



URZĄDZENIA ODGRANICZAJĄCE PRĄDU STAŁEGO ROLA W INSTALACJACH OCHRONY KATODOWEJ

DC DECOUPLING DEVICES THEIR ROLE IN CATHODIC PROTECTION INSTALLATIONS

Wojciech Sokółski

Zakład Korozji Morskiej, Instytut Morski Gdańsk
SPZP „Corrpol” Sp. z o.o. Gdańsk

Słowa kluczowe: urządzenie odgraniczające prąd stały, odgranicznik prądu stałego, ochrona katodowa
Keywords: DC decoupling device, cathodic protection

Streszczenie

Praca stanowi przegląd zastosowań i różnych rozwiązań technicznych instalacji ochrony katodowej, w których wykorzystano odgranicznik prądu stałego celem umożliwienia współpracy z zabezpieczeniami przed wyładowaniami atmosferycznymi, przepięciami, porażeniem oraz korozją wywołaną indukowanym prądem przemiennym. Wskazano na pilną potrzebę upowszechnienia tego rozwiązania na rurociągach gazowych i naftowych, a także w instalacjach ochrony katodowej zbiorników podziemnych. Zaprezentowano podstawowe schematy elektryczne instalacji ochrony katodowej i zasilania energetycznego, gdzie zastosowane zostało takie urządzenie. Omówiono zalety odgranicznika oraz warunki jego bezpiecznej i niezawodnej eksploatacji.

Summary

The paper is a review of applications and different technical solutions of cathodic protection installations, in which a DC decoupling device has been applied to enable operation with devices protecting from atmospheric discharge, overvoltage, electrocution and corrosion caused by induced AC currents. The urgent need has been indicated of propagation of this solution on gas and oil pipelines, as well as cathodic protection installations of underground tanks. Basic schematic electric diagrams have been presented of cathodic protection installations and power sources where such devices have been applied. Advantages of DC decoupling devices have been described and conditions of safe and reliable operation.

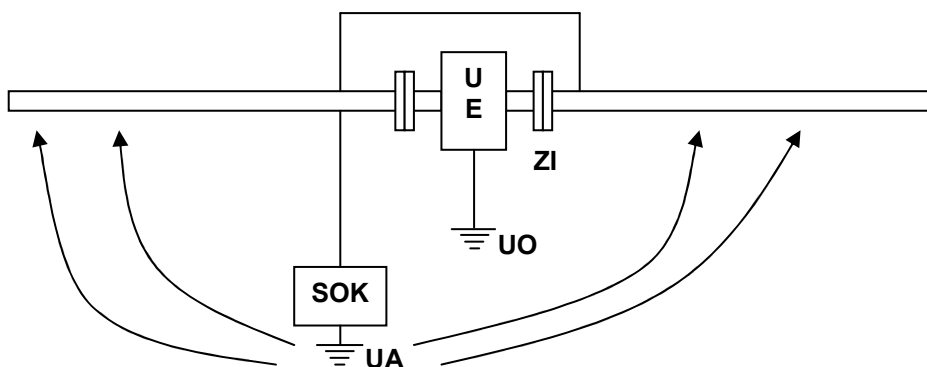
Wprowadzenie

W instalacjach ochrony katodowej, technice wykorzystującej stały prąd elektryczny do przeciwdziałania korozji metalowych konstrukcji podziemnych i podwodnych, nieodzowne stało się w wielu sytuacjach oddzielenie prądu stałego ochrony katodowej od prądu przemiennego - powszechnie stosowanego w urządzeniach elektrycznych, dla którego ze względów bezpieczeństwa wykorzystuje się ziemię jako ścieżkę powrotną dla wszelkiego rodzaju prądów upływu i prądów zwarciovych. Rozdzielenie obu obwodów nie jest możliwe, jeśli chroniona przed korozją powierzchnia metalowa musi być jednocześnie uziemiona ze względów bezpieczeństwa elektrycznego, co powoduje, że stały prąd ochrony katodowej wpływa nie do chronionego obiektu a do systemu uziemień - przy okazji chroniąc je przed korozją. Uziemienia posiadają znacznie niższą rezystancję przejścia do ziemi niż pokryta zazwyczaj powłokami ochronnymi metalowa konstrukcja podziemna czy podwodna poddawana ochronie katodowej. W końcowym efekcie, pomimo przepływu prądu ochrony katodowej, stały prąd w niewielkim stopniu dociera do zabezpieczanej powierzchni, zaś obwód prądu stałego zamyka się w znaczącej mierze przez uziemienia ochronne. Są także i inne przypadki, kiedy obiekt jest skutecznie zabezpieczony przed korozją za pomocą ochrony katodowej, jednak po podłączeniu go do sieci zasilającej i systemu uziemień, efekt tej ochrony jest niweczony (np. na metalowych jachtach posiadających ochronę katodową kadłubów stalowych).

