

Roman KŁOPOCKI
Andrzej PELCZAR

ELEMENTY IZOLACYJNE I OCHRONY OD PRZEPIĘĆ LINII SN I NN NA PRZYKŁADZIE WYROBÓW FIRMY ETI POLAM

Opracowanie dotyczy zasad doboru, budowy, parametrów i zalet wyrobów stosowanych w elektroenergetycznych liniach napowietrznych nn i SN jako elementów izolacyjnych i ochrony przeciwprzebieciowej na przykładzie produktów firmy ETI Polam używanych m.in. w ENEA S.A. (INZP 2110 – kompozytowe ograniczniki dla linii SN (15 kV), CS70AA20 – kompozytowe izolatory dla linii SN (15 kV), ETITEC-A 500/5 – ograniczniki linii nn).

1 OGRANICZNIKI PRZEPIĘĆ ŚREDNIEGO NAPIĘCIA INZP

1.1 Budowa ograniczników

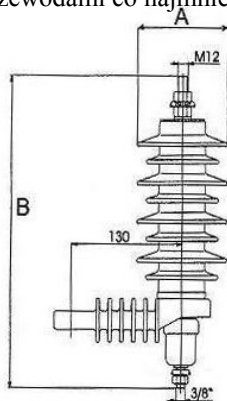
Beziskiernikowe ograniczniki przepięć typu INZP skonstruowane są z wykorzystaniem warystorów wykonanych z tlenku cynku. Mocno nieliniowa charakterystyka napięciowo-prądowa warystorów umożliwia szybkie ograniczanie przepięć i ich likwidację poprzez skierowanie prądu udarowego do ziemi. Odpowiednia konstrukcja stosów warystorowych i modułu ogranicznika sprawia, że mogą przenieść znaczną ilość udarów prądowych i zachować swoje właściwości. Ograniczniki przepięć mają stosy warystorowe umocowane w kratownicy z włókna szklanego, która obłana jest bezpośrednio masą silikonową. Gwarantuje to idealną szczelność, brak pustych przestrzeni wewnątrz modułu, dużą odporność na naprężenia mechaniczne. W przypadku uszkodzenia ogranicznika brak pustych komór zapewnia bezpieczne zachowanie się ogranicznika w przypadku pojawienia się wewnątrz łuku elektrycznego. Ograniczniki mają zapewnioną doskonałą izolację, są łatwe w transporcie, przechowywaniu i eksploatacji. Ograniczniki INZP spełniają wymagania norm ANSI/IEEE 82.11 – 1993, PN – IEC 99 – 4 dla klasy rozładowania linii 1.

Tab. 1. Podstawowe parametry

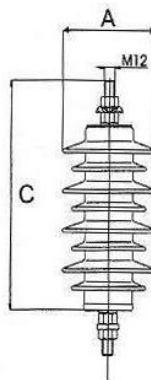
Znamionowy prąd wyladowczy 8/20 μ s	10 kA
Wytrzymałość na udary graniczne 4/10 μ s	100kA
Wytrzymałość na długotrwałe udary prostokątne 2000 μ s	250 kA
Wytrzymałość na maksymalny prąd wyladowczy 8/20 μ s	40 kA
Klasa rozładowania linii	1
Zdolność pochłaniania energii	3,36 kJ/kV Ur(4kJ/1kV Uc)
Wytrzymałość zwarciova	20 kA
Wytrzymałość mechaniczna (na moment gnący)	200 Nm

1.2 Wyposażenie ograniczników – wersja z sygnalizacją uszkodzenia i odłącznikiem

Ograniczniki mogą być wyposażone we wspornik izolacyjny oraz odłącznik ogranicznikowy. Wspornik izolacyjny stanowi izolację pomiędzy ogranicznikiem a elementami uziemionymi. Odłącznik zaś stanowi widoczną przerwę izolacyjną pomiędzy zaciskiem uziomowym ogranicznika a uziemieniem w przypadku uszkodzenia ogranicznika i zadziałania odłącznika. W przypadku instalacji ograniczników z odłącznikiem ogranicznikowym należy pamiętać, aby połączenie z uziemieniem wykonywać giętkim przewodem. Zacisk uziomowy odłącznika umożliwia podłączenie przewodów aluminiowych lub miedzianych o średnicach od 2,5 do 9,2 mm. Ograniczniki INZP standardowo są wyposażone w zacisk liniowy pozwalający na przyłączenie przewodu do 70 mm². Powierzchnia styku wynosi 12,5 mm². Zaleca się przyłączanie przewodami co najmniej 16mm².



