

智能变电站中光电模块的老化特性实验系统

刘明忠¹, 杨书佳², 黄宏光²

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院 四川 成都 610072;

2. 四川大学电气信息学院 四川 成都 610065)

摘要: 研究智能变电站采集器与合并单元传输系统中光电模块的老化特性问题。设计了一种基于8472协议的实验系统,对光电模块进行加温实验,采集光电模块的5个关键参数在温度变化下的采样数据,对采样数据利用阿伦尼斯模型进行计算,从而评估光电模块的老化特性。计算结果表明,实验所用某厂家光电模块工作寿命较长,与厂家技术文档中基本一致。

关键词: 光电模块; 采集器; 老化特性

Abstract: The aging characteristics of photovoltaic module between data acquisition system of smart substation and unit cell of transmission system are studied. An experiment system based on Protocol 8472 is designed to heat up the photovoltaic module and the five key parameters of the photovoltaic module are sampled in different temperatures. Then the sampled data are calculated with Arrhenius model to evaluate the aging characteristics of photovoltaic module. The calculation results indicate that the photovoltaic module from one manufacturer adopted by the laboratory has a longer operating life which is basically accordant with the technical documents provided by the manufacturer.

Key words: photovoltaic module; data acquisition system; aging characteristics

中图分类号: TM769 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2013)05-0033-04

0 引言

智能变电站是采用先进、可靠、集成和环保的智能设备,以全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化为基本要求,自动完成信息采集、测量、控制、保护、计量和检测等基本功能,同时具备支持电网实时自动控制、智能调节、在线分析决策和协同互动等高级功能的变电站。光电模块是整个采集器^[1]到合并单元通信过程最主要的部分,它将采集器采样到的电信号数据转换为光信号通过光纤发给合并单元,合并单元经过光电模块将接收到的多路A/D电流电压信息传送给多路数据采集和处理模块。所以需要对光电模块老化特性分析。对光电模块的老化特性可以通过研究光电模块的5个关键参数进行评估。这些参数包括平均寿命、可靠度、失效率、EELED高效发光、LED输出功率等。目前在国内外,专门用于测试光收发模块性能,并且能够得到广泛实际应用的系统实例仍较为少见。公开发表的为数不多的测试系统研究方案多是为了满足偶然的、

小规模的项目需要。它们能够测试光收发模块的部分性能参数。

这里设计了一种基于8472协议^[2]的实验系统,对光电模块进行加温实验,采集光电模块的5个关键参数在温度变化下的采样数据,对采样数据利用阿伦尼斯模型进行计算,从而评估光电模块的老化特性。计算结果表明,实验所用某厂家光电模块工作寿命较长,与厂家技术文档中基本一致。

1 光电模块老化特性测试方法

1.1 测试标准要求

光电模块是一种高速光电器件,高速率发送和接收必然存在复杂的电磁耦合与信号杂扰,有关机构已经制定了标准^[3],规范光接入网中的光收发模块的测试指标和测试流程。

光电模块测试目前采用的主要标准有IEEE 802.3ah标准、ITU-T的G984标准和Telcordia GR-468-CORE。其中,IEEE 802.3ah标准和ITU-T的G984标准分别针对以太网无源光纤接入和通用帧协议无源光纤接入的光收发模块的技术要求、

基金项目:四川省科技支撑计划项目(2011GZ0004);四川省电力公司科技项目(11H0920)

测试配置、测试方法、检验规则作了规定; Telcordia GR-468-CORE (1998) 用于通信设备中的光电子器件的一般可靠性保证要求。

GR-486-CORE 指出,对特殊器件,如果没有另外指定,应该使用阿伦尼斯关系来计算温度依赖型失效机理的测试的等效时间和温度条件。应该从理论上和经验上论证受其他应力影响的失效机理的加速模型。

因此,根据上述常用协议,通过测试光电模块的重要内部参数(包括温度、电压、电流、发送光功率、接收光功率)来检测光电模块的工作状态并判断其是否失效,最后根据阿伦尼斯模型来反推改模块的寿命,达到研究光电模块老化特性的目的。

1.2 阿伦尼斯模型

在加速寿命试验中用温度作为加速应力是常见的,因为高温能使产品(如电子元器件、绝缘材料等)内部加快化学反映,促使产品提前失效。阿伦尼斯在1880年研究了这类化学反映,在大量数据的基础上,提出如下加速模型^[4]。

$$\xi = Ae^{E/KT} \quad (1)$$

式中 ξ 为某寿命特征,如中位寿命、平均寿命等; A 为一个常数,且 $A > 0$; E 为激活能,与材料有关,单位是电子伏特,以 eV 表示; K 为波尔兹曼常数,为 $8.617 \times 10^{-5} \text{ eV}/^\circ\text{C}$,从而 E/K 的单位是温度,故又称 E/K 为激活温度; T 为绝对温度,它等于摄氏温度加 273。

