

新一代16位8通道同步采样ADC - AD7606

在智能电网中的应用

作者：于克泳¹，孙建军²

(1. 亚德诺半导体技术(上海)有限公司, 上海 200021

2. 世健国际贸易(上海)有限公司南京办事处, 南京 210005)

摘要: AD7606 是 ADI 公司推出的新一代 16 位、8 通道、同步采样、双极性输入的模拟数字转换器 ADC。本文以国家智能电网的发展为契机, 基于智能化变电站的解决方案, 重点介绍 AD7606 系列 ADC 的设计要点和注意事项, 为电力系统二次设备的开发提供有力的帮助。

关键词: ADC AD7606 智能电网 智能化变电站

Next Generation 16-Bit, 8-channels, Simultaneous Sampling ADC - AD7606 and its application in Smart Grid

Abstract: Growing as electricity demand increases, “smart grid” need for more efficient utility substations and management, monitor and control energy consumption, cost, and quality. Analog Devices, Inc. (ADI) introduced a 16bit, 8-channels, bipolar, simultaneous-sampling ADCs (analog-to-digital converters) in year 2010, this new ADCs provide the resolution and performance needed for next-generation utility substations designs that ensure the reliable power-line transmission and distribution in the world.

Key Words: ADC; AD7606; Smart Grid; Digital Substation

1 引言

低碳时代的到来, 智能电网是当今世界电力系统发展变革的最新动向, 也是一项庞大的系统工程。我国的智能电网^[1]是以特高压电网为骨干网架、各电压等级电网协调发展的坚强电网为基础, 将现代先进的传感测量技术、通讯技术、信息技术、计算机技术和控制技术与物理电网高度集成而形成的新型电网。智能电网以“安全、经济、高效、清洁、低碳”为核心, 充分满足用户对电力的需求和优化资源配置, 确保电力供应的安全性、可靠性和经济性, 满足环保约束, 保证电能质量。

日益增强的信号处理技术使得下一代系统的准确度可优于 0.1%, 准确度的提升主要得益于采用高性能同步采样的模拟数字转换器 ADC, 它提供了满足未来智能化变电站系统所需要的分辨率和性能^[2]。美国亚

德诺半导体技术公司（ADI）最新推出的新一代 8 通道同步采样 ADC 家族系列可实现性能优异的信噪比（SNR），可选的过采样模式更可以进一步提高 SNR 性能。AD7606 多通道的集成可方便实现智能化变电站设备中的多路 I&V（电流和电压）的测量和监控，这使得电力线路监控系统能够实时监测和管理电网上发生的各种异常事件，实现智能化变电站功能综合化，系统保护、控制、测量装置数字化，运行管理智能化，适应电力市场的发展，确保我国智能电网的坚强性。

2 系统体系结构

一个典型的电力二次设备系统示意如下图 1 所示。一次侧的电压电流信号接入二次互感器 PT/CT，经过信号调理后输入 ADC，采样转换后的数据由 CPU/DSP 进行处理，控制信号经隔离后输出，状态信号经隔离后输入。

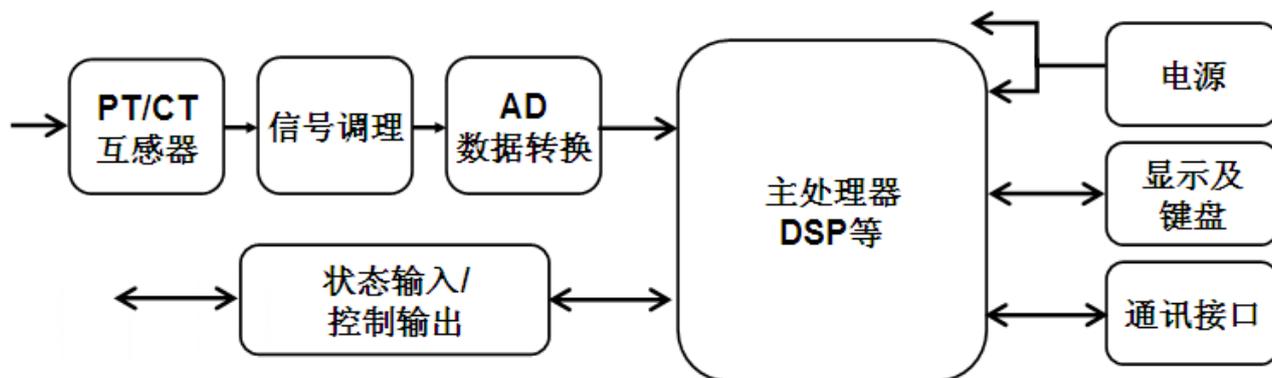


图 1 典型的电力二次设备系统示意图

传统电网向智能电网转变，要求电力二次设备具有更强的接口能力、控制能力、保护能力、测量能力、通信能力和数据处理能力，因此 CPU/DSP 和 ADC 一般是系统设计中需要考虑的两个关键器件。

