

21世纪 高等学校本科系列教材

电机学学习指导及习题解答

DIAN JI XUE XUE XI ZHI DAO JI XI TI JIE DA

祁 强 张广溢 编



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

电 机 学

学习指导及习题解答

祁 强 张广溢 编

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是张广溢、郭前岗主编的 21 世纪高等学校本科系列教材《电机学》第 2 版的配套学习指导书。全书包括绪论和变压器、交流电机的共同理论问题、异步电机、同步电机、直流电机、微控电机 6 篇,系统地介绍了电机学的基本概念、基本理论、基本分析方法和相应的例题、习题的解题方法,给出了各部分基本知识点、重点和难点,对重点与难点作了辅导。本书的目的是为了帮助学生深入理解电机学基本理论,巩固所学知识,开拓思路,提高解题能力和应用电机理论解决实际问题的能力。全书精选了近 200 道典型例题,包括概念题和计算题,给出了相应的解答,并对张广溢、郭前岗主编的《电机学》第 2 版教材中各章节的绝大部分习题作了详细的解答。

本书内容丰富,可作为高等院校电气工程与自动化或电气工程及其自动化、自动化专业学生在学习电机学(含电力拖动和微控电机)课程时的辅导教材;其基本内容作为高等教育自学考试及成人高等教育电机学课程的学习指导书也很合适;同时也可供教学人员和相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电机学学习指导及习题解答/祁强,张广溢编.

重庆:重庆大学出版社,2006.7

(电气工程及其自动化专业本科系列教材)

ISBN 7-5624-3629-0

I. 电... II. ①祁...②张... III. 电机学—高等学
校—教学参考资料 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 028200 号

电机学学习指导及习题解答

祁 强 张广溢 编

责任编辑:谢 芳 彭 宁 版式设计:彭 宁

责任校对:任卓惠 责任印制:秦 梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鹤盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆现代彩色书报印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:11.25 字数:280 千

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

印数:1—4 000

ISBN 7-5624-3629-0 定价:15.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

本书是张广溢、郭前岗主编的 21 世纪高等学校本科系列教材《电机学》第 2 版的配套学习指导书。电机学是电气工程与自动化或电气工程及其自动化专业的一门重要技术基础课。该课程既有系统的理论性,又有紧密联系实际工程实用性,学生在学习该课程时普遍感到概念多、公式多、解题难。

为了帮助读者熟练地掌握电机学的基本原理,深入理解基本概念,提高解题能力,编者对张广溢、郭前岗主编的《电机学》第 2 版教材中各章节的基本概念、基本理论和基本分析方法进行了概括性的介绍,给出各部分基本知识点、重点和难点,对重点与难点作了辅导。对该书各章节的绝大部分习题作了详细的解答。同时根据多年教学实践的积累,从教学习题、研究生入学试题以及国内外相关教材中精选了近 200 道典型习题,其中包含了概念题和计算题,给出了相应的解答。全书条理清晰,实例丰富,深入浅出,循序渐进,容易掌握,是学生在学电机学(含电力拖动和微控电机)课程时的帮手。

本书系统地介绍了电机学习题的解题方法,包含了学生必须掌握的电机学全部内容。题型具有代表性,部分题目有一定的深度和广度。有的题目反映了电机领域的新技术和新成果。本书的名词术语采用国家标准,物理量单位采用法定计量单位。

