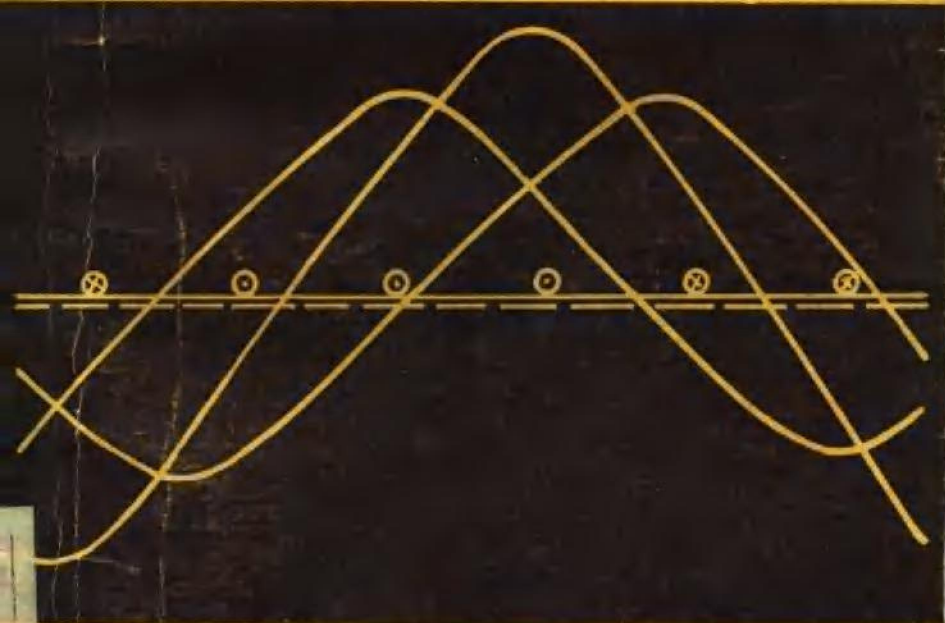


电机学习题集

华中工学院许实章 主编



机械工业出版社

电机学习题集

华中工学院 许实章 主编

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 · 新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $14\frac{3}{8}$ · 字数 319 千字

1983年3月北京第一版 · 1983年3月北京第一次印刷

印数 00,001—23,900 · 定价 1.50 元

*

统一书号: 15033 · 5416

前 言

本习题集是与华中工学院许实章教授主编的高等学校试用教材《电机学》配套的教学用书。根据该教材的内容，为加深学生对理论的理解，培养他们灵活运用教材内容的能力，以及扩大他们所学知识的广度和深度，本习题集精选了例题 93 题和习题 829 题。编排次序与教材上的篇章一致，每章按“例题”和“习题”两类编写。例题写出解题的全过程，作为教材上例题的补充，而不与教材上例题重复。但习题则包括教材中的全部习题和新增加的习题，并把前者排在前面，以便对照。习题包括思考题、计算题和少量证明题，都不附解答，以便教师点给学生练习。但在书末附上计算题的答案，并对少数难度较大的思考题给出简短提示，以便学生做后核对。

本习题集由华中工学院与浙江大学联合编写，华中工学院许实章教授负责主编。具体分工如下：概论和第一、二篇由华中工学院电机教研室陈贤珍同志编写，何全普同志审校和补充，经过二年试用后现由何全普、陈贤珍两同志修订，熊衍庆同志和李湘生副教授审阅。第三至第五篇由浙江大学电机教研室集体编写，王毓东副教授负责组织并与罗君骅，赵洪柳，任礼维，钱庆镛，林瑞光，徐仰平，张杰官、蔡忠安等同志共同编写，经过二年试用后，现由王毓东副教授和钱庆镛同志修订和审阅。许实章教授对全书作了修改，完成最后定稿工作。责任编辑是一机部教编室江之枚同志。

IV

新增加的习题约为教材上原有习题的 1.6 倍。主要选自参加编写两校多年来在电机学教学中积累的习题、试题和研究生考题，以及解放以来国内许多电机学教材和最近英美等国出版的一些电机学书籍。选题比较广泛，但原则上仍不超过教材内容，以利教学。

