

基于 LM5116 的工业级电源模块设计

俞利明 陈宇 曾逢春

浙江中控技术股份有限公司，杭州，310053

摘 要：本文介绍了一种支持冗余热插拔的机笼/机架级 24V 转 5V 电源模块的实现方案。在该方案中采用自动主从均流的电路设计方式，利用 LM5116 作为电源管理的主控制芯片，使电源模块具备高效率、低发热等优点，从而可以满足在 DCS 系统中 20 多个 I/O 模块的供电需求。利用具有宽电压输入特性的同步降压控制器 LM5116，有效地防止工业现场由于外部供电的不稳定给 DCS 系统带来的停车冲击。

关键词：DC/DC LM5116 芯片 自动主从均流

Industrial Power Supply Module Design Based on LM5116

Yu Liming, ChenYu, Zeng Fengchun

Zhejiang SUPCON Technology CO., LTD, Hangzhou, 310053

Abstract: This paper introduces a scheme for cage/rack level power supply module which turn DC 24V to DC 5V and supports redundant hot swapping. It applies circuit design of automatic master-slave current sharing and takes LM5116 as the main control chip for power management. Thus the power supply module is endowed with high efficiency and low fever to meet the power supply demand of more than 20 I/O modules in DCS system. It uses the synchronous step-down controller LM5116 with wide voltage input characteristics to effectively prevent the DCS system from the damage of shutdown caused by the unsteady external power supply in the industrial field.

Key words: DC/DC LM5116 Chip Automatic Master-slave Current Sharing

前 言

集散控制系统（DCS）作为工业自动化的核心设备，在流程工业中已大量应用。DCS 的供电体系以 5V DC 和 24V DC 为主体，在早期系统中有 5V 的 AC/DC 电源和 24V 的 AC/DC 电源，现在不少系统中取消了 5V 的 AC/DC 电源，其原因是 DCS 机柜中电源线通过多个接插件串联，压降损耗较大，5V 电压从电源输出经过多组接插件后到 I/O 模块内，要产生 0.3V 左右的压降。因此，很多新一代的 DCS 系统，整个系统电源只有 24V DC 供电，在机笼或机架上通过 24V DC/5V DC 的电源模块实现 5V 电压。

本文介绍了一款应用于机笼或机架级 24V 转 5V 直流电源模块的实现方案，其关键设计指标为：

参数	说明
输入电压	电压范围：15V ~40V
输出电压	电压范围：5.2V ~ 5.6V

	纹波/噪声: <50/100mVp-p
输出电流	3.5A
转换效率	20%-60%负载下, >80%
热插拔	具备整体抗瞬间电流和电压冲击功能
保护	具备过流保护功能, 保护电流<4A
工作温度	(-20~70) °C

1 电源模块设计

电源模块在 DCS 中非常关键, 必须具备冗余及热插拔要求, 并能提供必要的电压质量报警功能。

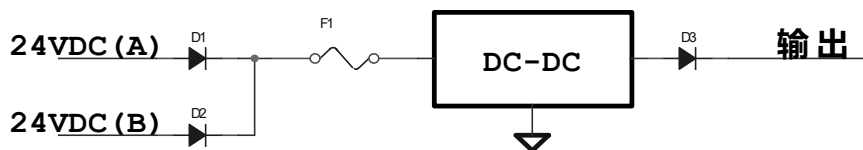


图 1 电源模块结构框图

电源模块在单板上实现非隔离 24V 转 5V 功能, 模块电源输入端采用两路 24V DC 冗余供电, 模块输出端实现单路输出, 在输出端串入逆止二极管。应用在 DCS 机笼中实现冗余供电时, 配置的两路电源模块实现“自动主从均流法”的并联方式:

- 在两个并联的电源模块中, 只有输出电压最高的那个模块的电流才能使与它连接的逆止二极管导通, 从而均流总线电压就等于该模块的输出电压。
- 最大输出电压的电源模块是随机的, 该模块处于主控状态, 其他电压比之低的处于被控状态, 只有当最大输出电压的电源模块的电压被拉低或该模块故障, 其他模块才参与工作。

1.1 DC/DC 控制芯片选型

由于电源模块有大电流、高效率、过流保护等要求, 因此我们选择了 LM5116 作为电源管理芯片。LM5116 是美国国家半导体公司推出业界首款 6V 至 100V 的电流模式降压控制器, 适用于直流/直流电源供应系统, 其特点是输入电压范围更为广阔, 而且负载电流可以灵活控制。

LM5116 芯片最适用于高电压或输入供电电压范围较广的降压稳压系统。其中采用的电流模式控制技术是一种模拟电流模式 (ECM) 的控制技术, 其优点是可以减少噪声对脉冲宽度调制电路的干扰, 且确保必须以极小占空比操作的高输入电压系统能够稳定控制其占空比。此外, 这款芯片还具有过热停机、可编程软启动、频率同步、每周期限流以及可调节线路欠压锁定 (UVLO) 等功能。

