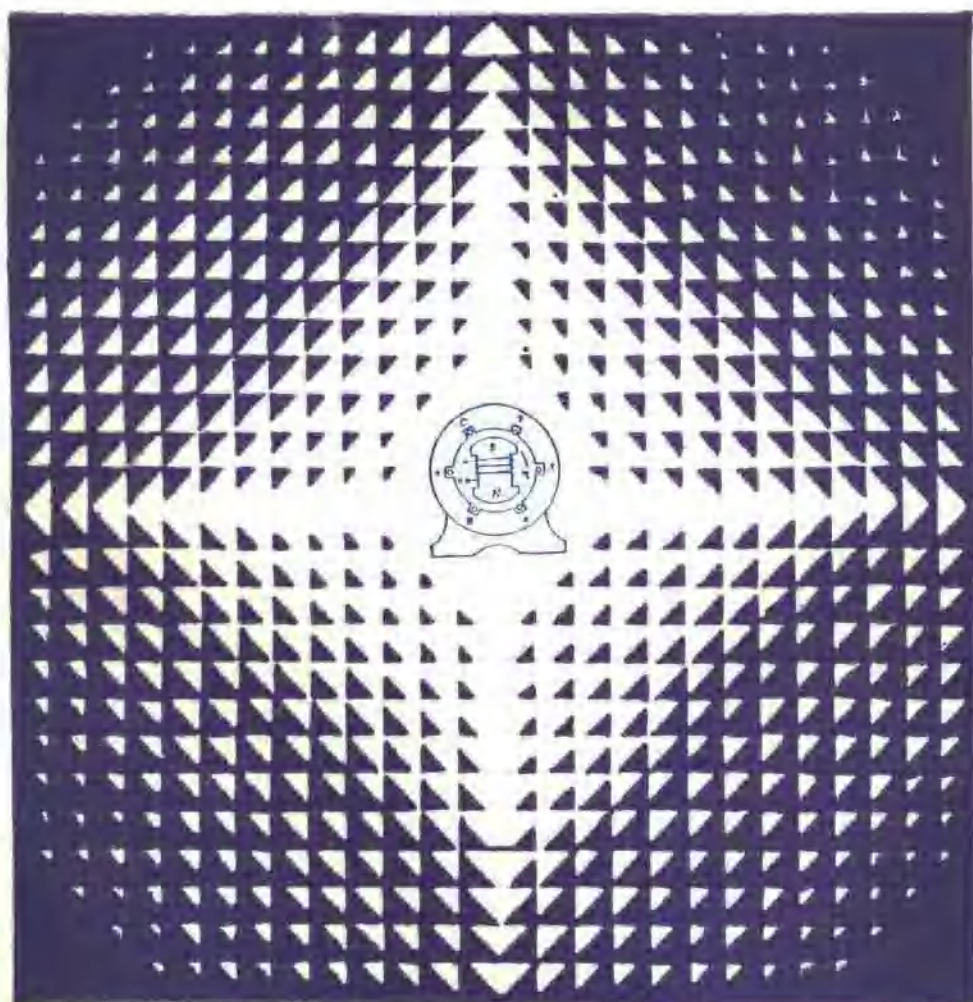


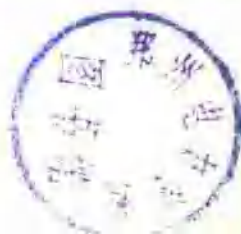
电工技术学习指导书

王岩 谷良 编

DIAN GONG JI SHU



中央广播电视大学出版社



电工技术学习指导书

王岩 谷良 编

中央广播电视大学出版社

电工技术学习指导书

王岩 谷良 编

中央广播电视大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

西安新华印刷厂印装

开本787×1092 1/16 印张 7.5 千字186

1991年5月第1版 1991年5月第1次印刷

印数：1—6000

定 价：2.60元

ISBN 7—304—00589-0/TM·16

前 言

《电工技术学习指导书》是为了配合机电工程专业所使用的《电工技术》教材（王岩、王祥珩编，中央广播电视大学出版社出版）而编写的。

为了适应远距离教育的特点，便于学生自学，本书与《电工技术》教材相配套，其内容分为两部分：第一部分为电路分析，包括电路的基本概念与基本定律、正弦交流电路和相量法、线性电路的一般分析方法、三相电路、简单电路的过渡过程、磁路等章节的内容提要和部分习题解答；第二部分为电工技术，包括变压器、驱动电机及其电力拖动、电动机的选择、控制电机、低压电器及电动机的继电接触器控制、电工仪表、安全用电等章节的重点与难点、思考题解答、习题答案及部分习题解答。

为使教师和学员了解电工技术课程的基本要求，本书附有机电工程专业电工技术教学大纲，供参阅。

本书第一部分由谷良编写，第二部分由王岩编写。

由于编写者水平所限，加之编写时间仓促，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者多提宝贵意见，以便今后修正。

