

脉 冲 电 路

上 海 交 通 大 学

1978.2

毛主席语录

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。劳动人民要知识化，知识分子要劳动化。

我们的教育方针，应该使受教育者，在德育、智育、体育几方面都得到发展，成为有社会主义觉悟的有文化的劳动者。

前 言

遵照伟大领袖毛主席“教育要革命”、“教材要彻底改革”的伟大指示，我们根据工农兵学员的学习要求，编写了这本教材。

在编写本书时，我们力图按照雷达显示系统的要求组织完整的内容。

为了便于培养学员分析问题和解决问题的能力，本书着重于基本电路的分析。

由于我们对主席教育革命的思想理解很肤浅，业务水平和实践经验都很不足，这些必然会在本书中暴露出来。为此，我们恳切希望同志们提出批评建议。

目 录

绪 论

第一章 惯性电路和晶体管开关

§ 1 惯性电路的特性	2
1-1 RC 电路	2
1-2 RL 电路	5
1-3 RLC 电路	7
§ 2 晶体管的开关特性	12
2-1 二极管开关	12
2-2 三极管开关	14
2-3 二极管的开关惯性	16
2-4 三极管的开关惯性	23

第二章 限幅器和钳位器

§ 1 限幅器	34
1-1 二极管限幅器的组成	35
1-2 二极管限幅器的实际问题	37
1-3 三极管限幅器	42
§ 2 钳位器	43

2-1 二极管钳位器	43
2-2 三极管钳位器	47

第三章 触发器和多谐振荡器

§1 双稳态触发器	49
1-1 双稳态触发器的组成和工作原理	49
1-2 稳态条件	51
1-3 触发方式	53
1-4 翻转过程	57
1-5 设计考虑	62
§2 单稳态触发器	65
2-1 单稳态触发器的特点和工作过程	65
2-2 主要参数	68
2-3 单稳态触发器的实际问题	69
2-4 设计考虑	73
§3 多谐振荡器	74
3-1 多谐振荡器的工作过程	75
3-2 几个实际问题	77
§4 触发器的变型电路	79
4-1 射极耦合双稳态电路	79
4-2 射极耦合单稳电路	92
4-3 射流定时单稳电路	99
4-4 直接耦合双稳电路	107
4-5 互补双稳触发电路	108

第四章 振铃电路

§ 1 概述	110
§ 2 振铃电路的工作过程	110
§ 3 加补偿的振铃电路	113
§ 4 设计考虑	115

第五章 间歇振荡器

§ 1 脉冲变压器	118
1-1 脉冲变压器的基本知识	118
1-2 脉冲变压器的暂态特性	121
§ 2 自激间歇振荡器的分析	123
§ 3 实际问题	128
3-1 脉冲变压器磁饱和的影响	128
3-2 晶体管存储时间的影响	129
§ 4 其它型式的间歇振荡器	130
§ 5 设计考虑	134

第六章 锯齿波电路

§ 1 概述	137
§ 2 简单的锯齿波电路	138

2-1 电路构成及波形计算	138
2-2 正弦波的线性段	142
§ 3 自举电路	143
3-1 自举电路的构成	143
3-2 工作过程及波形计算	145
3-3 自举电路的非线性	148
3-4 自举电路的改进	149
3-5 自举电路的设计考虑	156
§ 4 电容负反馈电路	160
4-1 电容负反馈电路的构成	161
4-2 工作过程及波形计算	163
4-3 改进电路	164
§ 5 恒流源锯齿波电路	166
§ 6 几种变型的锯齿波电路	168
6-1 自激式锯齿波电路	168
6-2 快速锯齿波电路	169
6-3 控制幅度的锯齿波电路	171
§ 7 电流锯齿波发生器	171
7-1 在线圈中得到锯齿电流的方法	173
7-2 从集电极输出的锯齿电流发生器	180
7-3 从发射极输出的锯齿电流发生器	181
7-4 扫描末级的设计估算	185
7-5 电视水平扫描电路	185

第七章 负阻器件脉冲电路

§ 1 几种负阻器件的原理和特性	188
1-1 隧道二极管的原理和特性	188
1-2 单结晶体管的原理和特性	191
1-3 可控硅整流元件的原理和特性	194
1-4 直流工作点的稳定性	201
§ 2 应用隧道二极管的脉冲电路	203
2-1 隧道二极管多谐振荡器	203
2-2 隧道二极管双稳电路	207
2-3 隧道二极管单稳电路	209
2-4 隧道二极管和晶体三极管的复合运用	210
§ 3 单结晶体管弛张振荡电路	211
§ 4 应用可控硅的脉冲电路	214

