

LABORATORIUM

TECHNIKA WYSOKICH NAPIĘĆ

Ćwiczenie nr 3

Badanie wytrzymałości elektrycznej powietrza przy napięciu udarowym

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 poznanie zasad pomiaru wysokich napięć udarowych oraz wyznaczenie wytrzymałości udarowej i statycznej układu izolacyjnego z wykorzystaniem iskiernika kulowego.

Zakres ćwiczenia

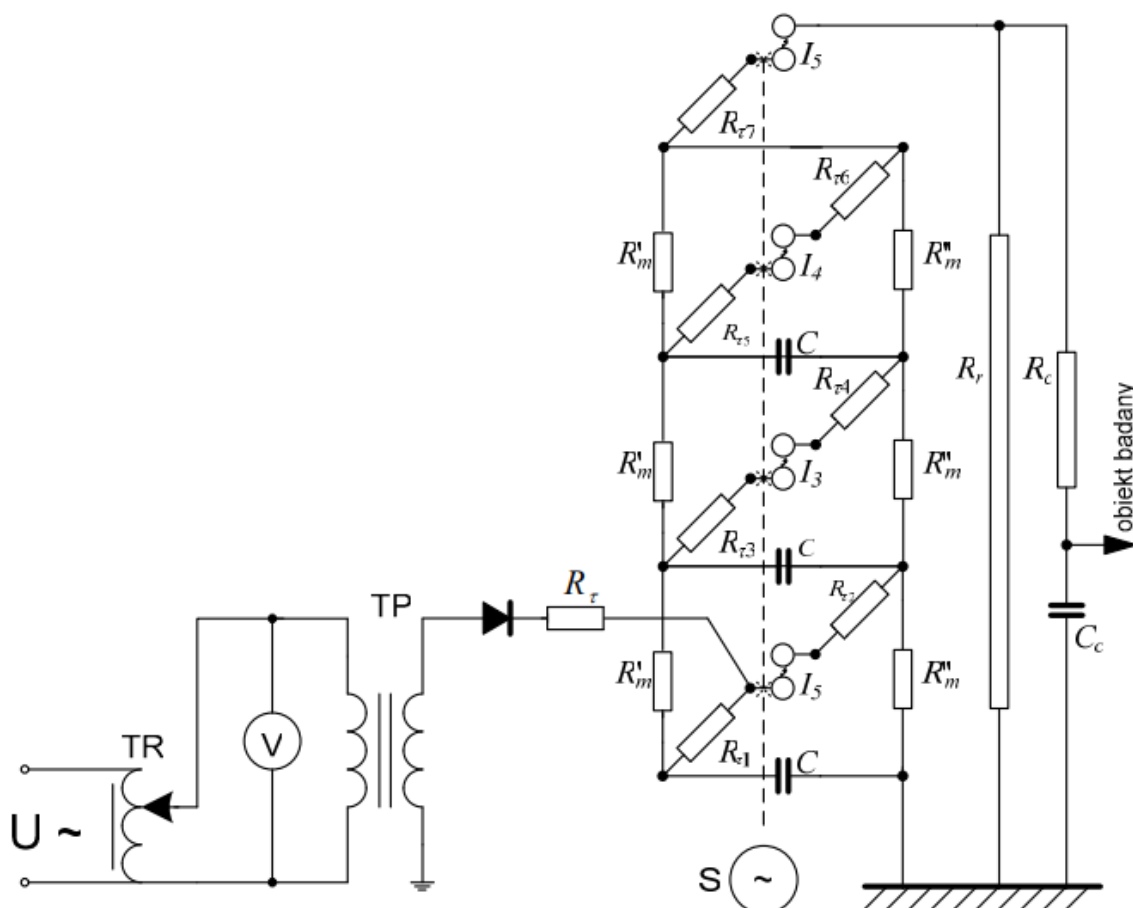
Zakres ćwiczenia obejmuje pomiar wytrzymałości udarowej i statycznej układu izolacyjnego z wykorzystaniem iskiernika kulowego. W ramach pomiarów wyznaczane są napięcia udarowe oraz statyczne dla różnych odległości między elektrodami, a następnie określany jest współczynnik wykorzystania obwodu generatora udarowego oraz współczynnik udaru. Uzyskane wyniki są porównywane z wartościami wyznaczonymi na podstawie zależności podanych w Polskiej Normie.

