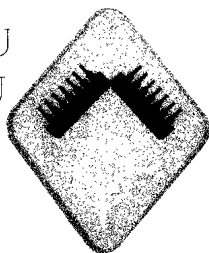


MAICHONG YU
SHUZIDIANLU

徐武义 徐 敏 主编



脉冲与数字电路

河南科学技术出版社

内 容 提 要

本书是依据1986年高等学校工科电子教材编审委员会审订的《脉冲与数字电路教学大纲(草案)》编写的技术基础课教材。主要内容包括两部分:脉冲电路部分(共28学时)包括脉冲电路的基本知识和分立元件脉冲单元电路两章;数字电路部分(共62学时)包括基本逻辑和门电路、逻辑函数及其化简、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、大规模集成电路及其应用、数模与模数转换等七章。

本书内容新颖,基础理论知识丰富,实践性强;叙述深入浅出,层次清楚;以大量国家标准器件构成的实际电路为例,突出了中、大规模集成电路的应用和电路设计方法;练习题选择考究,覆盖面大。全书在选材和编写方法上突破了传统教材的某些局限,注重培养学生的电路设计能力和器件使用能力。

本书可作为工科院校电子类专业的技术基础课教材,也可作为对口专业的函授教材和电子工程技术人员参考。

脉 冲 与 数 字 电 路

徐式义 徐 敏 主编

责任编辑 黄 元

河南科学技术出版社出版

空军导弹学院印刷厂印刷

河南黄新书店发行

787×1092毫米16开本 26印张 600千字

1988年8月第1版 1988年 8月第1次印刷

印数 1—5000 册

ISBN 7-5349-0357-2/T·390

定价: 6.50元



前 言

本书是由空军导弹学院和总参电子技术学院共同组织编写的适用面较宽的大学生电子技术基础课教材。本书在系统讲述了脉冲与数字电路的基础理论之后,用相当篇幅讨论了用中、大规模集成电路进行电路设计的方法和步骤,精选了大量的自动控制、数字通信、信号处理、功能变换等方面的数字电路实例,加强了教材的实用性。

为了便于教学,本书对章节内容作了精心安排,基本上实现了每小时完成一个独立内容的讲授;例题的针对性、实用性和说服力也比较强;每章后面均附有小结和习题。

本书第一、二章由杜宗芳编写;第三、四、六章由徐敏编写;第五、七、八章由徐武义编写;第九章由荆维民编写。全书由张有顺和徐中州主审。

在本书编写过程中,空军导弹学院李载培副教授、西安武警学院光电系六室辛德福主任、西安通信学院第二专业基础教研室徐永谦主任、第四军医大学医电系刘栋文讲师、总参测绘学院电子技术教研室马冰浆讲师、电子技术学院电子技术教研室李继白主任、电子技术学院电子技术教研室和导弹学院电子线路教研室的同志们,都给我们很大帮助,提出了许多宝贵意见。空军导弹学院训练部绘图室的同志们精心绘制了插图。在此谨向他们表示诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中难免会存在一些错误,某些问题也有待于进一步探讨,欢迎广大读者批评指正。

编 者

1988年8月

目 录

第一章 脉冲电路的基本知识	1
第一节 引言	1
一、脉冲及脉冲技术	1
二、脉冲电路的组成	2
第二节 脉冲波形的线性变换电路	2
一、 $R-C$ 电路的暂态特性	2
二、 $R-C$ 微分电路	6
三、 $R-C$ 积分电路	9
四、阻容分压器	11
第三节 晶体二极管的开关特性	12
一、二极管特性曲线的折线近似及其等效电路	13
二、二极管开关参数	14
三、二极管限幅电路	16
四、二极管钳位电路	21
第四节 晶体三极管的开关特性	25
一、三极管特性曲线的折线近似及其等效电路	25
二、三极管开关参数	29
三、晶体管反相器	29
四、三极管限幅电路与钳位电路	36
五、实际微分电路举例	39
本章小结	40
习题	41
第二章 分立元件脉冲单元电路	47
第一节 自激多谐振荡器	47
一、电路组成与工作原理	47
二、波形参数	49
三、改进电路	51
第二节 单稳态触发电路	52
一、电路组成与工作原理	53
二、波形参数	56
三、改进电路	57
第三节 双稳态触发电路	58

