

ZASTOSOWANIE NOWOCZESNYCH BEZISKIERNIKOWYCH OGRANICZNIKÓW DO OCHRONY OD PRZEPIĘĆ W SIECIACH SN

Wytworzona w zakładach wytwórczych energia elektryczna przesyłana jest do odbiorców poprzez linie elektroenergetyczne przesyłowe, rozdzielcze, przemysłowe oraz różnego rodzaju urządzenia, które tworzą system elektroenergetyczny. Ma on zapewnić stałą i nieprzerwaną dostawę energii elektrycznej o odpowiednich parametrach i standardach odbiorcom. Wszystkie linie i urządzenia elektroenergetyczne narażone są na przebiegi występujące w systemie elektroenergetycznym, które są zjawiskiem częstym i nieuniknionym. Przyczynami, które wywołują przebiegi są najczęściej wyładowania atmosferyczne, stany nieustalone w sieciach elektroenergetycznych, które powstają podczas nagłych zmian napięcia zasilającego, impulsy elektromagnetyczne wywołane przez sieć wysokich napięć jak również wyładowania elektrostatyczne wywołane przez gromadzące się ładunki statyczne. Nagły „skok” napięcia, rzędu od kilkudziesięciu do kilkuset kilowoltów w bardzo krótkim czasie stanowi poważne zagrożenie dla urządzeń elektrycznych, ponieważ z powodów technicznych i ekonomicznych, izolacji sieci nie projektuje się na tak wysoki poziom wytrzymałości napięciowej. Dlatego sieci elektroenergetyczne wymagają stosowania rozbudowanej i skutecznej ochrony przeciwprzebiegiowej.

Istnieją dwie metody ochrony przeciwprzebiegiowej, pierwszą jest ograniczenie przebiegów w pobliżu urządzeń elektroenergetycznych poprzez zastosowanie ograniczników przebiegów w ich bezpośrednim sąsiedztwie, drugą zaś unikanie przebiegów atmosferycznych poprzez ekranowanie przewodami odgromowymi układów sieciowych. Najbardziej skuteczną metodą ochrony w sieciach średniego napięcia jest zastosowanie ograniczników przebiegów, które ograniczają przebiegi do określonego poziomu, niższego niż wytrzymałość izolacji urządzeń, z zachowaniem pewnego „zapasu izolacji”, uwzględniającego m.in. możliwość zmniejszania się z czasem wytrzymałości izolacji w stosunku do wartości początkowej. Najbardziej nowoczesnymi i powszechnie już stosowanymi aparatami zabezpieczającymi sieci średnich napięć są warystorowe beziskiernikowe ograniczniki przebiegów, które skutecznie wypierają stosowane wcześniej odgromniki wydmuchowe i zaworowe.

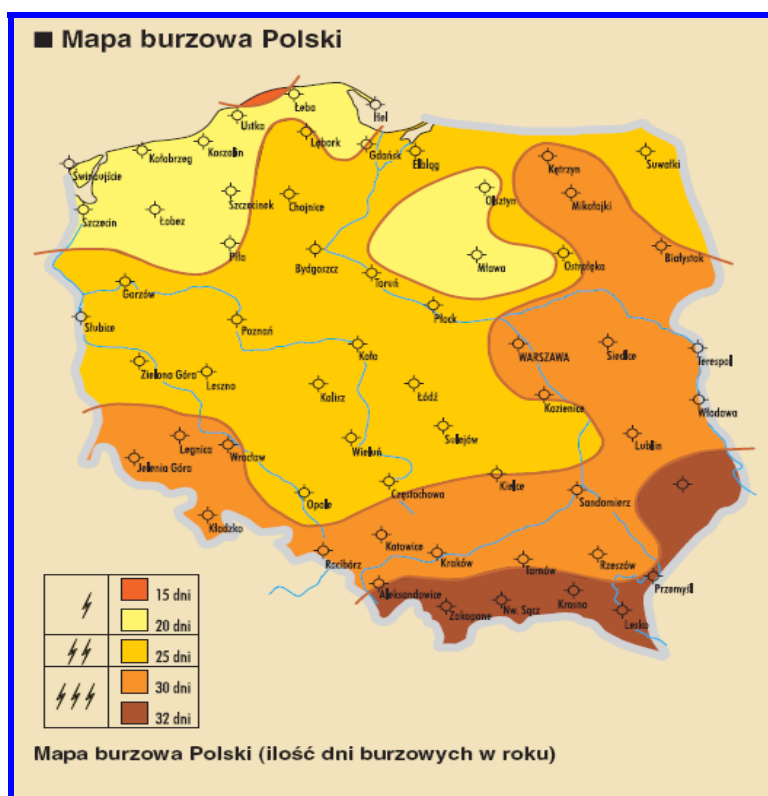
Zaawansowanie technologiczne i nowoczesne materiały użyte do budowy warystorowych beziskiernikowych ograniczników przebiegów powodują, że nie ma lepszej i skuteczniejszej metody ograniczania przebiegów wywołanych przez wyładowania zewnętrzne i wewnętrzne. Zdarzają się jeszcze przypadki zniszczenia izolacji urządzeń przez przebiegi w sieci spowodowane tym, że samo zjawisko wyładowania atmosferycznego jest zjawiskiem nieprzewidywalnym i nie do końca zbadanym, nie mamy dużego wpływu na ten stan. Skuteczną ochronę przeciwprzebiegiową linii średnich napięć mogą zapewnić: jakość wykonania (materiały użyte do produkcji), technologia, konstrukcja, nieustanne próby i badania, prawidłowy dobór parametrów pracy, jak również prawidłowy montaż ograniczników.

