

OCENA ZAGROŻENIA KOROZYJNEGO W POLU
ODDZIAŁYWANIA PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH

1. Wprowadzenie

Prądy błędzące upływające do ziemi z trakecji elektrycznych i innych instalacji prądu stałego stanowią największe zagrożenie korozyjne dla podziemnych i podwodnych konstrukcji metalowych na terenie aglomeracji miejskich i przemysłowych. Szybkość korozji elektrolitycznej powodowanej przez te prądy jest wielokrotnie większa od naturalnych procesów korozyjnych przebiegających na wspomnianych konstrukcjach w środowisku ziemnym lub wodnym. Wywołana jest ona nadmierną polaryzacją anodową granicy faz metal-środowisko elektryczne wskutek przepływu zewnętrznego prądu elektrycznego. Wielkość uszkodzeń stali powodowanych przez korozję elektrolityczną jest większa niż ok. $10 \text{ kg A}^{-1} \text{ rok}^{-1}$. Omawiane prądy są przyczyną licznych awarii korozyjnych rurociągów, kabli i zbiorników podziemnych, szczególnie w aglomeracjach miejskich, gdzie eksploatowane są trakcje elektryczne. Prądy błędzące towarzyszą nieodłącznie każdej takiej trakcji wykorzystującej szyny jezdne jako przewody powrotne zasilania. Stopień szkodliwości prądów błędzących dla metalowych konstrukcji podziemnych, tzn. wielkość ich zagrożenia korozyjnego, zależy od wielu różnych czynników, a w szczególności od wzajemnej lokalizacji źródeł prądów błędzących i konstrukcji podziemnych, stanu technicznego obwodów powrotnych trakecji, jakości izolacji na zewnętrznych powierzchniach konstrukcji, właściwości fizyko-

chemicznych środowiskach itd. Czynniki te mogą być charakteryzowane przy pomocy wielkości elektrycznych /napież, rezystancji, natężeń prądu/ dla poszczególnych elementów obwodu : źródła prądów błądzących - konstrukcje podziemne a także wielkości elektrochemicznych na granicy faz metal-środowisko elektrolityczne /potencjał konstrukcji, parametry kinetyczne procesów elektrodowych, gęstość prądu korozyjnego i inne/. Ponieważ bezpośrednim skutkiem przepływu prądów przez konstrukcje podziemne jest polaryzacja elektrochemiczna, towarzysząca temu zjawisku zmiana potencjału elektrodowego może być przyjęta za jakościową miarę szkodliwego oddziaływania prądów błądzących. Jednak losowy charakter zmienności pól elektrycznych wytwarzanych przez prądy błądzące, zwłaszcza w miastach, powoduje że ocena stopnia zagrożenia korozją elektrolityczną na podstawie pomiaru w/w wielkości jest złożona i wymaga specjalistycznych metod pomiarowych.

2. Kryteria zagrożenia korozją elektrolityczną

W działalności technicznej przyjmuje się, że konstrukcja podziemna jest zagrożona i wymaga ochrony przeciwkorozyjnej jeśli znajduje się w strefie oddziaływania prądów błądzących /PN-77/E-05030/. Sformułowanie to odzwierciedla słuszne przesądzenie, że prądy błądzące stanowią największe zagrożenie korozyjne dla konstrukcji podziemnych, jednak nie sugeruje żadnego kryterium umożliwiającego oszacowanie kierunku i wielkości tego oddziaływania.

Stwierdzenie podczas pomiaru potencjału konstrukcji wahań mierzonej wielkości przyjmowane jest powszechnie jako niezbity dowód istnienia pól elektrycznych wywołanych obecnością prądów błądzących. Wyznaczenie wartości ekstremalnych i w różny

49

sposób obliczanych średnich z tych wahań może służyć do porównawczego określenia wielkości oddziaływań prądów błądzących w różnym czasie lub w różnych miejscach konstrukcji, co w konsekwencji umożliwi lokalizację rejonów o największym zagrożeniu korozyjnym. Należy w tym miejscu wyraźnie zaznaczyć, że brak istotnych zmian potencjału konstrukcji nie upoważnia do wyciągnięcia wniosku przeciwnego tzn. o braku oddziaływania prądów błądzących, gdyż stała wartość potencjału może być obserwowana np. przy okresowej wysokiej rezystancji układu źródła prądu - konstrukcja lub w obecności statycznych prądów błądzących.

