

4~16V 开关稳压电源详细设计

摘要：介绍一种采用半桥电路的开关电源，其输入电压为交流 220V±20%，输出电压为直流 4~16V，最大电流 40A，工作频率 50kHz。重点介绍了该电源的设计思想，工作原理及特点。关键词：脉宽调制；半桥变换器。

1、引言：

在科研、生产、实验等应用场合，经常用到电压在 5~15V，电流在 5~40A 的电源。而一般实验用电源最大电流只有 5A、10A。为此专门开发了电压 4V~16V 连续可调，输出电流最大 40A 的开关电源。它采用了半桥电路，所选用开关器件为功率 MOS 管，开关工作频率为 50kHz，具有重量轻、体积小、成本低等特点。

2、主要技术指标

- 1) 交流输入电压 AC220V±20%；
- 2) 直流输出电压 4~16V 可调；
- 3) 输出电流 0~40A；
- 4) 输出电压调整率≤1%；
- 5) 纹波电压 $U_p \quad p \leq 50\text{mV}$ ；
- 6) 显示与报警具有电流/电压显示功能及故障告警指示。

3、基本工作原理及原理框图

该电源的原理框图如图 1 所示。

220V 交流电压经过 EMI 滤波及整流滤波后，得到约 300V 的直流电压加到半桥变换器上，用脉宽调制电路产生的双列脉冲信号去驱动功率 MOS 管，通过功率变压器的耦合和隔离作用在次级得到准方波电压，经整流滤波反馈控制后可得到稳定的直流输出电压。

