



UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN CLUJ - NAPOCA

FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICĂ



Ș. L. dr. ing. *Pintilie Lucian - Nicolae*

Tehnici de control și estimare în acționări electrice

Ședința de laborator și proiect nr. 2

Modelarea și simularea circuitelor în mediul Matlab - Simulink

Cuprins

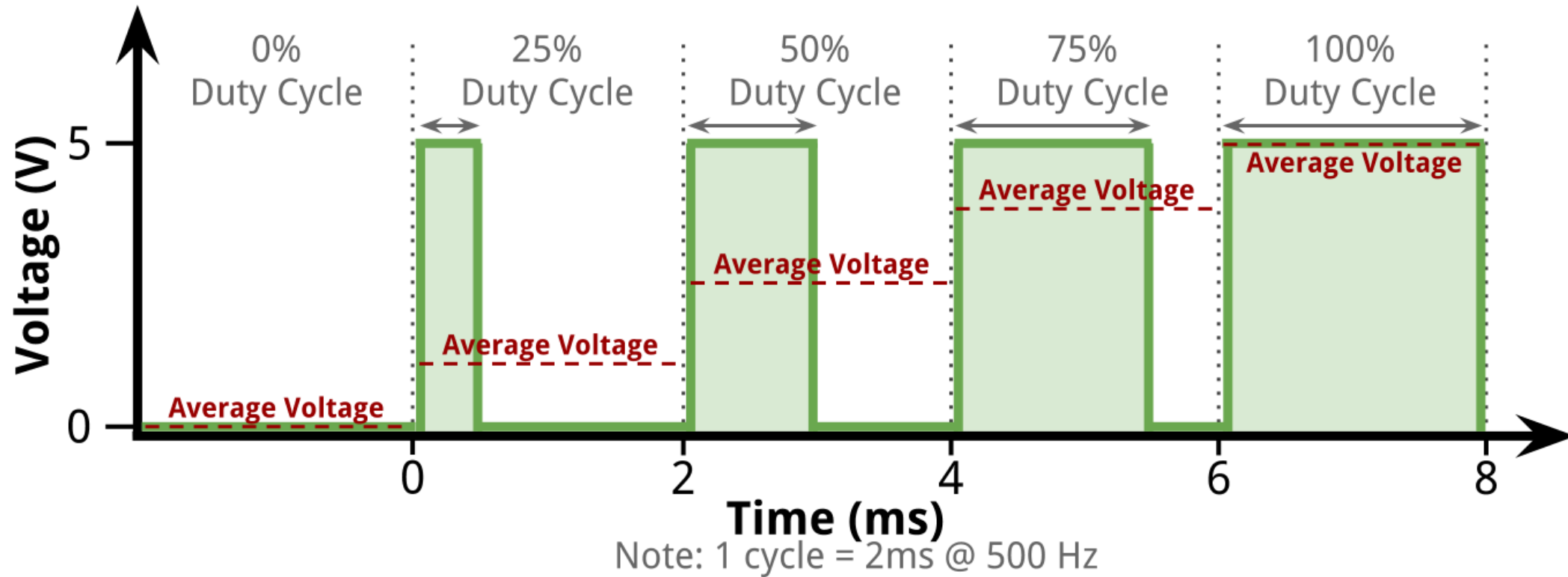
- ✓ Implementarea generatorului pentru semnalul de comandă
- ✓ Implementarea circuitelor prin intermediul componentelor SimScape
- ✓ Implementarea diverselor scenarii de test
- ✓ Preluarea rezultatelor de simulare
- ✓ Analiza comparativă a rezultatelor obținute în funcționare în buclă deschis și în buclă închisă

Implementarea generatorului pentru semnalul de comandă

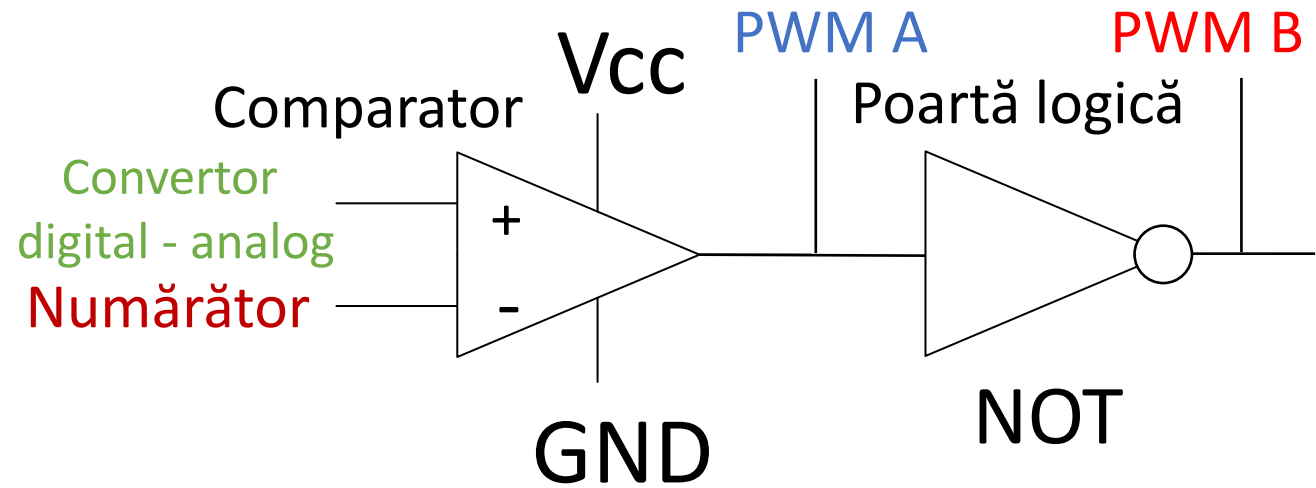
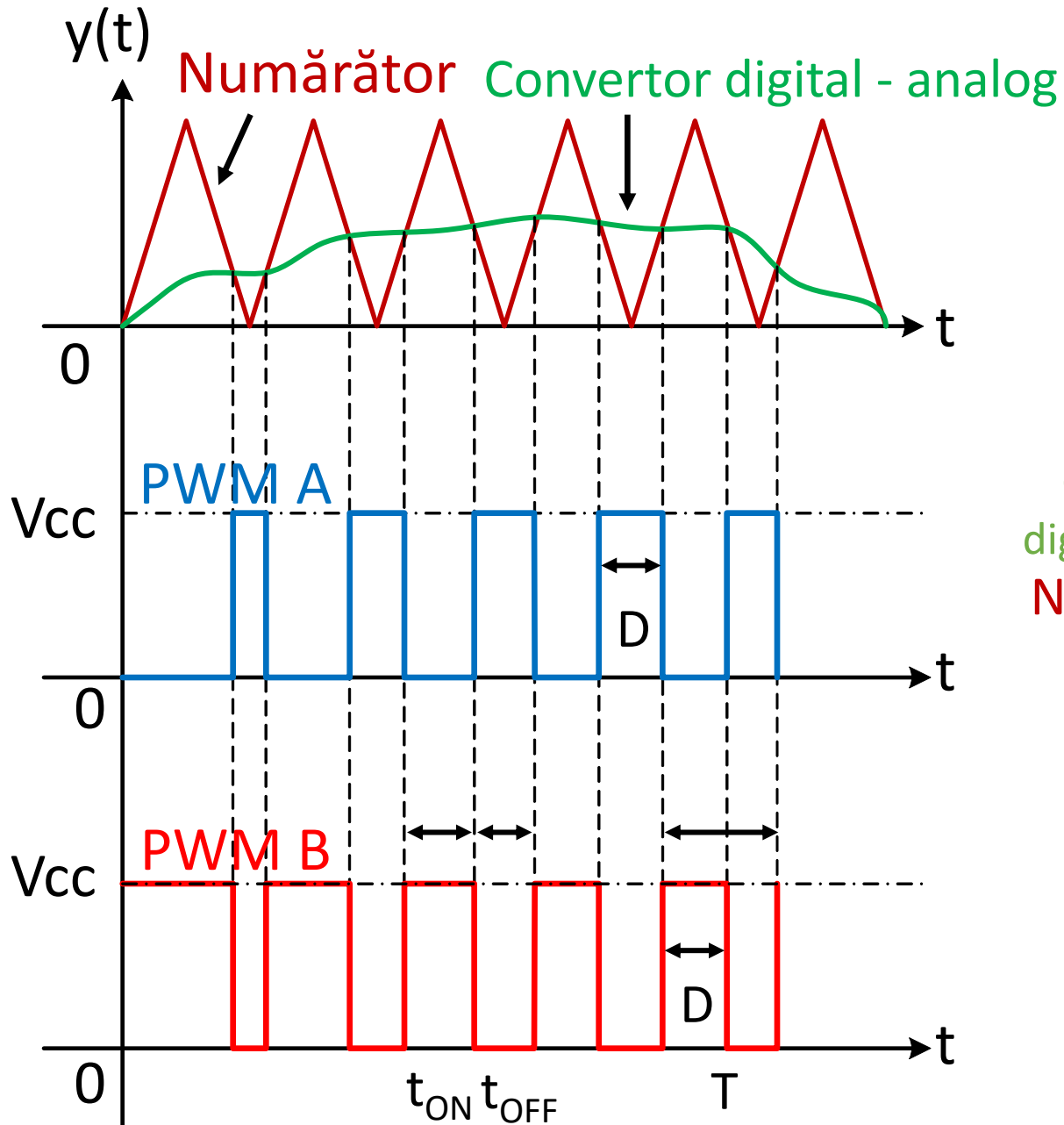
- ❖ Pentru a implementa blocul generator pentru semnalele de comandă dreptunghiulare modulate în lăţime vor fi utilizate următoarele funcţii fundamentale din cadrul mediului Matlab – Simulink:
 - ✓ Numărător cu incrementare şi decrementare simetrică (undă triunghiulară)
 - ✓ Bloc logic de tip comparator
 - ✓ Poartă logică inversoare
 - ✓ Diverse blocuri pentru adaptarea semnalului (sumatoare sau amplificatoare)

Semnalul dreptunghiular modulat în lățime

Pulse Width Modulation Duty Cycles

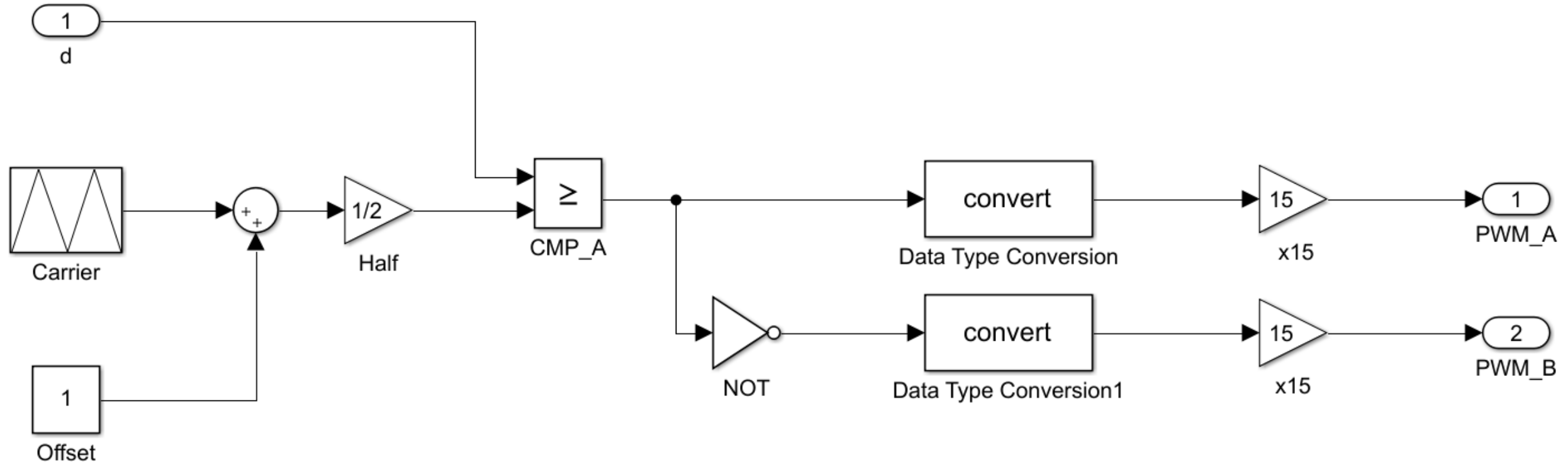


Principiul generării semnalelor modulate în lăţime

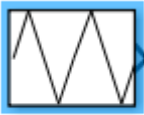
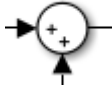
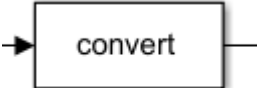


$$D = \frac{t_{ON}}{T} = \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} \rightarrow T = \frac{1}{f_c}$$

