



基于 MSP430 单片机的 过电流继电保护单元设计

欧阳森

(华南理工大学 电力学院, 广东 广州 510640)



作者: 欧阳森 (1974 -), 男, 讲师, 博士, 研究方向为电力电子技术、嵌入式系统设计等。

摘要: 通过新型的 16 bit 微处理器芯片 MSP430F149C 设计了一个过电流继电保护单元。该单元利用了 MSP430 单片机的片内资源, 既简化了系统设计, 又提高了系统的可靠性。此外, 对分布式电源和软件功能的设计也进行了阐述。

关键词: 继电保护; 硬件; 设计; 智能化

中图分类号: TM772 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-5531(2005)01-0030-04

Design of an Over-Current Relay Protection Unit Based on the MSP430 Single Chip

OUYANG Sen

(College of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: An over-current relay protection unit based on MSP430F149C MCU was designed which fully used the build-in chip resources. In this way, the hardware system is simple and high reliability. The circuit design according to the function of the system such as the distributed power supply part, data sampling part and control part were discussed. Finally, the validity of the system was verified by the applications.

Key words: intes; hardware; design; intelligence

0 引言

随着微处理器和电力工业的发展, 为提高电力设备的智能化程度, 其检测、控制等部分越来越多地基于各种微处理芯片来构建硬件系统, 以提高测量精度和反应速度, 并达到更准确的测量和控制目的。此外, 智能化电力设备的功能也越来越多, 越来越复杂。过电流继电保护单元是一个能保护变压器、母线、发电机、电抗器和其他需要差动保护的电力设备, 也可单独用于过流保护、差动保护或复合差动和过流保护等。为了以最小的成本设计出满足需求, 且具备一定的扩容、升级能力的硬件和软件系统, 本文设计了基于 TI 公司的 MSP430F149C MCU 芯片的硬件系统, 并针对各种需求设计了相关的软件。

1 MSP430 单片机的特点

作为新型 16 bit 单片机, MSP 微处理器具有

以下特点^[1]: ① 内部集成 Flash 存储器 and JTAG 模块, 仿真和程序下载可通过 JTAG 进行, 使得开发工具性能极佳而价格相对低廉; ② 芯片具备在线程序编程功能, 且不需外接编程电压即可用片内 Flash 实现软件升级, 对全部和部分程序进行修改; ③ 基于精简指令集 (RISC) 构建, 具有硬件乘法器; ④ 具备 3 种晶振输入的时钟模块, 包括内部 DCO 晶振和 2 个外部输入晶振, 使得处理核心可工作在高速频率下, 也可在低速频率下以超低功耗方式运行, 且具有突发式模式切换能力, 在 8 MHz 外接晶振下指令周期仅为 125 ns; 此外, 系统处理核心和内部的外围集成模块是工作在不同的频率下的, 并可通过编程设置来改变; ⑤ 芯片集成了丰富的外围模块, 如 8 路 12 bit 高速 AD ($< 10 \mu s$), 16 bit 定时器, 比较器及多达 48 (6×8) 个复用 IO 端口等, 使得硬件系统的设计比较简洁, 可大大降低成本。

MSP430 系列单片机之间的差别主要在于存

存储器种类和大小,以及在 IO 复用端口的功能,A/D 的有无上有差别等方面。本文选用的 MSP430F149C,其具有 60 KB 的 Flash 主存贮区,512 Byte 的信息 Flash 存储区,以及 2 KB 的 SDRAM,存储空间已可满足需要。集成的资源有:8 通道 A/D,2 个 UART/SPI 接口,16 个中断(与 I/O 端口复用)。

