

平均电流型 PFC 分析及电路实现*

王耀北, 闫英敏, 赵锦成
(军械工程学院, 河北, 石家庄 050003)



作者简介: 王耀北 (1975-), 男, 硕士, 主要研究方向为电能变换技术。

摘要: 对平均电流型功率因数校正电路原理进行分析, 并就以 BOOST 型拓补构成该型电路实现的几个关键技术做出说明。

关键词: PFC; 平均电流型; 电路实现

中图分类号: TN 710 文献标识码: A 文章编号: 1003-4250(2005)01-0001-03

近年来, 由于电网中大量非线性负载接入和对绿色电源的苛求, 功率因数校正 (PFC) 技术有了长足发展。平均电流型功率因数校正技术以其独特优点而逐步被广泛运用^[2], 本文旨在对该电路原理进行分析, 并就利用 UC3854 为核心设计的实验电路实现的几个关键问题做出说明。

1 功率因数相关

1.1 功率因数

功率因数定义为: 有功功率与视在功率之比。考虑公用电网中, 电压波形畸变很小, 而电流波形畸变可能很大^{[1][3]}。因此, 只研究电压波形为正弦波, 电流波形为非正弦波的情况下的功率因数^[1]。

则功率因数为:

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{UI_1 \cos \varphi_1}{UI} = \frac{I_1}{I} \cos \varphi_1 = r \cos \varphi_1$$

式中: 正弦波电压有效值 U 畸变电流有效值 I 基波电流有效值和与电压的相位差分别为 I_1 和 φ_1 , $r = I_1 / I$ 为基波电流有效值和总电流有效值之比, 称为基波因数, $\cos \varphi_1$ 称为相移因数。

对于现代功率变换装置, 由于输入是全桥整流电路, 电流基波与电压相移不大, 位移因数 $\cos \varphi_1 \approx 1$ ^[2]。所以, 对含有全桥整流电路的电路基本只针对基波因数进行校正。

1.2 全桥整流电路产生基波因数原因

全桥整流电路通常采用二极管构成的不可控容性整流电路, 如图 1(a) 所示。由于这种整流电路对输入电流不具有可控性, 电容电压不能跃变, 从而当电源电压高于电容电压时, 二极管导通, 当低于时, 不导通, 形成了电源电压峰值附近的电流脉冲, 如图 1(b) 所示。

该电流含有大量谐波成分, 电路功率因数很低 (通常仅达到 0.5~0.7), 谐波含量可达 100%~150%, 将对电网造成严重的污染^[3]。因此, 需要对它进行功率因数校正。

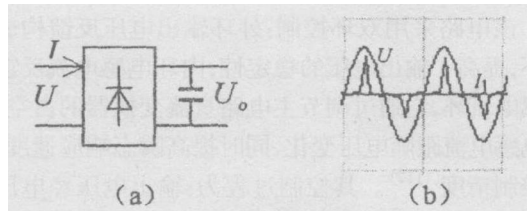


图 1 全桥整流电路及电压电流波形

1.3 功率因数校正技术

功率因数校正, 就是通过一定的措施, 使输入电流连续, 并尽可能接近于电压波形, 或者说使输入电流谐波成分尽量小。根据采用的校正方法不同, 可分无源功率因数校正和有源功率因数校正两种。

无源功率因数校正技术主要在整流电路增加电感、电容等无源元件, 对电流脉冲进行抑制, 以降低电流谐波含量, 提高功率因数。其功率因数通常在 0.95 左右, 谐波含量能降至 30% 左右。

有源功率因数校正技术主要利用全控开关器件整流或利用直流变换器配合辅助电路对输入电流波形进行控制, 使波形与电源电压波形相同。其总谐波含量可以降低至 5% 以下, 功率因数能达 0.995 能很好的解决电路的谐波污染问题。

