

STANDARDOWA SPECYFIKACJA TECHNICZNA

Numer kodowy

PSE-SF.Linia_Pomiar_Elekt
PL/2019v1

TYTUŁ:

**WYMAGANIA ODNOŚNIE ZAKRESU I METODYKI
POMIARÓW PARAMETRÓW ELEKTRYCZNYCH LINII
ELEKTROENERGETYCZNYCH NN**

OPRACOWANO:

DEPARTAMENT STANDARDÓW TECHNICZNYCH

ZATWIERDZONO

DO STOSOWANIA

DYREKTOR
Departamentu Standardów Technicznych

St. Pokora
Stanisław Pokora

Data 23.05.2019

Konstancin-Jeziorna, czerwiec 2019 r.

SPIS TREŚCI

1	WPROWADZENIE	3
2	PRZYGOTOWANIE DO POMIARÓW	6
2.1.	SPRAWDZENIE POZIOMU NAPIĘĆ INDUKOWANYCH	6
2.2.	DOBÓR ŹRÓDŁA ZASILANIA I APARATURY POMIAROWEJ	6
3	POMIARY PARAMETRÓW WZDŁUŻNYCH	7
3.1.	POMIARY PARAMETRÓW LINII JEDNOTOROWYCH	7
3.1.1.	Pomiary rezystancji przewodów linii prądem stałym	7
3.1.2.	Pomiary parametrów linii prądem przemiennym 50 Hz	8
3.2.	POMIARY PARAMETRÓW LINII DWUTOROWYCH.....	10
4	POMIARY PARAMETRÓW POPRZECZNYCH LINII.....	12
5	OCENA WYNIKÓW POMIARÓW	14

1 Wprowadzenie

Znajomość wartości parametrów schematu zastępczego linii napowietrznej jest konieczna dla poprawnej eksploatacji systemu elektroenergetycznego oraz na potrzeby analiz obliczeniowych oraz symulacyjnych wymaganych z punktu widzenia bieżącej pracy KSE. Analiza stanu układu, bądź jego części, jest prowadzona przy pomocy składowych symetrycznych, wobec tego impedancje linii wymagają transformacji ze współrzędnych fazowych na współrzędne symetryczne.

Impedancje symetrycznej trójfazowej linii napowietrznej w stanie beznapięciowym (co w praktyce zdarza się bardzo rzadko), można przedstawić w postaci macierzy (1.1):

$$\underline{Z}_f = \begin{vmatrix} \underline{Z}_W & \underline{Z}_M & \underline{Z}_M \\ \underline{Z}_M & \underline{Z}_W & \underline{Z}_M \\ \underline{Z}_M & \underline{Z}_M & \underline{Z}_W \end{vmatrix}, \quad (1.1)$$

gdzie:

\underline{Z}_W – impedancje własne przewodów fazowych,

\underline{Z}_M – impedancje wzajemne (ang. *mutual*) między przewodami fazowymi.

Transformacji tych impedancji na składowe symetryczne, dokonuje się stosując następujące obliczenia:

$$\underline{Z}_s = \underline{S} \underline{Z}_f \underline{S}^{-1}, \quad (1.2)$$

gdzie:

$$\underline{S} = \frac{1}{3} \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{\alpha} & \underline{\alpha}^2 \\ 1 & \underline{\alpha}^2 & \underline{\alpha} \end{vmatrix}, \quad (1.3)$$

$$\underline{S}^{-1} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{\alpha}^2 & \underline{\alpha} \\ 1 & \underline{\alpha} & \underline{\alpha}^2 \end{vmatrix}, \quad (1.4)$$

przy czym: $\underline{\alpha} = e^{j\frac{2\pi}{3}}$, $\underline{\alpha}^2 = e^{-j\frac{2\pi}{3}}$.

W wyniku tego obliczenia, otrzymuje się macierz impedancji dla składowych symetrycznych w postaci:

$$\underline{Z}_s = \begin{vmatrix} \underline{Z}_0 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_1 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_2 \end{vmatrix}, \quad (1.5)$$

gdzie:

\underline{Z}_0 – impedancja linii dla składowej zerowej,

\underline{Z}_1 – impedancja linii dla składowej zgodnej,

\underline{Z}_2 – impedancja linii dla składowej przeciwnej,

przy czym: $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2$.

W szczególności:

$$\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}_W - \underline{Z}_M, \quad (1.6)$$

$$\underline{Z}_0 = \underline{Z}_W + 2\underline{Z}_M - 3\underline{e}, \quad (1.7)$$

gdzie \underline{e} jest impedancją ujmującą oddziaływanie przewodów odgromowych:

- Dla jednego przewodu odgromowego: $\underline{e} = \underline{Z}_{M(po-pf)}^2 / \underline{Z}_{W(po)}$,

gdzie: $\underline{Z}_{M(po-pf)}$ – impedancja wzajemna między przewodem odgromowym i przewodem fazowym;

$\underline{Z}_{W(po)}$ – impedancja własna przewodu odgromowego;

- Dla dwóch przewodów odgromowych: $\underline{e} = 2[\underline{Z}_{M(po-pf)}^2 / (\underline{Z}_{W(po)} + \underline{Z}_{M(po-po)})]$

gdzie: $\underline{Z}_{M(po-po)}$ – impedancja wzajemna między przewodami odgromowymi;

Wówczas równania wiążące spadki napięć i prądy przyjmują postać:

$$\underline{U}_0 = \underline{Z}_0 \underline{I}_0, \quad (1.8)$$

$$\underline{U}_1 = \underline{Z}_1 \underline{I}_1, \quad (1.9)$$

$$\underline{U}_2 = \underline{Z}_2 \underline{I}_2. \quad (1.10)$$

W przypadku, gdy linia jest niesymetryczna w stanie beznapięciowym (prawie zawsze tak jest), macierz impedancji fazowych przybiera postać:

$$\underline{Z}_f = \begin{bmatrix} \underline{Z}_{Wa} & \underline{Z}_{Mab} & \underline{Z}_{Mac} \\ \underline{Z}_{Mba} & \underline{Z}_{Wb} & \underline{Z}_{Mbc} \\ \underline{Z}_{Mca} & \underline{Z}_{Mcb} & \underline{Z}_{Wc} \end{bmatrix}. \quad (1.11)$$

Macierz (1.11) cechuje się przemiennością indeksów, np. $\underline{Z}_{Mab} = \underline{Z}_{Mba}$, itd., przy czym symbolami a, b, c oznaczono kolejne fazy.

