

11. OCHRONA PRZECIWPRIĘCIOWA W LINII I STACJI ELEKTROENERGETYCZNEJ

11.1. PRZESKOK ODWROTNY

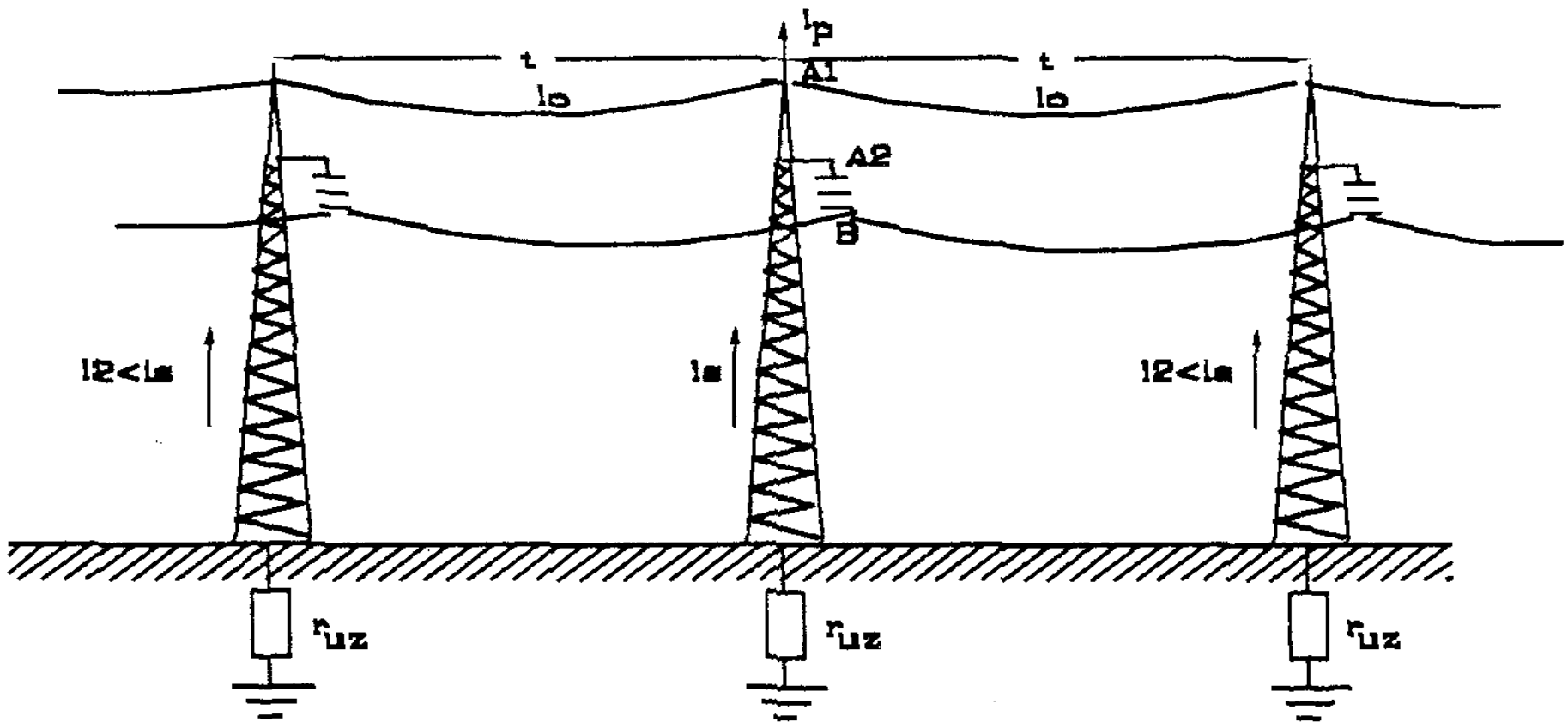
W rozdziale poprzednim omówiono zagadnienia ruchu fali napięciowej w linii. W tym rozdziale będą natomiast skrótowo zasygnalizowane środki zapobiegawcze przed skutkami przebiegów piorunowych przemieszczających się wzdłuż linii.

