

X KONFERENCJA
Generacja rozproszona
i straty energii elektrycznej
w sieciach elektroenergetycznych
29-30 marca 2023 r., Wisła

Wyliczanie strat własnych na stacjach SN/nN
z uwzględnieniem „przepływów odwrotnych”

dr inż. Borys Semenowicz

ENERGA-Operator SA



Energa
operator

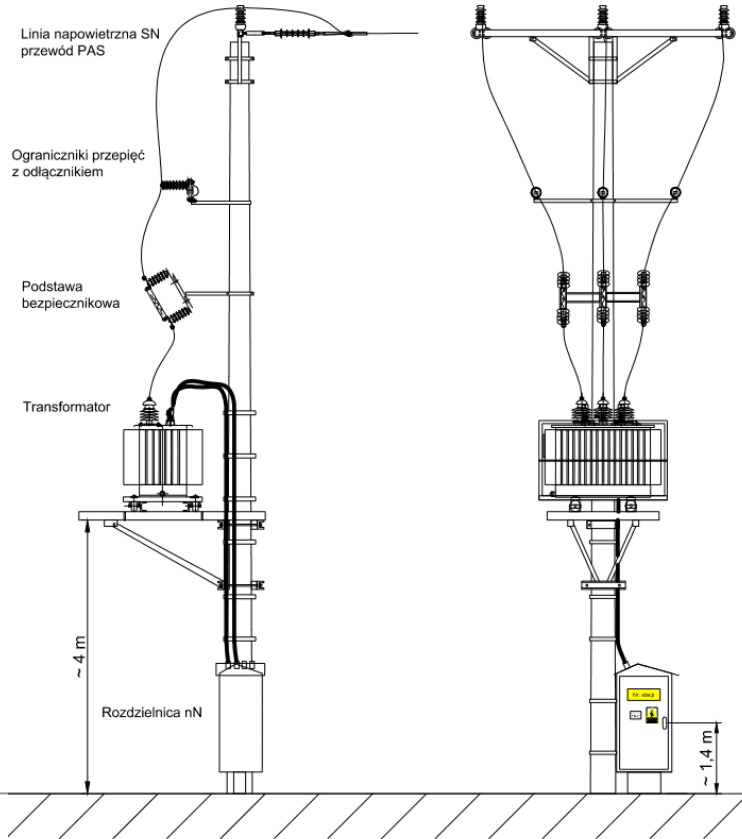
Przepływy wsteczne

Przepływy wsteczne powstają gdy napięcie na odejściach transformatora (obwodu) jest wyższe niż napięcie sieci. W takim przypadku zgodnie z prawem Ohma pod wpływem różnicy napięć powstaje prąd skierowany do źródła. Wartość prądu określa zarówno napięcie jak i impedancja zastępcza sieci.

Przepływy wsteczne są zjawiskiem normalnym, a w liniach 15 kV będą coraz częstsze z uwagi na dużą ilość prosumentów jak i z uwagi na dążenie do samowystarczalności energetycznej obszarów gmin i klastrów.

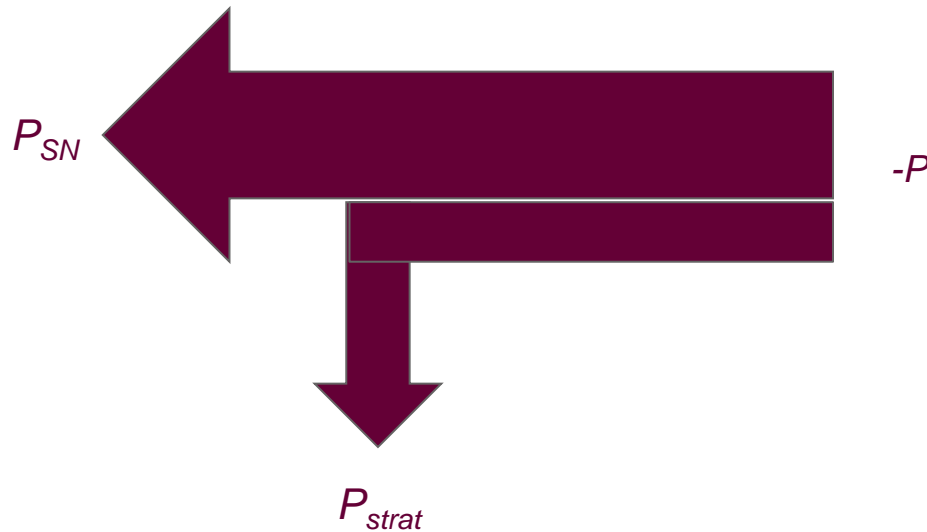
<https://ses.jrc.ec.europa.eu/smart-metering-deployment-european-union>

Przepływy wsteczne



Wobec powyższego powstaje zagadnienie jak określić energię netto wpływającą do obszaru SN którą można dysponować. Standardowo stosuje się jeden układ pomiarowy na wyjściu stacji wobec tego energię netto na stronie SN (straty) trzeba wyznaczyć analitycznie.

