

工程师经验手记

深入剖析主板电源设计及 环路稳定性能

老 童 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

工程师经验手记

深入剖析主板电源设计及 环路稳定性能

老 童 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书共 8 章,从主板架构到电源设计,从简单的 Buck 电路原理到多相电源设计,从电源电路的基本结构到微分结构,结合电路信号流程和波形以及动态阻抗的分析,由浅入深,一步一步将读者引向系统电源稳定性能设计中。最后重点描述了 PCB 布局设计,从理论到实践,通过理论指导实践,理论与实践相结合,是一本非常全面的教科书。

本书可作为高校或者职高教材以及刚毕业的大学生就业充电的范本,也可供有工作经验的电源设计工程师参考。

图书在版编目(CIP)数据

深入剖析主板电源设计及环路稳定性能 / 老童编著

. -- 北京:北京航空航天大学出版社,2016.9

ISBN 978-7-5124-1900-1

I. ①深… II. ①老… III. ①计算机主板—电源—设计②计算机主板—电源—稳定性 IV. ①TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 239137 号

版权所有,侵权必究。

深入剖析主板电源设计及环路稳定性能

老 童 编 著

责任编辑 张冀青

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@buaacm.com.cn 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:14.5 字数:309 千字

2016 年 10 月第 1 版 2016 年 10 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-1900-1 定价:49.00 元

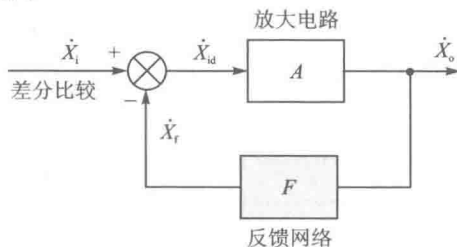
前言

从电力电测产品的测试、研发到软件设计,以及后来的开门店做小饰品生意和电子产品销售,最后又回归到研发设计中来,终究没有跳出研发设计这个圈子。人到 40, 仍旧碌碌无为,总觉得欠家人和社会太多,实在愧疚。现在开始,亡羊补牢,用毕生所学,引导后续有志之士少走弯路,尽微薄之力佐之,以此感恩家人和社会以及关怀我的同事同仁。

本书内容简单介绍如下:

主板开关电源采用闭环负反馈回路来改善开环系统的响应能力,以达到所期望的电源调整率、负载调整率以及动态响应的设计要求。电路由误差放大、脉宽调制控制器(PWM 控制器)、驱动、开关管以及输出滤波器五部分构成。

大多数主板厂商在设计主板电路时,都是根据电源方案供应商提供的参考线路来进行设计的,所有参数均是一种理论推算,主板的电源电路设计关键不在原理图,而是 PCB 布局和参数调试。参数设置好以后,PCB 布局将会起决定性的作用,调试只是对 PCB 布局缺陷的弥补和改进。也许这个观点和许多参考资料中的理论相悖,但真正做过主板电源设计的工程师对这点应该是深有体会的。图 1 是电源反馈方框图,展示的是 Buck 电路反馈的基本原理,电源环路是否稳定和反馈网络 F 密切相关,这是本书的核心内容。



$$A_f = \frac{\dot{X}_o}{\dot{X}_i} = \frac{A \dot{X}_{id}}{(1 + AF) \dot{X}_{id}} = \frac{A}{1 + AF}$$

图 1 电源反馈方框图

前言

对于开关电源设计工程师来说,最担心的是在电路设计完成后,发现无论怎样调试反馈回路,电源电路都是不稳定的(PCB 布局设计不合理就会发生这种情况)。目前大多数主板设计厂家由于设备、人才和技术的限制,对环路稳定性设计认识不足,仅仅测试动态性能就止步了,对于电源的稳定性能无从得知,从而为主板品质埋下了隐患。

环路稳定和动态到底有何关联?如何设计和调试产品才能避免电路不稳定这种风险?目前来说几乎没有权威书刊能够对这个问题进行一个全面的描述和讲解,大多是泛泛而谈,理论比较空洞,能和实践挂钩的寥寥无几。鉴于此,我希望将实际调试经验进行总结和传播,以便后续设计工程师有一个好的借鉴。

本书的第1章和第2章部分内容是从网站上下载,经过个人的理解整理出来的,因为联系不到原作者,无法对资料出处做进一步的说明,希望阅读到了此书的原作者和我们(921317112@qq.com)联系,在此表示真诚的感谢。

