

面向 21 世纪课程教材配套书

电工技术(电工学 I)学习指导

天津大学电工学教研室 编

王月芹 主编

天津大学出版社

目 录

《电工技术》(电工学 I)教材的特点	1
基本要求和内容指导	3
第 1 章 电路的基本概念和基本定律	3
第 2 章 电路的分析方法	7
第 3 章 正弦交流电路	11
第 4 章 三相正弦交流电路	15
第 5 章 非正弦周期信号电路	18
第 6 章 电路的瞬态分析	21
第 7 章 磁路和变压器	25
第 8 章 电动机	30
第 9 章 电气控制	35
第 10 章 电工测量	38
第 11 章 安全用电	42
习题解答	43
第 1 章 电路的基本概念和基本定律	43
第 2 章 电路的分析方法	63
第 3 章 正弦交流电路	94
第 4 章 三相正弦交流电路	134
第 5 章 非正弦周期信号电路	149
第 6 章 电路的瞬态分析	164
第 7 章 磁路和变压器	191
第 8 章 电动机	205
第 9 章 电气控制	214

第 10 章 电工测量	232
各章教学学时分配	239

《电工技术》(电工学 I)教材的特点

教材以原国家教委 1995 年修订的“高等学校电工技术(电工学 I)课程教学基本要求”为基点,同时考虑面向 21 世纪电工学课程改革的方向,对某些传统内容进行了删减、拓宽和延伸,并融入了一些新产品、新技术的内容,使教材更具系统性、应用性、先进性。

教材具有以下几个特点。

一、高起点

本教材直接从电路的组成、结构、模型入手,推出了网络与系统概念和结点、支路、回路、网孔等电工术语。使学生首先对电路—网络—系统有个概括了解,然后再由整体到局部,切入电路内部,介绍结构约束和元件约束,联系实际,介绍电气设备的额定值。

二、强电、弱电兼顾

本教材的第 1 章第 1 节就概括介绍了力能电路与信号电路的功能及特点。第 2 章介绍了激励与响应概念。正弦交流电路、三相电路、磁路、变压器、电动机、电气控制及安全用电等章节内容多属强电系统,但也穿插有二极管、晶体管电路分析,受控源、谐波分析,频率特性等内容。使学生不仅懂得强电系统的一些基本知识,而且为学习电子技术,自动控制系统和现代化技术打下良好基础。

三、着重概念、突出应用,教给学生分析问题的能力

本教材着重于使学生对概念、定义、定理、定律及分析方法的理解和掌握,突出它们在电路分析和工程实际中的

应用。对传统的电路部分进行了优选和加工。对一些基本概念、基本理论力求定义准确、叙述简明。删去了戴维宁定理的证明,复杂正弦交流电路的分析和二阶电路时域分析,拉普拉斯变换和S域分析,而增加了磁路和变压器、电动机、电气控制、电工测量、安全用电等实践性、应用性较强的部分篇幅。

教给学生许多知识固然重要,培养学生分析问题、解决问题的能力则更为宝贵。本教材注意了对分析问题思路的介绍。在内容的处理方面多处应用“对偶原理”、“等效方法”,不仅节约了学时,而且提高了学生认识问题和分析问题的能力。

四、引入新技术、新成果,使教材增加活力

在电动机一章介绍了近几年来得到迅速推广使用的软起动器、变频调速器;电气控制一章引入了可编程控制器(PLC);电工测量一章对智能化仪表作了简单介绍;安全用电一章介绍了漏电保护器以及各种接地、接零系统。可使学生接触到高科技产品和现代化技术,激发学生学科学、用科学的积极性和创新精神。

基本要求和内容指导

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

一、内容和基本要求

(一) 内容

本章内容有:电路与电路模型,电压、电流及其参考方向,电路的功和功率,基尔霍夫定律,无源电路元件,有源电路元件,受控源,电路的基本状态和电气设备的额定值。

(二) 基本要求

1. 理解和掌握电路的基本物理量,如电压、电流的定义和参考方向,电位的计算,功和功率的计算;
2. 理解和掌握无源电路元件 R 、 L 、 C 的伏安特性;
3. 理解和掌握电压源、电流源的外特性及实际有源元件的两种电路模型;
4. 理解和掌握电路的基本定律——基尔霍夫定律;
5. 了解电气设备的额定值。

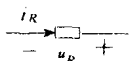
二、内容指导

本章内容的重点为电压、电流的参考方向,元件约束和结构约束以及电压源、电流源的特性。

1. 电压、电流的参考方向是为分析电路而假设的。在参考方向下,电压、电流、功率都是代数量。为了在分析、计算时避免出现过多的负号,电压、电流的参考方向通常采用关联参

