

LABORATORIUM

TECHNIKA WYSOKICH NAPIĘĆ

Ćwiczenie nr 2

Pomiar wysokich napięć

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 zapoznanie się z wybranymi metodami pomiaru wysokich napięć przemiennych oraz porównanie wyników uzyskanych z wykorzystaniem różnych układów pomiarowych.

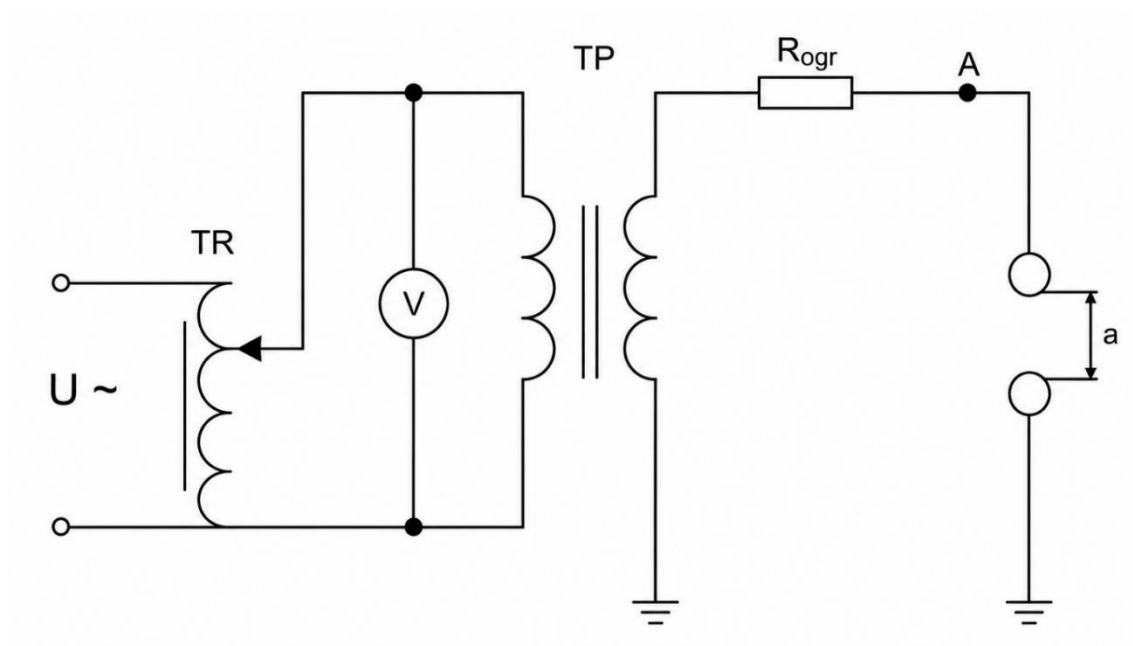
Zakres ćwiczenia

Zakres ćwiczenia obejmuje wyznaczenie wartości wysokiego napięcia przemiennego z wykorzystaniem kilku metod pomiarowych. Pomiary zostaną wykonane metodą iskiernika kulowego, metodą prostownikową, metodą dzielnika pojemnościowego oraz metodą przekładnika napięciowego. Dodatkowo wartość wysokiego napięcia zostanie wyznaczona na podstawie przekładni transformatora probierczego. Na podstawie uzyskanych wyników zostanie przeprowadzone porównanie poszczególnych metod pomiarowych oraz ocena ich zgodności.

