

TOMASZ KUCZEK / PRINCIPAL SCIENTIST @ ABB

Współpraca dużych elektrowni fotowoltaicznych z systemem przesyłowym - symulacje zwarciove w programie PSCAD

tomasz.kuczek@pl.abb.com



O czym będziemy mówić?

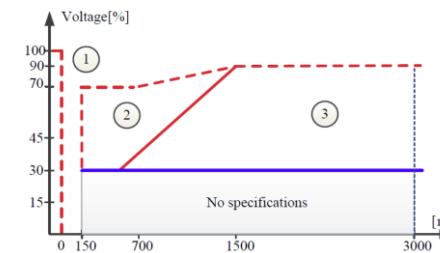
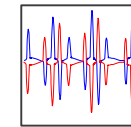
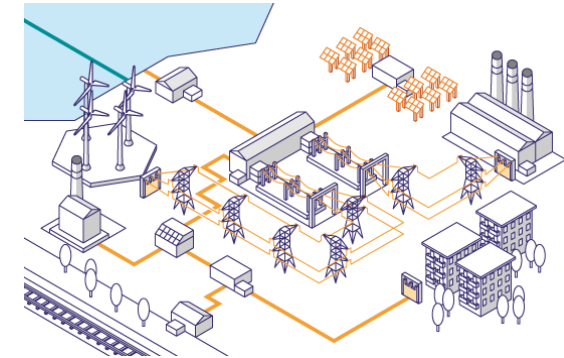
ABB – Centrum Technologiczne w Krakowie

Świat symulacji numerycznych

Modelowanie elektrowni fotowoltaicznych

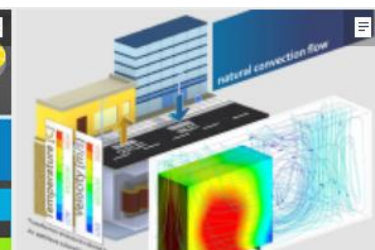
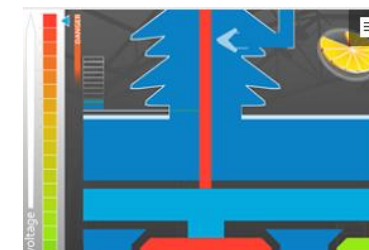
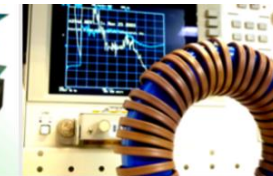
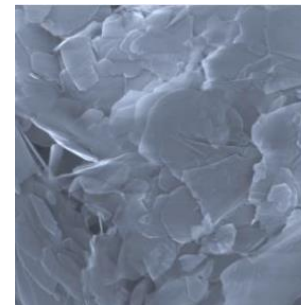
Współpraca z siecią

Zwarcia – symulacje w PSCAD



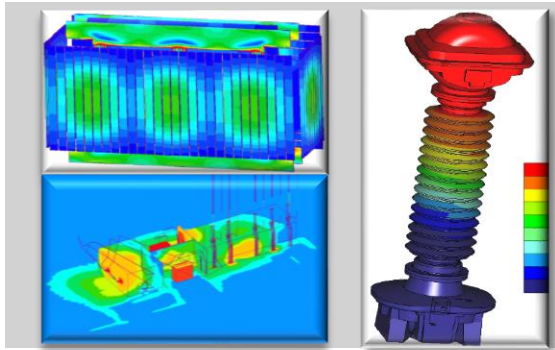
Centrum Badawczo-Rozwojowe → Centrum Technologiczne

- Sieci elektroenergetyczne
- Automatyka
- Energoelektronika
- Elektronika
- Symulacja multi-fizyczne
- Technologia materiałowa
- Diagnostyka
- Systemy monitorujące



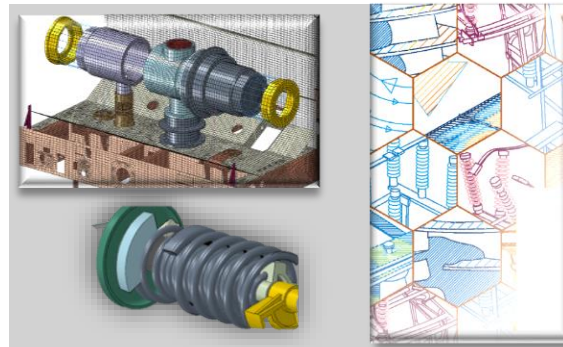
Świat symulacji multi-fizycznych

Elektromagnetyzm



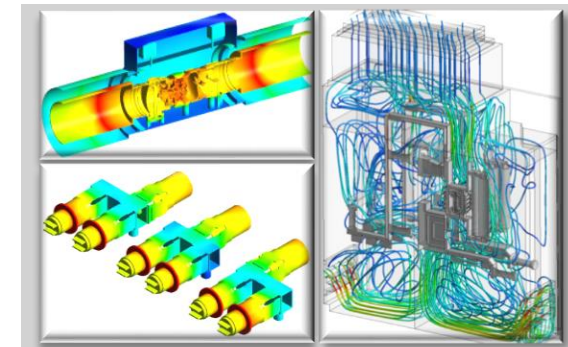
- Natężenie pola elektrycznego i magnetycznego
- Kompatybilność elektromagnetyczne podstacji

Mechanika



- Sejsmika i wibracje
- Transport
- Wytrzymałość mechaniczna

Termika



- Przepływ ciepła
- Chłodzenie urządzeń elektroenergetycznych




Symulacje sieci elektroenergetycznych

Koordinacja izolacji

Przebiegi łączy

-  Wyłączniki próżniowe i SF₆
-  VFT – przebiegi w GIS
-  Linie, kondensatory
-  Transformatory Dławiki
-  Rezonans Ferrerezonans

Przebiegi piorunowe

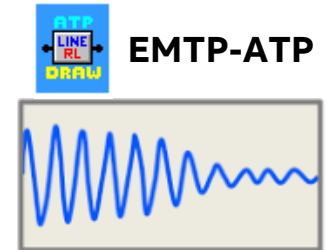
-  Wyładowania bezpośrednie
-  Przeskoki odwrotne
-  Dobór ograniczników przepięć

Źródła odnawialne Ładowarki, baterie

-  PV
-  Wind
-  BESS
-  EVC

Rozpył mocy, jakość energii elektrycznej

-  Rozpył mocy i kompensacja mocy biernej
-  Zwarcia w systemach AC i DC
-  Wyższe harmoniczne THD



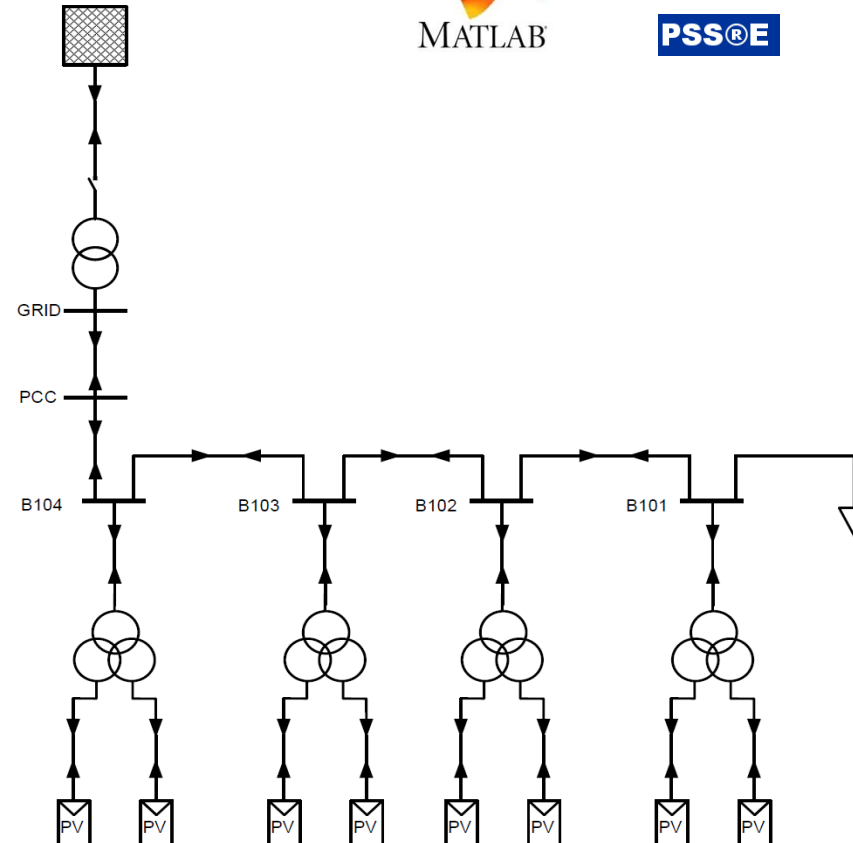
Grid Impact Studies – Analizy przyłączeniowe

Współpraca z systemem przesyłowym

- Operator systemu – definicja warunków przyłączeniowych
- Określenie limitów P, Q, U, f, THD
- Analiza statyczna oraz dynamiczna
- Moc falownika: 100 kW ÷ 5 MW
- Moc elektrowni: 50 MW ÷ 280 MW

Modelowanie PV – po co?!

- Nie macie modelu? To nie macie kontraktu
- Certyfikacja modelu
- Weryfikacja ustawień falownika oraz PPC
- Analiza różnych trybów regulacji P/Q
- Badanie stanów awaryjnych
- Symulacja zwarć



Typowa elektrownia PV

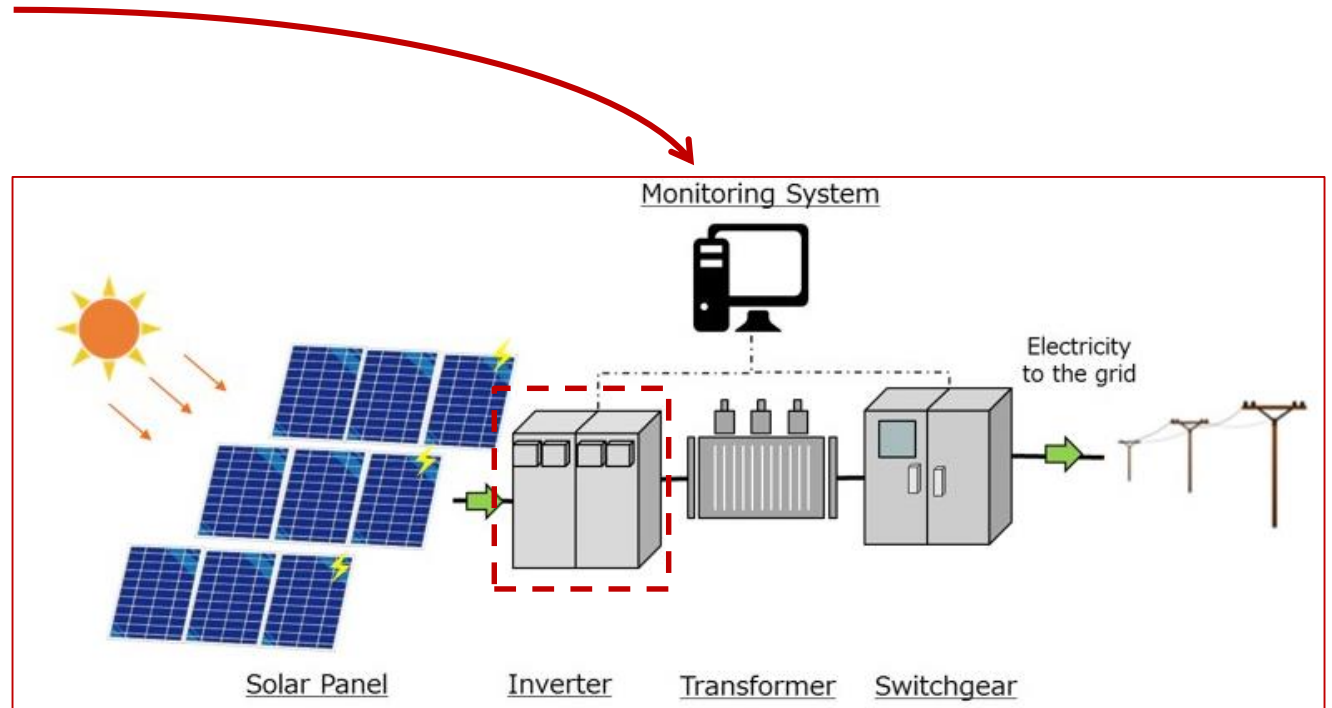
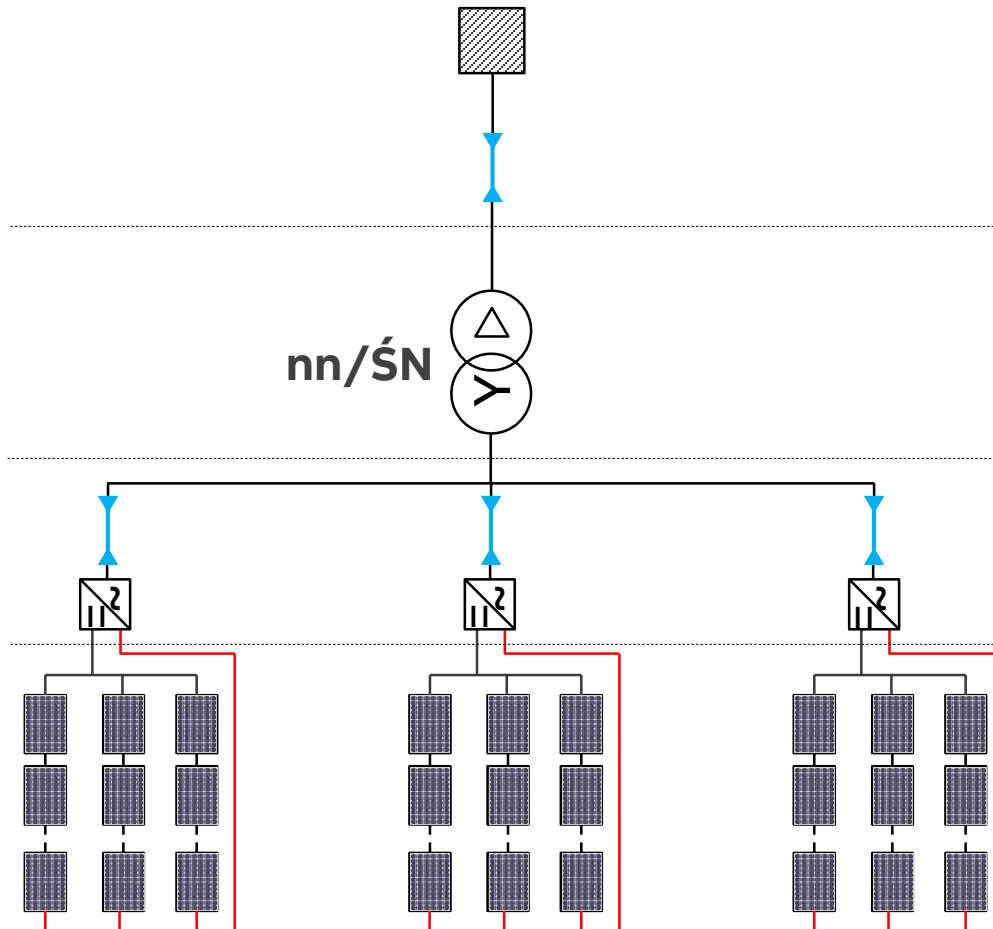


