

智能电能表可靠性预计技术

袁金灿¹,马 进²,王思彤³,周丽霞³,周 晖³

(1. 中国电力科学研究院,北京 100192; 2. 华北电力大学 电气与电子工程学院,北京 102206;
3. 冀北电网有限公司计量中心,北京 102208)

摘要: 智能电能表可靠性预计是提高智能电能表固有可靠性的重要手段,开展预计的关键是选择合适的预计手册。分析了各预计手册的特点和局限性,结合智能电能表的固有特征及其可靠性预计的需求,指出 Telcordia SR-332 是目前预计智能电能表可靠性最实用的预计手册,具有重要的理论价值和工程应用价值。在选择预计手册之后,对多款智能电能表的预计结果进行对比分析,并总结出提高智能电能表可靠性的措施。
关键词: 智能电能表; 预计手册; 元器件应力法; 可靠性
中图分类号: TM 93 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.07.028

0 引言

目前国家电网公司正在大力推进电力用户用电信息采集系统建设,计划用 5 年时间(2010 年至 2014 年),建成覆盖全部用户、采集全部用电信息、支持全面电费控制的采集系统,而智能电能表是采集系统最重要、最基础的组成部分。智能电能表的可靠性直接影响着采集系统的安全、稳定、经济运行,也直接关系到千家万户的供电可靠性和安全性。因此,除了需要对智能电能表的设计、生产、采购及运行管理等各个环节中加强验收测试,还应该对产品的可靠度指标做出科学的预计测评,总结出提高可靠性的措施,进而从整体上提高产品质量,

延长智能电能表的使用寿命。

1 可靠性预计手册的选择

可靠性预计手册为可靠性预计提供基础数据和预计方法,是智能电能表可靠性预计的基础。几乎每种预计标准都以可靠性预计手册的形式出现,因此很多时候又将可靠性预计标准称为预计手册。如无特殊说明,本文将不区分可靠性预计手册和可靠性预计标准。电子类产品的可靠性预计手册很多,但是由于预计手册的不同适用性,任何一款预计手册都有各自的特点和局限性。本文对这些预计手册的特点和局限性进行了比较,如表 1 所示。根据应用的

表 1 多种预计手册的特点和局限性
Tab.1 Characteristics and limitations of a few reliability prediction handbooks

预计手册	制定时间	特点	局限性
SR-332	2006 年	综合考虑元器件计数法、实验室试验数据、现场失效跟踪等信息,提供了 3 种预计方法;是最通用的商用电子产品 MTTF 的权威性行业标准,提出置信水平的计算方法和相关的数据。	未考虑设计等因素 ^[1] 。
MIL-HDBK-217F	1995 年	该标准为几乎所有类型电子元器件提供了可靠性模型,是世界上应用最广泛的军用预计手册,环境类别全面,提供了元器件计数法和元器件应力法 2 种预计方法 ^[2] 。	自 1995 年以来未更新,其中一些元器件的失效率预计值比实际情况要低。
GJB/Z 299C	2006 年	军用标准,参照 MIL-HDBK-217F 制定,元器件类别全面,提供元器件计数法和元器件应力分析法 2 种预计方法 ^[3] 。	军用标准制定较为严格,预计商用电子产品,失效率偏高。
SN29500	2005 年	提供了时常更新的参考条件下的失效率数据库,元器件类别全面,提供了元器件计数法和元器件应力法 2 种预计方法 ^[4] 。	西门子企业标准,一般只向西门子及其相关公司开放。
PRISM [®]	2001 年	综合考虑了各种外界因素(如生产、管理等)和试验数据以及使用数据对产品各层次单元可靠性水平的影响。	仅应用于软件;预计模型没有考虑元器件的失效模式和失效机理,对于某些环境条件,软件中使用的模型仅是对其影响的评估。
217Plus	2006 年	该标准是在 PRISM 的基础上发展而来,计入了组件、设计、生产、系统管理,以及耗损、诱因甚至软件因素 ^[5] 。	系统级可靠性预计较为复杂,用于复杂系统。
IEC/TR62380	2003 年	支持占空任务剖面及其应用阶段,可计算 PCB 板失效率 ^[6] 。	失效率预计模型复杂,预计用时较长,尚未在国际上广泛推广。
FIDES	2004 年	既考虑了部件内在因素(如产品工艺和质量分布)引起的失效,亦考虑了外在因素(如产品规范、设计、制造与集成)引起的失效 ^[7] ;基本失效率通常是通过过程评分的方法得到。	FIDES 方法较新,使用经验不足;分析用时冗长,成本效益较低。

