

文章编号:1001-5132(2009)02-0217-05

# 基于 AD7656 开发高压容性设备绝缘 介损的信号采集系统

章伟聪<sup>1</sup>, 戴征武<sup>2,3</sup>, 吴慧玲<sup>1</sup>, 陈庆章<sup>2</sup>

(1.浙江万里学院 智能控制研究所, 浙江 宁波 315101; 2.浙江工业大学 信息工程学院,  
浙江 杭州 310014; 3.宁波理工监测科技股份有限公司, 浙江 宁波 315800)

**摘要:**为精确测量能反映高压容性设备绝缘状况的介质损耗值,设计了相应的信号采集系统.采用电网频率跟踪技术,将传感器测得的三相末屏电流模拟值经信号调理电路调理及 AD620AR 放大器放大后,并经 AD7656 进行模数转换,将模拟信号直接转化为数字信号,避免了信号传输过程中的干扰和衰减问题,并采用参考电源解决了远距离同步采集问题.介绍了基于多通道高分辨率 AD7656 开发绝缘介损在线监测终端信号采集系统的具体方法,给出了具体的接口实现电路和数据采集的初始化操作过程,经实际应用,系统可靠稳定.

**关键词:** AD7656; DSP; 信号采集; 介质损耗

**中图分类号:** TP274

**文献标识码:** A

高压容性设备在变电站中具有重要地位,其绝缘状况的好坏直接关系到整个变电站的安全运行.目前在容性设备绝缘监测中,主要根据电气设备预防性试验规程的规定对电气设备进行定期的停电试验、检修和维护,并不能满足高压输变电设备安全运行的要求,而以状态检修代替定期检修已成为电力系统设备检修的必然趋势,并且实时的绝缘监测及诊断技术是状态维修的基础,因此研究高压电容性设备绝缘在线监测技术并开发在线监测信号采集系统对保障电网的安全运行具有十分重要的意义<sup>[1]</sup>.经过调研,现有绝缘在线监测信号采集系统若将以下几方面的问题加以深入研

究完善,系统的总体性能可得到进一步的提升.

(1) 电容型设备末屏信号的采集与调理.由于末屏电流非常微弱,均为 mA 级甚至是  $\mu\text{A}$  级,因此现场单元的信号采集系统非常关键.同时由于比差及角差等的存在,现场的干扰很强,测得的二次信号特性与一次信号差距较大,对所测信号的放大、整形、相位调整都十分重要.

(2) 信号传输问题.大多现有设备至变电站主控室的信号传输方式采用模拟信号传输或 RS485 总线,这些方式的可靠性都较差.若就地将采集到的数据进行模数转换并采用抗干扰性能强的现场总线传输,可避免信号传输过程中的干扰和衰减

问题.

(3) 远距离同步采集问题. 介质损耗测量要求同步采集被测设备的末屏电流及母线电压, 而这 2 个信号距离较远. 因此为避免模拟信号长距离传输带来的问题, 必须有效地解决两路远距离信号的同步采集问题.

所研究的在线监测信号采集系统可连续、实时、在线采集高压套管、高压互感器等高压设备的介质损耗、末屏电流及电容量为及时掌握设备的绝缘状况、绝缘特性的发展趋势、及早发现潜伏故障等提供技术保证.

### 1 绝缘介质损耗 $\text{tg}\delta$ 测量原理和意义

绝缘介质在电场中都要消耗电能, 通称为介质损耗(介损), 对于少油式高压容性设备介质损耗角的正切值是重要参数, 它能宏观地评价绝缘的基本状态. 如果电介质中没有损耗, 则在交变电场的作用下, 完全取决于由弹性极化所引起的纯电容电流  $I_C$ , 且  $I_C$  超前电压  $U$  的角度为  $90^\circ$ . 当有介质损耗时, 流过绝缘介质的电流  $I$  中含有功损耗分量  $I_R$ , 所以电流超前电压的角度  $\psi$  要小于  $90^\circ$ , 绝缘介质损耗的等值电路如图 1 所示, 图 2 则为向量图, 图 2 中  $\delta$  是  $\psi$  的余角, 称为介质损耗角(介损角). 介损角正切值(介质损耗因数)的表达式为:

$$P = UI_R = UI_C \tan \delta = U^2 \omega C \tan \delta,$$

$$\text{tg}\delta = \frac{|I_R|}{|I_C|} = \frac{P}{U^2 \omega C} = \frac{1}{\omega RC} =$$

$$\frac{1}{2\pi f(\epsilon s / d)(\rho s / d)} = \frac{1}{2\pi f \epsilon \rho},$$

