

# 开关电源中的高频变压器设计

黎健荣

(清远华南职业培训学院 广东 清远 511520)

**摘要】**本文从理论结合实际工程经验的角度,阐述了开关电源中高频变压器的设计要点,并举出实例,介绍了开关电源中高频变压器的设计方法,为广大技术人员提供重要参考。

**关键词】**开关电源;高频变压器;损耗

## 1.引言

开关电源作为一种新型稳压电源,已广泛应用于计算机、程控交换机、通讯、电子控制、检测等设备中。高频变压器作为开关电源的核心部件,肩负着功率传送、电压变换、绝缘隔离三大功能,开关电源的所有动作和特性几乎都取决于高频变压器的设计,特别是RCC方式,甚至连振荡频率都是由高频变压器决定的。因此,如何正确认识高频变压器的设计要点,掌握其设计方法,对设计一款优秀的开关电源至关重要。

## 2.高频变压器的设计要点

### 2.1 损耗

变压器的损耗包括铁损和铜损。铁损是由高频电流的集肤效应以及磁芯的磁滞损耗引起的,铜损是由线圈的纯电阻和电流有效值造成的发热引起的。

对于磁滞损耗,由于磁通密度的变化量  $B$  与频率成正比,因此磁滞损耗随着频率增大而增大;对于集肤效应,因交流电流仅集中于导线的表面流动而造成导线的有效电阻上升,根据相关资料,导线直径越细,集肤效应的影响越小。因此,为了降低铁损,应采用磁滞损耗小的磁芯;为减小集肤效应,同时又满足大电流工作的需要,可用更细的导线多股并绕,而不用一根粗导线绕制。

对于铜损,因为铜损  $P_c=i_c^2 \cdot R_c$ ,所以,采用大直径绕线可以减小铜损。

### 2.2 漏电感

在设计高频变压器时必须把漏感减至最小。因为漏感大,将引起很高的浪涌电压,漏极钳位电路的损耗就愈大,这必然导致电源效率降低。对于一个符合绝缘及安全性标准的高频变压器,其漏感量应为次级开路时初级电感量的 1%~3%。为减小漏感,可采取以下措施:

- (1)减小初级绕组匝数及各绕组之间的绝缘层数,并增加高、宽比。为了减小初级绕组匝数并增加高、宽比,所选磁芯尺寸应足够大,使初级绕组能绕成 2 层甚至不到 2 层,这样可将初级漏感与分布电容减至最小。建议采用瘦高型磁芯,这种磁芯具有较大的高、宽比,它对应于 EE、ETD、EI、EC 型磁芯。对于绕线,可选用三重绝缘线,这种导线有三个绝缘层,中间是芯线,可承受数千伏的脉冲高压,不需加阻挡层,也不用在级间绕绝缘胶带层,且电流密度大。因此,可用普通高强度漆包线绕制初级和反馈级,而用三重绝缘线绕制次级。这样可使漏感大为减小,高频变压器的体积能减小 1/2~1/3。
- (2)增大绕组的宽度  
可选 EE 型磁芯,以增加骨架宽度。
- (3)提高绕组间的耦合度  
要提高耦合度,绕组的构造必须注意两点。首先是“各个绕组应该整幅绕制”。如果绕组匝数很少,占用卷幅的一半即可绕制完毕,那么可以采用图 1 所示的间隔绕制方法,或者采用线径较小的导线,以及 2~3 根导线并列绕制都很有效。其次是图 2 所示的蜂窝夹层构造,即多层分割方法。绕制顺序为最先绕制初级绕组  $N_p$ ,然后是次级绕组  $N_s$ ,最后是基极线圈  $N_b$ 。初级绕组被分为  $N_{p1}$  和  $N_{p2}$ ,  $N_{p1}$  与下面的  $N_b$  并联连接,其它绕组则绕制在  $N_{p1}$  和  $N_{p2}$  中间。考虑到多层分割法产生的寄生电容的负面影响,多层分割法最多只分成 3 层。

