维普资讯 http://www.cqvip.com

基于TMS320F2812的电力机车110V大功率开关电源全数字化设计

徐洋波， 王玉松
（西南交通大学 智能控制与仿真工程研究中心， 四川 成都 610031）

摘 要： 介绍了采用TI公司32位工业控制专用数字信号处理器TMS320F2812作主控制器的电力机车用直流110V高频大功率开关电源全数字化系统设计方案，详细描述了系统的硬件结构与软件控制算法。实验与样机装车实际考核证明，该方案技术先进，性能优良，值得继续深入研究与推广。

关键词： 数字信号处理器；开关电源；智能功率模块；PID；实时操作系统

Full Digital Design of 110V High-power and High-frequency Switching Mode Power Supply for Electric Locomotives

XU Yang-bo, WANG Yu-song
(Intelligent Control and Simulation Research Center, Southwest Jiaotong University, Chengdu Sichuan 610031, China)

Abstract: An electric Locomotive's control system used high-power Switch Mode Power controlled by DSP is introduced. Have described systematic hardware structure and software control algorithms in detail. It proves, the modern techniques of this scheme, of good performance to load and examine actually in experiment and prototype, worthing continuing further investigating and popularization.

Keywords: DSP(digital signal processor); switching power supply; IPM(intelligence power module); PID; real-time operate system

中图分类号： TN86 **文献标识码：** A **文章编号：** 0219-2713(2007)11-0001-06

0 引言

电力机车用110V直流电源，是机车控制系统供电电源，同时负责机车蓄电池的充电，是机车的核心电源装置[1]。该电源的输入为电力机车主牵引变压器副边绕组输出的396V单相交流电，该输入电压幅度变化范围宽，污染严重，谐波干扰大。以往的电源系统采用晶闸管相控调压方式实现，系统体积庞大，效率低下，同时其控制系统采用以运算放大器为主的模拟分立器件组成，系统可靠性差，故障率高。鉴于以上原因，研发新型电力机车110V电源具有非常大的实用价值。同时，由于电力电子技术、微型计算机控制技术的迅猛发展，也为开发新型电力机车用110V直流电源创造了条件[2]。

本文采用美国Texas Instruments公司的32位工业控制专用DSP芯片TMS320F2812作为主控制芯片，三菱IPM（智能功率模块）作主功率开关器件，采用智能化控制算法，实现了电力机车用110V电源系统的全数字化的设计。该电源系统具

收稿日期：2007-05-21

维普资讯 http://www.cqvip.com

有体积小、重量轻、精度高、稳定可靠，同时具备微机通信接口，实时故障监控与故障记录，数字显示等智能化功能。

由于系统中采用全数字化控制方案，大大提高了系统的控制精度与智能化，抗干扰能力强，降低控制电路的功耗，同时数字系统的可在线编程技术，使得系统的开发调试更加容易，节约了开放成本。

1 性能指标

本电力机车110V数字化大功率高频电源的基本参数和主要性能指标如下：

额定输入电压 单相交流396V；

交流输入电压范围 单相AC 396V $\begin{cases}+20\%\\-30\%\end{cases}$

(即AC 277~495V)，50Hz；

额定输出电压 DC 110(1±1%)V；

最大输出电流 66A；

纹波系数 ≤2%；

输入功率因数 ≥0.85；

效率 ≥90%；

工作环境温度 -40℃~+85℃；

工作海拔高度 不超过2500m；

工作相对湿度 90%，无凝结；

设备保护功能 具有输出过压、过流和短路保护；

提示报警功能 具有输出欠压报警，故障提示功能；

动态调节时间 ≤5ms；

控制方式 恒压、限流，并具备完善的过压、过流、欠压、短路等保护；

接口 满足网络智能化控制的要求，具备CAN通信接口。

2 数字化控制的大功率高频开关电源主电路结构

系统由主电路和控制电路两部分组成，其电路实现方框图如图1所示。主电路部分，采用移相式零电压、零电流(PS-ZVZCS)全桥变换器[3][4]。

控制部分，采用TI公司的数字信号处理器TMS320F2812作为主控制器，产生移相控制脉冲，DSP速度快、效率高，与采样电路、保护电路配合，可对输出实行实时控制，具有较快的动态响应速度和良好的输出特性。主电路中的智能功率模块的驱动，采用如图2所示电路，通过光电耦合器耦隔离，实现强电与弱电的隔离。

