

智能电能表可靠性设计

周杰

宁波三星医疗电气股份有限公司 浙江宁波 315031

摘要: 从21世纪开始,智能电能表已经被世界许多国家使用。智能电能表作为电网的智能终端,对电网的运行和发展,起着至关重要的作用。为了避免智能电能表在现场运行过程中出现计量不准确、时钟跑飞、数据丢失、电网的干扰、雷电干扰、静电干扰、欺诈等问题,本文将重点聚焦于智能电表的可靠性设计,以为相关人员提供参考。

关键词: 智能电能表;智能终端;可靠性设计

引言

当前智能电能表行业面临着三大挑战,分别是如何设计更快,如何设计更好,如何设计更便宜。智能电能表项目研发时间缩短,要求在短的时间内设计出满足客户需求的产品;新技术新器件的引入会造成智能电能表开发项目新的风险,如果产品的可靠性不过关,将会给供电部门与用户带来隐患甚至造成损失;随着智能电能表生产厂家越来越多,降低成本成为企业竞争优势的一个重要的因素,如何设计和开展可靠性工作显得尤为重要。

一、智能电能表总体框架设计

本文对三相费控远程智能电能表可靠性定性设计,功能模块包括以下几个部分:MCU处理器,电源单元、计量单元、通信单元、外部存储器,安全加密芯片,LCD液晶驱动及显示,负荷开关控制模块等组成部分,智能电能表的总体设计框图如图1所示。

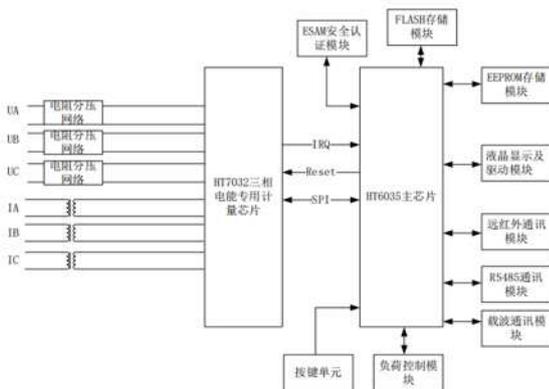


图1 智能电能表总体设计框图

二、智能电能表硬件电路方案设计

硬件电路可靠性设计是整个智能电能产品设计的核心和基础,为电能表软件系统的正常工作和运行提供平台支撑。本文电能表硬件主要采用了模块化的设计,整个系统主要针对以下几个部分进行方案选择:

1、电源单元可靠性设计方案选择方案一:采用开关

电源方案,优点:体积小,转化效率高;缺点:抗电磁干扰的能力差,骚扰大,纹波大;方案二:采用线性电源方案,优点:抗电磁干扰能力强,骚扰小,由于电路相对简单维修方便;缺点:效率较低,体积笨重。

由于开关电源相比线性电源辐射骚扰和传导骚扰大、纹波大,设计复杂,容易出现各种各样的问题,后期维护成本高,所以权衡利弊,选择方案二线性电源作为电源方案,根据变压器和电压转换器的关系,将交流电压转换成所需的交流电压,经电桥堆调整,经电解电容滤波,再经DC-DC或高精度稳压芯片进行稳压,最终输出稳定可靠的直流。

2、计量单元可靠性设计方案选择

表2 计量芯片方案选择

芯片型号	有功无功 电能计量	视在 计量	基波谐 波	缓存数 据	防窃电 通道	SAG 检测	负载电流快 速变化实验	芯片封 装
ATT7022E	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	LQFP44
ATT7026E	Y	Y	N	N	N	N	N	LQFP44
HT7038	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	LQFP32
HT7032	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	LQFP44

ATT7022E、HT7038具有有功无功电能计量、视在计量、基波谐波、防窃电通道等功能,HT7038还具有封装小的特点,但ATT7022E、HT7038、ATT7026E均不满足国网20版要求的负载电流快速变化实验,HT7032在电参数的测试和计量的应用中很稳定,计量精准度等满足国家电网标准的需求,且价格方面巨泉的HT7032具有优势。所以选择HT7032作为计量芯片。

3、MCU单元方案选择

方案一:ADC+MCU,优点:采用数字化交流采样,可多参数测量,价格便宜;缺点:功能简单,精度低。

方案二:ADC+DSP,优点:功能多,精度高,价格贵;缺点:开发时间长,维修复杂。

方案三:专用计量芯片+MCU,优点:高集成度、动态性能高、多参数测量、精度高、抗干扰能力强、可靠性高、体积小。

本设计以国产芯片钜泉光电科技(上海)股份有限公司生产的一款基于ARM的Cortex-M0内核的HT6035微处理器。考虑到电能表多路对外通讯接口的功能需求及MCU其它硬件单元的设计需求,选择的MCU需要至少有4路UART,其中2路RS485,1路载波模块通信,1路UART口宜带38KHz调制功能供远红外通信,3路I2C端口,其中2路I2C端口用于EEPROM存储用电数据及事件,1路用于显示屏通讯,3路SPI,其中1路计量通讯,1路FLASH通讯,1路ESAM加密芯片通讯。再综合考虑电能表的低功耗设计要求,RTC高精度要求及MCU价格等相关因素,选用钜泉HT6035处理器,智能电能表的计量功能是电能表的关键部分,其计量精度被当作评价电能表可靠性设计的重要指标。设计时,需要考虑电能表在各种复杂恶劣的环境下,都能精准计量。

