

晶体管运算放大器 及其应用

国防工业出版社

晶体管运算放大器及其应用

张郁弘 庄灿涛 编著



内 容 简 介

运算放大器是放大器的一个新的分支, 鉴于它具有一系列优点和独特的性能, 应用日益广泛, 发展非常迅速。

本书较全面地、详细地介绍了晶体管运算放大器的基本理论、电路设计方法和它的主要应用。书中还给出了相当多的具有各种性能的实用运算放大器电路, 可供参考选用。

本书是为从事运算放大器电路设计, 自动控制和电子技术各有关部门以及各有关实验、测量等方面的技术人员写的。阅读本书, 需要具备高等数学和熟悉网络理论、晶体管电路等方面的基础知识; 但由于本书的很多章节实用性很强, 又具有相对的独立性, 故对于一般技术工人和技术人员也有参考价值。本书也可供大专院校有关专业的师生参考。

晶体管运算放大器及其应用

张郁弘 庄灿涛 编著

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

上海商务印刷厂排版 山西省新华印刷厂印装

787×1092 1/16 印张 33 1/4 851 千字

1978 年 9 月第一版 1978 年 9 月第一次印刷 印数: 00,001—54,000 册

统一书号: 15034·1663 定价: 3.40 元

出版者的话

二十世纪四十年代,随着电子模拟计算机的发展,运算放大器也得到了发展,不过那时的运算放大器还只是电子管式的。五十年代中期,各种性能的晶体管运算放大器相继出现,尽管当时晶体管器件的性能还不完善,但已为人们展示出了它的广阔的前景。六十年代初,开始有了集成化的运算放大器,近几年来,集成化的运算放大器已经成批生产。但是,晶体管运算放大器仍然发挥着其特有的作用。现在,运算放大器的应用范围已经逐步深入到许多科学实验领域和有关工业生产部门。

为了适应形势的发展,作者基于实际工作的经验,收集了国内外有关资料,编写了此书,以期能使读者在理论与实践相结合方面有所裨益。但由于水平所限,难免会有缺点和错误,敬希批评指正。

本书由昆明地震仪器厂张郁弘、庄灿涛同志编写,然后,又征求了北京无线电一厂陈贺英和研究室放大器组一些同志的意见,对原稿进行了修改和补充。在编写过程中,得到了有关单位的领导和同志们们的热情支持,在此谨致谢忱。

主要符号说明

- C_c ——晶体管集电结电容
 C_e ——晶体管发射结电容
 C_{DS} ——FET 的 $D-S$ 极间电容
 C_{GD} ——FET 的 $G-D$ 极间电容
 C_{GS} ——FET 的 $G-S$ 极间电容
 C_i ——输入(分布)电容
 C_{MR} ——共模抑制比
 e_{fn} ——闪烁 ($1/f$) 噪声电压
 e_{nt} ——输入噪声电压
 e_{no} ——输出噪声电压
 e_{os} ——输入失调电压
 e_{Tn} ——热噪声电压
 E_N ——泛指噪声干扰或畸变
 E_{oso} ——输出失调电压
 f_α ——晶体管共基电路的截止频率
 f_β ——晶体管共射电路的截止频率
 f_M ——最高振荡频率
 $F(p)$ ——反馈电路的衰减量函数
 G_o ——运算放大器开环增益
 g ——FET 的跨导
 g_m ——FET 的最大跨导
 h_{11e} ——共射 H 参数(输出端交流短路的输入阻抗)
 h_{12e} ——共射 H 参数(输入端交流开路的电压反馈系数)
 h_{21e} ——共射 H 参数(输出端交流短路的电流放大系数)
 h_{22e} ——共射 H 参数(输入端交流开路的输出导纳)
 h_{FE} ——晶体管共射直流电流放大系数
 I_b ——输入偏置电流(基极偏流)
 $I_{co}(I_{cbo})$ ——反向饱和漏电流(基极开路)
 I_G ——FET 的栅极电流
 I_i ——输入信号电流
 I_{nt} ——输入噪声电流
 I_{os} ——输入失调电流
 I_{sn} ——散粒噪声电流
 I_{Tn} ——热噪声电流

