

Tongxin Bianyaqi de Jianyi Sheji Yu Zhizuo

通信变压器的简易设计与制作

湖南省邮电科学研究所编

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书结合广大农村和县的邮电局的具体情况和需要,介绍了变压器的设计、绕制、防潮处理及检验等。在设计中为了减少繁琐的计算,而尽可能多地提供一些常用的经验数据和图表。

本书主要供基层通信部门搞技术革新的同志及维护人员阅读,也可供无线电业余爱好者参考。

通信变压器的简易设计与制作

湖南省邮电科学研究所 编

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

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 1979年2月第 一 版

印张: 5 页数: 80 1979年2月河北第一次印刷

字数: 112 千字 印数: 1—27,500 册

统一书号: 15045·总2280—有5113

定价: 0.42 元

前 言

为使农村邮电通信更好地为农业学大寨、普及大寨县服务，广大农村邮电职工坚持独立自主、自力更生的方针，大搞群众运动，广泛开展技术革命和技术革新，自制单路及三路载波电话机、会议电话汇接机、会议电话终端机等通信设备，并根据农村电源的具体情况，制作了各种不同类型的电源供给设备，为发展农村邮电通信起到了一定的作用。

在自制和革新农村通信设备的过程中，常常需要绕制各种类型的变压器。在维护工作中，也会遇到修理或重新绕制变压器的情况。现根据我们自制农村通信设备时，在设计、绕制及修理变压器等方面的一点体会，并结合所接触到的有关这方面的经验和资料，编写成本书，供县邮电局、农村邮电支局以及公社机线员自制变压器时参考。

书中所介绍的变压器设计与绕制、防潮处理、检验等工艺过程，是结合县邮电局的具体条件来介绍的，简便易行，结合实用，以能够基本达到农村通信的需要为要求。书中为减少繁琐的计算，尽可能提供一些常用的经验数据和图表。并介绍一些自制防潮处理和检验设备的方法。

本书由湖南省邮电科学研究所组织编写。蒯丕益、曾超两同志执笔。由于编写时间匆促、经验不足，诚恳地希望读者对本书存在的缺点和错误提出批评指正。

作者

一九七八年六月

目 录

前言

第一章 变压器的基础知识	1
第一节 变压器的工作原理与结构	1
第二节 通信变压器工作状态的分析	8
第三节 变压器在农村通信中的应用	14
第二章 农村通信变压器材料	17
第一节 铁心材料	17
第二节 导电材料	32
第三节 绝缘材料	33
第三章 音频变压器的设计	39
第一节 单端式和推挽式输出变压器	40
第二节 级间耦合变压器	55
第三节 输入变压器	66
第四节 混合线圈	69
第四章 电源变压器的设计	82
第一节 E 型电源变压器	83
第二节 整流变压器	92
第三节 电源变压器的静电屏蔽	99
第四节 变换器用变压器	101
第五章 转电线圈和感应线圈	104
第一节 转电线圈	104
第二节 感应线圈	110

第六章 变压器的绕制	113
第一节 绕制前的准备	113
第二节 变压器的绕制方法	119
第三节 变压器铁心的装配	124
第四节 防潮处理	127
第七章 变压器的测试	134
第一节 电源变压器的测试方法	134
第二节 音频变压器的测试方法	141
第三节 混合线圈的测试方法	143
第四节 晶体管线圈匝数测试仪的制作	145
第八章 变压器的故障和修理	149
第一节 变压器故障的判断及检修	149
第二节 变压器铁心的拆卸	152

第一章 变压器的基础知识

变压器是邮电通信、电力、广播和电子自动控制等设备中广泛应用的器件。它的主要作用是改变电网或电路中的交流电压、电流或阻抗。

本章主要介绍变压器的工作原理、结构及其在农村通信设备中的分类。

第一节 变压器的工作原理与结构

变压器可以将电能从某一交流电路传输到另一电路。在传递过程中，通过变压器可以使电压、电流、阻抗根据需要加以改变，但其频率是不会改变的。

一、变压器的工作原理

变压器的工作原理，简单地说，就是电磁感应原理，即根据变化的电流可以产生变化的磁场，而在变化磁场中的导体内可以产生感应电动势这一原理制成了变压器。

电是怎样产生磁的呢？

大家知道，磁铁能够吸引它附近的铁屑，而对于距离远至一定程度的铁屑就不能吸引。可见磁铁的吸引力只作用于一定的范围内，这个力叫做磁力，空间存在有磁力作用的一种特殊物质称为磁场。为了研究磁场的方便，则引入磁感应线这个概念。所谓磁感应线，就是把磁场中各点磁场方向顺连而成的曲

