

单相电能质量分析与系统设计

Power Quality Analysis and System Design on the Single-phase

徐强, 张莉, 张海燕
上海电机学院 电气学院 (上海, 200240)
Xu Qiang, Zhang Li, Zhang Haiyan
College of Electrical, Shanghai Dianji University (Shanghai, 200240, China)

摘要: 本文运用单片机 STC12C5A60S2 为控制核心和 CS5460A 为电能质量检测芯片, 设计了一种多功能单相电能质量分析及控制系统。本系统检测电压、电流、频率和相位, 同时可计算出有功、无功、功率因数, 利用 EMD 算法分析谐波; 而且此系统具有微机保护和无功补偿的控制功能。实验表明, 该系统有效的检测及控制电能质量。

关键词: 电能质量 CS5460A 无功补偿 谐波 EMD 算法

Abstract: This paper designed a multifunction single-phase power quality analysis and control system, which used the single chip microcomputer STC12C5A60S2 as the core, and the power quality detection chip CS5460A. The system detection includes voltage, current, frequency, phase, and can calculate the active, reactive and power factor. Harmonic analysis uses the EMD algorithm. And this system with microcomputer protection and control of reactive power compensation function. The experiment results show that the system can detect and control power quality effectively.

Key words: Power quality, CS5460A, Reactive compensation, Harmonic, EMD Algorithm

[中图分类号] T M933.4 [文献标识码] A 文章编号: 1561-0349 (2014) 12-0039-04

1 引言

随着科技进步和国民经济的发展, 居民和小企业等电力用户对电能的需求增加。然而, 现代电子电器设备和阻感性负载的大量使用, 造成电能质量和效率降低。因此, 电力用户和电力部门更关注电能质量、电能质量检测分析和控制。目前, 电能质量分析方法, 主要有频域、时域和变换域^[1]。其中, 频域法, 主要是电力谐波分析及分布情况; 变换域法, 将采样信号作某种变换, 然后再谐波分析, 如小波变换。谐波分析方法有模拟滤波器、傅里叶变换和瞬时无功功率理论^[2]。

本文以 CS5460A 作为电能质量检测芯片, 并对电能质量参数分析、显示和传输, 最后控制无功。本文采用经验模式分解 (EMD) 方法, 能够快速方便地检测出电网中谐波分量, 本系统的独特在于使用 8 位 CPU 做出了谐波分析, 且可靠性、稳定性和准确性较高。

2 2 系统总体结构

设计了一种多功能单相电能质量分析及控制系统。控制系统, 包括控制核心、电源、电能质量检测^[3]、微机保护、时钟电路、数据显示 (电能质量分析结果) 和设定阈值模块, 如图 1 所示。本系统实现功能: 通过电能质量检测电压、电流、频率和相位, 根据电压和电流控制跳闸继电器来实现微机保护, 根据电能质量分析结果报警, 液晶显示可以将无功和功率因数输出为用户无功补偿作参考, 谐波分析结果可进行电能质量评估^[4]。

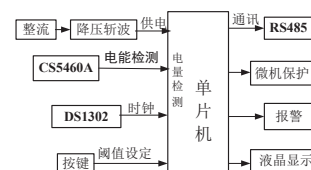


图 1 系统总体结构图

3 系统硬件设计

电能质量参数采集使用智能化,将互感器与电能质量及电量检测芯片 CS5460A 结合,由单片机处理数据,计算出电压、电流、频率、有功、无功功率、功率因数^[5]。单片机根据设定阈值输出控制跳闸继电器,同时将电能质量参数输出液晶显示或者 RS485 传送至 PC。

3.1 电源模块及通讯

本系统供电决定系统的稳定性能,该系统负载较大,采用市电经变压、DB157 整流,由 LM2596-5 降压斩波,输出稳定 5V 电源。LM2596-5 开关电压调节器是降压型电源集成电路,能够输出 3A 驱动电流,同时具有很好的线性和负载调节特性。

ADM2486 是基于 iCoupler 磁隔离技术的隔离型 RS-485 收发芯片。内部集成了三通道的数字隔离器,最高传输速率可达 20Mbps,分别将单片机和 ADM2486 的 RXD 和 TXD 引脚相连接。RS485 通讯可满足本系统要求,为电能质量分析及控制系统提供通讯支持,可将电能质量参数传至 PC。

