

2. POJĘCIA PODSTAWOWE

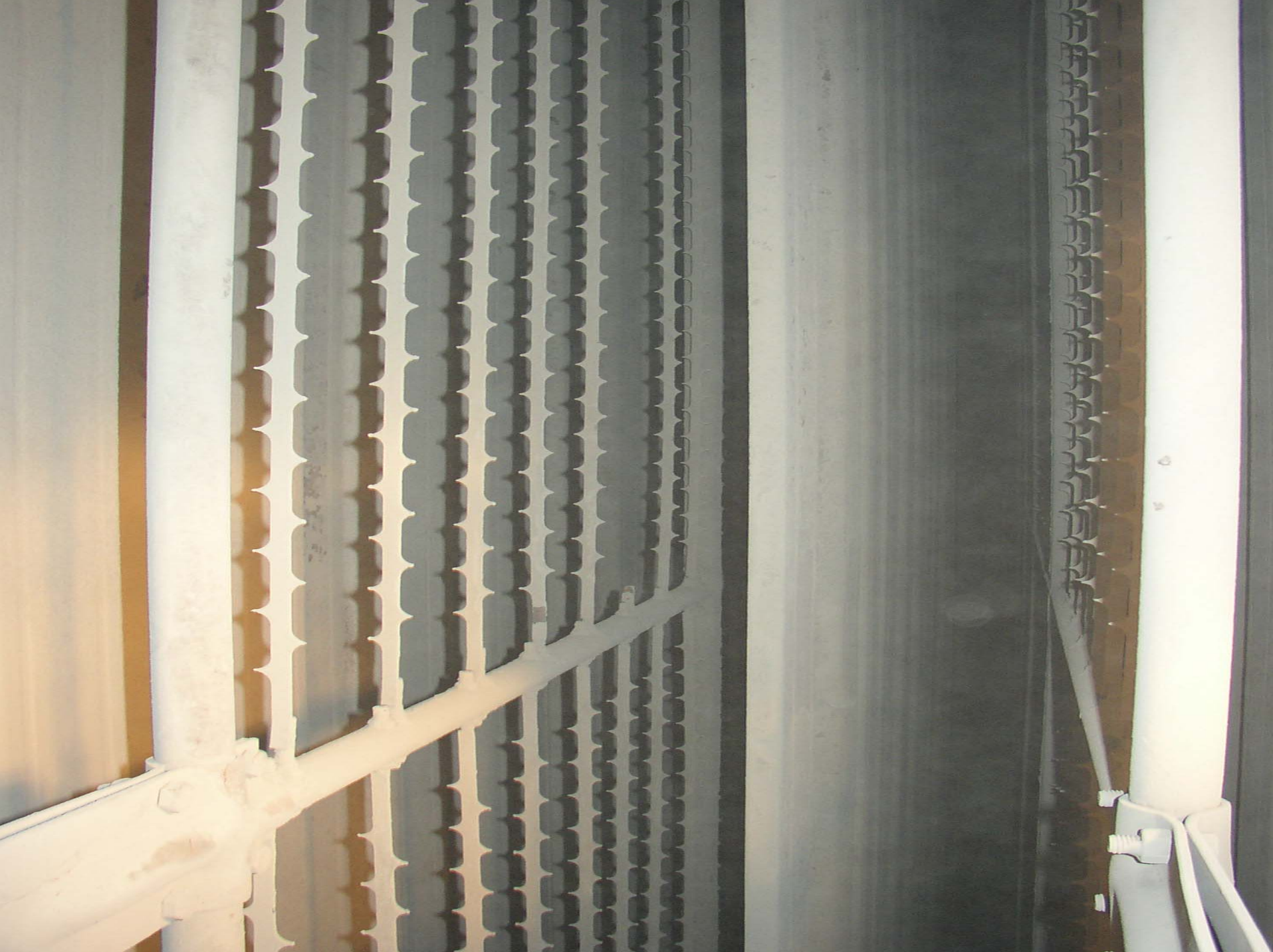
2.1. CEL TECHNIKI WYSOKICH NAPIĘĆ

Ogólnie można powiedzieć, że przedmiotem techniki wysokich napięć jest izolacja elektryczna. Każde ze specyficznych zagadnień techniki wysokich napięć, takich jak np. pole elektryczne, wyładowania elektryczne, przepięcia i ochrona od przepięć, wysokonapięciowa technika probiercza i laboratoryjna, problemy uziemień itp., ma swe specyficzne aspekty i samoistne znaczenie. Jednakże podstawowym celem tych wszystkich dociekań jest konstruowanie, wykonanie i eksploatacja niezawodnych i bezpiecznych dla człowieka i środowiska wysokonapięciowych układów izolacji elektrycznej.

