

# 光纤通道传输品质对线路保护 PSL 603U 影响的试验研究

许庆强<sup>1</sup>, 张勇刚<sup>2</sup>, 周栋骥<sup>1</sup>, 朱建红<sup>2</sup>, 李珊<sup>3</sup>

(1. 江苏省电力试验研究院有限公司, 江苏 南京 211100; 2. 国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 210003;  
3. 南京航空航天大学经济与管理学院, 江苏 南京 210016)

**摘要:** 借助实验室搭建的测试环境, 在对测试系统和保护装置本体试验基础上, 模拟 2M 光纤复用通道叠加误码、叠加延时、通道中断、装置自环和装置交叉等各种异常情况, 开展了光纤通道传输品质对线路保护装置影响的试验研究, 并给出了定量的试验结果。结果表明, 试验所用测试系统和保护装置均满足试验要求, 被测装置 PSL 603U 在叠加误码和延时均能满足相关标准要求, 在通道其他异常情况下能可靠给出告警信息。

**关键词:** 电力系统; 继电保护; 光纤通道; 误码率; 传输延时

## Experimentation and research of optical fiber channel to the line differential protection PSL 603U

XU Qing-qiang<sup>1</sup>, ZHANG Yong-gang<sup>2</sup>, ZHOU Dong-ji<sup>1</sup>, ZHU Jian-hong<sup>2</sup>, LI Shan<sup>3</sup>

(1. Jiangsu Electric Power Research Institute Corporation Limited, Nanjing 211100, China;

2. Guodian Nanjing Automation Co., Ltd, Nanjing 210003, China;

3. College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** The used optical fiber channel test system and protective relaying devices are well tested. Then, all the abnormalities, including exorbitant error code rate, channel delay, channel stoppage, channel self loop, channel cross and so on, are simulated to test the line differential protection, then detailed test results are provided. The results show that the used test system and all the protective relaying devices are in normal state, that the action of PSL 603U can meet the need of correlative standards with exorbitant error code rate and channel delay, and that the alarm of the tested devices can be sent correctly in other abnormal states.

**Key words:** power systems; line protective relaying; optical fiber channel; error code rate; transmission delay

中图分类号: TM77; TM73 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)11-0075-06

## 0 引言

光纤分相电流差动保护具有整定简单、灵敏度高、无需选相、抗干扰能力强、不受系统振荡及负荷电流影响等优点, 成为输电线路保护的主流产品, 在高、中和低电压等级的输电线路中都得到了广泛应用。但是, 光纤差动保护对光纤通道的依赖性很强, 对通道延时、通道中断、通道衰耗和通道误码率均有严格的要求。另外, 光纤通道比较脆弱, 熔接不好、接头接触等原因都会影响通道的传输质量<sup>[1-2]</sup>。

目前, 光纤分相电流差动保护在投运及定检时主要对保护装置的功能和回路进行检验, 对通道测试内容很少, 或者由于条件限制, 对通道测试不够充分。大部分只是利用光功率计, 对保护装置的发光功率和对侧传过来的光纤收信功率进行简单测

量, 部分网、省局通过运行通信设备(SDH)对通道进行试验, 此方法虽然具有真实、系统性强的优点, 但试验周期比较长, 测试不全面, 通道的关键指标不能量化。通道延时(尤其是收发不对称延时)、严重误码、通道中断等方面对保护装置性能的影响不能进行充分测试, 给电力系统的安全运行带来一定的隐患。

论文给出实验室模拟 2M 光纤复用通道异常情况的具体内容和试验方法, 开展了光纤通道传输品质对保护装置影响的试验研究, 给出了详细的测试结果。

## 1 相关通信知识

传统上常用长期平均误比特率(BER, 又称误码率)来衡量光纤通道的稳态传输质量, 但是, 由于保护装置采用的是高级数据链路通信规约

(HDLC),其只能对整个帧的信息进行校验,因此保护装置的误码检测实际是误帧检测。因此,需要通过试验方法确定保护装置对误帧等统计指标的正确合理性,并且对于各误帧统计指标和误码率的关系进行分析<sup>[3-7]</sup>。其有关的指标定义如下。

