

一种简易型开关电源的设计

张金波 徐晓龙 王晓燕

河海大学常州分校信息学院(常州 213022)

王爱兵

兖矿集团常州科研所(常州 213002)

TN86

摘要 介绍一种简易型单管自激式开关电源的工作原理、特点和应用范围,并结合实际按给定参数进行设计。

关键词 开关电源 原理 参数 设计

1 引言

开关电源是一种利用变频开关功率器件并通过变换技术而制成的直流稳压电源。它具有体积小、重量轻、效率高、对电网电压及频率的变化适应性强、输出电压保持时间长、有利于计算机信息保护等优点,因而广泛应用于以电子计算机为主导的各种终端设备、通信设备,是当今电子信息产业飞速发展不可缺少的一种电源。

本文结合实例,介绍对单管自激式变换器开关电源的设计。

2 主要技术参数

输入电压 AC220V

输入电压变动范围 AC176~264V

输入频率 50Hz

输出 I DC±12V, 1A

输出 II DC5V, 3A

两组输出功率 $12 \times 1 \times 2 + 5 \times 3 = 39W$

3 工作原理

单管自激式变换器开关电源电路如图 1 所示。

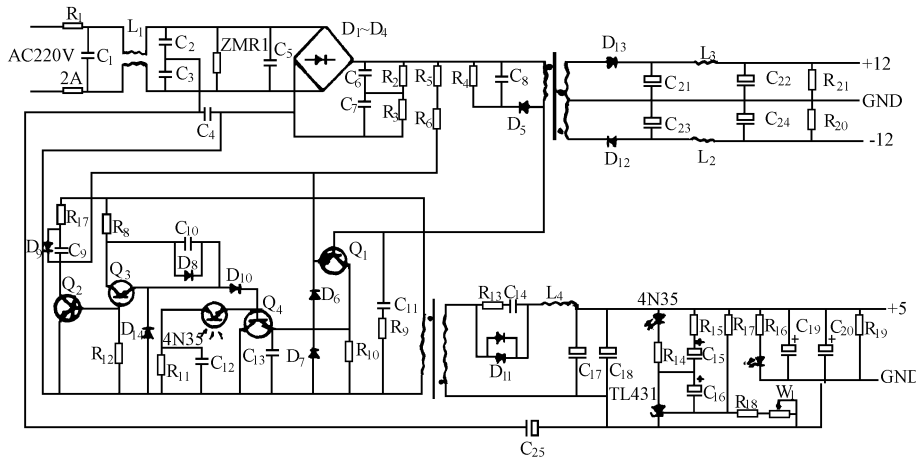


图 1 开关电源原理图

它由整流滤波电路、主开关电路、浪涌电压吸收电路、电压检测电路和次级整流滤波电路等组成。其工作原理是:交流输入电压经过整流滤波电路变成直流电压,再被开关功率管斩波和高频变压器降压,经过次级整流滤波电路整流滤波获得所需直流输出电压。

控制电路中,光电耦合器 4N35 及 Q2、Q3、Q4 等对输出起反馈作用,以调整占空比,达到稳压的目的。

4 开关电源的设计

4.1 输入直流电压 V_1

交流输入电压在 $220 \pm 20\%$ 范围内变化时,经全波整流滤波后的直流输入电压 $V_{1min} = 240V$, $V_{1max} = 360V$ 。

4.2 确定占空比 α 及频率 f

开关功率管 $V_{DS} \propto \frac{1}{1-\alpha}$, 对于单管自激式变换器, α 取 0.3~0.5 是合适的设计值,取 $\alpha = 0.5$ 。

振荡频率低于 25 kHz 会有噪声, 可取 $f = 30\text{kHz}$ 。

4.3 一次电流峰值 i_{1p} 及一次电感 L_1

当输入电压最低, 输出电流 I_{01} 、 I_{02} 为过电流保护设定点(I_{01} 、 I_{02} 的 120%) 时, i_{1p} 最大, f 最小, 这时 $p_2 = 2 V_2 I_2 + V_3 I_3 = 52.8\text{W}$, 设 $\eta = 90\%$, 则 $i_{1p} = \frac{2p_2}{\eta V_{1\min}} = 0.98\text{A}$, 还可计算出 $T_{\text{on}} = \alpha T = 16.7\mu\text{s}$, 这样一次线圈电感 L_1 为:

$$L_1 = \frac{V_{1\min} \cdot T_{\text{on}}}{i_{1p}} = 4.1\text{mH}$$

4.4 磁芯的选用

根据频率和功率, 选用 EI(E) - 35 型磁芯, 其有效截面积 $S_1 = 101\text{mm}^2$ 。

4.5 匝数 N_1 、 N_2 及 N_3 的确定

二次线圈(5V) 和一次线圈的匝数比为:

$$N_{13} = V_2 / V_1 = 0.027$$

而二次线圈(5V) 的匝数可如下确定:

$$N_3 > \frac{N_{13} \cdot i_{1p} \cdot L_1}{S_1 \cdot B_m} \cdot 10^7 = 3.6 \text{ 匝, 取 } N_3 = 4 \text{ 匝}$$

