

图解电路设计与制作系列

模拟电路

设计与制作

■ [日] 青木英彦 著

■ 周南生 译



科学出版社

www.sciencep.com

图字：01-2005-1152 号

内 容 简 介

本书是“图解电路设计与制作系列”之一，内容分为基础篇与制作篇两部分。基础篇主要介绍电子电路的基本制作技术，以及 OP 放大器、晶体管、二极管和电阻电容等元器件的使用方法；制作篇则以实际的 9 种模拟电路为例，分别介绍电路的性质和设计方法。这 9 种模拟电路为：电源电路、 h_{FE} 表、功率放大器、有源滤波器、图像均衡器、卡拉 OK 混合器和环绕立体声转接器，同时通话型对讲机以及内藏振荡器的失真度计。

本书可作为电子、电气等相关领域的工程技术人员及本科生的参考用书，亦可供相关专业中等专科学学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电路设计与制作/(日)青木英彦著;周南生译. —北京:科学出版社, 2005

(图解电路设计与制作系列)

ISBN 7-03-014690-5

I. 模… II. ①青…②周… III. 模拟电路-电路设计-图解
IV. TN710-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 001163 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：朱 平

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>

北京东方科龙图文有限公司 制作

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

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

*

2005 年 4 月第 一 版 开本：B5(720×1000)

2005 年 4 月第一次印刷 印张：14 1/4

印数：1—4 000 字数：269 000

定 价：26.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换(新欣))

Analog Kairo no Sekkei Seisaku

by Hidehiko Aoki

Copyright © 1989 by Hidehiko Aoki

All rights reserved.

Originally published in Japan by CQ Publishing Co., Ltd., Tokyo.

Chinese(in simplified character only) translation rights arranged with

CQ Publishing Co., Ltd., Japan.

アナログ回路の設計・製作

青木英彦 CQ出版株式会社 2003

著者简介

青木英彦

1956年 出生于栃木县

1979年 毕业于北海道大学电气工学部

现在 株式会社东芝 SEMICONDUCTOR 微电子中心，
大船分室模拟外围统招部通信用模拟 LSI 负责人

著作：晶体管技术特集 NO. 1

《分立半导体器件使用方法大全》(共著)

前 言

十年前,只有公司职员或学校师生才有机会操作大型计算机或小型计算机,然而随着个人计算机的广泛普及,现在就连小学生都在编写 BASIC 程序了。与此相反,制作硬件而不是软件的人,特别是制作模拟电路的人却比以前减少了。这可能是由于电路本身对于初学者来说难于理解,且在制作上需要技术人员掌握电路知识以外的技巧的原因。

因此,本书以仅按电路图制作的人或不太懂电路具体常数设定法的人为对象,在前半部分的基础篇中,对制作上具体的基本技巧进行说明,在后半部分的制作中,确定具体的题目,来进行实际的电路设计。

基础篇的第 1 章详细介绍在实际制作电路时,那些在电路图中没有写明的、然而必须要知道的知识以及在制作之前必须预先知道的布线方法和元件配置等。第 2 章和第 3 章对这些器件的工作原理以及基本工作过程进行叙述。第 4 章深入浅出地解析电阻和电容的种类及其特点。

在制作篇中,虽然对所有 9 个模拟电路进行了设计,但这是以实际上起作用的、且有趣的电路为中心来选择制作题目的。在各章中,都对其工作原理、IC 和晶体管的选择方法以及 CR 常数的确定法进行了详细说明,并对这些常数用计算方法实际求出。另外,作者已对各种题目进行了实际制作,以确保工作的准确性。

读者通过阅读本书并实际制作电路,将掌握在理论书籍或简单的制作日记中不能获得的电子电路的设计和制作技巧,从而提高自己的技术水平。

最后,在本书出版之际,对在策划、构成、编辑和元器件的筹措等方面给予帮助的 CQ 出版株式会社的蒲生良治总编辑和山形孝雄先生表示感谢!