- K ——泛指系统的电压传递系数
 K_o ——低频(直流)电压放大倍数(开环)
 K_{oo} ——反馈系统的低频(直流)电压放大倍数
 $K(p)$ ——运算放大器的传递函数
 $K_c(p)$ ——反馈系统的传递函数
 K_{CM} ——共模增益
 K_p ——有源滤波器的通带增益
 k ——玻尔兹曼常数
 N_F ——噪声系数
 N_t ——等效输入时间漂移系数
 N_T ——等效输入温度漂移系数
 \mathcal{N}_{t_o} ——输出时间漂移系数
 \mathcal{N}_{T_o} ——输出温度漂移系数
 p ——拉普拉斯变量
 P_{jM} ——运算放大器的静态功耗
 r_b ——晶体管基极电阻
 r_c ——晶体管集电极电阻
 r_e ——晶体管发射极电阻
 r_{DS} ——FET 的漏源沟道电阻
 r_{DN} ——FET 饱和导通时的沟道电阻
 r_{OFF} ——FET 夹断时的沟道电阻
 $R_i(Z_i)$ ——输入电阻(阻抗)
 $R_{ic}(Z_{ic})$ ——闭环反馈系统的输入电阻(阻抗)
 R_{iCM} ——共模输入电阻
 $R_o(Z_o)$ ——输出电阻(阻抗)
 $R_{oc}(Z_{oc})$ ——闭环反馈系统的输出电阻(阻抗)
 $R_s(Z_s)$ ——源内阻(阻抗)
 S_I ——恒流电路的稳流系数
 S_V ——稳压电路的稳压系数
 S_R ——运算放大器的摆动速率
 $T(p)$ ——反馈系统的回路增益函数
 V_{BE} ——晶体管 $B-E$ 结二极管的正向压降
 V_{oc} ——运算放大器的供电电压
 V_D ——二极管的正向压降
 V_{DZ} ——稳压二极管的正向压降
 V_I ——输入信号
 V_{Icm} ——共模输入信号
 $\overline{V_{iCM}}$ ——运算放大器共模输入电压范围
 V_o ——输出信号

V_{om} ——共模输出信号

$\overline{V_{om}}$ ——运算放大器的输出(最大)摆动幅度

V_{s-} ——运算放大器反相输入端的电位或信号

V_{s+} ——运算放大器同相输入端的电位或信号

δ_c ——系统的脉冲响应波形的过冲量

δ_{v_c} ——运算放大器电源抑制系数

ζ ——阻尼系数

η_o ——反馈系数(Z_1/Z_F)

μ_o ——反馈系数(Z_1/Z_1+Z_F)

φ_m ——相位储备

||——并联符号

目 录

主要符号说明

第一篇 运算放大器的基本理论

引言	1
第一章 运算放大器的静态特性与分类	2
§ 1.1 理想运算方程	2
§ 1.2 实际晶体管运算放大器的运算方程	3
§ 1.3 偏差讨论与基本要求	5
1.3.1 开环增益	5
1.3.2 输入阻抗	7
1.3.3 输出阻抗	8
1.3.4 输入失调电压	8
1.3.5 输入偏置电流	8
1.3.6 共模抑制比	8
1.3.7 共模输入电压范围	9
1.3.8 输出幅度、供电电压和电源抑制	10
1.3.9 噪声要求	11
§ 1.4 源阻抗问题	11
§ 1.5 负载效应	12
§ 1.6 运算放大器分类	12
§ 1.7 多端理想运算方程(附录)	14
第二章 运算放大器的反馈理论	16
§ 2.1 传递函数及其基本性质	16
2.1.1 线性动态系统的微分方程	16
2.1.2 传递函数及其基本性质	18
§ 2.2 复频率特性	19
§ 2.3 瞬态响应特性	21
2.3.1 运算放大器的脉冲响应	21
2.3.2 运算放大器的阶跃响应	23
§ 2.4 反馈回路理论及其传递函数	24
2.4.1 基本反馈形式	24
2.4.2 回路增益与反馈量	25
2.4.3 反馈回路的传递函数	25
2.4.4 反馈回路的频率响应	27
2.4.5 对畸变与噪声的抑制	27
2.4.6 输入阻抗与虚地点	28
2.4.7 输出阻抗与负载效应	29
2.4.8 参数变化的影响	29
§ 2.5 动态稳定性的分析方法	31
2.5.1 问题提出	31
2.5.2 劳斯判据	32

