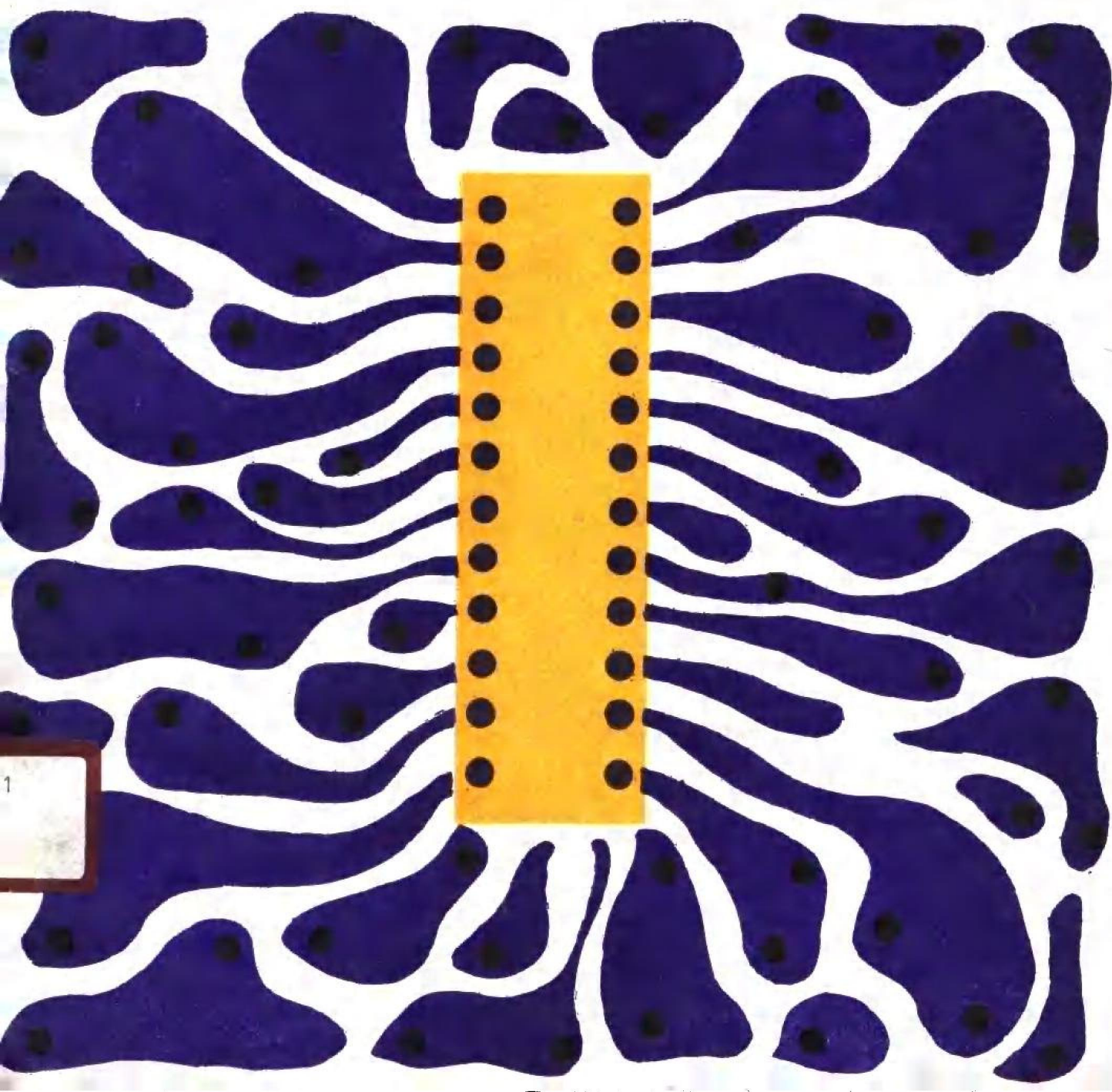


# 模拟集成电路 原理与实用电路

顾宝良 编著

邮电高等学校参考教材

人民邮电出版社



1

# 前 言

模拟集成电路是继数字集成电路之后,迅速发展起来的又一类集成电路,目前已发展成为集成电路的一个重要分支。模拟集成电路一开始被称为线性集成电路,1964年出现的集成运算放大器,就是很典型的一种线性集成电路。随着集成运算放大器的普及和应用,以及半导体集成技术的迅速发展,又出现了各种类型的集成电路,例如:能放大足够频带的集成宽带放大器(简称集成宽放)、能输出足够功率的集成功率放大器(简称集成功放)、集成模拟相乘器、集成稳压器、集成锁相环、电压比较器、数模转换器、函数发生器以及收录机、电视机专用集成电路等等。现在我们所说的模拟集成电路概念是1967年国际电气技术委员会(IEC)正式提出的,即将数字集成电路以外的电路统称为模拟集成电路。

模拟集成电路还可以分为通用器件和专用器件两大类:通用器件一般可以实现多种功能,例如集成运放、集成宽放、集成功放、集成模拟相乘器以及集成锁相环等等;专用器件是为专门设备中完成某种功能设计的器件,例如单片收音机、单片立体声解码电路、电视机专用集成电路等等。近年来,由于各类模拟集成电路的不断地涌入市场,为计算机、通信、雷达、广播、电视、仪器仪表、自动控制等各个领域中的设备与系统,提供了高精度、高速度、低功耗、高稳定的标准电路。这样不仅大大简化了整个系统设备的电路设计,同时又提高了整个系统设备的稳定性和可靠性,降低了成本和功耗。因此,对于每个电子技术工作者来说,如何尽快地掌握模拟集成电路的基本理论和应用原理,就显得十分重要了。

本书以较通俗易懂的语句,从物理概念出发,以定性的方式分析各类模拟集成电路的基本工作原理和应用原理,同时还列举了大量实用电路,以供读者参考。为了使读者能较方便地掌握模拟集成电路的基本理论及其分析方法,达到举一反三、触类旁通的目的,并考虑到很多种模拟集成电路,都是从集成运算放大器的基础上发展起来的(例如集成宽带放大器、集成功率放大器、集成模拟相乘器、集成电压比较器等等)这一因素,本书以一章的篇幅,简明扼要地叙述了集成运算放大器的基本原理和分析方法,以及各种应用电路。在此基础上就使读者比较容易接受集成宽带放大器、集成模拟相乘器、集成功率放大器等的原理了。对于集成锁相环、集成稳压电源以及收录机、电视机专用集成电路,也尽量阐明其物理概念,并着重介绍其应用原理和实用电路,以供教学和电子技术工作人员、无线电爱好者参考。书末还给出了当前国内外主要模拟集成电路的型号对照表。

本书在编写过程中,谢嘉奎教授提供了宝贵的意见和建议,郑秋白副教授审阅了有关章节。机械电子工业部所属部分半导体器件厂和各地的部分半导体器件厂家提供了宝贵资料,在此一并致谢!

