

电子元件应用丛书

电子变压器及应用

王瑞华 王 乔 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书介绍各类电子变压器和扼流圈的工作原理、新型结构、应用线路、使用注意事项、选择指导、电性能指标的测试方法及可靠性问题,以图表的形式为读者提供大量参考资料。

本书可供电子变压器行业的工程技术人员阅读,也可以作为电子变压器行业的工人职业学习班教材和自学参考书,并可供业余无线电爱好者、进行有电子变压器在内的线路设计的工作人员参阅。

电子元件应用丛书

电子变压器及应用

王瑞华 王 乔 编著

*

国防工业出版社出版、发行

(北京市车公庄西路老虎庙七号)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/32 印张 9⁵/₈ 209千字

1990年4月第一版 1990年4月第一次印刷 印数: 0,001—5,065册

ISBN 7-118-00100-7/TN18 定价: 4.90元

目 录

第一章 电子变压器概述	1
§ 1-1 电子变压器的特点	1
§ 1-2 电子变压器的基本类型	2
§ 1-3 电子变压器基本类型的选择	11
第二章 小功率电源变压器	13
§ 2-1 小功率电源变压器的结构	13
§ 2-2 高压和高电位变压器	28
§ 2-3 三相和自耦变压器	35
§ 2-4 稳压变压器	37
§ 2-5 限流变压器	39
§ 2-6 超隔离变压器	40
§ 2-7 小功率电源变压器在整流线路中的应用	41
§ 2-8 电源频率、变压器功率及结构型式的选择	45
§ 2-9 单相与三相、变压器和自耦变压器之间的选择	47
第三章 音频和超音频变压器	48
§ 3-1 音频变压器的特点	48
§ 3-2 立体声变压器	49
§ 3-3 微型组件线路中的音频变压器	49
§ 3-4 调幅变压器和调幅扼流圈	50
§ 3-5 超音频输出变压器	54
§ 3-6 宽频带射频变压器	60
§ 3-7 传输线型宽频带变压器	62
§ 3-8 音频变压器在放大线路中的应用	63
§ 3-9 铁心材料与绕组线路的选择	65

§ 3-10	音频变压器电性能指标的选择	71
第四章	脉冲变压器	76
§ 4-1	高压大功率脉冲变压器	76
§ 4-2	铁氧体铁心小型脉冲变压器	87
§ 4-3	峰值变压器	97
§ 4-4	回扫变压器	100
§ 4-5	开关电源变压器	109
§ 4-6	毫微秒脉冲变压器	114
§ 4-7	大功率脉冲变压器在调制器中的应用	122
§ 4-8	小功率脉冲变压器在放大与振荡线路中的应用	126
§ 4-9	开关稳压电源	128
§ 4-10	行输出级	130
第五章	变换器中的变压器	131
§ 5-1	变换器中变压器的特点	131
§ 5-2	变换器中变压器的基本关系	132
§ 5-3	变压器的铁心和绕组	136
§ 5-4	直流电压变换器的线路	144
§ 5-5	变压器系列及其选择	152
第六章	变换相数和变换频率的变压器	160
§ 6-1	变换相数的变压器	160
§ 6-2	变换频率的变压器	163
§ 6-3	两相感应电动机的控制电路	169
第七章	磁控变压器	171
§ 7-1	磁控变压器的线路	171
§ 7-2	磁控变压器的基本特性	173
§ 7-3	磁控变压器式稳压器	175
§ 7-4	磁控变压器最佳类别的选择	182
第八章	充电变压器	185
§ 8-1	电容储能器中的充电变压器	185

§ 8-2	脉冲调制器中的充电变压器	187
§ 8-3	充电变压器在脉冲调制器中的应用	190
第九章	功能型变压器	191
§ 9-1	一般介绍	191
§ 9-2	触发器式变压器	193
§ 9-3	电感电容联合体	196
§ 9-4	参量变压器	197
§ 9-5	移相器式变压器	201
§ 9-6	多功能电子变压器在电源设备中的应用	203
第十章	压电变压器	208
§ 10-1	压电变压器的组成及工作原理	209
§ 10-2	压电变压器的基本类型	210
§ 10-3	压电变压器和电磁变压器的异同	212
§ 10-4	具有匹配尺寸的压电变压器	213
§ 10-5	低频和高频压电变压器	215
§ 10-6	宽频带压电变压器	216
§ 10-7	多层压电变流器	217
§ 10-8	包含压电变压器的线路的组成特点	220
§ 10-9	压电变压器式功率放大器	223
§ 10-10	压电变压器式负离子发生器	226
§ 10-11	录音机消洗与磁化电流发生器	227
§ 10-12	压电变压器式直流电压变换器	228
§ 10-13	压电变压器在电视接收机中的应用	230
§ 10-14	压电变压器在激光电源中的应用	233
§ 10-15	压电变压器的其他应用	235
第十一章	电子设备用扼流圈	237
§ 11-1	交流扼流圈及其选择	237
§ 11-2	滤波扼流圈的原理、应用与选择	244
§ 11-3	饱和扼流圈及其应用	255

