

电能质量监测算法研究及实现

王建赧, 李威, 纪延超, 刘亚洲

(哈尔滨工业大学电气工程系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 为了适用目前行业检测方法和评测标准的规范化、国际化发展趋势和满足国内对统一的电能质量监测仪器的迫切要求, 依据国家标准, 参照国际电工委员会(IEC)推荐的方法, 对电网谐波分析和电压闪变检测的算法进行了研究, 并在此基础上进行了基于工业控制计算机的电能质量监测系统的开发。

关键词: 电能质量; 谐波; 电压波动和闪变; 傅立叶分析

中图分类号: TM714 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2001)02-0029-03

1 引言

随着国际贸易和技术交流的发展, 行业标准的国际化趋势不可避免。我国在“九五”期间标准化工作的奋斗目标中提出到2000年争取将ISO、IEC现在标准, 除因地理、气候及基本技术等原因不能采取外, 都要转化为我国标准^[1]。在电力行业中, 电能质量对国民经济的各个部门和人民生活有着密切的关系和重要意义, 它的好坏直接关系到国民经济的总体效益。因此早在80年代初我国就将制订国家电能质量系列标准列为重点项目, 现该系列标准都已颁布实施, 这为改善电能质量奠定了基础, 为国际间的技术经济交流提供了依据。但技术的发展、新标准的出台也更明显地暴露了国内在电能质量测量方法和测量仪器上的不足: 目前虽然已有多种仪器在使用, 但有许多功能是不符合国标要求的, 也未经严格的检验, 对其可靠性、精度和抗干扰能力等心中无数^[2]。为此行业中提出了“为了国标的贯彻执行, 研制出一批合格的、适用于各种用途的测量仪器和设备, 包括研制作检测基准的标准仪器”的要求, 对电能质量指标的科学测量方法研究和开发符合国家标准、便于工程应用的统一监测系统已刻不容缓。

对于电能质量监测, 传统上关注的频率和电压偏差基本上已有了日常的监督和相应的规程和导则。现代工业技术的发展和人们生活质量的提高对同用电负荷关系密切的电网谐波、电压波动和闪变等要求日益提高。本文首先对电网谐波的检测方法展开了研究, 从频谱泄漏的角度, 参照IEC有关谐波测量的标

准引入多周期加窗傅立叶变换方法; 从频谱混叠的角度, 重点研究了已申请国家专利的快速抗混叠频谱分析方法(FAFT)^[6]。其次本文在IEC推荐的电压闪变检测方法数字化实现^[7]的基础上, 进行了闪变检测算法的软件设计。最后在算法研究的基础上, 基于工业控制计算机开发了电能质量监测系统。

2 算法研究

2.1 电网谐波检测

目前实际应用中的电能质量监测多是以数字计算机为中心的数学信号处理, 这使得模拟信号被离散成数字信号来处理。从信号的复原和信号的频谱分析角度考虑, 模拟信号用离散信号代替后会出现以下原理误差。首先, 非时限信号用有限时域的离散信号代替时会产生截尾误差(Truncated errors), 对周期信号这种误差又表现为采样周期与信号周期不同步时出现的泄漏误差(Leakage errors); 其次, 非带限信号, 以及带限信号但采样频率低于Shannon采样定理要求的奈奎斯特频率时出现的频谱混叠^[6](Aliasing errors)。因此结合现场实际, 抑制上述的误差, 就成了频谱分析算法设计的重点。

2.1.1 频谱泄漏误差的抑制

根据周期信号离散傅立叶频谱分析的泄漏误差产生的原因^[5], 通常采取的抑制措施是: (1) 减小有限长度输入信号周期延拓后在边界的不连续程度;



图1 IEC推荐的闪变仪框图

(2)抑制离散傅立叶变换等效滤波器频率特性的旁瓣。在实际系统的开发中,措施(1)可通过在采样系统的硬件电路中采用同步锁相技术来实现。而措施(2)则可通过适当的加窗算法来实现。国际电工委员会(IEC)针对电力系统的特点,提出的关于电网谐波的标准中把谐波分为三类:准稳态谐波(Quasi-steady harmonics),波动性谐波(Fluctuating harmonics),快速变化谐波(Rapidly changing harmonics),并推荐了针对不同的谐波采用不同的窗函数和窗宽,以提高测量精度^[3]。我国电能质量标准基本上与IEC标准相一致,所不同的是在谐波测量上没有IEC标准制订的细致。为了立足国情并与国际接轨,我们参考了IEC推荐的量测标准,进行相应窗序列的选择。在窗函数的选择中,不但要注重其特性,也要兼顾算法实现的难易程度和运行时间的长短。信号的加窗是对输入信号序列进行时域加权,汉宁窗加权则可以避开这种乘法,只需要对输出频谱序列进行线性组合即可实现,这样就可避免在离散傅立叶变换中增加过多的运算,这一特性使得汉宁加权在快速傅立叶变换中特别引人注目,这也是IEC标准推荐汉宁窗的理由之一。