Transformacja macierzy (1.11) na składowe symetryczne prowadzi do otrzymania zależności:

$$\underline{Z}_s = \begin{bmatrix} \underline{Z}_0 & \underline{Z}_{01} & \underline{Z}_{02} \\ \underline{Z}_{10} & \underline{Z}_1 & \underline{Z}_{12} \\ \underline{Z}_{20} & \underline{Z}_{21} & \underline{Z}_2 \end{bmatrix}. \quad (1.12)$$

gdzie: \underline{Z}_0 , \underline{Z}_1 , \underline{Z}_2 – impedancje dla składowej zerowej, zgodnej i przeciwnej ($\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2$).

Impedancje położone poza główną przekątną są impedancjami wzajemnymi między poszczególnymi składowymi, np. \underline{Z}_{01} jest impedancją wzajemną między składową zerową i zgodną. Te impedancje cechują się nieprzemiennością indeksów, np. $\underline{Z}_{01} \neq \underline{Z}_{10}$. Wówczas równania wiążące spadki napięć i prądy mają postać:

$$\underline{U}_0 = \underline{Z}_0 \underline{I}_0 + \underline{Z}_{01} \underline{I}_1 + \underline{Z}_{02} \underline{I}_2, \quad (1.13)$$

$$\underline{U}_1 = \underline{Z}_{10} \underline{I}_0 + \underline{Z}_1 \underline{I}_1 + \underline{Z}_{12} \underline{I}_2, \quad (1.14)$$

$$\underline{U}_2 = \underline{Z}_{20} \underline{I}_0 + \underline{Z}_{21} \underline{I}_1 + \underline{Z}_2 \underline{I}_2. \quad (1.15)$$

Operowanie trzema niezależnymi obwodami dla poszczególnych składowych nie jest możliwe. Dla celów praktycznych należy przyjąć założenia, że linie są symetryczne w stanie beznapięciowym, co umożliwia posługiwanie się trzema niezależnymi obwodami elektrycznymi.

W przypadku dwóch linii biegnących na wspólnych słupach (dwutorowych), występuje wzajemne oddziaływanie jednego toru na drugi. Impedancje wzajemnego oddziaływania toru I na tor II można zapisać w postaci macierzy (1.16):

$$\underline{Z}_{M12} = \begin{vmatrix} \underline{Z}_{a1a2} & \underline{Z}_{a1b2} & \underline{Z}_{a1c2} \\ \underline{Z}_{b1a2} & \underline{Z}_{b1b2} & \underline{Z}_{b1c2} \\ \underline{Z}_{c1a2} & \underline{Z}_{c1b2} & \underline{Z}_{c1c2} \end{vmatrix}, \quad (1.16)$$

gdzie, np. impedancja \underline{Z}_{a1b2} jest impedancją reprezentującą wzajemne oddziaływanie fazy L1 toru I i fazy L2 toru II.

Transformacja powyższej macierzy na składowe symetryczne prowadzi do macierzy o niezerowych wartościach poza główną przekątną. Również w tym przypadku przyjmuje się założenie symetrii w stanie beznapięciowym.

Do celów praktycznych jest wykorzystywana impedancja wzajemnego oddziaływania torów dla składowej zerowej, przyjmując, że impedancje dla składowej zgodnej i przeciwnej mają niewielki wpływ na powiązanie napięć i prądów w ramach jednego toru.

Impedancja wzajemnego oddziaływania torów dla składowej zerowej wyraża się zależnością:

$$\underline{Z}_{012} = \frac{1}{3}(\underline{Z}_{a1a2} + \underline{Z}_{b1b2} + \underline{Z}_{c1c2} + \underline{Z}_{a1b2} + \underline{Z}_{a1c2} + \underline{Z}_{b1a2} + \underline{Z}_{b1c2} + \underline{Z}_{c1a2} + \underline{Z}_{c1b2}). \quad (1.17)$$

W liniach dwutorowych, macierz impedancji w współrzędnych fazowych ma wymiar 6×6, gdyż w ogólnym przypadku, występuje sześć wartości napięć i sześć wartości prądów. Transformacja na składowe symetryczne jest możliwa jedynie wówczas, gdy macierz impedancji fazowych ma wymiar 3×3. Wobec tego zachodzi konieczność przyjęcia dodatkowych założeń, dotyczących wzajemnej współpracy obu torów. Można wyróżnić kilka przypadków takiej współpracy:

- praca jednego toru, przy drugim wyłączonym i odziemionym bądź uziemionym jednostronnie (linia jednotorowa),
- praca jednego toru, przy drugim torze wyłączonym i obustronnie uziemionym (impedancja dla składowej zerowej różni się znacznie od tejże impedancji dla linii jednotorowej),
- praca równoległa torów,
- praca szeregową torów (to się nadzwyczaj rzadko zdarza).

W przypadku dwóch niezależnych linii, biegnących na wspólnych słupach, sytuacja jest bardziej złożona.

