

POLITECHNIKA WARSZAWSKA
Wydział Elektryczny

**Projekt elektrowni
fotowoltaicznej dołączonej do
sieci elektroenergetycznej
trójfazowej**

**Patryk Kuryj, Stanisław Zajączkowski,
Gabriel Drażek**
Zespół nr. 7

Prowadzący
dr inż. Adam Milczarek, mgr inż. Radosław Kot

WARSZAWA, 2024

Spis treści

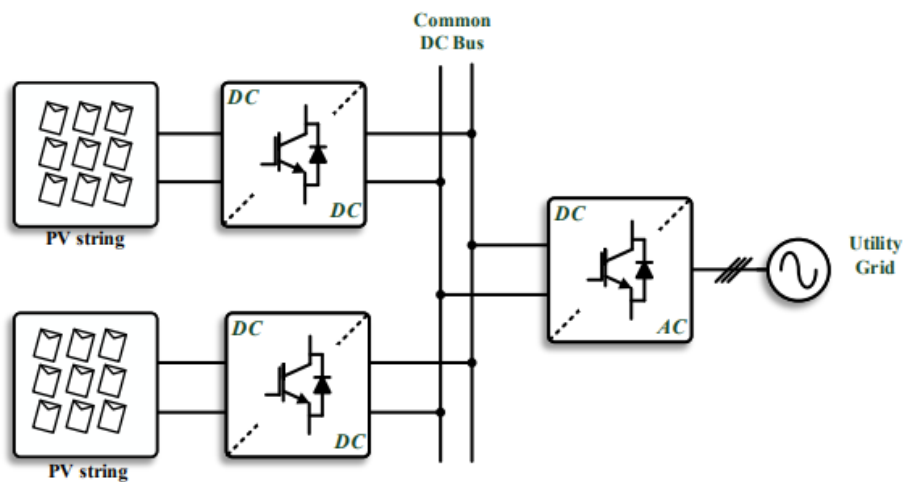
1	Założenia projektowe	2
2	Panele Fotowoltaiczne	3
3	Przekształtniki DC/DC	4
4	Przekształtnik DC/AC	9
5	Wyniki	11

Zadanie projektowe nr. 7

Niedziela 15 grudnia, 2024

1 Założenia projektowe

Problemem projektowym do rozwiązania było zaprojektowanie elektrowni fotowoltaicznej opartej na dwóch stringach paneli, dołączonej do sieci trójfazowej, trójprzewodowej 3x400 V RMS. Opracowanie projektu polegało na doborze elementów elektrowni, paneli fotowoltaicznych, elementów elektronicznych biernych i czynnych, implementacji sterowania układu z wykorzystaniem sterowania MPP sterującego pracą paneli i sterowaniem VOC kontrolującego pracę przekształtnika sieciowego. Schemat rozpatrywanego systemu przedstawia Rys. 1



Rys 1: Schemat poglądowy elektrowni.

parametry znamionowe projektowanej elektrowni fotowoltaicznej zostały przedstawione w tabeli 1

Tabela 1: Parametry projektowe instalacji.

Parametr	Wielkość
Napięcie Voc	600 V
Moc znamionowa w punkcie przyłączeni do sieci	15 kVA
Generacja mocy biernej	$\pm 10\%$
Tętnienia prądów DC i AC	$< 10\%$

2 Panele Fotowoltaiczne

Prace projektowe rozpoczęto od wybrania panelu fotowoltaicznego. Wybrany został panel firmy: JBGPV, model: JBG2-MF60SBF-300.

Parametry panelu:

- $V_{oc} = 39.92 \text{ V}$
- $I_{sc} = 9.77 \text{ A}$
- $P_{max} = 300 \text{ Wp}$

W obliczeniach uwzględniono założenia projektowe przedstawione w tabeli 1. Do obliczenia mocy przyłączeniowej doliczono 10 procent mocy na straty występujące na elementach systemu.

