

21世纪高职高专系列规划教材

维修电工（高级·应知）

主 编 尹湛华 罗庚兴



北京师范大学出版社
北京师范出版集团



21 世纪高职高专系列规划教材

维 修 电 工

(高级·应知)

尹湛华	罗庚兴	主 编
詹训进	杨 宇	副主编

北京师范大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

维修电工 (高级·应知) /尹湛华主编. —北京:北京师范大学出版社, 2010. 8

(21 世纪高职高专系列规划教材)

ISBN 978-7-303-11336-1

I. 维… II. ①尹… III. ①电工-维修-高等学校: 技术学校-教材 IV. ①TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 144325 号

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn

北京新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印 刷:

经 销: 全国新华书店

开 本: 184 mm×260 mm

印 张: 30

字 数: 千字

版 次: 2010 年 9 月第 1 版

印 次: 2010 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 44.00

策划编辑: 庞海龙

责任编辑: 庞海龙

美术编辑: 高 霞

装帧设计: 华鲁印联

责任校对: 李 菡

责任印制: 张 坤

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010—58800697

北京读者服务部电话: 010—58808104

外埠邮购电话: 010—58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010—58800825

出版说明

高等职业教育是新世纪我国高等教育大众化进程中的一个亮点，正由规模扩张转向内涵发展。高等职业教育内涵发展的核心是课程建设。只有有一套充分体现高等职业教育规律、符合高职学生学习特点以及与职业岗位或职业岗位群相匹配的课程体系，才能有效发挥高等职业教育的特长，为社会各行各业培养具备全面素质和良好综合职业能力的高层次、应用型人才。

北京师范大学出版社是教育部职业教育教材出版基地之一，有着二十余年的职业教育教材出版历史，积累了丰富的高等职业教育教材编辑出版经验。近年来，在教育部高等教育司、职业教育与成人教育司以及北京师范大学的支持下，北京师范大学出版社汇聚教育界、出版界的专家及高等职业院校的优秀教师组建了“全国职业教育教材改革与出版领导小组”，具体负责指导职业教育教材研发工作，以为高等职业教育的课程建设贡献一份力量。目前，我社按照“就业导向、能力本位、任务驱动”等职业教育新理念的要求，研发了高职高专文化基础课、专业主干课教材近二百个品种，其中近30种被列为国家级“十一五”普通高等教育规划教材。这些教材具有如下特点：

1. 紧密结合高等职业教育改革与发展的需求。这批教材依据教育部或相关行业协会颁布的课程标准或教学纲要，针对高等职业教育的培养目标，以就业导向、能力本位为指导，以综合职业能力培养为重点，以为学生职业生涯发展服务为目的，设计教材体系、选择教材内容，体现出先进性、科学性和时代性的特点。

2. 针对高职学生的学习特点精心设计教材的栏目。这批教材注重学生学习兴趣的激发，在表现形式上力求灵活多样、新颖精致，既体现教材内容的特点，又与高职高专院校学生的学习习惯、认知能力和相应的职业岗位群的要求相适应。各书有选择地设计了以下栏目：