限于作者水平,书中难免存在错误和不当之处,衷心希望读者给予指正。

作者

# 目 录

## 第一章 集成电路概述

- 1.1 什么是集成电路 ..... ( 1 )
- 1.2 集成电路的分类 ..... ( 1 )
- 1.3 模拟集成电路中的元器件 ..... ( 3 )
- 1.4 模拟集成电路的内部电路及其外形 ..... ( 5 )

## 第二章 模拟集成电路的基本电路

- 2.1 单管放大电路 ..... ( 9 )
  - 2.1.1 共发射放大电路 ..... ( 9 )
  - 2.1.2 共基放大电路 ..... ( 10 )
  - 2.1.3 共集放大电路—射极跟随器 ..... ( 10 )
- 2.2 双管放大电路 ..... ( 11 )
  - 2.2.1 共集—共发、共集—共集和达林顿结构 ..... ( 11 )
  - 2.2.2 共发—共基串联结构 ..... ( 13 )
  - 2.2.3 NPN型及PNP型复合管 ..... ( 13 )
- 2.3 射极耦合差分放大电路 ..... ( 14 )
  - 2.3.1 基本工作原理 ..... ( 14 )
  - 2.3.2 差模特性 ..... ( 15 )
  - 2.3.3 共模特性 ..... ( 18 )
  - 2.3.4 输入失调特性及温度漂移 ..... ( 20 )
  - 2.3.5 复合管差分电路 ..... ( 21 )
- 2.4 基本偏置电路 ..... ( 22 )
  - 2.4.1 恒流源偏置电路 ..... ( 23 )
  - 2.4.2 稳压偏置电路 ..... ( 27 )
- 2.5 有源负载电路 ..... ( 28 )
- 2.6 直流电平位移电路 ..... ( 29 )
  - 2.6.1 恒流源电平位移电路 ..... ( 29 )
  - 2.6.2 射极跟随器电平位移电路 ..... ( 29 )
  - 2.6.3 PNP管电平位移电路 ..... ( 30 )
  - 2.6.4 二极管或稳压管电平位移电路 ..... ( 30 )
- 2.7 双端转单端电路 ..... ( 31 )
- 2.8 输出电路 ..... ( 32 )
  - 2.8.1 射极输出电路 ..... ( 32 )
  - 2.8.2 具有电流源偏置的射极输出电路 ..... ( 33 )
  - 2.8.3 互补推挽输出电路 ..... ( 33 )

## 第三章 集成运算放大器原理与实用电路

3.1 典型运放的内部电路 .....	( 34 )
3.1.1 低增益运放F001 .....	( 34 )
3.1.2 高增益运放F007 .....	( 35 )
3.1.3 通用运放F101/201/301 .....	( 36 )
3.2 集成运放的应用原理 .....	( 38 )
3.2.1 理想运放与闭环特性 .....	( 38 )
3.2.2 实际运放 .....	( 39 )
3.3 集成运放的实用电路 .....	( 46 )
3.3.1 集成运放在小信号放大电路中的实用电路 .....	( 47 )
3.3.2 集成运放在波形发生器中的实用电路 .....	( 59 )
3.3.3 集成运放在变换电路中的实用电路 .....	( 65 )
3.3.4 集成运放有源滤波器 .....	( 69 )
3.4 集成运放的主要参数及其测量方法 .....	( 74 )
3.4.1 静态参数测试方法 .....	( 74 )
3.4.2 动态参数测试方法 .....	( 76 )
3.4.3 瞬态参数测试方法 .....	( 79 )

#### 第四章 集成宽带放大器原理与实用电路

4.1 宽带原理和内部电路特点 .....	( 81 )
4.1.1 利用负反馈展宽频带 .....	( 81 )
4.1.2 利用组合电路结构展宽频带 .....	( 83 )
4.1.3 利用高频补偿扩展频带 .....	( 87 )
4.2 集成宽带放大器的典型产品介绍 .....	( 88 )
4.2.1 F733 .....	( 88 )
4.2.2 CX35 .....	( 89 )
4.2.3 U2350 .....	( 90 )
4.2.4 L1590 .....	( 92 )
4.3 集成宽放的主要参数及其测试方法 .....	( 93 )
4.3.1 电压增益 $G_V$ .....	( 94 )
4.3.2 带宽 $\Delta f_{3dB}$ .....	( 94 )
4.3.3 最大输出电压 $V_{OM}$ .....	( 95 )
4.3.4 静态功耗 $P_{CO}$ .....	( 95 )
4.4 集成宽带放大器的实用电路 .....	( 96 )
4.4.1 0~75MHz宽带放大器 .....	( 96 )
4.4.2 10~500MHz宽带放大器 .....	( 96 )
4.4.3 1~200MHz宽带放大器 .....	( 97 )
4.4.4 500 kHz~150MHz的宽带放大器 .....	( 97 )
4.4.5 宽带调幅电路 .....	( 98 )
4.4.6 30MHz宽带中频放大器 .....	( 100 )
4.4.7 视频放大器 .....	( 100 )

#### 第五章 集成模拟相乘器原理与实用电路

5.1	模拟相乘器的基本原理 .....	( 102 )
5.2	模拟相乘器的典型产品介绍 .....	( 106 )
5.2.1	XCC .....	( 106 )
5.2.2	F1596 .....	( 107 )
5.2.3	BG314 .....	( 108 )
5.3	集成模拟相乘器的主要技术指标和测试方法 .....	( 110 )
5.3.1	直流特性参数及其测量方法 .....	( 111 )
5.3.2	交流特性参数及其测量方法 .....	( 112 )
5.4	模拟相乘器的实用电路 .....	( 113 )
5.4.1	模拟运算 .....	( 114 )
5.4.2	通信设备中的实用电路 .....	( 117 )
<b>第六章 集成功率放大器原理与实用电路</b>		
6.1	集成功放基本原理 .....	( 129 )
6.2	集成功放典型产品介绍 .....	( 131 )
6.2.1	5G37 .....	( 132 )
6.2.2	SL34 .....	( 133 )
6.2.3	DG4100系列集成功放 .....	( 135 )
6.2.4	SL4110/4112 .....	( 136 )
6.2.5	FS810 .....	( 139 )
6.2.6	SF404集成功率驱动器 .....	( 143 )
6.3	集成功放的实用电路 .....	( 144 )
6.3.1	SL33、SL34的实用电路 .....	( 145 )
6.3.2	5G37的实用电路 .....	( 146 )
6.3.3	SL4100和SL4112的实用电路 .....	( 147 )
6.3.4	FS810的实用电路 .....	( 149 )
6.3.5	SF404的实用电路 .....	( 150 )
6.3.6	BTL 电路 .....	( 151 )
6.4	集成功放输出功率 $P_o$ 的测试 .....	( 154 )
<b>第七章 模拟集成锁相环原理与实用电路</b>		
7.1	锁相环路基本原理 .....	( 156 )
7.1.1	单片模拟集成锁相环的组成部分 .....	( 156 )
7.1.2	环路工作原理 .....	( 159 )
7.1.3	锁相环的基本特性和指标 .....	( 160 )
7.2	模拟集成锁相环的典型产品介绍 .....	( 161 )
7.2.1	SL565 .....	( 161 )
7.2.2	L562 .....	( 164 )
7.2.3	L564 .....	( 168 )
7.3	模拟集成锁相环的实用电路 .....	( 172 )
7.3.1	FM调制 .....	( 172 )
7.3.2	FSK调制 .....	( 173 )

