

1 Badania z zastosowaniem programu LAB_sieci

W celu sprawdzenia oprogramowania wykonuje się pomiary zgodnie z opisem zawartym w rozdz. 8 i 9, stanowiącym instrukcję do obsługi programu. Należy przeprowadzić badania w zakresie wybranego ćwiczenia oraz wybranego układu sieci i jego parametrów.

Dostępne są następujące ćwiczenia:

1. Dobór grupy połączeń transformatora SN/nN
2. Dobór grupy połączeń transformatora 110kV/SN w GPZ
3. Transformacja napięć fazowych i międzyprzewodowych oraz prądów fazowych w układach normalnych i przy wystąpieniu zwarcia dla różnych grup połączeń transformatorów
4. Transformacja składowych symetrycznych napięć fazowych i międzyprzewodowych oraz prądów fazowych w układach normalnych i przy wystąpieniu zwarcia dla różnych grup połączeń transformatorów
5. Rozkład napięć wzdłuż linii elektroenergetycznej w układach normalnych i przy wystąpieniu zwarcia
6. Rozpływ składowej zerowej prądu w sieci SN i nN podczas typowych uszkodzeń (zwarcie, zerwanie przewodu)

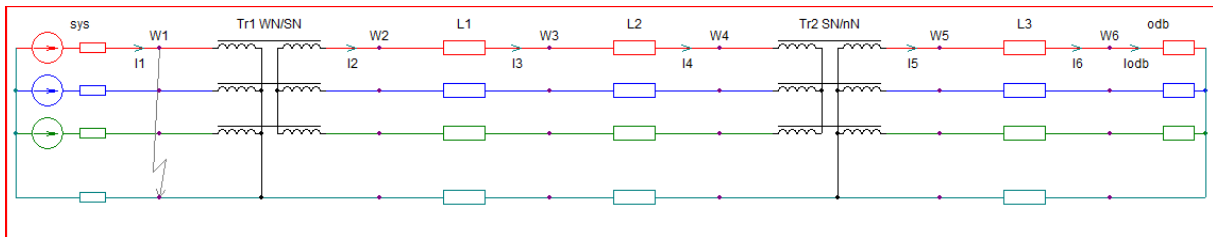
1.1 Przykład przygotowania modelu matematycznego sieci i wykonania obliczeń

Przygotowanie przykładowego modelu sieci elektroenergetycznej i wykonanie przykładowych obliczeń odbywa się w następującej kolejności:

1. Wybranie modelu sieci.
2. Wprowadzenie parametrów:
 - systemu zasilającego,
 - transformatora 110/SN (Tr1 WN/SN),
 - linii SN L1 i L2,
 - transformatora SN/nN (Tr2 SN/nN),
 - obciążenia odbiornika symetrycznego i niesymetrycznego.
3. Wykonanie obliczeń w następujących przypadkach:
 - układ normalny, obciążenie symetryczne,
 - układ normalny, obciążenie niesymetryczne,
 - dla zwarć w węzłach W1, W3, W5, wykonanie obliczeń prądów zwarciovych kolejno dla zwarć: L1-L2, L2-E,
 - rozpływ składowej zerowej prądów podczas zwarć doziemnych w sieci SN przy uszkodzonej linii SN.

Wybranie modelu sieci następuje korzystając z paska narzędzi wybierając **Model sieci** → **Nowy model sieci** ((7.) rys.8.2). Na poniższym rysunku (rys.10.1) znajduje się schemat wybranego modelu systemu 110kV – Tr 110kV – Tr 110/15 – 2 x linia 15kV – Tr

15/nN – linia nN – odbiór. Jest to model przykładowy, dla którego w czasie kolejnych obliczeń będą ustawiane odpowiednie opcje.



Rys.10.1. Przykładowy model sieci

Wprowadzenie wartości dla systemu zasilającego następuje wybierając **Model sieci** → **Edycja elementów sieci** ((6.) rys.8.2), a następnie wybierając element 1: **system**. Pojawi się okno (rys.8.5), gdzie trzeba ustawić parametry systemu zasilającego ((6.) rys.8.5), wybrać wartość napięcia znamionowego oraz wprowadzić moc zwarciovą i napięcie zadane ((5.) rys.8.5). Zakończenie edycji i aktualizacja wyników obliczeń następuje po wybraniu **przelicz** ((7.) rys.8.5), czynność należy powtórzyć po każdej edycji parametrów. Szybkie przejście do edycji parametrów kolejnego elementu jest możliwe poprzez wybór elementu z rozwijanej listy ((1.) rys.8.5), np. **element sieci Tr1 WN/SN** pojawi się okno parametrów transformatora. Na poniższym (rys.10.2) znajdują się wybrane parametry dla systemu.

Un [kV]	110kV
Sk [MVA]	1 000,0
Uzad [kV]	115,0

Rys.10.2. Okno wybrane z parametrami systemu

Edycję parametrów transformatora rozpoczyna się wybierając z katalogu transformator według określonej grupy (według mocy i napięcia znamionowego) oraz grupę połączeń ((6.) rys.8.6) i przesunięcie godzinowe ((6a.) rys.8.6). Do badań z katalogu pobrano dane transformatora ((7.) rys.8.6), na rysunku 10.3 znajduje się okno po dokonaniu wyboru transformatora.

grupa uzw. 4. YNyn 6

pobierz dane katalogowe

- 4. PO 16000/115 tr 110/SN 16 MVA
- 4. PO 16000/115 tr 110/SN 16 MVA
- 5. TJRc 25000/115 tr 110/SN 25 MVA
- 6. TDR 25000/110 tr 110/SN 25 MVA
- 7. TJRc 31500/115 tr 110/SN 31,5 MVA
- 8. TNARE 31500/110 PN tr 110/SN 31.5 MVA
- 9. TOHb 40/20 tr SN/nN 40kVA
- 10. TOHb 50/20 tr SN/nN 50kVA
- 11. TOHb 75/15 tr SN/nN 75kVA

Rys.10.3. Okno z grupą uzwojeń i przesunięciem godzinowym oraz z wybranym transformatorem z katalogu

Dokonanie zmian parametrów linii odbywa się z tego samego okna co parametry transformatora ((1.) rys.8.6) wybierając pozycję Linia 1. Zmieniono długości linii ((4.) rys.8.7) oraz wybrano dane katalogowe ((6.) rys.8.7) linii, która jest przedstawiona na (rys.10.4). Analogicznie dokonano doboru parametrów i długości linii 2.

długość [km]	15		
R1' [om/km]	0,4105	R0' [om/km]	0,5605
X1' [om/km]	0,3660	X0' [om/km]	0,4000
B1' [uS/km]	3,0000	B0' [uS/km]	1,3800

pobierz katalogowe

7. AFL-70 SN AL-70

2. AFL-240 110 kV AFL-240

3. AFL-400 110 kV AFL-400

4. AFL-525 110 kV AFL-525

5. AFL-35 SN AL-35

6. AFL-50 SN AL-50

7. AFL-70 SN AL-70

8. AFL-95 SN AL-95

9. AFL-120 SN AL-120

Rys.10.4. Okno parametryzacji linii SN, parametry wybranej linii wg danych katalogowych i wprowadzoną długością

Tak samo dokonuje się zmian parametrów drugiego transformatora (SN/nN) korzystając ze skrótu w tym samym oknie, wybierając ((1.) rys.8.6) element sieci Tr2 SN/nN pojawi się okno parametry transformatora. Jak powyżej, dokonano zmian grupy połączeń oraz pobrano parametry transformatora z danych katalogowych, jedynie dostosowano grupę połączeń i przesunięcie godzinowe. Na poniższym rysunku (rys.10.5) wskazano wybrany z danych katalogowych transformator.

grupa uzw. 4. YNyn 6

pobierz dane katalogowe

10. TOHb 50/20 tr SN/nN 50kVA

9. TOHb 40/20 tr SN/nN 40kVA

10. TOHb 50/20 tr SN/nN 50kVA

11. TOHb 75/15 tr SN/nN 75kVA

12. TNOSP 100/15 tr SN/nN 100kVA

13. TNOSP 160/15 tr SN/nN 160kVA

14. TNOSCT 250/15 PNSm tr SN/nN 250kVA

15. TNOSCT-400/15 AMD tr SN/nN 400kVA

16. TNOSCT-630/15 AMD tr SN/nN 630kVA

Rys.10.5. Okno z grupą uzwojeń i przesunięciem godzinowym oraz z wybranym transformatorem z katalogu

Edycja parametrów odbiornika odbywa się w oknie **Konfiguracja modelu sieci...** (rys. 8.8) po wybraniu właściwego elementu sieci. Wykorzystując wcześniej otwarte okno ((1.) rys.8.6), wybierano z listy odbiornik.