领域不同,预计手册可以分为军用标准和商用标准,根据对系统可靠性处理方法的不同又可以分成不同的类别。下面结合智能电能表特点,对不同的预计手册分类进行对比,最后选择出最适用于智能电能表的可靠性预计手册。

1.1 军用标准和商用标准

根据应用行业不同,预计手册可分为军用标准和商用标准。军用标准应用于军事领域,制定较为严格;商用标准制定宽松,适用于商用电子产品。国际上应用较为广泛的军用标准有美军标 MIL-HDBK-217F,商用标准有 Telcordia SR-332(简称 SR-332)、SN29500;国内通常应用的军用标准是国军标 GJB/Z 299C。由于 MIL-HDBK-217F 数据库自 1995 年以来未更新^[8],其元器件失效率数据已无法真实地反映当下失效率水平,因此不再参与对比。本文应用 SR-332、SN29500 和 GJB/Z 299C 对一款单相费控智能电能表进行预计,其中 SR-332 的置信度选为 90%。预计结果见表 2。其中,MTTF 为平均失效前时间, $t_{0.95}$ 和 $t_{0.90}$ 分别为可靠度为 0.95、0.90 时的可靠寿命。

表 2 3 种预计手册的预计结果
Tab.2 Predictive results with three kinds of reliability prediction handbook

指标	SR-332	SN29500	GJB/Z 299C
失效率/fit	741.51	787.65	5028.76
$t_{0.95}/a$	7.90	7.43	1.16
$t_{0.90}/a$	16.22	15.27	2.39
MTTF/a	153.95	144.93	22.70

从表 2 可以看出:应用 GJB/Z 299C 预计的失效率约为 SR-332 的 6.7 倍;SN29500 预计的失效率和 SR-332 的预计结果相差不大;应用 GJB/Z 299C 预计的失效率要远大于另外 2 个预计手册的预计结果。应用表 2 中 GJB/Z 299C 的计算结果,选样本为 10000 只,得出智能电能表运行时间与累积失效数、可靠度的关系如表 3 所示。

表 3 运行时间与累积失效数、可靠度的关系
Tab.3 Relationship between running time and cumulative failure times/reliability

时间	可靠度	累计失效数量	时间	可靠度	累计失效数量
第 1 年	0.956 9	431	第 8 年	0.703 0	2 970
第 2 年	0.915 7	843	第 9 年	0.672 7	3 273
第 3 年	0.876 2	1 238	第 10 年	0.643 7	3 563
第 4 年	0.838 4	1 616	第 11 年	0.616 0	3 840
第 5 年	0.802 3	1 977	第 12 年	0.589 4	4 106
第 6 年	0.767 7	2 323	第 13 年	0.564 0	4 360
第 7 年	0.734 6	2 654	第 14 年	0.539 7	4 603

DL/T448—2000《电能计量装置技术管理规程》规定运行中的 I、Ⅱ、Ⅲ类电能表的轮换周期一般为 3~4 年。满 1 个轮换周期后抽样 10% 做修调前检验,I、Ⅱ类电能表的修调前检验合格率为 100%,Ⅲ

类电能表的修调前检验合格率应该不低于 98 %^[9]。家用的智能电能表是属于第Ⅱ类电能表,表 3 中运用 GJB/Z 299C 预计出的可靠性指标显然不能满足 DL/T448—2000 的要求,同时也不满足国家电网公司对智能电能表寿命达 15 年的需求。进一步应用 GJB/Z 299C 预计多款智能电能表,得到的失效率和本款单相费控智能电能表的结果相近。目前,智能电能表安装到现场后,虽然还没有完善的现场对比数据,但安装的智能电能表运行数据和国军标的预计结果存在较大差距。因此,本文选用商用标准预计智能电能表失效率。

