

Ograniczanie wzrostu napięcia spowodowanego intensywnym rozwojem mikroinstalacji w sieci nn



**Rozmieszczanie regulatorów napięcia
w sieciach nn z mikroinstalacjami**

**Profesor Zbigniew Krzemiński
MMB Drives sp. z o.o.**

Narastający problem zwiększania napięcia w sieciach nN związany ze wzrostem generacji z OZE

Problemy generowane przez podłączanie mikroinstalacji do sieci nN:

- przepływ energii od odbiorów do transformatora,
- czasowe zwiększanie napięcia w sieci nn,
- znaczne zwiększanie przesyłanej mocy w porównaniu z mocą projektowaną dla pracy bez generacji.

Wyzwania:

- modernizacja w celu zwiększenia przepustowości sieci dystrybucyjnej.

Koncepcje rozbudowy sieci dystrybucyjnych:

- wymiana transformatorów SN/nN – zwiększanie mocy,
- zwiększanie przekrojów przewodów,
- instalowanie nowych transformatorów,
- instalowanie urządzeń regulacyjnych.

Dwa ograniczenia projektowe w sieciach nN

1. Dopuszczalna obciążalność prądowa przewodów i transformatorów

Działanie standardowe

- zwiększanie przekrojów przewodów
- zwiększanie mocy transformatorów

Działanie regulacyjne

→ **Symetryzacja prądów w przewodach fazowych**

2. Dopuszczalne spadki napięcia na przewodach linii

Działanie standardowe

- zwiększanie przekrojów przewodów
- zwiększanie mocy transformatorów

Działanie regulacyjne

→ **Regulacja napięć fazowych**



Składowe symetryczne prądów i napięć - podstawowe pojęcie w elektroenergetyce

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_0 \\ \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{U}_{L1} \\ \underline{U}_{L2} \\ \underline{U}_{L3} \end{bmatrix}$$

$\underline{U}_{L1}, \underline{U}_{L2}, \underline{U}_{L3}$ – napięcia fazowe

$\underline{U}_0, \underline{U}_1, \underline{U}_2$ – składowe symetryczne

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

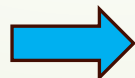
$$\begin{bmatrix} \underline{U}_{L1} \\ \underline{U}_{L2} \\ \underline{U}_{L3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{U}_{L1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$



$$\begin{bmatrix} \underline{U}_0 \\ \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} \underline{U}_{L1} \\ \underline{U}_{L1} \\ \underline{U}_{L1} \end{bmatrix}$$

Napięcie
jednofazowe

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_{L1} \\ \underline{U}_{L2} \\ \underline{U}_{L3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{U} \\ \underline{U}a^2 \\ \underline{U}a \end{bmatrix}$$



$$\begin{bmatrix} \underline{U}_0 \\ \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3}\underline{U} \\ 0 \end{bmatrix}$$

Napięcie
trójfazowe
symetryczne



Sposoby regulacji napięcia, które nie powinny być stosowane w sieciach nN z generacją rozproszoną

- Dodawanie lub odejmowanie napięcia w fazach za pomocą transformatorów dodawczych
- Regulacja napięć fazowych za pomocą transformatora balansującego połączonego w zygzak
- Generowanie mocy biernej



Regulacja napięcia za pomocą transformatorów dodawczych

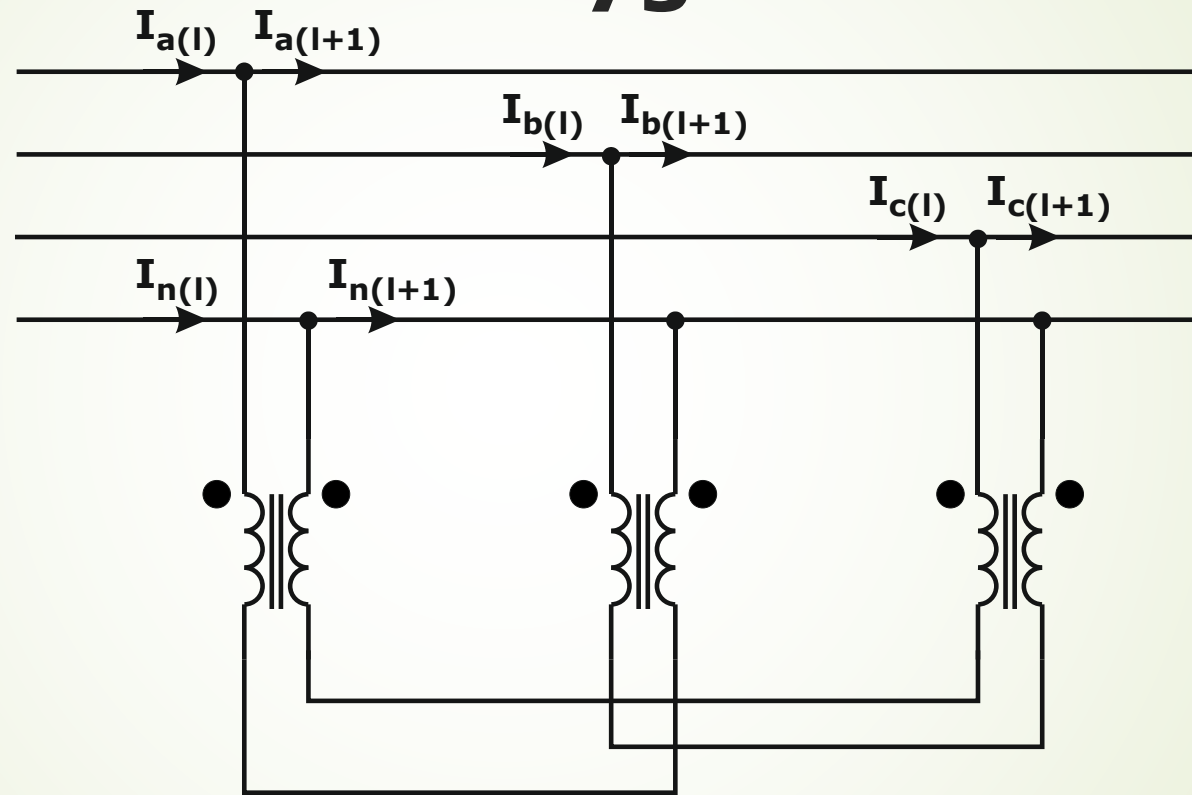
Zalety

- Możliwość niezależnej regulacji amplitudy napięcia w fazach.

Wady

- Mały zakres regulacji napięcia.
- Brak regulacji kątów napięć – dodawana tylko składowa kolejności zgodnej napięcia.
- Wprowadzane zagrożenie porażeniowe
- Wysoki koszt urządzenia.

Symetryzacja prądów w sieciach nn za pomocą transformatora połączonego w zygzak



Rozdziela częściowo składową zerową prądu
równomiernie na trzy fazy i redukuje prąd
w przewodzie neutralnym

Symetryzacja prądów w sieciach nn za pomocą transformatora połączonego w zygzak

Zalety

- Częściowa redukcja prądu w przewodzie neutralnym przy symetrycznych napięciach sieci.

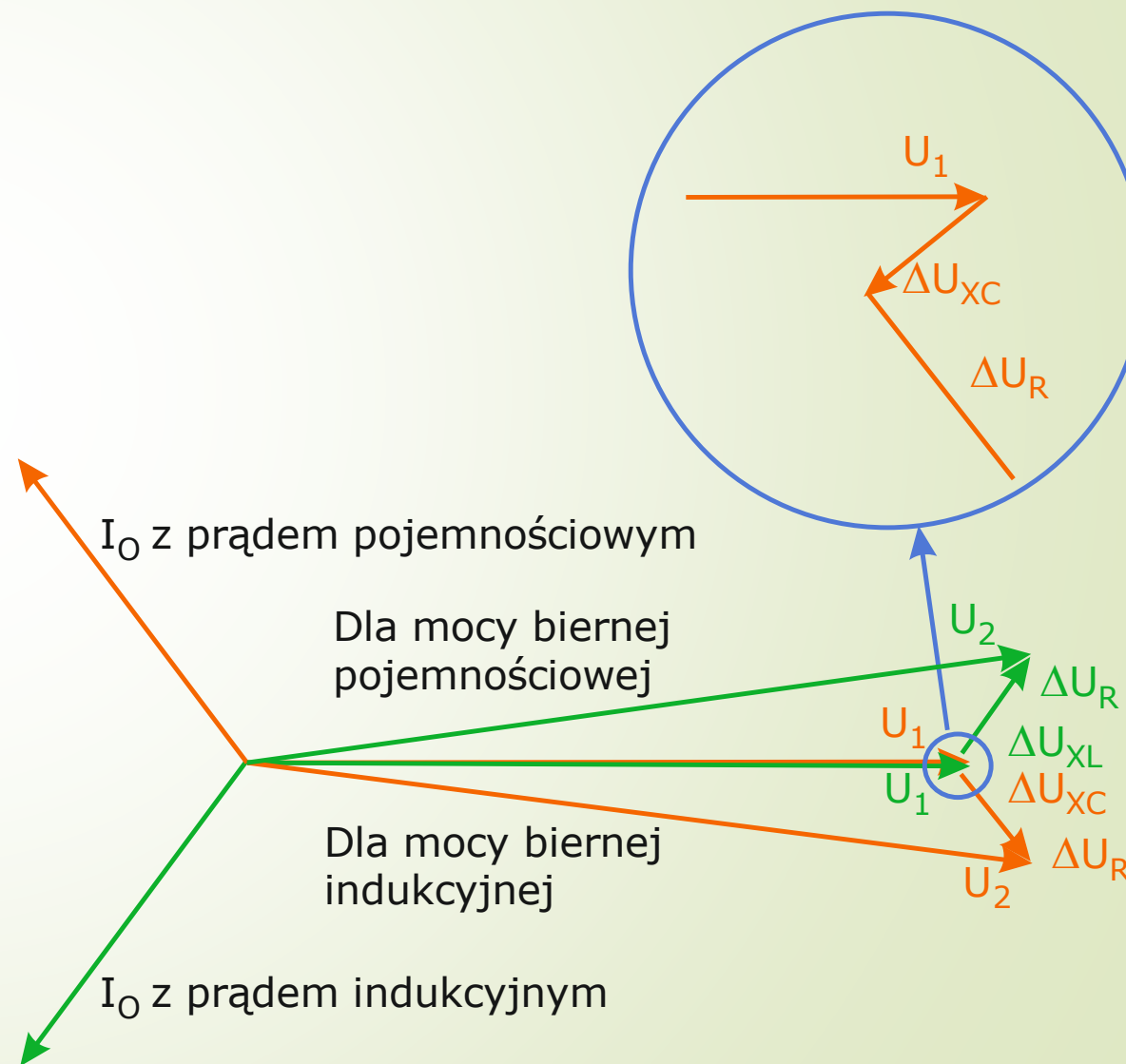
Wady

- Wpływ tylko na składową kolejności zerowej.
- Niesymetria napięć fazowych po stronie sieci powoduje, że po zainstalowaniu transformatora symetryzującego prąd w przewodzie neutralnym po stronie sieci rośnie.
- W fazach pojawia się niesymetryczna moc bierna.