由于我们较全面地编写习题集尚属初次，错漏之处在所难免。我们热情希望兄弟院校和试用该习题集的教师和学生提出宝贵意见，以便修改。

目 录

概 论.....	1
----------	---

第一篇 直 流 电 机

第一章 直流电机的工作原理和基本结构.....	11
第二章 直流电机的磁路、电枢绕组和电枢反应.....	13
第三章 直流发电机.....	44
第四章 直流电动机.....	66
第五章 直流电机的换向.....	99
第六章 特种直流电机及可控硅整流供电直流电机 的特点.....	109
第七章 电机的发热和冷却.....	111
直流电机综合题.....	112

第二篇 变 压 器

第八章 变压器的基本工作原理和结构.....	117
第九章 变压器的基本原理.....	118
第十章 三相变压器.....	141
第十一章 三相变压器的不对称运行.....	158
第十二章 变压器的瞬变过程.....	171
第十三章 三线圈变压器及其他用途变压器.....	174

第三篇 交流电机的绕组、电势和磁势

第十四章 交流电机的绕组和电势.....	192
----------------------	-----

第十五章 交流电机绕组的磁势·····	212
---------------------	-----

第四篇 异步电机

第十六章 异步电机的基本结构和运行状态·····	234
第十七章 异步电机的基本原理·····	237
第十八章 异步电机的功率、转矩和运行特性·····	256
第十九章 三相异步电动机的起动、调速和制动·····	272
第二十章 三相异步电动机在不对称电压下运行及 单相异步电动机·····	287
第二十一章 异步发电机及特种异步电机·····	302

第五篇 同步电机

第二十二章 同步电机的基本结构·····	308
第二十三章 同步电机的基本原理·····	310
第二十四章 同步发电机的运行特性·····	334
第二十五章 同步发电机的并联运行·····	352
第二十六章 同步电动机和同步调相机·····	366
第二十七章 同步发电机的不对称运行·····	377
第二十八章 同步电机的突然短路·····	385
第二十九章 同步电机的振荡·····	392
第三十章 其他同步电机·····	397
习题答案·····	400
附录·····	451

概 论

例 题

0-1 在图 0-1 所示的磁路内, 要在气隙中产生 1.3×10^{-3} 韦的磁通, 需多大磁势? (磁路尺寸及材料如图所示, 忽略边缘效应。)

〔解〕 这是已知磁通量和磁路几何尺寸求磁势的问题。由于各段磁路的材料和截面积不相同, 所以应该采用分段计算法求磁路各段所消耗的磁势, 然后把它们加起来, 即得到磁路所消耗的总磁势。

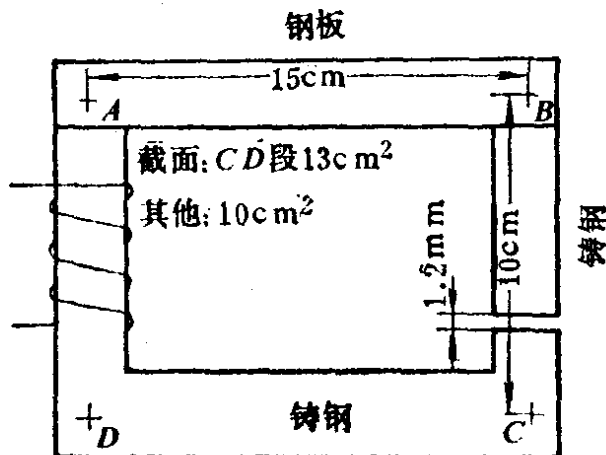


图 0-1

(1) 气隙磁密、磁场强度和磁势
在忽略边缘效应时气隙磁密

$$B_{\delta} = \frac{\Phi_{\delta}}{A_{\delta}} = \frac{1.3 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-4}} = 1.3 \text{ 韦/米}^2$$

气隙磁场强度

$$H_{\delta} = \frac{B_{\delta}}{\mu_0} = \frac{1.3}{4\pi \times 10^{-7}} = 1.0345 \times 10^6 \text{ 安/米}$$

气隙所消耗的磁势

$$H_{\delta} \cdot \delta = 1.0345 \times 10^6 \times 1.2 \times 10^{-3} = 1241.4 \text{ 安匝}$$

