

# 单相智能电表的可靠性预计及电源模块的可靠分析

贾亮 孙可赞

国网河北省电力有限公司新乐市供电分公司

**摘要:**在国家电网公司大力推进“坚强智能电网”和“智慧用电”战略的背景下,单相智能电表在电力市场中发挥着举足轻重的作用。单相智能电表是实现电能计量,管理,信息处理和通讯的关键。所以单相智能电表的可靠度就显得尤为重要。对智能电表的使用年限进行精确的预测,为计量检定周期的确定提供了依据;因此,如何在电力系统中实现高可靠、长寿命的电表,是目前电能计量领域研究的重点。对它的深入研究,将极大地促进我国有关产业的发展。

**关键词:**单相智能电表;可靠性预计;可靠性分析;FMECA

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2022.08.100

## 一、单相智能电表可靠性预计

### (一)单相智能电表组成模块介绍

#### 1) 电源模块

单相智能电表的供电方式分为两种:一种是交流供电,一种是小功率供电。交流电源就是电能表的输入端,是220V的交流电。该电源电路将220V的交流电压变换为各种大小的直流电压,既可为其他模块提供电源,又可为各模块提供电能;低功耗电源一块锂电池,它是一种备用电源,用来在断电的情况下保持电能表的运转,保持时钟的运转,同时还可以使用液晶显示,将电能计量数据保存起来,并将停电事件保存起来,来电后又切换成交流电源供电。

#### 2) MCU

单片机是一种高度集成的微机系统。它包括一个中央处理单元(CPU),存储器,内部和外部总线系统以及外部接口。该系统可以完成复杂的数据运算,处理,存储,传输等功能,并以较低的功耗完成。能将测量晶片上的资料,转换为脉冲输出;另一方面,把所求出的数据传送到LCD上进行显示,并能很好地协调其他功能。单片机在智能仪器的研制和开发中得到了广泛的应用。

#### 3) 显示模块

单相智能电表用LED、LCD等进行显示。LED的功能主要是作为一个指示灯,它的电路包括一个电阻和一个LED;LCD电路实现电能表各种参数的显示和显示。液体晶体是分段液晶,以半透明的形式显示,在6点钟的方向上。该LCD结构简单,成本低廉。

#### 4) 通信模块

单相智能电表与机械式电表相比,其最大的优点在于可以实现通讯,这既节省了人工,又提高了管理工作的效率。系统的通讯模块可分为红外线通讯、485通讯及低压电力线载波通讯三个部分。红外通讯电路主

要包括两个部件,一个是红外线发射电路,一个是红外线接收电路,它与掌上电脑通过红外线通讯,实现抄表、发送命令等功能;485通讯电路,其主要作用是将一个逻辑门电路(TTL)电平变换为485差动信号,用于通讯,所以它适合在TTL电平和485差动信号之间转换时使用。485芯片中使用了“双端控制”的方法,使得单片机的主控制器多了一个接口。另外,在控制芯片中加入了光电耦合,不仅可以达到隔离的需要,还可以解决单片机控制芯片的接口不足的问题;载波接口电路,它是直接与载波模块相连的接口电路。在电表上安装载波模块后,能够与集中器进行低电压载波通信。

#### 5) 计量模块

测量模块由相线电流测量电路,零线电流测量电路,以及电压测量电路三个部分组成。相线电流测量电路(current metric circuit)是用以测量相线电流幅值的。相线电流流经锰青铜薄片,穿过取样锰青铜薄片上的差分电压,并且将所述差动电压输入到测量芯片中,因为锰青铜薄片的电阻值为已知(大约250微欧),所以可以计算出相线电流的幅值;零线电流测量电路是用来测量零点电流值的。

零线电流是零线变压器二次绕组上的一个取样电阻,求出二次绕组中的电流,再用变压器中一次绕组间的转移率求出零线电流。

电压测量电路是用来对电压进行测量的。电压测量电路是将6个取样电阻串联在相线与零线间进行取样,但要注意取样电阻必须采用同一种材质的同一厂家生产的电阻,这样既能保证在受到温度、湿度等因素的影响下,电路性能也能保持相同的方向,保证输出电压的稳定性;同时,大的体积也能承受较大的冲击。

#### 6) 实时时钟模块

介绍了一种基于RX8025T的实时时钟芯片,结合周

边电路,实现了对电能表的高精度、实时性的控制。在选用芯片时,采用了具有温度补偿功能的芯片,使电能表能够在各种工况下保持稳定的时钟输出。另外,本设计的电路具有功耗小、适合于电力计量的特点。在精密仪器,工业控制,安全防护等领域得到了广泛的应用。

