

LABORATORIUM

TECHNIKA WYSOKICH NAPIĘĆ

Ćwiczenie nr 8

Badanie wytrzymałości powietrza przy napięciu stałym

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 powietrza przy napięciu stałym oraz wyznaczenie zależności napięcia świetlenia i przeskoku od odległości między elektrodami dla układów ostrze–ostrze oraz ostrze–płyta, przy dodatniej i ujemnej biegunowości ostrza.

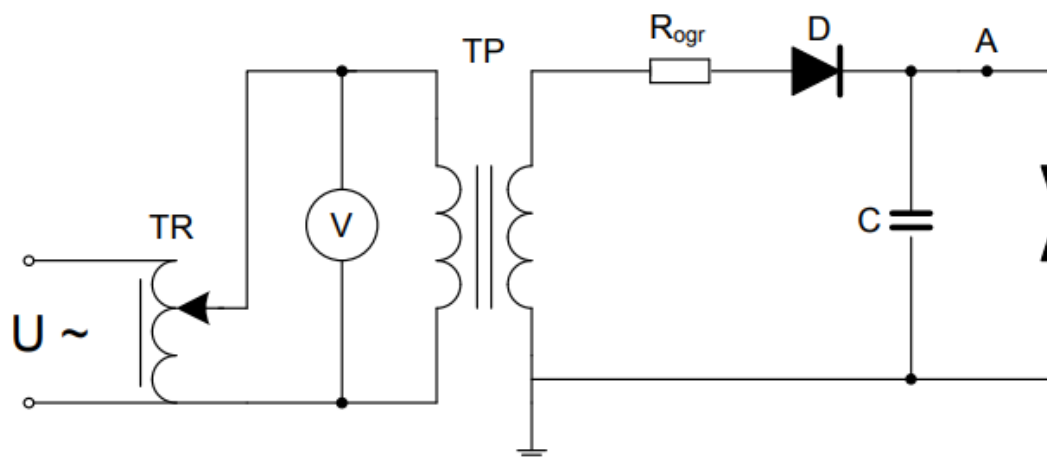
Zakres ćwiczenia

Zakres ćwiczenia obejmuje badanie wytrzymałości elektrycznej powietrza przy napięciu stałym w układach elektrod ostrze–ostrze oraz ostrze–płyta, przy dodatniej i ujemnej biegunowości ostrza. Pomiary napięcia świetlenia i przeskoku wykonuje się dla odległości między elektrodami od 2 do 16 cm, ze zmianą odległości co 2 cm. Dla każdej odległości oraz każdej biegunowości ostrza wykonuje się trzy pomiary, a następnie wyznacza się wartości średnie napięcia świetlenia i przeskoku.

Stanowisko pomiarowe

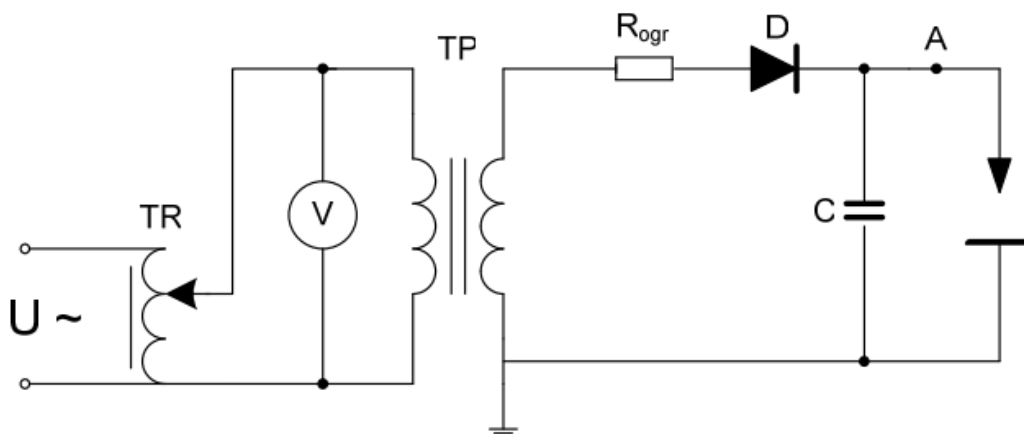
Do wykonania ćwiczenia wykorzystano stanowisko laboratoryjne umożliwiające badanie wytrzymałości elektrycznej powietrza przy napięciu stałym. Układ zasilany jest z autotransformatora, który umożliwia płynną regulację napięcia podawanego na transformator probierczy. Transformator probierczy podwyższa napięcie, które następnie jest prostowane i podawane na układ pomiarowy.

