

[编者按]该文章内容以大量实践为基础,理论推导为依据,所提供的设计方案和计算公式实用性、科学性都很强,是广大电子工程技术人员、电子科学爱好者、电子维修人员进入开关电源技术领域的金钥匙。该文章本来是打算出版图书的,所以我们保留了该文章的部分格式。

## 实用开关电源技术(连载三)

张铜庆

(无锡市凯达电讯电器有限公司, 江苏 无锡 214135)

**摘要:**详细介绍了开关电源的特点、分类及主要技术要求,各类开关电源主电路的计算,开关变压器的设计与制造,开关电源控制用集成电路,开关电源的保护电路,开关电源的干扰及其抑制。还结合分析计算提供了应用于不同领域的 3 种不同类型开关电源电路,并提供元器件明细表。

**关键词:**开关电源;设计;制造;保护

### Applied Technique of Switching Power Supply

ZHANG Tong-qing

中图分类号:TN86

文献标识码:D

文章编号:0219-2713(2007)10-0053-04

### 3 开关变压器设计与制造

开关变压器是开关电源的关键与核心,其质量好坏直接影响开关电源的运行质量。

开关变压器的原边与开关器件构成振荡回路,形成稳定的高频脉冲,向其它各绕组传递能量,并保证各绕组所需的电压值。同时,开关变压器亦起着隔离原边与副边的作用,确保副边用电的安全。

开关变压器的设计应以开关电源主电路计算出的下列参数为依据:

- (1)开关振荡频率 如果是调频式,则必须给出最高工作频率;
- (2)副边总额定消耗功率;
- (3)原边线圈的电感量;
- (4)原边线圈、反馈线圈、各副边线圈数与相位;
- (5)原边线圈、反馈线圈、各副边线圈所通过

的额定电流有效值。

有可能还应提供所需磁芯的截面积及饱和磁通密度。

#### 3.1 磁芯的选择

常见的开关变压器使用的磁性材料为软磁铁氧体,其成分为  $MnZn$ 。由于配方及生产工艺的不同,各公司制成了特性参数不同的多种牌号的磁性材料,并提供各牌号磁性材料的特性参数,如使用频率范围、初始导磁率、比损耗因数、比温度系数、饱和磁通密度、居里温度、电阻率、密度以及某些参数随频率、温度变化的曲线。

磁芯按形状又分 EI、EE、EC、U、UF 等多种型号。每种型号又有多种规格,各生产公司亦提供各种型号规格磁芯的几何尺寸。

选择磁芯的任务就是确定变压器选用磁芯的材料牌号及型号规格。

材料牌号的选择,主要依据开关变压器的最高工作频率。例如南京 898 厂生产的  $R_{2KD}$  适用于 30 kHz 以下,  $R_{2KBD}$  适用于 50 kHz 以下,  $R_{2KB1}$  适用

收稿日期:2007-05-21

于 200 kHz 以下。

型号规格的选用有以下几个原则：

(1) 尽量利用现成(已用过或已有模具)变压器骨架,EE、EC、EI 均为常用的形状;

(2) 符合电路设计给定的截面积及饱和磁通密度;

(3) 结构安装要求(高度、体积等);

(4) 总输出功率及开关频率的要求;

(5) 窗口对线包及绝缘材料的可靠性。

表 3 列出 EI(或 EE)磁芯的尺寸与输出功率及开关频率的关系。

其中磁芯的 A、B、C 几何尺寸如图 6 所示。

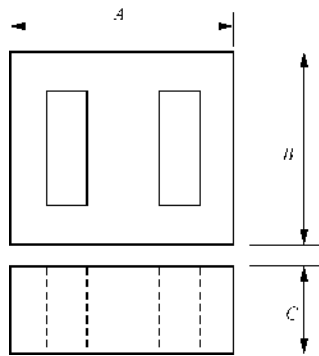


图 6 EI(或 EE)磁芯的几何尺寸

选择磁芯后,再从磁芯参数手册中查找该磁芯的 $A_L$ 值(指无气隙时的)以及 $A_L-\delta$ 曲线, $\delta$ 为磁芯气隙。 $A_L$ 值的单位为 $nH/N^2$ , $nH=10^{-9}H$ 为电感量, $N$ 为线圈圈数,根据设计的 $N_1$ 和 $L_1$ ,求出实际所需的 $A_L=\frac{L_1}{N_1^2}$ 值,再从曲线上找出理论的 $\delta$ 值,磁芯气隙设计在 0.8~1.2 mm 之间比较合适。

