# AD7606 在电机控制系统中的应用与设计

林明耀，何春晓，顾卫钢
（东南大学电气工程学院，南京 210096）

**摘要：**在以 DSP 为核心的电机控制系统中，为实现系统的实时控制和稳定，主电路中的电压量和电流量会通过有隔离效果的传感器进行处理，之后通过相应的调理电路送入 DSP 的 A/D 采样引脚。鉴于 DSP 片内 A/D 采样模块在量程设计与抗扰能力上的不足，这里以 TI 公司的 TMS320F28335 为例，设计 AD7606 采样芯片的外围硬件电路，设计 3 组实验，从采样数据的准确度、精密度和采样信号的类型 3 个方面验证采用外扩采样芯片的合理性和高效性，并对实验结果进行分析。

**关键词：**电气工程；电机控制系统；TMS320F28335；AD7606；硬件设计
**中图分类号：**TM306 **文献标识码：**A **文章编号：**1674-2850(2016)20-2079-07

# Application and design of AD7606 in electric machine control system

LIN Mingyao, HE Chunxiao, GU Weigang
(*School of Electrical Engineering*, *Southeast University*, *Nanjing* 210096, *China*)

**Abstract:** In order to realize the real-time control and stability of the system which is based on DSP, the voltage and current of the main circuit required would be sampled by sensor which has the effect of isolation, and then the signals would be sent into the A/D pins on the DSP through matching conditioning circuits. For the DSP's on-chip A/D module has its disadvantages in designing range and immunity ability, in this paper, the hardware circuit of AD7606 was designed for TI's TMS320F28335. In order to verify the rationality and efficiency of the sampling chip, three different experiments are designed for the comparison between these two signal processing methods in the following aspects: the accuracy of sampling data, the RSD of sampling data and the genres of sampling signal. According to the consequences, analysis has been given.

**Key words:** electrical engineering; motor control system; TMS320F28335; AD7606; hardware design

## 0 引言

以 DSP 为核心的电机控制系统，信号处理的硬件方案主要有两种[1]：一是合理应用 DSP 片内资源，使用片内 A/D 采样模块；二是扩展片外 A/D 采样芯片。以 TMS320F28335 为例，前者的硬件设计相对简单可靠，并且较为经济，但是需要在功率板上设计相应的调理电路才可以正常使用；后者的硬件电路设计比较复杂，一般需要通过 FPGA 或 CPLD 才能进行外扩，而且 A/D 采样芯片的价格较高，但是其采样精度及抗扰能力要高于直接使用 DSP 的片内资源。

不论是使用 DSP 片内资源还是使用外扩 A/D 采样芯片，在采样频率上都可以满足电机控制系统的要求，但是两者采样的精确度、调试的难易程度以及对不同信号的处理能力却有很大不同。AD7606 作为一款常用的 A/D 采样芯片，在各个领域的实时采样环节均有广泛应用。本文以 DSP 芯片 TMS320F28335

**基金项目：**高等学校博士学科点专项科研基金（20120092110041）
**作者简介：**林明耀（1959—），男，教授，主要研究方向：高效永磁电机设计和控制、电动汽车驱动技术、电力电子技术及其在工业驱动中的应用等. E-mail: mylin@seu.edu.cn

为控制核心，使用 CPLD 来外扩 AD7606，并设计相应的外围电路[2]，最后通过在相同条件下与片内 A/D 采样模块的实验对比，一方面验证了硬件设计的正确性和可靠性[3]，另一方面也体现出了使用外扩 A/D 采样芯片相较于使用 DSP 片内资源的优势。

## 1 DSP 片内 A/D 采样模块

F28335 片内有一个 16 通道、12 位分辨率、具有流水线结构的模/数转换器[4]。在 A/D 模块转换时，实际采用 2 个采样保持器，ADCINA0～ADCINA7 的采样通道使用采样保持器 S/H-A，ADCINB0～ADCINB7 的采样通道使用采样保持器 S/H-B. F28335 的 A/D 转换模块的原理图如图 1 所示。

