

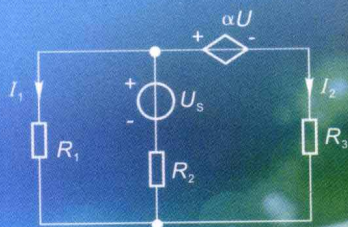
高等学校经典教材“三点”丛书

电路分析基础

范世贵·第一版

重点 难点 考点辅导与精析

范世贵 郭 婷 编著



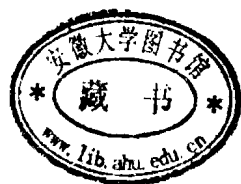
西北工业大学出版社

高等学校经典教材“三点”丛书

电路分析基础

重点 难点 考点 辅导与精析

范世贵 郭 婷 编著



西北工业大学出版社

【内容简介】 本书是电路分析基础课程重点难点考点辅导与精析用书。全书由两部分组成。第一部分为电路分析基础课程重点、难点、考点辅导与精析,共13章,每章内容有知识脉络图解,重点、难点辅导与精析,考点与考研真题辅导与精析,课后习题解答。第二部分为全国重点大学研究生招生电路基础课程考试试题及解答(共3套)。

本书可作为电子、信息、自控、电气等专业学生、考生自学、考试、考研用书,教师教学辅导用书。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础重点难点考点辅导与精析/范世贵,郭婷编著. —西安:西北工业大学出版社,2011.1

(高等学校经典教材“三点”丛书)

ISBN 978-7-5612-2978-1

I. ①电… II. ①范… ②郭… III. ①电路分析—高等学校—教学参考资料 IV. ①TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 244009 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路127号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpu.com

印 刷 者:陕西向阳印务有限公司

开 本:727 mm×960 mm 1/16

印 张:23.125

字 数:473千字

版 次:2011年1月第1版 2011年1月第1次印刷

定 价:33.00元

前言

本书是西北工业大学出版社出版的《电路分析基础》教科书的_{教学辅导用书},共 13 章,其顺序和章节标题与教科书完全一致。每章内容由 4 部分组成:知识脉络图解,重点、难点辅导与精析,考点与考研真题辅导与精析,课后习题解答。书后附录有全国重点大学电路课程考研试题及解答(共 3 套)。

本书倾注了编者对电路理论课程教学内容和教学方法研究的成果,对电路理论课程内容深度、新度、广度、量度的理解和把握,对长期教学实践经验的凝结与升华,对国内外知名大学优秀教学成果的学习与借鉴,对研究生招生考试重点、热点、难点规律的认识与探索。

人间自有真情在,洒向学生都是爱。要问此爱有多深,本书代表编者心。古人云:“君子爱人,必教之以其方”。本书会教你“博学之,审问之,慎思之,明辨之,笃行之”。莘莘学子用此书,会学业有成,出类拔萃;考研考生用此书,会金榜题名,展翅鹏程;任课教师用此书,会桃李芬芳,英才神州。

本书可作为大学生自学指导、考研系统复习、任课教师教学参考的用书,也可作为考研辅导班教材。

在本书的编写中,参阅了大量书籍、资料和试题库试题,在此谨表诚挚的谢意。

编者

2010 年 12 月

怎样学好电路分析基础课程

在教学过程中,常有学生提问,怎样才能学好电路基础(也称电路或电路分析基础)课程。这是一个确实值得思考和研究的问题,若能给以有效的指导,则对提高这门课程的学习效果,定会起到良好和积极的作用。

根据教育部教学指导委员会制定的《电路课程教学基本要求》,评估学好电路基础课程的标准应是:深刻理解和全面掌握电路基础课程的基本概念、基本理论和基本分析方法;学会分析和解决电路有关实际问题的能力;学会研究电路问题的科学方法,树立创新意识;学会电路的科学实验技能。

怎样才能学好电路基础课程?这个问题的解答不是唯一的。仁者见仁,智者见智,不同的人会有不同的学习方法,就是同一个人在不同的时间、空间、人文背景条件下,也会有不同的学习方法,此即谓“学习有方,学无定法”。但总结前人实践的经验,还是有一些共识的原则和方法可供借鉴。

一、明确课程的性质、地位、任务与作用

电路基础课程是电子、自控、自动化、通信、计算机、电力等各类专业的一门技术基础课。主要研究电路的基本概念、基本定律、基本定理和基本分析方法,在教学计划中起着承上启下、承前启后的作用。它一方面以高等数学、工程数学和物理学为基础,另一方面,它本身又是后续的技术基础课和专业课的基础,是学生合理、优化知识结构中的重要组成部分;它所传授的具有深度、新度、广度的基础知识,为学生毕业后在工作岗位上的“可持续发展”提供知识储备;它研究的科学方法和创新思维,在发展学生智力、培养能力、培养良好的非智力素质方面,均起着极为重要的作用。电路基础课的特点是,发展速度快,内容丰富,理论体系完整成熟,实践性强,应用广泛,融物理学、数学与电气工程技术、电子工程技术、微电子技术、信息处理与检测技术于一体。因此,努力学好电路基础课程,将受用无穷,不是受用一阵子,而是受用一辈子。

二、熟练的数学运算能力是学好本课程的必要条件

数学是思想,是思维,是语言,是艺术。数学方法的魅力在于其形式的简明性,严密的逻辑性,应用的广泛性,规律的美学性。数学模型的建立洞开了工程技术广阔应用的前景,数学的定量分析,带来了科学的精确化。马克思语:“一切科学只有成功地运用数学

