

# 微型计算机 总线

艾德才 陆明 李文彬 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

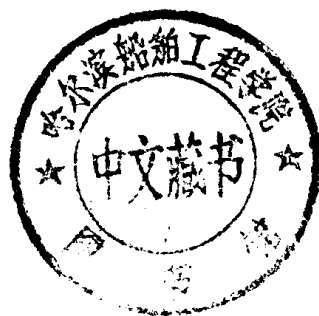
TP 366

385986

A 37

# 微型计算机总线

艾德才 陆 明 李文彬 编著



电子工业出版社

## 内 容 提 要

本书对目前在微型计算机领域里广泛使用的 Multi bus I 总线、Multibus II 总线、微通道、STD 总线、U-NIBUS、Q、VAXBI 总线、VMEbus 总线、FASTBUS 总线、NUBUS 总线以及 FUTURE 总线共 9 种总线的结构、信号组成、工作原理、性能以及在各种微型计算机领域里的应用等进行了详细分析证明。本书可以认为是对微型计算机常用的总线技术进行的一次概括和总结。是一本资料汇编。

本书可作为大专院校计算机专业学生教科书、教学参考书,也可供计算机科研人员开发人员及其它科学工作者开发研究用。

JS158/60

### 微型计算机总线

艾德才 陆 明 李文彬 编著

责任编辑:吴 源

特约编辑:陈晓平

\*

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

电子工业出版社计算机排版室 排版

中国科学院印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 22.25 字数: 536 千字

1996 年 3 月第 1 版 1996 年 3 月第 1 次印刷

印数: 4000 册 定价: 30.00 元

ISBN 7-5053-3292-9/TP·1234

## 前 言

九十年代将是微型计算机技术空前发展的十年,在此十年,微型计算机从貌到质都将发生根本性的变化。不论是在性能上还是在处理速度上,当前代表微型计算机潮流的 32 位微型计算机在专家系统、机器人以及控制系统、工程工作站、办公室自动化、事务处理、科学计算和工程计算、人工智能、过程控制、软件开发、CAD/CAM 等各个领域都得到广泛的应用。

由于微型计算机性能逐年提高,总线又是微型计算机硬件系统中举足轻重的一个重要部件,越来越受到计算机界人士的观注。总线为何物?它乃是一组公共信息传输线路,它能为多个部件提供优质服务,又可分时地发送和接收各个部件的信息。它又是微型计算机系统的一个独立的部件,为微型计算机系统内各个部件所共享的独立部件,可以这么认为,总线性能可直接影响到整个微型计算机系统的性能。

由于总线在微型计算机系统内的特殊地位,所以世界上各著名计算机厂家都在精心设计能代表本公司技术水平的总线。本书中所介绍的这九种总线,就是诸如 Intel 公司、IBM、Motorola 等著名大公司研制并付诸使用的代表。

本书对 Multibus I 总线、Multibus II 总线、STD 总线、微通道总线、UNIBUS-Q-VAXBI 总线、VMEBUS 总线、FASTBUS 总线、NUBUS 总线以及 FUTURE 总线共九种总线,从它们各自的结构、信号的组成、工作原理、工作性能信息传送机制以及在各种微型计算机系统的使用情况都给以详细地描述。可以说本书是有关微型计算机总线技术的一本资料汇编。

参加本书工作的还有肖跃龙、王俊珍、刘文瑜、刘文萃、庞学洲、张兰月、王中怡、朱淑文、陈毓弘、苗君秋、胡琳、艾菲、周士松、孙丙国、赵春锋、刘秀云、程家莲、李海珍等同志。对他们给予的支持、帮助和理解深表谢意。

由于编者水平有限、书中谬误和不足在所难免,敬请计算机界的前辈、同仁和读者不吝指正。

编者 1995 年 12 月于天津大学

# 目 录

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| 第一章 总线的基本概念 .....         | (1)   |
| 第一节 总线背景 .....            | (1)   |
| 第二节 总线定义 .....            | (1)   |
| 第三节 评价因素 .....            | (2)   |
| 第四节 总线信号及其使用 .....        | (3)   |
| 第五节 传送线概念 .....           | (4)   |
| 第二章 总线的比较 .....           | (12)  |
| 第一节 局限性 .....             | (12)  |
| 第二节 比较的基础 .....           | (12)  |
| 第三节 总线比较 .....            | (13)  |
| 第三章 软硬件之间的关系 .....        | (16)  |
| 第一节 概述 .....              | (16)  |
| 第二节 总线的交互作用 .....         | (22)  |
| 第四章 Multibus I .....      | (24)  |
| 第一节 前言 .....              | (24)  |
| 第二节 Multibus I 技术参数 ..... | (25)  |
| 第三节 iLBX 局部总线扩展 .....     | (46)  |
| 第四节 iSBX 扩充的输入/输出总线 ..... | (47)  |
| 第五节 iSBX 机械参数 .....       | (55)  |
| 第六节 Multibus I 应用 .....   | (57)  |
| 第五章 Multibus II .....     | (69)  |
| 第一节 引言 .....              | (69)  |
| 第二节 功能分配 .....            | (70)  |
| 第三节 子总线 .....             | (72)  |
| 第四节 互联空间 .....            | (76)  |
| 第五节 信息传送机构 .....          | (79)  |
| 第六节 信息空间 .....            | (82)  |
| 第七节 系统总线特点 .....          | (85)  |
| 第八节 总线周期 .....            | (88)  |
| 第九节 Multibus II 应用 .....  | (90)  |
| 第十节 Multibus II 与兼容 ..... | (102) |
| 第六章 微通道 .....             | (106) |
| 第一节 微通道特征 .....           | (106) |
| 第二节 微通道构成 .....           | (113) |
| 第三节 传送周期操作 .....          | (119) |
| 第四节 系统配置 .....            | (126) |
| 第五节 总线控制权 .....           | (135) |