2.5.3 奈奎斯特判据	34
§ 2.6 稳定性的储备	38
§ 2.7 稳定性储备的检验	40
第三章 运算放大器的特性参数及其测量方法	44
§ 3.1 静态功耗	44
§ 3.2 电压增益和最大输出幅度	44
§ 3.3 输入阻抗	46
3.3.1 差模输入阻抗	47
3.3.2 共模输入阻抗	48
§ 3.4 输出阻抗	49
§ 3.5 输入失调电压	49
§ 3.6 输入偏置电流和输入失调电流	50
§ 3.7 等效输入漂移与噪声	51
§ 3.8 频率响应、摆动速率	52
§ 3.9 共模抑制比和共模输入电压范围	55

第二篇 运算放大器电路设计

引言	57
第四章 差分式运算放大器电路设计	58
§ 4.1 输入级电路设计	58
4.1.1 基本差分电路	59
4.1.2 复合管差分电路	66
4.1.3 共集-共射差分电路	69
4.1.4 自举式差分电路	70
4.1.5 互补差分电路	73
4.1.6 共射-共基差分电路	76
4.1.7 有源负载差分电路	78
4.1.8 场效应晶体管差分电路	83
4.1.9 小结	86
§ 4.2 中间级电路设计	87
4.2.1 单级形式	88
4.2.2 差分式中间级电路	91
4.2.3 带有共模负反馈的中间级电路	91
§ 4.3 输出级电路设计	92
§ 4.4 共模抑制比的分析与设计	97
4.4.1 定义与符号	97
4.4.2 差分电路的普遍公式	98
4.4.3 对称差分电路的共模抑制比	101
4.4.4 非对称差分电路的共模抑制比	102
4.4.5 FET 差分电路的共模抑制比	103
4.4.6 增大 R_{BO} 的方法	103
4.4.7 结论	105
§ 4.5 电平配置的总体设计	106
4.5.1 电平配置计算	106
4.5.2 运算放大器电压增益的计算	109
第五章 运算放大器动态稳定性的分析与设计	111
§ 5.1 运算放大器动态稳定性的分析方法——波德图	111
§ 5.2 运算放大器电路的传递函数	115

