

基于 DSP 新型 PWM 三相逆变器的研究

王建元¹, 俞红祥¹, 王琦², 王品晶³, 纪延超¹

(1. 哈尔滨工业大学, 哈尔滨 150001; 2. 南京师范大学, 南京 210042;
3. 长春第一热电有限责任公司, 长春 130052)

RESEARCH OF A NOVEL THREE-PHASE CONVERTER-INVERTER BASED ON DSP

Wang Jianyuan¹, Yu Hongxiang¹, Wang Qi², Wang Pinjing³, Ji Yanchao¹

(1. Harbin Institute of Technology, Harbin 150001;

2. Nanjing Teacher University, Nanjing 210042;

3. ChangChun First thermoelectric Plant Co. Ltd, Changchun 130052, China)

ABSTRACT: Means (such as controllable rectifier, large filter DC capacitor and complicated control system) have been adapted in order to achieve high quality output voltage of inverter, high power factor and small aberrance of system current. A novel three-phase uncontrollable rectifier three-phase converter-inverter is proposed. Accordingly, a novel reconstruction SPWM technology that can greatly eliminate harmonics of inverter's output voltage is also presented. The design and analysis of the inverter are done based on DSP. It is obvious that the new inverter is superiority by simulation and experiment.

Key Words: inverter; small dc-link capacitor; DSP

摘要: 为了获得较好的逆变输出电压、较高的功率因数和较小的系统电流畸变率, 已经使用了诸如可控整流、较大的滤波直流电容、复杂的控制器等手段。本文提出了一种新型三相不可控整流三相逆变器及其谐波消除 PWM 技术。并基于 DSP 对该逆变器进行了设计和分析, 结合样机实验分析验证了新型逆变器的优越性。

关键词: 逆变器; 直流小电容; 数字信号处理器

1 引言

基于 PWM 电压型逆变器广泛应用于交流电机驱动中^[1, 2, 3], 但一般有如下的缺点: 1) 为了控制简单而使用了笨重的直流电容来抑制直流电压脉动, 直流电容不但占用空间大且成本高, 同时它的使用降低了系统功率因数且增大了系统侧电流畸变率; 2) 虽然使用了小的直流电容, 但使用了如可控整流而使控制系统复杂化。

本文提出了一种新型三相不可控整流三相逆变器(如图 1 示)及仅通过改变相应的调制波来消除逆变器输出电压谐波的技术。当逆变器的负载为

纯阻性时, 不需要通过直流电容来为负载续流, 此时可以去掉直流电容; 当逆变器的负载为感性时, 仅需要一个很小的直流电容来吸收负载的部分无功电流。运用此技术可以大大减小甚至去掉直流连结电容, 从而大大简化了控制系统和主电路拓扑, 提高了功率因数, 减小了系统侧电流畸变率^[4]、提高了系统的可靠性、减小了设备的体积和降低了设备的成本。本文基于 DSP 对该新型逆变器进行了设计和研究。

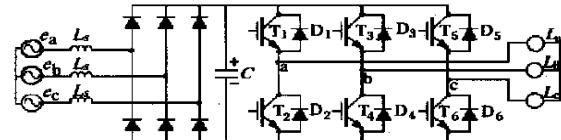


图 1 新型三相逆变器主电路拓扑结构图

2 新型三相逆变器及消谐调制技术

具体详细的分析参见文献[5]。谐波消除调制波见式(1), 载波为双极性三角波。

$$u_s = u_{s1} - \frac{v_{in}U_D}{U_D}u_{s1} \quad (1)$$

式中 u_{s1} 为标准正弦波, v_{in} 为整流器输出电压, U_D 为整流器输出电压的直流分量, 经过式(1) 调制波调制后, 即可消除逆变器输出电压低次谐波。

