

基于元器件应力法的智能电表可靠性预计

摘要: 分析了智能电表的功能、结构和特点,介绍了电子产品可靠性预计的主要方法,在此基础上指出元器件应力法适合于预计智能电表的可靠性。接着以河南许继仪表有限公司的智能电表 DDZY566C-Z 为例,对智能电表的可靠性进行了预计,为设计方案的综合评价提供了比较科学的依据。

关键词: 元器件应力法; 智能电表; 可靠性预计

Reliability Prediction of Smart Meter Based on Component Stress Method

Abstract: The function, structure and characteristics of smart meter were analyzed, and the main methods of reliability prediction for electronic products were introduced. On this base, this paper pointed out that component stress method is a suitable method of reliability prediction for smart meter. Then it predicted the reliability of the smart meter named DDZY566C-Z made by XJ INSTRUMENT CORPORATION in Henan. It provided relative scientific basis for the comprehensive evaluation of designing scheme.

Keywords: component stress method; smart meter; reliability prediction

0 引言

电子产品可靠性预计是根据组成整机系统的元器件、组件和部件的可靠性试验数据及建立的可靠性模型,预计电子部件以及整机系统的可靠性水平,它是一种从元器件到整机、从小到大、从局部到整体的综合预计过程^[1]。开展可靠性预计工作可以定量的预计设备与系统的可靠性水平,为可靠性设计方案的综合评价提供依据,使其选择更科学、更有效,从而提高设计产品的一次成功率。

目前,国内许多智能电表企业对可靠性工程的重要性认识不够,缺乏智能电表可靠性预计的相关实践。在智能电表研发过程中,对可靠性设计方案的评价选择大多依靠工程师的经验和以往的设计习惯,由其设计出来的产品大多不能一次满足目标要求,需要进行多次改进。不但增加了企业的研发成本,而且极大的浪费了人力和时间资源。

针对上述问题,本文提供了一种基于元器件应力法来预计智能电表可靠性的工程实践,供国内各智能电表企业参考和借鉴。

1 智能电表的功能、结构和特点

智能电表是智能电网计量体系的重要仪器仪表,具有电能计量、信息存储和处理、网络通信、自动控制以及信息交互等功能,属于多功能电表的范畴^[2]。智能电表具有计量单元、MCU 及辅助单元、电源、RS-485 通讯单元和液晶显示单元。计量单元实现电能计量的要求,MCU 实现对信息的存储和处理以及对其它单元的控制功能,电源主要对计量芯片和 MCU 进行供电,RS-485 通讯单元实现 485 通讯,液晶显示单元实现人机交互功能。以上的每个单元都具有重要作用,一旦失效,就会使系统无法工作,造成整机失效。

智能电表具有以下特点:

- (1) 结构相对简单,可近似看作串联模型;

(2) 元器件经过老化筛选，其失效率恒定，可靠性符合指数分布；

(3) 智能电表的设计与制造技术相对成熟，工作环境相对稳定，因此整表的失效率相对稳定；

(4) 智能电表计量要求有足够的准确度，对其可靠性要求也较高。

2 元器件应力法

电子产品可靠性预计方法主要有元器件计数法、元器件应力法、失效物理分析法、相似预计法和功能预计法^[1]。元器件计数法是初步设计阶段使用的预计方法，其预计精度不高；失效物理分析法是在对产品失效模式和失效机理深入理解的基础上，利用仿真或推导出定量模型来进行预计的方法，其预计难度较大；相似预计法是在老设备可靠性水平已知，通过老设备与新设备作比较，来预计新设备可靠性水平的预计方法，它要求新设备和老设备具有相似性，对于一个全新的产品不具有适用性；功能预计法是把设备的功能和可靠性联系起来的预计方法，目前，能建立联系的设备很有限^[3]。

