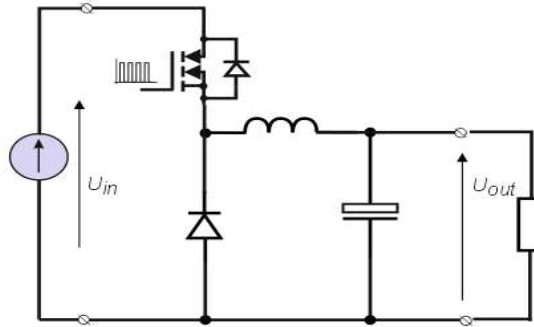


## ĆWICZENIE 2 „ Model przekształtnika DC-DC obniżającego napięcie”

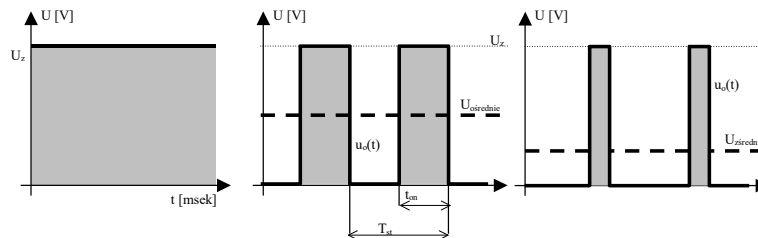
### 2.1 Cel ćwiczenia

Zbudować model przetwornicy DC-DC obniżającej o regulowanym napięciem wyjściowym.  
Schemat ideowy układu przedstawiono na rysunku



Rysunek 2.1

Wartość średnią napięcia można regulować poprzez zmianę współczynnika wypełnienia przebiegu napięcia -

$$D = \frac{t_{on}}{T_{ster}}$$


Rysunek 2.2

W przypadku przekształtnika obniżającego wartość średnia napięcia na wyjściu wynosi :

$$U_{out} = U_{in} * D$$

W budowanym modelu przyjąć następujące parametry:

Dławik	$L=1\text{mH}, R_L=50\text{m}\Omega$
Kondensator	$C=1\text{mF}$
Tranzystor IGBT	<i>Resistance Ron (Ohms)=50mΩ</i>
Generator PWM	$f_{sw}=20\text{kHz}, \text{Pulse With (D)}=50\%$
Napięcie wejściowe	$U_{in}=100\text{V}$

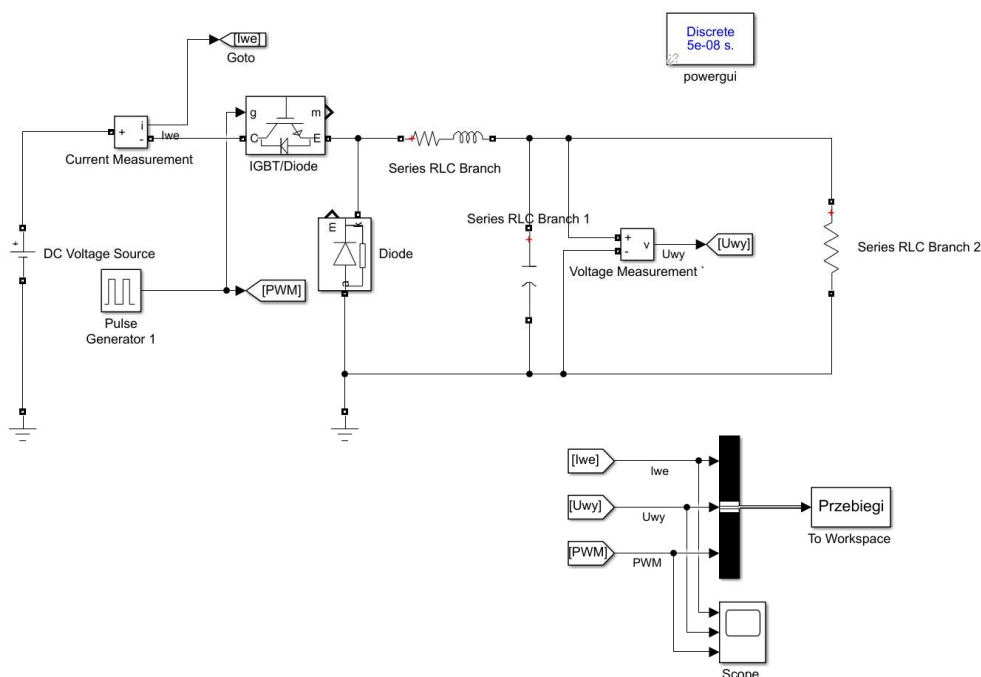
## ĆWICZENIE 2 „ Model przekształtnika DC-DC obniżającego napięcie”

### 2.2 Budowa modelu przekształtnika DC-DC obniżającego napięcie

**2.2.1** Utworzyć nowy model w Simulinku i korzystając z dostępnych elementów bibliotecznych zbudować układ jak na rys 2.3.