Ustawienie wartości obciążenia symetrycznego odbywa się wprowadzając dane w pola edycyjne ((7a.) rys.8.8), natomiast parametry obciążenia niesymetrycznego wprowadzamy do pól ((8a.) rys.8.8). W celu wybrania rodzaju obciążenia symetrycznego ustawia się pole wyboru na ((7.) rys.8.8), a niesymetrycznego na ((8.) rys.8.8). Na poniższym (rys.10.6.) znajdują się ustawione wartości obciążenia.

odbiór symetryczny

P [kW]

Q [kVAr]

odbiór niesymetryczny

P L1 [kW]

Q L1 [kVAr]

P L2 [kW]

Q L2 [kVAr]

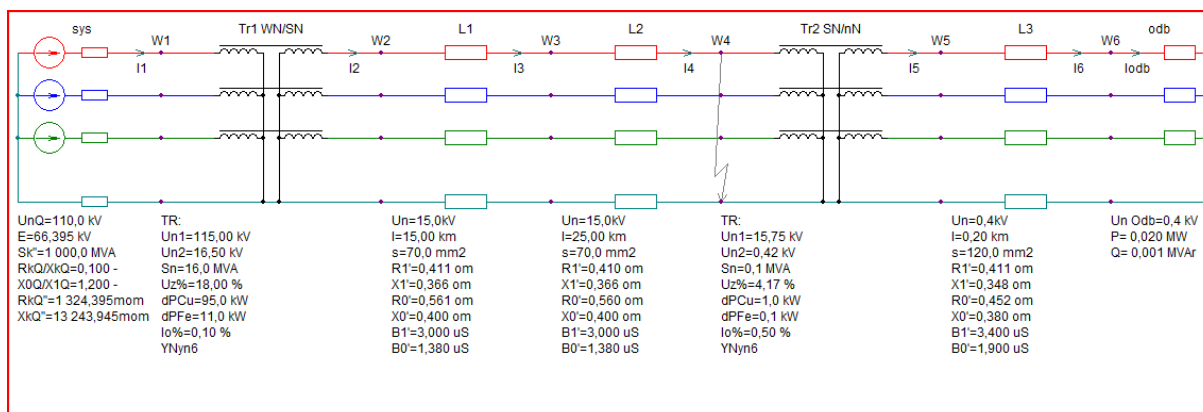
P L3 [kW]

Q L3 [kVAr]

wyłączony

Rys.10.6. Okno z przykładowymi parametrami dla odbiornika symetrycznego oraz niesymetrycznego

Po dokonaniu wszystkich niezbędnych ustawień modelu matematycznego sieci uzyskano schemat układu z zestawem parametrów przedstawiony na rys. 10.6.



Rys.10.6. Model sieci w wraz z parametrami

Po ustawieniu wszystkich parametrów modelu sieci, ogólnym sprawdzeniu poprawności edycji danych, rozpoczyna się proces wykonania obliczeń.

Obliczenia wykonano używając skrótu klawiaturowego **F5**, następnie po otwarciu okna wyniki (można skorzystać ze skrótu klawiaturowego **Alt+W**), uzyskano przykładowe zestawienie dla pracy normalnej układu przy obciążeniu symetrycznym. Wyniki zaprezentowano na rysunku 10.7.

Plik Edycja

Zamknij Kopiuj zestawienia dodaj do raportu

prezentacja
 1. wartości skuteczne
 2. wartości skuteczne + faza
 3. wartości zespolone

opcje obliczeń: zwarcie: brak; Tr1 WN/SN grupa YNyn 6; Tr2 SN/nN grupa YNyn 6; ODB - symetryczny; poziom obc.: 100,0%

napięcia: fazowe międzyfazowe składowe symetryczne

lp.	węzeł	UL1	FI UL1	UL2	FI UL2	UL3	FI UL3	UN	FI UN	U11	FI U11	U22	FI U22	U00	FI U00
V1	Sys <> Tr1 1	66 389,6	360,00	66 389,6	240,00	66 389,6	120,00	0,0	0,00	66 389,6	360,00	0,0	213,80	0,0	333,44
V2	Tr1 15kV <>	9 517,3	179,98	9 517,3	59,98	9 517,3	299,98	0,0	0,00	9 517,3	179,98	0,0	21,80	0,0	195,74
V3	linia 1 <> linię	9 501,9	180,03	9 501,9	60,03	9 501,9	300,03	0,0	246,65	9 501,9	180,03	0,0	20,26	0,0	184,84
V4	linia 2 <> TR:	9 487,1	180,04	9 487,1	60,04	9 487,1	300,04	0,0	246,62	9 487,1	180,04	0,0	16,91	0,0	164,24
V5	Tr2 0.4kV <>	250,8	359,29	250,8	239,29	250,8	119,29	0,0	246,62	250,8	359,29	0,0	0,11	0,0	315,30
V6	linia 3 <> odb:	248,5	358,89	248,5	238,89	248,5	118,89	0,0	245,00	248,5	358,89	0,0	118,92	0,0	170,44

prądy: fazowe składowe symetryczne międzyfazowe

lp.	miejsce pomiaru	IL1	FI IL1	IL2	FI IL2	IL3	FI IL3	3Io	FI 3Io	I11	FI I11	I22	FI I22	I00	FI I00
I1	sys "K"	0,4	291,22	0,4	171,22	0,4	51,22	0,0	53,76	0,4	291,22	0,0	319,71	0,0	53,76
I2	Tr1 WN/SN "K"	2,6	106,42	2,6	346,42	2,6	226,42	0,0	233,92	2,6	106,42	0,0	139,77	0,0	233,92
I3	L1 "K"	1,7	114,95	1,7	354,95	1,7	234,95	0,0	233,88	1,7	114,95	0,0	139,58	0,0	233,88
I4	L2 "K"	0,7	175,42	0,7	55,42	0,7	295,42	0,0	233,83	0,7	175,42	0,0	139,19	0,0	233,83
I5	Tr2 SN/nN "K"	26,9	356,03	26,9	236,03	26,9	116,03	0,0	53,83	26,9	356,03	0,0	319,19	0,0	53,83
I6	L3 "K"	26,9	356,03	26,9	236,03	26,9	116,03	0,0	53,83	26,9	356,03	0,0	319,19	0,0	53,83
I7	odb "P"	26,9	356,03	26,9	236,03	26,9	116,03	0,0	53,83	26,9	356,03	0,0	319,19	0,0	53,83
I8	zwarcie "P"	0,0	180,04	0,0	60,04	0,0	300,04	0,0	164,22	0,0	180,04	0,0	16,91	0,0	164,22

lp.	miejsce pomiaru	P L1 [W]	Q L1 [Var]	P L2 [W]	Q L2 [Var]	P L3 [W]	Q L3 [Var]	P [W]	Q [Var]
S 1	sys "K"	10 550,3	27 175,7	10 550,3	27 175,7	10 550,3	27 175,7	31 651,0	81 527,2
S 2	Tr1 WN/SN "K"	6 869,3	23 282,7	6 869,3	23 282,7	6 869,3	23 282,7	20 607,8	69 848,1
S 3	L1 "K"	6 841,1	14 730,2	6 841,1	14 730,2	6 841,1	14 730,2	20 523,4	44 190,7

Rys.10.7. Okno z wynikami prądów oraz napięć przy obciążeniu symetrycznym

Dodanie do raportu zbiorczego następuje po wciśnięciu przycisku ((3.) rys.9.1). W Otwartym oknie wprowadzono komentarz. Na poniższym rysunku (rys.10.8) pokazano się okno wraz z komentarzem.

