

个人背景及科研经历简介

傅旻帆：博士研究生

个人主页：<http://www.minfanfu.icoc.cc/>

上海交通大学密西根学院

动态系统控制实验室

<http://umji.sjtu.edu.cn/lab/dsc/>



JOINT INSTITUTE
交大密西根学院

- 个人简历
- 密西根学院简介
- 研究团队
- 项目经历
- 具体科研经历及成果
- 论文发表
- 获奖及荣誉



教育背景

- 2006.9-2010.6, 本科, 上海交通大学密西根学院, 电气信息类, GPA: 3.75, 排名: 3/79;
- 2010.9-2013.3, 硕士, 上海交通大学密西根学院, 电子科学与技术, GPA: 3.88, 排名: 3/14;
- 2013.3-至今, 博士在读, 上海交通大学密西根学院, 电子科学与技术, GPA: 3.84, 排名: 4/12。

生日: 1987.10.27

籍贯: 福建省南平市

祖籍: 浙江省浦江县

科研方向: 兆赫兹无线电能传输, 能源系统控制与优化, 高频功率转换电路

实验室: 上海交通大学密西根学院动态系统控制实验室

密西根学院（2006-至今）



本科生项目：2006年
研究生项目：2010年



第一届本科生(2010)



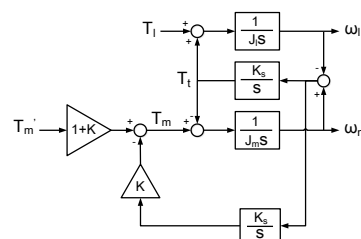
第一届研究生 (2013)



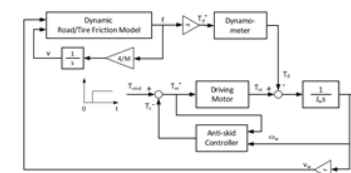
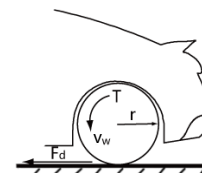
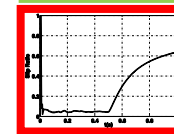
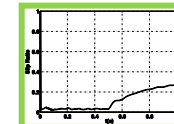
动态系统控制实验室



动态系统控制实验室

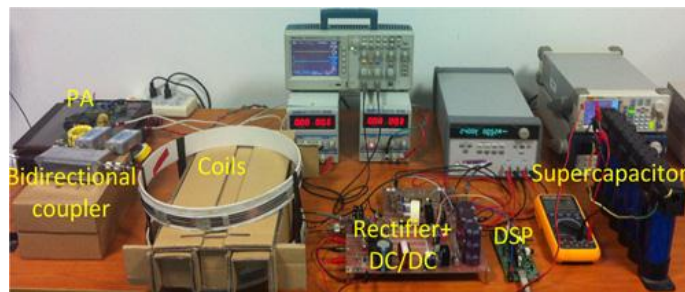
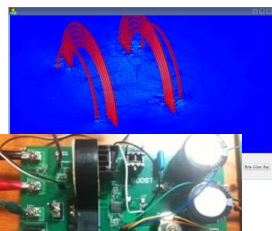


1. 运动与电机控制



2. 电动汽车动力学

5 博士, 4 硕士



3. 混合能源系统

4. MHz无线电能传输系统

运动与能源的控制

无线充电研究团队



Chengbin Ma
Assistant Professor

马澄斌

Office 219

Tel +86-21-34206209

Fax +86-21-34206525

Email chbma@sjtu.edu.cn

Webpage <http://umji.sjtu.edu.cn/lab/dsc>

Education

- Ph.D. Electrical Engineering, The University of Tokyo (2004)
- M.S. Electrical Engineering, The University of Tokyo (2001)
- B.S. Industrial Automation, East China University of Science and Technology (1997)



Xinen (Alfred) Zhu
Assistant Professor

朱欣恩

Office 223

Tel +86-21-34206733

Fax +86-21-34206525

Email zhuxinen@sjtu.edu.cn

Education

- Ph.D. Electrical Engineering, University of Michigan (2009)
- M.Sc. Electrical Engineering, University of Michigan (2005)
- B.Eng.(Honor) Electronic and Communication Engineering, City University of Hong Kong (2003)

研究生 (博士生4名, 硕士生2名):



傅旻帆, D5
fuminfan@sjtu.edu.cn



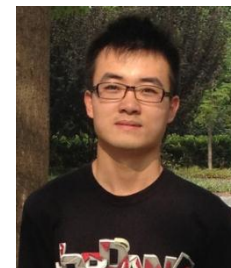
尹赫, D3
yyy@sjtu.edu.cn



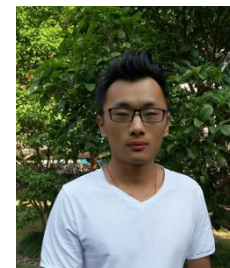
刘双可, D2
liushuangke@sjtu.edu.cn



刘明, D2
mikeliu@sjtu.edu.cn



唐泽帆, M2
zftang@sjtu.edu.cn



付信宏, M1
xinhongfu@sjtu.edu.cn

项目经历



- **2014.08~2015.01:** 英特尔（美国） 项目负责人
在**A4WP**标准下，开发具备**自动匹配的E类功率放大器**，**低EMI的E类整流器**，探寻基于DC-DC的系统控制方法。
- **2012.12~2013.06:** 英特尔（上海） 项目负责人
测试分析Intel第一代无线充电平台；评估各种磁材料对线圈传输特性及整个系统的影响。
- **2011.12~2012.10:** 博尊电机 项目成员
碟式大功率(60KW)电动巴士电机控制器的设计：主电路(逆变器)仿真及计算电气参数，合理选择逆变开关驱动等主电路元件。
- **2011.05~2012.09** 贵弥宫 项目成员
锂电池及超级电容混合储能系统控制优化：辅助设计电池与超级电容间DC/DC变换器。
- **2011.01~2011.10** 上海通用汽车 项目成员
参与测试国内最常用的**10组**车载电池及电机的特性：电池方面包括各种高低温实验，不同负载充放电实验；电机方面包括堵转，空转，最大功率下运行等基本测试。

具体科研经历及成果



- 研究背景
- 无线充电早期研究(2010)
- 13.56 兆赫兹无线充电系统最优负载静态控制 (2011-2012)
- 13.56 兆赫兹无线充电系统最优负载动态追踪 (2013)
- 多线圈耦合系统最优负载分析 (2013-2014)
- 交叉耦合下多线圈系统补偿 (2014)
- 新型高频高效率E类整流器 (2015)
- 带储能的高效率兆赫兹无线充电系统 (2015)
- 多接收线圈充电系统—同时充电 (进行中)
- 多接收线圈充电系统—轮替充电 (进行中)

- 能量传输: 相比较与传统能源, 电能能够更有效的传输与转换;
- 短期内电池的储能能力不会有革命性提升, 各类产品的能耗却不断增大, 无线充电可以缓解这一矛盾。

无线充电的优点:

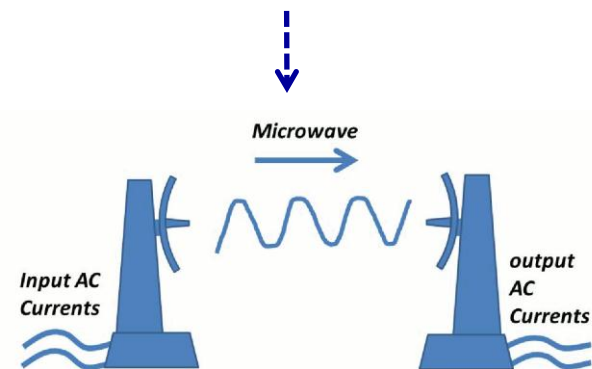
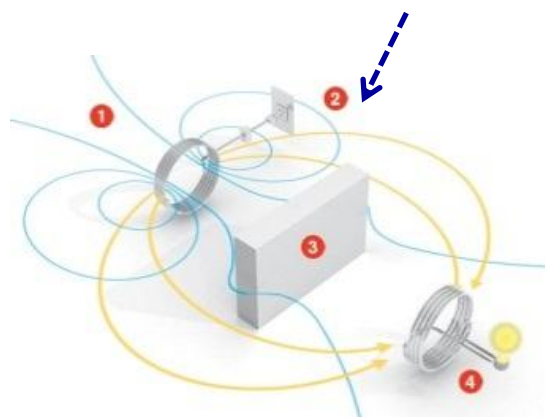
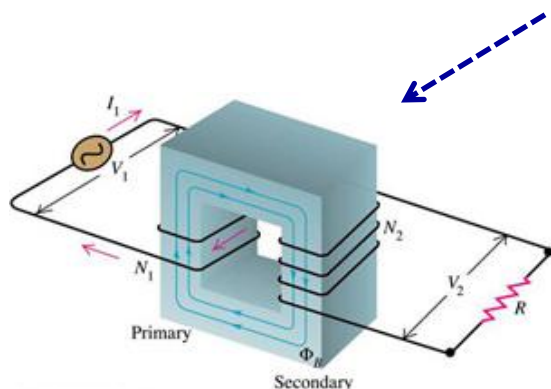
1. 便携性;
2. 减少在插座等直连供电上的费用;
3. 封闭式设计: 电路可避免被氧气及水腐蚀;
4. 特殊场合的应用: 无菌, 旋转, 移动;
5. 特殊环境: 潮湿, 多尘.