**误码率:**以某一特定观测时间内错误比特数与传输比特总数之比。

**误帧数:**指采用光纤通道的纵联保护装置或命令接口装置接收到通信异常帧的累计。

**丢帧数:**指采用纵联保护装置或命令接口装置应该收到,但没有收到的帧累计。

**每分钟丢帧数:**指纵联保护装置或保护命令接口装置一分钟内应该收到,但没有收到的帧累计。

**每分钟误帧数:**指纵联保护装置或保护命令接口一分钟内接收到通信异常帧累计。

**延时:**数字信号以群速通过一个数字连接所经历的时间。

## 2 试验仪器和系统

### 2.1 试验仪器

本试验采用的试验仪器和相关设备包括光功率计、光衰减仪、光同步传输系统、通信误码发生仪、数字复用接口装置和线路光纤分相电流差动保护装置 PSL 603U 等,见表 1 所示。

表 1 试验所用仪器

Tab.1 Apparatus used in the test

仪器名称	型号	数量
光功率计	NOYES OPM4-3C	1 台
光衰减仪	阿尔卡特	1 台
光同步传输系统	CGCS-1000	2 套
通信误码发生仪	TWM-1 (G703)	2 台
数字复用接口装置	GXC-64/2M	2 台
误码测试仪	ACTERNA	1 台
线路分相电流差动保护	PSL 603U	2 台

利用在受检有效期内的低精度误码测试仪 ACTERNA 的 EST-125 E1 Service Tester 对通信误码发生仪 TWM-1 进行检测,测试结果见表 2。

表 2 对通信误码发生仪测试结果

Tab.2 Test results for code error generator

加入误码率	误码位	所有位数	测试时间 / s	测量误码率
1.0E-7	301	3.013E+9	1 473	1.002E-7
1.0E-6	1 417	1.417E+9	693	1.000E-6
1.0E-5	85 945	8.604E+9	4 200	1.000E-5
1.0E-4	21 809	2.195E+9	1 064	9.999E-5
1.0E-3	2.875E+6	2.928E+9	1 410	9.990E-4
1.0E-2	1.825E+7	1.845E+9	900	9.901E-3

从表 2 可以看出,试验所用通信误码发生仪的生成误码率具有很高的可信度。

### 2.2 试验系统

验证通道异常情况下保护装置的动作行为,需要模拟区内、外短路故障。本试验采用中国电力科学研究院开发的实时数字仿真系统(ADPSS)来完成该部分模拟工作,搭建的输电系统和通道测试系统分别见图 1 和图 2。