元器件应力法是详细设计阶段使用的预计方法，在这个阶段，设备上所有元器件的规格、数量，工作应力、环境条件和质量等级都已确定。元器件应力法假设元器件失效率恒定，元器件失效前的时间服从指数分布^[4]。且元器件应力法以现场和实验室的数据为基础，以数理统计为理论支撑，其在国际工程实践中得到广泛的应用，预计精度较高，能够满足智能电表计量和可靠性的要求。

智能电表的电路结构和诸多特点均符合元器件应力法的基本要求，元器件应力法预计电子产品的可靠性在国际工程实践中应用十分广泛，预计精度也较高，用该方法来预计智能电表的可靠性是完全符合要求的。运用元器件应力法预计智能电表可靠性在智能电表行业领域有着重要的实际意义。

3 智能电表可靠性预计实例

本文以河南许继仪表有限公司生产的智能电表 DDZY566C-Z（如图 1 所示）为例进行预计。



图 1 智能电表 DDZY566C-Z

3.1 建立智能电表可靠性模型

通过对智能电表电路结构的分析，把系统划分为 5 个预计单元模块：计量单元，MCU 及辅助单元，电源，RS-485 通讯单元和液晶显示单元，它们组成串联模型，系统的失效率等于 5 个单元的失效率之和。可靠性框图如图 2 所示：



图 2 智能电表可靠性框图

每个预计单元内部又可近似看作串联模型，其每个元器件失效均会造成预计单元的失效，单元失效率等于单元内部所有元器件失效率之和，预计公式为：

$$\lambda_{\text{单元}} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (3-1)$$

求得每个元器件的失效率，就可求得预计单元的失效率，进而求得系统的失效率。

3.2 预计智能电表可靠性

操作步骤如下：

(1) 绘制预计表格。按元器件工作失效率模型，查 GJB/Z 299C 数据手册^[5]，计算各元器件工作失效率。

(2) 计算每个预计单元的失效率。

(3) 把 5 个预计单元的失效率相加，得到智能电表系统的失效率。

(4) 计算智能电表的平均寿命 MTTF^[6]和可靠度为 90%的可靠寿命 $\rho_{0.90}$ 。

MCU 及辅助单元的可靠性预计表格如表 1 所示：

表 1 MCU 及辅助单元可靠性预计

(a) 预计单元: MCU 及辅助单元 环境: GF1 预计公式 $\lambda_p = \pi_Q [C_1 \pi_T \pi_V + (C_2 + C_3) \pi_E] \pi_L$										
位号	π_E	π_Q	π_T	π_V	π_L	C_1	C_2	C_3	λ_p	$N\lambda_p$
U1	2.4	0.08	0.30	1.0	1.0	0.511	0.130	0.302	0.3163	0.0952
U2	2.4	0.25	0.30	0.79	1.0	0.123	0.010	0.040	0.0373	0.0373
U3	2.4	0.25	0.28	0.79	1.0	0.123	0.010	0.026	0.0284	0.0284
U4	2.4	0.25	0.28	0.79	1.0	0.123	0.010	0.040	0.0368	0.0368
U5	2.4	0.25	0.28	0.79	1.0	0.123	0.010	0.004	0.0152	0.0152
U6	2.4	0.25	0.28	0.79	1.0	0.157	0.012	0.078	0.0627	0.0627
元器件总数 $\sum N$: 6					总失效率 $\sum \lambda$: 0.2756 × 10 ⁻⁶ /h					
(b) 预计单元: MCU 及辅助单元 环境: GF1 预计公式 $\lambda_p = \Lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_A \pi_{S2} \pi_R \pi_C$										
位号	$\Lambda_b / (10^{-6}/h)$	π 系数						λ_p	$N\lambda_p$	
		π_E	π_Q	π_A	π_{S2}	π_R	π_C			
R1--R4	0.007	2.0	0.05				1.6	0.0011	0.0045	
R5--R7	0.007	2.0	0.05				2.0	0.0014	0.0042	
R8--R36	0.007	2.0	0.05				1.0	0.0007	0.0203	
Q1, Q4	0.102	2.0	0.05	0.7	0.35	0.80	1.0	0.0020	0.0040	
Q2	0.067	2.0	0.05	0.7	0.35	0.80	1.0	0.0013	0.0013	
Q3	0.060	1.7	0.2	1.2				0.0245	0.0245	