学习目标：简明扼要地指出各章的学习方向，引导学生有的放矢地学习。

案例分析：以实例创设学习情境，引导学生学习新知识，形成新技能。

提醒：告诉学生在学习相关内容的过程中应注意的问题，以提高学习的效率和效益。

小思考：用有趣而有效的问题，启迪学生的思维。

小资料：提供相关材料或背景资料，拓展学生的视野。

小知识：生动而有趣的知识点，帮助学生吃透学习内容，增强学习兴趣。

本章小结：概括本章的主要内容，有助于学生从整体上把握知识结构和复习巩固所学内容。

思考与练习：精心设计各种类型的练习题，供学生复习、实践使用，以全面提升学生的综合能力。

3. 紧密结合行业发展动态。这批教材充分吸收了行业的新知识、新技术、新工艺、

新规范，并注重根据行业的发展及时更新教材的内容，突出教材的职业性与实践性。

4. 形成了立体化、网络化的资源。我们在组织教材研发的过程中，配套研发了电子教案、课件或实验、实习指导材料等。

综合看，这些教材理念先进、内容丰富、形式新颖、语言通俗，注重理论知识的“必需、够用”，更强化以实践能力、创新能力为重点的综合职业能力的培养。

高职高专教材建设是一项复杂的、系统的工作。我们将在未来的日子里，与高等职业教育的改革同行，致力出版精品教材，服务并促进高等职业教育的发展。

全国职业教育教材改革与出版领导小组
北京师范大学出版社

前 言

积极发展职业教育，完善职业教育体系，是我国职业教育改革和发展的一项重要任务。为推进高职课程教学改革，培养适应生产第一线需要的高技能人才，提高电工类课程的教育教学质量，我们编写了本书。

“维修电工”是一门实践性和综合性很强的专业技术课程，涉及面广，内容多。本书从培养目标出发，以《中华人民共和国职业技能鉴定规范》（考核大纲）中关于维修电工（高级）之“基本知识”和“相关知识”的要求为依据，坚持理论联系实际，注重针对性、实用性、科学性，并增加了新技术、新工艺、新材料、新设备“四新”方面的内容，以适合新形势的需要。

为了便于深入浅出地学习，本书将主要内容分成“基础篇”、“技术篇”、“设备篇”和“岗位篇”四个部分，涉及电路及磁路基础、电子技术基础、常用电子仪器、电动机及拖动基础、机械基础、电力电子技术、传感器与检测技术、自动控制技术、PLC技术、微型计算机原理及应用技术、数控机床、电梯、分布控制系统与顺序控制系统、电气设备安装运行维修和现代生产管理等相关知识。“试题精选”部分设置了大量试题和一套模拟试卷，并附有答案，可帮助读者加深对有关知识的理解，也方便读者复习。

参加本书编写工作的有：张智军（第1章），张莉（第2章），尹湛华、刘海峰（第3章），田亚娟（第4章），冯梦雅（第5章），詹训进（第6、第8章），林雪梅（第7、第13章），罗庚兴（第9章、附录），杨宇（第10章），宁玉珊（第11章），魏志丽（第12章），陈大力（第14章），夏冬梅（第15章）。全书由尹湛华和罗庚兴负责统稿。

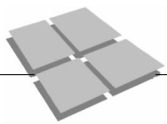
在本书编写过程中，参考和引用了大量文献资料，在此对相关作者表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促，加之水平有限，书中难免存在不足之处，殷切希望广大读者批评指正。

目 录

第 1 篇 基础篇

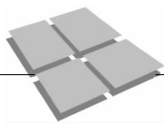
第 1 章 电路及磁路基础	(1)
1.1 电路分析方法	(1)
1.1.1 无源电阻网络等效变换分析法	(1)
1.1.2 含有独立电源的一端口网络等效变换分析法——电路定理	(3)
1.1.3 通用的一般分析法	(5)
1.1.4 电路瞬变过程的时域分析法	(6)
1.1.5 代数变换分析法	(7)
1.2 磁路基础	(10)
1.2.1 磁场、磁路和磁路定律	(10)
1.2.2 铁磁材料	(14)
1.2.3 恒定磁通磁路的计算	(16)
第 2 章 电子技术基础	(19)
2.1 模拟电路基础	(19)
2.1.1 常用单元电子电路	(19)
2.1.2 集成运算放大电路	(27)
2.2 数字电路基础	(37)
2.2.1 数制	(37)
2.2.2 逻辑门电路	(40)
2.2.3 数字集成门电路使用注意事项	(43)
2.2.4 触发器	(45)
2.2.5 计数器	(53)
2.2.6 寄存器	(60)
2.2.7 数字译码和显示电路	(63)
第 3 章 电气测量基础及常用电子仪器	(69)
3.1 信号发生器	(69)
3.1.1 信号发生器的组成结构和基本工作原理	(69)
3.1.2 XD1 型信号发生器	(71)



