

文章编号:1671 - 251X(2009)06 - 0004 - 04

基于 L TC4357 的工业用冗余电源的设计 *

付 蔚, 刘成涛, 王 平

(重庆邮电大学网络化控制技术与智能仪器仪表教育部重点实验室,重庆 400065)

摘要:在工业现场中常因供电设备的单点故障问题引起设备的损坏,从而对生产造成损失。针对该问题,文章提出了一种基于 L TC4357 的工业用冗余电源的解决方案,阐述了 $N + 1$ 冗余方式的原理,详细介绍了基于 L TC4357 的冗余电源中冗余模块的设计,指出了直流稳压电源模块在工业现场应用过程中出现的问题及解决方法,最后给出了冗余电源实物图。实际应用表明,该方案具有一定的可行性。

关键词:冗余电源; 冗余模块; 直流稳压电源; $N + 1$ 冗余方式; L TC4357

中图分类号: TN867 **文献标识码:** A

Design of Industry-used Redundancy Power Supply Based on L TC4357

FU Wei, LIU Cheng-tao, WANG Ping

(Key Laboratory of Network Control Technology and Intelligent Instrument of Ministry of Education of Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: Single fault problem of power supply equipments often induces damage of equipments in industrial field, so as to cause loss for production. Aiming at the problem, the paper proposed a solution of industry-used redundancy power supply based on L TC4357. It expounded the principle of $N + 1$ redundancy mode, introduced design of the redundancy module in the redundancy power supply in details, and indicated the problems and solutions when the DC regulated power supply module was used in industrial filed. At last, it gave real graph of the redundancy power supply. The actual application showed that the scheme has certain feasibility.

Key words: redundancy power supply, redundancy module, DC regulated power supply, $N + 1$ redundancy mode, L TC4357

收稿日期:2009 - 02 - 21

*基金项目:国家 863 资助项目(2007AA040301 - 6)

作者简介:付 蔚(1981 -),女,硕士,助教,现主要从事工业以太网控制技术和 ASIC 设计方面的教学与研究工作。E-mail: lctao1983 @163. com

周围煤体出现环向破坏,破坏半径随孔径的加粗而增大,随着钻孔孔距减小而增大。

(3) 具有合理钻孔孔径和孔距的卸压孔可以导致煤层的结构性破坏,钻孔卸压对控制小煤柱应力集中变形与破坏具有显著效果。

参考文献:

- [1] 吕 渊,徐 颖. 深井软岩大巷深孔爆破卸压机理及工程应用[J]. 煤矿爆破, 2005(4): 30 ~ 33.
- [2] 李国宏,杨发武. 利用卸压钻孔防治冲击地压的实践[J]. 煤矿安全, 2004, 33(11).

- [3] 刘红岗. 深井煤巷钻孔卸压机理的研究与应用[D]. 徐州:中国矿业大学, 2004.
- [4] 李世平,吴振业,贺永年. 岩石力学简明教程[M]. 北京:煤炭工业出版社, 1997.
- [5] 蔡美峰,何满潮,刘东燕. 岩石力学与工程[M]. 北京:科学出版社, 2002.
- [6] BIENIAWSKI A T, DENKHAUS H G, VOGLER U W. Failure of Fracture Rock [J]. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 1969(6): 323 ~ 334.
- [7] 王喜兵,王海君. 高应力区卸压开采方法研究[J]. 矿业工程, 2003, 11(4): 18 ~ 22.

