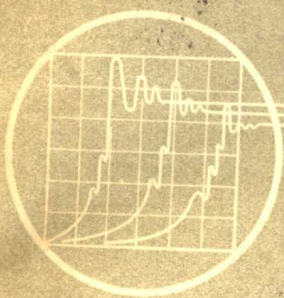


高速脉冲电路



[美] A. 巴纳 著

# 高速脉冲电路

科学出版社

# 高速脉冲电路

[美] A. 巴纳著

杨树芬译

科学出版社

1974

英文版入 73.0182-E7

## 内 容 简 介

本书论述了高速脉冲电路中元件、器件和电路的特性,系统地讲述了变压器、传输线、级联电路、梯形网络、面结型二极管模型、隧道二极管模型、晶体管的高速参数、发射极耦合电路的开关特性、高速数字输出电路以及适用于集成电路的线性放大器等,着重分析了上述各种电路的瞬变过程及其最佳化问题。可供从事数字电路方面工作的工人、研究人员和相应专业的师生参考。

## HIGH-SPEED PULSE CIRCUITS

Arpad Barna  
University of Hawaii  
Wiley-Interscience, 1970.

## 高 速 脉 冲 电 路

[美] A. 巴纳著  
杨树芬译

\*

科 学 出 版 社 出 版  
北京朝阳门内大街 137 号

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1974 年 4 月 第 一 版 开本: 787×1092 1/32  
1974 年 4 月 第 一 次 印 刷 印张: 5 1/4  
印数: 0001—26,000 字数: 118,000

统一书号: 15031·78  
本社书号: 288·15-7

定 价: 0.50 元

## 译 者 序

在党的“九大”团结胜利的路线指引下，我国的工农业战线形势一派大好，科学技术也正在蓬勃发展。为了适应科研和生产实践的需要，遵照毛主席关于“洋为中用”的教导，翻译了本书，希望它能对读者有所帮助。

脉冲数字电路在工业电子设备、核电子工程、数字计算机、雷达、通讯、数字系统等许多领域获得了日趋广泛的应用。脉冲数字电路的动态运行是一个复杂的物理过程。研究电路在高速运行状态下的动态特性并对其进行数学分析，对于提高电路速度，保证系统准确、可靠地工作是很重要的。本书论述了高速脉冲电路的特性和理论。全书共分十章，系统地讲述了运用在高速脉冲电路中的元件、器件的等值电路与参数并讨论了一些常用电路的特性；运用数字计算机着重分析了上述各种电路的瞬变过程及其最佳化方面的问题。本书对电路的分析与设计方面有一定参考价值。

本书译稿由林定基、郑浩二同志校阅，此外在翻译过程中，还得到了有关单位很多同志的大力支持，在此一并表示感谢。由于本人水平有限，书中缺点和错误在所难免，敬请广大读者不吝指正。

一九七三年五月于北京

# 目 录

第一章 理想元件	( 1 )
1.1 理想电阻	( 1 )
1.2 理想电容	( 2 )
1.3 理想电感	( 4 )
1.4 理想电压源	( 5 )
1.5 理想电流源	( 7 )
1.6 理想开关	( 8 )
1.7 理想变压器	( 8 )
1.8 理想传输线	( 9 )
习题	( 12 )
第二章 拉普拉斯变换及其对线性电路瞬变过程的应用	( 19 )
2.1 一些简单函数的拉普拉斯变换	( 19 )
2.2 拉普拉斯变换的基本定理	( 22 )
2.3 拉普拉斯变换的反演	( 23 )
2.4 $R-C$ 电路的瞬态特性	( 23 )
2.5 $R-L-C$ 串联电路的瞬态特性	( 27 )
2.6 $R-L-C$ 串并联电路的瞬态特性	( 31 )
2.7 理想传输线的瞬变过程	( 33 )
习题	( 38 )
第三章 级联电路和梯形网络的瞬态特性	( 42 )
3.1 转移函数	( 42 )
3.2 埃尔莫尔(Elmore)延迟和埃尔莫尔上升时间	( 42 )

