeń ochrony elektrochemicznej odzwierciedlane jest na zależności korelacyjnej zmianą położenia lub zniekształceniem obrazu widma [9].

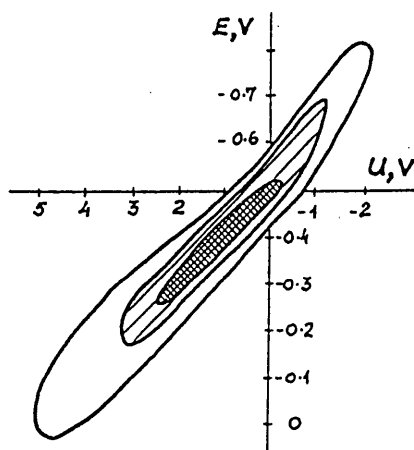
Zastosowanie do przeprowadzania pomiarów i analizy wyników techniki mikrokomputerowej uprościło badanie wzajemnych zależności korelacyjnych pomiędzy różnymi wielkościami w rejonie oddziaływań prądów błądzących. Rejestracja potencjału konstrukcji i napięcia konstrukcja - źródło prądów, a następnie analiza korelacyjna sygnałów przy pomocy techniki mikrokomputerowej jest coraz szerzej wykorzystywana do oceny zagrożenia

korozyjnego prądami błędzącymi. Metoda ta obecnie przyjmuje się na trwałe w praktyce technicznej ze względu na wygodę, szybkość i obiektywizm. Cechuje się ona następującymi zaletami:

- obiektywną oceną oddziaływania prądów błędzących na podziemne konstrukcje metalowe oraz rozkładu pól elektrycznych w ziemi,
- dużą dokładnością i odtwarzalnością pomiarów terenowych,
- wyeliminowaniem typowych błędów pomiarowych, np. składowej IR,
- możliwością szybkiego i jednoznacznego określenia charakterystycznych wielkości, które w inny, równie prosty sposób nie mogą być zmierzone, np. potencjału stacjonarnego konstrukcji.
- możliwością prognozowania w danym miejscu skuteczności różnych technik ochrony przed prądami błędzącymi, np. w zależności od typu drenażu elektrycznego,
- możliwością łatwej lokalizacji źródeł prądów błędzących i ich wzajemnego oddziaływania,
- możliwością wykrywania różnych anomalii w rozplywie prądów błędzących, np. przypadkowych połączeń elektrycznych pomiędzy konstrukcjami lub źródłem tych prądów,
- prostotą prezentacji rezultatów z przeprowadzonych pomiarów oddziaływania prądów błędzących na konstrukcję podziemne w postaci graficznej.

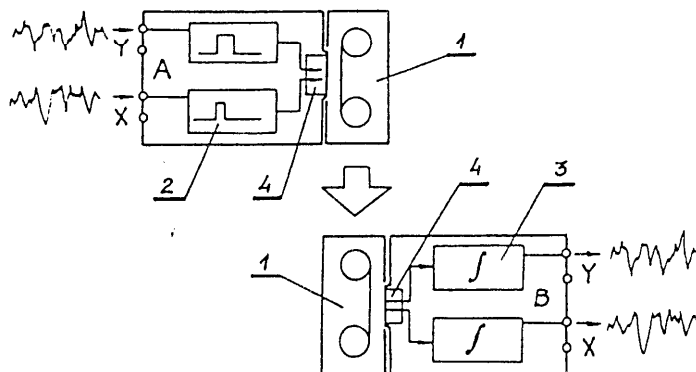
Rejestracja sygnałów pomiarowych

Pierwsze widma korelacyjne otrzymane zostały za pomocą rejestratorów X-Y. Przykład takiej zależności przedstawia rys. 3. Znaczący postęp w analizie prądów błędzących przyniosło zastosowanie w technice pomiarów terenowych rejestracji umożliwiającej wielokrotne odtwarzanie dokonanych zapisów, np. z wykorzystaniem rejestracji magnetycznej czy rejestracji cyfrowej. Wykonywane przy pomocy tej techniki zapisy mierzonych wielkości mogą być dowolnie obrabiane - w sposób klasyczny przy użyciu typowych rejestratorów lub z zastosowaniem nowoczesnej techniki mikrokomputerowej. Pozwala ona przede wszystkim na dokładne i wielokrotne odtworzenie w warunkach laboratoryjnych zmierzonych w terenie przebiegów (np. potencjału, napięcia).