3.1.3	HG1631 型智能函数信号发生器	(73)
3.2	晶体管毫伏表	(74)
3.2.1	晶体管毫伏表的结构与特点	(74)
3.2.2	HG2172 型晶体管毫伏表	(75)
3.3	电子示波器	(76)
3.3.1	概述	(76)
3.3.2	通用示波器的组成结构和基本工作原理	(78)
3.3.3	示波器的使用方法	(86)
3.4	晶体管特性图示仪	(88)
3.4.1	晶体管特性图示仪的用途	(89)
3.4.2	晶体管特性图示仪的工作原理	(89)
3.4.3	XJ4810 型晶体管特性图示仪技术性能和面板结构	(90)
3.5	电子测量仪器的维护与保养	(95)
第 4 章	电动机及拖动基础	(96)
4.1	电动机学基本知识	(96)
4.1.1	电动机制造工艺	(96)
4.1.2	电动机的安装、调整与转子校平衡	(96)
4.1.3	电动机的维护与检修	(101)
4.1.4	检修工艺的编制	(108)
4.2	特种电动机	(109)
4.2.1	自整角机	(109)
4.2.2	步进电动机	(112)
4.2.3	无刷直流电动机	(115)
4.2.4	其他特种电动机	(117)
4.3	复杂控制线路	(120)
4.3.1	B2012A 龙门刨床电气线路	(120)
4.3.2	较复杂控制线路的绘制	(124)
第 5 章	机械基础	(126)
5.1	机械传动常识	(126)
5.1.1	机械传动概述	(126)
5.1.2	带传动和链传动	(126)
5.1.3	齿轮传动	(130)
5.2	机械制图基础及机械 CAD 技术简介	(137)
5.2.1	制图的基本知识	(137)
5.2.2	基本体的投影	(143)
5.2.3	组合体的尺寸标注与读图方法	(144)
5.2.4	计算机绘图基本知识	(146)

第 2 篇 技术篇

第 6 章 电力电子技术	(154)
6.1 电力电子器件概述	(154)
6.1.1 晶闸管	(154)
6.1.2 电力晶体管	(159)
6.1.3 功率场效应晶体管	(163)
6.1.4 绝缘栅双极型晶体管(IGBT)	(166)
6.2 整流与斩波电路及应用	(172)
6.2.1 单相可控整流电路	(172)
6.2.2 三相可控整流电路	(178)
6.2.3 晶闸管触发电路	(186)
6.2.4 直流斩波电路	(190)
第 7 章 传感器与检测技术	(192)
7.1 自动检测技术概述	(192)
7.1.1 传感器的基本概念	(192)
7.1.2 传感器选用原则	(193)
7.2 数字传感器	(195)
7.2.1 光栅传感器	(195)
7.2.2 磁栅	(201)
7.2.3 感应同步器	(206)
7.2.4 编码器	(210)
7.2.5 旋转变压器	(211)
第 8 章 自动控制技术	(214)
8.1 自动控制系统的基础知识	(214)
8.1.1 自动控制系统的基本概念	(214)
8.1.2 自动控制系统的性能及其指标	(215)
8.1.3 常用的调节器及其控制规律	(217)
8.2 电动机调速自动控制系统	(221)
8.2.1 单闭环直流调速系统	(221)
8.2.2 异步电动机变频调速系统	(233)
第 9 章 PLC 技术	(241)
9.1 PLC 的基础知识	(241)
9.1.1 PLC 的基本结构和分类	(241)
9.1.2 PLC 的工作原理	(242)
9.2 S7-200 PLC 简介	(245)