W układzie pomiarowym zastosowano prostownik, rezystor ograniczający oraz kondensator, na którym gromadzone jest napięcie stałe. Do zacisku wysokiego napięcia A dołączany jest odpowiedni układ elektrod: ostrze–ostrze lub ostrze–płyta. W układzie ostrze–płyta możliwa jest zmiana biegunowości ostrza na dodatnią lub ujemną. Napięcie po stronie niskonapięciowej transformatora probierczego jest mierzone za pomocą woltomierza. Schematy poszczególnych układów pomiarowych przedstawiono na rysunkach 1 i 2.

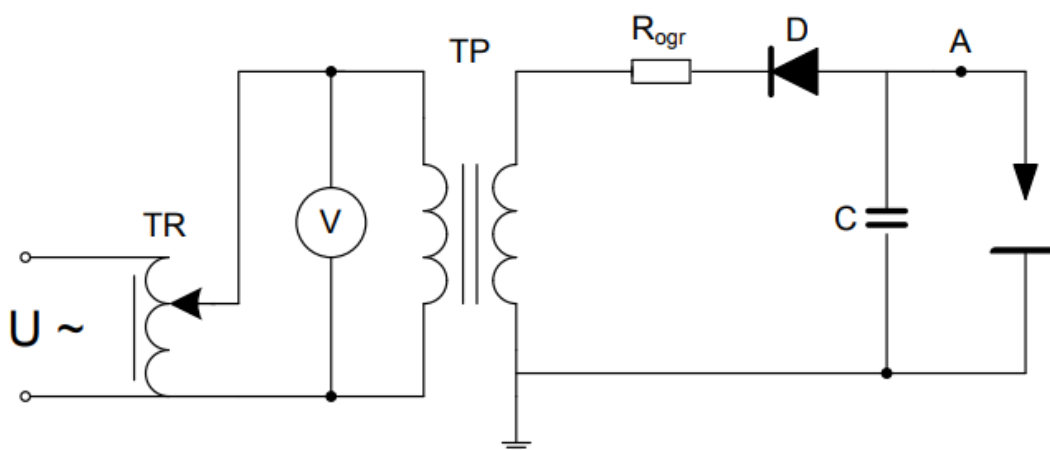


Rysunek 1. Schemat układu pomiarowego – elektrody ostrze-ostrze

a)



b)



Rysunek 2. Schemat układu pomiarowego – elektrody ostrze- płyta: a) przy ostrzu dodatnim, b) przy ostrzu ujemnym

Wykaz urządzeń i aparatury

- autotransformator (TR);
- transformator probierczy (TP);
- prostownik (D);
- rezystor ograniczający R_{ogr} ;
- kondensator C ;
- iskiernik – układ ostrze–ostrze;
- iskiernik – układ ostrze–płyta;
- woltomierz (V);
- drążek uziemiający.

Wykonanie ćwiczenia

1. Przygotowanie stanowiska

- Zapoznać się ze stanowiskiem laboratoryjnym oraz schematami układów pomiarowych przedstawionymi na rysunkach 1 i 2.
- Sprawdzić, czy stanowisko jest przygotowane do pomiaru napięcia stałego zgodnie ze schematem 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 w układzie elektrod ostrze - ostrze