0 引言

在工业现场,如工业无线通信、EPA(工业以太网)、现场总线的供电系统中,电源的单点故障问题不仅损坏设备,甚至影响到整个系统,给生产带来不可估量的损失。采用冗余电源的供电方式是消除电源系统单点故障的主要技术策略。所谓冗余电源,是指多个电源模块同时承担系统负荷,一旦其中某个模块出现问题而停止供电时,其它模块便会平均承担多出来的电源负载。电源系统实现冗余的方式有多种,主要有并联冗余方式、隔离冗余方式、分布式冗余方式、分区电源分配方式。为了提高电源系统的容错性和长期连续工作的可靠性,要求冗余电源阵列中的各电源模块具有热插拔特性,可带电拆卸和安装。因此,本文介绍一种以热插拔自载均分控制器 LTC4357 为核心构成的冗余电源,它具有设计和制造简单、稳定可靠等特点。该电源采用并联冗余方式,也称为 $N+1$ 冗余方式。

1 $N+1$ 冗余方式简介

并联均流的 $N+1$ 冗余方式的实质是通过并联平行操作的电源模块,提供分布式电源,不仅可降低电源成本,还可保证供电不中断。所有的电源模块并联运行,平均负担当前的负载,电源阵列比额定容量多配置 1 个功率模块。当 1 个电源模块出现故障时,特设的电路将故障模块从负载上断开,其它电源模块将立即支持所有负载,使其连续不间断地供电。这些电源模块是功能相同的单元,每个单元的输出功率大于或等于系统要求的功率,各单元的输出通过或门二极管并联在一起,其输出采取均流控制电路。 $N+1$ 冗余方式由于采用多个单元同时向设备供电,单个单元故障(失效)一般不会对输出电压产生影响,但是,如果输出线发生故障容易波及到所有单元。

2 均分控制器 LTC4357 简介

均分控制器 LTC4357 是一款理想的 diode-OR 控制器,在多重 $N+1$ 冗余电源和高可用性系统中可为肖特基或门二极管提供一个简单的低损耗替代方案。LTC4357 主要有 5 个方面的特征:通过使用 1 个 N 沟道场效应管(MOSFET)代替肖特基或门二极管来降低电能损耗;0.5 μs 的关断时间用以限制峰值故障电流;电压工作范围为 9~80 V;和缓的切换,不产生震荡;无逆向直流电流。

LTC4357 可控制外部 N 沟道 MOSFET 执行低顺向电压二极管功能,在高压应用中可提供比肖特基或门二极管更低损耗的路径,不只更具效率,更因不需散热片而可保留宝贵的板面空间。LTC4357 可控制横跨 MOSFET 的顺向压差,以确保路径间和缓的切换,且不产生震荡或逆向 DC 电流。

LTC4357 可用于将多个供电设备并联,以提供负载分享。而将供电设备连结在一起,便于在电源总线上带电插拔转换器时实现隔离,并在硬件短路时与总线隔离。如果发生供电故障或短路, LTC4357 可确保快速(0.5 μs)的关机,以最大限度地减小反向瞬态电流。

3 基于 LTC4357 的工业用冗余电源的设计

基于 LTC4357 的工业用冗余电源的冗余模块是本设计的核心所在。

3.1 冗余模块的结构

LTC4357 允许电源系统均衡地使用多个以并联方式相连的电源模块,当其中某一个电源模块出现故障时,能够使故障电源模块自动从电源系统中断开,并进行故障报警。在 LTC4357 后面可以加 1 个热插拔控制器,以防止在电源模块插入和拔出时对电源的负载总线形成冲击。

一个完整的冗余供电方案实际上是电源模块和冗余模块的组合,冗余模块结构如图 1 所示。其中 FDB3632 为 N 沟道功率型 MOSFET, LTC4357 通过将 FDB3632 的栅极电压降低到 0 V,实现对故障电源模块与负载总线的隔离,以便在开机状态下更换电源模块。冗余模块正常工作时, FDB3632 为 LTC4357 调节和稳定电源输出电压的执行元件。

