

— 高等学校教材 —

电子技术基础

第三册

童诗白主编

43
2

高等教育出版社

高等电子教材

电子技术基础

· 1 ·

· 2 ·

· 3 ·

高等学校教材



电子技术基础

第三册

童诗白主编

高等教育出版社

本书是根据清华大学工业电子学教研组編的“电子技术基础”讲义修改增删而成的。书中着重介紹电子技术中几个主要部分的基本概念及分析方法。在叙述过程中經常附以例題，使讀者对电子电路的处理方法和实际数值有所了解，在每章末附有小結、习題、思考題及参考书刊。

本书的第一、第二两册的内容为整流技术、放大技术和正弦波振蕩技术，第三册的内容为張弛振蕩技术和脉冲技术，其中第六章和第九章由周明德同志編写，第七章和第十一章由李芳芸同志編写，第十二章由李衍达同志編写，其余由童詩白同志編写。

本书經西安交通大学沈尚賢同志审閱。

本书可作为自动控制专业和电机系类似专业电子技术基础和工业电子学課程的教学参考书，亦可供从事电子电路工作人員参考。

电子技术基础

第三册

童詩白主編

北京市书刊出版业营业許可証出字第119号

高等教育出版社出版(北京景山东街)

人民教育印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店經售

統一书号K15010·1182 开本850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 $7\frac{5}{16}$ 插頁2

字数 191,000 印数 0,001—10,700 定价(7) 0.90

1965年6月第1版 1965年7月北京第1次印刷

目 录

第四篇 脉冲技术

4 0.1 概述	777
第一章 简单脉冲电路的分析方法	779
4.1.1 典型的脉冲波形和参数	779
*4.1.2 具有一个储能元件的线性过渡过程	781
4.1.3 电子器件在开关状态下的等效电路	786
本章小结	790
习题及思考题	791
参考文献	793
第二章 脉冲放大器	794
4.2.1 脉冲放大器的基本电路	794
4.2.2 在阶跃输入下的暂态过程	797
4.2.3 单级阻容放大器的暂态特性和频率特性之间的关系	800
*4.2.4 具有简式补偿电路的脉冲放大器	801
本章小结	808
习题及思考题	808
参考文献	810
第三章 微分电路	811
4.3.1 微分电路在方形波输入及理想情况下的输出波形	811
4.3.2 信号内阻和寄生电容对输出波形的影响	814
*4.3.3 脉冲上升时间对输出波形的影响	819
本章小结	820
习题及思考题	821
参考文献	822
第四章 限幅器	823
4.4.1 二极管限幅器	823
4.4.2 多极管限幅器	826
*4.4.3 寄生电容和限幅元件的内阻对输出波形的影响	829
本章小结	831
习题及思考题	831

参考文献	833
第五章 箝位器	834
4.5.1 二极管箝位器	834
*4.5.2 箝位器中电容两端电压的计算	837
本章小结	839
习题及思考题	840
参考文献	843
第六章 双稳态触发器	844
4.6.1 基本电路及工作原理	844
4.6.2 静态分析	848
4.6.3 触发器的翻轉过程	858
*4.6.4 阴极耦合触发器	871
*4.6.5 脉冲计数器	873
本章小结	876
习题及思考题	876
参考文献	879
第七章 单稳态触发器	880
4.7.1 典型电路	881
4.7.2 阴极耦合式单稳态触发器的工作原理	882
4.7.3 单稳态触发器的输出	886
4.7.4 宽度调节方法	889
*4.7.5 宽度的恒定性	890
4.7.6 触发方式	891
*4.7.7 半导体管单稳态触发器	893
本章小结	895
习题及思考题	896
参考文献	899
第八章 多諧振蕩器	900
4.8.1 典型电路	901
4.8.2 工作过程	902
4.8.3 振蕩频率和幅度	906
4.8.4 提高振蕩频率恒定性的方性	907
4.8.5 多諧振蕩器的同步	911
*4.8.6 半导体管多諧振蕩器	912
本章小结	914
习题及思考题	915

