



Aleksander Gul*, Tomasz Komalski*

WSPÓŁPRACA OGRANICZNIKA PRZEPIĘĆ Z ŁĄCZNIKIEM PRÓŻNIOWYM, PRZEGLĄD NOWOCZESNYCH ROZWIĄZAŃ OGRANICZNIKÓW PRZEPIĘĆ ZnO

Streszczenie: Współczesne urządzenia elektryczne są narażone na wszelkiego rodzaju przebiecia, które powodują osłabienie lub wręcz uszkodzenie ich izolacji. W celu ochrony przed przebieciami stosuje się wiele metod z których najpewniejszą jest wykorzystanie ograniczników przebiegów ZnO. Jako przykład skuteczności tej ochrony, przedstawione zostaną wyniki badań dokonanych na łącznikach próżniowych w warunkach rzeczywistych obwodów tj. sieci przemysłowej 6 kV (Petrochemia Płock) i 15 kV (SZE) oraz wyniki badań laboratoryjnych, obrazujących zasadę działania ogranicznika przebiegów. W pierwszej części zawarte są rozważania nt. przebiegów towarzyszących zapłonowi wielokrotnym w komorach próżniowych, a następnie na bazie rozwiązań ABB pokazane zostały nowoczesne ograniczniki ZnO, podstawy ich doboru i zastosowania.

1. Wstęp

Po rozpoczęciu produkcji wyłączników próżniowych w Polsce (koniec lat 80-tych) nasiliła się dyskusja, dotycząca generowania przebiegów przez wyłączniki próżniowe. Podczas tej dyskusji nie rozważono tego problemu osobno dla styczników i wyłączników próżniowych. Często katastroficzne wizje, które dotyczyły poziomu przebiegów przypisywano technologii próżni w ogóle. Wobec zaistniałej sytuacji sensowne było przeprowadzenie odpowiednich eksperymentów i to najlepiej w obwodach laboratoryjnych jak i w rzeczywistych sieciach średnich napięć. Zaprezentowane w tym artykule

* ABB Elwy Ltd., ul. Aleksandrowska 67/93, 91-224 Łódź

przykłady badań, wpłynęły na uspokojenie sytuacji wielu przeciwników stosowania wyłączników próżniowych, obecnie eksploatuje te urządzenia zarówno w sieciach przemysłowych jak i rozdzielczych. Problem generowanych przepięć w tym i zapłonów wielokrotnych należy rozpatrywać osobno w przypadku styczników oraz wyłączników próżniowych, zwłaszcza w odniesieniu do sieci przemysłowych 6 kV. Trzeba tu również brać pod uwagę postęp technologiczno-konstrukcyjny w obszarze komór próżniowych a nawet procedurę próby wyrobu wyłączników czy styczników.

2. Przepięcia łączeniowe łączników próżniowych w aspekcie zapłonów wielokrotnych wczesnych oraz późnych

2.1. Przepięcia łączeniowe zarejestrowane w obwodzie laboratoryjnym

W 1992 roku w laboratorium Instytutu Elektrotechniki w Warszawie wykonano serię łączy prądu magnesowania transformatorów wieloprądowych-jednofazowych o mocy 10 MVA każdy, przy pomocy wyłącznika próżniowego 24 kV [1]. Silnie odkształcony prąd biegu jałowego transformatorów jednofazowych (patrz rysunek 1) wynikał z nieskompensowania nieparzystych harmonicznych prądu, co ma miejsce w przypadku oddzielnych rdzeni, współpracujących z uzwojeniami poszczególnych faz. Tak silnie odkształcony prąd był podatny na zrywanie przed osiągnięciem naturalnego zera. Zerwanie prądu o wartości skutecznej $3\div 4$ A nie stanowiło zaskoczenia, gdyż wartość taką podaje wielu producentów wyłączników próżniowych. Seria zapłonów wielokrotnych nie trwała dłużej niż 1,0 ms, czyli zapłony kończyły się przy odległości styków ok. 1,0 mm! W miarę oddalania się styków zapłony występowały przy coraz wyższych napięciach i można nawet tu zauważyć coś w rodzaju obwiedni zapłonów. Rozważony przypadek przedstawia maksymalne przepięcie o wartości 43,5 kV, jakie wystąpiło w obwodzie przy wielokrotnym łączeniu biegu jałowego wspomnianego transformatora (przeprowadzono ok. 80 łączy). Bardzo szczególny przypadek zapłonów wielokrotnych pokazano na rysunku 2. W fazie A rozejście się styków w komorze próżniowej nastąpiło dokładnie w zerze prądu (wart. skuteczna prądu ok. 15 A, natomiast rozejścia się styków w fazie B i C było opóźnione o ok. 0,5 ms (ok. 0,5 mm różnicy w położeniu styków). Dlatego wspomniany prąd był przerywany przez dwie komory „połączone na moment szeregowo” i został zerwany przy wartości: ~ 10 A. Po zerwaniu tego prądu powstały zapłony wielokrotne w komorach próżniowych i w fazie B zmierzono największe przepięcie spośród rejestrowanych w całej serii prób. Amplituda tego przepięcia wynosiła: 51,8 kV. Przy tak specyficznym obwodzie powstała doskonała okazja aby sprawdzić działanie ograniczników przepięć ZnO. Na rysunku 3 pokazano zadziałanie tych ograniczników, po ucięciu prądu biegu jałowego transformatora wieloprądowego (porównaj z rysunkiem 1). Wyraźnie tu widać że prąd zaczął płynąć przez ograniczniki przepięć nie ze względu na przekroczenie poziomu ochrony U_p ogranicznika, a ze względu na powtarzające się impulsy napięciowe o stos. stromych zboczach, w postaci zapłonów wielokrotnych w komorach próżniowych. Przed pobudzeniem ogranicznika przepięć ZnO przewodzi niewielki prąd (rzędu mA) pojemnościowo-rezystancyjnym. Należy tu podkreślić w rezultacie zadzia-

