

Изследване на елементи от система за безконтактно предаване на енергия

Димчо Хвърчилков*, Владимир Димитров*, Димитър Арnaudов*

*Технически Университет София, Факултет по Електроника, София 1000, България, бул. „Кл. Охридски“ 8, бл. 1, e-mail: hvarchilkov@gmail.com

Abstract. *Examination of wireless power transfer system (WPT) elements (Dimcho Hvarchilkov, Vladimir Dimitrov, Dimitar Arnaudov). In this paper, the power converter parameters varying due to the distance between the transmission and the receiving coils changing in WPT system is investigated. The examinations are made with different geometry of the transmission and the receiving coil and different distance between them. The results are illustrated in tables and charts. Conclusions about preliminary design of WPT systems, using simulation methods are made and how this approach helps for transmission and receiving devices choice. For additional information, please contact. e-mail: hvarchilkov@gmail.com, Tel:+359 896 269 002.*

Резюме. *Изследване на елементи от система за безконтактно предаване на енергия (Димчо Хвърчилков, Владимир Димитров, Димитър Арnaudов). В доклада е представено изследване на промяната на параметрите в силовите преобразуватели при промяна разстоянието между предавателната и приемната антената в система за безконтактно предаване на енергия. Изследванията са направени при различна геометрия на предавателя и приемника и различно разстояние между тях. Получените резултати са показани в таблици и графики. Направени са изводи за възможността за използване на симулационни методи за предварителен анализ на системи за безконтактно предаване на енергия, както и подбор на приемни и предавателни варианти. За повече информация e-mail: hvarchilkov@gmail.com, тел: +359 896 269 002.*

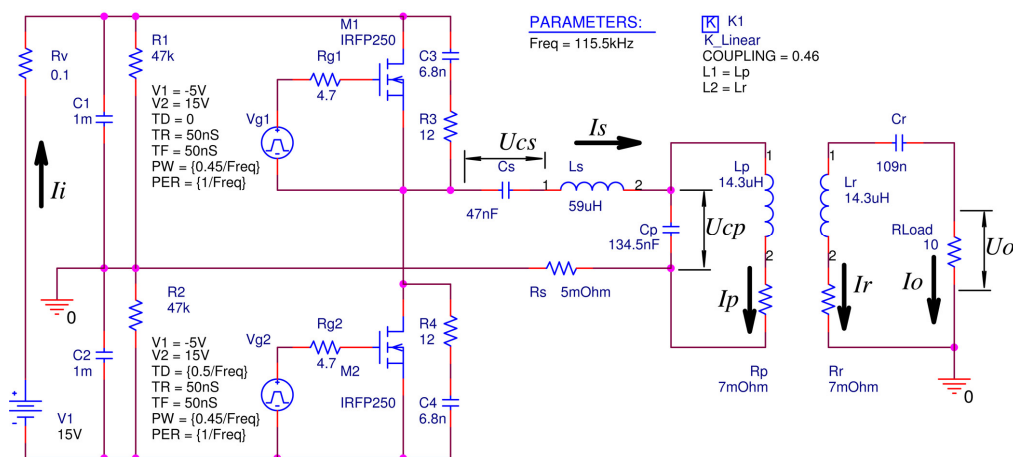
Въведение

В наши дни системите за безконтактно предаване на енергия /wireless power transfer (WPT)/ добиват все по голяма популярност в много области от електрониката. При такъв тип предаване на енергия липсват свързващи проводници между източника и консуматора[1]. Това означава, че изчезва необходимостта от куплунзи и букси, което намалява вероятността за отказ на системата. Системите за WPT се използват за много цели, като безконтактно зареждане на смартфони или електрически четки за зъби, в дома ни, зареждане батериите на електрически задвижвани превозни средства в транспорта, както и много други. Методът може да бъде безценен при хранване на модули в херметически затворени пространства, ш космоса и медицината[2][3], както и при хранване на постоянно движещи се машинни части в индустрията. Измежду многото разновидности WPT, най-голямо приложение е намерил

индуктивният метод, поради възможността да се предава относително голяма мощност, при висок КПД [4].

