

串联谐振高频链逆变器数字化控制

Digitalized Control for Series Resonant High-frequency Link Inverter

何艳凯, 孙宏宇

河北汇能欣源电子科技有限公司(石家庄, 河北, 050051)

He Yankai, Sun Hongyu

Hebei Huineng Xinyuan Electronics Co., Ltd (Shijiazhuang, Hebei, 050051)

摘要: 串联谐振技术、高频链技术和周波变换技术的完美结合,使逆变电源实现了 ZCS 软开关、缩小了整机体积、能量双向流动,促进了逆变电源朝高频、高效、小体积方向的发展。数字化控制代替模拟控制,可以使逆变电源便于采用各种先进的控制策略,以提高逆变电源的各种性能,逆变电源的数字控制已成为逆变电源的重要发展趋势。

关键词: 串联谐振 高频链 逆变器 数字控制

Abstract: The perfect combination of series resonant technology, high-frequency link technology and cycle converter technology makes inverter realize ZCS and smaller volume, bidirectional energy, and also facilitate inverter more high frequency and more higher efficiency and more smaller volume. Digital control instead of stimulant control can make inverter employ many advanced control methods to impure the performance of inverter, so the digital control of inverter has been an important development direction.

Key words: Series resonant, High-frequency link, Inverter, Digitalized control

[中图分类号] TN86 [文献标识码] A 文章编号: 1561-0349 (2015) 01-0032-05

1 引言

随着开关频率的提高,逆变电源实现了高频化、缩小了体积、减轻了重量,但是跟开关频率成正比的开关损耗也日趋严重,串联谐振变换器 ZCS 则正好大大降低了开关损耗^[1]。

高频链逆变技术,利用高频脉冲变压器代替低频变压器传输能量,并实现变流装置的一侧、二侧电源之间的电气隔离。基于周波变换器型的高频链逆变器由 DC/HFAC/LFAC 级联而成,由于其变换效率高、功率密度大、且能量可以实现双向流动,从而得到越来越多的电力电子学者的关注^[2]。

传统的逆变电源多为模拟控制,虽然模拟控制技术已经相当成熟,但是存在很多固有的缺点:①控制电路的元器件比较多,电路复杂,所占体积较大;②灵活性不够,硬件电路设计好了,控制策略就无法改变;③不便于调试,由于所采用器件特性的差异,致使电源的一致性较差,且模拟器件工作点的漂移,导致系统参数的漂移。模拟方式很难采用一些先进的控制方法,所以,研究逆变电源的数字化控制是发

展的趋势,是现代逆变电源研究的一个热点。

为此,本文对串联谐振高频链逆变器全数字化控制进行了研究,采用谐振能量直接控制法^[3],方法简单。前级高频逆变桥的开关频率与谐振槽的固有谐振频率相一致,实现了 ZCS 软开关;后级周波变换器的驱动脉冲为低频和高频混合,仅在能量进行回馈时开关才处于高频切换状态,且也为 ZCS 软开关,这样可以极大地减小周波变换器的开关损耗,提高了逆变器的变换效率和可靠性。

2 工作原理

图 1 为串联谐振高频链逆变器的电路拓扑^[1],由高频逆变桥、LC 串联谐振槽、双副边绕组的高频隔离变压器、四开关共源极结构的周波变换器和输出滤波电容组成。逆变桥和谐振槽将直流输入电压逆变成高频交流电流源;变压器实现隔离和电压匹配;周波变换器实现将高频电流源整流及低频正弦波输出;滤波电容实现光滑交流电压源输出。

