



浙江省“十一五”重点教材建设项目

船舶电气与通信

CHUANBO DIANQI YU TONGXIN

刘国平 编著



海军出版社

浙江省“十一五”重点教材建设项目

船舶电气与通信

刘国平 编著



YZLI 0890093260

海洋出版社

2010年·北京

内 容 简 介

本书系浙江省高校重点建设教材,是在2004年第一版的基础上修订而成。

本书将第一版的三篇补充为四篇,主要内容有:船舶电器、电机与控制;船舶电站及电力网;船舶自动控制技术;船舶无线电通信设备。

本书可作为高等院校电气信息类、船舶类专业相关课程的教材,也可供从事船舶设计、轮机管理、船舶检验、船舶修造等有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

船舶电气与通信/刘国平编著. —2版. —北京:海洋出版社,2010.8

ISBN 978-7-5027-7799-9

I. ①船… II. ①刘… III. ①船用电气设备 ②航海通信 IV. ①U665 ②U675.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第155064号

责任编辑:陈莎莎

责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编:100081

北京盛兰兄弟印刷装订有限公司印刷 新华书店发行所经销

2010年8月第2版 2010年8月北京第2次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:13

字数:290千字 定价:38.00元

发行部:62147016 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

本书是浙江省高校重点建设教材,也是省级精品课程的教学用书。本书第一版是2004年8月出版的,从5年来的使用情况看,受到了广大读者的欢迎。为了使教材更加适合高等学校教学和船舶工业发展的需要,编者收集了各方面的意见,并根据本人的教学体会,在第一版的基础上,进行了重新修订。

本书共分四篇:第一篇为船舶电器、电机与控制;第二篇为船舶电站及电力网;第三篇为船舶自动控制技术;第四篇为船舶无线电通信设备。每章均有小结和适量的思考与练习。在第一篇中,主要讲述船舶辅机的电气控制,范围较广。通过对每一典型电气系统的剖析,作为入门,为进一步了解该领域设备内容打好基础。第二篇船舶电站及电力网,该部分内容是船舶设备的核心,内容篇幅较多,需很好掌握。因此进行了比较深入的理论分析。对发电机组间并车、无功功率及有功功率的分配转移等实际应用问题也作了论述。第三篇船舶自动控制技术是新补充的内容。随着科学技术的进步,自动控制技术越来越广泛地应用在船舶上,所以一方面需要知识普及;另一方面,对发展较快的可编程序控制器技术在船舶的应用也作了一些介绍。第四篇船舶无线电通信设备,是考虑到目前船舶电气控制与通信技术领域之间技术知识相互渗透,日益需要各方面的知识,所以安排了船舶通信方面的内容。

在编写过程中,力求遵循下列几个原则:①由浅入深和通俗易懂;②通过题例,培养举一反三的能力;③尽量选取面向实际的教材内容;④在有限时数和篇幅内,尽量覆盖专业的知识面。

本书由大连海事大学王贤惠教授审阅。在编写过程中,本校单海校老师参加了部分修订工作;林雯雯、林斌等同学参与了打印和绘图工作,在此向他们致以诚挚的谢意。

由于水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

编著者

2010年7月

目 录

第一篇 船舶电器、电机与控制

第1章 船舶变压器	(3)
1.1 变压器结构及原理	(3)
1.2 三相变压器连接	(5)
1.3 仪用互感器	(6)
1.4 自耦变压器	(7)
1.5 电焊变压器	(8)
1.6 小型变压器参数计算	(9)
1.7 小结	(11)
思考与练习	(11)
第2章 船舶电机	(12)
2.1 交流电机原理	(12)
2.2 直流电机	(32)
2.3 交直流电机拆装及常见故障	(42)
2.4 小结	(43)
思考与练习	(43)
第3章 船舶常用控制电器及基本控制线路	(44)
3.1 常用控制电器	(44)
3.2 基本控制线路	(50)
3.3 小结	(55)
思考与练习	(55)
第4章 船舶辅机的自动控制	(56)
4.1 电极式水位控制系统与报警	(56)
4.2 船用自动供水(油)系统	(56)
4.3 电动锚机控制电路	(59)
4.4 电动液压起货机控制电路	(62)
4.5 船舶舵机控制系统	(64)
4.6 船舶制冷控制系统	(71)

4.7 船舶锅炉电气控制	(78)
4.8 船舶污水处理电气控制	(86)
4.9 船内传令	(91)
4.10 小结	(95)
思考与练习	(96)