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| 第六节 微通道接口芯片 .....                  | (139) |
| 第七节 16 位微通道 .....                  | (156) |
| 第八节 32 位微通道 .....                  | (164) |
| 第九节 微通道适配器 .....                   | (169) |
| 第七章 STD 总线(IEEE961) .....          | (175) |
| 第一节 STD 总线的特点 .....                | (175) |
| 第二节 STD 总线的应用 .....                | (177) |
| 第三节 标准 .....                       | (178) |
| 第四节 历史与发展 .....                    | (179) |
| 第五节 STD 总线核心 .....                 | (179) |
| 第六节 存储器 .....                      | (180) |
| 第七节 STD 总线输入/输出 .....              | (180) |
| 第八节 STD 总线的多道处理 .....              | (186) |
| 第九节 分布式处理 .....                    | (188) |
| 第十节 系统和操作软件 .....                  | (190) |
| 第十一节 STD 总线逻辑 .....                | (192) |
| 第十二节 电参数 .....                     | (197) |
| 第八章 UNIBUS 总线、Q 总线和 VAXBI 总线 ..... | (199) |
| 第一节 回顾 .....                       | (199) |
| 第二节 总线特征 .....                     | (202) |
| 第三节 多路转换与非多路转换总线 .....             | (205) |
| 第四节 主 - 从关系 .....                  | (206) |
| 第五节 异步操作和同步操作 .....                | (207) |
| 第六节 时滞技术 .....                     | (209) |
| 第七节 亚稳态 .....                      | (210) |
| 第八节 分布式仲裁 .....                    | (211) |
| 第九节 地址空间 .....                     | (214) |
| 第十节 数据与校验 .....                    | (217) |
| 第十一节 中断 .....                      | (218) |
| 第十二节 操作类型 .....                    | (219) |
| 第十三节 超时 .....                      | (220) |
| 第十四节 UNIBUS 信号 .....               | (221) |
| 第十五节 Q 总线信号 .....                  | (226) |
| 第十六节 VAXBI 总线信号 .....              | (229) |
| 第九章 VMEbus 总线 .....                | (232) |
| 第一节 引言 .....                       | (232) |
| 第二节 VMEbus 总线的机械结构 .....           | (232) |
| 第三节 VMEbus 总线的功能结构 .....           | (233) |
| 第四节 电气技术规格 .....                   | (238) |
| 第五节 VMEbus 总线技术说明的规格 .....         | (241) |
| 第六节 VMEbus 的性能 .....               | (244) |
| 第七节 VMEbus 总线的应用 .....             | (256) |

|              |                     |       |
|--------------|---------------------|-------|
| 第十章          | FASTBUS 总线 .....    | (261) |
| 第一节          | 系统概论 .....          | (261) |
| 第二节          | 信号 .....            | (262) |
| 第三节          | FASTBUS 事务处理 .....  | (265) |
| 第四节          | CSR 空间 .....        | (276) |
| 第五节          | 区段连接 .....          | (280) |
| 第六节          | 中断 .....            | (282) |
| 第七节          | 从属设备 .....          | (282) |
| 第八节          | 软件 .....            | (285) |
| 第十一章         | NUBUS 总线 .....      | (287) |
| 第一节          | 概述 .....            | (287) |
| 第二节          | 技术术语 .....          | (290) |
| 第三节          | 实际部件 .....          | (292) |
| 第四节          | 数据的连接 .....         | (295) |
| 第五节          | 系统结构 .....          | (301) |
| 第六节          | 总线应用 .....          | (305) |
| 第十二章         | FUTURE BUS 总线 ..... | (310) |
| 第一节          | 引言 .....            | (310) |
| 第二节          | 机械接口 .....          | (311) |
| 第三节          | 电气特性 .....          | (312) |
| 第四节          | 协议原则 .....          | (316) |
| 第五节          | 仲裁 .....            | (318) |
| 第六节          | 数据传送 .....          | (327) |
| 第七节          | 高速缓冲存储协议 .....      | (337) |
| 第八节          | 控制及状态寄存器空间 .....    | (341) |
| 主要参考文献 ..... |                     | (345) |