Rys. 3. Przykład widma uzyskanego w pierwszym okresie stosowania techniki korelacyjnej za pomocą rejestratora X-Y i zinterpretowanego na podstawie stopnia zaczerwienia zapisu [6].

Jednym z pierwszych przyrządów pomiarowych wykorzystanych do zapisu zależności korelacyjnych był dwukanałowy rejestrator magnetyczny [15-20]. Do realizacji tej techniki opracowano i wykonano dwukanałowy rejestrator magnetyczny na bazie magnetofonu kasetowego. Magnetyczna rejestracja pomiarów terenowych umożliwia precyzyjne odtworzenie zapisanych zależności z dokładnością lepszą niż 1% i dalszą obróbkę danych z wykorzystaniem mikrokomputera i drukarki graficznej. Zasada zapisu i odtwarzania sygnałów w rejestratorze magnetycznym zilustrowana została na rys. 4.



Rys.4. Rejestrator magnetyczny: A - zapis, B - odtwarzanie: 1 - kaseeta, 2 - modulator, 3 - element kalkulujący, 4 - głowica magnetofonowa.

Z rejestratora magnetycznego do pamięci mikrokomputera informacje wczytywane są za pośrednictwem przetworników analogowo-cyfrowych. Znacznie uproszczenie techniki pomiarowej umożliwiają rejestratory cyfrowe, a w szczególności te, z których dostępny jest odczyt informacji bezpośrednio do mikrokomputera.

Analiza zapisanych zależności odbywa się automatycznie zgodnie z opracowanym oprogramowaniem. W końcowej formie wyniki przedstawiane są w formie graficznej, zazwyczaj są to: fragmenty zależności czasowych potencjału konstrukcji, empiryczne wykresy częstości (histogramy) i dystrybuanty obu analizowanych sygnałów oraz ich wzajemne korelacje (widma) w zakresach pomiarowych rejestratora i w skali zoptymalizowanej podczas obliczeń. Dla obu kanałów pomiarowych określone są wielkości ekstremalne, średnie i odchylenia standardowe. Z krzywej regresji zależności potencjału konstrukcji od napięcia konstrukcja-źródło prądów błądzących obliczany jest potencjał stacjonarny oraz współczynnik asymetrii zmian potencjału. Przykład wydruku komputerowego ilustruje rys. 5.

Wydruk komputerowy najczęściej zawiera następujące dane:

- wartość średnią napięcia między rurociągiem i szynami tramwajowymi,
- wartość średnią potencjału rurociągu,
- potencjał stacjonarny rurociągu (wartość najbardziej prawdopodobna),
- współczynnik asymetrii zmian potencjału rurociągu względem potencjału stacjonarnego,
- współczynnik asymetrii napięcia,
- składową stałą i składową zmienną fluktuacji potencjału.

Analiza pomiarów korozyjnych oddziaływania prądów błędzących
PROGRAM AC-KOR wersja 4.1

