**УНИВЕРЗИТЕТ УНИОН**

Рачунарски факултет - Београд



**Семинарски рад**

**Предмет: Системи у реалном времену**

Студенти

Алекса Антић – RI 131/2023

Милош Руљевић – RI 8/2023

Богдан Алемпијевић – RI 79/2023

Београд, 2025.

Семинарски рад

Тема: **Обновљив извор електричне енергије – паметне кинетичке плоче за генерисање електричне енергије из саобраћаја**

Предмет: **Системи у реалном времену**

Предметни наставник: **Доц. др Верислав Ђукић**

Појединачни допринос по поглављима:

Алекса Антић – RI 131/2023: Потпис: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Милош Руљевић – RI 8/2023: Потпис: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Богдан Алемпијевић – RI 79/2023: Потпис: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Потписом потврђујем да сам у овом раду као члан групе дао допринос по поглављима онако како је то наведено.

Датум одбране семинарског рада: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Потпис наставника: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Оцене предметног наставника**

1. Број бодова на писменом делу семинарског рада (0-20): \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_
2. Број бодова на усменом делу (0-20):

Антић Алекса : (1):\_\_\_\_\_\_\_\_\_ (2): \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ (3): \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Напомене:

Руљевић Милош : (1):\_\_\_\_\_\_\_\_\_ (2): \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ (3): \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Напомене:

Алемпијевић Богдан : (1):\_\_\_\_\_\_\_\_\_ (2): \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ (3): \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Напомене:

**Садржај**

[1. Увод – опис задатка 7](#_Toc216269610)

[1.1 Опис задатка 7](#_Toc216269611)

[1.2 Мотивација 8](#_Toc216269612)

[1.3 Циљеви рада 8](#_Toc216269613)

[Циљеви везани за праксу 8](#_Toc216269614)

[Циљеви везани за теорију 8](#_Toc216269615)

[Корисничке апликације 9](#_Toc216269616)

[Слична позната решења 9](#_Toc216269617)

[2. Функционална спецификација помоћу модела 10](#_Toc216269618)

[2.1 Конструкција графичког језика 10](#_Toc216269619)

[2.2 Цртање модела (дијаграма, шема) 10](#_Toc216269620)

[1. Кинетичка плоча 10](#_Toc216269621)

[2. Исправљач и DC-DC конвертор 11](#_Toc216269622)

[3. MPPT (Maximum Power Point Tracking) контролер 11](#_Toc216269623)

[4. Батеријски систем 11](#_Toc216269624)

[5. Потрошач / EV пуњач (EVSE) 11](#_Toc216269625)

[6. PLC контролер 11](#_Toc216269626)

[7. Комуникациони модул 12](#_Toc216269627)

[Везе у моделу 12](#_Toc216269628)

[1. Енергетске везе 12](#_Toc216269629)

[2. Управљачке / сигналне везе 12](#_Toc216269630)

[2.3 Описивање подмодела 12](#_Toc216269631)

[1. Подмодел за аквизицију података (сензорски подмодел) 12](#_Toc216269632)

[2. Подмодел за контролу енергије 13](#_Toc216269633)

[3. Подмодел за управљање системом 13](#_Toc216269634)

[4. Подмодел за комуникацију 13](#_Toc216269635)

[2.4 Описивање корисничких апликација 14](#_Toc216269636)

[1. Веб апликација за мониторинг енергије 14](#_Toc216269637)

[2. Мобилна апликација за кориснике и сервисере 14](#_Toc216269638)

[3. Локални HMI (Human-Machine Interface) 15](#_Toc216269639)

[4. Апликација за статистику саобраћаја 15](#_Toc216269640)

[Улога корисничких апликација у РТС-овима 15](#_Toc216269641)

[3. Имплементација решења 16](#_Toc216269642)

[4. Хардвер који се користи за имплементацију система 18](#_Toc216269643)

[4.1 Уградни уређај (процесор) 18](#_Toc216269644)

[1. Микроконтролеру (нпр. STM32F4 или ESP32) 18](#_Toc216269645)

[2. PLC контролеру 18](#_Toc216269646)

[4.2 Сензори и прекидачи 18](#_Toc216269647)

[1. Сензор притиска 18](#_Toc216269648)

[2. Напонски сензор (0–100 V) 18](#_Toc216269649)

[3. Струјни сензор (0–20 A) 19](#_Toc216269650)

[4. Температурни сензор (термистор / дигитални) 19](#_Toc216269651)

[5. Сигурносни и положајни прекидачи 19](#_Toc216269652)

[4.3 Мотори 19](#_Toc216269653)

[1. Мини линеарни генератори 19](#_Toc216269654)

[2. Пиезоелектрични елементи 19](#_Toc216269655)

[4.4 Остало 19](#_Toc216269656)

[1. Исправљач (AC→DC) 20](#_Toc216269657)

[2. DC-DC конвертор 20](#_Toc216269658)

[3. MPPT контролер 20](#_Toc216269659)

[4. Батеријски пакет 20](#_Toc216269660)

[5. EVSE модул (за пуњење електричних возила) 20](#_Toc216269661)

[6. Комуникациони модули 20](#_Toc216269662)

[5. Примена решења 21](#_Toc216269663)

[6. План за даљи развој решења 21](#_Toc216269664)

[7. Шта смо научили радећи овај пример? 21](#_Toc216269665)

[8. Стање технологије у области пројектног задатка 21](#_Toc216269666)

[9. Ауторска права 21](#_Toc216269667)

[10. Литература 22](#_Toc216269668)

1. Увод – опис задатка
2. Опис задатка

Тема овог семинарског рада је развој РТС-а за управљање обновљивим извором енергије заснованим на паметним кинетичким плочама, које се уграђују у коловоз и генеришу електричну енергију проласком возила.

