

# AC/DC 开关电源模块的电路设计

沙占友 刘勇 安兵菊 河北科技大学(050054)

**摘要** 介绍了由 WS157 构成 AC/DC 单片开关电源模块的电路设计。这类模块可广泛用于各类数字仪表和智能仪器中。

**关键词** AC/DC 电源模块 单片开关电源 脉宽调制

## 0 引言

目前国内外新研制的小型化 AC/DC 电源模块,普遍采用微电子技术,把小型表面安装集成电路与微型电子元器件组装成一体,构成高效率 AC/DC 电源变换模块。选择此类开关电源模块,不仅能大大简化电源电路设计,缩短新产品研制周期,还能实现最佳性能指标,提高整机仪器仪表的可靠性,减小其体积与重量,便于安装和维护。

下面介绍单片开关电源 WS157、WS106 的性能特点及工作原理,然后阐述小功率脉宽调制式 AC/DC 开关电源模块的电路设计与性能测试。

WS157 的同类产品有美国 Power 公司生产的 TOP221~227。

### 1 WS157、WS106 的性能特点

WS157 与 WS106 的电路相同,仅封装形式不同。现以 WS157 为例,介绍其性能特点。

(1) 集成度高。WS157 是一种将脉宽调制器(PWM)、高压场效应功率开关管(MOSFET)和保护电路集成在一起的三端表面安装器件,它真正实现了无工频变压器式开关电源的单片集成化。它比 L4960、L4970 系列单片开关式集成稳压器的集成度更高,并能省去工频变压器。

(2) 它属于双极型晶体管与 MOS 场效应管混合式集成电路(Bi-MOS),只有三个引出端,能以最简方式接入电路。

(3) 外围电路简单。220V 交流电经整流滤波后,可直接作为 WS157 的输入电压,输出端接高频变压器和高频整流滤波器构成的输出电路,即可构成 20W 以下的小功率开关电源。

(4) 输入交流电压范围很宽,当市电从 110~260V 大范围变化时,仍能保证稳压输出。占空比调节范围是 3%~47%。

(5) 具有完善的保护功能,包括过流保护、过压保护、输入欠压保护( $V_I < 80V AC$ )、过热保护(芯片结温  $T_j < 145^\circ C$ )、锁定及自动恢复等功能。

(6) 采用 100kHz 的开关频率,损耗低,电源效率  $> 70\%$ ,抗噪声干扰能力强,能大大减小高频变压器的体积与重量。

(7) 使用灵活。在构成单片开关电源时,降压式、升压式输出电路均可。WS157 还可作为大功率开关电源的驱动级。

### 2 WS157、WS106 的工作原理

WS157 和 WS106 的外形及管脚排列分别如图 1 中所示。

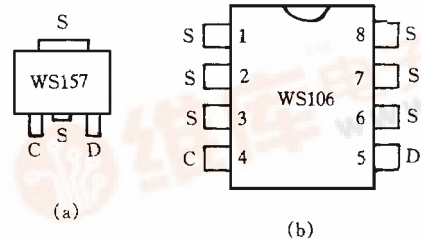


图 1 WS157、WS106 管脚排列

WS157、WS106 均属于表面安装元件(SMC),仅封装形式和管脚数量不同。WS157 实际上只有 3 个管脚(上、下两个 S 极在内部连通),属三端器件。其中,C(CONTROL)为控制端,S(SOURCE)是源极,D(DRAIN)为漏极。WS106 为 8 脚双列式封装(SMD-8),共有 6 个 S 极,剩下的是 D 极与 C 极,故仍相当于三



端器件。以 WS157 为例,其内部框图如图 2 所示。主要包括 100kHz 振荡器,基准电压源, PWM 比较器,控制电路,驱动级,功率开关管

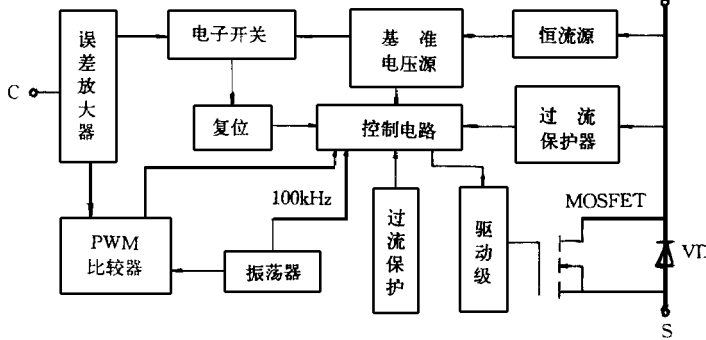


图 2 WS157 的内部框图

(MOSFET, 其漏 - 源极可承受 700V 电压), 保护电路(过流、过热保护、输入欠压保护等)。此外还有偏置电路(上电后为各级电压提供合适的工作点),恒流源,电子开关,复位等辅助电路。VD 可保护功率开关管不被反向尖峰电压所损坏。