Zapis: 36/1

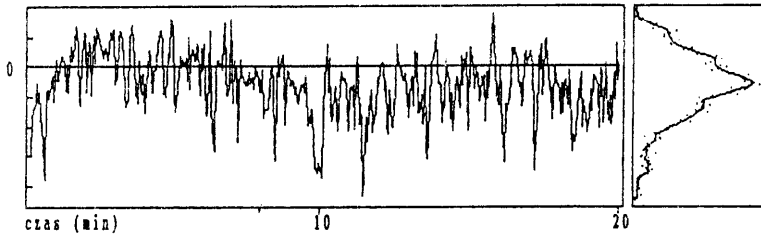
Data pomiaru: 23.11.94

Miejsce pomiaru: Gdansk, ul. Wojska Polskiego

UP wyłączone

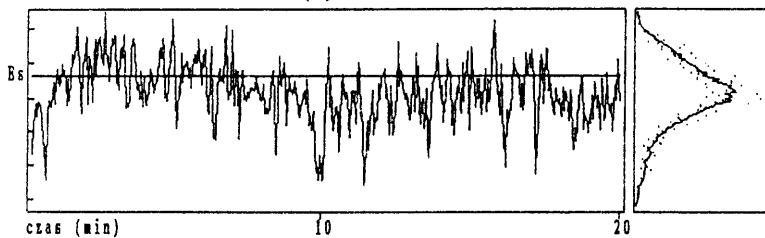
Kanał X: Napięcie względem źródła

U_{max} = 3932 mV U_{min} = -9008 mV U_{max}-U_{min} = 12940 mV
U_{śr} = -1369 mV s(U) = 2217 mV skala = 2000 mV

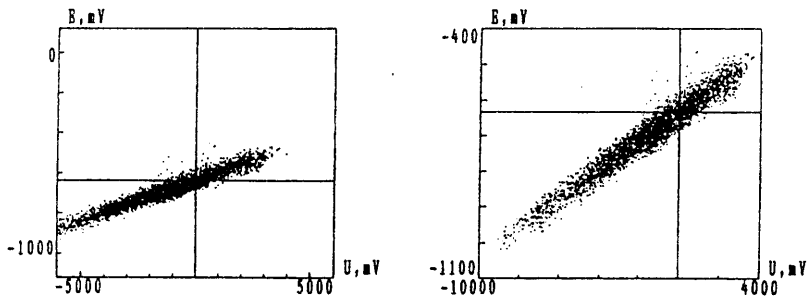


Kanał Y: Potencjał konstrukcji

E_{max} = -452 mV E_{min} = -1018 mV delta E = 566 mV
E_{śr} = -690 mV s(E) = 92 mV skala = 100 mV



Korelacja potencjał - napięcie



Ilość odczytów 5329
Wsp. korelacji 0.97
Potencjał st. -635 mV
Nachylenie 40 mV/V
Składowa stała -55 mV
Wsp. asym. U 27 %
Wsp. asym. E 28 %

Rys. 5. Typowy wydruk komputerowy programu do analizy prądów błędzących.

Opisana metoda korelacyjna jest wystarczająca do celów technicznych i sprawdzona w tym zakresie została podczas licznych pomiarów na różnych rurociągach w rejonie całej Polski. Przy jej pomocy można w drodze porównawczej wyznaczać na konstrukcjach podziemnych miejsca najbardziej narażone na szkodliwe oddziaływania prądów błędzących i ustalać parametry ochrony elektrochemicznej, badać rozkłady pól elektrycznych w ziemi i identyfikować źródła prądów błędzących, analizować skuteczność pracy urządzeń i instalacji ochrony przed prądami błędzącymi [15-27].

Interpretacja wyników

W czasie wprowadzenia techniki korelacyjnej, tj. jednoczesnego pomiaru potencjału konstrukcji i napięcia pomiędzy konstrukcją a źródłem prądów błędzących, kluczowym problemem było ustalenie wartości poziomu odniesienia (potencjału stacjonarnego), względem którego określany powinien być współczynnik asymetrii zmian potencjału. Okazało się jednak w praktyce, że widma korelacyjne mogą być dalece bardziej przydatne niż tylko do ustalenia tego poziomu.