§ 11-4	充电扼流圈	263
第十二章	电子变压器的主要性能指标及其测试	267
§ 12-1	小功率电源变压器的主要性能指标及其测试	267
§ 12-2	扼流圈电感量的测量	275
§ 12-3	音频铁损的测量	276
§ 12-4	有效脉冲磁导率的测量	278
§ 12-5	漏感和分布电容的测量	279
§ 12-6	频率特性的测量	281
§ 12-7	相位特性的测量	281
§ 12-8	非线性畸变系数的测量	282
§ 12-9	脉冲波形的测量	283
§ 12-10	大功率脉冲变压器的负荷试验	284
§ 12-11	电子变压器的可靠性试验	287
第十三章	电子变压器的可靠性	289
§ 13-1	电子变压器的故障类型	289
§ 13-2	电子变压器的可靠性水平	290
主要参考文献		295

第一章 电子变压器概述

§ 1-1 电子变压器的特点

用来变换电能，并把电能从一个电路传输到另一个电路的静止电磁元件称为变压器。在交流电路中，变压器可用来变换电压、电流、频率、相数，改变信号极性，变换信号波形，使初次级电路彼此隔离，或使电路阻抗匹配等。电子变压器是电子设备中所用的各类变压器的总称。

电子技术是一门发展极其迅速的学科。目前已普及到所有的工业部门。从宇航设备到矿产开采，从日用电器到各种尖端科学，都离不开电子技术。变压器是电子设备的重要元件，各种电子设备都或多或少的有一些变压器。离开变压器，许多电子设备都无法工作。

电子变压器和电力变压器的工作原理是相同的。除压电变压器外，都遵循电磁感应定律。然而，由于功率大小不同，用途和环境条件各异，电子变压器和电力变压器间还有很大差别。

电力变压器是电力系统中输配电设备的元件，它的功率极大，电压甚高。为了解决绝缘与散热问题，结构也十分庞大复杂。绝大多数是油浸的，少数是干式的。所变换的信号是正弦波，频率 50Hz。绝大部分是三相的。

电子变压器是应用在电子线路中的，它的一系列特征都

是由线路决定的。其输出功率极小，最低的处于微瓦级，最大的也不超过几十千伏安。频率范围极宽，从几赫到数百千赫。有的工作在单一频率，有的工作在一个频带。信号波形复杂，有正弦波，有单极性脉冲，有方波。有三角形或梯形信号，还有包含各次谐波的复杂波形。大部分是单相，少数是三相或多相。大部分是干式，少数是油浸的。结构类型比较多。常用的有壳式、单线圈心式、双线圈心式、环形、三相等（见图 2-1）。还有许多特殊的结构。线路对电子变压器的要求也是多种多样的。电子变压器设计与计算的一系列公式也和电力变压器不同。电磁负荷、磁化电流、温升恒定时的电压降、规定电压降时的温升、绕组电阻和电抗之间的关系、磁化电流和工作电流之间的关系等都和电力变压器大不相同。因此，电力变压器理论中的一系列假定对电子变压器来说是不适用的。在分析电子变压器时，必须结合变压器的使用线路，引入一系列新的假定，从而导出电子变压器自己的基本关系。由此可知，电子变压器的理论类似于电力变压器，但在研究方法和分析问题方面都有自己的特点。

§ 1-2 电子变压器的基本类型

由于电子变压器具有一系列独特的地方，它的类别是很多的，可以按不同的特征进行分类。

一、按照绕组个数来分类

从绕组个数来看，电子变压器有单绕组的，双绕组的，多绕组的三种。

单绕组变压器就是常说的自耦变压器。它只有一个绕

组，绕组上有抽头。在自耦变压器中，初次级间不仅有磁的联系，而且有电的联系。当变比接近于一时，采用自耦的形式可以大大缩小变压器的体积。

双绕组变压器有一个初级绕组和一个次级绕组。两个绕组间只有磁的联系，没有电的联系。常用变压器多半是双绕组的。在这类变压器中，初级绕组的电势和电流与次级绕组的电压和电流间存在单值的关系。