式中: B_m ——最大磁通密度, 取 $B_m = 3000\text{Gs}$ 。
所以一次线圈 N_1 为:

$$N_1 = N_3 / N_{13} = 146.7 \text{ 匝, 取 } N_1 = 147 \text{ 匝}$$

同理可确定 $\pm 12\text{V}$ 输出线圈的匝数:

$$N_2 = N_3 \cdot V_2 / V_3 = 8.7 \text{ 匝, 取 } N_2 = 9 \text{ 匝}$$

注意该线圈共有 $2 \times 9 = 18$ 匝, 并有中心抽头。

4.6 变频变压器

通过变压器线圈的电流在输入电压 V_1 最低和输出电流 I_{01} 、 I_{02} 最大时最大, 这时变压器的输出功率 P_2 为 44W 。

I_2 、 I_3 的峰值按 $I = 2I/\alpha$ 计算, I_1 的峰值按式 $I_p = \frac{2p_2}{\eta \cdot V_{1\min} \cdot \alpha}$ 计算, 它们的有效值则按式 $I_{\text{rms}} = \frac{I_p}{\sqrt{6}}$ 计算, 其波形如图 2 所示, 结果如表 1 所示。

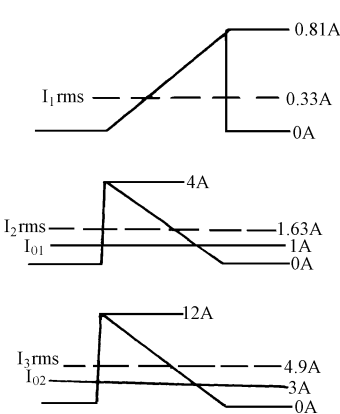


图 2 变压器线圈电流的波形

表 1 变压器线圈的电流

电流	峰值 $I_p(\text{A})$	有效值 $I_{\text{rms}}(\text{A})$
I_1	0.81	0.33
I_2	4	1.63
I_3	12	4.9

现确定开关功率管 Q_1 的栅极线圈匝数 N_G , 即使输入电压 V_1 最低时, 栅极电路电压 V_G 也需要 6V 左右, 故可确定 N_G 为:

$$N_G = V_B \cdot N_1 / V_1 = 3.7 \text{ 匝, 取 } 4 \text{ 匝}$$

设开关功率管的 $A = 10$, 则栅极电流 $I_G = I_{1p} / A = 0.098\text{A}$, $I_{G\text{rms}} = I_G / \sqrt{2} = 69\text{mA}$ 。

计算通过线圈的电流有效值是为了按式 $P_1 = R_1 \cdot I_{\text{rms}}^2$ 计算出由线圈导线阻抗部分导致的损耗 P_1 。

关于变压器线圈导线的选择, 考虑到电流密度 $I_s = I / S$, 可取 $I_s = 4\text{A/mm}^2$, 所以一次线圈的截面积 $S = I_{1\text{rms}} / I_s = 0.08\text{mm}^2$, 在导线便览里截面积比 S 大的最细导线为 $\phi = 0.4\text{mm}$, 其截面积为 0.1257mm^2 , T 级漆包线的外径为 0.456mm , 其他线圈同样, 其导线确定结果如表 2 所示, 二次线圈用一根要加粗, 采用 2 根并联, 三次线圈则采用 3 根并联。

表 2 变压器线圈导线的选择

线圈 次数	I_{rms} (A)	导 线			层数
		尺寸	线径(mm)	截面积(mm^2)	
一	0.33	0.4	0.456	0.1257	3
二	1.63	0.5	0.560	0.1964	1
三	4.9	0.7	0.776	0.3848	1
G	0.069	0.4	0.456	0.1257	1

接着我们按所使用的磁芯和绕线管计算线圈的绕组节距, 则可计算出一次线圈一层的匝数为:

$$23.6 / r - 1 = 50.8 \text{ 匝, 取 } 51 \text{ 匝}$$

式中: 23.6 ——变压器实际绕组节距, 根据 EI(E) - 35 型绕线管, 以及考虑到要在绕线管两端装上 2mm 的绝缘带, 以取沿面放电的最短距离, 实际绕组的高度是 $27.6 - 4 = 23.6\text{mm}$;

r ——线圈外径, 0.456mm 。

因此层数为 $N_1 / S_1 = 2.9$, 取 3 层。

同理可确定二次和三次均只需一层, 结果如表 2 所示。最后要检查线圈的厚度是否达到绕组节距的厚度。

线圈厚度: $d = (\sum r \times l + \sum dt) \times 1.3$

式中: r ——线圈外径, mm;

l ——层数;

dt ——绝缘胶带厚度, mm。

经计算可知厚度 $d = 6.45\text{mm}$, 未达到绕组节距 7.55mm

4.7 开关功率管 Q_1 的选用

按 4.3 项的设定进行计算, 有 $N_{13} = 0.027$, $i_{1p} = 0.98\text{A}$, 所以 $T_{on} = i_{1p} \cdot L_1 / V_1 = 15.2\mu\text{s}$, 而 $T = \frac{L_1 \cdot (i_{1p})^2 \cdot \eta}{2 \cdot P_2} = 33.6\mu\text{s}$, 所以 $f = \frac{1}{T} = 29.8\text{kHz}$, $\alpha =$