### 3 AC/DC 开关电源模块的电路设计

AC/DC 开关电源模块的电路如图 3 所示。

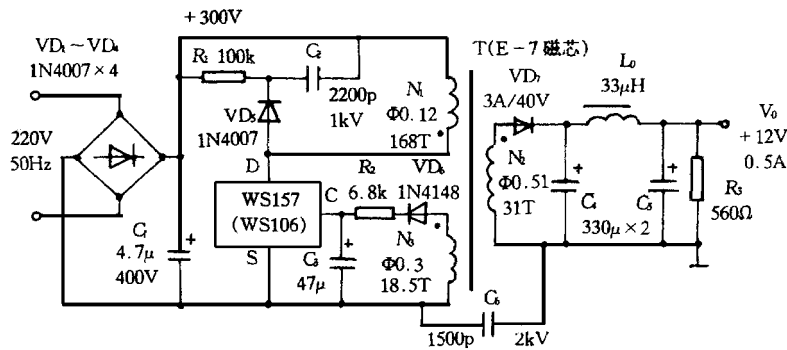


图 3 AC/DC 开关电源模块的电路

其输出功率为 6W (+12V、0.5A)。当输入交流电压在 110 ~ 260V 范围内波动时,输出电压几乎不变,输入电压调整率  $S_V = 1\%$ 。当负载电流大幅度变化时,负载调整率  $S_I = 5\% \sim 7\%$ 。

接通电源后,220V 交流电首先经过桥式整流和  $C_1$  滤波,得到约 +300V 的直流高压,再通过高频变压器 T 的一次侧绕组  $N_1$ ,给 WS157 提供所需工作电压。从二次侧绕组  $N_2$  上输出的脉宽调制功率信号,经  $VD_7$ 、 $C_4$ 、 $L_0$  和  $C_5$  进行高频整流滤波后,获得 +12V、0.5A 的稳压输出。反馈线圈  $N_3$  上的高频电压则经过  $VD_6$ 、 $R_2$ 、 $C_3$  整流滤波后,得到反馈电压,加至控制端 C。由  $VD_5$ 、 $R_1$  和  $C_2$  构成反向峰值电压的箝位电路,能有效抑制 D 端的反向尖峰电压。

电路工作原理分析如下:当由于某种原因致使  $V_0$  下降时,反馈电压也随之降低,而误差

电压  $V_r$  上升,PWM 比较器输出的脉冲占空比 D 上升,经过功率场效应管和降压式输出电路使得  $V_0$  上升,最终能维持输出电压不变。反之亦然。

为了抑制共模干扰,在高频变压器线圈  $N_2$ 、 $N_3$  的同相端之间,还并联一只 1500pF/2kV 的高压陶瓷电容  $C_6$ 。 $VD_1 \sim VD_5$  选用 1N4007(1A/1000V) 型硅整流管; $VD_6$  选择 1N4148 型硅高速开关二极管; $VD_7$  须采用 3A/40V 以上的肖特基二极管,可选 B82 - 004 型(15A/40V)。 $C_2$  宜选 2200pF/1kV 高压陶瓷电容。 $R_1$  为  $C_2$  的泄放电阻,可防止断电后在  $C_2$  上积累电荷,形成高压。为降低空载电压,在输出端并联一只 560 的负载电阻。高频变压器可选国产 E - 7 型铁氧体磁芯,其载面积  $S_J = 0.49\text{cm}^2$ 。绕制顺序是先绕  $N_1$ ,再绕  $N_2$ ,最后绕  $N_3$ ,并需注意线圈极性。所用漆包线的线