7.3.3	FM解调	( 174 )
7.3.4	FSK解调	( 175 )
7.3.5	AM同步检波电路	( 176 )
7.3.6	频率合成器	( 177 )
<b>第八章 集成稳压器原理与实用电路</b>		
8.1	线性集成稳压器的基本原理	( 179 )
8.1.1	稳压器简单原理与集成稳压器的分类	( 179 )
8.1.2	线性串联型集成稳压器的基本原理	( 181 )
8.2	线性集成稳压器的主要特性参数与测试方法	( 187 )
8.3	线性集成稳压器的典型产品介绍	( 190 )
8.3.1	W723	( 190 )
8.3.2	SW7800C	( 193 )
8.3.3	SW7900C	( 197 )
8.3.4	CW117	( 200 )
8.4	线性集成稳压器实用电路举例	( 203 )
8.4.1	固定输出式稳压电源	( 203 )
8.4.2	可调输出式稳压电源	( 205 )
8.4.3	正、负输出式稳压电源	( 206 )
8.4.4	正、负跟踪式稳压电源	( 207 )
8.4.5	恒流源电路	( 208 )
8.4.6	其他方式的实用电路	( 209 )
8.4.7	线性集成稳压器的应用注意点	( 211 )
8.5	开关型集成稳压器	( 213 )
8.5.1	自激式开关稳压器原理	( 213 )
8.5.2	自激式开关稳压电源实例	( 215 )
8.5.3	脉宽调制式开关稳压原理	( 217 )
8.6	集成脉宽调制器典型产品介绍	( 218 )
8.6.1	SW3520/SW3420	( 218 )
8.6.2	CW1524系列	( 220 )
8.6.3	W2018	( 221 )
8.6.4	W296	( 222 )
8.7	脉宽调制式开关稳压电源实例	( 224 )
8.7.1	正降压开关稳压电源	( 224 )
8.7.2	正升压开关稳压电源	( 227 )
8.7.3	倒换电压极性的开关稳压电源	( 228 )
8.7.4	推挽输出式开关稳压电源	( 230 )
8.7.5	无工频电源变压器的开关稳压电源	( 231 )
<b>第九章 音响模拟集成电路原理与实用电路</b>		
9.1	AM/FM集成变频、中放电路	( 233 )
9.1.1	SL315 AM变频、中放集成电路	( 233 )

9.1.2	D7335P FM高频调谐集成电路	( 234 )
9.1.3	SL1018 AM/FM中放集成电路	( 235 )
9.1.4	SF1205 AM/FM中放集成电路	( 239 )
9.2	单片集成收音机电路	( 243 )
9.2.1	FY7641 AM单片收音机集成电路	( 244 )
9.2.2	FS2204 AM/FM单片收音机集成电路	( 248 )
9.3	音频前置集成放大器	( 254 )
9.3.1	SL3210前置放大集成电路	( 254 )
9.3.2	D7668AP双通道前置放大集成电路	( 255 )
9.4	集成立体声解码电路	( 257 )
9.4.1	FY3301解码电路	( 259 )
9.4.2	SL3361解码电路	( 262 )
9.4.3	D7343AP解码电路	( 270 )
9.5	集成电平指示驱动器	( 273 )
9.5.1	SL322双五段LED驱动器	( 274 )
9.5.2	SF1405五段LED驱动器	( 275 )
<b>第十章 电视机模拟集成电路原理与实用电路</b>		
10.1	概述	( 282 )
10.2	图象中频通道集成电路	( 283 )
10.2.1	SF1366	( 284 )
10.2.2	D7607AP/D7611AP	( 287 )
10.3	伴音通道集成电路	( 293 )
10.3.1	D7176AP	( 293 )
10.3.2	SF583	( 297 )
10.4	扫描集成电路	( 299 )
10.4.1	场扫描集成电路 ( CD7242P, SF581 )	( 300 )
10.4.2	行扫描集成电路 ( SF1166 )	( 305 )
10.4.3	行、场扫描集成电路 ( D7609P )	( 310 )
10.5	彩色信号处理集成电路 ( D7193P/AP )	( 316 )
附录:	国内外常用模拟集成电路对照表	( 324 )

12

# 第一章 集成电路概述

## 1.1 什么是集成电路

随着电子技术的发展，在电子电路中所用元器件的数量日益增多，把分立元件装配在一起的超小型电路，在很多使用场合已不能满足要求。于是在50年代末又发展起来一种新型的电子器件——集成电路。所谓集成电路就是在—块极小的硅单晶片上，利用半导体工艺制作成许多半导体二极管、三极管、电阻、电容等元件，并连接成能完成特定电子技术功能的电子电路，因此它实质上就是制作在一个极小硅单晶片上的微型半导体电子线路。这种新型电子器件在体积、重量、耗电、寿命、可靠性和电性能等方面更优于半导体管分立元件电路。

我国从60年代初开始研究集成电路，发展到今天不仅中、小规模集成电路已按系列生产，而且大规模集成电路也已试制成功投入生产。我国自行设计制造的各类集成电路已推广到电子计算机、国防电子技术、仪器仪表、自动化生产、通讯、广播、电视等各个领域。随着我国国民经济的发展，集成电路的研制和使用将展示出无限美好的前景。

## 1.2 集成电路的分类

### 1. 按功能分

集成电路的品种很多，按其功能大致可分为模拟集成电路和数字集成电路两大类。模拟集成电路用来产生、放大和处理各种模拟电信号。所谓模拟信号是指幅度随时间连续变化的信号，例如收音机接收的电信号、音频电信号以及音响设备放大的电信号等；数字集成电路用来产生、放大和处理各种数字电信号。所谓数字电信号是指在时间上和数值上离散取值的信号，例如电报电码、计算机的各种数码信号等。这种信号只有高低两个电平，对应“1”和“0”两个数字量。目前，许多书上还把用来变换模拟信号和数字信号的数模（D/A）变换电路或模数（A/D）变换电路列入模拟集成电路。

模拟集成电路又可分为线性集成电路及非线性集成电路两类。所谓线性集成电路，是指信号的输出与输入的变化呈线性关系的集成电路，其中最重要的是集成运算放大器（简称集成运放）。从内部结构上来看，集成运放是一种高放大倍数的多级直流放大器。目前它的应用已远远超出了数字运算范围，并派生出各种模拟集成电路。这类模拟集成电路有：通用集成运放、高速集成运放、高压集成运放、高阻集成运放、高增益集成运放、低功耗集成运放、低漂移集成运放、低噪声集成运放等，以及收音机、电视机和其他音响电路中用的前置放大器、低频放大器、中频放大器、视频放大器、宽带放大器、测量放大器、功率放大器、集成稳压器等等。所谓非线性集成电路，是指信号的输出与输入的变化关系为非线性关系的集成电路，这类电路的种类比较复杂，处理的信号有输入输出都是模拟信号的，也有输入为