多绕组变压器有一个初级绕组，有几个彼此不相连的次级绕组。电子变压器的绕组个数可以很多。一般有四个到五个，最多的达到几十个。小功率电源变压器大多数都是多绕组的。这种变压器的初级电流和所有的次级绕组都有关。

二、按照变压器的工作频率来分类

工作频率是电子变压器的一个重要参数。变压器的一系列特征都由工作频率决定。变压器的工作频率和它的用途有关。由于提高频率可以显著减小变压器的体积和重量，因此，在飞机、船舶等移动式设备中都采用较高频电源。目前，在专用电子设备中已把电源频率提高到 $1 \sim 2\text{kHz}$ ，个别情况下用 $10 \sim 15\text{kHz}$ ，最普遍的是 400Hz 。

对于工作在单一频率的变压器来说，按照工作频率，可以分成如下几类：工作频率低于 50Hz 的变压器称为超低频变压器；工作频率等 50Hz 的变压器称为工频变压器；工作频率在 100Hz 到 10kHz 的变压器称为较高频变压器；工作频率在 10kHz 以上的变压器称为高频变压器；工作频率为 20Hz 到 20kHz 的宽频带变压器通常称为音频变压器；工作频带为 10kHz 到 100kHz 的宽频带变压器常称为超音频变压器。

三、按照变压器的相数来分类

根据相数可以把电子变压器分成单相的，两相的，三相的，多相的四种。其中绝大部分电子变压器都是单相的，少部分是三相的。多相变压器在整流、倍频等特殊 的 线路 中应用。

四、按照变压器的绕组电压来分类

按照变压器的绕组电压或电位，可以把电子变压器分成低压的，高压的，高电位的三种。任何一个绕组的工作电压都不超过 1000~1500V 的变压器称为低压变压器；变压器的绕组当中，只要有一个绕组的工作电压 高于 1000~1500V，该变压器就称为高压变压器；这种变压器的绕组间、每个绕组和外壳间，以及高压绕组的层间都必须有可靠的绝缘。变压器绕组本身的工作电压不高，但某个绕组处于 1000V 以上的高电位，这种变压器称为高电位变压器。这种变压器的绕组与外壳间需要有可靠的绝缘，而层间绝缘不需要特别加强。大部分电子变压器都是低压的，少数是高压或高电位的。

五、按照变压器的功率来分类

根据功率可以把电子变压器分成小功率、中功率和大功率三类。功率在几十伏安以下的变压器称为小功率变压器；功率从几十到几百伏安的变压器称为中功率变压器；功率在几百伏安到几十千伏安的变压器称为大功率变压器。这里所说的功率不是变压器的输出功率，也不是变压器的电磁功率，而是指能表征变压器外形尺寸的功率，这个功率称为尺寸功率。

六、按照变压器的设计依据来分类

任何电子变压器都应当具有规定的热状态，保证其温度不超过所用绝缘材料的耐热等级和变压器寿命确定的允许值。变压器的工作温度是非常重要的参数。极限工作温度与最高环境温度之差叫允许温升。温升取决于电磁负荷。规定了温升，也就规定了电磁负荷的选取方法，确定了变压器的整个设计程序。通常把温升称为设计依据，或设计出发点。

有一些电子设备中的变压器，除了保证允许的温升外，对负载电流变化时变压器输出电压的稳定性要求很高。当负载从零变化到额定值时，变压器输出电压的变化不允许超过某个规定值。由负载电流引起的输出电压的这种变化称为绕组电压降。绕组压降确定了负载电流波动时，以及环境温度变化时变压器次级电压的稳定性。在其他条件相等的情况下，电压降随变压器功率和工作频率的提高而降低。对于频率较低或功率较小的变压器来说，电压降也是一个重要参数，它也是一个设计依据。通常以电压降为设计依据时，选取的电磁负荷要比以温升为设计依据时低。

按照温升和电压降这两个设计依据，可以把电子变压器分为两类：一类是以温升为设计依据的变压器；另一类是以电压降为设计依据的变压器。此外，在极个别情况下还把空载电流作为设计依据。

