

一种 PWM 型 220 V 高频开关电源的实现方案

王 库 黄赞武

(中国农业大学电子电力工程学院)

摘 要 介绍了开关电源的基本原理, 分析论证了 Buck 系列变换器的性质。在试验的基础上建立起高频开关电源的系统模型, 并分析了系统的静动态响应和稳定性。提出了一种可行的 PWM 型高频开关电源的实现方案。

关键词 PWM; 开关电源; 系统模型

分类号 TM 133

A Scheme Making PWM High-frequency Switching Power Supply of 220 V

Wang Ku Huang Zanwu

(College of Electronic and Electric Power Engineering, CAU)

Abstract The basic theory of switching power supply was introduced. The Buck converter has been analyzed and tested. The model of the system was established on the basis of experiments. The stability of the system was also analyzed. A feasible scheme of PWM high frequency switching power supply was put forward.

Key words PWM; switching power supply; system model

在目前的电力系统中, 大都采用相控电源。相控电源采用工频变压器, 体积大, 且输出电压的纹波系数大。它的监控系统不完善, 采用主从备份方式, 用户使用不方便; 更重要的是它无法达到电力系统监控设备和通信设备要求电源纹波小, 可靠性高, 抗干扰能力强的新的技术标准。另外, 由于充电设备与蓄电池并联运行, 纹波系数较大, 会出现蓄电池脉动充电放电, 影响蓄电池的使用寿命。高频开关电源体积小、重量轻, 且频率高, 输出纹波小, 具有模块叠加 $N + 1$ 热备份设计功能, 便于计算机管理, 因此在电力直流操作电源系统中, 高频开关电源必将取代传统的相控电源。基于此, 笔者提出了一种供电力直流操作电源系统使用的高频开关电源模块的实现方案。

1 高频开关电源的系统构成

1.1 开关电源基本原理

高频开关电源主要由输入电网滤波器、输入整流滤波器、高频开关变换器、高频变压器、输出整流滤波器、控制电路、保护电路、辅助电源等几部分组成^[1]。其基本原理是: 交流输入电压经电网滤波、整流滤波后成为一粗糙的直流电压, 高频变换器将这一直流电压变换成高频交流

收稿日期: 2000-03-27

王 库, 北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)105 信箱, 100083

电压,再经高频变压器变压和隔离,最后经过输出整流滤波电路,将变压器输出的高频交流电压整流滤波得到高质量、高品质的直流电压。

1.2 开关变换器的拓扑结构

Buck 系列变换器是一种常用的 PWM 变换器主电路拓扑结构。设开关周期为 T_s , PWM 控制信号导通时间占空比为 T_1 , 断开时间占空比为 T_2 , $T_1 + T_2 = 1_0$ 。当开关管 T_r 导通时,电感电流

$$\Delta i_{L1} = \int_0^{t_1} \frac{V_s - V_o}{L} dt = \frac{V_s - V_o}{L} T_1 T_s \tag{1}$$

当 T_r 截止时,电感电流

$$\Delta i_{L2} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{V_o}{L} dt = \frac{V_o}{L} T_2 T_s \tag{2}$$

稳态时式(1)和(2)相等,故有

$$V_o = V_s T_1 \tag{3}$$

实际上式(3)只有在电感电流连续的状态下才成立,故设计要求系统工作在这种状态下。由式(3)知,系统的电压增益为

$$M = \frac{V_o}{V_s} = T_1 \tag{4}$$

由式(4)知电压增益由占空比 T_1 唯一确定。

根据 Buck 变换器拓扑结构的这种性质设计出主电路,基本结构见图 1。电路采用全桥隔离式结构,功率开关管选用 SSH11N90,属于 MOSFET 管,输入输出用高频变压器隔离,开关 S_1 — S_4 的 PWM 控制信号由集成控制器 UC3825 提供。在开关变换器的输入端加一直流电压,集成控制器 UC3825 产生的 PWM 信号的脉宽通过其脚输入电压 V_k 来控制,测得主电路输出电压 V_o ,得到一组控制信号 V_k 和输出电压 V_o 的数据,利用 Excel 进行数据处理后结果见图 2。

