DOI:10.16468/j.cnki.issn1004-0366.2008.03.033
第20卷 第3期 甘肃科学学报 Vol.20 No.3
2008年9月 Journal of Gansu Sciences Sep.2008

基于AD7656变压器有载开关测试仪设计

裴宏涛[1,2],杨新华[2],贺洋伟[2]
(1.解放军69029部队 技术室,新疆 乌鲁木齐 830011;2.兰州理工大学 电气工程与信息工程学院,甘肃 兰州 730050)

摘 要: 介绍了用于电力测量6通道同步采样A/D转换器AD7656的性能特点、工作原理.针对传统有载开关测试存在的测量速度慢、同期性不佳问题,采用AD7656设计了变压器有载开关测试仪.试验表明这种有载开关测试仪,提高了测量速度、改善了测量同期性、降低了系统误差.

关键词: AD7656;有载开关;同步采样;测试仪
中图分类号: TM403.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0366(2008)03-0099-04

Design of the Testing Instrument for of On-load Tap-changers in the Transformer Based on AD7656

PEI Hong-tao[1,2], YANG Xin-hua[2], HE Yang-wei[2]
(1. *Office of Technology, No.69029 of PLA, Urumchi 830011, China*; 2. *School of Electrical and Informational Engineering, Lanzhou University of Science and Technology, Lanzhou 730050, China*)

Abstract: AD7656 is the latest product of ADI for electric power measurement. It is high in speed, having 6 independent analog inputs with 16-bit A/D simultaneous sampling converter. This paper introduces its performances, and working principles to solve the traditional problems, such as low measuring speed and poor synchronigation. we designed the testing instrument for on-load tap-changers in the transformer based on AD7656. The result of experiments indicated that this device could enhance the measuring speed, improve the quality of synchronigation and reduce the system errors.

Key words: AD7656; on-load tap-changers; simultaneous sampling; testing instrument

变压器有载开关是一种能在变压器励磁或带载情况下通过调整线圈分接位置改变变压器输出功率,从而达到稳定电网的装置[1,2].有载分接开关作为变压器中唯一经常动作的部件,在实际应用中由于磨损或氧化等原因,经常会出现开关接触不良的问题.国家设备预防性规程中规定必须定期对变压器有载开关进行动态工况性能测试[3].在测试中需要对三相有载开关的过渡电阻值进行测量,以判断有载开关的接触是否良好.以往测试仪器中A/D转换电路大多采用多片单通道ADC,或者采用一片单通道ADC在模拟转换开关控制下采集数据,实际设计中这种采样方法存在着三相数据采集存在延迟的问题,影响到准确判断开关动作的一致性.ADI公司针对电力测量推出的新型16位A/D转换器AD7656,能够同步采集6路模拟信号,在有载开关测试仪中采用AD7656实现A/D转换,可以很好的解决采样同期性的问题,实现三相电压和电流信号的实时同步采样,测算出更准确的过渡电阻值.

1 AD7656芯片的主要特点

AD7656采用ICOMS工艺制造,该工艺将高压器件与亚微米的COMS和互补双极型电路集成到一起[4],因此不仅性能更高而且功耗和封装尺寸也大幅减小.AD7656的主要特点如下:

(1) 6通道双极性,输入高阻抗;

(2) 16位250 K高速采样;

(3) 多通道、同时采样,且信噪比(SNR)可达86dB;

(4) 低功耗,在标准模式下单片功率仅为150 mW;

收稿日期: 2007-12-14
基金项目: 甘肃省自然基金资助项目(3ZS042-B25-012)

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(5) 输入带宽最高上限频率为 12 MHz；

(6) 工作温度范围广：B 类工作温度为－40℃～＋85℃；Y 类工作温度为－40℃～＋125℃；

(7) 有高速的并行接口模式，以及与 SPI/QSPI/μ Wire/DSP 兼容的高速串行接口；

(8) 数据输出为双极性原码输出.

