

国家职业技能鉴定最新培训用书

李长军 曾国新 刘桂全 主编

维修电工技师 培训教程

依据人力资源和社会保障部制定的《国家职业标准》要求编写



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

国家职业技能鉴定最新培训用书

维修电工技师培训教程

李长军 曾国新 刘桂全 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是依据《国家职业标准——维修电工》职业要求组织编写的,是职业技能鉴定的指定辅导用书。本书共分为11章,包括电子技术基础、电力电子技术、自动控制基本知识、直流电动机的调速系统、变频调速系统、可编程控制器(PLC)、数控机床、现代工业控制技术、现代企业管理、技师论文答辩及培训指导、试题库。本书在涵盖职业技能鉴定考核基本要求的基础上,详细介绍了本职业岗位工作中要求掌握的最新实用知识和技术。

本书可供相关技术人员参考,还可作为职业技能鉴定培训用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

维修电工技师培训教程/李长军,曾国新,刘桂全主编. —北京:电子工业出版社,2011.6

国家职业技能鉴定最新培训用书

ISBN 978-7-121-13570-5

I. ①维… II. ①李… ②曾… ③刘… III. ①电工-维修-技术培训-教材 IV. ①TM07

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第089459号

策划编辑:富 军

责任编辑:刘 凡

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司
装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:18.5 字数:474千字

印 次:2011年6月第1次印刷

印 数:4000册 定价:39.80元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

本书是依据《国家职业标准——维修电工》职业要求组织编写的，是职业技能鉴定的指定辅导用书。本书从职业能力培养的角度出发，力求体现职业培训的规律，满足职业技能培训与鉴定考核的需要，编写中贯穿“以职业标准为依据，以企业需求为导向，以职业能力为核心”的理念，坚持以下原则：

一、严格遵照职业标准中关于专业和等级的标准，坚持标准化，力求使内容覆盖鉴定要求；

二、坚持以培养技能型人才为方向，从岗位入手，鉴定试题注重联系实际，突出实用性；

三、内容力求新颖，突出新知识、新技术、新工艺、新方法等。

为便于读者迅速抓住重点、提高学习效率，本书还精心设置了“鉴定考核重点”等栏目，并附有试题库及部分省市的考核试卷，供读者巩固、检验学习效果时参考使用。

本书可作为维修电工技师和高级技师职业技能培训与鉴定考核教材，也可供中、高等职业院校相关专业师生参考，或供相关从业人员参加在职培训、岗位培训使用。

本书由李长军、曾国新、刘桂全主编，由李志虹、陈雅华、关开芹副主编。参编人员有肖云、苏彩虹、沈东辉、郭庆玲、卞锦珍、刘福祥、王圣伟、孙宾。

编 者

目 录

第一篇 电子技术

第 1 章 电子技术基础	1
1.1 模拟电子技术	1
1.1.1 多级放大电路	1
1.1.2 集成运算放大器	4
1.2 数字电子技术	5
1.2.1 集成门电路	5
1.2.2 组合逻辑电路的分析方法和设计方法	9
1.2.3 时序逻辑电路的分析方法和设计方法	13
1.3 555 定时器	16
1.3.1 555 定时电路的结构组成和工作原理	16
1.3.2 555 定时电路的应用	17
1.4 电子技术操作技能实例	19
1.4.1 分立元件电子电路安装与调试	19
1.4.2 集成电路的安装与测试	21
第 2 章 电力电子技术	23
2.1 电力半导体器件	23
2.1.1 普通晶闸管	23
2.1.2 可关断晶闸管	26
2.1.3 电力晶体管 GTR	27
2.1.4 电力场效应晶体管	28
2.1.5 绝缘栅双极晶体管 IGBT	30
2.2 可控整流电路	31
2.2.1 单相半波可控整流电路	31
2.2.2 单相全波可控整流电路	34
2.2.3 三相半波可控整流电路	37
2.2.4 三相桥式可控整流电路	39
2.3 逆变电路	42
2.3.1 有源逆变电路	42
2.3.2 无源逆变电路	43
2.4 斩波器与交流调压器	46
2.4.1 交流调压器	46

2.4.2 斩波器	48
2.5 电力电子技术技能操作实例	50
2.5.1 电力电子器件检测	50
2.5.2 三相半波可控整流电路连接与调试	51
2.5.3 三相全控桥可控整流电路连接与调试	53