编 者

目 录

第一部分 电路分析

第一章	电路的基本概念与基本定律	(1)
一、	内容提要	(1)
二、	部分习题解答	(6)
第二章	正弦交流电路和相量法	(13)
一、	内容提要	(13)
二、	部分习题解答	(19)
第三章	线性电路的一般分析方法	(30)
一、	内容提要	(30)
二、	部分习题解答	(33)
第四章	三相电路	(37)
一、	内容提要	(37)
二、	部分习题解答	(40)
第五章	简单电路的过渡过程	(47)
一、	内容提要	(47)
二、	部分习题解答	(51)
第六章	磁路	(57)
一、	内容提要	(57)
二、	部分习题解答	(59)

第二部分 电工技术

第七章	变压器	(62)
一、	重点与难点	(62)
二、	思考题解答	(63)
三、	习题答案及部分习题解答	(65)
第八章	驱动电机及其电力拖动	(68)
一、	重点与难点	(68)
二、	思考题解答	(71)
三、	习题答案及部分习题解答	(81)
第九章	电动机的选择	(89)
一、	重点与难点	(89)
二、	思考题解答	(89)
三、	习题答案及部分习题解答	(91)
第十章	控制电机	(93)

一、 重点与难点.....	(93)
二、 思考题解答.....	(94)
三、 习题答案.....	(95)
第十一章 低压电器及电动机的继电接触器控制.....	(96)
一、 重点与难点.....	(96)
二、 思考题解答.....	(97)
第十二章 电工仪表.....	(102)
一、 重点与难点.....	(102)
二、 思考题与习题解答.....	(103)
第十三章 安全用电.....	(106)
一、 重点与难点.....	(106)
二、 思考题解答.....	(107)
附 中央广播电视大学机电工程专业电工技术教学大纲.....	(108)

第一部分 电路分析

第一章 电路的基本概念与基本定律

一、内容提要

这一章是学习电路分析方法的入门篇。本章主要讲述电路的组成、电路中的基本物理量、元件的伏安关系约束（元件的定义式）和电路结构的约束（KCL和KVL）。关键是掌握参考点、电位、参考极性、参考方向、关联（参考）方向等重要概念；掌握经常使用的计算公式：

$$U_{ab} = U_a - U_b, \quad u = Ri, \\ i_c = C \frac{du_c}{dt}, \quad u_L = L \frac{di_L}{dt}$$

要掌握利用基尔霍夫电流和电压定律（KCL和KVL）来计算支路电压和支路电流。

§1-1 电路的组成和电路模型

§1-2 电路的基本物理量：电流、电压、功率和能量

1. 电流定义式为： $i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$ (1-1)

单位： $i(t)$ ：安培（A）； $q(t)$ ：库仑（C）

t ：秒（s）

电流定义（1-1）式的作用：了解电流 $i(t)$ 是电荷 $q(t)$ 对时间 t 的变化率这一概念，电荷只有流动起来，才能形成电流（这是电流与电压不同之处）；已知 $q(t)$ 的表达式或 $q(t)$ 的波形由（1-1）式的微分计算，求出电流 $i(t)$ 的表达式或 $i(t)$ 的波形。

在时间 t_0 至 t 的时间间隔内从已知的 $i(t)$ 求 $q(t)$ 的公式为

$$q(t) = \int_{t_0}^t i(\tau) d\tau$$

2. 电场中 a, b 两点之间的电压（电位差、电压降）定义为

$$u_{ab} = \frac{w_{ab}}{q} \quad (1-2)$$

电压的单位为伏特（V），电场力做功 w_{ab} 的单位为焦耳（J），电荷 q 的单位为库仑（C）。

电压 u_{ab} 的物理概念是电场力将单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功，其数值和电场中的 a, b 两点的位置有关，而与电场力如何将电荷从 a 点移动到 b 点的路径无关。

3. 参考点和电位

这两个概念十分重要！特别是在以后要学习的电路分析方法中（如节点法），将用到参考点和电位的概念。

参考点是电场中任意选择的一个点。在电路中，对应的概念是参考节点，习惯上一般选

电路中的节点 0 为参考节点。

电场中（或电路中）任意一个点（或节点） a 与参考点（或参考节点） 0 之间的电压 u_{a0} 称为点（或节点） a 的电位 u_a 。这样定义以后，电位 u_a 也是一种电压，是点（或节点） a 与指定参考点（或参考节点） 0 之间的电压，即： $u_{a0} = u_a$ 。

由于参考点 0 的电位 u_0 是点 0 与点 0 之间的电压，所以自然有 $u_0 = 0$ 。

任意两点 a, b 之间的电压 u_{ab} 反映了 a 点与 b 点之间的电位差，即

$$\begin{aligned} u_{ab} &= u_{a0} - u_{b0} = (u_a - u_0) - (u_b - u_0) \\ &= (u_a - 0) - (u_b - 0) = u_a - u_b \end{aligned} \quad (1-3)$$