Obliczenia:

Ilość paneli w stringu:

$$\frac{600 \text{ V}}{39.92 \text{ V}} = 15,03 \approx 15$$

Łączna ilość paneli:

$$\frac{15 \text{ kVA} + 20\% * 15 \text{ kVA}}{0,3 \text{ kWp}} = 60$$

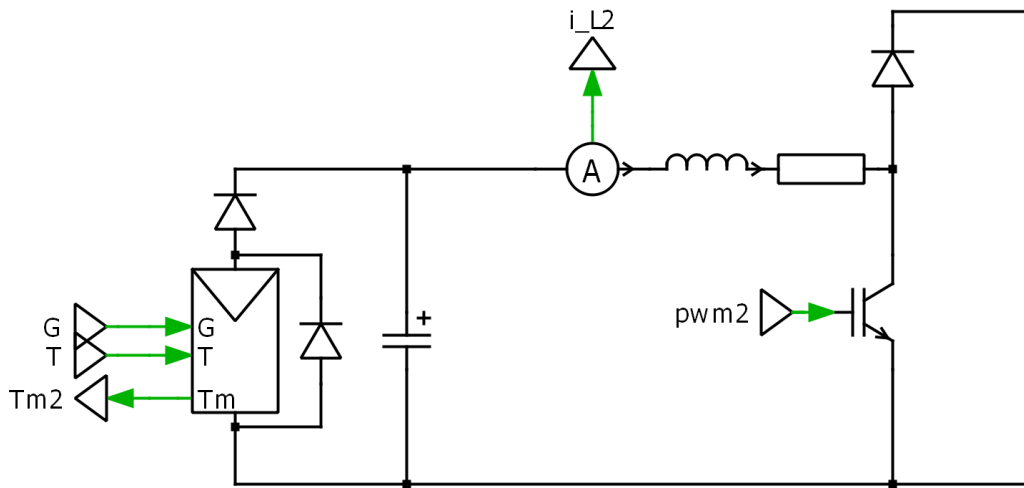
Maksymalny prąd jednego zestawu paneli:

$$2 * 9,77 \text{ A} = 19,54 \text{ A}$$

Wykonane obliczenia posłużyły do poznania parametrów panujących w obwodzie i odpowiedniego rozłożenia ilości sekcjach. Panele zostały podzielone między 2 sekcje. Sekcje składają się z 30 sztuk paneli połączonych szeregowo po 15 modułów fotowoltaicznych w dwóch seriach.

3 Przekształtniki DC/DC

Przekształtnik DC/DC sterowany jest za pomocą algorytmu MPP. Odpowiada on za pracę modułów fotowoltaicznych w maksymalnym punkcie pracy. Sterownik ten reguluje prąd i napięcie występujące w obwodzie modułów, kształtowanie tych wartości umożliwia zmianę punktu pracy panelu i maksymalne wykorzystywanie jego mocy niezależnie od panujących warunków atmosferycznych. Schemat układu DC/DC przedstawia Rys. 2

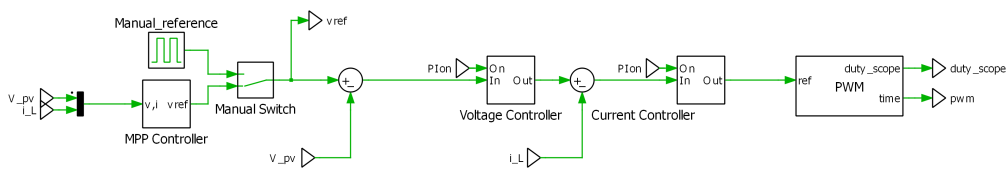


Rys 2: Schemat przekształtnika DC/DC.

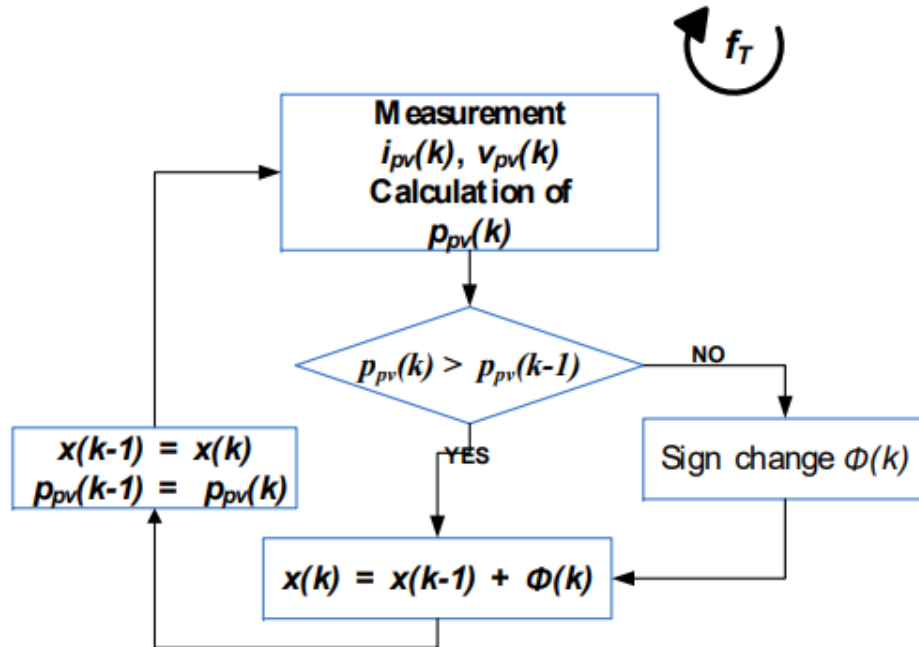
Elementy elektroniczne przekształtnika DC/DC zostały dobrane jak takie same dla 2 stringów paneli z powodu symetryczności modułów generacyjnych. Dobre elementy:

- Kondensator model: BLC220J701B4C $C = 22 \mu F$
- Dławik model: 195G20 $L = 5 mH$, $R = 25 m\Omega$
- Tranzystor IGBT: model AOK20B65M1 $V_{GE} \pm 30 V$ $I_C = 20 A$, $V_{CE} = 650 V$ $F_s = 20 kHz$
- Diody model: SE20DLJ $I_F = 20 A$, $V_{RRM} = 600 V$, $V_F = 0.85 V$.
- kondensator szyny DC model: ERHB701LGC102MDB5U $C = 1 mF$

Sterowanie przekształtnika odbywa się za pomocą algorytmu MPP, który wykorzystując pomiar parametrów panujących w układzie od strony paneli i wykorzystuje go do znalezienia punktu pracy o największej mocy. Następnie wystawia wartość napięcia referencyjnego, która trafia na 2-stopniowy regulator. Członem nadrzędnym jest regulator napięcia, członem podrzędnym jest regulator prądu. Następnie sygnał ten jest przetwarzany na sygnał PWM trafiający na tranzystor. Zasada działania algorytmu MPP przedstawia Rys. 4. Schemat sterowania pokazany został na Rys. 3.

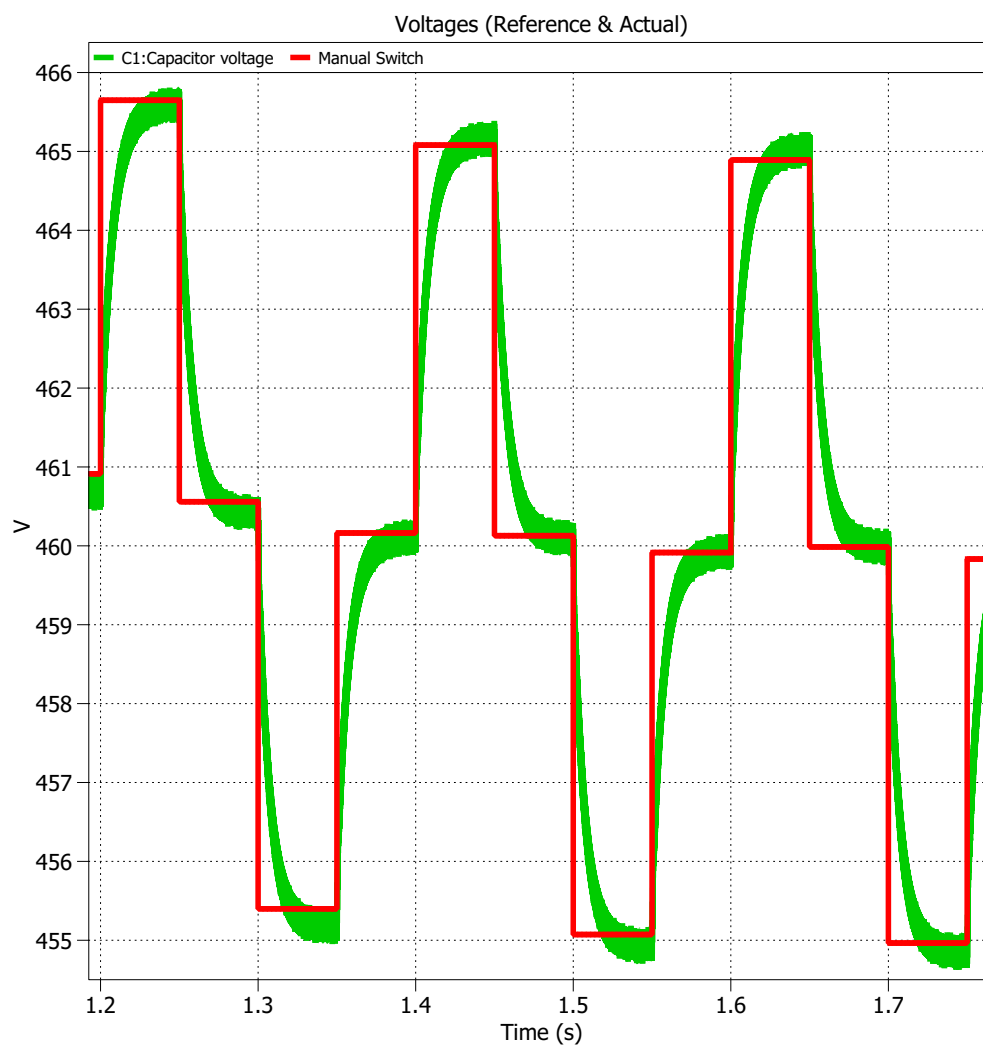


Rys 3: Schemat układu sterowania przekształtnikiem DC/DC.

