

829716

504

2554A

电机学

DIAN JI XUE

学习指导书

生 洁
苏 鹏 声 合 编
张 文 翔

中央广播电视大学出版社

电机学学习指导书

生洁 苏鹏声 张文翔 合编

中央广播电视大学出版社

电机学学习指导书

生洁 苏鹏声 张文翔 合编

*

中央广播电视大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷一厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 7.5 千字 190

1987年10月第1版 1987年10月第1次印刷

印数 1—9000

定价 1.40 元

ISBN 7-304-00008-2/TM·6

前 言

本书是与《电机学》(朱东起、王岩、李发海编,中央电大出版社出版)配套的教学用书,供电气工程类电机、电力系统及其自动化(发电)专业的学员使用。目的在于使学员加深对教材内容的理解,提高分析问题解决问题的能力。各章的编排次序与教材相同,每章分为三个部分:第一部分主要指出教材中该章的重点、难点及一些应注意的问题;第二部分为思考题解答;第三部分为部分习题解答。书末附有《电机学》教学大纲。

参加本书编写的有生洁(同步电机部分)、苏鹏声(交流电机绕组电势与磁势、异步电机、直流电机部分)、张文翔(变压器部分)。全书由王岩审定。限于水平,不当之处在所难免,敬请读者指正。

编 者

1987年2月

目 录

第一篇 变压器	(1)
第一章 概述	(1)
一、重点及难点	(1)
二、思考题解答	(1)
第二章 变压器的运行分析	(3)
一、重点及难点	(3)
二、思考题解答	(4)
三、部分习题解答	(16)
第三章 三相变压器的联接及空载运行的电势波形	(21)
一、重点及难点	(21)
二、思考题解答	(22)
三、部分习题解答	(27)
第四章 变压器的并联运行	(29)
一、重点及难点	(28)
二、思考题解答	(28)
三、部分习题解答	(29)
第五章 三绕组变压器和自耦变压器	(31)
一、重点及难点	(31)
二、思考题解答	(31)
三、部分习题解答	(36)
第六章 三相变压器的不对称运行	(38)
一、重点及难点	(38)
二、思考题解答	(38)
三、部分习题解答	(40)
第七章 变压器的瞬变过程	(43)
一、重点及难点	(43)
二、思考题解答	(43)
三、部分习题解答	(45)
第八章 变压器的发热与温升	(45)
一、重点及难点	(45)
二、思考题解答	(46)
第二篇 交流电机的绕组、电势和磁势	(47)
第九章 交流电机的绕组和电势	(47)
一、重点及难点	(47)
二、思考题解答	(47)
三、部分习题解答	(49)
第十章 电枢绕组的磁势	(62)

一、重点及难点	(52)
二、思考题解答	(52)
三、部分习题解答	(54)
第三篇 同步电机	(57)
第十一章 同步发电机的基本电磁关系	(57)
一、重点及难点	(57)
二、思考题解答	(57)
三、部分习题解答	(59)
第十二章 同步发电机的运行特性	(62)
一、重点及难点	(62)
二、思考题解答	(63)
三、部分习题解答	(64)
第十三章 同步发电机的并联运行	(67)
一、重点及难点	(67)
二、思考题解答	(68)
三、部分习题解答	(69)
第十四章 同步电动机和同步补偿机	(72)
一、重点及难点	(72)
二、思考题解答	(72)
三、部分习题解答	(72)
第十五章 同步发电机的不对称运行	(76)
一、重点及难点	(76)
二、思考题解答	(76)
第十六章 同步发电机的突然短路	(77)
一、重点及难点	(77)
二、思考题解答	(78)
第十七章 同步电机的振荡	(78)
一、重点及难点	(78)
二、思考题解答	(79)
第四篇 异步电机	(80)
第十八章 概述	(80)
一、重点及难点	(80)
二、思考题解答	(80)
第十九章 三相异步电动机的运行原理	(81)
一、重点及难点	(81)
二、思考题解答	(81)
三、部分习题解答	(84)
第二十章 异步电机的功率、转矩和运行性能	(85)
一、重点及难点	(85)
二、思考题解答	(86)
三、部分习题解答	(97)
第二十一章 异步电机的起动、调速和制动	(89)

一、重点及难点	(89)
二、思考题解答	(90)
第五篇 直流电机	(93)
第二十二章 概述	(93)
一、重点及难点	(93)
二、思考题解答	(93)
第二十三章 直流电机的磁路、电枢绕组	(93)
一、重点及难点	(93)
二、思考题解答	(93)
三、部分习题解答	(93)
第二十四章 直流发电机	(95)
一、重点及难点	(95)
二、思考题解答	(96)
三、部分习题解答	(98)
第二十五章 直流电动机	(98)
一、重点及难点	(98)
二、思考题解答	(98)
三、部分习题解答	(102)
第二十六章 直流电机的换向	(105)
一、重点及难点	(105)
二、思考题解答	(105)
附录 电机学教学大纲	(107)

第一篇 变 压 器

第一章 概 述

一、重点及难点

本章主要介绍了电力变压器的类别、用途及结构,说明了变压器型号中各符号代表的意义以及变压器各额定数据的定义,主要偏重于介绍,理解性内容较少。因此,本章无难点,学习的重点应放在记忆上,同时要搞清楚以下几个问题:

1. 铭牌上额定电压 U_{1N}/U_{2N} 及额定电流 I_{1N}/I_{2N} 均指的是线值;
2. 三相双绕组变压器的额定容量为 $S_N = \sqrt{3} U_{1N} I_{1N}$, 而不是 $3 U_{1N} I_{1N}$;
3. 变压器实际使用时不一定处于额定运行状态,即负载电流不一定是额定电流 I_{2N} 。一般在选用变压器时应使额定容量大于并尽量接近于负载容量,以保证安全,并使变压器的利用率尽量提高。

二、思考题解答

1-1 变压器能否直接改变直流电的电压等级来传输直流电能?

答 不能。因为只有变化的磁通才能在线圈中感应出电流,如果在变压器的原边绕组加直流电压,那么在绕组中就会产生大小一定的直流电流,同时建立直流磁势,在铁心中产生恒定不变的磁通,所以副边绕组中不会产生感应电势,输出电压为零,输出功率也为零。

1-2 输送一定容量的交(或直)流电时,采用高压输电或低压输电,输电线的截面积是否应该一样大小?若导线截面积已经固定了,线路上的损耗一样大吗?当某输电线传送一定大小的电流时,采用高压输电或低压输电,哪一种输送的容量大?为什么?

答 因为输电容量 S 、输电电压 U 与电流 I 三者之间的关系为 $S \propto UI$, 所以当输送一定容量的电能时, $S = \text{常数}$, $I \propto \frac{1}{U}$, 也就是说输电电压越高,电流就越小,导线线径就可越细,由此可见采用高压输电比采用低压输电时输电线的截面积要小,这也就意味着高压输电省材料,经济性好。若导线的截面积已经固定了,当送电距离一定时,输电线的电阻就为常数,而高压输电比低压输电的电流小,所以线路上的损耗 $p \propto I^2$ 也小。当输电线传送一定大小的电流时,导线截面积也应相应固定,送电距离一定,输电线电阻为常数,故线路上的损耗为常数。同时由于 $I = \text{常数}$, 送电容量 $S \propto U$, 所以高压输电输送的容量大,低压输电输送的容量小。

以上三个角度的分析结论是高压输电比低压输电经济。因此远距离输电都采用高电压。

1-3 电力系统中为什么变压器的安装容量比发电机的大 5~8 倍?

答 我们知道,为了减少输电时线路上的损耗,要采用高压输电,因此从发电厂发出的交流电先要经过升压,到用户时还须几次降压,整个过程要经过多个变压器进行升、降压,而每个变压器的容量均与负载相当,负载总容量与发电机容量相当,故所有这些变压器的容量总和肯

定要比发电机的大数倍,一般这个倍数大约为5~8。

1-4 变压器的铁心为什么要做成闭合的?如果铁心回路中有间隙,对变压器有什么影响?

答 磁路的欧姆定律告诉我们,若磁路中磁通大小一定,则磁动势与磁阻成正比。因为一台变压器在额定电压下运行时,铁心内主磁通的大小是一定的,所以若主磁路磁阻小则磁动势小,即励磁电流中的 I_{0r} 小。而闭合铁心构成的磁路比磁路中有间隙的情况磁阻小得多,因此用闭合铁心做磁路时 I_{0r} 小得多。 I_{0r} 小,则变压器的功率因数提高,变压器性能好。顺便提一下,由于 I_{0a} 远小于 I_{0r} ,一般可以认为 $I_0 \approx I_{0r}$,通常说磁阻大时 I_0 大。

1-5 变压器的铁心为什么不用普通的薄钢板而采用硅钢片?

答 因为普通的薄钢板比硅钢片的磁导率小,所以若使用普通薄钢板做铁心,则(1)会使磁路磁阻加大,产生同样大小的主磁通所需励磁电流的无功分量 I_{0r} 也会加大,这样就降低了变压器的功率因数;(2)会使铁心内损耗增加,降低变压器的效率,这主要是因为薄钢板中涡流大,涡流损耗很大。

1-6 型号为S-500/10和SFPL-63000/110的两种变压器,各是什么样的变压器?

答 S-500/10型是三相油浸式、自然循环、风冷、双绕组电力变压器,导线为铜线, $S_N = 500$ kVA,高压边额定电压为10 kV。SFPL-63000/110型为三相油浸式、强迫油循环、风冷、双绕组电力变压器,导线为铝线, $S_N = 63000$ kVA,高压边额定电压为110 kV。这两种变压器均为无励磁调压。

1-7 为什么电力变压器高压边一般有分接头?运行时怎样根据副边电压变化调节分接头?

