

电气工人适用

电 工 学

中 册

电
241-4

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·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

1977年9月北京第一版

1977年9月北京第一次印刷

印数 00001—150660 册 每册 1.80 元

书号 15143·3266

符 号 说 明

符 号	意 义
a	直流电机电枢绕组支路对数
B	磁感应强度 (磁通密度)
B_0	空气中的磁感应强度
B_{sh}	剩磁感应强度
C	电容
C_e	直流电机的电动势常数
C_M	直流电机的转矩常数
D	电动机
E	交流电动势的有效值
e	交流电动势的瞬时值
F	磁动势
F_R	同步电机中的气隙磁动势
$f(F)$	力
f	交变量的频率
H	磁场强度
H_0	空气中的磁场强度
H_{jl}	矫顽磁场强度 (矫顽力)
I	交变电流的有效值
I_a	电枢导体中的电流
i	交变电流的瞬时值
K	开关
K_{fz}	变压器的负载系数
k	变压器的变压比
k_z	自耦变压器的变压比
k_u	电压互感器的变换倍率
k_i	电流互感器的变换倍率

k_{μ}	磁路饱和系数
L	自感系数
	力臂
l	长度
l_0	气隙宽度
M	转矩
N	线圈(或绕组)匝数
	直流电机电枢绕组导体数
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
ΔP_{cz}	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_{cl}	磁阻
R_{c0}	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

W	电能
X	电抗
X_m	励磁电抗
X_t	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
$\Phi_a (\Phi)$	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
ψ	变压器的内功率因数角
	同步电机的内功率因数角
θ	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_{dc} 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_{ti} 铁损
t_o	铜	ΔP_{to} 铜损
X	相	I_x 相电流
X-X	线	U_{x-x} 线电压

二次回路中所用符号说明

符 号	意 义
A	按钮
QA	起动按钮
TA	停车按钮
SA	事故按钮
ZQA	正转起动按钮
FQA	反转起动按钮
C	接触器
ZC	正转接触器
FC	反转接触器
HC	中间接触器
J	继电器
RJ	热继电器
HJ	合闸继电器

TJ	跳闸继电器
LJ	电流继电器
ZJ	中间继电器
XJ	信号继电器
YJ	电压继电器
SJ	时间继电器
BSJ	联锁继电器
K	隔离开关
DK	刀开关
HK	合闸开关
ZK	组合开关
KK	控制开关
M	母线
KM	控制母线
SM	闪光母线
SYM	事故音响母线
FM	蜂鸣器
DL	断路器
HQ	合闸线圈
TQ	跳闸线圈
LH	电流互感器
YH	电压互感器
RD	熔断器
LD	绿灯
HD	红灯

目 录

第十六章 铁磁性材料和磁路	371
16-1 铁磁性材料的磁导率	371
16-2 铁磁性材料的磁化现象	373
16-3 磁路和磁路欧姆定律	375
16-4 铁磁性材料的磁饱和现象	380
16-5 磁场强度和 B-H 曲线	382
16-6 磁滞现象和永久磁铁	384
16-7 简单磁路的计算	389
16-8 具有气隙的磁路	392
16-9 磁路和电路的比较	395
16-10 电磁铁	396
小结	401
习题和思考题	402
第十七章 直流电机的工作原理	405
17-1 直流发电机的基本原理	406
17-2 直流电动机的基本原理	411
17-3 直流电机的构造	413
17-4 直流电机的电枢绕组	420
17-5 直流电机的电枢电动势	427
17-6 直流电机的电磁转矩	432
17-7 直流电机中的电磁功率及能量的变换	436
17-8 直流电机的电枢反应	441
17-9 直流电机绕组元件中的电流换向问题	446
17-10 直流电机的铭牌和额定数据	450
小结	452
习题和思考题	454

