

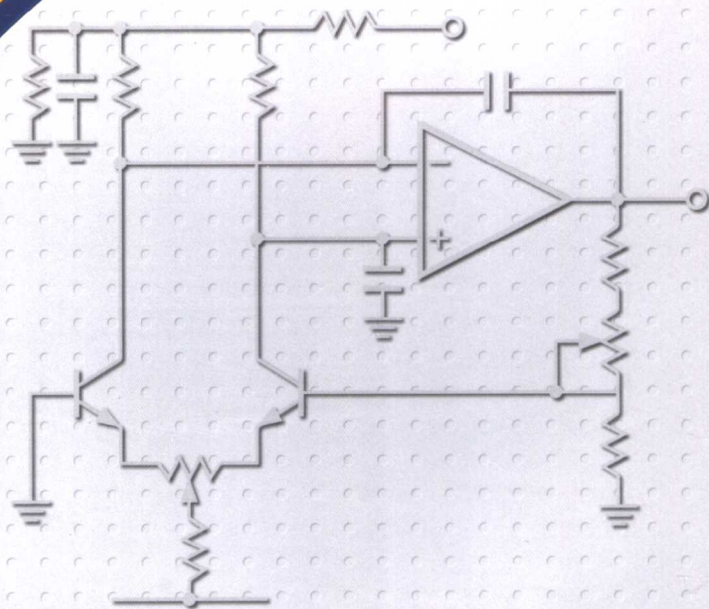
图解实用电子技术丛书

OP 放大器应用技巧

100 例

最佳选择与灵活应用

[日] 松井邦彦 著
邓学译



 科学出版社
www.sciencep.com

图解实用电子技术丛书

OP 放大器应用技巧 100 例

最佳选择与灵活应用

〔日〕 松井邦彦 著

邓 学 译



科学出版社

北 京

图字: 01-2005-1156 号

内 容 简 介

本书是“图解实用电子技术丛书”之一。本书主要介绍 OP 放大器在电子技术应用领域中 100 个应用技巧。针对在使用过程中可能出现的问题,结合 OP 放大器特性,进行简要分析,并给出最终解决的方法。同时,尽可能地提供完整的 OP 放大器的性能参数。全书共分 11 章,第 1 章介绍 OP 放大器应用技巧须知,第 2 章介绍单电源/低功率 OP 放大器的应用技巧,第 3 章介绍 OP 放大器的应用技巧,第 4 章介绍微小电流 OP 放大器的应用技巧,第 5 章介绍低噪声 OP 放大器的应用技巧,第 6 章介绍高速 OP 放大器的应用技巧,第 7 章介绍 OP 放大器的稳定性及其避免自激振荡的应用,第 8 章介绍 OP 放大器放大电路的应用技巧,第 9 章介绍阻抗匹配和滤波电路的应用技巧,第 10 章介绍非线性 OP 放大器的应用技巧,第 11 章作者结合自己的经验,介绍了实践应用技巧。

本书附有大量图表,内容通俗易懂,实用性强,可供电子技术领域的工程技术人员、大学生以及广大电子爱好者阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

OP 放大器应用技巧 100 例/(日)松井邦彦著;邓学译. —北京:科学出版社, 2005

(图解实用电子技术丛书)

ISBN 7-03-016517-9

I. O… II. ①松…②邓… III. 运算放大器-基本知识 IV. TN722.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 139770 号

责任编辑:杨 凯 崔炳哲 / 责任制作:魏 谨

责任印制:刘士平 / 封面设计:李 力

北京东方科图图文有限公司 制作

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

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 1 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2006 年 1 月第一次印刷 印张: 13 3/4

印数: 1-4 000 字数: 256 000

定 价: 27.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

译者序

自 20 世纪 60 年代初出现原始型 OP 放大器以来,OP 放大器一直在向更低的温漂、噪声和功耗,更高的速度、放大倍数和输入电压,以及更大的输出功率发展。高性能的新器件的不断涌现,使电路设计更为简便。但是,OP 放大器在电子技术应用过程中,仍然会出现各种各样的问题,作者在电路设计过程中,积累了大量的实际经验,这些宝贵的经验奉献给读者,我确信,读者定会受益非浅。

