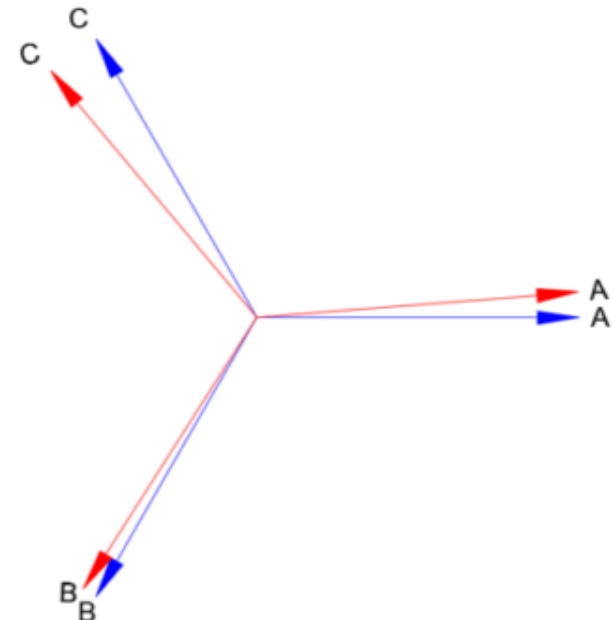


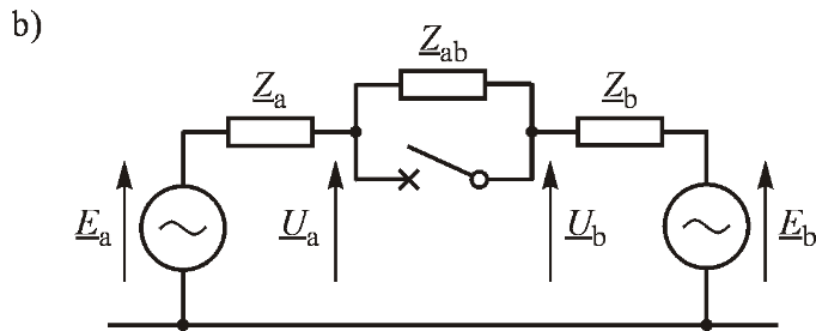
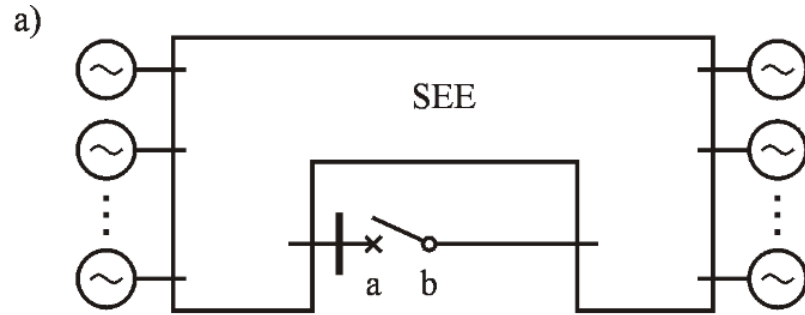
# Automatyka Synchro-Check w sieciach 110 kV

Krzysztof Łowczowski - Politechnika Poznańska

Piotr Miller - Politechnika Lubelska



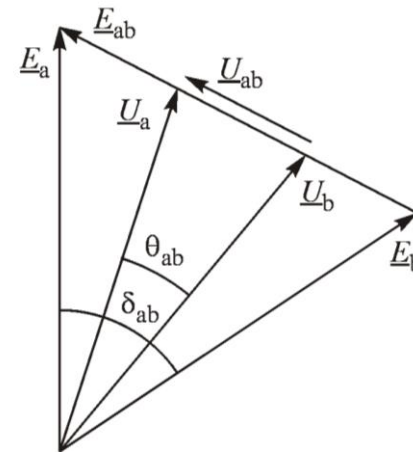
# Wyznaczanie początkowego prądu załączenia



(a) układ wyjściowy, (b) schemat zastępczy

Prąd załączenia można opisać wzorem:

$$\underline{I}_{ab} = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_{Th}} = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_a + \underline{Z}_b} \left( 1 + \frac{\underline{Z}_a + \underline{Z}_b}{\underline{Z}_{ab}} \right)$$