一、电路组成与工作原理	58
二、波形参数	61
三、应用举例	63
第四节 射极耦合双稳态触发电路	64
一、电路组成与工作原理	64
二、回差及其调整	66
三、典型电路	67
四、应用举例	67
第五节 自激间歇振荡器	68
一、脉冲变压器的特点	68
二、电路组成与工作原理	69
三、脉冲宽度和重复周期	72
第六节 同步与分频	72
一、自激多谐振荡器的同步与分频	73
二、间歇振荡器的同步与分频	73
第七节 锯齿波电压发生器	74
一、简单的锯齿波电压发生器	74
二、恒流源锯齿波电压发生器	77
三、自举电路	79
四、负向补偿电路	83
本章小结	87
习题	88

第三章 基本逻辑和门电路 93

第一节 分立元件门电路	93
一、“与”逻辑和与门电路	93
二、“或”逻辑和或门电路	94
三、“非”逻辑和非门电路	95
四、与非门和或非门电路	95
第二节 集成TTL与非门	97
一、TTL与非门电路	97
二、TTL与非门的主要外部特性	98
三、TTL门电路的其他类型	101
第三节 MOS逻辑门	104
一、MOS管	104
二、MOS反相器	106
三、CMOS与非门和或非门	110
四、CMOS传输门	111
五、模拟开关	112

六、CMOS 三态门和异或门	113
第四节 门电路构成的脉冲产生电路	115
一、单稳态触发器(微分型)	115
*二、多谐振荡器(带有RC定时电路的环形振荡器)	116
第五节 常用TTL和CMOS集成门电路	118
一、TTL 集成门电路	118
二、CMOS 集成门电路	119
本章小结	120
习题	121
第四章 逻辑函数及其化简	125
第一节 数制与编码	125
一、常用进位制	125
二、常用的几种编码	127
三、常用的数制转换和码制转换	129
第二节 逻辑代数	131
一、逻辑变量及逻辑函数	132
二、逻辑函数的表示方法	132
三、常用的基本公式及规则	133
四、逻辑函数的标准形式	137
第三节 逻辑函数的化简	139
一、逻辑函数的代数化简法	139
二、逻辑函数的图形化简法	141
三、具有任意项的逻辑函数的化简	143
*四、其他化简方法简介	149
本章小结	152
习题	153
第五章 组合逻辑电路	156
第一节 组合逻辑电路的分析	156
第二节 组合逻辑电路的设计	159
第三节 实用组合逻辑电路设计举例	165
第四节 常用中规模组合逻辑功能部件	169
一、译码器	169
二、编码器	177
三、数据选择器	179
四、超前进位加法器	181
五、数字比较器	183
六、奇偶发生器/校验器	184

第五节 用中规模组合部件的组合电路设计	186
一、用译码器进行组合电路设计	186
二、用编码器、显示译码器进行组合电路设计	190
三、用数据选择器进行组合电路设计	191
四、用全加器进行组合电路设计	198
五、用数字比较器进行组合电路设计	201
第六节 组合逻辑电路设计中的实际问题及处理方法	204
一、组合电路的冒险现象及消除方法	204
二、多输出函数的化简与电路设计	207
本章小结	213
习题	213
第六章 集成触发器	217
第一节 $R-S$ 触发器	217
一、基本 $R-S$ 触发器	217
二、钟控 $R-S$ 触发器(同步触发器)	219
第二节 维持阻塞触发器和主从触发器	221
一、 D 触发器	221
二、 $J-K$ 触发器	224
三、 T 触发器	227
第三节 MOS 触发器	227
一、 $CMOS$ 同步 D 触发器	227
二、 $CMOS$ 边沿 D 触发器	228
三、 $CMOS$ 边沿 $J-K$ 触发器	230
第四节 触发器的应用	231
一、触发器的转换方法	231
二、触发器应用举例	233
三、触发器构成的脉冲发生电路	237
本章小结	239
习题	239
第七章 时序逻辑电路	245
第一节 同步时序逻辑电路的分析	246
第二节 同步时序逻辑电路的设计	251
第三节 典型同步时序逻辑电路的设计	269
一、同步计数器的设计	269
二、移存型计数器的设计	278
三、序列信号发生器的设计	283
第四节 脉冲异步时序电路的分析与设计	288