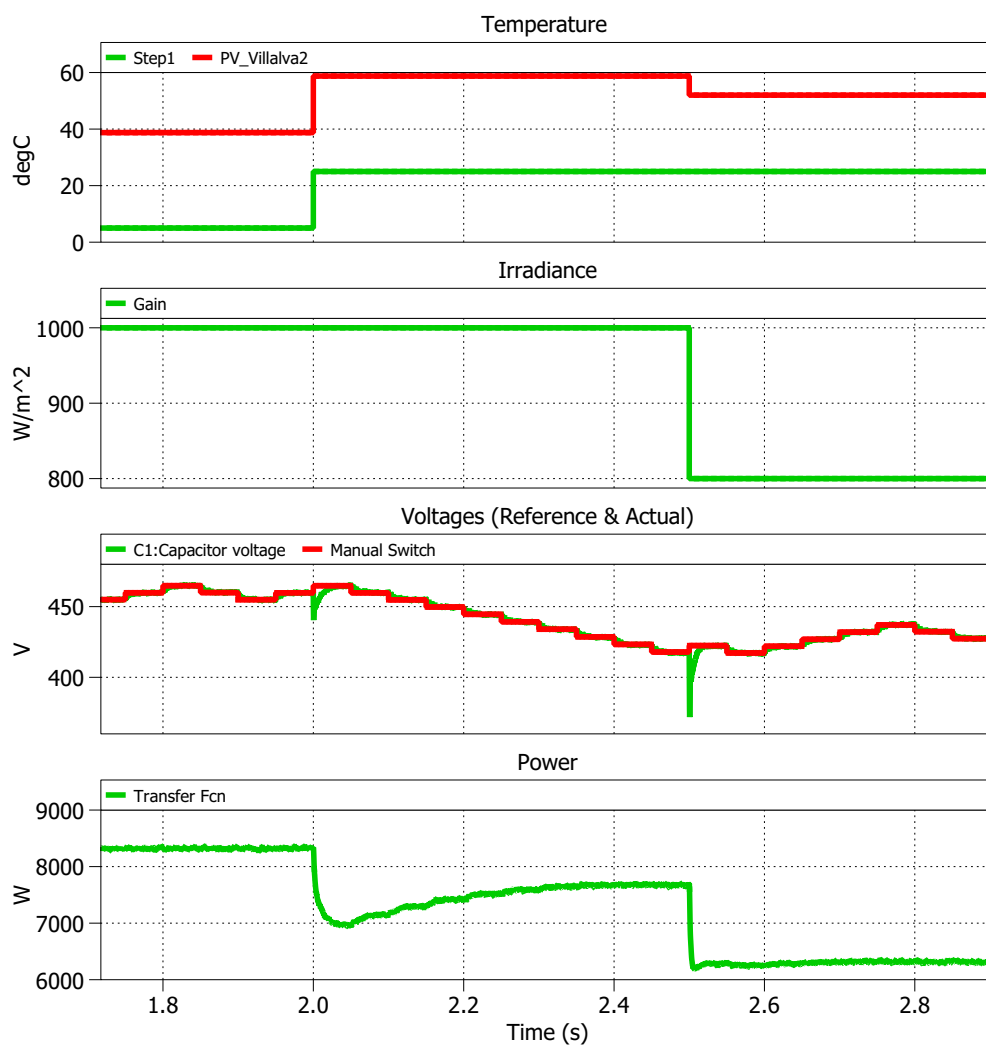


Rys 4: Zasada działania algorytmu MPP. Obraz pochodzący z prezentacji Operation of a Photovoltaic Array autorstwa: Radosław Kot, Sebastian Styński, Mariusz Malinowski.

Regulator MPP sprawdza zmianę mocy z krokiem zależnym od zadanej wartości zmiany napięcia, w projekcie krok ten ustawiony