(2) BC 段磁路铁内磁密、磁场强度和磁势

$$B_{BC} = B_{\delta} = 1.3 \text{ 韦/米}^2$$

根据铸钢的磁化曲线 (附录表 3) 查得 $H_{BC} = 1590 \text{ 安/米}$

$$\begin{aligned} F_{BC} &= H_{BC} \times (L_{BC} - \delta) \\ &= 1590 \times (10 - 0.12) \times 10^{-2} \\ &= 157.09 \text{ 安匝} \end{aligned}$$

(3) AB 段磁路的 B_{AB} 、 H_{AB} 和 F_{AB}

$$B_{AB} = B_{BC} = B_{\delta} = 1.3 \text{ 韦/米}^2$$

根据 1 毫米厚钢板磁化曲线 (附录表 2) 查得 $H_{AB} = 1080 \text{ 安/米}$

$$F_{AB} = H_{AB} \times L_{AB} = 1080 \times 15 \times 10^{-2} = 162 \text{ 安匝}$$

(4) AD 段磁路的 B_{AD} 、 H_{AD} 和 F_{AD}

$$B_{AD} = B_{AB} = B_{\delta} = 1.3 \text{ 韦/米}^2$$

根据铸钢磁化曲线查得 $H_{AD} = 1590 \text{ 安/米}$ (附录表 3)

$$F_{AD} = H_{AD} \times L_{AD} = 1590 \times 10 \times 10^{-2} = 159 \text{ 安匝}$$

(5) CD 段磁路的 B_{CD} 、 H_{CD} 和 F_{CD}

根据磁通连续性原理

$$B_{CD} = \frac{\Phi_{CD}}{A_{CD}} = \frac{\Phi_{\delta}}{A_{CD}} = \frac{1.3 \times 10^{-3}}{13 \times 10^{-4}} = 1 \text{ 韦/米}^2$$

根据铸钢磁化曲线查得 $H_{CD} = 924 \text{ 安/米}$

$$F_{CD} = H_{CD} \times L_{CD} = 924 \times 15 \times 10^{-2} = 138.6 \text{ 安匝}$$

(6) 磁路总磁势

$$\begin{aligned} F &= F_{\delta} + F_{BC} + F_{AB} + F_{AD} + F_{CD} \\ &= 1241.4 + 157.09 + 162 + 159 + 138.6 \\ &= 1858.09 \text{ 安匝} \end{aligned}$$

0-2 直线电动机的示意图如图 0-2 所示, 可动的导体与无限长的 U 形导体保持电的接触, U 形导体两边的距离是

0.5 米，其间有一均匀磁场，磁通密度为 $B = 0.8 \text{ 韦/米}^2$ ，一电流源在闭合回路内供给一恒定电流 I ，在导体上产生 10 牛顿电磁力，使导体以 10 米/秒的稳定速度向前运动。求电流 I 的大小及闭合回路感应电势的大小和方向。

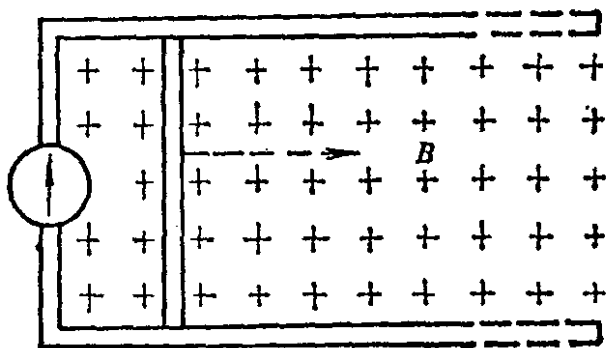


图 0-2

〔解〕

(1) 电流的大小根据电磁力定律

$$F = B l I$$

$$I = \frac{F}{B l} = \frac{10}{0.8 \times 0.5} = 25 \text{ 安}$$

(2) 感应电势

根据电磁感应定律

$$e = B l v = 0.8 \times 0.5 \times 10 = 4 \text{ 伏}$$

电势的方向，可根据右手定则确定为向上，即和电流方向相反，因而称为反电势。

0-3 一电磁铁，如图 0-3 所示，数据如下：静铁心磁路长 $l_0 = 0.15$ 米，截面积 $S = 1 \times 10^{-4} \text{ 米}^2$ ，其上绕有励磁线圈，匝数为 $w = 1000$ 匝；动铁心磁路长 $l_0 = 0.05$ 米，截面积和材料都与静铁心的相同；铁心的相对磁导率 $\mu_r = 500$ ，间隙 $\delta = 0.005$ 米。试求：

