Discussion for the Reliability of SSR

Hudong Zhang[1,2], Xiaowen Zhang[2]
1. Institute of Microelectronics, School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China
2. CEPREI, Guangzhou 510610, China
Email: 8778499@qq.com

Abstract: This paper analyzed the impact on the reliability of SSR from the opto-couplers and SCR, which are both the key devices that are easy to failure in solid state relays. Analysis shows the main factors of impacting the reliability of solid-state relay are heat stress and electrical stress. At last, this paper introduces the current research status of solid state relays reliability:Heat stress and heat management is the current research focus and the experiment and computer simulation are the two main methods.

Keyword: Solid State Relay ,Reliability,Thermal Stress, Electric Stress

固体继电器的可靠性探讨

张祜冬[1,2]，章晓文[2]
1. 华南理工大学电子与信息学院微电子研究所，广州 中国 510640
2. 工信部电子第五研究所，广州 中国 510610
Email: 8778499@qq.com

摘　要：本文基于固体继电器的工作原理和应用特点，分析了固体继电器中易于失效的关键器件——光电耦合器和可控硅对其可靠性的影响。分析得出，影响固体继电器可靠性的主要因素是热应力和电应力。最后介绍了目前固体继电器可靠性研究的现状：热应力、热管理方面的研究是当前的研究热点，研究方法有实验法和计算机仿真法。

关键词：固体继电器 可靠性 热应力 电应力

1 引言

固体继电器(Solid State Relays, 缩写 SSR)[1]是一种无触点电子开关，由分立元器件、膜固定电阻网络和芯片，采用混合工艺组装来实现控制回路(输入电路)与负载回路(输出电路)的电隔离及信号耦合，由固体器件实现负载的通断切换功能，内部无任何可动部件。固体继电器广泛应用于航空航天、工业控制系统、汽车控制开关和测试设备、仪表等领域的电子设备上。

固体继电器与电磁继电器相比，是一种没有机械运动、不含运动零件的继电器，但它具有与电磁继电器本质上相同的功能。它是集微电子、光电子、电力电子和混合微电路技术于一体的模块化无触点继电器，具有隔离功能的功率电子开关. 固体继电器是一个复杂的系统，导致其可靠性评价变得万分复杂。因此，如何抓住影响其寿命的主要问题，对固体继电器中的关键器件进行可靠性评价，从而外推至整个固体继电器的可靠性和寿命，是目前固体继电器急需解决的问题。本文以一种过零控制方式固体继电器为例，从它的工作原理入手，结合制造工艺，重点分析了模块中影响可靠性的关键器件，为固体继电器的可靠性评价提供参考价值。

2 固体继电器的工作原理分析

2.1 固体继电器的工作原理

由图 1 可以看到，固体继电器主要由输入电路、驱动电路和输出电路三部分组成[2]。各部分的功能如下：

（1）输入电路：为输入控制信号提供一个回路，使之成为固体继电器的工作信号源。直流电路通常由 TTL 电平流激励，也可以与 CMOS 电平兼容。交流输入通常可以由交流电平激励。

（2）驱动电路：由隔离耦合电路、功能电路和触

发电路三部分组成。隔离耦合电路多采用光电耦合器和高频变压器两种电路形式。功能电路包括检波整流、零压开关、保护等各种功能电路。触发电路在输入端控制信号作用下给输出器件提供触发信号。

（3）输出电路：是在触发信号的控制下，实现固体继电器的通断转换。输出电路可以分为直流输出和交流输出。

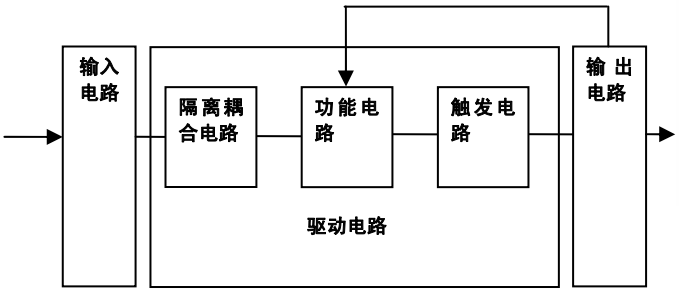

Figure 1 Elementary diagram of SSR

图 1 固体继电器原理图

2.2 固体继电器的主电路

图 2 是固体继电器的主电路图。该电路采用了过零触发技术，具有电压过零时开启，负载电流过零时关断的特性，在负载上可以得到一个完整的正弦波形，因此电路的射频干扰很小。