Dodawanie wyniku obliczeń do raportu

Wprowadź komentarz: obliczenia |

OK Cancel

Rys.10.8. Wprowadzony komentarz obliczenia

Po potwierdzeniu przyciskiem **OK** pojawi się Raport obliczeń (rys.10.9 i 10.10).

Raport obliczeń ...

Zamknij Kopiuje zestawienia zapisz jako *.csv eksportuj do EXCEL wyczyść zawartość

parametry układu wyniki obliczeń

węzły sieci

lp	węzeł sieci	nazwa	nazwa graf.	Un[kV]
1	W1	Sys <> Tr1 110kV	W1	110,00
2	W2	Tr1 15kV <> linia 1	W2	15,00
3	W3	linia 1 <> linia 2	W3	15,00
4	W4	linia 2 <> TR2 15kV	W4	15,00
5	W5	Tr2 0.4kV <> linia 3	W5	0,40
6	W6	linia 3 <> odb.	W6	0,40

elementy - gałęzie sieci

lp	element	nazwa	nazwa graf.	parametry techniczne
1	system	System 110kV	sys	UnQ=110,0 kV, SkQ=1 000,0 MVA
2	Tr1	tr 110/SN 16 MVA	Tr1 WN/SN	Sn=16,0MVA; Un1=115,0kV; Un2=16,5kV; Uz%=18,00%; DPCu=95,0kW; DPfe=11,0kW; Io%=-
3	Linia 1	AL-70	L1	Un=15,0kVA, l=15,000km, R1'=0,4105om/km; X1'=0,3660om/km; R0'=0,5605om/km; X0'=0,40C
4	Linia 2	AL-70	L2	Un=15,0kVA, l=25,000km, R1'=0,4105om/km; X1'=0,3660om/km; R0'=0,5605om/km; X0'=0,40C
5	tr	tr SN/nN 50kVA	Tr2 SN/nN	Sn=0,1MVA; Un1=15,8kV; Un2=0,4kV; Uz%=4,17%; DPCu=1,0kW; DPfe=0,1kW; Io%=0,50%
6	Linia 3	AL-70	L3	Un=0,4kVA, l=0,200km, R1'=0,4105om/km; X1'=0,3480om/km; R0'=0,4525om/km; X0'=0,3800C
7	odb	Odbiornik 15kV	odb	Un=0,4kV, obciążenie symetryczne; Pn=20,0kW; Qn=1,0kVA; poz. obc.=100,0%
8	ZWR	zwarcie 1	zwarcie	

Rys.10.9.Raport obliczeń, karta parametrów układu

Raport obliczeń ...

Zamknij Kopiuje zestawienia zapisz jako *.csv eksportuj do EXCEL wyczyść zawartość

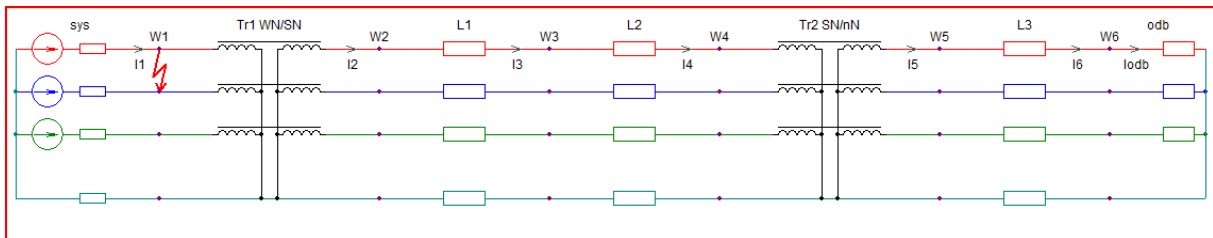
parametry układu wyniki obliczeń

lp.	węzeł	UL1	FI UL1	UL2	FI UL2	UL3	FI UL3	UN	FI UN	U11
obliczenia										
wynik 1 po:										
zwarcie: bra										
transformat										
ODB - syme										
lp.	węzeł	UL1	FI UL1	UL2	FI UL2	UL3	FI UL3	UN	FI UN	U11
V1	Sys <> Tr1 110kV	66 389,6	360,00	66 389,6	240,00	66 389,6	120,00	0,0	0,00	66 389,6
V2	Tr1 15kV <> linia 1	9 517,3	179,98	9 517,3	59,98	9 517,3	299,98	0,0	0,00	9 517,3
V3	linia 1 <> linia 2	9 501,9	180,03	9 501,9	60,03	9 501,9	300,03	0,0	246,65	9 501,9
V4	linia 2 <> TR2 15kV	9 487,1	180,04	9 487,1	60,04	9 487,1	300,04	0,0	246,62	9 487,1
V5	Tr2 0.4kV <> linia 3	250,8	359,29	250,8	239,29	250,8	119,29	0,0	246,62	250,8
V6	linia 3 <> odb.	248,5	358,89	248,5	238,89	248,5	118,89	0,0	245,00	248,5

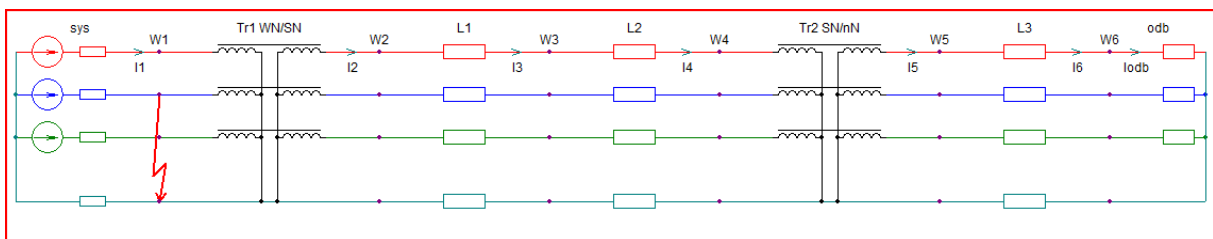
Rys.10.10. Raport obliczeń karta wyników obliczeń

Raport zbiorczy można zapisać ((3.) rys.9.3) lub czynność tę pominąć i zapisu dokonać po zakończeniu wszystkich badań.

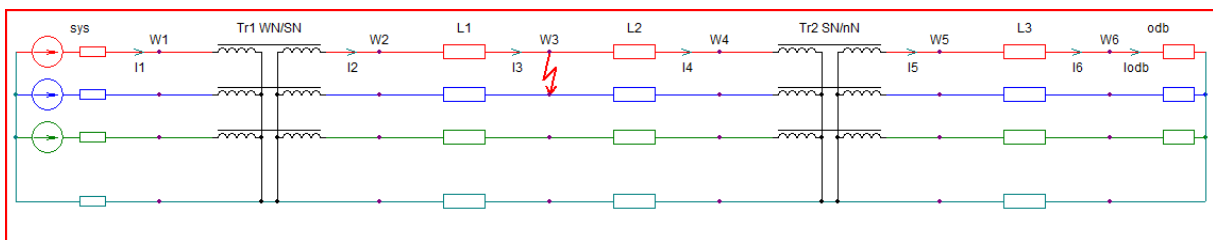
Wykonanie zwarcia w wybranym węźle sieci uzyskuje się wybierając z paska szybkiego wyboru: miejsce zwarcia ((23.) rys.8.2), rodzaj zwarcia ((24.) rys.8.2) a następnie aktywując zwarcie przyciskiem ((22.) rys.8.2). Na poniższych rysunkach (rys.10.11 – 10.16) przedstawiono zwarcia w wybranych węzłach przykładowego układu.



