

## СЪГЛАСУВАНЕ НА СИСТЕМА ЗА БЕЗКОНТАКТЕН ПРЕНОС НА ЕНЕРГИЯ ЧРЕЗ ПРОМЯНА НА ИНДУКТИВНОСТИТЕ

Десислав Илиев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ТУ-Габрово

## IMPROVING PERFORMANCE OF A WIRELESS POWER TRANSFER SYSTEM USING DIFFERENT INDUCTANCE VALUE

Desislav Iliev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technical University of Gabrovo, BG

### Abstract

In this paper, a method for solving one of the major problems in Wireless Power Transfer Systems is presented - as the distance between the transmitter and receiver increases, the system's efficiency decreases. A model of a contactless vehicle charging system is introduced, in which by switching a set of inductances in the transmitter and receiver coils, better system alignment is achieved, resulting in a significant improvement in efficiency.

**Keywords:** Wireless Power Transfer, Contactless Charging System, Magnetic Resonance, Efficiency.

### ВЪВЕДЕНИЕ

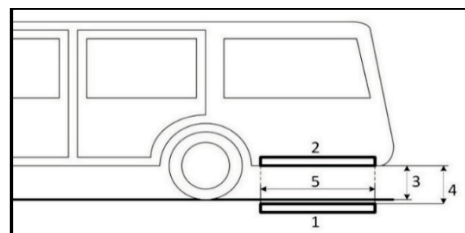
През последните няколко десетилетия системите за безконтактен пренос на енергия, използващи принципа на електромагнитна индукция (Inductive Power Transfer Systems- IPTS) придобиха все по голяма популярност и се наложиха в редица области на производството, и бита [1].

Проблемите при системите IPTS, при които разстоянието между предавателната и приемна намотка са фиксирани и не се променят по време на работа, и работят при един и същ товар, са добре познати и изучени [2, 3].

### ИЗЛОЖЕНИЕ

Не така стои въпроса, когато се променя разстоянието между предавателната и приемна намотка, както и стойността на товара. Като такъв пример може да се даде зареждането на различни видове и марки електромобили на една и съща зарядна станция, която използва IPT [4]. В следствие на разликата в клиренса на различните автомобили, както и от моментното натоварване на автомобила се про-

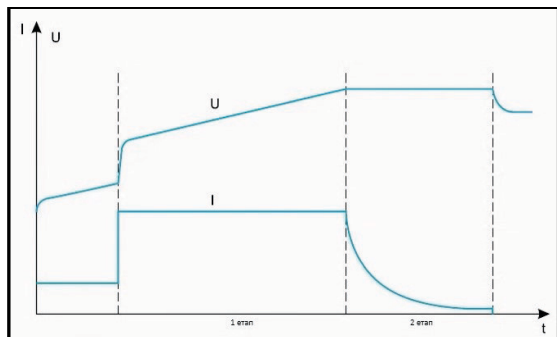
меня и разстоянието между предавателната и приемна намотка на системата (Фиг. 1).



**Фиг. 1.** Електроавтомобил по време на зареждане: 1- предавателна намотка; 2- приемна намотка; 3- клиренс на автомобила; 4- разстояние между предавателната и приемната намотка ( $d$ ) и 5- диаметър на предавателната и приемната намотка ( $D$ )

Товара по време на зареждане също се променя, като зависи от капацитета на монтираната в превозното средство батерия, степента, до която е разрежена батерията до момента на зареждането, както и от редица други фактори- дали потребителя се нуждае от бърз или бавен заряд, температура на батерията и др. На показаната по-долу фигура (Фиг. 2) се вижда

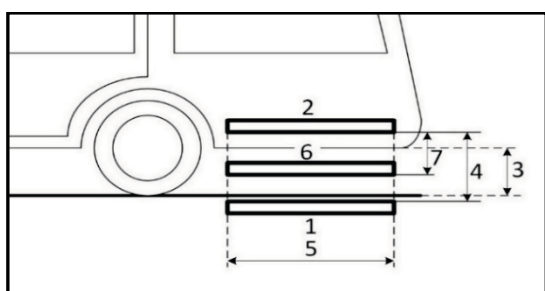
че, заряда на батерията изисква с течение на времето да се променя както напрежението, така и тока на заряд, което от своя страна води до промяна на характеристиките на товара- дори при идеални условия.



