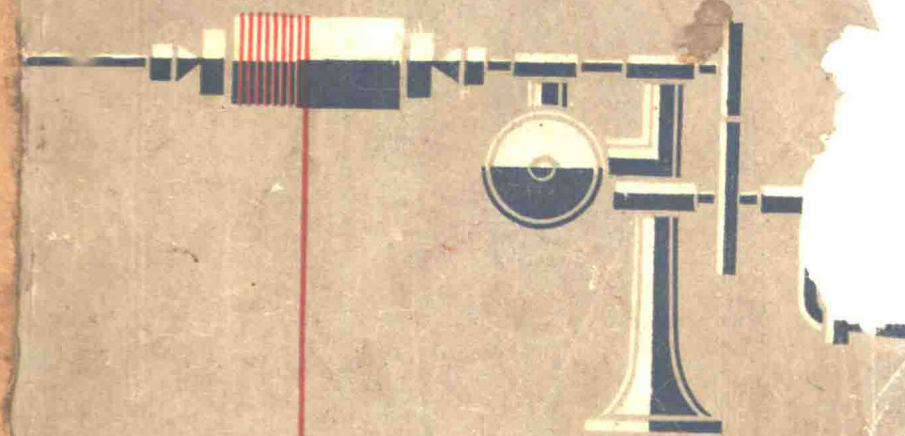
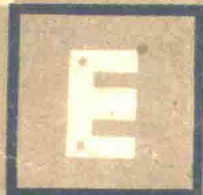




小型变压器及 扼流圈的设计与绕制

(修訂本)

张乃国 编



人民邮电出版社

小型变压器及扼流圈的设计与绕制

(修訂本)

张 乃 国 編著

人民邮电出版社

内 容 提 要

这本小册子介绍收音机及一般电子仪器中常用的小型电源变压器、输出变压器和滤波扼流圈等部件的设计方法和具体绕制过程等。内容具体通俗,例题较多,适合业余无线电爱好者阅读,也可供学校实验室及小型车间等单位的读者参考。

小型变压器及扼流圈的设计与绕制(修订本)

編著者: 张 乃 国

出版者: 人 民 邮 电 出 版 社

北京东四 6 条 13 号

(北京市书刊出版业营业许可证出字第〇四八号)

印刷者: 北 京 市 印 刷 一 厂

发行者: 新 华 书 店

开本 787×1092 1/32 1959年2月北京第一版

印张 2 6/32 页数 35 1965年1月北京第二版

1965年1月北京第二版第四次印刷

印刷字数 48,000 字 印数 48,801—83,950 册

統一书号: 15045·总983—无257

定价: (科4) 0.24 元

前 言

变压器和扼流圈是无綫电设备及电子仪器中的重要器件之一。目前由于电子设备应用得愈来愈广泛，对于这种器件的需要量也愈来愈多。尤其是有些电子仪器对电源有特殊要求，这就需要自己来设计制作。

本书是个人在实际工作中一些体会的总结。考虑到一般小型車間或业余爱好者的设备条件，在介绍设计及繞制方法时尽量設法做到簡易实用。計算公式也着重实用易懂，并以例题帮助理解

书內所介绍的只限于常用的一些小型电源变压器、低頻变压器及扼流圈。所介绍的一些設計計算和繞制方法主要是做到簡易实用，在精密方面沒有提出过高的要求。

张乃国

1958 年 12 月

修訂版序

本书自1958年出版以来，收到許多讀者来信，給作者以热情的鼓励，同时也指出了好些缺点和不足的地方。此外，由于近几年来国内工业水平的提高，各种材料及生产工艺也随着有所改变及提高，故对原书内容做了适当的修改。

这次修訂中除了对原版中不够完整，叙述不够明确的地方加以重写或补充外，还增加了近年来蓬勃发展着的晶体管收音机中所用的低頻变压器一节。另外，还增加了中規、英規导綫表，及常用小型鉄心硅鋼片尺寸表，供計算时参考。

