

电力中等专业学校辅助教材

电机学习题 思考题解答

杨学勤 主编

水利电力出版社

电力中等专业学校辅助教材

电机学习题 思考题解答

杨学勤 主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书是《电机学》课程的参考教材。全书共选编了260道习题、思考题，并逐一做出解答。所选题目遍及《电机学》教材中的全部内容，题目的难易程度适合电力中专、大专的文化水平。

本书针对中专教学的特点，以问答或解题方式对电机的基本理论和主要的工程技术问题做了具体的阐述，以求加深对电机基本概念的理解和提高分析具体问题的能力。

本书可以作为教授《电机学》课程教师的参考资料，也可作为大、中专学校电专业及有关专业学生的辅助教材，对工程技术人员也有较高的参考价值。

电力中等专业学校辅助教材

电机学习题 思考题解答

北京电力专科学校 杨学勤 主编

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

河南省沁阳市印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 13.25印张 291千字

1991年9月第一版 1991年9月河南第一次印刷

印数00001—8400册

ISBN 7-120-01340-8/TM·373

定价6.20元

前 言

本书对杨传箭编写的中等专业学校教材《电机学》中的全部习题及思考题逐一做出解答。为扩大使用范围，各章还增添了部分题目、并做出解答。全书共编入教材中的题目171题，增编了89题。为便于查阅，本书中的题目编排，采用了《电机学》教材的章次与序号，增添的题目分章列于其后。这本题解可供教师备课和辅导时参考，也可作为电力大、中专学生和各类职工培训的辅导材料。

本书由北京电力专科学校杨学勤主编，参加编写的人员有：哈尔滨电校王佳钦（第一、二、三章）；内蒙电校杨士瑞（第四、五、六章）；成都水电校刘润莲（第七、八、九、十章）；北京电力专科学校杨学勤（第十一、十二、十三章）；郑州电校杨松荣（第十四、十五、十六、十七章）；合肥电校王世才（第十八、十九、二十、二十一、二十二、二十三章）。本书在编写过程中，得到西安电校田金玉校长和赖松年、赵家兰老师积极热情的帮助和支持。本书初稿完成后，由赖松年老师进行了认真、详细的审阅，并提出了许多宝贵的意见。在此，一并表示衷心的感谢。

按中专教学的特点，本书力求突出物理概念，并着重训练学生综合运用知识的能力，以加深对电机理论的理解和提高对具体问题的分析能力。

限于编者的水平，解题中一定会有许多缺点和错误，欢迎广大师生和读者批评指正。

编 者

1991年元月

目 录

前 言

第一篇 变 压 器

第一章 变压器的基本知识和结构	1—2
7 题	
第二章 单相变压器的空载状态分析	3—10
17 题	
第三章 单相变压器的负载状态分析	11—31
18 题	
第四章 三相变压器	32—49
16 题	
第五章 其他变压器	50—67
11 题	
第六章 变压器的运行分析	68—81
10 题	

第二篇 同 步 电 机

第七章 同步发电机的基本知识和结构	82—83
8 题	
第八章 交流绕组及其电势和磁势	84—103
19 题	
第九章 电枢反应	104—106
5 题	
第十章 参数、相量图、特性	107—113
12 题	
第十一章 并列运行	114—131
22 题	
第十二章 突然短路	132—138
13 题	
第十三章 同步发电机的异常运行	139—146
9 题	

第三篇 异步电机

第十四章 异步电动机的基本知识和结构	147—149
9 题	
第十五章 电磁关系、等值电路、力矩	150—161
16 题	
第十六章 起动和调速	162—169
15 题	
第十七章 其他异步电机	170—171
7 题	

第四篇 直流电机

第十八章 直流电机的基本知识和结构	172—174
4 题	
第十九章 电枢绕组和电势	175—180
7 题	
第二十章 电枢反应	181—183
3 题	
第二十一章 换向	184—185
3 题	
第二十二章 直流发电机	186—194
13 题	
第二十三章 直流电动机	195—206
15 题	烘缸下轴瓦