Poza tym istnieje cały szereg tzw. przemysłowych (w odróżnieniu od energetycznych) zastosowań techniki wysokich napięć (TWN) jak np.:

- elektrofiltry i separatory,







- nanoszenie powłok (np. malarskich),

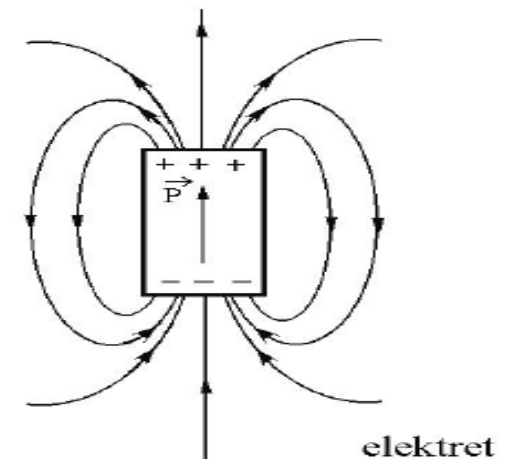


- aktywacja procesów biologicznych (np. elektrofuzja komórek żywych),



- badania materiałowe (np. dotyczące elektretów) itp.

Dygresja: niektóre dielektryki, zwane *elektretami*, wykazują trwałą polaryzację elektryczną; stanowią one odpowiedniki trwałych magnesów (rys.). Elektrety wytwarza się zwykle z dielektryków polarnych, których cząsteczki mają stosunkowo duże momenty dipolowe. Korzysta się przy tym z faktu, że zdolność ustawiania się momentów dipolowych cząsteczek ciał stałych wzdłuż kierunku pola elektrycznego silnie rośnie ze wzrostem temperatury. Dielektryk ogrzany do temperatury bliskiej lub przekraczającej temperaturę topnienia, umieszcza się w silnym polu elektrycznym i następnie ochładza.



Podstawowy cel TWN związany z izolacją elektryczną osiąga się poprzez następujące etapy:

1. Rozeznanie mechanizmów wyładowań elektrycznych.
2. Rozeznanie narażeń, którym jest poddawany układ izolacyjny w eksploatacji.

Narażenia te mogą być różnego rodzaju i wynikają z:

- a) przepięć i działania napięcia roboczego,
- b) warunków atmosferycznych (mgła, deszcz, śnieg, oblodzenie, zapylenie, zasolenie, wiatr itd.),
- c) oddziaływań mechanicznych powodowanych np. siłami zwarciovymi, obciążeniami mechanicznymi itd.,
- d) narażeń cieplnych np. z przegrzań wskutek przepływu prądu,
- e) nieprawidłowej eksploatacji np. celowe stłuczenie izolatora, przypadkowe zawilgocenie izolacji itp.







3. Opracowanie środków chroniących przed przepięciami i obniżających ich wartość.
4. Opracowanie metod obliczania, konstruowania i technologii wykonania układów izolacyjnych.
5. Sprawdzenie poprzez odpowiednie próby laboratoryjne czy zbudowany układ izolacyjny sprosta narażeniom eksploatacyjnym.
6. Opracowanie zasad konserwacji i eksploatacji układów izolacyjnych.

2.2. DEFINICJA WYSOKIEGO NAPIĘCIA

Według krajowych przepisów do napięć niskich zalicza się w zasadzie jedynie napięcie sieci 230/400 V (jeśli brać pod uwagę jedynie powszechnie znane poziomy napięciowe), a wszystkie sieci o napięciach powyżej 1000 V to sieci o napięciu wysokim. Podział taki ma głęboki sens fizyczny. Jedno z podstawowych praw TWN, prawo Paschena (patrz rozdz. 5.2) mówi, że przy ciśnieniu atmosferycznym nawet w bardzo małych odstępach powietrznych rzędu 0.001 cm wyładowanie elektryczne przy napięciach poniżej 350 V nie może zaistnieć. Zatem wszystkie sieci elektroenergetyczne o napięciach powyżej 1 kV będziemy nazywać sieciami wysokiego napięcia (WN).

