

海上油田中压变频器开关电源的国产化研究及应用

中压变频器开关电源作为易耗件，在日常维护保养中占比很高。通过对中压变频器进口开关电源的研究和分析、性能测试、样机试用及优化等过程，研发了适用于海上油田的国产化开关电源，应用软开关技术对传统开关电源电路进行了改造，通过理论分析和试验结果表明，采用软开关技术的国产开关电源性能参数、稳定性和可靠性等完全可以与原进口产品媲美，国产开关电源满足变频器的要求。

刘朝平/中海石油（中国）有限公司蓬勃作业公司

0 引言

中压变频器开关电源中，电子元件随着使用时间的增加逐步接近寿命周期，在日常维护保养中对开关电源的需求量却越来越大。本文通过对中压变频器开关电源的研究，选择采用零电压软开关技术^[1]的国产开关电源，对国产开关电源进行了研究和设计，该开关电源的开关频率可以达到100 kHz，高频化的开关频率和零电压技术相结合，使这款产品具有体积小、重量轻、效率高和噪声低等一系列优点，最后通过试验和现场试用证明所设计的开关电源性能指标满足变频器要求，有效地提高了电源的效率，同时降低了损耗^[2]。

关键词/Keywords

开关电源 ·
零电压开关 ·
ZVS ·
变频器 ·

1 开关电源工作原理

硬开关电路开通关断过程和软开关电路开通关断过程如图1、图2所示。硬开关过程中，电压曲线与电流曲线存在交叉重叠，重叠部分即代表了开通关断过程中的损耗功率；而对比软开关过程中电压、电流曲线，两者没有交叉重叠，即不产生功率损耗（理想状态下）^[3]。

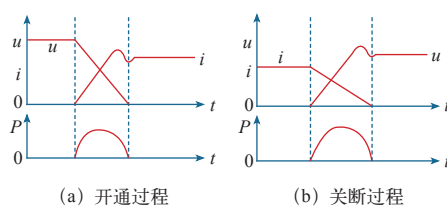


图1 硬开关电路开通关断过程

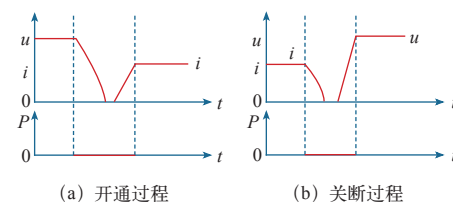


图2 软开关电路开通关断过程

国产开关电源原理如图3所示，包括输入侧整流滤波电路以及输出侧闭环控制的高频开关切换电路两大部分。其中输入侧整流滤波电路包含电磁滤波、突入电流抑制以及功率因数校正（PFC）电路，确保开关电源稳定工作的同时，减少对电网电源的谐波污染；输出侧切换电路应用了软开关技术，在保证高频开关的前提下，降低了开关损耗，从而减少了装置的损耗，提高了电源工作效率。此外，通过对输出电流、电压进行闭环控制，实现过载、过电压保护，同时保证了输出波形稳定，响应快速。

优化后的开关电源电路如图4所示，零电压PWM变换电路通过改变两臂对角线上下管驱动电压移相角的大小来调节输出电压，这种方式是让超前臂管栅压领先于滞后臂管栅压一个相位，并在 I_c 控制端对同一桥臂的两个反相驱动电压设置不同的死区时间，同时利用变压器漏感以及功率管的结电容和寄生电容来完

