

# 小功率光伏并网逆变器控制系统的设计

李进国,金新民

(北方交通大学 电气工程学院 北京 100044)

**摘要** 阐述了一种小功率光伏并网逆变器的控制系统. 该光伏并网逆变器由 DC-DC 变换器与 DC-AC 变换器两部分组成, 其中 DC-DC 变换器采用芯片 SG3525 来控制, DC-AC 变换器采用数字信号处理器 TMS320F240 来控制. 由于数字信号处理器 DSP 实时处理能力极强, 采用合适的算法能确保逆变电源的输出功率因数接近 1, 输出电流为正弦波形. 该控制方案已经在实验室得到验证.

**关键词** 太阳能; 光伏系统; 逆变器

**中图分类号** :TM615      **文献标识码** :B

## Design for Control System of A Low-Power Photovoltaic Inverter Interconnected with Electric Utility Lines

LI Jin-guo, JIN Xin-min

(School of Electrical Engineering, Northern Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract** This paper presents design of the control system of a low-power photovoltaic inverter interconnected with electric utility lines. The photovoltaic inverter consists of a DC-DC converter and a DC-AC inverter, and the DC-DC converter is controlled by a SG3525 control chip. The DC-AC inverter is controlled by the utilizing of DSP. Because of the powerful real time processing ability, the power factor of the output of the photovoltaic inverter connected with electric network can be controlled to unity PF by utilizing suitable algorithm. The availability of this control system is verified.

**Key words** solar energy; photovoltaic system; inverter

21 世纪,人类将面临着实现经济和社会可持续发展的重大挑战,在有限资源和环保严格要求的双重制约下发展经济已成全球热点问题,而能源问题将更加突出,主要体现在:能源短缺、环境污染、温室效应.因此,人类在解决上述能源问题,实现可持续发展,只能依靠科技进步,大规模地开发利用可再生洁净能源,而太阳能具有储量大、普遍存在、利用经济、清洁环保等优点,因此太阳能的利用越来越受到人们的广泛重视,成为理想的替代能源.本文作者论述的功率为 200 W 太阳能光伏并网逆变器将太阳能电池板产生的直流电直接转换为 220 V/50 Hz 的工频正弦交流电输出至电网.

### 1 系统工作原理

太阳能光伏并网逆变器的主电路原理图如图 1 所示.在本系统中,太阳能电池板输出的额定电压为 62 V 的直流电通过 DC-DC 变换器被转换为 400 V 直流电,接着经过 DC-AC 变换器逆变后就得到 220 V/50 Hz 的交流电.系统保证并网逆变器输出的 220 V/50 Hz 正弦电流与电网的相电压同步.

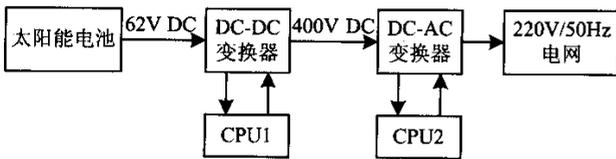


图 1 电路原理框图

## 2 控制方案

### 2.1 系统控制方案

图 2 为光伏并网逆变器的主回路拓扑图,此系统由前级的 DC-DC 变换器和后级的 DC-AC 变换器组成。DC-DC 变换器的逆变电路可选择的型式有半桥式、全桥式、推挽式。考虑到输入电压较低,如采用半桥式则开关管电流变大,输出电压太低,而采用全桥式则控制复杂、开关管功耗增大,因此这里采用推挽式电路。DC-DC 变换器由推挽逆变电路、高频变压器、整流电路和滤波电感构成,它将太阳能电池板输出的 62 V 的直流电压转换成 400 V 的直流电压。

DC-AC 变换器的主电路采用全桥式结构,由 4 个 MOS 管(该管内部寄生了反并联的二极管)构成,它将 400 V 的直流电转换为 220 V/50 Hz 的工频交流电。

