

—— 高等学校教材 ——

电 工 学

蔣 德 川 主 編

高 等 教 育 出 版 社

高等学校教材



电 工 学

蔣 德 川 主 編

高等教育出版社

本书是根据1962年5月高等工业学校教学工作會議审訂的高等工业学校本科五年制化工、輕工业类各专业适用的《电工学教学大綱(試行草案)》編写的。

全书共分四篇。第一篇讲电路和磁路,包括直流电路、交流电路、磁路及电工測量。第二篇讲电机,包括直流电机、变压器、异步电机、同步电机、电动机的选择和维护、电动机的控制。第三篇讲工业电子技术,包括整流器、放大器、振荡器及电子仪器。第四篇讲供电,包括工业企业供电和安全用电。

本书是大連工学院电工学教研室編写的,蔣德川同志担任主編工作。

本书是由华东紡織工学院曹凤山同志审閱的,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。

本书可作为高等工业学校本科五年制化工、輕工业类各专业电工学課程的試用教科书,也可供有关工程技术人员参考。

电 工 学

蔣 德 川 主 編

北京市書刊出版業營業許可証出字第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 經 售

統一書号 K15010·1165 开本 850×1168 1/32 印张 14 11/16

字数 358,000 印数 0,001—8,000 定价(7) 1.60

1965年6月第1版

1965年6月北京第1次印刷

序 言

本书是根据 1962 年 5 月高等工业学校教学工作會議審訂的高等工业学校本科五年制化工、輕工业类各专业适用的《电工学教学大綱(試行草案)》編写的。

为了貫徹“少而精”的原則，編者在本书內容方面作了一些“削枝强干”的嘗試。第一篇——电路和磁路，注意到和物理学紧密銜接而不过多重复。电路部分着重于組成元件，基本联接方式，电阻、电感、电容这三个参数的作用和基尔霍夫定律的討論。磁路以闡述基本概念为主，也注意直流磁路和交流磁路的区别，并将有关交流铁心綫圈电路的內容并入交流磁路內，作为它的励磁电路的問題来处理。簡單磁路的計算問題只要应用全电流定律就能解决，因此对磁路的基尔霍夫定律未作介紹。非电量的电測法只以測量溫度为例，論述了参数式变换器、发电式变换器、桥式測量电路和电位計式測量电路，其他形式的变换器則未一一罗列。第二篇——电机，对于各种最常用的电机，特别是电动机，闡述較詳。直流电机的环形电樞繞組、并励发电机超过临界負載后的外特性、变压器和同步发电机在电容性負載下的外特性等，由于实用意义不大，书中均未列入。第三篇——工业电子技术，整流器以全波整流电路为重点，半导体整流元件只着重介紹鍺、硅、硒等整流元件。放大器以三极管的单管放大电路为中心，多极管討論了束射四极管和五极管，一般的四极管只作为过渡內容略加介紹。第四篇——供电，以車間配电、導綫截面与熔断器的選擇作为基本內容。

书中加有“*”号的章节，教师可根据学时多少和专业需要等具体情况予以取舍。

全书配有一定数量的例題。各章末尾，均附提要、問題和习題。提

要可供学生复习时参考;問題用来檢驗能否灵活运用基本概念,一般不是靠死記书中内容所能回答的;习题則为訓練計算能力所必需。

书稿經华东紡織工学院曹凤山先生詳加审閱,并承华东紡織工学院电工教研室洪钟威先生、陈长庆先生、秦家浩先生,华东化工学院張大恆先生,上海交通大学林海明先生、史淦森先生等多方协作,提出了許多宝貴的意見,謹此表示衷心的感謝。

本书插图是由赵朋山等同志协助繪制的。

由于編者学識淺陋,书中难免有不当和錯誤之处,殷切希望使用本书的教师和讀者予以指正。

編者謹志

1964年国庆节于大連工学院

关于本书所用文字符号的說明

本书所用文字符号，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 年頒布的中华人民共和国国家标准 GB 315-64《电工设备文字符号編制通则》所规定的原則，采用了我国汉语拼音字母。为了便于区别起见，文字符号的下标采用两种字体排印，凡国际通用符号均排为斜体（除 max 按照习惯排为正体外）；凡汉语拼音字母均排为小写正体。茲将本书所用汉语拼音字母下标的意义列表說明于后（按在书中出現的先后次序排列）：