公式中 $u_{ab} = u_{a0} - u_{b0}$ 表达的含义是：电压 u_{ab} 是电场力将单位正电荷从 a 点移到 0 点，再从 0 点移到 b 点所做的功。由于 u_{ab} 的大小与移动电荷所通过的路径无关，所以电场力将电荷从 a 点移动到 b 点的路径可选则为通过参考点 0 。

有了电位概念以后，可以加深对公式 $u_{ab} = \frac{w_{ab}}{q}$ 的理解与正确应用。

$w_{ab} > 0$ ：电场力作功，电场能量减少，电荷通过电场时消耗电场的能量。

$w_{ab} < 0$ ：外力克服电场力作功，电场能量增加，电荷通过电场时使得电场的能量增加。

$q < 0$ ：负电荷

$q > 0$ ：正电荷

$u_{ab} > 0$ ： a 点的电位高于 b 点的电位，与 a 点标“+”号， b 点标“-”号的含义相同。

$u_{ab} < 0$ ： a 点的电位低于 b 点的电位，与 a 点标“-”号， b 点标“+”号的含义相反。

例如， -2 C 电荷由 a 点到 b 点通过元件时能量增加了 6 J ，求电压 u_{ab} 则可用 $q = -2\text{ C}$ ， $w_{ab} = 6\text{ J}$ 代入公式，求出 $u_{ab} = 3\text{ V}$ ， a 点电位高于 b 点电位。

4. 功率

瞬时功率 $p(t)$ 的定义为

$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt} = u(t)i(t) \quad (1-4a)$$

$p(t)$ ：瞬时功率，单位瓦特（W）； $w(t)$ ：瞬时能量，单位焦耳（J）。

上式中的微分式可以用于在给出 $w(t)$ 的表达式或波形时，求 $p(t)$ 的表达式或波形。

当给出 $p(t)$ 的表达式或波形而求 t_0 至 t_1 一段时间内能量 $w(t)$ 时，用公式：

$$w(t) = w(t_0) + \int_{t_0}^{t_1} p(t) dt$$

§ 1-3 电流与电压的参考方向

1. 电流的参考方向，电压的参考极性和参考方向。

以上概念十分重要！电流的参考方向是一个任意假定的电流流动方向，用箭头表示。电压的参考极性是指：用任意假定的正负号标在电路元件的两端，标正号的一端表示比标负号的一端的电位高。电压的参考方向是指：在选定参考极性之后，由标正号的一端指向标负号的那端的方向（用一个箭头由“+”指向“-”）。注意，有时对电压仅标出参考极性，而不用箭头标出参考方向。

电流和电压参考方向的任意假定是由于在未计算电路之前，并不能确定电流或电压的真实方向。在假定参考方向后对电路进行计算，如果得到的电流或电压数值是正值，则参考方向与真实的方向一致；如果计算得到的电流或电压值的负值，则表明真实的电流流动方向或

电压极性方向与参考方向相反。参考方向的任意假定性不影响计算结果的正确性。电路计算的正确性是由元件特性及基尔霍夫两个定理共同约束决定。

2. 关联方向

这也是一个十分重要的概念，因为元件特性的定义式，功率计算公式等都是在电压与电流取关联方向得到的。

关联方向是指：电路元件上的电压参考方向与流过元件的电流参考方向一致时的情形，对不一致的情形称非关联方向。

当某元件上的电流、电压取关联方向时，该元件消耗的功率 $p(t)$ 的计算公式为

$$p(t) = u(t)i(t) \quad \text{或} \quad P = UI \quad (\text{直流})$$

当某元件上的电流、电压不取关联方向时，该元件消耗的功率 $p(t)$ 的计算公式为

$$p(t) = -u(t)i(t) \quad \text{或} \quad P = -UI \quad (\text{直流})$$

无论用哪一个公式计算，都有以下结论：

当 $p(t) > 0$ 或 $P > 0$ 时，表明该电路元件实际上是吸收功率。

当 $p(t) < 0$ 或 $P < 0$ 时，表明该电路元件实际上是产生（发出）功率。

注意：元件也包括了电源，也用同样公式计算功率。在计算时虽然说：“某电源消耗的功率为…””，然而一旦计算出的功率是负值，就表明该电源实际上产生功率。

§ 1-4 电阻

电阻 R 的定义（支路欧姆定律）为

$$R = \frac{u}{i}, \quad R \text{ 的单位：欧姆 } (\Omega); \quad u \text{ 的单位：伏特 } (V);$$

i 的单位：安培 (A)

当 $R \rightarrow \infty$ 时，有 $i = 0$ （设 $u \neq 0$ ），称为开路，例如打开的开关。

当 $R = 0$ 时，有 $u = 0$ （设 $i \neq 0$ ），称为短路，例如连接导线。

$R = \frac{u}{i}$ 的定义是电流 i 和电压 u 取关联方向得到的。

电阻的倒数称为电导 G ， G 定义如下：

$$G = \frac{1}{R}, \quad i = Gu, \quad G \text{ 的单位：西门子 } (S).$$

在 R, i, u, p 四个量中，只要知道其中的两个量，就可以由以下公式求出另外两个量来。

$$\left. \begin{aligned} u &= iR \\ p &= iu = i^2 R = u^2 / R \end{aligned} \right\}$$