łania ograniczników prawie trzykrotnie zmalał współczynnik generowanych przepięć (porównaj rysunki 1, 2, 3).

2.2. Przepięcia w sieci rzeczywistej miejskiej 15 kV

W centrum Warszawy przeprowadzono badania porównawcze, których celem było stwierdzenie różnicy w poziomie generowanych przepięć w przypadku wyłącznika próżniowego i z SF₆. Pomiarzy dotyczyły tej samej celki rozdzielni i dla tych aparatów zrealizowano tę samą liczbę łączy. W sumie wykonano kilkaset operacji łączeniowych przy następujących obciążeniach: bieg jałowy kabla 800 m (patrz rysunek 4), obciążenie kabla 800 m prądami biegu jałowego transformatorów, zainstalowanych w RSM Emilii Plater, zwarcie jednofazowe metaliczne i łukowe na końcu kabla 100 m w przypadkach: uziemienia punktu neutralnego sieci przez rezystor R oraz dławik L . Po wykonaniu analizy badań okazało się, że praktycznie nie stwierdzono różnicy w poziomie generowanych przepięć przez wyłącznik próżniowy czy SF₆. Największe „przepięcie” pokazano na rysunku 5 i jego amplituda wynosiła: 19,2 kV, co odpowiada współczynnikowi $k_u = 1,52$. Przebieg pokazany na rysunku 5 zarejestrowano po wyłączeniu biegu jałowego kabla 800 m i natychmiastowym jego przyłączeniu do szyn A2. Przepięcie związane było z załączaniem wspomnianego kabla. Pozostałe przypadki łączy przebiegały praktycznie bezprzepięciowo. Należy tu zauważyć, że ograniczniki przepięć ZnO podczas prób ani razu nie zadziałały, co było naturalnie związane z bardzo niskim poziomem przepięć, generowanych zarówno przez wyłącznik próżniowy jak i z SF₆. Na marginesie tych prób warto dodać, że w 1993 roku przeprowadzono w obwodzie potrzeb własnych (pompa wodna) Elektrowni Bełchatów — 20% produkcji energii elektrycznej w Polsce — badania porównawcze między wyłącznikiem próżniowym 12 kV a małaolejowym, w przypadku silników różnej mocy (od 800 do 1500 kW) oraz względnie krótkiego kabla, czyli: 30 oraz 800 m (3). Stwierdzono absolutnie porównywalny poziom generowanych przepięć w przypadku wyłącznika próżniowego i małaolejowego. Łączenia dotyczyły prądu biegu jałowego silników 6 kV, oraz ich rozruchu przerywowego. W przypadku wyłącznika próżniowego maksymalny współczynnik przepięć wynosił: $k_u = 3,83$ i po zastosowaniu ograniczników przepięć ZnO, współczynniki przepięć nie przekraczały wartości: $k_u = 2,50$.