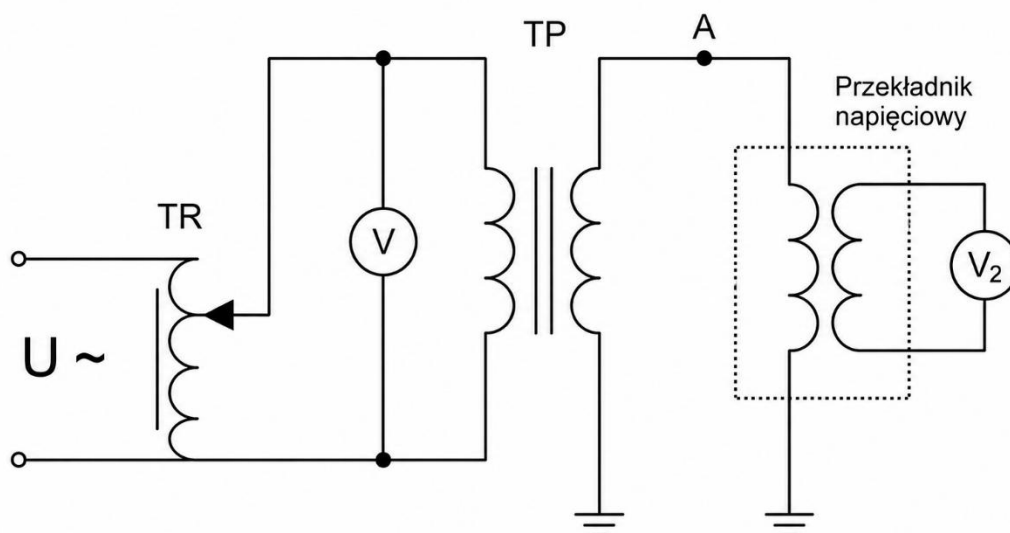
Stanowisko pomiarowe

Do wykonania ćwiczenia wykorzystano stanowisko laboratoryjne umożliwiające pomiar wysokich napięć przemiennych z zastosowaniem różnych metod pomiarowych. Układ zasilany jest z autotransformatora, który umożliwia płynną regulację napięcia podawanego na transformator probierczy. Transformator probierczy podwyższa napięcie do wartości wysokiego napięcia wykorzystywanego podczas badań.

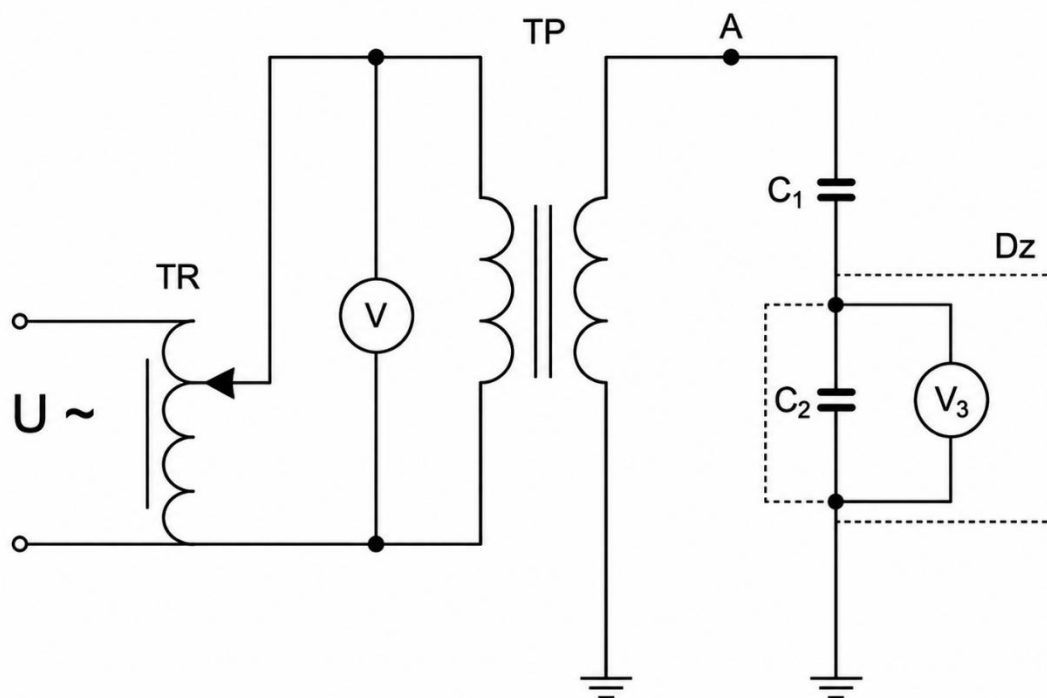
W zależności od wykonywanej części ćwiczenia do wyjścia transformatora probierczego dołączane są odpowiednie układy pomiarowe, umożliwiające wyznaczenie wartości wysokiego napięcia metodą iskiernika kulowego, metodą prostownikową, metodą dzielnika pojemnościowego oraz metodą przekładnika napięciowego. Schematy poszczególnych układów pomiarowych przedstawiono na rysunkach 1–4.