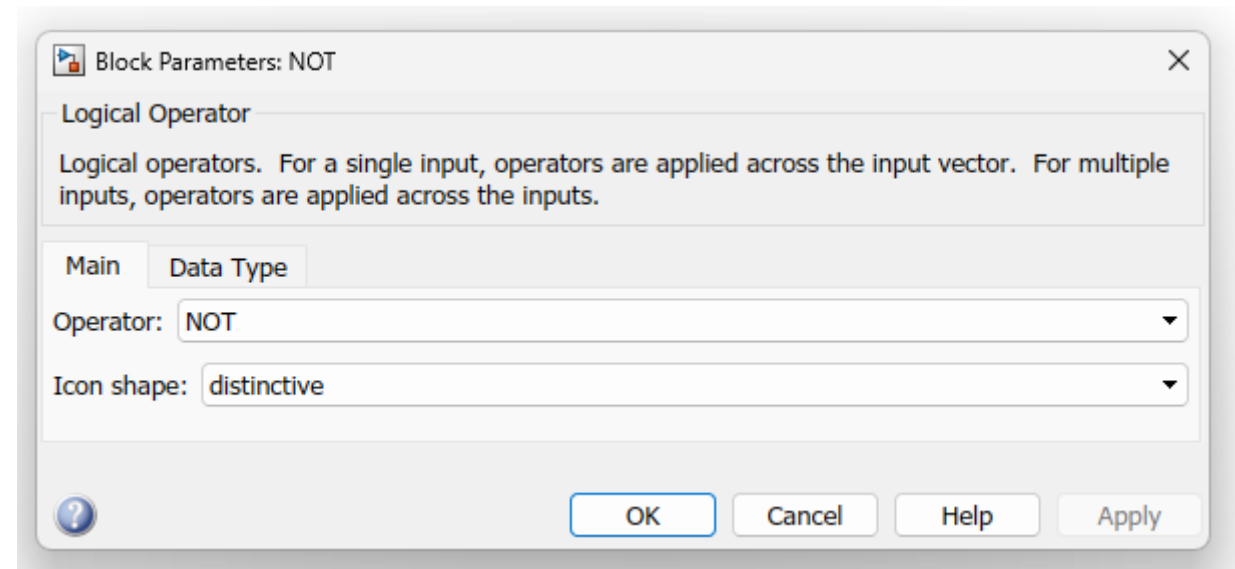
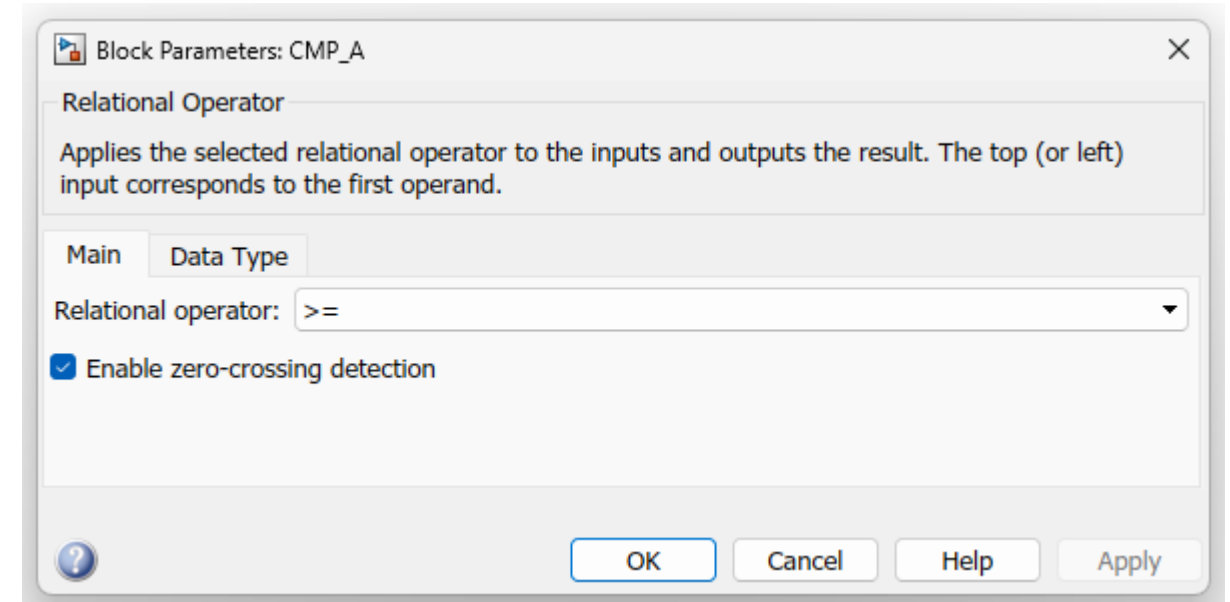
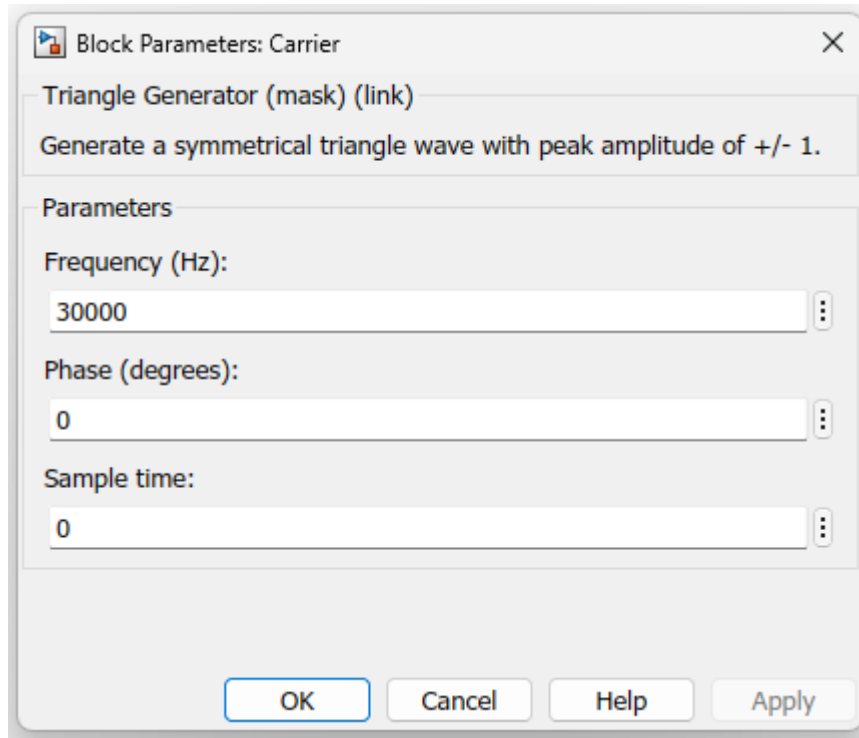
Implementarea generatorului de semnal în mediul Matlab Simulink



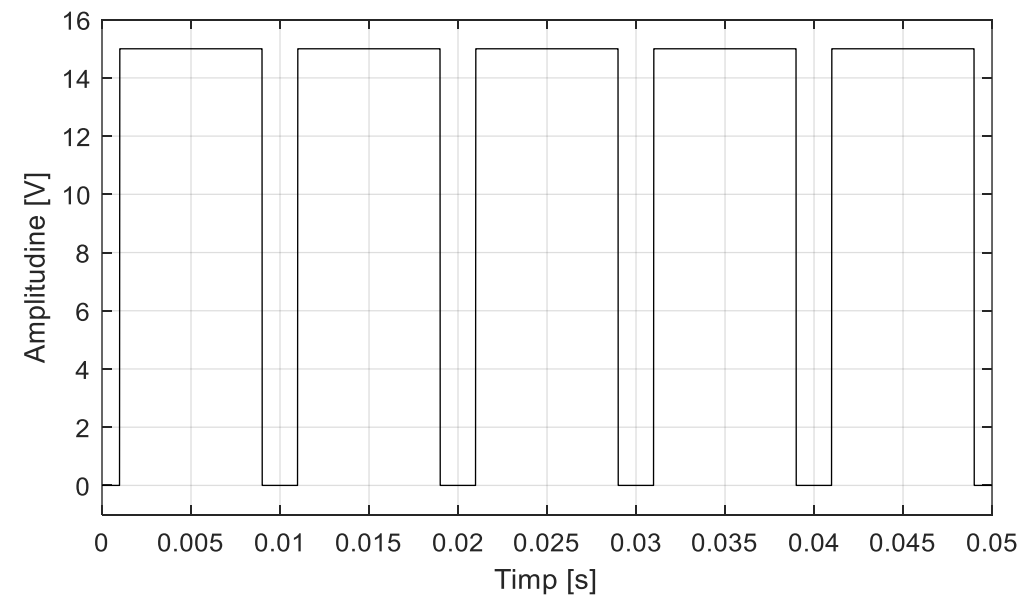
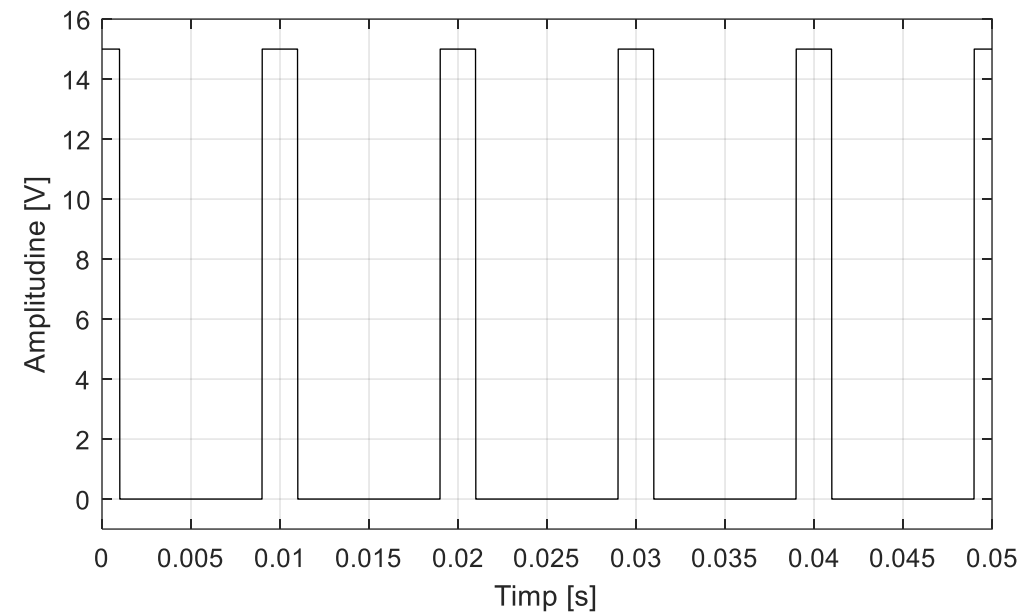
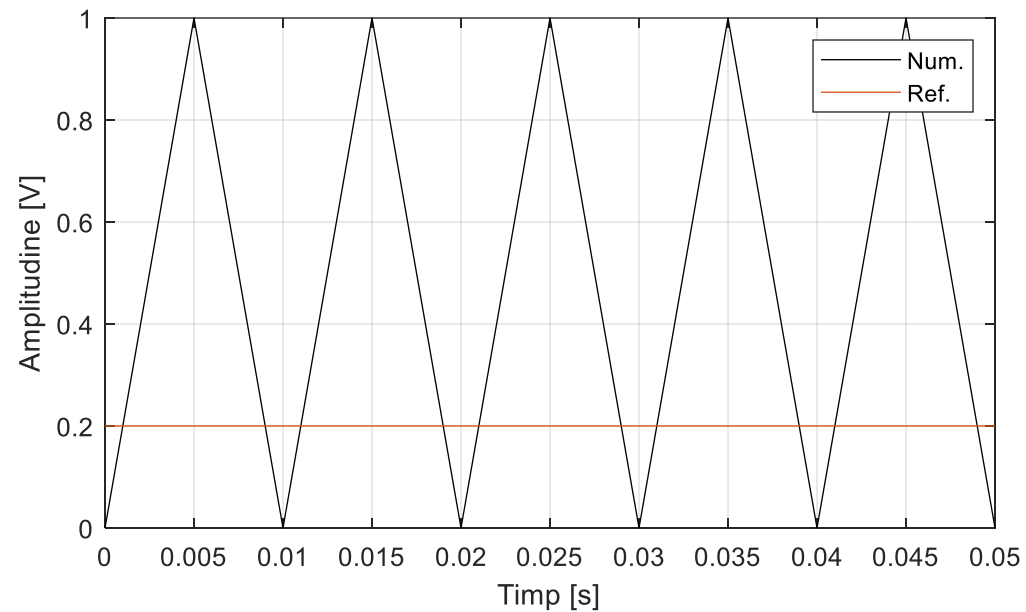
Implementarea generatorului de semnal în mediul Matlab Simulink

Simbol bloc	Denumire	Locație
 Triangle Generator	Triangle generator	SimScape / Electrical / Specialized Power Systems / Control & Measurements / Pulse & Signal Generators
	Sum	Simulink / Commonly Used Blocks
 Gain	Gain	Simulink / Commonly Used Blocks
 Relational Operator	Relational Operator	Simulink / Logic and Bit Operations
 Logical Operator	Logical Operator	Simulink / Logic and Bit Operations
 Data Type Conversion	Data Type Conversion	Simulink / Commonly Used Blocks

Implementarea generatorului de semnal în mediul Matlab Simulink

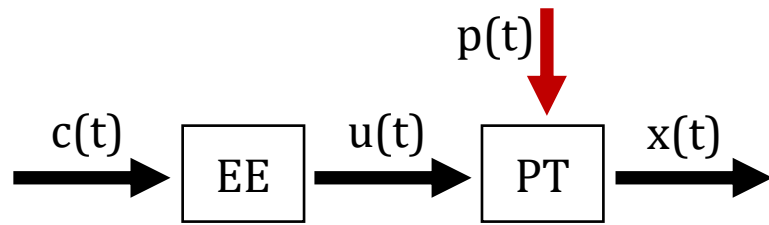


Implementarea generatorului de semnal în mediul Matlab Simulink

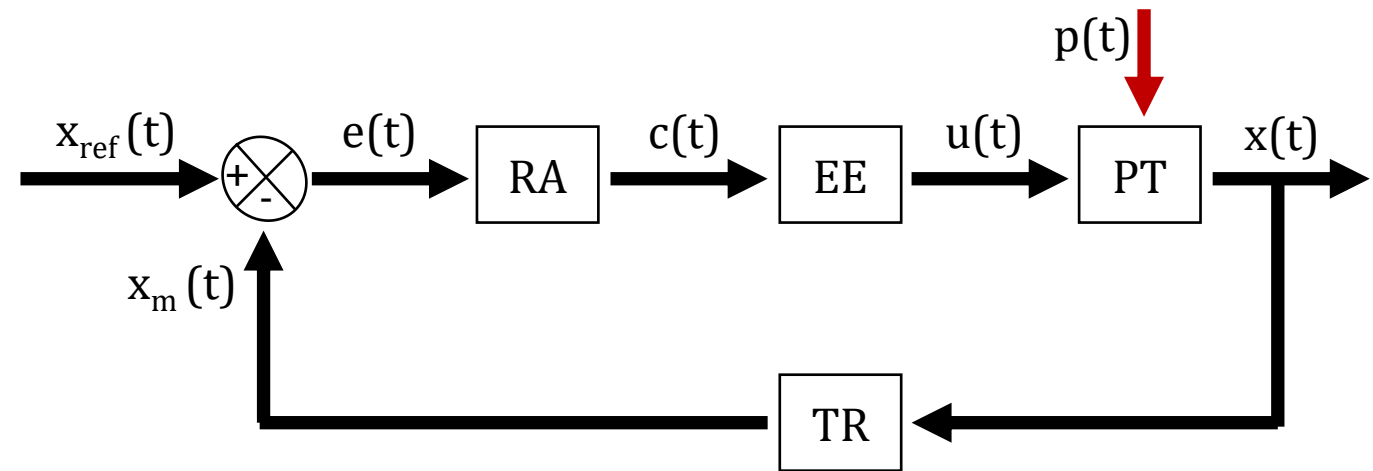


Implementarea circuitelor prin intermediul componentelor SimScape

- ❖ Există două metode de reglare automată:
- ✓ Reglare în buclă deschisă pe baza unui semnal de comandă furnizat manual
- ✓ Reglare în buclă închisă pe baza unui semnal de comandă furnizat automat