无线充电技术比较



	电磁感应		微波
原理	强耦合 (非谐振)	弱耦合 (谐振)	电磁波
典型应用	变压器	磁谐振传能	波导, 天线
特点	极近距离, 极高效率	中小距离, 高效率	小功率, 长距离, 低效率

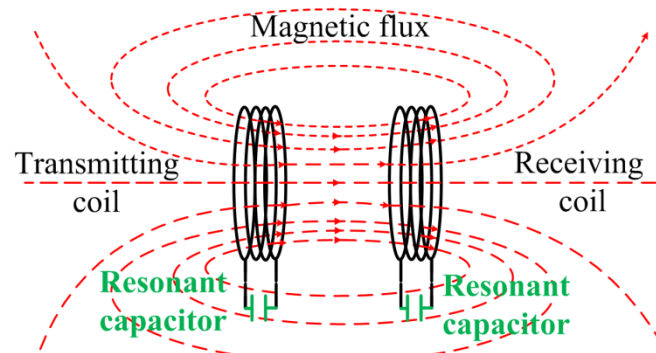


谐振式无线充电基本原理



能量在线圈中的传输能力(AC-AC): $f \cdot k \cdot L$

频率(f)	电路设计复杂度
耦合系数(k)	空间自由度
线圈电感 (L)	线圈大小, 重量



典型系统构架 (kHz~MHz)

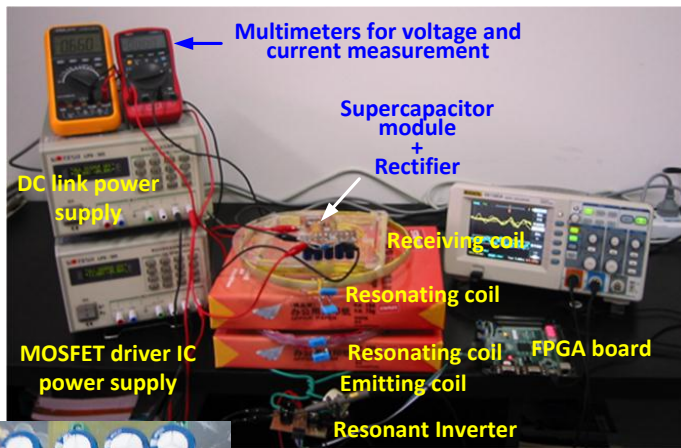


- MHz 系统: 系统轻量化小型化, 空间自由度高, 适合于中小功率传输 (小于 100W), 能够实现一对多同时充电;
- 交叉学科: 电力电子+ 射频微波 + 控制+ 优化。

(1) 2010年起的初期研究探索



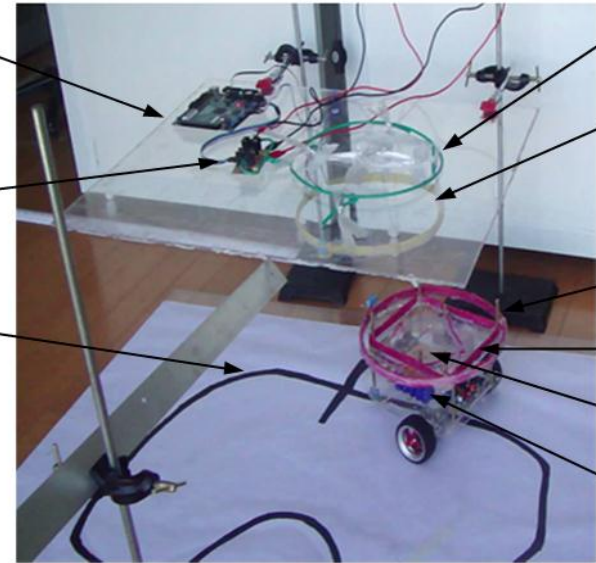
Gap (cm)	5.6	10.1	14.8	19.3	24.1	28
Efficiency (%)	88.84	93.32	93.69	92.53	88.07	70.04
F_m (MHz)	13.59	14.74	15.27	15.71	16.11	16.08
F_e (MHz)	19.87	17.85	17.01	16.51	16.11	16.08



1MHz PWM input
signal generation
FPGA board

High frequency
Resonant Inverter

Vehicle track



Emitting coil
(T1)

Repeating coil
(T2)

Repeating coil
(T3)

Receiving coil
(T4)

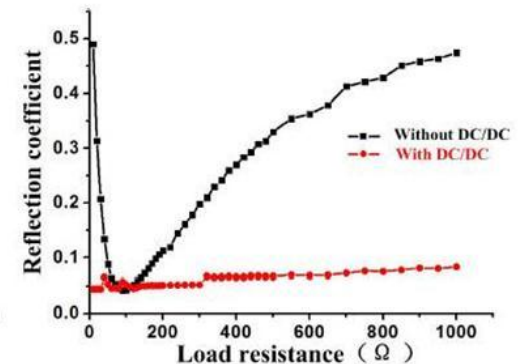
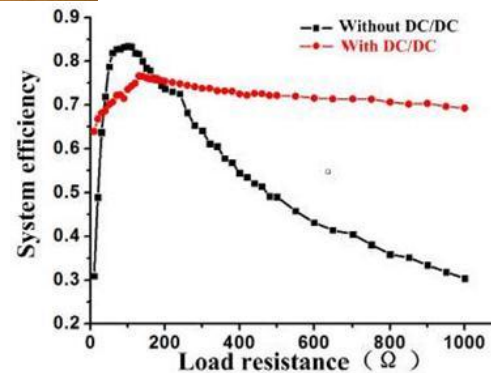
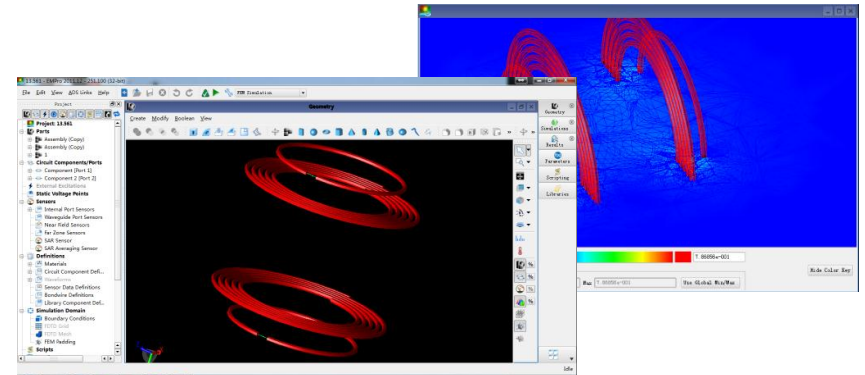
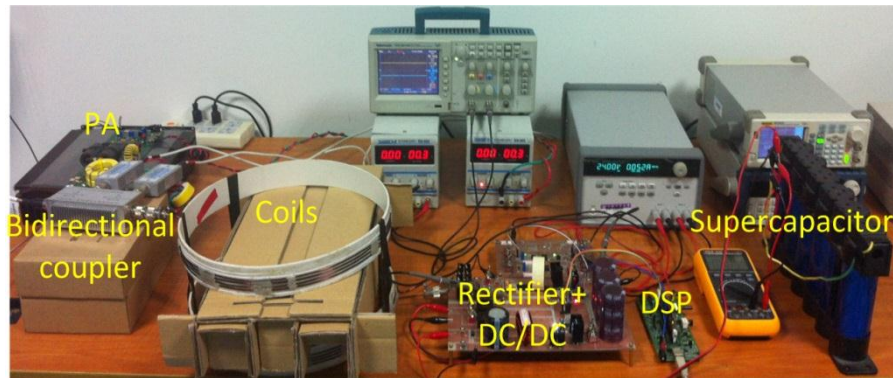
High frequency
rectifier

Supercapacitor
module

(2. 1) 13. 56MHz无线充电系统



- 13.56MHz无线电能传输系统 (< 40 watts, 70%)
 - 最优负载分析与静态/动态控制
 - 负载优化控制的电路

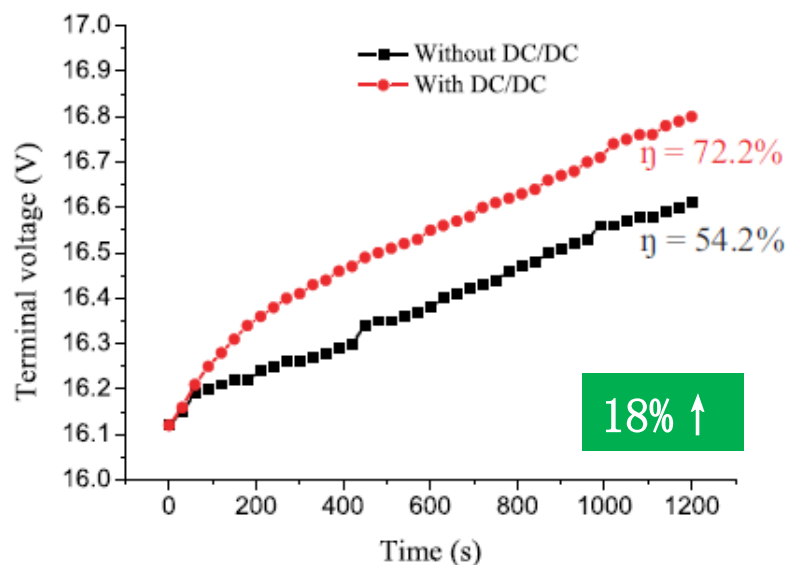


(2.2) 对电池/超级电容充电



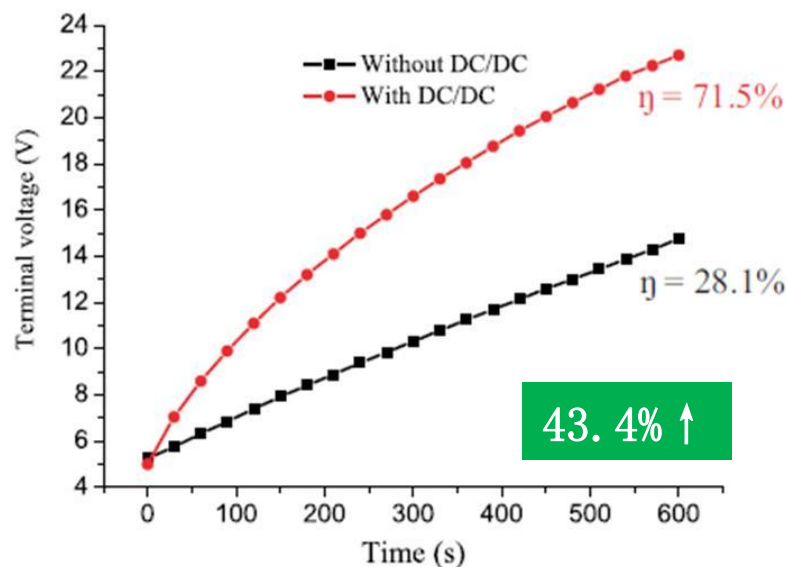
- 在固定线圈位置的情况下充电效率得到了极大的改善。

电池



Batteries charging improvement using the cascaded boost-buck DC-DC converter.

超级电容



Ultracapacitors charging improvement using the cascaded boost-buck DC-DC converter.

