

学校编码: 10384  
学号: 200324011

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_  
UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学  
硕 士 学 位 论 文

基于逆向工程的 MPU 及其改进  
芯片的设计

The Design of MPU and Its Improved Chip  
Based on Reverse Engineering

陈瑞森

指导教师姓名: 郭东辉教授

专业名称: 凝聚态物理

论文提交日期:

论文答辩时间:

学位授予日期:

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2006 年 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，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的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文而产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

# 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

- 1、保密（ ），在      年解密后适用本授权书。
- 2、不保密（  ）

## 摘要

微处理器（MPU）是集成电路技术的核心，也是现代信息技术的“心脏”，其研发和设计具有重要的经济和政治意义。微处理器的研发和设计是一项极为复杂的工作，面临各种技术难题。虽然现在国内也相应的推出较高位和较高性能的微处理器芯片，但是它们离市场都还有一定的差距。反观国内的一些公司在较低位微处理器方面，有一些产品做得很不错，是它们的主要赢利产品。本论文的主要目的就是设计出具有市场竞争力的 8 位微处理器，同时为设计更高位的高性能微处理器奠定基础，因为不管是多少位的微处理器，设计技术和原理都是一样的。本文共设计了两款芯片，它们分别是：

（1）8 位的通用微处理器，通过与其它市场占有率较高的 8 位 MPU 相比较，结果显示本文设计的芯片具有更好的性能，有良好的市场前景；

（2）对通用微处理器进行改进，设计出一款用于便携式领域的 8 位高性能、低功耗嵌入式微处理器，同时为将来设计更高位的嵌入式 MPU 奠定良好的基础，因为在更高位嵌入式应用中，嵌入式 MPU 将处于绝对的领导地位。

为了使设计出来的 MPU 芯片更具优势，我们充分了解了 MPU 的基本原理。在设计中除了把各种理论和技术加以整合利用以外，还利用逆向工程充分借鉴了其它芯片的一些设计精华。

**关键词：** MPU；逆向工程；嵌入式

## Abstract

Microprocessor Unit (MPU) is not only the core of the integrated circuit (IC), but also the “heart” of the information technology, the research and design of the MPU is a matter of the utmost economic and political importance. The research and design of the MPU is an extremely complicated work, is suffering from many technical difficult problems. Although some microprocessor chips which have higher bits and higher performances have been developed in our country, they still have a certain distance from the market, on the contrary, some lower-bit microprocessor chips are able to compete with similar products in the market, and they can produce a profit for the corresponding companies. The purpose of our paper is to design 8-bits MPU which have good capacity of competition in the market, also to lie the groundwork for the future design of higher-bits MPU, because no matter how many bits of the MPU have, the design technique and the principle of the MPU is the same. We designed two kinds of MPU in our paper, they are:

(1) An 8-bits general MPU, it is compared with other MPU which have good market share, the result shows that our MPU have better performance, and it will have a very profitable market.

(2) By improving the general MPU, we designed a high-performance and low-power 8-bits embedded MPU which is used widely in portable application. In the same time, laid the good groundwork for the future design of higher-bits embedded MPU, because in the higher-bits embedded application, embedded MPU will at the helm of the applications.

In order to make our design more attractive, we lucubrated the principle of MPU. In the design, we not only put theory and techniques

to use with success, but also benefited many experience from other chips based on reverse engineering.

**Key words:** MPU; Reverse Engineering; Embedded.

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 目录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
<b>1.1 集成电路的设计方法</b> .....	1
1.1.1 正向设计.....	1
1.1.2 逆向工程.....	3
<b>1.2 微处理器</b> .....	5
<b>1.3 本论文的主要内容</b> .....	7
<b>第二章 IC 逆向设计流程与工程技术</b> .....	8
<b>2.1 IC 逆向设计流程</b> .....	8
<b>2.2 版图分析</b> .....	8
2.2.1 IC 工艺分析.....	9
2.2.2 集成电路版图的电路提取.....	11
<b>2.3 设计规则</b> .....	15
<b>2.4 设计验证</b> .....	16
2.4.1 DRC 验证.....	17
2.4.2 LVS 验证.....	19
<b>第三章 MPU 基本原理</b> .....	22
<b>3.1 MPU 的概述</b> .....	22
<b>3.2 MPU 的内部结构和工作原理</b> .....	23
3.2.1 MPU 的内部结构.....	23
3.2.2 MPU 的工作原理.....	27
<b>3.3 MPU 的指令系统</b> .....	30
<b>第四章 基本模块设计与功能仿真</b> .....	31
<b>4.1 运算器</b> .....	31