2.3. Zapłony późne w komorach stycznika próżniowego zarejestrowane w obwodzie baterii kondensatorowej 6 kV

Na zlecenie Petrochemii Płockiej grupa specjalistów Instytutu Energetyki w Warszawie wykonała w obwodzie baterii kondensatorowych równoległych [5] o pojemnościach: $C_s = 1500$ kV Ar (patrz rysunek 6) $C_{rl} = 1200$ kV Ar; $C_{rl} = 900$ kV Ar próby łączeniowe przy zastosowaniu wyłącznika próżniowego WB oraz styczników próżniowych S1 i S2. Kilkadziesiąt łączy dokonanych przy pomocy wyłączników próżniowych przebiegało praktycznie bez przepięć łączeniowych. Jedynie przy załączaniu zespołu baterii (patrz rysunek 7) stwierdzono przepięcia o wsp. $k_u = 1,5$ (teoretycznie możliwe przepięcie o $k_u = 1,8$) i przepięcie to wynikało z właściwości obwodu, a nie cech wyłącznika. Górny przebieg odnosi się do napięcia na

szynach 6 kV; środkowy to przebieg prądu a dolny przedstawia napięcia na zespolone baterii kondensatorowych. Zdecydowanie przebiegały łączenia członów regulacyjnych *CrI* oraz *CrII* baterii przy pomocy styczników próżniowych. Stwierdzono (nie w przyp. wszystkich aparatów) fakt występowania zapłonów późnych np. po ok. 13 okresach napięcia 50 Hz! (patrz rysunek 8). W przypadku baterii kondensatorowych zapłony „późne” powodują ich przeładowywanie, czemu towarzyszą zarówno wysokie przepięcia łączeniowe np: o wsp. $k_u = 6,1$ (patrz rysunek 8) jak i względnie duże prądy wyładowcze np. 135 kA. Komory stycznikowe oprócz znacznie mniejszej objętości W porównaniu z wyłącznikowymi, odznaczają się niezwykle prostą konstrukcją układu stykowego (prosty styk czołowy). Z reguły nie stosuje się tu rozwiązań konstrukcyjnych, które mogą spowodować wirowanie łuku po powierzchni nakładek stykowych jak: nacięcia (styk typu spiralnego lub kubkowego), lokalne przewężenia itp. Do dalszych istotniejszych różnic należy zaliczyć: skok styku ruchomego o ok. 50% mniejszy w porównaniu z komorą wyłącznikową (zwykle 5÷6 mm); zdecydowanie przyspieszenie styku ruchomego podczas utraty styczności styków. Z powyższych przyczyn zapłony z prądem wyładowczym rzędu kilkunastu kA utrudniają szybką odbudowę wytrzymałości elektr. przerwy międzystykowej zwłaszcza, że zapłonom towarzyszy przeładowanie baterii kondensatorowej, co prowadzi do naprężenia przerwy izolacyjnej komory stycznikowej kilkukrotnym napięciem roboczym obwodu.

Problem zapłonów późnych jest zjawiskiem trudnym do wyjaśnienia teoretycznego. Z pewnością po przekroczeniu pewnego prądu wyładowczego z wyżej opisanych przyczyn, należy się liczyć w komorach stycznikowych z ewentualnością lokalnych, głębokich nadtopień materiału elektrod, co prowadzi do emisji w przestrzeń międzystycznikową wieloatomowych cząstek, które w porównaniu z elektronami i jonami dodatnimi poruszają się względnie wolno. W okolicach lokalnie występującego zaburzenia profilu styków „mikroostrza” może nastąpić w wyniku kondensacji wzrostu wspomnianej nierówności i po przekroczeniu pewnej wartości natężenia pola elektrycznego wyładowanie, często prowadzące do upalenia ostrza. Jeśli jednak na powierzchni mikroprofil jest nadal niekorzystny to mamy do czynienia z następującym przeskokiem itd. Po zastosowaniu ograniczników przepięć ZnO o dużej energii sorbcji 8 kJ/kV nawet w przypadku najbardziej przepięciogennego stycznika próżniowego zarejestrowano pojedynczy zapłon w komorach (patrz rysunek 8), któremu towarzyszyło przepięcie o współczynniku $k_u = 2,4$. Ogranicznik ZnO zredukował zatem prawie trzykrotnie poziom generowanych przepięć. Należy podkreślić, że w przypadku baterii kondensatorowych należy dobrać ogranicznik szczególnie starannie ze względu na wartości prądów, które musi on odprowadzić do ziemi, jak również ze względu na możliwość wystąpienia wielu zapłonów (jeden za drugim) w krótkim odstępie czasu. Z tego powodu zaproponowano ogranicznik ZnO, o energii sorbcji 8 kJ/kV.

3. Ograniczniki przepięć ZnO

3.1. Porównanie ograniczników beziskiernikowych ZnO z ogranicznikami z iskiernikiem

Obydwa typy ograniczników chronią urządzenia elektryczne. Dlatego też tradycyjne ograniczniki i te nowoczesne z tlenków metali ZnO mogą razem pracować w tej samej sieci i nawet nie jest wymagane, by dane urządzenie elektryczne było chronione w trzech fazach przez ten sam rodzaj ogranicznika. Kiedy ogranicznik iskiernikowy ulega uszkodzeniu, obsługa systemu może go zastąpić ogranicznikiem ZnO. Umożliwia to stopniowe przejście na ograniczniki beziskiernikowe, co w ekonomiczny sposób zwiększa bezpieczeństwo eksploatacji urządzeń.

