

电子计算机工程总体设计

中国科学院计算技术研究所

程文铨 唐裕亮

编著

国防工业出版社

电子计算机工程总体设计

TP302

电子计算机工程总体设计

中国科学院计算技术研究所

程文铨 编著
唐裕亮

国防工业出版社

内 容 简 介

本书以ECL 集成电路在计算机工程中的应用为基础, 介绍了计算机工程总体设计中的一些主要方面。本书内容包括: ECL 集成电路分析、测试与筛选; 信号传输系统、电路可靠性与应用; 基本逻辑单元、组装结构设计及计算机电源通风、机房布局与设施等。此外, 还介绍了计算机辅助设计在插件的制版、布线、测试, 以及底板的布线、测试等方面的应用。

本书主要供从事计算机研究、工程设计、生产、调试与维护等方面的科研技术人员、工人、管理干部阅读。也可作为大专院校有关专业师生参考书。

JS466/32

电子计算机工程总体设计

中国科学院计算技术研究所

程文铨 唐裕亮 编著

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张 24¹/₄ 565 千字

1984年 5月第一版 1984年 5月第一次印刷 印数: 0,001—8,200册

统一书号: 15034·2591 定价: 2.50元

前 言

随着电子计算机技术的突飞猛进, 电子计算机工程总体设计方面也在不断发展。然而, 国内尚缺少全面系统地介绍有关计算机工程总体设计的书籍。为了适应我国读者的需要, 我们在总结实践经验的基础上, 参阅了大量文献, 写成了此书。

计算机工程总体设计一般包括计算机系统的工程体系设计、电路系统设计、工程结构设计以及系统布局设计等内容。限于篇幅, 本书以 ECL 集成电路系统在计算机工程中的应用为基础, 介绍计算机工程总体设计的一些主要内容。这些内容包括: (一) 计算机总体设计的范围; (二) ECL 电路分析; (三) ECL 电路系列; (四) ECL 电路测试与工艺筛选; (五) ECL 电路的进展; (六) 基本逻辑单元; (七) 印制电路板与插件组装; (八) 计算机辅助设计在插件自动布线、自动制版、自动测试等方面的应用; (九) 信号传输; (十) 系统的互连; (十一) 传输线理论; (十二) ECL 集成电路的抗干扰; (十三) ECL 电路系统干扰; (十四) ECL 电路的可靠性; (十五) ECL 电路的应用; (十六) 电源供电; (十七) ECL 电路的热性能与计算机的散热和组装结构; (十八) 机房布局与设施。

本书力图将理论与实践紧密结合起来, 书中所列出的大量图表和数据, 可直接参考引用。书中的不少材料是国外新近发表的成果, 这有利于今后借鉴。这里需要说明的是, 为了便于查阅, 对于本书所采用的图形符号和文字符号, 除了在一般情况下采用电子工业部部颁标准外, 当引用国外材料时, 仍按原样不变。

参加本书编写工作的有程文铨、唐裕亮、徐利民等同志。在本书的编著过程中, 得到了中国科学院计算所、电子工业部十五所的很多同志的热情支持和帮助。在此, 谨致谢忱。

由于水平所限, 书中一定存在不少缺点, 甚至错误, 希望读者及时批评指正。

目 录

第一章 绪论	1
1.1 电子计算机的组成及其特点	1
1.2 电子计算机的工程总体设计	2
1.3 计算机硬件的基本单元——集成电路	4
1.4 计算机辅助设计	7
第二章 发射极耦合逻辑电路	10
2.1 ECL 门的基本电路	11
2.2 ECL 电路的直流特性	13
2.3 ECL 电路的瞬态分析	18
2.4 ECL 电路功率损耗	22
2.5 ECL 集成电路输入浮空的低频效应	23
第三章 ECL 集成电路系列	29
3.1 基本门电路、单门和双门电路	29
3.2 “与或”门电路及其扩展器	32
3.3 功率驱动门电路和参考电压源	38
3.4 ECL-D 系列 (双列直插式封装)	40
3.5 SDL7000 系列	53
3.6 MECL 系列	59
3.7 MECL10 KH 系列	76
第四章 ECL 集成电路测试与工艺筛选	81
4.1 集成电路静态性能的自动测试	81
4.2 集成电路动态参数的自动测试	97
4.3 ECL 集成电路的工艺筛选	100
4.4 计算机辅助设计用于中、大规模集成电路综合测试系统	107
第五章 ECL 集成电路的进展	115
5.1 参考电压源电路	117
5.2 低信号摆幅、低电源电压的低功耗 ECL 电路	123
5.3 ECL 集成触发器电路	132
5.4 ECL 中规模集成电路	137
5.5 ECL 大规模集成电路	147
5.6 ECL-LSI 电路向超大规模集成电路 (VLSI) 发展	169
第六章 基本逻辑单元	173
6.1 门电路	173
6.2 触发器	177
6.3 D 型计数触发器与计数单元	181
6.4 半加器与全加器	182
6.5 指示灯	183

