

射线仪器电子学

上册

清华大学工程物理系 编著

原子能出版社

射线仪器电子学

上册

清华大学工程物理系



1978

内 容 简 介

本书分上、下两册。上册主要介绍在射线仪器中常用基本电路的原理和分析方法,其中包括 RC 电路、脉冲放大器、反馈放大器、直流放大器、触发电路与振荡电路、计数率电路以及固体电路。下册以几种典型射线仪器为中心详细介绍一般通用射线仪器的工作原理、分析方法、设计原则和生产、使用中的一些实际问题。其中包括通用线性脉冲放大器,单道脉冲幅度分析器,定标器,高、低压直流电源和多道脉冲幅度分析器。

本书可供大专院校有关专业作教学参考书,也可供其他有关单位的工人、干部和科技人员参考。

射 线 仪 器 电 子 学

上册

清华大学工程物理系

原子能出版社出版

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 $15^{1/2}$ · 字数 410 千字
1978 年 7 月北京第一版·1978 年 7 月北京第一次印刷

统一书号: 15175·112

定 价: 1.55 元

前 言

核电子仪器通常也叫射线仪器，不仅应用于原子能事业的各个领域，而且也广泛地应用在工业、农业以及交通运输、水文、地质、气象、环境保护、医药卫生等许多部门的科研和生产中。在毛主席革命路线的指引下，我国的原子能事业迅速发展，国内射线仪器的科研和生产也发展很快，许多仪器不断更新，新产品不断涌现。当前，从事射线仪器研究和生产的广大工人、干部和科技人员，在华主席抓纲治国战略决策的指引下，深揭狠批“四人帮”，抓革命、促生产、促工作、促战备，正在为实现四个现代化和赶超世界先进水平而努力奋斗。

本书是清华大学工程物理系编写的一本教材，近几年一直在本系有关专业试用，这次出版前又作了一些修改和补充。在编写和修改的过程中，有关工厂、学校和科研单位给我们提出不少宝贵的意见并给予我们很大帮助，在此表示衷心的感谢。

由于我们对马列主义、毛泽东思想学得不够，实践经验又少，加之水平有限，书中肯定有不少缺点和错误，恳切希望广大读者批评指正。

清华大学工程物理系

本书符号说明

一、原 则

1. 各种二极管、三极管、场效应晶体管及集成电路等半导体器件的参数, 尽量采用通用符号。

2. 各种符号的下脚注, 少数采用通用符号, 多数采用汉语拼音字母。例如, “输入”的汉语拼音字为“shuru”, 则输入电压、输入电阻的符号分别表示为 u_{sr} 和 r_{sr} 。

3. 交流量用小写字母(如交流电压为 u , 交流电流为 i), 瞬时值、直流量、交流量的有效值和交流信号的幅度用大写字母。例如:

U 瞬时电压和直流电压

I 瞬时电流和直流电流

U_{yx} 交流电压的有效值

U_m 交流电压的幅度

应当指出, 虽然本书把瞬时值和直流量采用同一符号, 但一般不会引起混乱。仅在第二章及其它少数章节的个别地方需要严格区分两者时, 直流量采用大写字母上面加一横线来表示(如 $\bar{U}$ 、 $\bar{I}$)。

4. 非线性元件的动态参数用小写字母(如二极管交流内阻为 r_D 、三极管输入交流内阻为 r_{be}), 非线性元件的静态参数和线性元件的参数用大写字母(如晶体管直流输入电阻 R_{be} 、电阻器 R)。

二、符 号

A	安(电流的单位)	$\mathcal{A}$	安培表、电流的分流比、道位置
mA	毫安(10^{-3}A)		
μA	微安(10^{-6}A)	$m\mathcal{A}$	毫安表
nA	毫微安(10^{-9}A)	$\mu\mathcal{A}$	微安表