Podstawowe źródła przepięć

1. Wylądowania atmosferyczne

Atmosfera ziemiska pod wpływem jonizacji wykazuje przewodność elektryczną. Zachodzi w niej ciągłe krążenie ładunków. Prąd elektryczny przepływa między jonosferą a powierzchnią Ziemi, która przejmuje część ładunków elektrycznych, redukując pole elektryczne jonosfery. Wskutek tego powstają chmury burzowe, które są ośrodkiem tworzenia się elektryczności atmosferycznej. Górna część chmury burzowej, znajdująca się na obszarze ujemnych temperatur, zawiera kryształki lodu z ładunkiem elektrycznym dodatnim. W środkowych i niższych partiach naładowana jest ujemnie głównie za sprawą opadających względnie dużych kryształków lodowych. W pobliżu podstawy przeważają dodatnio naelektryzowane ładunki elektryczne - występują one tylko w strefie prądów wznoszących. Sortowanie ładunków w chmurze burzowej prowadzi do różnicy napięć między odmiennie naładowanymi jej częściami. Gdy wytworzy się potencjał elektryczny rzędu miliona woltów na metr, wówczas rozpoczyna się proces powstawania błyskawicy.

Intensywność burzowa w Polsce przedstawiona została na mapie burzowej (rys.2.1), która podaje przeciętną ilość dni burzowych w roku



Rys.1. Mapa burzowa Polski wg Legranda

Od chmury w kierunku powierzchni Ziemi przemieszcza się strumień elektronów, który jonizuje wąski kanał powietrza i tworzy w nim lawinowo dodatnie i ujemne ładunki. Kanał szerokości kilku centymetrów staje się przewodnikiem elektrycznym i za jego pośrednictwem elektryczność chmury dociera do Ziemi z prędkością ok. 1000 km/s. Jest

VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010

to wstępne wyładowanie, zwane liderem. Gdy dotrze ono do powierzchni terenu, z dołu tym samym kanałem zaczyna biec ku górze wyładowanie z tak zwanymi dodatnimi ładunkami powrotnymi. Gdy lider dochodzi do powierzchni Ziemi, tą samą drogą przebiega wyładowanie główne, które obserwuje się jako błyskawicę. Po pierwszym wyładowaniu, w ciągu ułamka sekundy, tym samym zjonizowanym kanałem następują kolejne, aż ładunki w chmurze zostaną zupełnie zneutralizowane przez wyładowania powrotne.

Przeciętne natężenie prądu płynącego w błyskawicy wynosi około 20 000 A. Bardzo niebezpieczne dla urządzeń technicznych i obwodów elektroenergetycznych są pojedyncze szybkozmienne udary o dużych amplitudach, wynikających z bezpośredniego działania prądu piorunowego oraz przepięcia atmosferyczne indukowane przez te prądy.

Z mapy bezpośrednio wynika, że na większej części terytorium Polski występuje 25 dni burzowych w roku, południowo-wschodnia część kraju zagrożona jest 30 dniami burzowymi, południowa nawet 32 dniami burzowymi w ciągu roku.

