

# 一种 10 kW 光伏逆变器的研究与开发

朱正菲, 周光明, 沈煜, 杜强, 麻凯恩

(浙江省能源研究所, 浙江 杭州 310012)

**摘要:**介绍了一种 10 kW 太阳能光伏逆变器, 叙述了这种光伏逆变器的工作原理及系统结构, 由于采用最大功率点跟踪和 Buck 变换预稳压方案使光伏逆变器不仅能适应阻性负载, 还能适应电感性负载, 具有效率高, 体积小, 带载能力强等特点, 可应用于太阳能光伏系统。

**关键词:**逆变器; 光伏系统; Buck 变换; 感性负载

中图分类号: TK513

文献标识码: A

文章编号: 1004-3950(2007)04-0037-04

## Research and development of a kind of 10 kW photovoltaic inverter

ZHU Zheng-fei, ZHOU Guang-ming, SHEN Yu, et al.

(Zhejiang Provincial Energy Research Institute, Hangzhou 310012, China)

**Abstract:** A kind of 10 kW solar PV inverter was introduced, and its working principle and system structure were described. Due to maximum power point tracker and BUCK voltage pre-stabilize converter, the inverter can not only drive resistance load but also drive inductance load. The whole system is high efficiency, compact size, and strong loading ability, which makes an excellent option to meet PV applications.

**Key words:** inverter; PV system; Buck converter; inductance load

## 0 引言

太阳能利用技术中的光伏发电越来越普遍, 各种用途的光伏发电系统已成为光伏产业链中的主要产品, 光伏逆变控制是太阳能发电的关键技术, 在光伏利用领域中起着至关重要的作用。为降低系统成本, 光伏逆变器应具备较高的转换效率和稳定度、较好的带载能力。我们设计了一种纯正弦波输出、能适应水泵类电感性负载的光伏逆变器, 试验结果表明该逆变器效率高、稳定性好、失真低, 具有推广价值和市场发展前景。

