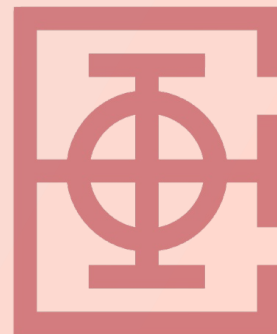




PSSOH

Симулација погона са прекидачким релуктантним мотором применом отвореног софтвера

Богдан Брковић, Милован Мајсторовић, Матеја Ивановић, Младен Терзић
Универзитет у Београду, Електротехнички факултет



Садржај

- Увод и мотивација
- Основне карактеристике моделованог система
- Имплементација модела применом отвореног софтвера
- Резултати и дискусија
- Закључци и смернице за даљи рад

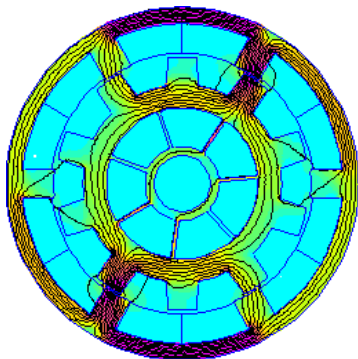
Значај и примена погона са SRM

- У поређењу са конвенционалним решењима
 - Ниска цена и робустан дизајн ✓
 - Велика густина снаге ✓
 - Без потребе за сталним магнетима ✓
 - Бука и вибрације ✗
- Потенцијална поља примене
 - Мала електрична возила
 - Кућни апарати и електрични алати

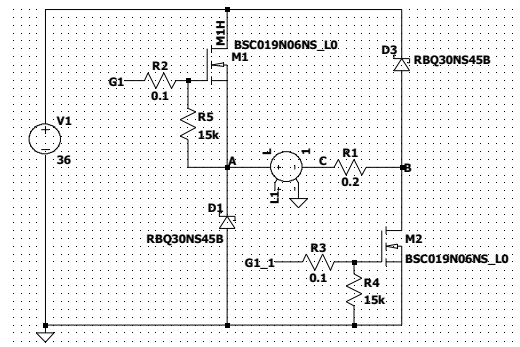
Изазов

- Потребна је детаљна симулација
 - мотора (магнетско засићење)
 - претварача (динамика, паразитне појаве и губици)

