

基于 DSP 的功率调节系统控制器

DSP-based Power Conditioner System's Controller

(华南理工大学)黄石生 唐朝阳 王振民 陈意庭

HUANG SHISHENG TANG ZHAOYANG WANG ZHENMIN CHEN YITING

摘要:文章研究了基于 DSP 的燃料电池电站功率调节系统控制器。功率调节系统对整个电站系统的可靠、高效率 and 高质量运行有很重要的作用。功率调节系统由逆变电路、数字控制系统等组成,文章对数字控制系统硬件和软件方面进行了研究。在设计了 DSP 嵌入式控制系统的基础上,研究了逆变器输出波形控制技术。采用滑模变结构控制策略,进行了波形控制技术研究。实验结果表明,文章所设计的 DSP 嵌入式系统满足了功率调节系统的功能要求,并具有良好的可靠性和输出波形质量。

关键词:功率调节系统;嵌入式微控制器;逆变器;滑模变结构控制

中图分类号:TP 237

文献标识码:A

Abstract:In this paper, a DSP-based power conditioner system's controller for fuel cell power plant is studied. The power conditioner system is important for the power plant to run reliably, efficiently and high quality. The power conditioner system is consisted of inverter circuit and digital control system mainly. Here, the hardware and soft of the digital control system is studied in the paper. The waveform control technic for inverter is studied based on the designed DSP embeded controlling system. It is testified by the experiment's results that the DSP embeded controlling system designed in the paper satisfies the functions requires of the power conditioner system. Moreover, the digital controlling system is reliably and has well output waveform.

Key Words:power conditioner system, embeded microcontroller, inverter, sliding mode control

技术创新

1 引言

燃料电池是直接将原料中的化学能转换为电力的“化学能发电”或者“分子能发电”的发电装置。燃料电池能量转换率高,对环境的负面影响几乎为零,在能源紧张、环境污染严重的当今,用燃料电池电站替代部分火力发电是很有意义的。燃料电池输出电压范围比较宽,电压比较低,输出特性软,必须经过变换器改善其输出电压特性;它提供的是直流电,应用中大多数场合却需要交流电,即需要变换为交流电以供应用。功率调节系统的功能就是把燃料电池直流电转换为稳定的三相交流电。功率调节系统对整个电站系统的可靠、高效率 and 高质量运行有很重要的作用。

数字化控制易于采用先进的控制方法和智能控制方法;数字化控制系统灵活,系统升级方便,易于实现参数的协同控制,甚至可以在线修改控制算法和参数,而不必改动硬件线路,大大缩短了设计周期。数字化控制系统的控制方案集中体现在控制程序上,而微处理器一般具有丰富的片内外资源。硬件资源配置确定之后,只需修改软件,就可以提高原来系统的性能,或更换控制算法。DSP 属于精简指令系统计算机,大多数指令都能在一个周期内完成,并通过并行处理技术,在一个指令周期里完成多条指令;同时, DSP 采用改进的哈佛结构,具有分离的程序和数据总线,允许同时存储程序和数据,取指和执行能完全重

叠进行;采用多级流水线和内置高速硬件乘法器,使其具有高速的数据运算能力。DSP 以其强大的指令系统和接口功能等优点,广泛应用于通用数字处理、通讯、语音处理、图象处理、仪器仪表、军事和尖端科技等方面。近年来, DSP 在自动控制领域也获得广泛应用。DSP 芯片已经成为数字电路设计的主要处理器了。在燃料电池电站功率调节系统中, DSP 嵌入式系统主要完成电压和电流信号的反馈运算、PWM 波形输出、系统实时监控和保护、系统通讯等功能。文章对基于 DSP 的功率调节系统进行研究。

2 数字控制系统硬件电路

功率调节系统主要由主电路和控制部分组成,这里仅对控制部分进行研究。控制部分由采样、嵌入式微控制系统和驱动等模块组成。下面对控制部分电路进行设计。

2.1 嵌入式微控制系统

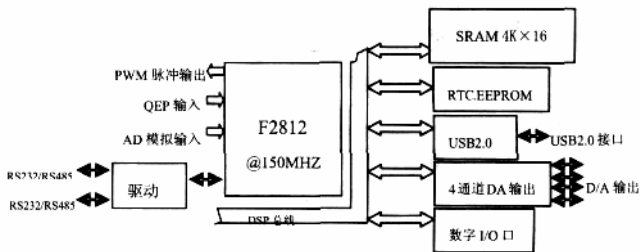


图 1 DSP 嵌入式控制系统

采用 TI 公司的高性能的 32 位定点 DSP 微处理器 TMS320F2812 为核心的嵌入式控制系统。F2812 是 TI 公司信号

黄石生: 博导

基金项目:广东省科技工业攻关重大项目(124B2041570)