三、智能电能表软件方案设计

软件总体上是采用三层架构,并使用模块化的设计,包括驱动层、应用层、系统层三层,如图2所示。三层之间只能够逐层调用,不允许跨层次调用,这样做的目的可以提高程序的可读性与可维护性,分层维护,减少不必要的交叉耦合。在面向对象的软件设计中,分层的设计思路会更加灵活,快捷方便,特别是底层的软件代码可以在顶层设计得到充分的重用。不太好的软件设计可能会出现鲁棒性差现象且损坏容限较低。如果运行条件恶劣、雷击、强磁场干扰、物理损坏或系统损坏,软件必须具有自动维护能力,以确保安全电气运行和良好的计量。

因此,需要采取一种利用软件测试的技术手段,以便对可能发生的工作状态进行模拟,评价电能仪表软件的可靠性。



图2 软件系统架构

物理层采用国产新型电能表芯片HT6035, Cortex-M0

处理器、时钟管理、电源管理、具有512KB的Flash程序存储空间,64KB的RAM空间。应用层即为上层应用程序,实现智能电能表的相关具体功能,包括串口协议栈通信任务、负荷控制任务、数据冻结任务、电量处理任务、费控处理任务、按键及显示控制任务、瞬时变量计量任务、时钟处理任务、报警任务,卡片处理任务,报警控制任务,软硬件实时校验机制任务,事件处理程序等。

驱动层包括MCU(HT6035)相关的底层配置及其外围电路硬件相关配置,硬件驱动层配置相应的各IO功能模块,包括MCU时钟配置、掉电检测配置,MCU管脚功能配置、中断源配置、ADC的驱动程序、SPI及I2C接口驱动程序、UART接口(RS-485、红外、PLC)驱动程序、LCD驱动程序、定时器配置程,存储器(Flash及EEPROM),继电器,计量芯片,安全模块ESAM等,更好的配合应用层实现电能表的功能。

四、可靠性设计方法及方案

产品可靠性是经过设计、制造和管理出来的。可靠性工作的核心是与产品的不充分和缺陷作斗争。虽然产品缺陷在应用部分有所指出,但其隐患(错误)隐藏在产品开发阶段。

例如:产品使用模式和工作条件不清晰、大量采用不成熟的新技术、采取临近边界设计等方案阶段的隐患;性能裕度不够、功能余度不足等设计阶段的隐患;工艺不稳定、制造检验不当、外协配套失控等生产阶段的隐患,等等。复杂产品研制过程中,故障隐患的引入不可杜绝。故障隐患虽然可在使用阶段暴露后排除和改进,但代价高昂、改进空间狭小。更好的是,在产品开发阶段的开始,有条不紊地保护、激发和修复。国内外的可靠性工作经验表明,要提高产品的可靠性,关键是要做好产品的可靠性设计和产品检测工作。

1、可靠性相关概念

产品在特定条件和特定时期内执行特定功能的概率称为可靠性。根据定义,产品的可靠度是时间的函数,用数学符号表示如(2.1)所示:

$$R(t) = P(\xi > t) \quad (2.1)$$

式中:R(t)—可靠度函数;ξ—产品故障前的工作时间(h);T—规定的时间(h)。由可靠度的定义可知:

$$R(t) = \frac{N_0 - r(t)}{N_0} \quad (2.2)$$

式中:N₀—在t=0时刻,规定条件下正常工作的产

品数;

$r(t)$ —在 $0 \sim t$ 时刻的时间内, 产品的累计故障数(假设产品故障后不予修复)。

产品在特定条件和特定时期内失去特定功能(失效或故障)的概率称为不可靠度。根据定义, 产品不可靠度亦是时间的函数, 如公式(2.3)所示:

$$F(t) = P(\xi \leq t) \quad (2.3)$$

由可靠度的定义可知:

$$F(t) = \frac{r(t)}{N_0} \quad (2.4)$$

$$\text{令} \quad f(t) = \frac{1}{N_0} \frac{dr(t)}{dt}$$

$$\text{则有} \quad F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (2.5)$$

称 $f(t)$ 为故障概率密度函数。

$$\text{则} \quad R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (2.6)$$

工作到某时刻尚未发生故障的产品, 在该时刻后单位时间内发生故障的概率, 称为该产品的故障率 $\lambda(t)$, 用(2.7)公式表示:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} P(t \leq T \leq t + \Delta t | T > t) \quad (2.7)$$

