

БЕЗКОНТАКТНО ПРЕДАВАНЕ НА ЕНЕРГИЯ

Д. ХВЪРЧИЛКОВ*

* Технически Университет София, Факултет по Електроника, София 1000, България,
бул. „Кл. Охридски“ 8, бл. 1, e-mail: forum2015@ecad.tu-sofia.bg

Резюме. В настоящия доклад е направен кратък обзор на методите и принципите за безконтактно предаване на енергия. Направено е сравнение между отделните методи и експериментално е изследвана система за безжично предаване на енергия, работеща на индуктивно резонансен принцип. Показана е обща схема на устройството. Предложен е вариант за безжична комуникация между модулите изпълнена, чрез Bluetooth™, даващ възможност за контрол и дистанционно управление на устройството. Показани са условията, при които е проведен експеримента и получените от него резултати.

Summary In this paper a base methods and principles of wireless power transfer (WPT) are revealed. A comparison between different methods of WPT is made. An example of WPT system based on an inductive resonant coupling principle is shown. The WPT system is examined in different ways and the results are revealed. Simplified diagram of the device is shown. Wireless communication between the modules using Bluetooth™ standard is offered. This gives an opportunity for controlling the device remotely. Conditions are set for the experiment to be made and the following results are given.

I. Увод

През последните години безконтактното предаване на електрическа енергия wireless power transmission (WPT) намира все по-широко приложение в бита, промишлеността и транспорта. Основното предимство е отпадането на захранващите кабели, което води след себе си много други ползи. Изчезва проблемът с амортизацията на кабелите и нуждата от тяхната подмяна. Пример за това са кабели на зарядни устройства на преносими компютри в непосредствена близост до куплунзите, където те са най-натоварени механично и се повреждат. Липсват свързващи куплунзи, които се износват и повреждат с времето. Типичен пример за това са USB портовете, чрез които всеки зарежда мобилния си телефон или таблет. При зареждане батериите на електромобили се получава естествено галванично разделяне, което е изключително важно за безопасността.

Доскоро основният проблем беше относително

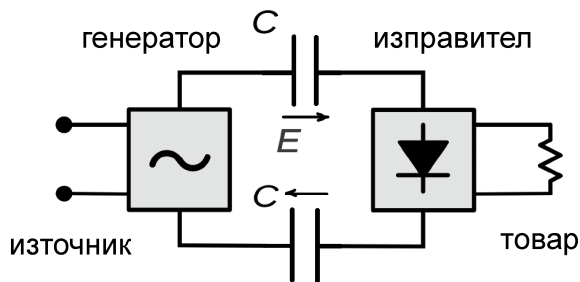
ниския коефициент на полезно действие (КПД), дължащ се на несъвършенствата на полупроводниковите прибори, с които се изграждат преобразувателите. Съвременните MOS транзистори решават до голяма степен тези проблеми. Преобразувателите са мощни, малогабаритни и с възможност за работа при относително високо честоти.

В наши дни се обръща внимание и на проблемът със влиянието върху човека и живата материя. Направени са проучвания по темата, като резултатите са нееднозначни. Тази неяснота произлиза от факта, че са налични различни варианти на изпълнение, ползващи различни принципи на работа. Използва се широк набор от работни честоти – от 10kHz, при индуктивно свързване до 1THz при лазерно предаване. Преодоляването на този проблем се прави, чрез висока степен на свързване, за да има минимално разсейване на полето. Това от своя страна води до повишаване на коефициента на полезно действие.