4.1.1	ALU 的系统架构.....	33
4.1.2	ALU 的算法.....	35
4.1.3	ALU 的功能仿真.....	36
<b>4.2</b>	<b>控制器.....</b>	<b>36</b>
4.2.1	传统硬布线控制器的设计方法.....	38
4.2.2	时序电路模块.....	38
4.2.3	译码器.....	42
4.2.4	中断逻辑.....	44
<b>4.3</b>	<b>寄存器.....</b>	<b>46</b>
<b>4.4</b>	<b>整体仿真与性能分析.....</b>	<b>47</b>
<b>第五章</b>	<b>嵌入式应用芯片设计.....</b>	<b>50</b>
5.1	微处理器电路的功耗分析.....	51
5.2	嵌入式微处理器的具体设计.....	53
5.2.1	体系结构及指令集选择优化.....	53
5.2.2	存储模块的设计.....	57
5.3	嵌入式 MPU 的整体性能分析.....	60
<b>第六章</b>	<b>总结与展望.....</b>	<b>62</b>
	参考文献.....	63
	致谢.....	67
	攻读学位期间发表的论文.....	68



## Catalog

Chapter 1: Introduction.....	1
<b>1.1 design methods of integrated circuit.....</b>	<b>1</b>
1.1.1 top-down design.....	1
1.1.2 reverse engineering .....	3
<b>1.2 Microprocessor Unit.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3 the headlines of this paper.....</b>	<b>7</b>
Chapter 2: The design flow and technology of IC.....	8
<b>2.1 the design flow of reverse engineering.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2 the analysis of layout.....</b>	<b>8</b>
2.2.1 the analysis of IC technology.....	9
2.2.2 circuit extract of IC layout.....	11
<b>2.3 design rule.....</b>	<b>15</b>
<b>2.4 design verification.....</b>	<b>16</b>
2.4.1 DRC verification.....	17
2.4.2 LVS verification.....	19
Chapter 3: The principle of MPU.....	22
<b>3.1 the description of MPU.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2 internal construction and operational principle of mpu.23</b>	<b>23</b>
3.2.1 the internal construction of MPU.....	23
3.2.2 the operational principle of MPU.....	27
<b>3.3 the instruction set of MPU.....</b>	<b>30</b>
Chapter 4: The design and simulation of basic modules.31	31
<b>4.1 arithmetical unit.....</b>	<b>31</b>

4.1.1 system architecture of ALU.....	33
4.1.2 the algorithm of ALU.....	35
4.1.3 the functional simulation of ALU.....	36
<b>4.2 control unit.....</b>	<b>36</b>
4.2.1 the design method of hardwired controller.....	38
4.2.2 the module of sequential circuit.....	38
4.2.3 decoder.....	42
4.2.4 the logic of interruption.....	44
<b>4.3 register.....</b>	<b>46</b>
<b>4.4 systems simulation and behavior analysis.....</b>	<b>47</b>
<b>Chapter 5: The design of embedded chip.....</b>	<b>50</b>
5.1 the power analysis of MPU circuit.....	51
5.2 the detailed design of embedded MPU.....	53
5.2.1 optimization of architecture and instruction set...53	
5.2.2 the design of memory module.....	57
5.3 the behavior analysis of embedded MPU.....	60
<b>Chapter 6: The summarization and expectation.....</b>	<b>62</b>
<b>References.....</b>	<b>63</b>
<b>Acknowledgment.....</b>	<b>67</b>
<b>The main papers during the master.....</b>	<b>68</b>

