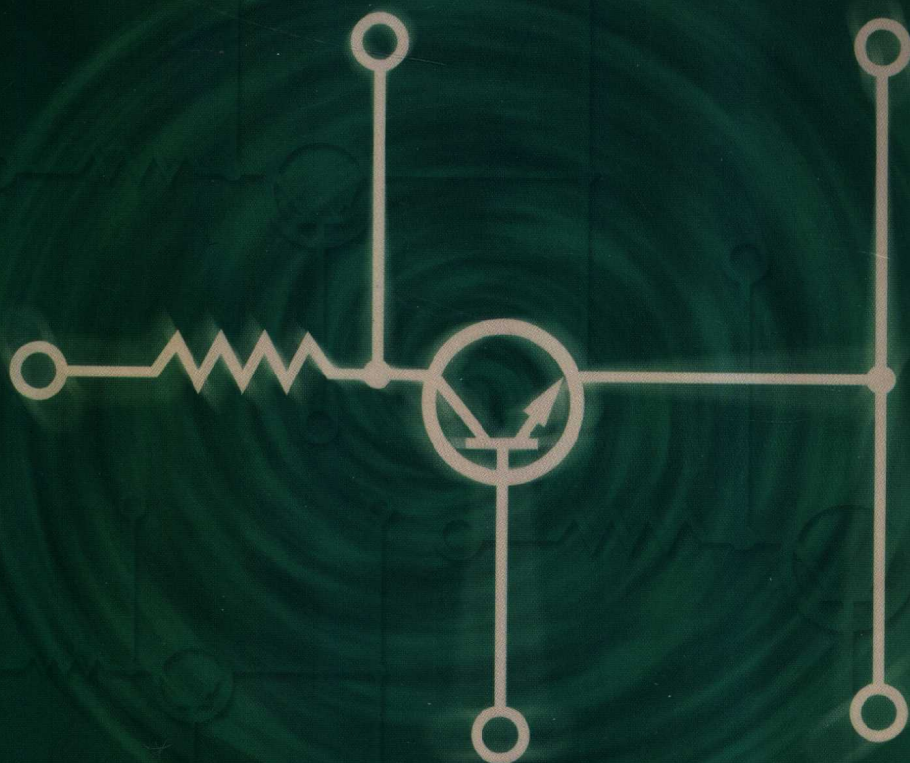


 实用电子电路设计丛书

OP 放大电路设计

〔日〕冈村迪夫 著
王 玲 徐雅珍 李武平 译
徐雅珍 校

从重视再现性设计的基础到实际应用



科学出版社

www.sciencep.com

实用电子电路设计丛书

OP 放大电路设计

——从重视再现性设计的基础到实际应用

〔日〕 冈村迪夫 著

王玲 徐雅珍 李武平 译

徐雅珍 校

科学出版社

北 京

图字: 01-2003-7934 号

内 容 简 介

本书是“实用电子电路设计丛书”之一。本书内容分基础部分(1~5章)和应用部分(6~9章)。前者主要介绍 OP 放大器的零点、漂移及噪声,增益与相位,相位补偿及技巧,OP 放大器的选择和系统设计;后者则主要介绍 OP 放大器作为反相放大器、正相放大器、差动放大器的应用,OP 放大器在恒压、恒流电路和微分、积分电路中的应用以及基于非线性元件的应用,比较放大器中的应用,等等。

本书面向实际需要,理论联系实际,列举大量实用性、技术性强的电路,使读者从原理到应用,对 OP 放大器有个系统的了解,以便能够应付电路中可能出现的更加复杂的情况和故障。

本书适用对象是相关领域工程技术人员以及大学相关专业本科生、研究生;也可供广大的爱好者学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

OP 放大电路设计/(日)冈村迪夫著;王玲等译;徐雅珍校. —北京:科学出版社,2004

(实用电子电路设计丛书)

ISBN 7-03-013395-1

I. O… II. ①冈… ②王… ③徐… III. 放大器-电路设计 IV. TN722

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 045977 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