20年的工作历程,工作过4家公司,在现在任职公司工作长达9年,让我从漫无目的的打工生涯中找回自信和成就感。写完此书,本人将转行做与主板设计无关的云服务行业。

本书可能有不足之处,修修改改必不可少,不管成功与否,欠家人和大家太多太多,感恩我的家人对我的大力支持以及我太太但华英女士对家庭无微不至的照顾,感恩所有关怀老童的人。

老 童
2016年9月



第 1 章 主板架构基本介绍	1
1.1 主板的发展历史	1
1.1.1 AT 主板	1
1.1.2 Baby AT 主板	1
1.1.3 ATX 主板	2
1.2 主板架构	2
1.2.1 北桥芯片	2
1.2.2 南桥芯片	2
1.2.3 内存插槽	2
1.2.4 PCIE 插槽	3
1.2.5 主板总线	3
1.2.6 CPU 介绍	4
1.3 Intel 平台主板架构说明	5
1.3.1 Intel 440 主板架构	5
1.3.2 VIA MVP4 主板架构	5
1.3.3 Intel 810/815 主板架构	5
1.3.4 Intel 865 主板架构	6
1.3.5 Intel P4 主板架构	6
1.3.6 VR12.0 单 CPU 主板架构	7
1.3.7 VR12.0 双 CPU 主板架构	7
1.3.8 Intel VR12.5 Denlow 平台介绍	8
1.4 AMD 平台主板架构说明	9
1.4.1 C32 CPU 架构	9
1.4.2 G34 双 CPU 架构	11

目 录

1.5 主板电源接口	11
1.5.1 AT 电源	12
1.5.2 ATX 电源:输出为 20Pin	12
1.5.3 ATX12 电源:输出为 20Pin+4Pin	13
1.5.4 ATX12 LN 电源:输出为 24Pin+4Pin	13
第 2 章 主板电源设计流程规范及功率预算	15
2.1 VR12.0 电气特性	17
2.2 VR12.5 电气特性	22
2.2.1 CPU 供电	22
2.2.2 RAM 供电	23
2.2.3 PCH 供电	24
2.2.4 1 GB 网口供电	24
2.2.5 Dual 10GbE Controller Lan	25
2.2.6 BMC 供电	25
2.2.7 时钟芯片供电	26
2.2.8 PCIE 插槽供电	26
2.2.9 系统散热风扇供电	27
2.2.10 SAS 硬盘供电	27
2.2.11 SATA 硬盘供电	27
2.2.12 SSD 硬盘供电	27
2.2.13 CPLD 供电	27
2.2.14 SAS Controller 供电	28
2.2.15 PHY 为 BMC 供电	28
2.2.16 TPM Module 供电	28
2.3 VR13 电气特性	29
2.3.1 CPU 供电	29
2.3.2 记忆体 RAM 供电	30
2.3.3 PCH 供电	31
2.3.4 BMC 供电	32
2.4 主板电源设计流程	33
2.5 主板硬件器件功率预算	35
2.5.1 CPU 供电电气规格及功率预算	35
2.5.2 Memory RAM 功率预算	36
2.5.3 硬盘功率预算	36
2.5.4 PCH 功耗预算	39

2.5.5	BMC 功耗预算	39
2.5.6	硬盘扩展器/控制器功率预算	39
2.5.7	10G 以太网控制器功率预算	39
2.5.8	GBE 控制器功率预算	40
2.6	主板电源启动时序	40
2.7	主板电源性价比介绍	41
第 3 章	Buck 电路基本理论	43
3.1	基本原理	43
3.2	输入电感的选择	46
3.3	输入电容的选择	48
3.3.1	主板电源设计使用的电容	48
3.3.2	电容等效电路的微分结构	51
3.4	开关场效应管的选择	55
3.5	输出电感的选择	62
3.5.1	电感的计算	62
3.5.2	选择评估	63
3.5.3	输出电感的材料	63
3.5.4	名词术语	64
3.6	输出电容的选择	64
3.7	RC 缓冲网络参数的选择	66
3.8	RC V_{boot} 的选择	70
3.9	多相大功率 Buck 电路	72
第 4 章	主板 CPU 负载特性	74
4.1	主板 CPU 负载特性及阻抗要求	75
4.2	主板 CPU 线性负载特性	78
4.3	主板 CPU 动态 VID 特性	81
4.4	主板 CPU 测试工具简介	82
4.4.1	VR12 CPU 测试工具	83
4.4.2	VR12.5 CPU 测试工具	84
4.4.3	第四代 Intel CPU 测试工具	86
4.5	主板 CPU 测试要求	87
4.6	主板 CPU Memory 测试要求	87
4.7	主板 Buck 电路其他测试要求	88