3 控制系统硬件结构

3.1 TMS320F2812及IPM(智能功率模块)介绍

在本系统中，采用美国TI公司工业控制专用DSP芯片TMS320F2812，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，移相脉冲信号产生，系统VFD(真空冷阴极显示屏)显示接口，CAN通信接口，系统故障诊断与报警。以下列举TMS320F2812的基本特性[5][6]：

(1)片内18K RAM，128K FLASH；

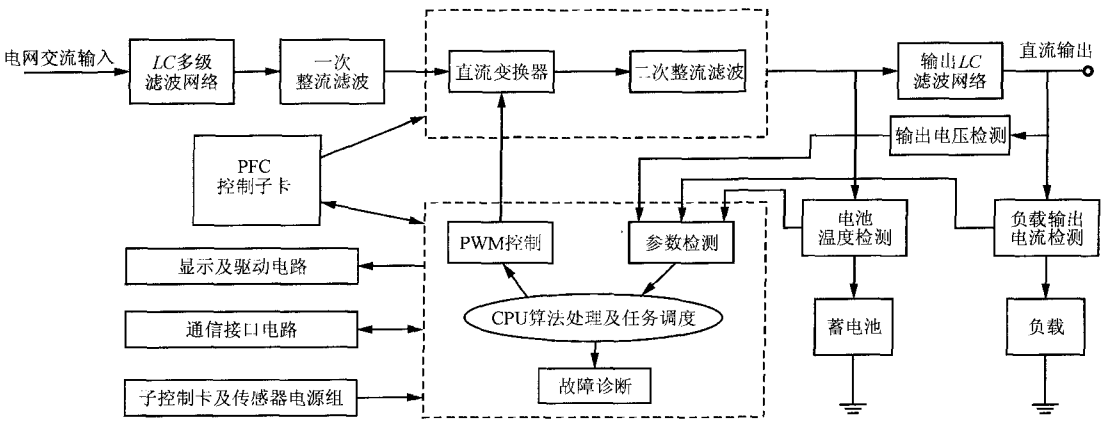

图1 主控制电路硬件结构框图

维普资讯 http://www.cqvip.com

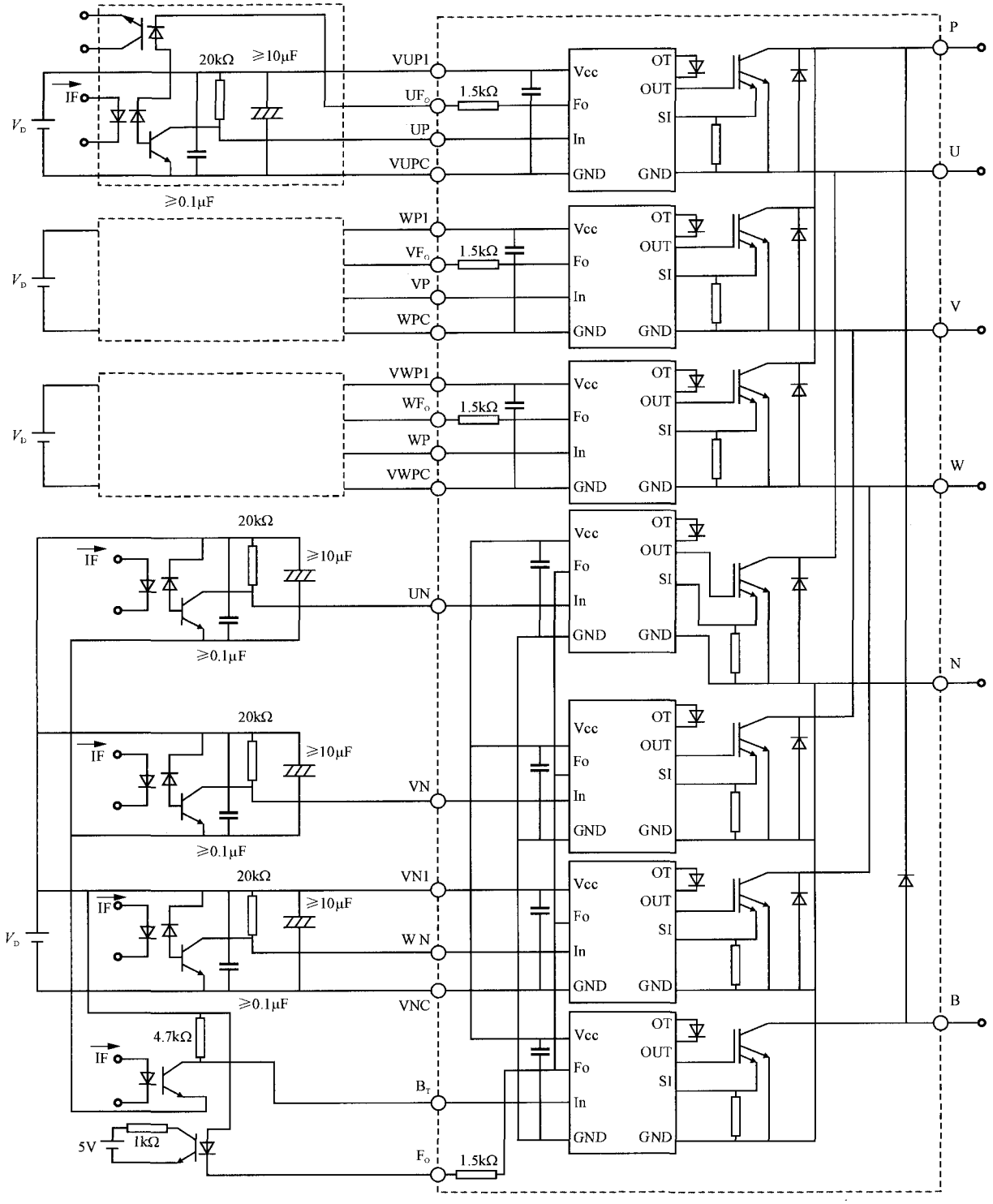

图2 PM100CLA120驱动应用电路原理图

(2)16通道的PWM(脉冲宽度调制);

(3)16通道12位ADC,其吞吐量每秒可达16.7M采样率,此外其双采样装置可在紧密的控制环路中提供关键的支持;

(4)3个定时器;

(5)串行通信接口有CAN、McBSP、SPI、双SCIs,充分保证了通信的方便。