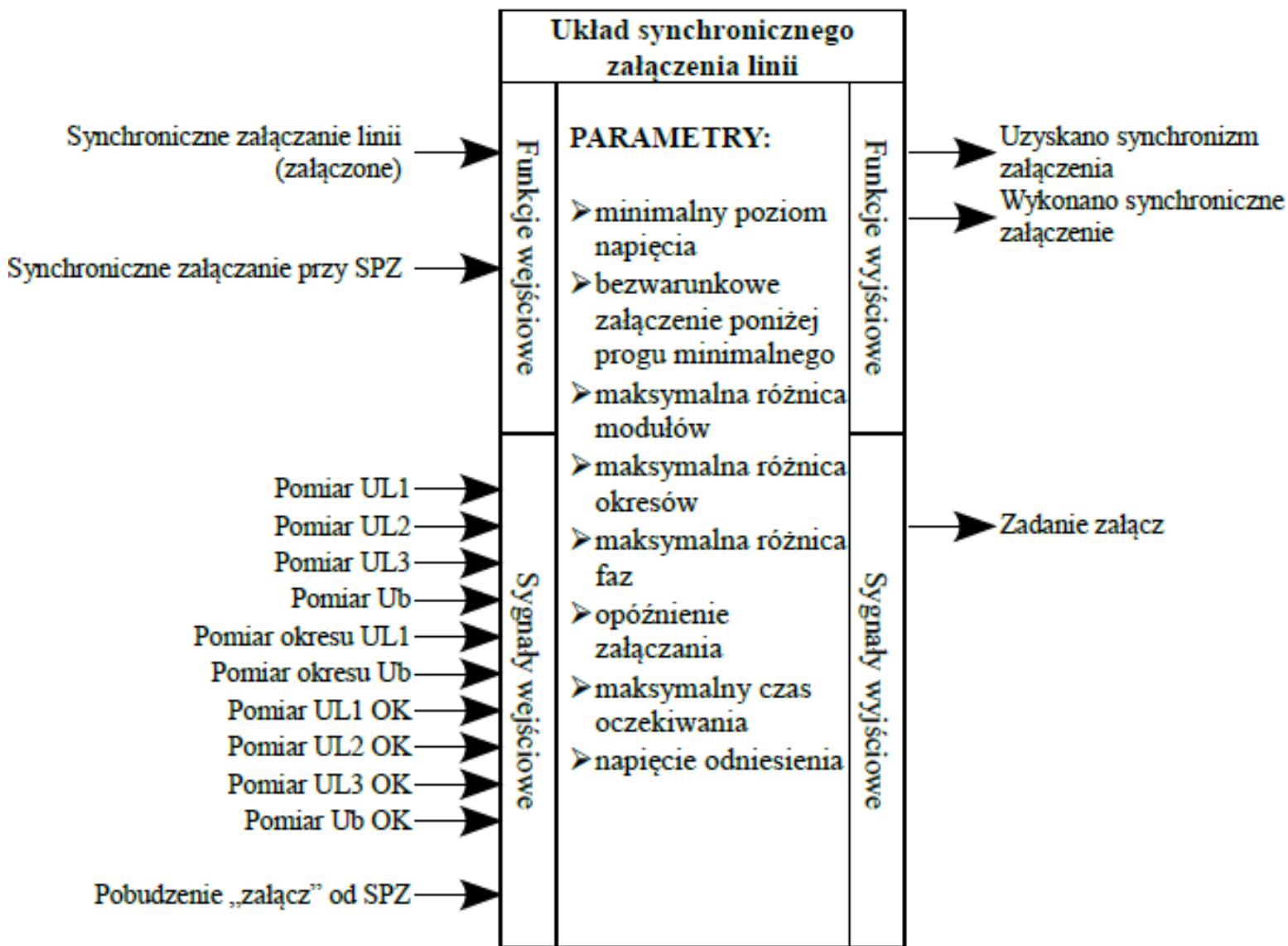


# Wartości początkowych prądów załączenia w funkcji wartości impedancji zastępczej

dla kąta łączenia 30°							
U <sub>a</sub>	U <sub>b</sub>	ΔU		U <sub>ab</sub>	Z <sub>Th</sub> [Ω]		
					10	20	30
[kV]	[kV]	[pu]	[kV]	[kV]	I <sub>ab</sub> [A]		
121	121	0	0	62,6	6263,4	3131,7	2087,8
121	99	0,2	22	60,8	6077,6	3038,8	2025,9
99	99	0	0	51,2	5124,6	2562,3	1708,2
dla kąta łączenia 60°							
U <sub>a</sub>	U <sub>b</sub>	ΔU		U <sub>ab</sub>	Z <sub>Th</sub> [Ω]		
					10	20	30
[kV]	[kV]	[pu]	[kV]	[kV]	I <sub>ab</sub> [A]		
121	121	0	0	121,0	12100,0	6050,0	4033,3
121	99	0,2	22	111,6	11163,8	5581,9	3721,3
99	99	0	0	99,0	9900,0	4950,0	3300,0

Analiza wykazała, że korelacja pomiędzy wartościami napięć U<sub>ab</sub> i ΔU występuje przy kątach łączenia Θ<sub>ab</sub> w granicach do 25°. Dla większych kątów łączenia decydujące o wartości napięć U<sub>ab</sub> są poziomy napięć w węzłach reprezentujących otwarte bieguny wyłącznika. Wydaje się więc, że zarówno zachowawcze nastawianie urządzeń Synchro-Check w zakresie różnicy modułów napięć, w granicach 0.1÷0.2 U<sub>n</sub>, jak i nastawy w zakresie kątów łączenia w granicach 10°÷20°, nie znajduje uzasadnienia.

# Zabezpieczenia odległościowe z funkcją Synchro-Check



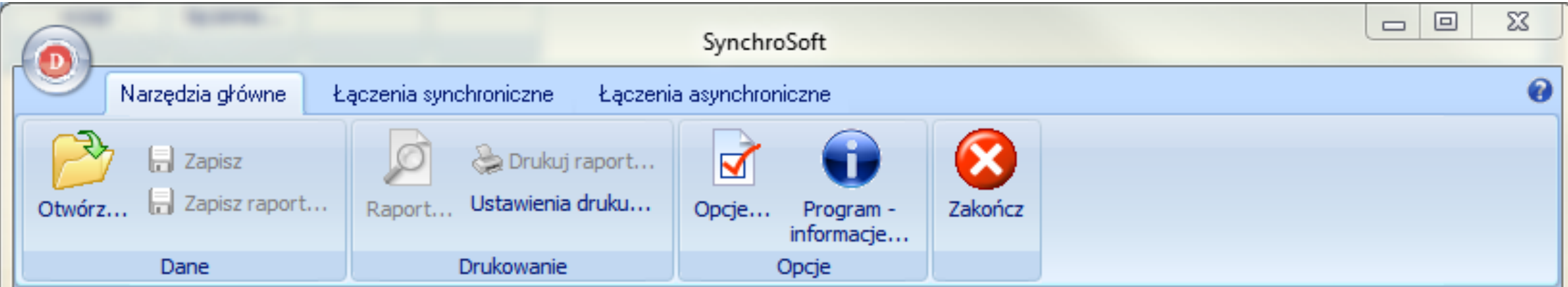
Moduł synchronicznego załączania linii jest elementem funkcjonalnym, którego działanie warunkują:

- 1) funkcje wejściowe: synchroniczne załączenie linii aktywne, synchroniczne załączenie przy SPZ,
- 2) sygnały pomiarowe: UL1, UL2, UL3, Ub oraz te, określające poprawność ich pomiarów, okresów, przesunięć fazowych,
- 3) parametry robocze nastawiane przez użytkownika,
- 4) sygnały wejściowe: pobudzenia od automatyki SPZ-u.

W wyniku działania zabezpieczenia generowane są:

- 1) funkcje wyjściowe: o uzyskaniu synchronizmu i wykonaniu synchronicznego załączenia,
- 2) sygnały żądające załączenia linii (dla modułu sterowania wyłącznikiem).

# Kryteria doboru nastaw automatyki Synchro-Check



W1. Możliwość uszkodzenia wyłącznika wskutek przekroczenia jego zdolności łączeniowej.

W2. Możliwość zbędnego pobudzenia zabezpieczeń odległościowych.

