

高等学校教材

电工基础

上册

邱关源主编

高等教育出版社

高等学校教材



电 工 基 础
上 册

邱 关 源 主 编

高等教育出版社



本书系按照线性电路、非线性电路、电磁场的体系编写的，分上、下两册出版。上册包括第一、二篇，即线性电路和非线性电路，下册为第三篇，即电磁场。上册内容包括：直流电路的基本概念；网络方程；网络定理；正弦电流电路的基本概念；符号法；电路中的共振；互感和变压器；四端网络；圆图；三相电路；非正弦周期电流的电路；线性电路中的过渡过程（经典法）；线性电路中的过渡过程（变换法）；稳定状态下的均匀传输线；均匀传输线中的过渡过程；网络综合；矩阵的基本知识；网络拓扑和网络代数；非线性电路概论；含有非线性电阻的电路；磁路和铁心线圈；含有非线性电感的电路和含有非线性电容的电路；非线性电路中的过渡过程；相平面。

本书由北京航空学院翟渭同志审阅，并经高等工业学校电工课程教材编审委员会电工学及电工基础课程教材编审小组复审通过。

本书可作为高等工业学校电机、电力、无线电类专业电工基础课程的教学参考书。也可供一般电气和无线电工程技术人员参考。

电 工 基 础

上 册

邱 关 源 主 编

北京市书刊出版业营业许可证出字第119号

高等教育出版社出版(北京景山东街)

人 民 教 育 印 刷 厂 印 装

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

统一书号 K15010·1203 开本 850×1168 1/32 印张 19 9/16

字数 543,000 印数 0,001—6,700 定价(7)¥ 2.20

1965年12月第1版 1965年12月北京第1次印刷

序 言

电工基础是电机、电力和无线电类各专业的一門技术基础課程。学好它，对所培养的从事該专业的技术干部的质量将有很大的影响。同时，电工理論又在不断发展，使我們感到有編一本电工基础課程教学参考书的必要。因此，就以近年来我們在西安交通大学电工基础課程的教学实践为基础，大胆地着手編写了本书。

本书在取材方面，除了1962年5月高等工业学校教学工作會議訂的《电工基础教学大綱(試行草案)》(240学时)所要求的內容外，还增添了某些內容。这些增添部分，有的是針对某些問題作了較深入的闡述，如純电抗二端网络的頻率特性、耦合电路中的共振、复杂电路中电流或电压微分方程的阶数以及用經典法計算非正弦周期电流电路等；有的是适当反映近代电工理論的发展的內容，如书中介紹了网络綜合、网络拓扑与网络代数和相平面等。

在內容安排方面，我們尽量使教学大綱所規定的內容能自成系統，并配有一定数量的例題，以帮助讀者进一步巩固理論；而增添的部分則用小字排印。同时，所增添的內容是以正在学习电工基础課程的讀者为主要对象，且其深广度也是以这类讀者能通过自学掌握为准。此外，在編写过程中，我們也注意了“少而精”原則的貫徹。考虑到非綫性电路(包括磁路)中所发生的現象及其分析方法，都与綫性电路有較大差別，把它与綫性电路分开，独立成一部分，可能使讀者获得較清楚的概念。所以，本书是按綫性电路、非綫性电路、电磁場的体系編写的。

全书分成三篇，上册包括第一、二篇，即綫性电路和非綫性电路，下册为第三篇，即电磁場。

参加本书編写工作的有：邱关源、馮慈璋、范丽娟、盛剑霓、夏承銓、

高順泉、江慰德。上册由邱关源主編、下册由馮慈璋主編。

本书初稿承北京航空学院瞿渭同志仔細审閱，并提出宝贵的修改意見，我們謹致以衷心的謝意。书稿并經高等工业学校电工課程教材編审委员会电工学及电工基础課程教材編审小組复审通过。

限于我們的水平，书中不妥和錯誤之处恐不在少数，希望讀者予以批評指正，意見請寄西安交通大学电工原理教研室。

編 者

1965年9月

关于本书所用文字符号和图形符号的说明

本书所用文字符号的下标,除国际通用者外,其余均根据中华人民共和国科学技术委员会1964年颁布的中华人民共和国国家标准GB315-64“电工设备文字符号编制通则”所规定的原则,采用了我国汉语拼音字母。为了便于区别起见,文字符号的下标用两种字体排印,凡国际通用符号均排为斜体(max、min例外,排为正体);凡汉语拼音字母均排为小写正体。本书中凡文字符号下标用汉语拼音字母的,在首次出现时均加注说明。为了便于参考起见,兹将本书所用汉语拼音字母下标的意义列表于下。

