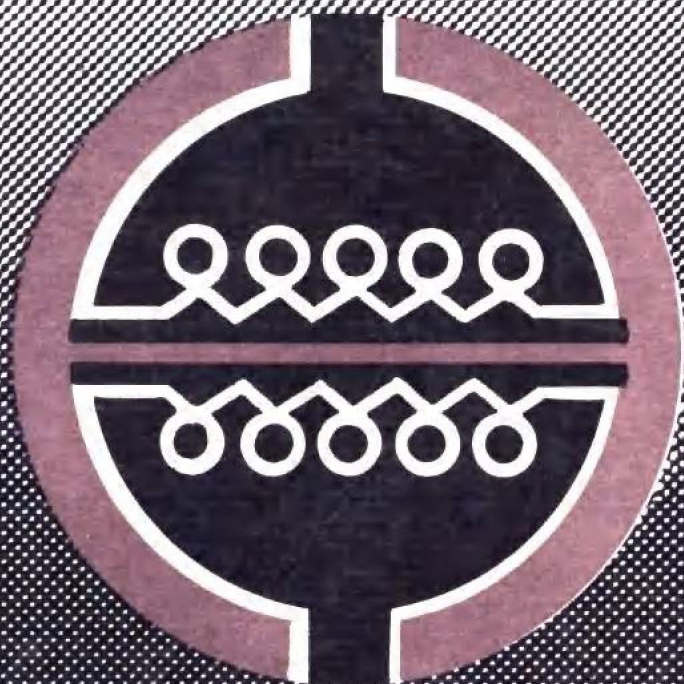


变压器手册

● 电子分册

辽宁科学技术出版社



变压器手册

(电子分册)

Bianyaqi Shouce

徐 稷 山兴家 黄永善 编
王全保 姚玉菁 卫 泰

辽宁科学技术出版社出版 (沈阳市南京街6段1里2号)

辽宁省新华书店发行 朝阳新华印刷厂印刷

开本: $787 \times 1092^{1/16}$ 印张: $29^{3/4}$ 字数: 670,000 插页: 2

1988年5月第1版 1988年5月第1次印刷

责任编辑: 尹 岚 责任校对: 茹 莉

封面设计: 广 土 文 戈

印数: 1—12,476

ISBN 7-5381-0094-6/TM·2 定价: 6.50 元

内 容 提 要

本分册在简要介绍电子变压器的分类和选择的基础上，全面系统地叙述了各种电子变压器的基本原理、设计计算、制作工艺、技术要求、测试方法及常用材料和配件等。书中提供了电子变压器常用的工程计算公式、图表、曲线等；收集了大量的变压器技术标准和技术资料。书后附有中小型变压器简易设计计算应用实例。

本分册内容充实，实用性强，对从事变压器设计计算及制造的工程技术人员和工人，尤其是广大无线电爱好者来说，颇为适用，是一本必备的工具书。

前 言

变压器手册·电子分册包括的内容为电力用变压器之外的各类中小型变压器，又俗称“电子变压器”。这类变压器品种繁杂，有电源变压器、控制变压器、音频变压器、隔离变压器、脉冲变压器、滤波扼流圈等等。其用途极为广泛，不但应用于电子通讯、广播电视、雷达、导航，及仪器仪表、家用电器等领域，而且也是机械、电器、石油、化工、能源、交通等电气控制领域中极为常见和必不可少的一种基础元器件。

随着现代科学技术的进步，电子变压器已发展成为与电力变压器有迥异特点的变压器分支。由于电子变压器种类繁多，生产、制造和应用又分布在各个行业和部门，其技术资料较为零散，因此，编纂一本系统的、完整的、实用的技术手册已为电子变压器的发展形势所迫切需要。

本书概述了电子变压器的原理、分类、主要参数、技术条件和绝缘设计；汇集了国内常用的插片铁心和卷绕铁心系列、IEC 铁心系列、铁氧体磁心系列等技术资料；介绍了单相和三相电源变压器、音频变压器，以及电源滤波扼流圈的计算方法，并给出了工程计算用图表；详细介绍了电子变压器的制造专业工艺、常用材料与配件、各参数的测试电路和测试方法等。对空心电感线圈、带磁心电感线圈、整流器、滤波器作了进一步的实用性介绍。最后一章附有各种变压器设计计算的实用例题。本书编写中采用了最新有关国家标准、专业标准、国际标准。