ABB / Fimer SPA

Typowa topologia elektrowni PV



Sieć dystrybucyjna / przesyłowa

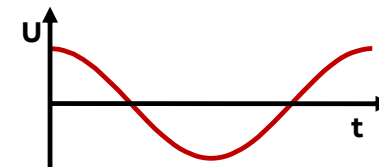
- MV / HV
- S_k , X/R

Transformator:

- nn/ŚN
- np. 0.4 kV / 15 kV

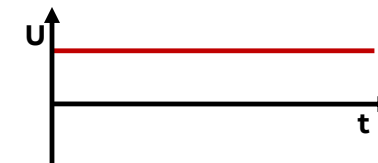
Falownik napięcia:

- napięcie DC → AC
- sterowanie mocą

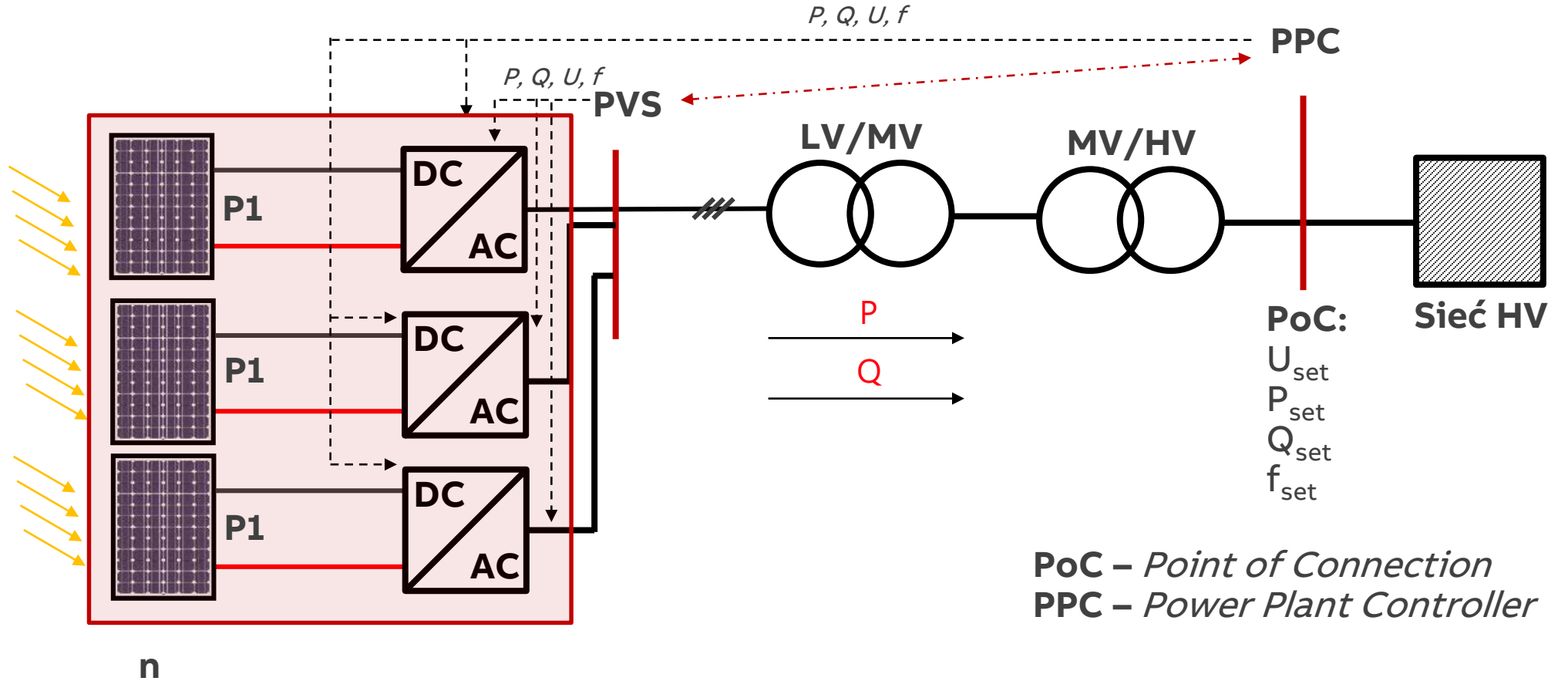


Panele PV:

- napięcie DC ~ 1 kV
- moc: kW ÷ MW

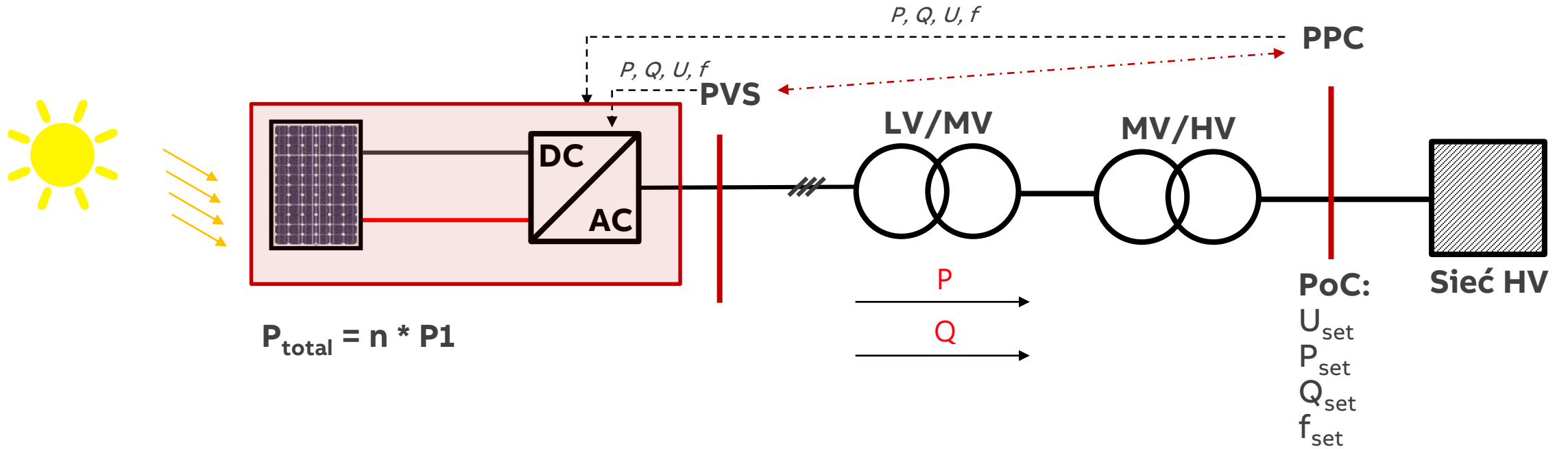


Elektrownia PV – współpraca z siecią



PoC – Point of Connection
 PPC – Power Plant Controller

Elektrownia PV – współpraca z siecią

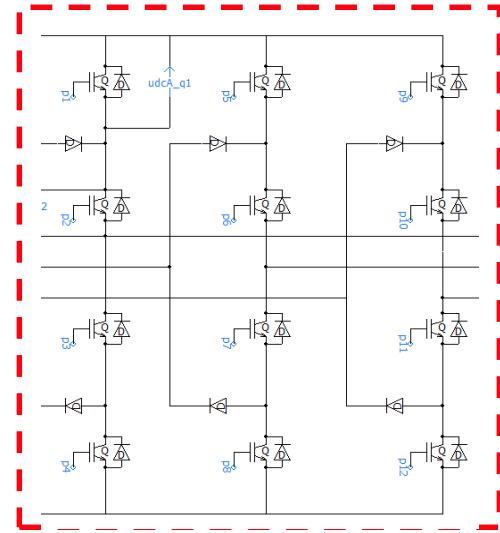
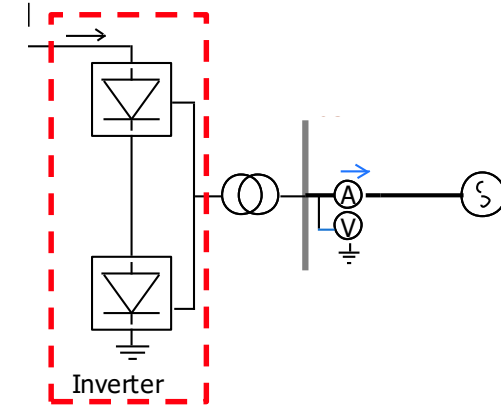
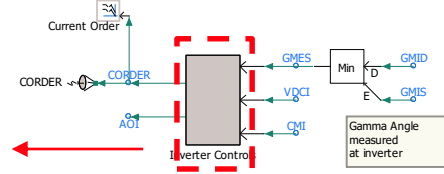
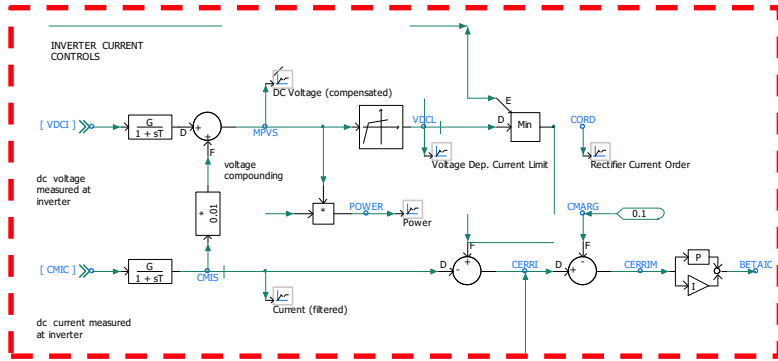


