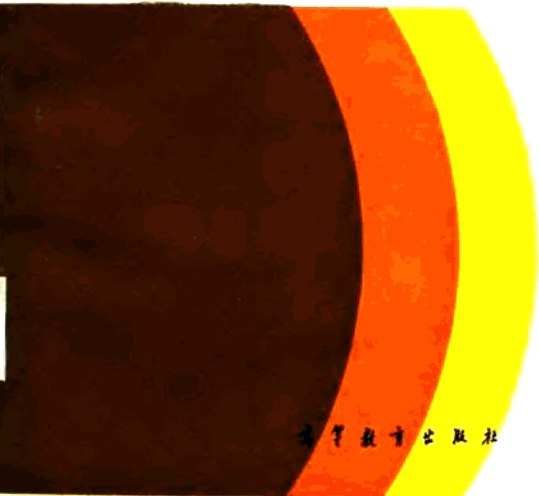


中等专业学校试用教材

电工基础

下 册

谭恩鼎 主编



高等教育出版社

中等专业学校试用教材

电 工 基 础

下 册

谭恩鼎 主编

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

上海商务印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 16 字数 385,000

1985年11月第1版 1985年11月第1次印刷

印数 00,001—26,000

书号 15010·0680 定价 2.85元

目 录

(下 册)

第十章 线性电路的过渡过程	1
§ 10-1 换路与电路初始值	1
§ 10-2 经典法概述	9
§ 10-3 RC 串联电路的放电过程	12
§ 10-4 RC 串联电路与直流电源接通的充电过程	19
§ 10-5 RL 串联电路的短接和与直流电源接通的过渡过程	28
§ 10-6 一阶直流线性电路过渡过程的三要素法	38
§ 10-7 一阶电路接通正弦电压时的过渡过程	46
§ 10-8 微分电路与积分电路	58
§ 10-9 RLC 串联电路的放电过程	65
§ 10-10 RLC 串联电路接通直流电源的充电过程	76
§ 10-11 运算法	83
§ 10-12 *状态方程概述	98
习题	107
第十一章 静电场	115
§ 11-1 库仑定律	115
§ 11-2 电场强度	118
§ 11-3 电力线·电通量	126
§ 11-4 高斯定理	129
§ 11-5 电压·电位	135
§ 11-6 等位面·电场的图象	143
§ 11-7 电位与电场强度的关系·电位梯度	147
§ 11-8 静电场中的导体和电介质	150
§ 11-9 高斯定理的一般形式·电位移	156

§ 11-10	分界面上的边界条件	161
§ 11-11	电容·电容的计算	166
§ 11-12	二平行输电线的电容及其电场图	174
§ 11-13	电场能量	179
§ 11-14	电场力	183
	习题	192
第十二章	恒定电场(选学)	198
§ 12-1	电流密度	198
§ 12-2	导电媒质中恒定电场的基本方程	205
§ 12-3	导电媒质分界面上的边界条件	209
§ 12-4	恒定电场与静电场的比拟	215
§ 12-5	电阻的计算	218
§ 12-6	接地电阻	222
	习题	228
第十三章	恒定磁场	231
§ 13-1	磁感应强度	231
§ 13-2	磁通·磁通连续性原理	235
§ 13-3	比奥-沙瓦定律·安培环路定律	238
§ 13-4	磁介质的磁化	244
§ 13-5	磁场强度	248
§ 13-6	铁磁物质的磁化	255
§ 13-7	分界面上的边界条件	261
§ 13-8	磁场的计算	265
§ 13-9	电感的计算	274
§ 13-10	两平行输电线的电感	281
§ 13-11	磁场能量	283
§ 13-12	磁场力	288
	习题	295
第十四章	交变电磁场(选学)	301
§ 14-1	全电流定律	301
§ 14-2	电磁感应定律	307

