

电气工人适用

电 工 学

中 册

哈尔滨工业大学电工学教研室

水利电力出版社

电气工人适用

电 工 学

中 册

哈尔滨工业大学电工学教研室

水利电力出版社

内 容 提 要

本书中册共分二十一章。主要内容有：铁磁性材料和磁路，交流励磁的铁芯线圈电路，直流电机，变压器，三相异步电动机，同步发电机，同步电动机，调相机，特殊电机，二次回路的基本概念及电工测量仪表。

本书是具有初中文化程度的发电厂、电力系统工人的专业基础理论自学参考书，也可以作为电力系统新工人的培训教材。对其它工业部门的广大电气工人也有参考价值。

电气工人适用

电 工 学

中 册

哈尔滨工业大学电工学教研室

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经销

天水新华印刷厂印刷

1978年8月北京第一版

1978年9月甘肃第一次印刷

印数 00001—34 100册 普及本每册 1.50元

书号 15143·3344

符 号 说 明

符 号	意 义	符 号	意 义
a	直流电机电枢绕组 支路对数	H_{H}	矫顽磁场强度 (矫 顽力)
B	磁感应强度 (磁通 密度)	I	交变电流的有效值
B_0	空气中的磁感应强 度	I_a	电枢导体中的电流
B_{sh}	剩磁感应强度	i	交变电流的瞬时值
C	电容	K	开关
C_0	直流电机的电动势 常数	K_{fs}	变压器的负载系数
C_M	直流电机的转矩常 数	k	变压器的变压比
D	电动机	k_z	自耦变压器的变压 比
E	交流电动势的有效 值	k_u	电压互感器的变换 倍率
e	交流电动势的瞬时 值	k_i	电流互感器的变换 倍率
F	磁动势	k_μ	磁路饱和系数
F_R	同步电机中的气隙 磁动势	L	自感系数
$f (F)$	力	l	力臂
f	交变量的频率	l	长度
H	磁场强度	l_0	气隙宽度
H_0	空气中的磁场强度	M	转矩
		N	线圈 (或绕组) 匝 数
			直流电机电枢绕组 导体数

符 号	意 义
n	转速
n_1	同步转速
P	功率 交流电路中的有功功率
ΔP	功率损失
ΔP_w	涡流损失
$\Delta P_{\text{..}}$	磁滞损失
p	交流电路中的瞬时功率
p	电机磁极对数
Q	交流电路中的无功功率
q	交流电机中每相槽数
$R(r)$	电阻
R_{el}	磁阻
R_{e0}	磁路中空气段磁阻
R_m	励磁电阻
S	视在功率 电气设备容量 面积
s	转差率
T	周期
t	时间 温度
U	直流电压 交流电压的有效值
u	交流电压的瞬时值

符 号	意 义
W	电能
X	电抗
X_m	励磁电抗
X_s	同步电抗
Z	整流器 直流电机的电枢总槽数 交流电机的定子总槽数
Z	阻抗
Z_m	励磁阻抗
α	铁内损失角
δ	气隙宽度
γ	仪表的引用误差
η	效率
λ	过载系数
μ	铁磁性材料的磁导率
μ_0	真空的磁导率(非磁性材料的磁导率)
μ_r	相对磁导率
τ	极距
Φ	磁通
$\Phi_s(\Phi)$	主磁通
ϕ	交变磁通的瞬时值
φ	功率因数角
$\cos \varphi$	功率因数
ω	角速度

符 号	意 义
ψ	变压器的内功率因数角 同步电机的内功率

符 号	意 义
θ	因数角 同步电机的功率角

下 标

符 号	意 义	举 例
DL	短路	U_{DL} 短路电压
L	励磁	I_L 励磁电流
d	纵轴 (直轴)	X_d 纵轴电抗
dc	电磁	M_d 电磁转矩
e	额定值	n_e 额定转速
fz	负载	Z_{fz} 负载阻抗
jj	机械	ΔP_{jj} 机械损耗
l	漏	Φ_l 漏磁通
lj	临界状态	n_{lj} 临界转速
p	平均值	B_p 平均磁感应强度
Q	起动	M_Q 起动转矩
q	横轴 (交轴)	I_q 横轴电流分量
s	电枢	X_s 电枢反应电抗
t_i	铁	ΔP_{t_i} 铁损
t_o	铜	ΔP_{t_o} 铜损
X	线	U_x 线电压