ADI 公司的 Blackfin 系列处理器以强大的处理能力、高性能以及低成本特点符合电力二次设备市场的发展方向，使设备制造商能够轻松实现各种通用或定制化的功能，可以在不改变（或很少改变）硬件的情况下迅速适应不断发展的标准和新增功能需求，并大大降低产品研发风险和制造成本。同时在外设上，Blackfin 系列提供了丰富的选择，从而给客户提供了极大的设计便利性和丰富的可用片上设计资源。参考 ADI 应用工程师程涛的文章《ADI DSP 处理器在电力二次设备领域的应用》^[3]，可以获取更多的信息。

以下将重点介绍 ADC 相关的部分。ADC 是数据采集系统中的一个重要环节。在传统的设计中，系统选用的 ADC 分辨率一般为 14 位，比如业界流行的 4 通道 AD7865，输入端可以接受真双极性输入信号，并且提供 80dB 的 SNR。随着业界对 16 位分辨率和多通道 ADC 的需求越来越强烈，ADI 公司开发了 6 通道 16bit 的 AD7656 以满足设计的需求。AD7656 具有 86.5dB 的 SNR，可以提供满足测量交流小信号所需的性能指标。但是在新的设计需求中，系统中包含的电流/电压互感器 CT/PT 的数量会有多个，对 ADC 总通道数的需求往往超过 12 个。作为电力二次设备制造商的关键供应商，ADI 公司深刻理解中国客户的需求，在 AD7656 成功应用的经验基础之上，再次推出 16 位 8 通道同步采样的 AD7606 系列，以便能够更好的满足用户在应

对这些困难时面临的技术挑战。

3 AD7606 简介及设计

AD7606/AD7606-6/AD7606-4^[4]为 16 位同步采样模数数据采集系统(DAS)，分别有 8、6、4 个采集通道。片上集成模拟输入箝位保护、二阶抗混叠滤波器、跟踪保持放大器、16 位电荷再分配逐次逼近型 ADC 内核、数字滤波器、2.5V 基准电压源及缓冲、高速串行和并行接口。AD7606 采用 5V 单电源供电，不再需要正负双电源，并支持真正 $\pm 10V$ 或 $\pm 5V$ 的双极性信号输。所有的通道均能以高达 200 kSPS 的速率进行采样，同时输入端箝位保护电路可以承受最高达 $\pm 16.5V$ 的电压。

传统的逐次逼近(SAR)型 ADC，由于其采样电容的设计，模拟输入前端一般需要运算放大器(简称运放，Operation Amplifier)来实现内部采样电容的驱动，如图 3 所示。正因此电容的存在，其等效输入阻抗与采样频率相关，而且在一些高采样率的应用中，使得前端驱动运放的选择变得十分苛刻。

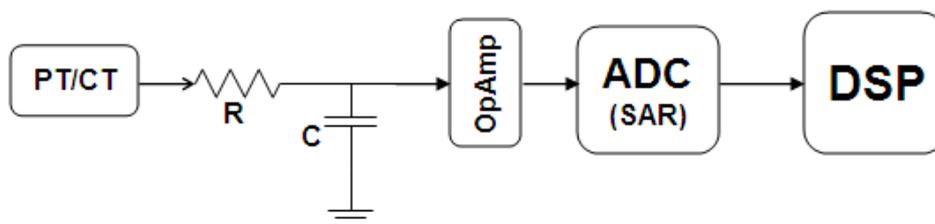


图 3 传统 SAR 型 ADC 的典型设计图

但在 AD7606 内部的信号调理电路中，已经包含了低噪声、高输入阻抗的信号调理电路，其等效输入阻抗完全独立于采样率且固定为 1Mohm。同时输入端集成了具有 40 dB 抗混叠抑制特性的滤波器，更是简化了前端设计，不再需要外部驱动和滤波电路。因此，二次互感器输出的信号无需再经过运放来缓冲就可以直接接入 AD7606。图 4 是 AD7606 的典型设计。