一、脉冲异步时序电路的分析	289
二、脉冲异步时序电路的设计	293
第五节 常用时序逻辑功能部件	300
一、中规模计数器	300
二、中规模移位寄存器	313
三、中规模多功能器件	317
第六节 时序逻辑功能部件的应用	322
一、中规模计数器的应用	322
二、中规模移位寄存器的应用	330
三、中规模多功能器件的应用	333
本章小结	336
习题	337
第八章 大规模集成电路及其应用	343
第一节 随机存储器RAM	343
一、RAM的典型结构	344
二、RAM的实际结构	345
三、常用RAM芯片	346
四、RAM芯片的并联使用	351
五、RAM芯片的典型应用	352
第二节 固定只读存储器和可编程逻辑阵列	353
一、固定ROM	354
二、可编程逻辑阵列PLA	361
第三节 可编程序只读存储器和可擦另编只读存储器	366
一、PROM	367
二、EPROM	367
本章小结	379
习题	380
第九章 数模与模数转换	382
第一节 概述	382
一、模拟量与数字量	382
二、数模转换与模数转换	382
第二节 数模(D/A)转换器	384
一、权电阻D/A转换器	384
二、T型电阻D/A转换器	387
三、电子模拟开关	388
四、D/A转换器应用实例	389
第三节 模数(A/D)转换器	392

一、模拟信号的采样与保持.....	392
二、计数式A/D转换器.....	393
三、比较式A/D转换器.....	395
四、双积分式A/D转换器.....	397
五、高速A/D转换器.....	398
六、集成A/D转换器.....	400
本章小结.....	401
习题.....	402
参考文献.....	403

第一章 脉冲电路的基本知识

第一节 引言

一、脉冲及脉冲技术

在脉冲技术发展初期,电脉冲意指电压或电流在短暂的时间内所出现的突然变化。这种作用时间短促的电压或电流,称为脉冲电压或脉冲电流,简称“脉冲”。随着无线电工程的发展,出现了愈来愈多的非正弦波形,通常也将其列入脉冲范围。因此,就广义来说,凡按非正弦规律变化的电压或电流都可称为脉冲。脉冲波形千变万化,种类繁多,图1-1给出了几种常见的波形。其中,矩形脉冲、尖脉冲和方波可作为开关的控制信号,锯齿波常用做示波器、电视和雷达等仪器设备的扫描信号,阶梯波可用做测量晶体管或电子管的特性曲线的信号等等。

为了衡量脉冲波形的质量,必须对脉冲参数加以定义。由于脉冲波形种类繁多,其参数也各不相同。这里先讨论一种最常见的接近矩形的脉冲波形,如图1-2(a)所示。这样的脉冲波形可以简单地分成前沿、平顶和后沿三部分。图中 t_r 称为前沿或上升时间, t_f 称为后沿或下降时间, AB 称为平顶部分。除前、后沿外,脉冲波形的主要参数还有幅度 V_m ,平顶降落 ΔV 以及脉冲宽度 t_p 。实际脉冲波形往往离理想情况较远,如图1-2(b)所示。其中,前、后沿与平顶部分之间并无明显分界。习惯上常以波形上最大幅度 V_m 的10%和90%的点作为测量点,由 $0.1V_m$ 上升到 $0.9V_m$ 的时间称为上升时间,由 $0.9V_m$ 下降到 $0.1V_m$ 的时间称为下降时间。脉冲宽度则以波形根部前、后沿 $0.1V_m$ 两点间的时间间隔来计算,有时也以波形前、后沿 $0.5V_m$ 两点间的时间间隔 t_{p0} 来代表脉冲宽度,称有效脉冲宽度。在脉冲波形的后沿部分会出现一些振荡,有时在前沿也可能出现振荡或上冲 δ ,如图1-2(b)中虚线所示。

由非正弦波形的傅氏级数可知,脉冲的前、后沿愈陡,其频谱所占带宽愈宽。如果要用一个电路不失真地传送脉冲,它就必须有足够的带宽。实验证明,脉冲波形上升(下降)时间与带宽的关系可以近似地表示如下

$$t_r B = 0.35 \sim 0.45$$

(1-1)

