

FTA-Based Reliability Research on Fully Electronic Multi-Functional Watt-Hour Meter

ZHANG Jingchao, CHEN Zhuoya, ZHOU Qi, CHEN Rui

Henan Electric Power Research Institute, Zhengzhou, China

e-mail: zepczjc@163.com

Abstract: The customers' electric power energy consumption is measured by watt-hour meter, which reliability directly affects the reliability of electric power supply and metering impartiality. With the rapid development of electronic technology and manufacturing innovation, fully electronic multi-functional watt-hour meters have replaced the traditional mechanical meters in electric power measurement. However, compared with mechanical meter, the reliability of electronic meter still needs to be further improved. In the paper, common breakdowns of the fully electronic multi-functional watt-hour meter are analyzed using fault tree analysis (FTA). In the light of analysis result, some suggestions are put forward for improving the design and manufacturing techniques of fully electronic multi-functional watt-hour meter.

Keywords: FTA; fully electronic multi-functional watt-hour meter; reliability research

基于故障树分析的全电子式多功能电能表可靠性技术研究

张景超, 陈卓娅, 周琪, 陈瑞

河南电力试验研究院, 郑州, 中国, 450052

e-mail: zepczjc@163.com

摘要: 电能表用于在供电企业和用户之间的电能计量, 它的可靠性直接影响到了供电的可靠性和计量的公正性。随着电子技术的飞速发展和制造业的不断创新, 目前全电子式多功能电能表已经可以取代传统的机械表计。但是和机械表计相比, 电子表的可靠性有待进一步改善。为了提高全电子式多功能电能表的可靠性, 本文从容易发生的电能表故障出发, 利用故障树分析法详细分析了可能出现故障的部分和元件, 为提高全电子式多功能电能表设计和制造工艺提供了重要参考依据。

关键词: 故障树分析法; 全电子式多功能电能表; 可靠性研究

1 引言

随着电子技术的飞速发展, 全电子式多功能电能表已经可以取代传统的机械表计。中国自上个世纪九十年代以来, 电子式电能表产业发展迅速, 目前已经开发出功能齐全的各类电能表计。但是由于制造厂家众多, 产品良莠不齐, 在电能表可靠性方面, 总体水平和国外产品相比还存在一定差距。因此将可靠性技术引入电能表的设计和制造过程中, 不失为一种较好方法来促进电能表行业进行升级。

2 可靠性分析方法

可靠性是指元件或系统在规定条件下和规定时间区间内能完成规定功能的能力。电能表可靠性即指在规定条件下和规定时间内, 电能表完成规定功能的能

力。可靠性的分析方法有失效模式与影响分析(FMEA)法和故障树分析(FTA)法^[1-5]。其中, FMEA法是自下而上的分析方法, 而FTA法是自上而下的分析方法。

FMEA是在产品设计过程中, 通过对产品各个组成单元潜在的各种故障模式及其对产品功能的影响进行分析, 提出可能采取的预防改进措施, 以提高产品可靠性的一种设计分析方法。

FTA把系统最不希望发生的故障状态作为逻辑分析的目标, 在故障树中称为顶事件, 继而找出导致这一故障状态发生的所有可能直接原因, 在故障树中称为中间事件。再跟踪找出导致这些中间故障事件发生的所有可能直接原因。直追寻到引起中间事件发生的全部部件状态, 在故障树中称为底事件。用相应符号及逻辑门把顶事件、中间事件、底事件连接成树形逻辑图, 称此树形

逻辑图为故障树^[6-10]。本文主要采用 FTA 法对全电子多功能电能表进行分析。找出其在设计和制造上应该重点注意之处，从而提高产品的可靠性。

3 全电子式多功能电能表结构

全电子式多功能电能表的主要功能有：电能计量、需量计量、显示、时段与费率、校时、测量与监测、事件记录、冻结、负荷纪录、停电抄表、测量数据存储、清零、通信、脉冲输出、失压与断相、费控、阶梯电价和其它功能^[11-16]。该型电能表的结构如图 1 所示。

