



**OCENA EFEKTÓW NIELINIOWYCH W POMIARACH
PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH METODĄ KORELACYJNĄ**
**EVALUATION OF NON-LINEAR EFFECTS IN STRAY CURRENT
MEASUREMENTS USING THE CORRELATION METHOD**

Wojciech Sokółski, Krzysztof Żakowski

Politechnika Gdańska
Katedra Technologii Zabezpieczeń Przeciwkorozyjnych

Słowa kluczowe: prądy błędzące, korozja elektrolityczna, pomiary korozyjne, składowa IR
Keywords: stray current, stray current corrosion, corrosion measurements, IR component

Streszczenie

W pracy rozważono nowy sposób eliminacji składowej omowej IR z wyników pomiarów korelacyjnych prądów błędzących celem oszacowania stopnia rzeczywistej polaryzacji konstrukcji podziemnych, a w szczególności oceny wielkości i kształtu widma korelacyjnego po numerycznym wydzieleniu z analizowanego sygnału potencjału części nieliniowej. Przedstawiono przykładowe wyniki analiz danych pomiarowych uzyskanych w strefach oddziaływania prądów błędzących. Porównano rezultaty otrzymane bez eliminacji składowej omowej potencjału oraz po jej eliminacji z wykorzystaniem analizy matematycznej wyników otrzymywanych w klasycznej metodzie korelacyjnej.

Summary

In the paper a new method has been discussed of elimination of the IR component from the results of correlation measurements of stray currents to evaluate the real degree of polarisation of underground structures, especially the evaluation of the size and shape of the correlation spectrum after separating the non-linear part from the analysed potential signal. Examples of analysis results have been presented of measurement data obtained in zones of stray current interaction. Results have been compared obtained without elimination of the IR component and after its elimination using mathematical analysis of results obtained in the classic correlation method.

1. Wprowadzenie

W strefach oddziaływania prądów błędzących zagrożenie konstrukcji metalowych korozją elektrolityczną określa się zazwyczaj na podstawie pomiarów wykonanych techniką korelacyjną [1-3]. Przy pomocy odpowiednich rejestratorów mierzony jest w terenie potencjał konstrukcji względem przenośnej elektrody odniesienia oraz napięcie względem szyn trakcji elektrycznej (źródła prądów błędzących). Zagrożenie korozyjne określa się na podstawie analizy widma ich wzajemnej korelacji [4-6].

W warunkach terenowych praktycznie niemożliwe jest umieszczenie elektrody pomiarowej bezpośrednio przy granicy faz metal - elektrolit. Znajduje się ona zawsze w pewnej odległości od konstrukcji (przykładowo: w przypadku rurociągu elektrodę umieszcza się nad jego osią). W takich warunkach wynik pomiaru potencjału konstrukcji przy przepływie zewnętrznego prądu polaryzującego zawiera omowy spadek napięcia IR, głównie spadek napięcia na rezystancji pomiędzy konstrukcją a elektrodą odniesienia. Wartość tej składowej zależy więc od oddalenia elektrody od badanej konstrukcji oraz natężenia prądu polaryzującego, a jej znak od kierunku przepływu tego prądu. W skrajnym przypadku oddalenia elektrody pomiarowej, gdy umiejscowiona jest ona w bezpośrednim sąsiedztwie źródła prądu, omowy spadek napięcia równy jest w przybliżeniu napięciu pomiędzy tym źródłem a badaną konstrukcją. Obecność nawet pokąźnego omowego spadku napięcia w mierzonym sygnale potencjału nie uniemożliwia oszacowania zagrożenia prądami błędzącymi, pod warunkiem posługiwania się do tego celu współczynnikiem asymetrii zmian potencjału, który od niego nie zależy [1]. Utrudnia on jednak znacznie analizowanie widma korelacyjnego, ponieważ wszelkiego rodzaju efekty nieliniowe, typowe dla przebiegu procesów polaryzacji elektrochemicznej, są w istotny sposób maskowane dość znacznymi wartościami liniowo zmieniającego się omowego spadku napięcia IR.

