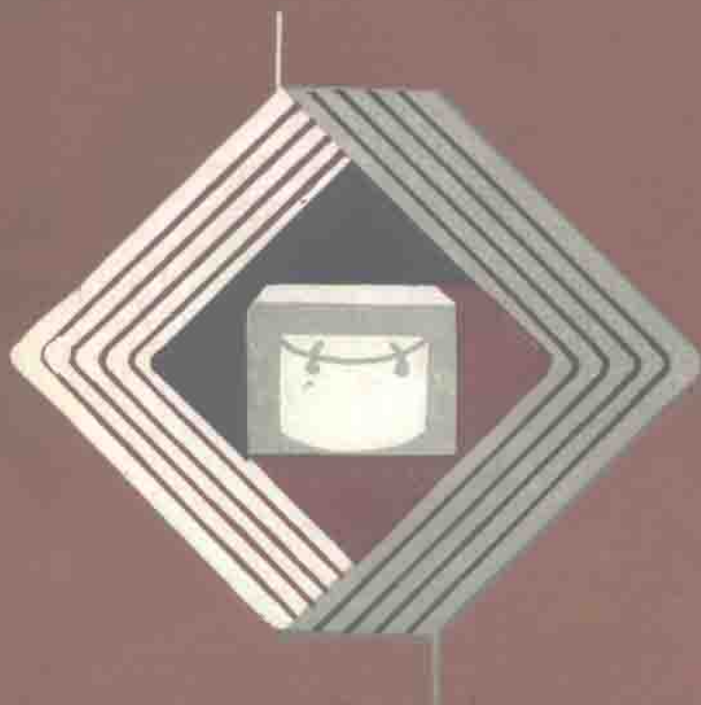


怎样计算和绕制小功率 电源变压器

陈杰 编著



人民邮电出版社

怎样计算和绕制 小功率电源变压器

陈 杰 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书从变压器的基础知识入手，系统讲述了小功率电源变压器的设计计算和绕制方法，以及常见故障的排除和旧变压器的翻修利用。同时也介绍了几种特殊的电源变压器的设计要求。本书内容上不涉及繁杂的演算，而注重实际经验，例举了部分设计实例，实用性强，有助于广大无线电爱好者动手实践。

怎样计算和绕制小功率电源变压器 Zenyang Jisuan he Raozhi Xiaogonglü Dianyuan Bianyaqi

陈 杰 编著
责任编辑 沈成衡 潘 红

人民邮电出版社出版
北京东长安街27号
天津新华印刷一厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 1990年9月第一版
印张：4 4/32 页数：66 1990年9月天津第1次印刷
字数：90 千字 印数：1-11 000 册

ISBN7-115-04318-3/TM·004

定价：1.70元

目 录

第一章 小功率电源变压器的基础知识	1
第一节 小功率电源变压器的结构形式.....	1
第二节 变压器的工作原理.....	3
第三节 电源变压器的损耗和效率.....	7
一、铁心中的损耗.....	7
二、线圈铜线中的损耗.....	8
三、电源变压器的效率.....	8
第四节 电源变压器初次级的相位关系.....	9
第五节 有关电源变压器材料的知识.....	10
一、铁心材料.....	10
二、导线材料.....	13
三、绝缘材料.....	14
第二章 小功率电源变压器的简便设计计算	17
第一节 对设计工作的要求.....	17
一、降低空载电流.....	17
二、电源变压器的温升.....	19
三、几个重要参数的选择.....	20
第二节 设计计算的步骤.....	28
一、确定功率.....	28
二、确定铁心截面尺寸.....	33
三、确定线圈用线的线径.....	34
四、确定绕组圈数.....	35

五、验算	36
六、设计计算举例	37
第三章 电源变压器的绕制	45
第一节 绕线要求	45
第二节 绕线的准备	47
一、手绕和使用绕线机	47
二、制作木心	47
三、线框的制备	48
四、层间绝缘纸	49
五、漆包线	50
第三节 绕制	52
一、线圈头尾的固定法	52
二、绕线	54
三、计数	55
四、垫绝缘纸	56
五、静电屏蔽层	56
六、经常遇到的几个特殊问题	58
七、使用绕线机绕线	58
八、检验	59
第四节 变压器的装配与浸渍处理	61
一、装铁心	61
1. 插片式铁心	62
2. C型铁心	63
二、装紧固架	65
三、浸渍处理	66
1. 浸渍溶液的准备	67
2. 烘干	67

