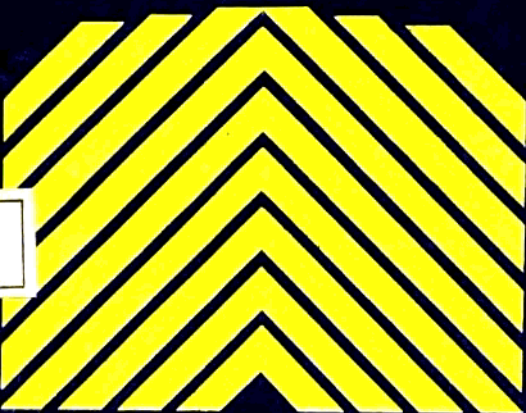


电子技术基础

下 册

冀士学 杜凯 冯绍国 刘振中 等编

黑龙江科学技术出版社



前 言

本书是受黑龙江省教育委员会的委托，由黑龙江省及内蒙古自治区12所师范院校担任“电子技术基础”课教学的部分教师编写的。

本书重点讨论了电子技术的基本概念、基本原理和基本分析方法，以定性分析为主，并做了必要的定量分析。为适应80年代电子技术的飞速发展，加强了模拟集成电路、数字电路及电视技术的内容，适当压缩了脉冲电路的篇幅。考虑到师范院校教学的需要和学生的课后自学，在第三篇中，较详细地分析了收音机、扩大机、录音机、黑白电视机等整机线路，并编入了一些具有实践意义的思考题。

对本书宜按90~110课时制定教学计划。书中带*号的内容和第三篇的一些章节，可以通过学生自学或实验课完成。

本书由哈尔滨工业大学张乃通教授审稿。哈尔滨师范大学副校长张晋梗副教授和哈尔滨工业大学无线电工程系副主任张中兆老师曾经给予指导，并提出不少宝贵意见。黑龙江省教育委员会王启祥、李高贵同志也予以大力支持和帮助。谨一并致以衷心感谢。

由于水平有限，编写时间仓促，书中不当之处难免，欢迎批评指正。

全体编写人员

1986年12月

内 容 提 要

全书分两册。上册是第一篇，为“模拟电路基础”部分，包括半导体器件、放大器的基本分析方法、负反馈放大器、常用放大器、正弦波振荡器、非线性变换电路、直流稳压电源、模拟集成电路等内容。下册为第二篇和第三篇，分别是“脉冲与数字电路基础”和“电子技术应用”部分，其中第三篇主要包括扩大机、录音机、收音机、电视技术等内容。本书可作为高等师范院校物理专业及其他有关专业的“电子技术基础”课教材，也可作为电大、函授等各类学校有关专业的参考书。

本书常用符号说明

一、电流

- I 直流电流值、正弦电流有效值
 I_B 基极直流电流
 i_B 基极电流瞬时值
 i_b 基极交流电流
 $\dot{I}$ 正弦电流复数值
 $\dot{I}_B$ 基极正弦电流复数值
 I_{cm} 集电极电流振幅值
 I_m 正弦电流振幅值、脉冲电流幅值

二、电压

- V 直流电位、直流电压、正弦电流有效值
 $\dot{V}$ 正弦电压复数值
 V_B 基极直流电位
 v_B 基极电位瞬时值
 v_b 基极交流电压或电位
 V_r 三极管门限电压
 V_m 正弦电压振幅值、脉冲电压幅度
 E 直流电源电压

三、频率

- f 频率
 f_L 放大器下限频率
 f_H 放大器上限频率

$f_{bw}(B)$ 放大器通频带

B 并联谐振回路通频带

f_0 并联谐振回路固有谐振频率

四、放大倍数

A 放大倍数

A_v 电压放大倍数

A_i 电流放大倍数

A_v 反馈放大器放大倍数

五、其他

$CMRR$ 共模抑制比

F 反馈系数

n 取样系数、接入系数、变压比

T 周期、晶体管、场效应管

T_r 变压器

τ 时间常数

η 效率

ξ 广义失谐系数

BG 实际整机电路的晶体管

目 录

第二篇 脉冲与数字电路基础

第一章 脉冲电路	(1)
§ 2.1.1 脉冲波形和主要参数	(1)
§ 2.1.2 RC电路和RL电路的暂态特性	(4)
§ 2.1.3 晶体管的开关特性	(19)
§ 2.1.4 基本脉冲变换电路	(35)
习题和思考题	(50)
第二章 数字电路概述	(55)
§ 2.2.1 数字电路概述	(55)
§ 2.2.2 计数方法	(56)
*§ 2.2.3 原码、补码和反码的概念	(64)
习题和思考题	(67)
第三章 门电路	(69)
§ 2.3.1 与门电路、或门电路、非门电路	(69)
§ 2.3.2 与非门、或非门、TTL与非门	(74)
习题和思考题	(87)
第四章 数字电路的基本分析方法	(89)
§ 2.4.1 逻辑代数及其基本定律	(89)
§ 2.4.2 逻辑函数的表示方法及互换	(92)
§ 2.4.3 逻辑式化简法	(97)
习题和思考题	(110)
第五章 触发器	(116)
§ 2.5.1 基本RS触发器	(116)
§ 2.5.2 同步RS 触发器	(122)
§ 2.5.3 主从触发器	(125)