答 我们知道,电网电压是会因整个负载的变化而变化的,为保证在电网电压波动时(一般是 $\pm 5\%$),副边输出电压是稳定的,一般在变压器的高压侧都引几个分接头,与分接开关相连。调节分接开关,可以改变高压绕组的匝数,即改变变压器实际的匝数比,从而达到调压的目的。调节方法是:当副边电压降低时,应使高压绕组实际匝数减小,即使变比减小,从而使副边电压再回升;反之,当副边电压升高时,应使高压边实际匝数增大。

1-8 一台S-50/35型号的变压器,额定电压为35000/400 V, Y/Y-12接法,试求高压边及低压边额定电流。

解 高压边额定电流为

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{1N}} = \frac{50 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 35 \times 10^3} \approx 0.825 \text{ A}$$

低压边额定电流为

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{2N}} = \frac{50 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} \approx 72.17 \text{ A}$$

1-9 一台S-16000/110型号的变压器,额定电压为110/11 kV, Y_0/Δ -1接法,试求高压边及低压边的额定电流。

解 高压边的额定电流为

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{1N}} = \frac{16000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 110 \times 10^3} = 83.98 \text{ A}$$

低压边的额定电流为

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{2N}} = \frac{16000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 11 \times 10^3} = 839.8 \text{ A}$$

1-10 思考题 1-8 与 1-9 中的两台变压器中, 高压边和低压边的额定相电压和相电流各为多少?

解 (1) 1-8 中的变压器(参见思考题 1-8)。

高压边 Y 接, 低压边 Y 接。其额定相电压和相电流分别为

$$U_1 = U_{1N} / \sqrt{3} = 35000 / \sqrt{3} = 20207 \text{ V}$$

$$U_2 = U_{2N} / \sqrt{3} = 400 / \sqrt{3} = 231 \text{ V}$$

$$I_1 = I_{1N} = 0.825 \text{ A}$$

$$I_2 = I_{2N} = 72.17 \text{ A}$$

(2) 1-9 中的变压器(参见思考题 1-9)。

高压边 Y₀ 接, 低压边 Δ 接, 其额定相电压和相电流分别为

$$U_1 = U_{1N} / \sqrt{3} = 110 \times 10^3 / \sqrt{3} = 63.5 \times 10^3 \text{ V}$$

$$U_2 = U_{2N} = 11 \times 10^3 \text{ V}$$

$$I_1 = I_{1N} = 83.98 \text{ A}$$

$$I_2 = I_{2N} / \sqrt{3} = 839.8 / \sqrt{3} = 484.9 \text{ A}$$

第二章 变压器的运行分析

一、重点及难点

本章主要介绍了单相及三相双绕组电力变压器对称运行时的电磁关系, 折合算法, 变压器的基本方程式、等值电路和向量图, 标么值, 变压器的参数测定以及变压器的运行特性。这些内容都非常重要, 因此本章也是变压器理论的重点内容之一。学习本章时应注意对概念的理解, 不要死背公式, 从原理上清楚后, 计算一般较简单。本章重点为:

1. 变压器中各物理量的正方向惯例, 等值电路、基本方程式及向量图;
2. 变压器稳态对称运行的计算;
3. 变压器的运行特性。

本章难点为折合算法。

学习本章时应注意以下几个问题:

1. 变压器中各电磁量的正方向的规定。要明确正方向的规定不是唯一的, 可以任意规定, 但方程式要根据正方向规定而列写, 正方向不同, 方程式也不一样, 但计算结果是一致的。应该明白各量的正方向并不一定是实际方向, 关于正方向与实际方向的问题, 必要时可参考先修课《电路分析》中的有关内容。

2. 在分析三相变压器时, 由于其对称性, 每一相都可以简化为单相等值电路处理, 但等值电路中的负载阻抗是相值, 若变压器副边的接法与负载阻抗接法不一致时, 例如变压器副边为 Y 接, 而负载为 Δ 接法, 则应根据 Δ-Y 转换公式将负载转换为 Y 接法, 求出等效 Y 接法的每相阻抗, 再代入等值电路进行计算。下面简单介绍一下 Δ-Y 转换公式:

若 Y 形网络由 Z_a 、 Z_b 、 Z_c 构成, Δ 形网络由 Z_{ab} 、 Z_{bc} 、 Z_{ca} 构成, 则它们满足下列关系:

$$Z_a = \frac{Z_{ab}Z_{ca}}{Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ca}}$$

$$Z_b = \frac{Z_{ab}Z_{bc}}{Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ca}}$$

$$Z_c = \frac{Z_{bc}Z_{ca}}{Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ca}}$$

为了便于记忆,可利用下面的一般公式:

$$Y \text{ 形阻抗} = \frac{\Delta \text{ 形相邻阻抗的乘积}}{\Delta \text{ 形阻抗之和}}$$

以上公式的推导可参考电路方面的书籍。在三相阻抗对称时,

$$Z_a = Z_b = Z_c = Z_Y,$$

$$Z_{ab} = Z_{bc} = Z_{ca} = Z_{\Delta},$$

则有

$$Z_Y = \frac{1}{3} Z_{\Delta}$$

例 2-1 已知接法为 Y/Y-12 的降压变压器带三相 Δ 接对称负载, Δ 形的每边阻抗 $Z = 30 + j40\Omega$, 求变压器等值电路中的每相负载阻抗 Z_L 。

解

$$Z_L = \frac{1}{3} Z = \frac{1}{3} (30 + j40) = 16.67 / 53.13^\circ \Omega$$

二、思考题解答

2-1 某台变比 $k=2$ 的单相变压器, 额定电压为 220/110 V, 如果原边接到 380V 或 110V 电源上, 其主磁通有什么变化? 铁心中的最大磁密 B_m 有什么变化?