第二篇 船舶电站及电力网

第5章 船舶电力系统概述	(99)
5.1 船舶电力系统的组成	(99)
5.2 船舶电力系统的特点及对其基本要求	(100)
5.3 船舶电力系统的基本参数	(100)
5.4 小结	(101)
思考与练习	(102)
第6章 船舶发电机	(103)
6.1 发电机的保护	(103)
6.2 自动空气断路器	(106)
6.3 逆功率继电器	(111)
6.4 小结	(112)
思考与练习	(112)
第7章 船舶配电装置	(113)
7.1 船舶配电装置分类	(113)
7.2 船舶主配电板	(113)
7.3 配电板的结构和安装要求	(115)
7.4 船舶电网的组成、制式及分类	(115)
7.5 船舶电网单相接地监视和绝缘检测	(117)
7.6 小结	(119)
思考与练习	(119)
第8章 船舶发电机组电压调整	(120)
8.1 励磁自动调整的技术指标	(120)
8.2 励磁自动调整的分类	(121)
8.3 自励恒压装置	(122)
8.4 无刷同步发电机自励恒压	(127)
8.5 小结	(128)
思考与练习	(128)

第 9 章 船舶同步发电机组的并联运行(并车)与负荷转移	(130)
9.1 同步发电机的并车条件	(130)
9.2 手动准同步并车	(133)
9.3 同步表	(134)
9.4 其他方法	(135)
9.5 并联运行发电机间的无功功率分配	(138)
9.6 并联运行发电机间有功功率的分配、转移	(140)
9.7 小结	(143)
思考与练习	(143)

第三篇 船舶自动控制技术

第 10 章 船舶控制原理的基本概念	(147)
10.1 控制原理基本概念	(147)
10.2 反馈系统组成	(147)
10.3 船舶基本测量技术	(149)
10.4 船舶主机控制	(154)
10.5 小结	(155)
思考与练习	(156)
第 11 章 可编程序控制器	(157)
11.1 概述	(157)
11.2 可编程序控制器的工作原理	(158)
11.3 小型可编程序控制器介绍	(159)
11.4 PC 的应用举例	(168)
11.5 小结	(173)
思考与练习	(174)

第四篇 船舶无线电通信设备

第 12 章 船舶无线电通信概述	(177)
12.1 船舶无线电通信的应用和发展	(177)
12.2 船舶无线电通信系统	(179)
12.3 小结	(181)
思考与练习	(181)
第 13 章 全球海上遇险和安全系统(GMDSS)	(182)

13.1	GMDSS 的组成及主要功能	(182)
13.2	GMDSS 中的通信系统	(184)
13.3	GMDSS 系统中船舶使用的设备	(185)
13.4	GMDSS 船舶无线电设备的配备	(186)
13.5	小结	(189)
	思考与练习	(189)
第 14 章	全球卫星移动通信系统	(190)
14.1	卫星移动通信系统	(190)
14.2	卫星移动通信系统的比较	(191)
14.3	小结	(193)
	思考与练习	(193)
第 15 章	船舶 GPS 导航通信指挥系统	(194)
15.1	系统的组成	(194)
15.2	系统工作原理	(195)
15.3	系统的实现	(195)
15.4	系统的应用前景	(197)
15.5	小结	(197)
	思考与练习	(197)
	参考文献	(198)

第一篇

船舶电器、电机与控制

第 1 章 船舶变压器

1.1 变压器结构及原理

变压器是一种静止的电器,根据法拉第电磁感应原理,可以将一种等级(电压、电流)的交流电能变换为同频率的另一种等级的交流电能。它主要用途是变换电压,故称变压器。

它的基本结构是两个(或两个以上)互相绝缘的线圈套装在同一铁芯上,如图 1-1 所示。接交流电源的线圈称为原线圈(或原边),接负载的线圈称为副线圈(或副边),依靠磁场耦合在一起,没有电的直接联系。

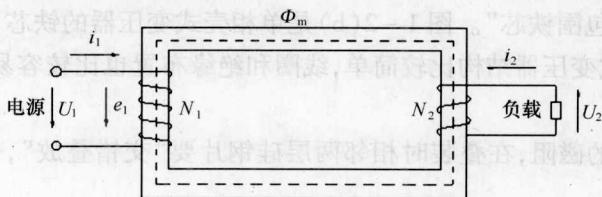


图 1-1 变压器的基本作用原则

交流电源电压 U_1 使交变电流 i_1 流过原线圈,产生交变磁通 ϕ_m ,交变磁通 ϕ_m 同时匝链原、副线圈,根据电磁感应定律,将在原、副线圈中分别感应出电势 e_1 和 e_2 ,即:

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi_m}{dt} \quad (1.1)$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi_m}{dt} \quad (1.2)$$

式中: N_1 和 N_2 分别为原、副线圈的匝数,由上式可得

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1.3)$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (1.4)$$

单相变压器额定容量 $S_N = V_{1N} I_{1N}$

$$= V_{2N} I_{2N} \quad (1.5)$$

原、副线圈感应电势的频率都等于磁通交变的频率,即电源电压频率。电势大小与匝数成正比,通常变压器原、副边感应电势近似等于原、副边端电压。只要适当设置原、副线圈的匝数比 N_1/N_2 ,便可达到变压的目的。

变压器在船舶上的应用很广泛。例如,照明变压器可以将船舶电网的动力系统与照明系统分隔开来,以免相互影响,并将电网电压降到照明所需电压,在测量和保护设备中用的电压互感器和电流互感器,可将电压和电流大小变换到适于测量和断电保护所需的数值,并且使测量保护回路与主电路隔离,提高安全程度。锅炉中点火变压器将所需电网电压升高到 5 000 ~ 10 000 V,使电极间的间隙中产生电火花来点火燃烧。船舶自动控制设备中要用到各种类型控制变压器,而且数量很大。

变压器主要由铁芯、线圈、外壳(或油箱)和绝缘套管组成,铁芯是变压器磁路。为了提高导磁性能减少铁芯内的涡流损耗,铁芯通常用 0.35 ~ 0.5 mm 的 D41 ~ D44 硅钢片叠成,片间用氧化膜或绝缘漆绝缘。铁芯分铁芯柱和铁轭两部分,铁芯柱上套着线圈,铁轭将铁芯柱联结起来,使之形成闭合磁路。

按照铁芯的形式,变压器可分为芯式和壳式两种,图 1-2(a) 是单相芯式变压器铁芯,其特点是“线圈包围铁芯”。图 1-2(b) 是单相壳式变压器的铁芯,其特点是“铁芯包围线圈”。由于芯式变压器结构比较简单,线圈和绝缘布置也比较容易,因此电力变压器主要采用芯式结构。

为了减少铁芯的磁阻,在叠装时相邻两层硅钢片要“交错叠放”,使上下层的叠缝错开,以减少气隙。

近年来,铁芯材料多用冷轧硅钢片。这种冷轧硅钢片沿着轧碾的方向有较高的导磁率和较小的铁损,故通常用硅钢片卷成卷片式铁芯,如图 1-3 所示。

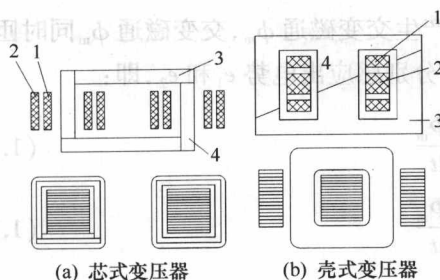


图 1-2 单相芯式和壳式变压器的铁芯

1 低压线圈 2 高压线圈 3 铁轭 4 铁芯

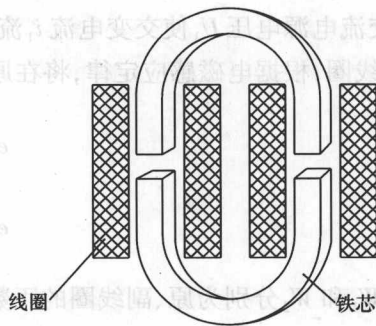


图 1-3 用冷轧硅钢片卷成的环形铁芯

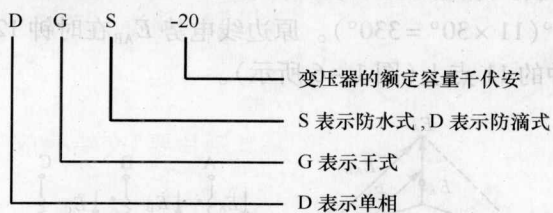
线圈是变压器的电路部分,一般用绝缘铅线或铜线绕成。电力变压器大部分用铝线(船用变压器和小型变压器用铜线)。通常在每个铁芯柱上都同时套装有一个高压线圈和低压线圈。低压线圈一般靠近铁芯放置。由于原副线圈的电压不相等,因此它们的匝数也不相等。一般高压线圈的匝数比较多,线径比较细,低压线圈的线圈比较少,线径比

