



NIETYPOWE OBRAZY KORELACJI $e = f(u)$ PRZY BADANIACH PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH

NON-TYPICAL CORRELATION GRAPHS $e = f(u)$ IN STRAY CURRENTS INVESTGATIONS

Władysław Dziuba, Józef Dąbrowski

Instytut Elektrotechniki
ul. Pożaryskiego 28
04-703 Warszawa

Słowa kluczowe: prądy błędzące, pomiary, metoda korelacyjna
Keywords: stray currents, measurments, correlation method

Streszczenie

Na kilku rurociągach cieplnych i gazowych wykonano jednoczesną rejestrację potencjałów e rurociągów względem ziemi i napięć u rurociągów względem szyn, oraz kilku innych wielkości charakteryzujących oddziaływanie prądów błędzących na podziemne konstrukcje metalowe (PKM). Badania dotyczyły konstrukcji podziemnych w pobliżu torów tramwajowej i kolejowej trakcji elektrycznej. Na podstawie analizy przebiegów czasowych zarejestrowanych wielkości dokonano interpretacji otrzymanych obrazów korelacji $e - f(u)$, których część okazała się nietypowa. Znalaziono związek między kształtem niektórych korelacji i stanem torów.

Summary

On some warm-water- and gas- pipelines synchronous recording of pipe to soil potentials e and pipe's voltages u to rail has been carried. Simultaneous recording of a few other quantities specific for a nature of stray currents influence on underground metallic structures was realised. The metallic structures under tests were burried near the tramway or electrified railways tracks. On the basis of time-diagrams of recorded quantities the interpretation of correlation graphs $e = f(u)$ was carried. The relationship between the shape of some correlations and condition of the tracks was found.

1. Wstęp.

Metoda korelacyjna oceny oddziaływań prądów błędzących na podziemne konstrukcje metalowe (PKM) polega na badaniu zależności między dwoma jednocześnie zarejestrowanymi wielkościami, przy czym najczęściej chodzi tu o zależność potencjału e konstrukcji względem elektrody siarczano – miedziowej od napięcia u między tą konstrukcją i szynami jezdny traktacji elektrycznej. W technice pomiarowej prądów błędzących celowe jest wyznaczanie i badanie także zależności między innymi wielkościami, np. między potencjałem konstrukcji i płynącym w niej prądem lub prądem jej ochrony drenażowej, jednak korelacje $e = f(u)$ mają zasadnicze znaczenie i one są przedmiotem niniejszej pracy.

W ciągu ostatnich kilku lat technika korelacyjna uległa w Polsce wielkiemu rozpowszechnieniu dzięki wielu publikacjom specjalistów z Politechniki Gdańskiej [1...10], i dzięki szerokiej popularyzacji mikroprocesorowych rejestratorów do badania prądów błędzących, głównie typu SCM firmy L.Instruments. Rejestratory takie posiadają oprogramowanie, które zaraz po zakończeniu pomiaru pozwala wydrukować wyniki, także w formie zależności $e = f(u)$, wraz z wyliczeniem szeregu wielkości charakteryzujących i oceniających otrzymaną korelację. Ułatwia to wyciąganie wniosków z pomiaru w prostych przypadkach, ale w okolicznościach nietypowych lub trudniejszych może prowadzić do błędów interpretacyjnych.

Celem niniejszej pracy jest przynajmniej częściowe usunięcie lub zmniejszenie tych trudności przez wyjaśnienie i omówienie kilku nietypowych zależności $e = f(u)$, napotykanych w praktyce pomiarowej.

2. Niektóre nietypowe korelacje $e = f(u)$.

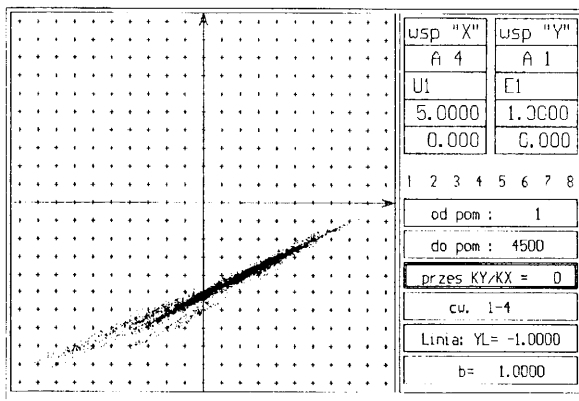
W czasie pomiarów otrzymuje się dość często nietypowe obrazy korelacji, które zawierają interesujące informacje o warunkach pracy układu szyny - konstrukcja metalowa. Czasem rozszyfrowanie tych informacji bywa trudne i wymaga jednoczesnej rejestracji dodatkowych wielkości, oprócz rutynowo mierzonych e oraz u . Niektóre z takich korelacji zostały tu przedstawione i omówione.