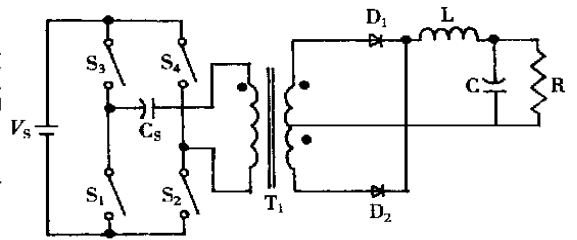


图 1 开关变换器结构

可以看出,输出电压与控制信号成正比关系,其拟合曲线方程为

$$V_o = 28.766V_k - 18.953$$

占空比也是正比关系,所以输出电压与占空比成正比关系。结合式(4)可知本系统输出滤波电感的电流是连续的,同时作为被控对象来说,整个变换器及其后面的整流滤波部分可以看成是一个比例环节,这一点对于整个系统的分析和模型的建立很有意义。

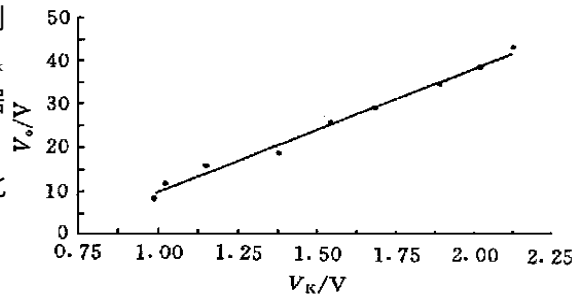


图 2 主电路开环输出电压 V_o 与控制信号 V_k 的关系

2 闭环反馈系统的设计

2.1 电流控制型开关变换器^[2]

为了控制输出电压,使其不随输入电压和负载的变化而变化,保持输出的稳定,必须建立负反馈闭环系统。传统的PWM型开关电源只对输出电压进行采样,用以作为反馈信号进行闭环控制,这种控制方式属于电压控制型。从控制理论的角度讲,这是一种单环控制系统。电压控制型开关变换器是一个二阶系统,它有2个状态变量:输出滤波电容的电压和输出滤波电感的电流。二阶系统是一个有条件稳定系统,只有对控制电路进行精心设计和计算后,在一定的条件下,闭环系统方能稳定工作;然而,一阶系统却是一个无条件的稳定系统。本系统在电压控制的基础上,增加了一个电流反馈环节作为内环,构成双闭环控制系统。电流反馈控制电感电流,使得电感电流不再是一个独立的变量。系统由二阶简化为一阶。电流环的实现依赖PWM集成控制器UC3825,采集的电流信号与参考值比较后,控制PWM锁存器。当电流信号大于参考值时,锁存器复位,功率开关管截止,从而控制电源输出。

2.2 电压环的电路设计

为了达到对输出电压的良好控制,电压环的设计十分关键^[3]。本系统从输出端直接对电压反馈信号进行采样,与基准电压比较后,经过一个比例积分环节调节,然后经精密线性光耦到集成控制器UC3825,控制PWM信号的占空比,完成对输出电压变化的控制。精密线性光耦既实现主电路与控制电路的电气隔离,又完成反馈控制信号的比例传输。整个过程的关键是PI调节器的设计,如图3所示。 V_r 为整定电压, V_f 为反馈电压, V_o 为输出电压。 V_f 由主电路输出电压直接通过分压而得,输入到放大器的负端N以实现负反馈,通过调节放大器反馈环的 R_f 和C,可以调节系统的响应灵敏度和稳态误差精度。通过计算得输入输出关系

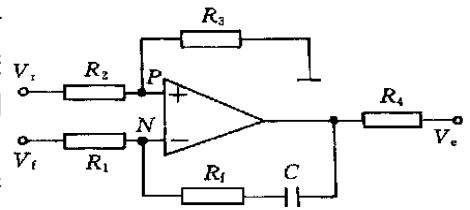


图3 PI调节器

调节器的设计,如图3所示。 V_r 为整定电压, V_f 为反馈电压, V_o 为输出电压。 V_f 由主电路输出电压直接通过分压而得,输入到放大器的负端N以实现负反馈,通过调节放大器反馈环的 R_f 和C,可以调节系统的响应灵敏度和稳态误差精度。通过计算得输入输出关系

$$V_o = \frac{R_f}{R_1} (V_r - V_f) - \frac{1}{R_1 C} \int V_f dt + \frac{R_3}{R_1 (R_2 + R_3) C} \int V_r dt \tag{5}$$