jest na wartość 5 V. Zmianę tę przedstawia Rys. 5. Układ utrzymuje punkt pracy z największą mocą nawet podczas zmiany parametrów pracy modułów fotowoltaicznych, sytuacja ta przedstawiona jest na Rys. 6.

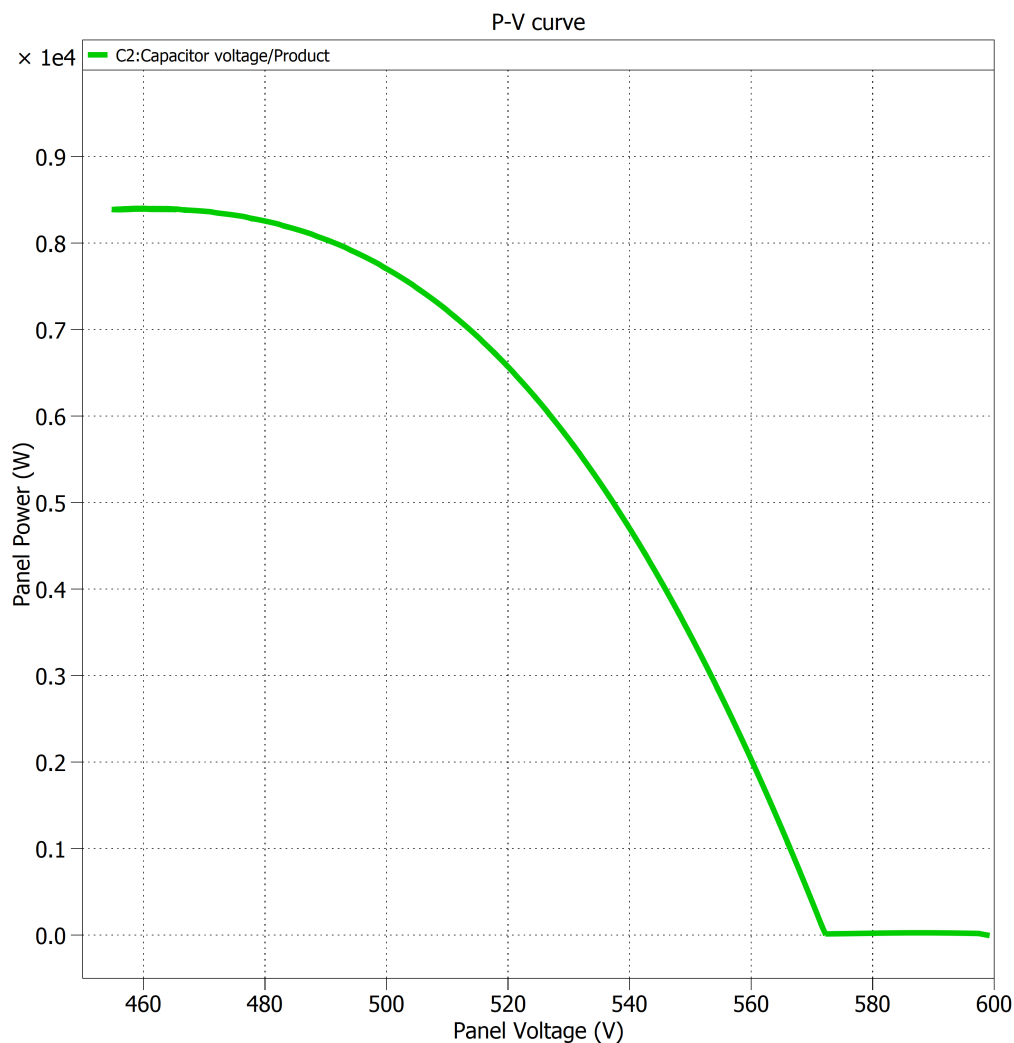


Rys 5: Przebieg napięcia referencyjnego i napięcia układu sterowanego za pomocą MPP.