2.1. Korelacja rozgałęziona.

Często w praktyce pomiarowej otrzymuje się korelacje mniej lub bardziej rozgałęzione, zwykle – chociaż nie zawsze – w ich lewej części.

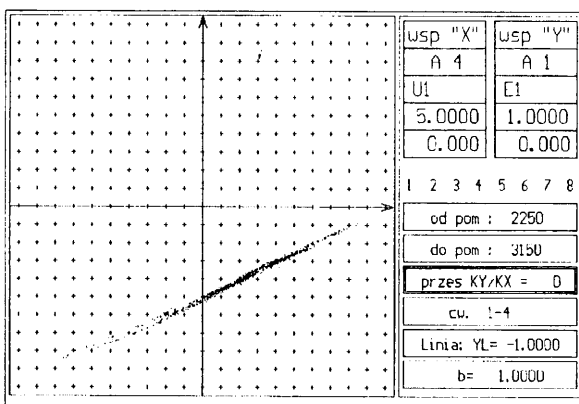
Przykład takiej zależności dotyczącej ciepłociągu przechodzącego pod torami tramwajowymi w Al. Waszyngtona w Warszawie podano na rys. 1. Aby zbadać przyczynę otrzymanego kształtu korelacji, wykonano jednoczesną rejestrację kilku wielkości charakteryzujących przepływ prądów błędzących między torami i rurociągiem, a w tym napięcia $US1S2$ między oboma torami oraz napięcia $U1$ i $U2$ między rurą, a każdym z obu torów. Mierzono także spadki napięć $S1-S3$ i $S2-S4$ w pojedynczych szynach obu torów.

Dokładna analiza otrzymanych wyników pokazuje, że w czasie rejestracji występują okresy, w których obraz korelacji jest normalny (rys. 2) i okresy w których zależność $e = f(u)$ jest rozgałęziona (rys. 4). Okazuje się, że zależy to od wartości napięcia $US1S2$ między torami: w przypadku z rys. 2 napięcie to zmienia się od -1.44 do $+0.77$ V, a w przypadku z rys. 4 napięcie $US1S2$ jest wyraźnie większe i waha się od -3.68 do $+1.80$ V. Widać to jeszcze wyraźniej z przebiegów napięcia $US1S2$ w funkcji czasu, przedstawionych na rys. 3 – dla



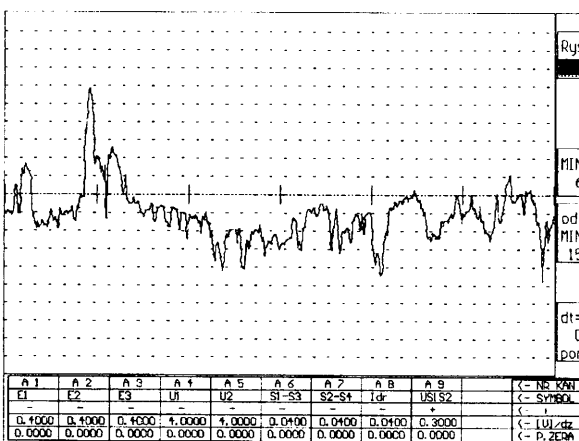
Rys. 1.

Typowy przypadek rozgałęzionej korelacji dla ciepłociągu przecinającego tory tramwajowe w A1. Waszyngtona w Warszawie.



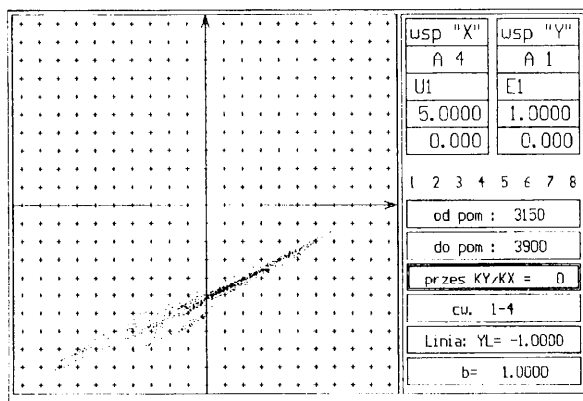
Rys. 2.

Fragment zależności $E1 = f(U1)$ z rys. 1. dla okresu rejestracji z małymi wartościami napięcia $US1S2$ między oboma torami.

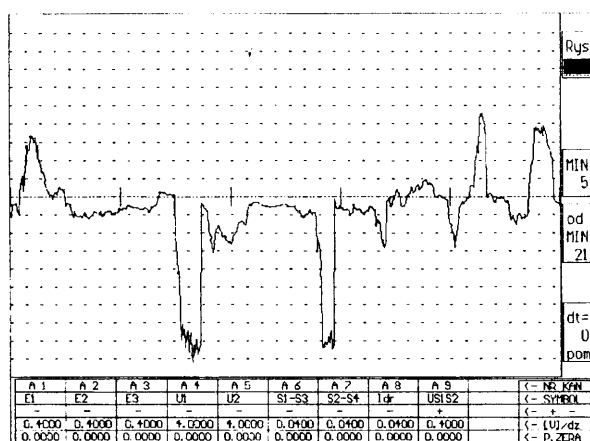


Rys. 3.