第二篇 电气控制技术

第3章 自动控制基本知识	56
3.1 自动控制系统的基本组成与分类	56
3.1.1 自动控制系统的基本组成	56
3.1.2 自动控制系统的分类	57
3.2 自动控制系统的基本性能指标	58
3.3 开环控制系统和闭环控制系统	59
3.3.1 开环控制系统	59
3.3.2 闭环控制系统	60
第4章 直流电动机的调速系统	62
4.1 直流调速的基本知识	62
4.1.1 调速的概念	62
4.1.2 直流调速系统的性能指标	62
4.1.3 调速系统中的常用调节器	64
4.2 单闭环直流调速系统	69
4.2.1 转速负反馈有静差调速系统	69
4.2.2 转速负反馈无静差调速系统	71
4.3 双闭环直流调速系统	71
4.3.1 直流电动机理想启动过程	72
4.3.2 转速、电流双闭环调速系统	72
4.4 晶闸管可逆调速系统	76
4.4.1 有环流可逆调速系统	76
4.4.2 逻辑无环流可逆调速系统	81
4.5 直流电动机调速系统技能操作实例	83
4.5.1 转速单闭环直流调速系统试验	83
4.5.2 双闭环不可逆直流调速系统试验	88
第5章 变频调速系统	93
5.1 通用变频器的基本知识	93
5.1.1 变频器及其分类	93
5.1.2 通用变频器的基本结构	94
5.1.3 变频器的工作原理和功能	97
5.2 森兰通用变频器的应用	103
5.2.1 森兰通用变频器的操作	103

5.2.2	变频器的基本接线	108
5.2.3	变频器的故障诊断与维护	112
5.3	变频器操作技能实例	117
第6章	可编程控制器(PLC)	122
6.1	PLC 的基本知识	122
6.1.1	PLC 的产生和特点	122
6.1.2	PLC 的基本结构	123
6.1.3	PLC 的工作原理	124
6.1.4	PLC 的编程语言	125
6.2	FX2 系列可编程控制器指令系统	126
6.2.1	PLC 软元件构成	126
6.2.2	编程元件	127
6.2.3	FX2N 系列 PLC 的指令系统	130
6.3	可编程控制系统设计的基本原则和步骤	137
6.3.1	可编程控制系统设计的基本原则	137
6.3.2	可编程控制系统设计的一般步骤与方法	139
6.4	可编程控制器应用技能操作实例	139
6.4.1	Y- Δ 启动的可逆运行电动机	139
6.4.2	十字路口交通灯	141

第三篇 新技术应用

第7章	数控机床	147
7.1	数控机床概述	147
7.1.1	数控机床的概念	147
7.1.2	数控机床的电气控制系统组成	148
7.1.3	数控机床的分类	150
7.1.4	数控机床的工作过程	152
7.2	典型的数控系统	152
7.2.1	进口数控系统介绍	152
7.2.2	国产数控系统介绍	155
7.2.3	SINUMERIK 840D 数控系统基本构成及其连接	156
7.3	数控机床的故障诊断与维护	159
7.3.1	电气维修人员条件	159
7.3.2	技术资料的要求	159
7.3.3	工具及备件的要求	161
7.3.4	数控机床的预防性维护	162
7.3.5	常见电气故障分类	162
7.3.6	故障的调查与分析	163
7.3.7	电气故障的排除	166

7.3.8 电气维修中应注意的事项	167
第8章 现代工业控制技术	168
8.1 计算机网络技术	168
8.1.1 计算机网络的基本组成	168
8.1.2 计算机网络的分类	168
8.1.3 计算机网络的基本功能	170
8.1.4 计算机网络的硬件系统	171
8.1.5 计算机网络的软件系统	172
8.1.6 数据通信的基础知识	172
8.1.7 数据通信过程	174
8.1.8 数据通信方式	174
8.1.9 数据传输方式	176
8.2 现场总线技术	176
8.2.1 现场总线简介	176
8.2.2 典型现场总线简介	178
8.3 触摸屏应用技术	182
8.3.1 触摸屏概述	182
8.3.2 工业组态软件 MCGS	185
8.3.3 MCGS6.8 嵌入版组态软件系统	185
8.3.4 昆仑通态 TPC7062K 触摸屏与 PLC 的接线	187
8.4 触摸屏应用技能操作实例	187
8.4.1 任务目标	187
8.4.2 操作过程	188
第9章 现代企业管理	194
9.1 质量管理体系和质量保证体系	194
9.1.1 质量管理的概念	194
9.1.2 质量管理的发展	194
9.1.3 全面质量管理的含义	195
9.1.4 质量保证体系	196
9.1.5 质量管理的基础工作	197
9.2 生产管理	198
9.2.1 生产过程的组织	198
9.2.2 生产能力的核定	199
9.2.3 生产计划	199
9.3 企业技术管理	200
9.3.1 技术开发	200
9.3.2 新产品开发	201
9.3.3 技术改造	202
9.4 职业道德	202