Podczas bezpośredniego wyładowania piorunowego w przewody linii SN, od miejsca uderzenia w obu kierunkach linii, przesuwa się fale przepięciowe wywołane przez rozprzyskujący się prąd piorunowy. Wywołują one przeskoki iskrowe na kolejnych izolatorach wsporczych, wiszących i odciągowych oraz bezpośrednio do konstrukcji wsporczych. Pomimo rozładowywania się fali przepięciowej wzdłuż linii na poszczególnych jej elementach, znaczna część prądu piorunowego dochodzi do urządzeń chronionych przez ograniczniki przepięć. Następuje zadziałanie ograniczników przepięć, które mają za zadanie rozładować w znaczny sposób powstały prąd udarowy i sprowadzić go do systemu uziomowego.

Stany nieustalone w obwodach elektroenergetycznych

Stany nieustalone w sieciach elektroenergetycznych powstają podczas nagłych zmian napięcia zasilającego lub zmian w konfiguracji układu połączeń poszczególnych elementów w systemie elektroenergetycznym. Są one źródłem tzw. przepięć wewnętrznych, wśród których najczęściej występującymi są:

1. Przepięcia łączeniowe powstające podczas wyłączenia i ponownego załączenia nieobciążonych linii lub baterii kondensatorów, przerywania niewielkich prądów indukcyjnych, likwidowania zwarć za pomocą szybkich układów automatyki SPZ.
2. Przepięcia dorywcze wywołane nagłymi zmianami obciążenia, zjawiskami rezonansu i ferorezonansu, nie zanikającymi zvarciami jedno lub dwufazowymi z ziemią.
3. Przepięcia zwarciowe występujące podczas zwarć doziemnych w sieciach elektroenergetycznych.
4. Przepięcia powstające po zadziałaniu układów ochrony przepięciowej wywołane gwałtowną zmianą napięcia i towarzyszący temu przepływ prądów udarowych.
5. Przepięcia wywołane bezpośrednim stykiem przewodów transmisji sygnałów z przewodami sieci elektroenergetycznej.

Część przedstawionych rodzajów przepięć wewnętrznych występuje w sieciach średnich napięć. W takim przypadku zagrożenie urządzeń technicznych wynika z faktu przenoszenia przepięć na stronę niskiego napięcia transformatorów energetycznych.

Normy i przepisy z zakresu ograniczania przepięć w liniach średniego napięcia (wybrane fragmenty). Ograniczniki przepięć wg normy EN 60099-5: Zalecenia doboru i stosowania

Ograniczniki przepięć powinny stanowić niezawodny element sieci. Są one projektowane

do wytrzymywania napięć i towarzyszących im prądów, z wystarczająco wysoką niezawodnością, z uwzględnieniem wpływu zabrudzeń i innych czynników w miejscu zainstalowania. W każdej sieci takimi narażeniami napięciowymi są:

- napięcie pracy,
- przebiecia dorywcze,
- przebiecia o łagodnym czole,
- przebiecia o stromym czole.

Z reguły uzyskanie najlepszej ochrony urządzeń i stosowanie ograniczników przepięć o wysokim napięciu znamionowym są wymaganiami sprzecznymi. Dobór odpowiedniego ogranicznika przepięć jest procesem optymalizacyjnym, który powinien uwzględniać całą gamę parametrów dotyczących sieci i urządzeń.

Beziskernikowe zaworowe ograniczniki przepięć z tlenków metali wg IEC 99-4. Parametry charakterystyczne

Podstawowymi parametrami charakterystycznymi ograniczników przepięć z tlenków metali są:

1. Napięcie trwałej pracy- jest to największa dopuszczalna wartość napięcia sinusoidalnego o częstotliwości sieciowej, które może być w sposób trwały przyłożone do zacisków ogranicznika.
2. Napięcie znamionowe- jest to najwyższe napięcie o częstotliwości sieciowej stosowane w próbie działania przez 10 sekund.
3. Znamionowy prąd wyładowczy- ma zastosowanie do klasyfikowania ograniczników przepięć.
4. Napięcia obniżone przy znamionowym prądzie wyładowczym, udarze prądowym łączeniowym i stromym udarze prądowym.
5. Pośrednimi parametrami charakterystycznymi, które powinny być brane pod uwagę w poszczególnych przypadkach stosowania ogranicznika, są: klasa rozładowania linii (istnieje pięć klas), liczba odpowiadająca zdolności pochłaniania energii przez ograniczniki 10 kA i 20 kA przy rozładowywaniu linii długich, klasa zwarciowa, liczba związana ze zdolnością ogranicznika do wytrzymywania przepływu prądów zwarciowych bez gwałtownego rozerwania osłony, wytrzymałość zabrudzeniowa, osłona ogranicznika powinna wytrzymać narażenia zabrudzeniowe bez przeskoku, ogranicznik powinien wytrzymać wzrost temperatury, który może wystąpić na skutek zmian rozkładu napięcia, spowodowanego przez działanie zanieczyszczeń na powierzchni osłony, ogranicznik powinien wytrzymać bez uszkodzenia warystorów lub wewnętrznych elementów montażowych wewnętrzne wyładowanie niepełne, wywołane przez zakłócenie rozkładu napięcia zabrudzeniami osłony,
6. Przystosowanie do mycia pod napięciem i specjalne właściwości mechaniczne.