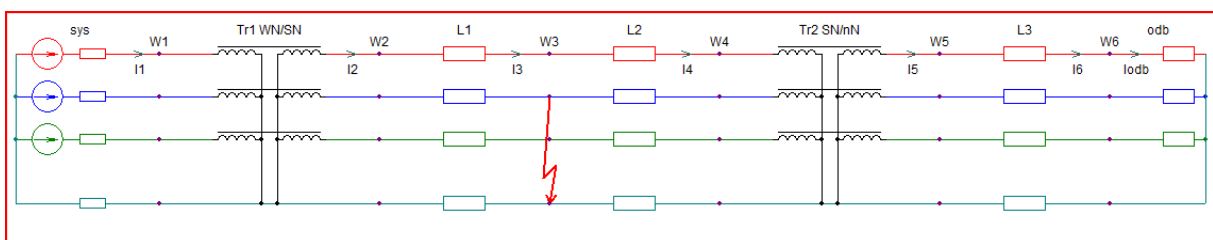
Rys.10.11. Zwarcie w węźle W1, zwarcie L1-L2



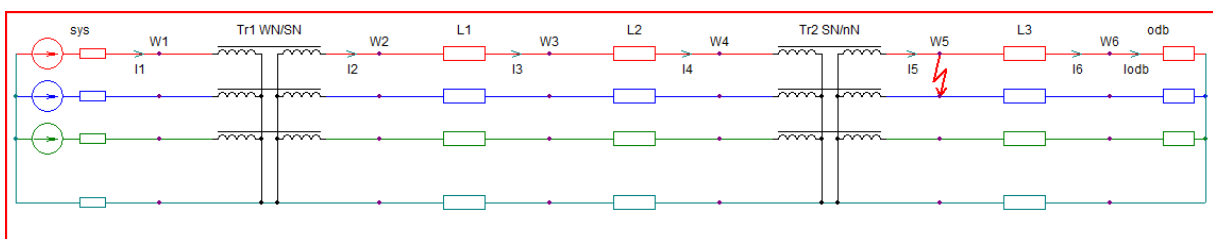
Rys.10.12. Zwarcie w węźle W1, zwarcie L2-E



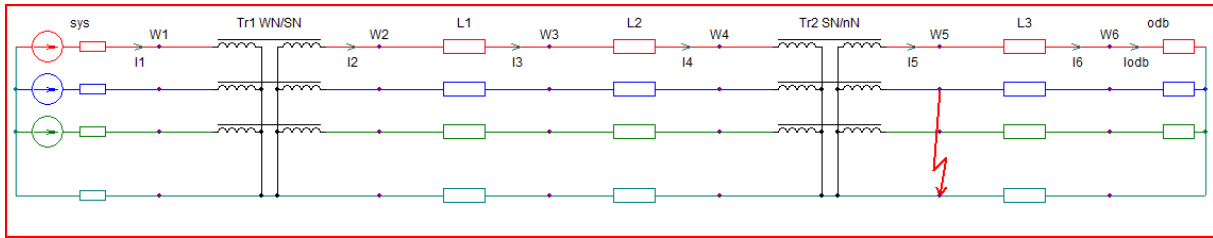
Rys.10.13. Zwarcie w węźle W3, zwarcie L1-L2



Rys.10.14. Zwarcie w węźle W3, zwarcie L2-E



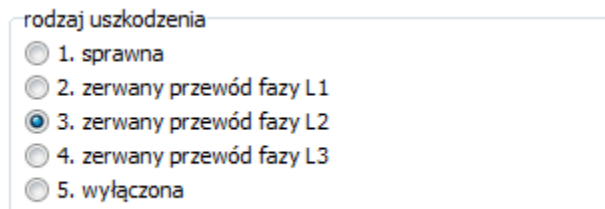
Rys. 10.15. Zwarcie w węźle W5, zwarcie L1-L2



Rys.10.16. Zwarcie w węzle W5, zwarcie L2-E

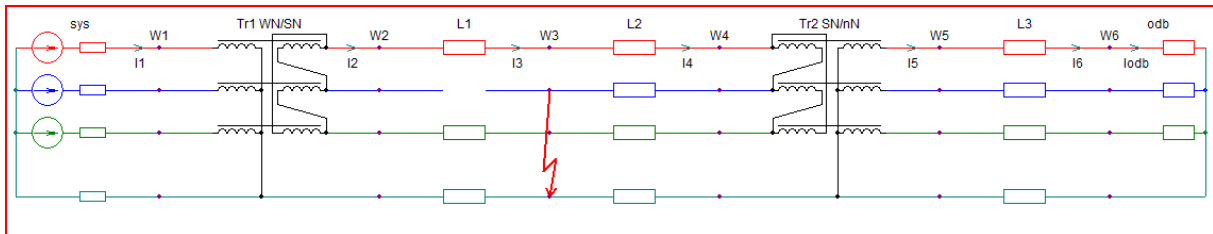
Rozpływ składowej zerowej prądów podczas zwarcć doziemnych w sieci SN przy uszkodzeniu linii SN.

Wybranie zerwanego przewodu od strony źródła zasilania uzyskuje się naciskając prawym przyciskiem myszy w obszarze linii L1 i wybierając z menu kontekstowego edytuj element. W otwartym oknie (rys.10.17) wybiera się rodzaj uszkodzenia linii ((8.) rys.7.7). Tak samo się dokonuje wyboru rodzaju uszkodzenia linii L2.



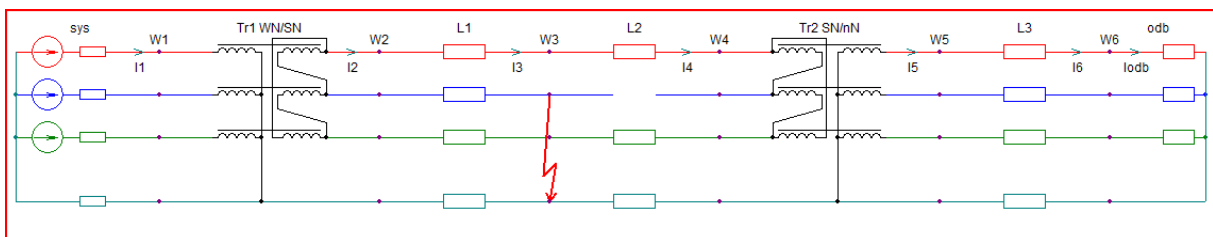
Rys.10.17. Okno rodzaj uszkodzenia

Parametry transformatora ustala się wybierając grupę połączeń ((6.) rys.8.6) oraz przesunięcie godzinowe ((6a.) rys.8.6). Parametry transformatora zostają bez zmian względem poprzedniego modelu sieci.



Rys.10.18. Zerwany przewód od strony źródła zasilania

Rodzaj uszkodzenia linii L2 ustala się analogicznie jak dla linii L1 (rys. 10.19).



Rys.10.19. Zerwany przewód od strony odbiornika nN

1.2 Wyniki pomiarów

W poniższych tabelach (tab. 10.1 – 10.10) zestawiono wyniki otrzymane podczas obliczeń opisanych w rozdz. 10.1, które zostały przeniesione do formy tabelarycznej. W celu porównania oraz weryfikacji. sporządzono nowy pomiar. Na tym samym modelu sieci elektroenergetycznej zmieniając tylko grupę połączeń transformatora Tr1 oraz Tr2, pozostałe parametry zostały bez zmian. Wyniki dają możliwość obserwacji zmian w zakresie poziomów wartości skutecznych i przesunięć fazowych transformowanych prądów i napięć w różnych stanach pracy sieci.

