

DOI:10.12158/j.2096-3203.2021.05.012

基于碳化硅器件的无线充电系统电源设计

黄天一¹, 卞正达¹, 徐长福², 王若隐¹, 张铭¹, 谭林林¹

(1. 东南大学电气工程学院, 江苏 南京 210096;

2. 国网江苏省电力有限公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103)

摘要:碳化硅(SiC)器件耐高频高温、散热性能好、导通电阻小,应用于无线充电系统可有效提高无线充电系统的效率。文中首先对比了SiC材料与Si材料的特性,在此基础上研制了一套基于SiC器件的无线充电系统电源装置。该装置由整流模块和逆变模块构成,输入端接市电,且装置的整流模块具有功率因数校正功能。文中详细给出了整流模块的整流桥选型策略、滤波电路参数设计方法、Boost电路功率器件和无源元件设计原则及开关管控制电路设计方法,还给出了逆变模块的开关管选型策略、开关管驱动电路和开关管保护电路的设计方法。最后,实验结果验证了方案的有效性和可行性,输入侧实现了高功率因数,逆变电路开关管电压振荡得到抑制,实验样机的效率峰值可达98.2%。

关键词:碳化硅(SiC)器件;电源设计;高效率;高功率因数;功率因数校正;无线充电系统

中图分类号:TM724

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2021)05-0087-07

0 引言

自2007年磁耦合谐振式无线电能传输方式被提出以来,大功率、中距离无线电能传输技术发展迅速^[1]。目前,高效率、系统化的无线充电系统成为研究热点。无线充电系统由发射端与接收端组成^[2],发射端包括整流模块、逆变模块和发射端谐振电路,接收端包括接收端谐振电路、整流模块和负载。传统无线充电系统以硅(Si)器件为核心,其工作频率一般在50 kHz以下,工作损耗较大,难以在高温环境下工作。为了提高无线充电系统的功率及效率,需要寻找新材料以克服传统系统的不足。

第三代碳化硅(SiC)半导体材料相比Si材料,具有高热导率、高临界击穿电场强度、大禁带宽度和高电子饱和漂移速度等特点,适合高频、大功率和高温工作条件^[3-5]。因此,采用新型SiC半导体器件可以提高无线充电系统的功率及效率。

近年来,已有许多学者对SiC器件的应用进行了相关研究。文献[6]设计并搭建了1台1100 W的全SiC半桥功率因数校正(power factor correction, PFC)变换器,峰值效率达到了99.2%;文献[7]研究了SiC器件在直流充电桩电源模块中的应用,提高了电源模块的效率和功率密度,有利于装置的小型化和轻量化;文献[8]将SiC金属-氧化物半导体场

效应晶体管(metal-oxide-semiconductor field-effect transistor, MOSFET)应用于反激式变换器,与Si MOSFET相比,变换器效率明显提升;文献[9]研究了一种高压全SiC MOSFET的辅助充电机,减小了装置的体积和重量,提高了系统效率,降低了系统温升;文献[10]针对光伏发电系统,归纳了SiC器件在光伏逆变器中的技术优势,指出应用SiC器件可提高工作频率和耐压等级。

上述文献研究了SiC器件在不同领域的应用。文中从无线充电领域着手,研究基于SiC器件的无线充电系统电源部分,给出了整流模块和逆变模块各元件的设计方法,研制了1台实验样机。实验结果表明,文中设计的实验装置具有功率因数高、效率高的特点,采用新型SiC器件取代传统Si器件可有效提升无线充电系统的性能。

1 SiC器件介绍

以Si为核心的功率器件发展已相当成熟,但是科技的不断进步对功率器件提出了更高的要求。新一代半导体材料SiC以其优良的物理特性逐渐走入大众视野^[11]。在SiC电力电子器件应用领域,SiCMOSFET与SiC肖特基二极管备受关注^[12]。

表1为SiC和Si材料特性对比^[13-15],可以看出,与Si材料相比,SiC材料的各项性能更加优异。这些优点能够使采用SiC器件的装置小型化,还能使装置的效率、开关频率、耐热性能得到提升。因此,SiC器件的使用能使无线充电系统更易工作于高温、高频、低损耗、大功率的场合。

收稿日期:2021-04-07;修回日期:2021-06-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51877036);国家电网有限公司科技项目“电动汽车无线充电系统系列化设计与装备研制”

表 1 SiC 与 Si 材料特性对比
Table 1 Material characteristics comparison of SiC and Si

参数	Si	SiC
热导率/[W·(cm·K) ⁻¹]	1.5	4.9
临界击穿场强/(MV·cm ⁻¹)	0.3	3.0
禁带宽度/eV	1.12	3.2
电子饱和漂移速度×10 ⁷ /(cm·s ⁻¹)	1.0	2.0

