

电子线路 教学参考书

(第三版)

武汉大学物理系
电子线路教材编写组编

前 言

高等教育出版社出版、武汉大学周建平、张蕴、邓仁清、梁明理编、梁明理主编的《电子线路》(第三版)教材将于93年4月印出发行。此书适合于理科非无线电各专业以及该课学时较少(约72~90学时)的理、工科各专业使用。为了配合此书的出版,为方便教学、开展教学法研究和提高教学质量,我组编印了《电子线路教学参考书》(第三版)。

本书内容包括:电子线路课教学方案的建议;《电子线路》(第三版)使用说明;全书(共13章)习题与思考题解答。本书适用于电子线路课的教师使用,也适合于本科生以及大专班、夜大班、走读班、函授班、短训班的学生使用。对于没有采用《电子线路》(第三版)的电子线路课程,本书仍然是一本较好的教学辅助资料。

本书习题与思考题部分的第二、三、四、六章由周建平编写,第八、十、十一、十三章由张蕴编写,第五、七、九章由邓仁清编写,第一、十二章由梁明理编写。上述教师还编写了使用说明中的相应部分。梁明理草拟了电子线路教学方案,在全组讨论后定稿。

限于编者水平和编写时间仓促,难免出现差错和不妥之处,敬请使用本书的读者批评指正。

电子线路教材编写组
武汉大学物理系,430072
1993年3月

目 录

I、关于电子线路课程教学方案的建议	3
I-1 各章讲授课学时分配	3
I-2 习题课安排	6
I-3 拟订本教学方案的几点说明	7
II、《电子线路》第三版使用说明	8
II-1 精选课程内容的几项原则	8
II-2 各章内容的重点、难点及深度、广度	9
III、各章习题与思考题解答	14
III-1 第一章 线性电路简述	14
III-2 第二章 半导体器件的特性	31
III-3 第三章 放大电路基础	41
III-4 第四章 集成运算放大器	67
III-5 第五章 反馈放大器	81
III-6 第六章 信号运算电路	100
III-7 第七章 波形发生器	117
III-8 第八章 功率电路	133
III-9 第九章 数字电路基础	141
III-10 第十章 组合逻辑电路	158
III-11 第十一章 时序逻辑电路	177
III-12 第十二章 半导体存储器	192
III-13 第十三章 脉冲电路及综合电路系统	200

I、关于电子线路课程教学方案的建议

I-1 各章讲授课学时分配

(在备注中打*号者为自学内容, 打△号者为课外自选阅读内容)

内 容	方案1 (70学时)		方案2 (40学时)	
	学时	备 注	学时	备 注
第一章 线性电路简述	(4.5)		(5)	
§1.1 电压源和电流源	0.5	*1.1-2	0.5	*1.1-2
§1.2 线性网络的几个定理	1	1.2-4置§3.7	1	1.2-4置§3.7
§1.3 双口网络简介	1	*§参数	1.5	
§1.4 信号的频谱分析	0	*§1.4	0	*§1.4
§1.5 RC电路的瞬态特性	2		2	
第二章 半导体器件的特性	(7)		(8)	
§2.1 半导体的导电特性	0.5		0.5	
§2.2 PN结	1	*2.2-5, *2.2-6	1.5	
§2.3 半导体二极管	1	*2.2-3	1.5	
§2.4 双极型晶体管	2.5		2.5	
§2.5 场效应管	2		2	
附录2.1 半导体器件的命名方法	0	*附录2.1	0	*附录2.1
第三章 放大电路基础	(11)		(10)	
§3.1 放大器的性能指标	0	*§3.1	0	*§3.1
§3.2 放大器的图解分析法	2		2	
§3.3 放大器的等效电路分析法	2		2	
§3.4 共集放大和三种组态比较	1	*3.4-2	1	*3.4-2
§3.5 场效应管放大器	1.5		1.5	

