

一种全桥单向高频链逆变器

万山明, 吴芳, 黄声华

(华中科技大学, 湖北 武汉 430074)

摘要:研究了一种全桥单向高频链逆变器。这种逆变器与周波变换器的区别在于它在高频变压器的次级设置了一个电解电容,用于提供接感性或容性负载时所需的无功能量,同时也可吸收变压器的漏感能量。通过对功率管开关时序的控制,可以实现部分功率管的软开关运行。电路具有结构和控制方法简单、体积小、噪音小、转换效率高等优点。仿真和实验结果证明了所提出的电路的正确性。

关键词:逆变器 / 高频链; 单向

中图分类号: TM464

文献标识码: A

文章编号: 1000-100X(2005)01-0012-03

Full Bridge Unidirectional High Frequency-Link Inverter

WAN Shan-ming, WU Fang, HUANG Sheng-hua

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper describes a kind of full bridge unidirectional high frequency-link inverter. Different from the high frequency cycloconverter an electrolytic capacitor was added in presented circuit. The benefit is that it can provide reactive power under inductive or capacitive load. The capacitor can also absorb leakage inductance energy of high frequency transformer. According to synchronous timing control of power devices, part of power devices can run under soft switching state. Its advantages include simple structure and control method, small volume, low noise and high efficiency. The feasibility of the proposed inverter technique is verified by simulative and experimental results.

Key words: inverter / high frequency-link; unidirectional

1 引言

逆变技术,即直流/交流(DC/AC)技术已广泛应用于不停电电源(UPS)、正弦波逆变器等产品中。由于电压匹配及安全等方面的原因,往往要对直流输入和交流输出进行电气隔离。传统方案一般采用工频变压器隔离,它具有结构简单,抗冲击能力强等优点,但存在重量重,体积大,转换效率难以提高等缺点。高频隔离的逆变器用高频变压器代替工频变压器进行隔离和变压,电路的体积小、重量轻、转换效率高,因此成为研究热点。

目前,电流源型高频链逆变技术^[1,2]已得到深入研究。在巧妙改造常规反激型 DC/DC 变换器的基础上,这种电流源逆变器实现了单级 DC/AC 隔离变换,结构简单、转换效率高。但因存在器件和磁性材料的容量限制等原因,使之难以用于大功率领域。周波变换器是一种最常用的高频链逆变方案^[3,4]。该方案特点是电路中仅含功率管和容量较小的无源滤波元件,能量可双向流动,具有体积小、重量轻等优点,但其缺点是:如果强迫关断周波变换器中的导通

元件,则因高频变压器上存在漏感,将会在变压器次级开关器件上形成巨大的电压尖峰,不利于安全运行。虽然可通过增加吸收电路来解决该问题,但却增加了电路的复杂性,且降低了效率。近年来,有研究采用移相^[5]等办法解决该问题,取得了一定的成效,但总的来说控制方案比较复杂,实现困难。

另外,当负载为感性或容性时,将出现能量由 AC 端向 DC 端传递的情况,这将引起输入直流侧电压的波动,可能会对直流母线上运行的其他部件如蓄电池、充电器等造成不良影响,而且能量双向流动无疑会降低转换效率。

本文研究了一种能量单向流动的高频逆变器。它以电解电容作为储能元件,可以无损吸收变压器的漏感能量。通过对功率管的时序进行同步控制,可实现部分功率管的软开关运行,实现高的转换效率。

2 全桥单向高频链逆变电路工作原理

图 1 示出研究的全桥单向高频链逆变器主电路。电解电容 C 左边构成 DC/DC 电路,右边构成 DC/AC 电路。其中 DC/DC 部分省去了一般电路中常用的滤波电感 L ,因此 C 两端电压 v_c 仅取决于输入电压 V_{in} 和变压器匝比 N ,稳态值为 NV_{in} ,且与占空比 D 无关。DC/AC 部分的设计与常规电路相同。当负载为感性或容性时, C 可以提供能量交换所需的