全书共分 11 章,1~7 章为 OP 放大器使用时的基本技巧,8~10 章为 OP 放大器应用技巧。该书以解决实际问题中出现的问题为目的,力求尽可能简明地向读者介绍 OP 放大器的使用技巧,并且结合 OP 放大器特性,进行简要地计算、分析。同时,提供完整的 OP 放大器性能参数,相互比较,省去查找器件手册的烦琐工作。这样,极大地方便了电子工程技术人员、大学生以及电子爱好者的阅读与理解。

在翻译过程中,感谢电子科技大学张冰教授的大力帮助。

由于译者水平有限,译文中不妥和错误之处在所难免,敬请读者不吝指正。

前言

“出版一本《OP 放大器应用技巧 108 例》吧!”当我听到这个请求后,稍加考虑便答应下来。这是因为数年前就曾有过出版单行本的请求,时间久了就淡忘了。上次想写有关模拟电路技术方面的书,这次范围缩小点,说一说 OP 放大器。该书能否卖出去,另当别论。然而把这 108 个应用技巧,每个用 1、2 页篇幅来介绍,真是非常令人感兴趣的事,这也是为何答应下来的原因所在。可是,把以我在日本《晶体管技术》等杂志上刊载的短文为主的原稿集起来,也不过 70~80 篇,看来仅用《晶体管技术》的原稿是不够的。不过,我还是充满着信心。工夫不负有心人,很快就收集到 108 篇,可立刻又后悔起来“这样的话……”。该书是针对初学者的,稍微复杂的技巧就不刊登了。加上新写的内容总共收集了 108 篇。为了易于读者理解,在编辑阶段改编成了 100 个应用技巧。

本书内容由下述章节构成:

- 第 1 章 OP 放大器应用技巧须知
- 第 2 章 单电源/低功率 OP 放大器应用技巧
- 第 3 章 高精度 OP 放大器应用技巧
- 第 4 章 微小电流 OP 放大器应用技巧
- 第 5 章 低噪声 OP 放大器应用技巧
- 第 6 章 高速 OP 放大器应用技巧
- 第 7 章 OP 放大器的稳定性/避免自激振荡的应用技巧
- 第 8 章 OP 放大器放大电路的应用技巧
- 第 9 章 阻抗匹配和滤波电路应用技巧
- 第 10 章 非线性 OP 放大器应用技巧
- 第 11 章 实践应用技巧

本书在内容的选择上,以“对读者有益”为宗旨,本人认为内容较深的话,会……

最后遇到的难题是组表工作。该书希望尽可能详细地给出 OP 放大器的规格,又不想变成数据手册。故必须要有与本书合适的组表。该组表工作是由 CQ 出版(株)社董事长蒲生良治先生担

当的。如花钱请人组表,那可是该书最花钱的地方了。

最后,感谢我心中的老师蒲生良治先生,在 20 多年前教我模拟电路知识,而如今又给了这本书的出版机会。另外在此还要感谢经常给予诚挚建议的(株)CDN 公司代理董事长野田龙三先生,以及在学习班里我的两位学生田中和长友。

目 录

第 1 章 OP 放大器应用技巧须知	1
1 OP 放大器的应用范围	1
2 OP 放大器电源电压	2
3 通用 OP 放大器	6
4 温度范围越宽的 OP 放大器其价格越高	9
5 一个封装内可含有 1 个、2 个、4 个电路	10
6 单路 OP 放大器的补偿电压较小	11
7 当驱动负载时使用容性负载强的 OP 放大器	13
8 输出电流为数十毫安以上的 OP 放大器	16
9 当输入可能过大时输入保护电路是必要的	17
10 OP 放大器对外输出时的保护电路	20
 第 2 章 单电源/低功率 OP 放大器应用技巧	 23
11 如何使用单电源 OP 放大器	23
12 通用 OP 放大器不能在单电源下工作吗	25
13 通用 OP 放大器与单电源 OP 放大器在结构上的 差异	26
14 共模输入输出的 OP 放大器是如何构成的	28
15 保证输出电平不跳跃的单电源 OP 放大器	29
16 单电源工作中不能完全 0V 输出时可采用电平 移动	30
17 COMS 型单电源 OP 放大器带容性负载的能力 较弱	32
18 设定工作电流实现低功耗的 OP 放大器	33
19 通过外部连接设定工作电流的低功耗的 OP 放 大器	35
20 改善 DC 特性的低功耗 OP 放大器	36
21 高速用途的低功耗 OP 放大器	37