Важен параметър при системите WPT е коефициента на магнитна връзка k , между предавателната и приемната намотка. Той показва, каква част от създадената от предавателна намотка магнитна енергия бива прихваната от приемната намотка[1]. Оттук произлиза и факта, че КПД, както и режима на силовия преобразувател са пряко зависими от k .

По ранни проучвания показват, че коефициента на магнитна връзка зависи предимно от разстоянието между предавателната и приемната намотка, относителният ъгъл между намотките, отместването на геометричните центрове на намотките и средата на разпространение на магнитното поле [5][6]. Тези четири променливи правят анализа на системата много сложен в някои реални случаи. Пример за система, чиито анализ би бил сложен е такава, използваща намотки с различна геометрия със странично отместени



фиг. 1 - Основна схема на опитната постановка.

геометрични центрове. Друг случай, труден за анализ е когато средата на разпространение на магнитното поле е нелинейна, например, магнитопровод с голяма въздушна междина и феритни концентратори. Естествено, най-сложен е варианта, при комбинация от тези фактори, което често се явява практическият случай.

Аналитичните подходи за намиране на коефициента на магнитна връзка са безпогрешни, когато имаме не много сложна система. Решението в този случай е бързо и със сравнително точност. При по-сложни проблеми, аналитичните методи са трудни за решаване, ако не се направят известни опростявания, а това неимоверно сваля точността. При много случаи аналитичните методи са неприложими.

От друга страна, симулационният анализ, използващ методът на крайните елементи /finite element analysis (FEA)/, дава възможност за решаване на много сложни проблеми. Недостатъкът на този метод е, че изчислителното време е дълго и изискванията към изчислителната станция високи - мощни и много на брой процесори и много оперативна памет.

В този труд ще бъде показана възможността за предварителен анализ на цялата система за WPT, включваща силовите преобразуватели и въздушният трансформатор. За установяване на коефициента на магнитна свързаност k , между предавателната и приемната намотка, ще бъде използван симулационният програмен пакет "ANSYS® - Electronics desktop". Модулът за постоянноточови и нискочестотни електромагнитни анализи е "Maxwell®". Резултатите ще бъдат сравнени с практически измервания на реална съществуваща система.