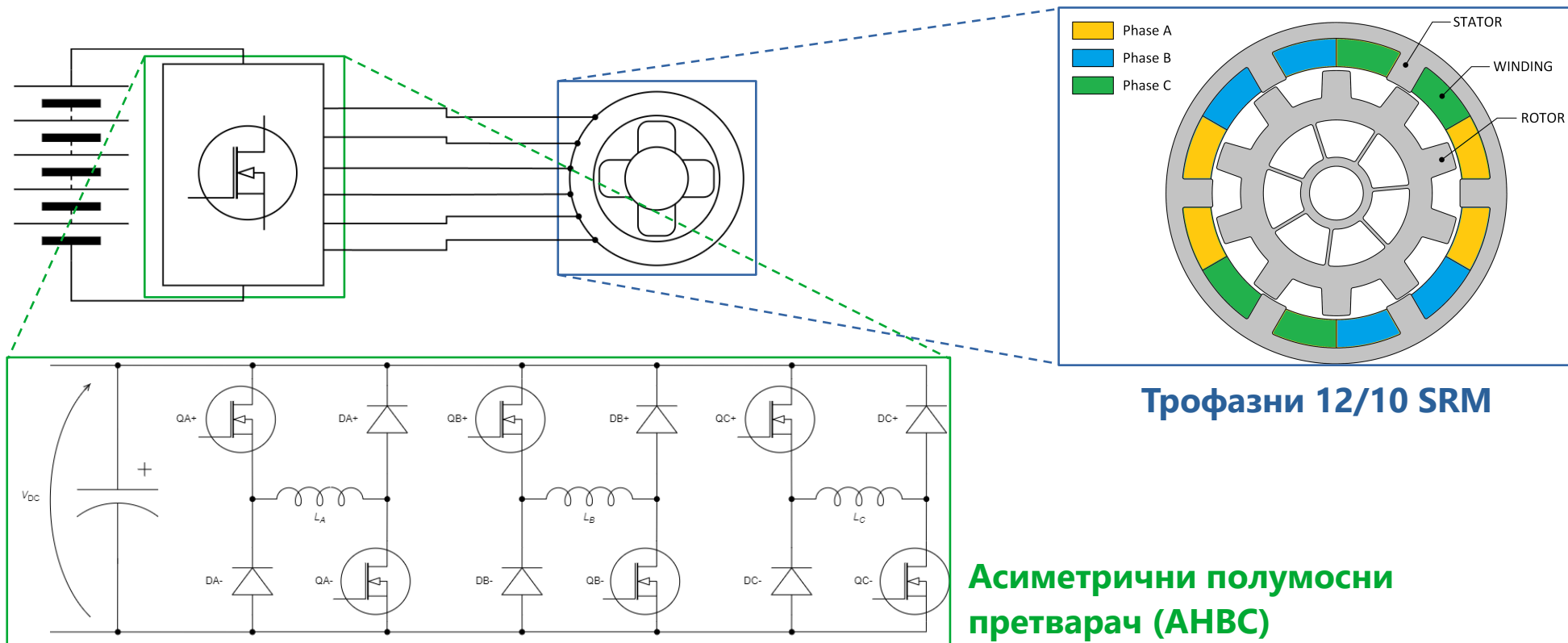
Моделовање SRM



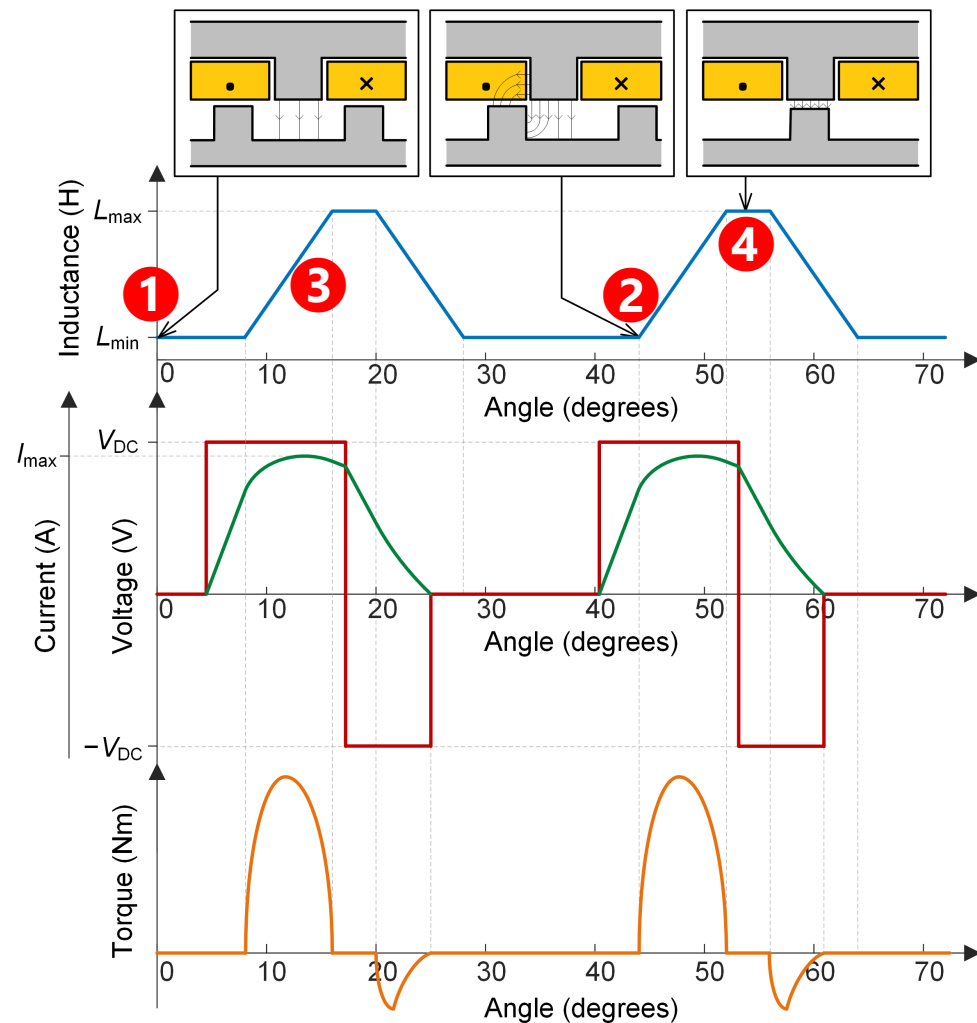
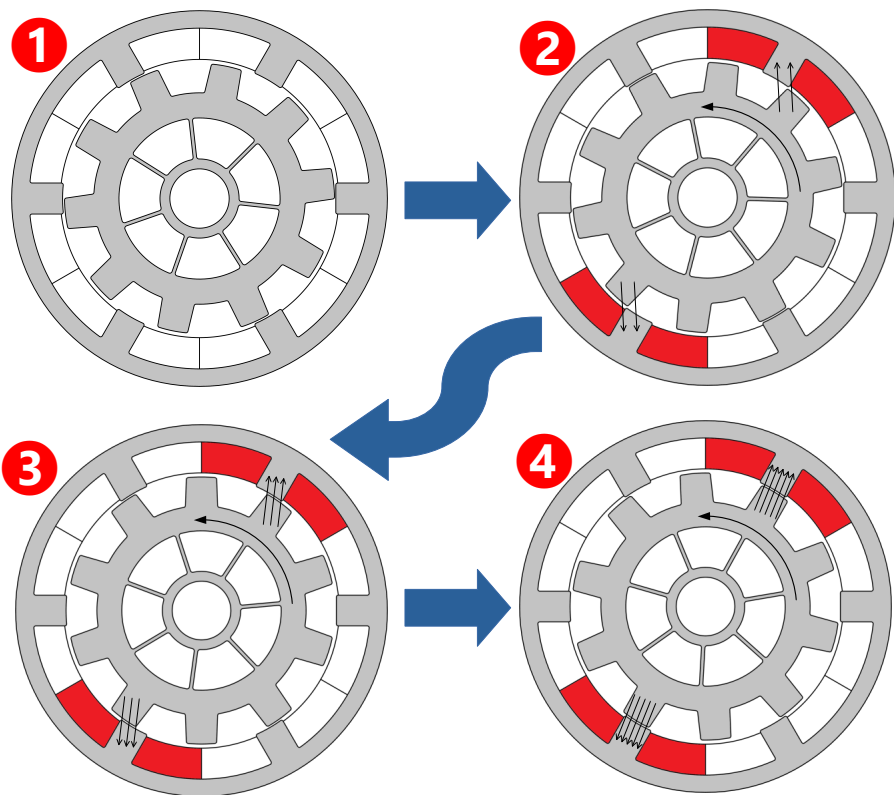
Моделовање претварача