2 硬件系统设计

2.1 整体结构

硬件系统的结构如图 1 所示。包括电源、MCU 系统、采样信号调理电路、带隔离的输入输出部分、人机交互部分、通信部分和其他部分等。

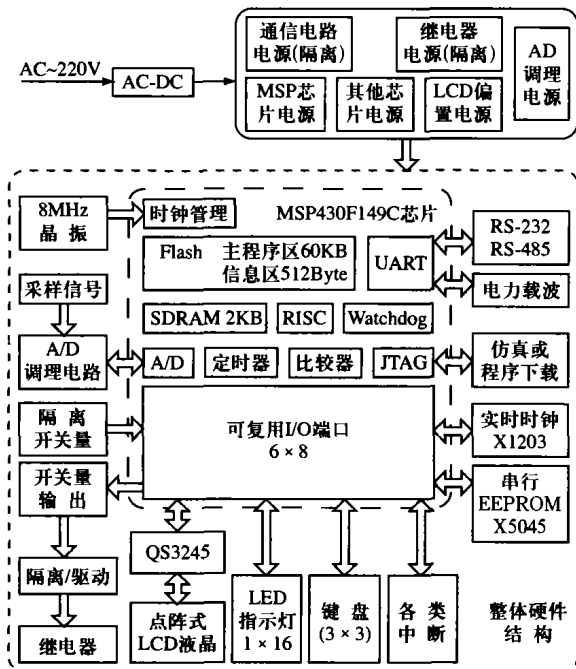


图 1 过电流继电器保护单元的硬件系统

由于 MSP430 芯片高度集成,CPU、各种存储器、看门狗等只需一片 MSP430F149C 芯片和外接的晶振即可构成。MSP 芯片内的 60 KB 主 Flash 存储器可作为程序区,512 Byte 的信息 Flash 可作为定值存储区,2 KB 的 SRAM 可作为数据区。带隔离的输入输出部分,以及人机交互部分的键盘、LED 指示灯和点阵式 LCD 亦可通过 MSP 芯片内丰富的 I/O 端口实现。这几个部分结构简单明了,原理图和 PCB 板的设计都十分方便。

值得注意的是,由于 MSP430 芯片工作于直

流 3.3 V,故与一些 +5 V 电压下工作的外围芯片进行连接是要注意电平转化,如 MSP430 与液晶模块的接口采用 QS3245 芯片来实现电平转换。

2.2 信号采集部分的设计

采集信号的调理电路包括信号变比调整、信号滤波、相位补偿、采样保持和 A/D 转化等;采样保持采用四合一采样集成芯片 SMP04, A/D 采用 MSP430 单片机内部的 8 通道 12 bit 高速 A/D。

原始信号是一次传感器过来的幅值为 5 A 的交流电流,通过二次电流互感器得到弱电电子系统能处理的小电流。此时通过积分环节将电流转变为电压,然后通过比例调节环节得到适宜 MSP430 的 AD 能处理的 0 ~ +3.3 V 电压信号。其电路如图 2 所示。

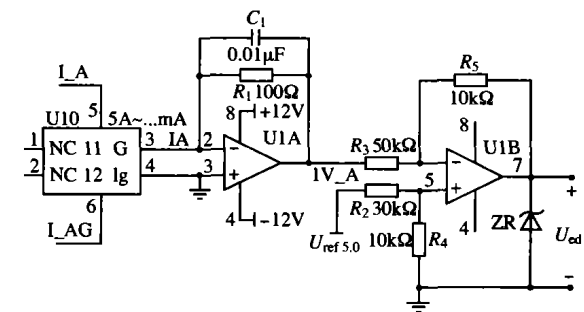


图 2 A/D 数据采集部分的调理电路

2.3 其他部分

通信部分包括 1 个 RS-485 和 2 个 RS-232 (其中一个为上位机专用),外扩的电力载波模块是可选项配件。时钟芯片选用 X1203,外扩的串行 EEPROM 采用 X5045。

考虑到不同的需求,在显示部分还利用 PS7219 设计实现 LED 数码管的方式。该芯片采用串行方式控制,只需 3 根 I/O 口线即可实现,而可显示 64 段(8x8)LED 管。可根据需求选择采用数码管方式或者液晶的方式来实现显示功能。

由于采用了集成度很高的 MSP 芯片,整个系统可以放置在几块很小的 PCB 板上,易于实现产品的微型化。此外,硬件系统的设计还需考虑抗干扰等问题。由于硬件整体设计简洁紧凑,并采用分布式电源方式供电,故这部分的设计比较容易达到要求。

3 分布式电源的设计

本系统所涉及的电源包括: +3.3 V (MCU 专用), +5 V (硬件系统的大部分芯片的工作电源), -7.8 V (液晶偏置电压) 以及 AD 调理电路的运放所需的 ± 12 V 电压; 隔离的 +5.00 V (通信电源); 隔离的 +24 V (继电器驱动用)。总共 3 类隔离电源, 其中 +3.3 V、+5 ~ 7.8 V 和 ± 12 V 为其中的一类共地电源。