考方向。“关联”是指元件的实际电压、电流方向间的关系。如：有源元件的电压、电流“关联”方向为相反方向；无源元件的电压、电流“关联”方向为相同方向。如果电路中的某无源元件的电压、电流参考方向不关联（相反），则分析电路时要在其约束方程前加“-”号。如电阻元件的电压、电流参考方向如下图所示时，则其约束方程为

$$u_R = - R i_R$$



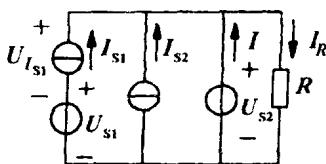
2. 计算电路元件消耗的功率时，要考虑其电压、电流参考方向是否一致。一致时，用 $p = ui$ 计算；相反时，用 $p = -ui$ 计算。无论哪种情况，若 $p > 0$ ，说明此电路元件消耗了功率，在电路中的作用为负载；若 $p < 0$ ，说明此电路元件供出功率，在电路中的作用为电源。

3. 电压源、电流源为本章的难点，尤其是电流源，有些学生总觉得难以理解和掌握。电压源、电流源都是理想的有源元件。当一个实际电源的内阻远远小于负载电阻时，可近似看作为电压源；而当它的内阻远远大于负载电阻时，改变负载电阻，电源供出的电流变化不大，则可近似看作为电流源。

电压源与电流源为对偶元件，它们都有两个基本特性，可对照理解和掌握。电压源的端电压为恒定值或为一定的时变电压，与它供出的电流无关，其供出电流由外电路决定；电流源供出的电流为恒定值或为一定的时变电流，与其端电压无关，它的端电压则由外电路确定。因此，如果一个电压源与一个电流源串联时，则此支路电流被电流源所确定，而电流源的端电压要根据 KVL 列方程确定；如果一个电压源与一个电流

源并联,则电流源的端电压被电压源确定,而电压源提供的电流要根据 KCL 确定。

例如下图电路。



若 $U_{S1} = 4 \text{ V}$, $I_{S1} = 2 \text{ A}$, $I_{S2} = 4 \text{ A}$, $U_{S2} = 10 \text{ V}$, $R = 2 \Omega$,
由于电压源 U_{S1} 与电流源 I_{S1} 串联,则支路电流为

$I_{S1} = 2 \text{ A}$; 而电流源 I_{S2} 的端电压被 U_{S2} 确定,即

$$U_{I_{S2}} = U_{AB} = U_{S2} = 10 \text{ V}$$

根据 KCL, 电压源 U_{S2} 支路电流为

$$\begin{aligned} I &= I_R - I_{S1} - I_{S2} \\ &= \left(\frac{10}{2} - 2 - 4\right) = -1 \text{ A} \end{aligned}$$

根据 KVL, 电流源 I_{S1} 的端电压为

$$\begin{aligned} U_{I_{S1}} &= U_{S2} - U_{S1} \\ &= (10 - 4) = 6 \text{ V} \end{aligned}$$

4. 基尔霍夫定律是电路的基本定律,不仅是本章的重点内容,而且是全书电路部分的重点,所以要熟练掌握,正确运用。学习基尔霍夫定律前首先要正确理解关于结点、支路、回路、网孔的定义,然后逐一掌握基尔霍夫电流定律(KCL) $\sum i = 0$ 和基尔霍夫电压定律(KVL) $\sum u = 0$ 。

使用 $\sum i = 0$ 和 $\sum u = 0$ 时必须注意到两套正、负号的问题:一套是各项前的运算正、负号;另一套为电流 i 、电压 u 本身的正、负号。 $\sum i = 0$ 中各项前的运算正、负号取决于 i 的参考

方向是流入结点还是流出结点; $\sum u$ 中各项前的运算正、负号则取决于此电压 u 的参考方向是否与回路循行方向一致。一致者,取正;相反者,取负。而 u 、 i 本身的正、负号均取决于其参考方向是否和实际方向一致。

5. 电气设备的额定值是我们选用电气设备的主要依据。因此我们要了解电气设备的各项额定值的意义。负载设备通常工作于额定状态,而电源设备通常是以一定电压供电的,其供出的电流和功率由负载的需要决定。

第 2 章 电路的分析方法

一、内容和基本要求

(一) 内容

本章以直流电路为例介绍了支路电流法、叠加原理、网络的化简和戴维宁、诺顿定理及结点电压法;最后介绍了非线性电阻电路。

(二) 基本要求

1. 掌握支路电流法、叠加原理、戴维宁定理、诺顿定理及“等效”的概念;
2. 进一步理解和掌握基尔霍夫定律,达到熟练运用的程度;
3. 了解线性电路的线性性质和非线性电阻的静态电阻、动态电阻的意义,了解非线性电阻电路的图解法。

二、内容指导

本章的重点是掌握支路电流法、叠加原理、戴维宁定理及网络的等效化简。

1. 支路电流法是一种最基本的电路分析法。它是以支路电流为未知量直接应用 KCL、KVL 列方程的方法。对有 m 条支路、 n 个结点的电路,应用 KCL 列出 $(n-1)$ 个电流方程;应用 KVL 列出 $m-(n-1)$ 个回路电压方程(即对所有网孔列方程即可),共列 m 个方程。在用支路电流法分析含电流源的电路时,由于含电流源的支路电流为已知,所以根据 KVL 所列方程的个数应为: $m-(n-1)$ 再减去含电流源的支路数。