# 第一章 总线的基本概念

## 第一节 总线背景

表面上看来,任何一种计算机总线设计和使用并非都是深奥的课题。但是对于那些试图制定明智的、与给定总线类型相关的决策的设计师们或工程经理们来讲却是一个非常重要的课题。同样地,对试图为某些特种用途做出切合实用设计的设计人员,或制造出可靠实用的系统的设计人员来说则显得特别重要。众所周知,总线对所有计算机系统来说,都是一个非常重要的部件。从最初设计计算机时就开始着手使用总线这种部件了。最早的微机总线通常被设计成只能适用于某些简单类型的处理器和仅能完成一些最基本的操作。随着工业发展,总线也变得日益复杂起来,且其能力变得越来越大,速度也越来越快。在开始认真地考察当今所流行的诸总线之前,对计算机总线的基本功能和解决某些特定问题的方法,以及对某些尚需认真研究的重要因素有个基本了解是完全必要的。

恰如其分地看待总线在计算机系统所起的作用是很重要的一个方面。总线这个东西充其量不过是用于解决信息传送问题的众多工具中的一种。它也仅是完美的系统工具中的一个组成部分。尽管已把总线说明为通用的总线,并已最大限度地满足了的对总线的正常需求。但在制定总线设计方案时工程师们还应清楚地了解所设计的总线性能尚有某些局限性。关于使用什么总线和怎样设计自己系统内的总线,归根到底是一个复杂的问题,并非算法所能决定的。与此相关的因素也是不断的变化着的,而且不仅仅是基于当前对总线的需求,是由多方面因素所决定的,像工程造价时间表,可测性,可扩展性,设计余量,机械参数,环境因素,甚至还要包括政治因素。最容易的工作部分通常是在制定基本而散乱的决策之后。而基本的决定往往又是建立在不完全和不充分的信息基础上的。但是,它所能表达的仅仅是工作的一部分。

## 第二节 总线定义

尽管在最普通的情况下,有大量的不同类型和不同配置的总线,本书中所介绍的总线奉献给读者的是,以系统方式将总线说明成计算机各个功能模块间相互连接的工具。总线以机械形式、电气特性和通讯协议等诸方面,在插件板级设备之间建立了一个标准。

假设总线设计人员已设计的总线是供微机使用的总线。这时在设计一个微机系统时可供选用的设计方法有两种,一种是可以使用单板机来获得满意的效果,另一种是采用多板机加以解决。一旦选定了采用多板机的解决方法后,就要开始考虑怎样使用总线的问题了。通常,当所完成的功能的复杂性和数量超出单板机设计工艺水平的当前容量时,或工程设计时间紧迫,而没有时间设计一个用户板时,就要考虑使用现有标准总线。通常原则是在设计微机系统时,只要有可能就要尽量使用标准化总线。当我们分析清楚当前总线的灵活性

和功能之后可知,只有某些工业和军事上的问题需要设计一种用户专用总线。应该说,采用这种专用总线既有政治上的因素又有技术上的因素。但单纯的技术因素这一项在决定是否使用这种专用总线时总是不占主导作用。

### 第三节 评价因素

使用标准化总线有许多优点。下列诸因素是缩短设计时间的重要因素。

- 1、尽量减少用户插件板数量。
- 2、尽量采用标准插件板。
- 3、尽量采用适于总线接口的用户集成电路芯片。
- 4、规定插件板级通讯标准。
- 5、减少查错时间。

而下列诸因素则可减少总线设计时间和工程造价:

- 1、不再扩充总线标准。
- 2、尽量减少调试和构成总线的时间。
- 3、减少硬件开发的工程时间。

不管怎样说,总线本身也并非完美无缺,尽善尽美。使用总线也同样存在某些缺陷。固然,使用了总线之后可以获得更多的功能和更高的性能,但其价格也相应地高于使用单板机所需费用。若使用的是从市场上买来的标准插件板级产品,将会受到生产厂商对于产品寿命的制约。同时,有些零配件并非在市场总能配齐,是否总能合用,哪一个环节出现了问题都会给微机批量生产造成一定困难。设计者对这些问题均应予以考虑。若使用标准总线进行设计,其优点还是明显超过缺陷,所以越来越多的设计人员都喜欢使用标准总线。

每当决定是使用单板机进行设计还是使用总线设计时,工程技术人员还应考虑另一些因素。这些因素中第一位的问题是复杂性。通常用来估计复杂性的因素有如下几项:

1. 估算所需存储器的容量
2. 输入/输出请求(串行、并行和特殊功能)
3. 文件存储所需的存储器容量
4. 特殊的处理功能
5. 并行或流水线操作请求
6. 产品支持和研制环境

而特殊处理功能可包括预处理器,如阵列处理器、智能输入/输出、以及高速的专用协处理器等。

在需求方面要求最高的似乎总是速度。在计算系统内的信息吞吐量时,素质高的系统工程人员都知道系统处理器的时钟速度并不总是最重要的因素。但不管怎样,在衡量处理机的性能时,处理机的运行速度似乎被用的次数最多。决定系统速度的更完全的因素应包括以下几个方面的内容。

- 1、算法效率和算法实现
- 2、多任务的系统开销
- 3、数据传输速度(总线速度)