W niniejszej pracy przedstawiono nowy sposób analizy wyników pomiarów terenowych w strefie oddziaływania prądów błędzących, polegający na numerycznej obróbce zmierzonych sygnałów mającej na celu eliminację składowej IR. Badania takie prowadzone są w Politechnice Gdańskiej w ramach prac nad doskonaleniem metod oceny zagrożenia korozyjnego konstrukcji metalowych.

2. Eliminowanie składowej IR z wyników pomiarów terenowych

Wartość potencjału konstrukcji, mierzona w polu oddziaływania prądów błędzących, składa się z następujących składników:

$$E(t) = E_s + P(t) + I \cdot R \quad (1)$$

- gdzie: $E(t)$ - chwilowa wartość potencjału konstrukcji,
 E_s - potencjał stacjonarny konstrukcji (w warunkach bez polaryzacji),
 $P(t)$ - chwilowa wartość polaryzacji, wywołanej przepływem prądu przez granicę faz metal - elektrolit,
 $I \cdot R$ - spadek napięcia między konstrukcją a elektrodą odniesienia.

Suma dwóch pierwszych składników we wzorze (1) jest potencjałem konstrukcji po jej polaryzacji prądem zewnętrznym. Uzyskanie tej właśnie wielkości jest celem procedur eliminujących składową omową IR. W warunkach terenowych wyznaczenie tej składowej jest stosunkowo proste tylko w przypadkach braku obecności dynamicznych prądów błędzących. Jeśli konstrukcja polaryzowana jest wyłącznie prądem ochrony katodowej, to wartość składowej IR wyznaczyć można np. metodą wyłączeniową lub metodą ekstrapolacji [7]. Techniki te są raczej zawodne w strefach oddziaływania prądów błędzących, gdyż bardzo szybkie zmiany potencjału wywołane polaryzacją konstrukcji utrudniają prawidłowe oszacowanie składowej omowej. Jej wyeliminowanie wydaje się możliwe poprzez zastosowanie odpowiedniej obróbki matematycznej wyników pomiarów prądów błędzących uzyskanych techniką korelacyjną.

Chwilowa wartość potencjału konstrukcji związana jest z chwilową wartością napięcia względem źródła prądów błędzących dość złożoną zależnością, wynikającą między innymi z natury elektrochemicznej zjawisk zachodzących na granicy faz metal-elektrolit. W znacznym przybliżeniu i przy zachowaniu szeregu ograniczeń można tę zależność uprościć do poniższej postaci, w szczególności w przypadku występowania dużego omowego spadku napięcia IR:

$$E(t) = f(U(t)) \cong E_s + b \cdot U(t) \quad (2)$$

gdzie: b - nachylenie widma korelacyjnego potencjał-napięcie,
 $U(t)$ - chwilowa wartość napięcia,
 pozostałe wielkości: jak we wzorze (1).

Z wzorów (1) i (2) wynika, że aby wyeliminować składową IR z wyników pomiarów, każdą chwilową wartość potencjału należy skorygować o pewną wielkość związaną funkcyjnie z chwilową wartością napięcia:

$$E_i = E_{zm} - \Delta U_i \quad (3)$$

gdzie: E_i - chwilowa wartość potencjału po odliczeniu składowej IR,
 E_{zm} - zmierzona w terenie chwilowa wartość potencjału,
 $\Delta U_i = f(E(t), U(t))$.

Ogólnie, wielkość ΔU_i zależy funkcyjnie od następujących wielkości:

- potencjału stacjonarnego konstrukcji,
- średniej wartości potencjału,
- średniej wartości napięcia.