3.2 电能质量检测

本系统的电能质量检测,同样使用电压电流互感器,不同的是,经互感器后由单相双向功率集成电路芯片 CS5460A 处理数据,而后通过单片机的 SPI 功能来读取数值,有些方案采用互感器、模拟电路和 CPU 的 AD 功能读取数据。CS5460A 是一个包含 2 个模-数转换高速电能计算功能和 1 个串行接口的高度集成的模-数转换器,它可以精确测量和计算有功电能、瞬时功率、电压电流有效值、相位^[6]。使用此微机监测系统输出相应保护控制,即微机保护^[7]。电能质量检测电路如图 2 所示。

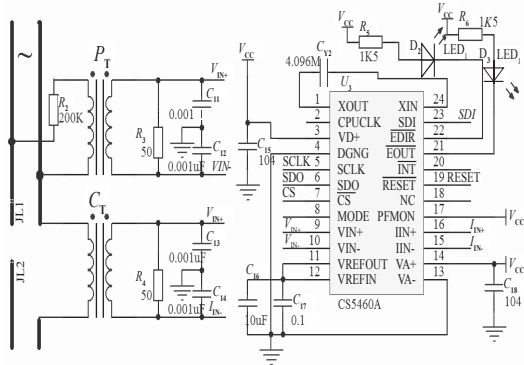


图 2 电能质量检测电路

3.3 微机保护装置

微机保护装置,是结合单片机、数据采集、数字通讯等模块,通过按键设定过电压、瞬时过电流、欠电压、过负载的阈值,若应用线路中超过此值,单片机输出开关量,控制跳闸继电器^[8]。

同时,电能质量分析及控制系统还设计了 DS1302 实时时

钟,可定时记录任意时间的电能质量情况,以备查询;蜂鸣器电路,提供特殊条件报警;使用 74HC164 驱动液晶显示器,输出显示电能质量分析结果。

4 系统软件设计

电能质量分析及控制系统软件,主要在于电能质量分析,其包括功率和功率因数计算^[9]。该系统检测到电压、电流、频率和相位,然后用 C 语言编写计算公式,进行电能质量分析。该系统的软件设计是在 Keil uVision4 下用 C 语言编写,其软件程序流程如图 6 所示。

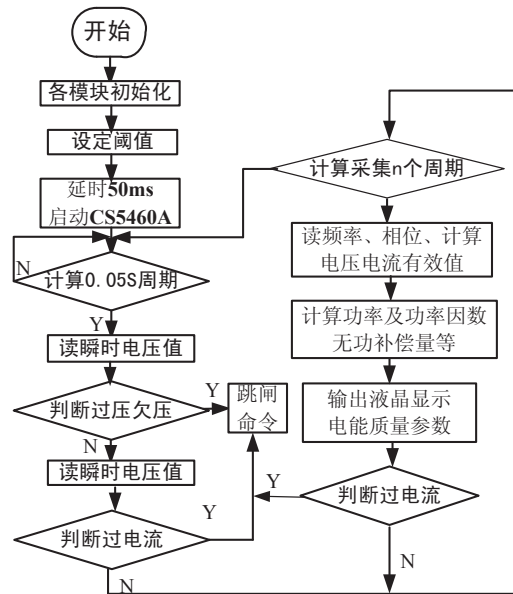


图 3 系统软件程序流程图

4.1 电能质量分析

电能质量分析,主要是计算电压、电流有效值,用以计算有功功率、无功功率、视在功率、功率因数、无功补偿和电能质量指标等。

(1) 功率计算

功率计算主要来判定是否过载。在 CS5460A 中电压电流有效值均采用离散求合,即均方根法,可计算电压和电流有效值^[5]:

$$U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{s=1}^N u^2(s)} \quad (1)$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{s=1}^N i^2(s)} \quad (2)$$

式中: N 为 1 个循环 N 个周期的采样点数, $u(s)$ 为在第 s 个周期的采样值。

电流有效值 I 计算类似于电压计算。有功、无功、视在功率、功率因数的计算^[10]

$$P=UI\cos\theta \quad (3)$$

$$Q=UI\sin\theta \quad (4)$$

$$S=UI \quad (5)$$

$$\eta = \cos\theta = \frac{P}{S} \quad (6)$$

式中： θ 为交流电压电流相位差（相位），是由CS5460A测量读取得到。

(2) 无功补偿计算

一般居民和小企业使用的电子电器设备大多数为阻感性负载，功率因数计算出后，可根据功率计算出无功补偿装置大小。

$$Q_C = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \quad (7)$$

$$C = \frac{P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)}{2\pi f U^2} \quad (8)$$

