

LABORATORIUM TECHNIKI WYSOKICH NAPIĘĆ

Ćw. nr 18

Wytrzymałość układów uwarstwionych
powietrze - dielektryk stały

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest:

- określenie wytrzymałości układu uwarstwionego równoległe,
- wyznaczenie rozkładu napięcia na poszczególnych dielektrykach układu uwarstwionego szeregowo.

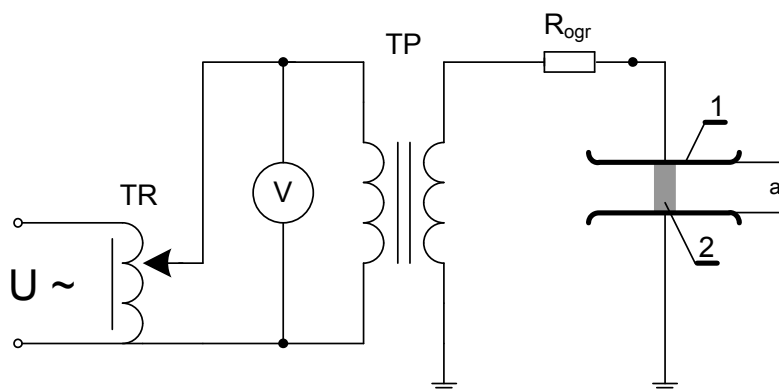
2. Sposób przeprowadzenia pomiarów

2.1 Warunki atmosferyczne

- temperatura otoczenia $t = \dots\dots\dots^\circ\text{C}$,
- ciśnienie atmosferyczne $b = \dots\dots\dots\text{hPa}$,
- wilgotność względna powietrza $\varphi = \dots\dots\dots\%$.

2.2 Układy pomiarowy

Pomiar napięcia przeskoku U_p przy odstępach elektrod $a = 1, 2, 3, 4, 5$ cm przeprowadzamy dla układu płaskiego powietrznego (bez dielektryka stałego) oraz dla przypadku uwarstwienia równoległego powietrze dielektryk stały (rys. 1a.). Wyniki pomiarów zapisujemy w tabeli 2.

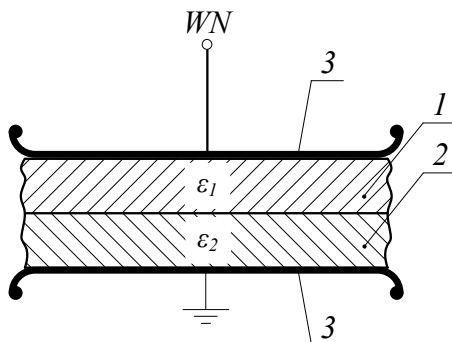


Rys. 1. Schemat układu pomiarowego

a – odstęp między elektrodami płaskimi; 1 – elektroda WN,

2 – materiał izolacyjny

W praktyce spotykane są układy izolacyjne zbudowane z dwu lub więcej materiałów izolacyjnych. Jeżeli powierzchnia graniczna dielektryków jest prostopadła do linii pola elektrycznego uwarstwienie takie nazywamy *szeregowym* (rys. 2).



Rys. 2. Uwarstwienie szeregowe dielektryków: 1 i 2 – materiały izolacyjne o przenikalności dielektrycznej ϵ_1 i ϵ_2 , 3 – elektrody

W układzie płaskim dielektryków uwarstwionych szeregowo indukcja elektryczna D pozostaje jednakowa przy przejściu z dielektryka o przenikalności ϵ_1 do dielektryka o przenikalności ϵ_2 . Stąd strumienie ψ_1 i ψ_2 przenikające przez oba dielektryki o powierzchniach s_1 i s_2 są również jednakowe (1).

$$\psi_1 = \psi_2 \Rightarrow s_1 D_1 = s_2 D_2 \quad (1)$$

Przy założeniu, że $s_1 = s_2 = s$ zależność (1) przyjmie postać:

$$s \cdot \epsilon_1 \cdot E_1 = s \cdot \epsilon_2 \cdot E_2 \quad (2)$$

stąd:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \quad (3)$$

Napięcie U doprowadzone do układu rozkłada się na dwa dielektryki

$$U = U_1 + U_2 \quad (4)$$

Dla układu płaskiego można zapisać:

$$U = E_1 \cdot a_1 + E_2 \cdot a_2 \quad (5)$$

Wstawiając do powyższego wzoru zależność na E_2 otrzymane z (3) zależność (5) uzyska następującą postać:

$$U = E_1 \cdot a_1 + E_1 \cdot a_2 \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} = E_1 \left(a_1 + a_2 \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \right) = E_1 \cdot \epsilon_1 \left(\frac{a_1}{\epsilon_1} + \frac{a_2}{\epsilon_2} \right) \quad (6)$$