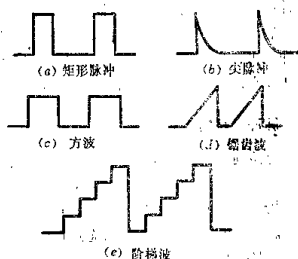


图 1-1 常见的脉冲波形

式中, t_r 为上升时间, B 为 3 分贝带宽。

如果脉冲的上冲较小(例如 $\delta < 5\%$), 则 $t_r B$ 接近于 0.35; 对于较大的上冲, $t_r B$ 接近于 0.45。

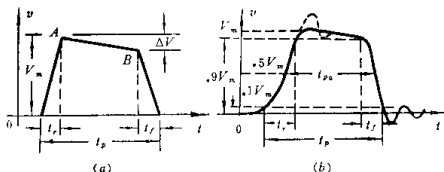


图 1-2 脉冲波形的主要参数

图1-1或图1-2所表示的都是视频脉冲。它们的频谱由低频一直延伸到高频。如果以这样一个视频脉冲来调制一个高频振荡(载波), 使高频振荡的振幅随视频脉冲波形而变化, 则得到一个射频脉冲。本教材只涉及视频脉冲电路。

脉冲技术就是分析研究一切非正弦信号的产生、形成、变换、测量、放大和控制的学科。它广泛应用于电子计算机、计数和定时设备、控制系统、电子测量仪器、数据处理、脉冲通讯、电视和雷达。随着这些设备与系统对脉冲电路可靠性、稳定性、精度、速度和体积的要求愈来愈高, 脉冲技术的内容也大大丰富了。

二、脉冲电路的组成

脉冲电路通常是由惯性电路和开关电路组成的。惯性电路就是含有惯性元件的电路, 如 $R-C$ 电路、 $R-L$ 电路、 $R-L-C$ 电路、脉冲变压器等。开关电路就是含有非线性元件(如晶体管、场效应管或某些电阻器件)的电路。开关电路用以破坏电路的稳态, 使之进入暂态过程; 而惯性电路则用以控制暂态过程的形状及其变化速度。从这个意义上说, 脉冲电路即开关电路控制下的惯性电路。

脉冲电路可以由晶体管、场效应管等分立元件形成的开关和惯性电路构成, 也可以由集成门电路或集成运算放大器和 $R-C$ 充放电电路构成。常见的由晶体管和集成门电路作为开关的脉冲波形的产生、变换、整形电路有: 自激多谐振荡器、单稳态触发器、双稳态触发器、射极耦合双稳态触发器、间歇振荡器和锯齿波电路。

第二节 脉冲波形的线性变换电路

一、 $R-C$ 电路的暂态特性

(一) $R-C$ 电路对阶跃电压的响应

$R-C$ 串联电路如图1-3(a)所示。开关 K 接通以前, 设电容上的初始电压为零。开关 K 接通以后, 电阻上的电压 v_R 与电容上的电压 v_C 之和等于外加电源电压 E 。在开关接通的

瞬间, 电容上的电荷不能突然建立, 其电压为零, 全部电源电压降在电阻上。随着电容的充电, v_C 愈来愈大, v_R 愈来愈小。最后 v_C 增加到 E , 而 v_R 减小到零。图 1-3(b) 表示了 v_C 和 v_R 的变化规律。

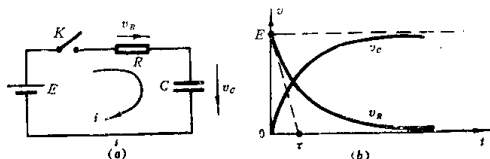


图 1-3 R-C 电路

下面对上述电路进行定量分析。

1. 电路的一般解法

当开关 K 接通后, 其电压方程为

$$v_R + v_C = E$$

$$iR + v_C = E$$

又

$$i = C \frac{dv_C}{dt}$$

整理得

$$\frac{dv_C}{dt} + \frac{1}{RC} v_C - \frac{E}{RC} = 0$$

解此一阶常微分方程, 得

$$v_C = E + Ae^{-\frac{t}{\tau}}$$

式中, $\tau = RC$, A 是由初始条件确定的待定系数。

将 $t = 0^+$ 时, $v_C = 0$ 这一条件代入上式, 得

$$A = -E$$

从而有

$$\left. \begin{aligned} v_C &= E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \\ v_R &= Ee^{-\frac{t}{\tau}} \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

2. 电路的三要素解法

由电路一般解法的中间过程, 可引出三要素解法的表达式。考虑下式

$$v_C = E + Ae^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$t \rightarrow \infty,$$

$$v_C(\infty) = E$$

$$t \rightarrow 0^+,$$

$$v_C(0^+) - v_C(\infty) = A$$

故

$$v_C(t) = v_C(\infty) + [v_C(0^+) - v_C(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}}$$

其一般形式为

$$v(t) = v(\infty) + [v(0^+) - v(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1-3)$$

