

2007 全国勘察设计注册电气工程师
执业资格考试



精讲精练

陈志新 主编

专业基础



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

2007 全国勘察设计注册电气工程师
执业资格考试

精讲精练

陈志新 主编

专业基础



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

本书是根据全国勘察设计注册工程师管理委员会公布的《注册电气工程师执业资格专业基础考试大纲》，结合考试的特点，组织曾多次参与注册工程师考试培训、教材编写，并具有深厚的专业基础知识和丰富的教学经验的专家、教授编写的。本书包含了注册电气工程师资格考试所要求的专业基础的四部分内容，即：电路与电磁场、模拟电子技术、数字电子技术和电气工程基础，每章之后还精选适量的练习题并给出答案和提示，以便考生练习和掌握。全书以纲为准，简明扼要，内容全面，难度适宜，实用为主，够用为止。本书特别适合参加注册电气工程师执业资格考试的考生复习之用，是参加资格考试人员必备的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

2007 全国勘察设计注册电气工程师执业资格考试精讲
精练·专业基础/陈志新主编. —北京：中国电力出版社，
2007

ISBN 978 - 7 - 5083 - 5336 - 4

I. 2… II. 陈… III. 电气工程 - 工程技术人员 - 资格
考核 - 自学参考资料 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 037969 号

中国电力出版社出版发行

北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>

责任编辑：张鹤凌 责任印制：陈焊彬 责任校对：崔燕

北京同江印刷厂印刷·各地新华书店经售

2007 年 4 月第 1 版·北京第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·25.25 印张·626 千字

定价：58.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本社购书热线电话 (010-88386685)

前 言

建设部和人事部已于 2005 年开始实施勘察设计注册电气工程师执业资格考试制度，这对于加强我国电气工程设计管理和电气工程师执业管理等具有重要的意义。

为配合注册电气工程师执业资格考试，我们组织了曾多次参与注册工程师考试培训、教材编写，并具有深厚的专业基础知识和丰富的教学经验的专家、教授，按照全国勘察设计注册工程师电气专业管理委员会 2004 年 3 月公布的专业基础考试大纲编写了这本复习教材。该教材适用于从事发电、输变电、供配电、建筑电气、电气传动、电力系统等工程设计及相关业务的专业技术人员参加专业基础考前复习之用。

本书包含了注册电气工程师资格考试大纲（专业基础）要求的四部分内容，即：电路与电磁场、模拟电子技术、数字电子技术和电气工程基础。鉴于考生大都是在职人员，工作繁忙，复习时间短的特点，同时还考虑到考生虽都曾系统学习过这些内容，但内容多且已搁置时间长的特点，本书力求紧扣大纲，简明扼要，内容全面，难度适宜，实用为主，够用为止。每章之后还精选适量的练习题并给出答案和提示，以便考生练习和掌握，提高应试能力。

各章的编写人员如下：

- | | |
|--------------|---------|
| 第 1 章 电路与电磁场 | 刘辛国 |
| 第 2 章 模拟电子技术 | 魏 东 |
| 第 3 章 数字电子技术 | 陈志新 |
| 第 4 章 电气工程基础 | 李英姿 蒋志坚 |

由于时间仓促，在编写过程中难免有疏漏之处，恳请读者指正。

编 者
2007 年 2 月

目 录

前 言

第1章 电路与电磁场	1
1.1 电路的基本概念和基本定律	1
1.1.1 电路模型	1
1.1.2 电流和电压的参考方向	7
1.1.3 基尔霍夫定律	7
1.2 电路的分析方法	8
1.2.1 电路的等效变换方法	8
1.2.2 节点电压法	14
1.2.3 回路电流法	14
1.2.4 电路定理	15
1.3 正弦交流电路	18
1.3.1 预备知识、复数的基本知识	18
1.3.2 正弦量	19
1.3.3 电路定律的相量形式	20
1.3.4 阻抗和导纳	23
1.3.5 正弦稳态电路的功率	24
1.3.6 正弦稳态电路的分析	26
1.3.7 频率特性	26
1.3.8 三相电路	27
1.4 非正弦周期电流电路	29
1.4.1 周期函数的傅里叶分解	29
1.4.2 非正弦周期电量的有效值与平均值	30
1.5 简单动态电路的时域分析	31
1.5.1 动态电路的方程及其初始条件	31
1.5.2 一阶电路分析的基本方法	33
1.5.3 二阶电路分析的基本方法	35
1.6 静电场	37
1.6.1 电场强度、电位	37
1.6.2 应用高斯定理计算具有对称性分布的静电场问题	40
1.6.3 静电场边值问题的镜像法和电轴法	41
1.6.4 电场力及其计算	46