**Фиг. 2.** Графика на напрежението и тока по време на заряд на Li-Ion батерия при идеални условия.

В следствие на изложените по-горе проблеми коефициента на полезно действие (КПД) на системата може да падне до много малки стойности, режима на работа на генератора може да се промени, напреженията и токовете в резонансните контури (предавателната и приемната намотка) могат да достигнат големи стойности, които могат да доведат до повреди и др.

Едно от решенето на този проблем може да стане с въвеждането на допълнителен резонансен кръг (Фиг. 3).



**Фиг.2.** Електроавтомобил по време на зареждане с въведен допълнителен резонансен кръг: 1- предавателна намотка; 2- приемна намотка; 3- клиренс на автомобила; 4- разстояние между предавателната и приемната намотка ( $d$ ); 5- диаметър на предавателната, приемната намотка и допълнителния резонансен кръг ( $D$ ); 6- допълнителен резонансен кръг и 7- разстояние между приемната намотка и допълнителния резонансен кръг.

Втората възможност е чрез промяна на индуктивността или капацитета на резонансния кръг, който служи за предавателна или приемна намотка в системата за безконтактен пренос на енергия.

Превключването може да се осъществи посредством механични или електронни ключови прибори, като и двата вида имат предимства и недостатъци.

Предимството на механичните ключове е, че управлението им може да се раздели галванично от силовата част на системата и токовете и напреженията в резонансния кръг да не му оказват влияние. Като недостатъци могат да се изтъкнат механичната износоустойчивост на контактите и липсата на възможност превключването да се синхронизира по време (при малки стойности на напреженията и токовете в силовата схема).

Електронните ключове имат следните предимства: имат високо бързодействие, могат да се синхронизират по време с силовата част на схемата. Като недостатък може да се посочи липсата на възможност за галванична развързка на управляващата схема от силовата част на системата.

Разработена е система за зареждане на метод за пренос на енергия (Фиг. 2). Изработен е макет на системата в мащаб 1:4.

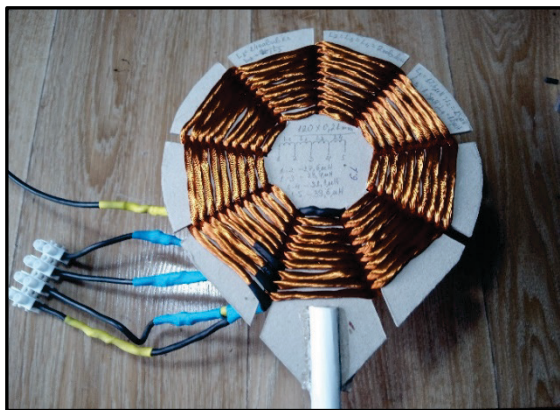
За приемна и предавателна намотка, както и за пасивен резонансен кръг са използвани планарни намотки (Фиг. 3) със следните геометрични параметри: вътрешен диаметър 60 mm, външен диаметър 150 mm, 20 навивки литцентрат от 120 единични проводника с диаметър 0,20 mm (сечение 4 mm<sup>2</sup>). Индуктивността на всяка от тях е 38,3  $\mu$ H. Работната честота на системата е от 22 до 33 kHz.



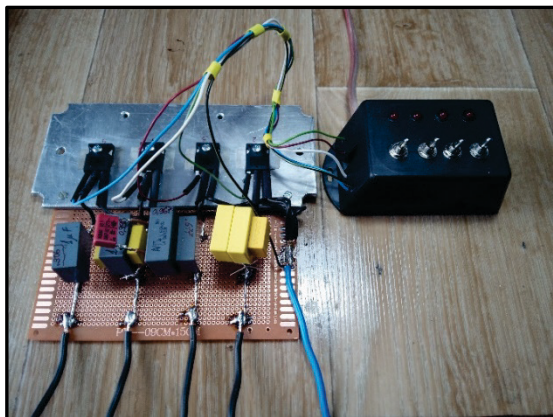
**Фиг. 3** Външен вид на макета.

При външен диаметър на намотката от 15 cm и мащаб 1:4 за реален размер на намотките в електромобила (приемната намотка и пасивния резонансен кръг) се получава диаметър 60 cm. Така те могат да бъдат вградени в подовото пространство на превозното средство [5].