Tabela. 10.1. Wyniki obliczeń - obciążenie symetryczne

Lp	Tr1 – YNyn Tr2 YNyn						Tr1 – YNd Tr2 Dyn						
	V1 - Sys <> Tr1		V2 - Tr1 <> lin 1		V5 - Tr2 <> odb		V1 - Sys <> Tr1		V2 - Tr1 <> lin 1		V5 - Tr2 <> odb		
	I1 - sys "K"		I2 - Tr1 WN/SN "K"		I5 - Tr2 SN/nN "K"		I1 - sys "K"		I2 - Tr1 WN/SN "K"		I5 - Tr2 SN/nN "K"		
	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	
1	UL1	66389,6	360	9517,3	179,98	250,8	359,29	66389,6	360	9517,3	29,98	250,8	59,29
2	UL2	66389,6	240	9517,3	59,98	250,8	239,29	66389,6	240	9517,3	269,98	250,8	299,29
3	UL3	66389,6	120	9517,3	299,98	250,8	119,29	66389,6	120	9517,3	149,98	250,8	179,29
4	UN	0	0	0	0	0	246,62	0	0	0	0	0	118,96
5	U11	66389,6	360	9517,3	179,98	250,8	359,29	66389,6	360	9517,3	29,98	250,8	59,29
6	U22	0	213,8	0	21,8	0	0,11	0	80,48	0	173,34	0	181,61
7	U33	0	333,44	0	195,74	0	315,3	0	180	0	162,55	0	324,27
8	IL1	0,4	291,22	2,6	106,42	26,9	356,03	0,4	291,22	2,6	316,42	26,9	56,03
9	IL2	0,4	171,22	2,6	346,42	26,9	236,03	0,4	171,22	2,6	196,42	26,9	296,03
10	IL3	0,4	51,22	2,6	226,42	26,9	116,03	0,4	51,22	2,6	76,42	26,9	176,03
11	I11	0,4	291,22	2,6	106,42	26,9	356,03	0,4	291,22	2,6	316,42	26,9	56,03
12	I22	0	319,71	0	139,77	0	319,19	0	92,34	0	62,26	0	32,01
13	I00	0	53,76	0	233,92	0	53,83	0	294,26	0	180	0	21,12

Tabela.10.2. Wyniki obliczeń - obciążenie niesymetryczne

Lp	Tr1 – YNyn Tr2 YNyn						Tr1 – YNd Tr2 Dyn						
	V1 - Sys <> Tr1		V2 - Tr1 <> lin 1		V5 - Tr2 <> odb		V1 - Sys <> Tr1		V2 - Tr1 <> lin 1		V5 - Tr2 <> odb		
	I1 - sys "K"		I2 - Tr1 WN/SN "K"		I5 - Tr2 SN/nN "K"		I1 - sys "K"		I2 - Tr1 WN/SN "K"		I5 - Tr2 SN/nN "K"		
	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	
1	UL1	66388,6	360	9516	179,95	244,4	357,64	66389,4	360	9516,8	29,96	244,5	57,65
2	UL2	66389,6	240	9516,5	59,97	246,6	238,32	66388,8	240	9515,6	269,96	246,5	298,32
3	UL3	66389,6	120	9516,6	299,96	246,8	118,12	66388,7	120	9516,6	149,96	246,8	178,09
4	UN	0	0	0	0	0,9	190,17	0	0	0	0	0	185,18
5	U11	66389	360	9516,3	179,96	245,9	358,02	66389	360	9516,3	29,96	245,9	58,02
6	U22	0,4	244,78	0,7	68,29	1,3	219,19	0,4	4,91	0,7	338,42	1,3	279,32
7	U33	1,1	261,66	0,9	84,47	0,9	235,13	0	189,46	0	268,24	0,8	297,5
8	IL1	0,6	309,65	3,6	129,03	84,9	350,7	0,5	307,82	3,3	338,88	84,8	50,72
9	IL2	0,5	183,38	3,2	1,59	62,8	229,87	0,6	188,08	3,5	213,65	62,8	289,87
10	IL3	0,5	65,66	3,1	244,25	66,5	113,56	0,6	63,17	3,1	92,82	66,5	173,53

11	I11	0,5	306,35	3,3	125,12	71,4	351,34	0,5	306,35	3,3	335,12	71,4	51,35
12	I22	0	340,49	0,2	160,49	8,1	340,37	0	100,62	0,2	70,62	8,1	40,51
13	I00	0	357,37	0,1	177,37	5,6	357,41	0	308,02	0	0	5,6	57,45

Tabela.10.3. Wyniki obliczeń - zwarcie w sieci WN – W1, rodzaj L1-L2

Lp		Tr1 – YNyn Tr2 YNyn						Tr1 – YNd Tr2 Dyn					
		V1 - Sys <> Tr1		V2 - Tr1 <> lin 1		V5 - Tr2 <> odb		V1 - Sys <> Tr1		V2 - Tr1 <> lin 1		V5 - Tr2 <> odb	
		I1 - sys "K"		I2 - Tr1 WN/SN "K"		I5 - Tr2 SN/nN "K"		I1 - sys "K"		I2 - Tr1 WN/SN "K"		I5 - Tr2 SN/nN "K"	
		Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza
1	UL1	33194,8	300	4758,6	119,98	125,2	299,17	33194,8	300	0	305,69	125,2	119,17
2	UL2	33194,8	300	4758,6	119,98	125,2	299,17	33194,8	300	8242,2	299,98	250,4	299,17
3	UL3	66389,6	120	9517,2	299,98	250,4	119,17	66389,6	120	8242,2	119,98	125,2	119,17
4	UN	0	0	0	0	0	137,45	0	0	0	0	0	125,39
5	U11	33194,8	360	4758,6	179,98	125,2	359,17	33194,8	360	4758,6	29,98	125,2	59,17
6	U22	33194,8	240	4758,6	59,98	125,2	239,17	33194,8	240	4758,6	209,98	125,2	179,17
7	U33	0	69,09	0	125,67	0	303,22	0	68,51	0	206,57	0	18,74
8	IL1	4320,1	305,71	1,3	48,68	15,5	295,84	4320,1	305,71	0	234,4	15,5	115,84
9	IL2	4320	125,71	1,3	48,68	15,5	295,84	4320	125,71	2,2	228,68	31	295,84
10	IL3	0,4	53,03	2,6	228,68	31	115,84	0,4	53,03	2,2	48,68	15,5	115,84
11	I11	2494,4	275,71	1,3	108,68	15,5	355,84	2494,4	275,71	1,3	318,68	15,5	55,84
12	I22	2494	335,71	1,3	348,68	15,5	235,84	2494	335,71	1,3	138,68	15,5	175,84
13	I00	0	304,82	0	151,15	0	296,6	0	218,6	0	0	0	22,34

Tabela.10.4. Wyniki obliczeń - zwarcie w sieci WN – W1, rodzaj L2-E

Lp		Tr1 – YNyn Tr2 YNyn						Tr1 – YNd Tr2 Dyn					
		V1 - Sys <> Tr1		V2 - Tr1 <> lin 1		V5 - Tr2 <> odb		V1 - Sys <> Tr1		V2 - Tr1 <> lin 1		V5 - Tr2 <> odb	
		I1 - sys "K"		I2 - Tr1 WN/SN "K"		I5 - Tr2 SN/nN "K"		I1 - sys "K"		I2 - Tr1 WN/SN "K"		I5 - Tr2 SN/nN "K"	
		Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza
1	UL1	87828,1	19,1	12595,1	199,1	331,9	18,26	82323,2	16,11	6813,5	16,09	149,2	59,57
2	UL2	0	155,71	5,9	238,12	0,6	12,92	0	155,11	6862,1	284,29	229,8	310,23
3	UL3	87824,9	100,89	12594,4	280,85	331,3	99,95	82910,2	104,31	9517,2	149,98	228,8	168,19
4	UN	0	0	0	0	3,4	256,36	0	0	0	0	0	106,46
5	U11	55325,2	360	7931,1	179,98	208,7	359,17	52970,8	0,15	7593,6	30,13	199,8	59,32
6	U22	11064,4	300	1586,1	119,99	41,7	299,17	13419,7	299,4	1923,8	269,38	50,6	238,57
7	U33	44260,9	60	167,4	239,98	167,4	59,01	39552,6	60,41	0	90,35	0	63,74
8	IL1	0,3	297,43	1,8	103,62	41,1	14,9	266,1	332,23	1,9	304,79	18,5	56,25
9	IL2	2494,3	155,71	1,9	329,98	0,1	349,49	2759,7	155,38	1,9	212,99	28,5	306,9
10	IL3	0,5	62,04	3	243,93	41	96,63	265,8	332,39	2,6	78,68	28,3	164,86
11	I11	831,7	275,72	2,2	108,68	25,8	355,84	1008,7	275,12	2,1	318,84	24,7	55,99
12	I22	831,3	35,71	0,4	48,69	5,2	295,84	1008,2	35,11	0,5	198,08	6,3	235,24
13	I00	831,3	155,71	0,6	268,66	20,7	55,64	742,9	156,12	742,9	0	0	235,57