时,才能达到真正完善的地步”。只要人们善于运用数学方法,终可知天地之真谛,解万物之奥秘。

电路基础课的显著特点是数学知识的广泛应用。线性代数方程组,三角函数,复数计算及复数方程组,微分方程,矩阵运算,傅里叶级数,拉普拉斯变换,复变函数,偏微分方程,泰勒级数,等等,可以说,正是依靠了数学的支撑,才构建了电路基础课程成熟、完整的理论,而且在电气、电子工程中的应用日臻完美。例如图 1 所示电路,已知

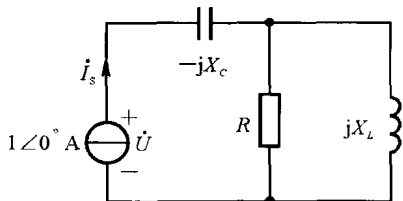


图 1

$X_c = 1 \Omega$ 和 2Ω 时,均有 $U = 1 \text{ V}$,求 R 和 X_L 的值(西安交通大学考研题)。求解此题,除有关电路概念必须清楚外,还必须具有熟练的复数运算能力。现试解如下:

$$Z_1 = -j1 + \frac{RjX_L}{R + jX_L} = \frac{RX_L^2}{R^2 + X_L^2} - j\left(1 - \frac{R^2 X_L}{R^2 + X_L^2}\right)$$

$$Z_2 = -j2 + \frac{RjX_L}{R + jX_L} = \frac{RX_L^2}{R^2 + X_L^2} - j\left(2 - \frac{R^2 X_L}{R^2 + X_L^2}\right)$$

$$|Z_1| = |Z_2| = \frac{U}{I_s} = \frac{1}{1} = 1$$

$$Z_1 = Z_2$$

以上 4 式联立求解得 $R = 2\sqrt{3} \Omega$, $X_L = 2 \Omega$ 。因此,扎实的数学知识和熟练的数学运算能力,是学好电路基础课的必要条件,否则求解此题就“抓瞎”了。

三、认真用脑听课

与走自学成才道路的人相比,在校学生的学习有着极为有利的条件,就是可以聆听名师的讲课。优秀教师的讲课,如钥匙,能打开学生心灵的门扉;如火炬,能照亮学生的未来;如种子,能埋在学生的心田;如高能粒子,能使学生产生链式反应的创新思维。

会听课绝对是一种能力。会听课和不会听课,其收获是大不一样的。会听课的听“门道”,不会听课的听“热闹”。“门道”就是关键,就是规律,就是积极动脑,高度集中地体会教师在讲课时是怎样提出问题的,是怎样把物理工程问题“翻译”成数学问题的,是怎样分析和解决问题的,得到了什么结论,所得结论有何应用,是怎样联系实际应用的,从所得结论中又能激发出什么新的联想和遐想。做到了这样的听课,就是一种开发智力和学习科学方法论的享受,就是一种科学创新思维能力的熏陶、迁移与升华。所谓“热闹”,就是不动脑,思想不集中,不发挥主动性,完全被教师的讲课牵着鼻子走,下课铃响了,背着书包又去赶听另外的课,好像逛超市一样,只逛不买,“来也匆匆,去也匆匆,就这样风雨兼程”。这样的听课,其收获肯定不如听“门道”者的收获丰富。

有学生说教师的课讲得不好,因而不去听课,说“听他讲还不如自学”。这有一定的道理,但不去听课绝对不是“英明之举”。教师毕竟“闻道在先”,得“管孔之见”都有价值。因此课一定要听,而且要“用脑”听。

四、认真钻研教材,学会看参考书

教材是教与学的基本依据。在听课的基础上必须认真钻研教材,进一步消化、理解、巩固、加深和扩充在听课中所接受的知识。这是一个知识转化的过程,把教师的知识、书本的知识转化为自己的知识,把分散、零乱的知识“集成”为系统完整的知识,找出“焦点”,搞清概念、定理、定律和公式,总结出知识的脉络结构、重点和难点,进行必要的记忆,达到融会贯通,熟练自如。

钻研教材要领会抓住重点和难点。每一章的内容有重点和难点,整个课程的内容有重点和难点。例如第一章内容的重点是电路的两种约束——元件约束(电路元件的伏安关系)和电路拓扑约束(KCL, KVL),这两种约束像一根红线一样贯穿着全课程的始终,难点是电流的参考方向及电压的参考极性的意义与应用;整个课程内容的重点是电路的各种等效变换,电路分析的基本方法(网孔法,回路法,节点法,割集法)和电路定理(叠加定理,齐次定理,替代定理,等效电压源定理,等效电流源定理,最大功率传输定理,互易定理,特勒根定理),难点是电路各种求解方法的实际和灵活应用,各种各样具体电路的分析计算(特别是反向思维题的分析计算),数学上的难点是熟练的数学运算能力(特别是复数和矩阵计算)。对于这些重点内容和难点,必须用研究的方法钻研。这些重点内容都是研究生入学考试题的重点和热点,而且都是大型、综合型的题目,所占的分值都相当高。

学会看参考书是自学能力的一种体现。参考书不可不看,但不宜过多,在教师的指导下,以选一本与所用教科书相匹配的为宜。同一门课程参考书的种类很多,目前较好的是西北工业大学出版社出版的“重点难点考点辅导与精析”一类的自学指导用书。此类书的内容丰富,很实用,内容包括知识脉络图解,重点、难点解读,考试考研指点,常考题型解析,知识加深和拓宽,学习方法指导,还附有全国重点大学考研试题及解答。这一类的参考书可以起“不见面的导师”的作用。但要注意,看参考书不能代替钻研教材,首先要把教材钻研透。看参考书,要做参考书的“主人”,不能成为参考书的“奴隶”。

