

国家教委师范教育发展项目

师范专科学校劳动技术教育选修课教材

电工技术



牟孝君 主编

广西师范大学出版社

国家教委师范教育发展项目

师范专科学校劳动技术教育选修课教材

电 工 技 术

主编 牟孝君
编者 苏俊德 陈芽玲 牟孝君

广西师范大学出版社

国家教委师范教育发展项目

师范专科学校劳动技术教育选修课教材

编 委 会

编委会主任 甘幼坪

编委会副主任 黄秉铎 莫显怀 闾金童

编	委	甘幼坪	黄秉铎	莫显怀	闾金童	牟孝君	李绳坤	万增强
		张 楷	梁苏琪	刘静行	石兰香	徐德强	莫善华	蒙 神
		罗建华	孙志鹏	汤干文	丘瑞立	郑绍福	李明辉	

说 明

劳动技术教育是对学生实施劳动和生产技术的教育,是全面贯彻国家教育方针,提高全民族素质,促进学生全面发展的主要措施之一。初中开设劳动技术教育课旨在培养学生的劳动观点、劳动习惯和热爱劳动人民的思想感情;培养学生初步掌握一些生产劳动或通用的职业技术基础知识和基本技能。作为培养和培训初中师资的高等师范专科学校、教育学院、职业培训中心,开设劳动技术教育选修课显然是必要的。

世界银行贷款的国家教委“师范教育发展项目”、教学改革重要课题之一——“高等师范专科学校开设劳动技术教育选修课教学方案的研究”,是由广西教委申请立项、委托广西师范大学承担课题设计与研究任务的课题。现在与读者见面的《植物栽培》、《食用菌栽培学教程》、《猪禽科学饲养与疾病防治新技术》、《家用视听设备检修》、《机械技术与维修》、《电工技术》等六门劳动技术教育选修课教材和相辅的音像教材,是该课题的研究成果之一。为使劳动技术教育课体现实践性、技术性、教育性三大特点,教材编写组人员在教材内容组织和编写时,力求处理好技能性与教育性的关系,基础性与先进性的关系,通用性与地域性的关系,科学性与可读性、可操作性的关系。教材注意吸收国内外先进技术,内容丰富、充实、新颖,文字简明、流畅、深入浅出,既能使高等师范专科生和参加培训的中学教师易于掌握基础知识和基本技能,为从事中学劳动技术教育课教学打下扎实的基础,又能使职业高中、职业技术学校的学生获得新的科学知识,学到切实可用的多种应用技术,为“科技兴市”和“科技兴农”作出贡献。

在教材编写过程中,广西师范大学领导和生物、物理与电子技术科学系领导,为我们营造了良好的研究环境,使我们能较快地组织起学科结构和知识结构合理、办事效率高的编写队伍;国家教委师范司、贷款办的领导和专家多次莅临指导、检查、帮助,激励我们按时完成教材编写任务;广西各高等师范专科学校和教育学院的领导及有关学科教师的热情支持与合作,给我们增添了战胜困难的力量和勇气;广西师范大学出版社副总编余鑫晖编审、于诗藻编审和理科编辑室陈仲芳副编审等的忘我劳动、精心组织,为我们的教材出版提供了条件。在此一并致谢。

欢迎读者用后提出宝贵的改进意见。

劳动技术教育选修课教材编委会

1995年12月

前 言

随着教育事业的发展,劳动技术教育成为促进学生全面发展的重要措施之一。电工技术、特别是自动控制技术的推广应用和普及,需要有关的理科学生了解和掌握这方面的知识。本书是从使用的角度出发,为有关方面的理科学生学习电工技术和自动控制技术、掌握一定的劳动技能而编写的。本书可以作为物理学和电子学等专业开设有关课程的试用教材,也可供其他有关专业的学生和工程技术人员参考。

本书内容包括两个方面,一是工农业生产和家用电器设备中常用的小功率变压器和交流电机,着重介绍它们的维修、计算、选用和控制;二是自动控制系统中常用的控制电机、传感器和晶闸管变流技术,着重介绍它们的原理、特性和应用。在编写中参考了近年来出版的有关教材和资料,基于读者已掌握了电工学和电子技术的基本知识,因此,对本书的内容力求精确简练、深入浅出、利于教学。

本书由广西师范大学物理与电子技术科学系牟孝君教授任主编,参加编写的有苏俊德(第一章)、陈芽玲(第二、三章)和牟孝君(第四、五章)。全书由广西师大原电教馆馆长张新烈主审。

本书在编写和出版过程中,得到编者所在校、系、广西师范大学科研处和广西师范大学出版社的支持和帮助,对此,我们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不妥和错误之处在所难免,欢迎读者批评指正。

