

晶体管电路

上册

第二版

黄昌宁 夏 梁 编

科学出版社

电路

科学出版社

内 容 简 介

本书是1973—1974年出版的《晶体管电路》的修订本。这次再版对原著作了重大的调整和补充。本书上册包括：电路和器件方面的准备知识、单级放大器、多级放大器、反馈放大器和正弦波振荡器等六章。下册包括模拟集成电路基础、集成运算放大器应用、自动稳零直流放大器、功率放大器和直流稳压电源等五章。

本书对晶体管电路的基本概念、基本原理和基本分析方法作了比较深入的讨论。书中每章均有内容提要和小结，并附有一定数量的例题、思考题和练习题。书末附有几份典型的课程结业考卷，并给出了全书的习题及考题答案。

本书可供工科院校和职工大学自动化类、电力类及其他相近专业作为“模拟电子技术基础”课程的教材使用，也可供工人和工程技术人员自学参考。

晶 体 管 电 路

上 册

第 二 版

黄昌宁 夏莹 改编

责任编辑 张建荣

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1973年8月第 一 版	开本：850×1168 1/32
1983年8月第 二 版	印张：18 7/8
1983年8月第九次印刷	
印数：1,131,901—1,193,200	字数：487,000

统一书号：15031·514

本社书号：3179·15-7

定 价：2.80 元

第二版前言

本书自1973—1974年正式出版以来,曾先后被多所院校和工科大学选作教材,迄今印数已逾百万册。一本普通的大学教科书竟然拥有如此众多的读者,这个事实多少反映了广大读者对科学技术的渴求,同时也鼓舞我们,在全国已经出版了不少电子学新教材的今天,重新执笔来改编这本著作。

原著编写的宗旨,一是在内容编排和语言文字上力求便于自学;二是多举实例,努力将基本原理与工程应用结合起来。我们自信这两条原则在今天也仍然适用。

考虑到近十年来电子技术(尤其是集成电路)的迅猛发展,根据1980年6月在成都召开的高等学校工科电工教材编审委员会扩大会议审订的自动化类和电力类专业“电子技术基础大纲(草案)”,这次改编对原著的结构和内容都作了重大的修改。

原著的第一章改为电路准备知识,着重讨论了在含有受控源的情况下正确应用线性网络定理的若干问题,在这一章中还介绍了双口网络、频率特性、转移函数以及零、极点分布等基本概念。在第三、四章中加强了晶体管微变等效电路和放大电路的频域及时域分析等内容。

由于近年来反馈放大器的分析方法又有了若干新发展,这次彻底改写了原著的第五章,详细介绍了三种比较实用的分析方法——近似法、回路增益法和双口网络分离法。其中,对回路增益法的系统阐述,在国内出版物中尚属首创。在这一章中,还充实了反馈放大器稳定判据和相位补偿方面的内容。

集成电路应用的日趋普及,必将深刻地影响当今电子学教材的结构和内容。这次改编,我们撤销了原著的直流放大器一章,将原来的第七章改写扩充成为现在的七、八两章,分别讨论了模拟集

成电路的基本原理和集成运算放大器在各个领域中的广泛应用，并在其后的各章中增添了集成电路的许多应用实例。

此外，这次改编还分别在第十和十一章中增加了伺服功率放大器和直流电源变换器等内容；同时删去了原著的可控硅一章。

本书初版由童诗白、黄昌宁和夏莹主编，参加个别章节编写工作的还有茅于航、阎石、江泽同、蔡莲红和张钺同志。这次再版的改编工作由黄昌宁和夏莹完成。

改编过程中曾得到北京钢厂和北京无线电厂等单位的技术人员和工人的帮助和鼓励，并蒙李清泉同志慨允，在第七、八章中直接引用了他与编者共同撰写的《集成运算放大器原理与应用》一书中的部分文字和图表，刘玉、韩美华同志协助绘制了全书的部分插图，在此一并表示衷心感谢。