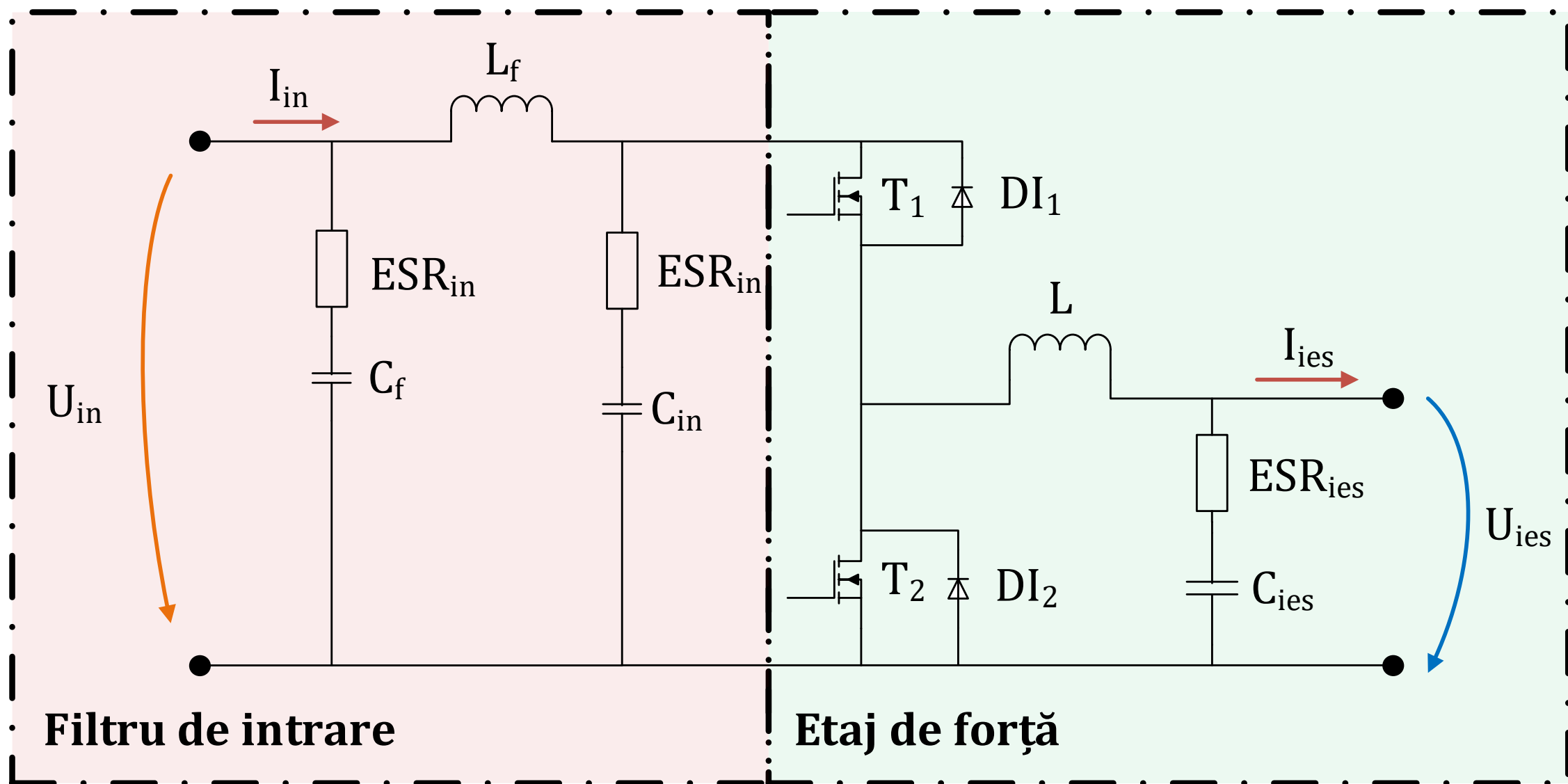


Reglare în buclă deschisă

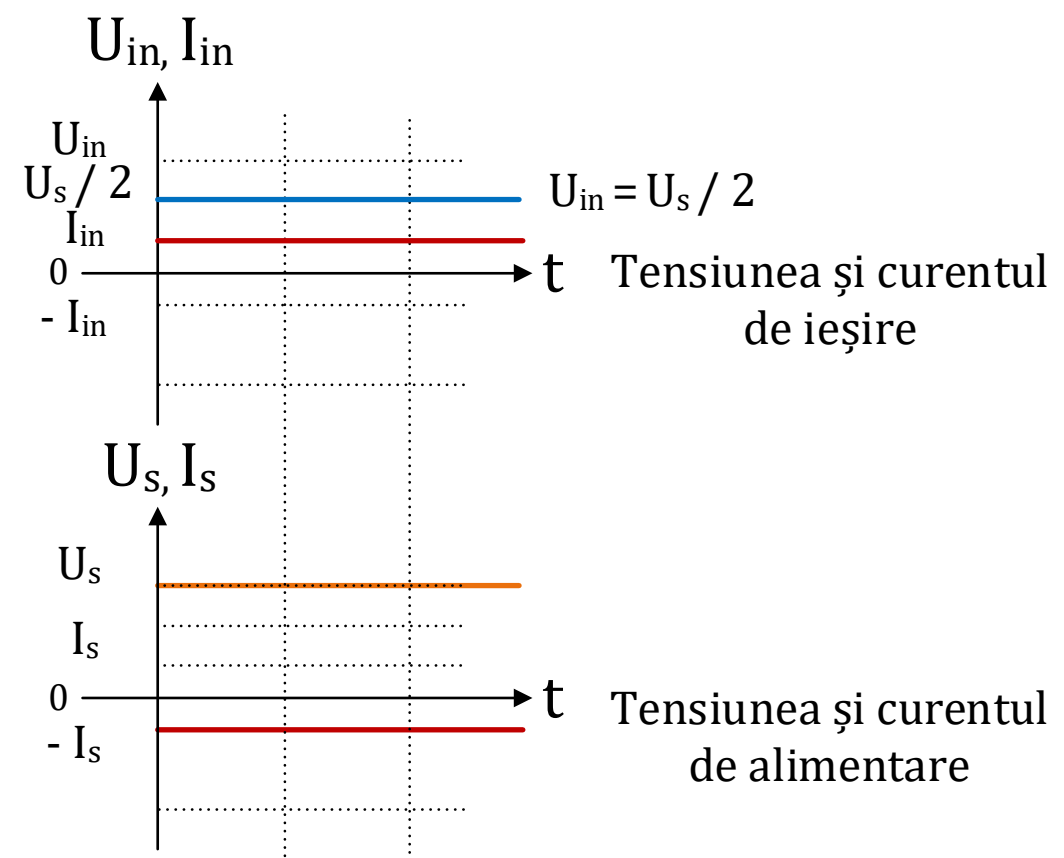
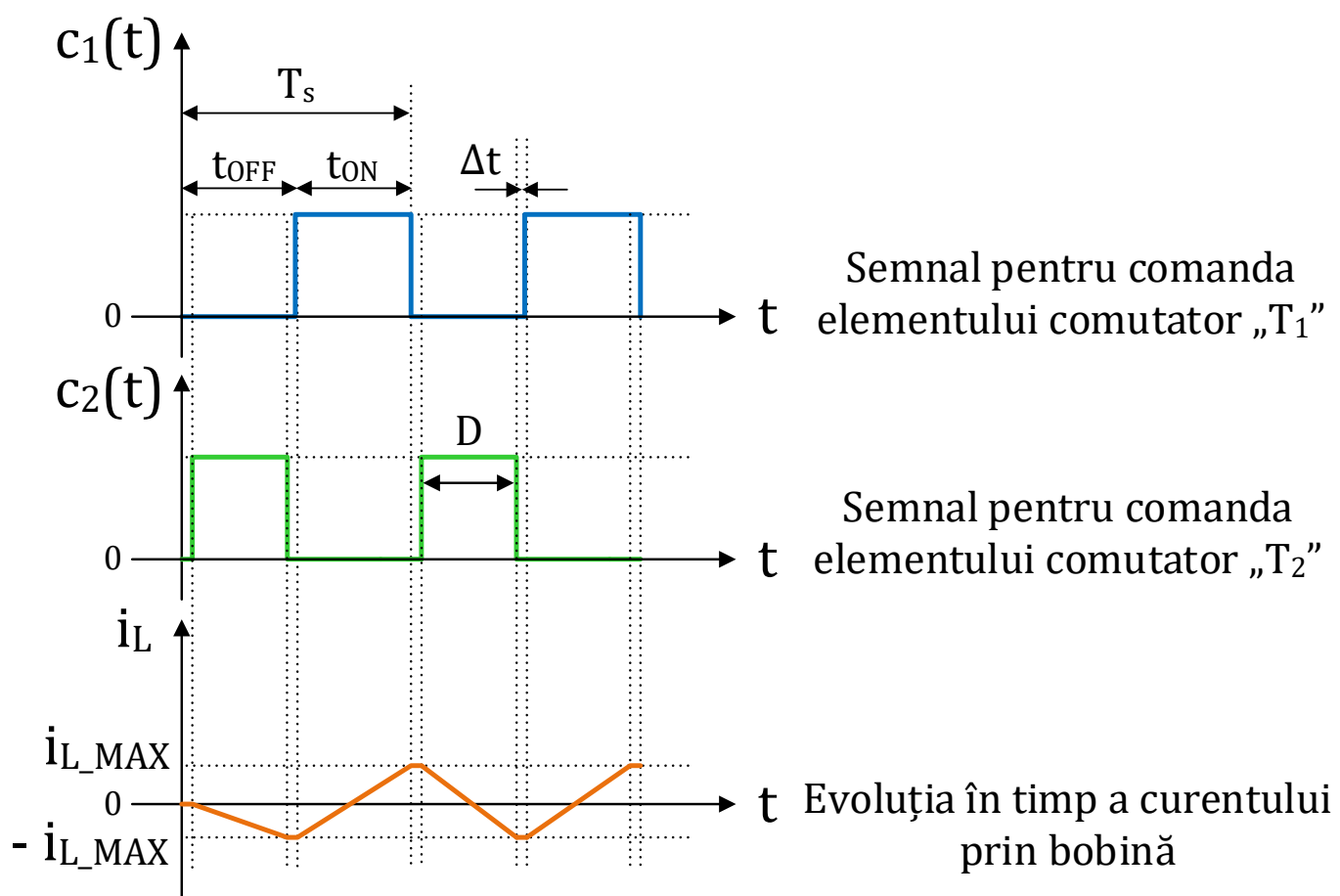


Reglare în buclă închisă

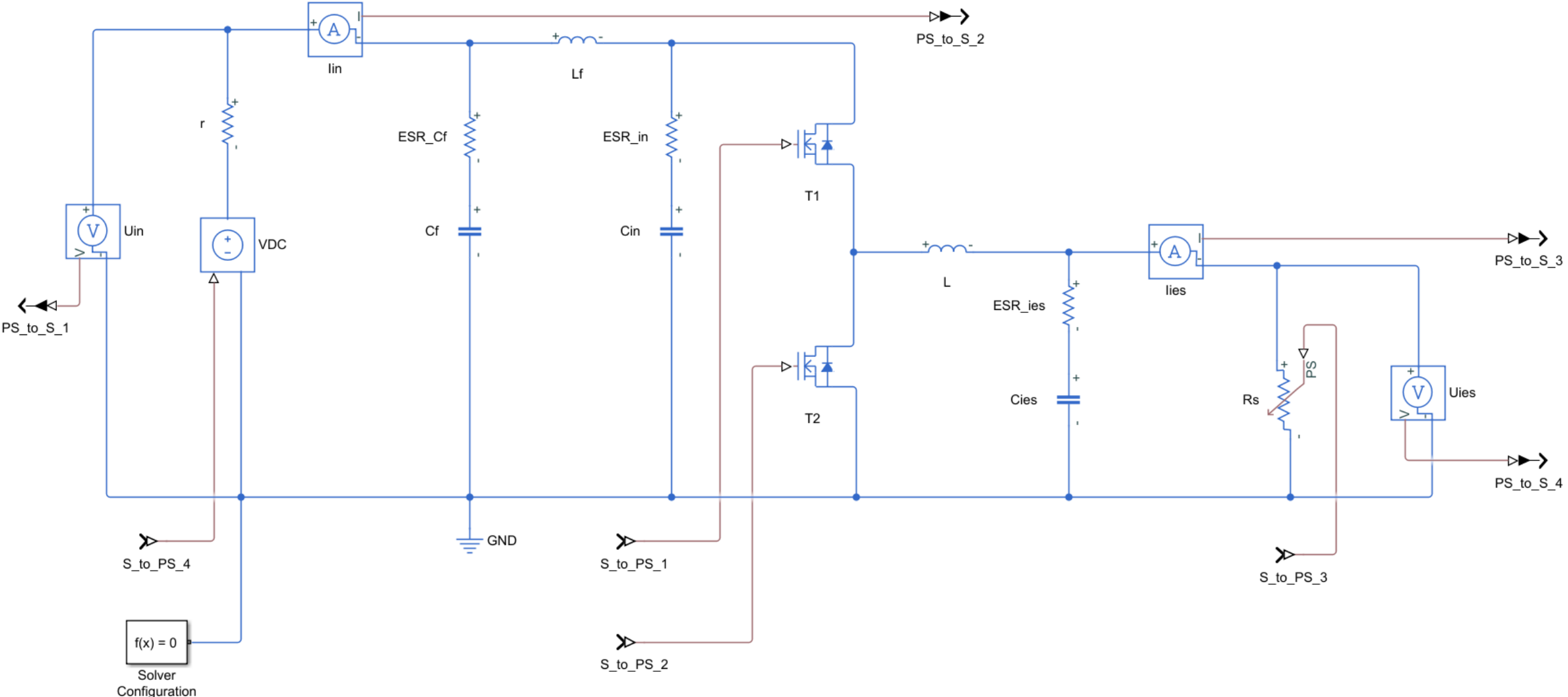
Topologia convertorului sincron coborâtor de tensiune



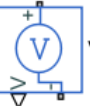
Semnalele de comandă pentru elementele comutatoare ale convertorului



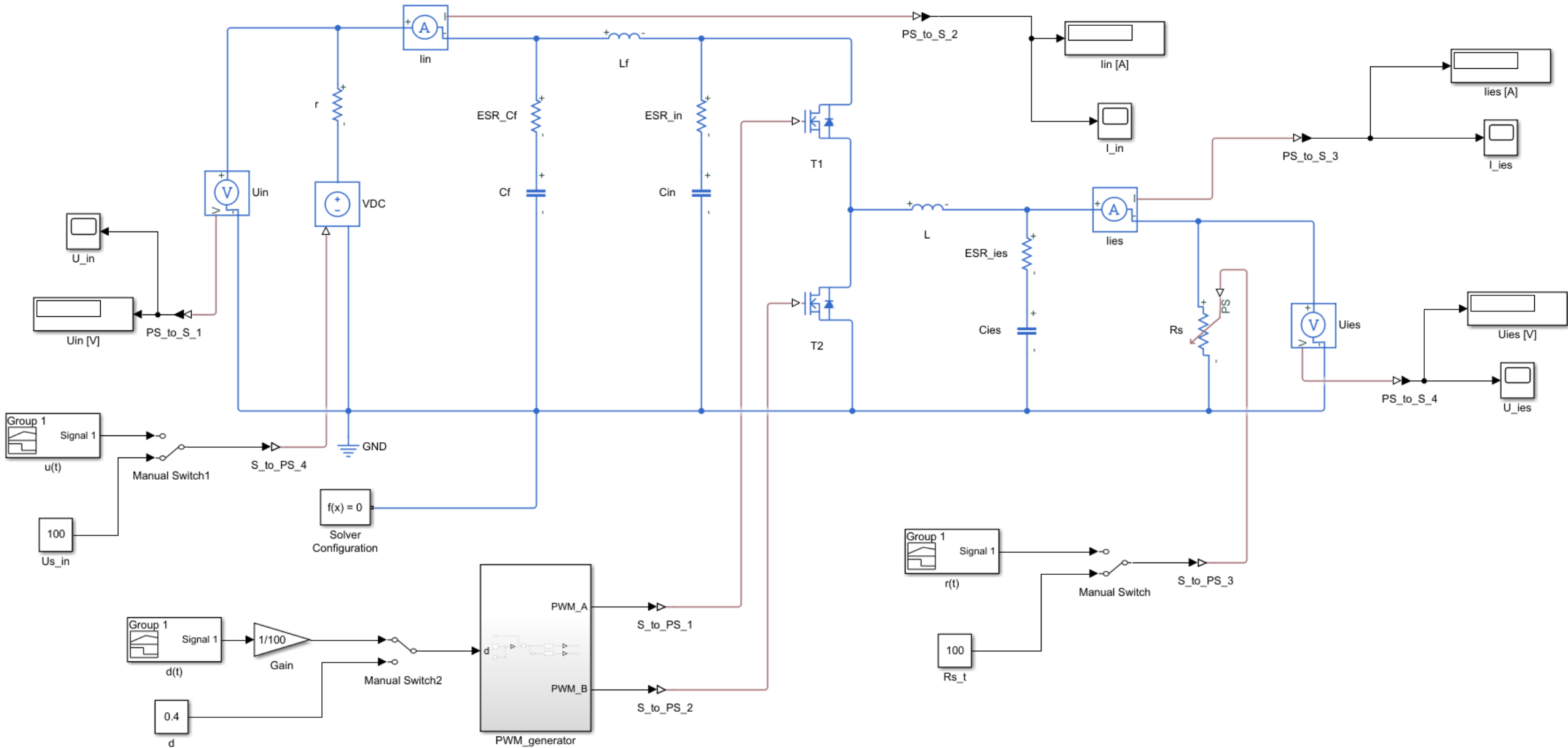
Implementarea circuitelor prin intermediul componentelor SimScape