编 者

1996年5月

目 录

第一章 动力用电机	(1)
§ 1-1 变压器	(1)
§ 1-2 感应电动机	(14)
§ 1-3 同步发电机	(25)
§ 1-4 单相电动机	(33)
思考题和习题	(44)
第二章 控制电机	(46)
§ 2-1 交流伺服电动机	(47)
§ 2-2 交流力矩电动机	(55)
§ 2-3 直流伺服电动机	(57)
§ 2-4 步进电动机	(59)
§ 2-5 自整角机	(68)
§ 2-6 旋转变压器	(73)
§ 2-7 测速发电机	(79)
§ 2-8 微型同步电动机	(82)
思考题和习题	(86)
第三章 电动机的选择和控制	(88)
§ 3-1 电动机容量的选择	(88)
§ 3-2 电动机的类型、电压、转速和结构型式的选择	(91)
§ 3-3 接触器	(92)
§ 3-4 继电器	(94)
§ 3-5 自动控制线路的图形符号和文字符号	(97)
§ 3-6 感应电动机的控制和保护	(99)
§ 3-7 实现生产机械某些控制要求的控制环节	(101)
思考题和习题	(105)
第四章 晶闸管变流技术	(106)
§ 4-1 晶闸管	(106)
§ 4-2 单相可控整流电路	(111)
§ 4-3 三相可控整流电路	(120)
§ 4-4 有源逆变电路	(125)

§ 4-5 交流调压	(128)
§ 4-6 晶闸管的触发电路	(130)
§ 4-7 应用实例	(138)
思考题和习题	(140)
第五章 传感器	(141)
§ 5-1 概述	(141)
§ 5-2 电阻式传感器	(144)
§ 5-3 电感式传感器	(147)
§ 5-4 电容式传感器	(149)
§ 5-5 热敏传感器	(153)
思考题和习题	(159)

第一章

动力用电机

§ 1-1 变压器

一、变压器的用途和结构

在国民经济的各个部门,如变电站、工厂、农村、科研单位、学校等都大量地使用各种变压器.在家用电器中也有不少变压器,如:电冰箱中有稳压器,电视机、家庭音响等设备中都有变压器.变压器分为升压变压器、降压变压器、整流变压器、电焊变压器等.

变压器的种类虽然繁多,但其结构都是由铁芯和绕组两大部分组成.

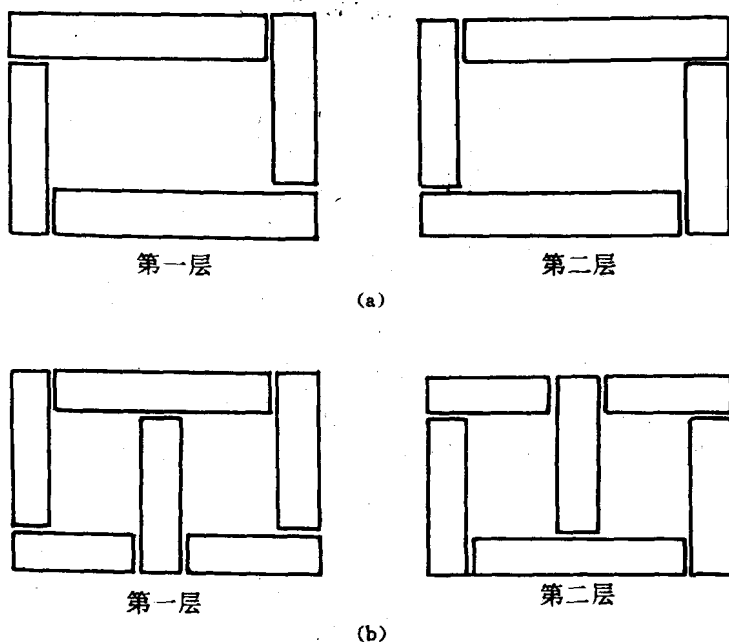


图 1-1-1 硅钢片叠装方式

铁芯是变压器的磁路部分,它包括铁芯柱和铁轭两部分.铁芯柱套装绕组,铁轭使铁芯柱连接成为一个整体,形成闭合磁路.为了减少磁路的损耗,铁芯一般用 $0.35\text{mm} \sim 0.5\text{mm}$ 厚的

硅钢片叠装而成,每片表面涂一层薄的绝缘漆.为了使铁芯的导磁效率提高,通常采用交叠方式叠装,使接缝处错开,如图 1-1-1 所示.

铁轭的截面一般比铁芯柱大 5%~10%左右,以减少空载电流和铁损.

绕组是变压器的电路部分,按高、低压绕组在铁芯柱上的位置不同,可分为同心式和交叠式两种,如图 1-1-2 所示.

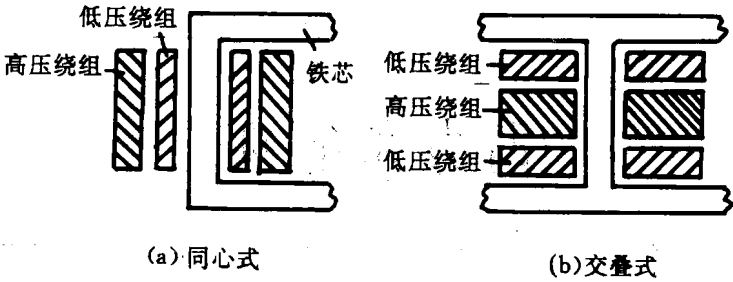


图 1-1-2 绕组的型式

同心式绕组的初级绕组和次级绕组同心地套在铁芯柱上.从安全出发,一般低压绕组靠近铁芯柱,高压绕组在外面.其结构简单,绕制方便,绕组间绝缘性能好.扩大机的电源变压器就是采用这种绕组形式.