编 者

一九八二年五月

第一版前言

本书是为我校自动控制、工业自动化、热工量测及自动化等专业编写的电子学教材。1971—1972年曾在校内若干专业中试用，这次又作了修改和补充。

为了便于大、专院校学生和读者自学，我们力图以辩证唯物论的认识论为指导，从典型电路开始，按由浅入深，由特殊到一般，由感性认识上升到理性认识的原则组织教材的内容。对晶体管电路的基本概念、基本原理与基本分析方法作了较多的讨论。各章的内容提要与小结归纳了学习的重点和基本要求，编入书中的思考题、练习题和实验提纲可供学生在自学过程中进行复习和考查。

培养学生具有应用理论知识分析和解决一定的工程实际问题的能力，克服理论脱离实际的弊病，这是我们在编写工作中注意到的另一个问题。我们在总结群众的经验和教学实践的基础上，确定以“定性分析、定量估算与实验调整”相结合的方法来研究各种晶体管电路，力求将理论与实践、数学方法与物理概念更紧密地结合起来。同时，通过各章的例题和习题介绍一些工程实用电路，以期学生对原理电路有了初步了解之后能进一步提高对于工程电路的分析能力。

在这次改编过程中，我们还补充了一些比较深入的内容，以备学生在学习某些后续课程或参加实际工作时参考。这些内容或编入附录或以小字排印，可不列入本课程的教学计划。至于书中的其他内容，各专业也可按照自己的教学要求决定取舍。

由于我们的学识有限，实践经验又少，书中肯定会有不少缺点错误，恳切希望大、专院校师生和读者批评指正。

在本书的编写和试用过程中，曾得到北京电子管厂、北京建中机器厂、北京无线电一厂、北京无线电二厂、上海市业余工业大学、

北京航空学院、北京工业大学和其他许多兄弟单位的热情帮助和指教,在此表示由衷地感谢。

清华大学 电子工程系
工业自动化系
一九七三年七月

本书符号说明

一、原则

1. 尽量采用国际通用符号,不足时采用汉语拼音字母.
2. 随时间变化的量用小写字母 (u, i), 直流量以及交流量的有效值、最大值等用大写字母 (U, I). 例如:

u 变化电压的总瞬时值

$\tilde{u}$ 正弦交流电压(不包括直流成分)的瞬时值

U 直流电压,静态电压,非正弦波电压的总有效值

$\bar{U}$ 非正弦波电压的直流成分(平均值)

$\dot{U}$ 正弦交流电压的复数符号

$\tilde{U}$ 正弦交流电压(不包括直流成分)的有效值

U_m 交变(如直流脉动或脉冲)电压的最大值,正弦交流电压的峰值

$U_{\max}$ 电压的最大值

3. 非线性元件的动态参数用小写字母 (r, r_c, r_{be}), 非线性元件的静态参数或线性元件的参数用大写字母 (R, R_c).

二、符号

A 电流的单位(安培);安培表

mA 毫安 (10^{-3}A); 毫安表

μA 微安 (10^{-6}A); 微安表

nA 毫微安 (10^{-9}A)

pA 微微安 (10^{-12}A)

A_i 运算放大器符号, $i = 1, 2, \dots$ 为运算放大器编号

a 常数

a_T	温度系数
a_w	电位器动端滑动比或分压系数
$A(\omega)$	幅频特性
$\dot{A}(\omega)$	频率特性
B	变压器;频带宽
B_o	开环带宽
B_F	闭环带宽
B_m	磁通密度
b	基极;变压器铁芯的叠厚
C	电容器;电容量
C_o	石英晶体的静电电容;变压器的分布电容
C_b	基极耦合电容或旁路电容
C_c	收集结电容
C_{De}	发射结扩散电容
C_e	发射极旁路电容
C_{GD}	场效应管的栅-漏极间电容
C_{GS}	场效应管的栅-源极间电容
C_{Te}	收集结势垒电容
C_{Te}	发射结势垒电容
$^{\circ}\text{C}$	温度的单位(度,摄氏)
CMRR	共模抑制比
c	集电极;电流放大系数 β 的温度系数
D	二极管
D_w	硅稳压二极管
d	微分符号;导线直径
dB	放大器增益的单位(分贝)
E	直流电动势;直流电源的电压绝对值
E_b	基极电源
E_c	集电极电源
E_D	场效应管的漏极电源

