

电子电路设计

秦辉 著

DIANZI DIANLU
SHEJI

国家一级出版社

中国纺织出版社

全国百佳图书出版单位

电子电路设计

秦辉 编著

 中国纺织出版社

内 容 提 要

本书对电子电路设计进行了详细介绍,其中包括电子电路设计中常用元器件、电子电路设计基础、电子电路低功耗设计、电子电路的可靠性设计、Proteus 仿真软件在电子电路设计中的应用、直流稳压电源设计、实用电子电路设计、电子电路设计在电子产品维修中的应用等。读者通过对本书的学习,对电子电路的设计将有一个清晰的思路,具备基本的电子电路设计能力和调试能力。

本书适用于高等院校相关专业本科生、研究生、电类专业高级技工和工程技术人员及电子爱好者参考阅读,也可作为高等院校电子电路设计课程、毕业设计等的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子电路设计 / 秦辉编著. -- 北京:中国纺织出版社, 2019.7

ISBN 978-7-5180-4850-2

I. ①电… II. ①秦… III. ①电子电路—电路设计
IV. ①TN710.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 056730 号

责任编辑:范雨昕 责任校对:楼旭红 责任印制:何建

中国纺织出版社出版发行

地址:北京市朝阳区百子湾东里A407号楼 邮政编码:100124

销售电话:010—67004422 传真:010—87155801

http://www.c-textilep.com

E-mail: faxing@c-textilep.com

中国纺织出版社天猫旗舰店

官方微博 http://weibo.com/2119887771

北京玺诚印务有限公司印刷 各地新华书店经销

2019年7月第1版第1次印刷

开本:710×1000 1/16 印张:12.25

字数:268千字 定价:78.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

前 言

从事电子电路设计的工程技术人员，其根本任务是设计满足用户要求的电路，这是一种非常复杂的有创造性的智力活动，需要考虑的因素涉及方方面面。首先应对所设计的电路可能用到的电子元器件做到心中有数，并从中择优选择最适合的元器件。这里所述的最适合是指不仅要考虑元器件本身的最优特性，而且还应注意各元器件之间的最佳配合。选择元器件是基础，巧妙设计电路是关键。如果希望设计出经济、可靠、实用、功能完善的电子电路，则必须熟练掌握电子电路设计的理论知识，广博学习专业同行在电子电路设计方面的成功经验。这些内容在教科书中提及甚少，即使有些专业电子类书刊涉及了一些电子电路设计方面的内容，但是缺乏系统性和完整性。本书力争全面地阐述作为一名合格的电子电路设计工程师应知应会的理论与实践的基础知识。

本书作者多年来一直从事电子信息科学与技术专业基础课、专业课理论与实验教学工作，创新设计开发了多种电子产品（获得20余项国家发明专利）。在归纳整理大量读书笔记和电子电路设计随笔的基础上，结合研发电子产品的成功实践经验，撰写了本书。全书共8章，包括电子电路设计中常用的元器件、电子电路设计基础、电子电路低功耗设计、电子电路的可靠性设计、Proteus仿真软件在电子电路设计中的应用、直流稳压电源设计、实用电子电路设计、电子电路设计在电子产品维修中的应用等。本书内容丰富翔实，是电子电路设计人员手头必备的参考指南，对电子电路设计工作极具参考价值。

大学甚至研究生毕业的电子信息类专业学生，由于他们在校期间主要以学习理论知识为主，尽管他们做了许多课堂实验，但这些实验大部

分属于验证性而非设计性实验，实验内容相对简单，即使设计性实验也是在老师基本完成设计轮廓的基础上，并在老师的悉心指导下进行的。这些毕业生没有独立设计功能完善的电子电路的经历。当他们面对实际的电子电路设计任务时，会感到无从下手。其根本原因在于这些学生缺乏电子产品设计的实践经验。阅读本书，将会使他们受益匪浅。

对于具有一定电子电路设计经验的工程师而言，如果认真研读本书，同样也能够为其提供很多帮助，帮助他们解决电子电路设计中遇到的一些难题，并尽量避免走弯路，使其尽快设计制作出自己的电子产品。