6.6 单脉冲线路	184
第七章 插件印制电路板的结构设计与插件组装	187
7.1 A型插件及其多层印制电路板的结构设计	187
7.2 B型和C、D、J、G型插件及其多层印制电路板的结构设计	192
7.3 A、B型插件印制电路板的电气性能与检验标准	196
7.4 A、B型插件布线	199
7.5 大板结构印制插件板及印制底板	202
7.6 印制电路板的进展	206
7.7 插件组装	208
第八章 CAD在插件自动布线、自动制版、自动测试等方面的应用	212
8.1 CAD用于插件自动布线	212
8.2 CAD用于插件自动制版	220
8.3 CAD用于印制电路板的自动测试	226
8.4 CAD用于插件自动测试	230
第九章 信号传输	238
9.1 基本传输方式	238
9.2 开路线传输	240
9.3 串联匹配传输	243
9.4 并联匹配传输	245
9.5 功率信号传输	251
9.6 ECL电路传输规范举例	254
9.7 单线传输	256
第十章 系统的互连	257
10.1 系统传输性能分析	257
10.2 底板机柜间的互连系统	260
10.3 时钟脉冲系统及其信号对齐	263
10.4 传输线	263
10.5 计算机辅助设计用于底板自动布线	266
10.6 计算机辅助设计用于底板自动查线	272
第十一章 传输线理论	276
11.1 传输线的设计	276
11.2 驱动集中(或分布)负载的传输线的信号传输延迟	282
11.3 并联匹配传输分析	284
11.4 串联匹配传输分析	291
11.5 串联端接线同并联端接线的比较	293
第十二章 ECL集成电路的抗干扰性	298
12.1 ECL电路直流抗干扰性能分析	298
12.2 ECL电路的交流抗干扰性能测试	303
12.3 ECL电路交流抗干扰能力与电路系统设计	305
第十三章 ECL电路系统干扰	307
13.1 传输线间的串扰	307
13.2 互连系统的插针干扰	311

13.3	地系统干扰	315
13.4	集成电路输入端间的串扰	317
13.5	计算机外部干扰的抑制	317
第十四章 ECL 集成电路的可靠性		319
14.1	半导体集成电路的可靠性分析	319
14.2	集成电路的可靠性控制	321
14.3	集成电路的失效分析与失效统计举例	323
第十五章 ECL 集成电路的应用		327
15.1	振荡器、延迟线、奇偶检查、电平转换和线性应用	327
15.2	寄存器、移位寄存器、计数器和分频器	332
15.3	加法器、代码变换器	338
第十六章 电源供电		342
16.1	系统功率计算	343
16.2	计算机(主机)供电系统	346
16.3	计算机电源保护系统	349
第十七章 ECL 电路的热性能、计算机的散热和组装结构		352
17.1	ECL 电路的热性能和热传递	352
17.2	ECL 集成电路的直流热特性	355
17.3	计算机的通风冷却系统	358
17.4	组装结构	361
第十八章 机房布局与设施		365
18.1	机房面积	365
18.2	机房布局	367
18.3	环境条件	372
18.4	安全措施	375
18.5	辅助设施	377
18.6	计算站投资估算参考	378
附录 ECL 集成电路名称对照表		379
参考文献		380

第一章 绪 论

严格地说,电子计算机按照工作原理可分为数字式电子计算机和模拟式电子计算机两大类。通常所说的电子计算机,除另有说明者外,一般是指数字式电子计算机。本书所指的就是数字式电子计算机,或称电子数字计算机。

电子计算机是一种能进行高速运算的电子系统。它是实现科技计算、数据处理和实时控制的现代化工具。因此,电子计算机将越来越显示出强大的生命力。

1.1 电子计算机的组成及其特点

电子计算机硬件结构,一般由以下几个主要部分组成:

1) 运算器 运算器是完成算术运算(如 $+$ 、 $-$ 、 $\times$ 、 $\div$ 等)和逻辑操作(如两数比较等)的部件。有时,它又称为算术逻辑部件。

2) 存贮器 这里指的是主存贮器。它用以存放和记录数据、指令、运算步骤及中间结果等。因此,它必须具有足够多的存贮单元。

3) 控制器 它是给出时序和控制全机协调动作的部件。

4) 输入/输出装置 它们在人 和 计算机之间起交换信息的作用。输入装置(如穿孔输入机、软盘输入机等)用来输入原始数据、程序或资料。输出装置(如电传打字机、静电印刷机等)用来输出计算结果。输入/输出装置与外存贮器(如磁带、磁盘)一起,合称为外部设备。

图 1.1 所示为典型电子计算机的结构框图。

电子计算机之所以能完成大量而复杂的工作,是因为它具有以下一些基本特点。

1) 高速度 电子计算机具有很高的运算速度。它能以每秒几万次,几十万次,甚至上亿次的速度进行操作和运算。例如,具有每秒五万次运算速度的电子计算机,一小时能作一亿八千万次运算。而一个熟练的计算员,若使用机电式的台式计算机,则每小时只能完成大约二百次运算。因此,对于解决同一个问题来说,用台式计算机比用五万次的计算机要多花上一百万倍的时间。由此可见,电子计算机使计算速度提高了好几个数量级。