Parametry poprzeczne (pojemności cząstkowe) są przedstawiane w sposób analogiczny jak opisane powyżej parametry wzdłużne. Szczegóły zostaną omówione w dalszej części niniejszych wymagań. W tym miejscu należy podkreślić, że pojemność doziemna przewodów fazowych, nie jest pojemnością linii dla składowej zerowej.

2 Przygotowanie do pomiarów

2.1. Sprawdzenie poziomu napięć indukowanych

W wyłączonej linii napowietrznej indukuje się napięcie w wyniku oddziaływania pola elektromagnetycznego, pochodzącego od innych blisko biegnących linii lub innych obiektów (np. systemu szyn) będących pod napięciem. To zjawisko ma zdecydowanie niekorzystny wpływ na przebieg pomiarów i na ich wyniki, z powodu:

- wysokiej wartości napięcia indukowanego (czasem jest to wartość na poziomie kilku kV), stanowiącego poważne zagrożenie dla aparatury pomiarowej oraz dla zespołu prowadzącego pomiary,
- poziomu napięcia indukowanego, niegroźnego dla aparatury i ludzi, mogącego skutecznie zafałszować wyniki pomiarów.

Stąd należy, z zachowaniem niezbędnej ostrożności, sprawdzić poziom napięcia indukowanego, stosując odpowiedni miernik napięcia (np. woltomierz elektrostatyczny).

W przypadku wystąpienia napięcia o wysokiej wartości trzeba zlokalizować jego źródło i spowodować jego wyłączenie na czas pomiarów.

Przy niezbyt dużych napięciach indukowanych, napięcie zasilające aparaturę pomiarową powinno być dostatecznie duże dla uzyskania oczekiwanej dokładności wyników (około 20 razy większe od napięcia indukowanego).

2.2. Dobór źródła zasilania i aparatury pomiarowej

Dla doboru sprzętu potrzebnego do wykonania pomiarów konieczne jest dokonanie wstępnych obliczeń parametrów mierzonej linii.

W przypadku braku jakichkolwiek informacji, należy oszacować wartości impedancji własnych i wzajemnych linii zgodnie ze wzorami: $\underline{Z}_W = \frac{1}{3}(\underline{Z}_0 + 2\underline{Z}_1)$, $\underline{Z}_M = \frac{1}{3}(\underline{Z}_0 - \underline{Z}_1)$.

W liniach WN i NN, X_1 przyjmuje się w przybliżeniu równe $0,4 \Omega/\text{km}$, $\frac{X_0}{X_1} \approx 3$, a wartość rezystancji przewodów R_1 jest dostępna w katalogu producenta. Dodatkowo w liniach tych wartości reaktancji są dużo większe od wartości rezystancji, stąd do doboru mocy źródła zasilania oraz doboru zakresu przyrządów pomiarowych jak również do podjęcia decyzji, co do zastosowania aparatury pośredniczącej (przekładniki napięciowe i prądowe) wystarczające jest oszacowanie wartości reaktancji własnych i wzajemnych $X_W = \frac{1}{3}(X_0 + 2X_1)$, $X_M = \frac{1}{3}(X_0 - X_1)$.

Pomiary parametrów poprzecznych (pojemności) są na ogół trudniejsze od pomiarów parametrów wzdłużnych. Wynika to z faktu, że reaktancje pojemnościowe linii mają duże wartości, wobec tego ich określenie metodą techniczną (metody mostkowe są praktycznie nieprzydatne) wymaga zastosowania wysokiego napięcia (kilka kV), a jednocześnie wobec małej wartości prądu (rzędu mA), nie jest możliwe skorzystanie z pośrednictwa przekładnika prądowego. Z tego względu miernik prądu musi być umieszczony na izolowanym stanowisku, a osoba odczytująca wartości natężenia musi zachować szczególną ostrożność.

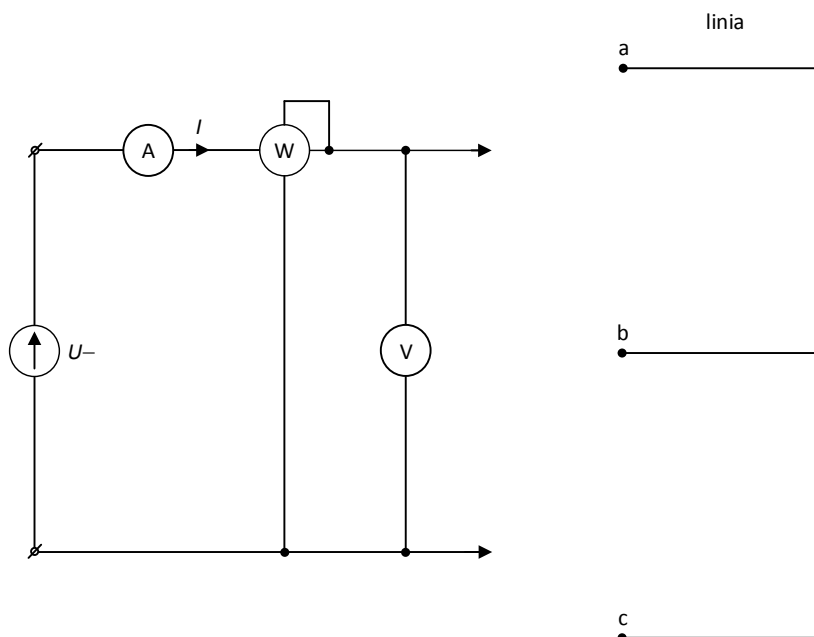
Dokładność aparatury zastosowanej do pomiarów parametrów elektrycznych linii powinna się mieścić w klasie 0.2.