1.2 系统可靠性预计方法选择

系统的可靠性预计方法大体分为 2 类:一类是考虑过程因素和设计因素的方法,另一类是采用串联结构加和形式的系统预计方法。其中应用 PRISM、217 Plus 和 FIDES 手册开展预计时,首先需要综合考虑工艺等级因素、工作剖面和初始的可靠性预计,采用综合的可靠性评估方法建立系统模型;然后,采用贝叶斯统计方法将可靠性评估方法和系统试验及过程数据进行统一考虑。因此,这 3 种方法属于前一类,适用于较复杂系统。智能电能表由于应用时间还不长,结构较为简单,依据 IEC62059-41 和 JJF1024—2006,不考虑其过程和设计因素,系统采用串联结构,系统失效率视为各元器件失效率的累加^[10]。因此需要选择串联加和的系统预计方法,不再选用 PRISM、217 Plus 和 FIDES 等考虑过程因素和设计因素的预计手册开展预计。

1.3 智能电能表可靠性预计手册的选择

考虑到智能电能表的特点、方法可操作性、应用经验和电能表厂家所能提供的工程信息等因素,对比各预计手册,可以得到 Telcordia SR-332 Issue 2 是目前预计智能电能表可靠性最佳的预计手册,原因如下。

a. 智能电能表结构相对简单,生产工艺符合相应的工艺标准,在制造商交付电力公司前,智能电能表经历过老化筛选,决定智能电能表可靠性的最主要因素是元器件。依据 IEC62059-41《电能计量设备可信性-第 41 部分可靠性预计》和 JJF1024—2006《测量仪器可靠性分析》搭建智能电能表可靠性预计模型,可以假定所有元器件同样重要,即任何元器件的失效都会引起智能电能表的失效,其可靠性框图是串联模型^[10],系统失效率宜采用 SR-332 预计手册的累加模式处理。

b. 智能电能表属于地面、计量箱内固定安装,剧烈振动、温度剧变等不可预见的外部冲击较少。SR-332 手册广泛应用于电子通信业,已较全面包含一般的智能电能表自然环境和应力影响^[11];且 SR-332 收

集数据的器件和智能电能表属于同一个系统,元器件分类较适用于智能电能表,随着我国元器件质量水平的不断提高,2006 年出版的 SR-332 元器件数据满足预计的需求。

c. SR-332 是从贝尔通信研究中心发展起来用于评估电子设备可靠性的预计方法,是目前最通用的商用电子产品 MTTF 的权威性行业标准;阿尔卡特、思科、英特尔、朗讯、摩托罗拉等国际知名企业均参与了其标准的制定和应用。SR-332 能够较为准确地反映电子设备的失效率水平,获得了广泛使用。据 IEEE 调查,进行可靠性预计的整机单位有 10% 采用 SR-332 的预计方法;欧洲电力供应商协会 2005 年统计显示,其 16 个成员公司中有 8 个公司采用 SR-332 的预计标准^[12]。此外 Telcordia 预计标准拥有较丰富的实践经验,其 2006 年最新出版的 SR-332 Issue 2 提供了各种置信水平下计算失效率的方法,具有非常重要的实用价值和现实意义。智能电能表作为典型的商用电子设备,宜采用商用标准 SR-332 计算失效率。

d. 电能表厂家提供的用于智能电能表可靠性预计的工程信息,一般包含智能电能表的原理图、各组成元器件的类型、生产厂家、型号、规格、环境类型、主要性能、工作环境温度、制造商、质量等级、额定电应力、工作电应力等信息,如果采用 IEC62380 和 FIDES 等较复杂的预计手册开展预计,需要厂家收集更多的元器件信息,会大幅增加预计所需时间和费用。

e. SR-332 提供了几乎全部电子元器件的失效率和系统的预计方法,同时还提供了利用实验数据、现场数据和老化数据对预计结果修正的方法,便于在设计、样机评价和试验选型等阶段对智能电能表进行预计。另外,SR-332 标准以电子文件的形式出售,比只向西门子内部及其相关公司开放的 SN29500^[12]更适于在国内广泛推广。同时很多专注于可靠性预计的软件产品,都支持依据 SR-332 方法的可靠性预计,有利于智能电能表可靠性预计方法的广泛应用。

