**2017年盟升杯电子设计竞赛**

**G题：单相逆变电源**

**2017年11月10日**

**摘 要**

本单相逆变电源以MSP430F5529为主控芯片，以CSD19535为功率管。以SPWM全桥作为功率回路拓扑。在输入36V，输出24V 2A时，效率可以达到95%。具有自动稳压以及波形矫正功能。实现了在多种负载类型的情况下保持恒定电压并输出良好波形。输出电压在工作范围内变化小于0.05V，波形失真度小于1%。全数字控制保证了精确的输出频率。

**关键词：**单相逆变；SPWM；波形矫正；数字控制；

**Abstract**

The single-phase inverter uses MSP430F5529 microcontroller as the main control, CSD19535 as the power mosfet. Reached high efficiency of 92% at 36V input, 24V 2A output. Featuring automatic voltage control and waveform rectification, the output voltage varies less than 0.05V in any operating condition, and the THD is less than 1%. Totally digital control algorithm ensures accurate output frequency.

**Keywords：**Single-phase inverter; SPWM; Waveform rectification; Digital control

**目录**

**一．方案论证**4

　１．１　方案比较与选择4

　１．２　方案描述4

**二．理论分析与计算**5

　２．１　DC-AC变换方法5

　２．２　波形矫正方法6

　２．３　恒压控制方法6

**三．电路与程序设计**7

　３．１　主回路与器件选择7

　３. 2 程序设计7

**四．测试方案与测试结果**8

**五．结论**8

**单相逆变电源（G题）**

**一.系统方案**

**1.方案比较与选择**

**1）反馈环路控制与负载识别**

**方案一：使用MSP430系列单片机。**

使用外围电路与ADC检测输出电压，通过相关算法进行稳压与波形矫正等处理，控制生成SPWM波形，进行反馈控制。各功能的实现较为灵活，能实现精确的频率控制。

**方案二：使用运算放大器和专用集成电路等模拟器件搭建。**

使用专用集成电路产生SPWM波形，运放进行反馈控制。电路较为复杂，且实现良好输出波形需要实时进行反馈，容易因反馈环路选择错误或负载电抗特性导致环路振荡。

综合以上两种方案，方案一电路简洁，控制灵活，故选择方案二

**2）控制部分供电**

驱动和控制电路的工作电压为12V，需要将题目要求的36V-42V输入电压降压才能供其使用。

**方案一：使用线性稳压电源。**

使用线性稳压，可以使用高耐压的稳压芯片直接将输入电压降至12V。其电路十分简单，但线性降压损耗较大，影响整机效率，而且发热较大，不利于稳定工作。

**方案二：使用小功率反激降压开关电源。**

反激电源在输入电压较高，且压差较高的情况下较为适合。使用一个小功率反激电源可以将题目要求的36V-42V输入电压转为驱动电路使用的12V左右的低电压。在题目要求的工作条件下，具有远高于线性稳压电源的效率，可以减小控制部分的损耗，减小温升并提高整机效率。

综合以上两种方案，方案二有利于降低温升与提高效率，故选择方案二。

**3）功率回路拓扑**

**方案一：使用半桥拓扑。**

半桥拓扑只需要两个开关管，可以减小开关损耗，同时也有利于输出滤波。但输出电压的峰值会减半，在 输入36V时，无法输出24V交流。

**方案二：使用全桥拓扑。**

全桥拓扑有较大的输出电压范围，但驱动电路较为复杂。

综合以上两种方案，方案二适合本次的要求，故选择方案二。

**2．方案描述**

根据以上的方案比较与选择，本系统最终系统框图如图（1）所示：



图1 系统框图

**二.理论分析与计算**

**1.DC-AC变换方法**

把直流电转换成正弦波交流电，采用的是面积等效原理，将正弦半波分成n等份，看成是由n个彼此相连的矩形脉冲组成的波形,每个脉冲面积与相对应的正弦波部分面积相同，这一连续脉冲就等效正弦波。

如果把上述脉冲序列改为相同数量的等幅而不等宽的矩形脉冲，脉冲中心位置不变，并且使该矩形脉冲面积和原先的矩形脉冲相同，得到图2示的脉冲序列，这就是PWM波形。根据面积等效原理，PWM波形和正弦半波是等效的。

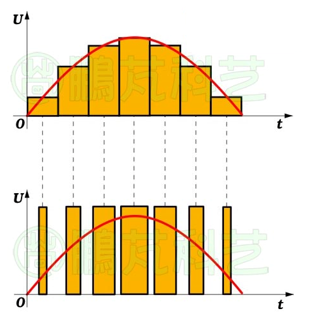
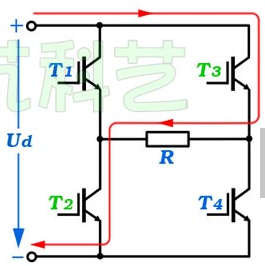