### 2.3 电磁兼容性

电磁兼容性是指高频变压器既不产生对外界的电磁干扰,又能承受外界电磁干扰。电磁干扰包括可闻的音频噪声和不可闻的高频噪声。高频变压器产生电磁干扰的主要原因之一是磁芯的磁致伸缩。磁致伸缩大的软磁材料,产生的电磁干扰大。例如,锰锌软磁铁氧体,磁致伸缩系数  $S$  为  $21 \times 10^{-6}$ ,是取向硅钢的 7 倍以上,是高磁导坡莫合金和非晶合金的 20 倍以上,是微晶纳米晶合金的 10 倍以上。因此锰锌软磁铁氧体磁芯产生的电磁干扰大。另外,高频电源变压器产生电磁干扰的主要原因还有磁芯之间的吸力和绕组导线之间的斥力。

### 抑制辐射噪声的有效方法是屏蔽,对于高频变压器内部而言的屏蔽,可在一次侧和二次侧间加屏蔽层,简单的办法,用漆包线均匀绕满骨架一层,绕组的一端接高压+V端,另一端浮空。对于高频变压器外部而言的屏蔽,可把一铜片环绕在变压器外部,构成屏蔽带,该屏蔽带相当于短路环,能对泄漏磁场起到抑制作用,屏蔽带应与地接通。

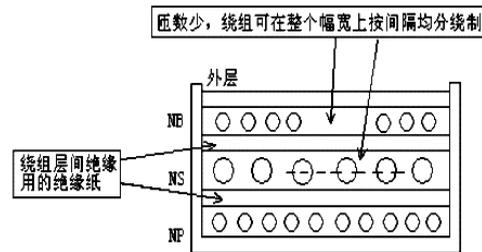


图 1 变压器的绕组构造

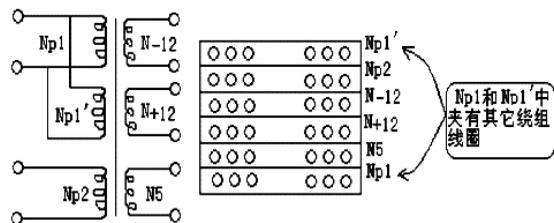


图 2 变压器的蜂窝夹层构造

致伸缩系数  $S$  为  $21 \times 10^{-6}$ ,是取向硅钢的 7 倍以上,是高磁导坡莫合金和非晶合金的 20 倍以上,是微晶纳米晶合金的 10 倍以上。因此锰锌软磁铁氧体磁芯产生的电磁干扰大。另外,高频电源变压器产生电磁干扰的主要原因还有磁芯之间的吸力和绕组导线之间的斥力。

抑制辐射噪声的有效方法是屏蔽,对于高频变压器内部而言的屏蔽,可在一次侧和二次侧间加屏蔽层,简单的办法,用漆包线均匀绕满骨架一层,绕组的一端接高压+V端,另一端浮空。对于高频变压器外部而言的屏蔽,可把一铜片环绕在变压器外部,构成屏蔽带,该屏蔽带相当于短路环,能对泄漏磁场起到抑制作用,屏蔽带应与地接通。

## 3.高频变压器的设计实例

实例要求:设计制作一个变压器,设  $u_1=110V$ ,  $u_2=12V$ ,  $P_0=30W$ ,  $f=200kHz$ ,  $L_1/L_{20} < 1/1000$ ,  $n > 80\%$ 。

根据实例要求,可按单端反激式开关电源变压器设计方法进行设计,具体步骤如下:

### (1)磁芯选择。

变压器功率与磁芯材料和结构尺寸有关,根据变压器的设计功率和电磁感应定律,由公式  $A_p=A_c \cdot A_w=P/2f \cdot B \cdot j \cdot K_c$  计算出结构参数,式中,  $A_w$  为磁芯芯柱有效截面积 ( $m^2$ );  $A_c$  为磁芯窗口面积 ( $m^2$ );  $P$  为变压器的计算功率 (VA),单端反激式开关电源变压器的  $P_1=2P_0$  ( $P_0$  为输出功率);  $f$  为开关电源频率 (Hz);  $B$  为磁芯的磁通密度;  $K_c$  为窗口利用系数,一般取 0.2~0.3。