$T_{on} / T = 0.45$, $B_m = \frac{i_{1p} \cdot L_1}{S \cdot N_1} = 2700\text{Gs}$ 。

下面再就输入电压最高、输出电流 I_{01} 、 I_{02} 最大的情况下加以计算, 由 $V_{1\max} = 360\text{V}$, $P_2 = 44\text{W}$, $I_{1p} = \frac{2 \cdot P_2}{\eta} \left(\frac{N_{13}}{V_{02}} + \frac{1}{V_1} \right) = 0.71\text{A}$, 同样可求 $T_{on} = 8.1\mu\text{s}$, $T = 21.2\mu\text{s}$, $f = 47\text{kHz}$, $\alpha = 0.38$ 。

功率管 V_{DS} 波形如图 3 所示, 由此可求 Q_1 的漏

极电压峰值 V_{DSP} , $V_{DSP} = \frac{V_2}{N} + V_{1r} + V_{1s} + V_{1\max} = 680\text{V}$ 。可选用耐压为 700V 的功率管, 如 BU508A 型三极管, 其 $V_{cep} = 700\text{V}$, $I_{cp} = 8\text{A}$, $P_{cp} = 125\text{W}$ 。

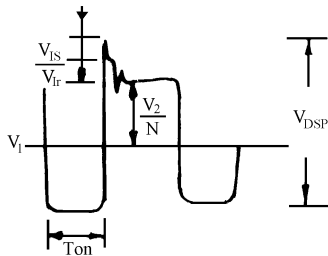


图 3 功率管 V_{DS} 波形

4.8 输出二极管 D_{11} 、 D_{12} 及 D_{13} 的确定

通过 D_{11} 的电流同 I_3 , 但实际上需考虑 T_{off} 时反向漏电流通过的问题, T_{off} 时反向电压 V_{dr} 为:

$$V_{dr} = V_{02} + V_1 \times N_{13} = 10.9\text{V}$$

可选用肖特基势垒二极管, 故 D_{11} 选用 D55M3M, 其峰值反向电压额定值为 30V。

同理确定 $\pm 12\text{V}$ 输出二极管 D_{12} 、 D_{13}

$$V_{d\max} = \frac{N_2}{N_1} \cdot V_{1\max} + V_{01} = 38.9\text{V}$$

可选用肖特基二极管 S2S6M

4.9 输出电容的确定

通过 $\pm 12\text{V}$ 输出电容的纹波电流 $I_c = I_{2p} - I_{01}$, 如图 4 所示。

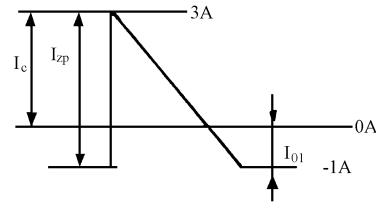


图 4 输出电容的纹波电流

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{T_{on}}{3T} (I_{2p}^2 - I_{2p} \cdot I_{01} + I_{01}^2) + \frac{T_{off}}{T} \cdot I_{01}^2} = 1.63\text{A}$$

因而可确定选用 25V, 2200 μF 的电解电容。

同理可求出 5V 输出漏电容的有效电流值 $I_{rms} = 5.5\text{A}$, 因而可选用 25V, 2200 μF 的电解电容器 4 只并联。

5 结论

根据给定设计参数, 进行了设计并制造了样机, 调试获得成功。该开关电源是绝缘变换器中最简单的一种。但变压器利用率差, 只限于制作输出容量小于 100W 的直流稳压电源。

该电路的特点是占空比与输入电压成正比(频率成反比), 不受负载影响(占空比不变, 但频率与输出电流成正比下降), 因而容易进行大范围控制。

参考文献

- 1 赵效敏. 开关电源的设计与应用. 上海: 上海科学普及出版社, 1995.
- 2 何希才. 新型开关电源及应用. 北京: 人民邮电出版社, 1996.
- 3 长谷川. 开关式稳压器的设计技术. 施仁译. 北京: 科学出版社, 1989.

(收稿日期 1999-03-03)

作者简介

张金波, 1967 年生, 讲师。1993 年 4 月毕业于阜新矿业学院研究生部, 获工学硕士学位, 曾参加完成《螺旋滚筒性能研究》课题, 已通过部级鉴定, 发表学术论文 10 余篇, 现在河海大学常州分校信息学院从事教学和科研工作。