

基于 TMS320F28335 的双向 AC/DC 变换器

焦鑫艳, 肖华锋, 谢少军
(南京航空航天大学, 江苏 南京 210016)

摘要: 研究了一种高功率因数双向 AC/DC 变换器, 实现分布式直流供电系统与电网的连接。给出了变换器的控制策略, 设计了以浮点型 DSP TMS320F28335 为数字控制核心的 5 kW 样机, 并进行了实验研究。实验结果表明, 所设计的双向 AC/DC 变换器能实现能量的双向流动和直流母线电压的稳定, 以及网侧电流高正弦度及单位功率因数, 可用于提高可再生能源发电系统的能源利用效率和供电电能质量。

关键词: 双向变换器; 分布式直流供电系统; 数字信号处理器

中图分类号: TM46 文献标识码: A 文章编号: 1000-100X(2010)12-0047-03

Bidirectional AC/DC Converter Based on TMS320F28335 DSP

JIAO Xin-yan, XIAO Hua-feng, XIE Shao-jun

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: This paper studies a bidirectional AC/DC converter with a high power factor, which connects grid with the DC distributed power system. The control strategy of the converter is put forward. A 5 kW prototype based on TMS320F28335 DSP is designed. As an experimental result, the transfer of energy between the grid AC line and the high voltage DC bus power supply can be accomplished. With the sine wave of AC current, the high power factor gets almost unity and the voltage stability is enhanced, the utilization efficiency and the power supply quality of renewable energy generation system are improved.

Keywords: bidirectional converter; DC distributed power system; digital signal processor

1 引言

随着煤、石油、天然气等化石燃料能源的日渐衰竭及使用这些能源对环境污染的日渐严重, 很多国家投入了大量的人力、物力用于提高能源利用效率、开发新能源、加强可再生能源的利用。

由于可再生能源受自然条件的影响, 因此基于可再生能源的发电系统具有电压不稳定性^[1]。如何将变化的太阳能和风能等能源转换为稳定的电能提供给用户使用已成为研究热点。近年来, 先进国家陆续开始了对“微电网”的研究, 以提高能源的综合利用效率。其中对直流微网技术的研究亦是刚刚起步。项目组正在建设一个直流微网研究平台, 直流微网系统中配置了公共直流母线, 整个直流供电系统通过一台双向 DC/AC 变换器接入大电网, 该变换器是系统的一个关键部件。

在此为直流微网研究平台设计了一种基于 TMS320F28335 型 DSP 数字控制的双向 AC/DC 功率变换器, 通过该变换器实现分布式直流供电系

统与大电网的连接, 控制能量在直流母线与电网间的相互传递, 提高可再生能源发电系统的能源利用效率和供电电能质量。

2 双向 AC/DC 变换器的控制策略

2.1 控制目标

图 1 示出直流微网的基本结构, 其中风力发电机、光伏阵列等发电单元通过功率变换器输出直流并互联, 系统中配置公共直流母线。

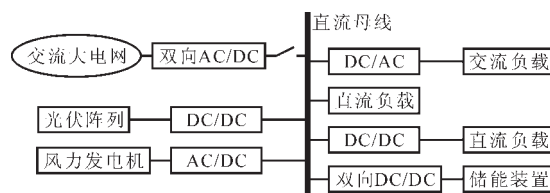


图 1 直流微网基本结构

直流母线可直接或通过 DC/DC 变换器向直流负载供电, 通过双向 DC/DC 功率变换器与蓄电池或超级电容储能单元进行能量交换, 还可通过 DC/AC 变换器向交流负载供电。而整个直流供电系统通过一台双向 AC/DC 变换器接入大电网。

双向 AC/DC 变换器实现分布式直流供电系

定稿日期: 2010-10-27

作者简介: 焦鑫艳(1987-), 女, 江苏东台人, 硕士研究生, 研究方向为电力电子与电力传动。

统与大电网的相互支撑,控制能量在直流母线与电网之间的相互传递。变换器的控制目标是使能量实现双向运行,既可实现整流,又可实现逆变;直流侧母线电压稳定在额定值附近,电网侧电流波形正弦化且功率因数为 1。当直流母线电压低于额定值时,能量通过双向 AC/DC 变换器从电网传输给直流微网,从而提高直流母线电压;当直流母线电压高于额定值时,能量由直流微网经双向 AC/DC 变换器向电网传输,控制直流微网中直流母线电压下降到额定值附近,从而维持直流微网的稳定运行^[2-3]。

2.2 控制策略

图 2 所示双向 AC/DC 变换器主电路的功率变换器为一个典型的全桥双向变换器。采用 PWM 控制方式,可实现能量的双向流动^[4]。双向 AC/DC 变换器采用电压电流双环控制,外环控制母线电压,内环控制网侧电流。