Wpływ generowania mocy biernej na napięcie w sieci nN

Małe spadki napięcia na impedancji X_L – mała wartość X_L/R

Brak znaczącego wpływu na amplitudy napięć fazowych



Warunek symetryzacji prądów → chwilowe magazynowanie energii

Moc w układzie jednofazowym

$$u(t) = U \sin(\omega t) \quad i(t) = I \sin(\omega t)$$

$$p(t) = 0,5UI (1 - \cos(2\omega t))$$

**Moc w jednej fazie pulsuje
z częstotliwością 100 Hz**

Moc w symetrycznym układzie trójfazowym
z napięciami i prądami kolejności zgodnej

$$p(t) = UI \left(\sin^2(\omega t) + \sin^2(\omega t - 120^\circ) + \sin^2(\omega t - 240^\circ) \right)$$

$$p(t) = 1,5UI$$

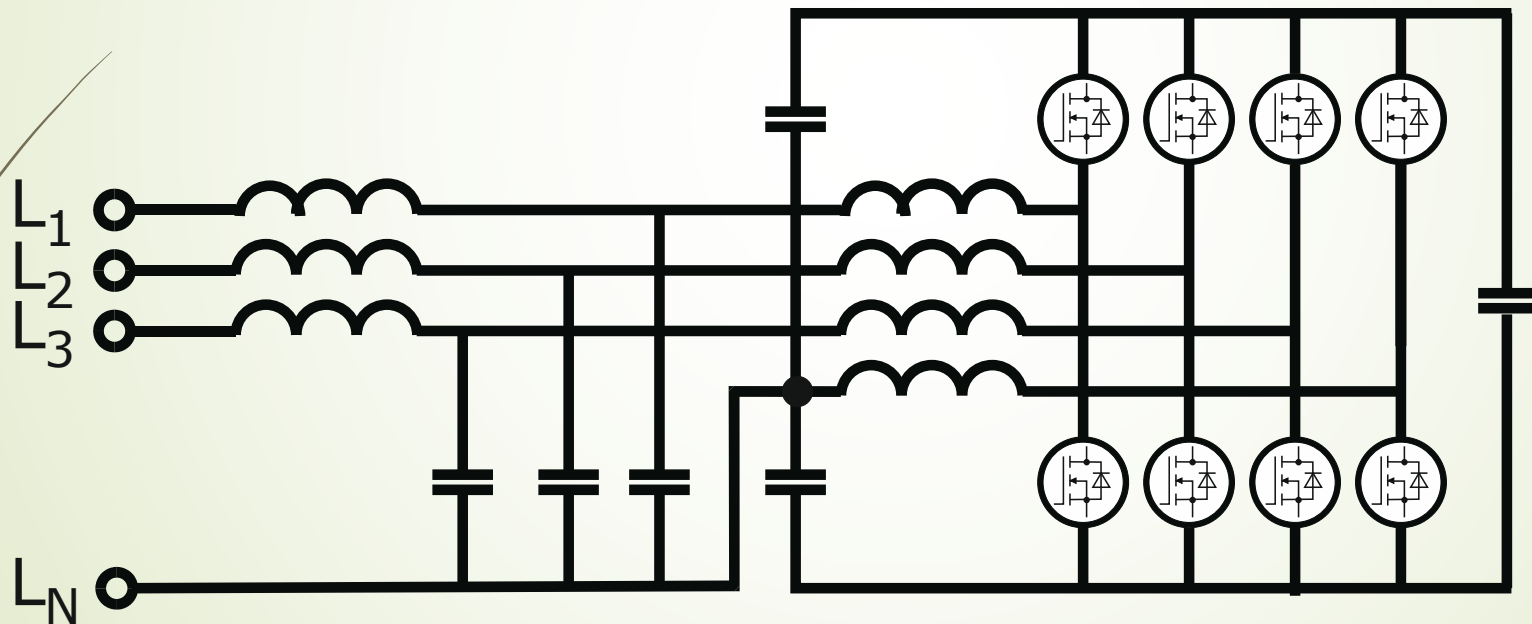
**Suma mocy w trzech fazach
jest stała**



Warunek symetryzacji prądów - chwilowe magazynowanie energii

Przetwarzanie mocy układu jedno- lub trójfazowego zawierającego składowe symetryczne kolejności zerowej i przeciwnej na moc symetrycznego układu trójfazowego opiera się na magazynowaniu i oddawaniu energii w czasie połowy jednego okresu sieci.

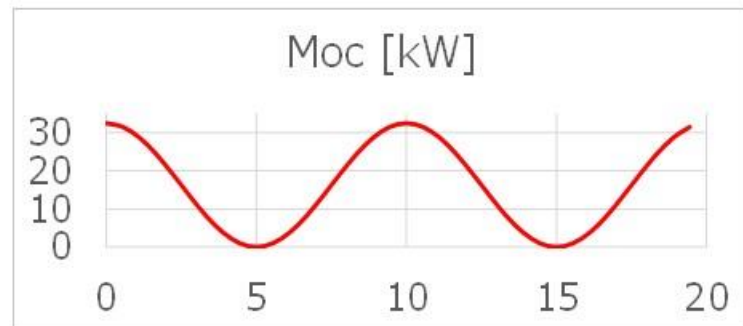
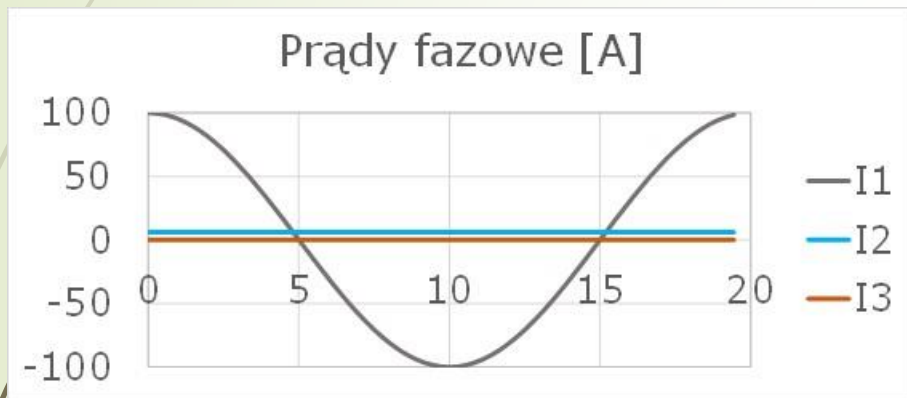
Energoelektroniczny układ do symetryzacji prądów w trójfazowej sieci nN



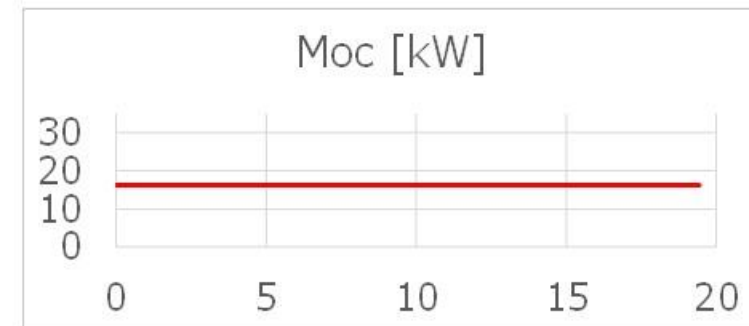
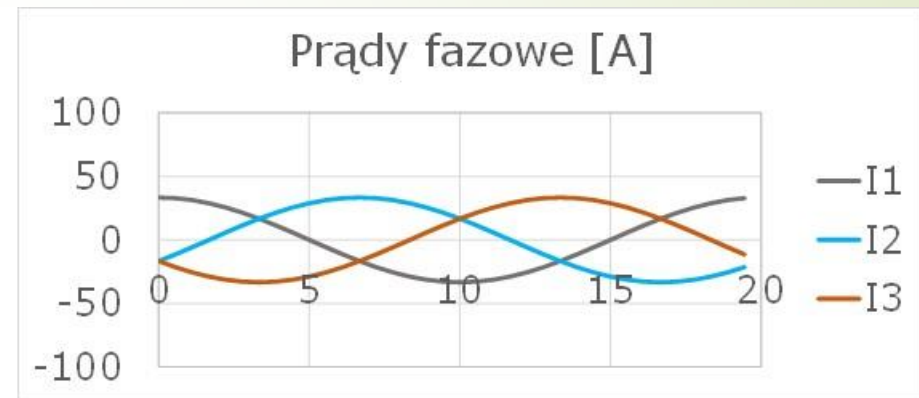
Kondensator
magazynujący
energię

Pełna symetryzacja prądów w trójfazowej sieci nn Obciążenie jednofazowe – 16,3 kW