2 预计结果分析

在选定预计手册之后,应用预计手册计算的智能电能表预计结果除了可以综合评价设计方案,给电力公司提供加强入网的检测手段之外,对智能电能表的可靠性检测和设计等也具有重要意义。通过分析预计结果可以鉴别出高失效率元器件,为优选及使用元器件提供数据;可以评估出外界应力对智能电能表可靠性的影响,为智能电能表的使用和维护提供有益信息;帮助检查智能电能表研发方案和电路设计的合理性,发现设计中的潜在缺陷,为改进优选设计方案提供依据。鉴于预计结果的重要意义,本文从环境应

力造成影响、对可靠性改进的建议和元器件的分析 3 个方面对智能电能表的预计结果做进一步分析。

2.1 应力造成的影响

在智能电能表中,对可靠性影响较为严重的应力因子有温度应力因子和电应力因子。本文基于可靠性预计结果,研究智能电能表失效率随温度应力、电应力变化的趋势和表内的应力敏感元器件。

首先,预计了一款单相本地费控智能电能表在 25℃ 和 40℃ 时整机和各单元模块的失效率;随着温度的升高,整机失效率从 25℃ 时的 812.93 fit 上升至 40℃ 的 1 112.33 fit;随着温度升高,各功能单元的失效率变化的幅度各不相同。为进一步分析智能电能表失效率随温度变化的规律,本文根据预计结果绘制出整表和各功能模块随温度变化的曲线如图 1 所示。图 1 中,数字 1—8 分别对应整表、通信单元、按键和显示单元、电源单元、费控单元、采样和计量单元、MCU 控制单元、拉闸及检测单元。可以发现,随着温度升高,整表和各组件的失效率都迅速增大,曲线上升的趋势近似于指数型;整表和各单元模块的失效率增长程度各有不同。

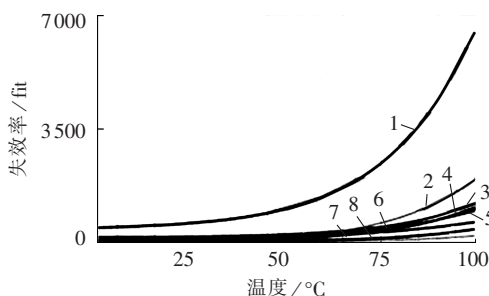


图 1 失效率随温度变化曲线

Fig.1 Curves of failure rate vs. temperature

深入分析智能电能表中各单元模块的元器件,发现其中应用的存储器、稳压器、电解电容和热压敏电阻受温度变化影响较大。在预计手册 SR-332 中,给出了可以量化温度对元器件失效率的影响的温度应力因子 π_T 的计算公式:

$$\pi_T = e^{E_a(1/T_0 - 1/T_1)/k} \quad (1)$$

其中, e 为自然对数的底; $T_0 = 40 + 273 = 313$ (K), 为参考温度; T_1 为工作温度; $k = 8.62 \times 10^{-5}$ eV/K, 为玻尔兹曼常数; E_a 为活化能。根据此温度应力模型,智能电能表中 256 KB 的 ROM 存储器在 40℃ 下的失效率为 19.73 fit,而在 50℃ 时的失效率为 37.51 fit。可见温度升高了 10℃,ROM 存储器的失效率就增加了 1 倍。鉴于整表、组件和敏感元器件的失效率随温度变化的幅度较大,在智能电能表设计中必须考虑热设计,尽量降低智能电能表元器件的工作温度,从而提高可靠性。