II. Основни методи за безконтактно предаване на енергия

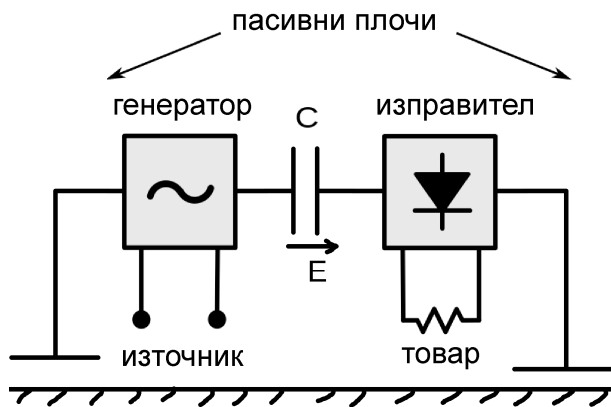
Съществуват различни методи за безжично предаване на електромагнитна енергия – индуктивен, капацитивен, лазерен и други. Различните методи са приложими в определени честотни обхвати.

Капацитивният метод намира относително слабо приложение. Използва се за прехвърляне на ниски мощности на много малки разстояния – от порядъка на няколко милиметра [1]. На фиг.1 и фиг.2 са показани възможни варианти за капацитивно свързване. Първият вариант е биполарно капацитивно свързване – и двете плочи на прехвърлящия кондензатор се намират на хранящото устройство фиг.1.



Фиг.1. Биполарно капацитивно свързване.

Когато вместо една от плочите се използва обща повърхност, на която лежат предавателното и приемното устройство, се формира униполарно капацитивно свързване – фиг.2 и въпросният електрод се нарича пасивен. Земната повърхност също може да изпълнява ролята на пасивен електрод.

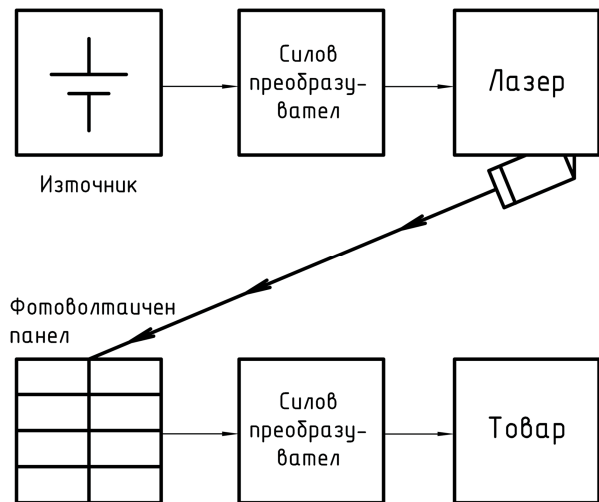


Фиг.2. Униполарно капацитивно свързване.

Микровълновият метод за безжично предаване на енергия е аналогичен на радиопредаването.

Разликата е, че радиопредавателите са с много по-голяма мощност. Излъчването и приемането се осъществява чрез параболични или диполни антени. Използват се честоти от порядъка на един до сто гигагерца. Разстоянията на предаване достигат десетки километри, при мощност десетки киловата.

Лазерният метод се основава на преобразуването на електрическата енергия в светлинна (лазерен лъч) [5], като приемането и преобразуването на тази енергия в електрическа се осъществява чрез фотоволтаичен панел фиг.3.

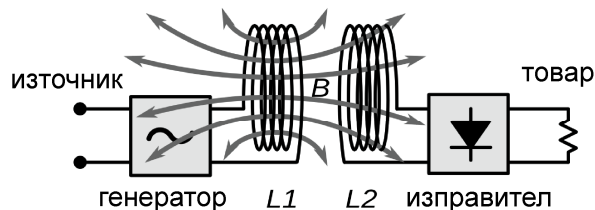


Фиг.3. Лазерно безконтактно предаване на енергия.

Този метод е приложим за много големи разстояния – от порядъка на няколко десетки километра до десетки километри. Мощността на предаваната енергия може да достигне няколко десетки киловата [2]. За съжаление лазерният метод има и сериозни недостатъци. Основният недостатък е ниският коефициент на полезно действие, обособен от ниския такъв на соларните (фотоволтаични) панели. Вторият проблем се състои в това, че лазерът е с голяма енергия и опасен както за живата природа, така и за имуществото. От друга страна, високата концентрация на енергийното поле на лазера е предпоставка за относително малки по размер приемни устройства.

