

高等学校试用教材

# 核电子学基础

上册

周志成 编著

原子能出版社

53.8514  
211

高等学校试用教材

# 核电子学基础

(上册)

周志成 编著

1108541

原子能出版社  
1980·北京

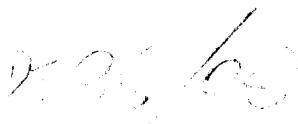
高等学校试用教材  
核电子学基础（上册）

周志成 编著  
原子能出版社出版  
（北京 2108 信箱）  
北京印刷一厂印刷  
（北京市西便门）

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  $11\frac{1}{2}$ ·字数 305 千字  
1980 年 7 月第一版·1980 年 7 月第一次印刷  
印数 001—5,600·统一书号：15175·242  
定价：1.70 元



## 内 容 简 介

本书为高等院校核物理专业核电子学课程的基础教材。分上、下册出版。上册内容包括：电路基础、晶体管基础知识、脉冲讯号放大、集成运算放大器、低压稳压电源。下册内容包括：脉冲电路、数字集成电路和数字集成电路的应用。

本书可供使用、维修和研制核电子仪器的有关工人和技术人员参考。

## 前 言

测量放射性原子核的辐射，是通过射线探测器将核辐射转换成电流或电压讯号，再由电子学仪器测量来实现的。这类电子学仪器有它本身的特殊性，所以称为核电子仪器，以与其它电子仪器相区别。核电子学是专门研究这类仪器所用电路的学科，广义地讲它是用电子学方法获取并处理核辐射及原子核所携带的信息的学科。因此它包括了如何使核电子仪器与计算机相配合而构成的实验系统的内容，等等。

核电子学基本上属于脉冲电路和数字电路范围，包括脉冲讯号的放大，数据的获取与处理等。本书不讨论射线探测器给出的微弱慢变化电流讯号的测量问题，它将在《核电子学》一书内讨论。

本书是核物理专业核电子学课的基础教材，它取代了基础课中的无线电基础课教材。这样既可充分利用有限的学时数，紧密配合专业课，又能充实必要的有关集成电路的内容。

在讲授本课前，需要介绍一下有关放射性的知识，使学员对核电子仪器所接收的脉冲讯号的特点（即讯号的幅度和讯号出现的时间具有统计规律的特征）有感性的认识。

本书的全部内容可分三大部分：电路基础、分立元件电路、集成电路。本书的前两章为电路基础，第三章至第五章为线性放大电路，第六章至第八章为脉冲电路。内容选择尽量考虑了与后续课《核电子学》的配合，为分析核电子电路的特殊问题打下基础。

考虑到核物理专业的学生学习核电子学的主要目的，在于掌握有关电路原理及功能的知识，以便使用这些仪器来进行实验测量工作，本书对于电路计算和设计等内容只作简单的介绍。

应该指出，电子电路课程必须有实验课紧密配合，但本书不

包括实验课内容。本书全部讲授约需 200 学时。如果学生已有电路基础知识，则可从第三章开始讲授。

本书是在北京大学核物理专业近几年一直使用的《核电子学基础》讲义的基础上修改而成的。北京大学夏松江同志审校全书。四川大学许祖润、吉林大学贾文彤、清华大学钱永庚、兰州大学王化民、复旦大学张宝全等同志，对本书提出了宝贵的意见，特此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，出书时间又紧迫，缺点错误在所难免，敬请读者在使用过程中提出宝贵意见。

北京大学 周志成  
一九七九年十二月

## 符号说明

1. 本书皆采用通用符号。
2. 大写字母表示直流量、静态参数；小写字母表示变化量、动态参数。
3. 图中讯号除注明外皆为对地电压。
4. 脚注采用通用符号。

### 脚注

$c$	集电极	$L$	负载
$b$	基极	$D$	漏极
$e$	发射极	$G$	栅极
$o$	输出	$S$	源极
$i$	输入、电流	$\max$	最大
$v$	电压	$\min$	最小