Tabela.10.5. Wyniki obliczeń - zwarcie w sieci SN – W3, rodzaj L1-L2

Lp		Tr1 – YNyn Tr2 YNyn						Tr1 – YNd Tr2 Dyn					
		V1 - Sys <> Tr1		V2 - Tr1 <> lin 1		V5 - Tr2 <> odb		V1 - Sys <> Tr1		V2 - Tr1 <> lin 1		V5 - Tr2 <> odb	
		II - sys "K"		I2 - Tr1 WN/SN "K"		I5 - Tr2 SN/nN "K"		II - sys "K"		I2 - Tr1 WN/SN "K"		I5 - Tr2 SN/nN "K"	
		Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza
1	UL1	65671,8	358,91	8679,6	164,86	125,2	299,17	66391,7	359,28	8679,6	14,86	0	4,6
2	UL2	64939,5	240	6989,5	58,78	125,2	299,17	64941,7	239,26	6989,5	268,78	216,8	329,17
3	UL3	66389,6	120	9517,2	299,98	250,4	119,17	65667,5	120,37	9517,2	149,98	216,8	149,17
4	UN	0	0	0	0	0	114,2	0	0	0	0	0	29,45
5	U11	65664,3	359,64	8333,6	174,45	125,2	359,17	65664,3	359,64	8333,6	24,45	125,2	59,17
6	U22	837,2	269,78	1462,7	93,29	125,2	239,17	837,2	329,78	1462,7	303,29	125,2	239,17
7	U33	0	321,26	0	153,85	0	251,87	0	14,04	0	69,97	0	63,74
8	IL1	109,3	335,33	761,2	155,35	15,5	295,84	63	5,11	761,2	5,35	0	1,28
9	IL2	109,4	155,56	761,9	335,54	15,5	295,84	126,2	185,45	761,9	185,54	26,9	325,84
10	IL3	0,4	53,03	2,6	228,68	31	115,84	63,2	5,79	2,6	78,68	26,9	145,84
11	I11	63,3	305,41	440,9	125,4	15,5	355,84	63,3	305,41	440,9	335,4	15,5	55,84
12	I22	62,9	5,49	438,4	185,5	15,5	235,84	62,9	65,49	438,4	35,5	15,5	235,84
13	I00	0	302,79	0	144,61	0	275,22	0	278,26	0	187,13	0	51

Tabela. 10.6. Wyniki obliczeń - zwarcie w sieci SN – W3, rodzaj L2-E

Lp		Tr1 – YNyn Tr2 YNyn						Tr1 – YNd Tr2 Dyn					
		V1 - Sys <> Tr1		V2 - Tr1 <> lin 1		V5 - Tr2 <> odb		V1 - Sys <> Tr1		V2 - Tr1 <> lin 1		V5 - Tr2 <> odb	
		II - sys "K"		I2 - Tr1 WN/SN "K"		I5 - Tr2 SN/nN "K"		II - sys "K"		I2 - Tr1 WN/SN "K"		I5 - Tr2 SN/nN "K"	
		Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza
1	UL1	66366,1	1,35	9515,2	181,34	266,3	1,67	66389,6	360	16480,2	59,97	250,6	59,16
2	UL2	63756,6	238,53	7299,9	46,65	0,1	352,1	66391,2	240	9,8	266,93	250,5	299,11
3	UL3	67765,4	119,37	9715,7	299,34	253,3	114,77	66391	120	16480,5	119,99	250,4	179,17
4	UN	0	0	0	0	627	19,98	0	0	0	0	0,5	12,76
5	U11	65948,8	359,76	8792,4	176,58	172,9	358,32	66390,6	360	9519	29,98	250,5	59,15
6	U22	518,6	331,67	906	155,18	77,5	301,06	1	174,3	1,7	147,81	0,1	83,68
7	U33	2078,9	91,57	95,6	274,38	95,6	56,03	0	327,99	9510,9	89,98	0	0,3
8	IL1	0,4	282,89	2,1	94,6	33	358,31	0,4	293,03	2,2	309,75	31	55,83
9	IL2	117,4	187,3	817,8	7,3	0	303,95	0,3	170,18	1,6	210,51	31	295,79
10	IL3	0,5	67,24	2,6	245,97	31,4	111,46	0,4	68,8	2,5	90,33	31	175,84
11	I11	39,4	307,22	274	127,21	21,4	354,99	0,4	297,49	2,1	323,25	31	55,82
12	I22	39	67,38	271,6	247,39	9,6	297,73	0,1	270,01	0,5	240,01	0	80,36
13	I00	39	187,28	272,2	7,29	11,8	52,67	0	306,97	0	255,96	0	228,04

Tabela. 10.7. Wyniki obliczeń - zwarcie w sieci nN – W5, rodzaj L1-L2

Lp		Tr1 – YNyn Tr2 YNyn						Tr1 – YNd Tr2 Dyn					
		V1 - Sys <> Tr1		V2 - Tr1 <> lin 1		V5 - Tr2 <> odb		V1 - Sys <> Tr1		V2 - Tr1 <> lin 1		V5 - Tr2 <> odb	
		II - sys "K"		I2 - Tr1 WN/SN "K"		I5 - Tr2 SN/nN "K"		II - sys "K"		I2 - Tr1 WN/SN "K"		I5 - Tr2 SN/nN "K"	
		Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza
1	UL1	66350,9	359,95	9456,1	179,38	125,2	299,17	66389,6	360	9515,4	29,57	125,2	359,17
2	UL2	66322,8	240	9400	60	125,2	299,17	66350,9	239,95	9398,2	269,59	125,2	359,17
3	UL3	66389,6	120	9517,2	299,98	250,4	119,17	66322,8	120	9459,7	150,2	250,4	179,17
4	UN	0	0	0	0	0	251,37	0	0	0	0	0	76,21
5	U11	66354,4	359,98	9457,7	179,79	125,2	359,17	66354,4	359,98	9457,7	29,79	125,2	59,17
6	U22	38,7	264,76	67,7	88,27	125,2	239,17	38,7	24,76	67,7	358,27	125,2	299,17
7	U33	0	142,43	0	157,12	0	349,63	0	41,63	0	90	0	101,68
8	IL1	5,4	327,59	37,1	147,81	1349,7	330,92	0,4	293,03	21,2	23,82	1349,7	30,92
9	IL2	5,5	152,27	37,6	331,71	1324,4	151,69	5,4	207,59	43,1	209,77	1324,4	211,69
10	IL3	0,4	53,03	2,6	228,68	31	115,84	5,5	32,27	22,1	35,49	31	175,84
11	I11	3,4	299,49	22,8	119,15	781	302,23	3,4	299,49	22,8	329,15	781	55,84
12	I22	2,9	0,47	20,3	180,48	763	0,36	2,9	120,47	20,3	90,48	763	60,36
13	I00	0	58,5	0	238,58	0	58,61	0	303,04	0	0	0	119