9.4.1	职业道德的概念	202
9.4.2	职业道德的基本内容	202
9.4.3	职业道德的特点	203
9.5	电气设备计划管理及大修工艺编制	203
9.5.1	电气设备的计划管理	203
9.5.2	计划修理的类别	204
9.5.3	修理计划的编制	205
9.5.4	大修方案的制定	208
9.5.5	大修方案的制定	209
9.5.6	大修方案的执行	209
9.5.7	大修工艺编制	210
9.5.8	技术、计划准备	213
9.5.9	修理施工安排	213
9.5.10	调试试车试验和完工验收	213
第10章	技师论文答辩及培训指导	215
10.1	理论培训与指导操作	215
10.1.1	理论培训指导	215
10.1.2	技能培训指导	216
10.2	论文编写与答辩	217
10.2.1	论文的撰写	217
10.2.2	范文	221
10.2.3	论文的答辩	235
第11章	试题库	241
11.1	试题库	241
	试题参考答案	255
11.2	《维修电工》技师考核试题样例及评分标准	262
	《维修电工》技师考核试题样例(1)	262
	《维修电工》技师操作技能考核试题(1)	265
	《维修电工》技师考核试题样例(2)	269
	《维修电工》技师操作技能考核试题(2)	271
	《维修电工》技师考核试题样例(3)	275
	《维修电工》技师操作技能考核试题(3)	279

第一篇 电子技术

鉴定考核重点:

知识点:

- 了解常见的耦合放大电路;
- 掌握阻容耦合放大电路的计算;
- 掌握集成运放的相关知识;
- 掌握组合电路与时序电路的相关知识;
- 理解 555 定时器的工作原理。

技能点:

- 能够正确分析集成运算放大器电路并进行参数设定;
- 能够分析、设计组合逻辑电路;
- 能够分析、设计时序逻辑电路;
- 能够正确装配电子线路和调试。

第 1 章 电子技术基础

电子技术分为模拟电子技术与数字电子技术两类。在模拟电子技术中处理的信号都是模拟信号。所谓模拟信号,是指信号的大小在时间上是连续变化的,这种信号通常是通过各种传感器把声音、图像、温度、压力、距离等各种连续变化的信号转换成电量后得到的。由于模拟信号比较微弱,需要用模拟电子技术进行放大、运算等各种处理。

在工程技术上还经常遇到各种在时间上是不连续的“数字信号”。数字信号指幅度的取值是离散的,幅值表示被限制在有限数值之内。二进制码就是一种数字信号。二进制码受噪声的影响小,易于数字电路进行处理,所以得到广泛的应用。



1.1 模拟电子技术



1.1.1 多级放大电路

多级放大电路由输入级、中间级和输出级组成。各级之间的连接方式叫耦合。通常要求输入级具有输入阻抗高和噪声低的特性;中间级应有较大的电压放大倍数;输出级应有输出阻抗低和输出功率大的特点。