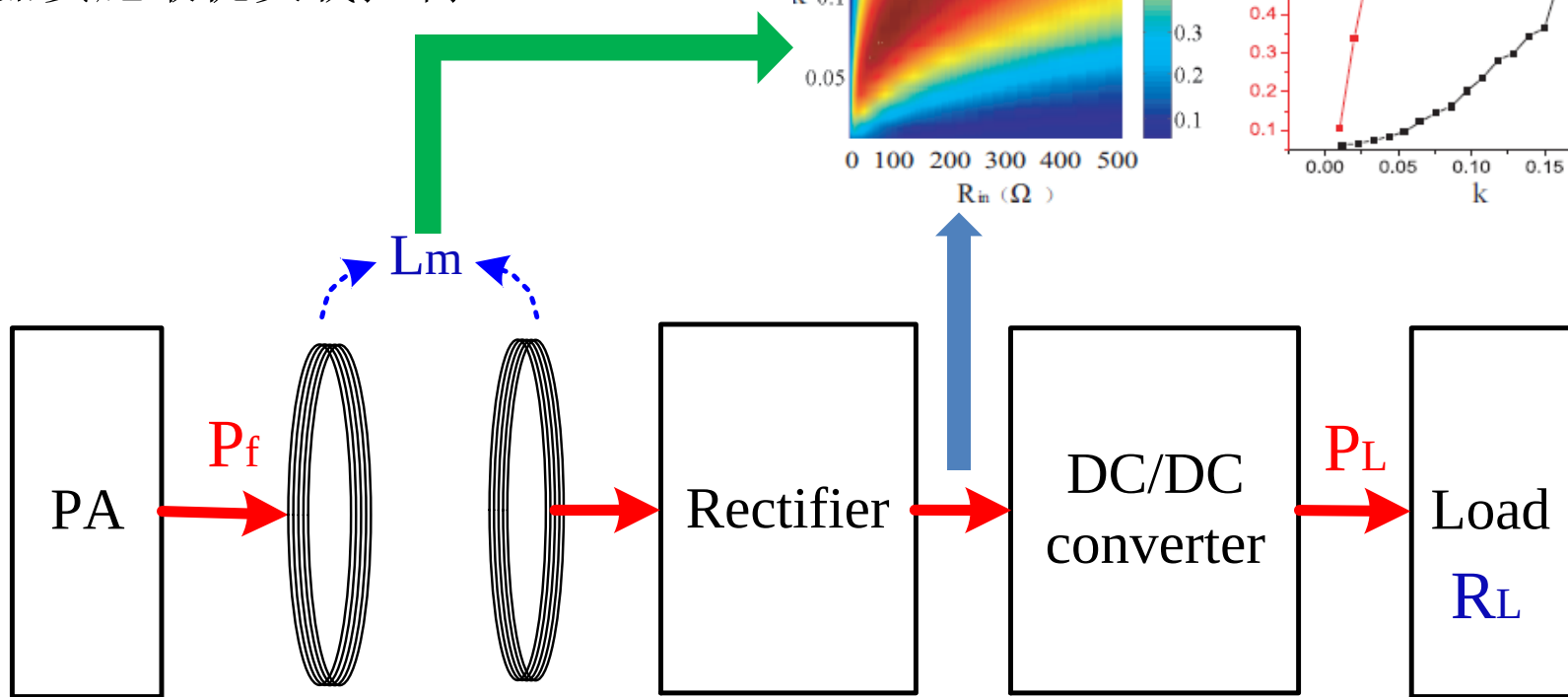
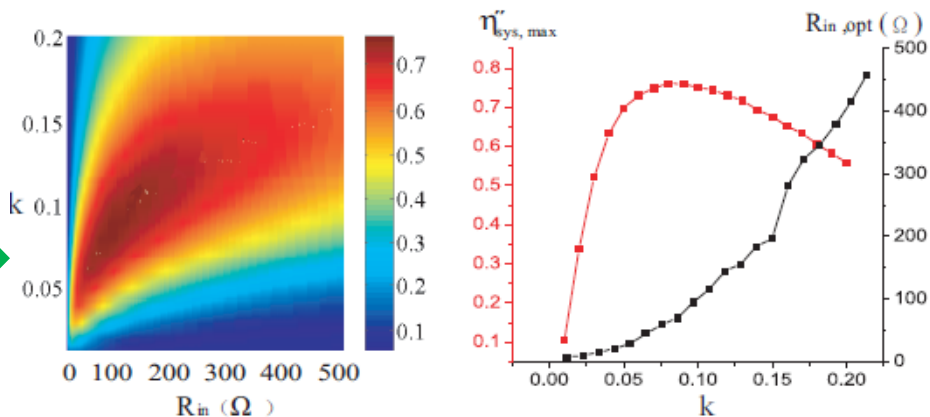
M. Fu, C. Ma, and X. Zhu, "A Cascaded Boost-Buck Converter for High Efficiency Wireless Power Transfer Systems," *IEEE Transaction on Industrial Informatics*, vol. 10, no. 3, pp. 1972–1980, 2014.

(3.1) 位置可变下最优负载分析

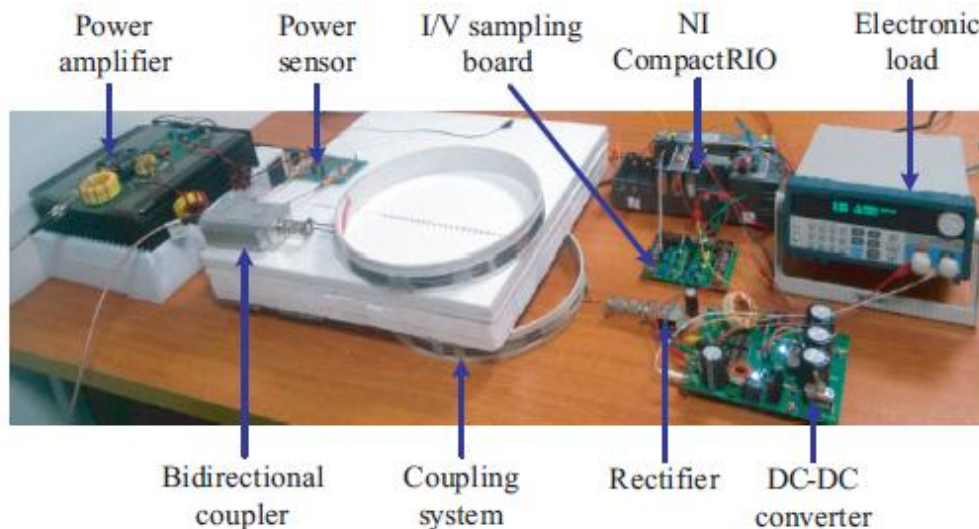


- 最大化 P_L/P_f ;
- 每个线圈位置 (L_m) 对应了唯一的从整流器看过去的最优负载值 (R_{in});
- 提出了新型的boost-buck DC/DC 变换器实施最优负载控制。

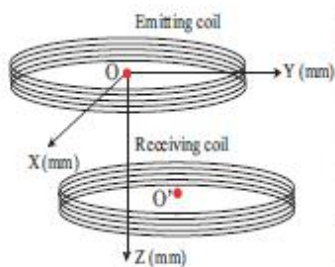
最优负载



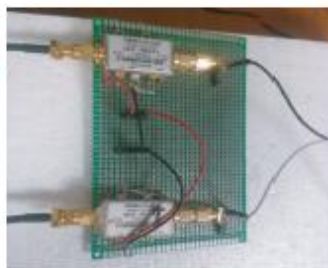
(3.2) 实验系统



(a)



(b)



(c)



(d)



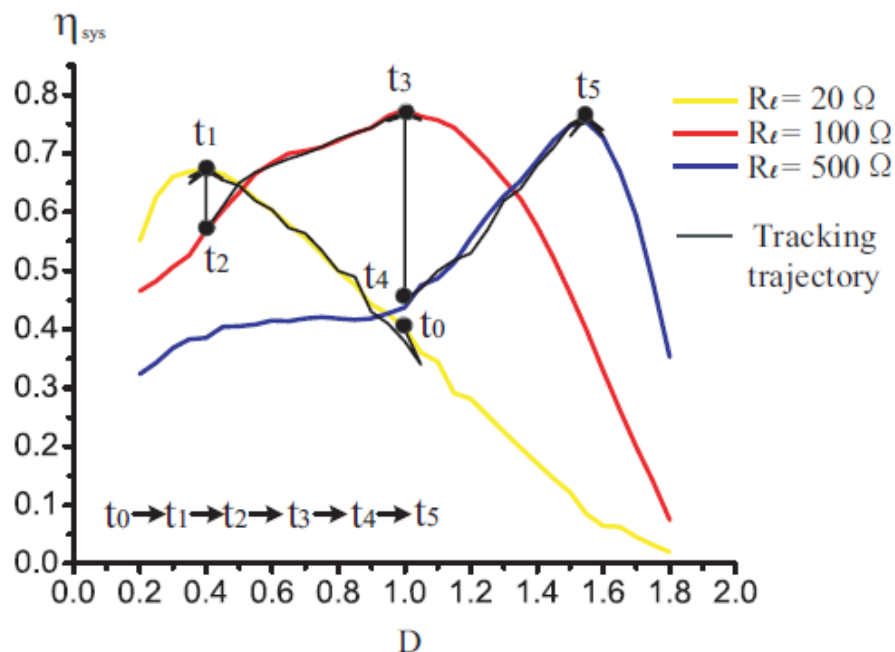
(e)

