

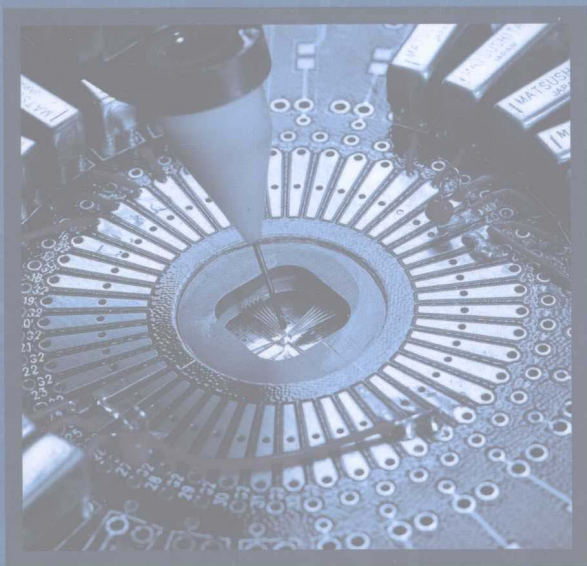


职称考试辅导用书

电气工程师

ELECTRICAL ENGINEER

杨有启 主编



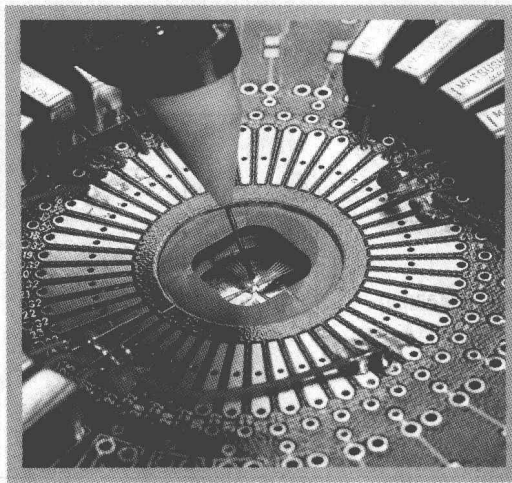
地震出版社

XU 职称考试辅

电气工程师

ELECTRICAL ENGINEER

杨有启 主编



地震出版社

图书在版编目(CIP)数据

电气工程师/杨有启主编.

—北京:地震出版社,2012.9

ISBN 978-7-5028-4089-1

I. ①电… II. ①杨… III. ①电气工程—工程师—资格考试—自学参考资料 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第107772号

地震版 XM2720

电气工程师

杨有启 主编

责任编辑:刘晶海

责任校对:庞亚萍

出版发行: **地震出版社**

北京民族学院南路9号

邮编:100081

发行部:68423031 68467993

传真:88421706

门市部:68467991

传真:68467991

总编室:68462709 68423029

传真:68455221

专业部:68467982 68721991

<http://www.dzpress.com.cn>

经 销:全国各地新华书店

印 刷:北京科信印刷有限公司

版(印)次:2012年9月第一版 2012年9月第一次印刷

开 本:787×1092 1/16

字 数:393千字

印 张:15.75

书 号:ISBN 978-7-5028-4089-1/TM(4767)

定 价:46.00元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题,本社负责调换)

前 言

电气工程师是指从事电气专业工程设计及相关业务的专业技术人员。作为职称和专业技术资格，电气工程师需要评定。专业技术资格是由人事行政部门授予的技术称号，是专业技术水平的标志，代表了专业技术人员的专业技术水平和能力。当前，很多企业单位、事业单位乃至行政管理部门都不设职称评定委员会。为了解决在那里工作的专业人员的职称问题，人力资源和社会保障部门推出了以考代评、考评结合等办法。其中，中级电气、电力、电子等专业采用考评结合的办法。考评结合即考试与评审相结合。考试和评审是评价工作的两个环节。专业技术人员须参加国家统一组织的规定科目的考试，达到规定成绩者才能申请参加评审。评审通过后方可取得专业技术资格。对于众多报考人员，《专业基础与实务》是最严厉的考试科目。

《专业基础与实务》考试的严厉性表现在：

(1) 本科、大专、中专电类专业不下数十个，而职称考试只归缩为电气、电力、电子三个专业。报考人员所学与大纲可能相去甚远。

(2) 考试大纲知识面很宽。以电气专业为例，包含直、交流电路，磁路、磁性材料与变压器，直、交流电桥，半导体器件，分离元件电子电路，运算放大器应用电路，数字编码与数据处理技术，逻辑函数，触发器，逻辑电路，电动机与调速，传感器与检测技术，自动控制原理，可编程控制器技术，建筑电气，还有变频技术，总线技术，行业法规和标准化，知识产权知识等。任何一个本科、大专、中专电类专业都包含不了以上内容。