2) 大容量 电子计算机具有很大的存贮容量并且能快速存取数据。它能存贮几千,几万,几十万乃至几千万个数。在进行运算时,它能以很高的速度将数取出来。这就使现

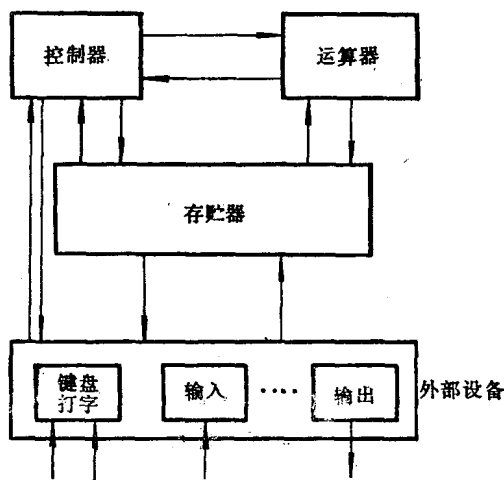


图1.1 计算机的结构

代先进科学技术领域中的各种复杂问题的计算成为可能。

3) 高精度 计算精度高是电子计算机的一个重要特点。计算尺的精度只有三位有效数字左右, 机械式台式计算机最多也不过只有七、八位有效数字的精度。对于电子计算机来说, 只要增加字长, 其精度就可以大大提高。并且, 为了在某些科学计算中获得更高的精度, 还可以进行双倍字长运算。因此, 它比任何其他计算工具都要精确。

4) 高可靠 通常, 电子计算机能连续工作数天, 数月, 甚至几年都不会发生错误。

5) 自动计算 电子计算机能够按照规定的程序自动地进行算术运算和逻辑操作。

1.2 电子计算机的工程总体设计

现代电子计算机系统(这里着重谈的是硬件系统)的设计可以分为两个方面。一为计算机系统的体系结构设计(它包括计算机的体系结构设计和逻辑设计等); 另一方面为计算机系统的工程总体设计。所谓计算机系统的工程总体设计, 就是指计算机系统的工程体系设计、电路系统设计、工程结构设计以及系统布局设计等。

更具体地说, 电子计算机工程总体设计包括以下诸方面的内容。

1. 电路器件设计

根据计算机系统的性能指标, 提出集成电路的品种、速度、功耗、扇入和扇出、集成度等设计指标, 以及其它器件的技术要求。

2. 传输系统设计

它包括: 信号传输的系统阻抗设计; 系统电平设计; 系统传输线设计; 传输规范确定; 电源馈电系统设计等。

3. 组装结构设计

它包括: 组件封装及其输出线数设计; 插件印制电路板和印制底板设计; 接插件转插设计; 机架底板、机柜和机架结构设计等。

4. 电源供电和冷却系统设计

电源供电系统设计包括: 系统功耗设计; 电源种类设计; 供电系统和供电方式的设计(包括主机及外部设备的专用电源)。冷却系统设计包括冷却方式(如液冷和风冷)等的设计。

5. 系统的连接设计

计算机系统的连接包括: 主机同各部件和外部设备之间的连接; 多机系统中各计算机之间的连接, 系统接地等。

6. 系统可靠性设计

它包括元、器件可靠性与系统可靠性两方面的设计。元、器件可靠性设计指标, 包括各种元器件的失效率等。计算机系统的可靠性设计指标包括: 整个系统稳定运行的指标; 机器各部件(包括主机、内存、外设和电源等)稳定运行指标和工作范围; 组装结构的可靠性设计(如印制电路板金属化孔、接插件等的可靠性设计)指标。此外, 计算机系统的可靠性设计指标还包括: 传输系统电信号抗干扰度分配指标; 系统内部抗干扰度及系统外部抗干扰度设计指标; 系统对环境条件的要求(如对温度、湿度的要求等)指标; 等等。

7. 计算机系统布局设计

它包括：机房各部件布局；机房工作间、维修间和休息间等的布局；机房结构安排；机房配电、照明和安全设施设计等。

8. 计算机系统的工程实现

工程实现包括下述几个方面：

1) 设计、生产、测试等的自动化 在计算机辅助下,进行计算机的设计与工程施工,从而实现设计自动化、生产自动化和测试自动化。下面较详细地列举它们所包括的内容。

(1) 设计自动化。它包括下列一些内容：

- ① 应用计算机实现计算机的系统分析与系统模拟。
- ② 应用计算机进行逻辑设计。
- ③ 进行计算机的结构划分与自动布局,即划分底板,划分插件。
- ④ 进行逻辑模拟,以便检查逻辑设计的正确性。