阿伦尼斯模型表明,寿命特征将随着温度上升而按指数下降。对此模型两边取对数,可得

$$\ln \xi = a + b/T \quad (2)$$

式中 $a = \ln A$, $b = E/K$ 。它们都是待定的参数,所以阿伦尼斯模型表明,寿命特征的对数是温度倒数的

线性函数。

1.3 高温应力测试

由于室温 T_e 下 LED 器件性能退化速率缓慢,失效现象不明显,可以选择测量随温度退化速率变化较快特性的寿命,外推估算到室温器件寿命为

$$L_e = L_{ci} \exp [E_a (1/T_{j+1} - 1/T_j) / k] \quad (3)$$

在加速老化测试中,施加的主要环境应力是高温。在性能参数确定的情况下,可以假定测试结果遵循阿伦尼斯关系。在这些测试中,要定期对选定的参数进行劣化监控,直到达到“寿命结束”的阈值或者指定的测试时间。如果测试结束后器件仍然工作,就可以根据观测到的劣化来推断器件何时达到“寿命结束”的阈值。这些估计时间就可以和其他器件“寿命终结”的阈值跨越时间一起使用,用于老化特性的相关计算。

2 SFF-8472 协议

符合 SFF-8472 协议的光电模块称为带数字诊断功能的光电转换模块。一般光收发模块结构如图 1 所示,整个光收发模块主要由控制模块、发射模块和接收模块 3 部分组成,并提供了电接口和光接口两种接口。整个光收发模块工作流程如下描述。

SFF-8472 协议定义了一个公共 EEPROM 存储器结构,并且将 EEPROM 结构划分为 2 个 256 个字节的存储单元,地址分别是 A0h 和 A2h。A0h 定义了光电收发模块的一些通用信息,包括光电收发模块的类型、与光纤连接的连接器类型、编码、光纤类型、供货商的一些信息以及 SFF-8079 的内容, A2h 是在原来 SFP 的基础上新增 256 个字节内容,用来完成数字诊断功能。在 A2h 中定义了对接收、

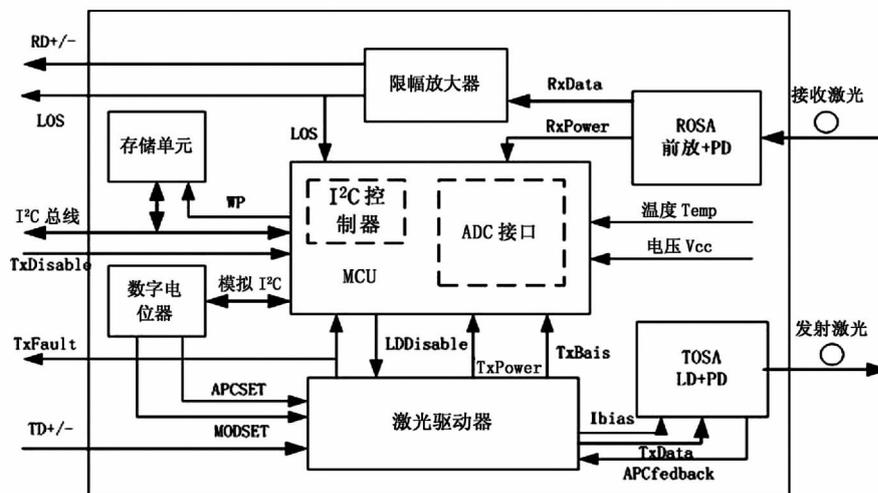


图 1 光电转换模块电路框

发送机的功率高于和低于正常值的门限值、温度、电压、直流偏移的高于以及低于正常值的门限值、报警及警告状态位、内部校准和外部校准的相关信息。EEPROM 总体结构图如图 2 所示。协议规定,对存储器的内容,通过两线串行总线来读取。存储器中所有在未分配或针对 SFF - 8472 保留位,应设置为零和/或忽视。标记为保留的或可选的其他用途,如果针对 SFF - 8472 实现的功能是可选的,应当实行按照在 SFF - 8472 定义的那样实施。如果它们不被实行,所写位将被忽略,并且状态位为零。