第一篇 变 压 器

第一章 变压器的基本知识和结构

1-1 变压器是根据什么原理变压的？

答：变压器是运用“动电生磁”、“动磁生电”的电磁感应原理变压的。

当变压器一次绕组施以交变电压 u_1 时，一次绕组中就产生交变电流 i_1 ，并在铁芯中产生交变的主磁通 ϕ ，主磁通与一次及二次绕组相交链。按电磁感应定律，一次及二次绕组都产生感应电势，其大小除与磁通变化率成比例之外，还与绕组的匝数成正比。因一次及二次绕组的匝数不等，所以两个绕组的感应电势的大小也不相等。

一次绕组的感应电势与外施电压相平衡，两者基本相等；二次绕组的感应电势与负载端电压相平衡，两者也基本相等。可见两侧绕组的匝数不相等，两侧的电压就不相等，这就实现了变压的目的。

1-2 变压器的高压侧是否就是一次侧？

答：普通双绕组变压器的高压侧和低压侧，是按其额定电压的大小来区分的，而一次侧和二次侧是按传递功率的方向来区分的，接电源输入功率的绕组侧称一次侧，接负载输出功率的绕组侧称二次侧。这两种区分方法之间并无固定的关系，因此，高压侧不一定就是一次侧。

1-3 变压器一次绕组接直流电源，二次绕组有电压吗？为什么？

答：当变压器一次绕组加稳定的直流电流时，其二次绕组没有电压。因为稳定的直流电流在铁芯中产生恒定不变的磁通，磁通的变化率为零，磁通和绕组之间无电磁感应关系，所以绕组中没有感应电势。二次绕组中没有感应电势，也就不会有端电压。

1-4 电力变压器铁芯的作用是什么？无铁芯时会有什么现象发生？

答：变压器两个不同匝数没有电气连接的绕组，是通过交变磁通的耦合作用，实现变压和能量传递的，铁芯的作用就是构成耦合磁通的磁路。因为铁芯材料大都是导磁率高、磁滞损耗和涡流损耗小的硅钢片，所以铁芯磁路可以增强主磁场，产生足够大的耦合磁通，并能有效地降低激磁电流。

若不装铁芯，由非导磁性的空气作磁路，则：①耦合二次绕组的磁通很少，不能正常地变压和传递能量；②施以额定电压时，因磁阻大，产生正常磁通所需的励磁电流太大。由于存在以上现象，变压器将不能正常工作。

1-5 有一台单相变压器， $S_e = 250\text{kVA}$ 、 $U_{1e}/U_{2e} = 10/0.4\text{kV}$ 。试求该变压器的一、二次侧额定电流 I_{1e} 、 I_{2e} 。

解：变压器一、二次侧额定电流分别计算为

$$I_{1*} = \frac{S_*}{U_{1*}} = \frac{250}{10} = 25 \text{ (A)}$$

$$I_{2*} = \frac{S_*}{U_{2*}} = \frac{250}{0.4} = 625 \text{ (A)}$$

1-6 有一台三相变压器，已知： $S_* = 5000\text{kVA}$ ，Y，d(Y/Δ)连接， $U_{1*}/U_{2*} = 10/6.3\text{kV}$ 。试求该变压器的一、二次侧额定电流。

解：变压器的一、二次额定电流分别计算为：

$$I_{1*} = \frac{S_*}{\sqrt{3} U_{1*}} = \frac{5000}{\sqrt{3} \times 10} = 288.7 \text{ (A)}$$

$$I_{2*} = \frac{S_*}{\sqrt{3} U_{2*}} = \frac{5000}{\sqrt{3} \times 6.3} = 458.2 \text{ (A)}$$

1-7 有一台三相双绕组变压器，已知： $S_* = 16000\text{kVA}$ ，Y，d(Y/Δ)接线， $U_{1*}/U_{2*} = 110/11\text{kV}$ 。试求：

(1) 一、二次侧额定电压和额定电流；

(2) 一、二次侧额定相电压和额定相电流。

解：

(1) 两侧的额定电压，是铭牌电压且为线电压，故

$$\begin{cases} U_{1*} = 110\text{kV} \\ U_{2*} = 11\text{kV} \end{cases}$$

两侧的额定电流指线电流，故

$$I_{1*} = \frac{S_*}{\sqrt{3} U_{1*}} = \frac{16000}{\sqrt{3} \times 110} = 84 \text{ (A)}$$

$$I_{2*} = \frac{S_*}{\sqrt{3} U_{2*}} = \frac{16000}{\sqrt{3} \times 11} = 840 \text{ (A)}$$