基金项目: 台达电力电子科教发展基金资助

定稿日期: 2004-07-01

作者简介: 万山明(1970-),男,湖北人,博士,研究方向为交直流电源、有源滤波技术等。

无功,而无需将能量传回直流侧。另外它还能吸收变压器漏感的能量,防止变压器次级各管上的电压应力过高。当负载为纯阻性时, C 仅用来吸收电压尖峰,可以取值很小。

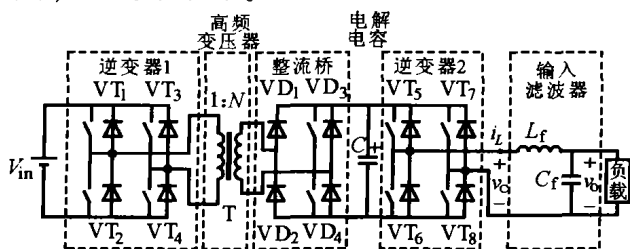


图1 全桥单向高频链逆变器主电路图

图2示出控制时序。功率管 VT_1, VT_4 同时开关, VT_2, VT_3 也同时开关; VT_1, VT_4 和 VT_2, VT_3 互补动作,若不计死区时间,每管导通时间为开关周期 T 的 $1/2$ 。DC/AC部分采用单极倍频控制方式。为了防止直通,在开关状态切换时,所有桥臂的上下两个功率管均要留出一定的死区时间,但这样会使直流母线电压的利用率稍有降低,应在计算参数时留出裕量。

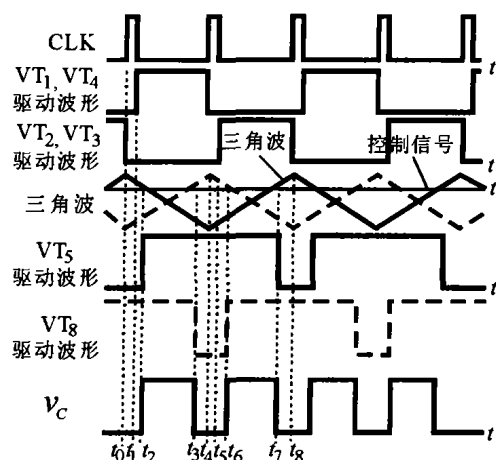


图2 电路的工作时序和相关波形

假定系统已稳定运行,负载为电阻性负载, v_c 为直流输入电压 V_{in} 的折算值 NV_{in} 。先分析正半周,此时输出电压 v_o 和电感电流 i_L 为正,控制信号也为正。电路工作状态如下:

(1) t_0 时刻, $VT_1 \sim VT_4$ 均关断, VT_5, VT_7 关断, VT_6, VT_8 导通。高频变压器 T 和 C 中均无能量流动;

(2) t_1 时刻, VT_1, VT_4 导通。由于此时 $VT_5 \sim VT_8$ 仍保持原有状态不变, v_c 不变,因此 T 仍不输出能量。 VT_1, VT_4 是零电流导通;

(3) t_2 时刻, VT_5 导通, VT_6 关断, VT_8 仍导通。 i_L 增加,能量从 C 中流出, v_c 降低,使 VD_1, VD_4 导通,能量由 T 的初级传到次级,给 C 充电,最后 v_c 保持稳态值不变,而 i_L 全部由 T 提供。此状态下 v_c 为正;

(4) t_3 时刻, VT_8 关断, VT_7 导通, v_c 为零。由于负载通过 LC 交流滤波器和 VT_5, VT_7 短路, T 停止向负载提供能量, VD_1, VD_4 关断;

(5) t_4 时刻, VT_1, VT_4 关断。由于此时 VT_1, VT_4 中流过的电流很小,仅为 T 的励磁电流,因此可认为 VT_1, VT_4 为零电流关断;

(6) t_5 时刻, VT_2, VT_3 导通。因此时负载仍通过 LC 滤波器短路, T 的次级并无能量输出,因此 VT_2, VT_3 是零电流导通。若 T 的励磁电流和 $VT_1 \sim VT_4$ 的死区时间匹配合适, VT_2, VT_3 还可实现零电压导通;