目 录

第 5 章 主板 Buck 电路环路稳定性分析	89
5.1 环路稳定性规格的规格要求	89
5.2 RC 补偿参数设计分析	90
5.2.1 RC 积分电路	90
5.2.2 RC 微分电路	91
5.3 输入电感、电容对环路的影响	100
5.4 输出电感、电容对环路的影响	103
5.4.1 输出电感对环路稳定性影响	103
5.4.2 输出电容对环路稳定性影响	105
5.4.3 CPU Loadline 与 DIMM Loadline 对环路稳定性影响	105
5.5 补偿回路相位计算	108
5.6 Buck 电路环路稳定性特征	111
5.7 LDO 电路环路稳定性特征	115
5.7.1 LDO 零极点的分布	115
5.7.2 影响 LDO 环路不稳定的根本原因	117
5.8 环路测试原理	118
5.8.1 环路测试仪器 Agilent 4395A	118
5.8.2 测试原理	118
5.8.3 测试方法	120
5.8.4 测试任务	121
5.9 环路调试	122
5.10 数字 PID 的调试说明	124
5.10.1 PID 介绍	125
5.10.2 PID 控制器的调试方法	126
5.10.3 PID 实际应用	126
5.10.4 PID 控制幅频特性图	127
第 6 章 Buck 电路反馈回路调节原理及动态分析	131
6.1 反馈回路的种类	132
6.2 反馈回路的调节特性与本质	133
6.2.1 电压反馈回路	133
6.2.2 电流反馈回路	135
6.3 电压、电流反馈的测试原理	140
6.4 反馈回路对动态响应的影响	141
6.5 TI D-Cap2 模式环路稳定性分析	147

6.5.1 控制方式简介	147
6.5.2 参数设定	148
6.5.3 R_r 、 C_r 、 C_c 的计算	151
第 7 章 主板电源 PCB 布局的设计要求	155
7.1 主板 PCB 布局工具简介	155
7.2 LDO 电路组件 PCB 布局要求	157
7.2.1 输入电容的 PCB 布局要求	158
7.2.2 输出电容的 PCB 布局要求	160
7.2.3 反馈信号走线的 PCB 布局要求	161
7.3 Buck 电路组件 PCB 布局要求	162
7.3.1 输入电感的 PCB 布局要求	162
7.3.2 输入电容的 PCB 布局要求	165
7.3.3 场效应管的 PCB 布局要求	170
7.3.4 输出电感的 PCB 布局要求	174
7.3.5 输出电容的 PCB 布局要求	176
7.4 信号检测以及 SVID 与 PMBUS 的走线要求	181
7.5 PCB 电源层设计及切割要求	184
第 8 章 主板电源仿真	185
8.1 SIMPLIS 软件的应用	186
8.2 元器件调用及设定	187
8.3 原理图设计说明	191
8.4 子电路的定义	205
8.5 主板 Buck 电源仿真说明	211
8.6 主板电源模型的建立及仿真	212
附录 A 名词术语解释	218
附录 B 版权声明	221

第 1 章

主板架构基本介绍

主板的发展与科技进步密切相连,是电子技术发展进程的一个缩影,从 20 世纪 80 年代至今,从未间断过。随着电子技术工艺的发展以及电子技术应用范围的扩展,主板的尺寸有较大差异。导致主板差异的原因有下面三个:

① 应用面;

② CPU 的工艺发展;

③ 主板 Chipset 工艺发展以及功能技术升级,包括南北桥、Super I/O、BMC 和 CPLD 等。

根据主板尺寸大小以及发展时期,主要分为 AT、Baby AT、ATX、Micro ATX、Flex ATX 以及 BTX 等结构。Micro ATX 是 ATX 结构的简化版,扩展插槽较少,PCI 插槽数量在 3 个以下;BTX 则是 Intel 公司制定的最新一代主板结构。

嵌入式计算机系统的出现,是现代计算机发展史上的里程碑事件。嵌入式系统诞生于微技术的发展;嵌入式计算机系统则为满足对象系统嵌入式智能化控制要求的发展。由于独立的分工发展,20 世纪末,现代计算机的两大分支都得到了迅猛的发展。