Ważną zaletą ograniczników ZnO jest to, że nie potrzebują one iskierników. Prąd zaczyna płynąć przez ogranicznik, zanim przepięcie osiągnie wartość U_p . W ten sposób likwidują one przepięcie wcześniej od ograniczników z iskiernikiem, które zaczynają przewodzić dopiero po osiągnięciu przez przepięcie poziomu U_p . Z tego powodu dystans chroniony dla ograniczników z iskiernikiem jest w wielu przypadkach mniejszy, co z kolei oznacza większe narażenie na przepięcie chronionego urządzenia. Jeśli ogranicznik ZnO i ogranicznik z iskiernikiem są zamontowane w tej samej odległości od danego urządzenia, to ogranicznik ZnO będzie skuteczniej je chronił przed przepięciami.

Dla czasów czoła fali poniżej $1 \mu s$ napięcie zapłonu iskiernika silnie zależy od stromości czoła fali. Powoduje to pogorszenie poziomu ochrony ograniczników tradycyjnych przy fali przepięciowej o stromym czole. Gdy zewnętrzna izolacja ogranicznika jest bardzo zabrudzona, to mogą wystąpić przeskoki napięcia po jego zewnętrznej obudowie. Pojawiają się cząstkowe łuki pomiędzy kłozami, które powodują przepięcia w aktywnej części ogranicznika. Dla ograniczników iskiernikowych jest to stan krytyczny i może to spowodować w nich okresowe iskrzenia, prowadzące do zniszczenia iskiernika. Dlatego też beziskiernikowe ograniczniki ZnO są odporniejsze na zakłócenia wynikające z silnego zabrudzenia ich obudowy zewnętrznej, co skutecznie wydłuża ich żywotność.

Dzięki prostej beziskiernikowej konstrukcji części aktywnej ograniczników ZnO, obudowa zewnętrzna może być również wykonana z polimerów silikonowych. Silikon jest najlepszym materiałem izolacyjnym jeśli chodzi o zanieczyszczenia. Jest to powodem szczególnie dobrego zachowywania się ograniczników silikonowych w regionach o dużym zanieczyszczeniu powietrza. W dodatku ten typ ogranicznika może pełnić funkcję izolatora wsporczego i ponadto nie stwarza ryzyka eksplozji w przypadku przeciążenia.

Jeżeli wiele ograniczników iskiernikowych jest połączonych równolegle, to jest regułą że tylko jeden z nich zadziała w przypadku przepięcia. Ogranicza to przepięcie do wartości leżącej poniżej napięcia zapłonu pozostałych, połączonych równolegle ograniczników. Dlatego też, cała energia związana z przepięciem jest przejmowana przez pobudzony ogranicznik. Gdy ta energia jest zbyt duża to ogranicznik, którego iskiernik zaiskrzył będzie przeciążony. Odnosi się to szczególnie do ograniczników

iskiernikowych, które są połączone równolegle do baterii kondensatorowej o dużej pojemności.

W przypadku beziskiernikowych ograniczników ZnO, wszystkie równolegle połączone stopy warystorów przewodzą prąd jednocześnie i przez to energia przepięcia rozkłada się na wszystkie, równolegle połączone ograniczniki, zatem energia przepięcia jest przejmowana przez pozostałe ograniczniki i przekroczenie energii sorbcji któregokolwiek z nich, jest w tym przypadku mało prawdopodobne.

Ponieważ ograniczniki ZnO nie przewodzą żadnego prądu następczego to mogą być stosowane zarówno przy częstotliwości 50 Hz jak i przy $16^{2/3}$ Hz (częstotliwość sieci trakcyjnej). W przypadku ograniczników iskiernikowych prąd następczy przy $16^{2/3}$ Hz płynie trzykrotnie dłużej niż przy 50 Hz i dlatego, te iskierniki i rezystory SiC są obciążane odpowiednio większą energią. Po to by tego uniknąć wartość szczytowa prądu musi być obniżona. Wymaga to zastosowania ograniczników iskiernikowych o zwiększonym napięciu znamionowym, co z kolei prowadzi do znacznego podwyższenia poziomu ochrony. Warto dodać, iż ograniczniki ZnO mogą być stosowane dla obciążeń napięciem stałym w przeciwieństwie do ograniczników iskiernikowych, które nie są do tego dostosowane.