下标符号	意 义	汉 語 拼 音	举 例
x	导綫	daoxian	导綫电阻 R_x
b	变阻器	bianzuqi	变阻器电阻 R_b
fd	放电	fangdian	放电电阻 R_{fd}
j	机械	jixie	机械角 α_j
d	电	dian	电角 α_d
pj	平均	pingjun	平均电流 I_{pj}
yg	有功	yougong	电流的有功分量 I_{yg}
wg	无功	wugong	电流的无功分量 I_{wg}
x	綫	xian	綫电压 U_x
xa	相	xiang	相电压 U_{xa}
l	漏	lou	漏磁通 Φ_l
cb	测量仪表	celiang yibiao	测量仪表的讀数 A_{cb}
fl	分流	tenliu	分流电阻 R_{fl}
by	倍压	beiyia	倍压电阻 R_{by}
s	电樞	dianshu	电樞繞阻的电阻 r_s
sf	电樞反应	dianshu fanying	电樞反应电动势 e_{sf}
f	附加	fujia	附加电阻 R_f
h	换向极	huanxiangji	换向极电动势 e_h
l	励磁	lici	励磁电流 I_l
z	負載	fuzai	負載电阻 R_z
z	制动	zhidong	制动轉矩 M_z
q	起动	qidong	起动电流 I_q

續前表

下标符号	意 义	汉 語 排 音	举 例
e	額定	eding	額定电流 I_e
cl	串勵	chuannli	串勵电阻 R_{cl}
cz	磁滯	cizhi	磁滯損失 P_{cz}
wl	渦流	woliu	渦流損失 P_{wl}
c	槽	cao	槽数 N_c
q	繞圈(繞組)	xianquan(raozu)	繞組系数 k_q
n	內	nei	內功率 P_n
lj	临界	linjie	临界轉差率 s_{lj}
k	控制	kongzhi	控制电压 U_k
t	同步	tongbu	同步电抗 X_t
wd	穩定	wending	穩定溫升 τ_{wd}
rx	容許	rongxu	容許溫升 τ_{rx}
g	工作	gongzuo	工作時間 t_g
xh	循环	xunhuan	循环時間 t_{xh}
d	电动机	diandongji	电动机效率 η_d
f	发电机	fadianji	发电机效率 η_f
b	泵	beng	泵的 efficiency η_b
c	傳动机构	chuandong jigou	傳动机构效率 η_c
g	鼓風机	gufengji	鼓風机效率 η_g
d	短时	duanshi	短时功率 P_d
r	发热	fare	发热过载系数 α_r
sj	实际	shiji	实际負載持續率 ξ_{sj}
bz	标准	biaozhun	标准負載持續率 ξ_{bz}
dx	等效	dengxiao	等效功率 P_{dx}
f	反向	fanxiang	反向电压 U_f
y	电源	dianyuan	电源变压器 B_y
qr	起燃	qiran	起燃电压 U_{qr}
r	輸入	shuru	輸入变压器 B_r
c	輸出	shuchu	輸出变压器 B_c
gy	供应	gongying	供应功率 P_{gy}
x	需要	xuyao	需要系数 k_x
sb	設備	shebei	設備容量 P_{sb}
cr	长期容許	changqi rongxu	长期容許电流 I_{cr}
rd	熔断器	rongduanqi	熔断器額定电流 I_{rde}

注：① 下标字母的选用，一般是取具有主要表征意义的一个字的第一个拼音字母。例如：控制(kong zhi)用k，負載(fu zai)用z。

② 为了避免下标字母的过多重复，有些下标增注了具有次要表征意义的汉字的第一个拼音字母。例如：放电(fang dian)用fd，临界(lin jie)用lj。

③ 在个别情况下，还增注具有主要表征意义的一字中的第一个或第二个韵母。例如：相(xiang)用xa。

目 录

序言	iii
关于本书所用文字符号的说明	v
緒論	1

第一篇 电路和磁路

引言	6
第一章 直流电路	7
1-1. 电路的元件和作用	7
1-2. 电阻	11
1-3. 常用的导电材料和絕緣材料	13
1-4. 电路的基本联接方式	17
1-5. 基尔霍夫定律和它的应用	21
*1-6. 叠加原理	27
1-7. 电感	29
1-8. 有感电路中电流的增长和衰減	34
1-9. 电容	39
1-10. 电容器的充电和放电	40
提要	44
問題	44
习题	46
第二章 交流电路	48
2-1. 交流电的概念及其应用	48
2-2. 正弦电动势的产生	48
2-3. 交流电的有效值	53
2-4. 矢量表示法	56
2-5. 单一参数的交流电路	60
2-6. 串联交流电路	70
2-7. 交流电路的功率	75
2-8. 并联交流电路	81
2-9. 功率因数的提高	85
*2-10. 复数表示法	88
*2-11. 非正弦周期电流	94
提要	96

