

电机与控制

赵 桐 巢培德 穆润生 编

第 二 版

西南交通大学出版社

电 机 与 控 制

赵 桐 巢培德 穆润生 编

西南交通大学出版社

电机与控制

DIANJI YU KONGZHI

赵桐 巢培德 穆润生 编

*

西南交通大学出版社出版发行

(四川 峨眉山市)

四川省新华书店经销

西南交通大学出版社印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 7.5

字数: 184 千字 印数: 1—12000 册

1987年1月第1版 1990年1月第2版

1990年7月第1次印刷

ISBN 7—81022—163—9/T 058

定价: 2.15 元

第二版前言

《电机与控制》一书于1987年1月出版后，铁路系统各高等工科院校在教学中应用已三年。根据铁路系统各高校电技术基础协会教材会议决定再版。由于各院校在教学中发现一些问题，故对本书做了修改。如将闭环控制系统移到应用电子技术基础中讲述；另外，在电工设备及元器件符号方面，采用了GB 4728《电气图用图形符号》和GB 315《电工设备文字符号编制通则》。

对各院校广大师生提出的宝贵意见，编者再一次表示感谢。

书中难免还存在缺点和错误，希望读者批评指正，力争完善。

编者

1989年11月

第一版前言

《电机与控制》一书，是根据1985年6月在北京召开的铁道部高等工科院校电技术基础协会教材会议通过的“关于加强电技术基础课教材建设的决定”编写的。

本书作为大学本科非电专业的教材，也可作为机电类专业的专科学生和从事机电工作的工程技术人员参考书。本书内容重点突出，系统性强，语句精练，文字通顺，着重于理论联系实际。在阐述磁路的基本理论和基本知识后，重点介绍变压器、交流电机、直流电机的构造、工作原理、技术性能和使用。较详细地叙述三相交流异步电动机常用的继电接触控制系统的线路和电器。还论述了闭环控制系统概念，并例举直流电动机自动调速系统，这部分是考虑控制系统内容的连续性和系统性而加入的，但学习时必须具备模拟电路知识。同步电机与控制电机及部分章节根据专业需要选学。每章都有数量充足的习题，书末还有常用电机、电器的附表，使读者牢固掌握所学知识，并增强运用这些知识解决问题的能力。

本书第一、二、三章由大连铁道学院赵桐编写，第四章由西南交通大学穆润生编写，第五、六、七章由大连铁道学院巢培德编写。主编为大连铁道学院赵桐副教授。

本书主审为长沙铁道学院霍照昇、张大可，还有石家庄铁道学院俞鹤鸣参加了审阅。在初审和复审中，他们提出许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

在上海、长沙、大连、兰州、石家庄铁道学院、华东交大、西南交大和北方交大的有关教师参加的1986年4月召开的上海教材审稿会议上，对本书提出了许多宝贵意见，在此表示谢意。

因为时间仓促，编写经验不足，书中难免存在缺点和错误，希望读者提出批评和意见，以便作进一步修改。

编者

1986年6月

目 录

第一章 磁 路

第一节	磁路计算中应用的物理量和定律.....	1
第二节	磁性材料的磁化和磁化曲线.....	2
第三节	磁路的计算.....	4
第四节	交流磁路.....	6
习 题		8

第二章 变 压 器

第一节	变压器的结构.....	10
第二节	变压器的工作原理.....	11
第三节	三相变压器.....	15
第四节	变压器的铭牌和额定值.....	16
第五节	特殊变压器.....	18
习 题		21

第三章 异 步 电 动 机

第一节	异步电动机的结构.....	23
第二节	异步电动机的工作原理.....	25
第三节	异步电动机的机械特性.....	33
第四节	异步电动机的起动.....	36
第五节	异步电动机的调速.....	39
第六节	异步电动机的制动.....	41
第七节	三相异步电动机的铭牌数据.....	42
第八节	单相异步电动机.....	48
第九节	异步电动机的使用、维护和故障检查.....	50
第十节	异步电动机的选择.....	52
习 题		54

第四章 直流电机

第一节	直流电机的构造和分类	56
第二节	直流电机的工作原理	59
第三节	直流电机的电动势和电磁转矩	60
第四节	并励直流电动机	61
第五节	串励直流电动机	66
第六节	直流发电机	67
习 题		69