符 号	意 义	举 例
X_g^*	相	I_{xg} 相电流

二次回路中所用符号说明

符 号	意 义	符 号	意 义
A	按钮	BSJ	联锁继电器
QA	起动按钮	K	隔离开关
TA	停车按钮	DK	刀开关
SA	事故按钮	HK	合闸开关
ZQA	正转起动按钮	ZK	组合开关
FQA	反转起动按钮	KK	控制开关
C	接触器	M	母线
ZC	正转接触器	KM	控制母线
FC	反转接触器	SM	闪光母线
HC	中间接触器	SYM	事故音响母线
J	继电器	FM	蜂鸣器
RJ	热继电器	DL	断路器
HJ	合闸继电器	HQ	合闸线圈
TJ	跳闸继电器	TQ	跳闸线圈
LJ	电流继电器	LH	电流互感器
ZJ	中间继电器	YH	电压互感器
XJ	信号继电器	RD	熔断器
YJ	电压继电器	LD	绿灯
SJ	时间继电器	HD	红灯

* 在《电气工人适用电工学》上册(已出版的大32、小32开本)和中册1977年9月第一版第一次印刷(大32开本)的版本中,表示“相”和“线”字的下标符号定为:

X ——相, I_X ——相电流;

$X-X$ ——线, U_{X-X} ——线电压。

现根据水利电力部颁发的有关技术规程的用法,改为:

X_g ——相, I_{Xg} ——相电流;

X ——线, U_X ——线电压。

目 录

第十六章 铁磁性材料和磁路	1
16-1 铁磁性材料的磁导率	1
16-2 铁磁性材料的磁化现象	3
16-3 磁路和磁路欧姆定律	5
16-4 铁磁性材料的磁饱和现象	10
16-5 磁场强度和B-H曲线	12
16-6 磁滞现象和永久磁铁	14
16-7 简单磁路的计算	20
16-8 具有气隙的磁路	22
16-9 磁路和电路的比较	25
16-10 电磁铁	26
小结	30
习题和思考题	32
第十七章 直流电机的基本工作原理	34
17-1 直流发电机的基本工作原理	35
17-2 直流电动机的基本工作原理	40
17-3 直流电机的构造	42
17-4 直流电机的电枢绕组	49
17-5 直流电机的电枢电动势	55
17-6 直流电机的电磁转矩	60
17-7 直流电机中的电磁功率及能量的变换	64
17-8 直流电机的电枢反应	69
17-9 直流电机绕组元件中的电流换向问题	74
17-10 直流电机的铭牌和额定数据	79
小结	80
习题和思考题	82

第十八章	直流发电机的运行特性	84
18-1	并励发电机的电压是怎样建立的	84
18-2	直流发电机电势和转矩的平衡关系	90
18-3	并励发电机的空载特性	93
18-4	并励发电机的外特性	96
18-5	并励发电机的调节特性	99
18-6	复励发电机	100
	小结	102
	习题和思考题	103
第十九章	直流电动机的运行特性	104
19-1	直流电动机的转矩和反电动势的平衡关系	105
19-2	并励直流电动机的机械特性	107
19-3	并励直流电动机的调速	111
19-4	直流发电机-电动机组 (F-D组)	116
19-5	并励电动机的起动方法	118
19-6	怎样改变并励电动机的转向	121
19-7	怎样使并励电动机快速停车——制动	122
19-8	串励直流电动机	124
19-9	复励直流电动机	127
	小结	129
	习题和思考题	130
第二十章	交流励磁的铁芯线圈电路	132
20-1	交流铁芯线圈电路中的电磁关系	132
20-2	交流磁路中磁通与线圈端电压的关系	137
20-3	交流铁芯线圈电路中电流的波形畸变	140
20-4	交流磁路的气隙	144
20-5	涡流现象和涡流损失	145
20-6	磁滞损失	148
20-7	交流磁路与直流磁路的比较	150
20-8	交流铁芯线圈电路的向量图	151
20-9	交流铁芯线圈的等效电路	153

小结.....	155
习题和思考题.....	156
第二十一章 变压器的变压原理和分析方法	158
21-1. 为什么在电力系统中要使用变压器.....	159
21-2 变压器是怎样工作的.....	162
21-3 变压器空载时的原、副边电磁关系.....	164
21-4 变压器接负载时原、副边的电磁关系.....	169
21-5 变压器的变压比和原、副边电流关系.....	173
21-6 变压器的基本构造.....	176
21-7 三相变压器组与三相变压器.....	179
21-8 变压器的向量图.....	185
21-9 变压器的等效电路.....	188
小结.....	193
习题和思考题.....	195
第二十二章 变压器的工作性能	196
22-1 变压器的外特性和电压变化率.....	196
22-2 有载调压变压器.....	200
22-3 变压器的损耗和效率.....	204
22-4 变压器的空载试验和励磁阻抗.....	207
22-5 变压器的短路试验和短路电压.....	210
22-6 变压器的温升、绝缘与负载能力.....	213
22-7 变压器的冷却.....	216
22-8 变压器的铭牌值.....	220
小结.....	223
习题和思考题.....	224
第二十三章 变压器的连接组和并联运行	226
23-1 变压器线圈的极性.....	227
23-2 怎样测定变压器线圈的极性.....	230
23-3 三相变压器线圈的连接.....	232
23-4 三相变压器的连接组别.....	233