Model składa się dwóch podobwodów:

- części energoelektronicznej (obwód mocy wraz z czujnikami prądu i napięcia, blok *Powergui* do sterowania parametrami symulacji części energoelektronicznej) – wszystkie elementy pochodzą z biblioteki *Simpowersystem*,
- części sterowania i pomiarów (generator impulsów, porty, bloki do wizualizacji i zapisu wyników)



Rysunek 2.3 Model przekształtnika DC-DC

**2.2.2** Wprowadzić parametry w postaci danych importowanych z pliku zewnętrznego

**Parametry\_DCDC.m** :  $U_{in}=100V$ ,  $f_{sw}=20kHz$ ,  $D=50\%$ ,  $L=1mH$  ( $R_l=50m\Omega$ ),  $C=1mF$  ( $Unit=0V$ );  $R_{load}=10$ , Tranzystor MOSFET:  $R_{dson}=50m\Omega$

```
%% Parametry symulacji
Ts=200e-9 ; % Krok całkowania
%% Parametry obwodu
Uin=100; %wartość napięcia wyjściowego
RL=50e-3;%rezystancja zastępcza dławika
L=1e-3 ;%indukcyjność dławika
C=1e-3; %pojemność kondensatora
Rload=10;%rezystancja odbiornika
fsw=20e3; %częstotliwość przełączeń IGBT (ustawić w Pulse Genarator)
D=50 ; %współczynnik wypełnienia w Pulse Generator (w %)
Rdson=50e-3;%rezystancja IGBT w trakcie przewodzenia
```

## ĆWICZENIE 2 „ Model przekształtnika DC-DC obniżającego napięcie”

### 2.2 Budowa nowego modelu w Simulinku – cd..

**2.2.3** Ustawić parametry symulacji i wstępnie dobrać parametr *Max Step size* zgodnie z zależnością

$$Max\ Step\ size = T_s = Max\ step\ size = T_s = \frac{1/f_{sw}}{1000}$$

Gdzie  $f_{sw}$  – częstotliwość przełączeń przekształtnika DC-DC

Uwaga: Parametr  $T_s$  umieścić w pliku *Parametry\_DCDC.m* gdyż może być w dalszej części wykorzystywany w kilku elementach

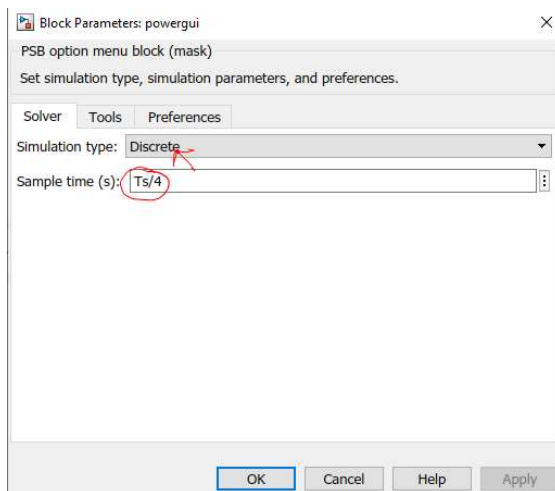
a) **standardowe elementy Simulink** - Menu: *Simulation\Model Configuration Parameters (ctrl + E)*

Ustawić parametry symulacji zgodnie z tabelą poniżej

<i>Solver type:</i>	Variable-step	Metoda całkowania
<i>Solver:</i>	<b>Ode23tb</b>	Typ metody
<i>Max Step size:</i>	<b>Ts</b>	Maksymalny krok całkowania
<i>Min Step size:</i>	auto	Minimalny krok całkowania
<i>Initial step:</i>	auto	
<i>Stop time</i>	100e-3	Czas zakończenia symulacji

b) **część energoelektroniczna**

Wstawić element *Powergui* i za jego pośrednictwem ustawić parametry symulacji dla części energoelektronicznej (elementy z biblioteki *Simpowersystems*).



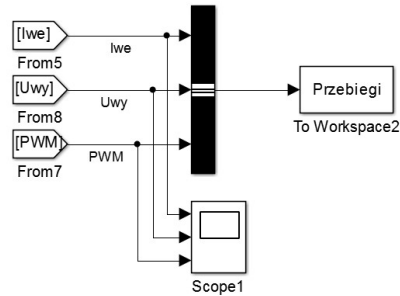
Rysunek 2.4

Ustawić parametr *Simulation type* na wartość – *Discrete* oraz parametr *Sample time* (krok obliczeniowy dla części modelu odpowiedzialnej za symulację przekształtnika energoelektronicznego) na wartość  $T_s$

## ĆWICZENIE 2 „ Model przekształtnika DC-DC obniżającego napięcie”

### 2.2 Budowa nowego modelu w Simulinku – cd..

2.2.4 W zbudowanym uprzednio modelu, wprowadzić blok do pomiaru i wizualizacji wyników symulacji.



Rysunek 2.6

Dane wynikowe w elemencie *To Workspace* zapisywać w formacie **Structure with Time**