W tabeli 2 zestawiono podstawowe poziomy napięciowe sieci WN. Można tu wyodrębnić dodatkowe podzakresy napięciowe:

- poniżej 110 kV napięcie średnie (ŚN),
- 110...220 kV napięcie wysokie (WN),
- 400...750 kV najwyższe napięcie (NN lub częściej z ang. EHV od extra high voltage).

T a b e l a 2
Napięcia znamionowe oraz poziomy odniesienia dla przepięć w sieciach energetycznych [kV]

1	Napięcie znamionowe wartość skuteczna	U_n	3	6	10	15	20	110	220	400	750
2	Najw. dopuszczalne napięcie robocze,, wartość skuteczna	U_m	3.6	7.2	12	17.5	24	123	245	420	765 787
3	Jedn. odniesienia dla napięć przebiegających wartość skuteczna	$\frac{U_m}{\sqrt{3}}$	2.1	4.2	7.0	10.0	14	71	142	242	442 454
4	Jedn. odniesienia dla napięć udarowych wartość szczytowa	$\frac{U_m}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{2}$	3.0	5.9	9.8	14.5	19.6	100	200	343	625 645

UWAGA! Dla sieci 750 kV podano dwie wartości: górną według norm IEC (International Electrotechnical Committee) oraz dolną według norm RWPG (Rady Wzajemnej Pomocy Gospodarczej).

W powyższych zakresach napięciowych mogą wystąpić znaczne różnice zarówno w konstrukcji, właściwościach jak i przeznaczeniu sieci elektrycznej. I tak ŚN to zakres sieci rozdzielczych, WN to sieci dosyłowe lub rejonowe, natomiast EHV to sieci przesyłowe (magistralne).

Uruchomiona w ZSRR w 1985 r. linia 1150 kV oraz będące w opracowaniu w takich krajach jak Włochy i USA linie 1050...1200 kV noszą nazwę sieci ultrawysokich napięć (UHV od ang. ultra high voltage). W Polsce najwyższe napięcie to napięcie, linii przesyłowej z Chmielnickiej Elektrowni Atomowej na Ukrainie do stacji energetycznej Widelka koło Rzeszowa, wynoszące 750 kV (rys. 2.1). Linia ta w chwili obecnej nie pracuje i ulega dewastacji.



Podane w pierwszym wierszu tabeli 2 wartości napięć znamionowych sieci nie mają żadnego znaczenia fizycznego i są stosowane jedynie jako formalne etykiety. Do celów projektowania układów izolacji elektrycznej pod kątem wieloletnich narażeń napięciem roboczym służy wielkość zwana najwyższym dopuszczalnym napięciem roboczym lub maksymalnym napięciem roboczym U_m .

Wartości U_m zestawiono w drugim wierszu tabeli 2. Jest to wartość wyższa od napięcia znamionowego o około 20% dla ŚN, 10% dla WN i poniżej 10% dla EHV. Napięcie U_m to maksymalne napięcie robocze sieci, które w sposób trwały może występować na odstępie międzyfazowym w normalnych warunkach pracy. Dla sieci i urządzeń EHV, gdzie problemy izolacyjne są najważniejsze, zwykle nawet w potocznym słownictwie mówi się o np. sieci 420 kV, a nie 400 kV itd., czyli definiuje się linię za pomocą maksymalnego napięcia roboczego a nie znamionowego.

2	Najwyższe dopuszczalne napięcie robocze - wartość skuteczna	U_m	3.6	7.2	12	17.5	24	123	245	420	765
---	---	-------	-----	-----	----	------	----	-----	-----	-----	-----

2.3. DEFINICJA PRZEPIĘCIA

Każde przekroczenie napięcia powyżej najwyższego dopuszczalnego napięcia roboczego sieci nazywa się przepięciem.

Przepięcia najogólniej dzieli się na wewnętrzne i atmosferyczne.

Przebiecia wewnętrzne zachodzą przy wszelkich zamierzonych i niezamierzonych załączaniach lub wyłączaniach jak również przy zwarciach, w tym głównie doziemnych. Przebiecia te mogą się różnić czasem trwania. Stąd dzieli się je na:

- długotrwałe mogące trwać sekundy, godziny a nawet dni; tego rodzaju przebiecia charakteryzują się częstotliwością zbliżoną do znamionowej (50 Hz); jednostką odniesienia dla określenia krotności tego typu przebiec jest wartość $\frac{U_m}{\sqrt{3}}$ czyli najwyższe dopuszczalne napięcie robocze fazowe (tab. 2, wiersz 3);

3	Jedn. odniesienia dla napięć przemiennych wartość skuteczna	$\frac{U_m}{\sqrt{3}}$	2.1	4.2	7.0	10.0	14	71	142	242	442 454
4	Jedn. odniesienia dla napięć udarowych wartość szczytowa	$\frac{U_m}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{2}$	3.0	5.9	9.8	14.5	19.6	100	200	343	625 645

- krótkotrwałe o czasach rzędu setek mikrosekund lub pojedynczych milisekund, zwane udarami łączeniowymi; jednostką odniesienia dla tych przepięć jest wartość szczytowa najwyższego fazowego napięcia roboczego $\frac{Um}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{2}$ tabela 2, wiersz 4).