§ 14-3	电磁场的基本方程组	311
§ 14-4	交变电磁场中的能量	314
第十五章	磁路和铁心线圈	320
§ 15-1	磁路和磁路定律	320
§ 15-2	磁路的计算	325
§ 15-3	永久磁铁的磁路	337
§ 15-4	交变磁通下的铁心损耗	340
§ 15-5	铁心线圈中电流、电压和磁通的波形畸变	349
§ 15-6	铁心线圈的相量图及等效电路	357
§ 15-7	铁心线圈的伏安特性	366
§ 15-8	变压器的基本原理	369
§ 15-9	交流电磁铁的吸力	379
§ 15-10	铁磁谐振电路·铁磁谐振稳压器	381
§ 15-11	铁磁频率三倍器	387
§ 15-12	铁磁功率控制器	388
	习题	393
第十六章	网络图论和网络方程(选学)	398
§ 16-1	网络的图	398
§ 16-2	回路·树·割集	403
§ 16-3	支路方程及理想电源的移位	408
§ 16-4	关联矩阵和节点分析法	414
§ 16-5	基本回路矩阵和回路分析法	430
§ 16-6	基本割集矩阵和割集分析法	439
	习题	450
第十七章	均匀传输线(选学)	453
§ 17-1	分布参数电路	453
§ 17-2	均匀传输线接在正弦电压下的稳定状态	456
§ 17-3	行波	460
§ 17-4	均匀传输线的副参数	471
§ 17-5	无反射线·无畸变线·无损失线	475
§ 17-6	均匀传输线的等效电路	483

习题	485
附录一 常用函数的拉普拉斯变换表	487
附录二 绝缘材料的电性能	488
附录三 常用铁磁材料基本磁化曲线数据表	489
附录四 几种电工钢片铁损数据表	491
习题答案	493

第十章 线性电路的过渡过程

在上册第三章研究正弦交流电路时,我们特别说明,计时起点的选择是任意的,即电路中电流、电压随时间作周期性变化的规律早已确定,我们称之为电路早已进入稳定状态,简称稳态(steady state)。这一概念同样适用于直流和非正弦电路。在实际电工技术中,还有另一个重要问题,即电路从一种稳态向另一种稳态过渡的问题,这一过程称之为过渡过程。由于这一过程一般时间不长,处于过渡过程的电路状态称为暂态(transient state)。

本章的任务就是分析研究引起过渡过程的原因,即其物理本质,过渡过程的变化规律与电路参数对过渡时间长短的影响。

§ 10-1 换路与电路初始值

要研究电路的过渡过程,首先应了解电路在过渡前后的两种稳定状态。在一定条件下,电路对应一定的稳态,条件变了,其稳定状态亦随之改变。如图 10-1-1(a) 所示,为 RC 串联电路与恒定电压源 E 接通的电路。电容原未充电,当开关 K 合上之前,电容器极板上的电荷 $q_C=0$, 电压 $u_C=0$, 这是一种稳定状态;当开关 K 合上后,电容开始充电,极板上的电荷逐渐增多,两端电压随之上升,最后极板上电荷 $q_C=CE$, $u_C=E$, $i=0$, 电路达到新的稳定状态。如图 10-1-1(a) 下面曲线所示。可见, q_C 和 u_C 不是合上开关后立即上升到新的稳态值的,而是需要经过一段时间才能由零值达到最终的稳态值。

同理,如图 10-1-1(b) 所示,为 RL 串联电路与直流电压源接通的电路。电感中的电流和磁链也将从原来的零值 ($i_L=0$, $\psi_L=0$) 经过一段时间后逐渐达到一个新的稳态值 (即 $i_L=\frac{E}{R}$, $\psi_L=$

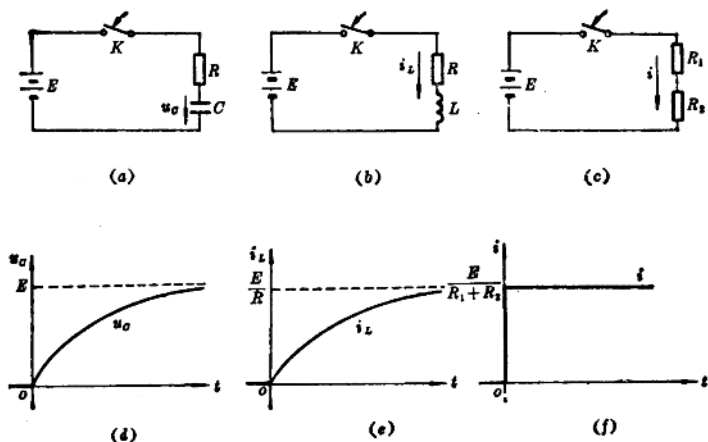


图 10-1-1

$L i_L$), 如图 10-1-1(b) 曲线所示。

图 10-1-1(c) 为电阻 R_1 与 R_2 串联电路, 当开关 K 闭合后, 通过电阻的电流将即刻由零值升为新的稳定值 $E/(R_1 + R_2)$, 其随时间的变化规律如图 10-1-1(f) 曲线所示。

