

一种燃料电池轿车用大功率 DC/DC 变换器

彭再武, 王 坚, 毛懿坪

(湖南南车时代电动汽车股份有限公司, 湖南 株洲 412007)

摘要: 设计了一种燃料电池轿车用的大功率 DC/DC 变换器, 利用 DSP 技术构建双闭环控制系统结构, 通过 4 路 Boost 升压电路并联搭建了变换器主电路, 由此实现了对变换器的四重移相升压控制。实验结果验证了该变换器的优点和工程应用价值。

关键词: DC/DC 变换器; 移相控制; 燃料电池; DSP

中图分类号: TM46; U469.72

文献标识码: A

文章编号: 2095-

3631(2013)02-0017-03

A High Power DC/DC Converter for Fuel-cell Car

PENG Zai-wu, WANG Jian, MAO Yi-ping

(Hunan CSR Times Electric Vehicle Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412007, China)

Abstract: It designs a high-power DC/DC converter for fuel-cell car with double-closed-loop control system based on DSP. A 4-shunt Boost circuit is adopted in the main circuit and quad-phase shifting control is used by the converter. Experimental results verify the advantages and engineering value of the converter.

Key words: DC/DC converter; phase-shifting control; fuel-cell; DSP

0 引言

随着能源短缺和环境污染问题的日益凸显, 新能源汽车迎来了发展新契机。燃料电池轿车作为新能源汽车的一种, 得到了越来越多的关注。燃料电池输出电压随输出电流的变化而波动^[1], 不能直接为驱动电机提供能量, 可通过 DC/DC 变换器来解决这一矛盾。

为满足燃料电池轿车不断提升的电源性能要求, DC/DC 变换器正朝着大功率、高效率、智能控制的方向发展。伍理勋和陈特放等人通过集中控制多重并联的方式, 研制出了 55kW 燃料电池轿车用 DC/DC 变换器^[2]; 白伟和齐铂金等人利用 DSP 技术研制出了 90kW 燃料电池客车用 DC/DC 变换器^[3]; 陈玮山和程伟等人基于 Plug-in 燃料电池轿车技术研制出了效率高于 95% 的

DC/DC 变换器^[4]。本文提出了一种结构简单的燃料电池轿车用大功率 DC/DC 变换器, 重点对其硬件电路结构和控制方式进行了分析, 并给出了实验结果。

1 主电路

常见的整车动力系统包括驱动电机、电机控制器、电池及 DC/DC 变换器等, 其工作原理如图 1 所示。



图 1 整车动力系统原理图

Fig.1 Principle diagram of power system for fuel-cell car

本文设计的大功率 DC/DC 变换器主电路 (图 2) 采用 4 路 Boost 型升压电路并联结构, 其中 SI1-SI2 为电流传感器, Q11~Q41 为 IGBT 模块, Q12~Q42 为二极管模块, L1~L4 为升压电感, C1 为滤波电容器,

收稿日期: 2012-10-08

作者简介: 彭再武 (1977-), 男, 主任设计师, 主要从事新能源汽车电源产品的应用开发。

基金项目: 国家 863 计划资助项目 (2011AA11A265)

FU1 为快速熔断器。4 路 Boost 型升压电路完全对称，为变换器主电路的均流特性提供了硬件基础。本文以其中一路为例，介绍 Boost 升压电路工作原理：Q11 导通时，流过 L1 的电流 I_{in} 线性地增加，电能转化为磁能储存在电感线圈中。此时，后端支撑电容 C1 放电，DC/DC 变换器提供负载电流并输出电压 U_o 。由于 Q11 导通、二极管 Q12 截止，C1 无法通过 Q11 放电，实现了能量从燃料电池到负载的单向流动。Q11 由导通变为截止后，L1 中的磁场将产生感应电动势使 I_{in} 保持不变，磁能转换成电压 U_{L1} ，与前端燃料电池电压 U_{in} 形成串联关系。当 $U_{L1}+U_{in}$ 高于 U_o 时，C1 处于充电状态；当 $U_{L1}+U_{in}$ 等于 U_o 时，C1 的充电电流为零；当负载端电压降低时，C1 起到支撑作用，向负载端放电，以维持负载端电压 U_o 。由 $U_{L1}+U_{in}$ 向负载供电时，负载端电压 U_o 高于燃料电池电压 U_{in} ，达到了升压的效果^[5]。