W3. Zagrożeń związanych z możliwością uszkodzenia uzwojeń transformatorów (blokowych oraz sieciowych) lub generatorów synchronicznych przez działanie sił dynamicznych wywołanych dużą wartością szczytowego prądu załączenia.

W4. Powstawania naprężeń w wałach zespołów wytwórczych przyczyniających się do zmęczenia materiału i ograniczenia ich żywotności.

W5. Zagrożenia utratą stabilności systemu elektroenergetycznego (dotyczy łączenia podsystemów pracujących asynchronicznie oraz likwidacji zakłóceń w cyklu SPZ).

# Spodziewane różnice parametrów wyznaczone w programie SynchroSoft

Model: zima szczyt		Model: lato szczyt	
Kąt łączenia	$\Delta U$	Kąt łączenia	$\Delta U$
$\theta_{ab}$	[kV]	$\theta_{ab}$	[kV]
[°]		[°]	
4,6	8,2	6,6	0,6
4,7	1,8	4,3	4,3
5,5	2,1	5,0	3,2
20,9	1,5	9,1	7,5
0,1	0,0	0,0	0,0
19,8	0,5	8,7	6,6
6,2	1,4	1,9	6,0
17,4	4,3	2,3	5,9
5,3	0,7	5,2	4,7
4,1	2,3	5,6	3,9
2,9	7,8	13,5	2,7
3,9	0,7	5,8	5,5
16,9	6,1	14,5	5,2
0,2	0,2	0,2	0,2
3,9	6,8	16,3	3,5
5,0	6,8	9,0	6,2
1,9	11,5	11,0	2,0
1,5	1,7	2,2	3,6
5,0	0,8	4,7	0,9
0,1	0,1	0,1	0,1
...	...	...	...

Małe wartości rozchyłów kątowych (poniżej 5°) na otwartych biegunach wyłącznika w warunkach normalnych to na ogół niemal pewność, że trudno będzie znaleźć takie warunki pracy sieci, w których te rozchyły osiągnęłyby znaczne wartości.

W tabeli wyróżniono te punkty łączenia, w których wartości rozchyłów kątowych przekraczają wartość 10° już w warunkach normalnych, co może świadczyć o tym, że punkty te są podatne na zmianę warunków pracy sieci. Są to potencjalnie punkty łączenia, w których należy w pierwszej kolejności rozważyć zastosowanie automatyki SynchroCheck i skupić się na poprawnym wyznaczeniu nastaw tej automatyki.

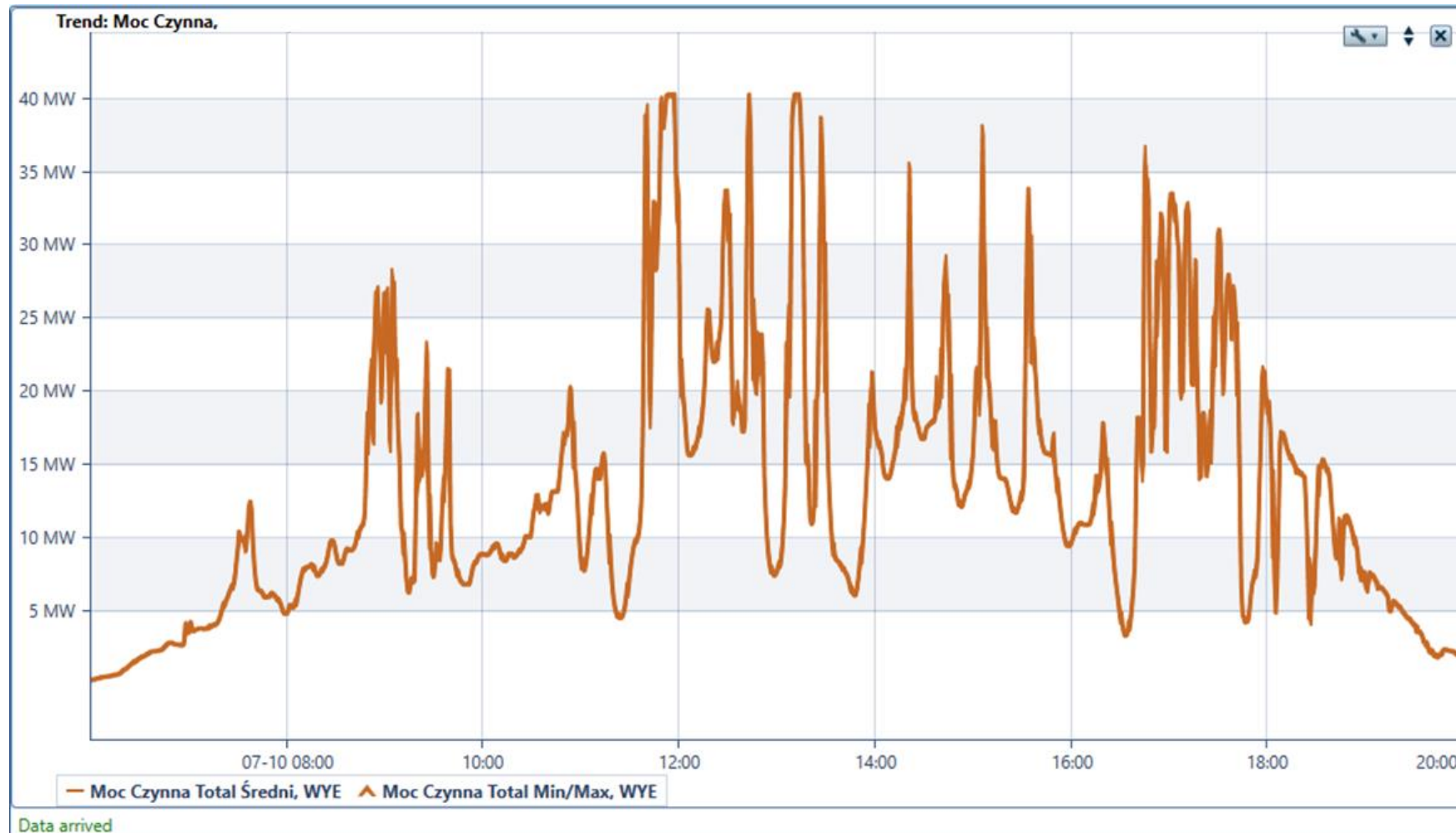
Ponadto jeżeli wyłączenie linii prowadzi do wydzielenia układu wyspowego zainstalowanie automatyki SynchroCheck jest niezbędne.