За това изследване предавателния и приемният резонансен кръг са заменени с пакет от индуктивности и емкости, които посредством транзисторни ключове могат да бъдат превключвани поотделно (Фиг. 4 и Фиг. 5).



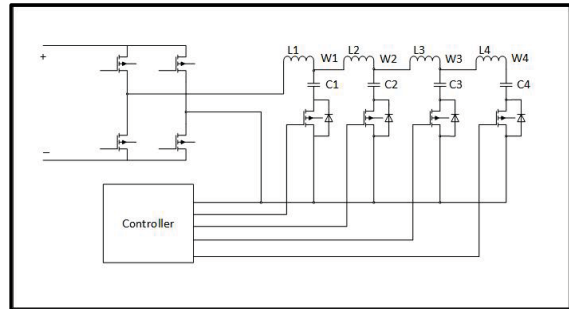
**Фиг. 4** Външен вид на индуктивностите, използвани за предавателна и приемна намотка.



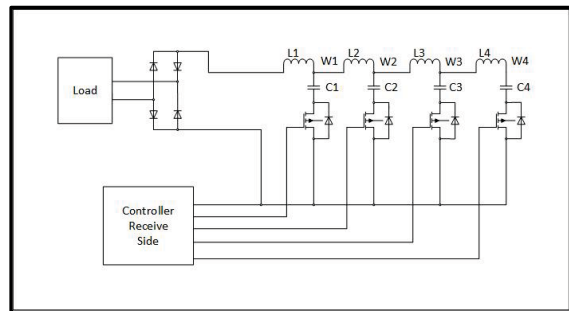
**Фиг. 4** Външен вид на управляващия модул с транзисторните ключове и кондензаторите.

По този начин системата може да работи с четири различни стойности на индуктивностите в предавателната и приемната намотка, но при една и съща резонансна честота. Тези стойности могат да се превключват чрез системата за упра-

вление както в предавателната част (Фиг.6), така и в приемната част (Фиг.7).



**Фиг.6** Схема на предавателната част с ключовите прибори и четирите резонансни кръга



**Фиг.7** Схема на приемната част с ключовите прибори и четирите резонансни кръга

В приемната и предавателната част се използват еднакви индуктивности с общо начало и четири края. Броя на навивките са: W1- 14 навивки, W2 -16 навивки, W3- 18 сенавивки и W2- 20 навивки. Индуктивностите съответно са: L1- 17.6  $\mu$ H, L2- 23.7  $\mu$ H, L3- е 31.1  $\mu$ H и L4- е 39.6  $\mu$ H. Стойността на кондензаторите е: C1- 2.26  $\mu$ F, C2- 1.68  $\mu$ F, C3- 1.28 $\mu$ F и C4- 1.0 $\mu$ F. Изчислени за резонансна честота на кръга 25 kHz (Формула 1).

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

Където:

- $f$ -честота;
- $L$ -индуктивност
- $C$ - емкость

## РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

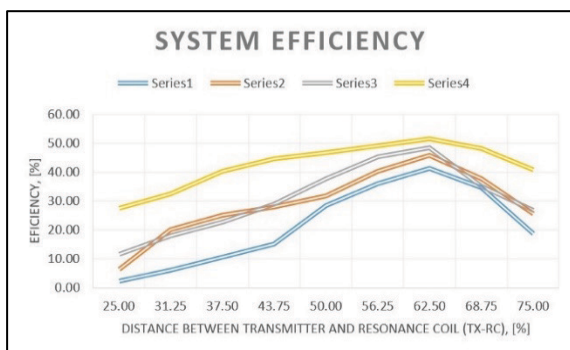
За сравнение на резултатите, за база се използват данните от предишно изслед-



ване [5], като ефективността на системата (в зависимост от разстоянието на предавателната (TX) и приемната (RX) намотка и положението на резонансния кръг (RC) (Таблица 1) са дадени на по-долната фигура (Фиг. 8).

