

# 一种光模块时钟延展造成的异常问题分析

王晓丽 赵维毅 邓明秀 马改园

许继电气股份有限公司 河南许昌 461000

**摘要:** 电网运行中, 数据传输越来越多的使用光纤传输。光模块的稳定性直接影响光纤数据的传输, 故继保设备多会对其光模块信息进行监视。某变电站误报光功率越限, 导致SV数据被置无效, 影响继保设备正常运行。问题分析后确定为光模块信息监视机制未考虑光模块时钟延展, 导致控制时序异常。最终, 光模块信息监视机制增加时钟延展判断, 降低IIC总线速度及其它策略, 解决光功率越限问题和隐患。

**关键词:** 光模块; 时钟延展; IIC

## Analysis of abnormal problems caused by clock stretching of an optical module

WANG Xiao-li, ZHAO Wei-yi, DENG Ming-xiu, MA Gai-yuan

(XJ Electric Co.,LTD, Xuchang, Henan, 461000)

**Abstract:** In the operation of power grid, more and more data transmission using optical fiber transmission. The stability of optical modules directly affects the transmission of optical fiber data. Therefore, the relay equipment monitors the information of optical modules. A false alarm of optical power exceeds the limit in one substation, resulting in SV data being set invalid, affecting the normal operation of relay equipment. After analyzing the problem, it is determined that the monitoring mechanism of the optical module does not consider the clock stretching of the optical module, resulting in the abnormal control timing. Finally, the optical module information monitoring mechanism increases clock stretching judgment, reduces the bus speed of IIC, and some other strategies to solve the problem of optical power overlimit and hidden dangers.

**Key words:** optical module, clock stretching, IIC

### 0 引言

随着继电保护系统的智能化程度不断提高, 信息量的不断扩大, 光以太网被越来越多的使用, 由此可见智能站保护对光以太网通讯的依赖性越来越强。光模块作为光以太网的通讯媒介, 常用于传输GOOSE、SV等关键信息, 其稳定性对整个数字通信系统产生着根本的影响, 其可靠性直接影响智能站保护的可靠性及电力系统的安全运行, 因此光模块的可靠性显的尤为重要, 其信息监视, 从设计之初便一直被关注。光模块的信息监视多采用IIC总线进行监视<sup>[1]</sup>, IIC作为成熟、易用的协议, 在使用上仍有诸多事项需要关注。

### 1 问题概况

收到现场问题反馈, 某智能站继保设备报光功率越限, 导致SV数据被置无效, 继保设备采样异常, 经排查合并单元运行正常, 应为装置误报。对继保装置接收数

据光模块进行排查<sup>[2]</sup>, 更换其他型号光模块后问题得以临时解决。通过对现场问题产品进行分析比较, 发现是某一款型号为X-57E6的光模块导致此问题。

### 2 问题分析

#### 2.1 产品比对测试

通过对问题分析<sup>[3]</sup>, 初步判断为光模块生产批次差异引起的问题, 故对型号为X-57E6的四个批次产品进行对比测试, 均存在该问题, 排除产品批次差异。具体批次见下表:

批次编号	抽样数量	测试结果	备注
NO.1714	2个	均存在问题	现场返回
NO.1532	8个	均存在问题	/
NO.1548	8个	均存在问题	/
NO.1750	8个	均存在问题	/

表1 对比测试数据

现场临时更换的光模块为该公司同类型的替代产品

X-57E5。对型号为X-57E5的光模块进行不同批次的抽样测试，确认该型号光模块无此异常问题。对比型号X-57E6和X-57E5的光模块，发现两者性能不完全兼容：光模块X-57E6支持时钟延展机制，而光模块X-57E5并无此功能。

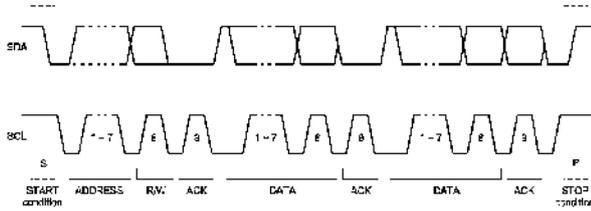


图1 IIC操作过程

首先介绍IIC总线<sup>[4]</sup>，如图1所示，包含数据信号SDA和时钟信号SCL两根信号线。通常时钟信号SCL由主设备产生，采用主出从入的单向机制。而时钟延展则是将SCL作为一个双向信号处理，在一次数据交互操作过程中，先将SCL信号的控制权短暂交由从设备进行控制，从设备可以选择将SCL信号拉低也可选择释放SCL信号的控制权。主设备检测到SCL信号被释放后重新获得SCL的控制权，按照约定的速率对SCL信号进行控制<sup>[5]</sup>。具体现象如图2所示。