### 常用符号

$\alpha$	共基极交流电流放大系数	$\delta$	脉冲宽度
$\bar{\alpha}$	共基极直流电流放大系数	$\delta_0$	上冲量
$\beta$	共射极交流(短路)电流放大系数	$\delta_{(0)}$	0 电平噪声容限
$\bar{\beta}$	共射极直流电流放大系数	$\delta_{(1)}$	1 电平噪声容限
$\gamma$	积分非线性系数	$\rho = \text{GMRR}$	共模抑制比、电阻率
$\Delta$	顶部下降、误差、变化量	$\tau$	时间常数
$\Delta f$	频带宽度、通频带	$\tau_b$	基极恢复时间
		$\tau_c$	二极管反向恢复时间、充电时间常数
		$\tau_d$	延迟时间、放电时间常数

$\tau_F$	触发器的反转时间 (平延时间)	$1(t)$	单位阶跃电压
$\tau_f$	下降时间	$A$	脉冲面积、增益
$\tau_H$	高电平输出讯号的边沿时间	$A_c$	共模增益
$\tau_i$	输入讯号的时间常数	$A_d$	差模增益
$\tau_L$	低电平输出讯号的边沿时间	$A_f$	闭环增益
$\tau_0$	反转时间	$A_{f0}$	理想化闭环增益
$\tau_{off}$	三极管的关闭时间	$A_{fpp}$	闭环峰值增益
$\tau_{on}$	三极管的开通时间	$A_{if}$	闭环电流增益
$\tau_{pd}$	平均传输延迟时间 (平延时间)	$A_{i0}$	开环电流增益
$\tau_{rf}$	闭环上升时间	$A_o$	开环增益
$\tau_s$	存贮时间、建立时间	$A_v$	电压增益
$\tau_{st}$	迭通延迟时间	$A_{vf}$	闭环电压增益
$\varphi$	相移角、幅角	$A_{vo}$	稳态增益、中频增益、开环增益
$\varphi_{A0}$	开环增益相移	$B$	变压器
$\varphi_b$	反馈相移	$BV_{ceo}$	集射击穿电压
$\varphi_H$	高半功率点相移	$BV_{ebo}$	射基击穿电压
$\varphi_{LG}$	回路增益相移	$BV_{DS}$	漏源击穿电压
$\varphi_{LGM}$	相移余量	$BV_{GS}$	栅源击穿电压
$\varphi_p$	极点相移	$b$	反馈系数
$\varphi_{pp}$	峰值相移	$C$	电容
$\varphi_z$	零点相移	$C_b$	基极对地分布电容
$\omega$	角频率	$C_{bc}$	集电结电容
$\omega_d$	阻尼振荡角频率	$C_{be}$	发射结电容
$\omega_H$	高半功率点角频率	$C_D$	扩散电容
$\omega_0$	固有(自然)角频率	$C_e$	发射极旁路电容
$\omega_{pp}$	峰值角频率	$C_i$	输入电容
		$C_L$	负载电容
		GMRR	共模抑制比
		$C_o$	分布电容、石英晶体



	的静态电容	$I_c$	集电极电流
$CP$	时钟脉冲	$I_{cbo}$	集电极反向饱和电流
$C_q$	石英晶体的动态电容	$I_{ceo}$	发射极反向饱和电流 (穿透电流)
$D$	漏极、二极管	$I_{cm}$	集电极最大允许电流
$D_s$	稳压二极管	$I_{cs}$	集电极饱和电流
$d$	非线性畸变电压	$I_D$	漏极电流
$f$	重复频率、频率	$I_{DSS}$	漏极饱和电流 (饱和漏电流)
$f_H$	高半功率点频率、开环频宽	$I_e$	发射极电流
$f_{H1}$	单位增益频宽	$I_f$	正向电流、反馈电流
$f_L$	低半功率点频率	$I_G$	栅极电流
$f_p$	极点频率、转折频率、石英晶体的并联谐振频率	$I_{hy}$	滞后电流
$f_{pc}$	全功率响应频率	$I_L$	负载电流
$f_{pp}$	峰值频率	$I_{Lm}$	最大输出电流
$f_s$	石英晶体的串联谐振频率	$I_o$	输出电流、二极管反向饱和电流、恒流源
$f_z$	零点频率	$I_{os}$	输出失调电流
$f_\alpha$	晶体管的 $\alpha$ 截止频率	$I_p$	峰值电流
$f_\beta$	晶体管的 $\beta$ 截止频率	$I_R$	参考电流
$G$	栅极、门电路	$I_{Rc}$	输入交叉漏电流
$GM$	增益余量	$I_r$	反射电流
$g_m$	跨导	$I_s$	输出端吸入电流
$H$	传输系数、禁止端	$I_{se}$	输入短路电流
$I$	直流电流	$I_{st}$	选通电流
$I_b$	基极电流、基极偏置电流、反向电流	$I_v$	谷值电流
$I_{bs}$	临界基极 (饱和) 电流	$i_n$	有效输入电流
		$J$ -FET	结型场效应管
		$K$	开关、反射系数
		$k$	充电系数, 阻尼系