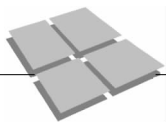


9.3	S7-200 常用指令	(256)
9.3.1	基本逻辑指令	(257)
9.3.2	定时、计数指令	(262)
9.3.3	比较指令	(265)
9.4	数字量控制系统的设计方法	(267)
9.4.1	PLC 控制系统设计的内容和步骤	(267)
9.4.2	经验设计法	(268)
9.4.3	根据继电器电路图设计梯形图	(271)
9.4.4	顺序控制设计法	(276)
第 10 章	微型计算机原理及应用技术	(283)
10.1	微型计算机基础	(283)
10.1.1	微型计算机的组成	(283)
10.1.2	微型计算机的基本工作原理、工作过程和特点	(286)
10.1.3	微型计算机系统	(286)
10.1.4	微型计算机应用	(287)
10.1.5	常用术语	(288)
10.2	MCS-51 系列单片微型计算机	(290)
10.2.1	MCS-51 引脚	(291)
10.2.2	微处理器	(292)
10.2.3	存储器	(292)
10.2.4	输入/输出端口	(294)
10.2.5	定时器/计数器	(294)
10.2.6	串行口	(297)
10.2.7	中断系统	(300)

第 3 篇 设备篇

第 11 章	数控机床	(302)
11.1	数控机床基础知识	(302)
11.1.1	数控机床技术的基本概念	(302)
11.1.2	数控机床的组成和分类	(303)
11.2	数控加工编程基础	(306)
11.2.1	编程的基础知识	(307)
11.2.2	常用的 G 功能指令编程说明	(313)
11.3	数控装置的插补原理	(323)
11.3.1	脉冲增量插补法	(323)
11.3.2	数据采样插补法	(328)

11.4 数控机床的伺服系统	(330)
11.4.1 伺服系统的概念	(330)
11.4.2 开环步进式伺服系统	(333)
11.4.3 闭环伺服系统	(336)
11.5 数控机床的故障诊断	(338)
11.5.1 根据报警号进行故障诊断	(338)
11.5.2 根据指示进行故障诊断	(338)
11.5.3 根据梯形图进行故障诊断	(339)
11.5.4 根据机床参数进行故障诊断	(339)
11.5.5 用诊断程序进行故障诊断	(339)
第12章 电梯	(341)
12.1 电梯的基础知识	(341)
12.1.1 电梯的分类	(341)
12.1.2 电梯的规格和型号	(343)
12.1.3 电梯的结构	(343)
12.2 电梯的电力拖动控制系统	(344)
12.2.1 直流电梯的拖动控制系统	(345)
12.2.2 交流调压调速电梯的速度闭环控制	(347)
12.2.3 交流变压变频调速电梯	(350)
12.2.4 电梯的故障与排除	(356)
第13章 分布控制系统与顺序控制系统	(368)
13.1 集散控制系统	(368)
13.1.1 集散控制系统的特点	(368)
13.1.2 集散控制系统的组成结构	(369)
13.1.3 DCS的选型	(375)
13.1.4 DCS与PLC的区别	(375)
13.2 现场总线控制系统简介	(376)
13.2.1 现场总线技术的背景	(377)
13.2.2 现场总线技术的概念	(379)
13.2.3 现场总线标准	(382)
13.3 顺序控制系统概述	(388)
13.3.1 自动线电气控制系统的一般要求和特点	(388)
13.3.2 自动线的控制方式	(389)
13.3.3 单工段自动线分散控制原理	(389)
13.3.4 自动线的调整	(390)



第 4 篇 岗位篇

第 14 章 电气设备安装运行维修	(392)
14.1 电气工程施工管理	(392)
14.1.1 安装工程施工方案的编制	(392)
14.1.2 总体工程施工进度网络图	(396)
14.1.3 安装施工平面图的主要内容和布置原则	(403)
14.2 电气设备检修管理	(404)
14.2.1 电气设备检修前的准备工作	(404)
14.2.2 电气设备检修管理	(406)
14.2.3 电气设备检修质量的监督和验收	(407)
14.3 电气设备故障检测知识	(408)
14.4 电气设备运行维护实例	(414)
14.4.1 电动机运行中的检查与维护	(414)
14.4.2 电气部分实际检修委托单实例	(418)
第 15 章 现代生产管理知识	(422)
15.1 额定工时核算	(422)
15.1.1 工时的消耗与劳动定额	(422)
15.1.2 作业测量	(422)
15.2 提高劳动生产率的基本措施	(423)
15.2.1 劳动生产率的概念	(423)
15.2.2 决定劳动生产率高低的因素	(423)
15.2.3 提高生产率的途径	(423)
15.3 检修工艺卡的编制	(425)
15.3.1 操作技能	(425)
15.3.2 制定工艺文件的原则	(427)
15.4 ISO 9000 标准简介	(428)
15.4.1 ISO 9000 标准概述	(428)
15.4.2 ISO 9000 系列标准包括的标准范围	(428)
15.4.3 维修电工班组质量管理	(434)
附录 试题精选	(436)
参考文献	(465)