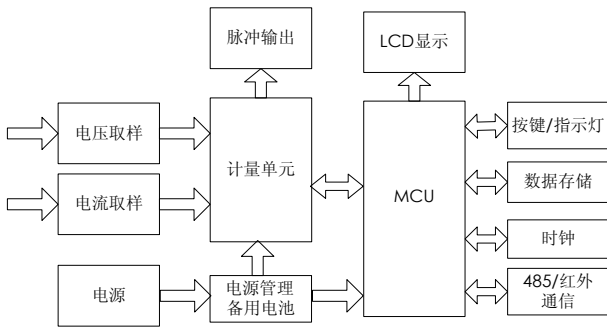


图 1. 全电子式多功能电能表功能结构示意图
Figure 1. The functional diagram of electronic multi-functional watt-hour meter

4 多功能电能表故障树分析法

为了弄清电子式多功能电能表出现某种故障（即顶事件）的可能性有多少，进而分析哪些因素会引发系统的某种故障，下面对电子式多功能电能表常见故障进行故障树分析。经过深入调研，并对调研数据进行汇总、分类和归纳，把全电子式多功能电能表故障共划分为六类故障。对这些故障进行自顶向下分解，分别画出六类故障的故障树。全电子式多功能电能表故障树总图如图 2 所示。

图 2. 全电子式多功能电能表故障树总图

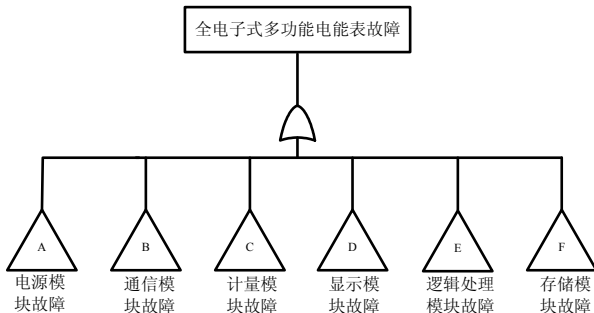


Figure 2. The fault tree general diagram of electronic multi-functional watt-hour meter

4.1 电源模块故障

全电子式多功能电能表电源模块故障树如图 3 所示。

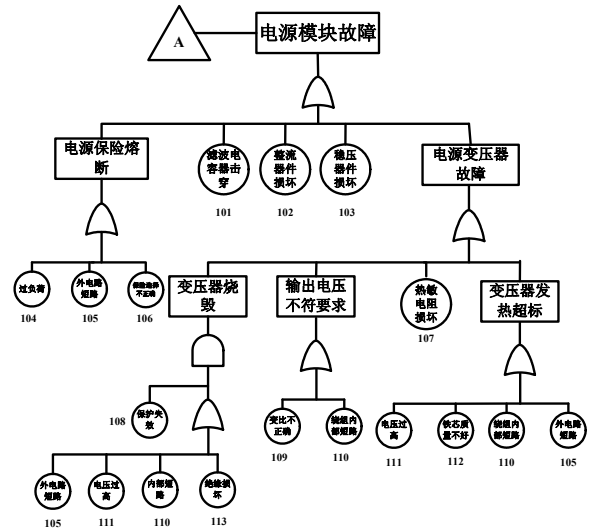


图 3. 全电子式多功能电能表电源模块故障树
Figure 3. The power supply unit fault tree of electronic multi-functional watt-hour meter