(2) 生产与测试自动化。它包括：

① 应用计算机实现自动制版和布线。它包括集成电路制版、插件板和机架底板制版,以及插件板和底板的布线。

- ② 印制电路板自动测试、插件自动测试和底板自动测试。
- ③ 组件自动测试。
- ④ 借助计算机进行调整,以提高计算机的逻辑正确性。
- ⑤ 借助计算机完成其它生产工作,如进行机架底板查线等。

2) 制定计算机生产中的技术指标、工艺要求等。

3) 生产中的经济核算。

在完成上述各项设计之后,就可以形成一系列的工程技术规范,这些规范是计算机生产施工的技术依据。

以上所述为电子计算机工程总体设计中的一些重要方面。限于篇幅,本书仅介绍工程总体设计中的几个方面,着重介绍发射极耦合逻辑电路(ECL)计算机系统的工程设计及其应用。

当前,国内外的大、中型计算机,甚至部分小型高速计算机和电子设备中,ECL 电路系统已被大量采用。特别是近年来,由于低功耗 ECL 电路的出现,用 ECL 大规模集成电路制做的第四代计算机已大量生产并投放市场,它以较高的性能价格比显示出它的竞争能力和生命力。事实证明,广泛采用 ECL 电路系统是必然的发展趋势。

值得指出的是,由于第四代电子计算机系统采用了大规模集成电路(LSI),所以,它的设计,比起以往的中、小规模集成电路计算机系统的设计来,更依赖于工程总体设计。在第四代计算机中,其中央处理机或中央处理机中的几位可以做在一块芯片上了。因此,第四代计算机的工程总体设计将还包含着逻辑设计和半导体工艺设计。随着技术科学的飞速发展,工程总体设计所包括的内容将更为广泛,其难度也将增加。这样一来,就越来越要求工程技术人员全面掌握工程总体设计的知识,以便适应计算机事业发展的需要。

尽管本书着重介绍的是中、小规模集成电路计算机的工程总体设计,但是这些主要问题以及设计思想,也是大规模集成电路计算机工程总体设计中所要涉及到的。

本书介绍的主要内容如下:

- (1) 发射极耦合逻辑电路系统及其在计算机工程上的应用。它包括 ECL 电路设计; ECL 系统设计; 系统传输; 系统连接; ECL 电路系列; ECL 系统应用; 电源馈电系统。
- (2) ECL 电路的可靠性、系统的稳定性和抗干扰度。
- (3) 计算机组装结构、插件组装、底板组装、机房布局。
- (4) ECL 电路的热特性和计算机的冷却、通风散热。
- (5) 计算机辅助设计 (CAD) 的应用。它包括组件的自动测试, 印制电路板的自动制版、自动测试、自动布线, 插件自动测试、底板自动测试等。

1.3 计算机硬件的基本单元——集成电路

前面已经介绍过, 一台计算机是由若干个部件组成的, 在各个部件中包含有数种逻辑单元和存贮单元, 诸如, 触发器、计数器、译码器、加法器、寄存器和存贮器等。然而, 这些逻辑单元和存贮单元又都是由一些逻辑电路和存贮电路组成的。通常这些电路就是所谓集成电路。由此可见, 集成电路是构成电子计算机硬件的基本元件。

在计算机的工程总体设计中, 集成电路系统的设计是最为重要的。它的各种性能直接影响到工程总体设计中其他项目的设计, 例如: 集成电路的高速性能, 要求系统组装和系统传输设计能实现均匀一致的系统阻抗, 减少附加延迟; 集成电路的热特性, 要求组装结构、通风散热和可靠性等方面的设计满足系统在允许环境条件下能正常工作; 至于生产实施方面, 集成电路系统定下来后, 相应的测试和生产的自动化设计也就有了基础。总之, 集成电路系统的设计贯穿于工程总体设计的全过程。因此, 有必要对集成电路的概况作些介绍。

集成电路是采用半导体工艺或薄、厚膜工艺 (或者这些工艺的结合), 将电路的有源元件 (如二极管、晶体管等)、无源元件 (如电阻、电容、电感等) 及其互连线一起制作在半导体或绝缘基片上, 密封在一个封装内, 形成结构紧密、有一定逻辑功能的整体电路。

与散装电路相比, 集成电路大大减小了体积、重量、引出线和焊点数目, 提高了电路性能和可靠性, 降低了成本。因此, 从分立元件到集成电路, 是半导体电子技术发展的一个飞跃。

集成电路按其功能性质的不同, 可分为数字集成电路、模拟集成电路 (它又分为线性与非线性两种) 和微波集成电路。数字集成电路工作在非线性区域, 起着开关作用。它以“开”和“关”两种状态 (或者以高、低电平) 来表示“1”和“0”二进制数字量。在本书中, 只讨论数字集成电路。