参考文献	918
第九章 阻塞振荡器	919
*4.9.1 脉冲变压器的基本概念	920
4.9.2 阻塞振荡器的工作原理	923
4.9.3 阻塞振荡器的一些问题	934
本章小结	935
习题及思考题	935
参考文献	937
第十章 锯齿波发生器	938
4.10.1 产生锯齿波的基本原则	938
4.10.2 典型锯齿波发生器电路	939
4.10.3 改进线性度的措施	941
4.10.4 锯齿波的同步	943
本章小结	946
习题及思考题	946
参考文献	950
第十一章 门电路	951
4.11.1 或门	951
4.11.2 与门	953
*4.11.3 几种门电路的比较	956
本章小结	957
习题及思考题	957
参考文献	960
第十二章 半导体管脉冲电路的一些特殊问题	961
4.12.1 半导体管在大幅度脉冲输入时的导电情况	962
4.12.2 半导体管开启时间的计算	965
4.12.3 半导体管截止时间	966
*4.12.4 少数载流子存储时间计算	967
*4.12.5 非饱和式半导体管脉冲电路	969
本章小结	974
习题及思考题	975
参考文献	976
*第十三章 脉冲示波器	977
4.13.1 脉冲量测的几个问题	977
4.13.2 脉冲示波器的主要组成部分及其作用	979

4.13.3 脉冲示波器的方框图.....	991
4.13.4 使用示波器时应注意的事项.....	992
本章小结.....	993
习题及思考题.....	994
参考文献.....	997
附录.....	999
本书中常用的符号说明.....	999

第四篇 脉冲技术

4.0.1 概述

脉冲是一种具有突然变化的现象。脉冲技术早期应用于电报，利用电流突然接通和断开的時間間隔的不同來傳遞信息。在第二次世界大戰前後，由於雷達、電視、數字計算機、原子能、遙測遙控等技術的不斷發展，進一步促進了脈沖技術的成長，使它逐漸形成為一門學科。

脈沖技術的主要內容是脈沖的產生、轉換、傳送和量測等。在解決信息的傳送、物理量的量測、數據的運算和處理，以及能量的轉換和控制等方面的問題時，應用脈沖技術往往比用其他方式有更多的優越性。例如用脈沖來傳送信息，可以大大地增加信號干擾比，因為干擾往往反映為對信號幅度的影響，如果我們把信息蘊藏在脈沖的有無、頻率、寬度和相位中，就能夠很好地把信號和干擾分開。在物理量的量測和數據處理方面，所牽涉到的問題往往是狀態的存在與否，這和脈沖的出現相類似，如果用其他方式反而不便。此外，電子元件在脈沖狀態下工作可以充分發揮它們的控制作用，在短時期內控制很大的能量變化，而平均功率損耗卻是很低^①，這樣就使控制效率大為提高。

不過，在應用脈沖技術時也要注意它的不利的一面。例如用數碼代表信息往往需要較多的部件，而其中任何一個即使在某一瞬間出了故障，所造成的影響也將是非常嚴重的，因此對每個元件的可靠性就提出了很高的要求。在進行信息傳送和數據處理的前後，往往要化較長的時間來編碼和譯碼，這也造成了運行時的不方便。

^① 電子管或半導體管在脈沖工作狀態下往往不是充分導電就是截止。在前一種狀態下，電流大而管壓降很小，在後一種，則管壓降大而電流為零，因此損耗都較低。

在分析脉冲电路的过程中,由于脉冲本身所具有的特点,将以暂态特性为主,因此过去所习惯的复数符号法就不能盲目地引用。至于拉氏轉換和杜阿密尔积分等分析方法,虽然是处理过渡过程的重要工具,但是还要指出,它們只适用于綫性电路,而脉冲技术中所遇到的問題往往牵涉到非綫性;此外在大多数的情况下,描繪电路主要工作情况的微分方程很少超过一阶,也就是說,过渡过程基本上取决于一个儲能元件(电容或电感)的充放电过程,这样,前两种方法的优越性就不太显著。在处理具体問題时,常需要正确地定出电子元件的工作状态(导电或截止)和儲能元件的主要充放电回路,熟练地定出电路的起始值、終了值和时间常数,从而写出一阶微分方程的过渡过程表达式,并且利用工作状态和基本定律画出各有关部分的电压、电流波形图。这些可以认为是分析脉冲电路的基本方法。

