

电路高手之路

电路学习与分析 实例解析

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

李 刚 林 凌 编著

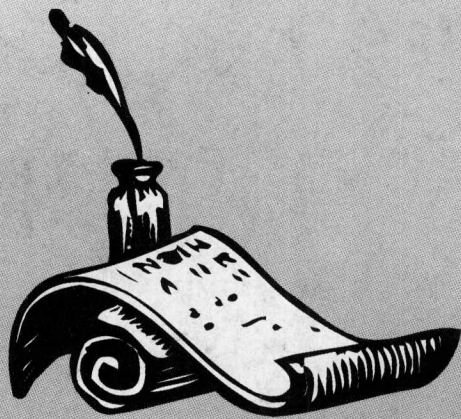


电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

电路高手之路

电路学习与分析实例解析

李 刚 林 凌 编著



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

一种技术,无非是由“概念”和“规律”组成的,有关电路的知识也是这样。电阻、导线、电源、电压、支路等都是“概念”;而欧姆定律、戴维南定律、密勒定律等都是“规律”。要学习好有关电路的知识,无非就是要掌握好这些“概念”和“规律”。本书以电路定理、定律为主线,通过具体而实用的电路实例分析,帮助读者灵活、熟练地在实践中应用电路定理、定律分析解决问题。对于靠实践经验解决电路问题的自学人员,这本书也从另一个角度,通过解剖常用、实用电路来讲解其中隐藏的电路定理、定律,为进一步提高自身能力,成为电路高手,找到一条捷径。

本书可供有志于从事电子、电气和机电一体化的工程技术人员阅读参考,也可作为大学生、高职生的教学辅助材料。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电路学习与分析实例解析/李刚,林凌编著. —北京:电子工业出版社,2008.4
(电路高手之路)

ISBN 978-7-121-05803-5

I. 电… II. ①李… ②林… III. 电路分析 IV. TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 006123 号

策划编辑:张 榕 责任编辑:毕军志

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:14.25 字数:364.8 千字

印 次:2008 年 4 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:25.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前言

与其说这是一本书,不如说这是一本学习体会的笔记,是作者在经过多年实践后对电路理论的体会总结。这些体会相对于当年在学习时的理解有着巨大的差距,如果把这些心得和体会总结出来,可能对正在学习电路理论的同学有很大的帮助。尤其在强调素质教育的今天,本书虽然不会直接在“答题”上有很大的帮助,但对于深刻理解和真正掌握电路理论,作者坚信她的巨大作用。在此基础上,本书对“答题”也会有所帮助的。

一门课程,无非就是由“概念”和“规律”组成的。有关电路的课程也是这样,电阻、导线、电源、电压、支路等,都是“概念”;而欧姆定律、戴维南定律密勒定律等,都是“规律”。要学习好有关电路的课程,无非就是要掌握好这些“概念”和“规律”。然而,“学以致用”才是我们学习的真正目的。而有关电路的课程本身又是实践性很强的课程,如果人为地将电路理论与实践割裂开来,既不能学好理论,也不能熟练应用。因此,我们应该按照课程本身固有的特点并遵守学习的固有规律,结合应用来学习,既能较快、较好地掌握理论,又能有兴趣、有成就感,使得学习更愉快,更重要的是体现了我们学习的目的——学以致用,学好一门课的目的和检验标准都在于是否能够在实践中去应用。

本书选取电路的定律和定理作为主线,作者以为是抓住了问题的关键、抓准了突破口。以作者自身的经验和 20 多年来的教学经验表明:电路的定律和定理本身不难理解,但将它们用来“答题”就不那么容易了,而应用到实践就更难。从学习规律来看,缺乏足够的实践,也没有类似的将理论与实践结合起来的书籍,而在校学习时课程太多,……,有很多很多原因造成理论与实践脱节、学习电路课程的困难。编写本书的目的,也就是希望弥补这类书籍的空缺,而从电路的定律和定理出发,使生硬、枯燥的理论变得生动、具体、形象起来。

本书的内容主要是电路定律和定理的“应用”,这种应用不包括纯粹“答题”、“应试”上的应用,而是在实践上分析问题、解决问题或在设计中的应用。这主要考虑到前者有难以计数的书籍可供参考,再就是“纸上谈兵”,仅仅在理论层面“兜圈圈”有悖于本书的写作目的。

为了简单起见,本书将定律、定理都统称为定律,这样并不妨碍读者对定律、定理的理解,也没有任何有损欧姆、基尔霍夫等大科学家形象与贡献的地方。毕竟,绝大多数读者学习有关电路理论的目的在于在今后的生产、研发和维护中应用,而纯粹要在往后的工作中去深究定律与定理的读者可能比“凤毛麟角”还要少得多。基于上述“歪理”,在本书中不对定律与定理做严格的区别。其好处是表述起来不再那么累赘,再者,达到了“学以致用”的目的还很轻松,没有人不愿意。