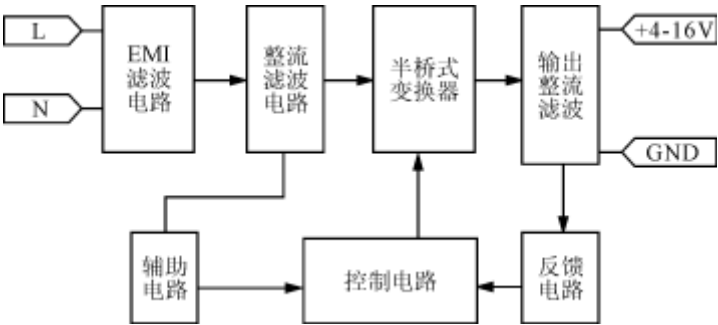


图 1 整体电源的工作框图

4、各主要功能描述

4. 1、交流 EMI 滤波及整流滤波电路

交流 EMI 滤波及整流滤波电路如图 2 所示。

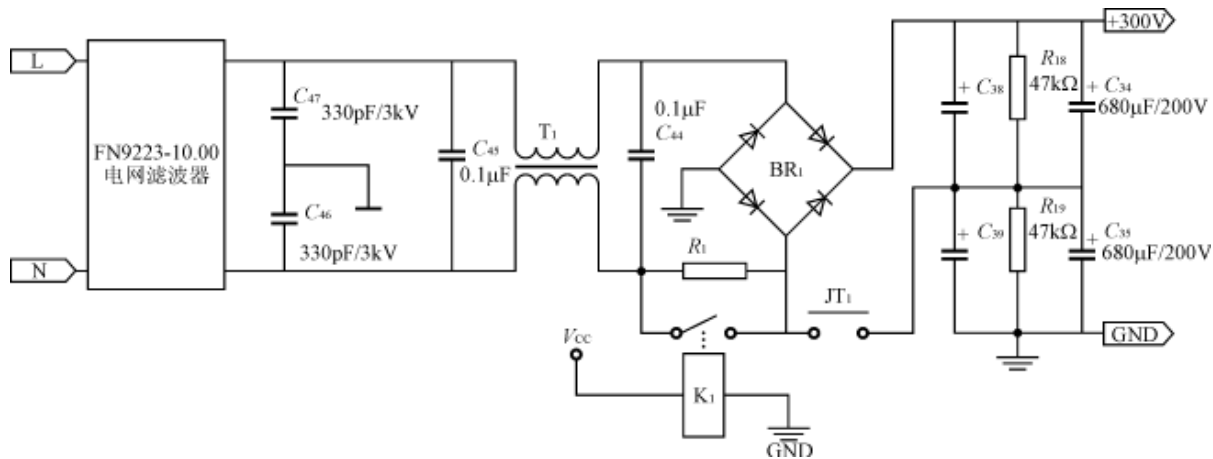


图 2 交流 EMI 滤波及输入整流滤波电路

电子设备的电源线是电磁干扰（EMI）出入电子设备的一个重要途径，在设备电源线入口处安装电网滤波器可以有效地切断这条电磁干扰传播途径，本电源滤波器由带有 IEC 插头电网滤波器和 PCB 电源滤波器组成。IEC 插头电网滤波器主要是阻止来自电网的干扰进入电源机箱。PCB 电源滤波器主要是抑制功率开关转换时产生的高频噪声。交流输入 220V 时，整流采用桥式整流电路。如果将 JT1 跳线短连时，则适用于 110V 交流输入电压。由于输入电压高，电容器容量大，因此在接通电网瞬间会产生很大的浪涌冲击电流，一般浪涌电流值为稳态电流的数十倍。这可能造成整流桥和输入保险丝的损坏，也可能造成高频变压器磁芯饱和损坏功率器件，造成高压电解电容使用寿命降低等。所以在整流桥前加入由电阻 R1 和继电器 K1 组成的输入软启动电路。

4.2 、半桥式功率变换器

该电源采用半桥式变换电路，如图 6 所示，其工作频率 50kHz，在初级一侧的主要部分是 Q4 和 Q5 功率管及 C34 和 C35 电容器。Q4 和 Q5 交替导通、截止，在高频变压器初级绕组 N1 两端产生一幅值为 $U_1/2$ 的正负方波脉冲电压。能量通过变压器传递到输出端，Q4 和 Q5 采用 IRFP460 功率 MOS 管。

4.3、功率变压器的设计

1) 工作频率的设定

工作频率对电源的体积、重量及电路特性影响很大。工作频率高，输出滤波电感和电容体积减小，但开关损耗增高，热量增大，散热器体积加大。因此根据元器件及性价比等因素，将电源工作频率进行优化设计，本例为 $f_s=50\text{kHz}$ 。

$$T=1/f_s=1/50\text{kHz}=20\mu\text{s}$$

2) 磁芯选用

①选取磁芯材料和磁芯结构

选用 R2KB 铁氧体材料制成的 EE 型铁氧体磁芯。其具有品种多，引线空间大，接线操作方便，价格便宜等优点。

②确定工作磁感应强度 B_m

R2KB 软磁铁氧体材料的饱和磁感应强度 $B_s=0.47\text{T}$ ，考虑到高温时 B_s 会下降，同时为防止合闸瞬间高频变压器饱和，选定 $B_m=1/3B_s=0.15\text{T}$ 。

③计算并确定磁芯型号

磁芯的几何截面积 S 和磁芯的窗口面积 Q 与输出功率 P_o 存在一定的函数关系。对于半桥变换器，当脉冲波形近似为方波时为 $SQ=(1)$

式中： η ——效率；

j ——电流密度，一般取 $300\sim 500\text{A}/\text{cm}^2$ ；

K_c ——磁芯的填充系数，对于铁氧体 $K_c=1$ ；

K_u ——铜的填充系数， K_u 与导线线径及绕制的工艺及绕组数量等有关，一般为 $0.1\sim 0.5$ 左右。

各参数的单位是： $P_o\text{—W}$ ， $S\text{—cm}^2$ ， $Q\text{—cm}^2$ ， $B_m\text{—T}$ ， $f_s\text{—Hz}$ ， $j\text{—A}/\text{cm}^2$ 。

取 $P_o=640\text{W}$ ， $K_u=0.3$ ， $j=300\text{A}/\text{cm}^2$ ， $\eta=0.8$ ， $B_m=0.15\text{T}$ ，代入式（1）得 $SQ=4.558\text{cm}^4$

由厂家手册知，EE55 磁芯的 $S=3.54\text{cm}^2$ ， $Q=3.1042\text{cm}^2$ ，则 $SQ=10.9\text{cm}^4$ ，EE55 磁芯的 SQ 值大于计算值，选定该磁芯。

3) 计算原副边绕组匝数

按输入电压最低及输出满载的情况（此时占空比最大）来计算原副边绕组匝数，已知 $U_{\min}=176\text{V}$ 经整流滤波后直流输入电压 $U_{d\min}=1.2\times 176=211.2\text{V}$ 。