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

TX-RX	TX-RC									
	25.00%	31.25%	37.50%	43.75%	50.00%	56.25%	62.50%	68.75%	75.00%	
140 mm	35.00mm	43.75mm	52.50 mm	61.25 mm	70.00 mm	78.75 mm	87.50 mm	96.25 mm	105.00 mm	
120 mm	30.00 mm	37.50 mm	45.00 mm	52.50 mm	60.00 mm	67.59 mm	75.00 mm	82.50 mm	90.00 mm	
100 mm	25.0 mm	31.25 mm	37.50 mm	43.75 mm	50.00 m	56.25 mm	62.50 mm	68.75 mm	75.00 mm	
80 mm	20.00 mm	25.00 mm	30.00 mm	35.00 mm	40.00 mm	45.00 mm	50.00 mm	55.00 mm	60.00 mm	



**Фиг. 8** Ефективност на системата при четирите различни разстояния между предавателната и приемната намотка (TX- RX): series1-140 mm; series2- 120 mm; series3 – 100 mm и series4- 80 mm.

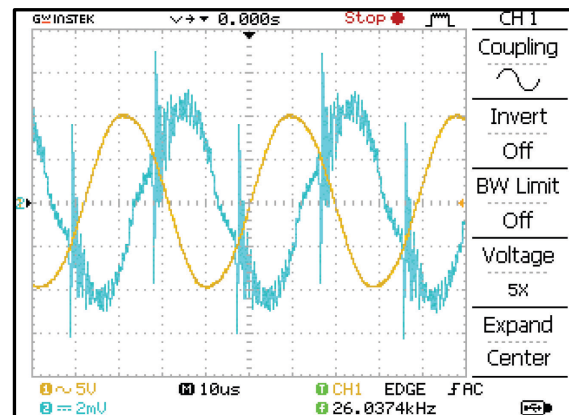
След смяна на предавателната и приемната намотка с разработените пакети от индуктивности и кондензатори, се проведеха серия от експерименти при запазване на разстоянията, работната честота и товар на системата, но при използване на различни LC контури в приемната и предавателната част.

Напрежението и тока през индуктивните елементи в предавателната и приемната намотка се променят, когато се превключват различните резонансни кръгове. Това води до промяна на разпределението на магнитното поле в системата TX-RC-RX.

На следващите четири фигури са представени осцилограмите на напрежението и тока в приемната намотка на системата при разстояние между предавателната и

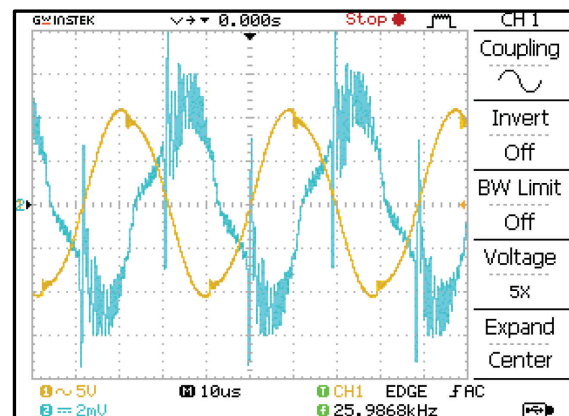
приемна намотка (TX-RX) от 140 mm и разстояние между предавателната намотка (TX) и резонансния кръг (RC) от 87,5 mm.

На Фиг. 9 е показана осцилограма на напрежението и тока в приемната намотка, когато са включени индуктивност L4 и кондензатор C4.



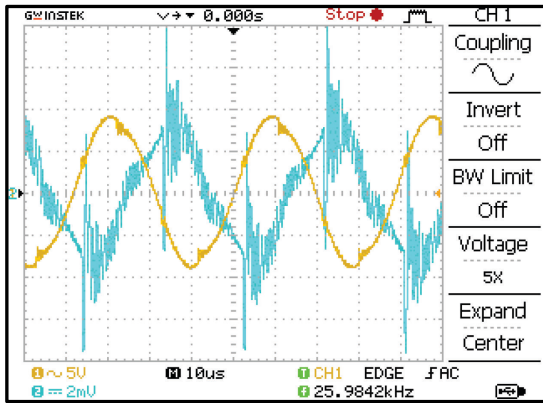
**Фиг. 9** Осцилограма на напрежението и тока в приемната намотка, когато са включени индуктивност L4 и кондензатор C4.

На Фиг. 10 е показана осцилограма на напрежението и тока в приемната намотка, когато са включени индуктивност L3 и кондензатор C3.