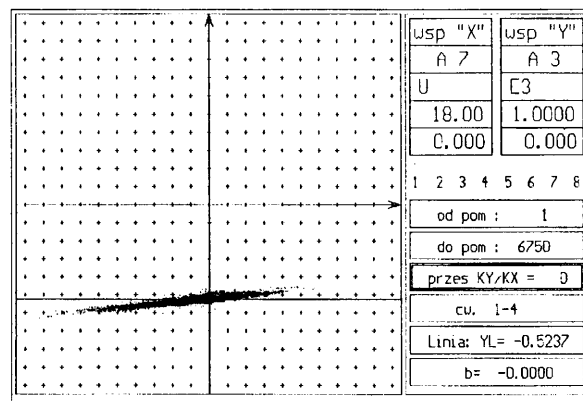
Przebieg napięcia $US1S2$ w funkcji czasu dla okresu odpowiadającego korelacji z rys. 2.



Rys. 4.
Fragment zależności $E1 - f(U1)$ z rys. 1. dla okresu rejestracji z dużymi wartościami napięcia US1S2 między oboma torami.



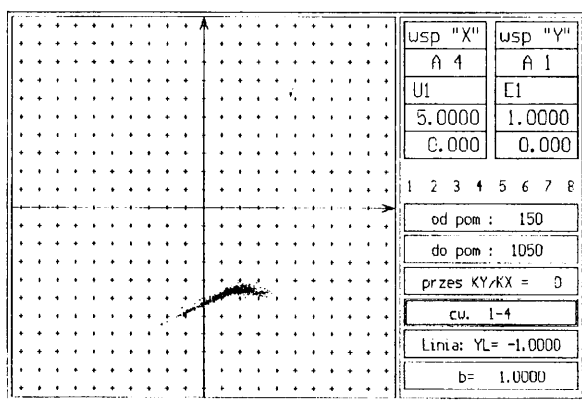
Rys. 5.
Przebieg napięcia US1S2 w funkcji czasu dla okresu odpowiadającego korelacji z rys. 4.



Rys. 6.
Korelacja $e - f(u)$ dla przypadku, gdy US1S2 jest zawsze bliskie zera (przy rozjeździe).

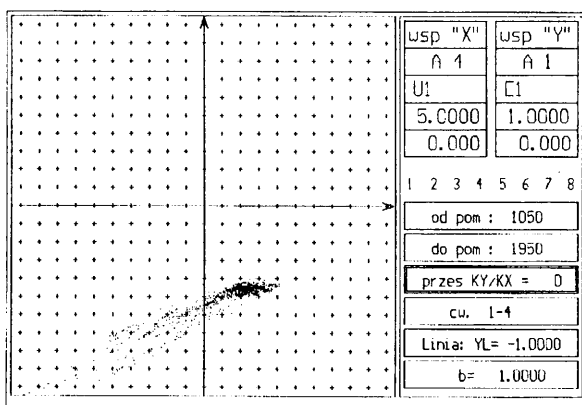
okresu odpowiadającego korelacji z rys. 2, oraz na rys. 5 – dla okresu odpowiadającego korelacji z rysunku 4. Wynika stąd, że rozgałęzione korelacje $e = f(u)$ powstają, gdy między torami trakcji elektrycznej występuje duża różnica potencjałów. Gdy natomiast napięcie między torami jest bliskie zera np. wskutek dobrego metalicznego połączenia szyn obu torów przy rozjeździe, to zależność $e = f(u)$ ma kształt wydłużonej elipsy (por. rys. 6).

Otóż w przypadku z rys. 1 tory tramwajowe leżą po obu stronach dość szerokiej jezdni i na długości kilkuset metrów nie mają żadnych wymaganych przez normę [11] łączników międzytorowych, które służą do ekwipotencjalizacji szyn, ale których zainstalowanie pod jezdnią Al. Waszyngtona w Warszawie byłoby bardzo kłopotliwe i kosztowne. Ustalono także, że prądy w obu torach płyną stale w przeciwnych kierunkach, co nie jest normalne. Dopiero prowizoryczne zwarcie szyn obu torów za pomocą przewodu o niewielkim przekroju ok. 10 mm² Cu spowodowało częste zmiany kierunku prądów w torach i wyraźne zmniejszenie rozgałęzień na obrazie korelacji $e = f(u)$.



Rys. 7.