§ 2.5.4 维持阻塞D触发器	(130)
习题和思考题	(133)
第六章 基本数字部件	(136)
§ 2.6.1 编码器	(136)
§ 2.6.2 显示器	(138)
§ 2.6.3 译码器	(143)
§ 2.6.4 全加器	(149)
*§ 2.6.5 寄存器	(154)
§ 2.6.6 计数器	(158)
§ 2.6.7 数字石英钟	(166)
习题和思考题	(174)
第七章 脉冲信号的产生和整形	(176)
§ 2.7.1 间歇振荡器	(176)
§ 2.7.2 集成电路构成的多谐振荡器	(182)
§ 2.7.3 锯齿波发生器	(190)
§ 2.7.4 TTL与非门单稳态电路	(195)
§ 2.7.5 TTL与非门施密特触发器	(201)
习题和思考题	(206)

第三篇 电子技术应用

第一章 扩音机	(208)
§ 3.1.1 扩音机的基本原理	(208)
§ 3.1.2 扩音机特性指标	(217)
习题和思考题	(218)
第二章 录音机	(219)
§ 3.2.1 录音机工作原理	(219)
§ 3.2.2 盒式录音机录放电路的组成与分析	(226)
§ 3.2.3 盒式录音机的主要性能指标	(228)

习题和思考题	(230)
第三章 晶体管收音机	(231)
§ 3.3.1 无线电广播的基本原理	(231)
§ 3.3.2 无线电波波段的划分和传播	(234)
§ 3.3.3 晶体管超外差收音机	(237)
§ 3.3.4 整机电路分析	(247)
习题和思考题	(251)
第四章 黑白电视基础知识	(253)
§ 3.4.1 人眼的视觉特性和电视的实现	(255)
§ 3.4.2 光电转换及图像的分解	(259)
§ 3.4.3 摄像管的构造及工作原理	(261)
§ 3.4.4 显像管	(268)
§ 3.4.5 隔行扫描的采用	(273)
§ 3.4.6 全电视信号	(274)
§ 3.4.7 电视信号的发送	(283)
习题和思考题	(289)
第五章 黑白电视接收机电路分析	(291)
§ 3.5.1 晶体管黑白电视接收机的组成	(291)
§ 3.5.2 高频头	(294)
§ 3.5.3 图像中频放大器	(323)
§ 3.5.4 视频检波电路和视频放大电路	(332)
§ 3.5.5 同步分离电路	(341)
§ 3.5.6 场扫描电路	(351)
§ 3.5.7 行扫描电路	(365)
§ 3.5.8 自动增益控制电路(AGC电路)	(386)
§ 3.5.9 伴音电路	(392)
§ 3.5.10 整机电路分析	(395)
*§ 3.5.11 集成电路黑白电视接收机简介	(397)

习题和思考题	(407)
* 第六章 彩色电视机简介	(409)
§ 3.6.1 彩色电视概述.....	(409)
§ 3.6.2 彩色显像管.....	(412)
§ 3.6.3 色度学基础.....	(415)
§ 3.6.4 彩色电视接收机.....	(419)

第二篇 脉冲与数字电路基础

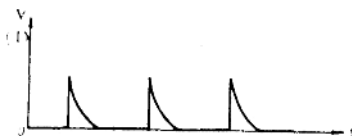
第一章 脉冲电路

脉冲技术是研究各种脉冲波形的产生和变换的技术。产生和变换各种波形的脉冲电路一般包括两个主要组成部分：开关电路部分和惯性电路部分。

§ 2.1.1 脉冲波形和主要参数

2.1.1.1 什么是脉冲

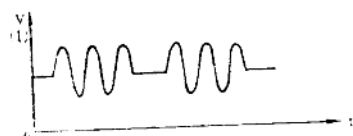
我们首先观察图2.1.1—1中的各种信号波形。这些信号波形虽然千差万别，但却有一些共同特性：波形中总包括有突变的部份。因此，脉冲即是在极短时间内出现的电压或电流的变化。一般情况下，凡是按非正弦规律变化的电流或电压都可称作脉冲。脉冲有冲击、短促和脉动的含义。脉冲的波形各种各样，图2.1.1—1是常见的几种脉冲波形。理论推导和实验测试都可以证明，任何非正弦信号（即脉冲信号）都是由许多不同频率的正弦波按一定方式叠加合成的。