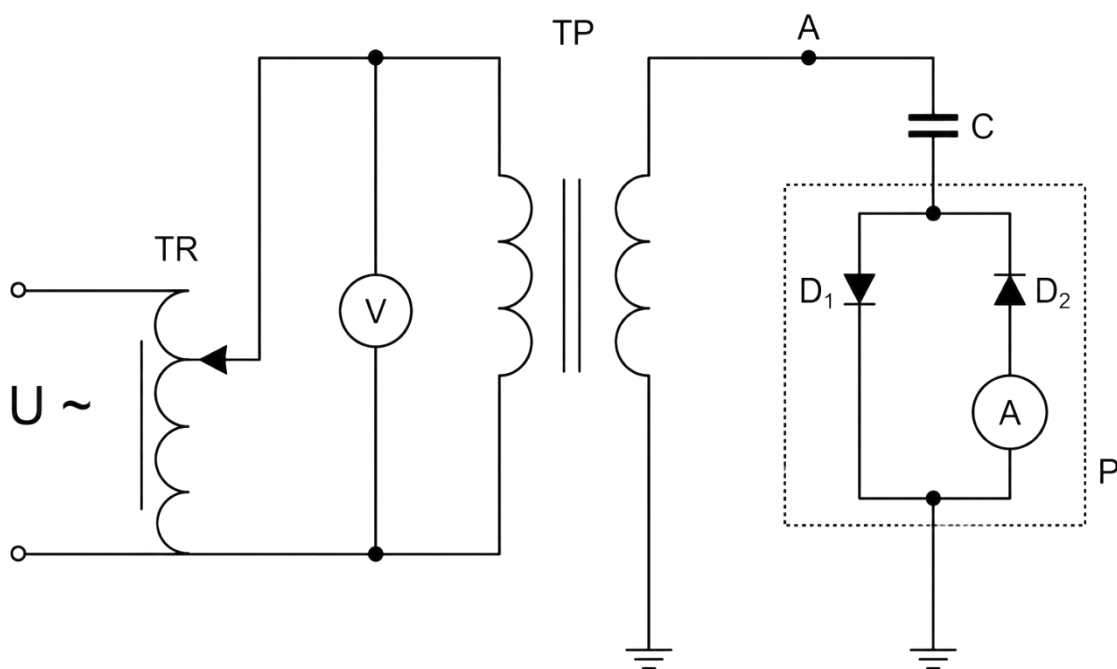
Rysunek 1. Schemat układu do pomiaru wysokiego napięcia metodą iskiernika kulowego



Rysunek 2. Schemat układu do pomiaru wysokiego napięcia z wykorzystaniem przekładnika napięciowego



Rysunek 3. Schemat układu do pomiaru wysokiego napięcia metodą dzielnika pojemnościowego



Rysunek 4. Schemat układu do pomiaru wysokiego napięcia metodą prostownicową

Oznaczenia do rysunków:

$U \sim$ – napięcie zasilające przemienne 50 Hz,

TR – autotransformator regulacyjny,

TP – transformator probierczy,

V – woltomierz po stronie niskiego napięcia transformatora probierczego,

V_2 – woltomierz dzielnika pojemnościowego,

V_3 – woltomierz przekładnika napięciowego,

A – zacisk wyjściowy wysokiego napięcia transformatora probierczego,

a – odległość między elektrodami iskiernika kulowego,

R_{ogr} – rezystor ograniczający,

C – kondensator wysokonapięciowy,

C_1 – kondensator wysokonapięciowy dzielnika pojemnościowego,

C_2 – kondensator niskonapięciowy dzielnika pojemnościowego

P – prostownik pomiarowy,

D_1, D_2 – diody prostownika pomiarowego,

Dz – dzielnik pojemnościowy

Wykaz urządzeń i aparatury

- stanowisko laboratoryjne do pomiaru wysokich napięć,
- autotransformator regulacyjny,
- transformator probierczy 60 kV / 220 V,
- iskiernik kulowy,
- rezystor ograniczający,
- prostownik pomiarowy,
- kondensator wysokonapięciowy 102,8 pF,
- kondensator niskonapięciowy 48,5 nF,
- dzielnik pojemnościowy,
- przekładnik napięciowy 30 kV / 100 V,
- woltomierze,
- amperomierz pomiarowy.