第 3 章 高精度 OP 放大器的应用技巧	39
22 低补偿电压 OP 放大器的微调技术	39
23 使用双极输入型的高精度 OP 放大器比较容 易些	41
24 减小双极输入型 OP 放大器的偏置电流的技术	43
25 COMS 斩波 OP 放大器的低频噪声要大	45
26 高精度 mV 级的 DC 放大器必须具备输入滤波器	48
27 补偿调整范围狭窄的高精度 OP 放大器	50
28 高精度电路应缩小调整范围	52
29 采用更换固定电阻的方法来增大调整范围	54
30 同相放大器也可应用于高精度电路中——OP 放大器的 CMRR 要大	55
31 高精度 OP 放大器应选 CMRR 大的	56
32 OP 放大电路的模拟接地应采用一点接地的方式	58
33 不能一点接地时的对策	59
34 高精度 mV 级放大器旁边不能放置发热器件	60
35 微弱信号的 OP 放大电路特别要注意电源去耦	61
 第 4 章 微小电流 OP 放大器的应用技巧	 65
36 MOS FET 输入型是微小电流 OP 放大器的 主流	65
37 使用微小电流 OP 放大器的技术	66
38 微小电流 OP 放大器实现了 fA 级信号的放大	68
39 微小输入偏置电流的测定方法	70
40 微小电流电路中防止漏电流的技巧	71
41 要注意光电传感器的 $I-V$ 转换电路容易引起 振荡	72
42 $I-V$ 转换电路中用相位补偿来防止振荡是必 要的	74
43 $I-V$ 转换电路的输入保护电路	75
44 用低噪声同轴导线作为 $I-V$ 转换电路的信 号线	77
45 $I-V$ 转换电路的噪声电压的计算方法	78
46 在 $I-V$ 转换电路中反馈电阻 R_f 应尽可能 的大	80

47	使用高精度 OP 放大器的 I-V 转换电路	81
48	对于微小电流电路要注意并消除静电噪声	83
第 5 章 低噪声 OP 放大器的应用技巧		
49	低噪声电路应注意噪声频率特性	87
50	噪声电压的计算重点是决定阻值的参量	90
51	通过阻抗中的电阻成分来计算并联 RC 电路的 噪声	92
52	用并联接法来减小噪声	94
53	在低噪声电路中低噪声器件是很有用的	96
	【专栏】 噪声的 RES 与峰值的关系	98
第 6 章 高速 OP 放大器的应用技巧		
54	高速 OP 放大器的结构	101
55	高速电流反馈型 OP 放大器	103
56	电流反馈型 OP 放大器的互补阻抗越大则精度 越高	105
57	高速电路中信号的振幅应尽量小	107
58	电流反馈型 OP 放大器的注意事项	108
59	高速 A-D 转换器的输入采用低失真高速 OP 放 大器	110
	【专栏】 所谓 SFDR(Spurious Free Dynamic Range)	112
60	高速 OP 放大器带容性负载能力弱(也有带容性负 载强的 OP 放大器)	113
61	高速 OP 放大器装配时注意寄生电容	116
62	每个高速 OP 放大器的电源管脚上附加旁路 电容	117
第 7 章 OP 放大器的稳定性及其避免自激振荡的应用 技巧		
63	从噪声增益可知反相与同相电路的稳定度是不 同的	119
64	输入电容引起 OP 放大器的振荡	121
65	容性负载引起 OP 放大器的振荡	122
66	通过相位补偿来消除振荡	123