2 无线充电系统电源结构

图 1 为无线充电系统电源结构,包括具有 PFC 功能的整流模块、高频逆变模块及发射端谐振电路。

整流模块由整流桥、滤波电路和 Boost 电路构成。输入端电源为工频市电,电能经整流桥及滤波电路后送入后级的 Boost 电路,Boost 电路兼具 PFC 和升压功能。整流桥采用低损耗、耐高温、反向恢复时间极短的 SiC 肖特基二极管,Boost 电路二极管亦采用 SiC 肖特基二极管。Boost 电路开关管驱动信号由 PFC 控制器提供。

高频逆变模块由 4 个 SiC MOSFET 构成,采用独立的驱动电路板为其提供 4 路驱动信号。逆变模块具有低损耗、高开关频率、耐高压、耐高温等特点。为了解决 SiC MOSFET 电压振荡问题,采用 RC 保护电路^[16]。

发射端谐振电路由发射线圈与匹配电容构成。发射线圈通过磁耦合谐振的方式将能量传输到接收侧^[17-20]。

文中研制的电源各项设计指标如表 2 所示。

3 具有 PFC 功能的整流模块设计

3.1 整流桥 SiC 肖特基二极管选型

文中装置最大输入功率为 4 kW,输入端电源交流电压有效值为 220 V。由于整流模块具有 PFC 功能,因而输入端交流电流接近正弦波^[21]。输入端交流电流最大有效值 I_{INmax} 由式(1)可得为 18.18 A。

$$I_{INmax} = \frac{P_{INmax}}{U_{IN}} \quad (1)$$

式中: P_{INmax} 为输入功率最大值; U_{IN} 为输入端交流电压有效值。

输入端交流电流半个周期内的最大平均值 I_1 由式(2)可得为 16.4 A。

$$I_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} I_{INmax} \sin(\omega t) d(\omega t) \quad (2)$$

整流桥每个二极管只在半个周期内流过电流,故每个二极管流过的最大平均电流为 8.2 A。整流桥二极管承受的最高反向工作电压为输入电压的最大瞬时值,即 311 V。

考虑到每个二极管的电压电流需要留有一定的裕量,最终选择额定正向工作电流为 15 A、反向重复峰值电压为 1 200 V 的 SiC 二极管。

3.2 滤波电路设计

滤波电容参数的选取需要考虑整流模块输出电流与电压的纹波系数^[22],具体可由式(3)确定。

$$C_1 \geq \frac{I_{ripple}}{8f_{sw} U_{IN_ripple}} \quad (3)$$

式中: C_1 为滤波电容值; I_{ripple} 为纹波电流; f_{sw} 为 Boost 电路开关管驱动频率; U_{IN_ripple} 为纹波电压。

假设整流桥无滤波电路且工作在满载条件下,则整流桥输出电流有效值与输入电流有效值相同,为 18.18 A。整流桥输出电流为正弦半波,由此可知整流桥输出电流最大瞬时值为 25.71 A。电流纹波系数取 40%,那么纹波电流 I_{ripple} 由式(4)可得为 10.28 A。

$$I_{ripple} = I_2 \Delta I_{ripple1} \quad (4)$$

式中: I_2 为整流桥输出电流最大值; $\Delta I_{ripple1}$ 为电流纹波系数。

整流桥输出电压为正弦半波,有效值为 220 V,则最大值为 311 V。电压纹波系数取 7%,根据式(5)得纹波电压 U_{IN_ripple} 为 21.77 V。

$$U_{IN_ripple} = U_2 \Delta U_{IN_ripple} \quad (5)$$

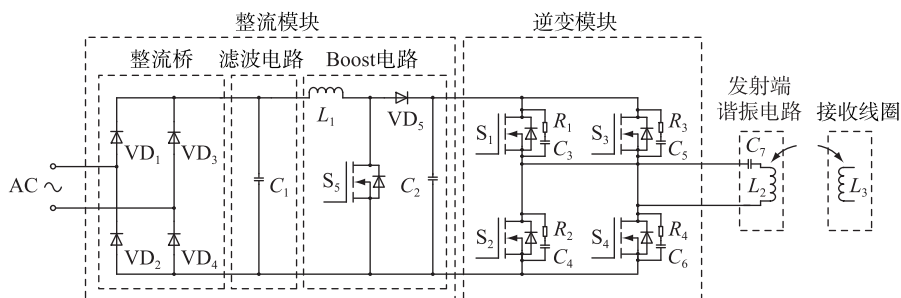


图 1 无线充电系统电源结构

Fig.1 The transmitter structure of wireless charging system

表 2 电源设计指标

Table 2 Design indicators of power supply

参数	数值
输入电压/V	220
输入电压频率/Hz	50
输出电压/V	330~390
最大输入功率/kW	4
Boost 电路开关管频率/kHz	45
逆变模块 MOSFET 频率/kHz	85