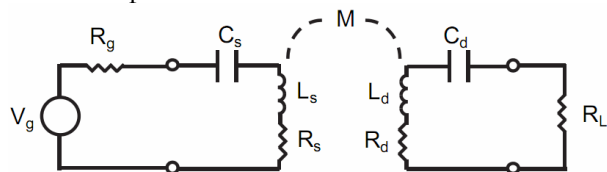
Индуктивните методи намират най-широко разпространение. Те могат да бъдат използвани за предаване на мощности от порядъка от няколко вата до няколко десетки киловата. Принципът на работа е същият, като на трансформаторите с тази разлика, че липсва сърцевина или ако има такава тя е разделена на две части с въздушна междина

равна на разстоянието на предаване. Такава конструкция е показана на фиг.4[3].



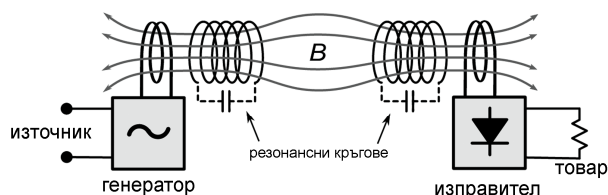
Фиг.4. Блокова схема на индуктивно безконтактно предаване на енергия.

Тук променливият ток в първата намотка L1 създава променливо магнитно поле, което пресича намотката L2. Това поле създава електродвижещо напрежение във втората намотка L2. Напрежението се изправя от изправителя и се подава към товара. Колкото по-висока честота се използва, толкова по-малогоабаритни са приемната и предавателната намотка. Магнитната връзка е слаба при по-големи разстояния, което ограничава предаваната мощност. За постигане на по-висок коефициент на свързаност се използват резонансни кръгове, чрез добавяне на кондензатори към предавателните бобини, получат се кръгове настроени на една и съща честота – фиг.5.



Фиг.5. Схема на индуктивно безконтактно предаване на енергия с резонансни кръгове.

Наличието на резонансни кръгове в предавателната и в приемната част позволява постигането на няколкократно по-големи разстояния на предаване, както и повишаване на коефициента на полезно действие. Втори вариант на индуктивно резонансно свързване е даден на фиг.6. При него трептящите кръгове са отделни от предавателното и приемното устройство. Предавателните и приемните устройства могат да бъдат изпълнени като трептящи кръгове или само като бобини. Ефективно предаване на енергия в този случай може да се достигне на разстояния до няколко пъти по-дълги от диаметъра на бобината[4].



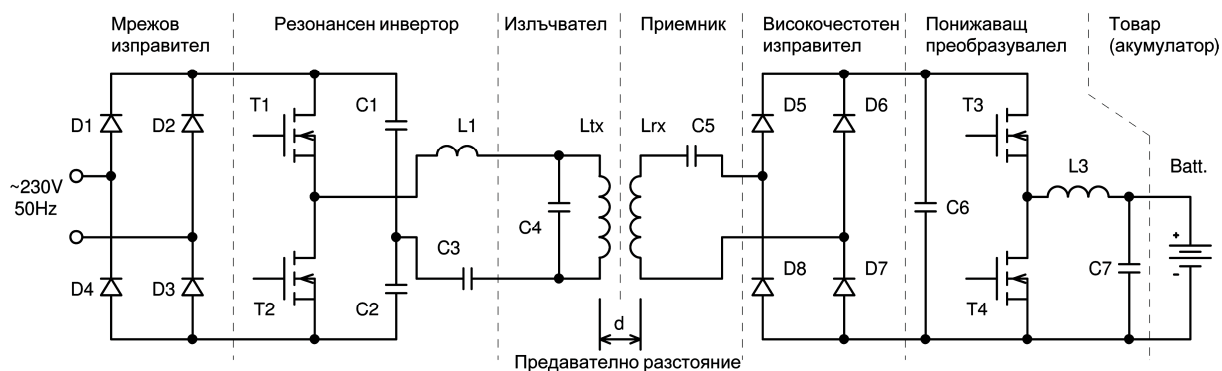
Фиг.6. Схема на индуктивно безконтактно предаване на енергия с отделни резонансни кръгове.