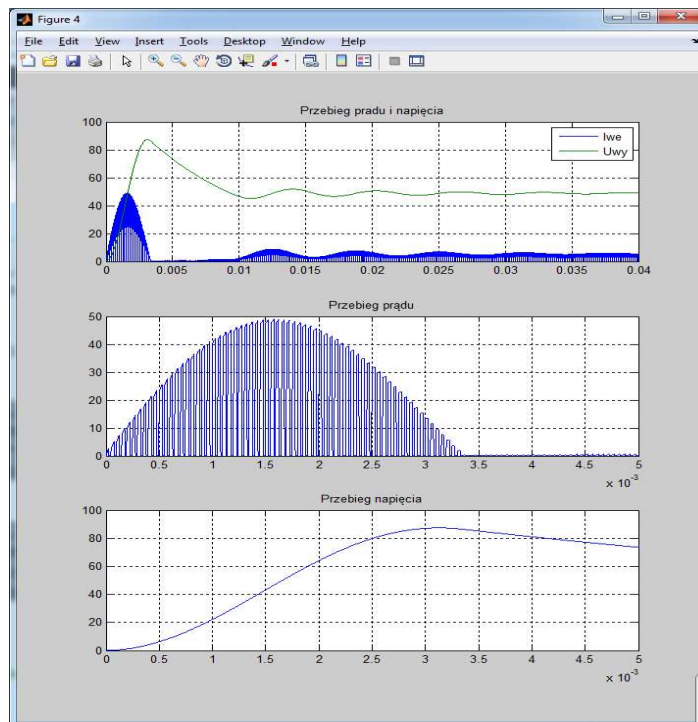
#### Zadanie 2.2.1

Uruchomić symulację i dokonać weryfikacji poprawności ustawień parametrów. Dobrać parametr  $T_s$  (*Max Step size*) tak aby uzyskać dokładne wyniki symulacji

#### Zadanie 2.2.2

Wykorzystując komendy matlaba napisać skrypt (w osobnym pliku) pozwalający na wydruk uzyskanych danych pomiarowych

**Spodziewany rezultat:**

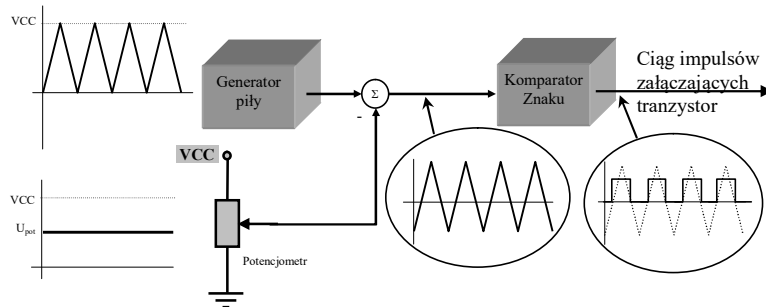


## ĆWICZENIE 2 „ Model przekształtnika DC-DC obniżającego napięcie”

### 2.3 Rozszerzenie funkcjonalności modelu przekształtnika DC-DC

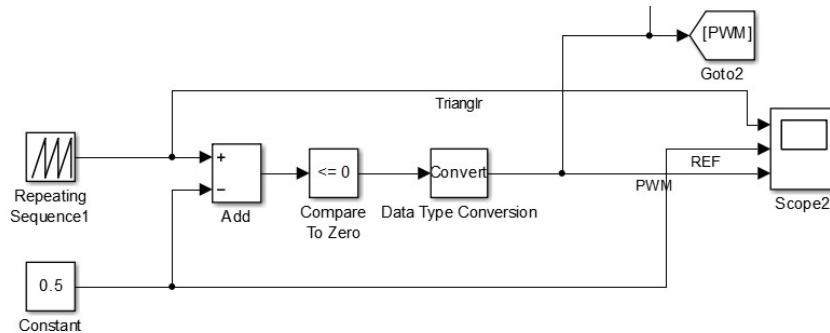
#### 2.3.1 Implementacja generatora sygnału PWM o regulowanym współczynniku wypełnienia impulsów

Praktyczna realizacja regulacji napięcia za pomocą modulacji szerokości impulsów (PWM)



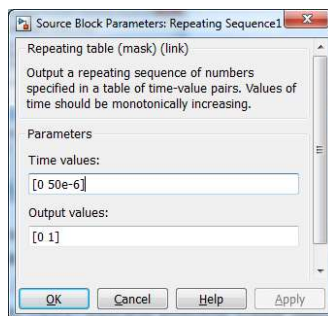
Rysunek 2.8

**Zadanie 2.3.1** Zbudować generator PWM pracujący z częstotliwością 20kHz zgodnie z rysunkiem.



Rysunek 2.9

W charakterze sygnału nośnego PWM wykorzystać generator piły (blok *Repeating Sequence* skonfigurowany jak na rys. poniżej)



Rysunek 2.10

W następnej kolejności, w modelu przekształtnika DC-DC, zamienić blok *Pulse Generator* zbudowanym uprzednio generatorem PWM. Po zweryfikowaniu poprawności działania układu, utworzyć z niego podobwód (*Subsystem*). Podobwód tworzy się poprzez zaznaczenie grupy elementów, naciśnięcie prawego przycisku myszy i wybranie polecenie *Create Subsystem*.