67	相位裕度的简单的测量方法	126
68	对于相位滞后小的高增益的 OP 放大器应采用多级 串联的方法	127
第 8 章 OP 放大器放大电路的应用技巧		131
69	交流输入高阻抗的缓冲电路应注意其输入 电容	131
70	单电源为差动放大器供电的方法	133
71	扩大差动放大器共模电压范围的方法	136
72	确保高增益放大器的频率特性的方法	137
73	低噪声 OP 放大器应用于可控增益的放大 电路	139
74	要求低噪声的电荷放大器电路	141
75	在大功率 MOS 驱动器中应使用带容性负载强的 OP 放大器	143
76	用单电源 OP 放大器制作加速度传感器电源的电路 (3V/1.25A)	145
77	使用低功耗 OP 放大器的高稳压源电路	146
78	信号隔离时可使用隔离放大器	148
79	使用低功耗 OP 放大器和光耦器件的电流耦合隔 离放大器	150
第 9 章 阻抗匹配和滤波电路的应用技巧		153
80	交流输入时通过阻抗匹配进行频率补偿是不可缺 少的	153
81	通过反相放大器构成阻抗匹配器	155
82	用固定阻抗来设计高频匹配器	157
83	使用正反馈电路进行动态高通滤波	159
84	多重反馈型带通滤波器的 Q 值不能太大	161
85	当 Q 值较大时,带通滤波器使用双重截止型滤 波器	163
86	可变状态型滤波器与双重截止型滤波器的区别	165
87	噪声分析中使用 1/3 通频带滤波电路	167
88	高次滤波采用模拟 LC 型是有效的	171
89	无需调整的 1/3 通频带滤波电路	172

第 10 章 非线性 OP 放大器的应用技巧	177
90 通过齐纳二极管限制输出	177
91 在电压输出端正确使用限幅器	179
92 高速限幅电路使用具有有限幅功能的高速 OP 放大器	181
93 增大绝对值放大器的动态范围的方法	184
94 有效地使用单电源 OP 放大器的绝对值放大器	186
95 乘法器 IC 构成低成本的 RMS-DC 变换电路	188
96 峰值保持电路的必要小技巧	191
第 11 章 实践应用技巧	193
97 对于视频范围内采用视频专用放大器也是有效的	193
98 即使切换视频信号也可用通用的模拟开关	195
99 对于 10MHz 以上的模拟开关用 PIN 二极管是有效的	197
100 制作基准电压时要注意的事项——TL431 的自激振荡	198
附录 本书引用的 OP 放大器的引脚排列图	201
参考文献	205

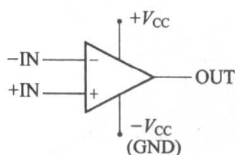
第 1 章

OP 放大器应用技巧须知

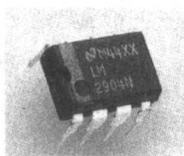
1 OP 放大器的应用范围

OP 放大器(Operational Amplifier)即运算放大器。电路符号用三角形表示,如图 1.1 所示。电路图中若有三角形,就应想到“这里使用了 OP 放大器”。

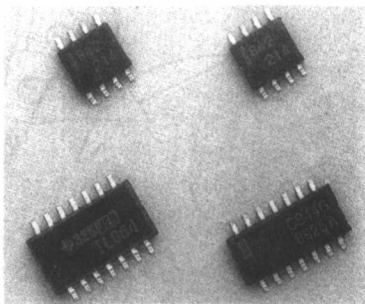
OP 放大器是将模拟信号放大的电路,放大电路必须是负反馈电路。OP 放大器加上负反馈回路,使放大电路具有各种各样的特性。



(a) 符号



(b) 微型DIP封装



(c) SOP - 8, SOP - 14封装

图 1.1 OP 放大器的符号及外观

下面是主要实现某种特性的电路:

- DC 放大器——DC~低频信号的放大;
- 音频放大器——数十 Hz~数十 kHz 的低频信号的放大器;
- 视频放大器——数 Hz~数十 MHz 的视频信号的放大器;
- 有源滤波器——数十 kHz 的高通滤波器,低通滤波器,带通滤波器,陷波滤波器等;