23-5	为什么并联运行变压器的连接组别必须相同	237
23-6	为什么并联运行变压器的变压比必须相等	238
23-7	并联运行的变压器间负载电流的分配	239
	小结	243
	习题和思考题	243
第二十四章 特殊变压器		245
24-1	自耦变压器	245
24-2	调压变压器	250
24-3	电压互感器	251
24-4	电流互感器	253
24-5	电焊变压器	256
	小结	258
	习题和思考题	259
第二十五章 三相异步电动机的工作原理		260
25-1	异步电动机是怎样旋转起来的	261
25-2	异步电动机的基本构造	263
25-3	异步电动机中的定子旋转磁场是怎样产生的	267
25-4	旋转磁场的转向和转速	272
25-5	异步电动机的定子绕组	274
25-6	定子绕组的接法和判断始、末端的方法	292
25-7	异步电动机的转差率	296
25-8	旋转磁场对定子绕组的作用	297
25-9	旋转磁场的磁通与电源电压的关系	300
25-10	旋转磁场对转子绕组的作用	302
25-11	定、转子电路之间的电磁关系	307
25-12	异步电动机和变压器的比较	310
25-13	三相异步电动机的铭牌数据	312
	小结	313
	习题和思考题	315
第二十六章 三相异步电动机的工作特性		317

26-1	异步电动机中的能量转换	317
26-2	异步电动机的电磁转矩	319
26-3	异步电动机的转矩特性曲线	324
26-4	异步电动机的额定转矩和过载能力	325
26-5	异步电动机的起动问题	328
26-6	鼠笼式电动机的起动方法	330
26-7	双鼠笼式和深槽式电动机	336
26-8	绕线式异步电动机的起动	340
	小结	343
	习题和思考题	345

第二十七章 同步发电机的电动势和电枢反应347

27-1	同步发电机是怎样发电的	348
27-2	同步发电机转速与电动势频率的关系	350
27-3	同步发电机的基本结构	353
27-4	同步发电机的磁路	358
27-5	定子一相绕组中感应电动势的大小	362
27-6	感应电动势中的高次谐波	363
27-7	用短距绕组改善电动势的波形	368
27-8	怎样消除三次谐波电动势	371
27-9	同步发电机的励磁方式	374
27-10	同步发电机的电枢反应	378
27-11	$\dot{I}_a$ 与 $\dot{E}_0$ 同相位时的电枢反应	381
27-12	$\dot{I}_a$ 与 $\dot{E}_0$ 的相位差为 90° 时的电枢反应	383
27-13	$\dot{I}_a$ 与 $\dot{E}_0$ 的相位差小于 90° 时的电枢反应	385
27-14	同步发电机的铭牌数据	388
	小结	389
	习题和思考题	390

第二十八章 同步发电机的运行特性392

28-1	同步发电机的空载特性	392
28-2	汽轮发电机的电压平衡关系和同步电抗	397

28-3	汽轮发电机的向量图	401
28-4	水轮发电机的同步电抗和电动势向量图	405
28-5	同步发电机的外特性	411
28-6	同步发电机的电压变化率和调节特性	414
28-7	同步发电机同步电抗的求法	417
28-8	同步发电机的短路比	421
28-9	同步发电机的损耗和效率	426
28-10	同步发电机的发热和冷却方法	429
	小结	432
	习题和思考题	434

第二十九章 同步发电机的功角特性和并联运行435

29-1	同步发电机功率和转矩的平衡	436
29-2	同步发电机的功率角和有功功率	438
29-3	同步发电机的功角特性	441
29-4	同步发电机与无穷大电网并联运行时有功功率的调节	447
29-5	同步发电机的静态稳定	450
29-6	同步发电机无功功率的调节	453
29-7	同步发电机的U形曲线	457
29-8	同步发电机与相近容量的电网并联运行	458
29-9	同步发电机投入并列的条件	463
29-10	同步发电机的准同步并列法和同步指示器	468
29-11	同步发电机的自同步并列法	473
	小结	476
	习题和思考题	478