E_c	发射极电源
E_G	场效应管的栅极电源
E_W	稳压管的稳定电压
$\dot{E}_{sc}$	放大器输出等效电源的正弦复数值
$\dot{E}_x$	信号源的正弦复数值
e	发射极
e_x	交流信号源的瞬时电压
$\tilde{e}_1$	变压器原边的正弦交流电压
$\tilde{e}_2$	变压器副边的正弦交流电压
F	电容量的单位(法拉)
μF	微法($10^{-6}F$), 简写 μ
pF	微微法($10^{-12}F$), 简写 p
F	反馈系数; 反馈网络的幅频特性
$\hat{F}$	反馈网络的频率特性
f	频率
f_c	单位增益频率; 剪切频率; 增益-带宽积
f_0	谐振(振荡)频率; 截止频率; 转折频率; 石英晶体的串联谐振频率
f_∞	石英晶体的并联谐振频率
$f_{\max}$	晶体管的最高振荡频率
f_s	上限频率
f_T	晶体管的共发射极特征频率
f_x	下限频率
f_a	晶体管共基极截止频率
f_β	晶体管共发射极截止频率
G	场效应管的栅极
g_m	场效应管共源极小信号低频跨导
H	电感量的单位(亨利)
mH	毫亨($10^{-3}H$)
Hz	频率的单位(赫兹)

- h 晶体管的 h 参数; III 型铁芯的窗高
- $h_{ib}, h_{rb}, h_{fb}, h_{ob}$ 共基极 h 参数
- $h_{ie}, h_{re}, h_{fe}, h_{oe}$ 共射极 h 参数
- I 直流电流; 静态电流; 非正弦电流的总有效值
- I_0 恒流源电流
- I_b 基极电流
- I_c 集电极电流
- I_{cbo} 收集结反向电流
- I_{cco} 集电极-发射极反向电流(即穿透电流)
- I_{cM} 晶体管参数——集电极最大允许电流
- I_{cm} 集电极正弦交流电流的峰值
- I_{cmax} 集电极电流的最大值
- I_d 整流电路的输出平均电流
- I_{dD} 整流二极管的平均电流
- I_D 整流二极管的电流有效值; 流过二极管的直流电流; 场效应管的漏极电流
- I_{DG} 场效应管夹断时漏-栅极之间的泄漏电流
- I_{DSM} 场效应管的最大漏-源电流
- I_{DSS} 场效应管的饱和漏电流
- I_e 发射极电流; 变压器的额定电流
- I_{cbo} 发射结反向电流
- I_F 反馈回路电流
- I_f 放电电流
- I_{fz} 负载电流
- I_{fzm} 负载正弦电流的峰值
- I_G 场效应管的栅极电流
- I_{os} 输入失调电流
- ΔI_{os} 输入失调电流的漂移
- I_s 场效应管源极电流
- I_s 反向饱和电流

I_{sc}	输出电流
I_{scM}	额定输出电流
I_{sr}	输入电流
I_w	稳压管的稳定电流
$\dot{I}_F$	反馈回路正弦电流的复数符号
$\dot{I}_f$	输入回路正弦电流的复数符号
i_D	场效应管的漏极瞬时电流;二极管的瞬时电流
J	继电器;导线的电流密度
j	$\sqrt{-1}$
K	绝对温度的单位
K	电压放大倍数;开关
K_0	直流开环增益
$K_0(j\omega)$	放大器的开环频率特性
$K_0(\omega)$	放大器的开环幅频特性
$K_0(s)$	放大器的开环转移函数
K_c	放大器的共模放大倍数
K_d	放大器的差动放大倍数
K_D	微分增益
K_g	转移导纳
K_I	积分增益
K_i	电流放大倍数
K_p	功率放大倍数;比例增益
K_r	转移电阻
$\dot{K}$	电压放大倍数的复数符号
$\dot{K}(j\omega)$	放大器的频率特性
$\dot{K}_0$	开环电压放大倍数的复数符号
k	常数(如波耳兹曼常数, I_{cbo} 的温度系数等)
k_T	直流稳压电源输出电压的温度系数
L	电感线圈;电感量;电压增益(单位 dB)
l_0	III型铁芯的舌宽