Pierwsze znaczące kłopoty wynikające z powyższej sytuacji pojawiły się na magistralnych gazociągach, dla których stosowanie ochrony katodowej jest obligatoryjne. Urządzenia elektryczne podłączane do rurociągów, głównie w tłoczniach gazu, takie jak pompy, zasuw, aparatura AKP, z konieczności są uziemione i jednocześnie zwarte elektrycznie z rurociągami, co oczywiście zazwyczaj niweczy możliwość skutecznej ochrony katodowej gazociągu. Z elektrochemicznego punktu widzenia sytuacja ta nie jest dramatyczna jeśli do uziemienia używa się nowej, pokrytej odpowiednio grubą warstwą cynku bednarki stalowej. Odwrotnie, warstwa cynku na powierzchni stali, mając w stosunku do niej oraz połączonych z nią innych powierzchni stalowych charakter anodowy, chroni je przed korozją mechanizmem ochrony katodowej. W takiej sytuacji także przepływ zewnętrznego prądu ochrony katodowej tą drogą jest znacząco ograniczony. Ale w sytuacji, gdy bednarka jest już stara, lub gdy uziemienie wykonane jest z materiałów bardziej szlachetnych od stali, np. miedzi, uziemienie to może całkowicie uniemożliwić uzyskanie w sposób ekonomiczny efektu ochronnego na zabezpieczanym obiekcie. Sytuacja jest jeszcze bardziej skomplikowana jeśli w charakterze uziomów zastosuje się zbrojenie fundamentów żelbetowych.

Problem rozwiązano poprzez oddzielenie galwaniczne fragmentów rurociągu, na których są urządzenia elektryczne, od części liniowej gazociągu za pomocą złączy izolacyjnych. Ciągłość elektryczna rurociągu zostaje przerwana. Ochrona katodowa obejmuje wtedy część liniową rurociągów, pozostawiając części wydzielone złączami nie chronione lub chronione odrębnymi instalacjami dostosowanymi do jednoczesnej ochrony uziemień energetycznych. Na rys. 1 przedstawiony jest schemat instalacji ochrony katodowej rurociągu z wydzieloną za pomocą złączy izolujących częścią zawierającą uziemione urządzenia elektryczne. Koszt złączy izolujących jest niestety znaczny i jest on tym większy, im większa jest średnica rurociągu. Również nieoptymalna jest ochrona katodowa rejonu tłoczni, gdzie znaczna część prądu ochrony katodowej z konieczności przepływa przez uziemienia.

Podobne zagadnienie współdziałania systemów ochrony katodowej z obiektami uziemionymi występuje w części liniowej rurociągów, które powinny być uziemiane ze względów bezpieczeństwa w strefach oddziaływania linii wysokiego napięcia. Tu niestety trzeba stosować inne rozwiązania niż elektryczne rozdzielenie rurociągu.



Rys.1. Schemat ochrony katodowej części liniowej rurociągu z uziemioną częścią obiektu wydzieloną za pomocą złączy izolujących: UE – urządzenie elektryczne, UO – uziemienie ochronne, ZI – złącze izolujące, SOK – stacja ochrony katodowej, UA – uziom anodowy