处理及控制用的 2000 系列 DSP 的高端产品, 它有最大达 150MIPS 的处理速度; 片上存储器有 128K×16 位 FLASH、18K×16 位 SRAM、4K×16 位 BOOT ROM 和 1K×16 位 OPT ROM; 它还有许多数字 I/O 口及实用的高性能片上外设。嵌入式控制系统的功能框图如图 2 所示, 该系统处理速度快、程序空间大、功能齐全, 并且结构很精简。

2.2 采样系统

采样系统为嵌入式控制系统提供反馈控制信号, 反馈信号的不失真、及时是数字控制系统正常工作的基础。采样系统由传感器、滤波、信号调理和 AD 转换等部分组成。传感器采用霍尔元件, 它是一种能隔离主电流回路与控制电路的电检测元件, 具有精度高、线性度好、动态性能好、工作频带宽等特点的传感器。滤波采用硬件滤波和数字滤波接合的方式, 其中硬件滤波采用 LC 低通滤波器。由于 F2812DSP 的 AD 模块的输入电压范围是 0~3 伏, 所以必须把传感器的输出信号电压在 ±1.5 伏平移到 0~3 伏才能与 DSP 的外设接口相连。为防止冲击信号对 DSP 的外设接口的影响, 电位平移电路之后需要加限幅电路才能接 AD 转换模块, 最后再进行数字滤波。

2.3 PWM 驱动电路

可靠地驱动并保护主电路功率开关管是数字控制系统重点考虑的问题。这里 PWM 驱动采用瑞士 Concept 公司生产的 IGBT 驱动板 2SD315A。该 SCALE 驱动板采用 ASIC 设计, 用 15V 电源驱动, 具有高可靠和长寿命的特点。根据 2812DSP 的片上 PWM 模块、主电路 IGBT 器件和 2SD315A 的数据手册, 设计了 PWM 驱动电路。

3 数字控制系统软件

数字控制系统软件是集中体现数字化控制易于采用先进的控制方法和智能控制方法、控制系统灵活、系统升级方便等特点及优点的地方。文章采用 TI 公司的集成软件开发工具 CCS2.2, 采用 C 语言为主, 加部分汇编语言, 开发嵌入式控制系统软件。系统软件控制流程如图 2 所示。

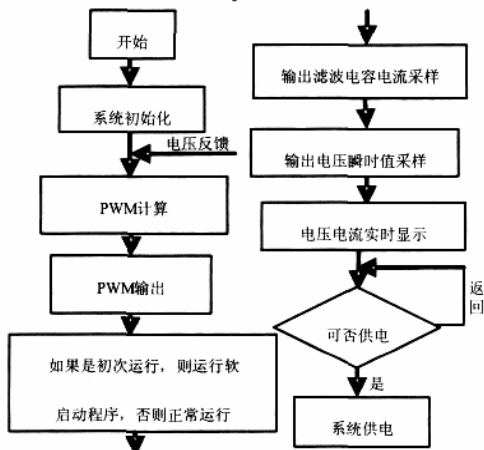


图 2 控制系统流程

3.1 软件的主要算法设计

DSP 嵌入式控制软件要实现的功能主要有 PWM 算法与输出、功率调节系统安全运行控制、采样信号数字滤波、输出波形控制等。其中, 波形控制技术是功率调节系统性能的主要技术

指标, 而且是 DSP 嵌入式控制软件的重点与难点。本文波形控制选用滑模变结构控制策略。滑模变结构控制最大的优点是其对参数变化及外部干扰的不敏感性, 即强鲁棒性。加上其固有的开关特性, 特别适合应用于电力电子的闭环控制之中的[7,8]。DSP 微处理器实现的离散滑模变结构控制能够使得逆变电源输出波形有着良好的暂态响应, 下面分析与设计功率调节系统的三相逆变器输出波形滑模变结构控制。