内 容	方案1 (72学时)		方案2 (90学时)	
	学时	备 注	学时	备 注
§3.6 放大器的偏置电路	1		1	
§3.7 单管放大器的频率特性	2.5		2.5	
§3.8 多级放大器	1		1	
第四章 集成运算放大器	(5)		(5)	
§4.1 差动放大器	2		2	
§4.2 集成运放的基本单元电路	2		2	
§4.3 集成运放的典型电路和参数	1	*4.3-2	1	*4.3-2
第五章 反馈放大器	(6)		(7.5)	
§5.1 反馈的基本概念与分类	2		2	
§5.2 负反馈对放大器性能的改善	1	△5.2-4	1	△5.2-4
§5.3 负反馈对放大器 R_i 和 R_o 的影响	1		1	
§5.4 负反馈放大器的分析方法	2		2	
§5.5 负反馈放大器的自激	0	△§5.5	1.5	
§5.6 负反馈放大器实例	0		0	
第六章 信号运算电路	(4)		(5)	
§6.1 运放的三种输入方式	1.5		1.5	
§6.2 信号运算电路	1.5		1.5	
§6.3 非理想运放理想化的误差分析	1	*6.3-2	2	
第七章 波形发生器	(4)		(7.5)	
§7.1 RC正弦波振荡器	2		2	
§7.2 LC正弦波振荡器	2	△7.2-4, △7.2-5	2.5	△7.2-5
§7.3 比较器	0	△§7.3	1	
§7.4 矩形波发生器	0	△§7.4	1	
§7.5 三角波和锯齿波发生器	0	△§7.5	1	

内 容	方案1(72学时)		方案2(90学时)	
	学时	备 注	学时	备 注
第八章 功率电路	(4)		(4)	
§8.1 功率放大器	2		2	
§8.2 小功率单相桥式整流电路	0	*§8.2	0	*§8.2
§8.3 串联反馈式稳压电路	1.5		1.5	
§8.4 集成稳压电路	0.5		0.5	
第九章 数字电路基础	(9)		(9.5)	
§9.1 数字电路概述	0.5		0.5	
§9.2 逻辑函数	1		1	
§9.3 逻辑函数的化简法	2.5	*§9.3-1	2.5	*§9.3-1
§9.4 基本逻辑门电路	1.5		1.5	
§9.5 TTL逻辑门电路	2	△§9.5-5, *§9.5-6	2.5	△§9.5-5
§9.6 MOS逻辑门电路	1.5	*§9.6-5	1.5	*§9.6-5
第十章 组合逻辑电路	(5)		(7)	
§10.1 组合逻辑电路的设计方法	0	*§10.1	1	
§10.2 编码器	1		1	
§10.3 译码器	2		2	
§10.4 数据选择器	0	△§10.4	1	
§10.5 数字比较器	0	△§10.5	0	△§10.5
§10.6 加法器	2		2	
第十一章 时序逻辑电路	(6.5)		(9)	
§11.1 集成单元触发器	3.5	△11.4-6	4	
§11.2 寄存器和移位寄存器	0	△§11.2	2	
§11.3 计数器	3		3	

内 容	方案1(72学时)		方案2(90学时)	
	学时	备 注	学时	备 注
第十二章 半导体存储器	(0)		(3.5)	
§12.1 概述	0	△§12.1	0	* §12.1
§12.2 随机存取存储器	0	△§12.2	2	
§12.3 只读存储器	0	△§12.3	1.5	
第十三章 脉冲电路及综合电路系统	(4)		(6)	
§13.1 中规模集成单稳态触发器	1.5		1.5	
§13.2 门电路构成的多谐振荡器	1		1	
§13.3 555定时器及其应用	1.5		1.5	
§13.4 A/D和D/A转换	0	△§13.4	2	
§13.5 $3\frac{1}{2}$ 位双积分型数字电压表	0	△§13.5	0	△§13.5
机动	2		2	
学时合计	72		90	

I-2 习题课安排

方案1(6学时)		方案2(8学时)	
主要 内容	学时	主要 内容	学时
图解法分析放大器 等效电路法分析放大器 放大器的频率特性	2	图解法分析放大器 等效电路法分析放大器 放大器的频率特性	2
负反馈放大器的分析 差动放大 信号运算电路	2	负反馈放大器的分析 差动放大 信号运算电路	2