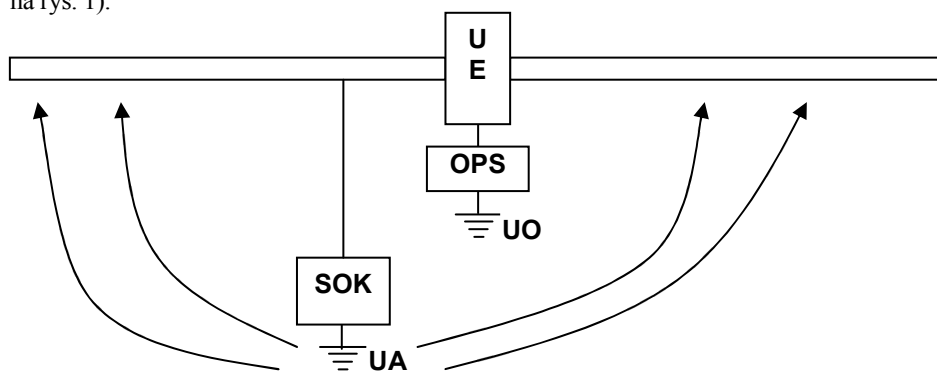
Przedstawione zagadnienie konieczności zapewnienia współpracy ochrony katodowej i innych ochron elektrycznych na tym samym obiekcie (nazywane także ochroną skojarzoną) stało się znacznie bardziej uciążliwe po wprowadzeniu nowych jakościowo powłok ochronnych na rurociągach podziemnych. Dobrze oddzielone i odizolowane od ziemi rurociągi stalowe przestają być elementami obwodów ziemnowrotnych w klasycznym znaczeniu. Aby ich eksploatacja była bezpieczna dla obsługi i jednocześnie możliwe byłoby zastosowanie ochrony katodowej we wszystkich miejscach defektów w powłoce izolacyjnej na rurociągu stosuje się jego „uziemianie” za pomocą anod galwanicznych oraz sond pomiarowych z próbkami stalowymi, stale połączonymi z chronionym rurociągiem. Zabiegi te nie są dobrze widziane przez służby zajmujące się ochroną katodową, ponieważ wprowadzają do systemu ochronnego nowe elementy i utrudniają interpretację wyników oceny skuteczności ochrony katodowej z zewnętrznego źródła prądu.

Prace nad ekonomicznym rozwiązaniem opisanych wyżej problemów rozpoczęto ponad 20 lat temu w Stanach Zjednoczonych. Tam też największe są doświadczenia zebrane w tym zakresie oraz wdrożone rozwiązania w skali przemysłowej. Niektóre z nich przenieszone są obecnie do Unii Europejskiej. Także w Polsce problem znany jest od szeregu lat i jest również obecnie przedmiotem różnych studiów i rozwiązań technicznych [1,2].

Urządzenie odgraniczające prąd stałego – odgranicznik prądu stałego

Jednym ze sposobów rozwiązania trudności, o których wspomniano wyżej, jest zastosowanie urządzenia, które włączone w obwód uziemienia nie zezwoli na przepływ prądu stałego przy niskich napięciach, typowych dla reakcji elektrochemicznych i spadków napięć występujących w systemach ochrony katodowej, a jednocześnie zapewni spełnienie wszystkich wymagań bezpieczeństwa (zabezpieczenia przed wyładowaniami atmosferycznymi i przepięciami, zabezpieczenia przeciwporażeniowego i odprowadzanie ładunków elektrostatycznych) obsługi chronionego obiektu przez personel. W literaturze anglosaskiej na określenie takiego urządzenia używa się terminu „d.c. decoupling device” lub „d.c. decoupler”, zaś w Polsce powoli uciera się termin „urządzenie odgraniczające prąd stałego” lub prościej „odgranicznik prądu stałego”, zaproponowany przez uznanego znawcę nazewnictwa elektrycznego dr inż. E. Musiałę z Politechniki Gdańskiej [3]. Nazwa ta znalazła

również uznanie w gronie specjalistów Polskiego Komitetu Elektrochemicznej Ochrony przed Korozją SEP. Sposób włączenia ogranicznika prądu stałego przedstawiono na rys. 2. Z punktu widzenia ochrony katodowej pomiędzy rurociągiem (lub zainstalowanym na nim urządzeniem elektrycznym) a uziemieniem ochronnym nie przepływa prąd stały, więc rozkład prądu na chronionej konstrukcji jest analogiczny jak w poprzednim przypadku (jak na rys. 1).