Przepływy wsteczne

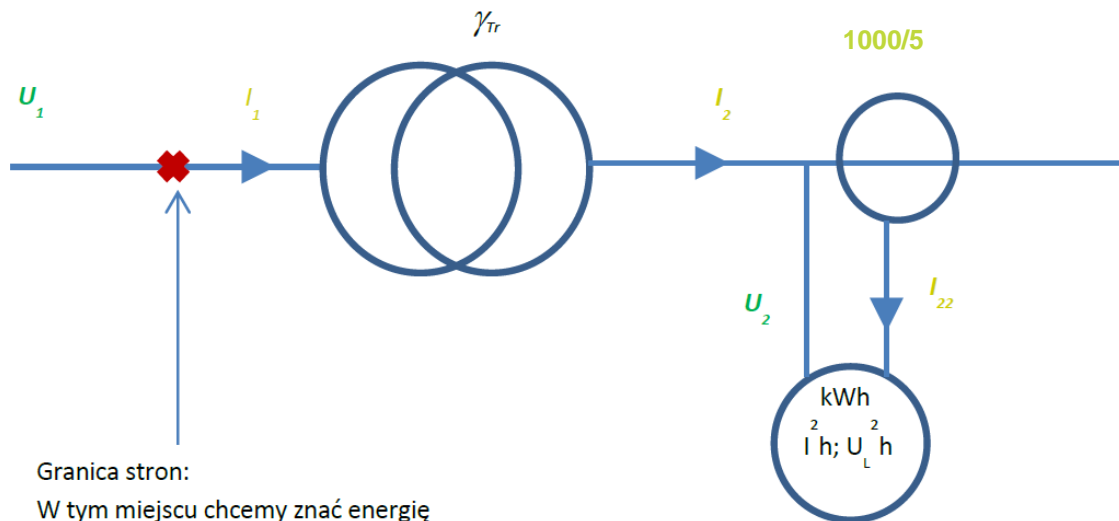


Wykres Sankeya strat energii

Przepływ odwrotny nie zmniejsza strat w transformatorze – są one takie same.

Straty należą do tej strony od której płynie energia, jest zaś zagadnienie z której strony jest pomiar i granica stron i jak uwzględnić energie strat.

Przepływy wsteczne – parametry zastępcze transformatorów wyznaczenie strat w oparciu o U^2h i I^2h



A – Straty czynne podłużne w uzwojeniach

$$A = \frac{P_{Cu}}{I_{1n}^2} \left(\frac{(400/5)^2}{\gamma^2} \right) \quad [\Omega]$$