较粗。

为了保证变压器在运行时因内部损耗而产生的热量得到良好的散发,必须采用一定的冷却措施,常用的冷却介质是变压器油和空气。用油作冷却介质时,整个变压器都浸在油中(此油是从石油中提炼出来的绝缘油),故称油浸式变压器。用空气冷却的变压器称为干式变压器,因为不使用油所以不会燃烧、爆炸、比较安全,也没有漏油。我国《钢质海船入级与建造规范》规定船上应采用干式变压器,油浸变压器只有特殊场合,经主管部门批准后才能使用,油船上不允许使用油浸式变压器。

变压器的额定值。变压器的额定值有以下几种。

- 1) 额定容量 S_N : 是指额定工作状态下, 变压器允许输出的视在功率, 其单位为 VA 或 kVA, 相对三相变压器系指三相额定容量和。
- 2) 额定原边和副边的电压 U_{1N} 和 U_{2N} , 对三相变压器是指线电压, 其单位为 V 或 kV。
- 3) 额定原边和副边的电流 I_{1N} 和 I_{2N} , 对三相变压器是指线电流, 其单位为 A 或 kA。
- 4) 额定频率 f_N : 我国标准工频为 50 Hz。
- 5) 船用变压器的型号。



因此这个型号为“单相防水式干式变压器”, 容量为 20 kVA。

船用系列变压器的高压一般有 400 V, 220 V 和 115 V, 低压为 220 V, 115 V 和 26 V 等几个等级, 标准容量级差为 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, …等。

1.2 三相变压器连接

三相变压器的原边和副边均有三个线圈, 在运行时, 原、副边的三个线圈究竟如何连接, 怎样标志, 对正确使用三相变压器有很大关系。

为了弄清三相变压器原、副边对应电势(或电压)间的相位关系, 首先讨论单相变压器(或三相变压器中的任意一相), 原、副边电势相位关系或称极性。

如图 1-4 所示, 原、副线圈同绕于一个铁芯柱上, 并匝链着同一主磁通 ϕ_m , 当 ϕ_m 交变时, 原副线圈中感应的电势有一定极性关系。即在任一瞬间, 一个线圈的某一端点电位为正时, 另一线圈也有一个端的电位是正的; 为负时, 也是这样, 即同时为正或同时为负。同极性端以二端点旁边加一黑点“·”表示, 很明显, 不打黑点的另两个端点也为同极性端。一般把原、副线圈的同极性端都标为首端(或都标为末端)。

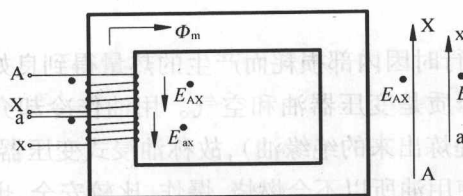
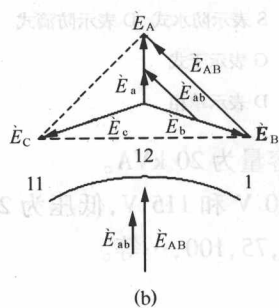
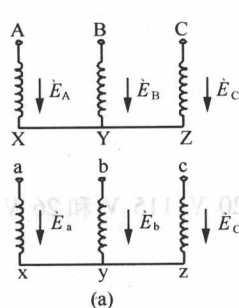
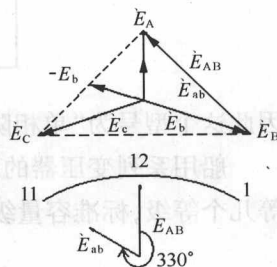
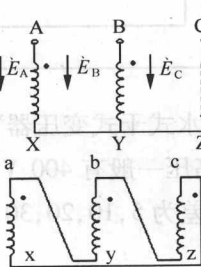


图 1-4 单相变压器的极性

为了形象地表示原、副边电势相量的相位关系,采用所谓时钟表示法,就是把高压线圈的电势相量看成是时钟的长针,低压线圈的电势相量看成是短针。当长针指向时钟 12 点时,看短针在时钟的那个数字上,就把这个数字作为连接组的组号。

