

电动汽车大功率快速充电机的全数字一体化设计

王大为¹ 徐洋波¹ 臧云峰¹ 杨柳琼² 陈佐华³

(1. 上海追日电气有限公司, 上海 200331; 2. 广西柳州化工股份有限公司, 广西 柳州 545002; 3. 柳州钢铁股份有限公司, 广西 柳州 545002)

摘要 本文介绍了一种采用 TI 公司的 TMS320F283375+FPGA 的全数字平台的电动汽车大功率充电机的设计方案, 并对整个设计方案作了详细阐述。

关键词: DSP (Digital Signal Processor); 充电机; 功率因数; FPGA; EMC

Design of All Digital Integration of High Power Quick Charger of Electric Vehicle

Wang Dawei¹ Xu Yangbo¹ Zang Yunfeng¹ Yang Liuqiong² Chen Zuohua³

(1. Shanghai Surpass Sun Electric Co., Ltd, Shanghai 200331; 2. Liuzhou Chemical Industry Co., Ltd, Liuzhou, Guangxi 545002; 3. Liuzhou Iron & Steel Company Limited, Liuzhou, Guangxi 545002)

Abstract This paper introduces the design scheme of electric vehicle power battery charger an all digital platform using TI's TMS320F283375 + FPGA, and the whole design scheme in detail.

Keywords: DSP(Digital Signal Processor); charger; PFC(Power Factor Correction); FPGA; EMC

随着电动汽车的不断普及, 电动汽车的充电设备日益显得重要。在目前的电动汽车充电机中, 大部分采用的是高频开关电源模块方式配置而成, 而相当一部分的开关电源模块仍然采用基于 SG3525 等类似的模拟控制芯片设计。而在电动汽车充电系统中, 要求其具有更加丰富的数字通信能力, 系统故障自诊断能力, 通信交互能力。传统的模拟控制系统, 在实际的使用中表现的相对不够灵活。

本文阐述一种基于 TI 公司的最新数字控制器 TMS320F283375+FPGA 的全数字控制平台。

在该系统中, 充分利用 TMS 的快速计算能力和 FPGA 的丰富的逻辑和并行处理能力, 有效构建电动汽车快速充电控制系统。实现了计算快速高效, 保护迅速齐全, 通信配置灵活。

1 全数字一体化电动汽车快速充电机主电路结构

该电动汽车大功率快速充电系统的电气原理图如图 1 所示。

主路由 AC/DC 和 DC/DC 两部分组成。

AC/DC 部分采用空间矢量脉宽调制

SVPWM (Space Vector Pulse Width Modulation), 即典型的电压型整流器 (Voltage Source Rectifier, 缩写 VSR)。控制上采用基于瞬时无功理论实现交流侧的功率因数近似为 1, 谐波畸变率小于 5% 的整流功率变换。

DC/DC 部分采用三个半桥的 Buck-Boost 电路, 同时每个半桥的控制波形交错 120° 的三重化交错控制, 使得输出的电流/电压纹波较小, 实现高质量的直流输出。其波形如图 2 所示。

2 控制系统硬件结构

在控制上, 采用新型高速 TMS320F283375 数字控制器作为核心控制器, 通过与 FPGA 进行外围扩展, 实现故障三级封锁。

外部保护信号, 直接处理后进入 FPGA 逻辑阵列, 可实现故障信号的快速响应, 同时 PWM 脉冲信号进行逻辑使能, 确保大功率快速充电机在输出控制上的稳定可靠。避免大功率设备使用过程中的