实验无线电能传输系统 (a) 系统全图 (b) 线圈相对位置定义
(c) 功率传感器 (d) I/V采样电路 (e) 级联式DC/DC变换器

(3.3) 最优负载动态跟踪

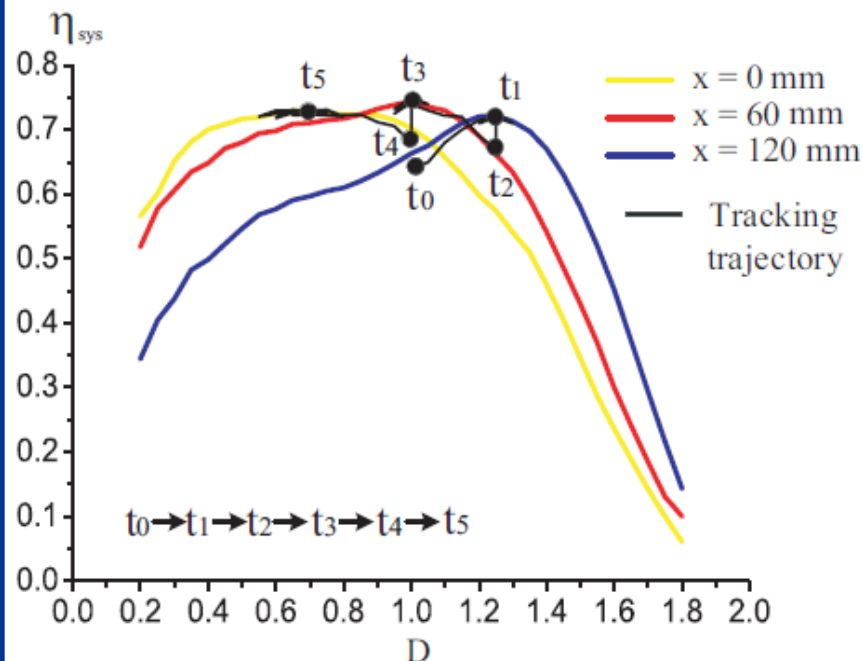


负载的变化



系统在不同时刻负载突变，系统可自动追踪至最优负载。

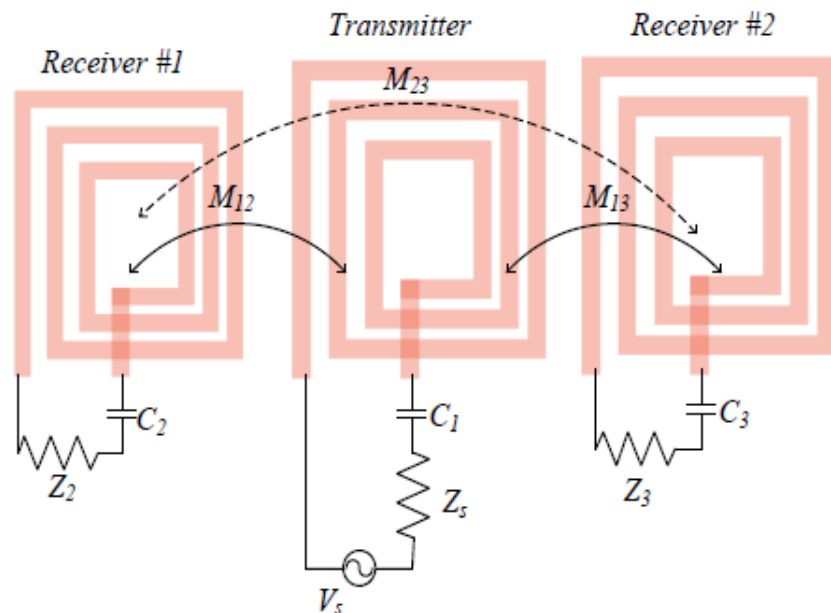
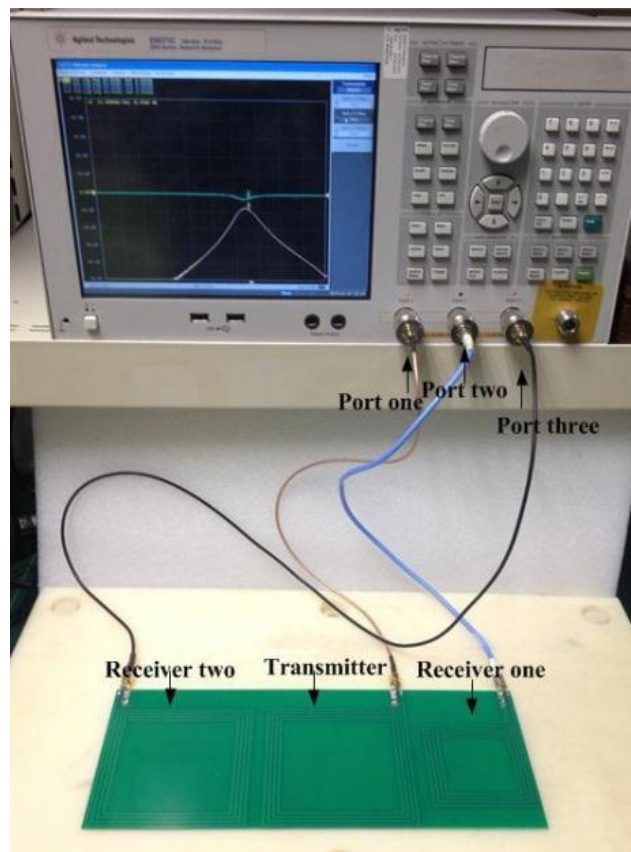
线圈位置的变化



系统在不同时刻线圈位置突变，系统可自动追踪至最优负载。

M. Fu, H. Yin, X. Zhu, and C. Ma, "Analysis and Tracking of Optimal Load in Wireless Power Transfer Systems," *IEEE Transaction on Power Electronics*, vol. 30, no. 7, pp. 3952–3963, 2015.

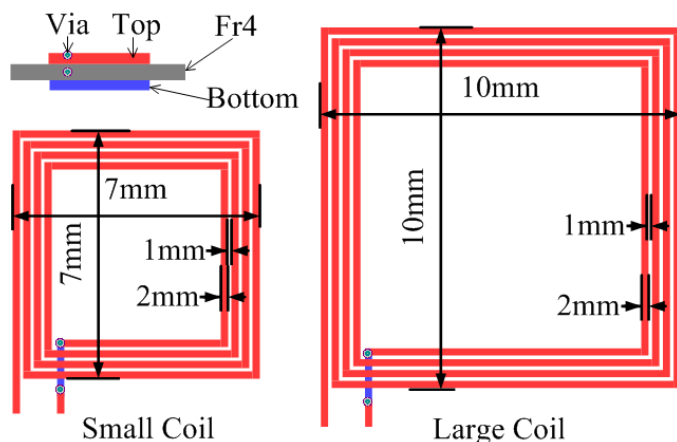
(4.1) 多线圈系统最优负载分析



$$Z_{inopt} : Z_{2opt} : Z_{3opt} = R_1 : R_2 : R_3$$

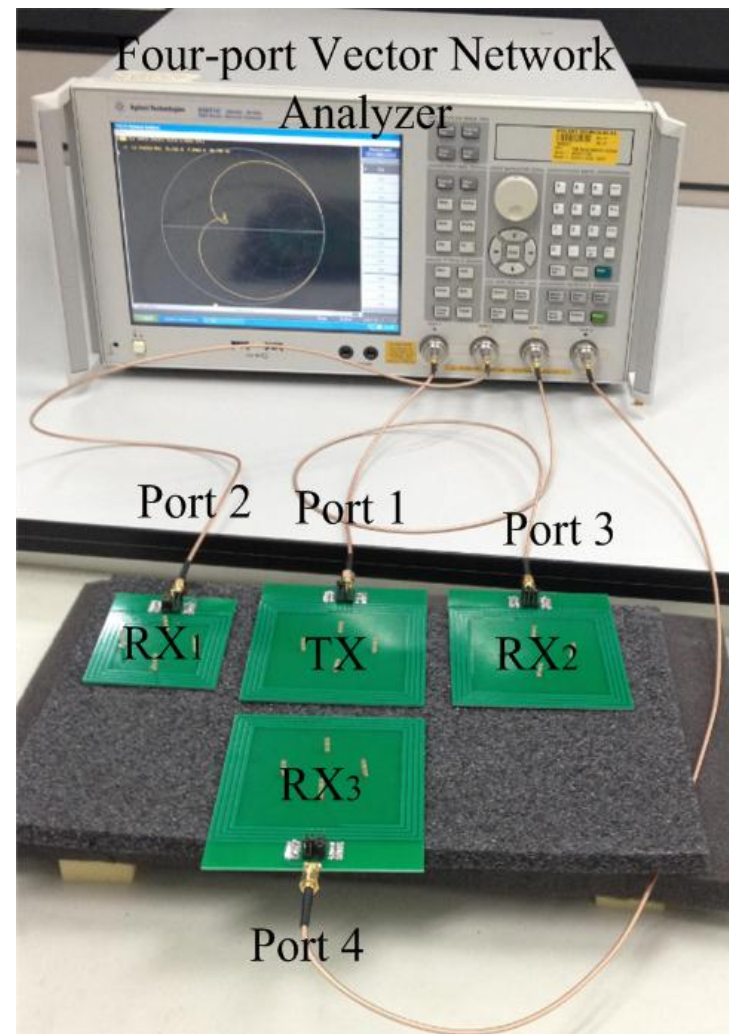
基于博弈理论的优化能量流分配？（实质上是一个新的无线能源网络系统优化控制问题）

(4.2) 测试平台



Coils' layout

参数	大线圈	小线圈
R (Ω)	2.05	1.04
L (μ H)	3.93	2.01
C (pF)	37.2	72.5



(4.3) 计算与实验结果比较



	Cal	PZC	LC
$Z_{L1,OPT}$	13.58	13.4	13
$Z_{L2,OPT}$	27.84	28.4	28
$Z_{L3,OPT}$	25.13	24.8	25
$Z_{S,OPT}$	27.84	26.4-j3.5	26.6-j2
最优阻值组合 ($Z_{S,OPT}$: $Z_{L1,OPT}$: $Z_{L2,OPT}$: $Z_{L3,OPT}$)	1 : 0.5 : 1 : 0.9	1 : 0.51 : 1.08 : 0.94	1:0.49:1.05:0.94
η	0.8629	0.8537	0.8534

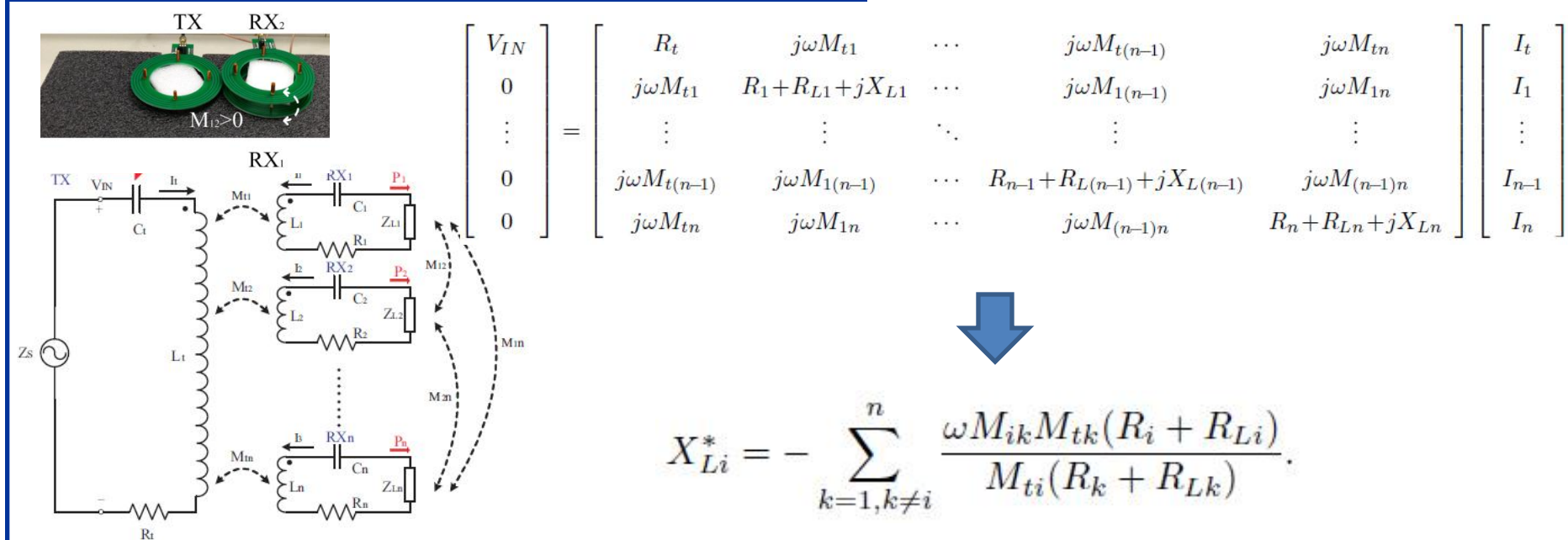
M. Fu, T. Zhang, C. Ma, and X. Zhu, "Efficiency and Optimal Loads Analysis for Multiple-Receiver Wireless Power Transfer Systems," **IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques**, vol. 63, no. 3, pp. 801–812, 2015.