Wykonanie ćwiczenia

1. Przygotowanie stanowiska

- Zapoznać się ze stanowiskiem laboratoryjnym oraz schematami układów pomiarowych przedstawionymi na rysunkach 1–4.
- Sprawdzić, czy stanowisko jest przygotowane do pomiaru metodą iskiernika kulowego zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 1.
- Odczytać warunki atmosferyczne panujące w sali laboratoryjnej i zapisać w tabeli 1.

Tabela 1. Warunki atmosferyczne

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

2. Pomiar metodą iskiernika kulowego

1. Przygotować stanowisko pomiarowe według schematu przedstawionego na rysunku 1.
2. Zdjąć drążek uziemiający z zacisku wysokiego napięcia oraz zamontować drążek przeznaczony do regulacji odległości między kulami iskiernika.
3. Zamknąć komorę wysokiego napięcia.
4. Załączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
5. Sprawdzić, czy regulator autotransformatora znajduje się w położeniu zerowym.
6. Załączyć obwód wysokiego napięcia.
7. Zwiększyć napięcie do pierwszej wartości określonej w tabeli 2, regulując autotransformatorem oraz obserwując wskazania woltomierza.
8. Powoli zmniejszać odległość między kulami iskiernika do momentu wystąpienia przeskoku iskry. **UWAGA: Podczas regulacji trzymać rękę na wyłączniku obwodu wysokiego napięcia, aby po wystąpieniu przeskoku iskry natychmiast wyłączyć obwód.**
9. Po wyłączeniu obwodu ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym.

10. Wyłączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
11. Otworzyć komorę wysokiego napięcia.
12. Zdemontować drążek przeznaczony do regulacji odległości między kulami iskiernika
13. Założyć drążek uziemiający na zacisk wysokiego napięcia.
14. Odczytać odległość między kulami iskiernika i zapisać wynik w tabeli 2.
15. Zwiększyć odległość między kulami iskiernika, umożliwiając wykonanie kolejnego pomiaru,
16. Zdjąć drążek uziemiający z zacisku wysokiego napięcia oraz zamontować drążek przeznaczony do regulacji odległości między kulami iskiernika.
17. Czynności opisane w poprzednich punktach powtórzyć trzykrotnie dla każdej wartości napięcia określonej w tabeli pomiarowej.
18. Po zakończeniu pomiarów zdemontować drążek przeznaczony do regulacji odległości między kulami iskiernika oraz założyć drążek uziemiający na zacisk wysokiego napięcia.

Tabela 2. Pomiar wysokich napięć metodą iskiernika kulowego.

L.p.		U	ϑ_1	a
		[V]	[°]	[mm]
1	1	160	60000 V / 220V	
	2			
	3			
2	1	140		
	2			
	3			
3	1	120		
	2			
	3			
4	1	100		
	2			
	3			

5	1	80		
	2			
	3			
6	1	60		
	2			
	3			
7	1	50		
	2			
	3			

Oznaczenia w tabeli:

U – ustawione napięcie na wyjściu autotransformatora;

ϑ_1 – przekładnia transformatora;

a – odległość między elektrodami iskiernika;

3. Pomiar metodą przekładnika napięciowego

1. Odłączyć przewód wysokiego napięcia iskiernika kulowego od zacisku wysokiego napięcia transformatora probierczego.
2. Podłączyć przewód wysokiego napięcia przekładnika napięciowego do zacisku wysokiego napięcia transformatora probierczego zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 2.
3. Podłączyć miernik do zacisków wtórnych przekładnika napięciowego wyprowadzonych na stanowisku pomiarowym.
4. Ustawić miernik w trybie pomiaru napięcia.
5. Zdjąć drążek uziemiający z zacisku wysokiego napięcia.
6. Zamknąć komorę wysokiego napięcia.
7. Załączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
8. Sprawdzić, czy regulator autotransformatora znajduje się w położeniu zerowym.
9. Załączyć obwód wysokiego napięcia.
10. Kolejno ustawiać wartości napięcia określone w tabeli pomiarowej (tabela 3), regulując autotransformatorem oraz obserwując wskazania woltomierza po stronie niskiego napięcia.

11. Dla każdej wartości napięcia podanego w tabeli odczytać wskazanie woltomierza podłączonego do zacisków przekładnika napięciowego i zapisać wynik w tabeli 3.
12. 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 zacisk wysokiego napięcia.