按理论计算出气隙,制作出来实测电感量误差比较大。因此,必须根据 $L_1$ ,磨合适的气隙,而且每批磁芯其气隙也有差异。所以,批量生产时,必须用实际线包先试磨磁芯,定气隙大小,再批量磨。 $L_1$ 的允差一般定在 $\pm 10\%$ ,要求严格的开关变压器也只能定为 $\pm 5\%$ 。

一般情况,EI 型磁芯磨 E 中柱,EC、EE 型磁芯,则磨其中一只的中柱。

### 3.2 骨架的选择或设计

开关变压器的骨架与一般变压器的骨架不同,除了作为线圈的绝缘与支撑材料外,还承担整个变压器的安装固定作用,因此,制作骨架的材料除了满足绝缘要求外,还应有相当高的抗拉强度和抗冲击强度。为了承受引出端插针的焊接热量,其热变形温度应高于 380℃,并且阻燃和易于加工。满足上述要求最理想材料是开关变压器骨架专用的PBT 塑料及电木粉。

开关变压器骨架的形状以立式为主。即引脚都在磁芯的一端,当高度受到限制时,也有采用卧式,即磁芯平放。

选用现成骨架十分有利,节省了骨架的设计,模具的设计制作,节约了成本。选用现成骨架的原则,一是结构上配合选用的磁芯,二是引脚数符合开关电路的要求。便于绝缘,骨架原边、副边分在两边,原边一边至少 5 针,原边线圈分两组串联用 3 针,反馈组用 2 针,副边针数视输出电压组数而定,小电流时可共用地脚,不能共地的绕组必须两针单独引出,大电流的引脚不仅单独用针,有时还需多针并用。

表 3 EI(或 EE)磁芯的尺寸与输出功率及开关频率的关系

磁芯型号 EI(或 EE)	A /mm	B /mm	C /mm	有效截面积 /mm <sup>2</sup>	标准输出容量/W		
					50kHz	100kHz	200kHz
22	22.5	19.5	6.0	32	20	30	40
25	25.9	18.7	7.0	41	30	60	90
28	28.7	20.8	10.8	85	60	90	130
30	30.7	27.2	11.0	111	95	130	200
35	35.9	29.4	10.3	101	120	170	260
40	40.9	35.3	12.0	148	190	290	440
50	51.2	43.0	15.0	230	300	440	650
60	61.4	45.0	16.0	247	360	550	800

如果设计变压器骨架,则必须考虑如下几个方面:

(1)形状上参照同型号不同规格的现成骨架;

(2)与磁芯配合必须留有合理的间隙;

(3)承受线圈导线绝缘部分的壁厚不应小于0.64mm;

(4)支撑变压器重量及固定插针的撑板结构应具有足够的机械强度,能承受冲击、碰撞、焊接而不断裂或者变形;

(5)骨架上应有明显的定位标记和产品标记,标记应在所规定的相应部位;

(6)PBT材料的骨架、引针与骨架注塑时一次成型,引针在骨架内部部位应设计防脱出结构(大头、打弯、滚花等);

(7)引针必须具有足够的强度和刚性,同时保证可焊性,一般采用具有刚性的CP线,镀层可采用镀银或者镀锡铈合金,镀层厚度应大于0.07mm;

(8)变压器的引针数、引针工艺槽均按照开关电源的要求来确定。引针间的中心距一般设计为5mm,为了使安装不出错,可在脚1与脚2之间加大距离到7.5mm。

### 3.3 绕组线规的选择

开关电源的线包,一般使用聚氨酯漆包线,型号为QA或UEW。其绝缘层为聚氨酯漆,主要成分为聚氨基甲酯树脂、聚酯树、二异氰酸酯,用二甲苯、甲酚等稀释,具有色泽浅(可色性),自粘性强,有自焊性能(380℃),可不用去漆膜,就直接锡焊接,高频特性好,介质损耗小等特性。

