

## 共模电感和差模电感

电源滤波器的设计通常可从共模和差模两方面来考虑。共模滤波器最重要的部分就是共模扼流圈，与差模扼流圈相比，共模扼流圈的一个显著优点在于它的电感值极高，而且体积又小，设计共模扼流圈时要考虑的一个重要问题是它的漏感，也就是差模电感。通常，计算漏感的办法是假定它为共模电感的 1%，实际上漏感为共模电感的 0.5% ~ 4% 之间。在设计最优性能的扼流圈时，这个误差的影响可能是不容忽视的。

### 漏感的重要性

漏感是如何形成的呢？紧密绕制，且绕满一周的环形线圈，即使没有磁芯，其所有磁通都集中在线圈“芯”内。但是，如果环形线圈没有绕满一周，或者绕制不紧密，那么磁通就会从芯中泄漏出来。这种效应与线匝间的相对距离和螺旋管芯体的磁导率成正比。共模扼流圈有两个绕组，这两个绕组被设计成使它们所流过的电流沿线圈芯传导时方向相反，从而使磁场为 0。如果为了安全起见，芯体上的线圈不是双线绕制，这样两个绕组之间就有相当大的间隙，自然就引起磁通“泄漏”，这即是说，磁场在所关心的各个点上并非真正为 0。共模扼流圈的漏感是差模电感。事实上，与差模有关的磁通必须在某点上离开芯体，换句话说，磁通在芯体外部形成闭合回路，而不仅仅只局限在环形芯体内。

如果芯体具有差模电感，那么，差模电流就会使芯体内的磁通发生偏离零点，如果偏离太大，芯体便会发生磁饱和现象，使共模电感基本与无磁芯的电感一样。结果，共模辐射的强度就如同电路中没有扼流圈一样。差模电流在共模环形线圈中引起的磁通偏离可由下式得出：

$$\Delta\Phi = \frac{L_{dm} \cdot \Delta I_{dm}}{n} \dots\dots\dots (1)$$

式中， $\Delta\Phi$  是芯体中的磁通变化量， $L_{dm}$  是测得的差模电感， $\Delta I_{dm}$  是差模峰值电流， $n$  为共模线圈的匝数。

由于可以通过控制  $B$  总，使之小于  $B$  饱和，从而防止芯体发生磁饱和现象，有以下法则：

$$I_{dm} < \frac{n \cdot B_{max} \cdot A}{L_{dm}} \dots\dots\dots (2)$$

式中， $I_{dm}$  是差模峰值电流， $B_{max}$  是磁通量的最大偏离， $n$  是线圈的匝数， $A$  是环形线圈的横截面积。 $L_{dm}$  是线圈的差模电感。

共模扼流圈的差模电感可以按如下方法测得：将其一引腿两端短接，然后测量另外两腿间的电感，其示值即为共模扼流圈的差模电感。

### 共模扼流圈综述

滤波器设计时，假定共模与差模这两部分是彼此独立的。然而，这两部分并非真正独立，因为共模扼流圈可以提供相当大的差模电感。这部分差模电感可由分立的差模电感来模拟。

为了利用差模电感，在滤波器的设计过程中，共模与差模不应同时进行，而应该按照一定的顺序来做。首先，应该测量共模噪声并将其滤除掉。采用差模抑制网络

(Differential Mode Rejection NETWORK)，可以将差模成分消除，因此就可以直接测量共模噪声了。如果设计的共模滤波器要同时使差模噪声不超过允许范围，那么就应测量共模与差模的混合噪声。因为已知共模成分在噪声容限以下，因此超标的仅是差模成分，可用共模滤波器的差模漏感来衰减。对于低功率电源系统，共模扼流圈的差模电感足以解决差模辐射问题，因为差模辐射的源阻抗较小，因此只有极少量的电感是有效的。

尽管少量的差模电感非常有用，但太大的差模电感可以使扼流圈发生磁饱和。可根据公式(2)作简单计算来避免磁饱和现象的发生。

### 用 LISN 原理测量共模扼流圈饱和特性的方法

测量共模线圈磁芯(整体或部分)的饱和特性通常是很困难的。通过简单的试验可以看出共模滤波器的衰减在多大程度上受由 60Hz 编置电流引起的电感减小量的影响。进行此项测试需要一台示波器和一个差模抑制网络(DMRN)。首先，用示波器来监测线电压。按如下方法从示波器的 A 通道输入信号，将示波器的时间基准置为 2ms/div，然后将触发信号加在 A 通道上，在交流电压达到峰值时会有线电流产生，此时滤波器效能的降级是意料中的事情。差模抑制网络