Tabela 3. Pomiar wysokich napięć metodą przekładnika napięciowego

L.p.	U	ϑ_2	U_{v2}
	[V]	[–]	[V]
1	120	30000 V / 100 V	
2	100		
3	80		
4	60		
5	50		

Oznaczenia w tabeli:

U – ustawione napięcie na wyjściu autotransformatora;

ϑ_2 – przekładnia przekładnika napięciowego;

U_{v2} – wartość napięcia odczytana z woltomierza V_2 ;

4. Pomiar metodą przekładnika pojemnościowego

1. Odłączyć przewód wysokiego napięcia przekładnika napięciowego od zacisku wysokiego napięcia transformatora probierczego.
2. Podłączyć przewód wysokiego napięcia kondensatora wysokonapięciowego do zacisku wysokiego napięcia transformatora probierczego zgodnie z rysunkiem 3.
3. Odłączyć przewody miernika od zacisków przekładnika napięciowego wyprowadzonych na pulpit pomiarowy.
4. Do zacisku kondensatora wysokonapięciowego wyprowadzonego na pulpit

- pomiarowy podłączyć kondensator niskonapięciowy, którego drugi zacisk połączyć z uziemieniem zgodnie z rysunkiem 3.
5. Podłączyć przewody miernika do kondensatora niskonapięciowego.
 6. Ustawić miernik w trybie pomiaru napięcia.
 7. Zdjąć drążek uziemiający z zacisku wysokiego napięcia.
 8. Zamknąć komorę wysokiego napięcia.
 9. Załączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
 10. Sprawdzić, czy regulator autotransformatora znajduje się w położeniu zerowym.
 11. Załączyć obwód wysokiego napięcia.
 12. Kolejno ustawiać wartości napięcia określone w tabeli pomiarowej (tabela 4), regulując autotransformatorem oraz obserwując wskazania woltomierza po stronie niskiego napięcia.
 13. Dla każdej wartości napięcia odczytać wskazanie woltomierza podłączonego do kondensatora niskonapięciowego i zapisać wynik w tabeli 4.
 14. Ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym.
 15. Wyłączyć zasilanie obwodu wysokiego napięcia.
 16. Wyłączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
 17. Otworzyć komorę wysokiego napięcia i założyć drążek uziemiający na zacisk wysokiego napięcia.

Tabela 4. Pomiar wysokich napięć metodą dzielnika pojemnościowego

L.p.	U	U_{v3}
	[V]	[V]
1	160	
2	140	
3	120	
4	100	
5	80	
6	60	
7	50	

Oznaczenia w tabeli:

10



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.

U – ustawione napięcie na wyjściu autotransformatora;

U_{V3} – wartość napięcia odczytana z woltomierza V_3 ;

5. Pomiar metodą prostownikową

1. Odłączyć kondensator niskonapięciowy od zacisku kondensatora wysokonapięciowego wyprowadzonego na pulpit pomiarowy.
2. Do zacisku kondensatora wysokonapięciowego wyprowadzonego na pulpit pomiarowy podłączyć prostownik, a jego zacisk uziemiający połączyć z uziemieniem.
3. Ustawić miernik w tryb pomiaru prądu (pamiętaj o zmianie przewodów pomiarowe na odpowiednie zaciski miernika) oraz podłączyć go do wyjścia prostownika.
4. Sprawdzić czy przygotowany układ połączony jest zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 4.
5. Zdjąć drążek uziemiający z zacisku wysokiego napięcia.
6. Zamknąć komorę wysokiego napięcia.
7. Załączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
8. Sprawdzić, czy regulator autotransformatora znajduje się w położeniu zerowym.
9. Załączyć obwód wysokiego napięcia.
10. Kolejno ustawiać wartości napięcia określone w tabeli pomiarowej (tabela 5), regulując autotransformatorem oraz obserwując wskazania miernika po stronie niskiego napięcia.
11. Dla każdej wartości napięcia odczytać wskazanie amperomierza i zapisać wynik w tabeli 5.
12. 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 zacisk wysokiego napięcia.