## ĆWICZENIE 2 „ Model przekształtnika DC-DC obniżającego napięcie”

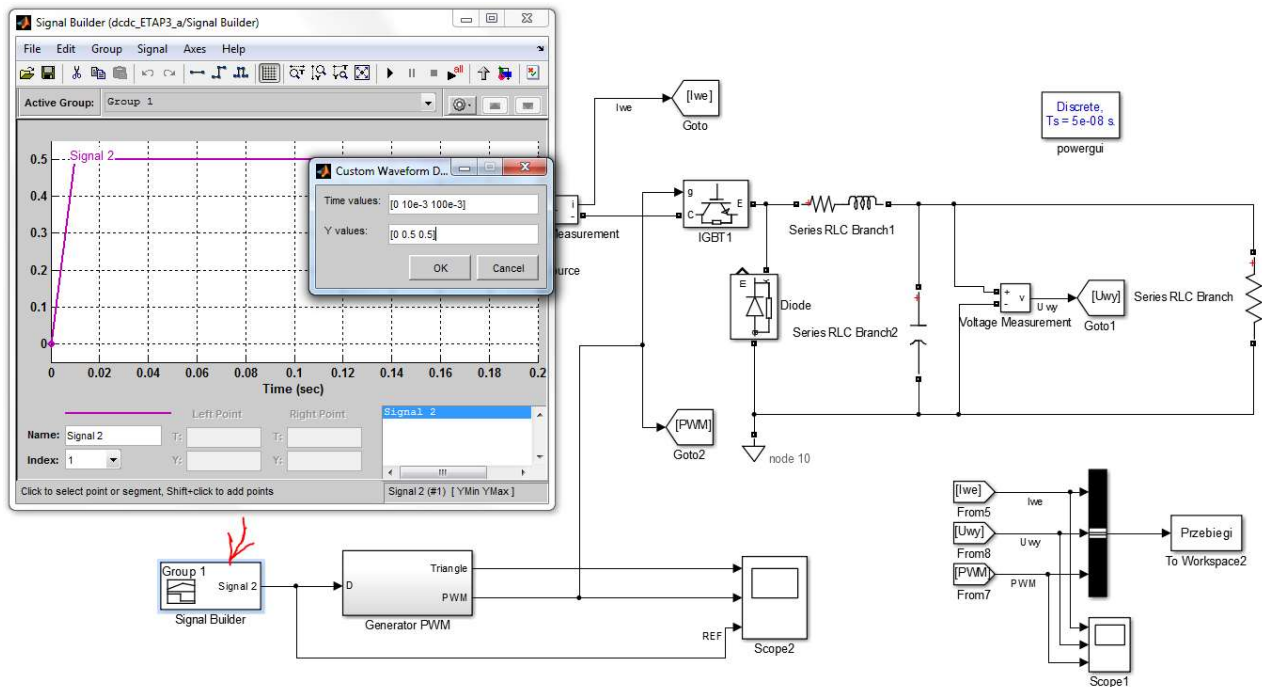
### 2.3.2 Implementacja funkcji łagodnego rozruchu przekształtnika DC-DC

W celu eliminacji przeregulowania napięcia wyjściowego, w trakcie rozruchu przekształtnika należy zastosować tzw. Rampę rozruchową. Współczynnik wypełnienia  $D$  dla impulsów PWM sterujących tranzystorem, po starcie pracy urządzenia narasta liniowo do wartości docelowej  $D=0,5$ .

**Zadanie 2.3.2** Zastąpić blok *Constant* blokiem *Signal Builder* (skonfigurowanym jak na rys poniżej).

W celu edycji kształtu przebiegu należy:

- ograniczyć przedział czasowy przebiegu → menu: *Axes/Change Time Range*
- Zdefiniować kształt przebiegu sygnału dla rampy → menu: *Signal/Replace with/Custom*



Rysunek 2.11

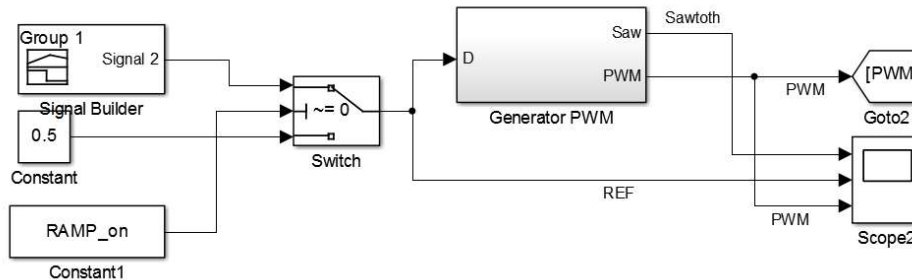
Na podstawie obserwacji dobrać parametry rampy w taki sposób aby rozruch przekształtnika odbywał się bez przeregulowania napięcia wyjściowego.

## ĆWICZENIE 2 „ Model przekształtnika DC-DC obniżającego napięcie”

### 2.3.3 Wykorzystanie języka skryptowego do sterowania symulacją i opracowania wyników

Porównać przebiegi prądu i napięcia dla układu z rampą rozruchową i bez rampy rozruchowej.

#### a) Modyfikacja modelu symulacyjnego



Rysunek 2.12

Po modyfikacji modelu, zgodnie z rysunkiem powyżej, sposób zadawania współczynnika  $D$  jest determinowany wartością zmiennej  $RAMP\_on$ , którą należy zdefiniować w pliku z parametrami symulacji tak aby znalazła się w przestrzeni roboczej (*Workspace*) Matlaba:

Jeżeli  $RAMP\_on=0 \rightarrow$  współczynnik  $D=0,5=const$  (zadawany jako wartość stała)

Jeżeli  $RAMP\_on=1 \rightarrow$  współczynnik  $D$  zadawany z blocka *Signal Builder* w formie rampy

Uwaga: W elemencie *Switch* ustawić parametr *Criteria for passing first input* na wartość:  $u_2 \sim 0$  (warunek spełniony gdy  $u_2$  różne od zera)

#### b) Automatyczne przeprowadzenie symulacji modelu dla dwóch wartości parametru $RAMP\_on$ i zapisanie danych wynikowych do pliku.