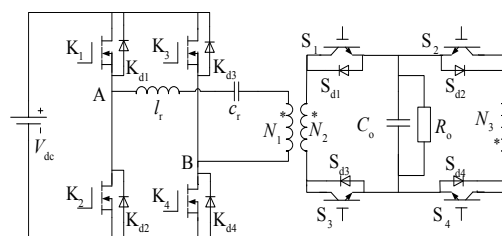


图1 串联谐振高频链逆变器

假设：①电路已经进入稳态工作；②所有功率器件均为理想器件；③变压器激磁电感无穷大，激磁电流忽略不计；④输出滤波电容足够大。根据谐振槽能量的多少而选择不同的谐振模式，有激励谐振模式、自由谐振模式、能量回馈谐振模式和激励自由谐振模式4种谐振模式。此电路拓扑可以实现四象限运行，其中第一、第三象限对应着激励谐振和自由谐振模式，第二、第四象限对应着能量回馈谐振和激励自由谐振模式。

(1) 第一象限工作过程

当谐振能量不足时，选择激励谐振模式，如图2所示，谐振回路如图3所示。

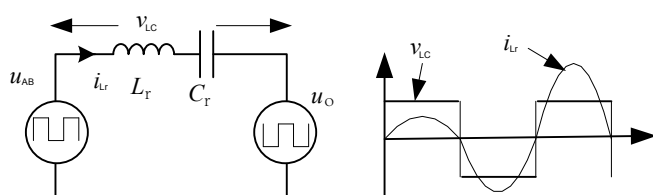
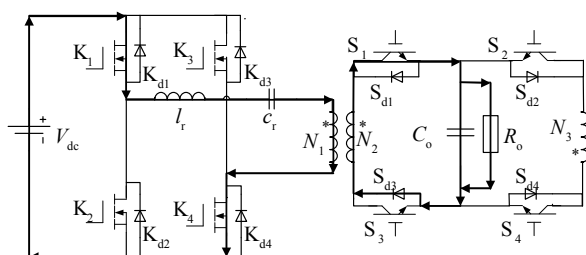
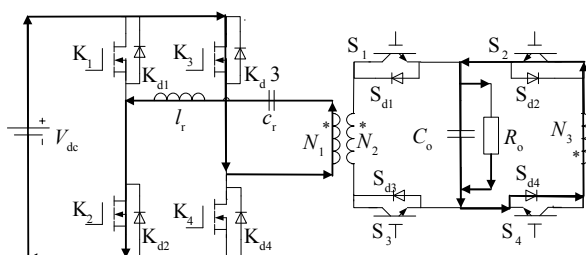


图2 激励谐振模式



(a)



(b)

图3 谐振回路：(a) 激励谐振模式 a；(b) 激励谐振模式 b

由图2和图3可见，激励谐振可以使谐振槽能量增加。

当谐振能量过多时，则选择自由谐振模式，如图4所示，谐振回路如图5所示。

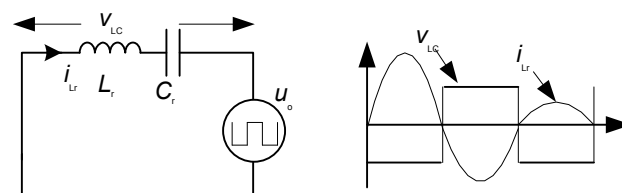
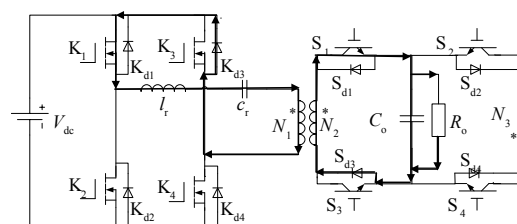
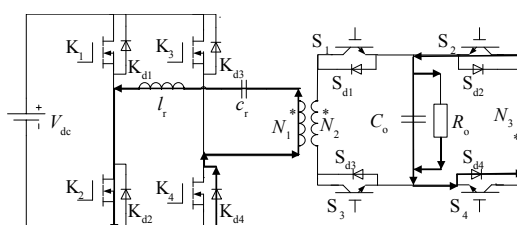


图4 自由谐振模式



(a)



(b)