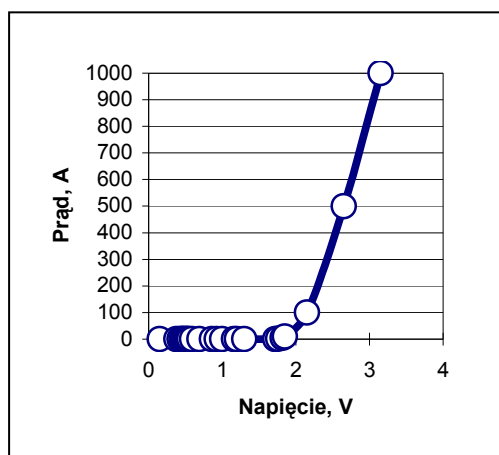
Rys.2. Schemat ochrony katodowej części liniowej rurociągu z uziemioną częścią obiektu poprzez odgarnicznik prądu stałego: UE – urządzenie elektryczne, UO – uziemienie ochronne, OPS – odgarnicznik prądu stałego, SOK – stacja ochrony katodowej, UA – uziom anodowy

Ogniwo polaryzacyjne – elektrochemiczny odgarnicznik prądu stałego

Jednym z pierwszych urządzeń odgarniczających prąd stałego było tzw. ogniwo polaryzacyjne Kirk'a. Działa ono jak „przełącznik elektrolityczny” blokując przepływ prądu stałego o napięciu w zakresie wykorzystywanym w ochronie katodowej (do ok. 1 V napięcia stałego) jednocześnie zapewniając natychmiastowe bocznikowanie wszystkich napięć niebezpiecznych do ziemi [4]. Ogniwo zbudowane jest z szeregu par płytek niklowych (później zaczęto stosować stal odporną na korozję) zanurzonych w 30% roztworze wodorotlenku potasu. Dzięki zjawisku polaryzacji elektrochemicznej, przy niewielkiej zewnętrznej sile elektromotorycznej, płynący prąd stały jest o kilka rzędów wielkości mniejszy od prądu przemiennego, lecz przy przyłożeniu zewnętrznego napięcia większego od progowego (elektrochemiczny rozkład wody), oporność ogniwa gwałtownie maleje i może ono przenieść olbrzymie prądy. Ogniwo Kirk'a K-50 przenosi obciążenie udarowe 50 kA w ciągu ½ sekundy oraz trwały przepływ prądu przemiennego o natężeniu 100 A. Jednocześnie przy napięciu stałym 0,15 V płynie prąd o natężeniu zaledwie 100 μ A! Na rys. 3 pokazana jest jedna gałąź charakterystyki ogniwa oraz jego wygląd zewnętrzny.

Niestety wadą tego rozwiązania jest konstrukcja mechaniczna i rozmiary geometryczne ogniwa: obudowa szklana, wewnątrz elektrolit. Konieczna jest zatem obsługa tego urządzenia, uzupełnianie elektrolitu, obserwacja ewentualnych uszkodzeń elektrod wewnątrz ogniwa. Urządzenie montuje się w specjalnej obudowie z blachy stalowej i bezpośrednio włącza się w linię uziemiającą.

Ogniwa polaryzacyjne znacznie lepiej niż iskierniki spełniają swoją rolę separującą w wielu zastosowaniach. Zapewnione jest w niewielkim przedziale napięć stałych pewnego rodzaju oddzielenie galwaniczne pomiędzy dwoma elementami przy jednoczesnym zachowaniu niskoomowej ścieżki dla prądu przemiennego. Z tego powodu ogniwo polaryzacyjne może być efektywnie używane w uziemieniach ochronnych.



Rys. 3. Charakterystyka napięciowo-prądowa ogniwa polaryzacyjnego Kirk'a i jego wygląd

Dzięki wyżej opisanym cechom przy wykorzystaniu ogniwa możliwe jest wspólne łączenie uzemień z bednarki ze stali ocynkowanej do uzemień miedzianych bez obawy, że utworzą ze sobą ogniwo galwaniczne, a także łączenie ich z konstrukcjami takimi jak rurociągi czy zbiorniki stalowe również z przekonaniem, że nie spowoduje to szkodliwego uszkodzenia korozyjnego na obiektach stalowych. Mało tego, zastosowana ochrona katodowa takiego obiektu również nie będzie zagrożona utratą części prądu ochronnego płynącego do takiego systemu uzemień. Ponadto ogniwa polaryzacyjne mogą być w zależności od potrzeb łączone szeregowo lub równoległe, co stwarza możliwość szeregu dalszych zastosowań technicznych.