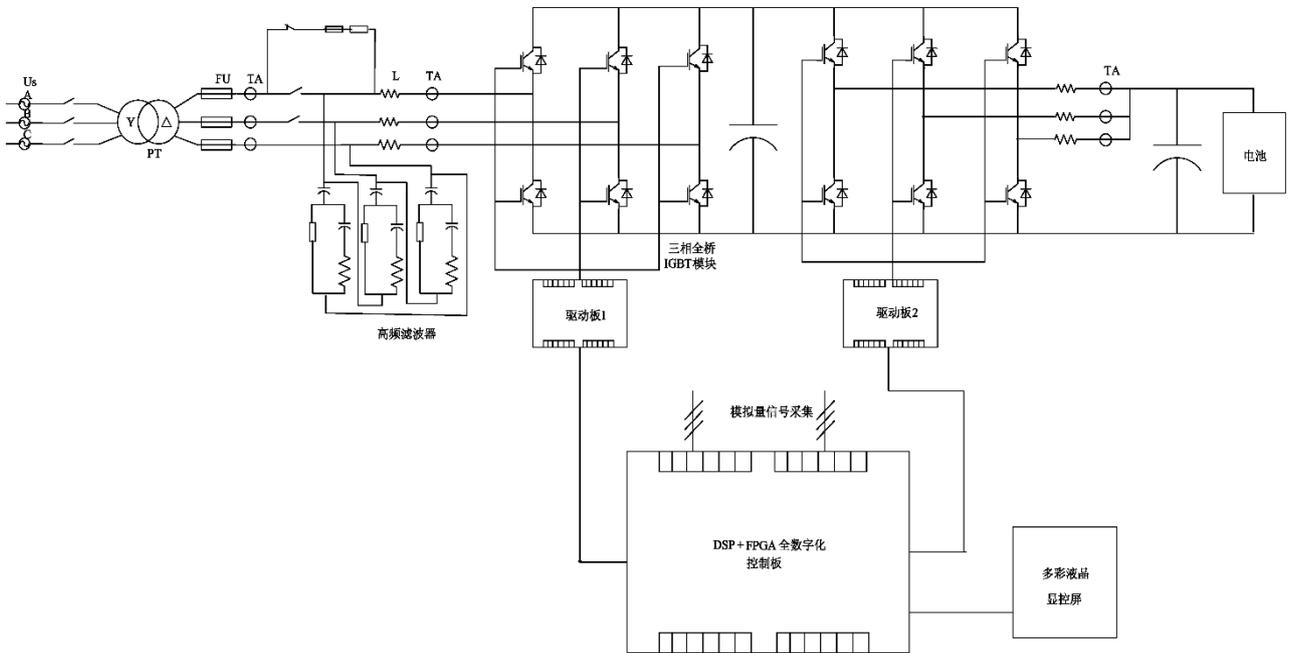


图1 大功率快速充电机拓扑结构

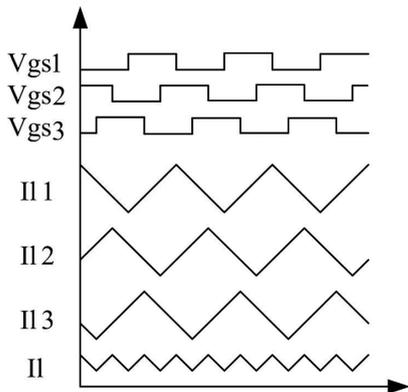


图2 三重化DC/DC侧驱动电压与电流波形经常炸IGBT的现象。

2.1 TMS320F28375 快速数字处理器及其在系统主要功能介绍

系统采用美国TI公司最新快速数字控制专用DSP芯片TMS320F28375，其在系统中主要完成的功能有：电源输入（输出）电压、电流的采样与数字滤波，系统全数字控制算法的计算，SVPWM信号产生，CAN通信接口，系统故障诊断与报警。

TMS320F28375的基本特性如下：

1) 单个的TMS320F2812芯片有204K RAM, 1MB FLASH, 主频率高达200MHz。实现了高性能数字信号处理器与大容量闪存的结合，可用于开发及对现场软件进行升级时的简单再编程。

2) 16通道的PWM（脉冲宽度调制）。

3) 4通道双模通道16/12位ADC，其吞吐量每秒可达4.4msps采样率。

4) 3个定时器。

5) 32邮箱的双CAN2.0B控制器，40MHz SPI, 4 SCIs, 充分保证了通信的方便。

6) TMS320F28375器件为设计人员提供了整套的片上系统，极大地降低了板级空间及系统成本。

本电动汽车快速大功率充电机系统具有较高的实时性要求，TMS320F28375的快速处理能力，片内大容量RAM、FLASH，同时充分利用TI DSP集成开发环境CCS自带的RTOS系统——DSP/BIOS II实现实时控制。该系统为设计人员提供了整套的片上系统解决方案，其强大的模块化操控方式，极大提高系统的开发效率同时也大大地降低了系统成本。

2.2 基于TMS320F28375+FPGA的全数字控制系统硬件设计

本电动汽车快速大功率充电机采用的数字控制硬件平台其控制系统原理框图如图3所示。

由于大功率充电机本身就是一个干扰源，开关管IGBT均工作在高速开关状态，由于 du/dt 、 di/dt 变化大，使得控制系统的参数的采集通道抗干扰设计成为整个系统开发的困扰。而采集通道在硬件上的分抗干扰能力及参数采集的精度则是整个系统控制性能的前提决定条件。