开关电源的全数字化控制系统具有较高的实时性要求,TMS320F2812的快速处理能力,片内大容量RAM、FLASH,片上12位ADC,实现了高性

维普资讯 http://www.cqvip.com

能数字信号处理器与高精度模拟及闪存的结合。同时采用TI DSP集成开发环境CCS内嵌RTOS系统DSP/BIOS II实现实时控制。TMS320F2812为系统的设计提供了整套的片上系统，极大地降低了板级空间，并提高系统的开发效率，大大地降低了系统成本。

系统的主功率开关管——主功率开关模块选用三菱公司的IPM（Intelligence Power Module，智能功率模块）PM100CLA120。其内部结构示意图和典型应用电路原理图分别如图2和图3所示。该模块由高速、低功耗的IGBT和优化了的门级驱动和保护电路组成，具有很好的过流和短路保护能力。其内部集成有驱动电源欠压、短路、过流、过热等多种自动保护功能，并在保护动作产生时输出FO信号，便于监控[7]。

3.2 基于TMS320F2812的全数字化控制电路硬件设计

本电力机车110V大功率高频开关电源全数字化控制电路硬件平台如图4所示。采用数字信号处理器作为开关电源的控制器不仅简化了系统电路硬件结构，大大减少了元器件数量，而且有利于提高系统的可靠性。由于开关电源系统本身就是一个干扰源，开关管工作在开关状态，由于