2 平均电流型 PFC 电路分析

2.1 原理电路框图

图 2 给出了平均电流型 PFC 原理电路框图, 它属于有源功率因数校正, 图中采用升压式 DC-DC 电路拓扑。

* 收稿日期: 2004-06-28

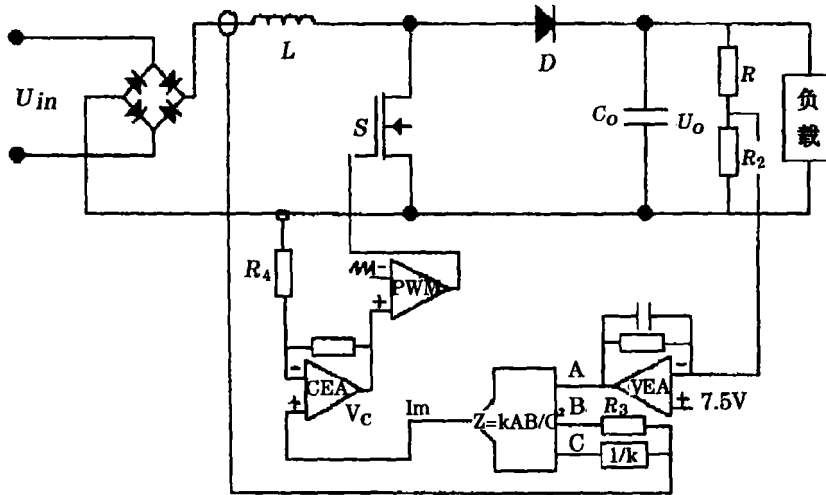


图 2 平均电流型控制 PFC 原理电路框图

2.2 PFC 控制过程

该电路采用双环控制: 外环输出电压反馈构成电压环, 提高了输出电压的稳定性; 内环电感电流反馈则构成电流环, 它通过调节主电路直流变换器的占空比, 使电感电流跟随电压变化, 同时提高瞬态响应速度, 增强控制精度^{[1][2]}。其控制过程为: 输出电压经电压误差放大器 (VEA), 整流后的网侧电压经采样环节 ($1/K$) 和网侧电流, 送入乘法器 (Z), 输出 I_m (呈整流后半正弦波形式) 送入电流误差放大器 (CEA), CEA 另一输入为电感电流采样信号, 由于 CEA 为二阶无差系统, 此二信号经电流误差放大器及其补偿网络进行运算后, 迫使电感电流跟随 I_m 波形。这是由 CEA 输出信号 V_c 送入脉宽调制器 (PWM), 输出 SPWM 波控制主开关 S 的通断完成的。图 3 给出了电感电流波形, 波浪线为电感实际电流波形, 虚线为电感平均电流。

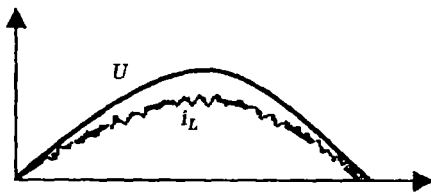


图 3 平均电流型 PFC 电压和电感电流波形

3 平均电流型 PFC 实验电路实现

电路设计主要技术指标为: 输入电压范围 180~270V, 最大输出功率 250W, 直流输出电压 400V, 功率因数达到 0.99 总谐波电流含量小于 5%。

3.1 PFC 实验电路

图 4 以 UC3854 为核心, BOOST 拓补构成的平均

电流型 PFC 电路图。其具体参数设定按文献 [2] 提供的方法计算。

3.2 关键技术

经实验发现, 图 4 电路要实现功能和较高效率, 着重考虑功率级电路电感设计、功率元件的选取和开关频率设定 (即芯片工作频率) 是必要的。

3.2.1 电感的设计

电路中电感直接决定着电路的性能、电路的体积以及干扰^[2]。为保证电感满足电路要求, 电感值计算应考虑最坏的情况: 最低电压输入及对应的最大占空比 D 时; 电感的设计要充分考虑到电感能通过较大的直流电流而不饱和, 即所选磁性材料应具有一定的直流安匝数, 可选用加气隙铁氧体、加气隙非晶或微晶、铁镍铝磁环、铁粉芯磁环等材料, 具体设计方法可见文献 [4]。