集成电路按其集成规模的不同, 可分为小规模集成电路 (SSI)、中规模集成电路 (MSI)、大规模集成电路 (LSI)、超大规模集成电路 (VLSI) 等几类。集成电路的规模大小是以集成度来衡量的。所谓集成度是指在单块晶片 (单片) 上或单个封装中构成的集成电路所包含的最大门电路数 (或最大元件数)。一般认为, SSI 的集成度少于 10 个门电路 (或少于 100 个元件); MSI 的集成度为 10~100 个门电路 (或 100~1000 个元件); LSI 的集成度为 100~1000 个门电路 (或 1000~10000 个元件); VLSI 的集成度达 1 万个门电路 (或十万个元件) 以上。本书将着重讨论第三代计算机 (以中、小规模集成电路为基础组装而

成)的工程总体设计问题。对于第四代计算机(以大规模集成电路为基础组装而成)的工程总体设计问题,本书也将尽可能作些介绍。

数字集成电路按开关速度(即按传输延迟时间)划分,可分为低速、中速、高速和超高速电路数种。尽管它们的速度范围的定义并无确切的标准,但一般认为:就平均传输延迟时间 t_{pd} 而言,低速电路的 $t_{pd} \geq 50\text{ns}$;中速电路的 t_{pd} 为 $10 \sim 50\text{ns}$;高速电路的 t_{pd} 为 $2 \sim 10\text{ns}$;超高速电路的 t_{pd} 在 2ns 以下。目前,可以达到 2ns 以下的速度范围的电路形式有:

- ECL/CML——发射极耦合逻辑电路/电流型逻辑电路;
- EFL——发射极功能逻辑电路;
- NTL——非阈值逻辑电路;
- CCCL——互补恒流逻辑电路;
- SOS-MOS/CMOS——宝石衬底上MOS及互补MOS逻辑电路;
- DSA-MOS——扩散对准MOS逻辑电路;
- MFSFET——金属-半导体势垒场效应晶体管电路;
- JTL-IC——约瑟夫逊器件逻辑电路;
- SLD-IC——超晶格高速开关器件电路。

随着科学技术的不断发展,相信还会出现其他一些新的超高速电路形式。

就集成电路采用的工艺而言,可以分为双极逻辑电路和MOS逻辑电路。按晶体管的工作区来分,双极逻辑电路可分为饱和型、非饱和型和抗饱和型三类。MOS逻辑电路又可分为单沟型和互补型两类。一般说来,双极电路比MOS电路速度快、阈值电压低、稳定性好、负载能力强,但MOS电路比双极电路结构和工艺简单、集成度大、输入阻抗高、功耗小。正因为各有所长,故这两大分支是平行发展的。但是,双极电路在七十年代中发展了多种新隔离工艺和新型电路设计,使其在结构和集成度方面足以与MOS电路相比美。

下面简略介绍几种电子计算机常用的逻辑集成电路。

1. DTL 集成电路

由二极管及三极管作电路元件(一般来说,输入端是二极管、输出端是三极管)组成的逻辑电路,叫做二极管-三极管逻辑电路(即DTL电路)。图1.2所示为这种电路的“与非”门电路。

这里,二极管 D_1 、 D_2 、 D_3 组成输入“与”门;晶体管 T_1 为跟随器,起电流放大作用,用以增加驱动负载的能力;晶体管 T_2 为输出反相器。 D_4 为电平转移二极管,起电平转移作用,用以提高电路抗干扰的能力。

这种电路具有结构简单、易于实现、功耗小、成本低等优点。但是,由于电阻 R_1 、 R_2 的值不能取得太小,故其开关速度较慢;由于输出反相器工作在饱和状态,输出波

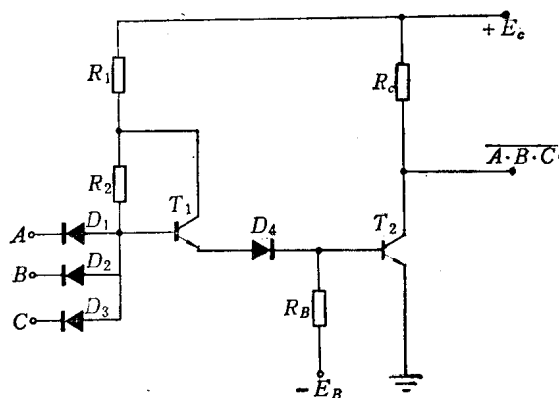


图1.2 典型DTL电路

形的上升边沿差, 负载能力低, 因此只适合于在低速计算机中采用。

2. TTL 集成电路

它是一种全部由晶体管作有源元件的逻辑电路。其典型电路如图 1.3 所示。该电路也是用来实现“与非”门逻辑功能的。

TTL 电路是为了提高 DTL 电路的工作性能和开关速度而设计的。TTL 在略增加功耗的前提下, 使其开关速度比 DTL 提高好几倍, 也使负载能力有了显著增强。之所以会有这些改进, 其主要原因在于: (1) 输入级采用多发射极晶体管代替输入二极管; (2) 输出级采用双管推挽工作方式代替反相器。正因为 TTL 电路负载能力强, 输出阻抗低, 有一定抗干扰能力, 工作速度是饱和型电路中最快的, 功耗也较低, 因此, 它是目前广泛生产的主要电路型式之一。