径与匝数已标在图3中。为防止高频变压器发生磁饱和现象,在磁芯端面还应留出1mm左右的气隙。

#### 4 AC/DC 精密开关电源模块的电路设计

图3所示开关电源模块也有不足之处,即负载调整率较高,  $S_I = 5\% \sim 7\%$ 。当负载电流

波动较大时,就难以满足精密稳压的要求。为此,必须对电路作进一步改进。具体方法是增加外部误差放大器来提高对WS157的控制灵敏度,使之对负载电流的变化量  $I_0$  反应更灵敏,调压更精确。一种AD/DC精密开关电源模块的电路如图4所示。

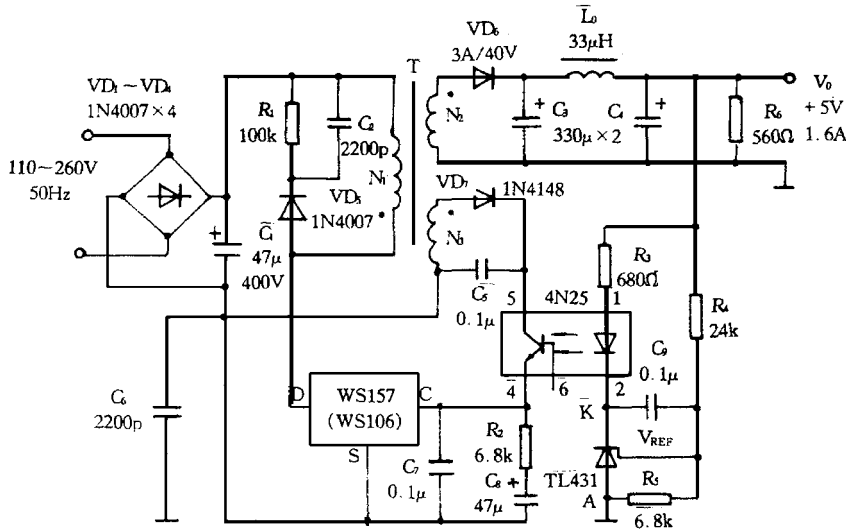


图4 AC/DC 精密开关电源模块的电路

该电源的电压调整率  $S_V < 0.1\%$ , 负载调整率  $S_I < 1\%$ , 可作为精密开关电源使用。与图3相比,该电路增加了光电耦合器(4N25)和可调式精密并联稳压器 TL431。由美国 TI 公司生产的 TL431, 可简化成一种带基准电压源的单运放,其正极(阳极)、负极(阴极)和 2.5V 基准电压端分别用 A、K、 $V_{REF}$  表示。TL431 的稳压调节范围是 2.5 ~ 36V, 由外部电阻分压器设定。输出阻抗为 0.2  $\Omega$ , 全范围电压温度系数是  $30 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$  (即 30ppm/ $^\circ\text{C}$ ), 吸收电流能力为 1 ~ 100mA。TL431 特别适合于作隔离反馈式开关电源的外部基准电压和误差放大器。 $R_3$  为限流电阻,  $R_4$  和  $R_5$  为取样电阻。当  $V_0$  变化时, 取样电压就与 TL431 内部 2.5V 基准电压进行比较, 使 K 端电位发生变化, 改变 4N25 中发射管的工作电流及发光强度, 再经过光耦去调节 WS157 的控制端电压, 这样即可对占空比进行精细调节, 实现精密稳压目的。此外,

4N25 还能起到电气隔离作用。该模块的输出功率为 8W (+5V、1.6A), 可作为数字仪表的稳压电源。

选择自耦调压器、数字电压表、数字万用表、0.5 级直流电流表, 并以 1kW 电阻算作假负载, 实测精密开关电源模块的输入、输出特性分别见表 1、表 2。  $V_I$ 、 $I_I$ 、 $P_I$  均为交流输入参数;  $V_0$ 、 $I_0$ 、 $P_0$  均为直流输出参数。  $R_L$  是负载电阻值,  $\eta$  为电源效率。另外测出输出纹波电压为 10.50mV (有效值)。

分析测量数据后可得出下述结论: 当  $V_I = 100 \sim 265\text{V (RMS)}$  时,  $V_0$  恒等于 5.05V。这表明实际输入电压范围比规定值 (110 ~ 260V) 还要宽一些。输出稳定在 5.05V 上还表明输出电压的变化量  $\Delta V_0 < 0.005\text{V}$ , 因此电压调整率  $S_V = (\Delta V_0 / V_0) \times 100\% < (0.005\text{V} / 5.05\text{V}) \times 100\% = 0.1\%$ 。当  $I_0 = 0$  (空载) ~ 1.64 A (满载) 时, (下转第 41 页)



