

典型 DC/DC 电源变换器电离辐射效应研究

刘伟鑫 宣 明 王昆黍 吾勤之

(上海航天技术研究院第八〇八研究所 上海 201109)

摘要 研究了典型 DC/DC 电源变换器辐照后不同输出负载、不同输入电压等测试条件下, DC/DC 电源变换器输出电压等参数变化情况与辐照剂量之间的关系。研究表明, DC/DC 电源变换器输出电压衰减程度随输出负载功率增大; 输入电压变化对输出电压特性的影响程度较小。

关键词 DC/DC 电源变换器, 电离辐射效应, 输出负载, 输入电压

中图分类号 TN45, TN712

DC/DC 电源变换器转换效率高、体积小、功耗低, 已取代传统的线性稳压电源, 为卫星上的单机和系统供电。空间带电粒子会对其造成电离辐射效应损伤, 引起参数特性显著退化, 甚至造成单机和系统的工作电压中断。对 DC/DC 电源变换器的电离辐射效应研究表明^[1-4], 辐照会引起 DC/DC 电源变换器的输出电压下降。开展 DC/DC 电源变换器的电离辐射效应研究, 对于确保其在空间辐射环境中的可靠性具有重要意义。本文分析辐照后不同输出负载、不同输入电压等测试条件下, DC/DC 电源变换器输出电压、抑制模式输入电流等参数变化情况。

1 试验方法

1.1 试验样品

试验样品为 DVTR2805S 单路 5 V 输出及 DVTR2815D 双路 15 V 输出 DC/DC 电源变换器, 系美国 VPT 公司产品, 输入电压范围 16~50 V, 输出端负载范围为空载~满功率负载。DVTR2805S 和 DVTR2815D 的满载输出功率分别为 30 W 和 40 W。

1.2 辐照试验

辐照源为中国科学院新疆理化技术研究所的 ^{60}Co γ 射线源, 剂量率为 0.5 Gy(Si)/s, 采用硫酸亚铁剂量计标定; 辐照偏置条件: 输入端施加 28 V 输入电压, 输出端施加 1/2 功率负载, 抑制模式控制端浮空, 保证 DC/DC 电源变换器处于工作状态, 辐照偏置示意图如图 1 所示。测量参数: 不同输出负载、输入电压下的输出电压 V_{out} ; 考虑到 DC/DC 电源变换器在空间实际应用时除处于工作状态外, 还可能处于抑制模式, 抑制模式下 DC/DC 电源变

换器的输出电压为零, 为考察抑制模式下电参数随辐照剂量的变化情况, 取抑制模式输入电流 I_{inhibit} 作为测量参数。测量方式为移位测量, 从辐照夹具上取下试验样品, 用 DC/DC 电源变换器电参数测试系统进行参数测量, 每次测量在 20 min 内完成。

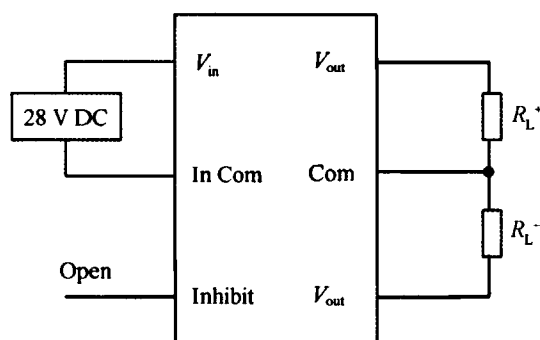


图 1 DC/DC 电源变换器辐照偏置示意图
Fig.1 Schematics of the DC/DC converter bias during irradiation.