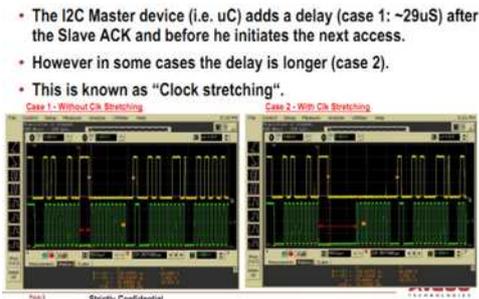


图2 时钟延展机制

而本产品的设计方案未考虑时钟延展，采用盲发机制，将SCL信号作为一个单向信号处理，故而在光模块控制SCL期间，产生控制权的争夺，很可能导致SCL处于一种不定状态。时钟信号对整个总线工作起着举足轻重的作用，异常的时钟会导致后续通信错误，进而使得光模块信息读取失败。

### 2.2 信号分析

光功率越限故障是由CPU检测并生成告警报文的，光模块与CPU的硬件通路如图3所示。光模块信息监视主要通过IIC总线进行传输。结合现场环境，对光模块X-57E6的IIC总线信号进行测量和分析。



图3 光模块与CPU的硬件通路

通过长时间监测IIC信号，发现在光功率越限时，时

钟信号SCL在出现台阶电平，导致IIC读写时序异常返回。在光功率越限时，光模块未进行数据响应，如图4所示。

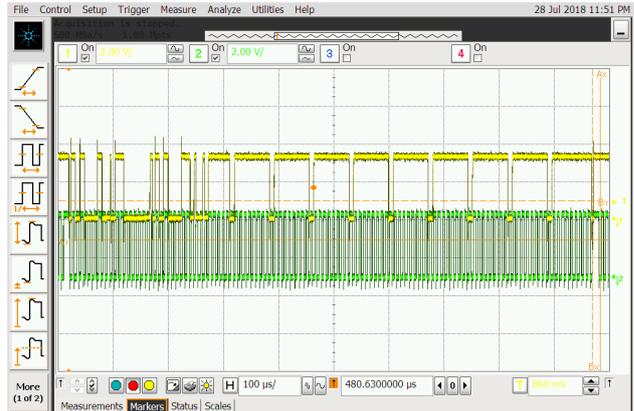


图4 IIC信号整体波形

对波形进行放大分析，可清晰看到SCL的台阶电平，如图5所示。由于X-57E6光模块存在时钟延展，试图将SCL信号维持在低电平；而控制侧则要进行下一个位流操作，试图将SCL信号拉至高电平。两者共同作用，导致了台阶电平的出现，使装置误报光功率越限。

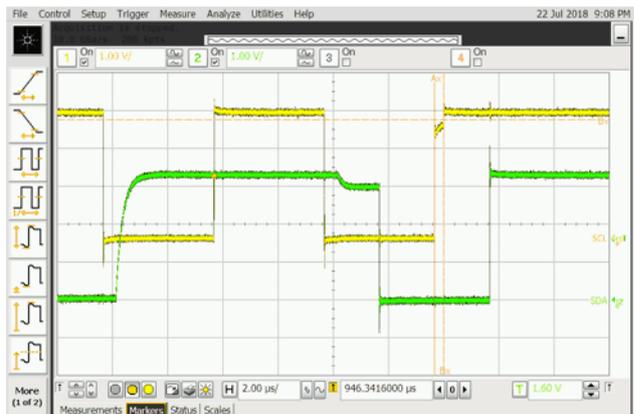


图5 IIC信号放大波形

### 2.3 仿真测试

为进一步定位问题后，对光模块信息监视功能进行仿真验证<sup>[6]</sup>。模拟光模块产生时钟延展时，发现在SCL信号存在中间电平，导致数据读取时序错乱。通过修改模块实现机制，对SCL进行输入判断，重新验证在时钟延展下可正确通信，如图6所示。

### 2.4 问题定位

经过产品比对、信号分析、仿真测试以及修改方案验证，最终定位为产品不兼容，对产品特性了解不足，需要对光信息监视功能中IIC总线的时序控制设计方案进行修改。通过降低SCL信号频率或修改SCL信号控制逻辑为双向控制机制，均可解决此问题。IIC总线的工作模式主要有标准模式、快速模式和高速模式三种，对应

