

市电参数测量仪的设计

黄喜军¹, 陈辉金², 韦文越¹

(1. 桂林电子科技大学 电子工程与自动化学院, 广西 桂林 541004;
2. 桂林电子科技大学 教学实践部, 广西 桂林 541004)

摘要: 为了实现市电质量监测并降低测量成本, 以 STC12C5A60S2 微处理器为控制核心, 利用电压有效值转换芯片等器件, 设计了一款市电参数测量仪, 对频率、电压有效值及失真度进行测量; 基于测周法实现 50 Hz 频率的测量, 通过一块电压有效值转换芯片测量总电压有效值与谐波电压有效值, 实现市电电压的测量, 并通过计算获得失真度值; 实验结果表明, 该测量仪测量精度较高, 频率测量误差小于 0.1%, 电压有效值测量误差控制在 1% 以内, 失真度测量误差小于 5%; 该测量仪结构简单、性能稳定, 可应用于电能质量监测系统。

关键词: 市电; 测量仪; 失真度; 电能质量; 监测

Design of Parameter Measuring Instrument for Utility Power

Huang Xijun¹, Chen Huijin², Wei Wenyue¹

(1. College of Electronic Engineering and Automation, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China; 2. Department of Experiential Practice, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: In order to monitor the quality of utility power and reduce measuring cost, a parameter measuring instrument is designed to measure frequency, the voltage effective value and distortion, with STC12C5A60S2 microprocessor as the control core and by using the voltage conversion chip and other devices. The measurement of 50 Hz frequency is based on the method of measuring cycle, and the effective value of the total voltage and harmonic voltage are measured by an effective value conversion chip, thus the voltage measurement of utility power is realized, and the distortion value is obtained by calculating. Experimental results show that the measuring precision of the instrument is high. The error of frequency measurement is less than 0.1%, the voltage effective value measurement error is controlled within 1% and the distortion measurement error is less than 5%. And the measuring instrument has simple structure and stable performance, and it can be applied to the power quality monitoring system.

Keywords: utility power; measuring instrument; distortion; power quality; monitoring

0 引言

随着太阳能等新能源发电方式的快速发展, 大量的分布式电源并入电网, 对电网的供电质量及稳定性产生了不利影响; 同时, 电网本身还受到大量非线性负载所带来的干扰, 进一步加剧了电能质量的恶化, 严重影响了电网的供电质量和可靠性^[1]。因此, 很有必要对电能质量进行监测, 国内外研究者在这方面也取得了很多研究成果^[2-5]。文献 [3] 和文献 [5] 中分别采用 DSP 芯片及专用电能计量芯片进行电能数据采集与分析, 取得了较好的效果, 但存在计算复杂且成本较高的问题。本文基于 STC12C5A60S2 微处理器设计了一款实现简单且成本较低的市电参数测量仪, 作为电能监测终端设备进行市电数据采集, 对交流电的频率、幅值和失真度参数进行测量, 实现对电网中多种电力参数的监测, 对电力工作人员有效掌握电网的运行状态, 确保电网安全稳定有着重要意义。

1 总体设计方案

由于我国采用的市电是电压为 220 V、频率为 50 Hz 的正弦信号, 同时失真度指标在评价波形质量方面获得了广泛的认可, 所以监测终端将对市电的频率、电压有效值和失真度进行