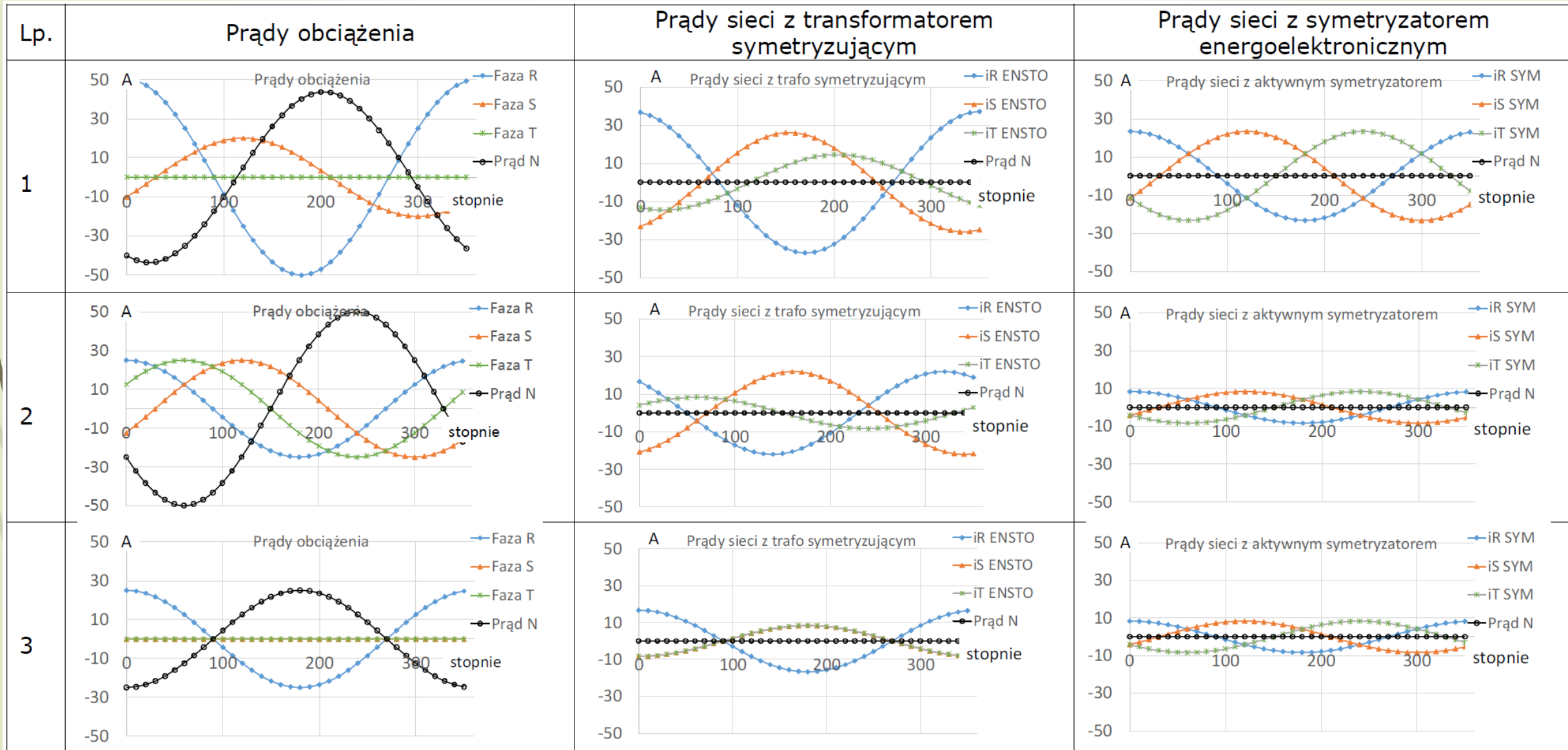
Bez symetryzacji



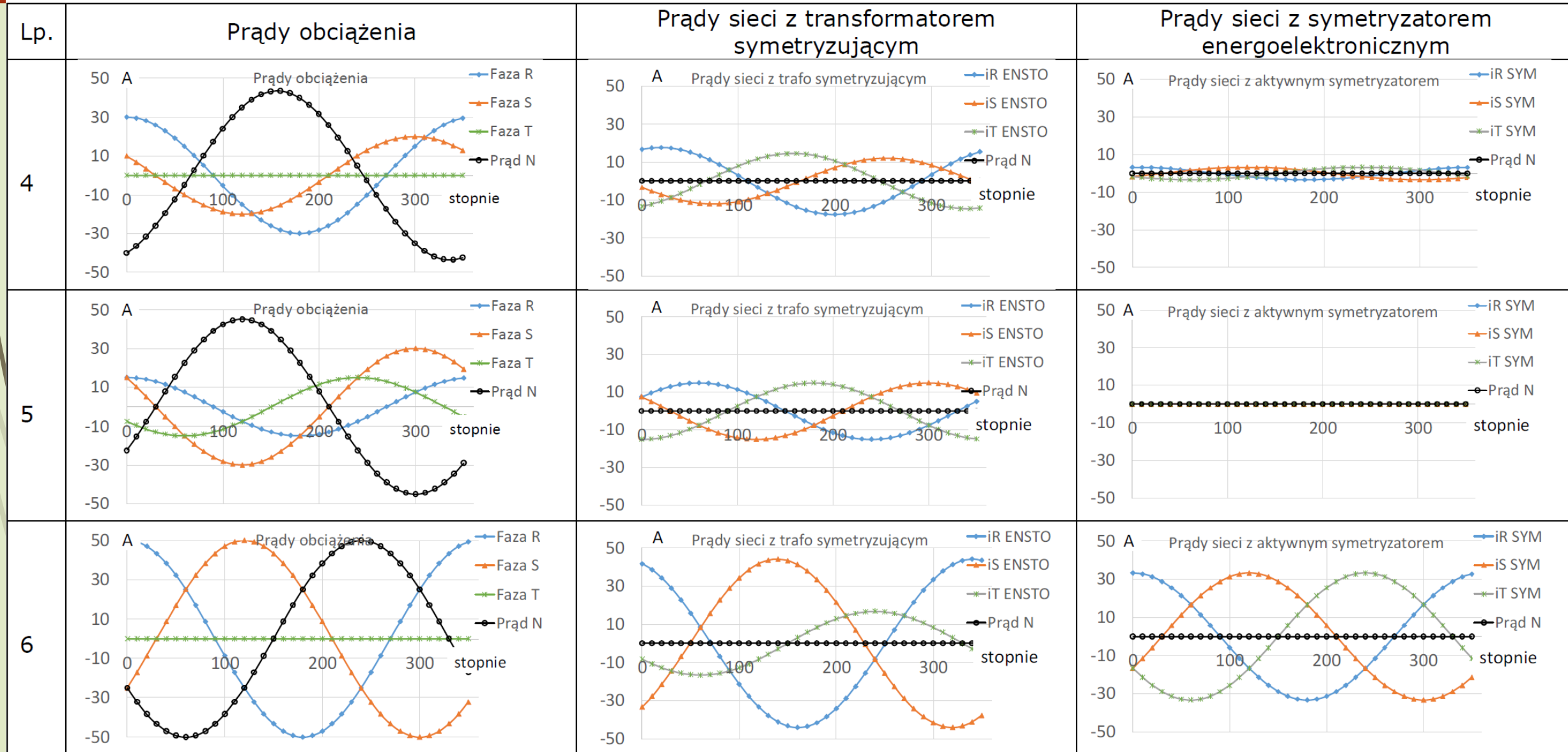
Z symetryzacją



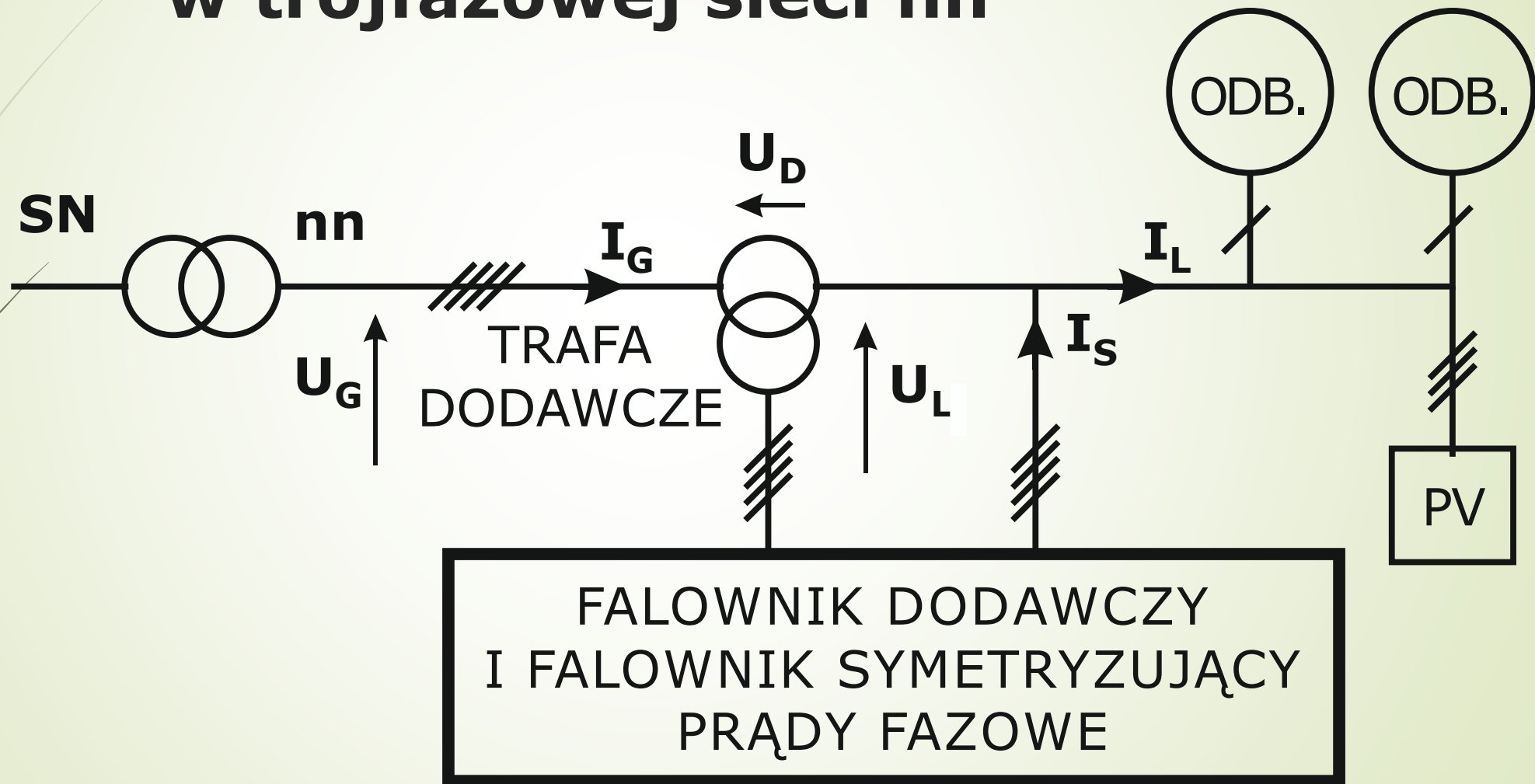
Porównanie działania transformatora symetryzującego z działaniem symetryzatora energoelektronicznego



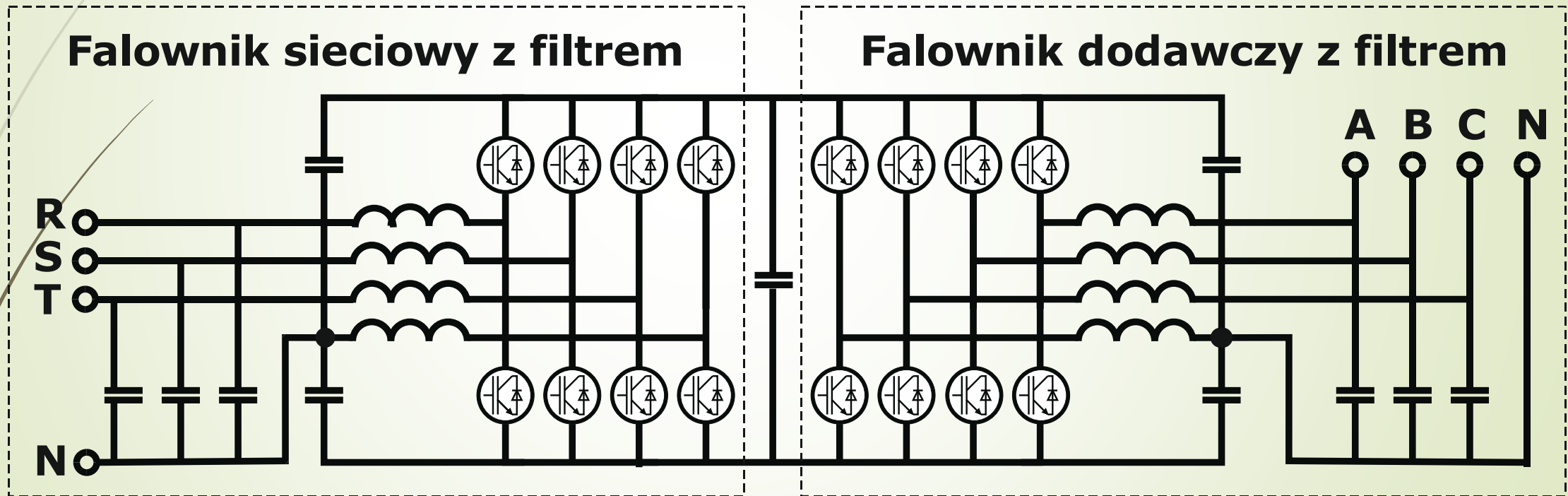
Porównanie działania transformatora symetryzującego z działaniem symetryzatora energoelektronicznego



Regulator napięcia i symetryzator prądów w trójfazowej sieci nn



Schemat falowników regulatora napięcia



Problem

Prądy fazowe [A]	
IR	20
IS	20
IT	-20
IN	40

Niesymetria prądów

Symetria prądów

Prądy fazowe [A]	
IR	-20
IS	-20
IT	-20
IN	0

Niesymetryczne prądy



Problem

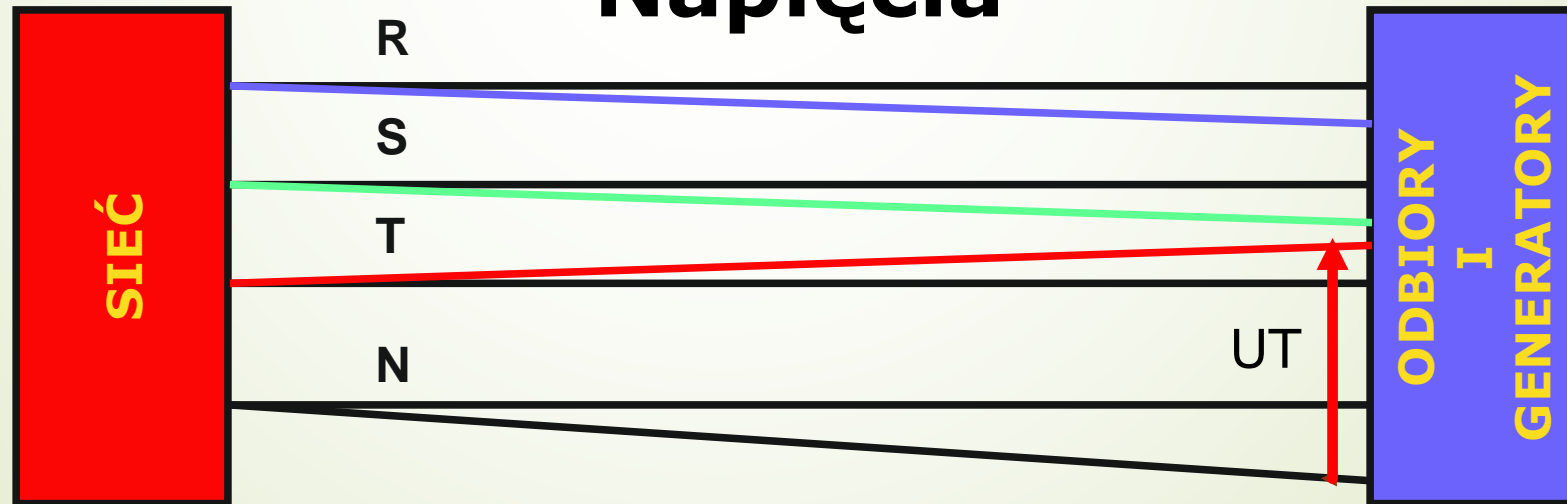
Napięcia fazowe [V]	
UR	213,2
US	213,2
UT	256,0

Niesymetria prądów

Symetria prądów

Napięcia fazowe [V]	
UR	238,7
US	238,7
UT	238,7

Napięcia



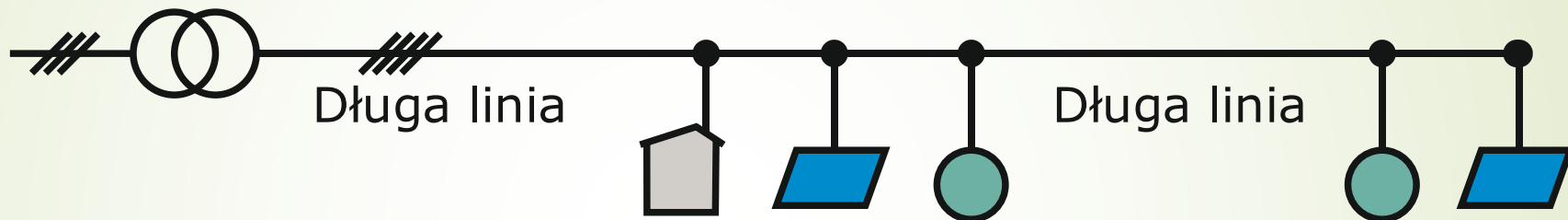


Wybór miejsca zainstalowania regulatora na linii z długimi odcinkami łączącymi odbiory z transformatorem

- Obliczenie prądów w kolejnych odcinkach linii przy uwzględnieniu tylko mocy generatorów.
- Wyznaczenie spadków napięcia na poszczególnych odcinkach linii.
- Wyznaczenie napięć w wybranych punktach linii.
- Ustalenie miejsca zainstalowania regulatora dla zapewnienia dopuszczalnego poziomu napięcia.