AD7656 的工作原理如下：

由于 AD7656 内部集成了 6 个 16 位的 A/D 转换器，所以可以实现 6 路模拟信号的同时采样. 图 1 为 AD7656 的转换时序图. CONVST A B C 接同一脉冲信号，在 CONVST 脉冲的上升沿，保证 6 路信号同时进行模数转换，这时 BUSY 为高电平，表示正在进行 A/D 转换. 当 BUSY 为低电平时，表示转换结束，数据已经存放在锁存器中. 在$\overline{CS}$为低电平的选通条件下，当向$\overline{RD}$引脚提供连续脉冲时，在$\overline{RD}$脉冲的下降沿时，就可以依次读取对 $V1$～$V6$ 模拟信号的转换结果. 数据将通过 16 位数据总线(D0－D15)一次读出到微处理器中(此时要设置 29 脚 $\overline{W}/B=0$). 当微处理器的 I/O 接口不够多时，可只设置 8 个 I/O 口(一般接 D15－D8)，传输数据时按先低 8 位，后高 8 位的模式(此时要设置 29 脚 $\overline{W}/B=1$，且第 10 脚 HBEN＝0)进行. 另外 AD7656 的供电方式采用双电源供电，电压范围为±9.5～±16.5V. 在参考电压选择上，可采用内部产生的＋2.5V 电压，也可采用外部自设方式. 如果采用外部参考电压，应使用高精度的＋2.5V 基准电压芯片 AD680、AD780 等. AD7656 输入为双极性电压，满足交流电压信号测量的要求，电压范围有$\pm 4\times V_{REF}$和$\pm 2\times V_{REF}$ 2 种，当设置第 27 脚 RANGE＝0 时，输出范围为$\pm\times V_{REF}$，当 RANGE＝1 时，输出范围为$\pm 2\times V_{REF}$[5].

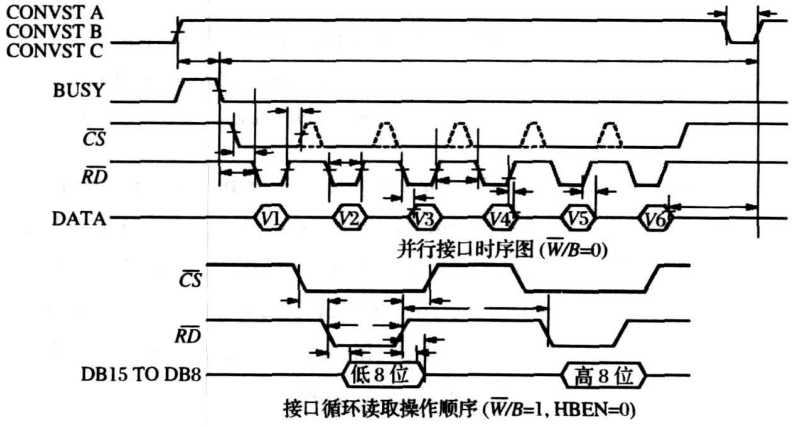

图 1 AD7656 的时序

2 有载开关工作过程

有载分接开关由于是在带负载的情况下改变分接位置，所以它必须满足 2 个基本条件[1]：(1)在单相开关动作过程中，要保证负荷电流的连续，也就是不能开路；(2)在开关动作过程中，要保证三相动作的一致性，不能有先后. 因此，在切换分接的过程中必然要求 3 个动触头同时由一个分接过渡到下一个分接. 实现这一功能的电路称为过渡电路，对应的机构为切换开关. 切换开关根据过渡电阻的数目可分为单电阻、双电阻和 4 电阻等类型[6]，其中常见的是双电阻的切换开关. 以双电阻为例，开关单相动作的顺序如图 2 所示，a 为切换前的状态，随着开关触头向右滑动，动触头的位置如图所示沿 a-b-c-d-e 依次改变，当动触头的位置到达 e 时，开关的切换动作结束. 总的切换时间约为40 ms，电阻上的通流时间约为 22～25 ms. 新装开关三相不同步的时间差 Δt 一般控制在 2 ms 以内. 但是有些厂家对此指标放宽到 4 ms[7]. 从整个切换过程看，每相开关(带或不带绕组)两端的电阻值发生了 0-R-$R/2$-R-0 的变化过程. 对有载分接开关切换波形的测试可以看出切换开关能否正确动作，从而判断有载分接开关是否存在电