Fala napięciowa pochodzenia atmosferycznego może w linii pojawić się w dwojaki sposób:

- 1. W wyniku bezpośredniego wyładowania do linii lub do słupa;**
- 2. W wyniku zaindukowania się napięcia od pobliskiego uderzenia pioruna.**

Poniżej zostanie rozpatrzony przypadek bezpośredniego wyładowania do słupa, na którym jest zawieszony na izolatorze przewód roboczy linii oraz nad tym przewodem jest zawieszony dodatkowy, uziemiony przewód, zwany przewodem odgromowym (rys. 11.1). Do wierzchołka słupa zachodzi wyładowanie piorunowe o prądzie pioruna i_p .

Prąd pioruna rozplywa się teraz w trzech kierunkach (rys. 11.1):



Rys. 11.1. Ilustracja do pojęcia przeskoku odwrotnego

- w obie strony od słupa wzdłuż przewodu odgromowego;
- wzdłuż słupa do ziemi.

Przepływ prądu jest związany ze spadkami napięcia. Zatem w punktach A_1 i A_2 na słupie będą panowały określone potencjały, stanowiące o tym, że między punktami A_2 i B , czyli wzdłuż łańcucha izolatorów, powstaje napięcie. Napięcie to jest sumą następujących składowych:

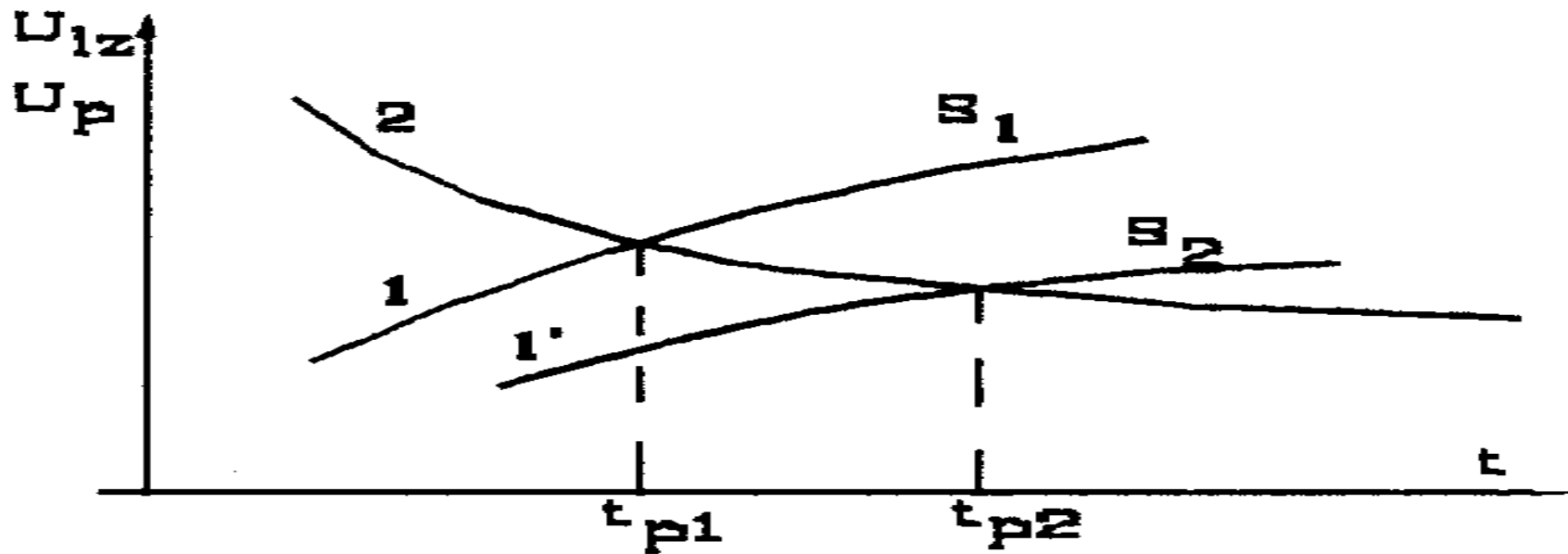
1. spadku napięcia na rezystancji uziemienia słupa R_{uz} równego $i_s \cdot R_{uz}$;
2. spadku napięcia na indukcyjności słupa L_{sl} równego $L_{sl} \cdot \frac{di}{dt}$;
3. składowej elektrycznej napięcia indukowanego w przewodach linii przez kanał pioruna. W czasie gdy lider zbliża się do słupa wówczas tworzy się nad słupem kolumna ładunku przestrzennego. Wyładowanie ten ładunek neutralizuje - stąd zanik pola - indukując napięcie $U_{AB} \approx s_p \cdot h_r$, gdzie s_p jest stromością narastania prądu pioruna, a h_r jest wysokością zawieszenia przewodu roboczego.