模拟信号而输出为数字信号，还有的输入数字信号而输出为模拟信号。常见的种类有模拟相乘器、调制解调器、电压比较器、时基电路、波形发生器、定时电路、施密特触发器、数模(D/A)变换器、模数(A/D)变换器、取样保持(S/H)电路和锁相环电路等。

## 2. 按导电类型分

集成电路按其导电类型又可分为双极型和单极型两类。双极型集成电路频率特性好，但功耗较大，且工艺复杂。大多数模拟集成电路都是属于双极型，在数字集成电路中TTL、ECL、LSTTL、STTL等都属双极型；单极型集成电路主要是MOS集成电路，虽工作速度低，但输入阻抗高，功耗小，工艺简单，易于大规模集成。

## 3. 按集成度分

集成电路按集成度可分为小规模、中规模、大规模、超大规模集成电路。通常认为，在数字集成电路中，在面积为 $1\sim 3\text{mm}^2$ 硅片上，制作数十个元器件的为小规模，常见的门电路、触发电路等就属于小规模集成电路；在面积为 $10\text{mm}^2$ 的基片上，制作数百个元器件的为中规模，如计数器、锁存器、寄存器等；在面积为 $10\sim 20\text{mm}^2$ 的硅基片上，制作数千个元器件的为大规模，如计算机半导体存储器，微机CPU等等；在面积为 $20\text{mm}^2$ 以上的基片上，制作上万个元器件的为超大规模集成电路，如单片微机等等。而模拟集成电路，由于对工艺的要求较高，电路又较复杂，所以一般认为集成50个以下元器件的为小规模，50~100个元器件的为中规模，100个以上的就属于大规模模拟集成电路了。从集成电路的集成度来看，从初期的小规模集成电路，经后来的中规模 and 大规模，到今天的超大规模，已经经历了四代，发展十分迅速，而现在仍在高速发展之中。

## 4. 按结构分

集成电路按其结构来分，通常有单片型和多片型两种：单片型指在一片半导体基片上制作成的电路；多片型则是用多个半导体基片制作成电路，然后在互相连接以后处于同一封装壳内的半导体集成电路。

## 5. 按工艺分

集成电路按工艺可分为膜集成电路、半导体集成电路、混合集成电路三种。膜集成电路是在玻璃或陶瓷片等绝缘物体上以“膜”的形式制作电阻、电容等无源器件，元件范围可以做得很宽，精度可以做得很高。但因为目前还无法用“膜”的形式制作二极管和三极管等有源器件，所以，只能在无源膜电路上外加半导体集成电路或分立元件二极管和三极管等有源器件形成混合集成电路。所谓膜集成电路实质上是指膜混合集成电路。另外，根据这种膜的厚薄又可分为厚膜集成电路(膜为 $1\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ )和薄膜集成电路(膜为 $1\mu\text{m}$ 以下)。半导体集成电路是应用半导体工艺技术在硅基片上作成的包括电阻、电容、三极管、二极管等元器件并具有某种电子功能的电路。这种电路中的有源器件三极管很容易制作，而电阻、电容制作比较困难，而且精度差，在半导体集成电路中还无法制作电感。以下所要介绍的集成电路都是半导体集成电路。

## 1.3 模拟集成电路中的元器件

半导体集成电路是把电子电路高度集成在一块面积很小的硅基片上，电路中的所有有源器件、无源器件以及连接线都是同时制成的。

### 1. 三极管

图 1-1(a) 示出了分立的硅平面型三极管的结构图。N型基片焊接在支撑上，又同时作为集电极的引出线，而基极与发射极则是在另一边引出。半导体集成电路中三极管的结构与硅平面型三极管基本相似，如图 1-1(b) 中所示。在集成电路中，由于同一基片上还有相邻的三极管或其他元器件。所以，集成电路中的三极管与分立的硅平面三极管在结构上有如下两个主要区别：①为了电路元器件便于互相连线，集成电路中三极管的集电极引出头和发射极引出头在同一平面上。由于集电极电流的通路狭窄，所以在集电极区域制作一层低电阻区，作为电流通路以降低串联电阻，这就是图中 $N^+$ 隐埋层。②由于在同一硅片上制成的电路元器件之间需要电绝缘，所以，集成电路中三极管的周围由PN结隔离槽包围着。这样做，虽然解决了电绝缘，但电路附加了不需要的寄生电容，致使三极管的高频特性变坏。

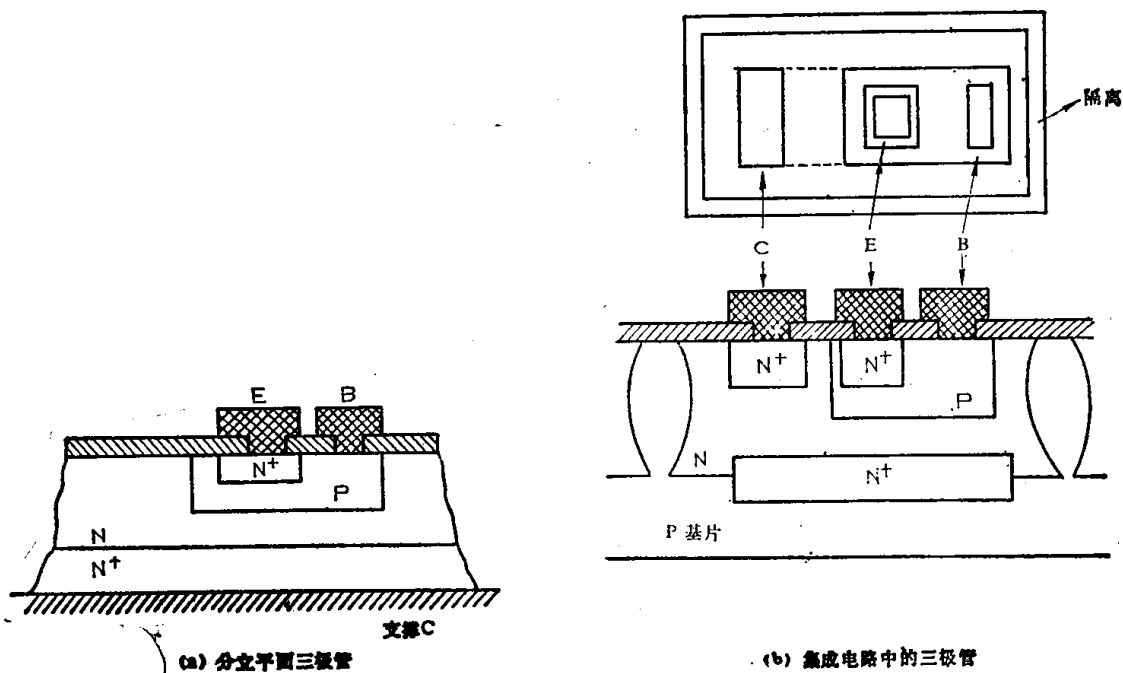


图 1-1 三极管结构

半导体集成电路的PNP型晶体管的 $\beta$ 及 $f_T$ 是相当低的，其原因是：①P型发射区的掺杂浓度低，有效面积小，所以注入效率低。②一部分电流沿着或接近表面流通，表面复合效应强。③基区宽度太宽(一般的晶体管基区宽为1微米，而此类晶体管的基区宽5~20微米)，传输效率低。