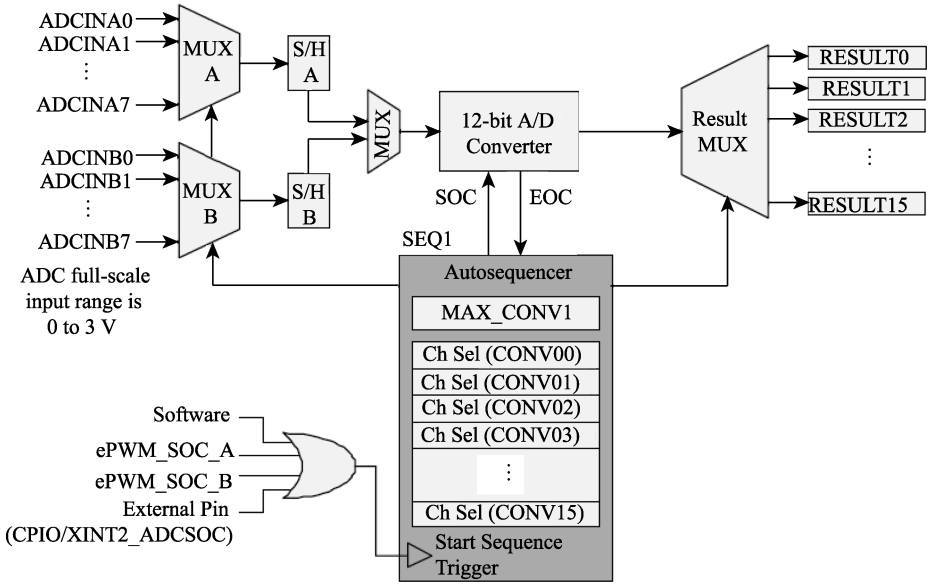



图 1 F28335 的 A/D 模块功能框图

Fig. 1 Functional block diagram of A/D module in F28335

在电机控制系统中，一般需要对系统的母线电压及三相电流进行 A/D 采样[5]。而通过相应的电压传感器和电流传感器转换后得到的信号，或幅值较大，或是一个双极性的信号，并不能直接送入 DSP 进行采样，因为 F28335 的片内 A/D 采样模块只能接受 0～3 V 的信号，所以如果使用片内 A/D 模块，则必须设计相应的调理电路。

由于直流母线电压是一个单极性信号，且基本不随时间变化，因此电压调理电路只需通过比例放大单元将电压传感器的输出信号转化到 0～3 V 的范围内即可。一般电压调理电路测得的电压量是比较准确的。

而三相电流是一个双极性信号，且随时间不断变化，因此电流调理电路不但需要使用比例放大单元调节电流传感器输出信号的幅值，还需要引入一个参考电压，给予电流传感器输出信号一定的正向偏置，如此才能将其转化到 0～3 V 的范围内。通常电流调理电路的输出测得的电流量会与实际值有较大的误差，而且实验调试较为复杂。

因此，对于 DSP 的片内 A/D 采样模块，其 0～3V 的量程限制了硬件电路的设计，会增加调试难度；其本身不具备对信号干扰的处理，在交流信号的处理上，误差较大。

## 2 AD7606 芯片硬件设计

F28335 除了自身片内的 12 位精度 A/D 采样模块之外，还可以通过 XINTF 接口外扩更高精度的 A/D

转换模块，比如 16 位或者 24 位采样精度的，这里以 ADI 公司的集成芯片 AD7606 为研究对象进行一系列的讨论。

### 2.1 AD7606 介绍

AD7606 是 16 位、8 通道同步采样模数数据采集系统（data acquisition system，DAS）。内置模拟输入钳位保护、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模数转换器（analog-to-digital converter，ADC）、灵活的数字滤波器、2.5 V 基准电压源、基准电压缓冲及高速串行和并行接口[6]。其采用 5 V 单电源供电，可以处理±10 V 和±5 V 的双极性输入信号，同时所有通道均能以高达 200 kHz 的吞吐速率采样。输入钳位保护电路可以承受高达±16.5 V 的电压。无论以何种采样频率工作，AD7606 的模拟输入阻抗均为 1 MΩ. 它采用单电源工作方式，具有片内滤波和高输入阻抗，因此无须驱动运算放大器和外部双极性电源。