第五章 同步电机及控制电机

第一节	同步电机简介	71
第二节	控制电机	79
习 题		86

第六章 继电接触控制系统

第一节	常用电器与控制线路	87
第二节	鼠笼式异步电动机的起动和正反转控制线路	93
第三节	位置(行程)开关与行程控制	103
第四节	时间继电器与时间控制	105
第五节	速度继电器与速度控制	107
第六节	继电接触控制系统举例	108
习 题		109

第一章 磁 路

第一节 磁路计算中应用的物理量和定律

在变压器、电机和各种电器中，都用铁磁性材料做成一定形状的铁心，构成磁路。在铁心上装上绕好的线圈，便构成了铁心线圈。当线圈中通以励磁电流时，在磁路中便具有磁势作用，并产生磁通，常用电气设备的磁通分布如图 1—1 所示，主磁通在磁路内闭合。大部分电气设备的铁心都是较规则的，磁通分布是对称的，铁心各截面上各点的磁感应强度方向都与该截面垂直，磁力线形状与铁心形状基本相似。

设磁路的截面为 S ，该截面上的磁感应强度为 B ，则通过该截面 S 的磁通

$$\Phi = BS \quad (1-1)$$

磁感应强度

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad (1-2)$$

磁通的单位是韦伯（1 韦伯等于 1 伏·秒，即 $1 \text{ Wb} = 1 \text{ V} \cdot \text{s}$ ）。

磁感应强度 B 的单位为特斯拉(T)，简称特 (Wb/m^2)

$$[B] = \frac{[\Phi]}{[S]} = \frac{\text{韦}}{\text{米}^2} = \text{特 (T)}$$

磁势等于励磁电流 I 与励磁线圈 N 的乘积

$$F = IN \quad (1-3)$$

磁势的单位为安匝或安。

总磁通 Φ_0 包括以下两部分：一是主磁通 Φ ，它是通过铁心回路闭合的磁通，占总磁通的绝大部分；二是漏磁通 Φ_0 ，它是通过周围空气闭合的磁通，仅占总磁通的很小部分，则

$$\Phi_0 = \Phi + \Phi_0$$

常用导磁系数 μ 衡量各种材料导磁性能的好坏。如图 1—2 所示磁路，线圈匝数为 N ，磁路截面为 S ，取磁路中心线长度 L 为磁路长度，当线圈中通入直流电流 I 后，导磁系数 μ 与其他各量有下列关系

$$\Phi = \mu \frac{NI}{L} S = \frac{NI}{\frac{L}{\mu S}} = \frac{F}{R_m} \quad (1-4)$$

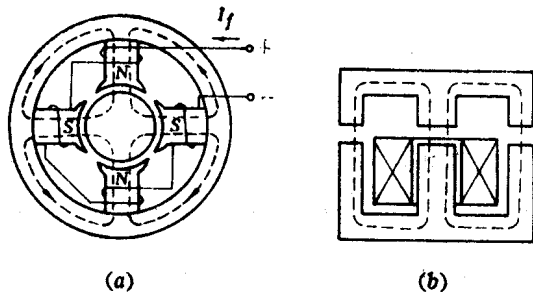


图 1—1 磁 路

式中, R_0 称为磁路的磁阻。式 (1—4) 与电路中欧姆定律相似, 故称为磁路欧姆定律。由于磁性材料的导磁系数 μ 与磁感应强度 B 之间关系不是线性的, 所以磁阻 R 与磁感应强度 B 之间关系也不是线性的。在磁路计算中, 式 (1—4) 不便于直接应用, 因此我们引用磁场强度 H 。

磁感应强度 B 和磁场强度 H 两量有下列关系

$$B = \frac{\Phi}{S} = \mu \frac{NI}{L}$$

$$H = \frac{B}{\mu} = \frac{NI}{L} \quad (1-5)$$

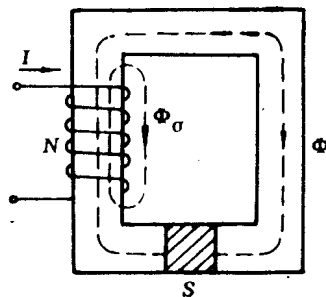


图 1—2 磁路

磁场强度 H 的单位为安/米 (A/m)。

将式 (1—5) 写成磁势 F 与磁压 HL 的关系式

$$F = NI = HL \quad (1-6)$$

磁路可根据材料及截面的不同, 分成很多段, 按全电流定律, 可写成

$$NI = H_1 L_1 + H_2 L_2 + \dots + H_n L_n = \Sigma(HL) \quad (1-7)$$

即在磁路中, 磁势等于各段上磁压之和。

导磁系数 μ 的单位为

$$[\mu] = \frac{[B]}{[H]} = \frac{\text{韦/米}^2}{\text{安/米}} = \frac{\text{伏秒}}{\text{安米}} = \frac{\text{欧秒}}{\text{米}} = \frac{\text{亨}}{\text{米}} \quad (\text{H/m})$$