3 Pomiary parametrów wzdlużnych

3.1. Pomiary parametrów linii jednotorowych

3.1.1. Pomiary rezystancji przewodów linii prądem stałym

Tego rodzaju pomiar jest bardzo pożądanym, gdyż w ten sposób zmierzona rezystancja jest praktycznie równa rezystancji linii dla składowej zgodnej (R_1). Kąty fazowe linii dla wszystkich składowych cechują się dużymi wartościami, a zatem małym współczynnikiem mocy ($\cos\varphi$). Z tego względu pomiar rezystancji prądem przemiennym może być obciążony znacznym błędem. Znajomość rezystancji wyznaczonej pomiarem prądem stałym pomoże ten błąd skorygować. Sposób pomiaru pokazano na rys. 3.1. Rysunek ten ma charakter poglądowy. Źródłem napięcia stałego może być akumulator lub zasilacz stabilizowany.



Rys. 3.1. Układ do pomiaru rezystancji przewodów fazowych prądem stałym

Pomiar należy przeprowadzić trzykrotnie, przykładając napięcie kolejno między przewody a - b, a - c i b - c, obliczając rezystancje z zależności (3.1):

$$R = \frac{U}{I}. \quad (3.1)$$

Otrzyma się wówczas:

$$R_{ab} = R_a + R_b, \quad (3.2)$$

$$R_{ac} = R_a + R_c, \quad (3.3)$$

$$R_{bc} = R_b + R_c. \quad (3.4)$$

Stąd wynikają zależności służące do wyznaczenia rezystancji poszczególnych przewodów fazowych:

$$R_a = \frac{1}{2}(R_{ab} + R_{ac} - R_{bc}), \quad (3.5)$$

$$R_b = \frac{1}{2}(R_{bc} + R_{ab} - R_{ac}), \quad (3.6)$$

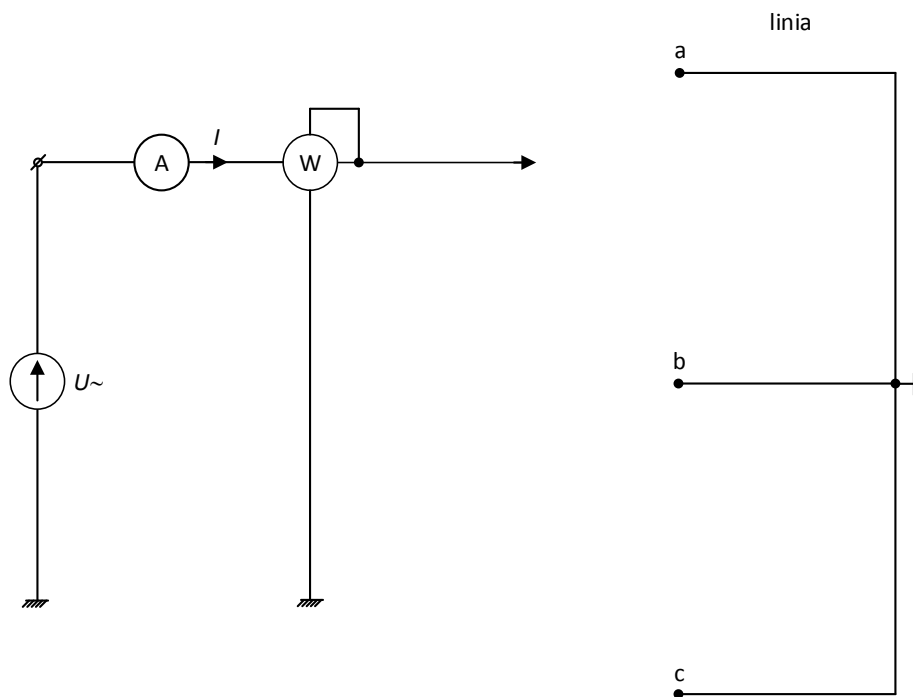
$$R_c = \frac{1}{2}(R_{ac} + R_{bc} - R_{ab}). \quad (3.7)$$

Wartość średnia rezystancji wyniesie:

$$R_{\text{śr}} = \frac{1}{3}(R_a + R_b + R_c). \quad (3.8)$$

3.1.2. Pomiary parametrów linii prądem przemiennym 50 Hz

Sposób pomiaru impedancji własnych linii przedstawiono poglądowo na rys. 3.2.



Rys. 3.2. Układ do pomiaru impedancji własnych linii

Do tego pomiaru można wykorzystać rejestratory klasy 0.2, jednak takie, które są w stanie precyzyjnie zmierzyć przesunięcie fazowe między prądem i napięciem bądź współczynnik mocy ($\cos\varphi$), w celu wyznaczenia składowej czynnej i biernej impedancji własnych. Pomiar należy przeprowadzić trzykrotnie, podając napięcie kolejno na przewody a, b, c, przy uziemionym drugim końcu linii (rys. 3.2).

W rezultacie otrzyma się wartości impedancji własnych w postaci:

$$\underline{Z}_{W_a} = R_{W_a} + jX_{W_a}, \quad (3.9)$$

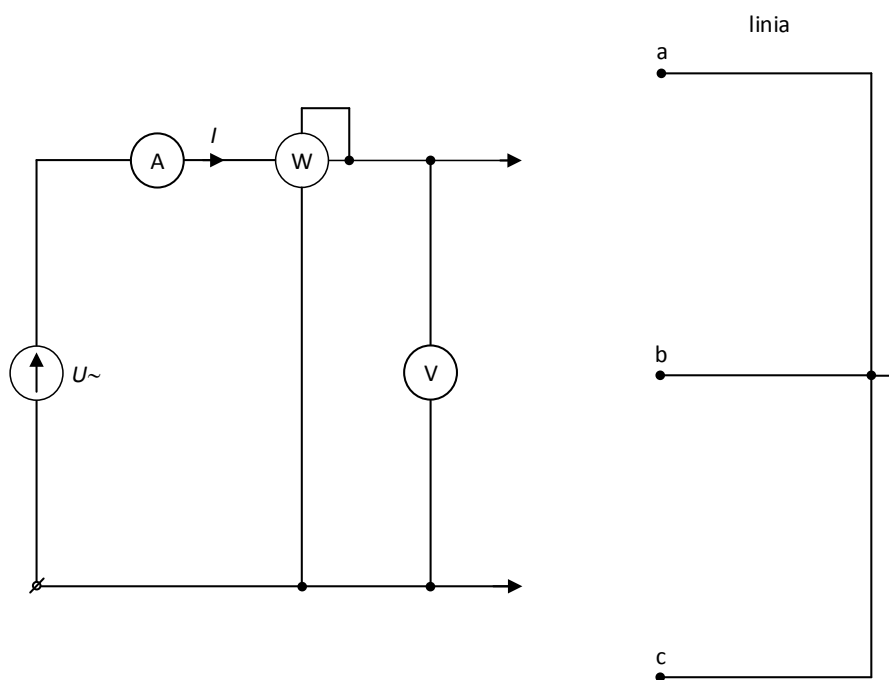
$$\underline{Z}_{W_b} = R_{W_b} + jX_{W_b}, \quad (3.10)$$

$$\underline{Z}_{W_c} = R_{W_c} + jX_{W_c}. \quad (3.11)$$

Należy przy tym pamiętać, że opisane wyżej rezystancje nie są rezystancjami przewodów, a rezystancjami pętli przewód – ziemia (rys. 3.2).

Opisane wyżej impedancje są praktycznie sobie równe, tzn. $\underline{Z}_{W_a} = \underline{Z}_{W_b} = \underline{Z}_{W_c} = \underline{Z}_W$.

Układ do pomiaru impedancji dla składowej zgodnej (i przeciwnej) przedstawiono na poglądowym rys. 3.3.



Rys. 3.3. Układ do pomiaru impedancji dla składowej zgodnej

Pomiar należy przeprowadzić trzykrotnie, włączając układ pomiarowy kolejno między fazy a - b, a - c i b - c. W rezultacie otrzyma się impedancje \underline{Z}_{ab} , \underline{Z}_{ac} i \underline{Z}_{bc} .

Impedancja linii dla składowej zgodnej wyniesie:

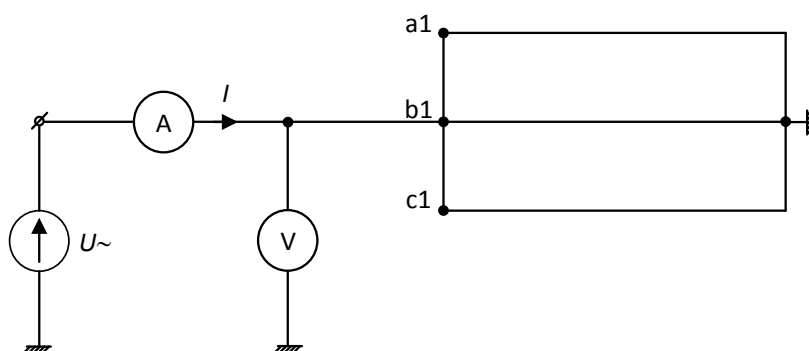
$$\underline{Z}_1 = \frac{1}{6}(\underline{Z}_{ab} + \underline{Z}_{ac} + \underline{Z}_{bc}). \quad (3.12)$$

Impedancja linii dla składowej zerowej wyniesie:

$$\underline{Z}_0 = 3\underline{Z}_W - 2\underline{Z}_1. \quad (3.13)$$

Podczas wykonywania wszystkich pomiarów zawartych w Instrukcji przewody odgromowe pozostają uziemione na obu krańcach. Ma to szczególne znaczenie w przypadku układu pomiarowego przedstawionego na rys. 3.2. W celu zmierzenia wyłącznie wartości impedancji własnych linii napowietrznej \underline{Z}_W , podczas pomiarów przewody odgromowe nie powinny być połączone z ziemią. Ze względu na fakt, że wartość \underline{Z}_W nie ma znaczenia praktycznego, przewody odgromowe pozostawia się uziemione na obu krańcach. Wówczas pomiar wykonywany zgodnie z układem zamieszczonym na rys. 3.2. pozwala uzyskać wartość impedancji \underline{Z}_W , w której ujęte jest oddziaływanie przewodów odgromowych. Dzięki temu możliwe jest dokładne wyznaczenie wartości impedancji zerowej \underline{Z}_0 opisanej zależnością (3.13), która ma duże znaczenie praktyczne.

Impedancję linii dla składowej zerowej można mniej dokładnie, jednak wystarczająco dla celów praktycznych, wyznaczyć przy pomocy jednego pomiaru, którego układ pokazano na rys. 3.4.