本书简明，实用，内容丰富，作为一本工具书无论对从事变压器设计工作的科技人员，还是对无线电爱好者和电器维修人员来说都大有裨益。

本分册的第一、二、三、四章由徐稜、姚玉菁、卫泰同志编写；第五、七章由山兴家同志编写；第六、八、九、十章由王全保同志编写；环形变压器设计计算部分由黄永萼同志编写。全书由徐稜、王全保两同志审核，插图由苏申惠同志绘制。在此向为本书提供帮助的同志表示衷心地感谢。

对本书中的错误和不当之处，敬请广大读者批评指正，

编 者

1987年3月

目 录

第一章 概述	1
1.1 变压器工作原理	1
1.2 电子变压器分类	5
1.3 电源变压器主要技术参数与设计技术条件	9
1.4 滤波扼流圈	14
1.5 绝缘	20
第二章 铁心系列	26
2.1 E、XE、XI 小型铁心片与铁心叠厚系列	26
2.2 KE、KI 型铁心片与铁心叠厚系列	32
2.3 GE、GI 型铁心片与铁心叠厚系列	41
2.4 UI 型铁心片与铁心叠厚系列	50
2.5 ED、CD 型 C 形铁心	57
2.6 XED、XCD 型 C 形铁心	74
2.7 BCD 型 C 形铁心	82
2.8 BOD 型环形铁心	89
2.9 HSD、BSD 型铁心	92
2.10 IEC—740 铁心系列	104
2.11 软磁材料制成的环形卷绕铁心(IEC—635)	116
2.12 铁氧体磁心	118
第三章 电源变压器和滤波扼流圈计算	126
3.1 单相电源变压器计算	126
3.2 三相电源变压器计算	184
3.3 滤波扼流圈计算	209
3.4 绝缘设计	237
3.5 平行线圈结构计算与参量计算	244
3.6 环形变压器绝缘设计与结构计算	246
3.7 变压器、扼流圈温升计算	252

第四章 音频变压器	267
4.1 概述	267
4.2 音频变压器设计技术条件	276
4.3 音频变压器计算	277
4.4 晶体管电路用音频变压器设计要点	298
4.5 插片铁心音频变压器近似计算	300
第五章 专业工艺	305
5.1 底筒压制工艺	305
5.2 浸渍工艺	306
5.3 裹覆工艺	308
5.4 端封工艺	309
5.5 环氧树脂灌注工艺	310
5.6 硅钢铁心的热处理工艺	311
5.7 精密软磁合金热处理工艺	312
5.8 氧化镁涂覆工艺	313
5.9 硅钢带涂覆低温釉工艺	313
5.10 铁心胶合工艺	314
5.11 铁心切割工艺	314
第六章 测量	316
6.1 硅钢片(带)交流磁化曲线和比总损耗、比视在功率测量	316
6.2 空载特性测量	324
6.3 直流电阻测量	328
6.4 变压比	330
6.5 电感	332
6.6 负载与温升试验	336
6.7 漏感	339
6.8 极性试验	340
6.9 不对称度	341
6.10 共模抑制试验	343
6.11 品质因数 Q 的测量	343
6.12 自谐振频率	344
6.13 频率响应	345
6.14 非线性失真	347
6.15 输入阻抗	348
6.16 变压器电容	350
6.17 静电屏蔽	351

6•18	额定电压-时间乘积	352
6•19	效率、功率因数测量	353
6•20	噪声	354
6•21	磁场	358
6•22	绝缘试验	360
6•23	安全性试验要求	364
6•24	可靠性试验	366
第七章	常用材料	368
7•1	磁性材料	368
7•2	线材	376
7•3	绝缘材料	383
7•4	变压器用打包钢带	391
第八章	常用配件	392
8•1	骨架	392
8•2	底筒	396
8•3	焊片	402
8•4	底座	403
8•5	底板	407
8•6	夹框	412
8•7	打包钢带	413
8•8	打包夹	414
8•9	铆装螺母	414
8•10	拉杆	415
第九章	电感线圈计算	416
9•1	空心圆线圈的电感计算	416
9•2	铁氧体磁心电感计算	421
9•3	粉末磁心线圈电感计算	428
第十章	整流器、滤波器计算	431
10•1	概述	431
10•2	电感性负载整流器的计算	434
10•3	单相电容性负载整流器计算	439
第十一章	应用例题	445
例题 1	50Hz单相电源变压器计算	445