(2) 变压器两侧额定相电压：

高压侧为Y形接法，则

$$U_{1*x} = \frac{U_{1*}}{\sqrt{3}} = \frac{110}{\sqrt{3}} = 63.5 \text{ (kV)}$$

低压侧为Δ接法，则

$$U_{2*x} = U_{2*} = 11\text{kV}$$

变压器两侧额定相电流，也是绕组的额定电流：

高压侧为Y接法，则

$$I_{1*x} = I_{1*} = 84 \text{ (A)}$$

低压侧为Δ接法，则

$$I_{2*x} = \frac{I_{2*}}{\sqrt{3}} = \frac{840}{\sqrt{3}} = 485 \text{ (A)}$$

第二章 单相变压器的空载状态分析

2-1 变压器中的主磁通和一次漏磁通，在其所通过的磁路和所起的作用上有什么不同？在等值电路中哪些量是与主磁通、漏磁通相对应的？

答：变压器的主磁通和一次漏磁通虽然都是一次电流产生的，但它们的路径是不同的。

主磁通的磁路是由磁阻很小、但导磁率在一定范围内为变量的铁磁材料构成的闭合铁芯回路；一次漏磁通的磁路主要是磁阻很大、但导磁率为常数的空气或油。磁阻值的区别，使漏磁通在数量上比主磁通少得多。磁导率的差别，使主磁通和一次电流受铁芯饱和的影响而呈非线性关系，一次漏磁通却和一次电流呈线性关系。

两种磁通除磁路不同之外，在各自所起的作用上也是有区别的。

主磁通耦合两侧绕组，并在两侧绕组中都感应电势，是实现能量传递的桥梁，与此同时还将在铁芯中产生功率损耗。一次漏磁通仅交链一次绕组，只在一次绕组中感应漏电势，这个漏电势通常表示为漏电抗压降形式，所以说一次漏磁通不能起能量传递作用，只在一次侧电路里产生电压降。

在变压器空载等值电路中，与主磁通对应的物理量是一次感应电势 $\dot{E}_1$ 或励磁电纳 B_m 和代替铁损的等值电导 G_m 。励磁导纳可以等值变换为励磁电阻 r_m 和励磁电抗 x_m 。与一次漏磁通对应的物理量是一次漏电势 $\dot{E}_{l1}$ 或漏电抗 x_{l1} 。

2-2 为什么改变变压器的变比就能调压？如果一个工厂电气设备的运行电压太低，需要提高电压，那么调节该厂配电变压器高压侧分接头时，应增加高压匝数呢？还是减少高压匝数？

答：根据公式 $U_1 \approx E_1 = 4.44f\Phi_m N_1$ 可知，当电源电压 U_1 为定值时，改变 N_1 必然引起主磁通 Φ_m 的变化，即变比的改变会引起主磁通的变化。再由 $U_2 \approx E_2 = 4.44f\Phi_m N_2$ 式可知，当 N_2 不变时， Φ_m 的变化必然导致 U_2 发生变化，从而达到调压的目的。

据上述分析，如果工厂电气设备的电压偏低，需要提高电压时，应该增加主磁通，所以应减少高压绕组的匝数。

另外可利用变比公式分析：据 $K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2}$ ，有

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{N_2}{N_1}$$

当 U_1 、 N_2 不变时，若调高 U_2 ，就得减少 N_1 。

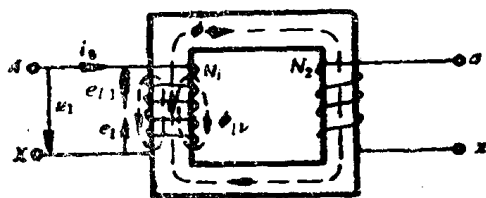


图 2-1 一次电势假定的正方向图

2-3 如果一次电势的正方向如图2-1所示，试写出电磁感应表达式和一次电势平衡方程式。

答：电磁感应表达式为

$$e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad e_{11} = N_1 \frac{d\phi_{11}}{dt}$$