ADC	模数变换	容	
a_0	零点 (多道脉冲幅度分析器的指标)	C_s	数码寄存器的触发器
TKa_0	零点的温度系数	C_{sc}	输出电容
B	变压器、磁感应强度、存储器分区数	C_{sr}	输入电容
B_m	饱和磁感应强度	C_0	总电容、石英晶体的静电电容
b	晶体管基极、吸收体厚度	c	晶体管集电极
$^{\circ}C$	度 (摄氏温度的单位)	D	二极管、场效应晶体管漏极
C	电容器、触发器	DAC	数模变换
C_{be}	晶体管发射结电容	DTL	二极管-晶体管逻辑电路
C_{cb}	晶体管集电结电容	DW	硅稳压管、单稳态电路
C_D	二极管极间电容、地址寄存器的触发器	d	微分算符、导线直径、延时电路
C_e	发射极旁路电容	db	分贝
C_E	直流反馈发射极电阻旁路电容	E	直流电源、能量
C_f	反馈电容	E_b	基极电源
C_{fb}	分布电容	E_c	集电极电源
C_{fz}	负载电容	E_D	漏极电源
C_F	自举电容、直流反馈支路旁路电容	E_e	发射极电源
$CMRR$	共模抑制比	E_G	栅极电源
CP	时钟脉冲	ENC	等效噪声电荷
C_r	RC 输入电路的电	e	晶体管发射极、电动势
		e_x	信号源电势
		e_0	“0”信号电势
		e_1	“1”信号电势

F	法(电容量的单位)	H	磁场强度
μF	微法($10^{-6}F$),图中简记为 μ	H_c	矫顽力
pF	微微法($10^{-12}F$),图中简记为 p	h	晶体管的 h 参数、磁心高度
F	反馈系数	I	静态电流、直流电流、瞬时电流
$FWHM$	半宽度	$\bar{I}$	静态电流、直流电流
f	信号频率	I_b	基极电流
f_0	谐振频率(固有频率)	I_{bs}	基极饱和电流
f_s	上限频率	I_C	电容器充、放电电流
f_T	晶体管特征频率	I_c	集电极电流
f_x	下限频率	I_{cb0}	集电结反向电流
f_a	晶体管共基极截止频率	I_{ce0}	集电极-发射极反向电流(穿透电流)
f_β	晶体管共发射极截止频率	I_{cM}	集电极最大允许电流
Δf	通频带宽度	I_D	二极管电流、场效应晶体管漏极电流
G	场效应晶体管栅极、由固体组件构成的单元电路、石英晶体谐振器	I_{DSS}	场效应晶体管饱和漏电流
GDB	光电倍增管	I_d	读电流
$G-M$	盖革-弥勒计数管	I_e	发射极电流
g_m	场效应晶体管共源极小信号低频跨导	I_{fs}	负载电流
H	亨(电感量的单位)	I_G	栅极电流
mH	毫亨($10^{-3}H$)	I_j	禁止电流
μH	微亨($10^{-6}H$)	I_k	快放电流
Hz	赫(频率的单位)	I_m	脉冲电流幅度
		I_{max}	电流最大值

I_W	稳压管工作电流	K_{d1}	单端输出的差模放大倍数
I_{WM}	稳压管最大工作电流	K_{d2}	双端输出的差模放大倍数
I_x	写电流	K_f	负反馈电压放大倍数
I_s	整流电流	K_i	电流放大倍数、开环电流放大倍数
i	交流电流、脉冲电流	K_{if}	负反馈电流放大倍数
i_b	基极电流	K_p	功率放大倍数
i_c	集电极电流	K_0	中频电压放大倍数
i_{cd}	充电电流	keV	千电子伏(能量单位)
i_D	二极管电流、漏极电流	k_T	稳压电源的温度系数
i_e	发射极电流	L	电感线圈、电感量、相对计数损失
i_f	反馈电流	L_b	基极电感线圈
i_{fd}	放电电流	L_c	集电极电感线圈
i_{sc}	输出电流	L_G	高压电感线圈
i_{sr}	输入电流	M	门电路、互感
K	电压放大倍数、开环电压放大倍数、开关	MOS	MOS 场效应晶体管
K_{ADC}	变换增益	CMOS	互补 MOS 场效应晶体管
$TK K_{ADC}$	变换增益的温度系数	m	道数、道址
K_c	共模放大倍数、窗放大器放大倍数	max	最大
K_{c1}	单端输出的共模放大倍数	min	最小
K_{c2}	双端输出的共模放大倍数	N	N 型(电子)半导
K_d	差模放大倍数		