2、冗余设计

冗余设计是实现高可靠性的创造性设计方法之一。采用冗余设计的产品通常有不止一个组件能够完成指定的功能。如果几套皆失败, 整个产品就失去了它的功能, 以达到提高产品功能可靠性的目的。主要思想是使用两个或多个相同的组件或单元以正确的方式完成相同的任务/工作, 即采用功能可靠性低和可靠性高的必要组件或组件来构造较高任务可靠性的产品/系统。具体在实践中可以考察不同设计模式对产品可靠性的影响, 以进一步说明设计设计的原理和基本原理。

3、降额设计

可靠性限额主要是指将构成电子设备的应力(电应力、机械应力和热应力)置于低于其制造估计值的消耗上, 以减慢参数退化、增加使用寿命、提高使用率的可靠目标。

物理化学过程对温度高度敏感, 并遵循温度应力—时间模式。随着温度的升高, 这些物理变化则迅速增加, 产品的失效度也随之增加。化学反应的速率可由 Arrhenius 方程表示:

$$\frac{dM}{dt} = A \exp\left[-\frac{E_a}{kT}\right] \quad (2.8)$$

式中: 为化学反应速率; A 为常数; E_a 为某种失效机构的激活能; k 为玻尔兹曼常数; T 为绝对温度。

以式(2.8)Arrhenius 反应速率为基础的器件寿命 θ 与温度 T 之间的关式中 a 、 b 为常数):

以式(2.8)Arrhenius 反应速率为基础的器件寿命 θ 与温度 T 之间的关式中 a 、 b 为常数):

$$\ln \theta = a + b\left(\frac{1}{T}\right) \quad (2.9)$$

设在温度时的寿命为 θ , 在温度时的寿命为 θ_r , 则有:

$$\ln\left(\frac{\theta_r}{\theta}\right) = b\left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T}\right) \quad (2.10)$$

令 $A_\theta =$ (成为加速系数), 则:

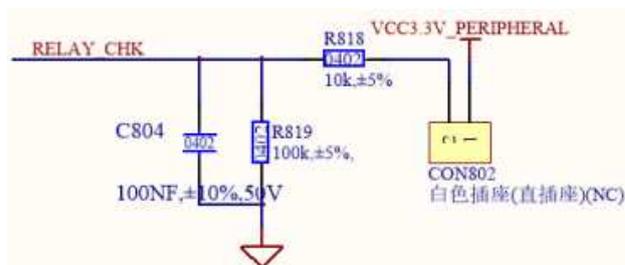
$$A_\theta = \frac{\theta_r}{\theta} = \exp\left[\frac{(T_r - T)b}{T_r \cdot T}\right] = 2^{\Delta T/\beta} \quad (2.11)$$

式中:

$$\Delta T = T - T_r; \quad \beta = \frac{T_r \cdot T \ln 2}{b}; \quad \alpha = \ln \frac{\Delta M}{A}; \quad b = \frac{E}{k}$$

4、负荷开关及电源异常检测电路可靠性设计

负荷开关检测电路主要是用来判断拉闸和合闸是否可靠, 电路原理如下: 位号 CON802 为继电器负荷开关上异常检测线, 合闸为导通状态, 信号引脚 RELAY_CHK 为高电平, 拉闸为断开状态, 信号引脚 RELAY_CHK 为低电平。负荷开关闭合时 CON802 的 1, 2 脚连接, VCC3.3 经过 CON802, R818, FRELAY_CHK 变成高电平, HT6035 的 44 脚检测到高电平, 负荷开关的为闭合状态。检测电路主要是通过负荷开关内部检测开关的输出端 CON802, 负荷开关断开时 CON802 的 1, 2 脚断开, VCC3.3V_PERIPHERAL 断开与 R818 的连接, FRELAY_CHK 变成低电平, HT6035 的 44 脚检测到低电平, 负荷开关的为断开状态, 电路图如图 3 所示。



内置继电器检测电路

图3 内置继电器检测电路

结语

综上所述, 本文提出了三相远程费控智能电能表总体设计方案, 对智能电能表的整体框架进行了分析, 同

时对负荷开关及电源异常检测电路可靠性设计进行了分析,对硬件电路主要模块的方案选择,软件架构中采用的是分层式架构,只能够进行逐层的调用,不能允许任何一个跨越的层次进行调用,最后对可靠性设计方法及方案提供了理论依据。

参考文献

[1]孙谊媃.智能电表可靠性预计的优化模型[J].电力科学与技术学报,2020,32(03):15-21.

[2]郑磊.数字化电能表校验方法及校验装置研究[J].电测与仪表,2020,54(17):100-105.

[3]胡瑛俊,姚力,吴幸,周佑.智能电能表主要故障分析与对策[J].浙江电力,2020,34(03):23-26.

[4]李更丰,黄玉雄,别朝红,等.综合能源系统运行可靠性评估综述及展望[J].电力自动化设备,2020,39(8):12-21.

[5]韩明,费宇航.智能电表系统实现方案及其发展趋势[J].集成电路应用,2010(10):29-30.