

DOI:10.12158/j.2096-3203.2019.06.023

针对碳化硅器件的高频逆变器缓冲电路设计

卞正达¹, 黄天一¹, 徐长福², 王若隐¹, 张铭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: 由于大功率、高频高温等运行环境的需求, 碳化硅(SiC)器件成为新一代半导体器件的代表, 但其尖峰问题一直制约着这一新型器件的发展。以SiC金属氧化物半导体场效应晶体管(SiC MOSFET)为研究对象, 着重从逆变器中运用SiC器件的方面来进行尖峰问题的研究, 分析了SiC MOSFET在开关过程中产生尖峰和振荡的原因, 通过增加RC缓冲电路的方法对SiC的尖峰和振荡问题进行优化, 结果证明RC缓冲电路可以降低SiC器件产生的尖峰和振荡。通过多组实验进行数据曲线的拟合, 确定了RC缓冲电路中缓冲电容与缓冲电阻的关系表达式。

关键词: SiC MOSFET; 逆变电路; 尖峰; 米勒平台; RC缓冲电路

中图分类号: TM23

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2019)06-0167-06

0 引言

随着现代电力电子技术的发展, 以Si为代表的常规半导体材料制成的功率半导体器件在许多方面已经不能适应大功率、高温、高压、高频等应用场景的要求。随着碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管(silicon carbide metal oxide semiconductor field effect transistor, SiC MOSFET)技术的不断成熟, 其价格显著下降, 应用范围进一步扩大, 逐步取代Si基MOSFET成为新一代主流的SiC材料器件进入人们的视线。以SiC为代表的第三代半导体材料的出现, 为器件性能的大幅提高提供了可能。与Si芯片相比, SiC芯片损耗小、耐高温并能高频运行^[1-4]。

在文献[5]中提到的高压(>600 V)下SiC MOSFET的导通电阻受Si材料绝缘击穿场强的制约而达到极限; 文献[6]所提到的Si器件难以在高于250℃的高温下运行, 现有Si芯片的常规运行温度是125℃, 当高温和大功率, 高频以及强辐射环境条件并存时, 硅器件就难以表现出良好的特性^[7-11]。Si材料开关器件的极限工作水平约在 10^{10} W·Hz, 而Si器件可工作功率范围与其可工作频率范围成反比, 由此可见Si器件的局限性。为使大功率高频电路能在无线充电领域发展下去, 在众多的半导体材料之中, SiC以其优良的电学性能引起了广泛关注^[12-14]。与一般Si芯片相比, SiC芯片能够稳定运行在200℃以上^[11], 所制造功率模块的耐热能力提高一倍, 理论上SiC器件可以工作在

800℃环境下^[15]; SiC器件的击穿场强大约是普通Si器件的9倍。和Si器件相比, SiC器件有较高的饱和迁移速度和较低的介电常数, 使得SiC材料的器件可以在高频率下保持其良好的特性^[16-20]。

但同时, SiC器件相比于一般Si材料器件, 开关过程中会产生较大的尖峰, 而其产生的瞬时过电压对于电路的危害巨大。文中着手在SiC器件引起的尖峰和振荡问题上对SiC MOSFET的所在逆变电路进行优化。

首先分析了SiC MOSFET电路结构及其米勒效应, 其次重点分析了SiC器件产生尖峰和振荡的原因, 并将SiC MOSFET和RC缓冲电路应用在全桥逆变电路中, 对其输出进行优化, 以无线充电系统中的逆变电路作为实验电路进行的验证。

1 SiC MOSFET的尖峰和振荡问题分析

1.1 SiC MOSFET的米勒效应

图1是SiC MOSFET^[21]的等效电路, 为了更好地抑制该开关器件所产生尖峰, 首先要理解尖峰和振荡形成的原因。SiC MOSFET与一般的Si MOSFET的开通过程一样, 开通后进入饱和区时整个MOSFET就会进入米勒平台时期^[22-23]。在米勒平台时期, 栅源极电压 V_{gs} 在一段时间内几乎维持在一个稳定的值, 由于从波形上看起来像个平台, 故称之为米勒平台^[21, 24]。