1.6.5 电容和部分电容的概念及简单形状电极结构电容的计算	47
1.7 恒定电场	49
1.7.1 恒定电流、恒定电场及电流密度	49
1.7.2 恒定电场的基本方程	50
1.7.3 电导和接地电阻	53
1.8 恒定磁场	54
1.8.1 磁感应强度、磁场强度及磁化强度	54
1.8.2 恒定磁场的基本方程及边界条件	59
1.8.3 自感、互感及其计算	60
1.8.4 磁场能量和磁场力	62
电路与电磁场复习题	63
电路与电磁场复习题答案及提示	87

第2章 模拟电子技术 103

2.1 半导体及二极管	103
2.1.1 半导体基础	103
2.1.2 PN结	104
2.1.3 半导体二极管	105
2.2 半导体三极管	107
2.2.1 双极型半导体三极管	107
2.2.2 场效应半导体三极管	110
2.3 基本放大电路	114
2.3.1 基本放大电路的组成及工作原理	114
2.3.2 基本放大电路的静态分析	115
2.3.3 基本放大电路的动态分析	116
2.3.4 共集组态基本放大电路分析	122
2.3.5 场效应三极管放大电路的分析方法	124
2.3.6 三种接法基本放大电路的比较	128
2.4 放大电路的频率特性	128
2.4.1 频率响应的一般概念	128
2.4.2 频率失真	129
2.4.3 对数频率特性	130
2.4.4 多级放大电路的频率特性	130
2.5 集成运算放大电路	130
2.5.1 多级放大电路的耦合方式	130
2.5.2 直接耦合放大电路的构成	131
2.5.3 差分放大电路	132
2.5.4 集成运算放大器的组成和参数	136
2.5.5 运算放大器的符号	138

2.6	互补功率放大电路	138
2.6.1	三极管的工作状态	138
2.6.2	双电源甲乙类互补输出电路	139
2.6.3	单电源互补功率放大电路	142
2.6.4	集成功率放大电路简介	143
2.7	负反馈放大电路	144
2.7.1	反馈的概念	144
2.7.2	反馈基本方程式	144
2.7.3	反馈的组态及判断方法	145
2.7.4	四种负反馈放大电路的分析	146
2.7.5	负反馈对放大电路性能的影响	148
2.7.6	负反馈放大电路的自激振荡	150
2.8	集成运放在运算电路中的应用	151
2.8.1	运算放大器线性应用的特点	151
2.8.2	比例运算电路	152
2.8.3	求和运算电路	154
2.8.4	积分和微分运算电路	156
2.8.5	对数和指数电路	156
2.8.6	乘法和除法电路	157
2.9	集成运放在信号处理电路中的应用	158
2.9.1	有源滤波器	158
2.9.2	采样保持电路	164
2.9.3	电压比较器	165
2.10	集成运算放大器在信号产生电路中的应用	166
2.10.1	正弦波振荡电路	166
2.10.2	矩形波发生电路	173
2.10.3	三角波发生器	175
2.10.4	锯齿波发生器	176
2.11	直流稳压电源	176
2.11.1	直流稳压电源的组成	176
2.11.2	整流电路	177
2.11.3	电容滤波电路	178
2.11.4	稳压电路	180
	模拟电子技术复习题	184
	模拟电子技术复习题答案及提示	192
第3章	数字电子技术	198
3.1	数字电路基础知识	198
3.1.1	数字电路基本概念	198