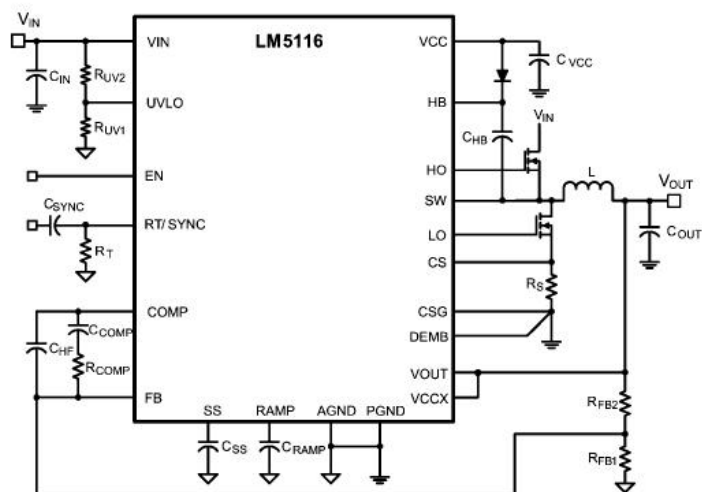


图 2 LM5116 逻辑电路

1.2 详细方案设计

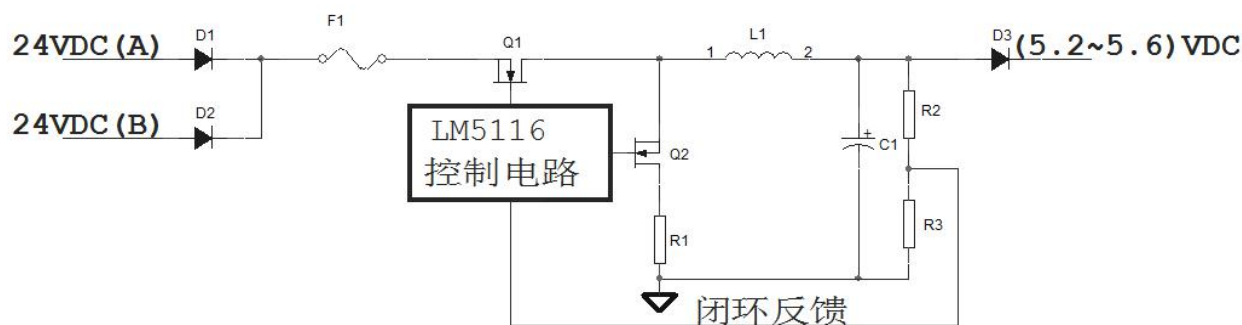


图 3 设计电路

电源模块采用 LM5116 为主控制芯片，以 LM5116 为同步降压控制器，输入电压范围为 6V DC~100V DC，在本设计中输入电压控制在 15V DC~40V DC。LM5116 通过一个自适应停机控制来驱动外部高边和低边 N 沟道 MOS 电源开关，采用功率加强式 TSSOP-20 封装，特点是具有外露的电路片贴合垫以帮助散热。主电路包括输入电源处理、缓启动、斜坡补偿、开关频率设置、过流保护、BUCK 拓扑及输出反馈处理等功能。

