

开关电源变压器漏感的计算

The Calculation of Leakage Inductance on SMPS Transformers

闵强 供稿

摘要：在电路中，开关电源变压器的漏电感会对电子设备的性能造成重大影响。所以，控制开关电源漏电感非常必要。任何变压器都存在漏电感，本文对变压器的漏电感作简要的分析计算。

关键词：开关电源，开关变压器，漏电感

中图分类号：TM4 文献标识码：B 文章编号：1606-7517(2015)11-2-125

众所周知，任何结构的电磁式变压器都存在漏电感问题，而开关变压器的漏感对开关电源性能指标的影响尤为严重。这是因为当控制开关在断开闭合的切换瞬间，变压器的漏感会产生反电动势，这将容易造成开关器件因过压而被击穿；漏电感还可以与电路中的分布电容以及变压器线圈的分布电容一起构成振荡回路，电路产生的振荡不仅影响其本身，还会向外辐射电磁能量，造成电磁噪声干扰。因此，在变压器设计制作过程中，分析其漏电感产生的原因并减少漏感的形成，也是其重要使命。

1 变压器漏感的成因分析

图1所示为变压器的最简单结构形式和工作原理：它由二个空心线圈交链公共磁通，磁通在两个线圈上是闭合的。其中一个线圈连接电源并传送建立磁场的电流，另一

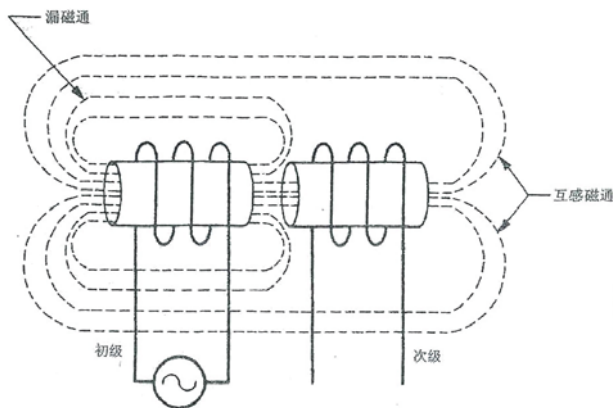


图1 最简单的变压器结构示意图

个线圈开路。在图中可见，接上电源的线圈所产生的磁力线并没有完全交链两个线圈，为此，两线圈就存在磁通差，这个磁通差被称为漏磁通，也就是说，漏磁通是二个线圈没有耦合的那一部分磁通。变压器线圈之间存在的漏电感，就是因为线圈之间存在漏磁通的缘故。

2 变压器漏感的计算

由上述的漏感与漏磁通的关系可知，计算出变压器线圈之间的漏磁通量值，就可以计算出漏电感的数值。

计算变压器线圈之间存在漏磁通，首先要分析两个线圈之间的磁场分布。我们已知螺旋线圈中的磁场分布与两块极板中的电场分布较为相似，也就是说，螺旋线圈中的磁场强度分布是基本均匀的，并且磁场能量基本集中在螺旋线圈之中。其次，在计算螺旋线圈之内或之外的磁场强度分布时，比较复杂的情况可以用麦克斯韦定理或毕少定理；对于比较简单情况，可以采用安培环路定律或磁路的克希霍夫定律。图2是分析计算开关电源线圈之间漏电感的原理图。以下就简单分析图2所示的开关电源线圈之间产生漏感的原理，并进行一般计算。

图2中的字符表示为： N_1 、 N_2 分别是变压器的初、次级线圈； T_c 是变压器的铁心， r 为变压器铁心的半径； r_1 、 r_2 分别是变压器初、次级线圈的半径； d_1 为初级线圈到铁心间的距离， d_2 为初、次级线圈之间的距离。为了使分析计算简便些，本设计假设变压器初、次级线圈的匝数与线径相同，流经线圈的电流则全部集中在轴线的中心。这样，

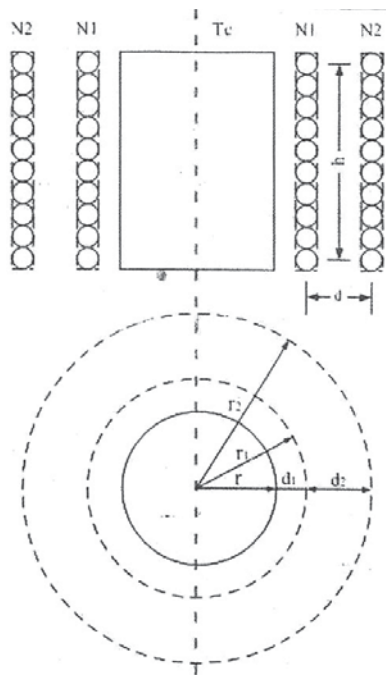


图2 开关变压器线圈之间产生漏感的原理示意图

它们之间的距离全部是两线圈之间的中心距离，如图中之虚线所示。

设铁芯的截面积为 S , $S = \pi r^2$; 初级线圈的截面积为 S_1 , $S_1 = \pi r_1^2$; 次级线圈的截面积为 S_2 , $S_2 = \pi r_2^2$; 初级线圈与铁芯的间隔截面积为 $S_{d1} = S_1 - S$; 次级线圈与初级线圈的间隙截面积为 S_{d2} , $S_{d2} = S_2 - S_1$; 电流 I_1 流过初级线圈产生的磁场

强度为 H_1 , 在面积 S_1 之内产生的磁通量为 ϕ_1 , 在面积 S_{d2} 之内产生的磁通量为 ϕ_1' ; 电流 I_2 流过次级线圈产生的磁场强度为 H_2 , 磁通量为 ϕ_2 。

由以上的参数，可以求得电流 I_2 流过变压器次级线圈 N_2 产生的磁通量为：

$$\phi_2 = \mu_0 S H_2 + \mu_0 S_1 H_2 + \mu_0 S_{d2} H_2 \quad (1)$$

$$\text{或 } \phi_2 = \mu_0 S H_2 + \mu_0 S_1 H_2 + \phi_2' \quad (2)$$

式(1)、式(2)中的 $\mu_0 S_{d2} H_2 = \phi_2'$ 就是变压器次级线圈 N_2 对于初级线圈 N_1 的漏磁通。因为这一部分磁通没有穿过变压器初级线圈 N_1 。漏磁通可以等效为由一个线圈单独产生，这个漏磁通形成了漏感 L_s 。同理可以求得流过变压器初级绕组 N_1 中的电流 I_1 产生的磁通量为：

$$\phi_1 = \mu_0 S H_1 + \mu_0 S_1 H_1 \quad (3)$$

在计算式(3)中，乍看起来，变压器初级线圈 N_1 产生的磁通量 ϕ_1 全部穿过变压器次级线圈 N_2 ，它们之间应该不存在漏磁通。但应该知道，初级线圈在面积 S_1 中产生的磁通量 ϕ_1 的方向与在面积 S_{d2} 中产生的磁通量 ϕ_1' 的方向正好互相相反；因此，变压器初级线圈 N_1 在面积 S_{d2} 中产生的磁通 ϕ_1' ，仍被称为变压器初级线圈 N_1 对变压器次级线圈 N_2 的漏磁通，其相应的等效电感也同样被称为漏感。

漏磁通和漏电感的计算，请参考《新编电子变压器手册》中的详细叙述。