Istotnym problemem w posługiwaniu się wartościami potencjału konstrukcji jest trudność wiarygodnego wyznaczenia tej wielkości w polu elektrycznym prądów błądzących, tj. z wyeliminowaniem tzw. składowej omowej. Wśród nielicznych metod pomiarowych nadających się do tego celu popularność zdobyła technika tzw. symulowanej elektrody, chociaż wymaga ona stosowania specjalnych punktów pomiarowych i odpowiedniej aparatury badawczej.

Wartość potencjału konstrukcji, a ściślej różnicę tego potencjału względem potencjału stacjonarnego, można przyjąć jako kryterium zagrożenia korozją elektrolityczną wyłącznie w przypadku jednokierunkowych oddziaływań prądów błądzących, tj. wywołujących jedynie polaryzację anodową lub jedynie polaryzację katodową konstrukcji, bowiem tylko w takich warunkach możliwe jest jednoznaczne stwierdzenie istnienia lub braku korozji elektrolitycznej. Omawiane zagadnienie znacznie komplikuje się przy losowo zmiennym kierunku i natężeniu przepływu prądów błądzących a więc w sytuacjach najczęściej obserwowanych w aglomeracjach miejskich i przemysłowych. Istota tego problemu związana jest z odmiennym mechanizmem procesów korozyjnych przy zmiennym

kierunku polaryzacji w stosunku do dobrze poznanych zjawisk wywołanych przez polaryzację prądem stałym. Ponieważ anodowe i katodowe reakcje korozyjne w warunkach znakoprzemiennej polaryzacji charakteryzują się pewnym stopniem odwracalności, zależnym w decydującej mierze od właściwości fizyko-chemicznych granicy faz metal-środowisko elektrolityczne, musi istnieć określona w danych warunkach proporcja pomiędzy sumaryczną średnią polaryzacją anodową i katodową konstrukcji, przy której, pomimo silnego oddziaływania prądów błądzących, wynikowa szybkość procesów korozyjnych elektrolitycznej jest równa zeru.

Sformułowana powyżej teza wynika z opracowanego w Politechnice Gdańskiej nowego ujęcia teoretycznego problematyki korozyjnej elektrolitycznej, w którym prądy błądzące wpływające z trakcji elektrycznych prądu stałego zostały zakwalifikowane do tzw. bipolarnych prądów nałożonych ze stochastyczną składową zmienną ^{1-4/}. Takie podejście umożliwiło ustalenie, że korozyjna elektrolityczna w omawianych warunkach uzależniona jest od stosunku obu składowych: stałej i stochastycznie zmiennej a dobrą miarą charakteryzującą zagrożenie korozyjne jest współczynnik asymetrii zmian potencjału konstrukcji względem jej potencjału stacjonarnego określony wzorem:

$$\gamma = \frac{t_a}{T}$$

gdzie: t_a - czas, podczas którego występuje polaryzacja anodowa konstrukcji,

T - całkowity czas obserwacji.

Możliwość wykorzystania wyżej zdefiniowanego współczynnika asymetrii jako kryterium zagrożenia korozyjną elektrolityczną została szeroko sprawdzona w warunkach technicznych. ^{5,6/}. Opracowano także specjalną metodykę pomiarową i aparaturę badawczą.

3. Metodyka pomiarowa

Prądy błędzące wpływające z trakcji elektrycznych prądu stałego, a także pochodzące z innych źródeł np. urządzeń spawalniczych posiadają charakter losowy. Konsekwencją tego faktu jest konieczność stosowania elementów teorii procesów stochastycznych przy realizacji wszystkich metod badawczych wykorzystywanych przy określaniu dowolnych parametrów charakteryzujących oddziaływanie prądów błędzących - począwszy od zagadnień teoretycznych, poprzez badania laboratoryjne aż do pomiarów terenowych na urządzeniach trakcyjnych i konstrukcjach podziemnych skończywszy. Badania i ocena wszystkich mierzonych wielkości w omawianych przypadkach powinna odbywać się zgodnie z zasadami pomiaru i analizy sygnałów losowych.