第 1 篇 基础篇

第 1 章 电路及磁路基础

1.1 电路分析方法

1.1.1 无源电阻网络等效变换分析法

等效变换法是指利用局部电路中无源元件的特定连接方式、有源支路的等效置换规则或电路定理，通过逐步简化电路结构或缩小电路规模从而求解电路的方法，常用于结构相对简单的电路的分析。阻抗（或导纳）的串、并、混联和 $Y \leftrightarrow \Delta$ 等效化简、变换（见图 1-1-1），有源支路的等效变换以及适当使用电路定理是这种分析方法的关键。

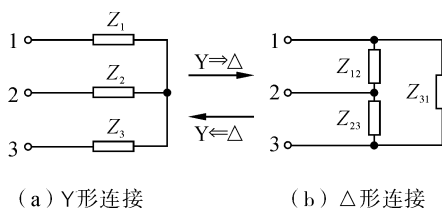


图 1-1-1 $Y \leftrightarrow \Delta$ 变换

表 1-1-1 给出了有关电路的常用化简方法。应当指出：

1) 一般情况下的 $Y \leftrightarrow \Delta$ 变换如图 1-1-1 所示。当 $Y \rightarrow \Delta$ 时，遵从

$$\left. \begin{aligned} Z_{12} &= Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3} \\ Z_{23} &= Z_2 + Z_3 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_1} \\ Z_{31} &= Z_3 + Z_1 + \frac{Z_3 Z_1}{Z_2} \end{aligned} \right\} \quad (1.1.1)$$

而当 $\Delta \rightarrow Y$ 时，遵从

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= \frac{Z_{12} Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}} \\ Z_2 &= \frac{Z_{23} Z_{12}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}} \\ Z_3 &= \frac{Z_{31} Z_{23}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}} \end{aligned} \right\} \quad (1.1.2)$$

2) 对于混联电阻网络只能视具体情况作具体处理。

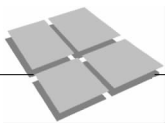


表 1-1-1 常用电路化简方法

方法	方式	分类	相关公式
等效化简	串联网路	直流电阻电路中， n 个直流电阻串联	$R_{eq} = \sum_{k=1}^n R_k = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$ $u_k = R_k i (k = 1, 2, \cdots, n), u = \sum_{k=1}^n u_k = R_{eq} i$
		正弦交流电路中， n 个交流阻抗串联	$Z_{eq} = \sum_{k=1}^n Z_k = Z_1 + Z_2 + \cdots + Z_n$ $\dot{U}_k = Z_k \dot{I} (k = 1, 2, \cdots, n)$ $\dot{U} = \sum_{k=1}^n \dot{U}_k = R_{eq} \dot{I}$
	并联网络	直流电阻电路中， n 个直流电阻并联	$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}$ 或 $G_{eq} = \sum_{k=1}^n Y_k$ $i_k = G_k U_k (k = 1, 2, \cdots, n)$ $i = \sum_{k=1}^n i_k = G_{eq} u = u \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}$
		正弦交流电路中， n 个交流阻抗并联	$\frac{1}{Z_{eq}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{Z_k}$ 或 $Y_{eq} = \sum_{k=1}^n Y_k$ $i_k = Y \dot{U}_k = \frac{\dot{U}_k}{Z} (k = 1, 2, \cdots, n)$ $\dot{I} = \sum_{k=1}^n \dot{I}_k = Y_{eq} \dot{U}_k$
	对称 $Y \leftrightarrow \Delta$	对称 $\Delta \rightarrow Y$	直流电路： $R_Y = \frac{1}{3} R_{\Delta}$ 正弦交流电路： $Z_Y = \frac{1}{3} Z_{\Delta}$
		对称 $Y \rightarrow \Delta$	直流电路： $R_{\Delta} = 3 R_Y$ 正弦交流电路： $Z_{\Delta} = 3 Z_Y$
有源支路等效置换	串联变并联	$u_s - R \rightarrow i_s // R$	$i_s = u_s / R$
		$\dot{U}_s - Z \rightarrow \dot{I}_s // Z$	$\dot{I}_s = \dot{U}_s / Z$
	并联变串联	$i_s // R \rightarrow u_s - R$	$u_s = i_s R$
		$\dot{I}_s // Z \rightarrow \dot{U}_s - Z$	$\dot{U}_s = \dot{I}_s Z$