(3) 考试大纲设定的范围不完全是在校学习到的知识，而有一部分是在工作实践中才能够学到的知识。

(4) 报考人员从事的工作往往只是大纲范畴内很小的一部分。

(5) 报考人员的条件差别很大。

本书的宗旨是帮助报考人员顺利通过《专业基础与实务》考试。编写本书的时候，作者认真分析了北京等省市的《电气专业基础与实务(中级)》考试大纲，研究了掌握、熟悉、了解三个层面的要求，并以此类大纲为指令性文件，适当参考电力专业、电子专业的考试大纲和注册电气工程师的考试大纲，排定电路基础、模拟电子技术、集成运算放大器、数字电路、电器与电机、电气照明与建筑电气、电气测量与检测技术、可编程控制器等10章的内容。为了便于现场应用，本书编入了大纲涉及不多的变配电技术和晶闸管技术。

考虑到本书的理论起点是大专院校电工技术与电子技术的水平，书中省略了冗长的叙述、繁琐的推导以及陈旧的内容，以节省读者的宝贵时间；为了便于阅读和备考，内容安排尽量保持知识的完整性和认知的连续性，并配有典型例题。

由于作者水平所限，书中或多有过时、不妥乃至错误之处，敬请读者批评指正。在此，作者对出版社的大力支持，对编辑人员的辛勤劳动致以衷心感谢。

编 者
2012年9月

目 录

| | |
|----------------------------|----|
| 第 1 章 电路基础 | 1 |
| 第一节 单位、符号和基本物理量 | 1 |
| 第二节 电阻的连接 | 4 |
| 第三节 电路计算方法 | 5 |
| 第四节 正弦交流电路 | 9 |
| 第五节 磁场、电磁感应、磁路和磁性材料 | 15 |
| 第 2 章 模拟电子技术 | 20 |
| 第一节 半导体器件 | 20 |
| 第二节 二极管电路 | 27 |
| 第三节 三极管电路 | 28 |
| 第 3 章 集成运算放大器 | 40 |
| 第一节 集成运算放大器概要 | 40 |
| 第二节 集成运放线性应用电路 | 43 |
| 第三节 集成运放非线性应用电路 | 49 |
| 第四节 集成运放应用中的具体问题 | 52 |
| 第 4 章 数字电路 | 54 |
| 第一节 数制与编码 | 54 |
| 第二节 基本逻辑门电路 | 57 |
| 第三节 集成逻辑门电路 | 60 |
| 第四节 逻辑函数及其化简 | 61 |
| 第五节 组合逻辑电路 | 65 |
| 第六节 触发器 | 73 |
| 第七节 时序逻辑电路 | 78 |
| 第八节 脉冲产生及变换 | 84 |
| 第 5 章 电器与电机 | 88 |
| 第一节 低压电器概要 | 88 |

| | | |
|-------------|-------------------|------------|
| 第二节 | 常用低压电器 | 91 |
| 第三节 | 异步电动机 | 99 |
| 第四节 | 直流电机 | 107 |
| 第五节 | 特种电机 | 112 |
| 第6章 | 电气照明与建筑电气 | 119 |
| 第一节 | 电气照明 | 119 |
| 第二节 | 建筑电气 | 121 |
| 第三节 | 建筑接地与防雷 | 126 |
| 第7章 | 变配电技术 | 131 |
| 第一节 | 电力系统概要 | 131 |
| 第二节 | 企业供电 | 132 |
| 第三节 | 变配电站 | 134 |
| 第四节 | 电力变压器和互感器 | 135 |
| 第五节 | 高压电器 | 141 |
| 第8章 | 检测技术 | 148 |
| 第一节 | 电气测量 | 148 |
| 第二节 | 传感器 | 155 |
| 第三节 | 自动控制基础知识 | 190 |
| 第9章 | 晶闸管技术 | 201 |
| 第一节 | 晶闸管的工作原理和特性 | 201 |
| 第二节 | 晶闸管可控整流电路 | 204 |
| 第三节 | 晶闸管逆变电路和变频电路 | 207 |
| 第四节 | 斩波电路和交流调压电路 | 212 |
| 第五节 | 晶闸管触发电路 | 214 |
| 第六节 | 晶闸管使用 | 219 |
| 第10章 | 可编程控制器基础知识 | 221 |
| 第一节 | 可编程控制器的基本问题 | 221 |
| 第二节 | CPM1A 系列 PLC 简介 | 228 |

第 1 章

电路基础

第一节 单位、符号和基本物理量

一、单位和符号

国际单位制即 SI 单位制,是国际上公认的、最先进的单位制。国际单位制是我国推广、使用的单位制。在国际单位制中,长度、质量、时间、电流的单位分别是米(m)、千克(kg)、秒(s)、安(A)。常用电学和磁学物理量的资料见表 1-1。表中,方括号内的字是在不致混淆的情况下可以省略的字;名称栏圆括号内的名称是同义名称;符号栏圆括号内的符号为备用符号。