B – Straty czynne poprzeczne w rdzeniu

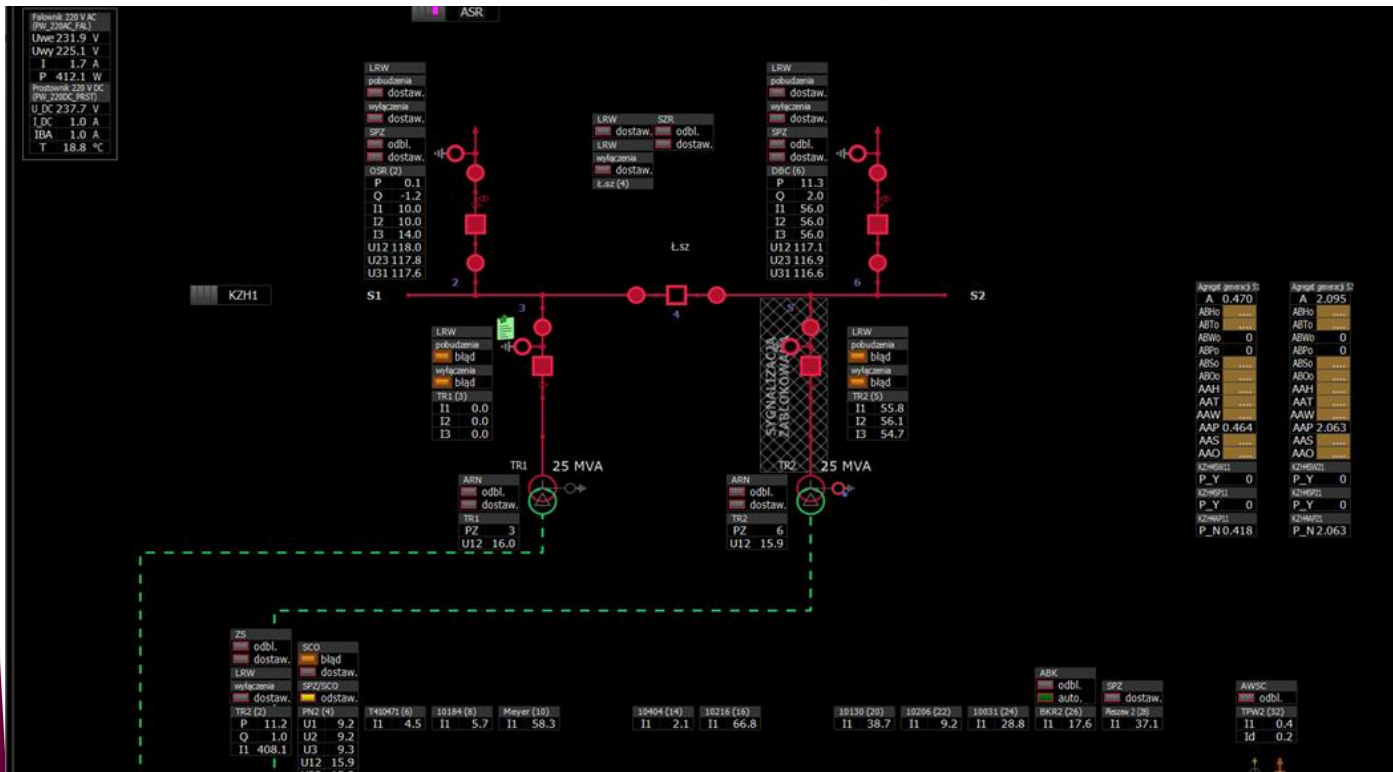
$$B = \frac{3 \gamma^2}{\frac{U_1^2}{P_{Fe}}} \quad [S]$$

Pobór energii: $1.8.n + A * (83.1) + B * (83.4)$

Oddanie energii: $2.8.n - A * (83.2) - B * (83.5)$

Metodą wyznaczenia strat jest zaimplementowanie w licznikach rejestrów strat kierunkowych lub przy braku rejestrów oparcie o profile prądów i napięć

Przepływy – obliczanie strat na podstawie profili prądów, obliczenia na przykładzie GPZ

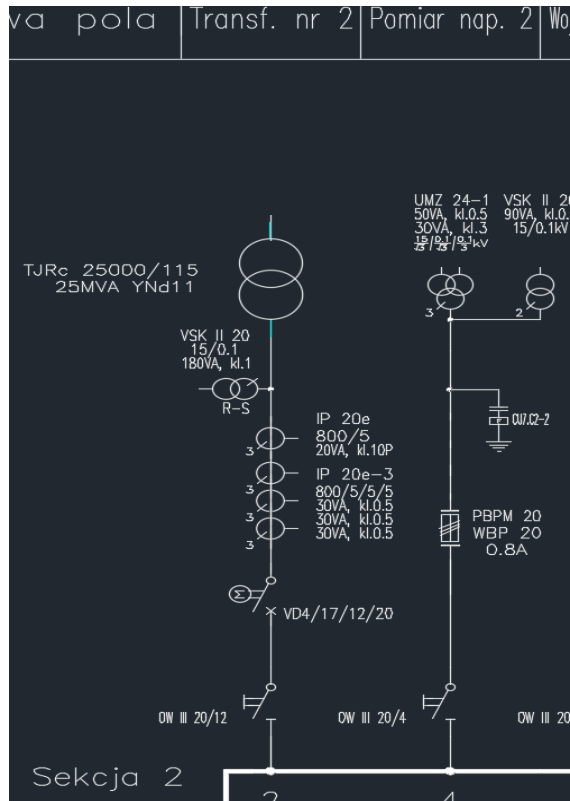


W sieci SN nie występują zdublowane układy pomiarowe, przykład pokazano więc na transformatorze WN/Sn z pomiarem obustronnym,

Łącznik szynowy w układzie WN jest otwarty wobec czego liczniki mierzą różnicę energii na transformatorze

Łącznik szynowy był otwarty przez 56 h.

