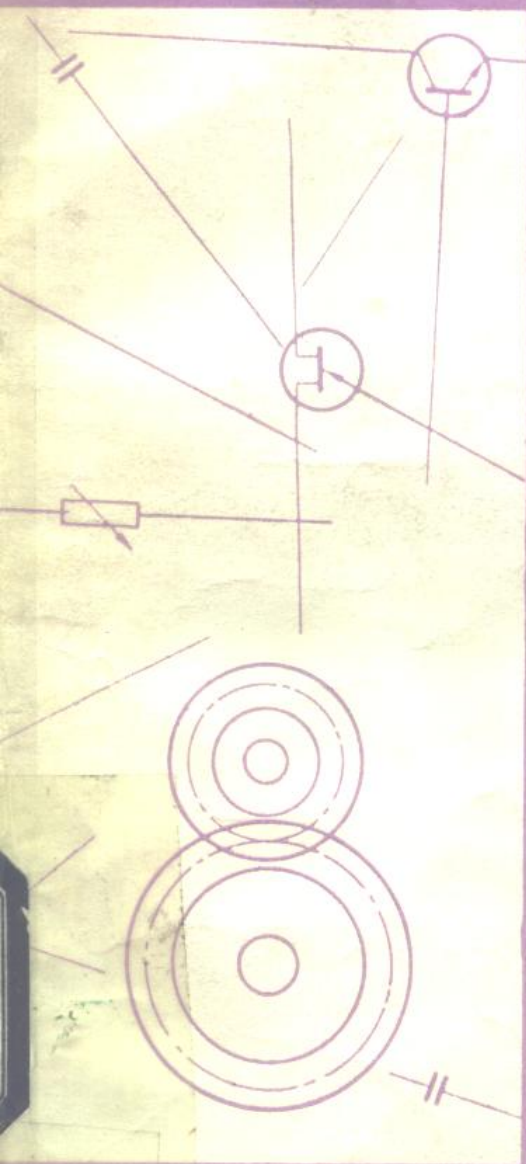


仪表元件丛书



集成运算放大器

仪表元件丛书

集成运算放大器

廉绵第 编



机械工业出版社

仪表元件丛书
集成运算放大器

廉绵第 编

责任编辑 秦起佑

封面设计 刘代

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/32·印张10¹/₈·字数217千字

1987年5月北京第一版·1987年5月北京第一次印刷

印数 0,001—3,650 ·定价：2.15元

统一书号：15033·5915

出版者的话

仪器仪表是实现四个现代化必不可少的技术装备，而仪器仪表元件（简称仪表元件）是仪器仪表中具有独立功能的最基本的单元，它是仪器仪表的基础，能完成信号的检测、传递、转换、放大、储存、运算、控制和显示等功能。仪表元件的品种和质量直接影响着仪器仪表的性能。

目前，仪器仪表已广泛应用于国民经济各部门。为了适应仪器仪表工业发展的需要，进一步做好仪表元件基础知识的普及工作，在原国家仪器仪表工业总局的直接关怀下，我们编辑出版了这套《仪表元件丛书》。

本丛书预定为十一分册，分别为《热敏电阻器》、《集成电路在仪器仪表中的应用》、《半导体光电器件》、《宝石支承》、《仪表齿轮》、《金刚石压头》、《数据采集系统中的放大器》、《磁电转换元件》、《自动平衡仪表放大器》、《自动平衡仪表电机》、《集成运算放大器》等，将陆续出版。

本丛书以介绍各类仪表元件的结构原理、特性、设计计算为主，对制造工艺、性能测试和应用知识也作了简单的阐述。在写法上，力求通俗易懂，深入浅出，从基础概念出发，对仪表元件的有关问题进行论述。

值此《仪表元件丛书》出版之际，我们向为丛书的编写做了大量组织、指导工作的沈阳仪器仪表工艺研究所的领导及从事具体工作的王崇光、董世章等同志表示深切的谢意，并向大力支持丛书编写的各有关单位领导及编者，表示衷心的感谢。