交叠式绕组是把初级、次级绕组交叠地套在铁芯柱上,从安全考虑,一般上下装低压绕组,中间装高压绕组.其优点是漏抗小,机械强度高.电灶变压器采用这种绕组形式.

二、变压器的工作原理

变压器是利用电磁感应原理来工作的一种电器.它可以改变交流电压、电流.图 1-1-3 中,

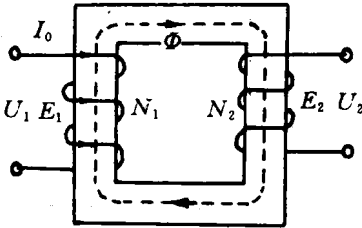


图 1-1-3 变压器的工作原理

当次级绕组 N_2 开路,初级绕组 N_1 接上交流电源时,初级绕组流过的电流 I_0 称为空载电流,其大小一般为额定电流的 3%~8%. I_0 流经初级绕组后产生磁势 $I_0 N_1$,在变压器铁芯中产生主磁通 Φ ,它穿过初、次级绕组,分别产生感应电势 E_1 和 E_2 . 根据电磁感应定律,其感应电势有效值为

$$E_1 = 4.44 f N_1 \Phi_m \times 10^{-8} \quad (1-1-1)$$

$$E_2 = 4.44 f N_2 \Phi_m \times 10^{-8} \quad (1-1-2)$$

式中: Φ_m —主磁通的最大值, f —电源频率, N_1 —初级绕组匝数, N_2 —次级绕组匝数. 可见,初级绕组和次级绕组中的感应电势 E_1 、 E_2 与绕组的匝数成正比. 由于绕组本身有内阻抗电压,所以 U_1 略大于 E_1 , U_2 小于 E_2 . 若忽略内阻抗电压,可以认为绕组两端的电压与电势大小相等,即

$$U_1 \approx E_1, \quad U_2 \approx E_2$$

则

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = k \quad (1-1-3)$$

可见,初级绕组输入电压与次级绕组输出电压之比,等于它们的匝数比, k 称为变比。

当变压器初级绕组接上电源,次级绕组接上负载时,称为负载运行,如图 1-1-4 所示。

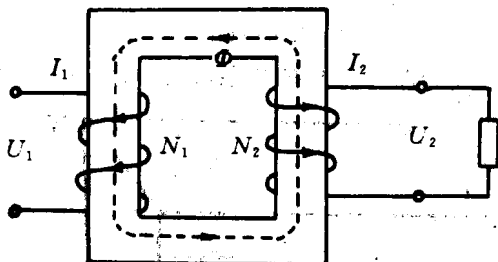


图 1-1-4 变压器的负载运行

绕组中有电流 I_2 流过,产生磁势 $I_2 N_2$ 。由电磁感应定律可知,磁势 $I_2 N_2$ 产生的磁通将对主磁通起去磁作用,主磁通 Φ 将被削弱,初级绕组中的感应电势 E_1 随着减小。但由于电源电压 U_1 不变,初级绕组中的电流 I_0 将增加到 I_1 ,磁势也增到 $I_1 N_1$,以抵消次级绕组磁势 $I_2 N_2$ 的影响,使主磁通 Φ 基本保持不变。这时初、次级绕组中的电流、磁势得到新的平衡。

磁势 $I_1 N_1$ 与 $I_2 N_2$ 之差就是产生主磁通所需的磁势 $I_0 N_1$ 。当变压器接近满载时,磁势 $I_0 N_1$ 的值比 $I_1 N_1$ 小很多,可略去不计,故得

$$\begin{aligned} I_1 N_1 &\approx I_2 N_2 \\ \frac{I_1}{I_2} &= \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{k} \end{aligned} \quad (1-1-4)$$

可见,初、次级绕组间虽然没有电的联系,但由于有磁的联系,使初级绕组电流 I_1 随着次级绕组中电流 I_2 的增减而增减,变压器可以稳定的工作。

三、小功率变压器的计算

这里介绍小功率单相变压器的一种简单计算方法。

1. 计算次级功率 P_2 ,初级功率 P_1 ,初级电流 I_1 。由变压器的原理得知,变压器的功率决定于负载。若变压器次级有几个次级绕组,则

$$P_2 = U_{21} I_{21} + U_{22} I_{22} + \cdots + U_{2n} I_{2n} (\text{VA}) \quad (1-1-5)$$

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} (\text{VA}) \quad (1-1-6)$$