其相应的复数形式为

$$\dot{E}_1 = +j4.44f\dot{\Phi}_m N_1 \quad \dot{E}_{11} = +j\dot{I}_1 x_1$$

则一次电势平衡方程式为

$$\dot{U}_1 - \dot{I}_1 r_1 = \dot{E}_1 + \dot{E}_{11}$$

整理后得

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + \dot{I}_1 r_1 + j\dot{I}_1 x_1 = \dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1$$

2-4 变压器空载时，一次侧加额定电压，虽然绕组的电阻 r_1 很小，为什么电流也不大？

答：空载运行的变压器，一次侧虽施加额定电压并且绕组的电阻很小，但因铁芯的磁导率很高，能产生很强的交变主磁通，这个交变主磁通在一次绕组中感应的电势按楞次定律与外施电压方向相反，其大小几乎与外施电压相等，电源外施电压基本上被这一反电势抵消，所以虽然电阻 r_1 很小，但空载电流也不大。

从变压器空载运行时的等值电路来看，空载电流所经过的回路中，不仅仅有电阻 r_1 ，还有一次漏电抗 x_1 ，励磁电阻 r_m 和励磁电抗 x_m ，这些与 r_1 串联的阻抗都远远大于 r_1 ，所以空载时一次绕组中的电流并不大。

2-5 当增大铁芯截面、减少一次绕组匝数以及铁芯截面的接缝较大时，分别对变压器的空载电流有什么影响？

答：可以分别从磁路和电路两个方面来回答这几个问题。

从磁路方面看：由公式 $U_1 \approx E_1 = 4.44f\dot{\Phi}_m N_1$ 可以看出外施电压、一次绕组匝数、主磁通三者之间的关系。增加铁芯截面，可以减小磁阻，在外施电压及一次匝数不变时，空载电流因磁阻的减小而减小。减少一次匝数，在外施电压不变时主磁通要相应增加，因磁通的增加和一次匝数的减少将使空载电流明显增加。铁芯接缝较大，也就增大了磁阻，在外施电压不变时，空载电流因磁阻的增大而增大。

从电路方面看，励磁电抗公式为

$$x_m = \omega \frac{N_1^2}{R_m}$$

可见，限制空载电流的这个主要的电抗，在频率不变〔 $\omega = 2\pi f$ 为常数〕的情况下，与一次匝数的平方成正比，与磁阻成反比。当铁芯截面增大（磁阻减小）时， x_m 增大，空载电流减小。当铁芯接缝较大（磁阻增大）时， x_m 减小，空载电流增大。当一次匝数减

少时, x_m 减小, 空载电流将明显增大。

2-6 变压器空载时, 是否要从电网中取得功率? 这些功率属于什么性质, 起什么作用? 为什么小负载用户使用大变压器, 无论对电网还是对用户均为不利?

答: 变压器空载时是要从电网中取得功率的, 这种功率, 既包括有功性质的功率 (通常称为空载损耗), 又包括无功性质的功率。前者对应空载电流在一次绕组电阻上的损耗 (铜耗) 和主磁通在铁芯中的磁滞、涡流损耗 (铁耗); 后者是为建立主磁场所需的无功损耗。

小负载用户使用大容量变压器时, 在经济、技术两方面都不合理。从电网经济运行的角度来看, 较大的励磁电流和较小的负载电流将使变压器的功率因数过低, 从而导致电网的功率因数降低, 这对电网运行的经济性和电压的稳定都不利。从用户角度考虑, 由于大容量变压器的空载损耗也较大, 用户负担的电费就较高。在轻负载下运行时, 变压器的运行效率将偏低。

2-7 什么叫变压器的漏电抗? 已制成的变压器它是不是常数?

答: 与变压器漏磁通对应的电抗叫漏电抗。

由于漏磁通的路径主要是空气、油等非铁磁性物质, μ 为常数, 即漏磁通和产生它的电流之间是线性关系, 则 $L_l = \frac{\Phi_{lm}}{\sqrt{2} I}$ 为常数, 漏电抗 $X_l = \omega L_l$ 也就是常数了。

2-8 如果将一台电力变压器接到相同电压的直流电源上, 如图2-2所示, 将会发生什么现象? 为什么? 其二次绕组的开路或短路对一次绕组电流有无影响?