# Zmienność pracy źródeł

Na potrzeby zbadania wpływu automatyki SPZ na różnice napięć i prądów wykonano badania symulacyjne oraz pomiary pracy źródeł – źródła wiatrowego o mocy około 50 MW oraz elektrowni fotowoltaicznej (EF) 50 MW w celu oceny dynamiki zmian i określono, że spodziewana zmiana parametrów w trakcie cyklu SPZ jest mała  $\sim 300\text{kW}/40\text{ms}$ . Zmiany mocy dla obserwowanej elektrowni wiatrowej (EW) nie przekraczają około  $200\text{ kW}/1\text{ s}$ . Jednocześnie sam fakt otwarcia wyłącznika powoduje, że różnica potencjałów może być znaczna. Automatyka SC występuje również w sieciach SN w celu ochrony przed nieprawidłowymi operacjami i nieplanowaną pracą wyspową

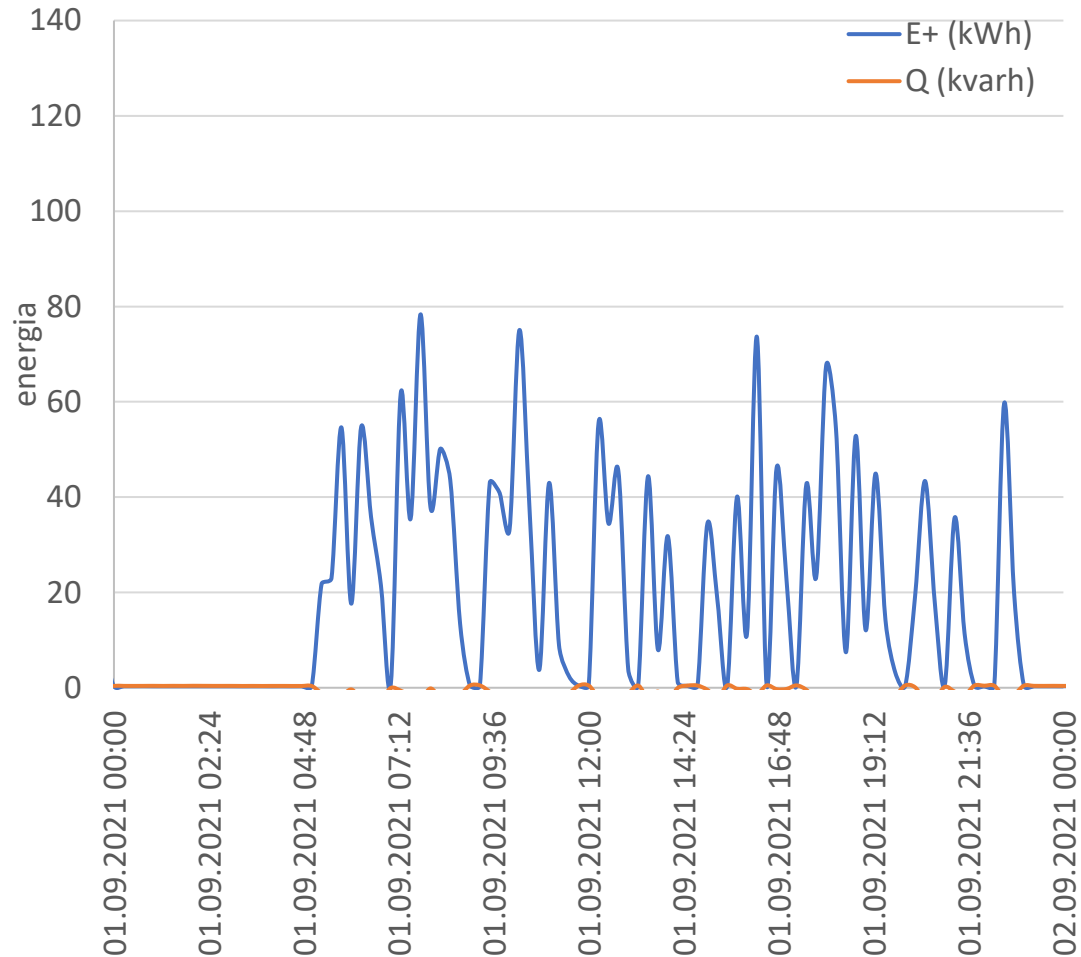


# Zmienność mocy w przypadku nieudanego SPZ (ponowne połączenie po osiągnięciu znacznej różnicy parametrów)





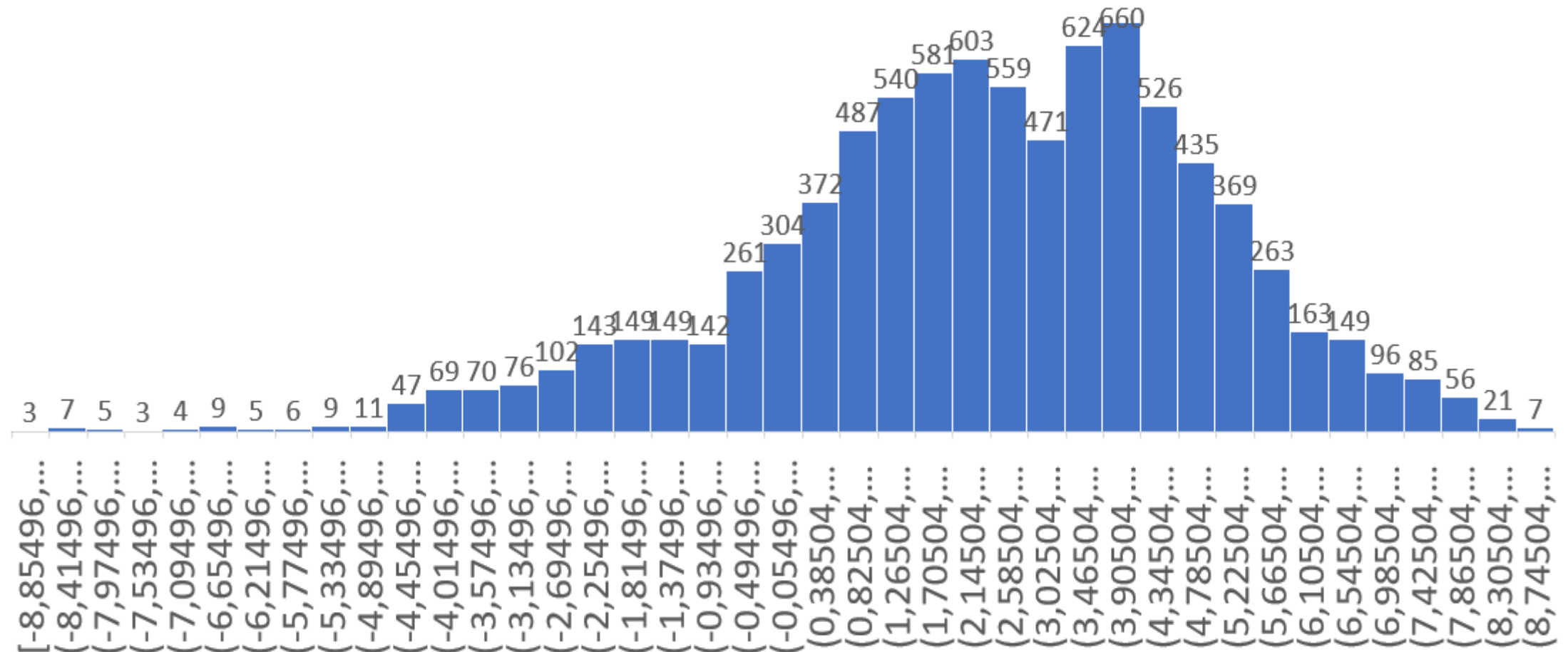
# Czynniki zwiększające rozchył kątowy i różnice napięć