可见, 含有储能元件的电路从一种稳定状态变化到另一种稳定状态需要经历一个过程, 我们称这一过程为电路的过渡过程。又因为过渡过程的时间很短(以 μs 、 ms 或 s 计), 故电路的这一状态称为暂态(transient state)。

研究电路的过渡过程具有重要的实际意义。因为只有通过对过渡过程的研究, 我们才能真正理解电路的新的稳定状态是如何建立起来的。通过后面的分析还可知, 电路在过渡过程中可能产生比稳定状态时大得多的过电压和过电流。过电压严重地威胁着电气设备的绝缘, 过电流所产生的电磁力将会使电气设备造成机械损坏, 因此在电气工程上必须对这些现象加以防止。另外, 在自动控制和调节系统以及在某些测量仪器或计算机中, 有很多电

路始终是处在过渡过程中工作的。研究过渡过程还可以为设计、制造、选择、整定各种控制电器，保护装置以及其它各种电气设备提供理论依据。因此，我们必须认识和掌握过渡过程这一物理现象的规律，以便在工程实际上既能充分地利用它，又能设法防止它的危害。

电路中所以产生过渡过程，其外部原因是由于电路的接通或断开，电路参数或联接方式的突然改变，电源的突然变动等所引起的。我们将引起电路状态改变的上述情况统称为换路 (switching)。如上所述的 RC 和 RL 电路，就是由于换路 (与电压源接通) 使电路的工作状态发生改变而产生过渡过程的。

电路中产生过渡过程的内部原因是由于电路含有储能元件。由式 (3-6-5) 和式 (3-8-2) 可知，储能元件的特征是元件上的电压 (或电流) 与电流 (或电压) 是微分关系。具有这种关系的元件称为动态元件。如果换路后电感电流 i_L 或电感磁链 ψ_L 能产生跃变，则线性电感上电压 $u_L = \frac{d\psi_L}{dt} = L \frac{di_L}{dt}$ 将趋于无限大，这将使回路电压不能满足基尔霍夫电压定律，这是不可能的。因为集中参数电路在任何瞬间总是受基尔霍夫定律制约的。同理，换路后电容电荷 q_C 或电容电压 u_C 也是不能跃变的，否则线性电容电流 $i_C = \frac{dq_C}{dt} = C \frac{du_C}{dt}$ 将趋于无限大，致使节点电流不能满足基尔霍夫电流定律，这也是不可能的。因此，在含有动态元件的电路 (又叫动态电路) 中，电容电压 u_C (或 q_C) 与电感电流 i_L (或 ψ_L) 都不能跃变，只能是逐渐变化的。

储能元件的物理本质是它有储能作用。由式 (3-6-7) 和式 (3-8-4) 可知，任意瞬间电容所储存的电场能量 $w_C = \frac{1}{2} C u_C^2 = \frac{1}{2} \frac{q_C^2}{C}$ 。电感中所储存的磁场能量为 $w_L = \frac{1}{2} L i_L^2 = \frac{1}{2} \frac{\psi_L^2}{L}$ 。而能量 w

是不能突然变化的, 否则与其相应的功率 $p = \frac{dw}{dt}$ 将趋于无限大, 即需要电源供给无限大的功率, 这实际上是不可能的。因此, 从能量的观点看, 与电场和磁场能量有关的各物理量, 即 u_C 和 q_C 或 i_L 和 ψ_L 也都不能跃变, 而只能是逐渐变化的。这是电路产生过渡过程的根本原因。

对于电阻电路, 由于电阻元件的特征是其中的 u_R 和 i 之间为代数关系。它是耗能元件, 不能储能, 因此纯电阻网络没有过渡过程产生, 可以跃变, 如图 10-1-1(c) 所示。