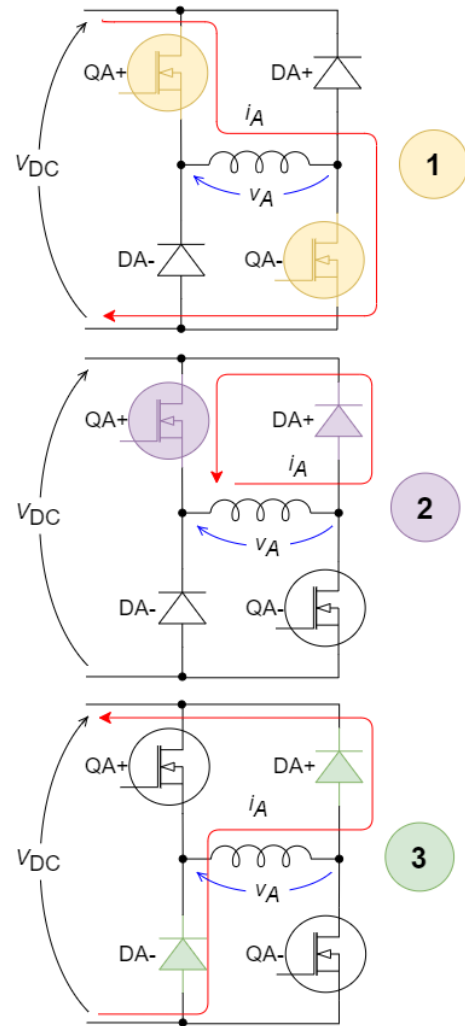
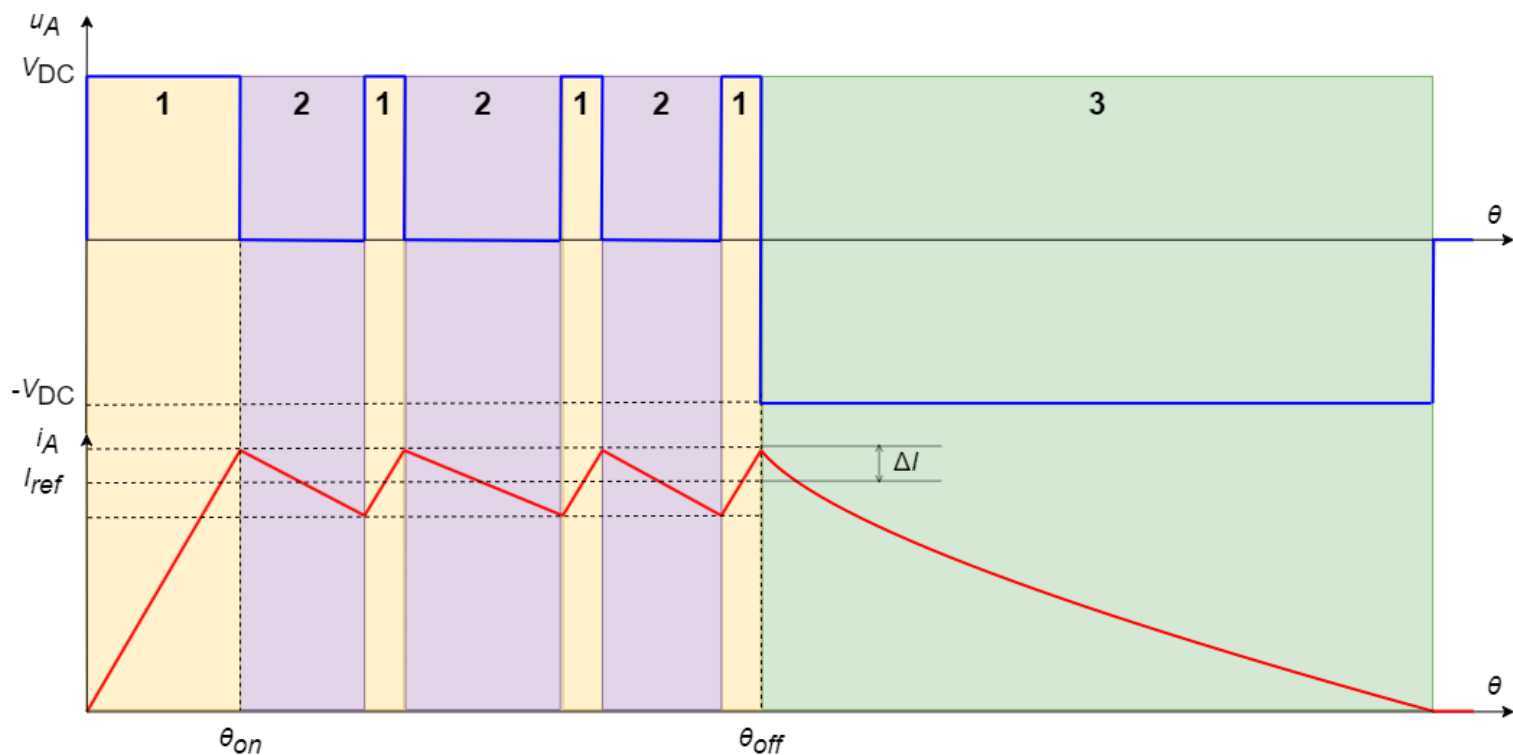
Компоненте моделованог система