第三十章 同步电动机和调相机480

30-1	由同步发电机转变为同步电动机	481
30-2	同步电动机的功率和电动势平衡关系	485
30-3	同步电动机的功率因数	487
30-4	同步电动机的起动	490
30-5	同步调相机	492

小结.....	496
习题和思考题.....	497
第三十一章 特殊电机	498
31-1 单相异步电动机.....	498
31-2 伺服电动机.....	504
31-3 测速发电机.....	507
31-4 感应式调压器.....	509
31-5 自整角机.....	510
31-6 滑差电动机.....	512
31-7 反应式同步电动机.....	514
小结.....	515
习题和思考题.....	516
第三十二章 二次回路的基本概念	517
32-1 用手动开关控制电动机.....	517
32-2 用交流接触器控制电动机.....	525
32-3 鼠笼式电动机控制电路的自锁.....	530
32-4 电动机的过载保护电器——热继电器.....	531
32-5 鼠笼式电动机的基本控制电路.....	533
32-6 鼠笼式电动机正、反转的基本控制电路.....	537
32-7 控制开关.....	541
32-8 集中控制的电动机基本控制电路.....	545
32-9 高压电动机的基本控制电路.....	551
32-10 电动机的过电流保护.....	556
32-11 电动机的低电压保护.....	562
32-12 电动机的联锁.....	568
32-13 怎样读二次电路图.....	571
小结.....	574
习题和思考题.....	575
第三十三章 电流和电压的测量	578
33-1 磁电系测量机构的工作原理.....	580

33-2	直流电流和直流电压的测量	585
33-3	电表内阻对测量结果的影响	587
33-4	电磁系测量机构的工作原理	589
33-5	交流电流和交流电压的测量	592
33-6	钳形安培表	593
33-7	怎样认识和使用电表	595
	小结	600
	习题和思考题	601
第三十四章 万用电表和兆欧表		603
34-1	万用电表的工作原理	603
34-2	万用电表测量电阻的原理	608
34-3	万用电表的使用方法	611
34-4	兆欧表	614
	小结	617
	习题和思考题	617
第三十五章 功率和电能的测量		619
35-1	电动系测量机构的工作原理	619
35-2	功率的测量	622
35-3	瓦特表的使用方法	625
35-4	三相功率的测量	627
35-5	三相无功功率的测量	630
35-6	感应系瓦时表的工作原理	633
35-7	交流电能的测量	636
35-8	电动系功率因数表	639
35-9	电动系赫芝表	644
	小结	645
	习题和思考题	647
第三十六章 电桥测量的基本知识		649
36-1	直流单臂电桥	649
36-2	测量小电阻的直流双臂电桥	652

36-3	检流计.....	655
36-4	怎样正确使用直流电桥.....	656
36-5	交流电桥的平衡条件.....	657
	小结.....	661
	习题和思考题.....	662
习题解答		664

第十六章 铁磁性材料和磁路

我们知道，在通有电流的线圈的周围会产生磁场。但是，载流线圈所产生的磁场，一般不能满足电工设备的需要。如果打开电机或者变压器的外壳，我们就会看到里面的线圈都绕在又大又重的铁芯上。就是在体积很小的仪表或继电器中，线圈也都是绕在一定形状的铁芯上的。为什么要把线圈绕在铁芯上呢？因为制造铁芯的铁磁性材料（如硅钢片等）比空气的导磁能力强得多，在电工设备的线圈中有了铁芯就可以获得较强的磁场。

实际上，在线圈里面加入铁芯之后，还会出现一些其它的、空心线圈所没有的磁特性。因此，在这一章里，我们要讨论制造铁芯的铁磁性材料所具有的几个基本特性——高导磁性、磁饱和性和磁滞性；介绍什么是磁路，以及怎样分析直流磁路。最后叙述铁芯线圈的一个重要应用——电磁铁。

16-1 铁磁性材料的磁导率

我们已经讲过，在通电线圈的周围是存在着磁场的。实验和生产实践证明，如果在线圈中放入用铁磁性材料（譬如说，用硅钢）制成的铁芯，那么在具有同样大小的电流的条件下，线圈内有铁芯时的磁感应强度就会比没有铁芯时增大许多倍。于是我们可以说，硅钢的导磁能力比空气的导磁能力要大得多。

在工程上，通常用磁导率^①来表示各种材料导磁能力的强弱，并且根据磁导率的大小，把各种材料分成铁磁性材料（又叫磁

① 磁导率又可以叫做导磁率或导磁系数。