作者利用指导研究生和教学的“机会”为本书增添了部分内容,特别是本课题组的研究生也贡献了许多很有价值的素材,并为本书的编写做了很多工作,并使作者能够以初学者的角度,多方位地看待学习中的问题,无疑是很有价值的。借此机会,向兰颖、李海兰、李智、石艳丽、王铜、张志宏、鹿麟、杨英超、高峰、李蒙、王斯亮、张丽君、解鑫、万里、程立君、李娜、贾方荣等同学致以谢意。



为了使拙书生辉和读者有更大的收获,作者收集许多资料予以补充,这些资料是许许多多的工程技术人员的宝贵实践经验的总结,我们向他们表示由衷的谢意!

由于作者水平有限,本书可能存在很多不足之处、甚至错误,恳请读者批评指正。也欢迎读者提供更多更好的素材,以使本书更加丰富,更好地帮助读者掌握电路理论。

作者
2007年春于北洋园

目 录

第一单元 全电路欧姆定律	1
实例 1.1 放大器的输入电阻的设计	1
实例 1.2 电路的驱动能力	2
实例 1.3 高输入阻抗放大器的测试	3
实例 1.4 提高输入电阻的自举偏置电路	4
实例 1.5 屏蔽电缆驱动电路与保护环	4
实例 1.6 线性直流稳压电源的设计问题	6
实例 1.7 上拉电阻及其取值	6
实例 1.8 OC 门(电路)与 OD 门(电路)	7
实例 1.9 电场干扰及其抑制	8
实例 1.10 热电阻接入电路两线制和三线制接线法的分析	9
实例 1.11 布线原则的分析	10
实例 1.12 光电传感器的连接	10
实例 1.13 伏安法测量电阻	11
实例 1.14 射极跟随器的分析	12
实例 1.15 发光二极管 LED 的限流电阻	14
实例 1.16 用欧姆定律检修短路故障的方法	15
实例 1.17 用欧姆定律求导线长度	16
实例 1.18 分析和解决仪表故障	17
实例 1.19 为什么会触电	18
实例 1.20 等离子割炬高度控制与故障诊断	20
实例 1.21 电阻功率的选择	22
实例 1.22 非线性元件(电阻)	23
实例 1.23 晶体管放大电路中的阻抗匹配	25
实例 1.24 低噪声前置放大器的阻抗匹配	27
第二单元 戴维南定律与诺顿定律	32
实例 2.1 放大器的输出电阻	32
实例 2.2 电路连接的测试	33
实例 2.3 细胞膜电位分析	34
实例 2.4 稳压电源内阻的测量	34
实例 2.5 220V 交流电路的故障检测	35
实例 2.6 计算晶体管电路的直流工作点	37
实例 2.7 分压电路	38
实例 2.8 “虚地”发生器	39



实例 2.9	电平平移电路	39
实例 2.10	恒压源的理想与现实	40
实例 2.11	运放构成的恒压源的性能分析	41
2.11.1	影响电压源的主要运放参数	42
2.11.2	影响内阻的主要运放参数	45
2.11.3	影响运放电压源及其内阻的主要外部因素	45
实例 2.12	运放构成的恒流源的性能分析	46
实例 2.13	最大功率问题	47
实例 2.14	运放输入失调参数 V_{IO} 、 I_{IO} 和输入偏置电流 I_{IB} 引起输出电压的误差	48
实例 2.15	晶体三极管射极跟随器的输出阻抗与应用	49
实例 2.16	晶体三极管构成的恒压源的性能分析	49
实例 2.17	单相接地短路电流的计算	50
实例 2.18	用戴维南定律计算感应电机和变压器的特性曲线	51
实例 2.19	戴维南等值跟踪的参数漂移问题	52
2.19.1	戴维南参数的数学描述	53
2.19.2	参数漂移的本质原因分析	54
2.19.3	解决策略和方法	54
2.19.4	算例	55
2.19.5	小结	57
实例 2.20	戴维南等效电路参数的精确测量	57
2.20.1	一般测量方法(开路—短路法)	57
2.20.2	精确测量方法(电压补偿法)	58
实例 2.21	在线确定电压稳定运行范围的方法	59
2.21.1	关键节点的最大传输功率	60
2.21.2	关键节点最大传输功率的特性	60
2.21.3	关键节点临界电压的特性	61
2.21.4	节点的运行范围	61
2.21.5	快速算法的步骤	62
2.21.6	算例及分析	62
2.21.7	小结	64
实例 2.22	利用负阻抗构成新型的模拟电压电流表	65
2.22.1	电压电流表内阻引起测量误差分析	65
2.22.2	利用负阻抗消除内阻影响的方法	65
2.22.3	负阻抗原理电路与实际电路	66
实例 2.23	用户侧母线处谐波分析的新方法	67
2.23.1	PCC 处谐波贡献量分析方法中的问题	67
2.23.2	PCC 处谐波分析	68
2.23.3	求解问题的步骤及算例分析	71
2.23.4	小结	73



