

LABORATORIUM TECHNIKI WYSOKICH NAPIĘĆ

Teoria do ćwiczenia **nr 9**

Wpływ przegrody izolacyjnej na wytrzymałość
dielektryczną powietrza

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenia wytrzymałości dielektrycznej powietrznego układu o polu silnie niejednorodnym bez przegrody oraz z przegrodą izolacyjną umieszczoną w różnych odległościach przestrzeni międzyelektrodowej przy tej samej odległości elektrod. Badania wytrzymałości dielektrycznej powietrznego układu można wykonać przy napięciu stałym o różnej biegunowości elektrod oraz przy napięciu przemiennym.

2. Wyładowania elektryczne i wytrzymałość dielektryczna powietrza

Mechanizmy rozwoju wyładowań elektrycznych są skomplikowane i zależą między innymi od:

- a) własności fizycznych gazu (temperatury, ciśnienia, wilgotności),
- b) kształtu geometrycznego elektrod (stopnia nierówności pola elektrycznego),
- c) długości odstepu międzyelektrodowego,
- d) charakteru zmienności napięcia przyłożonego między elektrodami w czasie.

3. Zjawiska zachodzące w układach o polu niejednorodnym i ich wpływ na wytrzymałość powietrza

3.1. Wytrzymałość elektryczna powietrza o polu niejednorodnym układu ostrze-płyta

Polem umiarkowanie niejednorodnym nazywamy pole, w którym nie ma większej różnicy między naprężeniem maksymalnym a średnim, otrzymanym z podzielenia przyłożonego napięcia przez najkrótszą odległość między elektrodami. Dla takich pól napięcie początkowe pokrywa się prawie z napięciem przeskoku, a wpływ biegunowości jest niewielki. Za przykład takich pól mogą służyć pola pomiarowych iskierników kulowych.

Pole wybitnie niejednorodne (rys. 1) charakteryzuje się dużymi odstępami między elektrodami w porównaniu z promieniami krzywizny samych elektrod. Dla takich pól napięcie początkowe U_0 jest znacznie niższe od napięcia przeskoku U_p , a to z kolei jest niższe niż napięcie przeskoku w układzie o polu jednorodnym i takim samym odstepie międzyelektrodowym a .

Krzywe rozkładu pola $E(x)$ w przestrzeni międzyelektrodowej (rys. 1) odnoszą się do największych jego wartości ułożonych wzdłuż najkrótszej linii sił pola. Linia sił pola jest najkrótsza; w przypadku regularnego kształtu elektrod, równa ich odstepowi a . Wartość średnia natężenia pola EO jest określona zależnością

$$E_0 = \frac{U}{a} \quad (1)$$

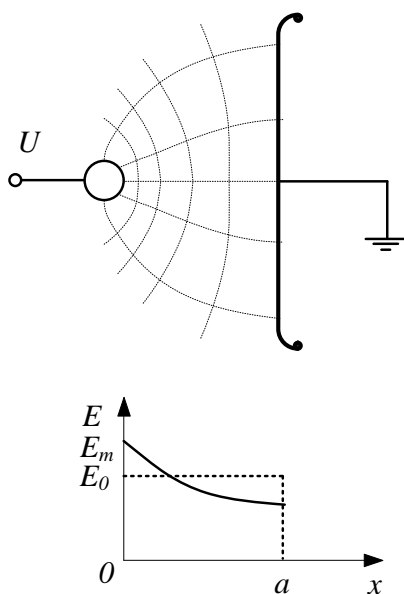
Wraz ze zwiększeniem się niejednorodności pola wartości krzywej $E(x)$ różnią się coraz bardziej od wartości E_0 . Stosunek wartości maksymalnej E^{\wedge} (rys. 1) do wartości