在MOSFET开通过程中, V_{gs} 的上升和反向传输电容 C_{rss} 与输入电容 C_{iss} 有关, $C_{rss} = C_{gs} + C_{gd}$, $C_{iss} = C_{gd}$, 其中 C_{gs} 为栅源极间的寄生电容, C_{gd} 为栅漏极间的寄生电容。某普通Si MOSFET中参数 C_{rss} 与 C_{iss} 如表1所示。

收稿日期: 2019-05-10; 修回日期: 2019-07-05

基金项目: 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”

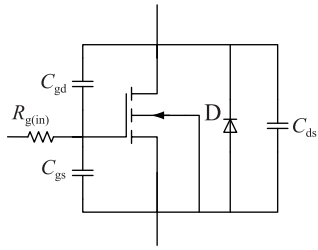


图1 SiC MOSFET 等效电路

Fig.1 SiC MOSFET simplified equivalent circuit

表1 Si MOSFET 参数

Table 1 Parameters of Si MOSFET

测试条件	参数	数值
$V_{gs} = 0 \text{ V}$,	C_{iss}/nF	19
$V_{ds} = 25 \text{ V}$,	C_{oss}/pF	5 600
$f = 1 \text{ MHz}$	C_{rssi}/pF	2 750

对于一般功率 MOSFET 来说, C_{iss} 的值远大于 C_{rssi} , 但 C_{rssi} 本身的值并不算太小。当 MOS 管的开通进入米勒平台时期时, 由于 C_{gd} 两端的电压变化非常大, 导致流入栅极的电流绝大多数为 C_{gd} 充电所用, 因此 V_{gs} 的斜率会变得很小或甚至为零。某 SiC MOSFET 中 C_{iss} 与 C_{rssi} 的值如表 2 所示, V_{ds} 为漏源极电压。

表2 SiC MOSFET 参数

Table 2 Parameters of SiC MOSFET

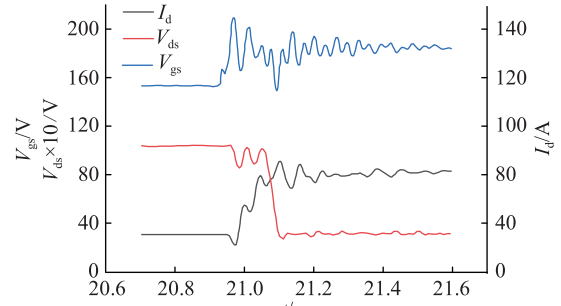
测试条件	参数	数值
$V_{gs} = 0 \text{ V}$,	C_{iss}/nF	1 900
$V_{ds} = 25 \text{ V}$,	C_{oss}/pF	160
$f = 1 \text{ MHz}$	C_{rssi}/pF	13

从表 2 可以看出, C_{iss} 的值为 C_{rssi} 的 100 倍多, 远远大于 C_{rssi} , 所以 C_{gd} 的值已经可以小到忽略不计。当 SiC MOS 管的开通进入米勒平台时期时, 由于其 C_{gd} 太小, 导致其充电时间很短, 所以几乎构不成米勒平台。

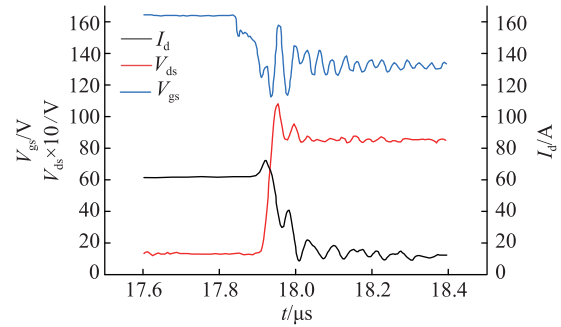
米勒平台的存在得从两方面来看。一方面, 米勒平台的出现减缓了 V_{gs} 的上升, 在高频时, 会明显提升 MOSFET 的开关损耗, 这也是普通 Si MOSFET 不能适应高频大功率电路的原因; 另一方面, 米勒平台的存在使 V_{gs} 的上升波形变得平缓, 缓解了波形上升时的振荡问题。

和普通的 Si MOSFET 相比, SiC MOSFET 的米勒电容较小, 米勒平台不明显, 如图 2 所示。图 2 (a)、(b) 由实验测得, 在全桥逆变电路上加 300 W 的功率后, 测得 V_{gs} , V_{ds} 和漏极电流 I_d 的曲线。图 2 (c) 截取自某 Si MOSFET 的数据表, 可以看出 V_{gs} 在上升时, 有一小段时间里上升曲线变得平缓, 而由