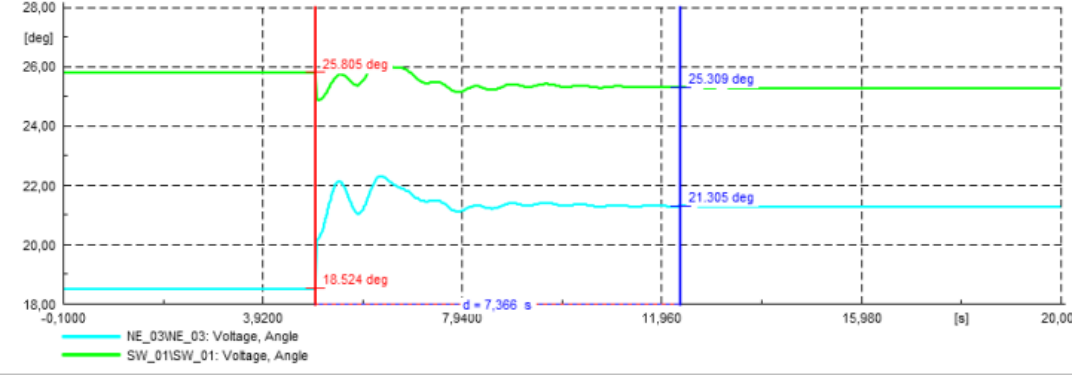
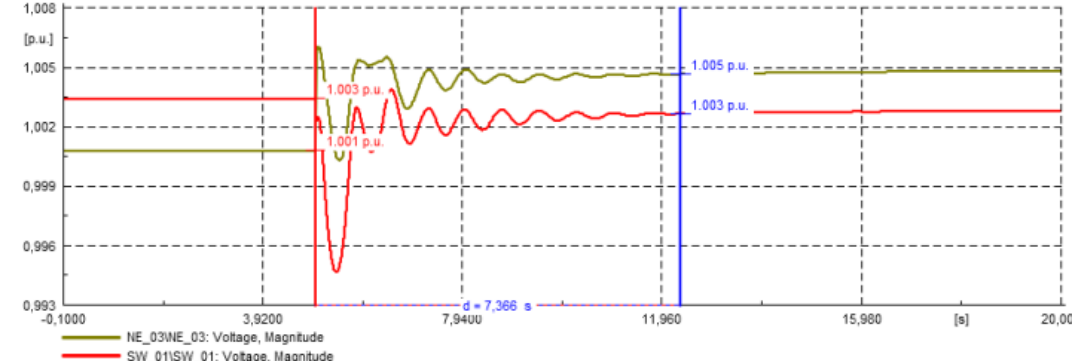
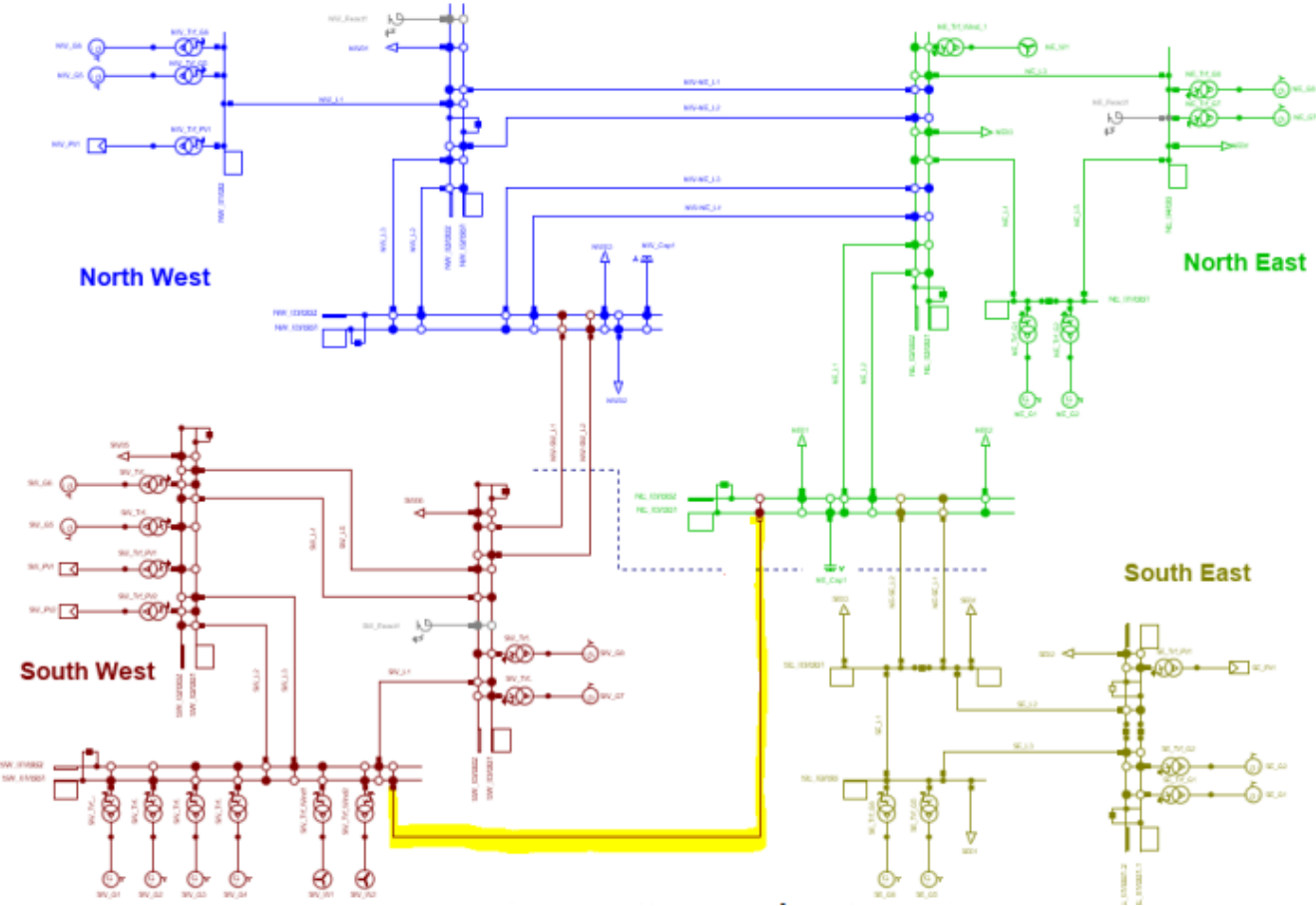
Wśród czynników zwiększających różnice kątów i amplitud napięć można wymienić:

- duże pobory lub generacje mocy czynnej wynikające z pracy źródeł, magazynów energii i dużych odbiorników pobierających moc czynną np. stacji ładowania pojazdów
- dynamiczne zmiany poborów np. sieć trakcyjna
- różnice parametrów elektrycznych linii po obu stronach ciągu np. linie kablowo – napowietrzne,
- niekorzystne warunki sieciowe prowadzące do rozchyłu kąтового np. duże miasta cechujące się poborem mocy czynnej oraz niewielkiej ilości mocy biernej oraz sąsiadujące GPZ z dużym udziałem źródeł lokalnych lub źródła lokalne.

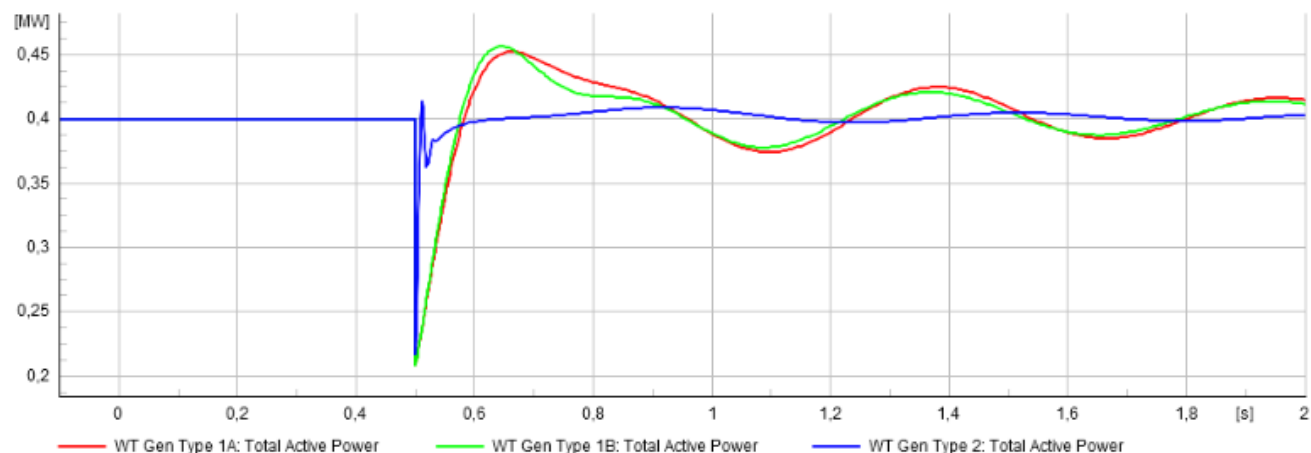
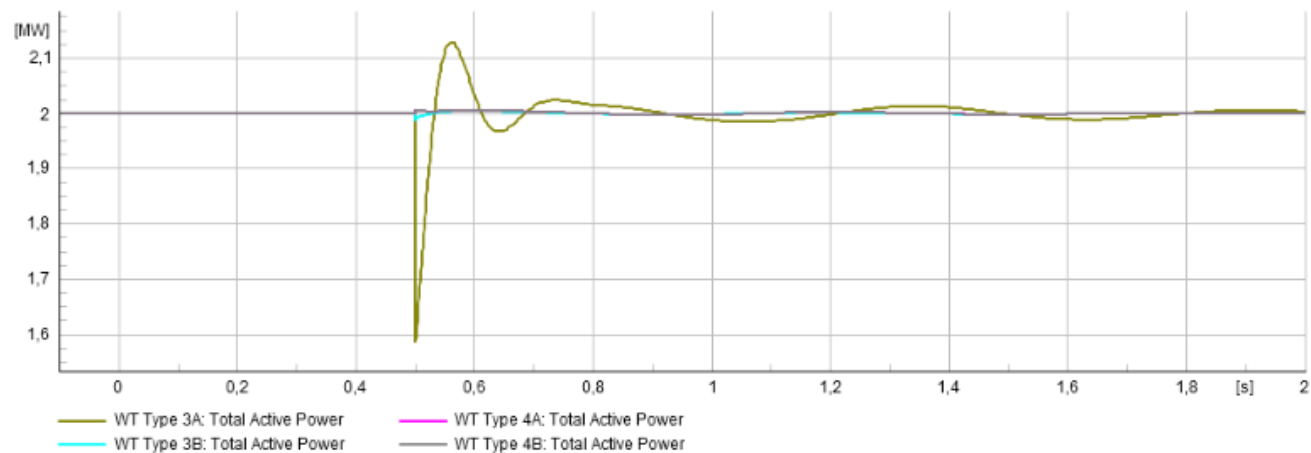
# Spodziewana różnica napięć dla przykładowej stacji w przypadku hipotetycznej pracy z otwartym wyłącznikiem