Zasadniczą kwestią, jaka musi być roztrzygnięta w tego typu sytuacji, jest określenie okresu próbkowania i całkowitego czasu obserwacji sygnału, np. potencjału konstrukcji, dla optymalnej z technicznego punktu widzenia dokładności oszacowania badanej wielkości. Wielkości te zależą od oczekiwanego zakresu częstotliwości w badanym sygnale pomiarowym. Na podstawie szeregu prac należy przyjąć, że w warunkach miejskich przy średnim nasileniu ruchu na trakcji tramwajowej pomiary powinny być przeprowadzane w ilości ok. 2-5 na sekundę w czasie ok. 20-30 minut. Spełnienie takich wymagań możliwe jest wyłącznie przy zastosowaniu automatyzacji procesu pomiarowego i wykorzystaniu metod numerycznych do analizy wyników.

Badanie współzależności dwóch lub więcej sygnałów losowych, tj. określenie tzw. zależności korelacyjnych, umożliwiło uzyskanie zasadniczego postępu w interpretacji oddziaływań prądów błędzących na podziemne konstrukcje metalowe ^{7/}. Jeśli jedną

z analizowanych wielkości jest potencjał konstrukcji a drugą dowolny mierzalny parametr pola elektrycznego wywołującego polaryzację tej konstrukcji, to zależność korelacyjna pomiędzy tymi sygnałami umożliwia uzyskanie niezwykle cennych informacji o zagrożeniu korozyjnym; między innymi wartości potencjału stacjonarnego konstrukcji - wielkości niezbędnej do prawidłowego określenie wyżej zdefiniowanego współczynnika asymetrii. Widmo dwuwymiarowego rozkładu gęstości prawdopodobieństwa /graficzna ilustracja zależności korelacyjnej/ nie tylko jest stosunkowo łatwe do interpretacji, ale także stanowi doskonałą formę dokumentacji oddziaływania prądów błędzących na konstrukcje metalowe. Zmiany pola elektrycznego prądów błędzących mogą być w badaniach korelacji reprezentowana przez różne sygnały, np. potencjał elektryczny szyny, napięcie szyny - konstrukcja, spadek napięcia na powierzchni ziemi, natężenie prądu płynącego wzdłuż rurociągu, natężenie prądu w obwodach drenażowych i pomiarowych. Obliczenie wielkości charakterystycznych dla omawianej zależności korelacyjnej wymaga zastosowania technik komputerowych, chociaż dla prostych zastosowań można zadowolić się graficzną analizą np. na rejestratorze X-Y.

Obserwowany w ostatnich latach rozwój techniki mikroprocesorowej umożliwia wykorzystanie zdobytych wiedzy w tej dziedzinie do rozwoju metod pomiarowych prądów błędzących stosownie do zasad analizy sygnałów losowych, zarówno w badaniach laboratoryjnych jak również technicznych. Prace w tym kierunku prowadzone są w Politechnice Gdańskiej od kilku lat i ich wynikiem jest opracowany system pomiarowy wykorzystujący magnetyczną rejestrację i analizę zagrożeń korozyjnych w polu oddziaływania prądów błędzących.

4. 1

pomi

nie

wyel

celu

ny,

w te

Jedn

cji

kość

Reje

go m

rowy

popr

Zast

zwyk

1%.

wia

K

tycz

ność

łaln

- pr

tr

- oc

cy

dz

4. Magnetyczna rejestracja pomiarów

Upowszechnienie w działalności terenowej komputerowych metod pomiarowych natrafia jeszcze na szereg trudności związanych głównie z ceną tego typu sprzętu i brakiem specjalistów. Częściowe wyeliminowanie tych niedogodności stwarza specjalnie do tego celu skonstruowany przenośny, dwukanałowy rejestrator magnetyczny, który stanowi ogniwo pośrednie pomiędzy pracami pomiarowymi w terenie a analizą wyników z zastosowaniem metod numerycznych. Jednocześnie zapis dwóch zmiennych jest wystarczający do realizacji kilkudziesięciu wariantów różnych technik pomiarowych wielkości charakteryzujących oddziaływanie prądów błędzących. Rejestrator wykonany został na bazie przenośnego stereofonicznego magnetofonu kasetowego. Mierzone napięcia w zakresach pomiarowych 60 mV - 18 V rejestrowane są na taśmie magnetofonowej poprzez modulację szerokości impulsów o częstotliwości 100 Hz. Zastosowana technika zapisu umożliwia stosowanie taśm kasetowych zwykłej jakości przy zachowaniu dokładności odczytu lepszej niż 1%. Uproszczony schemat zasady działania rejestratora przedstawia rys. 1.

