

# **LABORATORIUM**

## **TECHNIKA WYSOKICH NAPIĘĆ**

### **Ćwiczenie nr 11**

### **Wyznaczania rozkładu napięcia na łańcuchu izolatorów wiszących**

**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 wyznaczenie rozkładu napięcia na łańcuchu izolatorów wiszących oraz określenie wpływu dodatkowych pojemności na rozkład napięcia na ogniwach łańcucha i zapoznanie się z metodą wykrywania uszkodzonego ogniwa w łańcuchu izolatorów.

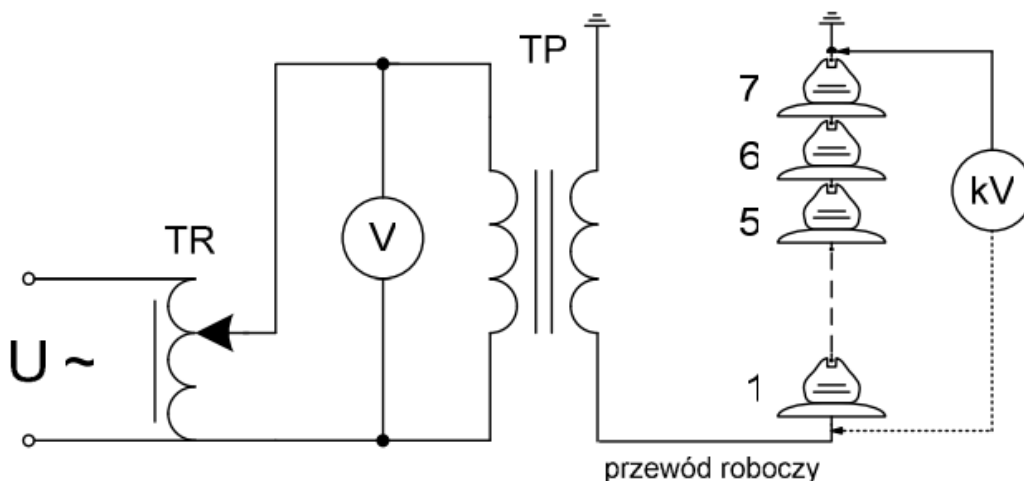
## Zakres ćwiczenia

Zakres ćwiczenia obejmuje badanie rozkładu napięcia na łańcuchu izolatorów wiszących oraz określenie wpływu dodatkowych pojemności na rozkład napięcia na ogniwach łańcucha. Pomiary zostaną wykonane dla łańcucha zdrowego bez pierścienia, łańcucha uszkodzonego bez pierścienia oraz łańcucha zdrowego z pierścieniem. Dodatkowo zostanie wykonany pomiar rozkładu napięcia na pojemnościowym modelu łańcucha izolatorów. Dla poszczególnych przypadków wyznaczone zostaną spadki napięcia  $\Delta U$  oraz napięcia  $U_x$  na kolejnych ogniwach, a następnie ich wartości względne.

## Stanowisko pomiarowe

Do wykonania ćwiczenia wykorzystano stanowisko laboratoryjne umożliwiające badanie rozkładu napięcia na łańcuchu izolatorów wiszących. Układ zasilany jest z autotransformatora, który umożliwia płynną regulację napięcia podawanego na transformator probierczy. Transformator probierczy podwyższa napięcie do wartości wysokiego napięcia wykorzystywanego podczas pomiarów.