3. 浸渍	68
第四章 几种特殊电源变压器的设计	70
第一节 自耦变压器	70
一、自耦变压器的设计	71
二、设计举例	72
三、调压变压器	74
四、调压变压器的非正规使用	77
第二节 适应多种供电电压的变压器	79
第三节 次级线圈复合使用的变压器	80
第四节 超小型电源变压器	83
第五章 电源变压器损耗的校核	85
第一节 变压器的铁损和磁化电流	86
一、片状铁心的损耗	86
二、片状铁心的磁化电流	87
三、C型铁心的损耗	89
第二节 变压器的铜损和效率	91
第三节 空载电流	93
第六章 小功率电源变压器的测试和常见故障	95
第一节 小功率电源变压器的测试	95
一、绝缘电阻	95
二、空载电流	96
三、输出电压	96
四、温升	97
第二节 常见的故障	99
一、温度过高	99
二、接触变压器铁心有麻电感觉	100
三、漏磁	100

四、噪声	102
第七章 旧变压器的翻修和利用	103
第一节 旧变压器的拆卸	103
第二节 旧硅钢片的利用	104
第三节 旧漆包线的利用	106
附录	108
附录表格的说明	108
附表（1）EI型硅钢片规格	111
附表（2）C型硅钢片规格	118
附表（3）漆包线规格	122

第一章 小功率电源变压器的 基础知识

在交流供电系统中，大多数的电子设备、测量仪器以及各种家用电器都离不开电源变压器。随着电子工业的发展和电工产品的增多，电源变压器的应用范围也势必更加广泛。

我们使用的电气设备常常需要多种不同电压值的供电电源，为此，最简便的方法就是通过电源变压器从标准电网上获得。电源变压器可以把电能从某一个交流电路传送到另一个相隔离的电路中去。更重要的是在传递过程中可以保持原来交流电的频率不变，而任意地选择所需要的电压和功率。这一章将简要介绍一些必要的电源变压器的基础知识。

第一节 小功率电源变压器的 结构形式

在各种电气设备中，电源变压器的种类随着各种不同的使用目的或不同的设计意图而各异。一般常用的电源变压器结构形式按铁心的形状分为：心式、壳式和C型。

心式变压器的两个线包分别绕在“□”字形铁心两侧的心柱上（图1·1）。这种变压器由于绕线分成两个线包，每个线包比壳式变压器的线包薄，每圈线圈的平均长度短，因而节约铜线。并且由于它的线包薄又分别安置，所以散热面积大，相同条件下温升比壳式变压器低。但是它要绕两个线包，加工绕

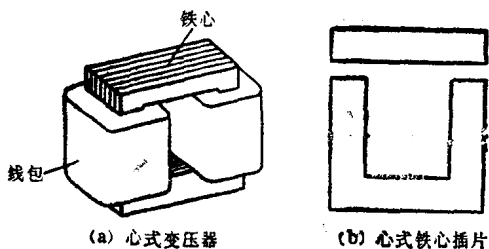


图 1·1

制较麻烦。主要的缺点还是体积比壳式变压器大，漏磁大，使用时也容易碰伤线包。目前除了工作电压很高或有特殊要求外，都不大使用这种形式。

壳式变压器是当前使用得最多的一种变压器。它使用“E”形和“I”形铁心插片，把线包绕在铁心的中心柱上(图1·2)。整个变压器只用一个线包，因而容易绕制。并且线包有一半的面积包在铁心里，不容易被碰伤漏磁较少。在现代的电子设备中，各部件之间往往都安排得很紧凑，为了减小体积，同时要求电源变压器不产生过多的漏磁去干扰相邻的器件工作，壳式变压器的使用优于心式变压器。

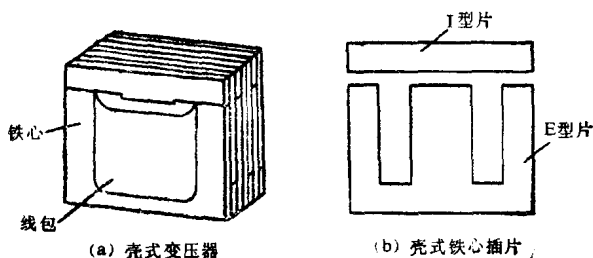


图 1·2

C型变压器的铁心是由硅钢带卷绕而成的。它在同样功率条件下，体积能比壳式变压器小 $1/3$ ，因而重量轻，节约材料，并且效率高、性能好，是当前比较好的一种变压器形式。它分CD型和ED型，实际上也就是心式的C型和壳式的C型（图1·3）。