Принцип рада SRM



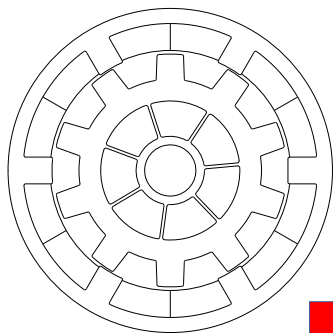
Регулација струје



Имплементација модела

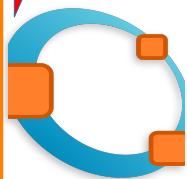
Генерисање LUT за флукс и момент

Формирање
FEM модела

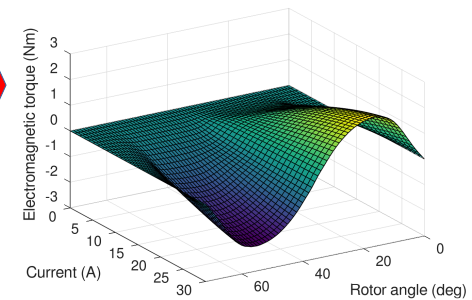
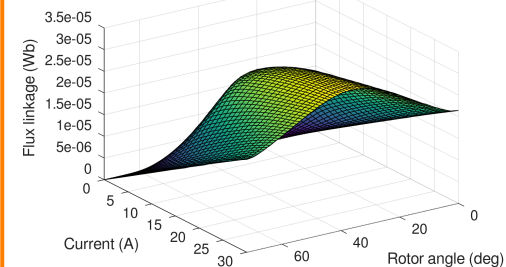
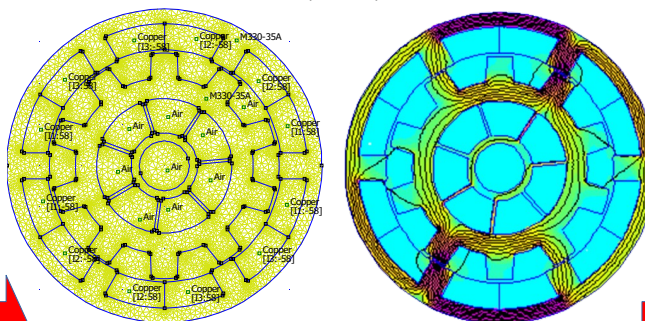