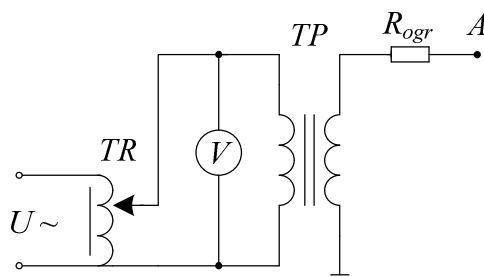
Z powyższego wyrażenia można określić wartość natężenia pola elektrycznego E_1 w dielektryku o przenikalności ϵ_1 .

$$E_1 = \frac{U}{\epsilon_1 \left(\frac{a_1}{\epsilon_1} + \frac{a_2}{\epsilon_2} \right)} \quad (7)$$

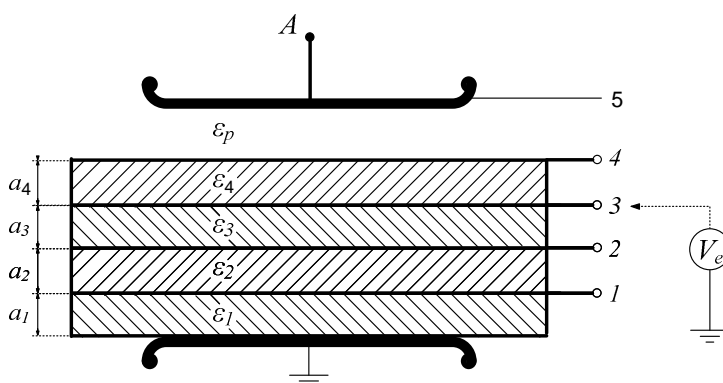
Postępując analogicznie, można określić natężenia pola E_2 w dielektryku o przenikalności ϵ_2 wg zależności:

$$E_2 = \frac{U}{\epsilon_2 \left(\frac{a_1}{\epsilon_1} + \frac{a_2}{\epsilon_2} \right)} \quad (8)$$

Pomiar rozkładu napicia na układzie dielektryków uwarstwionych szeregowo dla napięcia przemiennego przeprowadzamy dołączając obiekt badany (zacisk wysokonapięciowy) (rys. 2) do punktu A układu zasilającego (rys. 3).



Rys. 1. Schemat układu probierczego napięcia przemiennego



Rys. 2. Schemat szeregowego uwarstwienia dielektryków: $a_{1...4}$ – grubości dielektryków, $\epsilon_{1...4}$ – przenikalności elektryczne dielektryków, ϵ_p – przenikalności elektryczne powietrza, 1, 2, 3, 4 – wyprowadzenia elektrod pomiarowych, V_e – woltomierz elektrostatyczny

Przy zadanej liczbie dielektryków o różnych przenikalnościach dielektrycznych do wysokonapięciowego zacisku doprowadzamy taką wartość napięcia, która jeszcze nie wywołuje wyładowań niezupełnych. Do elektrod umieszczonych pomiędzy poszczególnymi dielektrykami przyłączany jest kilowoltomierz elektrostatyczny przy pomocy, którego określamy spadek napięcia na poszczególnych dielektrykach. Wyniki pomiaru zamieszczamy w tabeli 2.

Rozkład napięcia określamy dla czterech dielektryków stałych (między elektrodami umieszczone są cztery dielektryki o przenikalności $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ i ϵ_4 , i grubościach a_1, a_2, a_3, a_4 , które należy określić) przykładając do elektrod napięcie przemiennie o wartości $U = 35\text{kV}$.

Przy tej samej wartości napięcia pomiędzy elektrodę wysokonapięciową a dielektryki tworzona jest przerwa powietrzna. Odstęp pomiędzy elektrodą (5) a szeregowym uwarstwieniem dielektryków stałych (odstęp powietrzny) wynosi $a_4 = 3\text{ cm}$ i 4 cm .

Wyniki umieszczamy w tabelach 2, 3, 4.

2.3 Tabele pomiarowe

Tabela 1. Pomiar napięcia przeskoku U_p

| L.p. | a cm | Dielektryki | | | | | | | | |
|------|---------|------------------|----------------|-------------|------------|----------------|-------------|------------|----------------|-------------|
| | | szkło organiczne | | | teflon | | | powietrze | | |
| | | u_p V | u_{psr} V | U_p kV | u_p V | u_{psr} V | U_p kV | u_p V | u_{psr} V | U_p kV |
| 1 | 1 | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | |
| 4 | 2 | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | |
| 7 | 3 | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | |
| 10 | 4 | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | |
| 13 | 5 | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | |

u_p – napięcie przeskoku zmierzone woltomierzem V;