Stanowisko pomiarowe

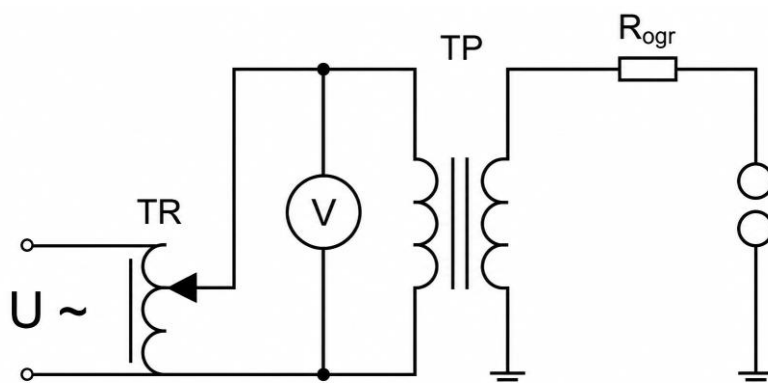
Do wykonania ćwiczenia wykorzystano stanowisko laboratoryjne umożliwiające pomiar wytrzymałości elektrycznej układu izolacyjnego przy napięciu udarowym oraz napięciu przemiennym. Układ zasilany jest z autotransformatora, który umożliwia płynną regulację napięcia podawanego na transformator probierczy. Transformator probierczy podwyższa napięcie, które następnie jest prostowane i podawane na generator udarowy Marxa.

Generator udarowy składa się z czterech stopni kondensatorów, iskierników pomocniczych oraz elementów rezystancyjno-pojemnościowych. W wyniku przełączania iskierników pomocniczych kondensatory zostają połączone szeregowo, a wygenerowane napięcie udarowe jest podawane na badany układ izolacyjny. Do pomiaru wykorzystuje się iskiernik kulowy.

Schematy układów pomiarowych przedstawiono na rysunkach 1 i 2.



Rysunek 1. Schemat układu pomiarowego do wyznaczenia wytrzymałości udarowej układów izolacyjnych (generator Marxa).



Rysunek 2. Schemat układu pomiarowego do wyznaczenia wytrzymałości statycznej układów izolacyjnych

Tabela 1. Tabela z parametrami generatora udarowego, statycznego oraz warunki atmosferyczne

Parametry generatora udarowego, statycznego i warunki meteorologiczne	
Przekładnia transformatora generatora udarowego	$\vartheta_1 = 60000 / 220$
Liczba stopni generatora udarowego	$n = 4$
Przekładnia transformatora generatora statycznego	$\vartheta_2 = 110000 / 220$
Temperatura, °C	$t =$
Ciśnienie, hPa	$b =$
Gęstość względna powietrza $\delta = \frac{b}{1013} \cdot \frac{293}{273+t} = 0,289 \frac{b}{273+t}$	$\delta =$
Wilgotność, %	$\varphi =$

Oznaczenia do rysunku 2:

$U_{\sim}$ – napięcie zasilające przemienne 50 Hz,

TR – autotransformator regulacyjny,

TP – transformator probierczy,

V – woltomierz po stronie niskiego napięcia transformatora probierczego,

R_{ogr} – rezystor ograniczający,

Wykaz urządzeń i aparatury

1. Stanowisko do pomiaru wytrzymałości udarowej:

- autotransformator;
- transformator probierczy 60 kV / 220 V;
- prostownik;
- generator udarowy Marxa, 4-stopniowy;
- iskiernik kulowy;
- iskiernik ostrzowy;
- woltomierz;
- drążek izolacyjny;
- drążek uziemiający.

2. Stanowisko do pomiaru wytrzymałości statycznej:

- autotransformator;
- transformator probierczy 110 kV / 220 V;
- iskiernik kulowy;
- woltomierz;
- drążek uziemiający.

Wykonanie ćwiczenia

- Zapoznać się ze stanowiskiem laboratoryjnym oraz schematami układów pomiarowych przedstawionymi na rysunkach 1–2.
- Sprawdzić, czy stanowisko jest przygotowane do pomiaru wytrzymałości udarowej powietrza dla układu kulowego (rysunek 1).
- Odczytać warunki atmosferyczne panujące w sali laboratoryjnej i zapisać w tabeli 1.