Rys. 3.4. Układ do pomiaru impedancji linii dla składowej zerowej
Należy dokonać pomiaru wartości U , I oraz φ . Impedancja dla składowej zerowej wyniesie:

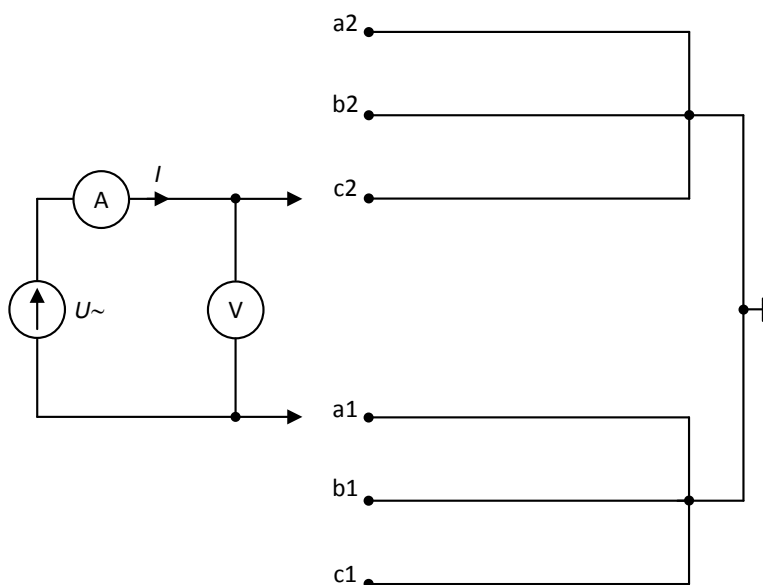
$$\underline{Z}_0 = 3 \frac{U}{I}. \quad (3.14)$$

Jednak przy takim podejściu trzeba dysponować źródłem zasilania o większej mocy, gdyż prąd będzie około trzykrotnie większy niż przy pomiarach opisanych poprzednio.

3.2. Pomiary parametrów linii dwutorowych

W przypadku linii dwutorowych należy wykonać pomiary parametrów dla każdego toru oddzielnie w sposób opisany w p. 3.1.1. i 3.1.2. oraz pomiar impedancji wzajemnego oddziaływania torów.

Pomiar tej ostatniej należy wykonać przy pomocy układu przedstawionego na rys. 3.5, przykładając napięcie kolejno między przewody fazowe jednego i drugiego toru, łącznie - 9 pomiarów. Pomiarom trzeba objąć U , I i φ . Znając impedancje własne przewodów fazowych, oblicza się impedancje wzajemne między przewodami fazowymi obu torów.



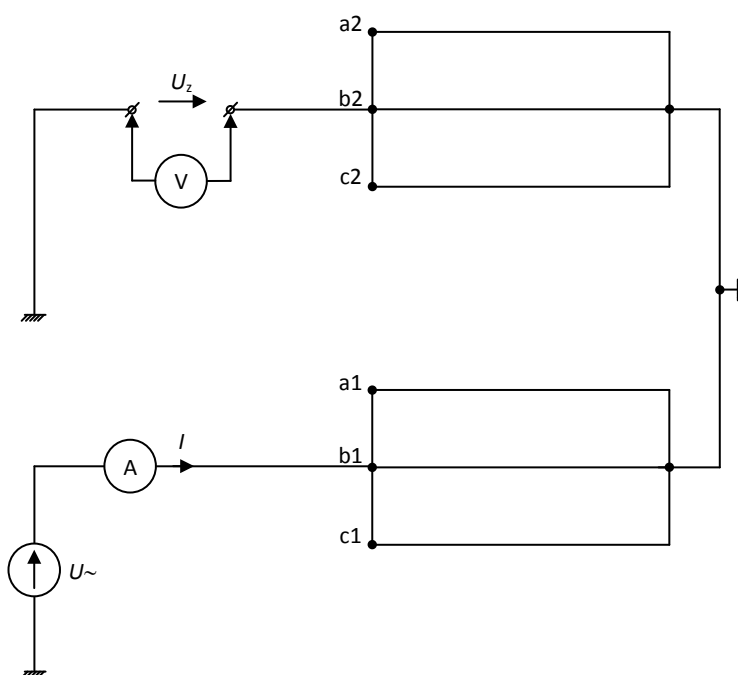
Rys. 3.5. Układ do pomiaru impedancji wzajemnych między przewodami obu torów.

W przypadku pokazanym na rys. 3.5 wartość impedancji wzajemnych między torami można obliczyć z zależności (3.15):

$$\underline{Z}_{Ma1c2} = \frac{1}{2} \left(\underline{Z}_{Wa1} + \underline{Z}_{Wc2} - \frac{U}{I} \right). \quad (3.15)$$

W rezultacie otrzyma się macierz impedancji wzajemnych między przewodami fazowymi obu torów w postaci podanej w rozdziale 1. Ostatecznie, trzeba dokonać transformacji tej macierzy na składowe symetryczne, przy czym do obliczeń sieciowych wykorzystuje się impedancję wzajemną tylko dla składowej zerowej.

W praktyce bywa często, że dwie linie, pracujące na takim samym napięciu znamionowym, wychodząc z jednej stacji, biegną przez pewną odległość na wspólnych słupach, lecz ich końce znajdują się w innych stacjach często od siebie odległych. Takie linie nie są liniami dwutorowymi, jednak ich sprzężenie elektromagnetyczne niewątpliwie istnieje. W takim przypadku pomiar impedancji wzajemnego oddziaływania torów, prowadzony według rys. 3.5, daje błędne wyniki, nieprzydatne dla celów praktycznych. Wówczas dla oszacowania reaktancji wzajemnego oddziaływania można się posłużyć układem pokazanym na rys. 3.6.



Rys. 3.6. Układ pomiarowy do oszacowania reaktancji między torami linii dla składowej zerowej

Reaktancja wzajemnego oddziaływania wyniesie:

$$X_{M0} = 3 \frac{U_z}{I}. \quad (3.16)$$

Wynik takiego pomiaru należy traktować bardzo ostrożnie z uwagi na obecność napięć indukowanych, które mogą być porównywalne z napięciem U_z . Napięcia te są przyczyną dużych błędów pomiarowych wyznaczonej reaktancji. Dlatego może się zdarzyć, że reaktancję tą trzeba będzie wyznaczyć w sposób analityczny.