3 基于 DSP 新型三相逆变器软硬件设计

3.1 新型三相逆变器控制器原理框图

新型三相逆变器总体电路结构如图 2 所示。

下面分别介绍各部分的功能。

1) 三相不可控整流桥: 包括 6 只普通整流二极

管组成常规的三相整流桥外加一很小的吸收负载感性无功的直流电容。

2) 三相逆变桥: 包括六只大功率IGBT功率模块, 为吸收因IGBT开通、关断所造成的电压尖峰, 还需有阻容吸收电路。

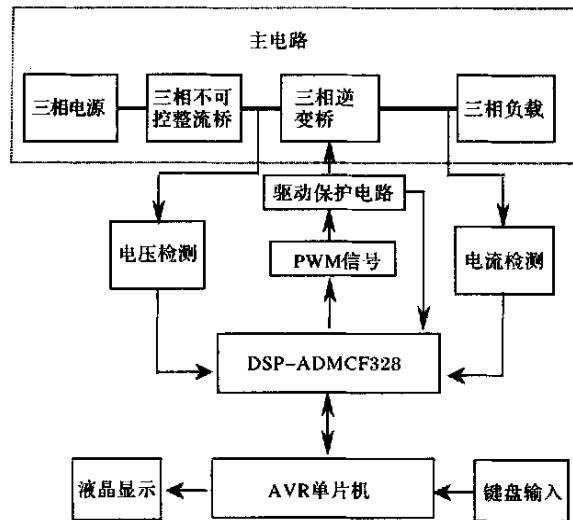


图2 新型三相逆变器控制器原理框图

3) 电压检测: 整流桥输出直流电压采用高精度霍尔传感器及中间变换电路送入DSP的A/D通道, 用于网侧系统的过压、欠压或断相保护、重构正弦调制波的重构部分计算。

4) 电流检测: 通过电流互感器、霍尔元件等检测负载的三相电流, 将电流信号经中间变换电路送入DSP的A/D通道中, 作为过流保护、电流显示等。

5) PWM信号: CPU按负载的要求, 用DSP软件编程设计形成重构正弦波PWM触发信号。

6) 驱动保护电路: PWM触发信号通过光电隔离及驱动保护芯片与IGBT相连, 以实现对大功率器件的驱动及保护。

7) DSP2ADMCF328: 作为整个系统的主控CPU, 负责信号检测、实时运算、PWM信号生成、输出控制等功能。

8) AVR单片机: 由于系统实时性、可靠性的要求, 一块CPU难以完成所有的运算控制任务, 因此增加了一块单片机作为辅助CPU, 它主要负责键盘管理、信息显示等功能。实现了DSP资源的零占用率。这有利于DSP更为高效的进行实时控制, 同时实现了运行和保护参数的在线调整, 大大方便了整个装置的现场运行和维护。另外, 还可进行信息的保存。

9) 液晶显示: 可显示预置信息、故障信息及运行状态。

10) 键盘输入: 可完成预定参数的设置, 如保护等级、输出频率等任务。

3.2 新型三相逆变器控制器软件设计

新型三相逆变器的控制软件主要分为数据采集、控制算法、双机通讯、人机界面以及样机装置保护几个功能模块。数据采集模块完成数据采集和预处理功能; 控制算法完成负载电流采样的空间矢量算法、逆变器控制 PWM 脉冲的合成功能; 双机通讯模块主要处理 DSP 和 AVR 单片机之间的实时数据交换; 人机界面主要处理外部指令、运行及保护参数设定的处理; 样机装置保护部分通过分析各个关键状态参数是否在正常范围内来判断是否容许装置继续运行以实现装置的保护功能。核心控制器软件主程序框图见图3。

