

中国集成电路 大全

集成运算放大器

《中国集成电路大全》编写委员会 编

国防工业出版社

中国集成电路大全
集成运算放大器

《中国集成电路大全》编写委员会 编

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/16 印张35 815千字

1985年2月第一版 1985年2月第一次印刷 印数：00,001—33,500册

统一书号：15034 2758 定价：7.65元

科技新书目83—115

目 录

第一部分 总 表		
表01	国产集成运算放大器型号 一览表.....	2
表02	集成运算放大器引出端功能 符号表.....	2
表03	集成运算放大器主要电参数 符号表.....	3
表04	国产集成运算放大器的分类与 主要特性表.....	3
第二部分 集成运算放 大器基础		
第一章 集成运算放大器的基础 知识.....		8
1.1	集成运算放大器的基本 概念.....	8
1.2	集成运算放大器的主要 参数.....	9
1.3	集成运算放大器中单元电路 的工作原理.....	18
第二章 集成运算放大器的应用 原理.....		47
2.1	集成运算放大器的相位补偿 原理.....	47
2.2	集成运算放大器的应用 原理.....	64
2.3	集成运算放大器的参数 测试.....	74
第三部分 集成运算放大器 系列品种及应用		
第三章 通用型集成运算放大器.....		82
3.1	概述	82
3.2	F 702集成运算放大器.....	82
3.3	F 709集成运算放大器.....	92
3.4	F 741集成运算放大器	124
3.5	F 747集成运算放大器	146
3.6	F 148集成运算放大器	156
3.7	F 107/ F 207/ F 307集成运算 放大器	165
3.8	F 101/ F 201/ F 301集成运算 放大器	171
3.9	F 158通用集成运算放大器	178
3.10	F 124/ F 224/ F 324集成 运算放大器	186
第四章 低功耗集成运算放大器		193
4.1	概述.....	193
4.2	F 253低功耗集成运算放 大器	193
4.3	F 012低功耗集成运算放 大器	210
4.4	F 013低功耗集成运算放 大器	215
第五章 高精度集成运算放大器		222
5.1	概述.....	222
5.2	FC72高精度低漂移集成运算 放大器	223
5.3	FC74低漂移前置放大器	237
5.4	F032 高精度集成运算放 大器	243
5.5	F 725高精度集成运算放 大器	246
5.6	8FC5高精度集成运算放 大器	257
5.7	XFC-78 高精度集成运算 放大器	258
5.8	F 714高精度集成运算放	

	大器	260	9.3	F143/F343高压集成运算放大器	403
第六章	高输入阻抗集成运算放大器		9.4	BG315高压集成运算放大器	413
	大器	266	第十章	其他集成运算放大器	416
6.1	概述	266	10.1	概述	416
6.2	高输入阻抗集成运算放大器的优值	267	10.2	跨导集成运算放大器	417
6.3	F080系列JFET-BJT单片相容高输入阻抗集成运算放大器	270	10.3	程控集成运算放大器	426
6.4	F155系列JFET-BJT单片相容高输入阻抗集成运算放大器	287	10.4	电流集成运算放大器	453
6.5	F3130CMOSFET-BJT单片相容高输入阻抗集成运算放大器	292	10.5	电压跟随器	461
6.6	F3140PMOSFET-BJT单片相容高输入阻抗集成运算放大器	308	第十一章	集成运算放大器的进展	476
6.7	F7613CMOSFET集成运算放大器	312	11.1	概述	476
第七章	高速集成运算放大器	316	11.2	高精度低功耗集成运算放大器	476
7.1	概述	316	11.3	全MOSFET低漂移集成运算放大器	487
7.2	高速集成运算放大器技术参数的估算	316	11.4	3554超高速集成运算放大器	493
7.3	F715高速集成运算放大器	326	11.5	3583超高压、大电流集成运算放大器	500
7.4	F772高速集成运算放大器	343	11.6	高压与高集成度集成运算放大器	504
7.5	F318高速集成运算放大器	350	11.7	LSI中用的标准N沟硅栅增强/耗尽型MOS集成运算放大器	508
第八章	宽带集成运算放大器	366	11.8	LSI中用的全增强型NMOS集成运算放大器	513
8.1	概述	366	11.9	LSI中用的CMOS集成运算放大器(一)	520
8.2	F1520/F1420宽带集成运算放大器	367	11.10	LSI中用的CMOS集成运算放大器(二)	522
8.3	F733差动宽带视频放大器	373		附 录	
8.4	F507宽带、高速和通用集成运算放大器	380	附录 I	半导体集成电路外形尺寸	526
8.5	F351/F353/F354/F347宽带集成运算放大器	386	附录 II	集成运算放大器国内外型号对照表	530
第九章	高压集成运算放大器	397	附录 III	绘图用的图形符号(模拟单元)	541
9.1	概述	397	附录 IV	集成运算放大器主要电参数测试电路	547
9.2	F1536高压集成运算放大器	397			