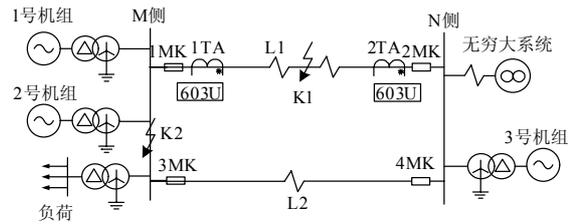


图 1 输电系统模型

Fig.1 Transmission line system model

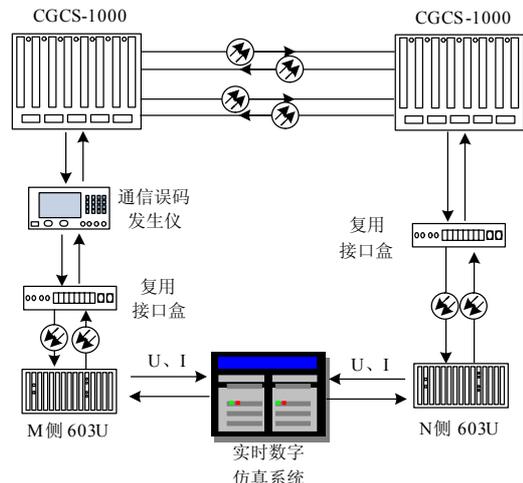


图 2 通道测试系统图

Fig.2 Channel test system

## 3 通道和装置测试项目

### 3.1 装置本体测试

#### 3.1.1 发光功率

保护装置发光功率过高或过低都会影响对侧保护的性能,该项目用于测试保护装置的光发射器功率是否满足要求。测试方法为,用跳线光纤一端接保护装置光端机发射口,另一端接光功率计,读出光功率计显示的稳定值,减去光纤接头衰耗(经验值),即得到装置发光功率。

#### 3.1.2 接收灵敏度

接收灵敏度是光纤保护装置的重要技术指标,是指保护能正常工作的最小光功率。

参见图 3 (a),串联接入光衰减仪,逐步增加

光衰耗,直至保护装置发通道告警信息。拔出装置RX处尾纤,接上光功率计,参见图3(b),用光功率计测量到的接收功率,即为装置的接收灵敏度。

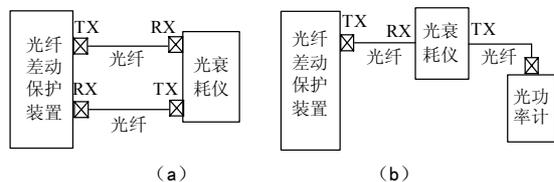


图3 接收灵敏度测试图

Fig.3 Incept precision test system

与参考文献[1]中方法相比,该方法不需要利用跳线光纤接头衰耗这一经验值,具有更高的测量精度。

### 3.1.3 装置告警机制测试

该项目用于测试保护装置报通道告警等异常信息时的通道误码率水平。在通道中串联接入通信误码发生仪,从低到高逐渐加大误码率水平,直到保护装置可靠发出通道告警等异常信息。

表3 通道告警测试结果

Tab.3 Test result about channel alarm

序号	加入误码率	通道异常信息	测试时间/min
1	1.0E-6	无通道异常信息	2
2	1.0E-5	报“通道异常”	2
3	1.0E-4	报“通道异常”	2
4	1.0E-3	报“通道中断”、“通道失步”	2

## 3.2 通道本体测试

### 3.2.1 通道自环延时

通道自环测试用于测量每个节点延时,验证通道延时是否满足要求。通道延时包括通道纵向对称延时及横向不对称延时<sup>[1,8-12]</sup>,假设发送信息从装置A到装置B的延时 $t_s$ 为发送延时,接收信息从装置B到装置A的延时 $t_r$ 为接收延时,则 $t_z = (t_s + t_r) / 2$ 称为纵向对称延时,简称纵向延时, $t_h = |t_s - t_r|$ 称为横向不对称延时。差动保护对通道传输延时的要求为<sup>[1]</sup>:  $t_z \leq 20 \text{ ms}$  且  $t_h \leq 1 \text{ ms}$ 。

自环试验所用的自环位置图见下面图4,自环点分别为本侧保护装置光口、本侧复用接口盒电口、本侧CGCS-1000光口、对侧CGCS-1000电口和对侧复用接口盒光口。