3) 复杂直流一端口电阻网络（仅由线性电阻和受控源构成而不含独立电源的网络）总可以等效为一个电阻 R_{eq} ，但不能按纯电阻网络的等效变换法求解，通常要经过计算或采用伏安法实验测取有关数据之后得出，如图 1-1-2 所示，在端口处施加一个电压源 U_s ，然后测量或算出 i ，再用公式

$$R_{eq} = \frac{U_s}{i}$$
 (1. 1. 3)

即可求得 R_{eq} 。

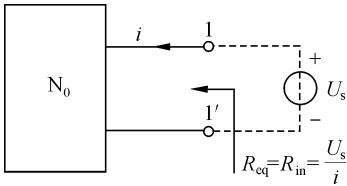


图 1-1-2 求复杂直流一端口电阻网络的等效电阻

仅由线性阻抗和受控源构成而不含独立电源的复杂正弦交流一端口网络，通常也采用相似的“伏安法”（但必须是相量形式）求取等效阻抗 Z_{eq} ，如图 1-1-3 所示，即

$$Z_{\text{eq}} = \frac{\dot{U}_s}{\dot{I}} \quad (1.1.4)$$

4) 当两个阻抗并联时，如图 1-1-4 所示。此时

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_1 &= \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \dot{I} \\ \dot{I}_2 &= \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \dot{I} \end{aligned} \right\} \quad (1.1.5)$$

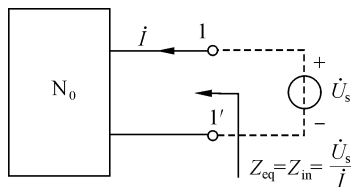


图 1-1-3 求复杂正弦交流一端口网络的等效阻抗

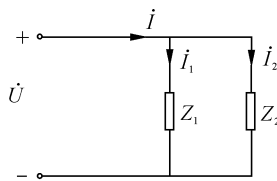


图 1-1-4 两阻抗并联

1.1.2 含有独立电源的一端口网络等效变换分析法——电路定理

含有独立电源的一端口网络可以用叠加定理、等效发电机定理（包括戴维宁定理和诺顿定理）或其他等效变换方法求解。

1. 叠加定理

(1) 定理内容

叠加定理的内容表述为：“在线性电路中，任一支路电流（或电压）都是电路中各个独立源单独作用时，在该支路所产生的电流（或电压）之叠加。”

(2) 使用叠加定理的注意事项

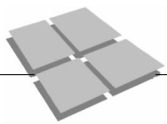
- 1) 叠加定理只适用于线性电路。
- 2) 某个独立电源单独作用意味着其他独立源要置零，即：其他独立电压源应以短路代替，其他独立电流源应以开路代替。
- 3) 按叠加定理分解电路时，所有受控源都必须按原来的控制关系保留在电路中。
- 4) 叠加时应注意电流、电压的参考方向，叠加结果是各个响应分量的代数和，凡响应分量与总响应参考方向一致者取正，否则取负。