五、用创造性思维自学

学习是一种创造性劳动,一定要动脑思考。“思考,思考,再思考”“学而不思则罔”。自学是大学生最基本的学习方式,要用创造性思维自学。创造性思维是各种现代思维的综合运用,既是个人智力的展现与实践,也是个人智力的进一步发展与提升。创造性思维可以导出许多新颖、独特、创新的思维成果。因此在自学时,既要获取知识,更要培养创新思维能力,甚至后者比前者更重要。

1. 辩证思维

辩证思维不同于形式逻辑思维。形式逻辑思维是“同一律”,即 $A=A$,“是”就是“是”,“否”就是“否”,两者界线分明。辩证思维是“矛盾律”,即 A 既是 A 又不是 A ,“是”中有“否”“否”中有“是”——“否”“否”——“是”在一定条件下互相对应,又在一定条件下相互转化。辩证思维可以帮助人们从感性认识上升到理性认识,从对事物表面的、片面的、零

乱的、孤立的认识,上升到内在的、全面的、系统的、联系的认识。实践证明,现代科学的发展越来越需要辩证思维,无论是爱因斯坦的相对论,还是普朗克的测不准原理,以及微观粒子的波粒二象性,都说明了辩证思维对于认识客观事物运动规律的重要意义与作用。

模型化的研究方法是科学研究的基本方法之一,它对自己所研究的特定的物质领域建立起若干理想化的模型,于是整个学科的研究工作就建立在理想化模型的基础上。电路理论中理想化电路元件的建立,其渊源是对于各种实际电路器件与部件的分析与认识,如电阻器、晶体管、真空管、电感器、变压器、蓄电池等。人们制造器件和部件,为的是利用它们的主要物理特性,但实际制造出来又不可能只具有一种物理特性。例如电阻器除了具有直接把电能转化为热能的主要物理特性外,在其中还同时有磁场和电场参数。为了进行理论的研究,就需要对实际的器件和部件进行科学的抽象,这种科学抽象的本质就是在一定条件下的科学近似,于是在电路理论中就建立了诸如理想电阻器、理想电感器、理想电容器、理想电压源、理想电流源、理想变压器等的基本概念。用理想的电路元件近似地代替实际的电路器件与部件,通过近似而逼近精确,这就是近似与精确的辩证法,是一种科学的方法论。

电路分析,按照一般的观点都是力求未知量的个数尽可能地少,以便尽快地建立方程和求解,如割集分析法与回路分析法。但随着计算机的广泛应用与计算数学的发展,就可不必过分地追求未知量尽可能地少了,有时未知量虽多,但方程中系数矩阵的建立却较方便,矩阵的阶数虽高,但矩阵的稀疏程度也高,这时应用稀疏矩阵计算技术将能更迅速简便地求得解答。这就是现代电路理论中的稀疏表格分析法。它是将全部支路电流、支点电压、节点电压均作为未知量而列方程求解的一种方法。因此在求解电路时,一味地追求未知量尽可能地少,并非是简化电路求解工作的唯一途径。

电路中的电容元件与电感元件,从电压与电流的关系来看,它们都是动态元件;但若从电压与电量的关系看,从电流与磁链的关系看,它们又都是静态元件。这种观点上的转化,正是适应了现代电路与系统理论发展的需要,不能再局限于用电压与电流关系的一种观点描述电路元件了,而同时还必须用元件的特性关系来描述。

理想变压器是电路理论中的又一个基本元件,一般都是从耦合电感的极限来定义的,即把耦合系数 $K = 1$, 自感 L 和互感 M 均趋近于无穷大,但比值 L/M 为有限值的耦合电感

定义为理想变压器,由此而得到的理想变压器的伏安关系为
$$\begin{cases} u_2 = nu_1 \\ i_2 = -\frac{1}{n}i_1 \end{cases}$$
, 此关系说明理

想变压器已完全没有了电磁感应的“痕迹”,已不是根据电磁感应原理而工作了,是一个静态元件,是可以耦合直流分量的;而耦合电感则是根据电磁感应原理而工作的动态元件,是不能耦合直流分量的,两者在本质上已有不同了。这就是量变引起的质变。这种质变的指导意义在于可以用受控源电路来实现理想变压器,从而开辟了实现理想变压器的新途径,使之集成化、微型化成为了可能。

辩证思维使人们在对立统一中认识事物,在联系与相互转化中认识事物,它能像一扇

扇的窗户打开人们的思维空间,使人们从各种不同的角度揭示事物的联系和规律,成为人们认识与改造世界的有力思想武器。因此,辩证思维是学好电路基础课程极其重要的思想方法。

2. 等效思维

等效思维就是在效果相同的条件下,用一种事物代替另一种事物,这不仅可以使非理想模型变为理想模型,使复杂问题变为简单问题,使感性认识上升为理性认识,而且使一般性认识升华到更深的层次,开拓出更广阔的认识领域。等效思维是最重要的科学思维方法之一。物理学中,合力与分力,合运动与分运动,平均速度,重心,热功当量,交流电的有效值,几何光学中的三条特殊光线,等等,都是根据等效概念引入的。爱因斯坦洞察到引力场与加速场的等效性,提出了著名的等效原理,并于1916年发表了“广义相对论基础”,汤姆生赞誉为“这是人类思想史上最伟大的成就之一”。在电路理论中,等效思维同样显示了巨大的作用,电路的各种等效变换是最重要的电路理论和方法之一,等效阻抗、等效电源、等效一端口电路、等效二端口电路的引入,开辟了电路理论研究的新领域,给电路的分析与综合带来了极大的简便与优化。深刻理解和掌握电路等效变换和等效电路的概念、理论和方法,是学好电路基础课的极其重要的基础,必须十分重视。