## 1 系统组成及研究

该系统主要由太阳电池、最大功率点跟踪控制、充电电路、DC/DC Buck 变换、逆变控制与驱动、DC/AC 变换、软件控制和保护等部分组成(见图 1)。

### 1.1 逆变主电路

逆变主电路是一个全桥开关电路(如图 2), 开关元件采用的是两个 2 单元的 IGBT 模块, 加上 RCD 缓冲电路即构成单相逆变回路, 由于全桥

逆变的开关电流相对于半桥而言减少了 50%, 因此适合于较大功率场合, 且已得到广泛应用。

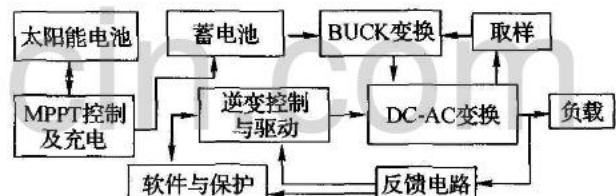


图 1 系统结构示意图

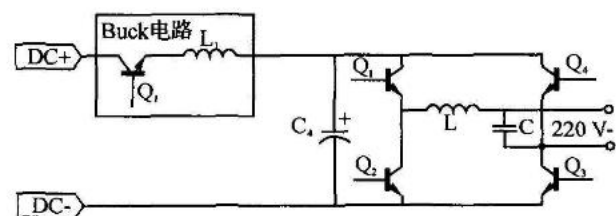


图 2 全桥逆变电路

### 1.1.1 逆变器的带载性能

#### 1.1.1.1 存在的问题

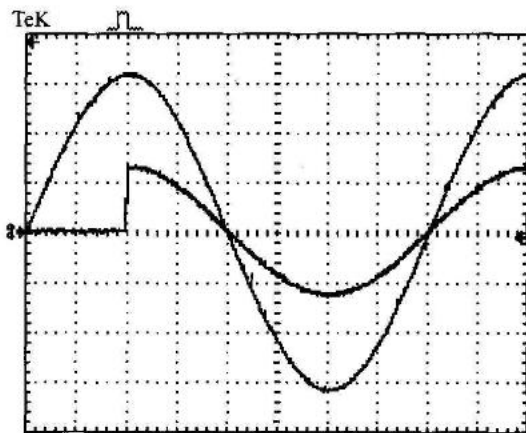
为达到较高的转换效率, 原方案采用逆变主

收稿日期: 2007-03-15

作者简介: 朱正菲(1957-), 女, 浙江杭州人, 从事太阳能光电利用研究。

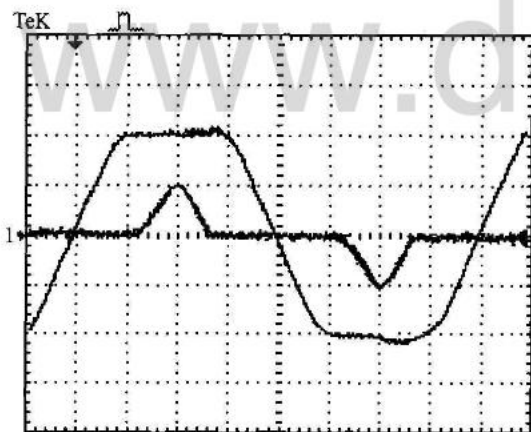
## 新能源及工艺

回路直接由蓄电池供电,并通过电压及电流环的反馈,使输出稳定在 220 V 左右,但存在只适合于纯电阻负载工作;当感性负载时,其输出波形会严重失真甚至不能正常工作。原因是 SPWM 控制信号通过输出波形与标准正弦波进行比较而得到;当输出是感性负载时,其输出波形必然会产生相移。这样比较滞后的信号就不能完全按正弦波规律变化,使功率开关管驱动波形的脉宽也不能完全按正弦规律变化,导致输出波形发生畸变,输出波形的失真度就较大,见图 3、图 4。



(100 V/格, 10A/格)

图 3 负载突加过程的输出波形



(100V/格, 10A/格)

图 4 非线性负载波形

若通过重复状态反馈控制或者其他多种复合的控制方法,也可使稳定性得到改善。但使用复杂的软件控制算法实现将会带来以下几个问题:

(1) 系统计算速度受 CPU 资源制约,保护与控制的实时性较差。

(2) 由于与大功率的电路连接,软件控制部

分受到主功率电路的干扰较大。

(3) 光伏逆变电源的工作环境相对比较恶劣,软件控制出错会造成系统不能正常工作。

### 1.1.1.2 解决方案

在逆变主回路的直流输入端加 Buck 变换的预稳压电路并稳定在 360 V,使逆变主回路的电源不受蓄电池输出电压高低的影响,改善了非线性负载的带载特性。

## 1.2 Buck 电路

### 1.2.1 主电路

在典型的 Buck 变换中增加了  $L_r$  和  $C_r$  谐振构成准谐振 Buck 变换(见图 5)。由于功率开关在零电压下工作,因此减少了开关损耗,提高了变换效率。

(1) 功率开关 S 在“开通”期间的电流  $(V_{in} - V_{ot})/L_{out}$ ,斜率改变,这期间谐振电感  $L_r$  可视为短路,谐振电容  $C_r$  两端电压为  $V_{in}$ 。

(2) 功率开关 S 关断时  $L_r$  和  $C_r$  回路开始谐振,由于谐振电容电压不能突变,固电流切断时功率开关的端电压接近于零,然后谐振电容电压开始下降。

(3) 当谐振电感  $L_r$  电流降到小于负载电流时,续流二极管 D 开始导通,并使用  $L_r, C_r$  回路谐振,  $C_r$  两端的电压按半个正弦波振荡,并通过功率开关的反并联二极管续流;此期间开通功率开关,电流以  $V_{in}/L_r$  斜率改变,当此电流超过续流二极管 D 导通时的负载电流时, D 关断,重复过程(1),完成了零电压准谐振 Buck 变换的一个周期。

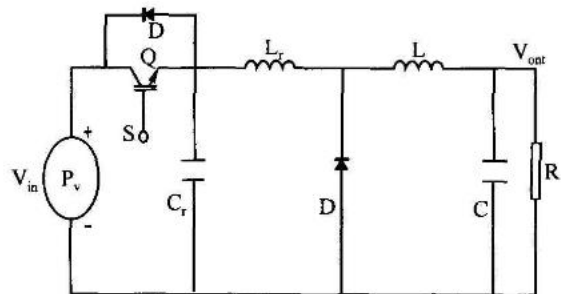


图 5 Buck 电路

### 1.2.2 控制电路

控制电路采用电压型 PWM 控制芯片 tl494,由 PWM 控制器、输出滤波器和反馈补偿网络组成。反馈电路采用电压反馈型环路补偿设计。对于 Buck 变换器,理想的系统应该是截止频率附近