l_1	III型铁芯的窗宽
M	互感
M_t	时间比例尺
M_x	变量比例尺
m	长度的单位(米)
cm	厘米($10^{-2}m$)
mm	毫米($10^{-3}m$)
N	N型(电子)半导体
N	线圈的匝数
N_0	每伏的匝数
N_F	晶体管或放大器的噪声系数
N_{FL}	低频噪声系数
n	变压器原边线圈与副边线圈的匝数比(简称变比); 稳压电源采样部分的分压比; 常系数; 谐波次数
P	P型(空穴)半导体
P	功率; 有功功率
P_{cM}	晶体管的极限参数——集电极最大允许耗散功率
P_{cmax}	每只晶体管的集电极最大管耗
P_{DM}	场效应管漏极最大允许耗散功率
P_E	电源提供的功率
P_R	消耗在电阻 R 上的功率
P_{sc}	输出功率
P_{scN}	输出总噪声功率
P_{sr}	输入功率
P_{srN}	输入噪声功率
P_T	消耗在晶体管上的功率
P_{Tmax}	在尽限运用的条件下, 消耗在晶体管上的最大功率
Q	静态工作点; LC 谐振回路的品质因数
q	电荷; 电子的电荷量
R	电阻器; 电阻值

R_b	基极偏流电阻
R_B	基极回路总电阻
R_{be}	晶体管 $b-e$ 极的视入直流等效电阻; 并联在 $b-e$ 极之间的 外接电阻
R_c	集电极电阻
R_D	场效应管的漏极电阻
R_e	发射极电阻
R_E	发射极回路总电阻
R_F	反馈电阻
R_{fz}	负载电阻
R'_{fz}	输出端的交流等效负载电阻
R_G	场效应管的栅极电阻
R_{GS}	场效应管栅-源极之间的直流输入电阻
R_n	整流电路的等效内阻
R'_n	整流滤波电路的总等效内阻
R_{on}	场效应管导通时漏-源极之间的等效电阻
R_P	偏置电流补偿电阻; 匹配电阻
R_T	热阻; 热敏电阻
R_t	同相端输入回路电阻
R_{Tb}	无散热片时, 元件外壳与周围环境的热阻
R_{Tc}	元件与散热片之间的热阻
R_{Tf}	散热片与周围环境的热阻
R_{Tj}	管芯与外壳之间的热阻
R_{Tz}	总热阻
R_W	电位器的电阻值
R_x	信号源内阻
r	动态电阻
$r_{bb'}$	基区电阻
r_{be}	共射接法时 $b-e$ 极之间的交流等效电阻
r_c	放大器共模输入电阻; $c-b$ 结的反向泄漏电阻

r_{ce}	$c-e$ 极之间的交流等效电阻
r_d	放大器的差动输入电阻
r_D	二极管的正向电阻
r_{DS}	场效应管漏-源动态电阻
r_e	发射结电阻
r_{cb}	共基接法时 $c-b$ 极之间的交流等效电阻
r_n	直流稳压电源的等效内阻(即输出电阻)
r_{sc}	输出电阻;闭环输出电阻
r_{sc0}	开环输出电阻
r_{sr}	输入电阻;闭环输入电阻
r_{sr0}	开环输入电阻
r_{src}	共模输入电阻
r_{srcd}	差动输入电阻
r_W	稳压管的动态电阻
sec	时间的单位(秒)
ms	毫秒(10^{-3}sec)
μs	微秒(10^{-6}sec)
ns	毫微秒(10^{-9}sec)
S	脉动系数;稳压电源的稳压系数;开关
SR	上升速率
s	拉普拉斯算符
S_0	铁芯的窗口面积
S_c	铁芯的截面积
T	晶体管;场效应管;回路增益;温度;周期;时间常数
ΔT	温差
T_a	环境温度
T_j	管子允许的结温
t	时间
t_G	关断时间
t_K	开通时间