3.2. Najnowsza rodzina ograniczników przepięć produkcji ABB-POLIM

Ograniczniki przepięć z serii POLIM są najnowszym wyrobem ABB High Voltage Technologies. Zostały one stworzone w oparciu o wieloletnie doświadczenia z ogranicznikami typu MVKMWK. Generalnie ta nowa rodzina wyrobów z Wettingen można podzielić na 3 grupy. W pierwszej grupie są ograniczniki klasy rozdzielczej (wg ANSI-Heavy Duty) o nazwie POLIM-D. Są one przeznaczone do ochrony urządzeń i sieci SN dla napięć do 24 kV. Wyróżniają się bardzo dobrymi parametrami elektrycznymi, dużą trwałością i niską wagą.

Drugą grupę stanowi typ POLIM-I o klasie rozładowania linii (IEC)-2 (wg ANSI Intermediate) mający bardzo podobne parametry elektryczne do typów MWKMWK ale wyróżniający się od nich znacznie zwiększoną wytrzymałością mechaniczną. Daje to możliwość zastosowania tego typu ogranicznika tam gdzie spodziewane są duże obciążenia.

Trzecią grupę reprezentowaną przez typy POLIM-S i POLIM-H stanowią ograniczniki o najlepszych parametrach w zakresie zdolności pochłaniania energii i odporności na duże obciążenia mechaniczne. Spełniają one również wymagania odpowiednich norm w zakresie wytrzymałości mechanicznej urządzeń przeznaczonych do pracy na kolei (IEC, TC9, WG21, Drań 11).

Pełne zestawienie podstawowych parametrów ograniczników z rodziny POLIM prezentuje tabela 1.

Jako znaczącą cechę wyróżniającą ograniczniki najnowszej generacji produkcji ABB od innych wyrobów tego rodzaju należy wymienić opatentowane rozwiązanie konstrukcyjne, którego podstawą jest technologia wulkanizowania warstwy izolacyjnej — polimeru silikonowego — w wysokiej temperaturze (HVT) bezpośrednio na elementy aktywne. Zapewnia to doskonałe zachowanie się tej konstrukcji w warunkach roboczych t.j. zminimalizowanie procesów starzeniowych, wyeliminowanie możliwo-

Tabela 1. Zestawienie podstawowych parametrów ograniczników z rodziny POLIM

		POLIM-D	POLIM-I	POLIM-S	POLIM-H
U _c	[kV]	4-24	4-44	4-44	4-44
IN (8/20 μs)	[kA]	10	10	10	20
IG (4/10 μs)	[kA]	100	100	100	<100
Zdolność pochłaniania energii [kJ/kVμs]		3,6/4,2	5,5	9	13,3
Wytrzymałość na udar prądowy długotrwały [A/2ms]		250	550	1000	1350
Klasa rozładowania linii (IEC)		1	2	3	4
Klasyfikacja ANSI		Heavy Duty	Intermediate	Station	Station

ści eksplozji, dobre parametry mechaniczne. Połączenie tej techniki z wykorzystaniem ekologicznego, wykazującego właściwości samogaszeniowe materiału izolacyjnego jakim jest specjalnie przygotowany do tego celu polimer silikonu stanowi bardzo dobre rozwiązanie konstrukcyjne mające jeszcze jedną, bardzo ważną dla prawidłowej pracy ogranicznika cechę — a mianowicie lepszą od innych materiałów izolacyjnych odporność na zanieczyszczenia środowiskowe i przemysłowe.

3.3. Nowoczesna ochrona przeciwprzebieciowa

Przebiecia występujące w elektrycznych sieciach zasilających na skutek wyłączeń atmosferycznych oraz operacji łączeniowych są zjawiskiem nieuniknionym. Stanowią one zagrożenie dla urządzeń elektrycznych ponieważ, z powodów czysto ekonomicznych, izolacji sieci nie projektuje się na tak wysoki poziom wytrzymałości napięciowej. Z tego też powodu sieci bardziej ekonomiczne i bezpieczne w eksploatacji wymagają rozbudowanej ochrony przeciwprzebieciowej. Dotyczy to zarówno sieci wysokich, średnich jak i niskich napięć.

Istnieją dwie podstawowe metody ochrony przeciwprzebieciowej.

- unikanie przepięć atmosferycznych w punkcie ich powstawania np. przez ekranowanie przewodów odgromowych przed stacją,
- ograniczanie przepięć w pobliżu urządzeń elektrycznych, np. poprzez zastosowanie ograniczników przepięć w ich bezpośrednim sąsiedztwie.