Ostatecznie na izolacji słupa wystąpi napięcie będące sumą powyższych składowych:

$$U_{AB} = \left(i_s \cdot R_{uz} + L_{sl} \cdot \frac{di_s}{dt} + s_p \cdot h_r \right) \cdot (1 - k_u) \quad (11.1)$$

gdzie: $L_{sl} \approx 0.6 \cdot h_{sl}$ dla indukcyjności słupa w $[\mu H]$ i wysokości w $[m]$; k_u - współczynnik sprzężenia między przewodem odgromowym a roboczym; $k_u = k_o \cdot \gamma$; k_o - geometryczny współczynnik sprzężenia; γ - współczynnik uwzględniający wpływ ulotu: $\gamma = 1.2$ przy jednym przewodzie odgromowym w linii **110÷220 kV** lub $\gamma = 1.25$ przy dwóch przewodach odgromowych.

Miedzy punktami **A** i **B** na słupie jest odpowiedni izolator liniowy o określonej długości uzależnionej od napięcia znamionowego sieci. Zależnie od długości izolatora istnieje określona wartość napięcia przekoku wzdłuż jego powierzchni. Jeśli napięcie U_{AB} jest wyższe od napięcia przekoku wzdłuż wysokości izolatora U_{iz} to nastąpi przekok. Obydwa napięcia zarówno U_{AB} jak i U_{iz} zależą od czasu oddziaływania przepięcia piorunowego, co ilustruje rysunek 11.2. Zatem wówczas gdy U_{AB} jest większe od U_{iz} , nastąpi przekok do przewodu roboczego mimo, że wyładowanie piorunowe wystąpiło do uziemionego przewodu odgromowego. Ponieważ przekok odbywa się od elementu uziemionego (przewód odgromowy) do przewodu o potencjale napięcia sieci stąd nazwano go **przekokiem odwrotnym**.



Rys. 11.2. Zależność napięcia na izolacji słupa (1 lub 1') i napięcia przekoku wzdłuż izolatora

Zatem po zaistnieniu przeskoku odwrotnego w przewodach roboczych pojawi się fala napięciowa pochodzenia atmosferycznego. Ponieważ, jak to wynika z wzoru (11.1), napięcie U_{AB} zależy od prądu płynącego przez słup i_s , który to prąd można w uproszczonych rozważaniach uzależnić od prądu pioruna i_p tak iż $i_s \approx 0.6 \cdot i_p$, to napięcie U_{AB} również zależy od prądu pioruna i_p . W oparciu o powyższe związki można wprowadzić ważne pojęcie piorunowego poziomu izolacji linii.

Piorunowy poziom izolacji linii jest to najniższa wartość szczytowa I_p prądu pioruna, przy której, dla założonej stromości s_p tego prądu, występuje przeskok na izolacji linii.

Jak wynika z wzoru (11.1) oraz z rysunku 11.2 piorunowy poziom izolacji linii zależy głównie od:

1. rezystancji uziemień słupów;
2. wysokości słupów;
3. długości (wysokości) izolatorów liniowych.

Im napięcie znamionowe linii jest niższe tym wysokość (długość) izolatorów liniowych jest mniejsza - mniejsze jest napięcie przeskoku wzdłuż izolatora i piorunowy poziom izolacji linii maleje. W liniach ŚN, gdzie piorunowy poziom izolacji linii jest niewielki, stosowanie przewodów odgromowych traci sens, gdyż przy każdej wartości szczytowej prądu pioruna zachodzi przeskok odwrotny.

Linie wyższych klas napięciowych są zwykle chronione przewodami odgromowymi na całej długości, natomiast linie ŚN chroni się jedynie na długości tzw. podejścia do stacji energetycznej (1÷5 km). Na takim podejściu stosuje się dodatkowe zabiegi zmierzające do podwyższenia piorunowego poziomu izolacji linii. Przykłady takich zabiegów to:

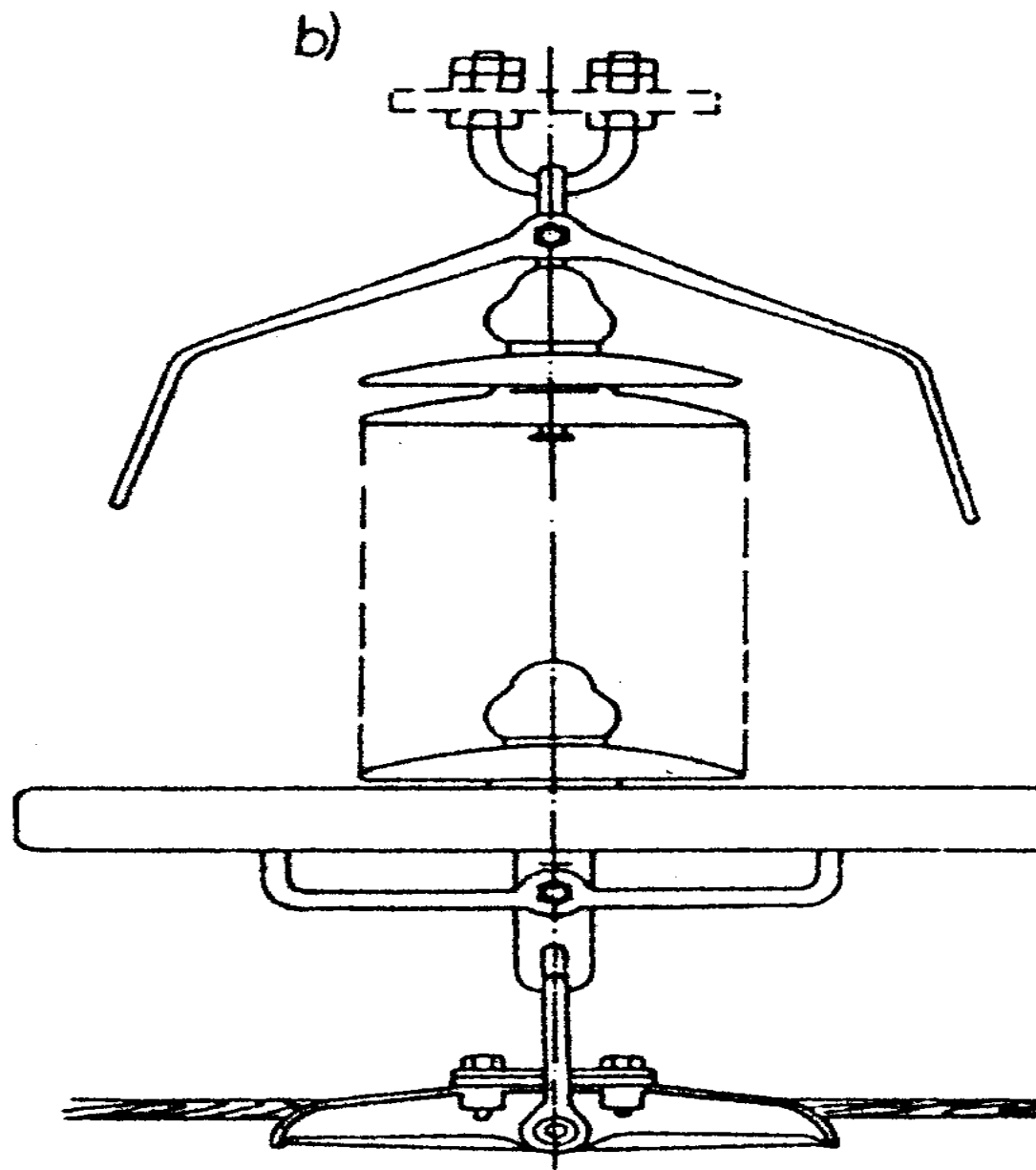
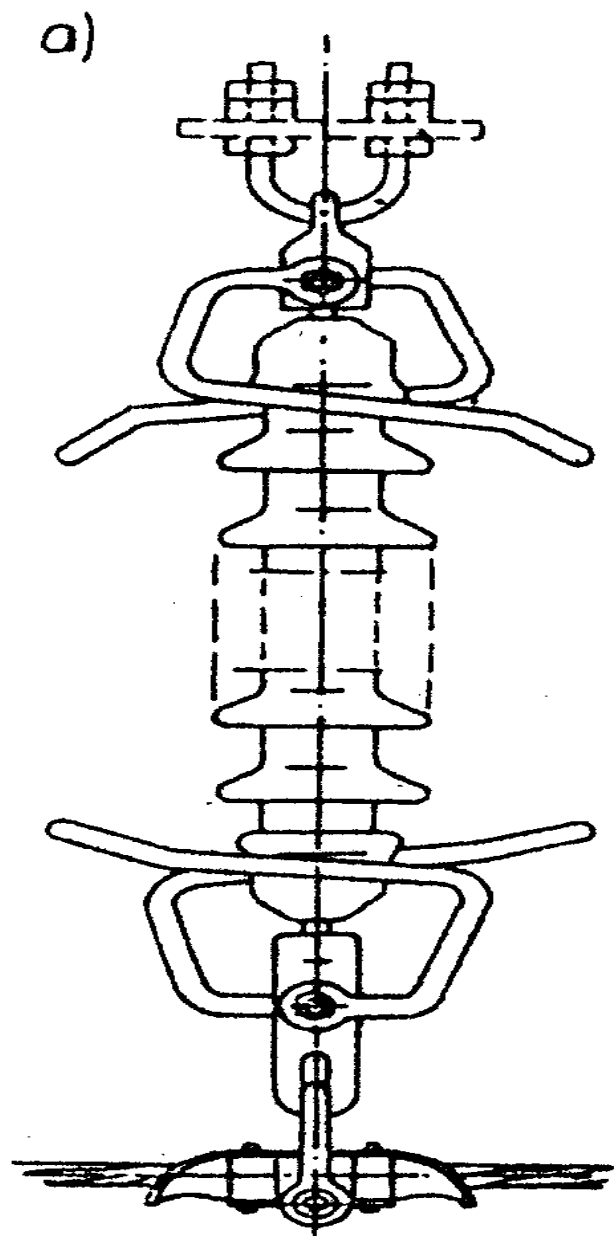
- a. zmniejszanie rezystancji uziemień – jest to szczególnie kosztowne przy piaszczystych gruntach;
- b. utrzymywanie izolatorów w czystości i w nie uszkodzonym stanie.