- 模拟运算——模拟信号的加法，减法，微分，积分，对数，开方等；

- 信号变换——电压-电流，电流-电压，绝对值变换，RMS变换等。

近来，数字电路变成主导地位，其次是模拟电路。但是，信号的检出，信号的测量部分是不可缺少的，同时也是广泛使用的技术。OP放大器主要用途如图1.2所示。

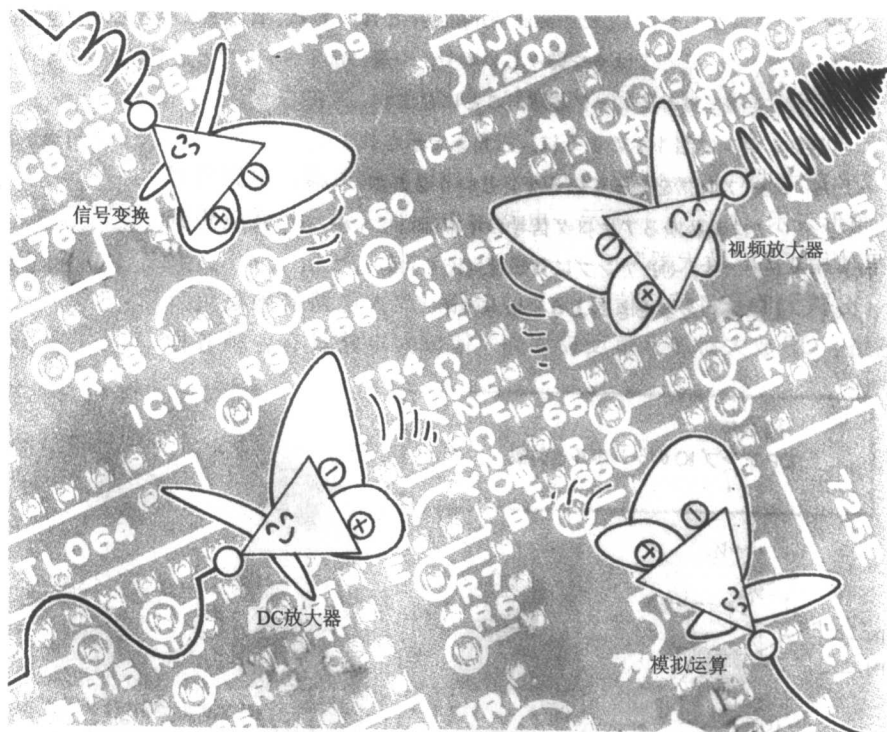


图 1.2 应用 OP 放大器的场合

2

OP 放大器电源电压

根据作者的经验，对于低频电路来说，OP放大器的电源选用 $\pm 12\text{V}$ 容易制作；对于高频电路来说，OP放大器的电源选用 $\pm 5\text{V}$ 容易制作。

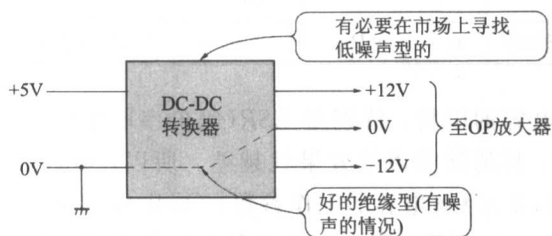
包含直流的低频电路，通常输出电压为 $5\sim 10\text{V}$ 或更低。而

如今使用 OP 放大器, 电源电压一般选用 $\pm 12\text{V}$ 。工作在 10V 输出电压时, 选用共模输出的 OP 放大器为好。要求输出电压在 10V 以上时, 温度范围宽, 如果电源选 $\pm 12\text{V}$, 那么工作就稍微有点吃力了。所以此时电源电压可选用 $\pm 15\text{V}$ 。

由于高频电路中 OP 放大器的损耗电流在数 mA ~数十 mA 或更大, 工作电压在 $\pm 12\text{V}$ 或 $\pm 15\text{V}$ 的 OP 放大器会发热。所以当高频信号小于等于 1V 时, 工作电压选用 $\pm 5\text{V}$ 就可以了。这样 OP 放大器的发热小。最近, 从 OP 放大器的产品手册发现又有了新的高频 OP 放大器的产品, 其最大电源电压可达 $\pm 6\text{V}$ 。

从我接手的工作来看, OP 放大器的电源电压大致是定好的, 因为电源往往会很贵, 市场上标准的集成产品很多, 数字电路使用 $+5\text{V}$, 模拟电路使用 $\pm 12\text{V}$ 或 $\pm 5\text{V}$, 这对于在不同的场合的应用是很有帮助的。