真空中导磁系数 μ_0 为

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \quad (\text{H/m})$$

是个常数。任何一种物质的导磁系数 μ 与真空中导磁系数 μ_0 之比, 叫做该物质的相对导磁系数 μ_r , 即

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

它是个纯数。对非磁性材料来说, $\mu \approx \mu_0$, 即 $\mu_r \approx 1$ 。而对磁性材料, 则相对导磁系数 $\mu_r \gg 1$ 。

第二节 磁性材料的磁化和磁化曲线

在磁场影响下, 能显著增强磁场的材料, 叫磁性材料, 如铁、钴、镍合金等; 另一类是在磁场作用下, 磁场变化不明显的材料叫非磁性材料。在电气设备中, 铁心都是用磁性材料, 如硅钢片、铸铁、铸钢等制成。

磁化曲线, 又称 $B-H$ 曲线, 如图 1—3 所示。图中 B_0 表示非磁性材料或在空气中建立磁场时的磁化特性曲线。 B_1 表示磁性材料的磁化特性曲线。 B 表示合成的总磁场磁化曲线。

从 $B-H$ 磁化曲线上看出, 它是非线性的。各种材料都有自己的磁化曲线, 常用磁性材

料的 $B-H$ 曲线可从电工材料手册中查出。图 1—4 画出几种常用磁性材料的磁化曲线。

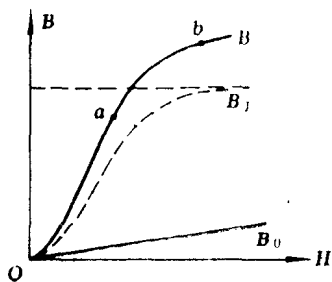


图 1—3 磁化曲线

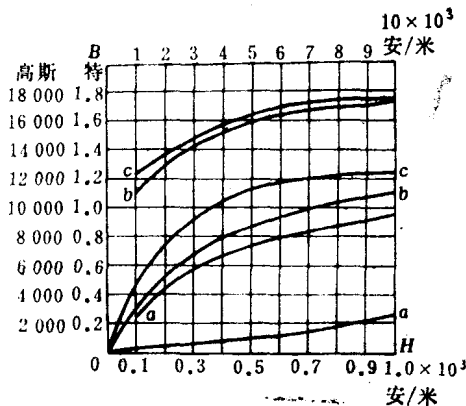


图 1—4 磁化曲线

a—铸铁；b—铸钢；c—硅钢片

由于 $B-H$ 磁化曲线是非线性的，所以 $\mu = B/H$ 导磁系数也是非线性的，可作出 μ 与 H 的关系曲线，如图 1—5 所示。当磁场强度 H 改变时，导磁系数 μ 变化很大。

当磁化电流为交变电流时，设磁性材料没有被磁化过，如图 1—6 所示，当磁场强度 H 由 $O \rightarrow +H_m$ 时，磁感应强度 B 由 $O \rightarrow +B_m$ 。由于铁磁性材料，在交变电流磁化过程中，存在磁滞现象，即 B 的变化滞后于 H 的变化。所以当 H 再由 $+H_m \rightarrow O$ 时， B 由 $+B_m \rightarrow +B_r$ ；当 H 由 $O \rightarrow -H_m$ 时， B 由 $+B_r \rightarrow -B_m$ 。当 H 由 $-H_m \rightarrow O$ 时， B 由 $-B_m \rightarrow -B_r$ 。当 H 再由 $O \rightarrow +H_m$ 时， B 由 $-B_r \rightarrow +B_m$ 。这样反复磁化后，得到一个闭合曲线（1→2→3→4→5→6→1）称为磁滞回线。其中， B_r 为剩磁感应强度， H_c 为矫顽磁力， B_m 为饱和磁感应强度。