第十八章	直流发电机的运行特性	455
18-1	并励发电机的电压是怎样建立的	455
18-2	直流发电机电势和转矩的平衡关系	461
18-3	并励发电机的空载特性	464
18-4	并励发电机的外特性	467
18-5	并励发电机的调节特性	470
18-6	复励发电机	471
	小结	473
	习题和思考题	474
第十九章	直流电动机的运行特性	476
19-1	直流电动机的转矩和反电动势的平衡关系	477
19-2	并励直流电动机的机械特性	479
19-3	并励直流电动机的调速	482
19-4	直流发电机-电动机组(F-D组)	488
19-5	并励电动机的起动方法	490
19-6	怎样改变并励电动机的转向	493
19-7	怎样使并励电动机快速停车——制动	494
19-8	串励直流电动机	496
19-9	复励直流电动机	499
	小结	501
	习题和思考题	502
第二十章	交流励磁的铁芯线圈电路	504
20-1	交流铁芯线圈电路中的电磁关系	504
20-2	交流磁路中磁通与线圈端电压的关系	509
20-3	交流铁芯线圈电路中电流的波形畸变	512
20-4	交流磁路的气隙	515
20-5	涡流现象和涡流损失	517
20-6	磁滞损失	519
20-7	交流磁路与直流磁路的比较	521
20-8	交流铁芯线圈电路的向量图	522
20-9	交流铁芯线圈的等效电路	525
	小结	527

习题和思考题	528
第二十一章 变压器的变压原理和分析方法	530
21-1 为什么在电力系统中要使用变压器	531
21-2 变压器是怎样工作的	534
21-3 变压器空载时的原、副边电磁关系	536
21-4 变压器接负载时原、副边的电磁关系	540
21-5 变压器的变压比和原、副边电流关系	544
21-6 变压器的基本构造	547
21-7 三相变压器组与三相变压器	551
21-8 变压器的向量图	556
21-9 变压器的等效电路	559
小结	564
习题和思考题	566
第二十二章 变压器的工作性能	568
22-1 变压器的外特性和电压变化率	568
22-2 有载调压变压器	572
22-3 变压器的损耗和效率	576
22-4 变压器的空载试验和励磁阻抗	579
22-5 变压器的短路试验和短路电压	582
22-6 变压器的温升、绝缘与负载能力	585
22-7 变压器的冷却	588
22-8 变压器的铭牌值	591
小结	595
习题和思考题	596
第二十三章 变压器的连接组和并联运行	598
23-1 变压器线圈的极性	599
23-2 怎样测定变压器线圈的极性	602
23-3 三相变压器线圈的连接	603
23-4 三相变压器的连接组别	605
23-5 为什么并联运行变压器的连接组别必须相同	609
23-6 为什么并联运行变压器的变压比必须相等	610
23-7 并联运行的变压器间负载电流的分配	611

小结	615
习题和思考题	615
第二十四章 特殊变压器	617
24-1 自耦变压器	617
24-2 调压变压器	622
24-3 电压互感器	623
24-4 电流互感器	625
24-5 电焊变压器	628
小结	630
习题和思考题	631
第二十五章 三相异步电动机的工作原理	632
25-1 异步电动机是怎样旋转起来的?	633
25-2 异步电动机的基本构造	635
25-3 异步电动机中的定子旋转磁场是怎样产生的	638
25-4 旋转磁场的转向和转速	643
*25-5 异步电动机的定子绕组	645
25-6 定子绕组的接用和判断始、末端的方法	663
25-7 异步电动机的转差率	667
25-8 旋转磁场对定子绕组的作用	668
25-9 旋转磁场的磁通与电源电压的关系	671
25-10 旋转磁场对转子绕组的作用	673
25-11 定、转子电路之间的电磁关系	678
25-12 异步电动机和变压器的比较	681
25-13 三相异步电动机的铭牌数据	683
小结	684
习题和思考题	686
第二十六章 三相异步电动机的工作特性	688
26-1 异步电动机中的能量转换	688
26-2 异步电动机的电磁转矩	690
26-3 异步电动机的转矩特性曲线	695
26-4 异步电动机的额定转矩和过载能力	697
26-5 异步电动机的起动问题	699

26-6	鼠笼式电动机的起动方法	701
26-7	双鼠笼式和深槽式电动机	708
26-8	绕线式异步电动机的起动	712
	小结	715
	习题和思考题	717
第二十七章 同步发电机的电动势和电枢反应		719
27-1	同步发电机是怎样发电的?	720
27-2	同步发电机转速与电动势频率的关系	722
27-3	同步发电机的基本结构	724
27-4	同步发电机的磁路	730
27-5	定子一相绕组中感应电动势的大小	734
27-6	感应电动势中的高次谐波	735
27-7	用短距绕组改善电动势的波形	739
27-8	怎样消除三次谐波电动势	743
27-9	同步发电机的励磁方式	745
27-10	同步发电机的电枢反应	750
27-11	I_a 与 E 。同相位时的电枢反应	752
27-12	I_a 与 E 。的相位差为 90° 时的电枢反应	754
27-13	I_a 与 E 。的相位差小于 90° 时的电枢反应	756
27-14	同步发电机的铭牌数据	759
	小结	760
	习题和思考题	761
第二十八章 同步发电机的运行特性		763
28-1	同步发电机的空载特性	763
28-2	汽轮发电机的电压平衡关系和同步电抗	768
28-3	汽轮发电机的向量图	772
28-4	水轮发电机的同步电抗和电动势向量图	776
28-5	同步发电机的外特性	782
28-6	同步发电机的电压变化率和调节特性	785
28-7	同步发电机同步电抗的求法	787
28-8	同步发电机的短路比	792
28-9	同步发电机的损耗和效率	796