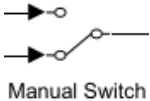
Implementarea circuitelor prin intermediul componentelor SimScape

Simbol bloc	Denumire	Locație
 Controlled Voltage Source	Controlled Voltage Source	SimScape / Foundation Library / Electrical / Electrical Sources
 Current Sensor	Current Sensor	SimScape / Foundation Library / Electrical / Electrical Sensors
 Voltage Sensor	Voltage Sensor	SimScape / Foundation Library / Electrical / Electrical Sensors
 Solver Configuration	Solver Configuration	SimScape / Utilities
 Electrical Reference	Electrical Reference	SimScape / Foundation Library / Electrical / Electrical Elements
 Resistor  Inductor  Capacitor	Resistor, Inductor, Capacitor	SimScape / Foundation Library / Electrical / Electrical Elements
 PS-Simulink Converter  Simulink-PS Converter	PS (Physical) to Simulink converter Simulink to PS (Physical) converter	SimScape / Utilities
 MOSFET	MOSFET	SimScape / Electrical / Power Systems / Semiconductors / Fundamental Components

Modelul convertorului sincron coborător de tensiune în buclă deschisă



Implementarea circuitelor prin intermediul componentelor SimScape

Simbol bloc	Denumire	Locație
 The icon shows a rectangular block with a small window on the left displaying a square wave. The text "Group 1" is in the top left, "Signal 1" is in the top right, and "Signal Builder" is centered below the block.	Signal Builder	Simulink / Sources
 The icon shows two input lines on the left. The top line has a switch symbol (a circle with a horizontal line and a diagonal line) and an output line to the right. The bottom line has a similar switch symbol but the output line is not connected. The text "Manual Switch" is centered below the block.	Manual Switch	Simulink / Signal Routing
 The icon shows a rectangular block with a small "x" on the left side and a rectangular display area inside. The text "Display" is centered below the block.	Display	Simulink / Sinks
 The icon shows a rectangular block with a small "x" on the left side and a square display area inside. The text "Scope" is centered below the block.	Scope	Simulink / Sinks

Definirea parametrilor de simulare

- ❖ În vederea implementării modelului de simulare se vor utiliza următorii parametrii pentru componente și pentru mediul de simulare:
- ✓ timp total de simulare: $T = 3 \text{ [s]}$;
- ✓ timp de eșantionare (eng. Sample time): $T_s = 10^{-6} \text{ [s]}$;
- ✓ tensiune de alimentare: $U_{in} = 350 \text{ [V]}$;
- ✓ frecvență de comutație: $f_c = 30 \text{ [kHz]}$;
- ✓ rezistența internă a sursei: $r = 0,5 \text{ }[\Omega]$;
- ✓ capacitatea condensatorului din filtrul prezent la intrare: $C_f = 15,5 \text{ }[\mu\text{F}]$;
- ✓ rezistența armăturilor condensatorului din filtru: $ESR_{in1} = 0,12 \text{ }[\Omega]$;
- ✓ inductivitatea bobinei de filtrare: $L_f = 182 \text{ }[\mu\text{H}]$;
- ✓ rezistența bobinei de filtrare: $r_{L_f} = 0,01 \text{ }[\Omega]$;
- ✓ capacitatea condensatorului de intrare în convertor: $C_{in} = 300 \text{ }[\mu\text{F}]$;
- ✓ rezistența armăturilor condensatorului de intrare: $ESR_{in2} = 0,12 \text{ }[\Omega]$;
- ✓ tipul elementelor comutatoare: MOSFET WolfSpeed C3M0015065K;
- ✓ inductivitatea bobinei principale a convertorului: $L = 450 \text{ }[\mu\text{H}]$;
- ✓ rezistența bobinei convertorului: $r_L = 0,01 \text{ }[\Omega]$;
- ✓ capacitatea condensatorului de ieșire: $C_{ies} = 450 \text{ }[\mu\text{F}]$;
- ✓ rezistența armăturilor condensatorului de ieșire: $ESR_{ies} = 0,03 \text{ }[\Omega]$.

Definirea parametrilor de simulare

Configuration Parameters: Lab_II_TCEAE_CL/Configuration (Active)

Search

Solver

- Data Import/Export
- Math and Data Types
- ▶ Diagnostics
- Hardware Implementation
- Model Referencing
- Simulation Target
- ▶ Code Generation
- ▶ Coverage
- ▶ HDL Code Generation
- Simscape
- Simscape Multibody 1G
- ▶ Simscape Multibody

Simulation time

Start time: 0.0 Stop time: 10

Solver selection

Type: Variable-step Solver: ode23t (mod. stiff/Trapezoidal)

▼ **Solver details**

Max step size: auto Relative tolerance: 1e-3

Min step size: auto Absolute tolerance: auto

Initial step size: auto ☒ Auto scale absolute tolerance

Solver reset method: Fast

Shape preservation: Disable All

Number of consecutive min steps: 1

Solver Jacobian method: auto

Zero-crossing options

Zero-crossing control: Use local settings Algorithm: Nonadaptive

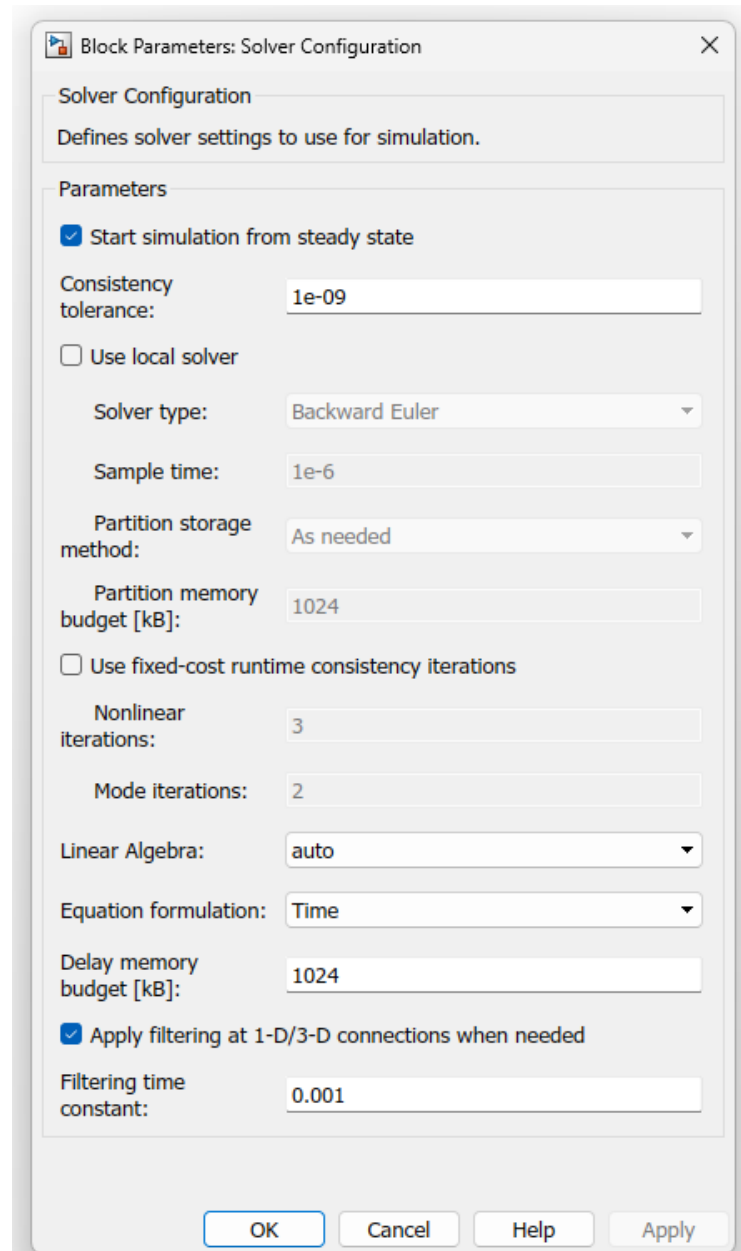
Time tolerance: 10*128*eps Signal threshold: auto

Number of consecutive zero crossings: 1000

Tasking and sample time options

OK Cancel Help Apply

Definirea parametrilor de simulare



The image shows a software dialog box titled "Block Parameters: Solver Configuration". It contains various settings for a simulation solver, organized into sections. The "Parameters" section is expanded, showing options like "Start simulation from steady state" (checked), "Consistency tolerance" (1e-09), "Use local solver" (unchecked), "Solver type" (Backward Euler), "Sample time" (1e-6), "Partition storage method" (As needed), "Partition memory budget [kB]" (1024), "Use fixed-cost runtime consistency iterations" (unchecked), "Nonlinear iterations" (3), "Mode iterations" (2), "Linear Algebra" (auto), "Equation formulation" (Time), "Delay memory budget [kB]" (1024), "Apply filtering at 1-D/3-D connections when needed" (checked), and "Filtering time constant" (0.001). At the bottom are buttons for "OK", "Cancel", "Help", and "Apply".

Block Parameters: Solver Configuration

Solver Configuration
Defines solver settings to use for simulation.

Parameters

☒ Start simulation from steady state

Consistency tolerance: 1e-09

☐ Use local solver

Solver type: Backward Euler

Sample time: 1e-6

Partition storage method: As needed

Partition memory budget [kB]: 1024

☐ Use fixed-cost runtime consistency iterations

Nonlinear iterations: 3

Mode iterations: 2

Linear Algebra: auto

Equation formulation: Time

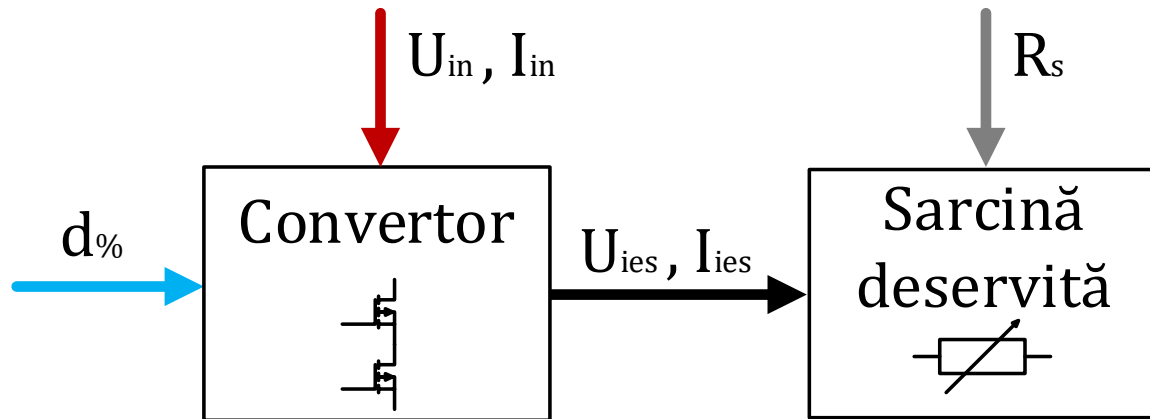
Delay memory budget [kB]: 1024

☒ Apply filtering at 1-D/3-D connections when needed

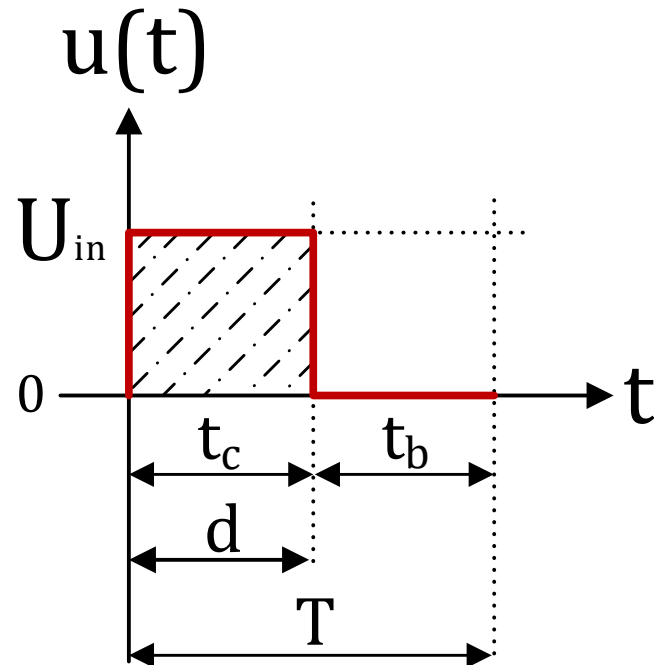
Filtering time constant: 0.001

OK Cancel Help Apply

Principiul de funcționare al convertorului în buclă deschisă



$$U_{ies} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T u(t) \cdot dt = d \cdot \mathbf{U}_{in}$$