Ogólna procedura doboru ograniczników przepięć

Podczas doboru ograniczników przepięć zalecana jest procedura iteracyjna:

- określenie napięcia trwałej pracy ogranicznika do najwyższego napięcia pracy sieci;
- określenie napięcia znamionowego ogranicznika w odniesieniu do przepięć dorywczych;
- oszacowanie wartości i prawdopodobieństwa spodziewanych piorunowych prądów wyładowczych przepływających przez ogranicznik, określenie wymagań dla rozładowania linii przesyłowej i wybór znamionowego prądu wyładowczego ogranicznika, wartości prądu granicznego i klasy rozładowania linii;
- określenie klasy zwarciowej ogranicznika w odniesieniu do spodziewanego prądu zwarcia;

VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010

- określenie charakterystyk ochronnych ogranicznika dla uderów piorunowych i łączeniowych;
- usytuowanie ogranicznika tak blisko chronionego urządzenia, jak to jest możliwe;
- określenie koordynacyjnego napięcia wytrzymywanego łączeniowego chronionych urządzeń, z uwzględnieniem reprezentatywnego przebiegu piorunowego wynikającego z odporności na uderzenie pioruna linii napowietrznej, do której przyłączony jest ogranicznik oraz dopuszczalnego stopnia awaryjności chronionych urządzeń;
- analiza konfiguracji stacji;
- określenie odległości pomiędzy ogranicznikiem przepięć a chronionym urządzeniem;
- określenie znamionowego poziomu izolacji urządzeń.

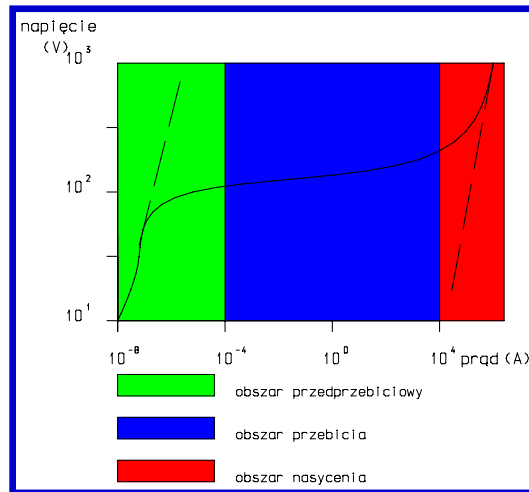
Budowa beziskiernikowych ograniczników przepięć SN i struktura przewodzenia w warystorach ZnO

Podstawową częścią ogranicznika jest stos warystorów wykonanych z tlenku cynku z dodatkiem szeregu tlenków innych metali, który znajduje się w materiale izolacyjnym, stanowi obudowę wewnętrzną ogranicznika i zapewnia bardzo dobrą wytrzymałość mechaniczną. Z obu stron znajdują się elektrody z aluminium. Styk elektryczny między warystorami i elektrodami zapewniony jest przez odpowiedni docisk. Osłona zewnętrzna ogranicznika - jednoczęściowa i jednolita - wykonana jest z silikonu LSR (Liquid Silicone Rubbers) o bardzo dobrych własnościach elektroizolacyjnych.