感谢中国纺织出版社的大力支持。在本书出版的过程中，中国纺织出版社编辑做了大量艰苦细致的工作，编著者谨向他们表示衷心的感谢！

由于本书涉及知识领域较广，而且电子技术的变化日新月异，加之时间和水平的限制，书中难免存在疏漏和欠妥之处，敬请读者批评指正！

编著者

2019年1月于河北北方学院

目 录

第一章 电子电路设计中常用的元器件	001
第一节 电阻器	001
第二节 电容器	003
第三节 保险管	004
第四节 二极管	004
第五节 三极管	006
第六节 集成电路	008
第七节 变压器	008
第二章 电子电路设计基础	012
第一节 电子电路设计的原则、方法和步骤	012
第二节 电子电路设计常用调试方法和步骤	015
第三节 印制电路板设计	016
第四节 在线故障检测	018
第五节 电子电路图的识图方法	019
第六节 手工焊接技术	020
第三章 电子电路低功耗设计	023
第一节 低功耗电子电路设计的主要内容	023
第二节 继电器电路低功耗设计	026
第三节 低功耗时序电路设计	027
第四节 嵌入式系统低功耗电路设计	030
第四章 电子电路的可靠性设计	033
第一节 电子电路可靠性设计的方法	033
第二节 电子电路设计中电子元器件的可靠性	034
第三节 单片机应用系统硬件可靠性设计	035
第四节 单片机应用系统软件可靠性设计	036
第五节 电磁兼容技术	038

第五章 Proteus仿真软件在电子电路设计中的应用	044
第一节 电路原理图的设计.....	044
第二节 Proteus仿真.....	048
第三节 Proteus Ares PCB设计.....	050
第六章 直流稳压电源设计	058
第一节 电容降压式稳压电源.....	058
第二节 稳压二极管稳压电源.....	059
第三节 晶体管稳压电源.....	061
第四节 三端可调稳压电源.....	064
第五节 三端输出电压固定的稳压电源.....	066
第六节 开关稳压电源.....	069
第七章 实用电子电路设计	078
第一节 函数信号发生器的设计与制作.....	078
第二节 数字频率计的设计与制作.....	092
第三节 数字钟的设计.....	106
第四节 声、光电话遥控器的设计.....	136
第五节 全自动数字万用表的设计.....	140
第六节 电气控制设备遥控系统的设计.....	145
第七节 恒温控制器的设计.....	149
第八节 电池内阻测量仪的设计.....	155
第九节 智能有源网络内阻测量仪的设计.....	159
第十节 智能直流稳压电源内阻测量仪的设计.....	164
第十一节 全自动电缆盗情报警器的设计.....	169
第十二节 电话盗情报警器的设计.....	175
第十三节 电话防盗器的设计.....	180
第八章 电子电路设计在电子产品维修中的应用	184
第一节 电子产品维修中的电子电路设计.....	184
第二节 电子产品维修实例.....	185
参考文献	189

第一章 电子电路设计中常用的元器件

电子电路设计的实质是电子元器件组合的过程。为了实现电路的功能，选择特定的电子元器件，按照一定的方式用导线连接起来就构成了电子电路，所以对于电子电路设计工程师而言，首先应熟知常用电子元器件。

第一节 电阻器

在电子电路设计中，电阻器的应用非常广泛，其主要作用是控制和调节电路中的电流或电压，有时电子电路中的负载为电阻器。当用于限流和分压时，应将其串联在电路中；当用于分流时，应将其并联在电路中。

一、电阻器的分类

1. 按电阻器的阻值特性分类

按电阻器的阻值特性不同，可以将其分为三类：固定电阻、可变电阻（滑动电阻器、电位器）和特种电阻（热敏电阻、光敏电阻、压敏电阻、磁敏电阻、力敏电阻、气敏电阻、湿敏电阻）。

2. 按电阻器的材料分类

按电阻器的材料不同进行分类，电阻器可分为碳膜电阻、金属膜电阻、水泥电阻和绕线电阻等。

3. 按电阻器的额定功率分类

按电阻器额定功率的差异分类，电阻器可分为 1/16W，1/8W，1/4W，1/2W，1W，2W 等。

4. 按电阻器的封装形式分类

按电阻器的封装形式不同分类，电阻器有引脚式、贴片式、特殊式等几大类。其中贴片式封装是按照外形尺寸进行标注的，常用贴片电阻的封装包括 0402、0603、0805、1206、1210、1808、1812、2010、2512、3216 十种，其封装尺寸用 4 位整数表示，前面两位表示长度，后面两位表示宽度。例如：0603 表示长度为 0.1524cm（0.06 英寸），宽度为 0.0762cm（0.03 英寸）。这里采用的是英制表示法，极少数贴片电阻采用公制表示法。例如：1005 表示长度为 1.0mm，宽度为 0.5mm。