3.1.2	数制和码制	198
3.1.3	半导体器件的开关特性	201
3.1.4	三种基本逻辑关系及其表达方式	202
3.2	集成逻辑门电路	203
3.2.1	TTL 集成逻辑门电路的组成和特性	203
3.2.2	MOS 集成逻辑门电路的组成和特性	204
3.3	数字基础及逻辑函数化简	205
3.3.1	逻辑代数基本运算关系	205
3.3.2	逻辑代数的基本公式和原理	205
3.3.3	逻辑函数的建立和四种表达方法及其相互转换	205
3.3.4	逻辑函数的最小项和最大项及标准与或式	207
3.3.5	逻辑函数的代数化简方法	207
3.3.6	逻辑函数的卡诺图画法、填写及化简方法	208
3.4	集成组合逻辑电路	209
3.4.1	组合逻辑电路输入输出的特点	209
3.4.2	组合逻辑电路的分析、设计方法及步骤	209
3.4.3	编码器、译码器、显示器、多路选择器及多路 分配器的原理和应用	210
3.4.4	加法器、数码比较器、存储器、可编程逻辑阵列的原理和应用	213
3.5	触发器	217
3.5.1	RS 触发器	217
3.5.2	同步 D 触发器	219
3.5.3	主从 JK 触发器	220
3.5.4	T 触发器	221
3.5.5	触发器的触发方式	222
3.5.6	触发器逻辑功能的转换	222
3.6	时序逻辑电路	223
3.6.1	时序逻辑电路的特点及组成	223
3.6.2	时序逻辑电路的分析步骤和方法	223
3.6.3	计数器	226
3.6.4	寄存器	228
3.7	脉冲波形的产生	230
3.7.1	多谐振荡器	230
3.7.2	单稳态触发器	231
3.7.3	施密特触发器	232
3.8	数模和模数转换	233
3.8.1	D/A 转换器	233
3.8.2	A/D 转换器	234
3.8.3	采样保持器的工作原理	235
	数字电子技术复习题	236

数字电子技术复习题答案及提示	240
第4章 电气工程基础	242
4.1 电力系统基本知识	242
4.1.1 电力系统运行特点和基本要求	242
4.1.2 电能质量的各项指标	243
4.1.3 电力系统接线方式及特点	244
4.1.4 电网额定电压与发电机、变压器等元件的额定电压	245
4.1.5 电力系统中性点运行方式及对应的电压等级	246
4.2 电力线路、变压器的参数与等值电路	247
4.2.1 输电线路参数所表征的物理意义及输电线路的等值电路	247
4.2.2 应用普通双绕组、三绕组变压器空载与短路试验数据计算 变压器参数及等值电路	251
4.2.3 电网等值电路中有名值和标么值参数计算	254
4.3 简单电网的潮流计算	256
4.3.1 电压降落、电压损耗、功率损耗的定义	256
4.3.2 已知不同点的电压和功率情况下的潮流简单计算方法	259
4.3.3 输电线路中有功功率、无功功率的流向与功角、电压幅值的关系	263
4.3.4 输电线路的空载与负载运行特性	263
4.4 无功功率平衡和电压调整	264
4.4.1 无功功率平衡概念及无功功率平衡的基本要求	264
4.4.2 系统中各无功电源的调节特性	265
4.4.3 利用电容器进行补偿调压的原理与方法	265
4.4.4 变压器分接头进行调压时分接头的选择计算	266
4.5 短路电流计算	270
4.5.1 实用短路电流计算的近似条件	270
4.5.2 简单系统三相短路电流的实用计算方法	270
4.5.3 短路容量的概念	272
4.5.4 冲击电流、最大有效值电流的定义和关系	272
4.5.5 同步发电机、变压器、单回、双回输电线路的 正、负、零序等值电路	274
4.5.6 简单电网的正、负、零序序网的制定方法	278
4.5.7 不对称短路的故障边界条件和相应的复合序网	280
4.5.8 不对称短路的电流、电压计算	282
4.5.9 正、负、零序电流、电压经过Y/Δ-11变压器后的相位变化	287
4.6 变压器	289
4.6.1 三相组式和芯式变压器	289
4.6.2 变压器额定值的含义	290
4.6.3 变压器的变比 k	291