对于半桥电路、功率变压器初级绕组上施加的电压等于输入电压的一半，即 $U_{p\min}=U_{d\min}/2=105.6\text{V}$ ，设最大占定比 $D_{\max}=0.9$ ，则 $t_{on\max}=T\times D_{\max}=20\times 0.9=9.0\mu\text{s}$

一种输出电压 4~16V 开关稳压电源的设计

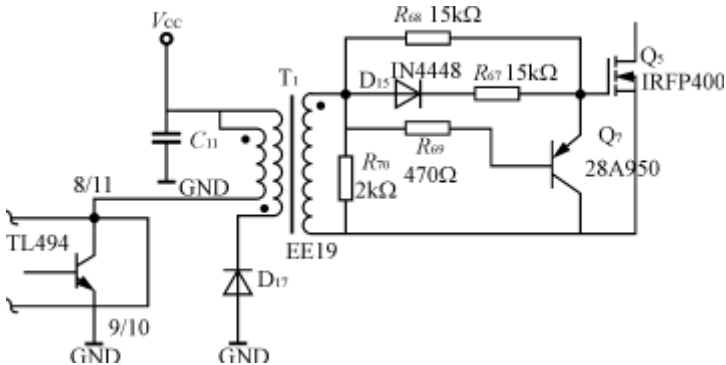


图 3 辅助电源原理图

$U_{p\min}\times t_{on\max}\times 104=105.6\times 9.0\times 10^{-6}\times 104$ 代入公式 $N_1=8.9$ 匝

次级匝数计算时取输出电压最大值 $U_{o\max}=16\text{V}$ 。次级电路采用全波整流， U_s 为次级绕组上的感应电压， U_o 为输出电压， U_f 为整流二极管压降，取 1V 。 U_z 为滤波电感等线路压降，取 0.3V ，则 $U_s=19.22\text{V}$ $N_2=N_1\times 8.9=1.8$ 匝

为了便于变压器绕制，次级绕组取为 2 匝，则初级绕组校正为： $N_1=N_2=10$ 匝

4) 选定导线线径

在选用绕组的导线线径时，要考虑导线的集肤效应，一般要求导线线径小于两倍穿透深度，而穿透深度 Δ 由式（2）决定 $\Delta=(2)$

式中： ω 为角频率， $\omega=2\pi f_s$ ；

μ 为导线的磁导率，对于铜线相对磁导率 $\mu_r=1$ ，则 $\mu=\mu_0\times \mu_r=4\pi\times 10^{-7}\text{H}/\text{m}$ ；

γ 为铜的电导率， $\gamma=58\times 10^6\Omega\text{m}$ ；

穿透深度 Δ 的单位为 m 。

变压器工作频率 50kHz ，在此频率下铜导线的穿透深度为 $\Delta=0.2956\text{mm}$ ，因此绕组线径必须是直径小于 0.59mm 的铜线。另外考虑到铜线电流密度一般取 $3\sim 6\text{A}/\text{mm}^2$ ，故这里选用 0.56mm 的漆包线 8 股并联绕制初级共 10 匝，次级选用厚 0.15mm

扁铜带绕制 2 匝。

4. 4、辅助电源的设计

辅助电源采用 RCC 变换器（RingingChokeConverter），见图 3。其输入电压为交流 220V 整流滤波电压，输出直流电压为 12.5V，输出直流电流为 0.5A。电路中 Q8 和变压器初级绕组线圈 N1 与反馈绕组线圈 N3 构成自激振荡。R72 为启动电阻。Q9、R77 构成辅助电源初级过流保护。D20、C81、ZD1、Q11、R75、R76 构成电压检测与稳压电路，控制 Q8 的基极电流的直流分量，从而保持输出电压恒定，变压器采用 EE19、LP3 材质构成。初级 180 匝，反馈绕组 5.5 匝，次级 11 匝，初级电感量是 2.6mH，磁芯中间留有间隙 0.4mm。