4 Pomiary parametrów poprzecznych linii

Pojemności cząstkowe linii C_w można zmierzyć przy pomocy układów przedstawionych na rys. 4.1a ÷ 4.1f. Pomiar w każdym z układów należy przeprowadzić zmieniając cyklicznie miejsce przyłożenia napięcia i uziemienie jednego z zacisków schematu pomiarowego.

Poszczególne wartości pojemności cząstkowych C_w należy wyznaczać z zależności (4.1):

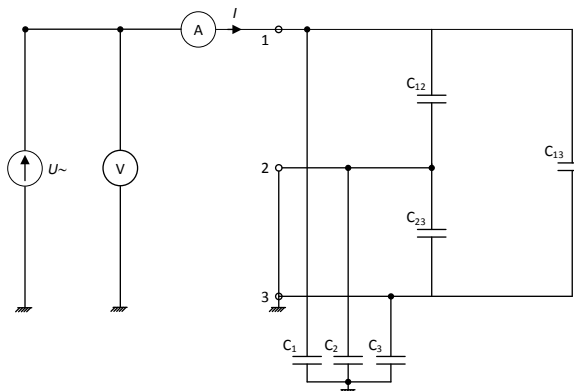
$$C_w = \frac{I}{\omega U}, \quad (4.1)$$

w której U oraz I są zmierzonymi wartościami napięcia i prądu.

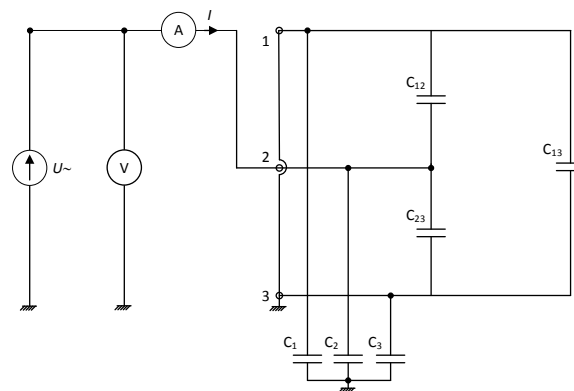
Zgodnie ze schematami pomiarowymi 4.1a ÷ 4.1f, w celu wyznaczenia pojemności C_{w1} , C_{w2} , C_{w3} , C_{w4} , C_{w5} , C_{w6} należy zrealizować następujące konfiguracje układów pomiarowych:

- pomiar C_{w1} – zaciski 2 i 3 zwarte i uziemione (rys. 4.1a),
- pomiar C_{w2} – zaciski 1 i 3 zwarte i uziemione (rys. 4.1b),
- pomiar C_{w3} – zaciski 1 i 2 zwarte i uziemione (rys. 4.1c),
- pomiar C_{w4} – zaciski 1 i 2 zwarte, zacisk 3 uziemiony (rys. 4.1d),
- pomiar C_{w5} – zaciski 2 i 3 zwarte, zacisk 1 uziemiony (rys. 4.1e),
- pomiar C_{w6} – zaciski 1 i 3 zwarte, zacisk 2 uziemiony (rys. 4.1f).

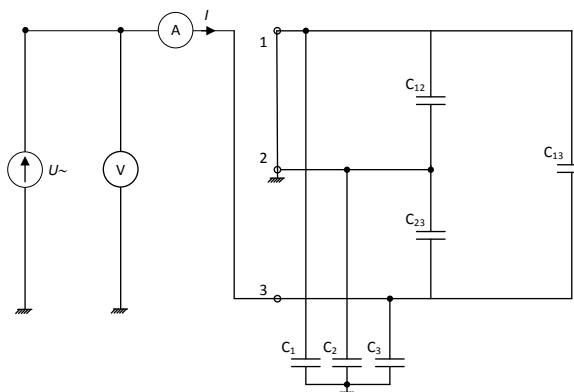
a)



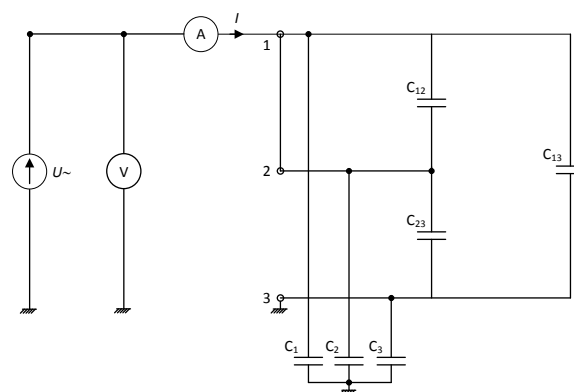
b)

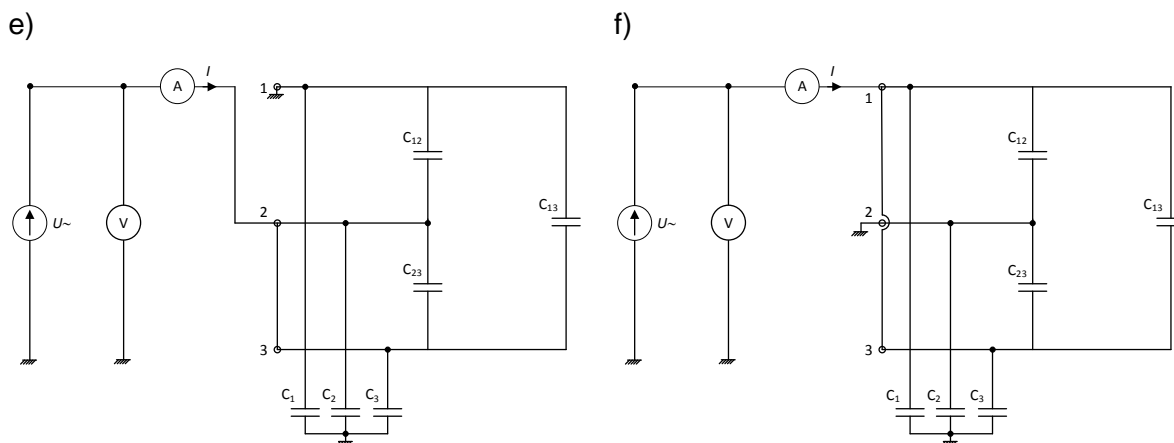


c)



d)