式中: ΔU_{IN_ripple} 为电压纹波系数; U_2 为整流桥输出电压最大值。

Boost 电路开关频率为 45 kHz。最终可以求得最小滤波电容值为 1.31 μF , 实际选用的电容值为 1.4 μF 。

3.3 Boost 电路设计

3.3.1 SiC 肖特基二极管选型

当 Boost 电路开关管关断时, 流过 Boost 电路二极管的最大电流值小于流过整流桥二极管的最大电流值。当 Boost 电路开关管导通时, Boost 电路二极管反向截止, 反向截止电压为 Boost 电路输出电压, 而本套装置输出电压范围为 330~390 V, 因此 Boost 电路二极管选型可与整流桥二极管相同。

3.3.2 电感参数

在满载输入条件下, 电感参数的选取可由式(6)确定。

$$L_1 \geq \frac{U_{IN} D_{min}}{I_{INmax} \Delta I_{ripple2} f_{sw}} \quad (6)$$

式中: L_1 为电感值; $\Delta I_{ripple2}$ 为电流纹波系数, 取 40%; D_{min} 为最小占空比。

Boost 电路最大输出电压为 390 V, 加滤波电容后的整流桥输出电压为 311 V, 由式(7)可计算得 D_{min} 为 0.2。

$$D_{min} = 1 - \frac{U_3}{U_{OUTmax}} \quad (7)$$

式中: U_3 为加滤波电容后的整流桥输出电压; U_{OUTmax} 为 Boost 电路最大输出电压。

最终求得最小电感值为 134 μH , 实际选用 200 μH 的电感。

3.3.3 电容参数

在满载输入条件下, 电容参数可由式(8)确定。

$$C_2 = \frac{2P_{INmax}}{\pi U_{OUTmax} U_{OUTmax_ripple} f} \quad (8)$$

式中: C_2 为 Boost 电路电容的参数值; U_{OUTmax_ripple} 为纹波电压, 取 60 V; f 为工频。

最终算得电容值为 2 176 μF , 实际选用 3 个 680 μF 的电解电容并联在 Boost 电路输出端。

3.3.4 开关管控制电路

Boost 电路的开关管控制电路如图 2 所示。UCC28180 是 TI 公司生产的一款工作于连续导通模式的 PFC 芯片, UCC28180 电源电压由 HQ12P12LRN 提供。

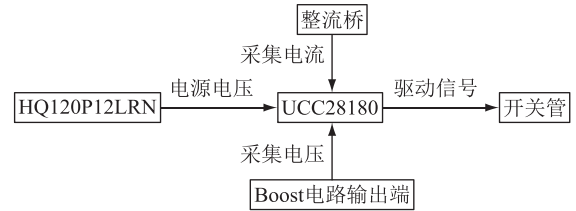


图 2 开关管控制电路

Fig.2 Control circuit of switch tube

开关管的开关频率由 UCC28180 的频率控制引脚端所接电阻决定。取开关频率 f_{sw} 为 45 kHz, 则电阻值由式(9)可得为 47.9 k Ω 。

$$R_{FREQ} = \frac{f_{TYP} R_{TYP} R_{INT}}{f_{SW} R_{INT} + f_{SW} R_{TYP} - f_{TYP} R_{TYP}} \quad (9)$$

式中: R_{FREQ} 为频率控制引脚端所接电阻值; f_{TYP} , R_{TYP} , R_{INT} 为芯片内部参数, 分别为 65 kHz, 32.7 k Ω , 1 M Ω 。实际选用 R_{FREQ} 为 47.9 k Ω 电阻。

Boost 电路输出电压由 UCC28180 的输出电压反馈引脚端所接电阻决定。输出电压值可由式(10)确定。

$$U_{OUT} = \frac{5\,020\,000 + 5R_{VSENSE}}{R_{VSENSE}} \quad (10)$$

式中: U_{OUT} 为 Boost 电路输出电压; R_{VSENSE} 为输出电压反馈引脚端所接电阻值。实际选用 R_{VSENSE} 为 50 k Ω 可调电阻。

