

doi: 10.7690/bgzd.2016.11.022

基于线性电源模块故障定位的仿真分析

范缜煜, 张昆峰, 董福庆

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

摘要: 为实现电源模块的故障定位, 并提高其可靠性, 对线性电源模块进行仿真分析。通过介绍电源模块中的电子元器件, 利用机电一体化仿真软件 Saber 构建线性电源模块的仿真分析模型, 并对工作中电源模块内部电子元器件的工作情况进行仿真分析。仿真结果表明: 该仿真模型能够快速定位电源模块工作失效问题, 提高系统可靠性。

关键词: Saber; 仿真分析; 线性电源模块

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

Simulation Analysis Based on Fault Location of Linear Power Module

Fan Zhenyu, Zhang Kunfeng, Dong Fuqing

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

Abstract: In order to accomplish fault location of linear power module with a better reliability, carry out simulation analysis for linear power module. With the introduction of its internal components, the simulation analysis model of linear power module is built by using electromechanical integrated simulation software Saber, and the working conditions of the internal electronic components of the power module are simulated and analyzed. The simulation results show that the simulation model can quickly detect and locate linear power module's working failure, and improve the reliability of the system.

Keywords: Saber; simulation analysis; linear power module

0 引言

电源模块是可以直接贴装在印刷电路板上的集成电源供应器, 其作用是为特殊应用集成电路(ASIC)、数字信号处理器(DSP)、微处理器、存储器、现场可编程门阵列(FPGA)及其他数字或模拟负载提供电源^[1]。

作为电子设备的重要组成部分, 电源模块的失效将直接导致系统的瘫痪, 造成不可挽回的损失; 因此, 必须确保电源模块有高的可靠性^[2-3]。

笔者采用 Saber 软件构建线性电源模块的仿真模型^[4], 并分析电路的参数性能^[5-6]。

1 电源模块中的电子元器件

通过某型电源模块(+27 V 输入电压转换为+15 V 工作电压), 利用仿真软件对电路中的电子元器件进行失效分析。

根据模块厂家提供的数据手册, 电源模块中采用的主要电子元器件如表 1^[7]所示。

2 构建仿真模型

根据以上元器件参数, 构建 Spice 模型, 利用 Saber 设计分析平台构建电源模块仿真分析模型^[8]。

表 1 模块内部电子元器件参数

元器件名称	主要技术参数
三端可调正输出电压调整器 LM117	输出电源范围 1.25~37 V, 最大输出电流 1.5 A
PNP 三极管 2SA715	环境温度为 25 ℃, 最大输出功率为 0.75 W; 壳温为 25 ℃, 最大输出功率为 10 W
NPN 三极管 3DG1008	最大输出功率为 0.8 W
稳压二极管 1N829	稳压值为 6.2 V, 最大工作电流 64 mA
稳压管 79C18	稳压值为 18 V

控制电路工作时, +15 V 电源的输出电流为 0.12 A, 可以将+15 V 电源的负载等效阻值为 125 Ω 的电阻。设置电源模块的输入为+27 V, DC/DC 变换器的仿真分析模型如图 1^[9]所示。

