

基于电力电子结构块和 USB 技术的 三相电压源逆变器设计

宋文涛, 吴国忠, 董新伟
(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州, 310027)

摘要:基于电力电子结构块(PEBB)和 USB 技术设计了一台三相电压源逆变器,分析了其系统组成结构及实现方法,给出了硬件结构图和软件流程图。样机的组建过程和试验结果证明了该方法的简便性、灵活性及可行性,为三相电压源逆变器及其它电力电子设备的设计提供了一种新的思路。
关键词:电力电子结构块; USB; 三相电压源逆变器

Design of the Three-phase VSI Based on the Technologies of PEBB and USB

SONG Wen-tao, WU Guo-zhong, DONG Xin-wei

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang 310027, China)

Abstract: A three-phase VSI based on the technologies of PEBB and USB is designed. The construction of the system and the way to achieve are analyzed. At the same time the hardware structural plan and the structure of the software are presented. The course of the constitution of the sample and the result of the experiment have proved that the way is very simple, flexible and feasible. It provides a new thought of the design for the three-phase VSI and other power electronic equipments.

Keywords: PEBB; USB; three-phase VSI

中图分类号: TM46

文献标识码: B

文章编号: 0219-2713(2006)08-0006-05

0 引言

随着电力电子技术的不断发展,一方面使得电力电子技术在各个行业得到了广泛应用,另一方面也使得电力电子面向的应用更加多样化。传统的电力电子产品设计往往难度大、周期长、成本高,它的不足已经与现在对电力电子技术的迫切需求形成了矛盾,同时严重阻碍了电力电子技术的进一步发展和应用领域的拓展。电力电子系统集成作为电力电子未来的发展方向,能够解决传统电力电子产品设计的不足。电力电子系统集成

是将各个功能模块化、标准化集成起来,然后通过各个部分的灵活组合,来组成功能各异的电力电子系统。

电力电子结构块(Power Electronic Building Block 即 PEBB)技术就是电力电子系统集成中一个非常重要的技术手段和发展方向。它是能够实现“即插即用”的标准变换器模块,利用它的标准化、模块化、智能化的特点,将其灵活组合就能得到功能各异的电力电子设备,从而使得电力电子产品的设计更加简单、高效,克服了传统电力电子产品设计的不足。利用 PEBB 技术进行电力电子产品的设计开发必然会成为未来发展的方向。USB(Universal Serial Bus)是一种串行通信接口标

收稿日期:2006-04-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50237030)

准,具有即插即用、数据传输可靠、扩展方便、成本低等优点,得到了广泛的应用。本文就是基于这两种技术设计了一台开环三相电压源逆变器,以此探索利用 PEBB 和 USB 技术来设计电力电子产品的方法。

1 PEBB 和 USB 技术简介

1.1 PEBB 技术

PEBB 技术通过采用一种“即插即用”模块作为变换器的通用标准器件,提高设备的功率密度和可靠性。它是电力电子器件和系统按一定的优化拓扑结构的集成,块内集成包括功率开关器件、传感器件、驱动和保护电路、电平转换电路等。电力电子结构块有两种类型的联接口:功率口和通信口,目的是利用尽量少的结构块,通过这两个口的联接与通信构成一个完整的系统。图 1 为 PEBB 示意图。

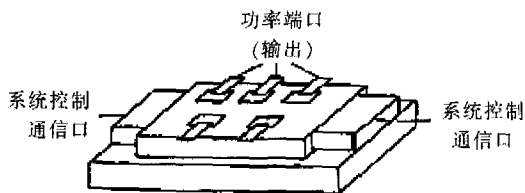


图 1 PEBB 示意图

1.2 USB 技术

USB(Universal Serial Bus)是一种通用串行总线,是一种标准的连接接口。在外面的 USB 从结构和 USB HOST 连接时,不必重新配置系统和调节接口,USB HOST 自动识别这些接口设备,并配置适当的驱动程序,因此实现了即插即用与热插拔性,方便了用户使用。