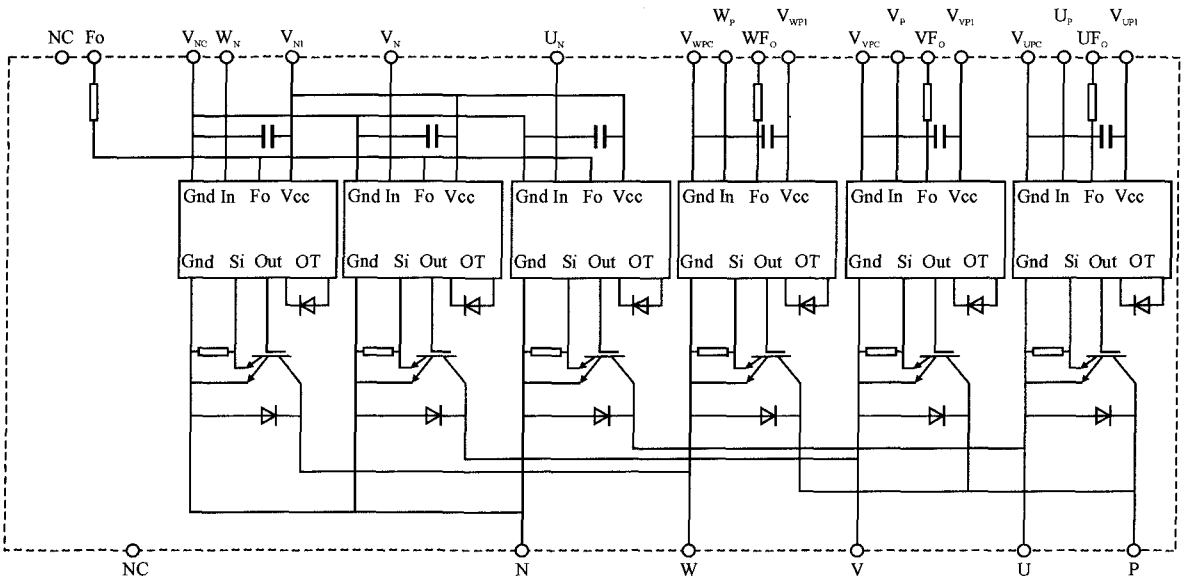

图3 PM100CLA120内部结构示意图

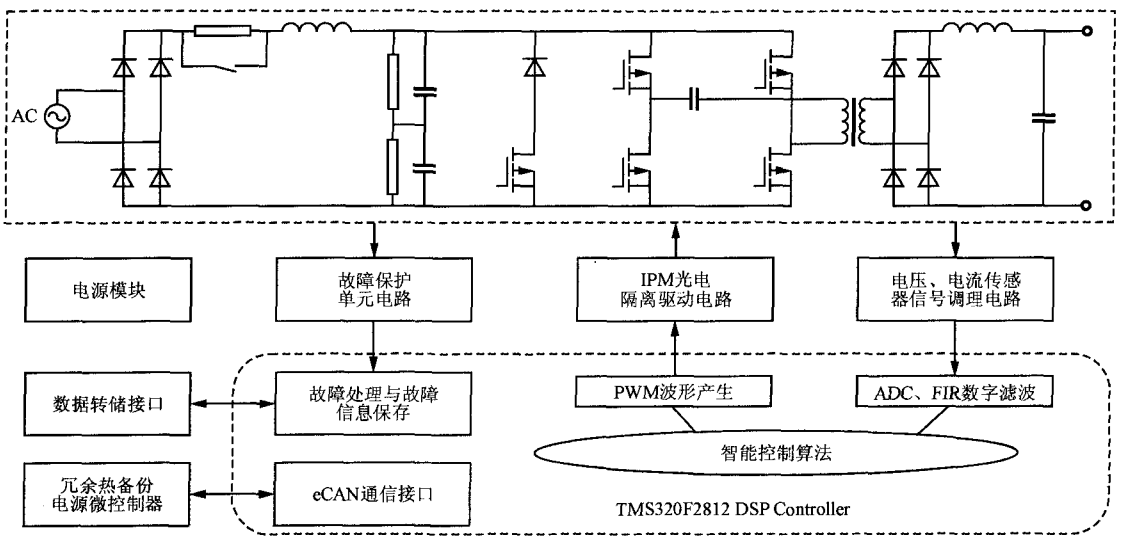

图4 开关电源的全数字化控制硬件平台

维普资讯 http://www.cqvip.com

du/dt、di/dt 变化较大，谐波干扰严重，在采集系统输入输出电压、电流信号时，必须充分考虑各采样通道的抗干扰设计。在系统中，采用隔离型电流、电压传感器，输出统一设计为 4~20mA 电流输出，并采用如图 5 所示的二阶低通滤波器对个通道信号滤波。实践证明，这样有效提高了数据采集精度。