第一部分

总 表

表01 国产集成运算放大器型号一览表

型 号	页码	型 号	页码	型 号	页码	型 号	页码
F 001	88	F 146/F 246/F 346	442	F 1930/F 3900	453	BG313	282
F 002	92	F 148/F 248/F 348	156	F 3301/F 3401	457	BG315	413
F 003	103	F 155/F 156/F 157	287	F 3080	417	BG323	379
F 004	107	F 158	178	F 3130	292	FC3	100
F 005	104	F 253	193	F 3140	308	FC9	372
F 006	135	F 318	350	F 4250	426	FC10	433
F 007	134	F 347	386	F 7613	312	FC52	109
F 008	139	F 351	386	F 13080	436	FC54	203
F 009	142	F 353	386	F 13600	421	FC72	223
F 010	201	F 355/F 356/F 357	287	F 14573	451	FC74	237
F 011	200	F 507	380	4E304	104	FC91	379
F 012	210	F 702	82	4E321	338	FC92	341
F 013	215	F 709	92	5G28	285	SG 012	380
F 032	243	F 714	260	5G922	89	X 55	358
F 051	350	F 715	326	8FC1	89	X 56	311
F 081/F 082/F 084	270	F 725	246	8FC21	113	XFC-75	205
F 101/F 201/F 301	171	F 733	373	8FC3	117	XFC-76	362
F 102/F 202/F 302	462	F 741	124	8FC4	144	XFC-77	220
F 107/F 207/F 307	165	F 747	146	8FC5	257	XFC-78	258
F 110/F 210/F 310	469	F 772	343	8FC7	190	XFC-79	380
F 124/F 224/F 324	186	F 1520/F 1420	367	BG301	89	XFC-80	153
F 143/F 343	403	F 1536/F 1436	397	BG305	120		

表02 集成运算放大器引出端功能符号表

BI	偏置端
COMP	频率补偿端
GND	接地端
IN ₋	反相输入端
IN ₊	同相输入端
OUT	输出端
OA	调零端
S	选通端

表03 集成运算放大器主要电参数符号表

A_{VC}	共模电压增益	I_{OM}	最大输出电流	V_{IS}	单端输入电压
A_{VD}	差模电压增益	I_{OS}	输出短路电流	V_{ISR}	单端输入电压范围
A_{VF}	闭环电压增益	I_S	电源电流	$V_O(v_O)$	直流输出电压
A_{VS}	单端电压增益	K_{CMR}	共模抑制比	V_{OC}	共模输出电压
BW	开环带宽	K_{OV}	过冲因子	V_{OD}	差模输出电压
BW_P	功率带宽	K_{SVR}	电源电压抑制比	V_{OO}	输出失调电压
C_C	补偿电容	P_C	静态功耗	V_{OP}	输出峰值电压
C_I	输入电容	P_D	允许功耗	V_{OPP}	输出峰-峰电压
E_n	等效输入噪声电压	SR	转换速率	V_{OS}	单端输出电压
GB	单位增益带宽	t_r	建立时间	V_{REF}	基准电压
$G \cdot B$	增益带宽乘积	THD	全谐波失真度	V_S	电源电压
g_m	跨导	t_r	上升时间	R_{IC}	共模输入电阻
I_+	正电源电流	V_+	正电源电压	R_{ID}	差模输入电阻
I_-	负电源电流	V_-	负电源电压	R_{IS}	单端输入电阻
I_I	输入电流	$V_I(v_I)$	输入电压	R_{OD}	差模输出电阻
I_{IB}	输入偏置电流	V_{IB}	输入偏置电压	R_{OS}	单端输出电阻
I_{IO}	输入失调电流	V_{IC}	共模输入电压	αI_{IO}	输入失调电流温度系数(温漂)
I_L	负载电流	V_{ICM}	最大共模输入电压	αV_{IO}	输入失调电压温度系数(温漂)
I_{LM}	最大负载电流	V_{ICR}	共模输入电压范围	β_F	反馈系数
I_n	等效输入噪声电流	V_{ID}	差模输入电压	ϕ_m	相位余度
I_O	输出电流	V_{IDM}	最大差模输入电压		
I_{O+}	正向输出电流	V_{IDR}	差模输入电压范围		
I_{O-}	负向输出电流	V_{IO}	输入失调电压		