线，而磁感应线上各点切线的方向就是该点磁场的方向。图1—1为条形磁铁的磁感应线图形，每一根磁感应线都是由N极出发，经过外面空间，到达S极，再由S极经磁铁内部回到N极，它自成闭合回线，无头无尾，各磁感应线互不相交和重迭。

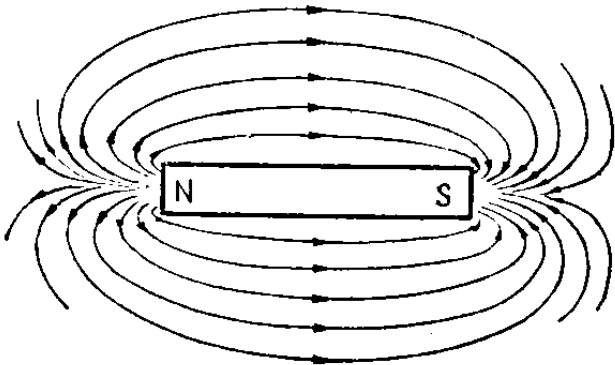


图 1—1

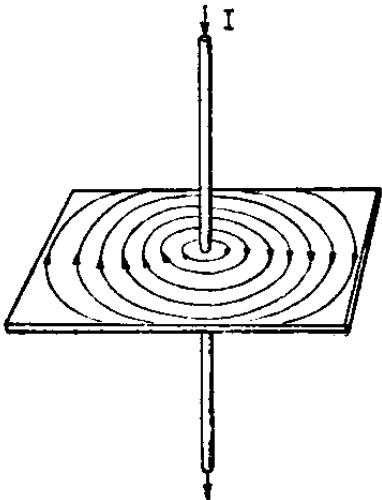


图 1—2

电是否能产生磁场呢？下面做一个试验。取一根粗导线，将其穿入一块硬纸板的中心，如图1—2所示，在纸板上均匀地撒上一些铁屑，在导线通电之前，铁屑杂乱无章地摆着，当导线通电流后，抖动纸板，就可看到铁屑会有规则地形成如图1—2中所示的许多圆环，这就是磁感应线的模型。上述试验表明：不仅磁铁会产生磁场，通电的导体也可以产生磁场，即在电荷运动的情况下，电流可以产生磁场。通有电流的导线周围的磁感应线是围绕这根导线的一些同心圆，磁感应线的方向可用右手螺旋定则判定：用右手握导线，使大拇指和电流的方向一致，其余四个手指所指的方向就是磁感应线的方向，如图1—3所示。