式中: $U_{21}, U_{22}, \cdots$ 为次级绕组电压(V); $I_{21}, I_{22}, \cdots$ 为次级绕组电流(A); η 为变压器效率。

小功率单相变压器(指 1kVA 以下的变压器)效率较低,一般取 $\eta = 0.8 \sim 0.9$ 之间;低于 100VA 的变压器 η 更小些。

初级电流 I_1 的计算:

$$I_1 = \frac{P_2}{U_1} (1.1 \sim 1.2) (\text{A}) \quad (1-1-7)$$

式中: U_1 为初级电压(V); 1.1~1.2 为经验系数。

2. 计算铁芯的截面积 S 。

$$S = k \sqrt{P_e} (\text{cm}^2) \quad (1-1-8)$$

式中 k 为经验系数. 一般取值是: 10VA 以下, $k=2$; 10VA~50VA, $k=1.75\sim1.5$; 50VA~500VA, $k=1.5\sim1.4$; 500VA~1000VA, $k=1.4\sim1.2$; 1000VA 以上, $k=1$. $P_e = \frac{P_1 + P_2}{2}$, 为变压器额定功率.

对于壳式铁芯:

$$S = a \times b (\text{cm}^2)$$

式中: a 为铁芯柱宽, b 为铁芯净叠厚. a 、 b 值的关系可按 $b \leq 2a$ 确定 (图 1-1-5).

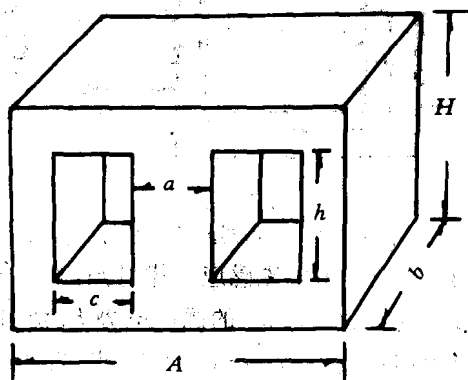


图 1-1-5 壳式铁芯

表 1-1-1

小型变压器常用硅钢片尺寸 (mm)

a	c	h	A	H
13	7.5	22	40	34
16	9	24	50	40
19	10.5	30	60	50
22	11	33	66	55
25	12.5	37.5	75	62.5
28	14	42	84	70
32	16	48	96	80
38	19	57	114	95
44	22	66	132	110
50	25	75	150	125
56	28	84	168	140
64	32	96	192	160

3. 求每伏匝数 N_0 . 由公式 $U = 4.44 f B_m S N \cdot 10^{-8}$ 得

$$N_0 = \frac{N}{U} = \frac{10^8}{4.44 f B_m S} (\text{匝/V}) \quad (1-1-9)$$

式中: f 为电源频率(Hz); B_m 为磁通密度最大值(Gs^①), 它根据材料性质而定.

为了补偿内阻抗引起的次级电压降低, 一般次级每个绕组匝数应增加 2.5%~5%.

4. 根据电流大小计算导线直径.

$$d = 1.13 \sqrt{I/j} (\text{mm})$$

式中: I 为绕组工作电流(A), j 为电流密度(A/mm²). j 的取值与变压器的工作状态有关, 连续工作时 $j = 2.5 \text{ A/mm}^2$; 短时间工作时 $j = (4 \sim 5) \text{ A/mm}^2$. 当 $j = 2.5 \text{ A/mm}^2$ 时,

$$d = 0.715 \sqrt{I} (\text{mm}) \quad (1-1-10)$$

5. 铁芯窗口面积计算. 根据绕组匝数、线径、绝缘厚度, 核算绕组所占铁芯窗口的面积, 它应小于实际窗口面积, 否则绕组放不下.

(1) 由铁芯窗口高度 h (mm) 求每层绕组匝数 n_1 .

$$n_1 = \frac{0.9[h - (2 \sim 4)]}{d} \quad (1-1-11)$$

式中: 0.9 为绕组排列不紧的系数; d 为导线直径(mm); (2~4) 是考虑绕组框架厚度(mm).

(2) 绕组的层数 m_1 .

$$m_1 = \frac{N}{n_1} (\text{层}) \quad (1-1-12)$$

(3) 绕组总厚度 C_1 .

$$C_1 = (C_0 + C_1' + \gamma + C_1'') \times (1.1 \sim 1.2) (\text{mm}) \quad (1-1-13)$$

式中: C_0 框架厚度(mm); C_1' 初级绕组厚度(mm); $C_1' = m_1(d + \delta_1)$, δ_1 为初级绕组层间绝缘厚度(mm); C_1'' 次级绕组厚度(mm), 计算方法同 C_1' ; γ 为初、次级绕组间绝缘厚度(mm); 1.1~1.2 为裕量系数.

根据估算得到的总厚度 C_1 再按硅钢片的标准尺寸选取硅钢片.

例: 试设计一台单相行灯变压器, 次级为 36V、25W 灯三盏, 6.3V、0.3A 指示灯一只. 如图 1-1-6 所示.