斜率为  $-20 \text{ dB/格}$ ,同时相位裕度大于  $45^\circ$ ,带宽在开关频率的  $20\% \sim 30\%$ 。

补偿电路如图 6 所示。该补偿器的一对零点用来抵消滤波器双重极点的增益,特别是该双重极点引起的相位滞后。通过这一对零点补偿后,闭环增益在高于滤波极点处就以  $-20 \text{ dB/格}$ 的斜率下降。补偿器在高频处有一个极点来抵消电容 ESR 引起的零点作用。此外,在更高频率处还有一个极点,以保证闭环增益和相位穿越频率处有良好的相位和增益裕度。

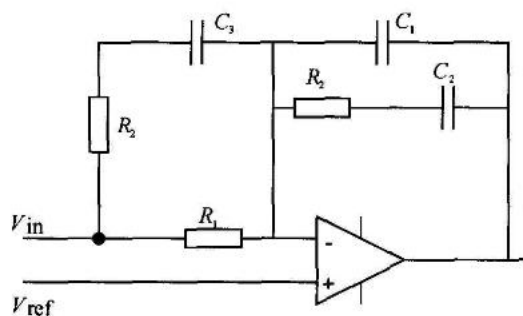


图 6 补偿电路图

### 1.3 IGBT 功率模块驱动

#### 1.3.1 驱动芯片存在的不足

驱动信号由单相正弦脉宽调制 (SPWM) 电路产生,根据不同需要或者器件的差异将频率调到  $50 \text{ Hz}$ ,频率变化在  $\pm 0.1 \text{ Hz}$  以内。

传统逆变电源多采用 840 或者 841 系列或者类似芯片作为驱动芯片,可明显减少体积及外围电路的设计,给电路设计带来便利,但缺点也非常突出,主要有以下几个方面:

##### (1) 存在保护失控区

为防止 IGBT 导通时的误动作,驱动脉冲输出到开始保护,大约有  $2.5 \mu\text{s}$  的延迟时间。如果短时间过流,若不超过 SCSOA 极限,器件能够承受,如果工作脉宽小于这一时间,同时有过流现象,电路连续工作而不受保护,则很快导致 IGBT 损坏。

##### (2) 无过流保护自锁功能

在过流保护时,只有当前脉冲软关断功能,而不完全关闭。如果存在过流,它只能把正常的驱动信号变成一系列降幅脉冲,连续工作也将导致 IGBT 损坏,需要过流检测后,通过外部控制电路关闭驱动脉冲,才能终止其输出。

##### (3) 保护可靠性差

保护特性存在有负偏压不足,过流保护阈值偏高和软关断可靠性差等问题。

#### 1.3.2 解决办法

对上述问题采用的解决办法是设计具有光耦隔离的双电源供电的驱动电路(如图 7 所示)。该电路采用 TLP250 芯片作为驱动隔离电路,通过正负两组直流电源供电,输出驱动电压提供一个负偏压,实现 IGBT 的快速关断。该驱动电路产生的驱动波形如图 8 所示。