3.3.5 开关管选型

开关管开通时, 流过开关管的电流值小于流过整流桥二极管的最大电流值。开关管关断时, 加在开关管两端的反向电压为 Boost 电路输出电压。考虑到 UCC28180 的驱动能力, 最终选择漏极电流为 24 A、漏源击穿电压为 600 V、门极驱动电压为 0/+10 V 的 MOSFET。使用时, 将 2 只 MOSFET 并联接在电路中以增大过流能力。

4 逆变模块设计

4.1 SiC MOSFET 选型

装置中 Boost 电路输出电压范围为 330~390 V, 设输出存在 5% 的电压波动, 则 Boost 电路输出电压最大值为 409.5 V, 最小值为 313.5 V。

假设整流模块无损耗, 即逆变模块输入功率最大为 4 kW, 则输入电流最大值 I_{4max} 由式(11)可计算

得为 12.8 A。

$$I_{4\max} = P_{4\max} / U_{4\min} \quad (11)$$

式中： $P_{4\max}$ 为逆变模块输入功率最大值； $U_{4\min}$ 为输入电压最小值。

当某一个桥臂导通时，另一个桥臂上的 SiC MOSFET 承受的最高反向工作电压为输入电压的最大瞬时值，即 409.5 V。考虑一定的电压及电流裕量，最终选择漏极电流为 35 A、漏源击穿电压为 1 200 V 的 SiC MOSFET。

4.2 SiC MOSFET 驱动电路设计

与传统 Si MOSFET 相比，SiC MOSFET 对驱动电路的要求更为严格。SiC MOSFET 驱动电路须满足以下特点^[23-25]：(1) 驱动电压上升沿与下降沿陡度大；(2) 合适的驱动阻抗；(3) 拉、灌电流能力强；(4) 负压关断；(5) 驱动电路紧邻 MOSFET。

装置驱动电路如图 3 所示。ISO5852S 是一款具有分离输出和有源保护功能的 MOSFET 驱动芯片，可提供 2.5 A 峰值拉电流与 5 A 峰值灌电流，输出侧支持的电源电压范围为 15~30 V。关断时，能提供最低 -15 V 的负压。ISO5852S 输出侧电源电压由 RKZ-052005D 提供，输入侧电源电压由 HE05P15LRN 提供。ISO5852S 的脉冲宽度调制 (pulse width modulation, PWM) 输入信号由数字信号处理 (digital signal processing, DSP) 芯片提供，频率为 85 kHz。

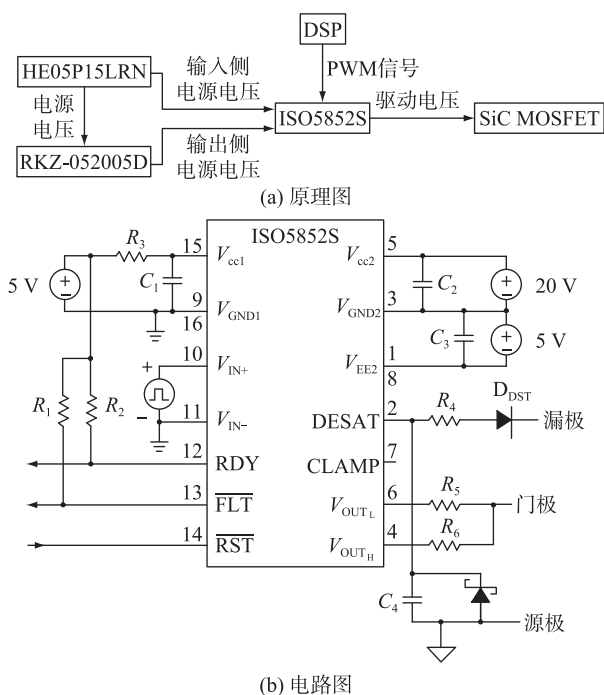


图 3 SiC MOSFET 驱动电路

Fig.3 Drive circuit of SiC MOSFET

驱动信号存在驱动振荡问题，通过增加驱动电

阻阻值可以抑制驱动振荡，但是驱动电阻阻值过大又会削弱驱动能力。装置根据 ISO5852S 芯片特点，驱动电阻 R_5 和 R_6 阻值选用 10 Ω ，可有效解决驱动振荡问题。