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

北京东方科苑图文有限公司 制作

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

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004 年 9 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2004 年 9 月第一次印刷 印张: 22 3/4

印数: 1—4 000 字数: 404 000

定 价: 35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

前 言

从自然现象中获得的电信号基本上都是模拟信号。随着电子技术的进步,对模拟技术的要求也越来越高。OP 放大技术既是模拟技术的基础,又是其核心。OP 放大就像是一个黑匣子,使人摸不着头脑。但是,一旦掌握了其中的技术,就会对你有很大帮助。

本书共十四章,大体上分为基础和应用两部分。

第 1 章到第 5 章为基础部分,但这部分也包括了具体应用方面的一些必要技术。第 6 章到第 14 章为应用部分,围绕 OP 放大器所使用的技术,进行分类并加以说明。

第 1 章是为初次使用 OP 放大器的读者设置的。有经验的读者看过后就会了解笔者的初衷,即“与其把很多不良工作的电路堆积起来,发挥 70% 的性能,不如用简单易懂的电路实现 100% 的性能”。

对于初学者建议亲自动手试做第 1 章叙述的四个实验电路。即使到了按照电路模拟程序可以取得数据的时代,电子学也是一门实用的学问,所以与实物的对应是必不可少的。或许再高深的理论也会由于一根电线的连接错误、一个数字的计算错误导致前功尽弃。换言之,自己通过实物掌握的技术往往在书本上是学不到的。通过自己动手实践,理解零点偏移以及因动手摸而导致的振荡变化,对将来面对更加复杂的电路和故障都有很大帮助。

与 OP 放大器刚问世时相比,现在的 OP 放大器种类很多,甚至在使用时都不知道选择哪一个为更好。如果书中把每一种放大器的特性和使用方法都一一举例出来进行说明,那你就是再有时间恐怕也阅读不完。因此本书只举出一些实用性、技术性强的例子供读者学习参考。

由于技术的进步和 OP 放大器种类的增多,即使在本书中列举了再多的有参数的具体例子,也不能完全以此为依据理解与其相同功能的电路。作为解决问题的方法,应把重点放在“理解电路,直到可以应用”上。只要理解了原理,应用就不难了。从能够掌握原理这个基本点出发,本书中的 200 个左右电路就可以与数万个实例相媲美。

电路举例根据需要加进了参数。但这些参数并不是保证制造用的、代表其特点的数据,它是作为实验试作的线索和为理解电路工作而设置的。在生产和质量管理方面要取得优异的成绩,就需要积累经验和技巧,这比在特定的条件下知道一些常数要困难得多。

另外,在众多读者当中有些并不是业余爱好者或新的技术工作人员,而是非常专业的电子技术工作者或物理、化学、生物、医学以及计算机这类电子学以外的专家和理论家。这样看来,从 OP 放大器其本质上来讲,它已经不是电子技术人员的专用之物了。本书第 1 章的再现性、第 2 章的噪声、第 3 章的稳定条件、第 4 章的二次稳定条件和过渡响应性的处理以及各章出现的把统计方法运用到电路设计等内容,并不是冒读理论,而是为了达到实用化。敬请诸位读者阅读本书后提出宝贵意见,笔者不胜荣幸。

本书是以 1973 年笔者在晶体管技术杂志上发表的“OP 放大器技术”为基础,综合了其后出版的《OP 放大电路设计》一书^[1~3],并融入新技术而编写的。

在发表论文、出版书籍时,本想发挥出笔者原有的创造性思想和方法,但是还是参照了前辈的业绩。在出版本书之际,向所参考的论文和著作的国内外的作者及为笔者提供资料和实验资料的诸位先生表示感谢。另外,向从二十年前的原稿阶段开始就为这个题目的出版、发行倾注了心血的时任 CQ 出版社社长飞坐博先生以及为这次出版历尽辛苦的渡边哲良先生表示衷心的感谢!