Rozmieszczanie regulatorów i symetryzatorów

Regulacja napięcia w funkcji prądu – kompensacja spadków napięcia na drugim odcinku linii





Stabilizacja napięcia za długim odcinkiem linii



 Regulator

 Symetryzator

 Odbiór

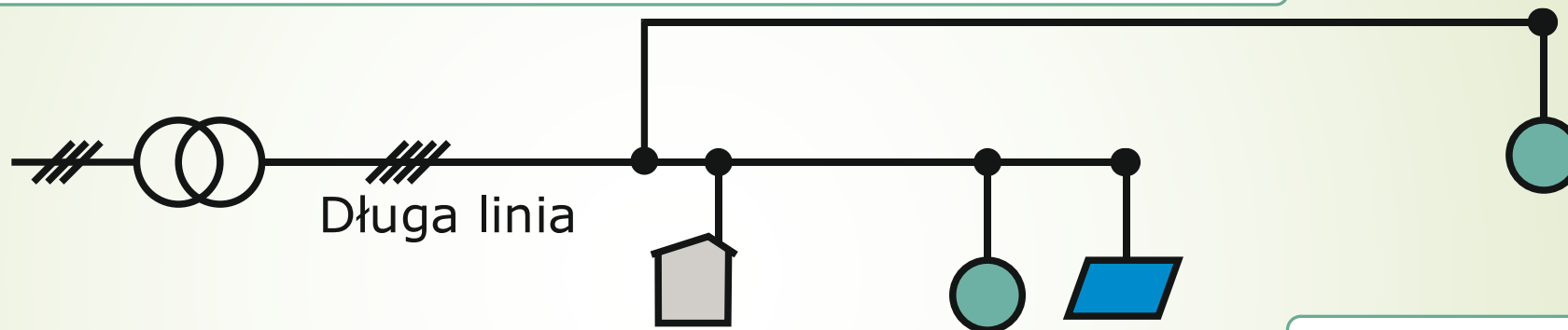
 Generacja

Symetryzacja prądów za długim odcinkiem linii o małym obciążeniu

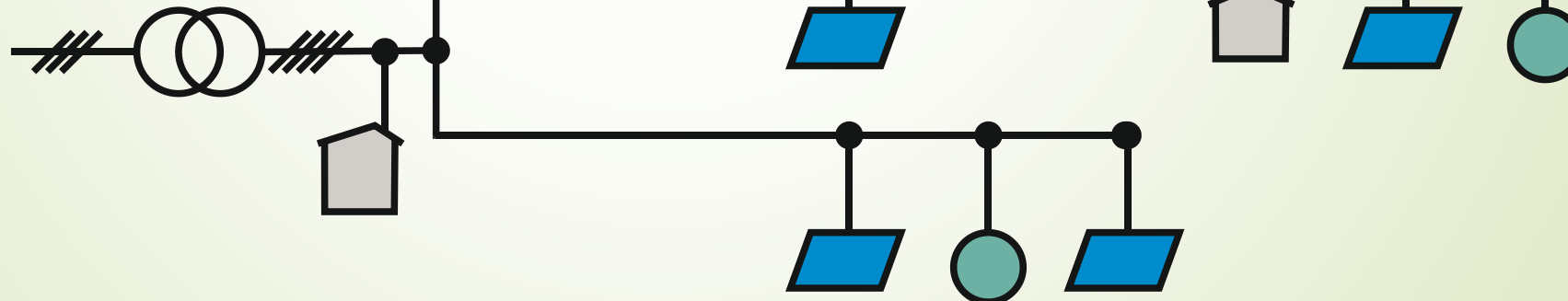


Rozmieszczanie regulatorów i symetryzatorów

Stabilizacja napięcia za długim odcinkiem linii z rozgałęzieniem



Regulacja napięcia przed rozgałęzieniem linii



Symetryzacja prądów

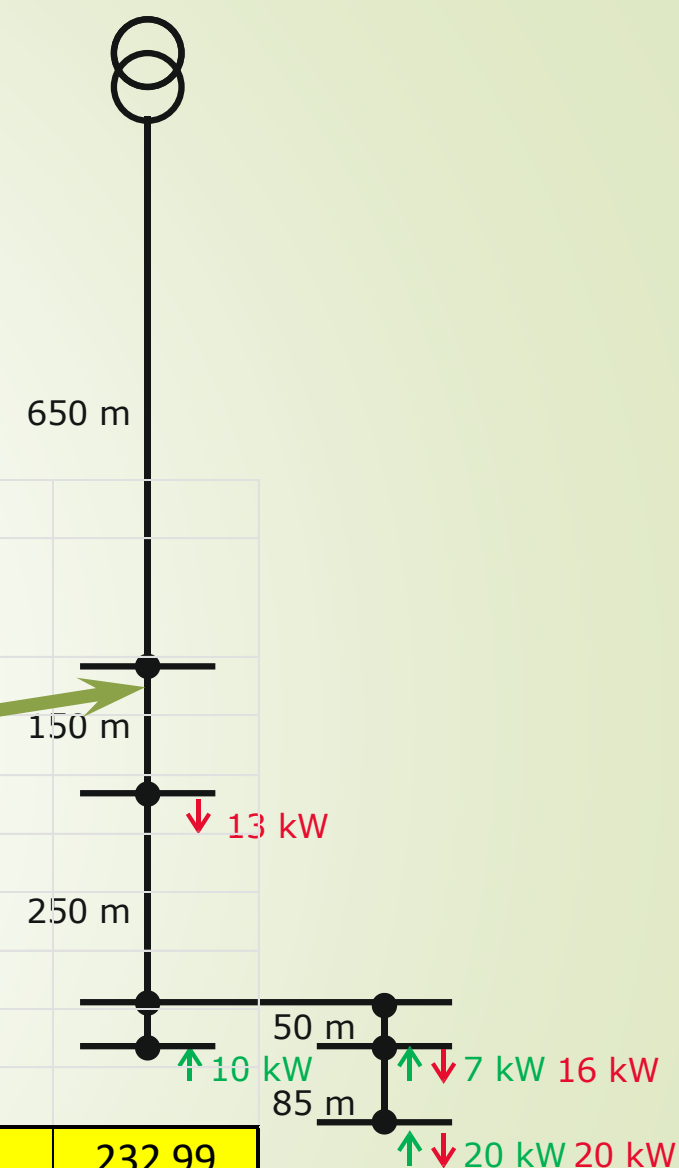
Napięcia na linii z długim odcinkiem po symetryzacji i regulacji - tylko generacja

Moc	Prąd sym.	Suma prądów	Napięcie
Przekrój	Długość	Rezystancja	Spadek napięcia

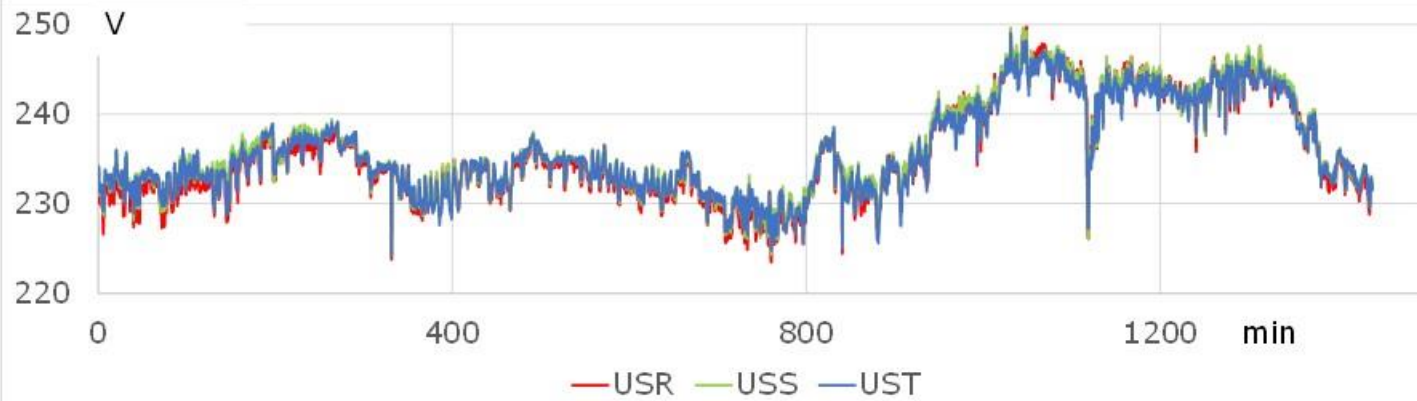
Transformator			230,00	
4X50	650	0,5737	12,43	
Regulator			-20,00	
4x50	150	0,5737	2,87	
Słup	13	19	33	
	4x50	250	0,5737	7,69
		53,6232	232,99	
	4x50	50	0,5737	0,42
Słup	10	14	14	

			232,99
4x50	50	0,5737	1,12
	7	10	39
4x25	85	1,1459	2,82
	20	29	29
			236,94

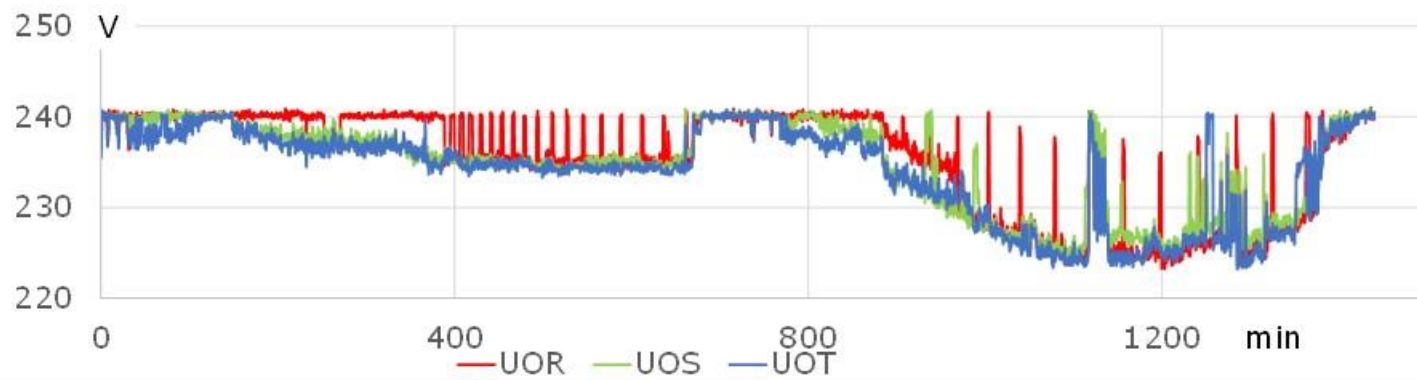
Regulator symetryzator



Działanie regulatora napięcia



Napięcia fazowe przed regulatorem

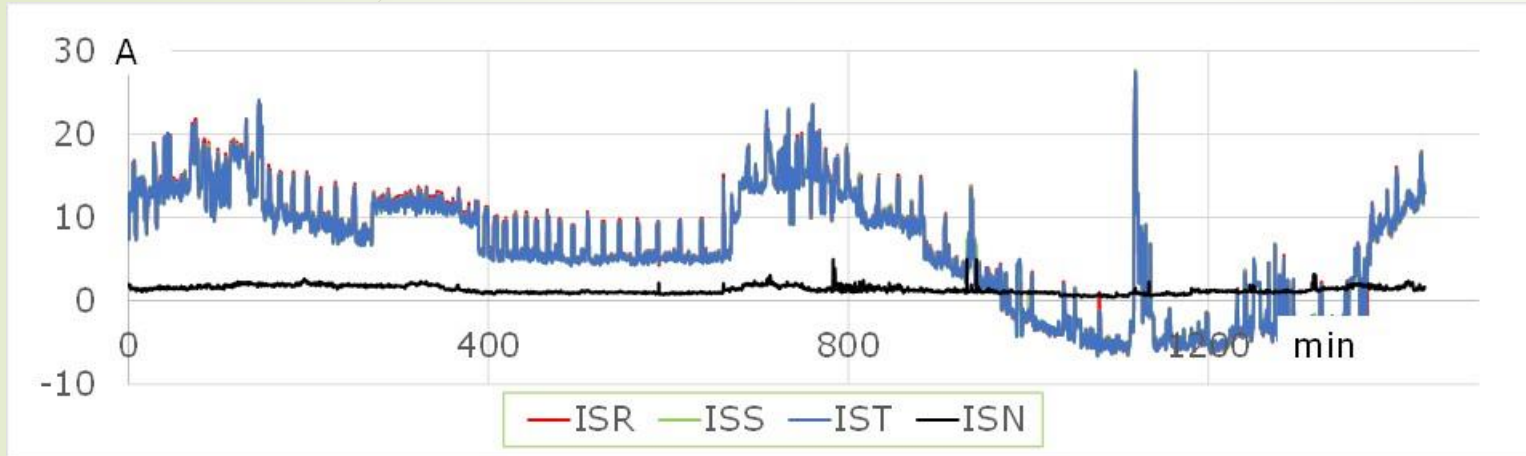


Napięcia fazowe za regulatorem (w funkcji prądu)