4.3 SiC MOSFET 保护电路设计

SiC MOSFET 开关时存在电压振荡问题^[26]，严重时将影响逆变模块的正常工作。采用适当的保护电路有利于模块的稳定运行，同时可以降低开关损耗。

装置采用 RC 缓冲电路，结构简单，易于实现。RC 缓冲电路中，电阻的作用是吸收电压振荡的能量，电容的作用是为电阻提供能量通道。电阻和电容取值范围可由式 (12) 一式 (15) 确定。

$$L_p = \frac{T_2^2 - T_1^2}{4\pi^2 C_t} \quad (12)$$

$$C_p = \frac{1}{L_p (2\pi f_1)^2} \quad (13)$$

$$R_s \leq \sqrt{L_p / C_p} \quad (14)$$

$$\frac{t_{on}}{10R_s} < C_s < \frac{I_{off}^2 L_p}{U_{off}} \quad (15)$$

式中： L_p 为电路的杂散电感； T_1 为 MOSFET 开通时振荡周期； T_2 为 MOSFET 两端并联电容 C_t 时的振荡周期； C_t 为辅助电容，用于确定 T_2 ，取 3.3 nF； C_p 为电路的杂散电容； f_1 为 MOSFET 开关频率； R_s 为 RC 缓冲电路电阻值； C_s 为 RC 缓冲电路电容值； t_{on} 为开通延迟时间与电流上升时间之和； I_{off} 为 MOSFET 关断电流； U_{off} 为 MOSFET 关断电压。

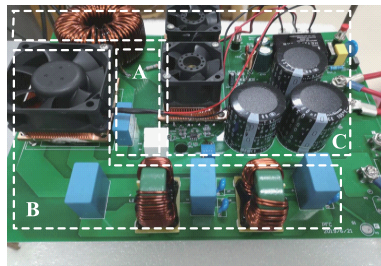
求得电阻与电容的取值范围后，电阻和电容的精确值需通过实验确定。

5 实验验证

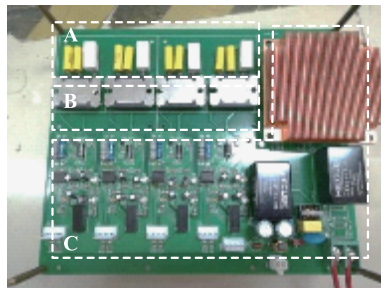
基于 SiC 器件，实验室研制了一套无线充电系统电源样机，如图 4 所示。图 5 为接收端电压电流波形，采用串/串拓扑，负载为阻性。实验样机能在 85 kHz 频率下稳定工作。图 6 为样机在 PFC 控制器开启与关闭时的输入电压、输入电流波形。可以看出，PFC 控制器开启时输入电流能很好地跟随输入电压，功率因数较高。

实验测试过程中，RC 缓冲电路电阻值取 8 Ω ，电容值取 0.375 nF 时，实验效果较好。图 7 为逆变电路 MOSFET 使用保护电路前后的漏源极电压波形，RC 缓冲电路抑制了电压振荡。

实验样机在不同输入功率条件下的效率曲线如图 8 所示，并将 SiC 器件与 Si 器件电源装置的效率进行了对比。Si 器件电源装置的整流桥二极管管



A—滤波电路 B—整流桥 C—Boost电路
(a) 整流模块



A—RC保护电路 B—SiC MOSFET C—驱动电路
(b) 逆变模块

图4 无线充电系统电源装置

Fig.4 Prototype for wireless charging system

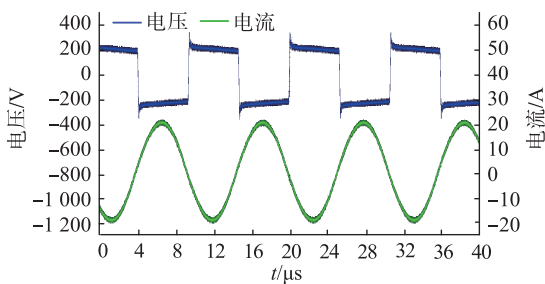
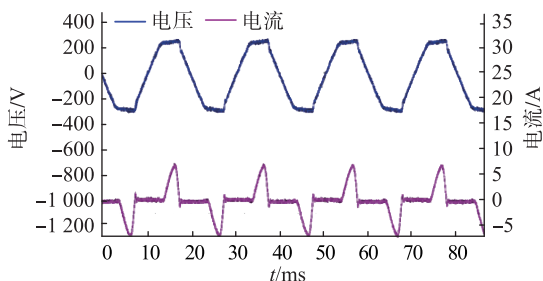
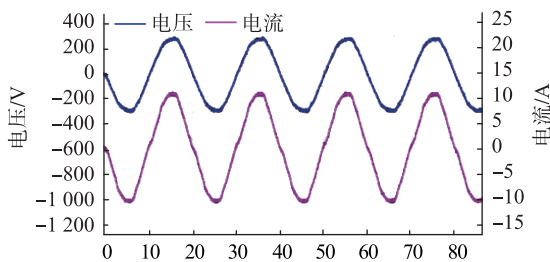