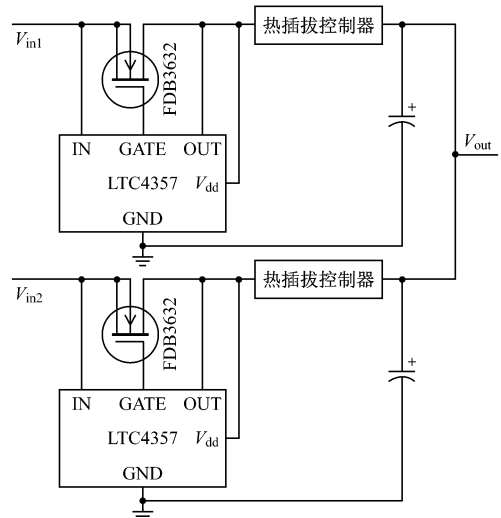


图 1 冗余模块结构图

(1) 负载共享与输入保护

如果由 N 个电源模块组成的冗余电源阵列中, 每一个电源模块分担全部负载电流的 $1/N$, 则可认为电源模块之间实现了负载共享。以图 1 为例, 2 套 L TC4357 电路系统在接入后级电路前是并联状态, 由于 2 个电路系统完全相同, 共同承担负载电流, 单从并联的意义上讲能够实现负载共享。

当负载电流产生大于 25 mV 的压降于 FDB3632 上时, L TC4357 的 GATE 引脚将置高, 提高 FDB3632 的效能。当负载电流变小时, GATE 引脚将 FDB3632 上的压降维持在 25 mV。如果负载电流在 FDB3632 上产生小于 - 25 mV 的压降时, 一个快速关断回路迅速将 L TC4357 的 GATE 引脚和 IN 引脚相连, 关闭 FDB3632。25 mV 调整技术能够确保无震荡输出间的负载共享更加平稳。这项技术基于 Droop 法均流原理。

当电能增加时, 负载电流最初通过 FDB3632 的二极管体溢出, 最终前向电压由 L TC4357 的 IN 和 OUT 引脚所探测, 由 L TC4357 驱动 GATE 引脚将其降到 25 mV。如果负载电流引起超过 25 mV 的压降, 而 L TC4357 的 GATE 引脚正在工作中, 这时的前向电压为 $R_{ds(on)} \times I_{load}$ 的均值。在 1 个电源模块供电失败的情况下, 比如一个满载的电源模块的输出突然接地短路, 反向电流临时通过 FDB3632 溢出, 这个电流来自负载电容或者其它的电源模块。L TC4357 迅速响应这种情况, 并在 $0.5 \mu s$ 之内迅速关断 FDB3632, 以使对输出总线的损害降到最小化。同时每个 L TC4357 电路系统得到有效保护的前提下, 其它的电源模块重新承担负载电流, 实现新的负载共享。

(2) 热插拔

热插拔过程受 L TC4357 的 V_{dd} 引脚的电压控制。插入电源模块时, V_{dd} 引脚的电压低于锁定电压时, GATE 引脚输出为 0 V, FDB3632 关断。 V_{dd} 引脚的电压随着电容充电而缓慢上升, 当该电压高于锁定电压时, FDB3632 的栅极通过电流源充电, GATE 引脚的电压上升。当电源模块关闭或拔出时, L TC4357 对 FDB3632 的栅极进行快速放电, V_{dd} 引脚的电压跌落至锁定电压以下时, FDB3632 关断, 使电源模块与负载隔离开来。这样即实现冗余电源的热插拔功能。

(3) 电流滤波

在工业现场, 冗余电源直接给一些精密设备供电, 这就需要冗余电源的输出电流稳定可靠。本文

采用有源滤波电路对输出电流进行滤波, 如图 2 所示。由图 2 可知, 流过 R_1 的电流 $I_{R_1} = I_E / (1 + \beta) = I_{R_L} / (1 + \beta)$, 仅为负载电流 I_{R_L} 的 $1 / (1 + \beta)$ 。所以可以采用较大的 R_1 与 C_2 配合, 以减小 C_2 两端的电压的脉动成分, 由于输出电压和 C_2 两端的电压基本相等, 因此, 输出电压的脉动成分也得到了削减, 这样就可获得较好的滤波效果。