Приликом преласка возила преко плоче, она генерише електричну енергију путем пиезоелектричних елемената или мини-генератора. Добијена енергија се стабилизује, претвара и усмерава према:

* батеријама за складиштење,
* системима за осветљење пута,
* пуњачима електричних возила,
* локалним енергетским потрошачима.

Поред механичког и електричног дела, систем садржи и управљачки подсистем који се реализује као РТС заснован на микроконтролеру или PLC-у. Он обезбеђује:

* мерење притиска и деформације плоче,
* мерење тренутно произведене електричне енергије,
* праћење броја пролазака возила,
* MPPT[[1]](#footnote-1) оптимизацију енергије,
* управљање енергетским токовима у реалном времену,
* комуникацију са надређеним системима и корисничким апликацијама.

Циљ је да се осмисли, моделира и делимично имплементира управљачка логика система који ради у реалном времену, уз коришћење метода моделовања и функционалних блокова.

Овај систем представља комбинацију три целине:

1. механичке – конструкција плоче и генерисање енергије,
2. електричне – претварање, стабилизација и складиштење енергије,
3. управљачке – РТС софтвер, задаци, сензори, алгоритми и комуникација.
4. **Мотивација**

Мотивација за избор ове теме потиче од потребе за енергетском ефикасношћу и коришћењу извора енергије који су данас недовољно искоришћени. Кинетичка енергија саобраћаја је уобичајено изгубљена енергија — свака деформација пута услед проласка возила се може претворити у корисну електричну енергију.

Рад на овом семинарском задатку омогућава да се:

* разуме повезаност механике, електронике и рачунарских система у реалном времену,
* моделира комплексни систем помоћу графичких језика и функционалних блокова,
* анализира комуникација између сензора и актуатора,
* осмисли решење/програм који морају да раде веома брзо у оквиру кратких временских рокова

Очекује се да је сложеност задатка средња до висока, јер обухвата различите домене (механика, електроника, системи).

Рад такође има и мотивацију у првом законом термодинамике, који наглашава да се енергија не губи већ прелази из једног облика у други. Овде се примењује управо то: изгубљена енергија возила у покрету се претвара у електричну.

1. **Циљеви рада**

### Циљеви везани за праксу

* Демонстрирати могућност производње корисне електричне енергије искључиво из саобраћајног оптерећења,
* приказати како паметне плоче могу да напајају јавну расвету, пуњаче за електрична возила или микромреже,
* обезбедити систем који се може интегрисати у паметне градове и којим се може управљати у реалном времену.

### Циљеви **везани** за **теорију**

* Применити методе моделовања управљачке логике преко дијаграма и графичких језика,
* описати домене пропертија и формалне елементе коришћеног графичког језика,
* успоставити везу између модела и кода који се из њега може аутоматски генерисати,
* анализирати конфигурацију задатака: сензори, MPPT задаци, управљање енергијом, комуникација.

### Контролне апликације

Систем се може контролисати преко неколико апликација:

* веб апликација за праћење енергије
* апликацију за статистику броја проласка возила
* надзорна апликација за управљење батеријама и приоритетима извора

Апликација може бити доступна преко интернета, што је значајно код паметних градова и IoT инфраструктуре.

### Слична позната решења

У свету већ постоје пилот-пројекти:

* Pavegen (UK) — плоче засноване на линеарним генераторима
* EnGoPlanet — соларно-кинетички системи за јавну расвету
* PiezoElectric Road Projects (Израел, Јапан) — системи за напајање путне сигнализације

Наш систем комбинује елементе ових решења, али додаје проширену РТС управљачку и енергетску логику.

1. Функционална **спецификација помоћу модела**

Коришћење графичких модела (блок дијаграма наменског језика) омогућава:

* анализу функционалних својстава система,
* лакше разумевање за доменске експерте,
* поделу система на подсистеме и модела на подмоделе,
* проверу исправности и симулацију,
* генерисање PLC или C++ кода за имплементацију.

1. **Конструкција** графичког језика

За моделовање система дефинисали смо скуп елемената који ће представљати све кључне подсистеме:

* кинетичку плочу,
* исправљач и регулатор**,**
* MPPT контролер**,**
* конвертор**,**
* EVSE пуњач**,**
* PLC контролер**,**
* батеријски пакет**,**
* потрошаче**,**
* сензоре (притисак, напон, струја)**.**

Језик мора да омогући:

* опис улазних и излазних сигнала,
* опис енергетских токова,
* опис контролних команди,
* структурисање модела у подмоделе (механички, електрични),
* каснији пренос у PLC код.

Посебну улогу имају доменски експерти (електроинжењери, механичари, програмери), који дефинишу потребне типове блокова и њихове параметре.

1. Цртање модела (дијаграма, шема)