图5 谐振回路：(a) 自由谐振模式 a；(b) 自由谐振模式 b

由图4和图5可见，自由谐振可以使谐振槽能量减少。

(2) 第二象限工作过程

当谐振能量过多时，选择能量回馈谐振模式，如图6所示，谐振回路如图7所示。

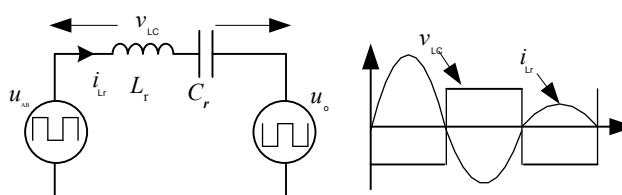
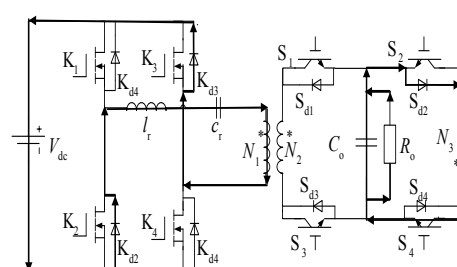
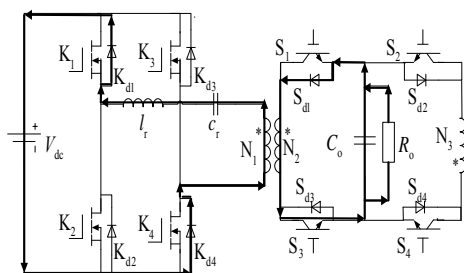


图6 能量回馈谐振模式



(a)



(b)

图7 谐振回路: (a)能量回馈谐振模式 a; (b)能量回馈谐振模式 b

由图6和7可见,能量回馈谐振可以使谐振槽能量减少。

当谐振能量不足时,则选择能量激励自由谐振模式,如图8所示,谐振回路如图9所示。

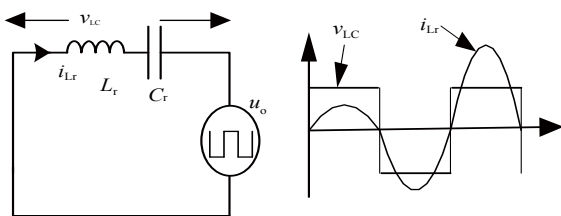
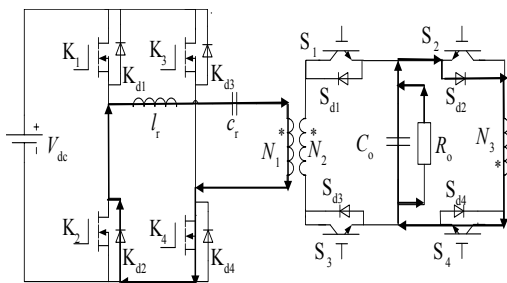
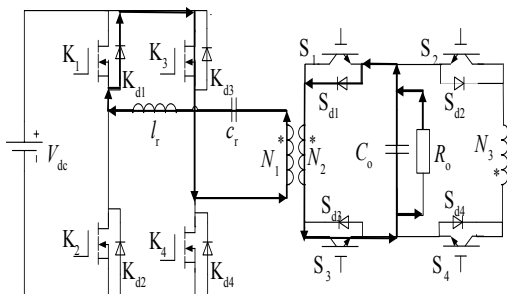


图8 激励自由谐振模式



(a)



(b)

图9 谐振回路: (a)激励自由谐振模式 a; (b)激励自由谐振模式 b

由图8和9可见,激励自由谐振可以使谐振槽能量增加。

第三、第四象限的工作过程分别与第一、第二象限的相类似。

3 双PI数字化控制^[4,5]

数字化控制可以实现各种控制策略,无需变动硬件电路,只要修改软件即可,大大缩短了开发周期,而且可以应用一些新型的复杂控制策略,各电源之间的一致性很好,这样为逆变电源的进一步发展提供了基础。