(1) 直流励磁，电流为 1 安时，电磁铁的吸力；

(2) 交流励磁， $i = \sqrt{2} I \sin \omega t$ ，当 $I = 1$ 安时，电磁铁吸力的瞬时值和平均值，瞬时力的性质如何？

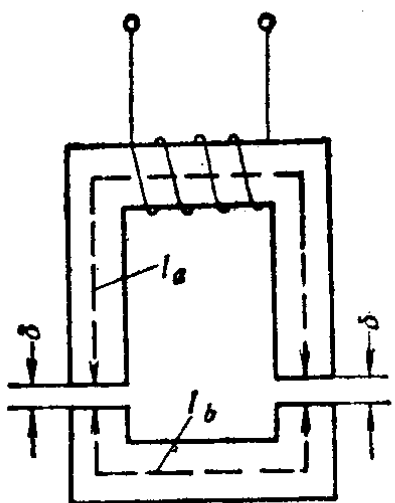


图 0-3

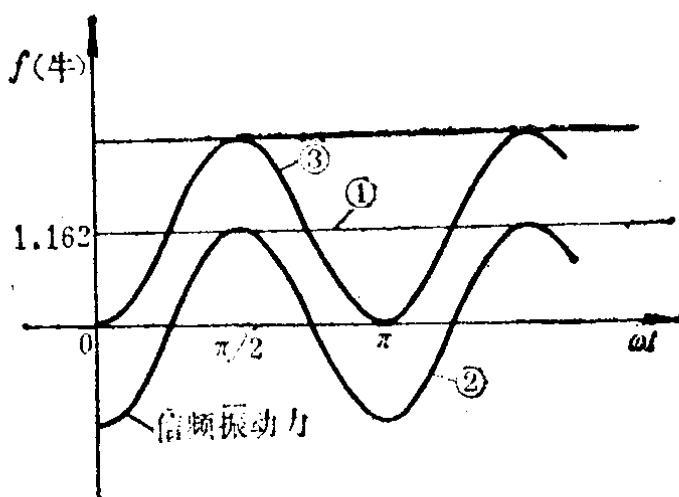


图 0-4

$$\begin{aligned} \text{[解]} \quad R &= \frac{l_a}{\mu_0 \mu_r S} + \frac{2\delta}{\mu_0 S} + \frac{l_b}{\mu_0 \mu_r S} \\ &= \frac{1}{\mu_0 \mu_r S} (l_a + 2\delta \mu_r + l_b) \end{aligned}$$

$$\Phi = \frac{i\omega}{R}$$

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{\mu_0 \mu_r \omega i}{l_a + 2\delta \mu_r + l_b}$$

$$F = \frac{B^2}{2\mu_0} \times 2A\ominus = \left(\frac{\mu_r \omega}{l_a + 2\delta \mu_r + l_b} \right)^2 \mu_0 A i^2$$

(1) 直流励磁, $I = 1$ 安时

$$\begin{aligned} F &= \left(\frac{500 \times 1000}{0.15 + 2 \times 5 \times 10^{-3} \times 500 + 0.05} \right)^2 \\ &\quad \times 4\pi \times 1.0^{-7} \times 1 \times 10^{-4} \times 1^2 = 1.162 \text{ 牛} \end{aligned}$$

⊖ 设电磁铁气隙空间体积为 $A_0 x$, 其中 A_0 为气隙总截面积, x 为气隙长度, 在均匀磁场下, 气隙磁场储能为 $W_m = \frac{1}{2} H B A_0 x$, 而磁拉力为

$$F = \frac{dW_m}{dx} = \frac{1}{2} H B A_0 = \frac{B^2}{2\mu_0} A_0 \text{ 牛}$$

(2) 交流励磁, $i = \sqrt{2} \sin \omega t$ 时

$$f = 1.162(\sqrt{2} \sin \omega t)^2 = 1.162(1 - \cos 2\omega t) \quad \text{牛}$$

