

学校编码：10384

密级_____

学号：19820071152332

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

10 位 50MHz 流水线模数转换器的研究

**Design of 10-Bit 50MHz Pipelined Analog-to-Digital
converter**

周林兵

指导教师姓名：李开航 副教授

专业名称：微电子学与固体电子学

论文提交日期：2010年 5月

论文答辩日期：2010年 月

2010年 5月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为()课题(组)的研究成果，获得()课题(组)经费或实验室的资助，在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。)

声明人(签名)：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

() 1 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

() 2.不保密，适用上述授权。

(请在以上相应括号内打“ ”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。)

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

随着 CMOS 制造技术和数字技术的发展，许多原先由模拟电路处理的领域正被数字电路所取代，这是因为模拟信号比数字信号抗噪能力差，且数字信号更容易处理，分析，存储和传输。但是自然界许多原始信号是模拟信号，例如光线、声音、压力与温度等。为了将模拟信号转换为数字信号，于是有了模拟数字转换器（ADC），它是连接模拟现实世界和数字虚拟世界的桥梁。鉴于 ADC 的重要性，本文研究和设计了一款 10 位 50MHz 的模数转换器，采用每级 1.5 位，一共 9 级的流水线结构。设计采用自上而下的思路，使用 MATLAB 对流水线 ADC 建模，然后基于 0.35 μm CMOS 工艺实现了各个子模块电路的设计。

本文在电路的实现上使用了开关电容电路结构，而对于电路子模块的设计具有如下的特点：全差分结构的使用增大了信号的摆幅和对共模噪声的抑制，消除了偶次谐波；高摆幅的运算放大器和 CMOS 采样开关的使用减小了开关电容电路的功耗和面积；新型钟控比较器的使用减小了电路的建立时间；双相不交叠时钟产生电路提高了时钟周期的利用率。

本文在分析比较了各种模数转换器的特点以及发展趋势后，重点总结了流水线 ADC 的应用范围与应用优势。然后完成了一个 10 位 50MHz 的流水线 ADC 的建模，并基于 charter 0.35 μm CMOS 工艺完成了所有子模块的设计与仿真，包括前端采样保持电路、sub-ADC、MDAC、数字校正电路等。仿真结果表明各个子电路都能够稳定工作，达到设计指标。

关键词：模数转换器 流水线 ADC 增益自举运放 比较器 栅压自举开关

Abstract

As the development of CMOS manufacturing technology and digital technology, many previously handled by the analog circuit area is being replaced by digital circuit. Compared to digital signal, the analog signal has the worst ability of anti-noise, and the digital signal is easier to handle, analysis, storage and transmission. But in nature, many of the original signals are analog signals, such as light, sound, pressure, temperature and so on. In order to convert analog signals into digital signals, so we have to invent the analog-digital converter (ADC). Analog-Digital-Converter is the bridge between the real analog world and the virtual digital world.

Given the importance of ADC, this paper designed a 10-bit 50MHz ADC. The structure of the 1.5 bit/stage pipeline ADC total have 9 stages. Using top-down approach, First we use MATLAB tools to model the pipeline ADC, and then based on 0.35um CMOS process to achieve all sub-module circuit.

The ADC is implemented in Switch-Capacitor circuit in this paper. The following technologies are taken in the implementation: fully differential structure is used to maximize the signal amplitude and common noise rejection; high-swing OTA and CMOS switches are used in SC circuit, resulting in higher resolution, lower power dissipation and smaller size; the new comparator which is controlled by clock is used to reduce the settling time; the two-phase non-overlapping clock generator is designed to make full use of the holding time.

This paper analyzes and compares the characteristics of various ADC and development trends, the key conclusion of the pipeline ADC range of applications and application advantages. Then completed a 10-bit 50MHz pipeline ADC modeling, and based on charter 0.35um CMOS process to complete all the sub-module design and simulation, including front-end sample and hold circuit, sub-ADC, MDAC, digital correction circuit. Simulation results show that the stability of the various sub-circuit can work to achieve the design targets.