其中,  $P$  为介质损耗的功率;  $\omega$  为系统角频率;  $s$  为极板面积;  $d$  为极板间距;  $\rho$  为绝缘介质的电阻率;  $\epsilon$  为介电常数.

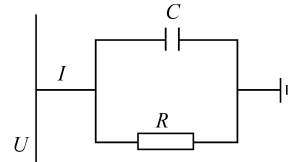


图 1 介质损耗等值电路

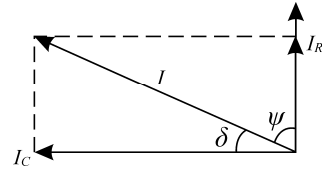


图 2 电流向量图

通常  $I_{CX} \gg I_{RX}$ ,  $\delta$  很小, 介质损耗角的正切值(约等于角度的大小)与电源频率、介电常数和电阻率有关, 与绝缘的体积大小没有关系, 事实上反映的是单位体积的介质损耗. 介质损耗角  $\delta$  是衡量介质发热和绝缘水平的一项重要指标, 具有较高的敏感度和稳定性. 其值通常约为  $0.001 \sim 0.020 \text{ rad}$ , 误差的绝对值应小于  $0.001 \sim 0.002 \text{ rad}$ , 故对测量的准确度提出了较高要求.

通过测量介质损耗角的正切值可以反映出一系列的绝缘缺陷, 如绝缘受潮、浸渍物脏污、劣质变化或气隙放电等. 因此绝缘在线监测中, 介质损耗是综合评价设备绝缘状态的基本参数, 是一种衡量绝缘介质优劣的好办法, 具有其他参数不能

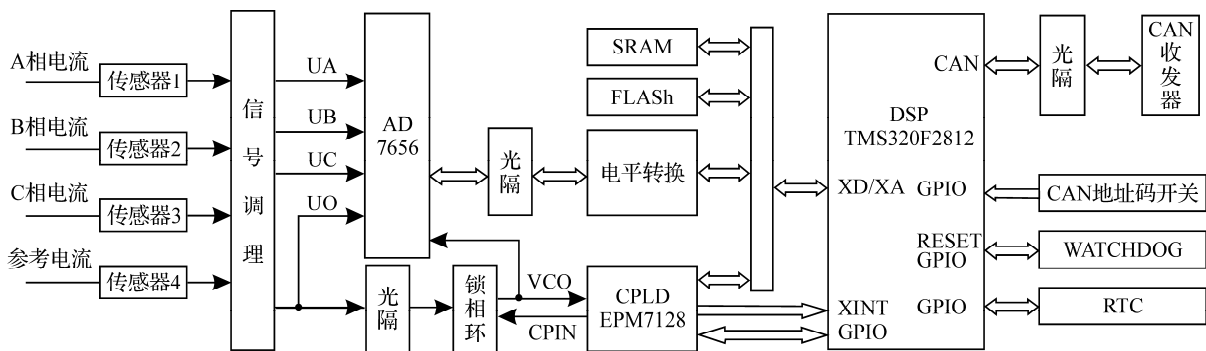


图 3 基于 AD7656 及 DSP 的监测终端结构原理图

替代的重要意义<sup>[2]</sup>.