4.6.4	变压器的基本工作原理	292
4.6.5	变压器电压调整率的定义	295
4.6.6	变压器空载合闸	295
4.6.7	变压器的效率计算及变压器有最高效率的条件	297
4.6.8	三相变压器不同联结组中的电势波形与电流波形	298
4.7	感应电动机	300
4.7.1	感应电动机的原理、种类及主要结构	300
4.7.2	感应电动机转矩、额定功率、转差率的概念及其等值电路	303
4.7.3	功率转换过程与转矩	304
4.7.4	感应电动机的三种运行状态与判断方法	305
4.7.5	感应电动机的运行特性	306
4.7.6	感应电动机的起动特性	306
4.7.7	感应电动机常用起动方法	307
4.7.8	感应电动机常用调速方法	307
4.7.9	转子电阻对感应电动机转动性能的影响	308
4.7.10	电动机的发热过程、绝缘系统、允许温升及其确定 冷却方式等	309
4.7.11	感应电动机拖动形式及各自的特点	311
4.7.12	异步电动机的维护	311
4.8	同步电动机	312
4.8.1	同步电动机原理和结构	312
4.8.2	同步发电机励磁方式简介	314
4.8.3	同步电动机电枢反应的概念	315
4.8.4	电枢反应电抗和同步电抗	317
4.8.5	同步发电机并入电网条件与方法	318
4.8.6	同步发电机有功功率及无功功率的调节方法	320
4.8.7	同步电动机时运行特性	322
4.8.8	同步发电机的绝缘、温升要求、冷却方式	324
4.9	过电压及绝缘配合	325
4.9.1	电力系统过电压的种类	325
4.9.2	雷电过电压特性	326
4.9.3	接地和接地电阻、接触电压和跨步电压的基本概念	327
4.9.4	氧化锌避雷器的基本特性	328
4.9.5	避雷针、避雷线保护范围的确定	328
4.10	断路器	334
4.10.1	断路器的作用、功能、分类	334
4.10.2	断路器的主要性能与参数的含义	335
4.10.3	断路器常用的熄弧方法	337
4.10.4	断路器的运行和维护工作要点	337
4.11	互感器	340

4.11.1	电流、电压互感器的工作原理、接线形式及负载要求·····	340
4.11.2	电流、电压互感器在电网中的配置原则及接线形式·····	343
4.11.3	各种形式互感器的构造及性能特点·····	344
4.12	直流电动机·····	346
4.12.1	直流电动机的基本原理与结构·····	346
4.12.2	直流电动机的励磁方式与分类·····	347
4.12.3	直流电动机感应电动势和电磁转矩的计算·····	350
4.12.4	直流电动机的运行原理·····	352
4.12.5	直流电动机的机械特性·····	355
4.12.6	直流电动机的起动、调速及制动方法·····	356
4.13	电气主接线·····	360
4.13.1	电气主接线的主要形式及对电气主接线的基本要求·····	360
4.13.2	各种主接线中主要电气设备的作用和配置原则·····	365
4.13.3	各种电压等级电气主接线限制短路电流的方法·····	366
4.14	电气设备选择·····	367
4.14.1	电气设备选择和校验的基本原则和方法·····	367
4.14.2	硬母线的选择和校验的原则和方法·····	371
	电气工程基础复习题·····	375
	电气工程基础复习题答案及提示·····	386
	参考文献·····	391

第 1 章 电路与电磁场

1.1 电路的基本概念和基本定律

电路是电流的通路，它是为了某种需要由某些电气设备或元件按一定方式组合起来的。电路包括电源、负载和中间环节三个组成部分。

电路的作用是实现电能的传输和转换；实现电信号的传输、处理和存储。

不论是电能的传输和转换，还是信号的传递和处理，其中电源或信号源的电压或电流称为激励，它推动电路工作；由激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。