Rys 6: Przebieg napięcia i mocy modułów fotowoltaicznych podczas zmiany parametrów pracy.

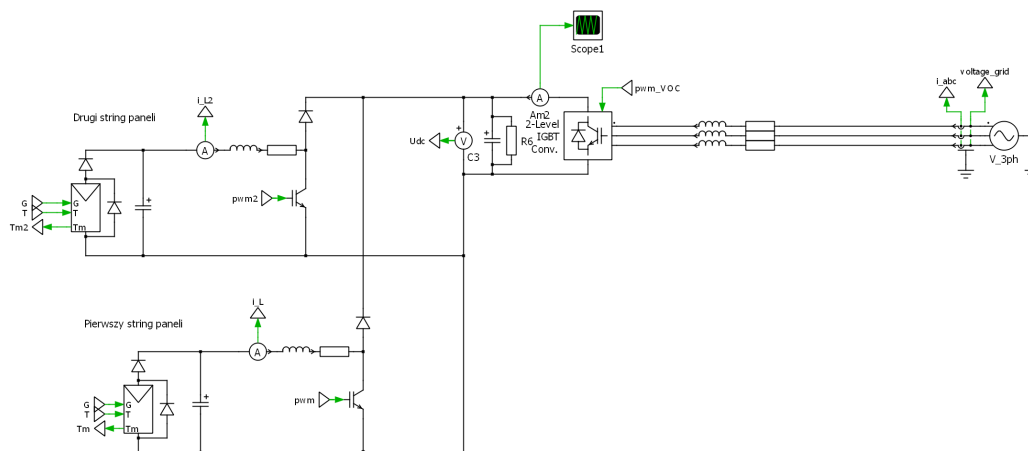
Sterownik MPPT utrzymuje maksymalną moc modułów fotowoltaicznych w zależności od panujących warunków atmosferycznych. Charakterystyka mocy względem napięcia panelu sterowanego w ten sposób jest ograniczona do punktu maksymalnego. Sytuację tę przedstawia Rys. 7.



Rys 7: Charakterystyka mocy względem napięcia panelu sterowanego z pomocą MPPT

4 Przekształtnik DC/AC

Przyłączenie elektrowni fotowoltaicznej wraz z przekształtnikiem DC/DC do sieci trójfazowej jest możliwe dzięki dwupoziomowemu przekształtnikowi mostkowemu DC/AC. Działa on jako falownik, doprowadzając moc z paneli do sieci w kontrolowany sposób, z możliwością regulacji mocy biernej. Użyty został filtr L.



Rys 8: Schemat przyłączenia elektrowni fotowoltaicznej do sieci trójfazowej

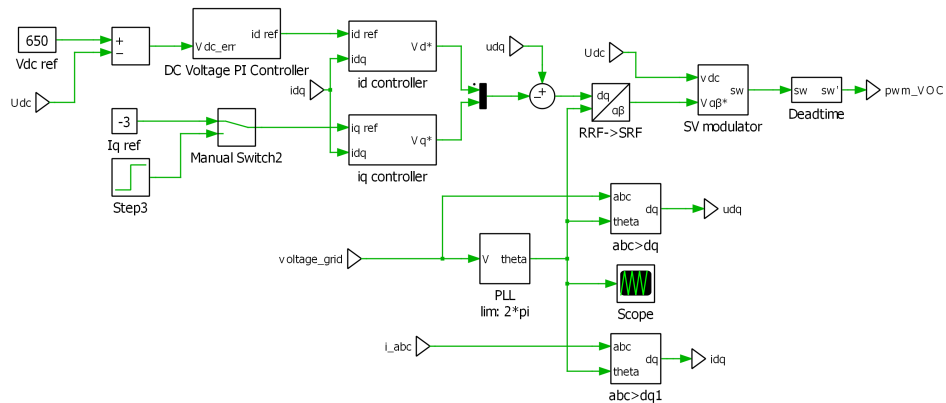
Parametry w układzie:

- Wartość skuteczna napięcia fazowego sieci $V_{grid} = 230 \text{ V}$
- Częstotliwość napięcia sieci $f = 50 \text{ Hz}$
- Indukcyjność filtru $L = 10 \text{ mH}$
- Rezystancja filtru $R = 0.5 \Omega$

Elementy elektroniczne dobrane do parametrów pracy układu:

- Tranzystor model: AOK40B65H1
- Filtr indukcyjny model: 195J50

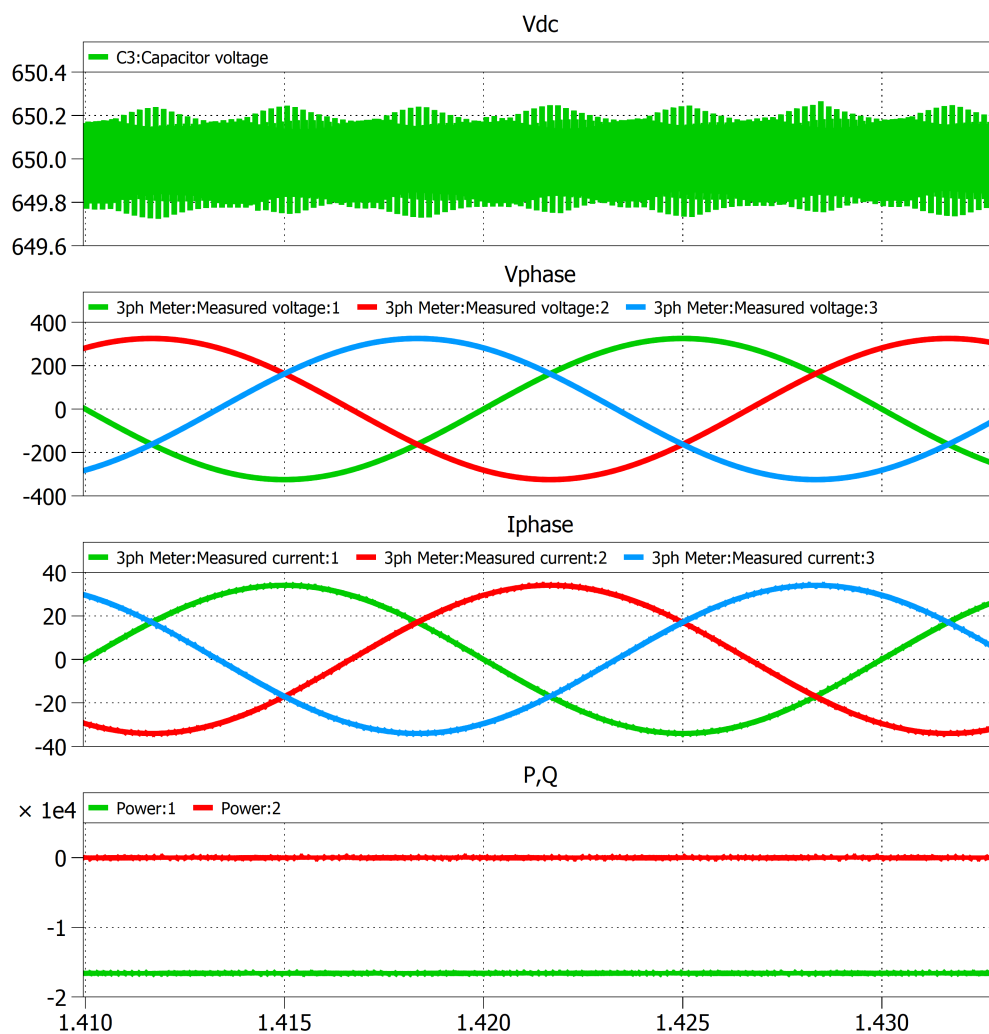
Sterowanie układu realizowane jest za pomocą sterowania VOC. Wykorzystanie sterownika VOC pozwala na precyzyjne sterowanie wartością napięcia utrzymywanego na szynie DC i wartością prądu biernego wprowadzanego do sieci energetycznej. Układ sterowania przekształtnika DC/AC przedstawia Rys. 9.