問題	98
习题	99
第三章 三相交流电路	102
3-1. 多相制	102
3-2. 三相电动势的产生	102
3-3. 星形接法	105
3-4. 三角形接法	109
3-5. 三相电路的功率	112
3-6. 三相电路的计算	114
提要	119
問題	119
习题	120
第四章 磁路	122
4-1. 磁场和磁路	122
4-2. 铁磁物质的磁性能和常用的导磁材料	125
4-3. 磁路的欧姆定律	130
4-4. 直流励磁的磁路	131
4-5. 交流励磁的磁路	135
*4-6. 电磁铁	142
提要	143
問題	144
习题	145
第五章 电工测量	147
5-1. 电工仪表的分类和基本构造	147
5-2. 电工仪表的作用原理	152
5-3. 电流和电压的测量	156
5-4. 电阻的测量	159
5-5. 万用电表	163
5-6. 电功率的测量	164
*5-7. 电能的测量	169
5-8. 非电量的电测法	170
提要	174
問題	175
习题	175

第二篇 电机

引言	177
----	-----

第六章 直流电机	178
6-1. 直流电机的作用原理	178
6-2. 直流电机的构造	181
6-3. 直流电机的电枢绕组	184
6-4. 直流电机的电动势和电磁转矩	187
6-5. 电枢反应	190
6-6. 换向	192
6-7. 直流电机按励磁方法的分类	195
6-8. 直流发电机	196
6-9. 直流电动机	204
*6-10. 交磁放大机	214
6-11. 直流电机的损失和效率	217
6-12. 国产的直流电机	218
提要	219
问题	220
习题	221
第七章 变压器	223
7-1. 变压器的原理和构造	223
7-2. 空载时的变压器	226
7-3. 负载时的变压器	228
7-4. 变压器的损失和效率	232
7-5. 三相变压器	234
7-6. 自耦变压器	235
7-7. 仪用互感器	237
7-8. 国产的变压器	239
提要	240
问题	241
习题	242
第八章 异步电机	244
8-1. 异步电动机的作用原理	244
8-2. 异步电机的构造	248
8-3. 三相异步电动机的电路分析	251
8-4. 异步电动机的功率关系	259
8-5. 三相异步电动机的转矩和机械特性	261
8-6. 三相异步电动机的起动	266
8-7. 三相异步电动机的调速	270
8-8. 三相异步电动机的反转	273

8-9. 单相异步电动机	273
*8-10. 交流伺服电动机	276
8-11. 国产的异步电动机	278
提要	280
问题	281
习题	282
第九章 同步电机	284
9-1. 同步电机的用途和构造	284
9-2. 三相同步发电机	285
9-3. 三相同步电动机	289
9-4. 同步电动机的起动	295
9-5. 同步电机的损失和效率	296
9-6. 国产的同步电机	297
提要	298
问题	298
第十章 电动机的选择与维护	300
10-1. 选择电动机的基本原则	300
10-2. 电机的发热与冷却	305
10-3. 电动机运转状态的分类	307
10-4. 连续运转时电动机容量的选择	309
10-5. 短时运转时电动机容量的选择	313
10-6. 断续运转时电动机容量的选择	315
10-7. 电动机的维护	317
提要	318
问题	319
习题	320
第十一章 电动机的控制	323
11-1. 控制电器和保护电器	323
11-2. 控制电路各元件的符号	333
11-3. 鼠笼式异步电动机的控制电路	335
11-4. 直流并励电动机的控制电路	337
提要	339
问题	340

第三篇 工业电子技术

引言	341
----	-----

第十二章 整流器	343
12-1. 整流的意义和整流器的組成	343
12-2. 真空二极管	343
12-3. 半导体整流元件	347
12-4. 单相整流电路	351
12-5. 滤波器	356
12-6. 充气二极管	360
12-7. 三相整流电路	363
12-8. 水銀整流器	364
*12-9. 閘流管	367
提要	369
問題	370
习题	371
第十三章 放大器	372
13-1. 放大器的作用	372
13-2. 真空三极管	373
13-3. 放大器的基本电路	377
13-4. 电子管放大器的分类	384
13-5. 阻容耦合放大器	386
13-6. 功率放大器	388
*13-7. 真反饋放大器	392
*13-8. 直流放大器	393
13-9. 多极管	395
*13-10. 半导体管放大器	398
13-11. 典型的放大器电路	400
13-12. 国产的电子管	401
提要	404
問題	404
习题	406
第十四章 振荡器	408
14-1. 振荡器的类别和应用	408
14-2. LC 正弦波振荡器	408
*14-3. RC 正弦波振荡器	414
14-4. 張弛振荡器	416
提要	417
問題	417
第十五章 电子仪器	419