除温度应力外,电应力也是影响电子设备可靠性

的主要因素之一。本文通过改变智能电能表的电应力,绘制出整表和各单元模块失效率随电应力变化的曲线,如图 2 所示。图 2 中,数字 1—8 分别对应整表、采样和计量单元、按键和显示单元、费控单元、拉闸及检测单元、通信单元、电源单元、MCU 控制单元。

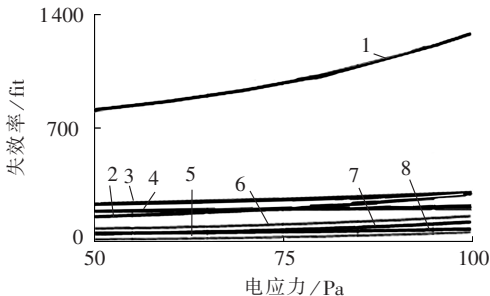


图 2 失效率随电应力变化曲线

Fig.2 Curves of failure rate vs. electrical stress

由图2可见,随着电应力的增加,整表和各单元模块的失效率迅速增大,呈现指数型上升趋势;进一步研究电应力对元器件的影响,可以发现智能电能表内对电应力最为敏感的元器件有铝电解电容、二极管、三极管、瓷介电容等,在应用 SR-332 预计的结果中,这些元器件的失效率在不同电应力水平下差别较大,如表 4 所示。

表 4 不同电应力水平下元器件失效率比较

Tab.4 Comparison of failure rate in different electrical stress

元器件类型	失效率/fit		失效率比值
	未降额	降额值 0.1	
铝电解电容	4.85	0.56	8.66
硅二极管	19.57	0.84	23.30
瓷介电容	3.10	0.08	38.75
硅三极管	37.48	0.50	74.96

结合表 4 所示的敏感元器件失效率进行分析,可以对高失效率单元和失效率较高的重点元器件进一步实施降额设计,从而降低失效率,提高可靠性。一般依照设计经验,智能电能表中的贴片电阻、贴片电容、电解电容等应保证 50% 以上的降额;二极管、三极管应尽量采取降额设计,最大限度降低其失效率;10(40)A 的智能电能表,应尽量采用最大电流不小于 60 A 的继电器。

根据上面的分析,可以发现智能电能表可靠性受温度应力和电应力影响较大,在进行智能电能表设计时,应全面考虑元器件可能遇到的极端工作条件,在确保技术性能指标的前提下,有必要对元器件的工作电压范围、温度特性、电特性参数等都采用降额使用的方法,从而降低元器件在各种应力条件下的失效率。

2.2 对比产品改进可靠性

通过对比分析不同的智能电能表设计方案预计结果不仅可以发现各设计方案中存在的高失效率单元,同时还可以分析出方案引起高失效率的原因,从

而识别出潜在的改进可靠性的机会,有针对性地提出改进措施,降低失效率。

2.2.1 同一类型不同厂家的智能电能表

研究样本选为国内和国外的同一类型的智能电能表,2 款智能电能表主要功能类似。应用 SR-332 (置信度选为 90%)预计 2 款智能电能表的可靠性,预计结果如表 5 所示。

表 5 预计结果
Tab.5 Predictive results

指标	采样计量单元		电源单元		整机	
	国内	国外	国内	国外	国内	国外
失效率/fit	5.92	44.93	49.9	103.51	303.58	359.19
MTTF/a	19 259.6	2 540.7	2 284.1	1 102.9	376.02	317.82
$t_{0.95}$ /a	987.89	56.57	117.16	130.32	19.29	16.30

由表 5 可以看出,本款国外的单相智能电能表的失效率比国内的要低,其原因主要是国外表的采样计量单元和电源单元失效率较低。通过查看 2 款电能表的模块元器件组成,发现本款国内单相智能电能表采样计量模块和电源单元中应用了锰铜分流器、直插晶振、电解电容、插件磁珠等失效率较高的元器件,而国外单相智能电能表中未使用此类失效率较高元器件,或使用较少。由于在预计手册中失效率较低元器件往往是稳定生产的成熟元器件,此类元器件具有较高的稳定性和较低的失效率,因此,选择元器件时,应尽量考虑采用稳定生产的成熟元器件,并选择稳定的供货商。