在內容方面,本着循序前进的原則,采取先讲綫性电路,后讲非綫性电路;先讲无源电路,后讲有源电路;电子管和半导体管电路合在一起,而以电子管电路为主的安排,半导体管的特殊問題則另有一章加以简单地介紹。最后一章是脉冲示波器,它的目的是一方面介紹脉冲量測中的一些問題,另一方面还可以和以前学过的整流、放大、振蕩和脉冲技术中有关的內容相联系,并且在看图能力方面做一些初步的訓練。

第一章 简单脉冲电路的分析方法

脉冲电路的工作状态可以分为以下几种情况：从起作用的元件来看，有线性的和非线性的；从脉冲作用的方式来看，有只讨论一次过渡过程的现象的，也有讨论重复性过渡过程中的一个周期的现象的；从储能元件的数目来看，有一个(包括表面上有好几个但实质上是一个)和几个(两个以上的情况比较少见)等等。本章将只对具有一个储能元件的电路加以分析，以后在其他各章遇到同样问题时就不再重复了。

4.1.1 典型的脉冲波形和参数

在讨论分析方法之前，让我们先看一下各种被称为脉冲的波形，同时用一些参数来表达它们的特征，以便作为讨论时的依据。

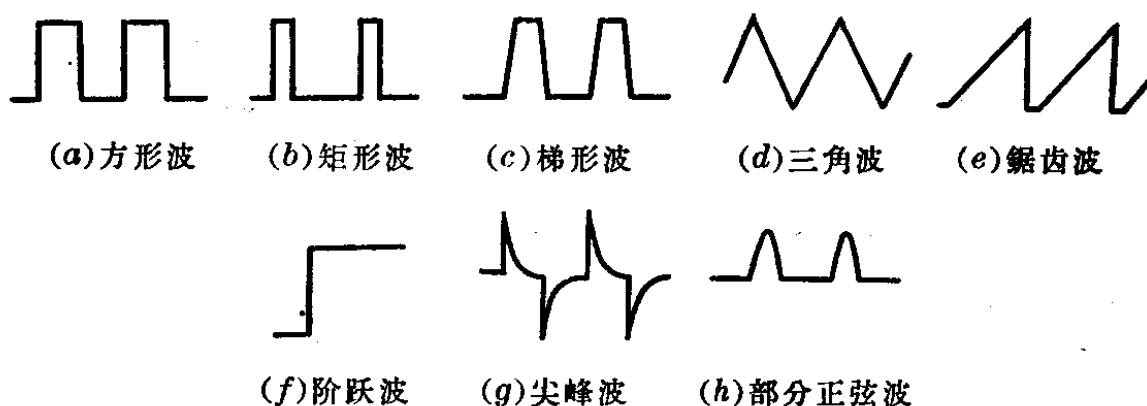


图 4.1.1 几种常遇到的脉冲波形

图 4.1.1 是几种常见到的脉冲波形。从图中可以看到，它们的共同特点是都具有突然变化或者不连续的现象。一个典型的脉冲通常可用以下几种参数来表达它的特征：

(一) 幅度 U_m —— 是从静态值到峰值^①之间的变化幅度。如果变化后幅度比静态值增加，则称为正脉冲，反之则为负脉冲。

① 有时可不包括波形中短暂的小尖在内，见图 4.1.2。

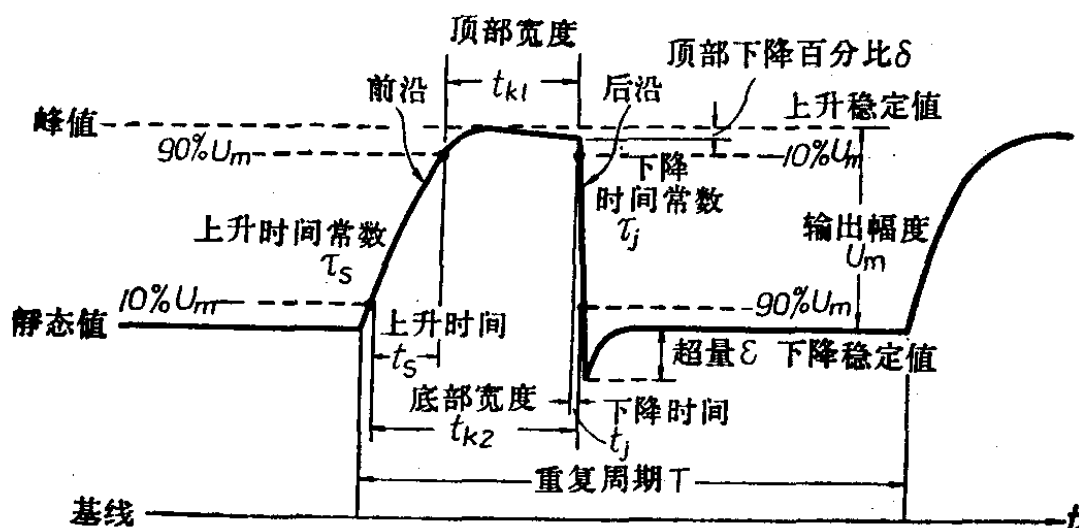


图 4.1.2 典型脉冲的一些参数

(二) 前沿——用来描绘脉冲开始变化时的暂态过程。对正脉冲，则前沿指脉冲的上升边，对负脉冲则指下降边。正脉冲的前沿时间常数用 τ_s 来表示^①，而负脉冲的则用 τ_j 表示。

