

电压型 PWM 并网逆变器

夏小荣, 陈辉明, 蒋大鹏
(浙江大学, 浙江 杭州 310027)

摘要: 能源回馈系统对减缓我国能源供求矛盾具有重要的作用, 而逆变技术在能量回馈系统中占有重要地位, 主要介绍了一种电压型并网逆变器。首先对电压型的逆变器进行了系统分析, 给出了单相电压型和三相电压型两种并网逆变器的理想电路模型。在此基础上, 设计了一个基于数字信号处理器 (DSP) TMS320F240 控制的数字化电压型单相并网逆变器, 搭建了外围硬件电路, 并运用 C 语言进行运算处理, 给出原理仿真结果的同时也给出了它的实验结果, 说明这种逆变器的运行效率高, 可靠性好, 应用也很方便。

关键词: 能量回馈; 并网逆变器; DSP

Voltage-source PWM Line-connected Inverter

XIA Xiao-rong, CHEN Hui-ming, JIANG Da-peng
(Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang 310027, China)

Abstract: The energy feedback system plays significant role to relieve the contradiction of the energy resource between supply and demand in China. and inverter technology is very important in the energy feedback system. A voltage-source inverter in parallel with grid is introduced. Firstly, the system analysis of voltage-source inverter is described, and the real circuit models of voltage-source single-phase and three-phase inverters in parallel with grid are also proposed. According to analysis above, a digital voltage-source single-phase inverter in parallel with grid based on DSP has been designed, its peripheral circuit is also established, the program is used to manage the control flow, and finally experiments' result is proposed while the emulating result is also proposed. The experiments show that the efficiency is high, the reliability is well and its application is convenient.

Keywords: energy feedback; line-connected inverter; DSP; emulate

中图分类号: TM46 文献标识码: A 文章编号: 0219-2713(2005)10-0021-04

0 引言

随着我国经济的迅速发展, 能源问题在当今社会中受到越来越多的关注。在减缓能源供求矛盾方面, 能量回馈系统可以发挥重要作用, 主要运用在功率电子负载、分布式发电和电机再生制动等场合。而电力电子的逆变技术是能量回馈系统的核心部分。

数字化是控制技术发展的趋势, 在具体实现能量回馈系统的过程中, 也应充分运用数字式控制方式。在电压型逆变系统中, 将数字信号处理器

(DSP) 作为控制中心, 实现外围电路工作及其控制。

1 电压型并网逆变器的系统分析

1.1 电压型单相并网逆变器的理想模型

作为并网用的逆变器, 一般的理想状态为:

- 1) 网侧功率因数 $\lambda = 1$, 即网侧电流 i_N 无畸变且与网侧电压 u_N 相位一致, 这样回馈至电网的只有有功功率。
- 2) 能够实现回馈电流 i_N 的快速调节;
- 3) 具有能量双向流动的能力, 除了向电网回馈能量外, 在一定条件下, 电路还可处于整流模

式,从电网吸收能量。

能够实现上述理想的逆变电路状态,并认为电路内部没有损耗,则得到理想模型如图 1(a)所示。

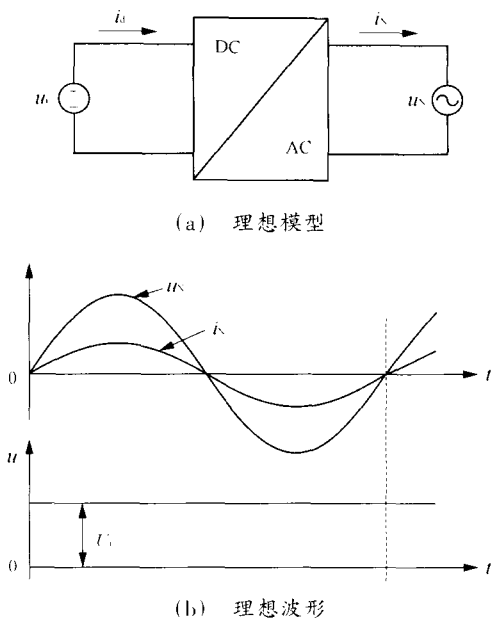


图 1 电压型单相逆变电路理想波形

1.2 三相电压型并网逆变电路的模型

电压型三相桥式逆变电路的主电路如图 2 所示。由图 2 可以看出三相桥式电路是单相半桥电路的扩展,在拓扑结构上是完全相似的,其中各相输入电感相等,电网各相电压均为正弦波。