目前贴片电阻最小的为 0201，最大的为 3216。

二、电阻器参数的标识方法

电阻器的主要参数（标称阻值和允许误差）应标注在电阻器上，标识方法主要有直标法、文字符号法、数码表示法和色环表示法等。

1. 直标法

直接用数字将电阻器的标称阻值和允许误差标注在电阻器上，单位用字母符号 Ω 、 $k\Omega$ 、 $M\Omega$ 等表示；允许误差用百分数表示。例如： $6.8k\Omega \pm 5\%$ 。

2. 文字符号法

电阻器的阻值用数字 + 符号（R 或 Ω 、K、M）+ 数字表示，这些符号分别表示欧姆、千欧姆，兆欧姆，符号前面的数字表示阻值的整数部分，符号后面的数字表示阻值的小数部分（如果无小数部分，可缺失）。例如 33Ω 表示 33 欧姆，6K8 表示 $6.8k\Omega$ ，4M7 表示 $4.7M\Omega$ 等。

3. 数码表示法

用 3 位或 4 位数字表示电阻的阻值，其中最后一位数为应乘的倍率，其他数字为有效数字，单位是 Ω 。如： 103 表示 $10k\Omega$ ， 561 表示 560Ω ， 4701 表示 $4.7k\Omega$ 。

4. 色环表示法

用四个色环（普通电阻）或五个色环（精密电阻）表示电阻的阻值。各色环表示的数据分别为：棕 1，红 2，橙 3，黄 4，绿 5，蓝 6，紫 7，灰 8，白 9，黑 0。其中最后一个色环表示阻值的误差（金： ± 5 ，银 ± 10 ，棕 ± 1 ，红 ± 2 ），倒数第二个色环为应乘的倍率，其他色环表示有效数字。如果四色环电阻各色环分别为：红、紫、棕、金，则该电阻的阻值为 270Ω ，误差为 $\pm 5\%$ ；如果五色环电阻各色环分别为：绿、蓝、黑、橙、棕，该电阻的阻值为 $560k\Omega$ ，误差为 $\pm 1\%$ 。

运用如下方法可以有效识别色环电阻的排列顺序。

方法 1：先找出表示误差的色环作为最后的色环，以此确定色环顺序。

方法 2：最后两个色环之间的间隔比第一环和第二环之间的间隔略宽一些，据此可确定色环的排列顺序。

方法 3：先随意按一定色环顺序读取阻值，再按与之相反的顺序读取阻值，取两次读取的阻值中阻值为正常值，所对应的色环顺序为正确的色环排列顺序。例如一个电阻的五色环分别为棕、紫、黑、黑、棕，两次按相反的读序读取的阻值分别为： $10G\Omega$ 、 180Ω ，误差为 1%。由于 170Ω 属于非正常阻值，所以正确的色环顺序应该为棕、紫、黑、橙、棕。

第二节 电容器

在电子电路中，电容器主要起滤波、消除干扰、定时等作用。

一、电容器的分类

按照绝缘介质的不同，电容器可以分为陶瓷电容、玻璃釉电容、独石电容、聚苯乙烯电容、涤纶电容、聚丙烯电容、金属化纸电容、云母电容、铝电解电容、钽电解电容等类型。按照有无极性，可将电容器分为有极性电容器和无极性电容器两类。使用有极性电容器时，必须注意正极接高电位，负极接低电位，否则电容器将爆裂损坏。

二、电容器的主要参数

1. 标称容量及误差

对于容量较小的电容器，通常用三位整数表示其容量。前两位数表示数值，第三位表示“0”的个数，单位是 pF。103 表示电容器的容量为 10000pF；对于容量较大的电容器，通常直接将其容量标注在电容器外壳上。在容量后面用字母表示误差，其中 J 表示 $\pm 5\%$ ，K 表示 $\pm 10\%$ ，M 表示 $\pm 20\%$ 。例如 470 μ J 表示容量为 470 微法拉，误差 $\pm 5\%$ 。

