

# 压缩机用直线振荡电机供电电源设计

谭学峰<sup>1</sup> 赵杰<sup>2</sup> 赵成睿<sup>3</sup>

1. 国网江苏省电力有限公司徐州市贾汪区供电分公司

2. 国网江苏省电力有限公司徐州供电分公司; 3. 南京工程学院

**摘要:** 供电电源是直线压缩机系统的重要组成部分, 系统工作的可靠性主要受供电电源的性能优劣影响。基于单端反激电路, 设计了一款电源, 其输入为85~265Vac, 输出为24Vdc。首先详细地叙述了单端反激变换器变压器的设计经过, 然后将小信号分析应用于反馈环路, 设计了稳定可靠的补偿网络, 最后制作出原理样机并对样机进行了相关实验。最终的结果表明, 电源工作状态稳定, 并具有较好的动态性能, 原理样机的效率最高为89.4%, 符合直线振荡电机供电电源的规定。

**关键词:** 振荡电机; AC/DC; 单端反激; 超结MOSFET; 反馈环路

**【DOI】** 10.12252/j.issn.2096-627X.2022.07.111

压缩机的动力源取自直线振荡电机, 可直接产生高频往复运动, 无需中间转换机构, 简化了机械结构, 效率较高<sup>[1]</sup>, 而压缩机驱动系统的重要组成部分是供电电源, 系统工作可靠性也很大程度上取决于供电电源的性能优劣。将耦合电感把传统buck-boost变换中的电感替换, 可得到反激变换拓扑这一转变在实际应用中得到了理想的效果。文献<sup>[2]</sup>设计了一款开关电源, 其电压电流分别为19V、3A, 文中介绍了NCP1271的工作原理及特点并将其应用至开关电源, 最后测试了开关电源的性能。文献<sup>[3]</sup>设计了一款采用NCP1271反激式开关电源, 对soft-skip工作模式做了主要研究。

文献<sup>[2]</sup>和<sup>[3]</sup>中的反激式开关电源, 共同点为均采用NCP1271, 最终的实验结果表明最高效率为87.4%。本文讨论了反激式变换变压器的设计过程, 采用NCP1271A电流模式PWM出的反激式开关电源, 主要的依据为单端反激电路的工作原理, 补偿了光耦输出极点, 并将小信号分析方法应用于反馈补偿环路, 同时通过Matlab仿真工具绘制了伯德图, 并选取最优的补偿网络参数。论文最后, 试验了反激式开关电源各项性能, 主要包含的内容为效率测试、空载启动测试、带载启动测试、待机功耗测试等。本文详细记录了单端反激开关电源设计的过程, 使用相似芯片及拓扑的电源设计思路可参考本文的设计过程。

## 一、直线振荡电机供电电源拓扑及原理

本文将单端反激拓扑应用于所设计的直线振荡电机供电电源, 其供电电源原理框图如图1所示, 输入滤波电路、整流滤波电路、反激变压器和MOSFET组成的反激变换电路、芯片控制电路、MOSFET驱动电路、电流检测电路、输出电压采样及反馈电路、输出整流滤波电路为其组成。

单端反激变换器变压器的典型波形图如图2所示。若导通了开关管Q1, 在此期间, 初级绕组的两端流过稳定的直流电压, 直流电压由整流滤波得到, 变压器此时

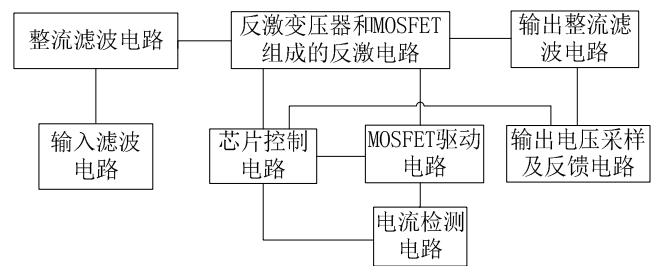


图1 直线振荡电机供电电源原理框图

储存能量, 原因为初级绕组的电感电流 $I_p$ 的状态呈线性上升; 将开关管Q1断开后, 各个绕组的电压将会反向, 原因为励磁电感电流的存在, 因电感电流不能急剧变化, 变压器电流在开关管Q1断开时先经过初级绕组, 再经过次级绕组, 变压器电流数值取决于安匝数等式。在再次导通开关管Q1前, 次级电流 $I_s$ 衰减到零, 此时的变压器在断续模式中工作, 且负载端将接受在再次导通开关管Q1前变压器初级储存的全部能量。本文所设计的供电电源基于上述原理。

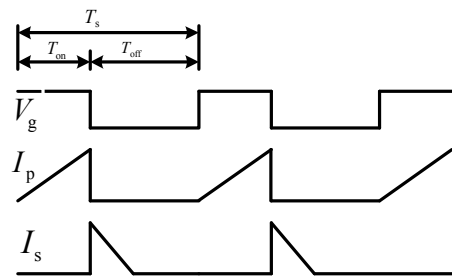


图2 断续工作模式下单端反激变换器的典型波形图

## 二、振荡电机供电电源变压器设计

与传统的变压器相比, 单端反激变换器中的变压器存在着区别, 其区别在于初级绕组导通并流过电流与次级绕组导通并流过电流的时间不同, 开关管Q1关断时, 反激变压器运行模式为隔离变压器运行, 反之, 反激变压器的工作模式为储能电感。