Задавање струја
и углава ротора

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ \vdots \\ I_{N-1} \\ I_N \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \theta_0 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_{M-1} \\ \theta_M \end{bmatrix}$$

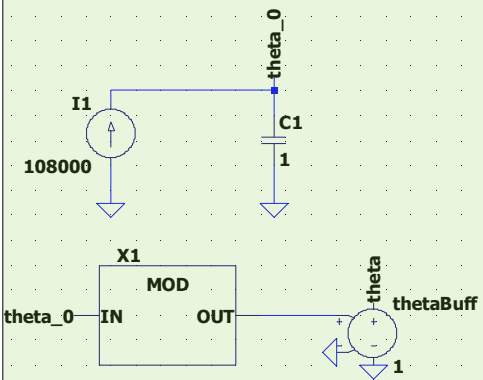


Прорачун флукса и момента
 $\Lambda(I, \theta)$

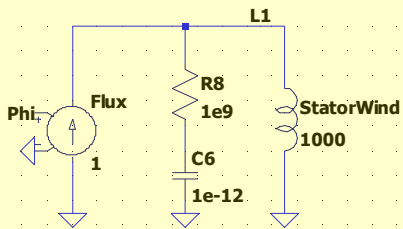


Формирање LTspice модела

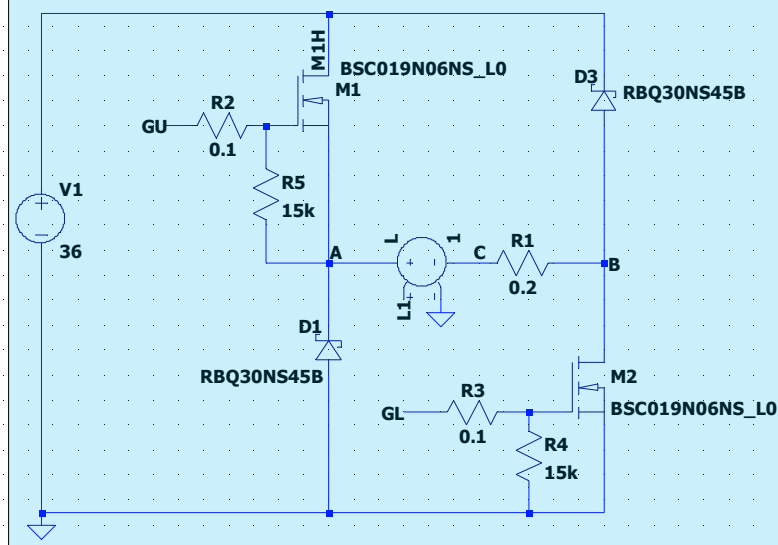
Прорачун угла ротора



Модел фазног намотаја SRM



Модел претварача прикљученог на фазни намотај SRM



Команде и параметри

.param Ns=116
.param N=100
.param Vt=12 Vh=0.2

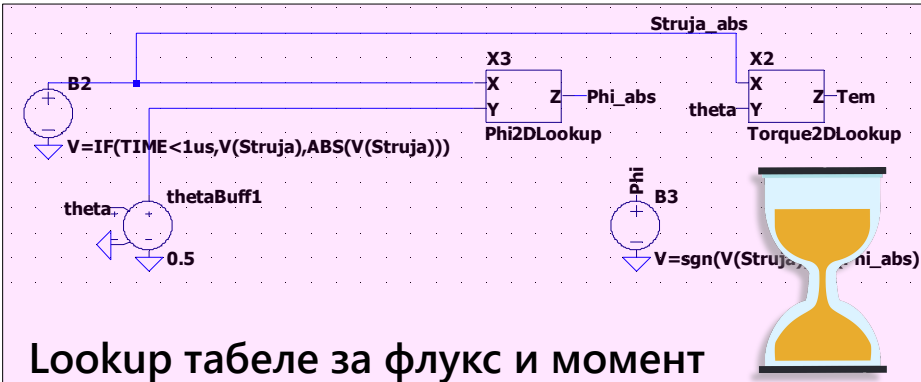
Biblioteke:
.lib irfh5004pbf.spi
.lib SiR180DP_PS.LIB
.lib OptiMOS_60V_PSpice.lib