5.2.1	高频参数的考虑	115
5.2.2	输入级电路的传递函数	117
5.2.3	中间级电路的传递函数	119
5.2.4	输出级电路的传递函数	120
5.2.5	运算放大器电路的传递函数	120
§ 5.3	动态稳定性设计原则	121
§ 5.4	相位补偿技术	123
5.4.1	电路设计与器件性能的考虑	123
5.4.2	极点的迁移	123
5.4.3	引入零点	126
5.4.4	直馈方法	134
§ 5.5	在 p -平面上的根轨迹图分析法	137
第六章 运算放大器的零点漂移和噪声		144
§ 6.1	零点漂移	145
6.1.1	漂移方程	145
6.1.2	输入失调电压漂移	147
6.1.3	输入失调电流漂移	154
6.1.4	复合管差分电路的零点漂移问题	156
§ 6.2	FET 差分电路的零点漂移	158
6.2.1	共源 FET 的零温度系数工作点	158
6.2.2	FET 差分电路的漂移方程	159
6.2.3	FET 差分电路的输入失调电压漂移	159
6.2.4	FET 差分电路的电流漂移	161
§ 6.3	电源电压变化引起的零点变动——电源抑制问题	162
6.3.1	正边电源电压变化的影响	162
6.3.2	负边电源电压变化的影响	163
§ 6.4	运算放大器的噪声	163
6.4.1	噪声的起源	163
6.4.2	晶体管差分电路的噪声	164
6.4.3	关于减小噪声的问题	166
6.4.4	FET 差分电路的噪声	168
§ 6.5	运算放大器的输出噪声谱	168
第七章 辅助技术		171
§ 7.1	扩展频带与提高摆动速率	171
7.1.1	放大器的级联	171
7.1.2	放大器的并接——直馈技术	172
7.1.3	复合放大器	173
§ 7.2	外电路中的相位补偿	176
7.2.1	对杂散电容的补偿	176
7.2.2	对电容性负载效应的补偿	177
§ 7.3	运算放大器温度漂移的匹配补偿	178
§ 7.4	提高输入阻抗的自举方法	178
§ 7.5	输入保护电路	179
§ 7.6	输出幅度的钳制与扩展方法	180
7.6.1	输出幅度的钳制	180
7.6.2	输出幅度的扩展	181
§ 7.7	输出“零位”的控制方法	183
第八章 斩波稳定式的运算放大器电路设计		184
§ 8.1	概述	184

1107010

§ 8.2 FET 斩波器	186
8.2.1 FET 的开关特性	186
8.2.2 瞬变尖峰	187
8.2.3 串联斩波器	188
8.2.4 并联斩波器	188
8.2.5 串-并联斩波器	190
8.2.6 平衡(差动)斩波器	191
8.2.7 瞬变尖峰的补偿	192
8.2.8 FET 参数的选择	192
§ 8.3 交流放大器电路	193
§ 8.4 同步解调与滤波	196
§ 8.5 双通道运算放大器电路结构与特性	197
8.5.1 典型结构	197
8.5.2 电压增益	198
8.5.3 频率响应特性与动态稳定性	198
8.5.4 漂移特性	201
8.5.5 噪声问题	201
§ 8.6 反馈运用的方式	202

第三篇 实用运算放大器电路

引言	205
第九章 一般用途的运算放大器电路	206
§ 9.1 简单结构的运算放大器电路	206
§ 9.2 多级结构的运算放大器电路	211
第十章 高输入阻抗运算放大器电路	222
§ 10.1 简单形式	222
§ 10.2 复合管型运算放大器电路	224
§ 10.3 互补型运算放大器电路	226
§ 10.4 FET 运算放大器电路	228
第十一章 斩波稳定(直流)运算放大器电路	231
§ 11.1 晶体管斩波直流放大器电路	231
§ 11.2 FET 斩波直流放大器电路	232
§ 11.3 双通道(复合)运算放大器电路	236
第十二章 特殊用途的运算放大器电路	242
§ 12.1 门控运算放大器电路	242
§ 12.2 高输出电压幅度的运算放大器电路	244
§ 12.3 高输出功率运算放大器电路	246
§ 12.4 高频运算放大器电路	247
附录 关于运算放大器制作的工艺处理要点	250