对 Mn-Zn 铁氧体,增量磁感应强度一般取 0.25T; 电流密度  $j$  取  $(2.5 \sim 3) \times 10^6 A/m^2$ ,为经验常数。因此,根据公式,结合经验值和已知参数,经过查表,可初步确定选用 RM8G 磁芯,且  $C_1=0.590mm^{-1}$ ,  $A_w=64.0mm^2$ ,  $V_c=2400mm^3$ ,  $AL=2220(1 \pm 5\%)$ 。

### (2)初级绕组的参数计算

初级绕组匝数  $N_p$

由  $f=200kHz$ , 则  $T=5 \times 10^{-6}s$ ,对  $t_{on}$  的最大值取  $T/2$ ,即  $t_{on}=2.5 \times 10^{-6}s$ ,  $U_{1max}=110\sqrt{2}V$ , 则:  $N_p=U_{1max} \cdot t_{on} / BA_c=38$  匝。

初级绕组电感  $L_p$

(下转第 101 页)

# 影响质量的因素与对策

石晨义 刘保胜

**摘要】**影响施工质量的因素主要在于人、材料、机械、方法和环境五个方面,针对这五个方面对质量影响的特点进行分析,提出预防问题的对策。

**关键词】**质量;因素;4M1E;控制

影响施工质量的因素主要有五个方面即4M1E,指人、材料、机械、方法和环境。对质量问题的原因分析,一般围绕这几个方面,有必要对这些因素进行分析找出预防质量问题的对策。

1.人的因素。人对工程质量的影响有两种含义,一个是作为控制的对象,其操作行为对质量的影响;另一个是作为控制的动力,其主观积极性和主导作用的发挥与否对质量的影响。要用人的工作质量来保证工程质量,结合工程实际情况,针对控制对象和控制动力的人,应做好以下几方面工作:加强质量意识教育及技能方面的培训;合理组织,严格考核,并辅以必要的激励机制,使员工的潜力充分发挥;对分包商进行资质审核,对施工人员资格考核,坚持持证上岗制度;对选派的项目领导者,组织者进行质量意识教育和组织管理训练。

2.材料因素。投入工程实体的所有材料对工程质量都直接影响。不同使用部位,材料质量对工程质量的性质不同。如主体结构材料质量影响结构安全,功能设备或构件质量影响正常使用,装饰材料质量影响外观效果。对材料质量的控制必须把好检查验收和使用关,注意以下几个要点:掌握材料信息,优选供货厂家;加强材料检查验收,严把质量关;合理组织使用,避免使用过程中的损坏;注意材料应用范围,按规范和技术文件要求使用;重视材料的标识和认证,防止错用或使用不合格材料;建立管理台帐,进行收、发、储、运等环节的技术管理,避免混料和将不合格的原材料使用到工程上。

3.机械设备因素。机械设备一般作为施工工具对施工质量产生间接影响,机械设备的正常使用为质量控制提供条件,如果出现问题处理不当也可能造成严重影响。如在浇筑混凝土时,泵送设备、垂直运输机械、搅拌机械等正常使用能够保证连续施工,为混凝土浇筑质量提

供保障。对于机械设备的控制,必须保证配置合理,使用可靠,配套完善,能够满足施工工艺要求。

4.方法因素。方法包括整个建设周期内所采取的技术方案、工艺流程、组织措施、检测手段等,它直接影响控制目标能否实现。好的方法不仅技术可行,经济合理,也应有利于提高质量,加快进度。在编制方案时,要同时提出质量控制目标,制定保证质量的措施。

