

## ●应用与设计

# 基于 TMS320F28XX+UCD8K+HCPL-315J 的两级逆变器

王凤岩<sup>1,2</sup>, 肖建<sup>2</sup>, 许建平<sup>2</sup>

(1. 电子科技集团公司 第 29 研究所电子对抗国防科技重点实验室, 四川 成都 610036

2. 西南交通大学 电气工程学院, 四川 成都 610031)

**摘要:**介绍以 TMS320F28XX、UCD8K 和 HCPL-315J 为核心的单个 DSP 控制“DC/DC 直流变换器+DC/AC 逆变器”两级变换逆变器。在介绍整体电路的基础上,详细分析了每个器件的特点及应用。并在 500 VA 28 VDC/115 V 400 Hz 逆变器样机上进行了实验,验证了设计电路的有效性。

**关键词:** 逆变; 数字控制; DSP; 光耦; TMS320F28XX

中图分类号: TM46

文献标识码: A

文章编号: 1006-6977(2007)08-0021-04

## Two level inverter designed by TMS320F28XX+UCD8K+HCPL-315J

WANG Feng-yan<sup>1,2</sup>, XIAO Jian<sup>2</sup>, XU Jian-ping<sup>2</sup>

(1. National EW Laboratory, CETC No.29 Research Institute, Chengdu 610036, China

2. College of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** The paper studies “DC/DC converter + DC/AC inverter” two level converter which is designed by TMS320F28XX, UCD8K and HCPL-315J. The character and application technique of every device are analyzed in detail based on introducing the construct principle of the whole circuit. The validity of circuit is verified by the experiment on a 500VA 28VDC/115V 400Hz inverter prototype.

**Key words:** inverter; digital control; DSP; optical coupler; TMS320F28XX

## 1 引言

随着 DSP 技术发展,数字控制在逆变电源控制中的应用也日益广泛,同时 PWM 专用数字控制器种类繁多。本文对适用于开关电源控制的多个控制器件的性能进行比较,着重详细介绍 TI 的 TMS320F28XX。

逆变电源一般采用两级变换架构,即先采用隔离的 DC/DC 变换电路增大输入直流电压,再采用非隔离的 DC/AC 逆变电路输出正弦电压。为了达到高效、一体化管理,可利用单个 DSP 实现两个变换器的反馈控制。然而,如果同时对两个变换器进行反馈控制,但不能同时进行控制计算,必然会造成相互影响,从而影响最终的控制效果。而 TI 推出的 UCD8K 系列器件则提供了一个较好的解决方案。

UCD8K 系列器件可自主完成反馈控制,但需要数字控制器管理,并可直接与 3.3 V 数字 I/O 口连接。

另外,驱动逆变电源中的逆变桥的开关管时,必须进行隔离。传统的隔离驱动方法是脉冲变压器隔离,采用脉冲变压器电路简单,但体积大。目前随着光电耦合器速度的提高,适用于高频开关电源隔离驱动的高速光耦已经面世,如 Avago 公司的 HCPL-315J 光耦。

借助于 TMS320F28XX、UCD8K 系列和 HCPL-315J 新型器件,本文给出的逆变电源的两级变换可实现高效的闭环控制。

## 2 硬件设计

### 2.1 总体设计

逆变电路的硬件框图如图 1 所示,根据电源的

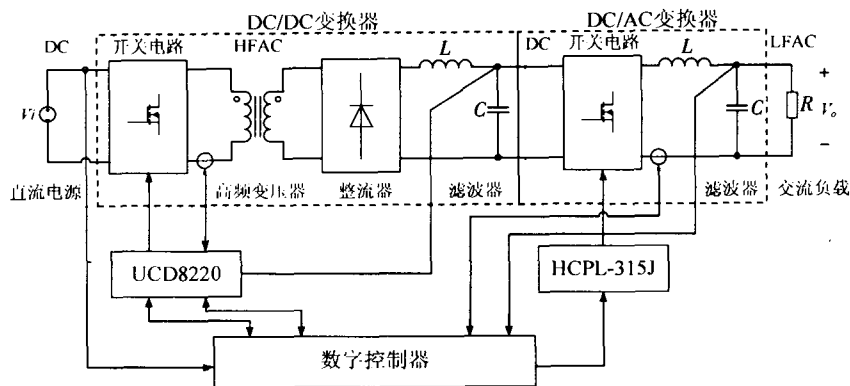


图1 逆变器整体系统框图

指标要求,DC/DC变换器采用推挽拓扑,整流器为全桥整流,DC/AC变换器采用全桥逆变电路。

DC/DC变换器和DC/AC变换器的“控制-输出”连续域传递函数可简化为:

$$G_p(s) = \frac{V}{D} \frac{(sR_E C + 1)}{s^2 LC(1 + \frac{R_E}{R}) + s(R_E C + \frac{L}{R}) + 1} \quad (1)$$