一九六四年五月

张乃国

目 录

前言

修訂版序

第一节 低频变压器和扼流圈的设计	1
1. 变压器和扼流圈的用途	1
2. 对变压器和扼流圈的基本要求	2
3. 灯丝变压器的计算	3
4. 电源变压器的计算	12
(一) 用于电容输入式滤波器的电源变压器	12
(二) 用于电感输入式滤波器的整流电源变压器	17
5. 扼流圈的计算	18
6. 输出变压器的计算	20
(一) 单臂功率放大器输出变压器的计算	21
(二) 推挽功率放大器输出变压器的计算	27
(三) 晶体管收音机输出变压器的计算	30
第二节 繞綫	35
1. 工具	35
2. 材料	37
3. 繞綫前的准备工作	38
4. 对繞綫的基本要求	40
5. 扼流圈的繞綫方法	41
6. 变压器的繞綫方法	43
7. 静电屏蔽的做法	45
8. 綫圈质量檢驗	46
第三节 鉄心硅鋼片的冲剪	47
1. 硅鋼片厚度及形状的选择	47
2. 硅鋼片的冲剪	49

第四节 浸漆与烘干	50
1. 浸漆的目的方法和设备	50
2. 烘干的方法及注意事项	52
第五节 鉄心的装配	52
1. 对装配鉄心的要求	52
2. 鉄心的装配方法	53
3. 鉄心的夹紧及引出綫的固定	55
第六节 成品試驗方法	57
1. 变压器的成品檢驗	57
2. 扼流圈的成品檢驗及气隙的調整	58
附录 1. 中規导綫表	60
附录 2. 英規(S.W.G)导綫表	62
附录 3. 常用小型鉄心硅鋼片尺寸表	64

第一节 低頻变压器和扼流圈的设计

1. 变压器和扼流圈的用途

变压器和扼流圈几乎在每一种无线电设备或电子仪器中都要应用。

变压器的主要任务是耦合、匹配及变换交流电压。例如一般市电 220 伏电源(个别地区也有 110 伏或 127 伏的)在电子设备中是很少直接应用的。因为电子管屏极电源的整流元件所需要的电压一般是 250 伏、300 伏、350 伏、400 伏、500 伏等；而灯丝电压就很低，一般是 2.5 伏、4.0 伏、5.0 伏、6.3 伏、12.6 伏、35 伏等，电源变压器的作用就是把市电电压变换成这种电压值。

变压器一般是在一个闭合回路的铁心上绕一个初级线圈和若干个次级线圈而成。在初级线圈接入交流电源后，在铁心中有了交变磁场，次级线圈中便产生了感应电势。

为了制造和使用上的方便，一般都是把这些不同电压值的次级线圈绕在同一个初级线圈的外边，即所谓多线圈变压器。如果次级全是用来供给灯丝电源的，便称为灯丝变压器，如果还有高压线圈，为了便于分别起见称为电源变压器。

在放大器中的级间耦合，输入与输出等处也要用到变压器。譬如输出变压器是电路阻抗匹配元件，它关系到输出功率及输出波形失真等问题。它虽然叫变压器，其实主要是变换阻抗用的。

低频扼流圈是一种电感量很大的电感线圈，是把线圈绕在有空气隙的铁心上。在整流器的滤波装置中用得最多，用以阻

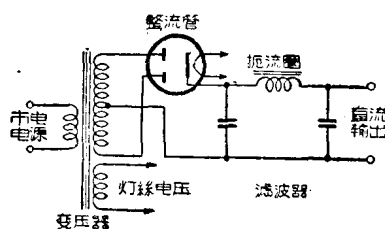


图 1

挡交流电流通过，而使输出端基本上只有直流部分。或者说，扼流圈可以把经过整流后的脉动电流变成平滑的直流电流。

在实际线路中常用的电源变压器和扼流圈的部位如图 1 所示。

2. 对变压器和扼流圈的基本要求

变压器和扼流圈直接关系到整个仪器的工作，所以对它们基本的要求应该是能保证整个仪器的正常工作。

对于变压器首先要求它的变压比 n 要准确。

变压比

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

式中： U_2 ——次级电压有效值（伏）

U_1 ——初级电压有效值（伏）

各线圈的电压值与其匝数的关系是成正比的：

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{U_1}{U_2}$$

式中： ω_1 ——初级线圈匝数

ω_2 ——次级线圈匝数。

变压比的精确度一般不允许超过 $\pm 5\%$ 。因为变压比比设计要求的大或小了，就表明次级电压比额定值高或低了，这就会影响电子管的正常工作，灯丝电压如果相差较大，就会严重地影响设备的工作和缩短电子管的寿命。

其次要求变压器在正常工作时发热不能超过允许限度。变

压器发热主要是两种原因引起的：一部分是由于电流通过各线圈导线时产生的焦耳热；另一部分是铁心中的铁损（如涡流等）所引起的。对于导线来讲实际工作电流一定要小于允许电流。即导线中的电流密度不能过大。