3.3	级联电路 .....	( 46 )
3.4	梯形网络 .....	( 47 )
	习题 .....	( 54 )
第四章 实际元件 .....		( 57 )
4.1	电阻 .....	( 57 )
4.2	电容 .....	( 58 )
4.3	电感 .....	( 60 )
4.4	变压器 .....	( 61 )
4.5	传输线 .....	( 62 )
	习题 .....	( 65 )
第五章 面结型二极管 .....		( 68 )
5.1	特性 .....	( 68 )
5.2	存储电荷和电容 .....	( 70 )
5.3	体电阻和电导率的调制 .....	( 72 )
5.4	二极管的模型 .....	( 72 )
5.5	面结型二极管电路的瞬变过程 .....	( 73 )
	习题 .....	( 92 )
第六章 隧道二极管 .....		( 94 )
6.1	运用隧道二极管简化的等值电路分析其瞬变过程 .....	( 95 )
6.2	运用隧道二极管完整的等值电路分析其瞬变过程 .....	( 101 )
	习题 .....	( 108 )
第七章 面结型晶体管 .....		( 110 )
7.1	PNP 晶体管 .....	( 110 )
7.2	NPN 晶体管 .....	( 113 )
7.3	小信号参数 .....	( 114 )
7.4	共基电路 .....	( 115 )

7.5	共射电路	(117)
7.6	共集电路(射极跟随器)	(118)
7.7	射极跟随器的瞬态特性	(119)
	习题	(127)
第八章 发射极耦合的晶体管对		(130)
8.1	开关瞬变过程的计算	(131)
8.2	结果	(140)
	习题	(144)
第九章 数字输出电路		(146)
9.1	单级电路	(146)
9.2	两级电路	(147)
9.3	多级电路	(149)
	习题	(151)
第十章 线性放大器		(153)
10.1	吉伯的增益单元	(153)
10.2	瞬态特性	(153)
10.3	输入阻抗	(156)
	习题	(156)
部分习题答案		(158)
参考文献		(160)

# 第一章 理想元件

本章中扼要地讲述理想电阻、电容、电感、电压和电流源、开关、变压器以及传输线的基本特性。这些元件均为线性元件，而且都是用单一的参数如电阻、电容等来表征其特性。与此不同的，实际元件（在第四章中详细讨论）则可以认为是一些理想元件的组合，而它们都是用几个参数来描述的<sup>1)</sup>。

## 1.1 理想电阻

理想电阻为二端器件(图 1.1)<sup>2)</sup>。跨电阻两端的电压  $V(t)$  和通过它的电流  $I(t)$  之间的关系由下式表示

$$V(t) = RI(t), \quad (1.1)$$

式中  $R$  为电阻，测量单位是欧姆：1 欧姆 =  $1 \Omega = 1$  伏特/安培 =  $1 \text{ V/A}$ 。常用的单位还有： $\text{m}\Omega = 10^{-3} \Omega$ ， $\text{k}\Omega = 10^3 \Omega$ ， $\text{M}\Omega = 10^6 \Omega$ 。因此，当 1 安培电流流过 1 欧姆电阻时，其两端的电压为 1 伏特。

理想电阻不能储存能量。它是一个纯粹的损耗性元件，损失的能量转换成热能，其功率为

$$P(t) = V(t)I(t) = \frac{V^2(t)}{R} = I^2(t)R. \quad (1.2)$$

当两个电阻  $R_1$  和  $R_2$  串联时，其合成电阻为  $R_{\text{合成}} = R_1 +$

---

1) 更详细的论述见参考文献。

2) 在这里，电压箭头为从负端指向正端，电流箭头沿着电流方向，而且以后也如此。



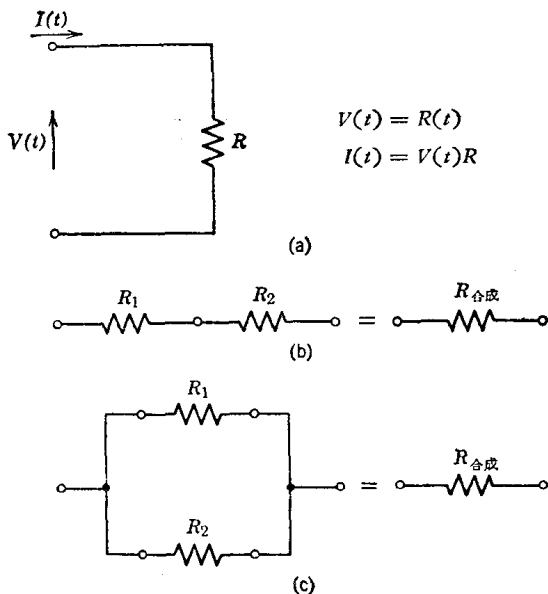


图 1.1 理想电阻

(a) 端电压与电流的关系; (b) 串联:  $R_{\text{合成}} = R_1 + R_2$ ;

