

## ПРОЕКТИРАНЕ НА БЕЗКОНТАКТЕН ПРЕДАВАТЕЛ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЕНЕРГИЯ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТА МУ ПРИ РАЗЛИЧНИ ТОВАРИ

Николай Маджаров, Десислав Илиев\*

*Технически университет - Габрово, ул. Х. Димитър 4, Габрово, България*

*\*кореспондиращ автор: d.iliev@tugab.bg*

## DESIGN OF WIRELESS POWER TRANSFER SYSTEM AND RESEARCH OF ITS EFFICIENCY AT DIFFERENT LOADS

Nikolay Madzharov, Desislav Iliev\*

*Technical University of Gabrovo, 4 H. Dimitar str., Gabrovo, Bulgaria*

*\* Corresponding author: d.iliev@tugab.bg*

### Abstract

*Wireless Power Transfer System using electromagnetic resonance are complex devices, where computer-simulated models often fail to accurately reproduce the real electromagnetic and electric processes occurring within them. For this reason, a laboratory prototype of a Wireless Power Transfer System has been developed, aimed at analyzing and visualizing certain processes in electric vehicle charging station. With the introduction of an additional resonant circuit, the technical and operational parameters of contactless charging stations can be expanded. The report presents the design methodology on which the prototype is based, along with a series of experiments demonstrating the system's efficiency under various loads.*

**Keywords:** *Wireless Power Transfer, Efficiency, Resonance coupling, Inductive coupling.*

### ВЪВЕДЕНИЕ

В днешно време основния проблем е как да ограничим влиянието на човешката дейност върху природната среда. Голяма част от това въздействие се дължи на отделените в атмосферата вредни емисии вследствие на различни дейности, извършвани от човечеството. Не малък процент от тези емисии се дължат на автомобилния транспорт. Двигателите с вътрешно горене (ДВГ), които се вграждат в този вид транспортни средства се усъвършенстват постоянно, като с течение на времето и с въвеждането на различни все по строги екологични стандарти (от Евро 1 до въведеният в момента Евро 6) за вредните емисии отделянето на вредните вещества от ДВГ постоянно намалява [1]. Това обаче според мнозина автори може да се окаже недостатъчно като адекватни мерки в близко бъдеще. По-

ради тази причина като алтернатива на ДВГ се налагат електрическите автомобили с техните два варианта:

- Хибридни превозни средства - това са автомобили с ДВГ и вграден допълнително спомагателен електродвигател;

- Изцяло електрически превозни средства- които разчитат за предвижването си само на електрически двигател и електрическа батерия.

Хибридните превозни средства могат да се разглеждат като междинно звено между томобилите с ДВГ и автомобилите, използващи изцяло електрическа енергия за своето предвижване.

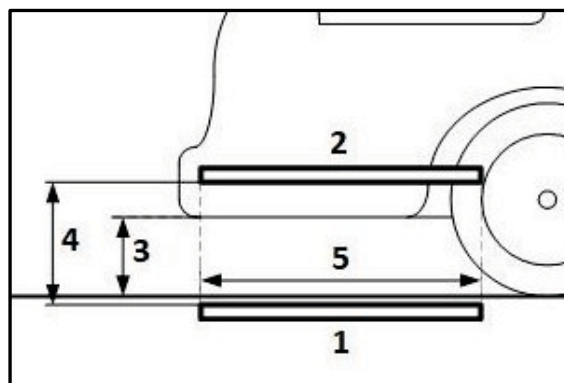
Изцяло електрическите превозни средства заедно с основните им преимущества имат и два основни недостатъка, които към момента влияят върху възможността за по-бързото им налагане на пазара. Това са ограничената им автоном-

ност (изминати километри с едно зареждане на батерията) и продължителността на зареждане, което в сравнение с един автомобил с ДВГ е в пъти по-дълга, като продължителността при бърз заряд на електромобил (което не е желателно да се извършва често) може да достигне до 60 минути от напълно разрежена до напълн зредена батерия.

Един от начините да се избегне проблема свързан с продължителността на цикъла на зареждане на батерията е, ако по време на движение или по време на кратък престой на автомобила (на светофар, при престой на паринг за известно време) да се осъществява частичен заряд на електромобила. Това дава възможност за значително удължаване на пробег на електромобила, като може и да се избегне бързият заряд на батерията по време на по-дълги пътувания и едва след приключване на пътуването да се извърши бавен и пълен заряд на електромобила (примерно в домашни условия през тъмната част на денонощието).