例题 2	400Hz 环形铁心电源变压器计算	448
例题 3	50Hz 三相电源变压器计算	453
例题 4	C 形铁心滤波扼流圈计算	456
例题 5	晶体管电路用输出变压器计算	459
本书的主要参数符号与单位		463

第一章 概 述

1.1 变压器工作原理

1.1.1 理想变压器的工作原理

变压器是一种应用电磁感应原理把电能从一个电路传到另一个电路的电磁装置。它在电路中起变压、变流、变阻的作用。图1—1为变压器结构原理图与电路符号。它由三部分组成：一是铁心，起导磁、助磁作用；二是初级线圈，接电源，起激磁作用；三是次级线圈，接负载，利用次级对初级的不同匝数比，实现变压、变流和变阻的作用。

在讨论变压器基本工作原理时，为了简明，通常把它理想化，认为初次级线圈的电阻为零，铁心无损耗，铁心的磁导率很大，因而无漏磁。变压器的工作，可概括为空载与负载两种状态，三个物理过程。

空载状态，第一个物理过程：初级接通电源，在交流电压 U_1 作用下，初级回路产生激磁电流 I_ϕ ，磁动势 $W_1 I_\phi$ ，该磁势在铁心里激起交变磁通 ϕ_0 ，磁密 B_0 ， $B_0 = \phi_0 / S_c$ ，如图1—2所示。这一过程称为“电动生磁”过程。

空载状态，第二个物理过程：按电磁感应原理，铁心里的交变磁通 ϕ_0 在初级线圈两端产生自感电势 E_1 ，在次级线圈两端产生互感电势 E_2 。

$$E_1 = 4K_\phi W_1 B_0 S_c f \times 10^{-4} \quad (1-1)$$

$$E_2 = 4K_\phi W_2 B_0 S_c f \times 10^{-4} \quad (1-2)$$

式中： K_ϕ 为波形系数，方波时 $K_\phi = 1$ ，正弦波时 $K_\phi = 1.11$ 。

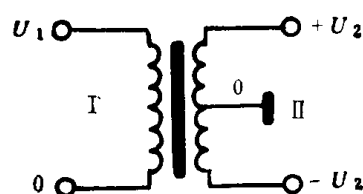
在理想变压器状态，初次级电阻为零，故

$$U_1 = E_1 = 4K_\phi W_1 B_0 S_c f \times 10^{-4} \quad (1-3)$$

$$U_2 = E_2 = 4K_\phi W_2 B_0 S_c f \times 10^{-4} \quad (1-4)$$

将式(1—4)除以式(1—3)得

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{W_2}{W_1} \quad (1-5)$$



(a) 结构原理图
(b) 电路符号
图1—1 变压器结构原理图与符号

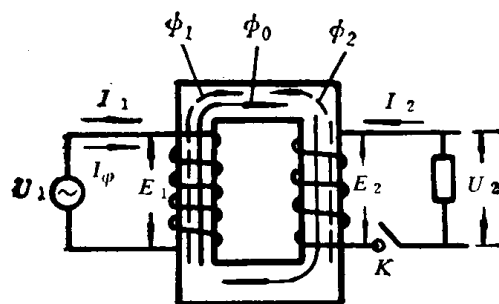


图1—2 变压器工作过程图

$$U_2 = \frac{W_2}{W_1} U_1 \quad (1-6)$$

由式(1—5)、(1—6)可见,变压器初次级电压比与匝数比成正比。改变匝数比 W_2/W_1 ,次级可得各种输出电压。当 $W_2 > W_1$ 时, $U_2 > U_1$,变压器就升压;当 $W_2 < W_1$ 时, $U_2 < U_1$,变压器就降压,这就是变压器的“变压”原理。

将图1—2中开关 K 接通,变压器进入负载状态,出现第三个物理过程:次级回路产生感应电流 I_2 ,反磁势 $W_2 I_2$,反磁通 ϕ_2 ,此时初级立即产生一个新的电流 I_1 ,新的磁势 $W_1 I_1$,新的磁通 ϕ_1 ,与 $W_2 I_2$ 、 ϕ_2 抗衡,初次级磁势、磁通大小相等,方向相反,即

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \phi_2 \\ W_1 I_1 &= W_2 I_2 \end{aligned} \quad (1-7)$$