体	R_F	自举电阻、直流反馈电阻
N 计数、线圈匝数	R_f	反馈电阻
N_o 扇出系数	R_{fL}	负载电阻
N_F 噪声系数	R'_{fL}	等效交流总负载电阻
N_r 扇入系数	R_G	栅极电阻
n 计数率、稳压电源 采样分压比、多级 放大器级数	R_i	电表内阻
P P型(空穴)半导体	R_r	RC输入电路电阻
P 功率	R_S	源极电阻、差值放大器恒流源电阻
P_{CM} 集电极最大允许耗 散功率	R_T	热敏电阻
P_E 电源提供的功率	r	动态电阻
P_{sc} 输出功率	r_b	基区电阻
P_{sr} 输入功率	r_{be}	发射结交流等效电阻
P_T 计算功率	r_D	二极管正向电阻
Q 电荷、静态工作 点、品质因数	r_i	内阻、恒流源内阻
q 每个电流脉冲所具 有的电荷	r_{ib}	晶体管共基极输入 电阻
R 电阻器	r_{on}	场效应晶体管导通 电阻
R_b 基极电阻	r_r	二极管反向电阻
R_{be} 发射结直流等效电 阻	r_{sc}	输出电阻
R_c 集电极电阻	r_{scf}	负反馈放大器输出 电阻
R_D 漏极电阻	r_{sr}	输入电阻
R_e 发射极电阻	r_{srf}	负反馈放大器输入 电阻
R_E 发射极直流反馈电 阻	r_w	恒压源内阻

r_W	稳压管内阻	t_h	恢复时间
r_s	信号源内阻	t_j	下降时间
s	秒(时间的单位)	t_k	脉冲宽度
ms	毫秒(10^{-3} s)	t_L	逻辑动作时间
μ s	微秒(10^{-6} s)	t_m	线性放电到零电平的 时间
ns	毫微秒(10^{-9} s)	t'_m	线性放电终了时间
S	面积、稳压电源的 稳定系数、滑移脉 冲包迹斜率	t_{off}	截止时间
S/N	信噪比	t_{on}	开启时间
T	晶体管、场效应晶 体管、周期、温度、 变换时间	t_s	上升时间
T_D	隧道二极管	t_{sc}	窗放大器上升时间
T_0	时钟脉冲周期、道 步进周期	t_y	延迟时间
TTL	晶体管-晶体管逻 辑电路	$\bar{t}_y$	平均延迟时间
t	时间	U	静态电压、直流电 压、瞬时电压
t_c	测量时间、存储时 间	U_{BE}	晶体管导通(截止) 阈值电压
t_{cd}	充电时间	U_b	基极电压
t_{cy}	存储延迟时间	U_{be}	晶体管发射结电压
t_D	死时间、定相时间	U_{bes}	晶体管发射结饱和 压降
t_d	读数建立时间	U_C	电容器端电压
t_{dy}	导通延迟时间	U_c	集电极电压、参考 电压
t_F	翻转时间、电压达 到峰值的时间	U_{cd}	输出低电平
t_{fb}	分辨时间	U_{ce}	晶体管集电极-发 射极电压
t_{fd}	放电时间	U_{ces}	晶体管共发射极饱 和压降
		U_{ce}	输出高电平