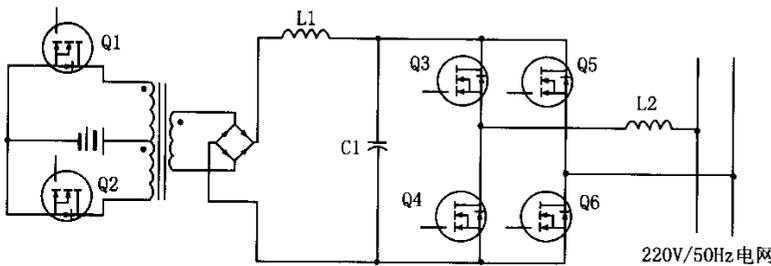


图 2 主回路拓扑图

(1)DC-DC 变换器控制方案。DC-DC 变换器的控制框图如图 3 所示。控制电路是以集成电路 SG3525 为核心,由 SG3525 输出的两路 50 kHz 的驱动信号,经门极驱动电路加在推挽电路开关管 Q1 和 Q2 的门极上。为保持 DC-DC 变换器输出电压的稳定,将检测到的输出电压与指令电压进行比较,该误差电压经比例积分 PI 调节后控制 SG3525 输出驱动信号的占空比。该控制电路还具有限制输出过流过压的保护功能。当检测到 DC-DC 变换器输出电流过大时,SG3525 将减小门极脉冲的宽度,降低输出电压。当输出电压过高时,会停止 DC-DC 变换器的工作。由于推挽式电路容易因直流偏磁导致变压器饱和,因此,推挽式电路的设计难点在于如何防止变压器的磁饱和。在本电路中,除了注意电路的对称性之外,还设计了磁饱和检测电路,当流经推挽电路的两个支路电流失衡时,就会启动 SG3525 的软启动功能,使 DC-DC 变换器重新启动,变压器得以复位。

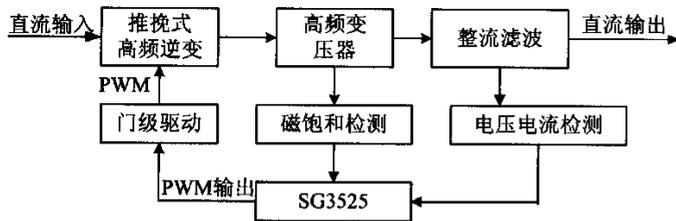


图 3 DC-DC 变换器的控制框图

偏磁检测电路如图 4 所示。图中只画出了磁环的副边。原边两个线圈接在主回路的变压器原边的两个绕组上,流过两个线圈中的电流方向要相反。当变压器发生偏磁时,某一方向的电流异常大,通过电流互感器检测,可在互感器的输出电阻 R1 上产生一个电压,如果该电压足够大,可以使稳压二极管 D5 导通,在电位器上产生压降,将电位器的值调到合适的阻值,使电位器上的压降大于三极管的门限电压,使三极管

导通,接在芯片 SG3525 的 8 脚与地之间的电容放电,然后 SG3525 中的恒流源对它充电,SG3525 重新启动,从而使变压器磁心复位。

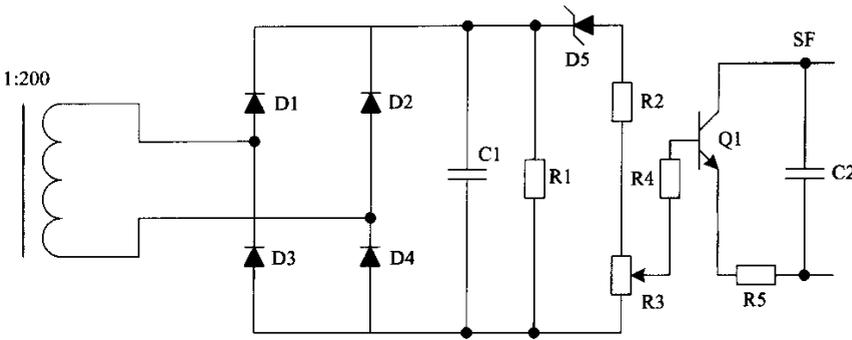


图 4 偏磁检测电路

(2)DC-AC 变换器控制方案. DC-AC 变换器是光伏并网逆变器的重点和难点,DC-AC 变换器控制框图如图 4 所示.核心控制芯片采用了 TI 公司的 TMS320F240.尽管单片机也能实现并网逆变器的脉宽调制,但是 DSP 实时处理能力更强大,因此可以保证系统有更高的开关工作频率.从图 5 可以清楚看出系统输入和输出信号的情况。