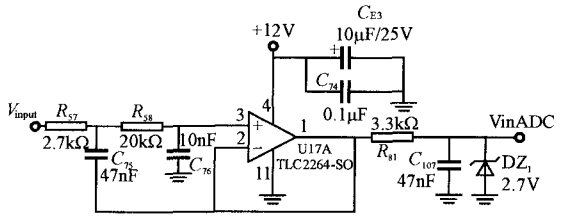

图 5　系统输入输出电流、电压信号二阶滤波电路

为了提高电力机车电子装备的智能化程度，在本电力机车 110V 大功率电源系统中采用 VFD（Vacuum Fluorescent Display，真空荧光显示屏），实时显示系统的输入电压、输出电压、输出电流与故障信息。同时，为了确保电力机车 110V 电源系统的可靠性，采用双电源冗余热备份，A、B 两套电源在硬件结构上完全相同，其热备份方式为：两套系统的 DSP 控制器通过 CAN 总线通信，相互作为对方的监控器，在对方出现故障时，切换到备份电源，保证机车 110V 电源不间断。同时，记录系统故障信息，用户可以通过系统提供的数据转储接口下载故障信息，便于分析故障原因。

4　全数字化控制策略

系统采用电压、电流双闭环数字化 PID 控制。PID 控制具有结构简单、参数易于调整等优点。它是一种按照被控制量偏差的比例、积分和微分的线性组合进行控制的方法，其控制规律如下[8]：

$$u=K_p\left[e(t)+\frac{1}{T_i}\int_0^t e(t)\,dt+T_d\frac{de(t)}{dt}\right] \quad (1)$$

数字化 PID 控制，是根据采样时刻的偏差值计算控制量，在式(1)中的积分、微分项不能直接准确计算，因此在本系统中采用增量式 PID 算法，其数值公式为：

$$\Delta u_i=K_p\Delta e(i)+K_i e(i)+K_d[\Delta e(i)-\Delta e(i-1)] \quad (2)$$

式中：$\Delta e(i)=e(i)-e(i-1)$。

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，与原边电感电流采样值比较经过 PI 电流内环调节输出。其数字增量式 PID 控制算法程序框图如图 6 所示。