1.1 主板的发展历史

1.1.1 AT 主板

1984 年,IBM 公司公布了 AT,其主板的尺寸大小为 13 in×12 in,扩展总线以微处理器相同的时钟频率 6 MHz 来运行,部分计算机 AT 系统的扩展总线时钟频率达到了 10 MHz 和 12 MHz。

AT 主板尺寸较大,板上能放置较多的组件和扩充插槽,在 1990 年推出了 Baby/Mini AT 主板规范,简称 Baby AT 主板,尺寸面积大幅减小。

1.1.2 Baby AT 主板

早期 Baby AT 主板的尺寸大小为 15 in×8.5 in,比 AT 主板略长,但宽度较窄,后来将 Baby AT 主板进行了适当改型,形成了许多规格不一的 Baby AT 主板,最常

第1章 主板架构基本介绍

见的 Baby AT 主板尺寸是 3/4 Baby AT 主板, 尺寸为 10.7 in $\times$ 8.7 in, 标准的 Baby AT 主板尺寸为 8.5 in $\times$ 13 in。

Intel 公司在 1995 年 1 月公布了扩展 AT 主板结构, 即 ATX(AT extended) 主板标准。这一标准得到世界主要主板厂商的支持, 目前已经成为最广泛的工业标准, 1997 年 2 月推出了 ATX2.01 版。

1.1.3 ATX 主板

ATX 主板针对 AT 和 Baby AT 主板的缺点作了改进: 主板外形在 Baby AT 的基础上旋转了 90°, ATX 主板尺寸为 12 in $\times$ 9.6 in; 后来发展的微型主板 μ ATX 尺寸为 9.6 in $\times$ 9.6 in。ATX 主板采用了增强型的电源管理, 实现了电脑软件开/关机、绿色节能功能, 以及远程诊断控制功能。

1.2 主板架构

1.2.1 北桥芯片

北桥芯片(North Bridge, 简称 NB)是主板芯片组中起主导作用的最重要的组成部分, 由于其跨接在 CPU 和其他设备之间, 并且离 CPU 比较近, 所以称北桥。北桥芯片负责与 CPU 的联系并控制内存数据、AGP 显示数据和 PCI-E 数据的传输, 数据处理量非常大, 发热量也越来越大(通常有 4~10 W 的功耗), 因此北桥芯片需要安装散热片, 加强其散热。

北桥 100 MHz 的时钟频率主要用于和内存进行数据通信, 133 MHz 的时钟频率主要用于同 CPU 进行同步通信, 66 MHz 的时钟频率用于和 AGP 芯片的通信。

1.2.2 南桥芯片

南桥芯片(South Bridge, 简称 SB)是大部分 I/O 接口和 CPU 的桥梁, 主要处理低速设备的信号, 比如鼠标、键盘等。

随着工艺和技术的改良以及发展, 出现了新的 Chipset——ICH (Interface Control Hub, 接口控制中心), 主要控制外围的基本输入/输出设备。南桥的时钟频率为 66 MHz, USB 的时钟频率为 48 MHz, BIOS 的时钟频率为 33 MHz, LPC 的时钟频率为 14 MHz/33 MHz, RTC 的时钟频率为 32 kHz。

1.2.3 内存插槽

内存插槽是主板用来安装内存的地方, 不同类型的内存插槽的引脚不同, 其工作电压也都不完全相同, 且不能互相兼容。硬件设计工程师称内存插槽为 DIMM 槽, 其供电系统称为 DIMM VRM。

SDRAM 是 Synchronous Dynamic Random Access Memory(同步动态随机存储器)的缩写,采用 3.3 V 工作电压、168Pin 的 RAM 接口,带宽为 64 位,有 PC66、PC100、PC133 等不同规格。SDRAM 内存金手指上有两个缺口。

DDR SDRAM 是 Double Data Rate SDRAM 的缩写,是双数据通道的存储器,采用的是 2.5 V 电压、184Pin,内存金手指只有一个缺口。

DDR2(Double Data Rate 2)是由 JEDEC(电子设备工程联合委员会)开发的新生代内存技术标准,是目前主流内存类型,电压为 1.8 V,引脚数为 240Pin,金手指只有一个缺口,和 DDR 的缺口的位置略有不同,不能兼容。