3. 对称思维

六合之内,对称无处不在。几何对称(中心对称,轴对称,全对称),物理对称(运动对称,场对称,物理模型对称,光路对称等),数学形式对称。对称是一种美,是一种规律。对称思维是创新思维。在电路基础课程中运用对称思维,不但可以简便地求解一些具有结构对称性的电路问题,还可以理解和记忆电路分析方法之间的内在规律性。例如求图2(a)所示电路a,b端间的等效电阻 R_{ab} ,因为该电路在结构上具有对称性,c,d两点的电位一定相等,即一定有电压 $U_{cd} = 0$,故可将电路等效为图2(b)所示电路,根据图(b)电路,很容易求得 $R_{ab} = \frac{1}{3}R + \frac{1}{3}R = \frac{2}{3}R$ 。

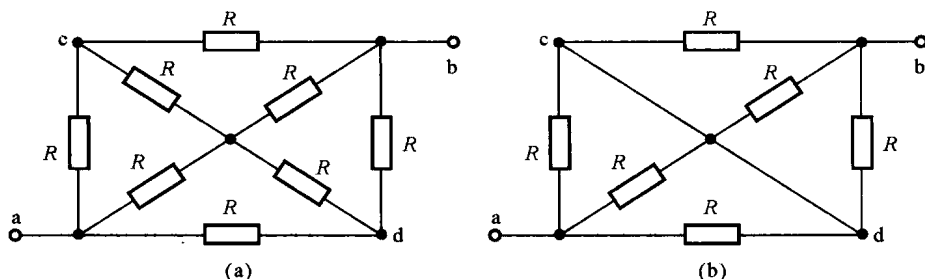


图 2

再例如,在学习了网络图论与网络方程的内容后,可归纳出割集法与回路法之间的对称关系,如表1所示,这不但可以帮助记忆,而且还能更深刻地理解两种方法之间的内在关系。

表 1 割集法与回路法的对称关系

网络分析法	割集法	回路法
网络概念	基本割集	基本回路
网络分析变量	$\dot{U}_t$ (树支电压)	$\dot{I}_l$ (连支电流)
关联矩阵	C	B
求解对象	基本割集电压列向量 $\dot{U}_t$	基本回路电流列向量 $\dot{I}_l$
KCL	$C\dot{I} = 0$	$\dot{I} = B^T \dot{I}_l$
KVL	$\dot{U} = C^T \dot{U}_t$	$B\dot{U} = 0$
支路矩阵	支路导纳矩阵 Y	支路阻抗矩阵 Z
支路伏安关系	$\dot{I} = Y(\dot{U} + \dot{U}_s) - \dot{I}_s$	$\dot{U} = Z(\dot{I} + \dot{I}_s) - \dot{U}_s$
网络方程	$CYC^T \dot{U}_t = C\dot{I}_s - CY\dot{U}_s$	$BZB^T \dot{I}_l = B\dot{U}_s - BZ\dot{I}_s$

4. 反向思维

人们通常把习惯性思维方式称为正向思维,把与正向思维方向相反的思维称为反向思维。成语“反其道而行之”就是反向思维。反向思维是一种创新思维,通常表现为三种形式。一种是物体运动的“反演”。例如进行“反演”思维,爱迪生发明了留声机,法拉第发明了磁生电和电磁感应定律,麦克斯韦发明了电磁波,毛泽东创立了在中国国度里“农村包围城市”的革命理论,使中国革命取得了胜利。第二种是思维技巧,例如可以把匀减速直线运动视为初速度为零的匀加速直线运动处理,这将对有些物理问题的求解带来极大的简便;数学中证明不等式的分析法(由果导因)就是反向思维。第三种是所研究的问题本身就是反向思维的,例如从已知的相量 $\dot{I}$ 求正弦时间函数 $i(t)$,从象函数 $F(s)$ 求原函数 $f(t)$,从已知的电路和零状态响应求激励,从已知的激励和零状态响应求电路,等等,都需要灵活地进行反向思维。电路分析基础课程中的习题、考试题、考研题,反向思维题是大量出现的。反向思维题的求解要比正向思维题的求解难度大。例如图 3 所示电路,已知 $10\ \Omega$ 电阻获得了最大功率 $P_m = 10\ \text{W}$,求 U_s 和 g 的值(西安交通大学考研题),这是反向思维题,考查在含有受控源的电路中应用等效电压源定理时,怎样求等效电压源电路,同时考查最大功率传输定理。可求得 $U_s = 34\ \text{V}$ 或 $-6\ \text{V}$, $g = 2\ \text{S}$ 。再例如从电路的矩阵 $A =$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ 求电路的状态转移矩阵 } e^{At}, \text{ 这是正向思维题; 若已知 } e^{At} = \begin{bmatrix} e^t & 0 & e^t \\ 0 & e^{-t} & 2 - 2e^{-t} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} U(t), \text{ 求 } A, \text{ 这是反向思维题,可求得 } A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}。 \text{ 对于反向思}$$