1. Pomiar wytrzymałości udarowej powietrza dla układu kulowego

1. Sprawdzić, czy zasilanie stanowiska jest wyłączone i regulator autotransformatora znajduje się w położeniu zerowym.
2. Otworzyć komorę wysokiego napięcia i założyć drążek uziemiający w przeznaczonym do tego miejscu na zacisku wysokiego napięcia.
3. Przygotować układ według schematu (rysunek 1) dla układu elektrod kulowych.
4. Zdjąć drążek uziemiający, zamknąć komorę.
5. Załączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
6. Załączyć obwód wysokiego napięcia.
7. Ustawić za pomocą autotransformatora wartość napięcia pierwotnego podanego w tabeli pomiarowej 2.
8. Za pomocą przycisków sterujących (przerwa mniejsza/przerwa większa) wyregulować odległość między kulami iskierników pomocniczych tak, aby przeskoki następowały co około 1–2 s.
9. Za pomocą drążka izolacyjnego regulować odległość między kulami iskiernika aż do uzyskania 50-procentowego występowania przeskoków.

10. Po uzyskaniu 50-procentowego przeskoku ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym oraz wyłączyć zasilanie obwodu wysokiego napięcia.
11. Wyłączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
12. Otworzyć komorę wysokiego napięcia.
13. **Po wejściu do komory wysokiego napięcia należy rozładować kondensatory generatora, dotykając kolejno każdego z czterech kondensatorów dwukrotnie za pomocą drążka uziemiającego.**
14. Założyć drążek uziemiający w przeznaczonym do tego miejscu na zacisku wysokiego napięcia.
15. Odczytać i zapisać odległość między kulami iskiernika w tabeli 2.
16. Po odczytaniu i zapisaniu wartości odległości między kulami drążkiem regulacji odległości zwiększyć odległość między kulami w celu przeprowadzenia kolejnych pomiarów.
17. Powtórzyć pomiar dla kolejnych wartości napięcia (krok od 4 do 16) podanych w tabeli 2.
18. Po zakończeniu pomiarów wyłączyć zasilanie stanowiska, otworzyć komorę wysokiego napięcia, rozładować kondensatory jak w pkt 12 i założyć drążek uziemiający w przeznaczonym do tego miejscu na zacisku wysokiego napięcia.
19. Zdemontować kule iskiernika kulowego z układu generatora udarowego.
20. Przenieść kule iskiernika na stanowisko do pomiaru wytrzymałości statycznej i zamontować go w układzie pomiarowym.

Tabela 2. Pomiar wytrzymałości udarowej powietrza dla układu kulowego

L.p.	Wytrzymałość udarowa	
	U_{kuv}	a
	V	mm
1	115	
2	105	
3	95	

4	85	
5	75	
6	65	

2. Pomiar wytrzymałości statycznej powietrza dla układu kulowego

1. Sprawdzić, czy zasilanie stanowiska pomiarowego jest wyłączone oraz czy drążek uziemiający jest założony na zacisku wysokiego napięcia transformatora probierczego.
2. Zamontować iskiernik kulowy na stanowisku pomiarowym.
3. Ustawić odległość między kulami zgodnie z wartościami odległości wyznaczonymi w poprzedniej części ćwiczenia (tabela 3).
4. Zdjąć drążek uziemiający i zamknąć komorę wysokiego napięcia.
5. Załączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
6. Sprawdzić, czy regulator autotransformatora znajduje się w położeniu zerowym.
7. Załączyć obwód wysokiego napięcia.
8. Stopniowo zwiększać napięcie za pomocą autotransformatora, obserwując jednocześnie wskazanie woltomierza aż do momentu wystąpienia przeskoku między kulami iskiernika.
9. Po wystąpieniu przeskoku odczytać wartość napięcia i zapisać ją w tabeli 3.
10. Ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym.
11. Czynności opisane w punktach 7–10 powtórzyć trzykrotnie dla tej samej odległości między kulami.
12. Po uzyskaniu trzech pomiarów, ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym.
13. Wyłączyć zasilanie obwodu wysokiego napięcia.
14. Wyłączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
15. Otworzyć komorę wysokiego napięcia i założyć drążek uziemiający na zacisku wysokiego napięcia transformatora probierczego.
16. Ustawić kolejną odległość między kulami zgodnie z wartościami wyznaczonymi w poprzedniej części ćwiczenia.