表1 IEC谐波分类标准和FFT仪器窗宽的基本要求

谐波分类	推荐窗宽(s)	附加要求
准稳态谐波	TW = 0.1~0.5	窗之间可以存在间隔
波动性谐波	TW = 0.32(矩形窗) TW = 0.4~0.5(汉宁窗)	没有间隔 窗口一半交叠
快速变化谐波	TW = 0.08~0.16(矩形窗)	没有间隔

2.1.2 频谱混叠误差的抑制

根据频谱混叠误差产生的原因,通常的抑制措施是采用低通滤波器滤除信号中的高频分量。但由于实际低通滤波器的非理想幅频和相频特性又使频谱分析中引入其他的误差。为此文献^[6]提出了一种快速、抗混叠、不受采样定理约束的信号频谱分析方法FAFT,我们对其进行了分析。从其推导过程不难看出FAFT方法是通过利用原始连续信号的离散点进行分段二次抛物插值得到一条逼近原始连续信号的插值信号曲线,然后对该插值曲线进行连续傅立叶变换提取其频谱信息,并用该信息来近似原始信号的频谱分布。因此FAFT方

法实质上是一种连续傅立叶变换。当分段插值曲线较好地逼近原信号时,FAFT就可以得到信号极为准确的频谱信息,文献^[6]给出了FAFT对余弦全波整流的分析结果,而作为离散傅立叶变换,因受到采样定理的约束,在分析类似余弦全波整流场合下,其分析效果远不如FAFT。但是,正如曲线插值逼近中存在的问题一样,当分段插值不能很好地逼近待分析信号时,FAFT的效果就会逊与FFT,并且会额外引入原始信号中本没有的其他成分。特别在实际现场的频谱分析中,我们认为FAFT方法分析效果可能更不理想。原因在于插值逼近的前提是,其利用的离散点是原始信号的精确点。而实际采样由于采样误差、数模转换误差以及噪声等等会使离散采样点不可避免地偏离原始信号的真实点,这时利用这些点进行插值逼近原信号,可能存在较大的误差。对畸变正弦波仿真的结果证实了这一结论。因此我们在实际系统的开发中仍采用了传统的滤波方法。

2.2 电压闪变检测

对电压波动和闪变的测量在一些工业先进的国家中都有各自的统一的测量规格,比如早在1978年日本电气加热技术协会和电弧炉技术委员会就制订了日本国内统一的闪变标准并协调V₁₀闪变仪的规格。国内的闪变仪目前还多为参照日本的V₁₀闪变仪。国际电工委员会IEC依据1982年国际电热协会(UIE)的推荐,于1986年给出了闪变仪的功能和实际规范,1992年UIE又作出详细的论述,其框图如图1所示。国际电工委员会IEC作为国际上两大标准化组织之一,它所制订的标准具有很高的权威性,已成为世界范围内发展贸易和进行经济技术合作共同遵循的技术依据,为世界各国普遍重视和采用。因此在1982年IEC闪变标准正式公布后,国际上纷纷采用。为与IEC推荐的闪变仪协调一致,日本也已将其闪变标准与IEC取得统一,并开发

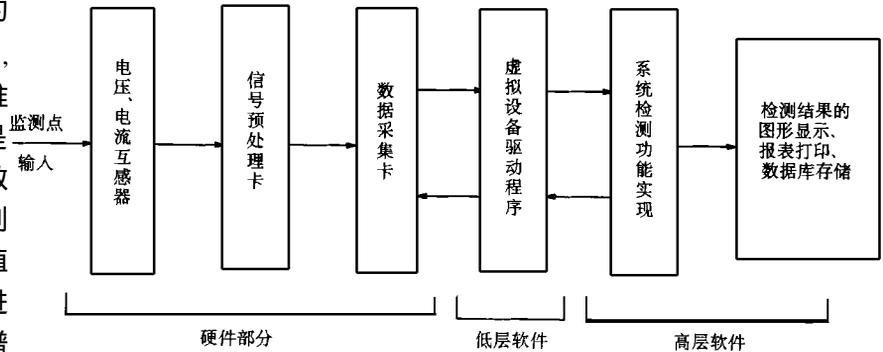


图2 电能质量分析系统总体框图

了新型的闪变仪。为此我们对 IEC 推荐的电压闪变检测方法进行了数字化实现^[7],在此基础上进行了检测方法的软件化设计。

3 电能质量监测系统的开发

在上述算法基础上,我们进行了电能质量监测系统的开发。该系统除了实现电网谐波、电压闪变检测功能外,还充分利用了工业 PC 机的强大功能和 Windows 分时复用的特点实现了对电能质量中诸如频率、三相不对称度、正负零序、基波功率等各量的检测功能,具有丰富的图形和报表输出功能,并具有对检测和统计结果进行数据库文件存储、调用、合并等功能。系统的总体框图见图 2。