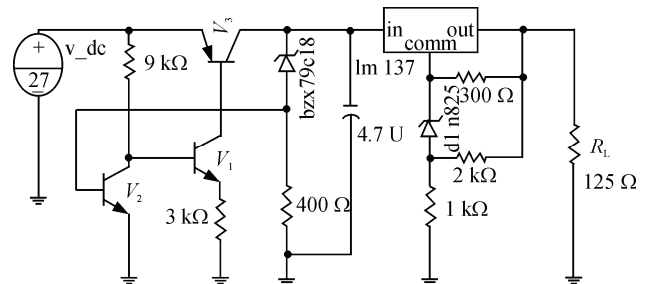


图 1 电源模块仿真分析模型

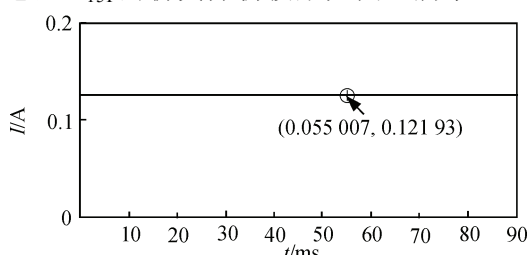
3 仿真分析结果

通过仿真建模, 电源模块+15 V 输出电压 P_{15V} 、

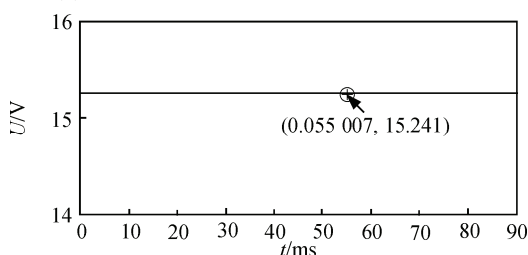
收稿日期: 2016-07-29; 修回日期: 2016-08-27

作者简介: 范缜煜(1982—), 男, 吉林人, 硕士, 工程师, 从事伺服控制及仿真算法研究。

输出电流 P_{15I} 的仿真分析波形如图 2 所示。



(a) +15 V 输出电压 P_{15V} 的仿真分析波形



(b) +15 V 输出电流 P_{15I} 的仿真分析波形

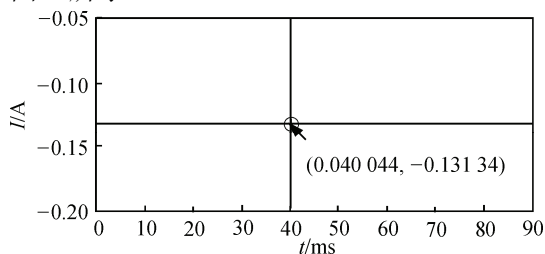
图 2 15 V 电源的输出电压、输出电流仿真分析结果

图 2 中, 15 V 电源的输出电压 P_{15V} 为 15.241 V, 比 15 V 稍大, 输出电流 P_{15I} 为 0.122 A。

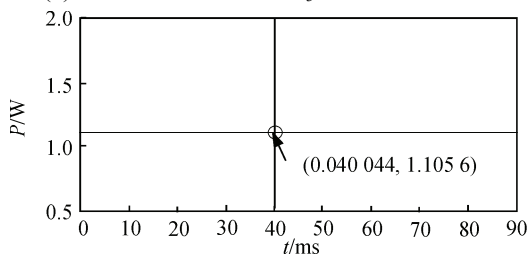
+15 V 电源的输出功率 P_2 计算如下:

$$P_2 = P_{15V} \times P_{15I} = 15.241 \times 0.122 = 1.859 \text{ W} \quad (1)$$

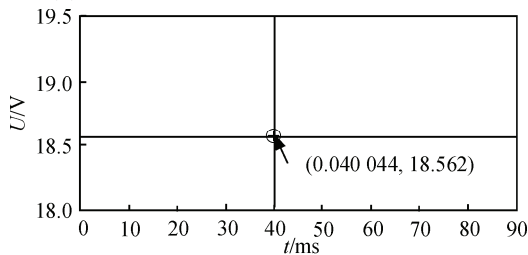
PNP 三极管 2SA715 的射极电压 V_{C3} 、集电极电源 V_{E3} 、消耗功率 P_3 、集电极电流 I_3 的仿真分析波形如图 3 所示。



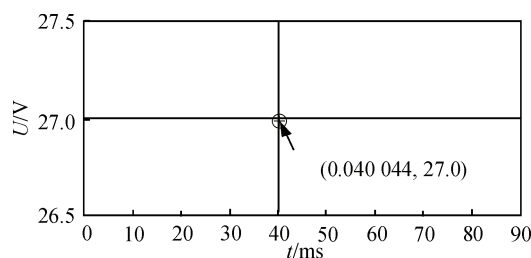
(a) 2SA715 的消耗功率 P_3 的仿真分析波形



(b) 2SA715 的射极电压 V_{C3} 仿真分析波形



(c) 2SA715 的集电极电源 V_{E3} 仿真分析波形



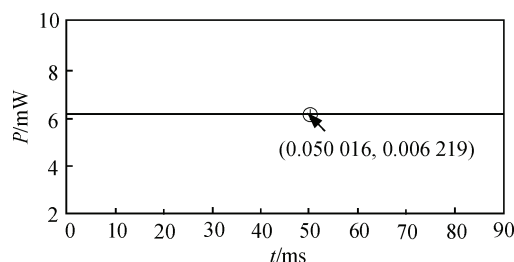
(d) 2SA715 的集电极电流 I_3 的仿真分析波形

图 3 三极管 2SA715 的仿真分析结果

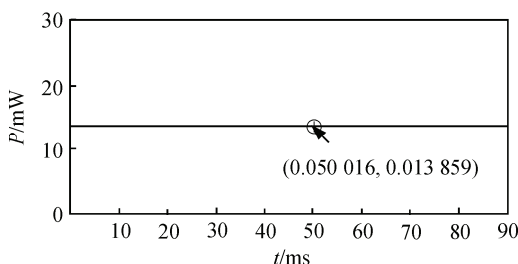
如图 3 所示, 2SA715 的射极电压 V_{E3} 为 27.0 V, 集电极电压 V_{C3} 为 18.562 V, 集射极间压差为 -8.438 V, 集电极电流 I_3 为 -0.131 A (负值表示流出集电极), 三极管消耗功率为 1.106 W。

2SA715 在环境温度为 25 °C、散热不良的情况下, 其允许的最大消耗功率为 0.75 W^[10]。而电源模块正常工作时, 2SA715 的消耗功率为 1.106 W, 在散热情况不良的情况下, 实际消耗功率已经超过了最大允许值^[11]。