图5 接收端波形

Fig.5 Receiver waveforms



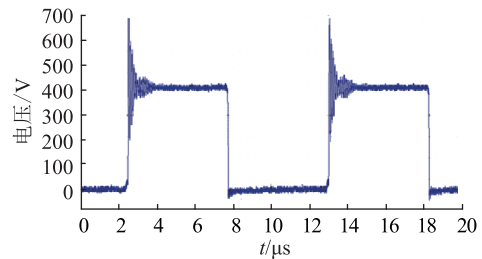
(a) PFC控制器关闭



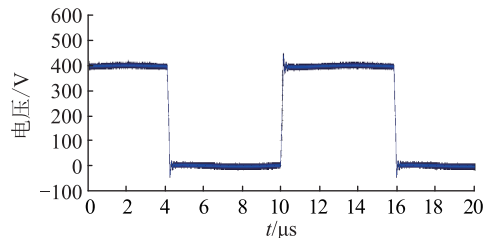
(b) PFC控制器开启

图6 输入电压和电流波形

Fig.6 Waveforms of input voltage and input current



(a) 无保护电路



(b) 有保护电路

图7 漏源极电压波形

Fig.7 Drain-source voltage waveforms

采用正向电压降为 1.1 V 的 Si 二极管, 逆变电路采用静态导通电阻为 90 mΩ 的 Si MOSFET。与 Si 器件相比, 实验样机的峰值效率可达 98.2%, 提高了 2%。实验样机 4 kW 输入功率时效率为 97.8%, 提高了 3%。表 3 为装置效率最高和输入功率为 4 kW 时的输入、输出功率, 由功率分析仪测得。输入功率为 2.6 kW 时, 实验样机效率最高。

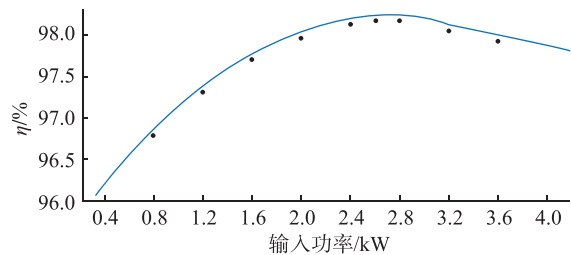


图8 不同输入功率下效率曲线

Fig.8 Efficiency curves under conditions with varied input power

表3 装置的输入输出功率

Table 3 Input and output power of the device

参数	装置效率最高	装置满载输入
输入功率/kW	2.634	4.002
输出功率/kW	2.586	3.914
效率/%	98.2	97.8

5 结语

文中研制了一套基于 SiC 器件的无线充电系统电源装置, 详细阐述了电源装置各部分设计方法。实验结果表明: 系统各模块均能稳定工作; 输入端电流能很好地跟随电压, 电压电流相位保持一致;

保护电路的采用大幅度降低了 MOSFET 开断时的电压尖峰;装置效率峰值可达 98.2%,4 kW 输入时效率为 97.8%。

当前,电动汽车无线充电技术是热门研究领域,采用 SiC 器件以提升电动汽车充电效率更利于无线充电汽车的推广。此外,高效率且支持无线充电的无人机、巡检机器人、传感器等产品的应用也能推进电网的智能化发展。如何针对性地将高效率无线充电电源装置运用于上述产品,满足不同环境下各产品需求,将是下一步的研究内容。

参考文献:

- [1] 黄学良,王维,谭林林. 磁耦合谐振式无线电能传输技术研究动态与应用展望[J]. 电力系统自动化,2017,41(2):2-14,141.
HUANG Xueliang,WANG Wei,TAN Linlin. Technical progress and application development of magnetic coupling resonant wireless power transfer[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017,41(2):2-14,141.
- [2] 黄学良,谭林林,陈中,等. 无线电能传输技术研究与综述[J]. 电工技术学报,2013,28(10):1-11.
HUANG Xueliang,TAN Linlin,CHEN Zhong, et al. Review and research progress on wireless power transfer technology [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(10): 1-11.
- [3] 盛况,郭清. 碳化硅电力电子器件在电网中的应用展望[J]. 南方电网技术,2016,10(3):87-90,9.
SHENG Kuang, GUO Qing. Prospects of SiC power electronic device application in power grid[J]. Southern Power System Technology, 2016,10(3):87-90,9.
- [4] 段卓琳,范涛,张栋,等. 全 SiC 三相逆变器传导电磁干扰建模与预测[J]. 电工电能新技术,2018,37(1):1-7.
DUAN Zhuolin,FAN Tao,ZHANG Dong, et al. Modeling and prediction of electromagnetic interference in whole SiC three phase inverters [J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2018,37(1):1-7.
- [5] CHENNU J V P S, MAHESHWARI R, LI H L. New resonant gate driver circuit for high-frequency application of silicon carbide MOSFETs[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2017,64(10):8277-8287.
- [6] 严阳,吴新科,盛况. 基于碳化硅 MOSFET 的 99.2% 高效率功率因数校正器[J]. 电源学报,2016,14(4):73-81.
YAN Yang,WU Xinke,SHENG Kuang. 99.2% efficiency ZVS single-phase PFC rectifier with SiC MOSFET [J]. Journal of Power Supply, 2016,14(4):73-81.
- [7] 丁晓伟,李志君. 碳化硅器件在直流充电桩中的应用研究[J]. 电力电子技术,2020,54(3):121-122,126.
DING Xiaowei,LI Zhijun. Application research of silicon carbide devices in DC charging pile[J]. Power Electronics, 2020,54(3):121-122,126.
- [8] 陈之勃,陈永真. 碳化硅 MOSFET 与硅 MOSFET 的应用对比分析[J]. 电源学报,2018,16(1):95-98.
CHEN Zhibo,CHEN Yongzhen. Comparative analysis of applications for SiC MOSFET and silicon MOSFET [J]. Journal of Power Supply, 2018,16(1):95-98.
- [9] 李东,李岩,王喜乐,等. 基于全碳化硅 MOSFET 的导轨车充电机应用研究[J]. 电力电子技术,2019,53(2):24-26.
LI Dong,LI Yan,WANG Xile, et al. Application and research of wheel rail trolley charging generator based on all-SiC MOSFET [J]. Power Electronics, 2019,53(2):24-26.
- [10] 曾正,邵伟华,胡博容,等. SiC 器件在光伏逆变器中的应用与挑战[J]. 中国电机工程学报,2017,37(1):221-233.
ZENG Zheng,SHAO Weihua,HU Borong, et al. Chances and challenges of photovoltaic inverters with silicon carbide devices [J]. Proceedings of the CSEE, 2017,37(1):221-233.
- [11] 祁锋,徐隆亚,王江波,等. 一种为碳化硅 MOSFET 设计的高温驱动电路[J]. 电工技术学报,2015,30(23):24-31.
QI Feng,XU Longya,WANG Jiangbo, et al. A high temperature gate drive circuit for SiC MOSFET [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015,30(23):24-31.
- [12] LIANG Z X, NING P Q, WANG F. Development of advanced all-SiC power modules[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2014,29(5):2289-2295.
- [13] 方瑜,秦海鸿,朱梓悦,等. 硅与碳化硅二极管在 Buck 变换器中的对比研究[J]. 电力电子技术,2014,48(2):37-39,61.
FANG Yu,QIN Haihong,ZHU Ziyue, et al. Comparison of Si diode and SiC diode in Buck converter [J]. Power Electronics, 2014,48(2):37-39,61.
- [14] MILLÁN J, GODIGNON P, PERPIÑÀ X, et al. A survey of wide bandgap power semiconductor devices [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2014,29(5):2155-2163.
- [15] JIANG D, BURGOS R, WANG F, et al. Temperature-dependent characteristics of SiC devices: performance evaluation and loss calculation [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2012,27(2):1013-1024.
- [16] 王振雷,董长双. 基于 Matlab 的吸收电路对 IGBT 电路功耗影响的研究[J]. 电气传动,2014,44(7):76-80.
WANG Zhenlei,DONG Changshuang. Study of influence of absorber circuits for IGBT power dissipation based on Matlab [J]. Electric Drive, 2014,44(7):76-80.
- [17] 朱春波,姜金海,宋凯,等. 电动汽车动态无线充电关键技术研究进展[J]. 电力系统自动化,2017,41(2):60-65,72.
ZHU Chunbo,JIANG Jinhai,SONG Kai, et al. Research progress of key technologies for dynamic wireless charging of electric vehicle [J]. Automation of Electric Power Systems, 2017,41(2):60-65,72.
- [18] 谭林林,颜长鑫,黄学良,等. 无线电能传输系统电压稳定在线控制策略的研究[J]. 电工技术学报,2015,30(19):12-17.
TAN Linlin,YAN Changxin,HUANG Xueliang, et al. Stable voltage online control strategy of wireless power transmission system [J]. Transactions of China Electrotechnical Society,