图 2 大功率 DC/DC 变换器主电路拓扑结构
Fig.2 Main circuit of the high power DC/DC converter

2 控制电路

本文所设计的 DC/DC 变换器控制电路（图 3）以 DSP 为核心器件。变换器的输入电压 / 电流、输出电压 / 电流经模拟差分电路调节后由 A/D 转换器（ADC1~ADC4）高速采样并完成模数转换后，被送入 DSP 进行数字滤波；DSP 以滤波后的采样数据为反馈量，利用双闭环 PID（比例积分微分）控制，对 4 路 PWM 波形的脉宽进行调整，PWM 信号经 CPLD（复杂可编程逻辑电路）传输到隔离驱动电路后最终驱动开关管通断，以完成升压任务。

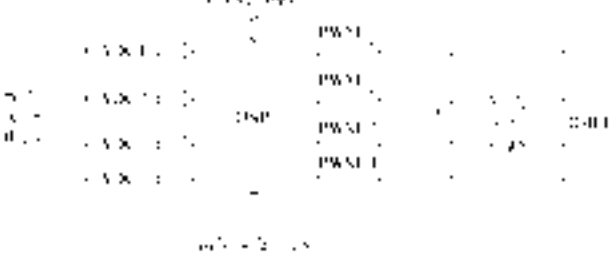


图 3 DC/DC 变换器控制电路
Fig.3 Control circuit of the DC/DC converter

所谓双闭环 PID 控制，即电压 PID 调节加电流 PID 调节，其工作流程如图 4 所示。首先，读取控制模式以判别 PID 控制是否进入恒压 / 流环。以恒流 PID 环为例，若进入，则从整车控制器接收给定电流与电流采样值进行比较，经电流 PID 控制电路计算出 PWM 脉冲占空比，再将当前的反馈电流值与给定电流进行比较，若反馈电流大于给定电流，则 PID 控制模式由恒流控制变为恒压控制，下一次 PID 控制将进入恒压控制；否则，仍将继续维持恒流控制，从而形成了电流和电压的双闭环调节。



图 4 双闭环 PID 调节流程图
Fig.4 Flow chart of the dual-closed loop PID control

本文研究中对 Q11~Q41 进行了四重移相 PWM 控制，即 4 个开关管的导通时间两两相差 90° 。四重移相 PWM 控制波形如图 5 所示。基于 TMS320F2808 构建硬件平台，4 路 PWM 波发生器分别对应开关管 Q11~Q41，每一路 PWM 波发生器有对应的计时器。各计时器的计数周期均为 T，均从 0 开始计数，此时对应 PWM 波发生器置高；当计数器计数至 $T/2$ 时，对应 PWM 波发生器置低。计数器 1 为 0 时，PWM1 波形发生器产生高电平；当该计数器计数到 $T/4$ 时，由计数器 1 向计数器 2 发送同步脉冲信号，计数器 2 开始从 0 计数，PWM2 波形发生器置高；当计数器 1 计数至 $T/2$ 时，PWM1 波形发生器置低，此时，计数器 2 计数至 $T/4$ ，由计数器 2 向计数器 3 发送同步脉冲信号，计数器 3 开



图 5 四重移相控制原理图
Fig.5 Principle diagram of quad-phase shifting control

始计数；当计数器 1 计数至 $\frac{T}{2}$ 时，PWM1 仍处于低电平状态，而计数器 2 已经到达 $T/2$ ，此时，PWM2 被置低，自此，PWM1 和 PWM2 完成了 90° 移相。由此可知，PWM1~PWM4 之间的相位差各自相差 90° 。