组合逻辑电路 时序逻辑电路	2	逻辑函数化简 组合逻辑电路	2
		时序逻辑电路 集成脉冲电路	2

I-3 拟订本教学方案的几点说明

1. 本方案是采用高等教育出版社出版、周建平、张蕴、邓仁清、梁明理编、梁明理主编的《电子线路》(第三版)作为教材,参考国家教委颁布的物理专业“电子线路教学大纲”拟订的。该大纲的讲授课学时数为72,另加习题课6学时。考虑到某些专业对该课有更高的要求,故同时拟订了学时数为90+8的教学方案。

2. 本方案的进行顺序是先模拟、后数字,也可以先数字后模拟。如果采用后一教学安排,在讲完第一、二章后,就可以讲授数字电路了。

3. 本课程的课内与课外的学时比例可定为1:1.5。

II、《电子线路》(第三版)使用说明

为了便于使用《电子线路》(第三版)教材的教师在教學过程中参考,本书编入了该教材的使用说明。在编写过程中,参考了“理科物理专业电子线路教学大纲”,考虑了少而精原则的贯彻、教學质量的提高以及如何培养学生的能力等问题。下面首先介绍关于电子线路课程精选教學内容的原则,然后对教材逐章加以说明,提出教材内容的取舍和讲授方法的若干建议。

II-1 精选课程内容的几项原则

(1) 对电子器件内部物理过程的讲授以能解释外部特性为准,不必过于深入,以便把学时用在分析器件和电子电路外部特性和功能上。

(2) 削减分立元件电路的内容。如图解法主要是分析静态工作点,反馈放大器的分析着重于近似估算,分立元件的脉冲电路和数字电路已全部删去。

(3) 加强集成电路的内容,力求在全课的总体上形成以集成电路为主干的体系。在模拟电路方面,尽可能围绕集成运放讲述,并加强介绍集成运放的应用,此外,在功率放大和稳压电路中,也立足于介绍各自的集成部件。在数字电路和脉冲电路上,从小规模集成电路入手,随即向中、大规模集成电路深入。

(4) 用运放和门电路两种器件都可形成脉冲电路,如果学时较少,可只讲授一种某成器件形成的脉冲电路。

(5) 对于 72 学时的教學方案,由于学时很少,某些内容,诸如多级负反馈放大器的自激、半导体存储器、D/A 和

A/D 转换等，可建议学生课外阅读，以增加学生的兴趣和知识面。

(b) 本课以分析电路为主，不要求设计，对于某些比较简单而又是局部的定量计算或设计，例如组合逻辑电路的设计，可适当作少量讲授。

II-2 各章的重点、难点以及深度、广度

(1) 第一章 线性电路简述

本章介绍线性电路的一些基本概念，对于没有学过电路分析课的理科学生，是完全必要的。本章内容比较容易，可安排较少的学时，扼要讲解。应重点讲授 RC 电路的暂态特性，使学生掌握三要素的物理意义以及运用暂态过程公式解决 RC 电路的暂态问题。

(2) 第二章 半导体的导电特性

本章的重点之一是 PN 结的形成及其单向导电性，重点之二是晶体管的电流分配关系、场效应管的基本结构以及它们的放大条件和放大原理。学完本章后，应重点掌握二极管、晶体管和场效应管的外特性以及它们的主要参数。

(3) 第三章 放大电路基础

本章重点是放大器的两种分析方法——图解法和微变等效电路法。图解法用于确定静态工作点和分析大信号运用时的动态过程。微变等效电路法是分析放大电路的重要方法，它适用于分析和计算工作于小信号的任何复杂的放大电路。

学完本章后，要求能用图解法确定静态工作点和放大器的动态范围，分析大信号运用时输出波形的失真情况；会用 h 参数等效电路法分析各种类型的低频放大电路，会计算放

大电路的放大倍数、输入电阻和输出电阻。

对于三种组态（共射、共集、共基）的放大电路，应重点掌握共射和共集电路的工作原理和特点。

(4) 第四章 集成运算放大器

了解集成运放由哪几个部分组成以及各部分的作用。重点应掌握运算放大器的关键组成部分——差动放大器的工作原理及其各项指标的计算方法。此外，运放主要参数的物理意义也应重点掌握，以便能合理选择和使用运算放大器。