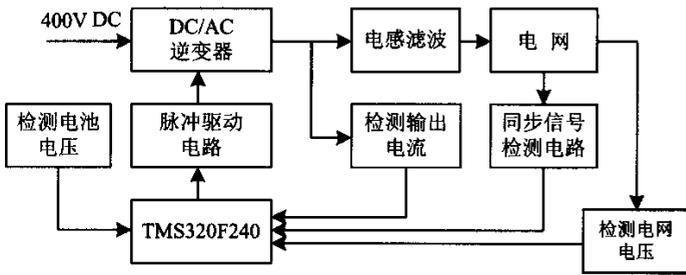


图 5 DC-AC 变换器的控制框图

### 2.2 输出功率优化控制方案

在静态情况下,当并网逆变器与太阳能电池相连时,并网逆变器可等效为太阳能电池的负载电阻.当光强  $\lambda$  和温度  $T$  变化时,太阳能电池输出的端电压将会随之发生变化.为了有效利用太阳能,应使太阳能电池的输出始终处于适当的工作点.因此,控制方案要求当太阳能电池的电压升高时,可以增大它的输出功率;反之就降低它的输出功率。

DSP 的控制方案如图 6 所示,参考电压和太阳能电池的实际电压相比较后,其误差经过 PI 调节,将得到的电流指令值  $I_{REF}$  与 ROM 里的正弦表值相乘,就得到交变的输出电流指令  $i_{ref}$ ,再将它与实际输出电流值比较后,其误差经过比例(P)环节,将所得到的波形与三角波比较产生 PWM 脉宽调制信号(三角波的频率为 20 kHz)。

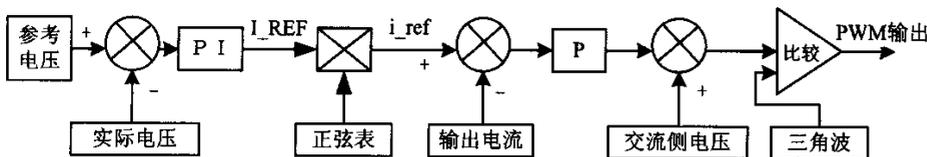


图 6 DSP 的控制方案

### 2.3 电流指令的同步

并网时要求逆变器输出的正弦波电流与电网电压同频、同相.首先,将电网电压信号经过滤波整形为同步方波信号,再将其输入到 TMS320F240 的外部中断口 XINT1,目的是为了捕捉电网的过零信号。

当 DSP 检测到过零信号的上跳沿时,便触发同步中断,以此时间点作为基准给定正弦波信号时间起点,也就是正弦表指针复位到零,每当定时器 T1 中断(PWM 实时控制)时,正弦表指针便加 1,并从正弦表

中取值. 一个周期的单位正弦波数据被分成了 400 个点采用表的形式存放在存储器中.

从图 6 的控制方案可看出,  $i_{L-REF}$  与正弦表中数据相乘后, 便形成了幅值可调的正弦波的电流给定信号, 然后, 再实时比较电流给定值, 经过 P 调节后, 所得的波形再与三角波比较, 就产生了 PWM 波, 来控制桥臂的通断. 总之, 输出电流和电网电压的同频、同相的要求是通过电流跟踪控制实现的.