电流密度是
$$j = \frac{I_n}{S_n}.$$

式中： I_n ——导线工作电流（安）

S_n ——导线截面积（毫米²）。

对于铁心来讲就是要求磁通密度（或称磁感应强度）不大于规定值。也就是说铁心截面积要选择适当。

磁通密度
$$B = \frac{\Phi}{S_c},$$

式中： Φ ——通过铁心的有效磁通（麦克斯韦 = 10^{-8} 韦伯）

S_c ——铁心有效截面积（厘米²）

B ——磁通密度（高斯）

最后还要求有足够绝缘强度。各线圈间绝缘和线圈与铁心间的绝缘能够耐压几千伏甚至有时要求几万伏。对于普通的变压器（如一般收音机的电源变压器）也应该耐压 1000 伏以上（或者绝缘电阻在 500 兆欧以上）。

3. 灯丝变压器的计算

灯丝变压器可以按下列步骤进行计算：

(1) 求次级总的功率 P_2 、初级功率 P_1 和初级电流 I_1 ：

$$P_2 = U_2 I_2 + U_3 I_3 + \cdots + U_n I_n \text{ (伏安)}$$

式中： $U_2, U_3 \cdots U_n$ ——次级各线圈电压有效值（伏），（见图 2）。

$I_2, I_3 \cdots I_n$ ——次级各线圈电流有效值（安）。

变压器只能变换电压而不能变换功率，但由于变换电压过程中，在铁心和铜线中造成功率损失，因此次级输出功率一定较初级输入功率略低，二者之比称为变压器的效率：

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

因此

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} \quad (\text{伏安})$$

一般小型变压器的效率 $\eta = 0.8 \sim 0.9$

变压器的额定功率为

$$P_T = \frac{P_1 + P_2}{2} \quad (\text{伏安})$$

初级电流考虑到激磁电流（即次级没有负载时的初级电流）的影响，可近似地用下式计算：

$$I_1 = 1.1 \frac{P_1}{U_1} \quad (\text{安})$$

（如变压器很小，还应考虑到功率因数，可取 $I_1 = 1.2 \frac{P_1}{U_1}$ ）

（2）求铁心截面积，可用下式计算：

$$S_c = 1.25 \sqrt{P_T} \quad (\text{厘米}^2)$$

式中： $S_c = a \times b$ a, b 单位为厘米（见图3）

如果用已有的旧铁心时，可用下面公式求得

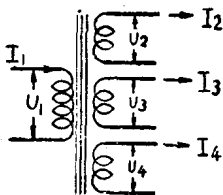


图 2

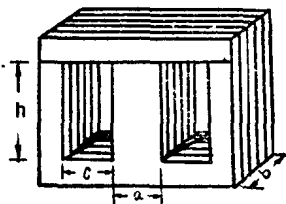


图 3

$$S_c = \frac{1.6 P_r}{ch} \quad (c, h \text{ 单位为厘米})$$

(3) 求每伏电压所需要的匝数：可用下列公式计算，

$$N_0 = \frac{4.5 \times 10^5}{B \cdot S_c} \quad (\text{匝/伏})$$

式中：\$B\$——铁心的磁通密度（高斯），对于一般硅钢片 \$B\$ 值可取为 7000—10000 高斯，

\$S_c\$——铁心截面积（厘米²）。

又因为 \$S_c = 1.25 \sqrt{P_r}\$，所以又可写出

$$N_0 = \frac{3.6 \times 10^5}{B \sqrt{P_r}}$$

如果取 \$B = 8000\$ 高斯，则

$$N_0 = \frac{45}{\sqrt{P_r}}$$

或者也可以用下列公式计算：

$$N_0 = \frac{10^8}{4.44 f k B S_c}$$

式中：\$f\$——交流电源的频率，一般为 50 赫。

\$k\$——填充系数，由硅钢片薄厚来考虑，见表 1。

表 1

硅钢片厚度（毫米）	0.5	0.35
填充系数 \$k\$	0.92	0.86

(4) 求每个线圈的匝数

$$N = N_0 U$$

式中：\$U\$——每个线圈的电压值（伏）。

(5) 求导線直徑

$$d = 1.13 \sqrt{\frac{I_n}{j}} \quad (\text{毫米})$$