实例 2.24 电气化铁道对电能质量影响的割集分析法	73
2.24.1 割集网络的确定	73
2.24.2 外网等值的方法	74
2.24.3 内网的建模	76
2.24.4 负序和谐波源的大小与相角	76
2.24.5 小结	77
实例 2.25 戴维南定律在放大器分析中的应用	77
2.25.1 传统分析方法	77
2.25.2 用戴维南等效电路分析放大器	79
2.25.3 分析方法比较	79
第三单元 基尔霍夫定律	80
实例 3.1 测量细胞膜电流的原理	80
实例 3.2 计算电流放大电路的输入电阻	82
实例 3.3 电视机伴音中频放大电路的故障排查	82
实例 3.4 微流控芯片的性能分析	83
实例 3.5 三相变压器联结组别的分析	86
实例 3.6 负反馈对放大器频率响应的影响的分析	88
3.6.1 电压并联负反馈电路	88
3.6.2 电压串联负反馈电路	91
实例 3.7 获得低压三相交流电的相量推导	93
实例 3.8 计算变压器接线组别	95
3.8.1 计算变压器接线组别	96
3.8.2 计算环状网络待并变压器接线组别	97
实例 3.9 变压器差动保护中误动作的原因分析	97
实例 3.10 采用开关状态组合检测法的接地故障探测系统	99
3.10.1 基于开关状态组合方法的检测原理	99
3.10.2 检测系统硬件设计	101
3.10.3 软件设计	102
3.10.4 系统性能指标	103
实例 3.11 电桥灵敏度与检流计和电源所接位置探讨	104
3.11.1 原理	104
3.11.2 电桥的灵敏度与检流计和电源所接的位置有关	104
3.11.3 小结	106
第四单元 密勒定律	107
实例 4.1 “放大”电容与“理想”的积分器	107
实例 4.2 微弱电流测量	108
实例 4.3 “理想”的微分电路	109
实例 4.4 “负”电容与电容补偿	110
实例 4.5 “负”电阻与电阻补偿	111



实例 4.6 可调 LC 低频滤波器及其应用	112
4.6.1 基本原理	112
4.6.2 电路设计	114
实例 4.7 MOS 场效应管栅极驱动的优化设计	116
4.7.1 MOS 管的模型	116
4.7.2 MOS 管的开通过程	117
4.7.3 栅极电荷 Q_G 和驱动效果分析	117
4.7.4 优化栅极驱动设计	118
4.7.5 应用实例	119
实例 4.8 大输出摆幅的多级功率放大器及其频率补偿	119
4.8.1 电路结构和工作原理	120
4.8.2 电路的频率补偿及传输函数	121
4.8.3 仿真与结果分析	123
实例 4.9 反相积分器脉宽调制及其解调	124
4.9.1 脉冲宽度的测量	124
4.9.2 脉宽调制	126
4.9.3 脉宽解调	127
实例 4.10 基于密勒补偿技术的 LDO 放大器设计	127
4.10.1 放大器原理分析	127
4.10.2 电路设计、仿真及讨论	129
实例 4.11 级联型低噪声放大器设计和优化	131
4.11.1 共源共栅、源极电感负反馈结构 LNA 的设计与优化	131
4.11.2 共源共栅 LNA 设计的进一步优化	133
4.11.3 2.4GHz 共源共栅型低噪声放大器仿真	135
实例 4.12 一种宽频带、大摆幅的三级 CMOS 功率放大器	137
4.12.1 放大器的结构	137
4.12.2 放大器电路稳定性分析	138
4.12.3 输出电压的摆幅	139
4.12.4 放大器的失真	139
实例 4.13 利用动态密勒补偿电路解决 LDO 的稳定性问题	140
4.13.1 传统的 LDO 频率补偿方法	140
4.13.2 新系统方案的设计	141
4.13.3 具体电路实现	142
4.13.4 仿真与实验结果	144
实例 4.14 密勒定律在模拟电路中的应用	146
4.14.1 在“微变等效电路”中应用密勒定律	146
4.14.2 在“比例运算放大电路”中应用密勒定律	147
4.14.3 密勒定律使用的归纳总结	148