3.1 硬件结构

整套系统以工控机为核心,附以外围 A/D 转换板及接口板。接口板的输入分为两个通道,每个通道各包含三相电流、电压信号,即总共 12 路输入信号。接口板还包括采样同步电路,即利用过零比较器 LM339、锁相环 CD4046、分频器 CD4020 构成采样脉冲发生器,将输入的被测信号经过过零比较器后转换成方波脉冲信号,送到锁相环的输入端。锁相环的输出经 1/256 分频后输入到锁相环的比较输入端。这样,当输入的被测信号频率为 50Hz 时,在锁相环的输出端就得到一个稳定的、频率为 12.8kHz 的同步采样脉冲。

输出的 12 路信号及锁相环的输出信号均接至 A/D 转换板,这 12 路信号进行 A/D 转换之后送入计算机进行处理。而锁相环的输出通过 A/D 板产生中断信号,为上层软件读取 A/D 转换板缓冲区中的数据提供时钟依据。锁相环的输出作为 A/D 板的定时器 8253 的时钟输入引入,这样便可以通过软件编程来控制 8253 的输出,从而控制中断响应次数。这样即可通过软件对 8253 的控制字调节,从而达到调节每周波采样点数的作用。

3.2 软件结构

系统上层软件由 VC++ 在 Windows9x 平台上开发而成,充分利用了 Windows 操作系统的分时复用、可视化操作的特点,使系统功能紧凑,人机界面友好。在检测功能编程上采用了 ActiveX 技术,方便了系统功能的扩展和维护。上层软件由用 VtoolsD 开发的虚拟设备驱动程序和硬件接口,虚拟设备驱动程序负责对检测信号的采集和转换,然后将数字信号传输到上层程序。上层程序中利用编程实现各种算法对数据进行处理,输出、存储。

4 实验结果

通过对开发的电能质量监测系统的长时间实测实验,表明该监测系统运行可靠,测量方法科学,测量精度高,现场监测方案满足国家标准,适应工程应用的要求。以下给出某次现场谐波检测结果见表 2,电压波动和闪变测量结果见表 3,频率等指标的测量结果见表 4,供参考。

表 2 电能质量监测系统某次现场谐波监测结果

谐波次数	A 相电压 (%)	B 相电压 (%)	C 相电压 (%)
基波	100.0	100.0	100.0
第 2 次	0.13	0.03	0.21
第 3 次	3.24	3.13	2.82
第 4 次	0.02	0.11	0.11
第 5 次	1.76	1.90	2.29
第 7 次	0.72	0.48	0.51
第 11 次	0.32	0.16	0.26
第 21 次	0.09	0.10	0.11
第 29 次	0.12	0.10	0.19
第 31 次	0.09	0.16	0.08

表 3 部分闪变监测结果

测试起始时间	瞬时闪变视感度	短时闪变严重度	等效闪变值	电压波动值 %
99-11-20 9:20:31	.983676	.694263	.231421	.761352
99-11-20 9:20:45	.983676	.694263	.231421	.761352
99-11-20 9:23:31	.981716	.693571	.23119	.987566
99-11-20 9:23:55	.981716	.693571	.23119	.987566
99-11-20 9:27:04	1.068425	.723552	.241184	1.028273
99-11-20 9:27:15	1.068425	.723552	.241184	1.028273
99-11-20 9:27:24	1.068425	.723552	.241184	1.028273
99-11-20 9:38:36	.982382	.693806	.231269	1.187193
99-11-20 9:38:48	.982382	.693806	.231269	1.187193
99-11-20 9:41:24	.986124	.695126	.231709	1.426819
99-11-20 9:41:39	.986124	.695126	.231709	1.426819