1. 多级放大电路的耦合方式

多级放大器的耦合方式主要有:阻容耦合、变压器耦合和直接耦合三种。

1) 阻容耦合放大电路

图 1-1 所示是一个基本的两级阻容耦合放大电路,两级放大电路中间通过电容 C_2 耦合,

电阻 R_{e1} 和 R_{e2} 为负反馈稳定放大倍数的电阻。

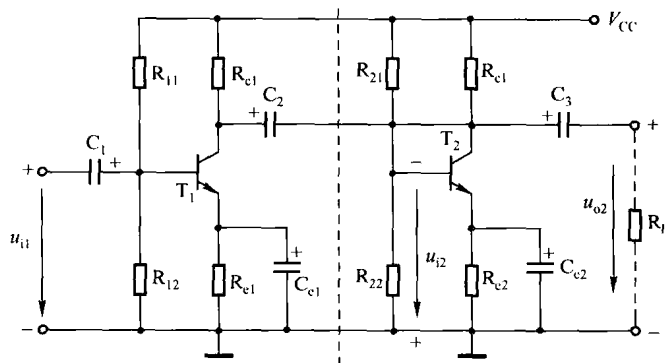


图 1-1 阻容耦合放大电路

阻容耦合放大电路的特点为：因为电容具有隔直通交的作用，可以阻断两级放大电路间的直流通路，所以各级间静态工作点互不影响，可以分别计算。但这种方式不能传输直流信号，只适用于交流放大。

2) 直接耦合放大电路

直接耦合是把前级放大电路的输出端直接或通过恒压器件接到下级输入端，如图 1-2 所示。

直接耦合放大电路的特点如下：

(1) 这种耦合方式不仅可以使变化缓慢信号获得逐级放大，而且便于电路集成化。但是，直接耦合使前后级之间的直流相互连通，造成各级直流工作点互相影响，不能独立。因此，必须考虑各级间直流电位的配置问题，从而使每一级都有合适的工作点。

(2) 在直接耦合放大器中，另一个突出问题是所谓零点漂移，即前级工作点随温度的变化会被后级传递并逐级放大，使得输出端产生很大的漂移电压。

(3) 直接耦合放大电路的突出优点是具有良好的低频特性，可以放大变化缓慢的信号；并且由于电路中没有大容量电容，所以易于将全部电路集成在一片硅片上，构成集成放大电路。

3) 变压器耦合放大电路

将放大电路前级的输出端通过变压器 (B_1 和 B_2) 耦合连接到后级的输入端或负载电阻上，称为变压器耦合，如图 1-3 所示。

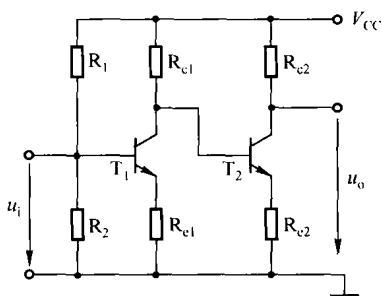


图 1-2 直接耦合放大电路

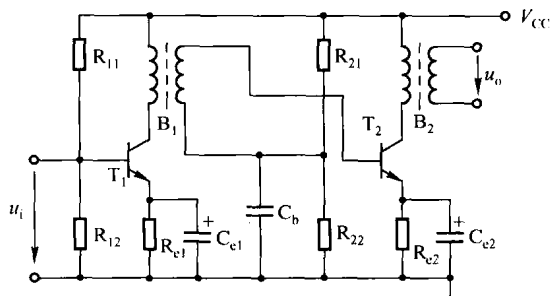


图 1-3 变压器耦合放大电路

变压器耦合放大电路的特点如下:

(1) 由于变压器耦合电路的前后级靠电磁感应耦合, 它的各级放大电路的静态工作点相互独立, 便于分析、设计和调试。

(2) 变压器耦合电路的低频特性差, 不能放大变化缓慢的信号, 且非常笨重, 更不能集成化。

(3) 变压器耦合电路可以实现阻抗变换, 因而在分立元件功率放大电路中得到广泛应用。

2. 多级放大电路的分析

1) 电路的静态工作点

阻容耦合和变压器耦合电路的静态工作点分析与基本放大电路相同。直接耦合电路静态工作点的分析十分麻烦, 学习时重点掌握解决问题的思路和方法, 计算问题可利用计算机辅助工具解决。

2) 动态性能分析

多级放大电路如图 1-4 所示。

动态分析前首先明确多级放大器的级间关系: 在多级放大器中, 后级电路相当于前级的负载, 前级负载是后级放大器的输入电阻; 前级相当于后级的信号源, 后级信号源内阻为前级的输出电阻。

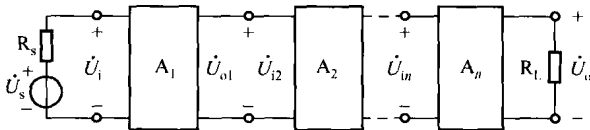


图 1-4 多级放大电路

n 级放大电路的动态指标包括: 总

电压放大倍数 A_u ; 多级放大器的输入电阻 R_i ; 放大电路的输出电阻 R_o 。

(1) 多级放大电路总的电压放大倍数等于各级电压放大倍数的乘积。

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{\dot{U}_{o1}}{\dot{U}_i} \cdot \frac{\dot{U}_{o2}}{\dot{U}_{i2}} \cdots \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_{in}} = \prod_{j=1}^N \dot{A}_{uj}$$

