

# 单片机控制系统开关电源接地问题研究

吴争荣, 李晓明

(武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 讨论了开关电源可能对单片机控制系统产生的不利影响并针对不同的干扰途径提出了切断共模回路、滤除差模噪音的解决措施来消除开关电源干扰。最后, 通过实例分析说明了单片机控制系统和开关电源采用上述措施, 适当、可靠地接地后能提高单片机控制系统的抗干扰能力。

关键词: 单片机; 接地; 电磁干扰

中图分类号: TM15 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2004)10-0077-03

## 0 引言

开关电源由于其具有效率高、体积小、重量轻的特点, 在单片机控制系统设计当中得到广泛应用。但由于开关电源采用高频开关控制的方式, 同时又给系统设计者带来一个新的问题——电磁干扰。解决电磁干扰的方法有很多种, 其中, 适当的、可靠的接地是解决电磁干扰的重要手段。

## 1 开关电源对单片机控制系统可能产生的干扰

单片机控制系统与开关电源采用什么样的接地方式才能使控制系统避免开关电源的干扰, 取决于开关电源给控制系统带来的干扰类型。典型的开关电源变换电路如图 1 所示。

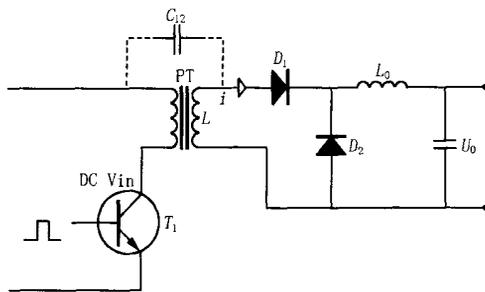


图 1 开关电源变换电路

Fig. 1 Switching circuit of switching power supply

### 1.1 二极管的反向恢复时间引起的干扰

由于高频整流回路流过的电流较大, 二极管在受反向压降截止的过程中, 由于 PN 结积累了大量电荷, 在电荷还没被拉走前, 二极管会反向导通一段时间, 这样电流的变化率很高。图 1 中,  $D_2$  在续流的过程中, 受反向压降作用截止。在短时间内电流在脉冲变压器 PT 的二次侧经  $D_1$ 、 $D_2$  形成短路回

路。由  $L di/dt$  可知, 在 PT 的副方产生的冲击电压非常高, 形成尖峰干扰。

### 1.2 开关回路干扰

由于脉冲变压器 PT 原、副方寄生电容  $C_{12}$  的存在, 开关管  $T_1$  的高频干扰通过寄生电容窜入 PT 的副方, 形成共模干扰, 同时干扰前级输入回路。尤其在开关管  $T_1$  由饱和导通到关断时, 流过 PT 的原方电流变化相当大, 在  $T_1$  管上产生  $2V_{in}$  的突变电压, 波形如图 2 所示。图 2 中  $T$  为开关的工作周期,  $t_1$  段为开关管饱和导通的波形,  $t_2$  段为开关管截止过程中 C、E 极的电压变化波形。

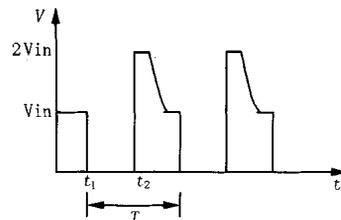


图 2 开关管电压波形

Fig. 2 Voltage waveform of the switching tube

### 1.3 开关电源滤波器的干扰

成品开关电源为了消除其自身对外界的干扰, 采取了很多措施, 最重要的一点是: 切断共模干扰回路, 滤除差模噪音, 在交流输入侧加入滤波器, 其具体接线如图 3 所示。

图 3 中共模干扰经共模扼流线圈  $L_0$ 、共旁路电容  $C_y$  流向机壳。这对接地的单片机控制系统产生共阻干扰。

## 2 常用的抗干扰措施

为了消除开关电源对单片机控制系统的影响, 对于 1.2、1.3 节中提到的干扰, 可以采用以下措施:

- 1) 在单片机控制系统的电源输入端的加滤波

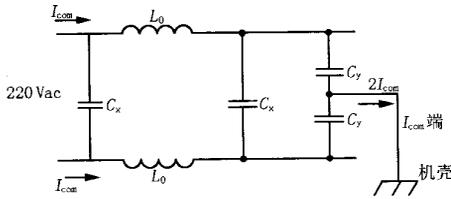


图 3 滤波电路

Fig. 3 Filtering circuit

电路,加装高频电容,加大滤波电路的电感、电容可以抑制差模噪声。

2) 在单片机控制系统的电源输入端并联一个 TVS(transient voltage suppressor)管,其钳位响应时间为  $10^{-12}$  s,能有效吸收尖峰干扰。