下 标	汉 语 拼 音	汉 字	符 号 举 例	符 号 意 义
bd	boding	波頂	K_{bd}	波頂因数
bx	boxing	波形	K_{bx}	波形因数
cz	cizhi	磁滯	P_{cz}	磁滯損失功率
d	dongtai	动态	R_d	动态电阻
	duanlu	短路	I_d	短路电流
fb	fanshebo	反射波	U_{fb}	反射波电压
g	geji	割集	U_g	割集电压
	guanxing	慣性	L_g	慣性电感
j	jifa	激发	I_j	电激流
jb	jibian	畸变	K_{jb}	畸变因数
jw	jiaowan	矫頑	H_{jw}	矫頑磁力
k	kailu	开路	U_k	开路电压
kn	keni	可逆	L_{kn}	可逆电感
lj	linjie	临界	C_{lj}	临界电容
lx	lixiang	理想	D_{lx}	理想二极管
n	nei	內	Z_{nA}	A 相內阻抗
oh	ouhe	耦合	k_{oh}	耦合系数

下 标	汉 語 拼 音	汉 字	符号举例	符 号 意 义
pj	pingjun	平均	I_{pj}	电流的平均值
qr	qiran	起燃	U_{qr}	起燃电压
qz	qianzai	潜在	L_{qz}	潜在电感
r	ruduan	入端	R_r	入端电阻
rb	rushebo	入射波	U_{rb}	入射波电压
s	shengyu	剩余	B_s	剩余磁感应
w	wailai	外来	E_w	外来场强矢量
	weiyi	位移	i_w	位移电流
wg	wugong	无功	W_{wg}	无功能量
wl	woliu	涡流	P_{wl}	涡流损失功率
x	xian	线	U_x	线电压
	duanxian	端线	Z_{xA}	A 相端线阻抗
xa	xiang	相	U_{xa}	相电压
xm	ximie	熄灭	U_{xm}	熄灭电压
y	youzhi	优值	B_y	优值磁感应
yg	yougong	有功	U_{yg}	有功电压
z	fuzai	负载	R_z	负载电阻
zr	ziran	自然	P_{zr}	自然功率

本书所用的图形符号符合1964年颁布的中华人民共和国国家标准 GB 312-64 “电工系统图图形符号的规定”。

上册目录

序言	iii
关于本书所用文字符号和图形符号的说明	v
緒論	1
第一篇 綫性电路	
第一章 直流电路的基本概念	4
1-1 电路	4
1-2 电流、电压、电动势	4
1-3 理想电路元件	7
1-4 电路图、网络	11
1-5 电路的基本定律	13
1-6 电阻的串联、并联和混联	19
1-7 理想定势源、理想定流源、定势源和定流源的联接	23
1-8 定势源和定流源的等值互换	25
第二章 网络方程	29
2-1 論复杂电路的计算	29
*2-2 网络拓扑	31
2-3 支路法	35
2-4 回路电流法	36
2-5 节点电压法	42
2-6 对偶原理和对偶电路	49
2-7 靜电电路	52
*2-8 网络方程的数值算法	54
第三章 网络定理	58
3-1 叠加原理	58
3-2 互易原理	62
3-3 替代定理	65
3-4 补偿定理	67
3-5 含源二端网络定理	70
3-6 最大功率传递定理	74
3-7 星形网络与三角形网络的等值互换	77
第四章 正弦电流电路的基本概念	83