另外,在根据 KVL 列回路电压方程时,有的学生常常使用含电流源的支路而丢掉了电流源两端电压,从而导致错误。因此列方程时应尽量避开含电流源的支路。

2. 叠加原理是关于线性系统的重要原理。它适用于多个独立源同时作用的线性电路,而且只适用于求支路电流和电压,不能用于计算电路的功率。使用叠加原理分析电路时要注意两个问题:一是当其独立源单独作用时,要将其它独立源除去,除源的方法为电压源短接,电流源断开;二是将各独立源单独作用的结果叠加时要注意电压、电流的方向是否和原电路中一致。一致者,此项前为“+”号;否则,为“-”号。

3. 戴维宁定理是简化有源二端网络的重要定理。利用戴维宁定理可将一复杂有源二端网络等效为一个电压源和一个电阻串联的电路模型,并称之为戴维宁等效电路。当只要求解复杂电路中某一条支路电流或电压时,采用戴维宁定理最简单方便。

在利用戴维宁定理分析电路时,有的学生常常只求得有源二端网络的开路电压,而忽视了戴维宁等效电路中电阻的求解。因此我们要牢牢记住以下三个步骤。

(1) 将电路的待求部分从电路中划出去,对剩余有源二端网络求开路电压,就是戴维宁等效电路中的电压源电压。求有源二端网络开路电压时可用任何一种分析电路的方法,如利用电阻的串、并联关系、支路电流法、叠加原理等等。

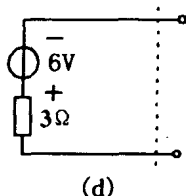
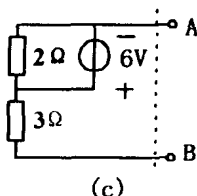
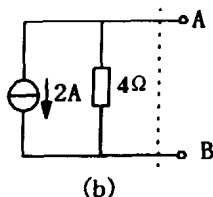
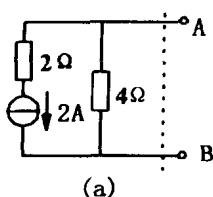
(2) 求有源二端网络除源后的端口电阻,即戴维宁等效电路中的电阻。除源的方法同叠加原理。另外要注意的是在此求的是除源二端网络的端口电阻,千万不要由电源二端寻求电阻关系。

(3) 画出戴维宁等效电路, 将划出去的部分连接于等效电路, 求得未知量。这一步也很重要, 画出等效电路可避免在计算时丢掉等效电路中的电阻。

4. 诺顿定理可将一有源二端线性网络等效为一电流源和一电阻并联的电路模型。

5. 在本章和前一章中多处提到“等效”的概念, 例如本章中有源、无源二端网络的“等效”化简, 戴维宁、诺顿“等效”电路; 前一章对实际电源建立了“等效”电压源及电流源组合模型等。利用“等效”的概念, 可将复杂问题变为简单问题, 将非线性问题变为线性问题来处理。“等效”不仅是电工技术中经常使用的一个概念, 也是其它学科和技术领域经常用到的概念。对“等效”的理解, 要紧紧抓住问题的实质。它是指对所研究的事物的外部等效, 对事物的内部是不等效的。实际电源的等效电压源与电阻串联组合模型或电流源与电阻并联的组合模型是基于它们的外特性完全相同的基础上建立的, 因此两模型间可相互等效转换; 戴维宁、诺顿等效电路是指它们与原二端网络对网络以外的其它部分电路的作用是相同的。

例如, 下图(a)网络的等效最简网络为(b); (c)网络的最简等效网络为(d)。显然, (a)、(b)的虚线左边部分(网络内部)是不等效的, 但它们对虚线右边 A、B 端口来说是等效的, (c)与(d)亦如此。



6. 对于非线性电阻一节, 主要掌握非线性电阻电路的伏安特性, 只能用 $I = f(U)$ 或 $U = f(I)$ 曲线描述, 弄清楚其静态电阻、动态电阻的概念。工作于 Q 点的静态电阻为 $R_Q = \frac{U_Q}{I_Q}$, 即 Q 点所对应的电压、电流值之比; Q 点的动态电阻为 $r_Q = \left. \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|_Q$, 即在 Q 点的电压微小变化量与电流微小变化量之比。

利用图解法分析非线性电阻电路时, 要根据 KVL 列出回路电压方程, 并在非线性电阻的伏安特性坐标内画出直流负载线以及其与伏安特性的交点即电路的静态工作点。工作点对应的电压、电流即为电路的工作电压和电流。另外可用在工作点作切线的方法求解其动态电阻。