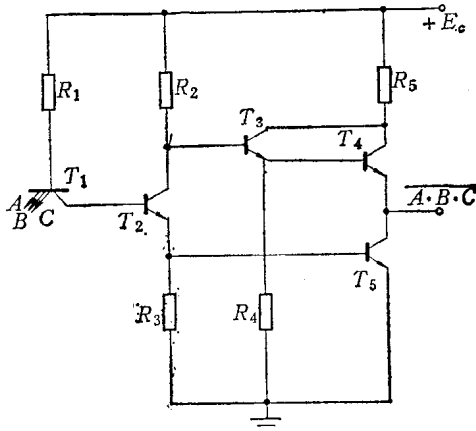


图1.3 典型TTL集成电路

3. MOS集成电路

MOS 集成电路是以金属-氧化物-半导体场效应晶体管为基本有源元件构成的集成电路。在 MOS 集成电路中, 以 N 型沟道 MOS 器件构成的集成电路称为 N 沟 MOS 集成电路, 以 P 型沟道 MOS 器件构成的集成电路称为 P 沟 MOS 集成电路, 二者统称为单沟 MOS 电路。由 N 沟、P 沟 MOS 器件互补构成的集成电路, 称为互补 MOS 电路。

N 沟器件的多数载流子是电子, P 沟器件的则是空穴。场效应器件是多数载流子工作的器件, 电子比空穴的有效质量小, 迁移率高, 故 N 沟 MOS 电路的速度要比 P 沟电路快。在制作工艺上, P 沟器件则较易于 N 沟器件。

在互补 MOS 集成电路中, 以 N 沟 MOS 器件为反相器, 以 P 沟 MOS 器件为其负载管 (反之亦然)。这种互补反相器工作时, 一个晶体管截止, 另一个晶体管导通, 因而增加了输出能力, 克服了单沟 MOS 电路负载能力差及需要两种电源的缺点。从而, 互补 MOS 集成电路具有下述优点: 抗干扰能力强, 速度比单沟器件高, 功耗很低, 可制作低功耗电路。但互补 MOS 制作工艺比单沟电路复杂, 相同功能电路所需的元件数也较多。互补 MOS 电路在要求省电的航天电子设备、电子手表及台式计算机已得到广泛应用。

4. ECL 集成电路

由于这种电路是以多个晶体管的射极相互耦合加上射极跟随器组成的, 故称为发射极耦合逻辑电路。由于晶体管工作于非饱和恒流开关状态, 故又称为电流开关逻辑电路。

ECL 集成电路是本书介绍的重点。有关 ECL 电路的原理、性能、电路设计、系统设计、电路应用等, 本书将作详细介绍。

目前, 几乎所有的大型计算机都采用 ECL 作为主机逻辑电路。这是因为, ECL 的最大特点是开关速度快, 其传输延迟 t_d 现已达到亚毫微秒水平。其集成度也已达大规模和超大规模集成电路的水平。ECL 的速度和集成度在七十年代约提高一个数量级。例如, 美国 IBM 公司在 1971 年研制的 370/165 机, 其逻辑电路的速度为 $6 \sim 7$ ns, 而该公司 1978 年发表的 303 X 计算机, 其逻辑电路的速度为 1 毫微秒。日本 M 系列 190、200 机以及 ACOS 系

列1000机,其逻辑电路的速度为 0.7ns 。七十年代初,大型机所用集成电路的集成度为 $20\sim 30$ 门/片,而七十年代末,日本的大型机M200H的电路集成度达 550 门/片,八十年代初,日本的大型机ACOS1000达 1500 门/片。目前一块芯片已能制作 $700\sim 3000$ 门电路。八十年代前半期,预计主机逻辑电路仍主要采用ECL LSI。其性能和集成度将有进一步提高。估计到1985年,每片门数可达数10万。Univac1100/80系列将用一片30万门的电路构成。可以预计,八十年代后半期,高速度的ECL LSI仍将是一种主要的主机逻辑电路类型。

同时,对于第四代计算机在结构组装上,采用了所谓的微型组装技术。微型组装技术是由混合集成电路技术发展而来的。微型组装件是将经过处理的裸芯片紧密地焊接在多芯片陶瓷载体上,然后封装成电路模块,封装件上还装有散热片等。这种功能模块电路具有相当于一个子系统的功能。

例如,IBM 3081计算机的逻辑部分采用了 $15\times 15\times 5\text{cm}^3$ 的热导模块(Thermal Conduction Module,简称TCM)组装技术。全机用了四块 $60\times 60\text{cm}^2$ 的18层印制电路板,一共可装 $26\sim 27$ 个TCM模块。这样,就可在 0.113m^3 的体积内组装75万个门电路。又例如Amdahl公司的5800系列计算机也采用了模块组装技术。它所采用的ECL-LSI门阵列的集成度为 400 个门/片,平均 t_{pd} 为 0.4ns /每级门。