著 者

目 录

基础篇

第 1 章 电路图中不能表示的制作技术	3
1.1 进入制作之前	3
1.1.1 购买元器件时的注意事项	3
1.1.2 IC/LSI 的处理	4
1.1.3 印制板的处理	5
1.1.4 必要的工具	6
1.1.5 电烙铁的选择方法	8
1.2 布线技术	9
1.2.1 输入输出端不要靠得太近	9
1.2.2 电平差大的线不要靠得太近	10
1.2.3 要区分小信号 GND 与大电流 GND	11
1.2.4 电源 GND 线分开到每个基板上	12
1.2.5 电解电容要考虑到电流的流向	13
1.2.6 减小电流环路	14
1.3 元器件的配置	15
1.3.1 将电源电路、功率电路与微小信号电路远距离区分开	15
1.3.2 尽可能将双晶体管/FET 靠近放置	16
1.3.3 将受热影响的器件远离热源	18
1.3.4 在热处理方面要考虑空气的流动	19
1.3.5 考虑到完成后的情况再进行元器件的配置	20
第 2 章 OP 放大器的使用方法	23
2.1 OP 放大器入门	23
2.1.1 OP 放大器的概念	23
2.1.2 管壳的形状	24
2.1.3 单/双/4OP 放大器	25
2.1.4 原始产品与仿制产品	26

2.1.5	关于 OP 放大器的互换性	26
2.1.6	电源的供给方法	27
2.2	OP 放大器的基本工作原理	28
2.2.1	理想 OP 放大器的工作原理	28
2.2.2	实际的 OP 放大器	30
2.2.3	常数设定的要点	32
第 3 章	晶体管 and 二极管的使用方法	35
3.1	晶体管的种类与形状	35
3.1.1	晶体管的种类	35
3.1.2	管壳与管脚的配置	36
3.1.3	晶体管的互换性	38
3.2	晶体管的基本工作原理	39
3.2.1	基极电压电流与集电极电流的关系	39
3.2.2	放大电路的基础	41
3.3	二极管	43
3.3.1	基本特性	43
3.3.2	反向特性	44
3.3.3	二极管的种类及其基本的使用方法	44
第 4 章	电阻和电容的使用方法	48
4.1	电阻的使用方法	48
4.1.1	电阻的种类与使用	48
4.1.2	色码的读法	50
4.1.3	关于电阻值	51
4.1.4	额定功率	53
4.1.5	可变电阻与半固定电阻	54
4.2	电容的使用方法	57
4.2.1	电容的种类与使用	57
4.2.2	电容值的表示方法	61
4.2.3	关于耐压	62

制作篇

第 1 章	电源电路的设计	67
1.1	跟踪电源的电路设计	68
1.1.1	基准电压发生电路	69

1.1.2	分压电路	70
1.1.3	误差放大电路	71
1.1.4	输出短路保护电路	74
1.1.5	控制电路	75
1.1.6	负侧稳压电路的设计	77
1.2	散热电路的设计	78
1.3	稳压电路的应用	79
1.3.1	NiCd 电池充电器	79
1.3.2	转换型稳压电路	80
1.3.3	功率晶体管(T_{R_3}, T_{R_3}')的小型化	81
专栏 1.1	提高电容器耐压的方法	84
第 2 章	h_{FE}表的设计	84
2.1	晶体管的基本工作原理	84
2.1.1	I_C-V_{BE} 特性	85
2.1.2	I_C-V_{CE} 特性	86
2.1.3	$h_{FE}-I_C$ 特性	86
2.2	h_{FE} 表的设计	87
2.2.1	简易型 h_{FE} 表	88
专栏 2.1	无极性电容器的制作方法	89
2.2.2	稳流电路	91
2.2.3	稳压电路	91
2.2.4	I_B 控制用 OP 放大器的周边元件	92
2.2.5	仪表放大器	93
2.2.6	关于 NJM4200	94
2.2.7	在四象限乘法器上的应用	95
2.2.8	除法电路的基本	96
2.2.9	实际的除法电路	98
第 3 章	功率放大器的设计	102
3.1	低电压工作的功率放大器的电路分析	102
3.1.1	BA515 的电路结构	103
3.2	低压工作功率放大器的设计	108
3.2.1	整体电路结构	108
3.2.2	电路设计	110
第 4 章	有源滤波器的设计	119

4.1	滤波器的基础	119
4.1.1	各种滤波器的转移特性	120
4.1.2	状态变化型滤波器	122
4.1.3	在互导放大器的滤波器上的应用	123
4.2	滤波器的设计	124
4.2.1	互导放大器 LM13600	124
4.2.2	本滤波器的结构	126
4.2.3	本滤波器的规格	127
4.3	具体的设计	127
4.3.1	滤波器电路	127
4.3.2	输入缓冲放大器	128
4.3.3	滤波器部分	129
4.3.4	β 电路(VCA)	130
4.3.5	电压-电流变换电路	131
第 5 章	图像均衡器的设计	135
5.1	图象均衡器原理	135
5.1.1	图像均衡器的基本结构	136
5.1.2	提升量与切去量	137
5.1.3	峰(或谷)的锐度:Q	138
5.2	采用半导体电感的图像均衡器	138
5.2.1	关于半导体电感	138
5.2.2	使用半导体电感的图像均衡器的电路结构	139
5.3	图像均衡器用 IC	140
5.3.1	图像均衡器专用 IC 的种类	140
5.3.2	关于 M5226	142
5.4	10 器件图像均衡器的设计	142
5.4.1	谐振频率与 Q 的设定	143
5.4.2	谐振电路的设计	143
专栏 5.1	介质损耗与介质损耗因素($\tan\delta$)	145
5.4.3	周边电路的设计	146
第 6 章	卡拉 OK 混合器的设计	148
6.1	该混合器的概况	148
6.2	人声消去(Vocal Cancel)电路	149
6.2.1	基本原理	149