解: ① 计算 P_2 、 P_1 和 I_1

$$P_2 = 25 \times 3 + 6.3 \times 0.3 = 76.89 (\text{VA}).$$

$$\text{取 } P_2 = 80 (\text{VA}), \eta = 0.8.$$

$$P_1 = \frac{80}{0.8} = 100 (\text{VA}).$$

$$I_1 = \frac{100}{220} = 0.46 (\text{A}).$$

② 计算铁芯截面积

$$S = k \sqrt{P_2} = 1.45 \sqrt{80} \approx 13 (\text{cm}^2)$$

③ 求各绕组匝数

$$\text{取 } B_m = 8000 \text{Gs}$$

$$N_0 = \frac{10^8}{4.44 \times 50 \times 8000 \times 13} = 4.33 (\text{匝/V})$$

$$N_1 = U_1 N_0 = 220 \times 4.33 \approx 950 (\text{匝})$$

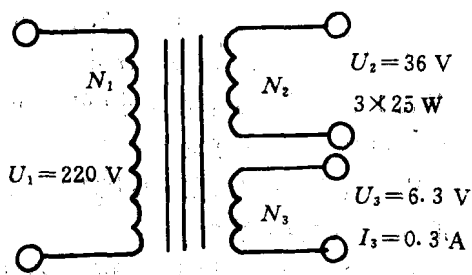


图 1-1-6 行灯变压器

① Gs(高斯)不是我国的法定计量单位(下同). $1\text{Gs} = 10^{-4}\text{T}$. —— 责编注

$$N_2 = 1.05 U_2 N_0 = 1.05 \times 36 \times 4.33 \approx 164 (\text{匝})$$

$$N_3 = 1.05 U_3 N_0 = 1.05 \times 6.3 \times 4.33 \approx 29 (\text{匝})$$

④导线直径

取 $j = 2.5 \text{ A/mm}^2$

$$d_1 = 0.715 \sqrt{I_1} = 0.715 \times \sqrt{0.46} = 0.48 (\text{mm})$$

$$I_2 = \frac{3 \times 25}{36} = 2.1 (\text{A})$$

$$d_2 = 0.715 \sqrt{I_2} = 0.715 \times \sqrt{2.1} = 1.04 (\text{mm})$$

$$d_3 = 0.715 \sqrt{I_3} = 0.715 \times \sqrt{0.3} = 0.39 (\text{mm})$$

按 QZ 型标准选取 $d_1 = 0.55 \text{ mm}$, $d_2 = 1.19 \text{ mm}$, $d_3 = 0.47 \text{ mm}$.

⑤窗口尺寸

由 $S = 13 \text{ cm}^2$, 按硅钢片尺寸表 1-1-1 取 $h = 48 \text{ mm}$.

$$n_1 = \frac{0.9(48-3)}{0.55} = 73 (\text{匝}) \quad m_1 = \frac{N_1}{n_1} = \frac{950}{73} = 13 (\text{层})$$

$$n_2 = \frac{0.9(48-3)}{1.19} = 34 (\text{匝}) \quad m_2 = \frac{N_2}{n_2} = \frac{164}{34} \approx 5 (\text{层})$$

$$n_3 = \frac{0.9(48-3)}{0.49} = 82 (\text{匝}) \quad m_3 = \frac{N_3}{n_2} = \frac{29}{82} \quad \text{取 } m_3 = 1 (\text{层})$$

绝缘厚 $\delta_1 = 0.02 \text{ mm}$, $\delta_2 = 0.07 \text{ mm}$, $\delta_3 = 0.07 \text{ mm}$, $\gamma = 0.4 \text{ mm}$, $C_0 = 0.7 \text{ mm}$.

$$C_1' = m_1(d_1 + \delta_1) = 13 \times (0.55 + 0.02) = 7.41 (\text{mm})$$

$$C_1'' = m_2(d_2 + \delta_2) = 5 \times (1.19 + 0.07) = 6.3 (\text{mm})$$

$$C_1''' = m_3(d_3 + \delta_3) = 1 \times (0.49 + 0.07) = 0.56 (\text{mm})$$

$$C_1 = (C_0 + C_1' + C_1'' + C_1''' + \gamma) \times 1.2$$

$$= (0.7 + 7.41 + 6.3 + 0.56 + 0.4) \times 1.2$$

$$\approx 18.5 (\text{mm})$$

查表 1-1-1 可选硅钢片尺寸(单位 mm)为 $a = 38$, $c = 19$, $h = 57$, $A = 144$, $H = 95$. 因 $S = 13 \text{ cm}^2$, 则用厚 0.5 mm 硅钢片共 69 片.

一般制造新产品时,在计算绕组后,先绕好再测量取值,以确定铁芯尺寸,并留一定余量,以便批量生产时容易装配.

下面再介绍 1 kVA 以下小型变压器计算图的使用. 由图 1-1-7, 可直接查出不同功率变压器的匝/V、铁芯截面积、导线直径等.