表04 国产集成运算放大器的分类与主要特性表

1. 通用集成运算放大器

型 号	特 性			器 件 结 构
	$V_{IO}(\text{mV})$	$A_{VD}(\text{dB})$	$K_{CMR}(\text{dB})$	
F702	0.5	$3.6 \times 10^3(\text{V/V})$	100	BJT
F002	2.0	66	70	BJT
F001 5G922 FC1 BG301 8FC1	2.0	66	70	BJT
F709	1.0	$4.5 \times 10^4(\text{V/V})$	90	BJT
FC3	2.0	$2 \times 10^4(\text{V/V})$	80	BJT

(续)

型 号	特 性			器 件 结 构
	$V_{IO}(\text{mV})$	$A_{VD}(\text{dB})$	$K_{CMR}(\text{dB})$	
F 003	2.0	$2 \times 10^4(\text{V/V})$	80	BJT
4E304	2.0	$3 \times 10^4(\text{V/V})$	90	BJT
F 004	2.0	86	80	BJT
FC52	4.0	100	90	BJT
8FC2 I	2.0	$6 \times 10^4(\text{V/V})$	86	BJT
8FC3	2.0	100	60	BJT
F 741	1.0	$2 \times 10^5(\text{V/V})$	90	BJT
F 007	2.0	94	80	BJT
F 006	2.0	94	80	BJT
F 008	5.0	110	100	BJT
F 009	2.0	100	80	BJT
BG305	5.0	100	70	BJT
XFC80	2.0	$10^5(\text{V/V})$	80	BJT
8FC4	2.0	94	80	BJT
F 747	1.0	$2 \times 10^5(\text{V/V})$	90	BJT
F 148系列	1.0	$1.6 \times 10^5(\text{V/V})$	90	BJT
F 107系列	0.7	$1.6 \times 10^5(\text{V/V})$	96	BJT
F 101系列	0.7	$1.5 \times 10^5(\text{V/V})$	96	BJT
F 158	1.0	100	85	BJT
F 124系列	2.0	$10 \times 10^5(\text{V/V})$	85	BJT
8FC7	7.5	88	70	BJT

2. 低功耗集成运算放大器

型 号	特 性			器 件 结 构
	$P_C(\text{mW})$	$A_{VO}(\text{dB})$	$V_{IO}(\text{mV})$	
F 253	≤ 0.6	110	1.0	BJT
F 011	≤ 3.0	100	2.0	BJT
F 010	≤ 6.0	94	2.0	BJT
FC54	≤ 15	100	2.0	BJT
XFC-75	4	100	3.0	BJT
F 012	6.0	110	1.0	BJT
F 013	≤ 6.0	80	2.0	BJT

3. 高精度集成运算放大器

型 号	特 性				器 件 结 构
	$\alpha V_{IO}(\mu V/^\circ C)$	$V_{IO}(mV)$	$A_{VD}(dB)$	$K_{CMR}(dB)$	
FC72	0.5	1.0	120	120	BJT
FC74	—	1.0	80(V/V)	—	BJT
FC74+FC54	0.5	1.0	140	120	BJT
F032	2.0	3.0	120	105	BJT
F725	0.6	1.5	10^6	110	BJT
8FC5	2.0	1.0	110	106	BJT
XFC-78	1.0	2.0	120	120	BJT
F714	0.2	0.01	$5 \times 10^6(V/V)$	120	BJT

4. 高速集成运算放大器

型 号	特 性				器 件 结 构
	$SR(V/\mu s)$	$t_s(ns)$	$A_{VD}(dB)$	$V_{IO}(mV)$	
F715	$18(A_{VF}=1)$ $100(A_{VF}=-1)$	800	$3 \times 10^4(V/V)$	2	BJT
F772	$65(A_{VF}=1)$	$450(A_{VF}=1)$	110	2	BJT
F051	$60(A_{VF}=1)$	—	94	15	BJT
F318	$70(A_{VF}=1)$ 150(外加前馈 技术)	—	$2 \times 10^5(V/V)$	2	BJT
X55	70	—	94	15	BJT
XFC-76	40	—	80	10	EJT
4E321	—	400	80	2	EJT
FC92	—	400	80	2	BJT