本书由西华大学祁强讲师、张广溢教授共同编写,张广溢编写绪论、第 1 篇变压器和第 6 篇微控电机,祁强编写其余各篇,并负责全书统稿。

由于编者水平有限,缺点和错误在所难免,希望广大读者批评指正。

编者

2006 年 2 月

目 录

绪 论	1
0.1 主要知识点	1
0.1.1 电机的主要类型及电机中所用的材料	1
0.1.2 电机的发热、冷却及防护	2
0.1.3 研究电机时常用的基本定律	2
0.2 重点和难点	4
0.2.1 电机的主要类型及电机中所用的材料	4
0.2.2 研究电机时常用的基本定律	4
0.3 典型例题分析	5
0.4 部分题解	6
第 1 篇 变压器	8
1.1 主要知识点	8
1.1.1 变压器的基本结构和额定值	8
1.1.2 变压器的工作原理和运行时的电磁关系	9
1.1.3 变压器的等效电路和相量图	10
1.1.4 变压器的参数测定和标么值	12
1.1.5 变压器的运行特性	12
1.1.6 三相变压器的磁路系统和电路系统——绕组的 联结组	13
1.1.7 三相变压器的空载电动势波形	14
1.1.8 变压器的并联运行	14
1.1.9 三相变压器的不对称运行	14
1.1.10 变压器的瞬变过程	15
1.1.11 特殊变压器	15
1.2 重点和难点	16
1.2.1 变压器的额定值	16

1.2.2	变压器的空载运行和负载运行	16
1.2.3	变压器的参数测定	17
1.2.4	变压器的运行特性	17
1.2.5	三相变压器的联结组	18
1.2.6	三相变压器空载电动势波形	18
1.2.7	变压器的并联运行	18
1.2.8	自耦变压器和仪用互感器	18
1.3	典型例题分析	19
1.4	部分题解	28
第2篇	交流电机的共同理论问题	37
2.1	主要知识点	37
2.1.1	交流电机的电动势	37
2.1.2	交流电机的磁动势	39
2.2	重点和难点	41
2.2.1	空间量与时间量,空间电角度与时间电角度 ...	41
2.2.2	正弦分布磁场下绕组的电动势	41
2.2.3	单相绕组的脉振磁动势	43
2.2.4	三相电枢绕组产生的基波合成磁动势	44
2.2.5	两相电枢绕组产生的磁动势	44
2.3	典型例题分析	45
2.4	部分题解	53
第3篇	异步电机	60
3.1	主要知识点	60
3.1.1	基本结构、工作原理和额定值	60
3.1.2	异步电动机的运行分析	61
3.1.3	异步电动机的特性分析	67
3.1.4	异步电动机的起动	69
3.1.5	异步电动机的制动	70
3.1.6	异步电动机的调速	72
3.2	重点和难点	73
3.2.1	异步电机的运行原理	73
3.2.2	异步电动机的电磁关系	74
3.2.3	异步电动机的功率与转矩平衡方程	74
3.2.4	异步电动机的电磁转矩方程式	75
3.2.5	异步电动机的机械特性	75

3.2.6	异步电动机的起动方法	76
3.2.7	异步电动机的制动	77
3.2.8	异步电动机的调速	78
3.3	典型例题分析	78
3.4	部分题解	90
第4篇	同步电机	98
4.1	主要知识点	98
4.1.1	基本结构、工作原理和额定值	98
4.1.2	同步电机的磁场和电枢反应	99
4.1.3	同步电抗	100
4.1.4	同步发电机的运行特性	101
4.1.5	同步发电机的并联运行	103
4.1.6	同步发电机的功角特性	103
4.1.7	同步发电机的功率调节	104
4.1.8	三相同步电动机和同步补偿机	105
4.1.9	同步发电机的不对称运行和突然短路	106
4.2	重点和难点	108
4.2.1	对称负载时的电枢反应	108
4.2.2	同步电抗的物理概念	108
4.2.3	同步发电机的基本方程式和相量图	108
4.2.4	同步发电机的外特性和电压调整率	108
4.2.5	同步发电机的功率平衡和转矩平衡方程	109
4.2.6	同步发电机的功角特性	109
4.2.7	同步发电机与电网并联运行时无功功率 的调节和 V 型曲线	109
4.2.8	同步电动机的基本方程式、相量图和功角 特性	109
4.2.9	同步电动机无功功率的调节	109
4.2.10	同步电动机的起动和调速	110
4.2.11	同步发电机的突然短路	110
4.3	典型例题分析	110
4.4	部分题解	123
第5篇	直流电机	130
5.1	主要知识点	130
5.1.1	基本结构、工作原理和额定值	130

