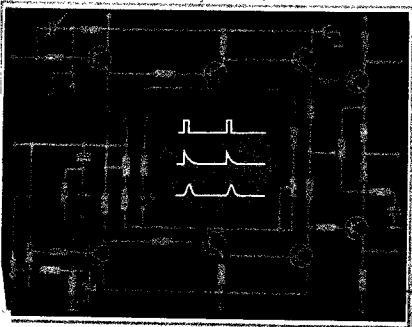




电子工业工人初级技术教材(八)

脉冲技术

电子工业工人技术教材编写组 编



国防工业出版社

内 容 简 介

本书着重介绍了脉冲技术基础知识,分立元件脉冲电路和集成电路的基本原理和分析方法。内容包括:线性整形和非线性整形电路、双稳态和单稳态电路、多谐振荡器、锯齿波电压和电流产生器、间歇振荡器、脉冲功率放大器、晶体管门电路和数字电路、集成电路及其组成的脉冲电路和计数电路、负阻器件电路、脉冲电路的同步与分频等。内容丰富,结合实际,语言简明扼要,突出重点,深入浅出,着重物理概念,同时也作了必要的定量分析。

本书主要对象是从事电子工业的青、壮年工人,也可作为从事有关专业的工程技术人员参考。

电子工业工人初级技术教材 (八)

脉 冲 技 术

电子工业工人技术教材编写组 编

责任编辑 孙忠玉

*

国防工业出版社出版

国防工业出版社印刷厂印刷 内部发行

*

787×1092¹/₃₂ 印张10¹/₂ 223千字

1983年7月第一版 1983年7月第一次印刷 印数: 00,001—42,000册

统一书号: N15034·2622 定价: 1.30元

前 言

为了适应电子工业青、壮年工人的专业技术培训的需要,按照部颁《电子工业工人初级技术理论教学计划、教学大纲》的要求,我们组织有关单位分别编写了《无线电知识》、《无线电识图与制图》、《无线电通用材料》、《无线电钳工装配工艺》、《无线电测量与仪器》、《电工》、《电子线路》、《脉冲技术》、《微波技术》、《机械制图》、《化学知识》等十一门工人初级技术基础理论课教材。

这套教材可作为电子工业四级以下青、壮年技术工人培训用书,也适用于未经过专业培训、具有初中文化水平的干部、工人自学参考。

我们在编写《脉冲技术》的过程中,得到了北京有线电厂、南京有线电厂、上海无线电二十一厂及上海市仪表局的大力支持,在此表示感谢。

本书是由王兴远同志担任主编,并负责编写了第一、二、十、十一章;尹自由同志负责编写了第六、七、八、九章;李昇平同志负责编写了第三、四、五章;石如虎同志担任主审;阎天民同志也参加了部分审稿工作。

在编写过程中,我们力求在内容上适合电子工业工人技术培训的需要,在文字叙述上简明扼要、通俗易懂,但由于时间仓促,又缺乏经验,书中难免有不妥之处。我们诚恳希望读者提出宝贵意见。

电子工业工人技术教材编写组

目 录

绪 言	1
第一章 脉冲基础知识	3
第一节 脉冲一般概念	3
第二节 RC 电路	11
第二章 晶体管开关及其基本电路	28
第一节 晶体管的开关特性	28
第二节 反相器	41
第三节 限幅器	48
第四节 箝位电路	60
第三章 双稳态电路	69
第一节 集-基耦合双稳态电路	69
第二节 射极耦合双稳态电路	98
第四章 单稳态电路	113
第一节 集-基耦合单稳态电路	113
第二节 射极耦合单稳态电路	133
第五章 多谐振荡器	144
第一节 集-基耦合多谐振荡器	144
第二节 射极耦合多谐振荡器	152
第六章 锯齿波产生电路	163
第一节 锯齿波电压发生器	163
第二节 锯齿波电流发生器	177
第七章 间歇振荡器与脉冲功率放大器	184
第一节 间歇振荡器的基本工作原理	184

第二节	脉冲功率放大器	197
第八章	晶体管门电路与计数电路	212
第一节	门电路	212
第二节	计数电路	225
第九章	几种特殊器件及其电路简介	252
第一节	隧道二极管	252
第二节	单结晶体管	259
第三节	可控硅	263
第十章	集成电路简介	269
第一节	集成电路的一般概念	269
第二节	门电路	270
第三节	集成电路触发器	280
第四节	集成电路计数器	289
第五节	集成电路在脉冲技术中应用举例	297
第十一章	同步与分频	311
第一节	同步与分频的概念	311
第二节	数字电路分频原理和应用	322