# Analizy stanów przejściowych



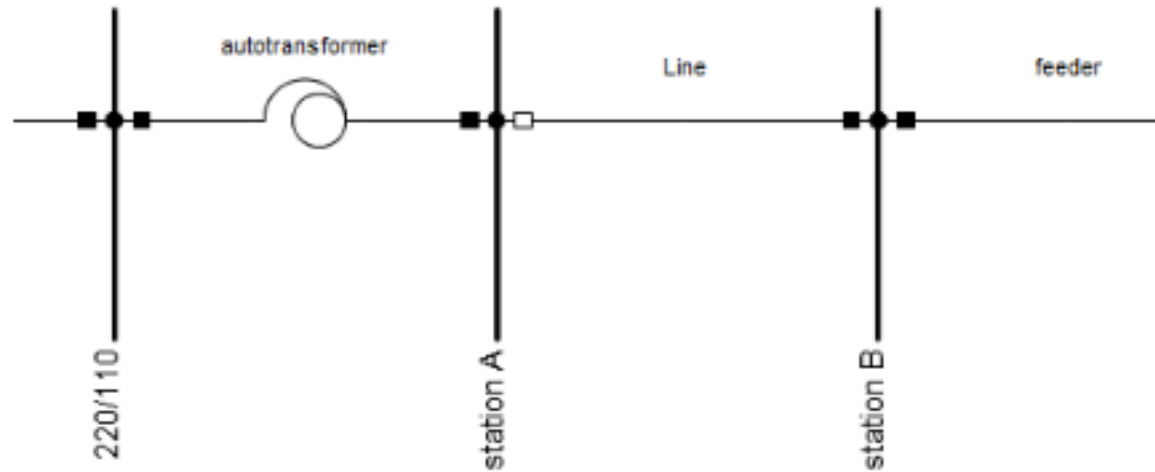
# Udary mocy w zależności od rodzaju elektrowni



Na podstawie dostarczonych danych stwierdzono, że źródła wiatrowe pracujące w sieci 110 kV to źródła 3 i 4 typu, które dzięki częściowej lub całkowitej separacji od sieci są zdecydowanie mniej podatne na udary mocy niż źródła wiatrowe 1 i 2 typu, co przedstawiono na Rysunku. Źródła 1 i 2 typu są jednak wciąż obecne w sieciach SN.

Źródła fotowoltaiczne oraz wiatrowe 4 typu są całkowicie odseparowane od sieci poprzez przekształtnik dzięki czemu są niewrażliwe na udary mechaniczne. Nie należy jednak zapominać o uderzeniach elektrycznych np. uderzeniach prądowych oddziałujących negatywnie na znajdujące się wewnątrz układy elektroniczne.

# Ograniczanie różnic napięć i kątów



Parametr	Wartość	Akcja
Różnica kątów Różnica napięć	Powyżej progu Znacznie poniżej progu	Zmiana mocy czynnej
Różnica kątów Różnica napięć	Znacznie poniżej progu Powyżej progu	Zmiana mocy biernej
Różnica kątów Różnica napięć	Powyżej progu Powyżej progu	Zmiana mocy czynnej oraz biernej jeżeli jest to wymagane