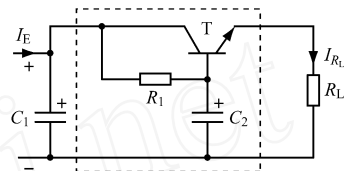


图 2 有源滤波电路图

3.2 直流稳压电源模块

直流稳压电源一般由变压器、整流器和稳压器 3 个部分组成。变压器将市电交流电压变为所需要的低压交流电, 整流器将交流电变为直流电, 经滤波后, 稳压器再将不稳定的直流电压变为稳定的直流电压输出。

直流稳压电源的技术指标可以分为 2 类: 一类是特性指标, 如输出电压、输出电流及电压调节范围; 另一类是质量指标, 反映一个稳压电源的优劣, 包括稳定度、等效内阻(输出电阻)、纹波电压及温度系数等。对直流稳压电源的性能主要有 4 个方面的要求: 稳定性好、输出电阻小、电压温度系数小、输出电压纹波小。

(1) 过压保护、雷击浪涌抑制

由于输入的 220 V 交流电存在过压的情况, 会对直流稳压电源被保护区域内的器件造成损害。因此, 笔者选择压敏电阻(VSR)进行过压保护。压敏电阻可以防止因静电放电、浪涌及其它瞬态电流(如雷击等)对设备造成的损坏。使用时只需将压敏电阻并接于被保护的器件电路上, 当电压瞬间高于某一数值时, 压敏电阻阻值迅速下降, 导通大电流, 从而保护器件; 当电压低于压敏电阻的工作电压值时, 压敏电阻阻值极高, 近乎开路, 因而不会影响器件或电器设备的正常工作。

选择压敏电阻最主要的是要考虑其压敏电压。一般 $1.5V_p \sim V_{1mA} \sim 2.2V_{AC}$, 其中: V_p 为电路额定电压的峰值; V_{AC} 为额定交流电压的有效值。本设计额定电源电压为 220 V, 则压敏电压 V_{1mA} $1.5V_p = 476 V, V_{1mA} \sim 2.2V_{AC} = 484 V$, 因此, 压敏电阻的击穿电压可选在 470 ~ 480 V。

该直流稳压电源模块初版在 EMC/EMI 高压

雷击测试环节中出现过被烧毁的现象,经过过压保护和浪涌保护处理后,解决了该问题,有效地保护了工业现场的设备,解决方案电路如图 3 所示。图 3 中,前端直流稳压电源模块的电路中同时辅以 310 V 的 TVS 管,接 2 个 3 000 V 的高压电容 C_1 、 C_2 ,并进行接外壳处理;后端冗余部分辅以小于 100 V 的 TVS 管,接 2 个 2 000 V 高压电容(图 3 中未画出),成功地通过了 EMC/EMI 高压雷击测试。

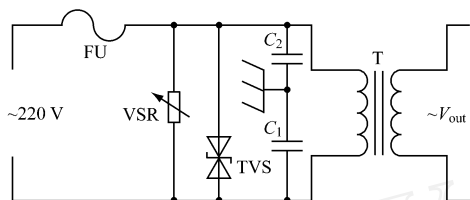


图 3 直流稳压电源模块过电压、浪涌的解决方案电路图

(2) 复合管稳压

本设计中的直流稳压电源模块采用复合管做调整管。负载电流 I_L 要流过调整管,要求有足够大的电流供给调整管的基极,而比较放大电路无法提供所需要的大电流,另一方面,调整管需要有较高的电流放大倍数,才能有效地提高稳压性能,但是大功率调整管的电流放大倍数一般都不高。解决这些矛盾的办法,是给原有的调整管再配上 1 个或几个“助手”,组成复合管。用复合管做调整管的直流稳压电源模块电路如图 4 所示。