绪 言

脉冲技术是一门基础技术,是电子技术的一个重要分支。它应用的范围是非常广泛的,如电报、电话、雷达、电视、核物理技术、数字通讯、数字计算机、各种测量仪器、家用电器、电子医疗设备等都离不开脉冲技术。特别是数字电路的发展,使脉冲技术应用范围更加广泛。现在脉冲技术的应用已深入到国民经济、国防建设各有关部门。

脉冲技术除具有一般无线电放大技术共同特点以外,又有其特殊性。在放大电路中多数情况下,被传输和放大的信号都工作在晶体管伏安特性曲线的线性区,电路中的电阻、电容或电感等起到选择、稳定工作点,或起到耦和、改善频率响应特性和负载的作用。在脉冲电路中多数情况下,传输信号工作在晶体管伏安特性曲线的饱和区和截止区,晶体管在这里主要是起开关作用。通常称放大电路为线性电路,称脉冲电路为开关电路。脉冲电路中的电阻、电容、电感等元件,在多数情况下,起到产生各种形状和不同间隔的脉冲作用。

脉冲技术是研究产生、变换、整形、放大、传输和测量各种脉冲信号的方法,并对脉冲电路进行设计、计算和应用。

脉冲电路有分立元件电路和集成电路之分。当将晶体管、电阻、电容和电感等元件分别焊接在线路板上时,称分立元件脉冲电路,当将这些元器件在一块基片上集成时,称集成

电路。

集成电路的特点是体积小、重量轻、稳定性和可靠性高、寿命长、耗电少,这些优点使它在脉冲电路中得到广泛应用。

通过本书学习,使读者能掌握简单脉冲技术、一般脉冲技术基础知识、单元电路和波形产生电路的基本工作原理、简单脉冲数字电路以及集成逻辑门电路的原理和应用。

第一章 脉冲基础知识

第一节 脉冲一般概念

一、脉冲定义

1. 电脉冲定义

脉冲可定义为在某一瞬时，电路中电压或电流幅度的突然变化，或者说电压或电流的短暂冲击，它可以是周期的，也可以是非周期或单次的。用来描述脉冲的最基本波形有阶跃电压（电流）、斜波电压（电流）、冲击电压（电流），如图 1-1 所示。

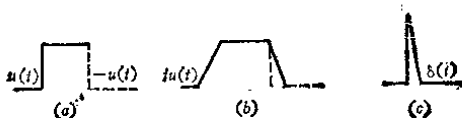


图 1-1 脉冲基本波形

(a) 阶跃波；(b) 斜波；(c) 冲击波。

这三个基本脉冲波形在脉冲技术中十分重要，大部分脉冲波形均能由此三个基本波形组合而成。例如，一个具有 t_k 宽度的矩形脉冲可以表示为 $Uu(t_1) - Uu(t_1 - t_k)$ ，如图 1-2 所示。

在 $t = t_1$ 时电压（电流）以 $Uu(t_1)$ 速率跃升到高电平 U ，并维持到时间 t_k ，到 $t = t_k$ 时以一个 $-Uu(t_k)$ 速率下降