第五单元 线性叠加定律	149
实例 5.1 控制系统中的频域分析	149
实例 5.2 特殊控制对象阶跃响应的求取	149
实例 5.3 线性系统在线状态估计器	150
实例 5.4 共模信号与差模信号	150
实例 5.5 微光检测仪采样叠加电路研究	152
5.5.1 测量电路的基本结构	153
5.5.2 测量电路的设计和实现	153
5.5.3 实验与讨论	154
实例 5.6 三相变压器带不对称负载运行	154
5.6.1 各序等效电路	155
5.6.2 矩阵方程推导	156
实例 5.7 利用叠加原理计算一类非正弦电路的平均功率	158
5.7.1 线性时不变非正弦电路瞬时功率的计算	158
5.7.2 线性时不变非正弦电路平均功率的计算	159
5.7.3 平均功率的计算	160
实例 5.8 非正弦周期电路与频谱	160
5.8.1 正弦稳态信号的叠加	161
5.8.2 非正弦周期函数的傅里叶分解	162
5.8.3 非正弦周期函数的有效值与平均功率	164
5.8.4 频谱	165
5.8.5 几点说明	169
实例 5.9 叠加定律在非线性电阻电路中的应用	170
5.9.1 叠加定律的数学基础	170
5.9.2 叠加定律在非线性电阻电路中的应用	171
5.9.3 应用举例	173
5.9.4 小结	174
第六单元 奈奎斯特采样定律	175
实例 6.1 工程应用的一般考虑	176
实例 6.2 实际应用中常见的采样率问题	177
实例 6.3 过采样	178
6.3.1 原理分析	178
6.3.2 分辨率分析	181
6.3.3 误差分析	181
6.3.4 结果	182
实例 6.4 单频或窄带信号时的欠采样	183
实例 6.5 抽样数据电路	186
实例 6.6 数字锁相检测中的过采样	196
实例 6.7 采样/保持电路的讨论	199

实例 6.8	高精度数据采集中抗混叠滤波器的设计	202
实例 6.9	采样/保持电路的驱动	207
实例 6.10	采样率对示波器带宽的影响	209
实例 6.11	基于变采样速率的信号处理	212
参考文献		216
221	采样保持电路的驱动	2.2.1
123	采样保持电路的驱动	2.2.2
123	采样保持电路的驱动	2.2.3
124	采样保持电路的驱动	2.2.4
124	采样保持电路的驱动	2.2.5
125	采样保持电路的驱动	2.2.6
125	采样保持电路的驱动	2.2.7
126	采样保持电路的驱动	2.2.8
128	采样保持电路的驱动	2.2.9
128	采样保持电路的驱动	2.2.10
129	采样保持电路的驱动	2.2.11
160	采样保持电路的驱动	2.2.12
160	采样保持电路的驱动	2.2.13
161	采样保持电路的驱动	2.2.14
162	采样保持电路的驱动	2.2.15
164	采样保持电路的驱动	2.2.16
163	采样保持电路的驱动	2.2.17
169	采样保持电路的驱动	2.2.18
170	采样保持电路的驱动	2.2.19
170	采样保持电路的驱动	2.2.20
171	采样保持电路的驱动	2.2.21
173	采样保持电路的驱动	2.2.22
174	采样保持电路的驱动	2.2.23
175	采样保持电路的驱动	2.2.24
176	采样保持电路的驱动	2.2.25
177	采样保持电路的驱动	2.2.26
178	采样保持电路的驱动	2.2.27
178	采样保持电路的驱动	2.2.28
181	采样保持电路的驱动	2.2.29
181	采样保持电路的驱动	2.2.30
185	采样保持电路的驱动	2.2.31
185	采样保持电路的驱动	2.2.32
186	采样保持电路的驱动	2.2.33
186	采样保持电路的驱动	2.2.34
190	采样保持电路的驱动	2.2.35
190	采样保持电路的驱动	2.2.36

第一单元 全电路欧姆定律

欧姆定律是电路理论中最基本的定律。如果只考虑单只电阻的情况,如图 1-1(a)所示,欧姆定律表示为

$$I = V/R \quad (1-1)$$

式中 R ——电阻的阻值;

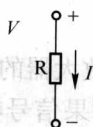
I ——电阻中流过的全电流;

V ——电阻两端的电压。

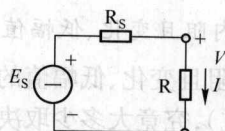
如果考虑电源的内阻 R_S ,如图 1-1(b)所示,则可以得到全电路欧姆定律:

$$I = E_S / (R + R_S) \quad (1-2)$$

式中 E_S ——恒压(电压)源输出的电压。



(a) 单支电阻中的电流及其两端的电压



(b) 最简单的电路中的电流与电压

图 1-1 电路欧姆定律和全电路欧姆定律

实例 1.1 放大器的输入电阻的设计

信号源及其内阻、前级放大器的输入电阻构成如图 1-1(b)所示的电路,可以用全电路欧姆定律来分析。为了便于讨论,将信号源及其内阻、前级放大器的输入电阻改为图 1-2 所示的原理图。此时设计前级放大器,特别是放大器的输入阻抗时可以分为如表 1-1 所示的几种情况。