Tabela 5. Pomiar wysokich napięć metodą prostownikową



L.p.	U	I
	[V]	[μA]
1	160	
2	140	
3	120	
4	100	
5	80	
6	60	
7	50	

Oznaczenia w tabeli:

U – ustawione napięcie na wyjściu autotransformatora;

I – wartość natężenia prądu płynącego przez prostownik;

3. Opracowanie wyników

1. Wyznaczenie wartości wysokiego napięcia przy wykorzystaniu przekładni transformatora probierczego

Wyznaczyć napięcie po stronie WN transformatora korzystając z następującego wzoru:

$$U_1 = \sqrt{2} \cdot U \cdot g_1 \quad (1)$$

2. Pomiar wysokich napięć metodą iskiernika kulowego

Z wykresu zależności napięcia przebicia od odległości pomiędzy kulami, opracowanego na podstawie Polskiej Normy dla warunków normalnych (Załącznik 1) należy odczytać napięcie przeskoku U_{pn} dla średniej odległości a_{sr} i właściwej średnicy kul. Na podstawie obliczonej względnej gęstości powietrza:

$$\delta = \frac{b}{1013} \cdot \frac{293}{273+t} = 0,289 \frac{b}{273+t} \quad (2)$$

odczytać z tabeli 6 współczynnik poprawkowy k i obliczyć napięcie przeskoku U_p dla

pomiarów przeprowadzonych w warunkach atmosferycznych laboratorium.

$$U_p = k \cdot U_{pn} \quad (3)$$

Tabela 6. Wartości współczynnika poprawnego k

δ	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
k	0,72	0,77	0,82	0,86	0,91	0,95	1,00	1,05	1,09	1,13

Wartość napięcia przeskoku U_p wpisać do tabeli 7.

3. Pomiar wysokich napięć metodą dzielnika napięciowego

Maksymalne napięcie U_3 wyznaczamy ze wzoru:

$$U_2 = U_{V2} \cdot g_2 \cdot \sqrt{2} \quad (5)$$

4. Pomiar wysokich napięć metodą dzielnika pojemnościowego

Przekładnię dzielnika pojemnościowego wyznaczamy za pomocą wzoru:

$$g_3 = \frac{C_1 + C_2}{C_1} \quad (6)$$

Maksymalną wartość napięcia przyłożonego do dzielnika pojemnościowego wyznaczymy z następującego wzoru:

$$U_3 = U_{V3} \cdot g_3 \cdot \sqrt{2} \quad (7)$$

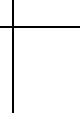
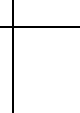
5. Pomiar wysokich napięć metodą prostownikową

Wyznaczyć napięcie maksymalne według zależności:

$$U_m = \frac{1}{2 \cdot f \cdot C} \quad (8)$$

Tabela wyników obliczeń

Tabela 7. Wyniki obliczeń

Układ pomiarowy				Iskiernik kulowy				Przekładnik napięciowy			Przekładnik pojemnościowy			Metoda prostownik.				
L.p.		U	ϑ_1	U_1	a	a_{sr}	U_{pn}	U_p	U_{V2}	U_2	ϑ_2	U_{V3}	U_3	ϑ_3	I	U_m		
		V	-	kV _m	mm	mm	kV _m	kV _m	V	kV _m	-	V	kV _m	-	μA	kV _m		
1	1	160	60000 V / 220 V								60000 V / 220 V							
	2																	
	3																	
2	1	140																
	2																	
	3																	
3	1	120																
	2																	
	3																	
4	1	100																
	2																	
	3																	
5	1	80																
	2																	
	3																	
6	1	60																
	2																	
	3																	
7	1	50																
	2																	
	3																	

Oznaczenia w tabeli:

 U – ustawione napięcie na wyjściu autotransformatora;

 a_{sr} – wartość średnia odległości między elektrodami iskiernika;

 U_{pn} – napięcie odczytane z zależności $U_{pn}=f(a_{sr})$;

 U_p – wartość napięcia U_{pn} przeliczona na warunki rzeczywiste;

 U_2 – napięcie obliczonego dla metody przekładnika napięciowego;

 ϑ_3 – przekładnia dzielnika napięciowego pojemnościowego;