15-1. 光电元件和它們的应用	419
15-2. 电子管电压表	422
15-3. 电子示波器	425
提要	429
問題	430

第四篇 供电

引言	431
第十六章 工业企业供电	432
16-1. 发电厂	432
16-2. 电力网	433
16-3. 工业企业变电所	435
16-4. 車間配電綫路	435
16-5. 导綫截面的选择	437
16-6. 熔断器的选择	444
16-7. 节约用电的意义和措施	448
提要	449
問題	450
习题	450
第十七章 电气技术保安	452
17-1. 安全用电	452
17-2. 电气技术的防护措施	454
17-3. 触电急救	456
提要	457
問題	457

緒 論

电工学的研究对象 电工学是研究电磁現象的自然規律在工程技术上应用的科学，具体討論电能的产生、輸送、分配和使用等問題。作为高等工业学校非电专业的一門課程來說，則將側重于闡述用电方面的基本問題。

电能对于发展生产的重大意义 电的应用范围非常广泛，無論工业、农业、交通運輸还是日常生活，几乎都离不开它。推其原因，这是由于电能具有下述許多优点的緣故。

首先是电能的轉換容易。它可以很方便地由化学能、水位能、热能、原子能等轉換而来，也可以相反地把它轉換成机械能、光能、热能等。这就使得人們能够从各种能量資源中获得电能，同时又能将它轉換成为其他形态的能量以滿足各种不同的需要。

电能的第二个优点是輸配經濟，傳送距离可以很远，因而使工业建設的布局問題能够得到合理的解决。我們可以在儲有大量动力資源的地方，例如煤矿和河川的附近兴建发电厂，而使其他工厂尽量接近原料产地；無論远近，通过輸电綫可以将电能从发电厂輸送到其他工厂。

电能的第三个优点是控制方便。在許多生产过程中，有些人力操作可用机器代替而用电来控制，使生产自动地进行。这不仅提高了劳动生产率和产品质量，而且还可以减少或減輕繁重的体力劳动。但是生产的机械化和自动化只有在电气化的条件下才能实现，因为电气化是机械化的动力基础，又是自动化的技术基础，所以生产力的高度发展是和电气化分不开的。

电工学发展簡史 电工学是一門自然科学。它和其他門类的自然科学一样，是人类生产斗争和科学实验的知識的結晶。我国是世界文

明古國之一，在與電工學有密切關係的磁學方面，早就有過卓越的貢獻。指南針、人造磁鐵、地磁偏角、磁屏蔽等都是我國首先發現的。電學方面，古代希臘人曾經發現摩擦生電的現象，我國漢朝的書籍中也有“頓牟掇芥”的記載。在漫長的封建時代里，由於得不到生產上不斷提出的新要求的促進，我國在磁學上的發現，只是在與農業有關的天文學以及與交通有關的航海術方面有所應用。歐洲人對於電學的研究也一直停滯在靜電學上。

到了十八世紀末葉，在歐洲發生了產業革命，在生產上由封建時代末期所形成的工場手工業轉變為資本主義的機器工業。資本主義初期，社會勞動生產力的增長以及原來在靜電方面的科學實驗結果促進了電工學的發展，後者的發展又反過來給提高勞動生產率 and 新的科學實驗提供了可能的條件。

1800年，伏特發明了化學電池而獲得直流電。1820年，奧斯特發現了電流的磁效應，安培發現了兩根載流導線相互之間的作用力。過去認為毫不相干的電和磁的現象彼此之間的聯繫也就被揭示了。1831年，法拉第發現了電磁感應現象。這些發現，為電機的發明奠定了基礎。

就在法拉第發現電磁感應定律的第二年，皮克西弟兄在這一規律指導下制成了第一台原始形式的直流發電機。到1873年，直流電機具備了現代形式的結構，直流電的應用也就迅速發展起來。

為了擴大用電區域和輸送距離，在應用直流電不能滿足要求的情況下，開始了設法使用交流電的嘗試。1876年，亞勃洛契可夫最先發明了應用交流電的照明裝置。1884年，霍夫金森弟兄制成了具有閉合磁路的變壓器。在1889年至1891年之間，多利沃-多勃羅沃爾斯基對三相交流電進行了一系列的研究工作，交流的優越性才逐漸顯示出來。