3 样机试验

基于以上研究，设计了一款 65 kW 大功率 DC/DC 变换器，并对其控制方式、变换效率和温升进行了额定工况下的样机试验。

设定 4 路 PWM 调制周期（即 Q11~Q41 的通断周期）均为 12.5kHz，最大占空比为 50%。四重移相的控制波形如图 6 所示，可以发现，4 路脉冲信号两两相差 90° ，实现了对 PWM 脉冲的四重移相控制。

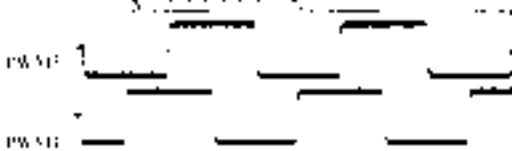


图 6 四重移相 PWM 波形
Fig.6 PWM waveforms of quad-phase shifting

在负载电阻为 2Ω 、输出功率为 65kW 工况下对变换器输出电流进行检测，其波形如图 7 所示（传感器换算关系为 4V 对应 300A）。可以看出，输出电流的纹波系数约为 1.2%，调制周期为 20μs。由于存在四重移相，在一个周期内，4 个 IGBT 轮流导通，出现 4 次尖峰电流，且每 2 个尖峰电流时间间隔 20μs。

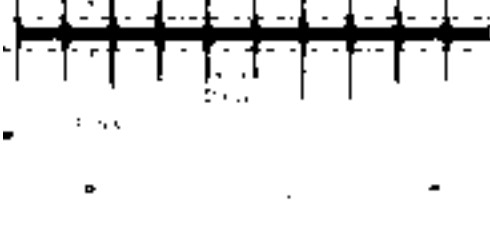


图 7 输出电流纹波
Fig.7 Ripple waveform of output current

对变换器的效率进行了不同工况条件下的测试，测试结果如图 8 所示。可以发现，该变换器的工作效率高于 97%。

为了验证该 DC/DC 变换器的工程实践价值，对其进行了额定工况下的温升实验。温度测量点为电感铁心，具体温升状况如图 9 所示。可以看出，额定工况下，水温起始值为 34°C ，变换器运行 105min 后，温升趋于平衡，温度保持在 43°C ；变换器铁心温升为 30.39K；线圈温升为 33.76K。



图 8 变换器效率
Fig.8 Efficiency of the converter

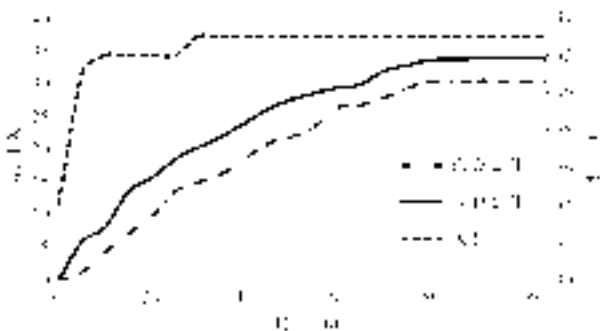


图 9 变换器温升实验结果
Fig.9 Temperature rising results of the DC/DC converter

4 结语

本文设计的基于 4 路 Boost 升压并联电路的 DC/DC 变换器具有功率大、效率高等优点，可通过软件实现四重移相控制，以降低变换器输出纹波，充分满足燃料电池轿车对燃料电池与其他部件间能量流动的需求。该变换器具有一定的工程实践价值，样机试验结果验证了其可行性。

参考文献：

[1] 李瑛, 王林山. 燃料电池 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000.
[2] 伍理勋, 陈特放. 燃料电池轿车 DC/DC 变换器 [J]. 变流技术与电力牵引, 2006(3):56-58.
[3] 白伟, 齐铂金, 汪殿龙. 基于 DSP 控制的燃料电池客车用 DC/DC 变换器研究 [J]. 电源技术应用, 2007(3):10-13.
[4] 陈玮山, 程伟, 曹海平. 燃料电池汽车用 DC/DC 变换器的运用和发展 [J]. 上海汽车, 2008(10):3-4.