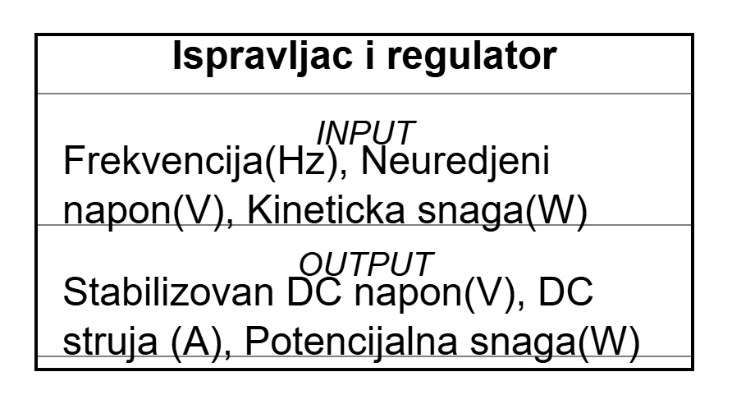
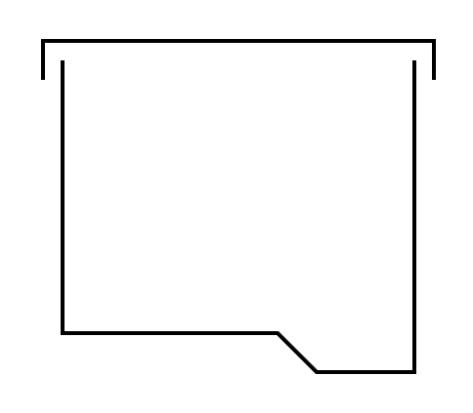
Дијаграм садржи следеће типове објеката:

### Кинетичка плоча

Опис: Приказује механички елемент који производи енергију. Његов излаз је електрични сигнал (напон/струја), који се затим шаље у исправљач. Поред енергетског излаза, овај блок има и сигнал притиска, који се шаље ка PLC контролеру као улазни параметар.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ознака (Label) | Тип  (Data type) | Подразумевана вредност (Default value) | Сигнал (Signal) |
| PZ Ploca | REAL | 0.0 | ожичен (wired) [ Y ] |
| глобални (global) [ N ] |
| константан (constant) [ N ] |

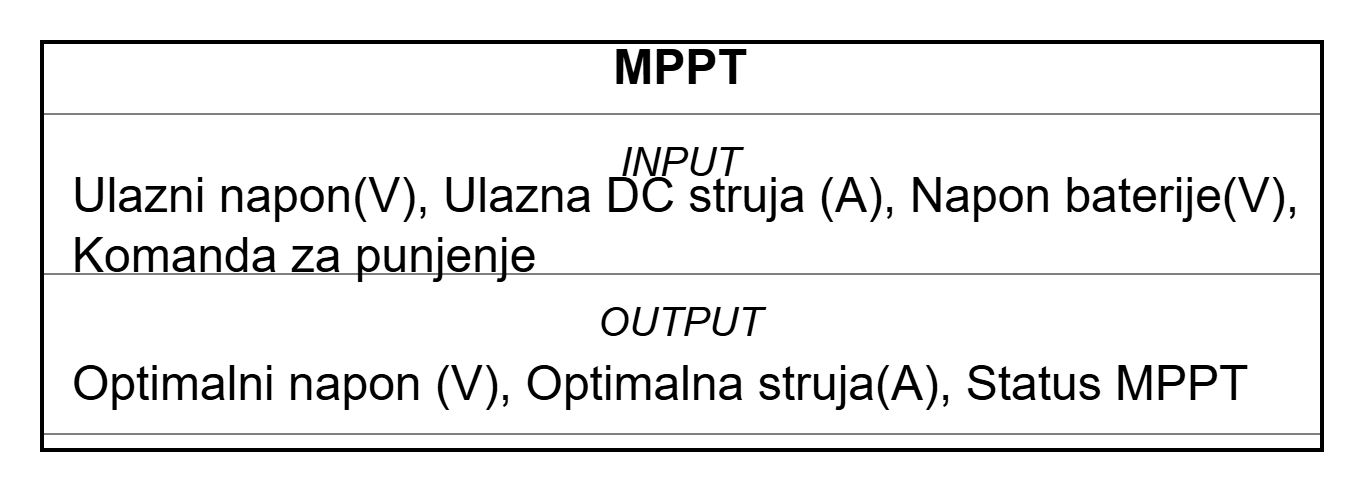
### Исправљач и DC-DC конвертор



Konvertor

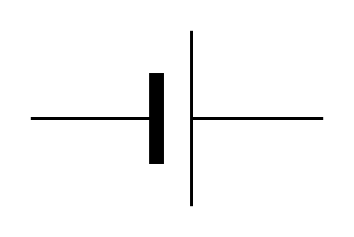
Опис: Исправљач конвертује нестабилан AC сигнал у DC вредност, док DC-DC конвертор оптимизује напон за даљу употребу. На моделу су приказани као два серијски повезана блока. Излаз конвертора води ка MPPT контролеру, који надгледа производњу енергије.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ознака (Label) | Тип  (Data type) | Подразумевана вредност (Default value) | Сигнал (Signal) |
| Ispravljac i regulator, Konvertor | REAL, REAL | 0.0, 0.0 | ожичен (wired) [ Y ] |
| глобални (global) [ N ] |
| константан (constant) [ N ] |

1. MPPT (Maximum Power Point Tracking) контролер

Опис: Прима информације о напону и струји и одређује оптимално оптерећење за максималну производњу енергије. MPPT шаље управљачки сигнал назад конвертору (duty cycle), што је на моделу приказано танком контролном стрелицом.

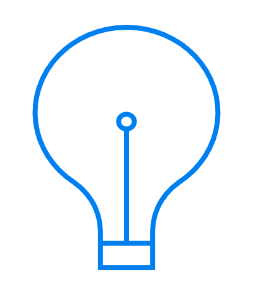
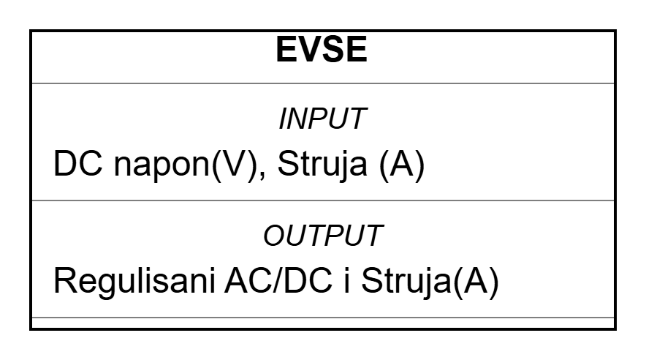
|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ознака (Label) | Тип  (Data type) | Подразумевана вредност (Default value) | Сигнал (Signal) |
| MPPT | REAL | 0.0 | ожичен (wired) [ Y ] |
| глобални (global) [ N ] |
| константан (constant) [ N ] |

1. Батеријски пакет

Опис: Представља складиште енергије. Он добија енергију од MPPT модула, а повратне информације о стању батерије (напони, струје, SoC) шаље ка PLC-у као дигиталне или аналогне сигнале.