Niezaprzeczalne korzyści dla systemów ochrony katodowej, jakie wynikają z możliwości wykorzystania ogniwa polaryzacyjnego do oddzielenia od siebie elementów w ziemi przeznaczonych i nie przeznaczonych do ochrony katodowej, z jednoczesną gwarancją, że nie wystąpią pomiędzy nimi niebezpieczne napięcia w wyniku zwarć, uszkodzeń linii energetycznych lub wyładowań atmosferycznych, zapoczątkowały dalsze prace nad ulepszeniem tego rozwiązania i stworzeniu urządzenia nie posiadającego wad omawianego ogniwa Kirk'a. Ogniwa polaryzacyjne produkuje kilka firm [4,5], niestety obecne przepisy uniemożliwiają wykonanie ich samodzielnie i stosowanie bez stosownych certyfikatów.

Monolityczny odgranicznik prądu stałego

Kolejny krok w rozwoju urządzeń odgraniczających prąd stały zrobiony został zaledwie kilka lat temu. Pojawiła się cała rodzina urządzeń, którą w języku angielskim nazwano „solid-state AC conducting / DC blocking devices” lub inaczej „AC Grounding and DC Isolation”. Urządzenia te mają konstrukcję kompaktową i zapewniają jednocześnie skuteczne zabezpieczenie przed prądami zwarciowymi i prądami wyładowań atmosferycznych (do 100 kA). Blokują także przepływ prądu stałego jeszcze skuteczniej niż ogniwa polaryzacyjne. Impedancja dla prądu przemiennego jest rzędu 12 mΩ. Szereg nowych możliwych zastosowań tych urządzeń w instalacjach ochrony katodowej spowodował, że rozpoczęto produkcję ich w kilku odmianach [6,7]:

Isolator/Surge Protector (ISP) – który posiada stosunkowo wysoki próg blokowania przepływu prądu stałego (10 – 17 V) przy jednocześnie dużym prądzie udarowym oraz możliwością trwałego przepływu prądu przemiennego. Urządzenie znalazło zastosowanie do uziemiania chronionych katodowo przewodzących osłon i rurociągów osłaniających kable, do zabezpieczania złączy izolacyjnych na rurociągach, odprowadzania z rurociągów indukowanych prądów z linii wysokiego napięcia.

Polarization Cell Replacement (PCR) – monolityczny zamiennik ogniwa polaryzacyjnego, urządzenie uniwersalne, przeznaczone do oddzielania systemów uziemień i zastosowań wymienionych wyżej dla ISP.

Galvanic Isolator (GI) – zapewnia izolację dla prądu stałego w zakresie napięć typowym dla ogniw galwanicznych i jednocześnie stanowi efektywną ścieżkę uziemiającą.

Oczywiste zalety monolitycznego odgranicznika prądu stałego (MOPS) w powyższych wykonaniach powoduje, że staje się on przedmiotem szerszego zainteresowania w różnych zastosowaniach ochrony katodowej. Wykonuje się je z charakterystyką symetryczną oraz asymetryczną. Ta druga powoduje, że płynący przez urządzenie prąd przemienny ulega częściowo wyprostowaniu, a stały prąd elektryczny wywołuje efekt ochrony katodowej. Produkcja MOPS-ów, z wykorzystaniem złączy półprzewodnikowych, zapewne nie jest prosta skoro osiągają na rynku jeszcze stosunkowo wysokie ceny. W Polsce do programu swojej oferty handlowej odgraniczniki prądu stałego włączyła firma SPZP „Corropol” z Gdańska.

Przepisy elektryczne

W Stanach Zjednoczonych urządzenia ograniczające przepływ prądu stałego znajdują się w spisie urządzeń dopuszczonych do stosowania jako „spełniających wymagania efektywnej ścieżki uziemiającej” przewidzianej w przepisach NFPA 70 Section 250-2(d) [8]. Przepisy te zezwalają ponadto na stosowanie omawianych urządzeń w celu „blokowania przepływu niepożądanego prądu stałego z systemów ochrony katodowej”. O tym, że mowa o rozwiązaniach nowych niech świadczy fakt, że przepis ten wprowadzony został w roku 1999. W oryginale brzmi on następująco:

"Where isolation of objectionable dc ground currents from cathodic protection systems is required, a listed ac coupling/dc isolating device shall be permitted in the equipment grounding path to provide an effective return path for ac ground fault current while blocking dc current..."