#### 4. 输入/输出处理速度

#### 5. 编译效率和编码效率

在封装设计时还必须考虑某些细节问题。这样做完全有可能会由此而决定了产品的生存期,当然它也是基本的重要因素。在设计封装时考虑的因素还包括插件板和总线等的形式因素以及与环境的关系。一旦选定了总线,就必须承认绝大多数总线所具有的固定形式这一因素。一些新型总线,如 VMEbus 总线可以支持多种形式因素,这就给设计外包装的工程技术人员某些自由度。其中环境因素可以包括:

- 1、温度
- 2、湿度
- 3、辐射
- 4、大气灰尘和污物
- 5、高度
- 6、震动和颤动

市场销售的绝大多数插件板都是为商业或工业环境设计的。也就是说,这种插件板仅适用于相对干燥的湿度,可控的温度下,最小情况下的辐射,或根本没有辐射,相对说来大气环境内灰尘的污物含量较低,所受到的撞击和震动强度也较低,如上所列所有各项都可以通过仔细的机械设计或封装设计来给以适当的控制。由此往往会出现由于某些设计环节上的问题而导致封装费用远远超过所用插件板、底盘和元器件价格的情况。

有些总线在设计时,对电源消耗的限制比较严格,绝大多数的总线在电源消耗上并不是那么节省。但总线设计者已日益意识到在插件板上由于电源消耗过量而引发的一系列问题。若电源功率增大,温度就会升高从而会导致可靠性的下降。如若把总线设计成带有散热片的封装,其价格必然比较昂贵。由于高速的 CMOS 元器件的出现,就大大减少了使用功率消耗过多的 NMOS 元器件的情况,使插件板的电源消耗显著下降。任何具有较弱冷却能力的总线,或必须用于电池操作的总线,或者是体积非常小的总线均应进行电源消耗例行检查和发热问题测试。

### 第四节 总线信号及其使用

几乎所有微型计算机总线和计算机总线都具有四种通用的信号。这些信号的实现细节、用法和功能在不同具体应用上差距还是比较大的。举例来说,VMEbus 总线通常就比 STD 总线的功能要强,当然价格也相应会更高些。但这并不意味着在所有应用中 STD 总线均可被 VME 总线所替代。而在性能和价格比上通常总是在一定范围之内。通常总是将所选择的总线与系统需要的性能和价格比相匹配。

四种通用信号应是:

1. 数据信号
2. 地址信号
3. 控制信号
4. 电源

数据总线是外部设备和总线主控设备之间进行数据传送的数据通道。本书中通常用标

志  $D_0, D_1, D_2, \dots, D_n$  这种方式来表示数据总线数目,其中第 11 位用  $D_{11}$  予以表示。数据总线的位数或处理机的位数决定了数据总线或处理器的规模。例如,摩托罗拉(Motorola)公司的 32 位微处理机就配备有 32 条数据总线,根据需要也常用数据总线载带中断向量信息。

地址总线的作用是在外部设备和总线主控设备之间传送地址信息。通常用符号  $A_0, A_1, A_2, \dots, A_n$  予以表示。这种带数字脚标的符号可以表示出地址线条数。地址总线中位的数目或者说地址总线的宽度决定了总线的寻址范围。例如 INTEL 8086 的宽度为 20 位地址总线,这种总线的寻址范围则为  $2^{20}$  字节,其中最高地址为  $2^{20} - 1$ ,用 16 进制数表示则为  $0FFFFFFH$ 。这就是说存储器容量为 1048576 字节,也就是通常所说的 1M 字节。对那些还支持输入/输出指令的处理器来讲,也常用地址总线来表示输入输出端口地址。有些总线也常用地址总线作为控制总线的组成部分。

控制总线是任何特定类型总线变化最大的一个部分。它也是最灵活和功能最强的一组总线。有些功能都是由控制总线完成的,像对电源故障的处理,对中断的过程处理,向量的传送,多主控设备使用总线时的仲裁,数据传输时的信号交换以及某些类似于如上所述功能。与这些种类功能相适应的控制线少则可以有几条,例如简单的 STD 总线。而对于像 MULTIBUSII 总线或 VMEbus 总线这种复杂的总线来说,就可能有几十条。某些功能在有些总线中可能得不到支持,而在其它一些类型的总线就有可能得到支持。系统设计人员或工程师必须详细地了解每种总线的功能,以便成功地使用它的特性,并了解如何使它有助于解决设计问题。后续章节对本书提到的每种总线的控制特性的操作都做了相当详细的论述。

电源总线信号大概是总线信号中最简单的一组信号了。但如果在底板设计上和系统对于电源的需求上缺乏周密的考虑的话,这就很有可能成为系统故障的根源。多数总线都需要那种大电流的供电电源。它们的电压至少应是  $+5VDC, +12VDC, -5VDC, -12VDC$ 。事实上,  $-5VDC$  电压是很少提供的。电源板扩充使用和把系统板设计成多层底板常在大型、较复杂的总线类型中使用。而相对说来,比较简单的总线则是仅使用两层布线的电源线。