其中,  $R_E$  为滤波电容的寄生串联电阻(ESR)。由于  $R_E$  相对较小,因此其对极点的影响很小,因此(1)式通常可以近似为<sup>[4]</sup>:

$$G_p(s) = \frac{V}{D} \frac{(sR_E C + 1)}{s^2 LC + s \frac{L}{R} + 1} \quad (2)$$

由(2)式可知“控制-输出”传递函数是含有复极点和一个零点的系统。其中,复极点是由滤波电容和滤波电感组成的低通滤波器产生的,而零点则是

由滤波电容及其ESR引起的。通常零点的频率高于极点的位置。

根据功率级的传递函数,利用Matlab的SISOTOOL工具就可设计校正补偿函数。

## 2.2 DSP控制器的选择

表1列出了目前适用于PWM数字控制的主要器件,通过对性能指标的比较可以看出,TI的TMS320F28XX是

目前性能较优异的PWM控制器件。TMS320F28XX系列DSP是24XX系列的升级版,其主要改进在于:主频由40MHz提高到100MHz以上,运算数据位由16位提高到32位,A/D转换速度也提高了近一个数量级,大大提高了PWM控制性能。特别是从280X系列已采用Micro Edge Positioning (MEP)技术实现高分辨的PWM(HRPWM)功能。TMS320F2808具有4路的HRPWM,而TMS320F28044的所有16路PWM输出都具有HRPWM功能。常规的数字PWM(如TMS320F2812),当DSP主频为100MHz时,可实现200kHz的PWM输出,计数器有效位仅为9位,分辨率为0.2%,难以满足高精度要求,而采用MEP技术的HRPWM却极大提高输出脉宽的分辨率,如表2所示。HRPWM可以达到14.8的有效位数和0.004%的分辨率,分辨率提高50倍。同时,TMS320F280X系列精简了引脚,从TMS320F2812的176个引脚缩减到TMS320F280X系列的100个引脚,大大减小了印刷板面积。

表1 PWM数字控制器选型表

公司	型号	主频 (MHz)	时钟周期 (ns)	数据定点位数	A/D转换输入			PWM输出		
					位数	通道数	转换时间	通道数	分辨率(bit)	高分辨率通道
TI TMS320F	240X	40	25	16	10	16	500 ns	16	16	0
	2812	150	6.67	32	12	16	60 ns	16	16	0
	2808	100	10	32	12	16	160 ns	16		4
	28044	100	10	32	12	16	80 ns	16		16
ADI	2199X	160	6.25	16	14	8	50 ns	3相+2	16	0
Freescale	DSP56F8323	60	16.67	16	12	4	1.2 μs	6	16	0
	DSP56F8367	60	16.67	16	12	4	1.2 μs	2×6	16	0
Microchip	PIC16C781	20	50	8	8	10	950 ns	1+1	8/16	0
ATMEL	ATtiny26	16	62.5	8	10	11	65 μs	2	8	0
	AT90PWM2/3	16	62.5	8	10	15	8 μs	4	8/16	0

表 2 PWM 和 HRPWM 分辨率比较  
(@ DSP 主频为 100 MHz)

PWM 频率 (kHz)	普通分辨率(PWM)		高分辨率(HRPWM)	
	有效位数 (Bit)	分辨率 (%)	有效位数 (Bit)	分辨率 (%)
0	12.3	0.0	18.1	0.000
50	11.0	0.0	16.8	0.001
100	10.0	0.1	15.8	0.002
150	9.4	0.2	15.2	0.003
200	9.0	0.2	14.8	0.004
250	8.6	0.3	14.4	0.005
500	7.6	0.5	13.8	0.007
1 000	6.6	1.0	12.4	0.018
1 500	6.1	1.5	11.9	0.027
2 000	5.6	2.0	11.4	0.036