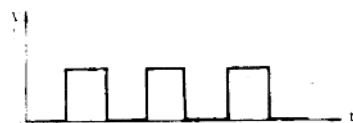
(a) 尖脉冲



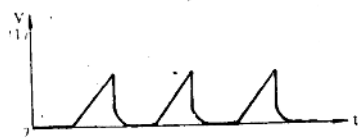
(b) 钟形脉冲



(c) 断续正弦波



(d) 矩形波



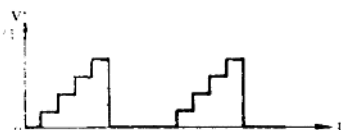
(e) 锯齿波



(f) 阶跃信号



(g) 方波



(h) 阶梯波

图 2.1.1-1 各种脉冲波形

2.1.1.2 脉冲信号的参数

一个脉冲信号可以由多个参数来确定。其中主要的有以下几个参数：

脉冲幅度：脉冲从静态值跳变到峰值时的差值。如图 2.1.1-2 所示， V_m 即是该脉冲的幅度。如果这个值是正数，则此脉冲叫做正脉冲。如果这个值是负数，则此脉冲叫做负脉冲。

重复周期和重复频率：两个相同的相邻脉冲所间隔的时间，叫做重复周期，用 T 表示；周期的倒数就是重复频率，

用 f 表示，且 $f = \frac{1}{T}$ 。

脉冲上升时间 t_r ：从脉冲幅度的 10% 上升到 90% 时所需要的时间，用 t_r 表示，如图 2.1.1-2 所示。

脉冲下降时间 t_f ：从脉冲幅度的 90% 下降到 10% 时所需要的时间，用 t_f 表示。

脉冲宽度 t_w ：按其含义，应把脉冲出现后所持续的时间定义为脉冲宽度。但由于脉冲波形较复杂，一般都由脉冲幅度50%处持续的时间定义为脉冲的宽度，用 t_w 表示。有时也用脉冲底部的持续时间来表示这个参数。

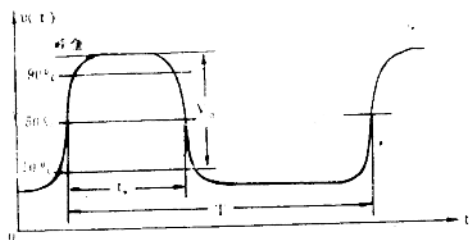


图 2.1.1—2 脉冲参数的定义

§ 2.1.2 RC电路和RL电路的暂态特性

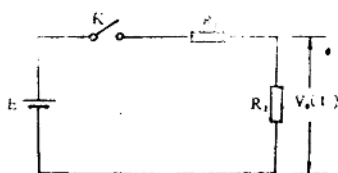
2.1.2.1 什么是稳态和暂态

电子电路基本都是由电阻、电容、电感和电源等线性元件和晶体管等非线性元件构成的，脉冲电路也不例外。那么，这样的电路在脉冲信号的作用下，电路各处的电压、电流值是如何变化的呢？为了研究这个问题，我们首先说明什么是电路的稳态和暂态。

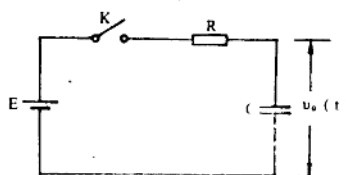
所谓电路的稳态，就是在信号作用下，当 $t = \infty$ 时电路各处所处的状态。这时电路各点的电信号（电压或电流）的变化规律完全由作用信号来决定。在实践中，只要电路的状态已接近于 $t = \infty$ 时的状态，即可认为电路已进入了稳态。

那么，什么是电路的暂态呢？下面试举例说明之。

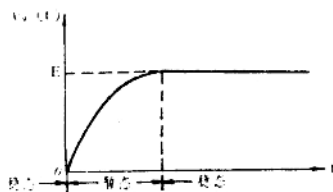
有一个由纯电阻和电源组成的电路，如图2.1.2—1(a)所示。当输入端开关 K 断开时，电路中电流为零，输出电压为零，即电路处于 $I = 0$ 和 $V_o = 0$ 的稳态。当 K 闭合时，电路中立刻有 $I = \frac{E}{R_1 + R_2}$ 、 $V_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E$ ，电路处于另一状态，显然这个状态也是一个稳态，而且电路由前一个稳态转换成后一个稳态是不需要时间的。



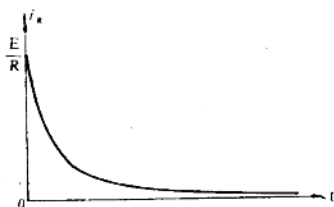
(a)