当有中线存在时, 三相逆变电路中各相的电压、各相的电流相互独立, 系统有 6 个独立变量存在, 若取逆变器输出相电压 u_{0a} 、 u_{0b} 、 u_{0c} 、和电感电流 i_{1a} 、 i_{1b} 、 i_{1c} 作为状态变量。电站输出是三相 380 伏交流电, 每两相波形之间相差 120 度相位。输出控制时三相是分别控制的, 所以, 系统可以看作三个相同的单相系统, 系统之间相位相差 120 度。为了方便, 只研究 A 相, 其它两相参数相同。根据基尔霍夫电流定律与电压定律, 可以列写出以下 2 条方程:

$$\begin{cases} c \frac{du_{0a}}{dt} = i_{1a} - i_{0a} \\ u_A - u_{p1p} = L \frac{di_{1a}}{dt} + r i_{1a} + u_{0a} \end{cases} \quad (1)$$

如果令 $u_{1a} = u_A - u_{p1p}$, $A_0 = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{c} \\ -\frac{1}{L} & -\frac{r}{L} \end{bmatrix}$, $B_0 = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{c} \\ \frac{1}{L} & 0 \end{bmatrix}$, 方程可写成:

$$\begin{bmatrix} \dot{u}_{0a} \\ \dot{i}_{1a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{c} \\ -\frac{1}{L} & -\frac{r}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{0a} \\ i_{1a} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{c} \\ \frac{1}{L} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{1a} \\ i_{0a} \end{bmatrix} = A_0 \begin{bmatrix} u_{0a} \\ i_{1a} \end{bmatrix} + B_0 \begin{bmatrix} u_{1a} \\ i_{0a} \end{bmatrix} \quad (2)$$

转换为离散状态方程:

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k) \quad (3)$$

设电压指令为 $r(k)$, 电压指令变化率为 $dr(k)$, 令 $R=[r(k), dr(k)]$, $R_1=[r(k+1), dr(k+1)]$ 。其中

$$r(k+1) = 2r(k) - r(k-1), \quad dr(k+1) = 2dr(k) - dr(k-1) \quad (4)$$

切换函数为

$$s(k) = C_e(R - x(k)) \quad (5)$$

其中 $C_e=[c, 1]$ 。所以

$$s(k+1) = C_e(R_1 - x(k+1))$$

控制律为

$$u(k) = (C_e B)^{-1}(C_e R_1 - C_e A x(k) - s(k+1)) \quad (6)$$

基于指数趋近律的离散趋近律为

$$s(k+1) = s(k) + T(-\varepsilon \operatorname{sgn}(s(k)) - qs(k)) \quad (7)$$

由(6)、(7)两式可得基于指数趋近律的控制律

$$u(k) = (C_e B)^{-1}(C_e R_1 - C_e A x(k) - s(k) - ds(k)) \quad (8)$$

其中 $ds(k) = -\varepsilon T \operatorname{sgn}(s(k)) - qTs(k)$ 。

4 实验

利用上面设计的 DSP 嵌入式微控制系统, 组成功率调节系统, 对 50KW 的燃料电池电站进行输出控制。电站的基本参数及性能要求如下: 输入直流电压 300V; 输出 3 相 380V, 50HZ, 50KW; 滤波电容 30uF; 滤波电感 700uH; 等效阻抗 0.1 ; 实验负载 20KW。得到实际输出控制效果如图 3 所示。

图 3 中, a 图是三相平衡负载时 A 相的相电压; b 图是 A 相满载、其它两相空载时的相电压; 图 c 是空载的 B 相的相电压波形图。

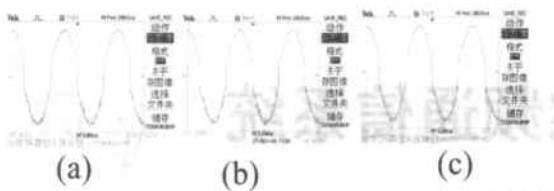


图3 输出电压波形图

5 结论

本文研制了基于 DSP 的燃料电池电站功率调节系统。系统是嵌入式数字控制模式,具有控制系统软件修改、升级方便,控制系统具有良好的抗干扰能力。采用滑模变结构策略的输出波形控制对参数变化及外部干扰的不敏感性,即强鲁棒性。从实验结果看,电站系统在负载剧烈变动的情况下输出电压稳定。

本文作者的创新点:基于 DSP 的燃料电池电站功率调节系统控制器;采用滑模变结构控制策略的输出波形控制算法。

参考文献:

[1][日]电气学会.燃料电池发电 21 世纪系统技术调查专门委员会.(谢晓峰,范星河译),燃料电池技术,化学工业出版社,北京,2004.3

[2]E. Santi, D. Franzoni, A. Monti, D. Patterson, F. Ponci, N. Barry, Barry, N, A fuel cell based domestic uninterruptible power supply. Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2002.