此外,对于预计结果中分析出的高失效率单元中的失效率较高的元器件,当元器件不能被替换,且其他任何可靠性设计技术都难以进一步提高产品可靠性时,并联、备用、表决等冗余设计便成为提高智能电能表可靠性的必然选择。智能电能表的冗余设计,就是对设计部分并联相同或不同的单元,或增加备用单元,并联或增加的部分与设计部分应实现相同的功能。同时对于高失效率元器件的冗余设计也可以使元器件的可靠性成倍提高,例如,智能电能表电源部分铝电解电容的失效率较高,提高其可靠性可通过并联 2 个电解电容的方式来实现。预计结果显示此 470 μ F 的电解电容失效率为 26.8fit,当并联 2 个同样的电解电容时,此单元的失效率为 13.4fit,失效率降低了一半。

2.2.2 同一厂家不同类型智能电能表

根据功能的不同,智能电能表可划分成不同的种类。其中,按照费控方式的不同智能电能表可划分为带 CPU 卡的本地费控预付费智能电能表和远程费控智能电能表 2 类;按照通信方式的不同可分为载波表、RS-485 表和红外通信表。本文研究了一组同一厂家生产的不同类型智能电能表的预计结果,分析不同种类的智能电能表的可靠性的特点。样本选为 4

款不同功能的智能电能表; K_1 为单相本地费控智能电能表(载波/CPU卡), K_2 为单相费控智能电能表(CPU卡), K_3 为单相本地费控智能电能表(远程/载波), K_4 为三相四线智能电能表。 K_1 、 K_2 、 K_3 都拥有计量、结算、测量、通信、事件记录、冻结、报警等基本功能,主要区别在于载波通信和预付费2种功能; K_1 同时拥有载波通信功能和IC卡预付费功能, K_2 只具备载波通信功能, K_3 只具备IC卡预付费功能。 K_4 构造比 K_1 、 K_2 、 K_3 都要复杂,功能也更全面。应用SR-332预计4款智能电能表的可靠性,结果如表6所示。其中, $t_{0.97}$ 为可靠度为0.97时的可靠寿命。

表 6 4 种智能电能表可靠性指标对比
Tab.6 Comparison of reliability indexes among four kinds of smart electrical power meters

指标	K_1	K_2	K_3	K_4
失效率/ f_{it}	890.31	1079.88	1112.33	1851.71
$t_{0.97}/a$	3.91	3.22	3.13	1.87
$t_{0.95}/a$	6.58	5.42	5.26	3.16
$t_{0.90}/a$	13.51	11.14	10.81	6.50
MTTF/ a	128.22	105.71	102.63	61.65

从表6可以发现:智能电能表的功能越复杂,整表的失效率也就会越大,可靠性就会越低。因此,随着智能电能表技术的发展,智能电能表性能和功能越来越强,在一定技术条件下,应该注意协调多功能与可靠性的关系。一方面,功能的增加,将会使应用的元器件数量增多,会相对降低电能表的可靠性;另一方面,多功能设计增加了设计中存在不合理、不可靠隐患的几率。因此,在设计智能电能表时,应根据实际需要选择合理的功能配置。

2.3 元器件的分析

对大量的电子设备的故障统计表明,元器件失效在故障分布中占首位。要保证智能电能表可靠运行,首先需要保证其内部元器件的可靠性。因此,本文应用预计结果,对元器件做进一步分析,对单个元器件失效率 and 各类元器件失效占比进行排列,分别如图3和表7所示。