§ 1-5 电容

$$\text{电容的定义为} \quad C = \frac{q}{u} \quad (1-12)$$

更常用的电容定义式为

$$i_c(t) = C \frac{du_c(t)}{dt} \quad (1-13)$$

在定义式中 $i_c(t)$ 和 $u_c(t)$ 取关联方向。（1-13）定义式表明，如果一个元件上的电流与

其上的电压对时间的导数成正比, 则该元件就是电容。(1-13)式还是当给出 $u_c(t)$ 的表达式或波形时求 $i_c(t)$ 的表达式或波形的公式。

由已知的 $i(t)$ 求在时间 t_0 到 t 的时间间隔内的电压 $u_c(t)$ 的公式为

$$u_c(t) = u_c(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_c(\tau) d\tau \quad (1-14)$$

当 $u_c(t)$ 和 $i_c(t)$ 取关联方向时, 输入电容的瞬时功率 $p_c(t)$ 为

$$p_c(t) = u_c(t) i_c(t) \quad (1-15)$$

当 $p_c(t) > 0$ 时, 表明电容从电路中吸收功率, 储存能量。

当 $p_c(t) < 0$ 时, 表明电容将储存的能量向电路释放。

电容本身是储存电场能量的元件, 而不消耗功率。所以平均功率为零, 即 $\overline{p_c} = 0$

计算电源供给电容 C 能量 $w_c(t)$ 的公式为

$$w_c(t) = \frac{1}{2} C u_c^2(t) \quad \text{J (设 } u_c(0) = 0 \text{)} \quad (1-16)$$

(1-16)式表明 $w_c(t)$ 仅和 C 与 $u_c(t)$ 有关, 而与电容中是否有电流流过无关。电容器只要充了电, 就有电压存在, 就会储存能量。

最后, 由 $i_c = C \frac{du_c}{dt}$ 公式可以看出, 电压 u_c 不能突变, 即 u_c 波形不可能有变化率为无穷大的地方, 否则做为 u_c 变化率的 i_c 将成为无穷大, 这一般是不可能的。

§ 1-6 电感和互感

电感的定义式为 $L = \frac{\psi}{i}$ (1-17)

式中, ψ (全磁通) = W (匝数) $\cdot \phi$ (电流产生的磁通)。

更常用的电感定义式为 $u_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}$ (1-19)

电感 L 的单位是亨利 (H)。

在定义式 (1-19) 式中 $u_L(t)$ 和 $i_L(t)$ 取关联方向。

电感和电容在电路中有“对偶”的性质, 即: 将 L 与 C 对换, $u_c(t)$ 与 $i_c(t)$ 对换, $i_L(t)$ 与 $u_L(t)$ 对换, 记成: $L \rightarrow C, u_L \rightarrow i_c, i_L \rightarrow u_c$, 则对电容 C (或对电感 L) 的讨论得出的结论完全适用于对电感 (或对电容 C) 讨论得出的结论, 这有助于公式的记忆。

已知 $u_L(t)$, 而求在时间 t_0 至 t 间隔中 $i_L(t)$ 的公式为

$$i_L(t) = i_L(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u_L(\tau) d\tau \quad (1-20)$$

公式 (1-20) 与公式 (1-14) 对偶。

教材①例1-15举了用 (1-20) 式计算 $i_L(t)$ 的例子。在利用公式 (1-20) (或公式 (1-14)) 求 $i_L(t)$ (或 $u_c(t)$) 时, 关键是在计算分段积分时先将每段起始的值 $i_L(t_0)$ (或 $u_c(t_0)$) 以及 $u_L(t)$ (或 $i_c(t)$) 的线性方程表达式确定出来。

当 $i_L(t)$ 和 $u_L(t)$ 取关联方向时, 输入电感的瞬时功率 $p_L(t)$ 为

①指前言中所说的主教材《电工技术》, 以下均简称教材。

$p_L(t) = i_L(t)u_L(t)$, 平均功率 $\overline{p_L} = 0$

计算电源供给 L 的能量 $w_L(t)$ 的公式为

$$w_L(t) = \frac{1}{2} Li_L^2(t) \quad \text{J} \quad (1-21)$$

(1-21) 式表明: 只有当电感中有电流流动时, 电感中才有储能。

最后, 由公式 $u_L = L \frac{di_L}{dt}$ 可以看出, i_L 不能突变, 否则 u_L 将成为无穷大, 这一般是不可能的。

电容的电压不能突变, 电感的电流不能突变, 这个概念对于学习第五章简单电路的过渡过程分析十分重要。

互感及其电路符号见教材图1-17。

掌握互感的应用应注意以下两点:

(1) 互感线圈中同名端标有符号 “*” 或 “·”, 见“教材”图1-19。

同名端表示的含义是, 互感线圈是这样制造的: 当互感中一个线圈中的标有 “*” 或 “·” 端的电位相对于该线圈的另一个没有标 “*” 或 “·” 端的电位升高时, 例如电流由 “*” 或 “·” 流入, 从另一端流出时, 互感线圈中的另一个线圈标 “*” 或 “·” 的同名端的电位也相对于该线圈中的非同名端的电位也升高。

在电子线路分析中, 如在振荡电路起振条件分析时, 同名端电位共同升高或降低的概念十分重要。

(2) 在互感线圈的电压, 电流计算公式中要决定公式等号右端第二项的正负号:

$$u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} \pm M \frac{di_2}{dt}$$

$$u_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} \pm M \frac{di_1}{dt}$$

当互感的两个线圈的电压与电流均取关联方向时, 决定正负号的步骤如下:

① 先找出两个参考方向: 第一个线圈中 i_1 参考方向和第二个线圈中电压 u_2 参考方向 (由 “+” 指向 “-”)

② 判断: 若两个参考方向一致 (同时由同名端指向非同名端或由非同名端指向同名端), 则公式中用正号; 不一致时用负号。

§ 1-7 电压源和电流源

电压源是一种电路器件, 当其连接 (或不连接) 到任何电路之后, 其两端的电压数值是恒定的, 而流过电压源的电流的大小和方向均不影响其恒定的电压值。这样的电压源又称理想电压源。实际电压源是由理想电压源与一个电阻 (内阻) 串联构成, 当与电路连接时, 若有电流流过电压源, 则在内阻上就有一定压降 (见教材图1-21)。

电流源也是一种电路器件, 当其连接到任一电路时, 电流源提供恒定的电流, 而加在电流源上的电压的大小及极性均不影响其提供的恒定电流值。这样的电流源是理想的电流源。实际电流源由理想电流源与一个电阻 (内阻) 并联构成, 当其与电路连接时, 在内阻上有一定分流 (见教材图1-22)。

电流源和电压源都称为电源或独立源。

本课程讨论的电源类型仅包括直流电源和正弦交流电源两种，其他类型的电源如三角波或方波电源可以用数学方法变换成第二章介绍的正弦交流电源。

§ 1-8 受控源

受控源表示电路中一个支路的电流或电压作为控制量去控制另一个支路的电压或电流的一种电路器件。受控源不能真的提供能量，而只反映电路中两部分的耦合关系。受控源可以有四种类型，见教材图1-23电路，但不必记住这四种受控源的代表符号。电路中存在有受控源时会使电路的分析计算复杂化（在第三章电路分析方法中讨论）。

§ 1-9 基尔霍夫定律

电路的基尔霍夫定律除了对极特殊的电路尺寸的配量不适用以外，适合于各种电路的分析，该定律由两部分组成：

基尔霍夫电流定律KCL：

$$\sum i(t) = 0 \quad (1-26)$$

基尔霍夫电压定律KVL：

$$\sum u(t) = 0 \quad (1-27)$$

在电路中某节点应用KCL的步骤如下：

1. 假定所有与该节点有关的电流的参考方向：流出或流入该节点。
2. 对流出（或流入）的电流取正号，对流入（或流出）的电流取负号代入（1-26）式，求代数和（一般是求解其中未知的电流值）。

在电路中某个回路应用KVL的步骤如下：

1. 假定该回路中元件上电压的参考方向。
2. 选定回路的绕行方向：沿顺时针或沿逆时针方向。
3. 沿回路的绕行方向做（1-27）式的各元件上的电压代数和，元件上电压参考方向与回路绕行方向一致时该电压取正号，否则取负号。

注意：在应用KCL或KVL时，电流或电压本身的数值还可能有正负。所以在公式的代数和中，实际上有两套符号起作用：一套是方程中每一项前面的正负号（由KCL或KVL决定）；另一套是每个电压或电流本身数值的正负，不要搞混。

在分析电路时，求解支路电压、支路电流的分析方法的根本依据在于电路的两个约束：一个约束是仅与元件特性有关的约束，称元件的伏安关系或支路特性约束，如 $u = iR$ ，

$$i_c(t) = C \frac{du_c(t)}{dt}, \quad u_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} \text{ 等。}$$

另一个约束是仅与电路结构（节点数、支路数和联结关系）有关而与元件特性无关的约束关系，即KCL和KVL。

电路分析方法说到底这两种约束关系的结合应用，这一点是电路分析方法的关键所在，贯穿于电路分析始终，希望在学习中加深体会。

二、部分习题解答

题1-1

$$i(t) = -3e^{-t} - 2A, \quad i(0) = -5A, \quad i(1) = -3.1A$$

题1-2

解 从时间 t_1 到 t_2 进入元件的电荷 $q(t)$ 为:

$$q = \int_{t_1}^{t_2} i(t) dt = 20[\sin t_2 - \sin t_1]$$

从 $t = 0$ 到 $t = 1$ s之间, $q = 16.8$ C

从 $t = 4$ 到 $t = 5$ s之间, $q = -4.04$ C

题1-3

提示 将 $i(t)$ 的分段表达式

$$\left. \begin{aligned} i(t) &= t & 0 \leq t \leq 2\text{s} \\ i(t) &= 4 - t & 2 \leq t \leq 4\text{s} \end{aligned} \right\}$$