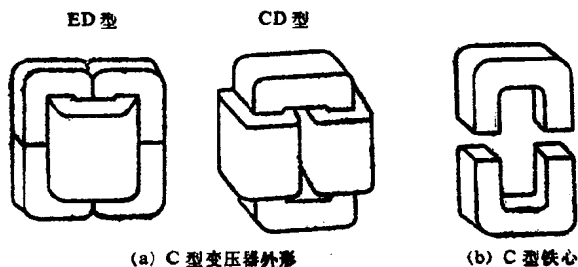


图 1·3

C型变压器的优越性很多，在大批生产时能充分地体现出来。但对个别问题（如维修、重绕甚至设计新变压器等等）处理时却比较麻烦些。

第二节 变压器的工作原理

分析电源变压器工作原理的基础是电磁感应现象。在物理试验中，将一个线圈通入电流，线圈周围就产生了磁场。这一现象称为电流的磁效应。相反地，把磁铁放进一个接有电流计的线圈里并不断作进出运动，电流计指针就会同步地往返摆动，这说明在线圈回路中产生了感应电流。即变化的磁场使闭合回路产生感应电流。这一现象称为磁电感应。

磁体上有N和S两个磁极，而一个通入电流的线圈，在其两端也会产生N和S的极性(极性的方向由电流的方向决定)。有很多磁力线从磁体或线圈的N极通过导磁物质或空气通向S极，再从磁体内部或线圈中由S极回到N极形成闭合的磁路。通常我们就用磁力线的多少和方向来描述磁场的强度和方向。一根导线垂直磁力线运动，即切割了磁力线，在导线两端就会产生感应电压，导线闭合就会产生感应电流。感应电流的大小，随着切割磁力线数量的不同而不同。但是若把闭合导线静止地放在没有变化的磁场里，是不能产生感应电流的。就像把磁铁放进线圈保持不动，电流计上也不会有电流指示。这说明线圈若置于固定不变的磁场中，不管磁场强度多少，线圈里都不会有电流产生。变压器的工作原理就可以由这一物理现象来解释。图1·4是一个变压器的原理图。它是由一个铁心和两个绕在铁心上各自独立的初、次级线圈组成的。假设我们在次级线圈3、4两端接上电流计，而在初级线圈1、2两端接上一个固定的直流电压，当开始接通电压的那一瞬间，电流计指针会出现或正或负的摆动，待接通后电流计上反而没有电流指

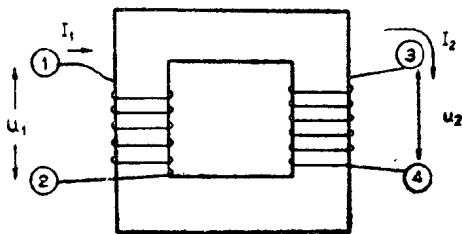


图 1·4

示。但在外加电压断开的瞬间，电流计指针又出现相反方向的摆动。当然完全断开后又没有电流指示了。对应前述的物理实

验过程，就可以解释变压器上的这些现象了。当1、2端接上固定（直流）电压时，初级线圈里有电流由零增大到某一固定数值，它所产生的磁力线也由零增加到某一数值，并通过铁心交连到了次级线圈，于是次级线圈里的磁力线也由零增加到某一数值。这相当于把磁铁插入空心线圈的动作，次级线圈感应出了电动势，产生了感应电流，电流计有指示。当初级线圈接上固定电压经过一小段时间后，初级线圈里的电流增至最大值，不再变化，次级线圈里的磁场强度也不再变。这相当于把磁铁插入空心线圈不动，次级线圈也就没有感应电动势和电流产生。当断开初级线圈的电压时，在初级线圈中磁力线由某一数值降为零，相当于把磁铁由空心线圈里取出，这一瞬间次级线圈中又感应出一个相反的电势来。

现在，假若初级线圈的1、2端加上交流电压，虽然初级和次级之间在电的通路仍相互隔离，但通过磁力线的耦合在次级线圈上将会感应出一个同样频率的交流电动势来。这时在次级线圈3、4端接上一个适当的小电灯，就会有感应电流流过而发光。用前面的道理是不难解释电灯能发光的原因的。这种作用就称为线圈的互感，变压器正是根据这一原理工作的。

如果更进一步观察，会发现流过初级线圈的电流的大小和次级所接电灯的电压和功率的大小有关。并且当把小电灯断开，使次级处于开路状态时，初级线圈中电流剧减，但仍有很小的电流流动，并不等于零。这些现象就需要进一步来解释了。