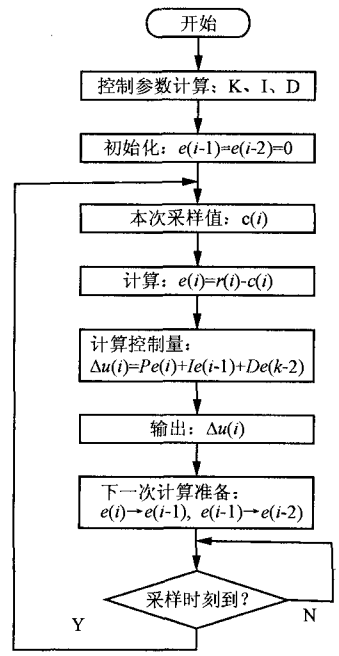

图 6　数字增量式 PID 控制算法程序框图

系统软件设计，采用 TI 公司 DSP 集成开发工具 CCS 内嵌的 BIOS/DSP-II 实时操作系统，将系统控制过程划分为 7 大任务，如图 7 所示。

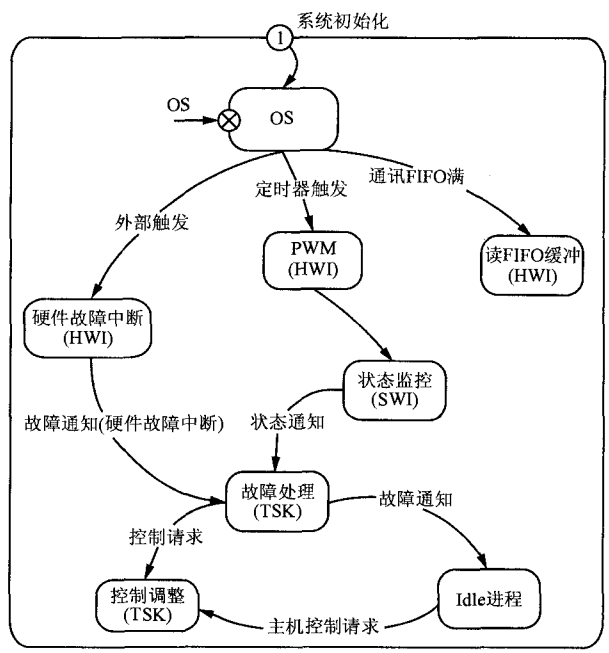

图 7　系统控制软件任务划分与调度

维普资讯 http://www.cqvip.com

HWI:硬件中断服务(Hardware Interrupt)。

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

TSK:任务(Task)就是线程,通过操作系统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。系统依次执行空闲任务。

系统软件设计按照驱动程序层、系统层、应用软件层三层软件结构设计,调试、维护简洁、方便。适合工业生产、调试的需要。

5 结语

本文给出了基于TMS320F2812的电力机车用110V高频大功率开关电源全数字化设计方案,与传统晶闸管相控调压电源、模拟式单芯片PWM集成控制器构成的开关电源系统相比,具有输出电压控制精度高、体积小、重量轻、带负载能力强、稳定可靠和抗干扰能力强等优点,同时提供真空荧光显示屏(VFD),实时显示系统状态、电源故障诊断等功能。采用基于CAN总线双电源冗余热备份,有效提高了电力机车整个控制系统的可靠性与安全性。

由于采用DSP的全数字化硬件控制平台,使得系统调试灵活、方便,控制算法可重复配置,能够迅速地修改控制策略和算法,大大减少系统的调试工作量,节约开发成本。实践证明,该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] 刘友梅. 韶山3型4000系电力机车[M]. 北京:中国铁道出版社,2000.

[2] Abraham I Pressman. Switching Power Supply Design (Second Edition) [M]. McGraw-Hill Companies, Inc. 2004.

[3] 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.

[4] 阮新波,严仰光. 直流开关电源的软开关技术[M]. 北京:科学出版社,2000.

[5] (美)TI著,张卫宁 编译. TMS320C28X系列DSP的CPU与外设(上)[M]. 北京:清华大学出版社,2004.

[6] (美)TI著,张卫宁 编译. TMS320C28X系列DSP的CPU与外设(下)[M]. 北京:清华大学出版社,2005.

[7] Mitsubishi Electric <Intelligent Power Modules>. PPM100CLA120 Flat-base Type Insulated Pacage [Z]. 2005.

[8] 陶永华. 新型PID控制及其应用(第二版)[M]. 北京:机械工业出版社,2005.

作者简介

徐洋波(1975-),男,硕士研究生,模式识别与智能系统专业。当前从事的研究工作为电力机车110V大功率高频开关电源的研制,电力机车分布式智能传动控制系统的设计与研究。

王玉松(1962-),男,硕士,副教授,主要研究方向为控制系统智能故障诊断,电力机车微机控制系统。

英飞凌芯片大幅降低平板电视功耗

日前,全球领先的功率电子组件供应商英飞凌科技股份公司(FSE/NYSE:IFX)表示,消费类电子产品对功率的需求正在日益提高,而其产品在提高能效方面有着突出的表现。

目前,较之只需50~70W即可提供逼真图像的传统CRT电视,某些LCD平板电视的功耗超过了300W。而导致高功耗的主要原因在于,LCD平板电视是通过背光技术来显示色彩丰富高对比度的画面。然而某些型号的电视,例如德国电视制造商Loewe生产的Individual 46和Individual 40 Selection DR+,其功耗大为降低,这两款液晶平板电视的功率分别为165W和150W,在目前40英寸以上的LCD电视能效排行榜上高居榜首。这些电视机采用了英飞凌的电源芯片,最大限度地控制了能量向热量的转化,因此,使功耗大为降低。

根据市场研究机构的调查结果,市场对大尺寸平板电视的需求将会继续加大。预计到2011年全球销量将提高至6亿台左右,占电视机总销量的65%。

英飞凌的电源芯片将市电交流电压转换成直流电压,并能持续提供不同电压值的直流电。