W sieciach WN stosuje się obydwie powyższe metody ochrony. W sieciach SN metoda pierwsza jest w zasadzie mało skuteczna. Z powodu małej odległości pomiędzy przewodami odgromowymi i liniowymi bezpośrednie uderzenie pioruna obejmie również przewody liniowe. Dodatkowo nie można uniknąć pośredniego działania uderzenia pioruna jakim jest indukowanie przepięć w obwodach liniowych. W sieciach SN najbardziej skuteczną metodą ochrony jest zastosowanie ograniczników przepięć w bezpośrednim sąsiedztwie urządzeń elektrycznych.

Przebiecia atmosferyczne stanowią największe zagrożenie dla sieci SN. Ochrona przeciwprzebieciowa musi być zatem tak dobrana aby ograniczyć te przebiecia do wartości nie powodujących uszkodzeń.

4. Podsumowanie

Przedstawione wyniki badań i doświadczenie eksploatacyjne wyłączników próżniowych zaprzecza katastroficznym opiniom, które dotyczą wysokich przepięć generowanych rzekomo przez wyłączniki próżniowe (w literaturze można spotkać wsp. przepięć $k_u = 10$ a nawet $k_u = 20$)

W sieciach przemysłowych np. 6 kV należy się liczyć ze znacznie większymi przepięciami w przypadku styczników próżniowych w porównaniu z wyłącznikami próżniowymi, zwłaszcza w przypadku baterii kondensatorowych czy silników.

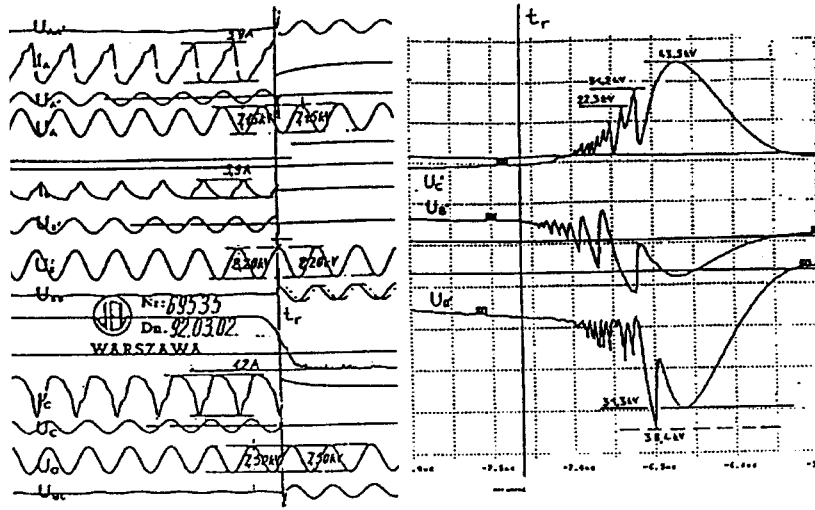
Problem przepięć łączeniowych należy, rozważać oddzielnie dla styczników próżniowych oraz wyłączników.

Odpowiednio dobrany ogranicznik przepięć ZnO praktycznie eliminuje zagrożenie związane z przepięciami łączeniowymi, wydłużając jednocześnie czas życia izolacji chronionego obiektu.

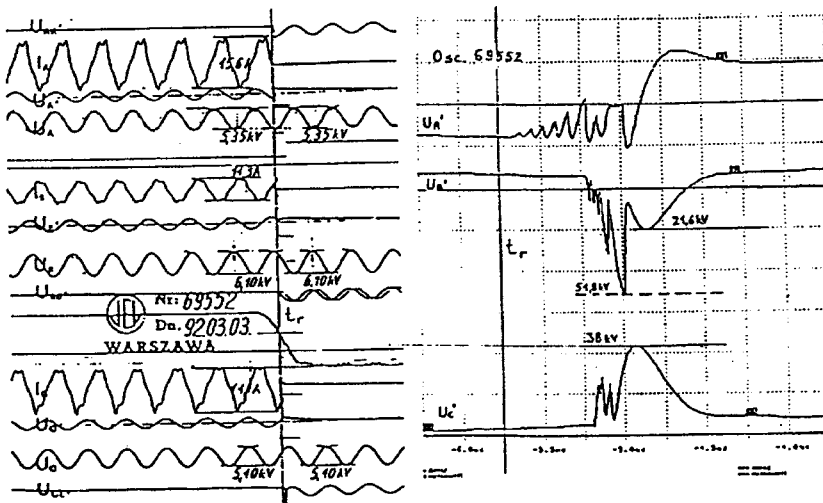
Gdy określamy napięcie U_c ogranicznika to musimy wziąć pod uwagę dwa przeciwstawne sobie wymogi. Z jednej strony napięcie U_c musi być tak małe jak to tylko jest możliwe, by ogranicznik mógł obniżać przepięcia do najniższych z możliwych wartości, z drugiej zaś strony U_c musi mieć wartość na tyle wysoką, by spełniać wymogi związane z eksploatacją sieci, podczas której mogą wystąpić np. skoki napięcia o częstotliwości sieciowej. Nowoczesne, bezskiernikowe ograniczniki ZnO spełniają oba te warunki i stwarzają wystarczającą ochronę przeciwprzepięciową, podnosząc jednocześnie bezpieczeństwo obsługi urządzeń.