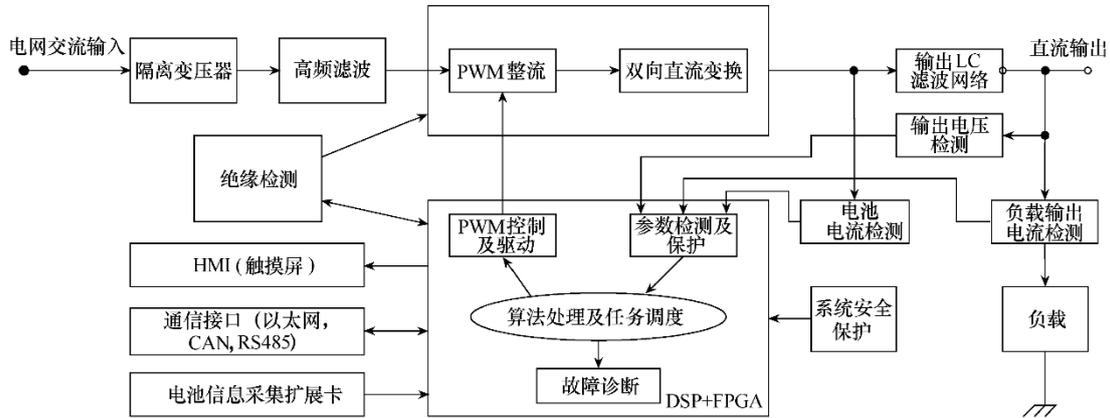


图3 主控制电路硬件结构框图

系统中硬件采用光电隔离放大器，然后将信号送入二阶低通滤波器处理后，接到AD采样，在软件上采用滑窗处理方式进行数字滤波。

在IGBT的驱动上，充分采用FPGA丰富的逻辑处理能力，实现对IGBT驱动信号的三级封锁，有效实现IGBT模块的有效驱动与保护，在实际的工程设计，需要考虑驱动能力与抗干扰设计。

3 全数字化控制策略

电动汽车快速大功率充电机系统控制策略采用电压、电流双闭环控制，输出电压采样值与系统输出设定值比较生成电压误差信号，经过一个PI环节构成电压外环；电压外环作为电流环的参考基准，与原电电感电流采样值比较，经过PI电流内环调节输出。

控制系统内环采用TI公司BIOS/DSP实时操作系统，将系统划分为7大任务，如图4所示。

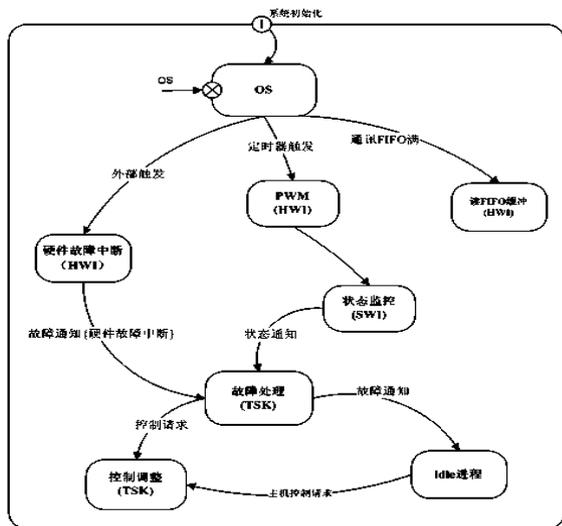


图4 TMS320F28375 嵌入式软件时序图

SWI: 软件中断服务 (Software Interrupt)，可以通过调用系统API函数触发软件中断，类似于硬件中断。适用于需要较快速的响应但实时要求并不严格的处理。

HWI: 硬件中断服务 (Hardware Interrupt)。

TSK: 任务 (Task) 就是线程，通过BIOS/DSP实时操作系统TSK模块进行调度。

IDL: 空闲任务 (Idle Loop) 系统将维持一个空闲任务链，当所有任务中断都处于空闲时。系统是依次执行空闲任务。

电动汽车大功率快速充电机控制算法结构框图如图5所示。

4 电动汽车大功率充电机的电磁干扰与电磁兼容设计

在电动汽车大功率充电机系统中，由于充电过程中需要和车载电池管理系统及车载其他电气设备对接，充电过程中，必须满足汽车相关标准规定的EMC/EMI设计相关要求，在该系统中，除了在交流进线端和直流输出端添加EMI滤波器外，必须考虑充电机功率变换单元的电磁辐射等的相关设计。

在主拓扑电路中，直流母线电容的储能支撑，采用无感叠层母排设计方案，有效避免采用铜排方式的杂散电容，寄生电感的影响。同时在布局上，尽量封闭在闭合的箱体内部。同时，有效控制IGBT等功率器件的开关动作频率与上升沿下降沿的特性以达到EMI控制的要求。