在本设计中,采用 USB1.1 规范,将 USB 设备设计成全速设备,其最高数据传输速率可达 12 Mb/s。对于一个有 3 个节点的简单系统来说,如果每个节点 4 个变量,8 位处理能力,开关频率为 10 kHz 的话,它只需 1.5 Mb/s 的带宽。可见 12 Mb/s 的传输速率能够保证系统有足够的灵巧性和可靠性。此外,USB2.0 规范中 USB 数据传输速率最高可达 480 Mb/s,基本上能满足所有系统的带宽要求。

2 三相电压源逆变器设计

2.1 系统结构

主电路选用 3 个半桥 PEBB 模块来构成三相逆变桥。PEBB 模块通过 USB 总线与通用主控制器进行通信,接受通用主控制器的控制。由于 USB 技术的引入,该系统亦可看作一个 USB 系统,其中 PEBB 模块为 USB 设备,通用主控制器为 USB 主机,USB 设备的扩展通过 USB HUB。系统结构如图 2 所示。

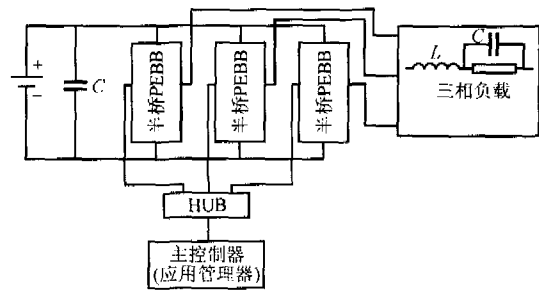


图 2 系统结构图

2.2 半桥 PEBB 模块

这里采用分立元件设计了一个半桥 PEBB 模块。其结构如图 3 所示。半桥采用 IGBT 作为功率器件,型号为 GT25J101,其驱动芯片选用 EXB841。信号处理芯片选用电力电子控制中广泛使用的 TMS320LF2407A,在其内部可实现电压电流的闭环数字控制和 PWM 波形的产生,降低了半桥 PEBB 模块的硬件复杂性。通信接口选用 USB 接口芯片 PDIUSB12,它可与 TMS320LF2407A 结合组成半桥 PEBB 的通信接口,这样降低了硬件成本,也增加了接口设计的灵活性。

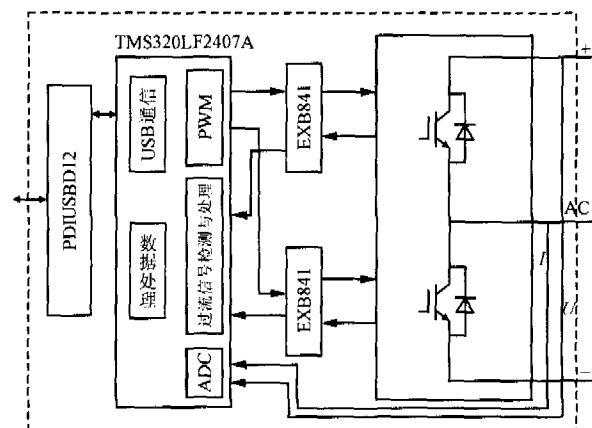


图 3 半桥 PEBB 结构图

TMS320LF2407A 与 PDIUSB12 的连接图如图 4 所示。注：以下 TMS320LF2407A 与 PDIUSB12 分别简称为 LF2407A 与 D12。

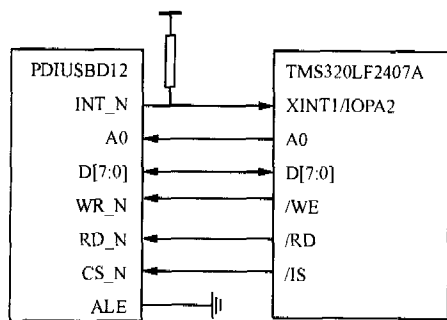


图 4 PDIUSB12 与 TMS320LF2407A 的连接

2.3 通用主控制器

主控制器,亦可称之为应用管理器,因在 USB 系统中作为 USB 主机,其内部包含有多种设备驱动程序(在电力电子系统中通常为各种 PWM 控制算法),因此具有一定的通用性,这样使得系统的组建更加简单化。控制芯片依然采用 TMS320LF2407A,用于实现各种 PWM 控制算法和故障处理等功能。USB 主机控制芯片选用 SL811HS,它可与 TMS320LF2407A 组合实现 USB 主机功能。该主控制器结构简单,功能的实现主要靠软件实现,便于系统的升级和扩展,具有较强的通用性。外接键盘,便于参数的设定。TMS320LF2407A 与 SL811HS 的连接图如图 5 所示。注:以下 SL811HS 简称 811HS。