- 2015,30(19):12-17.
- [19] 夏晨阳,解光庆,林克章,等. 双LCL补偿ICPT系统双谐振点特性及最大输出功率研究[J]. 中国电机工程学报,2016,36(19):5200-5208,5401.
- XIA Chenyang, XIE Guangqing, LIN Kezhang, et al. Study of dual resonance point characteristics and maximum output power of ICPT based on double LCL compensation[J]. Proceedings of the CSEE,2016,36(19):5200-5208,5401.
- [20] RAMEZANI A, FARHANGI S, IMAN-EINI H, et al. Optimized LCC-series compensated resonant network for stationary wireless EV chargers[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics,2019,66(4):2756-2765.
- [21] 易俊宏,马红波,孟庆伟. 高效率、高功率密度无桥PFC设计[J]. 电力电子技术,2017,51(12):112-116.
- YI Junhong, MA Hongbo, MENG Qingwei. Design of high efficiency and high power density bridgeless PFC converters[J]. Power Electronics,2017,51(12):112-116.
- [22] 张舟云,王晓东,徐国卿,等. 电力电子装置滤波电容容量的设计方法[J]. 电力电子技术,2005,39(1):70-72.
- ZHANG Zhouyun, WANG Xiaodong, XU Guoqing, et al. Design of filter capacitance used in power electronic system[J]. Power Electronics,2005,39(1):70-72.
- [23] 李辉,黄樟坚,廖兴林,等. 一种抑制SiC MOSFET桥臂串扰的改进门极驱动设计[J]. 电工技术学报,2019,34(2):275-285.
- LI Hui, HUANG Zhangjian, LIAO Xinglin, et al. An improved SiC MOSFET gate driver design for crosstalk suppression in a phase-leg configuration[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2019,34(2):275-285.
- [24] 梁美,李艳,郑琼林,等. 桥式电路中不同封装SiC MOSFET串扰问题分析及低栅极关断阻抗的驱动电路[J]. 电工技术学报,2017,32(18):162-174.
- LIANG Mei, LI Yan, ZHENG Qionglin, et al. Analysis for crosstalk of SiC MOSFET with different packages in a phase-leg configuration and a low gate turn-off impedance driver[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2017,32(18):162-174.
- [25] 周琦. 一种适用于桥式电路的碳化硅MOSFET驱动器[J]. 电力电子技术,2018,52(11):43-46.
- ZHOU Qi. A novel SiC MOSFET gate driver circuit for bridge circuit[J]. Power Electronics,2018,52(11):43-46.
- [26] 卞正达,黄天一,徐长福,等. 针对碳化硅器件的高频逆变器缓冲电路设计[J]. 电力工程技术,2019,38(6):167-172.
- BIAN Zhengda, HUANG Tianyi, XU Changfu, et al. Spikes and oscillation suppression methods based on SiC devices in high frequency inverter[J]. Electric Power Engineering Technology,2019,38(6):167-172.

作者简介:



黄天一

黄天一(1997),男,硕士,研究方向为无线电能传输技术(E-mail: huangtian_yi@qq.com);

卞正达(1996),男,硕士,研究方向为无线电能传输技术;

徐长福(1970),男,硕士,高级工程师,从事无线电能传输相关工作。

Design of transmitter power supply for wireless charging system based on SiC device

HUANG Tianyi¹, BIAN Zhengda¹, XU Changfu², WANG Ruoyin¹, ZHANG Ming¹, TAN Linlin¹

(1. School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: SiC devices have advantages in high frequency and high temperature occasions. Applying SiC devices to wireless charging systems can effectively improve the efficiency of wireless charging systems. Firstly, the characteristics of SiC material and Si material are compared firstly. Based on this, a set of power supply device for wireless charging system based on SiC device is developed. The device consists of rectifier module and inverter module. The input terminal is connected to mains electricity. The rectifier module has a power factor correction function. Then, the design method of rectifier bridge, filter circuit, Boost circuit and switch tube control circuit in rectifier module is given. The design method of switch tube drive circuit and switch tube protection circuit in inverter module is also given in this paper. Finally, the experimental results verify the effectiveness and feasibility of the scheme. High power factor is achieved on the input side. The voltage oscillation of the inverter switch tube is suppressed. The peak efficiency of the experimental prototype is 98.2%.

Keywords: SiC device; power supply design; high efficiency; high power factor; power factor correction; wireless charging system

(编辑 钱悦)