Rys 1. INZP w wersji ze wspornikiem i odłącznikiem

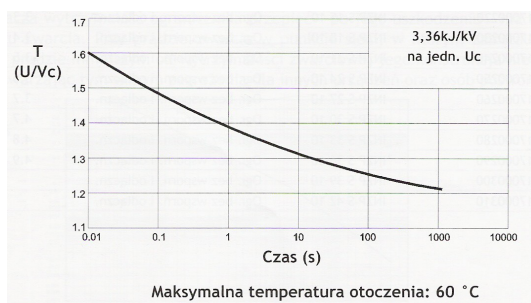


Rys 2. INZP w wersji standardowej

1.3 Wysoka odporność - dobra ch-ka przepięć dynamicznych TOV

Charakterystyka TOV (temporary overvoltage capability) określa dopuszczalny poziom przepięć przemijających $T = U_{TOV}/U_c$ gdzie U_{TOV} to napięcie skuteczne o częstotliwości sieciowej, które może wytrzymać ogranicznik w czasie „t” sekund. Innymi słowy, charakterystyka ta określa jak długo ogranicznik może wytrzymać napięcie wyższe od napięcia pracy ciągłej U_c . Dla 10 sek. współczynnik T wynosi 1,31 i jest jednym z najlepszych w porównaniu z innymi istniejącymi ogranicznikami na rynku.

Rys. 3. Charakterystyka TOV ogranicznika INZP 21 10



Ma to kapitalne znaczenie w przypadku doboru ograniczników, ponieważ można w uzasadnionych przypadkach zastosować ograniczniki o niższym napięciu U_c bez mniejszego ryzyka, że ograniczniki uszkodzą się w przypadku niekontrolowanego napięcia na linii. Założenie to jest jednak zasadne tylko w przypadku, gdy mamy całkowitą pewność niezawodności automatyki ziemno-zwarciowej. Ograniczniki INZP posiadają parametry pozwalające na spełnienie warunków następujących testów: graniczny prąd wyładowczy krótkotrwały – 2 wyładowania wartością szczytową –100 kA, wytrzymałość na udar prądowy długotrwały – 20 wyładowań impulsami 250 A o czasie 2000 μ s, wytrzymałość na wyładowania cykliczne 20 wyładowań impulsem 10 kA oraz dwa wyładowania impulsem 40 kA o kształcie 8/20 μ s. Po wykonaniu każdego z testów ograniczniki pozostają termicznie stabilne i napięcie obniżone nie zwiększa się więcej jak o 10%. Ograniczniki przeszły test 5000 godzin na starzenie się osłony polimerowej zgodnie z aneksem C normy IEC 1109.

Tab. 2. - INZP – charakterystyka ochronna

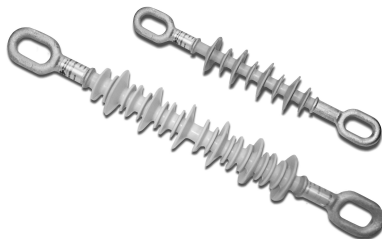
Napięcie znam. Ur	Napięcie trwałej pracy U_c	Maksymalna wartość napięcia obniżonego [kV szczyt.] przy przepływie udaru prądowego piorunowego 8/20 μ s U_o						Maks. wartość nap. obniż. [kV szczyt.] przy przepływie udaru prądowego łącz. 30/60 μ s		Maks. wartość nap. obniż. [kV szczyt.] przy przepływie udaru prądowego stromego 1/2,5 μ s
		1,5 kA	3,0 kA	5,0 kA	10 kA	20 kA	40 kA	125 A	500 A	
3	2,55	8,3	8,7	9,2	9,9	11,1	13,1	7,1	7,6	10,6
6	5,1	16,6	17,4	18,4	19,8	22,2	26,2	14,3	15,3	21,2
9	7,65	24,9	26,1	27,6	29,7	33,3	39,3	21,5	22,9	31,8
10	8,4	27,7	29	30,7	33	37	43,7	23,9	25,5	35,3
12	10,2	33,2	34,8	36,8	39,6	44,4	52,4	28,5	30,5	42,4
15	12,7	41,5	43,5	46	49,5	55,5	65,5	35,8	38,2	53
18	15,3	49,8	52,2	55,2	59,4	66,6	78,6	43	45,9	63,6
21	17,5	58,1	60,9	64,4	69,3	77,7	91,7	50,1	53,5	74,2
24	19,5	66,4	69,6	73,6	79,2	88,8	104,8	57,3	61,2	84,8
27	22	74,7	78,3	82,8	89,1	99,9	117,9	64	69	95,4
30	24,4	83,1	87	92,1	99	111	131,1	71,7	76,5	105,9
33	27	91,4	95,7	101,3	108,9	122,1	144,2	78,8	84,1	116,4
36	29	99,7	104,4	110,5	118,8	133,2	157,3	86	91,8	127
39	31,4			119	130	144		93	95	149
42	34			128	140	154		100	102	160