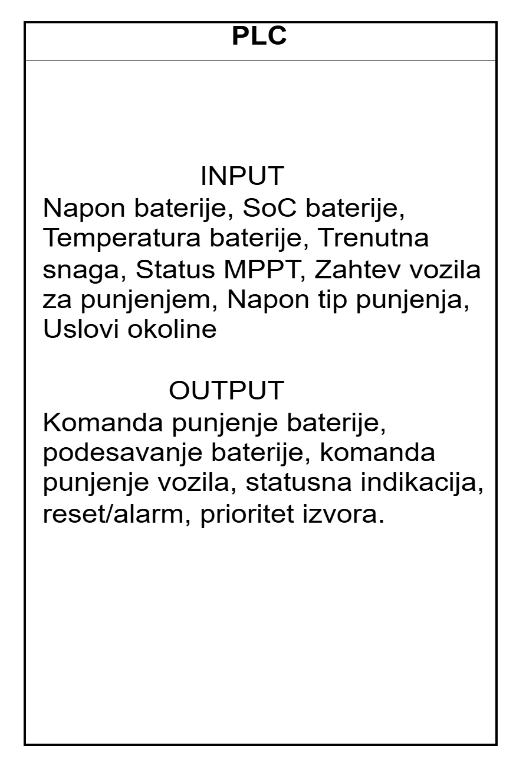
|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ознака (Label) | Тип  (Data type) | Подразумевана вредност (Default value) | Сигнал (Signal) |
| Izvor energije | REAL | 0.0 | ожичен (wired) [ Y ] |
| глобални (global) [ N ] |
| константан (constant) [ N ] |

1. Потрошач / EV **пуњач** (EVSE)



Опис: Представља крајњег корисника енергије. На моделу је повезан са батеријом или директно са конвертором, у зависности од режима рада. Уколико се ради о EV пуњачу, блок садржи додатне сигнале за ауторизацију, статус пуњења и безбедносне механизме.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ознака (Label) | Тип  (Data type) | Подразумевана вредност (Default value) | Сигнал (Signal) |
| Izvor energije | REAL | 0.0 | ожичен (wired) [ Y ] |
| глобални (global) [ N ] |
| константан (constant) [ N ] |

1. PLC контролер

Опис: Ово је централни блок система и налази се у средишту модела. PLC прима:

* сензорске податке (притисак, напон, струја),
* податке о стању батерије,
* информације о грешкама или алармима.

Из PLC-а излазе управљачки сигнали ка:

* MPPT контролеру,
* конвертору,
* EV пуњачу,
* комуникационом модулу.