式中： f 为检测交流电频率， θ_1 、 θ_2 分别是补偿前和补偿后的功率因数， Q_C 是指补偿电容器组的无功功率， C 是指补偿电容值。

(3) 电能质量指标

电能质量指标，是指电压偏差、电压波动、供电可靠率^[8]，计算如下：

$$\Delta U\% = \frac{U - U_N}{U_N} 100 \quad (9)$$

式中： $\Delta U\%$ 为电压偏差百分数， U_N 为额定电压值。（频率指标计算类似于电压）

$$\delta U\% = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_N} 100 \quad (10)$$

式中： $\delta U\%$ 为电压波动程度， U_{\max} 、 U_{\min} 为一定时间内电压最大值和最小值。^[11]

$$k_{\text{rel}} = \frac{T_w}{T_t} 100\% \quad (11)$$

式中： k_{rel} 为供电可靠率， T_w 为统计期实际供电时间， T_t 为统计期总时间。

4.2 EMD 算法检测谐波

经验模态分解（EMD）是对一种连续信号进行处理，去掉某些波动的数据序列或提取某种趋势的数据序列，将各波动或趋势逐级分解开来，每一种序列称为1个本征模函数（IMF）征尺度的数据序列，最低频率的IMF分量代表原始信号的趋势序列^[11]。EMD方法是当前提取数据序列趋势或均值的最好方法。在电力谐波分析应用中，除去基波分量，其他所有谐波之和是指谐波^[12]。即先检测基波分量，然后与原始信号相减得到总谐波分量。本文对工频50Hz信号的采样频率为9.6kHz，周期采样点数 $N=192$ 。算法步骤如下：

(1) 初始化维数 $2N$ 的向量 I_{2N0} 。

(2) i_k 为当前时刻的采样值，前面的 $2N-1$ 个采集数据 $i_{k-(2N-1)}$ 、 $i_{k-(2N-2)}$ 、 i_{k-} ，将 i_k 调整在向量中间位置^[7]，如下所示：

$$i_{k-(N-1)}、i_{k-(N-2)}、i_k、i_{k-(2N-1)}、i_{k-N}$$

(3) 将上式的新向量 I'_{2N} 作为原始信号，用三次样条将原始信号 $x(t)$ 的所有极大值点和极小值点拟合出二条上下包，筛选出第一阶IMF^[14]： $c_1(t)$ ，重复上述步骤可得 N 阶IMF， $r_n(t)$ 为单调函数时筛选结束，即

原始信号 $x(t)$ 分解如下：

$$x(t) = \sum_{i=1}^n c_k(t) + r_n(t)$$

(4) 分别计算出各阶固有模态函数IMF并计算各阶IMF的频率，找到工频50Hz的IMF分量 c_f （也可得 n 次谐波的IMF分量 c_{nf} ），其第 N 个元素即为 K 时刻的基波分量^[15]：

$$i_{kf}=c_f(N)$$

(5) 可以得到信号中的总谐波分量 $i_{kz}=i_k - i_{kf}$ ，同理，可以得到其他特定次谐波分量 $i_{kzn}=i_k - c_{fn}=i_k - i_{kfn}$ 。

5 实验结果

为验证设计系统的理论，对单相电能质量分析及控制系统试验，均匀的分别在一天早晨到晚间的4个不同时段测试某居民用户的电能质量相关参数，如表1所示，列出了部分电能质量参数。一般居民用电早晨电压较高，无功较大是有感性或者容行负载使用。采集该用户的原始交流电压波形，然后利用EMD谐波分析法，得到原始正弦波形和基波如图4所示，为了波形图清晰，原始信号和基波信号之间有滞后，由基波看出，此分析方法较理想，若增大采样频率和CPU处理速度，结果会更理想。

表1 某居民用户的电能质量相关参数

电压	电流	有功	无功	频率	电压偏差	电压波动
228.7	9.2	1998.8	105.3	50.6	3.9	7.1
225.4	8.6	1860.9	77.5	49.8	2.5	7.5
218.5	8.9	1866.9	77.8	49.7	0.7	5.8
215.9	7.8	1566.1	117.9	49.5	1.9	7.9