电路一词有两种含义：① 实际电路；② 电路模型。

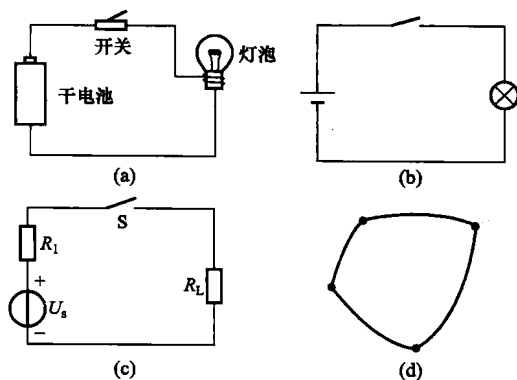


图 1-1 手电筒电路

(a) 实际电路；(b) 电路原理图；(c) 电路模型；(d) 拓扑结构图

1.1.1 电路模型

电路模型是实际电路抽象而成，它近似地反映实际电路的电气特性。电路模型由一些理想电路元件用理想导线连接而成。用不同特性的电路元件按照不同的方式连接就构成不同特性的电路。

1. 电阻元件

(1) 一个二端元件，如果在任何时刻，其端电压与端电流之间的约束关系（VCR）可用代数方程来表示，则称此二端元件为二端电阻元件，简称电阻。

(2) 线性时不变电阻的电压电流关系由欧姆定律描述，其数学表达式为

$$u = Ri$$

(3) 图 1-2 所示为电阻元件的电路模型，图 1-2 中的 u 、 i 参考方向为关联正向。

当 u 、 i 为关联正向时，若 $u = Ri$ ，且 $R > 0$ ，称 R 为“正电阻”，若 $R < 0$ 则称为“负电

阻”。工程实际中可用有源电子器件实现负电阻。

(4) 线性正电阻总是消耗功率:

$$P = ui = (Ri)i = Ri^2 = (u^2/R) \geq 0$$

正电阻的功率 $P > 0$, 即为耗能元件, 而负电阻的 $P < 0$, 即它在电路中是向外输送功率的。

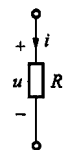


图 1-2 电阻元件

(5) 当电阻元件的阻值 $R = 0$ 时可用一根短路线替代; 当 $R = \infty$ 时其等价于“开路”, 可用“断路”表示。

2. 独立电源

(1) 电压源

1) 独立电压源在 $u-i$ 平面上的特性曲线为一条平行于 i 轴的直线, 这表明电压源的端电压与通过它的电流的大小无关。

2) 按电阻元件的定义, 电压源实质上是一非线性电阻元件 (电压源电路特性见表 1-1)。

3) 电压源是能向外部输出随时间按某种规律变化的电压的元件, 它是有源元件。

4) 电路中, 电压源可以是输出功率 (即产生功率), 也可能是吸收功率 (此时它的表现和电阻一样, 在电路中消耗能量)。不要误以为电压源在电路总是能提供能量。

5) 电压源的电路符号中, 务必给出其端电压的参考极性。

(2) 电流源

1) 电流源也是被定义在 $u-i$ 平面上的一种二端元件, 它的特性曲线是一条平行于 u 轴的直线, 即它输出的电流与其两端电压的大小无关。

2) 电流源也可被视为一种非线性电阻元件且是有源的 (电流源电路特性见表 1-1)。

3) 电路中, 电流源可能向外部提供功率, 也可能是消耗功率, 这取决于其两端电压的真实极性。

表 1-1 归纳了各种独立源的主要特性。

表 1-1 独立源及其特性总结

类型	电 压 源		电 流 源	
	电压源	理想电压源	电流源	理想电流源
性质				
电路符号				
内 阻	$R_0 = \frac{E - U}{I}$	$R_0 = 0$	$R_0 = \frac{U}{I_s - I}$	$R \rightarrow \infty$
电压或电流	$U = E - R_0 I$	$U = E$	$I = I_s - \frac{u}{R_0}$	$I = I_s$
特 点	内阻小, 输出电压恒定		内阻大, 输出电流恒定	