$$\beta = \frac{E_m}{E_0} \quad (2)$$

zatem

$$E_m = \frac{U}{a} \beta \quad (3)$$

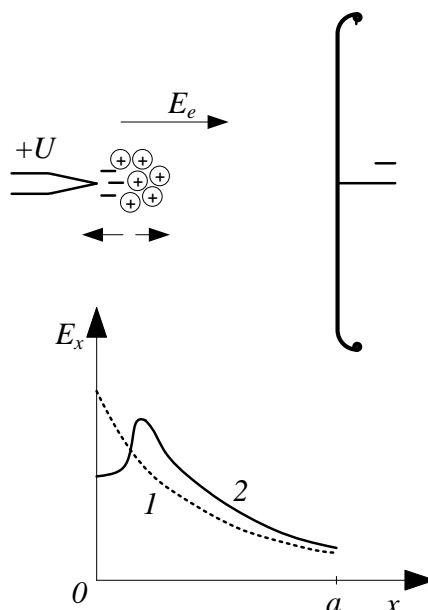
W układzie o polu niejednorodnym (rys. 1) $\beta > 1$ i $E_m > E_0$. Jeżeli E_m osiąga wartość krytyczną E_{kr} przy której dielektryk zaczyna lokalnie tracić właściwości izolacyjne, to wzrost β oznacza ograniczenie wytrzymałości układu. Zmniejsza się wartość napięcia potrzebna do zapoczątkowania wyładowania. Z drugiej strony znaczny wzrost β przyczynia się do wzrostu wartości krytycznej E_{kr} , ponieważ E_{kr} zależy od promienia krzywizny elektrody. Występujące zazwyczaj na elektrodzie mikroostrza wywołują natomiast skutek odwrotny, tzn. bardziej obniżają napięcie początkowe wyładowań niżby to wynikało z wartości współczynnika niejednorodności pola.



Rys. 1. Rozkład naprężeń w polu niejednorodnym w układzie ostrze- płyta

Różnice wartości początkowej napięcia początkowego i napięcia przeskoku wynikają z oddziaływania ładunku przestrzennego. Na rysunku 2 przedstawiono ładunek w przestrzeni międzyelektrodowej i odpowiadające mu rozkłady natężenia pola. W przypadku dodatniej

biegunowości następuje osłabienie pola od strony ostrza i wzmocnienie w pozostałej części układu. Powoduje to wzrost napięcia początkowego i obniżenie napięcia przeskoku.

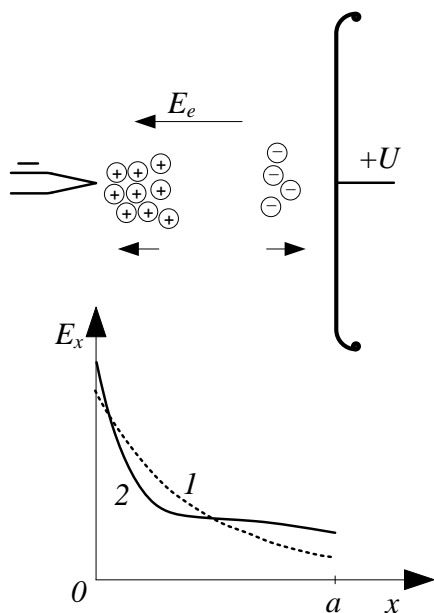


Rys. 2. Wpływ ładunku przestrzennego na rozkład natężenia pola przy biegunowości elektrody ostrzowej dodatniej: 1 – pole pierwotne, 2 – pole zakłócone

Przy biegunowości ujemnej (rys. 3) sytuacja jest odwrotna, z tym, że występują wtedy również jony ujemne, powodujące osłabienie pola w części środkowej układu i wzmocnienie przy płycie.

Decydujące jest osłabienie pola. W rezultacie napięcie przeskoku przy ostrzu ujemnym (rys. 3) znacznie przewyższa napięcie przeskoku przy ostrzu dodatnim (rys. 2).