综上所述可得如下结论: 不论换路前电路的状态如何, 如果换路瞬间电容中的电流或电感上的端电压为有限值, 则在换路开始的一瞬间, 电容上的电荷和端电压及电感中的磁链和电流, 都应保持换路前一瞬间的原数值而不能跃变, 电路换路后就以此为初始值连续变动直至达到新的稳态值。这个规律称为换路条件或换路定律 (Switching Law)。

当用数学公式表示换路条件时, 我们以 $t=0$ 表示换路的瞬间, 即过渡过程的起始时间。以 $t=0_-$ 代表刚要换路前的一瞬间, 其数学意义系指 t 由负值趋近于零; 而以 $t=0_+$ 代表刚换路后的一瞬间, 其数学意义系指 t 由正值趋近于零。于是换路条件可表示如下

$$\left. \begin{aligned} q_C(0_+) &= q_C(0_-) & u_C(0_+) &= u_C(0_-) \\ \psi_L(0_+) &= \psi_L(0_-) & i_L(0_+) &= i_L(0_-) \end{aligned} \right\} \quad (10-1-1)$$

式中 $q_C(0_+)$ 、 $u_C(0_+)$ 、 $\psi_L(0_+)$ 、 $i_L(0_+)$ 分别称为电容电荷、电容电压及电感磁链、电感电流的初始值 (initial value)。

研究电路的过渡过程, 就是要求出各支路元件上的电压和电流的变化规律。为此必须首先知道在换路瞬间 (即计时起点注意这个计时起点不是任意选择的) 各支路元件上的电压和电流的数

值, 此值即为初始值。过渡过程中的电压和电流就从此值开始其变化。在电路过渡过程的计算中将根据式(10-1-1)来确定电路的初始值。

如果换路前电路中的动态元件均未储能, 即 $u_C(0_-)$ 和 $i_L(0_-)$ 均为零, 则这种电路为零初始条件或零状态的电路。此时电路的初始值应为

$$\left. \begin{aligned} u_C(0_+) &= u_C(0_-) = 0 \\ i_L(0_+) &= i_L(0_-) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (10-1-2)$$

说明电路在换路后的瞬间, 电容相当于短路, 电感相当于开路。

如果在换路前动态元件均已储能, 即 $u_C(0_-)$ 或 $i_L(0_-)$ 均不为零, 则这种电路为非零初始条件或非零状态①的电路。此时电路的初始值应为

$$\left. \begin{aligned} u_C(0_+) &= u_C(0_-) \\ i_L(0_+) &= i_L(0_-) \end{aligned} \right\} \quad (10-1-3)$$

说明电路在换路后的瞬间, 电容相当于一个电压源, 电感相当于一个电流源。

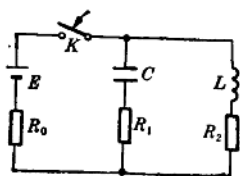
可见, 换路条件只适用于确定换路后电容电压或电感电流的初始值 $u_C(0_+)$ 或 $i_L(0_+)$, 至于以后随时间变化的电压 $u_C(t)$ 和电流 $i_L(t)$, 则需要列出换路后电路的微分方程求解, 并且要利用式(10-1-1)的初始条件来确定积分常数。

还应指出, 换路条件只说明与电磁场能量有直接关系的物理量 u_C , q_C 或 i_L , ψ_L 不能跃变, 至于其他各物理量如电容中的电流 i_C , 电感上的电压 u_L 以及电阻上的 u_R , i_R 等则是可以跃变的, 因为它们的跃变不会导致能量的跃变。计算和分析这些跃变量时必须根据基尔霍夫定律。

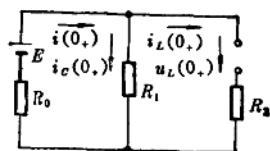
例题 10-1-1 如图所示电路, 当 $t=0$ 时将开关 K 闭合, 求开

① 关于“状态”这一术语将在 § 10-12 中研究。

关闭后各支路电流的初始值和电感上电压的初始值。其中 $R_0=4\Omega$, $R_1=R_2=8\Omega$, $E=12\text{V}$, $u_C(0_-)=0$, $i_L(0_-)=0$ 。



(a)



(b)

例图 10-1-1

解 (1) 求 $t=0_-$ 时电容电压 $u_C(0_-)$ 和电感电流 $i_L(0_-)$ 。由已知条件可得 $u_C(0_-)=0$, $i_L(0_-)=0$