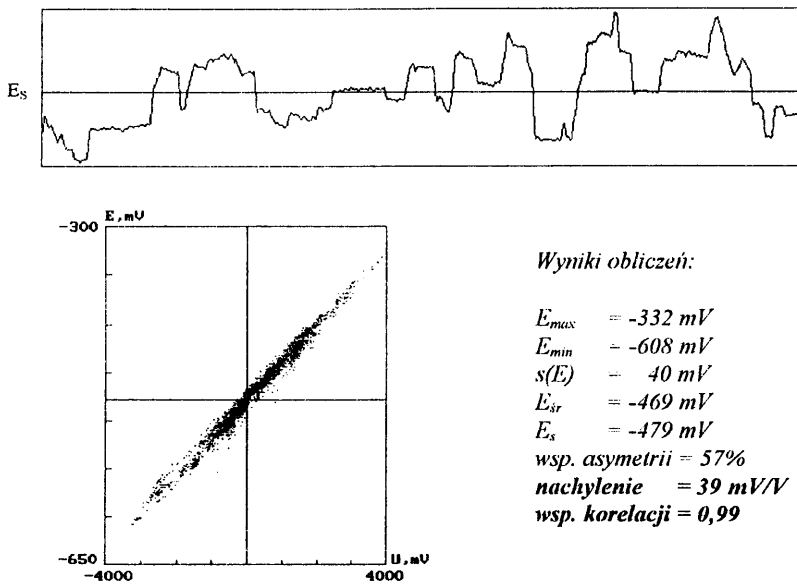
Procedura eliminacji składowej IR wymaga przeprowadzenia dla wszystkich punktów pomiarowych:

- analizy odchylenia chwilowej wartości potencjału od potencjału stacjonarnego,
- badania stosunku tych odchyżeń i chwilowych wartości napięcia,
- wyznaczenia zależności opisującej w przybliżeniu składową IR.

Dobierając odpowiednio wagę odejmowanej wielkości ΔU , uzyskać można kolejne przybliżenia chwilowych wartości potencjału bez udziału składowej omowej. W konsekwencji możliwa jest symulacja komputerowa przebiegu w czasie rzeczywistych zmian potencjału bez omowego spadku napięcia IR.

3. Przykładowe wyniki

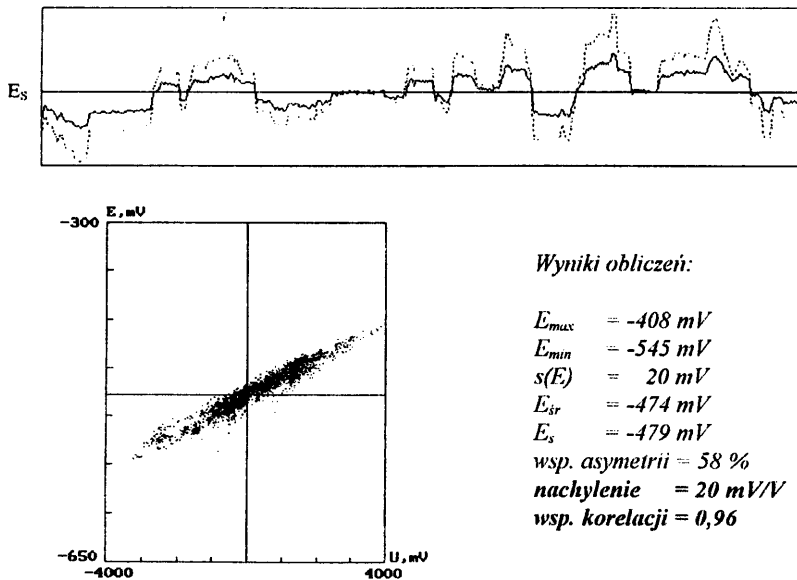
Rys. 1 przedstawia wynik typowego pomiaru wykonanego techniką korelacyjną w przemiennej strefie prądów błądzących wpływających z trakcji tramwajowej. Ich oddziaływanie było prawie symetryczne, na co wskazuje wartość współczynnika asymetrii zmian potencjału wynosząca 57%. Potencjał mierzono względem przeniósłnej elektrody siarczano-miedzianej. Przytoczone tu dane pomiarowe nie zostały poddane matematycznej obróbce eliminującej składową IR. Pokazano fragment zmian potencjału konstrukcji w funkcji czasu, widmo korelacyjne potencjał - napięcie oraz uzyskane wyniki obliczeń w kolejności: maksymalna E_{max} i minimalna E_{min} wartość potencjału, jego składowa zmienna $s(E)$ i wartość średnia $E_{\bar{s}r}$, obliczona najbardziej prawdopodobna wartość potencjału stacjonarnego E_s , współczynnik asymetrii γ , nachylenie widma korelacyjnego i współczynnik korelacji. Wartość współczynnika korelacji zmian obu mierzonych wielkości wynosząca 0,99 wskazuje pośrednio na znaczny udział składowej omowej w danych pomiarowych.