Warystory tlenkowe są polikrystalicznymi półprzewodnikami złożonymi z ziaren ZnO i innych tlenków metali takich jak np.: tlenek bizmutu, tlenek antymonu, tlenek manganu, tlenek kobaltu i innych. Strukturę ceramiki warystorów stanowią trzy zasadnicze składniki:

- ziarna ZnO o średnicy od 5 do 20 μm i rezystywności od 1 do 100 Ωm . Pomędzy ziarnami ZnO wytworzone są homogeniczne przejścia typu ZnO-ZnO. W ziarnach ZnO ulokowane są dodatkowe pierwiastki (np. Mn, Co, Ni, Al, Bi) w formie stałej lub rozpuszczonej. Istnieją także liczne defekty struktury krystalicznej. Zarówno dodatki jak i defekty mogą zostać zjonizowane przez zewnętrzne pole elektryczne, powstałe w ten sposób ładunki przestrzenne tworzą wraz z ujemnymi ładunkami na granicy ziaren ZnO barierę potencjałów Schottkiego, która odgrywa decydującą rolę w mechanizmie przewodzenia,
- tlenek bizmutu wypełniający przestrzenie pomiędzy ziarnami ZnO i spinelami, grubość warstwy wynosi od 0,01 do 1 μm . Pomędzy fazą bogatą w Bi_2O_3 a ziarnem ZnO tworzą się przejścia heterogenne. Bariery potencjałów przejść heterogennych są wyższe niż bariery na granicy ziaren ZnO, dlatego przeważająca część prądu płynie przez przejścia homogeniczne,
- spinele (kryształy) o średnicy od 2 do 4 μm znajdujące się pomiędzy ziarnami ZnO. Spowalniają one wzrost ziaren ZnO podczas wypalania. Ich rezystywność jest bardzo duża i dlatego nie biorą udziału w transporcie ładunków elektrycznych.

W charakterystyce napięciowo-prądowej warystorów tlenkowych wyróżnia się trzy obszary: obszar przedprzebiciowy, przewodzenia i obszar nasycenia. W obszarze przedprzebiciowym rezystancja warystora jest rzędu gigaomów, a prąd czynny płynący pod napięciem roboczym jest rzędu mikroamperów. Przy napięciu przemiennym składowa pojemnościowa jest wyższa od rezystancyjnej, zatem warystor zachowuje się jak stratny kondensator. W obszarze przebicia rezystancja gwałtownie spada składowa pojemnościowa jest mniejsza od rezystancyjnej warystor zachowuje się jak rezystor o zmiennej rezystancji. W obszarze nasycenia rezystancja spada do kilku omów. Warystor przewodzi całym swym potencjałem.



Rys.2. Charakterystyka napięciowo-prądowej warystorów tlenkowych

Wskazówki praktyczne właściwego doboru i montażu bezskiernikowych ograniczników przepięć w sieciach SN

Uproszczona metoda doboru bezskiernikowych ograniczników przepięć SN.

W sieciach średniego napięcia dobór ograniczników musi uwzględniać sposób uziemienia punktu neutralnego sieci. W doborze ze względów bezpieczeństwa powinno się przyjmować najwyższe wartości przepięć dorywczych U_t .

Wartość przepięć dorywczych U_t powinna być równa wartości najwyższego napięcia sieci U_s , ponieważ wartość napięcia znamionowego U_r ogranicznika zależy nie tylko od amplitudy, ale również od czasu trwania przepięć dorywczych (ogranicznik wg producentów może wytrzymać napięcie U_r tylko przez 10 s). Czas występowania przepięć dorywczych jest krótszy niż 10 s, jeżeli stosuje się automatyczne wyłączenie zwarcia (punkt neutralny jest uziemiony przez rezystor lub przy zastosowaniu kompensacji ziemnozwarciowej z krótkim czasem wyłączenia). Jednak w wielu sieciach dopuszcza się długotrwałą pracę sieci z doziemieniem jednej fazy (sieci z izolowanym punktem neutralnym).

Należy rozróżnić dwa przypadki:

- automatyczne wyłączenie zwarcia faza- ziemia wówczas ogranicznik powinien mieć napięcie znamionowe U_r

$$U_r \approx 1,25 \cdot U_c \geq \frac{1,25 \cdot k \cdot U_s}{\sqrt{3}}$$

U_c - napięcie trwałej pracy
 U_s - najwyższe napięcie sieci
 k - współczynnik uwzględniający wpływ wyższych harmonicznych

$k > 1,2$ – wyłączenie bezzwłoczne

$k > 1,4$ – wyłączenie w czasie 10 s

$k > 1,73$ – wyłączenie po czasie większym niż 10 s

- gdy możliwa jest długotrwała praca z doziemieniem jednej fazy

$$U_r = 1,25 \cdot U_c \geq U_s$$

VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010

Zalecane wartości parametrów ograniczników beziskiernikowych przeznaczonych do pracy w sieciach 15-30 kV według uproszczonej metody doboru. Uwaga: dobierając ograniczniki nie należy sugerować się możliwościami charakterystyki wytrzymałości na przepięcia czasowe dla doboru ogranicznika przepięć o jak najmniejszej wartości napięcia trwałej pracy U_c , ponieważ każdy błąd zadziałania automatyki ziemnozwarciowej, który skutkuje wydłużaniem się trwania zwarcia doziemnego może spowodować tzw. „rozbieganie termiczne” ograniczników przepięć w sieci.