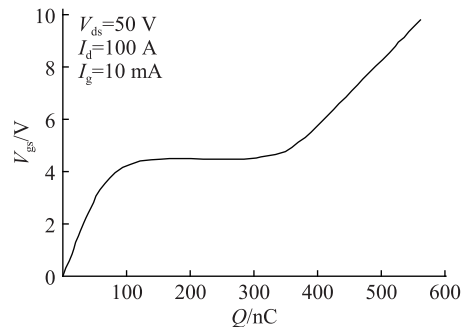
于 SiC MOSFET 自身的跨导比较低, 导致 SiC MOSFET 的米勒平台几乎看不出来, 这与普通的 Si MOSFET 形成了鲜明的对比。从图 2(a)、(b) 中可以明显看出, SiC MOSFET 在开通瞬间, V_{gs} 的上升波形出现明显的振荡, 但没有米勒平台的出现。



(a) SiC MOSFET 的开通波形



(b) SiC MOSFET 的关断波形



(c) SiC MOSFET 的栅极充电特性

图2 SiC MOSFET 的开通与关断波形

Fig.2 Turn-on and turn-off waveforms of SiC MOSFET

为使得全桥逆变电路处在软开关工作状态, 在电流过零点时对器件进行开关, 整个逆变电路的原理如图 3 所示。

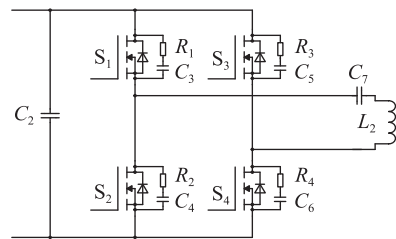


图3 逆变电路原理

Fig.3 Schematic diagram of inverter circuit

当在输入端加上 65 V 电压和 5.5 A 电流时,整个逆变电路的波形如图 4 所示,没有明显的米勒平台导致逆变电路的输出端波形在上升时有明显的尖峰和振荡。为避免再加更高电压时,过高的尖峰使驱动电路和开关管被击穿,必须减小尖峰和振荡。

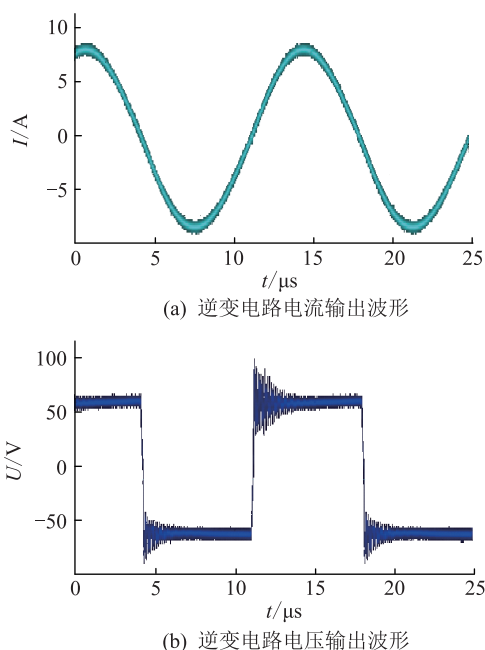


图 4 逆变电路输出波形

Fig.4 Waveforms of inverter circuit output

2 缓冲电路的设计

传统 MOSFET 逆变器常采用的缓冲电路有以下 4 种,如图 5 所示。图 5(a)、(b) 对瞬变电压非常有效且成本较低,文中主要探究 RC 缓冲电路对 SiC MOSFET 尖峰振荡的抑制作用。