## 2 绝缘介损在线监测终端

研制的绝缘介损信号采集系统是高压容性设备现场监测终端子系统,图3为高压容性设备监测终端结构原理图.其工作时,当传感器测得三相电流模拟值以后,经信号调理电路调理及AD620AR放大器放大,并经AD7656模数转换,再分别经光电隔离及电平转换后,连接到DSP(TMS320F2812)和CPLD(EPM7128)的数据线,由DSP协同CPLD及锁相倍频电路共同控制.整个监测终端集信号调理、电网频率跟踪、数据采集、CPU控制、算法处理、数据存储为一体,可即时计算出介质损耗、等值电容等参数,实现监测参数的现场测量和数字化,为绝缘介损在线监测提供保障.因需同时采集三相电流和三相电压信号,且信号处理的实时性、精度要求很高,此时可利用参考源实现同步采样,采用具有性价比高、精度高、功耗低、转换速度快的AD7656进行模数转换,采用AD620AR和OP-27进行信号调理及放大.DSP采用的是美国TI公司工作频率达150MHz的32位TMS320F2812,计算精度高,运算速度快.

## 3 AD7656工作原理<sup>[3]</sup>及电路设计

AD7656的原理框图如图4所示,AD7656的输入结构包括6个片内跟踪保持放大器(T/H)、6个逐次逼近寄存器(SAR)和1个逻辑控制单元.图4中的V1~V6为模拟输入1~6个引脚;DV<sub>CC</sub>为5V数字电源端;AV<sub>CC</sub>为模拟电压输入,V<sub>SS</sub>为负电源端,V<sub>DD</sub>为正电源端;D<sub>OUT</sub>A/D<sub>OUT</sub>B/D<sub>OUT</sub>C分别表示数据8位/9位/10位串行数据输出.转换中的逐次逼近是按对分原理由控制逻辑电路完成,其工作过程大致如下:启动转换后,控制逻辑电路首先将逐次逼近寄存器的最高位置1,其他置0,逐次逼近

寄存器SAR的内容经过模/数转换器转换后得到电压值.当此电压值在比较器中与输入信号进行比较后,比较器的输出反馈到模/数转换器,在下次比较前进行修正,并在逻辑控制电路的时钟驱动下逐次逼近寄存器,不断进行比较和移位,直至完成最低的有效位转换.

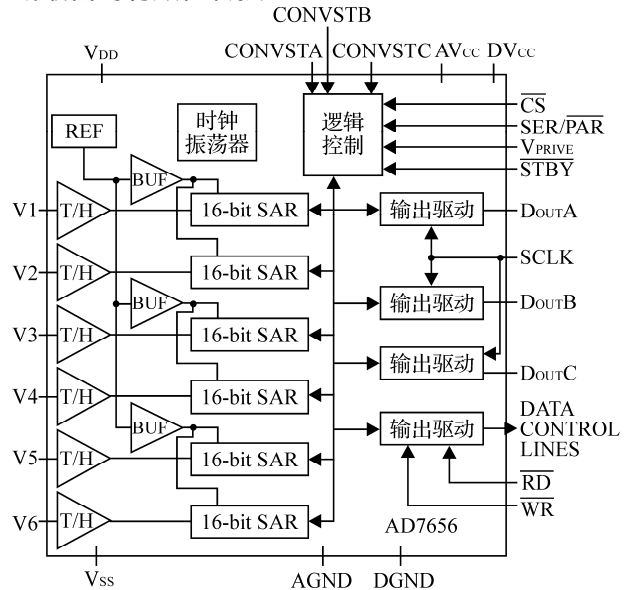


图4 AD7656原理框图

### 3.1 AD7656模数转换接口电路设计

在实际应用研究中,笔者基于AD7656芯片开发了相应的绝缘介损信号采集系统外围接口电路.

(1) V1~V4连接经传感器并调理后的4路输出电压信号,输出线路由DB0~DB15及RD经隔离及电平转换后,分别连接到DSP的数据线D0~D15及XRD.

(2) CONVST、CS、BUSY、RANGE及RESET经隔离及电平转换后连接到CPLD上,CPLD得到DSP采集开始电平信号后,使片选CS有效,控制CONVST进行启动转换,在转换结束后,BUSY通过CPLD使DSP产生中断,DSP读取并暂存数据.