5 结论

本文给出了基于TMS320F28375+ FPGA的电动汽车充电机的全数字一体化快速充电机的全数字

化设计方案,与模拟式单芯片 PWM 集成控制器构成的开关电源系统相比,具有控制精度高、系统集成度高,标准化程度高,系统适应性强、稳定可靠和抗干扰能力强等优点,同时提供基于 CAN 总线的系统故障自诊断与记录功能。采用以太

网进行对多台充电机进行工作状态的实时监控,从而为充电机的集中控制打好基础,适合充电机的大规模化建站应用高。有效实现充电机(站)的远程化操作与监控。

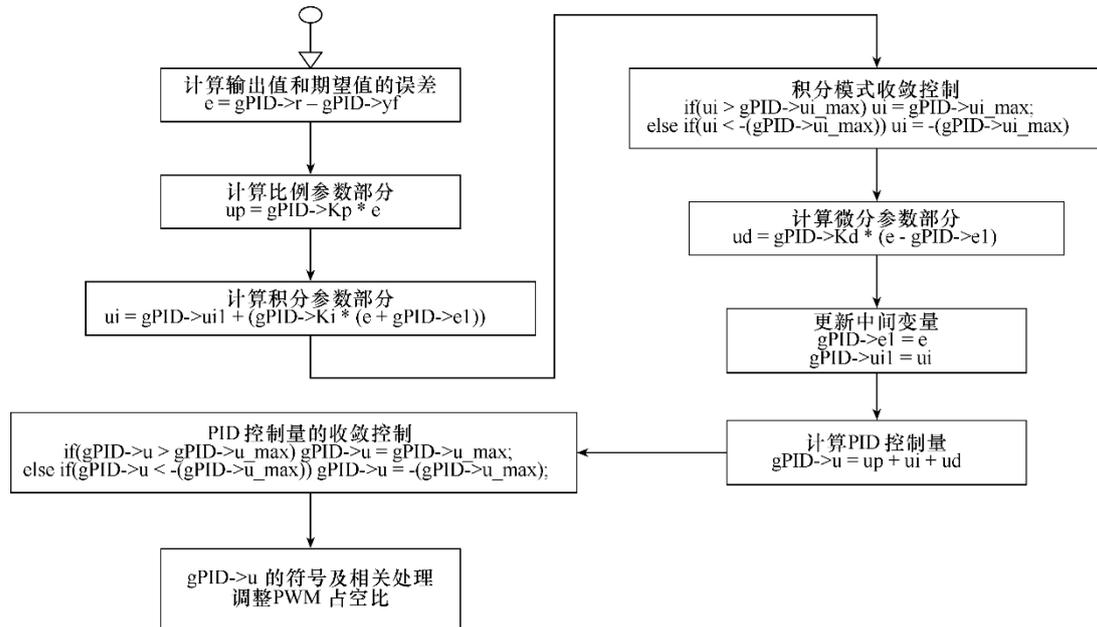


图 5 全数字化电动汽车快速充电机控制算法结构框图

由于全数字化硬件控制平台,使得该快速充电系统调试方便,控制算法可以根据客户需要进行配置灵活,能够在线实时迅速的修改控制策略和算法,大大减少系统的调试工作量,有效节约开发及生产成本。实践证明,该电动汽车快速充电系统设计方案具有明显的技术优势和可观的经济效益,值得大范围推广。

参考文献

[1] Kroeze RC, Krein. PT. Electrical battery model for use in dynamic electric vehicle simulations, IEEE, Power Electronics Specialists Conference(PESC)[Z]. 2008: 1336-1342.
 [2] 许晓慧. 电动汽车及充电技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
 [3] 叶慧贞, 杨兴洲. 新颖开关稳压电源 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.

[4] 周志敏. 开关电源功率因数校正电路设计与应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004.
 [5] 阮新波, 严仰光. 脉宽调制 DC/DC 全桥变换器的软开关技术 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.
 [6] 张崇巍, 张兴. PWM 整流器及其控制 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
 [7] 国家电网公司营销部. 电动汽车充电设施建设标准及相关文件 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
 [8] 郝晓东, 乔恩明. 电源系统电磁兼容设计及应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
 [9] 李相哲, 苏芳, 林道勇. 电动汽车动力电源系统 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.

作者简介:王大为(1980-),男,上海人,硕士,自动控制系统专业。研究领域为电动汽车充电设施、大功率充(放)电机设计与开发。