Fragment zależności $E1 = f(U1)$ dla rurociągu wg rys. 1, ale przy włączonym drenażu polaryzowanym – okres rejestracji z małymi wartościami napięcia US1S2.



Rys. 8.

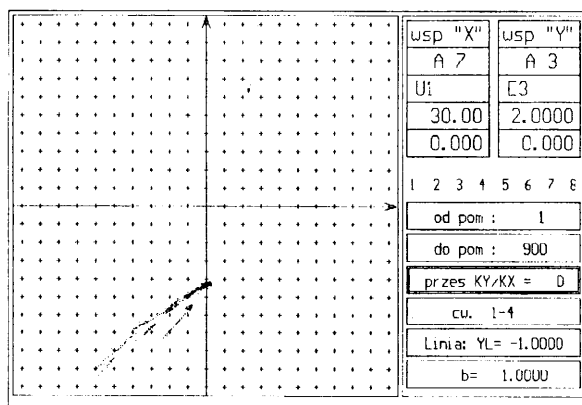
Fragment zależności $E1 = f(U1)$ dla rurociągu wg rys. 1. przy włączonym drenażu polaryzowanym – okres rejestracji z dużymi wartościami napięcia US1S2.

Podczas ochrony badanego rurociągu za pomocą drenażu polaryzowanego otrzymuje się także rozgałęzienia korelacji $e = f(u)$ w okresach występowania dużych wartości US1S2 (od – 4.09

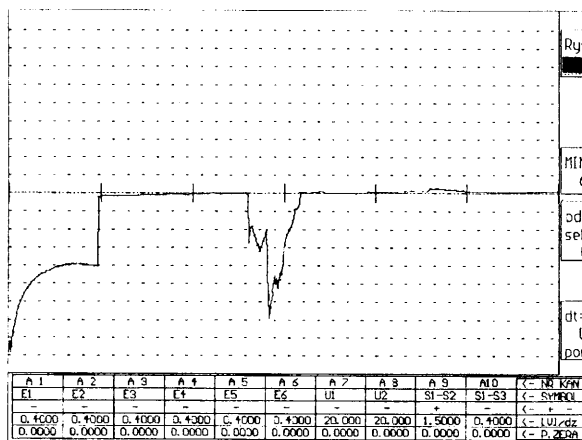
do + 1.34 V) oraz brak takich rozgałęzień przy małych wartościach U_{S1S2} (od - 1.36 do +0.07 V), co widać z rys. 7 i 8.

Rozgałęzione zależności $e = f(u)$ występują jeszcze częściej w przypadku torów kolejowych. Na rys. 9 i 10 przedstawiono odpowiednio fragment korelacji z rozgałęzieniami i odpowiadający mu przebieg napięcia $S1-S2$ między torami linii PKP leżącymi nad gazociągami, w czasie tej rejestracji zanotowano przejazd pociągu z Warszawy. Natomiast rysunki 11 i 12 ilustrują w sposób analogiczny fragment korelacji bez rozgałęzień. Zwracają uwagę szczególnie duże wartości napięcia $S1-S2$ między torami, zmieniające się od -13.26 V do +0.34 V na rys. 10 i bardzo małe wartości, od -0.08 do +0,2 V na rys. 12.

Oględziny torów na odcinku kilkuset metrów od miejsca pomiaru wykazały brak jakichkolwiek poprzecznych połączeń międzytorowych, co wyjaśnia brak wyrównania potencjałów między oboma torami i rozgałęzienia korelacji z rysunku 9.

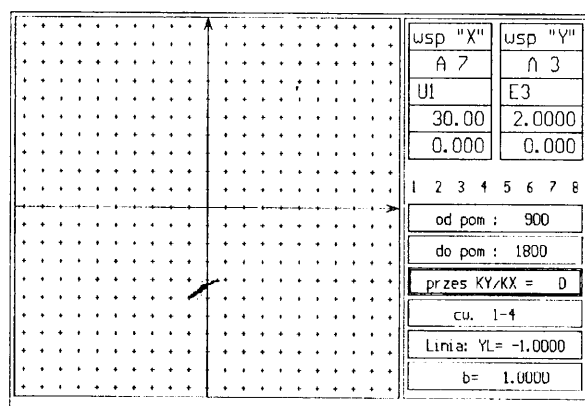


Rys. 9.
Fragment zależności $E3 = f(U1)$ podczas występowania dużych napięć $S1-S2$ między torami dla gazociągu krzyżującego się z dwutorową linią PKP.