## 第一章 绪论

集成电路 IC (integrated circuit) 是现代信息产业群的核心和基础, 集成电路产业对国民经济、国家安全、人民生活和社会进步正在发挥着越来越重要的作用, 因此发展我国集成电路产业是推动国民经济信息化的重要保证, 也是信息产业发展的重中之重。集成电路设计业是集成电路产业中的一个重要环节, 它是连接芯片制造和系统整机生产的纽带, 是提升集成电路产品创新和整机功能的驱动器。在本章中, 首先介绍了现代集成电路设计业中所采用的主要设计方法, 接着介绍集成电路的核心—微处理器, 最后对本论文的整体工作进行介绍。

### 1.1 集成电路的设计方法

自 20 世纪 60 年代中期集成电路产业在工业发达国家形成以来, 为适应技术的发展和市场的需求, 产业结构经历了三次大的变革<sup>[1]</sup>, 从三次变革中直接导致了集成电路设计业的形成。集成电路设计指的是从硬件的一种描述形式到另一种描述形式的变换, 设计的最终目标是得到集成电路某种可制造的描述形式<sup>[2]</sup>, 而集成电路设计方法指的是应用设计工具完成设计任务的设计策略和技术途径。现在集成电路设计方法从大的方面可以分为两大类: 正向设计和逆向设计(逆向工程)。

#### 1.1.1 正向设计

正向设计即根据产品确定的指标和要求, 从电路原理或系统原理出发, 通过查阅相关规定和标准, 利用已有知识和能力来设计模块和电路, 最后得到集成电路物理实现所需要的几何图形。一般认为正向设计具体包含了以下三种基本的设计方法<sup>[1]</sup>: 自下而上(bottom up)即结构设计方法, 自上而下(top-down)设计方法和并行设计方法。

##### 1. 自下而上(bottom up)设计方法

自下而上的设计方法是集成电路系统的基本设计方法，其基本思想是将复杂的系统逐层进行功能块划分和描述功能块的拓扑连接，直到用底层模块或部件来描述，当完成底层模块或部件的描述后，自下而上进行层次扩展和层次功能的仿真验证，从而完成整个系统的功能设计和验证。最后根据底层模块或部件的几何图形和拓扑关系完成布图设计和验证。

虽然采用自下而上设计的系统结构清晰明了，但作为传统的系统硬件设计方法，在系统设计的早期就将系统人为地分为硬件和软件两部分，软件的开发受到硬件的严格限制，软件的设计和调试常常要在硬件设计完成之后。这种设计方法的一些缺点也是很明显，如要求设计者具有丰富的设计经验，设计过程反复较多，开发效率低，可移植性差，可继承性差，开发时间长，不易修改等等。

### 2. 自上而下设计方法

自上而下设计方法的思想是按从抽象到具体，从概念到实现的思路和次序进行设计的，从系统总体要求出发，自上而下地逐步将设计内容细化，最后完成系统硬件的整体设计。具体实施时，首先从系统设计入手，在顶层进行功能方框图划分和结构设计，在方框图一级进行仿真和纠错，用硬件设计语言对高层次的系统行为级进行描述并在系统级进行验证，这时的设计与工艺无关。然后用逻辑综合化工具生成具体的门级逻辑电路的网表，具体过程如图1.1所示。然后再通过布局、布线、版图设计等，得到最终生产所用的描述文件。