随着半导体逻辑元件的微型化、高速化、高密度化,不仅会大幅度地提高计算机的运算速度、存储容量、信息吞吐量和可靠性,同时也使整机的体积大大缩小。据美国Amdahl公司设想,到八十年代后期,象Amdahl 470系列机那样规模的大型机,将集成在20余块硅片上,组装后的整机体积将只有1立方英尺。这就说明,计算机工程技术与半导体技术之间有着极其密切的关系。

这样一来,就给电子计算机工程总体设计提出了新的问题和要求。这就是,要求把计算机体系设计、逻辑设计、电路设计、结构设计等有机地结合起来。这是八十年代第四代计算机的工程总体设计的一个重要特点。本书其所以把重点摆在介绍ECL集成电路方面,正是出于这个考虑。

1.4 计算机辅助设计

所谓计算机辅助设计,是设计人员借助计算机进行设计的一项技术。随着计算机的广泛应用,计算机辅助设计的领域也越来越广。诸如光学设计、飞机、船舶设计、大规模集成电路设计、计算机设计自动化等。由于使用了计算机,故设计工作中的很多繁重工作(如数据处理、计算、画图等)均可由计算机去担任,从而可大大缩短设计周期,大大提高设计质量。

有一些设计工作,可以由计算机自动地或半自动地去完成,这常常被人们称为设计自动化。但是,在大多数情况下,设计过程是一个创造性的过程,不能在预先定出一个设计思想后就能导出其设计细节,而需要依靠人的经验和思考,去选择问题的各种可能解答。在这种情况下,整个设计过程不能靠预先编好程序去实现,这时计算机的作用是在各个方面辅助设计人员进行设计。

一个计算机辅助设计系统,必须包含计算机的主机和适当的输入/输出设备。除了有计算机硬件外,还必须给计算机配上专门的计算语言及专门的程序系统。

在计算机的研制领域里,无论是系统的体系结构设计,还是工程总体设计,近年来都已广泛使用计算机辅助设计技术。这项工作早在五十年代后期便被人们所重视(例如,在1958年,有人使用计算机来打印和检查逻辑图)。六十年代以来,重视这方面工作的人逐渐增多。例如,有人借助计算机来研究插件板或底板的布局和布线、逻辑模拟和故障检测等问题。电子计算机进入第三代以后,借助计算机进行设计的要求越来越迫切。这是因为,计算机的规模越来越大,逻辑结构越来越复杂,性能越来越高。特别是在大型计算机中,由于包含着几万块的组件,故从逻辑设计、组装设计到制造、检查的各个阶段里,都需要做大量的工作,需要画出大量的图纸表格,处理大量的信息。在这种情况下,只要对设计里的某一部分进行一点修改,就会引起一系列相关联的大量的修改,这些工作若靠人工去作,则要耗费相当大的劳动量。此外,有些逻辑错误,靠人工往往不易检查出来,若在机器装好后才发现错误,就会引起很大的返工,使调机时间拖得很长。但是在设计过程中,总是需要对机器不断修改的。对于文件、表格、资料和逻辑图等整理编排,若没有计算机的帮助而单靠人工去完成,则不但要花费大量的人力,而且势必会导致出错和混乱不堪的局面。若使用计算机来帮助设计计算机,即实现计算机设计自动化,就能缩短研制周期,提高机器质量,节省人力和物力。

计算机设计自动化的内容主要有:系统模拟;逻辑设计自动化;逻辑模拟;划分、布局和布线自动化;自动测试等。下面简略作些介绍:

1) 系统模拟 在设计一台计算机的过程中,首先必须针对该机器的用途,决定其规模、速度、各功能部件的结构、外部设备的配备等,这就是体系结构设计阶段的任务。为了审查体系结构设计方案是否合理,可以在现有的计算机上,对设计中的计算机的功能进行系统模拟。通过模拟,对设计方案作出估价,并且反复进行修改,最后选择出满意的体系结构设计方案。这项工作,就是所谓的系统模拟。

2) 逻辑设计自动化 在计算机的逻辑设计阶段,首先要排出指令系统的操作表,然后推导出实现这些操作的逻辑表达式,并作出相应的逻辑图。尽管这个阶段的工作是非常繁重的,但可以借助计算机来实现逻辑设计自动化。在这一过程中,首先使用某种专门语言来描述被设计机器的结构和功能,将设计的原始数据输入到计算机里,通过专门的编译程序将其转换为逻辑表达式,然后根据逻辑表达式作出相应的逻辑图来。目前,逻辑设计自动化的工作,尚处于研究探索阶段。

3) 逻辑模拟 设计出来的逻辑图是否完全正确,如何找出存在的错误,这是一个很重要的问题。这可以靠逻辑模拟的方法来解决。逻辑模拟就是用计算机来检查设计出来的逻辑线路,将各逻辑单元的布尔表达式以及与这些单元有关的延迟信息、时间信息、初始状态等数据送入计算机,通过编码、分析和模拟等程序对其进行分析和估值,从而判断出该逻辑线路能否实现预期的功能。