到原来的低电平，如此重复，便能得到一串周期性的矩形脉冲波形。

2. 脉冲的典型应用

现举一简单数字频率计为例说明脉冲的典型应用。数字频率计主要是用来测量周期信号频率的仪器，它的原理方框图，如图 1-3 (a) 所示。

任何周期性信号的频率，都是指它在一秒内重复的次数，它的单位为“赫”或“千赫”，分别记

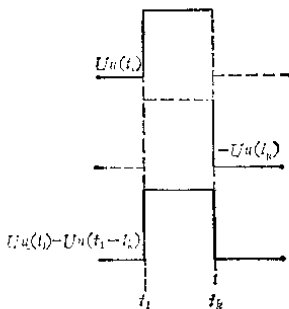


图1-2 理想矩形脉冲波形图

作 Hz 或 kHz 等。现在要测量输入信号的频率（输入信号的波形不一定是正弦波），被测量的信号首先通过输入放大器 A 放大、整形后加到信号“与门”或称“主门”的输入端，而测量标准时基信号如 10 秒、1 秒、0.1 秒等是由高稳定度 1 兆赫 (MHz) 晶体振荡器，经十进制分频器多次分频后获得的，再经过时间选择开关选出所需要的时基信号。通常选择一秒时基信号去控制“门控双稳”，“门控双稳”输出信号加到信号“与门”的另一个输入端，只有当经放大整形后的被测信号和受时基控制的“门控”信号同时出现在信号“与门”的输入端时，信号“与门”打开，这时通过“主门”的输出信号作为计数脉冲送到计数器计数，时基信号结束时停止计数。最后到达显示器，而“门控”信号是用来控制开门时间的。如果被测频率为 f_x ，则

$$f_x = \frac{N}{T}$$

式中 N 为计数器的读数;

T 为时基信号周期, 也就是计数器的计数时间。

如果 $T = 1$ 秒时, 则 $f_x = N$, 如图 1-3 (b) 所示。

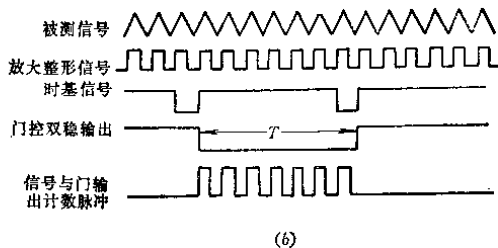
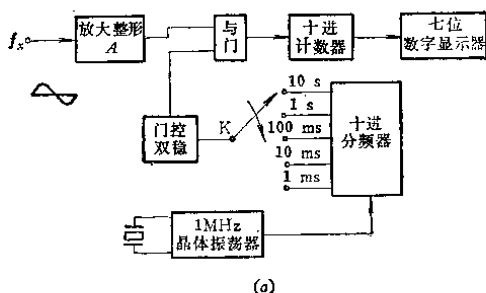


图1-3 数字频率计原理方框图和频率测量波形图

(a) 原理方框图; (b) 频率测量波形图。

又例如在电视中为了使帧、行扫描信号与被接收的图象信号同步,以确保显像管的图像显示稳定。通常电视发射台在发送图像信号的同时要发送出帧、行扫描同步信号,这两种信号都混合在图像信号中,场同步信号是每秒 50 周,脉冲宽度较宽。而行同步信号是 15625 周,即 64 微秒(μs)一次,脉冲宽度较窄。电视接收机线路中设计有幅度分离电路,经分离去掉图象信号得到复合同步脉冲,经过 RC 微分电路和积分电路进行分离,然后分别送到场扫描电路和行扫描电路,使场、行振荡电路得到同步,如图 1-4 所示。

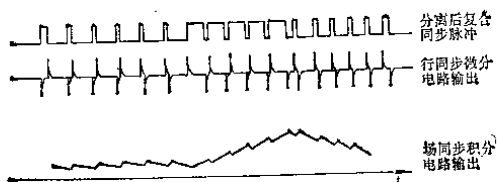


图1-4 场、行同步脉冲分离原理

从以上两个例子可以看出,脉冲电路特别是脉冲数字电路应用十分广泛。尤其是集成电路的出现和应用,使脉冲技术的应用更加广泛。电子工人不但要掌握电子放大技术,而且还要掌握脉冲技术,才能适应当前科学技术发展和生产的需要。

二、几种常见的脉冲波形

由于组成脉冲电路的种类与形式以及元器件数值不同,产生的脉冲波形也是多种多样的。这里仅举几种常见的波形,

如图 1-5 所示。

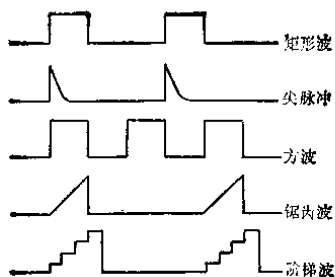


图1-5 常见的脉冲波形

三、典型的脉冲参数

在实际工作中为表示各种各样的脉冲波形的特征，同正弦波形一样，脉冲波形也有一些基本参数。只有知道了这些

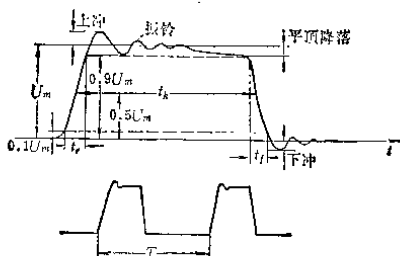


图1-6 典型的脉冲参数

参数,才能确定脉冲波形的特性。从某种意义讲,脉冲技术所研究的问题,就是从实际需要出发,应用各种方法,包括元器件筛选,最佳设计方案的选择来产生各种特性参数的脉冲波。我们以最常用的典型波形——矩形波为例,介绍脉冲参数,如图 1-6 所示。