#### 2.4 PWM 脉宽调制波的产生

PWM 波的产生是通过 TMS320F240 的全比较单元输出的, 频率为 20 kHz. 从图 6 可知, 调制脉冲的产生是通过将电流指令值与实际电流值比较后, 经过比例 P 调节, 所得到的波形与三角波(频率为 20 kHz)比较后获得的. 因此 MOS 管 Q3、Q4、Q5、Q6(见图 2)脉冲的产生时刻可以从图 7 得出. 参照正弦波与三角波调制, 两者相交决定了 PWM 的脉冲时刻. 实际由采样的波形(实际上是阶梯波)与三角波相交, 由交点得出脉冲宽度. 本系统是在三角波的底点位置对波形进行采样而形成的阶梯波. 此阶梯波与三角波的交点所确定的脉宽在一个采样周期内的位置是对称的.

图 7(a)正弦波 B 与三角波的交点决定了 Q3 的导通时刻, 正弦波 A 与三角波的交点决定了 Q5 的导通时刻. 图 7(b)、(c)分别为 Q3、Q5 的脉冲示意图, 同一桥臂上 Q3 与 Q4、Q5 与 Q6 的脉冲是互补的.

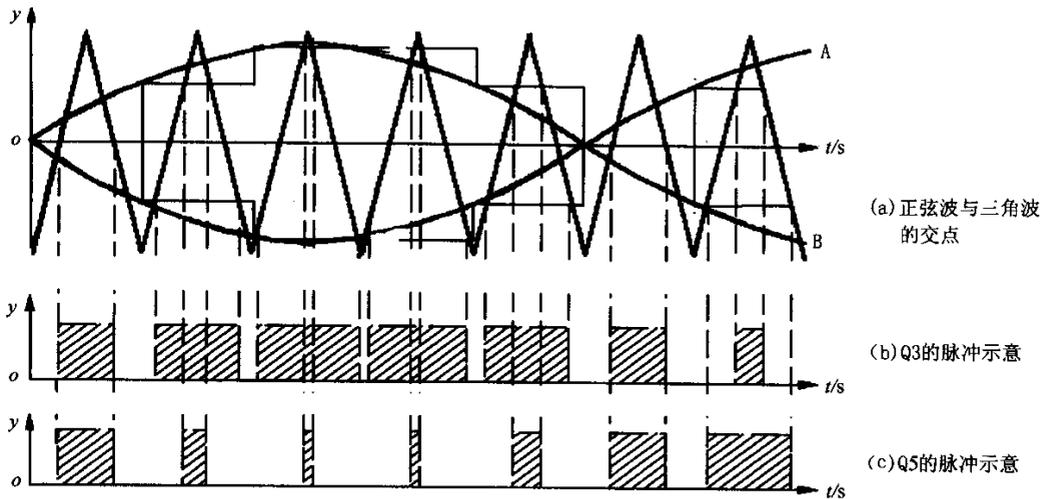


图 7 正弦脉宽调制波形

#### 2.5 TMS320F240 软件设计

这部分软件主要由主程序、定时器 T1 中断、定时器 T2 中断和同步中断组成. 流程图见图 8.

主程序主要完成特殊寄存器以及外部事件管理器中的寄存器的初始化, 并对变量进行定义. 在主循环里完成多个非中断的功能. 一旦中断来临, 程序就跳到相应的中断服务子程序.

定时器 T1 中断主要完成交流电路的采集以及 PWM 波的输出, 它的中断周期为 50  $\mu$ s.

定时器 T2 中断主要完成电压环节的 PI 算法, 得到电流指令值, 它的中断周期为 10 ms.

同步中断的主要功能是外部中断来临时, 完成正弦表偏移地址的复位, 它的中断周期为 20 ms.

#### 2.6 系统保护

本系统设计有直流侧过压欠压保护、交流侧过流保护、过热等多种保护, 当出现太阳能电池板的输出电压过压、欠压故障的时候, 由 TMS320F240 向 SG3525 发出一个信号, 封锁 DC-DC 的脉冲, 使其停止工作, 当检测到直流电压恢复正常时, DC-DC 又自动复位开始工作; 当出现交流过流、过热故障时, 程序进入中断服务子程序, 封锁所有驱动信号. 当故障排除后, 手动复位, 系统重新启动.

