

LABORATORIUM

TECHNIKA WYSOKICH NAPIĘĆ

Ćwiczenie nr 6

Badanie wytrzymałości układów uwarstwionych powietrze - dielektryk stały

Lublin 2026 r.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.
Utwór dostępny jest na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowe.

Cel ćwiczenia

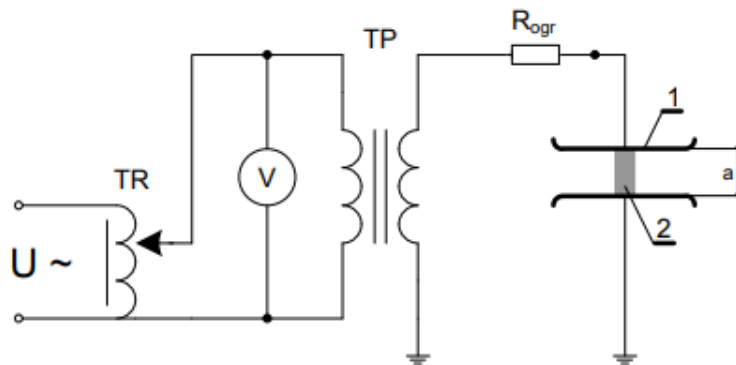
Celem ćwiczenia jest określenie wytrzymałości elektrycznej układu uwarstwionego powietrze–dielektryk stały oraz wyznaczenie rozkładu napięcia i natężenia pola elektrycznego w szeregowym układzie uwarstwionych dielektryków.

Zakres ćwiczenia

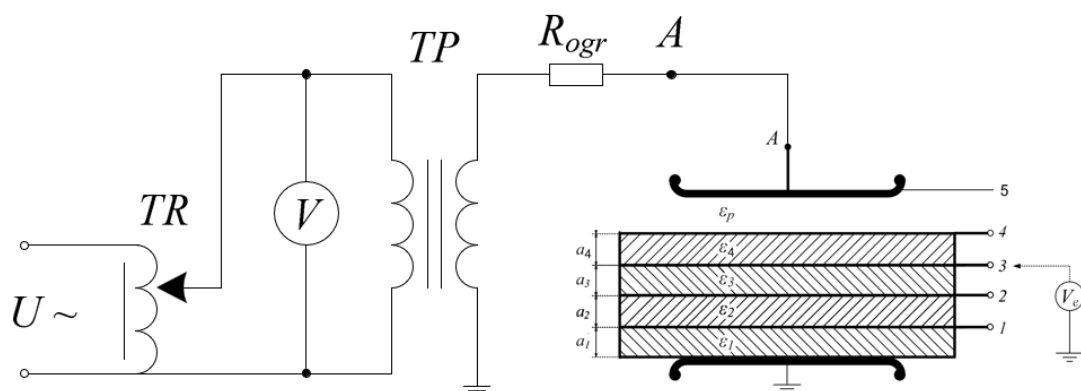
Zakres ćwiczenia obejmuje badanie wytrzymałości elektrycznej układu powietrznego oraz układu uwarstwionego równolegle powietrze–dielektryk stały dla różnych odległości między elektrodami. Pomiary napięcia przeskoiku zostaną wykonane dla odległości $a = 1, 2, 3, 4, 5$ cm. Następnie zostanie wyznaczony rozkład napięcia oraz natężenia pola elektrycznego w szeregowym układzie czterech dielektryków stałych o różnych przenikalnościach dielektrycznych i różnych grubościach. Przy zadanej liczbie dielektryków o różnych przenikalnościach do zacisku wysokonapięciowego doprowadzone zostanie napięcie, które nie wywołuje wyładowań niezupełnych, a za pomocą kilowoltomierza elektrostatycznego zostaną określone spadki napięcia na poszczególnych dielektrykach. W układzie szeregowym zastosowane zostaną cztery dielektryki stałe o przenikalnościach elektrycznych $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ i ϵ_4 oraz grubościach a_1, a_2, a_3 oraz a_4 . Dodatkowo przeprowadzone zostanie badanie wpływu przerwy powietrznej pomiędzy elektrodą wysokonapięciową a szeregowym uwarstwieniem dielektryków stałych na rozkład napięcia, dla odstępów powietrznych wynoszących 3 cm i 4 cm.