(5) 第五章 反馈放大器

本章在介绍反馈基本概念的基础上，着重介绍反馈的基本类型、负反馈的作用和分析方法，找出反馈的一般规律，最后介绍负反馈放大器的自激现象。

本章是本课的重点之一，也是难点。要求理解和接受有关概念；能根据电路有无反馈通路来判断反馈是否存在；能运用瞬时极性法判别正、负反馈；能从电路结构和连接方式来判别反馈的类型（组态）；并能运用负反馈放大器的分析方法定量计算负反馈放大器的电压放大倍数、输入电阻和输出电阻。

(6) 第六章 信号运算电路

应重点掌握在线性应用时用运算放大器的理想化条件（ $V_i = V_-$ ， $I = 0$ ）分析各种运算电路输入、输出之间的函数关系，并能合理选择适合要求的电路形式、运算放大器以及运放外部电路的元件参数。

(7) 第七章 波形发生器

本章包括正弦波发生器和非正弦波发生器两大类。对于正弦波振荡器，要求理解和掌握振荡的产生和条件；熟悉正弦波振荡器的组成部分；并能按照振荡电路的构成规律分析正弦波振荡电路。在非正弦波发生器中，主要讨论比较器、矩形波发生器、三角波发生器和锯齿波发生器。要求熟悉比较器和非正弦波发生器的电路结构、功能及原理，并能按照电路的结构规律分析非正弦波发生器电路。

(8) 第八章 功率电路

本章包含功率放大和直流电源两大部分，虽然这两部分的功能不同，但它们都在大信号输入下工作，不仅要求电路输出一定的电压，还要求输出一定的电流，即有一定的输出功率要求。因此在分析方法、选择元件考虑、防护措施等方面有共同之处。

互补对称（乙类）和准互补对称（甲乙类）电路是功率放大中常被采用的电路形式。特别是甲乙类功放电路能较好地解决功率、效率和非线性失真三方面的矛盾，要求掌握它的工作原理及功率效率的计算方法。

单相桥式整流、电容滤波电路和串联反馈式稳压电路是小功率直流电源中常被采用的电路，要求掌握它们的工作原理。集成稳压器是小功率直流稳压电源的发展方向，使用方便、工作可靠。要求掌握三端式固定输出电压集成稳压器的典型应用方法。

(9) 第九章 数字电路基础

本章在介绍数制、二进制码和逻辑函数的基础上，阐述了逻辑代数的基本定理、卡诺图以及逻辑函数的变换和化简方法，然后系统地讨论门电路。要求弄清逻辑函数的基本概

念，熟悉逻辑函数的四种表示方法；能够熟练运用公式化简法和图形化简法化简逻辑函数。对于门电路，要求会分析它的逻辑功能，也就是输出与输入之间的逻辑关系；会分析和估算它的外特性，即外部电压、电流之间的相互关系。

(10) 第十章 组合逻辑电路

组合逻辑电路每一时刻的输出状态仅取决于当时输入变量的状态，与电路前一时刻的状态无关。分析和设计各种组合电路时，都要抓着这个特点。

本章要求掌握组合逻辑电路的功能分析和设计方法。还要求掌握一些常用的中规模集成组合逻辑电路部件（例如译码器、比较器、加法器等）的使用方法和性能扩展方法。

(11) 第十一章 时序逻辑电路

时序逻辑电路的状态，不仅与当时输入变量的状态有关，而且还与系统前一时刻的输出状态有关，即时序逻辑电路具有存储记忆功能。分析时序逻辑电路的工作原理时，要清醒地把握着这类电路不同于组合逻辑电路的地方。

触发器是时序逻辑电路最基本的存储单元，要学会用功能表或特征方程来分析常用触发器（钟控RS、JK、D触发器等）的逻辑功能以及掌握这些触发器状态变换的时刻与钟脉冲四个不同阶段（高电平、低电平、上升沿、下降沿）的对应关系。