Ip	Nazwa	Wartość skuteczna napięcia (kV)			
1.	Napięcie znamionowe sieci Un	15	20	30	
2.	Najwyższe napięcie sieci Us	17,5	24	36	
3.	Wylączenie bezwzględne	Napięcie stałej pracy ogranicznika Uc	12,8	16,8	24
		Napięcie znamionowe ogranicznika Ur	16	21	28,8
4.	Wylączenie w czasie do 10 sekund	Napięcie stałej pracy ogranicznika Uc	14,4	19,2	28,8
		Napięcie znamionowe ogranicznika Ur	18	24	36
5.	Wylączenie w czasie nieograniczonym	Napięcie stałej pracy ogranicznika Uc	17,6	24	36
		Napięcie znamionowe ogranicznika Ur	22	30	45

- znamionowy prąd wyładowczy 8/20 μs: In=10 kA lub In=5kA
- zdolność pochłaniania energii: nie mniej niż 2kJ na 1 kV napięcia Ur
- wytrzymałość na udary o kształcie prostokątnym 2000 μs: próba prądem > 250A
- wytrzymałość zwarciova: dostosowana do spodziewanego prądu ziemnozwarciowego
- jednostkowa długość drogi upływu izolacji: dostosowana do warunków izolacji

Rys.3. Zalecane wartości parametrów ograniczników beziskiernikowych przeznaczonych do pracy w sieciach 15-30 kV według uproszczonej metody doboru

Ze względu na skuteczność ochrony, odległość ogranicznika od urządzenia chronionego powinna być jak najmniejsza. Połączenie ogranicznika z przewodem roboczym sieci oraz przewód łączący ogranicznik z uziomem należy wykonywać najkrótszą drogą, przewodem o przekroju nie mniejszym niż 16 mm². Rezystancja uziemienia ograniczników nie powinna być większa niż 10 Ω

Miejsca montażu ograniczników

Odgromniki w sieciach elektroenergetycznych powinny być montowane:

- przy przyłączach linii napowietrznej z przewodami gołymi z linia kablową, umieszczone przy głowicach kablowych;
- przy przyłączach linii napowietrznej z przewodami w izolacji z linia kablową;
- - w miejscach pomiaru energii elektrycznej (np. przekładnikach do pomiaru energii), znajdujących się na słupach linii napowietrznej;
- przy podłączeniu linii mających słupy lub poprzeczki z materiałów nieprzewodzących z linią na słupach stalowych lub żelbetowych (ograniczniki umieszczone na pierwszym słupie przewodzącym);

- w przęsłach specjalnych;
- na stacjach transformatorowych słupowych i innych, przed stacjami murowanymi z podejściem linii napowietrznej lub w polach odgromowych stacji wewnętrznych;

Przyszłość warystorowych beziskiernikowych ograniczników przepięć jest jasna, stale ulepszone, poddawane nowym próbom i udoskonaleniom wyprą całkowicie inne aparaty stosowane do ograniczania przepięć.

Firmy produkujące ograniczniki przepięć prześcigają się w nowych ulepszonych konstrukcjach swoich wyrobów. Prowadzone badania i nieustanne próby prowadzą do poprawienia jakości i niezawodności działania ograniczników przepięć. Trwają nieustanne prace nad ogranicznikami przepięć, które montowane są w urządzenia elektroenergetyczne, które swoją budową i działaniem wprowadzają zakłócenia przepięciowe w sieć (wyłączniki, rozłączniki).

Głowice kablowe zaczynają być wyposażane w specjalnie wykonywane ograniczniki stanowiące stały element wyposażenia montażu głowic. Technologia ograniczania przepięć za pomocą warystorowych beziskiernikowych ograniczników przepięć jest rozwojowa i dopóki nie zostanie wymyślony inny sposób na długie lata zadomowi się w elektroenergetyce.