由式(12)可得到供电电源开环环路的伯德图,其相位裕度 $66.3^\circ$ ,增益很高是环路低频段的优势所在,可保证其稳态误差和稳定性。

#### 四、直线振荡电机供电电源整机测试

本文中设计完毕的实物为达到提高单端反激式变换器效率的目的,使用了功率开关管,其型号为超结MOSFET LSC07N65。

##### 1. 空载启动测试

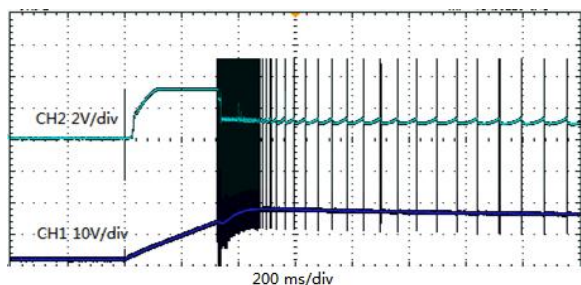


图4 85V交流输入启动波形

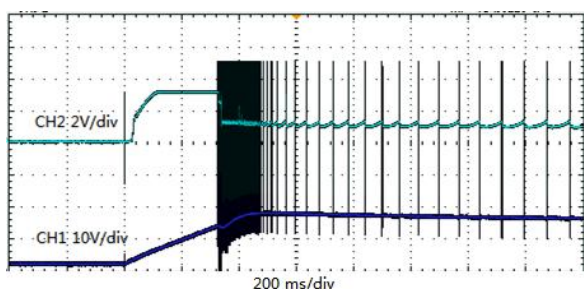
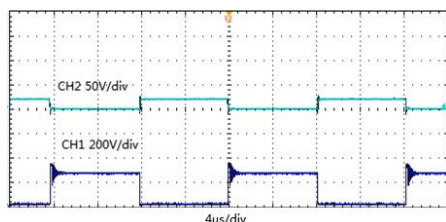


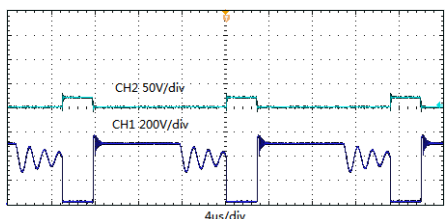
图5 85V交流输入启动波形

启动波形如图4、图5所示,其区别在于交流输入电压不同,CH1的电压波形由辅助绕组输出,CH2为反馈脚波形。由图可知3.86V为反馈脚波形在启动过程中的极限,其原因为存在保护元件稳压管D11,但提高输出电压时,反馈脚波形会随之开始下降,而芯片在输出稳定后进入待机模式,即在Soft-skip工作模式。

##### 2. 带载实验



(a) 交流输入为85V所对应的波形



(b) 交流输入为265V所对应的波形

图6 漏源极的电压应力以及开关管的门极驱动波形

主开关管的漏源极电压应力波形如图6中的CH1所示,开关管门极的驱动波形如图6中的CH2所示,由图6可知,将 $D_{max}$ 在设计变压器时设置为0.5时,且变压器的交流输入为85V时,此时占空比为0.5,当断开开关管时,开关管栅源的等效电容、变压器的等效电容与变压器的漏感产生谐振,漏感储能能量将消耗在缓冲吸收网络上,消耗的方式为谐振电流,感应电动势也会由谐振电流产生,开关管的漏源极被感应电动势、反射电压和流输入电压三者一起加在,在关断时刻,开关管漏源极的电压应力振荡波形如图6(b)所示,由图可知,当交流输入电压为265V时,560V为开关管漏源极的电压应力极限,此电压值符合相关应用要求,为开关管LSC07N65耐压值的86%。

##### 3. 效率测试

本文测试了直线振荡电机供电电源在额定60W负载、输入不同的交流电压下的效率,使用仪器为EA-EL 9160-10电子负载和YOKOGAWA WT500功率分析仪。整机效率在额定负载下且交流输入为220V时可达89.4%。

#### 五、结论

本文基于反激变换器设计了一款压缩机用直线振荡电机驱动电源。首先,对单端反激变换器的原理进行了分析,对高频变压器进行相关的设计,并对其反馈补偿环路进行了相关优化。对直线振荡电机驱动电源进行空载启动、带载启动、效率等多种试验,试验结论为该源输出纹波小,动态超调小,效率高,可较好地用于直线振荡电机供电电源。

#### 参考文献

- [1] 于明湖,卢琴芬,叶云岳等.双定子直线振荡电机工作特性分析[J].浙江大学学报(工学版),2010,44(11):2113-2117.
- [2] 李龙文.具有软式周期跳跃及频率抖动的PWM控制器—NCP1271[J].电源技术应用,2007,10(2):49-55.
- [3] 王伟,张波,丘东元.采用Soft-Skip无噪声待机模式的反激电源[J].电力电子,2009,06:31-35.
- [4] 吴祥兴.深入浅出电源设计[M].北京:电子工业出版社,2014.23-26.
- [5] EVERLIGHT ELECTRONICS CO., LTD. EL817 DATASHEET. <http://www.everlight.com/file/ProductFile/EL817.pdf>

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助、江苏省普通高校研究生科研创新计划资助项目,批准号SJLX-0060