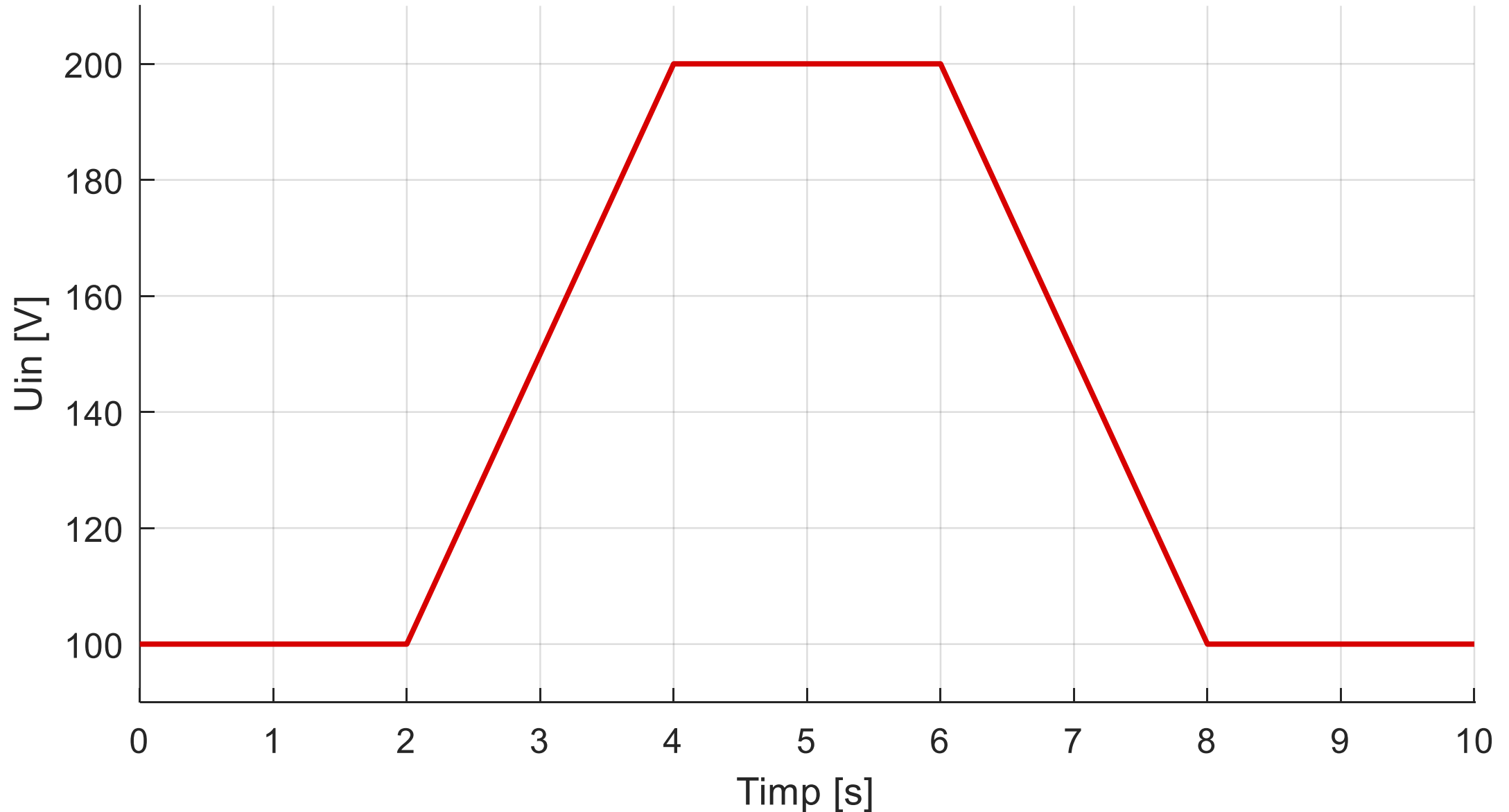


$$I_{ies} = \frac{U_{in} \cdot \mathbf{d}}{R_s} = \frac{U_{ies}}{\mathbf{R_s}}$$

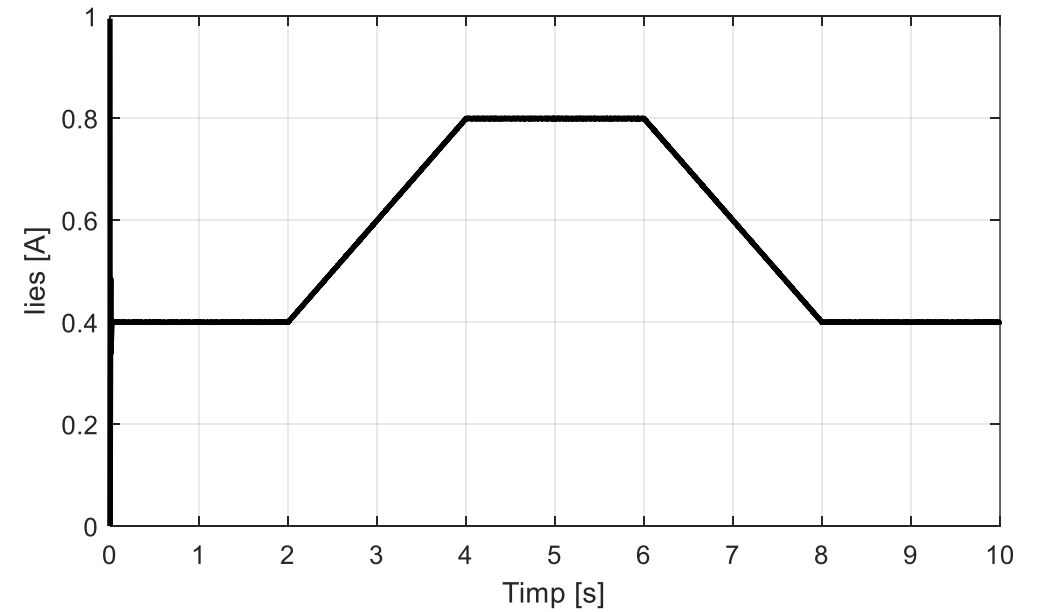
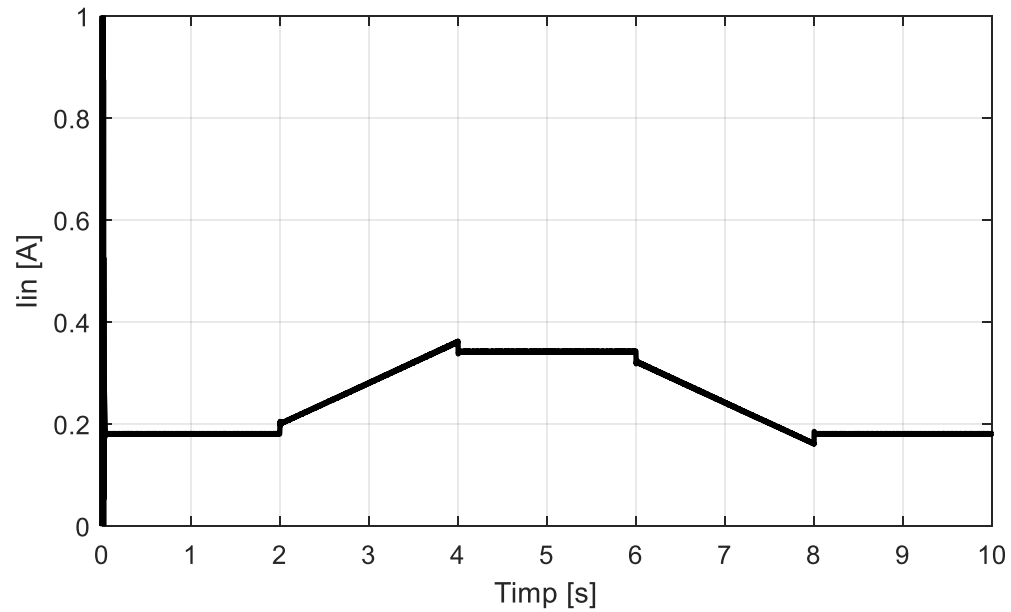
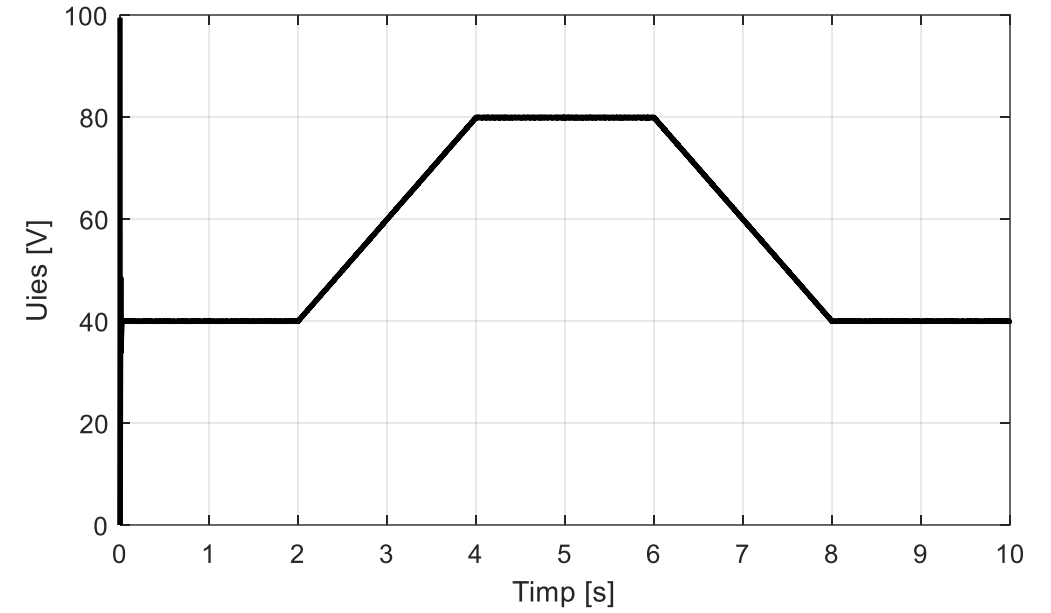
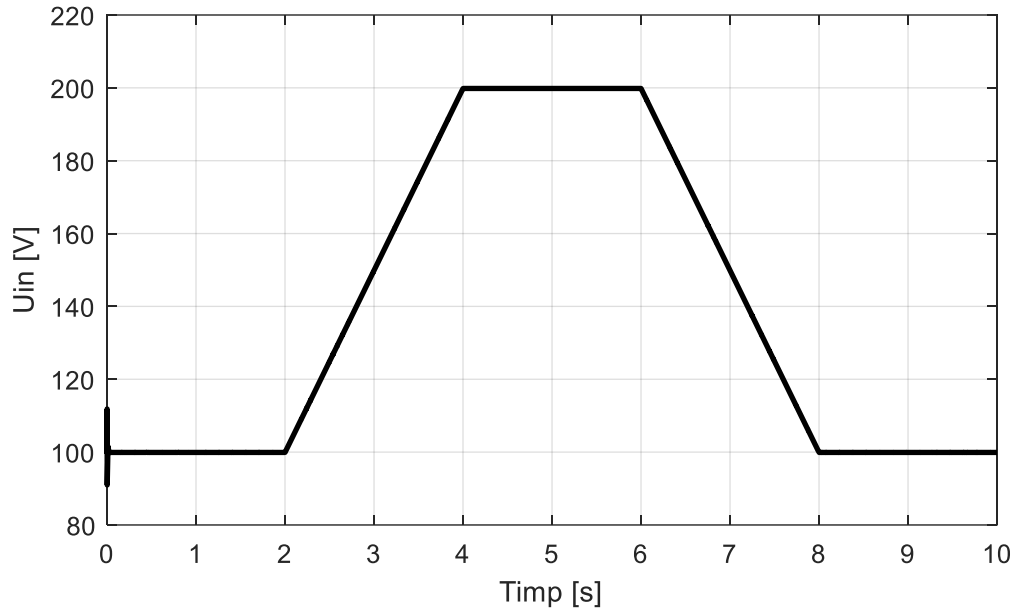
Implementarea diverselor scenarii de test

- ❖ În urma implementării modelului de simulare (în buclă deschisă) în cadrul mediului Matlab – Simulink + SimScape se vor colecta următoarele rezultate:
- ✓ Variația tensiunii și curentului de intrare + ieșire la modificarea tensiunii de alimentare a convertorului
- ✓ Variația tensiunii și curentului de intrare + ieșire la modificarea factorului de umplere al semnalului de comandă
- ✓ Variația tensiunii și curentului de intrare + ieșire la modificarea rezistenței sarcinii deservite de către convertorul sincron coborâtor de tensiune

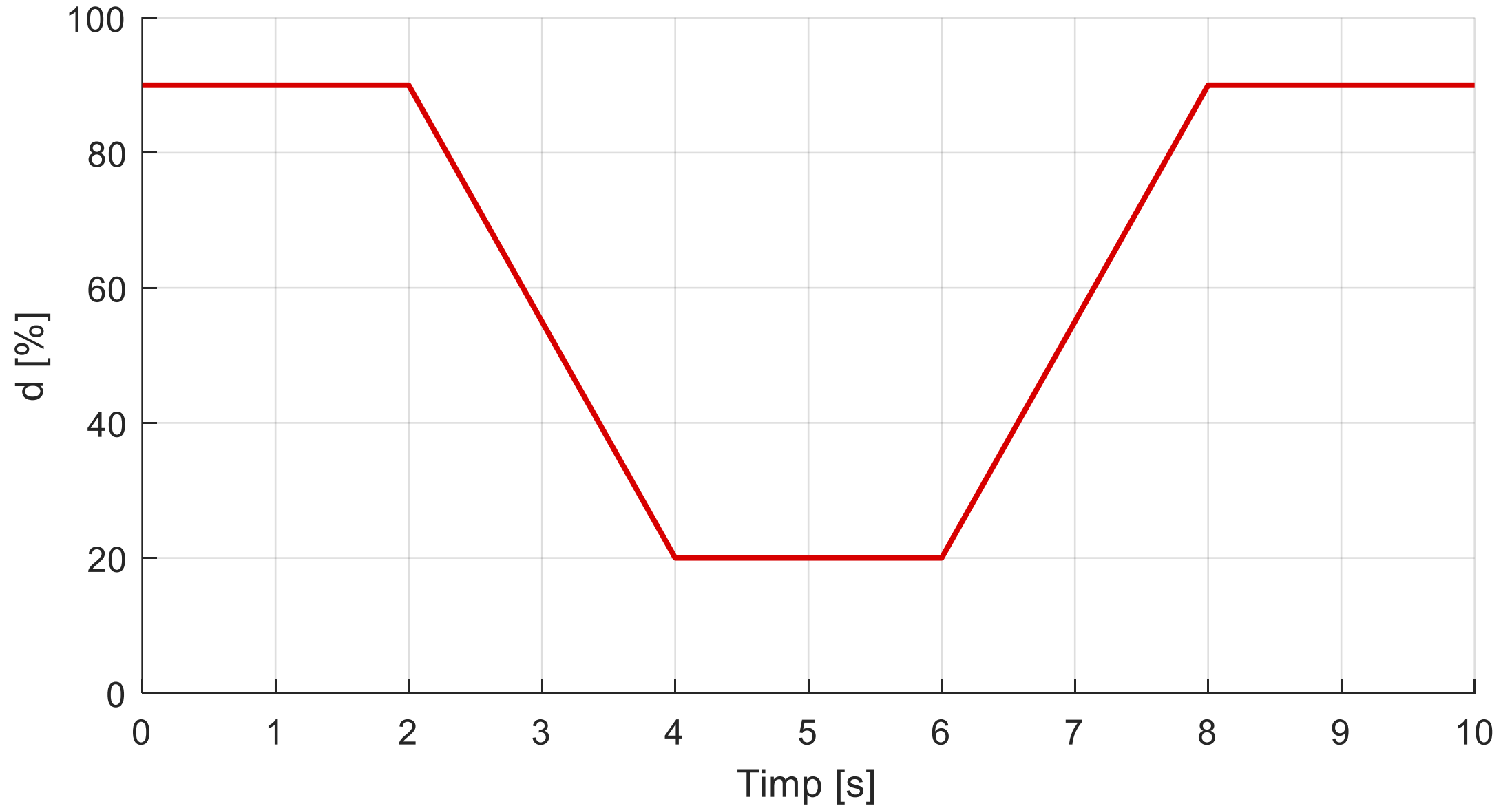
Implementarea diverselor scenarii de test – Variația tensiunii de intrare