## ИЗЛОЖЕНИЕ

Използването на съществуващите в момента зарядни станции, при които за зареждане на електромобила трябва да се осъществи галванична връзка между него и зарядната станция, нямат необходимите техникоексплоатационни качества, поради наличие на кабели и съответните силови електрически контакти, механични износвания на отделните компоненти, съществува възможност за поражение от електрически ток и други. Поради тази причина се използват безконтактните системи за зареждане на електромобили. Предавателна намотка ( $T_x$ ) е вградена в пътната настилка или в настилката на паркинга, а приемната намотка ( $R_x$ ) е вградена в подовото пространство на електромобили (Фиг.1) [2-3].



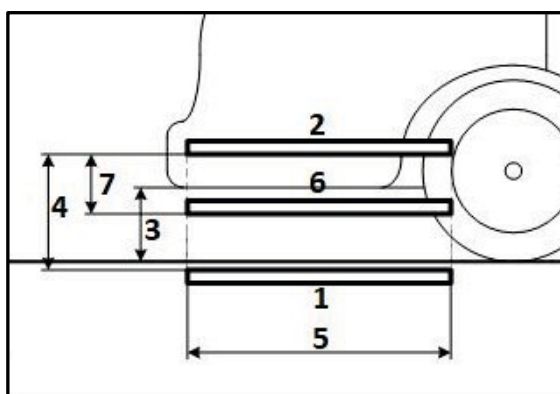
**Фиг. 1** Стандартна система за безконтактен заряд на електромобили: 1- предавателна намотка ( $T_x$ ); 2- приемна намотка ( $R_x$ ); 3- клиренс на автомобила; 4- разстояние между предавателната и приемната намотка ( $d$ ) и 5- диаметър на предавателната и приемната намотка ( $D$ ).

Два са основните недостатъка на този вид система за безконтактен пренос на енергия. Първият е, че размерите на електромобилите са различни в съответствие с класа им- малки градски автомобили, автомобили от среден клас до автомобили с висока проходимост. Вторият проблем е, че в зависимост от размера на автомобила и предназначението му, разстоянието между пътното платно и неговата най-ниска точка (клирос на автомобила) са различни при отделните марки и модели автомобили. Също така клиренса може да варира в зависимост от натоварването на автомобила и от поддръжката му по време на експлоатация.

Размера на приемната намотка ( $D$ ), която се монтира в автомобила може да се стандартизира и да се приеме, че намотката с диаметър от 600 mm ( $D= 600\text{mm}$ ) може да се вгради във всеки съществуващ автомобил (с изключение на мини и микро автомобилите). Клиренса на автомобила е постоянно променяща се величина и не подлежи на стандартизация. От Фиг. 1 се вижда също, че реално разстоянието между предавателната и приемната намотка е по-голямо от клироса на автомобила, тъй като над предавателната намотка, монтирана в пътното платно

трябва да се нанесе и допълнителен слой пътна настилка. Това води до проблем, при който след едно известно увеличаване на разстоянието между предавателната и приемната намотка над  $D/4$ , ефективността (КПД) на системата за безконтактно предаване на енергия рязко намалява и пада много под 80% (което е целта за този вид системи).

Едно от възможните решения на този проблем е въвеждането на допълнителен резонансен LC кръг (RC) в системата за безконтактен заряд на електромобили, който да се монтира в автомобила под приемната намотка [4-6]. Чрез промяна на неговото разположение по височина може да се компенсира влиянието на клироса на различните електромобили по време на зареждане. (Фиг. 2).



**Фиг. 2** Система за безконтактен заряд на електромобили с въведен допълнителен резонансен кръг: 1- предавателна намотка ( $T_x$ ); 2- приема намотка ( $R_x$ ); 3- Клиренса на автомобила; 4- разстояние между предавателната и приемната намотка ( $d$ ); 5- диаметър на предавателната, приемната намотка и резонансния кръг ( $D$ ); 6- резонансен кръг (RC) и 7- разстояние между приемната намотка и резонансния кръг.