例如 Y/Y_0-12 表示三相变压器原边是星形连接,副边亦是星形连接且带中心抽头。原边电势为 12 点时,副边电势相位为 12 点,说明是同相位。如图 1-5 所示, $\dot{E}_{AB}$ 和 $\dot{E}_{ab}$ 是同相位的。

又例 $Y/\Delta-11$ 连接。原边是星形接法,副边为三角形接法,原边线电势 $\dot{E}_{AB}$ 和副边线电势 $\dot{E}_{ab}$ 的相位差为 330° ($11 \times 30^\circ = 330^\circ$)。原边线电势 $\dot{E}_{AB}$ 在时钟 12 点上时,副边对应的线电势 $\dot{E}_{ab}$ 将指向时钟的 11 点上(图 1-6 所示)。

图 1-5 三相变压器的 Y/Y_0-12 连接组图 1-6 三相变压器的 $Y/\Delta-11$ 连接组

1.3 仪用互感器

仪用互感器是专供测量仪表、继电保护和控制装置等用的变压器,有电流互感器和电压互感器。使用互感器目的在于:①扩大测量仪表的量程;②使测量仪表或设备与高压电路绝缘隔离,以保证人身和设备的安全。使用电压互感器专用于变换电压,而电流互感则专用于变换电流,两者功用不同,其结构和工作的特点也有所不同。

1.3.1 电压互感器

电压互感器在结构形式上与小型变压器没有什么不同,原绕组接被测高电压,而副绕组则与各种仪器仪表的电压线圈并联,常用电压互感器副边的标准额定电压是 100 V,由变压器的变压原理可知,100 V 量程的电压表通过电压互感器可测量最高电压为 $U = (N_1/N_2) \times 100$, N_1 、 N_2 分别为电压互感器的原副边绕组线圈数,可见,电压表的量程通过电压互感器扩大了 N_1/N_2 倍。使用时,为了安全起见,电压互感器副线圈一端同铁芯一起必须可靠接地,如图 1-7a 所示。

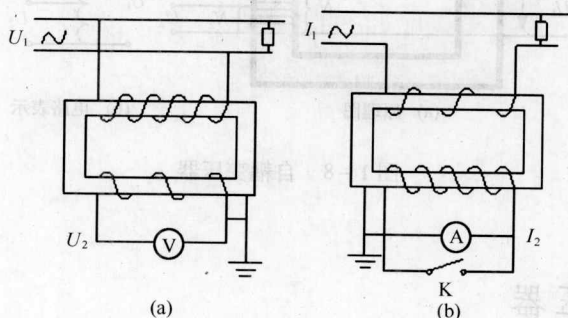


图 1-7 互感器接线

1.3.2 电流互感器

电流互感器的外形和绕组与电压互感器不同,原绕组匝数很少,甚至只有一匝,且与被测大电流电路串联。而副绕组匝数多,与各种仪器仪表的电流线圈串联。图 1-7b 为电流互感器接线原理图,常用电流互感器的副边标准额定电流为 5 A。根据变压器变流原理可知,满量程为 5 A 的电流表通过电流互感器可测量的最大电流为

$$I = (N_2/N_1) \times 5A$$

其中 N_2 、 N_1 为电流互感器副边、原边的匝数,可见电流互感器将 5 A 电流表的量程扩大了 N_2/N_1 倍。使用电流互感器要注意几点:①副线圈不许开路,否则原线圈磁势不能被抵消使铁芯中磁通大增,副边感应很高电压,使绝缘击穿,因此在更换仪表时,运行仪表须用短接开关合上。②副线圈和铁芯必须牢固接地。

1.4 自耦变压器

普通变压器的原、副绕组是相互绝缘而绕在同一个铁芯上的,因此两个绕组只有磁的联系而无电的直接联系。若把原、副绕组合并成一个绕组,其低压绕组就是高压绕组

的一部分,就是说原、副绕组不仅有磁的联系,而且还有电的直接联系,这种变压器称为自耦变压器,如图 1-8 所示,自耦变压器的基本工作原理与普通变压器是相同的,即

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{N_1}{N_2} = K \quad (1.6)$$