表 1-1 常用电学和磁学物理量

| 物理量名称 | 符号 | 单位名称 | 单位符号 | 备注 |
|-----------|---------------|--------|-------------------------|---|
| 电流 | I | 安[培] | A | |
| 电荷[量] | $Q(q)$ | 库[仑] | C | $1\text{C} = 1\text{A} \cdot \text{s}$ $1\text{A} \cdot \text{h} = 3.6\text{kC}$ |
| 电场强度 | E | 伏[特]每米 | V/m | |
| 电位(电势) | $V(\varphi)$ | 伏[特] | V | |
| 电压 | U | | | |
| 电动势 | \mathcal{E} | | | |
| 电容 | C | 法[拉] | F | |
| 介电常数(电容率) | ϵ | 法[拉]每米 | F/m | |
| [直流]电阻 | R | 欧[姆] | Ω | |
| 电阻率 | ρ | 欧[姆]米 | $\Omega \cdot \text{m}$ | |
| [有功]电能 | W | 焦[耳] | J | $1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$ |
| [直流]功率 | P | 瓦[特] | W | |
| 磁场强度 | H | 安[培]每米 | A/m | |
| 磁感应强度 | B | 特[斯拉] | T | $1\text{T} = 1 \times 10^4 \text{G}$ |
| 磁通[量] | Φ | 韦[伯] | Wb | $1\text{Wb} = 1 \times 10^8 \text{Mx}$ |

续表

| 物理量名称 | 符号 | 单位名称 | 单位符号 | 备注 |
|------------|-------------|--------|----------|---|
| 磁导率 | μ | 亨[利]每米 | H/m | |
| 磁阻 | R_m | 每亨[利] | 1/H | |
| 自感 | L | 亨[利] | H | |
| 互感 | M, L_{12} | | | |
| [交流]电阻 | R | 欧[姆] | Ω | $X = \omega L - \frac{1}{\omega C}$ (L 与 C 串联) $Z = R + jX$ $ Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ |
| 电抗 | X | | | |
| 阻抗(复[数]阻抗) | Z | | | |
| 阻抗模 | $ Z $ | | | |
| [有功]功率 | P | 瓦[特] | W | 在电工技术中, P 的单位用W、 Q 的单位用var、 S 的单位用V·A |
| 无功功率 | Q 或 P_Q | | | |
| 视在功率(表观功率) | S 或 P_S | | | |
| 功率因数 | λ | — | 1 | 在电工技术中,功率因数的符号用 $\cos\varphi$ |
| 线圈匝数 | N | — | 1 | |
| 相数 | m | — | 1 | |
| 相[位]差 | φ | 弧度、度 | rad、° | |
| 频率 | f | 赫[兹] | Hz | |
| 角频率 | ω | 弧度每秒 | rad/s | |

电气设备常用文字符号见表1-2。

表1-2 电气设备常用文字符号

| 设备名称 | 举例 | 基本文字符号 | | 旧符号 |
|-------|----------------|--------|-----|-----|
| | | 单字母 | 双字母 | |
| 组件 | 电桥 | A | AB | DQ |
| | 晶体管放大器 | | AD | BF |
| 变换器 | 压力变换器 | B | BP | YB |
| | 位置变换器 | | BQ | WZB |
| | 温度变换器 | | BT | WDB |
| 电容器 | 电容器 | C | — | C |
| 二进制元件 | 数字器件 | D | — | — |
| 其他元器件 | 照明等 | E | EL | ZD |
| 保护器件 | 过电压放电器件 | F | — | BL |
| | 瞬时动作的限流保护器件 | | FA | — |
| | 延时动作的限流保护器件 | | FR | — |
| | 瞬时及延时动作的限流保护器件 | | FS | — |
| | 熔断器 | | FU | RD |
| | 限压保护器件 | | FV | — |

续表

| 设备名称 | 举例 | 基本文字符号 | | 旧符号 |
|--------------|-------|--------|-----|-----|
| | | 单字母 | 双字母 | |
| 电源 | 同步发电机 | G | GS | TF |
| | 蓄电池 | | GB | XDC |
| 信号器件 | 声响指示器 | H | HA | — |
| | 指示灯 | | HL | SD |
| 继电器 接触器 | 交流继电器 | K | KA | JLJ |
| | 时间继电器 | | KT | SJ |
| | 接触器 | | KM | C |
| 电抗器 | 电抗器 | L | — | DK |
| 电动机 | 电动机 | M | — | D |
| | 同步电动机 | | MS | TD |
| 运算放大器 | 运算放大器 | N | — | — |
| 测量设备 试验设备 | 指示器件 | P | — | CB |
| | 电流表 | | PA | A |
| | 计数器 | | PC | JS |
| | 电能表 | | PJ | — |
| | 电压表 | | PV | V |
| 电力电路开关 | 断路器 | Q | QF | DL |
| | 隔离开关 | | QS | GK |
| 电阻器 | 电阻器 | R | — | R |
| | 电位器 | | RP | W |
| 晶体管 | 晶体管 | V | — | — |
| | 整流器 | | VC | ZL |
| 导线 | 导线 | W | — | DX |
| 插头和端子 | 插座 | X | — | CZ |
| 电动机机械器件 | 电磁铁 | Y | YA | DT |
| | 电磁阀 | | YV | DCF |
| 终端设备 | 终端设备 | Z | — | — |