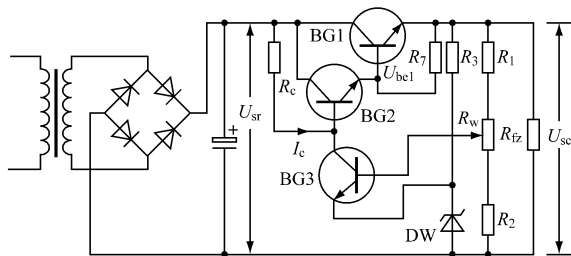


图 4 用复合管做调整管的直流稳压电源模块电路图

用复合管做调整管时, BG2 的反向电流 I_{ceo2} 将被放大,尤其是采用大功率锗管时,反向截止电流 I_{cbo1} 比较大,并随温度增高按指数增加,很容易造成高温空载时直流稳压电源模块的失控,使输出电压 U_{sc} 增大。误差信号 U_{sc} 经放大加到 BG2 的基极来减少 I_c 的输入,可迫使 BG2 截止。为了使调整管在不同温度下都工作在放大区,常在 BG1 的基极加电阻 R_7 并接到电源的正极或负极(见图 4)。在温度或负载变化不大或复合管全用硅管时,可不加该电阻。

4 冗余模块冗余特性的测试

冗余模块在使用前需要进行功能测试,测试过

程如图 5、图 6 所示。当对冗余模块进行 2 个标准的 24 V 直流供电时,滤波器显示 1 条平滑的直线,当其中 1 个电源断电时,滤波器仍然显示 1 条平滑的直线。测试过程中,滤波器一直显示 1 条亮白的直线,其值为 24.5 V,如图 7 所示,表明对冗余模块进行了良好的滤波设计。通过对冗余模块的冗余测试及直流稳压电源模块的 EMC/EMI 测试,笔者做出了冗余电源,实物如图 8 所示。

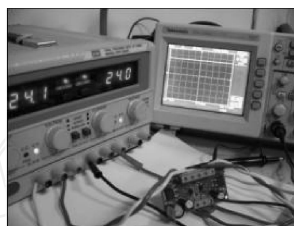


图 5 双电源供电测试示意图

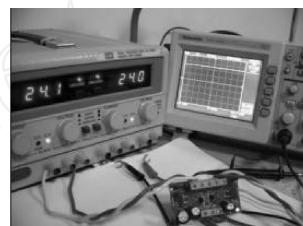


图 6 单电源供电测试示意图

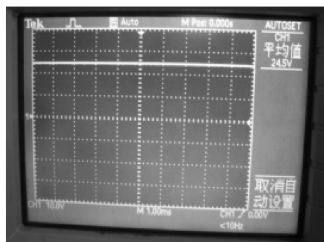


图 7 滤波器显示结果图



图 8 冗余电源实物图

5 结语

本文介绍了以均分控制器 LTC4357 为核心构成的工业现场用冗余电源的设计原理及其实现。但是 $N+1$ 冗余方式仍存在缺点,如前所述,如果冗余电源中有 1 个供电单元出现故障,不会对输出电压造成影响,但是,如果输出线发生故障则容易波及到所有单元。未来的工作中,将联合现场设备重点解决这个问题。另外,该电源的直流输出为 24 V,但是工业以太网标准供电为直流 48 V,因此,还需要开发 48 V 直流输出冗余电源。

参考文献:

- [1] 朱立文. 开关电源的电磁骚扰抑制技术[J]. 电子质量, 2002(4): 3~6.
- [2] 张占松, 蔡宣三. 开关电源的原理与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 1998.
- [3] 陈忠民, 车志新. LTC4350 实现冗余电源[J]. 电子产品世界, 2001(11).
- [4] 曲学基, 王增福, 曲敬锐. 稳定电源电路设计手册[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [5] 彭晓珊. 大容量高频开关电源的研制[D]. 长沙: 中南大学, 2004.