(2) 求 $t=0_+$ 时 $u_C(0_+)$ 和 $i_L(0_+)$ 之值。由换路条件可知

$$u_C(0_+)=u_C(0_-)=0$$

$$i_L(0_+)=i_L(0_-)=0$$

(3) 求其他各电压、电流的初始值。先画出 $t=0_+$ 时的等效电路图, 如例图 10-1-1(b) 所示。此时因为 $u_C(0_+)=0$, $i_L(0_+)=0$ 所以, 在等效电路中电容相当于短路, 而电感相当于开路。故有

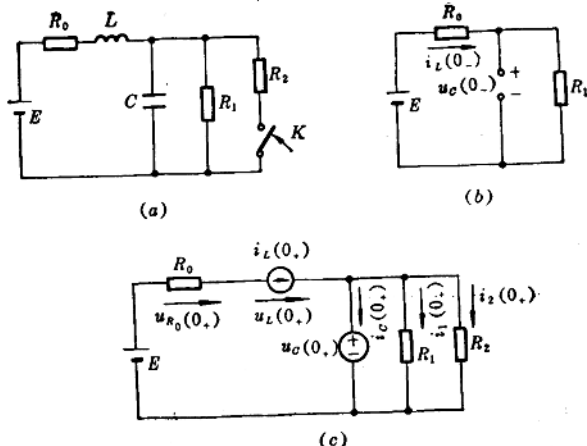
$$i(0_+)=i_C(0_+)=\frac{E}{R_0+R_1}=\frac{12}{4+8}=1\text{A}$$

$$i_L(0_+)=i_L(0_-)=0$$

$$u_L(0_+)=i_C(0_+)R_1=\frac{R_1}{R_0+R_1}E=\frac{8}{4+8}\times 12=8\text{V}$$

例题 10-1-2 如图所示电路, 开关 K 闭合前电路已处于稳态。求当 $t=0$ 时 K 闭合后各电流、电压的初始值。已知: $R_0=30\Omega$, $R_1=20\Omega$, $R_2=40\Omega$, $E=10\text{V}$ 。

解 (1) 求 $t=0_-$ 时 $u_C(0_-)$ 和 $i_L(0_-)$ 之值。当开关 K 闭合之前, 电感 L 对直流电源相当于短路; 电容则相当于开路。故得



例图 10-1-2

$t=0_-$ 时等效电路如例图 10-1-2(b) 所示。由图可得

$$i_L(0_-) = \frac{E}{R_0 + R_1} = \frac{10}{30 + 20} = 0.2 \text{ A}$$

$$u_C(0_-) = i_L(0_-) R_1 = \frac{E}{R_0 + R_1} R_1 = \frac{10}{30 + 20} \times 20 = 4 \text{ V}$$

(2) 求 $t=0_+$ 时 $u_C(0_+)$ 和 $i_L(0_+)$ 之值。由换路条件可得:

$$u_C(0_+) = u_C(0_-) = 4 \text{ V}$$

$$i_L(0_+) = i_L(0_-) = 0.2 \text{ A}$$

(3) 求其他各电压、电流的初始值。根据置换定理, 作等效电路时, 可把由换路条件求出的 $u_C(0_+)$ 用电压源来代替; 把 $i_L(0_+)$ 用电流源来代替, 如例图 10-1-2(c) 所示。应用基尔霍夫定律和欧姆定律求出各支路或元件上的电流和电压的初始值:

$$\begin{aligned} u_L(0_+) &= E - i_L(0_+) R_0 - u_C(0_+) \\ &= 10 - 0.2 \times 30 - 4 = 0 \text{ V} \end{aligned}$$

$$i_1(0_+) = \frac{u_C(0_+)}{R_1} = \frac{4}{20} = 0.2 \text{ A}$$

$$i_2(0_+) = \frac{u_C(0_+)}{R_2} = \frac{4}{40} = 0.1 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} i_C(0_+) &= i_L(0_+) - i_1(0_+) - i_2(0_+) \\ &= 0.2 - 0.2 - 0.1 = -0.1 \text{ A} \end{aligned}$$