第四篇 运算放大器应用

第十三章 基本线性数学运算器	253
§ 13.1 全加运算器	253
13.1.1 理想全加器	253
13.1.2 全加运算器的误差问题	254

13.1.3	全加器设计步骤	255
13.1.4	交直流全加运算器	257
§ 13.2	积分运算器	258
13.2.1	积分器的工作原理	258
13.2.2	实际积分器的误差分析	259
13.2.3	由积分元件引入的误差	263
13.2.4	积分器的保持特性	264
13.2.5	积分电路中的漏电问题	265
§ 13.3	微分运算器	266
§ 13.4	其它线性运算器	267
13.4.1	增量积分运算器	267
13.4.2	全加积分器	268
13.4.3	多重积分运算器	268
第十四章	非线性函数运算电路	270
§ 14.1	函数转换器	270
14.1.1	工作原理	270
14.1.2	二极管——电阻转换网络	271
14.1.3	被复制函数的分段问题	271
14.1.4	转换网络参数设计方法	274
§ 14.2	平方与开方运算电路	277
14.2.1	平方运算电路	277
14.2.2	开方运算电路	279
§ 14.3	低电平非线性函数的复制问题	279
§ 14.4	对数与指数运算电路	280
14.4.1	PN结的伏安特性	281
14.4.2	对数运算器的基本结构	281
14.4.3	对数运算器的误差分析	282
14.4.4	几个实用对数运算电路	284
14.4.5	指数运算电路	287
§ 14.5	求反函数的普遍方法	288
§ 14.6	模拟乘(除)法运算电路	290
14.6.1	对数式乘(除)运算电路	290
14.6.2	四分之一——平方式乘法电路	291
14.6.3	电阻控制式乘(除)法运算电路	293
14.6.4	时间分割乘法运算电路	298
14.6.5	积分比较式除法运算电路	302
14.6.6	变互导式乘法运算电路	303
第十五章	比较电路	307
§ 15.1	基本概念	307
§ 15.2	常用比较电路	310
15.2.1	电平检测器	310
15.2.2	可调滞后比较器	310
15.2.3	滞后特性的改善方法	311
15.2.4	输出箝位的比较电路	312
15.2.5	高精度比较电路	312
§ 15.3	可锁比较电路	313
§ 15.4	电压比较“窗”	314
§ 15.5	三态比较电路	315
第十六章	模拟-数字转换和数字-模拟转换电路	317

§ 16.1	电压-时间转换电路	318
16.1.1	线性斜坡式	318
16.1.2	阶梯波式	319
16.1.3	双斜(双积分)式	320
16.1.4	保零电路	321
§ 16.2	电压-频率转换电路	322
16.2.1	简单的 $V-F$ 转换电路之一	322
16.2.2	简单的 $V-F$ 转换电路之二	323
16.2.3	简单的 $V-F$ 转换电路之三	325
16.2.4	用增量积分减小转换电路的非线性误差的方法	327
16.2.5	阈值可控的 $V-F$ 转换电路	328
16.2.6	电量中和 $V-F$ 转换电路	331
16.2.7	无漂移 $V-F$ 转换电路	333
§ 16.3	电压-周期转换电路	336
§ 16.4	数字-模拟转换电路	338
16.4.1	加权网络数字-模拟转换电路	338
16.4.2	串行式数字-模拟转换电路	339
§ 16.5	小结	340
第十七章	线性仪用放大器	341
§ 17.1	基本线性放大器	341
17.1.1	反相放大	341
17.1.2	同相放大	342
17.1.3	双端输入的线性放大器	344
§ 17.2	仪用放大器	345
17.2.1	仪用放大器之一	347
17.2.2	仪用放大器之二	349
17.2.3	仪用放大器之三	350
§ 17.3	桥路放大器	352
17.3.1	桥路放大器之一	352
17.3.2	桥路放大器之二	353
17.3.3	桥路放大器之三	353
17.3.4	桥路放大器之四	354
17.3.5	线性优良的桥路放大器	355
§ 17.4	放大倍数的调节方法	355
§ 17.5	量程的自动转换	358
第十八章	线性整流	361
§ 18.1	线性问题和小信号问题	361
§ 18.2	线性整流电路	363
18.2.1	半波整流电路	363
18.2.2	全波整流电路	363
§ 18.3	交流-直流转换	367
第十九章	稳压电路与恒流电路	370
§ 19.1	稳压电源的基本特性	370
§ 19.2	通用高性能稳压电路	375
§ 19.3	精密基准电压源	376
§ 19.4	高电压稳压电路	379
§ 19.5	双极性稳压电路	380
19.5.1	单极性稳压电路的分离	380