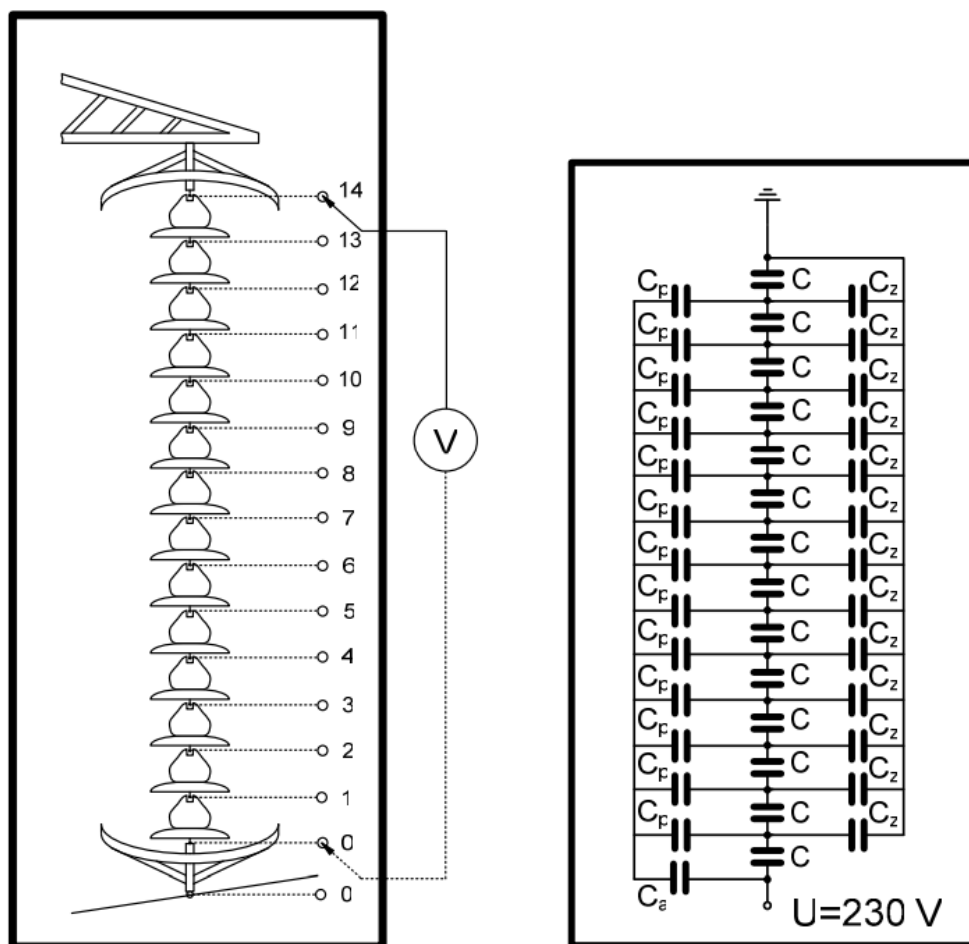
W układzie pomiarowym zastosowano łańcuch izolatorów wiszących oraz woltomierz elektrostatyczny do pomiaru napięcia na kolejnych kołpakach izolatorów. Pomiary wykonywane są dla łańcucha zdrowego bez pierścienia, łańcucha uszkodzonego bez pierścienia oraz łańcucha zdrowego z pierścieniem. Dodatkowo stosowany jest pojemnościowy model łańcucha izolatorów zasilany napięciem 230 V, w którym rozkład napięcia mierzy się woltomierzem o dużej rezystancji wewnętrznej. Schematy poszczególnych układów pomiarowych przedstawiono na rysunkach 1 i 2.



Rysunek 1. Schemat układu do pomiaru napięcia na izolatorze wiszącym

a)

b)



Rysunek 2. Schemat modelu łańcucha izolatorów wiszących: a) widok płyty czołowej modelu, b) pojemnościowy schemat łańcucha izolatora.

## **Wykaz urządzeń i aparatury**

- autotransformator (TR);
- transformator probierczy (TP);
- rezystor ograniczający  $R_{ogr}$ ;
- izolator wiszący;
- model łańcucha izolatorów wiszących;
- 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 zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 1.
- Sprawdzić, czy zasilanie stanowiska pomiarowego jest wyłączone oraz czy regulator autotransformatora znajduje się w położeniu zerowym.