各级间的相互关系表现为各级电路的输入和输出电阻之间的关系。解决这一问题的方法有两种: 一种是把后级的输入电阻作为前级的负载电阻, 通过后级的输入电阻反映后即对前级的影响; 另一种是把前级的开路电压作为后级的信号源电压, 前级的输出电阻作为后级的信号源内阻, 通过前级的输出电阻反映前级对后级的影响。必须指出, 这两种方法不能同时混用, 如果计算前级放大倍数时把后级看做前级的负载, 计算后级放大倍数时就不能考虑信号源内阻, 反之相似。

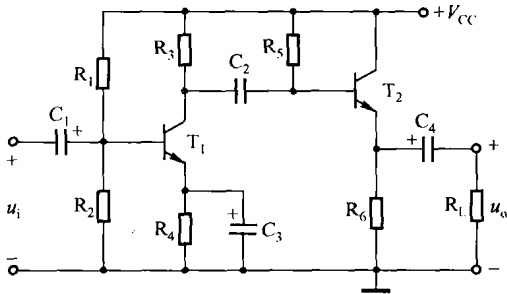


图 1-5 两级阻容耦合放大电路

(2) 多级放大电路总的输入电阻等于第一级放大电路的输入电阻。

$$R_i = R_{i1}$$

(3) 多级放大电路总的输出电阻等于最后一级放大电路的输出电阻。

$$R_o = R_{on}$$

3. 多级放大电路的例题分析

【例 1】两级阻容耦合放大电路如图 1-5

所示。求其电压增益 A_u ，输入电阻 R_i ，输出电阻 R_o 。

解：该电路的动态性能分析如下。

(1) 画出交流等效电路（如图 1-6 所示）。

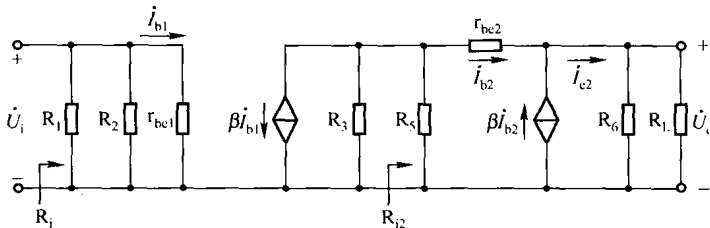


图 1-6 交流等效电路

(2) 计算电压增益 A_u 。

第一级电压增益：

$$A_{u1} = -\frac{\beta(R_3 // R_{i2})}{r_{be1}}$$

第二级电压增益：

$$A_{u2} = -\frac{(1 + \beta_2)(R_6 // R_L)}{r_{be2} + (1 + \beta_2)(R_6 // R_L)}$$

总电压增益：

$$A_u = A_{u1} \cdot A_{u2}$$

(3) 计算输入电阻 R_i 。

$$R_{i2} = R_5 // [r_{be2} + (1 + \beta_2)(R_6 // R_L)]$$

$$R_i = R_1 // R_2 // r_{be1}$$

(4) 计算输出电阻 R_o 。

$$R_o = R_6 // \frac{R_3 // R_5 // r_{be2}}{1 + \beta}$$

1.1.2 集成运算放大器

集成运算放大器简称集成运放，是一种高放大倍数的多级直接耦合放大器。它具有通用性和灵活性强、成本低、品种多等特点，已成为线性集成电路中应用最为广泛的一种。

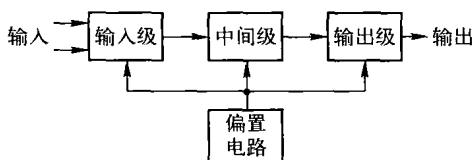


图 1-7 集成运放基本组成

集成运放内部电路包括 4 个基本组成环节，分别为输入级、中间级、输出级和各级的偏置电路，如图 1-7 所示。对于高性能、高精度等特殊集成运放，还要增加有关部分的单元电路。