在实际工作中，通常将导线绕成空心或者装有铁心的线圈。通有电流的线圈，磁感应线的分布情况和条形磁铁一样，见图1—4，它的磁感应线方向同样可用右手螺旋定则来判定：

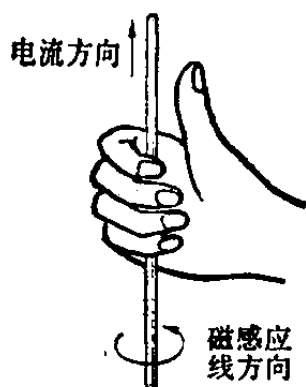


图 1—3

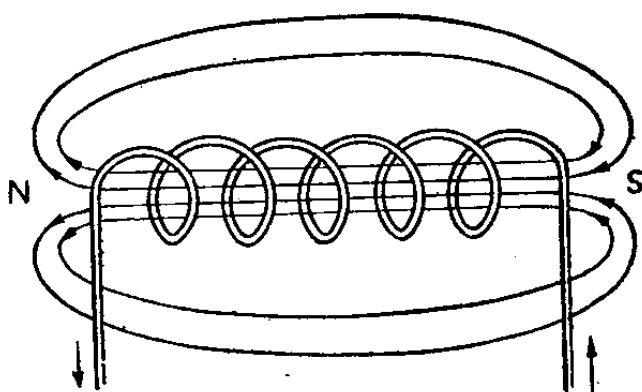


图 1—4

以右手握线圈，其四个手指指向电流的方向，则与线圈轴线平行的大拇指所指的方向就是磁感应线的方向，见图1—5。

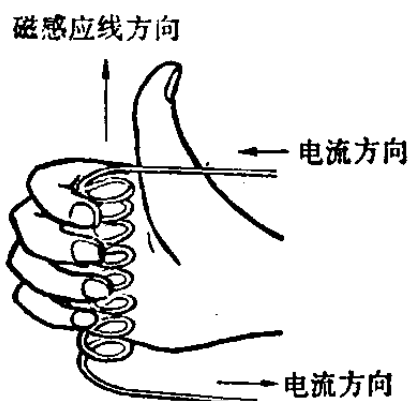


图 1—5

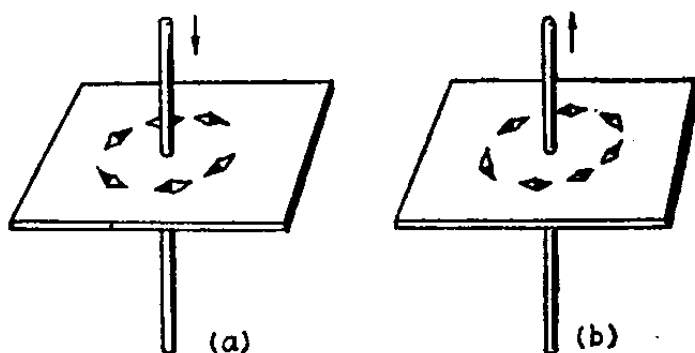


图 1—6

我们还可以做一个这样的试验，在图1—2所示的纸板上不放铁屑，而放一些小磁针（黑色的一端表示小磁针的N极），当电流从导线上端过来时，这些小磁针的N极，都指着顺时针方向，见图1—6(a)。如果我们将电流的方向改变一下，从导线的下端流向上端，这时，小磁针的方向也随之而改变，其N极均指着逆时针方向，见图1—6(b)。由此可见，当导线中电流方向改变时，磁感应线的方向也随之改变。

根据前面的分析，可以得出以下结论：

- (1) 通电导体可以产生磁场；
- (2) 交变的电流可以产生交变的磁场。

磁又是怎样产生电的呢？

我们可以做一个这样的试验，将一只空心线圈和一只检流计接通，由于没有电源，检流计的指针自然不会动，而是停在中间位置。取一个条形磁铁，插入线圈，并来回插入抽出，这时检流计指针就会左右摆动，如图1—7所示。但是当磁铁停止移动，即使是插在线圈里面，检流计指针就会很快地回到原位不动。可见当线圈周围的磁场发生变化（移动条形磁铁，相当于线圈周围的磁场发生变化），线圈两端就产生感应电动势，当接通负载，形成回路，便有了电流。

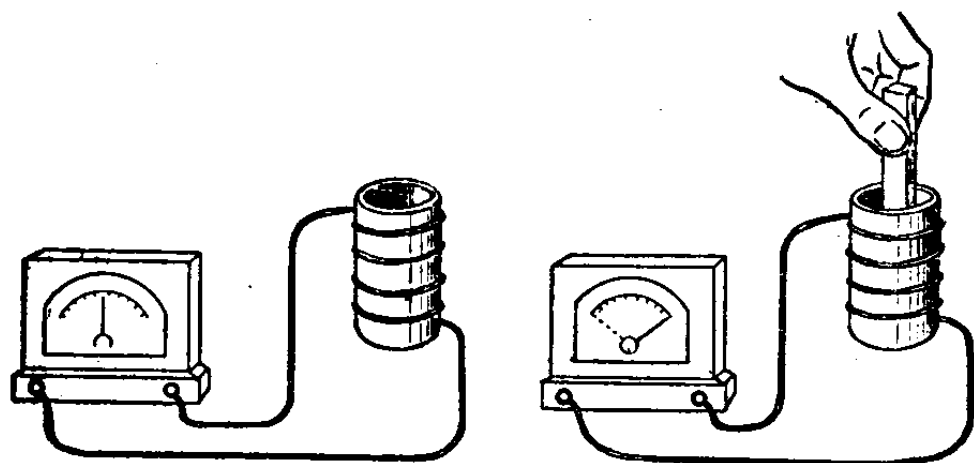


图 1—7

根据上面的试验可知，磁产生电的条件是导体必须作“切割”磁感应线运动。

变压器就是利用上述“电生磁”、“磁生电”的原理而进行工作的。最简单的变压器就是在一个闭合的铁心上绕两个线圈，如图1—8(a)所示，图1—8(b)是它的电原理图。1、2为输入线端，相应的线圈叫初级线圈，其匝数为 N_1 ；3、4为输出线端，相应的线圈叫次级线圈，其匝数为 N_2 。图(a)中虚线表示当初级加一电源电压时在铁心中所产生的磁通 Φ 。