Разгледаните схемни варианти за безконтактно предаване на енергия са сравнени по данни от литературата. Обърнато е внимание на основните им параметри – работното разстояние (разстоянието между предавателя и приемника), работната честота и ефективността (КПД) и влияние върху човека и живите организми. Резултатите са показани в табл.1.

Таблица 1

Сравнение на осреднени стойности на параметрите при различните методи.

параметър метод	Предавателно разстояние	Предавана мощност	Работна честота	Ефективност	Влияние върху човека
Индуктивен	(0,5÷3)cm	5W÷300kW	(20÷100)kHz	(70÷95)%	Слабо
Индуктивен- резонансен	(1÷500)cm	5W÷50kW	(20k÷5M)Hz	(50÷85)%	Слабо до умерено
Капацитивен	(1÷3)mm	(0,1÷10)W	(0,1÷1)MHz	(10÷60)%	Слабо
Микровълнов	(1÷50)km	(0,1÷100)kW	до 300GHz	(30÷60)%	Опасно
Лазерен	(1÷50)km	до 1MW	над 1THz	(40÷50)%	Опасно



Фиг.7. Схема на експерименталната постановка за безконтактно предаване на енергия.

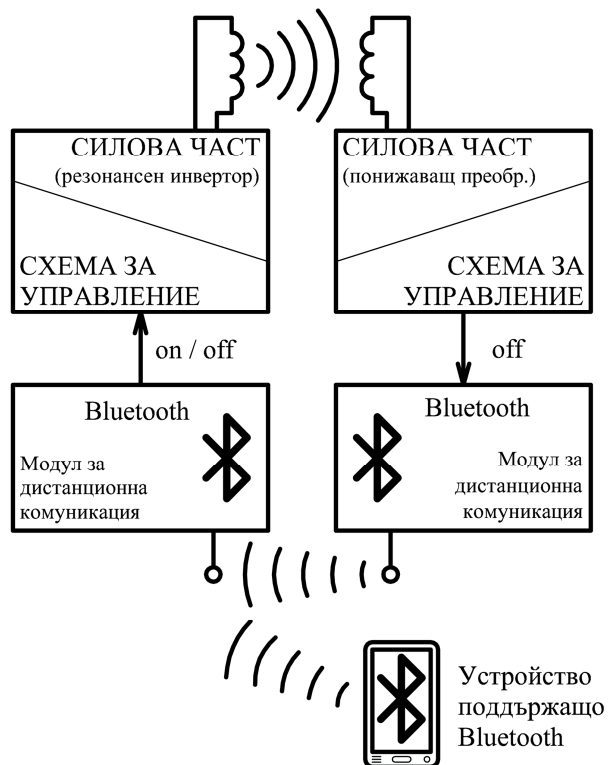
III. Експерименталната постановка и резултати

Функционална схема на експерименталната постановка е показана на фиг.7. На нея са показани всички функционални блокове съставляващи системата за безконтактно предаване на енергия. Опитната постановка се захранва от електрическата мрежа. Мрежовото напрежение се изправя и филтрира, след което се подава на резонансен инвертор изпълнен по полумостова схема. В диагонала на резонансния инвертор е свързан последователен трептящ кръг и излъчвател Ltx, който е част от паралелен кръг. Паралелният кръг е съставен от предавателната бобина Ltx и кондензатора C4. Променливият ток, протичащ през предавателната бобина създава променливо магнитно поле, което достига до приемника. Приемникът представлява последователен резонансен кръг съставен от приемната бобина Lrx и кондензатора C5. Напрежението от изхода на приемния кръг се изправя и подава на понижаваш преобразувател на постоянно напрежение в постоянно. Чрез него напрежението и токът се настройват в съответствие с режима за зареждане на пакета от акумулаторни батерии.