19.5.2	双极性稳压电路	381
§ 19.6	恒流电路	382
19.6.1	恒流源的特性参数	382
19.6.2	恒流电路	382
第二十章	有源滤波器	387
§ 20.1	概论	387
20.1.1	运算放大器有源滤波器电路的特点	387
20.1.2	有源滤波器的种类和基本参数	388
§ 20.2	运算放大器构成有源滤波器的基本方法	390
20.2.1	二阶有源滤波器与 n 阶有源滤波器之间的关系	390
20.2.2	组成二阶有源滤波器的基本方法	391
20.2.3	二阶有源滤波器的传递函数的分析与设计	392
20.2.4	低通有源滤波器电路设计	404
20.2.5	高通有源滤波器电路设计	410
20.2.6	带通有源滤波器电路设计	413
20.2.7	带阻有源滤波器电路设计	418
20.2.8	全通有源滤波器电路设计	421
20.2.9	关于积木化问题	422
§ 20.3	频率增强方法	423
20.3.1	基本原则与特征	423
20.3.2	中等 Q 值频率增强电路设计	425
20.3.3	各种中等 Q 值有源滤波器的组成	430
20.3.4	高 Q 值频率增强有源网络	434
20.3.5	各种高 Q 值有源滤波器的组成	436
§ 20.4	积分-加法运算式有源滤波器	437
20.4.1	基本原理	437
20.4.2	积分-加法运算式有源滤波器电路	440
§ 20.5	双 T 网络的特性	443
§ 20.6	T 形网络与 π 形网络之间的变换	446
20.6.1	T 形网络与 π 形网络之间的变换	446
20.6.2	双 T 网络参数变为 π 形网络参数的公式	448
第二十一章	波形的产生与变换	450
第一部分——波形的产生		450
§ 21.1	正弦波	450
21.1.1	移相式振荡电路	450
21.1.2	零相移桥式振荡电路	451
21.1.3	正交谐波发生器	454
§ 21.2	三角波和方波	455
21.2.1	电路结构与基本特性	455
21.2.2	三角波-方波发生器电路	459
21.2.3	电扫频方法	460
§ 21.3	超线性锯齿波	461
§ 21.4	高精度阶梯波	463
§ 21.5	多谐振荡器	466
第二部分——波形的变换		468
§ 21.6	三角波-锯齿波变换	468
§ 21.7	三角波-正弦波变换	470
§ 21.8	相移技术	473

21.8.1 固定频率的相移电路	473
21.8.2 低频相移方法——波形折迭技术	474
第二十二章 采样-保持电路、触发电路与时延电路	479
§ 22.1 采样-保持电路	479
§ 22.2 触发电路	482
22.2.1 双稳触发电路	482
22.2.2 单稳触发电路	482
§ 22.3 时延电路	483
§ 22.4 增长时间常数的方法	486
§ 22.5 电容倍增器	488
第二十三章 某些参数的测量方法	491
§ 23.1 峰值测量电路	491
23.1.1 一般音频信号的峰值测量	491
23.1.2 窄脉冲的峰值测量	493
23.1.3 超低频信号的峰值测量	495
§ 23.2 晶体管和 FET 参数的测量	497
23.2.1 晶体管和 FET 特性图示方法	497
23.2.2 晶体管和 FET 参数的精确测量	498
§ 23.3 运算放大器参数的测量	504
23.3.1 在共模输入电压范围内的偏置电流的测量	504
23.3.2 失调电压和失调电流的测量	505
23.3.3 传递特性的测量	506
23.3.4 完整的测试电路	506
第二十四章 其它应用	509
§ 24.1 精确的模拟开关	509
§ 24.2 视频门电路	509
§ 24.3 报警与保护装置	510
§ 24.4 精密恒温控制电路	511
§ 24.5 直流微型马达的稳速方法	511
附录 国产的几种主要集成运算放大器	514