.options abstol=1e-10
.options retol=0.001

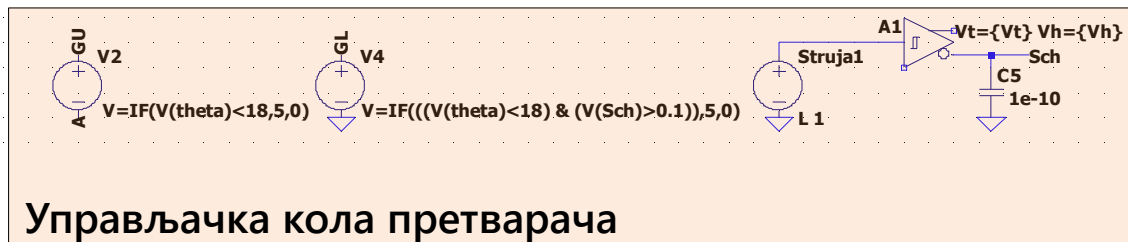
.tran 0 0.005s 1us 1e-6 uic

.ic V(struja_0)=0

.ic V(theta_0)=0



Lookup табеле за флуks и момент



Управљачка кола претварача

[illegible]

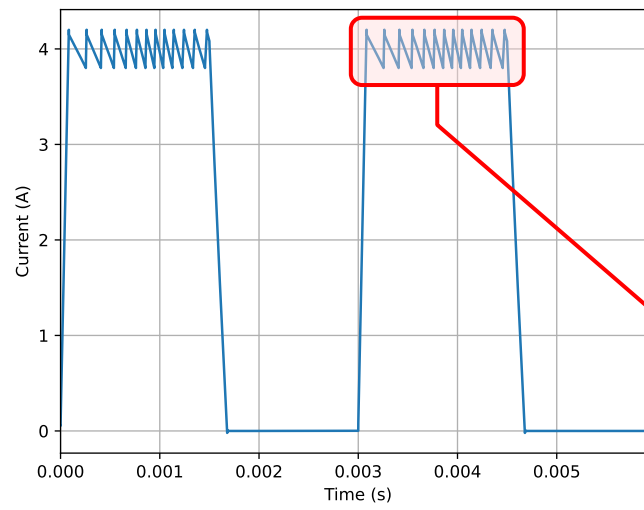
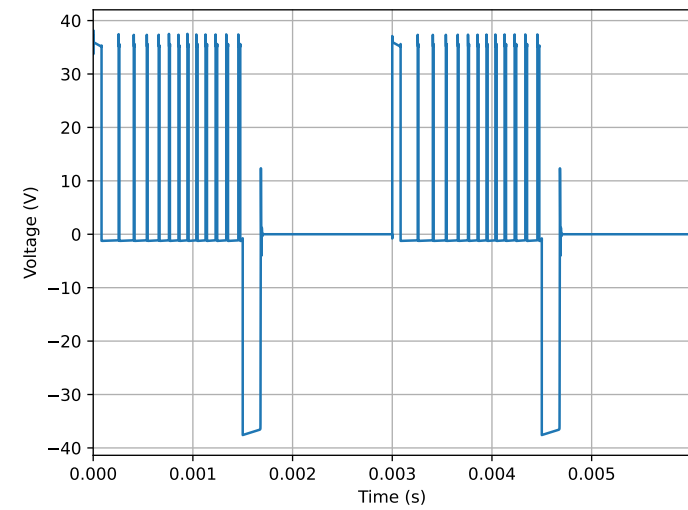
-
- ```

graph LR
 Start([Start]) --> Vectors[/Speed and current vectors/]
 Vectors --> CreateNetlist[Create netlist]
 CreateNetlist --> AssignParams[Assign speed and reference current]
 AssignParams --> ApplySettings[Apply simulation settings]
 ApplySettings --> RunSim[Run simulation]
 RunSim --> ReadData[Read output data]
 ReadData --> CalcLosses[Calculate losses and plot outputs]
 CalcLosses --> Decision{All simulations completed?}
 Decision -- NO --> RunSim
 Decision -- YES --> End([End])