5. 高输入阻抗集成运算放大器

型 号	特 性				器 件 结 构
	$R_i(\Omega)$	$I_{IB}(\mu A)$	$A_{VD}(dB)$	$V_{IO}(mV)$	
F080系列	10^{12}	100	2×10^5	6	JFET-BJT
BG313	10^{11}	200	92	10	JFET-BJT
5G28	10^{10}	1000	86	10	JFET-BJT
F155系列	10^{12}	30	106	3	JFET-BJT
F3130	1.5×10^{12}	5	110	2	CMOSFET-BJT
F3140	1.5×10^{12}	10	100	5	PMOSFET-BJT
X56	10^{12}	90	86	9	PMOSFET-BJT
F7613	10^{12}	100	100	5	CMOSFET

6. 宽带集成运算放大器

型 号	特 性			器 件 结 构
	BW (MHz)	A_{VD} (dB)	V_{IO} (mV)	
F 1520系列	10(GB)	70	5.0	BJT
FC9	10	60	5.0	BJT
F 733系列	120	10(V/V)	—	BJT
BG323	120	10(V/V)	—	BJT
XFC-79	20	40	—	BJT
SG012	30	100(V/V)	300	BJT
F 507	100(G·B)	100	3.0	BJT
F 351系列	4(G·B)	100	2.0	JFET-BJT

7. 高压集成运算放大器品种和主要特性表

型 号	特 性				器 件 结 构
	V_S (V)	V_{OP} (V)	A_{VD} (dB)	V_{IO} (mV)	
F 1536	± 40	± 22	5×10^5 (V/V)	2	BJT
F 1436	± 34	± 20	5×10^5 (V/V)	5	BJT
FC10	± 28	± 20	94	5	BJT
F 143	± 40	± 25	2.2×10^5	2	BJT
F 343	± 34	± 25	2.2×10^5	2	BJT
BG315	± 30	± 26	110	5	BJT

8. 其他集成运算放大器

型 号	通 用 特 性		特殊特性	器 件 结 构 与 类 型
	A_{VD} (dB)	V_{IO} (mV)		
F 3080	—	0.4	$g_m = 9600\mu s$	BJT(跨导型)
F 13600	—	0.4	$g_m = 9600\mu s$	BJT(跨导型)
F 4250	5×10^4 (V/V)	3.0	$I_{BI} = 0.1 \sim 10\mu A$	BJT(程控型)
F 13080	10^4 (V/V)	3.0	$V_{OI} = -5V$ $V_{OH} = +5V$	BJT(程控型)
F 146系列	10^6 (V/V)	0.5	$I_{BI} = 1 \sim 10\mu A$	BJT(程控型)
F 14573	90	1.0	通道隔离 = -100dB	CMOSFET(程控型)
F 1900系列	3×10^3 (V/V)	—	$A_I = 1.0 \frac{\mu A}{\mu A}$	BJT(电流型)
F 102系列	0.999(V/V)	2.0	$R_I = 10^{12}\Omega$	BJT(跟随器)
F 110系列	0.999	1.5	$R_I = 10^{12}\Omega$	BJT(跟随器)

第二部分

集成运算放大器基础

第一章 集成运算放大器的基础知识

1.1 集成运算放大器的基本概念

集成运算放大器（简称集成运放）是一种高增益的直流放大器，它一般采用双端输入、单端输出的结构形式，如图 1-1 所示。图中“+”为同相输入端，表示集成运放输出端 OUT 的信号与该输入端信号的相位相同；“-”为反向输入端，表示集成运放输出端 OUT 的信号与该输入端信号的相位相反。集成运放两输入端之间的电压称为差模输入电压。

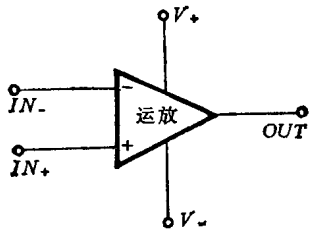


图1-1 集成运放的符号表示

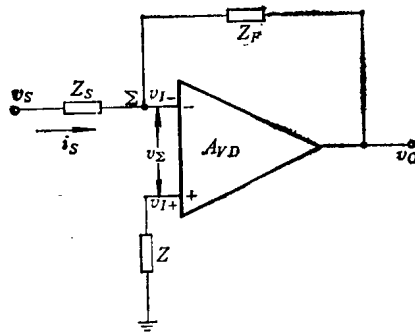


图1-2 集成运放的闭环工作方式

集成运放工作时总是连接成图 1-2 所示的负反馈电路形式。

图中的 A_{VD} 为集成运放的差模开环电压增益； v_{I-} 为“-”输入端电压； v_{I+} 为“+”输入端电压； v_o 为输出电压； v_{Σ} 为两输入端之间的电压； Z_s 为信号源接入“-”输入端的阻抗； Z_F 为反馈阻抗；“ Z ”为“+”输入端所接的等效阻抗，一般 $Z = Z_s // Z_F$ 。根据定义（见 1.2 节） A_{VD} 应为