5.1.2	直流电机的磁场和电枢反应·····	131
5.1.3	直流电机的基本方程式和运行特性·····	132
5.1.4	直流电机的换向·····	135
5.1.5	直流电机的起动、制动与调速·····	135
5.2	重点和难点·····	137
5.2.1	直流电机的工作原理和可逆原理·····	137
5.2.2	直流电机的电枢电动势与电磁转矩·····	137
5.2.3	直流电机的基本方程式·····	138
5.2.4	直流发电机的运行特性·····	138
5.2.5	直流电动机的工作特性·····	138
5.2.6	直流电动机的起动、调速与制动·····	138
5.3	典型例题分析·····	139
5.4	部分题解·····	149
第6篇	微控电机 ·····	152
6.1	主要知识点·····	152
6.1.1	单相异步电动机·····	152
6.1.2	伺服电动机·····	152
6.1.3	微型同步电动机·····	153
6.1.4	步进电动机·····	153
6.1.5	旋转变压器·····	155
6.1.6	自整角机·····	155
6.1.7	测速发电机·····	156
6.1.8	直线电动机·····	156
6.1.9	无刷直流电动机·····	156
6.1.10	开关磁阻电动机·····	157
6.2	重点和难点·····	157
6.2.1	单相异步电动机·····	157
6.2.2	伺服电动机·····	157
6.2.3	微型同步电动机·····	157
6.2.4	步进电动机·····	157
6.2.5	旋转变压器·····	158
6.2.6	自整角机·····	158
6.3	典型例题分析·····	158
6.4	部分题解·····	164
	参考文献 ·····	169

绪 论

0.1 主要知识点

0.1.1 电机的主要类型及电机中所用的材料

电机(Electrical Machines)是以电磁感应和电磁力定律为基本工作原理进行电能的传递或机电能量转换的机械,在工业、农业、国防、交通运输和家用电器中有着广泛的应用,对国民经济有着重要的作用。

(1) 电机的主要类型

按功能分为:

- 1) 发电机 把机械能转换为电能。
- 2) 电动机 把电能转换为机械能。
- 3) 变压器、变频器、变流机、移相机 分别用于改变电能的电压、频率、电流及相位。
- 4) 控制电机 作为自控系统中的元件。

应该指出,从基本工作原理看,发电机和电动机是电机的两种运行方式,它们本身是可逆的,这种特性称为电机的可逆性。

按学科分为:

- 1) 静止电机 即变压器。
- 2) 旋转电机 包括交流电机(异步电机和同步电机)和直流电机。

(2) 电机中所用的材料

电机一般是以磁场为耦合场,利用电磁感应和电磁力的作用来实现能量转换的机械。因此,电机中所用的材料可分为以下4类:

- 1) 导电材料 用于电机中的电路系统,为减小 I^2R 损耗,要求材料的电阻率小,常用紫铜及铝。
- 2) 导磁材料 用于电机中的磁路系统,要求材料具有较高的磁导率和较低的铁耗系数,

常用硅钢片、钢板和铸钢。

3) 绝缘材料 用于带电体之间及带电体与铁芯间的电气隔离,要求材料的介电强度高且耐热性能好。按耐热能力可分为 A, E, B, F, H, C 等 6 级,其最高允许工作温度分别为 105, 120, 130, 155, 180 °C 和高于 180 °C。绝缘材料的寿命受电机工作温度的影响很大,若电机运行时温度超过允许值,则其使用寿命将缩短。

4) 结构材料 使各部分构成整体、支撑和连接其他机械,要求材料的机械强度高,加工方便,重量轻。常用铸铁、铸钢、钢板、铝合金及工程塑料。

0.1.2 电机的发热、冷却及防护

由于电机中各种损耗的存在,其转变的热能使电机的温度升高。

温升:当电机产生的热量等于电机散发出去的热量时,电机的温度便不再上升而达到某一稳定数值,此值与周围冷却介质温度之差,称为温升,单位用绝对温度 K(从数值上看,用 K 与用摄氏温度 °C 表示是一样的)。

绝缘寿命:电机中使用的各种绝缘材料,都有一定的最高允许工作温度(单位 °C),在该温度极限内长期工作时,绝缘材料的电性能、机械性能和化学性能都不会显著变坏,通常可保证 20 年的寿命。若超过此温度,绝缘材料会因迅速老化而使性能变坏,严重时可被烧毁,造成电机的损坏。