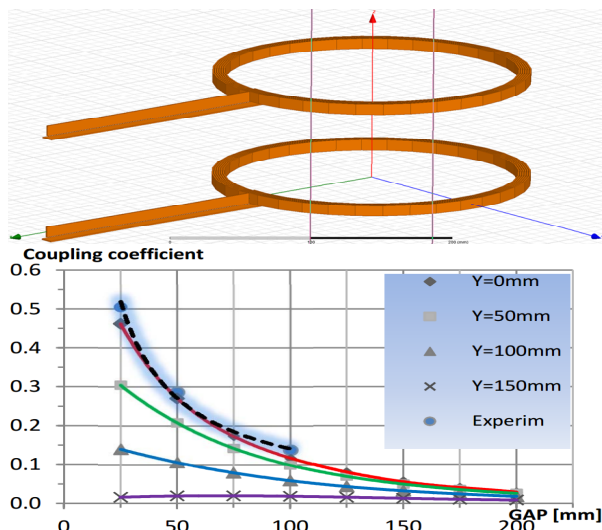
Опитна постановка

1. Основен модел и схема

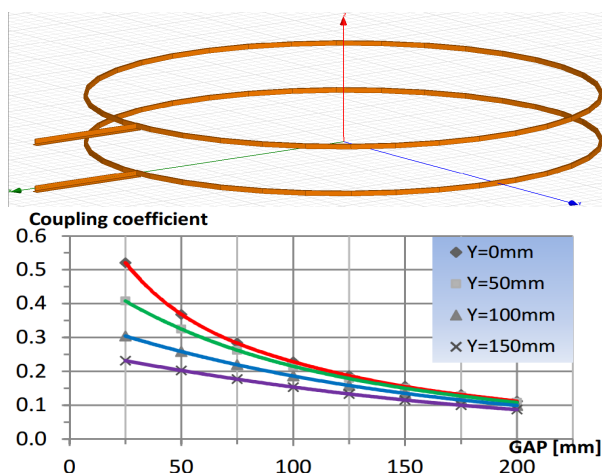
Една и съща схема е използвана както за симулационното изследване, така и за практическите измервания и е показана на фиг. 1. Реализиран е полумостов резонансен инвертор. Работната честота е 115,5kHz, товарното съпротивление 10Ω и захранващото напрежение е 15V, като е занижено 20 пъти с цел безопасност по време на експеримента. Работното разстояние между приемната и предавателната намотка (Gap) се променя, като се записват основни величини от схемата. Това са входни и изходни стойности на ток и напрежение, ток през последователният трептящ кръг, ток през предавателната намотка, изходен ток, напрежения върху кондензаторите и изхода. Всички означения са изяснени на схемата от фиг. 1, като токовете са показани със стрелки, а напреженията с размерни линии. Приемната и предавателната намотка са коаксиално разположени. Симулационното изследване на електронната схема е направено в средата OrCAD, PSpice. Електромагнитния анализ е направен в средата ANSYS, Maxwell.

Получените от електромагнитните симулации по FEA метод коефициенти на магнитна свързаност се прехвърлят в средата за електронна симулация PSpice. Симулациите и режима на работа се отнасят само за конкретната стойност на k . На фиг. 2 е показан вариант на две кръгли намотки с диаметър 220mm и k във функция на разстоянието между намотките и ексцентричното отместване. Кривата "Experim" е практически измерена, върху реалния модел и показва корелация между симулираните резултати и реалните измерени. На Фиг. 3 са показани същите данни за две еднакви намотки с диаметър 800mm

и стойности на индуктивността еднакви с тези на малкия комплект намотки.



Фиг. 2 - Изглед на приемна и предавателна намотка с диаметър 220mm и графично представяне на k .



Фиг. 3 - Изглед на приемна и предавателна намотка с диаметър 800mm и графично представяне на k .

В текущата работа са показани два примерни варианта на въздушния трансформатор. Направени са изследвания за много разновидности на приемните и предавателни намотки с различни геометрични параметри даващи стойност за k . Тези данни са показани в друг материал.

2. Физическо изпълнение на системата

За целта е използван полумостов резонансен инвертор реализиран по същата схема от фиг. 1. Всички измервания са направени с комплекта приемна и предавателна намотки с диаметър 220mm. Снимка на реалната опитна постановка е показана на фФиг. 4. Захранването на входа се

поддържа постоянно. Измерванията на максималните стойности на напреженията и токовете са направени с осцилоскоп и токова сонда. Средните стойности на входното напрежение и ток са измерени с цифрови мултиметри. Изходното напрежение върху товара е измерено с високочестотен цифров мултиметър (с True RMS).

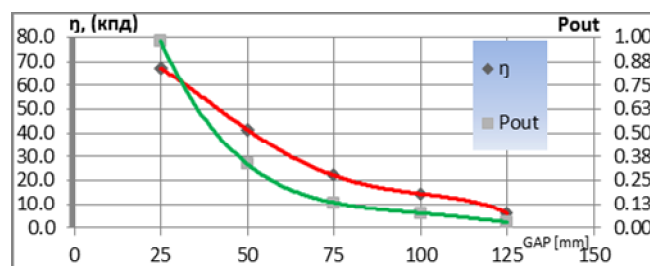


Фиг. 4 - Снимка на опитната постановка.

Товарното съпротивление е нискоиндуктивно за да се намалят грешките от измерване и да не се променя режима на работа на изходната верига. Изходният ток е измерен косвено, чрез пада на напрежение върху товара. По време на експеримента са направени пробни измервания, като преди товарното съпротивление е поставен високочестотен мостов изправител с капацитивен филтър. Целта на последното е да се установи какво е влиянието на изправителя и капацитивния характер на товара.