### 2.2 原理图设计

图 2 所示为 AD7606 的原理图，是根据其数据手册中的典型连接图设计完成的。器件共有 4 个 AVCC 电源引脚，这 4 个电源引脚各使用一个 100 nF 的去耦电容。在电源侧使用一个 10 μF 电容去耦。AD7606 既可在内部基准电压下工作，也可在外部施加的基准电压下工作。在图 2 的配置中，AD7606 被配置为在外部基准电压下工作，采用 ADR421 提供精准的外部参考电压 2.5 V. 当电路板上只有一个 AD7606 器件时，应利用一个 10 μF 电容对其 REFIN/REFOUT 引脚去耦；当使用多个 AD7606 器件时，REFCAPA 和 REFCAPB 引脚短路连接在一起，并通过一个 10 μF 陶瓷电容来去耦。

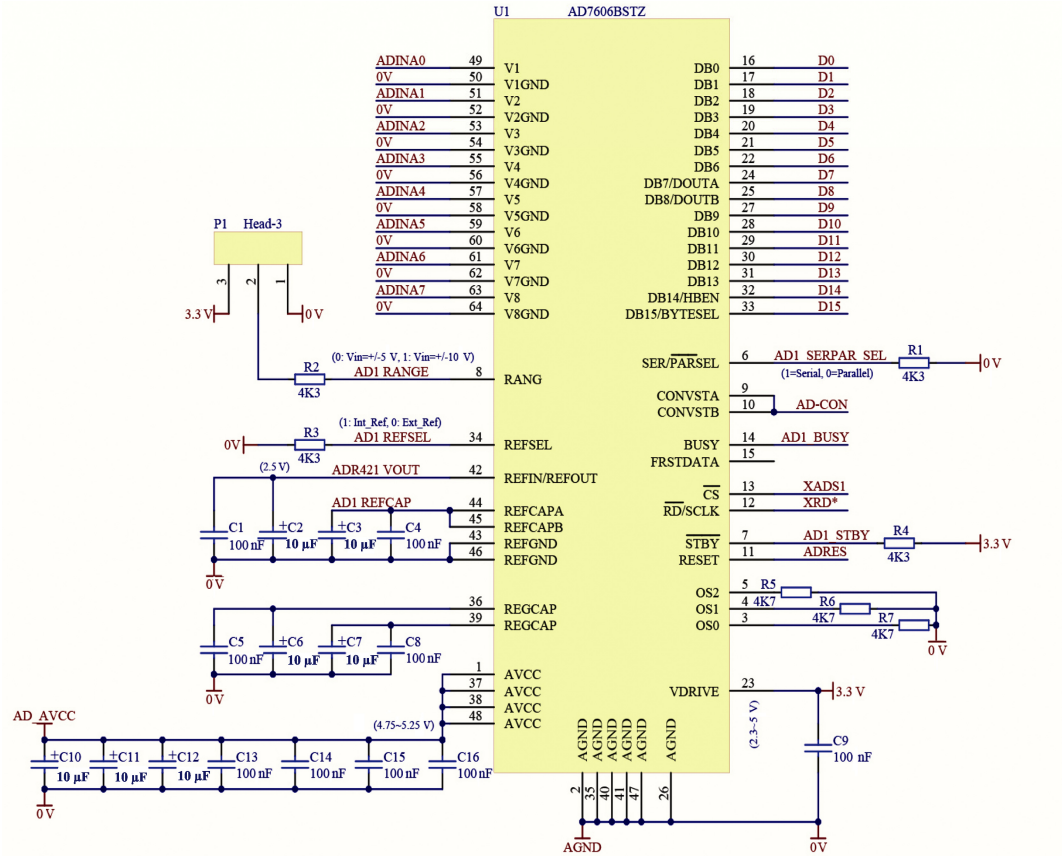



图 2 外扩 AD7606 芯片原理图

Fig. 2 Extended schematic diagram of AD7606

# 3 实验结果

本研究中 A/D 采样实验，采样频率皆为 5 kHz，采样程序分为 3 种，分别为 DSP 片内 A/D 模块采样、校正后的 DSP 片内 A/D 模块采样和外扩 AD7606 采样芯片采样。其中校正后的片内 A/D 模块采样是在 DSP 片内 A/D 模块直接采样的基础上，消除增益误差和偏移误差的一种优化算法，3.2 节和 3.3 节所示的实验数据对比都来自校正后的 DSP 片内 A/D 模块采样和外扩 AD7606 采样芯片。