$$A_{VD} = \frac{v_o}{v_{I+} - v_{I-}} = \frac{v_o}{v_{\Sigma}} \quad (1-1)$$

这是一个并联负反馈放大器，因此从 Σ 点向右看时，电路的等效输入阻抗为集成运放的差模输入阻抗 Z_{ID} 与 $\frac{Z_F}{1 + A_{VD}}$ 的并联值。当集成运放的开环电压增益 A_{VD} 足够大时， $\frac{Z_F}{1 + A_{VD}}$ 将远小于 Z_{ID} 。由此，从信号源输入的电流经过 Σ 点后几乎全部流经 Z_F ，而流入 Z_{ID} 的电流接近于零。当 $A_{VD} \rightarrow \infty$ 时， $\frac{Z_F}{1 + A_{VD}} \rightarrow 0$ ，所以集成运放输入电压 v_{Σ} 也趋向于零。由于 Σ 点的电位接近于地电位，通常称它为“虚地”（并非真实的地，否则输入信号电流全部被短路了），而 $v_{\Sigma} \approx 0$ 的现象称为相加点抑制效应。

根据虚地概念，图 1-2 可用图 1-3 进行等效。由于 $v_{\Sigma} \approx 0$ ，所以可写出下列关系式：

$$\begin{aligned} v_{\Sigma} &\approx i_s \cdot Z_s \\ v_o &\approx -i_F Z_F \\ i_s &= i_F \end{aligned}$$

由此, 该电路的闭环电压增益 A_{VF} 可写成:

$$A_{VF} \approx \frac{v_o}{v_s} = -\frac{Z_F}{Z_S} \quad (1-2)$$

上式表明, 当运放开环电压增益足够高时, 其闭环电压增益的特性仅决定于反馈网络中的元件参数。

例如, 若图 1-2 中的 Z_S 选为电阻 R , Z_F 选为电容 C , 此时电路结构如图 1-4(a) 所示。由于相加点抑制原理, 当输入信号随时间变化时, 也即 $v_s = v_s(t)$ 时, 根据图 1-4(b) 中的等效电路, 流过电容 C 的电流应为

$$i_F = i_S = \frac{v_s(t)}{R}$$

此时输出电压 v_o 是电容两端的电压。根据电容中电流与端电压的关系, v_o 可表示为

$$v_o = -\frac{1}{C} \int i_F(t) dt = -\frac{1}{RC} \int v_s(t) dt \quad (1-3)$$

上式表示, 该电路的输出电压是输入电压的积分。因此图 1-4(a) 中的电路具有积分器的功能。

综上所述, 根据负反馈放大器的相加点抑制原理, 可以利用运放来模拟各种数学运算功能。所以虚地(或相加点抑制)原理是运放工作的最基本概念。

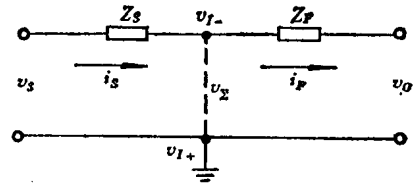


图1-3 集成运放闭环工作时的等效电路

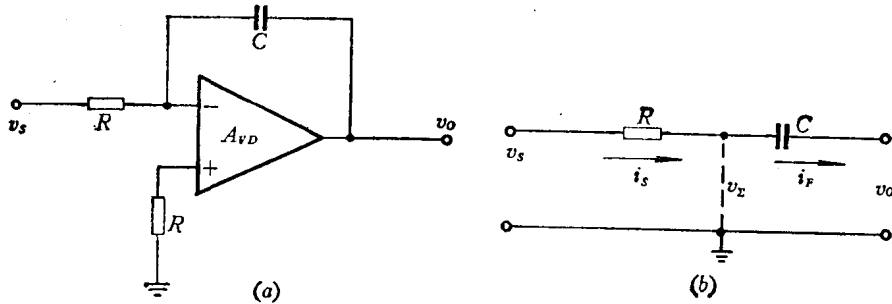


图1-4 由集成运放构成的积分器

1.2 集成运算放大器的主要参数

集成运放的参数名目很多, 各生产单位所给出的参数种类也可能有所不同, 但其中都包括了一些最基本的参数。下面我们仅就这些基本参数作一介绍, 其中包括直流特性参数与交流特性参数。