```

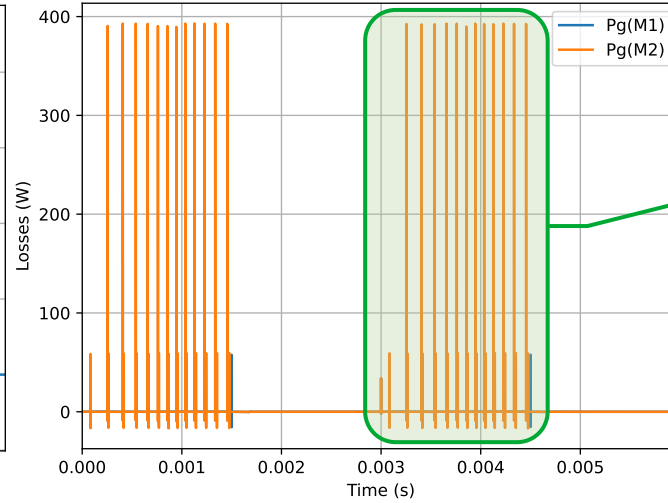
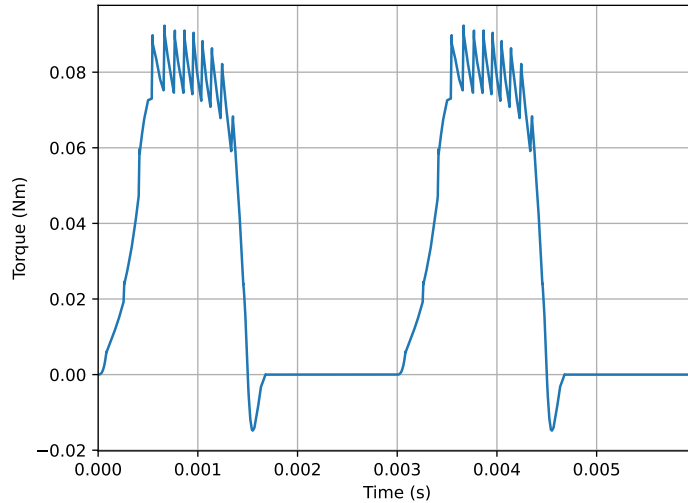
# Резултати

- Анализирано укупно 35 радних режима
- Улазне променљиве
  - референтна струја
  - брзина обртања
- Мерене величине
  - фазни напон и струја мотора
  - електромагнетски момент
  - улазна и излазна снага
  - губици у транзисторима

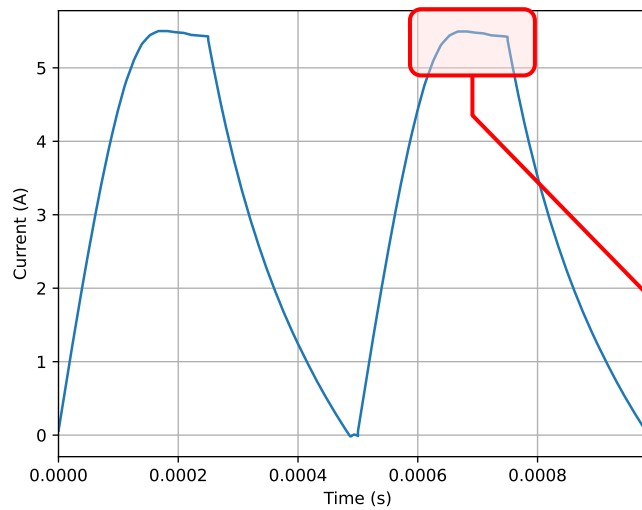
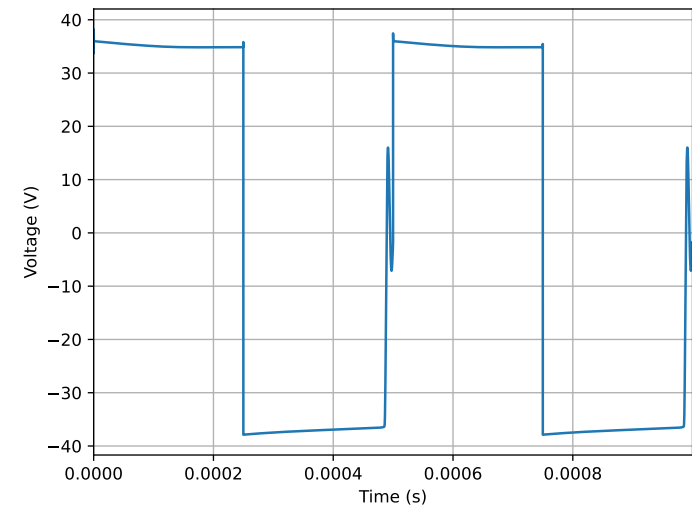