Keywords : Analog-Digital-Converter; Pipeline ADC; Gain-boosting OTA;
Comperator; Bootstrapped switch

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

中文摘要	
英文摘要	
第一章 绪论	1
1.1 研究动机	1
1.2 ADC的相关应用	1
1.3 ADC的种类介绍	3
1.4 论文架构	4
第二章 比较各种奈奎斯特速率 ADC的工作原理	5
2.1 简介	5
2.2 并行 ADC(Flash结构)	5
2.3 SAR ADC	6
2.4 过采样 ADC	7
2.5 流水线 ADC	7
2.6 本章小结	8
第三章 探讨 Pipelined ADC的各种性能指标	9
3.1 简介	9
3.2 ADC相关的特性参数	9
3.2.1 静态特性参数	9
3.2.2 动态特性参数	11
3.3 1.5 Bits/Stage的流水线 ADC的工作原理	13
3.3.1 简介	13
3.3.2 举例详解 ADC动作分析	14
3.3.3 流水线 ADC的数字校正原理	14
第四章 影响电路的各种非线性特性分析	16

4.1 简介	16
4.2 开关电容电路	16
4.2.1 电荷注入效应	16
4.2.2 时钟馈通效应	17
4.2.3 MOS开关电阻	17
4.2.4 CMOS开关	19
4.3 流水线 ADC的特性模拟	21
4.3.1 采样保持电路的行为模型	21
4.3.2 子 ADC的行为模型	23
4.3.3 增益级放大器的行为模型	24
4.3.4 2-Bit Flash ADC的行为模型	25
4.3.5 数字校正电路的行为模型	26
4.3.6 理想的十位模数转换器的行为模型	27
第五章 流水线 ADC的电路级设计	29
5.1 简介	29
5.2 时钟产生电路	29
5.3 采样保持电路	32
5.3.1 底极板采样技术	32
5.3.2 采样开关的设计与优化	34
5.3.3 运算放大器的设计与仿真	36
5.3.4 采样保持电路的仿真与结果讨论	41
5.4 子 ADC电路设计	42
5.4.1 子 ADC的设计原理	42
5.4.2 差分比较器的设计原理	43
5.4.3 电压比较器	45
5.4.4 差分比较器的仿真结果	46
5.4.5 子 ADC的测试与仿真	47
5.5 DAC/减法器 /增益级 (MDAC)	48
5.6 数字校正电路	52
5.6.1 D触发器	52
5.6.2 数字校正电路的原理与电路实现	52

5.7 基准电压产生电路	54
5.7.1 基准电压产生电路的结构	54
5.7.2 基准电压产生电路仿真	55
5.7.3 偏置电流	57
5.7.4 参考电压的转换与驱动	57
5.8 本章小结	58
结论和展望	59
参考文献	61
致 谢	66
论文发表情况	67

Table of Contents

Abstract in Chinese	
Abstract in English	
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 ADC of Related Applications.....	1
1.3 Introduction of types of ADC.....	3
1.4 Thesis Organization.....	4
Chapter 2 Compare the working principle of Nyquist rate ADC	1
2.1 Introduction	5
2.2 Flash ADC.....	5
2.3 SAR ADC.....	6
2.4 Over-Sampling ADC.....	7
2.5 Pipelined ADC	7
2.6 Summary.....	8
Chapter 3 ADC Performance metrics	9
3.1 Introduction.....	9
3.2 performance evaluation parameters of ADC.....	9
3.2.1 Static Parameters.....	9
3.2.2 Dynamic Parameters.....	11
3.3 The working principle of the pipeline ADC with 1.5Bits/Stage.....	13
3.3.1 Introduction....	13
3.3.2 Examples of behavior of ADC.	14
3.3.3 Digital Error Correction	14
Chapter 4 Various non-linear characteristics of the circuit	16
4.1 Introduction....	16

4.2 Switched Capacitor Circuit	16
4.2.1 Charge Injection Effect.....	16
4.2.2 Clock Feedthrough Effect.....	17
4.2.3 MOS Switch Resistance.....	17
4.2.4 CMOS Switch.....	19
4.3 Matlab Simulink Model For Pipelined ADC	21
4.3.1 Behavior Model of Sample and hold Circuit	21
4.3.2 Behavior Model of Sub-ADC.	23
4.3.3 Behavior Model of The Gain Amplifier.....	24
4.3.4 Behavior Model of 2-Bit Flash ADC	25
4.3.5 Behavior Model of Digital Correction Circuit.....	26
4.3.6 Ideal Behavior Model of 10-Bit ADC.....	27
Chapter 5 Circuit Design For Pipelined ADC	29
5.1 Introduction	29
5.2 Clock Generator	29
5.3 S/H Circuit	32
5.3.1 Bottom-Plate-Sampler.....	32
5.3.2 Design and Optimization of Sampling Switch.....	34
5.3.3 Op Amp Design.....	36
5.3.4 Sample And Hold Circuit Simulation.....	41
5.4 Design For Sub-ADC Circuit	42
5.4.1 The Design Principle of Sub-ADC.....	42
5.4.2 The Design Principle of Differential Comparator.....	43
5.4.3 Voltage Comparator.....	45
5.4.4 Differential Comparator Simulation.....	46
5.4.5 Test and Simulation of Sub-ADC.....	47
5.5 MDAC Circuit	48
5.6 Digital Error Correction Circuit	52
5.6.1 D-Latch.....	52
5.6.2 The Theory And Implementation Method of Digital Correction Circuit.....	52
5.7 Bandgap Reference Circuit	54