第八章 控制微电机

§ 1 同步发送机和同步接收机	217
1-1 自整角机	217
1-2 旋转变压器	237
§ 2 电感移相器	244
§ 3 其它控制微电机	252
3-1 伺服电动机	252
3-2 测速发电机	256

第九章 示波管

§ 1 电子枪	260
1-1 静电聚焦系统	260
1-2 磁聚焦系统	262
§ 2 偏转系统	264
2-1 静电偏转系统	264
2-2 磁偏转系统	269
§ 3 萤光屏	274
§ 4 直观存贮管	278
4-1 直观存贮管的一般工作原理	278
4-2 靶上电位图形的形成	280
4-3 介质表面电位的确定	281
4-4 靶上电位图象的擦除	284
§ 5 符号显示管	288
§ 6 示波管的屏蔽	291

绪 论

随着阶级斗争和生产斗争的深入开展，在国防建设和国民经济建设的各个领域，雷达的应用越来越广泛。

雷达测定目标的位置是靠物体对无线电波的反射。而雷达显示器是雷达的一个组成部分，它的作用是把目标的反射信号显示出来，按照这一显示图象，操作人员能对目标的距离，方位角以及其他座标数据进行测量。

相应于各种不同的使用场合，雷达显示器的种类有多种多样。但是组成雷达显示器的电路种类却并不很多，他们主要是一些脉冲电路。为了能熟练地掌握雷达显示器，就必须对一些基本的雷达显示电路作一仔细的分析。

本书的内容包括三个部分。第一部分是基本的雷达显示电路，它们是组成雷达显示器的基础，同时也是许多电子设备的基本组成部分，因此它们是本书的重点。随着雷达显示技术的发展以及对显示器要求的日益提高，数字技术和集成电路在显示器中的应用日趋增多，这些内容在本书第二部分得到介绍。本书的第三部分叙述了雷达显示器的组成形式。通过对几种雷达显示器组成的分析可以看到雷达显示器是许多基本电路所组成的一个有机整体。

第一章 惰性电路和晶体管开关

雷达显示器是由大量的脉冲电路组成的。当我们仔细寻找这些脉冲电路的共性时，可以发现构成脉冲电路的主要成分有两类：一类是由电阻、电容、电感组成的惰性电路。这类电路的特点是对输入信号的突然变化跟不上，形成一个具有惰性反应的暂态过程。第二类是晶体管。在脉冲电路里，着重点并不是晶体管的放大状态，而是利用晶体管的导通和截止改变电路的状态，因此晶体管是被当作开关来使用的。为了分析脉冲电路，首先就必须对惰性电路和晶体管开关作一分析。

§ 1 惰性电路的特性

惰性电路在雷达显示器中主要是作为脉冲电路的一个组成部分而大量应用，但是，独立的惰性电路在雷达显示器中的应用也是不少的。例如由电阻、电容组成的微分电路和积分电路就经常出现在显示电路中。

在研究惰性电路的特性时，首先找出惰性变化的规律，然后通过对主要参数的物理概念的叙述进一步理解电路的特性。

1-1 RC 电路

RC 串联电路是一种最简单的惰性电路。如图 1-1(a) 所示，在开关 K 把电源接通的瞬间，电容上电荷尚未积累，其端电压仍为零。电阻的端电压则为 E 。电路中的电流为 $\frac{E}{R}$ 。由于

该电流对电容的充电，电容上逐渐积累电荷，其端电压 V_C 逐渐上升，电阻的端电压 V_R 则逐渐下降。随着时间的推移， V_C 最后上升到 E ， V_R 最后下降到零。 V_C 、 V_R 的变化如图 1-1(b) 所示。

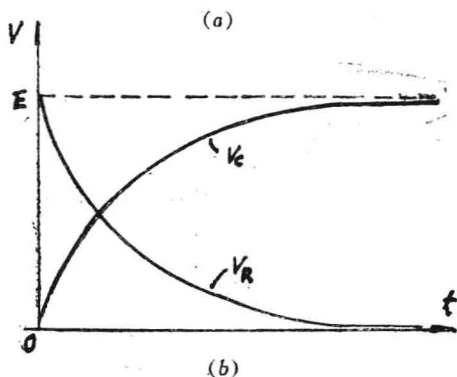
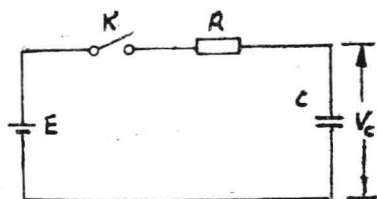