由图1—8(b)可见，当变压器初级与一信号电源 E_s 接通后，则有交变电压 U_1 加到初级线圈，初级线圈上便有交变电流 I_1 通过，此电流在铁心中便产生交变磁通 Φ ，这个交变磁通

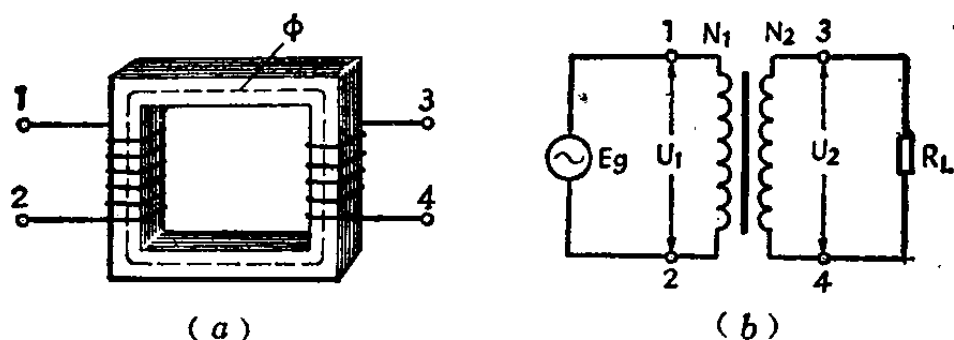


图 1—8

Φ 不仅通过初级线圈 N_1 ，产生自感电动势 E_1 ，同时也穿过次级线圈 N_2 ，在它上面产生互感电动势 E_2 。如果次级线圈接上负载 R_L ，便会有交流电流 I_2 在它上面流过， R_L 上的端电压为 U_2 。

感应电势 E_1 、 E_2 的大小与磁通有以下关系：

$$E_1 = 4.44fN_1\Phi_m$$

$$E_2 = 4.44fN_2\Phi_m$$

式中： f 为交变电流的频率；

Φ_m 为磁通最大值

感应电势 E_1 、 E_2 的方向是反抗原磁通的变化。

磁通的最大值 Φ_m 等于变压器铁心截面积 S 与磁通密度最大值 B_m 的乘积，即

$$\Phi_m = B_m S$$

则

$$E_1 = 4.44fN_1B_mS10^{-8} \text{ 伏}$$

$$E_2 = 4.44fN_2B_mS10^{-8} \text{ 伏}$$

式中： B_m 的单位为高斯；

S 的单位为平方厘米

在设计电源变压器时，可由上式推算出各组线圈每一伏应绕的匝数。

假如忽略线圈电阻及漏磁通，则有

$$U_1 = E_1$$

$$U_2 = E_2$$

因此

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{4.44fN_1B_mS10^{-8}}{4.44fN_2B_mS10^{-8}} = \frac{N_1}{N_2}$$

即

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

式中 n 称为变比或圈数比。

上式表明，变压器初、次级的电压和初、次级线圈的匝数成正比。这就是说，若 U_1 一定，不同的圈数比，可得到不同的 U_2 。例如 $U_1 = 10$ 伏，当 $n = 2$ 时， $U_2 = \frac{U_1}{n} = \frac{10}{2} = 5$ 伏，这是一种降压变压器；当 $n = \frac{1}{2}$ 时， $U_2 = \frac{U_1}{n} = \frac{10}{1/2} = 20$ 伏，这种变压器为升压变压器；当 $n = 1$ 时， $U_2 = \frac{U_1}{n} = \frac{10}{1} = 10$ 伏，圈数比 n 为 1 的变压器，通常作为隔离变压器使用。

由上面的分析证明，变压器能够变换电压。但应该着重指出，它只能变换交流电压，只有交变的电压才能产生交变的电流，交变的电流才能产生变化的磁通，在变压器次级才有感应电势产生。