采用自上而下的设计方法时，主要的仿真和调试过程是在高层次完成的，这有利于早期发现在结构设计上的错误，避免设计反复，同时也减少了逻辑仿真的工作量。

### 3. 并行设计方法

随着工艺技术的发展，深亚微米（DSM）已经投入使用，系统级芯片的规模更大、更复杂，物理连线延迟、信号串扰和噪音等互连效应及功耗都

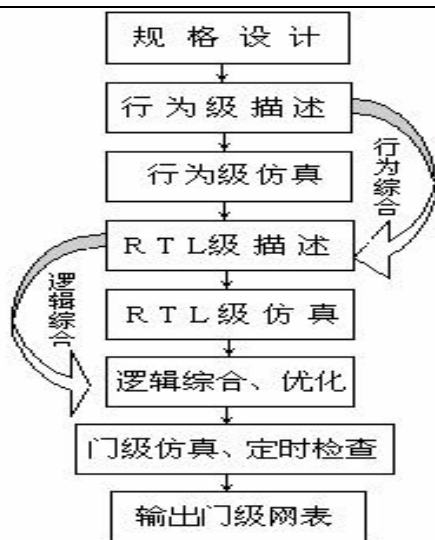


图1.1 自上而下设计流程

成为影响超大规模集成电路（VLSI）产品性能的重要因素。在这种情况下，由于采用自上而下的设计方法与工艺无关的高层次行为功能设计时并不考虑物理上的互连效应和功耗等的影响，与实际情况差异较大，因而常常产生设计错误，并行设计方法正是面对这一挑战而提出来的。并行设计方法一开始就考虑产品在整个生命周期中从概念形成到产品报废处理的所有因素。并行设计方法要求在进行层次功能设计的同时，进行层次物理设计规划或虚拟物理设计，充分利用各层次设计中的信息反馈，形成合理的约束集，并依此优化设计。

### 1.1.2 逆向设计（逆向工程）

现在提到逆向设计常常会引来各方面的争议，争议的焦点主要集中在以下几个方面：

1. 是否有商业价值；
2. 对于自身设计水平的提高是有利还是有害；
3. 是否合法。

#### 1.1.2.1 是否有商业价值

首先需要强调的是我们这里讨论的逆向设计并不是传统的版图级反向剖

析，传统的版图级反向剖析的含义是指对芯片进行腐蚀、拍照、恢复原来的版图，然后利用恢复得到的版图再次投片。我们这里讨论的逆向工程是一种从人造物品中提取技巧和知识，为自己所用的过程。从事芯片逆向工程的目的如下：

1. 在进入新领域之前，评估、验证自己技术方案和设计思路的可行性；
2. 通过对市场上成熟产品的研究，协助解决关键性的技术问题；
3. 更直接地了解竞争对手，包括成本、技术路线、优势和不足；
4. 为了有更好的产品兼容性，利用已有产品的市场资源，降低进入壁垒；
5. 寻找知识产权纠纷的直接证据。

从上面进行芯片逆向工程的目的可以看出，从事芯片逆向工程具有相应的商业价值。当然商业价值的大小还与芯片本身有关，虽然从技术上说，对每一块芯片都可以实施逆向工程并获得一定程度的信息，但从商业上说，并不是每一块芯片都值得逆向工程。定制电路易于进行逆向工程，因为它们易于进行逻辑整理和功能分析，如逻辑明确的MPU、DSP等。模拟和混合信号电路从逆向工程中能得到更多的信息，但逻辑综合得到的电路却不适合逆向工程，因为对其进行逆向工程的意义不大，获得信息很困难，还不如进行Top-Down设计。但就算对这种电路，对其进行局部电路分析还是有意义的，例如验证设计框架或者分析信号流在技术上没有问题，且在很多时候是有意

### 1.1.2.2 对于自身设计水平的提高是利还是有害

逆向工程中经常争论的另一个话题就是逆向工程对于自有技术水平的提高是利还是有害？其实这个取决于如何应用逆向工程。将逆向工程作为一种廉价、快捷的芯片设计手段，在短期内有可能获得利益，但从长期看自有知识水平难以提高，对逆向工程的“依赖”将降低自己主动创新的能力。自有知识水平提高的唯一手段是自己积极的创造性思考，逆向工程可以起到非常积极的参考作用，因此利用逆向工程而不是依赖逆向工程可以在获取裨益