6.2.2	电路结构	149	
6.2.3	电路设计	150	
6.3	MIC 放大器	155	
6.3.1	TA7325P 的使用方法	155	
6.3.2	电路设计	156	
6.4	其他部件	158	
6.4.1	AUX 放大器	158	
6.4.2	LEVEL/PANPOT 调整	158	
6.4.3	混合放大器	159	
6.5	结束语	160	
6.5.1	使用方法	161	
第 7 章	环绕立体声转接器的设计	163
7.1	环绕立体声的基础	163	
7.2	缓冲放大器的设计	164	
7.2.1	具体的设计	165	
7.3	BBD 部分的设计	166	
7.3.1	BBD 的基础	166	
7.3.2	具体的设计	167	
7.4	LPF 的设计	169	
7.4.1	滤波器特性的种类	169	
7.4.2	切比雪夫滤波器的设计方法	170	
7.4.3	LPF ₁ 的设计	173	
7.4.4	关于 LPF ₂	175	
7.5	反相器的设计	176	
7.6	小 结	177	
第 8 章	同时通话型对讲机的设计	180
8.1	双线变换电路	180	
8.1.1	双线变换的原理	181	
专栏 8.1	扬声器的使用方法	183	
8.1.2	电路设计	184	
8.2	话筒放大器与扬声器放大器	186	
8.2.1	TA 7628P	187	
8.2.2	话筒放大器的设计	188	
8.2.3	功率放大器的设计	190	

专栏 8.2	防止振动	191
专栏 8.3	未使用的 IC 脚的处理方法	192
8.2.4	波纹滤波器	194
8.3	小 结	194
8.3.1	调节方法	195
第 9 章	内藏振荡器的失真度计的设计 197
9.1	失真度测定的基础	197
9.1.1	何谓失真度	197
9.1.2	失真度的测定方法	199
9.1.3	本仪器的构成	200
9.2	振荡器的设计	201
9.2.1	振荡电路的设计	201
9.2.2	输出电平调整与输出缓冲放大器	204
9.3	失真度计的设计	204
9.3.1	输入电平调整与输入放大器	204
9.3.2	陷波滤波器	205
9.3.3	量程变换与输出放大器	208
9.3.4	输出放大器	208
9.4	本机的调整与使用方法	209
9.4.1	调 整	209
9.4.2	使用方法	211
9.4.3	本机的特性	212

基础篇

第 1 章

电路图中不能表示的制作技术

在考虑制作的电子电路时,往往认为只要按电路图来制作就能使其很好地工作。但现实问题是,只按电路图那样来制作是不行的。原因是,实际印制板上有电阻和电感成分,元器件和图形之间存在分布电容。还有,电阻和电容也不是电路图上所标识的理想元器件。

重要的是如何用这些非理想的元器件制作电路,使其误差达到可以忽略的程度。在电路图上,并没有注明有关的规定,这对于行家来说是理所当然的事,但对于初学者来说却是未知的。

本章将介绍这些规定。

1.1

进入制作之前

1.1.1

购买元器件时的注意事项

日本的秋叶原等元器件商店,都是由自己挑选购物的自选式商店。在这些商店里,电阻和电容大都是排列在用隔板分隔开的盒子中。在每一个盒子中,装有几十或者几百只具有同样数值的电阻和电容,从中挑选自己需要的元器件。在这里要注意的是,如图 1.1 所示,偶而混入相邻盒子中的元器件。例如,在装有 $1\text{k}\Omega$ 电阻的盒子里,混有几十只 $1.1\text{k}\Omega$ 与 910Ω 的电阻。这可能是前面的顾客在挑选时不小心混进去的。此时,有必要用自己的双眼来进行仔细地辨认,确认自己想买元器件的实际值。也就是说,必须仔细查看色标。不至于回到家里,才发现买到的元器件的值有偏差而闹出笑话。