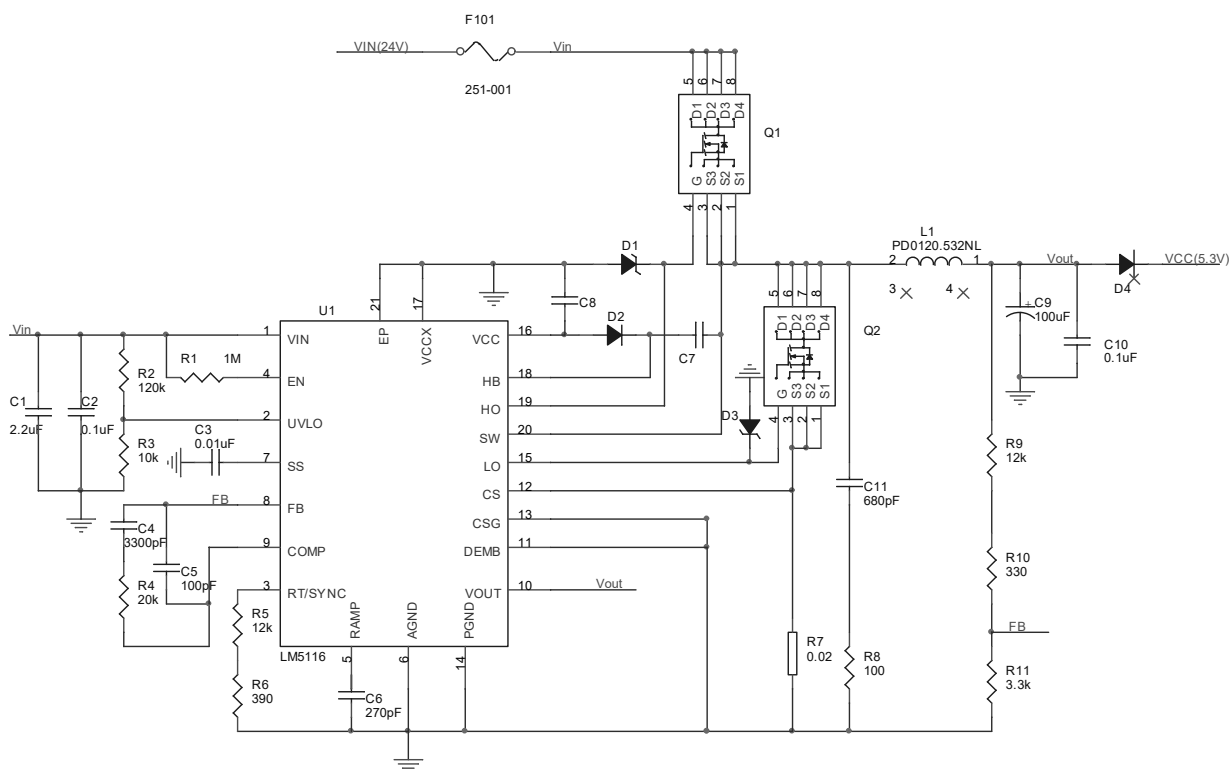


图 4 主体电路

图 4 中 U1 为电源电路主控芯片 LM5116。

1.3 电路说明

整个电路分为以下几种子电路：

- 输入滤波处理

C1、C2 为 U1 输入端滤波电容。

- U1 的使能设置

R1 为 U1 的使能电阻，U1 的 REN 端电压通常为 3.3V 以上，当 REN 上电流小于 10uA 时，U1 关闭输出。

- UVLO

R2 和 R3 为 U1 的输入低压检测电路，连接 U1 的 UVLO。UVLO 处比较电压为 1.215V，设计

中取 $R2=120K$ ， $R3=10K$ ，当输入电压低于 $U_{IN} = \frac{(R2+R3)}{R3} \times 1.215$ 时，电源模块关断输出。

- 缓启动

C3 为 U1 的缓启动电容，通过该电容设置电源的缓启动时间，取缓启动时间为 1.2ms，则有缓

启动电容 $C3 = \frac{10uA}{1.215V} \times t_{ss} = \frac{10uA}{1.215V} \times 1.2ms$ 。

- 斜坡补偿

C4、C5 和 R4 为 U1 的 RC 斜坡补偿电路。C6 为斜坡发生器电容，通过改变该电容的容值可以调节斜坡补偿电路的补偿性能。

- 开关频率设置

R5 和 R6 为 U1 的开关频率设置电阻，因此电源模块的开关频率

$$f = \frac{1}{(R5 + R6) \times 284 pF + 450 ns}。$$

- U1 基本电路

C8 为 U1 的 VCC 滤波电容。D2 为通过 VCC 给 U1 的内部驱动 HB 供电以选择电流仿真模式。C7 为自举电容。

- 过流保护设置

R7 为输出端过流取样电阻，过流取样电阻采用 TCR 低的精密金属板材电阻。取过流保护电流

点为 4A，则有 $R7 \leq \frac{V_{CS(TH)}}{I_o + \frac{V_{out}}{2 \times L \times f} \times (1 + \frac{V_{out}}{V_{in \min}})}$ 。

- BUCK 的同步整流拓扑

Q1 为高边 MOS 管，Q2 为低边 MOS 管，由高、边 MOS 管实现同步整流。。L1 为输出电感，

输出电感的取值公式为 $L = \frac{V_{OUT}}{I_{PP} \times f} \times (1 - \frac{V_{OUT}}{V_{IN \max}}) = \frac{5.75V}{0.4 \times 4A \times 250KHz} \times (1 - \frac{5.75}{26})$ 。

- 输出反馈

R9、R10 和 R11 为输出取样电阻，取样点连接 U1 的 FB，实现输出闭环控制。FB 处比较电压

为 1.215V，则输出电压将被稳压为 $U_{OUT} = \frac{(R9 + R10 + R11)}{R11} \times 1.215$ 。

- 设计中电阻均采用±1%精度的精密电阻。若各取样电阻无误差，则 Vout 将被稳压在 5.75V；若各取样电阻均在误差极限，则 Vout 将稳压为最小 5.60V 或者最大 5.80V。在各电阻的误差范围内，DC/DC 电源模块输出 5.60V DC~5.80V DC（逆止二极管的前端）。根据实际测量的逆止二极管的压降，DC/DC 模块输出电压经过逆止二极管后电压范围 5.20V DC~5.60V DC。