冈村迪夫

目 录

第 1 章 OP 放大器	1
1.1 OP 放大器的运转	1
1.1.1 模拟电路与实验技术	1
1.1.2 输入和输出的关系	3
1.1.3 虚拟短路	4
1.1.4 振 荡	7
1.2 四种基本的使用方法	8
1.2.1 正相放大器	8
1.2.2 电压输出器	9
1.2.3 差动放大器	10
1.2.4 比较放大器	11
1.3 OP 放大器的理想状态	12
1.3.1 理想的 OP 放大器	12
1.3.2 非理想的 OP 放大器的情况	13
1.4 非理想的 OP 放大器的使用方法	15
★1.4.1 放大倍数有限时	15
★1.4.2 回路增益的效果	16
第 2 章 零点、漂移及噪声	18
2.1 关于偏置	18
2.1.1 产生偏置的原因	18
2.1.2 偏置电压与偏置电流	19
2.1.3 偏置电压的性质	19
2.1.4 偏置电流的性质	20
2.1.5 偏置的实测法	21
2.2 零点稳定性的提高方法	22
2.2.1 变动的的原因	22
2.2.2 可直接进行的改善方法	23
★2.2.3 减轻电压漂移的方法	25
★2.2.4 寻求别的元件的帮助	27

★2.2.5 关于温度的两种研究	29
★2.2.6 关于温度的过渡特性	29
2.3 消除偏置	31
2.3.1 零点调节的效果	31
2.3.2 零点调节的方法	31
2.3.3 利用集电极电流进行零点调节	32
2.3.4 从输入侧进行的零点调节	34
2.3.5 使零点偏移后使用时	36
2.4 自动零点调节	37
★2.4.1 自动吻合的方法和特点	37
★2.4.2 零点校正放大器	38
★2.4.3 更复杂的例子	39
★2.4.4 有放大倍数时	40
★2.4.5 采用开关切换的方式	41
★2.4.6 可使用计算机时	42
2.5 OP 放大器的噪声	43
★2.5.1 从内部产生的噪声	43
★2.5.2 噪声的表现方法	44
★2.5.3 对 OP 放大器的影响	46
★2.5.4 减小内部噪声的方法	48
第 3 章 避免变成振荡器	50
3.1 振荡的识别方法	50
3.1.1 振荡的影响	50
3.1.2 振荡的征兆	50
3.1.3 使用示波器	51
3.2 增益和相位	52
3.2.1 振荡的原因	52
3.2.2 关于极点	53
3.2.3 伯德图及其精度	55
3.2.4 关于零点	56
3.2.5 伯德图的画法	56
3.3 OP 放大器的内部	58
3.3.1 不振荡的特性	58

3.3.2 多级放大器的特性	59
3.3.3 实际的相位补偿	59
3.4 OP 放大器以外的要素	61
3.4.1 外部极点的产生	61
★3.4.2 输入电容及其补偿法	62
★3.4.3 负载电容的补偿法	63
★3.4.4 旁路电容的作用	64
第 4 章 宽带化、高速化	67
4.1 决定上升的要素	67
4.1.1 转换速率与带宽	67
4.1.2 转换速率由什么来决定	68
4.1.3 使转换速率变大	69
4.2 有效的带宽和相位补偿	70
4.2.1 振荡的停止	70
4.2.2 带宽和功率带宽	71
4.2.3 转换速率和稳定时间	73
4.3 三种基本的相位补偿	75
4.3.1 一个极点的补偿	75
4.3.2 两个极点的补偿	76
4.3.3 前馈补偿	79
4.3.4 三种补偿方法的比较	81
4.4 相位补偿的技巧	83
★4.4.1 将带宽变宽的方法	83
★4.4.2 从 OP 放大器外部补偿	84
★4.4.3 电流反馈型 OP 放大器	87
★4.4.4 稳定性的确认方法	89
★4.4.5 高速封装技术	91
第 5 章 零件、封装、系统化的技术	93
5.1 选择 OP 放大器的方法	93
5.1.1 短暂的历史	93
5.1.2 OP 放大器的构造及优点	95
5.1.3 典型 OP 放大器的特性	100