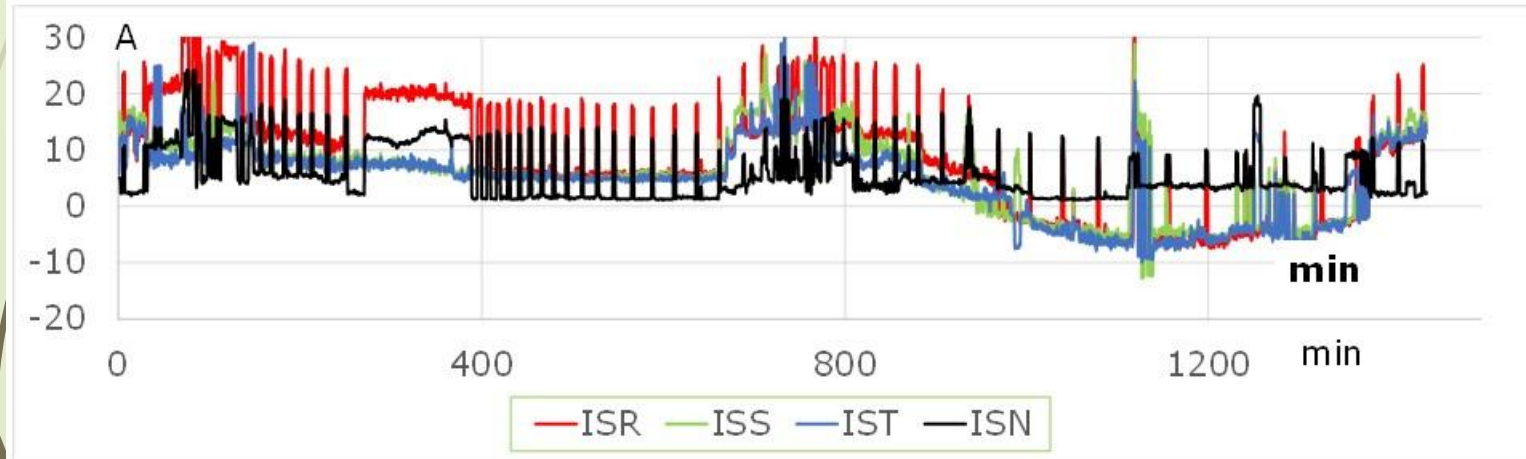


Napięcia fazowe na końcu linii

Działanie symetryzatora prądów



Prądy fazowe po stronie sieci



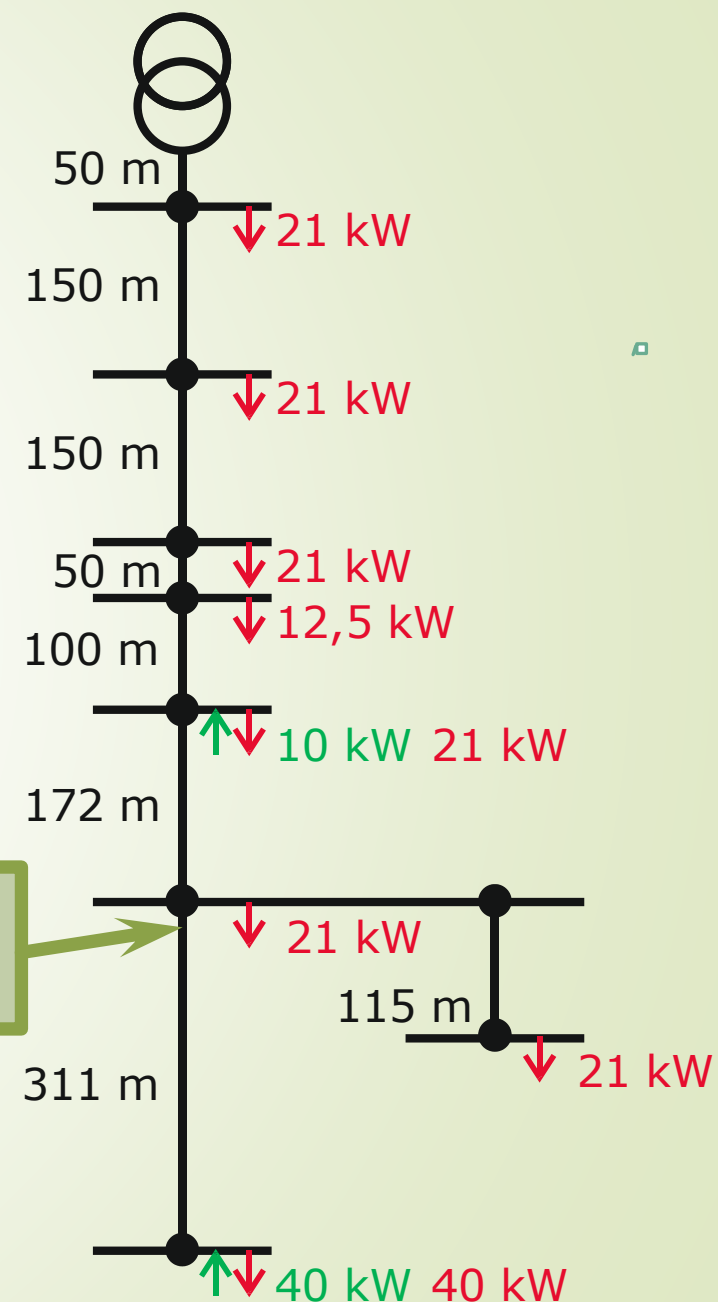
Prądy fazowe po stronie odbiorów

Napięcia na linii z długim odcinkiem po symetryzacji i regulacji - tylko generacja

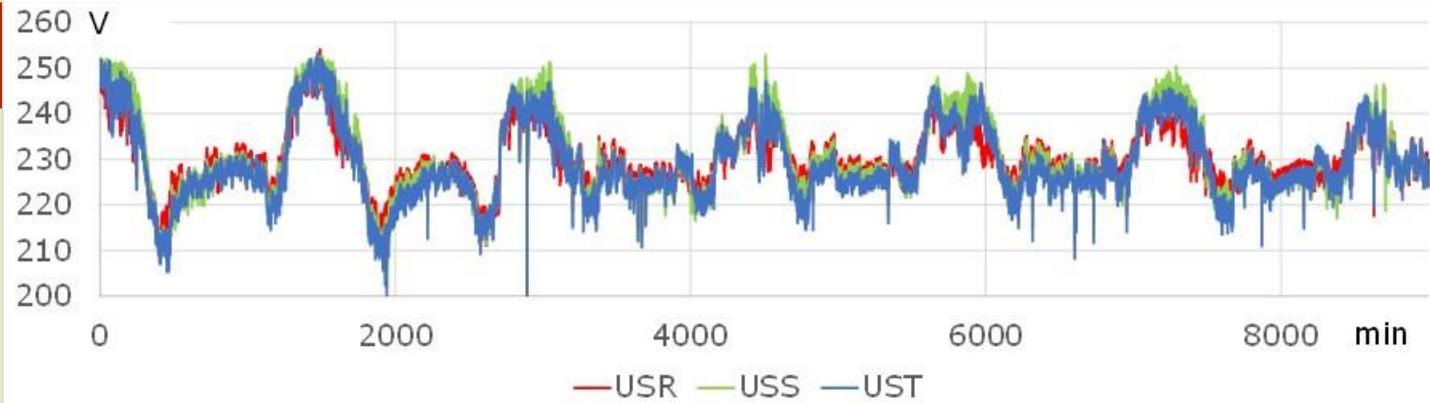
Moc	Prąd sym.	Suma prądów	Napięcie
Przekrój	Długość	Rezystancja	Spadek napięcia

	Transformator			230,00
	4X95	500	0,3033	10,99
Słup I14	10	14	72	240,99
	4x95	172	0,3033	3,03
	Regulator			-15,00
	4x70	277	0,4090	6,57
	4x16	34	1,7772	3,50
Słup ZN 2077399	40	58	58	239,09

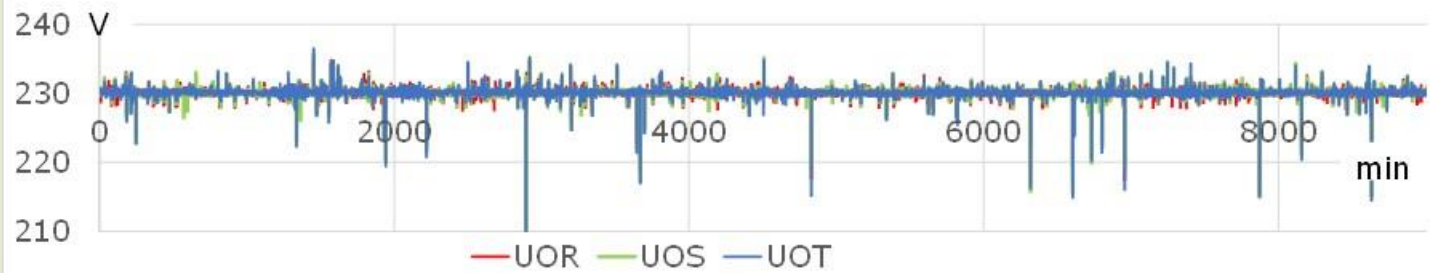
Regulator symetryzator



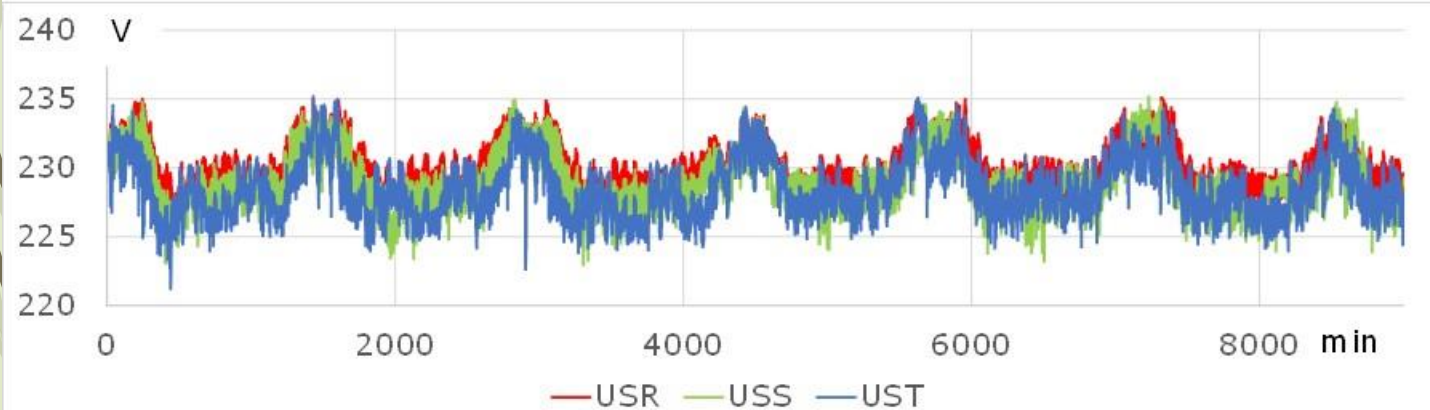
Działanie regulatora napięcia



Napięcia fazowe przed regulatorem

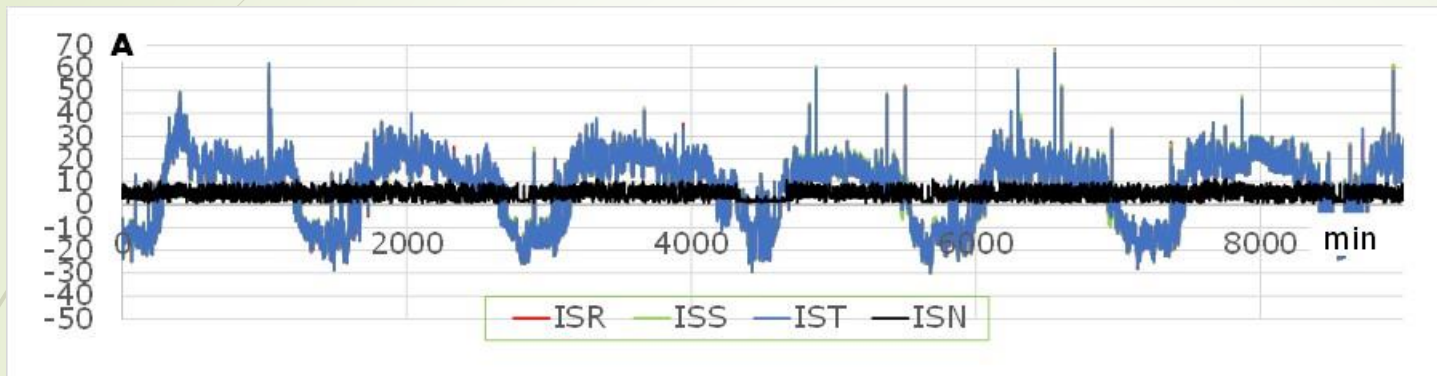


Napięcia fazowe za regulatorem (bez zależności od prądu)