(5.1) 多线圈系统交叉互感补偿

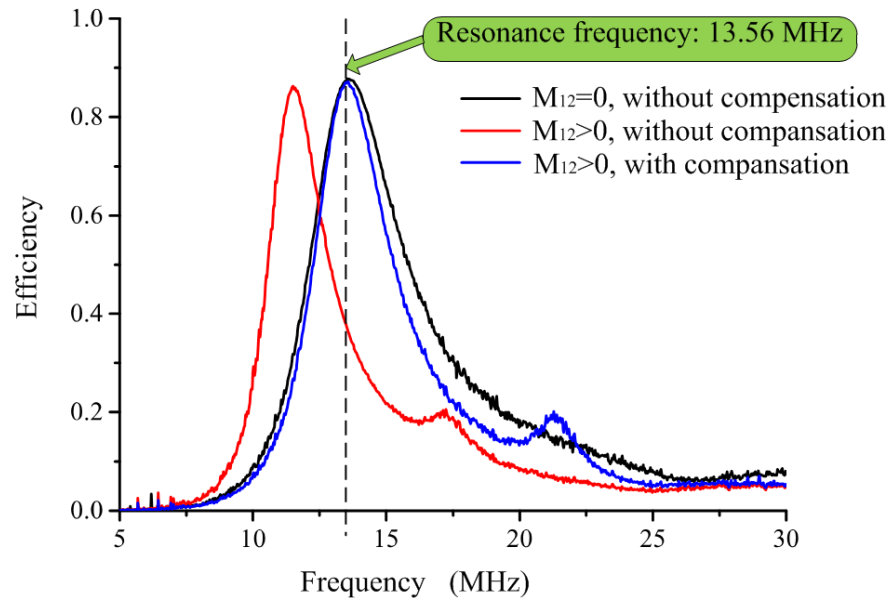
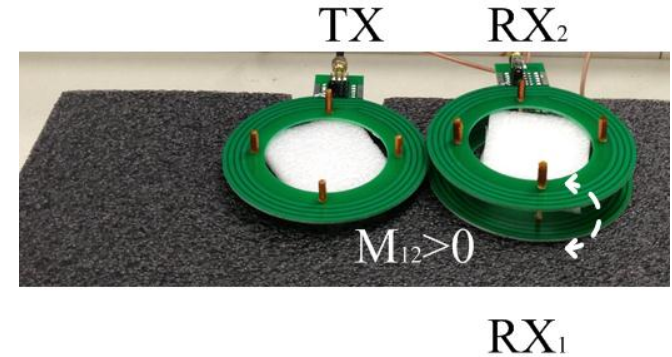
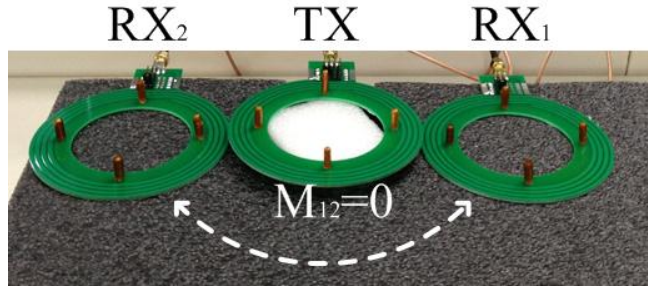
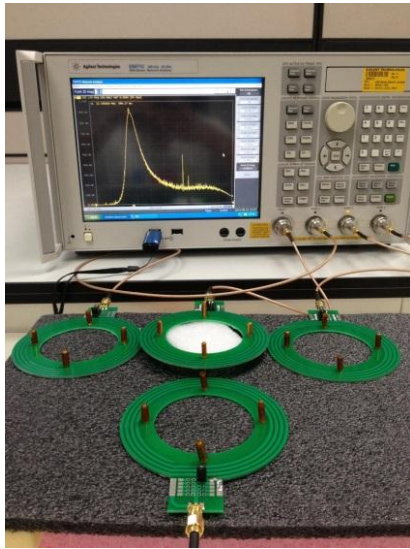
接收线圈近距离时产生交叉耦合对线圈特性的影响。

- 理论上可以证明零耦合系统的最优效率产生于所有负载为纯阻性的条件下。
- 假设非耦合系统的最优效率与零耦合系统的效率相等，并进而推导出非耦合系统电抗的最优值。

多线圈电路模型分析及解析求取补偿方式



(5.2) 实验结果



M. Fu, T. Zhang, Patrick Chi Kwong Luk, X. Zhu, and C. Ma, "Compensation of Cross Coupling in Multiple-Receiver Wireless Power Transfer Systems," **submitted to IEEE Transaction on Industrial Informatics.**

(6.1) 新型高效率E类整流器

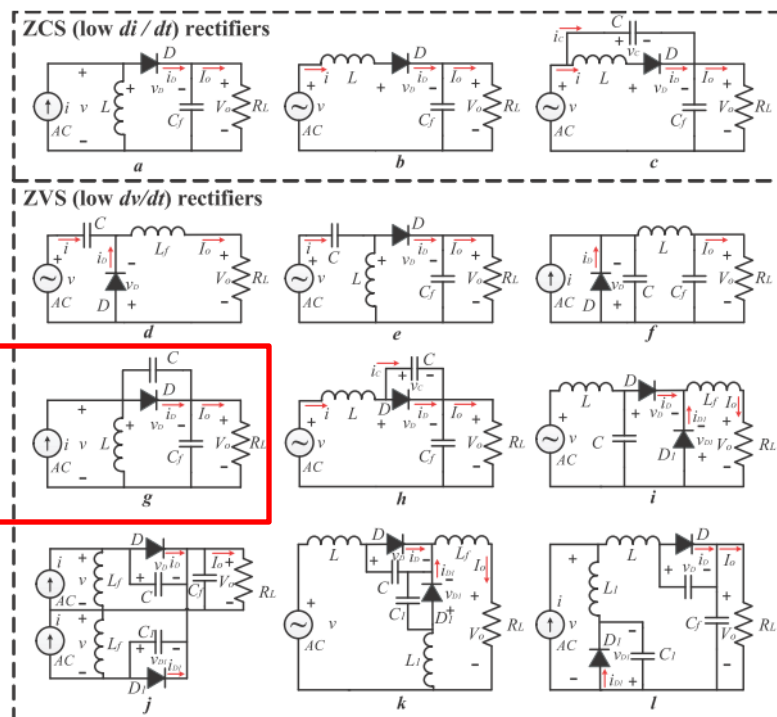


在MHz下，普通全桥整流器电路受限于自身开关频率，整流效率不佳，需要新型的基于软开关的整流拓扑。

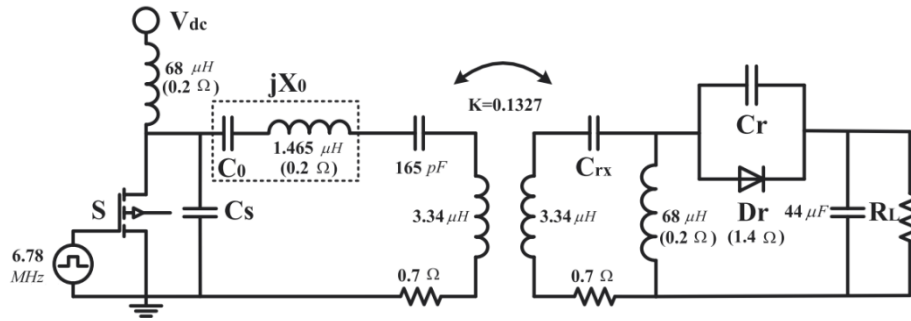
E类整流器

- 1988年提出，是经典E类放大器（DC/AC）的对应电路；
- 实现软开关，可提高整流效率；
- 2014年第一次被引入无线充电系统；
- 具有多种衍生结构，扩展为差分结构后，可极大减小系统EMI；
- 研究从恒流源输入的基本结构着手。

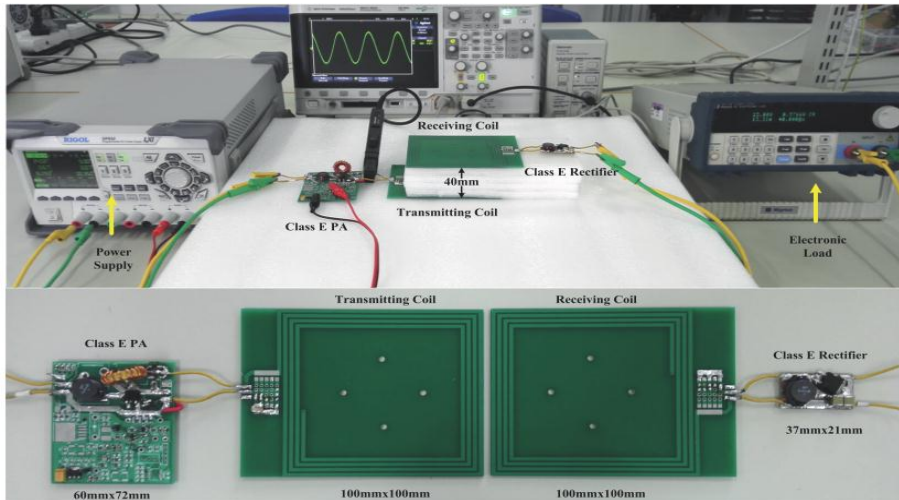
各种E类拓扑



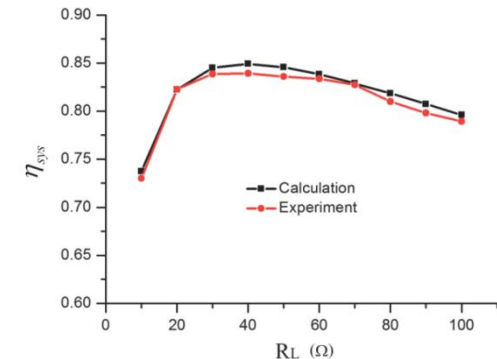
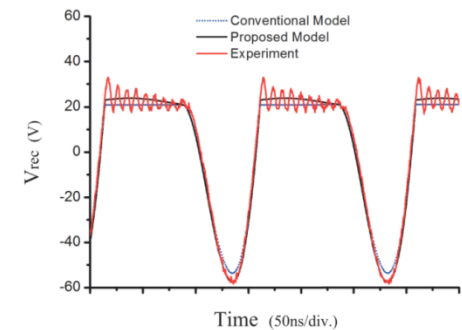
(6.2) E^2 无线充电系统