又如：在研制的电度表校验装置中采用0.02级电压互感器，其量限一般为380V、220V、100V、 $100\sqrt{3}$ V/100V，其中电压量限为 $100\sqrt{3}$ V、100V/100V量限绕制时将出现非整数匝，在调整量限重合性时，比差需调整至-0.022%时量限方能重合，因而比差调整范围较大(最大达0.1%)。根据(10)式计算S最大值达0.36mm<sup>2</sup>，故在调整比差重合性时，分数匝调整方法(1)、(2)、(3)均可采用。

当重合性调整完后，在二次加额定负载并进行统调，要使统调后的比差达到-0.011%。

在f=0.011%这样小的调整量时，只能采用两股不同线径正、反向绕一圈以两股导线截面积之差统调比差。

用(10)式算得S为

$$S = f \cdot W \cdot S = 0.00011 \times 180 \times 4.5 = 0.09\text{mm}^2$$

当选用调整匝线径为0.51mm时则S<sub>1</sub>=0.204mm<sup>2</sup>；另一股调整匝线径为0.38mm时则S<sub>2</sub>=0.113mm<sup>2</sup>。当线径0.51mm导线顺绕一

圈，0.38mm反绕一圈时比差调整量

$$f = \frac{1}{W} \cdot \frac{S}{S} = \frac{1}{180} \cdot \frac{0.091}{4.5} = 0.011\%$$

调整后的比差为

$$f = f + f = -0.022\% + 0.011\% = -0.011\%$$

经测试，实测值和计算结果相符，达到预定要求。

### 3 结束语

根据互感器准确度等级，确定出调整量限总匝数(W)，导线总面积(S)，以及互感器可能产生的误差(f)，进而确定出比差调整量(f)。用(10)式求得调整匝截面积或截面积之差(S)，并根据S值选出调整匝导线线径，将调整匝和其它导线(较粗导线，其电流强度应小于额定电流密度)，混在一起绕制。由于在绕制时就预先设定了比差调整量(f)，给互感器误差(比差)调整带来了便捷。

收稿日期：1999-04-12

(刘家新 编发)

(上接第22页)

表1 输入特性

V <sub>I</sub> (V)	80	100	120	150	180	200	210	220	230	240	250	265
I <sub>I</sub> (mA)	121.0	102.0	76.1	58.1	47.1	42.1	40.1	38.5	36.4	34.7	33.1	31.2
P <sub>I</sub> (W)	9.68	10.2	9.13	8.72	8.47	8.42	8.42	8.47	8.37	8.33	8.28	8.27
V <sub>0</sub> (V)	4.65	5.05	5.05	5.05	5.05	5.05	5.05	5.05	5.05	5.05	5.05	5.05
I <sub>0</sub> (A)	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
P <sub>0</sub> (W)	5.12	6.06	6.06	6.06	6.06	6.06	6.06	6.06	6.06	6.06	6.06	6.06
(%)	52.9	59.4	66.4	69.5	71.5	72.0	72.0	71.5	72.4	72.7	73.2	73.3

表2 输出特性(V<sub>I</sub>=220V AC)

R <sub>L</sub> (Ω)	3.0	3.7	4.7	5.7	6.8	8.0	10.0	12.7	17.0	19.5	20	空载
I <sub>0</sub> (A)	1.64	1.38	1.08	0.89	0.75	0.63	0.50	0.40	0.30	0.26	0.24	0
V <sub>0</sub> (V)	5.06	5.06	5.06	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.10

V<sub>0</sub>=5.10~5.06V，负载调整率S<sub>I</sub>=[(5.10-5.06)/5.10]×100%=0.78%，低于1%，该优良特性是普通开关电源所难以达到的。当V<sub>I</sub>=180~240V时，该模块的电源效率>71%。实际最大输出电流I<sub>OM</sub>=1.64A(R<sub>L</sub>=3.0Ω)，最大输出功率P<sub>OM</sub>=I<sub>OM</sub>V<sub>0</sub>=8.3W>

8W，说明在设计指标上均留有一定余量。

### 参 考 文 献

1 沙占友等编著. 新型特种集成电源及应用. 人民邮电出版社, 1998, 3

收稿日期：1999-06-17

(周广义 编发)

