

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.02.028

微机保护开关电源实时在线监测研究

史春旻¹, 鲍有理¹, 仲伟宽¹, 孙天宇¹, 朱婵霞¹, 张 玮²
(1. 无锡供电公司, 江苏 南京 214000; 2. 国电南自, 江苏 南京 211100)

摘要: 针对微机保护现阶段较为普遍的开关电源损坏问题,开展了开关电源结构特点以及开关电源老化失效因素的分析,提出了使用开关电源理论寿命折算法、开关电源输出纹波判别法以及输出电压判别法来联合判别开关电源的性能和状态的方法,并在该理论方法的基础上,完成了对温度采集和纹波采集电路模块的设计,实现了对微机保护开关电源实时在线监测,提高了微机保护开关电源稳定运行的可靠性。研究表明,该方法可靠有效,具有一定的实用性。

关键词: 微机保护; 开关电源; 实时监测

中图分类号: TM56 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2014)02-0257-04

Real-time monitoring on switching power supply of microcomputer relays

SHI Chun-min¹, BAO You-li¹, ZHONG Wei-kuan¹, SUN Tian-yu¹, ZHU Chan-xia¹, ZHANG Wei²
(1. Wuxi Power Supply Company, Wuxi 214000, China;
2. Guodian Nanjing Automation Co., Ltd., Nanjing 211100, China)

Abstract: Aiming at the problems of switching power supply shortage of microcomputer relays, the structure and the invalid factor of switching power were investigated. After the analysis, the theoretic lifetime converting and output ripple wave and the output voltage discriminance were established. The methods were presented to test the switching power performance. The hardware circuit was designed on the methods, the whole system was tested. The experimental results indicate that the methods are reliable and practicable.

Key words: microcomputer relays; switching power supply; real-time monitor

0 引 言

自1998年开始,微机保护开始在苏南地区推广使用,随着技术的发展,微机保护的各项工作都得到了加强和完善,到目前为止几乎完全取代了传统的电磁型保护。虽然微机保护相对于电磁型保护来说优点很多,但是其使用寿命仅有12年左右,比电磁型保护短很多^[1],而微机保护开关电源模件的寿命更短,且各主流厂家生产或提供的开关电源寿命差异较大,部分厂家的开关电源可使用12年以上,而有些厂家的开关电源仅仅能使用6年左右。从现场运行和检修的经验来看,在继电保护的各类缺陷中,电源模件损坏占比

较大,无锡地区2012年统计的继电保护缺陷数据显示,2012年保护装置的各类缺陷中,开关电源故障占比为34.46%,已成为影响继电保护装置正常运行的主要缺陷之一。

继电保护用开关电源是继电保护装置中的主要功能模块,它负责将站用220 V直流转换成供微机保护CPU使用的5 V和继电器使用的24 V直流^[1]。而继电保护开关电源的好坏直接影响到保护装置动作的可靠性,当电源模件损坏时,微机保护所有功能都将缺失,这给电网的安全带来很大的隐患。

本研究将探讨如何在微机保护运行时,实时监测开关电源的运行状态,当开关电源性能下降时,及时提供报警信息,提醒检修人员及时更换。同时,监测

收稿日期: 2013-10-18

作者简介: 史春旻(1981-),男,江苏东台人,工程师,主要从事继电保护检修及整定方面工作。E-mail: rockily@126.com

的结果可完整地保存下来,为今后的开关电源设计提供可靠的设计依据。

1 开关电源故障分析

1.1 开关电源故障率状态分析

实践证明开关电源的故障率是时间的函数,遵循浴盆曲线(Bathtub curve,失效率曲线)的规律^[2],失效率曲线如图1所示。

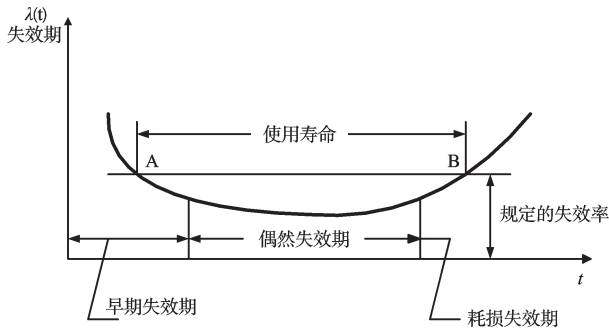


图1 失效率曲线

曲线的形状呈两头高,中间低,具有明显的阶段性,可划分为3个阶段:早期失效期,偶然失效期,耗损失效期。浴盆曲线是指产品从投入到报废为止的整个寿命周期内,其可靠性的变化呈现一定的规律,如果取产品的失效率作为产品的可靠性特征值,则它是使用时间作为横坐标、以失效率为纵坐标的一条曲线。