Przepływy – obliczanie strat na podstawie profili prądów, obliczenia na przykładzie GPZ



Pomiar energii na wyjściu transformatora jest w „rozciągniętym” obwodzie:

- przekładniki prądowe są podłączone na odejściach TR2,
- pomiar napięcia jest za bezpiecznikiem z szyn SN.
- Dodatkowo transformator jest obciążony przekładnikiem VSK II 20

Pomiar energii na zasilaniu transformatora jest założony przed układem szyn 110 kV

Przepływy – obliczanie strat na podstawie profili prądów, obliczenia na przykładzie GPZ

Parametry transformatora

TR 2	TjRC25000/115
Moc	25/25 [MVA]
Napięcie	115 +/- 10 %/16,5 [kV]
Prąd	125,5/874,8 [A]
Grupa połączeń	YNd11
Napięcie zwarcia	10,9 %
Straty jałowe	10,949 [kW]
Straty obc. GN-DN	118,8 [kW]
Prąd jałowy	6 %

Przepływy – obliczanie strat na podstawie profili prądów, obliczenia na przykładzie GPZ

Do obliczenia strat potrzebne są dwa rodzaje parametrów zastępczych

- Podłużne związane ze stratami obciążeniowymi $R_{Cu} [\Omega]$:

$$R_{Cu} [\Omega] = P_{Cu} [kW] U_{n1}^2 [kV] / (1000 S_n^2 [MVA]) = 118 [kW] 115^2 [kV] / (1000 * 25^2 [MVA]) = 2,49 [\Omega]$$

- Poprzeczne związane ze stratami napięciowymi $R_{Fe} [\Omega]$:

$$R_{Fe} [\Omega] = 10^3 U_{n1}^2 [kV] / P_o [kW] = 10^3 115^2 [kV] / 10,9 [kW] = 1\,213\,000 [\Omega]$$

Energię strat jałowych można też policzyć w sposób uproszczony ryczałtowy bo są podane wprost straty jałowe (nie uwzględnia się wtedy wpływu napięcia i jego zmian i zaników):

$$E_{strat\ U} = 56 [h] * 10,94 [kW] = 612 [kWh]$$

Przepływy – obliczanie strat na podstawie profili prądów, obliczenia na przykładzie GPZ

Obliczenie strat można wyznaczyć na podstawie 15 min. profili prądów i napięć w czasie otwarcia łącznika szynowego (okres 56 h). Częstkowe wyniki trzeba zsumować. Łączne straty wynoszą:
 $154,89 + 657,60 = 812,49$ [kWh]

Czas zatrzaśnięcia	I1	I2	I3	prąd średni	prąd pierwotny	straty	U1	U2	U3	napięcie uśrednione	wysokie napięcie	straty	
czas	1-0:31.7.0*255 N	1-0:51.7.0*255 N	1-0:71.7.0*255 N	A	A	kWh	1-0:32.7.0*255 N	1-0:52.7.0*255 N	1-0:72.7.0*255 N	V	V	kWh	
95	2022-08-05 23:30:00	0,28000	0,28000	0,28000	0,28	33,6	2,11	61,45000	61,62000	61,40000	61	67639	2,83
96	2022-08-05 23:45:00	0,28000	0,28000	0,27000	0,28	33,2	2,06	61,55000	61,72000	61,50000	62	67749	2,84
97	2022-08-06 00:00:00	0,26000	0,26000	0,26000	0,26	31,2	1,82	61,58000	61,75000	61,54000	62	67786	2,84
98	2022-08-06 00:15:00	0,26000	0,26000	0,26000	0,26	31,2	1,82	61,63000	61,75000	61,58000	62	67819	2,84
99	2022-08-06 00:30:00	0,27000	0,27000	0,26000	0,27	32	1,91	61,72000	61,84000	61,68000	62	67921	2,85
100	2022-08-06 00:45:00	0,27000	0,27000	0,26000	0,27	32	1,91	61,71000	61,83000	61,67000	62	67910	2,85
101	2022-08-06 01:00:00	0,26000	0,26000	0,26000	0,26	31,2	1,82	61,69000	61,81000	61,65000	62	67888	2,85
102	2022-08-06 01:15:00	0,27000	0,27000	0,26000	0,27	32	1,91	61,71000	61,83000	61,67000	62	67910	2,85
103	2022-08-06 01:30:00	0,25000	0,25000	0,25000	0,25	30	1,68	61,79000	61,91000	61,75000	62	67998	2,86
104	2022-08-06 01:45:00	0,24000	0,24000	0,24000	0,24	28,8	1,55	61,90000	62,02000	61,86000	62	68119	2,87
105	2022-08-06 02:00:00	0,24000	0,24000	0,24000	0,24	28,8	1,55	61,98000	62,10000	61,94000	62	68207	2,88
106	2022-08-06 02:15:00	0,24000	0,24000	0,24000	0,24	28,8	1,55	62,00000	62,12000	61,95000	62	68226	2,88
251	2022-08-07 14:30:00	0,04000	0,04000	0,04000	0,04	4,8	0,04	62,39000	62,56000	62,29000	62	68655	2,91
252	2022-08-07 14:45:00	0,03000	0,02000	0,02000	0,02	2,8	0,01	62,45000	62,63000	62,35000	62	68724	2,92