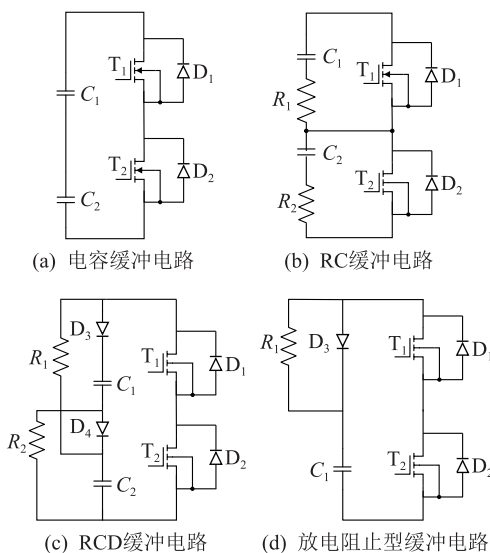


图 5 4 种常见缓冲电路类型

Fig.5 Four common types of buffer circuits

2.1 RC 缓冲电路的计算

在功率开关管开通或关断时,电路中会出现过电压并且产生电压振荡。如果尖峰电压过高,就会产生不必要的能量损耗,甚至会影响到主电路和开关管的正常工作。为了降低尖峰电压,采用在每个 SiC MOSFET 的漏源极间并联缓冲电路的方法来抑制尖峰和振荡^[25-29]。

为了抑制 V_{ds} 间出现的电压尖峰和振荡,应用无源 RC 缓冲电路。在 $R_{G,on} = 30 \Omega, R_{G,off} = 30 \Omega$, 开关频率为 f_1 的条件下(本实验中 f_1 为 100 kHz), 根据式(1)和式(2)确定电路的杂散电感 L_p 和杂散电容 C_p 。

$$L_p = \frac{T_2^2 - T_1^2}{4\pi^2 C_1} \quad (1)$$

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

式中: T_1 为不加任何缓冲元件时所测得的 MOS 管开关时的振荡周期; T_2 为在 MOS 管的源极和漏极两端并联一个确定容值的电容 C_1 时的振荡周期。

缓冲电阻 R_s 和缓冲电容 C_s 可以根据杂散电感和杂散电容值来确定,其中 R_s 满足条件:

$$R_s \leq \sqrt{\frac{L_p}{C_p}} \quad (3)$$

而 C_s 的选取应满足下列不等式条件:

$$0.5 C_s V_0^2 > 0.5 L_p I^2 \quad (4)$$

$$C_s < \frac{t_{on}}{10 R_s} \quad (5)$$

式中: I 为电路中的关断电流; t_{on} 为 SiC MOSFET 的开通延时时间; V_0 为关断电压。具体的电容和电阻的定值需要通过实验进行反复的对比和测试。

2.2 RC 缓冲电路的确定

根据实验,测得 $T_1 = 5.56 \mu s, T_2$ 为加上 10 nF 后测得的振荡周期,为 $1 \mu s$ 。根据 C_s 与 R_s 的不等关系,计算出 C_s 的大致范围为 0.24~2.2 nF,且满足 $R_s < 20 \Omega$ 。由于 RC 缓冲电路中电容和电阻相互联系,不能进行独立研究。所以实验取自变量为 C_s 与 R_s 的值,因变量为尖峰电压值。本次实验取输入电压为 250 V,输入电流为 15 A,总输入功率为 3.7 kW。

令 X 轴为 R_s , 取值为 $x = [0, 3, 4, 5, 6, 8]$, 单位 Ω ; Y 轴为 C_s , 取值为 $y = [0.375, 0.5, 0.75, 0.97, 1.7, 2]$, 单位 nF; 因变量尖峰电压值显示在 Z 轴上, 单位 V。一共 36 个数据, 每组数据测 10 次, 取平均值, 共测 360 次。利用 Matlab 辅助拟合函数, 得容值、阻值、尖峰电压关系如图 6 所示。

图 6 中, 红色区域代表尖峰电压小的区域, 蓝色

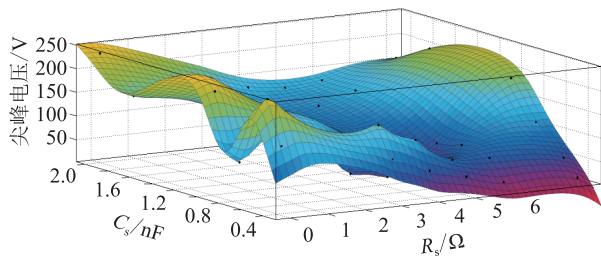


图6 容值、阻值、尖峰电压关系

Fig.6 Capacitance, resistance, peak voltage diagram

和绿色分别代表尖峰稍大和尖峰很大的区域。可以看出有2个区域电压尖峰明显很小,即 $R_s = 4 \Omega$, $C_s = 0.75 \text{ nF}$ 和 R_s 为 $6 \sim 8 \Omega$, $C_s = 0.375 \text{ nF}$ 时。