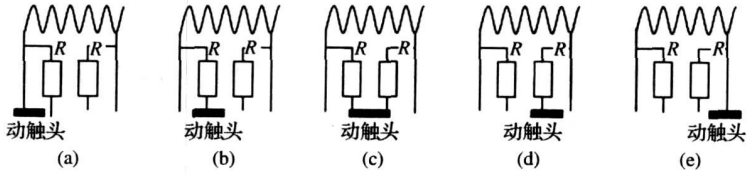

图 2 开关单相动作顺序

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

动机构动作异常、绝缘筒变形、触头烧损、传动轴断裂等故障[8].还可以通过对比三相波形,判断三相开关是否同步动作.

有载分接开关的测量分为无绕组和有绕组测量 2 种,即不带负载(变压器)和带负载测量,无绕组测量主要用于开关生产时出厂测量,有绕组则用于开关检修时的测量.由于有载分接开关使用时和变压器是连为一体的,测量时开关和变压器分开又很麻烦,所以最常用的还是有绕组测量.而变压器绕组呈感性,在切换过程中会阻碍回路电流的变化,产生振荡,使测得的电压和电流信号不准,造成 R 不准.因此,对有绕组测量,采用加电流源的方法,以恒流消除开关切换时变压器线圈电感对测量的影响.对于无绕组的情况可以采用串入采样电阻直接加电压源的方法来完成[9].

3　有载开关测试仪设计

由于变压器的有载开关在调节电网电压时,开关(带或不带绕组)两端的电阻值将按照 0-R-R/2-R-0 的情况变化,所以从整个切换过程中电阻值的变化就能测定开关的工作顺序是否正确,进而也可以通过分析过渡电阻值随时间的变化曲线(R-t),可获得过渡时间、过渡电阻,通过对比三相曲线图可以鉴定有载开关三相动作的同期性[9].因此有载分接开关测试仪的主要功能就是实时测量、记录三相开关在切换瞬间的全部过渡过程,以此对有载分接开关性能指标做出评价.因此,测量中三相电压/电流数据的同步采集是很关键的.

根据有载开关的动作过程设计有载开关测试仪,系统原理如图 3 所示.三路独立的电流源输出电流分别加到有载开关上,产生电压信号.系统采集有载开关上的三相电流和电压信号,并将其经调理电路调理后送入 AD7656,在 AD7657 内实现采样和 A/D 转换,最后输出 16 位精度的数字量,通过并行口送入MCU进行运算和处理,处理后的电阻波形及参数可在点阵式液晶屏上显示,并可由微型打印机打印结果.测试仪内设实时时钟,通过键盘操作可实现保存、提取、打印测试结果等操作.另外,该测试仪还配有标准 USB 接口,可将测得数据导入计算机或者存入 U 盘,永久存档.