Tabela. 10.8. Wyniki obliczeń - zwarcie w sieci nN – W5, rodzaj L2-E

Lp		Tr1 – YNyn Tr2 YNyn						Tr1 – YNd Tr2 Dyn					
		V1 - Sys <> Tr1		V2 - Tr1 <> lin 1		V5 - Tr2 <> odb		V1 - Sys <> Tr1		V2 - Tr1 <> lin 1		V5 - Tr2 <> odb	
		II - sys "K"		I2 - Tr1 WN/SN "K"		I5 - Tr2 SN/nN "K"		II - sys "K"		I2 - Tr1 WN/SN "K"		I5 - Tr2 SN/nN "K"	
		Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza
1	UL1	66396,5	0,06	9518,3	180,05	252,7	359,35	66367,9	0,01	9517,2	29,98	244,5	57,61
2	UL2	66250	239,94	9389,4	59,56	0	181,68	66387	239,98	9474,5	269,57	0	240,9
3	UL3	66452,8	119,96	9526,3	299,94	249,9	118,61	66340,9	119,98	9436,4	150	247,8	181,13
4	UN	0	0	0	0	82,8	13,48	0	0	0	0	0	282,77
5	U11	66366,4	359,99	9477,9	179,85	167,5	358,98	66365,3	359,99	9476	29,85	164	59,38
6	U22	25,6	325,14	44,8	148,64	82,8	299,54	26,7	84,36	46,7	57,86	86,4	358,76
7	U33	102,8	84,97	84,7	267,78	84,7	58,44	0	63,44	0	44,39	77,6	120,08
8	IL1	0,4	292,67	2,5	108,15	31,3	356	2,3	248,96	2,6	318,68	30,3	54,26
9	IL2	6,2	180,24	42,9	0,07	1532,4	181,68	2,2	229,4	26,2	236,33	1597,8	240,9
10	IL3	0,4	54	2,6	229,86	30,9	115,3	4,5	59,36	26,7	61,85	30,7	177,82
11	I11	2,4	299,38	16	118,89	523,3	303,52	2,5	298,79	16,5	328,3	544,4	56,05
12	I22	1,9	60,85	13,4	240,85	504,9	60,73	2	180,07	14	150,07	526,5	119,95
13	I00	1,9	180,68	13,5	0,69	10,5	180,72	0	329,55	0	0	527,3	240,04

Tabela.10.9. Wyniki obliczeń - Zwarcie: miejsce zwarcia W3, Tr1 – YNd Tr2 Dyn

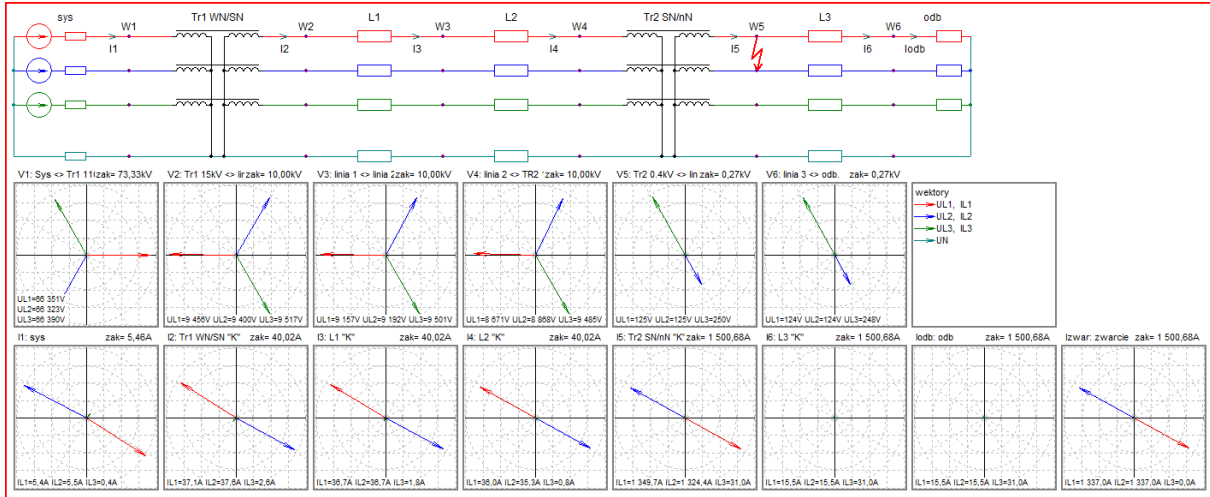
Lp		rodzaj zwarcia L2-E linia ciągła						Zw. L2-E – zerwana od strony źródła					
		V1 - Sys <> Tr1		V2 - Tr1 <> lin 1		V5 - Tr2 <> odb		V1 - Sys <> Tr1		V2 - Tr1 <> lin 1		V5 - Tr2 <> odb	
		I1 - sys "K"		I2 - Tr1 WN/SN "K"		I5 - Tr2 SN/nN "K"		I1 - sys "K"		I2 - Tr1 WN/SN "K"		I5 - Tr2 SN/nN "K"	
		Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza
1	UL1	66389,6	360	16480,2	59,97	250,6	59,16	66389,6	360	6895	349,5	104,7	348,68
2	UL2	66391,2	240	9,8	266,93	250,5	299,11	66392,2	240	15608,4	264,62	148,7	6,53
3	UL3	66391	120	16480,5	119,99	250,4	179,17	66393,2	120	9784,9	187,34	250,4	179,17
4	UN	0	0	0	0	0,5	12,76	0	0	0	0	0,2	173,18
5	U11	66390,6	360	9519	29,98	250,5	59,15	66391,7	360	9520,7	29,99	114,9	65,59
6	U22	1	174,3	1,7	147,81	0,1	83,68	2,1	195,79	3,7	169,3	136,8	293,78
7	U33	0	78,11	0	89,98	0	180,3	0	90,72	6190,8	256,33	0	254,04
8	IL1	0,4	293,03	2,2	309,75	31	55,83	0,4	293,03	2,3	293,3	13	345,35
9	IL2	0,3	170,18	1,6	210,51	31	295,79	0,2	140,1	0,4	182,27	18,4	3,2
10	IL3	0,4	68,8	2,5	90,33	31	175,84	0,3	87,48	2,2	103,84	31	175,84
11	I11	0,4	297,49	2,1	323,25	31	55,82	0,3	293,89	1,5	316,57	14,2	62,26
12	I22	0,1	270,01	0,5	240,01	0	80,36	0,2	291,5	1,1	261,5	16,9	290,45
13	I00	0	306,96	0	180	0	208,7	0	299,92	0	0	0	265,62

Tabela.10.10. Wyniki obliczeń - Zwarcie: miejsce zwarcia W3, Tr1 – YNd Tr2 Dyn
Zw. L2-E – zerwana od strony odbiornika nN

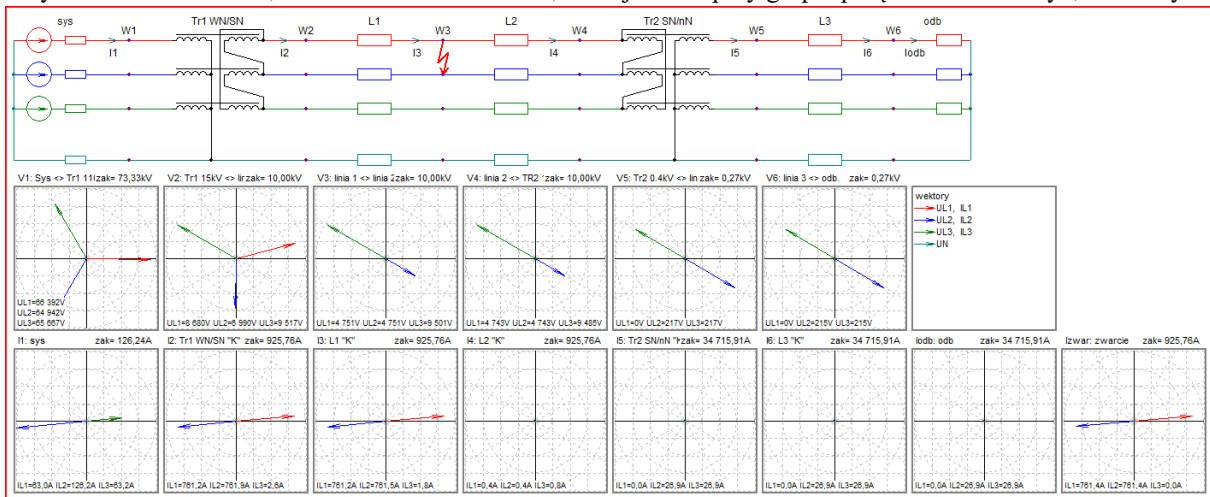
Lp		V1 - Sys <> Tr1		V2 - Tr1 <> lin 1		V5 - Tr2 <> odb	
		I1 - sys "K"		I2 - Tr1 WN/SN "K"		I5 - Tr2 SN/nN "K"	
		Wsk	Faza	Wsk	Faza	Wsk	Faza
1	UL1	66389,6	360	16495,9	60,01	94,4	339,43
2	UL2	66392,6	240	3,5	34,31	164,6	10,34
3	UL3	66393,5	120	16496,5	119,96	250,4	179,17
4	UN	0	0	0	0	0,5	12,76
5	U11	66391,9	360	9521,1	29,99	108,8	70,27
6	U22	2,3	193,15	4,1	166,66	145,1	290,87
7	U33	0	180	0	89,98	0	0,3
8	IL1	0,4	293,03	2,3	290,64	11,7	336,11
9	IL2	0,2	135,76	0,2	195,73	20,4	7,01
10	IL3	0,3	94,07	2,2	106,72	31	175,84
11	I11	0,3	295,71	1,4	318,52	13,5	66,94
12	I22	0,2	288,87	1,2	258,87	18	287,54
13	I00	0	310,67	0	270	0	307,28