1. Otworzyć komorę wysokiego napięcia.
2. Założyć drążek uziemiający na iskiernik po stronie wysokiego napięcia.
3. Przygotować stanowisko pomiarowe według schematu przedstawionego na rysunku 1.
4. Ustawić odległość między elektrodami na 2 cm.
5. Zdjąć drążek uziemiający z iskiernika i zamknąć komorę wysokiego napięcia.
6. Załączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
7. Załączyć obwód wysokiego napięcia.
8. Powoli zwiększać napięcie za pomocą autotransformatora, obserwując przez wizjer komory wysokiego napięcia wystąpienie kolejno zjawiska świetlenia oraz przeskoku.
9. Po wystąpieniu każdego zjawiska odczytać wskazanie woltomierza i zapisać w tabeli pomiarowej odpowiednio wartości napięcia świetlenia u_o oraz napięcia przeskoku u_p .
10. Po wystąpieniu przeskoku ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym.
11. Czynności opisane w punktach 6–9 powtórzyć trzykrotnie dla tej samej odległości między elektrodami.
12. Po uzyskaniu trzech pomiarów, ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym.
13. Wyłączyć zasilanie obwodu wysokiego napięcia.
14. Wyłączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
15. Powtórzyć czynności opisane w punktach 1–10, dla kolejnych odległości między elektrodami, zwiększając odległość każdorazowo o 2 cm, aż do osiągnięcia odległości 16 cm zgodnie z tabelą 2.
16. Po zakończeniu pomiarów ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym, wyłączyć zasilanie stanowiska pomiarowego, otworzyć komorę wysokiego napięcia i założyć drążek uziemiający na iskiernik po stronie wysokiego napięcia.

Tabela 2. Pomiar napięcia świetlenia u_o , snopienia u_s i przeskoku u_p w układzie ostrze-ostrze

L.p.	a	Świetlenie	Przeskok	ϑ
		u_o	u_p	
–	[cm]	[V]	[V]	[–]
1	16			60000 V / 220V
2				
3				
4	14			
5				
6				
7	12			
8				
9				
10	10			
11				
12				
13	8			
14				
15				
16	6			
17				
18				
19	4			
20				
21				
22	2			
23				
24				

3. Pomiar w układzie elektrod ostrze–płyta

Etap I – układ ostrze – płyta przy ostrzu dodatnim

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 iskiernik po stronie wysokiego napięcia.
4. Zamienić położenie elektrod tak, aby elektroda ostrzowa znajdowała się po stronie wysokiego napięcia, a elektroda płaska po stronie niskiego napięcia. W tym celu odkręcić elektrodę ostrzową, a następnie w jej miejsce przykręcić elektrodę płaską.
5. Ustawić odległość między elektrodami na 2 cm.
6. Przygotować układ pomiarowy zgodnie z schematem przedstawionym na rysunku 2a (dioda ustawiona w kierunku przewodzenia).
7. Zdjąć drążek uziemiający i zamknąć komorę wysokiego napięcia.
8. Załączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
9. Załączyć obwód wysokiego napięcia.
10. Powoli zwiększać napięcie za pomocą autotransformatora, obserwując przez wizjer komory wysokiego napięcia wystąpienie kolejno zjawiska świetlenia oraz przeskoku.
11. Po wystąpieniu każdego zjawiska odczytać wskazanie woltomierza i zapisać w tabeli pomiarowej odpowiednio wartości napięcia świetlenia u_0 oraz napięcia przeskoku u_p .
12. Po wystąpieniu przeskoku ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym.
13. Czynności opisane w punktach 8–11 powtórzyć trzykrotnie dla tej samej odległości między elektrodami.
14. Po uzyskaniu trzech pomiarów, ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym.
15. Wyłączyć zasilanie obwodu wysokiego napięcia.
16. Wyłączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
17. Powtórzyć czynności opisane w punktach 1–12 z pominięciem punktu 4 dla

kolejnych odległości między elektrodami, zwiększając odległość każdorazowo o 2 cm, aż do osiągnięcia odległości 16 cm zgodnie z tabelą 3.

18. Po zakończeniu wszystkich pomiarów ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym, wyłączyć zasilanie stanowiska, otworzyć komorę wysokiego napięcia i założyć drążek uziemiający na iskiernik po stronie wysokiego napięcia.