采用数字化控制,不仅可以大大减小控制电路的复杂程度,提高电源设计和制造的灵活性,而且可以采用各种先进的控制方法,提高逆变电源系统的输出波形质量和可靠性。数字化更容易实现数字芯片的处理和控制,避免模拟信号传递的畸变、失真,减少杂散信号的干扰,便于系统调试。如果将网络通信和电源软件调试技术结合,可实现远程遥感、遥测和遥调。

PI控制技术是一种比较成熟的控制技术,很成功地应用到逆变电源的控制当中。本文采用电压环、电流环双PI控制,电压环控制输出电压使其稳定,电流环结合谐振电流直接控制法进行谐振模式选择,从而对谐振槽的能量进行控制。

控制芯片采用TI公司的LF2808,定时器3工作在增计数模式,利用比较中断方式对高频谐振电流的峰值点进行A/D采样,电压环的电压采样也同时进行,利用定时器4对开关信号进行同步处理。

各种逻辑组合处理在CPLD中完成,该方法提高了数字部分的集成度和电路的可靠性,并且为控制部分设计提供了一定的灵活性。采用CPLD进行时序设计的方法,从根本上解决了开关时序同步的问题。

谐振电流的采样关系如图10所示。

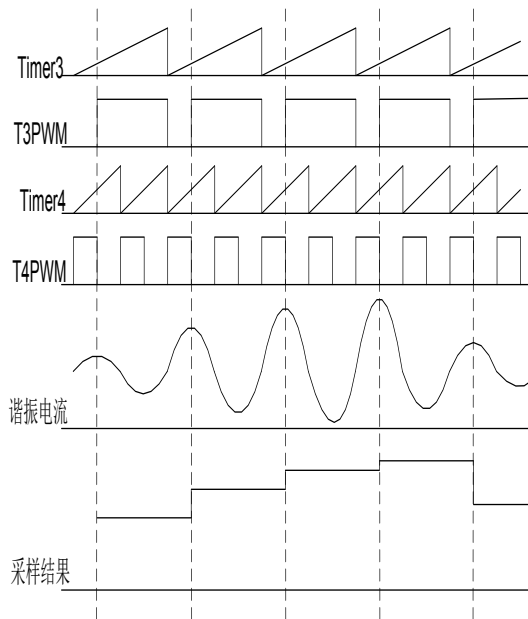


图10 谐振电流的采样关系

双PI控制的程序流程如图11所示。

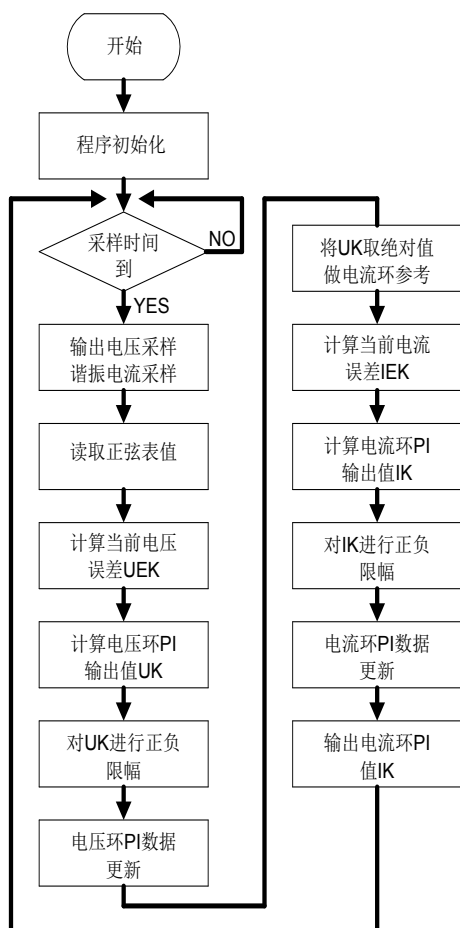


图 11 双 PI 控制的程序流程图

4 实验结果