2 IZOLATORY KOMPOZYTOWE ŚREDNIEGO NAPIĘCIA

2.1 Izolatory kompozytowe serii CS70

Izolatory kompozytowe wiszące typu CS zostały wprowadzone przez ETI POLAM z myślą o rosnących potrzebach na tego typu asortyment. Przeznaczone są dla napowietrznych sieci energetycznych średniego napięcia do 36 kV spełniające wymagania norm IEC 61466-1.

Rys. 4 Izolator CS70AA20 o dług. montażowej 515 mm (odp. typu LP 60/5U)



Izolatory typu CS posiadają rdzeń izolacyjny pręt szkłoepoksydowy, który wykazuje dużą odporność mechaniczną i nie podlega korozji. Osłona silikonowa chroni rdzeń przed wpływami otoczenia, poprzez odpowiednie ukształtowanie kloszy, decyduje o właściwościach elektrycznych izolatora. Kute, galwanizowane okucia mocowane na rdzeniu przez zaciskanie są do dyspozycji w szerokim zakresie pokazane w tabeli.

Tab.3 Rodzaje okuć metalowych do izolatorów serii CS70

Y	P	H
A	B*	R*

2.2 Zalety izolatory kompozytowych

Izolatory kompozytowe mają dużo zalet:

- duży stopień szczelności,
- ekologiczne,
- zwiększona odporność na wandalizm,
- kilkakrotnie mniejsza waga w stosunku do porcelanowych odpowiedników,
- klosze wykonane w systemie dwóch średnic zapewniają dobrą drogę upływu,
- niebieskoszary kolor niekontrastujący z otoczeniem,
- zwiększ. wytrzym. mechanicz. i podwyższ. odporn. na zagroz. środowisk.
- szeroka gama typów okuć, mogą być skręcone też o 90°
- długość montażowa kompatybilna z izolatorami porcelanowymi.

Tab. 4. Podstawowe dane techniczne

Typ	CS70XX20	CS70XX30
Znamionowe napięcie izolatora (kV)	20-24	30-36
Znamionowa droga upływu (mm)	520	950
Droga przeskoku (mm)	162	239
Znamionowe obciążenie mechaniczne (kN)	70	70
Znamionowe napięcie wytrzymywane piorunowe 1.2/50μs (kV)	125	170
Znamionowe napięcie probiercze na mokro 50Hz (kV)	50	70
Waga (kg)	1.0	1.1
Ilość kloszy duże + małe	8	22
Strefa zabrudzenia	II	II

Wykonane są w dwóch wersjach na napięcie znamionowe 20- 24 kV oraz 30-36 kV. Na uwagę zasługuje izolator CS70AA30, który posiadając aż 22 klosze i ma drogę upływu 950 mm. Jest możliwość wykonania izolatorów dla środowiska o wysokim stopniu zabrudzenia. Posiadają odpowiednio większą średnicę kloszy – 140 mm, gwarantującą większą drogę upływu.