W Kanadzie omawiane urządzenia muszą być certyfikowane na „spełnianie wymagania efektywnej ścieżki uziemiającej”.

Należy oczekiwać, że takie uregulowanie powinno być także przyjęte w Unii Europejskiej. Wg posiadanej wiedzy urządzenia powinny spełniać wymagania bezpieczeństwa zgodnie z normami EN 60529 i EN 332000-4-41 oraz przejść badania wg EN 61000-4-4, EN 61000-4-5 i EN 61000-4-2.

W Polsce obowiązuje Rozporządzenie Ministra Przemysłu z dnia 8.10.1990 w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać urządzenia elektroenergetyczne w zakresie ochrony przeciwporażeniowej. Aktualne są jeszcze normy arkuszowe PN-89/E-05003 dot. ochrony odgromowej oraz PN-86/E-05009 dot. ochrony przeciwporażeniowej. W najbliższym czasie zostaną one zastąpione Normami Europejskimi.

Na podstawie doświadczeń praktycznych można założyć, że odgranicznik prądu stałego będzie spełniał wszystkie wymagania elektryczne, jeśli uznanymi metodami pomiarowymi, które stosuje się powszechnie do oceny poprawności zabezpieczeń elektrycznych, wykaże się ich prawidłowe funkcjonowanie z włączonym w obwódzie odgranicznikiem. Badania takie zostały wykonane.

Przepisy ochrony katodowej

Definicja urządzenia odgraniczającego prąd stały wg EN 12954:2001 [9] brzmi: „Element ochronny przewodzący po przekroczeniu określonego progu napięcia. Uwaga: Niektóre z takich urządzeń pozwalają na przepływ prądu przemiennego do systemów uziemień. Przykładami tego rodzaju urządzeń są: ogniwa polaryzacyjne, iskierniki, układy diodowe”.

Analogiczna definicja wg NACE International Corrosion Society (Międzynarodowego Towarzystwa Korozyjnego): DC DECOUPLING DEVICE: „Urządzenie używane w obwodach elektrycznych, które umożliwia przepływ prądu przemiennego i zatrzymuje lub istotnie redukuje przepływ prądu stałego.”

Odpowiednie nazwy oryginalne w językach obcych brzmią: d.c. decoupling device, dispositif de découplage pour courant continu, Abgrenzeinheit (Gleichstrom). Polski Komitet Elektrochemicznej Ochrony przed Korozją przy Zarządzie Głównym SEP przyjął jako nazwę polską termin: urządzenie odgraniczające prądu stałego lub prościej odgranicznik prądu stałego. Lepsza też byłaby definicja „element ochronny nie przewodzący prądu stałego poniżej określonego progu napięcia”, która w pełniejszym stopniu oddaje sens wykorzystania odgranicznika w instalacjach ochrony katodowej.

Odgranicznik prądu stałego przywołany jest w Europejskiej Normie EN 12954:2001 (pkt.7.8) oraz normie prEN 13636 [10] (7.2.4) jako sposób umożliwiający elektryczne oddzielenie chronionego katodowo obiektu wyposażonego w urządzenia elektryczne od głównego systemu uziemień. Wymieniony jest obok takich zabiegów jak: użycie wyposażenia elektrycznego w klasie izolacji II lub III (wg EN 61140), instalacji bezpiecznika różnicowo-prądowego, ewentualnie w połączeniu z lokalnym uziomem, zastosowania transformatorów separujących, odizolowania elektrycznych urządzeń elektrycznych od chronionego katodowo obiektu. Obiekt chroniony katodowo nie może być podłączony bezpośrednio do instalacji odgromowej ani do urządzeń połączonych z taką instalacją. Jeśli zatem istnieje wymóg, aby chroniony obiekt posiadał zabezpieczenia odgromowe (a jest tak w przypadku napowietrznych urządzeń gazowniczych) konieczne jest zastosowanie iskiernika lub odgranicznika prądu stałego przystosowanego do takich warunków pracy.