Резултати

Данните от симулационното и практическото изследване са дадени в табличен и графичен вид. В таблиците са дадени всички стойности на изследваните величини от схемата. На графиките са построени коефициента на полезно действие (КПД) и абсолютната стойност на изходната (P_{out}) мощност във функция на разстоянието между приемната и предавателната намотка (GAP).



Фиг. 5 - Графично представяне на изходната мощност и КПД от разстоянието (По симулационни данни).

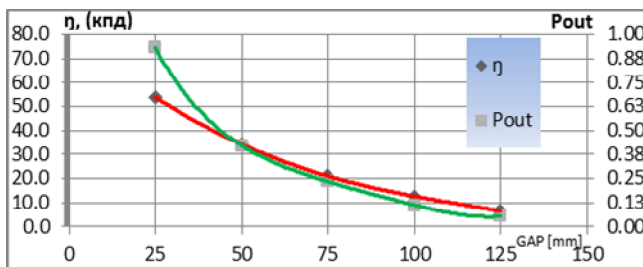
Таблица 1 - Резултати от симулационното изследване.

Gap	k	$I_{p,max}$	$I_{s,max}$	Ucs	Ucp	Uo	Io	Ui	Ii	Pin	Pout	η
mm	-	mA	mA	V	V	V	A	V	mA	W	W	%
25	0.46	946	226	6.00	10.6	3.13	0.31	15	97	1.46	0.98	67.3
50	0.27	941	98	2.10	10.1	1.83	0.18	15	54	0.81	0.33	41.3
75	0.17	937	58	0.97	9.9	1.15	0.12	15	40	0.6	0.13	22.0
100	0.13	937	48	0.81	9.9	0.88	0.09	15	36	0.54	0.08	14.3
125	0.08	936	39	0.69	9.8	0.54	0.05	15	31	0.47	0.03	6.3

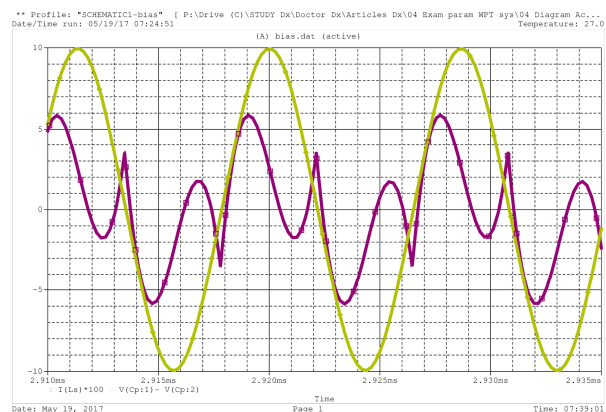
Таблица 2 - Резултати от практическото изследване.

Gap	k	$I_{p,max}$	$I_{s,max}$	Ucs	Ucp	Uo	Io	Ui	Ii	Pin	Pout	η
mm	-	mA	mA	V	V	V	A	V	mA	W	W	%
25	0.46	880	200	7.60	10.0	3.05	0.31	14.4	120	1.73	0.93	53.8
50	0.27	860	114	3.70	10.8	2.05	0.21	14.3	86	1.23	0.42	34.2
75	0.17	900	88	2.44	11.0	1.53	0.15	14.9	75	1.12	0.23	20.9
100	0.13	720	60	1.72	10.2	1.06	0.11	14.1	63	0.89	0.11	12.6
125	0.08	860	50	1.16	10.4	0.74	0.07	14.1	60	0.85	0.05	6.5