(c) 并联:  $R_{\text{合成}} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$ 。

$R_2$ . 由  $R_1$  和  $R_2$  并联的合成电阻为  $R_{\text{合成}} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$ , 或者也可写成  $1/R_{\text{合成}} = 1/R_1 + 1/R_2$ . 如果  $m$  个电阻串联则合成电阻为  $R_{\text{合成}} = R_1 + R_2 + \cdots + R_m$ , 而  $m$  个电阻并联, 那么  $1/R_{\text{合成}} = 1/R_1 + 1/R_2 + \cdots + 1/R_m$ .

## 1.2 理想电容

理想电容为二端器件(图 1.2). 跨电容两端的电压  $V(t)$  和流过它的电流  $I(t)$  之间的关系由下式表示

$$I(t) = C \frac{dV(t)}{dt}, \quad (1.3)$$

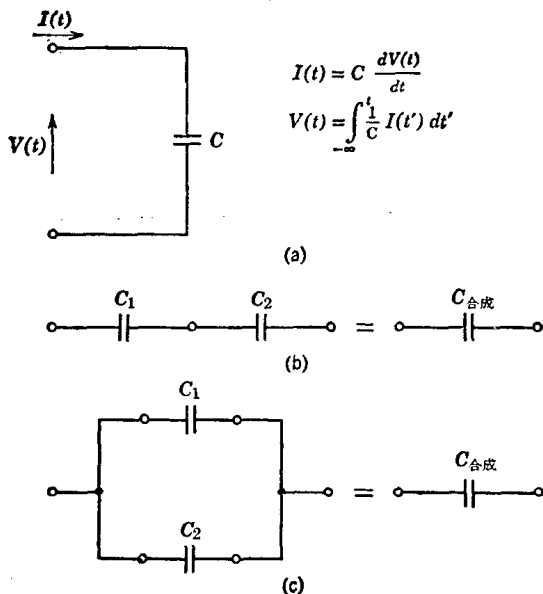


图 1.2 理想电容器

- (a) 端电压与电流的关系; (b) 串联:  $C_{合成} = C_1 C_2 / (C_1 + C_2)$ ;  
 (c) 并联:  $C_{合成} = C_1 + C_2$ .

或者写成

$$V(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{C} I(t') dt', \quad (1.4)$$

式中  $C$  为电容, 测量单位是法拉: 1 法拉 = 1 F = 1 秒/欧姆 = 1 s/Ω = 1 AS/V = 1 库仑/伏特. 常用的单位还有: pF =  $10^{-12}$  F, nF =  $10^{-9}$  F, μF =  $10^{-6}$  F. 当 1 安培电流施加到 1 法拉电容器上达 1 秒的间隔时, 其两端之电压变化为 1 伏. 倘若电容为常数, 则方程式 (1.4) 可以写成

$$V(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t I(t') dt'. \quad (1.5)$$

理想电容器是非损耗性元件. 使一个固定电容器  $C$  充电

到电压  $V$  时, 则储存了一个电场能量  $E$ :

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \quad (1.6)$$

和一个电荷量

$$Q = CV. \quad (1.7)$$

当两个电容  $C_1$  和  $C_2$  串联的时候, 其合成电容为  $C_{\text{合成}} = C_1 C_2 / (C_1 + C_2)$ , 或者  $1/C_{\text{合成}} = 1/C_1 + 1/C_2$ .  $C_1$  和  $C_2$  并联的合成电容为  $C_{\text{合成}} = C_1 + C_2$ . 当  $m$  个电容器串联时,  $1/C_{\text{合成}} = 1/C_1 + 1/C_2 + \cdots + 1/C_m$ , 而  $m$  个电容器并联时,  $C_{\text{合成}} = C_1 + C_2 + \cdots + C_m$ .