若将自耦变压器副绕组的分接头 a,做成能沿着裸露的绕组表面自由滑动的电刷触头,这样移动电刷触头,就可以连续调节输出电压。这就是通常使用的接触式变压器。

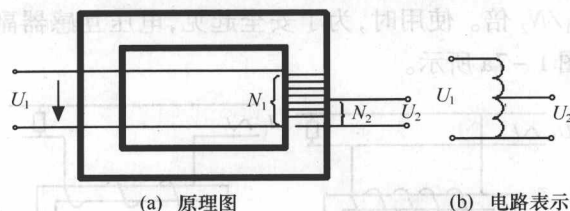


图 1-8 自耦变压器

1.5 电焊变压器

电焊变压器又称交流电焊机(实际上是一台在副边电路中串联一个可调电抗器的降压变压器),如图 1-9 所示。

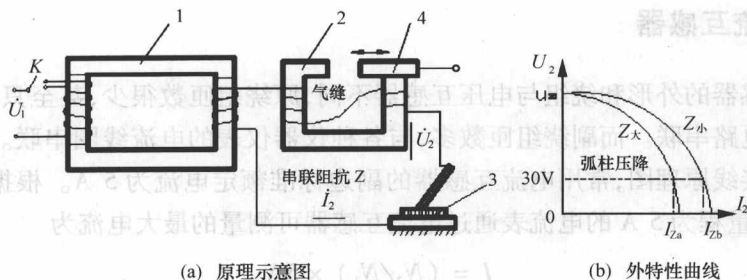


图 1-9 电焊变压器

1. 降压变压器; 2. 可调变压器; 3. 焊接台; 4. 活动铁芯

焊接工艺对电焊变压器的要求是在起弧前,为了能够点燃电弧,电焊变压器的空载电压一般为 60~80 V;起弧后,为了使电弧能稳定地燃烧,必须使焊接电流尽量保持恒值,一般电焊变压器有急剧下降的外特性,使电弧柱压降在 30V 左右时,焊接电流基本上保持不变。

电焊变压器的空载电压是依靠适当选择变压器的变比来实现的,还可以利用原边的分接头开关 K 改变原边匝数来调节副边的空载电压,使其达到所需要的起弧电压值,电

焊变压器的剧烈下降外特征和限制短路电流,可以通过调节串联的电抗器的阻抗来实现。改变焊接电流的大小,可以移动活动铁芯4,以改变电抗器的空气隙,空气隙减小,电抗增大,阻抗压降增大,外特征下降更厉害,焊接电流减小;反之,增大电抗器的空气隙,焊接电流就增大。

1.6 小型变压器参数计算

变压器主要参数的计算。

要精确计算一只变压器主要参数是比较复杂的,为了避免许多繁复的计算,下面介绍一种简便方法。此法适合计算1 000 VA以下的小型变压器(频率50 Hz)。虽然这种方法是近似的,但已能满足一般需要。

绕制一只普通的电源变压器,可以通过以下四个步骤来进行:

第一步:先由变压器的功率 P 来确定铁芯截面积 S 的大小, $S = 1.25\sqrt{P}$ (1.7)

式中, P 的单位为V, S 的单位为 cm^2 。而对于整流变压器,它与一般电力变压器有一定差别,因为整流变压器的次级线圈常有直流电流流过,初级线圈也常有非正弦电流流过,这样使变压器效率下降,所以在确定变压器功率时,必须在它的输出直流功率上再加上一定的余量,以乘以系数 K_B 来考虑,它的大小与所用的整流线路的形式有关,也与负载的性质有关(表1-1所示)。

表 1-1

系数	负载性质	单相半波	单相全波	单相桥式	三相桥式
K_B	电阻性	3.09	1.48	1.23	1.05
	电感性	1.34	1.34	1.11	1.05

式(1.7)中系数是根据硅钢片的好坏或功率大小而定的,一般硅钢片 $B = 8\ 000 \sim 10\ 000\ \text{G}$ (高斯),系数取1.25。好的硅钢片 B 为10 000 G(高斯)以上,系数可取小些,差的黑铁片($B = 6\ 000\ \text{G}$ (高斯))系数可取2。或者根据功率大小而定。一般50 VA以下,系数取1.5~2;500 VA以下系数取1.25;1 000 VA以下系数取1~1.25。

第二步:截面积 S 求出后,再求每伏匝数 N_0 。

$$N_0 = \frac{4.5 \times 10^5}{B \times S} \quad (1.8)$$

式中, B 的单位是G(高斯)。

第三步:由导线所流过电流的大小,可查有关线规表,选用相应直径的漆包线。也可用下列公式来计算导线的直径 d 。