5.7.1 Bandgap Circuit Structures.....	54
5.7.2 Simulation of Bandgap Reference Circuit.....	55
5.7.3 Bias Current.....	57
5.7.4 Reference Voltage Conversion and Driver.....	57
5.8 Summary.....	58
Conclusion and prospect.....	59
Reference.....	61
Acknowledgement.....	66
Papers published during the Master degree.....	67

第一章 绪论

1.1 研究动机

当今世界是一个高度信息化的社会,日新月异的数字通信技术推动社会高速发展,利用数字信号处理(DSP)系统进行信息处理已经成为普遍的选择。但是现实世界中的各种实物和信号均是模拟的,因此必须需要利用模数转换器(ADC)完成模拟信号到数字信号的转换^[1]。

市场对高性能 ADC有着强大的需求。虽然通信、成像、汽车和仪表市场用户群之间差异很大,但是低功耗已经成为用户共有的主要要求。此外,就是在实现低功率的同时还要具有高分辨率、高速度和高性能。

不但如此,ADC的好坏对整个信号处理链路的设计影响巨大。系统设计师在考虑 ADC对基带影响的同时,还必须考虑其对射频(RF)及数字电路系统的影响。因此设计一种高性能的 ADC面临着诸多挑战。

1.2 ADC的相关应用

除了我们知道的将 ADC做信号处理外,对于 ADC的一般应用仍然很抽象。下面举例子说明 ADC的应用范围^[2]。

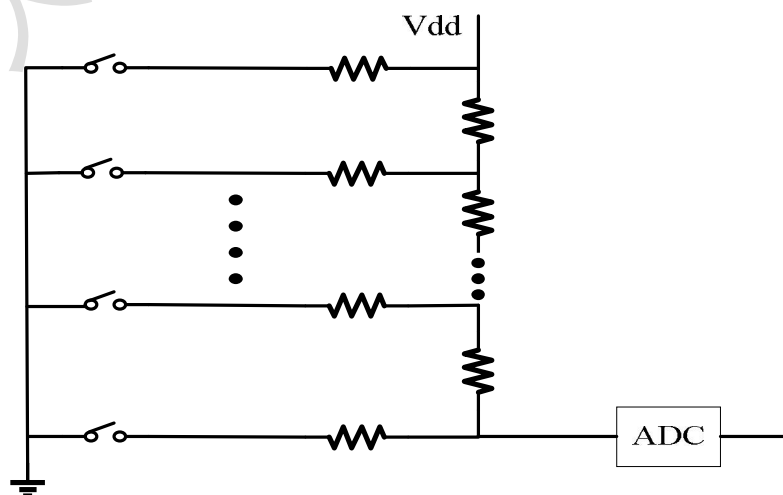


图 1.1 按键检测电路

图 1.1是按键检测电路。此电路原理很简单，当我们随便按下某一个或多个按键时，对应的电压就会被 ADC感应，从而检测出是哪一按键驱动的。

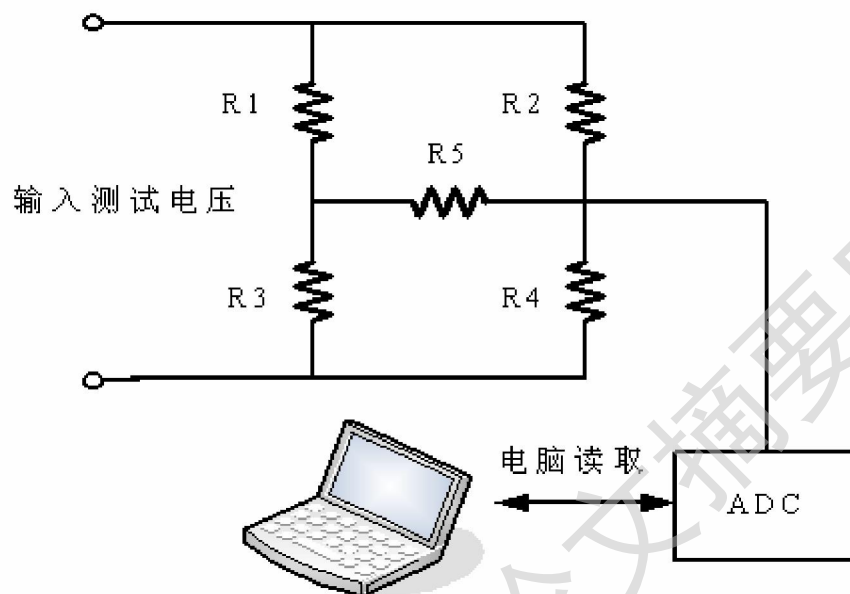


图 1.2 压力温度检测电路

图 1.2 是一个压力检测电路。图中 R1~R3 是固定电阻，而 R4 是压敏电阻。它的电阻阻值会随着压力的变化而变化，通过 ADC 读取电压波动信号，再经过电脑读取后处理，就是一个简单的压力传感电路。若将这个电路中的 R4 电阻改为受温度影响的电阻，那么它就是一个温度传感电路。

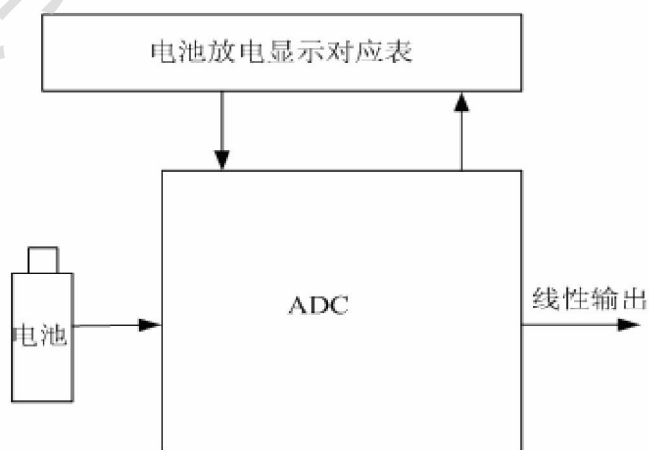


图 1.3 采用 ADC 使电池放电线性输出

