

БЕЖИЧНИ ПРЕНОС ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ ЗА ПОТРЕБЕ ПУЊЕЊА ЛАКИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВОЗИЛА**WIRELESS TRANSMISSION OF ELECTRICAL ENERGY FOR THE CHARGING NEEDS OF LIGHT ELECTRIC VEHICLES**Мирослав Богдановић, Владимир Рајс, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО**

Кратак садржај – У овом раду приказана је једна реализација система за бежични пренос енергије за потребе пуњења лаких електричних возила. Под лаким електричним возилима се сматрају сва возила која се користе за превоз мањег броја људи или мања транспортна возила. Најчешћи представници лаких електричних возила су путнички аутомобили и за њих је првенствено и дизајниран дати систем. Наведени систем омогућава пуњење батерија унутар возила без галванског споја између пуњача и возила. Ово резултује великом погодношћу приликом коришћења оваквог система јер је довољно само возило превести на одговарајуће место где се налази систем за пуњење. Систем користи резонантно индуктивно спрежање што је једна од метода за бежични пренос електричне енергије. Овај метод је препоручен за бежично пуњење лаких електричних аутомобила у стандарду који описује овај вид пуњења и по ком стандарду је и дизајниран цео систем. Управљање целим системом је базирано на развојном систему Микромедиа 7.

Кључне речи: Микроконтролер, бежични пренос електричне енергије, енергетска електроника, резонантно индуктивно спрежање, батерије за електричне аутомобиле.

Abstract – This paper presents one realization of a system for wireless energy transmission for charging light electric vehicles. Light electric vehicles are considered to be all vehicles used for the transport of a small number of people or smaller transport vehicles. The most common representatives of light electric vehicles are passenger cars, for which this system was primarily designed. The mentioned system enables the charging of batteries inside the vehicle without a galvanic connection between the charger and the vehicle. This results in great convenience when using this type of system because it is enough to bring the vehicle to the appropriate place where the charging system is located. The system uses resonant inductive coupling, which is one of the methods for wireless transmission of electricity. This method is recommended for wireless charging of light electric cars in the standard that describes this type of charging and according to which standard the entire system is

НАПОМЕНА:

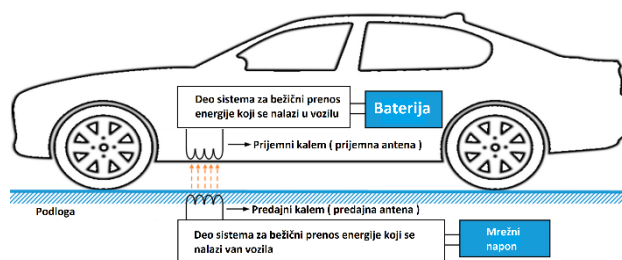
Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Владимир Рајс, ванр. проф.

designed. Management of the entire system is based on the development system Mikromedia 7.

Keywords: Microcontroller, wireless power transmission, power electronics, resonant inductive coupling, batteries for electric cars.

1. УВОД

Електрични аутомобили су тренутно предмет истраживања многих водећих компанија у аутомобилској индустрији, стога како напредује развој електричних возила, тако се ради и на развијању пуњача, било обичних или бежичних. Бежични пуњачи су бољи по питању робусности и лакоће коришћења јер не захтевају каблове, прикључке и механичке контакте између возила и пуњача [1].



Слика 1. Графички приказ једног начина позиционирања система у односу на возило

На слици 1. приказан је један начин позиционирања система у односу на возило. Груба блок шема система је такође приказана на слици 1.

2. АНАЛИЗА ПРОБЛЕМА

Пре почетка рада на самом дизајну система за бежични пренос енергије дефинисани су захтеви које би такав систем требао да испуњава [3]. Финални списак захтева састојао се од 9 појединачних захтева:

- 1) Избор напона напајања
- 2) Одређивање растојања на коме се преноси енергија
- 3) Варијабилни износ пренесене снаге
- 4) Максимална снага
- 5) Графички интерфејс
- 6) Потрошач

- 7) Актуелни стандард у аутоиндустрији
- 8) Модуларност
- 9) Робусност система и температурни дизајн

2.1. Избор напајања система

Захтев број 1 говори о типу извора електричне енергије из кога се извлачи енергија. Због распрострањености мрежног напајања овај систем се може напајати из монофазног напона (220VAC) или трофазног напона (380VAC). Ово напајање је приказано на слици 1 као блок мрежни напон.