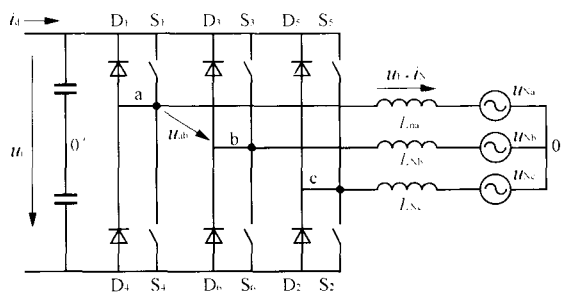


图 2 电压型三相桥式并网逆变电路

三相并网逆变电路的等效电路模型如图 3(a)所示,0 点为电网中点,0' 为直流侧滤波电容中点, R 为电感电阻,其他同单相电路。图 3(b)为 a 相等效电路的相量图。

三相并网逆变器交流侧的方程为

$$\begin{cases} u_{sa} - u_{sa} = (j\omega L_N + R_s) i_{Na} \\ u_{sb} - u_{sb} = (j\omega L_N + R_s) i_{Nb} \\ u_{sc} - u_{sc} = (j\omega L_N + R_s) i_{Nc} \end{cases} \quad (1)$$

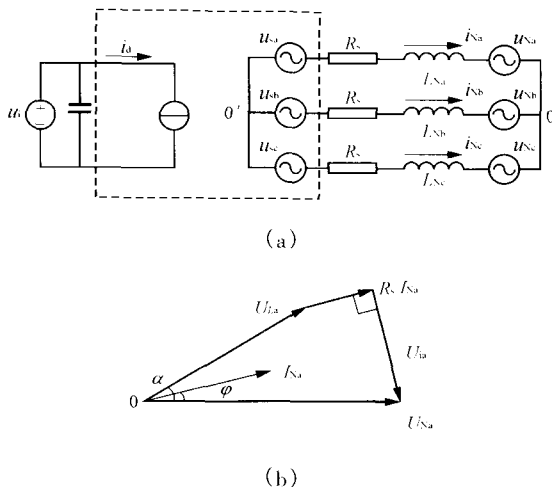


图 3 三相并网逆变等效电路和矢量图

逆变部分一般考虑 SPWM 调制的三相电路,三相桥式电路的控制脉冲时序分布和单相的相似,调制信号为三相正弦波 u_{ga} 、 u_{gb} 和 u_{gc} 。分析得知逆变器输出线电压波形是一个单极性 SPWM 波形,其输出幅值为 U_i 。假想直流电源中点 0', 则可推出三相 SPWM 逆变电路相电压基波表达式为

$$\begin{cases} u_{s0'} = \frac{mU_i}{2} \sin(\omega t + \alpha) \\ u_{s10'} = \frac{mU_i}{2} \sin(\omega t + \alpha + \frac{2\pi}{3}) \\ u_{s20'} = \frac{mU_i}{2} \sin(\omega t + \alpha - \frac{2\pi}{3}) \end{cases} \quad (2)$$

对于逆变桥的输入电流 i_{ia} , 由单相电路分析的结果,每个桥臂从直流侧吸取的电流存在二次谐波,三相电路中每个半桥单元从直流侧吸收的电流为

$$\begin{cases} i_{ia} = \frac{U_N I_N}{U_i} [\cos(\alpha - \varphi) - \cos(2\omega t + \alpha - \varphi)] \\ i_{ib} = \frac{U_N I_N}{U_i} [\cos(\alpha - \varphi) - \cos(2\omega t + \alpha - \varphi + \frac{2\pi}{3})] \\ i_{ic} = \frac{U_N I_N}{U_i} [\cos(\alpha - \varphi) - \cos(2\omega t + \alpha - \varphi) - \frac{2\pi}{3}] \end{cases} \quad (3)$$

将三相电流叠加后即可得到直流侧电流 i_{ia} 的表达式为

$$i_{ia} = 3 \frac{U_N I_N}{U_i} \cos(\alpha - \varphi) \quad (4)$$

由式(4)可知,当电路在三相对称条件下,逆变器的输入电流为恒定的直流,而不存在二次电流分量,电路的直流侧输入不需要二次谐波吸收电路。三相逆变器的输入瞬时功率也随之恒定,而单

相逆变器的输入电流存在二次电流分量,输入功率也不恒定,如图 1 所示。这点是三相逆变器不同于单相逆变器之处,因此,单相逆变器的直流侧滤波电容需要滤除高频和低频的纹波,而三相逆变器的直流侧滤波电容仅需要滤除高频纹波即可,其容量可以比单相的小^[2]。

2 电压型 PWM 并网逆变器试验

在前述理论分析的基础上,研制了一台基于数字式 DSP 控制的电压型单相全桥 PWM 并网逆变器。

2.1 主电路的结构及电路参数的选择

数字式电压型能量回馈系统的逆变主电路结构如图 4 所示。主电路的开关器件选用 IGBT-IPM 模块 PM75CVA120,交流侧为工频单相 220 V, U_i 为直流输入电压,须大于 310 V; C_{d1} 和 C_{d2} 为直流滤波电容, L_N 为交流侧滤波电感; A_1 为电流霍尔元件, V_1 为电压检测传感器; K_1 为直流接触器, K_2 为交流接触器; R_c 为直流侧缓冲电阻。