另外 2 个 NPN 三极管 3DG1008 的消耗功率 P_1 、 P_2 的仿真分析结果如图 4 所示。



(a) 3DG1008 的消耗功率 P_1 仿真分析波形



(b) 3DG1008 的消耗功率 P_2 仿真分析波形

图 4 NPN 三极管 3DG1008 的消耗功率仿真分析结果

如图 4 所示, 3DG1008 的消耗功率分别为 0.014 W、0.006 W, 其允许的最大消耗功率为 0.8 W。

+27 V 供电电源的电压输出 P_V 、电流输出 P_I 的仿真分析结果如图 5 所示。

如图 5 所示, +27 V 的 P_I 输出电流为 0.134 7 A, +27 V 的输出功率 P_1 计算如下:

$$P_1 = P_V \times P_I = 27 \times 0.134 7 = 3.636 9 \text{ W} \quad (2)$$

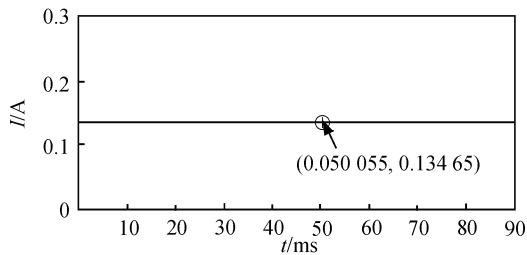
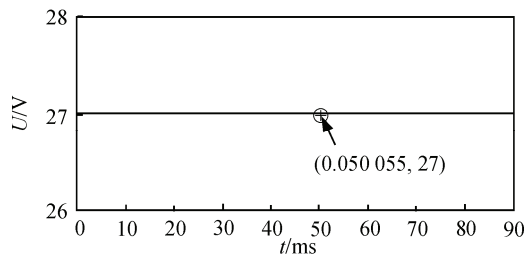
(a) +27 V 供电电源的电流输出 P_1 仿真分析波形(b) +27 V 供电电源的电压输出 P_V 仿真分析波形

图 5 +27 V 供电电源的输出电压、电流仿真分析结果

综上所述, 得出+15 V 电源的转换效率为

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{1.859}{3.6369} = 0.51。 \quad (3)$$

计算得出: +27 V 电源在转换为+15 V 的过程中, 转换效率为 0.51。

4 结果

通过仿真分析, 得出以下结果:

1) 控制电路在工作过程中, 电源模块中的 2SA715 三极管自身消耗能量为 1.106 W。在该三极管散热不良的情况下, 其允许的最大消耗功率为 0.75 W; 因此, 在长时间工作或散热状况不好的情况下, 该器件处于超额使用状态, 会导致该三极管失效的概率增加^[12]。

2) +15 V 电源模块的转换效率为 0.51, 有近 1.8 W 转化为热量, 而三极管 2SA715 消耗的能量为 1.106 W, 即大部分能量消耗在该三极管上, 须保证在电源模块设计之初, 其有良好的散热环境。

综上所述, 通过仿真软件对电源模块进行仿真

分析, 能够快速实现电源模块内部电路的故障定位, 定位准确、措施有效。通过软件仿真, 电源厂家对该硬件电路性能参数进行调整, 已消除产品的设计隐患。

5 结束语

仿真结果表明: 利用仿真分析软件建模^[13], 可以对电源模块工作失效进行快速问题定位, 提高系统的可靠性^[14]。

参考文献:

- [1] 马骁. 数字 DC-DC 变换器中 DPWM 的研究与设计[D]. 成都: 电子科技大学, 2013.
- [2] 张波. 军用电源模块自动化测试系统的设计与实现[D]. 北京: 中国科学院大学, 2015.
- [3] 田海燕, 李清. 基于 ADC121C021 数模转换器的电源检测模块的设计[J]. 兵工自动化, 2015, 34(11): 70-73.
- [4] 吴海超. 基于 Saber 的运算放大器模型及参数测试方法分析[J]. 航天控制, 2015, 33(4): 77-83.
- [5] 席安和, 方辉. 电子电路故障诊断[J]. 电焊机, 2013, 43(3): 106-107.
- [6] 李正丽, 吴航, 张强. 基于 IRS2092S 的逆变电源设计[J]. 兵工自动化, 2015, 34(1): 85-88.
- [7] 青岛半导体研究所电源模块使用手册[Z]. 2014.
- [8] 高海生, 艾军, 王妍. 基于 Saber 的 LLC 电路仿真分析[J]. 华东交通大学学报, 2014, 31(3): 99-104.
- [9] 黄鹰, 李勇, 姜学想. 基于 Saber 的 DC-DC 变换器控制环路仿真研究[J]. 湖南工业大学学报, 2014, 28(1): 53-57.
- [10] 2SA 系列硅材料 PNP 三极管使用说明书[Z]. HITACHI Semiconductor.
- [11] 万峻, 肖凡. 基于灰色模型的艇载导弹测试电源系统故障预测[J]. 兵工自动化, 2015, 34(11): 1-3.
- [12] 张春成. 一种基于 D 类功放的逆变电源设计[J]. 兵工自动化, 2015, 34(10): 93-96.
- [13] 周凯, 那日沙, 王旭东. Saber 在电力电子技术仿真中的应用[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(3): 126-128.
- [14] 刘小建. 基于 DSP 的电源数字控制研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2015.