t_s	上升时间
t_y	延迟时间
U	直流电压;静态电压;非正弦电压的总有效值
U_+	同相端直流电压
U_-	反相端直流电压
U_b	基极对地电压
U_{be}	$b-e$ 极压降
U_{BE}	用折线近似晶体管输入特性时,与 I_b 为零相交处的 U_{be} 值
U_c	集电极对地电压
U_{ce}	$c-e$ 极压降
U_{ces}	$c-e$ 极的饱和压降
U_C	电容器两端的压降
BU_{cbo}	发射极开路时, $c-b$ 极反向击穿电压
BU_{cco}	基极开路时, $c-e$ 极反向击穿电压
BU_{ceR}	$b-e$ 极并联电阻 R_{be} 时, $c-e$ 极反向击穿电压
BU_{ces}	$b-e$ 极短路时, $c-e$ 极反向击穿电压
BU_{cex}	$b-e$ 极加反向电压时, $c-e$ 极反向击穿电压
BU_{cbo}	集电极开路时, $e-b$ 极反向击穿电压
U_d	整流电路输出电压 u_d 的平均值;运算放大器差动输入电压
U_{dM}	差模输入范围
$\tilde{U}_d$	整流电路输出电压(不包括直流成分)的总有效值
U_D	场效应管漏极对地电压;二极管两端的电压降
U_{DS}	场效应管漏-源极压降
U_e	发射极对地电压;变压器的额定电压
U_F	反馈电压
U_G	场效应管栅极对地电压
U_{GS}	场效应管栅-源极压降
BU_{GS}	场效应管最大栅-源极电压
BU_{DS}	场效应管最大漏-源极电压
$U_{n,m}$	第 n 次谐波电压的峰值

U_{os}	差动放大器的输入失调电压
ΔU_{os}	输入失调电压的漂移
U_P	场效应管的夹断电压
U_{psc}	放大器输出端的零点漂移电压
U_{psr}	折合到放大器输入端的零点漂移电压
U_{psc}	折合到放大器输入端的共模漂移电压
U_{psrd}	折合到放大器输入端的差动漂移电压
U_{sc}	输出电压
U_{sc}	共模输出电压
$U_{sc}(s)$	输出电压的拉普拉斯变换符号
U_{scM}	额定输出电压;最大输出电压
U_{sr}	输入电压
U_{src}	应用电路的共模输入电压
$U_{sr}(s)$	输入电压的拉普拉斯变换符号
U_t	场效应管的开启电压
U_Σ	反相运算放大器的求和点电压
$\dot{U}_+$	同相端电压的复数符号
$\dot{U}_-$	反相端电压的复数符号
$\dot{U}_{sc}$	输出电压的复数符号
$\dot{U}_{sr}$	输入电压的复数符号
$\dot{U}_0$	放大器不带负载(即开路)时的输出电压;反馈放大器的净输入电压
$\dot{U}_1$	放大器带上负载时的输出电压
u	变化电压的总瞬时值
u_{sc}	输出电压的瞬时值
u_{sr}	输入电压的瞬时值
u_L	电感两端的电压
u_t	调制器(或解调器)的调制(或解调)电压
V	电压的单位(伏特);伏特表
mV	毫伏(10^{-3} V);毫伏表

μV	微伏 (10^{-6}V); 微伏表
W	功率的单位(瓦特)
mW	毫瓦 (10^{-3}W)
W	电位器
$W(j\omega)$	RC 电路的频率特性
X	电抗器; 电抗值
X_0	变压器的激磁阻抗
$\dot{X}_0$	净输入信号
$\dot{X}_F$	反馈信号
$\dot{X}_{sc}$	输出信号
$\dot{X}_{sr}$	输入信号
x	变量
Y	复数导纳
Y_0	谐振回路在谐振时的总导纳
y	变量
Z	复数阻抗
Z_0	谐振回路在谐振时的总阻抗
Z_c	放大器的共模输入阻抗
Z_d	放大器的差动输入阻抗
Z_F	反馈回路阻抗
$Z_F(s)$	反馈回路阻抗的拉普拉斯变换符号
Z_f	输入回路阻抗
$Z_f(s)$	输入回路阻抗的拉普拉斯变换符号
Z_p	补偿阻抗
Z_{sc0}	开环输出阻抗
Z_{sr}	输入阻抗
z	复数阻抗的模
α	晶体管的共基电流放大系数
β	晶体管的共射电流放大系数
r	纹波因数