U_{cy}	窗放大器阈电压		压、零道阈电压
BU_{cb0}	发射极开路时 $c-b$ 极反向击穿电压	U_p	夹断电压
BU_{ce0}	基极开路时 $c-e$ 极反向击穿电压	U_R	电阻两端的电压
U_D	漏极电压、二极管端电压	U_S	加法器输出电压
U_{D0}	二极管导通(截止)阈电压	U_{sc}	输出电压
U_{DS}	漏-源极电压	U_{scC}	窗放大器输出电压
U_e	发射极电压	U_{scM}	最大输出电压
U_f	反馈电压	U_{sr}	输入电压
U_{fc}	反冲电压	U_W	稳定电压
U_{ff}	峰-峰电压	U_y	阈电压
U_{gm}	关门电平	U_{y_1}	下甄别阈电压
U_G	栅极电压	U_{y_2}	上甄别阈电压
U_{GS}	栅-源极电压	$U_{y\%}$	有效电压
U_H	回差	U_z	支柱电压
U_J	积分器输出电压	U_z	噪声电压均方根值
U_k	道宽	$\bar{U}_z^2$	噪声电压均方值
$\bar{U}_k$	平均道宽	u	交流电压、脉冲电压
U_{km}	开门电平	u_b	基极电压
U_{kT}	标称道宽	u_C	电容器端电压
TKU_k	道宽的温度系数	u_c	集电极电压
U_m	脉冲电压幅度	u_d	净输入电压、道步进脉冲
U_M	交流信号和脉冲信号的最大幅度	u_L	电感两端的电压
U_{max}	电压最大值	u_p	漂移电压
U_0	直流高压、RC 耦合电路平均直流电	u_{sc}	输出电压
		u_{scC}	窗放大器输出电压
		u_{sc_k}	负载开路时的输出电压
		u_{sc_R}	接上负载时的输出

	电压		流放大系数、 β 射线
u_{sr}	输入电压		线
u_{srC}	共模输入电压	γ	γ 射线
V	伏(电压的单位)	Δ	变化量、峰顶降落
mV	毫伏(10^{-3}V)	δ	相对峰顶降落
μV	微伏(10^{-6}V)	ε	非线性系数
V	伏特表	ε_d	微分非线性系数
mV	毫伏表	ε_i	积分非线性系数
W	瓦(功率的单位)	η	效率
mW	毫瓦(10^{-3}W)	ρ	比电离
W	总误差	σ	统计误差
W_1	表头误差	τ	时间常数
W_2	线性率表的统计误差	τ_{cd}	充电时间常数
W_3	漏记误差	τ_{fd}	放电时间常数
w	电离功	ϕ	磁通量
Z	阻抗	Ω	欧(电阻的单位)
Z_0	电缆的特性阻抗	k Ω	千欧($10^3\Omega$), 图中简写为 k
α	晶体管共基极电流放大系数、角度、 α 射线	M Ω	兆欧($10^6\Omega$), 图中简写为 M
α_w	稳压管温度系数	Σ	相加(算符)
β	晶体管共发射极电	ω	角频率

目 录

第一章 电阻电容(RC)电路	1
第一节 电容	1
一、电容	1
二、电容的并联与串联	2
第二节 直流电势作用下 RC 电路的充放电过程	3
一、 RC 电路的充电过程	3
二、 RC 电路的放电过程	11
第三节 直流电势作用下 RC 串联电路过渡过程的一般公式	13
第四节 矩形电压脉冲通过 RC 串联电路时的变化规律	17
一、什么是矩形电压脉冲	18
二、矩形脉冲通过 RC 电路时的变化规律	19
第五节 周期性矩形电压脉冲系列通过 RC 耦合电路时的过渡过程	31
第六节 电流脉冲输入 RC 并联电路时的充放电过程	38
一、物理过程	38
二、恒压源电路和恒流源电路的相互联系	40
三、电流脉冲输入 RC 并联电路时的情况	41
第七节 电容负载和输入脉冲边沿对微分电路输出的影响	42
一、电容负载对微分电路输出的影响	42
二、输入脉冲边沿对 RC 微分电路输出的影响	44
第八节 脉冲分压器	47
第二章 脉冲放大器	51
第一节 单管放大器	53
一、静态工作点的设置	54
二、放大过程	57
三、图解法	62
四、静态工作点的稳定	70

五、放大器主要特性分析	76
六、单管脉冲电压放大器的设计	95
第二节 简单的多级放大器	103
一、放大倍数	103
二、上升时间	105
三、输入电阻和输出电阻	110
第三节 差值放大器	112
一、简单的差值放大器	112
二、带有恒流源的差值放大器	129
附录 晶体管放大电路的三种接法	133
第三章 反馈放大器	137
第一节 反馈的概念	137
一、什么是反馈	137
二、反馈放大器的方框图	140
三、反馈放大器的分类	142
四、负反馈放大器的四种反馈形式	144
第二节 串联电流负反馈放大器	145
一、电压放大倍数	145
二、电流-电压传输系数	148
三、输出信号和放大倍数的稳定性	150
四、输入电阻	152
五、输出电阻	155
第三节 串联电压负反馈放大器	156
一、电路举例和方框图	157
二、电压放大倍数	159
三、电压放大倍数的稳定性	162
四、输入电阻和输出电阻	169
五、实例分析	174
六、上升时间和频带	176
七、其它特性	179
八、输入电压、反馈电压和净输入电压之间的关系	179
九、串联负反馈放大器对信号源内阻的要求	181
十、其它形式的串联电压负反馈放大器	182