Zabiegi takie mają na celu nie dopuścić do stacji energetycznej fali napięciowej od wyładowań w bezpośredniej bliskości stacji. Fale przychodzące z odległości dalszych nie mogą bowiem przekraczać wartości udarowego napięcia przeskoku wzdłuż izolatorów, które można, w pierwszym przybliżeniu, oszacować jako równe $U_{iz} \approx 8 \cdot U_n$, gdzie U_n jest napięciem znamionowym izolatora. Dodatkowo, jak to wspomniano w rozdziale 10.3.7, fala przychodząca z dalszej odległości jest silnie wytłumiana, głównie przez ulot.

11.2. OCHRONA PIORUNOWA LINII ENERGETYCZNEJ

Zabiegi mające na celu ochronę linii elektroenergetycznej przed skutkami wyładowań atmosferycznych można zestawić w następujących punktach:

1. Stosowanie przewodów odgromowych.
2. Ochrona łańcucha izolatorów liniowych przed mechanicznymi i termicznymi skutkami przeskoku wzdłuż izolatora. W tym celu stosuje się odpowiednią armaturę ochronną (iskierniki ochronne). Przykłady takich iskierników pokazano na rysunku 11.3. Zadanie iskiernika ochronnego nabudowanego na izolator liniowy polega na odprowadzeniu łuku elektrycznego od powierzchni izolatora. W przypadku izolatorów typu kołpakowego (rys. 11.3b), dla których występuje zjawisko nieliniowego rozkładu napięcia wzdłuż izolatora, armatura ochronna ma dodatkowe zadanie polegające na wyrównywaniu tego rozkładu napięcia (patrz również rozdz. 3.4).
3. Ochrona podejść do stacji przed przeskokiem odwrotnym.
4. Stosowanie odpowiednio niskooporowych uziemień słupów linii.
5. Uzależnianie długości izolatorów (liczby członów w łańcuchu) od wysokości słupa. Przy wysokich słupach rośnie zarówno składowa indukowana (wzór (11.1)) jak i indukcyjna napięcia na izolacji słupa. Wówczas może zaistnieć przypadek, że nawet znaczne zmniejszenie rezystancji uziemienia słupa może nie dać oczekiwanego efektu.