2.2. Одређивање растојања на коме се преноси енергија

Захтев број 2 говори о растојању на коме се преноси енергија. У нашем случају то је растојање између предајног калема (антене) и пријемног калема (антене). На слици 1 то је размак између шасије аута и подлоге. За ово растојање узето је растојање од 10cm.

2.3. Варијабилни износ пренесене снаге

Захтев број 3 говори о томе да се мора вршити регулација снаге тј. да се количина пренете снаге може одабирати у опсегу од 0 до неке максималне вредности пренете снаге (дефинисане у поглављу 2.4.).

2.4. Максимална снага

Захтев 4 говори о максималној могућој снази која се може пренети овим системом. Овај систем је пројектован за максимални пренос снаге од 12.5kW. Ова вредност је изабрана спрам класификацији бежичних пуњача која је дата у стандарду (стандард описан у поглављу поглављу 2.7.).

2.5. Графички интерфејс

Захтев 5 говори да на систему мора постојати интуитиван кориснички интерфејс који обезбеђује промену жељене пренесене снаге (у опсегу дефинисаном у поглављу 2.3. и 2.4.) као и информацију о тренутном стању пуњача (батерија се пуни или батерија се не пуни).

2.6. Потрошач

Захтев 6 говори о типу потрошача коме се шаље енергија. Овде је захтев да је потрошач увек батерија за лако електрично возило чији напон може ићи до више стотина волти.

2.7. Актуелни стандард у аутоиндустрији

Захтев број 7 говори да систем мора бити реализован у складу са актуелним стандардом за бежичне пуњаче у аутоиндустрији.

У априлу 2019. године изашао је стандард SAE J2954 кога је издала организација SAE (Society of Automotive Engineers) [3]. Овај стандард је дефинисао више ствари а испод су дате најважније:

- 1) Дефинисана подела система по снази и циљаној ефикасности
- 2) Дефинисана подела система по растојању на коме се преноси енергија

2.7.1. Подела система по снази и циљаној ефикасности

Стандард дефинише 4 класе система за бежични пренос пуњења. Подела је приказана на табели 1.

Табела 1. Подела по снази и циљаној ефикасности према стандарду SAE J2954

	WPT класе по снази			
	WPT1	WPT2	WPT3	WPT4
Maks. snaga ka bateriji vozila [kVA]	3.7	7.7	11.1	22
Min. efikasnost pri x,y poravnanju [%]	>85	>85	>85	biće definisano u narednim dopunama standarda

Према наведеној подели систем који је реализован припада класи WPT3.

2.7.2. Подела система по растојању на коме се енергија преноси

Стандард дефинише 3 класе система за бежични пренос пуњења. Подела је приказана на табели 2.

Табела 2. Подела по растојању на коме се енергија преноси према стандарду SAE J2954

Z класа	Размак између предајника (GA) и пријемника (VA)
Z1	100 до 150
Z2	140 до 210
Z3	170 до 250

Према наведеним поделама систем који је реализован припада класи WPT3 Z1.

2.8. Модуларност

Захтев број 8 говори да систем мора бити модуларан тј. да му делови буду лако замењиви и да се исти делови система могу користити у различитим врстама система за бежични пренос електричне енергије.

2.9. Робусност система и температурни дизајн

Захтев број 9 говори да систем мора да задовољава основне захтеве за робусност, отпорност на практична оптерећења као што су вибрације, благи удари и сл. Такође, систем мора задовољити температурне захтеве тј. да при континуалном раду при максималној снази температура не прелази неку претходно изабрану температуру при којој систем ради очекивано.

3. РЕАЛИЗОВАНО РЕШЕЊЕ ЗА БЕЖИЧНИ ПРЕНОС ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ

На основу разматрања и захтева обрађених у претходном поглављу долазимо до реализације система за бежични пренос електричне енергије који испуњава све наведене захтеве.

