

# 变压器匝间电容的优化

马国状  
威海东兴电子有限公司

**关键词：**变压器，匝间电容

变压器绕组绕在磁芯骨架上，特别是绕组的层数较多时，不可避免的会产生分布电容，由于变压器工作在高频状态下，那么这些分布电容对变压器的工作状态将产生非常大的影响，如引起波形产生振荡，EMC 变差，变压器发热等。

所以，我们很有必要对变压器的分布电容狠狠的研究一把，下面我们就对这个分布电容来展开讨论。

分布电容既然有危害，那么我们就要设法减小这个分布电容的影响，首先我们来分析下分布电容的组成。

变压器的分布电容主要分为 4 个部分：绕组匝间电容，层间电容，绕组电容，杂散电容，下面我们来分别介绍。

首先讲讲绕组匝间电容

我们知道电容的基本构成就是两块极板，当两块极板加上适当的电压时，极板之间就会产生电场，并储存电荷。

那么，我们是否可以把变压器相邻两个绕组看成两个极板呢？答案是可以的，这个电容就是绕组匝间电容。

以变压器初级绕组为例，当直流电压加在绕组两端时，各绕组将平均分配电压，每匝电压为  $V_{bus}/N$ ，也就是说每匝之间的电压差也是  $V_{bus}/N$ 。当初级 MOS 管开关时，此电压差将对这个匝间电容反复的充放电，特别是大功率电源，由于初级匝数少，每匝分配的电压高，那么这个影响就更严重。

但总的来说，匝间电容的影响相对于其他的分布电容来说，几乎可以忽略。

要减小这个电容的影响，我们可以从电容的定义式中找到答案：

$$C = \epsilon S / 4 \pi k d$$

其中 C: 绕组匝间电容量

$\epsilon$  : 介电常数，由两极板之间介质决定

S : 极板正对面积

k : 静电力常量

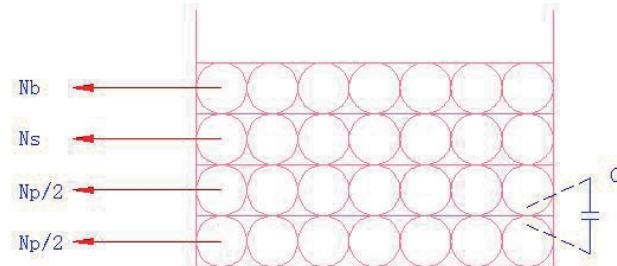
d : 极板间的距离

从上式我们可以看出，可以选用介电常数较低的漆包线来减小匝间电容，也可以增大绕组的距离来减小匝间电容，如采用三层绝缘线。

接下来我们来看绕组的层间电容，这里的层间电容指的是每个单独绕组各层之间的电容。

我们知道，在计算变压器时，一般会出现单个绕组需要绕 2 层或 2 层以上，那么此时的每 2 层之间都会形成一个电场，即会产生一个等效电容效应，我们把这个电容称为层间电容。

如下图：



电容 C 就是层间电容

层间电容是变压器的分布电容中对电路影响最重要的因素，因为这个电容会跟漏感在 MOS 开通与关闭的时候，产生振荡，从而加大 MOS 与次级 Diode 的电压应力，使 EMC 变差。

既然有害处，那么我们就需要想办法来克服它，把它的影响降低到可以接受的范围。

方法一：参照以上的公式，在 d 上作文章，增大绕组的距离来减小层间电容，最有代表性的就是采用三层绝缘线。

但这个方法有缺点，因为线的外径粗了之后，带来的

后果就是绕线层数的增加，而这不是我们想看到的。

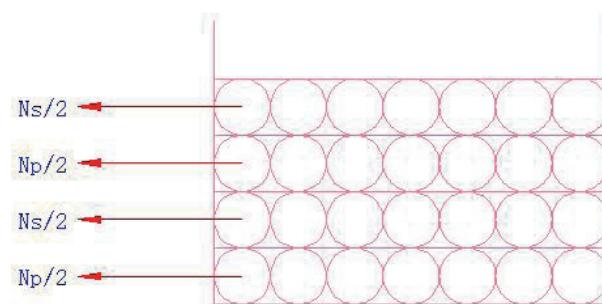
方法二：可以通过选择绕线窗口比较宽的磁芯骨架，因为绕线窗口宽，那么单层绕线可以绕更多的匝数，也意味着可以有效降低绕线的层数，那么层间电容就有效降低了。