如果变压器没有能量损耗，即是说铁心没有涡流和磁滞引起的铁损，则输入至变压器初级的电能，全部传输到负载电阻 R_L 上（即所谓理想情况），则

$$P_1 = P_2$$

式中： P_1 表示变压器初级功率；

P_2 表示变压器次级功率

由于

$$P_1 = U_1 I_1$$

$$P_2 = U_2 I_2$$

式中： I_1 表示变压器初级电流；

I_2 表示变压器次级电流

则有 $U_1 I_1 = U_2 I_2$

或者 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{n}$

由上式可见，变压器初、次级的电流和初、次级线圈的匝数成反比。

根据欧姆定律，可以得出

$$R = \frac{U}{I}$$

则变压器的输入阻抗 R_λ 为

$$R_\lambda = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2 \cdot n}{I_2/n} = n^2 \frac{U_2}{I_2}$$

又 $\frac{U_2}{I_2} = R_L$

因此 $R_\lambda = n^2 R_L$

上式说明，变压器能够变换阻抗，从初级看进去的阻抗等于次级负载阻抗乘以圈数比的平方。或者说，变压器初、次级阻抗与其圈数比的平方成正比。

根据前面的讨论，可以知道变压器的初、次级电压、电流、阻抗与圈数比的关系如下：

$$\frac{U_1}{U_2} = n ; \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{R_\lambda}{R_L} = n^2 \quad \text{或} \quad \sqrt{\frac{R_\lambda}{R_L}} = n$$