一、集成运放的主要直流参数

1. 输入失调电压 V_{I0}

集成运放输出直流电压为零时, 两输入端之间所加的补偿电压称为输入失调电压。

输入失调电压一般是 mV 数量级。采用双极型晶体管作为输入级的运放, 其 V_{I0} 约为 $\pm(1 \sim 10)mV$; 采用场效应晶体管作为输入级的运放, 其 V_{I0} 大得多; 而对于高精度、低漂移类型的运放, V_{I0} 一般低于 $\pm 0.5mV$ 。

2. 输入失调电压的温度系数 αV_{IO}

在一确定的温度变化范围内，失调电压的变化与温度变化的比值定义为输入失调电压的温度系数。一般可采用下式来表示：

$$\alpha V_{IO} = \frac{\Delta V_{IO}}{\Delta T} = \frac{V_{IO}(T_2) - V_{IO}(T_1)}{T_2 - T_1} \quad (1-4)$$

式中 $V_{IO}(T_1)$ —— T_1 温度时的输入失调电压；

$V_{IO}(T_2)$ —— T_2 温度时的输入失调电压。

有时输入失调电压随温度变化并非呈现单调性，因此可采用下式来计算平均温度系数：

$$\alpha V_{IO} = \frac{V_{IO_{\max}} - V_{IO_{\min}}}{T_2 - T_1} \quad (1-5)$$

式中 $V_{IO_{\max}}$ —— $T_1 \sim T_2$ 温度范围内最大的输入失调电压；

$V_{IO_{\min}}$ —— $T_1 \sim T_2$ 温度范围内最小的输入失调电压。

一般运放的输入失调电压的温度系数约为 $\pm (10 \sim 20) \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ；而高精度、低漂移运放的温度系数在 $1 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 以下。

3. 输入偏置电流 I_{IB}

当运放的输出直流电压为零时，其两输入端偏置电流的平均值定义为输入偏置电流。两输入端的偏置电流分别记为 I_{IB1} 与 I_{IB2} ，而 I_{IB} 表示为

$$I_{IB} = \frac{I_{IB1} + I_{IB2}}{2} \quad (1-6)$$

双极型晶体管输入的运放，其 I_{IB} 约为 $10 \text{ nA} \sim 1 \mu\text{A}$ 左右；场效应晶体管输入的运放， I_{IB} 一般小于 1 nA 。

4. 输入失调电流 I_{IO}

它定义为当运放输出直流电压为零时，两输入端偏置电流的差值，即

$$I_{IO} = I_{IB1} - I_{IB2} \quad (1-7)$$

一般来说，运放的偏置电流越大，其输入失调电流也越大。

输入偏置电流和输入失调电流的温度系数，分别用 αI_{IB} 和 αI_{IO} 来表示。

由上述可知，由于输入失调电压、输入失调电流以及输入偏流均为温度的函数，所以产品手册中均应注明这些参数的测试温度。此外，需要指出的是，上述各参数均与电源电压以及运放输入端所加的共模电压值有关。手册中的参数一般是指在标准电源电压以及零共模输入电压条件下的测试值。

5. 差模开环直流电压增益 A_{VD}

运放工作于线性区时，差模电压输入后，其输出电压变化 ΔV_o 与差模输入电压变化 ΔV_i 的比值，称为差模开环电压增益，即

$$A_{VD} = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i} \quad (1-8)$$

差模开环电压增益若以分贝 (dB) 为单位，则可用下式表示：

$$A_{VD}(\text{dB}) = 20 \lg \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i} (\text{dB}) \quad (1-9)$$