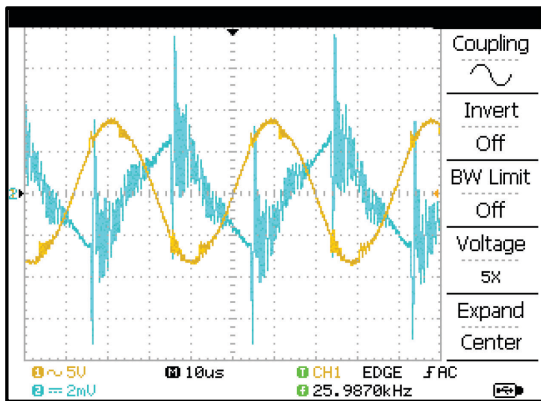
**Фиг. 10** Осцилограма на напрежението и тока в приемната намотка, когато са включени индуктивност L3 и кондензатор C3.

На Фиг. 11 е показана осцилограма на напрежението и тока в приемната намотка, когато са включени индуктивност L2 и кондензатор C2.



**Фиг. 11** Осцилограма на напрежението и тока в приемната намотка, когато са включени индуктивност  $L2$  и кондензатор  $C2$ .

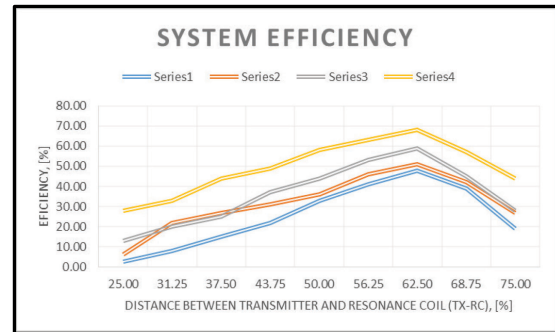
На Фиг.12 е показана осцилограма на напрежението и тока в приемната намотка, когато са включени индуктивност  $L1$  и кондензатор  $C1$ .



**Фиг. 12** Осцилограма на напрежението и тока в приемната намотка, когато са включени индуктивност  $L1$  и кондензатор  $C1$ .

От представените осцилограми се вижда, че при използването на индуктивност- кондензатор  $L2-L3$  напрежението и тока са с максимални стойности.

Ефективността на системата с включени пакети от индуктивности и кондензатори е показана на по-долната фигура (Фиг. 13).



**Фиг. 13.** Ефективност на системата с използване на LC пакети в предавателната и приемната част при четирите различни разстояния между предавателната и приемната намотка (TX- RX): series1-140 mm; series2- 120 mm; series3 – 100 mm и series4- 80 mm.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От приложените резултати може да се направят следните изводи;

- посредством превключване на индуктивностите в приемната или предавателната страна (или и двете едновременно), може да се постигне по-добро съгласуване на системата за безконтактен пренос на енергия и да се

- при съществуване на физически ограничения при използването на допълнителен резонансен кръг при зареждане на автомобили, съгласуването на системата и настройка може да се осъществи и с помощта на допълнителните LC кръгове.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторът изказва благодарности на Фонд „Научни изследвания“ за подпомагането на това изследване по договор № НИ КП-06-37/25 „Оптимизиране на проектирането и управлението на системи за съхранение на електрическа енергия“.

## REFERENCE

[1] N. Shinohara, "Wireless Power Transfer", The Institution of Engineering and Technology, Herts, UK, 2018.

- [2] T. Imura, "Wireless Power Transfer Using Magnetic and Electric Resonance", Tokyo University of Science, Noda, Chiba, Japan, ISBN 978-981-15-4580-1, 2017.
- [3] N. Madzharov, "Contactless power transmitters for electric energy", Technical University of Gabrovo, Gabrovo, Bulgaria. 2017.
- [4] A. Triviño-Cabrera, J. M. González-González, J. A. Aguado, "Wireless Power Transfer for Electric Vehicles: Foundations and Design Approach", University of Malaga, Málaga, Spain, ISBN 978-3-030-26705-6, 2020.
- [5] N. Madzharov, D. Пиев, E. Ozdikikiler, "Contactless Charging System for Electric Vehicles With Resonant Circuit", Мехатроника, еко и енергоспестяващи системи и технологии, Габрово, България, 2023.