维题的求解要多加思考和训练,使自己的思维“开放”“搞活”。

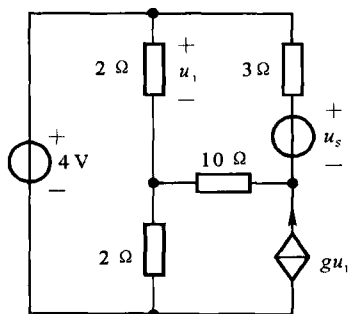


图 3

5. 求异思维

求异思维就是不依赖现有的方法、结论,而是经过独立思考、判断,发现新颖方法解决问题的一种高级思维品质,其显著特点是,采用与众不同的方法研究和探索,力求得到与众不同的结果,有所发明,有所创造,有所前进。

图 4(a) 所示电路,欲求电流 I_1 和 I_2 ,通常大都只想到直接用节点法,回路法,或者用叠加原理求解。但这些方法都相当麻烦。今若将该电路从 a、b 处“撕裂”成左、右两个子电路,如图 4(b) 所示,然后分别求出其各自的等效电压源电路,如图 4(c) 所示,再将这两个等效电压源电路连接起来,如图 4(d) 所示;根据图(d) 电路可求得 $I = \frac{6}{13}$ A。然后再应用替代定理而得图 4(e) 所示电路;再根据图(e) 电路,应用叠加定理,即可很容易求得 $I_1 = \frac{24}{13}$ A, $I_2 = \frac{97}{52}$ A。这种方法的求解步骤虽然长了些,但其新异性是每个步骤中都是对简单电路的求解,在求解的过程中思维的智慧性得到了充分的展现。

对于一个具体的电路,它的图是唯一确定的,各支路电流和各支路电压满足 KCL 和 KVL,于是必有 $\mathbf{u}^T \mathbf{i} = 0$,这就是特勒根定理一,它描述了一个封闭系统内的功率守恒。在特勒根定理一的启示下,就可以产生联想和遐想,若有两个由不同元件构成的电路,它们的图相同,则一定会有 $\begin{cases} \mathbf{u}^T \hat{\mathbf{i}} = 0 \\ \hat{\mathbf{u}}^T \mathbf{i} = 0 \end{cases}$,这就是特勒根定理二。特勒根定理是用电路复合变量 $\mathbf{u}(t)$ 和 $\mathbf{i}(t)$ 描述电路互联规律的普遍定理,是 20 世纪 60 年代电路理论发展的光辉成果,是求异思维的成果。利用它不但可以简便地证明其他的一些电路定理,而且可以极简便地求解一些特定的电路问题。

6. 发散思维

发散思维是多方向性与开放性的思维方式。它承认事物的复杂性、多样性与生动性,主张在相互联系与多样性的统一中把握事物的发展及其规律,摒弃那种违背事物客观性的单一、刻板与封闭的思维方式。它仿佛有众多的触角,不拘泥于一个方向,一个框架,而是向四面八方纵横驰骋,就像一个光源向四面八方辐射出无数条光线一样,使思维纵横交

错,迅速而灵活地“编织”出多种多样的“意识产品”。它能举一反三,由此及彼,从已知推断出未知,从今天预测明天,从历史反射出现实与未来,从而产生链锁反应式的思维成果,使思维获得大面积丰收。