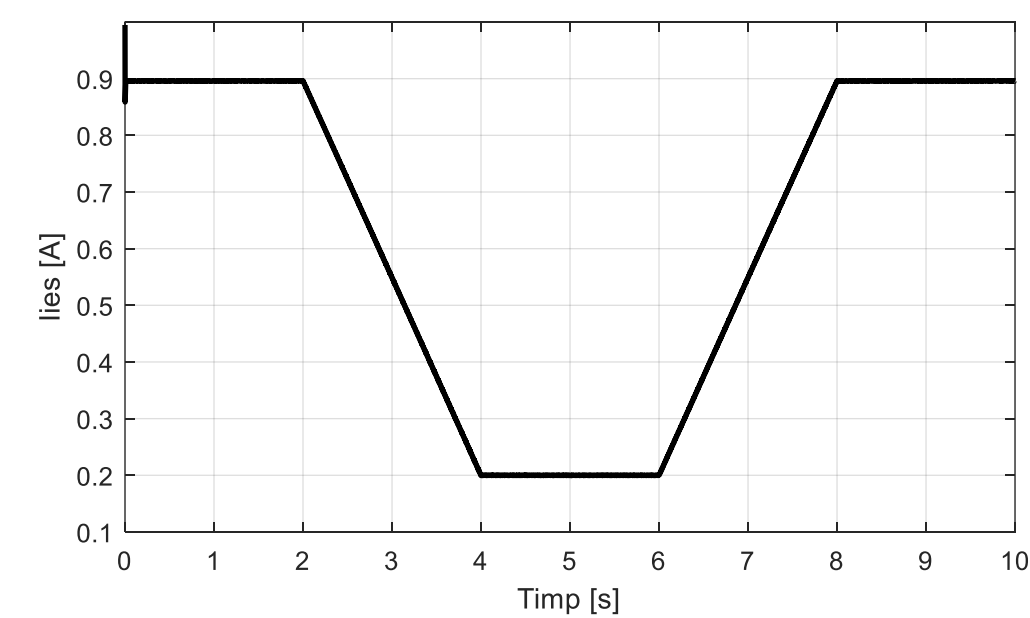
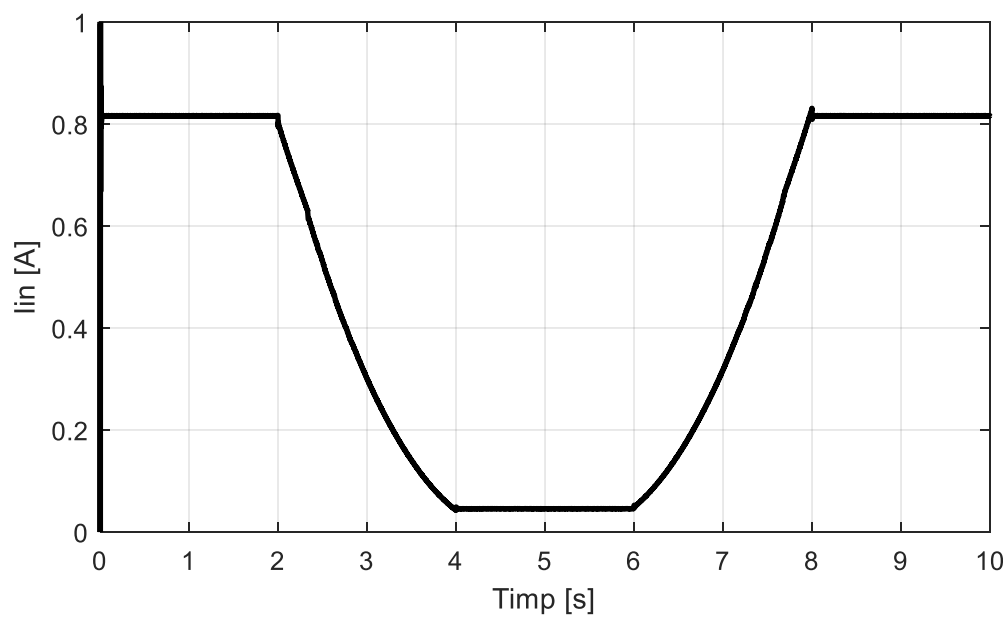
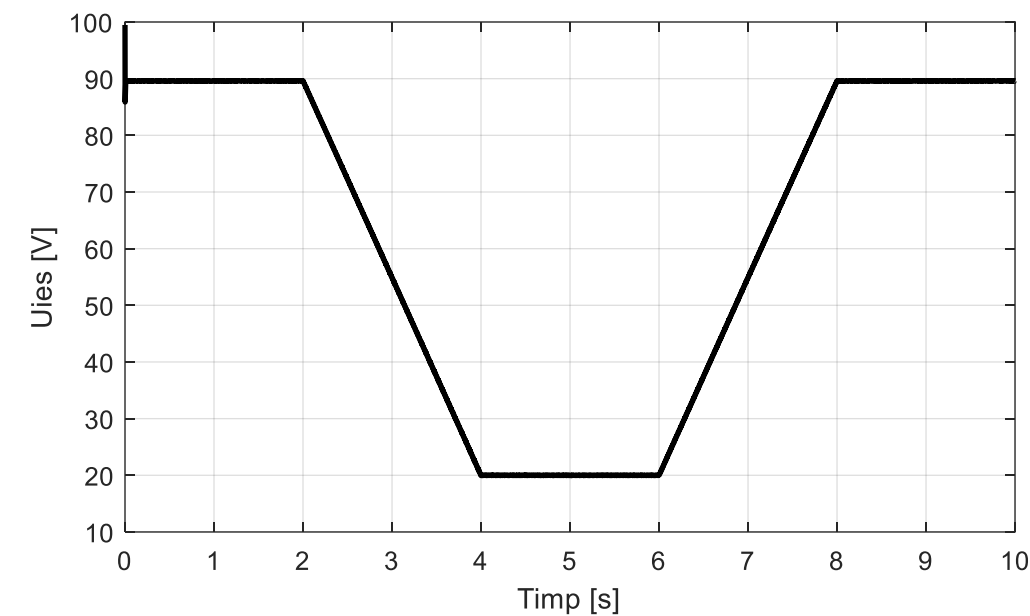
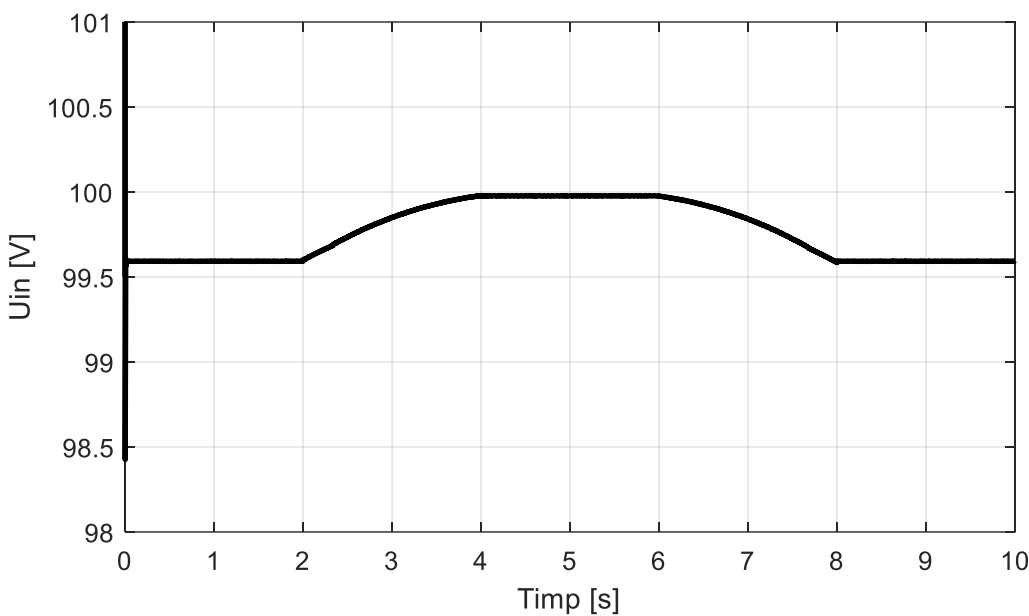
Preluarea rezultatelor de simulare la variația tensiunii de intrare



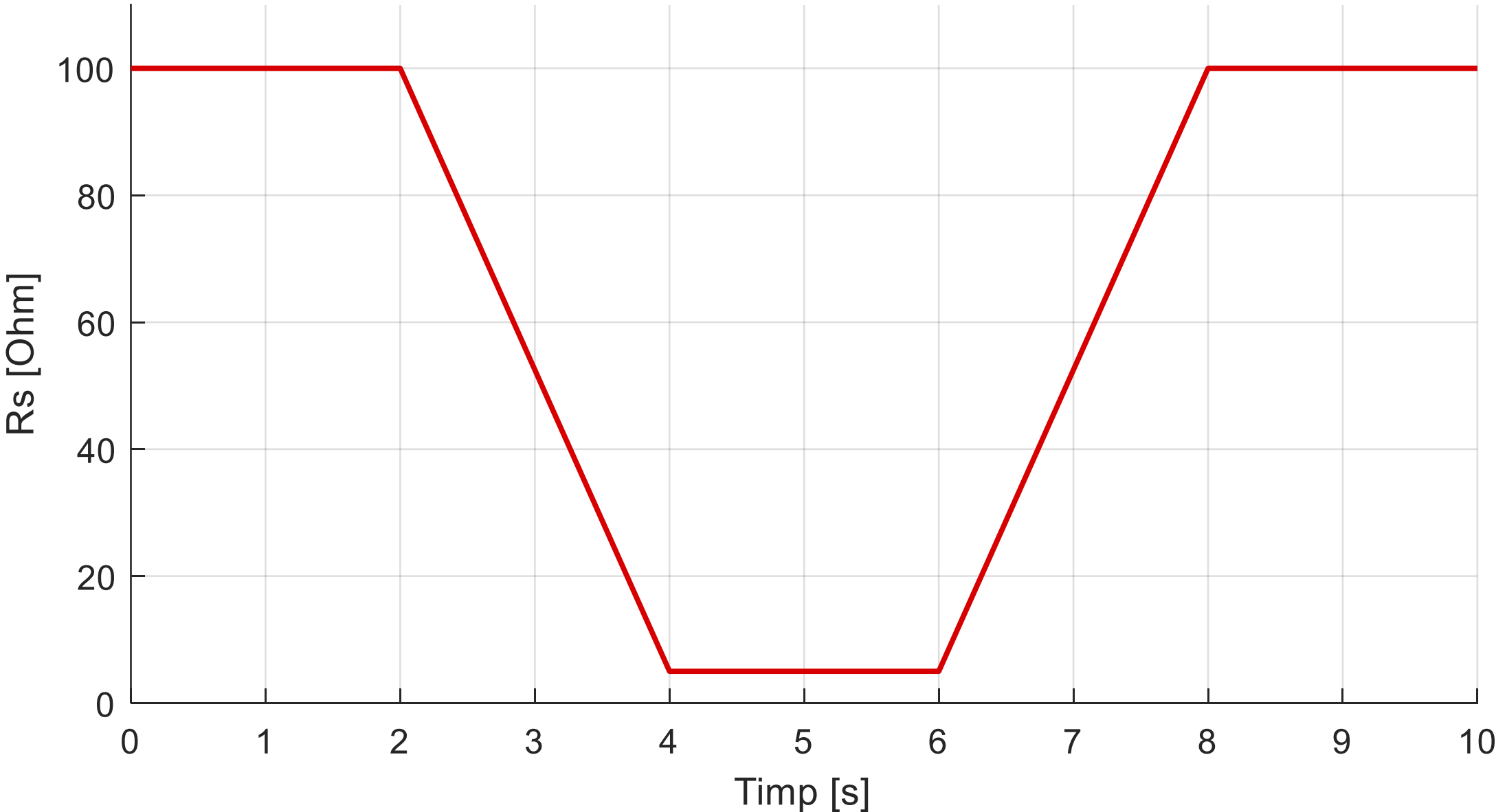
Implementarea diverselor scenarii de test – Variația factorului de umplere



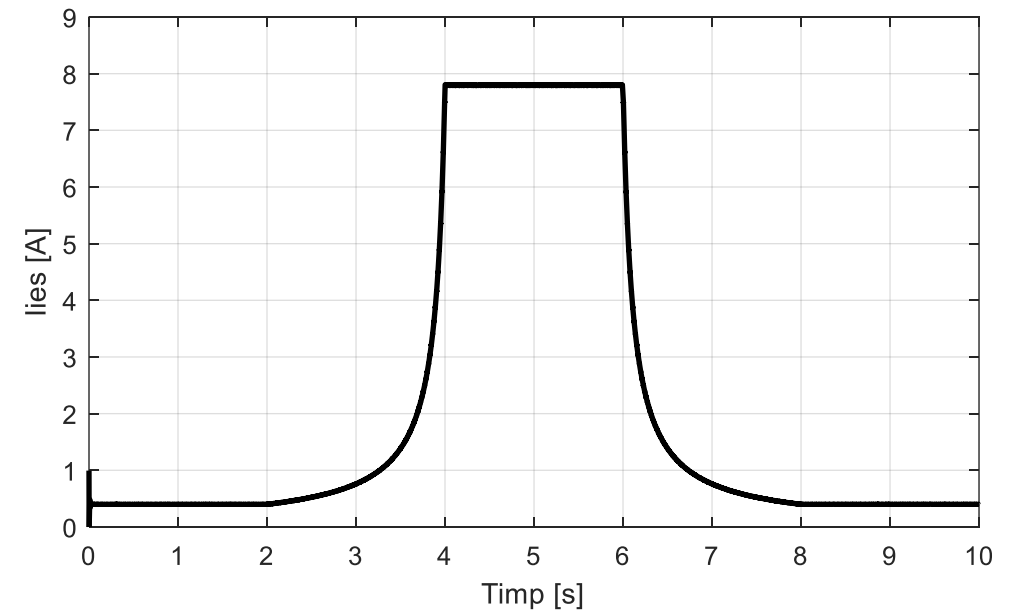
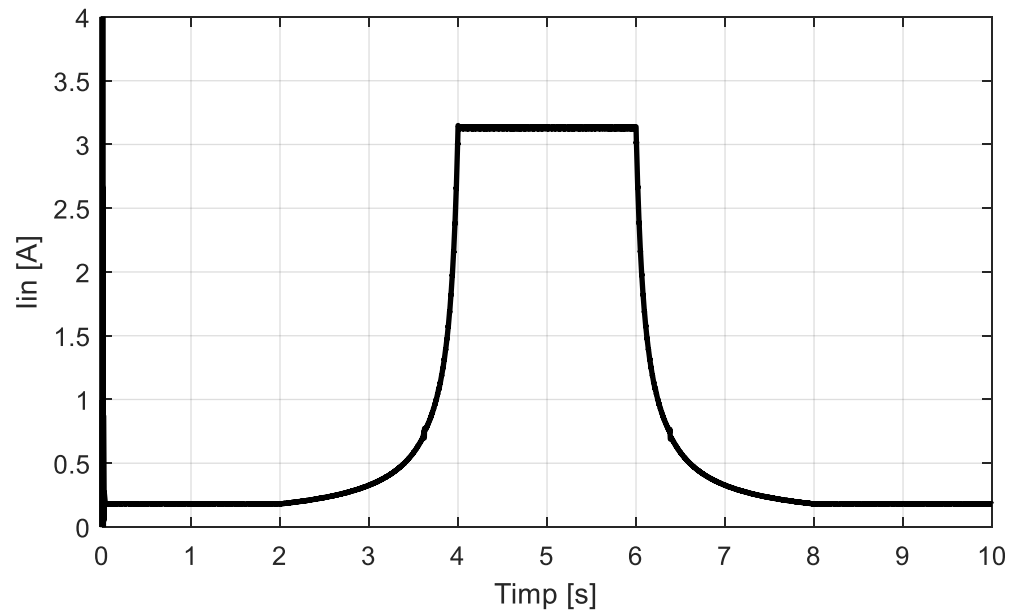
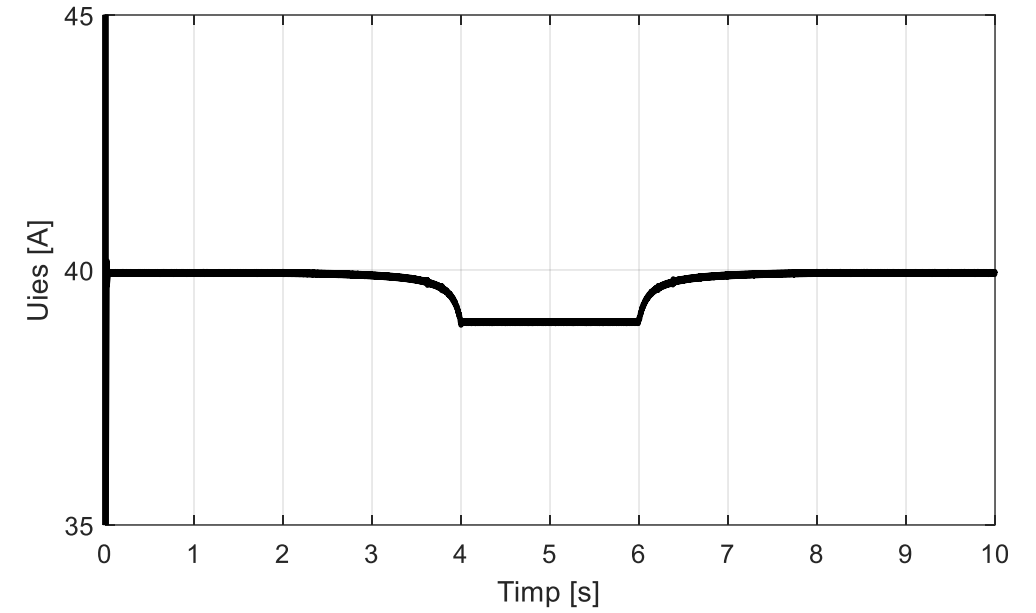
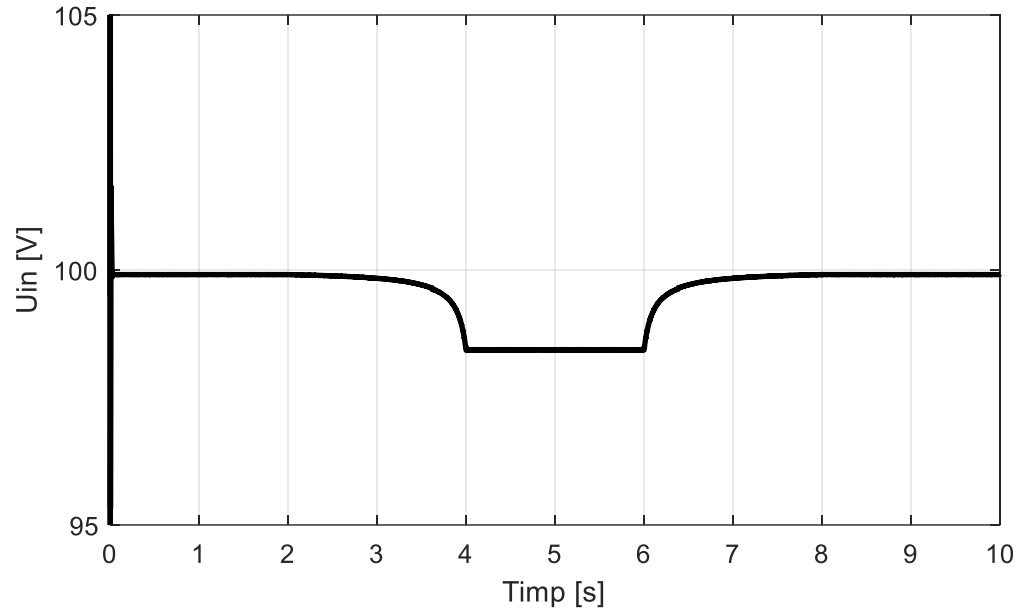
Preluarea rezultatelor de simulare la variația factorului de umplere