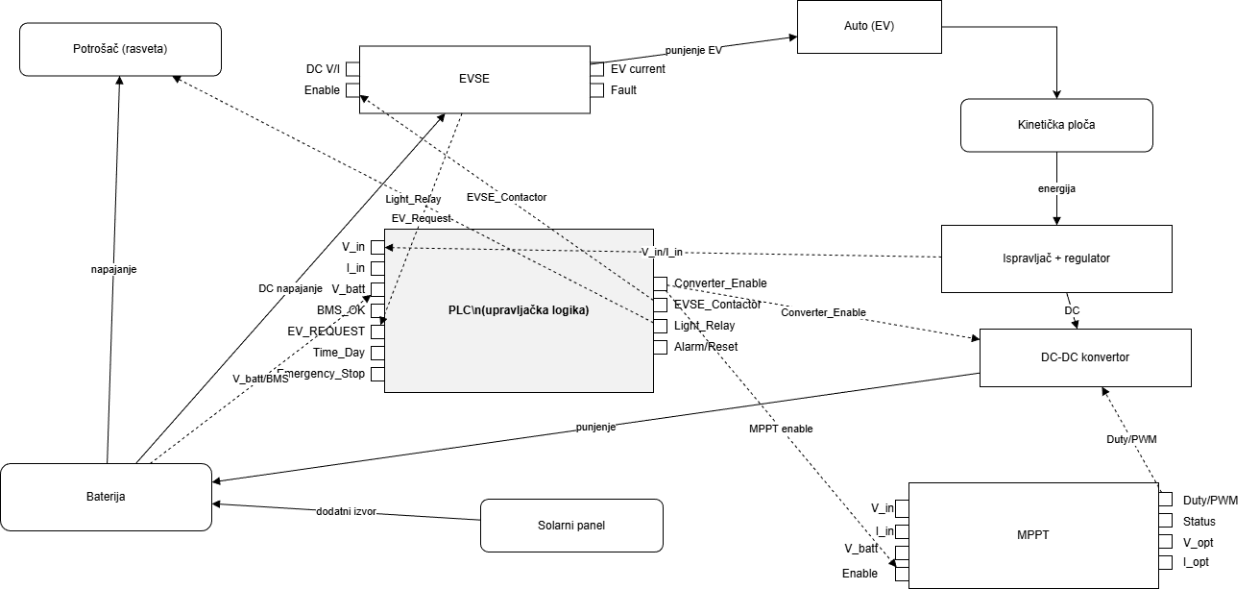
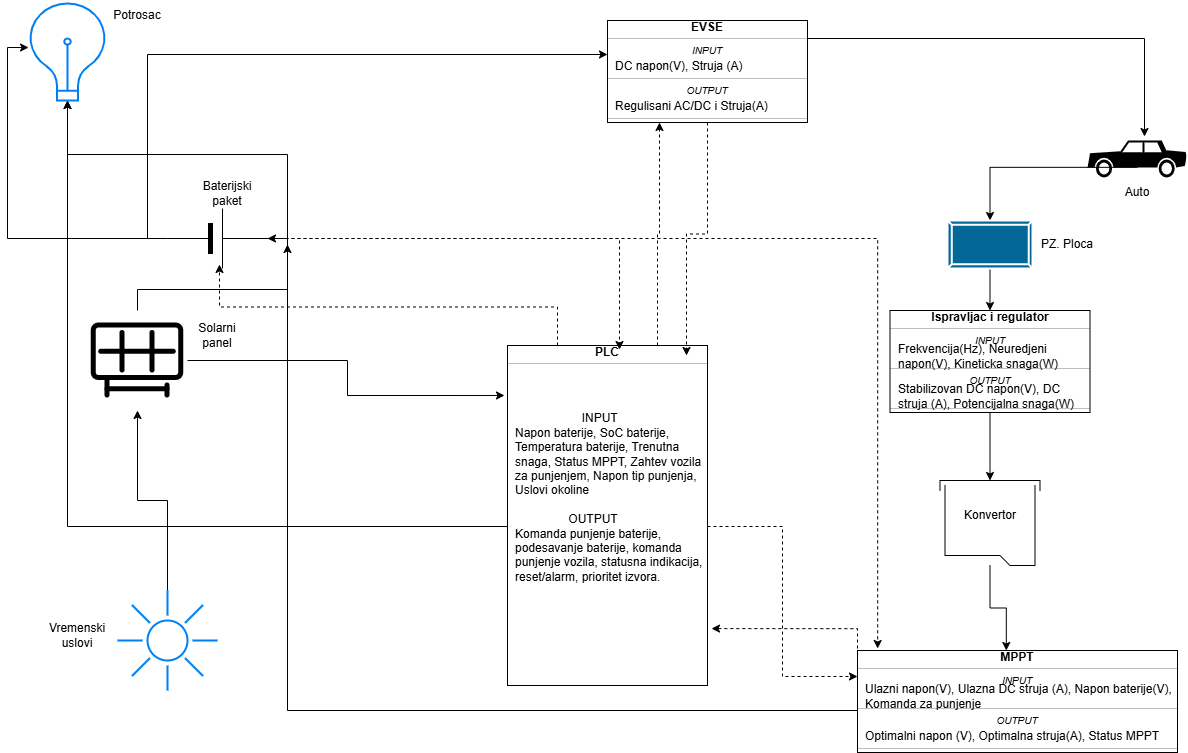
PLC чини „ум“ система и дефинише логику у реалном времену.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ознака (Label) | Тип  (Data type) | Подразумевана вредност (Default value) | Сигнал (Signal) |
| PLC | REAL / BOOL | 0.0 / FALSE | ожичен (wired) [ Y ] |
| глобални (global) [ Y ] |
| константан (constant) [ N ] |

*Табела за улазне сигнале (Input signals):*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ознака (Label) | Тип  (Data type) | Подразумевана вредност (Default value) | Сигнал (Signal) |
| PLC | BOOL | FALSE | ожичен (wired) [ Y ] |
| глобални (global) [ N ] |
| константан (constant) [ N ] |

*Табела за излазне сигнале (Output signals):*

1. Комуникациони модул

На моделу се налази на десној страни и служи за слање података веб или мобилним апликацијама. Повезан је са PLC-ом, али није повезан са енергетским токовима (само са подацима).

1. Везе у моделу

У дијаграму се користе две врсте линија:

### Енергетске везе

* дебље стрелице
* представљају ток физичке енергије: плоча → исправљач → DC-DC → MPPT → батерија → потрошач

### Управљачке / сигналне везе

* танке линије
* представљају комуникацију и сигнале: сензори → PLC → MPPT / EVSE

Ова подела омогућава да се јасно види шта припада енергетском делу, а шта логичком делу система.

2.3 Описивање подмодела

Комплетан модел система потребно је поделити на више подмодела како би се јасно раздвојиле различите функционалне целине и омогућило њихово паралелно извршавање у реалном времену. Подела модела на подмоделе омогућава бољу читљивост, једноставнију анализу, као и мапирање сваког подмодела на засебан таск са сопственим приоритетом и временским ограничењима.

У овом систему подмодели су организовани према главним функцијама управљања:

### Подмодел за аквизицију података (сензорски подмодел)

Овај подмодел обухвата све сензоре који мере:

* притисак на кинетичкој плочи,
* струју и напон са енергетског модула,
* стање батерије,
* температурне услове ако је потребно.

Његова улога је да у правилним временским интервалима прикупља податке и предаје их осталим подмоделима. У реалном времену овај подмодел се најчешће извршава као периодичан задатак високог приоритета**.**

### Подмодел за контролу енергије

Овај подмодел управља енергетским токовима и садржи:

* модел исправљача и DC-DC конвертора,
* MPPT контролер,
* логику за стабилизацију напона,
* контролу пуњења батерија или напајања потрошача.

Основна функција подмодела је да оптимизује производњу енергије и обезбеди стабилност система. Он може да буде мапиран као task средњег приоритета**,** који реагује на податке из сензорског подмодела.