## 3.1 量程内采样精度对比

由于片内 A/D 模块只能采样 0～3 V 之间的电压，故每 0.5 V 采样一次，而对于外扩 AD7606 采样芯片，其量程为–10～10 V，因此在 0～3 V 之间每 0.5 V 采样一次，其他区间每 1 V 采样一次。并且每个采样点都进行 8 次采样，表 1 所示的数据为对 8 次采样值进行数据分析之后得到的值。

**表 1 片内 A/D 模块采样值、校正后的片内 A/D 模块采样值及外扩 AD7606 采样芯片采样值对比**

Tab. 1 Comparison of sampling values between on-chip A/D module, updated on-chip A/D module and extended AD7606

| 给定电压/V | 片内 A/D 采样值 | | 校正后的片内 A/D 采样值 | | 外扩 AD7606 采样芯片 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 平均值/V | 误差/% | 平均值/V | 误差/% | 平均值/V | 误差/% |
| –9.0 | — | — | — | — | –9.020 881 62 | 0.232 01 |
| –8.0 | — | — | — | — | –8.018 302 87 | 0.228 78 |
| –7.0 | — | — | — | — | –7.018 203 62 | 0.260 05 |
| –6.0 | — | — | — | — | –6.015 281 87 | 0.254 69 |
| –5.0 | — | — | — | — | –5.015 373 37 | 0.307 46 |
| –4.0 | — | — | — | — | –4.010 734 37 | 0.268 35 |
| –3.0 | — | — | — | — | –3.012 008 75 | 0.400 29 |
| –2.0 | — | — | — | — | –2.010 726 75 | 0.536 33 |
| –1.0 | — | — | — | — | –1.007 194 37 | 0.719 43 |
| 0 | 0.015 842 49 | — | 0.000 233 49 | — | 0.006 103 51 | — |
| 0.5 | 0.515 293 02 | 3.058 60 | 0.499 684 02 | –0.063 19 | 0.506 896 97 | 1.379 39 |
| 1.0 | 1.017 124 45 | 1.712 44 | 1.001 515 45 | 0.151 54 | 1.004 524 16 | 0.452 41 |
| 1.5 | 1.519 230 75 | 1.282 05 | 1.503 621 75 | 0.241 45 | 1.507 301 37 | 0.486 75 |
| 2.0 | 2.023 626 25 | 1.181 31 | 2.008 017 25 | 0.400 86 | 2.013 702 25 | 0.685 11 |
| 2.5 | 2.523 351 50 | 0.934 06 | 2.507 742 50 | 0.309 70 | 2.510 528 62 | 0.421 14 |
| 3.0 | 3.000 000 00 | 0.000 00 | 2.984 391 00 | –0.520 30 | 3.010 673 75 | 0.355 79 |
| 4.0 | — | — | — | — | 4.010 353 12 | 0.258 82 |
| 5.0 | — | — | — | — | 5.017 547 75 | 0.350 95 |
| 6.0 | — | — | — | — | 6.016 578 37 | 0.276 30 |
| 7.0 | — | — | — | — | 7.017 517 00 | 0.250 24 |
| 8.0 | — | — | — | — | 8.017 844 87 | 0.223 06 |
| 9.0 | — | — | — | — | 9.020 500 37 | 0.227 78 |