### 2.3 UCD8K 的应用

UCD8K 是 TI 专为采用微处理器或者 DSP 数字管理模拟脉宽调制器件进行数字管理而设计的。UCD8220 和 UCD8620 是适用于双端推挽输出的 PWM 控制器件。UCD8220 与 UCD8620 唯一区别是 UCD8620 具有 110 V 高压启动电路, 可由 48 V 的通信电源直接启动。

逆变电源采用两级变换架构, 前一级为隔离的 DC/DC 变换器, 用于提高输入直流电压; 后一级为非隔离的 DC/AC 逆变电路。由于前一级对最后的输出影响较小, 因此采用 UCD8220 或 UCD8620 控制, 稳定电压输出的反馈控制是由 UCD8220 自主实现的, 而 DSP 仅仅参与部分管理功能, 这样 DSP 有足够的 CPU 时间处理后一级的逆变反馈控制。避免同时控制两路反馈电路引起冲突。UCD8220 的典型应用如图 2 所示, 而传统的模拟控制推挽电路采用 UC1846, 典型电路如图 3 所示, 通过比较两者主要区别为:

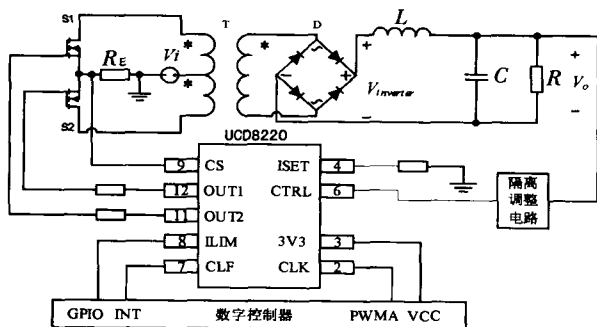


图 2 UCD8220 典型应用电路

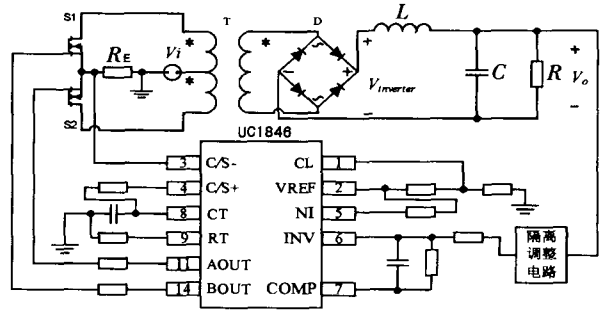


图 3 UC1846 典型应用电路

(1) 时钟不同。UC1846 采用 RC 振荡电路产生时钟, 时钟频率即为开关频率, 通过不同的 RC 值调整开关频率和死区时间。UCD8220 的时钟由数字控制器给出, 该时钟的低电平时间为开关输出的死区时间。

(2) UCD8220 具有 3.3 V 兼容的 I/O 接口。如: 时钟输入、过流标志输出、最高电流设定。

(3) UC1846 具有 5.1 V/30 mA 的基准输出, 用于设定反馈信号比较的基准和分压后可用于过流信号设定。而 UCD8220 则具有 3.3 V/10 mA 的基准输出, 可用于电流型控制的斜坡补偿, 同时也可作为数字控制器件的电源。

(4) UC1846 具有专门的关断输出引脚 (16 引脚), 当该引脚输入电平超过 350 mV, 关断 PWM 输出; 而 UCD8220 则无专门的关断输出引脚, 只要数字控制给出的时钟信号始终为低电平, 就可关断 PWM 输出。

(5) UC1846 电流反馈是双端输入, 电压反馈的误差放大器正负输入和补偿端都留有输入引脚, UCD8220 则简化了输入, 电压和电流反馈都只采用一只输入引脚, 大大简化了外围电路。

### 2.4 光耦驱动器件的应用

传统开关电源的隔离驱动方法是采用脉冲变压器, 脉冲变压器的突出问题是体积大, 使控制电路印刷板的设计难度增加, 同时脉冲变压器的漏感难以消除, 影响输出脉冲的边沿陡度, 同时其绕组的寄生参数的存在会导致在脉冲的边沿产生振荡, 不利于功率管工作。另外, 脉冲变压器共模抑制较低, 而采用光电耦合则不存在这些问题。目前随着光耦速度的提高, 使得采用光电耦合用于功率器件的隔离驱动成为可能。著名的 Avago 技术公司 (原属安捷伦公司) 推出了一系列适用于 IGBT 和 MOS-FET 的光耦隔离驱动集成电路。输出驱动电流最大