5.1.4	温度范围	102
5.1.5	封装	102
5.2	固定电阻的选择	103
5.2.1	增益的稳定性	103
5.2.2	固定电阻少的电路	104
5.2.3	精密电阻的选择	105
5.2.4	使用同样电阻的电路	106
5.2.5	由组合可以获得的电阻	107
5.2.6	需要大增益的情况	109
5.2.7	可调节精密电阻电路	110
5.3	其他外接元件	112
5.3.1	可变电阻	112
5.3.2	电容	113
5.4	OP放大器和系统设计	113
5.5	封装技术	115
5.5.1	元件的配置和配线	115
5.5.2	地线的接法	115
5.5.3	旁路电容的连接	118
5.5.4	减少杂散电容	119
5.5.5	保护电路	120
第6章	作为反相放大器的应用	123
6.1	简单的反相放大器	123
6.1.1	反相放大器的特征	123
6.1.2	肯定工作的反相放大器	123
★6.1.3	精密的反相放大器	125
★6.1.4	高速反相放大器	127
6.1.5	加法电路	128
6.1.6	使用前馈	129
6.2	电压信号与电流信号的转换	130
6.2.1	由电流信号转换成电压信号	130
6.2.2	高灵敏度化	131
6.2.3	微小电流的测定技术	133
6.2.4	把电压信号转换为电流信号	135

6.2.5 电流转换器	136
6.3 应用技术	138
6.3.1 增益的调节	138
6.3.2 增益的微调	138
6.3.3 与响应速度的关系	139
6.4 功率增强器的研究	140
6.4.1 简单的缓冲器	140
6.4.2 使用自举的增强器	141
6.4.3 使用专用缓冲器	142
第7章 作为正相放大器的应用	143
7.1 简单的正相放大器	143
7.1.1 正相放大器的特征	143
7.1.2 现实的正相放大器	143
7.1.3 电压跟随器	146
7.1.4 快速的电压跟随器	147
7.1.5 技巧性的手段	148
7.1.6 同相输入的范围	150
7.2 自举的技术	151
7.2.1 交流耦合的电压跟随器	151
7.2.2 交流耦合的正相放大器	153
7.3 正相放大器的应用	153
7.3.1 正相侧的平均值电路	153
7.3.2 从动密封	154
7.3.3 消除输入电容	155
7.3.4 增益的微调与电压跟随器	156
7.3.5 在任何地方都摆动的电压跟随器	156
7.4 保护的方法	157
7.4.1 放大绝缘	157
7.4.2 实际的保护环	158
7.4.3 驱动保护	159
第8章 作为差动放大器的应用	162
8.1 为什么要使用差动放大器	162

8.1.1	差动放大器的特征	162
8.1.2	简单的差动放大器	162
8.1.3	温度差计	163
8.2	发挥差动放大器的特性	165
8.2.1	清除噪声	165
8.2.2	同相输入的范围	167
8.2.3	在噪声中的工作	168
8.2.4	CMR 和频率的关系	169
8.2.5	不依赖差动放大器的方法	172
8.3	增大 CMR 使用的方法	173
8.3.1	信号源阻抗和 CMR	173
8.3.2	提高输入阻抗	174
8.3.3	电阻的选择方法	175
8.3.4	使放大倍数为可变	176
8.4	差动输出的放大电路	176
8.4.1	获得差动输出的电路	176
8.4.2	以 $\pm 15\text{V}$ 电源获取 $50\text{V}_{\text{P-P}}$ 的输出	178
第 9 章	在恒压、恒流电路中的应用	180
9.1	为 OP 放大器的电源	180
9.1.1	简单的 OP 放大器电源	180
9.1.2	简单电路的难点	182
9.1.3	简单的恒压源	182
9.1.4	稳定度要达到多少	184
9.1.5	整流电路的计算	185
9.2	基于 OP 放大器的恒压源	190
9.2.1	究竟有何特点	190
9.2.2	齐纳二极管的性质	191
9.2.3	电路的发展过程	192
9.2.4	能否达到完善	193
9.3	扩大可能性	194
9.3.1	高电压的恒压电源	194
9.3.2	扩大电压的范围	196
9.3.3	增大功率	196