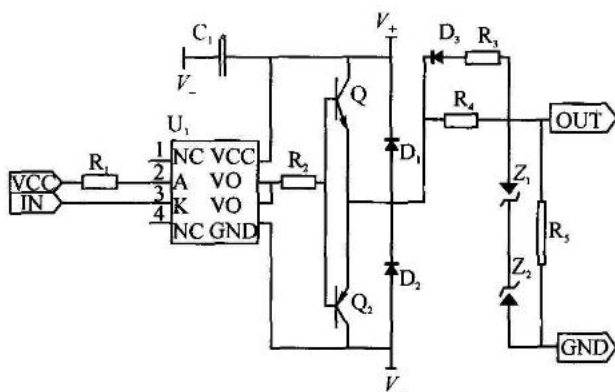


图 7 驱动电路

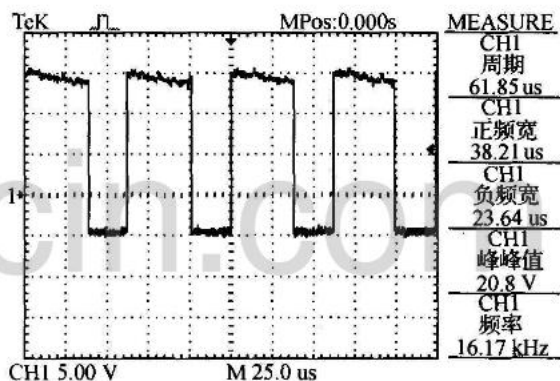


图 8 驱动波形

### 1.4 回路采样和 MPPT 控制技术

为了使系统可靠运行,采用霍尔元件对电压、电流的采样实现控制电路与主电路的隔离,避免主电路大电流带来的干扰,确保系统的稳定。

MPPT 采用 CVT (Constant Voltage Tracking) 的控制模式,根据光伏电池温度一定时,其输出  $P-V$  曲线上最大功率点电压几乎分布在一个固定电压值的两侧,采用 PI 调节使光伏阵列的工作电压稳定在最大功率点电压处,通过软件对环境温度的修正,使系统进入最大功率点附近后改用变步长的方法实现太阳电池的最大功率点跟踪控制。

表 1 带载性能检测

负载 /kW	输入电压 DC/V	输入电流 DC/A	输出电压 AC/V	输出电流 AC/A	效率/%	备注
7.5	400	19.8	215	34.8	94.5	1.1 kW 水泵负载,其余为阻性负载
10.0	380	27.3	206	48.4	96.1	2.2 kW 水泵、风机负载,其余为阻性负载

### 1.5 单片机控制

本系统单片机主要有充电控制、整机启动、保护以及显示等功能。上电初始实现输入软启动,电流电压采样采用霍尔元件完成,既能够和主电路隔离,又避免了用变压器采样带来的磁滞、磁偏、增大系统输出回路的杂散电感等缺点,同时精度和速度上也能够更好地达到要求。另外采样值可以通过峰值比较和有效值比较两种方式对系统进行保护,在系统原先采用硬件保护的基础上,增加软件判断(见图 9),能够更好地提高系统的可靠性。

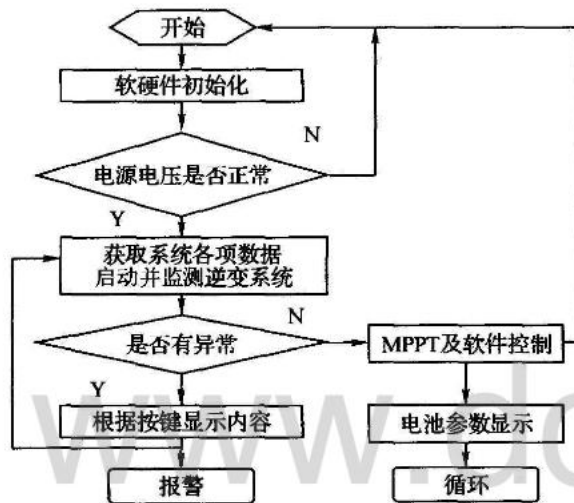


图 9 控制流程图

## 2 实验结果

通过电路结构调整和驱动方式的改变,解决

了光伏逆变器输出不能带水泵、风机类感性负载的问题,输出稳定性好、失真率低、带载能力强。测试数据及波形(见表 1 和图 10):

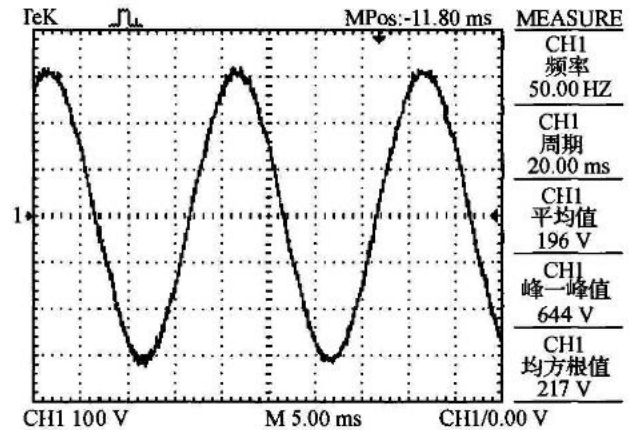


图 10 感性负载输出波形

## 3 结论

通过对 Buck 变换、DC/AC 变换及相关电路的研究,本案设计的 10 kW 光伏逆变器,采用数字控制,功率元件 IGBT,太阳电池 MPPT 控制模式,直流电源变换、稳压、保护控制等技术,输出 220 V/50 Hz 纯正弦波交流电。样机的主要性能指标均达到设计要求,逆变效率  $\geq 94\%$ ,失真度  $\leq 3\%$ ,带载能力增强,既能带阻性负载,也能带水泵、风机一类感性负载。可广泛应用在太阳能光伏系统中。