当电源只有 $+5\text{V}$ 时, 也许就只能用单电源的 OP 放大器了。单电源的 OP 放大器不多, 比普通的 OP 放大器的价格要贵些。



(DC-DC转换器的外观)

图 1.3 DC-DC 转换器产生 OP 放大器电源

使用 DC-DC 转换器的地方很多(图 1.3 所示), 因此电源电压的问题就解决了。 $+5\text{V}$ 输入可转换成 $\pm 12\text{V}$ 输出。但是, 消除 DC-DC 转换器的噪声显得尤其重要。DC-DC 转换器与开关电源基本相同, 会产生很大的开关噪声。

如图 1.4 为使用 DC-DC 转换器时所消除噪声的示例。LC 滤波电路中, 对于高频低阻抗负载, 使用电容 C_1 , C_2 是必要的, 表 1.1 为滤波电路中的电感参数, 表 1.2 为高频低阻抗电解电容的示例。

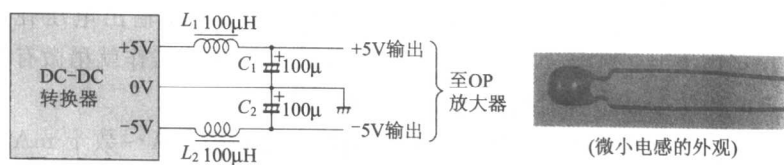


图 1.4 LC 消除噪声电路示例

表 1.1 滤波用电感的性能参数

型 号	电感/ μH	额定电流/A	公 司
TSL0709-101KR66	100	0.66	TDK
822LY-101K	100	0.58	东光
CLR8BB101	100	0.75	富士电气化学

表 1.2 高频低阻抗电解电容工作参量

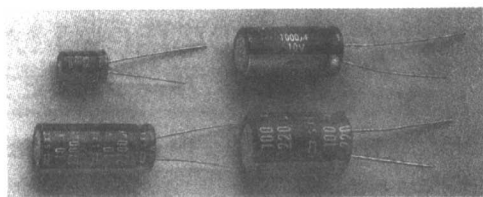
型 号	额 定	阻抗/ $(\Omega_{\text{max}}/20^\circ\text{C})$	公 司	备 注
LXA16VB100M	$100\mu\text{F}/16\text{V}$	1.65(100kHz)	NIPPON CHEMI·CON	105°C 保证时间 7000
UPQ1C101M	$100\mu\text{F}/16\text{V}$	0.35(100kHz)	nichicon	105°C 保证时间 5000

另外，电解电容的阻抗，特别是 ESR(等价串联电阻)，随温度变低而变大，其消除噪声的效果就越差。所以，最近常使用 OS 电容。表 1.3 为 OS 电容的工作参数，OS 电容的 ESR 的温度范围为 $-55\sim+105^\circ\text{C}$ ，图 1.5 为各种电容的 ESR 的温度特性曲线。

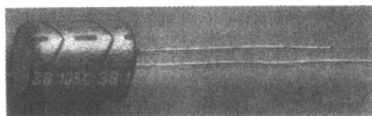
表 1.3 OS 型电解电容工作参量

型 号	额 定	ESR/ Ω_{max}	公 司
16SC10M	$10\mu\text{F}/16\text{V}$	0.15	三洋电机
16SA100M	$100\mu\text{F}/16\text{V}$	0.045	三洋电机

由于近年来逻辑电路或电池供电的便携式系统用 $+3.3\text{V}$ 代替了 $+5\text{V}$ ，因此用 $+3.3\text{V}$ 作为电源电压的电路设计变得十分重要。参考表 1.4 列出的低压工作的 OP 放大器。



(高频低阻型电解电容的外观)



(OS型电解电容的外观)

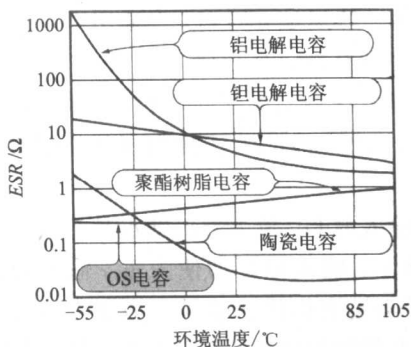
图 1.5 电容的 ESR 温度特性(0.47 μ F, 100kHz)