为了使该逆变电路的效率尽量的高,根据缓冲电路中缓冲电阻的功率损耗计算公式:

$$P_{\text{diss}} = C_s V_{\text{ds,off}} f_s \quad (6)$$

可以看出,MOSFET关断,漏源极电压 $V_{\text{ds,off}}$ 、系统开关频率 f_s 确定时,缓冲电容 C_s 应尽量选小。

2.3 实验平台搭建

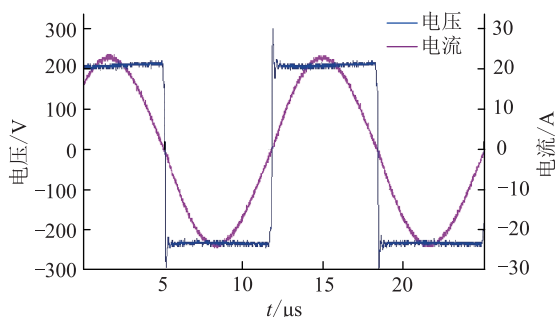
用来测试RC缓冲电路的实验平台采用ISO58-52S作为SiC MOSFET的驱动芯片,用DSP作为驱动芯片的信号输入。每个SiC MOSFET两端采用2个0.75 nF的电容串联的方式形成0.375 nF,而后再串联一个 8Ω ,5 W的水泥电阻以此来组成RC缓冲电路。

2.4 RC缓冲电路效果

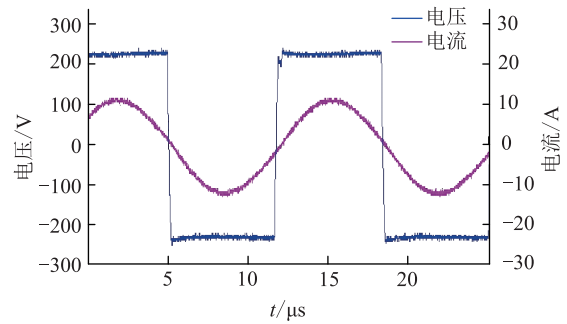
通过计算和实验,在取 $R_s = 8 \Omega$, $C_s = 0.375 \text{ nF}$ 时,由SiC MOSFET所引起的 V_{ds} 电压尖峰和振荡都得到了很好的抑制,并且所得到的开关波形与未加缓冲电路时的波形对比有了明显的提升,如图7所示。

其中,该逆变电路的输入电压为360 V,输入电流为17.5 A,蓝色的方波为逆变电路电压输出波形,紫色正弦的波形为逆变电路电流输出波形。

可以看出,输入端的功率已经加到了接近8.5 kW,而逆变电路的输出波形而MOS管的开通和关断波形没有明显的尖峰。



(a) 逆变电路未加缓冲电路时的输出波形



(b) 逆变电路加入缓冲电路后的输出波形

图7 加入缓冲电路前后的逆变电路输出波形对比

Fig.7 Comparison of output waveforms of inverter circuit before and after adding buffer circuit

3 结语

文中主要就新兴的开关器件SiC MOSFET在无线充电系统中的应用展开分析,研究了SiC MOSFET与Si MOSFET的一些不同特点,重点分析了SiC MOSFET的开关特性中缺少米勒平台对漏源极电压的影响。通过在无限充电系统装置逆变电路中,在漏源极间并联RC缓冲电路的方法缓解了漏源极电压出现振荡和尖峰的问题,为SiC器件在无线充电系统中的推广和普及进一步奠定基础。

参考文献:

- [1] 李磊,宁圃奇,温旭辉,等. 1 200 V 碳化硅 MOSFET 与 IGBT 器件特性对比性研究[J]. 电源学报, 2016, 14(4): 32-38, 58.
- LI Lei, NING Puqi, WEN Xuhui, et al. Comparative performance study of 1 200 V SiC MOSFET and Si IGBT[J]. Journal of Power Supply, 2016, 14(4): 32-38, 58.
- [2] SHANG Y C, ZHANG Y M. Effects of incomplete ionization of acceptors on 6H-SiC MOSFET[J]. Pan Tao Ti Hsueh Pao/Chinese Journal of Semiconductors, 2001, 22(7): 888-891.
- [3] KAMPITSIS G, ANTIVACHIS M, KOKOSIS S, et al. An accurate Matlab/Simulink based SiC MOSFET model for power converter applications[C]//The Applied Power Electronics Conference and Exposition 2015. IEEE, 2015.
- [4] LI H, POTTY K, KE Z, et al. Hardware design of a 1.7 kV SiC MOSFET based MMC for medium voltage motor drives[C]//2018 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). IEEE, 2018.
- [5] 殷志远. 基于SiC MOSFET的无线充电高频电源的设计与实现[D]. 北京:北京交通大学, 2017.
- YIN Zhiyuan. Design and implementation of high frequency power supply based SiC MOSFET used in wireless power transfer [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2017.
- [6] SHE X, HUANG A Q, LUCIA O, et al. Review of SiC power devices and their applications[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2017, 64(10): 8193-8205.
- [7] 殷冠贤,朱铭炼,谢晔源,等. MMC 阀子模块 IGBT 损耗与结

- 温计算[J]. 电力工程技术, 2018, 37(3): 129-133, 150.
- YIN Guanxian, ZHU Minglian, XIE Yeyuan, et al. A calculating method for loss and junction temperature of IGBT based on MMC[J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(3): 129-133, 150.
- [8] SHE X, DATTA R, HARFMAN-TODOROVIC M, et al. High performance SiC power block for industry applications [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2017, 53(4): 3738-3747.
- [9] 肖强. 10 kV/200 A 大功率碳化硅 MOSFET 混合模块设计 [D]. 浙江:浙江大学, 2016.
- XIAO Qiang. Design of 10 kV/200 A high power silicon carbide MOSFET hybrid module [D]. Zhejiang: Zhejiang University, 2016.
- [10] 张宁. 宽禁带功率半导体器件损耗研究 [D]. 杭州:浙江大学, 2016.
- ZHANG Ning. Study on loss of wide bandgap power semiconductor devices [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.
- [11] DISNEY D, SHEN Z J. Review of silicon power semiconductor technologies for power supply on chip and power supply in package applications [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2013, 28(9): 4168-4181.
- [12] 李东, 李岩, 王喜乐, 等. 基于全碳化硅 MOSFET 的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.
- [13] 盛况, 董泽政, 吴新科. 碳化硅功率器件封装关键技术综述及展望 [J]. 中国电机工程学报, 2019, 39(19): 5576-5584, 5885.
- SHENG Kuang, DONG Zezheng, WU Xinke. Review and prospect of key packaging technologies for silicon carbide power devices [J]. Proceedings of the Chinese Society for Electrical Engineering, 2019, 39(19): 5576-5584, 5885.
- [14] 赵敏, 贺文智, 朱昊辰, 等. 碳化硅在能源领域的应用及展望 [J]. 上海节能, 2017(10): 578-582.
- ZHAO Min, HE Wenzhi, ZHU Haochen, et al. Application and prospect of silicon carbide in energy field [J]. Shanghai Energy Conservation, 2017(10): 578-582.
- [15] 李轩. SiC MOSFET 开关损耗模型与新结构研究 [D]. 成都:电子科技大学, 2017.
- LI Xuan. Study of switching loss model and new structure of SiC MOSFET [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2017.
- [16] 方跃财. SiC MOSFET 特性研究: 驱动、短路与保护 [D]. 杭州:浙江大学, 2018.
- FANG Yuecai. Study on SiC MOSFET characteristic: driver, short-circuit and protection [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018.
- [17] 王军伟. 基于 SiC MOSFET 的 Buck 电路研究 [D]. 西安:西安理工大学, 2018.
- WANG Junwei. Research on buck circuit based on SiC MOSFET [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2018.
- [18] IMAIZUMI M, HASEGAWA S, SUMITANI H, et al. Remarkable advances in SiC power device technology for ultra high power systems [C] // IEEE International Electron Devices Meeting, 2013.
- [19] OSTLING M, GHANDI R, ZETTERLING C M. SiC power devices-present status, applications and future perspective [C] // 2011 IEEE 23rd International Symposium On Power Semiconductor Devices and Ics (ISPSD). IEEE, 2011: 10-15.
- [20] 张波, 邓小川, 张有润, 等. 宽禁带半导体 SiC 功率器件发展现状及展望 [J]. 中国电子科学研究院学报, 2009, 4(2): 111-118.
- ZHANG Bo, DENG Xiaochuan, ZHANG Yourun, et al. Opportunity and challenge of recent development and future perspective of SiC power devices [J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2009, 4(2): 111-118.
- [21] 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.
- SHENG Kuang, GUO Qing. Prospects of SiC power electronic device application in power grid [J]. Southern Power System Technology, 2016, 10(3): 87-90.
- [22] 李辉, 钟懿, 王少刚, 等. 不同雪崩冲击模式下 SiC MOSFET 的失效机理 [J]. 中国电机工程学报, 2019, 39(19): 5595-5603, 5887.
- LI Hui, ZHONG Yi, WANG Shaogang, et al. Failure mechanism of SiC MOSFET under different avalanche shocks mode [J]. Proceedings of the Chinese Society for Electrical Engineering, 2019, 39(19): 5595-5603, 5887.
- [23] 何国林, 国敬, 范涛, 等. 高开关频率 SiC 逆变器的控制程序执行时间优化 [J]. 微电机, 2017, 50(3): 27-31.
- HE Guolin, GUO Jing, FAN Tao, et al. Optimization of control program execution time for SiC drivers with high switching frequency [J]. Micromotors, 2017, 50(3): 27-31.
- [24] WANG J, ZHAO T, LI J, et al. Characterization, modeling, and application of 10 kV SiC MOSFET [J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2008, 55(8): 1798-1806.
- [25] 方化潮, 郑利兵, 王春雷, 等. IGBT 模块栅极电压米勒平台时延与结温的关系 [J]. 电工技术学报, 2016, 31(18): 134-141.
- FANG Huachao, ZHENG Libing, WANG Chunlei, et al. The relationship between junction temperature and time delay of gate voltage miller plateau of IGBT module [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(18): 134-141.
- [26] 刘永迪, 边境, 李虹, 等. 基于 SiC MOSFET 的驱动及缓冲电路设计与实验研究 [C] // 中国电源学会学术年会, 2013.
- LIU Yongdi, BIAN Jing, LI Hong, et al. Design and experimental study of drive and buffer circuit based on SiC MOSFET [C] // The 20th China Power Supply Society Conference, 2013.
- [27] XIE L J, LIU X Z, LI J Y, et al. Simulation analysis of snubber circuit for SiC MOSFET inverter [J]. Advanced Materials Research, 2014: 1241-1245.