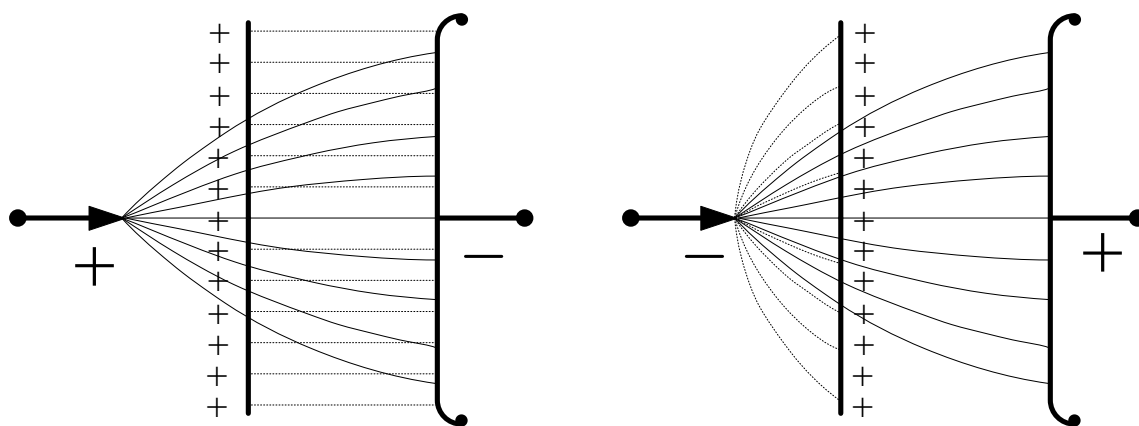
Wartość napięcia przeskoku U_p jest miarą wytrzymałości układu izolacyjnego. Największa wartość napięcia, przy której do przeskoku jeszcze nie dochodzi, jest nazywana napięciem wytrzymywanym U_w .



Rys. 3. Wpływ ładunku przestrzennego na rozkład natężenia pola przy biegunowości elektrody ostrzowej ujemnej: 1 – pole pierwotne, 2 – pole zakłócone

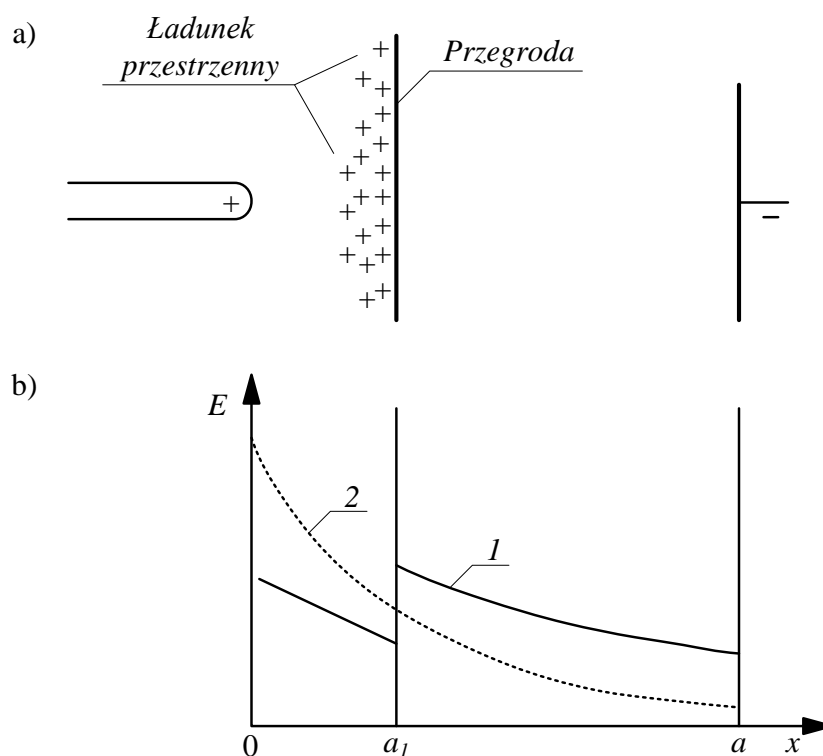
4. Zwiększenie wytrzymałości układu powietrznego ostrze- płyta za pomocą cienkich przegród izolacyjnych