导线通过的电流随着频率的提高其集肤效应越明显,因此,当电流较大时,尽量采用多股并绕或铜箔卷绕,以便减少集肤效应。

线性变压器由于铜线的铜阻较大,而且圈数较多,分布较密所以散热及热容能力较差,导线的电流密度一般选在(3~7)A/mm<sup>2</sup>。

而开关电源由于铜线较短,铜阻较小,圈数又不多,散热及热容能力较好,导线的电流密度一般选在(5~9)A/mm<sup>2</sup>,散热通风条件好的选大一些。环境温度高又密闭的,选小一些。当变压器开档富裕时,尽量将导线电流密度选小些为宜。

由开关电源电路计算出的各绕组额定电流有

效值,结合以上导线截面积选择原则,不难计算出各绕组应选用的标准线规。

### 3.4 开关变压器的制造工艺

当磁芯、骨架、线规、圈数、相位确定之后,要制造出合格的变压器还必须有合理的工艺保证。

#### 3.4.1 绕组的编排顺序

多数情况下,将原边绕组分成两半,即两个绕组串联。反馈绕组、副边绕组与原边绕组交叉耦合,来减小漏感,如果反馈及副边仅各一组,就夹于原边两绕组之间,如果副边多组,可将个别副边绕组置于原边绕组之外。

#### 3.4.2 排线方法

开关电源的绕组,由于圈数不多,一般不允许乱绕,多个或接近一层的则采用密绕;少于一层的可采取一层均匀疏绕或在中间位置密绕,多股线应该并绕,不可有爬线现象,否则既影响线包厚度又影响Q值及漏感值。

#### 3.4.3 绕组引脚位号安排原则

原边绕组及反馈组安排一边,而副边全部绕组安排另一边。绕组引脚位号安排完全根据开关电源印刷电路板排板的需要而定。注意各绕组的相位,即同相端或叫同名端,不能出现错误。

#### 3.4.4 绕线方向的选择原则

一种开关电源的绕线方向最好一致,否则相位不容易保证,特别提醒的是卧式骨架,如果绕线方向不变引脚掉头缠绕,则绕组的头尾与相位变得相反。

#### 3.4.5 绕组引出线与引针的结合

绕线时须将引出线缠绕在引针的根部,小于等于 $\Phi 0.4$ 的线须缠两周, $\Phi 0.4\sim\Phi 0.65$ 的线须缠一周半, $\Phi 0.65\sim\Phi 0.8$ 的线须缠一周以上。大于等于 $\Phi 0.8$ 的线缠绕须大于 $300^\circ$ 。

线包绕好后还必须整脚,使引出线缠绕紧贴根部,再行吃锡,吃锡前须沾助焊剂。

#### 3.4.6 线包的绝缘工艺

绕组与绕组之间须用彩色阻燃树脂压敏胶带绝缘。原边与副边、反馈与副边、最外层均用基膜0.025mm厚的绝缘胶带3层隔离。原边与反馈级,副边与副边则两层隔离。最里层骨架上最好也绕1~2层,防止骨架有气孔或裂纹漏电。

绕组两端须用阻燃无纺布复合胶带填充限

位,至少每端为 3mm 宽,原边引出线,必须用耐温阻燃铁氟龙绝缘套管套上,内过填充胶带,外平引线槽。总之,限位胶带与套管的配合使用,保证原边、副边漆包线之间的爬电距离 $\geq 6\text{mm}$  最安全。