本章还要求学会分析一些常用的时序逻辑电路如计数器、寄存器等的工作原理，分析的一般方法为首先写出电路中各触发器的驱动方程，然后代入特征方程，即可得到各触发器的状态方程。学会用工作波形或状态转换表示意时序逻辑电路的工作过程。

要求根据一些常用的中规模集成时序部件的功能表,能正确熟练地应用这些部件,例如构成 N 进计数器等。

(12) 第十二章 半导体存储器

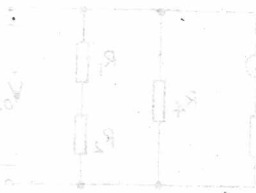
掌握随机存储器的基本存储单元的构成和工作原理以及存储系统的结构,建立“地址”的概念。在此基础上,介绍只读存储器的结构及工作原理。

如果学时较少,本章可作为课外学习资料,以加宽学生的知识面。

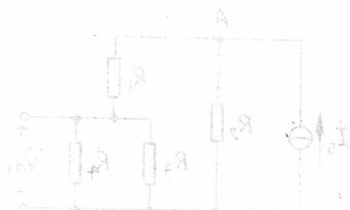
(13) 第十三章 脉冲电路及综合电路系统

本章要求熟悉集成单稳态触发器、多谐振荡器及555定时器的工作原理及应用,掌握矩形波、锯齿波等常用脉冲信号的产生方法和一些控制电路的构成原理。

要求了解常用A/D、D/A转换器的工作原理以及了解由模拟、数字集成部件构成的综合系统的分析方法。



(c) 1-19图

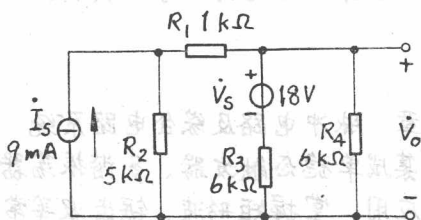


(d) 1-19图

III、各章习题与思考题解答

III-1 第一章 线性电路简述

1-1 试用叠加定理计算图PI-1(a)的电压 $\dot{V}_0$ 。



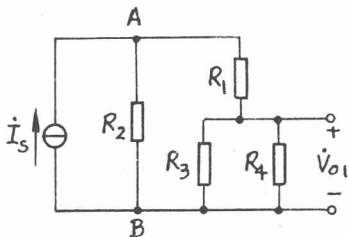
图PI-1(a)

解：考虑 $\dot{I}_S$ 时，把 $\dot{V}_S$ 视为短路，电路如图PI-1(b)所示，这时

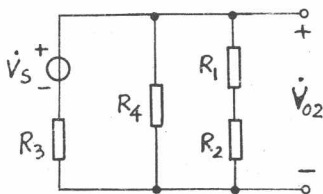
$$\begin{aligned}\dot{V}_{AB} &= \dot{I}_S [R_2 // (R_1 + R_3 // R_4)] \\ &= 9 \times 10^{-3} [5k\Omega // 4k\Omega] = 20V\end{aligned}$$

$$\dot{V}_{01} = \dot{V}_{AB} \frac{R_3 // R_4}{R_1 + R_3 // R_4} = 20 \times \frac{3k}{4k} = +15V$$

考虑 $\dot{V}_S$ 时， $\dot{I}_S$ 视为开路，电路如图PI-1(c)所示。



图PI-1(b)



图PI-1(c)

$$\dot{V}_{02} = \dot{V}_s \frac{R_4 // (R_1 + R_2)}{R_3 + R_4 // (R_1 + R_2)} = 18V \frac{3k}{6k + 3k} = +6V$$

故 $\dot{V}_0 = \dot{V}_{01} + \dot{V}_{02} = 15 + 6 = 21V$

1-2 电路如图PI-2, 求使 $\dot{I}$ 等于零时的 $\dot{V}_s$ 值。

解: 当 $\dot{V} = 0$ 时, 流过 R_2

的电流为

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \frac{\dot{V}_s}{R_2 + R_1 // R_3} \\ &= \frac{\dot{V}_s}{1 + 0.75} = \frac{\dot{V}_s}{1.75} \end{aligned}$$