电机的温升不仅取决于损耗的大小和散热情况,还与电机的工作方式有关。电机的定额分为:①连续定额;②短时定额;③周期工作定额。

短时定额和周期工作定额的电机应按规定的定额运行,才能保证它的温升不超过允许温升限值。若把短时定额或周期工作定额的电机用来长期运行,则将因其温升大大超过允许限值而损坏电机。

电机的冷却决定了电机的散热能力及电机的温升,从而直接影响电机的寿命和额定容量。电机的防护方式有开启式、防护式、封闭式和防爆式 4 种。

0.1.3 研究电机时常用的基本定律

(1) 全电流定律(安培环路定律)

在磁场中沿任一闭合回路磁场强度的线积分等于穿过该回路所有电流的代数和,即

$$\oint_l H \cdot dl = \sum I$$

式中,当电流方向与闭合回路环绕方向符合右手螺旋定则时为正,反之为负。

(2) 法拉第电磁感应定律

无论何种原因,当与线圈交链的磁链 Ψ 随时间变化时,线圈中将产生感应电动势 e 。 e 的大小等于线圈所交链的磁链对时间的变化率, e 的方向应符合楞次定律,即若该电动势产生一个电流,此电流产生的磁通将阻碍线圈中磁链的变化。若规定感应电动势的正方向与磁通的正方向符合右手螺旋定则,则电磁感应定律的数学描述可表示为:

$$e = - \frac{d\Psi}{dt} = - N \frac{d\Phi}{dt}$$

式中, N 为线圈的匝数, Φ 为穿过线圈的磁通。

1) 变压器电动势 若线圈不动, 穿过线圈的磁通随时间变化, 则线圈中的电动势称为变压器电动势;

2) 运动电动势(速率电动势) 若磁场恒定, 构成线圈的导体切割磁力线, 使线圈所交链的磁链随时间变化, 导体中的感应电动势称为运动电动势。

(3) 电磁力定律

载流导体在磁场中要受到力的作用, 该力称为电磁力。电磁力的方向由左手定则确定, 其大小可由下式计算:

$$f = Bil$$

在旋转电机中, 作用在转子的载流导体上的电磁力将使转子受到一个力矩(等于力乘转子半径), 即电磁转矩。电磁转矩是电机实现机电能量转换的重要物理量。

(4) 电路定律

1) 欧姆定律 一段电路上的电压降 u 等于流过该电路的电流 i 与电路的电阻 R 的乘积, 即

$$u = iR$$

2) 基尔霍夫第一定律(电流定律) 在电路中任一节点上, 电流的代数和恒等于零, 即

$$\sum i = 0$$

3) 基尔霍夫第二定律(电压定律) 在电路中, 对任一回路, 沿回路环绕一周, 回路内所有电动势的代数和等于所有电压降的代数和, 即

$$\sum e = \sum u$$

该定律是电机中电动势平衡方程式的理论依据。

(5) 磁路及磁路定律

磁路: 电流在它周围的空间建立磁场, 磁场的分布常用一些闭合线(磁力线)来描述, 磁力线所经路径称为磁路。

从磁场的基本关系可导出与电路定律相似的磁路定律如下:

1) 磁路的欧姆定律

将全电流定律应用到材料相同、截面相等的无分支闭合磁路上, 则有

$$\oint H \cdot dl = Hl = \sum I = Ni$$

因为

$$B = \mu H = \frac{\Phi}{A}$$

即

$$\frac{\Phi l}{\mu A} = Ni$$

于是

$$\Phi = \frac{Ni}{\frac{l}{\mu A}} = \frac{F}{R_m} = F \Lambda_m$$

即磁路中的磁通 Φ 等于作用在该磁路上的磁动势 F 除以磁路的磁阻 R_m 或乘以磁导 Λ_m , 这就

是磁路的欧姆定律。

2) 磁路的基尔霍夫第一定律

由于磁力线是闭合线,因此,对任一封闭面而言,穿入的磁通必等于穿出的磁通,这就是磁通连续性原理。对有分支的磁路而言,在磁通汇合处的封闭面上磁通的代数和等于零,即

$$\sum \Phi = 0$$

3) 磁路的基尔霍夫第二定律

$$\oint H \cdot dl = \sum Hl = \sum Ni = \sum F = \sum \Phi R_m$$

即沿任一闭合磁路,磁压降的代数和等于磁动势的代数和。

注意 磁路和电路的区别:

- ① 电路中可以有电动势无电流,磁路中有磁动势必然有磁通;
- ② 电路中有电流就有功率损耗,而在恒定磁通下,磁路中无损耗;
- ③ 由于 $G_{\text{气}}$ 约为 $G_{\text{铁}}$ 的 10^{20} 倍,而 μ_{Fe} 仅为 μ_0 的 $10^3 \sim 10^4$ 倍,故可认为电流只在导体中流过,而磁路中除主磁通外还必须考虑漏磁通;
- ④ 电路中电阻率 ρ 在一定温度下恒定不变,而由铁磁材料构成的磁路中,磁导率 μ 随 B 变化,即磁阻 R_m 随磁路饱和度增大而增大。

(6) 能量守恒定律

电机是电能传递或机电能量转换的机械,在能量传递或转换过程中电机自身消耗的功率称为损耗。稳态运行时,必然存在输入功率 P_1 等于输出功率 P_2 与所有损耗 $\sum p$ 之和,即

$$P_1 = P_2 + \sum p$$

0.2 重点和难点

0.2.1 电机的主要类型及电机中所用的材料

电机是一种进行机电能量转换或信号转换的电磁机械装置,对于电机的主要类型及电机中所采用的材料要有所了解。

重点掌握铁磁材料的磁化曲线问题。磁化曲线不是一条直线,在设计电机和变压器时,为使主磁路内得到较大的磁通量而又不过分增大励磁磁动势,通常把铁芯内的工作磁通密度选择在磁化曲线上的膝点附近。

0.2.2 研究电机时常用的基本定律

在学习电机学之前,必须对相关常用的基本定律有所了解。

(1) 基尔霍夫第一和第二定律

第一定律: $\sum i = 0$

第二定律: $\sum e = \sum u$

有时把基尔霍夫第二定律也叫做电动势平衡等式。

(2) 全电流定律(安培环路定律)

$$\oint_l H \cdot dl = \sum I$$

(3) 法拉第电磁感应定律

1) 变压器电动势 若线圈不动,穿过线圈的磁通随时间变化,则线圈中的电动势称为变压器电动势,其数学描述可表示为

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

2) 运动电动势(速率电动势) 若磁场恒定,构成线圈的导体切割磁力线,使线圈所交链的磁链随时间变化,导体中的感应电动势称为运动电动势,其数学描述可表示为

$$e = Blv$$

(4) 毕-萨电磁力定律

$$f = Bil$$

关于电磁功率,从前面的电磁感应定律知道,一根导体在磁场中运动,感应电动势 $e = Blv$,如果导体中有电流 i ,则表现的电磁功率为

$$ei = Blvi = fv$$

其中 ei 是具有电性质的电磁功率, fv 是具有机械性质的电磁功率,且二者的大小是相等的。这就是电机能将电功率转变为机械功率或者将机械功率转变为电功率的依据。

0.3 典型例题分析

例1 磁滞损耗和涡流损耗是什么原因产生的?铁耗与哪些因素有关?

答 铁磁材料在交变磁场的作用下,磁畴之间相互摩擦产生的能量损耗称为磁滞损耗;当交变磁通穿过铁磁材料时,将在其中感应电动势和产生涡流,涡流引起的损耗称为涡流损耗。磁滞损耗和涡流损耗合起来称为铁耗,单位重量的铁耗为

$$P_{Fe} = P_{50} \left(\frac{f}{50} \right)^{\beta} B_m^2$$

式中 β ——频率指数,其值为 $1.2 \sim 1.6$ 。

上式表明,铁耗与磁感应强度的平方及磁通交变频率的 $1.2 \sim 1.6$ 次方成正比。

例2 什么是软磁材料?什么是硬磁材料?