系统电路参数



实验结果



直流到直流整系统效率可达**85%**,
比用全桥整流至少提高5%的系
统效率。

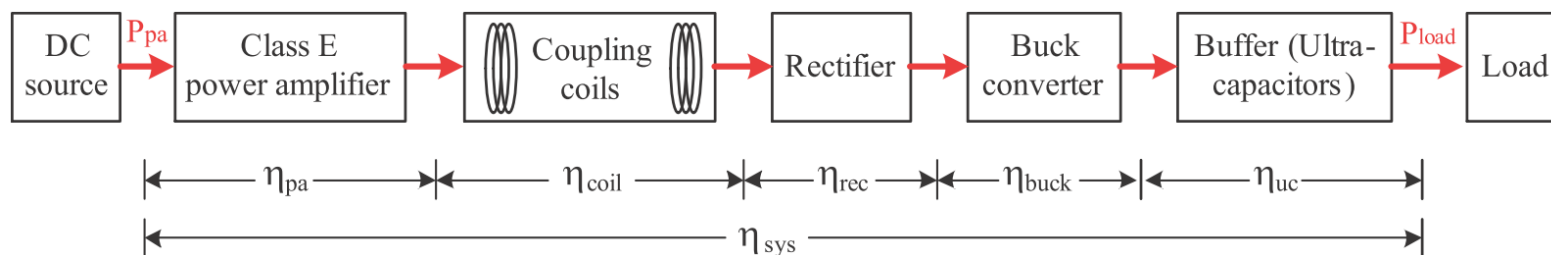
M. Liu, M. Fu and C. Ma, "Parameter Design for A 6.78-MHz Wireless Power Transfer System Based on Analytical Derivation of Class E Current-Driven Rectifier", **accepted by IEEE Transaction on Power Electronics.**

(7.1) 带储能的兆赫兹系统



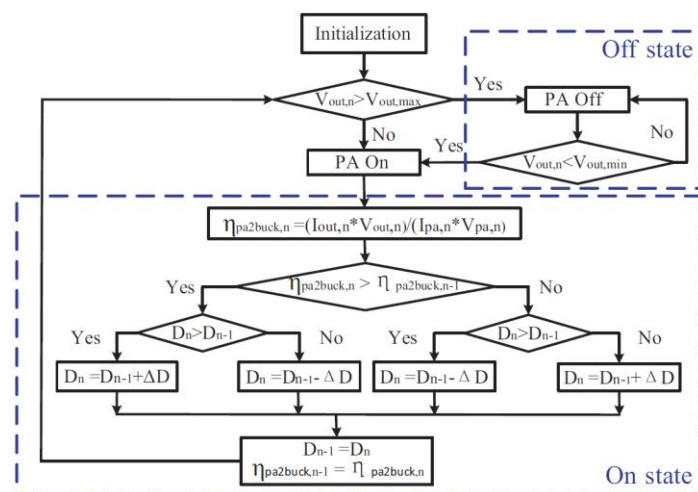
在一些特殊应用场合，功率需求变化极大，需要高效率的满足一个宽的负载功率需求。

系统构架

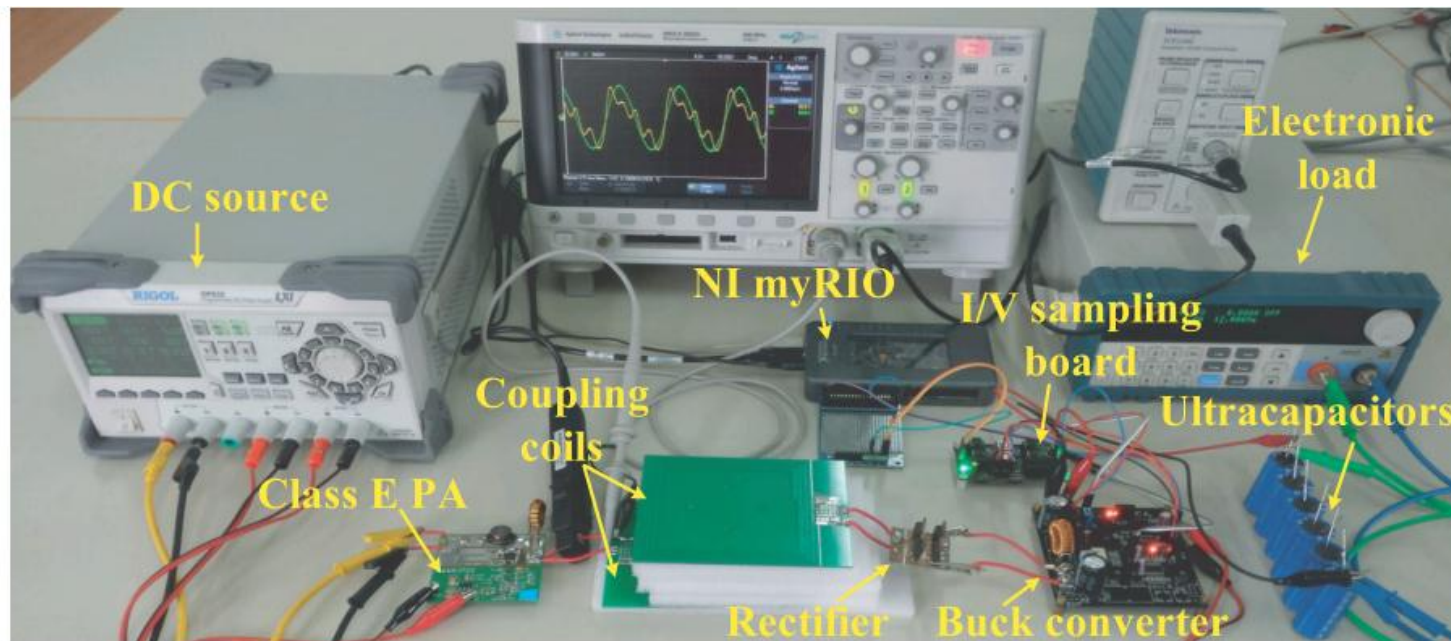


On-Off 控制

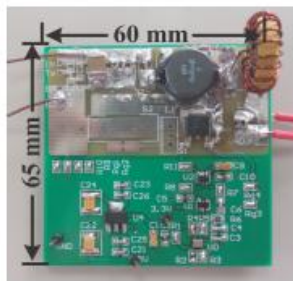
- On 状态：系统跟踪最大效率，给超级电容及负载供电；
- Off 状态：关闭系统，负载由超级电容供电；



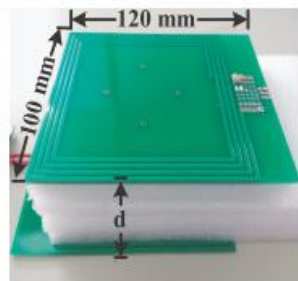
(7.2) 实验平台



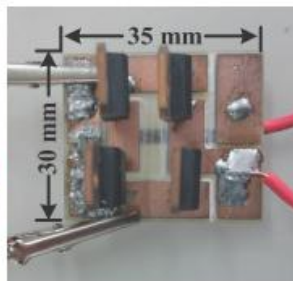
6.78 MHz系统



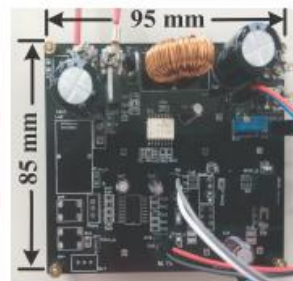
功率放大器



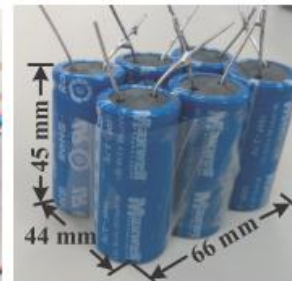
耦合线圈



整流器



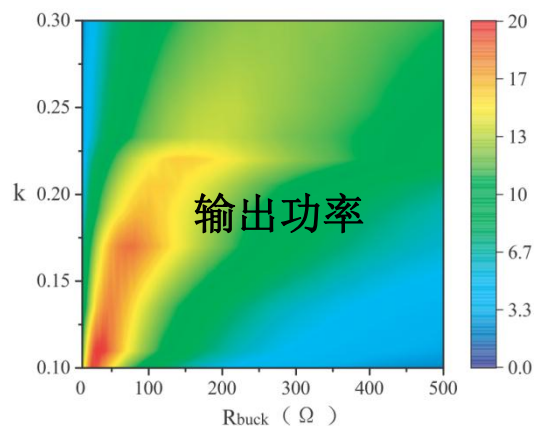
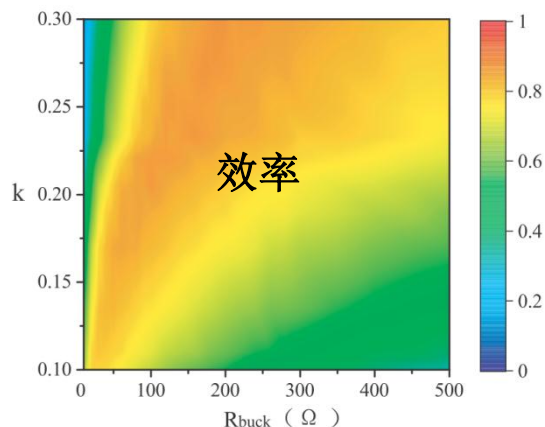
DC-DC变换器



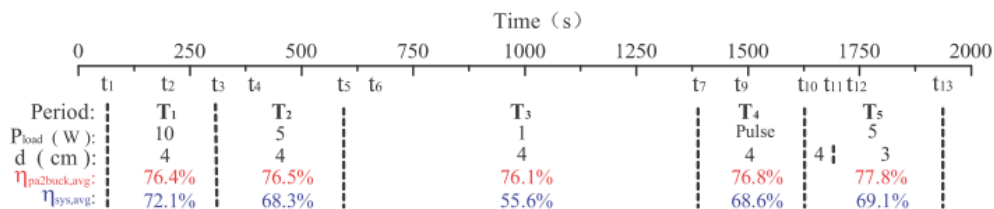
超级电容（储能）

(7.3) 实验结果

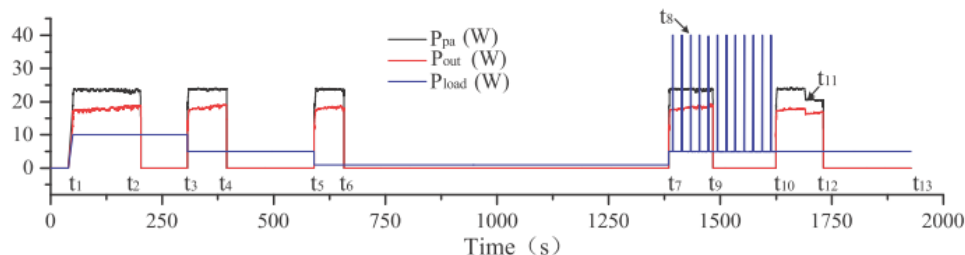
不同位置下静态特性



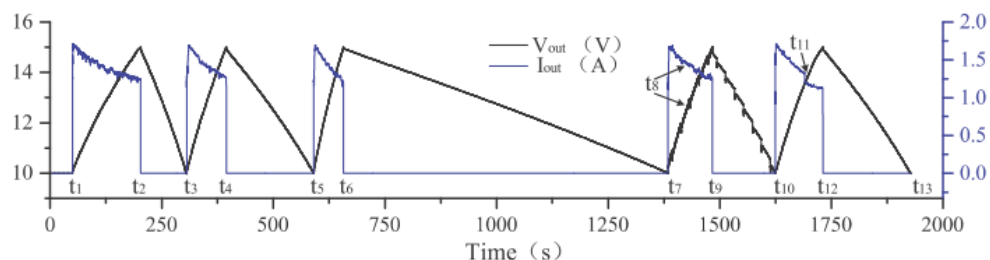
不同负载下响应：恒功率，冲击功率，位置变化



系统特性



输入输出及负载功率



输出电压电流

M. Fu, H. Yin, M. Liu, and C. Ma, "A 6.78 MHz Wireless Power Transfer System with High Efficiency over A Wide Load Power Range", submitted to IEEE Transaction on Industrial Electronics.