Rys. 4.1. Układy do pomiaru pojemności cząstkowych
 a) – C_{W1} ; b) – C_{W2} ; c) – C_{W3} ; d) – C_{W4} ; e) – C_{W5} ; f) – C_{W6}

Zmierzone wartości pojemności cząstkowych C_w wynikają z powyżej przedstawionych układów pomiarowych i obejmują szeregowo-równoległe połączenia pojemności międzyfazowych i doziemnych linii napowietrznej. W rezultacie otrzyma się układ równań opisujących pojemności cząstkowe linii $C_{W1} \div C_{W6}$:

$$C_{W1} = C_1 + C_{12} + C_{13}, \quad (4.2)$$

$$C_{W2} = C_2 + C_{12} + C_{23}, \quad (4.3)$$

$$C_{W3} = C_3 + C_{23} + C_{13}, \quad (4.4)$$

$$C_{W4} = C_1 + C_2 + C_{13} + C_{23}, \quad (4.5)$$

$$C_{W5} = C_2 + C_3 + C_{13} + C_{12}, \quad (4.6)$$

$$C_{W6} = C_1 + C_3 + C_{12} + C_{23}. \quad (4.7)$$

w którym:

C_1, C_2, C_3 – pojemności doziemne linii,

C_{12}, C_{13}, C_{23} – pojemności międzyprzewodowe linii.

Rozwiązanie tego układu przyjmuje postać:

$$C_1 = \frac{1}{2}(C_{W4} + C_{W6} - C_{W2} - C_{W3}), \quad (4.8)$$

$$C_2 = \frac{1}{2}(C_{W4} + C_{W5} - C_{W1} - C_{W3}), \quad (4.9)$$

$$C_3 = \frac{1}{2}(C_{W5} + C_{W6} - C_{W1} - C_{W2}), \quad (4.10)$$

$$C_{12} = \frac{1}{2}(C_{W1} + C_{W2} - C_{W4}), \quad (4.11)$$

$$C_{23} = \frac{1}{2}(C_{W2} + C_{W3} - C_{W5}), \quad (4.12)$$

$$C_{13} = \frac{1}{2}(C_{W1} + C_{W3} - C_{W6}) \quad (4.13)$$

W przypadku linii dwutorowej, pomiary trzeba prowadzić w taki sam sposób, jednak wówczas otrzyma się układ złożony z 21 równań, zawierających 21 niewiadomych. Podanie rozwiązania takiego układu w postaci ogólnej, nastrocza pewne trudności, w związku z czym dla każdego konkretnego przypadku należy dokonać szczegółowego rozwiązania.

5 Ocena wyników pomiarów

Ocena wyników sprowadza się do określenia wartości błędów z jakimi zostały przeprowadzone pomiary, gdzie odniesienie stanowią wyznaczone analitycznie wartości poszczególnych parametrów schematu zastępczego linii napowietrznej.

Podanie wyników Zleceniodawcy powinno nastąpić po dokonaniu uprzedniej weryfikacji, polegającej na porównaniu wyników pomiarów z wynikami obliczeń. W celu sprawdzenia poprawności metodyki pomiarów dopuszcza się (w miarę możliwości) wykonanie pomiarów na linii o znanych parametrach.

W przypadku braku jakichkolwiek danych dotyczących obliczeń, dopuszcza się przyjęcie podanego niżej toku postępowania.

W pierwszym kroku należy dokonać pomiaru rezystancji przewodów fazowych prądem stałym. Następnie w celu sprawdzenia dokładności pomiaru, wynik należy porównać z rezystancją katalogową podaną przez producenta przewodów. Ta ostatnia jest podawana w temperaturze $+20^{\circ}\text{C}$. W związku z tym, zmierzoną wartość rezystancji (dotyczy przewodów stalowo-aluminiowych) należy przeliczyć na temperaturę $+20^{\circ}\text{C}$, według zależności (5.1):

$$R_{20} = R \frac{245+20}{245+\vartheta} = R \frac{265}{245+\vartheta}, \quad (5.1)$$

gdzie:

R – zmierzona wartość rezystancji,

ϑ – temperatura otoczenia w czasie pomiarów.

Wartość rezystancji otrzymanej drogą pomiarową, po przeliczeniu dla temperatury $+20^{\circ}\text{C}$ (R_{20}) oraz jej wartość katalogowa ($R_{20\text{kat}}$), powinny być bardzo zbliżone do siebie i nie powinny się różnić nie więcej niż kilka procent. Porównanie obu wielkości można przeprowadzić wyznaczając błąd względny, definiowany jako (5.2):

$$\delta = \frac{R_{20} - R_{20\text{kat}}}{R_{20\text{kat}}} \cdot 100\%. \quad (5.2)$$

W dalszej kolejności, należy przeprowadzić pomiary prądem przemiennym (50 Hz). Wartość R_1 określona na podstawie tych pomiarów, powinna być praktycznie równa wartości rezystancji zmierzonej prądem stałym, co będzie świadczyć o poprawnym doborze aparatury pomiarowej i właściwej ocenie warunków lokalnych. Wartość rezystancji R_1 powinna być podana wraz z wartością temperatury przy której zostały wykonane pomiary. Przeliczenie wartości rezystancji R_1 na dowolny poziom temperatury należy przeprowadzić zgodnie z zależnością (5.1).