根据信号源的信号幅值及其内阻的不同情况,以及放大器的输入电阻(阻抗)的设计要求分析如下:

(1) 信号源低内阻、低幅值

在信号源低内阻、低幅值的情况下,设计时主要考虑电路的热噪声问题,重点考虑放大器的输入电阻(阻抗)应该尽可能等于信号源内阻(阻抗),输入放大器得到的信号电压幅值只有信号源具有的幅值的一半,但得到的功率最大,信噪比最高(注意:信噪比是信号功率与噪声功率之比)。

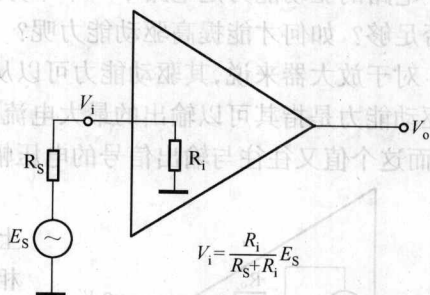


图 1-2 信号源及其内阻、前级放大器的输入电阻



表 1-1 信号源及其内阻、前级放大器的输入电阻之间的关系

序号	信号源内阻与幅值		放大器的输入电阻(阻抗)要求
1	低内阻	低幅值	要求不高
2		高幅值	要求最低
3	高内阻	低幅值、内阻不变	要求放大器的输入电阻(阻抗)等于信号源内阻
4		低幅值、内阻变化	要求放大器的输入电阻(阻抗)远大于信号源内阻

(2) 信号源低内阻、高幅值

这是最容易处理的情况,一般使得放大器的输入电阻(阻抗)大于 10 倍信号源内阻(阻抗)即可。

(3) 信号源高内阻、低幅值

在信号源高内阻、低幅值的情况下,设计时也主要考虑电路的热噪声问题,重点考虑放大器的输入电阻(阻抗)应该尽可能等于信号源内阻(阻抗),输入放大器得到的信号电压幅值只有信号源具有的幅值的一半,但得到的功率最大,信噪比最高。如果信号幅值低于电路的等效输入噪声(包括输入电阻的热噪声),则不能简单地采用高输入电阻的前置放大器来检测信号,需要采用调制、锁相等手段才可能检出信号。

(4) 信号源高内阻且变化、低幅值

在信号源高内阻且变化、低幅值的情况下,设计时要求放大器的输入电阻(阻抗)应该远大于信号源内阻(阻抗),究竟大多少取决于所要求的精度。如果信号幅值低于电路的等效输入噪声,则不能简单地采用高输入电阻的前置放大器来检测信号,而是需要采用调制、锁相等联合手段才可能检出信号,这种情况是信号检测中最难处理的情况。

实例 1.2 电路的驱动能力

电路的驱动能力是电路中一个十分重要的参数。但究竟电路的驱动能力如何? 驱动能力是否足够? 如何才能提高驱动能力呢?

对于放大器来说,其驱动能力可以从两个角度上来说:绝对驱动能力和相对驱动能力。绝对驱动能力是指其可以输出的最大电流值,相对驱动能力是指在一定精度下可以输出的电流值,而这个值又往往与输出信号的电压幅值和放大器的工作电源有关。

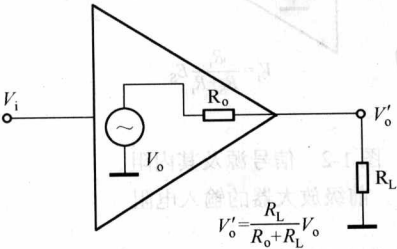


图 1-3 放大器驱动负载的等效电路

放大器驱动负载的等效电路如图 1-3 所示。实际上,对于绝大多数的放大器,尤其运算放大器构成的同相或反相放大器,内阻 $R_o \rightarrow 0$, 因此,负载 R_L 得到的电压 $V'_o = V_o$ 。这种理想情况(也就是放大器处于线性工作状态或小信号工作状态)的前提是放大器的输出电流远小于绝对驱动能力。在信号检测电路中,应该使放大器处于这种工作状态。例如,一般运算放大器的输出能力为 10mA,其后级电路的输入阻抗应该足够大,使得其从前级放大器取得的电流小于 1mA。

而在多数的控制电路中,主要考虑的是大功率,对于精度要求不是特别高,此时电路的驱动电流往往与其绝对驱动能力相差无几,电路的内阻也不能低到不可忽略的地步。这种情况下往往通过电路的内阻来计算驱动电路的功耗,以保证驱动电路工作处于功率安全区。