可达 2 A,如 HCPL-3120。而光耦 HCPL-316J 在实现隔离驱动的同时还实现隔离故障检测。该光耦通过内部集成的第二个反向传输光耦,监视开关管是否过流损坏,其输出可直接与 TTL 电平控制器相连。对于桥式电路采用双驱动器的器件,如本设计采用的 HCPL-315J。HCPL-315J 的内部结构如图 4 所示。

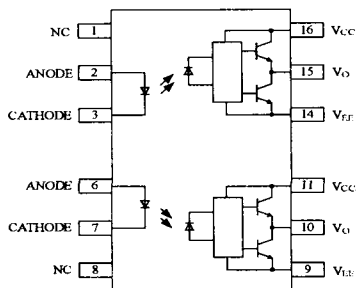


图 4 HCPL-315J 内部结构图及引脚排列

HCPL-315J 的主要特性:在  $V_{CM}=1\ 500\ V$  时共模抑制比为  $15\ kV/\mu s$ ;工作电压范围为  $15\ V\sim 30\ V$ ;双通道的隔离电压为  $1\ 500\ V_{rms}/分钟$ ;具有 UVLO 保护功能;最大输出驱动电流为  $0.6\ A$ ;外形尺寸为  $10.36\ mm\times 10.31\ mm\times 3.51\ mm$ ,光耦驱动器的体积比脉冲变压器体积小很多,仅仅是传统隔离变压器的几十分之一。但是光耦驱动的代价是必须提供被驱动电路共地的辅助电源(通常为  $15\ V$ )。HCPL-315J 驱动桥式变换的应用电路如图 5 所示。

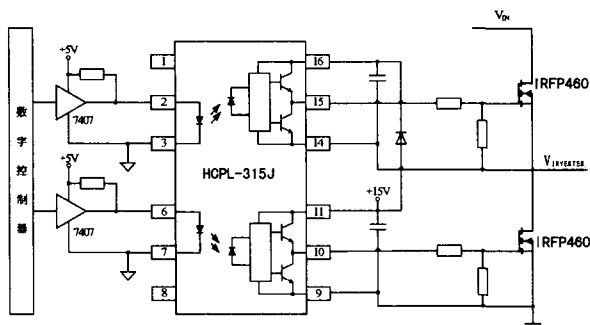


图 5 HCPL-315J 的应用电路图

数字控制器输出的 PWM 信号经过集电极开路输出的 7407 驱动光耦的发光二极管,由于输出桥臂的上下两个开关管是交替导通,因此可以采用图 5 所示的自举电路,只采用一路  $+15\ V$  辅助电源实现两路不共地的光耦供电。

### 3 实验研究

设计电路的主要指标:输入电压  $28\ V\pm 4\ V$  直

流;逆变输出电压为  $115\ V\pm 2\%$ ;逆变输出频率为  $400\ Hz\pm 1\%$ ;输出波形总畸变率(THD) $\leq 3\%$ (带线性负载时);单模块输出  $500\ VA$ 。电路设计参数为:

#### (1)DC/DC 变换器

开关管选用  $100\ V/100\ A$  的 MOSFET;整流二极管选用  $500\ V/6\ A$  的快恢复二极管;输出滤波电路的参数为  $L=141\ \mu H, C=470\ \mu F$ 。

#### (2)DC/AC 变换器

开关管选用  $500\ V/20\ A$  的 MOSFET;输出滤波电路  $L=1.2\ mH, C=1\ \mu F$ 。

实验波形如图 6 所示,上方的波形为输出电压波形,采用 10:1 的探头测量,因此实际的显示尺度为  $100\ V/格$ ;下方波形为输出电流的波形,尺度为  $2.5\ A/格$ 。满载时 THD=1.9%,在输入电压在  $22\ V\sim 32\ V$  范围内变化,以负载在  $150\ VA\sim 500\ VA$  内变化进行测量,输出电压的变化在 1.48%以内,THD 的最大值即为满载输出值。因此设计完全满足指标要求。