Potencjał stacjonarny (E_s) obliczany jest zazwyczaj jako wyraz wolny krzywej regresji zależności potencjału konstrukcji od napięcia konstrukcja - źródło prądów błędzących, zgodnie z zależnością:

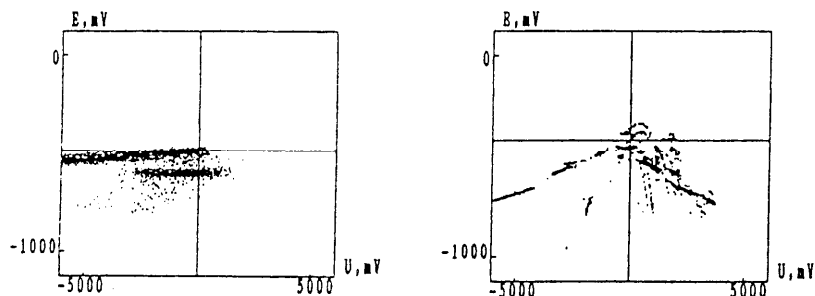
$$E_s = \frac{\sum_{i=1}^N U_i^2 \cdot \sum_{i=1}^N E_i - \sum_{i=1}^N U_i \cdot \sum_{i=1}^N (U_i \cdot E_i)}{N \cdot \sum_{i=1}^N U_i^2 - (\sum_{i=1}^N U_i)^2}$$

gdzie: U_i - chwilowa wartość napięcia konstrukcja - źródło prądów błędzących,
 E_i - chwilowa wartość potencjału konstrukcji.

Wartość ta następnie wykorzystywana jest do ustalenia wielkości składowej stałej i współczynnika asymetrii zmian potencjału - parametrów służących do oceny zagrożenia konstrukcji korozją elektrolityczną. Oblicza się także współczynnik kierunkowy krzywej regresji oraz współczynnik korelacji. Należy w tym miejscu podkreślić, że powyższy sposób wnosi znaczne uproszczenie i zakłada istnienie liniowej zależności pomiędzy obydwooma mierzonymi sygnałami. Z punktu widzenia przyjętego sposobu obliczeń do interpretacji nadają się widma w postaci eliptycznej. Zniekształcenia widm, spowodowane różnymi czynnikami, uniemożliwiają automatyczne obliczenie współczynnika asymetrii, a jeśli są mimo to wykonywane - uzyskane wyniki nie są przydatne. Konieczne jest stosowanie innych algorytmów obliczeniowych, bardziej odpowiadających definicji tej wartości potencjału.

Współczynnik kierunkowy krzywej regresji nie jest możliwy do interpretacji bez wyeliminowania omowego spadku napięcia z chwilowych wartości zmierzonych potencjałów badanej konstrukcji, ponieważ nachylenie omawianej krzywej silnie zależy od składowej IR [27], ta zaś w pierwszej kolejności od lokalizacji elektrody pomiarowej względem rurociągu, a także rezystywności ziemi i izolacji. Jeśli założyć, że gęstość prądu przepływająca przez granicę faz pomiędzy ziemią a rurociągiem zależy od mierzonego napięcia konstrukcja - źródło prądów błędzących, to po dokonaniu eliminacji IR nachylenie widma uzależnione będzie najbardziej od polaryzowalności badanej konstrukcji. Należy oczekiwać, że widmo w takiej

sytuacji nie będzie swym kształtem przypominać linii prostej a raczej elipsę, zniekształconą przy większej polaryzacji. Położenie i kształt takiego widma korelacyjnego wnosi szereg nowych, bardzo istotnych informacji o warunkach eksploatacji badanej konstrukcji metalowej [22, 27].



Rys. 6. Rzeczywiste widma korelacyjne zniekształcone wskutek różnorodnych zmian w badanym układzie konstrukcja - źródło prądów błędzących.

Na Rys. 6 przedstawiono przykładowo dwa przypadki rzeczywistych widm korelacyjnych, dla których numeryczne wyznaczenie współczynników asymetrii niewątpliwie prowadzi do mylnej oceny zagrożenia korozyjnego. Pokazane zniekształcenia widm umożliwiają jednak wyciągnięcie pewnych istotnych wniosków o badanym układzie, np. o charakterystyce źródła prądów błędzących. Interpretacja tego typu przypadków wymaga obecnie dużego doświadczenia i należy mieć nadzieję, że w przyszłości będzie łatwiejsza dzięki wykorzystaniu bardziej rozwiniętych technik komputerowych.