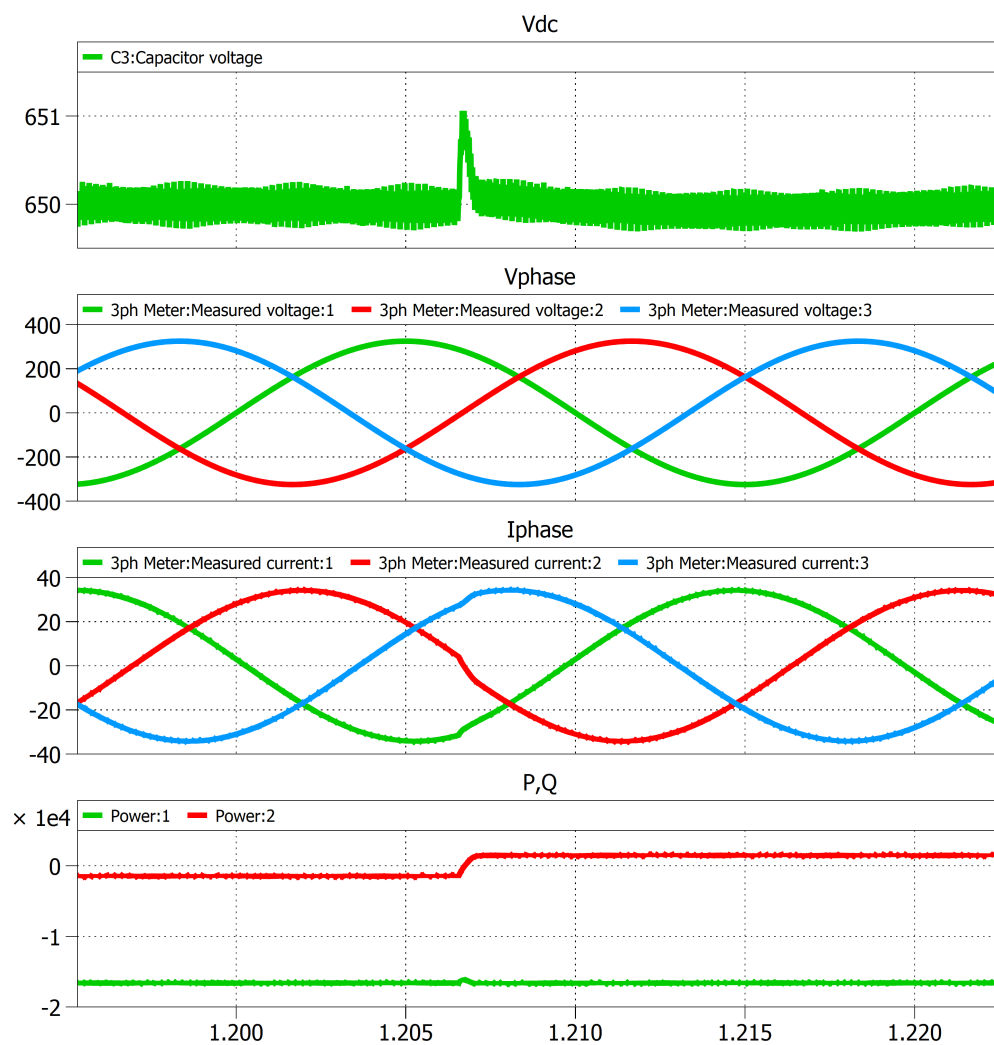
Rys 9: Schemat sterowania VOC

5 Wyniki

Zaprojektowany układ spełnia warunki postawione w założeniach projektowych przedstawionych w Tabeli 1. Uzyskana moc przyłączeniowa czynna wynosi 16,6 kW z możliwością regulacji mocy biernej na poziomie $\pm 10\%$ zakładanej mocy przyłączeniowej. Warunki pracy układu pracującego w punkcie pracy ustalonej widoczne są na Rys. 10. Warunki pracy układu podczas generacji mocy biernej indukcyjnej o wartości 10% mocy maksymalnej z przejściem do generacji mocy biernej pojemnościowej o wartości 10% mocy maksymalnej przedstawia Rys. 11. Filtr indukcyjny został dobrany w taki sposób, żeby skutecznie ograniczyć tętnienia prądu AC.



Rys 10: Moc generowana do siec, prąd i napięci panujące w obwodzie podczas generacji mocy czynnej.



Rys 11: Moc generowana do sieci, prąd i napięcia panujące w obwodzie podczas generacji mocy czynnej i biernej na poziomie 10%