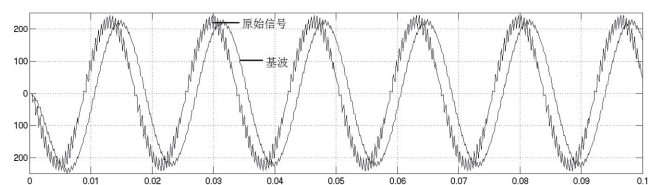


图4 原始正弦波形和基波

6 结论

本文对电能质量的采集和分析,利用相关参数做微机保护和无功补偿。设计并实现了基于CS5460A的电能质量分析及控制系统。分析了电能质量指标,是由电压偏差、电压波动、供电可靠性和频率波动等单相电能质量的重要指标组成。经过实验表明,本系统可靠性、稳定性和准确性较高。

参考文献

- [1] 刘凤君. 市电电能质量补偿技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [2] 于庆广, 付之宝. 电能质量指标及其算法的研究 [J]. 电力电子技术, 2007 (1): 10-12.
- [3] 李建炜. CS5460A 在电子式电能表中的应用 [J]. 电子技术, 2003 (6): 52-53.
- [4] George J. Wakileh 著, 徐政(译). 电力系统谐波-基本原理、分析方法和滤波器设计 [M]. 机械工业出版社, 2003.
- [5] 费占军, 刘瑞峰. 单相功率 / 电能芯片 CS5460A 的原理与应用 [J]. 电测与仪表, 2001, 38 (2): 42-45.
- [6] 张斌, 张晓川, 许之晗. 基于变换的电能质量分析方法 [J]. 电网技术, 2001, 25 (1): 26-29.
- [7] LIN Tao, DOMIJAN A. Recursive algorithm for real time measurement of electrical variabes in power systems [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2006, 21(1): 15-22.
- [8] 肖湘宁. 电能质量分析与控制 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [9] 解蕾, 解大, 张延迟新型电能质量表的算法及实现 [J]. 电测与仪表. 2008 (9): 1-3.
- [10] 孙才华, 宗伟, 何磊, 等. 一种任意整数次谐波电压实时检测方法 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(18): 70-73.
- [11] Luis F. C. Monteiro, Maurieio Aredes, et. a. A control strategy for unified Power quality conditione. IEEE, 2003, 391-396.
- [12] 苏玉香, 刘志刚, 李科亮等. 一种改善 EMD 端点效应的新方法及其在谐波分析中的应用 [J]. 电工电能新技术. 2008 (4): 33-37.
- [13] 朱宁辉, 白晓民, 董伟杰基于 EEMD 的谐波检测方法 [J]. 中国电机工程学报, 2013 (5), 92-98.
- [14] Deng Yongjun, Wang Wei. Boundary processing technique in EMD method and Hilbert transform [J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46 (11): 257-263.
- [15] 吴江伟, 王雪, 孙欣尧等. 采用优化经验模态分解的电力谐波辨识方法 [J]. 电子测量与仪器学报, 2012 (9), 859-860.

作者简介

徐强 (1990-), 男, 在读硕士, 研究方向为电力电子与电机控制,

附注

基金项目: 上海市教委科研创新项目 (14YZ157)

华东地区最大光伏发电项目成功送电

日前, 120WM 响水天合光伏项目升压站成功送电, 这标志着这个华东地区单体容量最大的光伏发电项目正式并网发电。据了解, 该项目每月将发电约 1000 万度, 所发电量将被全部输送到国家电网进行出售。

该光伏发电项目厂址位于响水县城东北侧的灌东盐场。项目从今年 3 月开始建设, 利用盐场鱼塘, 实施“渔光互补”光伏发电, 既不占用宝贵的农业、工业、住宅性用地, 在发电的同时也不影响水产养殖, 极大地提高单位面积土地的经济价值。

项目建设负责人表示, 这个项目中共安装了 48 万块电板, 预计平均每月发电量为 1000 万度, 大约 8 年就可以收回成本。项目每年可为电网节约标煤约 41671.03 吨, 在其经济使用寿命 25 年使用期内, 本光伏发电项目总共节省标煤 104.18 万多吨。根据预测, 该项目潜在的节能减排效果为: 每年减轻排放温室效应气体 CO² 约 10.98 万吨; 每年减少排放大气污染气体 SO_x 约 703.45 吨、NO_x 约 243.95 吨。

据市供电公司消息, 今年 1 至 10 月份, 盐城市光伏上网电量达 6.689 亿 kWh, 100% 全额收购消纳, 未发生一起弃光现象, 有力地支持了盐城地区光伏发电产业的发展。截止到目前, 并入盐城电网的光伏发电企业 23 家, 并网总容量达 643.63WM, 占江苏全省一半以上。