Konwencjonalna metoda podwyższania wytrzymałości izolacji gazowej polega na możliwości wprowadzenia w przestrzeń międzyelektrodową cienkich przegród izolacyjnych. Działanie to polega na zmianie rozkładu pola, powstającego wskutek zatrzymania jonów przez przegrody (rys. 4).



Rys. 4. Wpływ przegrody na rozkład pola elektrycznego przy napięciu stałym o zmiennej biegunowości (— przed wstawieniem przegrody, - - - po wstawieniu przegrody)

Wytrzymałość elektryczna samych przegród w tym przypadku nie ma istotnego znaczenia. Przegrody wykonuje się w postaci cienkich arkuszy z materiału izolacyjnego, które ustawia się między elektrodami w przybliżeniu prostopadle do linii pola elektrycznego. Przegrody są szczególnie skuteczne, gdy są umieszczane w pobliżu ostrza dodatniego. W tym przypadku jony dodatnie osiadają na przegrodzie, w wyniku czego pole w przestrzeni między przegrodą a płytą staje się zbliżone do jednostajnego (rys. 4). Im bliżej ostrza umieszczona jest przegroda, tym wyższe jest napięcie przeskoku układu, pod warunkiem jednakże, że przegroda w pobliżu ostrza nie zostanie przebita,

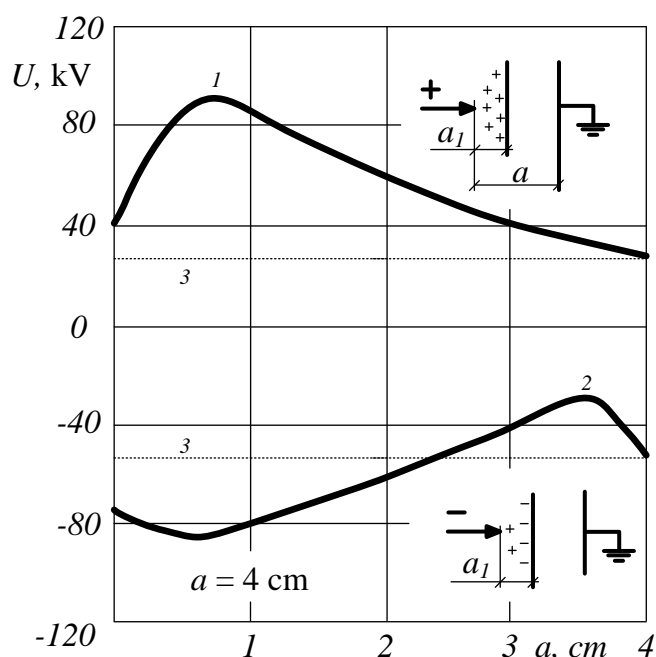


Rys. 5. Wpływ przegrody izolacyjnej na rozmieszczenie ładunku przestrzennego (a) oraz rozkład natężenia pola elektrycznego (b) między elektrodą ostrzową o biegunowości dodatniej a płytą uziemioną:
 1 – układ z przegrodą, 2 – układ bez przegrody

W przypadku ujemnej biegunowości elektrody ostrzowej efekt działania przegrody jest inny, jeśli zatrzymuje ona ładunek przestrzenny. Przegroda umieszczona w pobliżu uziemionej płyty powoduje wzrost natężenia między elektrodą ostrzową a przegrodą, wskutek czego maleje wytrzymałość całego układu izolacyjnego. Jeśli jest ona umieszczona blisko ostrza ujemnego, to wytrzymałość układu może nieznacznie wzrosnąć, ponieważ swobodne elektrony o dużej prędkości skierowanej przenikają zazwyczaj przez przegrodę. Na jej powierzchni gromadzą się jony dodatnie, które zmniejszają natężenie pola między przegrodą, a uziemioną płytą.