2. 额定电压

额定电压指电容器在工作温度范围内，其两极（介质）间的最大直流电压或交流（脉冲）电压的峰值。为了确保电容器可靠工作，一般选用耐压值为实际工作电压两倍以上电容器。

3. 工作温度范围

电容器能连续正常工作的温度范围。

三、电容器的检测

电容器的质量主要表现在容量和漏电阻两个方面。容量可用电容测量仪或万用电桥测定；漏电阻可用绝缘电阻测量仪、兆欧表等专用仪器测量。下面介绍利用万用表对电容器进行检测的方法。

1. 漏电电阻的检测

通常用指针式万用表 R \times 1k 或 R \times 10k 电阻挡测量电容器两引出线之间的漏电电阻值。测量时，将两表笔分别触及电容器的引出线，此时，表针会迅速地向顺时

针方向偏转，然后再按逆时针方向逐渐退回“∞”处。如果回不到“∞”处，则表针稳定后所指的读数就是该电容器的漏电电阻值。如果电容器的漏电电阻较大，说明该电容器已经损坏。

2. 电容器容量的检测

按上述方法测量电容器漏电电阻时，观察表针的摆动情况，摆幅越大，表明电容器的电容量越大。

对于容量较小的电容器，按上述方法测量表针摆动不够明显，此时，可以利用直流电源和万用表直流电压挡进行测量。把万用表调到合适的直流电压挡，然后将万用表、直流电源、电容器串联起来。通过观察指针摆动的幅度，并与几个已知容量的电容器进行比对，就可以估测出其电容量值。

第三节 保险管

保险管由熔丝和外壳组成，如果电路中电流超过保险丝的额定电流并达一定值时，熔丝就会自动熔断而切断电源，从而对电子电路起到保护作用。

实验表明，当电路中的电流小于保险管额定电流的 1.25 倍时，保险管可以长期稳定工作；当电流等于保险管额定电流的 2 倍时，约 20s 熔丝熔断；当电流等于额定电流的 5 倍时，熔丝的熔断时间不小于 1s；当电流大于等于额定电流的 10 倍时，熔丝随即熔断。

对于电阻性电子电路，保险管的额定电流只要略大于电子电路的工作电流即可；对于具有电感性元件的电子电路，选用保险管的额定电流应为电子电路工作电流的 1.5 ~ 2 倍。

第四节 二极管

二极管是一种具有单向导电性的非线性元件。

一、二极管的种类

二极管可分为普通二极管、特殊二极管和其他二极管。

1. 普通二极管

普通二极管分整流二极管、开关二极管、稳压二极管和检波二极管。

(1) 整流二极管把工频交流电转换成脉动直流电，其结面积大、结电容大、工

作频率较低。

(2) 开关二极管能够实现开关功能。

(3) 稳压二极管工作时, PN 结处于反向击穿状态, 其两端电压基本不变, 对电路起稳压作用。

(4) 利用 PN 结伏安特性的非线性, 检波二极管能够把叠加在高频信号上的低频信号分离出来。

2. 特殊二极管

常见的特殊二极管有发光二极管、光电二极管、肖特基二极管和变容二极管。

(1) 发光二极管的发光颜色主要有红、绿、蓝、黄、白色等多种颜色。发光二极管的导通电压比普通硅二极管的导通电压(约为 0.7V)高, 例如发红、绿、黄光的约为 2V, 发白光的大于 3V。使用发光二极管时不能将电源的正负极接反, 否则很容易使发光二极管击穿损坏(LED 能够承受的反向电压小于 10V)。小功率发光二极管正常工作电流为 5 ~ 10mA, 最大不能超过 20mA。