Kilkuletnia praktyka w posługiwaniu się rejestratorem magnetycznym jako narzędziem pomiarowym wskazuje na jego dużą przydatność oraz na możliwość upowszechnienia tego rozwiązania w działalności technicznej. Nadaje się on w szczególności do:

- prognozowania zagrożenia prądami błędzącymi /rozkład pól elektrycznych w ziemi/,
- oceny zagrożenia konstrukcji podziemnych /zależności korelacyjnej pomiędzy skutkiem a przyczynami przepływu prądów błędzących/,

- oceny stanu technicznego obwodów trakcji elektrycznej /rezy-stancja wzdłużna szyn, kabli powrotnych, rozkład potencjału szyn itd./,
- oceny skuteczności zabezpieczenia przed prądami błądzącymi /np. charakterystyki drenaży elektrycznych/.

5. Interpretacja wyników

W celu należytego wykorzystania omawianej techniki oraz możliwości rejestratora magnetycznego konieczne jest stworzenie wysoce wyspecjalizowanego systemu do interpretacji zapisów magnetycznych. Schemat funkcjonowania takiego systemu zilustrowano na rys. 2. Jego zasadniczym elementem jest odpowiednio przy-stosowany mikrokomputer odczytujący zapisy magnetyczne i wyko-nujący stosowną analizę numeryczną. Pracę systemu nadzoruje grupa programów opracowanych do analizy różnego rodzaju danych pomiarowych. Zawierają one procedury obsługi rejestratora mag-netycznego, przetworników analogowo-cyfrowych i pamięci kompu-tera oraz procedury arytmetyczne i organizacji wydruków końco-wych. W oprogramowaniu komputera zawarte są wieloletnie doś-wiadczenia zgromadzone podczas badań oddziaływań prądów błądzą-cych na konstrukcje podziemne. Przykładowy wydruk jednego z pierwszych tego typu programów o nazwie AC-KOR przedstawiono na rys. 3. Zawiera on fragmenty przebiegów czasowych obu zare-jestrowanych sygnałów, histogramy i rozkłady funkcji prawdopo-dobieństwa, zależności korelacyjne obu sygnałów oraz wyliczo-ne parametry. Wydruk ten jest podstawą oceny zagrożenia koro-zją elektrolityczną badanej konstrukcji oraz służy jako doku-mentacja przeprowadzonych badań. Opisana technika jest nadal rozwijana i modernizowana w Politechnice Gdańskiej.

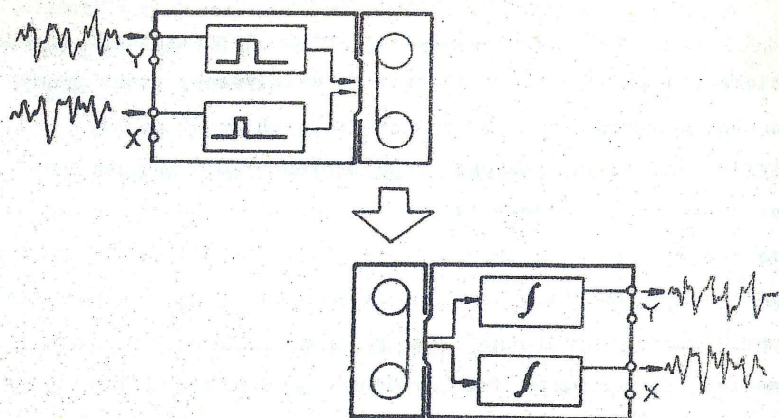
58

6. Podsumowanie

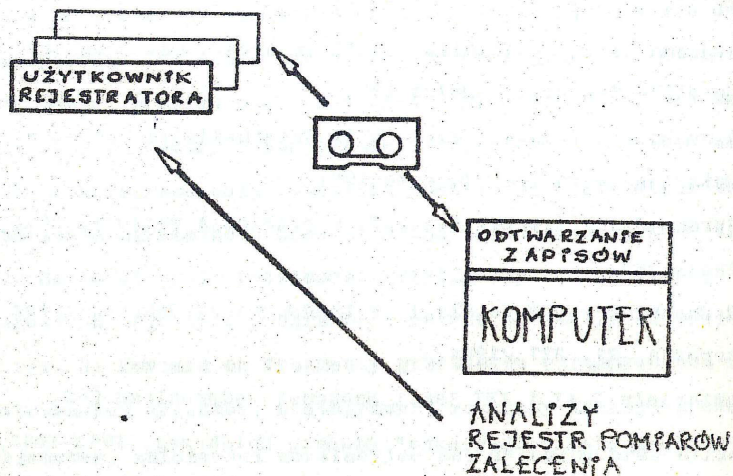
Z przedstawionego wyżej zarysu nowego teoretycznego ujęcia problematyki korozji elektrolitycznej wywoływanej przez prądy błądzące pochodzące z trakcji elektrycznych prądu stałego - klasyfikujące je do kategorii bipolarnych prądów nałożonych za stochastyczną składową zmienną - wynika, że do oceny zagrożenia korozyjnego w znakoprzeziennym polu oddziaływania tych prądów powinny być stosowane metody pomiaru i analizy sygnałów losowych. Metody te wymagają korzystania ze specjalnej techniki badawczej i numerycznej analizy danych pomiarowych. Opracowany system mikrokomputerowy z zastosowaniem rejestracji magnetycznej stwarza możliwość szerszego wykorzystania tych metod w działalności technicznej.