Stanowisko pomiarowe

Do wykonania ćwiczenia wykorzystuje się stanowisko laboratoryjne składające się z autotransformatora, transformatora probierczego, woltomierza oraz badanego układu elektrod. W zależności od wykonywanej części ćwiczenia stosuje się układ płaski powietrzny lub układ uwarstwiony powietrze–dielektryk stały. Do badania szeregowego uwarstwienia dielektryków stosuje się układ czterech dielektryków stałych o różnych przenikalnościach dielektrycznych oraz woltomierz elektrostatyczny do pomiaru spadków napięcia na poszczególnych warstwach.



Rysunek 1. Schemat układu pomiarowego dla układu uwarstwionego równoległe, a – odstęp między elektrodami płaskimi, 1 – elektroda wysokiego napięcia, 2 – materiał izolacyjny.



Rysunek 2. Schemat układu pomiarowego dla układu uwarstwionego szeregowo, a_1 , a_2 , a_3 , a_4 – grubości dielektryków, ϵ_1 , ϵ_2 , ϵ_3 , ϵ_4 – przenikalności elektryczne dielektryków, ϵ_p – przenikalności elektryczne powietrza, 1, 2, 3, 4 – wyprowadzenia elektrod pomiarowych, V_e – woltomierz elektrostatyczny.

Wykaz urządzeń i aparatury

- autotransformator (TR);
- transformator probierczy (TP);
- rezystor ograniczający R_{ogr} ;
- układ uwarstwiony szeregowo oraz równoległe
- woltomierz (V);
- woltomierz elektrostatyczny (V_e);
- materiały izolacyjne o różnej przenikalności i grubości.
- drążek uziemiający.

Wykonanie ćwiczenia

1. Przygotowanie stanowiska

- Zapoznać się ze stanowiskiem laboratoryjnym oraz schematem układu pomiarowego przedstawionym na rysunku 1.
- Sprawdzić, czy zasilanie stanowiska pomiarowego jest wyłączone oraz czy regulator autotransformatora znajduje się w położeniu zerowym.
- Zapisać temperaturę otoczenia, ciśnienie atmosferyczne oraz wilgotność względną powietrza w tabeli 1.

Tabela 1. Warunki atmosferyczne

Temperatura otoczenia t	 °C
Ciśnienie atmosferyczne b	 hPa
Wilgotność względna powietrza φ	 %

2. Pomiar wytrzymałości układu uwarstwionego równolegle

1. Otworzyć komorę wysokiego napięcia.
2. Założyć drążek uziemiający w przeznaczonym do tego miejscu na zacisku wysokiego napięcia.
3. Przygotować stanowisko pomiarowe według schematu przedstawionego na rysunku 1.
4. Między elektrodami płaskimi umieścić centralnie izolator stały w postaci walca wykonany ze szkła organicznego o grubości 2 cm poprzez uniesienie elektrody wysokonapięciowej.
5. Dokręcić zacisk znajdujący się na elektrodzie wysokiego napięcia w celu unieruchomienia elektrody.
6. Zdjąć drążek uziemiający z zacisku wysokiego napięcia.
7. Zamknąć komorę wysokiego napięcia.
8. Załączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
9. Sprawdzić, czy regulator autotransformatora znajduje się w położeniu zerowym.