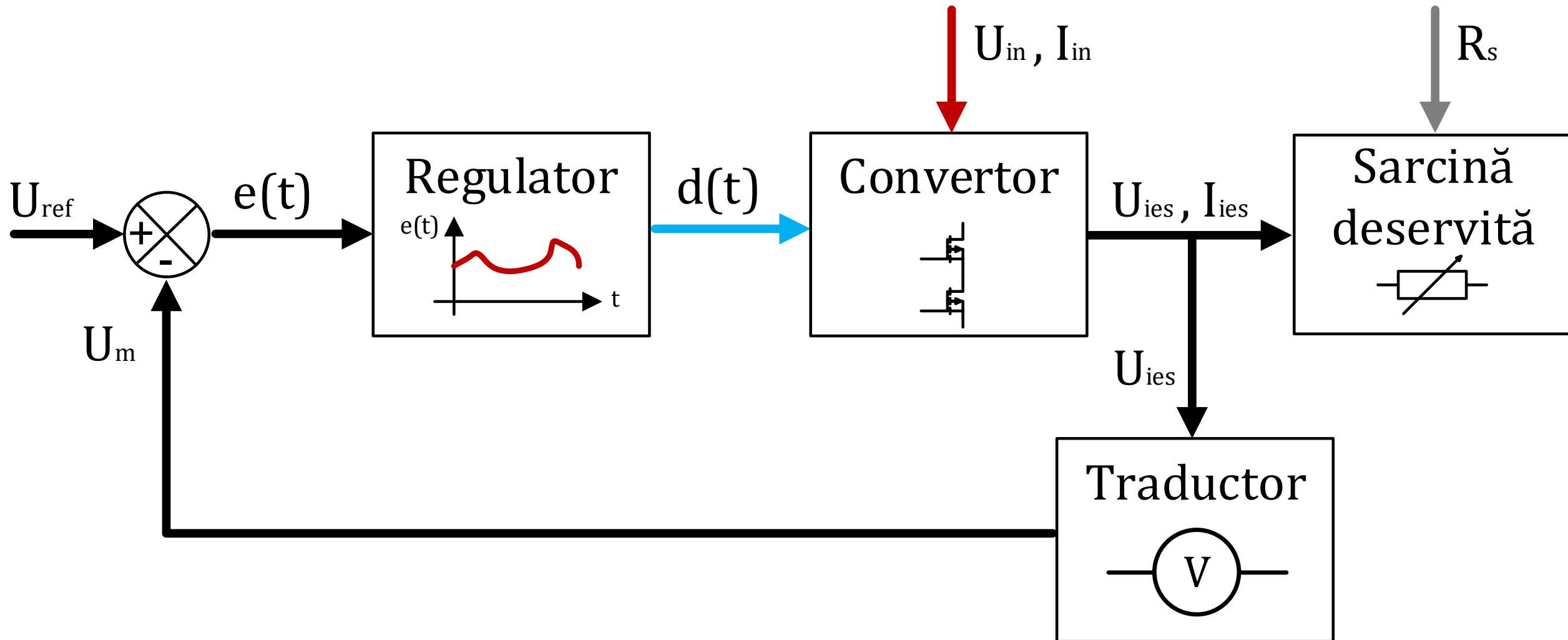
Implementarea diverselor scenarii de test – Variația rezistenței de ieșire



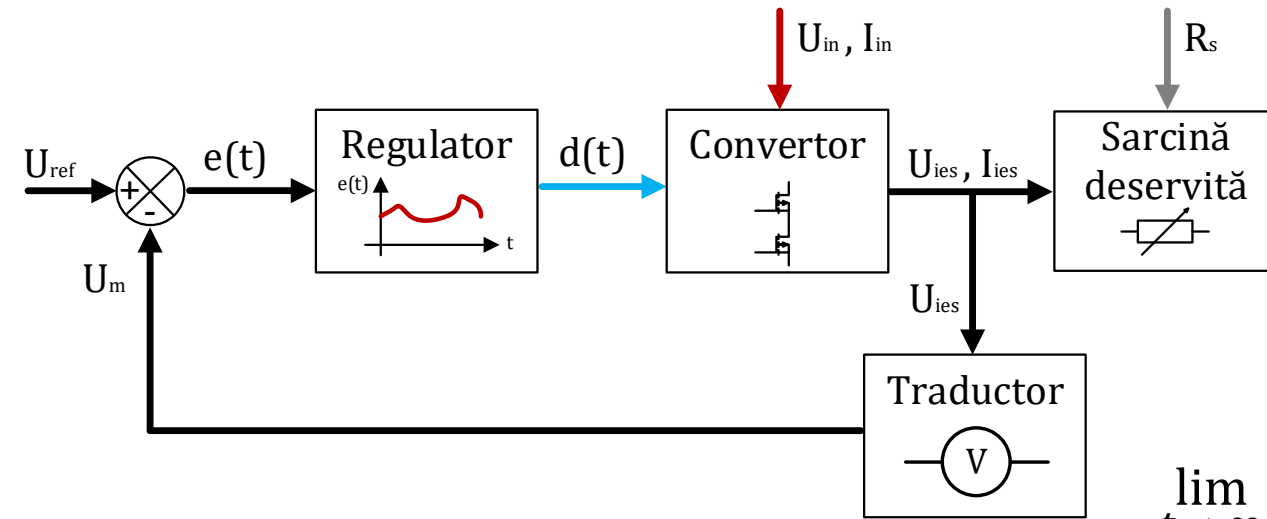
Preluarea rezultatelor de simulare la variația rezistenței de ieșire



Principiul de funcționare al convertorului în buclă închisă



Principiul de funcționare al convertorului în buclă închisă



$$e(t) = U_{ref} - U_m \text{ unde } U_m \approx U_{ies}$$

$$U_{ies} = U_{in} \cdot d \rightarrow U_{ies} = R_s \cdot I_{ies}$$

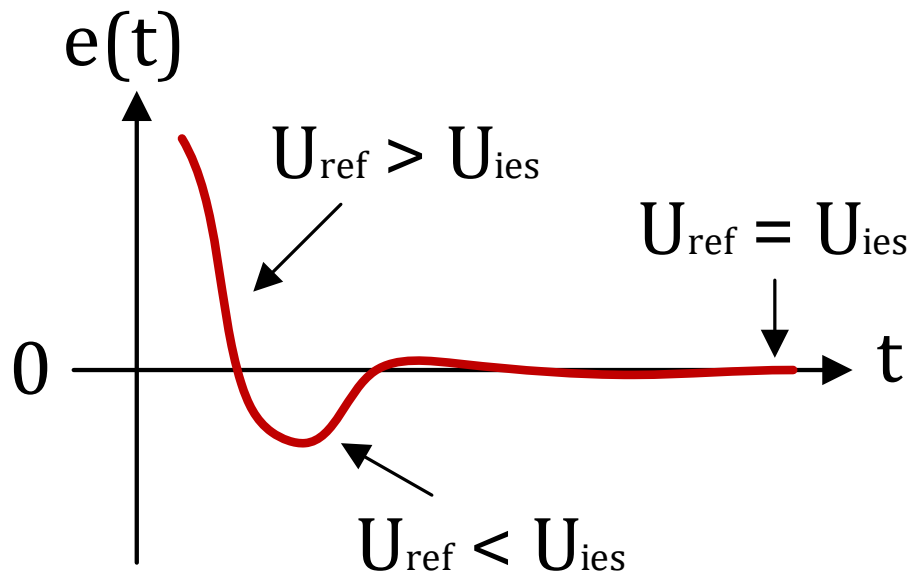
$$U_{in} \cdot d = R_s \cdot I_{ies}$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = 0 \rightarrow e(t) = U_{ref} - U_{ies} = U_{ref} - [U_{in} \cdot d(t)]$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = 0 \rightarrow e(t) = U_{ref} - [U_{in} \cdot d(t)] = 0$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = 0 \rightarrow U_{ref} = [U_{in} \cdot d(t)] \rightarrow U_{ref} = U_{ies} = U_m$$

$$\frac{\partial d}{\partial t} = 0 \rightarrow d = const.$$



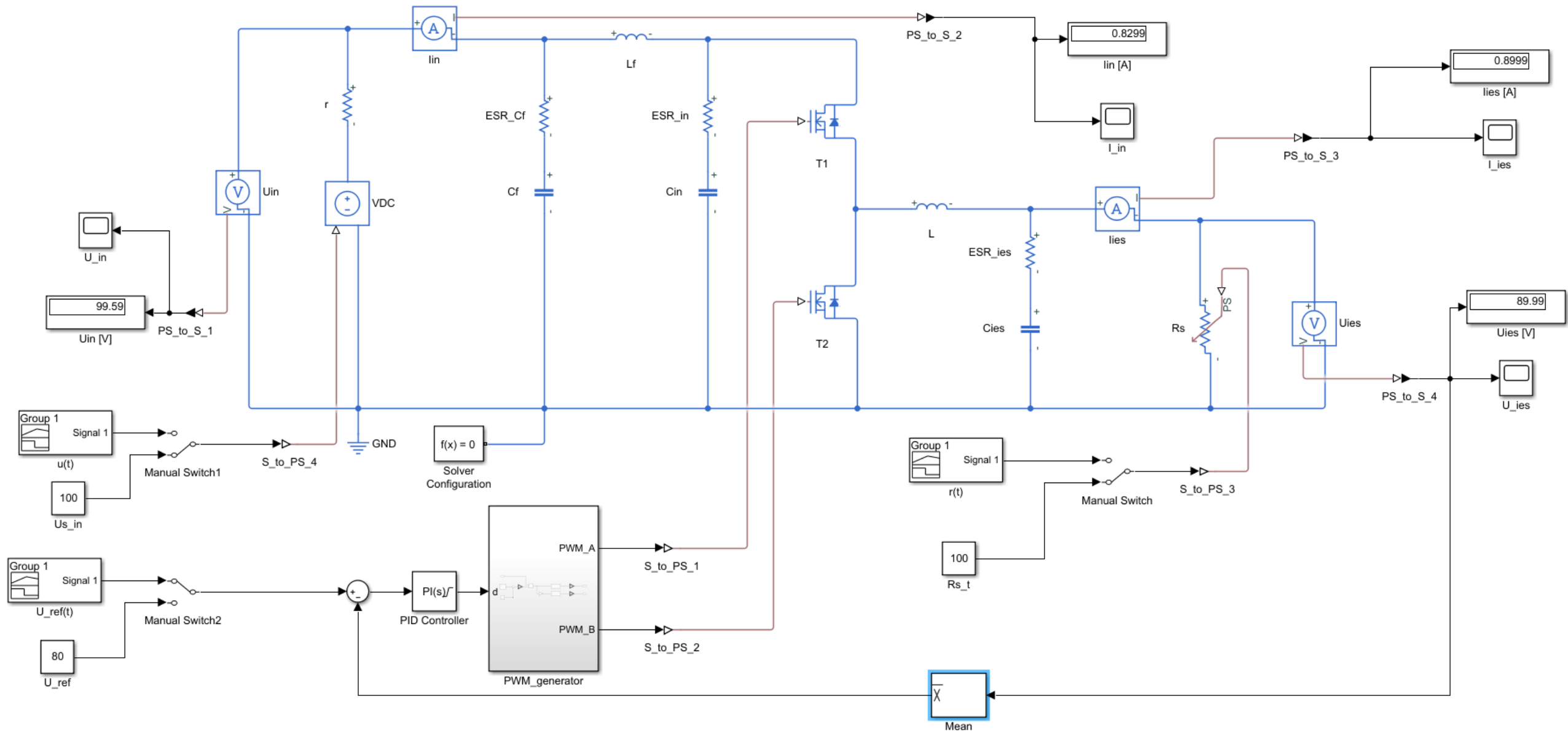
Factorii perturbatori ai sistemului de reglare în buclă închisă

❖ Modificarea parametrilor precum rezistența de sarcină $\mathbf{R_s}$, tensiunea de alimentare $\mathbf{U_{in}}$ sau tensiunea de referință $\mathbf{U_{ref}}$, reprezintă un fenomen perturbator al bunei funcționări. Influența acestora asupra sistemului se poate regăsi în ecuațiile:

$$d(t) = K_p \cdot [\mathbf{U_{ref}} - (\mathbf{R_s} \cdot I_{ies})] + K_i \cdot \int_0^t [U_{ref} - (\mathbf{R_s} \cdot I_{ies})] \cdot \partial t$$

$$d(t) = K_p \cdot [U_{ref} - (\mathbf{U_{in}} \cdot d)] + K_i \cdot \int_0^t [U_{ref} - (\mathbf{U_{in}} \cdot d)] \cdot \partial t$$

Modelul convertorului sincron coborător de tensiune în buclă închisă



Parametrizarea regulatorului

Block Parameters: PID Controller

PID 1dof (mask) (link)

This block implements continuous- and discrete-time PID control algorithms and includes advanced features such as anti-windup, external reset, and signal tracking. You can tune the PID gains automatically using the 'Tune...' button (requires Simulink Control Design).