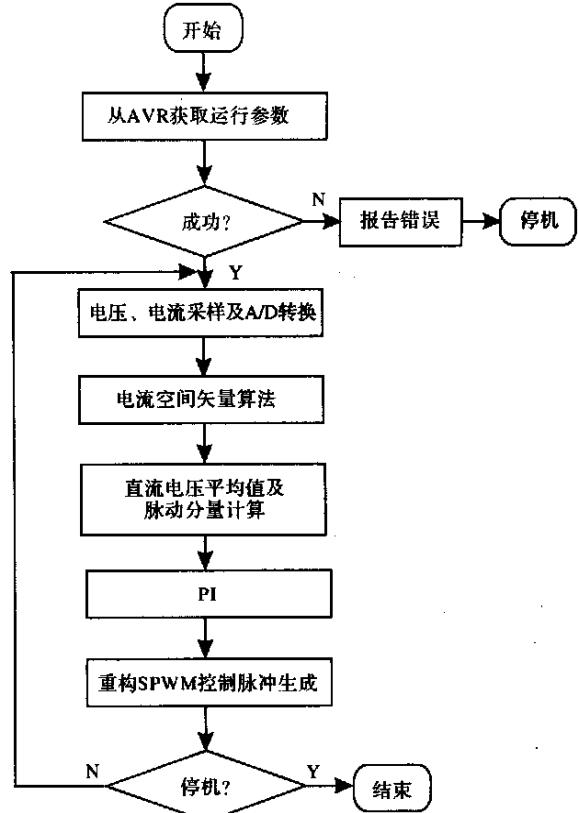


图3 控制器核心软件框图

4 仿真和实验

为了证明此新型逆变器的快速响应特性和良好的可靠性, 对逆变器在给定参考电流阶跃的情况下进行了仿真。仿真使用的是MATLAB的SMULINK以及POWER SYSTEM工具包, 仿真电路图见图4。主要由调制波补偿模块、PI控制模块、PWM生成模块、三相不可控整流桥整流模块和负载电流检测模块组成。调制波补偿模块主要用

于采集逆变器直流侧电压, 根据谐波补偿算法对标准正弦调制波进行补偿以达到抑制逆变器输出电压谐波含量的目的; PI控制模块根据负载情况以及电流指令控制标准正弦调制波幅值, 最终达到精确控制负载电流的目的; PWM生成模块对新型调制波以及载波进行滞环比较生成逆变桥的控制 PWM 脉冲; 负载电流检测模块采用空间矢量算法

实现对负载电流的高速、高精度检测, 即将三相负载电流矢量首先转化为 x 、 y 轴上的两个正交矢量, 然后将这两个矢量的平方和再开方之后的值作为与参考量的比较信号。因此不需要计算一个周期之内电流的有效值, 实现对负载电流的高速、高精度检测。仿真结果如图 5 所示。