DDR3(Double Data Rate 3)电压为 1.5 V,240Pin。

DDR4(Double Data Rate 4)电压为 1.2 V,284Pin。

1.2.4 PCIE 插槽

PCIE 插槽是基于 PCIE 局部总线(Pedpherd Component Interconnect,周边组件扩展接口)的扩展插槽。其位宽为 32 位或 64 位,工作频率为 33 MHz,最大数据传输率为 133 MB/s(32 位)和 266 MB/s(64 位)。可插接显卡、声卡、网卡、内置 Modem、内置 ADSL Modem、USB 2.0 卡、IEEE 1394 卡、IDE 接口卡、RAID 卡、视频采集卡以及其他的扩展卡。

1.2.5 主板总线

FSB 总线: Front Side Bus 的英文缩写,译为前端总线。早期的 CPU 总线称为前端总线 FSB,前端总线速率影响计算机运行时 CPU 与内存、二级缓存之间的数据交换速度,也就影响了计算机的整体运行速度。

ISA 总线: Industrial Standard Architecture Bus 的英文缩写,是一种工业标准体系结构总线,目前部分工业主板还有使用,服务器主板使用更加高速的 QPI、DMI2 或者 Hyper transport 总线进行替换。

PCI 总线: Peripheral Component Interconnection 的英文缩写,译为外设部件互连总线,由 Intel、IBM、DEC 公司联合发布,是目前主板及外围设备使用的标准接口。

LPC 总线: Low Pin Count Interface 的英文缩写,翻译为少 I/O 口的预编程界面接口。

SMBUS: System Management Bus 的英文缩写,译为系统管理总线。信号线为数据线 Data 和时钟 Clock。

AGP 信号: Accelerated Graphics Port 的英文缩写,译为加速图形控制端口。其主要结构是在使用 AGP 芯片的显示适配器与主存之间建立专用通道,AGP 总线为 32 bit 数据宽度、66 MHz 时钟频率的总线。

USB 总线: 通用串行总线。USB 总线是由 Intel 公司和微软公司定义的,目的

第1章 主板架构基本介绍

是为了解决各种外围设备接头不统一的问题,最多可接 127 个外围设备。

1.2.6 CPU 介绍

CPU 是 Central Processing Unit 的英文缩写,译为中央处理器。世界上第一台 PC 机是美国 IBM 公司 1981 年推出的,CPU 是 i8086,其执行指令为 X86 指令集,该指令集一直沿用到后来的 P3 CPU。P3 CPU 以后,Intel 公司推出了 SSE 指令集(包括 SS1、SS2、SS3、SS4),所有的改进都是针对浮点运算以及视频技术的升级。AMD 的 CPU 采用的是“3D Now!”扩展指令集和“3D Now!+”指令集。

CPU 主要包含运算器和控制器。其内部结构可分为控制单元、逻辑单元和存储单元,运算器主要完成各种算术运算(加、减、乘、除)和逻辑运算(逻辑加、逻辑减和非运算算术)。

Intel CPU 的发展有比较明确的规划,CPU 的升级换代比较快,根据工艺的改进和 CPU 技术更新,称为 Tock 和 Tick。这两种发展交替进行,每年只执行一种。比如,第一年改进 CPU 工艺,称为 Tock,CPU 技术更新将会暂停一年;第二年开始升级 CPU 技术,称为 Tick,则工艺改良将会暂停一年。

Intel CPU 型号的定义是根据平台来划分的,比如 Bromolow 平台、Romley 平台等。CPU 插座分为 Socket R、Socket B2、Socket H、Socket R3 等,命名规则如图 1.1 所示。

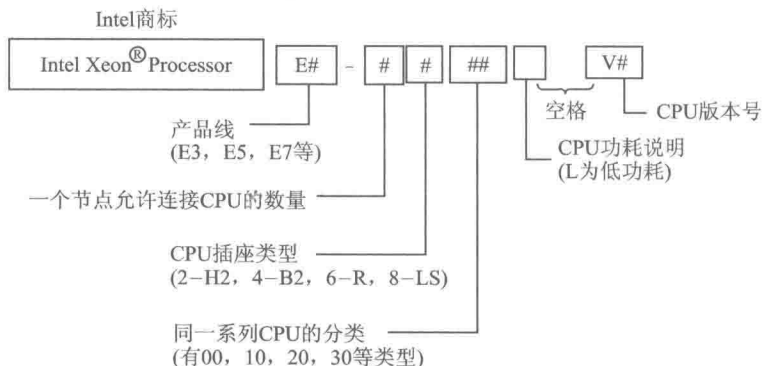


图 1.1 Intel CPU 命名规则

比如,Intel Xeon Processor E5-4600 系列 CPU,表示 Intel Xeon CPU,E5 产品线生产;4 表示一块主板设计中,一个节点最多可以用 4 颗 CPU 并联;6 表示 CPU Socket 为 R 型插座;00 是这个系列 CPU 的 00 类 CPU。