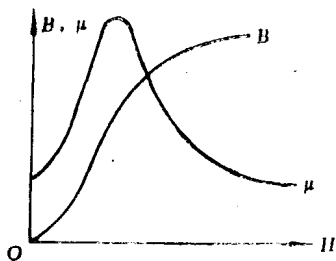


图 1—5 $\mu-H$ 曲线

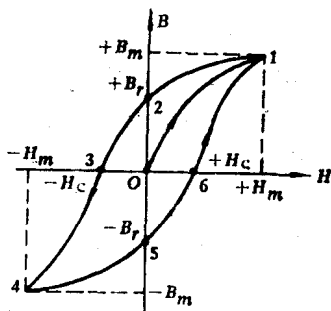


图 1—6 磁滞回线

磁性材料交变磁化时，要消耗能量而变成热量，是交流电气设备运行中发热的原因之一。

不同的磁性材料磁滞回线形状不同，软磁性材料的磁滞回线是细长条形，这种材料的导磁系数大，矫顽力小，磁滞损失小，易磁化、剩磁少，适用于制造电机、变压器及交流电磁铁。硬磁性材料的磁滞回线成阔叶形状，它的剩磁多矫顽力大，适于做永久磁铁，常在扬声器、小型直流电机及仪表中应用。

常用的软磁性材料有铸铁、硅钢、坡莫合金及铁氧体等。硬磁性材料有碳钢、钴钢及铁镍铝钴合金等。常用磁性材料的 μ_m 、 B_r 、 H_c 值列于表 1—1 中。

常 用 磁 性 材 料

表 1—1

材料名称 类别	μ_{max}	B_r (T)	H_c (A/m)
铸 铁	200	0.475~0.500	880~1 040
硅 钢 片	8 000~10 000	0.800~1.200	32~64
坡莫合金(78.5%Ni)	20 000~2 000 000	1.100~1.400	4~24
碳钢(0.45%C)		0.800~1.100	2 400~3 200
钴 钢		0.75~0.950	7 200~20 000
铁镍铝钴合金		1.100~1.350	40 000~52 000

第三节 磁路的计算

磁路主要是由铁磁性材料和气隙构成。由于铁磁性材料的 $B-H$ 磁化曲线是非线性的，给磁路计算及设计带来很大的困难和繁琐。所以磁路计算通常是当已知磁通 Φ 或磁感应强度 B 、磁路几何尺寸及磁性材料的 $B-H$ 曲线时，去求磁场强度 H 、磁势 F 或励磁电流 I 及励磁线圈的匝数 N 。

磁路计算步骤举例：

根据组成磁路的材料、几何尺寸，将磁路分段。如图 1—7 中，有三种材料组成的磁路。将导磁系数 μ_0 、 μ_1 、 μ_2 标明在磁路上，同一材料同一截面的画成一段。磁路长度取磁路中心线代替，标明在磁路上。

根据已知的磁通 Φ ，求出各段的磁感应强度 B_0 、 B_1 、 B_2 ；查各材料的磁化曲线，由 B_1 查出 H_1 ，由 B_2 查出 H_2 。空气隙的磁场强度 H_0 ，由下式计算

$$H_0 = \frac{B_0}{4\pi \times 10^{-7}} = 80B_0 \text{ A/m} \quad (1-8)$$

然后再计算出各段的磁压，根据全电流定律求出磁势

$$NI = H_1 L_1 + H_2 L_2 + H_0 \delta \quad (1-9)$$

例 1—1 一闭合均匀铁心磁路，线圈匝数 $N=300$ 匝，磁路平均长度 $L=0.45$ m，要求在铁心中产生 0.9 T 的磁感应强度 B 。试求：① 当磁路用铸铁材料时，线圈中励磁电流 I ；② 当用硅钢片时，线圈中励磁电流 I 。

解 从 $B-H$ 磁化曲线上查出磁场强度： $H_{\text{铸}}=9\,000$ A/m， $H_{\text{硅}}=260$ A/m。励磁电流 I 为

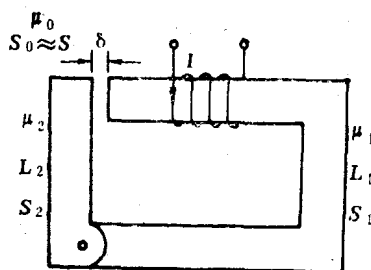


图 1—7 磁路的计算图

$$I_{\text{铸}} = \frac{H_{\text{铸}}L}{N} = \frac{9\,000 \times 0.45}{300} = 13.5 \text{ A}$$

$$I_{\text{硅}} = \frac{H_{\text{硅}}L}{N} = \frac{260 \times 0.45}{300} = 0.39 \text{ A}$$