Zastosowania techniczne

W zależności od uzgodnień z dystrybutorem energii na danym terenie dopuszczone są w USA zastosowania odgraniczników prądu stałego (PCR) w celu oddzielenia chronionego obiektu od głównego systemu uziemień wg następujących dwóch głównych schematów:

- a) odseparowanie pojedynczego obiektu od uziemienia jego obudowy chronionej katodowo (w układach TT i IT sieci i instalacji niskiego napięcia) – włączenie odgranicznika prądu stałego nie wymaga zgody dystrybutora energii elektrycznej.
- b) odseparowanie wszystkich uziemianych obiektów od uziemienia transformatora zasilającego po stronie pierwotnej (w układach TN-S sieci i instalacji niskiego napięcia) – włączenie odgranicznika prądu stałego wymaga zgody i montażu przez służby dystrybutora energii elektrycznej.

Przykładem pierwszego zastosowania jest ochrona katodowa korpusu elektrycznej zasuwki na rurociągu, drugiego zaś separacja uziemień układów zasilania cumowanych do nabrzeża jednostek pływających. Gdyby w tym drugim, dość szeroko stosowanym przypadku nie zastosowano takiego rozwiązania – systemy ochrony katodowej stalowych kadłubów jachtów (zazwyczaj realizowanej za pomocą anod galwanicznych) stojących przy brzegu i korzystających z zasilania w energię elektryczną z łądu nie chroniłyby pomalowanych kadłubów a stalowe elementy i wyposażenie nabrzeży portowych.



Rys. 4. Uniwersalny ogranicznik prądu stałego typu PCR (USA) [6] użyty w obu przykładowych zastosowaniach dopuszczonych przez przepisy elektryczne USA i Kanady

Podsumowanie

Odgranicznik prądu stałego, a w zasadzie jego monolityczna wersja, jest nowym elementem związanym z instalacją ochrony katodowej obiektów podziemnych, dotychczas stosowanym w większej skali technicznej. Udostępnienie na polskim rynku tego urządzenia powinno przyczynić się do jego szerszego wykorzystania w sytuacjach, gdzie – jak wykazała praktyka – nie ma innych możliwości realizacji optymalnego systemu ochrony katodowej przy pełnym poszanowaniu wymagań związanych z bezpieczeństwem elektrycznym.

Przykłady zastosowań tego rodzaju urządzeń w wielu krajach, gdzie stosowane są w różnorodny sposób sformułowane przepisy elektryczne dotyczące bezpieczeństwa eksploatacji obiektów, rokuje nadzieję, że również w Polsce odgranicznik prądu stałego znajdzie swoje trwałe miejsce jako skuteczny i efektywny sposób zapewniający współdziałanie systemów ochrony katodowej razem z systemami zabezpieczeń elektrycznych.

Literatura

1. M. Markiewicz: *Koordinacja ochrony katodowej z ochroną odgromową i przeciwporażeniową na stacjach gazowych*, Nafta-Gaz, Nr 4/2000.
2. M. Markiewicz: *Koordinacja ochrony katodowej podziemnych rurociągów i zbiorników z ochroną przeciwporażeniową i ochroną odgromową*, *Ochrona przed Korozją* – wydanie specjalne, Materiały VII Ogólnopolskiej Konferencji KOROZJA 2002, czerwiec Kraków 2002.
3. E. Musiał: *Nazewnictwo-dyskusja*, BIULETYN Polskiego Komitetu Elektrochemicznej Ochrony przed Korozją, str. 1/3/47.
4. Katalog firmy “Kirk Engineering Co., Inc.”, USA.
5. Katalog firmy “Rustrol”, Kanada.
6. Katalog firmy “Dairyland Electrical Industries”, USA.
7. Katalog firmy “Petroplan”, Szwajcaria.
8. H. N. Tachick: *Electrical Isolation Method Improves Cathodic Protection*, *Materials Protection*, August 1997.
9. EN 12954:2001 Ochrona katodowa zakopanych i zanurzonych konstrukcji metalowych – ogólne zasady i zastosowania dla rurociągów.
10. prEN 13636 „Ochrona katodowa zakopanych zbiorników metalowych oraz związanych z nimi rurociągów”.