如果用独立的电源模块来实现这么多的隔离电源, 无疑会大幅增加整个系统的成本, 对 PCB 板的布线也有很大影响; 而且, 板间走线等原因也会对电源产生干扰, 从而影响整个系统的稳定性和可靠性。故本文采用分布式电源的设计思路, 将各种隔离电源在具体的各模块电路中央采用基于 PWM 的开关电源的原理来就地实现。根据电源隔离与否, 以及功率需要等, 本文是这样来设计的: AC-DC 部分仅实现 ~ 220 V \rightarrow +24 V, 系统所需的 3 类电源都从这个 +24 V 来提取。由于各隔离电源与用电芯片紧密相接, 走线极短, 受到各类外来干扰的途径和可能性就大为降低了, 整个系统的电源比较“干净”。此外, 采用价格低廉、集成度高的 PWM 芯片来进行设计, 整个电源系统的成本并不比采用集中式供电方式高。之所以采用 PWM 控制方式, 还基于节能的目的, 传统的三端器件降压式电源 (如 7805 等) 方式效率低下, 电能转换效率只有 60% ~ 70%, 此外, 也无法实现反相输出。基于 PWM 方式的开关电源效率可较易达到 90% 以上。

3.1 隔离电源

开关电源可基于 PWM 方式产生, 而隔离电源还需通过高频变压器来获取, 这是一种低廉而有效的电源产生方式。以 +5.00 V 通信电源为例, 其电路如图 3 所示。

该电源的高频变压器采用反激式接法, 采用廉价但功能强大的 UC3842 来设计。其中, UC3842 芯片起到一个 PWM 控制作用, 通过每周期内的通态来驱动高频变压器的原边, 以提供能源给副边; 在阻态则阻断对变压器原边的驱动, 此时副边的二极管导通, 储能电感元件提供电能给电容和负载。这样, 隔离的通信电源即可得以产生。通过设计不同参数的高频变压器, 以及调整

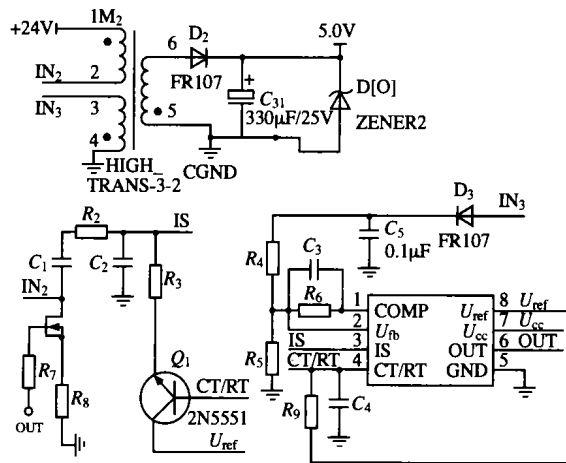


图3 隔离通信电源的电路

相应的外围元件的参数, 可分别得到 3 类相互隔离的直流电源。

3.2 芯片工作电源

这里指的是各种降压、反相式电源的设计, 包括 +3.3 V、+5 V、-7.8 V 和 ± 12 V 等供给各种芯片和点阵式 LCD 的电源。仍采用基于 PWM 方式来设计。由于是非隔离电源, 方式有所不同。这里有 2 种模式: 降压式 DC-DC 和反相 DC-DC。本文通过仔细分析, 巧妙地利用同一个 PWM 芯片来同时设计两种 DC-DC 电路。

以 +5 V 和 -7.8 V 的设计为例。这两个电源可用 LM2575 芯片来设计, 原理图如图 4 所示。

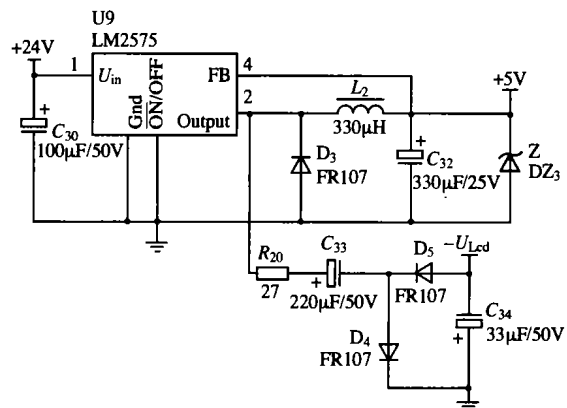


图4 基于 PWM 方式的降压和反相 DC-DC 电路

图 4 中, +24 V \rightarrow +5 V 部分电路其实是一个降压式 (Buck) 变换器: 通过 LM2575 的通、断控制, 芯片的引脚 2 在通态情况下给电感 L_2 储能, 断开状态下, 电感 L_2 上的能量通过 D_3 形成回路, 在 C_{32} 上储能, 并同时给负载提供 +5 V 电压和能量。