Таласни облици за  
 $I_{ref} = 2 \text{ A}$ ,  $n = 2000 \text{ o/min}$

Хистерезисна  
 регулација струје

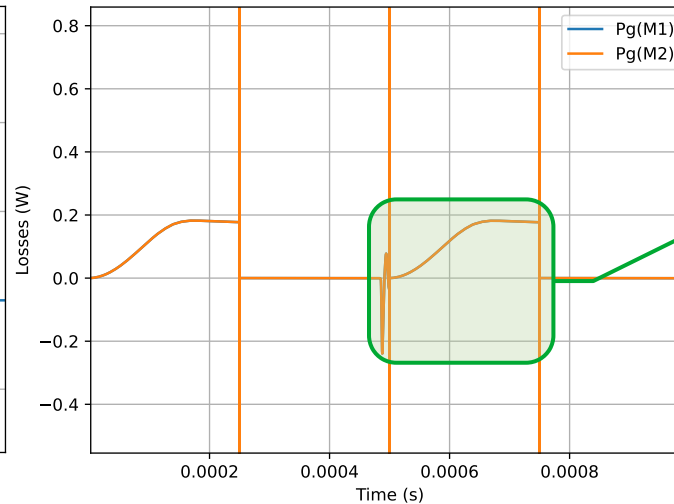
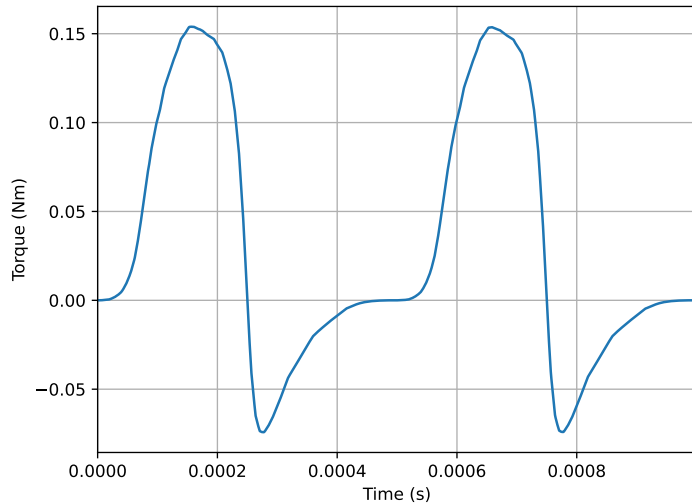


Изражени  
 прекидачки губици



Таласни облици за  
 $I_{ref} = 8 \text{ A}$ ,  $n = 12000 \text{ o/min}$

Струја не достиже  $I_{ref}$   
при великим брзинама



Доминантни  
кондукциони губици

# Степен искоришћења снаге погона

|      | 2000 o/min | 4000 o/min | 8000 o/min | 12000 o/min | 18000 o/min |
|------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| 2 A  | 47.2%      | 64.38%     | 79.12%     | 85.66%      | 90.6%       |
| 4 A  | 52.81%     | 69.98%     | 83.75%     | 89.52%      | 93.33%      |
| 6 A  | 55.66%     | 72.98%     | 86.18%     | 91.03%      | 93.33%      |
| 8 A  | 57.52%     | 74.92%     | 87.81%     | 91.03%      | 93.33%      |
| 10 A | 58.65%     | 76.19%     | 87.81%     | 91.03%      | 93.33%      |
| 12 A | 58.97%     | 76.19%     | 87.81%     | 91.03%      | 93.33%      |

# Закључци

- Комплетан модел погона са SRM реализован је применом отвореног софтвера
- Прецизан нелинеарни модел SRM
  - генерисање модела комбинацијом софтвера FEMM 4.2 и Octave
  - LTspice имплементација FEM резултата
- Детаљна симулација целокупног погона → LTspice & Python
- Аутоматизован процес симулације → ефикасна анализа великог броја радних режима

# Додатне могућности

- Виши степен аутоматизације
  - формирање FEM модела применом Octave
  - формирање LUT у Ltspice применом Python-а
- Оптимизација управљања на бази формираног модела
- Интеграција свих примењених платформи у циљу потпуне оптимизације процеса формирања и извршавања модела
- Примена алтернативних софтверских решења (QSPICE)