#### 7) 存储模块

单相智能电能表用铁电体随机访问存储器(FRAM)作为存储单元,其特点是:

在电力系统频繁断电的背景下,器件在运行过程中会出现结构参数变化或者电源故障等问题,而电学RAM优异的写入性能允许其任意变化。在任意时刻,只要系统的状态发生了变化,就可以把这些变量写到电子RAM中。该方法可以有效地解决因系统断电而无法进行数据采集而导致的待机时间过短、电量过低等问题。

在高噪音的情况下,将数据写入到电可擦可编程只读存储器(EEPROM)中,很长的时间会产生以毫秒计的缺陷,在这段时间内,数据的写操作可能会发生中断。在这种情况下,出错的概率与写入数据的时间成比例。铁电体RAM的数据写时间在200 ns以内,大大改善了系统的抗干扰能力。

在数据经常存放的情况下,如果需要经常访问和访问率很高的电路,可以选择FRAM存储器。如访问集中器中的主控芯片参数,访问AC取样芯片的数据等。

#### 8) 安全认证模块

为了有效地保障被传送的数据的保密性与完整性,安全性验证模块又称为嵌入式安全控制模块(ESAM)。智能电能表采用电源线进行数据通讯,为避免数据被盗,因此使用了ESAM,它带有密码算法和其他的安全防护机制,能够有效地保护电能表发送的数据。

#### 9) 按键模块

通过按键模块来完成人机对话。用户可以利用这个键来查看和设置电能表中的有关信息。为了避免因按键抖动引起的错误判断,通常通过软硬件两种方式来消除按键抖动。硬件消除键抖的优点在于它不但可以有效地消除键抖,而且可以有效地排除外界的干扰。通过软件来消除按键抖动的优点在于可以减少相关的元件,从而节约了电路板的占地面积,降低了制造费用。在设计过程中,使用了软件消除抖动的方法。

#### 10) 继电器检测模块

继电器检测模块主要完成分合闸输出和报警输出等功能。

### (二) 可靠性模型

单相智能仪表是一种集电压、电流、液晶显示、实

时数据存储、485通信、红外通信及安全验证于一体的新型智能仪表。为便于对单相仪表各部件的失效率情况进行分析,将其分为13个模块。其中任意一类发生故障,均可使其发生故障,从而得到单相电表的可靠度模型是一系列的。

### (三) 可靠性预计过程及结果

#### 1. 失效率预计过程

这一节先以电阻器R1为例子,介绍元件的失效率计算步骤,并给出组件的失效率预估步骤。

在电路中,R1是组合电阻器,其尺寸为4.7K,由SR-332手册所选的本征失效率是0.18。

使用高压电压测试器对R1施加的25伏电压进行测试。R1为1/16瓦,电阻为4.7K,根据欧姆定律,可算出实际的功率。R1的电应力比例 $p_1 = \text{实际电力} / \text{标称电力} = 0.075$ ,然后,R1的电应力系数 $\pi_S = 0.446$ 。

利用高精密度温度计测量R1的工作温度是25℃,可知它的温度应力因子是 $\pi_T = 0.52$ 。

由相关的公式可得R1具有0.0836的失效率。同样地,可以得出R1故障的标准偏差是0.0604。

单相智能电能表是一种串联结构,其失效概率是各个组件的失效概率之和。同样地,组件的故障率标准偏差是组件的故障率的标准偏差,而系统故障率的标准偏差是组件故障率的累积。最后,求出了整个结构的故障率及其标准偏差。通过对失效率及其标准偏差的分析,得到了在不同置信区间下的失效率,从而得到了在不同置信区间内的可靠性寿命。

#### 2. 预计结果及分析

通过测试各组件的应力参量,求出各组件的失效率,从而得到各组件的失效率及总失效率。得出了单相智能仪表各个模块的可靠性评价结果(置信度达90%)。

本产品的计量模块,电源模块,红外通讯模块,显示模块和继电器检测模块的故障率都相对较高。因此,在电能表元件的选材以及电能表的检测中,要特别注意以上几个模块的元件的选用,并重点关注那些寿命比较短的模块。通过对整个电表的测试分析,发现在90%的置信度范围内,单相智能电度表的故障率分别为1239.758FIT,MTTF为92.078年,可靠度为0.9时的可靠寿命为9.701年,使用10年后,其可靠度降为0.897。