答: 如果把变压器误接到同电压的直流电源上, 将使一次侧电流远远大于额定电流以致烧毁变压器。

其原因可以用变压器空载等值电路解释:

当变压器一次侧接于直流电源时, 所产生的是不随时间交变的恒定磁通, 等值电路中的漏电抗 $x_l = 0$, 主要起限流作用的励磁电抗 $x_m = 0$, 而且磁滞、涡流损耗对应的等值电阻 $r_m = 0$, 此时起限制电流作用的只有一次绕组的很小的直流电阻 r_1 , 所以电流非常大。

这时二次侧的开路或短路对一次侧电流没有影响。因为铁芯中的恒定磁通不在二次绕组感应电势, 二次绕组短路也不会产生二次电流, 即二次磁势等于零。所以二次绕组短路也不会影响一次侧电流。

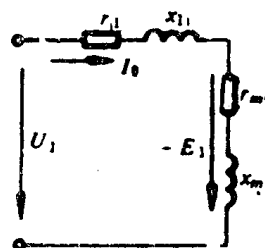


图 2-2 变压器接直流时的等值电路

2-9 试分析变压器 $\dot{U}_1$ 、 $\dot{E}_1$ 、 $\dot{\Phi}_m$ 三个物理量间的关系。

答: 变压器空载时, 忽略很小的 $\dot{I}_0 Z_1$, 可认为 $\dot{U}_1 \approx -\dot{E}_1$ 或 $U_1 \approx E_1 = 4.44 f \Phi_m N_1$ 。可见, 一次外施电压主要被一次绕组反电势所平衡, 在电源频率 f 以及一次匝数 N_1 一定的情况下, 主磁通幅值 Φ_m 的大小取决于外加电压 U_1 的大小。当外加电压一定时, 则与之平衡的反电势所需要的主磁通幅值便为定值。

2-10 设有一台容量为 10kVA 的单相变压器, 一、二次侧各有两个绕组, 一次侧每

个绕组的额定电压 $U_{1e} = 1100\text{V}$ ，二次侧每个绕组的额定电压 $U_{2e} = 110\text{V}$ ；用这台变压器进行不同的连接可得到几种不同的变比？在各种连接型式下其一次侧及二次侧额定电流是多少？