4-1 变动的电流和电压	83
4-2 交流电的获得	88
4-3 周期电流、电压和电动势的有效值和平均值	90
4-4 交流电路中的理想电路元件	93
4-5 电阻中的正弦电流	98
4-6 电感中的正弦电流	100
4-7 电容中的正弦电流	102
4-8 电阻、电感和电容的串联	105
4-9 电阻、电感和电容的并联	107
4-10 正弦电流电路中的功率	109
第五章 符号法	114
5-1 符号法的理论	114
5-2 应用符号法计算 R 、 L 、 C 串联电路·复阻抗	120
5-3 应用符号法计算 R 、 L 、 C 并联电路·复导纳	126
5-4 复阻抗与复导纳的等值互换	129
5-5 实际电路元件的等值参数	132
5-6 复功率	133
5-7 基尔霍夫定律的符号形式	135
5-8 正弦电流电路的计算	137
5-9 最大功率传递的条件	142
5-10 功率因数的提高	143
*5-11 功率平衡·朗日万定理	146
第六章 电路中的共振	147
6-1 共振现象	147
6-2 电压共振	147
6-3 电流共振	155
*6-4 纯电抗二端网络的频率特性	159
第七章 互感和变压器	163
7-1 具有互感电路的计算	163
7-2 感应耦合的等值变换	170
7-3 空心变压器	173
7-4 理想变压器	176
*7-5 耦合电路中的共振现象	179
第八章 四端网路	182
8-1 概述	182
8-2 无源四端网络的方程和参数	183
8-3 无源四端网络的等值电路	191
8-4 对称无源四端网络的特性阻抗与传播系数	194

8-5 对称均匀链形网络	197
8-6 含源四端网络	199
*第九章 圆图	201
9-1 概述	201
9-2 圆图中的线性变换	202
9-3 简单电路的圆图示例	206
9-4 圆图中的比例尺	208
9-5 复杂电路的圆图	210
第十章 三相电路	211
10-1 三相电动势、三相制	211
10-2 星形联接和三角形联接	214
10-3 线电压和相电压、线电流和相电流的关系	217
10-4 对称三相电路	221
10-5 不对称三相电路	230
10-6 三相电路的功率	233
10-7 三相制与单相制的比较	239
*10-8 不对称三相相量的对称分量	240
*10-9 三相电压和三相电流的对称分量的若干性质	242
*10-10 应用对称分量法解不对称三相电路	243
第十一章 非正弦周期电流的电路	247
11-1 概述	247
11-2 周期函数分解为傅里叶级数	248
11-3 非正弦周期量的有效值和平均值	257
11-4 非正弦周期电流电路中的功率	259
11-5 非正弦周期电流电路的计算法	261
11-6 电路参数对电压和电流波形的影响	265
11-7 滤波器的概念	266
11-8 对称三相电路中的高次谐波	268
第十二章 线性电路中的过渡过程(经典法)	279
12-1 过渡现象	279
12-2 电路初始状态的确定	281
12-3 经典法概述	285
12-4 电阻、电感串联电路中的过渡过程	287
12-5 电阻、电容串联电路中的过渡过程	299
12-6 电阻、电感、电容串联电路中的过渡过程	307
12-7 复杂电路中的过渡过程	318
*12-8 复杂电路中电流或电压微分方程的阶数	324
*12-9 运用经典法计算非正弦周期电流电路	326

第十三章 线性电路中的过渡过程(变换法)	329
13-1 概述	329
13-2 非周期函数的谐波分析	330
13-3 应用傅里叶变换计算过渡过程	334
13-4 函数的拉普拉斯变换	335
13-5 单位函数和指数函数的象函数	337
13-6 拉普拉斯变换的基本性质	338
13-7 拉普拉斯反变换的计算	344
13-8 算子形式的电路定律	350
13-9 应用拉普拉斯变换计算过渡过程	353
13-10 初始条件化为零值的方法	357
*13-11 运算法中的初始条件	360
13-12 应用叠加公式计算过渡过程	362
第十四章 稳定状态下的均匀传输线	367
14-1 电路参数的分布性和分布参数的电路	367
14-2 均匀传输线的微分方程	369
14-3 均匀传输线的稳态解答	372
14-4 均匀传输线的副参数	377
14-5 均匀传输线中的行波	380
14-6 空载线和短路线	387
14-7 终端接负载时的均匀传输线	391
14-8 无畸变线	394
14-9 无损失线	397
14-10 均匀传输线的等值电路	404
第十五章 均匀传输线中的过渡过程	408
15-1 概述	408
15-2 无损失均匀线方程的通解	409
15-3 无损失线的充电过程	415
15-4 波的反射和折射	421
15-5 波的多次反射	427
*15-6 换路时波的发生	433
15-7 延时线的概念	435
*第十六章 网络综合	436
16-1 网络综合的概念	436
16-2 网络综合的举例	437
16-3 网络函数的性质和实现条件的概述	442
*第十七章 矩阵的基本知识及其在电路理论中的应用	447
17-1 矩阵的基本定义	447