代入求 $q(t)$ 的积分公式, 可以得到总电荷 $q = 4$ C

题1-4

解 设 U_a , U_b , U_c 分别表示 a , b , c 三点的电位。

1. 选 a 点为参考点

$$U_a = 0$$

$$\text{由 } U_a - U_b = U_{ab} = 4 \text{ V} \quad \text{得 } U_b = -U_{ab} = -4 \text{ V}$$

$$\text{由 } U_a - U_c = U_{ac} = -2 \text{ V} \quad \text{得 } U_c = -U_a = 2 \text{ V}$$

$$U_{bc} = U_b - U_c = -4 - 2 = -6 \text{ V}$$

2. 选 b 为参考点

$$U_b = 0$$

$$\text{由 } U_a - U_b = U_{ab} = 4 \text{ V}, \quad \text{得 } U_a = U_{ab} = 4 \text{ V}$$

$$\text{由 } U_a - U_c = U_{ac} = -2 \text{ V}, \quad \text{得 } U_c = +2 + U_a = 6 \text{ V}$$

$$\text{由 } U_{ac} = U_{ab} + U_{bc} = -2 \text{ V}, \quad \text{得 } U_{bc} = -2 - U_{ab} = -6 \text{ V}$$

另外, 若选 C 为参考点, 则有

$$U_c = 0$$

$$\text{由 } U_{ac} = U_a - U_c = -2 \text{ V}, \quad \text{得 } U_a = -2 \text{ V}$$

$$\text{由 } U_a - U_b = U_{ab} = 4 \text{ V}, \quad \text{得 } U_b = U_a - 4 = -6 \text{ V}$$

从该题可以看出, 当选不同点的参考点时, 电位会发生相对变化, 但两点之间的电压是反映两点之间的电位差值, 所以是固定不变的。

题1-5

$$\text{解} \quad (1) \quad q = +2 \text{ C}, W_{ab} = +6 \text{ J}, u_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} = 3 \text{ V}$$

$$(2) \quad q = +2 \text{ C}, W_{ab} = -6 \text{ J}, u_{ab} = -3 \text{ V}$$

(a 点电位低于 b 点电位)

$$(3) \quad q = -2 \text{ C}, W_{ab} = 6 \text{ J}, u_{ab} = -3 \text{ V}$$

$$(4) \quad q = -2 \text{ C}, W_{ab} = -6 \text{ J}, u_{ab} = 3 \text{ V}$$

题1-6

解 若 U , I 取关联方向则 $P = UI$; 若 U , I 取非关联方向, 则 $P = -UI$ 。 $P < 0$ 元件产生功率 (电源), $P > 0$ 元件吸收功率 (负载)。

$$(a) \quad P = UI = 2 \times 2 = 4 \text{ W}, \quad \text{负载}$$

$$(b) \quad P = -UI = -(-2) \times 2 = 4 \text{ W}, \quad \text{负载}$$

(c) $P = UI = 3 \times (-3) = -6 \text{ W}$, 电源

(d) $P = UI = (-5) \times (-5) = 25 \text{ W}$, 负载

题1-7

解 (a) $P = 30 \text{ W}$, $U = 6 \text{ V}$ 。由 $P = UI$, 得 $I = 5 \text{ A}$

(b) $P = 15 \text{ W}$, $U = -6 \text{ V}$ 。由 $P = UI$, 得 $I = -2.5 \text{ A}$

I 的方向为从 “-” 极流向 “+” 极。

(c) $P = -30 \text{ W}$, $U = 6 \text{ V}$ 。由 $P = -UI$, 得 $I = 5 \text{ A}$

(d) $P = -15 \text{ W}$, $U = -6 \text{ V}$ 。由 $P = -UI$, 得 $I = -2.5 \text{ A}$

I 的方向由 “+” 极流向 “-” 极。

题1-8

答案 $U_{ab} = -3 \times 10 + 15 \times 2.5 = 7.5 \text{ V}$

题1-9

答案 $P = (10 \times 10^{-3})^2 \times 20 \times 10^3 = 2 \text{ W}$,

$$G = \frac{1}{20 \times 10^3} = 50 \mu\text{S}$$

题1-10

答案 (a) $u = -5 \times 10^3 i$, (b) $u = -50 \times 10^{-3} \frac{di}{dt}$

(c) $i = 50 \times 10^{-3} \frac{du}{dt}$, (d) $u = -5 \text{ V}$

(e) $i = 5 \text{ A}$

题1-11

解 (a) 由 KVL 求 u , 得 $u = 20 - 10 = 10 \text{ V}$,

$i = \frac{U}{R} = \frac{10}{5} = 2 \text{ A}$ 。电阻 R 消耗功率 $P(R)$ 为

$P(R) = i^2 R = 4 \times 5 = 20 \text{ W}$

电源消耗的功率 P (电源) 为

P (电源) $= 10i - 20i = -20 \text{ W}$ (负号表实际产生功率)