### Подмодел за управљање системом

Овај подмодел представља централну логику PLC-а или микроконтролера. Обухвата:

* доношење одлука на основу очитаних вредности,
* активирање заштита (overvoltage, overcurrent),
* пребацивање енергије између батерије и потрошача,
* комуникацију са корисничком апликацијом.

То је кључни подмодел, јер координише рад осталих делова система и често ради као таск са највишим приоритетомили као прекидни рутини.

### Подмодел за комуникацију

Овај подмодел управља разменом података ка спољним системима, као што су:

* корисничка мобилна или веб апликација,
* cервис у облаку (енг. cloud service) за праћење енергије,
* сервисни интерфејс за одржавање (UART, CAN, RS485).

Овај подмодел се мапира на таск ниског приоритета, јер комуникација није критична за рад у реалном времену.

1. Описивање корисничких апликација

Корисничке апликације представљају интерфејс преко којег корисник може да прати рад система, добија информације о произведеној енергији и управља одређеним параметрима. Иако се у овом семинарском раду не реализује комплетна софтверска апликација, важно је дефинисати њене функције и начин на који комуницира са управљачким системом.

У оквиру овог пројекта идентификоване су следеће могуће корисничке апликације:

1. Веб апликација за посматрање енергије

Ова апликација служи за приказивање података које шаље PLC или микроконтролер. Апликација може приказивати:

* тренутну произведену енергију,
* укупан број пролазака возила преко плоче,
* напон и струју на излазу конвертора,
* стање батерије (SoC),
* статус енергетских модула (исправљач, MPPT, DC-DC),
* аларме или грешке у систему.

Информације се ажурирају у реалном времену преко REST API или MQTT комуникације.

1. Мобилна апликација за кориснике и сервисере

Мобилна апликација може да омогући:

* праћење система на даљину,
* добијање обавештења у случају преоптерећења или квара,
* приступ архиви енергетских података,
* дијагностику система за сервисере.

Апликација добија податке са микроконтролера путем облачног сервиса или директне Wi-Fi/Bluetooth комуникације.

1. Локални HMI (енг. Human-Machine Interface)

За индустријске примене може се користити HMI панел који приказује:

* тренутне вредности сензора,
* график производње енергије,
* ручно пребацивање режима рада (нпр. charging / bypass / battery mode),
* активирање/деактивирање излазних модула.

1. Апликација за статистику саобраћаја

Како систем броји проласке возила, апликација може да приказује:

* број возила по сату/дану,
* процену оптерећења пута,
* повезаност између протока саобраћаја и произведене енергије.

Ова функционалност је корисна за општине и управљаче путева.

Улога корисничких апликација у РТС-овима

Све корисничке апликације комуницирају са управљачким системом асинхроно, односно нису временски критичне као задаци у реалном времену. PLC или микроконтролер обезбеђује безбедан интерфејс за приступ подацима, тако да апликације не утичу на рад критичних таскова.

Апликације служе као проширење система и омогућавају:

* транспарентност у раду,
* једноставније одржавање,
* добијање података за анализу,
* бољу контролу енергетског система.

1. Имплементација решења

У систему са кинетичким плочама неопходно је да софтвер:

* чита сензорске вредности (напон, струја, притисак),
* израчунава тренутну снагу,
* активира или деактивира MPPT алгоритам,
* управља DC-DC конвертором,
* одлучује да ли да се батерија пуни или не, у зависности од стања напуњености (SoC).

Репрезентативни пример кода у PLC- у:  
PROGRAM KineticPlate\_RTcontrol

VAR

(\* улазне вредности \*)

Uac : LREAL := 0.0;

Iac : LREAL := 0.0;

(\* DC параметри \*)

Udc : LREAL := 0.0;

Idc : LREAL := 0.0;

Pdc : LREAL := 0.0;

(\* управљачке заставице \*)

swMPPT : BOOL := FALSE;

swChg : BOOL := FALSE;

(\* стање батерије \*)

BatSoC : LREAL := 80.0;

BatFull : BOOL := FALSE;

(\* инстанце FB-ова \*)

rect : FB\_Rectifier;

mppt : FB\_MPPT;

dcdc : FB\_DCDC\_Conv;

END\_VAR

(\* конверзија AC у DC \*)

rect(IN\_V := Uac, IN\_I := Iac);

Udc := rect.Udc;

Idc := rect.Idc;

(\* израчунавање снаге \*)

Pdc := Udc \* Idc;

(\* логика за MPPT \*)

swMPPT := (Pdc > 15.0);

mppt(Enable := swMPPT, U := Udc, I := Idc);

(\* управљање DC-DC конвертором \*)

dcdc(Uin := Udc,

Iin := Idc,

Duty := mppt.DutyOpt);

(\* провера статуса батерије \*)

BatFull := (BatSoC >= 95.0);

swChg := NOT BatFull;

(\* симболично повећање SoC за пример \*)

IF swChg THEN

BatSoC := BatSoC + 0.1;

END\_IF;

END\_PROGRAM

1. Хардвер који се користи за имплементацију система
2. Уградни уређај (процесор)

За управљачку логику у систему користи се уградни уређај који је у стању да обрађује податке сензора, управља енергетским токовима и извршава задатке. У зависности од примене, систем може бити заснован на:

### Микроконтролеру (нпр. STM32F4 или ESP32)

* ARM Cortex-M процесор
* Ниска латенција и велики број периферија
* ADC за мерење напона и струје
* PWM излаз за управљање DC-DC конвертором

### PLC контролеру

* Поуздан рад у индустријским условима
* IEC 61131-3 подршка
* Модуларност (улази, излази, аналогни модули)
* Компатибилност са индустријским протоколима

У активним системима са више плоча препоручује се PLC, док је микроконтролер оптималан за прототипове и мање системе.