这个是最直接的，也是最有效的。

但同样有缺点，选择磁芯骨架要受到电源结构尺寸的限制。

方法三：可以在变压器的绕线工艺上来作文章

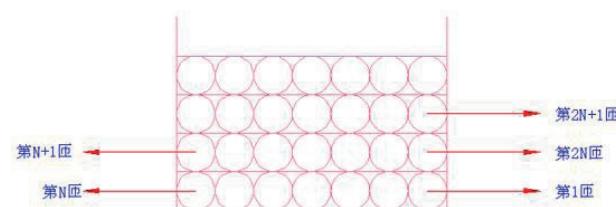
可以采用交叉堆叠绕法来降低层间电容，如下图



此种绕法有个显著缺点，会增加初次级之间的耦合面积，也就是说会加大初次级绕组之间的电容，使 EMC 变差，有点得不偿失的感觉。

方法四：还是在绕制工艺上作文章

先来看普通的绕法

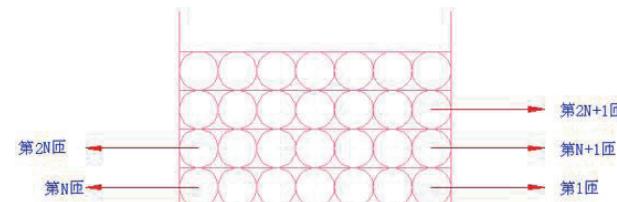


如上图，这个是我们常用的绕法（也叫 U 形绕法），我们可以清楚的看到，第 1 匝与第 2N 匝之间的压差将非常大，在初中我们学过的物理上有讲， $Q=C*U$ ，压差越大，那么在这个电容上储存的电荷就越多，那么这个地方的干

扰电压斜率将非常大，也就是说在这个地方形成的干扰就越大。

我们可以采用 Z 形绕法来降低这个影响

Z 形绕法（也叫折叠绕法）如下



从上图我们可以看到，此种绕法可以显著降低电压斜率，对 EMC 时非常有利的。

缺点就是绕制工艺相对复杂点。

接下来说说绕组电容

顾名思义，绕组电容就是指绕组之间产生的电容，比如说初级绕组  $N_p$  与次级绕组  $N_s$  之间的电容

此电容由于存在于初次级绕组之间，对电路的 EMI 是相当不利的，因为初级产生的共模电流信号可以通过这个电容耦合到次级中去，这就造成了非常大的共模干扰；而共模干扰可能会引起电路噪音或者输出的不稳定。

解决的方法一般就是在初次级之间加一个屏蔽层，并且将这个屏蔽层接到电路中的某点，来降低此电容的影响

一般把这种屏蔽层称为法拉第屏蔽层，一般由铜箔或绕组构成

在用铜箔时，我们一般用 0.9T，或者 1.1T，不选择 1T，因为 1T 的话，容易短路。

那为何不能短路呢，短路会带来什么样的后果？

将磁力线短路了，那么电感就接近零，再反射到初级，那么初级的电感也为零，这个时候初级是通电的，结果……“砰”就炸机了。

所以匝间电容是我们不希望产生的，匝间电容越大，对线路的干扰就越大，严重时会改变电路的参数，甚至造成电路无法工作。所以，在设计变压器时，应尽量进行合理的材料选择，优化绕制结构，以达到减少匝间电容的目的。