### 1.3 理想电感

理想电感为二端器件(图 1.3). 跨电感两端的电压  $V(t)$  和流过它的电流  $I(t)$  之间的关系由下式表示

$$I(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{L} V(t') dt', \quad (1.8)$$

或者

$$V(t) = L \frac{dI(t)}{dt}, \quad (1.9)$$

式中  $L$  为电感, 测量单位是亨利:  $1 \text{ 亨利} = 1 \text{ H} = 1 \text{ 欧姆} \cdot \text{秒} = 1 \text{ } \Omega \cdot \text{s} = 1 \text{ Vs/A}$ . 常用的单位还有:  $\text{nH} = 10^{-9} \text{ H}$ ,  $\mu\text{H} = 10^{-6} \text{ H}$ ,  $\text{mH} = 10^{-3} \text{ H}$ . 当 1 伏特电压加到 1 亨利的电感上达 1 秒钟时, 则流过其上的电流变化为 1 安培.

理想电感为非损耗性元件. 当其上有电流  $I$  流过时, 则储存一个磁场能量  $E$ :

$$E = \frac{1}{2} LI^2 \quad (1.10)$$

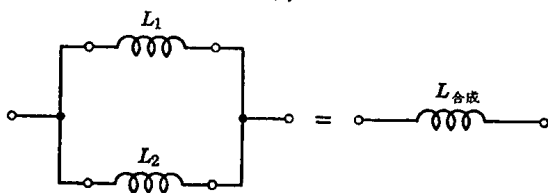
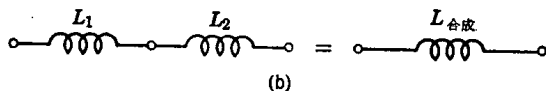
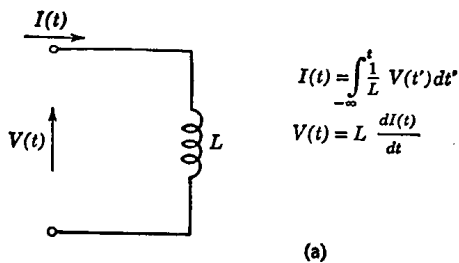


图 1.3 理想电感

(a) 端电压与电流的关系； (b) 串联：  $L_{合成} = L_1 + L_2$ ；  
 (c) 并联：  $L_{合成} = L_1 L_2 / (L_1 + L_2)$ 。

和一个磁通量

$$\phi = LI. \quad (1.11)$$

当两个电感  $L_1$  和  $L_2$  串联的时候，则合成电感量为  $L_{合成} = L_1 + L_2$ 。  $L_1$  和  $L_2$  并联时，则有  $L_{合成} = L_1 L_2 / (L_1 + L_2)$ ，或者  $1/L_{合成} = 1/L_1 + 1/L_2$ 。一般说来，当  $m$  个电感串联时，  $L_{合成} = L_1 + L_2 + \cdots + L_m$ ，而  $m$  个电感并联时，  $1/L_{合成} = 1/L_1 + 1/L_2 + \cdots + 1/L_m$ 。

## 1.4 理想电压源

理想电压源 (图 1.4) 可以作为一个功率源。就一个有限

的电源电压  $V_g(t)$  而言, 只要限制负载以使端电流  $I(t)$  为有限量, 那么这个电源将提供一个与电流无关的电压  $V_g(t)$ . 它所给出的功率为

$$P(t) = V_g(t) I(t). \quad (1.12)$$

电压的单位是伏特 (V), 常用的单位还有:  $\text{nV} = 10^{-9}\text{V}$ ,  $\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$ ,  $\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$ ,  $\text{kV} = 10^3\text{V}$ ,  $\text{MV} = 10^6\text{V}$ ,  $\text{GV} = 10^9\text{V}$ .

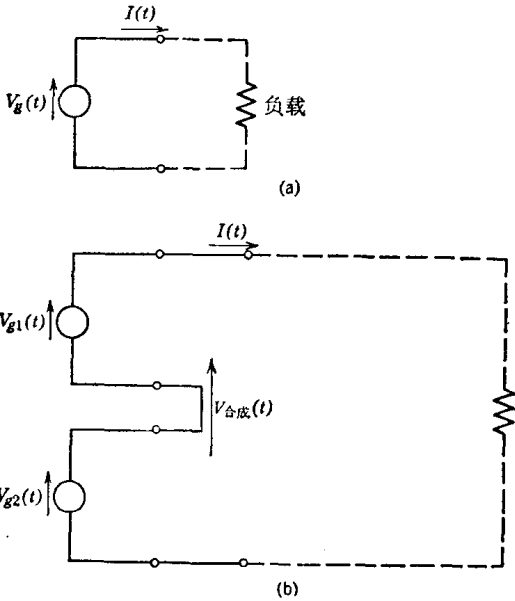


图 1.4 理想电压源

(a) 符号; (b) 串联:  $V_{合成}(t) = V_{g1}(t) + V_{g2}(t)$ .