(b)



(c)



(d)

图 2.1.2-1 纯电阻电路与RC电路

如果电路如图2.1.2-1 (b) 所示, 除电阻外, 还包含有电容。由于电容是储能元件, 它两端电压的变化是和其上电荷量的变化率成正比的。当K闭合之前的瞬间, 我们以 $t = 0^-$ 表示, 这时回路电流 $I = 0$ 、 $V_C = 0$, 电路处于一个稳态, 假设叫做稳态“1”。当K刚一闭合的瞬间, 我们以 $t = 0^+$ 表示。这时输入端电压上跳为 E , 电容上因还未来得及充电, 电荷量为零, 所以 $v_C(0^+) = v_C(0^-) = 0$ 。在 $t = 0^+$ 以后, 电容逐渐充电, 因此 $v_C(t) = v_C(t)$ 逐渐上升。根据基尔霍夫回路电压定律, $E = v_C(t) + v_R(t)$, 则 $v_R(t)$ 逐渐减小。而由欧姆

定律 $i_R = i_C = \frac{v_R(t)}{R}$, 则回路电流 i_C 也逐渐减小。经过一定时间, 电容上电压达到电源电压的值, 即 $v_C = E$, 这时回路电流为零, 电路进入了另一稳态。这时 $i_C = 0$ 、 $v_C(t) = E$, 并设这一状态叫做稳态“2”。

从上面分析可以看出, 此电路从稳态“1”变化到稳态“2”需要一段过渡时间。我们称电路状态由一种稳态变化到另一种稳态的过程为过渡过程 (也称为暂态), 如图2.1.2

— 1 (c) 所示。通过上述举例，可以看出电 容 器 充放电是产生过渡过程（暂态）的根本原因。暂态显然是由于电路中包含有惯性元件引起的。

2.1.2.2 RC电路过渡过程的数学表达式

分析RC 电路特性的理论基础主要是基尔霍夫回路电压定律和元件的伏安特性方程。下面以图2.1.2—1的 RC 电路为例，分析RC电路在简单阶跃信号作用下的响应情况。

假设在开关闭合之前，即 $t = 0^-$ 时刻，电容上初始电压为 $v_C(0^-)$ 。将开关K闭合，相当于给电路加一阶跃信号。此时回路中电流为 $i(t)$ ，据基尔霍夫电压定律有：

$$v_i(t) = v_R(t) + v_C(t)$$

考虑电容和电阻的伏安特性

$$v_R(t) = i(t)R \quad i = i_C = C \cdot \frac{dv_C(t)}{dt}$$

得

$$v_i(t) = i(t)R + v_C(t) = CR \frac{dv_C(t)}{dt} + v_C(t) \quad (2.1.2.1)$$

这就是描述电容电压 v_C 变化的微分方程，它是一个一阶常系数线性非齐次微分方程。其解的形式为

$$v_C(t) = v_{C特} + v_{C通} \quad (2.1.2.2)$$

$v_{C通}$ 是它的通解，应由它的齐次方程 $RC \frac{dv_C}{dt} + v_C =$

0 求出，即

$$RC \frac{dv_C}{v_C} = - dt \quad \int \frac{dv_C}{v_C} = \int - \frac{1}{RC} dt$$

$$I_n v_c = -\frac{t}{RC} + A' \quad v_c = e^{-\frac{t}{RC}} \cdot e^{A'}$$

令 $RC = \tau$ 、 $e^{A'} = A$ ，则

$$v_c = Ae^{-\frac{t}{\tau}}$$

这就是原方程的通解。

下面再求方程在 $t = \infty$ 条件下的特解。从电路可知，当 $t = \infty$ 时，电容器充电完毕，电容器两极板的电压等于输入端阶跃信号（或者说电源 E ）的幅值 E ，即

$$v_c(\infty) = E$$

所以

$$\begin{aligned} v_c &= v_{c\text{通}} + v_{c\text{特}} = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + v_{c\text{特}}(\infty) \\ &= Ae^{-\frac{t}{\tau}} + E \end{aligned} \quad (2.1.2.3)$$

首先确定常数 A 。令 $t = 0$ ，此时电容器电压为零，即

$$v_c(0) = 0$$

$$0 = Ae^{-\frac{0}{\tau}} + E = A + E \quad A = -E$$

于是原解为

$$v_c = -Ee^{-\frac{t}{\tau}} + E = E \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (2.1.2.4)$$

公式 (2.1.2.4) 就是 RC 电路中电容上电压的变化规律。

下面求回路中电流变化规律。由公式 (2.1.2.1) 可得

$$v_i = E = v_R + v_c = i_R R + v_c$$

$$E = i_R R + E \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$