Omawiana metodyka pomiarowa wykorzystuje zaledwie część informacji zawartych w badanych zależnościach i zarejestrowanych sygnałach. Nie ulega wątpliwości, że dalszy jej rozwój przyczyni się do bliższego poznania problematyki korozyjnego oddziaływania na podziemne konstrukcje metalowe prądów błędzących wpływających z trakcji elektrycznych prądu stałego. Udostępniany obecnie użytkownikom konstrukcji podziemnych nowoczesny sprzęt pomiarowy, umożliwiający gromadzenie bardzo dużej ilości danych, pozwala na przeprowadzenie złożonych badań prądów błędzących.

O ile przeprowadzenie procesu pomiarowego nie stanowi już praktycznie żadnego problemu technicznego, to interpretacja uzyskiwanych wyników, zmierzająca do ustalenia czy badany obiekt spełnia kryterium ochrony przeciwkorozyjnej, nie jest jeszcze jednoznaczna. Interpretacja ta musi w pierwszym rzędzie zakładać sprawdzenie zgodności badanych zależności z podstawowymi elementami teorii korozji elektrolitycznej, w szczególności w przypadku wykorzystywania współczynnika asymetrii zmian potencjału w charakterze kryterium ochrony przed korozją elektrolityczną.

Praca wykonana została w ramach działalności statutowej Politechniki Gdańskiej.

Literatura

1. R. Juchniewicz, W. Sokólski, Wybrane zagadnienia ochrony elektrochemicznej ciepłociągów, Zesz. Nauk. Pol. Śląskiej, Chemia, Z.91, Elektrochemia stosowana, 255-263 (1979).
2. W. Sokólski, Praca doktorska, Politechnika Gdańska, 1980.
3. R. Juchniewicz, W. Sokólski, A. Widuchowski, Protection of heat distribution network against stray current corrosion, Proc. 3 International Symposium on Soil Corrosion, Siófok, (Hungary), 1980, p. 95-98.
4. R. Juchniewicz, W. Sokólski, Evaluation of stray current corrosion activity on metallic structures, Proc. 8th International Congress on Metallic Corrosion, Mainz 1981, p. 1159-1163.
5. R. Juchniewicz, W. Sokólski, W. Bohdanowicz, Prądy błądzące jako bipolarne prądy nałożone, Ochr. przed Korozją, **27**, 227 (1984).
6. R. Juchniewicz, W. Sokólski, Field evaluation of a new method to determine stray current corrosion activity, Mater. Performance **24**, No 7, 26-28 (1985).
7. R. Juchniewicz, W. Sokólski, Practical verification of new method of stray current corrosion activity evaluation, Proc. 9th International Congress on Metallic Corrosion, Toronto 1985, p. 92-96.
8. R. Juchniewicz, W. Sokólski, Asimetrija izmjenjenja potencjāla kak mjera opasnosti ekektrokoroziij tjeplotruboprowodow, IV Międzynarodowa Konferencja Korozyjna RWPG, Warna, 1985 ss. 4.
9. R. Juchniewicz, W. Sokólski, Computers in stray current corrosion control, Paper No. 38, Corrosion-86 (USA), 1986 ss. 5.
10. W. Sokólski, R. Juchniewicz, Materiały II Krajowej Konferencji Korozyjnej KOROZJA-87, Kraków 1986, ss. 75-79.
11. R. Juchniewicz, W. Sokólski, Praktyczna weryfikacja nowej metody oceny zagrożenia korozyjnego wywoływanego przez prądy błądzące, Ochr. przed Korozją, **29**, 228-230 (1986).
12. Pat. PRL Nr 140264, Sposób ochrony konstrukcji metalowych przed korozją w polu oddziaływania prądów błądzących.
13. W. Sokólski, R. Juchniewicz, Komputerowa analiza prądów błądzących w podziemnych rurociągach, Materiały II Krajowej Konferencji Korozyjnej KOROZJA-87, Kraków 1986, ss. 75-79.
14. R. Juchniewicz, W. Sokólski, Pomiar współczynnika asymetrii zmian potencjału konstrukcji w polu oddziaływania prądów błądzących, Ochr. przed Korozją, **30**, 132-134 (1987).
15. W. Sokólski, Computers analysis of stray current corrosion on pipelines, Bull. Electrochem., **3**, 531-534 (1987), Special issue on International Congress on Metallic Corrosion, Madras 1987.
16. W. Sokólski, Computer aided analysis of stray current corrosion activity, 9th European Congress on Corrosion, Utrecht 1989.
17. R. Juchniewicz, W. Sokólski, B. Pruszkowski, Rejestrator magnetyczny do pomiarów korozyjnych, Materiały II Krajowej Konferencji Korozyjnej KOROZJA-87, Kraków 1986, ss. 81-84.