28-10 同步发电机的发热和冷却方法	799
小结	802
习题和思考题	804
第二十九章 同步发电机的功角特性和并联运行	805
29-1 同步发电机功率和转矩的平衡	806
29-2 同步发电机的功率角和有功功率	808
29-3 同步发电机的功角特性	811
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	816
29-5 同步发电机的静态稳定	819
29-6 同步发电机无功功率的调节	822
29-7 同步发电机的U形曲线	826
29-8 同步发电机与相近容量的电网并联运行	828
29-9 同步发电机投入并列的条件	832
29-10 同步发电机的准同步并列法和同步指示器	837
29-11 同步发电机的自同步并列法	842
小结	845
习题和思考题	847
第三十章 同步电动机和调相机	849
30-1 由同步发电机转变为同步电动机	850
30-2 同步电动机的功率和电动势平衡关系	853
30-3 同步电动机的功率因数	857
30-4 同步电动机的起动	859
30-5 同步调相机	861
小结	865
习题和思考题	866
第三十一章 特殊电机	867
31-1 单相异步电动机	867
31-2 伺服电动机	873
31-3 测速发电机	876
31-4 感应式调压器	878
31-5 自整角机	879
31-6 滑差电动机	881

31-7 反应式同步电动机	883
小结	884
习题和思考题	885
第三十二章 二次回路的基本概念	886
32-1 用手动开关控制电动机	886
32-2 用交流接触器控制电动机	894
32-3 鼠笼式电动机控制电路的自锁	899
32-4 电动机的过载保护电器——热继电器	900
32-5 鼠笼式电动机的基本控制电路	903
32-6 鼠笼式电动机正、反转的基本控制电路	906
32-7 控制开关	910
32-8 集中控制的电动机基本控制电路	914
32-9 高压电动机的基本控制电路	920
32-10 电动机的过电流保护	924
32-11 电动机的低电压保护	931
32-12 电动机的联锁	936
32-13 怎样读二次电路图	939
小结	942
习题和思考题	943
第三十三章 电流和电压的测量	945
33-1 磁电系测量机构的工作原理	946
33-2 直流电流和直流电压的测量	952
33-3 电表内阻对测量结果的影响	954
33-4 电磁系测量机构的工作原理	956
33-5 交流电流和交流电压的测量	958
33-6 钳形安培表	960
33-7 怎样认识和使用电表	961
小结	966
习题和思考题	967
第三十四章 万用电表和兆欧表	970
34-1 万用电表的工作原理	970
34-2 万用电表测量电阻的原理	975

34-3	万用电表的使用方法	978
34-4	兆欧表	980
	小结	983
	习题和思考题	984
第三十五章 功率和电能的测量		986
35-1	电动系测量机构的工作原理	986
35-2	功率的测量	989
35-3	瓦特表的使用方法	992
35-4	三相功率的测量	994
35-5	三相无功功率的测量	997
35-6	感应系瓦时表的工作原理	1000
35-7	交流电能的测量	1003
35-8	电动系功率因数表	1006
35-9	电动系赫芝表	1010
	小结	1011
	习题和思考题	1013
第三十六章 电桥测量的基本知识		1015
36-1	直流单臂电桥	1015
*36-2	测量小电阻的直流双臂电桥	1018
36-3	检流计	1021
36-4	怎样正确使用直流电桥	1022
36-5	交流电桥的平衡条件	1023
	小结	1027
	习题和思考题	1028
习题解答		1030

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 μ 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（又叫磁性材料或铁磁物质）和非铁磁性材料（又叫非磁性材料）两大类。

• 磁导率又可以叫做导磁率或导磁系数。