小结

1. 含有储能元件的电路发生换路时, 由于储能元件的能量不能跃变, 因而产生电路的过渡过程。

2. 换路条件指出电容电压(电荷)和电感电流(磁链)不能跃变。即:

$$u_C(0_+) = u_C(0_-) \quad q_C(0_+) = q_C(0_-)$$

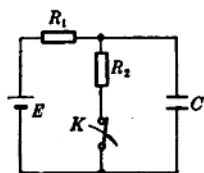
$$i_L(0_+) = i_L(0_-) \quad \psi_L(0_+) = \psi_L(0_-)$$

3. 根据换路条件可求出电容电压和电感电流的初始值, 再根据基尔霍夫定律求出其他电压、电流的初始值。

练习

10-1-1. 当一辆汽车以匀速 v 行驶时, 突然刹车, 是否也有过渡过程? 其速度 v 为什么不能跃变? 其初始值与新的稳态值各为多少?

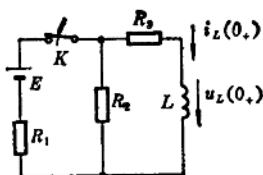
10-1-2. 参考例题 10-1-1 与例题 10-1-2, 为什么在例图 10-1-1(b) 中, 电感 L 相当于开路, 电容 C 相当于短路; 而在例图 10-1-2(b) 中, 电感 L 相当于短路, 电容 C 相当于开路? 判断的原则是什么? 求新的稳态值时它们是开路还是短路?



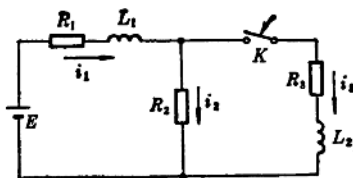
题图 10-1-3

10-1-3. 如图所示电路, $E=20 \text{ V}$, $R_1=2 \text{ k}\Omega$, $R_2=3 \text{ k}\Omega$, $C=4 \mu\text{F}$ 。试求当开关 K 打开的瞬间 $u_C(0_+)$, $i_C(0_+)$, $u_{R_1}(0_+)$ 以及 $u_{R_1}(\infty)$, $u_C(\infty)$ 各为多少?

10-1-4. 如图所示电路, 已知: $E=10 \text{ V}$, $R_1=1.6 \text{ k}\Omega$, $R_2=6 \text{ k}\Omega$, $R_3=4 \text{ k}\Omega$, $L=0.2 \text{ H}$, 开关 K 打开前电路已处于稳态, 试求开关 K 打开的瞬间 $i_L(0_+)$ 和 $u_L(0_+)$ 各为多少?



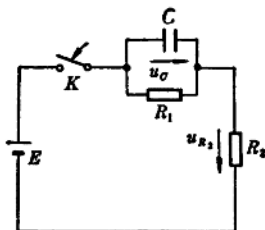
题图 10-1-4



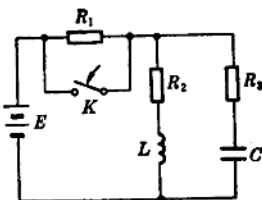
题图 10-1-5

10-1-5. 如图所示电路, 已知 $E=3\text{ V}$, $R_1=10\ \Omega$, $R_2=20\ \Omega$, $R_3=5\ \Omega$, $L_1=0.1\text{ H}$, $L_2=0.2\text{ H}$, 开关 K 闭合前电路处于稳态。试求开关 K 闭合瞬间各支路电流和各元件电压的初始值。

10-1-6. 如图所示电路, $E=1.4\text{ V}$, $R_1=R_2=0.3\text{ k}\Omega$, 试求当开关 K 闭合瞬间 $u_C(0_+)$, $u_{R_2}(0_+)$, 与稳定后 $u_C(\infty)$ 和 $u_{R_2}(\infty)$ 。



题图 10-1-6



题图 10-1-7

10-1-7. 如图所示电路, $E=48\text{ V}$, $R_1=R_2=2\ \Omega$, $R_3=3\ \Omega$, $L=2\text{ H}$, $C=100\ \mu\text{F}$, 在开关闭合之前电路已处于稳态。试求 K 闭合时各支路电流的初始值和 $i_L(0_+)$ 、 $u_C(0_+)$ 。

10-1-8. 想想看, 如何用万用表测试一个电容的好坏? 并说明其道理。

§ 10-2 经典法概述

为了求出换路后电路中各电压、电流随时间变化的规律, 应用基尔霍夫定律, 列出电路中有关电压或电流的微分方程并直接进行求解的方法称为经典法(classical method)。