3.2.2 输出电容选取

输出电容选取, 一般按输出功率的大小, 典型值为每瓦 $1 \sim 2 \mu F$ 。如果考虑到电路维持时间和纹波电压, 则可按如下公式计算:

$$C_o = \frac{2 \times P_o \times \Delta t}{U_o^2 - U_{o(\min)}^2}$$

其中: Δt 为维持时间, $U_{o(\min)}$ 为最小输出电压。对该电路取 $\Delta t = 34 \times 10^3$ (s), $U_{o(\min)} = 350V$ 。

3.2.3 功率开关管和二极管的选择

功率开关管选择: 功率开关管的耐压应降额 75% 左右使用, 电流应选等于电感峰值电流。该电路中输出电压 U_o 为 400V, 电感峰值电流约为 3A。为有利于扩展, 可以选取 RFP46Q

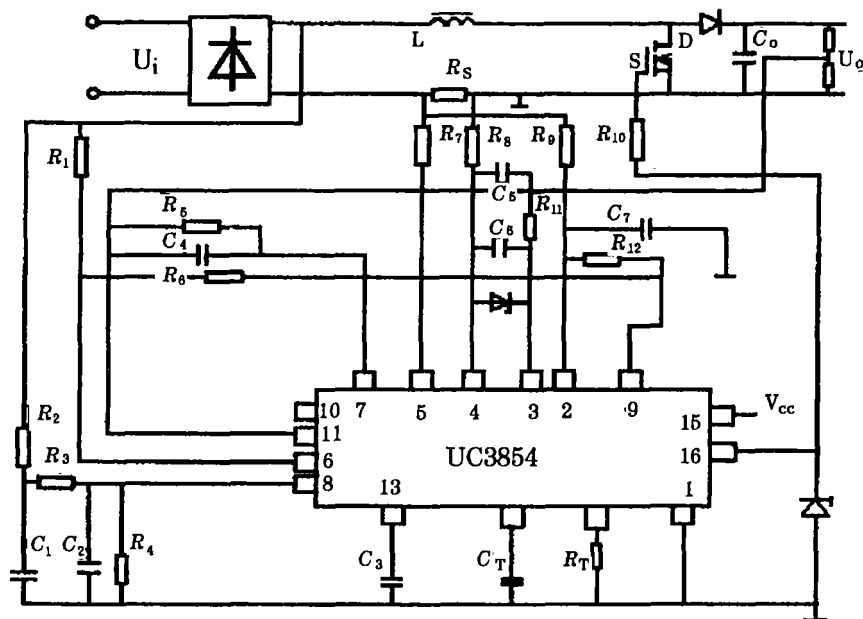


图 4 功率因数校正电路图

二极管的选择: 与升压电感相连的二极管在电压、电流定额满足要求的同时, 由于电路工作频率很高, 为避免关断损耗, 所以应选择其反向恢复时间 < 1% 的开关周期二极管。可选择 MUR304Q

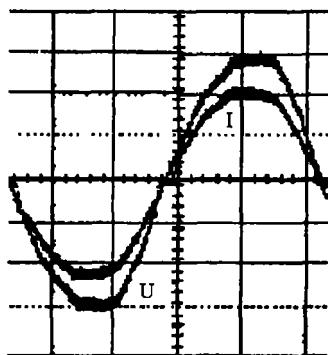


图 5 输入电压电流实验波形

3.2.4 开关频率设定

开关频率设定主要应考虑: 器件效率最高, 功率损耗最低, 失真减至最小程度; 主开关管的承受能力; 电磁干扰和整机体积。一方面开关频率越高, 所使用的储能电感体积越小, 从而可减小整机体积; 另一方面主开关及其它开关器件的开关损耗会因开关频率的提高而迅速增大, 电磁干扰也会增大; 同时不同种类的主开关有不同的频率适用范围。因此, 需综合考虑以上因素, 选取合适的开关频率。