10. Załączyć obwód wysokiego napięcia.
11. Powoli zwiększać napięcie za pomocą autotransformatora, odczytując napięcie przeskoku. Wartości napięć zanotować w tabeli 2.
12. Po wystąpieniu przeskoku ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym.
13. Czynności opisane w punktach 9–12 powtórzyć trzykrotnie dla tej samej grubości izolatora między elektrodami.
14. Powtórzyć czynności opisane w punktach 1–13 (z pominięciem punktu 3) dla izolatora wykonanego z teflonu.
15. W celu zmierzenia napięcia przeskoku dla izolacji powietrznej usunąć z układu izolacyjny izolator wykonany z teflonu i wykorzystując zacisk znajdujący się na elektrodzie wysokiego napięcia ustawić odległość przegrody powietrznej na odległość 2 cm.
16. Powtórzyć czynności opisane w punktach 1–13 (z pominięciem punktu 3) dla izolacji powietrznej.
17. Wykonać pomiary dla pozostałych grubości materiałów izolacyjnych w układzie równoległym zgodnie z tabelą 2.
18. Po zakończeniu pomiarów ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym oraz wyłączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.

Tabela 2. Pomiar napięcia przeskoku dla układu uwarstwionego równolegle

L.p.	a	<i>Szkło organiczne</i>	Teflon	Powietrze
		U_p	U_p	U_p
	cm	V	V	V
1	2			
2				
3				
4	3			
5				
6				

7	4			
8				
9				
10	5			
11				
12				

3. Pomiar wytrzymałości układu uwarstwionego szeregowo (ETAP 1)

1. Sprawdzić, czy zasilanie stanowiska pomiarowego jest wyłączone oraz czy regulator autotransformatora znajduje się w położeniu zerowym.
2. Otworzyć komorę wysokiego napięcia.
3. Założyć drążek uziemiający na zacisk po stronie wysokiego napięcia.
4. Przygotować stanowisko pomiarowe według schematu przedstawionego na rysunku 2.
5. Górną elektrodę docisnąć do układu uwarstwionego i zabezpieczyć zaciskiem znajdującym się na elektrodzie wysokiego napięcia w celu unieruchomienia elektrody. (brak przerwy powietrznej)
6. Podłączyć woltomierz elektrostatyczny do zacisku elektrody oznaczonej nr 1.
7. Na woltomierzu elektrostatycznym zmienić zakres na 15 kV (jak w tabeli 3), przekręcając pokrętkę do zmiany zakresu (pokrętkę na tylnej obudowie) oraz zmienić podziałkę woltomierza odpowiadający zakresowi woltomierza (pokrętkę na bocznej obudowie).
8. Zdjąć drążek uziemiający z zacisku wysokiego napięcia.
9. Zamknąć komorę wysokiego napięcia.
10. Załączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
11. Sprawdzić, czy regulator autotransformatora znajduje się w położeniu zerowym.
12. Załączyć obwód wysokiego napięcia.
13. Powoli zwiększać napięcie za pomocą autotransformatora do wartości 70V.
14. Odczytać wartość napięcia (U_{pi}) na woltomierzu elektrostatycznym i zapisać w

tabeli 3.

15. Ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym.
16. Wyłączyć obwód wysokiego napięcia.
17. Wyłączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
18. Otworzyć komorę wysokiego napięcia.
19. Założyć drążek uziemiający na zacisk po stronie wysokiego napięcia.
20. Wykonać kolejne pomiary dla zacisków elektrod 2 oraz 3 uwzględniając zmianę zakresu na woltomierzu elektrostatycznym (tabelą 3).
21. Po zakończeniu pomiarów ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym oraz wyłączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.

Tabela 3. Rozkład napięcia na dielektrykach uwarstwionych szeregowo bez przerwy powietrznej

Numer dielektryka	U_v V	U_{pr} kV	a_i cm	ε_i -	U_{pi} kV	Zakres 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		-	-

3. Pomiar wytrzymałości układu uwarstwowanego szeregowo (ETAP 2)

1. Sprawdzić, czy zasilanie stanowiska pomiarowego jest wyłączone oraz czy regulator autotransformatora znajduje się w położeniu zerowym.
2. Otworzyć komorę wysokiego napięcia.
3. Założyć drążek uziemiający na zacisk po stronie wysokiego napięcia.
4. Przygotować stanowisko pomiarowe według schematu przedstawionego na rysunku 2.