答：可以有四种情况，见图2-3。

(1) 一次侧两绕组串联，二次侧两绕组也串联，此时

$$K = \frac{1100 \times 2}{110 \times 2} = 10$$

$$I_{1e} = \frac{10 \times 10^3}{1100 \times 2} = 4.545 (\text{A})$$

$$I_{2e} = \frac{10 \times 10^3}{110 \times 2} = 45.45 (\text{A})$$

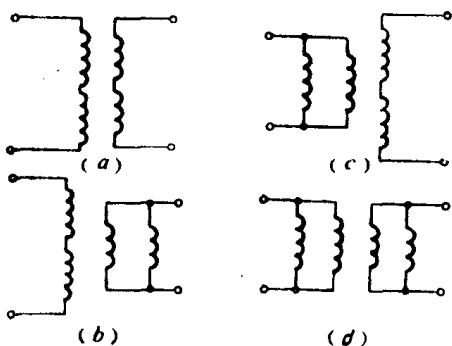
(2) 一次侧两绕组串联，二次侧两绕组并联，此时

$$K = \frac{1100 \times 2}{110} = 20$$

$$I_{1e} = \frac{10 \times 10^3}{1100 \times 2} = 4.545 (\text{A})$$

$$I_{2e} = \frac{10 \times 10^3}{110} = 90.9 (\text{A})$$

(3) 一次侧两绕组并联，二次侧两绕组串联，此时



$$K = \frac{1100}{110 \times 2} = 5$$

$$I_{1e} = 4.545 \times 2 = 9.09 (\text{A})$$

$$I_{2e} = 45.45 (\text{A})$$

(4) 一、二次绕组均为并联，此时

$$K = \frac{1100}{110} = 10$$

$$I_{1e} = 4.545 \times 2 = 9.09 (\text{A})$$

$$I_{2e} = 45.45 \times 2 = 90.9 (\text{A})$$

图 2-3 题2-10变压器绕组的各种接线图

(a) 两侧绕组均串联；(b) 一次绕组串联，二次绕组并联；(c) 一次绕组并联，二次绕组串联；(d) 一、二次绕组均并联

2-11 变比 $K = 2$ 的变压器，能否设

计成一次绕组为 2 匝，二次绕组为 1 匝的

变压器？

答：理论上可以，但从实用的角度看是不合理的。

据 $U_1 \approx E_1 = 4.44 f N_1 \Phi_m$ 式，当 U_1 一定时，由于匝数 N_1 或 N_2 都太少，势必使铁芯中 Φ_m 极大。 Φ_m 和材料的磁密及截面的关系是 $\Phi_m = B_m S$ ，可见，在铁芯材料的 B_m 为定值时，其截面积 S 必然很大，这是很不经济的。同时在工艺上也很难实现。

2-12 励磁电抗的物理意义是什么？希望变压器的 x_m 大些好还是小些好？

答：励磁电抗是变压器绕组对应于主磁通的电抗，它决定于绕组的匝数和铁芯的导磁性能。当绕组匝数一定时，如果铁芯导磁性能越好， x_m 越大，否则反之。

变压器的空载电流（即励磁电流）计算式为

$$\dot{I}_0 = \frac{\dot{U}_1}{(r_1 + jx_1) + (r_m + jx_m)}$$

分母中主要的量是励磁电抗 x_m ，所以在外施电压 $\dot{U}_1$ 一定的情况下，为减小励磁电流，希望 x_m 大一些为好。

2-13 变压器空载试验在低压侧和高压侧分别进行时，所测量的各种数据以及计算出来的励磁阻抗有什么异同？

答：变压器空载试验时通过仪表测量出来的数据，有空载外施试验电压 U_{10} 、空载电流 I_0 和空载损耗 P_{k0} 。

由于空载外施试验电压应为该侧额定电压，所以在不同侧作试验， U_{10} 的值相差 K 倍，即高压侧的 U_{10} 是低压侧的 K 倍，相应的空载电流 I_0 高压侧是低压侧的 $\frac{1}{K}$ 倍。由于无论在哪侧测试都加额定电压，铁芯中的磁通都是相同的，所以铁芯损耗（即 P_{k0} 的值）在两侧测得的数值相等。

在不同侧作空载试验计算出来的励磁阻抗的欧姆值不相等，从高压侧计算出来的励磁参数是低压侧的 K^2 倍。

设从高压侧作空载试验，忽略高压侧漏阻抗 Z_1 ，则

$$Z_{m1} = \frac{U_{10}}{I_{10}} = \frac{KU_{20}}{\frac{I_{20}}{K}} = K^2 \frac{U_{20}}{I_{20}} = K^2 Z_{m2}$$

同理：

$$r_{m1} = K^2 r_{m2}, x_{m1} = K^2 x_{m2}$$

2-14 某单相变压器， $S_e = 5000\text{kVA}$ 、 $U_{1e} = 35\text{kV}$ 、 $U_{2e} = 6.3\text{kV}$ 、 $f = 50\text{Hz}$ 、铁芯有效截面积 $A = 1120\text{cm}^2$ 、铁芯磁通密度 $B_m = 1.3\text{Wb/m}^2$ 。试求该变压器高、低压绕组匝数，变比及高、低压侧额定电流。

解：按条件主磁通幅值

$$\Phi_m = B_m A = 1.3 \times 1120 \times 10^{-4} = 0.1456 (\text{Wb})$$

忽略很小的漏阻抗压降 $I_0 Z_1$ ，认为 $U_1 = E_1$ ，另外 $U_2 = E_2$ ，以此计算两侧匝数，即

$$N_1 = \frac{E_1}{4.44f\Phi_m} = \frac{U_1}{4.44f\Phi_m} = \frac{35 \times 10^3}{4.44 \times 50 \times 0.1456} = 1083 (\text{匝})$$

$$N_2 = \frac{E_2}{4.44f\Phi_m} = \frac{U_2}{4.44f\Phi_m} = \frac{6.3 \times 10^3}{4.44 \times 50 \times 0.1456} = 195 (\text{匝})$$

变比

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_{e1}}{U_{e2}} = \frac{35}{6.3} = 5.5538$$