PoC – Point of Connection
 PPC – Power Plant Controller

Modelowanie falowników solarnych

Podejście klasyczne

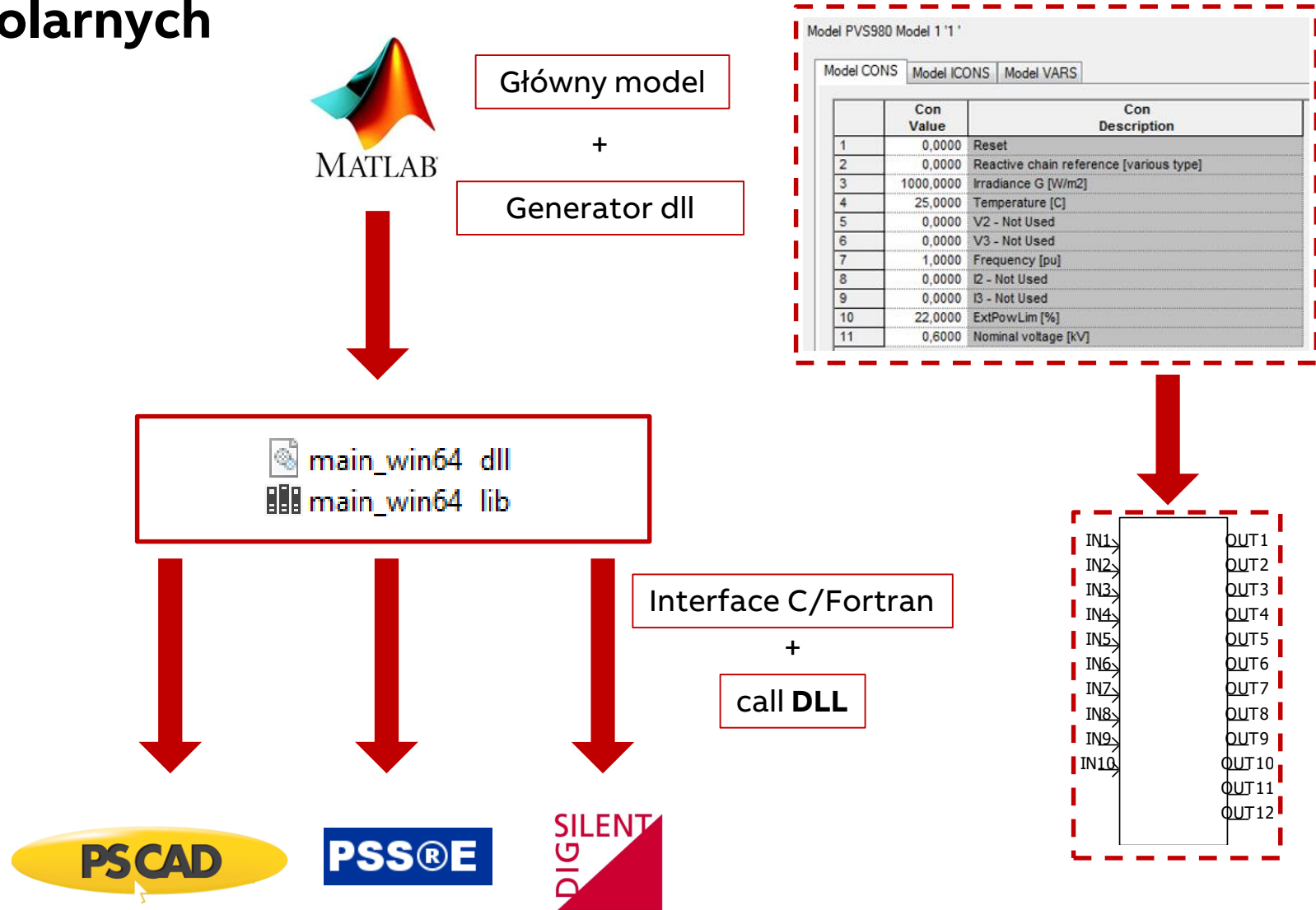
- Model jest przygotowany „od zera” dla każdego środowiska osobno
- Topologia falownika
- Algorytmy sterowania
- **Black box** – nie zawsze jest możliwy
- **Brak możliwości ochrony know-how**



Modelowanie falowników solarnych

DLL

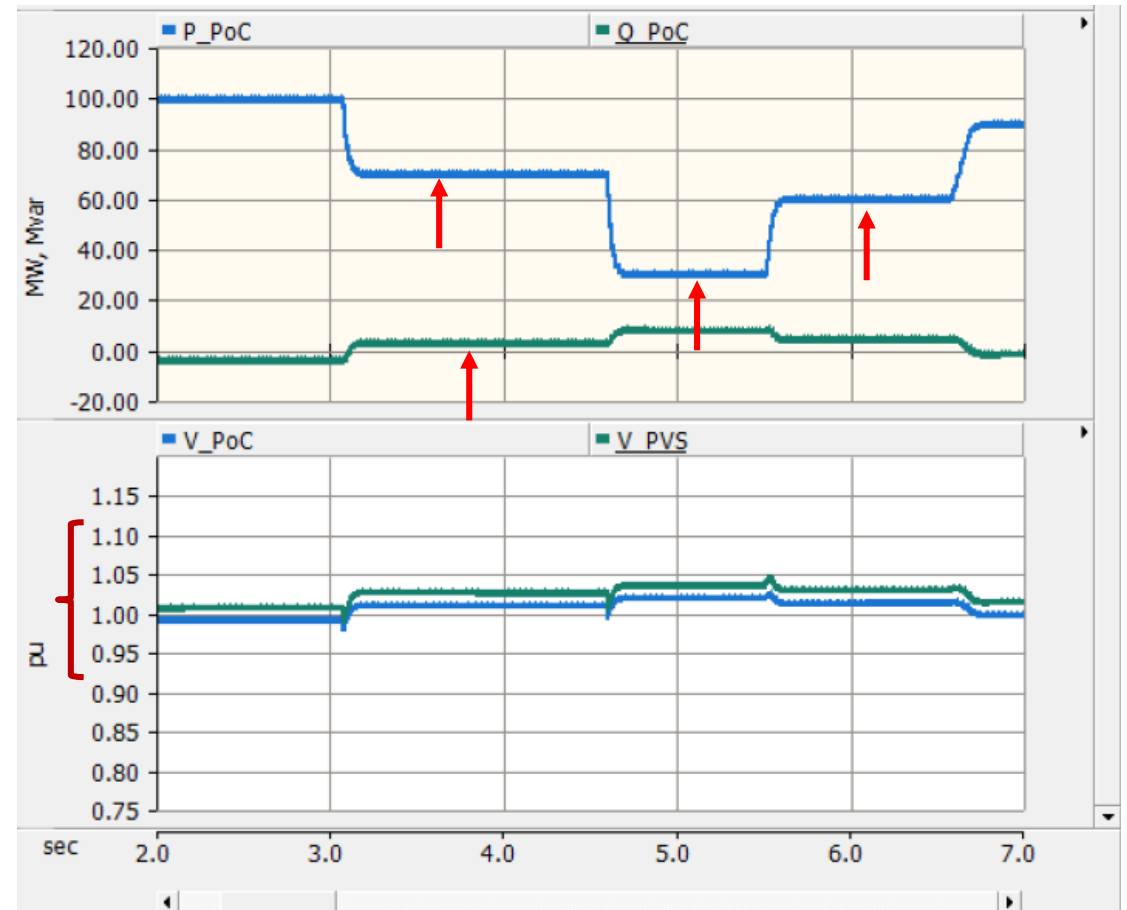
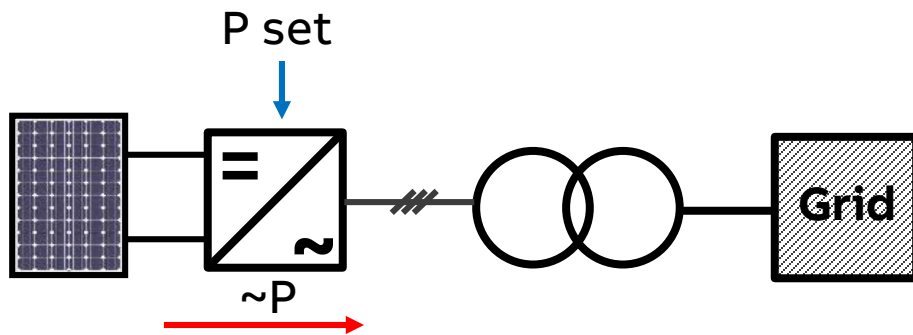
- Model główny → root model
- **Black box** → plik *.dll lub plik *.lib
- Interface C / Fortran
- Unifikacja algorytmów sterowania
- Pełne możliwości konfiguracji falownika
- **Ochrona know-how**



Regulacja mocy czynnej

Podstawowe wymagania

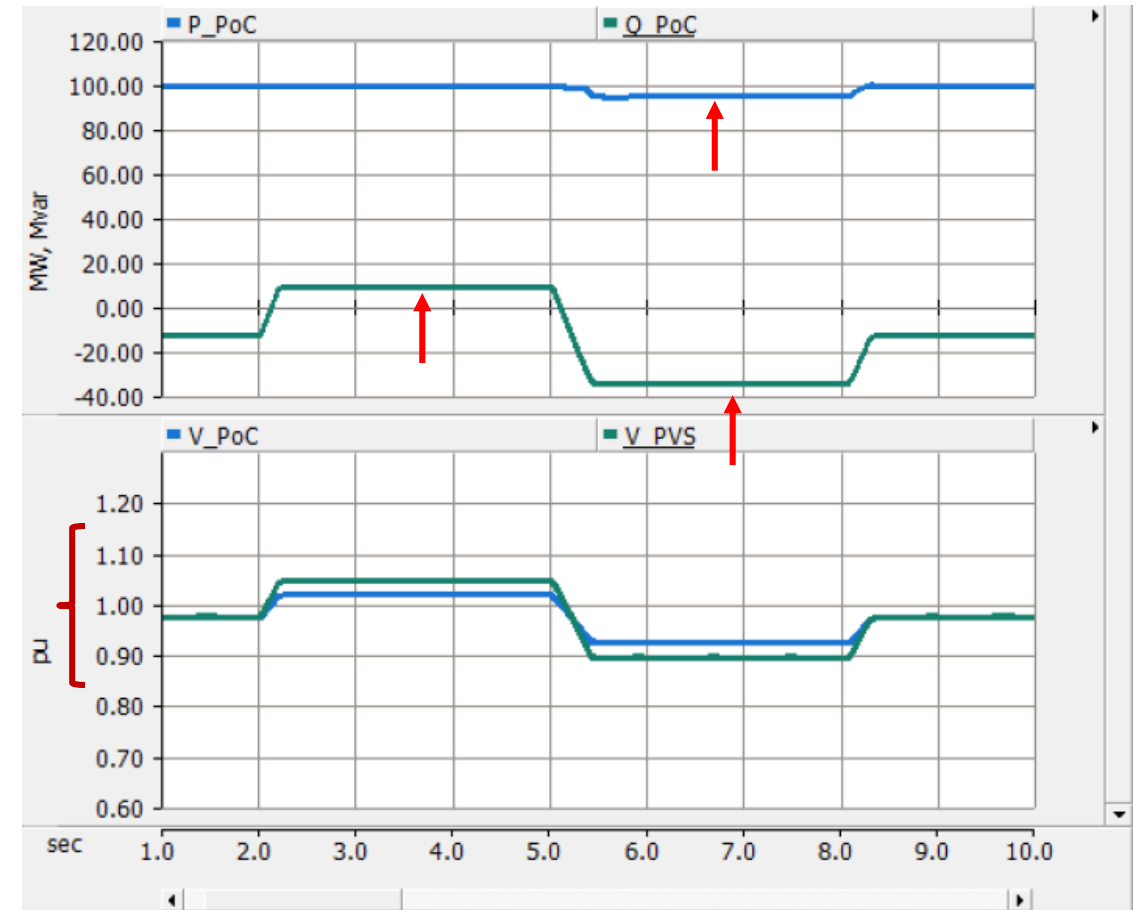
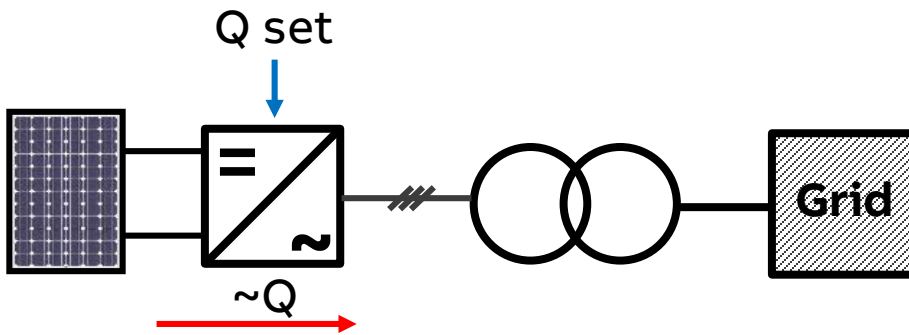
- Płynna regulacja
- Sterowanie poprzez PVS lub PPC
- Limity na PoC oraz PVS
- Dozwolone przeciążenia
- Stromość narastania (Kp/Ki)



Regulacja mocy biernej oraz napięcia

Podstawowe wymagania

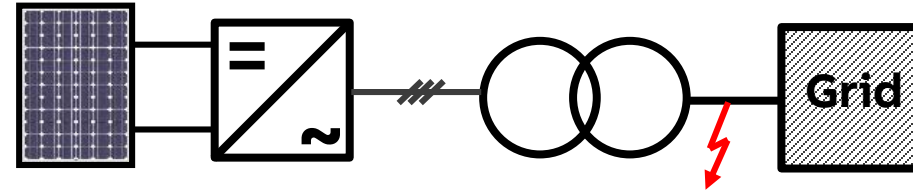
- Zakres regulacji mocy biernej
- Zakres regulacji napięcia
- Charakterystyka $Q(U)$ oraz $P(Q)$ dla elektrowni
- Priorytetyzacja P/Q względem S