18. W. Sokółski, K. Żakowski: Ocena zagrożenia korozyjnego i metody zabezpieczenia przed prądami błędzącymi metalowych konstrukcji podziemnych, Materiały Konferencyjne nt. Zabezpieczenia przeciwkorozyjne w przemyśle, Grudziądz, 23 maja 1989 r. Grudziądz NOT, Komit. Miej. w Grudziądzu, (1989), s. 51-71.
19. W. Sokółski, A two channel magnetic recorder as a useful tool in stray current investigation, Proc. 11th International Corrosion Congress "Innovation and technology transfer for corrosion control", Florence (1990), p. 5.187.
20. W. Sokółski, The magnetic recorder for field corrosion measurements, referat na konferencji "Corrosion in oil and gas industry", 1991 Kosice, Słowacja.
21. W. Sokółski, K. Żakowski: Zdalne monitorowanie prądów błędzących, Materiały IV Krajowej Konferencji Korozyjnej KOROZJA 93. Warszawa, 1-4 czerwca 1993. Warszawa: Inst. Chem. Fiz. PAN, (1993), s. 361-364.
22. W. Sokółski: Prądy błędzące - nowe spojrzenie na kryteria ochrony przeciwkorozyjnej, Materiały XXI Krajowej Konferencji Naukowo - Technicznej "Nauka i praktyka w walce z korozją", Kule k. Wąsosza, 26-28 maja 1994. Częstochowa: Częst. Zakł. Chem. Og., SITPChem., Zesp. ds. Ochr. przed Koroz., (1994), s. 101-110; Ochr. przed Korozją, **38**, 173 (1995).
23. W. Sokółski, K. Żakowski: Nowa technika pomiarowa prądów błędzących. Stanowisko laboratoryjne do modelowania korozji elektrolitycznej, Materiały Sesji Naukowej „Zastosowanie ochrony elektrochemicznej w przemyśle”, Kołobrzeg 1988, Gdańsk: Politechnika Gdańska (1988), s. 22-28.
24. R. Juchniewicz, W. Sokółski, K. Żakowski, B. Pruszkowski: Zagrożenie korozyjne magistrali ciepłowniczych w dużych aglomeracjach miejskich, Materiały Sesji Naukowej „Zastosowanie ochrony elektrochemicznej w przemyśle”, Kołobrzeg 1988, Gdańsk: Politechnika Gdańska (1988), s. 83-87.
25. W. Sokółski, K. Żakowski: Dobowa charakterystyka oddziaływania prądów błędzących na konstrukcje metalowe, Mat. XXI Konwersatorium Korozji Morskiej, Jurata 1995, s. 245-251.
26. W. Sokółski, K. Żakowski: Wpływ częstości odczytu mierzonych sygnałów na uzyskaną charakterystykę prądów błędzących, Mat. IV Krajowa Konferencja Pomiary Korozyjne w ochronie elektrochemicznej, Jurata 1996.
27. W. Sokółski, K. Żakowski: Ocena efektów nieliniowych w pomiarach prądów błędzących metodą korelacyjną, Mat. IV Krajowa Konferencja Pomiary Korozyjne w ochronie elektrochemicznej, Jurata 1996.