实际运放的差模开环电压增益是频率的函数，所以手册中的差模开环电压增益均指直流 (或低频) 开环电压增益。目前，大多数集成运放的直流差模开环电压增益均大于

10^4 倍以上。

6. 共模抑制比 K_{CMR}

运放工作于线性区时, 其差模电压增益 A_{VD} 与共模电压增益 A_{VC} 之比称为共模抑制比, 即

$$K_{CMR} = \frac{A_{VD}}{A_{VC}} \quad (1-10)$$

此处的共模电压增益是当共模信号 (运放两输入端所加的共有信号) 输入时, 运放输出电压的变化与输入电压变化的比值。

若以分贝为单位时, K_{CMR} 由下式表示:

$$K_{CMR} = 20 \lg \frac{A_{VD}}{A_{VC}} \text{ (dB)} \quad (1-11)$$

与差模开环电压增益相类似, K_{CMR} 也是频率的函数。手册中给出的参数均指直流 (或低频) 时的 K_{CMR} 。大多数集成运放的 K_{CMR} 值在 80dB 以上。

7. 电源电压抑制比 K_{SVR}

运放工作于线性区时, 输入失调电压随电压改变的变化率称为电源电压抑制比。用公式表示时为

$$K_{SVR} = \frac{\frac{\Delta V_o}{A_{VO}}}{\frac{\Delta V_o}{A_{VD} \cdot \Delta V_s}} = \frac{\Delta V_o}{A_{VD} \cdot \Delta V_s} \quad (1-12)$$

式中 A_{VD} ——运放开环差模电压增益;

ΔV_o ——电源电压变化时对应的输出电压变化。

有时也可以用下式表示电源电压抑制比 (以 dB 为单位), 即

$$K_{SVR} = 20 \lg \left(\frac{A_{VD} \cdot \Delta V_s}{\Delta V_o} \right) \text{ (dB)} \quad (1-13)$$

一般来说, 提高运放的共模抑制特性也有利于提高它的电源电压抑制比。尚需说明的是, 对于有些运放, 其正负电源电压抑制比并不相同, 使用时应予以注意。

8. 输出峰-峰电压 V_{OPP}

它是指在特定的负载条件下, 运放能输出的最大电压幅度。正、负向的电压摆幅往往并不相同。目前大多数运放的正、负电压摆幅均大于 10V。

9. 最大共模输入电压 V_{ICM}

当运放的共模抑制特性显著变坏时的共模输入电压即为最大共模输入电压。有时将共模抑制比 (在规定的共模输入电压时) 下降 6dB 时所加的共模输入电压值, 作为最大共模输入电压。

10. 最大差模输入电压 V_{IDM}

它是运放两输入端所允许加的最大电压差。当差模输入电压超过此电压值时, 运放输入级的输入对晶体管的结 (如双极晶体管的发射结) 将被反向击穿, 甚至损坏。

二、集成运放的主要交流参数

1. 开环带宽 BW

运放的开环电压增益值从直流增益下降 3dB (或直流增益的 0.707 倍) 所对应的信

号频率称为开环带宽。

2. 单位增益带宽GB

它是指运放在闭环增益为1倍状态下,当用正弦小信号驱动时,其闭环增益下降至0.707倍时的频率。

在运放应用中,上述两个频率参数中的单位增益带宽参数显得更为重要。当运放的频率特性具有单极点响应时,其单位增益带宽可表示为

$$GB = A_{VD} \cdot f \quad (1-14)$$

式中 A_{VD} ——当信号频率为 f 时运放的实际差模开环电压增益值。

当运放具有多极点的频率响应时,其单位增益带宽与开环带宽没有直接关系,此时采用增益带宽乘积参数表示。运放闭环工作时的频率响应主要决定于单位增益带宽。

还应注意的,这两个频率参数均指运放小信号工作时的频率特性。此时的小信号输出范围约为100~200mV。当运放处在大信号工作时,其输入级将工作于非线性区,这时运放的频率特性将会发生明显变化。下面三个参数均用来描述运放大信号工作的频率特性。

3. 转换速率(有时也称为压摆率)SR

在额定的负载条件下,当输入阶跃大信号时,运放输出电压的最大变化率称为转换速率。此参数涵义如图1-5所示。

通常,产品手册中所给出的转换速率均指闭环增益为1倍时的值。(实际上,在转换期内,运放的输入级是处于开关工作状态,所以运放的反馈回路不起作用,也即运放的转换速率与其闭环增益无关。)一般在运放倒相运用与同相运用时的转换速率是不一样的,其输出波形的前沿及后沿的转换速率也不相同。普通运放的转换速率约在1V/ μ s以下,而高速运放的转换速率应大于10V/ μ s。