图2 SPWM波形

对于正弦波的负半周，也可以用同样的方法得到PWM 波形。这种脉冲的宽度按正弦规律变化而和正弦波等效的PWM波形，也称SPWM波形。要改变等效输出的正弦波的幅值时，只需按照同一比例系数改变上述各脉冲的宽度即可。

输出SPWM波形需全桥逆变电路，通过控制开关的通与断在负载上产生交变电压，见图3。



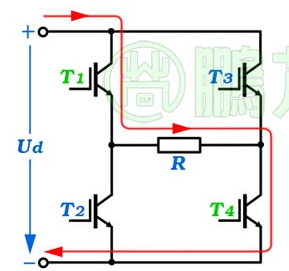


图3 全桥逆变电路的工作状态

**2.** **波形矫正方法**

在波形产生过程中，由于死区等非线性，会导致输出产生失真。本电源采取预失真方式矫正输出波形。通过向输出叠加与当前谐波相反的谐波成分，可以抵消失真，产生较好的波形。为了得到谐波的幅度与相位信息，可以用ADC对输出电压进行采样，进行FFT后得到波形的频率和相位信息。但由于存在未知的时延，需要进行变换才能得到真实相位。傅里叶变换具有性质式1：

(1)

则若基波起始相位为0，可由式2计算谐波的相位：

(2)

其中，为基波起始相位为0时的谐波相位，为傅里叶变换得到的相位。

得到相位之后即可修改波形表进行波形修正。由于修改后波形立刻发生变化，环路具有比较好的稳定性。

**3.** **恒压控制方法**

本电源通过判断有效值的方式进行输出电压控制。在波形矫正的FFT过程中，已经计算出基波有效值。在波形失真较小的情况下，可以认为等于输出电压的有效值。稳压控制之后新的最大PWM值可以由式3计算。

(3)

其中，为稳压控制后的最大PWM值；为FFT得到的幅度值；A为目标电压值；为稳压控制前的最大PWM值。

由于逆变器稳压所需的环路调节速度较慢，远小于电路中其他器件的带宽，因此几乎没有相位滞后，以上的调节方式即可保证快速稳定的调节输出幅度。

**三．电路与程序设计**

**1.** **主回路与器件选择**

**1）输出滤波电感**

输出电感作为滤除SPWM波高频分量的元件，在减小波形失真中有关键作用。同时输出电感为了达到合适的感量，其匝数通常较多。为了减小电感导线电阻引起的效率损失，使用1.2mm漆包线在铁硅铝磁环上绕制，感量为4.6mH。同时，为了减小噪声输出，在电感中间抽头切断，负载接于切断位置。这种方式与两个电感相比可以减少需要的线圈匝数，同时可以避免单个电感时全桥的高频信号的泄露。

**2）输出滤波电容**

输出滤波电容需要承受较大电流，同时需要尽量抑制开关产生的电压波动，采用一个5uF薄膜电容并联于输出两端，两个1uF电容分别对地连接的方式，减小输出的高频分量。

**2.** **程序设计**

程序框图如图4所示：



图4 程序流程图

**四．测试方案与测试结果**

**1.测试方案，测试条件及测试结果**

**使用仪器：**

DP832A 电源 1台

DS2202A 示波器 1台

UT61E 万用表 1台

调压器 1台 （作为感性负载使用）

**测试项目：**

测试方案，测试条件及测试结果如表1。

**表1测试结果**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试项目 | 测试条件 | 测试结果 | 是否达标 | 测试方案简述  与测量仪器 |
| (1)输出电压 |  | 24.02Vrms | **是** | UT61E万用表 |
| (2)输出电压 |  | 24.02Vrms | **是** | UT61E万用表 |
| (3)输出频率 |  | 50.0Hz | **是** | DS2202A示波器 |
| (4) 输出最高谐波 | (阻性) | <-50dB | **是** | DS2202A示波器 |
| (5) 输出最高谐波 | (感性) | <-45dB | **是** | DS2202A示波器 |

**5.结论**

本作品使用硬MSP430F5529为主控芯片，以CSD19535为功率管，通过软件环路的自动补偿和修正，可以在多种负载情况下保证输出波形的电压和波形的稳定。在输入36V，输出24V 2A时，效率可以达到95%。输出失真极小。可以对非线性负载进行补偿。