七、按照变压器的工作制来分类

电子变压器有三种典型的工作制：长期连续工作制；重复短时工作制；短时工作制。最常用的是长期连续工作制。

所谓长期连续工作制，是指变压器在额定负荷下连续工作，直至温升达到稳定值。这个时间和变压器尺寸有关，小变压器只有若干分之一小时，大变压器为几小时。

如果变压器在额定负荷下连续工作的时间不长，不足以使温升达到稳定值，这种工作状态称为短时工作制。

变压器一会儿工作，一会儿休息，这种交替工作与间歇的工作状态称为重复短时工作制。我们感兴趣的是足以使变压器温升达到稳定值的重复短时工作制。一个循环内总的和一个工作周期之比称为空度。空度极大的脉冲变压器是变相的重复短时工作制。

八、按照变压器的结构来分类

电子变压器的铁心有壳式、心式、环形、三相四种。采用相应铁心的变压器分别称为壳式、心式、环形、三相变压器。此外，还有单线圈心式变压器。

壳式铁心的中间铁心柱比两边的铁心柱宽。线圈装在中间的铁心柱上。两边的铁心柱是为了构成闭合磁路的，其上没有线圈。心式变压器有两个线圈，每个铁心柱上装一个。两个铁心柱上的初级绕组完全相同，彼此可以并联或串联。线圈只装在一个铁心柱上的心式变压器称为单线圈心式变压器。环形变压器的绕组沿铁心圆周均匀分布。三相变压器的铁心由三个等宽的铁心柱组成，每个铁心柱上都装有线圈。各相线圈的初级或次级绕组间可以接成星形或三角形。通常把装有线圈的那一段磁路称为铁心柱。和铁心柱相连，但没有线圈的那一段磁路称为铁轭。环形铁心没有铁轭。心式和三相铁心只有横轭。壳式铁心有平行于铁心柱的竖轭和垂直于铁心柱的横轭。每一种型式的变压器都有自己的优缺点。

九、按照铁心的制造方法来分类

电子变压器的铁心有冲片式和带绕式两种。单相带绕铁心有时也称为C形铁心。采用相应铁心的变压器分别称为冲片铁心的变压器和C形铁心的变压器。三相带绕铁心的变压器称为E形铁心三相变压器。

十、按照变压器的整体结构分类

从整体结构来看，电子变压器有敞开式、半密封、全密封三种。敞开式的包括完全敞开的和端封的；半密封的是指线圈灌注的变压器；全密封的包括铁壳密封的，全灌注的，油浸式的等。民用低压变压器多半是敞开式的。军用低压变压器多半是端封的。在恶劣气候条件下使用的变压器，采用外壳密封结构。高压和高电位变压器多半采用环氧树脂等热固性混合物灌注的结构。大功率高压变压器多半是油浸式。此外，还有用合成液体、合成气体、粉末固体绝缘的变压器，以及蒸发冷却的变压器、超导变压器等。

十一、按照其他结构特征来分类

电子变压器的绕组可以用铜线绕制，也可以用铝线绕制。通常把绕组用铜线绕制的变压器称为铜绕组变压器，把绕组用铝线绕制的变压器称为铝绕组变压器。

电子变压器的线圈有时绕在底筒上，有时绕在骨架上。绕组绕在骨架上的变压器称为有骨架变压器，绕组绕在底筒上的变压器称为有底筒变压器。此外，还有无骨架变压器。

十二、按照变压器的使用条件来分类

电子变压器有民用的和军用的两大类。军用电子变压器又分空用的（飞机、导弹、飞船）、海用的（船舶、潜艇）、陆用的三种。陆用的又分固定设备上用的和移动式设备上用的两种。使用条件不同，对变压器的要求也不同。

十三、按照变压器的寿命来分类

寿命和变压器的使用条件密切相关。按照寿命可以把电子变压器分成三类。可靠工作时间在 10000~20000h 以上的变压器称为长寿命变压器；可靠工作时间在 300~500h 的变压器称为短寿命变压器；可靠工作时间只有几秒钟到几十分钟的变压器称为短时使用的变压器。美国军用标准将电子变压器分成 x (10000h)、 y (2500h)、 z (≤ 500 h) 三类。

十四、按照变压器的工作温度分类

变压器的工作温度和最高环境温度及绕组温升有关。变压器的环境温度包括外部环境温度和分机的温升。按照工作温度可将电子变压器分成两类：工作温度低于 100~130℃ 的变压器称为普通电子变压器；工作温度高于 130℃ 的变压器称为高温电子变压器。高温变压器有温升很高的变压器，及环境温度很高（高于 80~90℃）的变压器。