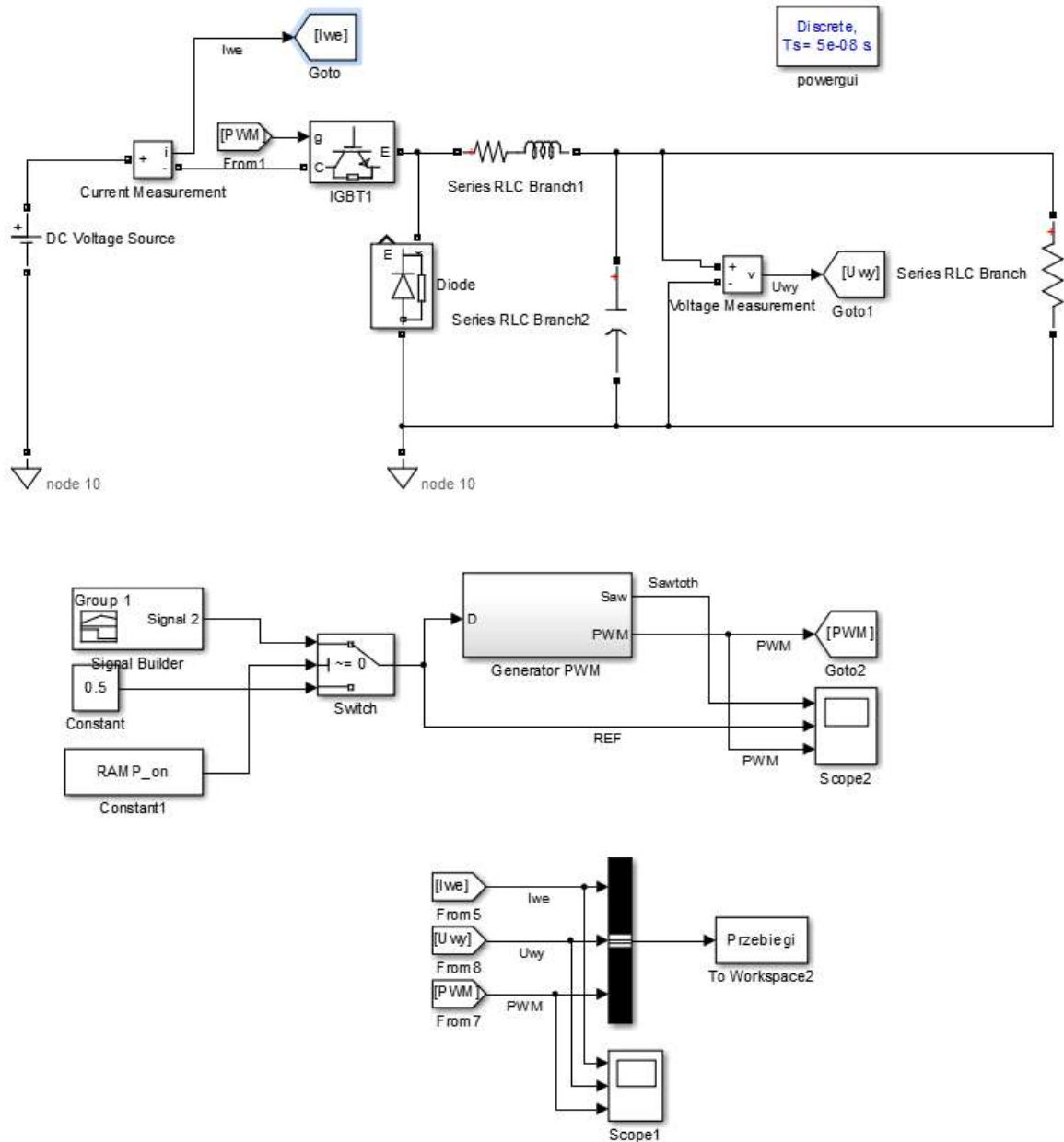
Utworzyć nowy m-plik matlaba a następnie wpisać skrypt umieszczony poniżej:

```
tic %start pomiaru czasu
RAMP_on=0; % zmiana wartości parametru przed symulacją
sim('dcdc_ETAP4') % uruchomienie symulacji poziomu
matlaba(dcdc_ETAP4 → nazwa projektu)
save('Wyniki_symulacji_bez_rampy.mat') % zapisanie całej przestrzeni
roboczej Workspace do pliku
RAMP_on=1;
sim('dcdc_ETAP4') % uruchomienie symulacji poziomu matlaba
save('Wyniki_symulacji_z_rampa.mat') % zapisanie całej przestrzeni
roboczej Workspace do pliku
toc %stop pomiaru czasu
```

Uruchomić skrypt po uprzednim zapisaniu zmian w projekcie Simulink. W efekcie, w katalogu projektu powinny zostać zapisane 2 nowe pliki : *Wyniki\_symulacji\_z\_rampa.mat* oraz *Wyniki\_symulacji\_bez\_rampy.mat*