的同时保持积极的自主创新，从而缩短学习曲线，加快自由技术水平的提高。

### 1.1.2.3 是否合法

谈到逆向工程常常会联系到侵权问题，其实逆向工程和侵权是有严格区别的，逆向工程是完全合法的。美国是集成电路产业的发源地，其芯片逆向工程的历史几乎和集成电路产业的历史一样长，行业内对这一问题的讨论促成了1984年的“半导体芯片保护法案”(Semiconductor Chip Protection Act of 1984)的诞生，法案之906条款及其司法解释中明确了逆向工程的合法性。几十年来，国外学术界对逆向工程进行了大量的研究，2001年，国际知识产权领域的权威，美国加州伯克利大学的Law and Information Management教授 Pamela Samuelson 和 Economics and Public Policy 教授 Suzanne Scotchmer 共同发表了关于逆向工程的研究专著“The Law & Economics of Reverse Engineering”，并刊登在耶鲁大学法律学报2002年第四期。该论文开篇第一段话是这样的“逆向工程是一种从人造物品中提取技巧和知识的过程，这种做法被接受的时间已经很长。律师和经济学家认可逆向工程是获取这些信息的恰当手段，即使其意图是制造一种产品并从被逆向工程的厂商手里夺取客户。”

当然，逆向工程的不当运用有可能导致侵犯知识产权的后果，要了解这一点，我们首先要了解芯片中有哪些知识产权，知识产权是一个笼统的称呼，具体到芯片中，其包含的知识产权主要是布图的著作权和专利独享权。如果逆向工程的产品在布图上和原产品相似度很高，则有可能侵犯了原产品的著作权，这是在逆向工程中所应该避免的。

通过以上分析，可以说正确实施逆向工程，有利于提高芯片设计技术，提升企业竞争力<sup>[3]</sup>。

## 1.2 微处理器

微处理器(MPU)是集成电路技术的核心，也是现代信息技术的“心脏”，现代通讯设备、网络设备、高性能计算机系统等无不构筑在微处理器上。微

处理器经过 30 余年的发展，已经形成了种类繁多、性能与功能各异的百花齐放局面。微处理器作为集成电路技术的核心，技术难度很大，国外大公司和相关研究机构在产品研发、技术探索方面都有长期的积累，形成了数以万计的专利，及一大批高水平的专业人才，投资壁垒和技术壁垒很高，如何提高性能、降低功耗、开发应用，都不是容易做到的。

微处理器作为涉及国家政治、经济、信息安全的核心技术，无可厚非的一定要掌握在自己手里。可喜的是国内神州龙芯公司的芯片是中国芯系列工程之一，与北大众志、方舟、星光等处理器芯片并称为中国芯，打破了中国无芯的历史，所有这些都证明中国的IC设计工程师已经具有设计较高性能微处理器的能力。但我们也应该看到这些微处理器在产品性价比上远不能与Intel/AMD的产品相比，离市场还有一定的差距，甚至最近的“汉芯”更被查出完全是一种造假的行为。反观在低位微处理器方面，经过“九五”及 863 计划，已经有一些商品化较好的微处理器<sup>[4]</sup>，如厦门联创微电子技术有限公司的CM2000 系列芯片等，虽然它们与传统的一些芯片如MCS51 等相比，市场份额还很小，但它们是这些公司的主力产品，并带来相应的经济效益。因此本论文的目的之一是在基于逆向工程的同时结合正向设计的方法，开发出一款通用的高性能的 8 位MPU，同时在开发的过程中掌握更高位MPU的设计方法，为设计更高位的高性能MPU打下坚实的基础。因为不管是多少位的微处理器，设计中需要重点考虑的架构以及指令系统基本上是一致的，所不同的只是一些总线位数以及寄存器的位数而已，当然随着位数的增加，一些验证和测试的复杂度也将显著的增加，但从开发技术的角度来讲，它们却基本上是一样的。

本论文的另一个目的就是在通用MPU的基础上，对通用微处理器进行改进，设计出一款用于便携式领域的高性能低功耗嵌入式微处理器，也就是进行专用化设计<sup>[5]</sup>，以满足便携式领域的特殊要求，并为开发嵌入式MPU积累相应的工业经验，因为在高位的嵌入式应用中，嵌入式MPU将处于绝对的领导地



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](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

廈門大學博碩士論文摘要庫