2 试验结果

2.1 输出电压与辐照剂量的关系

图 2 是 DC/DC 电源变换器在 28 V 输入电压、满功率负载条件下的输出电压变化量 ΔV_{out} 与辐照剂量的关系。DC/DC 电源变换器的输出电压对辐照剂量较敏感, 输出电压随剂量增加而下降。

2.2 输出电压与输出负载的关系

不同输出负载(空载、1/4 和 1/2 功率负载、满功率负载)条件下, DVTR2815D 输出电压变化量 ΔV_{out} 与剂量关系见图 3。剂量较小时, 四种负载下输出电压衰减变化量均较小; 剂量超过 500 Gy(Si),

输出电压衰减变化量 ΔV_{out} 随输出负载功率增大,即满功率负载条件下 ΔV_{out} 最大,而空载条件下最小。

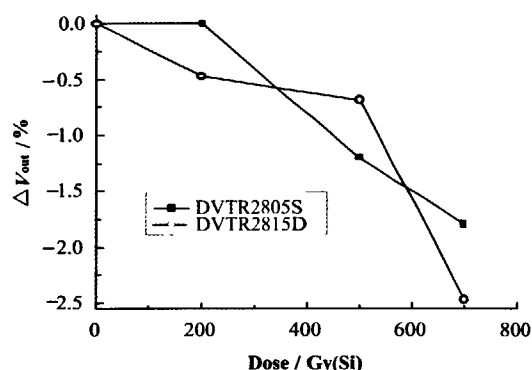


图 2 DC/DC 电源变换器输出电压变化量 ΔV_{out} 与辐照剂量的关系
Fig.2 ΔV_{out} of DVTR2805S and DVTR2815D irradiated to different doses.

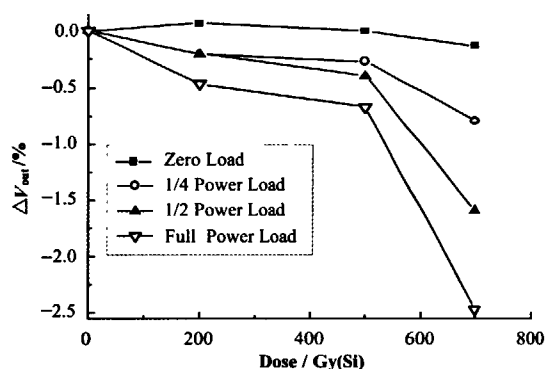


图 3 不同输出负载条件下, DC/DC 电源变换器输出电压衰减变化量 ΔV_{out} 与辐照剂量的关系
Fig.3 ΔV_{out} of irradiated to different doses under different load conditions.

2.3 辐照条件下输出电压与输入电压之间的关系

输入电压为 16、28、50 V 条件下, DVTR2805S 的 ΔV_{out} 与辐照剂量间的关系见图 4。当输出端的负载固定时,同一辐照剂量下、三种输入电压条件下的 ΔV_{out} 相等,表明固定负载条件下不同的输入电压对器件输出特性的影响程度较小。

2.4 抑制模式输入电流与辐照剂量的关系

图 5 为 DC/DC 电源变换器抑制模式输入电流 $I_{inhibit}$ 与辐照剂量的关系。剂量 <500 Gy(Si),抑制模式输入电流 $I_{inhibit}$ 在 5 mA 量级;剂量 >500 Gy(Si), $I_{inhibit}$ 出现较大变化。

3 讨论与分析

DC/DC 电源变换器由电压输入端、脉宽调制器(PWM Control)、VDMOS 功率开关管 Q1、变压器

T1、磁反馈结构(Magnetic Feedback)、二极管 D1 等构成(图 6)。VDMOS 是 DC/DC 电源变换器的核心器件,脉宽调制器 PWM 的输出脉冲控制 VDMOS 的周期性导通和截止,将输入直流电压转变为方波加载至变压器 T1 的初级绕组上。VDMOS 导通时,次级绕组中的二极管 D1 反偏,次级绕组中无电流通过,耦合到次级绕组的能量以磁能形式储存于次级绕组中。VDMOS 截止时,变压器 T1 所感应的电压与输入电压反向, D1 导通,储存于次级绕组中的磁能以电能形式释放给负载,输出稳定的直流电压。磁反馈结构的作用是根据输出负载变化情况控制 PWM 输出脉冲占空比,保证输出电压的稳定^[1,2,5]。