由表 1 数据可以发现，片内 A/D 模块的采样值，若在软件上不加以校正，其精度并不高，而外扩 AD7606 采样芯片的采样数据，其精度在整个量程内都很高，基本误差维持在 0.3%～0.4%之间。而 AD7606 可以供选择的量程有–5～5 V 和–10～10 V 两种，如果使用范围较小的量程，无疑精度会更高。

## 3.2 采样直流信号的对比

片内 A/D 模块和外扩 AD7606 采样芯片采样直流信号的实验波形如图 3～图 4 所示。其中，图 3 为

片内 A/D 模块在采样 2 V 直流电压时，采样值随时间的变化波形；图 4 为外扩 AD7606 采样芯片在采样 2 V 直流电压时，采样值随时间的变化波形。

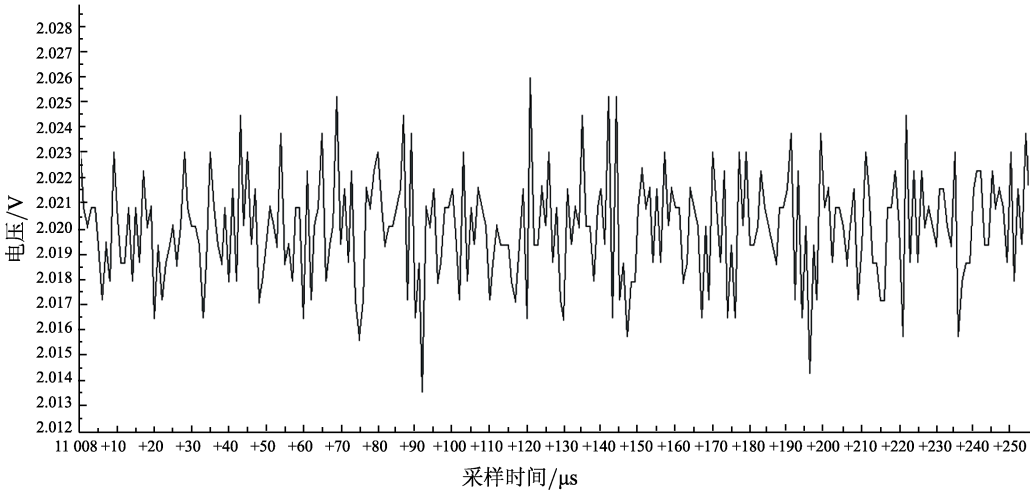



图 3 片内 A/D 模块采样 2 V 直流电压波形

Fig. 3 Waveform of on-chip A/D module for sampling 2 V DCV

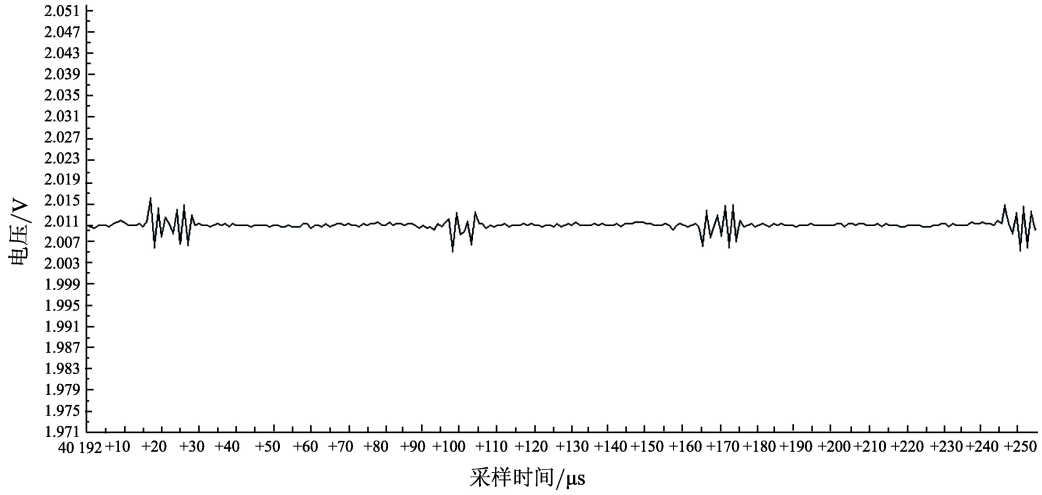



图 4 外扩 AD7606 采样芯片采样 2 V 直流电压波形

Fig. 4 Extended waveform of AD7606 for sampling 2 V DCV

由图 3 和图 4 可知，两种采样模块在采样直流信号时，采样值的离散程度有较大差别。这种差别在实验数据处理中，则体现为数据的标准差。由此可得，相较于片内 A/D 模块，使用外扩 AD7606 采样芯片采样的数据更加稳定、平滑，采样值的波动更小。