1. **Сензори и прекидачи**

Систем захтева више типова сензора ради мерења оптерећења, производње енергије и стања компоненти:

### Сензор притиска

* Мери деформацију плоче при проласку возила
* Омогућава процену количине произведене енергије (интензитет ударца)
* Карактеристике: висок опсег (до неколико тона), брз одзив

### Напонски сензор (0–100 V)

* Мери излазни напон генератора / пиезоелектричних елемената
* Користи се за MPPT контролу

### Струјни сензор (0–20 A)

* Омогућава бесконтактно мерење
* Пружа сигурност и електричну изолацију

### Температурни сензор (термистор / дигитални)

* Праћење температуре конвертора и батерија
* Заштита од прегревања

### Сигурносни и положајни прекидачи

* Детекција неправилног померања плоче
* Активирање алармних механизама

Ови сензори омогућавају тачну контролу и правовремено реаговање на промене у систему.

1. **Генератори**

Користе се механички уређаји који генеришу електричну енергију од којих су присутни су:

### Мини линеарни генератори

* Користе вертикално померање плоче
* Стварају AC или DC енергију у зависности од конструкције

### Пиезоелектрични елементи

* Претварају притисак у електричну енергију
* Висока издржљивост, без покретних делова

Ови елементи представљају „извор“ система, а не класични актуатори. У неким варијантама систем може имати механички повратни елемент (опруга) који враћа плочу у почетни положај — али то није мотор већ механички склоп.

1. **Остало**

Поред сензора и контролера, потребна је и додатна електроника која омогућава стабилан и сигуран рад:

### Исправљач (AC→DC)

* Претвара нестабилан AC сигнал са пиезоелемената у употребљив DC

### DC-DC конвертор

* Стабилизује и регулише напон за пуњење батерије или напајање потрошача
* Управља се PWM сигналом из микроконтролера

### MPPT контролер

* Оптимизује производњу енергије
* Ради као интелигентни софтверско-хардверски модул

### Батеријски пакет

* Висока стабилност, дуг век, погодан за дубоко пражњење
* Користи се за акумулацију енергије

### EVSE модул (за пуњење електричних возила)

* Контролише процес пуњења
* Комуницира са PLC-ом (Start/Stop, Error, Status)

### Комуникациони модули

* Wi-Fi, Bluetooth, RS485, CAN
* Омогућавају повезивање са корисничком апликацијом или системом у облаку (енг. cloud system)

Овај хардвер омогућава да се цео систем понаша као интелигентна, самоодржива целина способна за рад у реалном времену.

1. **Примена решења**

## Повратне информације доменских експерата

Стручњаци из области енергетике, електронике и саобраћајне инфраструктуре могли би да истакну следеће:

* Потенцијал за коришћење обновљивих извора енергије: Кинетичке плоче представљају иновативан начин искоришћавања енергије која се иначе губи у саобраћају.
* Одговарајућа примена у урбаним срединама: Систем би могао успешно да се примени на локацијама са великим протоком возила — паркови, гараже, прилази тржним центрима, наплатне станице, раскрснице.
* Интеграција са постојећим системима: Могућност повезивања са системима јавне расвете, пуњачима електричних возила и IoT инфраструктуром сматра се веома корисном.
* Стабилност: Стручњаци би нагласили да је РТС управљање неопходно за оптимизацију енергије и заштиту хардвера од пренапона, преоптерећења или неправилног рада.

У целини — експерти би систем оценили као технички заснован, примењив и погодан за даље истраживање и унапређење.

## Лично мишљење о ваљаности решења

Рад на овом систему показује да концепт има значајан потенцијал за реалну примену. Кроз моделирање, анализу и делимичну имплементацију може се увидети:

* да је систем практично изводљив,
* да постоје реални енергетски добици у урбаним срединама,
* да је РТС управљачка логика неопходна за стабилан рад,
* да се концепт може лако проширити на већи број плоча и различите локације.

Иако енергија добијена од једне плоче није велика, систем постаје веома ефикасан када се више плоча постави у низ или мрежу. Са становишта учења — ради се о одличном примеру интеграције механике, електронике и софтвера.

1. **План за даљи развој решења**

Прва верзија система представља основни прототип који демонстрије могућност генерисања енергије из саобраћаја и управљања у реалном времену. Да би систем био практично примењив, могућа су следећа унапређења:

* Побољшање механичке издржљивости плоча и коришћење ефикаснијих пиезоелектричних елемената или мини-генератора.
* Унапређење електронског дела,као што су напреднији DC-DC конвертори и прецизнији MPPT алгоритми.
* Оптимизација управљачке логике, боља организација таскова и увођење адаптивних алгоритама.
* Интеграција са IoT платформама ради праћења система, слања података у облак и једноставнијег одржавања.
* Развој једноставније корисничке апликације за приказ енергије и стања система.

Даљи развој система би омогућио да се прототип претвори у стабилно и поуздано решење које може бити постављено у реалним саобраћајним условима.

1. **Шта смо научили радећи овај пример?**

Решавајући овај задатак стекли смо дубље разумевање начина на који системи у реалном времену функционишу у комбинацији са механичким и електронским компонентама. Пре свега, научили смо како се један технички проблем може формално описати, анализирати и моделирати помоћу графичких језика и блок-дијаграма.

Током рада смо:

* боље разумели важност израда модела као основног корака у дизајну сложених система,
* научили како се дефинишу улазни и излазни сигнали, енергетски токови и зависности између подсистема,
* савладали основе структурирања таскова, њихове приоритете и међусобну синхронизацију,
* стекли увид у практичну примену PLC програмирања за управљање физичким системима,
* увидели како се део модела преводи у изворни код и како се путем програмских структура реализује логика управљања,
* упознали се са основама MPPT контроле и енергетске конверзије у системима са нестабилним изворима енергије,
* схватили колико је важна улога сензора и континуираног мерења у доношењу одлука у реалном времену.