十一、小 结	185
第四节 并联电流负反馈放大器	186
一、电路举例和方框图	186
二、对信号源内阻的要求	190
三、放大倍数及其稳定性	191
四、输入电阻	195
五、具有共基极输入电路的放大节	196
第五节 并联电压负反馈放大器	196
一、电路举例和方框图	196
二、放大倍数及其稳定性	197
三、输入电阻	199
四、虚地的概念	200
五、三管并联电压负反馈放大器	201
第六节 射极输出器	207
一、应用举例和输入电阻	208
二、电压传输系数	210
三、输出电阻	210
四、基极分压电阻对输入电阻的影响	213
五、在电容负载下的工作问题	214
六、设计	215
第七节 负反馈放大器设计举例	219
一、设计思想	220
二、设计步骤	221
三、调整	224
第八节 反馈形式的选择	224
一、串联负反馈和并联负反馈的选择	224
二、电压负反馈和电流负反馈的选择	224
小结	226
第四章 直流放大器	228
第一节 直流放大器的基本概念	228
一、直流信号的概念	228
二、什么是直流放大器	229
三、直流放大器的特点	231

第二节 直流放大器的级间耦合电路	232
一、直接耦合电路	233
二、分压器耦合电路	234
第三节 直流放大器中的零点漂移	235
一、零点漂移现象	235
二、单管直流放大器的零点漂移	237
第四节 直流差值放大器	238
一、利用差值放大器减小漂移的原理	238
二、直流差值放大器的漂移	240
三、多级直流差值放大器	245
四、共模反馈	246
五、单端输出直流差值放大器	247
第五节 弱电流测量	248
一、电阻式静电计	248
二、电流-频率变换($I-f$ 变换)静电计	258
三、动电容静电计	265
第五章 触发电路与振荡电路	268
第一节 单稳态触发电路	268
一、三极管的开关作用和截止饱和条件	269
二、单稳态触发电路的静态工作点	273
三、动态工作过程和分辨时间	274
四、应用举例	284
五、设计与调整	285
六、其它形式的单稳态电路	292
第二节 双稳态触发电路	297
一、电路的静态,截止和饱和条件	299
二、动态工作过程和分辨时间	302
三、设计	311
四、调整	314
五、其它双稳态电路和触发方式	316
第三节 跟随触发器(施密特电路)	321
一、用途	321
二、工作原理	322

三、回差现象以及减小回差的方法	327
四、设计与调整	334
五、电容耦合跟随触发器	343
第四节 多谐振荡器	347
一、用途	347
二、工作原理	348
三、振荡周期	350
四、设计	351
小结	351
第六章 线性率表	353
第一节 线性率表的工作原理	353
一、工作原理概述	353
二、直接充电型线性率表	356
三、电荷转移充电型线性率表	362
第二节 率表的误差	367
第三节 线性率表的设计原则	369
一、设计原则	369
二、设计举例	372
第四节 实际的线性率表电路	374
一、成形电路	374
二、直接充电型线性率表实际电路	376
三、电荷转移充电型线性率表实际电路	377
第七章 集成电路	379
第一节 集成逻辑门电路	379
一、基本逻辑门	379
二、晶体管-晶体管逻辑(TTL)集成与非门电路	382
三、其它形式的逻辑集成电路	392
第二节 用TTL与非门构成的基本逻辑门电路和脉冲电路	401
一、用TTL与非门构成的基本逻辑门电路	401
二、用TTL与非门构成的基本脉冲电路	403
三、集成电路双稳态触发器	418
第三节 线性集成电路简介	440