平均吸力 $F = f_{av} = 1.162$ 牛

由结果看出, 交流励磁时吸力 (如图 0-4 曲线 3 所示) 由两个分量构成, 一个为稳定吸力 (如图 0-4 曲线 1 所示), 另一个为倍频振动力 (如图 0-4 曲线 2 所示), 两力幅值相等, 合成的结果使得动铁心在 0 到 2.324 牛顿交变电磁力作用下发生倍频振动。

习 题

0-1 电机和变压器的磁路常采用什么材料制成, 这种材料有哪些主要特性?

0-2 磁滞损耗和涡流损耗是什么原因引起的? 它们的大小与哪些因素有关?

0-3 在图 0-5 中, 当给线圈外加正弦电压 u_1 时, 线圈内为什么会感应出电势? 当电流 i_1 增加或减小时, 分别标出感应电势的实际方向。

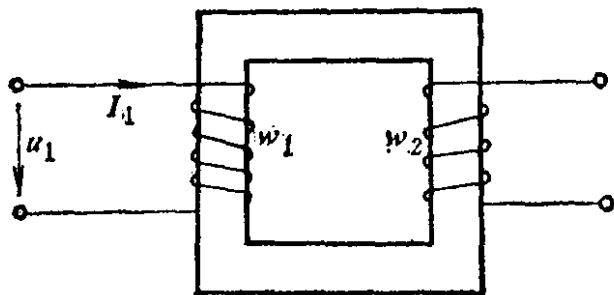


图 0-5

0-4 变压器电势、运动电势 (速率电势)、自感电势和互感电势产生的原因有什么不同? 其大小与哪些因素有关?

0-5 自感系数的大小与哪些因素有关? 有两个匝数相等的线圈, 一个绕在闭合铁心上, 一个绕在木质材料上, 哪一个的自感系数大? 哪一个的自感系数是常数? 哪一个的是变数? 随什么因素变?

0-6 电磁转矩是怎样产生的?它在机电能量转换过程中起着什么作用?

0-7 电机中的气隙磁场一般是根据什么原理和采用什么方法建立起来的?气隙磁场在机电能量转换过程中起着什么作用?

0-8 图 0-6 是两根无限长的平行输电线, P 点与两线在同一平面内, 当导体中通以直流电流 I 时, 求 P 点的磁场强度和磁通密度的大小和方向。

0-9 图 0-6 中, 当两输电线分别通以同向电流 I 和异向电流 I 时, 求每根导线单位长度上所受之电磁力, 并画出受力方向。

0-10 在图 0-5 中, 如果电流 i_1 在铁心中建立的磁通是 $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$, 副线圈的匝数是 ω_2 , 试求副线圈内感应电势有效值的计算公式。

0-11 有一单匝矩形线圈与一无限长导体同在一平面内, 如图 0-7 所示。试分别求出下列条件下线圈内的感应电势:

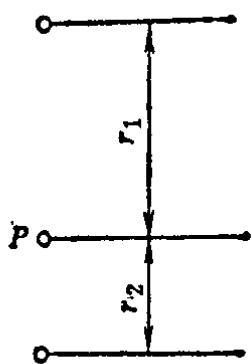


图 0-6

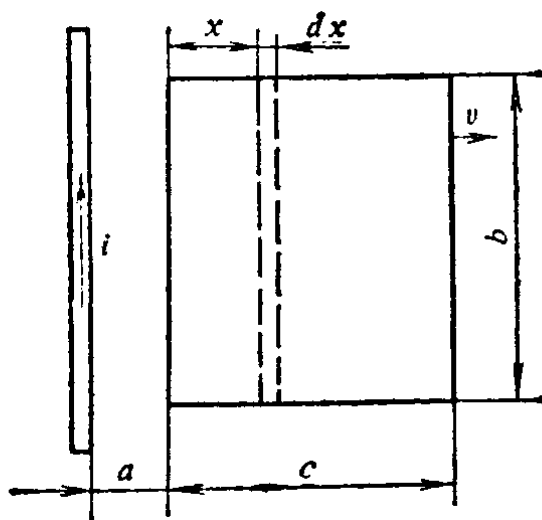


图 0-7

(1) 导体中通以直流电流 I ，线圈以线速度 v 从左向右移动；

(2) 电流 $i = I_m \sin \omega t$ ，线圈不动；

(3) 电流 $i = I_m \sin \omega t$ ，线圈以速度 v 从左向右移动。

0-12 对于图 0-8, 如果铁心用 D₂₃ 硅钢片迭成, 截面积 $A_{Fe} = 12.25 \times 10^{-4}$ 米², 铁心的平均长度 $l_{Fe} = 0.4$ 米, 空气隙 $\delta = 0.5 \times 10^{-3}$ 米, 线圈的匝数为 600 匝。试求产生磁通 $\Phi = 11 \times 10^{-4}$ 韦时所需的励磁磁势和励磁电流。

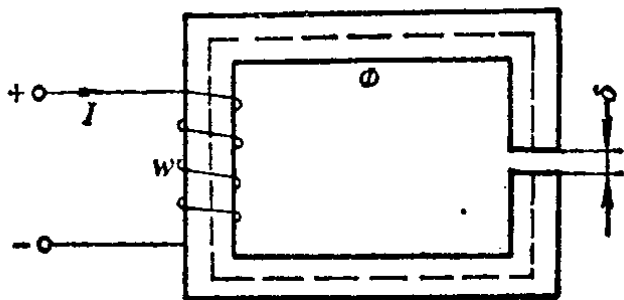


图 0-8

0-13 试述全电流定律、电磁感应定律、电路定律（克希荷夫定律）及电磁力定律的物理含义，以及它们在电机中的主要作用。

0-14 电磁感应定律有时写成 $e = -\frac{d\psi}{dt}$ ，有时写成 $e = -w \frac{d\phi}{dt}$ ，有时又写成 $e = -L \frac{di}{dt}$ 。这三种表示法之间有什么差别？哪一种写法最有普遍性？从一种写法改为另一种写法需要什么附加条件？在什么情况下把电磁感应定律写成 $e = \frac{d\psi}{dt}$ ？试分析说明之。