例如:设计一台 $P_2 = 40 \text{ VA}$ 的变压器. 若硅钢片磁通 $B = 10000 \text{ Gs}$, 从图 1-1-7 找到 P_2 和 B 线上的对应点,画一直线,交 N/U 线于 5.8, 即 5.8 匝/V. 由图右边选择导线:中间线 $j = 2.5 \text{ A/mm}^2$, 由 I 可直接在线左边得数. 如若 $I = 2 \text{ A}$, 则 $d \approx 1 \text{ mm}$. 但需说明这个 d 值为导线的实际需要的铜线径,采用不同绝缘铜导线时,还需查有关资料,选择标准规格的绝缘导线. 如用 QZ 导线, $d = 1.11 \text{ mm}$.

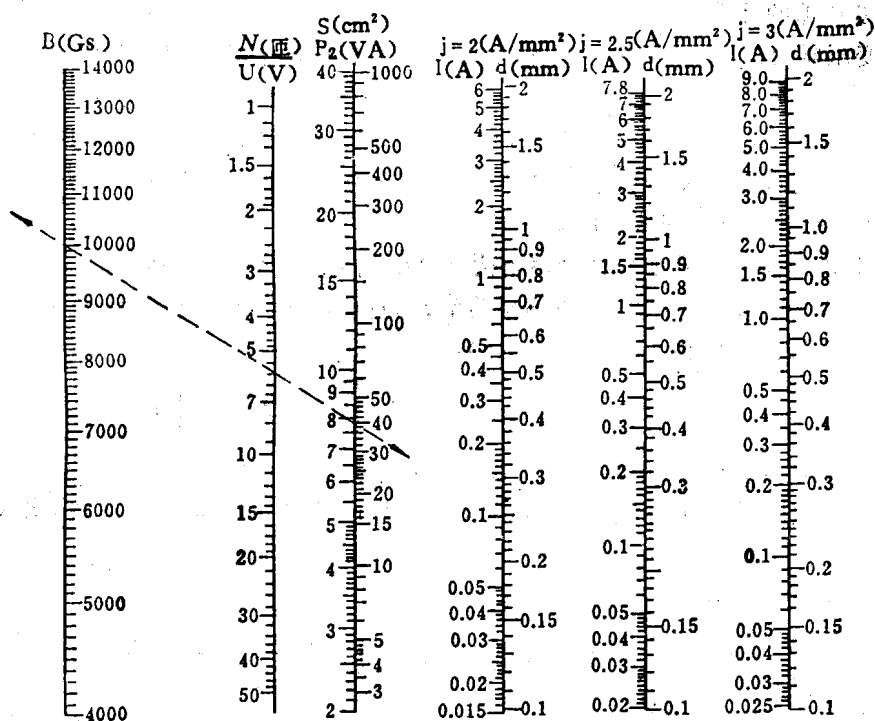


图 1-1-7 1kVA 以下小型变压器计算图

四、自耦变压器及其计算

1. 自耦变压器的工作原理

一般变压器的初、次级绕组是分开的,它们之间没有电的联系,通常叫双绕组变压器,而自耦变压器初、次级绕组共用一个线圈,如图 1-1-8 所示.当初级绕组接上交流电源 U_1 时,电压就会平均分配在初级绕组 N_1 上(1~2 之间),同时次级绕组 N_2 也按匝数比例分配到相应的电压.所以在 U_1 不变的情况下, N_1 和 N_2 的匝数比不同时, U_2 的大小也不同.图 1-1-8 中 N_1 与 N_2 之比大于 1,为降压自耦变压器;若 N_1 与 N_2 的匝数比小于 1 时,则为升压自耦变压器.自耦变压器的电压、电流和匝数之间的关系和一般变压器相同,即 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = k$. 其初级、

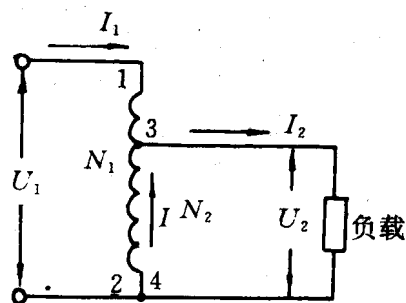


图 1-1-8 自耦变压器

次级绕组的电流方向相反,所以流经绕组公共部分的电流 I 等于初、次级绕组的电流差,这样公共部分绕组导线直径可以选得小些,其绕组重为同容量的普通变压器的 $1 - \frac{1}{k}$ 倍.因此,自耦变压器能节省铜(铝)线材和铁芯,且结构简单,体积小,成本低,效率高.但 k 值增大时,以上的优点并不显著.自耦变压器的缺点是初、次级绕组之间有电的联系,故在某些场合不宜使用,特别是不能作行灯变压器;降压自耦变压器还存在高压侵入降压部分的可能,特别是当公共部分断开时,往往会烧坏低压中的设备,很不安全.