(三) 后沿——用来描绘脉冲结束时的暂态过程。正脉冲的后沿是下降的，负脉冲的后沿则是上升的。正脉冲的后沿时间常数用 τ_j 来表示，负脉冲则用 τ_s 来表示。

(四) 上升时间 t_s ——从 U_m 的 10% 到 90% 的时间。

(五) 下降时间 t_j ——定义同上。

(六) 顶部宽度 t_{k1} ——离脉冲顶部 10% 处的宽度。

(七) 底部宽度 t_{k2} ——离脉冲底部 10% 处的宽度。如 t_{k1} 和 t_{k2} 相差不多或没有必要分开，则统称宽度 t_k 。

以上是最常遇到的脉冲参数，此外下面两种也常引用：

(八) 超量 ε ——在上升或下降的过程中超过稳定值的数量。

(九) 顶部下降百分比 δ ——当脉冲上升到前沿的稳定值以后又继续下降时的下降百分数。

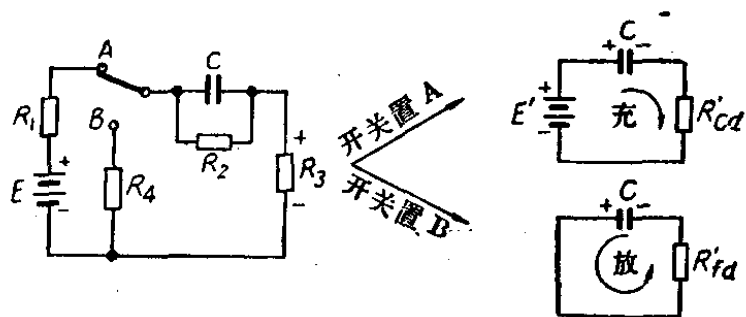
在较复杂的脉冲情况下，所用的参数可能还要多些，将在那时再提出。

^① 在只包含一个储能元件的充放电过程时才正确。 τ_j 亦同。

*4.1.2 具有一个储能元件的线性过渡过程

(一) 一次过渡过程

所谓一次过渡过程,就是当电路中某些参数改变之后,所有参数都不再变化,一直维持到过渡过程的終了,或另一过程的开始。例如在图 4.1.3 中设开关先置在 A。此时有充电电流^①通过电容 C,使电容两端的电压 u_c 以一定的斜率(斜率可表速率)增长。 u_c 愈增加,斜率愈减少;当 $u_c = E$ 时,斜率为零,此后 u_c 不再变化,这种状态,称为稳态。



开关置于 B 后, C 将要放电;图 4.1.3 具有一个储能元件的电路及其充放电回路开始时放电的速率较快,以后逐渐变慢而趋近于零。充放电回路可以简化,如图中所示,图中的 R'_{cd} 是充电回路的等效电阻, R'_{fd} 是放电回路的等效电阻。这种过渡过程的一般表达式是:

$$u(t) = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + B, \quad (4.1.1)$$

式中 $u(t)$ 为电压的瞬时值^②,

τ 为过渡过程的时间常数,

A、B 为待定常数。

设 $t=0$ 时, $u(t) = U(0)$,

$t=\infty$ 时, $u(t) = U(\infty)$,

则代入式(4.1.1)后,即得以后常用的一般性解答:

$$u(t) = [U(0) - U(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} + U(\infty). \quad (4.1.2)$$