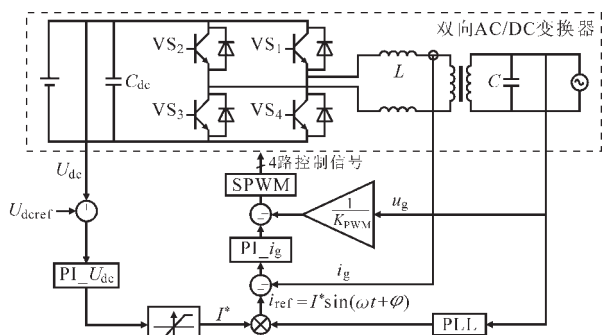


图 2 双向 AC/DC 变换器控制示意图

(1) 网侧电流控制

采用直接电流控制实现网侧电流的单位功率因数和高正弦度。实际进网电流 i_g 与参考进网电流 i_{ref} 相减后进行 PI 控制。电网电压 u_g 相当于电流闭环的外部扰动信号,采用电网电压前馈可达到全补偿效果。这样,变换器即可等效为一个电流源变换器,其电流控制不受 u_g 的影响;同时前馈控制可减轻反馈控制的调节负担,有利于减小系统的跟踪误差。

(2) 直流母线电压控制和能量双向流动

母线电压控制环为双向 AC/DC 变换器控制系统的外环调节器,其输出量大小为 i_g 提供幅值基准,其正负决定能量的流动方向。母线电压控制环采用 PI 调节算法,其输出量可在正负限幅值之间自由变换,从而决定了能量的自由流动和切换,其限幅值使变换器拥有限流工作的能力。

当 $U_{dc} > U_{dcref}$ 时,两者之差经 PI 控制器后得到网侧电流幅值基准为正,锁相控制后,对应的 i_{ref}

与 u_g 同相位,经闭环控制变换器工作于逆变模式,能量流入电网;当 $U_{dc} < U_{dcref}$ 时,得到的网侧电流幅值基准为负,对应的 i_{ref} 与 u_g 相差 180° ,变换器工作于整流模式,能量从电网侧流向直流侧^[5]。

由于变换器入网侧接有工频变压器,因此无需考虑漏电流问题。从减小滤波电感和提高电流总谐波失真的角度考虑,选用单极性倍频 SPWM 开关控制策略。

3 TMS320F28335 的应用

数字控制的运行速度影响功率因数和系统效率。系统控制采用了 TMS320F28335 型 DSP,它具有高性能、多功能、高性价比的特点,最高可在 150 MHz 主频下工作,且片内集成众多资源。与 TMS320F2812 定点 DSP 相比,TMS320F28335 增加了单精度浮点运算单元、高精度 PWM 以及 DMA 功能,可将 ADC 转换结果直接存入 DSP 任一存储空间。此外,它还增加了 CAN、SCI 和 SPI 等外设接口数量。综上所述,浮点型 DSP TMS320F28335 可实时快速完成双向 AC/DC 变换器的采样、控制和计算等要求,且数据处理精度较高。

4 基于 TMS320F28335 的双向变换器

4.1 系统样机设计

依据上述研究,设计了一台双向 AC/DC 变换器样机,其主要参数如下:额定输出功率 $P=5\text{ kW}$,交流侧单相电压有效值 $U_g=(220\pm 20\%)\text{ V}$,频率 $f_g=50/60\text{ Hz}$,直流母线电压 $U_{dc}=370\sim 420\text{ V}$ 。 $U_{dc}>400\text{ V}$ 时逆变并网工作,试图降低母线电压; $U_{dc}\leq 400\text{ V}$ 时整流工作,提供稳定的母线电压,最大直流母线电压保护为 450 V 。

开关频率 $f=15\text{ kHz}$,这样使得单极性倍频方式下两桥臂中点 SPWM 波频率为 30 kHz 。直流母线解耦电容 $C_{dc}=2\ 000\ \mu\text{F}$,网侧滤波电感 $L=2\text{ mH}$,滤波电容 $C=8\ \mu\text{F}$ 。功率开关选 $75\text{ A}/600\text{ V}$ IGBT,型号为 FS75R06KE3。

另外由母线电压传感器、交流侧滤波电感电流传感器和电网电压检测变压器 3 个检测元件构成了采样电路。

4.2 软件设计

TMS320F28335 中 ePWM 模块的功能更加完善,在此选用的 ePWM1A/B、ePWM2A/B,采用连续增减计数模式来产生对称的三角波,这样可减少谐波。另外,设计时还设置了相应的死区单元,以避免上下两个开关管直通。设置 ePWM 周期触

发 ADC 采样序列, 可以较好地实现实时快速控制。通过编写正弦波的发生代码即可生成正弦调制波, $ePWM1$, $ePWM2$ 由相位相差 180° 的正弦波调制, 以达到单极性倍频控制的目的。由于 TMS320F28335 为浮点型 DSP, 可直接参与浮点型数据运算, 无需 Q 格式的转换, 计算将更加方便、快速、精确。软件整体框图如图 3 所示。