如果 $t = T_1$ 时, $v(t) = v(T_1)$, 则

$$T_1 = \tau \ln \frac{v(\infty) - v(0^+)}{v(\infty) - v(T_1)} \quad (1-4)$$

式中, 趋向值 $v(\infty)$ 、起始值 $v(0^+)$ 和时间常数 τ 称为电路的三要素, $v(T_1)$ 称为电路的转换值。

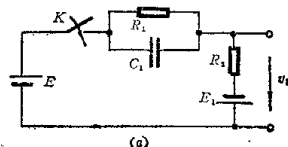
对于符合三要素解法的 R - C 电路中的 $i(t)$, 也有相应的两个公式:

$$i(t) = i(\infty) + [i(0^+) - i(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1-5)$$

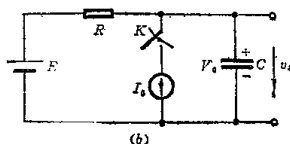
$$T_1 = \tau \ln \frac{i(\infty) - i(0^+)}{i(\infty) - i(T_1)} \quad (1-6)$$

3. 三要素计算方法举例

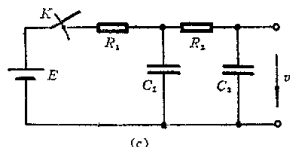
在图 1-4 中, 开关 K 接通以前, 除 (b) 中 $v_c(0^-) = V_0$ 外, 其余情况下电容上都无残存电压, 即 $v_c(0^-) = 0$ 。现将 (a)、(b) 两种情况下求得的三要素的结果附在图旁, 而 (c) 的情况则



$$\begin{cases} \tau = \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right) C_1 \\ v_2(0^+) = E \\ v_2(\infty) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (E + E_1) - E_1 \end{cases}$$



$$\begin{cases} \tau = RC \\ v_2(0^+) = V_0 \\ v_2(\infty) = E - I_0 R \end{cases}$$



不能使用三要素解法。

若要采用三要素法, 则电路必须满足下列条件:

- (1) 只含一个惯性元件或经简化后只含一个惯性元件的电路;
- (2) 外加控制信号为阶跃信号。

图 1-4 三要素算法举例

总之, 三要素法仅适用于由一阶常微分方程所表征的电路问题。

例1 图 1-5(a) 所示电路, 当其达到稳态后将 K 接通, 试计算并画出 v_R 的波形, 问当 $v_R = -10\text{V}$ 时, T_1 为多大 (假定 $v_c(0^-) = 100\text{V}$, 左正右负)?

解: 稍加分析可知, 电路满足三要素法求解的两个条件。

当开关 K 接通前

$$v_R = 0$$

当开关 K 接通后

$$\tau = RC$$

$$\begin{aligned} v_R(0^+) &= -v_C(0^+) + E \\ &= -v_C(0^-) + E \\ &= -100 + 50 = -50 \text{ V} \end{aligned}$$

$$v_R(\infty) = 0$$

则

$$\begin{aligned} v_R &= v_R(\infty) + (v_R(0^+) - v_R(\infty))e^{-\frac{t}{\tau}} \\ &= 0 + (-50 - 0)e^{-\frac{t}{\tau}} \\ &= -50e^{-\frac{t}{\tau}} \end{aligned}$$

又

$$v_R(T_1) = -10 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} \text{则 } T_1 &= \tau \ln \frac{v_R(\infty) - v_R(0^+)}{v_R(\infty) - v_R(T_1)} \\ &= RC \ln \frac{0 - (-50)}{0 - (-10)} \approx 1.61RC \end{aligned}$$

图1-5(b)画出了 v_R 的波形。

4. 暂态持续期、暂态宽度与时间常数的关系

在图1-3(a)中, 设电源 E 的相对值为100, 则当 K 接通时, 电压 v_R 、 v_C 与时间 t 的关系如表1-1所示, 绘成曲线如图1-6所示。

表 1-1

t	0	τ	2.3τ	3τ	5τ	∞
v_R	100	37	10	5	0.7	0
v_C	0	63	90	95	99.3	100

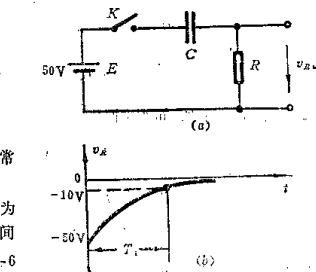


图 1-5

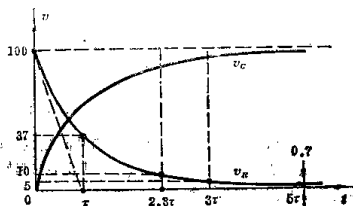


图 1-6 $e^{-\frac{t}{\tau}} \sim t$ 曲线

从表1-1和图1-6可见, 当 $t = \tau$ 时, v_R 减小到起始值的 $\frac{1}{e}$, 当 $t = 2.3\tau$ 时, v_R 减小到起