上面讲的是最新平台 CPU 型号的定义,对于 2012 年以前的 CPU 型号,在此不再赘述。

1.3 Intel 平台主板架构说明

本节分为 VR11、VR12.0 和 VR12.5, 下面分别说明。1.3.1~1.3.5 小节为 VR11 Intel 平台主板架构, 其他为 VR12.0 与 VR12.5 的说明。

1.3.1 Intel 440 主板架构

图 1.2 Intel 440 主板架构中, CPU 供电电压偏高, 有 2.5 V、1.8 V 和 2.0 V 供电方式, 内层记忆体供电为 3.3 V。

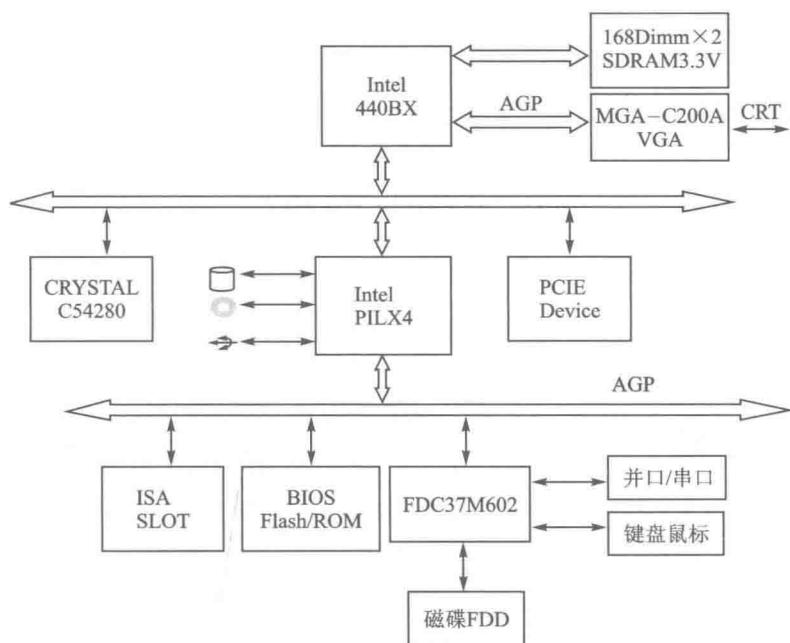


图 1.2 Intel 440 主板架构

1.3.2 VIA MVP4 主板架构

图 1.3 VIA MVP4 主板架构中, CPU 供电电压偏高, 有 2.5 V、1.8 V 和 2.0 V 供电方式, 内层记忆体供电为 2.5 V。

1.3.3 Intel 810/815 主板架构

图 1.4 Intel 810/815 主板架构中, Intel 810 CPU 供电为 2.5 V 和 1.8 V, Intel 815 CPU 供电为 2.5 V 和 1.5 V。