答 铁磁材料按其磁滞回线的宽窄可分为两大类,即软磁材料和硬磁材料,如图 0.1 所示。磁滞回线较宽,即矫顽力大、剩磁也大的铁磁材料称为硬磁材料,也称为永磁材料。这类材料一经磁化就很难退磁,能长期保持磁性;而磁滞回线较窄,即磁导率大、矫顽力小的铁磁材料称为软磁材料。电机铁芯常用的硅钢片、铸钢、铸铁等都是软磁材料。

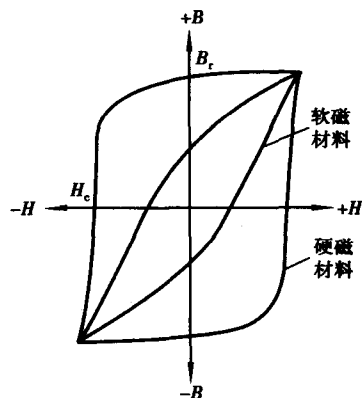


图 0.1 铁磁材料的磁滞回线

例3 电磁感应定律有时写成 $e = -\frac{d\Psi}{dt}$,有时写成 $e = -N \frac{d\Phi}{dt}$,有时又写成 $e = -L \frac{di}{dt}$,这

三种写法之间有什么差别？在什么情况下写成 $e = + \frac{d\Psi}{dt}$ ？

答 $e = - \frac{d\Psi}{dt}$ 是规定感应电动势的正方向与磁通的正方向符合右手螺旋定则时电磁感应定律的普遍表达式；当所有磁通与线圈全部匝数交链时，则电磁感应定律的数学描述可表示为 $e = - N \frac{d\Phi}{dt}$ ；当磁路是线性的，且磁场是由电流产生时，有 $\Psi = Li$ ， L 为常数，则可写成 $e = - L \frac{di}{dt}$ ；当 e 的假定正方向与 Φ 的正方向符合左手螺旋关系时，电磁感应定律写成 $e = + \frac{d\Psi}{dt}$ 。

0.4 部分题解

0.1 电机和变压器的磁路常用什么材料制成？这类材料应具有哪些主要特性？

答 电机和变压器的磁路常用导磁性能高的硅钢片叠压制成，磁路的其他部分常采用导磁性能较高的钢板和铸铁制成。这类材料应具有导磁性能好、磁导率大、铁耗低的特征。

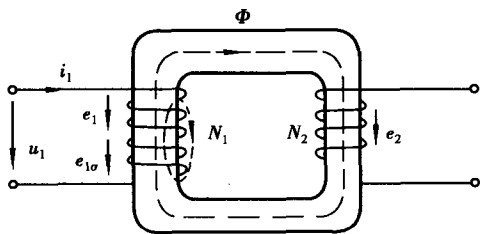


图 0.2

0.2 在图 0.2 中，当给线圈 N_1 外加正弦电压 u_1 时，线圈 N_1 和 N_2 中各感应什么性质的电动势？电动势的大小与哪些因素有关？

答 当给线圈 N_1 外加正弦电压 u_1 时，线圈 N_1 中便有交变电流流过，产生相应的交变磁动势，并建立起交变磁通，该磁通可分成同时交链线圈 N_1, N_2 的主磁通和只交链线圈 N_1 的漏磁通。这样，由主磁通分别在线圈 N_1 和 N_2 中感应产生交变电动势 e_1, e_2 。由漏磁通在线圈 N_1 中产生交变的 $e_{1\sigma}$ 。电动势的大小分别和 N_1, N_2 的大小，电源的频率，交变磁通的大小有关。

0.4 试比较磁路和电路的相似点和不同点。

答 磁路和电路的相似只是形式上的，与电路相比较，磁路有以下特点：

- ① 电路中可以有电动势无电流，磁路中有磁动势必然有磁通；
- ② 电路中有电流就有功率损耗，而在恒定磁通下，磁路中无损耗；
- ③ 由于 $G_{\text{铁}}$ 约为 $G_{\text{铜}}$ 的 10^{20} 倍，而 μ_{Fe} 仅为 μ_0 的 $10^3 \sim 10^4$ 倍，故可认为电流只在导体中流过，而磁路中除主磁通外还必须考虑漏磁通；
- ④ 电路中电阻率 ρ 在一定温度下恒定不变，而由铁磁材料构成的磁路中，磁导率 μ 随 B 变化，即磁阻 R_m 随磁路饱和度增大而增大。