十五、按照技术经济指标来分类

根据经济指标，可以将电子变压器分为最轻重量的、最小体积的、最低价格的等三类。飞行设备希望变压器重量最轻；舰艇设备希望变压器体积最小；民用设备希望变压器价

格最低。但在任何情况下都希望有最佳的效率和功率因数。

十六、按照变压器的工作原理、使用线路等 主要特征来分类

电子变压器是应用在各种线路中的。按照变压器的主要特征，可以将电子变压器分成以下几类：

1. 小功率电源变压器

有高压、低压、单相、三相等数种。用在电子设备的电源线路中，变换正弦波形的电压和电流。

2. 音频变压器

这类变压器主要用在广播、电视等设备中，有输入、输出、级间、调幅等数种。它的主要特征是工作在 $20\text{Hz} \sim 20\text{kHz}$ 的一个频带内。为了满足非线性畸变、频率失真等要求，希望变压器的漏感和分布电容越小越好。

3. 脉冲变压器

这种变压器所传输的是单极性脉冲。有大功率和小功率之分。大功率脉冲变压器常用在雷达、高能物理、量子电子学等设备中。小功率脉冲变压器常用在自动控制、计算技术等线路中。由于这种变压器所传输的是脉冲信号，因而，铁心工作状态、绕组结构等都具有一系列特点。峰值变压器、回扫变压器、开关电源变压器等都属于脉冲变压器。

4. 变换器中的变压器

变换器中变压器的主要特征是频率高，绕组线路比较复杂，变换的信号是矩形波。因而，根据正弦波而导出的一系列关系对这种变压器是不适用的。

5. 变换相数的变压器

这类变压器常用在整流及自动控制线路中，可以把单相

变为两相、三相、多相，还能把三相变成单相、两相、多相等。

6. 变换频率的变压器

有倍频和分频两种。倍频变压器输出交流电压的频率可以为初级电源频率的任意倍。分频变压器输出电压的频率可以是电源频率的任意分之一。有时一个变压器可以同时输出几个频率的交流电压。为了变换频率，需要利用铁磁材料的非线性特性，或者先把输入电压变成对称的多相系统，然后，靠次级绕组的不同连接线路得到不同频率的电压。这种变压器的铁心柱有时多达几十个。绕组线路也比较复杂。这类变压器常用在手动工具、冶金、电蚀加工等行业中。

7. 磁控变压器

电子设备中常用这种变压器来稳定或调节交流电压。这种变压器的磁路、整体结构等都比较复杂。

8. 充电变压器

充电变压器有电容储能器中的和脉冲调制器中的两种。变压器的次级电压整流后对电容充电，充到一定程度，电容放电。由于充电和放电过程具有一系列复杂的特征，因此，这种变压器的工作原理、设计方法等都和其他变压器不同。脉冲调制器中充电变压器的主要特点是漏感很大，可以达到几十亨利。线路中利用这个漏感作为充电电感。

9. 功能型变压器

这是才发展起来的一类新型电子变压器，是根据物理集成的原理而组成的多功能电磁元件。利用这种变压器可以进行电压、电流和功率的合成，还可以进行其他函数变换。参量变压器、触发器式变压器等都属于这一类。

10. 压电变压器

这种变压器的工作原理是利用压电陶瓷材料的压电效

应。高压小电流的称为压电变压器，低压大电流的称为压电变流器。这类变压器结构简单，工作可靠，不可燃，是一种很有前途的电子元件。

§ 1-3 电子变压器基本类型的选择

电子变压器的类型很多，正确地选择与应用，不仅能保证电子设备有良好的性能指标，而且能使电子设备重量最轻、体积最小。在具体的电子设备中，应选取那一类电子变压器，要从以下几个方面来考虑。

一、信号的波形

常见的波形有正弦波、交流方波、单极性脉冲、非正弦波等。象电源变压器、音频变压器、变换相数的变压器、压电变压器、充电变压器等，它们所变换的信号大都是正弦波。脉冲变压器的信号是单极性脉冲。变换器中变压器所传输的信号是交流方波。其余变压器所变换的信号多半是非正弦波。

二、信号的频率

要看信号是单一频率，或是一个频带，还要看频率的高低。当信号是单一频率时，可考虑采用电源变压器。当信号存在一个频带时，可用音频和超音频变压器。

三、变压器的用途

根据用途来确定必须的变压器类别。要考虑具体线路对电子变压器提出的特殊要求。各类电子变压器的主要用途见表 1-1，线路设计人员可参考该表选取必须的变压器类型。