二、基本物理量

(1) 电场强度 E 电场强度是表明电场中正电荷受力大小及方向的物理量,一般可理解为单位距离上的电压。当空气中电场强度超过 $25 \sim 30\text{kV/cm}$ 时,即可能发生击穿放电。

(2) 介电常数 ε 介电常数是表明材料介电性能的参数。真空介电常数 $\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}\text{F/m}$ 。对于同样几何尺寸的电容器,如电极间充填某种介质和保持真空条件下的电容量为 C 和 C_0 ,则该介质的介电常数为 $\varepsilon = \frac{C}{C_0}\varepsilon_0 = \varepsilon_r\varepsilon_0$ 。式中, ε_r 称为相对介电常数。

(3) 电流 I 、 i 通常以正电荷移动的方向作为电流的正方向。大小和方向不随时间变化的电流称为直流电流, 定义为 $I = \frac{Q}{t}$; 大小和方向随时间作周期性变化的电流称为交流电流, 定义为 $i = \frac{dq}{dt}$ 。上列两式中, Q 、 q 是电荷量, t 是时间。

(4) 电阻 R 、 r 和电阻率 ρ 电阻是电流流动过程中遇到的阻力。电阻率是表明材料导电性能的参数, 可理解为单位长度、单位截面材料的电阻。电阻率的常用单位是 $\Omega \cdot \text{m}$ 、 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ 。如导线长度为 l 、截面为 S , 则电阻与电阻率的关系是 $R = \frac{\rho l}{S}$ 。20℃时, 导电用铜的电阻率约为 $17.48 \sim 17.9 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ 、导电用铝的电阻率约为 $28.3 \sim 29 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ 、导电用铁的电阻率约为 $97.8 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ 。由于导线的实际截面可能略小于标称截面、展开长度又可能略大于导线长度以及交流电流的趋肤效应, 按上列电阻率计算得到的电阻值都小于实际值。为了得到比较准确的电阻值, 应将计算值乘以 $1.04 \sim 1.15$ 的修正系数。金属材料具有正的电阻温度系数, 即电阻率随着温度的升高而升高; 半导体材料一般具有负的电阻温度系数, 即电阻率随着温度的升高而降低。

(5) 电压 U 、 u 电压是两点之间的电位差, 亦即在两点之间产生电流的能力。方向从高电位点到低电位点。关于高压与低压的划分存在三种说法。《电业安全工作规程》等按照设备对地电压, 将 250V (工频 50Hz 有效值, 下同) 及 250V 以下者划定为低压; 将 250V 以上者划定为高压。《低压电器基本标准》等将 1200V 及以下的电器列为低压电器。《民用建筑电气设计规范》等将 1000V 以下划为低压配电范围。

(6) 电动势 E 、 e 电动势是电源所具备的产生电流的能力。方向从低电位点到高电位点。

(7) 电功率 P 和电能 W 电功率是表明电气设备做功能力的物理量, 是单位时间内所作的功。电能是电气设备在一段时间内所转换的能量, 是功率的积累。

(8) 频率 f 和角频率 ω 频率是交流电每秒钟交变的周期数。通用交流电的频率均为 50Hz。角频率是交流电每秒钟交变的弧度数。角频率与频率的关系是 $\omega = 2\pi f$ 。

(9) 磁动势 F 磁动势一般指载流线圈产生磁场的的能力。对于匝数为 N 、电流为 I 的线圈, $F = NI$ 。

(10) 磁导率 μ 磁导率是表明材料导磁性能的参数。真空磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ 。材料磁导率与真空磁导率之比, 即 $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$ 称为相对磁导率。

第二节 电阻的连接

一、电阻串联

电阻串联是把几个电阻的首尾端顺次连接起来, 使电流只有一条通路的电路。在串联电路中, 以下关系成立:

$$U = U_1 + U_2 + \dots \quad R = R_1 + R_2 + \dots \quad P = P_1 + P_2 + \dots \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