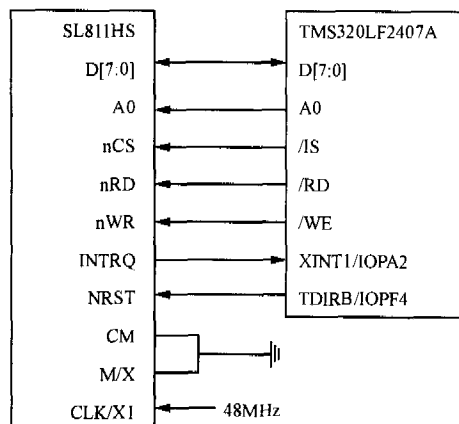


图 5 LF2407A 与 811HS 的连接图

3 程序设计

对于通过 DSP 实现电压电流闭环数字控制以

及典型的 PWM 算法,在相关资料里都已有介绍,在此就不再作介绍。

3.1 通用主控制器主程序

通用主控制器主要用于 PEBB 的检测,相应设备驱动程序的加载及 PWM 脉宽等数据的传输,其功能类似于 USB 主机。主程序流程图如图 6 所示。

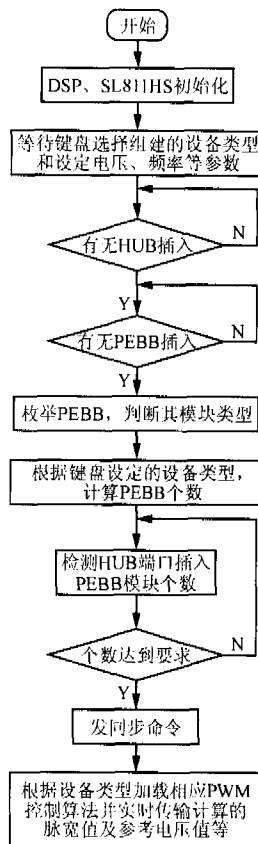


图 6 通用主控制器主程序流程图

3.2 3 个 PEBB 的同步

在该系统的设计中,一个很关键的问题就是 3 个 PEBB 的同步,即 A/D 转换同步和 PWM 初始化同步,只有同步了才能获得标准的三相输出电压。为此,自定义了一个同步命令,功能有两个:一个用于同步 PEBB 模块,另一个用于传输设置的载波频率值。命令格式采用 USB 命令格式,函数体如下所示。

```
void Synchronize (unsigned char Fl)
{REQUESTCMD RequestCMD;
RequestCMD.bmRequestType=0x49;
RequestCMD.bRequest=SYNCHRONIZE;
RequestCMD.wValue=Fl;
```

```

RequestCMD.wIndex=0;
RequestCMD.wLength=0;
Control_Transfer(&RequestCMD,0);
}

```

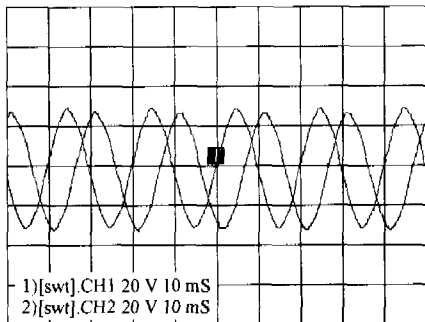
具体实现过程:当 3 个 PEBB 模块均处于默认地址状态时,通用控制器给 3 个 PEBB 发同步命令,3 个 PEBB 通过 USB HUB 将同时接收到这个命令,接受到之后 3 个 PEBB 依据自己的 IO 口(有 8 个 IO 口用于地址设置)状态设置自己的地址及进行配置,之后同时启动 AD 转换和 PWM。这样就实现了同步。可见这里对 USB 操作进行了适当取舍。此外,3 个 PEBB 对同步命令的响应子程序应做到执行时间相等。