当两个电压源  $V_{g1}(t)$  和  $V_{g2}(t)$  串联时, 则合成电压源为  $V_{合成}(t) = V_{g1}(t) + V_{g2}(t)$ . 当  $m$  个电压源串联时, 合成电压源为  $V_{合成}(t) = V_{g1}(t) + V_{g2}(t) + \dots + V_{gm}(t)$ . 电压源的并联是不允许的, 因为这将产生一个无穷大的电流(除非它们是相等的).

## 1.5 理想电流源

理想电流源(图 1.5)可以作为一个功率源. 就一个有限的电源电流  $I_g(t)$  而言, 只要限制负载以使端电压  $V(t)$  为有限量, 那么这个电源将供给一个与电压无关的电流  $I_g(t)$ . 它所给出的功率为

$$P(t) = V(t) I_g(t). \quad (1.13)$$

电流的单位是安培(A), 常用的单位还有:  $\text{pA} = 10^{-12} \text{ A}$ ,  $\text{nA} = 10^{-9} \text{ A}$ ,  $\mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$ ,  $\text{mA} = 10^{-3} \text{ A}$ ,  $\text{kA} = 10^3 \text{ A}$ .

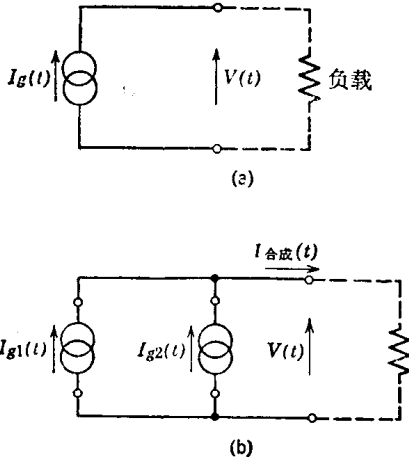


图 1.5 理想电流源

(a) 符号; (b) 并联:  $I_{合成}(t) = I_{g1}(t) + I_{g2}(t)$ .

当两个电流源  $I_{g1}(t)$  和  $I_{g2}(t)$  并联时, 合成电流源为  $I_{合成}(t) = I_{g1}(t) + I_{g2}(t)$ . 当  $m$  个电流源并联时, 则合成电流源为  $I_{合成}(t) = I_{g1}(t) + I_{g2}(t) + I_{g3}(t) + \cdots + I_{gm}(t)$ . 电流源串联是不允许的, 因为这将产生一个无穷大的电压(除非它们是相等的).

## 1.6 理想开关

理想开关(图 1.6)为二端网络,它有两个状态:接通和断开。其接通状态相当于一个  $V_g=0$  的理想电压源;其断开状态相当于一个  $I_g=0$  的理想电流源。