或

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{1803}{195} = 5.5538$$

高、低压侧额定电流分别为：

$$I_{1e} = \frac{S_e}{U_{1e}} = \frac{5000}{35} = 143 \text{ (A)}$$

$$I_{2e} = \frac{S_e}{U_{2e}} = \frac{5000}{6.3} = 794 \text{ (A)}$$

例-15 有一台三相电力变压器，已知： $S_e = 500 \text{ kVA}$ ； $U_{1e}/U_{2e} = 10000/400 \text{ V}$ ；
D, yn (Δ/Y_0) 连接。试求：

(1) 两侧额定电流及相电流；

(2) 若高压侧每相有960匝，求低压侧每相匝数；

(3) 若铁芯磁密幅值 $B_m = 1.4 \text{ T}$ ，求铁芯截面积 A ；

(4) 若额定情况下绕组中的电流密度为 3 A/mm^2 ，求两侧导线截面积 A_1 、 A_2 。

解：

(1) 两侧额定电流（线电流）及相电流：

高压侧额定电流为

$$I_{1e} = \frac{S_e}{\sqrt{3} U_{1e}} = \frac{500 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 10000} = 28.9 \text{ (A)}$$

高压侧额定相电流

$$I_{1ex} = \frac{I_{1e}}{\sqrt{3}} = \frac{28.9}{\sqrt{3}} = 16.7 \text{ (A)}$$

低压侧额定电流（线电流）

$$I_{2e} = \frac{S_e}{\sqrt{3} U_{2e}} = \frac{500 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} = 721.7 \text{ (A)}$$

低压侧额定相电流

$$I_{2ex} = I_{2e} = 721.7 \text{ (A)}$$

(2) 若高压侧每相有960匝，则低压侧每相匝数由

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{1ex}}{U_{2ex}} = \frac{10000}{400/\sqrt{3}} = 43.3$$

得

$$N_2 = \frac{N_1}{43.3} = \frac{960}{43.3} = 22.2 \text{ (匝)}$$

取22匝。

(3) 若铁芯磁密幅值 $B_m = 1.4 \text{ T}$ ，则磁通计算式为

$$\Phi_m = \frac{U_1}{4.44fN_1} = \frac{10000}{4.44 \times 50 \times 960} = 0.0469(\text{Wb})$$

得铁芯截面 $A = \frac{\Phi_m}{B_m} = \frac{0.0469}{14000 \times 10^{-4}} = 0.0335(\text{m}^2)$

(4) 若额定情况下绕组中的电流密度为 $3\text{A}/\text{mm}^2$, 则两侧导线截面积分别为

$$A_1 = \frac{I_{1ex}}{3} = \frac{16.7}{3} = 5.6(\text{mm}^2)$$

$$A_2 = \frac{I_{2ex}}{3} = \frac{721.7}{3} = 240.6(\text{mm}^2)$$

2-16 有一台 Y, d(Y/Δ)连接的三相变压器, $S_e = 5600\text{kVA}$, $U_{1e}/U_{2e} = 35/0.38\text{kV}$ 。如果其一次侧每相匝数 $N_1 = 700$ 匝, 试求:

(1) 二次绕组每相匝数 N_2 ;

(2) 两侧的额定电流。

解:

(1) 根据题意, 计算相绕组匝数比

$$K = \frac{U_{1ex}}{U_{2ex}} = \frac{35}{\sqrt{3} \times 0.38} = 53.117$$

因为 $K = \frac{N_1}{N_2}$, 则

$$N_2 = \frac{N_1}{K} = \frac{700}{53.117} = 13.16(\text{匝})$$

(2) 根据题意, 一、二次额定电流分别计算为

$$I_{1e} = \frac{S_e}{\sqrt{3} U_{1e}} = \frac{5600}{\sqrt{3} \times 35} = 92.378(\text{A})$$

$$I_{2e} = \frac{S_e}{\sqrt{3} U_{2e}} = \frac{5600}{\sqrt{3} \times 0.38} = 8508.569(\text{A})$$

2-17 一台三相变压器, 已知: $S_e = 50000\text{kVA}$; Y, d(Y/Δ)接线, $U_{1e}/U_{2e} = 110/10.5\text{kV}$ 。在低压侧加电源, 空载试验数据为: $I_0\% = 0.75$, $p_{h0} = 48600\text{W}$ 。试求:

(1) 变比;

(2) 低压侧的 r_m 、 x_m 、 Z_m 。

解:

(1) 根据题意, 其变比计算为

$$K = \frac{U_{1ex}}{U_{2ex}} = \frac{U_{1e}}{\sqrt{3} U_{2e}} = \frac{110}{\sqrt{3} \times 10.5} = 6.05$$

(2) 空载试验加额定相电压, 即

$$U_{0x} = U_{2e} = 10.5 \text{ kV}$$

低压侧额定电流及相电流

$$I_{2e} = \frac{S_e}{\sqrt{3} U_{2e}} = \frac{50000}{\sqrt{3} \times 10.5} = 2749.37 (\text{A})$$

$$I_{2ex} = \frac{I_{2e}}{\sqrt{3}} = \frac{2749.37}{\sqrt{3}} = 1587.3 (\text{A})$$

低压绕组每相空载电流

$$I_{0x} = I_0\% \times I_{2ex} = \frac{0.75}{100} \times 1587.3 = 11.9 (\text{A})$$

低压绕组空载试验时每相的空载损耗

$$p_{k0x} = \frac{p_{K0}}{3} = \frac{48600}{3} = 16200 (\text{W})$$

则低压侧的励磁参数为

$$Z_m = \frac{U_{2e}}{I_{0x}} = \frac{10.5 \times 10^3}{11.9} = 882.4 (\Omega)$$

$$r_m = \frac{p_{k0x}}{I_{0x}^2} = \frac{16200}{11.9^2} = 114.4 (\Omega)$$

$$x_m = \sqrt{Z_m^2 - r_m^2} = \sqrt{882.4^2 - 114.4^2} = 875 (\Omega)$$

第三章 单相变压器的负载状态分析

3-1 一台单相双绕组变压器，在 $U_1 = \text{常数}$ 、 $f = \text{常数}$ 的条件下，试比较下列三种情况下其主磁通的大小（计及电压降）。

（1）空载；

（2）带感性负载；

（3）二次短路。

答：在 f 一定、匝数一定的条件下，据式 $E_1 = 4.44fN_1\Phi_m$ 可知，感应电势的大小与主磁通成正比，因此，判断上述三种情况下主磁通的大小可用该三种情况下电势的大小加以判断。

据方程式 $\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1$ 可知，在电压一定时，电压降 $\dot{I}_1 Z_1$ 的大小必然影响 $\dot{E}_1$ 的大小。

又据方程式 $\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}'_2)$ 可知， $\dot{I}_1$ 的大小与 $-\dot{I}'_2$ 有关。

综上所述，在不同运行条件下，磁路中主磁通的大小实际上取决于相应运行条件下二次电流的大小。

（1）空载时，二次电流为零， $\dot{I}_1 = \dot{I}_0$ 最小， $\dot{I}_0 Z_1$ 最小， $\dot{E}_1$ 最大，主磁通也最大。

（2）带感性负载运行时， $\dot{I}_1$ 增大， $\dot{I}_1 Z_1$ 增大，使得 $\dot{E}_1$ 及主磁通变得小些。

（3）二次短路时，很大的一次电流造成很大的电压降 $\dot{I}_1 Z_1$ ，此种情况下 $\dot{E}_1$ 及主磁通最小。

3-2 为什么变压器二次电流变化时一次电流也会发生变化？（用磁势平衡原理分析）

答：变压器负载运行时，只要一次侧所加电压 $\dot{U}_1$ 为常数，则产生 $\dot{E}_1$ 的主磁通 Φ_m 也应保持不变。负载时，变压器二次绕组的电流所建立的磁势 $\dot{F}_2$ 也作用于铁芯磁路，并使主磁通趋于改变，二次电流的增大或减小、二次磁势对主磁通的影响也就随之增强或削弱。由于主磁通的变化，又将引起一次反电势相应的改变，并导致一次电流的变化。结果是二次电流变化时，必然引起一次电流发生相应的变化，并以其形成的磁势分量随时补偿二次磁势的作用。所以，变压器二次电流变化时一次电流也会发生相应的变化。

3-3 当忽略漏抗的影响时，为什么变压器铁芯中的主磁通，不随负载电流的变化而变化？