测试结果见表4,从表4数据看出,通道单向延时均很短,且具有良好的对称性,满足差动保护对通道单向传输延时要求。

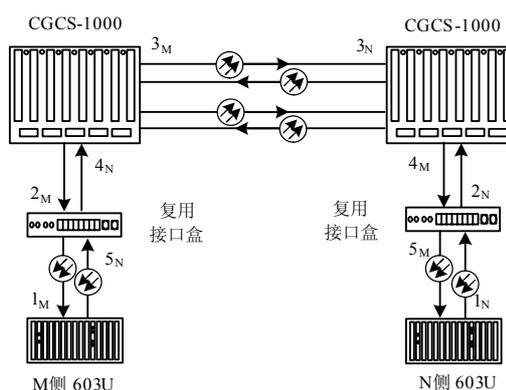


图4 自环点位置图

Fig.4 Figure of closed self loop

表4 自环延时测试结果

Tab.4 Test result of closed self loop

自环位置	显示的自环延时/ $\mu\text{s}$	
	M侧装置	N侧装置
本侧保护装置光口(1 <sub>M</sub> 和1 <sub>N</sub> )	10	10
本侧复用接口盒电口(2 <sub>M</sub> 和2 <sub>N</sub> )	44	42
本侧CGCS-1000光口(3 <sub>M</sub> 和3 <sub>N</sub> )	651	646
对侧CGCS-1000电口(4 <sub>M</sub> 和4 <sub>N</sub> )	750	744
对侧复用接口盒光口(5 <sub>M</sub> 和5 <sub>N</sub> )	824	812

### 3.2.2 通道设置延时

该测试内容用于验证保护装置测量通道传输延时的正确性。在通道中串联接入通信误码发生仪,设置不同的双向延时值,观察保护装置面板显示的延时。

根据前面试验结果表4,可推算出不接误码仪时,装置通道延时约为:  $(10 + 824 + 10 + 812) / 4 = 414 \mu\text{s}$ ,通道延时测试结果见表5。

表5 通道延时测试结果

Tab.5 Test result of channel delay

序号	误码仪 设定延时/ms	装置 显示时间/ms	通道延时 计算值/ms	误差/ $\mu\text{s}$
1	1	1.412	0.998	2
2	3	3.410	2.996	4
3	5	5.406	4.992	8
4	10	10.407	9.993	7
5	15	15.407	14.993	7

### 3.2.3 误码检测

通过串接通信误码发生仪,设置不同的误码率,用于模拟通道受到干扰而产生误码,定性分析保护装置每分钟误帧、丢帧等统计功能的正确性。

在M侧通道中串联接入通信误码发生仪,观察N侧保护装置相关统计数据见表6。

表 6 通道误码测试结果

Tab.6 Test result of channel code error

序号	加入误码率	每分钟误帧数	每分钟丢帧数	测试时间
				/min
1	1.0E-7	2	2	55
2	1.0E-6	22	23	25
3	1.0E-5	223	234	15
4	1.0E-4	2 238	2 325	10
5	1.0E-3	22 425	23 273	2

3.3 装置功能测试

在做保护功能测试试验时，差动电流定值设为 0.2 A, CT 二次额定电流取 1.0 A, 负荷电流为 0.7 A, 故障后短路电流为 32.4 A。正常情况下 PSL 603U 的通道延时约为 414 μs。

在开展通道异常对保护装置功能测试前，先测试保护在通道正常，区内外金属性故障时的典型动作行为，以便为后续测试结果提供对比数据。

3.3.1 通道叠加误码

测试保护在叠加不同误码情况下，发生区内外金属性故障时的动作行为，确定待测保护装置能够正常工作的最高误码率水平。通道叠加的误码包括叠加单向误码和叠加双向误码，设置的误码率水平分别为 1.0E-7、1.0E-6、1.0E-5、1.0E-4 和 1.0E-3。在图 2 的通道中叠加单向（M 侧装置接收通道）和双向误码，且在区内 K1 和区外 K2 点分别设置 A 相和三相金属性接地故障，试验结果分别见表 7 和表 8。本论文中符号“/”表示保护不动作。

表 7 通道叠加单向误码后发生区内外接地的试验结果

Tab.7 Test result of line protective relaying with one-directional channel code error

序号	误码率	故障类型	PSL 603U 动作时间/ms	
			M 侧	N 侧
1	1.0E-7	区内 AN	16.56	16.56
2		区外 ABCN	/	/
3	1.0E-6	区内 AN	17.19	17.19
4		区外 ABCN	/	/
5	1.0E-5	区内 AN	19.38	19.38
6		区外 ABCN	/ 报通道异常	/
7	1.0E-4	区内 AN	27.81	22.19
8		区外 ABCN	/ 报通道异常	/
9	1.0E-3	区内 AN	/ 报通道中断	/ 报通道中断
10		区外 ABCN	/ 报通道中断	/ 报通道中断