4.2 通信模块故障

全电子式多功能电能表通信模块故障树如图 4 所示。

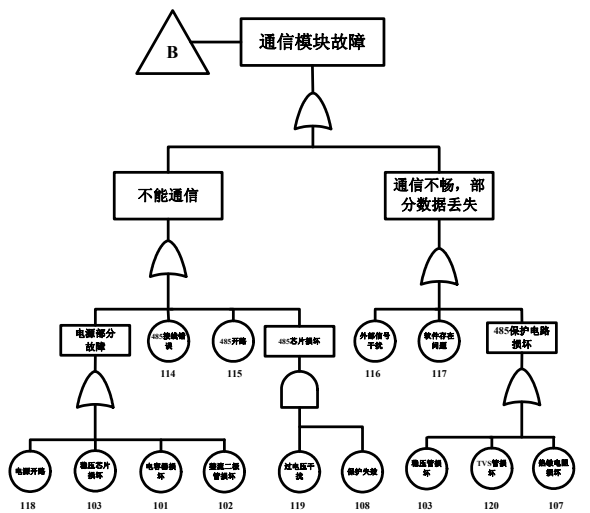


图 4. 全电子式多功能电能表通信模块故障树
Figure 4. The communication unit fault tree of electronic multi-functional watt-hour meter

4.3 计量模块故障

全电子式多功能电能表计量模块故障树如图 5 所示。

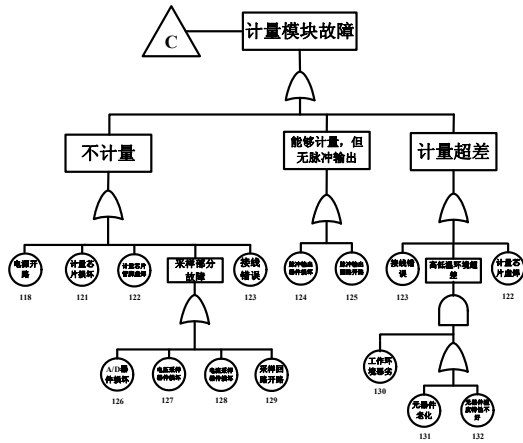


图 5. 全电子式多功能电能表计量模块故障树
Figure 5. The metering unit fault tree of electronic multi-functional watt-hour meter

4.4 显示模块故障

全电子式多功能电能表显示模块故障树如图 6 所示。

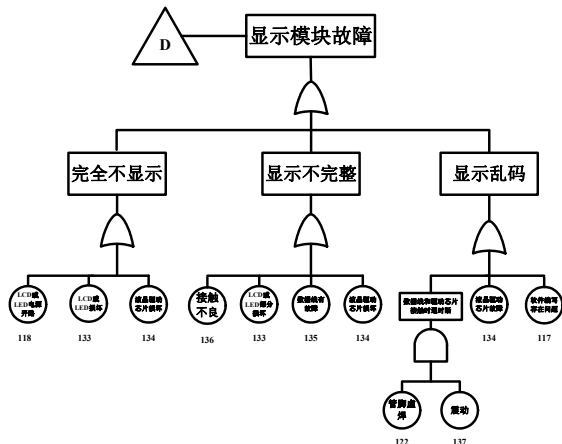


图 6. 全电子式多功能电能表显示模块故障树
Figure 6. The display unit fault tree of electronic multi-functional watt-hour meter

4.5 外壳及按键故障

全电子式电能表外壳及按键故障树如图 7 所示。

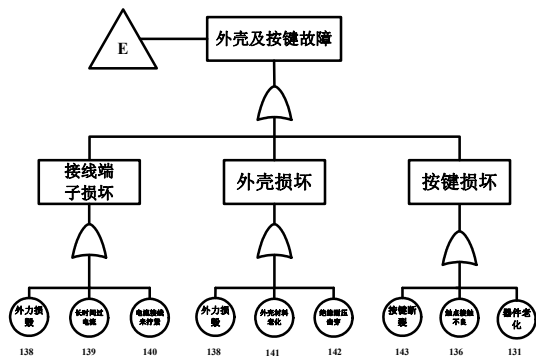


图 7. 全电子式多功能电能表外壳及按键故障树
Figure 7. The shell and key unit fault tree of electronic multi-functional watt-hour meter