154,89

657,60

Przepływy wsteczne – wyznaczenie strat na podstawie pomiarów energii za pomocą liczników

41_XXXX_GPZ_XXX_ZACHOD_L110_XXX_01_POD (mnożna 132000)

2022-08-05 23:00:00	A+ 3 693,11820 kWh	
2022-08-08 07:45:00	A+ 3 694,68510 kWh	
Różnica stanu liczydła:	1,56690 kWh	czas 56,75 h
Energia strona WN:	A+ 206 830,8 kWh	

41_XXXX_GPZ_XXX_ZACHOD_TR2_01_POD (mnożna 24000)

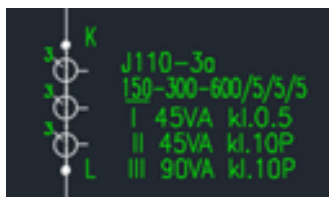
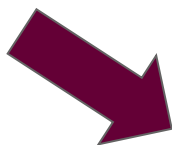
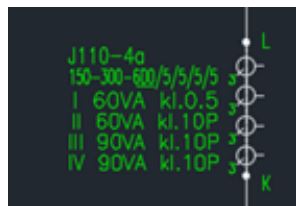
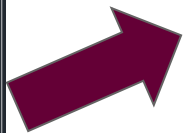
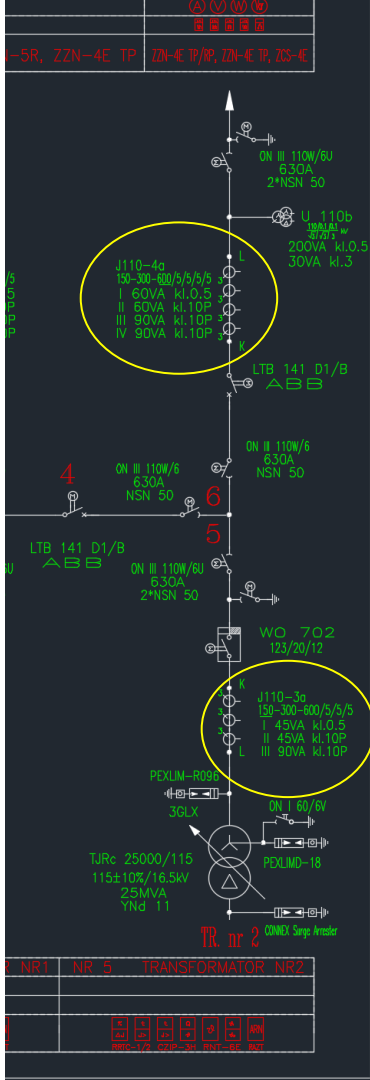
2022-08-05 23:00:00	A+ 6 662,84480 kWh	
2022-08-08 07:45:00	A+ 6 671,38840 kWh	
Różnica stanu liczydła:	8,54360 kWh	czas 56,75 h
Energia strona WN:	A+ 205 046,4 kWh	

Strata energii na obwodzie transformatora TR2 = 1 784 kWh moc średnia 31,4 kW

Przepływy wsteczne – wyznaczenie strat na podstawie pomiarów energii za pomocą liczników