应该指出的是,在不同情况下电路驱动能力的含义有些微妙的差异。

(1) 精密测量中的信号检测

电路在保证失真小于给定值的条件下能够给出的最大电流(功率)值,对运算放大器而言,通常指其工作在线性区能够给出的最大电流。

(2) 功率驱动

电路在保证安全运行和一定的效率下可以给出的最大功率。

(3) 数字电路

在保证逻辑电平正确的情况下能够驱动同类逻辑电路的门数,又称扇出系数。

实例 1.3 高输入阻抗放大器的测试

输入电阻(阻抗)是放大器最重要的参数之一,特别是测量仪器中的前置放大器和仪器放大器,均要求具有很高的输入电阻。放大器的输入电阻定义为输入电压 V_i 与输入电流 I_i 之比,即

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} \quad (1-3)$$

按照式(1-3)的定义,可以采用如图 1-4(a)所示的电路对放大器的输入电阻进行测量:通过分别测量出放大器的输入电压 V_i 与输入电流 I_i 之后,计算得到 R_i 。现在的问题是,一般前置放大器或仪器放大器的输入电阻高达几 MΩ 甚至几百 MΩ 以上,而允许的输入电压只有几伏,因而用电流表直接测量高输入阻抗(电阻)放大器的输入电流几乎是不可能的。

为了避免直接测量十分微弱的放大器输入电流,也有人采用如图 1-4(b)所示的电路,对放大器的输入电阻进行测量:在开关 S 闭合时,电压表测得放大器的输入电压 V_i' 为

$$V_i' = E_s \quad (1-4)$$

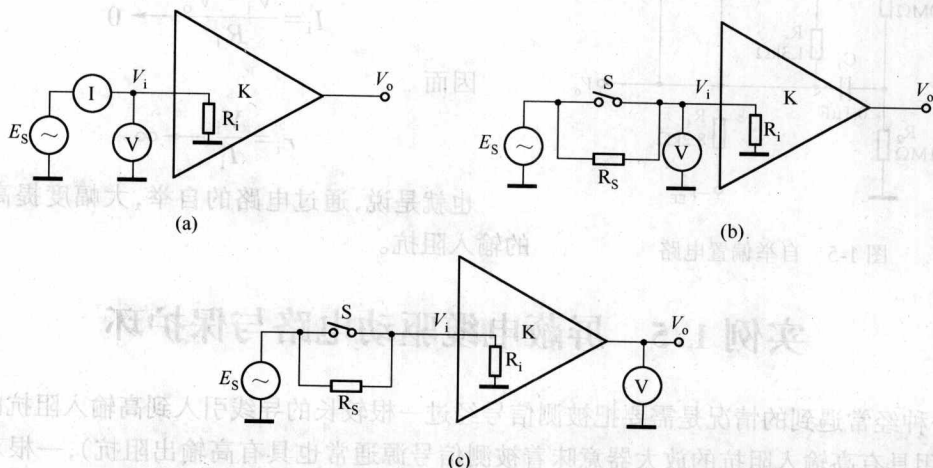


图 1-4 放大器的输入电阻的测量

在开关 S 闭合时,电压表测得放大器的输入电压 V_i'' 为

$$V_i'' = \frac{R_i}{R_i + R_S} E_S \quad (1-5)$$

显然, R_S 为已知,在测得 V_i' 和 V_i'' 之后通过式(1-4)和式(1-5)就可以计算出放大器的输入电阻 R_S 。但实际上,这种方法仍然不可行,其原因在于把电压表理想化了,电压表的实际内阻不可能为无穷大,而是一个很有限的值。例如,普通万用表的电压测量挡的输入阻抗通常为 $10\text{M}\Omega$,对几十欧姆以上输入电阻的放大器,采用这种方式测量得到的值实际上是万用表本身的内阻值。