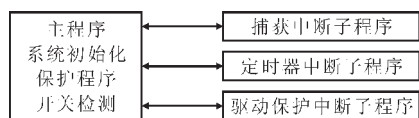


图 3 系统整体软件框图

软件分为主程序和中断程序部分。系统主程序主要进行初始化, 设置 TMS320F28335 的各种功能模块, 以设定系统各功能模块的工作方式。初始化工作完成后, 系统进入循环状态, 循环检测开关状态, 如果样机开关打开, 则开始执行保护子程序, 否则复位各状态标志。在此期间若有中断产生, 进入中断服务子程序。

图 4 示出定时器中断子程序和捕获中断子程序流程。在定时器中断中完成软关机过程 (由运行状态决定)、ADC 转换结果读取和网侧电流内环控制算法的实现, 最终产生 PWM 信号, 达到控制主电路的目的。在捕获中断中实现电网频率的获取、锁相、系统软关机、母线电压外环控制算法。根据得到的进网电流幅值基准的正负, 判断运行模式是逆变还是整流。软启动程序的作用是为了使电容电压逐渐升高, 以防止电容电压升高过快而损坏电容。软关机的目的是为避免电流突降造成电压尖峰从而损坏元器件。外部功率驱动保护中断服务子程序主要完成硬件保护, 恶劣环境下实现及时关机, 保护系统。

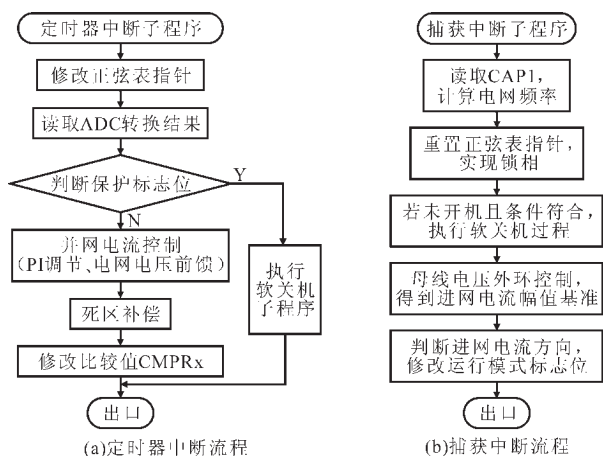


图 4 定时器中断流程和捕获中断流程

5 双向 AC/DC 变换器的实验研究

图 5 示出变换器工作时的电压电流实验波形。由图 5a 可见, 进网电流 i_g 与电网电压 u_g 同相, 即功率因数为 1, 母线电压 U_{dc} 稳定在 414 V, i_g 为正弦波, 电能由母线流向电网, 即实现了并网发电; 由图 5b 可见 i_g 与 u_g 反相, 即功率因数为 “-1”, 变换器工作在整流模式, U_{dc} 稳定在 395 V, i_g 为正弦波, 电能由电网流向母线。另外, 在逆变和整流两种模式下双向 AC/DC 变换器的功率因数均达到 0.998。

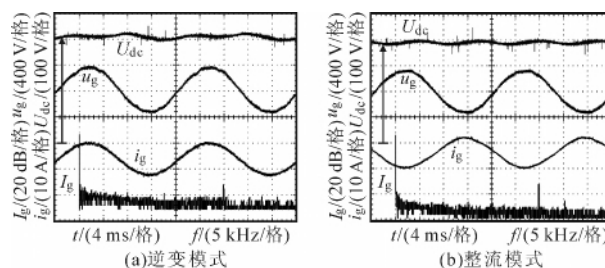


图 5 电压电流实验波形

6 结论

通过对双向 AC/DC 变换器进行实验研究可知, 基于 TMS320F28335 的 5 kW 变换器能实现分布式直流供电系统与电网的连接, 通过控制能量在直流母线与电网之间的相互传递, 可有效控制直流母线电压的稳定。在不同能量传递模式下, 该双向 AC/DC 变换器可以实现大功率传递、网侧电流高正弦度及单位功率因数, 可用于提高再生能源发电系统的能源利用效率和供电电能质量。该变换器也可用到其他需要能量双向流动的应用场合, 如电池充放电等。

参考文献

- [1] 王培波, 张建成, 钟云. 用于提高可再生能源发电系统电压稳定性的双向 DC/AC/DC 变换器研究[J]. 华北电力大学学报, 2009, 36 (15) : 22-26.
- [2] Vittaya Tipsuwanporn, Chanlit Tarasantisuk, Wakhin Piyarat. A Single-phase AC/DC Converter Analysis and Design: Sliding Mode Control Approach [A]. 2003 IEEE International Conference on Industrial Technology [C]. 2003, (1) : 593-596.
- [3] Mihail Hr Antchev, Mariya P Petkova, Vanjo T Gurgulitsov, et al. Study of a Single-phase Bidirectional AC/DC Converter with a High Power Factor [A]. IEEE Eurocon 2009 [C]. 2009 : 1521-1527.
- [4] 陈坚. 电力电子学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.