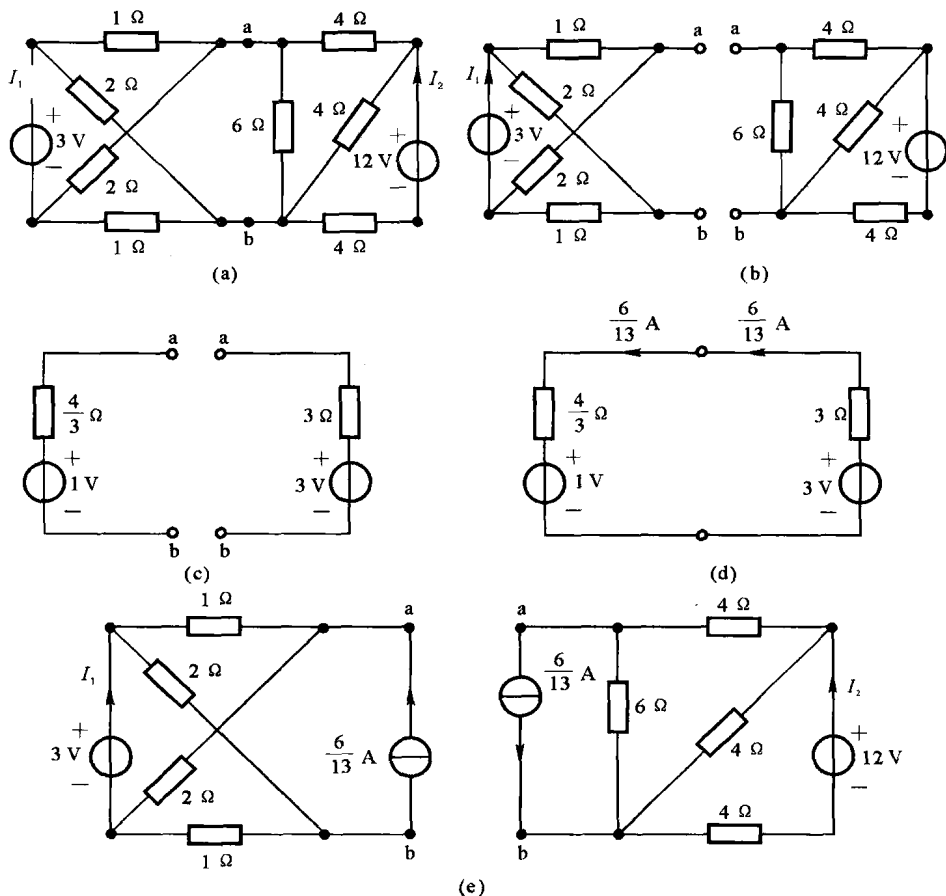


图 4

以往人们对电路问题的研究大多是凭借于“网络观”,着重关心的是网络中每一个元件的特征,以及网络的拓扑结构。但由于大规模集成电路的发展,研究电路的端口特性显得越来越重要了,于是在电路理论的研究中就出现了“端口观”。端口观着重关心的是网络的端口特性(即外部特性)。而对网络内部的“细节”并不苛刻追究。正是在端口观的指导下,电路课中充分重视了对一端口电路、二端口电路、多端口电路的研究。二端口电路不但可以实现电压、电流幅度的变换(如理想变压器)和阻抗的变换(如各种阻抗匹配网络);而且可以把正电阻变换成负电阻(天然的负电阻材料在现实世界中至今还难以找到),把流控型非线性电阻变换成压控型非线性电阻(或相反),把电容 C 变换成电感 L (或

相反),把线性电阻变换成线性电容或线性电感,这些都是微电子学研究的光辉成果,使可使用的电路元件大大地丰富了。

由于有关电路元件机理的进展是整个电路理论发展的重要组成部分,而电路又是由元件互连而成的集合,因此各种新型电路元件的相继出现,实际上是推动整个电路理论发展的内在力量。

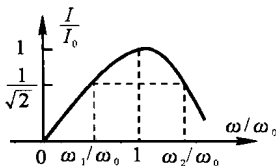
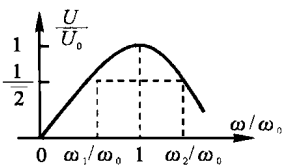
7. 类比思维

类比思维就是把两类不同的事物进行对应比较,从而找出它们的共同规律,进而把其中一类事物的规律直接运用到另一类事物的研究上,这样就能收到事半功倍的效果。电路分析基础课程中的串联谐振电路和并联谐振电路(见表2),它们之间既存在着差异性,也存在着统一性,这种统一性揭示了对它们的研究,在很多方面可以用类比思维的方式进行,从而收到事半功倍的效果。

表2 串联谐振电路与并联谐振电路的类比

名 称	串联谐振电路	并联谐振电路
电 路		
谐振定义	U_s 与 I 同相位时为谐振	I_s 与 U 同相位时为谐振
谐振条件	$\omega L = \frac{1}{\omega C}$	$\omega L = \frac{1}{\omega C}$
谐振频率	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
谐振阻抗	$Z_0 = R$	$Z_0 = R$
特征阻抗	$\rho = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}}$	$\rho = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}}$
品质因数	$Q = \frac{\rho}{R} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{R\omega_0 C}$	$Q = \frac{R}{\rho} = \frac{R}{\omega_0 L} = R\omega_0 C$
谐振时电路的性质	① U_s 与 I 同相位 ② $Z_0 = R$ ③ $I_0 = \frac{U_s}{R}$ ④ $U_{L0} = U_{C0} = QU_s \gg U_s$ ⑤ $U_x = 0$ ⑥ $P_0 = I_0^2 R$	① I_s 与 U 同相位 ② $Z_0 = R$ ③ $U_0 = RI_s$ ④ $I_{L0} = I_{C0} = QI_s \gg I_s$ ⑤ $I_x = 0$ ⑥ $P_0 = \frac{U_0^2}{R}$

续表

名 称	串联谐振电路	并联谐振电路
频率特性		
通频带	$\Delta\omega = \frac{\omega_0}{Q} \quad \Delta f = \frac{f_0}{Q}$	$\Delta\omega = \frac{\omega_0}{Q} \quad \Delta f = \frac{f_0}{Q}$
选择性	具有选择所需电信号的能力,且与 Q 成正比	具有选择所需电信号的能力,且与 Q 成正比
应用	用于无线电接收机的天线输入电路以及各种滤波电路	用于无线电接收机中频放大器的负载电路以及各种滤波电路

8. 变域思维

域就是函数的自变量,而且该自变量是特定的物理量。若自变量是时间 t ,就是时域;若自变量是角频率 ω (或频率 f),就是频域,简称 ω 域;若自变量是复数频率 $s = \sigma + j\omega$,就是复频域,简称 s 域。变域思维就是通过特定的“数学桥梁”(例如某种积分变换式),把一个“域”内不容易求解的问题变换到另一个“域”内,其求解就变得十分容易和简便了,而且进一步还会研究和得出更多有用的结论。数学中的傅里叶变换,拉普拉斯变换, z 变换,沃尔什变换,等等,都是变域思维的光辉成果,大大地推动了科学和工程技术的发展。变域思维是超常智力的创新思维,在科技发展史上建立了辉煌功绩。

在电路中,描述响应与激励关系的方程是微分方程。例如图 5(a) 所示 RLC 串联二阶电路(设为零状态), $i(t)$ 为激励, $u(t)$ 为响应,则描述 $u(t)$ 与 $i(t)$ 关系的是二阶时域微分-积分方程,即 $u(t) = Ri(t) + L \frac{d}{dt}i(t) + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau$,若已知激励 $i(t)$ 为角频率为 ω