测量。其中, 失真度是用来衡量交流信号中所含谐波成分相对于基波成分的大小, 故需要测量谐波电压有效值, 根据测量的总电压有效值与谐波电压有效值计算出失真度。

设计的市电参数测量系统框图如图 1 所示, 系统以运行速度较快、抗干扰能力较强的 STC12C5A60S2 单片机为微处理控制器, 交流变压器模块将 220 V 交流电转换为 12 V 交流电, 电阻分压模块将电压降至 2 V 以内, 以满足后续电压测量模块的要求。增加电压跟随器的目的是为了防止前后级电路的相互干扰, 而波形整形模块通过过零比较器将 50 Hz 的正弦信号整形为方波信号, 再送入单片机进行频率测量。系统中通过单片机控制继电器进行开关选择, 当继电器处于断开状态时选择电压有效值测量电路, 将电压信号直接送入电压有效值测量电路, 获得电压信号的有效值, 而此时 50 Hz 陷波电路不工作; 当单片机控制继电器处于吸合状态时选择陷波电路, 电压信号将不再直接送入电压有效值测量电路, 而是先通过 50 Hz 陷波电路获得该信号的谐波成分, 再将谐波信号送入电压有效值测量电路进行谐波有效值测量。总电压有效值与谐波电压有效值在单片机内进行数据处理, 可以获得电压测量值及失真度测量值, 最后将测量得到的频率、电压及失真度在显示模块上显示。

由于系统采用一块高精度电压有效值转换芯片实现了总电压有效值与谐波电压有效值两个参量的测量, 所以在获得较高测量精度的基础上, 实现了低成本控制。

收稿日期: 2016-08-29; 修回日期: 2016-11-08。

作者简介: 黄喜军(1977-), 男, 湖南娄底人, 讲师, 主要从事智能仪器及信号处理方向的研究。

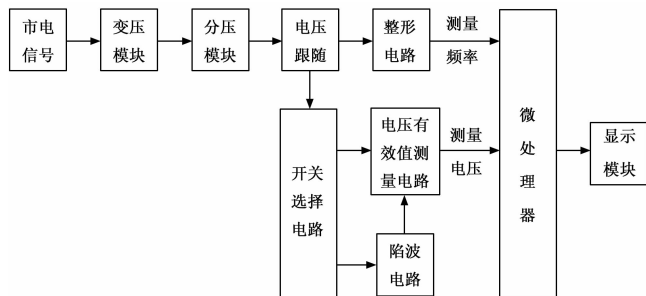


图 1 市电参数测量系统框图

2 系统硬件设计

系统的硬件电路主要包括以下模块: 单片机最小系统模块、变压模块、分压模块、电压跟随模块、整形模块、陷波模块、电压有效值测量模块及显示模块。通过变压模块将 220 V 电压降压为 12 V, 同时, 由于后续电压有效值测量模块要求输入信号小于 2 V, 因此通过电阻分压模块将 12 V 进一步降低至 1.3 V。降压后通过运算放大器构成电压跟随电路, 可以提高输入阻抗, 降低输出阻抗减小对后级测量电路的干扰, 提高测量精度。通过运算放大器构成电压过零比较器, 将正弦信号整形为方波信号, 方便单片机测量信号周期, 计算信号的频率。而显示模块显示被测交流信号的频率、电压有效值和失真度。下面重点对电压有效值测量电路与 50 Hz 陷波电路进行详细说明。

2.1 AD637 电压有效值测量电路

电压有效值测量模块采用型号为 AD637 的高精度、宽带有效值转换芯片, 其有效值输入为 0~2 V, 最大非线性度为 0.02%, 且 100 mV 的有效值输入带宽为 600 kHz, 2 V 有效值输入时带宽为 8 MHz, 能把输入的交流信号变为直流信号输出, 可以测量各种复杂波形信号的有效值, 在数据采集及仪器仪表等场合有着广泛的应用^[6]。在市电频率为 50 Hz、电压为 220 V 的情况下, 要求电压测量精度不低于 1%, 所以 AD637 芯片满足市电电压有效值测量的转换精度及带宽要求。从硬件上直接将测量信号进行真有效值转换, 获得电压有效值, 区别于传统的采用 A/D 变换及软件编程处理获得的电压有效值的测量方法, 减少了由 A/D 变换和软件处理带来的误差, 可获得较高精度的测量数据, 由 AD637 构成的电压有效值测量电路如图 2 所示。交流信号从 AD637 芯片的 Vin 管脚输入, 而直流信号从芯片的 RMS_out 管脚输出, 经单片机处理后即可获得较高精度的交流电压有效值。