该电路由信号输入电路、光电耦合隔离电路、零电压检测控制电路、双向晶闸管控制电路和吸收电路几部分组成。采用了光电耦合器作为输入电路和输出电路之间的隔离元件。

电路工作过程：当无输入信号时，光电耦合器输出端没有信号，过零检测电路不工作，输出电路中的可控硅不导通，负载上没有电流流过。当有输入信号时，光电耦合器中的发光二极管发光，耦合到光电耦合器的输出端，此时过零电路开始工作，当过零检测电路检测到电压过零时，输出电路中的可控硅导通，此时负载中有电流流过，从而接通负载电源。

当输入信号关断后光电耦合器中的发光二极管停止发光，光电耦合器输出端开路，当负载电流过零时，输出电路中的可控硅截止，切断负载电源。输出电路中的 RC 电路是吸收网络，用来吸收开通或断开瞬间的浪涌电流，起到保护作用。

实际使用中，控制端（输入电路）一般都是小电压小电流，输出端一般都是大电压大电流，所以输出端的可控硅会产生很大的功耗，而光电耦合器对温度比较敏感，所以这些功耗产生的热应力对可控硅本身和光电耦合器的可靠性有很大影响，继而影响固体继电器的可靠性。

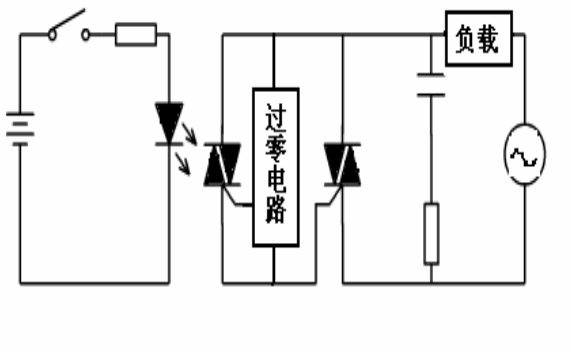

Figure 2 Main circuit of SSR

图 2 固体继电器主电路原理图

3 关键器件可靠性分析

热应力和电应力是引起电子元器件失效的两个最主要的原因。固体继电器作为一种电子器件，它的失效与热应力和电应力也是密不可分的。由图 2 可以看出，固体继电器中的核心元器件是光电耦合器和可控硅，因此，这两个器件的可靠性直接决定了固体继电器的可靠性。

电应力主要有三种：静电放电，过电流和过电压。输入回路中的光电耦合器是静电敏感元件，所以输入端的抗静电能力是非常重要的，元器件因静电放电引起的失效，其失效机理与能量或电压有关。因能量引起的失效有热二次击穿、金属化熔融和体击穿，因电压引起的失效有介质击穿、表面击穿和气弧放电。光电耦合器的结构中，输入端是发光二极管，在静电的作用下容易发生表面击穿和热二次击穿。过电流一般是浪涌电流，如果负载是白炽灯、电炉等具有“冷阻”特性的负载，将导致开通瞬间的浪涌电流（一般为额定负载电流的 7 倍或更大）。此类负载将导致可控硅温度升高，致使器件性能退化甚至烧毁。对于感性负载，则容易产生过电压，可导致输出端可控硅击穿或烧毁。电过应力产生的冲击有可能直接损坏芯片，或造成金线熔断现象。

除了电应力之外，温度是影响设备可靠性最重要的因素[3]。设备内部温升将导致元器件的失效，当温度超过一定值时，失效率呈指数规律增加，温度超过

978-1-935068-42-6 © 2010 SciRes.