3	Jedn. odniesienia dla napięć przemiennych wartość skuteczna	$\frac{Um}{\sqrt{3}}$	2.1	4.2	7.0	10.0	14	71	142	242	442 454
4	Jedn. odniesienia dla napięć udarowych wartość szczytowa	$\frac{Um}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{2}$	3.0	5.9	9.8	14.5	19.6	100	200	343	625 645

Przepięcia zewnętrzne (atmosferyczne, piorunowe) powstają wskutek bezpośredniego lub pośredniego oddziaływania wyładowań piorunowych na układ elektroenergetyczny. Dzielią się zatem na:

- przepięcia indukowane od wyładowań w pobliżu układu,
- przepięcia bezpośrednie od wyładowań atmosferycznych bezpośrednio do elementów układu.

Przebiecia piorunowe charakteryzują się czasami rzędu mikrosekund. Ze względu na to, że ze wzrostem wartości napięcia znamionowego sieci stosowana ochrona od bezpośrednich wyładowań atmosferycznych jest coraz bardziej niezawodna stąd w miarę wzrostu napięcia sieci częściej występują przebiecia indukowane.

Zatem narażenia napięciowe można ostatecznie sklasyfikować w trzech grupach:

1. napięcie robocze,
2. przebiecia wewnętrzne długotrwałe i udarowe,
3. przebiecia piorunowe,

przy czym narażenie roboczym napięciem charakteryzuje się krotnością 1, a pozostałe narażenia noszące nazwę przebiec mają krotność >1 obliczaną względem podanych w tabeli 2 napięć odniesienia.

Należy tu dodać, że wartość bezwzględna przepięć przemiennych jest określana jako wartość skuteczna tylko ze względu na tradycję posługiwania się wartościami skutecznymi. O wytrzymałości elektrycznej izolacji decyduje bowiem wartość maksymalna napięcia.

2.4. DEFINICJA WYTRZYMAŁOŚCI ELEKTRYCZNEJ

Jeśli wartość napięcia między elektrodami znajdującymi się w środowisku izolacyjnym przekroczy określoną progową wartość to w zależności od rodzaju dielektryka i właściwości źródła zasilającego wystąpią między tymi elektrodami bardziej lub mniej intensywne zjawiska prowadzące do przebicia lub przeskoku.

Przebiecie charakteryzuje się gwałtownym wzrostem prądu (uwarunkowanym energią źródła), wysoką temperaturą, która zwęglą, topi lub zgazowuje dielektryk, oddziaływaniem mechanicznym np. falą ciśnienia w dielektrykach ciekłych lub rozszczepieniem dielektryka stałego. Dielektryki stałe po przebieciu trwale tracą swe właściwości izolacyjne. Dielektryki ciekłe mogą swe właściwości zregenerować w pewnych przedziałach czasu, mimo iż uległy częściowemu rozkładowi wskutek przebicia.

Przeskok jest wyładowaniem elektrycznym, podobnie jak przebicie, całkowicie zwierającym odstęp między elektrodami, lecz występującym w otwartych przestrzeniach gazowych, które po przeskoku w stosunkowo krótkim czasie potrafią w pełni zregenerować swe właściwości elektryczne do stanu sprzed przeskoku. Mówi się wówczas o izolacji samoregenerującej się. Przykładem jest izolacja powietrzna.