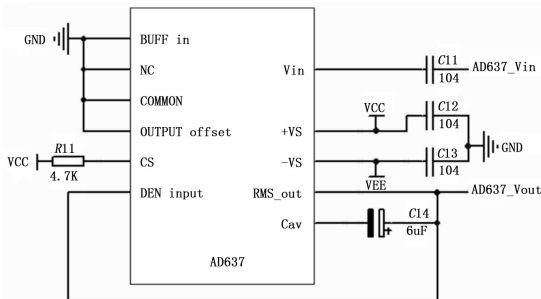


图 2 电压有效值测量电路原理图

2.2 陷波电路

陷波电路是为了滤除 50 Hz 的基波分量, 而留下各次谐波分量。本次设计采用的是有源桥式微分器型陷波电路, 其电路如图 3 所示^[7]。陷波器的中心频率计算公式如式 (1) 所示。

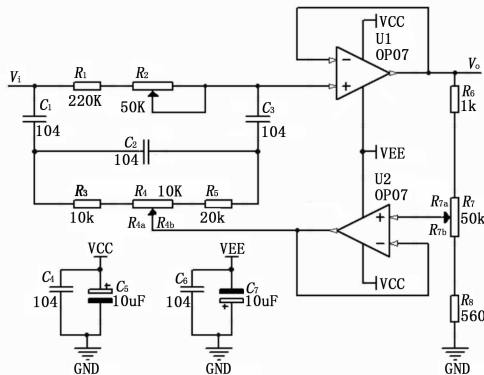


图 3 有源桥式微分器型陷波器原理图

$$f = \frac{1}{2\pi C \sqrt{3(R_{3a} + R_{4a})(R_5 + R_{4b})}} \quad (1)$$

其中: R_{4a} 与 R_{4b} 为滑动电阻 R_4 的两部分电阻值, $C = C_1 = C_2 = C_3$ 。根据上述公式, 可计算得到陷波器的中心频率可变范围为 45.94 Hz 至 53.05 Hz。因为电路中的元件参数存在误差, 故利用 R_4 进行调节, 从而使陷波器中心频率达到 50 Hz。在桥式微分器型陷波电路中, 要求 $(R_1 + R_2) = 6(R_3 + R_4 + R_5) = 240 \text{ k}\Omega$, 可通过调节变阻器 R_2 实现。在无源桥式微分器型陷波电路的基础上增加两个运算放大器构成有源电路, 实现电压跟随功能, 可以进一步减小后级电路对陷波器的干扰, 同时通过电阻 R_6 、 R_7 及 R_8 , 提高陷波器的品质因数, 使品质因数成为原来的 G 倍, 其中 G 的计算公式如式 (2) 所示。

$$G = 1 + \frac{R_8 + R_{7b}}{R_6 + R_{7a}} \quad (2)$$

为了兼顾品质因数及滤波器带宽, 可以在电路中通过调节电阻 R_7 实现。当输入信号 V_i 为 220 V、50 Hz 的交流信号时, 经过 50 Hz 有源桥式微分器型陷波电路, 输出信号 V_o 中滤除了频率为 50 Hz 的基波分量, 而只留下了 50 Hz 的各次谐波分量, 在获得电压有效值的基础上, 即可计算交流电的失真度。

3 系统软件设计

3.1 系统主程序流程

系统需要实现频率、电压有效值及失真度的测量。根据频率测量理论中的测周法, 由单片机控制定时计数器计算出信号的频率; 其次通过将电压有效值转换芯片 AD637 输出的直流信号送入单片机测量得出电压有效值; 然后由单片机控制继电器吸合选择谐波测量模块, 计算出失真度。最后将测量得到频率、电压有效值和失真度在液晶上显示。系统主程序流程如图 4 所示。