Controller: PI

Form: Ideal

Time domain:

☒ Continuous-time

☐ Discrete-time

Discrete-time settings

Sample time (-1 for inherited): -1

Compensator formula

$$P\left(1 + I\frac{1}{s}\right)$$

Main

Initialization

Output saturation

Data Types

State Attributes

Controller parameters

Source: internal

Proportional (P): 0.01

Integral (I): 50

Automated tuning

Select tuning method: Transfer Function Based (PID Tuner App)

Tune...

☒ Enable zero-crossing detection

OK

Cancel

Help

Apply

Parametrizarea regulatorului

Block Parameters: PID Controller

PID 1dof (mask) (link)

This block implements continuous- and discrete-time PID control algorithms and includes advanced features such as anti-windup, external reset, and signal tracking. You can tune the PID gains automatically using the 'Tune...' button (requires Simulink Control Design).

Controller: PI

Form: Ideal

Time domain:

☒ Continuous-time

☐ Discrete-time

Discrete-time settings

Sample time (-1 for inherited): -1

▼ Compensator formula

$$P\left(1 + I\frac{1}{s}\right)$$

Main

Initialization

Output saturation

Data Types

State Attributes

Output saturation

☒ Limit output

Upper limit: 1

Lower limit: 0

☒ Ignore saturation when linearizing

Anti-windup

Anti-windup Method: none

OK

Cancel

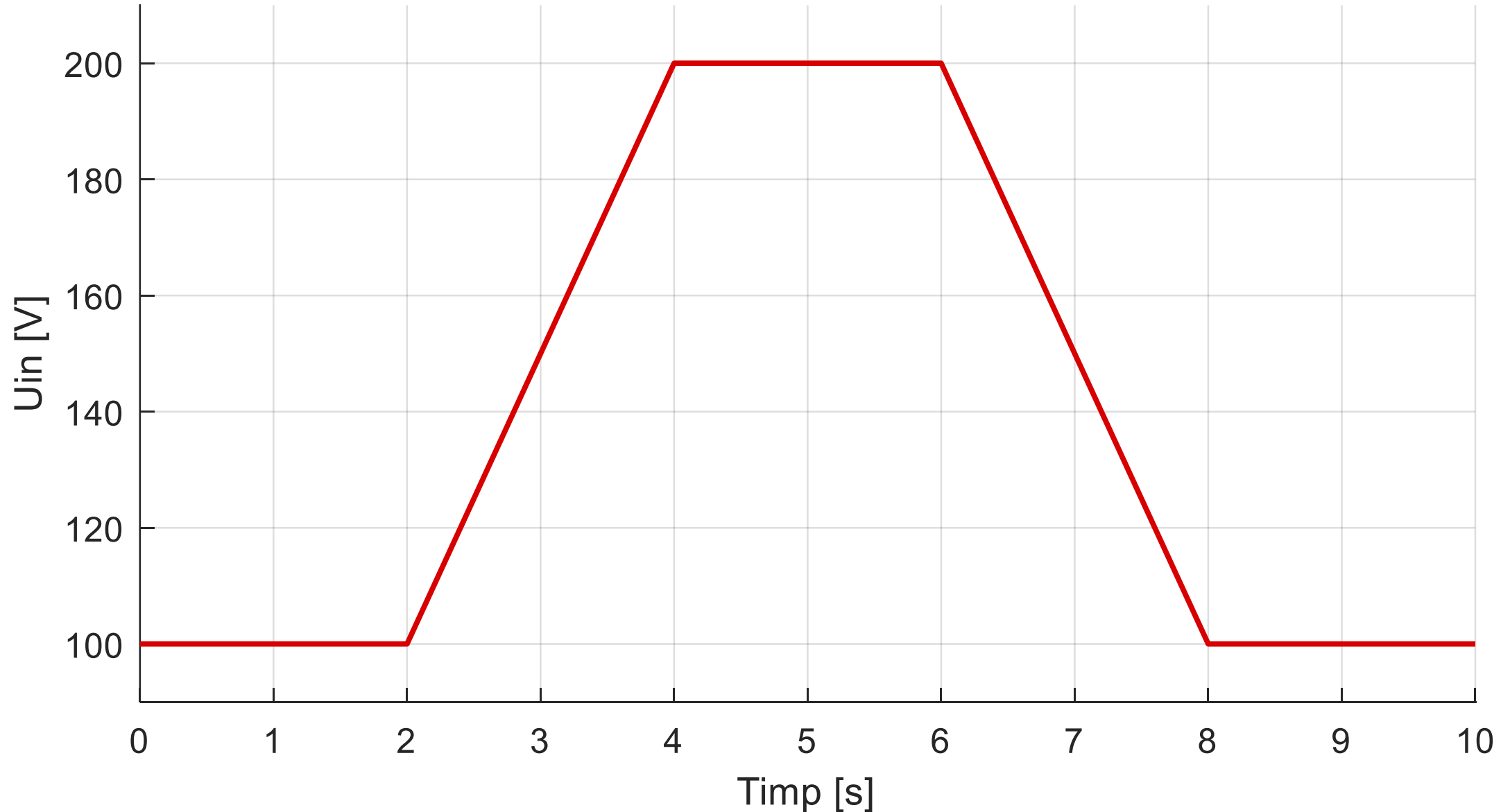
Help

Apply

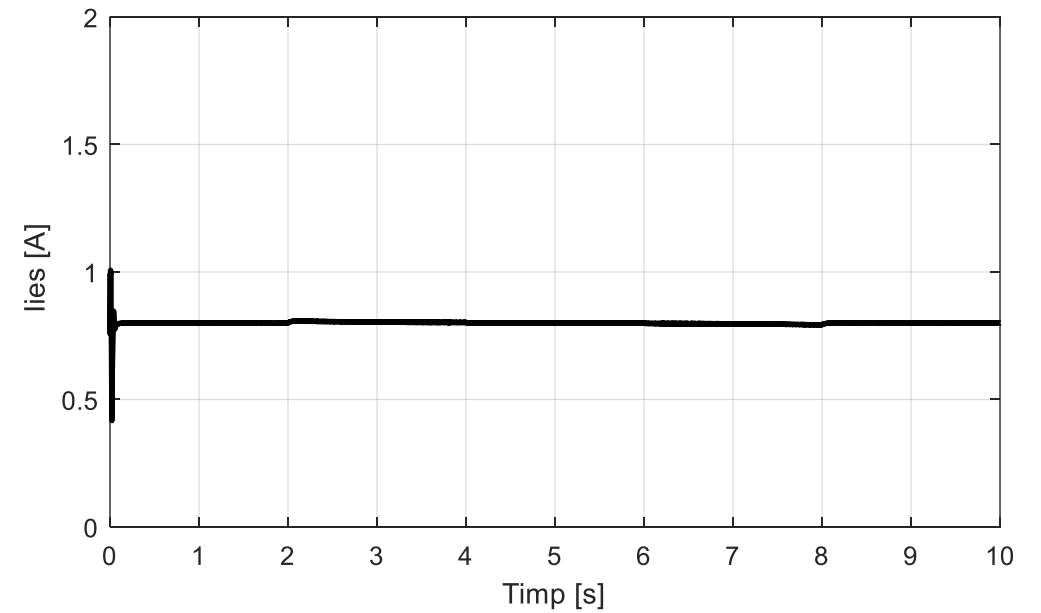
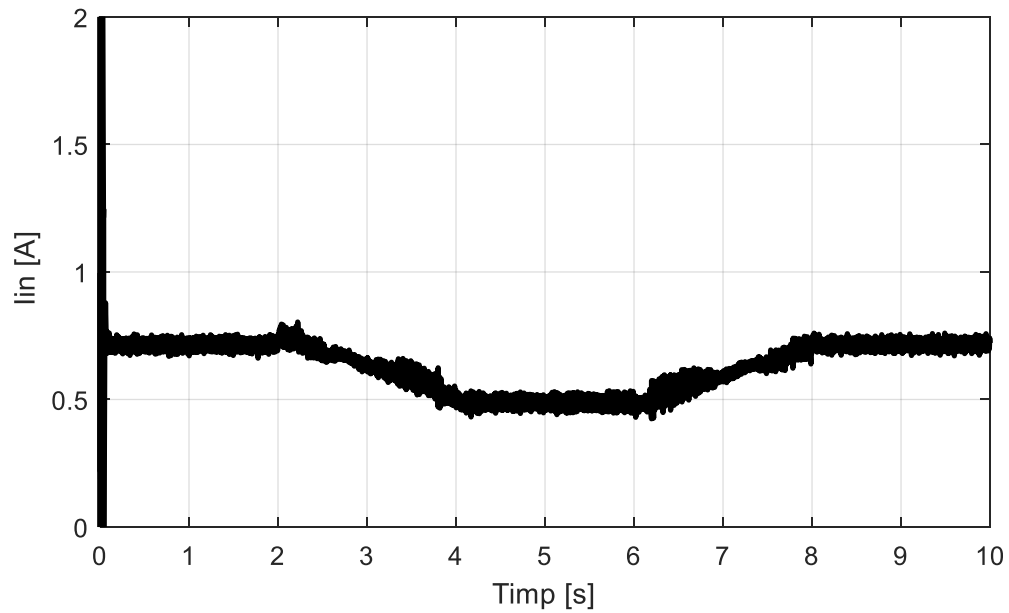
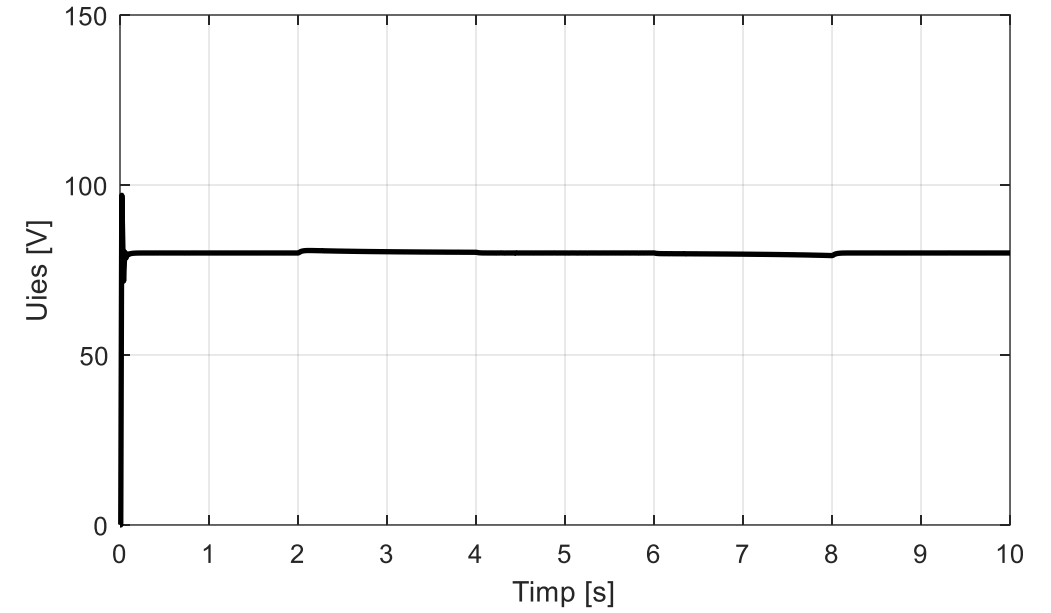
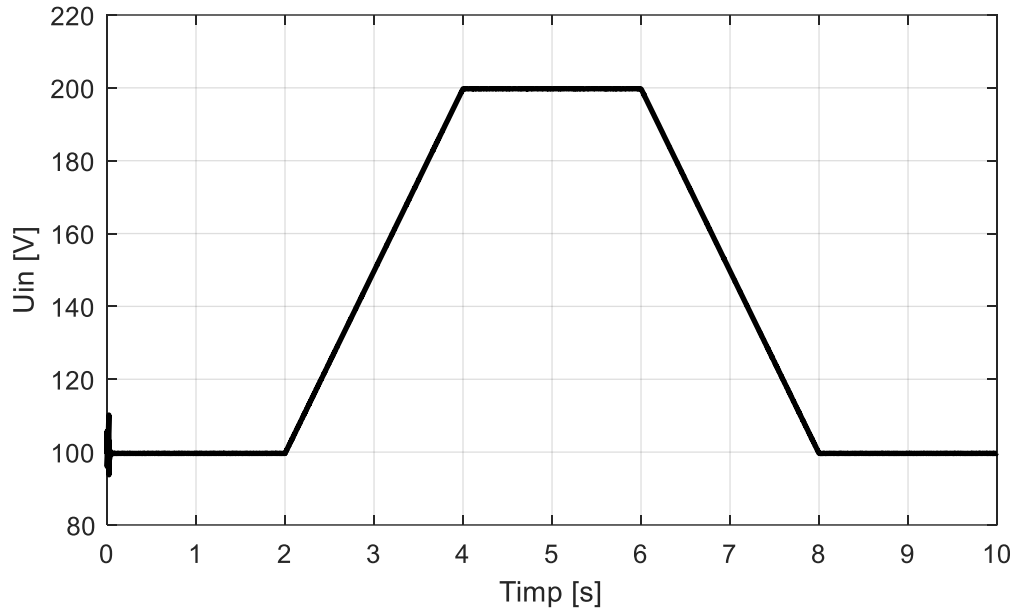
Colectarea rezultatelor pentru simularea modelului în buclă închisă

- ❖ În urma implementării modelului de simulare (în buclă închisă) în cadrul mediului Matlab – Simulink + SimScape se vor colecta următoarele rezultate:
- ✓ Variația tensiunii și curentului de intrare + ieșire la modificarea tensiunii de alimentare a convertorului
- ✓ Variația tensiunii și curentului de intrare + ieșire la modificarea tensiunii de referință impusă sistemului în buclă închisă
- ✓ Variația tensiunii și curentului de intrare + ieșire la modificarea rezistenței sarcinii deservite de către convertorul sincron coborâtor de tensiune

Implementarea diverselor scenarii de test – Variația tensiunii de intrare



Preluarea rezultatelor de simulare la variația tensiunii de intrare



Preluarea rezultatelor de simulare la variația tensiunii de intrare