За целите на проучването се разработи макет на система за безконтактно зареждане на електромобили. При проектирането на макета се взеха под внимание два основни вида параметри:

- физически параметри на макета;
- електрически параметри на макета;

При избора на основните физически параметри на макета се изходи от пред-

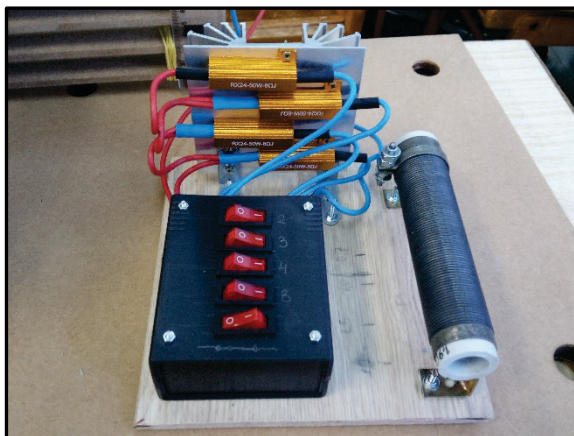
поставката, че той трябва да пресъздава максимално точно отделните физически характеристики на зарядната станция за електромобили. Поради тази причина разстоянието между предавателната намотка, приемната намотка и въведения допълнителен резонансен кръг трябва да могат да се позиционират във височина по такъв начин, че да пресъздават реалните условия на зареждане на различни видове превозни средства (преместване по вертикалната ос  $Z$ ). Тъй като позиционирането на електромобили в хоризонталната равнина (ос  $X$  и ос  $Y$ ) не може да става абсолютно точно и вертикалните оси ( $Z$ ) на предавателната и приемната намотка в реални условия трудно биха съвпаднали, макета се проектира да симулира и разместване във хоризонталната равнина по оси  $X$  и  $Y$ . За да се даде допълнителна възможност за изследвания, и трите намотки (предавателна, приемна намотка и резонансния кръг) могат да извършват ротация по оста  $Y$ . По този начин се симулира и разликата при различните натоварвания на автомобила (брой пасажери и количество багаж).

За изследване на електрическите параметри на макета се изменя входно напрежение. Чрез него може да се променя входната мощност на инвертора и съответно да се променя и мощността, подавана към предавателната намотка на системата за безконтактен пренос на енергия.

Честотата, на която работи системата за безконтактно зареждане на автомобили е важен параметър, чрез който може да се компенсира разликата в товара. Тя се задава посредством генератор на честота и има възможност да се променя, за да може в последствие да се направят и серия от експерименти при честоти, различни от резонансната честота, на която работи макета.

Блок с товарни съпротивления служи за симулиране на различното състояние на батерията по време на заряд. Той е съставен от четири мощни резистора ( $8 \Omega$ ,  $50 W$ ), които могат да се включват паралел-

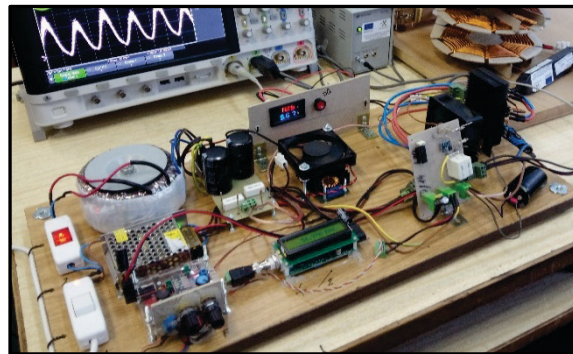
но едно спрямо друго, както и допълнително е поставен превключвател, който може да ги изключва и четирите едновременно. Поставени са на общ охлаждащ радиатор. По този начин, дори при значителна отделена мощност в товарните съпротивления, се избягва влиянието на температурата върху товарното съпротивление. По този начин съпротивлението може да се променя на 8, 4, 3 и 2  $\Omega$  с определена стъпка. Последователно на тях е свързан реохорд, чието съпротивление може да се променя плавно от 0,1 до 1,9  $\Omega$  и номинален ток 8 А. В комбинация от четирите съпротивления и реохорд товарното съпротивление може да се променя плавно в границите от 0,1 до 9,9  $\Omega$ . По този начин се избягва топлинното влияние от загряването на съпротивленията. На представената по-долу фигура е представена външния вид на блока с товарни съпротивления (Фиг.3).



Фиг. 3 Външен вид на блок с товарни съпротивления.

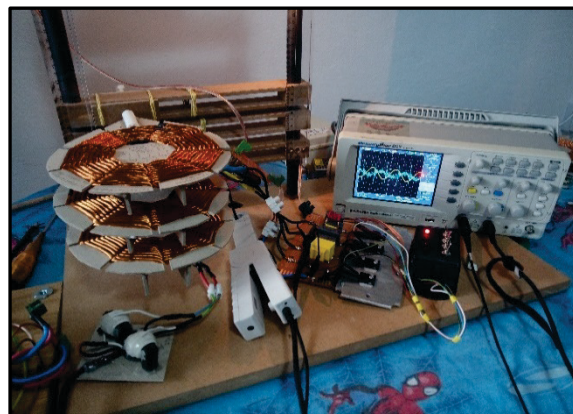
При физическото изграждане на макета той е разделен на две отделни части.