### 二、单相智能电能表电源模块可靠性分析

#### (一) 电源模块介绍

单相电表的供电模块是用各种电子元件组成的供电线路。该功率模块以220V的交流电作为输入,经整流桥,将其转化为直流电,然后通过变压器、功率芯片

等，将其转化为直流电，提供给各模块的电源，以满足MCU，计量芯片，红外模块，以及LCD等设备的供电。此外，该供电线路还采用了一种热敏电阻器、变阻器等组成的防雷冲击保护电路。

### (二) 电源模块FMECA分析

FMECA是一种从下而上、从上而下的分析法，它是一种从下往上的分析。对功率组件进行FMECA分析，可以找出危险性相对较大的元件，进而找出其弱点，为研制可靠性增强实验奠定理论基础。

#### 1. 系统定义

功率模块是由多种电子元件构成的一种电路，在对功率模块的原理图进行梳理之后，可以看出，该功率模块包括电阻、电容、电感、晶体管和集成电路等。

#### 2. FMECA计算结果及分析

表1 单相电能表电源模块危害度较高器件统计表

元器件名称	产品名称	最终影响	严酷度类别	产品危害度
T601	变压器	电源模块失效	I	91.398
C601	贴片电容	电源模块失效	I	76.354
C602	贴片电容	电源模块失效	I	76.354
E651	电解电容	电源模块失效	I	40.239
LX601	共模电感	电源模块失效	I	35.024
N601	开关电源芯片	电源模块失效	I	12.405
RT601	热敏电阻	电源模块失效	I	8.995
N603	电源稳压芯片	计量 5V LDO 模块功能丧失	I	4.595
TS2	电源稳压芯片	MCU 5V LDO 模块功能丧失	I	4.595
BR601	贴片整流桥	电源模块失效	I	4.053
E603	电解电容	电源模块失效	I	2.055
ZD601	稳压二极管	电源模块失效	I	1.671
VD651	二极管	电源模块失效	I	1.217

因此，必须对其故障模式进行研究，并对其故障机理进行深入研究。此外，提出的功率模块FMECA表，也可为可靠性增强实验提供理论依据。一方面，通过分析FMECA中的故障成因，得出引起故障的主要因素，从而得出引起故障的敏感应力，从而在实验设计过程中有针对性地进行测试，从而提高测试效率。另外，在进行可靠性增强实验时，在对激励故障进行分析时，可以将危险性高的部件作为优先级来处理，从而提高了失效分析的效率。

在单相智能仪表中，功率模块的可靠性是其核心，而功率模块又是整个仪表的核心。电源模块主要用于支持电表的两个部分，一是内部元件，二是外部元件。在电能计量和电能信息采集等工作中，电能表与电能计量相关的元件都是直接接触的，因此对其可靠性提出了更高的要求。文章对单相智能仪表的可靠性进行了预估，并对其可靠性进行了分析，并对影响其可靠性的因素作

通过对功率模块进行量化FMECA，可以直观地判断出各部件的故障对功率模块造成的危害程度。

分析了不同类型的失效对功率模块的影响，并对其进行了分析。

在进行产品危险程度的计算时，必须考虑失效率，失效模式频率比，失效影响概率，以及运行时间。文中将功率组件的失效概率预测值，作为一种基本的危险程度指标；根据GJB299C的第7章，对失效模式的频率比值进行了规定；由硬件工程人员评估，给出失效的影响概率；由于仅需注意危险程度，因此本研究采用1个单位的工作时间。产品危险性等级划分为I、II、III级，每种设备的危害程度由高至低为I、II、III。

通过对功率模块FMECA的危险程度的计算，确定了具有高危险性的产品。

了探讨。

#### 参考文献

[1] 肖伟, 徐斌. 电子产品环境应力筛选的技术及实施办法[J]. 环境技术. 2016, (5): 27-29.

[2] 李文杰, 郭宏达, 李云涛, 等. 机械工程的可靠性优化设计[J]. 军民两用技术与产品. 2016, (16): 71-73.

[3] 薛阳, 张蓬鹤, 王雅涛, 等. 智能电能表可靠性评价方法研究与探讨[J]. 电测与仪表. 2016, (13): 28-29.

[4] 刘莉, 王玉龙, 于晓蒙, 等. 智能电能表故障分级运行管理方案研究[J]. 河北电力技术. 2015, (3): 19-21.

[5] 范小飞, 王波, 于浩, 等. 电子式电能表可靠性分析及质量保障体系的建立[J]. 电测与仪表. 2015, (18): 45-46.