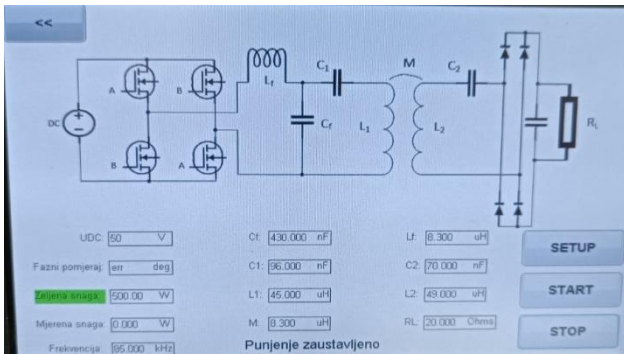
Слика 2. приказује реализовани систем у лабораторијском окружењу.



Слика 2. Реализовани систем за бежични пренос електричне енергије

3.1. Управљање системом за бежични пренос електричне енергије

Управљање системом се врши преко *Mikromedia 7* [2] развојног система који на себи има екран осетљив на додир од 7". Приказ графичког интерфејса преко кога се управља системом приказан је на слици 3.



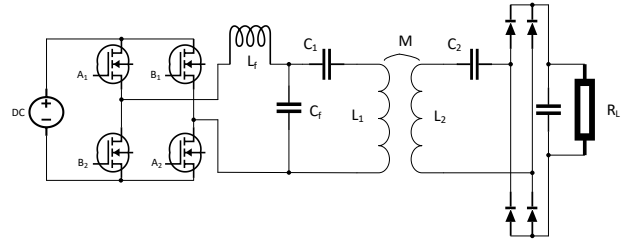
Слика 3. Графички интерфејс за управљање пуњењем

Контрола пуњења врши се тако што се на дисплеју изабере жељена снага (на слици 3. означено зеленом бојом) и притисне дугме *START*. Уколико желимо да искључимо пуњење притиснемо дугме *STOP* а уколико систем оставимо да ради на дуже пуњење ће се само угасити када батерија која се пуни достигне одређени претходно дефинисан напон. Када достигне тај напон сматрамо да је батерија пуна и пуњење се завршава.

3.2. Фазна регулација

Принцип контроле снаге пуњења биће објашњен на поједностављеној електричној шеми система приказаној на слици 4. Контрола снаге пуњења се врши фазним кашњењем између контролних сигнала на

инвертору реализованом као потпуни мост (*full bridge inverter*) [4]. Инвертор је имплементиран са 4 мосфета и гејтови наведених мосфетова су означени са A_1, B_1, A_2, B_2 . Контролни сигнали на гејтовима инвертора су импулсно-ширинско модулисани сигнали (*PWM*) фреквенције 85kHz [5].



Слика 4. Поједностављена електрична шема бежичног пуњача

Фазним кашњењем сигнала $A_2 \overline{B_1}$ у односу на $A_1 \overline{B_2}$ добија се да излаз инвертора већи део времена на свом излазу даје ненулту вредност напона што резултује већом пренешеном снагом. Као параметар, фазно кашњење се означава са α и може имати вредност од 0° до 180° степени при чему за 0° степени сигнали су у фази и тада је пренешена снага $0W$ док ако је фазно кашњење 180° онда је снага максимална. Након одабирања жељене снаге на дисплеју *Mikromedia 7* прорачунава фазно кашњење и испишује га на дисплеј (слика 3.). Након притиска на дугме *start* почиње и генерисање сигнала на улаз инвертора са датим фазним кашњењем и тиме се започиње пренос енергије.

3.4. Спрегнути калемови

Бежични пренос електричне енергије одвија се у простору између предајног и пријемног калема (приказано на слици 1). Калемови се налазе на удаљености од 10 cm у складу са захтевом број 2 објашњеним у поглављу 2.2. Наведени калемови су направљени према упуствима из стандарда *SAE J2954*. Калемови су приказани на доњем делу слике 2.

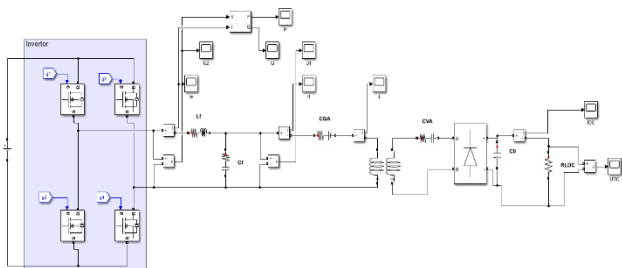
Простор између калемова приказан је на слици 5. За намотавање калемова коришћен је лицнасти проводник код којег су изоловане све лицне засебно. Ово је потребно јер је сигнал који пролази кроз намотаје 85 kHz па би ту доминирао скин ефекат уколико би се користио класичан лицнасти или пун проводник.