4) 划分、布局和布线的自动化 在计算机逻辑图已被正确设计出来以后,接着就要考虑工程上怎样实现的问题。一台计算机的组装,通常要分成若干级来进行。通常,计算机由若干个机柜组成,机柜由若干底板组成,底板上装有许多插件,插件是由一些组件和元件安装在印制板上构成的,组件是由若干个门电路组成的。因此,在工程实现的时候,怎样按一定的要求,将门电路划分到组件上,把组件划分到插件上,这就是逻辑划分的问题。

题。组件在插件上怎样布置，插件在底板上怎样布置，这就是布局问题。在插件的印制电路板上，怎样将组件的输入和输出端按照逻辑图进行连接，这就是布线问题。无论是划分、布局、布线工作，它们都可以借助于计算机去完成。这就是所谓划分、布局、布线的自动化。

5) 自动测试 应用计算机辅助进行自动测试是计算机工程总体设计及计算机生产过程中的重要环节。自动测试的内容包括：组件的自动测试；印制电路板自动测试；插件自动测试；底板自动测试等。所有这些自动测试都包括故障的检测和诊断两部分。

自动测试过程大致包括下述步骤：编制描述电路的输入信息；编输入码；作出故障表；将计算机和测试台连接起来进行测试；分析结果；指出故障所在部位等。自动测试可以大大提高测试效率和准确性。例如对某台计算机的插件测试，过去十个人测一个月才完成90块，而借助计算机自动进行逻辑正确性复测，对600块插件而言只用了八小时，平均不到一分钟就可测一块。

计算机辅助设计应用范围很广，本书仅仅介绍下列一些内容：插件板自动布线；插件自动制版；插件板自动测试；集成电路自动测试；插件自动测试；底板自动布线；底板自动查线等。这些工作在计算机的设计与生产过程中都是非常重要的。

第二章 发射极耦合逻辑电路

为了适应研制较高性能数字系统的需要,研制了比一般 DTL 和 TTL 电路的速度更快的数字集成电路。实践证明发射极耦合逻辑 ECL (Emitter Coupled Logic) 电路在一定程度上能够满足大型高速计算机、高速测试系统、控制系统和高速通信设备的要求。

发射极耦合逻辑是一种非饱和型数字逻辑电路。所谓“发射极耦合”是指这种电路内的放大器采用的是发射极彼此连接的方式。这样连成的差动放大器具有高输入阻抗和高电压增益。其输出级采用射极跟随器,用以转换逻辑电平,并提供低输出阻抗,从而获得良好的电信号传输性能和较大的扇出能力。

发射极耦合逻辑电路具有下列优点:

1) 电路速度快 ECL 电路的速度比其它逻辑系列电路要快得多, ECL 的传输延迟较小,工作频率较高。ECL 电路开关速度快的主要原因是:

(1) 由于晶体管的工作点是在工作区,处于非饱和状态,所以它不存在饱和存贮时间问题。

(2) 输入和输出电平跳变幅度小(约 800mV),使得晶体管的开关速度非常快。尤其是当前超高速、低功耗的 ECL 电路,其电平跳变幅度小到只有 400mV,甚至只有 200mV。

(3) 由于电路中晶体管接近于共基极电路工作方式,因此频率特性较好。

2) 传输和驱动性能强 ECL 电路的输入阻抗、输出阻抗与射极跟随器相似。由于它具有高阻抗输入,故可以采用串联电阻来改善信号波形。由于 ECL 电路具有低阻抗输出,故其扇出能力强(一般而言,扇出至少为 8 个负载),并且有利于采用低阻抗并联匹配。ECL 具有较好的驱动传输线(包括同轴电缆和双扭线)的能力。特别是采用双向互补输出驱动双扭线传送信号时,其最长传输距离可达 1000 英尺,这比用同轴电缆经济得多。

3) 电路产生的噪声(干扰)小 由于电路在改变逻辑状态时,电源工作于恒定电流状态,因此,在电源线上的噪声小。此外,它具有较小的逻辑电平摆幅(800mV)和低输出阻抗。上述两种情况都有利于减少系统中的串扰和噪声。

4) 电路动态参数的一致性比较好 特别是,由于 ECL 电路传输的信号前、后沿延迟基本一致,故延迟时间与波形边沿离散率较小。这样便有利于信号的多级传送。

5) 逻辑功能较灵活 ECL 一级逻辑门可以同时获得“与”和“与非”的输出,这两个互补输出端具有相同的传输延迟。此外,只要把若干个输出端连接在一起,就可得到逻辑“或”的功能。由于这种“线或”连接所增加的传输延迟远小于一级门的延迟,而且每个“线或”电路只需要一个下拉电阻,因此可以节省功耗。总之,由于 ECL 电路具有互补输出和具有“线或”功能,因此可以减少逻辑设计中组件的用量,节省功耗,从而可以提高系统的可靠性。