[3]Cheng K.W.E., Sutanto D, Ho Y.L. and Law K.K, Exploring the Power Conditioning System for Fuel Cell. 2001. PESC. 2001 IEEE 32nd Annual Volume 4, 17- 21 June 2001. pp. 2197~2202

[4]侯伟,王丽芳.基于 DSP 的感应电机变压变频控制系统研究[J]微计算机信息 2005, 1:83- 84

[5]张卫宁.TMS320C28 x 系列 DSP 的 CPU 与外设. 清华大学出版社,2004

[6]Utkin V I. Variable structure systems with sliding modes, IEEE Transaction Automatic Control, 1977, 22(2). pp. 212~222

[7]Gao W B, Wang Y F, Homaira A. Discrete-time variable structure control systems. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1995, 42(2). pp.117~122.

作者简介:黄石生,男,1938年10月出生,广东人,华南理工大学博导,研究方向为数字化电源与逆变焊接电源;唐朝阳,男,1973年6月出生,湖南人,华南理工大学材料加工工程专业博士研究生,研究方向为数字化电源与系统;王振民,男,1973年10月出生,湖南人,华南理工大学讲师、博士,研究方向为数字化电源与逆变焊接电源;陈意庭,男,1983年3月出生,江西人,华南理工大学材料加工工程专业硕士研究生,研究方向为数字化电源与系统。

Biography: Huang Shi - sheng, male, born in 10.1938, come from Guang Dong province, doctor tutor of South China University of Technology, main studying field is digital electrical

source and inverter power supply for welding; Tang Zhao - yang, male, born in 6.1973, and come from Hu Nan province, doctor candidate of material process engineering in South China University of Technology, major in digital electrical source and system controlling; Wang Zhen - min, male, born in 10.1973, and come from Hu Nan province, instructor of South China University of Technology, main studying field is digital electrical source and inverter power supply for welding; Chen Yi - ting, male, born in 3.1983, and come from Jiang Xi province, master candidate of material process engineering in South China University of Technology, major in digital electrical source and system controlling.

(510640 广州 广州华南理工大学机械工程学院)黄石生

唐朝阳 王振民 陈意庭

(Dept. of mechanics engineering, South China University of Technology Guang zhou, Guang Dong, China, 510640) Huang ShiSheng Tang ZhaoYang Wang ZhengMin Chen YiTing

通讯地址:(510640 广州 广州华南理工大学机械工程学院)黄石生

(收稿日期:2007.10.13)(修稿日期:2007.12.15)

《变频器与软启动器应用 200 例》

凡有电机的地方,均需要软启动器与变频器,一是安全、二是节能、三是环保。冶金、石化、化工企业的大设备运行,港口、码头、矿山的装载机械、掘进机械、水泥厂的窑炉动力机械、破碎机械,机床厂的各种设备与产品,电力(发电与运行)机械,铁路行业的电力机车、内燃机车与货场的行车,轻工动力机械、造纸机械、印刷机械、大厦中的电梯、中央空调装置、恒压供水装置,各种窑炉的控制设备、大型闸门起吊设备,各种伺服阀门、大型雷达动力驱动系统,有轨、无轨城市电车。电机无处不在,变频器与软启动器的用场无所不在。高压变频、中低变频、直流调速、交流变频、交交变频、伺服驱动、各种启动、励磁、电源解决均在本书之中,既符合设计使用人员查阅,又适合采购主管人员查询。好书大家拥有,200 个实用案例与大量的广告总会有适应您的一款。

本书已出版。大 16 开,每册定价 110 元(含邮费)。预购者请将书款及邮寄费通过邮局汇款至

地址:北京海淀区皂君庙 14 号院鑫雅苑 6 号楼 601 室

微计算机信息编辑部 邮编:100081

电话:010-62132436 010-62192616(T/F)

http://www.autocontrol.com.cn http://www.autocontrol.cn

E-mail:editor@autocontrol.com.cn; control-2@163.com