3. 受控电源

(1) 受控电源是为模拟电子器件中的物理过程而提出的一种理想化的电路元件。

(2) 须注意独立电源和受控电源的区别 两者主要的不同在于独立电源的输出不受外界的影响, 而受控电源的输出则受制于其他支路的某个电量。

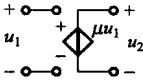
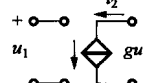
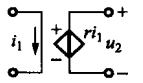
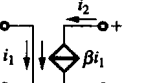
(3) 受控电源为四端元件, 其由控制支路和输出支路构成。

(4) 依控制量和输出量的不同, 受控电源有四种类型: 电压控制型电压源 (VCVS)、电压控制型电流源 (VCCS)、电流控制型电压源 (CCVS) 和电流控制型电流源 (CCCS)。四种类型受控电源电路模型见表 1-2 中。

(5) 当电路中含有受控电源时, 其分析处理方法有着许多特殊之处, 应予以注意。

表 1-2 归纳了各种受控源的主要特性。

表 1-2 受控源及其特性总结

代 号	VCVS	VCCS	CCVS	CCCS
名 称	电压控制型电压源	电压控制型电流源	电流控制型电压源	电流控制型电流源
符 号				
控制量	u_1	u_1	i_1	i_1
被控量	u_2	i_2	u_2	i_2
被控支路伏安关系 Var	$u_2 = \mu u_1$	$i_2 = g u_1$	$u_2 = r i_1$	$i_2 = \beta i_1$

4. 电容元件

(1) 线性电容元件的电荷量 q 、电容容量 C 及端电压 u_C 之间的关系式为 $q = Cu_C$, 该式对应于 u_C 、 q 取“一致的参考方向”, 即电压极性为正的极板上带正电荷, 如图 1-3 所示。

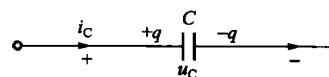


图 1-3 线性电容元件

(2) 当电压、电流取关联正向时 (见图 1-3), 电容元件的伏安关系式为

$$\begin{cases} i_C = C(du_C/dt) \\ u_C = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i_C(\xi) d\xi \end{cases}$$

(3) 电容元件的电流比例于电压的变化率, 这是电容元件与电阻元件的一个重要不同之处。称电容元件为动态元件。

(4) 在直流电路中, 通过电容的电流恒为零, 此时电容相当于“开路”, 称之为电容元件的“隔直作用”; 而在电路工作频率极高时, 电容元件两端电压近似为零, 即相当于“短路”。

(5) $u_C = u_C(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C(\xi) d\xi$, 其中 $u_C(t_0) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^{t_0} i_C(\xi) d\xi$, 该式说明, 当前时刻 t 的电容电压不仅与现时的电流相关, 而且与以前电流的作用情况有关, 即它具有记忆电流作用的本领, 故称电容元件为“记忆元件”。

(6) 当电容电流为有界函数时, 电容电压不可能发生“突变” (或跳变), 只能连续变化, 称之为电容电压的连续性, 这是电容元件一个很重要的性质。

(7) 电容元件中储藏的电场能量计算式为

$$W_C = \frac{1}{2} C u_C^2$$

(8) 由于在任意时刻 t , 均有 $W_C \geq 0$, 这表明电容元件是无源元件。同时它能存储电场

能量,但不消耗能量,故电容元件是非耗能元件,且称它为“储能元件”。

5. 电感元件

(1) 当电流和磁链的参考方向符合右手螺旋法则时,线性电感元件的磁链 Ψ_L 、电感量 L 及电感电流 i_L 之间关系式为 $\Psi_L = Li_L$ 。

(2) 当电感元件的电压、电流为正向时,伏安关系式为

$$\begin{cases} u_L = L \frac{di_L}{dt} \\ i_L = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u_L(\xi) d\xi \end{cases}$$