	数, 波尔茨曼常数		馈电阻
$L$	拉氏变换符号、电感	$R_G$	栅极电阻
$LG$	回路增益	$R_{GS}$	栅源内阻
$L_n$	电子扩散长度	$R_i$	输入电阻
$L_p$	空穴扩散长度	$R_{i-}$	输入低于低电平讯号时的输入电阻
$L_q$	石英晶体的等效电感	$R_{iH}$	输入高电平讯号时的输入电阻
$l$	放电系数	$R_{iL}$	输入低电平讯号时的输入电阻
MOS-FET	绝缘栅场效应管	$R_L$	负载电阻
$N_f$	晶体管的噪声系数	$R_o$	输出电阻
$N_o$	扇出系数	$R_{oH}$	输出高电平讯号时的输出电阻
$n$	计数率	$R_{oL}$	输出低电平讯号时的输出电阻
$P_{cm}$	集电极最大允许耗散功率	$R_q$	石英晶体的等效摩擦电阻
$p$	极点	$R_s$	电源内阻
$Q$	电荷、石英晶体、集成电路输出端	$R_v$	电位器
$Q_b$	基区存储电荷	$r_b$	基区体电阻
$Q_{bs}$	基区超额存储电荷	$r_{be}$	共射极输入电阻
$Q_c$	充电电荷	$r_c$	集电结反向电阻
$Q_d$	放电电荷	$r_e$	发射结正向电阻
$Q_p$	集电区存储电荷	$r_{eb}$	共基极输入电阻
$q$	电子电荷量、 $q = 1.60 \times 10^{-19}$ 库伦	$r_i$	输入电阻
$R$	电阻	$r_{if}$	闭环输入电阻
$R_b$	二极管反向电阻、基极偏流电阻	$r_o$	输出电阻
$R_c$	集电极电阻	$r_{of}$	闭环输出电阻
$R_D$	漏极电阻	$r_s$	内阻
$R_e$	发射极电阻		
$R_f$	二极管正向电阻、反		

$r_s$	稳压管内阻		充放电后, 电容上的平衡电压
$S$	源极、稳定度、饱和深度、转换速率	$V_D$	甄别阈电压, 二极管压降
$S_l$	电源长期稳定度		
$S_T$	电源输出电压温度系数	$V_{DD}$	漏极电源电压、隧道二极管电路电源电压
$s$	复变数	$V_{DO}$	二极管导通压降
$T$	重复周期、晶体管、绝对温度	$V_{DS}$	漏源电压
$T_d$	阻尼周期	$V_e$	发射极电压
$t_{pp}$	峰值时间	$V_{EE}$	发射极电源电压
$V$	直流电压	$V_F$	峰值投影电压
$V_{\sim}$	交流电压	$V_f$	正向电压
$\tilde{V}$	交流电压有效值	$V_G$	门电路输出电压
$V_A$	MOS 集成门电路中的转换电压, 相当于关门电平 $V_{off}$	$V_{GG}$	栅极电源
$V_B$	MOS 集成门电路中的转换电压, 相当于开门电平 $V_{on}$	$V_{GS}$	栅源电压
$V_b$	基极电压、反向电压	$V_H$	高电平
$V_{BB}$	基极电源电压	$V_{hy}$	滞后电压(回差)
$V_{be}$	发射结压降	$V_L$	低电平、负载电压
$V_{bec}$	三极管截止阈电压	$V_m$	脉冲幅度
$V_{beo}$	三极管导通阈电压	$V_N$	输入噪声电压
$V_{bes}$	基极饱和压降	$\bar{V}_0$	直流分量、交流电压的平均值
$V_{cb}$	集电结压降	$V_{off}$	关门电平
$V_{cc}$	集电极电源电压	$V_{oH}$	输出高电平
$V_{ces}$	集电极饱和压降	$V_{oL}$	输出低电平
$V_{cn}$	RC 电路中经过 $n$ 次	$V_{on}$	开门电平
		$V_{os}$	输入失调电压
		$V_{osf}$	等效输入失调电压
		$V_p$	夹断电压、峰值电压
		$V_{pp}$	最大输出电压