4. 5、驱动电路

驱动电路如图 4 所示。TL494 输出 50kHz 的脉冲信号，通过高频脉冲变压器耦合去驱动功率 MOS 管。次级脉冲电压为正时，MOS 管导通，在此期间 Q7 截止，由其构成的泄放电路不工作。当次级脉冲电压为零时，则 Q7 导通，快速泄放 MOS 管栅级电荷，加速 MOS 管截止。R70 是用于抑制驱动脉冲的尖峰，R68、D15、R67 可以加速驱动并防止驱动脉冲产生振荡。D17 和与它相连的脉冲变压器绕组共同构成去磁电路。

4. 6、风扇风速控制电路

风扇风速控制电路见图 5。利用二极管正向管压降随温度升高而呈下降趋势的特性，将 D9、D10 做为散热器温度采样器件。方法是将 D9、D10 两二极管紧靠在散热器上，当散热器随输出功率加大而温度升高时，运放 N2A 正相输入端电平降低，输出低电平使三极管 Q3 开始导通，风机上电压升高，转速升高，最终到达最高转速。当负载较轻，使散热器温度低于 50℃ 时，N2A 输出高电平，Q3 不导通，辅助电源 12.5V 经电阻 R57 降压给风机供电，风机处于低速、低噪声运行状态。此电路可以提高风机工作寿命，增加电路可靠性，亦可在小负载情况下，减少风机带来的噪声。

4. 7、PWM 控制电路

控制电路采用通用脉宽调制器 TL494，具有通用性和成本低等优点，见图 6。输出电压经 R40、RV2、RV1、R41 进行分压采样，经 R5 阻抗匹配后送到 TL494 脚 1。RV1 装在电源前面板上用于实现输出电压的调节。R103 和 C14 将输出电感 L1 前信号采样，经 R5 送到 TL494 脚 1，用于提高电源稳定度，消除 L1 对环路稳定性影响。

4. 8 、过流保护电路

为增强电源可靠性，此电源采用初、次级两级过流保护。初级采用电流互感器 CT1 检测初级变压器电流，检测出的电流信号经 R60 转为电压信号后，再经 D2~D4，C9 整流滤波后，经过电位器 RV3 分压，反相器 N3 反相后加在 Q1 管基极。当初级电流超过正常时，反相器反转，Q1 管导通，将 VREF=5V 的高电平加在 TL494 脚 4 上（脚 4 为 TL494 死区控制脚、高电平关断），TL494 关断。

输出直流总线上过流保护，采用 R45~R56 电阻做为采样电阻，当输出电流增加时脚 15 电平变低，当输出电流大于 40A 的 105%时，TL494 的内部运放动作，脚 3 电平升高，限制输出脉宽增加，电源处于限流状态。