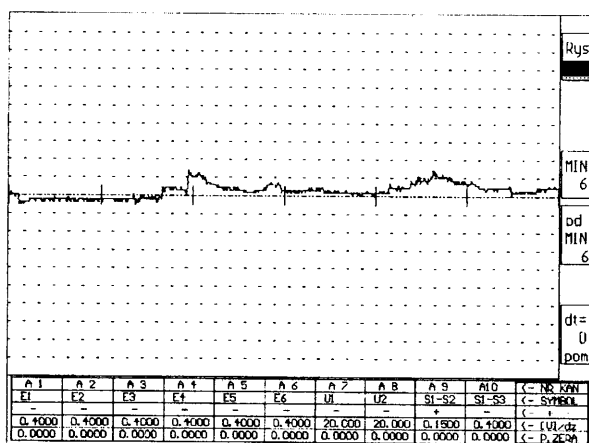
Rys. 10.
Przebiegi napięcia $S1-S2$ między torami w funkcji czasu dla okresu odpowiadającego korelacji z rys. 9.

Analizując także inne zarejestrowane wielkości ustalono, że w przypadku braku poprzecznych połączeń międzytorowych każdy tor stanowi jak gdyby oddzielne źródło prądów błędnych w okresie przejazdu pociągu pobierającego prąd z sieci jezdnej. W szynach toru z pociągiem pojawiają się bardzo duże prądy, gdy jednocześnie szyny toru sąsiedniego są słabo obciążone. Każdy tor ma nieco inną rezystancję przejścia do ziemi (jeden z torów był niedawno remontowany), co powoduje inne gradienty potencjałów i inne współczynniki K , czyli nachylenia korelacji podczas przejazdu pociągów w rejonie rejestracji, gdy wartości napięcia u są ujemne (upływ prądu z szyn). Powstają wskutek tego rozgałęzienia w lewej części obrazu korelacji $e = f(u)$. W okresie rejestracji, w którym nie ma w pobliżu pociągu i szyny stają się ujemne względem ziemi (dodatnie u), prądy powracają do szyn obu torów i to prawie równomiernie, gdyż szyny obu torów mają podobne potencjały względem ziemi i w stosunku do punktu powrotnego; w tej części obrazu korelacji rozgałęzienia stopniowo zanikają, wartości napięć rury względem obu torów stają się w przybliżeniu jednakowe.



Rys. 11.

Fragment zależności $E3 = f(U1)$ podczas występowania małych napięć S1-S2 między torami dla gazociągu jak na rys. 9.

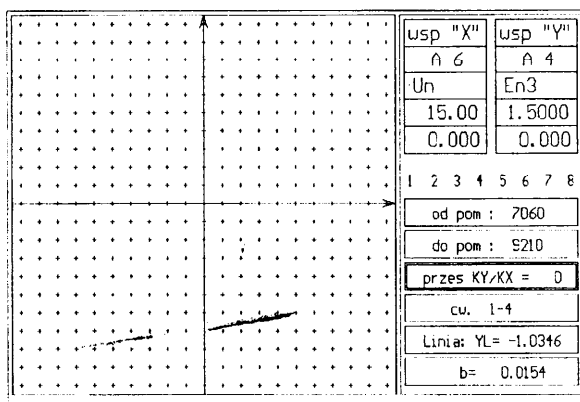


Rys. 12.

Przebiegi napięcia S1-S2 między torami w funkcji czasu dla okresu odpowiadającego korelacji z rys. 11.

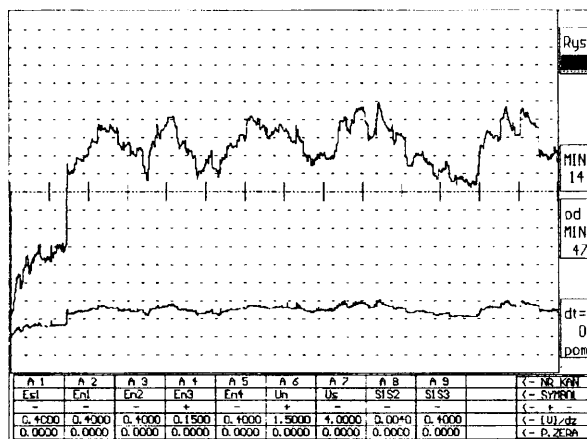
W wyniku omówionych badań można powiedzieć, że obrazy korelacji $e = f(u)$ z rozgałęzieniami sygnalizują brak lub niedostateczną ekwipotencjalizację torów, której najczęstszym powodem może być brak wypełnienia wymagań normy [11], dotyczących poprzecznych łączników szynowych.

2.2. Przerwy w obrazie korelacji $e = f(u)$.



Rys. 13.

Przykład korelacji $e = f(u)$ z przerwą otrzymany przy badaniach gazociągu krzyżującego się z linią zelektryfikowaną PKP.



Rys. 14.

Przebiegi $En3$ i Un w funkcji czasu dla okresu odpowiadającego korelacji z rys. 13.