### 3.3 采样交流信号的对比

如图 5、图 6 所示，使用片内和外扩的 A/D 模块，分别对信号发生器产生的频率为 25 Hz，幅值为 1 V，offset 为 1.05 V 的正弦信号进行采样，其中之所以设置 offset，是为了使整个波形处在 0～3 V 的范围内。其中图 5 为片内 A/D 模块采样波形，图 6 为外扩 AD7606 采样芯片采样波形。

片内 A/D 模块的采样曲线有明显的毛刺和波形畸变，整个波形和给定的信号输出相差较大。而外扩 AD7606 采样芯片采样的波形则非常光滑，没有明显的毛刺和畸变，基本准确采样了给定的信号波形。

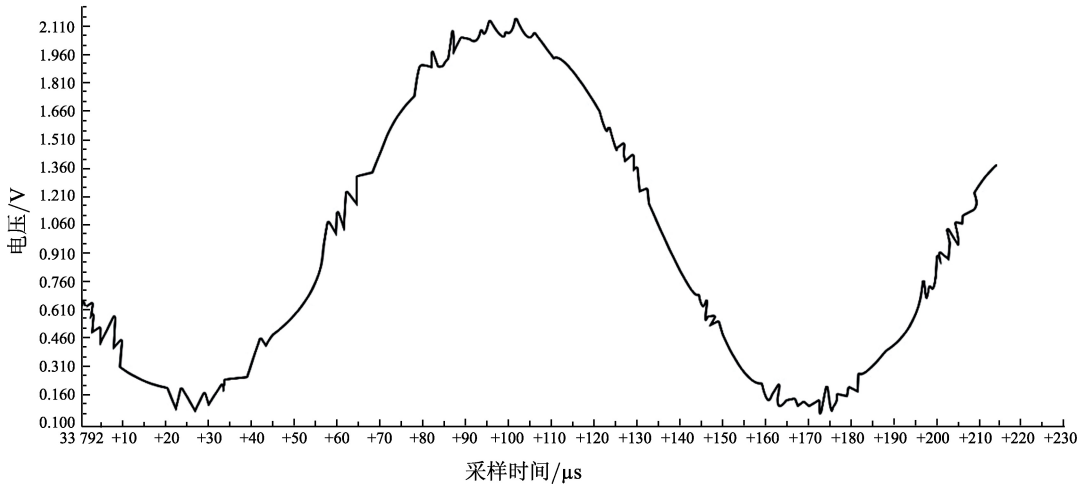



图 5 片内 A/D 模块采样正弦信号波形

Fig. 5 Waveform of on-chip A/D module for sampling sine ACV

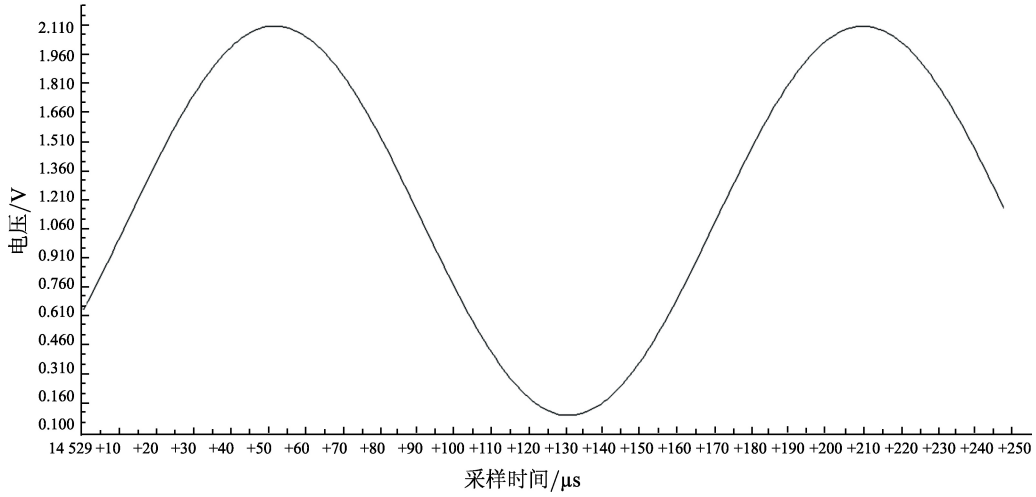



图 6 外扩 AD7606 采样芯片采样正弦信号波形

Fig. 6 Waveform of AD7606 for sampling sine ACV

## 4 结论

以电机控制系统的信号采样为基本前提，首先介绍了使用 DSP 片内 A/D 模块采样电机的母线电压和三相电流信号的过程中存在的问题，之后又给了另一个解决方案，即使用 AD7606 外扩 A/D 采样芯片进行数据采样，并给出了基本的硬件原理图。

通过 3 组针对性不同的实验，对 DSP 的片内 A/D 模块和外扩 AD7606 采样芯片进行了一系列的对比。从实验中可以发现，两种方法在应对直流量时，数据准确度上基本都可以满足系统要求，但在精密度上外扩 AD7606 采样芯片要略优于片内 A/D 模块；而在应对交流量上，片内 A/D 采样模块的精确度则明显不如外扩 AD7606 采样芯片。

综上可以得到以下结论：在硬件设计上，使用外扩 AD7606 采样芯片相对会比较复杂，成本较高，但是它的量程大，而且对直流信号、交流信号采样的精确度也更高。大量程意味着若使用外扩 AD7606 采样芯片，功率板的信号调理电路就会变得非常简单，可以为后期实验的调试减小工作量；对交流信号

的采样精度高，意味着在采集电机的三相交流电时会更加准确，有利于整个控制程序的正常运行。

## [参考文献] (References)

[1] 党楠. 基于 DSP 电机控制系统的研究与设计[D]. 西安：西安理工大学，2014.
DANG N. The research and design of based on the DSP motor control system[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2014. (in Chinese)