始值的10%，通常把 2.3τ 定为暂态过程的宽度；当 $t=3\tau$ 时， v_R 减小到起始值的5%；当 $t=5\tau$ 时， v_R 已减小到起始值的0.7%。通常认为 $t=(3\sim 5)\tau$ 时暂态过程基本结束（从理论上说，电路要达到稳定，所需要的时间是无穷长的），即把 $(3\sim 5)\tau$ 定义为暂态持续期。

(二) R - C 电路对斜升波电压的响应

前面讨论 R - C 电路的暂态过程时，输入信号是阶跃电压。这里讨论输入信号是斜升波（即 $v_i = kt$ ）时， R - C 电路的暂态过程。

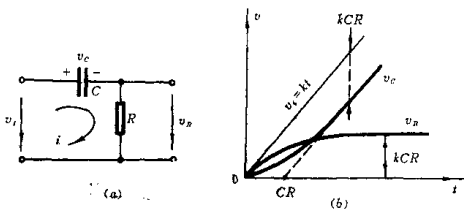


图 1-7 R - C 电路对 $v_i = kt$ 电压的响应

对图1-7(a)所示电路，可列出回路方程如下：

$$v_i = iR + \frac{1}{C} \int i dt$$

将 $v_i = kt$ 代入上式并对两端进行微分，得

$$R \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i = k$$

解此微分方程并代入 $i(0^+) = i(0^-) = 0$ 的初始条件，即得

$$\left. \begin{aligned} i(t) &= kC(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \\ v_R(t) &= iR = kCR(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \\ v_C(t) &= kt - kCR(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

根据式(1-7)绘出的 R - C 电路对斜升波的响应如图1-7(b)所示。 v_R 是按指数规律上升的，其稳态值是 kCR 。 $v_C = v_i - v_R$ ，其波形的起始部分是下凹的，稳定后 v_C 与 v_i 以相同斜率线性上升。

对图1-7(b)稍加分析可知： v_C 达到稳态后的波形与横轴的交点为 CR ；与 v_i 在纵轴向上的间距为 kCR ； v_R 达到稳定后与横轴的距离也为 kCR ； i 与 v_R 的变化规律一致。

二、 R - C 微分电路

在脉冲电路中，往往需要将一个矩形脉冲变换成尖脉冲。通常称具有这种波形变换功

能的 R - C 电路为微分电路。一般脉冲波形经过微分电路后, 其输出电压的大小与输入电压的微分成比例, 即

$$v_o(t) = k \frac{dv_i(t)}{dt}$$

式中, k 为比例系数, $v_i(t)$ 为输入电压, $v_o(t)$ 为输出电压。

(一) 电路及工作原理

微分电路由电容和电阻串联而成, 如图1-8(a)所示。输出电压由 R 两端取出, 即 $v_o = v_R$ 。形式上和放大电路中的 R - C 耦合电路相同, 但由于元件数值选取的不同, 电路的功能也截然不同。为了实现矩形脉冲到尖脉冲的变换, 要求电容 C 的充、放电时间常数远小于输入矩形脉冲的宽度 t_p , 即 $RC \ll t_p$, 一般取 $RC = (1/3 \sim 1/5)t_p$ 。

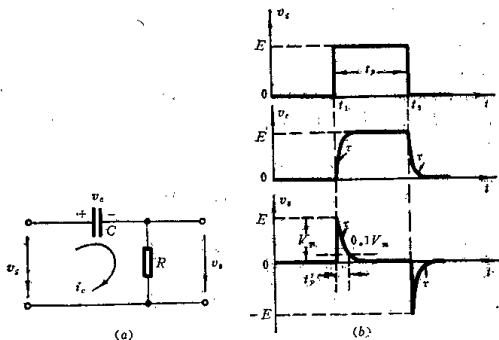


图 1-8 微分电路及其波形

下面叙述其工作原理:

$t < t_1$ 时, $v_i = 0$, 假设 t_1 以前电路已达稳态, 且 $v_c(0^-) = 0$, 则 $v_o = v_R = 0$ 。

$t_1 \leq t < t_2$ 时, $v_i = E$, 电容 C 开始充电。 $v_o(0^+) = E$, $v_o(\infty) = 0$, $\tau = RC$, 输出电压的变化规律为 $v_o = Ee^{-t/\tau}$ 。因电路满足 $\tau = RC \ll t_p$, 则在 t_2 以前电路已达稳态, 电容 C 充电完毕, 这时 $v_c(\infty) = E$ 。

$t \geq t_2$ 时, v_i 重新为零, 相当于输入端短路, 电容 C 开始放电。 $v_o(0^+) = -E$, $v_o(\infty) = 0$, $\tau = RC$, 输出电压的变化规律为 $v_o = -Ee^{-t/\tau}$ 。经 $(3 \sim 5)\tau$ 的时间, 电容 C 放电结束, 电路回到原来的稳态。

v_o 、 v_c 随 v_i 变化的波形如图1-8(b)所示。

(二) 数学分析

在图1-8(a)中, 设流过电容 C 的电流即回路电流为 i_c , 则

$$v_o = i_o R$$

而

$$i_o = C \frac{dv_o}{dt}$$

故

$$v_o = RC \frac{dv_o}{dt}$$

如果 $RC \ll t_p$, 即 $\frac{1}{\omega C} \gg R$ 时, 则 R 上的压降很小, $dv_o \approx dv_i$, 那么

$$v_o(t) \approx RC \frac{dv_i}{dt} \quad (1-8)$$

上式表明, 输出电压 $v_o(t)$ 与输入电压 $v_i(t)$ 的微分成正比, 其比例系数为 RC , 微分电路即由此而得名。

在工程技术中, 因考虑到 $t_p > (3 \sim 5)\tau$ 时暂态过程已基本结束, 所以只要 $t_p > 10\tau$, 即可构成微分电路。

(三) 尖脉冲的幅度与宽度

微分电路输出的尖脉冲的幅度即输入矩形脉冲的幅度, 因此 $V_m = E$ 。

尖脉冲的宽度定义为 v_o 从 V_m 下降到 $0.1V_m$ 或从 $-V_m$ 上升到 $-0.1V_m$ 所需要的时间, 记为 t_p' 。由式(1-4)得

$$t_p' = RC \ln 10 = 2.3RC \quad (1-9)$$

可见, RC 愈小, 尖脉冲宽度愈窄。一般可由式(1-9)估算元件参数, 以获得预定宽度的尖脉冲。

例2 一个 R - C 微分电路, $R = 10\text{ k}\Omega$, $C = 1000\text{ pF}$, 设输入方波的重复频率 $f_1 = 5\text{ kHz}$, $f_2 = 500\text{ kHz}$, 问输出端能否得到尖脉冲。

解: $\tau = RC = 10 \times 10^3 \times 1000 \times 10^{-12} = 10\mu\text{s}$

(1) 判断 $f_1 = 5\text{ kHz}$ 的情况:

$$t_{p1} = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f_1} = \frac{1}{2 \times 5 \times 10^3} = 100\mu\text{s}$$

满足 $\tau \ll t_{p1}$ 的条件, 故可得到尖脉冲输出。

(2) 判断 $f_2 = 500\text{ kHz}$ 的情况:

$$t_{p2} = \frac{1}{2f_2} = \frac{1}{2 \times 500 \times 10^3} = 1\mu\text{s}$$

满足 $\tau \gg t_{p2}$, 因此电路不能输出尖脉冲, 它相当于放大电路中的 R - C 耦合电路。

例3 已知图1-9(a)、(b)所示电路及输入波形 v_i , 计算并画出输出波形 v_o 。

解: $\because \tau = RC = 20 \times 10^3 \times 50 \times 10^{-12} = 1\mu\text{s}$

$$t_p = 10 - 5 = 5\mu\text{s}$$

$\therefore$ 电路基本满足微分电路条件。

又 $R_1 = R_2$

则 v_o 的正跳变(或负跳变)为 $100/2 = 50\text{ V}$ 。考虑到 $\tau_{充} = \tau_{放} = \tau$, 且 $v_o(\infty)$ 均为0, 画出 v_o 的波形如图1-9(b)所示。