### **2. Pomiar napięcia na izolatorze wiszącym (łańcuch zdrowy bez pierścienia)**

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. Podłączyć przewód pomiarowy woltomierza elektrostatycznego do pierwszego punktu pomiarowego (sprawdź czy przewód nie dotyka pierścienia ekranującego).
5. Ustawić zakres woltomierza na 75 kV przekręcając pokrętkę do zmiany zakresu (pokrętkę na tylnej obudowie) oraz zmienić podziałkę woltomierza

- odpowiadający zakresowi woltomierza (pokrętko na bocznej obudowie).
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 do wartości 140V.
  12. Odczytać wartość napięcia i zanotować w tabeli 1.
  13. Ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym.
  14. Wyłączyć obwód wysokiego napięcia.
  15. Wyłączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
  16. Otworzyć komorę wysokiego napięcia.
  17. Założyć drążek uziemiający na zacisk po stronie wysokiego napięcia.
  18. Wykonać kolejne pomiary dla kolejnych punktów pomiarowych, uwzględniając zmianę zakresu na woltomierzu elektrostatycznym.
  19. Po zakończeniu pomiarów ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym oraz wyłączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.

Tabela 1. Pomiar napięcia izolatora wiszącego (łańcuch zdrowy bez pierścienia)

| L.p. | k | $\vartheta$      | $U_x$ |
|------|---|------------------|-------|
|      | - | -                | kV    |
| 1    | 1 | 110000 V / 220 V |       |
| 2    | 2 |                  |       |
| 3    | 3 |                  |       |
| 4    | 4 |                  |       |
| 5    | 5 |                  |       |
| 6    | 6 |                  |       |
| 7    | 7 |                  |       |

### **3. Pomiar napięcia na uszkodzonym izolatorze wiszącym (łańcuch uszkodzony bez pierścienia)**

1. Otworzyć komorę wysokiego napięcia.
2. Założyć drążek uziemiający w przeznaczonym do tego miejscu na zacisku wysokiego napięcia
3. Należy wykonać zwarcie trzeciego izolatora łańcucha izolatorów za pomocą zwory.
4. Podłączyć przewód pomiarowy woltomierza elektrostatycznego do pierwszego punktu pomiarowego (sprawdź czy przewód nie dotyka pierścienia ekranującego).
5. Ustawić zakres woltomierza na 75 kV przekręcając pokrętło do zmiany zakresu (pokrętło na tylnej obudowie) oraz zmienić podziałkę woltomierza odpowiadający zakresowi woltomierza (pokrętło na bocznej obudowie).
6. Należy wyzerować woltomierz pokrętłem tak aby wskazywał wartość zero.
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. Powoli zwiększać napięcie za pomocą autotransformatora do wartości 140V.
13. Odczytać wartość napięcia i zanotować w tabeli 2.
14. Ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym.
15. Wyłączyć obwód wysokiego napięcia.
16. Wyłączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.
17. Otworzyć komorę wysokiego napięcia.
18. Założyć drążek uziemiający na zacisk po stronie wysokiego napięcia.
19. Wykonać kolejne pomiary dla kolejnych punktów pomiarowych, uwzględniając zmianę zakresu na woltomierzu elektrostatycznym.
20. Po zakończeniu pomiarów ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym oraz wyłączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.

Tabela 2. Pomiar napięcia izolatora wiszącego (łańcuch uszkodzony bez pierścienia)

| L.p. | k | $\vartheta$      | $U_x$ |
|------|---|------------------|-------|
|      | - | -                | kV    |
| 1    | 1 | 110000 V / 220 V |       |
| 2    | 2 |                  |       |
| 3    | 3 |                  |       |
| 4    | 4 |                  |       |
| 5    | 5 |                  |       |
| 6    | 6 |                  |       |
| 7    | 7 |                  |       |