图 1-1 RC 串联电路

生惰性的根本原因在于电容上电荷的变化需要时间，也就是要改变电容所储存的电能需要化费时间。

RC 电路这一具有惰性变化的过程常称为暂态过程。通过数学分析可以找出它的变化规律。

由图 1-1(a) 可列出如下微分方程：

$$C \frac{dV_C}{dt} = \frac{E - V_C}{R}$$

整理后即得

$$\frac{dV_C}{dt} + \frac{1}{RC} V_C - \frac{E}{RC} = 0$$

其介为：

$$V_C = E + A e^{-\frac{t}{RC}}$$

由于 $t=0^+$ 时， $V_C=0$ ，代入上式，可求得待定常数。

$$A = -E。$$

因此有：

$$\left. \begin{aligned} V_C &= E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \\ V_R &= E - V_C = E e^{-\frac{t}{\tau}} \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

式中 $\tau = RC$ ，是电路的时间常数。上式也就反映了 RC 电路充电过程的暂态特性。

由于电路只包含一个惰性元件，其回路方程必然是一阶微分方程。其介为：

$$V(t) = V(\infty) + [V(0^+) - V(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1-2)$$

式中 $V(0^+)$ 是起始值

$V(\infty)$ 是趋向值

τ 是电路时间常数

(1-2)式总结了 RC 电路惰性变化的规律。只要从电路中确定出 $V(0^+)$ 、 $V(\infty)$ 和 τ 三个要素的数值，即可写出 RC 电路中电压或电流的表达式。这种方法称为三要素法。

从 (1-2) 式可以求得任何时刻的电压值。如果把它改写成 (1-3) 式的形式：

$$T = \tau \ln \frac{V(\infty) - V(0^+)}{V(\infty) - V(T)} \quad (1-3)$$

那末就可以求得电压从 $V(0^+)$ 达到某一规定值 $V(T)$ 所需的时间 T 。

在暂态特性的三个要素中，时间常数 τ 反映了电路本身惰性的大小。以 (1-1) 式为例，可得下表所列数值。

从表中可看到，时间越长，电压和稳态值就越是接近。从理论上说，电路要达到完全稳定需要无限长的时间。因此在实际使用中当电压达到稳态值的 90% 或 95% 时就近似地认为电路的暂态过程已经结束，也就是经过 2.3τ 或 3τ 的时间，电

t	0	τ	2.3τ	3τ	5τ
$\frac{V_C}{E}$	0	0.63	0.9	0.95	0.993
$\frac{V_R}{E}$	1	0.37	0.1	0.05	0.007

路方才进入稳定状态。 τ 越大，电路达到稳定所需的时间就越长，因此 τ 是反映电路暂态时间的一个常数。

$\tau = RC$ ， R 或 C 越大，电路的暂态时间就越长。这一点可这样加以理解。

电容在充电过程中储存的能量逐渐增加，在充电结束时，电容器中储存的能量为 $\frac{1}{2}CE^2$ 。如果电容量越大，那末电源转移到电容器上的那部分能量就越多，能量的积累时间就要增加。如果电阻越大，那么电源对电容的充电能力就减弱，同样需要增加电容器中能量积累的时间。

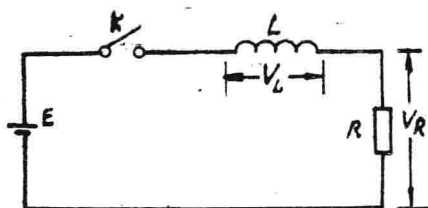
RC 电路的特点是结构简单，而暂态过程的时间范围又可做得非常宽广，因此它的应用非常广泛。

1-2 RL 电路

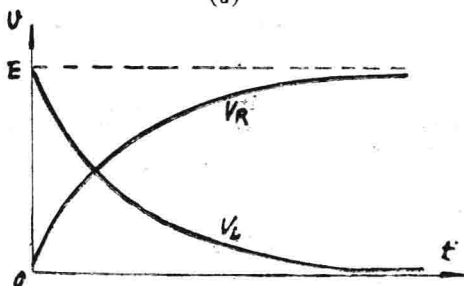
RL 串联充电电路如图 1-2(a) 所示。当开关 K 把电源接通时，由于电感中的电流不能突变，因此电阻两端压降为零，电感两端压降为 E 。随着电感电流的逐渐增加， V_R 越来越大， V_L 越来越小，最后， V_R 上升到 E ， V_L 下降到零。其电压变化如图 1-2(b) 所示。