称此过程为初次级“磁动势平衡过程”。

由式(1—7)移项得

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{W_2}{W_1} \quad (1-8)$$

由式(1—8)可见,初次级电流比与匝数比成反比,匝数多的一侧电流小,匝数少的一侧电流大,改变匝比可改变初次级电流比,这就是变压器的“变流”原理。在工程上,变压器次级接通负载后,在初级回路引起的新电流用 I_2' 表示,称 I_2' 为次级负载电流 I_2 反射到初级的电流,简称反射电流。当铁心无损耗时, $I_1 = I_2'$;当铁心有损耗时, $I_1 = I_2' + I_c$ 。在远距离的电力传输上,为减小线路降压损耗,将发电站的低电压大电流,用变压器变为高电压小电流,它就是应用变压器的“变流”原理来实现的。

变压器初级两端电压 U_1 除以电流 I_1 ,等效为初级输入电阻 R_1

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} \quad (1-9)$$

变压器次级负载电压为 R_2

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} \quad (1-10)$$

将式(1—9)除以式(1—10)得

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{U_1}{U_2} \cdot \frac{I_2}{I_1}$$

将初次级电压比、电流比与匝数比的关系式(1—5)、(1—8)代入上式得

$$\frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{W_1}{W_2} \right)^2 \quad (1-11)$$

若变压器次级接的是阻抗 Z_2 ,则上式变为

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \left(\frac{W_1}{W_2} \right)^2 \quad (1-12)$$

由式(1—11)、(1—12)可见,初次级的阻抗比等于匝数比的平方。改变匝数比 W_1/W_2 ,可使变压器某一侧的低阻变为在另一侧看起来是高阻,或反之,这就是变压器的“变阻”原理。在音频、脉冲电路中,广泛应用变压器来实现“变阻”作用,达到

电路上的所谓阻抗匹配。例如，五灯电子管收音末级放大器要求的最佳负载阻抗为 $5.5\text{ k}\Omega$ ，而喇叭音圈电阻仅为 4Ω ，两者不匹配，不能直接相连，为此用一只 $1:38$ 的输出变压器进行变阻，将次级的低阻 4Ω 变为在初级看起来是 $5.5\text{ k}\Omega$ 的高阻，以此来满足放大器最佳负载匹配的要求。可见，输出变压器在此起了“变阻的作用。”

1.1.2 变压器实际的工作状态

实际工作的变压器，初次级线圈有电阻，铁心有损耗，初次级间有漏磁，匝间、层间、组间有分布电容，这些分布参数，对变压器的工作带来各种各样的影响，在工程计算时，要根据其对工作的影响程度，分别考虑之。图1—3表示实际变压器的工作电路。

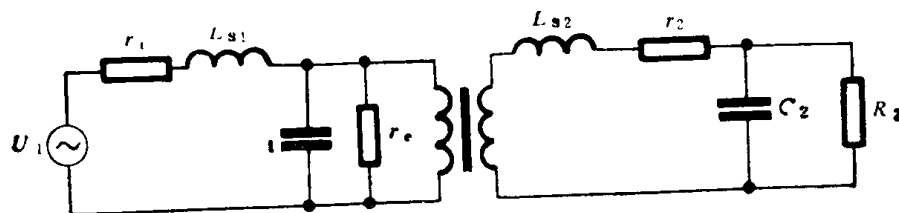


图1—3 变压器实际工作电路

一、初次级铜阻及其影响

变压器初次级导线有电阻，其影响相当于在理想变压器初次级回路分别引入导线电阻 r_1 、 r_2 。初次级电流流过 r_1 、 r_2 时，要产生铜阻降压 ΔU_1 、 ΔU_2

$$\Delta U_1 = I_1 r_1 \quad (1-13)$$

$$\Delta U_2 = I_2 r_2 \quad (1-14)$$

使初级感应电压降低， $E_1 = U_1 - \Delta U_1$ ；亦使次级负载电压降低， $U_2 = E_2 - \Delta U_2$ ，导致初次级匝比不再等于电压比，而等于感应电势比

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{W_2}{W_1} \quad (1-15)$$

二、铁心损耗及其影响

变压器上电工作时铁心会发热，表明铁心内有能量损耗，称此为铁心损耗 P_c ，铁心损耗由电源供给能量，其影响相当于在理想变压器初级并上一个铁心损耗等效电阻 r_c ，在初级回路引进一个铁耗电流 I_c 。