负电源部分包括 R_{20} 、 C_{33} 等元件,工作方式类似 Buck 变换器,只不过储能元件换成了电容,以实现反相的 DC-DC。

3.3 其他电源

其他电源可通过各种降压 + 稳压芯片来实现,如 +3.3 V 电源可采用 TPS7333Q 芯片来实现。

4 软件部分设计

除了满足必要的单元功能需求,利用 MSP 强大的 CPU 能力还可以实现其他的功能。目前,电能质量的监测和控制以及通信功能等已经成为智能化电器设备的一个发展趋势,如在智能化断路器中,集成某些电能质量监测功能已经成为一个新功能需求^[2]。为此,进行了相应的软件设计。

4.1 基本计算函数

除了使用常用公式计算真有效值电压、真有效值电流、有功功率、视在功率、无功功率和真功率因数外,还需进行 FFT 计算和频率测量。频率测量采用过零检测法/测周法和三角函数法^[3]。在实际计算中不能依靠单一算法,不同的算法有不同的适用场合要注意不同计算方式和算法的组合。考虑到算法原理的差异,若三角函数法的计算结果与额定频率差别在 ± 0.2 Hz 时采用三角函数法;否则采用过零检测法/测周法。

4.2 与电能质量相关的计算

根据与电能质量相关的国家标准和 IEEE Std1100、IEEE Std1159 和 IEEE Std1100 等国际标准,还需确定以下一些指标。

波形失真常用总谐波失真度指标 THD (Total Harmonic Distortion)、各谐波含量 HR (Harmonic Ratio) 来表征。IEC 和 GB/T 14549-93 (公用电网谐波) 中与 THD 相关的计算内容有电压总谐波失真度 U_{thd} (%) 和电流总谐波失真度 I_{thd} (%)。

$$X_{\text{thd}} = \begin{cases} \frac{\sqrt{X_{\text{RMS}}^2 - H_1^2}}{H_1} \times 100\% & X_{\text{thd}} > 6\% \\ \frac{\sqrt{H_2^2 + H_3^2 + H_4^2 + H_5^2 + \dots}}{H_1} \times 100\% & \end{cases}$$

式中: X_{thd} 指代 U_{thd} 或 I_{thd} ; X_{RMS} 指代相应计算量的真有效值; H_i ($i = 1, 2, \dots$) 指代 i 次谐波有效值。

第 h 次电压谐波含量和电流谐波含量分别为:

$$U_{h,HR} = U_h/U_1 \times 100\% \quad (1)$$

$$I_{h,HR} = I_h/I_1 \times 100\% \quad (2)$$

此外,本文还考虑从功率的角度来衡量波形失真。IEEE 的非正弦工作组将电压量的基波和谐波项分开,即令

$$U^2 = U_1^2 + U_H^2 \quad (3)$$

式中, $U_H^2 = \sum_{h=2}^{\infty} U_h^2$ 。

视在功率为:

$$S^2 = (UI)^2 = (U_1 I_1)^2 + (U_1 I_H)^2 + (U_H I_1)^2 + (U_H I_H)^2 = S_1^2 + S_H^2 \quad (4)$$

则比值

$$\left| \frac{S_H}{S_1} \right|^2 = \left| \frac{I_H}{I_1} \right|^2 + \left| \frac{U_H}{U_1} \right|^2 + \left| \frac{U_H I_H}{U_1 I_1} \right| \quad (5)$$

因为电流畸变加大总要使 S_H/S_1 增大,故能更好地反映“谐波污染”程度。当然,随着对 PQ 的深入了解,也许还会有其他的计算指标。

对于三相不平衡度,本文从性能和计算所需资源等角度采用两种简便的经验计算公式(这两个公式分别被英国和俄罗斯的相关标准所采用)^[4]:

$$\varepsilon_{U1} = \frac{|U_m - U_{av}|}{U_{av}} \times 100\% \quad (6)$$

$$\varepsilon_{U2} = \frac{0.62(U_{\max} - U_{\min})}{U_1} \times 100\% \quad (7)$$