式中: $\frac{R_f}{R_1} (V_r - V_f)$ 为比例部分; $\frac{R_3}{R_1 (R_2 + R_3) C} \int V_r dt - \frac{1}{R_1 C} \int V_f dt$ 为积分部分。

3 系统模型的建立

设比例系数 K_1 , 反馈系数 K_f 。根据图3和式(5)可以得到系统的结构框图(图4)。由于

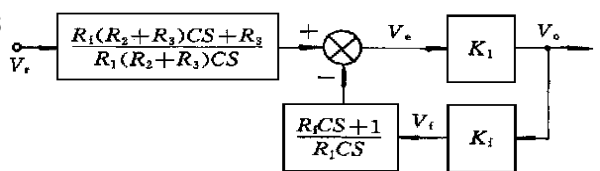


图4 开关电源闭环控制系统框图

$$V_o = V_e K_1, V_f = V_o K_f$$

将它们代入式(5)并作拉氏变换得系统闭环传递函数

$$G(S) = \frac{R_f(R_2 + R_3)CS + R_3}{R_1(R_2 + R_3)CS} \cdot K_1 \left(1 + K_1 K_f \frac{R_f CS + 1}{R_1 CS} \right)^{-1} \tag{6}$$

整理得

$$G(S) = \frac{R_f K_1}{R_1 + R_f K_1 K_f} \cdot \left(S + \frac{R_3}{R_f (R_2 + R_3) C} \right) \left(S + \frac{K_1 K_f}{(R_1 + R_f K_1 K_f) C} \right)^{-1} \quad (7)$$

零点: $-\frac{R_3}{R_f (R_2 + R_3) C}$, 极点: $-\frac{K_1 K_f}{(R_1 + R_f K_1 K_f) C}$, 闭环增益: $\frac{R_f K_1}{R_1 + R_f K_1 K_f}$

用 MATLAB 对系统模型进行仿真, 得到如图 5 所示的阶跃响应波形图。可以看出, 系统可在 $80 \mu\text{s}$ 之内达到稳定。由于本系统 PWM 变换器的开关频率为 100 kHz , 即周期为 $2 \mu\text{s}$, 所以, 对于扰动, 系统可以在 40 个周期之内调整过来, 这个速度是符合开关电源控制的实际情况的。当然, 还可以通过调节 PI 控制器参数以使系统工作在最佳状态。

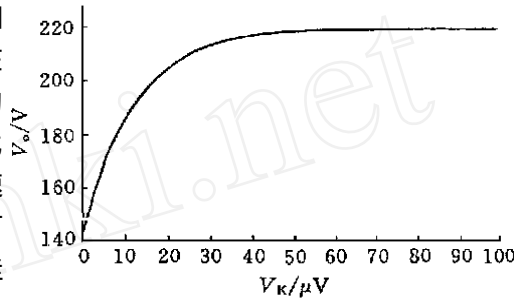


图 5 闭环系统仿真响应图

4 结束语

通过对 Buck 系列变换器的论证, 并根据试验结果, 建立了高频开关电源系统的模型, 证明系统能稳定可靠的运行, 并设计了 PI 调节器控制系统的响应时间稳态精度。提出了一种 PWM 型 220 V 高频开关电源的实现方案。

参 考 文 献

- 1 张占松, 蔡宣三 开关电源的原理与设计. 北京: 电子工业出版社, 1998 16~ 26, 61~ 71
- 2 季振山, 唐震宇, 罗家融 电流控制型开关稳压电源 电子与自动化, 1999(1): 25~ 28
- 3 黄赞武 高频开关电源的设计: [学位论文]. 北京: 中国农业大学, 2000