(7) t_6 时刻, VT_7 关断, VT_8 重新导通, i_L 增加, VD_2, VD_3 导通,能量开始由 T 通过滤波电感 L_f 传到负载, v_c 又为正;

(8) t_7 时刻, VT_5 关断, VT_6 导通,负载通过 LC 交流滤波器和 VT_6, VT_8 短路, T 停止向负载提供能量, VD_2, VD_3 关断, v_c 又为零;

(9) t_8 时刻, VT_2, VT_3 零电流关断。此时完成一个周期的变化过程。

此后的分析与上述过程类似。控制信号为负时, v_c 形成一系列的负电压,经 LC 滤波后,构成交流电压的负半周。

当负载为感性或容性负载时,存在 v_o 与 i_L 符号相反的情况。此时能量由负载向 C 回送,使 v_c 升高,超过 NV_{in} ,因而在此期间 $VD_1 \sim VD_4$ 始终关断,DC/DC部分相当于空载运行,与DC/AC部分独立开来,互不干扰。 C 储存的无功能量在 v_o 与 i_L 符号相同后又开始向负载送出, v_c 逐步下降,直至 $v_c < NV_{in}$ 后,又开始重复状态(1)~(9)的变化过程。

3 仿真和实验结果

用MATLAB软件对图1电路进行了仿真,仿真中取 $C=50\mu F$ 。所有功率管均采用开环控制,各管的开关时序与图2相同,仿真结果见图3。其中曲线1为 v_c ,曲线2,3为交流电压给定与响应,曲线4为负载电流。由图3可见,阻性负载下, v_c 变化不大,但在感性负载下,当 v_o 和 i_L 极性相反时, v_c 会出现泵升。加大 C 的容量可使电压波动减少到允许范围内。

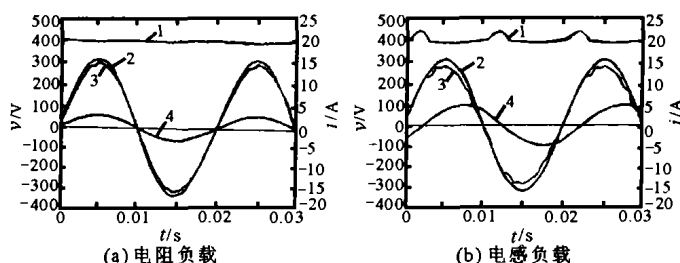


图3 仿真波形

为了验证提出的单向高频链逆变技术的正确性,试制了一台 1kW 样机并进行了实验研究。样机参数为: $V_{in}=400V$; $v_o=220V/50Hz$ 。VT₁~VT₈ 采用 IRG4PC50U (600V/27A 高速 IGBT);VD₁~VD₄ 采用 DSEI30-06A(600V/30A 快恢复管);高频变压器磁性材料选用铁氧体材料,E65 两对并联使用,初级和次级均用铜线绕制, $N=1:1$ 。 $L_f=5mH/5A$, $C_f=2\mu F/250V$ 。所有功率管的开关频率 $f_s=10kHz$ 。控制电路由纯模拟线路构成,图 4 为其原理图。图 5 示出实验波形。