自耦变压器用处很广,常用在配电设备的升压、降压中,以及实验室的电压调节设备及感应电动机的起动和照明装置中.

2. 自耦变压器的计算

由自耦变压器的工作原理和图 1-1-8 可知,次级绕组的输出功率 $P_2=U_2I_2$, $I_2=I_1+I$, 则得

$$P_2=U_2(I_1+I)=U_2I_1+U_2I=P_n+P_m \quad (1-1-14)$$

式中: $P_m=U_2I$ 为通过电磁感应传送到次级的功率,称为变压器电磁功率; $P_n=U_2I_1$ 为通过连接由初级绕组直接传输到次级绕组的电功率。

从上面可知,自耦变压器的负载功率由两部分组成,而计算自耦变压器时,我们只按变压器的电磁功率 P_m 来计算. 由于 P_m 小于输出功率 P_2 , 这样对相同的输出功率,自耦变压器比普通变压器原材料消耗少,体积小. 由式(1-1-14)得

$$P_m=P_2-P_n=P_2-U_2I_1=P_2-U_2\frac{U_1}{U_2}I_2=P_2\left(1-\frac{1}{k}\right) \quad (1-1-15)$$

P_m 即为变压器的计算功率,其他计算和一般变压器相似。

例: 计算一台 5kVA 的自耦变压器,如图 1-1-9 所示. 设初级电压 $U_1=190\text{V}$, 次级电压 $U_2=220\text{V}$.

解: 由题知是升压变压器. 其计算功率

$$P_m=P_2\left(\frac{U_2-U_1}{U_1}\right)=5000\left(\frac{220-190}{190}\right)=789.5\approx 800(\text{VA})$$

铁芯截面积

$$S=k\sqrt{P_m}=1.3\sqrt{800}=1.3\times 28.28=36.77(\text{cm}^2)$$

绕组每伏匝数 (取 $B_m=10000\text{Gs}$, $S=38\text{cm}^2$)

$$N_0=\frac{N}{U}=\frac{10^8}{4.44fB_mS}=\frac{10^8}{4.44\times 50\times 10000\times 38}\approx 1.2(\text{匝})$$

初级绕组 bc 部分的匝数

$$N_1=U_1N_0=190\times 1.2=228(\text{匝})$$

绕组 ac 部分的匝数

$$N_2=U_2N_0=220\times 1.2=264(\text{匝})$$

输入电流

$$I_1=\frac{P_2}{U_1}=\frac{5000}{190}=26.3(\text{A})$$

输出电流

$$I_2=\frac{P_2}{U_2}=\frac{5000}{220}=22.7(\text{A})$$

流过公共部分绕组 bc 的电流

$$I=I_1-I_2=26.3-22.7=3.6(\text{A})$$

公共绕组 bc 的导线直径

$$d=1.13\sqrt{\frac{I}{j}}=1.13\sqrt{\frac{3.6}{2}}=1.52(\text{mm})$$

ab 绕组的导线直径

$$d=1.13\sqrt{\frac{22.7}{2}}=3.8(\text{mm})$$

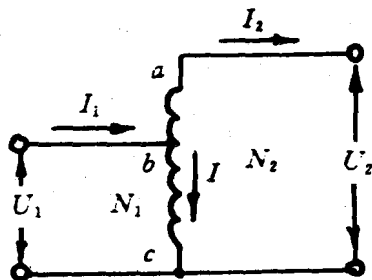


图 1-1-9 升压自耦变压器

其他计算和普通变压器类似。

五、整流变压器及其计算

1. 整流变压器的特点

整流变压器是整流电源的重要组成部分。由于各种用电设备对直流电源的要求各不相同，所以整流变压器需自行设计。其计算方法与普通变压器基本相同，只是在计算中需考虑如下几点：

(1) 普通变压器的负载一般是恒定的阻抗，其输出的电压波形与电源一样，视在功率也相等。而整流器由于整流元件的作用，使整流变压器的各绕组在一个周期内的部分时间内轮流导通，次级电流是含有直流分量的非正弦波，而初级电流则不含直流分量。整流变压器的视在功率比直流输出功率要大，且次级的视在功率比初级大，这是由于初、次级绕组通电时间不同所造成的。

(2) 当整流器发生击穿时，变压器中会流过很大的短路电流，将产生比普通变压器大 1.4 ~ 1.8 倍的电磁力。因此整流变压器的外型较为矮胖，使之具有较大的短路阻抗以限制短路电流，同时绕组和铁芯的机械强度也要加强。

(3) 整流变压器的非正弦电流会引起较大的漏抗电压，因此外特性较软。所以在设计时要选择适当的接法和补偿方法。

(4) 整流变压器的次级可能产生异常的过电压，因此要加强绝缘。

2. 整流变压器铁芯和绕组确定的步骤

(1) 已知条件：整流器的型式和要求；直流输出电压 U_2 和电流 I_2 ；直流电压调整率；交流输入电压 U_1 、电流 I_1 及频率 f ；初级绕组相数 m_1 和次级绕组相数 m_2 ；冷却方式等。