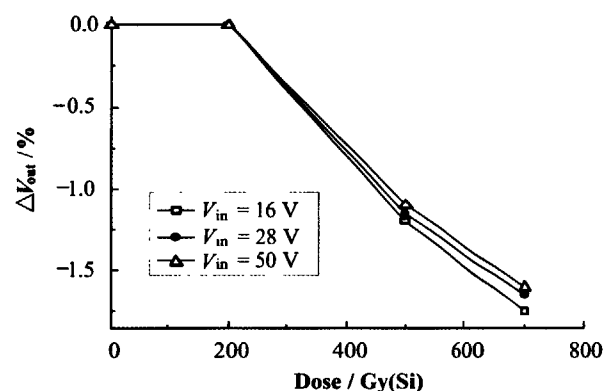


图 4 不同输入电压条件下, DC/DC 电源变换器输出电压衰减变化量 ΔV_{out} 与辐照剂量的关系
Fig.4 ΔV_{out} of the DC/DC converter irradiated to different doses under different input voltages.

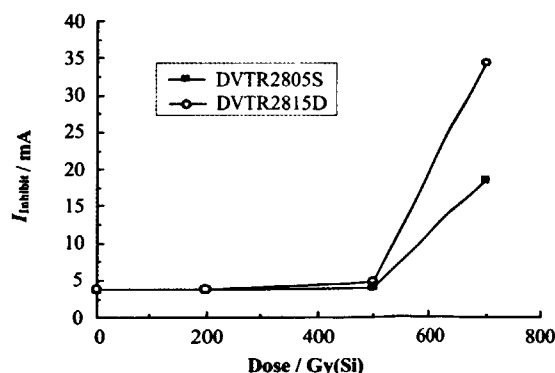


图 5 抑制模式下输入电流 $I_{inhibit}$ 变化情况与辐照剂量的关系
Fig.5 $I_{inhibit}$ of the DC/DC converter irradiated to different doses, under inhibit model.

在 γ 射线辐照下, VDMOS 表面 SiO_2 氧化层内积累大量的氧化物陷阱正电荷^[6-8],使 VDMOS 阈值电压随剂量增加而负向漂移,即导通电压不断下降,乃至脉冲调制器 PWM 无法将 VDMOS 从导通态转变至截止态,使次级绕组的能量不能有效释放给负载,导致输出电压随剂量增加而下降(图 2)。

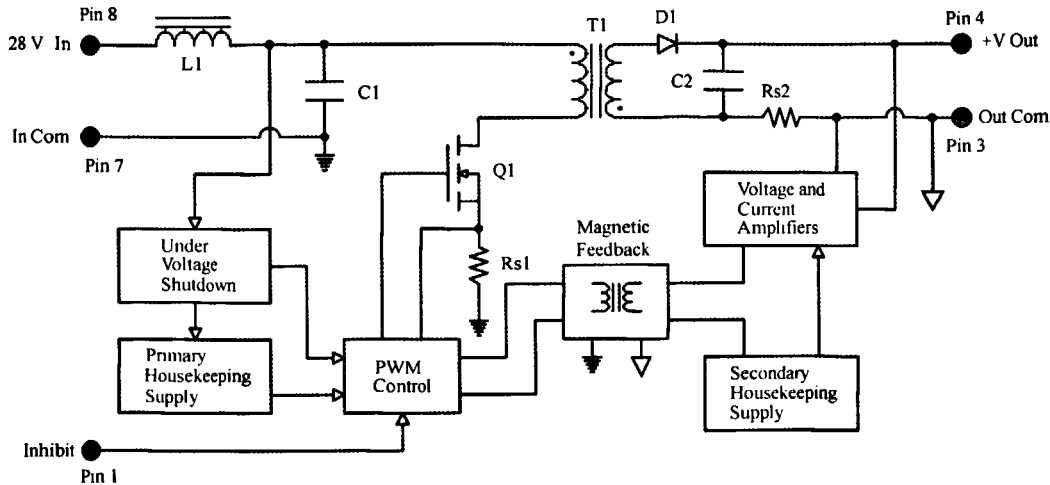


图6 DC/DC 电源变换器内部结构示意图
Fig.6 Schematics of typical DC/DC converters.