第一篇 运算放大器的基本理论

引 言

运算放大器是这样一种单元:它和无源元件或有源元件以适当的方式组合,就能够进行数学运算或构成数学模型。

无源元件主要是电阻、电容、二极管等;有源元件主要是晶体管、场效应晶体管,甚而包括其它一个或多个运算放大器等等。

运算放大器也是一种性能十分完善的放大器,它兼有别的集中参数的放大器难于兼有的优点。这样,就有可能把它当作一种通用性很强的单元来加以处理和分析。正是由于这个缘故,运算放大器虽属于放大器范畴,然而却是放大器范畴中的一个迅速成长中的分支。

通过本篇的三章所提供的內容,对晶体管运算放大器的基本特性和有关的理论問題将有比较清楚的了解,这对以后的设计与应用是必要的。

第一章 运算放大器的静态特性与分类

§ 1.1 理想运算方程

具有如下性能的放大器,称为理想运算放大器:

(1) 输出信号 V_o 是输入信号 V_I 的精确的反演。

这就是说,在 V_o 与 V_I 之间存在如下关系:

$$V_o = K_o V_I \quad (1-1)$$

式中 K_o ——电压放大倍数,是一个可以为正也可以为负的常量。

K_o ——一个常量,这意味着包括直流在内的全频带内幅频特性平坦;并且,当它和无源网络或有源网络以任何形式组合时,都有足够的动态稳定性。

(2) 电压放大倍数 K_o 趋近无穷大。

(3) 输入阻抗无穷大。

(4) 输出阻抗等于零。

(5) 输入信号等于零时,输出端电位恒处于零电平。这意味着,既没有噪声干扰也没有零点漂移。

(6) 输出幅度对称,并且足够大。

(7) 输出端和输入端具有同一个信号端“地”,这个“地”的直流电位等于零。

具备上述条件的运算放大器和无源网络组成的各种基本数学运算器,即称为理想运算器。

这里所指的无源网络可以是各种类型的二端、三端或四端网络。一般常用的加(减)法、积分与微分等基本函数运算器均系由简单的二端网络组成。复合函数运算器需要由比较复杂的二端、三端或四端网络组成。

为简明起见,这里将着重讨论理想运算放大器和简单的二端网络组成的基本函数运算器,并且还假定信号源阻抗等于零。

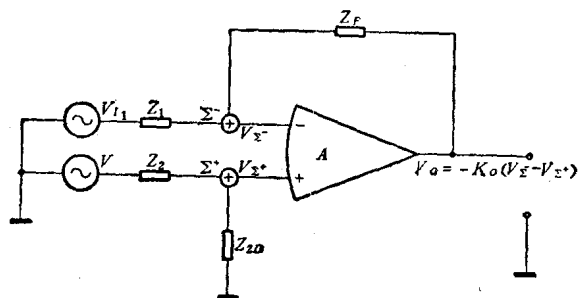


图 1.1 只有一对输入信号时的理想运算器电路

V_o 均不会产生影响(负载阻抗等于零的情况没有实际意义)。因此,

$$V_o = -K_o (V_{\Sigma^-} - V_{\Sigma^+}) \quad (1-2)$$

式中 V_{Σ^-} 和 V_{Σ^+} 分别为两个相加点 Σ^- 和 Σ^+ 处的信号; K_o 为运算放大器的开环电压放大

按照上述假定,只有一对输入信号的理想运算器电路可表示如图 1.1。图中,扇形表示运算放大器单元,它的反相输入端标以符号“-”,同相输入端标以符号“+”,扇形的顶点表示输出端。由于输入阻抗为无穷大,两个输入端之间相当于开路,输出阻抗等于零,则意味着任何有限的负载对输出信号