## 第五节 传送线概念

本节所要介绍的是用户感兴趣的有关总线的背景知识,以及在采用标准总线设计电路板时,应该了解传输总线操作的基本原则。对用户来说,若忽视传输线传输信号的基本原则,则有可能会引起系统的失效。系统的操作速度越高和由于传输线太长,以及由于不适当的停机再加上不匹配的分布的集总电容所造成的不良影响等因素,就会使总线性能下降越来越严重。所有传输线都具有一个共同的特性,即控制线和负载的阻抗布局不尽合理,这一点是很重要的。另外,由于总线的操作方式的不同,采取一种理想的解决问题的方法往往又是行不通的。然而,值得庆幸的是,大多数数字设备的特性条件并不苛刻,用一个很接近理想状态的解决方案来解决出现的问题是完全必要的。

本节中,我们是将数字信号当成模拟信号给以处理的,并采用模拟技术对其进行模拟。

由于传输线出问题而使系统表现出来的不正常现象有很多种,其中比较典型的不正常现象有如下几种:

现象 1: 当一个程序在一个目标系统上运行时, 若在访问系统中的某个电路板时出现了系统故障, 而在这一电路板上单独运行检测程序的结果又证实了这一电路板各部件运行正常无误后, 再进一步检测输入到这块电路板的控制信号、数据信号或地址信号, 就会进一步发现, 在信号的上升沿或下降沿有失真或过冲现象。

现象 2: 若一个特定的插件板在执行目标系统代码时出现了故障, 首先改变出现故障的代码, 再用软件访问这个出现了故障的插件板, 其目的是把问题固定在一个地方, 但是其结果是此系统中代码的改变并没有影响电路板的运行。改变访问插件板的顺序, 或在代码中的某一位置下设置软件延迟是处理这种现象的方法之一。

现象 3: 在改变系统的硬件配置(例如增加一块或多块插件板)之前, 系统运行正常。若突然出现先前正常运行的插件板有间歇式故障, 或停止运行了, 这就是典型的现象了。

现象 4: 若某块插件板出现了没理由的“插件槽敏感”现象, 这一现象的具体表现是, 当一个插件板插在某个插件槽上尚能正常工作, 但当把同一个插件板插到其它插件槽上时就不能正常工作了。这是现象 4 的典型例子。

现需说明的是, 上述所有这种不正常的现象有可能是由于其它原因造成的, 不一定就是传输线的问题。但也不能排除造成上述不正常现象的根源就不是传输线的问题。

当传输线过长时, 会引起数字信号(数字信号的实质性部分是指所传送信号的上升时间、下降时间以及信号宽度等部分)在传输过程中所出现的在时间上的延迟。电路板上的印制导线, 或接插件就变成了传输线。为使问题说明清楚, 我们假定所有的电信号在传输时的速度是一定的。规定的传输速度通常取决于传输信号所经过的传输媒介。对于一个在玻璃环氧树脂板上 0.01 英寸宽的印制导线上传输的信号(板厚 0.062 英寸, 并且板背面有接地板面)来说, 它的传输速率为  $2\text{ns/ft}$ , 对典型 TTL 高电流驱动器来说, 它的上升和下降时间约为  $1.0\text{ns}$ 。若印制线太长以致于在传输信号时需多用  $0.5\text{ns}$  时间, 这就会存在一种由于传输线效应而引起逻辑错误的可能性。这  $0.5\text{ns}$  延迟时间相当于 3.0 英寸的长度。这些数字多少有些随意性, 具体的设计会与这里所示的数字多少有些出入, 但设计原则是适用的。

一种传输线有它特定的特征阻抗。当信号在传输线上传输时, 若它的特征阻抗值从一种情况变成另一种情况时就会出现这样的现象: 一部分信号会沿着传输线向前传送, 而另一部分信号则被沿着传输信号相反的方向又反射回来。合成信号则是所有在传输线上的入射信号与反射信号的瞬时和信号。反射信号的大小取决于失谐信号的大小。在数字系统中, 典型的情况是: 传输线失谐最为严重的地方是那些负载和接收器。具体到一个系统来说, 可能有若干个负载会产生入射和反射信号。应该提出的是, 所有入射和反射信号也都会被传输线所消耗, 所以在发射端测到的反射信号会比反射端测到的反射信号小一些。而且所有实际传输线对于信号的高频分量的消弱程度会比对低频量的消弱程度要大一些, 所以尖脉冲会被变得很平滑, 当然也存在着入射信号和反射信号都被消弱的可能性。

根据这一基本思想, 印刷电路板在设计上大体分为两类。一种是双层电路板, 这种电路板设计起来比较容易也比较便宜, 其缺点是把设计者死死地限制在两个相连的二层板上。很明显, 这也在很大程度上限制了印制线路的布线密度。另一种是多层电路板, 这种电路板在设计和制作上虽十分昂贵, 但能最大限度地增加电路板印制线路布线的密度。某些特定的电路板能很容易地设计成 12 层以上的电路板。(当然还有些其它的布线技术被使用, 例如: 绕线、多线连接等等, 我们准备列专题介绍, 我们在这里讨论的仅限于传统印制布线板的