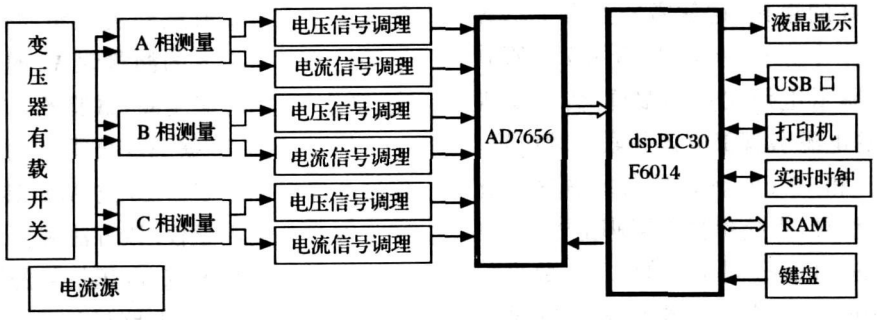

图 3　测试仪系统原理

图 4 为 AD7656 构成的 A/D 转换电路,三相电路的电压和电流信号分别经 AD620 构成的调理电路进行放大,然后经低通滤波处理后,送入A/D转

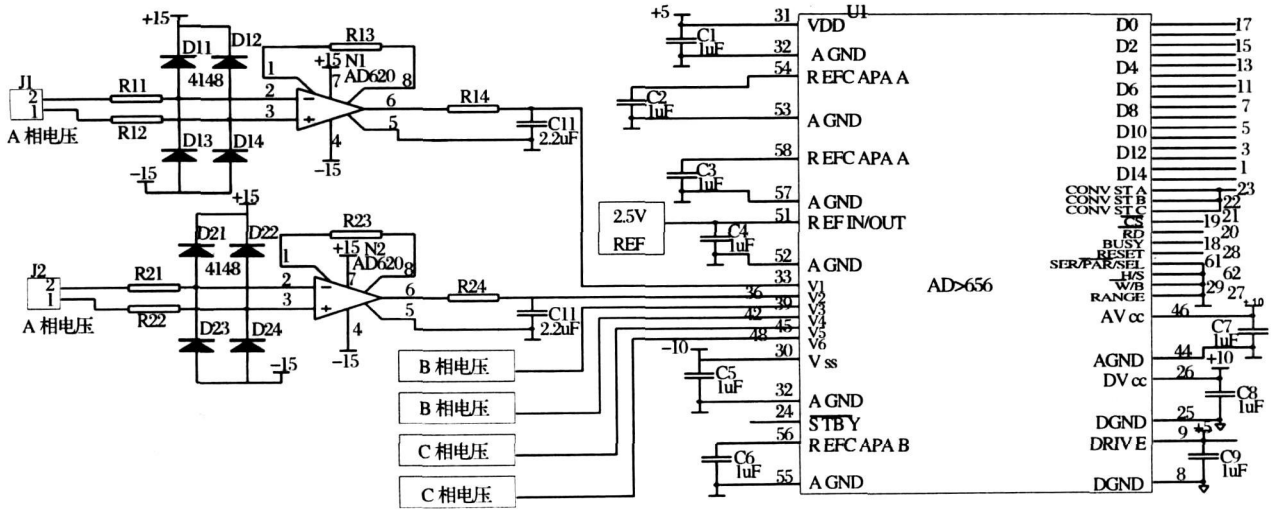

图 4　AD7656 构成的 A/D 转换电路

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

换器 AD7656 中，A/D 转换器在 CPU 的控制下按 100 KSPS 的速率将送入的 6 路模拟信号同步采样，转换成数字量并存放在锁存器中．电压电流调理电路均采用 AD620 来实现，AD620 是精度较高的仪表放大器，它输入阻抗大，增益可调，对小信号放大效果非常好．为防止浪涌等异常信号烧毁调理电路，电路中并入两对同向二极管，分别接±15 V，起限压保护作用．图中的 AD7656 是工作在并行接口模式时的连接电路．其中的 DVcc 和 AVcc 分别是数字电源端和模拟电源端．在设计电路时，应该让 AD7656 模块下面只有模拟信号，以避免噪声的耦合．时钟和其他的高速开关信号应该用数字地线来屏蔽．要避免数字和模拟信号的相互横跨．在不同但相互接近的电路板层上的引线，相互之间应该成直角，以减少馈通的影响．ADC 的电源引线应该使用尽可能宽的导线，以提供低阻抗的通路并减少电源线上毛刺的影响．AD7656 电源引脚和电路板电源引线间必须实现良好的连接，这就需要为每个电源引脚提供单个或者多个穿孔．要降低 AD7656 所看到的电源阻抗以及降低电源尖峰的幅值．为了实现良好的去耦，所有的电源引脚都应该并联去耦电容，一般量值为 100 nF 和 10 uF，其位置最好紧靠这此引脚和对应的地线引脚，直接焊接在引脚上[4]．控制器(MCU)选用 Microchip 公司推出的 16 位数字信号控制器 dsPIC30F6014，该处理器最多可以设置 68 个 I/O 口，因此 AD7656 与 dsPIC30F6014 之间可采用并行方式传输数据．通过微处理器对三相电压/电流数据的运算处理，得到各点的过渡电阻值，并在显示器上显示出过渡电阻的变化波形．