(3) 由电容、电感元件的伏安关系式可知, i_C 与 u_L 、 u_C 与 i_L 具有类比性,称电感、电容元件为对偶元件。

(4) 电感元件也是动态元件 在直流电路中,电感元件两端的电压为零,相当于“短路”,而当电路的工作频率极高时,电感元件近似为“开路”。

(5) 当电感元件两端的电压为有界函数时,电感电流不能跳变,称之为电感电流的连续性。

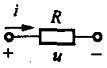
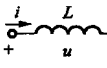
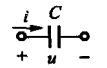
(6) 电感元件是储能元件,其储藏的磁场能量的计算式为

$$W_L = \frac{1}{2} Li_L^2$$

(7) 与电容元件相似,电感元件是无源元件,也是非耗能元件。

表 1-3 中归纳总结了电阻、电感、电容元件的特性。

表 1-3 电阻、电感、电容元件的特性

元件 性质	电 阻 R	电 感 L	电 容 C
电路符号			
参数意义	$R = \frac{u}{i}$	$L = N \frac{\Phi}{i}$	$C = \frac{q}{u}$
伏安关系 (Var)	$u = Ri$	$u = L \frac{di}{dt}$	$i = C \frac{du}{dt}$
储 能	0	$W = \frac{1}{2} Li^2$	$W = \frac{1}{2} Cu^2$

6. 耦合电感与理想变压器

(1) 耦合电感的基本概念

1) 耦合系数。当两个线圈在电路中相距较近时,各自线圈上电流的变化会通过磁场相互影响,这样的两个线圈称为耦合电感(或互感)。耦合电感的相互影响程度与线圈的结构、相互位置及周围的磁介质有关,用耦合系数 K 或互感 M 表示其大小,它们与两个线圈的电感量 L_1 、 L_2 之间的关系为

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

当 $M^2 \leq L_1 L_2$ 时, $0 \leq K \leq 1$; 当 $M = 0$ 时, $K = 0$ 两线圈互不影响; 当 $M^2 = L_1 L_2$ 时, $K = 1$ 称为耦合。

2) 同名端。耦合线圈中磁通量的相助或相消, 取决于线圈的绕向和电流的方向。为了易于辨认, 规定了一种标志, 称为同名端。

当电流从两线圈的某端子同时流入 (或流出) 时, 若两线圈产生的磁通相助, 则称此两端为互感线圈的同名端, 用 “.” 表示。反之称为异名端。

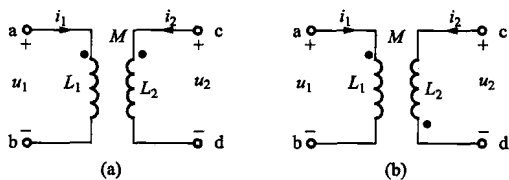


图 1-4 耦合电感模型

3) 耦合电感的伏安关系。耦合电感的模型图如图 1-4 所示, 设各电感上电压、电流参考方向关联。

① 如果电流从同名端流进 (出), 如图 1-4 (a) 所示情况, 则有

$$\begin{cases} u_1 = L_1 di_1/dt + M di_2/dt \\ u_2 = L_2 di_2/dt + M di_1/dt \end{cases}$$

② 如果电流从异名端流进 (出), 如图 1-4 (b) 所示情况, 则有

$$\begin{cases} u_1 = L_1 di_1/dt - M di_2/dt \\ u_2 = L_2 di_2/dt - M di_1/dt \end{cases}$$

(2) 去耦等效电路 当两个耦合电感有一端相连接时, 可以等效成无耦合电感的电路, 图 1-5 (a)、图 1-5 (b) 分别表示同名端相连接和异名端相连接两种情况的电路, 它们可以等效为图 1-5 (c) 所示的 T 形去耦等效电路 (同名端相连接时取上面符号, 异名端相连接时取下面符号)。在等效电路中, 消除了各电感间的耦合, 因而给问题的分析带来了方便。