Na rysunku 5 przedstawiono schematycznie rozkład ładunku przestrzennego w powietrzu przy obu biegunowościach napięcia oraz krzywe charakteryzujące wytrzymałość układu. Gdy bariera (cienka kartka) jest w pobliżu ostrza, wówczas ładunek przestrzenny o biegunowości zgodnej z biegunowością ostrza zostaje rozmieszczony na barierze i powoduje wyrównanie pola po jej drugiej stronie. Wytrzymałość układu zwiększa się. Jednakże przy umieszczeniu przegrody w bezpośrednim sąsiedztwie ostrza napięcie przeskoku maleje, gdyż przegroda zostaje wtedy przebita. W miarę oddalania bariery od elektrody ostrzowej efekt ten osiąga szybko maksimum, a następnie maleje.

Przy ostrzu ujemnym w miarę zbliżania przegrody do płyty dodatniej napięcie przeskoku silnie maleje, gdyż elektrony, zatrzymywane przez przegrodę, czynią pole jednostajne na coraz mniejszej przestrzeni i to tym mniejszej, im przegroda jest bliżej płyty. Zbliżenie przegrody do ujemnego ostrza zwiększa napięcie przeskoku, ale wartość tego napięcia nie różni się znacznie od napięcia przeskoku układu bez przegrody.



Rys. 6. Zależność $U_p = f(a_l)$ układu z przegrodą przy biegunowości (1) dodatniej i (2) ujemnej,
(3) – wytrzymałość układu bez przegrody

Należy zaznaczyć, że przy ujemnej biegunowości ostrza napięcie przeskoku bez przegrody jest w przybliżeniu 2,5 razą większe od napięcia przeskoku przy dodatniej biegunowości ostrza.

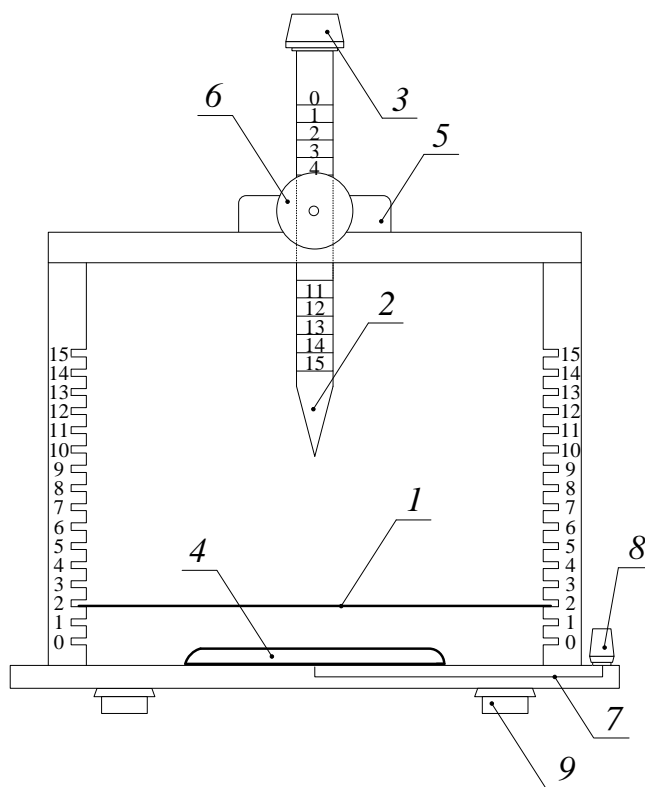
5. Stanowisko do badania wpływu przegrody izolacyjnej

5.1 Przeznaczenia stanowiska laboratoryjnego

Celem ćwiczenia jest poznanie wpływu przegrody izolacyjnej na wytrzymałość dielektryczną układu powietrznego o niejednorodnym rozkładzie pola elektrycznego. W badaniach należy określić napięcie przeskoku U_p układu ostrze- płyta bez przegrody oraz z przegrodą umieszczoną w różnych odległościach od elektrody płaskiej przy tej samej odległości elektrod (rys. 6). Badania można wykonać przy napięciu stałym o różnej biegunowości elektrod oraz przy napięciu przemiennym.