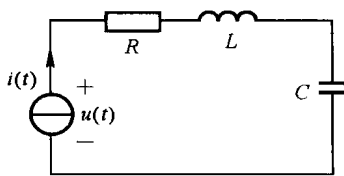


图 5

的正弦量,即 $i(t) = \sqrt{2} I \cos(\omega t + \varphi)$, $t \in \mathbf{R}$,则要根据上

式在时域中直接求解正弦稳态响应 $u(t)$ 是非常困难的,甚至是不可能的。但若把时域变换到频域,即把 $i(t)$ 和 $u(t)$ 都变换成相量 $\dot{I} = I \angle \varphi$ 和 $\dot{U}$,则上述时域微分-积分方程就变换为频域复数代数方程,即 $\dot{U} = R\dot{I} + j\omega L\dot{I} + \frac{1}{j\omega C}\dot{I}$,根据此复数代数方程,即可很容易地从已知的 $\dot{I}$ 求得 $\dot{U}$,再对 $\dot{U}$ 进行相量的反变换,即得时域正弦稳态响应 $u(t)$ 。

若已知的激励 $i(t)$ 是 $t = 0$ 时刻开始作用于电路的任意时间函数,则根据上式在时域

中直接求解响应 $u(t)$, 更是非常困难, 甚至不可能, 但若通过拉普拉斯变换, 把时域变换到复频域 (即 s 域), 即把 $i(t)$ 变换为 $I(s)$, $u(t)$ 变换为 $U(s)$, 则上述时域微分-积分方程即变为 s 域复数代数方程, 即 $U(s) = RI(s) + LsI(s) + \frac{1}{Cs}I(s)$, 根据此复数代数方程, 即可很容易地从已知的 $I(s)$ 求得 $U(s)$, 再对 $U(s)$ 进行拉普拉斯反变换, 即得时域响应 $u(t)$ 。

变域思维也称映射思维, 能把时域微分-积分方程变换为 ω 域或 s 域的复数代数方程, 而复数代数方程的求解就非常容易了。这就是变域思维的创新性。变域思维开拓了现代通信技术、现代信息技术、现代控制技术、现代系统论等的新纪元。

9. 状态思维

状态思维就是在研究物体运动时, 只考虑物体所处的状态, 而不考虑达到状态所经历的过程 (时间过程和空间过程), 是一种创新思维。物理学中描述气体状态的物理量是温度 T 、压强 p 、体积 V , 从而导出了理想气体的状态方程 $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$, 这个方程只与气体的状态有关, 而与气体变化所经历的过程无关。物理学中的动能、势能、动量都是描述物体运动状态的量, 从而导出了动能定理、动量定理、动量守恒定律、机械能守恒定律, 把物理学从宏观引入到了深层次的微观, 给许多问题的研究和求解带来了极大的简便。例如根据动能定理, 通过求物体动能的增加量, 可求得变力所做功 (功是力的空间过程积累); 根据动量定理, 通过求物体动量的增加量, 可求得变力的冲量 (冲量是力的时间过程积累), 这就把不易求解的问题转化为十分容易求解的问题了。在电路基础课程中, 以电路的状态变量 (电感电流和电容电压) 为研究对象而对电路分析的方法, 称为状态变量法。状态变量法不仅揭示了电路“外部”的关系 (响应与激励的关系), 而且还深刻揭示了电路“内部”运动的性质与规律, 具有类似于“X光、B超、CT扫描”的功能。

10. 强化记忆

脑的功能是思考和记忆, 只思考不记忆, 犹如猴子掰苞谷, 掰一个丢一个, 苞谷掰完了, 却无任何存储。无存储, 何以会有提取。电路基础课程中有许多结论、定理、定律、公式是需要记忆的, 例如电路元件的伏安关系, KCL, KVL, 等效电源定理, 互易定理, 特勒根定理, 最大功率传输定理, 相量电路模型的画法, 阻抗与导纳, 二瓦计法, 电路分析的矩阵方法, 二端口网络的方程与参数, 二端口网络函数, 二端口网络的等效网络, 换路定律, 线性电路的性质, 三要素公式, 常用函数的拉普拉斯变换及拉普拉斯变换的常用性质, s 域电路模型的画法, 网络函数及其应用, 等等, 只有记住了这些结论、定理、定律、公式, 应用和解题才会得心应手, 也容易打开思路, 否则将会障碍重重。例如已知图 6(a) 和 (b) 中的 N 为线性电阻网络, 求图 (b) 中 R 为何值时能获得最大功率 P_m , P_m 的值多大? (西安交通大学考研题)。本题考查的是电路定理的综合运用, 具有很强的概念性、综合性、技巧性和智慧性, 求解时要用到互易定理、齐次定理、等效电压源定理、最大功率传输定理。现试解如下, 供体会。(1) 根据图 (a) 求端口 1-1' 向右看去的输入电阻 $R_0 = \frac{10}{2} = 5 \Omega$; (2) 根据图

(c) 电路求端口 $1-1'$ 的开路电压 U_{oc} , 应用互易定理和齐次定理, 得 $U_{oc} = \frac{8}{2} \times 5 = 20 \text{ V}$; (3) 于是可作出端口 $1-1'$ 向右看去的等效电压电源电路, 如图(d) 所示; (4) 根据图(d) 电路, 当 $R = R_0 = 5 \Omega$ 时, R 可获得最大功率 P_m , $P_m = \frac{U_{oc}^2}{4R_0} = \frac{20^2}{4 \times 5} = 20 \text{ W}$ 。