3.2 频率测量

由于待测信号属于低频信号, 故使用测周法进行市电信号的频率测量。当整形电路将正弦信号转换为方波信号送入单片机后, 外部中断 0 在方波信号下降沿触发, 定时器 1 开始计数, 当又一个下降沿到达时, 定时器对方波信号的一个完整周期计数完毕, 读取此时定时器的计数值, 则可计算出信号的周

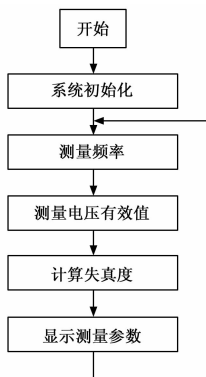


图 4 系统主程序流程图

期, 进而求出信号的频率。

3.3 电压有效值测量

当电压有效值转换芯片 AD637 将转换后的直流信号送入单片机后, STC12C5A60S2 单片机启动内部 10 位 AD 转换器进行模数转换, 延时等待后即可读取 AD 寄存器中的数据, 并将获得的二进制数据转换为电压值。同时, 为了提高测量精度, 将 10 次测量值取平均后作为电压实际测量值。

3.4 失真度测量

失真度测量流程如图 5 所示。当单片机获取总电压有效值 U_1 以后, 控制继电器吸合, 选择测量谐波电压有效值。此时信号通过 50 Hz 陷波器滤除基波分量, 经过电压有效值测量电路后, 单片机获取的是谐波电压的有效值 U_2 。则失真度为谐波电压有效值与基波电压有效值的比值, 其失真度计算公式如 (3) 式所示^[8]。

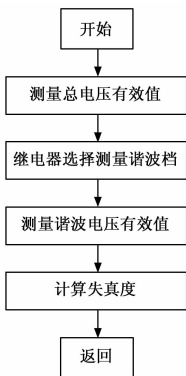


图 5 失真度测量流程图

$$D_T = \frac{U_2}{U_1 - U_2} \quad (3)$$

4 测量结果

4.1 频率测量数据

频率测量数据如表 1 所示, 其中频率标准值是型号为 Agilent 53131A 频率计测量的频率, 而测量值是市电测量仪测量的频率。通过表 1 可知, 市电频率约为 50 Hz, 测量频率误差较小, 相对误差控制在 0.1% 以内, 具有较高测量精度, 说明设计的测量仪适用于市电频率测量。

4.2 电压有效值测量数据

利用型号为 GDM-8341 的数字万用表与系统设计的市电

表 1 频率测量数据

测量次数	频率标准值/ Hz	频率测量值/ Hz	绝对误差/ Hz	相对误差/ %
1	49.95	49.94	-0.01	-0.0200
2	49.96	49.98	0.02	0.0400
3	49.94	49.93	-0.01	-0.0200
4	49.99	49.96	-0.03	-0.0600
5	50.01	50.02	0.01	0.0200
6	49.94	49.96	0.02	0.0400
7	50.01	49.99	-0.02	-0.0399
8	50.01	50.02	0.01	0.0200
9	49.97	49.96	-0.01	-0.0200
10	49.95	49.96	0.01	-0.0200

测量仪进行电压有效值测量, 测量数据如表 2 所示。其中, 数字万用表测量数据作为标准值, 测量仪的测试结果为电压测量值, 从表中可以看出, 测量的市电电压在 220~230 V 之间, 测量绝对误差控制在 2 V 以内, 相对误差控制在 1% 以内, 说明应用本测量仪进行电压有效值测量方法可行, 适用于市电电压质量监测。

表 2 电压有效值测量数据

测量次数	电压标准值/ V	电压测量值/ V	绝对误差/ V	相对误差/ %
1	225.09	224.65	-0.44	-0.1955
2	225.16	226.70	1.54	0.6840
3	224.77	225.10	0.33	0.1468
4	224.80	223.10	-1.70	-0.7562
5	224.78	223.72	-1.06	-0.4716
6	224.80	226.05	1.25	0.5560
7	224.90	225.48	0.58	0.2579
8	224.50	224.65	0.15	0.0668
9	224.97	225.74	0.77	0.3423
10	224.83	224.42	-0.41	-0.1824