当 $\dot{V}_s = 0$ 时, 流过 R_2 的电

流为

$$\dot{I}_2 = \frac{-\dot{V}}{R_1 + R_3 // R_2} \times \frac{R_3}{R_2 + R_3} = \frac{-3}{3 + 0.5} \times \frac{1}{2} = -0.43 \text{ mA}$$

当 $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 0$ 时, 则有

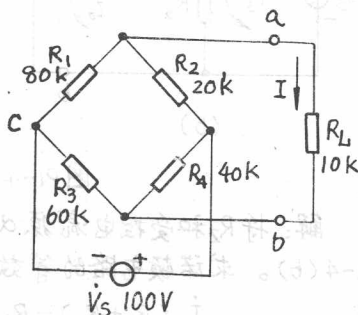
$$\frac{\dot{V}_s}{1.75} = 0.43$$

所以 $\dot{V}_s = 0.43 \text{ mA} \times 1.75 \text{ k}\Omega = 0.75 \text{ V}$

1-3 电路及其参数如图PI-3所示, 试用戴文宁定理求电路中 R_L 的电流 $\dot{I}$ 。

解: 先把 a、b 左边电路等效为戴文宁电路。等效电压源为

$$\begin{aligned} \dot{V}_{ab} &= \dot{V}_{ac} - \dot{V}_{bc} \\ &= \frac{R_1 \dot{V}_s}{R_1 + R_2} - \frac{R_3 \dot{V}_s}{R_3 + R_4} \\ &= \frac{80 \times 100}{100} - \frac{60 \times 100}{100} \end{aligned}$$



图PI-3

$$= 20 \text{ V}$$

等效内阻为

$$\begin{aligned} R_{ab} &= R_1 // R_2 + R_3 // R_4 \\ &= 80 // 20 + 60 // 40 = 40 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

于是流过 R_L 的电流

$$\dot{I} = \frac{\dot{V}_{ab}}{R_L + R_{ab}} = \frac{20}{40 + 10} = 0.4 \text{ mA}$$

1-4 试求图 P1-4(a) 中所给电路对于负载 R_L 的诺顿等效电路。(提示: 先将 R_2 、 $\alpha \dot{I}_S$ 变换为戴文宁电路)

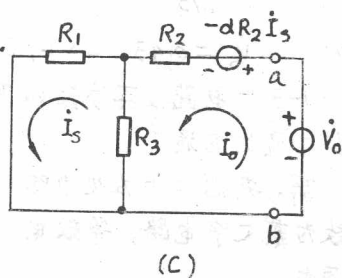
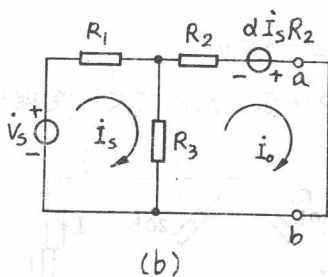
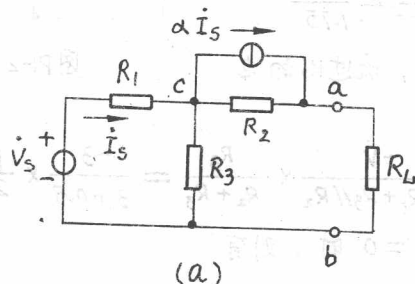


图 P1-4

解: 将 R_2 和受控电流源 $\alpha \dot{I}_S$ 等效为戴文宁电路, 如图 P1-4(b)。求诺顿电路的等效电流源 $\dot{I}_0$ 时, 令 ab 短路, 可得

$$\dot{I}_S (R_1 + R_3) - R_3 \dot{I}_0 = \dot{V}_S \quad (1)$$

$$\dot{I}_0 (R_2 + R_3) - \dot{I}_S (R_3 + \alpha R_2) = 0 \quad (2)$$