在分析时,应该尽量利用戴维南定理,把电路简化为只包括一个储

① 指电流的作用将使 u_c 按规定的正方向增加,如相反则为放电。

② 也可以是其他电量。

能元件和一个电阻元件,以利于计算,如图 4.1.3 中所示。

[例 4.1.1] 在图 4.1.3 中,设开关置于 A 点时,电容两端的电压为 $U_c(0)$, 试求 R_3 两端的电压过渡过程表达式。

[解] 虽然所要的是电阻两端的电压,但为了便于简化起见,依然先求电容两端电压 $u_c(t)$,然后再换算。

利用戴维南定理可定出等效电阻 R'_{cd} 为

$$R'_{cd} = \frac{R_2(R_1 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3}$$

等效电压 E' 为

$$E' = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} E$$

再将 $U_c(\infty) = E'$, $\tau = R'_{cd}C$ 代入式 (4.1.2) 即得

$$u_c(t) = [U_c(0) - E'] e^{-\frac{t}{R'_{cd}C}} + E'$$

则

$$u_{r_3}(t) = \frac{R_3}{R_1 + R_3} [E - u_c(t)]$$

[例 4.1.2] 在图 4.1.3 中,设开关置 A 后已经过很长时间,现突然改接 B, 试求 R_3 两端的电压过渡过程表达式。

[解] 此时 $U_c(0) = E'$, $U_c(\infty) = 0$,

$$R'_{fd} = \frac{R_2(R_3 + R_4)}{R_2 + R_3 + R_4}, \text{ 代入式 (4.1.2) 后可得}$$

$$u_c(t) = E' e^{-\frac{t}{R'_{fd}C}}$$

$$u_{r_3}(t) = -\frac{R_3}{R_3 + R_4} E' e^{-\frac{t}{R'_{fd}C}}$$

(二) 重复性过渡过程

如果图 4.1.3 中的开关停在 A 点,历时 T_1 , 然后改接到 B 点, 历时 T_2 , 如是周而复始, 重复不已, 就使电路里发生重复性的过渡过程。此时我们感兴趣的往往是重复性过渡过程已经基本上达到稳定状态的情况, 如图 4.1.4 中所示。

利用式 (4.1.2), 可以写出在上述两种情况下满足稳定状态的条

件:

$$U_2 = [U_1 - U(\infty)_{cd}] e^{-\frac{T_1}{\tau_{cd}}} + U(\infty)_{cd}. \quad (4.1.3)$$