从计算结果中看出,在不同材料的磁路中要得到同样大小的磁感应强度,所需的励磁电流大小不同,而且相差很大。用高导磁材料做铁心时,绕制励磁线圈的用铜量可大为减少。如果本题中两种情况以同样大小的励磁电流,即 0.39 A ,而要求铁心中的磁场强度相同,都为 260 A/m ,则从磁化曲线上查出 $B_{\text{铸}} = 0.05 \text{ T}$, $B_{\text{硅}} = 0.9 \text{ T}$ 。结果相差 18 倍。如果要得相同的磁通 Φ ,那么用铸铁制成的铁心截面必须增加 18 倍。可见采用高导磁材料做铁心,材料用量下降,设备体积相应减少。

例 1—2 如图 1—8 所示磁路。磁路由铸钢和空气隙组成。已知 $N = 700$ 匝, $L = 60 \text{ cm}$, 气隙 $\delta = 0.1 \text{ cm}$, 截面 $S = 1.5 \times 1.5 \text{ cm}^2$, 试计算要产生磁通 $\Phi = 2.5 \times 10^{-4} \text{ Wb}$ 时所需的磁势 F 为多少?

解 气隙截面 S 为

$$S = (1.5 \times 1.5) \times 10^{-4} = 2.25 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$B_0 = \frac{\Phi}{S} = \frac{2.5 \times 10^{-4}}{2.25 \times 10^{-4}} = 1.11 \text{ T}$$

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{1.11}{4\pi \times 10^{-7}} = 8.83 \times 10^5 \text{ A/m}$$

$$H_0\delta = (8.83 \times 10^5) \times (1 \times 10^{-3}) = 8.83 \times 10^2 \text{ A}$$

铸钢部分截面 S 为

$$S = 2.25 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{2.5 \times 10^{-4}}{2.25 \times 10^{-4}} = 1.11 \text{ T}$$

查 $B-H$ 曲线, 得 $H = 1\,200 \text{ A/m}$, 其磁压

$$HL = 1\,200 \times 6 \times 10^{-1} = 720 \text{ A}$$

磁势 F 为

$$F = H_0\delta + HL = 883 + 720 = 1\,603 \text{ A}$$

励磁电流 I 为

$$I = \frac{F}{N} = \frac{1\,603}{700} = 2.29 \text{ A}$$

从例 1—2 中看出,空气隙对磁路影响很大,气隙长为铁心长的 $1/600$ 倍,两者磁压大小差不多,这说明空气隙磁阻很大,要产生同样的磁通,所需的磁势很大。

目前我国已规定以国际单位制为法定计量单位,但在磁路计算中仍有用电磁单位制,现列表 1—2 和表 1—3,以便换算。

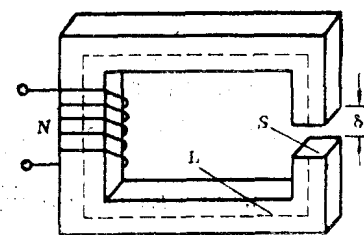


图 1—8 例 1—2 的图

表 1—2

物 理 量	国际单位制(SI)	CGS 单位制
磁 通 Φ	韦 伯 Wb	麦克斯韦 Mx
磁 通 密 度 B 磁感应强度	特 斯 拉 T	高 斯 Gs
磁 势 F	安 培 A	吉尔伯 Gi
磁场强度 H	安/米 A/m	奥斯特 Oe

表 1—3

物理量	换 算 关 系
Φ	$1\text{Wb} = 10^8 \text{ Mx}$
B	$1\text{T} = 10^4 \text{ Gs}$
F	$1\text{A} = 0.796 \text{ Gi}$
H	$1\text{A/m} = 1.26 \times 10^{-2} \text{ Oe}$