Zwarcia na PVS / PoC – FRT

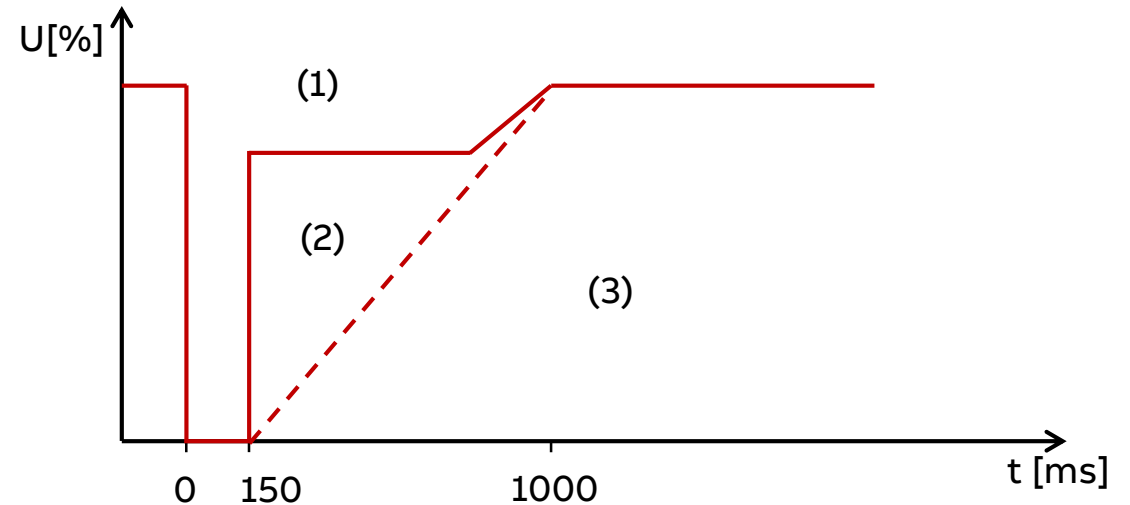
Efekty zwarć oraz wymagania

- Efekt: zapad napięcia
- FRT – Fault Ride Through (LVRT)
- HVRT – wzrost napięcia
- Zabezpieczenia LVRT/HVRT falownika
- Generacja mocy biernej $Q_{\text{cap}} / Q_{\text{ind}}$



FRT – Fault Ride Through

- (1) Elektrownia musi być podłączona do sieci
- (2) Elektrownia może być wyłączona
- (3) Elektrownia musi być wyłączona



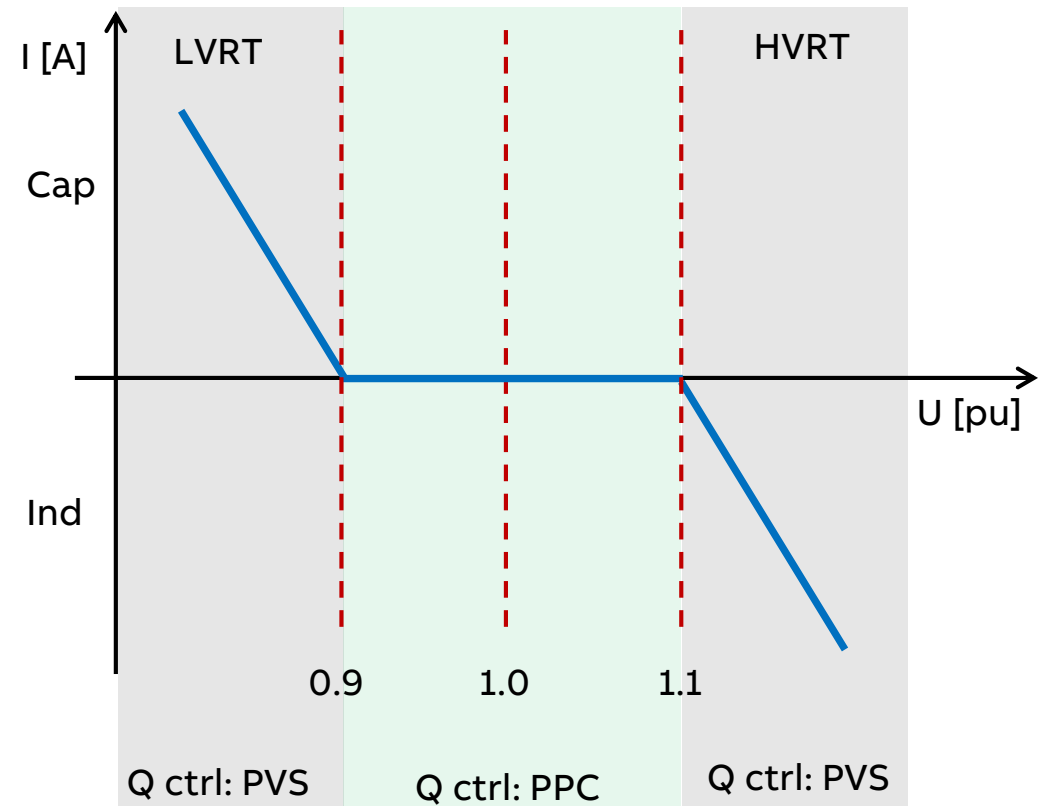
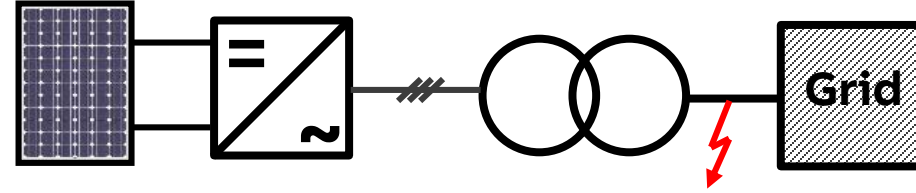
Zwarcia na PVS / PoC – GS

Grid support

- Tylko podczas FRT (<0.9 pu lub >1.1 pu)
- Poziomy aktywacji: LVRT/HVRT (0.9 pu / 1.1 pu)
- Kontrola napięcia podczas zaburzeń
- Wsparcie sieci
- Generacja mocy biernej Q_{cap} / Q_{ind}

Współpraca z PPC:

- Kontrola mocy biernej – tylko w czasie stanu ustalonego (0.9 – 1.1 pu)
- Przejście PPC w stan oczekiwania (freeze ctrl)
- Koordynacja poziomów aktywacji i deaktywacji kontroli mocy biernej/napięcia



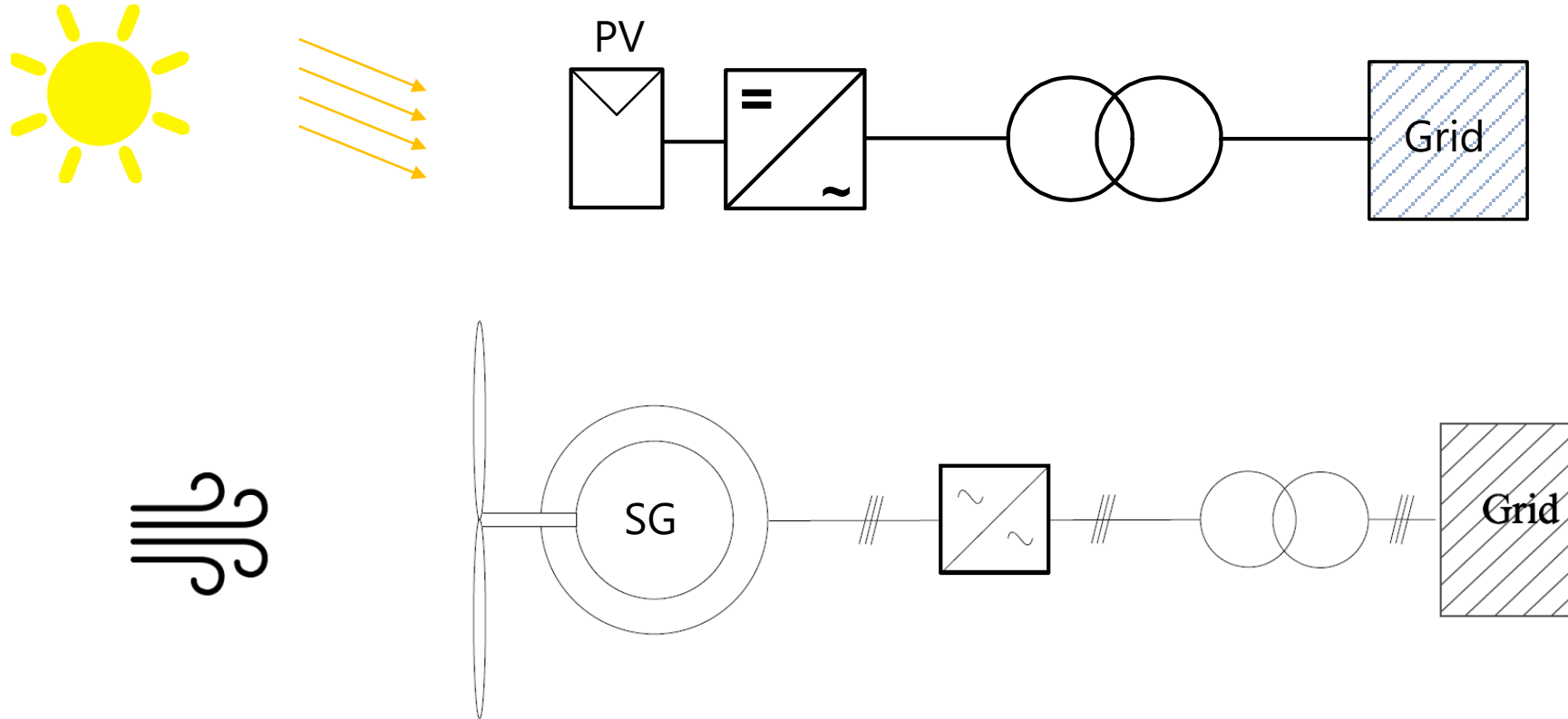
Mały off – topic: wiatrem czy słońcem?

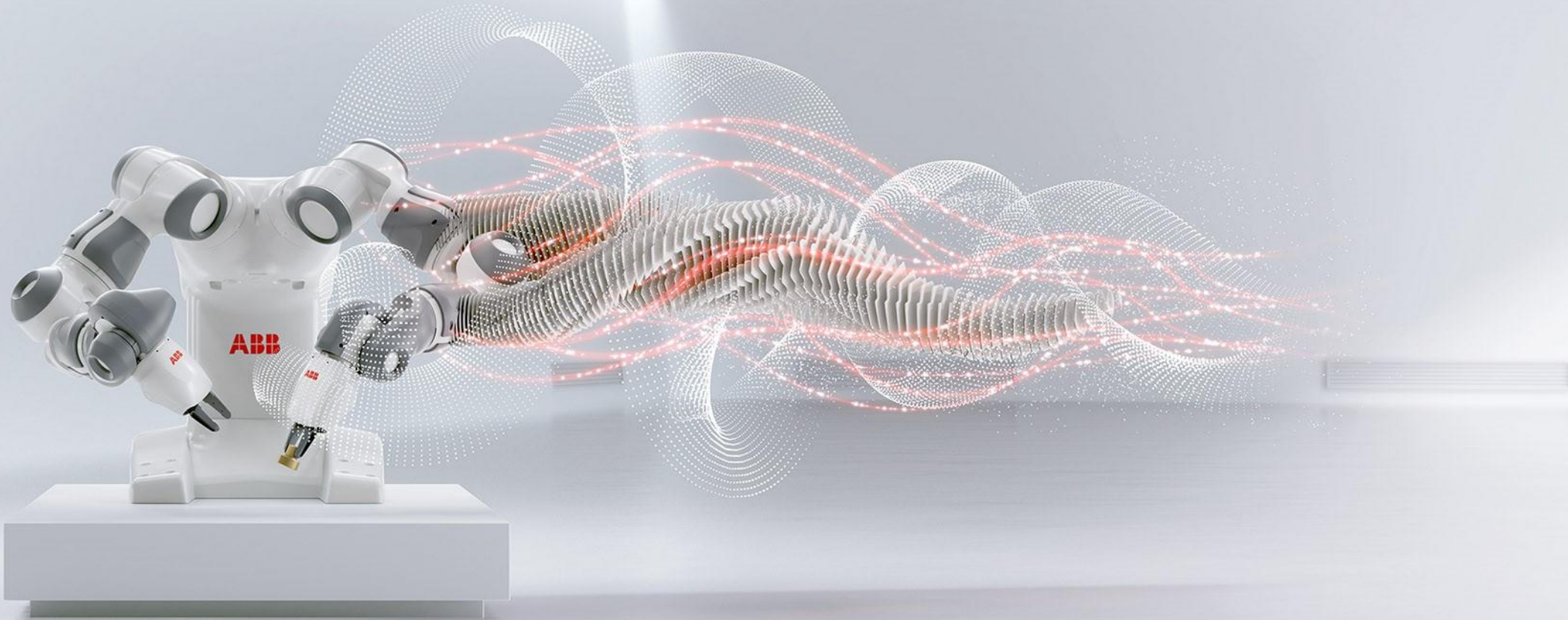
Z pozoru to całkiem różne technologie, prawda?



Ale podobieństw nie brak..

Bardzo podobny zakres analiz!