明确这些关系很重要，在设计变压器时，就要根据上述公式进行计算。

二、变压器的结构

变压器的主要构件是铁心和线圈，此外，还有电磁屏蔽设施及固定变压器的紧固件，常见变压器的外形见图1—9。

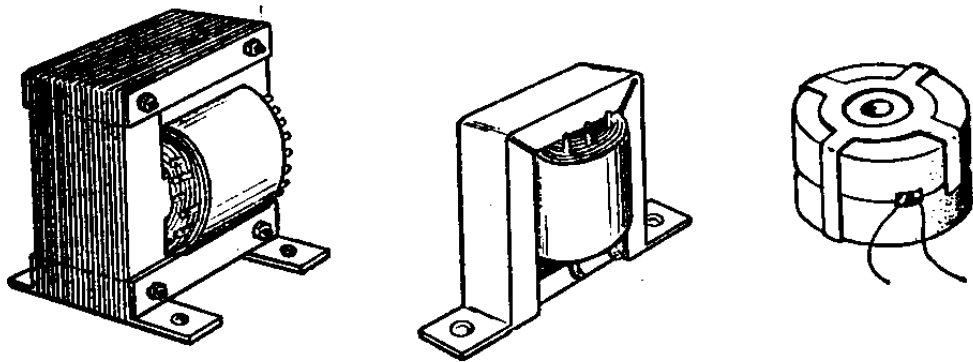


图 1—9

农村通信变压器的铁心结构，大致有以下几种：口字形、 EI 型、罐形、 E 形、环形，见图1—10。线圈结构的种类，将在变压器绕制工艺部分作详细的介绍。

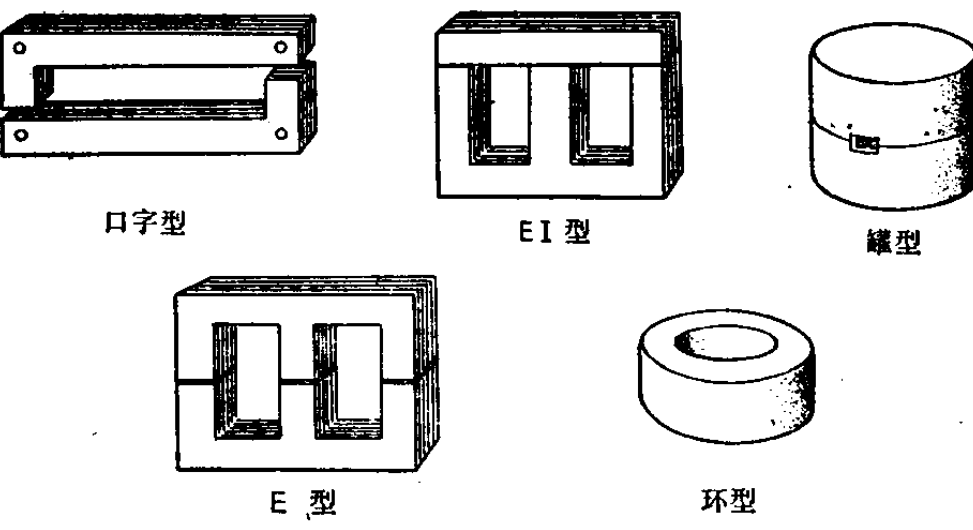


图 1—10

第二节 通信变压器工作状态的分析

前面讨论变压器的计算关系时，为了简便起见，假定为理

想变压器。实际上变压器是存在着能量损耗的，它在传输能量的过程中，有磁滞、涡流以及导线电阻的热耗散等损失，同时还存在漏感（漏磁通）及分布电容等寄生参数的影响。因此，理想变压器是不存在的。下面对通信变压器的工作状态进行简略地分析，找出使变压器不能达到理想工作状态的参数产生的原因和对变压器的影响。

一、变压器的损耗

变压器的损耗，由两部分组成，一部分是铁心损耗的电能，通常称为铁损；另一部分是导线损耗的电能，通常称为铜损。这时变压器的等效电路如图 1—11 所示。图中 r_1 表示初级线圈的损耗电阻， r_2 表示次级线圈的损耗电阻， r_{Fe} 表示铁心的损耗电阻。

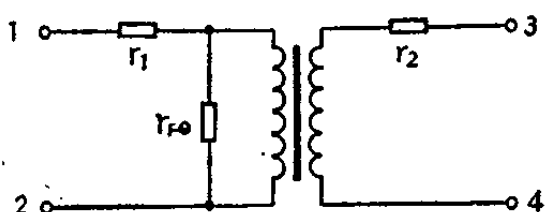


图 1—11

1. 铁损

铁损表现为铁心发热，其中包括磁滞损失和涡流损失。

铁磁性材料在循环交变磁化过程中，磁感应强度的变化落后于所对应的磁场强度的变化，这种现象称为磁滞。由于通过变压器的电流大小及方向经常在变化，初级线圈所产生的磁感应线的数量和方向也跟着变化，在反复磁化过程中，务必要消耗一部分电能，来克服磁滞的影响，这部分能量消耗于铁心内，转变为热量，使铁心发热，频率越高，损耗愈大，这种由于循环交变磁化引起电能转化为热能的损失，称之为磁滞损失。为了减少磁滞损失，变压器的铁心都是用磁滞回线很窄的软磁性材料作成的。

变压器初级通上交流电，铁心就有变化的磁感应线通过，

因而在与磁感应线垂直的平面内，就产生感应电势，由于铁心是导体，则在感应电势作用下，在这个平面产生感应电流，并自成闭合回路，好比水的旋涡，故称之为涡流，如图1—12所示。铁心截面积愈大，产生的涡流就愈大，变压器发热就愈严重，损耗的电能也就愈多。为了减少工作在低频状态下的变压器涡流损失，铁心往往用互相绝缘的薄硅钢片叠合而成，这样可将涡流限制在每一薄片之中，从而增大了涡流回路的电阻，起到了减少涡流的作用，如图1—13所示。由于涡流损失是随交流电的频率升高而增大的，因此，在频率较高的情况下，变压器都采用铁氧体做铁心。这是由于铁氧体是由粒子很细且又互相绝缘的材料组成，粒子之间电阻很大，它能减少涡流。

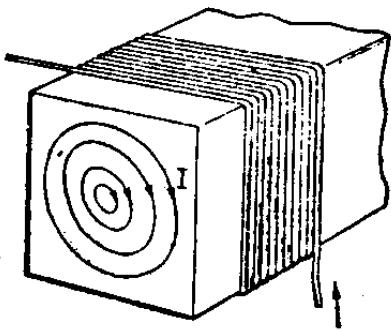


图 1—12

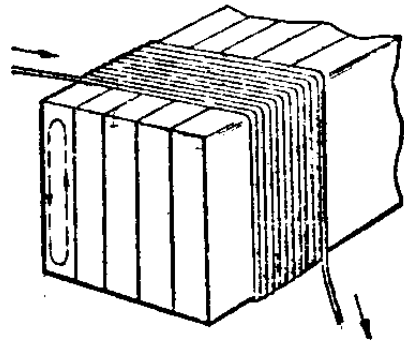


图 1—13

2. 铜损

变压器中的铜损电阻 r_1 、 r_2 并不单纯是导线的直流电阻，它还包括比直流电阻大的交流电阻。这是因为当通过变压器的电流频率较高时，由于集肤效应的影响使导线的中心部分没有被利用，因而形成交流电阻比直流电阻大的现象。在有电流通过 r_1 、 r_2 时要损耗电能，这部分电能转换为热量而耗散，故称为铜损。减少铜损的办法是增大导线截面积，以减小铜损电阻 r_1 、 r_2 ，但是过分地增大导线的截面积又会使变压器的体积增