表 8 通道叠加双向误码后发生区内外接地的试验结果

Tab.8 Test result of line protective relaying with both directional channel code error

序号	误码率	故障类型	PSL 603U 动作时间/ms	
			M 侧	N 侧
1	1.0E-7	区内 AN	16.25	16.25
2		区外 ABCN	/	/
3	1.0E-6	区内 AN	16.88	16.88
4		区外 ABCN	/	/
5	1.0E-5	区内 AN	19.69	19.69
6		区外 ABCN	/ 报通道异常	/ 报通道异常
7	1.0E-4	区内 AN	20.63	32.50
8		区外 ABCN	/ 报通道异常	/ 报通道异常
9	1.0E-3	区内 AN	/ 报通道中断	/ 报通道中断
10		区外 ABCN	/ 报通道中断	/ 报通道中断

3.3.2 通道叠加延时

测试通道延时变化对保护装置性能的影响，确定待测保护装置能够正常工作的最大通道延时。利用误码发生仪在保护的发送和接收通道中同时叠加相同和不同的通道延时，即叠加纵向对称延时和横向不对称延时。在图 2 的通道中加不对称延时，分别在 K1、K2 点设置 A 相和三相金属性接地故障，试验结果见表 9。在图 2 的通道中加对称延时，且在 K1 点设置 A 相金属性接地故障，试验结果见表 10，真正

表 9 通道对称延时后发生区内 A 相接地试验结果

Tab.9 Test result of line protective relaying with one-directional channel delay

序号	叠加延时 / ms	故障类型	603U 动作时间/ms	
			M 侧	N 侧
1	发送 0.5	区内 AN	17.81	17.81
2	接收 1.5	区外 ABCN	/	/
3	发送 0.5	区内 AN	20.31	17.81
4	接收 3.5	区外 ABCN	/	/
5	发送 0.5	区内 AN	20.62	18.12
6	接收 5.5	区外 ABCN	/	/
7	发送 0.5	区内 AN	25.00	18.75
8	接收 6.5	区外 ABCN	/	/
9	发送 0.5	区内 AN	22.81	16.56
10	接收 7.5	区外 ABCN	/	/
11	发送 0.5	区外 ABCN	加负荷误动	加负荷误动
12	接收 8.0	区外 ABCN	加负荷误动	加负荷误动
13	发送 0.5	区外 ABCN	加负荷误动	加负荷误动
14	接收 8.5	区外 ABCN	加负荷误动	加负荷误动

的对称延时需要算上装置的固有通道延时 (约为 0.414 ms)。

表 10 通道对称延时后发生区内 A 相接地试验结果  
Tab.10 Test result of line protective relaying with both directional channel delay

序号	通道叠加 对称延时 / ms	603U 动作时间 / ms	
		M 侧	N 侧
1	1	17.50	19.69
2	3	20.63	22.19
3	5	22.81	23.75
4	10	27.81	27.81
5	13	30.62	30.62
6	15	31.56	31.56
7	16	34.06	34.06
8	17	33.13	33.13
9	18	34.69	37.50
10	19	36.25	36.25
11	19.5	/	/
12	20.0	/	/
13	20.5	/	/
14	21.0	/	/

3.3.3 通道中断试验

该项目用于验证通道短时中断、通道恢复对保护性能的影响,以及通道长时间中断对保护性能的影响。前者试验方法是利用误码发生仪在通道中设置中断,再次恢复正常,同时模拟区内外金属性故障;后者是在 M 侧保护装置处拔出光发回路的光纤 FC 接头,通道中断时间超过 1 min。