### 2. 二极管

半导体集成电路中使用的二极管和三极管的结构完全相同。根据用途的不同，把相当于三极管的发射极、基极、集电极的端子适当组合起来便可作二极管使用。在这些组合方法之

中，常用的是把集电极和基极短路，然后和发射极组成二极管，这种二极管称之发射结二极管。其优点是：反向击穿电压高，正向电压降低，没有寄生效应，开关时间短。在集成电路中普遍采用发射结二极管。

集电极和基极短路而构成的发射结二极管，如图 1-2 (a) 所示，利用这种二极管的反向击穿特性还可以构成电路中的稳压管。图 1-2 (b) 中把两只发射结二极管对串起来构成具有温度补偿的稳压管。温度补偿的原理是发射结正向偏置时，压降随温度上升而减小；而反向

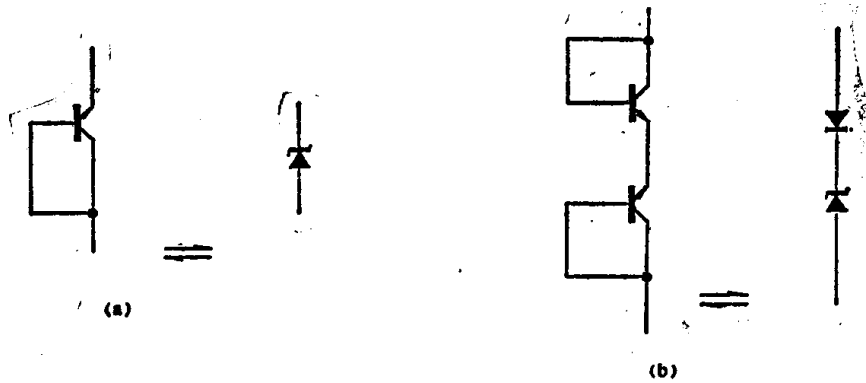


图 1-2 集成电路中的二极管

偏置时，压降随温度上升而增加，因而互相抵消。

### 3. 电容

集成电路中的电容一般就是 PN 结（特别是发射结）在反向偏置时的结电容，如图 1-3 (a) 所示。改变发射结的面积及在其上所加的反向偏置电压，可以得到所需的电容值；也可用 MOS 电容，如图 1-3 (b) 所示。它的容量仅与扩散窗口的尺寸及二氧化硅的厚度有关，而与外界电压值无关。

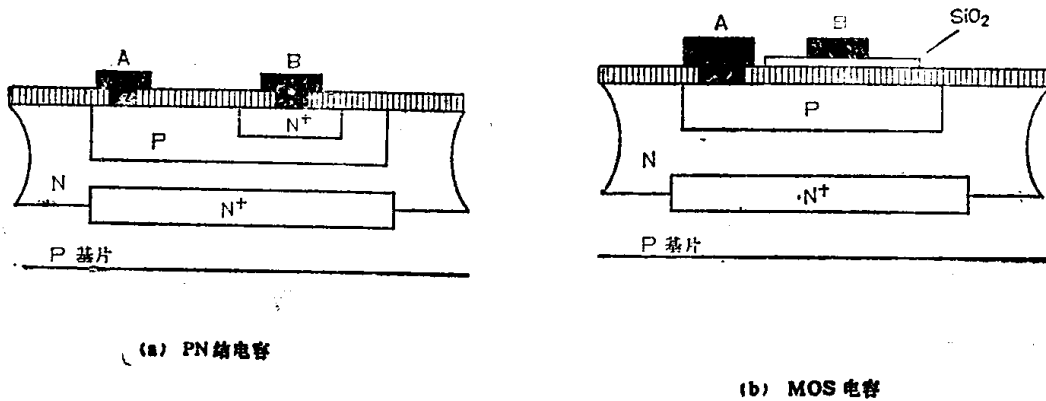


图 1-3 集成电路中的电容

### 4. 电阻

扩散电阻是集成电路中较常用的电阻，一般都是利用第一次扩散过程制成的。只是阻值很小时，才利用第二次  $N^+$  扩散，如图 1-4 (a) 所示。它们的阻值由扩散窗口的尺寸来控制。需要高阻值时，可用沟道电阻，如图 1-4 (b) 所示。它是在第一次  $P$  扩散的同一窗口上再进行第二次  $N^+$  扩散，压缩  $P$  区的厚度，以增大电阻值。

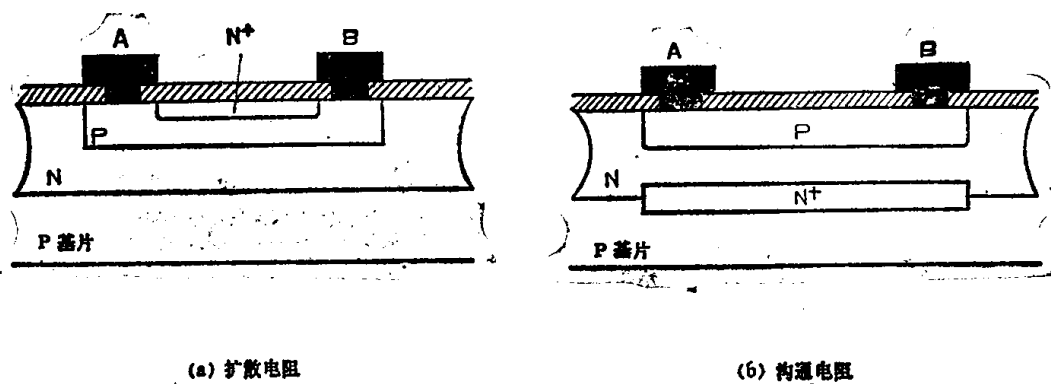


图 1-4 集成电路中的电阻

## 1.4 模拟集成电路的内部电路及其外形

### 1. 内部电路

要在面积很小的硅晶片上，采用半导体平面工艺，同时制作三极管、二极管、电阻、电容等大量元件，形成一定功能的集成电路，显然要求每个元器件所占的面积要小。通常在每平方毫米的面积上可以制作十多个晶体三极管和 $100\text{k}\Omega$ 的电阻，而每平方毫米的面积却只能做一只 $200\text{pF}$ 左右的电容。所以在集成电路内尽量避免制作电容，即便是必须要采用电容，也仅限于做 $200\text{pF}$ 以下的小电容。在集成工艺中，目前还不能制作电感和变压器，所以集成电路内部的级间耦合，只能采用直接耦合的方式。