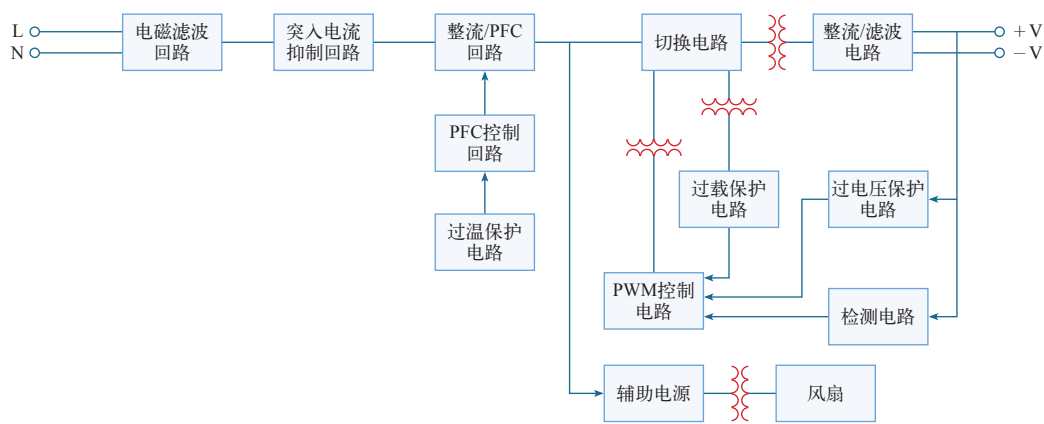


图3 国产开关电源原理

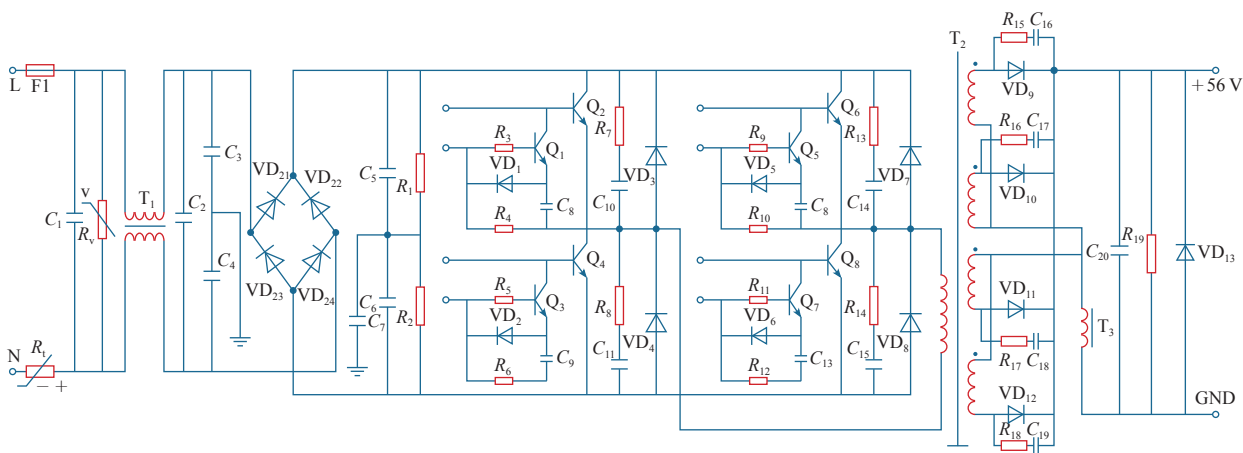


图4 优化后的开关电源电路

成谐振过程以实现零电压开通，从而错开了功率器件电流与电压同时处于较高值的硬开关状态，并有效克服了感性关断电压尖峰和容性开通时管温过高的缺点，减少了开关损耗与干扰。

2 性能测试

为验证应用软开关技术后的国产开关电源性能，在相同的负载条件下，分别进行空载、半载以及全载性能对比试验，以全载模式为例阐述两种电源的性能，两种开关电源的额定参数如表1所示。