4.6 存储模块故障

全电子式多功能电能表存储模块故障树如图 8 所示。

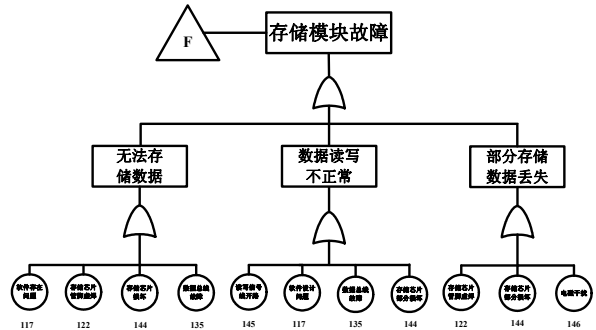


图 8. 全电子式多功能电能表存储模块故障树
Figure 8. The memory unit fault tree of electronic multi-functional watt-hour meter

4.7 故障树定性分析

利用故障树分析程序即可对全电子式多功能电能表的故障树进行定性分析。定性分析的目的是找出导致顶事件发生的所有可能故障模式，从而求出故障树的所有最小割集。这里我们采用下行法(Fussel-vesely法)求最小割集：从顶事件逐级向下，根据逻辑关系分行表示，若是或门，则将输入事件列入不同行；若是与门，则将输入事件排列入同一行。依次分解，直到找到不能再分的基本事件为止。根据该法求得的结果如表 1 所示。

表 1. 电子式多功能电能表故障树最小割集
Table 1. The fault tree minimum cut-set of electronic multi-functional watt-hour meter

最小割集	一阶最小割集						二阶割集	
	101	102	103	104	105	106	108,105	108,110
	107	109	110	111	112	114	108,111	108,113
	115	116	117	118	120	121	108,119	130,131
组成	122	123	124	125	126	127	130,132	122,137
	128	129	133	134	135	136		
	138	139	140	141	142	143		
	144	145	146					
个数	39						8	
所占比例	83%						17%	

根据表 1 中的计算结果，可得出以下结论：

(1) 全电子式多功能电能表故障树中有 39 个一阶最小割集，占有所有最小割集中的 83%。一阶最小割集是最重要的最小割集，它对电子式多功能电能表故障的影响比其他高阶割集大得多。为提高全电子式多功

能电能表的可靠性,应在设计和使用中尽可能地减小一阶最小割集基本事件的发生。

(2) 除构成一阶最小割集的基本事件的发生可导致电子式多功能电能表故障以外,其他基本事件的发生不会直接导致电子式多功能电能表故障,而需要一定的条件,且故障的过程较为缓慢,因此通过采取一定的措施就可减少故障的发生。

5 结语

本文采用自顶而下的故障树分析法,通过绘制全电子式多功能电能表的各组成部分故障树,分析了电能表在设计、制造和使用时应该注意的环节。为了提高全电子式多功能电能表的可靠性,在设计上要充分考虑各种情况,硬件方面尽量选择精度高、温度特性好、可靠性好的元器件,软件方面要充分考虑程序的抗干扰能力。在设计中应该合理采用屏蔽、滤波和接地技术,确保在设计方案上没有缺陷;在制造环节要严格执行生产标准和产品测试,确保各器件焊接良好,无虚焊、漏焊和错焊发生,产品功能和设计相符;在使用环节中要正确接线,保证电能表的运行环境满足要求,尽量远离各种电磁辐射和干扰源。

致谢

感谢华北电网有限公司的王思彤高工和彭楚宁高工对本文提供的帮助,也感谢参考文献中的各位作者。

References (参考文献)