Опростен вариант на схемата за управление представлява импулсен генератор с възможност за регулиране на честотата. Предвидена е защита от претоварване по ток на силовите транзисторите на полумостовата схема, защита от пренапрежение на понижавачия преобразувател на постоянно напрежение в постоянно, който се намира в приемната част. Това пренапрежение може да възникне при прекомерно скъсяване на предавателното разстояние. Филтровите

кондензатори се зареждат през последователно свързан термистор. След определено време термисторът се шунтира от реле с цел намаляване на загубите. Така се осигурява плавно зареждане на филтровите кондензатори на мрежовото напрежение.

Тъй както предаването на енергия е безжично, така и комуникацията между отделните модули трябва да става безжично (фиг.7). Комуникацията се осъществява посредством стандарта Bluetooth™.

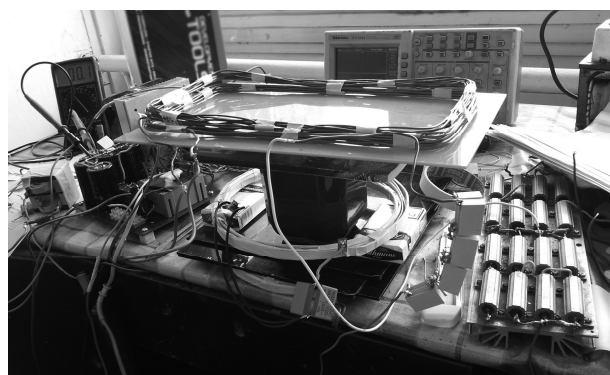


Фиг.8. Блокова схема – комуникация по Bluetooth.

Силовата част на предавателния модул може да се включва и изключва от Bluetooth модула за дистанционна комуникация. При достигане на пълен заряд на акумулаторните батерии дистанционния модул на приемната част подава сигнал за изключване на предавателната част. Управлението може да се извършва и чрез всякакво устройство, поддържащо Bluetooth стандарт.

IV. Експериментални условия и резултати

Снимка на постановката е показана на фиг. 9. Експериментът е проведен при фиксирано предавателно разстояние.



Фиг.9. Снимка на експерименталната постановка.

Снети са основни параметри на входа и изхода на системата във функция на товара – Rout. Параметрите са следните:

- Uout – Изправено и филтрирано напрежение на изхода на високочестотния изправител (върху C6);
- Uin – Изправено и филтрирано напрежение на изхода на мрежовия изправител;
- Iin – Ток консумиран от резонансния инвертор;
- Iout – Ток консумиран от преобразувателя на постоянно напрежение в постоянно;
- Pout=Uout.Iout – Изходна мощност;
- Pin=Uin.Iin – консумирана от мрежата мощност;
- Eff= Pout/ Pin – КПД (ефективност).

Изследването е проведено при следните условия:

- Захранващо напрежение - мрежовото – 230V, 50Hz;
- Разстояние на предаване – d=115mm;
- Предавателната бобина – кръгла с диаметър D≈260mm

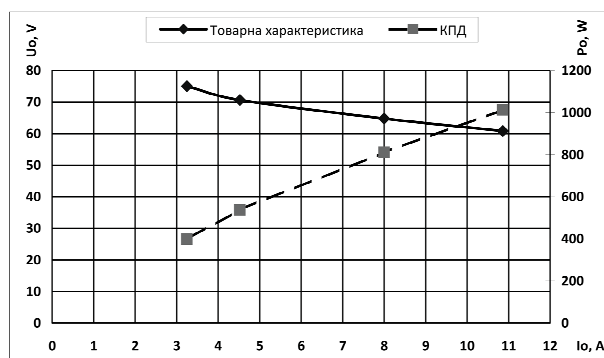
- Приемна бобина – правоъгълна с размери (180x320)mm;
- Центроване на приемната и предавателната бобина с грешка под 10mm;
- Работна честота на инвертора – $f \approx 100\text{kHz}$;
- Товар 1 – акумулаторна батерия: 10 клетки Li-Ion, 22Ah, Umax=42.5V;
- Товар 2 – мощни резистори.
- Включването и изключването на системата се осъществява посредством мобилен телефон с Bluetooth.