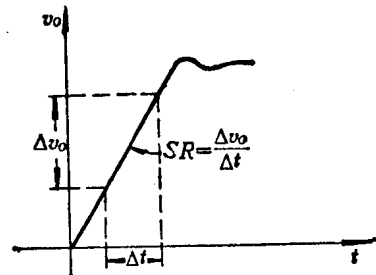


图1-5 转换速率SR的定义

4. 全功率带宽BW_P

在额定负载条件下,运放闭环增益为1倍时,当输入正弦大信号后,使运放输出电压幅度达到最大(在一定的失真度条件下)的信号频率,即为功率带宽。此频率将受到运放转换速率的限制。一般可用下述的近似公式估计SR与BW_P之间的关系:

$$BW_P = \frac{SR}{2\pi V_{OP}} \quad (1-15)$$

式中 V_{OP} ——运放输出的峰值电压。

5. 建立时间t_r

运放闭环增益为1倍时,在一定的负载条件下当输入阶跃大信号后,运放输出电压达到某一特定值的范围时所需要的时间 t_r ,称为建立时间。此处所指的特定值范围与稳定值之间的误差带,称为误差带,用 2ϵ 来表示,如图1-6所示。此误差带可用误差电压相对于稳定值的百分数(也称为精度)表示。建立时间的长短与精度要求直接有关,精度要求越高,建立时间越长。在0.1%精度要求下,高速运放的建立时间约为数百毫微秒。

除上述参数外, 运放的交流参数还包括下述一些参数。

6. 等效输入噪声电压 E_N

屏蔽良好的、无信号输入的运放, 在其输出端产生的任何交流无规则的干扰电压, 称为电路的输出噪声电压。此噪声电压换算到输入端时就称为输入噪声电压 (有时也以噪声电流来表示)。就宽带噪声讲, 普通运放的输入噪声电压有效值约 $10 \sim 20 \mu\text{V}$ 。

7. 差模输入阻抗 Z_{ID}

它有时也被简称为输入阻抗, 是指运放工作在线性区时, 两输入端的电压变化量与对应的输入端电流变化量之比。输入阻抗包括输入电阻和输入电容, 在低频时仅指输入电阻 R_{ID} 。一般产品参数表中所给出的数据均指输入电阻。

采用双极型晶体管作输入级的运放, 其输入电阻在几十千欧至几兆欧范围内变化; 而场效应晶体管输入级的运放, 其输入电阻通常大于 $10^8 \Omega$ 。

运放若为单端输入时, 单端输入阻抗记为 Z_{IS} 。

8. 共模输入阻抗 Z_{IC}

当运放工作于共模信号时 (即运放两输入端输入同一个信号), 共模输入电压的变化量与对应的输入电流变化量之比, 称为共模输入阻抗。在低频情况下, 它表现为共模输入电阻 R_{IC} 。

通常, 运放的共模输入电阻比差模输入电阻要高得多, 其典型值在 $10^8 \Omega$ 以上。

9. 输出阻抗 Z_o

当运放工作于线性区时, 在其输出端加信号电压后, 此电压变化量与对应的电流变化量之比, 称为输出阻抗。在低频时, 它即为运放的输出电阻。单端输出阻抗记为 Z_{OS} , 双端输出阻抗记为 Z_{OD} 。

上述这几个参数均对应于运放开环工作的条件。

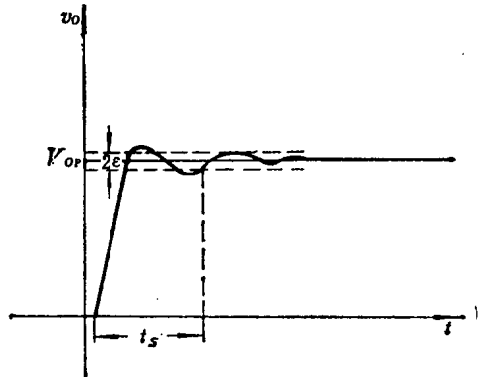


图1-6 建立时间 t_s 的定义

三、集成运放的运算误差与参数间的关系

运放工作时的运算误差与其参数值有密切关系。我们以比例放大器为例进行说明。为了简化讨论, 我们仅考虑直流 (低频) 时的情况。当考虑直流参数的影响时, 运放的等效电路如图 1-7 所示。图中的电压源 V_{IO} 、电流源 I_{IB} 以及 I_{IO} 分别用来描述运放的输入失调电压、输入偏置电流以及输入失调电流。由图可知运放两输入端的电流 I_{IB1} 、 I_{IB2} 分别为

$$I_{IB1} = I_{IB} - \frac{I_{IO}}{2}$$

$$I_{IB2} = I_{IB} + \frac{I_{IO}}{2}$$