还有,常会发现没有螺丝的旋钮。在挑选旋钮时,人们往往局限于旋钮的设计和大小等外观形状,而忽略其螺丝。因此,在购买时,一定要特别加以注意(图1.2)。

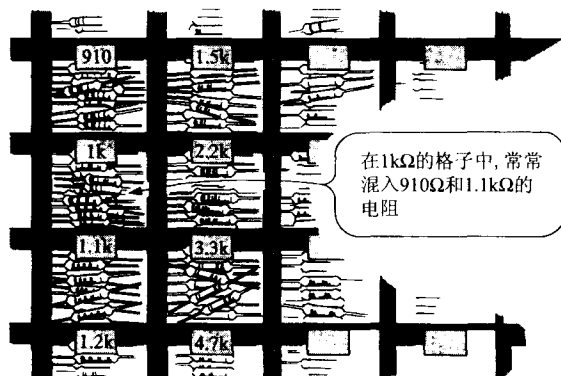


图 1.1 有时混入相邻的电阻



图 1.2 购买旋钮的注意点

偶而也有在货架上摆上次品的情況发生。据我的经验,以前买回的电池架,当想使用时,却发现在正侧和负侧都安上了正侧的接头而不能使用。这种情况是极其稀少的,在购买时若用肉眼进行确认还是能够避免的。

如上所述,以自选形式购买元器件时,对要买的元器件必须用自己的眼睛进行准确辨认之后再购买。否则,以后就会后悔。

1.1.2 IC/LSI 的处理

在开始制作之前,首先要收集元器件。如果此时处理不当,会使元器件受到损坏,或其特性遭到破坏。

最需要注意的是 C-MOS IC/LSI。人体经常产生静电,如脱去毛衣或碰到车门时,啪一下感觉像触电一样。空气越干燥时,该静电电压越高,从几千伏到几万伏。因为仅流过极其微小的电流,所以通常不成为问题。

由于 C-MOS IC/LSI 抗浪涌¹⁾能力弱,如乱操作,则会由于静电而导致损坏(图1.3)。因此,在出售 C-MOS IC/LSI 时,一定插

1) 浪涌(Surge):瞬间的过电压和过电流。

着黑色导电海绵,或者放在导电的口袋里,或者包着铝箔。这样写可能有人认为过分的神经质。最近生产的 IC,由于抗静电能力的增强,的确不必要过分地担心。在拿 IC 时,注意手指不要碰到管脚就可以了。

另外,C-MOS 以外的双极型 IC¹⁾(OP 放大器,调谐放大器等专用 IC)比起 C-MOS 来,其抗静电能力强,尽管偶尔也有抗静电能力弱的,但不会发生上述情况。如果垂直落到地上,虽然不产生机械冲击的损坏,但也会存在可靠性下降和特性变坏的可能性。所以必须避免这种情况(图 1.4)的发生。

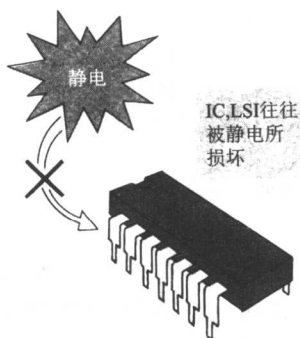


图 1.3 对于 IC/LSI, 静电是绝对禁止的

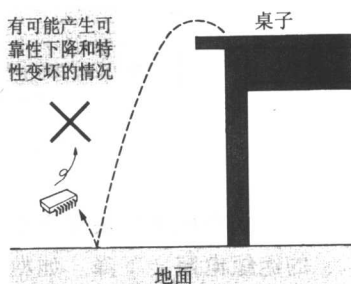


图 1.4 不要加机械冲击

1.1.3 印制板的处理

不管是通用基板还是腐蚀基板,一定有铜箔面。应在该铜箔面上进行焊接。但在铜箔上,一般情况下都附着有灰尘和油,不能进行很好的焊接。这里要注意的是手上的油分不要触到铜箔面上。虽然这么说,但让手完全不碰到铜箔是非常困难的,所以在制作之前,必须用肥皂洗手,将油成分去掉。如果在作业中沾上油,用酒精去油是最好的办法,但没有酒精时,用橡皮蹭擦也能擦干净。

还有,在长时间放置的基板上,往往会长出薄薄的一层锈。如果此时没有金属砂纸和清洁剂,可将牙膏涂在布上用力擦,则会恢

1) 双极型 IC(BiPolar IC): 内部等效电路由双极型晶体管组成的 IC。大部分的线性 IC 和 TTL 与此相当。

复光亮,使之容易焊接。

但是,根据基板的情况,往往有如图 1.5 所示朝向插座伸出端头的情况。在这样的基板上,绝对不可用手碰这个端头部分,更不可用铅笔在这部分书写。这样做,不只限于端头部分,在高阻抗电路中,对通常的图形部分都是如此。