三、漏磁及其影响

实际变压器初次级线圈所产生的磁通，并非全部通过主磁路铁心，有一部分经空气构成回路，称此为漏磁通 ϕ_s ，漏磁匝链 $W\phi_s$ 与产生该漏磁链的电流 I 之比称为漏感 L_s 。

$$L_s = \frac{W\phi_s}{I} \quad (1-16)$$

漏磁的影响，相当于在理想变压器的初次级回路引入漏感 L_{s1} 、 L_{s2} ，初次级电流在漏感上产生降压，使初次级感应电势 E_1 、 E_2 及负载电压降低。漏感抗随工作频率增大而增大，因此，在音频变压器、脉冲变压器、高频变压器中，减少漏感带来的影响常常作为

重要课题。对于工频电源变压器，由于工作频率甚低，只要初次级紧靠在一起，则漏感的影响可忽略不计。

四、分布电容及其影响

两个相邻的导体中间隔以介质即构成电容。变压器导线匝间、层间、绕组间及绕组与铁心间，形成了复杂的分布电容。初次级间的电容，将初级输电线上的杂波耦合到次级，对负载电路形成杂波干扰；匝间、层间、绕组与铁心间的分布电容，使变压器暂态过电压分布不均，导致变压器某些部位暂态过电压过高而击穿。在音频、脉冲变压器中，分布电容将引起频率幅度失真与波形失真。

1.1.3 变压器等效电路

变压器初次级间仅靠磁路耦合，在电路上是隔离的。为了工程计算及分析问题方便与直观，工程上，运用变压器变压、变流、变阻原理，把次级参数变换到初级，称此为参数“反射”，或叫“换算”。图1—4为变压器次级参数反射到初级后的等效电路。

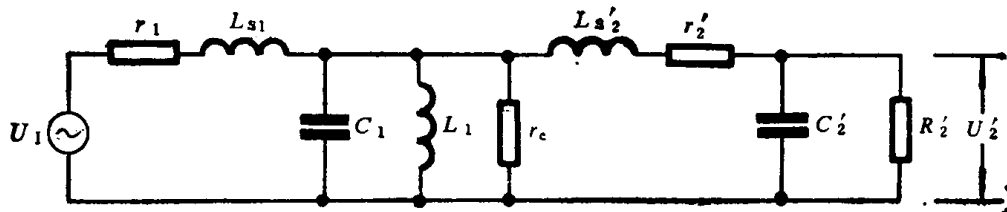


图1—4 变压器等效电路

图中：

$$R_2' = \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 R_2, \text{ 反射到初级的次级负载电阻,}$$

$$C_2' = \left(\frac{W_2}{W_1}\right)^2 C_2, \text{ 反射到初级的次级分布电容,}$$

$$r_2' = \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 r_2, \text{ 反射到初级的次级铜阻,}$$

$$L_{s2}' = \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 L_{s2}, \text{ 反射到初级的次级漏感,}$$