1. 集成运算放大器的分类

集成运算放大器一般分为通用型和专用型两类，前者的适用范围很广，其特性和指标可以满足一般应用的要求；后者是在前者的基础上，为适应特殊要求而制作的。集成运放接入适当的反馈电路就可构成各种运算电路，主要有比例运算、加减法运算和微积分运算等。由于集成运放开环增益很高，所以它构成的基本运算电路均为深度负反馈电路。集成运放在线性工作状态下，两输入端之间满足“虚短”

和“虚断”，根据这连个特点很容易分析各种运算电路。

2. 集成运算放大器的特点

(1) 集成运算放大器是一种多级放大电路，性能理想的运放应该具有电压增益高、输入电阻大、输出电阻小、工作点漂移小等特点。

(2) 集成运放在电路设计上具有以下特点：① 级间采用直接耦合方式；② 尽可能用有源器件代替无源元件；③ 利用对称结构改善电路性能。

3. 集成运算放大器的主要参数

1) 输入失调电压 U_{I0}

在输入信号为 0Ω 时，为了使运算放大器输出失调电压为 $0V$ ，在输入端间必须加一个直流补偿电压。这个电压就是输入失调电压 U_{I0} 。 U_{I0} 的值越小越好，一般运算放大器的 U_{I0} 在 $1 \sim 20\mu V$ 之间。

2) 输入失调电流 I_{I0}

当运算放大器失调电压为 0 时，两输入端静态偏置电流之差，称为输入失调电流 I_{I0} 。 I_{I0} 实际上为运算放大器两个输入端所加的补偿电流，它越小越好。

3) 输入偏置电流 I_{IB}

运算放大器反相输入端与同相输入端的静态偏置电流 I_{B1} 和 I_{B2} 的平均值，称为输入偏置电流 I_{IB} 。双极型运算放大器的 I_{IB} 为 μA 数量级，MOS 运算放大器的 I_{IB} 为 pA 数量级。

4) 开环差模电压增益 A_{od}

当运算放大器工作在线性区时，输出开路电压 U_o 与输入差模电压 U_{id} 的比值，称为开环差模电压增益 A_{od} 。一般 $A_{od} > 0$ ，其值在 $60 \sim 180dB$ 之间。

5) 共模抑制比 K_{CMR}

$K_{CMR} = |A_{od}/A_{oc}|$ ，即动算放大器的开环差模型增益与开环共模型增益之比的绝对值，用分贝表示。此值一般在 $80 \sim 180dB$ 之间。

4. 集成运算放大器的选择

理想集成运放是指集成运放的各项指标均为理想特性值。一个理想集成运放应具备以下基本条件：

- (1) 差模电压增益为无限大，即 $A_{od} = \infty$ ；
- (2) 输入电阻为无限大，即 $R_{id} = \infty$ ；
- (3) 输出电阻为零 $R_o = 0$ ；
- (4) 共模抑制比为无限大，即 $K_{CMR} = \infty$ ；
- (5) 转换速率为无限大，即 $S_R = \infty$ ；
- (6) 具有无限宽的频带；
- (7) 失调电压、失调电流及其温漂均为零。



1.2 数字电子技术

1.2.1 集成门电路

数字集成电路按其内部有源器件的不同可分为两大类：一类为双极型晶体管集成电路

(TTL 电路); 另一类为单极型集成电路 (MOS 管组成的电路)。

1. TTL 集成逻辑门电路

1) TTL 与非门的工作原理

TTL 与非门电路如图 1-8 (a) 所示, 它由输入级、中间级和输出级三部分组成。

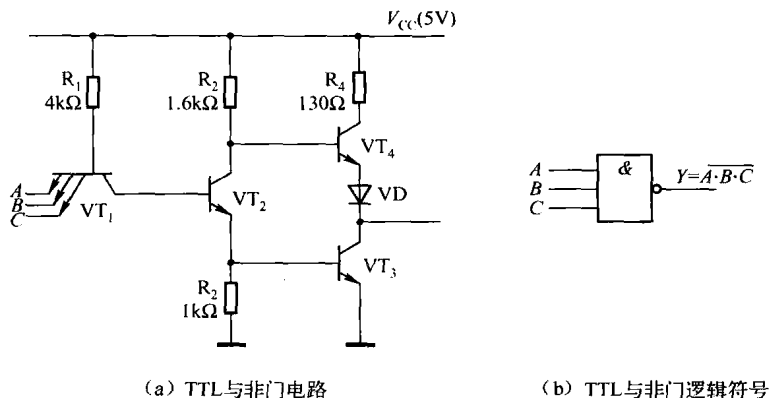


图 1-8 TTL 与非门电路及其逻辑符号

输入级: 由多发射极管 VT_1 和电阻 R_1 组成, 多发射极管的三个发射结为三个 PN 结。其作用是对输入变量 A 、 B 、 C 实现逻辑与运算, 所以它相当于一个与门。