### 3.4.7 开关变压器的装配工艺

开关变压器的装配系指将绕好的线包与磁芯装配到一起。

为了保证原边电感要求,磁芯必须预先磨好气隙,EE、EC 型磁芯只磨其中一只磁芯。

磁芯的固定有两种方法,一种是胶粘固定,另一种是压敏胶带外包固定。胶带固定时至少包 3 层,须包紧。

线包与磁芯装配好后就可以测试各项性能指标,如果有不合格项目,还可以调整与修正。

多数变压器在磁芯及线包外中间位置安装短路铜箔,以短路外漏电磁场,注意铜箔距线包两头至少有 3-5mm 间隙。

少数变压器还要装上屏蔽装置或固定夹框。

### 3.4.8 开关变压器的浸漆烘干绝缘处理

装配好并测试合格的变压器还须进行浸漆烘干绝缘处理,使空隙充满绝缘漆,使各种材料渍实。这样使得磁芯与磁芯、磁芯与骨架,漆包线与绝缘材料等都牢靠地胶粘在一起,更能耐受机械振动冲击,更能防腐防潮。

变压器浸漆过程主要分为预烘、浸漆和干燥。

预烘的目的就是去除变压器本身及其气隙的潮气。

浸漆常用的方法有:常压热浸法和真空加压浸漆法。后者的优点是浸漆质量高,容易浸透,可以使变压器线圈吸潮能力减至最小程度,但浸后滴干时间要长些。

浸漆后的烘干过程比较复杂,一般分为两个阶段进行。第一阶段温度稍低约  $70^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$ ,以保证漆中的溶剂挥发为宜,一般需要 1~3 小时,第二阶段温度应该提高。具体温度应该接近变压器及绝缘漆的耐热等级。A 级: $105^{\circ}\text{C}$ ,E 级: $120^{\circ}\text{C}$ ,B 级: $130^{\circ}\text{C}$ ,F 级: $155^{\circ}\text{C}$ ,C 级: $>180^{\circ}\text{C}$ 。烘烤时间一般为 5~8 小时,直致烘干为止。

### 3.5 开关变压器的技术参数

设计的变压器,确定各项参数之前,须要通过试绕及试用。通过试绕摸清各项指标实际水平,通

过试用,确认该参数水平,或修改变压器参数如圈数等来满足开关电源技术要求。具体要求如下所列:

- (1)外观清洁平整无锈蚀无伤痕、标志清晰;
- (2)外形及安装尺寸符合图纸要求;
- (3)引脚没有露铜、吃锡太高、粗脚、锡尖歪斜、大头、锡桥等不良现象;
- (4)原边电感量在公差范围内,并符合规定的测试频率及电压值;
- (5)各绕组的圈数及相位,符合图纸要求;
- (6)如果变压器技术文件规定的,还须确定原边线圈最小值、原边线圈漏感最大值、各绕组铜阻的最大值;
- (7)耐压试验要求 一般情况下,原边、反馈级与副边,原边、反馈级与磁芯能承受 $\sim 3\text{ kV}/50\text{ Hz}$  耐压试验 1 min 无击穿及飞弧现象;原边与反馈,副边与副边,副边与磁芯能承受 $\sim 1\text{ kV}/50\text{ Hz}$  耐压试验 1 min 无击穿及飞弧现象;根据用户要求,其中原边、反馈级与副边的耐压可提高到 $\sim 3\text{ 750 V}$  或降低到 $\sim 1\text{ 500 V}$ ;
- (8)绝缘性能 原边与副边之间绝缘电阻应大于  $100\text{M}\Omega$ (直流  $500\text{V}$  时);
- (9)阻燃性能 在气体火焰上分别燃烧 10 s、1 min、2 min 后,撤离火焰,变压器自身维持火焰燃烧时间不长于 30 s。 [未完待续]

#### 作者简介

张铜庆(1940-),男,1967 年 7 月毕业于清华大学无线电电子学系,无线电技术专业,学制六年。1988 年 12 月经江苏省电子工程高级职务评审委员会评审确认为高级工程师。1967.7~1993.12 主要从事电子整机技术,有四篇论文在“电声技术”杂志上发表过,1993 年参加电子工业部电声研究所主办的全国音响制作大奖赛获社会组亚军,得到美国国家半导体公司的奖励。1994.1 至目前,在无锡市凯达电讯电器有限公司从事开关电源及变压器技术十多年。