1. 脉冲幅度

脉冲由一个稳态值跃升(下降)到另一个稳态值的幅度变化的量值称为脉冲幅度。脉冲幅度分稳态幅度和瞬时值幅度,稳态值幅度用 U_m 或 I_m 表示,脉冲幅度瞬时值用 $u(t)$ 或 $i(t)$ 来表示。它的单位是伏(V)或安(A)等。

应该指出的是脉冲电压(电流)的稳态值是很难确定的,特别是窄脉冲波,所以在实践中要根据线路工作原理和脉冲波形特性来确定脉冲稳态值和脉冲幅度。

2. 脉冲上升时间 t_r

从脉冲幅度的 10% 上升到 90% 所需要的时间称为上升时间,以 t_r 表示,单位为毫秒(ms)、微秒(μs)、毫微秒(ns)等。

3. 脉冲下降时间 t_f

从脉冲幅度的 90% 下降到 10% 所需要的时间称为下降时间,以 t_f 表示,单位为毫秒(ms)、微秒(μs)、毫微秒(ns)等。

4. 脉冲宽度 t_k

通常把脉冲幅度 50% 的持续时间称为脉冲宽度,以 t_k 表示,单位为毫秒(ms)、微秒(μs)、毫微秒(ns)等。

5. 脉冲重复周期 T 或重复频率 f

相邻脉冲波形周期出现的时间间隔称脉冲重复周期,以

T 表示, 单位为秒 (s)、毫秒 (ms)、微秒 (μ s)、毫微秒 (ns) 等。

周期的倒数称为脉冲重复频率, 以 f 表示, 单位为赫 (Hz)、千赫 (kHz)、兆赫 (MHz) 等。

6. 占空系数 Q

脉冲波形在一个周期内脉冲重复周期 T 与脉冲宽度 t_k 的比值, 称为占空系数, 以式 $Q = \frac{T}{t_k}$ 表示。

7. 衰减振荡

叠加在脉冲平顶前部的振荡波称衰减振荡失真, 这种失真通常发生在 t_r 之后, 以振荡幅度、振荡频率和衰减系数来表示。

8. 上冲

在脉冲波上升时间之后阻尼振荡的最大振幅称上冲, 通常用阻尼振荡最大振幅与脉冲幅度之比的百分数来表示。

9. 平顶降落

整个脉冲顶部的总下降量称为脉冲平顶降落或平顶下降, 以脉冲顶部的总下降量与脉冲幅度之比的百分数来表示。

10. 下冲

在脉冲波下降边之后出现的阻尼振荡的最大振幅称下冲, 以下冲量最大幅度值与脉冲幅度之比的百分数来表示。

四、频谱分析的一般概念

一般地讲, 一个矩形脉冲波由上升沿、平顶和下降沿三部分构成。很明显, 上升沿和下降沿的变化速率是非常快的, 而平顶部分相对来讲变化是缓慢的。用高等数学的方法可以

把任意的一个脉冲波形分解为许多频率、幅度不同，相位相同的正弦波（或余弦波），其基波频率为脉冲重复频率，其他正弦波（或余弦波）频率为基波频率的整数倍，称为谐波。各次谐波的振幅不同，并随着谐波次数的升高而逐渐减小。一个脉冲波形可看作是由基波以及与基波成整数倍的无数次谐波叠加而成的。下面举一个例子说明：

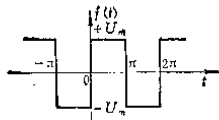


图1-7 对称方波

例 如图 1-7 所示对称方波 $f(t)$ 分解成各次谐波见式 (1-1)。

$$f(t) = \frac{U_m}{\pi} \left(\sin \omega_1 t + \frac{1}{3} \sin 3 \omega_1 t + \frac{1}{5} \sin 5 \omega_1 t + \dots \right) \quad (1-1)$$