DC/DC 电源变换器输入电压保持不变, 输出端负载由空载变化至满功率负载时, 磁反馈结构根据负载变化将脉宽调制器 PWM 输出脉冲的占空比调小, 即满功率负载下 VDMOS 的截止时间最长, 空载下截止时间最短。而辐照过程中 VDMOS 阈值电压的负向漂移会导致其无法从导通态转变至截止态, 引起输出电压不断下降。因此, 对于 VDMOS 导通和截止时间的变化, 满功率负载影响最大, 1/2 功率负载其次, 空载最小; 同一剂量下, 满功率负载输出电压的衰减程度最大, 空载下最小(图 3)。

辐照条件下 DC/DC 电源变换器输出电压的衰减会引起单机系统的工作电压下降; 不同负载下 DC/DC 电源变换器输出电压衰减程度差异会引起器件的带载能力下降, 导致空间实际应用时相应负载条件下的输出电压低于后级电路对电源电压的要求, 最终造成单机系统工作中断。

DC/DC 电源变换器的输出负载不变, 输入电压由 16 V 增至 50 V, VDMOS 的阈值电压负向漂移程度相同, 故不同输入电压对输出电压的影响较小。

DC/DC 电源变换器处于抑制工作模式时, 脉宽调制器 PWM 无脉冲输出, 不能控制 VDMOS 的导通和截止, 输出端无电压输出。辐照过程中, VDMOS 阈值电压的负向漂移会造成漏电流增加, 最终造成 DC/DC 电源变换器的抑制模式输入电流随辐照剂量增大。

4 结语

本文测量了辐照后不同输出负载、不同输入电压下典型 DC/DC 电源变换器的输出电压、抑制模式输入电流与辐照剂量的关系, 研究了该电源变换

器的电离辐射效应。结果表明, 辐照后 DC/DC 电源变换器输出电压的衰减程度与负载条件密切相关, 输出负载功率越大, 输出电压的衰减程度也越大; 不同的输入电压对输出电压的影响程度较小。

参考文献

- 陈晓东. 基于 SBD 的 DC/DC 转换器辐射损伤预兆单元研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009
CHEN Xiaodong. Research on prognostic cell for DC/DC conveter radiation damage based on SBD[D]. Xi'an: Xidian University, 2009
- 曹鹏辉. 基于 VDMOSFET 的 DC/DC 转换器辐射损伤预兆单元研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009
CAO Penghui. Research on prognostic cell for DC/DC conveter based on VDMOSFET radiation damage[D]. Xi'an: Xidian University, 2009
- Pizano J E, Ma T H, Attia J O, *et al.* Total dose effects on power-MOSFET switching converters[J]. Microelectron Reliab, 1998, 38: 1935-1939
- Adell P C, Schrimpf P D, Choi R D, *et al.* Total-dose and single-event effects in switching DC/DC power converters[J]. IEEE Trans Nucl Sci, 2002, 49(6): 3217-3221
- 张倩倩. 基于 PWM 的 DC/DC 转换器辐射损伤预兆单元研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009
ZHANG Qianqian. Research on prognostic cell for DC/DC conveter based on PWM radiation damage[D]. Xi'an: Xi'an: Xidian University, 2009
- 陈盘训. 半导体器件和集成电路的辐射效应[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005
CHEN Panxun. Radiation effects in semiconductor

- devices and integrated-circuit[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2005
- 7 Oldham T R, Mclean F B. Total ionizing dose effects in MOS oxides and devices[J]. IEEE Trans Nucl Sci, 2003, 50(3): 483-499
- 8 Shaneyfelt M R, Schwank J R, Fleetwood D M, *et al.* Effects of irradiation temperature on MOS radiation response[J]. IEEE Trans Nucl Sci, 1998, 45(3): 1372-1736

Ionizing radiation effects on typical DC/DC converters

LIU Weixin XUAN Ming WANG Kunshu WU Qinzhi

(No.808 Institute of Shanghai Academy of Spaceflight Technology, Shanghai 201109, China)

Abstract Ionizing radiation effects of typical DC/DC converters are studied in this paper. The relationships between output voltage and irradiation dose under test conditions of output load and input voltage are discussed. The results show that the output voltage decreased with increasing the output load, and the input voltage has less effect on the output voltage.

Key words DC/DC converters, Ionizing radiation effects, Output load, Input voltage

CLC TN45, TN712