3 OGRANICZNIK PRZEPIĘĆ ETITEC-A

3.1 Charakterystyka

Rys.5. ETITEC-A 15kA-O z odłącz. i zaciskiem na linię nie izolowaną

W ramach wielostopniowej ochrony przeciwprzebieciowej jako pierwszy stopień jest przewidziany ogranicznik napowietrzny klasy A (wg VDE0675). Oferta rynkowa ograniczników przepięć dla takich zastosowań systematycznie rozszerza się. Przykładem takiego rozwiązania jest ogranicznik przepięć typu Etitec-A firmy ETI Polam oferowany z wieloma wersjami zacisków. Zastosowanie ograniczników klasy A poprawia warunki pracy sieci nn i harmonizuje współpracę ochrony przeciwprzebieciowej wielostopniowej na dalszych stopniach (klasa B,C ... itd.). Dla spełnienia warunków



skutecznej ochrony należy dobrać odpowiedni typ ogranicznika, który to zarazem musi być powiązany z kolejnymi stopniami i ochroną przeciwprzepięciową sieci SN.

3.2 Normy

Klasyfikacja ograniczników nn początkowo opierała się na normach zapożyczonych tj. IEC60099-1 i IEC60099-4, które dotyczyły beziskiernikowych ograniczników przepięć SN i WN (IEC60099-4) i ograniczników iskiernikowych (IEC60099-1).

Normy, które obowiązują w zakresie ograniczników przepięć nn można podzielić na dwie kategorie:

- I - dotycząca samych urządzeń chroniących,
- II - dotycząca stosowania.

Do kategorii I norm zalicza się: VDE0675, która jako pierwsza wprowadziła pojęcie wielostopniowej ochrony przeciwprzepięciowej, ale która dotyczy przede wszystkim ograniczników wewnętrznych od klasy B począwszy. Kluczem klasyfikacji w tym przypadku jest miejsce zainstalowania ogranicznika.

Drugim i obecnie najważniejszym obowiązującym aktem normatywnym jest norma IEC61643 ze zmianami (polskie wydanie PN-IEC61643). Kluczem klasyfikacji urządzeń (nazywanych w tym przypadku SPD - Surge Protection Devices) jest klasa prób w zależności od konstrukcji wewnętrznej: I, II lub III. Kategoria II aktów normatywnych dotyczy zastosowania samych ograniczników przepięć w sieci nn. do tych należą PN-E-05100-1:1998, która dotyczy budowy sieci napowietrznych i „*Ochrona sieci elektroenergetycznych od przepięć. Wskazówki wykonawcze*” wydane przez PTPIREE, które są w zasadzie kontynuacją dokumentu zatwierdzonego przez Ministerstwo Energetyki i Energii Atomowej „*Ochrona sieci elektroenergetycznych od przepięć. Wskazówki wykonawcze do Przepisów Budowy Urządzeń Elektrycznych*”. Te dwa dokumenty stanowią podstawę do stosowania ograniczników przepięć, w tym ograniczników przepięć nn. Do dwóch powyżej opisanych dokumentów należy dodać jeszcze normę PN-IEC60364-4-443. W przypadku ochrony przed przepięciami dotyczy ona oprócz innych zagadnień tzw. kategorii przepięć, ale tylko w instalacjach elektrycznych

w obiektach budowlanych począwszy od kategorii przepięć I do IV.

Tab. 5. Podstawowe parametry ograniczników przepięć nn typu Etitec-A

Parametry techniczne	Etitec-A 280/5	Etitec-A 500/5	Etitec-A 660/5	Etitec-A 280/15	Etitec-A 500/15	Etitec-A 660/15
Nap. pracy ciągłej U_c [V]	280	500	660	280	500	660
Znamionowy prąd wyładowczy I_n [kA]	5	5	5	15	15	15
Maksymalny prąd wyładowczy I_{max} [kA]	10	10	10	30	30	30
Poziom ochrony U_p przy prądzie I_n [V]	950	1500	1750	1600	2000	2200
Zakres temp. pracy [°C]	-40 do +80					
Wyposaż. w odłącznik	nie	nie	nie	tak	tak	tak

3.3 Dobór ograniczników do warunków sieciowych

Prawidłowy dobór ograniczników przepięć powinien uwzględniać przynajmniej podstawowe parametry:

- napięcie pracy ciągłej U_c (w zależności od typu sieci),
- znamionowy prąd wyładowczy I_n ,
- maksymalny prąd wyładowczy I_{max} (względnie I_{imp}),
- wytrzymałość na przepięcia TOV,
- napięciowy poziom ochrony U_p ,
- zakres temperatur pracy,
- rodzaje zacisków przyłączeniowych.