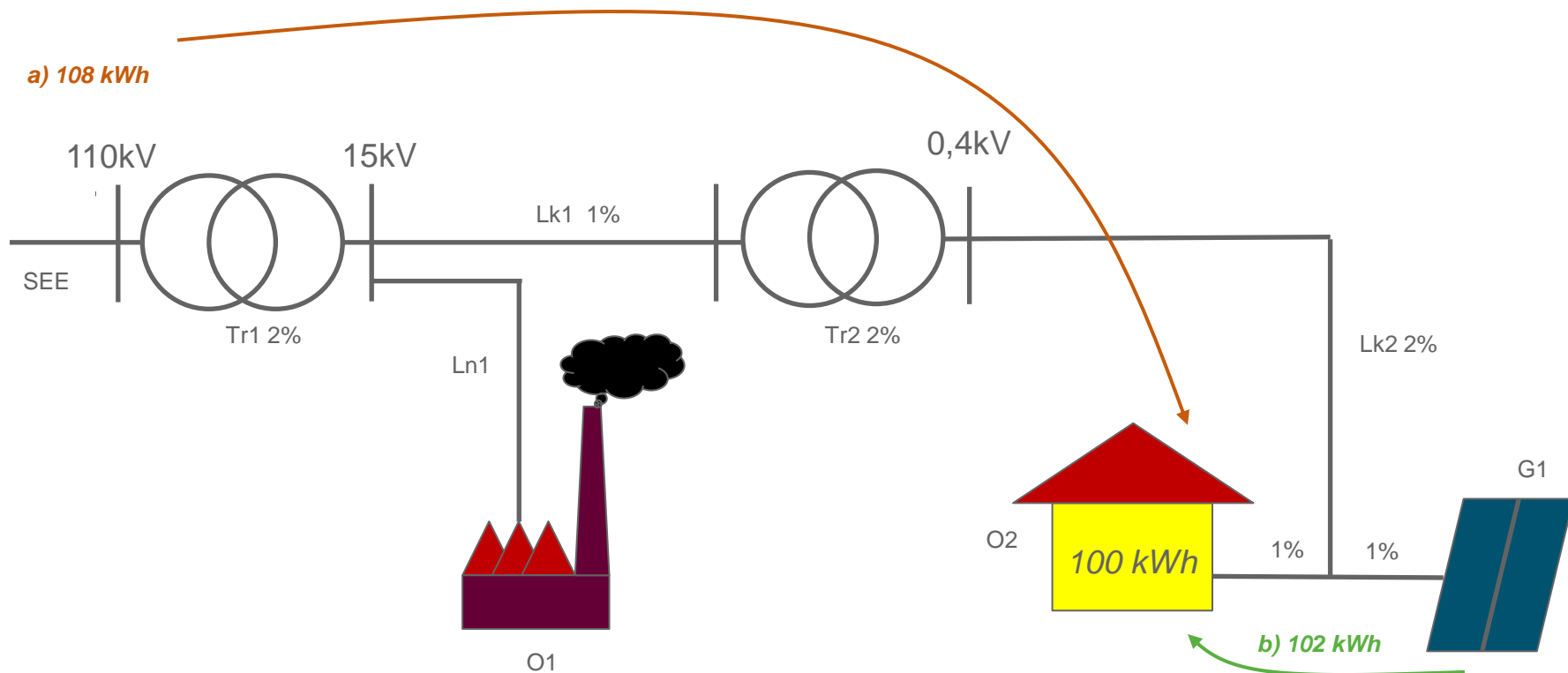
- Straty pomierzone dla TR2 wynosiły: 1784 kWh,
- Straty wyznaczone z profili U, I dostępnych z liczników wynosiły: 812,49 kWh,
- Różnica wynosi 971 kWh, co w okresie pomiarowym daje łącznie 17,3 kW (5,78 kW na fazę) mocy strat w obwodzie transformatora,
- Straty 5,78 kW rozkładają się na urządzenia liniowe: wyłączniki, odłączniki, szyny, ulot WN, odgromniki, pobór własny przez układy pomiarowe i obwody za pomiarem oraz na błędy pomiarowe itp.,
- Straty cząstkowe obciążeniowe wynoszą $E_I [\text{kWh}] = (0,25 I^2 R) / 1000$
- Straty cząstkowe jałowe wynoszą $E_U [\text{kWh}] = (0,25 U^2 / R_{Fe}) / 1000$