5.环境因素。影响施工质量的环境因素较多,可以概括为工程技术环境、工程管理环境、劳动环境等,其对工程质量影响作用广泛,有时将对质量产生重大影响,且具有复杂多变特点。对于可预见的环境因素,要采取应对措施提前控制,如制定合理制度营造良好的管理环境,改善作业条件,实施季节性施工方案等等。对于不可预见的环境因素,如地质、水文、气象条件等,要根据实际情况、工程特点提出可行的处理方案或保证质量的措施。

总结语:项目建设是一个复杂、综合的系统工程,影响质量的因素贯穿整个施工过程,众多因素相互关联,共同作用,产生影响。实施施工方案要使用建筑材料,借助于机械和人力作用,受到环境条件影响,因此要全面分析各种因素,运用多种调控手段,加强事前控制,才能实现质量目标。科

## 参考文献】

[1] 房屋建筑工程管理与实务(中国建筑工业出版社,2004年5月第一版)。

[责任编辑:赵文广]

(上接第89页)工作在调宽状态下时, $L_p=3u_{min} \cdot T/2P_0=2.42mH$

初级绕组激磁电流 $I$

$$I = u_i \cdot t_{on} / L_p = 0.32A$$

初级电流有效值 $I_p$

$$I_p = I \sqrt{\tan^2 3T} = 0.131A$$

(3)次级绕组的参数计算

次级绕组匝数 $N_s$

$$N_s = u_{d,off} / u_{t,off} = 4.2 \text{ 匝}$$

次级电流有效值 $I_s$

$$I_s = \sqrt{2P_0 / U_o} = 3.525A$$

(4)电负载

$$N \cdot I = 5 \times 3.525A = 17.725A$$

(5)最大电流密度

$$j = NI / AN = NI / (ANC \times 0.65) = 0.903 \times 10^6 A / m^2 < \text{规定值}, \text{故取 } j = 2.5 \times 10^6 A / m^2.$$

(6)最大线径

$$\text{初级绕组 } d_{max} = \sqrt{4I_p / j} = 0.858mm$$

$$\text{次级绕组 } d_{max} = \sqrt{4I_s / j} = 1.129mm$$

(7)透入深度

$$= 66.1 / \sqrt{4f} = 0.148mm, \text{根据 } d < 2 = 0.296mm \text{ 原则,取 } d_p = 0.28mm \text{ (此为铜芯直径,漆包线外径为 } 0.33mm), d_s = 0.28 \times 4mm \text{ (同上)}.$$

(8)RM8G磁芯骨架内宽为9mm,设每股漆包线(包括间隙)占0.4mm,则每层可缠绕22~23匝, $N_p=38, N_s=4.2$ ,取 $N_s=5, N_p=45$ 。

(9)制作磁芯

RM8G的线包结构:

(a)骨架,采用阻燃增强PBT工程塑料压制或酚醛玻璃纤维塑料压制;

(b)外包绝缘,采用厚度为0.06~0.08mm彩色聚脂压敏胶带2~3层;

(c)层间绝缘,采用厚度为0.06~0.08mm彩色聚脂压敏胶带1~2层;

(d)样品1~3:初级,第一、二层,22+23匝;次级,第三层5匝,4×6=20股;

(e)样品4~10:初、次级分层交叉绕制。初级,第一、三层,22+23;次级,第二层,5匝,4×6股。

4.结束语

开关电源中高频变压器的设计方法有很多,希望本文对读者有所帮助。科

## 参考文献】

[1] 王全保.实用电子变压器材料器件手册[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2003.5.

[2] 张占松,蔡宣三.开关电源的原理与设计(修订版)[M].北京:电子工业出版社,2004.9.

[3] (英)希思科特,王晓莺.变压器实用技术大全[M].北京:机械工业出版社,2004.4.

[4] 户川治郎.实用电源电路设计[M].科学出版社,2006.1

[5] 王誉天.高频开关电源变压器的设计要求和方法[J].警察技术,2005(06).

[责任编辑:韩铭]