式中:

$$U_{av} = (U_a + U_b + U_c)/3$$

$$U_m = \max(|U_a - U_{av}|, |U_b - U_{av}|, |U_c - U_{av}|)$$

U_{\max} 、 U_{\min} 分别为三相电压中最大值和最小值; U_1 取额定线电压。

之所以采用两个计算公式,是因为两个公式都是估算公式,偏差方向不一样,式(6)的计算结果偏小,而式(7)的计算结果偏大,这可根据实际情况采用合适的计算值。

5 结束语

MSP430F149C 芯片是一种新型的 16 bit 高速低功耗单片机,其内部集成了丰富的硬件资源。基于该芯片构建的硬件系统具有性能强大、成本

(下转第 61 页)

⑤ 低压开关设备和控制设备 总则;

⑥ 低压熔断器 第4部分:半导体设备保护用熔断体的补充要求;

⑦ 低压开关设备和控制设备 第4-3部分:接触器和电动机起动机-非电动机负载用交流半导体控制器和接触器;

⑧ 低压开关设备和控制设备 第5-3部分:控制电路电器和开关元件-在故障条件下具有确定功能的接近电器(PDF)的要求;

⑨ 低压开关设备和控制设备 第5-6部分:控制电路电器和开关元件-接近传感器和开关放大器的DC接口(NAMUR);

⑩ 电气附件-家用及类似场所用过电流保护断路器 第1部分 用于交流的断路器;

⑪ 低压开关设备和控制设备 辅助电器 第2部分:铜导体的保护导体接线端子排;

⑫ 低压开关设备和控制设备 第5-5部分:控制电路电器和开关元件-具有机械锁闭功能的电气紧急制动装置;

⑬ 电气附件-家用断路器和类似设备-辅助触头元件;

⑭ 低压开关设备和控制设备 第8部分:旋转电机用装入式热保护控制装置;

⑮ 低压开关设备和控制设备 辅助电器 第1部分:铜导体的接线端子排;

注:第①至⑫项及第⑮项已完成报批稿,第⑬、⑭项正在制定中。

(2) 研究可通信低压电器的标准体系,制定相关产品标准。对于正在迅速发展的可通信电器类产品,目前只有独立的总线标准,但没有相应的通信电器标准。由于我国低压电器生产企业众多,国际上多种总线系统都已进入中国,低压电器要适应各种总线系统如果没有统一的可通信低压电器标准,难以实现产品的互换。相关适配器和低压电器的通信协议标准正在制定中,还将制定一系列可通信低压电器元件的标准,以促进可通信低压电器的发展。

(3) 加强国际标准和国外先进标准的研究。近几年我们对国际标准的跟踪和研究已逐步深入,参加了所对口IEC部分技术工作组的工作,在国际标准的制修订过程中提出了我国的意见和建议。今后将继续跟踪相关领域的国际标准化工作,并逐步深入研究。收集和国外先进标准,如UL、BS等标准,提高我国标准化技术水平。

近几年,国内外低压电器的技术发展很快,应加强标准化的研究工作,更加完善我国低压电器的标准体系,使标准能真正起到指导企业生产、促进技术发展的作用。

【参考文献】

- [1] 中国电器工业协会,全国低压电器标准化技术委员会.中国电器工业标准汇编 低压电器专业卷[M].2002版.

收稿日期:2005-01-12

(上接第33页)

低廉、资源丰富、电路设计简洁等优点。分布式电源的设计可得到价格低廉、种类丰富的各类可靠电源,这对整个系统的稳定性也大有裨益。电能质量问题正越来越受到人们的重视,本文所设计的智能化设备也对此进行了相关的部分设计。

【参考文献】

- [1] 胡大可. MSP430系列Flash型超低功耗16位单片机[M].北京:北京航空航天大学出版社,2001.

- [2] 陈德桂. 监控与提高电力质量的新型智能化电器[J]. 电工技术杂志,2002,5:5~8.
- [3] 谢小荣,韩英铎. 电力系统频率测量综述[J]. 电力系统自动化,1999,23(3):54~58.
- [4] 林海雪. 电力系统的三相不平衡[M]. 北京:中国电力出版社,1999.

收稿日期:2004-08-13