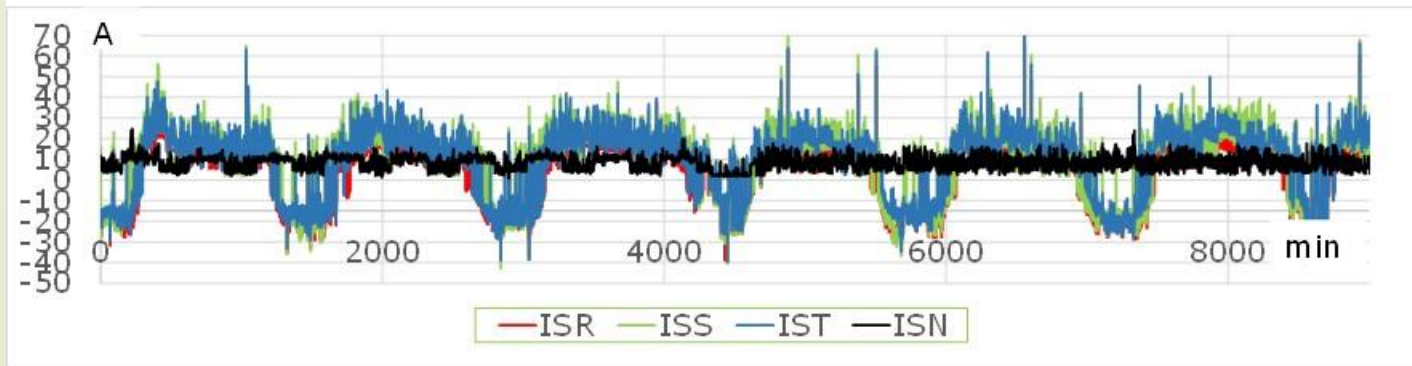


Napięcia fazowe na końcu linii

Działanie symetryzatora prądów



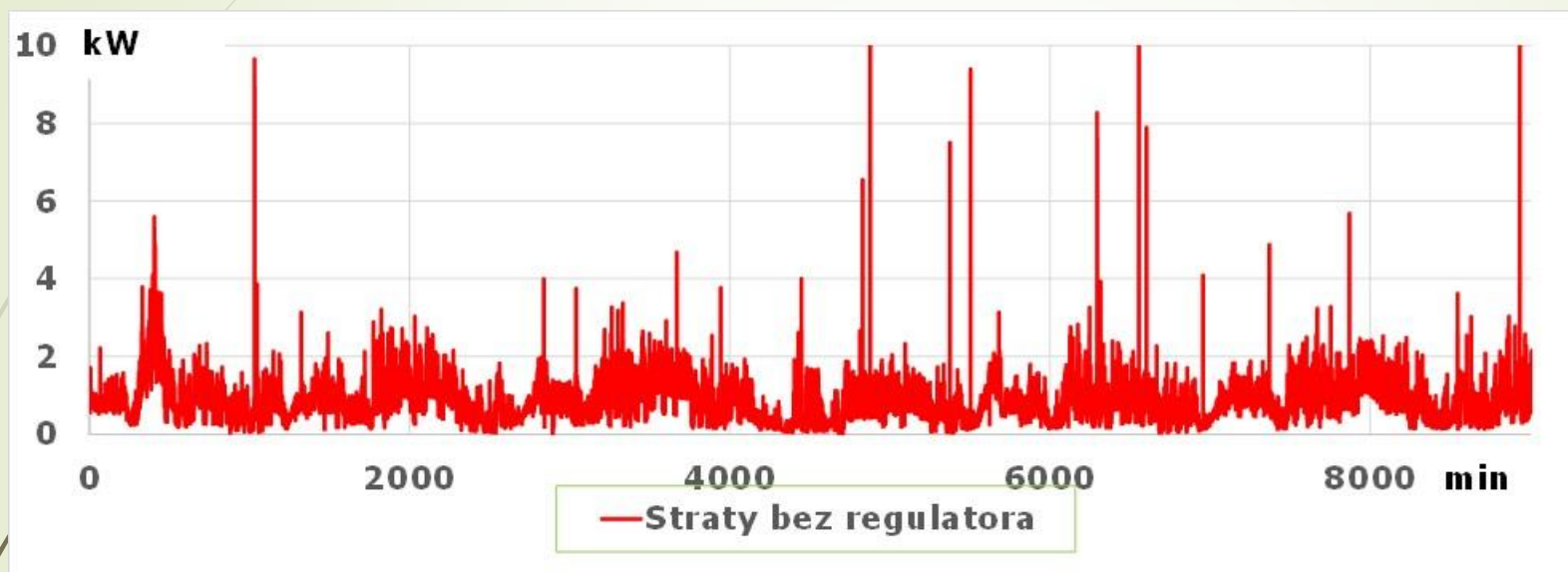
Prądy fazowe po stronie sieci



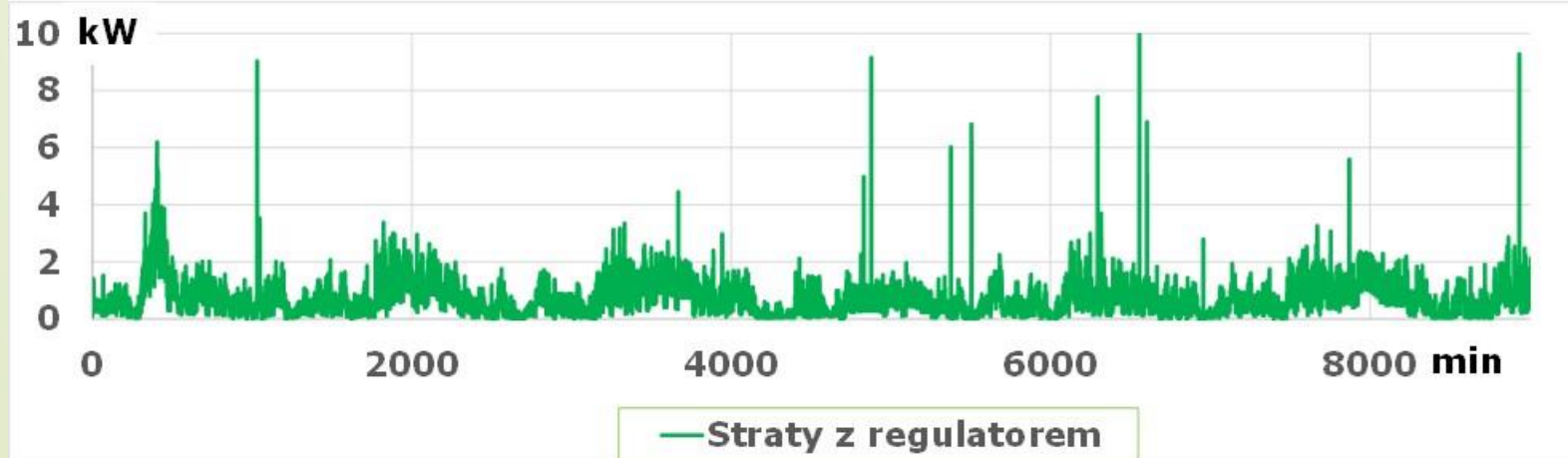
Prądy fazowe po stronie odbiorów

Straty w linii

- różnica 23,5 kWh w ciągu 6 dni



119 kWh
bez
regulatora

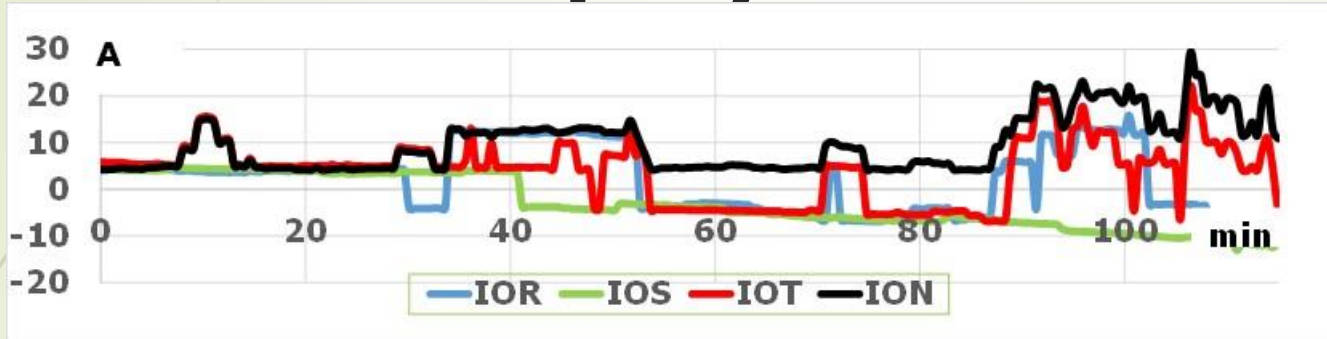


96,5 kWh
z
regulatorem

Efekty stosowania regulatora napięcia z symetryzátorem prądów

- Regulacja napięć fazowych w punkcie włączenia urządzenia
- Symetryzacja prądów w długich odcinkach linii przed symetryzátorem
- Stabilizacja napięć fazowych na końcu linii
- Kompensacja mocy biernej
- Ograniczanie strat w sieci i w transformatorach
- Włączanie magazynów energii – opcja

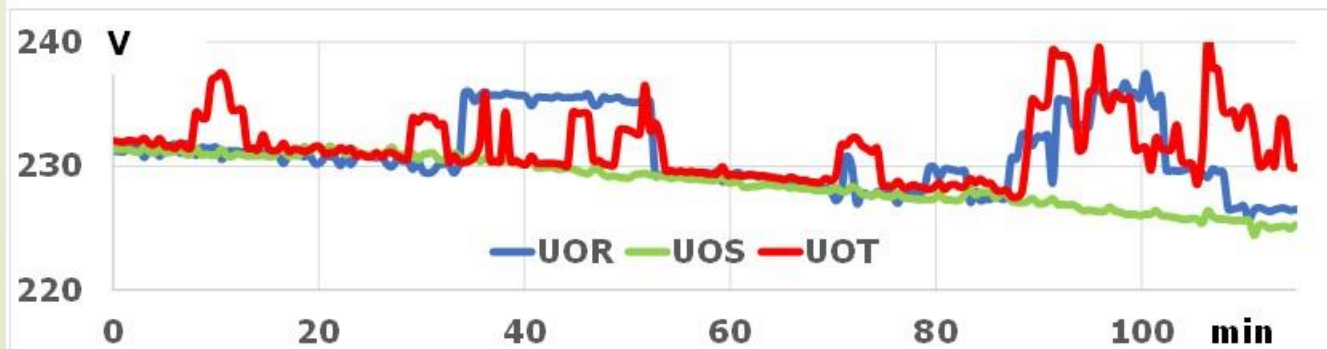
Połączenie symetryzacji prądów z regulacją napięcia przy transformatorze



Prądy odbiorów



Prądy sieci



Napięcia po stronie odbiorów

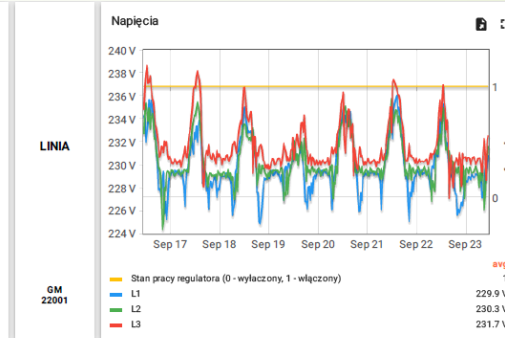
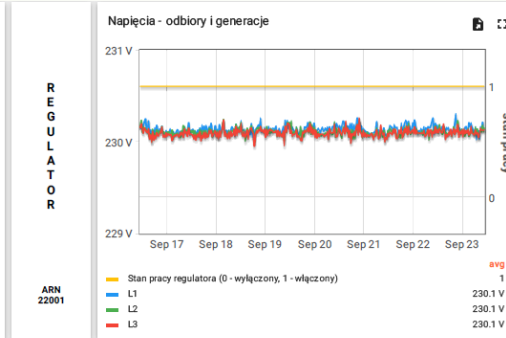
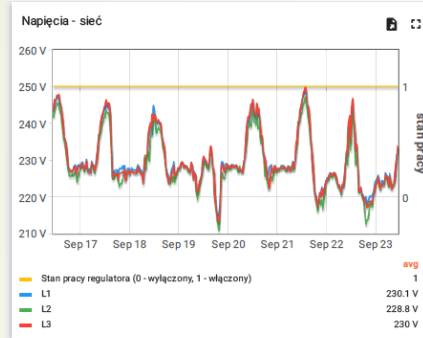
Napięcia przed i za regulatorem oraz na końcu linii dla stabilizacji 230V

Przed reg.