### 3 接地分析

至于 1.3 节提到的干扰,为了能使开关电源的交流侧滤波电路正常工作,电源  $I_{com}$ (其与开关电源的机壳连接在一起)必须可靠接地。消除开关电源滤波器的干扰的关键在于处理好控制系统的接地与开关电源的  $I_{com}$ 端的关系。由于开关电源的  $I_{com}$ 对单片机控制系统的干扰较大,若简单的处理很难满足设计要求,系统的可靠性得不到保证。

#### 3.1 实例分析

在某设备调试过程中碰到这样一个问题:在实验台上运行正常的程序,在设备上运行时,却出现异常现象。反复检查机箱里接线、软件设计都没发现问题,最后发现由于控制系统中的电源接地与信号接地、数字接地设置不合理,才导致设备中的控制系统运行出现异常现象。该单片机控制系统连接如图 4 所示:

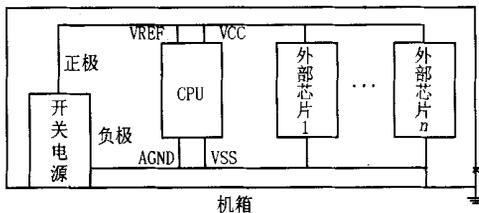


图 4 设备接线图

Fig. 4 Connection of the equipment

图 4 中单片机控制系统与开关电源的电气连接可等效如图 5 所示。

在考虑电路的分布电容和接地电阻情况下,图 5 接地线上的工频泄漏电流可用图 6 电路来仿真。图 6 中  $C$  为分布电容, $L_1$ 、 $L_2$  为共模扼流线圈, $C_1$ 、 $C_2$  为旁路电容, $R_0$  为接地电阻。

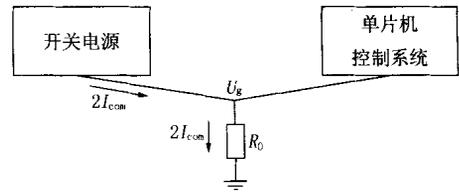


图 5 设备接地等效图

Fig. 5 Equivalent circuit of equipment grounding

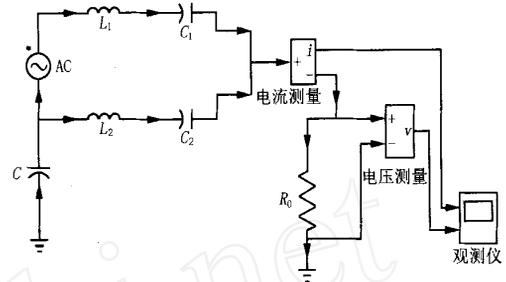


图 6 工频泄露电压电流测量电路

Fig. 6 Measuring circuit of AC leaking voltage and current

接地电阻  $R_0$  取  $10 \Omega$ ,其他为该开关电源电路的典型值。 $R_0$  上的电压、电流仿真图如图 7 所示。

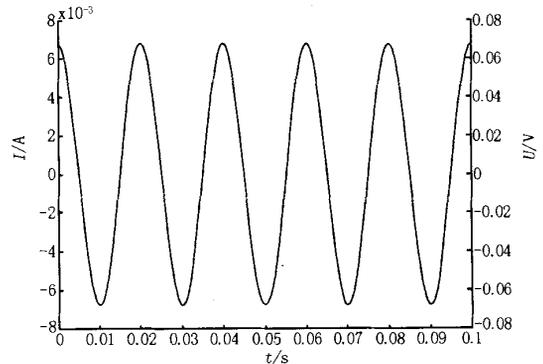


图 7 工频泄漏电压、电流波形

Fig. 7 Waveform of leaking voltage and current

在图 3 滤波电路上流过共模电流时,接地电阻  $R_0$  上的电压、电流将会受到影响。当干扰源为高斯白噪声时, $R_0$  上的电压、电流仿真图如图 8 所示。

图 8 中  $R_0$  中上的电压、电流波形受共模干扰的影响,波形发生了严重的畸变,幅值大大升高。

由上面分析可知,图 4 设备中开关电源的共模干扰信号影响了单片机系统的接地电位,从而导致系统运行不正常。为了彻底的消除开关电源对系统的干扰,在后来的设计中,我们做了以下改进:

- 1) 把开关电源的共模输出端即  $I_{com}$ 接地,单片机系统采用悬浮接地;
- 2) 单片机控制系统的电源入口增加如图 3 所

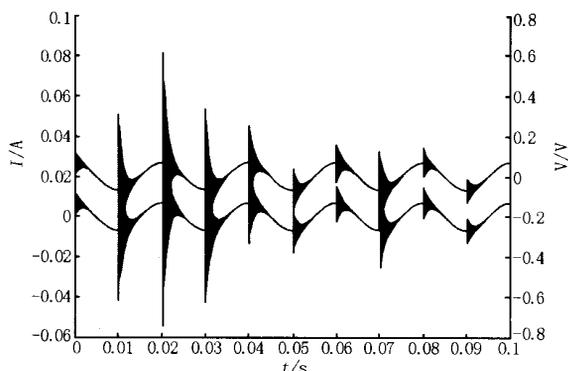


图8 受干扰后的电压、电流波形

Fig. 8 Waveform of jammed voltage and current

示的滤波电路,并把共模输出端可靠接地。

改进1是为了消除开关电源 $I_{com}$ 端接地电流对单片机控制系统接地电位的影响,避免共阻干扰。改进2是为了滤除电源输出中含有的共模、差模噪音。通过以上两点改进,系统运行正常,问题得到解决。

### 3.2 应注意的问题

开关电源正常工作时,在交流输入侧(图3所示)的滤波电路中,两个 $C_2$ 分压,若共模输出端悬空,任何一个 $C_2$ 上的压降有效值都将达到110V。因此,其接地要可靠,否则,整个系统将受到影响。

有些设备工作在配电房或变电站,由于此处的地线与零线为同一根线,开关电源的接地要综合考虑这个影响。

## 4 结论

开关电源对控制系统的干扰比较大,要彻底消除开关电源的干扰比较困难,只要在系统设计当中设法弄清干扰的来源,然后采用相应的措施消除或削弱其对控制系统的影响。

### 参考文献:

[1] Sutherland D, Webb K. Electromagnetic Compatibility

(EMC) [J]. Special Feature Fuel and Energy Abstracts, 1996, 37(4): 273.

[2] Darney I. Grounding, Floating and Screening [A]. IEE Seminar on Shielding and Grounding. London: 2000. 31F-312.

[3] van den Bossche A, Ghijselen J. EMC Combined di/dt Current Probe [A]. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Washington DC (USA): 2000. 2: 569-573.

[4] Ben Dhia S, Baffreau S, Calvet S, et al. Characterization of Micro-controller Electromagnetic Emission: Models for an International Standard [A]. Proc of the 4th IEE International Caracas Conference on Devices, Circuits and Systems. 2002. 1: 030-II-8.

[5] 杨继深, 荀京京 (YANG Ji-shen, XUN Jing-jing). 电磁干扰的抑制方法(下) (Compression of Electromagnetic Disturbance, Part Two) [J]. 安全与电磁兼容 (Safety and EMC), 1998, (3): 22-24.

[6] 侯志伟 (HOU Zhi-wei). 对接地技术几个问题的讨论 (On the Techniques of Ground Connection) [J]. 重庆建筑大学学报 (Journal of Chongqing Architectural University), 2000, 22(3): 81-84.

[7] 丁小东 (DING Xiao-dong). 电子设备的接地和接地设计 (Ground and Ground Design for Electric Equipment) [J]. 环境技术 (Environment Technology), 2001, (1): 32-36.

[8] 杨志敏, 李晔 (YANG Zhi-min, LI Ye). 开关电源 EMC 设计 (The EMC Design of Switch Power Sources) [J]. 移动电源与车辆 (Movable Power Station and Vehicle), 2002, (1): 11-13.

收稿日期: 2003-08-08; 修回日期: 2003-09-21

作者简介:

吴争荣(1978-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统运行与控制;

李晓明(1956-),男,教授,从事电力系统及其自动化专业的科研和教学工作。

## Research on grounding of switching power supply in single-chip control system

WU Zheng-rong, LI Xiao-ming

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** This paper mainly discusses switching power supply has possible side effects on in single-chip control system and puts forward the countermeasures that cutting off the common noise circuit and filtering the differential noise to remove interference. In the end, an example is taken to explain the anti-interfere ability of single-chip control system and switching power source can be strengthened when take the proposed measures and reliable grounding.

**Key words:** single-chip processor; grounding; EMI