上列各式中,带下角的符号是各电阻上的相关物理量;不带下角的符号是总的等效物理量。

二、电阻并联

电阻并联电路是把几个电阻首端与首端、尾端与尾端相互连接起来,使电流同时有几条通路的电路。在并联电路中,各元件两端的电压为同一电压,以下关系成立:

$$I = I_1 + I_2 + \dots \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots \quad P = P_1 + P_2 + \dots \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

上列各式中,带下角的符号是各电阻上的相关物理量;不带下角的符号是总的等效物理量。

三、电阻混联

图 1-1(a)是电阻分压器等效电路, a 、 b 间的等效电阻为 5Ω 。图 1-1(b)中的开关 SA 断开或接通时, a 、 b 间的等效电阻均为 2.5Ω 。

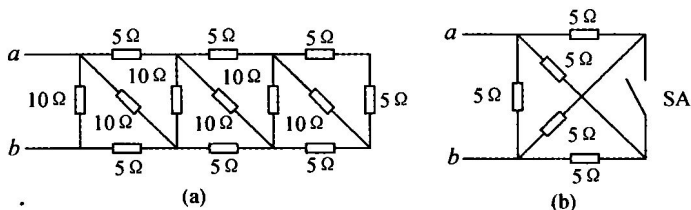


图 1-1 电阻混联

第三节 电路计算方法

一、基本定律和关系

(1) 欧姆定律 分部分电路的欧姆定律和全电路的欧姆定律。其表达式分别为

$$U = IR \quad \text{和} \quad E = I(R_0 + R_i)$$

式中, R_0 和 R_i 分别为全电路的外电阻和内电阻。

(2) 基尔霍夫第一(电流)定律 $\sum I = 0$

(3) 基尔霍夫第二(电压)定律 $\sum E = \sum U = \sum IR$

(4) 直流功率计算式 $P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}, P = \sum P_i$

(5) 单相有功功率计算式 $P = UI \cos \varphi = I^2 R = \frac{U^2}{R}$

(6) 单相无功功率计算式 $Q = UI \sin \varphi = I^2 X = \frac{U^2}{X}$

(7) 单相视在功率计算式 $S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2}$

(8) 电能计算式 $W = Pt$

二、支路电流法

支路电流法是求解较复杂电路的基本方法。此方法是直接以支路电流为待求量,应用基尔霍夫第一定律列节点电流方程,应用基尔霍夫第二定律列回路电压方程,解联立方程求解的方法。如图 1-2 所示,支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 为未知量,相应的方程为

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad E_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3 \quad E_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3$$

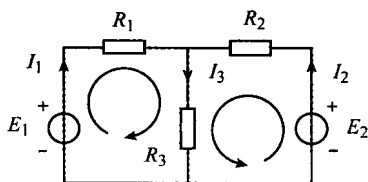


图 1-2 支路电流法

应用基尔霍夫第二定律时,回路及回绕方向可任意取用,但应以简明为原则。

三、回路电流法

回路电流法以回路电流为待求量,应用基尔霍夫第二定律列出方程,解联立方程求解的方法。如图 1-3 所示,回路电流 I_{11} 、 I_{22} 为未知量,相应的方程为

$$E_1 = I_{11} R_1 + (I_{11} + I_{22}) R_3 \quad E_2 = I_{22} R_2 + (I_{11} + I_{22}) R_3$$

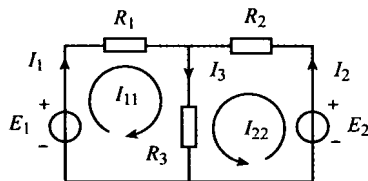


图 1-3 回路电流法

求出 I_{11} 、 I_{22} 后,可按 $I_1 = I_{11}$ 、 $I_2 = I_{22}$ 、 $I_3 = I_{11} + I_{22}$ 求出 I_1 、 I_2 、 I_3 。回路电流法宜用于回路少的电路。

四、节点电压法

节点电压法是先指定某一节点电位为零,如图 1-4 中 b 点 $V_b = 0$,再求出其他节点的电位,如 a 点 $V_a = U_{ab}$,最后求出各支路电流等未知量的求解方法。下图 a 点电位为

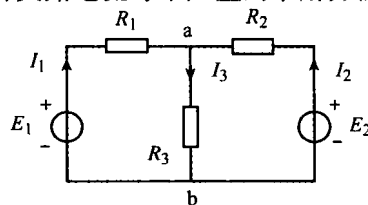


图 1-4 节点电压法

$$V_a = \frac{\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

五、叠加原理

叠加原理是在有多个电源的电路中,先求出每个电源单独作用产生的电流、电压,再求其代数和的求解方法。图 1-2 所示电路包含电源 E_1 和 E_2 ,先分成图 1-5 所示的两个电路分别求解,然后求出支路电流:

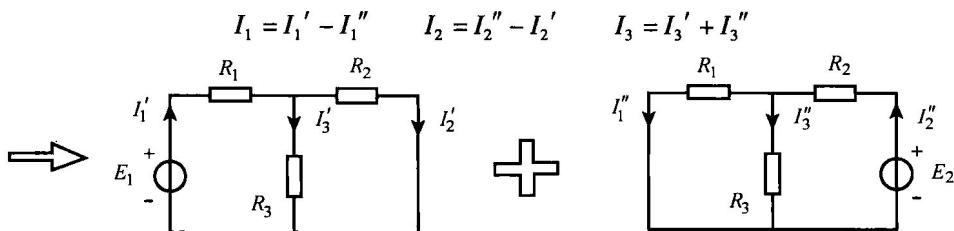


图 1-5 叠加原理

叠加原理只能用于线性电路,且不能用于功率计算。

六、电压源与电流源等效变换

除恒压源和恒流源外,任何电源可看作是电压源也可看作是电流源,即二者可以等效变换。等效的条件是开路电压相等、短路电流相等。图 1-6 两种电源的等效关系是:

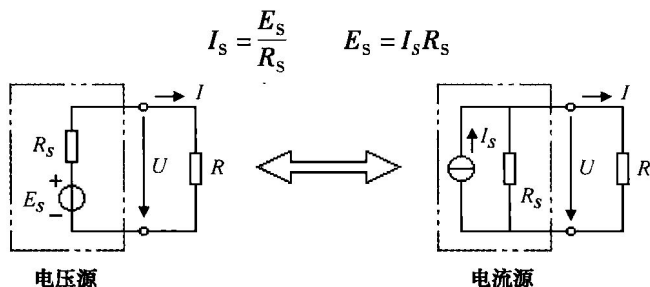


图 1-6 等效变换

一些问题将电源等效后求解比较方便。这种方法也只能用于线性电路,而且不能用于电源内部计算。

七、戴维南定理(等效电压源定理)

戴维南定理是将二端网络等效为如图 1-7 所示的一个电压源的求解方法。等效电压源的电动势 E_D 为二端网络的开路电压;等效电压源的内阻 R_D 为二端网络除去内部电源后的等效电阻。

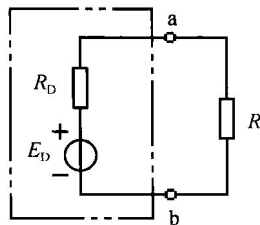


图 1-7 戴维南定理

戴维南定理只能用于网络外支路的计算。

例题 1-1 图 1-8 所示电路中,试求:

- (1) 电流 I 、电压 U ;
- (2) 电压源、电流源提供或吸收的功率;
- (3) 如电阻 R 可变, $P = P_{\max}$ 时的 R 和 R 上的 P_{\max} 。

方法 1: 用支路电流法求解。列出

$$\text{节点方程 } I_V + 3 = I$$

$$\text{回路方程 } 3 = 3I_V + (3 + 3)I$$

解方程组求得: 电流 $I = 4/3\text{A}$; 电压 $U = 3I = 4\text{V}$; $I_V = I - 3 = -5/3\text{A}$; 电压源提供功率 $P_V = 3 \times (-5/3) = -5\text{W}$ (即吸收 5W); 电流源端电压 $U_1 = I(3 + 3) = 8\text{V}$; 电流源提供功率 $P_1 = 8 \times 3 = 24\text{W}$ 。

当 R 可变时, 解方程组求得 $I = \frac{12}{6 + R}$; R 上吸收的功率 $P = \left(\frac{12}{6 + R}\right)^2 R$ 。取 $\frac{dP}{dR} = 0$, 得 $R = 6\Omega$ 时吸收最大功率 $P_{\max} = 6\text{W}$ 。

方法 2: 用电压源与电流源等效变换法求解。如图 1-9 所示, 第一步将电压源变换成电流源, 第二步将两电流源合并, 第三步再将电流源变换成电压源, 即可求得 $I = 4/3\text{A}$ 、 $U = 3I = 4\text{V}$ 。然后, 按原始图求出电压源、电流源提供或吸收的功率。这时, 由于有了图 1-9 的等效电路, 可以不通过微分, 而径自应用负载电阻与电源内阻相等时负载获得最大功率的原则求取此时的负载电阻。因为考虑的是 R 上的最大功率, 所以将其下方 3Ω 的电阻归入电源内的电阻。因此, R 获得最大功率的电阻值为 $R = 3 + 3 = 6\Omega$ 。