4.3 失真度测量数据

以型号为 SA3602A 的失真度测量仪的测试结果作为失真度标准值, 而将市电测量仪的测试结果作为失真度测量值, 测试结果如表 3 所示。从表中可以看出, 市电失真度约为 5%, 测量绝对误差小于 0.3%, 相对误差控制在 5% 以内, 具有较好的测量精度。

表 3 失真度测量数据

测量次数	失真度标准 值/%	失真度测量 值/%	绝对误差/ %	相对误差/ %
1	4.836	4.657	-0.179	-3.7014
2	4.872	4.767	-0.105	-2.1551
3	4.810	4.603	-0.207	-4.3035
4	4.853	4.734	-0.119	-2.4521
5	4.878	4.954	0.076	1.5580
6	4.912	5.020	0.108	2.1987
7	4.895	4.789	-0.106	-2.1655
8	4.912	5.152	0.240	4.8860
9	4.971	5.130	0.159	3.1986
10	4.870	4.987	0.117	2.4025

5 结论

本文设计了一个基于单片机的市电参数测量系统, 该系统经测试运行后, 各参数测量模块包括频率测量模块、电压有效值测量模块及失真度测量模块均可正常运行, 且参数测量精度较高, 系统制作简单, 成本较低, 能较好地满足市电参数测量的需求, 为监测电力系统正常运行提供了一种参数测量方案。

参考文献:

[1] 曲广龙, 杨洪耕, 李兰芳. 主动配电网电能质量实时监测系统设计与实现 [J]. 电力系统自动化, 2015, 39 (10): 117-123.

[2] Milanovic J V, Meyer J, Ball R F, et al. International Industry Practice on Power-Quality Monitoring [J]. IEEE Transactions on Power Delivery. 2014, 29 (2): 934-941.

[3] 万海龙, 赵春宇. 多通道实时电能质量监测系统 [J]. 仪表技术与传感器, 2014 (10): 87-89.

[4] 姚强, 安国军, 肖冰, 等. 电能质量监测信息智能检索系统 [J]. 电测与仪表, 2016, 53 (4): 102-107.

[5] 杨焕峰, 欧阳乔, 杨国华, 等. 基于 STM32 的乐联网的电能监测系统的的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (8): 2353-2355.

[6] 乐珺, 姚恩涛, 张明伟, 等. 基于 AD637 的直流电源纹波真有效值测量电路设计 [J]. 电源技术, 2014, 38 (10): 1926-1929.

[7] 常丹, 蒋宇中, 伊鑫. 超低频有源桥式微分器型陷波器的设计与实现 [J]. 舰船电子工程, 2008, 28 (10): 90-94.

[8] 孙璟宇, 王中宇, 梁志国. 任意波形失真度的一种评价方法 [J]. 北京航空航天大学学报, 2015, 41 (1): 33-37.

(上接第 236 页)