常用符号表

- a —— 沟道宽度
- A —— 放大器；电容器平板面积
- A_{VO} —— 共模电压增益
- A_{VD} —— 差模电压增益
- A_I —— 镜像电流增益
- C —— 电容器
- C_B —— 基区扩散电容
- C_C —— 集电结电容
- C_{CS} —— 集电极衬底电容
- C_E —— 发射结电容
- C_{EB} —— E B 结电容
- C_F —— 反馈电容
- C_I —— 输入电容
- C_L —— 负载电容
- C_O —— 单位面积电容
- C_ϕ —— 补偿电容
- D —— 二极管
- d —— 耗尽层宽度
- D_{BE} —— BE 结二极管
- D_{BC} —— BC 结二极管
- D_{CS} —— 集电极衬底结二极管
- D_P —— 空穴的扩散系数
- f —— 频率
- f_B —— 截止频率

X

- f_0 ——转折频率
 f_{Bu} ——开环带宽
 f_{z_c} ——零点频率
 G_B ——单位增益带宽
 g_c ——动态电导
 g_m ——跨导
 H_0 ——传递函数
 I ——电流
 I_B ——基极电流
 I_{B+} ——正向端输入电流
 I_{B-} ——负向端输入电流
 I_C ——集电极电流
 I_{CC} ——正电源电流
 I_{CL} ——静态功耗电流
 I_d ——二极管电流
 I_D ——漏极电流
 I_{DG} ——正向输入端接地静态功耗电流
 I_{DO} ——正向输入端开路静态功耗电流
 I_E ——发射极电流
 I_{EE} ——负电源电流
 I_F ——反馈电流
 I_{FX} ——输入噪声电流
 I_v ——栅极电流
 I_{IK} ——输入输出漏电流
 I_{IB} ——输入基极电流
 I_{IG} ——输入失调电流
 I_{max} ——最大电流
 I_O ——输出电流
 I_{ou} ——最大输出电流

- I_S ——反向饱和电流
- I_{SH} ——输出短路电流
- I_{SI} ——输出沉降电流；隔离电源电流
- I_{SO} ——输出源电流
- I_ϕ ——光电流
- K ——波耳兹曼常数；闭环增益
- K_{CMR} ——共模抑制比
- K_{SVR} ——电源电压抑制比
- K_{SVR+} ——正电源电压抑制比
- K_{SVR-} ——负电源电压抑制比
- L ——扩散电阻长度；发射区有效长度；沟道长度
- L_{PB} ——空穴扩散长度
- N_D ——沟道杂质浓度
- N_P ——P型区扩散层厚度
- P_C ——静态功耗
- P_{Cmax} ——最大静态功耗
- P_{OM} ——最大输出功率
- q ——电子电荷
- Q_B ——沟道体电荷
- Q_{SS} ——栅极二氧化硅层的正电荷密度
- R ——电阻
- r_B ——基区电阻
- R_C ——集电极负载电阻
- r_{CS} ——集电极串联电阻
- R_E ——射极负载电阻；镇流电阻
- r_E ——射极内电阻
- R_F ——反馈电阻
- R_I ——信号源内阻；输入电阻
- R_{IC} ——共模输入电阻

X II

- R_{IOM} ——最大共模输入电阻
 R_{ID} ——差模输入电阻
 R_{IK} ——闭环输入电阻
 R_L ——负载电阻
 R_o ——沟道体电阻
 R_{OK} ——闭环输出电阻
 R_{os} ——输出电阻
 R_s ——信号源电阻
 R_ϕ ——补偿电阻
 S_g ——阶跃信号
 S_R ——电压转换速率
 T ——晶体管；绝对温度
 t ——时间
 t_{ox} ——二氧化硅厚度
 t_a ——电介质厚度
 V ——电压
 V_B ——基极电压
 V_{BE} ——BE结压降
 V_C ——集电极输出电压
 V_{CB} ——CB结电压
 V_{CC} ——正电源电压
 V_{CES} ——集电极饱和压降
 V_c ——二极管电压
 V_D ——漏极电压
 V_{EE} ——负电源电压
 V_g ——栅偏压
 V_{GC} ——栅沟电压
 V_i ——输入电压
 V_{IOM} ——最大输入共模电压