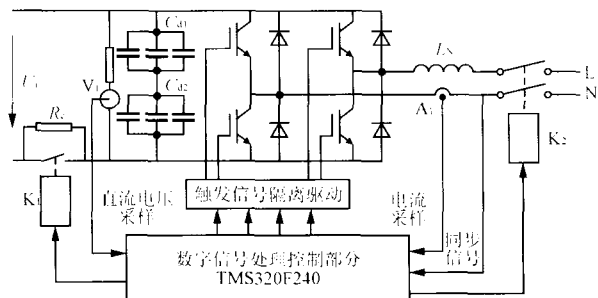


图 4 逆变主电路结构框图

直流输入电压 U_i 经滤波电容 C_{d1} 和 C_{d2} 稳压滤波后输入逆变器,单相全桥逆变器输出经滤波储能电感直接并入电网。电阻 R_c 是电路启动时缓冲滤波电容充电用,在充电完成后,接触器 K_1 闭合,短接电阻 R_c 。整个系统由 DSP 芯片 TMS320F240 控制,对同步电网信号、输入电压 (V_1) 和输出电流 (A_1) 检测,根据给定触发控制脉冲,并通过接触器 K_2 决定并网的时刻。

2.2 仿真及试验波形

运用 Matlab 仿真,输入 $U_i = 311$ V,电网电压 $U_N = 220$ V,电感值 $L_N = 6$ mH。采用幅值控制的 PI 闭环调节,图 5 是给定电流从 5 A 到 20 A 时电流和电网电压的仿真波形,电流乘 10 处理。

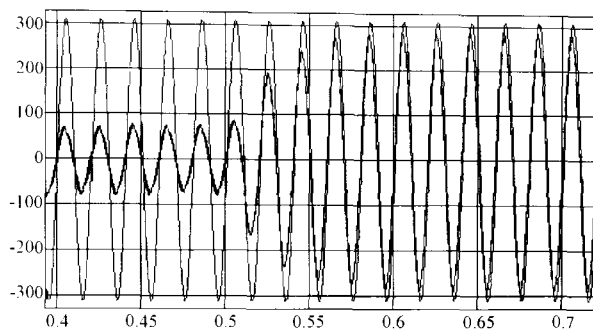


图 5 给定从 5A 至 20A 时电流和电网电压仿真波形

图 6 所示是本系统在开环条件下电流和电网电压的试验波形,可以看到电流波形正弦,相位和电网电压接近(为了便于观看,将电流信号反相),输出电流大小为 5 A。图 7 为电感两侧电压实验波形。图 8(a) 所示是逆变器工作时输出倍频 PWM 波形,8(b)为放大图,脉宽呈正弦变化。

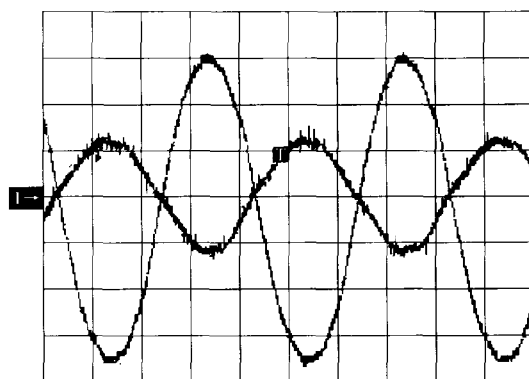


图 6 电流和电网电压实验波形

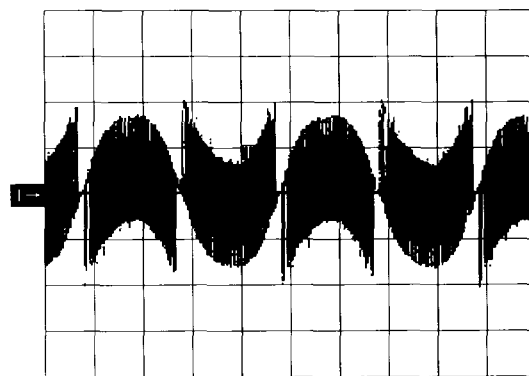
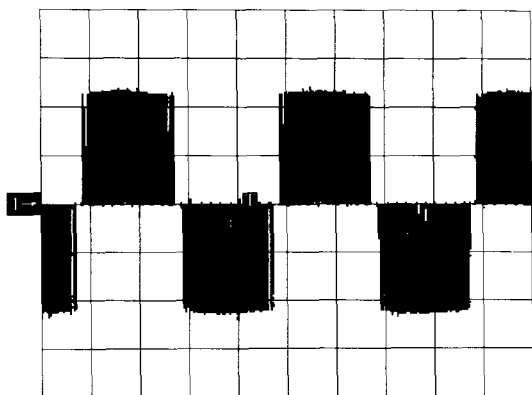