中间级: 由 VT_2 和电阻 R_2 组成, VT_2 集电极和发射极同时输出两个逻辑电平相反的信号, 用以驱动 VT_3 和 VT_4 。

输出级: 由 VT_3 、 VT_4 和电阻 R_4 组成。

TTL 与非门逻辑符号如图 1-8 (b) 所示; 逻辑表达式为: $Y = \overline{A \cdot B \cdot C}$ 。

对图 1-8 所示电路, 如高电平用 1 表示, 低电平用 0 表示, 则列出的真值表, 见表 1-1。

表 1-1 TTL 与非门真值表

输 入			输 出
A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

2) 集电极开路与非门 (OC 门)

集电极开路与非门的工作原理: 集电极开路与非门也叫 OC 门, 能使门电路输出的电压

高于电路的高电平电压值,且门电路的输出端可以并联实现逻辑与功能,即线与(一般TTL门电路不能线与)。

OC门电路如图1-9(a)所示,逻辑符号如图1-9(b)所示,逻辑表达式为: $Y = \overline{ABC}$ 。

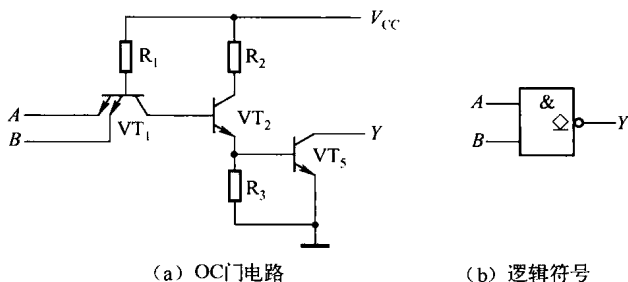


图1-9 集电极开路与非门及逻辑符号

3) 三态输出门

三态门是指逻辑门的输出除有高、低电平两种状态外,还有第三种状态——高阻状态的门电路,高阻态相当于隔断状态。三态门都有一个EN控制使能端,控制门电路的通断。可以具备这三种状态的器件就叫做三态门,如图1-10所示。

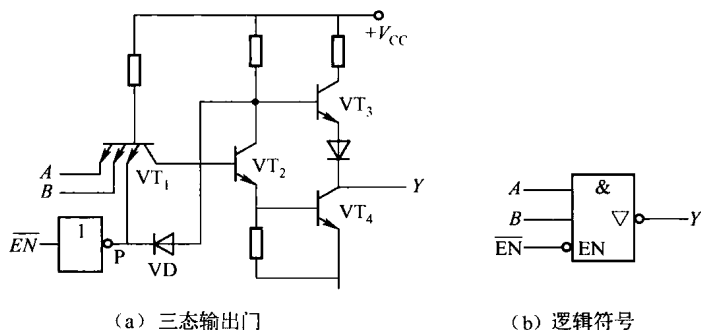


图1-10 三态输出门及逻辑符号

2. CMOS 集成逻辑门

和TTL数字集成电路相比,CMOS电路的突出特点是低功耗、高抗干扰能力。在大规模集成电路中有广泛的应用。下面介绍CMOS非门。

如图1-11所示是一个CMOS非门,它是由一个NMOS管 T_N 和一个PMOS管 T_P 组成的互补电路。电路中两个管子的栅极连接在一起,作为输入端,两个管子的漏极也连接在一起,作为输出端, T_P 的源极接正电源 $+V_{DD}$, T_N 的源极接地。电路要求两个管子的特性对称,即两个管子除了极性不同以外,其参数的绝对值是相同的,特性的形状也是一致的。电路还要求电源电压大于两倍的开