$$U_2' = \frac{W_1}{W_2} U_2, \text{ 反射到初级的次级负载电压,}$$

$$I_2' = \frac{W_2}{W_1} I_2, \text{ 反射到初级的次级负载电流。}$$

各种用途的电子变压器，分布参数的影响各不一样，工程计算中，对变压器等效电路常常随着工作频率、阻抗、技术指标要求高低等不同而加以简化。

对于工频电源变压器，由于工作频率甚低，因此漏感与分布电容的影响常常可忽略，得简化等效电路，如图1—5所示。

图中： I_2' 流过 R_2' ，将使 R_2' 发热； I_c 流过铁心等效电阻 r_c ，将使铁心发热，

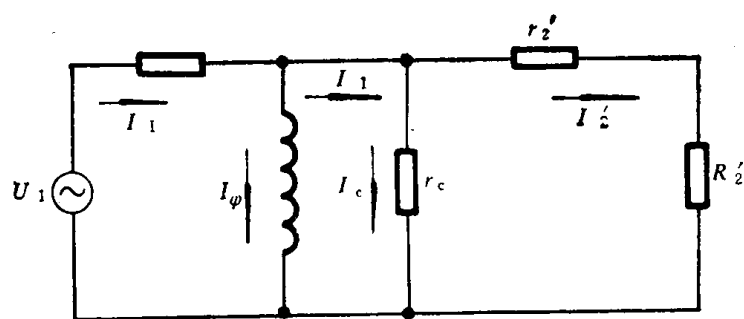


图1—5 电源变压器简化等效电路

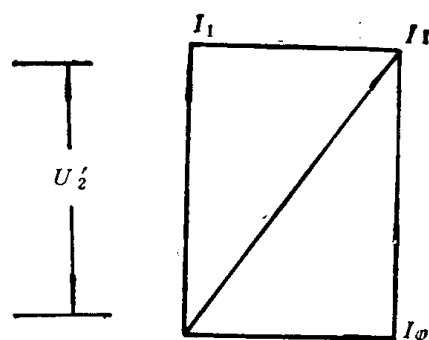


图1—6 变压器初级电流

称此现象为电流在作功，称 I_2' 、 I_c 为有功电流。 I_2' 、 I_c 合成为 I_1 ，称 I_1 为初级有功分量电流

$$I_1 = I_2' + I_c \quad (1-17)$$

流过初级电感 L_1 的电流 I_ϕ 在铁心内产生磁通 ϕ ，称此电流为激磁电流，又称磁化电流，它的作用是把电源能量变成磁场能储存在初级线圈和铁心内，并不作功，因此 I_ϕ 是无功分量电流，在相位上与有功分量电流 I_1 及初级电压 U_1 成 90° 相位角，如图 1—6 所示。 I_1 与 I_ϕ 合成初级总电流 I_1 ，由于 I_1 、 I_ϕ 相位差 90° ，其间关系不是代数和， $I_1 \neq I_1 + I_\phi$ ，而是矢量和，其值为以 I_ϕ 、 I_1 为直角边的斜边。即

$$I_1 = \sqrt{I_\phi^2 + I_1^2} \quad (1-18)$$

1.2 电子变压器分类

1.2.1 按用途分类（见表1—1）

表1—1 按用途分类

分 类	变压器名称	暂用代号	备 注
电源变压器	电源变压器	BD	工作在电子设备、机电设备电源部分，作供电电源用的变压器
	灯丝变压器	BDS	
	阳极变压器	BDY	
	整流变压器	BDL	
音频变压器	音频变压器	BY	工作在音频放大电路、音响设备中的变压器
	输入变压器	BYR	
	输出变压器	BYC	
	线间变压器	BYX	
	用户变压器	BYH	

续表

分 类	变压器名称	暂用代号	备 注
脉冲变压器	脉冲变压器	BM	工作在脉冲电路中的变压器
	开关变压器	BMK	
	间隙振荡变压器	BMJ	
	脉冲输出变压器	EMC	
	回扫变压器	BSH	
	变换变压器	BMB	
特种变压器	参量变压器	BCL	完成某一特种功能的变压器
	控制变压器	BK	
	高压变压器	BGY	
	行推动变压器	BHT	
	超隔离变压器	BZL	
	自耦变压器	BZO	
	恒压变压器	BHY	

1.2.2 按铁心形状分类

一、壳式铁心变压器

这种变压器的铁心外磁路如同外壳那样包围线圈，如 EI 型铁心变压器、ED 型、XED 型铁心变压器，如图1—7所示。该种变压器的铁心如图1—8。

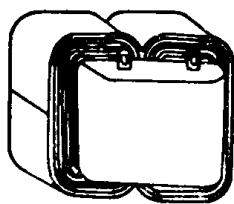
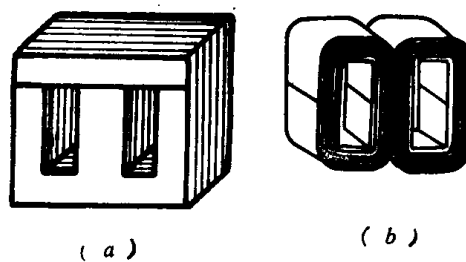


图1—7 壳式铁心变压器



(a) EI 型
(b) ED 型、XED 型
图1—8 壳式铁心

二、心式铁心变压器

这种变压器的铁心如同线圈的心子那样被线圈包围，如口字形铁心变压器，CD 型、XCD 型、BCD 型铁心变压器，如图1—9所示。该种变压器的铁心如图1—10。

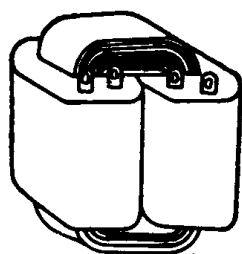
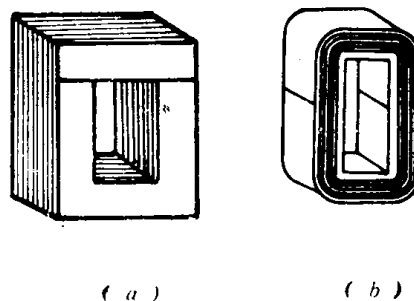