В табл.2 и фиг.10 са онагледени получените резултати от измерванията.

Таблица 2

Входни и изходни данни от направения експеримент.

Rout, Ω	Uout, V	Uin, V	Iin, A	Iout, A	Pout, W	Pin, W	Eff, %
5,6	60,8	235	4,32	10,86	660	1013	65,2
8,1	64,8	237	3,42	8,00	518	811	64,0
15,6	70,6	239	2,25	4,53	320	538	59,4
23,1	75,0	240	1,66	3,25	244	398	61,1



Фиг.10. Блокова схема – комуникация по Bluetooth.

Направено е измерване на предаваната мощност при недобро позициониране на приемната спрямо предавателната бобина:

- При преместване по дългата страна с $\pm 10\text{cm}$ изходната мощност спада с до 5%;
- При преместване по късата страна с $\pm 4\text{cm}$ изходната мощност спада с до 7%.

Наблюдавано е влиянието на системата върху Bluetooth модулите за комуникация. Резултатът е, че комуникационните модули не се влияят съществено от полето на предавателната бобина. Разстоянието от което може да се командва системата е около 6m, при максимално разстояние по стандарта Bluetooth 10m.

Последната част от изследването се състои в измерване времето на зареждане на батерийния пакет от 0% до 100%. Това става за $t=155\text{ min}$.

V. Заключение

Избран е резонансен преобразувател за реализация на система за безжично предаване на енергия. Преобразувателят е с много висок к.п.д. – над 95%.

По избрания принцип на прехвърляне на енергията се получават задоволителни резултати по отношение на ефективност и мощност при разстояния до 120mm.

В товарната характеристика се наблюдава очакван спад на напрежението при увеличаване на консумирания ток.

Най-добра ефективност се получава при максимална мощност.

Точността на позициониране не оказва съществено влияние при разместване геометричните центрове на бобините до 4cm един от друг. При разместване повече от 5cm предаваната мощност започва да намалява.

За в бъдеще ще се работи по повишаване на ефективността и увеличаване на изходната мощност. Системата за комуникация ще бъде усъвършенствана и ще дава възможност за двупосочна комуникация и следене на параметрите на системата.

Тъй като точността на позициониране оказва влияние на предаваната изходна мощност се налага реализирането на подсистема за асистиране при позициониране (подобно на парктроник системите при автомобилите).

Благодарности

Тази разработка е реализирана с подкрепата на Технически университет – София, по проект 162ПД0007-03.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Harakawa, Kenichi (2014). Wireless power transmission at rotating and sliding elements by using the capacitive coupling technology. 2014 ANSYS Electronic Simulation Expo October 9–10, 2014, Tokyo. ExH Corporation

[2] Stanimir S. Valtchev, Elena N. Baikova, Luis R. Jorge (December 2012). Electromagnetic field as the wireless transporter of energy. Facta Universitatis Ser. Electrical Engineering (Serbia: University of Niš) 25 (3): 171–181.

[3] Bert Lenaerts, Robert Puers. Omnidirectional inductive powering for biomedical implants.

[4] Zhong W.X., Lee C.K. and Hui S.Y.R. General Analysis on the Use of Tesla's Resonators in Domino Forms for Wireless Power Transfer. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.60, No.1, January 2013, pp: 261-270

[5] Concepts for wireless energy transmission via laser Leopold Summerer, Oisín Purcell ESA - Advanced Concepts Team Keplerlaan 1, NL-2201AZ Noordwijk, The Netherlands, sep 2009.

Димчо Хвърчилков е от кат. „Силова електроника“, ФЕТТ при Технически университет – София
e-mail: hvarchilkov@gmail.com