1.3 Wykresy wektorowe

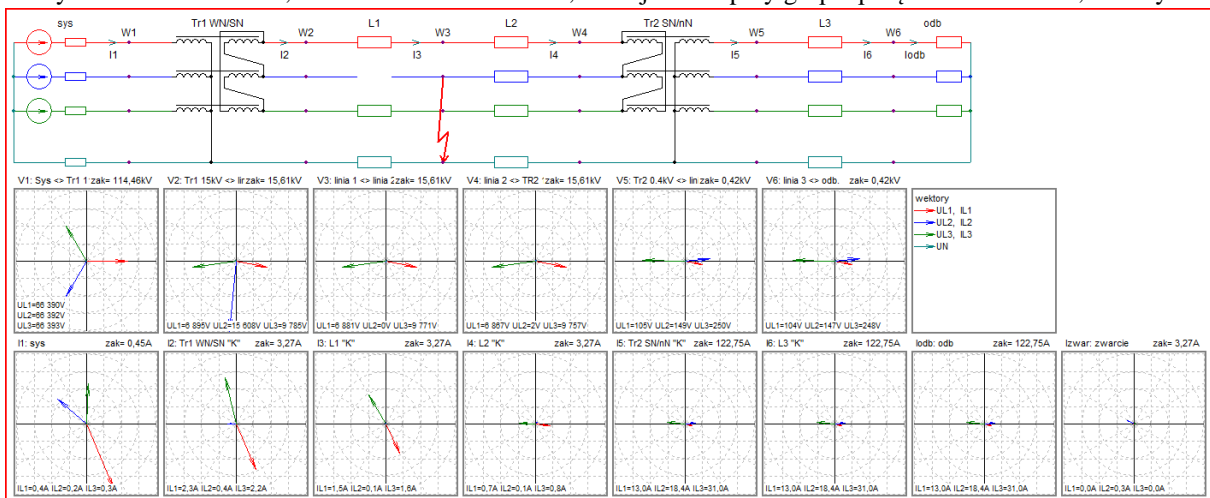
Na poniższych rysunkach (rys.10.19. – 10.20.) są przedstawione przykładowe wykresy wektorowe stanowiące graficzną prezentację wyników obliczeń, na podstawie których, dokonuje się analizy porównawczej.



Rys.10.19. Model sieci, zwarcie w sieci nN – W5, rodzaj L1-L2 przy grupie połączeń Tr1 – YNyn, Tr2 YNyn



Rys.10.20. Model sieci, zwarcie w sieci SN – W3, rodzaj L1-L2 przy grupie połączeń Tr1 – YNd, Tr2 Dyn



Rys.10.21. Model sieci, zerwana linia od strony zasilania podczas zwarcia L2-E przy grupie połączeń Tr1 – YNd, Tr2 Dyn

1.4 Ocena wyników badań

Po przeprowadzonych pomiarach dla dwóch różnych grup połączeń transformatorów przy obciążeniu symetrycznym i niesymetrycznym oraz wstanie pracy normalnej i podczas różnych rodzajów zwarć stwierdzić można, że program działa poprawnie. Wskazywane wartości są zgodne z oczekiwanymi. Przy obciążeniu symetrycznym dla dwóch grup połączeń (Tr1 – YNyn Tr2 YNyn, Tr1 – YNd Tr2 Dyn) wartości prądu i napięcia są identyczne, a tylko wielkość kąta przesunięcia ulega zmianie. Natomiast przy obciążeniu niesymetrycznym wartości pomiarowe nieznacznie się od siebie różnią. Przy występowaniu zwarć w wybranych węzłach oraz podczas zwarć: fazowych, doziemnych i przerwaniu linii, można zaobserwować różnice w tabelach, jak się zmieniają wartości pomiarowe dla dwóch grup połączeń transformatora (Tr1 – YNyn Tr2 YNyn, Tr1 – YNd Tr2 Dyn) oraz jak się zachowuje transformacja prądów i napięć w poszczególnych wybranych punktach pomiarowych. Wybrana ocena pomiarów przy występowaniu zwarcia w sieci **WN -W1** rodzaj **L1 - L2**, przy grupie połączenia transformatora (Tr1 – YNyn Tr2 YNyn, Tr1 – YNd Tr2 Dyn) w punkcie pomiarowym **V2** dopiero widać różnice w pomiarach. W punkcie pomiarowym **V5** można zauważyć jak się zmieniają wartości napięcia pomiędzy fazami, tylko wartości prądu pozostają bez zmian. Przy zwarcu **SN -W3**, rodzaj **L1 - E**, można za uwarzyć znaczne różnice pomiarowe. Kolorem czerwonym wyeksponowano różnice w tabelach, gdzie szczegółowo widać jak się zmieniają wartości dla danego przypadku. Grupa połączeń ma duży wpływ na wartość prądu i napięcia.

2 Literatura

- [1] Kacejko P., Machowski J.: „Zwarcia w systemach elektroenergetycznych”, Wydawnictwo Naukowe - Techniczne, Warszawa, 2009
- [2] Kremens Z., Sobierajski M.: „Analiza systemów elektroenergetycznych”, Wydawnictwo Naukowe- Techniczne, Warszawa, 1996
- [3] Kinsner K., Serwin A., Sobierajski M., Wilczyński A.: „Sieci elektroenergetyczne”, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1993
- [4] Cegielski M.: „Sieci i systemy elektroenergetyczne”, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1979, Wrocław
- [5] Markiewicz H.: „Urządzenia elektroenergetyczne”, Wydawnictwo Naukowo- Techniczne, Warszawa, 2001
- [6] Kończykowski S., Bursztynowicz J.: „Zwarcia w układach elektroenergetyczne”, Wydawnictwo Naukowo- Techniczne, Warszawa, 1965
- [7] Kurdziel R.: „Podstawy elektrotechniki”, Wydawnictwo Naukowo- Techniczne, Warszawa, 1973
- [8] Cholewski T.: „Elektrotechnika Teoretyczna Tom 1”, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1973
- [9] Żydanowicz J.: „Elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa”, Wydawnictwo Naukowo- Techniczne, Warszawa, 1979
- [10] PN/EN-60909-0:2002.: „Obliczanie prądów zwarciovych”
- [11] Kujarczyk Sz.: „Nowoczesne metody obliczania elektroenergetycznych sieci rozdzielczych”, Wydawnictwo Naukowo- Techniczne, Warszawa, 1984
- [12] Roman A.: „Testowanie i jakości oprogramowania”, Polskie Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 2015