答 当通入变压器的电源的频率与变压器原绕组匝数 W_1 不变时, 由于 $U_1 \approx E_1 = 4.44 f W_1 \Phi_m$, 因此主磁通 $\Phi_m \propto U_1$, 又由于铁心截面积为常数, 故 $B_m \propto \Phi_m \propto U_1$ 。当原边电压为 220 V 时, 主磁通及磁密均为额定值, 分别用 Φ_m 及 B_m 表示。

如果原边加上 380 V 的电压, 则主磁通将增至 $(380/220) \Phi_m = \sqrt{3} \Phi_m$, 磁密亦增至 $\sqrt{3} B_m$; 如果原边加上 110 V 的电压, 则主磁通将减至 $(110/220) \Phi_m = \frac{1}{2} \Phi_m$, 磁密亦减至 $\frac{1}{2} B_m$ 。

2-2 已知两台变压器原、副边绕组感应电势均为 $\dot{E}_1$ 及 $\dot{E}_2$, 主磁通 $\dot{\Phi}_m$ 的规定正方向标注于题图 2-1 中, 试写出瞬时值形式 $e(t) = f[\Phi(t)]$ 和向量形式 $\dot{E}_1 = f(\dot{\Phi}_m)$ 、 $\dot{E}_2 = f(\dot{\Phi}_m)$ 的关系式。

解 在题图 2-1(a) 的情况下
瞬时值形式

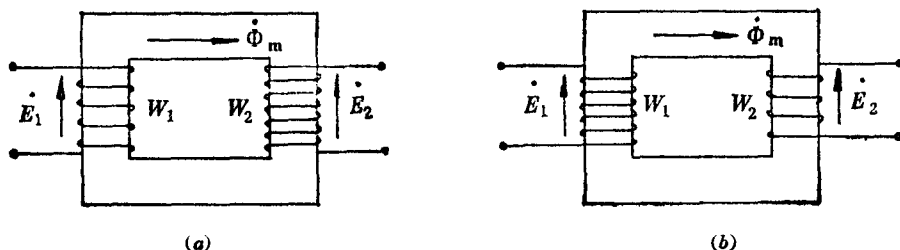
$$e_1 = W_1 \frac{d\phi}{dt}, \quad e_2 = W_2 \frac{d\phi}{dt}$$

向量形式

$$\dot{E}_1 = 4.44 f W_1 \dot{\Phi}_m, \quad \dot{E}_2 = 4.44 f W_2 \dot{\Phi}_m$$

在题图 2-1(b) 的情况下

瞬时值形式



题图 2-1

$$e_1 = -W_1 \frac{d\phi}{dt}, \quad e_2 = -W_2 \frac{d\phi}{dt}$$

向量形式

$$\dot{E}_1 = -j4.44 f W_1 \dot{\Phi}_m, \quad \dot{E}_2 = -j4.44 f W_2 \dot{\Phi}_m$$

2-3 某变压器数据为 $S_N = 100 \text{ kVA}$, $U_{1N}/U_{2N} = 6300/400 \text{ V}$, Y/Y₀-12 接法。现将电源由 6300 V 改为 10000 V, 并使用改换高压绕组的办法来适应电源电压的变化, 若保持低压绕组不变, 每相匝数 $W_2 = 40$ 匝, 问原来的高压绕组是多少匝? 新的高压绕组应为多少匝?

解 原来的高压绕组匝数为

$$W_1 = \frac{\frac{U_{1N}}{\sqrt{3}}}{\frac{U_{2N}}{\sqrt{3}}} W_2 = \frac{U_{1N}}{U_{2N}} W_2 = \frac{6300}{400} \times 40 = 630$$

新的高压绕组匝数为

$$W'_1 = \frac{\frac{U'_{1N}}{\sqrt{3}}}{\frac{U_{2N}}{\sqrt{3}}} W_2 = \frac{U'_{1N}}{U_{2N}} W_2 = \frac{10000}{400} \times 40 = 1000$$

注意: 原副边的匝数比等于它们的相电压之比, 因此式中的线电压要除以 $\sqrt{3}$ 。

2-4 某单相变压器额定电压为 220/110 V, 如题图 2-2 所示。设高压边加 220 V 电压, 空载励磁电流为 I_0 , 主磁通为 Φ_m 。若 X 与 a 联在一起, 当 Ax 间加 330 V 电压时, 励磁电流与主磁通各为多大? 若 X 与 x 联在一起, Aa 间加 110 V 电压, 励磁电流与主磁通又各为多大?