除了做温度感应电路外，还可以将 ADC 应用于手机上的锂电池控制上。我们

知道，实际的电池放电是非线性的。当手机屏幕上的电池容量显示掉一格后，再经过很短的时间，电池就接近没电了。因此使用者将担心电池何时会没电。这时候我们使用一个 ADC 来检测电池的状态，通过将电池电量的信号离散化，让电量和时间呈线性变化。结构如图 1.3 所示。

1.3 ADC 的种类介绍

在现在大规模应用的 ADC 电路中，根据采样速率的不同^[3,4]，可以分为奈奎斯特速率 ADC(Nyquist rate A/D converter)和过采样 ADC(Oversampling A/D converter)两种。下面主要就奈奎斯特速率 ADC 这种结构做一个简单的介绍。

当采样频率是输入信号频率两倍的时候，被称作奈奎斯特定律。而采用这种采样方式的 ADC 就是奈奎斯特速率 ADC。奈奎斯特速率 ADC 具有多种结构和工艺。如果以转换速率和精确度划分，大致可以将其分为三大类，如表 1.1 所示。

表1.1 各种结构 ADC 的说明^[13]

速度	高速	中速	低速
解析度	中低	中等	高
架构	并行 ADC(Flash ADC) ^[68,65] 二步式 内插式 折叠式 流水线式	逐次逼近型 演算式	双斜率 多斜率

快速 ADC：市面上最常见的 ADC 的类型，包括并行 ADC，二步式，内插式，折叠式和流水线式等。都是直接进行比较后并联输出，这种类型的 ADC 速度很快，但是解析度一般不高。一般只有 8 到 12 位。且功耗和面积都较大。

中速 ADC：有逐次逼近型 ADC(successive approximation register SAR 结构)演算式等。都是使用二分查找法层层逼近来找出输入信号对应的数字码。这类结构的 ADC 具有快速的转换时间和中等程度的电路复杂度。速度大致在几十或几百 KHz 之间。多用在测绘和计量方面。

低速 ADC：这种类型的 ADC 速度缓慢但是精度却很高。适合处理变化缓慢但是要求高精度的信号。这种架构有双斜率和多斜率等方法。

1.4 论文架构

第一章，简单介绍 ADC 的相关应用及种类。

第二章，比较各种 ADC 的优缺点。

第三章，探讨 Pipelined ADC 的各种性能指标，并且重点介绍流水线 ADC 的是如何工作的。

第四章，首先探讨设计流水线 ADC 里的电路级的非线性影响，然后利用 Matlab 建模。

第五章，探讨各个子模块的电路的设计方法。

第六章，未来的研究方向。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库