当一个正弦交流电压 u_1 加在初级线圈两端时，导线中就有交变电流 I_1 流动。此电流在铁心中便产生了很多条方向大小都交变的磁力线。通过铁心某一截面的磁力线总数称为通过该截面的“磁通”，通常用 ϕ 来表示。电流 I_1 流过初级线圈，铁心里就有了磁通 ϕ_1 ，它沿着铁心穿过初级线圈也穿过次级线圈形

成闭合的磁路。由于磁通 ϕ_1 随时间不断地变化，在次级线圈中就感应出互感电动势 E_2 。这就是次级线圈的开路电压。同时磁通 ϕ_1 穿过初级线圈本身时，也会在其中感应出一个自感电动势 E_1 。 E_1 的方向和所加交流电压 u_1 的方向相反，而幅度相似，限制了 I_1 的流动。为了保持磁通 ϕ_1 的存在，就需要有一定的电能消耗，并且变压器本身也有一定损耗，所以尽管次级线圈上没有负载，初级线圈中仍有一定数量的电流流通，这些电流称为“空载电流 I_0 ”。

如果在次级两端接上一个负载，在负载上就有感应电流 I_2 流动。负载两端便会出现电压。这一电压就是变压器次级（有载）电压 u_2 。 I_2 通过负载和次级线圈形成回路。当电流流过次级线圈时，这个电流也会使铁心产生一个磁通 ϕ_2 ， ϕ_2 的方向和 ϕ_1 相反，起了互相抵消的作用，使铁心中总的磁通量有所减少，也就导致初级线圈中的感应电压 E_1 减小，结果使 I_1 增加。可见，初级电流与负载电流有密切的关系。

I_2 的大小和变压器次级所接负载的阻值大小有关，而次级线圈所感应出的电动势 E_2 是由次级线圈圈数决定，不会变动。但有载时的，次级输出电压 u_2 则是随负载电流（次级电流）的大小而变的。这是因为 u_2 等于 E_2 减去电流 I_2 在次级线圈内阻上的压降。随着负载的变化，一系列的影响促使 I_1 也在变化。每当次级负载电流（或功率）加大时， I_1 增加， ϕ_1 也增加，并且 ϕ_1 增加的部分正好补充了被 ϕ_2 所抵消的那一部分磁通量，以保持铁心里总磁通量不变。此时变压器初级的功率也要发生变化。根据这个道理，如果不考虑变压器在传递能量时的功率损失，可以认为一个理想的变压器次级负载消耗的功率也就是初级从电源取得的电功率。变压器能根据需要改变次级线圈的绕数而改变次级的电压，但是不能改变允许负载消耗的功率。这就是

说变压器可以改变电压、电流，但不能改变功率。

第三节 电源变压器的损耗和效率

前面讲的是理想的变压器，实际上一个变压器由于存在各种损耗，输入功率永远是超过输出功率的。百分之百转换效率的变压器是没有的。

造成变压器损耗的因素很多，主要有涡流、漏磁、磁滞及线圈电阻等原因，而影响损耗大小的因素有：使用材料的质量、加工的工艺，以至装配质量等等。在一般情况下，变压器的损耗主要体现在铁心的损耗和铜线电阻的损耗上。

一、铁心中的损耗

当磁通在铁心中流动时，因为铁心本身也是导体，在垂直于磁力线的平面上就会产生感应电势。这个电势在铁心的断面上形成闭合回路形成电流，好象一个漩涡，所以称为“涡流”。铁心的截面愈大，产生的涡流也愈大。为了减少涡流损耗，电源变压器铁心都用一片片互相绝缘的薄硅钢片叠累而成。图 1.5 是整块铁心和片状铁心中涡流的示意图。由图中可以看出，片状铁心的涡流都被限制在每一薄片里，涡流回路的电阻明显

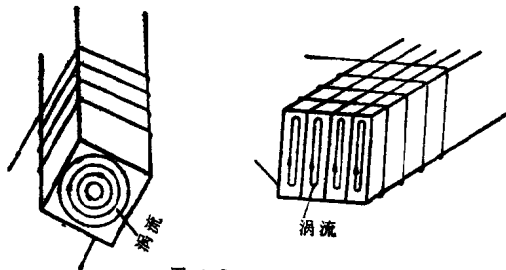


图 1.5

增加，涡流减小，因此减少了变压器的损耗。

另外，当变压器线圈通入电流使铁心磁化时，磁通的产生往往随不同的铁心材料而延迟一个短时间。特别是在线圈中加上交变电流后，铁心中的磁通也要不断地随电流流向而变化方向，但它的变化往往跟不上电流变化的速度，这叫“磁滞现象”。在反复磁化过程中，要克服磁滞的影响，也需消耗一部分能量，这部分能量消耗在铁心里，也会转变为热能使铁心发热。这种能量的损失称为磁滞损失。