另外，前面已指出集成化的电阻，阻值越大，所占用的面积也就越大，所产生的阻值误差也越大，而且温度特性也不好。因此，在集成电路中是避免使用 $20\text{k}\Omega$ 以上的大电阻的。电路中如要求有大电阻，则往往是采用恒流源来作为有源负载。因为增加一只晶体三极管所占面积很小，而且又容易制作，所以在集成电路内所见到的是大量的晶体三极管。

由于集成化元器件的参数误差较大，温度特性差，而在同一块硅片上相邻同类元器件能做到相互匹配性能良好这一特点，因此，在集成电路中，一般都采用对称性好、温度漂移小，而且是直接耦合的差分放大电路，或采用放大倍数只决定于电阻比的负反馈放大器，而不采用对元件参数要求高的电路。

鉴于半导体集成化的这些特点和要求，在集成电路内常见的内部单元电路有：差分放大电路、双差分放大电路；给放大器提供直流偏置的镜像恒流源，稳压偏置电路；为保证直流零电平输入、零电平输出的电平位移电路；提供单端输出的单端化电路；以及输出电路中的射随器、驱动电路、功率输出电路等等。

图 1-5 所示为 FS820 音频功率放大集成电路的内部电路。该电路与国外 BA820L 完全相同。输出功率  $P_o = 1.2\text{W}$  ( $9\text{V}/8\Omega$ )， $2\text{W}$  ( $12\text{V}/8\Omega$ )，采用塑料（或陶瓷）14脚双列直插式封装，电路工作在乙类状态，具有保真度高、稳定性好、电压范围宽、输出功率大等优点，被广泛用于半导体收音机、录音机、电视机等音响设备的输出级。

从图中可知，FS820 内部电路由 18 只三极管、4 只二极管、7 只电阻组成。图中没有电容和电感，各级电容都采用直接耦合。其中  $T_2$ 、 $T_5$  构成差分放大器； $T_1$ 、 $T_2$  构成达林顿电路，以提高电路输入电阻和增加电流放大系数； $T_3$ 、 $T_4$  为  $T_2$ 、 $T_5$  的恒流有源负载； $T_6$ 、 $T_7$ 、

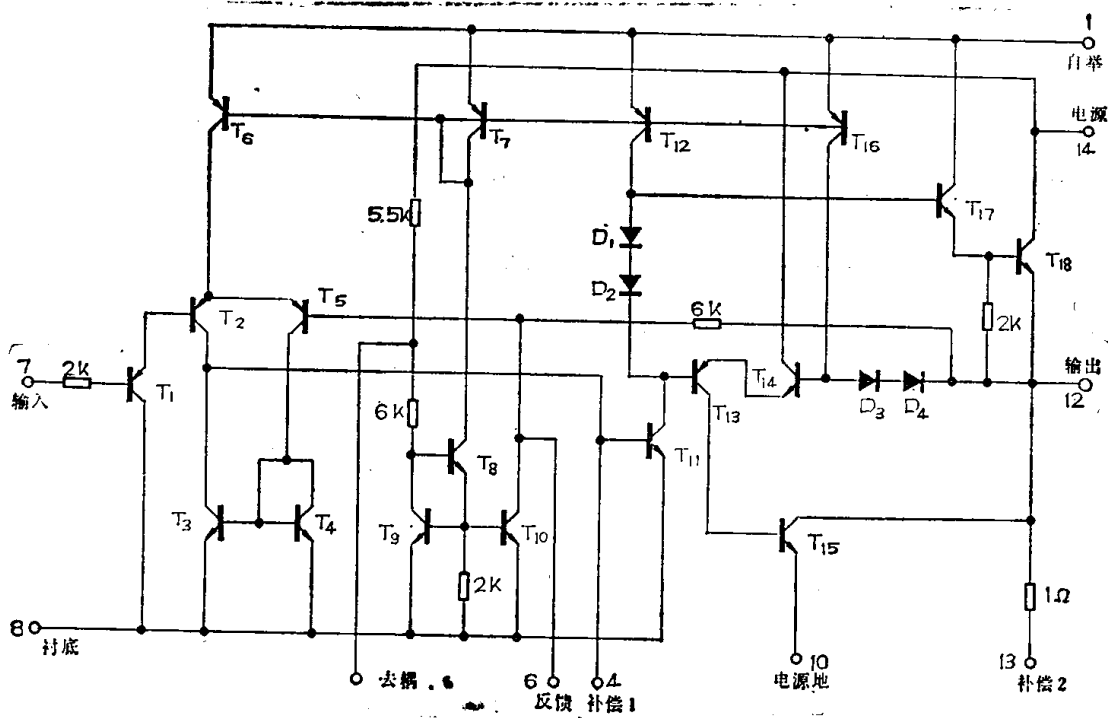


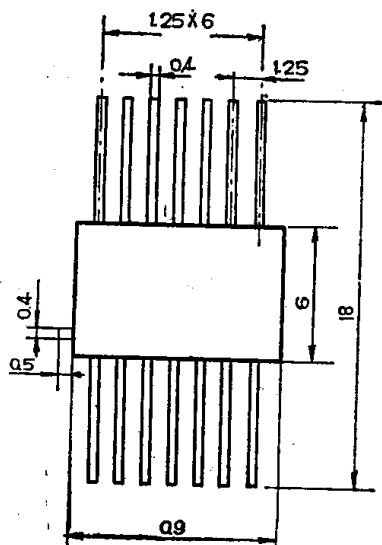
图 1-5 FS820内电路

$T_{12}$ 、 $T_{16}$ 和 $T_8$ 、 $T_9$ 、 $T_{10}$ 构成恒流偏置电路。二极管 $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$ 构成稳压电路。 $T_{11}$ 为OTL驱动级， $T_{17}$ 、 $T_{18}$ 复合成NPN管， $T_{13}$ 、 $T_{15}$ 复合成PNP管，同时这4只三极管构成OTL功率输出级， $T_{14}$ 给 $T_{18}$ 提供恒流偏置。在集成电路FS820的内部电路中，除单端电路和电平位移电路以外，基本上包含了一般集成电路所应该具备的内部单元电路。