	单位	
$V_R$	参考电压	
$V_r$	导通阈值电压、反射电压	A 电流单位, 安培 mA 毫安( $10^{-3}A$ )
$V_T$	开启电压	$\mu A$ 微安( $10^{-6}A$ )
$V_v$	谷值电压	F 电容单位, 法拉
$V_s$	稳压管压降	$\mu F$ 微法( $10^{-6}F$ )
$V_w$	截止深度	pF 微微法( $10^{-12}F$ )
$v_C$	电容两端电压	H 电感单位, 亨利
$v_f$	反馈讯号	mH 毫亨( $10^{-3}H$ )
$v_i$	输入讯号	$\mu H$ 微亨( $10^{-6}H$ )
$v_{ic}$	共模输入讯号	Hz 频率单位, 赫兹
$v_{ice}$	输入共模误差电压	kHz 千赫( $10^3Hz$ )
$v_{id}$	差模输入讯号	MHz 兆赫( $10^6Hz$ )
$v_L$	电感两端电压	s 时间单位, 秒
$v_n$	有效输入讯号	ms 毫秒( $10^{-3}s$ )
$v_o$	输出讯号	$\mu s$ 微秒( $10^{-6}s$ )
$v_{ob}$	反向输出讯号	ns 毫微秒( $10^{-9}s$ )
$v_{of}$	正向输出讯号	V 电压单位, 伏特
$v_R$	电阻两端电压	mV 毫伏( $10^{-3}V$ )
$Z$	阻抗、特性阻抗	$\mu V$ 微伏( $10^{-6}V$ )
$Z_f$	反馈阻抗	dB 分贝
$Z_i$	输入阻抗	$\Omega$ 电阻单位, 欧姆
$Z_{if}$	闭环输入阻抗	k $\Omega$ 千欧( $10^3\Omega$ )
$Z_L$	负载阻抗	M $\Omega$ 兆欧( $10^6\Omega$ )
$Z_o$	输出阻抗	$\Omega$ -cm 电阻率单位, 欧姆-厘米
$Z_{of}$	闭环输出阻抗	
$z$	零点	$\sigma$ 跨导单位, 姆欧

## 目 录

符号说明	vii
第一章 电路基础	1
§ 1 电路的基本知识	1
一、克希霍夫定律	1
二、叠加定理	3
三、等效电源定理(戴文宁定理)	4
四、电压源与电流源	6
思考题	7
§ 2 基本线性网络的瞬变响应	7
一、运算法	10
二、 $RC$ 电路	17
三、脉冲分压器	38
四、电感微分电路	41
五、延迟线	41
思考题	49
第二章 晶体管基础知识	52
§ 1 半导体及其导电机构	52
思考题	56
§ 2 PN 结	57
思考题	61
§ 3 晶体二极管	61
一、晶体二极管的电压-电流特性	62
二、PN 结电容	64
三、晶体二极管的参数	65
四、晶体二极管的应用	65
思考题	71
§ 4 晶体三极管	73
一、晶体三极管的基本结构	74

二、晶体三极管内载流子的运动 .....	75
三、晶体三极管的特性曲线 .....	77
四、晶体三极管的参数 .....	84
思考题 .....	90
§ 5 场效应管 .....	91
一、结型场效应管 .....	91
二、绝缘栅场效应管 .....	96
三、场效应管的参数 .....	99
思考题 .....	101
第三章 脉冲讯号放大 .....	102
§ 1 单管放大器 .....	102
一、静态工作点 .....	102
二、放大原理 .....	104
三、等效电路 .....	107
四、电压增益(电压放大倍数) .....	114
五、输入电阻与输出电阻 .....	117
六、工作点的稳定 .....	121
七、单管放大器的频率响应与瞬变响应 .....	126
八、场效应管放大器 .....	138
思考题 .....	140
§ 2 差分放大器 .....	143
一、工作原理 .....	144
二、电压增益 .....	145
三、共模抑制比 .....	148
思考题 .....	149
§ 3 多级放大器 .....	150
一、电压增益 .....	150
二、上升时间 .....	151
思考题 .....	153
§ 4 负反馈放大器 .....	153
一、负反馈放大器的基本性能 .....	155
二、单管电流负反馈放大器 .....	161
三、射极输出器 .....	162