第四节 交 流 磁 路

当线圈中通过的励磁电流为交流电流 $i(t)$ 时, 产生的磁通也是交变的, 如图 1—9 所示。交变的磁通在励磁电路中产生感应电动势。励磁电路中的电压平衡方程式为

$$u(t) = Ri(t) + N \frac{d\Phi}{dt} \quad (1-10)$$

式中, R 为线圈的电阻。电阻上的电压降大多数情况下, 比 $N \cdot d\Phi/dt$ 小得多, 故上式可简化为

$$u(t) = N \frac{d\Phi}{dt}$$

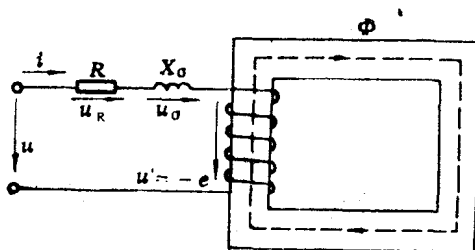


图 1—9 交流磁路

电源电压基本上与感应电动势相平衡。当 $u(t)$ 为正弦电压时, 设 $u(t) = U_m \cos \omega t$ 时, 则

$$\Phi(t) = \int \frac{u(t)}{N} dt = \frac{U_m}{N} \int \cos \omega t dt = \frac{U_m}{N\omega} \sin \omega t = \frac{U_m}{2\pi fN} \sin \omega t \quad (1-11)$$

上式表明, 当电源电压按正弦规律变化时, 磁通也按正弦规律变化, 只是在相位上比电源电压滞后 90° , 磁通的最大值为

$$\Phi_m = \frac{U_m}{2\pi fN}$$

电压的最大值为

$$U_m = 2\pi fN\Phi_m$$

电压的有效值为

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} fN\Phi_m = 4.44 fN\Phi_m = 4.44 fNB_m S \quad (1-12)$$

式中, B_m 的单位为特斯拉 (T), S 的单位为米² (m²), U 的单位为伏 (V), f 的单位为赫兹 (Hz)。式 (1—12) 是设计电机和变压器很重要的公式。

在交流磁路中, 由于磁通是交变的, 因而在磁路的铁心中产生损耗, 称为铁损, 它包括磁滞损失和涡流损失。

涡流损失是由铁心中涡流产生的。涡流是交变磁通在铁心中与磁通垂直的铁心截面上产生感应电势所引起的旋涡状电流。涡流使铁心产生损耗并发热, 其能量损耗要由电源供给。铁心发热给电气设备带来不利影响。

由实验得出涡流损耗为

$$P_{\text{涡}} = K' f^2 B_m^2 \quad (1-13)$$

式中 K' ——与磁路尺寸有关的常数。

为减少涡流损耗, 铁心用薄硅钢片叠成, 片与片之间涂上绝缘漆, 以增大电阻限制涡流。

由实验得出磁滞损失为

$$P_{\text{滞}} = K' f B_m^n \quad (1-14)$$

式中, $n = 1.6$ 或 2 。

铁损常用 $P_{F.}$ 表示, 单位是瓦(W), 即

$$P_{F.} = K f^2 B_m^2 + K' f B_m^n \quad \text{W} \quad (1-15)$$

铁心线圈交流电路消耗的有功功率为

$$P = UI \cos \varphi = P_{F.} + I^2 R \quad \text{W} \quad (1-16)$$

式中, I 为线圈中交流电流的有效值, R 为线圈电阻。

具有铁心线圈的交流电路, 在某些情况下将它变为用等效参数元件组成的等效电路, 避开铁心磁化过程和非线性关系, 使计算简化。等效条件是两种电路在相同电压作用下, 功率和电流及各量间的相位关系均相同, 如图 1-10 所示。

把图 1-9 的铁心线圈交流电路中线圈电阻 R 和感抗 X 。(漏磁电抗) 两参数画出, 剩下的是一个没有线圈电阻和漏磁的理想铁心线圈电路。理想铁心线圈电路具有铁损, 用等效参数 R_0 表示, 即 $R_0 = P_{F.}/I^2$ 。另外铁心中还有磁场能量的存储与释放, 用等效感抗 X_0 表示。

例 1-3 一铁心线圈接于电压 $U = 100 \text{ V}$, 频率 $f = 50 \text{ Hz}$ 的正弦交流电源上。测得线圈电流 $I_1 = 5 \text{ A}$, 功率因数 $\cos \varphi_1 = 0.7$ 。若将此线圈中铁心抽出, 再接于上述交流电源上。又测出线圈电流 $I_2 = 10 \text{ A}$, 功率因数 $\cos \varphi_2 = 0.05$ 。试求: (1) 线圈具有铁心时的铜损和铁损; (2) 铁心线圈的等效电路参数 R 、 R_0 和 X_0 ; (3) 若已知线圈匝数 N 为 150 匝, 求磁路中磁通 Φ (设线圈的漏磁电抗很小忽略不计)。