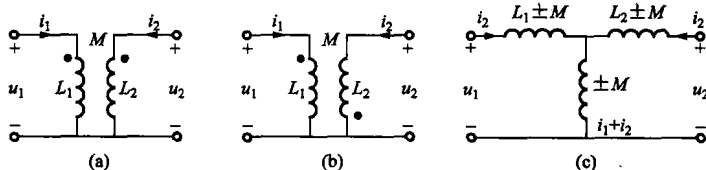


图 1-5 去耦等效电路

(3) 含互感正弦稳态电路的分析 在正弦稳态电路中, 耦合电感的电流、电压分别用相量表示, 取关联参考方向, 相量模型如图 1-6 所示。端口伏安关系为

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = j\omega L_1 \dot{I}_1 \pm j\omega M \dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = j\omega L_2 \dot{I}_2 \pm j\omega M \dot{I}_1 \end{cases}$$

若两电流同时从同名端流进, 如图 1-6 (a) 所示, 则取 “+” 号; 若从异名端流进, 如图 1-6 (b) 所示, 则取 “-” 号。对于含互感的电路, 若不去耦等效, 则常用回路法分析; 若先去耦等效, 则回路法和节点法均可使用。

(4) 理想变压器 理想变压器具有以下几个条件: 变压器本身无损耗; 耦合系数 $K = 1$;

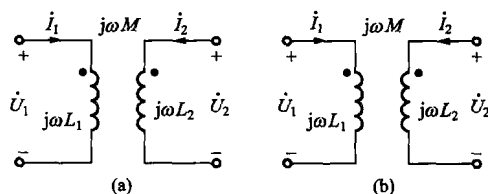


图 1-6 耦合电感相量模型

L_1 、 L_2 和 M 趋于无限大。其模型如表 1-4 中电路所示。理想变压器在时域和正弦稳态情况下，变压、变流、变阻抗关系归纳于表 1-4。

表 1-4 理想变压器在时域和正弦稳态情况下变压、变流、变阻抗关系

电路模型	时 域 模 型		正弦稳态相量模型
	(a)	(b)	(a) (b)
主要特征			
变压关系	$u_1(t) = \frac{N_1}{N_2} u_2(t) = n u_2(t)$	$u_1(t) = -\frac{N_1}{N_2} u_2(t) = -n u_2(t)$	$\dot{U}_1 = \frac{N_1}{N_2} \dot{U}_2 = n \dot{U}_2$
变流关系	$i_1(t) = -\frac{N_2}{N_1} i_2(t) = -\frac{1}{n} i_2(t)$	$i_2(t) = \frac{N_2}{N_1} i_1(t) = \frac{1}{n} i_1(t)$	$\dot{I}_1(t) = -\frac{N_2}{N_1} \dot{I}_2 = -\frac{1}{n} \dot{I}_2$
变阻抗关系	当二次绕组接纯电阻 R_L 时，从一次绕组两端看进去的等效电阻为 $R_{in} = n^2 R_L$		$Z_{in} = \frac{U_1}{I_1} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_L = n^2 Z_L$ 说明：① Z_{in} 与同名端位置无关，所以变压器上未标同名端；② 若 $Z_L = \infty$ （开路），则 $Z_{in} = \infty$ （开路）；③ 若 $Z_L = 0$ （短路），则 $Z_{in} = 0$ （短路）

理想变压器是电压、电流的线性变换器。在理想情况下，无论对交流还是直流，都有变压、变流作用。在任意时刻，理想变压器吸收的瞬时功率为

$$\begin{aligned}
 p(t) &= u_1(t) i_1(t) + u_2(t) i_2(t) \\
 &= [\pm n u_2(t)] \left[\pm \frac{1}{n} i_2(t) \right] + u_2(t) i_2(t) = 0
 \end{aligned}$$

上式表明：在任一时刻，一次绕组和二次绕组吸收的功率之和恒等于零。理想变压器既不消耗能量，也不储存能量，只起着能量传输的作用，这是它和耦合电感的本质区别。

理想变压器的正弦相量模型如表 1-4 所示。可以利用理想变压器的变阻抗特性，通过改变匝数 N_1 和 N_2 比来改变输入阻抗，使负载获得最大功率。当然，也可以将接在一次绕组两端的阻抗变换到二次绕组，通过戴维宁等效电路求解问题。