式中 ω_1 为基波角频率， U_m 为方波幅度。

很明显，图 1-7 的方波可以分解为基波 $\frac{U_m}{\pi} \sin \omega_1 t$ ，三次谐波 $\frac{U_m}{3\pi} \sin \omega_1 t$ ，五次谐波 $\frac{U_m}{5\pi} \sin 5\omega_1 t, \dots$ 。

相反，也可将 $\sin \omega_1 t$ 、 $\frac{1}{3} \sin 3 \omega_1 t$ 、 $\frac{1}{5} \sin 5 \omega_1 t$ 相叠加画出如图 1-8 所示的波形。其中基波 $\sin \omega_1 t$ 的周期为 2π ；三次谐波 $\sin 3 \omega_1 t$ 周期为 $\frac{2}{3}\pi$ ；五次谐波 $\sin 5 \omega_1 t$ 周期为 $\frac{2}{5}\pi$ ，当然 2π 也是它们的周期。因此，这三个不同周期的谐波可以用叠加原理进行相加，其波形图如图 1-8 所示。

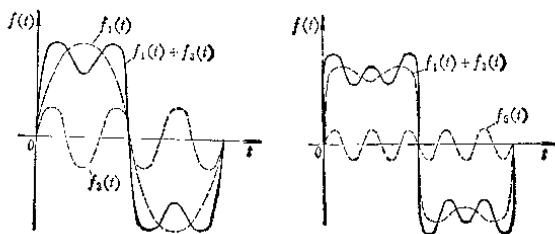


图1-8 基波和三、五次谐波叠加波形

$$f_1(t) = \sin \omega_1 t, \quad f_3(t) = \frac{1}{3} \sin 3\omega_1 t, \quad f_5(t) = \frac{1}{5} \sin 5\omega_1 t.$$

关于谐波的概念，对于我们今后分析脉冲过程是很有用处的，它把脉冲的暂态过程与我们学习的稳态正弦过程联系起来了。

实验证明，脉冲的上升时间和下降时间愈短，谐波的次数愈多，高次谐波的频率就愈高，其所占带宽愈宽。

第二节 RC 电路

RC 电路指的是由电阻 R 和电容 C 构成的简单电路。由于 RC 连接方式不同，有高通 RC 电路和低通 RC 电路之分。RC 电路对正弦波的传输是无失真的，而对脉冲波形的传输会发生变形，因此，RC 电路又称为线性整形电路。RC 电路在输入脉冲作用下，在不同开关器件的控制下，电容进行充电和放电，可形成各种形状的脉冲波形。RC 电路是脉冲电路的基础，熟练掌握 RC 电路的特性，对掌握脉冲技术有极大帮助。详细深入地研究 RC 电路是非常复杂的，这里只研

究简单 RC 电路在矩形脉冲作用下输出波形和输入波形的定量关系。

一、电容的充放电

1. 电容

电容是由两块金属板中间隔着不同的介质（云母、绝缘纸或电介质等）所组成的。它具有存贮电荷的功能，因此简称电容。电容的数学表达式，可用两极板间存贮电荷量（ Q ）和两极板间电压（ u_c ）之比 $Q/u_c = C$ 来表示。在电容充放电过程中， Q 和 u_c 都是时间函数，可记为 $Q(t)$ ， $u(t)$ 。

电容在电路中所呈现的阻抗简称容抗（ X_c ）与频率有关（即 $|X_c| = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$ ），频率升高容抗（ $|X_c|$ ）下降，反之亦然。因此当电容刚接上直流电压瞬间因电压变化极快，所以电路中电容呈现的阻抗极低，甚至短路，随着时间的增加，容抗逐渐增加直至开路。

电容两极板间电荷（ Q ）的积累和电压 u_c 的增加是随时间逐渐进行的。也就是说，电容两端电压在充放电过程中不可能发生突变，而容抗（ $|X_c|$ ）的大小与电容两极板间电荷有关。在开关动作后的一瞬间，将保持开关动作前所具有的电压数值。在充放电过程中，电压就是从这个起始值开始变化的。这个规律一般称“开关定理”它的数学表达式为

$$u_c(0^-) = u_c(0^+) \quad (1-2)$$

式中 $u_c(0^-)$ 表示开关动作前一瞬间电容两端的电压值；
 $u_c(0^+)$ 表示开关动作后一瞬间电容两端电压值。