表1 额定参数对比

项目	输入电压/V	输出电压/V	输出电流/A
原开关电源	AC 100~240	DC 56	26.8
国产开关电源	AC 90~264	DC 56	32

电源现场安装位置如图5所示，试验环境如

图6所示。全载试验分别进行输出电压电流和静态纹波电压测试、通电和掉电测试以及负载突加和突减测试，用示波器记录测试波形。试验中开关电源的输出参数如表2所示。

(1) 全载模式下静态纹波电压测试

原开关电源空载时的纹波电压约为700 mV，国产开关电源空载时的纹波电压约为1 000 mV。原开关电源和国产开关电源纹波波形如图7所示。



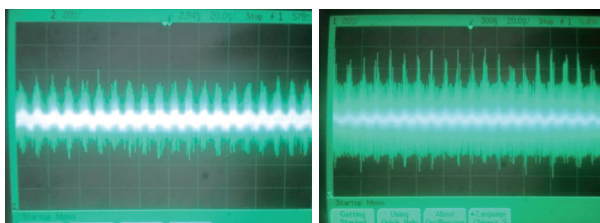
图5 电源现场安装位置



图6 试验环境

表2 全载模式输出参数

项目	输出电压/V	输出电流/A	带载压降/V
原开关电源	55.9	26.77	0.2
国产开关电源	55.9	26.82	0.1

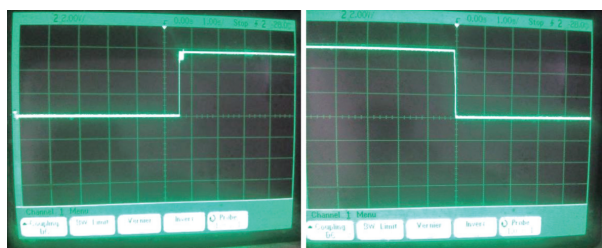


(a) 原开关电源纹波波形 (b) 国产开关电源纹波波形

图7 开关电源纹波波形

(2) 全载模式下上电和掉电试验

原开关电源全载上电和掉电的输出波形如图8所示。



(a) 上电波形 (b) 掉电波形

图8 原开关电源全载上电和掉电的输出波形

在全载模式下，两种开关电源均能在上电时快速打开输出，掉电时快速关断输出，但原开关电源在上电时有电压尖峰波动的情况出现，其中上电时出现了电压尖峰波动的情况，如图9所示，原开关电源电压波动范围为 $-7.5 \sim +2.5$ V，波动持续时间为150 ms。

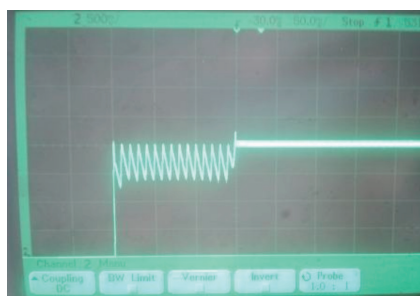
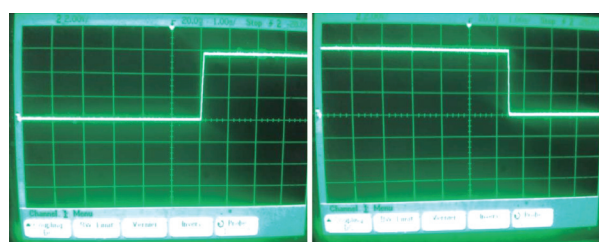