17-2 矩陣的运算.....	449
17-3 綫性代数方程組与矩陣.....	451
17-4 矩陣的应用.....	453
17-5 四端网络方程的矩陣表示.....	457
第十八章 网络拓扑和网络代数	459
18-1 概述.....	459
18-2 关联矩陣.....	460
18-3 支路法的矩陣形式.....	462
18-4 节点法的矩陣形式.....	464
18-5 回路法的矩陣形式.....	469
18-6 割集、割集矩陣和割集法.....	470

第二篇 非綫性电路

第十九章 非綫性电路概論	475
19-1 概述.....	475
19-2 非綫性电阻.....	477
19-3 非綫性电感.....	482
19-4 非綫性电容.....	486
第二十章 具有非綫性电阻的电路	490
20-1 非綫性直流电路的图解法.....	490
20-2 非綫性直流电路的試探法.....	496
20-3 非綫性直流电路的图解解析法.....	498
20-4 非綫性直流电路的解析法——有条件綫性化法.....	500
20-5 具有慣性非綫性电阻的交流电路.....	503
20-6 具有无慣性非綫性电阻的交流电路.....	507
第二十一章 磁路和鉄心綫圈	514
21-1 磁場、鉄磁物质.....	514
21-2 磁路和磁路定律.....	518
21-3 恒定磁通磁路的計算.....	522
21-4 具有永久鉄磁的簡單磁路.....	530
21-5 交变磁通下的鉄心損失.....	534
21-6 交变磁通磁路中电流和磁通的波形.....	539
21-7 交变磁通磁路的計算.....	543
21-8 鉄心綫圈.....	547
第二十二章 含有非綫性电感的电路和含有非綫性电容的电路	551
22-1 鉄磁共振.....	551
22-2 带有控制繞組的鉄心綫圈.....	561
22-3 磁放大器.....	567

*22-4 铁磁频率二倍器.....	570
*22-5 铁磁频率三倍器.....	571
22-6 含有非线性电容的电路.....	573
第二十三章 非线性电路中的过渡过程	576
23-1 非线性电路中过渡过程的一般特性和计算方法.....	576
23-2 有条件的线性化方法.....	577
23-3 分段线性化方法或折线法.....	581
*23-4 解析表达式.....	585
23-5 图解积分法.....	586
23-6 数值算法——逐段算法.....	587
23-7 非线性电路平衡状态的稳定性.....	589
23-8 张弛振荡.....	593
*第二十四章 相平面	597
24-1 研究非线性电路的相平面方法.....	597
24-2 用相平面方法研究简单电路的过渡过程.....	599
24-3 奇点和极限环的概念.....	602
24-4 等倾线法.....	604
24-5 李耶拿法.....	611

緒 論

1. 現在,对于国民經济的很多部門,無論是工业、农业、交通運輸、通訊等方面,电能都起着十分重要的作用。

生产需要动力来源。如何将儲存在天然資源(如煤、水力資源等)的能量轉換成可以直接利用的能量形式,如机械能、热能、光能等,是生产技术上的一个重大問題。由于有天然資源的地方与需要动力的企业所在处不可能都在一起,因此又发生另一个重大問題,即如何傳輸能量的問題。在上述两方面,电能比其他形式的能量来得优越。

随着工农业的高度发展,生产中自动化的要求越来越高;对交通運輸和通信技术的要求也日益提高,希望更为准确迅速。在这些方面,电能也都能很好地滿足。

随着科学技术及生产的发展,人民的生活水平也逐渐得到提高,人民对物质生活及精神生活的需要都在上升;而电能的应用也正为人民生活水平的提高創造了有利的条件。

总起来說,由于电能与其他形态的能量間的相互轉換比較方便;由于电能生产的成本較低,电能易于远距离傳輸且傳輸的損失也較小,較为經濟;也由于电能在使用时控制便利,易于操纵;因此,电能就在各方面,不但对生产而且对人民的生活,起着十分重要的作用。