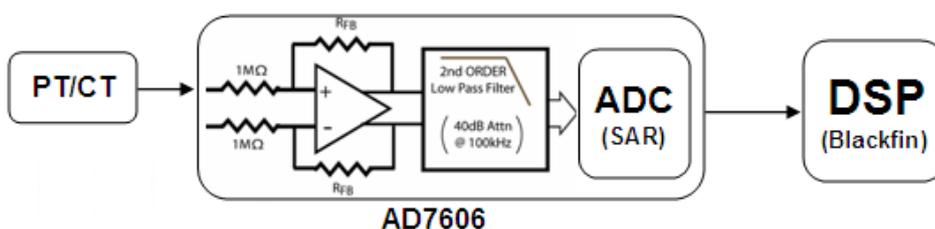


图 4 AD7606 的典型设计图

AD7606 内部集成了 2.5V 带隙电压基准和基准缓冲电路，其温度系数典型值为 $\pm 10\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 。设计应用中，选用内置基准或外部基准，将取决于系统的要求。多片 ADC 的设计中，如果需求高绝对精度，则应采用高初始精度和低温度系数的外部基准，以消除不同器件内置基准之间的差异而带来的误差。推荐选用初始精度 0.04%，温度系数 $3\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 的 ADR421B。如果需求多片 ADC 通道之间的数值匹配，可设置第一片 AD7606 工作在内置基准模式，其余 AD7606 为外部基准模式，然后通过第一片 AD7606 的内置基准输出供给其余

AD7606。这样，在不加外部基准的情况下即可保证多个 AD7606 通道间数据的匹配性，但此时系统的绝对精度取决于内置基准的性能。

AD7606 的数字接口可以配置在并行或串行模式。数字接口的电平 V_{drive} 为 2.3V~5.25V，可以跟当前任何主流的 CPU/DSP 连接。需要注意的是，当配置 AD7606 工作在串行接口模式时，数据总线的 DB[15:9] 和 DB[6:0] 管脚需要做接地处理。

AD7606 提供了过采样和数字滤波功能。通过管脚 OS[2:0] 可以设置过采样倍数(OSR)为 x2, x4, x8, x16, x32, x64。过采样打开后，内部的过采样控制电路和 1 阶 Sinc 数字滤波器会自动被使能，同时 -3dB 带宽也会相应的改变。

ADC 一般需要模拟电源和数字电源。大多数的系统都会有 5V 数字电源，却不一定具有 5V 模拟电源。此时如果模拟电路和数字电路共用同一个 5V 电源，有害的数字噪声可能会耦合到模拟电路并降低 ADC 的性能，通常应该避免这样的设计。如果不可避免，需要将 5V 的数字电源进行很好的滤波后再供给模拟电路用。AD7606 的去耦设计十分简洁，仅需要 9 个电容，其中包括 2 个 10 μ F，2 个 1 μ F，5 个 0.1 μ F。参考下图 5 所示。

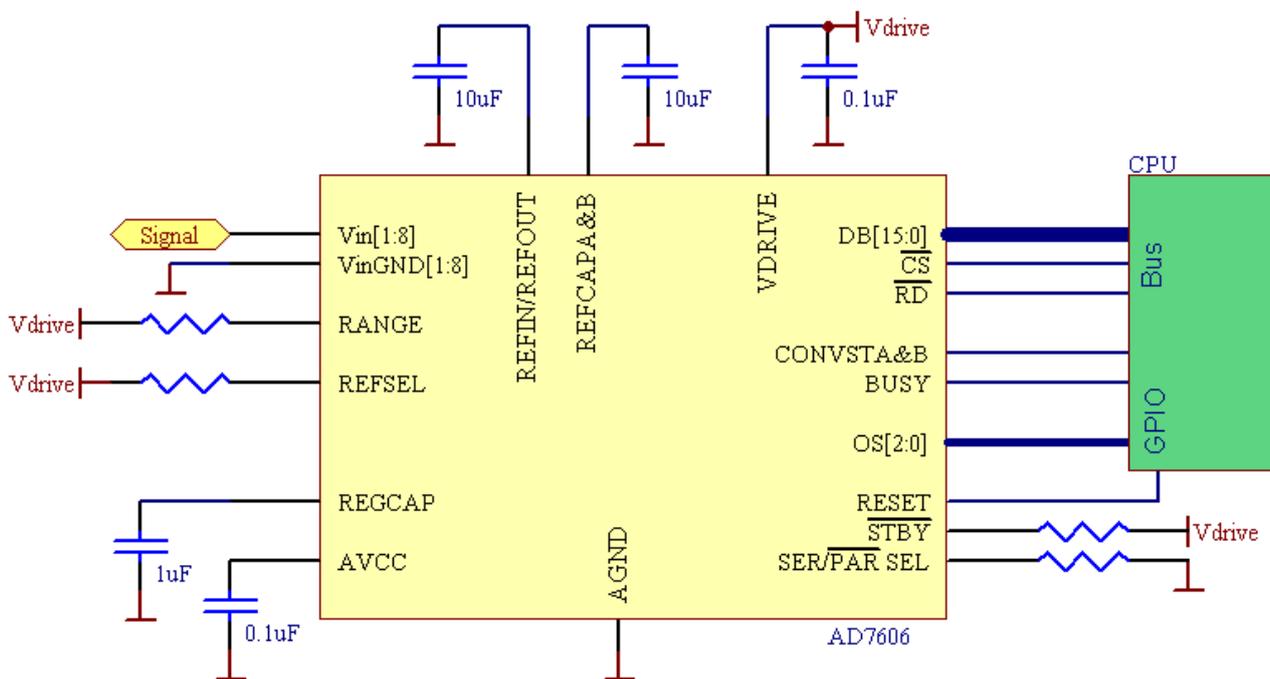
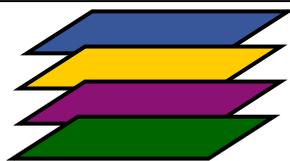