#### 4. Pomiar napięcia na izolatorze wiszącym z użyciem pierścienia ekranującego (łańcuch zdrowy z pierścieniem)

1. Otworzyć komorę wysokiego napięcia.
2. Założyć drążek uziemiający w przeznaczonym do tego miejscu na zacisku wysokiego napięcia
3. Należy usunąć zworę z trzeciego izolatora łańcucha izolatorów.
4. Należy zamontować pierścień ekranujący na końcu łańcucha izolatorów, zwracając uwagę na jego prawidłowe i równomierne ustawienie względem osi łańcucha.
5. Podłączyć przewód pomiarowy woltomierza elektrostatycznego do pierwszego punktu pomiarowego (sprawdź czy przewód nie dotyka pierścienia ekranującego).
6. Ustawić zakres woltomierza na 75 kV przekręcając pokrętło do zmiany zakresu (pokrętło na tylnej obudowie) oraz zmienić podziałkę woltomierza odpowiadający zakresowi woltomierza (pokrętło na bocznej obudowie).
7. Należy wyzerować woltomierz pokrętłem tak aby wskazywał wartość zero.
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 140V.
14. Odczytać wartość napięcia i zanotować 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 kolejnych punktów pomiarowych, uwzględniając zmianę zakresu na woltomierzu elektrostatycznym.
21. Po zakończeniu pomiarów ustawić regulator autotransformatora w położeniu zerowym oraz wyłączyć zasilanie stanowiska pomiarowego.

Tabela 3. Pomiar napięcia izolatora wiszącego (łańcuch uszkodzony bez pierścienia)

| L.p. | k | $\vartheta$      | $U_x$ |
|------|---|------------------|-------|
|      | - | -                | kV    |
| 1    | 1 | 110000 V / 220 V |       |
| 2    | 2 |                  |       |
| 3    | 3 |                  |       |
| 4    | 4 |                  |       |
| 5    | 5 |                  |       |
| 6    | 6 |                  |       |
| 7    | 7 |                  |       |

### 3. Pomiar napięcia na modelu izolatora

1. Zapoznać się z modelem izolatora wiszącego.
2. Podłączyć model do zasilania 230V.
3. W miejscu, gdzie w układzie rzeczywistym podłączony jest przewód roboczy podłączamy przewód woltomierza.
4. Na modelu należy ustawić pierwszy stan pracy zgodnie z tabelą 4. Stany pracy zmienia się poprzez załączanie i wyłączanie przełączników znajdujących się po lewej stronie modelu które modelują pojemności oraz rezystancje.
5. Podłączać drugi przewód woltomierza kolejno do punktów pomiarowych znajdujących się przy poszczególnych izolatorach w modelu i dla każdego punktu odczytać wartość napięcia  $U_x$ . Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 5.
6. Wykonać pomiary dla wszystkich stanów pracy przedstawionych w tabeli 4.
7. Po zakończeniu wszystkich pomiarów wyłączyć zasilanie modelu oraz stanowiska.

Tabela 4. Stany pracy do pomiaru napięcia na modelu izolatora

| Nr pomiaru | Stan pracy                                        | Przełącznik wyłączony | Przełącznik włączony |
|------------|---------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| 1          | $C > 0$<br>$C_p = C_z = 0$                        | 1, 2, 3, 4, 5, 6      | -                    |
| 2          | $C > 0, C_p = 0$<br>$C_z > 0$                     | 3, 4, 5, 6            | 1                    |
| 3          | $C > 0, C_p > 0$<br>$C_z > 0, C_z > C_p$          | 3, 4, 5, 6            | 1, 2                 |
| 4          | $C > 0, C_p > 0$<br>$C_z > 0, C_0 > 0, C_z > C_p$ | 3, 4, 5               | 1, 2, 6              |
| 5          | $C > 0, C_p > 0, C_z > 0$<br>$R_1 > 0, C_z = C_p$ | 3, 5, 6               | 1, 2, 4              |

Tabela 5. Pomiar napięcia na pojemnościowym modelu łańcuchów izolatora wiszącego

| Przyłożone napięcie $U = \dots\dots\dots$ |                            |                               |                                          |                                                   |                                                   |
|-------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| L.p.                                      | $C > 0$<br>$C_p = C_z = 0$ | $C > 0, C_p = 0$<br>$C_z > 0$ | $C > 0, C_p > 0$<br>$C_z > 0, C_z > C_p$ | $C > 0, C_p > 0$<br>$C_z > 0, C_0 > 0, C_z > C_p$ | $C > 0, C_p > 0, C_z > 0$<br>$R_1 > 0, C_z = C_p$ |
|                                           | $U_x$                      | $U_x$                         | $U_x$                                    | $U_x$                                             | $U_x$                                             |
|                                           | kV                         | kV                            | kV                                       | kV                                                | kV                                                |
| 1                                         |                            |                               |                                          |                                                   |                                                   |
| 2                                         |                            |                               |                                          |                                                   |                                                   |
| 3                                         |                            |                               |                                          |                                                   |                                                   |
| 4                                         |                            |                               |                                          |                                                   |                                                   |
| 5                                         |                            |                               |                                          |                                                   |                                                   |
| 6                                         |                            |                               |                                          |                                                   |                                                   |
| 7                                         |                            |                               |                                          |                                                   |                                                   |
| 8                                         |                            |                               |                                          |                                                   |                                                   |
| 9                                         |                            |                               |                                          |                                                   |                                                   |
| 10                                        |                            |                               |                                          |                                                   |                                                   |
| 11                                        |                            |                               |                                          |                                                   |                                                   |
| 12                                        |                            |                               |                                          |                                                   |                                                   |
| 13                                        |                            |                               |                                          |                                                   |                                                   |
| 14                                        |                            |                               |                                          |                                                   |                                                   |