Rys. 1. Fragment przebiegu potencjału konstrukcji bez eliminacji składowej IR oraz widmo korelacyjne i wyniki obliczeń uzyskane dla tych wartości.

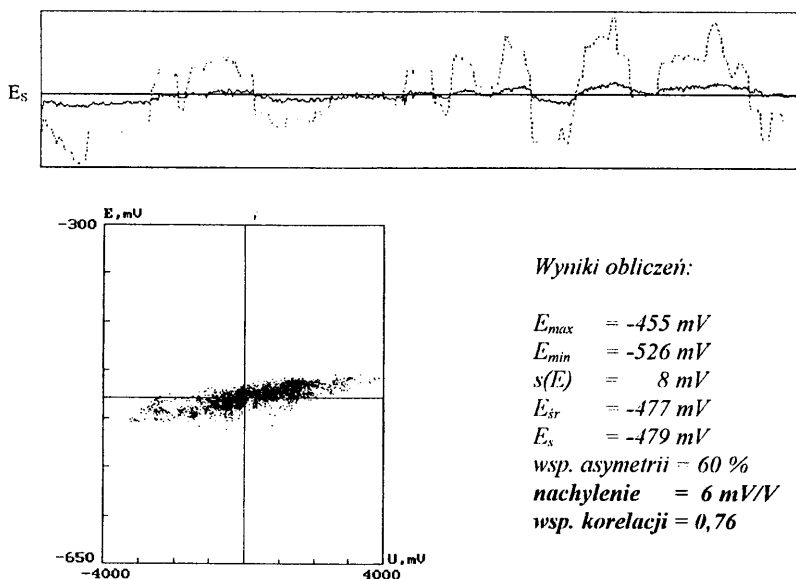
Po częściowej eliminacji składowej IR z wyników pomiarów terenowych przy użyciu obróbki numerycznej otrzymano dane zilustrowane na rys. 2. Widmo korelacyjne przedstawiono w tej samej co dane wyjściowe dziedzinie układu współrzędnych, aby ułatwić porównanie uzyskanych wyników. Fragment otrzymanego przebiegu zmian potencjału w funkcji czasu zaznaczono linią ciągłą, zaś linia kropkowana dotyczy wartości potencjału bez eliminacji składowej omowej. Im większe odchylenie mierzonej w terenie chwilowej wartości potencjału od wartości potencjału stacjonarnego, tym większa wartość bezwzględna odejmowanej składowej. Wynika to z faktu liniowej zależności składowej omowej od chwilowej wartości natężenia zewnętrznego prądu polaryzującego.

Przytoczone wyniki obliczeń pokazują, w jakim stopniu zmniejszyły się w porównaniu do danych wyjściowych: zakres zmian potencjału, jego składowa zmienna, nachylenie widma korelacyjnego oraz wartość współczynnika korelacji zmian obu sygnałów.



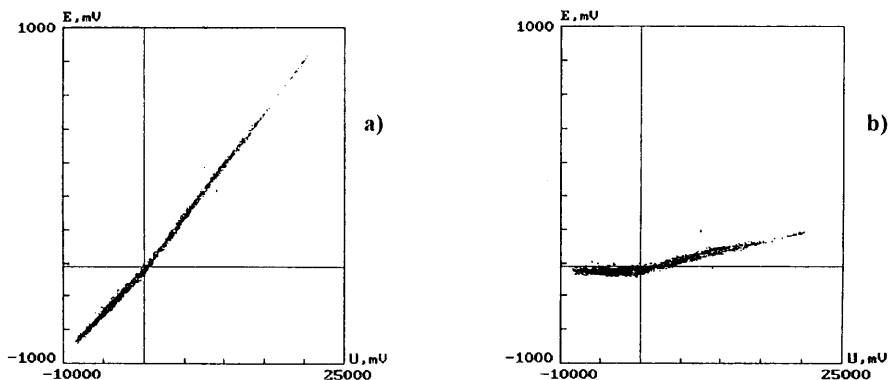
Rys. 2. Fragment przebiegu potencjału konstrukcji z częściową eliminacją składowej IR (pierwsze przybliżenie) oraz widmo korelacyjne i wyniki obliczeń uzyskane dla tych wartości.
Linia kropkowana - potencjał bez eliminacji IR.