(2) 确定变压器初、次级绕组的接法：小功率采用 Y/Y 接法；较大功率采用 Y/ Δ 或 Δ /Y 接法；大功率的初级绕组用三角形接法，次级绕组采用双反星形带平衡电抗器的接法。

(3) 确定初、次级相电压：初级电压 U_1 由输入电压和初级绕组接法确定；次级电压 U_2 由直流输出电压 U_z 和整流电路确定，再考虑变压器阻抗电压较大、整流元件电压及电源波动，一般应增加 5% ~ 10%，对于低电压大电流负载，可以增加更多，有时达到 30%。

(4) 根据直流输出电流 I_z 及整流电路，计算次级电流 I_2 。

(5) 容量计算公式：

$$\text{初级输入功率 } P_{S_1} = m_1 U_1 I_1 \times 10^{-3} (\text{kVA})$$

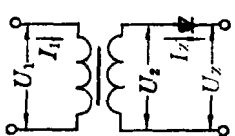
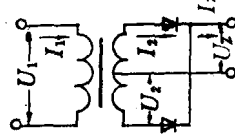
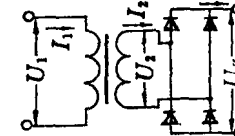
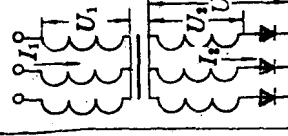
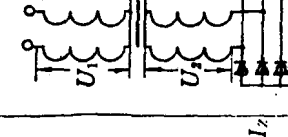
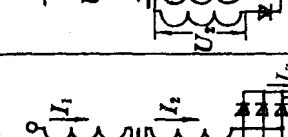
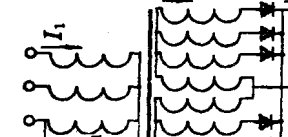
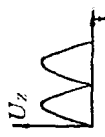
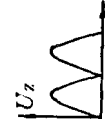
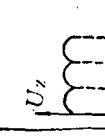
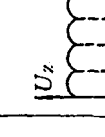
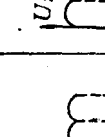
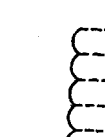
$$\text{次级输出功率 } P_{S_2} = m_2 U_2 I_2 \times 10^{-3} (\text{kVA})$$

$$\text{额定功率 } P_{Pj} = \frac{P_{S_1} + P_{S_2}}{2} (\text{kVA})$$

式中： m_1 、 m_2 为初、次级相数； U_1 、 U_2 为初、次级相电压； I_1 、 I_2 为初、次级相电流。

计算时可参看表 1-1-2 各种整流电路的参数来具体确定。

表 1-1-2 各种整流电路的参数表

电 路 名 称	单相半波	单相全波	单相桥式(全波)	三相半波 (星形零点)	三相星形桥式	六相双反星形	六相星形半波
整 流 电 路 图							
变 压 器 绕 组 接 法 (一次侧/二次侧)	Y/ 1/1	Y/ 1/1	Y/ 1/1	Y或Δ/Y	Y或Δ/Y	Y或Δ/Y	Y或Δ/☆
输 出 电 压 波 形							
变 压 器 一 次 侧 相 电 流 I_1	$1.21 kI_z$	$1.11 kI_z$	$1.11 kI_z$	$0.47 kI_z$	$0.816 kI_z$	$0.407 kI_z$	$0.576 kI_z$
变 压 器 二 次 侧 相 电 压 (有效值) U_2	$2.22 U_z + Ne$	$1.11 U_z + Ne$	$1.11 U_z + 2Ne$	$0.855 U_z + Ne$	$0.427 U_z + 2Ne$	$0.855 U_z + Ne$	$0.744 U_z + Ne$
变 压 器 二 次 侧 相 电 流 (有效值) I_2	$1.57 I_z$	$0.785 I_z$	$1.11 I_z$	$0.577 I_z$	$0.816 I_z$	$0.289 I_z$	$0.407 I_z$
变 压 器 一 次 侧 容 量 P_{S_1}	$2.69 U_z I_z$	$1.23 U_z I_z$	$1.23 U_z I_z$	$1.21 U_z I_z$	$1.05 U_z I_z$	$1.05 U_z I_z$	$1.23 U_z I_z$
变 压 器 二 次 侧 容 量 P_{S_2}	$3.49 U_z I_z$	$1.74 U_z I_z$	$1.23 U_z I_z$	$1.49 U_z I_z$	$1.05 U_z I_z$	$1.48 U_z I_z$	$1.81 U_z I_z$
变 压 器 平 均 计 算 容 量 P_{r_1}	$3.09 U_z I_z$	$1.48 U_z I_z$	$1.23 U_z I_z$	$1.35 U_z I_z$	$1.05 U_z I_z$	$1.26 U_z I_z$	$1.43 U_z I_z$

注: Ne ——硅元件正向压降, $k = \frac{U_2}{U_1}$.