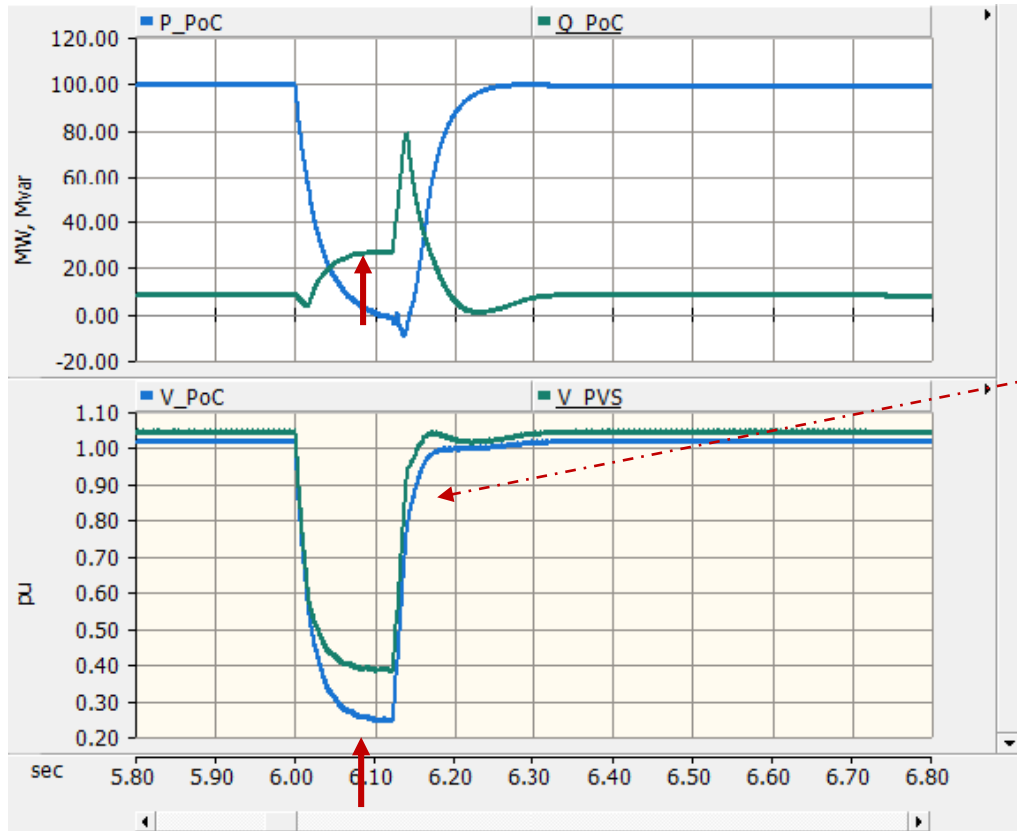




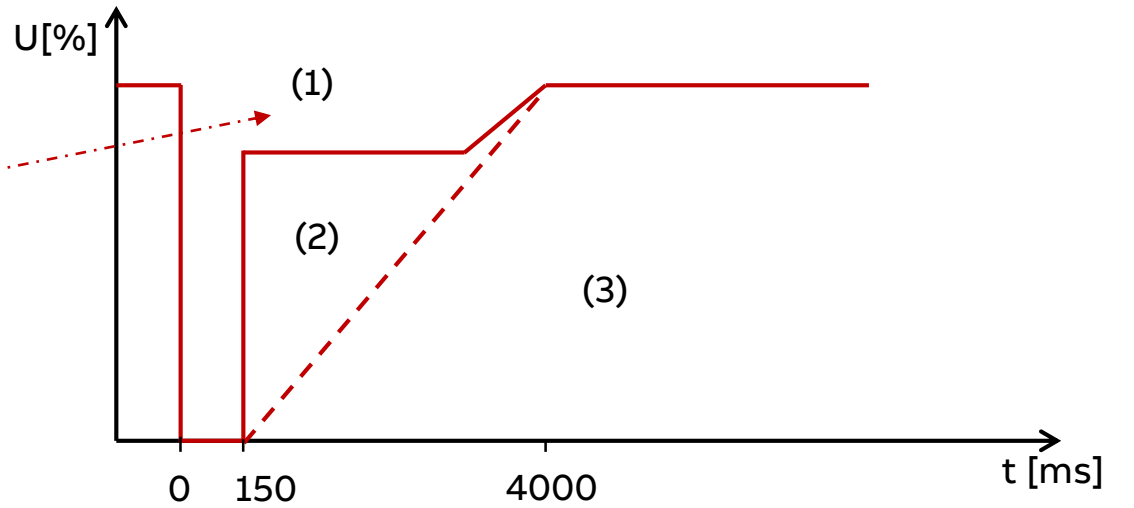
Przykłady symulacji w programie PSCAD

Przykłady – zwarcie do 0.25 pu

LVRT

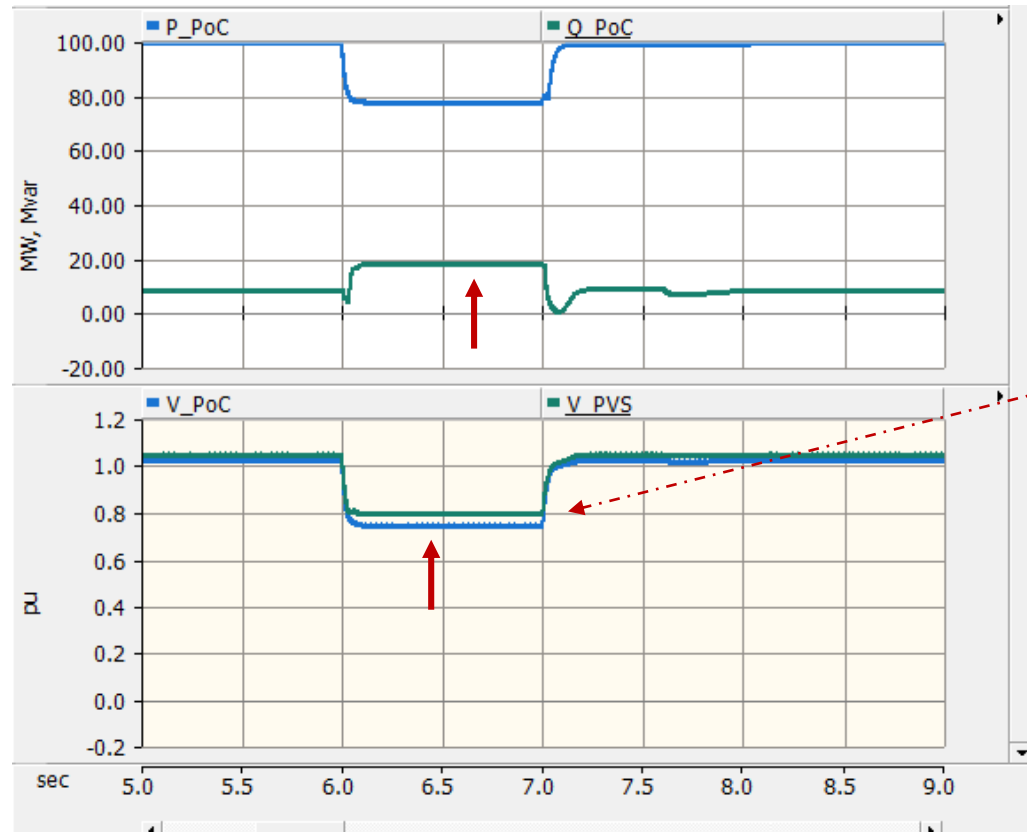


Falownik wciąż jest podłączony do sieci

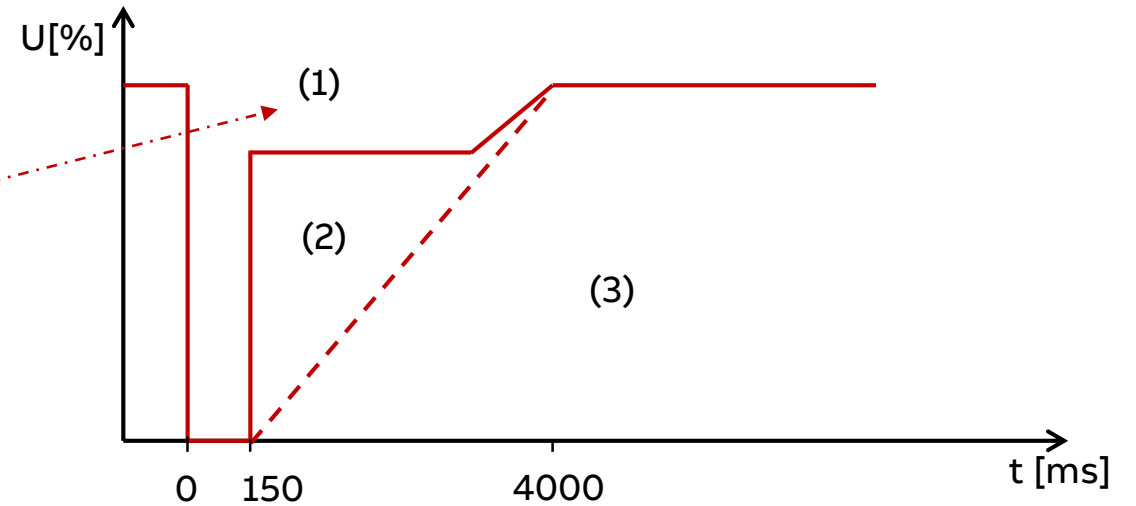


Przykłady – zwarcie do 0.7 pu

LVRT

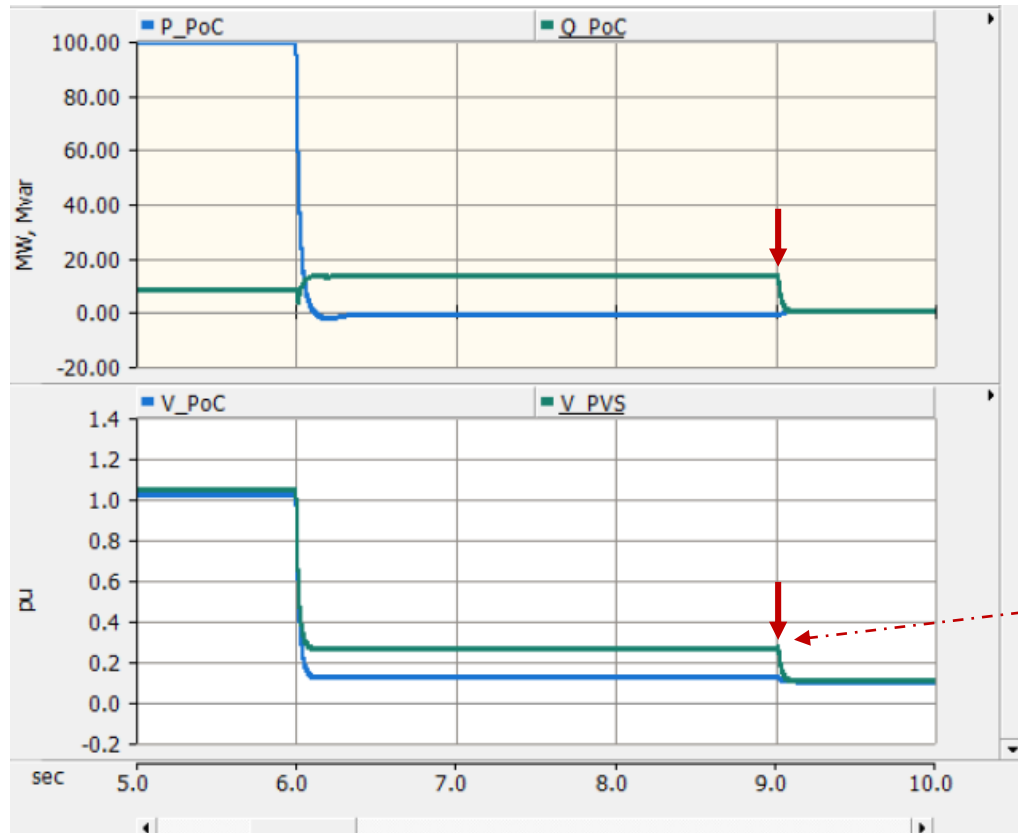


Falownik wciąż jest podłączony do sieci

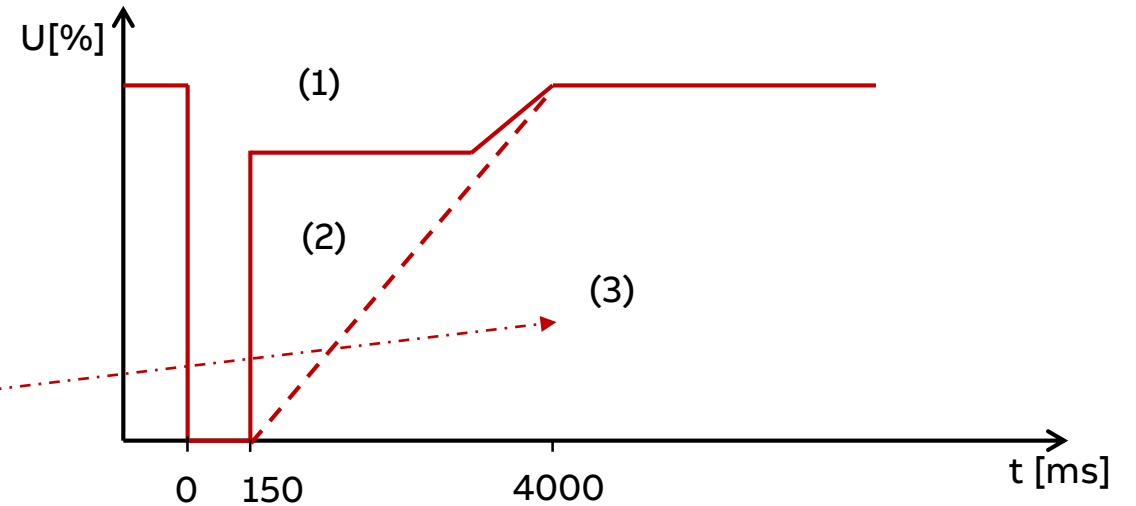


Przykłady – zwarcie do 0.15 pu

LVRT z zadziałaniem zabezpieczenia podnapięciowego



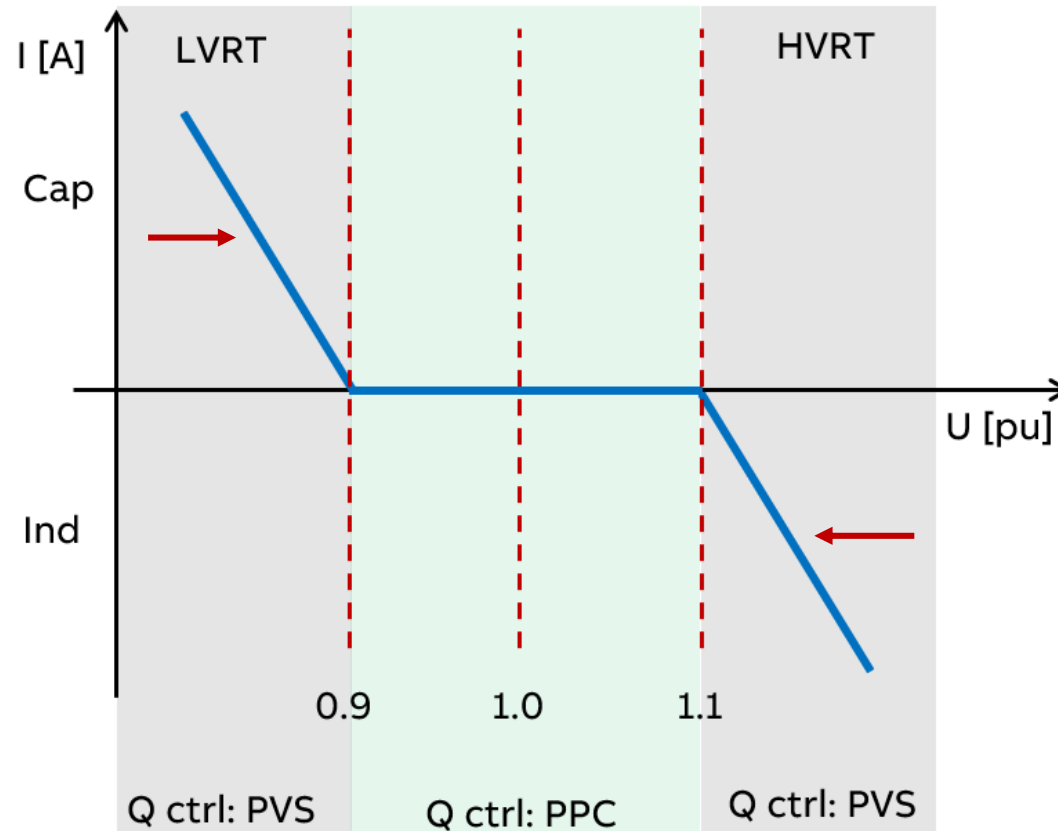
Falownik zostaje wyłączony



Jak temu zaradzić?

Po co nam właściwie ten „grid support”?

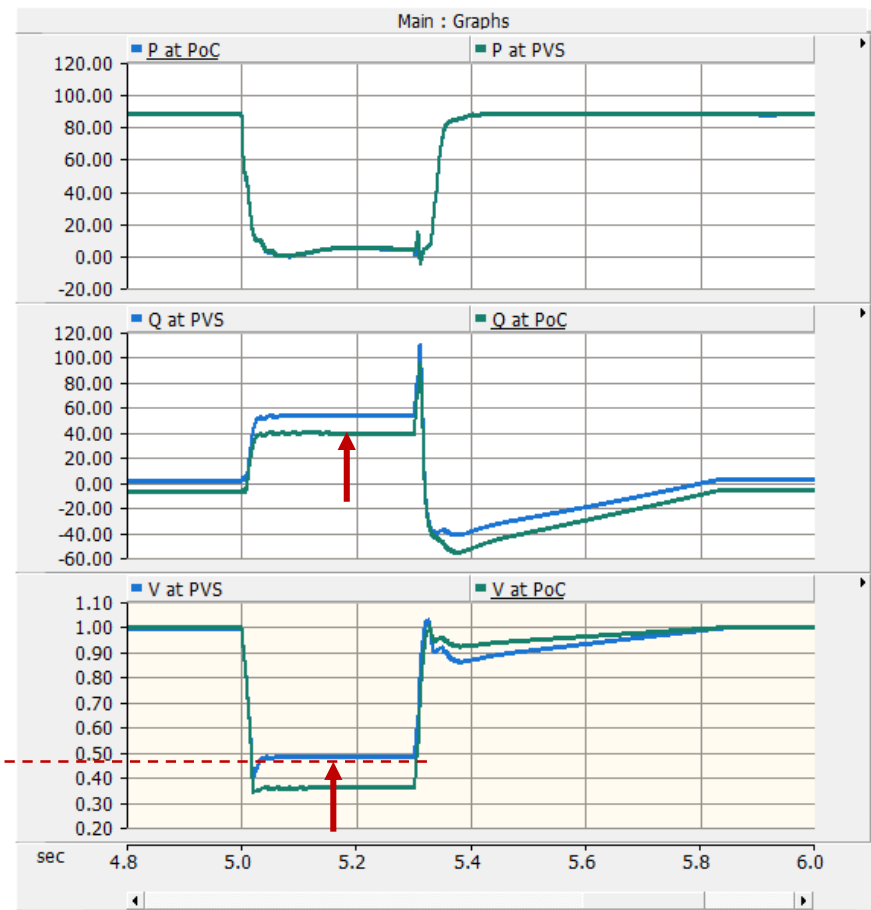