Rys. 3 przedstawia dane uzyskane po kolejnym zwiększeniu wagi współczynnika funkcji eliminującej składową IR z wyników pomiarów terenowych. W tym przypadku nachylenie widma korelacyjnego przyjęło wartość 6 mV/V. Bez eliminacji składowej IR wartość ta wynosiła 39 mV/V. Współczynnik korelacji zmienił się z poziomu 0,99 do wartości 0,76. Zakres zmian potencjału bez eliminacji składowej IR wynosił 276 mV (rys. 1), zaś po jej eliminacji: 71 mV (rys. 3).



Rys. 3. Fragment przebiegu potencjału konstrukcji z eliminacją składowej omowej (drugie przybliżenie) oraz widmo korelacyjne i wyniki obliczeń uzyskane dla tych wartości.
Linia kropkowana - potencjał bez eliminacji IR.

Przykład pokazany na rys. 4 ilustruje, że dzięki odliczeniu składowej IR z danych pomiarowych uzyskać można dodatkowe informacje o zjawiskach zachodzących na powierzchni badanej konstrukcji. Były one w tym przypadku nieomal niewidoczne wówczas, gdy składowa omowa stanowiła główny składnik mierzonego potencjału.



Rys. 4. Przykład widma korelacyjnego:
 a) dane pomiarowe,
 b) dane po odliczeniu składowej IR.

Podsumowanie

Wykonane badania wskazują na możliwość eliminacji omowego spadku napięcia IR z wyników pomiarów terenowych uzyskanych w polu oddziaływania prądów błądzących techniką korelacyjną. Opracowana procedura obliczeniowa umożliwi symulację komputerową zmian potencjału konstrukcji w funkcji czasu przy różnym stopniu eliminowania składowej IR. Widma korelacyjne po wprowadzeniu omawianej korekty dają pełniejszy obraz zjawisk korozyjnych występujących na badanej konstrukcji poprzez ujawnienie efektów nieliniowych, maskowanych zazwyczaj obecnością omowego spadku napięcia IR.

Literatura

1. Juchniewicz R., Sokólski W.: Pomiar współczynnika asymetrii zmian potencjału konstrukcji w polu oddziaływania prądów błądzących, *Ochrona przed Korozją*, **30**, 132-134 (1987).
2. Sokólski W., Żakowski K.: Ocena zagrożenia korozyjnego i metody zabezpieczenia przed prądami błądzącymi 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.
3. Sokólski W., Żakowski K.: Nowa technika pomiarowa prądów błądzących. Stanowisko laboratoryjne do modelowania korozji elektrolitycznej, *Materiały Sesji Naukowej „Zastosowanie ochrony elektrochemicznej w przemyśle”*, Kołobrzeg 1988, Gdańsk: Politechnika Gdańska (1988), s. 22-28.

4. Sokólski W.: Computer aided analysis of stray current corrosion activity, 9th European Corrosion Congress, Utrecht (1989).
5. Sokólski W.: Ocena zagrożenia korozyjnego konstrukcji podziemnych wywołanego przez prądy błędzące, Ochrona przed Korozją, 7, (1992).
6. Sokólski W.: Prądy błędzące - nowe spojrzenie na kryteria ochrony przeciwkorozyjnej, Materiały XXI Krajowej Konferencji Naukowo - Technicznej "Nauka i praktyka w walce z korozją", Kule k. Wąsosz, 26-28 maja 1994. Częstochowa: Częst. Zakł. Chem. Og., SITPChem., Zesp. ds. Ochr. przed Koroz., (1994), s. 101-110.
7. Dziuba W.: Sieć powrotna i prądy błędzące, Instytut Elektrotechniki Warszawa, (1995).