制造技术)。设计人员使用多层电路板上的附加层可以对电源板和底板进行扩展,以减少电源干扰导致的故障和布线交扰以及实现对传输线阻抗的控制。典型的两层电路板的底板设计常常是用一层板来布置信号线,而用另一层板布置信号地线。所有电源板都连接于信号地线。一面用来布置信号线,而另一面用来做地线的电路板的轮廓图如图 1.1 所示,这种轮廓图被称为微波传送带(microstrip)。多层电路板一般是信号线与地线交错布置的,如图 1.2 所示。这种类型的轮廓图被称为微波带状传输线(stripline transmission line)。

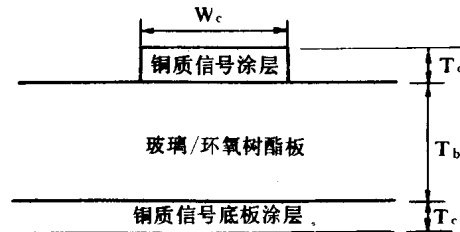


图 1.1 微波传输带传输线

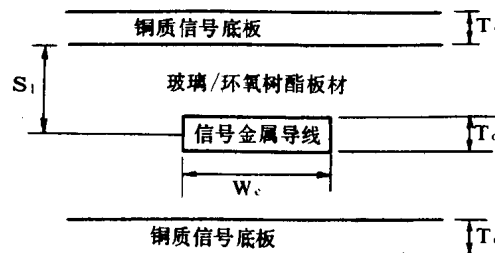


图 1.2 电介质条状传输线

微波带状传输线比微波传输带的传导速度要快一些,并且具有由方程 1.1 所描述的传输线特征阻抗。

$$Z_0 = 87 / [E_r + 1.41]^{0.5} \ln [5.98 T_b / (0.8 W_c + T_c)] \quad (1.1)$$

其中:

$E_r$ : 板材相对于电介质绝缘常数

$T_b$ : 板厚

$T_c$ : 涂层厚度

$W_c$ : 涂层宽度

需要说明的是,这一方程是在忽略了电场边缘效应的情况下建立的。建立这一方程的物理条件是:信号地线板的宽度是涂层宽度的四倍,并且确保信号线涂层位于地线板的正上方的中心。大多数环氧树脂材质的电路板的  $E_r$  在 3.5 ~ 5.5 之间。而陶瓷材料的绝缘常数会更高些。如果所使用的板材的波传输材料的绝缘常数是未知的,可以比较容易用测量办法获得。具体实现办法是用一个上升沿很陡的脉冲信号,激励一个一米半长的涂层,测量在传输线入射端和负载端的脉冲上升沿的时间差,可通过公式 1.2 计算得到板材电介质绝缘常数  $E_r$  值:

$$E_{cr} = [(300.0E + 6)L_c D]^{0.5} \quad (1.2)$$

其中:

$E_{cr}$ : 综合相对电绝缘常数

$L_c$ : 测试时使用的涂层长度(米)

$D$ : 发送信号与接收信号的时间延时

在微波传输带传输线结构中,相对绝缘常数不单单是板材的绝缘常数问题。当涂层的一面为板材,而另一面为空气时,在这种情况下使用的就是复合或有效绝缘常数。公式 1.1 已经对绝缘材料的影响和板材绝缘常数给以补偿,可以放心使用。而公式 1.2 也可以用来计算复合绝缘常数。5 盎司涂铜板的厚度  $T_c = 0.0014$  英寸。但大多数两层涂铜的厚度为  $T_c = 0.062$  英寸。若所用涂铜板的电介质绝缘常数  $E_r = 4.0$ , 涂层宽度  $W_c = 0.010$  英寸,则传输线的阻抗就可通过公式 1.1 计算得到:

$$Z_0 = 137.5 \text{ 欧姆}$$

以上算出的  $Z_0$  这个阻抗就是许多微波带状传输线底板线的典型特征阻抗。有些底板被设计成又涂有覆盖层,这样处理会增加插件板上的复合绝缘常数。许多应用场合下,这种增加还不致达到会因此而引起出现故障的程度。但是对于设计者来说,应该意识到出现故障的潜在因素是存在的。

微波带状传输导体是完全镶嵌在插件板材料中的。微波带状传输线的特征阻抗可由公式 1.3 估算出来。

$$Z_0 = (60/E_r^{0.5}) \{ \ln[8S_1 / [0.67 * \pi(0.8W_c + T_c)]] \} \quad (1.3)$$

其中:

$E_r$ : 插件板的相对绝缘常数

$S_1$ : 板层间的空隙大小

$\pi = 3.14159$

$W_c$ : 埋置的涂层宽度

$T_c$ : 埋置的涂层厚度

$Z_0$ : 微波带状传输线特征阻抗

在前面的那个公式 1.3 中,若  $S_1$  至少是  $T_c$  的三倍并且  $W_c$  小于  $S_1$  的一半,其计算结果是相当准确的。公式 1.2 是用来决定插件的绝缘常数是未知时电介质绝缘常数  $E_r$  的。对于 FR-4 材料来说,典型的传送延时是  $2.25\text{ns/ft}$ 。而典型微波传送带的延时是  $1.75\text{ns/ft}$ 。若电介质常数  $E_r = 5.0$ , 埋置的涂层厚度  $T_c = 0.0014$ , 埋置的涂层宽度  $W_c = 0.08$ , 板间空隙大小  $S_1 = 0.015$ , 微波带状传输线的阻抗  $Z_0$  可由公式 1.3 计算出来。