3.3.4 临界接收灵敏度试验

在临界光接收灵敏度的情况下,验证保护功能及通道监测功能的正确性。

试验方法是光衰耗计串接于一侧保护装置的光接收端口中,逐渐增加光衰耗使光功率约等于光接收模块临界灵敏度时,查看装置告警报文和信息(出现误码和通道异常等信息事件);然后再增加 1 dB 光衰耗,直到出现通道中断保护闭锁为止;最后再次减少 1 dB 光衰耗,使通道中断状态返回。最后稳定一段时间,测试告警和事件报文的稳定性。在此临界接收灵敏度试验条件下,做差动保护的试验,模拟区内外故障,保护动作应正确。

3.3.5 装置自环和交叉

光纤电流差动保护在自环和交叉时,会引起装置误动或拒动,解决办法是设置“本侧保护装置编码”与“对侧保护装置编码”。装置在发送报文时,将“本侧保护装置编码”与报文一起发送到对侧:

1)若接收报文中的编码与“对侧保护装置编码”一致,表示光纤通道连接正常;

2)如果接收报文中的编码与“对侧保护装置编码”不相等,但与“本侧保护装置编码”相等,则表示光纤通道自环;

3)如果接收报文中的编码与“对侧保护装置编码”及“本侧保护装置编码”都不一致,判为光纤通道交叉接线,闭锁保护,发告警信号。

(A) 装置自环

装置自环主要包括光口自环及电口自环两种。电口自环为接口转换装置通过电气接口回路构成自环状态;光口自环为光端机通过光接口回路构成自环状态。

光纤电流差动保护在单端试验以及在回路检查时,需要将两侧保护设置成相同的编码后才能做自环试验。

(B) 装置交叉

图 5 给出了产生交叉接线的两种情况。图 5(a)为双回线交叉接线,图 5(b)为相邻线交叉接线。试验时,M 侧装置“本侧保护装置编码”设置为 1,“对侧保护装置编码”设置为 2,N 侧装置“本侧保护装置编码”设置为 3,“对侧保护装置编码”设置为 4,两侧装置均满足交叉接线特征。

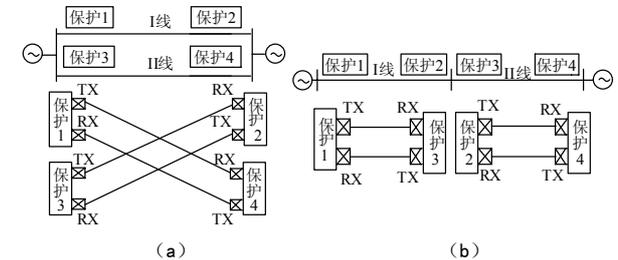


图 5 交叉接线图

Fig.5 Figure of crossed optical fiber channel

4 测试结果

通过对通道和保护装置 PSL 603U 的全面测试,得到如下测试结果。

(a) 保护装置本体

PSL 603U 标称的发光功率范围为 -3.0 ~ -10.0 dBm,测量到 M、N 两侧保护的发光功率分别为 -8.77 dBm 和 -7.57 dBm;装置标称接收灵敏度范围为 ≤ -36 dBm,两侧装置的测量结果分别为 -42.55 dBm 和 -43.28 dBm。发光功率和接收灵敏度均在标称范围内。

(b) 通道本体

试验所搭系统的光纤通道良好,延时和误码产生情况均满足保护装置的需求。

(c) 保护装置功能

1) 在通道单向或双向误码率为 1.0E-5 时, 装置给出“通道异常”报文; 误码率不大于 1.0E-4 时, 装置动作行为正确; 误码率为 1.0E-3 时报“通道中断”、“通道失步”, 并闭锁差动保护。一般情况, 误码率越高, 保护装置动作速度越慢。

2) 对称延时达到 19.914 ms (即 19.5 ms 加上 0.414 ms) 时, 差动保护不能正常工作; 在横向不对称延时达到 7.5 ms 时, 区外故障时保护会误动作。同样, 通道延时越长, 保护装置动作速度越慢。