9.4 基于 OP 放大器的恒流电路	197
9.4.1 简单的恒流电路	197
9.4.2 基于 OP 放大器的恒流源	198
9.4.3 基于 OP 放大器的恒流接收器	199
9.4.4 变更基准电位的方法	200
9.4.5 双极性恒流电路	201
9.5 各种各样的电源电路	202
9.5.1 有源可变电阻器	202
9.5.2 校正用微小电流源	203
第 10 章 微分电路、积分电路中的应用	205
10.1 微分电路、积分电路的要点	205
10.1.1 OP 放大器和积分电路	205
10.1.2 OP 放大器和微分电路	207
10.1.3 微分、积分的计算	209
10.2 使用交流耦合	210
10.2.1 正相型交流放大器	210
10.2.2 反相放大器	211
10.2.3 使用交流放大省去零点调节	211
10.2.4 音频补偿器	212
10.2.5 单电源电路的工作	214
10.3 有源滤波器与应用电路	214
10.3.1 滤波器的种类	214
10.3.2 次数和特性	215
10.3.3 电路的结构	217
10.3.4 低通滤波器与高通滤波器的实例	219
10.3.5 带通滤波器	221
10.3.6 状态变量型的例子	222
10.3.7 陷波滤波器	222
10.3.8 全通滤波器	224
10.3.9 问题与解决方案	224
10.4 微分、积分的应用电路	226
10.4.1 放大电容	226
10.4.2 合成电感	227

10.4.3	放大时间常数	228
10.4.4	脉冲重复频率表	228
10.4.5	梯形波发生器	230
10.5	V/F 转换器, C/F 转换器	231
10.5.1	V/F 转换器的工作	231
10.5.2	V/F 转换器的应用	233
10.5.3	V/F 转换器的误差	234
10.5.4	无间断的 C/F 转换器	234
10.5.5	覆盖 9 位的 C/F 转换器	235
第 11 章	基于非线性元件的应用	238
11.1	受电压影响内部电阻发生变化的元件	238
11.1.1	反馈型限幅器的工作	238
11.1.2	软限幅器与硬限幅器	239
11.1.3	速度和泄漏的对策	240
11.1.4	二极管限幅器	241
11.2	函数发生器	243
11.2.1	基于二极管的方法	243
11.2.2	温度特性的补偿	244
11.2.3	制作反函数的方法	246
11.3	合成二极管	247
11.3.1	理想的二极管	247
11.3.2	精密函数发生器	248
11.3.3	绝对值电路	249
11.3.4	设法缩减精密元件	250
11.3.5	加速的方法	252
11.4	峰值检测, 采样与保持	253
11.4.1	峰值检测的原理	253
11.4.2	P-P 检测器	254
11.4.3	峰值检测器与实用中的问题	255
11.4.4	采样与保持	256
11.5	二极管, 晶体管的混用	257
11.5.1	对数放大器	257
11.5.2	D/A 转换器	260

第 12 章 比较放大器中的应用	263
12.1 比较放大器的基本技术	263
12.1.1 比较放大器与 OP 放大器	263
12.1.2 零交叉检测器	266
12.1.3 偏置电压与偏置电流	266
12.1.4 比较放大器与相位补偿	267
12.1.5 抑制输出振幅	268
12.2 阈值与迟滞现象	270
12.2.1 阈值设定法	270
12.2.2 迟滞现象的意义与效应	272
12.2.3 放大与衰减的效应	274
12.2.4 窗比较电路的基准电压	275
12.2.5 关于偏置放大器的思考方法	277
12.3 错误工作的原因与对策	278
12.3.1 比较放大器为什么会出现错误工作	278
12.3.2 为了避免错误工作,提高灵敏度	280
12.3.3 多重触发的原因	283
12.3.4 比较放大器是否振荡	284
12.3.5 迟滞现象与检测界限	285
12.4 比较放大器的应用电路	287
12.4.1 降低偏流	287
12.4.2 自动转换式的分压电阻	288
12.4.3 选通脉冲	289
12.4.4 万能型窗比较电路	289
第 13 章 振荡器,定时电路中的应用	291
13.1 方波振荡器	291
13.1.1 简单稳定的振荡器	291
13.1.2 弛张振荡的原理	292
13.1.3 温度特性的改善	293
13.1.4 电路的发展与应用	295
13.2 各种波形	296
13.2.1 制作三角波与方形波	296
13.2.2 锯齿波发生器	298