输入直流电压为 $12 \pm 2V$ ，输出电压为 $55V/50Hz$ 正弦交流电，输出为 $125VA$ 。 $K_1 \sim K_4$: HUF75652G3; $S_1 \sim S_4$: HGTG11N120CND; 谐振电容为 $1.82\mu F$: CDE 941C6P15K、941C6P47K; 谐振电感 $6.5\mu H$: Philips, 3C96, EE55/28/25; 高频变压器: 铁氧体磁芯, 原边 2 匝, 双副边各 16 匝。

实验波形图如图 12- 图 16 所示。

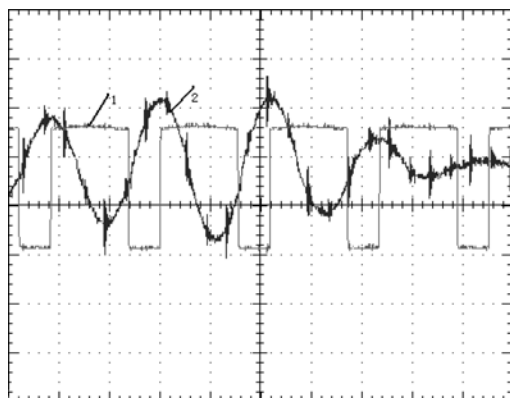


图 12 谐振电流与采样触发脉冲

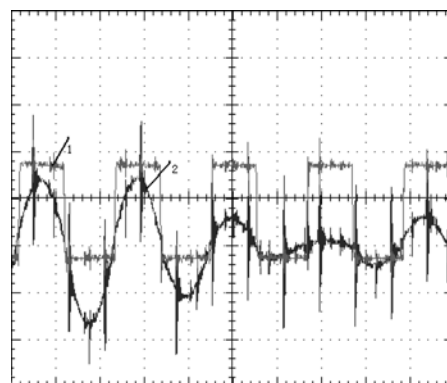


图 13 谐振电流与前级 K_4 的驱动信号

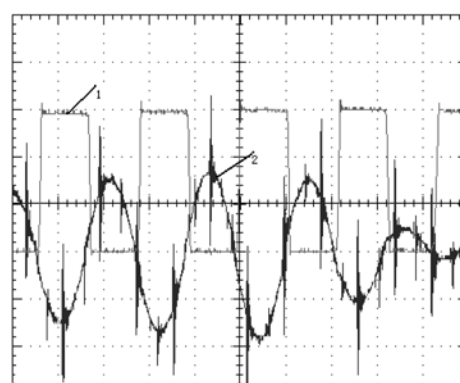


图 14 谐振电流与后级 S_4 的漏源原极电压

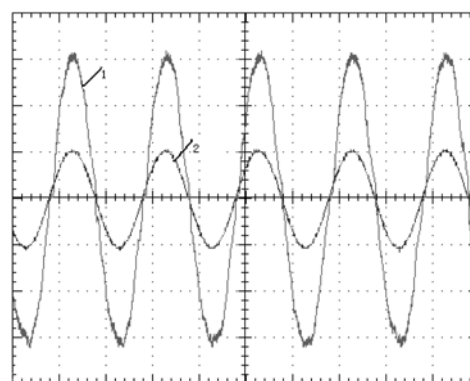


图 15 阻性负载下输出电压与输出电流

5 结论

串联谐振高频逆变器的双 PI 数字化控制, 具有控制简单、调试方便的特点, 并且具有很好的控制特性。此工作为进一步采用其它先进控制方法, 比如模糊控制等奠定了基础。

参考文献

- [1]Weiyang Wu, Xiaoyi Jin, Xiaofeng Sun. A Novel Series Resonant High-Frequency Link Sine-wave Inverter Family. IEEE PESC' 05 Rec.,

(下转第 24 页)