Można, zatem mówić o wytrzymałości elektrycznej opierając się na wartości najniższego napięcia, przy którym w określonych warunkach, (ciśnienie, temperatura, wilgotność itp.) następuje przeskok lub przebicie w danym układzie izolacyjnym. Napięcie to, oznaczane zwykle jako U_p , zależy od całego szeregu czynników, z których główne to:

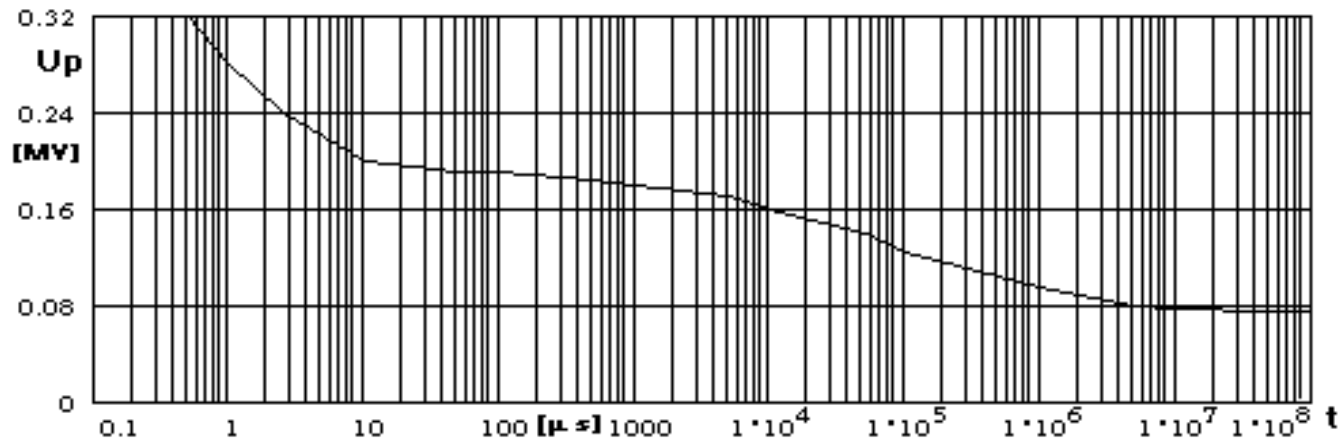
- wymiary i rodzaj dielektryka,
- kształt pola elektrycznego w izolacji i wokół niej (czyli kształt elektrod i ich usytuowanie względem elementów otoczenia),
- czas trwania narażenia napięciowego (przy napięciu przemiennym oznacza to wpływ częstotliwości i czasu doprowadzenia napięcia, a przy napięciach aperiodycznych będzie to wpływ kształtu fali napięciowej),
- ciśnienie, temperatura, wilgotność i zanieczyszczenie dielektryka,
- naprężenia mechaniczne itd.

W oparciu o napięcie U_p definiuje się pojęcie wytrzymałości elektrycznej jako wartości natężenia pola elektrycznego K_p , przy której następuje przeskok lub przebicie.

Pomijając inne czynniki warunkujące wyładowanie elektryczne, a pozostając jedynie przy czasie oddziaływania napięcia można podać następującą klasyfikację wytrzymałości elektrycznej:

- wytrzymałość udarowa, przy udarze napięciowym o określonym kształcie,
- wytrzymałość krótkotrwała, przy napięciu rosnącym w sposób ciągły aż do przebicia czy przeskoku,
- wytrzymałość minutowa, godzinna itd., przy napięciu utrzymywanym przez określony czas,
- wytrzymałość długotrwała, przy stałej wartości szczytowej utrzymywanego w sposób ciągły napięcia.

Zależność napięcia przebicia od czasu trwania narażenia napięciowego jest określana tzw. charakterystyką napięciowo-czasową (rys. 2.1) obejmującą zwykle czasy od $0.1 \mu s$ do około 30 lat.



Rys. 2.2 Charakterystyka napięciowo-czasowa odstępów izolacyjnego w oleju transformatorowym [14]

W charakterystyce takiej można wyróżnić cztery typowe obszary:

1. zjawiska o charakterze czysto elektrycznym,
2. obszar przejściowy od zjawisk elektryczno-cieplnych do cieplno-elektrycznych,
3. zjawiska związane ze stanami cieplnymi,
4. obszar starzenia.

Oczywiście, kształt krzywej zależy od rodzaju dielektryka i kształtu elektrod i jest określany na podstawie badań, których wyniki mają charakter losowy.

Oprócz wyładowań zupełnych, jakimi są przeskok lub przebicie, może występować jeszcze cała gama wyładowań zwanych niezupełnymi (nie zwierających całkowicie odstępu międzyelektrodowego). Do wyładowań tych zalicza się np. takie formy wyładowań jak ulot, wyładowania ślizgowe itd., które to wyładowania w określonych przypadkach mogą stanowić podstawę do określenia wytrzymałości elektrycznej danego układu izolacyjnego.