图 5 AD7606 外围电路参考设计

AD7606 的管脚定义已经考虑了 PCB 设计中的布局布线。从管脚定义图中可以看出，LQFP 封装的 4 个侧边，模拟输入端 A_{in} 在一侧，数据总线接口在另一侧，其余两侧分别为控制和配置管脚。设计中只需要 4 层 PCB 板，就可以发挥 AD7606 的性能。叠层建议如下图 6。表层和底层为走线层，中间两个内层分别为地平面、电源平面。除了叠层设计，AD7606 的手册中也给出了说明和示例^[5]。



层 1: 元器件, 信号和地平面
 层 2: 地平面
 层 3: 电源、地层和基准电压
 层 4: 元器件、信号和地平面

图 6 AD7606 PCB 布板层设计

4 AD7606 测试结果

工程师一般比较关心 ADC 的峰峰值噪声, 下图是将 AD7606 的输入端接地后连续采集 8192 个点后实际得到的数据直方图。左侧为不采用过采样时的结果, 右侧为设置为 x8 倍过采样时的结果。从测试结果可以看出, 当采用过采样后, 可以明显的降低 AD7606 的峰峰值噪声, 进一步提高系统的信噪比。同时, AD7606 也有着优异的偏移误差(Offset Error)和增益误差(Gain Error)。当然, 仅评估 ADC 的峰峰值噪声并不能代表 ADC 的全部性能, 借助于更多的设备才能完整评估出 ADC 的全部性能。