图9 电压尖峰波动

国产开关电源全载上电和掉电的输出波形如图10所示。

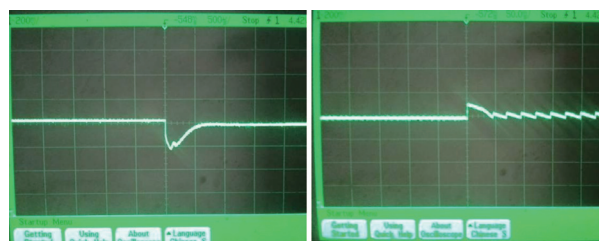


(a) 上电波形 (b) 掉电波形

图10 国产开关电源全载上电和掉电的输出波形

(3) 全载模式下突加负载和突减负载试验

原开关电源半载突加负载和突减负载的输出波形如图11所示。



(a) 突加负载波形 (b) 突减负载波形

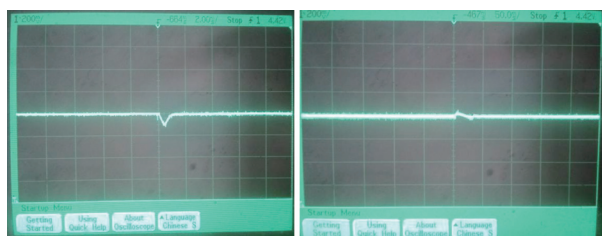
图11 原开关电源全载突加负载和突减负载的输出波形

突加负载时会出现一个峰值为下降2.5 V、持续时间为1 ms的波谷；突减负载时则会出现一个峰值为上升1 V、持续时间为50 ms的波峰。

国产开关电源全载突加负载和突减负载的输出波形如图12所示。

突加负载时会出现一个峰值为下降1.5 V、持续时间为1 ms的波谷；突减负载时则会出现一个峰值为上升0.5 V、持续时间为30 ms的波峰。

在全载状态下，两种开关电源均能在突加负载和突减负载时只有微弱的瞬时波动，保证了负



(a) 突加负载波形

(b) 突减负载波形

图12 国产开关电源全载突加负载和突减负载的输出波形

载变化时的输出电压稳定。

3 试验结果

通过试验测试可以得出如下结论：

- 1) 国产开关电源的电压输入范围比原开关电源宽，且输出电流更大，适用性更好。
- 2) 国产开关电源的输出电压在各种负载条件下均能保持稳定，在负载变化时的电压变化比原开关电源更小。
- 3) 国产开关电源的输出电压纹波与原开关电源相差不大。
- 4) 国产开关电源在电源接通时，输出电压无脉冲波动，输出更稳定。
- 5) 国产开关电源在突加负载和突减负载时，输出电压波动更小。

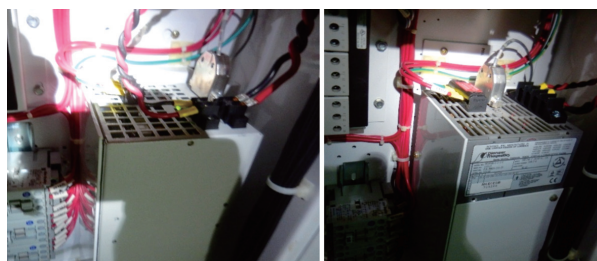
4 应用效果

渤海区域某油田从2015年开始，逐步使用国产开关电源替代原开关电源，应用数量超过了50台，国产开关电源在安装尺寸、接线方式等方面与原设备的整体匹配性极好，可以实现无损替换，安装方式简便、快捷。原开关电源和国产开关电源的安装位置和接线方式如图13、图14所



(b) 国产开关电源安装位置

图13 原开关电源和国产开关电源安装位置



(a) 原开关电源接线方式

(b) 国产开关电源接线方式

图14 原开关电源和国产开关电源接线方式

示。经过长达两年的现场使用，目前故障率为0，该油田还有200多台设备将在原开关电源故障后逐步进行替换，全部实现国产化。

5 结束语

本文阐述了一种使用零电压软开关技术的国产电源替代原开关电源的成功应用案例，通过试验，该电源在各项性能上可以达到原开关电源的标准，部分指标甚至更优，并且经过现场实际使用，表明测试性能稳定，证实了方案的合理性和可行性。

参考文献

- [1] 许胜辉，魏岚婕．一种ZVZCS软开关电源的应用[J]．电源技术与设计，2013，31(4)：628-632．
- [2] 李春华，胡红林，王艳超．ZVS全桥移相软开关电源[J]．黑龙江科技学院学报，2008，18(4)：302-305．
- [3] 马力强．软开关原理及发展趋势[J]．机械与电子，2011(19)：126-127．

(收稿日期：2018-03-06) EA



(a) 原开关电源安装位置