0.5 电机运行时，热量主要来源于哪些部分？为什么用温升而不直接用温度表示电机的发热程度？电机的温升与哪些因素有关？

答 电机运行时，热量主要来源于各种损耗，如铁耗、铜耗、机械损耗和附加损耗等。当电机所用绝缘材料的等级确定后，电机的最高允许温度也就确定了，其温升限值则取决于冷却介质的温度，即环境温度。在电机的各种损耗和散热情况相同的条件下，环境温度不同，则电机所达到的实际温度不同，所以用温升而不直接用温度表示电机的发热程度。电机的温升主要

取决于电机损耗的大小、散热情况及电机的工作方式。

0.6 电机的额定值和电机的定额分别指的是什么?

答 电机的额定值是指电机在某种定额下运行时各物理量的规定值;而电机的定额是指制造厂按国家标准的要求对电机的全部电量和机械量的数值及运行的持续时间和顺序所作的规定。

0.8 在图 0.3 所示的磁路中,线圈 N_1, N_2 中通入直流电流 I_1, I_2 , 试问:

① 电流方向如图所示时,该磁路上的总磁动势为多少?

② N_2 中电流 I_2 反向,总磁动势又为多少?

③ 若在图中 a, b 处切开,形成一空气隙 δ ,总磁动势又为多少?

④ 比较①,③两种情况下铁芯中的 B, H 的相对大小,以及③中铁芯和气隙中 H 的相对大小。

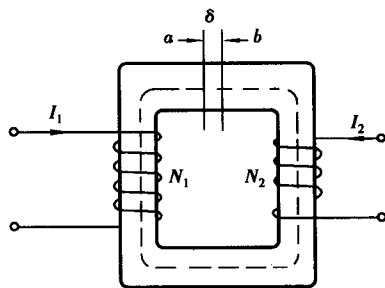


图 0.3

解 ① $F_1 = I_1 N_1 - I_2 N_2$ 。

② $F_2 = I_1 N_1 + I_2 N_2$ 。

③ $F_3 = F_1 = I_1 N_1 - I_2 N_2$ 不变。

④ 由于 $F_1 = F_3$, 而 $R_{m1} \ll R_{m3}$, 所以 $\Phi_1 \gg \Phi_3, B_1 \gg B_3, H_1 \gg H_3$ 。

其中 $F_1, R_{m1}, \Phi_1, B_1, H_1$ 和 $F_3, R_{m3}, \Phi_3, B_3, H_3$ 分别表示①,③两种情况下的各物理量。在

③中, $B_{Fe} = B_\delta$; 由于 $\mu_{Fe} \gg \mu_0$, 所以 $H_{Fe} = B_{Fe} / \mu_{Fe} \ll H_\delta = B_\delta / \mu_0$ 。

第 1 篇

变 压 器

变压器(Transformer)是一种静止的电器设备,它利用电磁感应原理,把一种电压等级的交流电能转换成频率相同的另一种电压等级的交流电能。

变压器是电力系统中实现电能的经济传输、灵活分配和合理使用的重要设备,在国民经济其他部门也获得了广泛的应用。本篇主要研究一般用途的电力变压器。

1.1 主要知识点

1.1.1 变压器的基本结构和额定值

(1) 变压器的基本结构

变压器(Transformer)的基本构成部分有:铁芯、绕组、绝缘套管、油箱及其他附件等,其中铁芯和绕组是变压器的主要部件,称为器身。

铁芯是变压器的磁路,又是它的机械骨架,一般用高磁导率的磁性材料——硅钢片叠成,铁芯由铁芯柱、铁轭构成。铁芯柱上套绕组,铁轭将铁芯柱连接起来形成闭合磁路。绕组是变压器的电路部分,它由铜质或铝质的绝缘导线绕制而成。按照绕组数目可分为双绕组、三绕组、多绕组和自耦变压器。