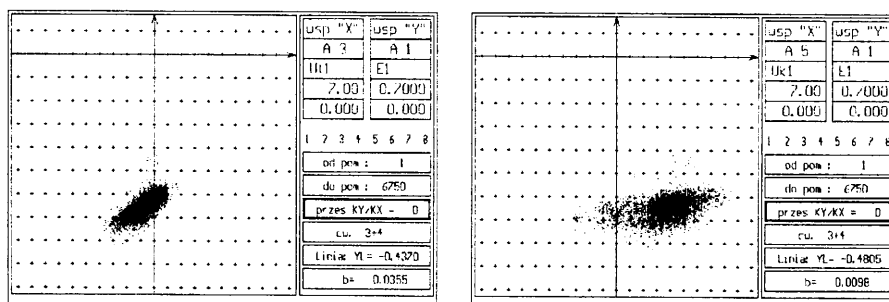
W niektórych przypadkach, zwłaszcza podczas badań PKM w pobliżu linii kolejowych o małej częstotliwości ruchu pociągów, można otrzymać korelację $e = f(u)$ z przerwą. Jako przykład może służyć zależność pokazana na rys. 13, otrzymana podczas badań gazociągu chronionego przez stację katodową przy skrzyżowaniu jego trasy z jednotorową linią PKP w Nieporęcie. Na rysunku widoczna jest przerwa w obrazie korelacji, oddzielająca jego część znajdującą się w III ćwiartce układu osi od części znajdującą się w IV ćwiartce. Przebiegi czasowe obu wielkości odpowiadające temu okresowi rejestracji podano na rys. 14. Na tym rysunku widać szybką zmianę napięcia U/n między gazociągiem i szynami z wartości ujemnej na

dodatnią, w początkowej fazie przebiegu. W tym czasie w pobliżu miejsca pomiaru przejeżdżał pociąg, którego maszynista szybkim ruchem dźwigni nastawnika wyłączył prąd, co spowodowało raptowną zmianę polaryzacji napięcia U_n . W wyniku powstała przerwa w obrazie korelacji na rys. 13.

Przerwy tego rodzaju mogą powstawać, gdy przy rejestracji spełnionych jest kilka warunków: mała częstotliwość próbkowania, nie pozwalająca na pomiar wartości pośrednich u w czasie zmiany polaryzacji (w przypadku rys. 13 i 14 pomiar był wykonywany co 0.4 s), stosunkowo krótki czas rejestracji i rzadko kursujące pociągi, co nie tworzy warunków powtórzenia się zmiany polaryzacji u .

2.3 Korelacja w przypadku oddziaływaniu prądów błędnych z dwóch źródeł.

Gdy na podziemną konstrukcję metalową działają prądy błędne z dwóch źródeł, obraz korelacji zwykle odbiega od typowego. Jest on często zbiorem punktów, w którym trudno dojrzeć ich wzajemną zależność, a jeżeli nawet taka współzależność jest dostrzegalna, to niektóre punkty jej nie spełniają i leżą poza uporządkowaną częścią zbioru. Aby ustalić, które ze źródeł ma dominujący wpływ na badaną PKM, należy rejestrować jednocześnie napięcia u względem obu tych źródeł i analizować obie otrzymane zależności $e = f(u)$.

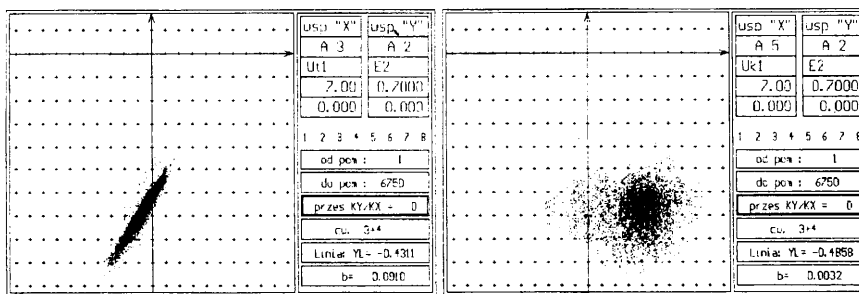


Rys. 15. Korelacje $e = f(u)$ dla ciepłociągu w strefie oddziaływania prądów błędnych linii tramwajowej i linii PKP.

$E1$ – potencjał rurociągu względem elektrody nad rurą odległej o ok. 6 m. od skrajnej szyny toru tramwajowego, $U11$ – napięcie rury względem szyn tramwajowych, $Uk1$ – napięcie rury względem szyn kolejowych.