2. 电气化和国家的社会主义工业化是有机地相联系着的。按照社会发展的經濟規律,必須有与生产力相适应的生产关系,才能使前者順利地发展。因此,只有在先进的社会主义制度下,生产力才有宽广的发展前途。我国解放后在电力和电工建設方面的高速度发展,就是很好的証明。

当前我国人民正在中国共产党和毛主席的英明领导下,繼續发揚

自力更生、奋发图强的英雄气概，为争取在不太长的历史时期内把我国建设成为一个具有现代农业、现代工业、现代国防和现代科学技术的伟大强盛的社会主义国家而奋斗。很明显，电气事业对于完成这一光荣而艰巨的任务，具有十分重要的意义。

3. 随着生产技术的发展，生产部门的分工也日益精细，这就要求高等工业学校的专业设置能与生产部门相配合。现在我国各高等工业学校设置了不少与“电”有关的专业。这些专业之间可能差别很大，但它们要求学生必须掌握的有关电的最基本规律，则是一样的。这就是在与电有关的各专业的教学计划中都列有电工基础这门课程的原因。

电工基础正式形成一门独立的课程，约在上世纪末到本世纪初这段时期内。

电工基础这门课程中所包括的理论，是与电工技术中所应用到的基本电磁现象有关，而且随着应用范围的扩大而得到发展的。例如直流电路理论的发展，是由于在电解、电力牵引、有线通信以及其他设备中广泛应用直流电的结果。由于交流电应用范围的扩大，促使交流电路理论的日益完善。由于三相电流的广泛应用，为建立三相电路的理论 and 对称分量法提供了条件。无线电技术的改进，巨大电力系统的建立，大电机、大变压器制造工业的发展，推动了电磁场的计算以及对电磁场研究方法的改进和探索。理论的发展，过去是，今后也必然是沿着这样的道路。

4. 电工基础是一门技术基础课程。它是在普通物理学，特别是其中的电磁学部分与高等数学的基础上开设的，因此，是基础课程过渡到有关电工专业课程间的桥梁。它的任务是为学习专业课程准备必要的电工理论基础。更具体地说，是研究电工设备中所发生的共同电磁现象及电磁过程，掌握其物理概念，学会对这些现象及过程的基本分析、计算与实验的方法。

电工基础的内容，一般包括电路与电磁场两大部分。所谓电路间

題,是指那些可以用電流、電壓或磁通、磁通勢等積分量來描述的過程的計算或研究的問題。如果電路元件的特性與其中所發生過程的強度無關,這種電路我們稱為綫性電路。如果電路元件的特性與其中所發生的過程的強度有關,這種電路就被稱為非綫性電路。有很多電工問題不能用積分量而只能用各點的場量(如電場強度、磁感應強度等)來描述。這類問題不能用電路理論來解決,而必須用電磁場理論才能解決。

本書即按綫性電路、非綫性電路和電磁場的次序,分成三篇。上冊包括前兩篇,討論電路理論和計算方法;下冊包括第三篇,研究電磁場理論及其分析方法。

第一篇 线性电路

第一章 直流电路的基本概念

1-1 电路

电路是由电工设备组成的总体，它提供了电流通过的途径。在一般情况下，随着电流的通过，电路中进行着从其他形式的能量转换成电能，电能的传输和分配，以及把电能转换成所需要的其他形式能量的过程。

能将其他形式能量转换成电能的设备称为电源。发电机、蓄电池和光电池等都是电源，它们分别把机械能、化学能和光能等转换成电能。

能将电能转换成所需要的其他形式能量的设备称为受电器，或称为负载。电动机、电灯和加热器等都是负载，它们分别将电能转换成所需要的机械能、光能和热能等。

电源和负载用导线联接起来，便能实现电能的传输和分配。当然，在导线中不可避免有电能转换成热能的过程，也就是导线将消耗电能。

电源、负载和导线是构成电路的元件。

1-2 电流、电压、电动势

1. 电路的工作状态是由电路中的电流和电压来定量地确定的。电流和电压是电路的两个重要物理量。

电荷有秩序的运动便形成电流。在金属和电解液等导电媒质中，由于电场的作用，金属中的自由电子和电解液中的正、负离子作有秩序