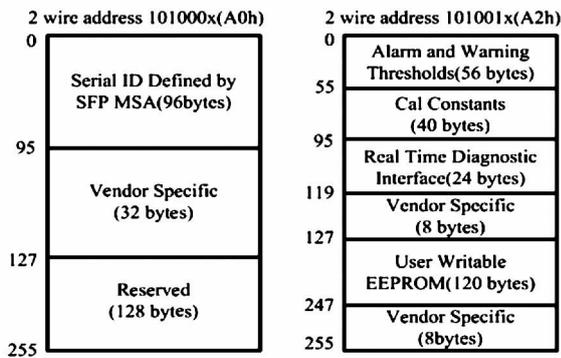


图2 EEPROM中的数据存储器

3 实验系统

3.1 系统组成

光电模块老化特性实验系统的基本原理是:对光电模块 SFP 进行加温实验,采集 SFP 的 5 个关键参数在温度变化下的采样数据,对采样数据利用阿伦尼斯模型(基于老化测试的模型)进行计算,从而评估 SFP 在正常情况下的寿命。

光电模块老化性研究实验系统采用 DSP 技术对多个光电模块 SFP 进行毫秒级的快速数据采集和处理。整个系统的组成如图 3 所示。

老化特性测试系统主要由两大部分构成,一个是内部测试板,主要为光电模块提供电源及 I²C 的

总线接口;另一个是外部测试板,主要采集和转发光电模块内部数据及工作参数(工作电流和电压)。在内部测试板上,插入试验需要测试的光电模块,并将其放入高温烤箱中。外部测试板主要由 DSP、I²C 总线多路复用器、电平转换芯片等部件构成。

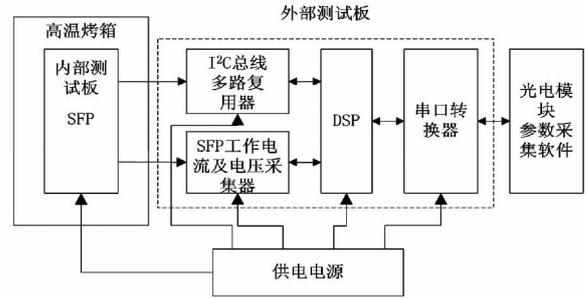


图3 光电模块老化特性实验系统框图

3.2 内部测试板

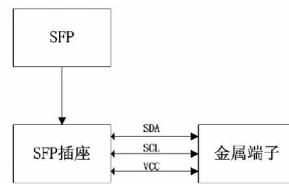


图4 内部测试板组成

因为内部测试板(见图 4)需要放入高温箱中,对元器件及材料的要求较高,所以对该电路板进行了极简化的设计。该电路板主要是为 SFP 提供一个工作环境,通过 SFP 专用插座引出所需要的两根 I²C 总线(SDA 数据传输线和 SCL 时钟同步线)与电源线。两根 I²C 总线一对一地与专用的耐高温金属端子相接,然后通过耐高温导线与高温试验箱外的监视电路板相连接。这样,外部的监视电路就可以通过 I²C 总线读取 SFP 数字诊断模块中的数据^[5]。

在本系统中主要工作是通过 DSP 实现对于相关模块的读取和数据通信,DSP 通过 I²C 协议,SDA 总线和 SCL 总线与光模块实现读取通信,并通过串口发送给上位机 PC。内部测试电路仅负责将为

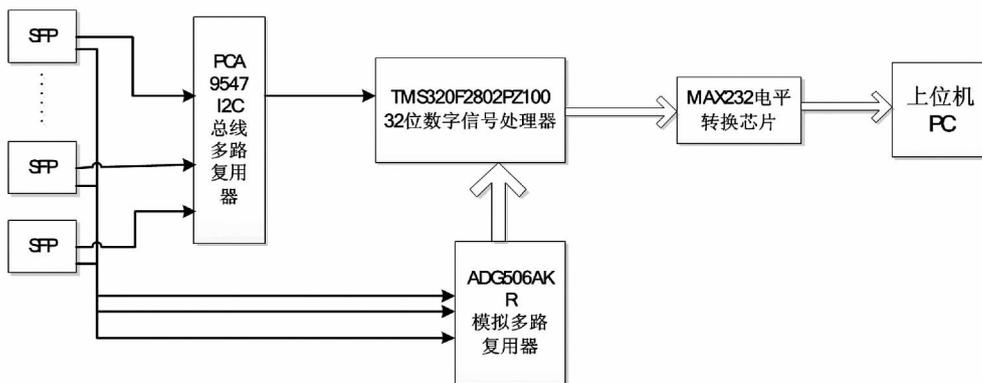


图5 外部测试板主要构成图

表1 常温下结温为310K时寿命预测

测试条件	P_0/mW	P/mW	L_{c_j}/h	T_j/K	T_0/K	$L_{c_0}/(h \cdot a^{-1})$
152 °C 240 h	162	137	992	447	310	122 690/14.0
170 °C 168 h	151	127	673	465	310	126 820/14.5