В първата част (Фиг. 4) на обща подложка е монтиран захранващият блок, комбиниран цифров волтметър и амперметър, с който може да се следи входното постоянно напрежение и ток (а оттам и входната мощност на системата) генератора на честота, честотомер и силовата установка, която включва система за управление на транзисторите и крайните транзистори, които са монтирани на охлаждащ радиатор (Фиг.4).



Фиг. 4 Външен вид на първа част на макета.

Във втората част (Фиг. 5) на обща подложка е монтирана ситемата, чрез която може да се регулира предавателната, приемната намотка и резонансния кръг по височина, както да се разместват хоризонтално една спрямо друга и да се осъществява завъртане по оста Y и на трите намотки. В същата част е поставен изправителния блок, изграден по схема Греци с бързи (Шотки) диоди, комбиниран цифров волтметър и амперметър, с който може да се следи изходното изправено напрежение и ток (а оттам и изходната мощност на системата) и блока с товарните съпротивления.



Фиг. 5 Външен вид на втора част на макета.

## ОПТНА ПОСТАНОВКА

За сравнение и по-лесно обобщаване на резултатите, разстоянията между предавателната намотка (Tx), резонансния кръг (RC) и приемната намотка (Rx) е нормализирано и е представено в проценти. В табл. 1 е представено

нормализираното разстояние (Tx- Rx) между предавателната (Tx) и приемната намотка (Rx), прието за 100% и нормализираното разстояние (Rx- RC) между приемната намотка и резонансния кръг (RC), изменящо се в границите от 25% до 75%.

**Табл. 1** Нормализирано разстояние и реално разстояние TX-RX и TX-RC на макета.

TX-RX	RX-RC							
100%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	
100 mm	35 mm	40 mm	45 mm	50 mm	55 mm	60 mm	65 mm	65 mm
120 mm	42 mm	48 mm	54 mm	60 mm	66 mm	72 mm	78 mm	78 mm
140 mm	49 mm	56 mm	63 mm	70 mm	77 mm	84 mm	91 mm	91 mm

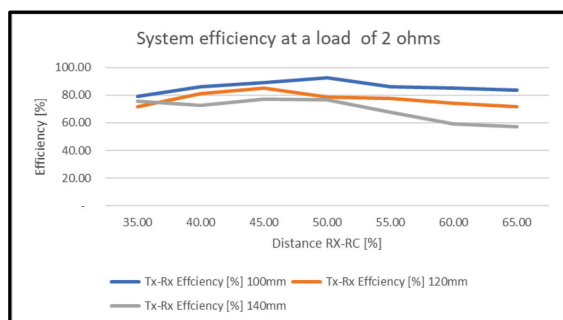
При последващо намаление или увеличаване на разстоянието Rx-RC, КПД на системата спада много, като едновременно с това се увеличава тока през инвертора и предавателната намотка до много големи стойности, които са над допустимите за системата.

Бяха извършени четири поредици от експерименти с четири различни товарни съпротивления: 2, 3, 4 и 5  $\Omega$  при посочените в Таблица 1 разстояния между предавателната и приемната намотка и приемната намотка и резонансния кръг. Различните товарни съпротивления съответстват на различно ниво на разряд на батерията на електромобили. Товарно съпротивление от 2 ома съответства на силно разрежена батерия, а 5 ома съответства на заредена батерия.

## РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

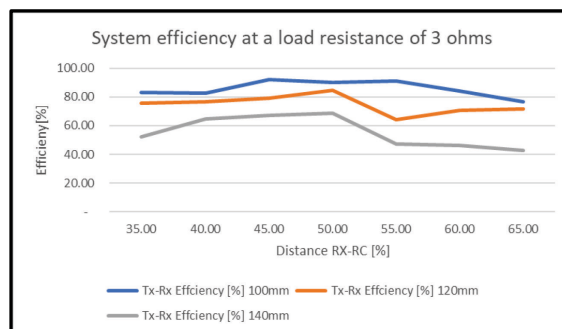
Опитните резултати са представени в четири графики.

На Фиг. 6 е представено КПД на системата при товарно съпротивление от 2  $\Omega$ .