17. Po zakończeniu wszystkich pomiarów upewnić się, że regulator autotransformatora znajduje się w położeniu zerowym, wyłączyć zasilanie stanowiska i pozostawić założony drążek uziemiający na zacisku wysokiego napięcia transformatora probierczego.

Tabela 3. Pomiar wytrzymałości statycznej powietrza dla układu kulowego

L.p.	Wytrzymałość statyczna	
	U_{ksv}	a
	V	mm
1	115	
2	105	
3	95	
4	85	
5	75	
6	65	

3. Opracowanie wyników

1. Wyznaczenie wartości napięcia generatora udarowego

Wyznaczyć napięcie wytwarzane przez generator udarowy U_G na podstawie napięcia odczytanego na woltomierzu, przekładni transformatora generatora oraz liczby stopni generatora, korzystając z zależności:

$$U_G = U_{kuv} \cdot \sqrt{2} \cdot g_1 \cdot n \quad (1)$$

gdzie:

U_{kuv} – napięcie odczytane na woltomierzu podczas pomiaru udarowego,

g_1 – przekładnia transformatora generatora udarowego,

n – liczba stopni generatora udarowego.

2. Wyznaczenie współczynnika wykorzystania obwodu generatora udarowego

Na podstawie napięcia U_G oraz napięcia U_{pn} wyznaczyć współczynnik wykorzystania obwodu generatora:

$$\eta = \frac{U_{pn}}{U_G} \quad (2)$$

gdzie:

U_{pn} – wartość napięcia udarowego dla iskiernika kulowego odczytana z wykresu zależności napięcia udarowego w funkcji odległości elektrod sporządzonego wg. Polskiej Normy (Załącznik 1).

Następnie wyznaczyć napięcie udarowe U_{ku} w warunkach normalnych, uwzględniając względną gęstość powietrza δ oraz współczynnik uwzględniający wpływ wilgotności k_w .

$$U_{ku} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{kv} \cdot g_1 \cdot n \cdot \eta_{sr} \cdot k_w}{\delta} \quad (3)$$

gdzie:

δ – współczynnik gęstości powietrza obliczany według wzoru:

$$\delta = \frac{b}{1013} \cdot \frac{293}{273+t} = 0,289 \frac{b}{273+t} \quad (4)$$

b – ciśnienie atmosferyczne,

t – temperatura powietrza.

Współczynnik k_w odczytać wykresu (załącznik 3) 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 2) dla danej temperatury,

φ – wilgotność powietrza odczytana z higrometru.

3. Wyznaczenie współczynnika uderu

Dla każdej odległości między kulami wyznaczyć współczynnik uderu k_{ku} z zależności:

$$k_{ku} = \frac{U_{ku}}{U_{ks}} \quad (6)$$

gdzie:

U_{ku} – napięcie uderowe U_{ku} w warunkach normalnych;

U_{ks} – napięcie statyczne w warunkach normalnych dla układu kulowego
wyznaczamy według:

$$U_{ks} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{kvvsr} \cdot g_2}{\delta} \quad (7)$$