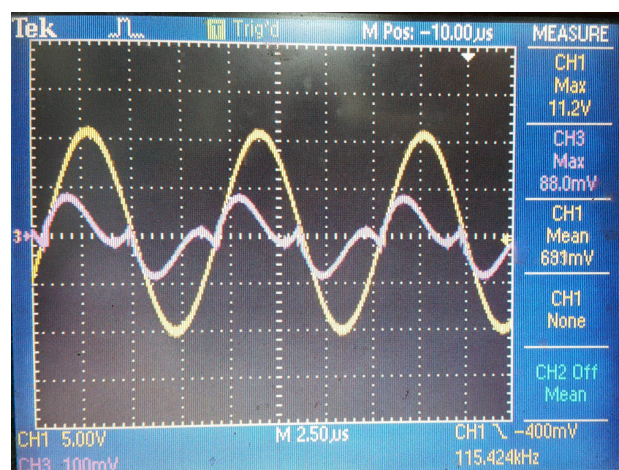
На Фиг. 5 и в Таблица 1 - Резултати от симулационното изследване. са дадени резултатите от симулационното изследване, а на Фиг. 6 - Графично представяне на изходната мощност и КПД от разстоянието (По практически данни). и в Таблица 2 са дадени стойностите от практическите измервания. Означенията на величините са оказани на схемата от фиг. 1 - Основна схема на опитната постановка. Измерванията са проведени при концентрично разположени предавателна и приемна намотка.



Фиг. 6 - Графично представяне на изходната мощност и КПД от разстоянието (По практически данни).



Фиг. 7 - Времева диаграма от симулацията.



Фиг. 8 - Осцилограми от практическото измерване.

Снети са и осцилограми във възлови точки от схемата показващи режима на работа. Това са формите на напрежението върху паралелния кръг – L_p - C_p , както и тока през

последователния – Ls - Cs. На Фиг. 7 са показани времедиаграмите при симулационния вариант, а на Фиг. 8 са показани осцилограмите от реалното изследване.

Заклучение

От времедиаграмите от симулационното изследване и осцилограмите снети от практическите измервания може да се види, че инверторът работи в един и същ режим и в двата случая. Данните от симулационното изследване и практическите измервания съвпадат до голяма степен. Тези факти позволяват използването на въпросния подход за компютърно моделиране в процеса на проектиране и изучаване на системи за индуктивно безконтактно предаване на електрическа енергия. Използването на въпросния подход в периода на ранно проектиране може да спести време и средства за разработване и изпитване на приемните и предавателни антени, както и да даде предварителна информация за очакваните резултати.

По време на проучването беше установено, че гасящите групи на мощните транзистори M1 и M2, могат значително да влияят на коефициента на полезно действие при малки мощности, поради това че загубите в тях са съизмерими, дори по-големи от полезната мощност. Причината в случая се състои в това, че използваният силов преобразувател е с заложена мощност много по-голяма от изследваната.

Беше установено, че симулационното изследване и практическите измервания могат да се извършат при активен товар във вторичната (приемна) част, без това да се отразява значимо върху режима на преобразувателя. В реални условия в изхода има мостов изправител и кондензаторен филтър, преди

товара. Резултатите са почти идентични в двата случая, при избраната принципна схема.

Благодарности

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

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Rafael Mendes Duarte, Gordana Klaric Felic, "Analysis of the Coupling Coefficient in Inductive Energy Transfer Systems", Active and Passive Electronic Components Volume 2014, Article ID 951624, 6 pages, 17 June 2014.
- [2] Gabriel Vazquez Ramos, Jiann-Shiun Yuan, "Wireless Power Transfer for Space Applications", NASA Kennedy Space Center, Cocoa Beach, FL, United States..
- [3] Pyungwoo Yeon, S. Abdollah Mirbozorgi, Bruce Ash, Helmut Eckhardt, Maysam Ghovanloo, "Fabrication and Microassembly of a mm-Sized Floating Probe for a Distributed Wireless Neural Interface", 1 September 2016, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30308, USA.
- [4] A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J. D. Joannopoulos, P. Fisher, M. Soljačić, "Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances," Science, vol. 317, no. 5834, pp. 83–86, 2007.
- [5] Ki-Bong Kim, Zivan Zabar, Senior Member, Leo Birenbaum, "Mutual Inductance of Noncoaxial Circular Coils with Constant Current Density", IEEE transactions on magnetics, vol. 33, no. 5, pages 4303-4309, September 1997.
- [6] Vissuta Jiwariyavej, Takehiro Imura, Yoichi Hori, "Coupling Coefficients Estimation of Wireless Power Transfer System via Magnetic Resonance Coupling using Information from Either Side of the System", University of Tokyo, Japan.