Rys. 11.3. Przykłady iskierników ochronnych [2]: a) iskiernik rozkowy, b) iskiernik pierścieniowy

W niektórych krajach stosuje się dodatkowo nabudowywanie na szczycie słupa metalowego pręta o długości **10÷15 m**, co łagodzi niebezpieczeństwo przeskoku odwrotnego, gdyż powoduje odsunięcie ładunku przestrzennego od słupa i zmniejsza wartość składowej indukowanej.

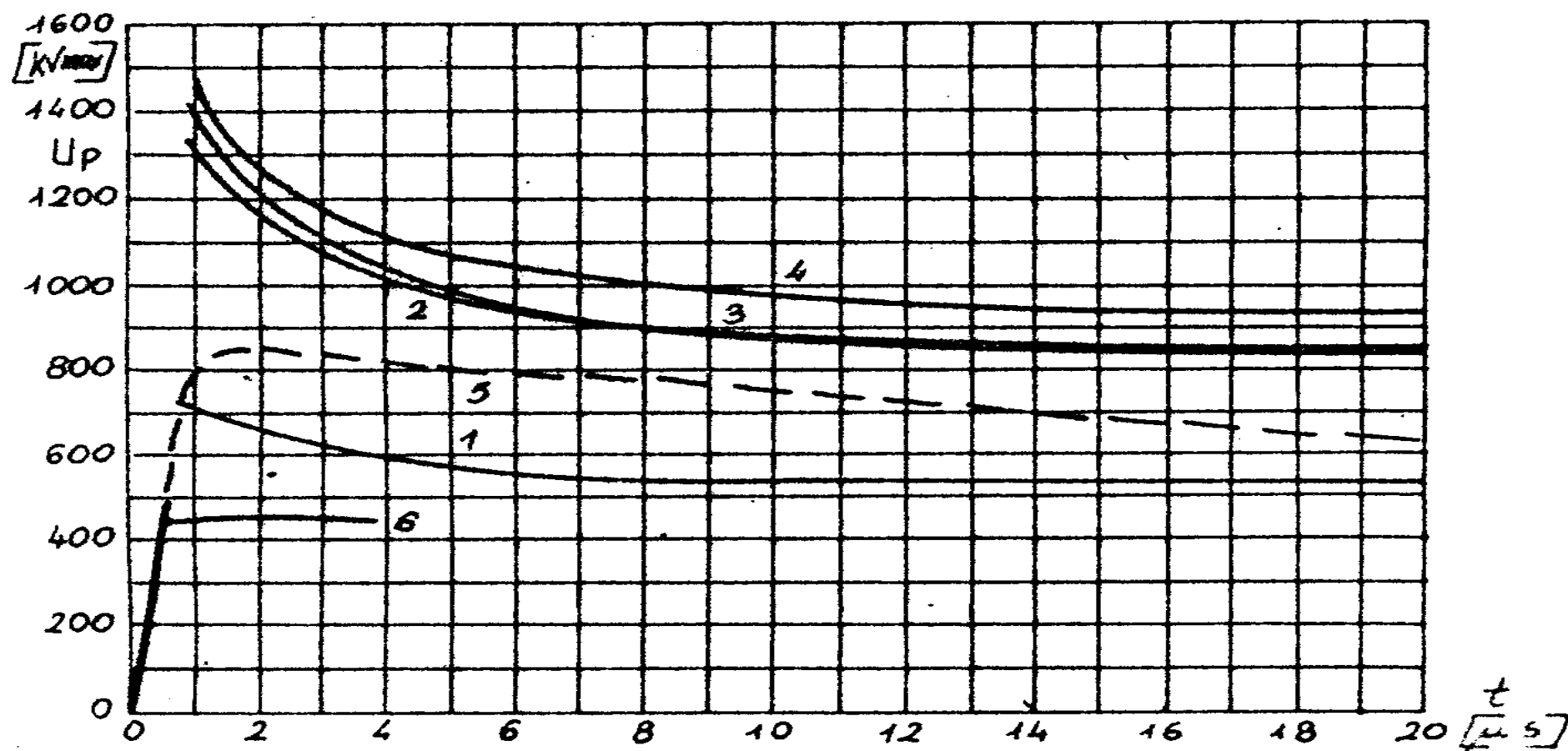
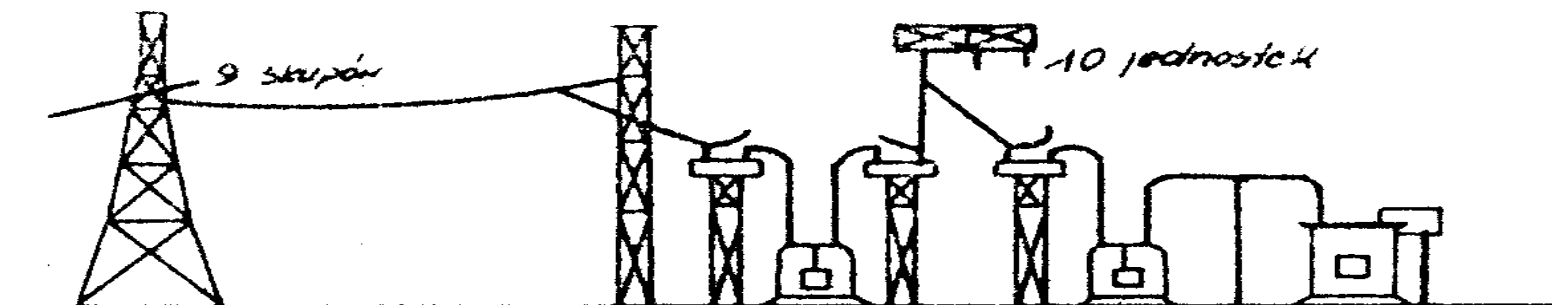
Przy stosowaniu dwóch przewodów odgromowych tylko jeden z nich jest bezpośrednio uziemiony. Drugi jest zawieszony na niewielkich izolatorach po to, by nie powstawała pętla prądowa, w której mogłyby płynąć pasożytnicze prądy powodujące nagrzewanie przewodów odgromowych i straty energii. Izolatory te są tak dobrane, by każda fala piorunowa powodowała przeskoczenie do słupa.