(b) 由 KVL 求 u , 得 $u = iR = -5 \times 10^{-3} \times 5 \times 10^3 = -25 \text{ V}$

P (电阻) $= \frac{u^2}{R} = \frac{(-25)^2}{5 \times 10^3} = 0.125 \text{ W}$

P (电源) $= (5 \times 10^{-3}) \cdot u = -0.125 \text{ W}$ (产生功率)

由该题目可以得到结论: 在任何一个电路中所有电源产生的功率之和与非电源元件消耗的功率之和是相等的。这个结论叫做功率平衡。可以用功率平衡来验证题目计算是否正确。

例如在本题 (b) 问中, 如果 P (电源) $\neq -0.125 \text{ W}$, 则说明 u 或 i 计算有误。

题1-12

解 由 $C = 2 \times 10^{-3} \text{ F}$, $i_c(t) = C \frac{du_c(t)}{dt}$,

储能 $w(t) = \frac{1}{2} \cdot cu_c^2(t)$, 得

$$0 < t < 1\text{s}$$

$$i_c(t) = 2 \times 10^{-6} \times 200 = 0.4 \text{ mA}$$

$$w(t) = \frac{1}{2} \times 2 \times 10^{-6} \times (200t)^2 = 0.04t^2 \text{ J}$$

$$1 < t < 2\text{s}$$

$$i_c(t) = 2 \times 10^{-6} \times (-200) = -0.4 \text{ mA}$$

$$w(t) = \frac{1}{2} \times 2 \times 10^{-6} \times (300 - 200t)^2 = (300 - 200t)^2 \mu\text{J}$$

题1-13

答案 $i(t) = 5 \times 10^{-6} \times 500 \times 314 \cos 314t = 0.785 \cos 314 \text{ A}$

题1-14

解 由 $C = 5 \times 10^{-6} \text{ F}$, $u_c(t) = u_c(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_c(t) dt$, 得

$$0 \leq t \leq 2\text{s}, i_c(t) = \frac{t}{2} \text{ A}$$

$$u_c(t) = u_c(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i_c(t) dt = \frac{1}{5 \times 10^{-6}} \int_0^t \frac{\tau}{2} d\tau$$

$$= 5 \times 10^4 t^2 \text{ V}$$

$$w(t) = \frac{1}{2} cu_c^2(t) = 6250t^4 \text{ J}$$

$$u_c(2) = 200 \text{ kV}$$

$$2 \leq t \leq 3\text{s}, i_c(t) = 0 \text{ A}$$

$$u_c(t) = u_c(2) + \frac{1}{C} \int_2^3 i_c(t) dt = u_c(2) = 200 \text{ kV}$$

$$w(t) = \frac{1}{2} \times 5 \times 10^{-6} \times (200 \times 10^3)^2 = 10^5 \text{ J}$$

$$u_c(3) = 200 \text{ kV}$$

$$3 \leq t \leq 5\text{s}, i_c(t) = \frac{t}{2} - \frac{3}{2} \text{ A}$$

$$u_c(t) = u_c(3) + \frac{1}{C} \int_3^t \left(\frac{\tau}{2} - \frac{3}{2} \right) d\tau = 200 \left[\frac{t^2}{4} - \frac{3}{2}t + 3.25 \right] \text{ kV}$$

$$w(t) = \frac{1}{2} cu_c^2(t) \text{ J}$$

题1-15

答案 由 $L = 5 \times 10^{-3} \text{ H}$ $u_L = L \frac{di_L}{dt}$, 得

$$0 < t < 1\text{s}, i_L(t) = 2t \text{ A}$$

$$u_L(t) = 5 \times 10^{-3} \times 2 = 10 \text{ mV}$$

$$p_L(t) = 10 \times 10^{-3} \times 2t = 20t \text{ mW}$$

$$w_L(t) = \frac{1}{2} L i_L^2(t) = \frac{1}{2} \times 5 \times 10^{-3} \times (2t)^2 = 10t^2 \text{ mJ}$$

$$1 < t < 2\text{s}, i_L(t) = 2 \text{ A}$$

$$u_L(t) = 0 \text{ V}$$

$$p_L(t) = i_L(t) u_L(t) = 0 \text{ W}$$

$$w_L(t) = \frac{1}{2} \times 5 \times 10^{-3} \times 2 = 5 \text{ mJ}$$

$$2 < t < 4\text{s}, i_L(t) = 4 - t \text{ A}$$

$$u_L(t) = 5 \times 10^{-3} \times (-1) = -5 \text{ mV}$$

$$p_L(t) = 5 \times 10^{-3} \times (4 - t) = 5(4 - t) \text{ mW}$$

$$w_L(t) = \frac{1}{2} \times 5 \times 10^{-3} (4 - t)^2 = 2.5(4 - t)^2 \text{ mJ}$$