(3) 数字电源(DV<sub>CC</sub>)和模拟电源(AV<sub>CC</sub>)均采用5V供电,V<sub>DD</sub>接+15V,V<sub>SS</sub>接-15V电源,其内部缓冲器由片上自带的2.5V基准电压供电.而V<sub>DRIVE</sub>是逻辑电源输入,该引脚电压可接受2.7~5.25V,本文设计的V<sub>DRIVE</sub>为+5V.REFCAPA、REFCAPB、

REFCAPC 是参考电压引脚, 接  $0.1 \mu\text{F}$  的去耦电容器, 并模拟接地.

(4) AD7656 自带有 1 个用来执行转换的片上振荡器, 最大转换时间  $t_{\text{CONVER}}$  为  $3.1 \mu\text{s}$ , 并行接口模式下每个通道的最大吞吐量可达  $250 \text{ ksp}$ s, AD7656 的转换使能信号的选择输入端 CONVST[A/B/C]用来启动每对或每 4 个或每 6 个的 ADC 同步采样, CONVSTA 用来启动 V1 和 V2 的同步采样, 而 CONVSTB 对应的是 V3 和 V4, CONVSTC 对应的是 V5 和 V6. 当 3 个引脚连到一起时, 可自动对 6 个通道进行采样.

### 3.2 AD7656 模数转换的初始化操作

(1) AD7656 的片选 CS 是有源低电平的有效输入信号. 当 CS 为高电平时, 并行输出引脚处于高阻态; 当 CS 为低电平时, 并行数据线反映了输出缓冲器的当前状态, 在 BUSY 信号的下降沿表示转换结束. 为了正确地 AD7656 的并行数据总线上读取数据, AD7656 的 CS 必须被片选中后, 才能进行正常读操作.

(2) AD7656 的读信号 RD 端也是有源低电平信号. 当 CS 为低时, 读信号 RD 的下降沿, AD7656 中输出寄存器的内容将被更新. 这也就意味着每个读序列之前的 RD 信号必须被触发, 通过 DSP 将 AD7656 的 RD 引脚置低, 可以保存输出寄存器中

数据, 然后再将 RD 引脚置高. 这样才能更新输出缓存器.

(3) DSP 触发 CPLD, 由 CPLD 控制启动采集过程. CPLD 触发 AD7656 的复位引脚 RESET, 可以使 AD7656 复位, 同时可以确保读取转换结果时指针指向第 1 个数据位. 当系统上电后, 被触发为低电平. 对于每个转换通道而言, BUSY 均是高电平信号, 当 AD7656 的 3 个使能引脚连接在一起同时升高时, CPLD 提供 1 个脉冲信号, 且 6 个转换通道被认为有效, 并同时转换.

(4) CPLD 控制了 AD7656 中 RANGE 引脚的高低电平, 并决定着 AD7656 前端的模拟输入范围; CONVST[A/B/C]引脚连在一起, 由电网频率通过锁相倍频后, 并经 CPLD 控制启动 AD 采集; 每次采集完成后, BUSY 引脚触发 CPLD, CPLD 输出低电平使 DSP 进入外部中断程序, DSP 外部中断服务程序输出信号量, 触发读取转换后的结果数据, 并将数据暂存于 SRAM 中.

### 3.3 AD7656 模数转换模块的部分程序

数据采集模块开发环境为 PROTEL、CCS(TI)、C++Builder 等, 利用电网频率通过锁相倍频后信号与 DSP 的开始采集电平相与, 由 CPLD 触发 AD 转换, 在 AD 中断服务程序中给出信号量, 在 DSP 的主程序中读取 AD 的转换结果数据, 并暂存到