3) 通道发生短时中断后, PSL 603U 会报“通道中断”、“通道失步”, 在通道中断期间发生故障, 保护不动作, 通道恢复后保护能正确动作。拔出 M 侧发光光纤 FC 接头模拟通道长时间中断, 两侧保护面板均有通道告警, 且均有空接点输出, 另外, M 侧报“通道失步”, N 侧同时报“通道中断”和“通道失步”。

4) 试验结果表明, 保护装置在临界接收灵敏度下, 区内外故障均能正确动作, 动作速度正常。

5) 如果保护装置的本、对侧编码按正常连接设置为不同时, 发生光口或电口自环时, PSL 603U 报“通道编号不匹配”, 闭锁差动保护; 装置交叉接线时, 两侧 PSL 603U 保护装置均发报文“通道编号不匹配”, 闭锁两侧差动保护, 做线路区内外故障, 差动保护均不动作。

5 结论

论文利用搭建的光纤通道模拟系统, 通过保护装置本体、通道本体和保护装置功能的全面测试, 对保护和通道性能配合方面进行了验证和评估, 拟促进保护、接入设备和通信网络的技术进步和协调发展。另外, 建议借鉴直流换流站光纤通道检测技术, 在交流保护光纤通道中增加实时检测功能, 做到对光纤通道的实时监控, 防止通道原因引起相关设备的不正常工作。

参考文献

[1] 李瑞生. 光纤电流差动保护与通道试验技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.  
LI Rui-sheng. Optical fiber channel in current differential protection and experimentation on channel[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.

[2] 倪伟东, 李瑞生, 李铮峰. 光纤电流差动保护通道试验及研究[J]. 继电器, 2005, 33 (8): 68-70.  
NI Wei-dong, LI Rui-sheng, LI Zheng-feng. Experimentation and research on optical fiber channel line current differential protection system[J]. Relay, 2005, 33 (8):

68-70.

[3] 吴云, 雷雨田. 光纤保护通道配置[J]. 电力系统通信, 2003(9): 11-14.  
WU Yun, LEI Yu-tian. Telecommunication channel scheme of protection based-on optical fiber[J]. Power System Communication, 2003(9): 11-14.

[4] 梁芝贤. 利用光纤通道传输保护信号[J]. 电力系统通信, 2005, 26 (148): 69-72.  
LIANG Zhi-xian. Utilizing optical fiber channel to transmit protection Signal[J]. Power System Communication, 2005, 26 (148): 69-72.

[5] 唐成虹, 付建明, 刘宏君, 等. 光纤纵差保护装置中光纤数字接口的设计新方法[J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (2): 83-85.  
TANG Cheng-hong, FU Jian-ming, LIU Hong-jun, et al. A new method for the design of the fiber-optical digital interface in current differential protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29 (2): 83-85.

[6] 王天民, 李保林. 浅谈保护专用数据传输通道模拟仪器的现场应用[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36 (23): 92-94.  
WANG Tian-min, LI Bao-lin. Application of protection private data transmission channel analogue instrument in the scene[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36 (23): 92-94.

[7] 陈强林, 李瑞生, 马全霞, 等. 继电保护通道检测平台在光纤差动保护测试中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (8): 83-85, 92.  
CHEN Qiang-lin, LI Rui-sheng, MA Quan-xia, et al. The detection platform of relay protection channel in fiber differential protection test[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (8): 83-85, 92.

[8] 赵大平, 孙业成. 浅析 SDH 光纤通信传输继电保护信号的误码特性和时间延迟[J]. 电网技术, 2002, 26 (10): 66-70.  
ZHAO Da-ping, SUN Ye-cheng. A preliminary analysis of characteristics of code error and time delay of protective relaying signals transmitted by SDH optical fiber communication system[J]. Power System Technology, 2002, 26 (10): 66-70.

[9] 金华锋, 叶红兵, 凌防, 等. 复用通道误码和时延对线路纵差保护的影响[J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (21): 63-66, 84.  
JIN Hua-feng, YE Hong-bing, LING Fang, et al. The impact of bit error and transmission delay of multiplex channel on line current differential relay[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29 (21): 63-66, 84.