Literatura

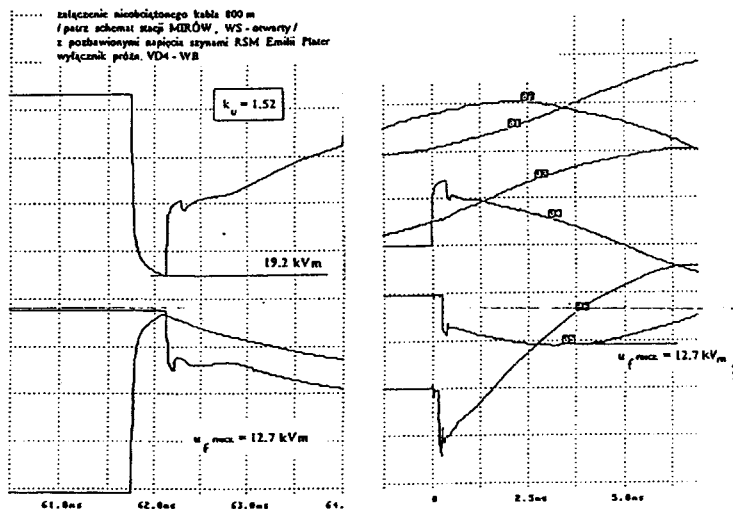
- [1] **Gul A.:** *Specyfika łączenia prądów w komorze próżniowej a rezultaty prób zwarcio-
wych wyłącznika próżniowego 24 kV Typu WVK produkcji ZWAR, Zeszyty Naukowe
Politechniki Poznańskiej „Elektryka” nr 42, Poznań 1992, s. 73–90*
- [2] **Gul A.:** *Przepięcia łączeniowe w wyłącznikach próżniowych, Referat Seminarium Nau-
kowego Komitetu Wielkich Mocy PAIN, Instytut Energetyki, W-wa, maj 114*
- [3] **Anderson E., Karolak J.:** *Zagadnienia łączenia silników 6 kV poprzez wyłączniki
małoolejowe i próżniowe, Referat Seminarium Naukowego Komitetu Wielkich Mocy,
Instytut Energetyki, Warszawa, maj 1994*
- [4] *Pomiary przepięć w sieci 15 kV wykonane na terenie RPZ „Mirów”. Sprawozdanie
Instytutu Elektrotechniki nr 5522/NAR/95, W-wa 1995*
- [5] *Report from switching tests of parallel 6 kV capacitor banks at Petrochemia-Plock Co.
(extract), Institute of Power Engineering Warsaw, January 1996 (Authors of extract:
Anderson E., Karolka J.)*
- [6] **Rudolph R.:** *Zasady doboru, zastosowanie i badania bezskiernikowych ograniczników
przepięć z tlenków metali dla sieci średnich napięć*
- [7] **Schmidt W.:** *New POLIM medium voltage surge arresters with silicone insulation*



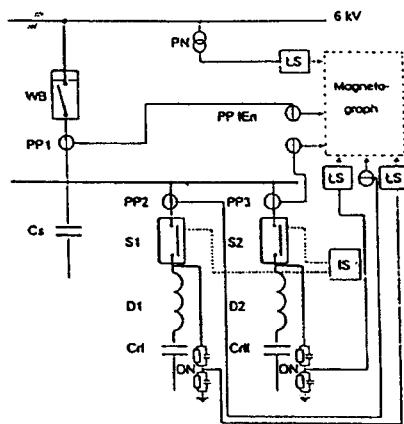
Rys. 1. Zapłony wielokrotne w komorach próżniowych zarejestrowane po ucięciu prądu magnesowania transformatorów wielkopiędowych o mocy 10 MVA każdy — transformatory z indywidualnymi rdzeniami w poszczególnych fazach (1)



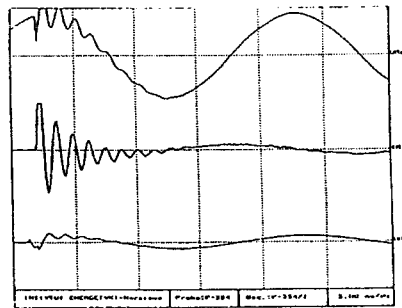
Rys. 2. Zapłony wielokrotne w komorach próżniowych zarejestrowane po ucięciu prądów pierwotnych transformatorów wielkopiędowych przy niewielkim obciążeniu strony wtórnej (1)