大、成本提高。因此，必须选用适当直径的导线，将铜损控制在一定的范围内。

二、变压器的寄生参数

变压器的寄生参数有漏感和分布电容。电源变压器传输的电能为单一的频率，且其频率比较低，通常为50赫。这时其漏感和分布电容的数值一般都比较小，故两者对电源变压器的影响也较小。

但是，通信变压器通常是传输电信号的一个频带，例如音频变压器一般工作于300~3400赫范围内，我们要求在整个频带内，高、中、低频段的工作衰耗不能相差太大，否则就会引起信号的非线性失真，由于容抗及感抗是随频率变化的，因此就必须考虑分布电容和漏感的影响。下面分析寄生参数产生的原因、对通信质量的影响和消除的办法。

1. 漏感

变压器的漏感，就是当变压器输入电流后，初级线圈所产生的磁通并没有全部通过其次级线圈，这些磁通穿过空气而自成闭合磁路，这就是漏磁通；同样，次级线圈电流所产生的磁通也没有全部通过初级线圈，也有漏磁通存在，因而产生了漏感。

现在，忽略变压器的损耗电阻和分布电容，仅考虑漏感的影响，其等效电路则如图1—14所示。

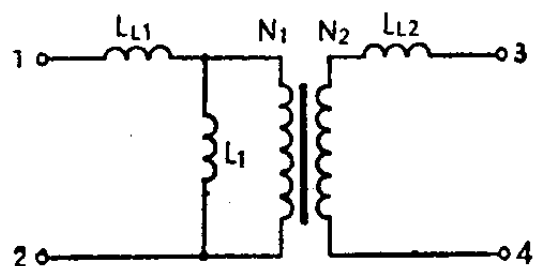


图 1—14

1—2端的电感

$$L_1 = L_{L1} + L_1' \quad (L_{L1} \text{ 为初级漏感, } L_1' \text{ 为其磁化电感})$$

3—4端的电感

$$L_2 = L_{L2} + \frac{L_1'}{n^2} = L_{L2} + L_2' \quad (L_{L2} \text{ 为次级漏感})$$

$$n = \sqrt{\frac{L_1'}{L_2'}}$$

电路中的感抗 X_L 为

$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

上式表明，当电感量一定时，感抗与频率成正比，且频率较低时，感抗减小，频率增高时，感抗增大。通常情况下， L_{L1} 和 L_{L2} 数值都很小，所以在频率较低时，其感抗 $2\pi f L_{L1}$ 及 $2\pi f L_{L2}$ 一般可忽略不计。但在频率较高时，由于感抗增大，就不能忽略了，一方面它们要降掉一部分电压，因而导致输出功率减少；另一方面对输入阻抗来说也要加上漏感所产生的感抗。因此，由于漏感的存在，将使传输信号的高低频部分衰耗不相等而产生失真。同时高低频阻抗也不相等，而引起阻抗不匹配。

在制作通信变压器时，为了减少漏感，通常选用高导磁率的材料做铁心，使用硅钢片铁心时，应尽可能叠紧。在绕制线圈时，应排列平整，使初、次级线圈靠得紧一些；对于初、次级线圈匝数相等的变压器，可采用高强度漆包线双线并绕；此外，采用分层绕制的方法，也可以减少漏感。

2. 分布电容

电容是由互相绝缘的两片导体构成的。当导体对应的平面面积越大、且距离越小时，电容量就越大。在变压器线圈各匝之间也形成一个很小的电容，同时两组线圈之间也存在着电容。因为这些电容不象电容器那样集中在一块儿，而是沿着导线分布的，所以称为分布电容。

在图1—15中画出了变压器中的分布电容， C_{F1} 及 C_{F2} 分别表示初级线圈和次级线圈的分布电容， C_{12} 表示初、次级线圈