式中： I_n ——每个綫圈的工作电流（安）。

j ——电流密度（安/毫米²）。

对于小型变压器中使用的銅綫來說，一般可取 $j=2\sim 2.5$ 安/毫米²。如取 $j=2.5$ 則

$$d \approx 0.72 \sqrt{I_n} \quad \text{或者就近似地用 } d \approx 0.7 \sqrt{I_n}.$$

(6) 決定鉄心具体尺寸

以日字形鉄心为例（見图 3），中心柱宽度为 a ，因为兩側所通过的磁通是中間的一半，故兩側寬均为 $\frac{a}{2}$ （或稍大）。 b 是鉄心迭成厚度。 b 值应比計算值大一些，因为硅鋼片表面涂有絕緣漆，片間空隙都要占一定厚度（如已取填充系数就不必再加大）。因为只要 $ab=S_0$ 就可以，所以 a 和 b 两个数值可以相互补偿，这样可以便于适应仪器中变压器所占的位置。例如仪器中安排元件时平面很挤，变压器就可以做得窄一点厚一些（即 a 小些 b 大些），不过相差也不要太多，一般取 $\frac{b}{a}=1.2\sim 2$ 为宜。

(7) 求鉄心窗口面积及尺寸

$$S_0 = ch \quad (\text{厘米}^2)$$

式中： c ——鉄心窗口宽度（厘米），

h ——鉄心窗口高度（厘米）。

可先按下列經驗公式先行估算，

$$S_0 = \frac{1.6 P_\tau}{S_c}.$$

如果用普通白鉄片代替硅鋼片时，可用公式

$$S_0 = \frac{3.5 P_T}{S_c}$$

选择 c 和 h 的原则是在铁心体积要尽量小的前提下使所有线圈都能绕得下。

首先决定 c 和 h 的其中一个，譬如先决定 h ，这可以根据变压器在仪器中占的位置来决定，一般取 $\frac{h}{c} = 2 \sim 3$ 。根据 S_0 及取定的 h 值就可以算出 c 的大小。但这只是估算，还应照下边的方法细致校对一遍。

为了使导线与铁心间有良好绝缘，线圈的两端约为 h 的 5% 宽处不绕线（见图 4），就是有效的绕线距离为 $0.9h$ 。然后根据 $0.9h$ 的长度及每个线圈所用导线直径、圈数及绝缘纸厚度来求出 c 的大小。现分别介绍如下：

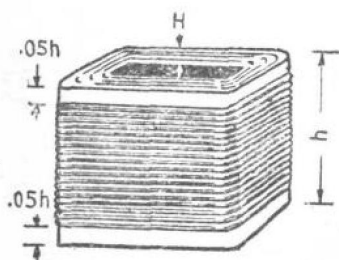


图 4

初级线圈：先求出每层可绕匝数

$$N'_1 = \frac{0.9h}{d'_1}$$

式中： d'_1 ——是计入漆皮厚度（或纱包棉线）的导线直径，一般比裸铜线直径（即前边第 5 项求出的）大 0.03—0.05 毫米。

再求出需要绕的层数：

$$D_1 = \frac{N_1}{N'_1} \quad (\text{取整数})$$

式中： N_1 ——初级线圈总圈数。

初级层间垫纸的总厚度如估计为 2 毫米，则初级线圈厚为

$$H_1 = D_1 d'_1 + 2. \text{ (毫米)}$$

对于次级各线圈也同样计算，只是导线直径更换一下。

各线圈所得厚度之和即为总的线圈厚度

$$H = H_1 + H_2 + \dots$$

考虑到线圈架、各线圈间垫纸、线圈外层保护纸，再加上由于绕制不紧密引起的层间空隙，故为了保险起见， H 值还要再取个安全系数，一般要增加 3~5 毫米，即

$$C = H + (3 \sim 5) \text{ (毫米)}$$

(8) 最后决定一下各层间及各线圈间的绝缘强度，选择绝缘材料。

根据各线圈间在通电工作时所具有的电压（不是线圈本身的电压，例如整流管灯丝线圈的本身电压一般为 5 伏或 6.3 伏，但在工作时它与铁心间可能具有直流电压 300 到 500 伏）的两倍来考虑绝缘要求。一般线圈间绝缘强度不能低于 1000 伏，可使用隔电纸（青或黄色，0.35 毫米左右厚度）或黄蜡绸（布）。层间一般不超过 100 伏，可用白蜡纸、硫酸纸（描图纸）或电容器纸。

最后列一个绕线表，写出每个线圈电压、电流、匝数及导线直径等，便于绕制。

例题 1 计算图 5 的灯丝变压器。

按着上述步骤进行计算：

(1) 次级功率

$$\begin{aligned} P_2 &= U_2 I_2 + U_3 I_3 \\ &= 6.3 \times 3 + 5 \times 2 = 29 \text{ 伏安} \end{aligned}$$