3.3 PWM 脉宽数据的传输

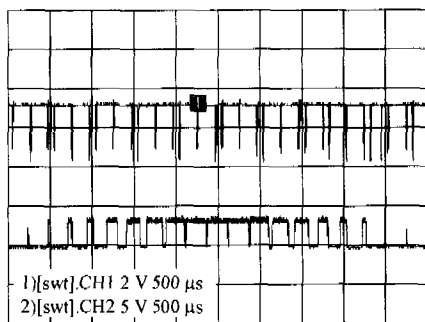
数据传输中一个重要的数据就是通用主控制器传输 PWM 脉宽数据给 PEBB,之后 PEBB 利用 LF2407 的事件管理器模块产生 PWM。比较寄存器的加载设置为定时器下溢时刻,PWM 脉宽数据传输发生在定时器周期中断与下溢时刻之间,利用了空闲的 USB 总线时间,同时也降低了数据传输时间对载波频率提高的影响。此外,主机端对传输 PWM 脉宽数据时间的把握不采用反复查询 PEBB 中定时器周期中断标志的方法,而是采用使能和禁止端点的方法。当 PEBB 接收到 PWM 脉宽数据时,禁止 D12 的端点 1 输出功能,等到定时器产生周期中断时,使能 D12 端点 1 输出功能。主机端在 D12 芯片端点 1 使能时发送数据,禁止时反复发送同一数据。

4 试验结果及分析

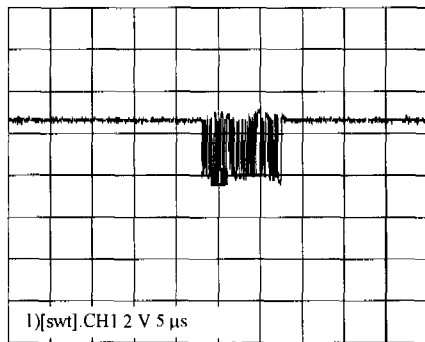
试验条件:直流输入端加 720 V 电压,输出电压为 220 V/50 Hz,载波频率为 4 kHz,采用 SPWM 调制法。图 7(a)为加 1 kW 阻性负载时单相电压波形。图 7(b)为通用主控制器给一个半桥 PEBB 模块传输 PWM 脉宽时 D12 芯片 D+ 端波形及 PEBB 模块输出 SPWM 波形。图 7(c)为传输一个含两个字节的数据包时 D12 芯片 D+ 端波形。由图 7(a)可见,该逆变器逆变输出相电压较为同步,证明了可行性。由图 7(b)可见,成功传输的两个 PWM 脉宽数据包所用的时间约为 200 μ s,若再留一定时间余量的话,该逆变器载波频率最高可达



(a) 阻性负载时单相电压波形



(b) PDIUSB12 芯片 D+ 波形(上)和 PEBB 模块传输 PWM 波形



(c) 传输一个含两个字节的数据包时 PDIUSB12 芯片 D+ 端波形

图 7 试验波形

4 kHz。因程序全部用 C 语言编写,若关键程序用汇编语言编写,则最高频率可达约 6 kHz。若通用主控制芯片换为处理速度更快的芯片,其所达频率将更高。由图 7(c)可见,数据包所用时间约为 10.1 μ s,则 $(13+2) \times 8 \div 10.1 = 11.88$ Mbit/s 为总线带宽(其中 13 为 USB 协议开销字节),达到要求。由图 7(b)和图 7(c)分析结果可得,制约该逆变器载波频率的因素在于控制芯片的运算速度。

5 结语

本文基于 PEBB 和 USB 技术设计了一台三相

电压源逆变器,其组建仅需要将3个半桥PEBB模块通过一个USB HUB连接到通用主控制器上,然后由主控制器根据构造系统类型加载相应的电力电子设备驱动程序即可构成一个三相电压源逆变器。PEBB的标准模块化特点和USB“即插即用”特点使得其组建过程非常简单、易操作。随着PEBB技术的发展,各种PEBB模块将越来越标准化、模块化和智能化,再加之各种控制算法库的不断丰富多样化,这种采用一个通用主控制器与多个PEBB模块通过USB总线简单组合的方式组建电力电子设备的方法将会成为一种非常简单、高效、灵活的设计方法。

参考文献

- [1] 林平,张仲超. 分布式数字控制和PEBB技术[J]. 电工

技术杂志, 2002, 17(6):8-10.