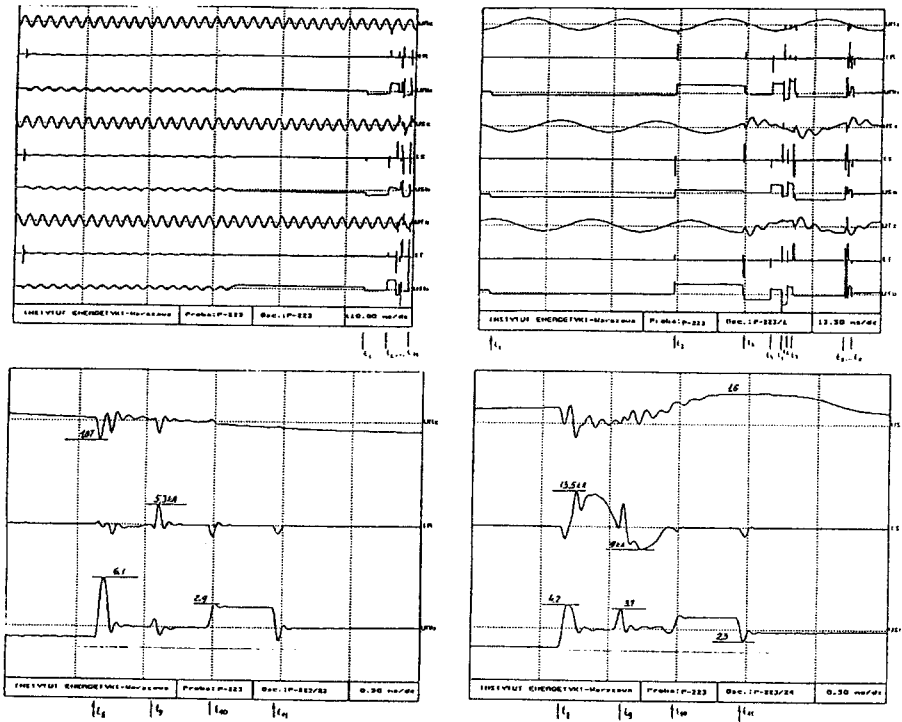
Rys. 5. Maksymalne przepięcia łączeniowe, zarejestrowane w obwodzie 15 kV (rys. 4) zmierzone po wyłączeniu i natychmiastowym załączeniu nieobciążonego kabla o długości 800 m (4)



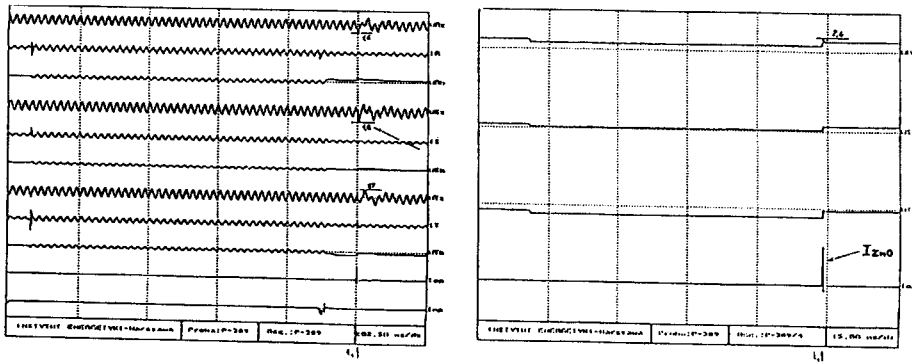
Rys. 6. Obwód z bateriami kondensatorowymi należącymi w Petrochemii Płockiej, w którym wykonano łączenia prądów pojemnościowych przy pomocy styczników próżniowych S1, S3 oraz wyłącznika próżniowego WB (5)



Rys. 7. Przykład załączenia zespołu baterii kondensatorowych przez wyłącznik próżniowy WB (patrz rysunek 6) (5)



Rys. 8. Zapłony późne w komorach próżniowych stycznika próżniowego 7,2 kV, zainstalowanego w obwodzie baterii kondensatorowej regulacyjnej CrI (patrz rysunek 6) (5)



Rys. 9. Zadziałanie ogranicznika przepięć ZnO po wystąpieniu zapłonów późnych w komorach stycznika próżniowego, w rezultacie czego zredukowano współczynnik z $k_u = 6,1$ do $k_u = 2,4$ (patrz rysunek 8) (5)