以上两种在铁心中产生的能量损耗，通常称为电源变压器的“铁损”，严重铁损的结果是变压器效率低，温升大。

二、线圈铜线中的损耗

绕制变压器线包要使用大量的铜导线，这些铜导线存在着电阻。电流流过时，这电阻会消耗一定的功率，这部分损耗的电功率转换为热量而消散，通常称为电源变压器的“铜损”。减少铜损的方法是加大导线的直径。但过分加大导线直径会使变压器体积加大，又带来一系列的问题。所以要适当地选择线径。

三、电源变压器的效率

由于变压器存在铁损和铜损，所以它的输出功率永远小于输入功率。习惯上用希腊字母 η 表示它的效率

$$\eta = \frac{\text{输出功率}}{\text{输入功率}}$$

η 的高低是由变压器的损耗决定的。理论推导说明，变压器的铁损和铜损相等时，效率最高。由此可以想到铁心的截面有一个最佳值，设计时不要偏离此值太大。

从实际使用电源变压器的角度来考虑，我们总希望在允许的温升情况下，获得最大的输出功率，因此又引出了变压器的温升这一条件。要减少温升，除降低损耗外，另一个途径是加大散热面积。较小功率的电源变压器的体积比较大功率电源变压器的体积小，但是相对于体积来看，小功率电源变压器的相对散热面积比大功率电源变压器大。在设计小功率变压器时，有些参数可以选得紧一些，使其体积减小。但这往往又造成损耗加大，使小功率电源变压器的效率比大功率电源变压器低。可是总体来看，即使降低了效率也比选取宽裕的参数而绕成功率小体积大的变压器来得合算。

第四节 电源变压器初次级的相位关系

交流电压是随时间按正弦规律在不断变化的，所以也叫“正弦波”电压。给变压器初级加上交流电压后，在次级线圈中也能感应出一个交流电动势来。但是这一电动势和加在初级的交流电压的相位有四分之一周的相位差，也就是相差 90° 的相位角。

图 1.6 中 A 曲线是交流电压的波形，仔细观察一下会发现，在每一小单位时间里电压的增长或减弱的速度是不一样的，图中横轴代表时间 T 和相位。在横轴上我们任意取了三个小等分时间 t_1 、 t_2 和 t_3 。在时间 t_1 里，电压变化幅度是 a，而在时间 t_2 里幅度变化是 b。更进一步地设想，在时间 t_2 的某一短暂时间里，电压由上升转为下降，我们可以认为在转换的那一瞬间电压幅度的变化是零。这正和荡秋千的动作相似，当秋千向前或向后荡至最高点时，上升的动作要转变为下降的动作，秋千在这过程中总有一个很短的时间是静止不动的。在电

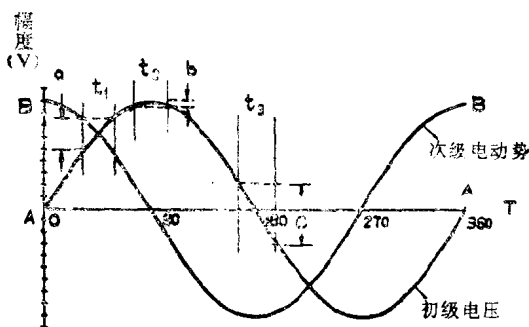


图 1.6

源变压器里如果初级线圈的电流出现了不增不减静止不动的现象时，铁心磁通也要停留在某一强度而不变，在次级线圈里感应电动势也将为零（因为感应电势是与交连的磁通变化速度成比例的）。由图 1.6 中也可以发现，当电压变化由正到负或由负到正时，也就是在零值附近时，幅度变化最大（图中 t_3 段时间）。或者说这时的变化速度最快。这时，在次级线圈里感应出的电动势也就最大。图 1.6 的 B 曲线绘出了次级感应电动势的波形，它和输入电压 A 曲线相比相差为 90° 。

第五节 有关电源变压器材料的知识

绕制电源变压器使用的材料种类不多，主要的是铁心材料、铜线和绝缘材料。在小功率电源变压器的绕制中，紧固结构没有什么特殊要求，但有时需要配备一些焊片等引线用的端接材料。

一、铁心材料

在电源变压器里使用的铁心材料主要是硅钢片。所谓硅钢