Посебно смо научили да системи из стварног света захтевају комбинацију више области — мехатронике, електронике, програмирања и управљачке логике. Управо та интердисциплинарност је највећа вредност овог пројекта, јер нам омогућава да практично применимо знања стечена током курса.

1. **Стање технологије у области пројектног задатка**

Технологија кинетичких плоча за генерисање електричне енергије из механичког оптерећења још увек је у развојној фази, али већ постоје напредни комерцијални и истраживачки системи који показују реалан потенцијал овог концепта. Најзначајније компаније и пројекти у овој области су:

**Pavegen (Велика Британија)**

Pavegen је најпознатији комерцијални систем кинетичких плоча. Њихове плоче користе линеарни генератор који производи електричну енергију сваки пут када неко стане или пређе преко ње. Кључне карактеристике:

* намењене пешачком саобраћају (аеродроми, школе, тржни центри)
* производе довољно енергије за LED осветљење или сензорске системе
* имају уграђене бежичне комуникационе модуле за праћење података

Ове плоче су доказ да се енергија људског или механичког кретања може успешно прикупљати и користити у паметним градским системима.

**Piezoelectric Road Projects (Јапан, Израел, Италија)**

Неколико националних истраживачких лабораторија и приватних компанија експериментишу са постављањем пиезоелектричних модула испод коловоза.  
Ови системи омогућавају:

* генерисање енергије од саобраћаја возила,
* напајање путне сигнализације, радио-уређаја, комуникационих модула или сензора,
* минимално одржавање захваљујући одсуству подвожних делова.

Резултати показују да се на прометним саобраћајницама може произвести значајна количина енергије.

**EnGoPlanet (САД)**

EnGoPlanet комбинује соларне плоче и кинетичке модуле у један систем. Примена:

* паметна улична расвета
* паметне клупе
* напајање IoT уређаја

Овај приступ показује да кинетичка енергија може бити део хибридног енергетског система.

**Технолошки трендови**

Тренутна истраживања и развој у овој области усмерени су на:

* повећање ефикасности пиезоелектричних материјала,
* развој издржљивијих плоча за аутомобилски саобраћај,
* боље MPPT алгоритме за нестабилне изворе енергије,
* интеграцију са паметним градским инфраструктурама,
* смањење трошкова производње,
* развој IoT система за даљинско праћење и одржавање.

**Закључак о стању технологије**

Иако технологија кинетичких плоча још није масовно усвојена у саобраћајној инфраструктури, постојећа решења показују да је концепт технички изводљив, одржив и перспективан.

Уз даљи развој материјала, енергетских конвертора и управљачких система, оваква решења могу постати значајан извор обновљиве енергије у будућности.

1. **Ауторска права**

У овом семинарском раду коришћен је сопствени ауторски дијаграм модела управљачке логике, израђен од стране студента на основу задате теме. Сви приказани блокови, везе и подмодели представљају оригиналну интерпретацију система и нису преузети из спољних извора.

У делу који приказује имплементацију, коришћени су сопствени примери PLC (IEC 61131-3) и C/FreeRTOS кода, написани искључиво за потребе рада. Уколико су коришћене општепознате функције или структуре језика, оне не представљају повреду ауторских права јер припадају јавним стандардима.

Теоријски опис MPPT алгоритма, реал-тим задатака и архитектуре PLC система заснива се на стандардној литератури и јавно доступним спецификацијама, без директног копирања из било ког извора. Све информације из екстерних извора (нпр. Pavegen, EnGoPlanet, FreeRTOS документација, IEC 61131-3 стандард) коректно су наведене у листи литературе.

У раду није коришћена ниједна слика, график или дијаграм заштићен ауторским правима других аутора. Сви визуелни елементи израђени су ручно или су јавно доступни под условима који дозвољавају коришћење у образовне сврхе.

Семинарски рад је у целости резултат самосталног рада студента и служи искључиво у образовне сврхе у оквиру предмета „Системи у реалном времену“ на Рачунарском факултету Унион.

1. **Литература**

[1] Pavegen, “Kinetic energy harvesting technology,” 2023. [Online]. Available: <https://www.pavegen.com/>

[2] EnGoPlanet, “Smart solar & kinetic street lighting solutions,” 2023. [Online]. Available: https://engoplanet.com/

[3] FreeRTOS Foundation, FreeRTOS Reference Manual, 2023. [Online]. Available: <https://www.freertos.org/>

[4] IEC, IEC 61131-3: Programming Languages for Programmable Logic Controllers, International Electrotechnical Commission, 2013.

[5] L. Rossi and H. Tanaka, “Piezoelectric road energy harvesting: A review of current technologies,” Journal of Renewable Energy Systems, vol. 18, no. 4, pp. 233–245, 2022.

[6] Texas Instruments, DC-DC Converter Design Guide, 2021. [Online]. Available: <https://www.ti.com/>

[7] National Instruments, “Understanding MPPT algorithms for energy harvesting,” 2020. [Online]. Available: <https://www.ni.com/>

[8] Siemens AG, SIMATIC S7-1200 PLC System Manual, 2022. [Online]. Available: <https://support.industry.siemens.com/>

1. **MPPT (Maximum Power Point Tracking)** – алгоритам/метода за праћење и одржавање рада извора електричне енергије у тачки максималне снаге ради постизања највеће могуће енергетске ефикасности. [↑](#footnote-ref-1)