极限值时将导致元器件失效。国外统计资料表明，电子元器件温度每升高 2℃，可靠性下降 10%；温升 50℃时的寿命只有温升 25℃时的六分之一[3]。固体继电器的固体“触点”导通时有一定的压降，可达 1-2V，会消耗一定的功率，就是通态功耗。当固体继电器的输入电压长时间处于接通与关断之间，输出端可控硅上的功耗也会急剧上升，产生开关功耗。动作频率过快的话也会导致动态开关损耗过大。所有这些功耗都会转变成温度应力。实验证明，热应力产生的高温还会导致光电耦合器中的发光芯片发光效率降低，光衰加快，色移等严重后果，最终导致光电耦合器的 CTR（电流传输比）发生退化，这也是固体继电器可靠性需重点关注的问题。而且光电耦合器和可控硅都是半导体器件，半导体器件受温度影响更加敏感，因此，由温度应力造成的退化对器件可靠性的影响也值得我们关注。

在混合集成电路中，有源器件失效和内引线键合失效分别占模块失效的 31.3%和 23.2%[4]。光电耦合器和可控硅是固体继电器中的关键器件，它们的组装与互连可靠性也值得关注。温度应力下，铝金接触所形成的金属间化合物，造成接触电阻增加，键合强度下降，增加电路损耗，严重时会造成键合界面断裂，影响固体继电器的性能。

除了以上因素之外，组成固体继电器的元器件、芯片本身的可靠性，以及固体继电器在制造、运输、安装过程中受到的机械应力也是影响其可靠性的不可忽略的因素。

由此可见，影响固体继电器可靠性的因素主要有：热应力和电应力、芯片的可靠性、机械应力等。

4 固体继电器的可靠性研究现状

热应力和电应力都会导致固体继电器可靠性降低或者退化，所以，对于其可靠性的研究也分为两个方面：一个是固体继电器热应力、热管理方面的研究，另一个是抗静电、电磁干扰方面的研究。特别是有关热应力、热管理方面的研究是当前的研究热点。

由于固体继电器在开关电源，控制系统中应用的比较多，而这些场合都是大电流工作的场合，所以其功率消耗也很大。这些功耗最终转变成了热应力，继而导致固体继电器出现各种可靠性问题。所以，对于固体继电器的功耗分析及计算，固体继电器的热应力分布，固体继电器的三维温度场分布及固体继电器的热管理、热设计[5]一直是研究热点。研究方法主要为实验法和计算机仿真法。

对于固体继电器抗静电、电磁干扰方面的研究则主要集中在静电放电保护(ESD)和电磁特性方面(EMS)[6]。研究方法也有实验研究和计算机仿真两种。

除了以上两个方面之外，固体继电器的可靠性研究还有寿命评估和失效分析等，但关于这方面的研究报道不多。因为寿命实验所需样品多，周期长，一般都采用加速寿命实验。

5 结束语

光电耦合器和可控硅是固体继电器中的关键器件，也是容易损坏的器件，它们的可靠性直接影响固体继电器的寿命，由此而来的光电耦合器和可控硅的组装和互连，也是影响固体继电器可靠性寿命评价的另一个重要因素。

固体继电器的工作原理、特点和应用领域决定了热应力是其可靠性研究中必须考虑的问题，所以下一步打算对固体继电器的热应力分布及其寿命进行深入的研究。

References (参考文献)

[1] Barkana, Atalay Cook, Gerald McVey. A Solid-State Relay[J].Industrial Electronics and Control Instrumentation.1973, 20(2), 97 - 99.

[2] Li Hui, The 3D Temperature Field Analysis of Solid State Relay[D]，TianJin:Hebei University of technology,2005(CH)
栗惠，固体继电器的三维温度场分析[D],天津：河北工业大学，2005 年。

[3] Yu Shao an, The Reliability Design of On--satellite Switching Power Supply[J], Power Supply Technologles and Application,2006,9(8),P17－20(CH)
俞绍安，星载开关电源可靠性设计[J],电源技术应用，2006，9（8），P17－20.

[4] Hou Cui Qun,The Reliability-Analysis for HIC and Its Improvement[D],Nanjing:Nanjing University of Science and Technology,2001(CH)
候翠群，厚膜混合集成电路可靠性分析与提高[D],南京：南京理工大学，2001 年。

[5] Plesca, A. Optimal Heatsink Design for a Solid-State Relay Using a 3D Modeling and Simulation Software[C]. Power System Technology, 2006,1 - 6.

[6] Shujuan Wang, Xianbin Bian , Le Xu . Analysis and optimization for electromagnetic susceptibility of solid state relay in the presence of incident wave[C] .Electrical Machines and Systems, 2008, 568 – 571.