3.4 U_c

Napięcie pracy ciągłej U_c to maksymalna wartość skuteczna napięcia zmiennego lub maksymalne napięcie stałe, które może być przyłożone w sposób ciągły do ogranicznika. Jest no równe napięciu znamionowemu. Napięcie to ma decydujące znaczenie, jeżeli chodzi o żywotność i skuteczność ochrony warystorowych ograniczników przepięć, które są najpowszechniej obecnie stosowanym typem ograniczników. W w/w normie (PN-E-05100-1) i „Wskazówkach wykonawczych” jest zalecenie dostosowania ograniczników z $U_c=500$ V. „Wskazówki wykonawcze” uzupełniają tą informację, iż w obwodach pomocniczych, sygnalizacji i oświetlenia dopuszcza się stosowanie ograniczników $U_c=280$ V. Ograniczniki przepięć typu Etitec-A posiadają w swoim zakresie obydwie te wartości napięcia, a także $U_c=660$ V. Zasady doboru podane w obydwu dokumentach są pewnym uproszczeniem, ponieważ napięcie pracy ciągłej powinno być określane w zależności od typu sieci zgodnie z zależnością:

$$U_c \geq U_m$$

gdzie: U_m - najwyższa wartość napięcia międzyfazowego mogącego wystąpić w normalnych warunkach pracy sieci.

Tab. 6. Dobór napięcia pracy ciągłej U_c w zależności od typu sieci i sposobu połączenia ogranicznika

Układ sieci / sposób podłączenia	TN-S	TN-C	TN-C-S	TT	IT
Pomiędzy fazą (L1, L2, L3) a przewodem PEN lub PE względnie N	280 V	280 V	280 V	280 V	500 V
Pomiędzy fazami L1, L2, L3	500 V	500 V	500 V	500 V	500 V

3.5 I_n

Znamionowy prąd wyładowczy I_n jest to wartość szczytowa prądu płynącego przez ogranicznik o kształcie 8/20 μ s. Jest on używany do klasyfikacji ogranicznika w próbach klasy II oraz do tzw. kondycjonowania ogranicznika w próbach klasy I i II. Najczęściej spotykaną wartością I_n jest 5 kA. Ograniczniki Etitec-A posiadają także wersję 15 kA, której zastosowanie opisano poniżej.

3.6 I_{max}

Maksymalny prąd wyładowczy I_{max} to wartość szczytowa prądu płynącego przez ogranicznik o kształcie 8/20 μ s i wielkości zgodnie z sekwencją próby działania dla klasy II. I_{max} jest większy niż I_n (zwykle, co najmniej dwukrotnie) i jest deklarowany przez producenta. Jest używany w próbie działania, by udowodnić poprawne działanie i stabilność termiczną ogranicznika. Dobór tego parametru jest w zasadzie sprawą wtórną, ponieważ wynika z doboru poprzedniego parametru, jakim jest I_n . Ograniczniki Etitec-A posiadają I_{max} na poziomie 10 lub 30 kA.

3.7 TOV

Przebieg TOV to tzw. przebieg dynamiczny (Temporary Overvoltage) i w normie PN-IEC 61643-1 jest zdefiniowane następująco: jest to maksymalna wartość skuteczna przebiegu przemiennego lub stałego, które przekracza maksymalne napięcie pracy ciągłej sieci przez określony czas trwania. Zastosowany ogranicznik przebieg musi mieć, zatem wyższą wytrzymałość na przebieg TOV niż mogące wystąpić w sieci tego rodzaju przebieg zgodnie z zależnością:

$$U_T \geq U_{TOV}$$

gdzie: U_T - wytrzymałość ogranicznika na przebieg TOV (kV)
 U_{TOV} - wartość przebieg TOV występ. w sieci (kV)

Tab. 7. Wyciąg z wymagań dotyczących wytrzymałości ograniczników przepięć na przepięcia TOV (odniesiono do sieci 230/400 V)