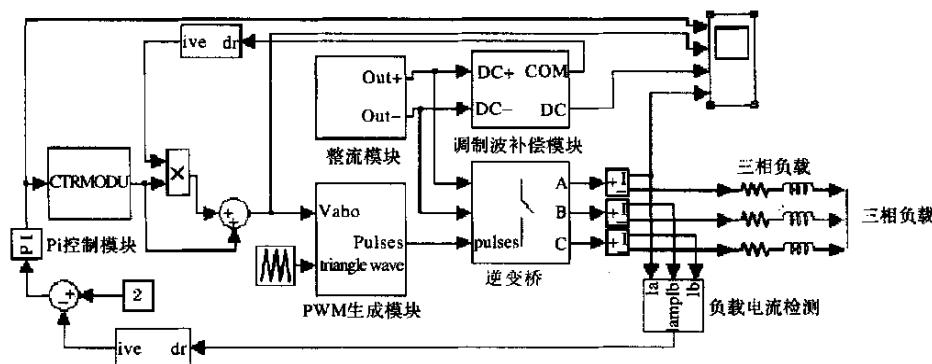


图 4 新型三相逆变器控制器仿真图

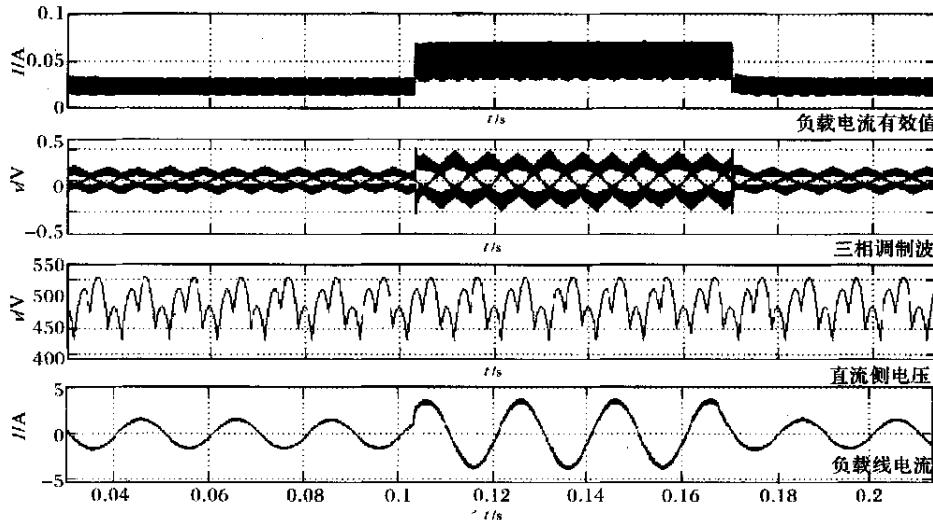


图 5 新型三相逆变器的快速响应特性

通过仿真波形可以看出, 当输出电流的给定参考量发生阶跃变化的时候, 新型逆变器通过控制系统的调节可以在很短的时间之内迅速逼近新的参考量, 并且几乎没有超调现象的发生, 体现出了新型逆变器响应速度快可靠性高的特点。

为了证明此新型逆变器的输出电压谐波小, 系统侧电流畸变率小等特点, 做了对应的实验对比, 实验中所用的参数为: 三相星接感性负载, 每相电感与电阻串联, 参数为: $L = 3.24 \text{ mH}$, $R = 1.18$,

直流电容 $25 \mu\text{F}$, 系统 a 相电压峰值: 32 V ; 系统 b 相电压峰值: 31 V ; 系统 c 相电压峰值: 32 V (低电压主要受实验室电源容量、调压器输出、及负载的限制); 载波频率: $f_{tr} = 10 \text{ kHz}$; 标准正弦波峰值 $U_B = 0.46 \text{ V}$; 三角波正峰值 $V_{trm} = 1 \text{ V}$, 三角波负峰值 $V_{trl} = -1 \text{ V}$; 标准正弦波初相位 $H = 0^\circ$; $f_{sin} = 50 \text{ Hz}$ 。