图 5 为提取的 A 相波形图，纵轴为电阻值，横轴为时间，从图中我们可以看出开关动作前由测试

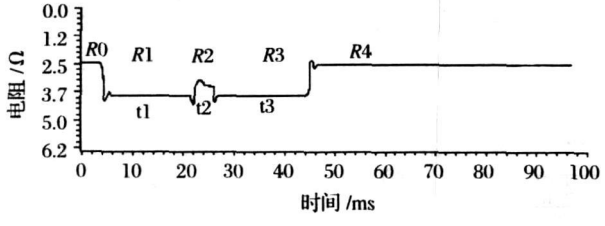

图 5 提取的 A 相测量波形

线、绕组等引的电阻为 2.5 Ω 左右，当 A 相开关接入第 1 个电阻 R 时的值为 4.0 Ω，当同时接入 2 个电阻时的值为 3.2 Ω．波形的横坐标为时间值，我们从图中可清楚地读出阻值变换的时间．如图 5 中，$t1 \approx 17.8$ ms $t2 \approx 4.7$ ms $t3 \approx 18.8$ ms 其整个切换时间在 41.7 ms 左右．显示器采用 320×240 的点阵式 LCD，能同时显示出三相的过渡波形，图 6 为液晶屏显示的有载开关动作时，三相过渡电阻变化波形．由于是同时采集，所以可以很直观地看出开关动

图 6 三相过渡电阻波形

作不一致的程度，从而准确地判断出变压器是否工作在正常状态下．可以通过选择和移动光标得到过渡时间、过渡电阻、开关灵敏度等参数．为了便于比较，波形还可以按比例缩放．该仪器从根本上解决了其他方法在测量有载开关三相动作的同期性时，由于采样不同步引入的测量误差．整个系统处理速度快，稳定性强，准确度高，试验效果很好．

综上所述，依据 AD 公司针对电力测试推出的新型 6 通道同步采样 16 位 A/D 转换器 AD7656，设计了有载开关测量仪．该方法和传统设计方法相比，不但可实现三相电流/电压信号的同步采样，减小了测量引起误差．而且电路设计简单，转换速度快，精度高，稳定性强，测量效果好．

参考文献：

[1] GB 10230-88．有载分接开关[S]．
[2] DL/T 596-199．电力设备预防性试验规程[S]．
[3] 冯仲民．有载分接开关的应用[M]．北京：中国电力出版社，2004．
[4] Colm Slattery．多路同时采样 ADC 实现高性能多通道电网检测[J]．电子产品世界，2007，8，15(8)：43-46．
[5] 美国 ADI 公司．电子产品手册[EB/OL]．AD7656 Datasheet．http：/www．21ic．com．
[6] 陈敢峰，姚集新．变压器分接开关实用技术[M]．北京：中国水利水电出版社，2002．
[7] 龚绍．有载开关调压顺序试验[J]．电力自动化设备，2005，25(11)：94-95．
[8] 王伟，韩金华，王吉，等．有载分接开关切换波形的现场测试及研究[J]．高压电气，2005，41(6)：438-440．
[9] 高松巍，葛岷，窦曦光．智能型变压器有载分接开关参数综合测试仪[J]．沈阳工业大学学报，1999，21(3)：236-238．

作者简介：

裴宏涛(1977-)男，河南省偃师人，解放军 69029 部队技师，现为兰州理工大学电气工程与信息工程学院 2006 级在读硕士．

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net