Слика 5. Спрегнути калемови (доњи калем је предајни док је горњи пријемни)

4. СИМУЛАЦИЈА РЕАЛИЗОВАНОГ РЕШЕЊА ЗА БЕЖИЧНИ ПРЕНОС ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ

За систем приказан на слици 2. направљена је симулација у програмском пакету *Simulink* у којој је детаљно моделован систем са циљем да се истраже његове карактеристике и понашање. Модел система, приказан у симулацији, дат је на слици 6.

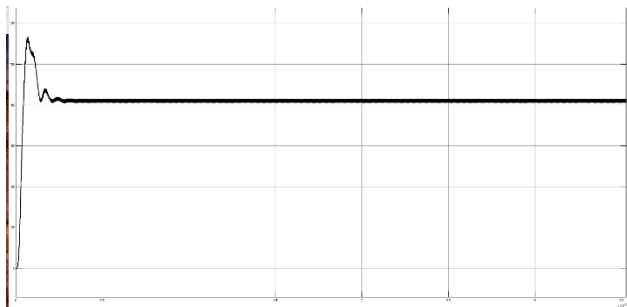


Слика 6. Модел система за бежични пренос електричне енергије (у програмском пакету *Simulink*)

Наведена симулација се поклапа са мерењима на физичком систему у толеранцији од 5% чиме се сматра да је симулација задовољавајуће тачности.

4.1. Резултати симулације

Најбитнији сигнали са симулације су напон на потрошачу и излазна струја кроз потрошач. На сликама 7 и 8 приказани су ови сигнали, где се може видети да су вредности у устаљено стању 82 VDC односно 8,2A а параметри система су подешени за пуњење батерије снагом од 0,6kW.



Слика 7. Напон пуњења батерије



Слика 8. Струја пуњења батерије

5. ЗАКЉУЧАК

Задатак овог рада био је дизајн и реализација једног система за бежични пренос енергије који задовољава захтеве који су наведени пре почетка пројекта

(захтеви описани у поглављу број 2). Намена овог уређаја је вишеструка али је акценат био на аутоиндустрији и улози једног оваквог система за бежично пуњење возила. Кроз итерације, наведени уређај је пролазио кроз разне преправке све док није дошао до финалног изгледа какав је описан у поглављу број 3.

За наведени уређај направљена је његова виртуелна копија тј. модел који у симулацији описује рад реалног система. Планови за будућност овог система укључују реализацију мода пуњења константном струјом да би се остварило оптимално пуњење литијум-јонских батерија.

6. ЛИТЕРАТУРА

[1] Опис и подела технологија за бежични пренос електричне енергије:

https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_power_transfer [фебруар 2024.]

[2] MIKROE, *Mikromedia 7 for STM32F7 – User Manual*:

<https://www.mikroe.com/blog/mikromedia-7-stm32f7-user-manual> [фебруар 2024.]

[3] Стандард *SAE J2954*:

https://www.sae.org/standards/content/j2954_202010/ [фебруар 2024.]

[4] Објашњење инвертора:

<https://circuitdiagrams.in/full-bridge-inverter/> [март 2024.]

[5] Објашњење ширинско-импулсно модулисаног сигнала:

<https://resources.pcb.cadence.com/blog/2020-pulse-width-modulation-characteristics-and-the-effects-of-frequency-and-duty-cycle> [март 2024.]

Кратка биографија:



Мирослав Богдановић рођен је у Чачку 1997. год. Дипломирао је на Факултету техничких наука из области електротехнике и рачунарства (примењена електроника) 2022. године. Ради као сарадник у настави на катедри за електронику Факултета техничких наука у Новом Саду.



Владимир Рајс рођен је 1982. год. у Апатину. Дипломирао је 2007, а докторирао 2015. године на Факултету техничких наука у Новом Саду. Од 2016. године запослен је као доцент, а од 2021. као ванредни професор на Департману за енергетику, електронику и телекомуникације ФТН-а. Области интересовања су му електроника и примењена електроника.