Za reg. 230 V

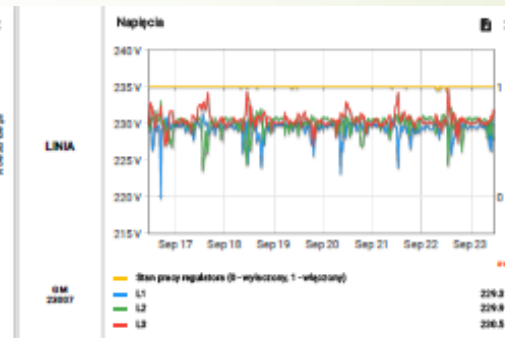
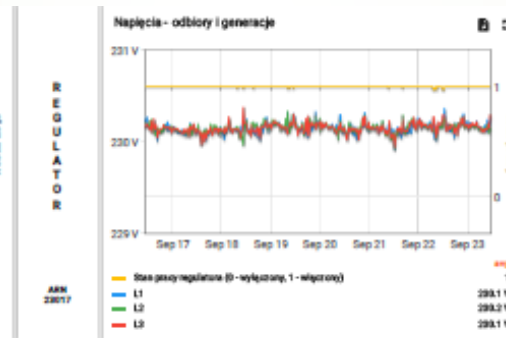
Na końcu

210 V – 250 V



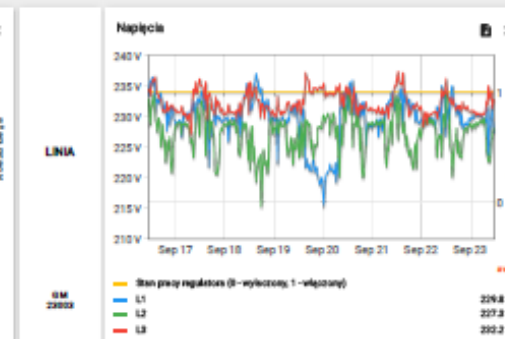
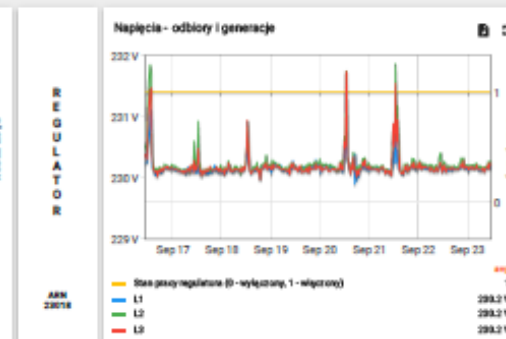
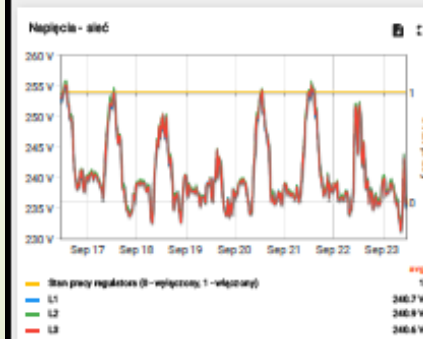
224 V – 239 V

229 V – 244 V



220 V – 235 V

232 V – 257 V



214 V – 238 V

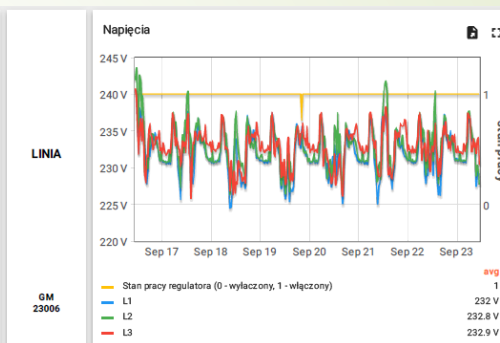
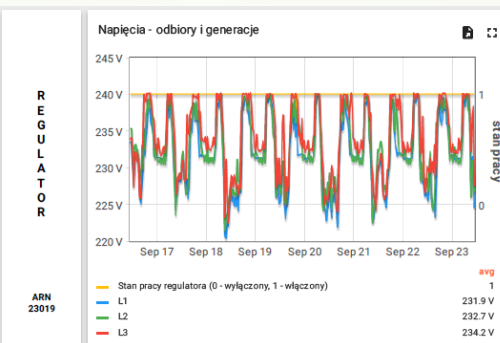
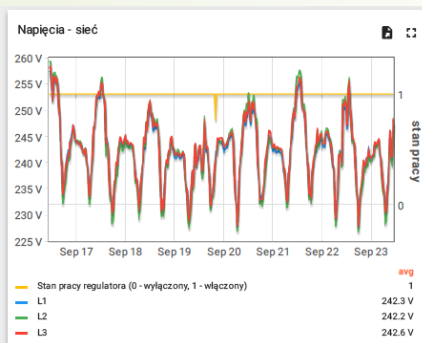
Napięcia przed i za regulatorem oraz na końcu linii z korekcją w funkcji prądu

Przed reg.

Za reg. z korekcją

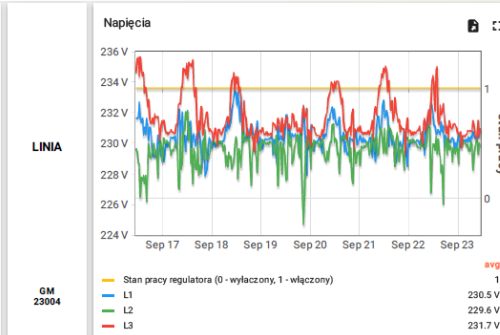
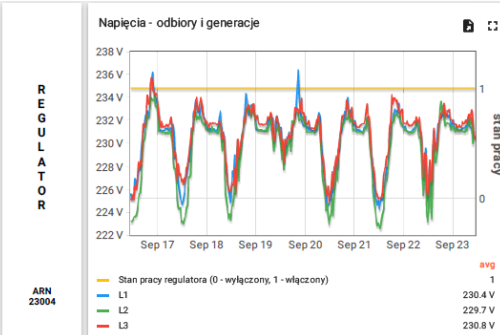
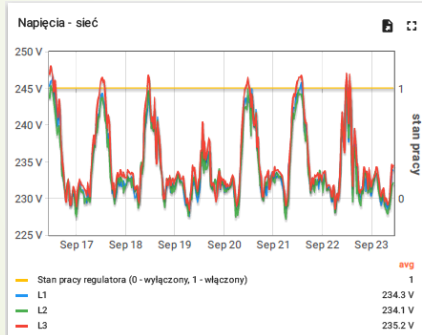
Na końcu

227 V – 257 V



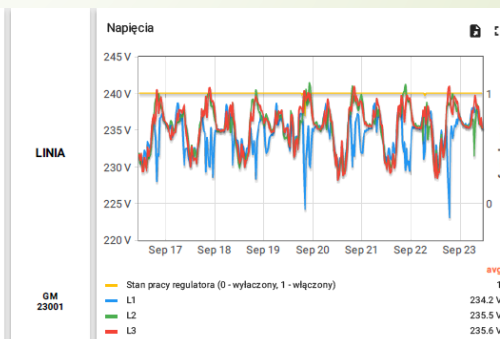
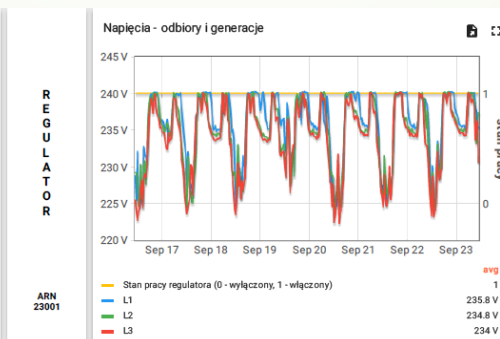
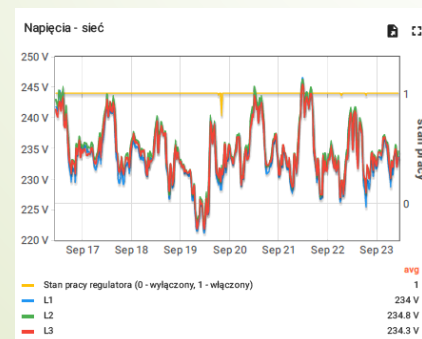
225 V – 243 V