表 1 本信号采集系统在衢州实地采集的数据

时间	相位	系统频率/Hz	介损/%	末屏电流/mA	等值电容/pF	母线电压/kV	三次谐波/%	五次谐波/%	七次谐波/%	九次谐波/%	温度/°C	湿度/%	状态
10:43	A 相	49.998 2	0.225 8	5.330 9	262	64.844 9	0.111 3	0.170 6	0.080 0	0.065 2	20.75	48.42	正常
	B 相		0.323 8	5.488 3	269	64.900 5	0.109 2	0.136 4	0.070 6	0.062 3			
	C 相		0.252 8	5.434 9	267	64.845 6	0.145 9	0.150 5	0.073 0	0.063 6			
11:43	A 相	50.062 2	0.209 4	5.389 2	262	65.530 2	0.129 4	0.168 2	0.075 8	0.061 3	23.35	44.2	正常
	B 相		0.340 0	5.551 2	269	65.606 6	0.125 3	0.151 8	0.066 9	0.061 0			
	C 相		0.238 3	5.493 5	267	65.504 5	0.170 8	0.159 8	0.067 1	0.062 1			
12:43	A 相	50.007 5	0.178 1	5.416 5	262	65.870 3	0.119 8	0.202 1	0.084 1	0.061 0	25.55	37.13	正常
	B 相		0.328 1	5.577 2	269	65.933 7	0.114 4	0.197 4	0.074 5	0.061 8			
	C 相		0.237 4	5.524 3	267	65.869 8	0.163 2	0.193 1	0.076 8	0.063 9			

注: 信号采集于 2008-9-21.

SRAM 中等待数据处理.

## 4 结束语

研究高压容性设备绝缘介损信号采集系统时,数据采集的实时性和准确性尤为重要,采用多通道AD7656型模/数转换器同步采样技术很好地满足了此方面的要求,使系统的整体性能得到很大提高.具体的创新点为:数据采集方面采用电网频率跟踪技术,可动态改变数据采集周期,使每周波固定采集2048~8192点,提高了系统的测量精度,更有效地解决了系统算法等带来的误差;在数据准确性上采用多次谐波电压测量,并利用谐波来分析测量介损带来的误差影响.表1是监测终端跟

踪电网频率采用AD7656采集及DSP处理后的试验数据,表1的数据充分表明基于AD7656开发的高压容性设备绝缘介损信号采集系统满足数字信号采集的实际要求,工作稳定可靠.

### 参考文献:

- [1] Xu Tihai. Dielectric on-line monitoring of a high-voltage capacitive equipment[J]. Techniques Automation Applications, 2007, 26(5):66-68.
- [2] Huang Jianhua. Situation and trend of condition maintenance of high-voltage electric equipment in substation [J]. Transformer, 2002, 39(51):11-15.
- [3] Analog Devices. AD7656/AD7657/AD7658 产品数据手册 Rev A[EB/OL]. [2006-05-15]. [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD7656\\_7657\\_7658.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7656_7657_7658.pdf)

## AD7656 Based Development of Signal Collection System for Insulated Dielectric Loss in High Voltage Capacitive Equipment

ZHANG Wei-cong<sup>1</sup>, DAI Zheng-wu<sup>2,3</sup>, WU Hui-ling<sup>1</sup>, CHEN Qing-zhang<sup>2</sup>

( 1.Intelligent Control Research Institute, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315101, China;

2.College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;

3.Ligong Online Monitoring Technology Co. Ltd., Ningbo 315800, China )

**Abstract:** In this paper, a signal collection system is designed to measure the value of dielectric loss  $\text{tg}\delta$  on-line, which reflects the insulation states of high voltage capacitive equipment. The frequency tracking technique of electrified wire netting is applied to transform the analog signals measured by three phase end-electric current into digital signals through AD620AR magnifier and ADC7656, thus signal disturbance and decline are avoided. By applying the reference power, the problem of remote synchro-collection is consequently solved. Also introduced in this paper is the specific method which is developed using on-line monitoring terminal of insulated dielectric loss based on multicenter and high graphics. The detail interface circuit and initialized operation of completed the data collection and operating programs are provided. The test results exhibit the system's stability and reliability.

**Key words:** AD7656; DSP; signal collection; dielectric loss

**CLC number:** TP274

**Document code:** A

(责任编辑 章践立)