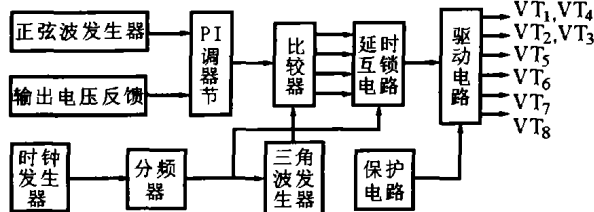


图 4 控制电路原理图

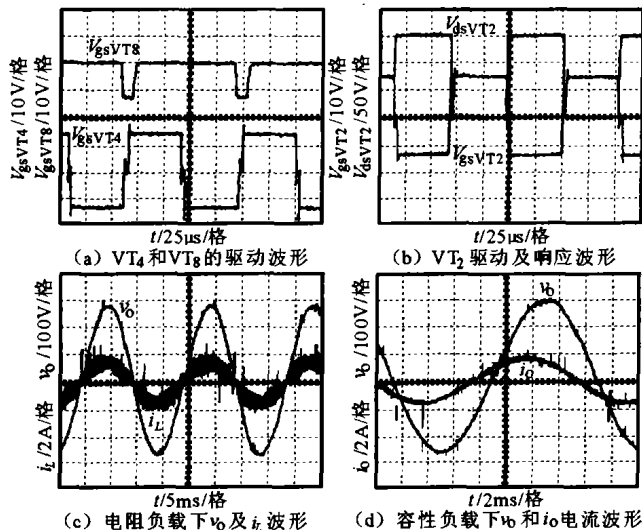


图 5 实验波形

图 5a 示出 VT₄ 和 VT₈ 的栅-源驱动电压 v_{gsVT4} 和 v_{gsVT8} 波形;图 5b 示出 VT₂ 的栅-源驱动电压 v_{gsVT2} 和漏-源电压 v_{dsVT2} 波形,可见 VT₂ 实现了零电压开通;

图 5c 示出电阻负载下 v_o 和 i_L 波形;图 5d 示出容性负载下的 v_o 和 i_o 波形。图 6 示出效率 η 曲线,在负载大于 30% 时, $\eta > 90\%$, $\eta_{max} \approx 92\%$ 。

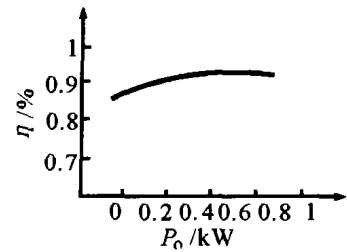


图 6 效率曲线

4 结论

提出的全桥单向高频链逆变器具有负载适应力强、结构简单、实现容易、效率高等优点,采用同步控制方法可实现部分功率管的软开关运行。方案特别适用于输入电压变化范围不大的场合,如 UPS 等。仿真和实验结果证明了该方案的可行性。

参考文献

- [1] 黄敏超,徐德鸿,林渭勋.全桥双向电流源高频链逆变器[J].电力电子技术,1999,33(1):5-7.
- [2] 龚春英.单级式半桥电流源高频链逆变拓扑研究分析[J].电工技术学报,2002,17(2):55-58.
- [3] Mikihiro Matsui. High-Frequency Link DC/AC Converter with Suppressed Voltage Clamp Circuits-Naturally Commutated Phase Angle Control with Self Turn-off Devices [J].IEEE Trans. on IA, 1996, 32(2): 293-300.
- [4] Krein P T, Geng X, Balog R. High-frequency Link Inverter based on Multiple-carrier PWM [A].Applied Power Electronics Conference and Exposition,Seventeenth Annual IEEE'2002[C].2002 :997 ~1003.
- [5] Tazume K, Aoki T, Yamashita T.Novel Method for Controlling a High-frequency Link Inverter using Cycloconverter Techniques [A].PESC'98 Record, 29th Annual IEEE [C]. 1998:497-502.
- [6] 赵小俭. SPWM 高频脉冲直流环节逆变器原理分析[J].电力电子技术,2001,35(1):26-28.

(上接第 6 页)

“功率因数校正”专辑征文启事

专辑的论文范围包括:

- (1)单相有源功率因数校正电路拓扑及控制
- (2)三相有源功率因数校正电路拓扑及控制
- (3)软开关在有源功率因数校正电路中的应用
- (4)有源功率因数校正器的动态模型和控制器设计
- (5)有源功率因数校正电路的 PWM 控制技术
- (6)有源功率因数校正电路参数和磁元件的设计
- (7)无源功率因数校正技术
- (8)多重化、多电平技术在整流器输入谐波抑制技术中的应用
- (9)功率因数校正用在通讯电源、计算机电源等的应用
- (10)单级 AC/DC 变换器
- (11)新颖检测和控制方法、新器件在有源功率因数校正器中应用

(下转第 47 页)