[10] 李茗, 童敏. RCS931AMM 保护光纤通道异常处理与分析[J]. 湖北电力, 2009, 33 (2): 32-33.

(下转第 108 页 continued on page 108)

软件合成调制波的方法，效率高、速度快，能够实现输出的调制波的频率跟踪电网频率，输出的调制波的幅值和相位可以根据需要进行调节等关键技术；同时输出的三角载波的频率、幅值和相位保持不变。在此基础上，进行处理系统设计，可在一片 FPGA 上实现软核处理器模块、存储器模块、其他通用控制器以及专用控制器 IP 核，构成一个专用的处理系统。整个硬件系统可以根据需求，在外围电路不变的情况下，也可以重新设计处理系统，具有很强的灵活性。

若要减少交流侧输出电压谐波分量，提高幅值控制精确度，只需适当增加 ROM 表中所存调制波数据的点数，提高输出数据的位数，除了锁相环的参数需要调整外，整个硬件系统不需作任何其他变化，只需在 Quartus II 中修改 UPFC IP 的相应模块，即相应的 Verilog 文件之后对设计重新编译、综合、布局、验证、编程，即可完成系统的修改。若 FPGA 的容量足够大，可在一片 FPGA 上实现两路完全独立的 Nios II 处理器系统，在电路板外扩相应的外设后，即可实现 UPFC 下位机的两路完全相同的幅值、相角和频率控制系统。这将大幅度提高系统的整体性能。另外开关损耗最小 PWM 还减少了 1/3 的开关损耗，因此本文所讨论的开关损耗最小 PWM IP

设计思路和方法具有很重要的现实意义。

参考文献

[1] DENG Qing-xu, XU Hai, SHUI Sheng-wei. An embedded SOPC system using automation design[C]. //proceedings on international conference on parallel processing work-shops. 2005.232-239.

[2] WANG Jian, WU Jie. Overview of UPFC modeling and control[J]. Electric Power Automation Equipment, 2000, 20 (6): 41-45.

[3] XU Ning-yi, ZHOU Zu-cheng. Avalon bus and an example of SOPC system[J]. Semiconductor Technology, 2003, 28 (2): 1-20.

[4] 陈国呈. 新型电力电子变换技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004: 24-53.

[5] Altera Corp. Nios II software developer's handbook[Z]. Altera, 2005.

收稿日期: 2009-07-15; 修回日期: 2009-08-20

作者简介:

李兰英 (1964-), 女, 教授, 硕士, 主要研究方向为计算机控制和嵌入式系统;

沈艳红 (1983-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为嵌入式系统. E-mail: syhjms@sina.com

(上接第 80 页 continued from page 80)

LI Ming, TONG Min. Treatment and analysis of an abnormal optical fiber channel for RCS-931 AMM protection[J]. Hubei Electric Power, 2009, 33(2): 32-33.

[11] 刘宏君, 张兆云, 李辉. 光纤通道路径不一致对线路差动保护的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36 (12): 52-55.

LIU Hong-jun, ZHANG Zhao-yun, LI Hui. Influence of the fiber route with difference on line differential protection[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36 (12): 52-55.

[12] 尹成群, 杨贵. 继电保护光纤通道仿真测试及研究[J]. 继电器, 2006, 34 (13): 54-57.

YIN Cheng-qun, YANG Gui. Tests and studies of protection optical fiber channel simulation[J]. Relay, 2006, 34 (13): 54-57.

收稿日期: 2009-07-17; 修回日期: 2009-08-20

作者简介:

许庆强 (1976-), 男, 高级工程师, 工学博士, 研究方向为电力系统继电保护; E-mail: xuqq2008@126.com

张勇刚 (1977-), 男, 工程师, 工学硕士, 研究方向为电力系统继电保护;

周栋骥 (1951-), 男, 高级工程师, 本科, 研究方向为电力系统继电保护和现场事故处理。