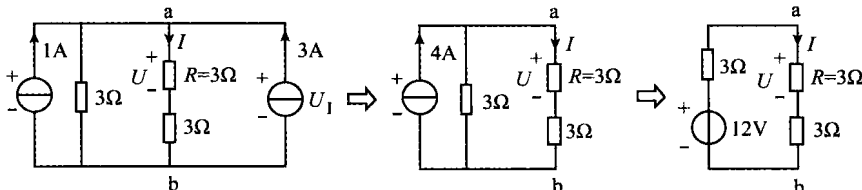


图 1-9 例题 1-1 解法法 2 图

方法 3: 用戴维南定理求解。对 a 、 b 两点, 其等效电路如图 1-10。先按中间 ab 支路开路求得 $E_D = 3 \times 3 + 3 = 12\text{V}$, 按网络内恒压源短路、恒流源开路求得 $R_D = 3\Omega$, 即可求得 $I = 4/3\text{A}$ 、 $U = 3I = 4\text{V}$ 。然后, 求出其他待求物理量。

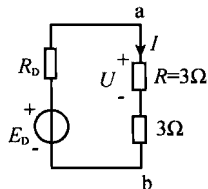


图 1-10 例题 1-1 解法法 3 图

例题 1-2 用叠加原理求图 1-11 所示电路中电压 U , 并求电压源提供的功率 P_V 。

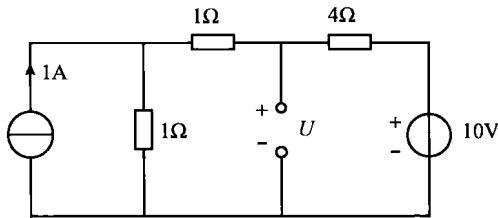


图 1-11 例题 1-2 图

解:如图 1-12 所示,电流源单独作用产生的 $U' = 1 \times \frac{1}{1+(1+4)} \times 4 = \frac{2}{3} \text{V}$,电压源单独作用产生的 $U'' = 10 \times \frac{1+1}{(1+1)+4} = \frac{10}{3} \text{V}$,则 $U = U' + U'' = 4 \text{V}$;电压源提供的功率 $P_V = 10 \times \frac{10-4}{4} = 15 \text{W}$ 。

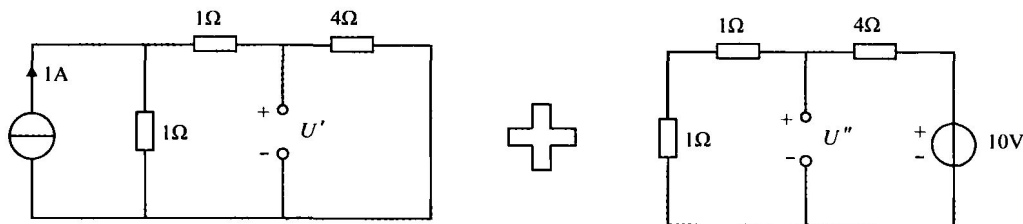


图 1-12 例题 1-2 解题法图

第四节 正弦交流电路

一、正弦交流电的特征

交流电流是大小、方向随时间周期性变化的电流。一周期内交流电流的平均值为零。正弦交流电流、电压的大小和方向都随着时间按正弦函数的规律变化。正弦电流的三角函数表达式为

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi) = I_m \sin(2\pi f t + \varphi)$$

式中 i 为时刻 t 的电流瞬时值(A); I_m 为电流最大值(A); t 为时间(s); ω 为角频率, $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$ (rad/s); f 为频率(Hz); T 为周期(s); φ 为初相位(rad)。

最大值、角频率和初相位确定了正弦量的所有特征,称之为正弦交流电的三要素。通常用有效值来表征交流电的大小。有效值是与该交流电做功能力相同的直流电的数值。最大值为有效值的 $\sqrt{2}$ 倍,即 $I_m = \sqrt{2}I$ 、 $U_m = \sqrt{2}U$ 。

纯电阻电路中,电流与电压同相。其分析方法与直流电路基本相同。

二、正弦交流电表示法

正弦交流电的表示法如下:

(1) 波形图法 是用图线表示交流电。此方法直观,计算很不方便。

(2) 三角函数法 是用三角函数表示正弦交流电。此方法物理概念清楚,计算不方便。

(3) 旋转矢量法 是用旋转矢量(向量)表示正弦交流电。如图 1-13 所示,矢量的长度(模值)为最大值或有效值、矢量与参考线的夹角(模角)为初相位角、矢量以角频率的转速逆时针旋转。

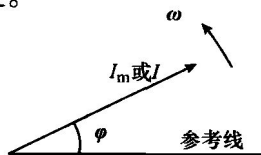


图 1-13 旋转矢量法

旋转矢量法可方便地进行加、减运算。

(4) 相量法 是用复数符号表示正弦交流电。

在图 1-14 所示的复平面上,任意一点都对应着一个复数。图中,复数 $\dot{A} = u + jv$ 。该式即复数的直角坐标式。稍作变换,可得到复数的三角函数式,即 $\dot{A} = A\cos\theta + jA\sin\theta$ 。利用欧拉公式 $e^{j\theta} = \cos\theta + j\sin\theta$ 可得到复数的指数式 $\dot{A} = Ae^{j\theta}$ 。电工技术中,常应用复数的极坐标式 $\dot{A} = A\angle\theta$ 。