Przeptywy – pomiary energii



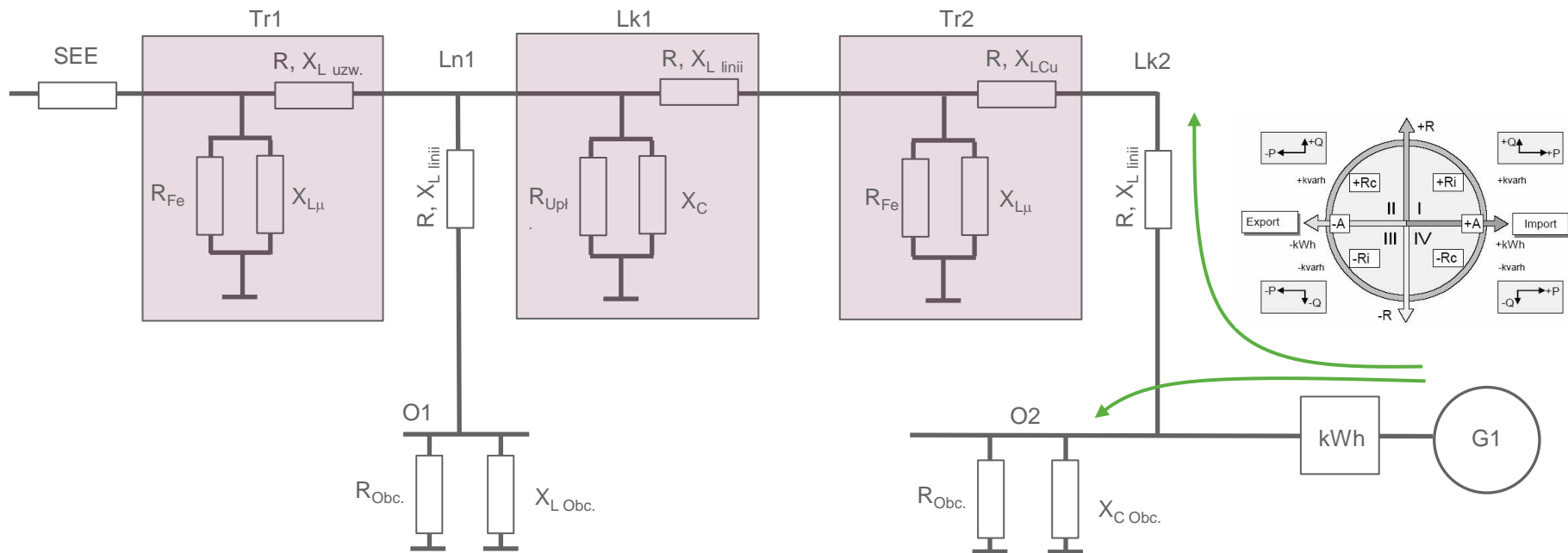
Widok obwodu transformatora. Pomiar energii na linii 110 kV wykonywany jest przekładnikiem J110-4a (600/5) zwraca uwagę kierunek zacisków L-K. Od strony SN jest K-L, wynika to z przenikania się dwóch technik: zabezpieczeniowej (priorytetowa) i pomiarowej, w zabezpieczeniowej występuje konwencja przepływu energii do szyn, a w pomiarowej do transformatora. Jednakże pomiar w liczniku jest zapisywany właściwie do rejestru 1.8.0.

Przepływy odwrotne – energia czynna



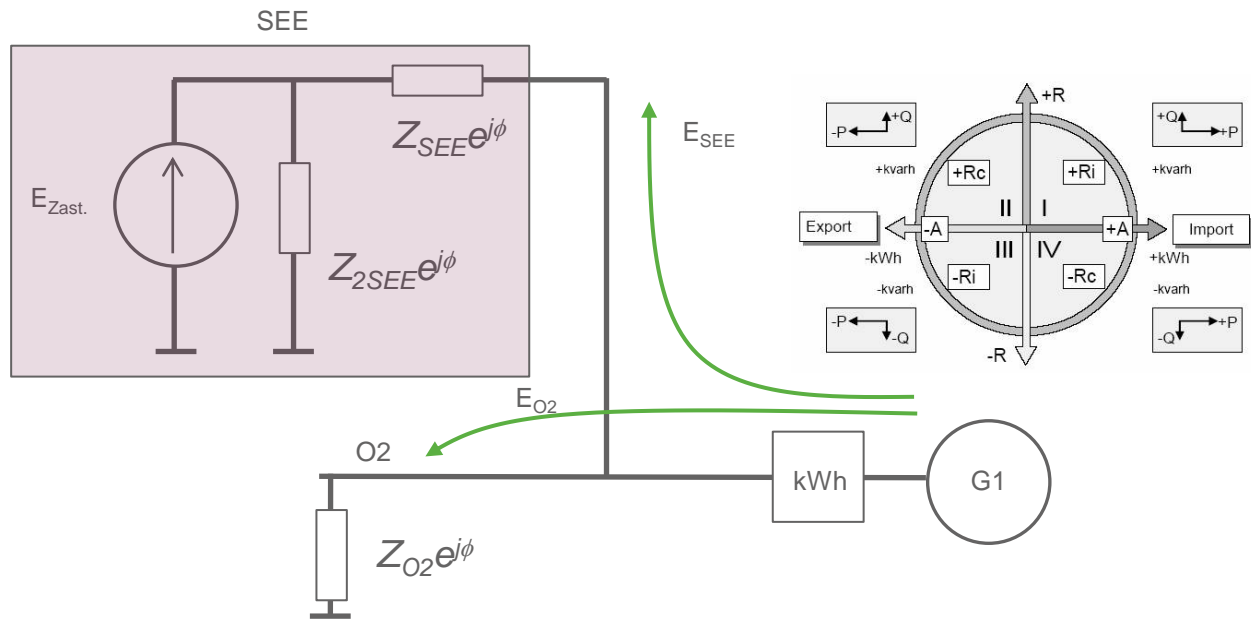
Przepływy odwrotne odciążają poziom sieci 110 kV i GPZ-ty, zmniejszając zapotrzebowanie energii od strony OSP,