表2 实验系统测试下的寿命预测

条件	P_0/mW	P/mW	L_{c_j}/h	T_j/K	T_0/K	$L_{c_0}/(h \cdot a^{-1})$
150 °C 354 h	0.028	0.021	1 079	445	310	133 450/15.2

SFP 模块提供一个工作环境并将其外部监视电路相连接。通上电源后, SFP 模块开始工作, 将输入的电信号转换成光线号并与外部的光功率测试仪相接, 以记录其光功率的变化。同时, 外部监视电路通过 I²C 总线读取 SFP 模块 EEPROM 中存储的监测数据。

3.3 外部测试板

如图5所示, 位于高温试验箱外部的监视电路包含了多路复用部分、I²C 部分、接口部分以及主控 DSP。在单一的 SFP 模块的情况下, DSP 只需读取通过 I²C 协议, SDA 总线和 SCL 总线与光模块实现读取通信, 并通过并口发送给上位机 PC 即可。而在本次实验中, 由于需要同时对 16 个 SFP 模块进行监测, 所以还需要加上一个多路复用器, 通过轮选的方式依次对这 16 个 SFP 模块进行监测并记录其数字诊断模块中的数据。

监视电路的工作过程是, 通过写入程序使 DSP 通过多路复用器选择一路 I²C 总线, 进行时钟的同步, 按照 I²C 协议通过对其所对应的 SFP 模块进行读取操作。然后通过电平转换芯片将信号转换成 RS232 格式, 最终通过 RS232 接口将数据传至上位机 PC。上位机 PC 上通过专门的软件对监视电路进行控制和记录下监视电路所传送的 SFP 模块中的诊断信息, 并做出相应的预警与分析。

3.4 测试过程

测试时, 先将内部测试板放置于恒温箱内, 利用恒温箱对内部测试板的 SFP 模块进行加温和恒温老化。SFP 模块的 5 个关键工作参数及 SFP 模块的供电参数(电流和电压)在测试温度下的数值通过 I²C 总线送到 DSP, DSP 对 SFP 模块的 5 个关键工作参数及 SFP 模块的供电参数(电流和电压)进行连续采样处理, 然后通过串口转换器(RS232) 送出。参数采集监测软件通过 RS232 实时读取 SFP 模块的 5 个关键工作参数、温度数据^[6]。

可以监测到 SFP 实时的工作情况为: SFP 的 I²C 总线中读取的数据、测试的 SFP 电压、监测到的 SFP 的光功率。通过安装在 PC 机的光电模块参数采集软件读取如表 1 参数。

4 测试数据与分析

测试所用光电模块型号在环境温度恒定在 150 °C 运行 354 h。该实验利用光电模块老化特性测试系统测量 4 个光电模块的 8472 协议下状态参数, 利用光功率计测量其中一个光电模块的发射光功率(每隔一小时手动记录)。

这里取失效判据 $C = 0.5$, 激活能 $E_a = 0.42 \text{ eV}$, P_0 为初始发射光功率, P 为实验结束时的发射光功率, L_{c_j} 为在高温下计算出的寿命, T_j 为实验温度下的 LED 结温, T_0 为常温下 LED 结温, L_{c_0} 为计算出的正常情况下寿命, 通过 Matlab 仿真和利用本实验系统进行器件的寿命预测, 得到如表 1 的结果。

5 结论

该实验利用高温老化实验对安华高光电模块进行可靠性测试和寿命预测。实验表明, 实验所用光电模块在 150 °C 高温下工作 354 h 发射光功率没有出现明显衰减, 其高温老化特性比较稳定。通过阿伦尼斯模型计算结果表明, 该模块常温下工作寿命可达 $1.38 \times 10^7 \text{ h}$, 与计算机仿真结果和厂家技术文档中基本一致。

参考文献

- [1] GB/T 2840.8 - 2007, 电子式互感器标准 IEC 60044 - 8 [S].
- [2] SFF Committee. SFF - 8472 Specification for Diagnostic Monitoring Interface for Optical Transceivers [C]. Rev 11, September 14, 2010.
- [3] YD/T 1353 - 2005, 光通信用高速光探测器 - 前置放大器组件技术要求及测试方法 [S].
- [4] 林震, 姜同敏, 程永生, 等. 阿伦尼斯模型研究 [J]. 可靠性与环境适应性理论研究, 2005, 6(12): 12 - 14.
- [5] 吴伟陵, 等. 移动通信原理 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [6] 蔡伟智. 功率发光二极管的寿命预测 [J]. 半导体技术, 2008, 33(10): 902 - 904.

(收稿日期: 2013 - 05 - 30)