5) 叠加定理只适用于计算电压、电流的瞬时值，一般情况下功率等其他电路变量不能用叠加定理计算。

6) 叠加定理只在时域内有效，即只能按响应分量的瞬时值叠加。

(3) 齐性定理

齐性定理是叠加定理的一个推论，该定理的内容是：“线性电路中，当所有激励（独立电压源和独立电流源）都增大或缩小 K 倍（ K 为实数），响应（电流和电压）也将同样增大或缩小 K 倍。”齐性定理对于分析梯形电路特别有效。



2. 戴维宁定理和诺顿定理

(1) 戴维宁定理

定理内容：“一个含独立电源、线性电阻和受控源的一端口，对外电路来说，可以用一个电压源和电阻的串联组合等效置换，此电压源的电压等于一端口的开路电压，电阻等于一端口的全部独立电源置零后的输入电阻。”

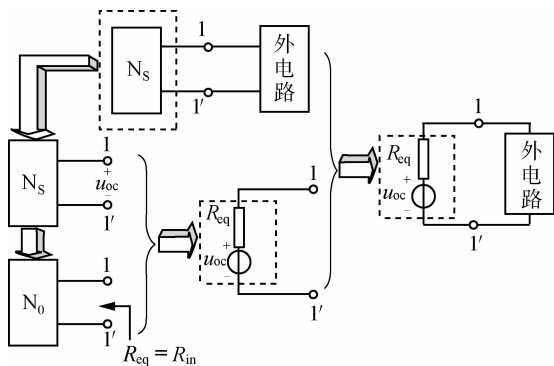


图 1-1-5 戴维宁定理应用图示

应用方法如图 1-1-5 所示，其中 N_S 是按求解目的从整个电路中剥离出来的一个含有独立源的一端口网络； N_0 对应于 N_S ，是 N_S 中所有独立电压源以短路替代、所有独立电流源以开路替代后得到的不含独立电源的电阻网络； u_{oc} 是 N_S 的开路电压， R_{eq} 是 N_0 的输入电阻。

(2) 诺顿定理

定理内容：“一个含独立电源、线性电阻和受控源的一端口，对外电路来说，可以用一个独立电流源和电导的并联组合等效置换，电流源的电流等于该一端口的短路电流，电导等于把该一端口全部独立电源置零后的输入电导。”

诺顿定理应用方法如图 1-1-6 所示。

其中 N_S 和 N_0 的含义同前述； i_{sc} 是 N_S 的短路电流， G_{eq} 是 N_0 的输入电导。由于独立电压源与电阻的串联组合（记为 $u_s - R$ ）和独立电流源与电导的并联组合（记为 $i_s // G$ ）可以彼此等效置换，一般情况下同一端口网络的戴维宁等效电路和诺顿等效电路同时存在，二者在电路分析中所发挥的作用基本相同，合称“等效发电机定理”。该定理的应用十分广泛，应特别重视。

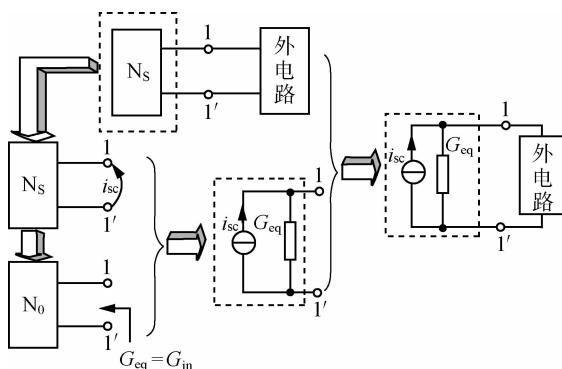


图 1-1-6 诺顿定理应用图示

戴维宁定理和诺顿定理同样适用于正弦电流电路的稳态分析，等效法则也基本相同，电路等效变换分别如图 1-1-7 (a)、(b) 所示。其中， $\dot{U}_{oc}$ 和 $\dot{I}_{sc}$ 分别表示 N_S 端口处相量形式的开路电压和短路电流； Z_{eq} 和 Y_{eq} 则分别表示 N_S 内部所有独立电源全部置零后所得一端口 N_0 的戴维宁等效阻抗和诺顿等效导纳，注意它们与电路的工作频率直接相关。