u_{psr} – średnia wartość napięcia przeskoku obliczone z zależności:

$$u_{psr} = \frac{u_{p1} + u_{p2} + u_{p3}}{3} \quad (9)$$

U_p – napięcia przeskoku obliczone z zależności: $U_p = u_{psr} \cdot \vartheta$

ϑ – przekładnia transformatora probierczego. $\vartheta = 500$

Tabela 2. Rozkład napięcia na dielektrykach uwarstwionych szeregowo i odpowiadające im wartości natężenia pola

| Numer dielektryka | U_v | U_{pr} | a_i | ϵ_i | Napięcie przemienne | | | Ustawienie zakresu |
|-------------------|-------|----------|-------|--------------|---------------------|-------|-------|--------------------|
| | | | | | U_{pi} | U_p | E_p | |
| | V | kV | cm | - | kV | kV | kV/cm | kV |
| 1 | 70 | 35 | 0,8 | 3 | | | | 15 |
| 2 | | | 0,85 | 5 | | | | 15 |
| 3 | | | 1,2 | 2,8 | | | | 30 |
| 4 | | | 1,95 | 5-7 | 35 | | | |
| 5 | | | 0 | | - | - | - | - |

Tabela 3. Rozkład napięcia na dielektrykach uwarstwionych szeregowo i odpowiadające im wartości natężenia pola

| Numer dielektryka | U_v | U_{pr} | a_i | ϵ_i | Napięcie przemienne | | | Ustawienie zakresu |
|-------------------|-------|----------|-------|--------------|---------------------|-------|-------|--------------------|
| | | | | | U_{pi} | U_p | E_p | |
| | V | kV | cm | - | kV | kV | kV/cm | kV |
| 1 | 70 | 35 | 0,8 | 3 | | | | 7,5 |
| 2 | | | 0,85 | 5 | | | | |
| 3 | | | 1,2 | 2,8 | | | | |
| 4 | | | 1,95 | 5-7 | | | | 15 |
| 5 | | | 3 | | 35 | | | |

Tabela 4. Rozkład napięcia na dielektrykach uwarstwionych szeregowo i odpowiadające im wartości natężenia pola

| Numer dielektryka | U_v | U_{pr} | a_i | ϵ_i | Napięcie przemienne | | | Ustawienie zakresu |
|-------------------|-------|----------|-------|--------------|---------------------|-------|-------|--------------------|
| | | | | | U_{pi} | U_p | E_p | |
| | V | kV | cm | - | kV | kV | kV/cm | kV |
| 1 | 70 | 35 | 0,8 | 3 | | | | 7,5 |
| 2 | | | 0,85 | 5 | | | | |
| 3 | | | 1,2 | 2,8 | | | | |
| 4 | | | 1,95 | 5-7 | | | | |
| 5 | | | 4 | | 35 | | | |

U_V , – napięcie odczytane z woltomierza, V;

a_i, ϵ_i , – odpowiednio grubość, przenikalność dielektryczna

U_{pi} , – zmierzona wartość napięcia w punktach 1, 2, 3 i 4, kV;

U_p , – spadek napięcia na poszczególnych dielektrykach, kV;

E_p , – obliczone wartości natężenia pola w dielektryku, kV/cm;

Natężenie pola w każdym z dielektryków wyznaczamy z zależności:

$$E_p = \frac{U_i}{a_i} \quad (10)$$

3. Opracowanie sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- dane określające warunki atmosferyczne;
- schematy układów pomiarowych;
- tabelę wyników przeprowadzonych pomiarów;
- przykładowe obliczenia;
- wykres (na jednym rysunku) przedstawiający napięcie przeskoiku U_p w funkcji odległości $U_p=f(a)$ dla układu powietrznego oraz układu powietrze-dielektryk stały (powietrze-szkło organiczne, powietrze-teflon)
- dla układu szeregowego podstawie danych tabel 2, 3, 4 wykonać na jednym rysunku wykresy przedstawiające zależności rozkładu napięcia $U_{pi}=f(a_i)$ i natężenia pola poszczególnych dielektryków.
- uwagi i wnioski odnośnie warunków i sposobu przeprowadzania badań oraz krytyczną ocenę otrzymanych wyników.

4. Literatura

1. L. Kacejko, Cz. Karwat, H. Wójcik: Laboratorium techniki wysokich napięć, WPL Lublin
2. S. Szpor: Technika wysokich napięć, WNT Warszawa
3. S. Szpor: Ochrona odgromowa, WNT Warszawa
4. Z. Flisowski: Technika wysokich napięć, WNT Warszawa
5. Z. Gacek: Technika wysokich napięć, WPS Gliwice
6. Z. Gacek: Wysokonapięciowa technika izolacyjna, WPS Gliwice