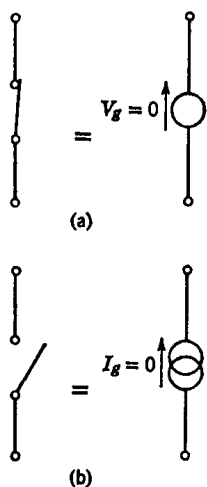


图 1.6 理想开关

- (a) 接通;  
(b) 断开。

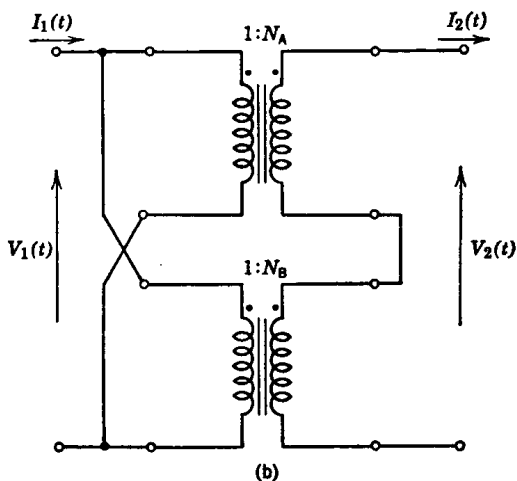
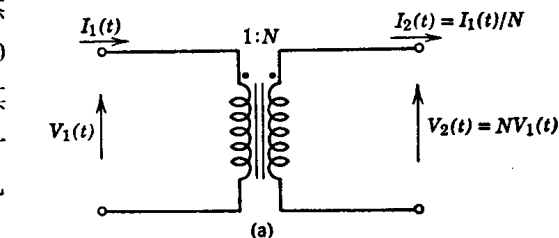


图 1.7 理想变压器

- (a) 端电压与电流的关系; (b) 串并联:

$$V_2(t) = V_1(t)(N_A + N_B),$$

$$I_2(t) = I_1(t)/(N_A + N_B).$$

## 1.7 理想变压器

理想变压器 [图 1.7(a)] 是一个四端网络,其特性用一个

无因次数“匝数比” $N$ 来表征。原、副边的电压以及电流之间的关系为

$$V_2(t) = NV_1(t) \quad (1.14)$$

和

$$I_2(t) = \frac{I_1(t)}{N}. \quad (1.15)$$

由此可以推得

$$V_2(t)I_2(t) = V_1(t)I_1(t). \quad (1.16)$$

因此,理想变压器是非损耗性元件,而且它不是一个功率源;按照方程式(1.16)的限制,它能够变换电压和电流,使它们升高或降低。

变压器的串并联表示于图 1.7(b)。在这里

$$V_2(t) = V_1(t)(N_A + N_B), \quad (1.17)$$

而且

$$I_2(t) = \frac{I_1(t)}{N_A + N_B}. \quad (1.18)$$

## 1.8 理想传输线

理想传输线(图 1.8)可以沿着任一方向不失真地传递信号。从左端引入的信号将向右传递,而且在 $T$ 秒之后到达右

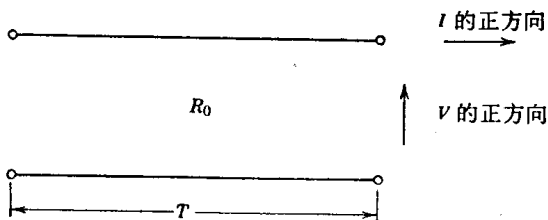


图 1.8 具有延迟为 $T$ 和特性阻抗 $R_0$ 的理想传输线



端。同样地从右端引入的信号将向左传递，而且也在  $T$  秒之后到达左端。根据习惯用的符号，一个向右边传递的信号，其行波电压和行波电流之比值为  $+R_0$ 。同样对于一个向左边传递的信号而言，则有  $V(t)/I(t) = -R_0$ 。在传输线上之信号可以分解为向右边传递和向左边传递的信号之和，而且以后也将如此处理。

图 1.9(a) 表示的为右端接有特性阻抗  $R_0$  的传输线。由于端接电阻  $R_T = R_0$ ， $V(t)/I(t) = R_T = R_0$ 。向右传递的信号不能够区分是端接电阻  $R_T^\dagger$  还是电缆线的继续延长，因而没有反射信号。

当端接电阻  $R_T \neq R_0$  时，将会发生反射。用  $V_i(t)$  和  $I_i(t)$  表征传向右边的信号，而用  $V_r(t)$  和  $I_r(t)$  表征传向左边的反射信号，则有

$$\frac{V_i(t)}{I_i(t)} = R_0 \quad (1.19)$$

和

$$\frac{V_r(t)}{I_r(t)} = -R_0. \quad (1.20)$$

图 1.9(b) 表示终端开路的传输线， $R_T = \infty$ ，并假定该线原先没有充电，即  $V(t < 0) = 0$ 。因为流进  $R_T = \infty$  的端接电阻的电流为零，

$$I_i(t) + I_r(t) = 0. \quad (1.21)$$

解联立方程式 (1.19)，(1.20) 和 (1.21)，得

$$\frac{V_r(t)}{V_i(t)} = +1 \quad (1.22)$$

和

$$\frac{I_r(t)}{I_i(t)} = -1. \quad (1.23)$$

---

<sup>†</sup> 原书误为  $R_0$ 。——译者注