表 1.4 工作电压为 3.3V 时的单电源的 OP 放大器示例

型 号	电 路 数	输入补偿 电压 /mV		温漂 /(μ V/ $^{\circ}$ C)		输入偏置 电流 /A		GB 积 /MHz	转换 速率 /(V/ μ s)	工作 电压 /V	工作 电流 /mA	公司特征		输入噪声 密度 /(nV/ $\sqrt$ Hz) @1kHz
		典型	最大	典型	最大	典型	最大	典型	典型					
AD8820A-3V	1	0.2	1	1		2p		1.5	3	3-36	0.62	AD	RO	16
OP90G	1	0.125	0.45	1.2	5	4n		0.03	0.012	1.6-36	0.03	AD	LP	40
OP295G	2	0.03	0.3	0.6	5	8n	20n	0.075	0.03	3-36	0.3	AD	RO	45
OP185G	1	0.3	1	4		350n	600n	5	10	3-36	1.2	AD	HS	10
MAX406B	1	0.75	2			0.1p		0.008	0.005	2.5-10	0.001	MA	RO	150
MAX478B	2	0.04	0.14	0.6	3	3n		0.05	0.025	2.2-36	0.013	MA		49
EL2242C	2	2	7	7		0.5n	1n	30	40	3-32	8.2	EL	HS	15
LT1078C	2	0.04	0.12	0.5		6n	10n	0.2	0.07	2.3-30	0.09	LT		28
LMC6482I	2	0.9	3	2		0.02p		1	0.9	3-15.5	1.2	NS	RO	37
NE5234	1	0.2	4	4		90n		2.5	0.8	2-5.5	2.8	PH	RO	
TLV2341	1	0.6	8	1		0.6p		1.1	3.6	2.0-8	0.675	TI	IS	32
TLV2262	2	0.3	2.5	2		1p		0.8	0.55	2.7-8	0.4	TI	RO	12

特征 RO: 共模输出; LP: 低通; HS: 高通; IS: 工作电流设定。

3 通用 OP 放大器

通用 OP 放大器并没有什么特别之处,主要是价格便宜,在一般的应用中具有良好的性能。

在初期具有代表意义的通用 OP 放大器有 $\mu A709$, $\mu A741$ 以及 LM301A 等等。特别是 $\mu A741$,在通用 OP 放大器中首次在其 IC 内部使用了相位补偿,至今仍被大量应用,是长命不衰的产品。但是,741 是双极型晶体管输入的 OP 放大器,有偏置电流大的缺点。所以,LF356 和 TL071 则制成了 FET 输入的 OP 放大器。

但是 FET 输入的 OP 放大器的缺点是补偿电压大,所谓补偿电压如图 1.6 所示,输入电压即使为零,输出端也会出现电压。微弱的直流信号会被当作错误信号。为了克服补偿电压,LF411 和 AD711 使用内部微调来降低补偿电压,最近在便宜的 OP 放大器上也使用了内部微调技术。

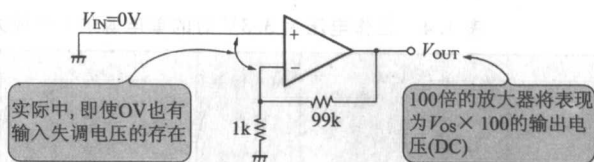


图 1.6 输入补偿电压

另一方面,至今用于音频的 741 有很好的交流特性和噪声特性。而 RC4558 和 NE5532 是用于音频的改造型,后来又进行了更进一步的改造,如 LM833 等也见于市场。音频 OP 放大器在交流和噪音等特性方面是非常优秀的。

表 1.5 列示出了一些通用 OP 放大器的规格。

MC33077 是比较新的通用 OP 放大器,GB 积(增益带宽积)为 37MHz,转换速率为 $11V/\mu s$,具有高速特征。GB 积和转换速率如图 1.7 所示,是判断 OP 放大器的交流特性的重要因素。

MC33077 的补偿电压为 $0.13(1\text{max})\text{mV}$,温漂为 $2\mu V/^{\circ}\text{C}$,具有良好的直流特性。通用 OP 放大器也进入了直流特性和交流特性皆完美的时代。