Przepływy odwrotne – energia bierna



Źródło G1 obciążone jest sąsiednim odbiorcą O2 oraz siecią OSD, Energia czynna jest sumą obu poborów zaś energia bierna jest wynikiem wypadkowego charakteru odbiorcy O2 i stanu sieci OSD. Licznik może wskazywać kwadrant II i III.

Przepływy odwrotne – energia bierna



Aby wymusić przepływ energii ze źródła G1 do O2 należy wymusić napięcie wyższe niż napięcie sieci (w punkcie przyłączenia G1 do sieci). Wartości i charakter energii zależą od udziałów i charakteru impedancji SEE i O2

Przepływy odwrotne - wnioski

- W przypadku obliczenia przepływów odwrotnych, mając profile prądów i napięć ze strony wtórnej transformatora postępowanie jest analogiczne do przedstawionego w prezentacji. Straty na stronie WN (SN) są pomniejszone o zjawiska wewnętrzne w transformatorze, których reprezentacją są obwodowe parametry zastępcze. Znając zastępcze rezystancje można tak samo z profili U, I wyznaczyć energie cząstkowe i odjąć od energii wprowadzonej do systemu (rejestr 2.8.0). Przedstawione obliczenia pokrywają się z rzeczywistym układem pomiarowym,
- W stacji SN głównym źródłem strat jest transformator, w stacji WN 110 kV oprócz transformatora źródłem strat jest obwód zasilania,
- Energia strat jest niezależna od kierunku przepływu prądu, jest ona w takiej samej wielkości bo zależy od parametrów fizycznych obwodu,
- Pomiary energii elementów sieciowych należy wykonywać poprzez łączną analizę dwóch systemów SCADA i Bazy Pomiarów. Osobne podejście jest niewłaściwe z uwagi na inne cechy tych systemów, SCADA nie posiada dokładnych danych pomiarowych, ale ma pomiary w czasie rzeczywistym potrzebnym do utrzymania ruchu i pokazuje stan sieci i przepływów, zaś CBP posiada dokładne dane, jednak z opóźnieniem 15 min. i nie ma informacji o stanie sieci,
- Przepływy odwrotne będą występowały coraz częściej z uwagi na zmiany cywilizacyjne i dwukierunkowy przepływ energii od prosumentów. Są korzystne gdyż odciążają poziom sieci 110 kV i GPZ-ty, zmniejszając zapotrzebowanie energii od strony OSP,

Przepływy odwrotne - wnioski

- Konsekwencją zmian cywilizacyjnych (samowystarczalność energetyczna, powstawanie klastrów, spółdzielni) dostępnością rozwiązań mikroźródeł i magazynowania en. (związanych z kolei z rozwojem elektroniki i technologii akumulatorów), będzie zmiana charakteru firm OSD – przestaną one dystrybuować energię, a będą spełniać rolę usługi sieciowej: zadawanie napięcia i częstotliwości, oraz odbudowy SEE. Po stronie OSD pozostanie zadanie utrzymania sieci najpewniej 110 kV. W związku z tym potrzebne będzie zbudowanie od nowa systemu rozliczeń taryfowych. OSD nie będzie utrzymywał się z opłat przesyłowych, które przy spadku wolumenu energii przesyłanej przez system OSD będą niewystarczające.
- Wytworzona energia ze źródeł rozproszonych powinna być akumulowana w rozproszonych magazynach, w przeciwnym wypadku będzie przepływać do punktu odbioru przez obwody SN.
- Aby utrzymać odpowiednie poziomy napięć zgodne z rozporządzeniem, potrzebna jest sieć sztywna o małej impedancji. Generacja rozproszona wymusza inwestycje w sieć dystrybucyjną: zwiększenie przekrojów przewodów, zwiększenie mocy transformatorów. W takim wypadku generacji rozproszonej występują oszczędności kopalnych surowców energetycznych, ale z drugiej strony występuje zwiększone zapotrzebowanie na miedź, i surowce do budowy wzmocnionych linii,

Dziękuję

dr inż. Borys Semenowicz

ENERGA-Operator SA



Energa
operator