- [2] 杨旭,陈文杰,王兆安. 开关电源用电力电子集成模块的研究[J]. 电力电子技术, 2003, 37(1):70-73.
[3] 王兆安,杨旭,王晓宝. 电力电子集成技术的现状及发展方向[J]. 电力电子技术, 2003, 37(5):90-94.
[4] 肖距雄,翁铁成,宋中庆. USB技术及应用设计[M]. 北京:清华大学出版社, 2003.

作者简介

宋文涛(1982-)男,硕士,研究方向为电力电子系统集成。

董新伟(1972-)男,博士,研究方向为电力电子系统集成。

英飞凌推出专为牵引驱动而优化的全新IHM/IHV B功率模块

2006年6月20日,在纽伦堡举行的电子功率器件、智能传送、电源质量博览会(PCIM)上,英飞凌科技公司(FSE/NYSE: IFX)首次展出IHM/IHV B系列的IGBT(绝缘栅双极晶体管)模块。运用这个全新的模块,用户可设计出能够在严酷的环境下正常工作,全面满足大负荷与温度循环要求的高效功率变频器,如机车、列车和电车的牵引驱动装置等。全新模块扩展了英飞凌上一代IHM-A模块的功能和规格,实现了热阻性能的改善和负荷循环能力的提高,并将运行温度提高至+150℃。

与同等尺寸的传统变频器相比,基于这种全新高功率模块设计的变频器的功率可提高50%。同时,因为IHM/IHV B模块优良的热性能,运用其设计的变频器的输出电流在典型的工况下可以使得输出电流的能力提高50%,例如,3300V模块的额定电流从1200A升至1500A,增幅高达25%。这种全新模块的最大运行温度也从先前+125℃上升至+150℃。英飞凌还将这种模块的最小贮存温度从先前-40℃降低至-55℃。

英飞凌已经交付了100多万套IHM-A模块,市场份额高达30%左右。IHM/IHV B模块与成熟IHM-A系列产品完全兼容,能够让用户在不改变产品结构的情况下,进行更新换代。

除改进热阻性能外,全新模块还可满足一些要

求非常苛刻的应用对耐用性与可靠性的要求,如列车或电车的牵引驱动装置等。在启动与停止阶段,这些牵引驱动装置的温度有很大的波动。为了满足牵引驱动设备的性能需求,英飞凌为IHM/IHV B设计了铝碳化硅(ALSiC)基板。与相关联的隔离陶瓷结合使用,铝碳化硅基板可将热循环能力提高10倍。对于其他温度变化幅度较小的应用,如工业传动、风能发电和电梯等,英飞凌将提供使用铜基板的模块。

IHM/IHV B模块的电流能够做到3600A以上,电压级别包括:1200V、1700V和3300V。1200V模块中使用的晶体管基于全新英飞凌IGBT4技术。1700V和3300V模块中的晶体管使用基于英飞凌TrenchStop[®]/电场截止工艺的IGBT3技术,与先前的模块相比,大幅度削减了正向导通电压。例如3300V FZ1500R33HL3模块的正向导通电压为2.5V,比相当的KF2C模块(4.3V)低40%左右。

这些新型模块符合RoHS要求,并满足NFF16-101和16-102的防火要求。它们都在德国Warstein生产,IGBT和二极管芯片在奥地利菲拉赫制造。

额定电流为1500A的两款3300V IHM/IHV B模块——FZ1500R33HL3(带有IGBT3家族的软性IGBT)和FZ1500R33HE3(运用高速IGBT3芯片),现已开始提供样片。批量生产预计于2006年第三季度开始。