227 V – 248 V



224 V – 236 V

232 V – 257 V



223 V – 241 V



REJESTRACJE

Niesymetria prądów

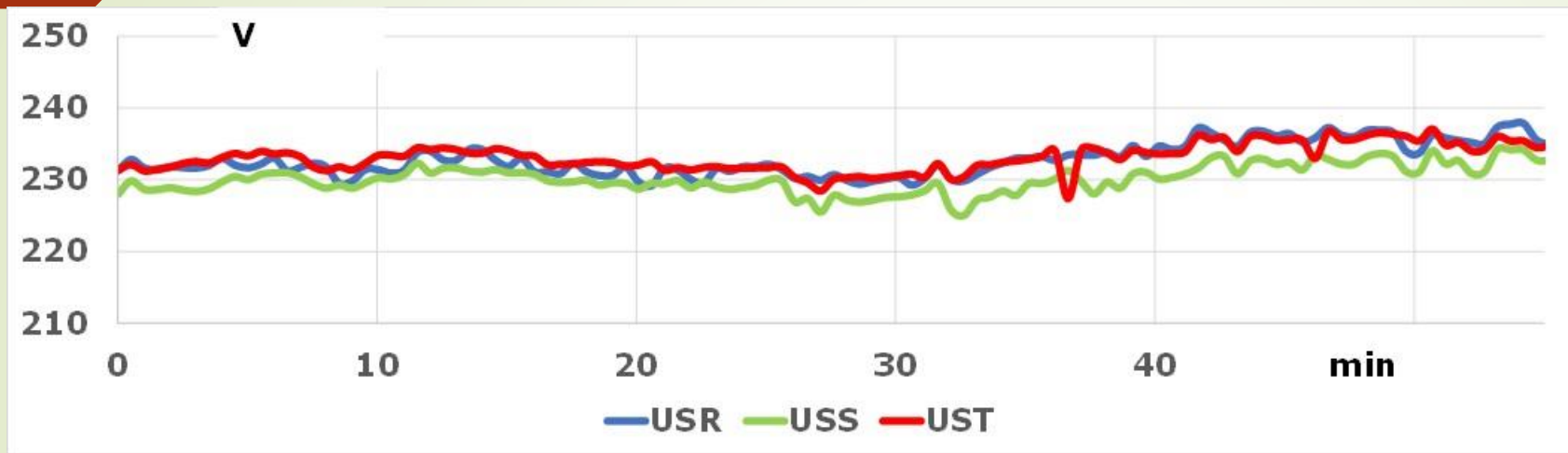
→ w głębi sieci

Odbiór energii w jednej fazie

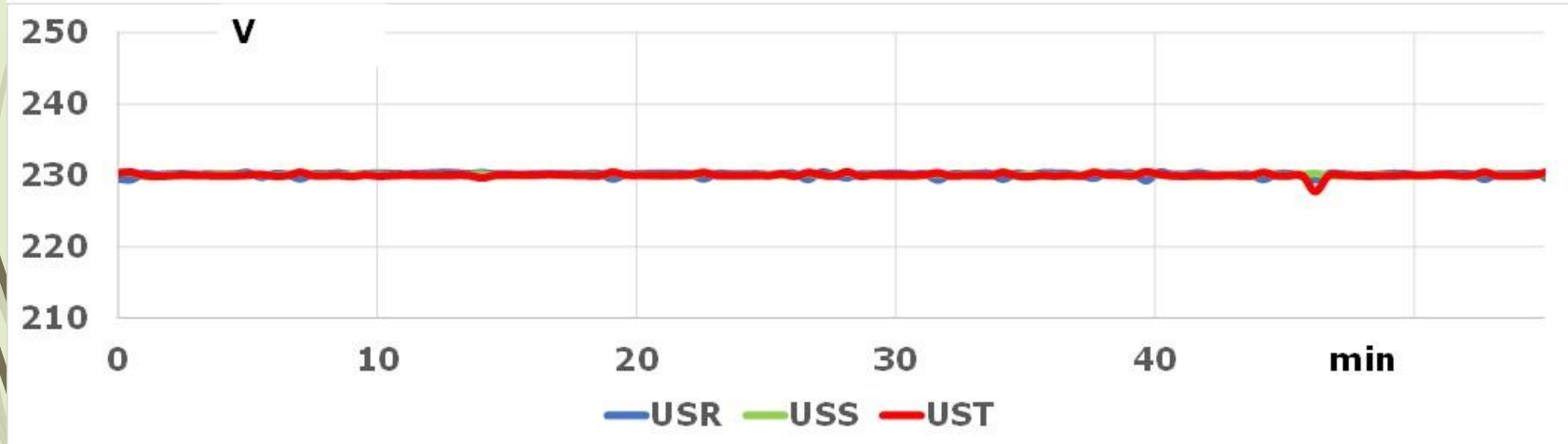
i jednocześnie

**wprowadzanie energii do
sieci w dwóch fazach**

Przed regulatorem



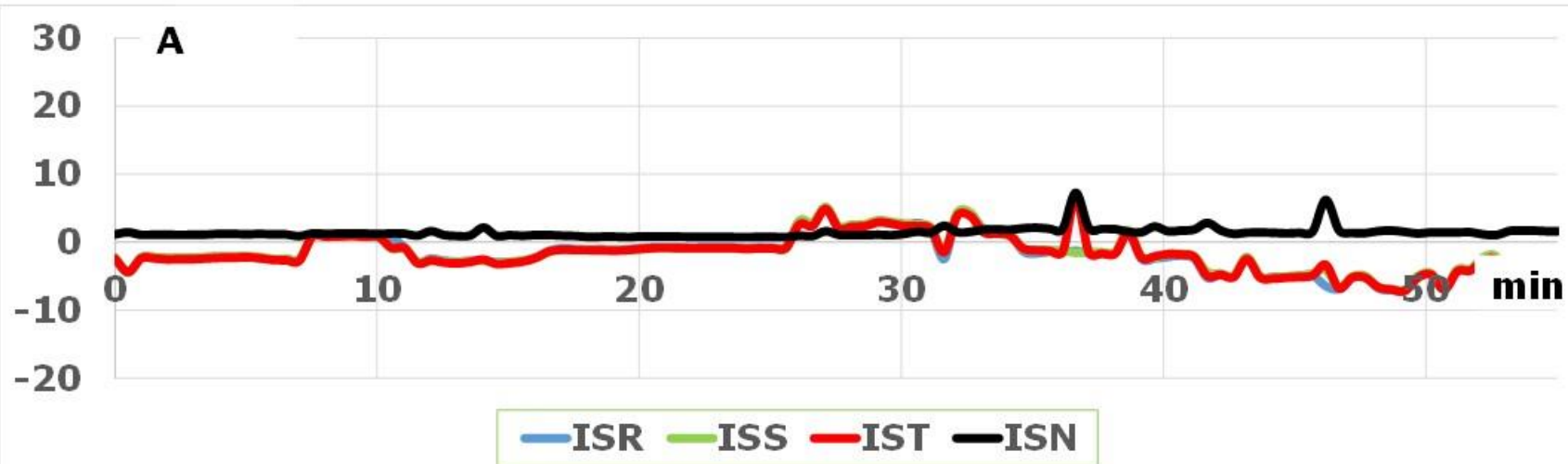
Za regulatorem



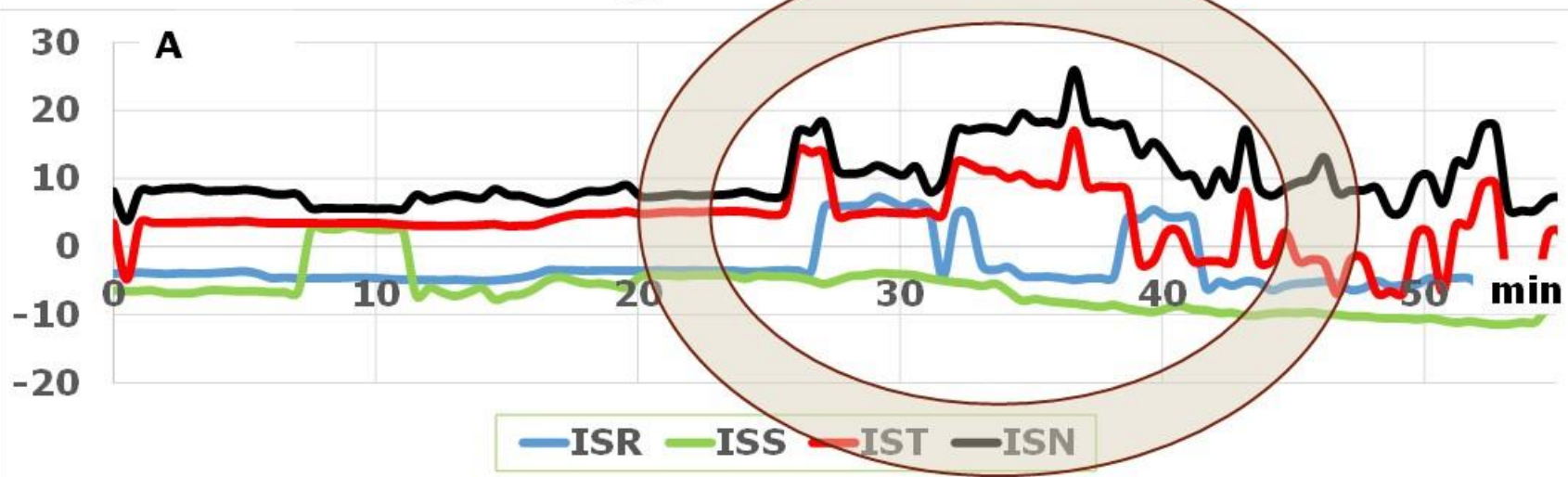
**Miejsce
instalacji
regulatora
→ w głębi
sieci**

Napięcia

Przed regulatorem



Za regulatorem



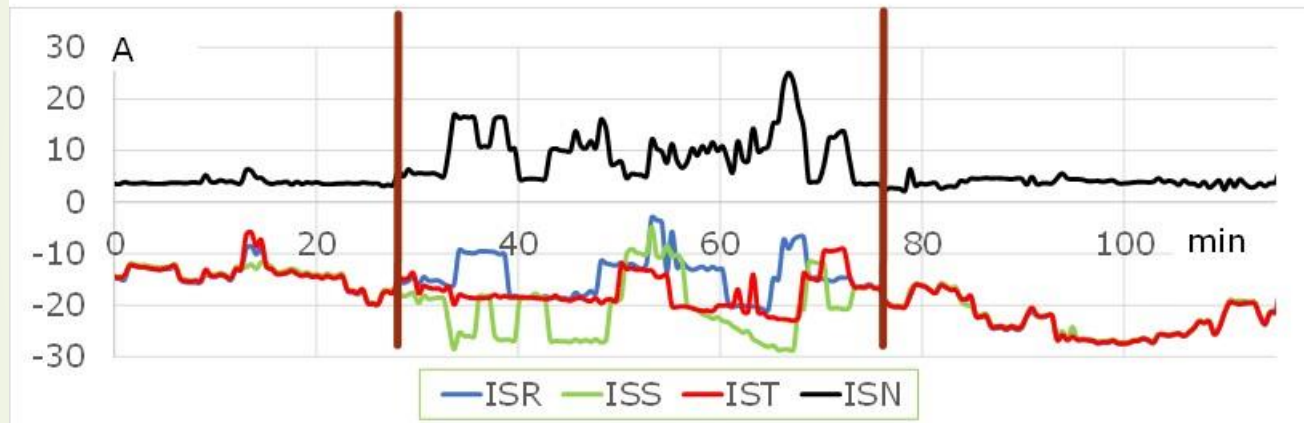
Miejsce
instalacji
regulatora
→ w głębi
sieci

Prądy

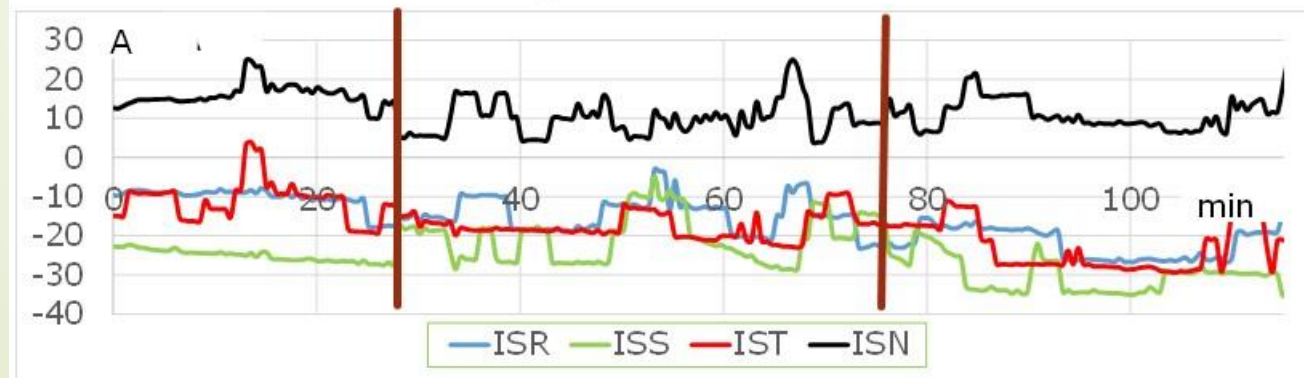
REJESTRACJE

Wyłączenie regulatora (między pionowymi liniami)
regulator → przy transformatorze

Przed regulatorem

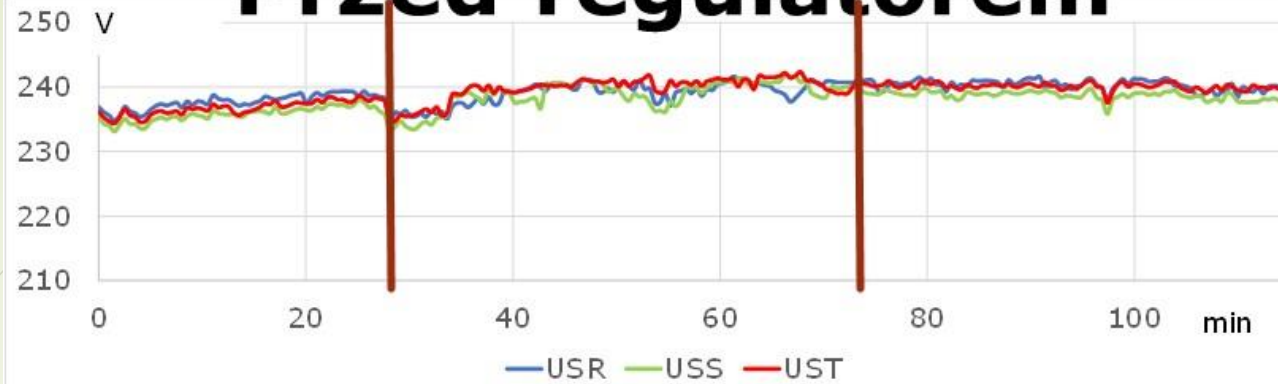


Za regulatorem



Prądy

Przed regulatorem



Za regulatorem



Na końcu linii



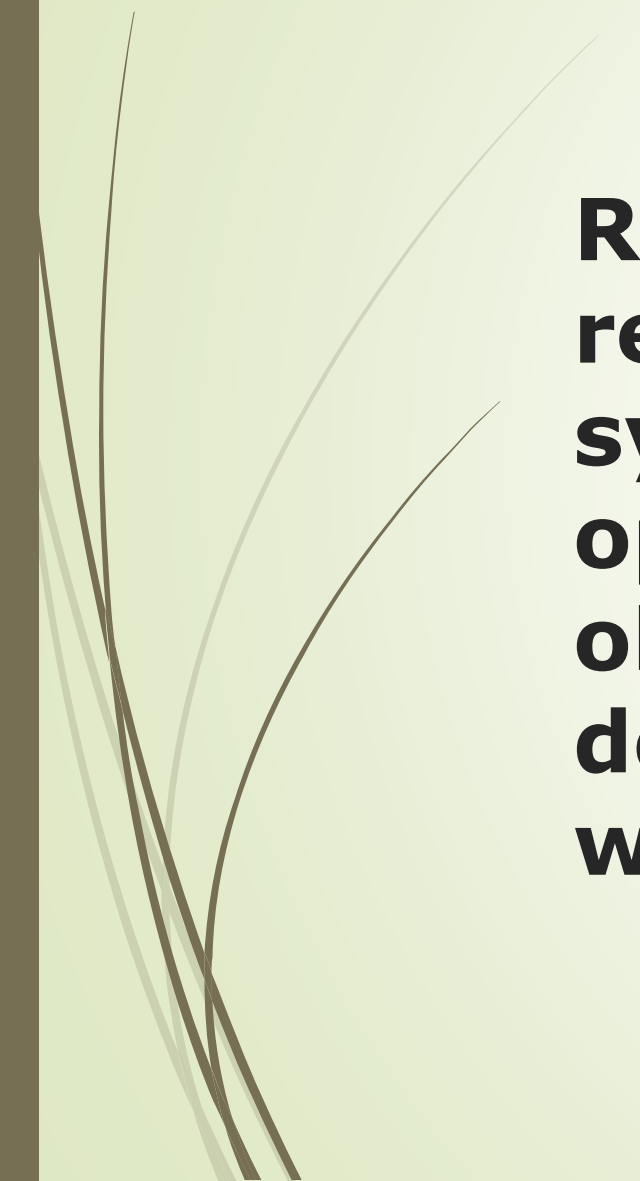
**Miejsce
instalacji
regulatora
→ przy
trafo**

Napięcia



WNIOSEK

Rozmieszczanie aktywnych regulatorów napięcia lub symetryzatorów prądów fazowych oparte na uproszczonych obliczeniach zapewnia zachowanie dopuszczalnych spadków napięć w sieciach nn.





Dziękuję