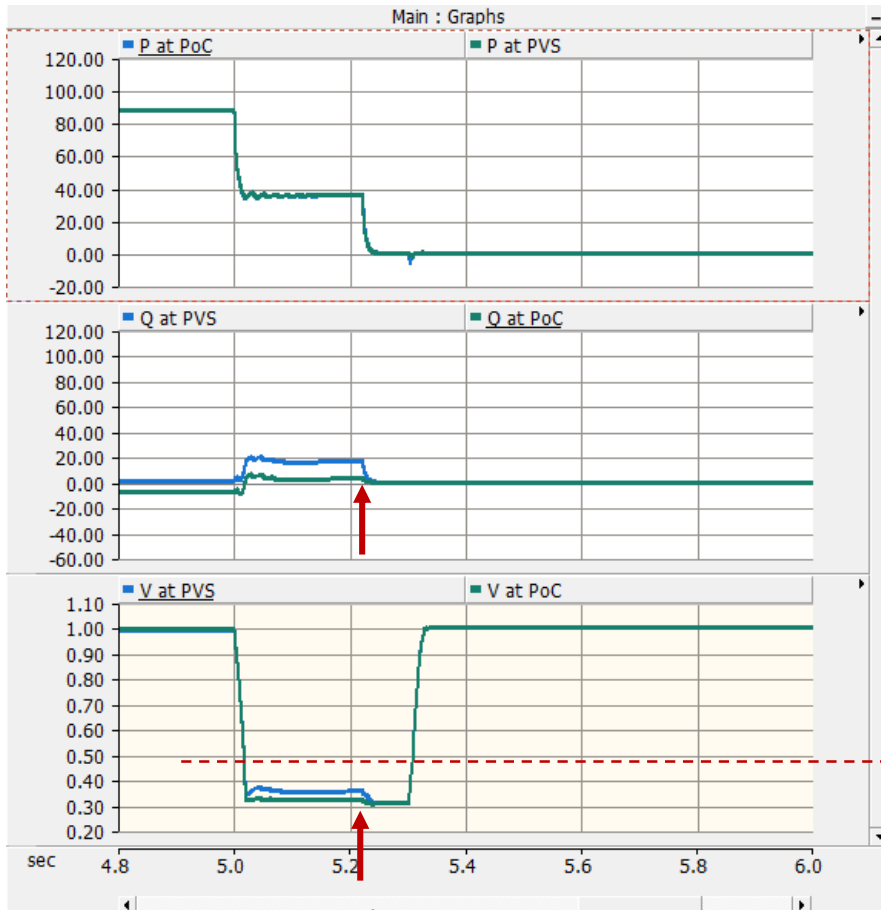
Generacja Q podczas zwarcia
(współczynnik k)



Generacja mocy biernej podczas zwarcia

Grid support, $k = 1$

Grid support, $k = 6$



V:PVS

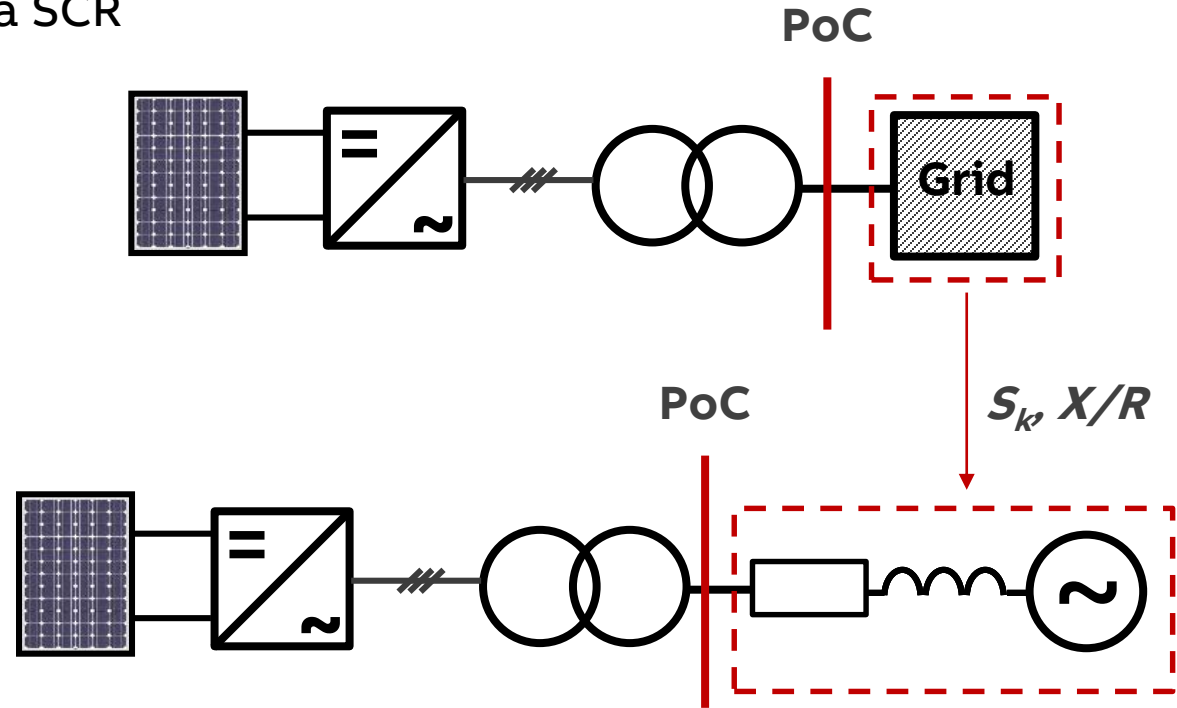


Q_{cap}

Falownik wciąż jest podłączony do sieci

Wpływ sieci zasilającej na pracę falownika

Słaba sieć (*weak grid*) – definicja SCR



SCR → Short Circuit Ratio

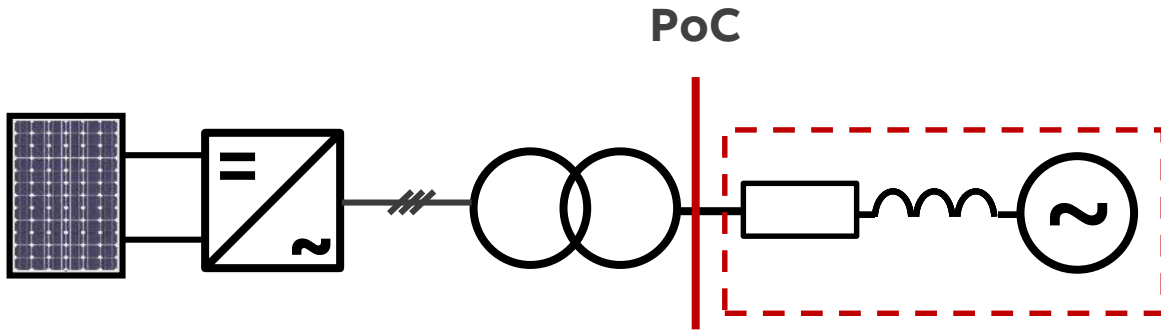
$$SCR = \frac{S_k}{S_n}$$

S_k – moc zwarciova sieci

S_n – moc znamionowa elektrowni

Wpływ sieci zasilającej na pracę falownika

Słaba sieć (*weak grid*) – definicja SCR



SCR → **Short Circuit Ratio**

$$SCR = \frac{S_k}{S_n}$$

S_k – moc zwarciowa sieci

S_n – moc znamionowa elektrowni

SCR – zakresy:

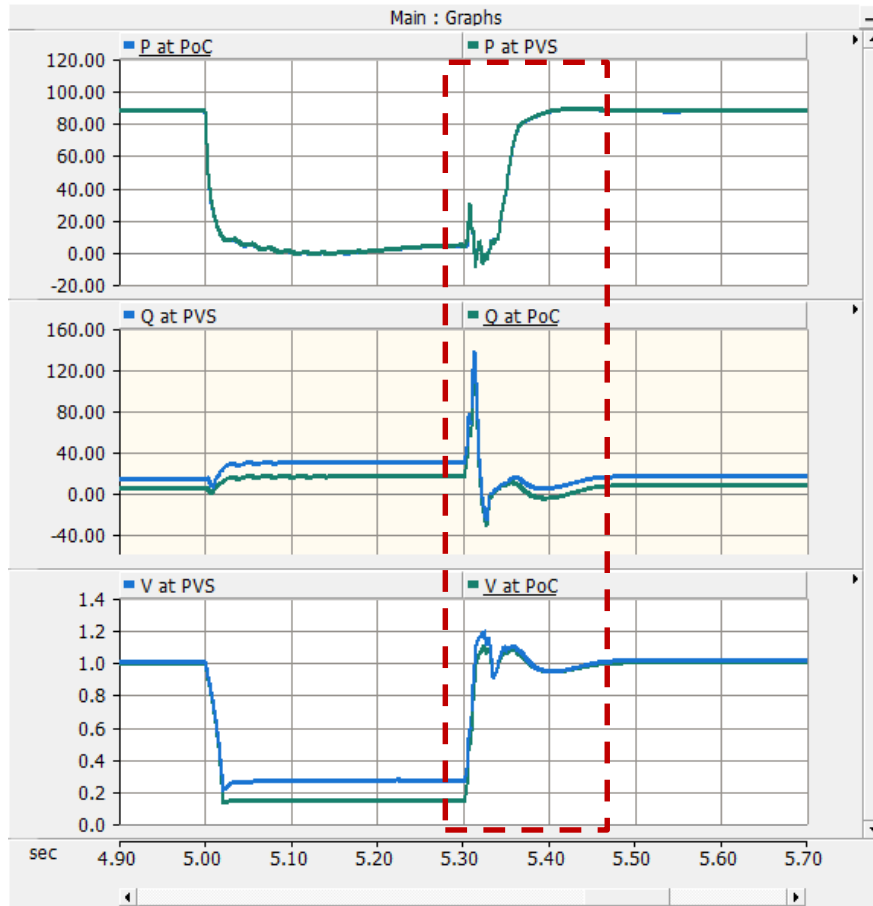
- SCR < 3: **słaba sieć**
- SCR > 7: **mocna sieć**
- 3 < SCR < 7

Możliwe następstwa przy niskim SCR:

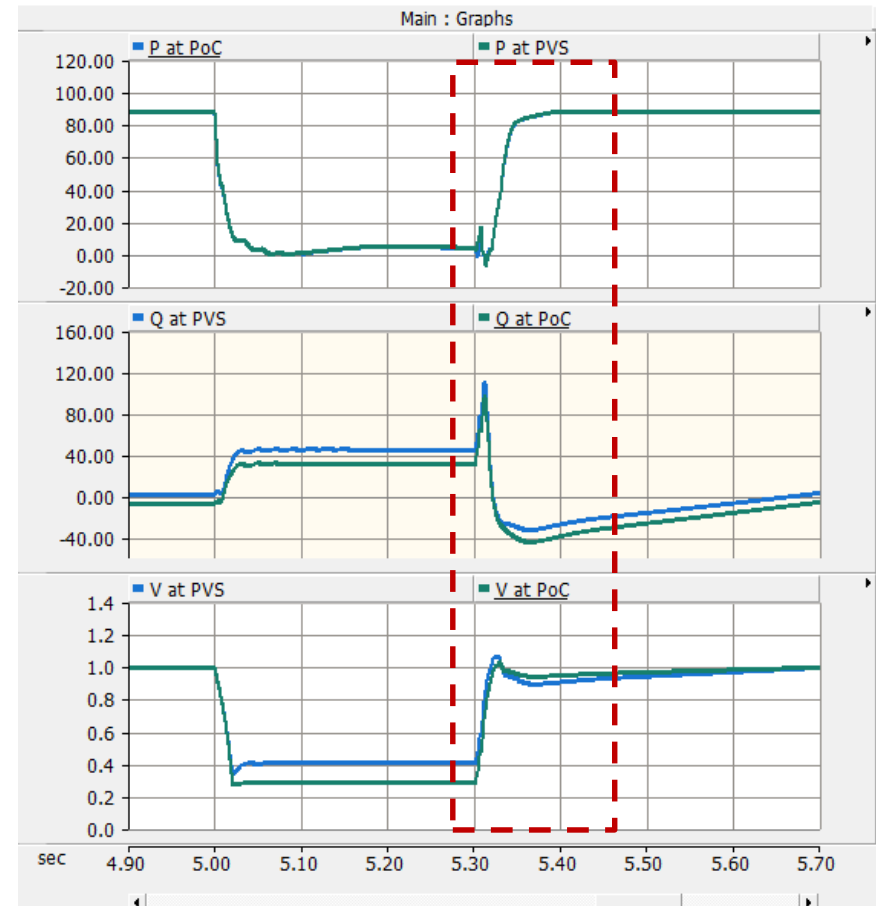
- Fluktuacje napięcia i mocy biernej
- $\Delta Q \Leftrightarrow \Delta V$
- $\Delta V \Leftrightarrow \Delta Q$
- Ograniczony zakres generacji Q
- Oscylacje podczas stanów awaryjnych
- Niestabilność numeryczna

Stany zwarciove – słaba sieć vs mocna sieć

SCR = 2.5



SCR = 7



Takie same?

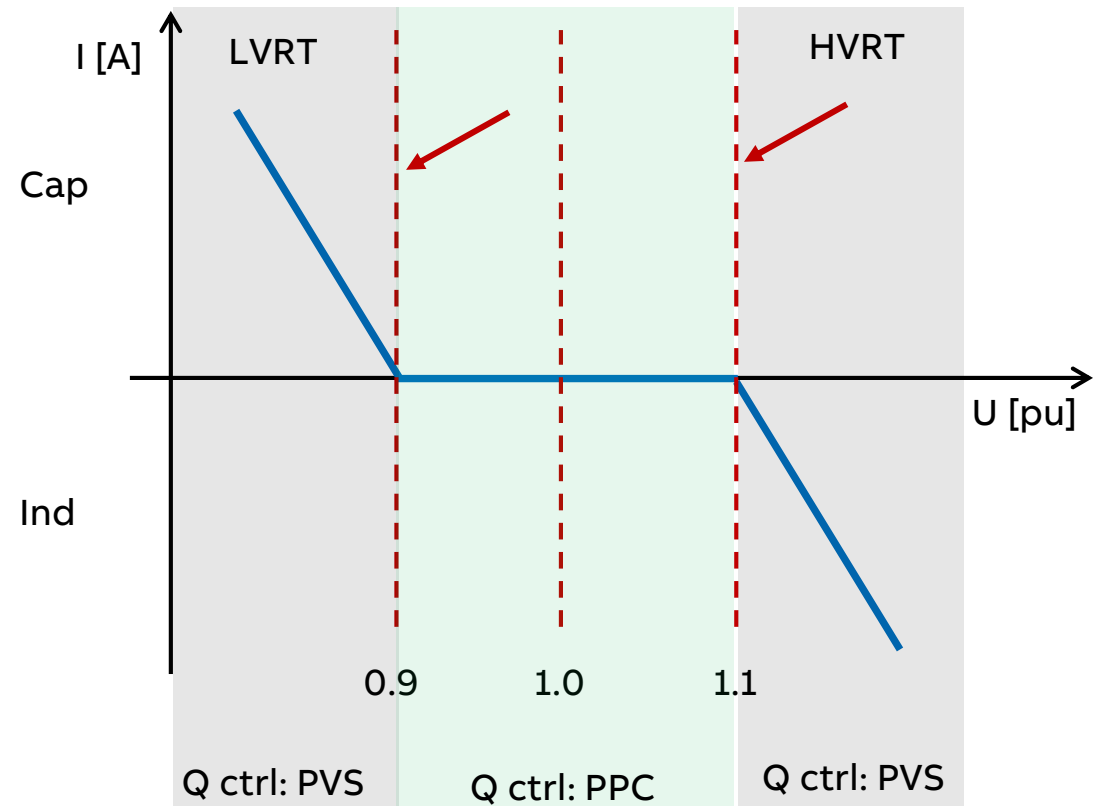
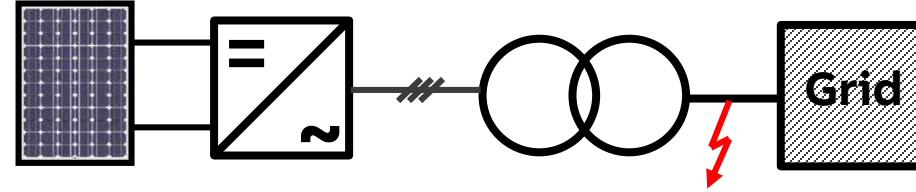
Wróćmy do definicji GS

Grid support

- Tylko podczas FRT (<0.9 pu lub >1.1 pu)
- Poziomy aktywacji: LVRT/HVRT (0.9 pu / 1.1 pu)
- Kontrola napięcia podczas zaburzeń
- Wsparcie sieci
- Generacja mocy biernej Q_{cap} / Q_{ind}

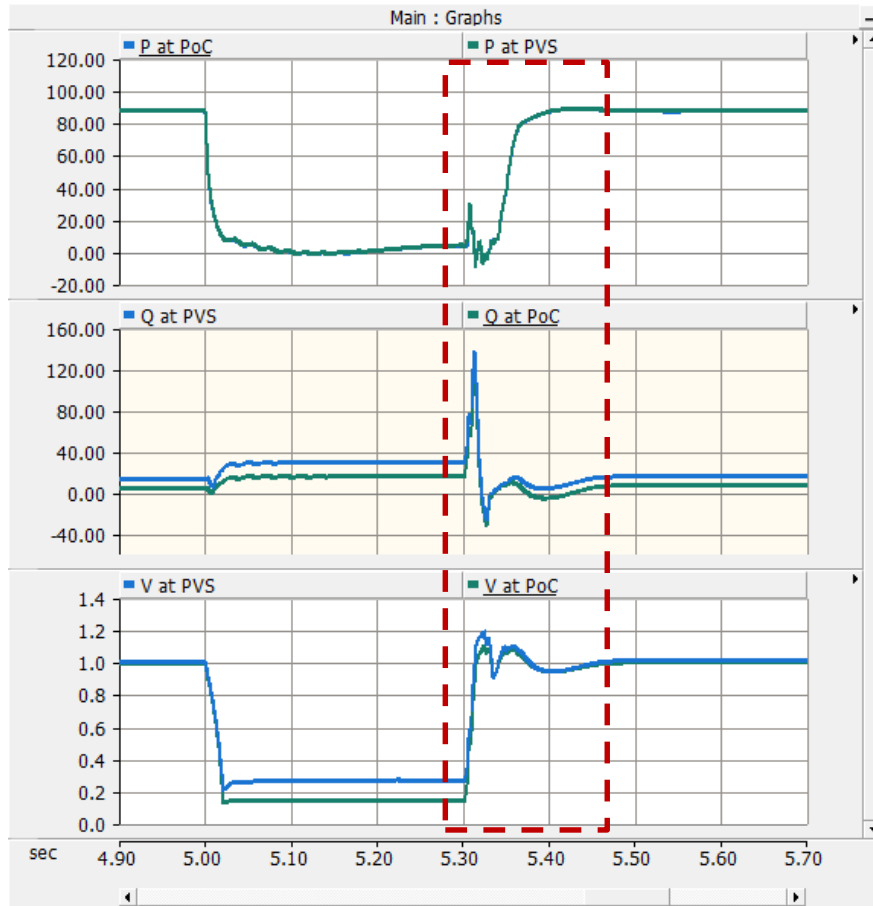
Współpraca z PPC:

- Kontrola mocy biernej – tylko w czasie stanu ustalonego ($0.9 - 1.1$ pu)
- Przejście PPC w stan oczekiwania (freeze ctrl)
- Koordynacja poziomów aktywacji i deaktywacji kontroli mocy biernej/napięcia