0-15 试把 $e = -\frac{d\psi}{dt}$ 、 $e = Blv$ 两式统一起来，并指明各自适用范围。

0-16 如图 0-9 所示，磁通限定在虚线所围的范围内，“+”表示磁力线垂直进入纸面，在图示的各种情况下，导

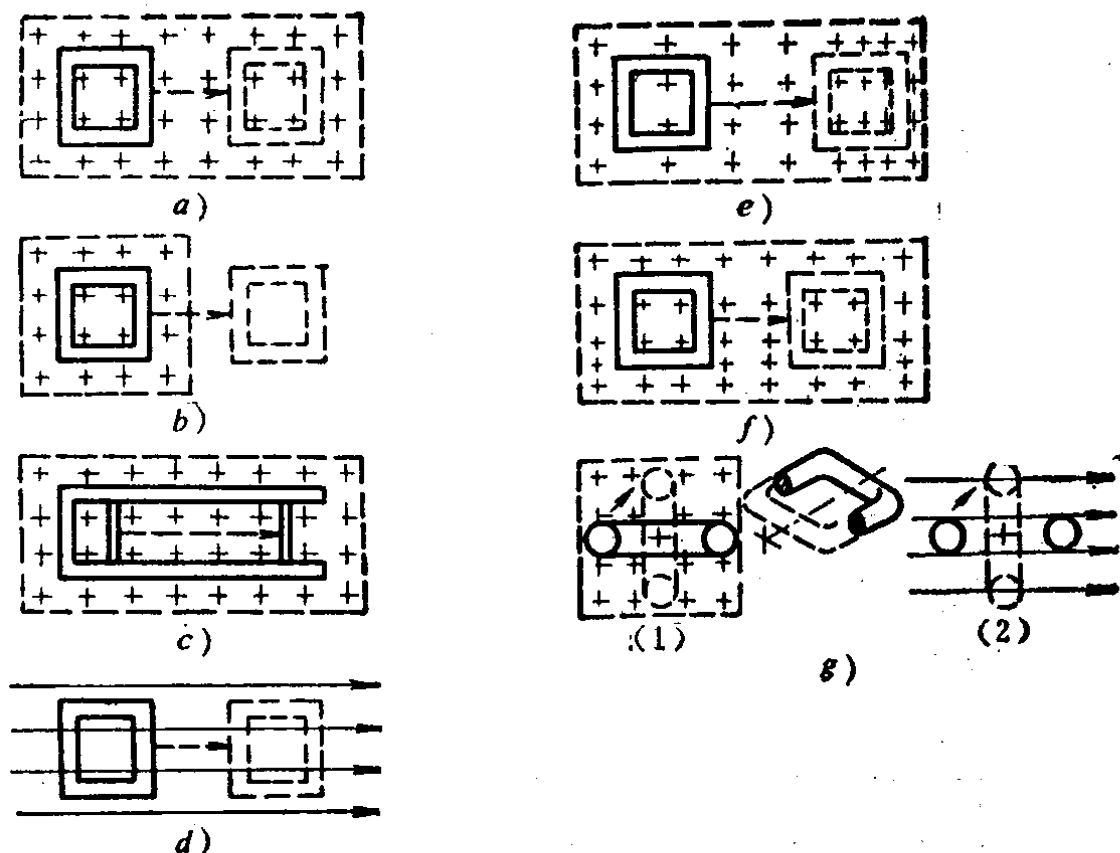


图 0-9

电环移动到虚线所示的位置时，试问在运动时环内是否产生感应电势，若有感应电势，试确定其方向。

0-17 试比较磁路和电路的相似点和不同点。

0-18 磁路结构如图 0-10 所示，欲在气隙中建立 7×10^{-4} 韦的磁通，需要多大的磁势？

0-19 一铁环的平均半径为 0.3 米，铁环的横截面积为一直径等于 0.05 米的圆形，在铁环上绕有线圈，当线圈中电流为 5 安时，在

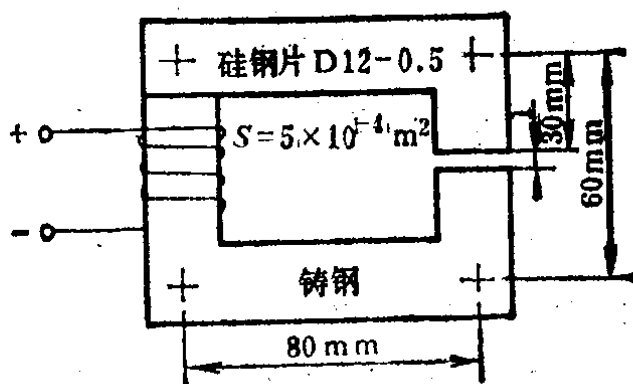


图 0-10

铁心中产生的磁通为 0.003 韦，试求线圈应有的匝数。铁环所用材料为铸钢，其磁化曲线见附录表 3。

0-20 设上题铁心中的磁通减少一半，线圈的匝数仍同上题中所求的数值，问此时线圈中应流过多少电流？如果线圈中的电流为 4 安，线圈的匝数不变，铁心中的磁通应为多少？

0-21 设有 100 匝长方形线圈，如图 0-11 所示，线圈的尺寸为： $a = 0.1$ 米， $b = 0.2$ 米，线圈在均匀磁场中围绕着连接长边中点的轴线以均匀转速 $n = 1000$ 转/分旋转，均匀磁场的磁通密度 $B = 0.8$ 韦/米²。试写出线圈中感应电势的时间表达式，算出感应电势的最大值和有效值，并说明出现最大值时的位置。