1.4 关键器件选择

- 同步整流高、低边 MOS 管

高/低边 MOS 管均选用 IR 的 IRF7855PbF，其导通电阻小于 10 毫欧，最大电流 12A，开关频率最大 40MHz。本设计中开关频率 250KHz，最大输出电流 4A，完全满足本 DC/DC 电源的设计。

- 功率电感

功率电感是整个模块最大的发热源，工作温度范围须满足-40°C~+125°C，本设计要求其电感量要在 10uH 左右。根据以上要求本设计采用了 Pulse 品牌的功率电感，其电感量为 10uH，DCR 最大 10 毫欧，电感饱和电流高达 12.6A，完全满足本 DC/DC 电源的设计。

实际测试情况：在电源模块输出 5A 的情况下，实际测试时电感器件温升为 20°C，当环境温度

为 70℃ 时，电感壳温为 90℃，考虑机笼 10℃ 的温差，电感壳体温度为 100℃。

2 性能验证

本电源模块完全符合工业级产品的设计要求，产品中所有器件达到工业级要求，产品设计定型后关键性能指标达到或超过设计输入要求。输出电压：5.20V~5.60V，输出电压纹波小于 100 mV，实际输出电流能力达到 4A，产品实际工作范围达到-25℃~85℃，20%-60%负载下，效率达到>85%，连续带电插拔模块 100 次无异常，良好的热插拔能力和抗电压冲击功能。配合 JX-300XP DCS 系统，EMC 达到三级指标。

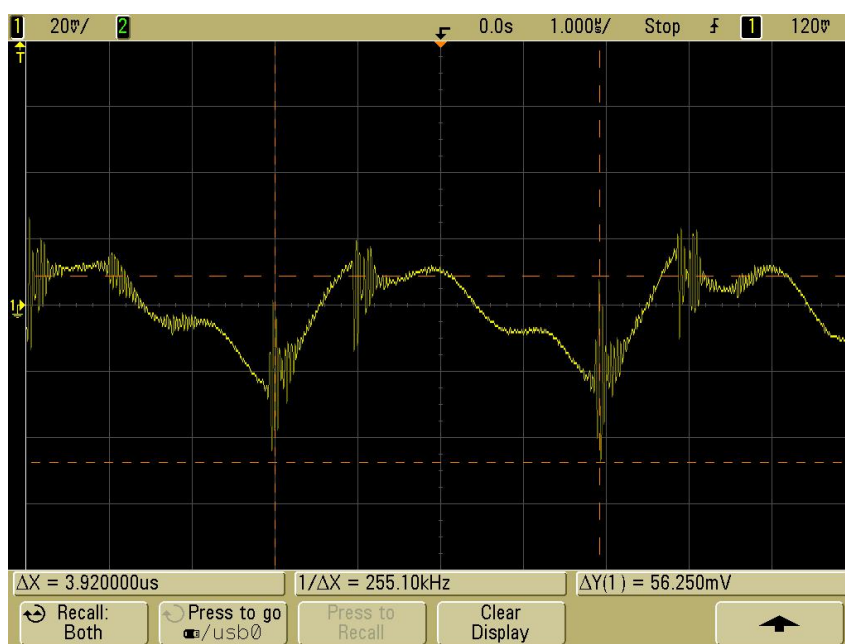


图 5 振荡频率 255K，纹波为 56mV

3 结束语

本设计所描述的电源模块效率高、发热量小，在 DCS 或 PLC 系统中，可以满足 20 个以上的 I/O 模块的供电需求。电源管理芯片 LM5116 的宽电压输入特性，可有效的防止工业现场由于外部供电的不稳定给 DCS 带来的停车冲击。该电源模块已成功应用于浙江中控的 JX-300XP 系统中，该型号 DCS 系统是当前中国应用套数最多的 DCS。本设计所描述的电源模块体积小，器件少，易于移植到其他领域的设备中，如电信的基站设备等。

参考文献

- [1] 王志强。《精通开关电源设计》。人民邮电出版社，2006 年
- [2] 王正仕 张军明。《实用开关电源设计》。人民邮电出版社，2011 年
- [3] 数据手册。《LM5116 Wide Range Synchronous Buck Controller》。2007 年

作者简介：

俞利明，1977 年出生，男，浙江杭州人，2004 年毕业于浙江工业大学电子信息专业，学士学位，工程师，从事 DCS 控制系统设计开发工作。通讯地址：浙江杭州市滨江区六和路 309 号 A 座 4 楼 邮政编码：310053 联系电话：0571-86667205 电子邮箱：yulm@supcon.com