解 同一线圈接同一交流电源。当线圈中插入铁心时, 电流变小, 而功率增大, 增大部分反映出了铁损。等效电路与图 1-10 相同, 漏磁不计。

(1) 有铁心时线圈电路消耗的功率 P_1 为

$$P_1 = UI_1 \cos \varphi_1 = 100 \times 5 \times 0.7 = 350 \text{ W}$$

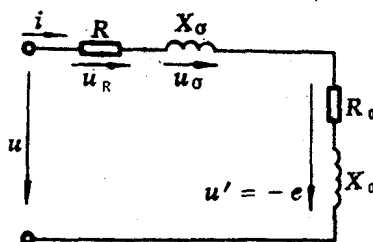


图 1-10 等效电路

无铁心时线圈电路消耗的功率 P_2 为

$$P_2 = UI_2 \cos \varphi_2 = 100 \times 10 \times 0.05 = 50 \text{ W}$$

(2) 线圈中电阻 R ，无铁心时， P_2 全为线圈电阻所消耗，所以 R 为

$$R = \frac{P_2}{I_2^2} = \frac{50}{10^2} = 0.5 \Omega$$

有铁心时求铁损 P_{Fe} 及铜损 P_{Cu} ，得

$$P_{Cu} = I_1^2 R = 5^2 \times 0.5 = 12.5 \text{ W}$$

$$P_{Fe} = P_1 - P_{Cu} = 350 - 12.5 = 337.5 \text{ W}$$

铁心的等效电阻 R_0 为

$$R_0 = \frac{P_{Fe}}{I_1^2} = \frac{337.5}{5^2} = 13.5 \Omega$$

铁心等效电抗 X_0 为

$$Z = \frac{U}{I_1} = \frac{100}{5} = 20 \Omega$$

$$X_0 = \sqrt{Z^2 - (R + R_0)^2} = \sqrt{20^2 - (0.5 + 13.5)^2} = 14.28 \Omega$$

(3) 磁通 Φ

因为

$$U \approx E = 4.44 f N \Phi$$

所以

$$\Phi_m \approx \frac{U}{4.44 f N} = \frac{100}{4.44 \times 50 \times 150} = 3.003 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

例 1—4 绕制一个铁心线圈，已知电源电压为 220 V， f 为 50 Hz，铁心截面 S 为 30.2 cm^2 ，用硅钢片叠成，间隙系数为 0.91。如取 $B_m = 1.2 \text{ T}$ ，问线圈匝数 N 为多少？如磁路平均长度为 60 cm，问励磁电流为多少？

解 铁心有效截面

$$S = 30.2 \times 0.91 = 27.5 \text{ cm}^2$$

$$(1) \quad N = \frac{U}{4.44 f B_m S} = \frac{220}{4.44 \times 50 \times 1.2 \times 27.5 \times 10^{-4}} = 300 \text{ 匝}$$

(2) 从 $B-H$ 磁化曲线查出 $B_m = 1.2 \text{ T}$ 时， $H_m = 700 \text{ A/m}$ ，得

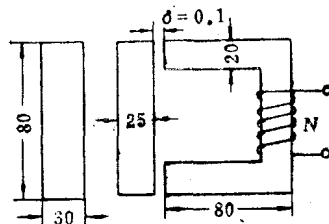
$$I = \frac{H_m L}{\sqrt{2} N} = \frac{700 \times 60 \times 10^{-2}}{\sqrt{2} \times 300} = 1 \text{ A}$$

习 题

- 1—1 如果铁心由彼此绝缘的硅钢片沿垂直磁场方向叠成，是否可以？为什么？
 1—2 在电压相同情况下，如果把一个直流铁心线圈接到交流电源上或把一个交流铁心线圈接到直流电源上，会发生什么后果？

1—3 有一线圈，其匝数 $N=1000$ ，绕在铸钢制成的闭合铁心上，铁心截面 $S=20\text{ cm}^2$ ，磁路平均长度 $L=50\text{ cm}$ 。如果要在铁心中产生 $\Phi=0.002\text{ Wb}$ 磁通时，问线圈中通过的励磁电流 I 为多大的直流电流？如果在垂直铁心方向开一气隙， $\delta=0.2\text{ cm}$ ，不考虑边缘扩散影响，问线圈中电流需增加多少才能保持磁通为 0.002 Wb 。