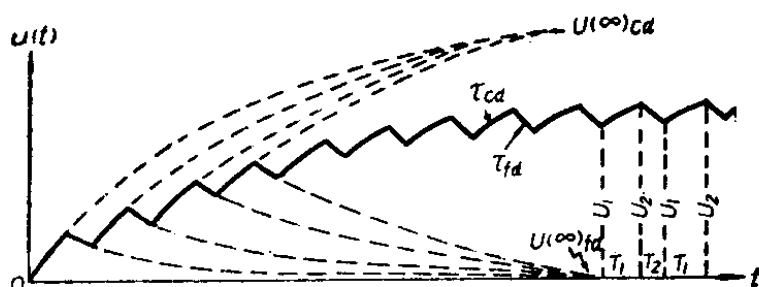


图 4.1.4 重复性过渡过程的图例

$$U_1 = [U_2 - U(\infty)_{fd}] e^{-\frac{T_2}{\tau_{fd}}} + U(\infty)_{fd}. \quad (4.1.4)$$

解上面的联立方程后可得

$$U_1 = \frac{U(\infty)_{cd} e^{-\frac{T_2}{\tau_{fd}}} (1 - e^{-\frac{T_1}{\tau_{cd}}}) + U(\infty)_{fd} (1 - e^{-\frac{T_2}{\tau_{fd}}})}{1 - e^{-\left(\frac{T_1}{\tau_{cd}} + \frac{T_2}{\tau_{fd}}\right)}}. \quad (4.1.5)$$

$$U_2 = \frac{U(\infty)_{fd} e^{-\frac{T_1}{\tau_{cd}}} (1 - e^{-\frac{T_2}{\tau_{fd}}}) + U(\infty)_{cd} (1 - e^{-\frac{T_1}{\tau_{cd}}})}{1 - e^{-\left(\frac{T_2}{\tau_{fd}} + \frac{T_1}{\tau_{cd}}\right)}}. \quad (4.1.6)$$

式中 τ_{cd} 为充电过程的时间常数,
 τ_{fd} 为放电过程的时间常数,
 $U(\infty)_{cd}$ 为一次充电过程的稳定值,
 $U(\infty)_{fd}$ 为一次放电过程的稳定值。

当 U_1 和 U_2 业已定出之后, 就可以再利用式(4.1.2)写出充电过程或放电过程的表达式。值得提出的是 U_1 、 U_2 只和电路参数以及开关停留时间 T_1 、 T_2 有关而与电路最初闭合时的初始值无关。

[例 4.1.3] 在图 4.1.3 的电路中设 $E=200$ 伏, $R_1=20$ 千欧, $R_2=100$ 千欧, $R_3=50$ 千欧, $R_4=10$ 千欧, $C=0.01$ 微法, 开关停在 A 的时间 $T_1=1$ 毫秒, 停在 B 的时间 $T_2=0.5$ 毫秒, 试求在稳定状态下 u_c 的充电过程表达式和放电过程表达

式。

[解] 由给定参数可算出下列数值:

$$\tau_{cd} = \frac{R_2(R_1 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} C = \frac{100 \times 70}{170} \times 10^{-5} = 4.12 \times 10^{-4} \text{ 秒。}$$

$$\tau_{fd} = \frac{R_2(R_3 + R_4)}{R_2 + R_3 - R_4} C = \frac{100 \times 60}{160} \times 10^{-5} = 3.75 \times 10^{-4} \text{ 秒。}$$

$$e^{-\frac{T_1}{\tau_{cd}}} = e^{-\frac{10^{-3}}{4.12 \times 10^{-4}}} = e^{-2.43} = 0.088.$$

$$e^{-\frac{T_2}{\tau_{fd}}} = e^{-\frac{5 \times 10^{-4}}{3.75 \times 10^{-4}}} = e^{-1.33} = 0.263.$$

$$U(\infty)_{cd} = E' = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} E = \frac{100}{170} \times 200 = 117.6 \text{ 伏。}$$

$$U(\infty)_{fd} = 0.$$

代入式(4.1.5)和式(4.1.6)后即得

$$U_1 = \frac{117.6 \times 0.263 \times (1 - 0.088)}{1 - 0.088 \times 0.263} = 28.9 \text{ 伏,}$$

$$U_2 = \frac{117.6 \times (1 - 0.088)}{1 - 0.088 \times 0.263} = 109.8 \text{ 伏。}$$