表 4 部分监测结果列表

ID	datetime	VOLVoltage	VOLCurrent	Frequency	THDVA
2592	00-1-17 11:35:09	220.25414	0	50.049215	.464731
2593	00-1-17 11:35:10	220.252198	0	50.024178	.575884
2594	00-1-17 11:35:11	220.25615	0	50.008335	.599742
2595	00-1-17 11:35:12	220.250866	0	50.052555	.554246
2596	00-1-17 11:35:13	220.255864	0	50.01834	.61931
2597	00-1-17 11:35:14	220.254082	0	50.013337	.668746
2598	00-1-17 11:35:15	220.257204	0	50.041701	.532636
2599	00-1-17 11:35:17	220.252607	0	50.05339	.487198
2600	00-1-17 11:35:17	220.258042	0	50.006668	.626622
2601	00-1-17 11:35:18	220.25635	0	50.007501	.597628
2602	00-1-17 11:35:20	220.247738	0	50.01834	.644654

5 结论

本文对电网谐波检测和电压闪 (下转第 41 页)

认可。

4 结论

本文介绍了 WXH-114 微机自闭贯通线路保护装置的硬件构成和保护原理,该保护装置利用成熟的微机保护软硬件技术,结合铁路地区自动闭塞电力线路和电力贯通线路的特点,开发出适用于铁路地区变电所、配电所的自闭、贯通线路保护,为实现

铁路变电所、配电所的无人值守提供了可能。

参考文献:

[1] 铁路电力设计规范.北京:中国铁道出版社,1999.

收稿日期: 2000-08-15

作者简介: 李瑞生(1966-),男,工程师,主要从事线路保护装置的研究与设计工作; 熊章学(1970-),男,工程师,主要从事继电保护的研究与设计工作; 吴双惠(1975-),男,本科,助工,主要从事低压线路保护工作。

Study on the microprocessor based protection for railway automatic blocking and power continuous lines

LI Rui - sheng¹, WANG Yu - guo², XIONG Zhang - xue¹, WU Shuang - hui¹

(1. Xuchang Relay Research Institute, Xuchang 461000, China; 2. Jinan Railway Bureau, Jinan 250000, China)

Abstract: A new protective device is presented in this paper. The device is developed based on the characters of automatic blocking and power continuous lines on railway trunk and busy branch, and on the matured hardware and software technique of the microprocessor based line protections to meet the practical requirements of unattended power transformation and distribution stations in railway sections.

Key words: automatic blocking power line; power continuous line; microprocessor based protection

(上接第31页) 变检测的算法进行了研究。参照 IEC 有关谐波检测标准,引入了多周期加窗傅立叶算法。通过对快速抗混叠频谱分析方法(FAFT)的分析,指出该方法实质是连续傅立叶变换,其插值逼近的做法在现场应用中存在缺陷。依据对 IEC 推荐的电压闪变检测方法的数字化实现,进行了闪变检测算法的软件化设计。在算法研究的基础上进行了基于工业控制计算机的电能质量监测系统的开发。本次工作满足了当前行业中对电能质量检测方法和评测标准的规范化和国际化的要求。该监测系统适应了测控仪器虚拟化、高集成化、智能化的发展趋势,伴随工业 PC 及其外围设备、信号处理板等电子产品的性能价格比的不断提高,该系统在电能质量检测领域中具有广阔的应用前景。

参考文献:

[1] 我国标准化工作“九五”计划和 2010 年远景目标纲要. 中国标准导报,1997,(1):3.

- [2] 林海雪. 对电能质量改善的几点看法. 电网技术, 1994,18(4):55.
- [3] 林海雪,孙树勤. 电网中的谐波. 北京:中国电力出版社,1998:162.
- [4] 孙树勤. 电压波动与闪变. 北京:中国电力出版社, 1998.
- [5] 孙仲康. 快速傅立叶变换及其应用. 人民邮电出版社, 1982:200~203.
- [6] 陈祥训. 快速高精度频谱分析方法. 中国电机工程学报,1991,11(1):35~40.
- [7] 刘亚洲,李威,纪延超. IEC 闪变检测方法的数字化实现. 2000,28(3):18~21.

收稿日期: 2000-06-14; 改回日期: 2000-07-11

作者简介: 王建贇(1972-),男,博士,研究方向为小波变换在电力系统中的应用; 李威(1976-),男,硕士研究生,研究方向为电能质量监测; 纪延超(1962-),男,教授,研究方向为电力电子技术在电力系统中的应用。

The study and realization of power quality supervisory method

WANG Jian-ze, LI Wei, JI Yan-chao, LIU Ya-zhou

(Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: In order to meet the current trend of standardizing and internationalizing the detection method and the evaluating criterion in industry, and satisfy the urgent requirement for uniform supervisory system for power quality, the algorithm of harmonic analysis and voltage flicker detection are studied in terms of IEC recommended, and power quality supervision system based on industry control computer is developed.

Keywords: power quality; harmonic; voltage flicker; fourier analysis