图1—9 心式铁心变压器



(a) 口字形
(b) CD型、XCD型、BCD型
图1—10 心式铁心

三、环形铁心变压器

这种变压器的铁心成圆环状，如图1—11所示，变压器如图1—12。

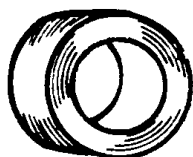


图1—11 环形铁心

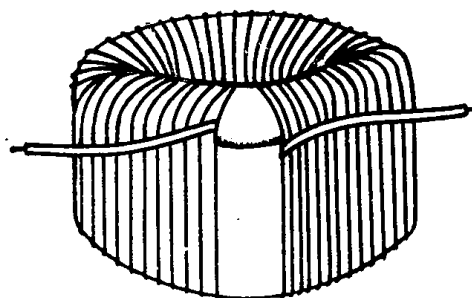


图1—12 环形铁心变压器

1.2.3 按工作频率分类

工频变压器，其工作频率为50Hz或60Hz；
中频变压器，其工作频率为400Hz或800Hz；
音频变压器，其工作频率为20Hz至20kHz；
超音频变压器，其工作频率高于20kHz；
高频变压器，其工作频率为几十千赫以上。

1.2.4 按相数分类

单相变压器，工作在单相电路中；三相变压器，工作在三相电路中。

1.2.5 按防潮方式分类

一、开放式变压器

其线圈不采用特殊的防潮措施，如一般民用、家用电器中的变压器。这种变压器防潮性能最差，只适用于室内良好环境条件。由于成本低廉，故在民用、家用电器中被广泛使用。

二、密封式变压器

整个变压器装在金属盒内，全密封。这种变压器防潮性能最好，但由于成本高，体积大，故只在特种场合及军用设备中少量使用。

三、包封式变压器

端封式变压器：线圈两端用树脂端封，如图 1—13 所示；

裹覆式变压器：线圈或整个变压器用树脂薄薄裹一层；

灌封式变压器：线圈或整个变压器用树脂灌注，如图 1—14、图 1—15 所示。

这类变压器经树脂包封后，在潮湿环境中，能大大延缓潮气进入的速度，减小潮气进入的绝对量，因而起到防潮作用。从防潮效果而言，灌封式最好，端封式次之，裹覆式较差。

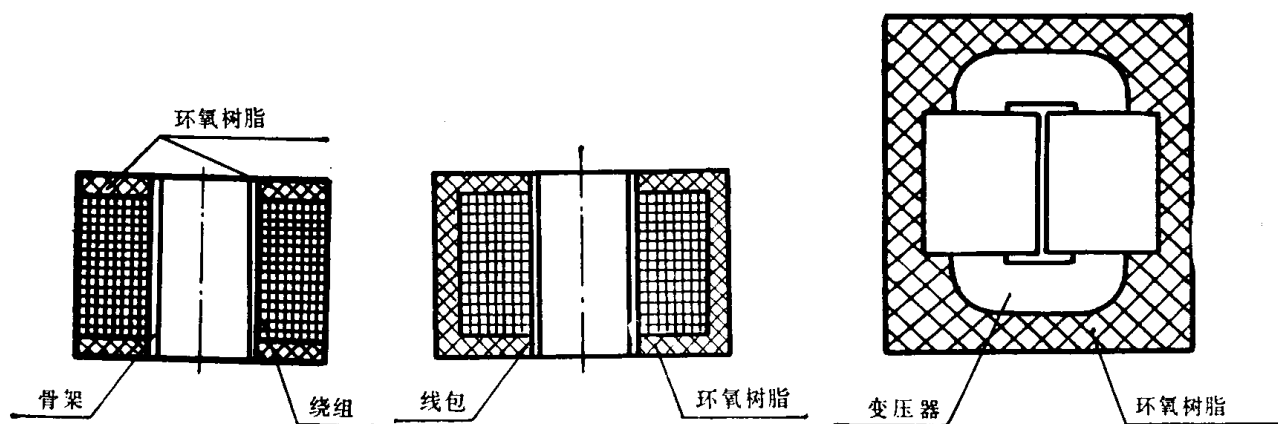


图 1—13 端封线圈

图 1—14 灌注线圈

图 1—15 灌注变压器

1.2.6 按冷却方式分类

自然冷却变压器：其热量通过对流、辐射、传导三种方式向周围环境自然散发；

风冷式变压器：用吹风的方式强迫冷却；

油冷式变压器：将变压器装入油箱内，借助油的冷热对流使变压器冷却。

蒸发冷却变压器：将变压器装入特制的容器内，灌一定体积的氟化物液体，利用液体的汽化与冷凝使变压器冷却。

1.2.7 按绝缘耐热等级分类

A 级绝缘变压器：其极限工作温度为 105°C ；

E 级绝缘变压器：其极限工作温度为 120°C ；

B 级绝缘变压器：其极限工作温度为 130°C ；

F 级绝缘变压器：其极限工作温度为 155°C ；

H 级绝缘变压器：其极限工作温度为 180°C 。

1.2.8 按电压高低分类

分为低压变压器、中压变压器、高压变压器。电压的高、中、低没有明确的界限，仅是相对而言。在中小型变压器行业，从设计、生产的难易程度而论，将耐压要求极易