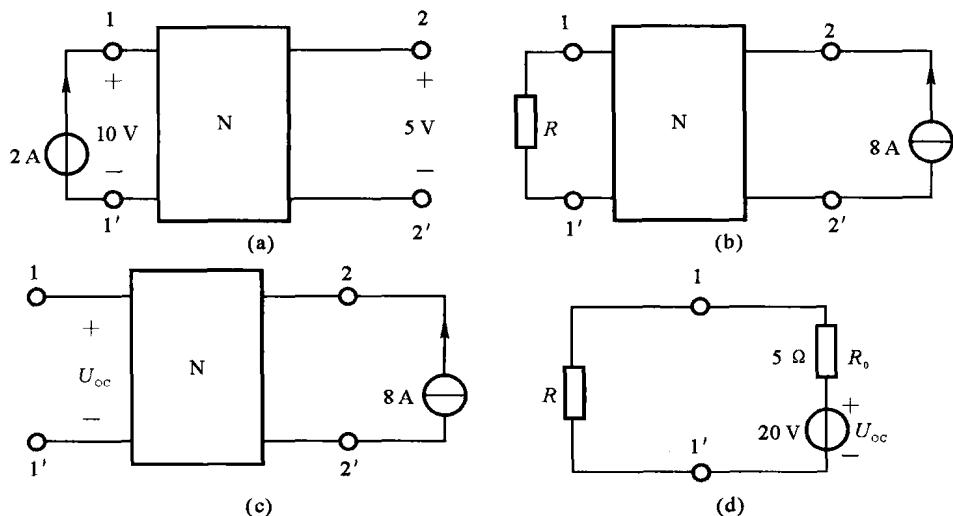


图 6

记忆是有方法、有规律的,记忆也是一种能力。有人会记,有人不会记。有人记住了想忘都忘不了,有人忘得比记得还快。理解是记忆的基础,没有真正的理解是记不住的。最有效的记忆是在理解的基础上在应用和做题实践中记忆,知道了用在什么地方,怎样用,就记住了。

有一种不好的学风,就是有的学生懒得记忆,不记忆,说“记它干啥,迟早都是要忘的”。这是奇谈怪论。艾青的诗:“懒惰的人等待幸运,聪明的人依靠勤奋”。不记忆,就等于只耕耘不收获。不收获,吃什么,难逃“乞讨”的命运,“饿死”的命运。

六、做好学习总结

在对所学知识融会贯通的基础上进行总结,可以使知识更加系统化、完整化、结构化,有利于复习、记忆和查用,可以提升自学能力。总结可以按章做,按单元做,也可以按专题做,若采用表格形式,则会更加简明和实用。例如在学习了二端口网络一章的全部内容后,应把二端口网络的理论落实到有载二端口网络的分析计算上,此时可对有载二端口网络的分析计算用表格的形式做出如表 3 所示的总结。

表 3 有载二端口网络的分析计算

定 义	输入端口接电源,输出端口接负载 Z_L 的网络,称为有载二端口网络
电 路	
分析计算的任务	第 1 类: 已知二端口网络的参数(例如 A 参数)和 U_s, Z_s, Z_L , 求端口变量 $\dot{U}_1, \dot{I}_1, \dot{U}_2, \dot{I}_2$ (正向思维)
	第 2 类: 已知端口变量 $\dot{U}_1, \dot{I}_1, \dot{U}_2, \dot{I}_2, Z_L$, 求二端口网络的参数(反向思维)
理论依据(以 A 参数和 A 方程为例)	$\begin{cases} \dot{U}_1 = a_{11}\dot{U}_2 + a_{12}(-\dot{I}_2) \\ \dot{I}_1 = a_{21}\dot{U}_2 + a_{22}(-\dot{I}_2) \end{cases} \quad (\text{A 方程})$ $\begin{cases} \dot{U}_1 = \dot{U}_s - Z_s \dot{I}_1 \\ \dot{U}_2 = -Z_L \dot{I}_2 \end{cases} \quad (\text{端口接支路的伏安方程})$ $Z_{in} = \frac{a_{11}Z_L + a_{12}}{a_{21}Z_L + a_{22}} \quad (\text{入口的输入阻抗})$ $Z_{out} = \frac{a_{22}Z_s + a_{12}}{a_{21}Z_s + a_{11}} \quad (\text{输出阻抗})$ $\frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{Z_L}{a_{11}Z_L + a_{12}} \quad (\text{电压比})$ 等效二端口网络 等效电源定理

在做了上述的总结后,可立即做几个有载二端口网络分析计算的典型习题,则其学习收获和效果会更加相得益彰。

七、用研究的方法做好习题

做习题和作业是从理论到实践的再次飞跃,完成这个飞跃更具有生动性、深刻性、灵活性、技巧性、综合性、智慧性和独创性。这是因为理论是原则的,是“千人一面”的,而实际问题则是丰富多彩、有显明个性的,很多情况下,懂得了理论,掌握了一般方法论,但不一定会解题,会解决实际问题。因此做习题和作业,是培养分析和解决问题能力的极其重要的学习环节。由于电路分析计算的方法多,电路的“花样”特别多,所以电路课的习题大多都具有较大的难度,既有正向思维题,也有反向思维题,求解时需要多加思考。例如上面对有载二端口网络的分析计算进行总结后,可立即做如下的习题:图 7(a) 所示二端口网络,已知 A 参数矩阵 $A = \begin{bmatrix} 4 & 20 \\ 0.1 & 2 \end{bmatrix}$ 。(1) 求 R 为何值时可获得最大功率 P_m , P_m 的值为