早期失效期:是由于在设计、结构、制造工艺中存在缺陷或由于严重的使用不当而造成产品失效的阶段。由于微机保护出厂时已经完成拷机测试,现场运行时该阶段失效的概率很低。

偶然失效期:这是一个随机的失效阶段,这种失效与工作环境有关,与工作时间关系不大。这一时期是产品的良好使用阶段,偶然失效主要是由质量缺陷、材料弱点、环境和使用不当等因素引起。该阶段的失效概率很低。

耗损失效期:该阶段,元件的性能急剧恶化,失效率随时间而上升。主要由磨损、疲劳、老化和耗损等原因造成。微机保护开关电源在该阶段损坏的概率上升很快,需要及时更换。

要研究开关电源是否进入耗损失效期以及进入耗损失效期的条件,就需要从开关电源的组成和结构开始研究。

1.2 开关电源结构分析

开关电源是开关稳压电源的简称,它采用脉宽调制(PWM)驱动功率半导体器件作为开关元件,通过周期性通断开关、控制开关元件的占空比来调整输出电

压^[3]。其工作频率一般在20 kHz~500 kHz范围之内(典型开关频率为150 kHz),效率可达65%~85%。开关电源一般由脉冲宽度调制(PWM)控制IC和MOS-FET构成。

继电保护开关电源一般为DC/DC开关电源,由于微机保护装置的运行功率较低,一般使用小功率反激式DC/DC转换电源。反激式开关电源即:开关稳压器将一输入电压变换成一较低的稳定反相输出电压。其原理图如图2所示^[4]。

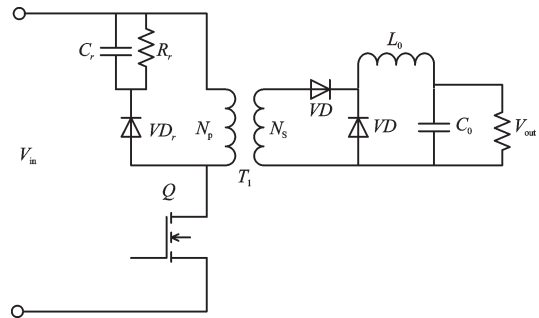


图2 反激式DC/DC开关电源简化等效电路图

其中,变压器 T_1 起隔离、传递、储存能量的作用,即在开关管 Q 导通时 N_p 储存能量,开关管 Q 关断时 N_p 向 N_s 释放能量。在输出端加有电感器 L_0 和电容器 C_0 组成的低通滤波器,变压器初级 C_r 、 R_r 和 VD_r 组成的RCD漏感尖峰吸收电路^[4]。其优点是电路结构简单,适用于200 W以下的小功率电源,且多路输出交调特性相对较好。

1.3 开关电源元器件分析

开关电源由多种元器件构成,其中易老化的关键元器件主要为电解电容、光耦和粉芯磁件。

(1) 电解电容。电解电容中的电解液易挥发,长期运行后存在电容值降低、等效串联电阻上升等老化现象,从而影响电源产品的性能,最终导致整个产品失效^[5]。

(2) 光耦。光耦一般应用在控制回路中作为线性隔离器件。老化时电流传输比降低,导致电源环路增益下降、环路不稳等,使得产品失效。

(3) 粉芯磁件。粉芯磁件由铁粉通过有机胶粘合压制而成,如果设计不当,使得有机粘合老化严重时,会出现磁损巨增、磁芯饱和等问题,可能引起由电感导致的烧机的安全隐患。

一般而言在开关电源元器件中,电解电容为寿命最短的元器件,所以电解电容在电源产品的寿命中是关键性的一个环节。

通过对开关电源电解电容、输出纹波、电压的监测,能达到监测开关电源运行状态和性能的目的。

2 开关电源实时在线监测算法研究

2.1 开关电源理论寿命折算评估法

开关电源的寿命主要由电容的寿命决定,通过估算电容的寿命,可以大致了解电容的寿命。

电解电容的理论寿命公式^[6]为:

$$L = L_0 \cdot 2^{\frac{T_0 - T}{10}} \quad (1)$$

式中: L —电容寿命时间, L_0 —电容理论寿命, T —电容实际使用温度, T_0 —电容标识温度。

L_0 、 T_0 由生产厂商提供。

首先,引入电容的耗损量公式,电容的耗损量是时间和温度的函数:

$$W(t) = f(t, T(t)) \quad (2)$$

式中: $W(t)$ —电容的损耗量; t —时间变量; $T(t)$ —温度变量,其中温度又是时间的函数。

根据电容理论寿命公式可以推导出电容耗损量公式:

$$W(t) = \int_0^t \frac{1}{L_0 \cdot 2^{\frac{T_0 - T}{10}}} \quad (3)$$

式中: $W(t)$ —电容的损耗量, t —时间变量, L_0 —电容理论寿命, T_0 —电容标识温度, T —电容实际使用温度。

考虑适当的裕度,当电容的耗损量达到85%时,认为开关电源进入耗损失效期。

2.2 输出纹波判别法

DC/DC开关电源输出为直流量,直流稳定量中多少带有一些交流成份,这种叠加在直流稳定量上的交流分量就称之为纹波。

实际运行中的开关电源纹波如图3所示。

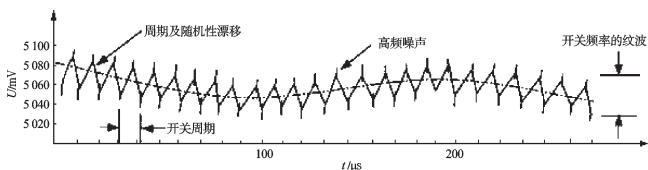


图3 开关电源输出纹波示意图

开关电源的输出纹波和输出滤波电容有很大的关系^[7]。当输出滤波电路的电容量下降时,输出电压中的纹波含量将上升。

本研究对国内著名继电保护厂家国电南自的PSL641U保护装置电源模块进行纹波分析实验,数据显示:当电容正常工作时,纹波幅值小于10 mV。当电容损耗容值下降50%时,纹波扩大接近1倍。当电容彻底损坏,纹波的幅值已经大幅度增加达到100 mV

以上。

上述实验表明,可以根据谐波增大的程度,判别开关电源是否进入耗损失效期。而且,随着电容量耗尽,开关电容的输出纹波明显增加。

在实际运行环境中,由于开关电源输出电压中的谐波比较复杂,如果采用输出谐波判别法对开关电源的状态进行评估,还需要结合开关电源的实际结构、电源的实际应用环境等因素进行综合分析评估。

本研究通过实时地对开关电源的交流均方根值进行记录,构建纹波的变化趋势图,可以做到预测电源的失效时间。

2.3 输出电压判别法

由图3可以看出,忽略纹波后,开关电源的输出也不会是一条水平直线,输出电压将会呈现周期性或随机性的漂移和摆动。

根据国网公司DL/T527-2002《静态继电保护装置逆变电源技术条件》规定,5 V、24 V的电压波动范围为^[8]:

+5 V: 4.75 V~5.25 V

+24 V: 22.8 V~25.2 V

当开关电源输出电压超出上述范围持续一段时间时,即可判断开关电源性能异常。

3 开关电源实时在线监测硬件

3.1 温度采集电路设计

根据式(3)可知,需要监测开关电源运行中的温度,才能获得开关电源的耗损量。

通过在开关电源电路板的关键部位,预埋Pt100 RTD测温电阻,可以精确获得需要采集的温度。

铂电阻温度传感器是利用其电阻和温度成一定函数关系而制成的温度传感器,由于其测量准确度高、测量范围大、复现性和稳定性好等,被广泛用于中温(-200 ℃~650 ℃)范围的温度测量中^[9]。

通过应用三线制接法能准确地测量Pt100电阻值,其优点是将PT100的两侧相等的导线长度分别加在两侧的桥臂上,使得导线电阻得以消除。

3.2 纹波采集电路设计

纹波采集电路和示波器电路设计类似,其典型的电路如图4所示。

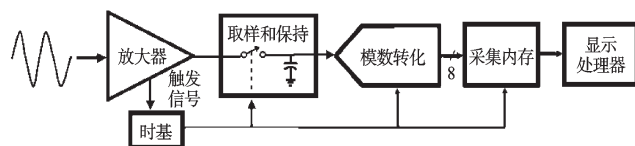


图4 纹波采集电路流程图

输入的电压信号经耦合电路后送至前端放大器,前端放大器将信号放大,以提高示波器的灵敏度和动态范围。放大器输出的信号由取样/保持电路进行取样,并由A/D转换器数字化,经过A/D转换后,信号变成了数字形式存入存储器中^[10],微处理器对存储器中的数字化信号波形进行相应地处理,并显示出来。这就是数字存储示波器的工作过程。总体上说,采集开关电源纹波的处理方法几乎等同于示波器处理流程。

但是对纹波采集的要求又不同于示波器:开关电源的纹波频率一定,采集需要的截止频率有限,仅仅需要采集150 kHz频率的PWM信号纹波;无需还原纹波的上升沿、下降沿时间,只需知道纹波大小即可;频谱分析只需计算总的谐波含有率;电源故障的特征较长,对刷新率要求不高,对处理器的运算速度要求低。