$$Z_0 = 5.4 \text{ 欧姆}$$

这也是微波传输的典型值。然而实际上微波传输带线在许多情况下产生的特性阻抗值都比较小。

## 一、传输线的终端和反射

图 1.3 中展示出了基本传输线结构,这一结构中有驱动源(在此例中产生一个阶跃电压驱动函数),传输线的特征阻抗  $Z_0$ ,端点或负载电阻  $R_L$ 。传输线上当前电阻值是由  $V_s/I$  计算出来的。这里  $V_s$  是阶跃电压的幅值, $I$  是传输线上电流。设阶跃电压在传输线上出现

时间为  $t_0$ ,而在负载端阶跃电压的出现应为  $t_0 + dt$ 。这里  $dt$  是传输线上的组合延时。当阶跃电压和电流波形出现于负载端时,假设负载电阻与传输线特征阻抗等值,电流  $I$  便在负载电阻上产生。在这种条件下,传输线上没有产生反射电流或反射电压。这时传输线上的电压电流阻抗就被视为匹配。这是底板和插件板传输线工作的最理想的状态(生成的波形最佳)。传输线唯一受到的影响是由于传输线上的组合延迟  $dt$  而产生的阶跃电压到达时的延迟。当负载阻抗与传输线阻抗不一样或不匹配时,其初始线电流是:

$$I(t_0) = V_s / Z_0$$

然而最终稳定状态下的线电流则是由负载电阻决定的(假设传输线上的欧姆电阻是比较小的),其值为:

$$I(t_0 + \infty) = V_s / R_l$$

这里参数  $t_0 + \infty$  是传输线到达稳定状态值时所需的时间。

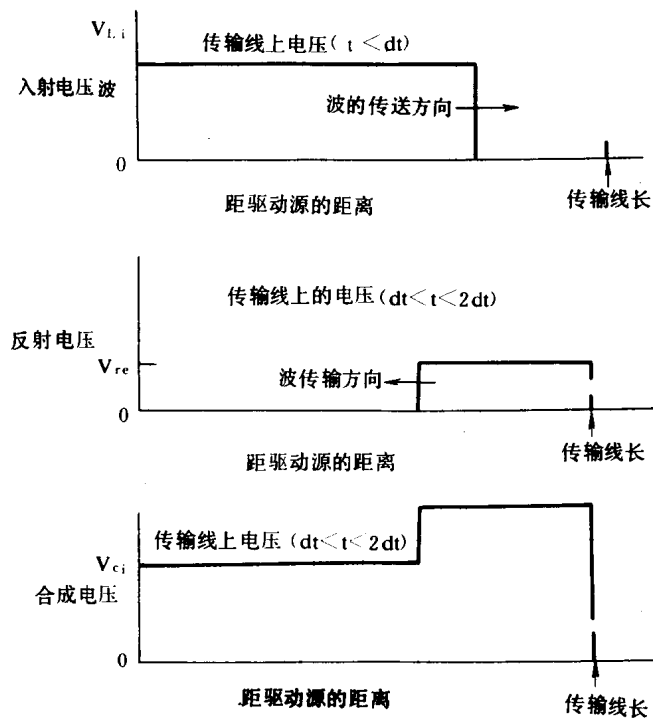


图 1.3 传输线波形( $R_L > Z_0$ )

因为传输线在传输信息时在传输线上和在负载上产生的电流不同,而且负载也需要不同的电流,所以当入射波到达负载时就会产生一个与入射波方向相反的反射波。在任何时候任何情况下都必须符合如方程 1.4 和 1.5 所示的克尔霍夫电流和电压定律。

$$I_{li}(t_0 + dt) + I_{re}(t_0 + dt) = I_{ld}(t_0 + dt) \quad (1.4)$$

和方程:

$$V_{li}(t_0 + dt) + V_{re}(t_0 + dt) = V_{ld}(t_0 + dt) \quad (1.5)$$

如上两方程所用各参数分别是:

$I_{li}$ : 传输线上的电流

$I_{re}$ : 传输线上的反射电流

$I_{ld}$ : 负载电阻上的电流

$V_{li}$ : 传输线上阶跃电压发生器上电压

$V_{re}$ : 传输线上反射电压

$V_{ld}$ : 负载电阻两端的电压

$t_0$ : 信号发生器产生阶跃电压  $V_s$  的时间

$dt$ : 传输线上的延迟时间

为简化起见, 在以后的公式中删掉时间这一因素数。但同时应假定在入射波到达负载的时刻应满足下面方程:

$$I_{ld} = V_{ld}/R_l$$

这是欧姆定律最简单的一种使用形式。用  $V_{ld} = I_{ld} * R_l$ , 代入方程 (1.5) 中而消去  $V_{ld}$  可得到:

$$I_{ld} = (V_{li} + V_{re})/R_l \quad (1.6)$$

由于:

$$I_{li} = V_s/Z_0 \quad (1.7)$$

且:

$$I_{re} = -V_{re}/Z_0 \quad (1.8)$$

由方程 (1.8) 可解出  $V_{re}$ :

$$V_{re} = V_{li}(R_l - Z_0)/(R_l + Z_0) \quad (1.9)$$

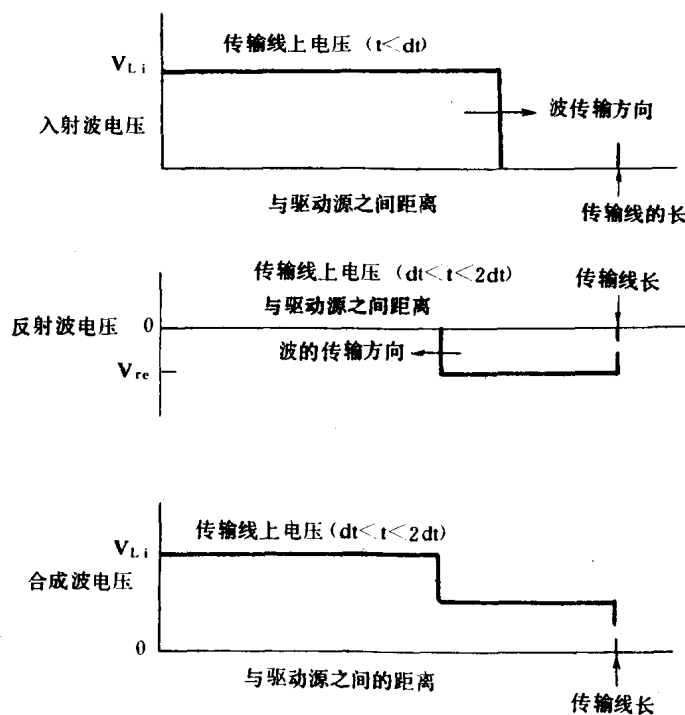


图 1.4 传输线波形 ( $R_l < Z_0$ )

上式中  $(R_l - Z_0)/(R_l + Z_0)$  这一项被称为反射系数, 它代表了反射波幅度大小与入射

波、负载电阻和传输线特征阻抗间的函数关系。图 1.3 中展示出了当负载电阻大于传输线特征阻抗时电流和电压在传输线上的时序。而图 1.4 则是展示出了负载电阻小于传输线特征阻抗时电流和电压在传输线上的时序。

若电源阻抗与传输线特征阻抗不匹配,则从不匹配的负载电阻上反射过来的反射波其作用就变成了一个反射波。这一个反射波又反过来从信号驱动端产生一上反射波。这一反射波沿传输线传送至负载后又被反射回来。在每次反射过程中,反射波形则由于反射系数的改变而改变,并且会在传输通路上由于损耗而衰减。这种多重反射过程对于不匹配传输线的阶跃输入信号来说就很容易产生颇具特色的振铃效应。

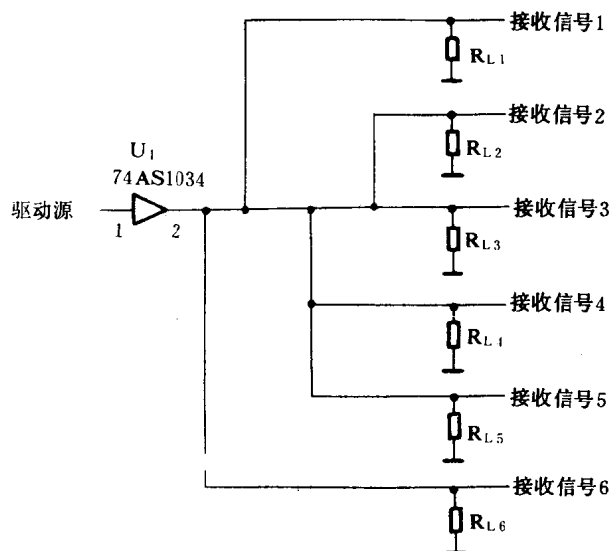


图 1.5 多重式或星形连接方式结构

纯电阻做为终端负载的传输线的情况是少见的。常见的情况是如图 1.5 所示的,由一个信号驱动源驱动多重负载的多线输入的星形结构,或是负载电阻并联一个反映接收器输入端固有电容特性的输入电容而构成的容性负载。容性负载增加了加载信号的上升和下降时间,从而增加了由信号发送器发出信号到接收器接收到信号过程中由传输线造成的延时。在多重输入构成的星形结构中,每条传输线和输入端点都会产生自己的特征反射波。这些反射波某一时刻的代数和就是实际作用于此传输线系统的反射波。它们的每一个反射波的作用效果也可以认为是独立的,而叠加后的结果反映的是所有输入端的元器件的情况。在星形连接线增加以及输入端增加的情况下,所要解决的问题数也会迅速增加。在长传输线情况下,若用缓冲器进行信号隔离,其效果最佳,而将多重负载串接或按图 1.6 和 1.7 所示的菊花键连接方式连接时,传输线系统的功能会提高一些。