13.2.3	用电压控制	299
13.2.4	各种波形	299
13.3	正弦波振荡器	300
13.3.1	振荡器的应用并不简单	300
13.3.2	简易型正弦波振荡器	302
13.3.3	积分振荡器	303
13.3.4	频率可变的正弦波振荡器	304
13.4	定时电路	305
13.4.1	单稳态多谐振荡器	305
13.4.2	长时间计时器	306
13.4.3	数字电路中的接口	308
13.4.4	单相电源振荡器与定时电路	308
第 14 章	OP 放大器与开关的结合	313
14.1	开关可以起到何种作用	313
14.1.1	开关的用途	313
14.1.2	信号的转换	314
14.1.3	导通电阻的性质与效果	317
14.1.4	消除导通电阻的影响	318
14.1.5	改变接入开关的位置	320
14.1.6	增益的转换与 S/N	320
14.2	开关的选择与启动操作	321
14.2.1	开关的特性与元件	321
14.2.2	二极管开关	322
14.2.3	晶体管开关的优点与极限	323
14.2.4	作为开关的 FET	325
14.2.5	开关的动态范围	326
14.2.6	CMOS 开关与 OP 放大器	327
14.2.7	使用 J 还是使用 MOS	330
14.3	改善开关特性的方法	331
14.3.1	接入环路中	331
14.3.2	降低加载电压	332
14.3.3	旁路漏电流	333
14.3.4	消除导通电阻	334

14.3.5 OP 放大器与开关的组合	334
14.4 开关与 OP 放大器的应用电路	336
14.4.1 锁定与复位中的应用	336
14.4.2 放大极性的转换	337
14.4.3 精密用途中的有效利用	337
参考文献	341

第 1 章 OP 放大器

1.1 OP 放大器的运转

1.1.1 模拟电路与实验技术

即使在利用计算机模拟电路并确认其工作的技术已经普及的今天,将 OP 放大器付诸于应用的最好方法还是自己动手试一试。要操作实际的电路,有必要了解各种规则及一些基本的技术。如果对后面出现的每种电路都要说明一遍前提条件,效率就会很低。因此,本章首先讲一讲 OP 放大器的一些基本知识。

要想了解 OP 放大器是什么、起什么作用,建议你自己制作一个图 1.1 那样的电路,试着使其工作。即使在使用计算机、全部运行都可以依靠模拟装置完成试验工作的情况下,也要自己实际动手试一试,否则就不能很好地与实际情况相结合。

最初的实验电路如图 1.1 所示,但是实际电路要像图 1.2 那样制作。将两个图相比较就会发现,虽然是同一个电路,但实际上却有很大的不同,甚至看起来认为不是同一个电路。

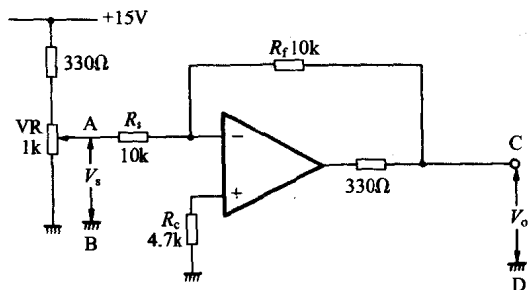


图 1.1 最初的实验电路

图 1.1 那样的画法便于对电路概念的理解。但是,由于许多条件没有标出,实