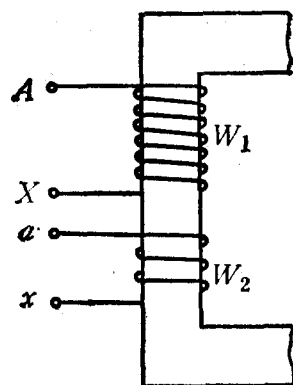
$$\text{解 } \frac{U_{AX}}{U_{ax}} = \frac{W_1}{W_2} = 2, \quad W_2 = \frac{1}{2} W_1$$

(1) 若 X 与 a 相联接, 当 Ax 间加 330 V 电压时, 设励磁电流为 I'_0 , 主磁通为 Φ'_m :
Ax 绕组有效匝数为

$$W_1 + W_2 = W_1 + \frac{1}{2} W_1 = \frac{3}{2} W_1$$

已知

$$\frac{U_{Ax}}{U_{AX}} = \frac{330}{220} = \frac{3}{2}$$



题图 2-2

根据 $U \approx 4.44 f W \Phi_m$ 的关系可知, 当匝数与电压按同样比例 $\frac{3}{2}$ 增大时, Φ_m 不变, 励磁磁势不

变,即

$$\begin{aligned}\Phi'_m &= \Phi_m \\ I'_0(W_1 + W_2) &= I_0 W_1 \\ I'_0 &= \frac{W_1}{W_1 + W_2} I_0 = \frac{2}{3} I_0\end{aligned}$$

因此励磁电流减为原来的 $\frac{2}{3}$ 。

(2) 若X与x相联接,当Aa间加110V电压时,设励磁电流为 I''_0 ,主磁通为 Φ''_m :
Aa绕组有效匝数为

$$W_1 - W_2 = W_1 - \frac{1}{2} W_1 = \frac{1}{2} W_1$$

已知

$$\frac{U_{Aa}}{U_{AX}} = \frac{110}{220} = \frac{1}{2}$$

根据 $U \approx 4.44 f W \Phi_m$ 的关系可知,当匝数与电压按同样比例 $\frac{1}{2}$ 减小时, Φ_m 不变,励磁势磁不变,即

$$\begin{aligned}\Phi''_m &= \Phi_m \\ I''_0(W_1 - W_2) &= I_0 W_1 \\ I''_0 &= \frac{W_1}{W_1 - W_2} I_0 = 2I_0\end{aligned}$$

因此励磁电流增至原来的2倍。

2-5 电力变压器的铁心材料为什么用软磁材料而不用硬磁材料?

答 软磁材料比硬磁材料的磁滞回线瘦长,也就是磁滞损耗比较小,因此当用软磁材料当铁心时,变压器励磁电流的有功分量 I_{0a} 比用硬磁材料时的小,运行时效率高。

2-6 变压器铁心若用整块硅钢材料或者说硅钢片之间不绝缘有什么不好?

答 变压器铁心若用整块硅钢材料,运行时铁心内的涡流损耗比用相互绝缘的薄硅钢片构成的铁心大得多,这意味着励磁电流的有功分量 I_{0a} 大,效率低。

2-7 单相电力变压器的磁通与励磁电流波形各是什么样的?它们的相位相同吗?为什么?

答 由于铁磁材料具有饱和现象,铁心中的磁通与磁化电流之间的关系不是正比关系,而变压器的磁路一般处于饱和状态,所以当主磁通 Φ_m 是正弦波时,其励磁的磁化电流波形就是非正弦波了,如图2-1所示。

励磁电流由无功分量 I_{0r} 与有功分量 I_{0a} 所组成,其中无功分量 I_{0r} 即磁化电流与主磁通 Φ_m 同相位,而有功分量 I_{0a} 的相位领先 Φ_m 90°,因此励磁电流 $I_0 = I_{0r} + I_{0a}$ 比 Φ_m 在相位上超前一个角度即铁耗角,该角度的大小由 I_{0r} 与 I_{0a} 的比值决定,一般由于变压器都采取措施减小铁心损耗,因此 I_{0a} 较小,即铁耗角也较小。

2-8 变压器空载运行时,原边加额定电压,已知 r_1 很小,为什么电流并不大?电力变压器磁路不用铁心而是空心(即空气),行不行?为什么?

答 虽然变压器的原边直流电阻 r_1 很小,但当其空载运行时,交流励磁阻抗却很大,或者说主磁通产生的感应电势 $-E_1$ 很大,而且还有漏磁压降 $jI_0 x_1$,因此直接加在绕组电阻 r_1 上的