Sposób podłączenia ogranicznika	Minimalna wartość napięcia UT wytrzymywanego przez ogranicznik w ciągu 5 sek.	Minimalna wartość napięcia UT wytrzymywanego przez ogranicznik w ciągu 0,2 sek.
Układy TN		
L-(PE)N lub L-N	333,5 V	-
Układ TT		
L-PE	398,4 V	1430 V
L-N	333,5 V	-
N-PE	-	1200 V
Układ IT		
L-PE	-	1430 V
L-N	333,5 V	-
N-PE	-	1200 V
Układy TN, TT i IT		
L-PE	398,4 V	1430 V
L-(PE)N	333,5 V	-
N-PE	-	1200 V

3.8 Up

Napięciowy poziom ochrony U_p jest parametrem charakteryzującym działanie ogranicznika w zakresie skuteczności ograniczania napięcia na jego zaciskach. Jest to wartość podawana przez producenta. Generalną zasadą doboru jest to, aby U_p ogranicznika zastosowanego w linii napowietrznej nn był niższy niż 6 kV (dla sieci 230/400 V). Z reguły stosowane ograniczniki posiadają znacznie lepsze poziomy U_p , np. dla Etitec-A U_p wynosi $\geq 2,0$ kV ($U_c=500$ V, $I_n=15$ kA). Im mniejsza wartość U_p , tym lepsze właściwości ochronne ogranicznika. Stąd też zalecana dbałość o dobór jak najniższej możliwej wartości U_c , ponieważ im mniejszy poziom U_c tym również mniejsza a tym samym lepsza wartość U_p .

3.9 Temperatura pracy

Zakres temperatur pracy dotyczy odporności ogranicznika przepięć na niekorzystne warunki atmosferyczne. Wymaga to od producentów konstruowania szczelnych w 100% ograniczników, ale także zastosowania odpowiednich materiałów odpornych na skoki temperatury. Ogranicznik przepięć musi posiadać szerszy zakres temperatur pracy niż mogący wystąpić w jego otoczeniu. Zakres temperatur pracy ograniczników Etitec-A wynosi od -40 do +80 °C.

Tab. 8. Zestawienie wersji zacisków liniowych stosowanych w ograniczniku przepięć typu Etitec-A (500/5 bez odłącznika i wskaźnika uszkodzenia)

Oznaczenie	Typ zacisku liniowego	Zastosowanie
ETITEC A.../.../A	Zacisk metalowy odp. na korozję	Linie „gołe” do 120 mm ²
ETITEC A.../.../B	Zacisk podwójny obustronnieprzebijający izolację	Linie z przewodami w izolacji. Idealnie nadaje się do realizacji przyłączy napowietrznych z linii izolowanych, przewodami w izolacji. Może pracować także jako zacisk pojedynczy. Przekroje przewodów do 95 mm ² . Moment dokręcania 22 Nm.
ETITEC A.../.../C	Zacisk podwójny jednostronnie przebijający izolację	Linie z przewodami w izolacji. Świetnie nadaje się także do realizacji przyłączy napowietrznych z linii „gołych”, przewodami w izolacji. Może pracować jako zacisk pojedynczy. Przekroje przewodów do 95 mm ² . Moment dokręcania 22 Nm.
ETITEC A.../.../D	Linka do przew. ASXSn 16mm ² o dł. 200 mm	Dostosowany do pracy w liniach izolowanych z większością podwójnych zacisków przebijających
ETITEC A.../.../E	Sworzeń M8	Wersja „uniwersalna”, która potrzebna jest w przypadku wymiany ogranicznika na nowy, gdzie nie ma potrzeby wymiany całego kompletu wraz z zaciskiem liniowym

3.10 Zaciski liniowe

Różne wersje zacisków liniowych stosowane są do odpowiedniego typu przewodów. Ograniczniki typu Etitec-A przeznaczone są do sieci z przewodami „gołymi” – bez izolacji lub z przewodami w izolacji (typu ASXSn). Istnieje także wersja „uniwersalna”, która służy wyłącznie do wymiany ograniczników, które zostały zużyte po wieloletniej eksploatacji i po wykręceniu „starego” zamienia się na tą wersję bez potrzeby wymiany całego kompletu z zaciskiem. Zacisk uziomowy PE jest dostosowany do podłączenia bezpośrednio giętkiego przewodu uziomowego Al lub Cu do 25 mm².



Rys.6. ETITEC-A zaciski: a) do linii gołej, b) do linii izolowanej, c) wskaźnik zadziałania, d) bez zacisku, e) z linką do przew. ASXSn 16mm² o dł. 200 mm