# Ograniczanie różnic napięć i kątów

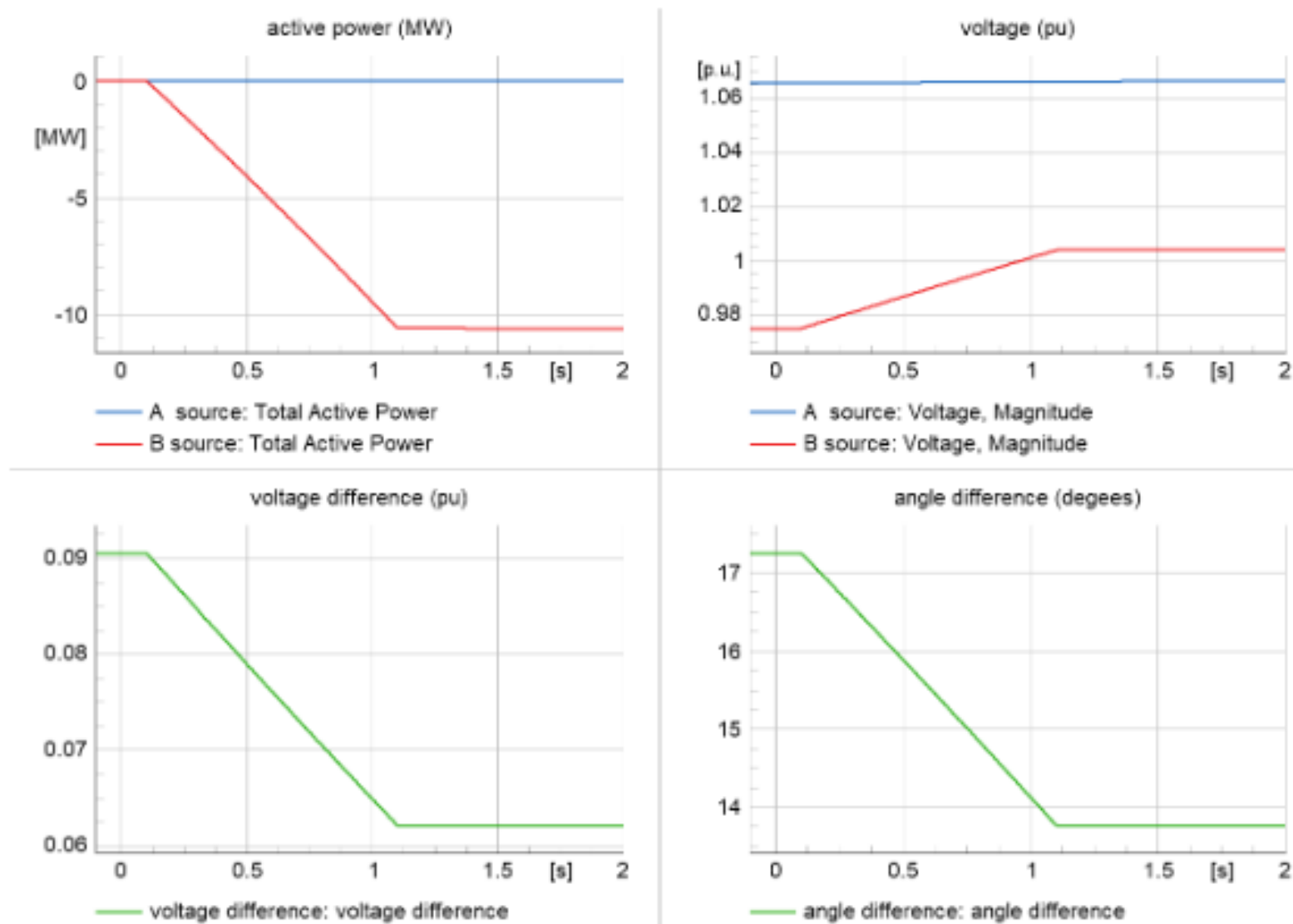


Figure 11. Impact of active power change at the feeder side on voltage and angle differences.

# Ograniczanie różnic napięć i kątów

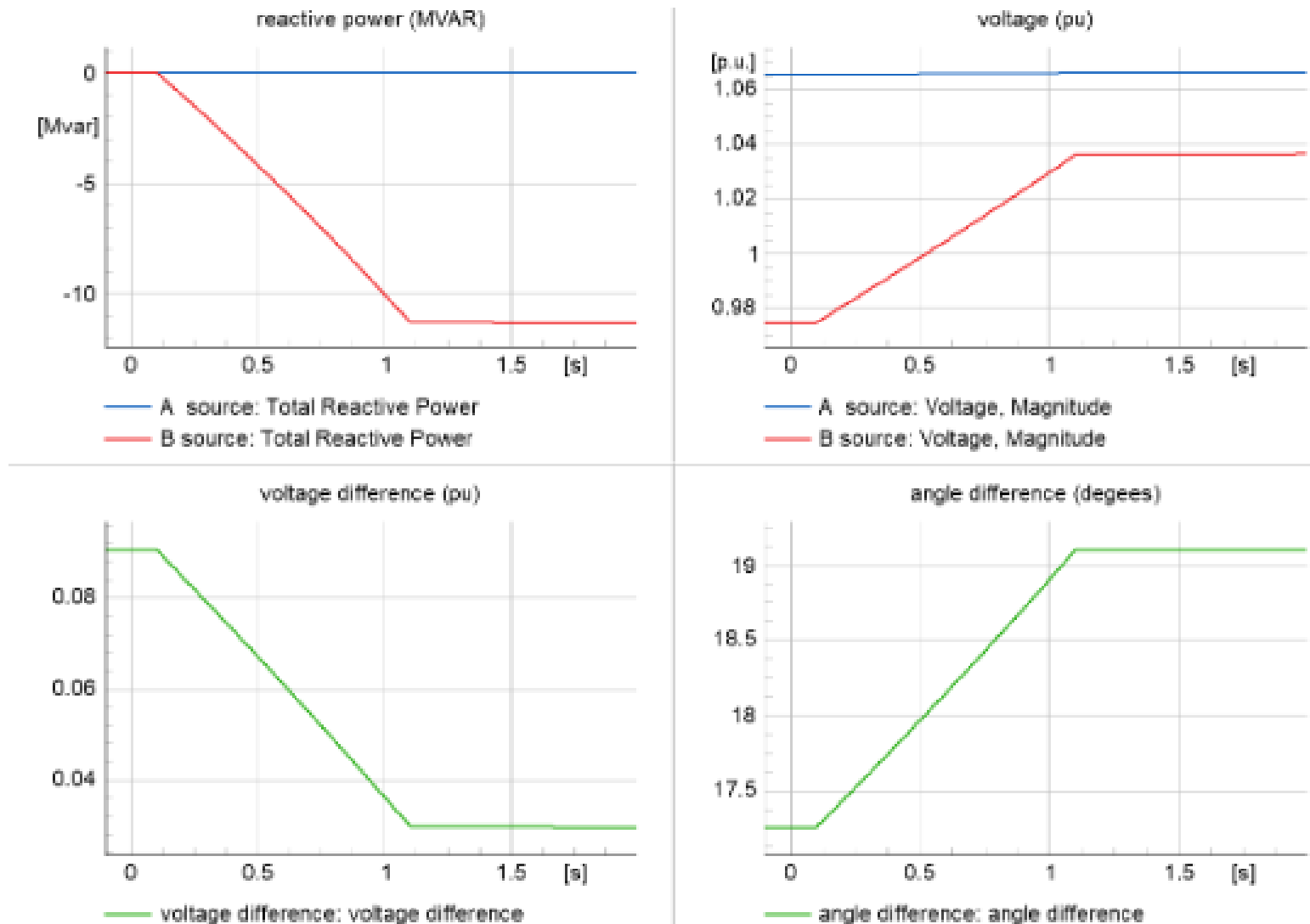


Figure 9. Impact of reactive power change at the feeder side on voltage and angle differences.

# Wnioski

Dalsza rozbudowa OZE oraz dużych odbiorów takich jak elektromobilność, trakcja, odbiory przemysłowe itp. sprzyjają powstawaniu dużych różnic napięć i kątów pomiędzy biegunami wyłącznika, co powoduje że znaczenie automatyki Synchro-Check rośnie.

Istnieje możliwość ograniczania różnic napięć i kątów przed wykonaniem operacji łączeniowej poprzez odpowiednie sekwencje sterowania pracą źródeł i magazynów.

Ze względu na znaczne różnice warunków sieciowych, konieczne jest wykonywanie niezależnych analiz pod kątem automatyki Synchro-Check dla poszczególnych obszarów sieci elektroenergetycznej.

Konieczne są dalsze badania – realizacja charakterystyk  $P(f)$  zgodnie z kodeksem NCRFG jest nadrzędna i nadpisuje działania mające na celu minimalizację różnic napięć i kątów. Wskazane są dalsze badania i wypracowanie optymalnych rozwiązań.