## ĆWICZENIE 2 „ Model przekształtnika DC-DC obniżającego napięcie”

Na rysunku 2.13 zamieszczono model przekształtnika po wprowadzeniu modyfikacji



Rysunek 2.13



## ĆWICZENIE 2 „ Model przekształtnika DC-DC obniżającego napięcie”

### 2.3.3 Wykorzystanie języka skryptowego do sterowania symulacją i opracowania wyników .. cd

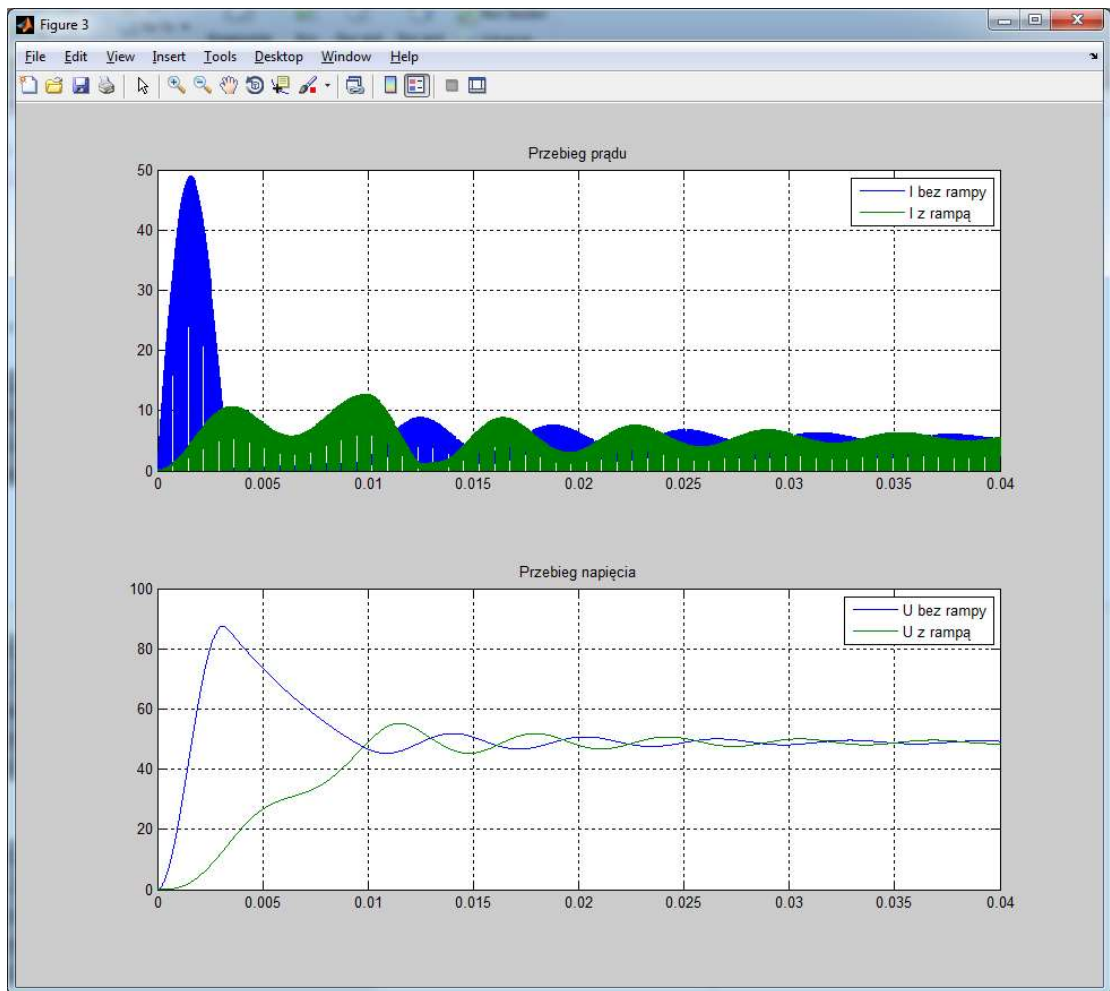
#### c) Wizualizacja uzyskanych wyników

Napisać skrypt, który wykorzystując zapisane na dysku wyniki, na jednym oscylogramie porówna przebiegi napięcia oraz prądu dla układu pracującego z rampą i bez rampy rozruchowej .

Do pobrania danych zapisanych w pliku należy użyć funkcji *load*

```
load ('Wyniki_symulacji_bez_rampy.mat') % załadowanie do Workspace danych
zapisanych w pliku z rozszerzeniem mat
```

Spodziewany rezultat:



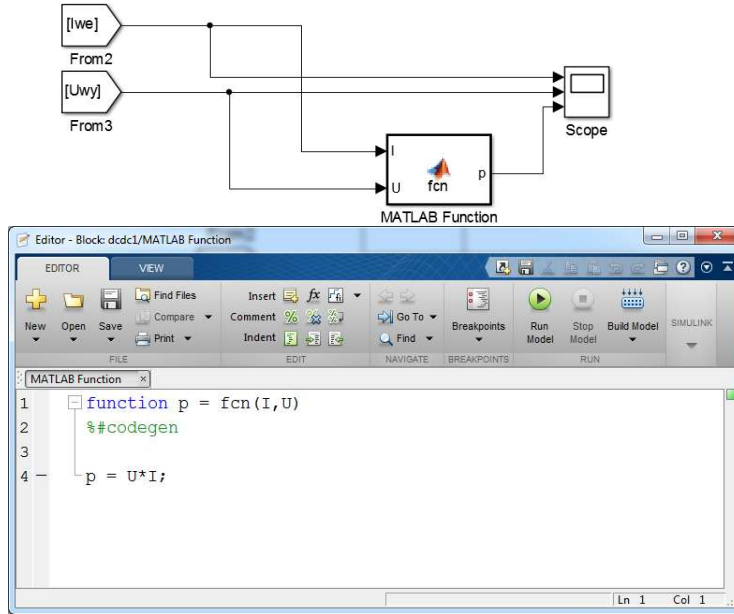
Rysunek 2.14

## ĆWICZENIE 2 „ Model przekształtnika DC-DC obniżającego napięcie”

### 2.4 Usprawnienie pracy w Matlabie Simulinku

#### 2.4.1 Wykorzystanie elementu *Matlab Function*

**Przykład 2.4.1** Korzystając z elementu *Matlab Function*, zbudować bloczek do wyliczania iloczynu dwóch sygnałów pomiarowych (zgodnie z rysunkiem poniżej).

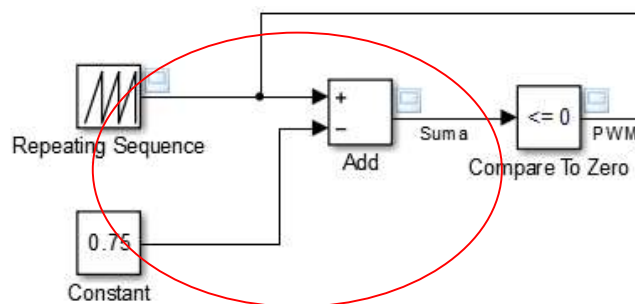


Rysunek 2.15

Zweryfikować uzyskane rezultaty w bločku Scope

Uwaga : Aby element *Matlab Function* działał poprawnie w systemie musi być zainstalowany kompilator C współpracujący z Matlabem. Do ustawienia kompilatora służy polecenie *mex* uruchomione z poziomu *Command Window*. Informacje dotyczące obsługiwanych kompilatorów można znaleźć na stronie <http://www.mathworks.com/support/compilers/R2014b/>. Wersja instalacyjna: <http://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=8442>

**Zadanie 2.4.1** Wykorzystując element *MATLAB Function*, zbudować generator PWM realizujący zadania wykonywane przez bloki zaznaczone na rysunku poniżej (odjęcie 2 sygnałów i komparacja uzyskanego wyniku z zerem). Skorzystać z funkcji *if else*



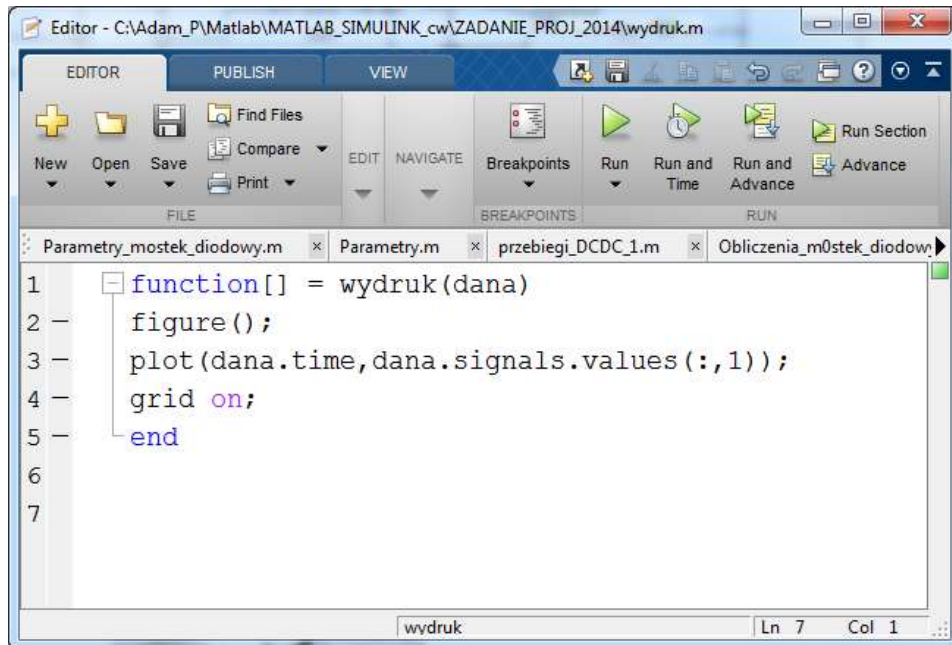
Rysunek 2.16

## ĆWICZENIE 2 „ Model przekształtnika DC-DC obniżającego napięcie”

### 2.4.2 Automatyzacja pracy w Matlabie – tworzenie własnych funkcji

**Przykład 2.4.2** Utworzenie funkcji wydruku pojedynczego przebiegu ze zmiennej typu *Structure with Time*

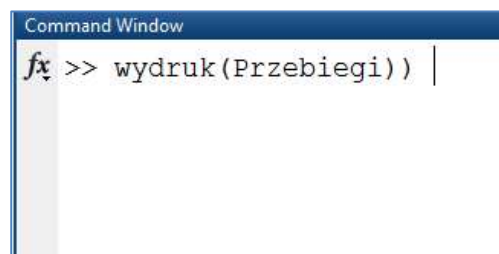
W Edytorze Skryptów, z menu *New* wybrać polecenie *Function*. Napisać funkcję wydruku danej jak na rysunku poniżej. Zapisać plik z nazwą taką samą jak nazwa funkcji przyjęta w pliku tekstowym.