Na rysunkach 15 i 16 przedstawiono wyniki badań ciepłociągu, którego trasa biegnie równolegle do wiaduktu linii średnicowej w Warszawie, w odległości ok. 60 m i przecina tory tramwajowe na ul. Targowej. Na ciepłociąg działają prądy błędne z obu źródeł, a ich udział jest niewątpliwie różny w różnych punktach trasy rurociągu. W przypadku elektrody odniesienia ustawionej nad rurociągiem w odległości ok. 6 m od szyny tramwajowej zależność $E1 = f(U11)$ jest bardziej rozmyta i więcej punktów leży poza jej główną częścią (rys. 15), niż w przypadku elektrody ustawionej blisko skrajnej szyny toru tramwajowego, co widać z zależności $E2 = f(U11)$ z rys. 16. W obu tych przypadkach zależności względem napięcia $Uk1$ są silnie zakłócone oddziaływaniem prądów tramwajowych. Dotyczy to zwłaszcza zależności z rys. 16, dla elektrody $E2$, znajdującej się blisko toru tramwajowego w silnym polu

tramwajowych prądów błądzących; w tym przypadku nie widać w ogóle zależności potencjału rurociągu od prądów kolejowych. Jednak z obu rysunków wynika niewątpliwie, że oddziaływanie prądów tramwajowych na ciepłociąg jest tu dominujące, lub że dominujący wpływ na obraz korelacji ma gradient potencjału szyn tramwajowych.



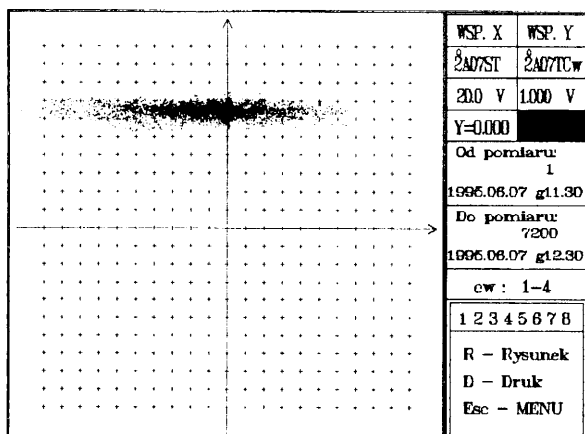
Rys. 16. Korelacje $e = f(u)$ dla ciepłociągu jak na rys. 15.

E2 – potencjał rurociągu względem elektrody nad rurą odległej o ok. 0.8 m. od skrajnej szyny toru tramwajowego, U11 – napięcie rury względem szyn tramwajowych, Uk1 – napięcie rury względem szyn kolejowych.

Drugi przypadek oddziaływania dwóch źródeł prądów błądzących dotyczy nietypowej konstrukcji podziemnej, jaką jest tunel metra (zbrojenie tego tunelu). W tym przypadku jedno ze źródeł prądów błądzących znajduje się wewnątrz PKM (tory metra), a drugie na zewnątrz (tory tramwajowe). Potencjał tunelu jest mierzony względem cynkowej elektrody odniesienia umieszczonej w ziemi na zewnątrz tunelu, tuż przy jego ścianie.

Na rysunku 17 pokazano korelację $e = f(u)$ dla tunelu metra w odniesieniu do szyn metra zarejestrowaną w czasie badań z czerwca 1995, wykonanych na stacji A07 ("Wilanowska"). Z rysunku widać, że otrzymana zależność jest płaska, takim samym wartościom e (2A07TCw) odpowiadają zupełnie inne co do wartości i znaku wielkości u (2A07ST), a wiele punktów leży poza główną częścią korelacji $e = f(u)$; nie widać zatem żadnej zależności między potencjałem tunelu względem ziemi, a napięciem szyny metra – tunel. Wartość potencjału tunel – ziemia jest dodatnia, wobec zastosowania cynkowej, zamiast siarczano – miedziowej elektrody odniesienia, używanej w dotychczas omawianych pomiarach.

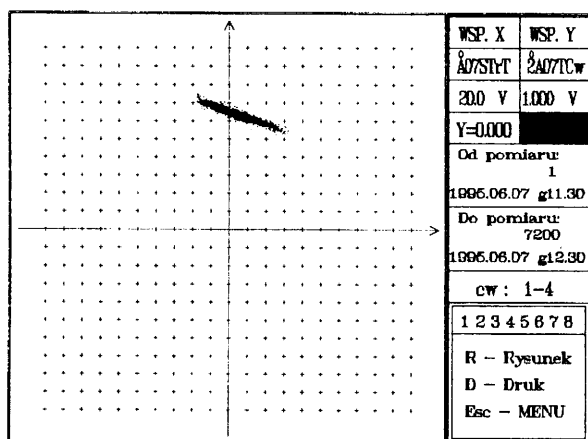
Na podstawie korelacji przedstawionych na rysunkach 17 i 18 można ocenić, że na badanym odcinku prądy tramwajowe mają dominujący wpływ na tunel metra; do tunelu wpływają przede wszystkim prądy błądzące odgałęzione z szyn tramwajowych, podczas gdy prądy odgałęzione ze znajdujących się wewnątrz tunelu szyn metra są bardzo niewielkie i praktycznie nie mają wpływu na potencjał tunelu względem cynkowej elektrody odniesienia zakopanej w ziemi. Wniosek taki potwierdziła także jednoczesna rejestracja innych wielkości, przede wszystkim spadku napięcia w zbrojeniu tunelu, a także analogiczne badania wykonane przed uruchomieniem przejazdów pociągów metra.