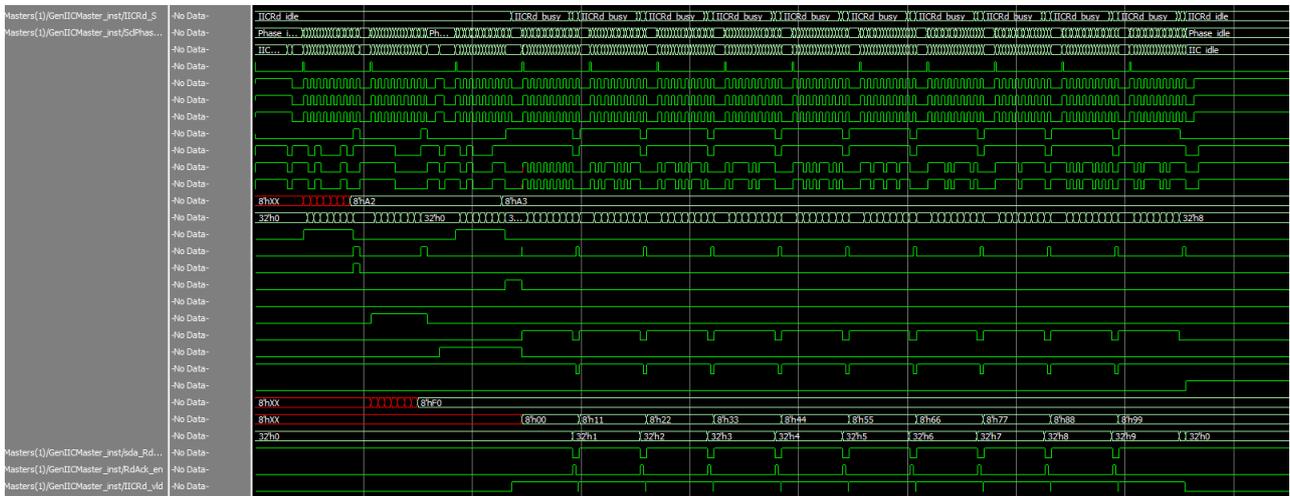


图6 仿真验证时钟延展机制

的最高时钟速率分别为100kHz、400kHz、3.4MHz。由于光模块通常支持标准模式和快速模式，本产品使用的时钟速率为125kHz。为了充分验证时钟速率的影响，在50kHz至400kHz范围内选取多个速率进行测试，发现时钟速率小于91kHz时，此问题不会重现；当时钟速率为400kHz时，时钟延展宽度接近2 $\mu$ s，问题100%重现。

### 2.5 解决方案

为了彻底解决光模块光功率越限问题，分别从以下几方面修改设计方案：

- 1) 降低时钟速率，采用标准模式；由于光信息监视属于辅助功能，操作频率低，采用标准模式即可满足需求；
- 2) 对SCL信号进行双向处理，增加SCL的方向控制；增加对时钟延展的判断及超时处理机制，从而达到对各类光模块的兼容；
- 3) 延时数据采样时刻，增加数据处理的裕度，降低对信号的要求，提高抗干扰能力；

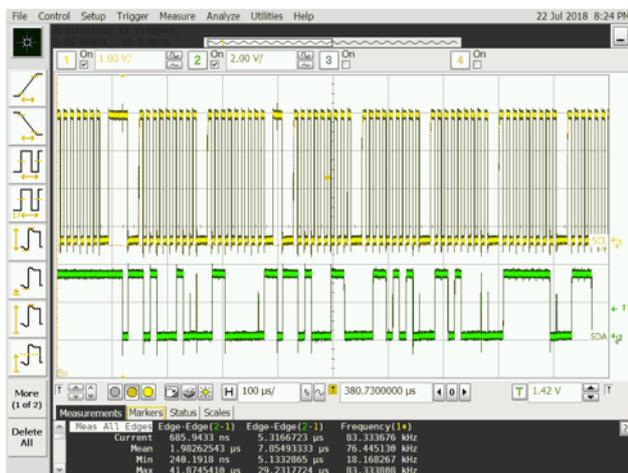


图5 正常通信IIC信号

4) 优化存储区读取机制，对已读入存储区的数据定期读取而不清除，直到下次重新写入时再清除；而数据的状态可通过状态标志体现其有效性，最大程度的防止因误总线错误引起装置的其它异常。

按照解决方案，对整改后的产品进行测试，光模块信息监视功能正常，时钟信号无异常电平，如图5所示。同时对多个厂家、多个型号的光模块进行适配测试、高低温测试、长时间拷机，均未出现异常。

### 3 结语

本文对继电保护装置光模块使用过程中存在的问题进行了分析，虽然IIC总线为比较成熟的总线，但使用中仍有许多细节需要关注。在进行产品替代过程中，不能仅通过厂家的兼容性承诺便贸然进行替代，一定要进行充分的试验，以保证产品的可靠性。本文对此类故障的分析方法以及改进措施提供了一些思路。

### 参考文献：

- [1] 周东杰、都磊、金雷、王振华、陆继尧、赵会彬 基于FPGA的新型SFP光模块监测系统 计算机系统应用 2013, 22 (04)
- [2] 王丽娟、李锦明、杜东海 基于FPGA的SFP光纤通信控制器的研究与设计 电子器件 2016,39 (03)
- [3] 周杰、刘永 一种新颖的SFP模块数字诊断方法 光学与光电技术 2011, 2 (1)
- [4] 叶坤涛、殷超、吉俄木沙、朱宝仪、吴森森 IIC总线IP核的改进研究 电子器件 2020, 43 (03)
- [5] 郑安迪、林伟敏、富雅琼 基于状态机的IIC驱动算法及应用 科技资讯 2021, 18 (21)
- [6] 蔡正、张磊 基于VerilogHDL的IIC总线竞争实现 中国集成电路 2021, 30 (03)