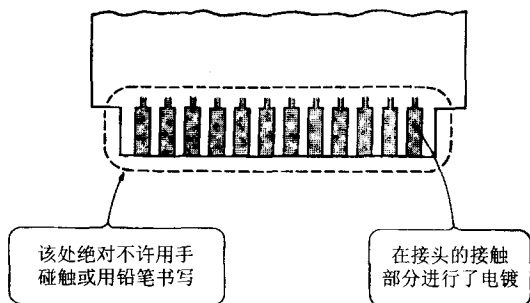


图 1.5 接触基板边缘处的注意点

如在两个端头或图形之间粘上手上的油或者铅笔芯,则此处的绝缘电阻会下降。如粘到端头部分,接触电阻增加,虽然对于数字电路没有问题,但在模拟电路中,往往会导致难于想像的麻烦。



必要的工具

即使有电路图,元器件也齐备,没有工具也不能制作电路。那么,需要什么样的工具呢?下面简单介绍几种工具。

▶ 电烙铁(图 1.6(a))

在必须进行焊接的电子线路中,电烙铁是绝对不可缺少的工具之一。详细情况在下一节中介绍。

▶ 小钳子(图 1.6(b))

小钳子的用处是切去电阻和电容等过长的引线。由于处理的元件比较小,所以使用小一些的钳子比较方便。

▶ 扁嘴钳(图 1.6(c))

扁嘴钳虽然不像电烙铁和小钳子那样重要,然而也是要准备的工具。夹一夹元件,弯一下引线都要用它。与小钳子一样,小型的扁嘴钳便于使用。

► 镊子(图 1.6(d))

为夹住小的元件和引线,使用镊子是非常方便的。特别在焊接时,如用手直接拿元件则烫手,而用扁嘴钳又难于拿住。最好的选择是用镊子尖端的部分,再配合适当的力夹住元件,完成焊接。

► 螺丝刀(图 1.6(e))

虽然在制作基板时是不需要螺丝刀的,但在将基板和元件安装到外壳及装配外壳时,则是必须用到的。螺丝刀有 \oplus 和 \ominus 两种类型,分别准备上大小 2~3 只即可。

► 精密螺丝刀(图 1.6(f))

这是那种能固定眼镜架的、尖端部分很细的螺丝刀,用于调整半固定电阻和旋紧旋钮上的固定螺丝。也有 \oplus 和 \ominus 两种类型,经常使用的是 \ominus 的一种。

► 六角扳子(图 1.6(g))

旋钮的螺丝为六角螺丝时,要使用到六角扳子。常使用小型的六角扳子。

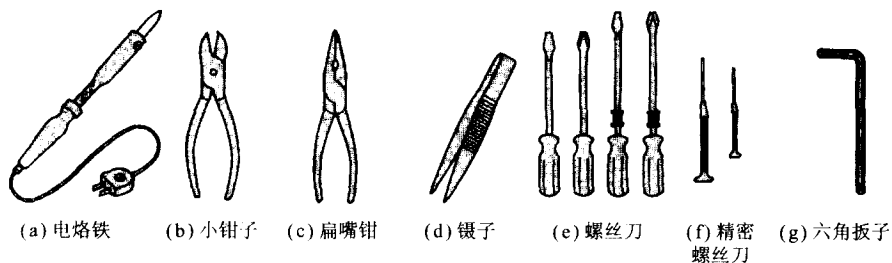


图 1.6 各种工具(1)

► 锉刀(图 1.7(a))

在加工机壳和切断基板时,需要将截面弄得光滑,锉刀就是这样一种使用工具。根据锉刀的截面形状,有平锉(■)、半圆锉(◐)、圆锉(●)、方锉(■)和三角锉(▲)等。使用率高的是平、半圆和圆锉三种。如果可能的话,准备上粒度和粗细大小各 2~3 种即可。

► 手摇钻(图 1.7(b))

这是对印制板和机壳进行开孔时用到的不可缺少的工具。钻头的直径从 1mm 以下到 10mm 左右不等。印制板开孔用 1mm 与 1.5mm、机壳开孔用 3mm 与 6mm 就足够了。作为印制板开孔用,还有由 Sunhayato(株)出品的电动机带动的小型钻床。如果使用该钻床,则非常容易进行开孔。