而在功率因数电路中限制其工作频率和效率的主要原因是开关管和二极管的特性^[6] (这也反过来影响

开关管和二极管的选择)。设定时要充分考虑功率开关管和二极管开、关断时间和 UC3854 的电流限制 (即注意选择 R_T 值)。对于该电路一般设定频率在 70~100K 之间。

3.3 试验结论

对图 4 电路利用示波器对输入电压和电流波形进行监测, 可得图 5 所示电压电流波形, 图 6 为利用 PSpice 对该电路进行仿真的波形, 二者比较, 实验电路与仿真电路波形基本相同, 实验电路消除了图 1(b) 所示的脉冲电流, 完成了功率因数功能。经分析, 该实验电路的功率因数达到了 0.997, 谐波电流含量小于 5%, 且实验电路运行良好。

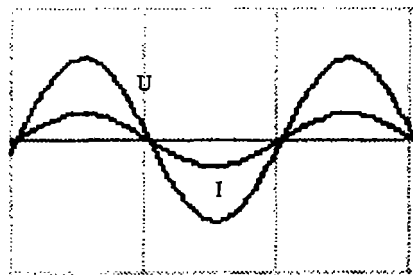


图 6 输入电压电流仿真波形

4 结论

对平均电流型 PFC 原理分析和实现 250W 功率因数校正电路发现, 平均电流型控制技术用于功率因数校正, 具有控制电路简单、控制精度高、设计简单等明显优点。

(下转第 8 页)

实现了在电站舱顶的通风、散热要求。

6.4 据了解,车载辅机电站均将排烟管与发动机排烟口采用法兰刚性联结,此方式存在如下缺点:

(a) 排烟管与发动机排烟口及机舱安装(排烟管)孔,三者相互位置很难保证,加上受空间限制,安装十分困难;

(b) 发动机在启动和停机时均产生强烈的低频振动,特别是单缸机更为严重,经过一段时间,由于振动导致刚性联结的排烟管系统开裂,烟雾弥漫在电站舱内,影响了电站正常工作。即使维修好了,也会周而复始重复发生故障。

针对上述缺点,采取一种全新的结构设计。本电站发动机排烟口与排烟管不但不联结,而且让其

留有 15mm 间隙,如图 3 所示,由此排烟管不受发动机振动之害,利用发动机排烟口喷烟冲力和排烟管烟囱效应将烟排出舱外,克服了上述缺点,简化了结构设计,方便了安装,从根本上杜绝了排烟系统故障,取得了很好的效果。此种全新的结构设计是本电站技术创新的一个亮点。

7 结束语

该辅机电站是一个比较典型的例子,针对其特殊性要求,在总体方案和技术设计上进行了多项创新,并在某型号侦察车得到应用,取得了良好的效果。该辅机电站的形式和电站舱结构设计,可供同行参考。

Design and technical new ideas in the auxiliary power station of certain type armoured reconnaissance vehicle

GU T rcai

(Liaoyuan Sanhai Mechanical Electric LTD. Co., Jilin Prov., Liaoyuan 136200 China)

Abstract Introduced a auxiliary power station and take technical new ideas to meet complete requirement in structural design of power station and power station cabin according its special requirement to select power station.

Key words certain type armoured reconnaissance vehicle; structural design; technical new ideas

(上接第 3 页)

参考文献:

- [1] Mohan, Undeland, Robbins Power Electronics (Converters Applications And Design) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004
- [2] 李爱文, 张承慧. 现代逆变技术及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2000

- [3] 王兆安, 张明勋. 电力电子设备设计 and 应用手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002
- [4] 赵珂, 彭浩. 平均电流型功率因子校正电路的研究 [N]. 南昌航空工业学院学报, 1998 (4): 46-51
- [5] Jai P. Agrawal Power Electronic Systems [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.

Analysis of the average current model PFC and electric circuits realizes

WANG Yaobei; YAN Yingmin; ZHAO Jincheng

(Ordnance Engineering College, Hebei Prov., Shijiazhuang 050003, China)

Abstract Analysis the average current model PFC, and talk about some problem of electric circuits realizes of BOOST model

Key words PFC; average current; electric circuits realizes