(8.1) 一对多同时充电

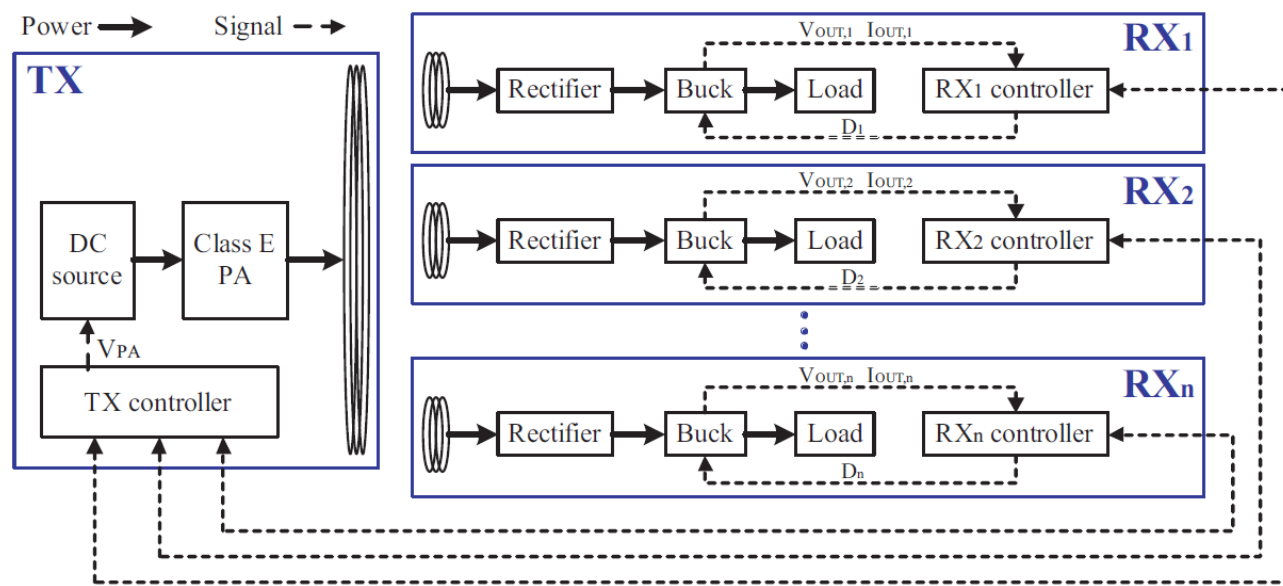


在兆赫兹下，线圈对耦合度的要求降低（耦合系数小于0.2），系统可以高效率的实现一对多同时充电。

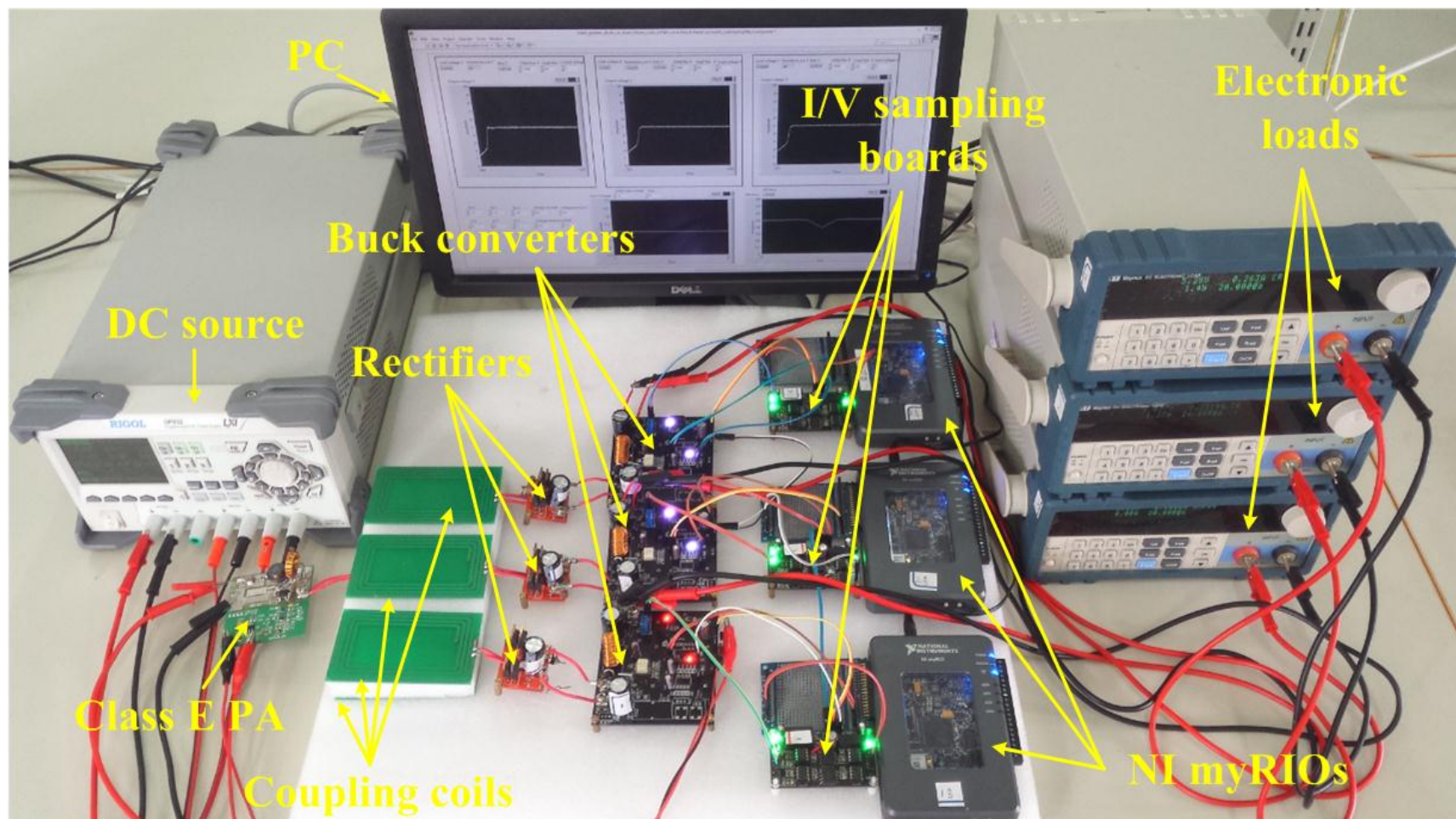
等效分析

- 将一对多系统等效为一对一系统分析系统上限；
- 等效为一对二系统分析系统功率与效率在控制量关系，制定控制策略。

系统构成



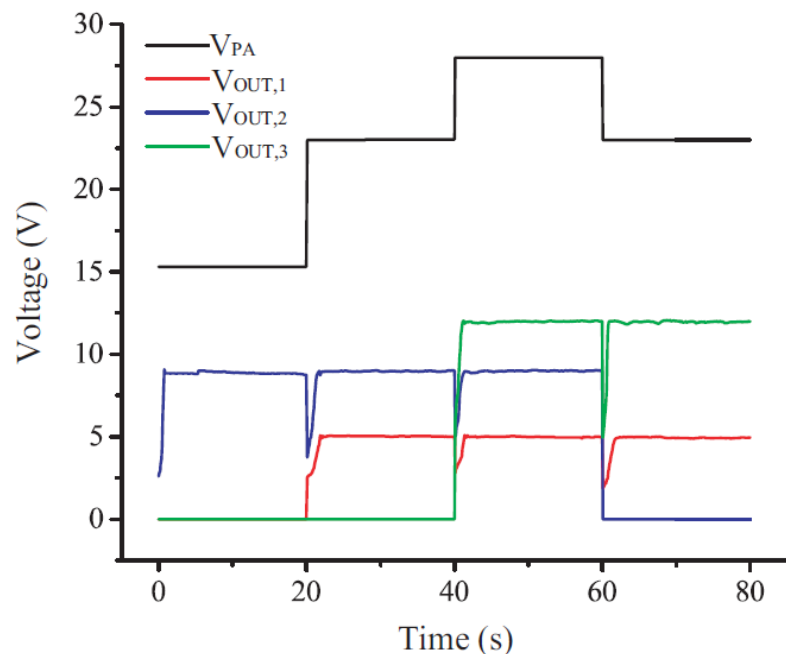
(8.2) 一对多同时充电平台



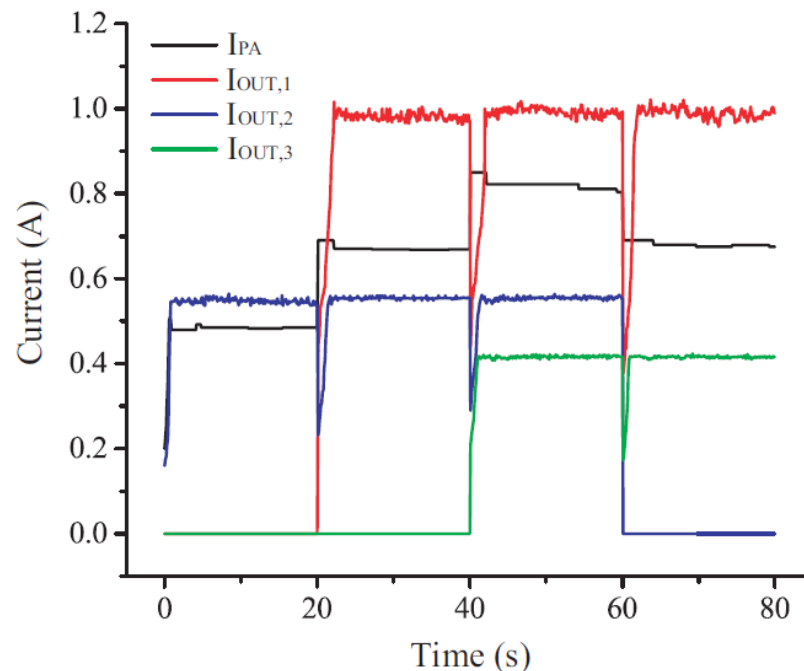
(8.3) 实验结果



输入输出电压



输入输出电流

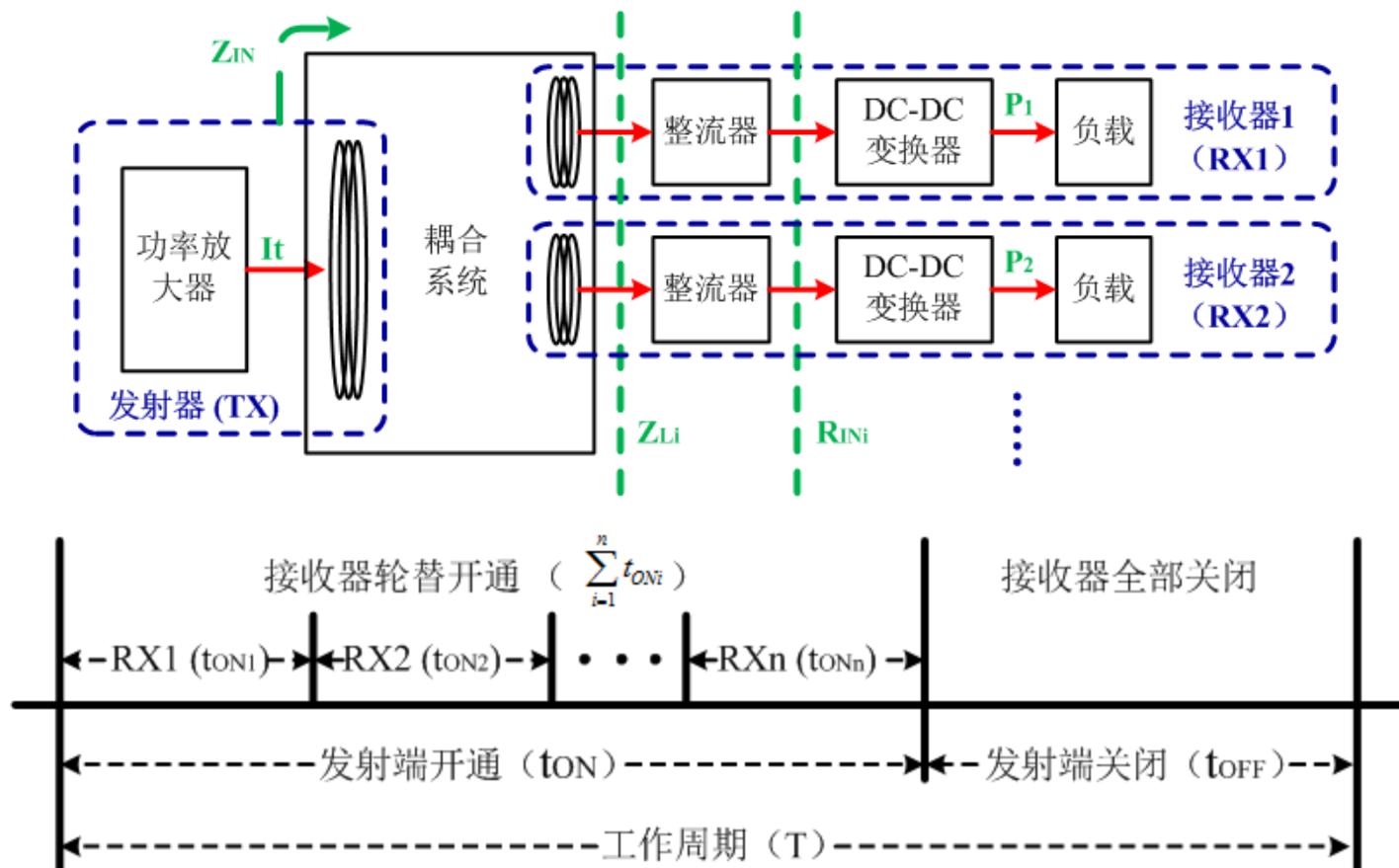


每个接收器都能达到稳压输出，系统效率稳定在**65%**左右。

M. Fu, H. Yin, M. Liu, and C. Ma, "Analysis and Control for A 6.78 MHz Multiple-Receiver Wireless Power Transfer System Driven by Class E Power Amplifier", **submitted to IEEE Transaction on Power Electronics**.

(9) 一对多轮替充电

轮替充电，系统负载特性简单，可发挥一对一系统的极致最优特性，功率分配可以通过控制每个接收器的开关时间实现。



期刊论文（6篇接收或发表，3篇审稿）

1. M. Fu, H. Yin, M. Liu, and C. Ma, “Analysis and Control for A 6.78 MHz Multiple-Receiver Wireless Power Transfer System Driven by Class E Power Amplifier”, **submitted to IEEE Transactions on Power Electronics**. (IF: 6.0, 1区)
2. M. Fu, H. Yin, M. Liu, and C. Ma, “A 6.78 MHz Wireless Power Transfer System with High Efficiency over A Wide Load Power Range”, **submitted to IEEE Transactions on Industrial Electronics**. (IF: 6.5, 1区)
3. M. Fu, T. Zhang, Patrick Chi Kwong Luk, X. Zhu, and C. Ma, “Compensation of Cross Coupling in Multiple-Receiver Wireless Power Transfer Systems,” **submitted to IEEE Transactions on Industrial Informatics**. (IF: 8.8, 1区)
4. M. Liu, M. Fu and C. Ma, “Parameter Design for A 6.78-MHz Wireless Power Transfer System Based on Analytical Derivation of Class E Current-Driven Rectifier”, **accepted by IEEE Transactions on Power Electronics**. (IF: 6.0, 1区)
5. 傅旻帆, 张统, 马澄斌, 朱欣恩, “磁共振式无线电能传输的基础研究与前景展望”, *电工技术学报*, 2015, 第30卷, 增刊一, 6-12页. (EI中文核心)
6. M. Fu, T. Zhang, C. Ma, and X. Zhu, “Efficiency and Optimal Loads Analysis for Multiple-Receiver Wireless Power Transfer Systems,” *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 63, no. 3, pp. 801-812, 2015. (IF: 2.1, 2区)
7. M. Fu, H. Yin, X. Zhu, and C. Ma, “Analysis and Tracking of Optimal Load in Wireless Power Transfer Systems,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 30, no. 7, pp. 3952-3963, 2015. (IF: 6.0, 1区)
8. M. Fu, C. Ma, and X. Zhu, “A Cascaded Boost-Buck Converter for High Efficiency Wireless Power Transfer Systems,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 10, no. 3, pp. 1972-1980, 2014. (IF: 8.8, 1区)
9. 王菲, 王勇, 傅旻帆, “新能源并网三电平逆变器中低功率区间效率优化”, *电力系统自动化*, 2014, 第38卷, 第3期, 101-105页. (EI中文核心)

会议论文（12篇发表或接收，2篇审稿）

1. M. Fu, Z. Tang, M. Liu, S. Liu, X. Zhu and C. Ma, “Output Power Improvement by Impedance Matching Networks for a Class E Power Amplifier Driven Wireless Power Transfer Systems”, submitted to Annual Conference of China Electrotechnical Society 2015.
2. M. Liu, M. Fu, Z. Tang, S. Liu, X. Zhu and C. Ma, “Design Procedure of a Class E DC/DC Converter for Megahertz Wireless Power Transfer”, submitted to Annual Conference of China Electrotechnical Society 2015.