Rysunek 2.17

Uwaga: Zmienne deklarowane w tekście skryptu, nie będą widoczne w przestrzeni roboczej modelu simulink, więc nie ma obawy o nadpisanie zawartości w przypadku zastosowania takich samych nazw jak np. w modelu Simulinka

Przetestować działanie funkcji poprzez jej wywołanie (z odpowiednim parametrem) w oknie *Command Window* Matlab'a:

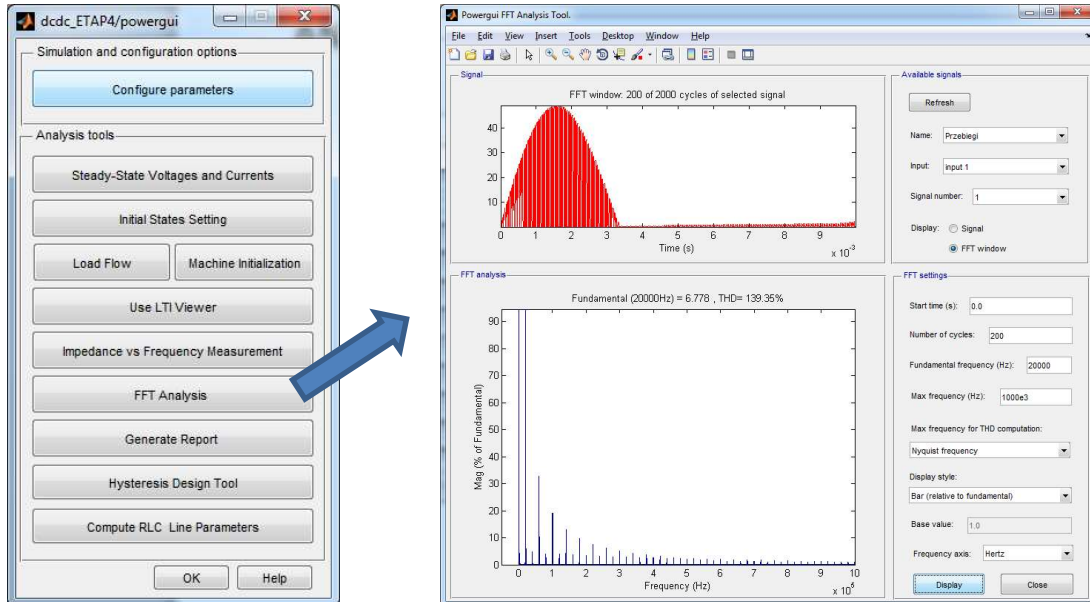


## ĆWICZENIE 2 „ Model przekształtnika DC-DC obniżającego napięcie”

### 2.5 Pomiar podstawowych parametrów jakości energii elektrycznej

#### 2.5.1 Wykorzystanie elementu Powergui do pomiarów jakości energii elektrycznej

Wykorzystując element *Powergui* można, między innymi, dokonać analizy FFT sygnałów dostępnych w przestrzeni roboczej Matlab (zapisanych jako *Structure with Time*).



Rysunek 2.18

**Zadanie 2.5.1** Wykorzystując *Powergui*, dokonać analizy FFT sygnału prądu wejściowego przekształtnika DC-DC. Na podstawie, wyników określić składowe wyższych częstotliwości widoczne w widmie (do 100kHz).

#### 2.5.2 Wykorzystanie funkcji *power\_fftscope* do wyliczania parametrów jakości.

```
%% KROK 1: Utworzenie struktury dla funkcji power_fftscope dla zapisanej w
workspace przykładowej zmiennej iload (w formacie Structure with time)
FFTDATA = power_fftscope(iload); %
%% KROK 2: Ustawienie parametrów analizy - szukaj w HELP do funkcji
FFTDATA.fundamental=20e3; % ustawienie podstawowej harmonicznej sygnału (w Hz)
FFTDATA.startTime=0;
FFTDATA.cycles=40;
% .....
%
%% KROK 3: ponowne przeliczenie funkcji
FFTDATA = power_fftscope(FFTDATA);
%% KROK 4: Wydobycie i obróbka uzyskanych wyników
FFT=FFTDATA.mag/FFTDATA.magFundamental*100;
figure()
bar(FFTDATA.freq,FFT);
grid on;
```

**Zadanie 2.5.2** Wykorzystując funkcję *power\_fftscope* (posiłkując się powyższy przykładem oraz Dokumentacją HELP dla funkcji) dokonać analizy FFT sygnału prądu wejściowego przekształtnika DC-DC i zaprezentować go formie wykresu słupkowego. Porównać uzyskane wyniki z wynikami z zadania 2.5.1.