- [28] JOKO M, GOTO A, MIYAHARA S, et al. Snubber circuit to suppress the voltage ringing for SiC device [C] // PCIM. VDE, 2015.
- [29] OZAKI T, FUNAKI T, IBUCHI T. An experimental study on conducted noise emission for PMSM drive with SiC inverter; Conducted noise reduction by snubber circuit [C] // Electro-magnetic Compatibility Conference. IEEE, 2017.

作者简介:



卞正达

卞正达(1996),男,硕士在读,研究方向为无线电能传输技术(E-mail: Bianzhengda2016@126.com);

黄天一(1997),男,硕士在读,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。

Spikes and oscillation suppression methods based on SiC devices in high frequency inverter

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

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

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

Abstract: Due to the demand for high-power, high-frequency and high-temperature operating environments, silicon carbide devices have become the representative of next-generation semiconductor devices. However, the spike problem of silicon carbide (SiC) devices has been restricting the development of this new device. The silicon carbide metal oxide Semiconductor Field Effect Transistor (SiC MOSFET) is taken as the research object, and the research on the peak problem is carried out from the aspect of using the silicon carbide device in the inverter, and the SiC is analyzed. The MOSFET generates peaks and oscillations during the switching process. By increasing the RC snubber circuit to optimize the spike and oscillation of the silicon carbide, the RC snubber circuit can be used to reduce the spikes and oscillations generated by the SiC device. Multiple sets of experiments are used to fit the data curve, and the equation relationship between the snubber capacitor and the snubber resistor in the RC snubber circuit is determined.

Keywords: SiC MOSFET; inverter circuit; spike; miller platform; RC snubber circuit

(编辑 钱悦)