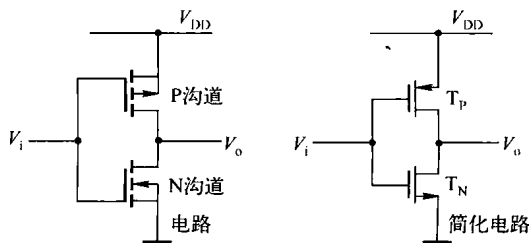


图1-11 CMOS非门

启电压, 即 $V_{DD} > 2U_T$ 。

(1) 工作原理。首先考虑两种极限情况: 当 V_i 处于逻辑 0 时, 相应的电压近似为 0V; 而当 V_i 处于逻辑 1 时, 相应的电压近似为 V_{DD} 。假设在两种情况下 N 沟道管 T_N 为工作管, P 沟道管 T_P 为负载管。但是, 由于电路是互补对称的, 这种假设可以是任意的, 相反的情况也将导致相同的结果。

图 1-12 分析了当 $V_i = V_{DD}$ 时的工作情况。在 T_N 的输出特性曲线 $i_D - V_{DS}$ ($V_{GSN} = V_{DD}$) (注意 $V_{DSN} = V_o$) 上, 叠加一条负载线, 它是负载管 T_P 在 $V_{SGP} = 0V$ 时的输出特性 $i_D - V_{SD}$ 。由于 $V_{SGP} < V_T$ ($V_{TN} = |V_{TP}| = V_T$), 负载曲线几乎是一条与横轴重合的水平线。两条曲线的交点即工作点。显然, 这时的输出电压 $V_{OL} \approx 0V$ (典型值 $< 10mV$), 而通过两管的电流接近于 0。这就是说, 电路的功耗很小 (微瓦量级)。

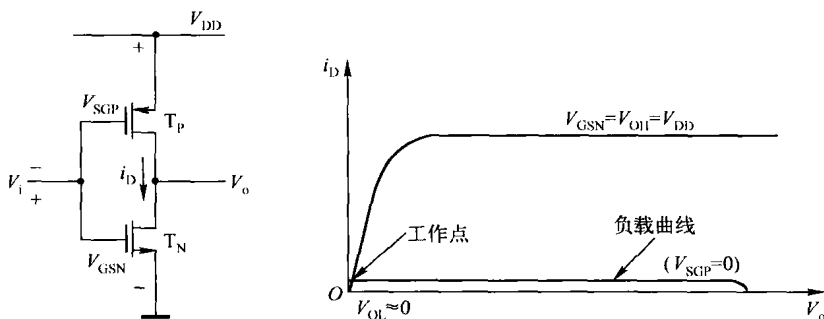


图 1-12 $V_i = V_{DD}$ 时的工作情况

图 1-13 分析了另一种极限情况, 对应于 $V_i = 0V$ 。此时工作管 T_N 在 $V_{GSN} = 0V$ 的情况下工作, 其输出特性 $i_D - V_{DS}$ 几乎与横轴重合, 负载曲线是负载管 T_P 在 $V_{SGP} = V_{DD}$ 时的输出特性 $i_D - V_{SD}$ 。由图可知, 工作点决定了 $V_o = V_{OH} \approx V_{DD}$; 通过两器件的电流接近零值。可见上述两种极限情况下的功耗都很低。

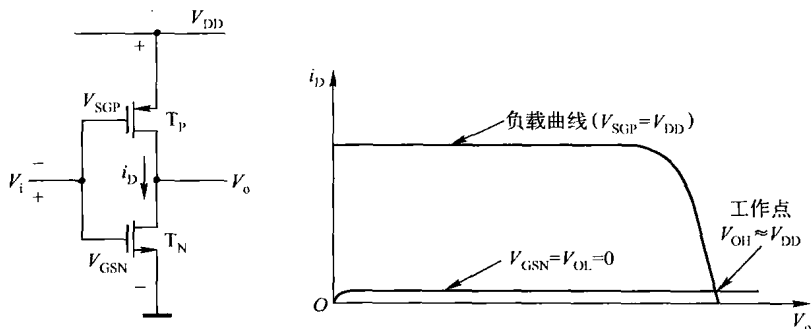


图 1-13 另一种极限情况

由此可知, 基本 CMOS 反相器近似于理想的逻辑单元其输出电压接近于 0 或 $+V_{DD}$, 而功耗几乎为零。

(2) 传输特性。图 1-14 所示为 CMOS 反相器的传输特性图。图中 $V_{DD} = 10V$, $V_{TN} = |V_{TP}|$