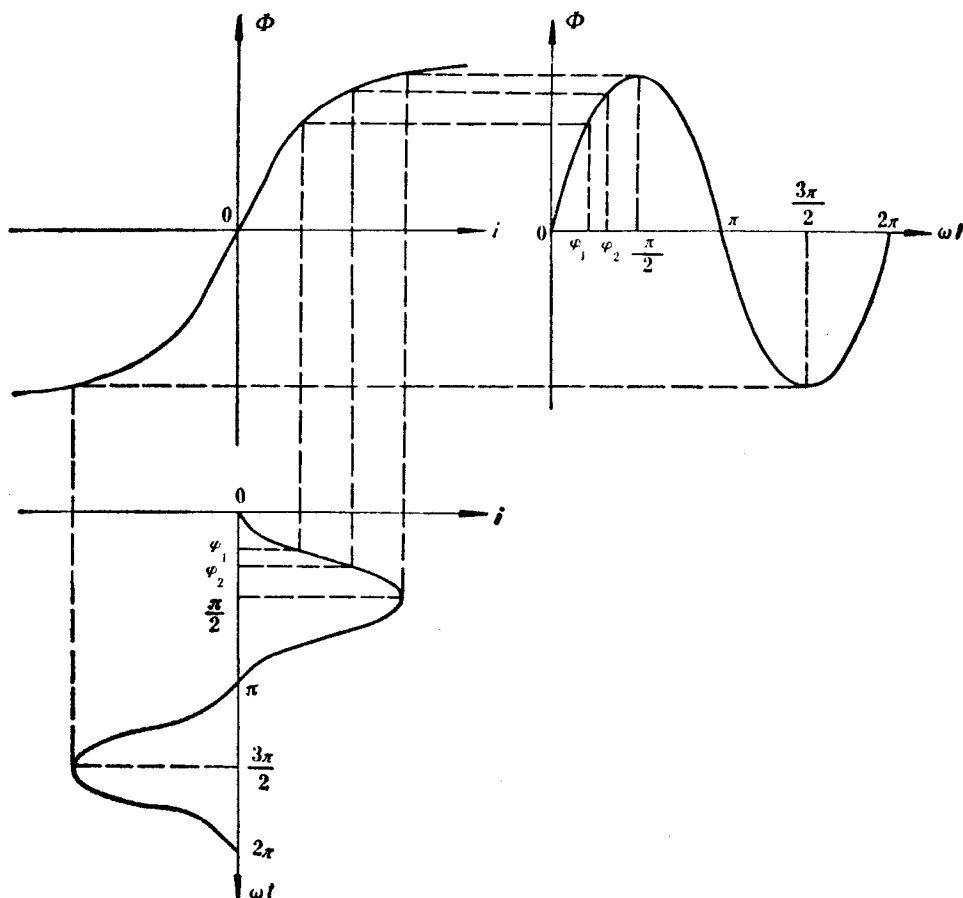


图 2-1

电压很小,也就是励磁电流 I_0 很小,其大小为

$$I_0 = \frac{\dot{U}_1}{(r_1 + r_m) + j(x_1 + x_m)}$$

电力变压器磁路不用铁心而用空心的不行,因为在主磁通一定的条件下,空气磁路的磁阻太大,励磁磁势太大,也就是说需要有很大的励磁电流 I_0 才能运行,这样变压器在运行时的功率因数 $\cos \varphi_1$ 就会很低。 I_0 的增大必定使损耗加大,而且由于 I_0 变成了原边电流 I_1 的主要部分,使得变压器的带负载能力大大下降。

2-9 一台变压器,若误把原边接到直流电源上,其电压大小与额定电压相同,电流大小将会怎样?

答 其结果是变压器的原边电流 I_1 非常大,使变压器过热而烧毁。这是因为当原边加直流电压时,铁心中只产生恒定不变的磁通,其不产生感应电势,使励磁电抗及原边漏抗均为零,而且由于磁通的不交变,铁心中就不产生铁损耗,励磁电阻亦为零。因此所加直流电压均在 r_1 上,原边电流大小为

$$I_1 = \frac{U_1}{r_1} \gg I_{1N}$$

2-10 某单相变压器额定电压为 220/110 V,如不慎把低压边误接到 220 V 的电源上,励

磁电流的大小将会怎样?

答 低压边的励磁电流将会很大。因为当高压边接 220V 电压正常运行时,由于原边漏抗很小, $E_1 \approx U_1 = 220\text{V}$, $E_2 \approx 110\text{V}$ 。现不慎将低压边接至 220V 电源上,由于副边漏抗也很小,所以 $E_2 \approx 220\text{V}$,为正常运行时的二倍。我们知道,

$$E_2 = 4.44 f W_2 \Phi_m$$

因此 Φ_m 也增至原来的二倍,磁密 B_m 也增至原来的二倍。而正常运行时主磁通为设计值,铁心磁路已接近饱和,最大磁密 B_m 也接近饱和值,即 B_m 已位于磁化曲线的拐弯点。现倘若 B_m 再增为二倍,则场强 H 将急剧增加,励磁磁势也正比于 H 急剧增加,导致副边励磁电流非常大。

2-11 某台变压器原边漏阻抗 $z_1 = r_1 + jx_1$ 是什么含义? 大小与什么因素有关系? 是常数吗?

答 $z_1 = r_1 + jx_1$ 式中的 r_1 指的是变压器原边绕组的电阻,与绕组的匝数及所用材料有关; x_1 指的是原边绕组的漏电抗, $x_1 = \omega L_{s1}$, ω 为电源频率, L_{s1} 为原绕组单位电流产生的原绕组漏磁链数,其值与绕组匝数及漏磁路的磁阻有关。但对某台具体的变压器来讲,以上这些因素都是固定不变的,因此 z_1 就是常数。

2-12 变压器励磁阻抗与磁路的饱和程度有关系吗? 电力变压器运行时,为什么把励磁阻抗看成常数?