图 5 为最小二乘估计法拟合出的回归直线, 其 x 和 y 的坐标为表 3 中的第 6 列和第 7 列。

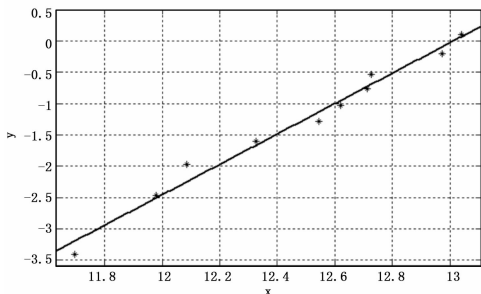


图 5 最小二乘拟合图

根据图 4、图 5 可以看出, 试验值均匀分布在直线两侧, 曲线的拟合精度高, 利用最小二乘法评估威布尔分布的参数值的方法合理可行。

根据螺旋压缩弹簧和矩形压簧的寿命值, 通过平均秩增量公式、最小二乘法以及最大相关系数法可计算出矩形压簧的寿命分布形状参数 $m=2.1156$, 尺寸参数 $N_0=600113$, 位置参数 $N_0=65369$ 。螺旋压缩弹簧的寿命分布形状参数 $m=2.3876$, 尺寸参数 $N_0=585015$, 位置参数 $N_0=133069$ 。自动调整臂的威布尔分布参数已求出, 根据公式 (5), 公式 (6) 可知自动调整臂的失效率函数和可靠度函数分别是:

$$\lambda_r(N) = \frac{2.1156}{(534774)^{2.1156}} N^{1.1156} + \frac{2.3876}{(451946)^{2.3876}} \times N^{1.3876} \quad (11)$$

$$R(N) = \exp\left[-\left(\frac{N}{534774}\right)^{2.1156} - \left(\frac{N}{451946}\right)^{2.3876}\right] \quad (12)$$

根据所求的形状参数 m , 可知其都大于 1, 所以调整臂符合威布尔分布的耗损故障期, 计算调整臂出厂次数的可靠性, 即 $N=5 \times 10^5$ 次时调整臂的可靠度。

根据调整臂的可靠度函数, 公式 (12) 可得:

$$R(N) = 11.76\%$$

由计算得到的可靠度, 可以预测出当自动调整臂工作 5×10^5 次时, 可靠度很低, 安全性差, 因此自动调整臂在使用达

到其规定的次数后要时检修或者替换, 方可保证汽车行车过程的安全可靠。

5 结论

本文结合竞争性故障模型对自动调整臂的服役可靠性进行分析, 通过三参数威布尔分布函数以及最小二乘法的参数估计可知, 自动调整臂的寿命服从威布尔分布的损耗故障期。结果表明, 自动调整臂的失效主要是由于螺旋压缩弹簧以及矩形压簧的累积损伤造成的。从拟合的回归直线可看出, 通过平均秩增量法得到了精确的参数估计值, 评估方法具有合理性。

参考文献:

[1] 江文松. 汽车自动调整臂失效检测技术研究 [D]. 杭州: 中国计量学院, 2014.

[2] 凌丹, 何俐萍, 许焕卫, 等. 基于威布尔分布的疲劳剩余寿命可靠性预测方法 [J]. 机械设计, 2011, 28 (7): 50-53.

[3] 凌丹. 威布尔分布模型及其在机械可靠性中的应用研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2010.

[4] 顾梦元. 威布尔分布与正态分布两种条件概率密度曲面比较研究 [D]. 北京: 北京工业大学, 2014.

[5] Murthy D N P, Xie M, Jiang R Y. Weibull Models [M]. New York: Wiley, 2003.

[6] 罗哉, 江文松, 陆艺, 等. 汽车自动调整臂螺旋压缩弹簧的失效建模 [J]. 中国机械工程, 2013, 24 (12): 1596-1599.

[7] 郭永基. 可靠性工程原理 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.

[8] 陆山, 吕鸿雁. 小子样零部件可靠寿命零故障试验评估方法 [J]. 机械强度, 2006, 28 (3): 411-414.

[9] 王金武. 可靠性工程基础 [M]. 北京: 科学出版社, 2013.

[10] 赵宇. 可靠性数据分析 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.

[11] 洪延姬, 王志魁, 李俊美, 等. 寿命服从威布尔分布产品相关失效数值分析 [J]. 装备指挥技术学院学报, 2002, 13 (5): 33-35.

[12] 金星, 陈景鹏, 文明, 等. 威布尔分布产品参数估计极大似然优化方法 [J]. 装备指挥技术学院学报, 2003, 14 (5): 46-48.

[13] 王桂萍, 贾亚洲. MTBF 分布模型的案例分析 [J]. 吉林工程技术师范学报, 2005, 21 (3): 20-24.