5. Górną elektrodę ustawić w odległości 3 cm od elektrody nr 4 (przerwa powietrzna równa 3 cm) przy użyciu zacisku znajdującego się na elektrodzie wysokiego napięcia.
6. Podłączyć woltomierz elektrostatyczny do zacisku elektrody oznaczonej nr 1.
7. Na woltomierzu elektrostatycznym zmienić zakres na 7,5 kV (jak w tabeli 4), przekręcając pokrętło do zmiany zakresu (pokrętło na tylnej obudowie) oraz zmienić podziałkę woltomierza odpowiadający zakresowi woltomierza (pokrętło na bocznej obudowie).
8. Zdjąć drążek uziemiający z zacisku wysokiego napięcia.
9. Zamknąć komorę wysokiego napięcia.
10. Załączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
11. Sprawdzić, czy regulator autotransformatora znajduje się w położeniu zerowym.
12. Załączyć obwód wysokiego napięcia.
13. Powoli zwiększać napięcie za pomocą autotransformatora do wartości 70V.
14. Odczytać wartość napięcia (U_{pi}) na woltomierzu elektrostatycznym i zapisać w tabeli 4.
15. Ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym.
16. Wyłączyć obwód wysokiego napięcia.
17. Wyłączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
18. Otworzyć komorę wysokiego napięcia.
19. Założyć drążek uziemiający na zacisk po stronie wysokiego napięcia.
20. Wykonać kolejne pomiary dla zacisków elektrod 2, 3 oraz 4 uwzględniając zmianę zakresu na woltomierzu elektrostatycznym (tabelą 4).
21. Po zakończeniu pomiarów ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym oraz wyłączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.

Tabela 4. Rozkład napięcia na dielektrykach uwarstwionych szeregowo z przerwą powietrzną 3 cm

Numer dielektryka	U_v V	U_{pr} kV	a_i cm	ε_i -	U_{pi} kV	Zakres 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	-

3. Pomiar wytrzymałości układu uwarstwowanego szeregowo (ETAP 3)

1. Sprawdzić, czy zasilanie stanowiska pomiarowego jest wyłączone oraz czy regulator autotransformatora znajduje się w położeniu zerowym.
2. Otworzyć komorę wysokiego napięcia.
3. Założyć drążek uziemiający na zacisk po stronie wysokiego napięcia.
4. Przygotować stanowisko pomiarowe według schematu przedstawionego na rysunku 2.
5. Górną elektrodę ustawić w odległości 4 cm od elektrody nr 4 (przerwa powietrzna równa 4 cm) przy użyciu zacisku znajdującego się na elektrodzie wysokiego napięcia.
6. Podłączyć woltomierz elektrostatyczny do zacisku elektrody oznaczonej nr 1.
7. Na woltomierzu elektrostatycznym zmienić zakres na 7,5 kV (jak w tabeli 4), przekręcając pokrętkę do zmiany zakresu (pokrętkę na tylnej obudowie) oraz zmienić podziałkę woltomierza odpowiadający zakresowi woltomierza (pokrętkę na bocznej obudowie).
8. Zdjąć drążek uziemiający z zacisku wysokiego napięcia.
9. Zamknąć komorę wysokiego napięcia.
10. Załączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
11. Sprawdzić, czy regulator autotransformatora znajduje się w położeniu

zerowym.

12. Załączyć obwód wysokiego napięcia.

13. Powoli zwiększać napięcie za pomocą autotransformatora do wartości 70V.

14. Odczytać wartość napięcia (U_{pi}) na woltomierzu elektrostatycznym i zapisać w tabeli 4.

15. Ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym.

16. Wyłączyć obwód wysokiego napięcia.

17. Wyłączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.

18. Otworzyć komorę wysokiego napięcia.

19. Założyć drążek uziemiający na zacisk po stronie wysokiego napięcia.

20. Wykonać kolejne pomiary dla zacisków elektrod 2, 3 oraz 4 uwzględniając zmianę zakresu na woltomierzu elektrostatycznym (tabelą 4).