答 变压器的励磁阻抗与磁路的饱和程度有关系。因为其中的励磁电抗 x_m 是一个与主磁通 Φ_m 相对应的电抗,其数值随 Φ_m 的大小不同即铁心的饱和程度不同而改变,一般在额定电压时磁路已接近饱和,若饱和程度再增加,则磁导率 μ 越小,磁阻 R_m 增大, x_m 则减小。变压器在空载运行时无功功率很大,有功功率很小,所以在数值上 $r_m \ll x_m$,也就是说 x_m 在励磁阻抗 $r_m + jx_m$ 中占很大比例,因此磁路越饱和,励磁阻抗越小。通常电网电压可近似恒压,根据

$$U_1 \approx E_1 = 4.44 f W_1 \Phi_m$$

可知 Φ_m 近似为常数,因此励磁阻抗可被认为是常数。

2-13 变压器空载运行时消耗了什么性质的功率? 为什么? 哪一种功率为主? 为什么?

答 消耗了两种性质的功率。其中消耗的有功功率使原绕组的导线电阻发热,同时还由于磁滞和涡流损耗使铁心发热;消耗的无功功率用来建立磁场,产生主磁通。由于原边励磁电流中的有功分量 I_{0a} 很小,而用于建立磁场的无功分量 I_{0r} 占有很大比例,因此变压器在空载运行时消耗的无功功率为主。

2-14 变压器空载运行时为什么功率因数很低? 是领先性的还是落后性的?

答 上题已经说过在变压器空载运行时,用于建立磁场的无功励磁电流即磁化电流 I_{0r} 占很大比例,而 I_{0a} 近似落后于 $U_1 90^\circ$,因此空载运行时功率因数很低,是落后性的。

2-15 请默画变压器空载运行时的向量图。

答 参见教材图 2-7。

2-16 某台变压器负载为一可变电阻,欲增大变压器负载,电阻值该怎样调节?

答 增大负载即增大负载电流 I_2 ,所以应将电阻值调小。

2-17 变压器原绕组漏磁通 Φ_{s1} 是由原边磁势产生的,空载时磁势为 $I_0 W_1$,负载时磁势为 $I_1 W_1$,已知 $I_1 \gg I_0$,因此负载时 Φ_{s1} 比空载时的大十几倍或几十倍之多,是否原绕组漏电抗 x_1 也应该是负载时比空载时的数值大十几倍到几十倍?

答 不是的,因为 x_1 是常数。我们知道,空载时 $x_1 = \omega L_{s1} = \omega \cdot \frac{W_1 \Phi_{s1}}{\sqrt{2} I_0}$, 我们设负载时 $x'_1 = \omega L'_{s1} = \omega \cdot \frac{W_1 \Phi'_{s1}}{\sqrt{2} I_1}$, 可以看出,只要证明 $\frac{\Phi_{s1}}{I_0} = \frac{\Phi'_{s1}}{I_1}$, 就可以说明 x_1 为常数。一般变压器的原绕组之漏磁路主要是由变压器油(或空气)等非铁磁材料组成,其漏磁阻可以看成为常数,即磁路为线性的。因此,原绕组漏磁通与其磁势成正比关系,即 $\frac{\Phi_{s1}}{I_0 W_1} = \frac{\Phi'_{s1}}{I_1 W_1}$, 消去 W_1 , 得 $\frac{\Phi_{s1}}{I_0} = \frac{\Phi'_{s1}}{I_1}$, 所以 $x_1 = x'_1$, 也就是说 x_1 为常数。

2-18 变压器原、副绕组并没有直接的电路联接,可是当负载运行时,副边电流加大或减小的同时,原边电流也跟着加大或减小,这是为什么?

答 尽管变压器原、副绕组没有直接的电路联接,但它们共用一个主磁路,都绕在同一个铁心上。这样,负载运行时励磁磁势是两个绕组磁势之和,即

$$I_0 W_1 = I_1 W_1 + I_2 W_2$$

而变压器的主磁通是不变的,所以励磁磁势 $I_0 W_1$ 不变,与负载大小无关。当副边电流变化时,副边磁势 $I_2 W_2$ 随之变化,由上述磁势平衡关系可知原边磁势 $I_1 W_1$ 也将随之变化,即原边电流也跟着变化。一般地,由于 I_0 很小,可以近似认为 $I_1 W_1 \approx I_2 W_2$ 。

2-19 变压器副边电流若分别为 $I_2 = 0, 0.5 I_{2N}$ 和 I_{2N} 时,原边电流各为多少? 与负载是电阻性、电感性或电容性有关系吗?

答 副边电流为 $I_2 = 0, 0.5 I_{2N}, I_{2N}$ 时

原边电流为 $I_1 = 0, 0.5 I_{1N}, I_{1N}$, 与负载性质无关。

2-20 某变压器运行时,哪些量不随负载变化? 哪些量随负载变化?

答 变压器的原副边漏阻抗 z_1 和 z_2 与绕组匝数及结构等有关,为常数不变。运行时,由于原边接电网,因此 $\dot{U}_1$ 恒定不变, $\dot{E}_1$ 和 $\dot{E}_2$ 可近似认为不变,主磁通 Φ_m 也就近似不变,励磁磁势近似不变,即励磁电流 I_0 近似不变,励磁阻抗 z_m 也近似不变。副边电流 I_2 、原边电流 I_1 及副边电压 $\dot{U}_2$ 将随负载变化而相应变化。值得注意的是,上面所说的近似不变指的是变化较小,而并非恒定,因为 $\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + I_1(r_1 + jx_1)$ 中的 $r_1 + jx_1$ 一项数值很小,因此可近似认为 $\dot{U}_1 \approx \dot{E}_1$ 。

2-21 折合算法的依据是什么? 副边向原边折合的磁势平衡方程式是什么样的?