显然 RL 电路也是一种惰性电路。它产生惰性的原因在于线圈的充磁需要化费时间。

由于电路也只包括一个惰性元件，因此，(1-2)式和(1-3)



(a)



(b)

图 1-2 RL 电路

式对它同样适用。这时电路的时间常数 $\tau = \frac{L}{R}$ 。

图 1-2(b) 的电压表达式为

$$\left. \begin{aligned} V_L &= E e^{-\frac{t}{\tau}} \\ V_R &= E (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

在 RL 电路中, τ 的意义完全不变, 只是它与 L 成正比, 与 R 成反比。根据图 1-2(a), 这一关系可以这样理解。

电感在充磁过程中储存的磁能逐渐增加, 在充磁结束时, 电感中储存的磁能为

$$\frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} L \cdot \left(\frac{E}{R} \right)^2$$

如果电感量越大, 那么电源转移到电感中的能量就越多, 所费

时间就越长。而电阻 R 对充磁过程的影响有两个方面：如果 R 越小，则对电感充磁的电流就越大，暂态过程与 R 成比例地缩短；另一方面，如果 R 越小，那么电源最终转移给电感的能量就越多，而且它们是一个反比平方的关系，因此暂态过程与 $\frac{1}{R^2}$ 成比例地增加。显然，在这两方面的影响下，后一影响更为主要，最后使得暂态过程与 R 成反比。

虽然 RL 电路也是一个简单惰性电路，但其体积大，不易集成化，在用大电感获得大时间常数的电路时，不但制作麻烦，而且分布电容会使性能发生很大变化。因此 RL 电路一般只在小时间常数的场合下使用。

1-3 RLC 电路

在显示电路中，有些地方要利用 RLC 电路的暂态特性，有些地方则要限制它的暂态过程。因此对它必须加以讨论。

图 1-3(a) 这种电流源接入（或断开）并联的 RLC 电路形式是最常用的形式。电感线圈本身的绕线电阻忽略不计。

当开关 K 合上时，电容两端电压为零，因此全部电流流过电容，然后，电路两端逐渐建立起电压。在电路达到稳定后，电流只流过电感，电路两端电压也等于零。对于电路两端电压的变化过程可用微分方程求得。

在开关合上后有：

$$i_C + i_R + i_L = I_0$$

即
$$C \frac{dV}{dt} + \frac{V}{R} + \frac{1}{L} \int V dt = I_0$$

对上式微分一次，并加整理，得

$$\frac{d^2V}{dt^2} + 2\alpha \frac{dV}{dt} + \omega_0^2 V = 0 \quad (1-5)$$

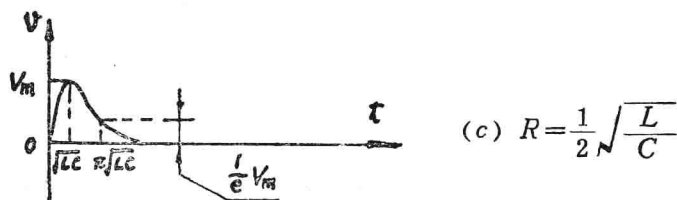
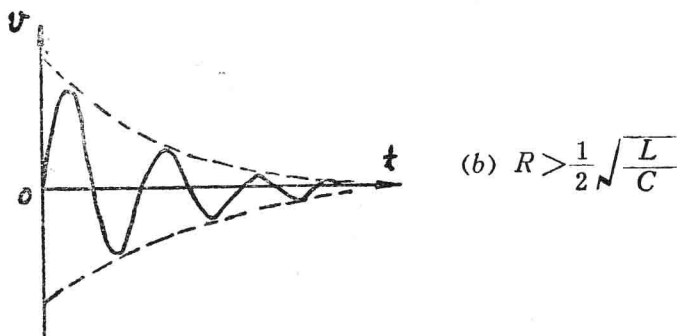
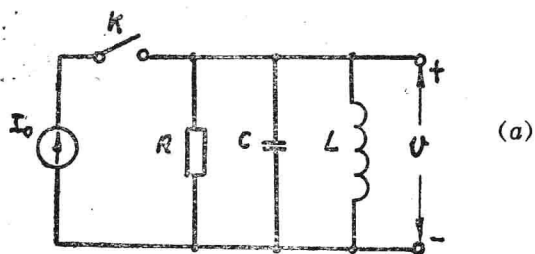


图 1-3 RLC 电路