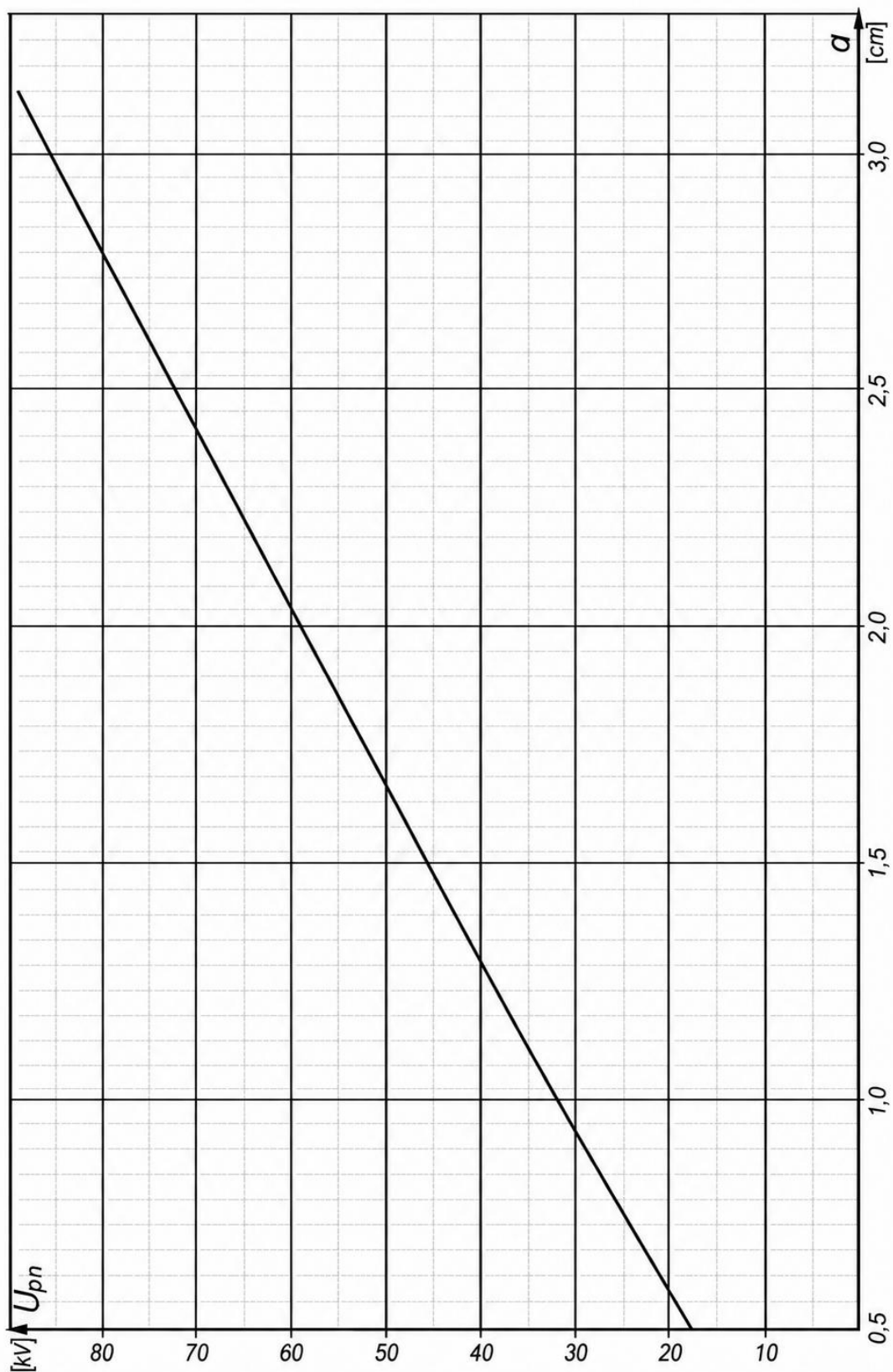
 U_3 – napięcie obliczonego dla metody dzielnika pojemnościowego;

U_m – wartość maksymalna napięcie obliczonego dla metody prostownikowej;

Wykonanie sprawozdania

Sprawozdanie powinno zawierać:

- stronę tytułową;
- schematy układów pomiarowych;
- tabelę wyników pomiarów;
- tabelę wyników obliczeń;
- przykładowe obliczenia dla każdej metody pomiarowej;
- wykonać wykresy zależności: $U=f(U_1)$, $U=f(U_p)$, $U=f(U_2)$, $U=f(U_3)$, $U=f(U_m)$ na wspólnym rysunku;
- analizę otrzymanych wyników oraz wnioski.



Załącznik 1. Napięcie przebicia od odległości pomiędzy kulami, opracowany na podstawie Polskiej Normy dla warunków normalnych.