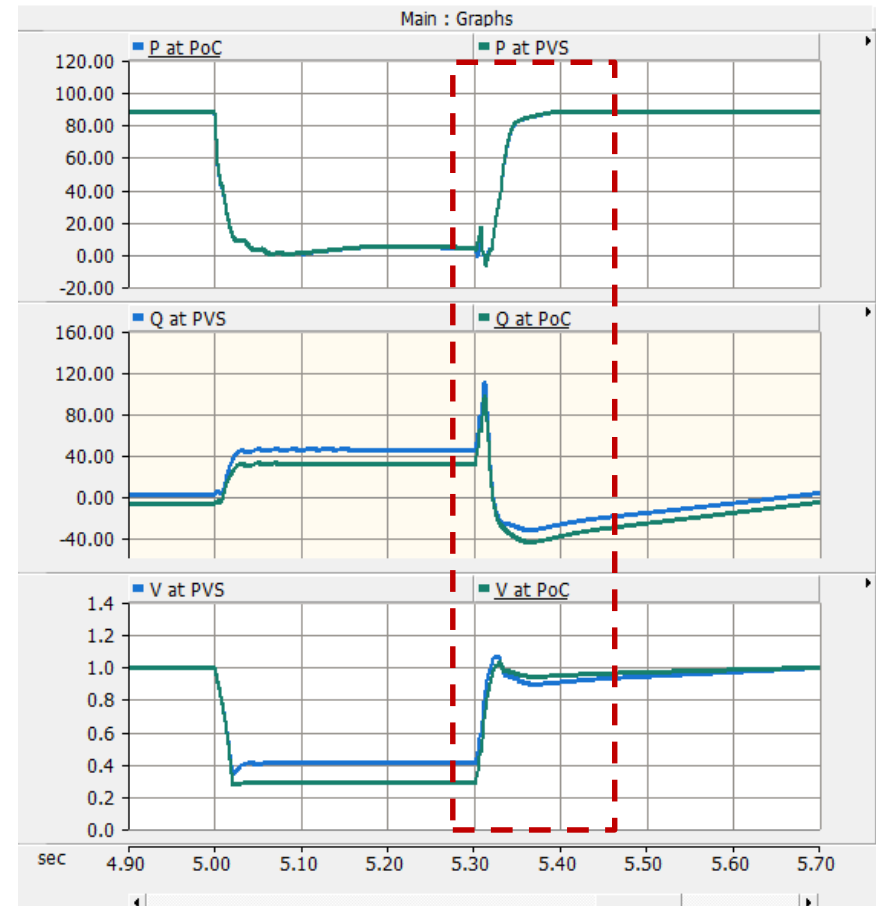


Stany zwarciove – słaba sieć vs mocna sieć

SCR = 2.5

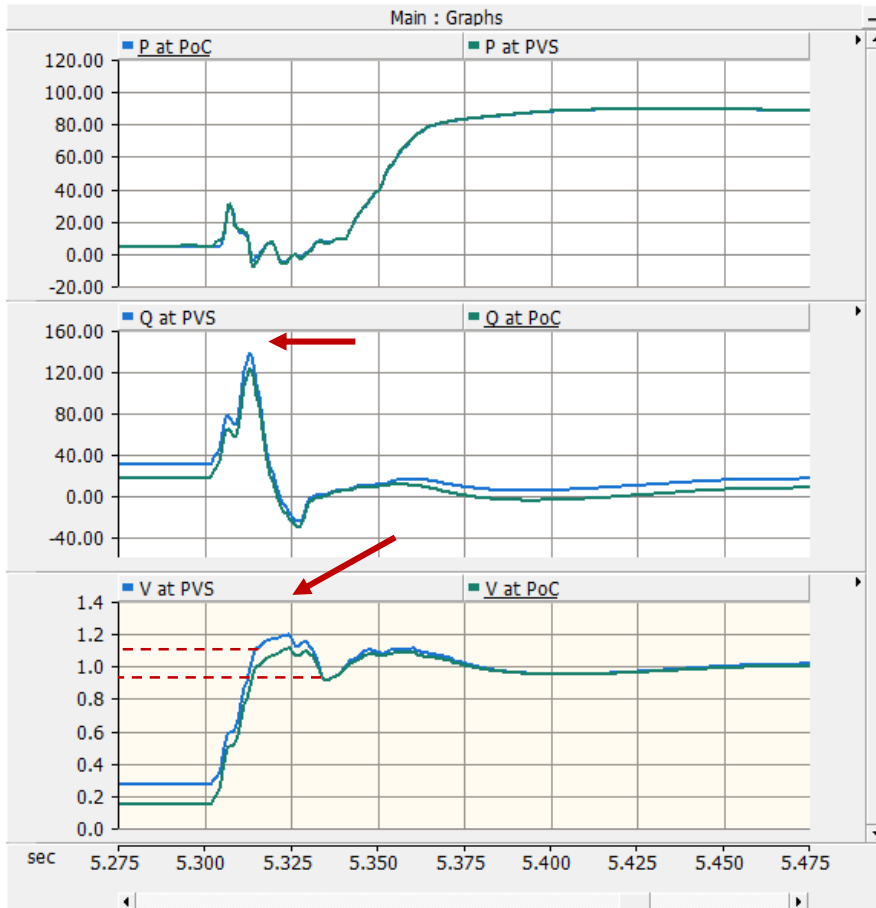


SCR = 7

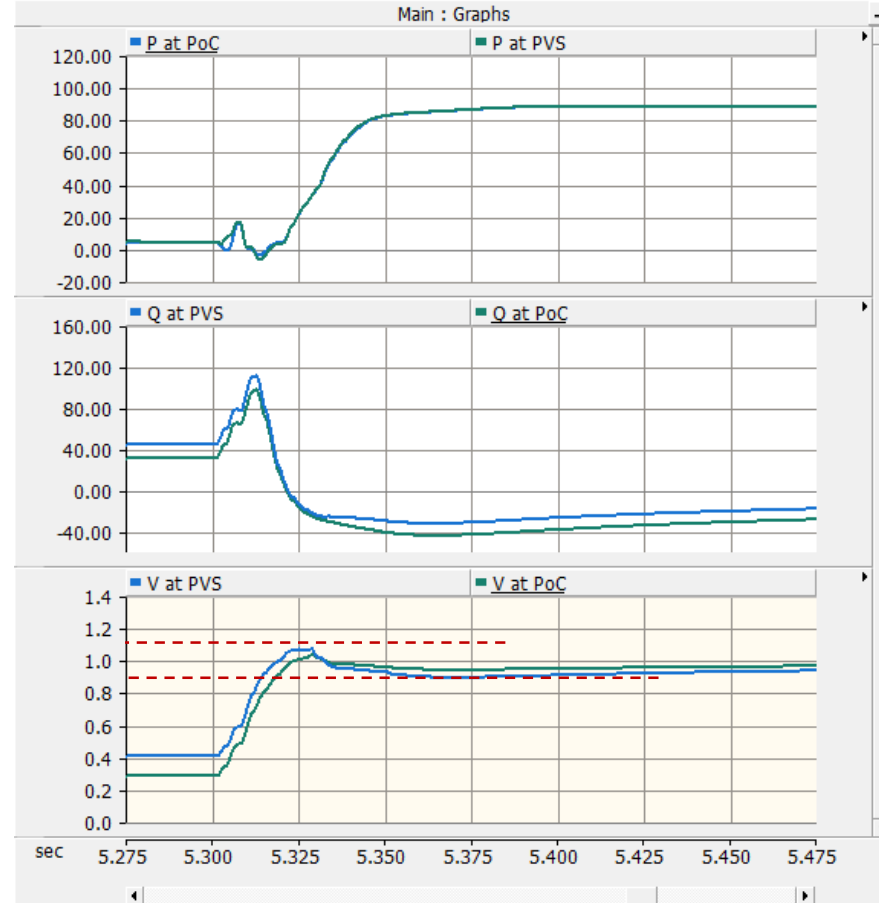


Stany zwarcione – słaba sieć vs mocna sieć

SCR = 2.5
Limity HVRT przekroczone

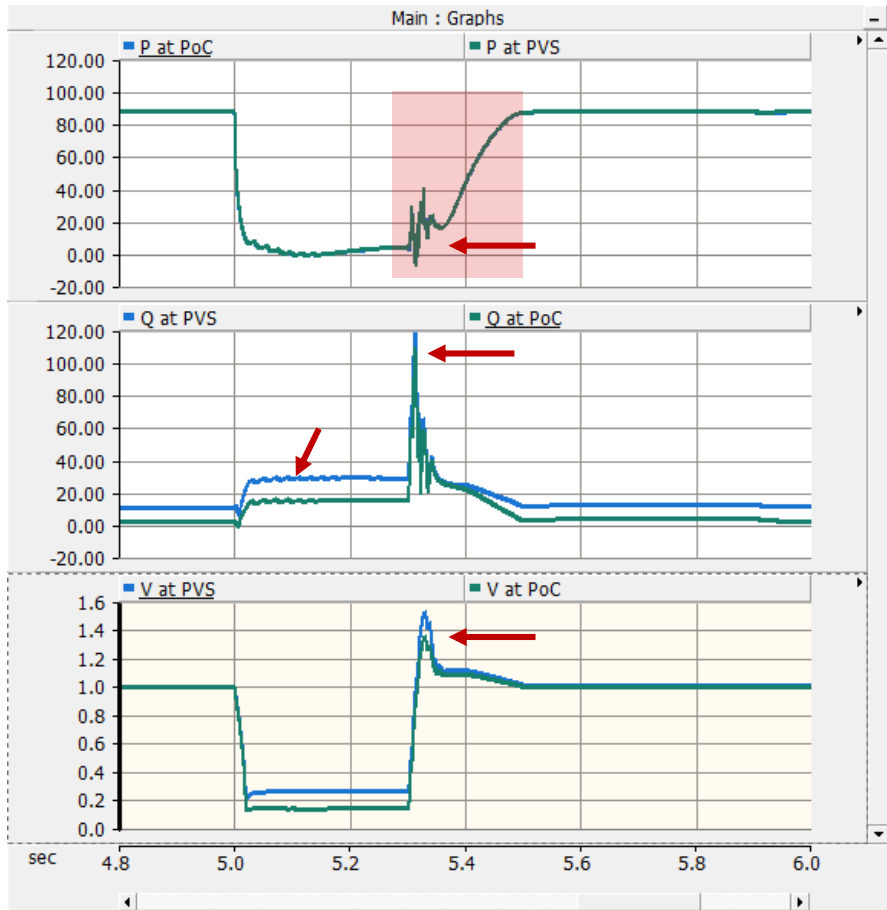


SCR = 7
Limity HVRT nieprzekroczone

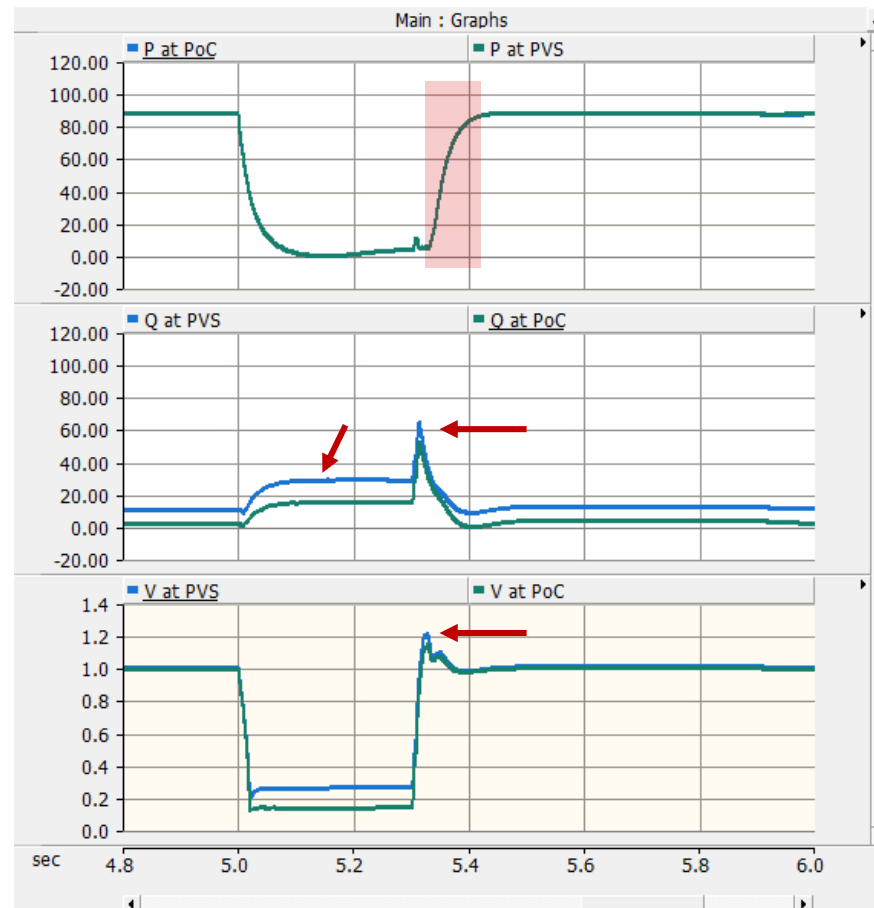


Co jeśli SCR nie można zwiększyć? Pozostaje **dobór parametrów**

Wynik negatywny



Wynik pozytywny



Skąd poprawa:

- Filtrowanie sygnałów wejściowych
- Limity Grid Support
- Opóźnienie aktywacji
- Stałe czasowe algorytmów

Dobór parametrów:

- Decydują drobne różnice!
- PVS: 200+ parametrów
- PPC: 250+ parametrów
- Ilość scenariuszy: 200+



tomasz.kuczek@pl.abb.com