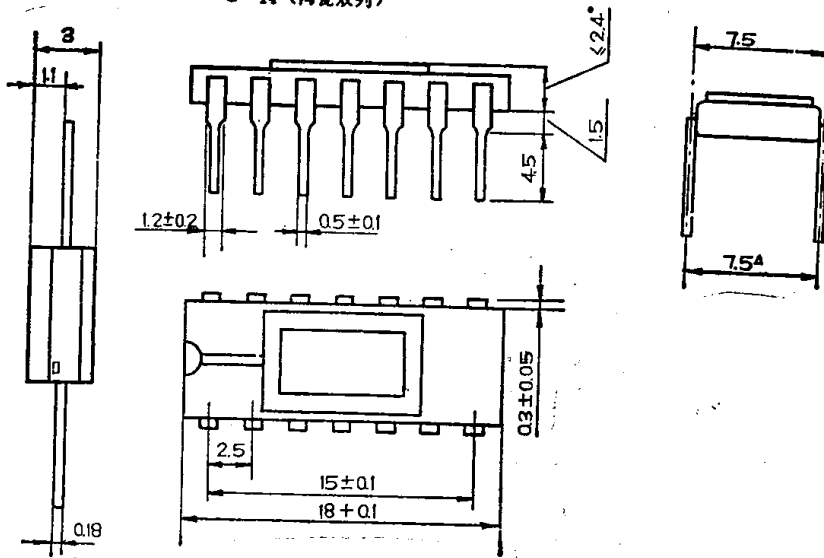
## 2. 封装外形

集成电路的封装材料有塑料封装、陶瓷封装以及金属壳封装三种，外形大体可以分为圆筒形、扁平形、双列直插形三种。一般常见的集成电路外形有：陶瓷扁平形14脚、16脚；塑料扁平形14脚、16脚；陶瓷双列直插式8脚、12脚、14脚、16脚、24脚等；塑料双列直插式8脚、12脚、14脚、16脚、24脚、40脚等等。圆形金属壳8脚、10脚、12脚；菱形金属壳常用于集成稳压电路，有10脚、12脚等。集成电路的封装外形及其尺寸大小如图1-6所示。

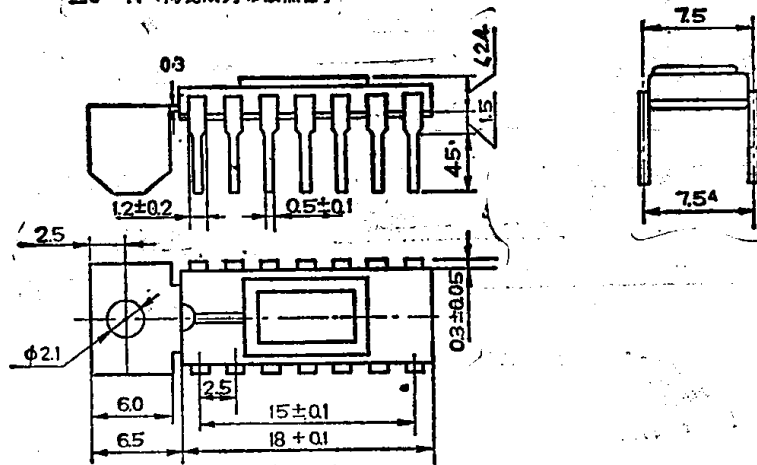
—A-14 (陶瓷扁平)



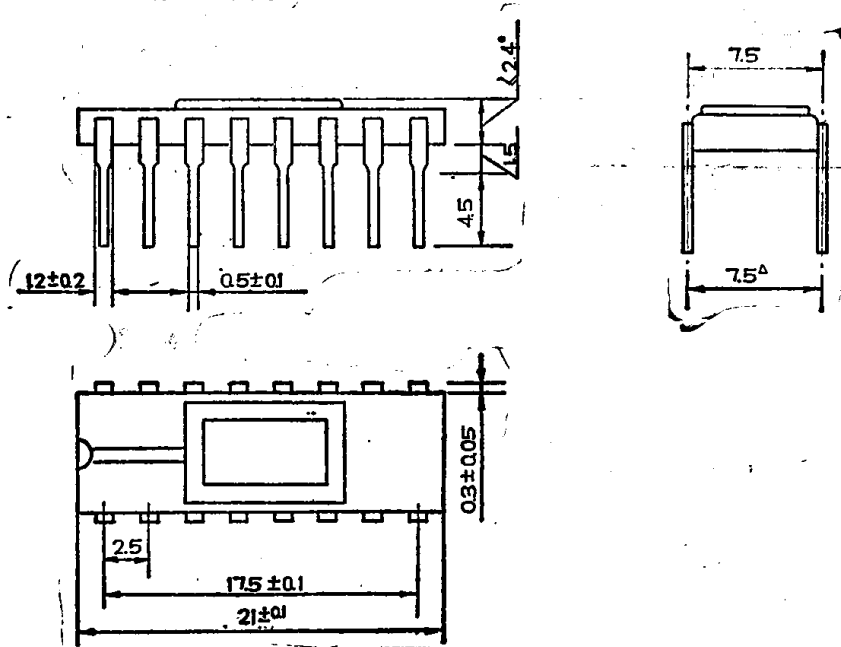
C-14 (陶瓷双列)



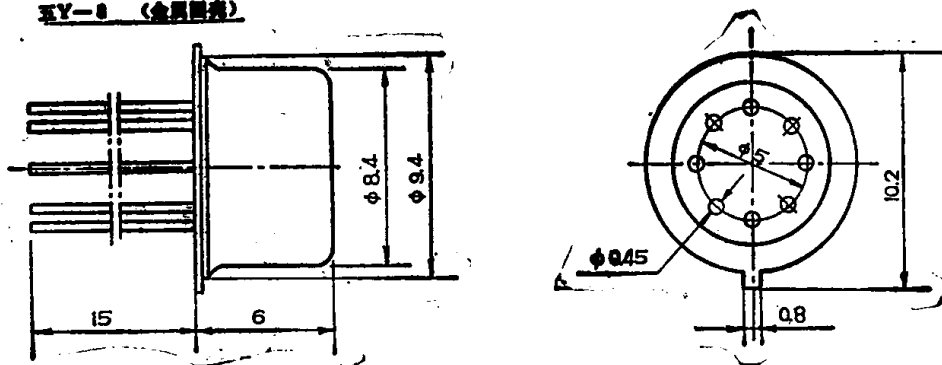
图C-11 (陶瓷双列带散热器)



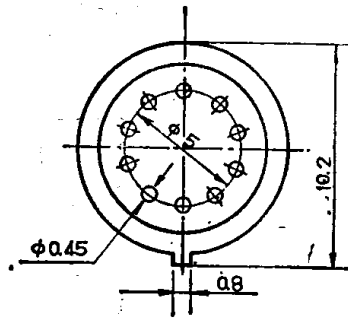
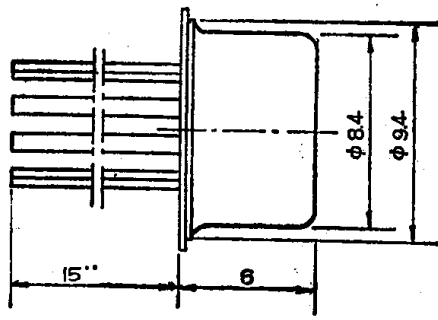
图C-16 (陶瓷双列)



图Y-8 (金属圆壳)



六Y-10 (金属圆壳)



七Y-12 (金属圆壳)