则充电过程表达式为(设 $t=0$ 时开关接 A)

$$U_c(t)_{cd} = (28.9 - 117.6)e^{-\frac{t}{4.12 \times 10^{-4}}} + 117.6 \\ = 117.6 - 88.7e^{-2430t} \text{ 伏。}$$

放电过程表达式为(设 $t=0$ 时开关接 B)

$$U_c(t)_{fd} = 109.8e^{-\frac{t}{3.75 \times 10^{-4}}} = 109.8e^{-2670t} \text{ 伏。}$$

(三) 过渡过程的作图方法

在讨论脉冲电路的工作过程时,我们往往利用波形图来表示,但对精确度的要求并不很高,因此只要定出几个点以后,就可以大致作出。现在就来看一下如何选择最方便的数值。

把式(4.1.2)重新安排一下可得:

$$u(t) = U(\infty)(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) + U(0)e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (4.1.7)$$

上式说明含有一个储能元件的过渡过程一般包含指数上升和指数下降两部分,而二者都与 $e^{-\frac{t}{\tau}}$ 有关,现在把它的几个特殊数值列举如下:

表 4.1.1 几个特殊的 $e^{-\frac{t}{\tau}}$ 值

$\frac{t}{\tau}$	0	0.69	1	2	3
$e^{-\frac{t}{\tau}}$	1	0.5	0.37	0.14	0.05
$1 - e^{-\frac{t}{\tau}}$	0	0.5	0.63	0.86	0.95

根据上表可列出作图的步骤如下:

(一)在图纸上定出基线、 $U(0)$ 、 $U(\infty)$ 和 $t = \tau$ 的各点。

(二)联接原点和 $t = \tau$ 、 $u = U(\infty)$ 的一点(图 4.1.5 中的 P 点),即为式(4.1.7)第一项起始部分的斜率。由 P 点作垂线,在 $0.63U(\infty)$ 处定出 P_1 。

(三)在 $t = 0.69\tau$ 、 $u = 0.5U(\infty)$ 处定出 P_2 , 在 $t = 2\tau$ 、 $u = 0.86U(\infty)$ 处定出 P_3 , 在 $t = 3\tau$ 、 $u = 0.95U(\infty)$ 处定出 P_4 。

(四)联接原点和 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 五点成一光滑的曲线,即为式(4.1.7)中第一项的过渡过程。

(五)同理在 $t = 0.69\tau$ 、 $u = 0.5U(0)$ 处定出 P_5 , 在 $t = \tau$ 、 $u = 0.37U(0)$ 处定出 P_6 , 联接 $t = \tau$ 、 $u = 0$ 的一点(P_9)和 $U(0)$ 即为式(4.1.7)中第二项起始部分的斜率。在 $t = 2\tau$ 、 $u = 0.14U(0)$ 处定出 P_7 , 在 $t = 3\tau$ 、 $u = 0.05U(0)$ 处定出 P_8 , 联接 $U(0)$ 和 P_5 、 P_6 、 P_7 、 P_8 五点成一光滑的曲线,即为式(4.1.7)中第二项的过渡过程。

(六)将此二条曲线相加即为总的过渡过程曲线。

现在用一个例题来说明作图过程。

[例 4.1.4] 在图 4.1.3 的电路中给定 $E = 200$ 伏, $R_1 = 20$ 千欧, $R_2 = 100$ 千