## Tabela wyników obliczeń

Tabela 6. Tabela wyników obliczeń napięcia na łańcuchu izolatora wiszącego.

| Przyłożone napięcie $U = \dots\dots\dots$ $\vartheta = 110 \text{ kV} / 220 \text{ V}$ |   |                                |         |            |              |                                    |         |            |              |                               |         |            |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---|--------------------------------|---------|------------|--------------|------------------------------------|---------|------------|--------------|-------------------------------|---------|------------|--------------|
| L.p.                                                                                   | k | Łańcuch zdrowy bez pierścienia |         |            |              | Łańcuch uszkodzony bez pierścienia |         |            |              | Łańcuch zdrowy z pierścieniem |         |            |              |
|                                                                                        |   | $U_x$                          | $U_x/U$ | $\Delta U$ | $\Delta U/U$ | $U_x$                              | $U_x/U$ | $\Delta U$ | $\Delta U/U$ | $U_x$                         | $U_x/U$ | $\Delta U$ | $\Delta U/U$ |
|                                                                                        | - | kV                             | %       | kV         | %            | kV                                 | %       | kV         | %            | kV                            | %       | kV         | %            |
| 1                                                                                      | 1 |                                |         |            |              |                                    |         |            |              |                               |         |            |              |
| 2                                                                                      | 2 |                                |         |            |              |                                    |         |            |              |                               |         |            |              |
| 3                                                                                      | 3 |                                |         |            |              |                                    |         |            |              |                               |         |            |              |
| 4                                                                                      | 4 |                                |         |            |              |                                    |         |            |              |                               |         |            |              |
| 5                                                                                      | 5 |                                |         |            |              |                                    |         |            |              |                               |         |            |              |
| 6                                                                                      | 6 |                                |         |            |              |                                    |         |            |              |                               |         |            |              |
| 7                                                                                      | 7 |                                |         |            |              |                                    |         |            |              |                               |         |            |              |

gdzie:

$k$  – liczba ogniw;

$U$  – przykładane napięcie badawcze po stronie pierwotnej transformatora probierczego;

$U_x$  – napięcie mierzone;

$\Delta U$  – spadek napięcia ( $U_{x7} - U_{x6}$  itd.);

Tabela 7. Tabela wyników obliczeń napięcia na pojemnościowym modelu łańcuchu izolatora wiszącego.