Tabela 3. Pomiar napięcia świetlenia u_o , snopienia u_s i przeskoku u_p w układzie ostrze-płyta przy ostrzu dodatnim

L.p.	a	Świetlenie	Przeskok	ϑ
		u_o	u_p	
–	[cm]	[V]	[V]	[–]
1	16			60000 V / 220V
2				
3				
4	14			
5				
6				
7	12			
8				
9				
10	10			
11				
12				
13	8			
14				
15				
16	6			
17				
18				
19	4			
20				

21				
22	2			
23				
24				

Etap II – układ ostrze – płyta przy ostrzu ujemnym

1. Sprawdzić, czy zasilanie stanowiska pomiarowego jest wyłączone oraz czy regulator autotransformatora znajduje się w położeniu zerowym.
2. Otworzyć komorę wysokiego napięcia i założyć drążek uziemiający na iskiernik po stronie wysokiego napięcia.
3. Przygotować układ pomiarowy zgodnie z schematem przedstawionym na rysunku 2b (dioda ustawiona w kierunku zaporowym).
4. Ustawić odległość między elektrodami na 2 cm.
5. Zdjąć drążek uziemiający i zamknąć komorę wysokiego napięcia.
6. Załączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
7. Załączyć obwód wysokiego napięcia.
8. Powoli zwiększać napięcie za pomocą autotransformatora, obserwując przez wizjer komory wysokiego napięcia wystąpienie kolejno zjawiska świetlenia oraz przeskoku.
9. Po wystąpieniu każdego zjawiska odczytać wskazanie woltomierza i zapisać w tabeli pomiarowej odpowiednio wartości napięcia świetlenia u_0 oraz napięcia przeskoku u_p .
10. Po wystąpieniu przeskoku ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym.
11. Czynności opisane w punktach 7–10 powtórzyć trzykrotnie dla tej samej odległości między elektrodami.
12. Po uzyskaniu trzech pomiarów, ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym.
13. Wyłączyć zasilanie obwodu wysokiego napięcia.
14. Wyłączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
15. Powtórzyć czynności opisane w punktach 1–11 z pominięciem punktu 3 dla kolejnych odległości między elektrodami, zwiększając odległość każdorazowo

o 2 cm, aż do osiągnięcia odległości 16 cm zgodnie z tabelą 4.

16. Po zakończeniu wszystkich pomiarów ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym, wyłączyć zasilanie stanowiska, otworzyć komorę wysokiego napięcia i założyć drążek uziemiający na iskiernik po stronie wysokiego napięcia.

Tabela 4. Pomiar napięcia świetlenia u_o , snopienia u_s i przeskoku u_p w układzie ostrze-płyta przy ostrzu ujemnym.

L.p.	a	Świetlenie	Przeskok	ϑ
		u_o	u_p	
–	[cm]	[V]	[V]	[–]
1	16			60000 V / 220V
2				
3				
4	14			
5				
6				
7	12			
8				
9				
10	10			
11				
12				
13	8			
14				
15				
16	6			
17				
18				
19	4			
20				

21				
22	2			
23				
24				

3. Opracowanie wyników

1. Wyznaczenie wartości średnich napięć

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

$$u_{o\bar{s}r} = \frac{u_{o1} + u_{o2} + u_{o3}}{3}$$

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

gdzie:

- u_{o1}, u_{o2}, u_{o3} – kolejne wartości napięcia światlenia,
- u_{p1}, u_{p2}, u_{p3} – kolejne wartości napięcia przeskoku.

2. Wyznaczenie wartości napięć światlenia i przeskoku

Na podstawie wyznaczonych wcześniej średnich wartości napięcia obliczyć wartości napięć światlenia i przeskoku:

$$U_o = \sqrt{2} \cdot u_{o\bar{s}r} \cdot g$$

$$U_p = \sqrt{2} \cdot u_{p\bar{s}r} \cdot g$$
(2)

3. Wyznaczenie wartości napięć w warunkach normalnych

W celu uwzględnienia warunków atmosferycznych obliczyć współczynnik gęstości powietrza:

$$\delta = \frac{b}{1013} \cdot \frac{293}{273 + t} = 0,289 \frac{b}{273 + t}$$
(3)

gdzie:

b – ciśnienie atmosferyczne,

t – temperatura powietrza.