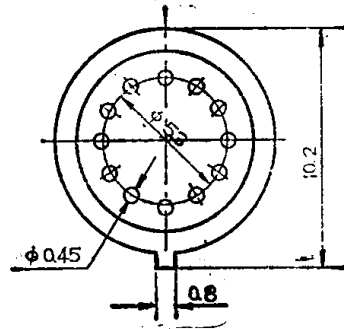
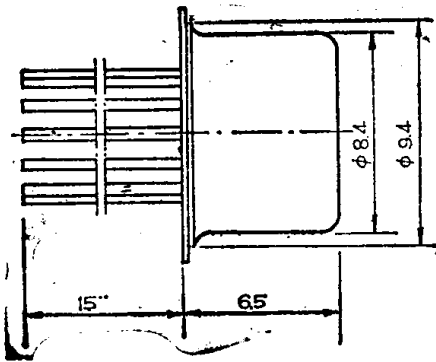


图 1-6 集成电路的封装外形

## 第二章 模拟集成电路的基本电路

### 2.1 单管放大电路

模拟集成电路的内部电路不管其组成形式如何复杂，都可以简化成基本放大电路。分立元件的单管基本放大电路有三种组态，即共发、共基、共集等。每种放大电路都有不同的连接方式，不同的电压增益、输入阻抗和输出阻抗。下面对这三种电路作简单的介绍。

#### 2.1.1 共发射放大电路

在共发射放大电路中，输入信号是加在基极和发射极之间，输出信号取出于集电极和发射极之间。对交流信号而言，输入和输出是以发射极作为公共端，因而有共发射极之称。如图 2-1(a) 所示。共发射放大器的输入电阻为：

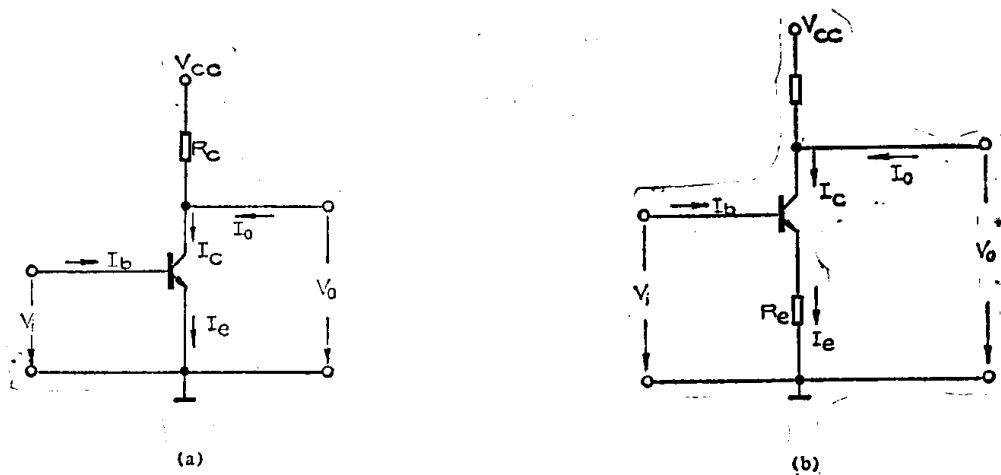


图 2-1 共发射放大电路

$$R_i = \frac{V_i}{I_b} = r_{b'e} = r_{bb'} + (1 + \beta)r_e \quad (2-1)$$

式中  $r_{bb'}$  为半导体三极管基区体电阻，通常为 200~300 欧姆。 $r_e$  为发射结等效电阻，可由下式来计算：

$$r_e = \frac{26(\text{毫伏})}{I_e(\text{毫安})} \quad (2-2)$$

共发射放大器的电压增益为：

$$G_V = \frac{V_o}{V_i} = -\beta \frac{R_c}{r_{b'e}} \quad (2-3)$$

$$\text{输出电阻 } R_o = \frac{V_o}{I_o} = R_c \quad (2-4)$$



在模拟集成电路中，放大器的负载往往是有源负载，所以 $R_c$ 的值一般取决于后级的输入电阻。

图2-1(b)为接有发射极反馈电阻的共发射极放大电路，这种放大电路在模拟集成电路内也经常遇到。由于 $R_e$ 反馈电阻的接入，使放大器的输入电阻、电压增益等都发生变化。在图2-1(b)放大器中，由于流过 $R_e$ 的电流为 $I_e = I_b + I_c = (1 + \beta)I_b$ ，所以输入电阻为：

$$R_i' = \frac{V_i}{I_b} = r_{be} + (1 + \beta)R_e \approx r_{be} + \beta R_e \quad (2-5)$$

电压增益为：

$$G_v' = \frac{V_o}{V_i} = - \frac{\beta R_c}{r_{be} + \beta R_e} \quad (2-6)$$

输出电阻为：

$$R_o' = \frac{V_o}{I_c} = R_c \quad (2-7)$$

显然由于 $R_e$ 的串入使电压增益降低了。但是它会使得放大器频率特性变好、频带变宽，同时也使输入电阻增加了 $\beta R_e$ 倍。

### 2.1.2 共基放大电路

共基放大电路是把输入信号加在三极管的发射极和基极之间，输出信号取自集电极和基极两端。基极交流接地，为交流信号输入、输出的公共端。所以在具体放大电路中，只要是基极交流电位不变，我们就可以判断为共基放大电路，如图2-2所示。

共基放大电路的特点是：输入电阻小、频带宽、电流放大倍数小于1，它一般用于工作频率比较高的电路。其输入电阻为：

$$R_i = \frac{V_i}{-I_e} = r_e + \frac{r_{be}}{1 + \beta} \approx r_e \quad (2-8)$$

$r_e$ 一般在十几欧姆和几十欧姆之间，所以共基输入电阻比共发射极输入电阻( $r_{be}$ )小得多。共基电路的电压增益为：

$$G_v = \frac{V_o}{V_i} = \beta \frac{R_c}{r_{be}} \quad (2-9)$$

显然电压增益的大小与共发射极电路相同，但符号相反；上式表明共基电路为同相放大，而共发射极电路则是反相放大。共基电路的输出电阻为：

$$R_o = \frac{V_o}{I_c} = R_c \quad (2-10)$$

由此可见，共基放大电路的输出电阻等于集电极电阻，这与共发射极电路相同。

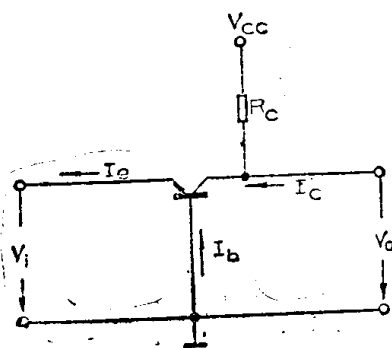


图 2-2 共基放大电路

### 2.1.3 共集放大电路——射极跟随器

当输入信号加在基极和集电极之间，而输出则取自于发射极和集电极两端时，组成的放大器就是共集放大电路。共集放大电路中，集电极为输入和输出的交流公共端，其交流电位是不变的，在模拟集成电路中共集电路很常见，基本电路如图2-3所示。