(2) 光电二极管是一种结型光伏探测器, 工作时处于反向偏压状态, 当无光照时, PN 结呈现高阻态。当有一定波长入射光照射时, 反向电流随光照强度增加而增大。

(3) 肖特基二极管是金属与半导体接触形成的, 具有整流特性。它的起始电压低, 开关时间短, 串联电阻小, 具有良好的高频特性和开关特性。其缺点是反向电流大。

(4) 变容二极管在外加反向偏压下工作。其结电容随着反向电压的增加而减少。

3. 其他二极管

其他二极管有雪崩二极管、隧道二极管、耿氏二极管、磁敏二极管和阶跃恢复二极管。

二、整流二极管的主要参数

整流二极管最重要的参数有两个: 最大整流电流和最高反向工作电压。

1. 最大整流电流

最大整流电流是指长期工作时, 允许流过二极管的最大平均电流。实际应用二极管时, 其工作电流应低于最大整流电流, 并注意散热条件符合规定要求。

2. 最高反向工作电压

最高反向工作电压是指为保证二极管不被反向击穿而规定的最高反向电压。实际应用二极管时, 其最高反向工作电压通常为反向击穿电压的 1/2 以下。

第五节 三极管

一、三极管的种类

晶体三极管具有信号放大和开关的特性，属于电流控制型器件。其种类有 NPN 型三极管、PNP 型三极管、高频三极管、低频三极管、超高频三极管、带阻三极管，还有由两个甚至多个三极管构成的差分管、达林顿管等。

二、三极管的型号识别

国产三极管的型号以数字“3”开头，接着有两个表示特性、用途的字母，后面是一串表示序号的数字。日本产的三极管开头两个字母均为 2S。

三、晶体三极管的检测

三极管的结构如图 1-1 所示。用万用表检测三极管，主要是检测两个 PN 结是否正常。

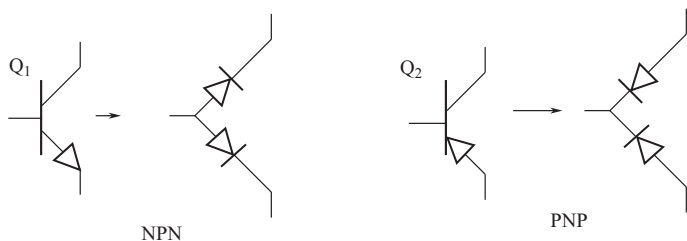


图 1-1 三极管的结构

1. 普通三极管的检测

(1) 三极管管脚的判别。

①判别三极管的基极。任意选取一个管脚，假定为基极。使用数字万用表的二极管挡，将万用表的红表笔（与万用表电池的正极相连）触及假定的基极，用另一只表笔分别触及另外两个电极，观察两次测量结果。如果两次显示读数均在 $0.1 \sim 0.3\text{V}$ （锗管）或 $0.48 \sim 0.7\text{V}$ （硅管）之间，则假定的基极即为该三极管的基极，并且此三极管为 NPN 型三极管。如果将万用表的黑表笔触及假定的基极，按上述方法测量获得同样结果，则黑表笔触及的电极为基极，该三极管为 PNP 型。

如果两次万用表的读数至少有一次不在上述范围内，则说明预先假定的基极不

是真正的基极，需要换一个管脚来假定基极，重新测量，直到两次万用表的读数均在 $0.1 \sim 0.3\text{V}$ （锗管）或 $0.48 \sim 0.7\text{V}$ （硅管）范围内，测出基极为止。

在测试过程中，如果数字万用表只显示三位整数，则默认单位为 mV ；如果只显示三位小数，则默认单位为 V 。

②判别三极管的发射极和集电极。使用二极管挡进行测量。将数字万用表的挡位开关转换至二极管挡位，分别测量发射结和集电结的压降，电压高的是发射极 E，电压低的是集电极 C。

(2) 三极管好坏的判别。使用二极管挡检测。如果检测两个 PN 结的正向导通压降正常（锗管为 $0.1 \sim 0.3\text{V}$ ，硅管为 $0.48 \sim 0.7\text{V}$ ），反向压降均显示“1”（溢出），并且正反向检测发射极 E 与集电极 C，也显示“1”；说明该三极管是好的，否则已经损坏。

顺便指出，以上方法对检测硅、锗二极管及整流桥也适用。

2. 带阻尼的三极管的检测

(1) 基本结构。带阻尼的三极管的集电极与发射极间有一只二极管，并且在基极与发射极间还连接着阻值较小电阻，起保护作用，其内部结构如图 1-2 所示。

(2) 引脚判别方法。

①确定集电极 C。使用指针式万用表的 $R \times 1$ 档。检测出正反向电阻均较小的两个电极，这两个电极分别为基极 B 和发射极 E，另外一个电极为集电极 C。