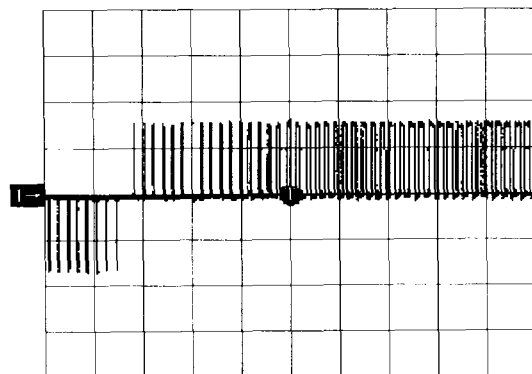
图 7 电感两侧电压波形

图 9 为 DSP 控制输出脉冲信号,上下桥臂有 $5 \mu\text{s}$ 的死区(低电平有效)。

直流输入电压为 350 V,波形如图 10 所示,比较平直。



(a) 输出 SPWM 波形



(b) 放大图

图8 逆变器输出倍频 SPWM 波形

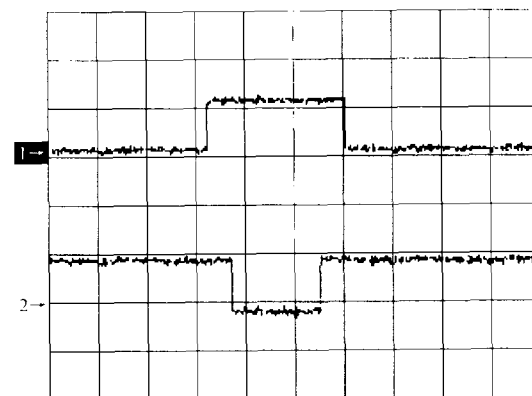


图9 上下桥臂脉冲控制信号

3 结语

重点分析了电压型并网逆变系统,提出了单相和三相逆变系统的理论模型。在实验中制作了一台单相的电压型并网逆变系统,系统采用数字化控制方式,达到对系统外围电路的控制。从实验给出的结果,可以看到这个系统工作效率高,可靠性好,实用性强。

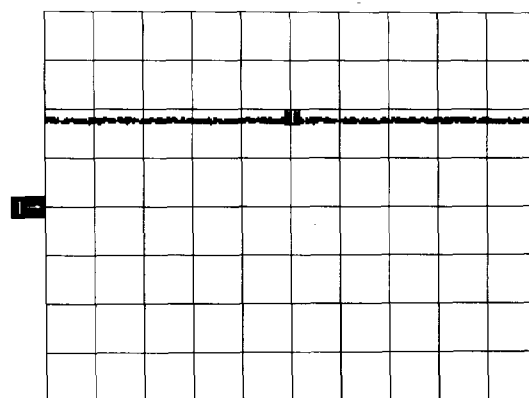


图10 直流输入电压波形

参考文献

- [1] 章云. DSP 控制器及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [2] 李宝昌. 能馈式电子模拟功率负载的研制[D]. 北方交通大学硕士论文, 2001.

作者简介

夏小荣(1981-), 男, 浙江大学电气学院硕士, 研究方向为电力电子技术。

陈辉明(1964-), 男, 浙江大学电气学院教授, 研究方向为电力电子技术。

C&D 推出新一代

宽输入双输出 7.5 W 的 DC/DC 转换器

C&D 公司发布新一代宽输入的 DC/DC 转换器, 该器件节约空间、减少外围元件数量并得到最小电磁辐射值, 适合于要求正/负电压输出的应用, 输出功率高达 7.5 W。

NDX 系列 DC/DC 转换器采用五面金属外壳封装, 支持 24 V 和 48 V 两种可选输入电压, 输入范围分别为 18 ~ 36 V 和 36 ~ 72 V。兼容标准的工业 5Pin 封装使得 NDX 系列产品可以作为以前设计的替换。

每种输入电压都可以得到 $\pm 12\text{ V}$ 和 $\pm 15\text{ V}$ 的输出可选, 不对称的负载能力从而使得设计更加灵活。典型稳压精度为 0.2%, 而标准噪声峰值只有 50 mV(峰峰值)。

NDX 系列产品的尺寸只有 32 mm × 25 mm × 10 mm, 功率密度 0.94 W/cm³, 隔离电压 DC 1 kV, 最低工作效率超过 81%, 工作温度范围是 -40℃ ~ 85℃, 为了保证高可靠性, NDX 系列产品中没有采用电解电容。