图 6 分别给出了采用新型调制波生成方法及传统调制方法时的逆变器输出的电压频谱。

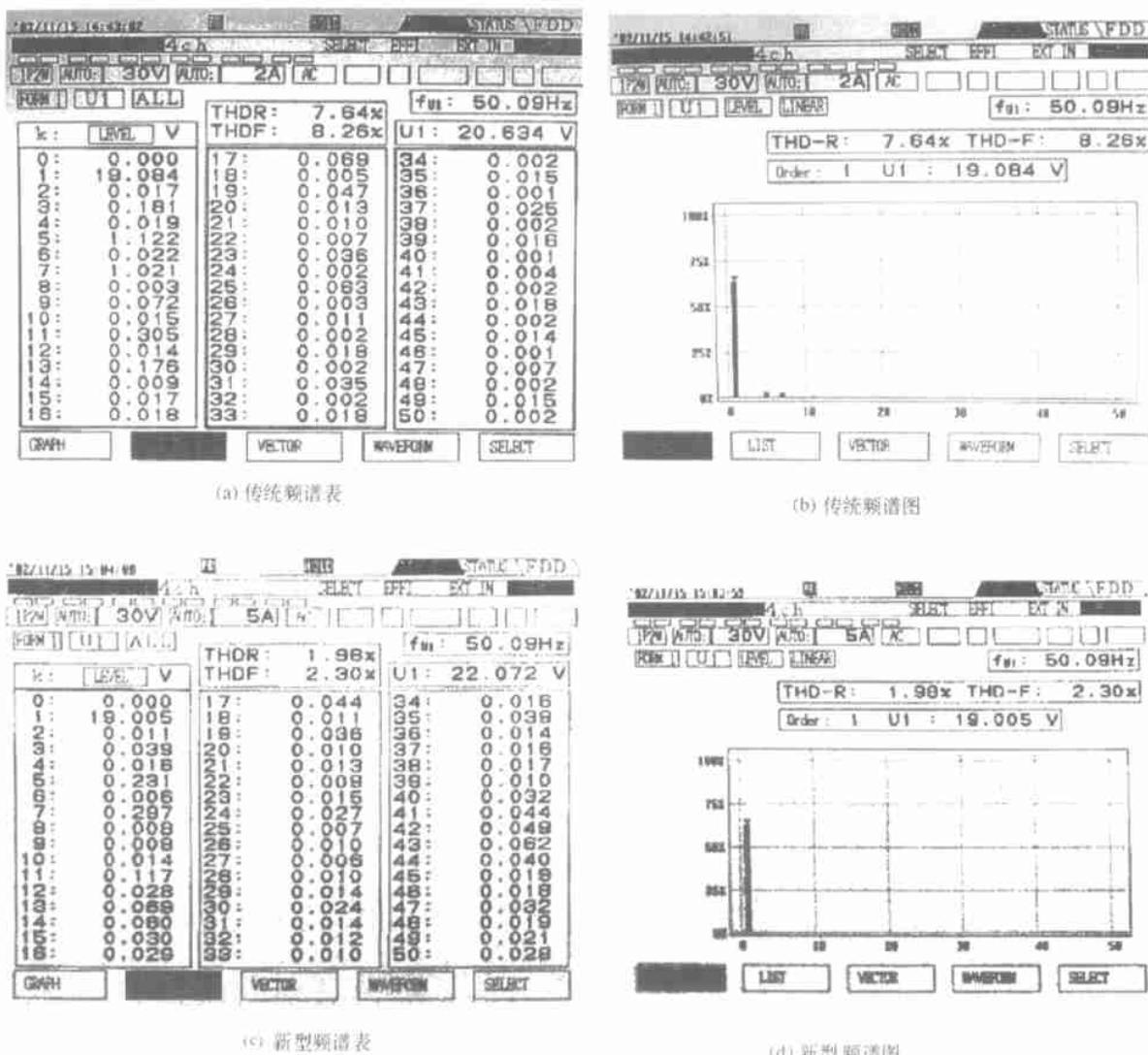


图6 传统与新型逆变器输出线电压结果比较

5 结论

新型三相逆变器结构简单, 新型PWM谐波消除调制技术能有效地消除逆变器输出电压的谐波, 仿真和实验结果表明均获得了理想的输出电压波形, 较小的系统侧电流畸变和响应速度快的特点, 实验与理论分析结果一致, 证明了新型逆变器及其PWM调制技术的优越性。

6 参考文献

- Thomas G Habetler A Space vector-based rectifier regulator for AC-DC-A converters IEEE Transactions on Power Electronics, 1999, 8(1): 30~36
- Namho Hur, Jinhwan Jung, Kwanghee Nam. Fast dy
- Jinhwan Jung Sunkyoung Lim. Kwanghee Nam. A feedback linearizing control scheme for a PWM converter having a very small DC link capacitor IEEE Trans Ind Applicat, 1999, 35(5): 1124~1131
- Sakurai M, Fujita H, Shioya M. A method for calculating harmonic currents of three-phase bridge uncontrolled rectifier with DC filter IEEE Trans Ind Electron, 1989, 36(3): 434~440
- 王建元, 纪延超, 赵班多. 一种新的单相逆变电源及其调制方式的研究 中国电机工程学报, 2003, 23(7)

nam ic DC-link power balancing scheme for a PWM converter2inverter system. Industrial Electronics Society, IECON '99 Proceedings The 25th Annual Conference of the IEEE, 1999, 2: 767~772

- Jinhwan Jung Sunkyoung Lim. Kwanghee Nam. A feedback linearizing control scheme for a PWM converter having a very small DC link capacitor IEEE Trans Ind Applicat, 1999, 35(5): 1124~1131
- Sakurai M, Fujita H, Shioya M. A method for calculating harmonic currents of three-phase bridge uncontrolled rectifier with DC filter IEEE Trans Ind Electron, 1989, 36(3): 434~440
- 王建元, 纪延超, 赵班多. 一种新的单相逆变电源及其调制方式的研究 中国电机工程学报, 2003, 23(7)