5.2 Budowa stanowiska laboratoryjnego

Na rysunku 6 przedstawiono budowę stanowiska z oznaczeniem jego elementów:



Rys. 6. Stanowisko do badania wpływu przegrody izolacyjnej na wytrzymałość powietrza:
 1 – ramka z tekstolitu, 2 – elektroda ostrzowa, 3 – zacisk, 4 – elektroda płaska, 5 – miedziany pierścień,
 6 – zacisk, 7 – miedziany przewód, 8 - zacisk, 9 - izolator

Stanowisko laboratoryjne (rys. 6) składa się z elektrody ostrzowej (2) na której umieszczony jest zacisk laboratoryjny (3). Na elektrodzie naniesiona jest podziałka przy pomocy której możemy odczytać odległość elektrody ostrzowej od elektrody płaskiej. Ostrze jest umieszczone w miedzianym pierścieniu (5). Przykręcając zacisk (6) ustawiamy ostrze w takim położeniu, aby jedna z linii na ostrzu zrównała się z górną krawędzią miedzianego pierścienia. Nad każdą linią znajduje się liczba odpowiadająca odległości danego położenia ostrza od płyty.

Dla istniejących warunków laboratoryjnych (transformator probierczy o napięciu 60 kV) odległość ostrza od płyty dla napięcia stałego i przemiennego nie powinna przekroczyć 6 cm.

Konstrukcja stanowiska wykonana jest z tekstolitu. Na konstrukcji po jej obu stronach, między ostrzem a płytą wycięte są kanały co 5 mm, w które wsuwa się tekstolitową ramkę (1). Na tekstolitowej ramce umieszcza się przegrodę izolacyjną (np. kartkę papieru). Obok kanałów znajduje się podziałka określająca odległość a_1 przegrody izolacyjnej od elektrody płaskiej (pomiar można wykonać przesuwając przegrodę w przestrzeni międzyelektrodowej co 5 mm). Dodana jest druga, nieco mniejsza ramka tekstolitowa służąca do dociskania przegrody izolacyjnej. Zapobiega to wyginaniu się cienkiej przegrody izolacyjnej pod wpływem wyładowań elektrycznych, pozostawiając ją w stałej odległości między elektrodami. Rozwiązanie takie pozwala uzyskać dokładny pomiar. Na dielektrycznej podstawie stanowiska umocowana jest elektroda płaska (4). Wewnątrz podstawy, przeprowadzony jest przewód miedziany (7) o przekroju 4 mm^2 łączący elektrodę płaską z zaciskiem laboratoryjnym (8). Cała konstrukcja umieszczona jest na izolatorach (9). Pozwala to przeprowadzić badania wytrzymałości elektrycznej układu ostrze-płyta z przegrodą dla różnych biegunowości elektrod.

Jako materiały na przegrodę izolacyjną można stosować: kalkę, papier rysunkowy, papier maszynowy, papier nasycony olejem itp. Umieszczoną na ramce przegrodę izolacyjną za każdym razem należy przyciskać ramką pomocniczą. Pozwala to utrzymać przegrodę w wyznaczonym miejscu, tzn. nie będzie ona zmieniać położenia a_1 względem elektrod pod wpływem wyładowań elektrycznych. Następnie powtórzyć pomiary zmieniając biegunowość układu, przy tej samej odległości elektrod. Dla porównania w omówiony powyżej sposób przeprowadzić pomiary dla napięcia przemiennego.