题1-16

解 由 $L = 0.5\text{H}$, $i_L(0) = 0$,

$$i_L(t) = i_L(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u_L(\tau) d\tau, w_L(t) = \frac{1}{2} L i_L^2(t), \text{ 得}$$

$$0 \leq t \leq 2\text{s}, u_L(t) = 3t - 3 \text{ V}$$

$$i_L(t) = i_L(0) + 2 \int_0^t (3\tau - 3) d\tau = 3t^2 - 6t \text{ A}$$

$$i_L(2) = 0 \text{ A}$$

$$2 \leq t \leq 4\text{s}, u_L(t) = 3\text{V}, i_L(t) = 0 \text{ A}$$

$$4 \leq t \leq 6\text{s}, u_L(t) = -3t + 15 \text{ V}$$

$$i_L(t) = i_L(4) + 2 \int_4^t (-3\tau + 15) d\tau = -3t^2 + 30t - 72 \text{ A}$$

求电感中的最大储能:

由公式 $w_L(t) = \frac{1}{2} L i_L^2(t)$, 知最大储能可能发生在 $0 \leq t \leq 2\text{s}$ 内或 $4 \leq t \leq 6\text{s}$ 内。

$$0 \leq t \leq 2\text{s}, i_L(t) = 3t^2 - 6t \text{ A}$$

$$\frac{di_L(t)}{dt} = 6t - 6. \text{ 令 } \frac{di_L(t)}{dt} = 0, \text{ 求极值得,}$$

$$t = 1\text{s}, i_L(1) = -3 \text{ A}$$

$$4 \leq t \leq 6\text{s}, i_L(t) = -3t^2 + 30t - 72 \text{ A}$$

$$\frac{di_L(t)}{dt} = -6t + 30, \text{ 令 } \frac{di_L(t)}{dt} = 0, \text{ 求极值得,}$$

$$t = 5\text{s}, i_L(5) = 3 \text{ A}$$

所以当 $t=1\text{s}$ 和 $t=5\text{s}$ 时都达到相同的储能最大值: $w_L = \frac{1}{2} \times 0.5 \times 3^2 = 2.25 \text{ W}$

题1-18

解 由KCL 求流过 E_2 (由“+”极到“-”) 的电流 I 为

$$I = I_1 - I_2 = 3 - 5 = -2\text{A}$$

E_2 消耗的功率为

$$P = E_2 I = 6 \times (-2) = -12\text{W} \text{ (实际产生功率)}$$

题1-19

答案 $i_o = i_a - i_b = 2.95 \text{ mA}$

题1-20

答案 $i = \frac{4}{3} = 1.333 \text{ A}$

$$P(\text{电阻}) = 1.333^2 \times 3 = 5.33 \text{ W}$$

$$P(\text{电流源}) = -4 \times 2 = -8\text{W} \text{ (实际产生功率)}$$

$$P(\text{电压源}) = (2 - i) \times 4 = 2.67 \text{ W} \text{ (吸收功率)}$$

$$P(\text{电源}) = -8 + 2.67 = -5.33 \text{ W} = -P(\text{电阻}), \text{ (功率平衡)}.$$

题1-21

答案 $U_{ab} = 25\text{V}$, $U_{ba} = -25\text{V}$, $E = 45\text{V}$

题1-22

$$\text{解 } U_{ab} = 0.4(-I_1) + 20 = 16\text{V}$$

$$\text{由KVL得: } 3I_2 + U_{ab} - 10 = 0, \text{ 求出 } I_2 = -2\text{A}$$

$$\text{由KCL得: } I_3 = I_2 + I_1 = -2 + 10 = 8\text{A}$$

$$\text{由KVL得: } U_{ab} = RI_3, \text{ 求出 } R = \frac{16}{8} = 2\Omega$$

题1-23

答案 $I = \frac{220\text{W}}{220\text{V}} = 1\text{A}$, $R = 100\Omega$

题1-24

解 由KVL得,

$$5I + 2(5I) - 10 - 5 = 0$$

或 $15I = 15$, 解出 $I = 1\text{A}$

$$U = I \times 5 = 5\text{V}, P(\text{受控源}) = 2UI = 2 \times 5 \times 1 = 10\text{W}$$

受控源吸收功率。

题1-25

答案 $I_R = 14 - \frac{4}{2} - 4 \times \left(\frac{4}{2}\right) - 2 = 2\text{A}$, $R = 2\Omega$

$$P(R) = 2^2 \times 2 = 8\text{W}$$

$$P(14\text{A}) = -14 \times 4 = -56\text{W}$$