[2] 李杰，张兴会，胡建明，等. 基于 DSP 芯片 TMS320C6713 的最小系统设计[C]//第四届全国信号和智能信息处理与应用学术会议论文集. 上海，2010：192-194.
LI J, ZHANG X H, HU J M, et al. TMS320C6713 DSP chip based on minimum system[C]//Computer Engineering and Applications. Shanghai, 2010: 192-194. (in Chinese)

[3] 黄鹤. 变频电源电参数测量系统的设计与研究[D]. 株洲：湖南工业大学，2012.
HUANG H. Variable frequency converter electrical parameter measurement system design and research[D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2012. (in Chinese)

[4] 尹帅. 数字辅助流水线 ADC 关键单元设计[D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学，2010.
YIN S. Design of main cells in digitally assisted pipeline ADC[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2010. (in Chinese)

[5] 衣哲，邹俊忠，孙承波，等. 一种新型电流采样方法的分析与实现[C]//2011 中国西安微特电机技术创新与发展论坛论文集. 西安，2011：110-113.
YI Z, ZOU J Z, SUN C B, et al. Analysis and achievement of a new current sampling method[C]//Xi'an China Micro Motor Technology Innovation and Development Forum. Xi'an, 2011: 110-113. (in Chinese)

[6] 李峰，周风余. 基于 FPGA 和 CPCI 总线的电力系统交流采样板的设计[J]. 鲁东大学学报（自然科学版），2013，29（4）：303-307.
LI F, ZHOU F Y. The design of alternating voltage and current sampling in power system based on FPGA and CPCI bus[J]. Ludong University Journal (Natural Science Edition), 2013, 29(4): 303-307. (in Chinese)