取效率 $\eta = 0.8$ ，则初级功率 P_1 及变压器额定功率 P_r 为

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{29}{0.8} = 36.3 \text{ 伏安}$$

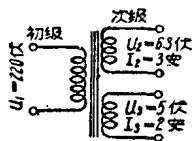


图 5

$$P_r = \frac{P_1 + P_2}{2} = \frac{36.3 + 29}{2} \approx 33 \text{ 伏安}$$

初級电流

$$I_1 = 1.1 \frac{P_1}{U_1} = 1.1 \times \frac{36.3}{220} = 0.18 \text{ 安} \quad \text{取 } I_1 = 0.2 \text{ 安}$$

(2) 鉄心截面积

$$S_c = 1.25 \sqrt{P_r} = 1.25 \sqrt{33} = 7.2 \text{ 厘米}^2$$

取

$$S_c = 7.5 \text{ 厘米}^2$$

(3) 每伏匝数

因变压器功率較小，取 $B = 8000$ 高斯，則

$$N_0 = \frac{45}{\sqrt{P_r}} = \frac{45}{\sqrt{33}} = 7.85 \text{ 匝/伏}$$

这里取 $N_0 = 8$ 匝/伏。

(4) 各綫圈匝数

$$N_1 = 8 \times 220 = 1760 \text{ 匝},$$

$$N_2 = 8 \times 6.3 \approx 51 \text{ 匝},$$

$$N_3 = 8 \times 5 = 40 \text{ 匝}。$$

灯絲綫圈电流較大，当加上負載时，电压要降落一些，一般取实际匝数要比計算值大 5—10%，所以灯絲綫圈的实际匝数为

$$N_2 = 51 \times \frac{105}{100} = 53 \text{ 匝},$$

$$N_3 = 40 \times \frac{105}{100} = 42 \text{ 匝}。$$

注意計算匝数时，可取整数，以便于实际繞綫。

(5) 各綫圈导綫直徑，取 $j = 2.5$ 安/毫米²

$$d_1 = 0.7 \sqrt{I_1} = 0.7 \sqrt{0.2} = 0.315 \text{ 毫米},$$

$$d_2 = 0.7 \sqrt{I_2} = 0.7 \sqrt{3} = 1.22 \text{ 毫米},$$

$$d_3 = 0.7\sqrt{I_s} = 0.7\sqrt{2} = 1.0 \text{ 毫米。}$$

按英規綫表 (SWG) 可以查出相应綫号, 其号数要按裸銅綫直徑选择, 沒有相对应的号数則选接近的稍大的綫号。这里选 d_1 用 30 号, d_2 用 18 号, d_3 用 19 号。

(6) 选择硅鋼片型号及迭厚

設选用的是日字形鉄心, 根据所占位置及变压器形状选择 $a = 2.5$ 厘米。則

$$b = \frac{S_c}{a} = \frac{7.5}{2.5} = 3 \text{ 厘米。}$$

这样 $\frac{b}{a} = \frac{3}{2.5} = 1.2$ 符合一般要求。

(7) 鉄心窗口面积

$$\text{先估算一下, } S_0 = \frac{1.6 P_T}{S_c} = \frac{1.6 \times 33}{7.5} \approx 7.1 \text{ 厘米}^2$$

可先大致取 $S_0 = 8 \text{ 厘米}^2$, 而且取 $h = 4 \text{ 厘米}$, c 則为

$$c = \frac{S_0}{h} = \frac{8}{4} = 2 \text{ 厘米,}$$

再用求綫圈总厚度 H 值的方法校对一下。

初級綫圈:

$$\text{每层可繞匝数 } N'_1 = \frac{0.9h}{d'_1} = \frac{0.9 \times 40}{0.34} = 106 \text{ 匝,}$$

这里 d'_1 是 d_1 再加上漆皮厚度 (此值可查附录导綫表), h 用毫米为单位, 因 d' 是以毫米計量的。

$$\text{层数 } D_1 = \frac{N_1}{N'_1} = \frac{1760}{106} \approx 17 \text{ 层,}$$

这里层数不能取小数, 不足 1 的小数也取为 1。

$$D_1 \cdot d'_1 = 17 \times 0.34 = 5.8 \text{ 毫米。}$$

所以厚度 $H_1 = 5.8 + 2 \approx 8 \text{ 毫米}$ (2 是层間垫紙总厚度)。