| Przyłożone napięcie $U = \dots\dots\dots$ |                            |         |            |              |                               |         |            |              |                                          |         |            |              |
|-------------------------------------------|----------------------------|---------|------------|--------------|-------------------------------|---------|------------|--------------|------------------------------------------|---------|------------|--------------|
| L.p.                                      | $C > 0$<br>$C_p = C_z = 0$ |         |            |              | $C > 0, C_p = 0$<br>$C_z > 0$ |         |            |              | $C > 0, C_p > 0$<br>$C_z > 0, C_z > C_p$ |         |            |              |
|                                           | $U_x$                      | $U_x/U$ | $\Delta U$ | $\Delta U/U$ | $U_x$                         | $U_x/U$ | $\Delta U$ | $\Delta U/U$ | $U_x$                                    | $U_x/U$ | $\Delta U$ | $\Delta U/U$ |
|                                           | kV                         | %       | kV         | %            | kV                            | %       | kV         | %            | kV                                       | %       | kV         | %            |
| 1                                         |                            |         |            |              |                               |         |            |              |                                          |         |            |              |
| 2                                         |                            |         |            |              |                               |         |            |              |                                          |         |            |              |
| 3                                         |                            |         |            |              |                               |         |            |              |                                          |         |            |              |
| 4                                         |                            |         |            |              |                               |         |            |              |                                          |         |            |              |
| 5                                         |                            |         |            |              |                               |         |            |              |                                          |         |            |              |
| 6                                         |                            |         |            |              |                               |         |            |              |                                          |         |            |              |
| 7                                         |                            |         |            |              |                               |         |            |              |                                          |         |            |              |
| 8                                         |                            |         |            |              |                               |         |            |              |                                          |         |            |              |
| 9                                         |                            |         |            |              |                               |         |            |              |                                          |         |            |              |
| 10                                        |                            |         |            |              |                               |         |            |              |                                          |         |            |              |
| 11                                        |                            |         |            |              |                               |         |            |              |                                          |         |            |              |
| 12                                        |                            |         |            |              |                               |         |            |              |                                          |         |            |              |
| 13                                        |                            |         |            |              |                               |         |            |              |                                          |         |            |              |
| 14                                        |                            |         |            |              |                               |         |            |              |                                          |         |            |              |

Tabela 7. Tabela wyników obliczeń napięcia na pojemnościowym modelu łańcuchu izolatora wiszącego cd.

| Przyłożone napięcie $U = \dots\dots\dots$ |                                                   |         |            |              |                                                   |         |            |              |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------|------------|--------------|---------------------------------------------------|---------|------------|--------------|
| L.p.                                      | $C > 0, C_p > 0$<br>$C_z > 0, C_0 > 0, C_z > C_p$ |         |            |              | $C > 0, C_p > 0, C_z > 0$<br>$R_1 > 0, C_z = C_p$ |         |            |              |
|                                           | $U_x$                                             | $U_x/U$ | $\Delta U$ | $\Delta U/U$ | $U_x$                                             | $U_x/U$ | $\Delta U$ | $\Delta U/U$ |
|                                           | kV                                                | %       | kV         | %            | kV                                                | %       | kV         | %            |
| 1                                         |                                                   |         |            |              |                                                   |         |            |              |
| 2                                         |                                                   |         |            |              |                                                   |         |            |              |
| 3                                         |                                                   |         |            |              |                                                   |         |            |              |
| 4                                         |                                                   |         |            |              |                                                   |         |            |              |
| 5                                         |                                                   |         |            |              |                                                   |         |            |              |
| 6                                         |                                                   |         |            |              |                                                   |         |            |              |
| 7                                         |                                                   |         |            |              |                                                   |         |            |              |
| 8                                         |                                                   |         |            |              |                                                   |         |            |              |
| 9                                         |                                                   |         |            |              |                                                   |         |            |              |
| 10                                        |                                                   |         |            |              |                                                   |         |            |              |
| 11                                        |                                                   |         |            |              |                                                   |         |            |              |
| 12                                        |                                                   |         |            |              |                                                   |         |            |              |
| 13                                        |                                                   |         |            |              |                                                   |         |            |              |
| 14                                        |                                                   |         |            |              |                                                   |         |            |              |

## Wykonanie sprawozdania

Sprawozdanie powinno zawierać:

- stronę tytułową;
- schematy układów pomiarowych;
- tabele wyników pomiarów;
- tabelę wyników obliczeń;
- przykładowe obliczenia;
- wykresy zależności:
  - $\frac{\Delta U}{U} = f(k)$  oraz  $\frac{\Delta U_x}{U} = f(k)$  dla zbadanych przypadków w układzie izolatora wiszącego (układ zdrowy, uszkodzony bez pierścienia oraz układ zdrowy z pierścieniem);
  - $\frac{\Delta U}{U} = f(k)$  oraz  $\frac{\Delta U_x}{U} = f(k)$  dla zbadanych przypadków w układzie pojemnościowego modelu izolatora wiszącego;
- analizę otrzymanych wyników oraz wnioski.