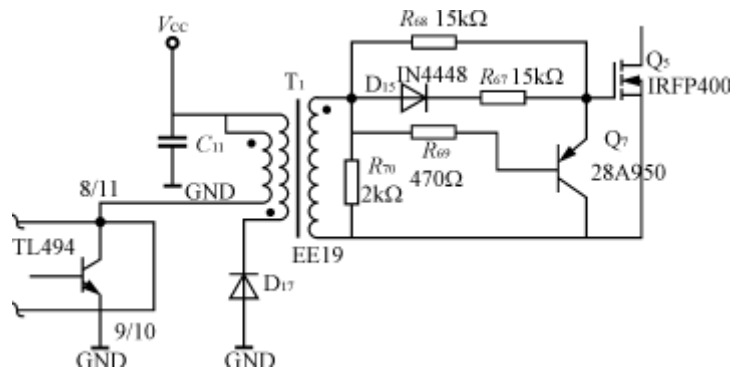


图 4 驱动电路原理图 4

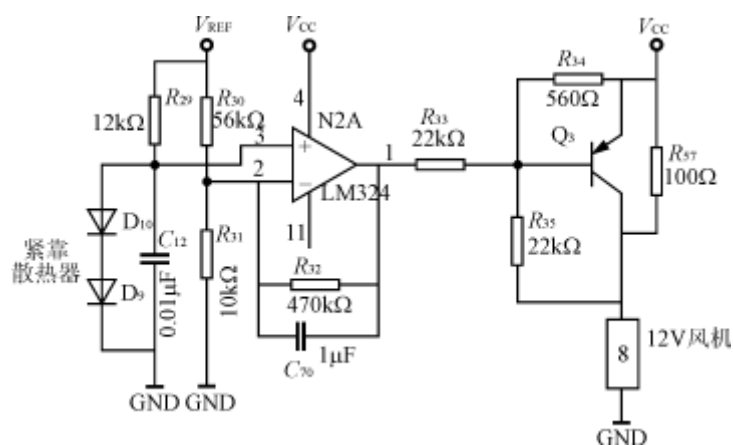


图 5 风扇风速控制电路

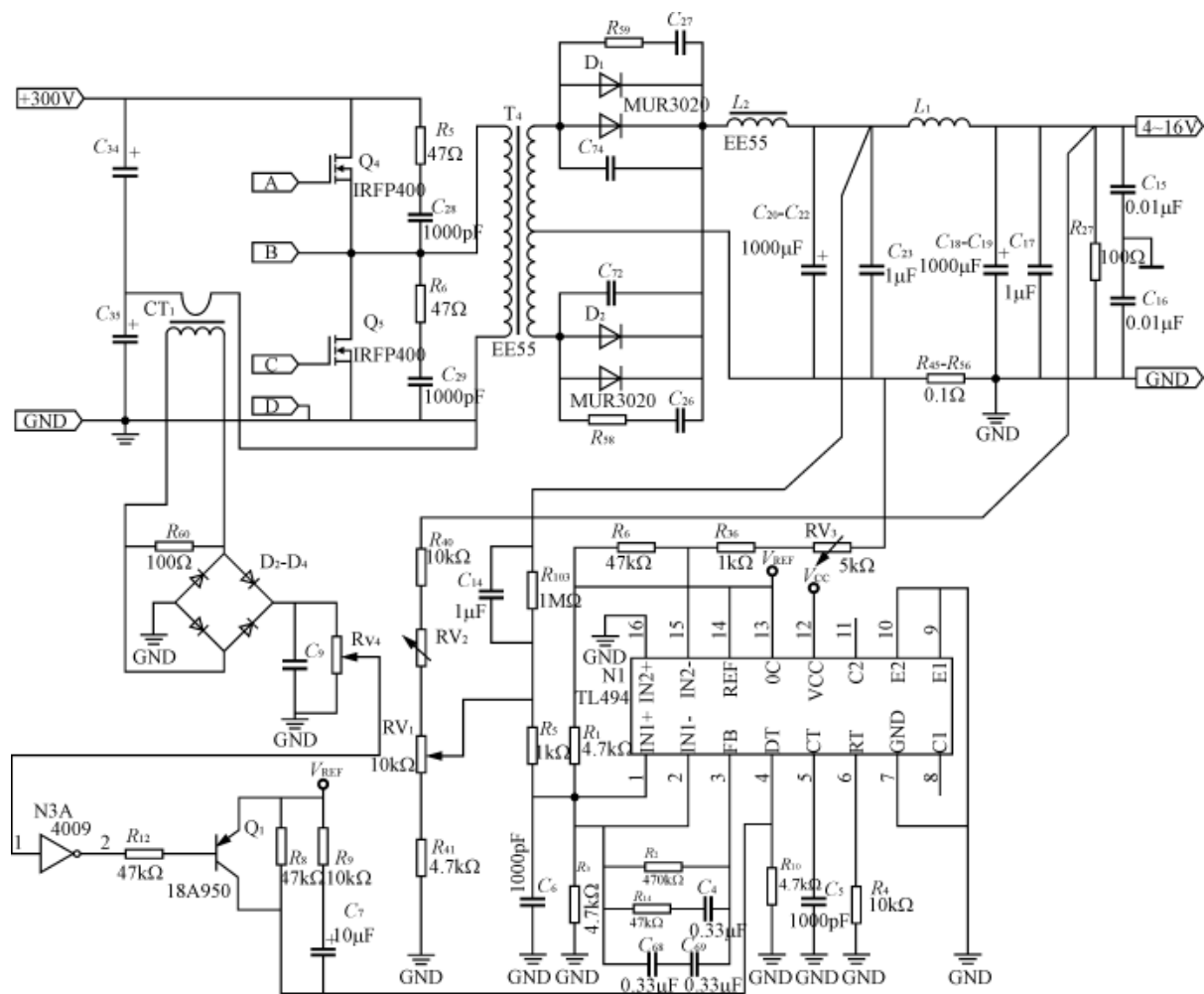


图 6 开关电源原理图



www.21dianyuan.com