- V_{ID} ——差分线性输入电压
- V_{IDM} ——最大差分输入电压
- V_{IO} ——输入失调电压
- V_{ISA} ——安全输入电压
- V_m ——最大电压幅度
- V_o ——输出电压
- V_{ON} ——输出噪声电压
- V_{OH} ——输出高电平
- V_{OL} ——输出低电平
- V_{OM} ——最大输出电压
- V_{OPP} ——输出电压峰峰值
- V_{O+} ——正输出电压
- V_{O-} ——负输出电压
- V_P ——夹断电压
- V_R ——参考电压
- V_{SD} ——源漏电压
- V_{SG} ——源栅电压
- V_{SI} ——隔离电源电压
- V_T ——开启电压
- V_W ——单向工作电压
- V_X ——X端输入电压
- V_Y ——Y端输入电压
- V_Z ——稳压管电压
- V_{Σ} ——虚地电压
- W ——扩散电阻宽度；沟道电阻
- W_B ——基区宽度
- X_B ——基区结深
- X_E ——发射区结深
- X_s ——扩散结深

- X_N ——N型区耗尽层厚度
 X_P ——P型区耗尽层厚度
 y ——导纳
 Z ——沟道宽度
 Z_{I0} ——共模输入阻抗
 Z_{ID} ——差模输入阻抗
 α ——共基极电流放大系数
 αI_{I0} ——失调电流温漂
 αV_{I0} ——失调电压温漂
 β ——共发射极电流放大系数
 δ ——相对误差
 ΔC ——电容变化量
 Δq ——电荷变化量
 ΔR_C ——差分输入级集电极负载电阻之差
 ΔV_{BE} ——差分对管BE结正向压降之差
 ΔV_E ——镇流电阻上的压降
 ϵ ——硅的介电常数
 ϵ_0 ——真空介电常数
 ϵ_{02} ——二氧化硅介电常数
 ϕ ——相位角
 ω ——角频率
 ω_0 ——特征频率

目 录

出版者的话	
常用符号表	
第一章 概论	1
第二章 集成运算放大器的工艺及元件图 形结构简介	5
第一节 集成运算放大器的工艺简介	5
一、平面工艺简介	6
二、集成运算放大器制作过程举例	8
第二节 集成晶体管	15
一、集成NPN晶体管	15
二、集成PNP晶体管	21
三、集成结型场效应管	28
四、集成MOS型场效应管	31
五、集成二极管	33
第三节 集成电阻和电容	37
一、集成电阻	37
二、集成电容	45
三、激光微调电阻和电容	50
第三章 集成运算放大器的基本单元电路	53
第一节 差分输入电路	53
一、差分放大器的工作原理	53

二、差分放大器的共模抑制能力	56
三、差分放大器的传输特性和跨导	57
四、差分放大器的失调和漂移	62
五、复合差分电路	68
六、场效应差分电路	74
第二节 恒流源电路	75
一、基本恒流源电路	76
二、小电流恒流源电路	79
三、三晶体管恒流源电路	81
四、多端输出的恒流源电路	84
五、场效应恒流源电路	85
第三节 有源负载、电平位移和双端输入单端 输出电路	88
一、有源负载	88
二、电平位移电路	90
三、双端输入单端输出电路	94
第四节 输出级和输出保护电路	97
一、射极跟随器输出电路	97
二、推挽输出电路	98
三、输出保护电路	103
第四章 集成运算放大器的电路分析	107
第一节 通用型集成运算放大器	107
一、F702型低增益运算放大器（通用Ⅰ型）	107
二、F709型中增益运算放大器（通用Ⅱ型）	111
三、F741型内补偿高增益运算放大器（通 用Ⅲ型）	117
四、F101型外补偿高增益运算放大器（通 用Ⅲ型）	124

第二节 专用型集成运算放大器	127
一、F253型低功耗运算放大器	127
二、 μ PC252型高输入阻抗运算放大器	131
三、F725型低漂移运算放大器	135
四、F715型高速运算放大器	139
五、 μ A791型高输出功率运算放大器	143
第三节 高性能集成运算放大器	147
一、MC1556型高输入性能运算放大器	147
二、AD508型高精度运算放大器	152
第四节 F3401 电流型集成运算放大器	157
一、基本放大器	157
二、偏置电路	160
三、放大器的输出偏置	161
四、电路参数指标	161
第五节 AD289 隔离型集成运算放大器	163
一、输入级	164
二、输出级	165
三、电源	165
四、隔离变压器	165
五、电路参数表	166
第五章 集成运算放大器的频率特性	169
第一节 基本放大器的频率特性	169
一、寄生电容对放大器的影响	169
二、基本放大器的幅频和相频特性	173
第二节 多级放大器的频率特性	177
一、两级放大器的频率特性	177
二、多级放大器的频率特性	181
第三节 集成运算放大器的频率补偿	183