### 3 结语

本文阐述了一种小功率光伏并网逆变器的控制系统.

(1) DC-DC 控制器的拓扑结构采用推挽式电路, 是用芯片 SG3525 来控制的, 该电路有效的防止了电

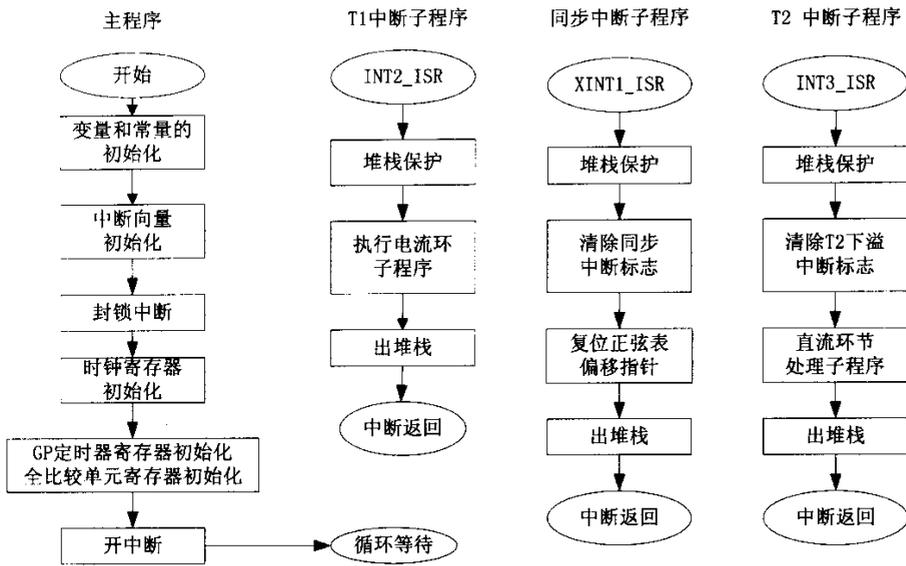


图 8 软件流程图

路偏磁；

(2)DC-AC 变换器全桥逆变电路 ,是用 DSP 来控制的 ,由于 DSP 的运算速度比较高 ,因此逆变器的输出电流能够很好的跟踪电网电压波形。

该光伏并网逆变器控制方案的有效性在实验室得到验证。该控制系统能确保逆变电源的输出功率因数接近 1 ,输出电流为正弦波形。

参考文献：

[ 1 ] 邵丙衡. 电力电子技术[ M]. 北京 :中国铁道出版社 ,1997.

[ 2 ] 吴守箴 ,臧英杰. 电气传动的脉宽调制技术[ M]. 北京 :机械工业出版社 ,1997.

[ 3 ] 北京闻亭科技发展有限公司. TMS320F24X 高速数字信号处理器原理与应用[ Z]. 北京 :北京闻亭科技发展有限公司 ,1997.

(上接 56 页)

调节作用保证了解耦计算的准确性 ,因而获得了各方面更好的控制性能。采用动态解耦方法进行电机控制 ,实验结果表明电机的启动性能良好 ,在高速运行区域对负载的突变具有快速的响应能力 ,并且不对励磁造成明显影响。

参考文献：

[ 1 ] 李威 ,车向中 ,郝荣泰. 异步牵引电机双微机矢量控制系统的研究[ J]. 铁道学报 ,1999 ,21( 6) :61 - 64.

[ 2 ] Jinhwan J. A Dynamic Decoupling Control Scheme for High-Speed Operation of Induction Motors[ J]. IEEE Trans. Industrial Electronics ,1999 ,46( 1) :100 - 110.

[ 3 ] 薛定宇. 多变量频率域控制理论[ M]. 北京 :清华大学出版社 ,2000. 93 - 196.