②确定基极 B 和发射极 E。黑表笔触及集电极 C，红表笔分别触及另外两个电极，两次测量中，其中有一次测得的阻值较大，此次测量时红表笔触及的电极为基极 B，另外一个电极为发射极 E。

3. 光敏三极管的检测

光敏三极管只有两个引脚，分别为集电极 C 和发射极 E，基极 B 是受光窗口。一般较长的引脚为发射极 E，较短的引脚为集电极 C。达林顿光敏三极管封装中缺圆的一侧为集电极 C。

将光敏三极管的受光窗口遮住，集电极 C 和发射极 E 之间正、反向电阻值均为无穷大，否则该管漏电或击穿短路。

将光敏三极管的受光窗口靠近光源，正常时集电极 C 和发射极 E 之间正、反向电阻值应为 $15 \sim 30\text{k}\Omega$ 。若阻值较大，则说明光敏三极管损坏或灵敏度偏低。

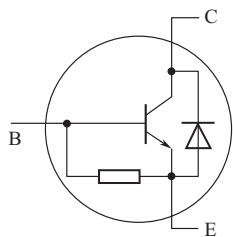


图 1-2 带阻尼的三极管

四、三极管倒置状态分析

三极管除了三种常用的工作状态（截止、放大、饱和）外，还有第四种工作状

态——倒置状态。倒置状态是指三极管的集电结处于正偏，发射结处于反偏时的状态。三极管处于倒置工作状态时，相当于将发射极和集电极进行调换，此时发射极实际为集电极，而集电极实际为发射极。三极管处于倒置工作状态时，由于三极管的集电区掺杂浓度较低，发射的电子较少，加之发射区面积小，形成的电流很小，三极管没有放大能力，其放大系数 $\beta < 1$ 。如果增大“倒置”三极管的基极电流达一定数值时，将进入饱和状态，此时基极电流比正接时大很多，而导通压降比正接时小很多。

第六节 集成电路

一、集成电路的封装

集成电路的封装形式主要有双列直插式封装、塑料或陶瓷单列直插式封装、四列直插式封装和软封装、塑料或陶瓷扁平式封装和圆形金属壳封装等。

二、集成电路的引脚识别

集成电路的引脚最少的只有 3 个引脚，最多的可达 100 多个引脚。识别集成电路引脚的方法是：将集成电路的文字符号正面对识别者，定位标记（凹坑、缺口、色点、金属片、小孔、线条、色带、斜面、缺角等）处的引脚为第一引脚（一般位于左下角），然后按逆时针方向旋转顺序排列其他引脚。

三、集成电路的分类

按芯片上集成的元器件多少（集成度）可分为以下几类：

- (1) 小规模集成电路（数十个器件）。
 - (2) 中规模集成电路（数百个器件）。
 - (3) 大规模集成电路（数千个器件）。
 - (4) 超大规模集成电路（数万个器件）。
 - (5) 甚大规模集成电路（数百万个器件）。
- 目前一个芯片上可以集成几亿个晶体管。

第七节 变压器

变压器的主要功能包括电压变换、阻抗变换、隔离、稳压（磁饱和变压器）等。

一、变压器的分类

(1) 按冷却方式不同可分为：油浸（自冷）变压器、干式变压器、氟化物（蒸发冷却）变压器等。

(2) 按电源相数不同可分为：三相变压器、单相变压器、多相变压器。

(3) 按防潮方式不同可分为：灌封式变压器、开放式变压器、密封式变压器等。

(4) 按用途不同可分为：调压变压器、电源变压器、音频变压器、中频变压器、开关变压器、高频变压器等。

二、电源变压器

1. 主要参数

(1) 额定功率。在规定的频率和电压条件下，确保电源变压器能够长期工作，并且不超过规定温升的输出功率。规定变压器的额定功率为初、次级线圈功率的平均值。

(2) 额定电压。变压器的线圈允许施加的电压。

(3) 空载电压。变压器次级开路时，在次级上测得的电压。

(4) 空载电流。变压器次级开路时，初级线圈的电流。

(5) 空载损耗。变压器次级开路时，测得初级的功率损耗。

(6) 效率。次级功率与初级功率比值的百分比。

(7) 绝缘电阻。电源变压器各线圈之间、各线圈与铁芯之间的绝缘性能。

2. 变压器的检测方法

(1) 绝缘性测试。用万用表 $R \times 10k$ 挡分别测量铁芯与各个绕组间、绕组与绕组间的电阻值应为无穷大，否则变压器绝缘性能不良。

(2) 线圈通断的检测。变压器初级线圈的电阻值为几十兆欧，次级线圈的电阻值为几至几十欧。如果某绕组的电阻值为无穷大，则此绕组断路。

(3) 判别初、次级线圈。电源变压器的初级线圈引脚和次级线圈引脚分别从两侧引出，并且初级绕组一般标注 220V 字符，次级绕组标注额定电压值（5V，12V，15V 等），可据此进行识别。