元器件总数 $\sum N$: 40			总失效率 $\sum\lambda$: $0.0588 \times 10^{-6}/h$					
(c) 预计单元: MCU 及辅助单元			环境: GF1		预计公式 $\lambda_P = \Lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_{CV} \pi_{Ch}$			
位号	$\Lambda_b / (10^{-6}/h)$	数量 N	π 系数				λ_P /($10^{-6}/h$)	$N\lambda_P$
			π_E	π_Q	π_{CV}	π_{Ch}		
C1--C2	0.0121	2	2.4	0.1	1.9	1.5	0.0083	0.0166
C3--C29	0.0028	27	2.4	0.1	2.4	1.5	0.0024	0.0653
C30--C31	0.0045	2	2.4	0.1	2.4	1.5	0.0039	0.0078
C32--C33	0.0028	2	2.4	0.1	0.75	1.5	0.0008	0.0015
C34--C39	0.0043	6	2.4	0.1	1.0	1.5	0.0015	0.0093
C40	0.0043	1	2.4	0.1	1.0	1.5	0.0015	0.0015
CD1	0.0118	1	2.4	0.3	1.0	1.0	0.0085	0.0085
焊接点	0.000092	256	2.0	0.3			0.0000552	0.0141
印制板	0.02252	1	2.0	0.3		1.0	0.0135	0.0135
元器件总数 $\sum N$: 43			总失效率 $\sum\lambda$: $0.1381 \times 10^{-6}/h$					

MCU 及辅助单元的工作失效率等于 MCU 及辅助单元内所有元器件失效率之和, 即为 $(0.2756+0.0588+0.1381) \times 10^{-6}/h = 0.4725 \times 10^{-6}/h$.

其他预计单元的工作失效率预计结果如表 2 所示:

表 2 其他预计单元的工作失效率

预计单元	失效率/($10^{-6}/h$)
计量单位	0.2531
MCU 及辅助单元	0.4725
电源	0.5439
RS-485 通讯	0.2022
液晶显示单元	0.4853
系统设备	1.9570

由于智能电表服从指数分布, 其平均寿命 $MTTF=1/\lambda=510986h \approx 58.33$ 年, 可靠度为 90% 的可靠寿命 $\rho_{0.90} = -\ln(0.90)/\lambda = 53837.8h \approx 6.15$ 年。

4 结论

元器件应力法适合于预计智能电表的可靠性, 其预计结果可以为可靠性设计方案的综合评价提供依据。应用元器件应力法预计智能电表的可靠性, 作为一次成功的可靠性工程实践, 可以为国内智能电表企业所参考和借鉴, 在智能电表可靠性预计领域具有重要的现实意义。

参考文献

- [1] 张增照, 潘勇. 电子产品可靠性预计[M]. 北京: 科学出版社, 2007
- [2] 宗建华, 闫华光, 史树冬等. 智能电能表[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010: 21-28
- [3] 郝金伟, 武照云, 吴立辉, 刘楠幡. 电子产品可靠性预计研究综述 [J]. 机械管理开发, 2013, (04): 5-7
- [4] 武晔卿. 嵌入式系统可靠性设计技术及案例解析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2012: 226-235

[5] 中国人民解放军总装备部. GJB/Z 299C-2006 电子设备可靠性预计手册[M]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2006

[6] Patrick O'Connor. *Practical Reliability Engineering, 5th Edition*[M]. USA: Wiley, 2011

作者简介: 郝金伟 (联系人) (1989-), 男, 学生, 硕士, 河南鹿邑县人, 主要研究方向: 智能电表可靠性, (电话)18239927645, (E-mail) hao_jin_weiky@126.com **通信地址:** 河南省郑州市中原西路 195 号河南工业大学机电工程学院 403 室, 邮编: 450007。