分析以上预计结果,结合现场统计数据可以得出

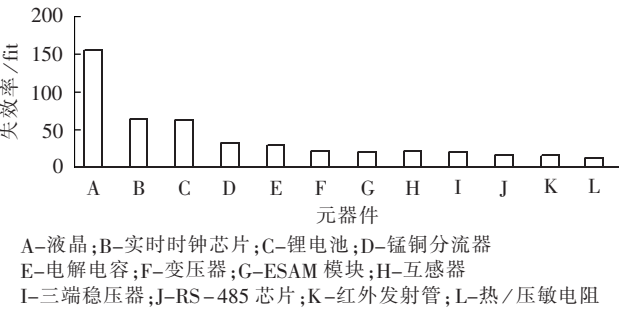


图 3 单个元器件失效率分析
Fig.3 Analysis of failure rate for single component

表 7 各类别元器件失效占比 Tab.7 Failure rate ratio of different kinds of component					
元器件	失效占比/%	元器件	失效占比/%	元器件	失效占比/%
贴片电容	0	变压器	3	贴片电阻	8
晶体管	1	锰铜分流器	4	电解电容	8
继电器	2	热/压敏电阻	6	液晶	17
晶振	3	稳压器	6	集成电路	22
互感器	3	二极管	7	其他设备	1
开关、插座	3	锂电池	7		

以下结论。

a. 影响智能电能表可靠性的主要元器件为:集成电路(实时时钟芯片、ESAM 模块和 RS-485 芯片)、液晶、电解电容、锂电池、稳压器、锰铜分流器、变压器和压热敏电阻等。进一步对比单个元器件的失效率,可发现液晶的失效率最高、其次为实时时钟芯片和锂电池的失效率。为提高智能电能表可靠性,上述元器件的使用和选取在方案设计时必须着重分析。

b. 在现场应用中,液晶、时钟电池、电解电容、存储器、晶振、表壳、卡槽及卡座等是影响智能电能表寿命的主要元器件。综合图3和表7中的预计数据,可得到液晶、电池和电解电容是智能电能表中失效率较高、容易出现故障的3类元器件,应作为关键元器件进行研究。此3类元器件在选用时要使用品牌厂商的优质元器件,且在方案设计、应力筛选、可靠性试验验证等各个环节都应当给予重视。

c. 集成电路失效占比较大。一方面是由于手册提供的集成电路失效率较高;另一方面,使用数量较多。经现场调研,集成电路对智能电能表的寿命周期影响较小,经历了半个世纪的发展已具有超长寿命。预计失效率较高是由于预计手册的数据存在一定的滞后性造成的。

d. 智能电能表中应用最多的电阻和电容,由于属于无源器件,物理特性较为稳定,没有时效性,单个失效率较小,在现场较少发生故障。

3 结论

智能电能表作为较为简单的商用电子产品,适于应用SR-332手册,采用累加模型进行可靠性预计。本文依据IEC62059-41和JJF1024—2006,应用Telcordia SR-332手册,预计出了多款智能电能表的可靠性指标,分析结果得到了提高智能电能表可靠性的措施:采用热设计、降额设计和冗余设计等可靠性设计技术;减少功能,减少元器件数量;使用具备可靠性数据的优质元器件;本文进一步综合现场数据,提出液晶、电池和电解电容是智能电能表失效率较高的关键元器件,在方案设计、元器件采购、应力筛选、可靠性试验验证等各个环节都应当给予重视。

鉴于可靠性预计对智能电能表的重要意义,电力部门和电能表厂家应加大对智能电能表的可靠性预计工作的投入,应用预计的方法来综合评价智能电能表设计方案,鉴别研发方案和电路设计的潜在问题或薄弱环节,进而从整体上提高智能电能表可靠性。

参考文献:

- [1] AT&T Bell Labs. Telcordia SR-332 Issue2-2006 Telcordia technologies special report;reliability prediction procedure for electronic equipment [S]. Red Bank,New Jersey,USA:Telcordia Technologies,2006.
- [2] U.S. Department of Defense. MIL-HDBK-217F NOTICE II -1995 Military handbook-reliability prediction of electronic equipment[S]. New York,USA:[s.n.],1995.
- [3] 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[S]. 北京:总装备部军标出版发行部,1995.
- [4] Siemens. SN29500-1/2/3/4/5/6/7/8/9/10 Failure rate of components[S]. [S.l.]:Siemens,2004.
- [5] U.S. Department of Defense. 217 Plus™. Handbook of 217-Plus™ reliability prediction models[S]. New York,USA:[s.n.],2006.
- [6] International Electrotechnical Commission. IEC-TR-62380-2004 Reliability data handbook universal model for reliability prediction of electronics components,PCBs and equipment[S]. New York,USA:[s.n.],2006.
- [7] Airbus France. FIDES-Guide 2004 Issue A;reliability methodology for electronic systems[S]. Doetinchem,Netherlands:FIDES Group,2004.
- [8] 张增照,潘勇. 电子产品可靠性预计[M]. 北京:科学技术出版社,2007.
- [9] FOUCHER B,BOULLIE J,MESLET B,et al. A review of reliability prediction methods for electronic devices [J]. Microelectronics Reliability,2002(42):1155-1162.
- [10] 张文俊,聂国健,郑丽香. 国外最新可靠性预计方法综述[J]. 电子产品可靠性与环境试验,2009,4(27):24-28.
ZHANG Wenjun,NIE Guojian,ZHENG Lixiang. Summary on latest foreign reliability prediction methods[J]. Electronic Product Reliability and Environmental Testing,2009,4(27):24-28.
- [11] 电力行业电测量标准化技术委员会. DL/T448—2000 电能计量装置技术管理规程[S]. 北京:中国电力出版社,2000.
- [12] IEEE Standards Coordinating Committee 37 on Reliability Prediction. IEC62059-41-2006 Electricity metering equipment-dependability-reliability prediction [S]. New York,USA:IEEE,2006.
- [13] IEEE. IEEE Std1413.1TM-2002 IEEE guide for selecting and using reliability predictions based on IEEE 1413™ [S]. New York,USA:IEEE,2003.
- [14] 曹然,陈颖,康锐. 基于 Bellcore 标准的电子产品可靠性预计方法及案例研究[J]. 电子质量,2010(6):61-62.
CAO Ran,CHEN Ying,KANG Rui. Electronic product reliability prediction methods and case studies based on Bellcore standards[J]. Electronics Quality,2010(6):61-62.
- [15] European Power Supply Manufacturers Association. Reliability-guidelines to understanding reliability prediction[R]. Wellingborough:EPSMA,2005.
- [16] 杨志忠,高锡秋. 对提高电子设备可靠性方法的研究[J]. 电力自动化设备,1997,17(1):6-12.
YANG Zhizhong,GAO Xiqu. Research of methods for improving reliability of electronic equipment[J]. Electric power Automation Equipment,1997,17(1):6-12.

作者简介:



袁金灿

袁金灿(1987-),男,山东梁山人,硕士,研究方向为智能电能表可靠性技术(E-mail:yuan.jincan@163.com);

马进(1975-),男,山西太原人,副教授,博士,研究方向为负荷建模、电力系统动态分析;

王思彤(1967-),男,河北故城人,高级工程师,研究方向为电能计量技术等;

周丽霞(1982-),女,河北平乡人,工程师,博士,研究方向为电气测量技术;

周晖(1979-),男,湖北宜昌人,工程师,博士,研究方向为计量设备可靠性与质量检测。

Reliability prediction of smart electrical energy meter

YUAN Jincan¹, MA Jin², WANG Sitong³, ZHOU Lixia³, ZHOU Hui³

(1. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China; 2. School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

3. Jibe Electric Power Company Limited Electric Energy Metering Center, Beijing 102208, China)

Abstract: Reliability prediction is an important technique to improve the inherent reliability of smart electrical energy meters and its key is to select the appropriate reliability prediction handbook. The characteristics and limitations of a few prediction handbooks are analyzed and it is pointed out that, according to the inherent characteristics of smart electrical energy meter and its requirement for reliability prediction, Telcordia SR-332 is at present the most practical handbook with great theoretical and engineering values. The reliability of smart electrical energy meter is predicted with the chosen handbook and the predictive results are compared among several kinds of smart electrical energy meter, according to which, some measures for improving the reliability of smart electrical energy meters are given.

Key words: smart electrical energy meter; prediction handbook; parts stress method; reliability