Następnie wyznaczyć wartości napięć świetlenia i przeskoku w warunkach normalnych:

$$\begin{aligned} U_{on} &= \frac{U_o \cdot k_w}{g} \\ U_{pn} &= \frac{U_p \cdot k_w}{g} \end{aligned} \quad (4)$$

Współczynnik k_w odczytać wykresu (załącznik 2) na podstawie wilgotności bezwzględnej powietrza w , [g/cm³].

Wilgotność bezwzględną powietrza obliczyć z zależności:

$$w = \varphi \cdot w_n \quad (5)$$

w_n – wilgotność bezwzględna powietrza w stanie nasycenia odczytana z tablic (załącznik 1) dla danej temperatury,

φ – wilgotność powietrza odczytana z higrometru.

4. Wyznaczenie obliczeniowej wartości napięcia przeskoku

Obliczeniową wartość napięcia przeskoku wyznaczyć z zależności:

$$U'_{pn} = 14 + 3,16 \cdot a \quad (6)$$

gdzie a – odległość między elektrodami.

Tabela wyników obliczeń

Tabela 5. Tabela wyników obliczeń napięcia świetlenia i przeskoku dla układów ostrze-ostrze, ostrze-płyta przy ostrzu dodatnim oraz ostrze-płyta przy ostrzu ujemnym.

L.p.	a	θ	Świetlenie				Przeskok			
			u_o	u_{osr}	U_o	U_{on}	u_p	u_{psr}	U_p	U_{pn}
-	cm	-	V	V	kV _m	kV _m	V	V	kV _m	kV _m
1	16	60000 V / 220V								
2										
3										
4	14									
5										
6										
7	12									
8										
9										
10	10									
11										
12										
13	8									
14										
15										
16	6									
17										
18										
19	4									
20										
21										
22	2									
23										
24										

Wykonanie sprawozdania

Sprawozdanie powinno zawierać:

- stronę tytułową;
- dane określające warunki atmosferyczne;
- schematy układów pomiarowych;
- tabele wyników pomiarów;
- tabelę wyników obliczeń;
- przykładowe obliczenia;
- wykresy zależności:
 - $U_{on}=f(a)$, oraz $U_{pn}=f(a)$ dla układu ostrze-ostrze;
 - $U_{on}=f(a)$, $U_{sn}=f(a)$, $U_{pn}=f(a)$ dla układu ostrze-płyta z ostrzem dodatnim;
 - $U_{on}=f(a)$, $U_{sn}=f(a)$, $U_{pn}=f(a)$ dla układu ostrze-płyta z ostrzem ujemnym;
 - $U_{on}=f(a)$ dla układów ostrze-ostrze, ostrze płyta przy ostrzu dodatnim oraz ostrze płyta przy ostrzu ujemnym;
 - $U'_{pn}=f(a)$ dla układów ostrze-ostrze, ostrze płyta przy ostrzu dodatnim oraz ostrze płyta przy ostrzu ujemnym;
- analizę otrzymanych wyników oraz wnioski.

Załącznik 1. Wilgotność bezwzględna powietrza w stanie nasycenia w_n w zależności od temperatury t

$$w_n = f(t)$$

Temperatura t	Wilgotność bezwzględna w stanie nasycenia w_n
[°C]	[g/m³]
11	10
12	10,7
13	11,4
14	12,1
15	12,8
16	13,6
17	14,5
18	15,4
19	16,3
20	17,3
21	18,3
22	19,4
23	20,6
24	21,8
25	23
26	24,4
27	25,8
28	27,2
29	28,7
30	30,2
31	32
32	33,8
33	35,6
34	37,5

Załącznik 2. Zależność współczynnika poprawkowego k_w od wilgotności bezwzględnej powietrza w