$$U_{kvvsr} = \frac{U_1 \cdot U_2 \cdot U_3}{3} \quad (8)$$

Tabela wyników obliczeń

Tabela 4. Pomiar wytrzymałości udarowej i statycznej dla układu kulowego

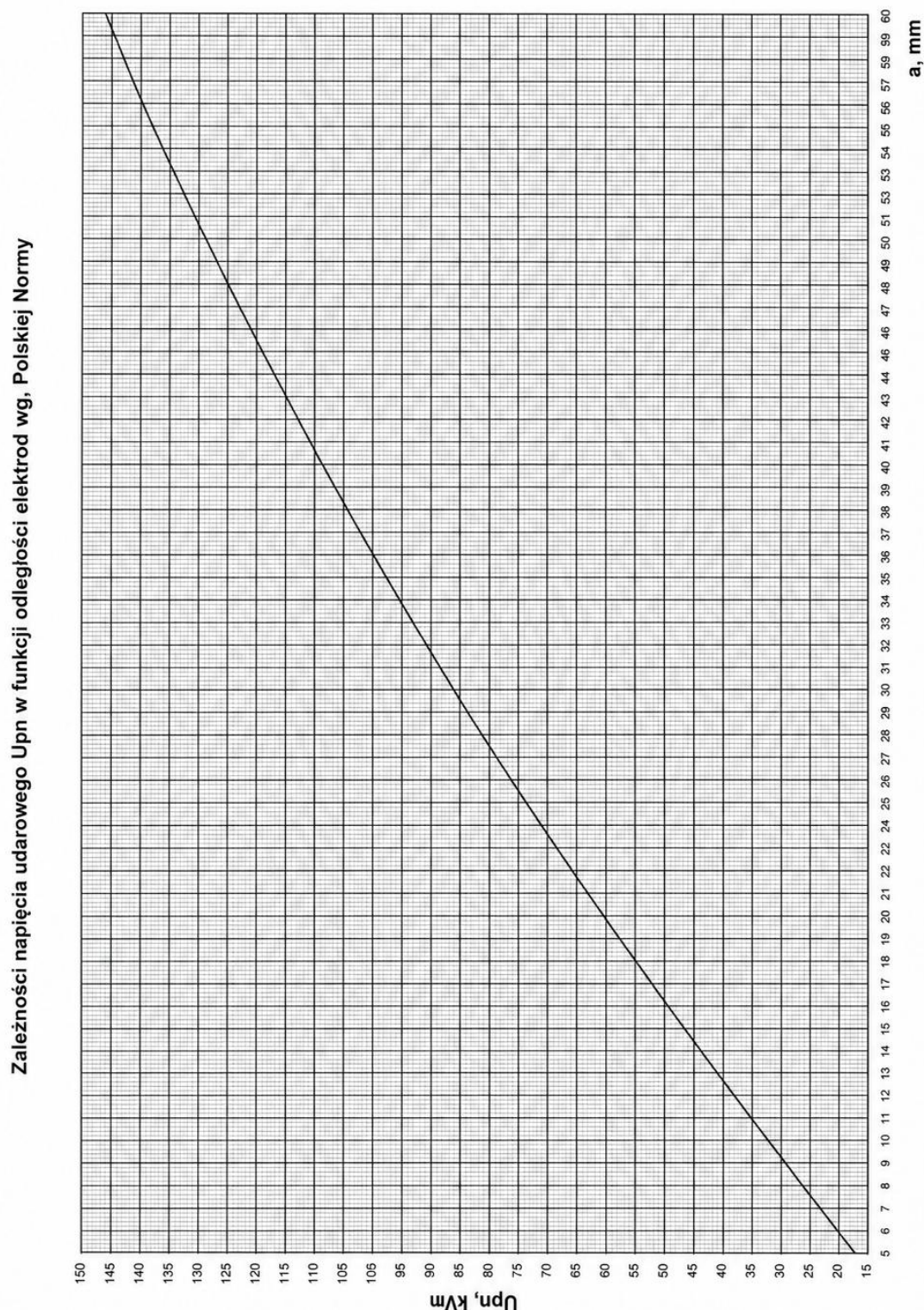
L.p.	Wytrzymałość układu kulowego									
	Wytrzymałość udarowa						Wytrzymałość statyczna			
	U_{kuv}	a	U_G	U_{pn}	$\eta(i)$	U_{ku}	U_{ksv}	U_{ksvsr}	U_{ks}	$k_{ku}(i)$
	V	mm	kV	kV	-	kV	V	V	kV	-
1	115									
2	105									
3	95									
4	85									
5	75									
6	65									
Wartość średnia $\eta_{sr} =$							Wartość średnia $k_{kusr} =$			

Wykonanie sprawozdania

Sprawozdanie powinno zawierać:

- stronę tytułową;
- schematy układów pomiarowych;

- dane określające warunki atmosferyczne;
- tabelę wyników przeprowadzonych pomiarów;
- tabelę wyników obliczeń;
- przykładowe obliczenia;
- wykres zależności
- wykres zależności współczynnika uderu
 - $U_{ku}=f(a)$, $U_{pn}=f(a)$ oraz $U_{ks}=f(a)$;
- porównanie wytrzymałości uderowej i statycznej układu kulowego;
- analizę otrzymanych wyników oraz wnioski.



Załącznik 1. Zależność napięcia udarowego U_{pn} w funkcji odległości elektrod wg. Polskiej Normy

Załącznik 2. 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 3. Zależność współczynnika poprawkowego k_w od wilgotności bezwzględnej powietrza w