Rys. 17.

Zależność $2A07TCw$
 $= f(2A07ST)$ potencjału
 tunelu metra względem
 cynkowej elektrody
 odniesienia od napięcia
 między szynami metra i
 tunelem – oddziaływanie na
 tunel metra prądów
 błędnych z dwóch źródeł.

Na rys. 18 została przedstawiona korelacja $e = f(u)$ dla tego samego miejsca tunelu metra, ale w odniesieniu do szyn tramwajowych, krzyżujących się z trasą metra w pobliżu miejsca pomiaru. W tym przypadku zależność potencjału tunelu od napięcia szyny tramwajowej – tunel jest bardzo wyraźna. Przesuwanie potencjału tunelu w kierunku ujemnym zachodzi przy rosnących dodatnich napięciach szyn tramwajowych względem tunelu, a w kierunku dodatnim – przy wzrastających ujemnych u . Ujemny współczynnik kierunkowy K korelacji na rys. 18 wynika stąd, że jako u rejestrowano w tym przypadku nie napięcie konstrukcja – szyny, jak we wszystkich dotychczas opisywanych przypadkach, lecz napięcie szyny – konstrukcja, które ma odwrotną polaryzację; wynika to z innego komputerowego programu zapisywania i obróbki wyników stosowanego przy pomiarach w metrze.



Rys. 18.

Zależność $2A07TCw$
 $= f(2A07STrT)$ potencjału
 tunelu metra względem
 cynkowej elektrody
 odniesienia od napięcia
 między szynami
 tramwajowymi i tunelem –
 oddziaływanie na
 prądów błędnych z dwóch
 źródeł.

3. Podsumowanie.

Przedstawione tu, a także w [12] wyniki badań wykazały, że na podstawie zależności $e = f(u)$ można wnioskować nie tylko o stopniu zagrożenia konstrukcji przez korozję elektrolityczną i o skuteczności zastosowanej ochrony katodowej, lecz także o stanie trakcyjnej sieci powrotnej. W szczególności ustalono, że obrazy korelacji z rozgałęzieniami świadczą o występowaniu znacznych napięć między szynami obu torów, a więc o braku należytej ekwipotencjalizacji szyn, czego przyczyną jest zwykle niespełnienie wymagań normy [11] w zakresie poprzecznych łączników szynowych.

Literatura.

1. Juchniewicz R., Sokółski W.: Wybrane zagadnienia ochrony elektrochemicznej ciepłociągów. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Chemia, z. 91. 1979.
2. Juchniewicz R., Sokółski W.: Praktyczna weryfikacja nowej metody oceny zagrożenia korozyjnego wywołanego przez prądy błędzące. Ochrona przed Korozją, nr 29, 1986.
3. Sokółski W., Żakowski K.: Ocena zagrożenia korozyjnego i metody zabezpieczenia przed prądami błędzącymi metalowych konstrukcji podziemnych. Materiały z konferencji "Zabezpieczenia przeciwkorozyjne w przemyśle". Grudziądz, 23 maja 1989 r. NOT, Komitet Miejski w Grudziądzu.
4. Sokółski W.: Ocena zagrożenia korozyjnego konstrukcji podziemnych wywołanego przez prądy błędzące. Ochrona przed Korozją, nr 7, 1992.
5. Sokółski 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.
6. Sokółski W., Żakowski K.: Potencjał stacjonarny konstrukcji w strefach oddziaływania prądów błędzących. Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowo - Technicznego "Nowe osiągnięcia w badaniach i inżynierii korozyjnej". Poraj, 1995.
7. Sokółski W.: Metoda korelacyjna badania prądów błędzących - piętnaście lat doświadczeń. Materiały z IV Krajowej Konferencji "Pomiary korozyjne w ochronie elektrochemicznej". Jurata, 1996.
8. Sokółski W., Żakowski K.: Ocena efektów nieliniowych w pomiarach prądów błędzących metodą korelacyjną. Materiały z IV Krajowej Konferencji "Pomiary korozyjne w ochronie elektrochemicznej". Jurata, 1996.
10. Żakowski K., Sokółski W.: Metoda korelacyjna badania prądów błędzących. Porównanie współczynników asymetrii zmian potencjału. Ochrona przed Korozją, nr 7, 1997.
11. PN- 92/E-05024. Ochrona przed korozją. Ograniczenie upływu prądów z trakcyjnych sieci powrotnych prądu stałego.
12. Dąbrowski J., Dziuba W.: Nachylenie prostej regresji współzależności $e = f(u)$ przy badaniach prądów błędzących. Ochrona przed Korozją (w druku).