下面以 RLC 串联电路为例来说明用经典法分析计算线性电

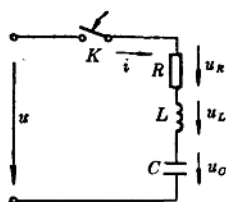


图 10-2-1

路过渡过程的一般方法和步骤。如图 10-2-1 所示电路, 已知电路参数 R 、 L 、 C 和电源电压 u , 并且 $u_C(0_-) = 0$, $i_L(0_-) = 0$ 。各电压及电流的参考方向如图所示。

根据基尔霍夫电压定律列出换路后电路的微分方程, 当 K 闭合后, 其电压方程为

$$u_L + u_R + u_C = u$$

因为 $i = C \frac{du_C}{dt}$; $u_R = iR = RC \frac{du_C}{dt}$; $u_L = L \frac{di}{dt} = LC \frac{d^2u_C}{dt^2}$ 故得

$$LC \frac{d^2u_C}{dt^2} + RC \frac{du_C}{dt} + u_C = u \quad (10-2-1)$$

这是一个含有未知量 u_C 的二阶常系数线性非齐次微分方程。该方程的解 u_C 是时间 t 的函数, 就是电容电压随时间变化的规律。

由数学得知, 式 (10-2-1) 非齐次微分方程的通解 (全解) (general solution) u_C , 由特解 (particular solution) u'_C 和补函数 (complementary function) u''_C (对应的齐次方程的通解) 两部分叠加组成。即 $u_C = u'_C + u''_C$ 。

(1) 求特解 u'_C 适合非齐次微分方程的任一个解都可以充当特解。在电路中, 不管电源是直流或是周期性交流, 由于过渡过程终将要消失而进入稳态, 故就取电路达到稳定状态下的解作为该方程的特解。所以特解又称为电路的 稳态解 或 稳定分量。它可以通过以前各章介绍的稳态电路的计算方法求得。如本例中当外加为直流电压 $u = E$ 时, $u'_C = E$ 。又因为稳定分量是与外加电源电压的变化规律有关, 受外加电压所制约的, 所以又称为 强制分量 (forced component)。

(2) 求补函数 u_c'' 即满足相应齐次微分方程 (homogeneous differential equation)

$$LC \frac{d^2 u_c''}{dt^2} + RC \frac{du_c''}{dt} + u_c'' = 0 \quad (t \geq 0) \quad (10-2-2)$$

的通解。上述齐次微分方程的特征方程为

$$LCp^2 + RCp + 1 = 0$$

设此特征方程具有两个不相等的根 p_1 和 p_2 。即

$$p_{1,2} = \frac{-RC \pm \sqrt{(RC)^2 - 4LC}}{2LC}$$

则式(10-2-2)的通解即式(10-2-1)的补函数为

$$u_c'' = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t} \quad (t \geq 0) \quad (10-2-3)$$

式中的 A_1 和 A_2 是待定的积分常数, 可以根据换路后的初始值来确定。

式(10-2-2)是在外加电压为零时的方程, 因此方程的通解 u_c'' 的变化规律与外加电压无关, 只与电路参数有关。所以 u_c'' 称为自由分量 (force-free component)。又因为自由分量只在过渡过程中才存在, 当过渡过程一结束, 它就消失了, 所以又称为暂态分量 (transient component) 或暂态解。由式(10-2-3)可见, 它是一个负指数函数, 暂态分量随着时间的增长而衰减、消失, 当 u_c'' 随着时间的增长消失后, 电路便进入新的稳定状态。

暂态分量的变化规律虽与外加电压无关, 但其大小是与外加电压的大小有关的。这是因为待定积分常数 A 不仅与初始值有关而且还与稳态解在 $t=0$ 时的值有关系。

(3) 将特解 u_c' 和补函数 u_c'' 叠加即得电路中 u_c 的变化规律。求出 u_c 之后, 即可根据 $i = C \frac{du_c}{dt}$, $u_R = iR$, $u_L = L \frac{di}{dt}$ 等求出其他物理量。

综上所述, 用经典法分析线性电路的过渡过程, 就是通过解微