对高输入电阻的放大器测量,应该采用如图 1-4(c)所示的方法:利用放大器本身的缓冲作用(阻抗变换),通过测量放大器的输出电压来计算放大器的输入电阻。

假定在开关 S 闭合和断开分别测得放大器的输出电压为 V_o' 和 V_o'' ,不难得到

$$V_o' = k E_S \quad (1-6)$$

$$V_o'' = k \frac{R_i}{R_i + R_S} E_S \quad (1-7)$$

由式(1-6)和式(1-7)不难计算出放大器的输入电阻 R_i 。

由于放大器的输出电阻通常很小,约接近于 0,至少要比电压表的内阻小几个数量级,因此,采用图 1-4(c)所示的方法可以得到足够高的精度,对电压表内阻的要求不高。

实例 1.4 提高输入电阻的自举偏置电路

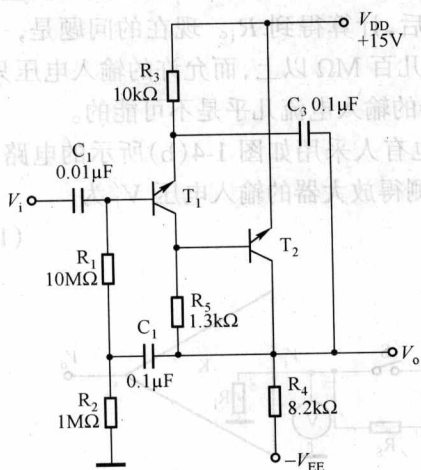


图 1-5 自举偏置电路

如图 1-5 所示的自举偏置电路,通过 C_1 把 T_1 和 T_2 组成复合管构成射极跟随器的输出反馈到偏置电路 R_1 和 R_2 构成的支路上。由于 T_1 和 T_2 组成复合管有很高的电流增益,因此射极跟随器的电压增益非常接近于 1,即电路的输出 V_o 与 V_i 相差甚微,所以,在偏置电路中流经的电流

$$I_i = \frac{V_i - V_o}{R_1} \rightarrow 0$$

因而

$$r_i = \frac{V_i}{I_i} \rightarrow \infty$$

也就是说,通过电路的自举,大幅度提高了电路的输入阻抗。

实例 1.5 屏蔽电缆驱动电路与保护环

一种经常遇到的情况是需要把被测信号经过一根较长的导线引入到高输入阻抗的放大器中(采用具有高输入阻抗的放大器意味着被测信号源通常也具有高输出阻抗),一根对地具有高阻抗的导线很容易受到外界电磁场的干扰,如图 1-6(a)所示反映了这种情况。

为了防止外界电磁场对传导信号的长引线的干扰,一种常用而又有效的方法是采用屏蔽电缆作为信号引线,如图 1-6(b)所示。所谓的屏蔽电缆是在导线的外层包裹了一层由金属或其他导体材料编织的网状或薄片,形成对内部导线的静电保护层。这个保护层称为屏蔽层,在使用时把屏蔽层接地,外界干扰基本上影响不到内部传导信号的芯线了。

然而,在对具有很高输出阻抗的微弱信号源进行测量时,虽然屏蔽电缆可以保护传输信号的芯线不受外界电磁场的干扰,但屏蔽电缆的芯线与屏蔽层之间不可避免地存在分布电阻和电容,如图 1-6(c)所示。屏蔽电缆的分布电阻和电容与地相连,很可能分布电阻的值能够接近放大器的输入电阻,而屏蔽电缆的分布电容往往可以大于放大器的输入电容和输入电路的分布电容(即屏蔽电缆分布电容的容抗要小于放大器的输入电容与电路分布电容)。在信号源内阻很大时将微弱信号的检测带来很大的影响。

为了避免由屏蔽电缆的分布电阻和电容带来的不利影响,有人发明了驱动屏蔽电缆技术:将芯线传输的信号 1:1 放大后驱动屏蔽电缆的屏蔽层,如图 1-6(d)所示。放大器的输出连接屏蔽电缆意味着屏蔽层接到一个低内阻的电压源上,屏蔽电缆抗干扰的效果不变。但由于屏蔽电缆的芯线上的电压 V_i 等于屏蔽层上的电压 V_o ,因此按照欧姆定律,屏蔽电缆分布电阻 R_L 和电容 C_L 中的电流为 0,也就相当于 R_L 和 C_L 不存在,不再对屏蔽电缆芯线上的信号产生影响,降低放大器总的输入阻抗,如图 1-6(e)所示。