十九世紀後半期，電工學除了在技術上取得了上述的巨大成就以外，在理論上，麥克斯韋于1873年用數學形式闡明了電磁場的基本關係，進一步發展了法拉第的理論。1887至1889年間，赫茲成功地進行

了电磁波发生和傳播的試驗。1895年，波波夫发明了无綫电。

无綫电的发明促进了电子技术的发展。进入二十世紀，各种电子管、离子管以及半导体管相继陸續問世，这些发明不仅引起通信技术的根本变革，而且在最近的二三十年，逐漸应用到其他生产部門，进行大功率的电能变换以及生产过程的检测、控制和調整，推动电工学在理論和技术上朝着自动和遙控的方向开拓新的領域。

必須指出，在电工学发展的过程中，科学家的发明創造，都是在积累了历史上广大劳动人民的生产經驗的基础上取得的，同时，又是通过劳动人民的实践加以驗證和丰富的。

中华人民共和国建国以来电气事业的偉大成就 我国在十九世紀末叶就已开始用电。在当时那样一个半封建、半殖民地的国家里，电气事业大多数为帝国主义者所壟断，帝国主义者所关心的是如何奴役我国人民，掠夺高額利潤。发电厂的設立集中在几个大、中城市，設備落后，机器陈旧，电能只是供本地有限的工业以及中产階級以上的居民作为照明使用。电气制造工业薄弱得几乎等于沒有，一般來說，只能做修配工作和制造一些原材料依賴国外輸入的小型电机。这种情况延續了半个世紀之久，直到1949年全国解放时方才改观。

中华人民共和国成立之后，在中国共产党和毛主席的正确领导下，全国人民意气風发地进行着社会主义建設。經過了1949至1952年的三年經濟恢复时期之后，我国发展国民經济的第一个五年計劃在1957年超額完成了，第二个五年計劃所規定的絕大多数生产指标則在1959年提前三年就胜利地完成了。从电气事业的偉大成就來說：我国已經建成了許多大型的火力发电厂和水力发电厂以及高压电力网，全国的发电量差不多增加了十倍；許多大型的电气設備，例如40,000千伏安、220千伏的变压器、50,000千瓦的汽輪发电机、72,500千瓦的水輪发电机、5,350千瓦的直流电动机等均已正式生产；应用在电子技术上的各种电子管、离子管、半导体管已能大量生产，开始摆脱依靠国外进口的

局面：自制的电子计算机也已調整成功。由于电气事业在发电和制造上所取得的这些成就，使得各个工业部門和农业部門的电气化程度正在逐步提高。

总之，建国十余年来，为了改变旧中国“一穷二白”的面貌，经过全国人民的一致努力，现在已经奠定了独立的經濟基础，积累了丰富的建設經驗。全国人民在党中央和毛主席的领导下，在总路綫的光輝照耀下，将继续发揚自力更生、奋发图强、艰苦奋斗、勤儉建国的革命精神，为实现以农业为基础、以工业为主导的发展国民經濟的总方針和爭取新的胜利而奋勇前进。

課程的性质和学习的任务 电工学是高等工业学校各非电专业的一門技术基础課。它和各专业的关系十分密切。就化工类和輕工业类专业来说，主要有以下几个方面：

(1)化学工业和輕工业中常用的生产机械，例如通風机、压缩机、泵、运输带、攪拌器、紡織机、造纸机、印刷机等都需要电动机来拖动。

(2)化学工业和輕工业中某些特殊的生产过程，例如电解、电弧固定、静电除尘、静电植絨、高频加热等都要利用电来实现。

(3)化学工业和輕工业的原料和产品，有許多都要经过分析。目前有些分析方法，例如电位滴定、电导滴定、电解分析、光电比色分析、磁性分析等都是应用电工学理論和电学仪器来进行的。

(4)在化学工业和輕工业的生产过程中，一些非电量，例如温度、压力、流量、液面高度等都可以用电的方法进行測量，根据測量結果，依照工艺要求，然后进行控制和調整。

由此可见，对于将要为建設祖国的化学工业和輕工业而辛勤劳动的革命接班人来说，学好电工学显然是十分重要的。

电工学是在讀者学习了高等数学、物理学、化学和力学等基础課程之后，研究各种电气設備中所共同具有的电磁現象、所进行的电磁过程及其工程分析方法，探討构成整套电气設備的各种基本元件的作用原