VI

一、负反馈放大器的稳定条件	184
二、负反馈放大器的频率补偿	191
三、F702型低增益运算放大器的频率特性与 相位补偿	203
第四节 运算放大器的转换速率	211
第六章 集成运算放大器的测试	217
第一节 电压型集成运算放大器的测试	217
一、输入失调电压	217
二、输入失调电压温漂	218
三、输入失调电流	218
四、输入失调电流温漂	219
五、输入基极电流	219
六、静态功耗	220
七、差模开环电压增益	220
八、共模抑制比	222
九、电压转换速率	224
十、电源电压抑制比	225
十一、开环输入电阻	226
十二、开环输出电阻	227
十三、输出峰-峰电压	228
十四、最大共模输入电压	228
十五、最大差模输入电压	229
十六、最大输出电流	229
十七、输入噪声电压	230
第二节 电流型集成运算放大器的测试	231
一、最大输出峰-峰电压	231
二、开环电压增益	231
三、输入基极电流	232

四、镜象电流增益	233
五、输入电阻	234
六、静态功耗电流	234
七、输出电压幅度	235
八、输出电流	235
第七章 集成运算放大器的负反馈特性及 运算误差分析	237
第一节 反相输入负反馈特性	238
一、理想的负反馈直流比例放大器	238
二、实际反相输入负反馈放大器	240
第二节 同相输入负反馈特性	245
一、理想的同相输入负反馈直流比例放大器	245
二、实际的同相输入负反馈放大器	245
第三节 运算误差分析	247
一、由开环增益 A_{VD} 、输入电阻 R_{ID} 和输出电 阻 R_{OS} 所引进的运算误差	247
二、由失调电压 V_{IO} 和失调电流 I_{IO} 所引起的 输出误差及漂移	250
三、开环电压增益 A_{VD} 和输入电阻 R_{ID} 不为无穷 大,失调电压 V_{IO} 和失调电流 I_{IO} 不为零所 引起的误差及漂移	253
四、共模抑制比 K_{CMR} 对运算误差的影响	255
第四节 提高运算精度的几种方法	257
一、输入失调电压的补偿	258
二、输入基极电流的补偿	258
三、提高输入阻抗	259
第八章 集成运算放大器的应用	261

VII

第一节 信号转换电路	261
一、电桥放大器	261
二、电荷放大器	263
三、热电转换电路	265
四、光电转换电路	266
第二节 模拟运算电路	269
一、加法器	269
二、减法器	272
三、积分器	273
四、微分器	274
五、比例积分微分器 (PID调节器)	275
六、对数和反对数放大器	280
七、乘法器和除法器	282
八、绝对值放大器	285
第三节 信号处理电路	286
一、数据放大器	286
二、采样保持放大器	287
三、比较器	289
四、有源滤波器	293
第四节 波形发生器	297
一、方波发生器	298
二、锯齿波发生器	302
三、正弦波发生器	303
参考文献	308

第一章 概 论

一、集成运算放大器的定义、特点和分类

集成运算放大器实质上是一种高增益的直流放大器。因为给它配置上一些反馈元件，便可进行加、减、乘、除、微分、积分、对数和反对数等数学运算，所以，习惯上把这种直流放大器称为运算放大器。

所谓集成运算放大器，是利用半导体集成工艺或者薄膜集成工艺，把运算放大器的元件（晶体管、电阻、电容等），制做在同一基片上，并互连起来，形成一个功能器件。

仅就运算放大器本身来说，并不是特别新颖的器件。早在四十年代就出现了电子管运算放大器，当时主要应用在模拟计算机中进行各种运算。五十年代后期，又出现了晶体管运算放大器。它与电子管运算放大器相比，虽然其体积和功耗都有显著减小，但仍属于由分立元件构成的一种组件，应用受到了一定限制。

集成运算放大器是继电子管、晶体管之后出现的一种新型运算放大器。它实现了材料、元件和电路三位一体，可作为一种通用器件用来组成各种功能电路。它与电子管和晶体管运算放大器相比，具有体积小，重量轻、功耗低、性能好、可靠性高和成本低等优点。此外，集成工艺非常适合制造特性一致的元件，使其差分对管匹配良好，从而大大提高了运算放大器的性能。

集成运算放大器的种类很多，一般多按用途分类。按用