3. Z. Tang, **M. Fu**, M. Liu and C. Ma, "Optimization of the Compensation Capacitors for Megahertz Wireless Power Transfer Systems", accepted by Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON) 2015.
4. H. Yin, **M. Fu**, M. Liu and C. Ma, "Power Distribution of a Multiple-Receiver Wireless Power Transfer System: A Game Theoretic Approach", accepted by Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON) 2015.
5. S. Liu, M. Liu, **M. Fu**, C. Ma, X. Zhu, "A High-Efficiency Class-E Power Amplifier with Wide-Range Load in WPT Systems", IEEE Wireless Power Transfer Conference, May 13-15, 2015, Boulder, Colorado, USA.
6. **M. Fu**, Z. Tang, M. Liu, X. Zhu and C. Ma, "Full-Bridge Rectifier Input Reactance Compensation in Megahertz Wireless Power Transfer Systems", IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power (2015 WoW), June 5-6, 2015, Daejeon, Korea.
7. M. Liu, **M. Fu**, Z. Tang, and C. Ma, "A Compact Class E Rectifier for Megahertz Wireless Power Transfer", IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power (2015 WoW), June 5-6, 2015, Daejeon, Korea.
8. C. Zhao, H. Yin, **M. Fu**, C. Ma, "Analysis, control, and wireless charging of energy systems using ultracapacitors", 2014 IEEE International Electric Vehicle Conference, Dec. 17-19, 2014, Florence, Italy.
9. **M. Fu**, T. Zhang, C. Ma, and X. Zhu, "A Review of Megahertz Wireless Power Transfer Systems Based on Magnetic Resonance Coupling", 2014 International Conference of Wireless Power Transmission Technology and Application, Nov. 16, 2014, Nanjing, China.
10. **M. Fu**, T. Zhang, X. Zhu, and C. Ma, "Subsystem-Level Efficiency Analysis of a Wireless Power Transfer System", IEEE Wireless Power Transfer Conference, May 8-9, 2014, Jeju Island, Korea.
11. T. Zhang, **M. Fu**, X. Zhu, and C. Ma, "Optimal Load Analysis for a Two-Receiver Wireless Power Transfer System", IEEE Wireless Power Transfer Conference, May 8-9, 2014, Jeju Island, Korea.
12. **M. Fu**, T. Zhang, C. Ma, and X. Zhu, "Wireless Charging of A Supercapacitor Model Vehicle Using Magnetic Resonance Coupling", ASME 2013 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, August 4-7, 2013, Portland, OR, USA.
13. **M. Fu**, T. Zhang, X. Zhu, and C. Ma, "A 13.56 MHz Wireless Power Transfer System without Impedance Matching Networks", IEEE Wireless Power Transfer Conference, May 15-16, 2013, Perugia, Italy.
14. C. Ma, X. Zhu, and **M. Fu**, "Wireless Charging of Electric Vehicles: A Review and Experiments", ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Aug. 28-Aug. 31, 2011, Washington D. C., USA.

获奖及荣誉



博士阶段

- 2015-至今: 上海交通大学凯原十佳科研团队
上海交大优秀共产党员
柯惠奖学金 (1.8 W)
- 2014-2014: 上海交大研究生优秀奖学金 (5 K)
上海交大三好学生
密西根学院优秀党员
柯惠奖学金 (1.8 W)
- 2013-2014: 上海交大优秀博士新生奖学金 (1 W)

硕士阶段

- 2010-2013: 上海交大2012年度无偿献血先进个人
全国英飞凌杯嵌入式电子竞技大赛华东赛区二等奖 (第三名)

本科阶段

- 2006-2010: 毕业设计金奖, 院长奖 (8次), 校二, 三等奖学金 (各1次), 云夏奖学金。



JOINT INSTITUTE
交大密西根学院

感谢您的聆听！

动态系统控制实验室

上海交通大学密西根学院

<http://www.umji.sjtu.edu.cn/lab/dsc>