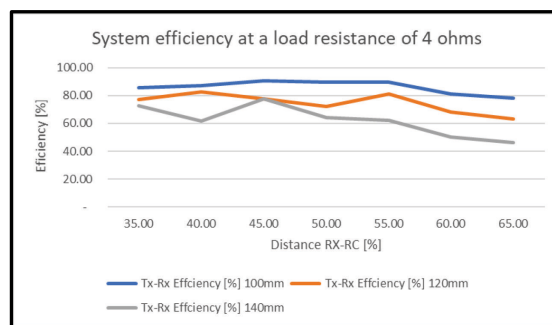
**Фиг. 6.** КПД на системата при товарно съпротивление от 2 ома.

На Фиг. 7 е представено КПД на системата при товарно съпротивление от 3  $\Omega$ .



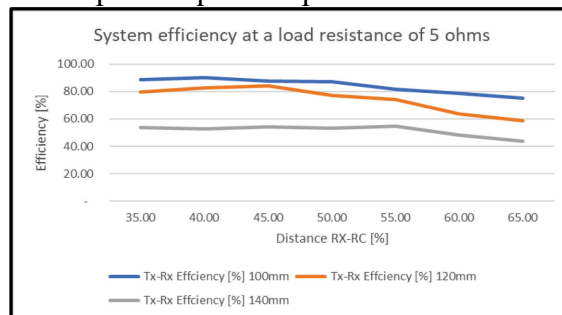
**Фиг. 7.** КПД на системата при товарно съпротивление от 3 ома.

На Фиг. 8 е представено КПД на системата при товарно съпротивление от 4  $\Omega$ .



**Фиг. 8.** КПД на системата при товарно съпротивление от 4 ома.

На Фиг. 9 е представено КПД на системата при товарно съпротивление от 5  $\Omega$ .



**Фиг. 9.** КПД на системата при товарно съпротивление от 5 ома.

От четирите графики се вижда, че ефективността остава относително постоянна, независимо от нивото на разряд на батерията.

В зависимост от разстоянието между предавателната и приемната намотка, ефективността на системата варира

между 92,83% (при разстояние от 100 mm между предавателната и приемната намотка) и 77,52% (при разстояние от 140 mm между предавателната и приемната намотка).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От изложените по-горе резултати от изследването могат да се направят следните изводи:

- чрез въвеждането на допълнителният резонансен кръг в системата за безконтактен пренос на енергия може да се увеличи значително разстоянието между предавателната и приемната намотка, като се запази КПД на системата в добри граници - над 80 %;

- промяната на товарното съпротивление от 2  $\Omega$  до 5  $\Omega$  (2,5 пъти) оказва много малко влияние върху КПД на системата, като основен фактор остава разстоянието между предавателната и приемната намотка.

- незначителната промяна на КПД на системата от нивото на разряд на батерията дава възможност тя да се използва както за бърз заряд на електромобили, така и за бавен заряд (когато автомобила е в престои за дълго време) и за дозарядване на батерията по време на движение на автомобила или при кратки престои по време на движение в градски условия (при моментно спиране на автомобила при червен сигнал на светофарна уредба и други подобни ситуации).

*Източник на финансиране: Това изследване е финансирано от Европейския фонд за регионално развитие в рамките на ОП „Научни изследвания, иновации и*

*дигитализация за интелигентна трансформация“ 2021-2027 г., Проект BG16RFPR002-1.014-0005 Център за компетентност „Интелигентни мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“.*

*Благодарности: Авторите изказват своята благодарност към рецензентите за насоките и критичните бележки при оформянето на настоящия доклад, както и изказват благодарност към проект BG16RFPR002-1.014-0005.*

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/European\\_emission\\_standards](https://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards)
- [2] N. Shinohara, “Wireless Power Transfer-Theory, technology and applications”, The Institution of Engineering and Technology.
- [3] T. Imura, “Wireless Power Transfer Using Magnetic and Electric Resonance Coupling Techniques”, Springer, 2020, ISBN 978-981-15-4579-5.
- [4] Budhia, G. Covic and J. Boys, “A New IPT Magnetic Coupler for Electric Vehicle Charging Systems” in IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, 7-10 Nov. 2010. DOI:10.1109/IECON.2010.56753.
- [5] N. Madzharov, “Contactless Power Transmitters for Electric Energy”, Technical University of Gabrovo, Gabrovo, Bulgaria. 2017, conference on advances in steel structures, vol. II, 2002, p. 1111-1118.
- [6] N. Madzharov, D. Iliev, E. Ozdikikiler, “Contactless Charging System for Electric Vehicles with Resonant Circuit”, Mechatronic, eco and energy-saving systems and technologies, Gabrovo, Bulgaria.