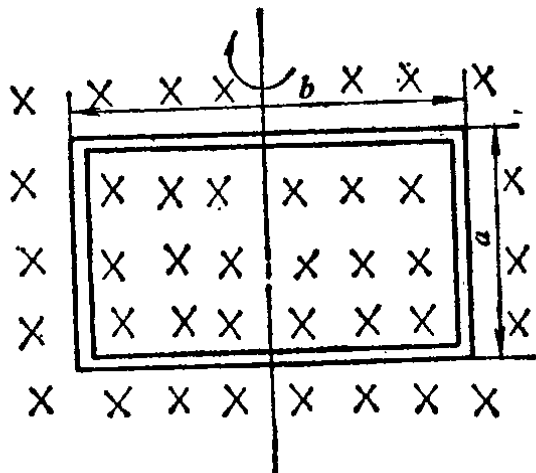


图 0-11

0-22 设上题中磁场为一交变磁场，交变频率为 50 赫芝，磁场的最大磁通密度 $B_m = 0.8$ 韦/米²。

(1) 设线圈不转动，线圈平面与磁力线垂直时，求线圈中感应电势的表达式；

(2) 设线圈不转动，线圈平面与磁力线成 60° 夹角时，求线圈中感应电势的表达式；

(3) 设线圈以 $n = 1000$ 转/分的速度旋转，且当线圈平面垂直于磁力线时磁通达最大值，求线圈中感应电势的表达式，说明电势波形。

0-23 线圈尺寸如图 0-11 所示 $a = 0.1$ 米， $b = 0.2$ 米，

位于均匀恒定磁场中，磁通密度 $B = 0.8 \text{ 韦/米}^2$ 。设线圈中通以 10 安电流，试求：

(1) 当线圈平面与磁力线垂直时，线圈各边受力多大？作用方向如何？作用在该线圈上的转矩多大？

(2) 当线圈平面与磁力线平行时，线圈各边受力多大？作用方向如何？作用在该线圈上的转矩多大？

(3) 线圈受力后要转动，试求线圈在不同位置时的转矩表达式。

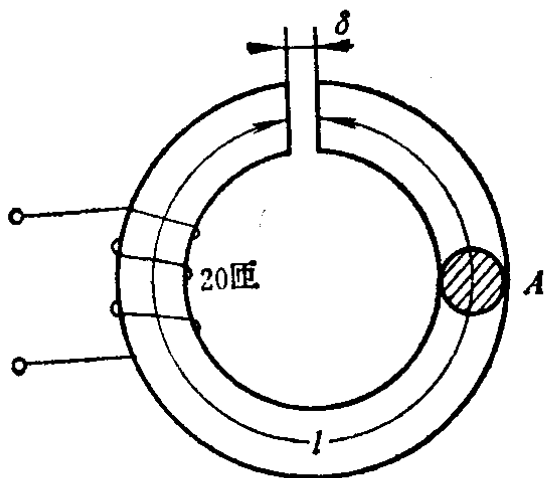


图 0-12

0-24 一铁心电抗器如图 0-12 所示，线圈套在开口环形铁心上，线圈匝数为 w ，铁内磁路长为 l 、截面积为 A ，开口宽度为 δ 。试求：

(1) 电抗器的电感；

(2) 当电流为 $i = \sqrt{2} I \sin \omega t$ 安时的；

〔1〕 电抗器的磁能和容量；

〔2〕 电抗器的等效电路；

〔3〕 两极面间的吸力。

第一篇 直流电机

第一章 直流电机的工作原理和基本结构

习 题

1-1 为什么直流发电机能发出直流电流？如果没有换向器，直流电机能不能发出直流电流？

1-2 试判断下列情况下，电刷两端电压性质：

(1) 磁极固定，电刷与电枢同时旋转；

(2) 电枢固定，电刷与磁极同时旋转。

1-3 在直流发电机中，为了把交流电势转变成直流电压而采用换向器装置；但在直流电动机中，加在电刷两端的电压已是直流电压，这时换向器有什么作用呢？

1-4 直流电机结构的主要部件有哪几个？它们是用什么材料制成的，为什么？这些部件的功能是什么？

1-5 从原理上看，直流电机电枢绕组可以只有一个线圈作成。但实际上直流电机用很多线圈串联组成，为什么？是不是用线圈越多越好？

1-6 已知某直流电动机铭牌数据如下：额定功率 $P_N = 75$ 千瓦，额定电压 $U_N = 220$ 伏，额定转速 $n_N = 1500$ 转/分，额定效率 $\eta_N = 88.5\%$ 。试求该电机的额定电流。

1-7 已知直流发电机的额定功率 $P_N = 240$ 千瓦，额定