21. Po zakończeniu pomiarów ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym oraz wyłączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.

Tabela 5. Rozkład napięcia na dielektrykach uwarstwionych szeregowo z przerwą powietrzną 4 cm

Numer dielektryka	U_v V	U_{pr} kV	a_i cm	ε_i -	U_{pi} kV	Zakres 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	-

3. Opracowanie wyników

1. Wyznaczenie wartości średnich napięć

Na podstawie trzech pomiarów dla każdej odległości między elektrodami wyznaczyć wartości średnie napięcia przeskoku:

$$u_{p\bar{s}r} = \frac{u_{p1} + u_{p2} + u_{p3}}{3} \quad (1)$$

gdzie:

- $u_{p\bar{s}r}$ – średnia wartość napięcia przeskoku;
- u_{p1}, u_{p2}, u_{p3} – kolejne wartości napięcia przeskoku zmierzone woltomierzem.

2. Wyznaczenie wartości napięcia przeskoku

Na podstawie wyznaczonych wcześniej średnich wartości napięcia obliczyć wartości napięcia przeskoku:

$$U_p = u_{p\bar{s}r} \cdot \vartheta \quad (2)$$

gdzie:

- $u_{p\bar{s}r}$ – średnia wartość napięcia przeskoku;
- ϑ – przekładnia transformatora probierczego $\vartheta = 500$.

3. Wyznaczenie wartości natężenia pola elektrycznego dla układu uwarstwionego szeregowo

W celu wyznaczenia natężenia pola elektrycznego w każdym z dielektryków wyznaczamy z zależności:

$$E_p = \frac{U_{pi}}{a_i} \quad (3)$$

gdzie:

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

U_p – spadek napięcia na poszczególnych dielektrykach w kV obliczany ze

wzoru:

$$U_p = U_{pi(n)} - U_{pi(n-1)} \quad (4)$$

Tabela wyników obliczeń

Tabela 6. Tabela pomiarowa dla napięcia przeskoku dla układu uwarstwionego równolegle

L.p.	a	Dielektryki								
		Szkło organiczne			Teflon			Powietrze		
		u_p	u_{psr}	U_p	u_p	u_{psr}	U_p	u_p	u_{psr}	U_p
	cm	V	V	kV	V	V	kV	V	V	kV
1	2									
2										
3										
4	3									
5										
6										
7	4									
8										
9										
10	5									
11										
12										

Tabela 7. Tabela pomiarowa rozkładu napięcia na dielektrykach uwarstwionych szeregowo i odpowiadające im wartości natężenia pola

Nr dielektryka	U_v	U_{pr}	ϵ_i	Przerwa powietrza $a = 0$ cm				Przerwa powietrza $a = 3$ cm				Przerwa powietrza $a = 4$ cm			
				a_i	U_{pi}	U_p	E_p	a_i	U_{pi}	U_p	E_p	a_i	U_{pi}	U_p	E_p
				cm	kV	kV	kV/cm	cm	kV	kV	kV/cm	cm	kV	kV	kV/cm
1	70	35	3	0,8				0,8				0,8			
2			5	0,85				0,85				0,85			
3			2,8	1,2				1,2				1,2			
4			5-7	1,95	35			1,95				1,95			
5				0	-			3	35			4	35		

Wykonanie sprawozdania

Sprawozdanie powinno zawierać:

- stronę tytułową;
- dane określające warunki atmosferyczne;
- schematy układów pomiarowych;
- tabele wyników pomiarów;
- tabelę wyników obliczeń;
- przykładowe obliczenia;
- wykresy zależności:
 - $U_p=f(a)$ dla układu powietrznego oraz układu powietrze-dielektryk stały (powietrze-szkło organiczne, powietrze-teflon) na wspólnym wykresie;
 - $U_{pi}=f(a_i)$ dla układu szeregowego poszczególnych dielektryków;
 - $E_p=f(a_i)$ dla układu szeregowego poszczególnych dielektryków;
- analizę otrzymanych wyników oraz wnioski.