四、多管电压负反馈放大级 .....	173
五、多管电流负反馈放大级 .....	178
思考题 .....	182
第四章 集成运算放大器 .....	185
§ 1 理想运算放大器 .....	187
§ 2 一个实际的运算放大器 .....	190
思考题 .....	199
§ 3 运算放大器应用的理论基础 .....	200
一、反相型反馈放大器 .....	201
二、同相型反馈放大器 .....	209
三、运算放大器的应用举例 .....	214
思考题 .....	223
§ 4 运算放大器的运算误差及漂移 .....	225
一、开环增益 $A_0$ 、输入阻抗 $Z_i$ 、 $Z_{ic}$ 及输出阻抗 $Z_o$ 引起的误差 .....	225
二、失调引起的误差及漂移 .....	226
三、共模增益引起的误差 .....	233
思考题 .....	236
§ 5 运算放大器的稳定性 .....	237
一、运算放大器的频率响应 .....	237
二、放大器的稳定条件 .....	240
三、负反馈放大器的稳定条件 .....	242
四、补偿方法 .....	246
五、影响负反馈放大器稳定性的外界因素 .....	265
六、模拟电路的稳定性举例 .....	269
思考题 .....	271
§ 6 运算放大器的闭环频率响应和瞬变响应 .....	274
一、负反馈放大器的频率响应 .....	274
二、负反馈放大器的瞬变响应 .....	284
三、瞬变响应与频率响应之间的关系 .....	293
四、大讯号响应 .....	296
思考题 .....	300
§ 7 集成运算放大器中的单元电路 .....	301

一、恒流源及偏置电路 .....	301
二、有源负载 .....	305
三、输入级 .....	307
四、电平移动级 .....	312
五、输出级 .....	315
六、其它电路 .....	322
思考题 .....	326
<b>第五章 低压稳压电源</b> .....	<b>331</b>
§ 1 整流滤波直流电源 .....	331
一、半波整流滤波电路 .....	332
二、全波整流滤波电路 .....	334
思考题 .....	336
§ 2 低压稳压电源 .....	337
一、硅稳压二极管稳压电路 .....	337
二、串联型稳压电源 .....	340
思考题 .....	351



# 第一章 电路基础

## § 1 电路的基本知识

在电学中我们已经学过欧姆定律，它反映了电路中电压、电流和电阻三者之间的关系。但是在比较复杂的电路中，单靠欧姆定律不能解决电路分析的问题，还必须掌握一些更为有效的规律。克希霍夫定律是分析各种电路的基本定律，此外还有一些常用的定理，下面分别加以讨论。

### 一、克希霍夫定律

克希霍夫定律包括两个内容：

#### (一) 克希霍夫第一定律

我们以图 1-1 的电路为例来说明。在电路中凡是有两个以上的电路分支的交点称为结点，在图 1-1 中  $A$  点和  $D$  点都是结点。

克希霍夫第一定律的内容是：“流进一个结点的电流总和等于流出这个结点的电流总和。”对于图 1-1 中的结点  $A$  来说，电流  $I_1$ 、 $I_2$  都是流进  $A$  点的；电流  $I_3$  是由  $A$  点流出的。根据第一定律，则有下述关系：

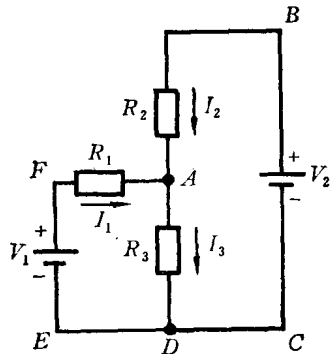


图 1-1