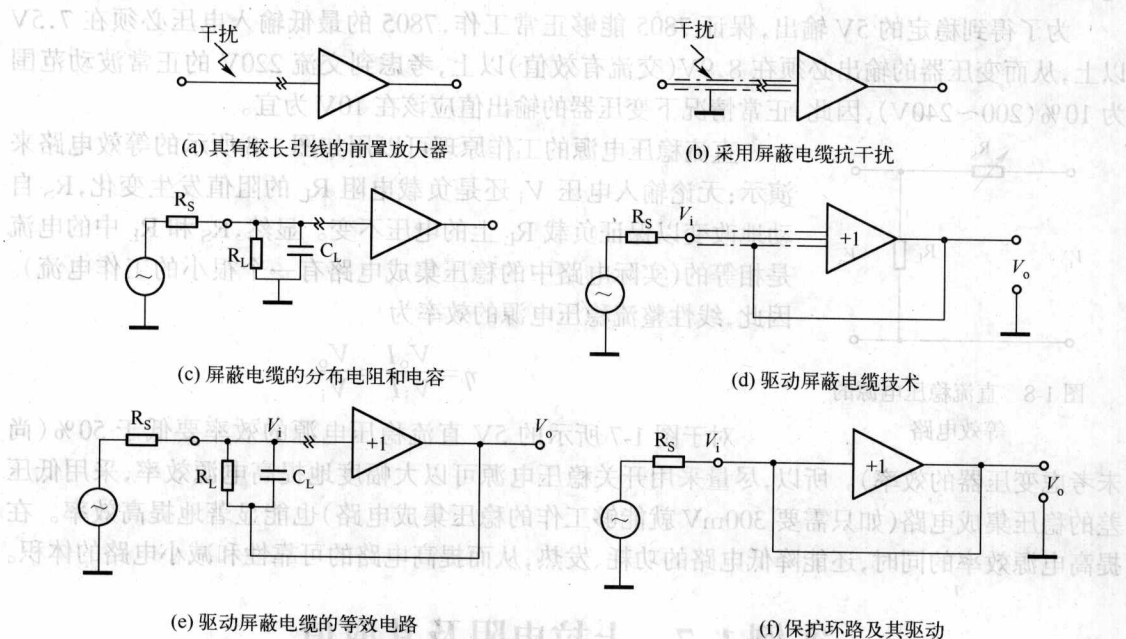


图 1-6 驱动屏蔽电缆与保护环的原理

欧姆定律类似的应用还有驱动保护环。所谓保护环是在高输入阻抗放大器的输入端设置一圈导体。例如,在电路板上高输入阻抗放大器的引脚四周布置一条导线,然后将放大器的输出与输入相等的电压或采用 1:1 放大器输出的电压驱动保护环,这样可以避免电路板的绝缘不够而导致信号的泄漏,如图 1-6(f)所示。



实例 1.6 线性直流稳压电源的设计问题

如图 1-7 所示为 5V 线性直流稳压电源的原理图。我们可以用全电路的欧姆定律来讨论该电路的效率。

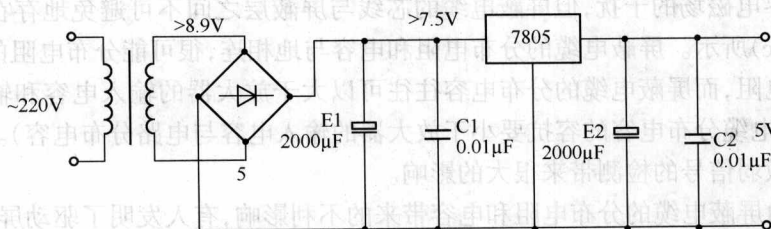


图 1-7 5V 线性直流稳压电源的原理图

在图 1-7 中, 220V 交流电经过变压器得到低压交流电, 经过二极管整流桥整流后得到直流电压, 再经过 E_1 和 C_1 的滤波输入到稳压集成电路 7805, 稳压后的 5V 直流电压经过 E_2 和 C_2 滤波输出。

为了得到稳定的 5V 输出, 保证 7805 能够正常工作, 7805 的最低输入电压必须在 7.5V 以上, 从而变压器的输出必须在 8.9V (交流有效值) 以上, 考虑到交流 220V 的正常波动范围为 10% (200~240V), 因此, 正常情况下变压器的输出值应该在 10V 为宜。

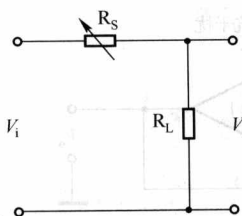


图 1-8 直流稳压电源的
等效电路

直流稳压电源的工作原理可以用如图 1-8 所示的等效电路来演示: 无论输入电压 V_i 还是负载电阻 R_L 的阻值发生变化, R_S 自动地改变以保证负载 R_L 上的电压不变。显然, R_S 和 R_L 中的电流是相等的 (实际电路中的稳压集成电路有一个很小的工作电流)。因此, 线性整流稳压电源的效率为

$$\eta = \frac{V_o I}{V_i I} = \frac{V_o}{V_i}$$

对于图 1-7 所示的 5V 直流稳压电源的效率要低于 50% (尚未考虑变压器的效率)。所以, 尽量采用开关稳压电源可以大幅度地提高电源效率, 采用低压差的稳压集成电路 (如只需要 300mV 就能够工作的稳压集成电路) 也能显著地提高效率。在提高电源效率的同时, 还能降低电路的功耗、发热, 从而提高电路的可靠性和减小电路的体积。

实例 1.7 上拉电阻及其取值

双极性运算放大器的输出结构如图 1-9(a) 所示。这种输出结构在运算放大器的工作电源电压较高时没有什么特别的地方, 但随着便携式、低功耗系统的应用日益普遍, 希望运算放大器工作在电源电压比较低的情况也越来越多。例如, 工作在与单片机等同样的单 5V 电源时, 这种输出的结构就会出现比较大的问题。

我们来分析一下电路的最大输出电压是多少: V_o 的输出电压最高只能达到 $V_{CC} - 1.4V$ (T_1 和 T_2 的 be 结正向压降之和)。这时 R_b 上没有电压降, 因而也就不能为 T_1 提供基极电流