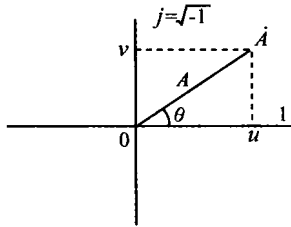


图 1-14 复平面

任一正弦量的三角函数均可用唯一的相量(复数符号)表示。例如, $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ 所对应的相量是 $\dot{I}_m = I_m \cos\varphi + jI_m \sin\varphi = I_m e^{j\varphi}$ 。将三角函数转换成相量即可方便地进行各种运算。将计算结果相量乘以 $e^{j\omega t}$ 取其虚部即还原成三角函数。

如用相量表示正弦量,则直流电路的计算方法也可用于交流电路的计算。

三、电容和容抗

1. 电容

两个相互绝缘的导体之间即存在电容,其大小等于导体上电量 Q 与导体间电压 U 的比值,即 $C = \frac{Q}{U}$ 。平板电容器的电容 $C = \frac{\epsilon S}{d}$ 。式中, d 和 S 分别为电容器极板间的距离和极板的面积, ϵ 为极板间介质的介电常数。电容具有储存电能(电场能)的能力。所储存能量为 $W_c = \frac{1}{2}CU^2$ 。

电容串联时,以下关系成立:

$$U = U_1 + U_2 + \dots \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots \quad Q_1 = Q_2 = \dots \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1}$$

电容并联时,以下关系成立:

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots \quad C = C_1 + C_2 + \dots \quad U_1 = U_2 = \dots \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{C_1}{C_2}$$

电容、电感在接通和断开电源时,电路从一种状态变化到另一种状态。这一变化过程称为暂态过程或过渡过程。如图 1-15(a)所示,开关 SA 接通 1 时,电容 C 经电阻 R_1 充电;开关 SA 接通 2 时,电容 C 经电阻 R_2 放电。

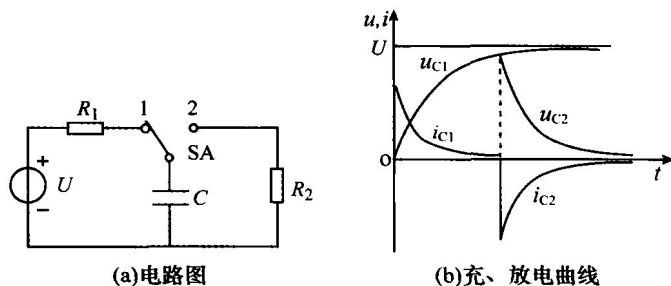


图 1-15 电容充、放电

电容充电关系、放电关系均可由微分方程求解。充电关系是：

$$u_{C1}(t) = U(1 - e^{-t/\tau}) \quad i_{C1}(t) = \frac{U}{R_1} e^{-t/\tau} \quad \tau = R_1 C$$

放电关系是：

$$u_{C2}(t) = U_0 e^{-t/\tau} \quad i_{C2}(t) = -\frac{U_0}{R_2} e^{-t/\tau} \quad \tau = R_2 C$$

电容充、放电曲线见图 1-15(b)。上列两组公式中， τ 称为时间常数。 τ 越大，充、放电越慢。

在暂态，电容上电压的一般表达式为

$$u_C = u_C(\infty) + [u_C(0) - u_C(\infty)] e^{-t/\tau}$$

式中， $u_C(0)$ 和 $u_C(\infty)$ 分别为电容上电压的初始值和稳态值。

2. 纯电容电路和容抗

在纯电容电路中，电流、电压瞬时值之间的关系是 $i = C \frac{du}{dt}$ 。如 $u = U_m \sin \omega t$ ，则

$$i = C \frac{du}{dt} = C U_m \omega \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

显然，电容上的电流领先电压 $\pi/2$ (90°)。如定义 $X_C = \frac{1}{\omega C}$ 为容抗，其电流、电压的最大值和有效值都符合欧姆定律，即 $U_m = I_m X_C$ 、 $U = I X_C$ 。容抗串、并联计算与电阻相同。

有效值的相量关系是 $\dot{U} = -j \dot{I} X_C$ 。

纯电容电路的平均功率为零。电容上的瞬时功率按 2 倍频率的正弦规律变化。纯电容不消耗有功功率，只起功率交换的作用。纯电容电路瞬时功率的最大值称为容性无功功率，表示为

$$Q_C = UI = I^2 X_C = \frac{U^2}{X_C}$$

对于电路中的高频成分，电容的容抗极小，相当于短路元件；对于稳态直流，电容相当于开路元件。