答 折合算法的依据是磁势不变。例如从副边向原边折合,依据的是磁势 $F_2 = I_2 W_2$ 不变,把匝数看成是 W_1 , 电流看成是 I'_2 , 保持 $F_2 = I_2 W_2 = I'_2 W_1$ 不变。折合后磁势平衡方程式为

$$I_1 + I'_2 = I_0$$

2-22 副边向原边折合时副边哪些量改变? 怎样改变? 哪些量不变? 为什么?

答 副边向原边折合时,副边的电压、电势、电流及阻抗都将改变。折合前后改变的各量之间的换算关系都与变比 k 有关,分别为 $\dot{U}'_2 = k \dot{U}_2$, $\dot{E}'_2 = k \dot{E}_2$, $I'_2 = \frac{I_2}{k}$, $z'_2 = k^2 z_2$, $Z'_2 = k^2 Z_2$ 。各量的相位、各阻抗的阻抗角在折合前后不变,功率关系不变。

2-23 你认为折合算法能否适用于原边折合到副边? 原边电压、电势、电流及阻抗折合与折合前大小一样吗? 相差多少? 电压、电流的相位改变了吗?

答 折合算法同样适用于原边向副边折合。原边各量在折合后都将改变, 分别为 $\frac{\dot{U}_1}{k}$, $\dot{E}_1' = \frac{\dot{E}_1}{k}$, $\dot{I}_1' = k\dot{I}_1$, $z_1' = \frac{z_1}{k^2}$, 电压、电流的相位没有改变。

2-24 某台 560 kVA、10/0.4 kV、 Δ/Y_0 接法的三相电力变压器, 每相副绕组 $r_2 = 0.004 \Omega$, $x_2 = 0.0058 \Omega$, 计算副边向原边折合后的折合值 r_2' 和 x_2' 。

解 变压器变比为

$$k = \frac{10}{\frac{0.4}{\sqrt{3}}} = 43.3$$

折合值

$$r_2' = k^2 r_2 = 43.3^2 \times 0.004 = 7.5 \Omega$$

$$x_2' = k^2 x_2 = 43.3^2 \times 0.0058 = 10.875 \Omega$$

2-25 变压器的 T 型等值电路和一字型等值电路各适用于什么运行状态?

答 T 型等值电路适用于三相对称稳态运行的变压器, 空载和负载都适用。一字型等值电路是在假定 $I_0 \ll I_2$ 的条件下得到的, 因此只适用于三相对称稳态负载运行的变压器, 不适用于空载运行的变压器。

2-26 计算三相对称负载稳态运行的变压器, 已知副边为 Δ 接法, 变比 $k = 4$, 负载每相阻抗为 $(3 + j 0.9) \Omega$ 。若负载为 Δ 接法, 等值电路中 Z_2' 应为多少? 若负载为 Y 接, Z_2' 又为多少?

解 若负载为 Δ 接法, 则 $Z_2' = k^2 (3 + j 0.9) = 4^2 \times (3 + j 0.9) = 48 + j 14.4 \Omega$ 。若负载为 Y 接法, 则 $Z_2' = 3 \times k^2 (3 + j 0.9) = 144 + j 43.2 \Omega$ 。

2-27 默画出变压器的 T 型和一字型等值电路, 并标明各电磁量与参数。

答 参见教材图

2-28 试写出变压器带负载时从原边看进去的每相总阻抗(等于 $\frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1}$)即变压器的输入阻抗在 T 型等值电路和一字型等值电路中的表达式。

解 T 型等值电路的输入阻抗为

$$Z = z_1 + z_m // (z_2' + Z_2') = z_1 + \frac{z_m(z_2' + Z_2')}{z_m + (z_2' + Z_2')}$$

一字型等值电路的输入阻抗为

$$Z = z_1 + z_2' + Z_2'$$

2-29 某台单相变压器的 $S_N = 100 \text{ kVA}$, $U_{1N}/U_{2N} = 3300/220 \text{ V}$, $r_1 = 0.45 \Omega$, $x_1 = 2.96 \Omega$, $r_2 = 0.0019 \Omega$, $x_2 = 0.0137 \Omega$ 。求向原、副边折合时的短路阻抗 z_k 和 z_k' 的数值各为多少?

解 变压器的变比为

$$k = \frac{U_{1N}}{U_{2N}} = \frac{3300}{220} = 15$$

向原边折合时的短路阻抗为

$$\begin{aligned} z_k &= (r_1 + r_2') + j(x_1 + x_2') = (r_1 + k^2 r_2) + j(x_1 + k^2 x_2) \\ &= (0.45 + 15^2 \times 0.0019) + j(2.96 + 15^2 \times 0.0137) = 0.8775 + j 6.0425 \Omega \end{aligned}$$

向副边折合时的短路阻抗为