1—4 有一直流电磁铁，其磁路由铁心、衔铁和气隙三部分构成，铁心材料为硅钢片，衔铁的材料为铸钢。各部分几何尺寸如题 1—4 图所示。今需在气隙中产生磁通为 0.06 Wb ，已知 $N=2500$ 匝，试求线圈中通过的电流为多少？（长度单位为 cm ）



题 1—4 图

1—5 为了求铁心线圈的铁损，先将它接在直流电源上，测得线圈的电阻为 $1.75\ \Omega$ ，然后接到交流电源上，测得电压 $V=220\text{ V}$ ，功率 $P=90\text{ W}$ ，电流 $I=2\text{ A}$ 。试求铁损和线圈的功率因数。

1—6 将一铁心线圈接于电压 $V=100\text{ V}$ ， $f=50\text{ Hz}$ 的正弦交流电源上，其电流 $I_1=5\text{ A}$ ， $\cos\varphi_1=0.7$ 。若将此线圈中铁心抽出，再接到上述电源上，则线圈中电流 $I_2=10\text{ A}$ ， $\cos\varphi_2=0.05$ 。试求：（1）线圈具有铁心时的铜损及铁损；（2）求铁心线圈的等效电路的参数 R 、 R_0 、 X_0 （漏电抗 $X_0\approx 0$ ）。

第二章 变 压 器

从交流发电机到用电设备,要经过升压输电和几次降压配电,以适应用户对电压高低的不同要求。变压器就是把交流电压升高或降低并传送电能的电气设备。电力供电系统使用的变压器叫做电力变压器,如图 2—1 所示。电力变压器是电力系统非常重要的电气设备,因为输送一定电功率时,输电的电压愈高,则输电线上的电流愈小,线路的能量损失也就愈小,同时导电金属材料用量也减少。目前我国电网的输送电压已达 220 kV、330 kV 和 500 kV;工农业生产及民用电的电压为 220 V 和 380 V。高压和低压间的变换,全用变压器来完成。

变压器除用来变换交流电压外,利用同一原理还可以变换电流和阻抗,在电工测量及电子设备中广泛应用。

根据用途不同,变压器的种类很多,如电力变压器、整流变压器、电炉变压器、焊接变压器、实验用变压器、自耦变压器、线间变压器、输出和输入变压器等,种类繁多,结构及形状各异,但其基本原理都是一样的。

第一节 变压器的结构

变压器的结构主要由铁心、高低压绕组、油箱和绝缘套管等组成,详见图 2—1。

一、变压器的铁心

变压器的铁心是用硅钢片叠成。硅钢片的厚度为 0.35~0.5 毫米,表面涂有绝缘漆。变压器的铁心分为壳式和心式两种,壳式变压器的特点是铁心包围着线圈绕组,一般是功率较小的变压器,如图 2—2 所示;心式变压器多为大容量变压器,如图 2—3 所示。

小型变压器的铁心都是冲成山字或斜山字型,如图 2—4 所示。

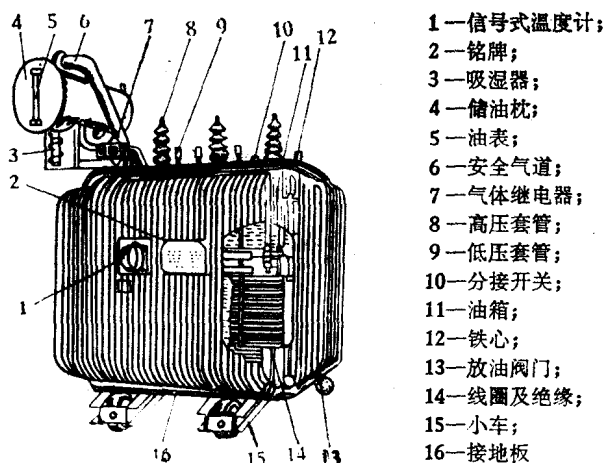


图 2—1 电力变压器

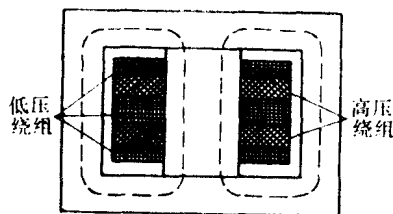


图 2—2 壳式变压器