(2) 变压器的额定值

1) 额定容量 S_N 是指变压器额定运行时的视在功率,以 VA, kVA 或 MVA 表示。由于变压器的效率很高,通常一、二次侧的额定容量设计成相等。

2) 额定电压 U_{1N} 和 U_{2N} 正常运行时规定加在一次侧的端电压称为变压器一次侧的额定电压 U_{1N} 。二次侧的额定电压 U_{2N} 是指变压器一次侧加额定电压时二次侧的空载电压单位为 V 或 kV。对三相变压器,额定电压是指线电压。

3) 额定电流 I_{1N} 和 I_{2N} 根据额定容量和额定电压计算出的线电流,称为额定电流,单位为 A。

$$\text{对单相变压器: } I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}}, I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}};$$

对三相变压器: $I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{1N}}, I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{2N}}$ 。

4) 额定频率 f_N 我国规定工业频率为 50 Hz。

此外,额定运行时的效率、温升等数据也是额定值。除额定值外,变压器的相数、绕组连接方式及联结组别、短路电压、运行方式和冷却方式等均标注在铭牌上。

1.1.2 变压器的工作原理和运行时的电磁关系

(1) 变压器的工作原理

变压器工作原理的基础是电磁感应定律。两个互相绝缘的绕组套在同一个铁芯上,绕组之间只有磁的耦合而没有电的联系,如图 1.1 所示。其中绕组 1 接交流电源,称为原绕组或一次绕组;绕组 2 接负载,称为副绕组或二次绕组。有了电动势,便向负载输出电能,实现了不同电压等级电能的传递。由于感应电动势的大小与绕组匝数之比成正比,因此,改变原、副绕组的匝数之比即可改变副绕组的电压,变压器因此而得名。

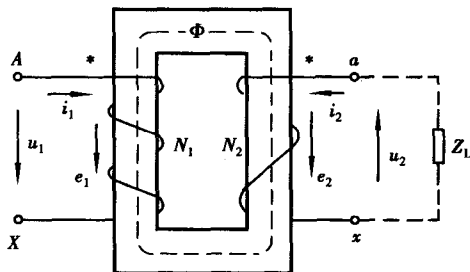


图 1.1 变压器的工作原理

(2) 变压器运行时的电磁关系

首先要清楚几个名词概念:主磁通、漏磁通、线性磁路、非线性磁路、励磁磁动势、励磁电流、励磁电抗、励磁电阻和漏电抗等。

①主磁通:同时交链原、副绕组,称为主磁通 Φ_m ,它的大小由电源电压决定,其关系为

$$U_1 \approx E_1 = 4.44f\Phi_m N_1$$

变压器正常运行时,电源电压为 U_{1N} 不变,因此主磁通近似不变,可视为常数。

②漏磁通:只交链原绕组,经原绕组附近的空气闭合,称为原绕组的漏磁通 $\Phi_{l\sigma}$,它的大小与原绕组磁动势成正比。

③线性磁路:指磁阻为常数的磁路,如漏磁通所走的路径。

④非线性磁路:指磁阻不为常数的磁路,如主磁通所走的铁芯磁路。

⑤励磁磁动势:指产生主磁通的磁动势,相应的电流为励磁电流。由于铁芯损耗的存在,励磁电流中除了磁化电流这一无功分量外,还有数值不大的有功分量。

与主磁路的磁化性能相对应的是励磁电抗;与铁芯损耗相对应的是励磁电阻;与漏磁路的磁化性能相对应的是漏电抗。

要想分析变压器运行时的电磁关系,首先要对各个量进行正方向的规定。正方向的规定一般按照惯例进行:

①在负载支路,电流的正方向与电压降的正方向一致,而在电源支路,电流的正方向与电动势的正方向一致;

②磁通的正方向与产生它的电流的正方向符合右手螺旋定则;

③感应电动势的正方向与产生它的磁通的正方向符合右手螺旋定则。

变压器运行时,主磁通在原边产生感应电动势 $\dot{E}_1$,在副边产生感应电动势 $\dot{E}_2$ 。负载的大