达到的500伏以下的叫低压变压器；万伏以上的叫高压变压器；介于两者之间的叫中压变压器。在整机中，有时以一部整机为单元，将其中电压最高的变压器叫高压变压器（可能其电压只有几百伏），其余的叫低压变压器。

1.3 电源变压器主要技术参数与设计技术条件

1.3.1 主要技术参数

一、输出功率 P_2

在纯阻负载及某一额定工作状态，变压器次级各绕组输出功率的总和，称为变压器输出功率；对铁心而言，称之为铁心功率 P_2 。当变压器的负载为非纯阻时，则称之为输出伏安 VA_2 ，对铁心而言，称之为铁心伏安 VA_2 。

某一铁心尺寸的变压器，其输出功率是随给定条件而变的变量。影响输出功率大小的因素有：铁心材料、窗口利用率、允许温升及允许电压调整率。

变压器计算参数表中推荐的铁心功率 P_2 是指下列推荐条件下的数值：按表中推荐的铁心材料与质量等级，变压器为中低压，少绕组（二至三个），在给定温升 55°C 或 60°C （对中等功率变压器）或给定电压调整率10%或25%（对小功率变压器），负载为纯电阻时，变压器次级总的输出功率标称为铁心功率 P_2 。由此可见，铁心功率是在上述推荐条件下的数值，适用于一般情况，使用时需核对被设计变压器是否符合上述推荐条件，当材料变更或允许温升、允许电压调整率与参数表给定值相差悬殊时，需按修正公式修正。当电压较高或绕组过多时，要适当放大铁心。

三相变压器，其输出功率 P_2 是以次级三相功率之和来标称的。

二、换算伏安 $VA_{\text{换算}}$

初次级各为一个相绕组的纯阻负载的三相或单相变压器，其初次级功率大致相等，初次级绕组在铁心窗口内大约各占半个窗口，由此而论，铁心功率 P_2 对应于铁心半个窗口的容量。因此，工程上习惯以铁心半个窗口的容量来标称铁心功率或铁心伏安。变压器计算参数表中的铁心功率 P_2 ，是以铁心半个窗口的容量来拟制的。对于初次级伏安大致相等的变压器，如单相、三相纯阻负载变压器，桥式整流变压器，单相倍压整流变压器，可直接用次级功率 P_2 或次级伏安 VA_2 来选用铁心；但有些变压器，其次级伏安大于初级伏安，次级绕组占用窗口面积大于半个窗口，如单相、三相半波整流变压器，单相全波整流变压器等，这类变压器，不能直接用次级伏安来选用铁心，需要换算出与铁心半个窗口容量相对应的变压器伏安量来选铁心，称此伏安为换算伏安。换算伏安等于变压器初次级伏安的平均值。

三、磁化伏安 VA_ϕ 、铁心损耗 P_c

变压器空载状态，初级激磁电压 U_1 与磁化电流 I_ϕ 的乘积称为空载磁化伏安 VA_ϕ ；激磁电压 U_1 与铁耗电流 I_c 的乘积称为空载铁心损耗功率 P_c 。

$$VA_\phi = U_1 I_\phi \quad (1-19)$$

$$P_c = U_1 I_c \quad (1-20)$$

变压器负载状态，初级感应电压 E_1 与磁化电流 I_ϕ 及铁耗电流 I_c 之积，分别称为负