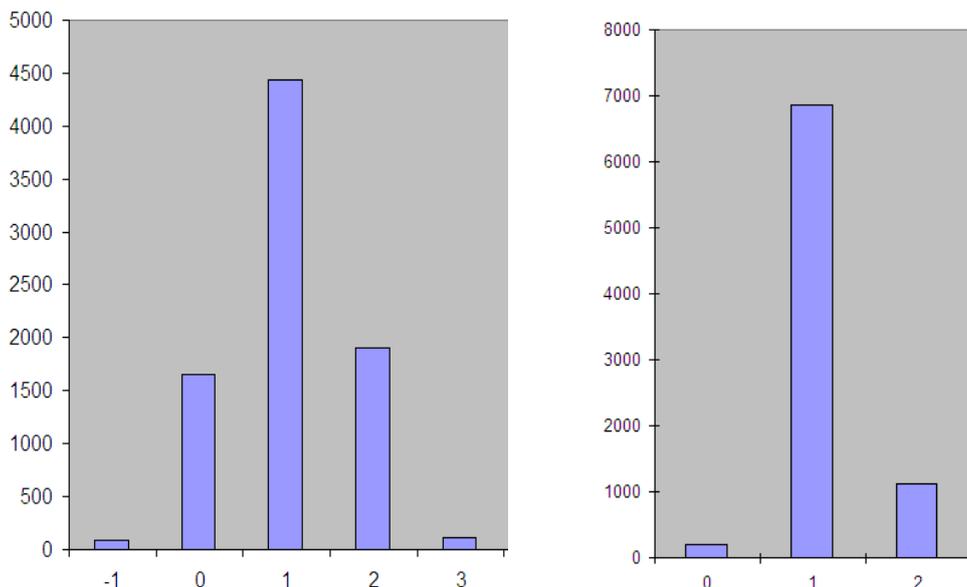


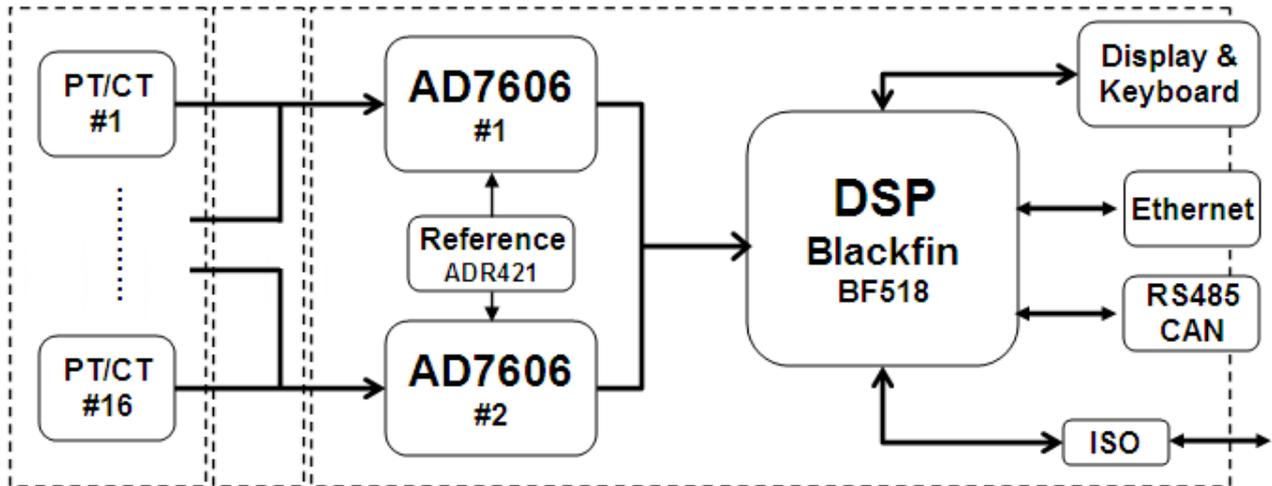
图 7 AD7606 输入接地数据直方图 无过采样(左)和x8倍过采样(右)

5 AD7606 在智能电网中的应用

随着中国政府在不断加大智能电网的部署, 对电力二次设备的要求也越来越高, 同时也促进了作为电网运行重要支撑的智能化变电站综合自动化技术的快速发展。每个智能化变电站可能包含若干个互感器, 将待测的电压和电流值通过互感器输出到 ADC, 要准确测量这些小信号必须选择具有高 SNR、高动态范围(Dynamic Range)的 ADC, 同时多通道的数据采集还需要 ADC 具有同步采样能力。

智能电网中对电力系统二次设备的需求, 对于总 ADC 通道数往往会有不同, 不同等级的设备甚至对分辨率的要求也略有不同。下图是电力二次设备的一个典型设计, 选用了 2 片 AD7606 及 Blackfin ADSP-BF518 的解决方案。借助该 ADC 家族中的一系列器件, 针对不同的应用需求, 通过在料单中选择不同的器件, 相

同的 PCB 就可以满足 16、14、12 通道，以及 16、14、18 位分辨率等系统需求，真正实现设计的平台化。这对于电力系统设备的兼容设计、版本管理都有很好的帮助。另外，如果采用多片 AD7606 的设计，可以满足不同系统配置的要求。



参考文献:

- [1] 徐立子.智能电网与电子式互感器及电力一次设备在线监测,《动力与电气工程师》,2010.
- [2] Colm Slattery. High-Performance Multichannel Power-Line Monitoring with Simultaneous-Sampling ADCs. Analog Dialogue Volume 41 – January 2007
- [3] 程涛. ADI DSP 处理器在电力系统二次设备中的应用,《电子技术应用》,2009.
- [4] AD7606 datasheet. 8-Channel DAS with 16-Bit, Bipolar Input, Simultaneous Sampling ADC, Analog Device Inc, 2010.
- [5] Layout Considerations for an Expandable Multichannel Simultaneous Sampling Data Acquisition System (DAS) Based on the AD7606 16-Bit, 8-Channel DAS, Analog Device Inc, 2010.