- [1] IEC 60030-2. Dependability management part2: Guidelines for dependability management [S]. 2004.
- [2] IEC 62059-41. Electricity metering equipment-Dependability Part41: Reliability prediction[S].2006.
- [3] IEC 60300-3-1. Dependability management part3-1: analysis techniques for dependability- Guide on methodology.2003.
- [4] Wang Peng, Zhang Guixin, Zhu Xiaomei, et al. Analysis on reliability of electronic current transformer based on failure modes, effects analysis and fault tree analysis [J] Power System Technology, 2006, 30 (23) : 15-20.
王鹏,张贵新,朱小梅,等.基于故障模式与后果分析及故障树法的电子式电流互感器可靠性分析[J]. 电网技术,2006,30 (23) : 15-20.
- [5] Sun Quan. The application of fault tree on the actual problem settlement[J]. Electronics Quality, 2005,(8):26-31.
孙权. 应用故障树解决实际问题[J]. 电子质量, 2005, (8): 26-31
- [6] Liu Pin. The foundation of reliability engineering [M]. Beijing: China Metrology Press, 2002.
刘品. 可靠性工程基础[M]. 北京: 中国计量出版社, 2002.
- [7] Gao Shensheng, Zhang Lingxia. Reliability theory and engineering application [M]. Beijing: Defence industry Press, 2002.
高社生, 张玲霞. 可靠性理论与工程应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.
- [8] Wei Xuanping, Wang Xiaolin. Analysis on fault tree and its application [J]. Journal of Engineering College of Armed Police Force, 2004, 20(6): 22-24.
魏选平, 王晓林. 故障树分析法及其应用[J]. 武警工程学院学报, 2004, 20(6): 22-24.
- [9] Wang Tao, Han Fuchun. Evaluation of distribution transformer's running status based on FTA [J].Journal Of Electric Power, 2009, 24(1): 31-33, 67.
王涛, 韩富春. 基于 FTA 法的配电变压器运行状态评估[J]. 电力学报, 2009, 24(1): 31-33, 67.
- [10] Duan Juanjie, Li Huacong. Based on fault tree's failure diagnosis expert system research[J].Science Technology and Engineering, 2009, 9(7): 1914-1917.
段隽喆, 李华聪. 基于故障树的故障诊断专家系统研究[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(7): 1914-1917.
- [11] Lian Xiaoqin, Bai Liping, Jin Liang. Design of three-phase multi-functional power meter [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2005, 26(8): 287-289.
廉小亲, 白莉萍, 金亮. 电子式三项多功能电能表设计[J]. 仪器仪表学报, 2005,26(8): 287-289.
- [12] Lv Lichang, Xiao Zhiyong. Design electronic multi-functional meter[J]. Electronic Products, 2006, 08: 77-79.
吕利昌, 肖志勇. 电子式多功能电能表的设计与实现[J]. 今日电子, 2006, 08: 77-79.
- [13] Ren Zizhen, Wang Yang, Li Lin. The intellectual meter design based on GPRS. Control & Automation, 2007, 23(10): 193-195.
任子真, 王洋, 李琳. 基于 GPRS 的智能电表的设计[J]. 微计算机信息, 2007, 23(10): 193-195.
- [14] Qi Jifei, Zheng Liya. Design techniques for improving reliability of electric energy measurement [J]. Ordnance Industry Automation, 2008,27(4): 80-82.
戚继飞, 郑丽娅. 提高智能电力仪表电能计量可靠性的设计方法[J]. 兵工自动化, 2008,27(4): 80-82.
- [15] Li Dan, Lang Weiming. Fault analysis on full electronic multi-functional meter's measurement [J]. Northeast Electric Power Technology, 2007, 28(8): 33-34.
李丹, 郎伟明. 全电子式多功能电能表计量故障分析[J]. 东北电力技术, 2007, 28(8): 33-34.
- [16] Huang Xiaoliang. Improving the reliability of single-phase electronic watt-hour meter [J]. Mechanical and Electrical Technology, 2003, 26(1): 17-19.
黄孝良. 提高单相电子式电能表可靠性的分析[J]. 机电技术, 2003, 26(1): 17-19.