经选择,国电南自原有线路保护中使用的CPU,ST意法半导体Cortex-M4核心的STM32F4ZET6可以很好地满足需求,3个独立的12位ADC,采样率高达2.4 Msps,支持3个ADC交错采样,最高实现7.2 sps的采样率,可以很好地完成对开关电源纹波的采样;自带10/100 M以太网MAC,能可靠完成设备对外的通信任务,支持DSP指令,对浮点运算操作有更快的硬件运算部件支持。硬件总体设计图如图5所示。

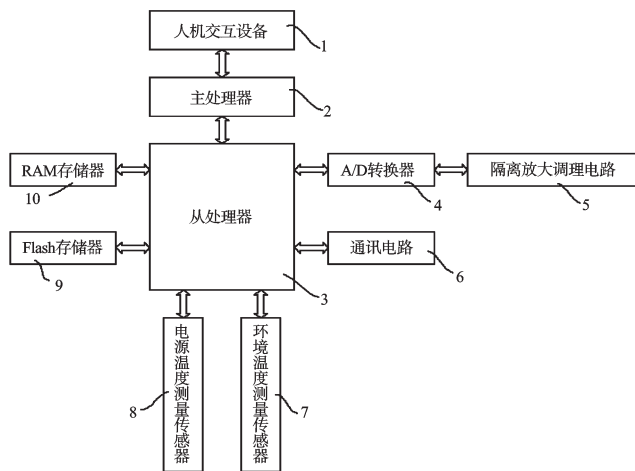


图5 纹波采集电路框图

4 开关电源在线监测前景分析

CPU-STM32F4ZET6为高集成度单芯片设计,具有很高的性价比。通过在微机保护中增加一块诊断

插件来完成在线实时监测任务,不影响保护装置其他功能的正常运行,总体硬件的成本可控,同时又能很好地满足技术参数要求,具有很好的市场竞争力。

未来该系统可逐步增加其他监测功能和监测点,使整个监测回路更加完善,能促进继电保护装置的安全稳定运行。

5 结束语

本研究根据微机型继电保护多年运行经验的总结,从开关电源是其性能的薄弱点出发,分析了开关电源的结构、特点,最后设计相应的软件和硬件,完成对开关电源运行状态的监视。该硬件已开始在变电站现场运行,且运行情况良好。

本研究提出的监测方法,手段尚比较单一,监测点较少,未来还需要在现有的基础之上,进行升级和扩充,使监测功能更加全面完整,并提高准确率。

参考文献(References):

- [1] 欧阳帆,张亮峰,李刚,等. 微机保护装置逆变电源故障原因分析[J]. 电力自动化设备,2011,31(7):150-153.
- [2] 江玉彬. 浴盆曲线在通信电源设备管理中的应用[J]. 通信电源技术,2013,30(1):34-36.
- [3] 徐涛,吴迎霞,张红超,等. 继电保护用开关电源的故障分析及改进[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(10):135-137.
- [4] 张维. 单端反激式开关电源研究与设计[D]. 西安:西安电子科技大学电气工程学院,2011:5-6.
- [5] 赵勇刚,梁秋妮,周庆波. 开关电源用高压铝电解电容器长寿命技术的研究[J]. 电子元件与材料,2013,32(7):29-33.
- [6] CORPORATION R. Technical notes for electrolytic capacitor [EB/OL]. [日期不详]. <http://www.rubycon.co.jp/de/products/alumi/pdf/Life.pdf>.
- [7] 吴凌云,李端正. 关于开关电源纹波抑制的技术要点及措施[J]. 数字技术与应用,2011(12):205-206.
- [8] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. DL/T 527-2002 静态继电保护装置逆变电源技术条件[S]. 北京:中国电力出版社,2002.
- [9] 陈志文,王玮. 基于Pt100铂热电阻的温度变送器设计与实现[J]. 现代电子技术,2010(8):197-199.
- [10] 行韶谓,段衍东,禹林焱. 基于FPGA的VGA显示简易数字示波器设计[J]. 电子测量技术,2012,35(10):30-35.

[编辑:李辉]

本文引用格式:

史春旻,鲍有理,仲伟宽,等. 微机保护开关电源实时在线监测研究[J]. 机电工程,2014,31(2):257-260.

SHI Chun-min, BAO You-li, ZHONG Wei-kuan, et al. Real-time monitoring on switching power supply of microcomputer relays[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(2):257-260.

《机电工程》杂志:<http://www.meem.com.cn>