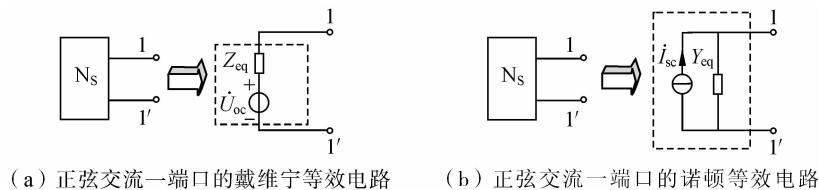


图 1-1-7 正弦交流电路中的等效发电机定理

1.1.3 通用的一般分析法

1. 支路电流法

以支路电流为未知量,列写全部独立节点 KCL 方程和独立回路(通常是平面网孔) KVL 方程,从而求解电路的方法称支路电流法。这种方法适用于电路中支路数目少的情形,比较常用。将独立电压源与电阻串联组合 ($u_s - R$) 以及独立电流源与电导并联组合 ($i_s // G$) 这两种简单组合均看作一条支路,其他情况下任一单个元件称为一条支路;至少两条支路构成的电气连接点称为一个节点;至少三条支路构成的闭合路径称为一个回路。设电路中存在 n 个节点、 b 条支路,则支路电流法的一般解题步骤如下:

1) 对支路逐一编号(如 1、2、3、4 等,原则上支路名称、元件电气参数和支路各电路变量的下标等要完全一致);对节点逐一编号(如①、②、③、④等);指定支路电流参考方向;任选 $l = b - n + 1$ 个彼此不重复的回路[称为“独立回路”,一般选 m 个平面网孔($m = l$)],编号(如 I、II、III、IV 等)并指定回路或网孔的绕行方向(顺时针或逆时针)。

2) 写出任意 $(n-1)$ 个彼此不重复的节点(称为“独立节点”)的 KCL 方程,形如 $\sum i_k = 0$ (k 为与某独立节点相关联的支路编号)。

3) 写出各独立回路形如 $\sum R_k i_k = \sum u_{sk}$ (k 为构成某独立回路边界的支路编号)的 KVL 方程。

4) 含有受控源时,先将受控源看作独立电源,再用支路电流表示有关变量间的控制关系并代入方程。

5) 将所有方程联立、求解,所得即各支路电流;再由此求出其他电路变量。

6) 用 KCL 和 KVL 验证解的正确性。

2. 节点法

选定电路中任一节点为参考节点(记为“0”——即 0 电位参考点),并以其余各节点相对于参考节点的电压为未知量编写节点电压方程,从而求解电路的方法称为节点电压法(简称“节点法”)。这种方法适用于分析支路数多而节点数少的电路,且宜于计算机辅助分析,很常用。节点法一般解题步骤如下:

1) 选择参考节点“0”,并对其他独立节点逐一编号。

2) 按“导流项”在左、“源流项”在右的方式逐一系列写各个独立节点的节点电压方程,并注意:

①方程左边的“导流项”是指某独立节点电压与该节点的“自导”(即与该节点相关联的所有支路电导之和,自导恒为正)的乘积,与其他独立节点电压与“互导”(即跨接在该节点与其他独立节点之间的所有支路电导之和,若电路中含有受控源,互导恒为负)的乘积的代数和。

②方程右边的“源流项”是指与某独立节点相关联的所有支路独立电流源的代数和(指向该节点时取“+”,否则取“-”),以及 $(u_s - R)$ 支路 u_s/R 的代数和(u_s 的“+”极性端更靠近该节点时取“+”,否则取“-”)。

③含有受控源时,先将受控源看作独立电源,再用节点电压表示有关变量间的控制关系并代入方程。