11.3. OCHRONA STACJI ELEKTROENERGETYCZNEJ

Ochrona stacji energetycznej jest problemem znacznie bardziej skomplikowanym niż ochrona linii gdyż w stacji znajdują się drogie urządzenia i maszyny elektryczne z izolacją stałą lub ciekłą. Przebicie tego rodzaju izolacji jest równoznaczne z uszkodzeniem urządzenia, w odróżnieniu od przeskoku w linii, który jest niepożądany, lecz dopuszczalny. Ochrona stacji ma zatem dwa aspekty:

1. Stacja musi być zabezpieczona od bezpośrednich uderzeń pioruna i to ze 100-procentową pewnością. W tym celu na terenie stacji ustawia się siatkę odpowiednio wysokich masztów z nabudowanymi prętami metalowymi (zwodami) połączonymi z siatką uziemień stacyjnych o niskiej rezystancji. Strefy ochronne tych zwodów pionowych muszą dać 100% pewności, że nie będzie bezpośredniego uderzenia pioruna w żaden z elementów stacji. Uderzenie pioruna w stację jest katastrofą, do której dopuścić nie można.
2. Do stacji mogą więc przyjść jedynie fale przepięciowe z linii. Fale te muszą być w stacji przyjęte i rozładowane. Zatem w stacji należy spreparować słabe punkty, w których w bezpieczny sposób dokonuje się odprowadzenia ładunku, niesionego przez falę przepięciową, do ziemi. Elementy realizujące ten postulat noszą nazwę **ochronników** i zostały omówione w rozdziale 12.

Na rysunku 11.4 podano przykład zależności napięć przeskoku lub przebicia w funkcji czasu oddziaływania fali udarowej piorunowej (zależności takie noszą nazwę charakterystyk udarowych) poszczególnych elementów stacji o napięciu 138 kV (nietypowym jak na warunki polskie). Jak widać najniższą wartością napięć przeskoku charakteryzuje się element 6 nazwany ogranicznikiem przepięć (patrz rozdz. 12.2), który jest typowym przykładem ochronnika mającego obniżyć wartość szczytową fali przepięciowej do poziomu nie zagrażającego pozostałym elementom stacji.



Rys.11.4. Koordynacja izolacji stacji 138 kV dla uderu 1.5/40 μs [11]

1 - poziom izolacji transformatora, 2 - napięcie przeskoku na izolatorach chronionego podejścia do stacji (9 pręseł), 3 - napięcie przeskoku na izolacji odłączników, 4 - napięcie przeskoku na izolatorach szyn zbiorczych, (10 segmentów), 5 - maksymalne napięcie przychodzące z linii, 6 - poziom zapłonu odgromnika zaworowego