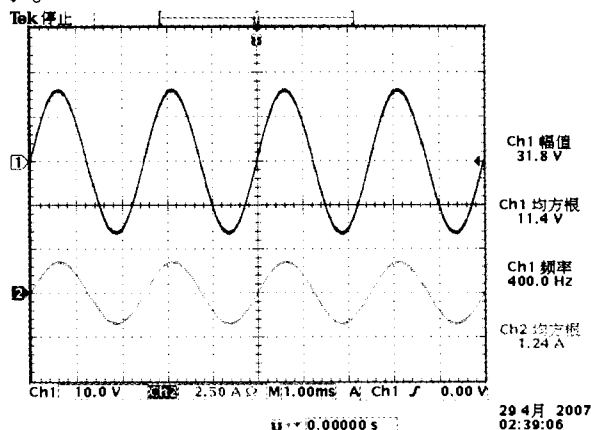


图 6 实验波形

由于 DC/AC 变换器的反馈检测和驱动电路的部分辅助电源采用 DC/DC 变换器的变压器的绕组输出实现,因此,在输入电压低于  $22\ V$  时,仅控制前级 DC/DC 变换器工作,直到输入电压达到  $22\ V$  时后级 DC/AC 变换器才开始软启动。这样可以保证 DC/AC 变换器可靠工作。实验表明在满载时输入电压在  $22\ V\sim 32\ V$  时,都可以输出稳定的电压波形。由于采用数字控制,输出电压的频率相当稳定。

### 4 结束语

本文以 TMS320F28XX、UCD8K 系列和 HCPL-315J 为核心设计了数字控制两级 DC/AC 逆变电源,

## ●应用与设计

## 基于 TMS320LF2407 的馈线终端装置设计

赵敏华, 谢志远, 李航

(华北电力大学 电子与通信工程系, 河北 保定 071003)

**摘要:**为了提高配电网的安全性和可靠性,根据 10 kV 配电自动化的发展现状,研究并设计了应用于电力系统配电自动化网中的馈线终端装置(FTU)。以 TI 公司的 TMS320LF2407 为核心,介绍了 FTU 的主要硬件构成部分、软件流程。给出了模拟量调理电路、A/D 转换接口、时钟接口等单元电路的设计实现方法。在实际中,系统能准确测量电压、电流、功率等物理量,并能迅速判断故障所在。

**关键词:**配电自动化; 馈线终端装置(FTU); TMS320LF2407

**中图分类号:**TM76

**文献标识码:**A

**文章编号:**1006-6977(2007)08-0025-05

## Design of feeder terminal unit based on TMS320LF2407

ZHAO Min-hua, XIE Zhi-yuan, LI Hang

(Department of Electronic and Information Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

**Abstract:**In order to improve the security and dependability of distribution network,the feeder terminal unit (FTV),which is applied in the network of distribution automation in electric system,is researched and designed according to the development of distribution automation at present.It is centered on TMS-320LF2407 produced by TI corporation.The hardware and software of the system are introduced mainly. The circuit of analog signals,the interface of AD converter and the interface of clock are mentioned.It can measure voltage,current and power exactly and judge where the faults lie in system operation.

**Key words:** distribution automation; feeder terminal unit; TMS320LF2407

## 1 引言

随着国民经济的迅速发展,10 kV 配电网越

来越复杂,配电线路越来越多,怎样监测和控制配电线路,保证配电网供电安全和稳定可靠运行成为配电自动化的关键。在配电自动化系统中,馈线自

**参考文献:**

- 详细介绍了所选器件的特点以及应用。实验结果表明该设计方案具有良好的性能。
- [1] Benjamin J. Patella, Aleksandar Prodic. Art Zirger, Dragan Maksimovic. High-Frequency Digital PWM Controller IC for DC-DC Converters[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2003, 18(1): 438-446.
- [2] Zhengyu Lu, Zhaoming Qian, Yong Zeng. Reduction of Digital PWM Limit Ring with Novel Control Algorithm[C]. IEEE Applied Power Electronics Conference, 2001: 21-524.
- [3] Aleksandar Prodic, Dragan Maksimovic, Robert W. Erickson Design and Implementation of a Digital PWM Controller for a High-Frequency Switching DC-DC Power Converter[C]. The 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2001: 893-898.
- [4] T. W. Martin, S. S. Ang Digital Control for Switching Converters[C]. IEEE symposium on Industrial Electronics, 1995: 480-484.
- 作者简介:**王凤岩(1975-),男,山东蓬莱人,博士,研究方向为高频开关电源拓扑结构和控制方法。

收稿日期:2007-06-25

咨询编号:070807