(4) 空载电流的检测。断开次级所有绕组，初级绕组插入 220V 交流电，测量初级绕组的电流。此值小于变压器满载电流的 10% ~ 20%。电源变压器正常空载电流约为 100mA。如果电流较大，则说明变压器有短路性故障。

(5) 空载电压的检测。初级绕组接入 220V 市电，次级绕组开路，各绕组的空载电压值一般为：高压绕组 $\leq \pm 10\%$ ，低压绕组 $\leq \pm 5\%$ ，带中心抽头的两对称绕组的电压差应 $\leq \pm 2\%$ 。

(6) 判别各绕组的同名端。下面通过互感线圈进行说明。将线圈 L_1 、 L_2 绕在同一磁棒上, L_1 通过随时间增大的电流 i_1 , 则 i_1 产生的磁通 ϕ_1 也将随时间增大, 此时 L_1 将产生自感电动势, 使得 L_2 产生互感电动势 (它们都是由于 i_1 变化引起的), 感应电动势产生的感应电流都将产生与 ϕ_1 方向相反的磁通, 反对 ϕ_1 的增加。运用右手螺旋法则, 能够确定 L_1 、 L_2 感应电动势的方向, 线圈 L_1 的两个端点 1 与 2 分别与线圈 L_2 的两个端点 3 与 4 的极性相同。如果 i_1 随时间减小, 则 L_1 、 L_2 中感应电动势的方向与上述相反, 但端点极性的对应关系保持不变。在同一变化磁通作用下, 感应电动势极性相同的端子称为“同名端”, 感应电动势极性相反的端子称为“异名端”。工程图上, 通常把一组同名端用符号“.”作为标志 (电源变压器次级绕组串联时, “同名端”只能与“异名端”相连)。

3. 简单判别电源变压器的质量

除了检测电源变压器的输出电压准确度和绝缘性能以外, 还要考虑它的效率、负载率、发热量等。下面介绍通过测量两个参数来判断电源变压器质量的方法。

(1) 铁损。变压器空载电流与输入端电压的乘积称为空载损耗, 即铁芯损耗, 简称铁损。变压器的空载电流越小, 铁芯的质量越好。空载电流的大小, 能够反映铁损的大小。小于 10W 的变压器, 空载电流为 7 ~ 15mA; 100W 的变压器, 空载电流为 30 ~ 60mA。铁损较大的变压器, 发热量必然大, 其寿命较短。

(2) 铜损。铜损是指初、次级导线的直流电阻造成的损耗。铜损越小, 漆包线的电阻值越小, 则变压器的负载率必然大。

铁损、铜损越小, 则变压器的质量越好; 工作时温升越低, 其负载率较好。

三、开关变压器

由于开关电源具有效率高、功耗低等特点, 所以电子产品的电源大部分采用开关电源, 而开关变压器是开关电源的重要器件。

1. 开关变压器的测试方法

(1) 外观检查。从外表观察是否有打火烧焦的痕迹, 各引脚间是否有污物等。

(2) 万用表测试。用万用表测量线圈的电阻值, 判断线圈是否有断路、短路故障。开关变压器各绕组之间的绝缘电阻为无穷大, 各绕组和磁芯 (铁芯) 之间的绝缘电阻也为无穷大。

(3) 对比测试。找一个与可能有故障的开关变压器具有相同规格的正常开关变压器, 对它们进行对比测试, 即发现问题所在。

2. 排除开关电源变压器故障的方法

(1) 放电打火。通常可以观察到的放电打火是由于变压器引脚有污物和绝缘破坏导致的。取下开关电源变压器, 用无水酒精清洗其引脚、外表面、印刷电路板。