7. Literatura

1. R.Juchniewicz, W.Sokólski: 8 th International Congress on Metallic Corrosion, Maiuz 1981
2. R.Juchniewicz, W.Sokólski: 9 th International Congress on Metallic Corrosion, Toronto 1984.
3. Sprawozdania z pracy C.2.P.1. w problemie węziowym 05.3, 1981-1985.
4. R.Juchniewicz, W.Sokólski, W.Bohdanowicz: Ochrona przed korozją, 27, 227 /1984/.
5. Materiały I, II i III Sesji Naukowej Podproblemu C-2, "Ochrona elektrochemiczna" Gdańsk, Kołobrzeg, 1983-1985.
6. R.Juchniewicz, W.Sokólski: Materials Perform. 24, No 7, 26 /1985/.
7. R.Juchniewicz, W.Sokólski: Corrosion '86, Paper No 38, 1986.



Rys.1. Ogólny schemat funkcjonowania rejestratora magnetycznego z modulacją szerokości impulsów



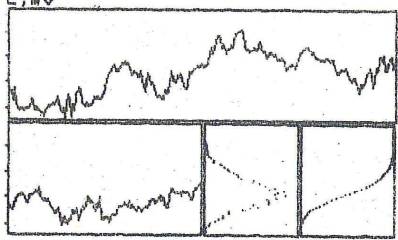
Rys.2. Schemat systemu pomiarowego z wykorzystaniem rejestratorów magnetycznych i komputerowej analizy zagrożenia korozyjnego wywoływanego przez prąd błądzące

Zakład Technologii Zabezpieczeń
Przeciwkorozyjnych ICHITM PG

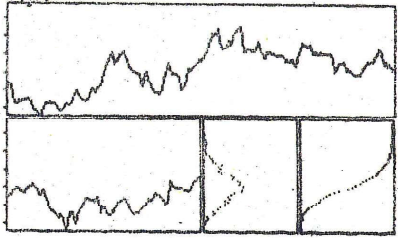
ANALIZA POMIARÓW KOROZYJNYCH
ODDZIAŁYWANIA PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH
PROGRAM AC-KOR wersja 1.0

Zapis 10/1 * 86.04.08.
Bydgoszcz, ul. Toruńska
K 517-518

Kanal Y : POTENCJAŁ KONSTRUKCJI
Skala 200 mV ΔE = 830 mV
Emax = -48 mV Emin = -378 mV
Esr. = -549 mV s(E) = 116 mV
E, mV

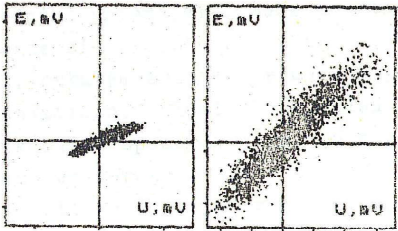


Kanal X : NAPIĘCIE UZGL. ŹRÓDŁA
Skala 1000 mV ΔU = 5900 mV
Umax = 3540 mV Umin = -2360 mV
Usr. = 113 mV s(U) = 927 mV
U, mV



KORELACJA : POTENCJAŁ - NAPIĘCIE

Ilość odczytów 4000
Wsp. kor. x1000 912
Potencjał st. -562 mV
Nachylenie 114 mV/V
Składowa stała 13 mV
Wsp. asymetrii 52 %



Skala y: 1000 mV x: 5000 mV
Skala y: 200 mV x: 1000 mV

Rys. 3. Wydruk analizy komputerowej - AC-KOR