第1章 主板架构基本介绍

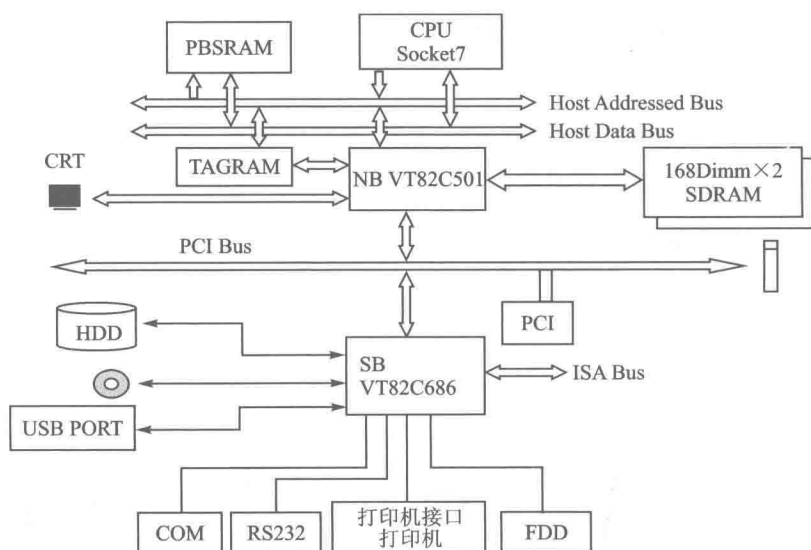


图 1.3 VIA MVP4 主板架构

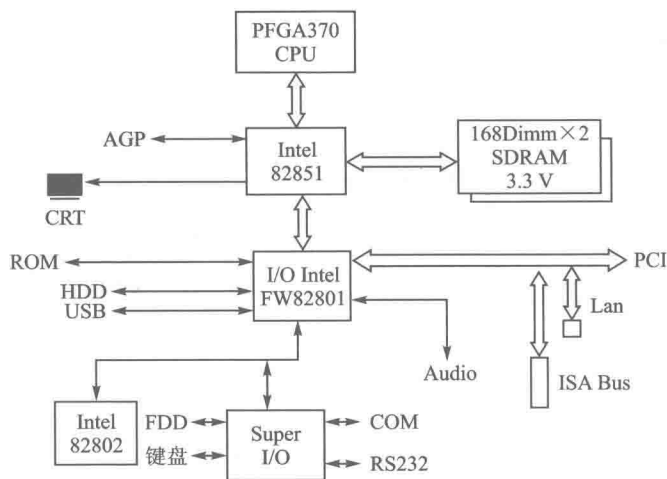


图 1.4 Intel 810/815 主板架构

1.3.4 Intel 865 主板架构

图 1.5 中,CPU 供电为 2.5 V 和 1.5 V。

1.3.5 Intel P4 主板架构

图 1.6 中,从 P4 以后内层记忆体供电逐步降到 1.5 V 以下。

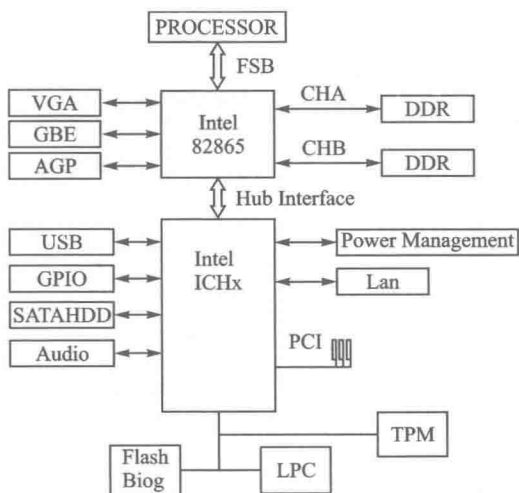


图 1.5 Intel 865 主板架构

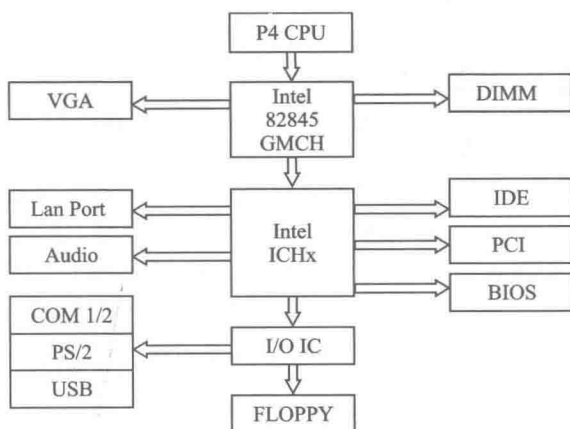


图 1.6 Intel P4 主板架构

1.3.6 VR12.0 单 CPU 主板架构

图 1.7 为 VR12.0 单 CPU 主板架构框图。

1.3.7 VR12.0 双 CPU 主板架构

随着 CPU 的工艺以及技术的发展,传统南北桥的功能有了分化,北桥的部分功能集成到 CPU 里面,南桥的功能也进行了提升。从实际应用面来看,Intel 的构架变得越来越简单,而 AMD 的南北桥依然存在。CPU 供电已经降到了 0.8~1.5 V (VR12.5 为 1.8 V),内层记忆体供电有 1.35 V 和 1.5 V 两种。CPU 和 VRM 的通信方式从并行通信 PVID 转变成串行通信方式 SVID,I/O 接口更加简洁。参考图 1.8。