(DMRN)的输入端连接到 LISN，输出端用 50 的阻抗进行匹配且与示波器的 B 通道相连。当共模扼流圈工作在线性区时，在输入电流波动期间，B 通道监测到的发射增加值不超过 6—10DB。图 1 为此测试在示波器上显示的结果，上面的曲线为共模发射；下面的曲线为线电压。在线电压峰值期间，桥式整流器正向导通且传送充电电流。

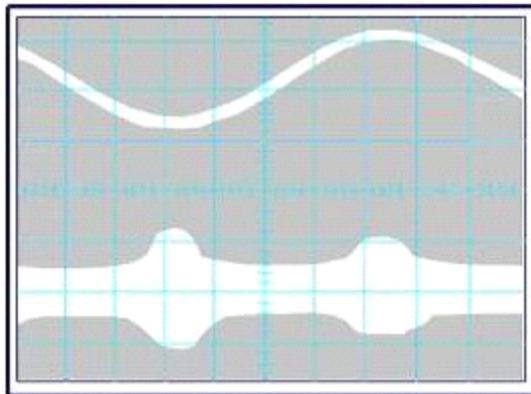


图 1 示波器上显示的由于 60Hz 充电电流引起的共模扼流圈的降级

如果共模扼流圈达到饱和，那么在输入浪涌增加时，发射将会增加。如果共模扼流圈达到强饱和，发射强度与不加滤波器时的情况是一样的，也就是说很容易达到 40dB 以上。

这些实验数据可用其他方法来解释。发射最小值（线电流为 0 的时候）是滤波器无偏置电流时表现出来的效果。峰值发射与最小发射的比率，即降级因子，用来衡量线电流偏移量对滤波器实际效果的影响。降级因子较大表明共模扼流圈磁芯完全没有得到恰当的使用，较好的滤波器的“固有降级因子”差不多在 2—4 之间。它是由两种现象产生的：第一，60Hz 充电电流引起的电感减小（如上所述）；第二，桥式整流器的正向及反向导通。共模发射的等效电路由一个阻抗约为 200PF 的电压源、二极管阻抗和 LISN 的共模阻抗组成，如图 2 所示。当桥式整流器正向偏置时，在源阻抗、25 和 LISN 共模阻抗之间会产生分压现象。当桥整流器反向偏置时，在源阻抗、整流桥反偏电容、LISN 之间产生分压现象。当二极管整流桥反向偏置电容较小时，对共模滤除有一定效果。当整流桥正向偏置时则对共模滤除没有影响。

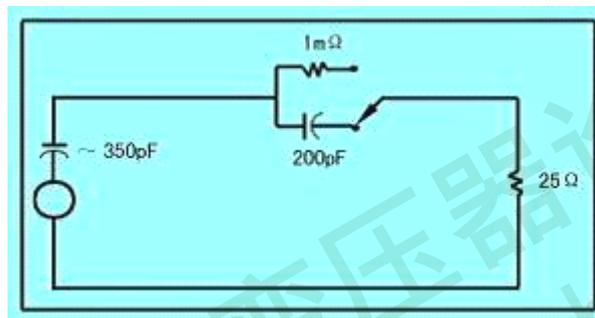


图 2 共模辐射等效电路

由于产生了分压，固有降级因子的预期值为 2 左右。实际值的变化相当大，主要取决于源阻抗和二极管整流桥反向偏置电容的实际大小。在 Flugan 发明的一个电路中，正是应用这个原理来减小整流器的传导发射的。

#### 用电流原理测量共模扼流圈饱和特性的方法

如果测试人员相当谨慎，那么就可以采取类似 MIL-STD-461 中的测试装置来检测共模扼流圈的饱和特性。这个原理的应用如下：测试时采用两只电流探头，低频探头监测线电流，高频探头仅测量共模发射电流。线电流监视器作为触发源。不过，使用电流探头的一个隐患是差模电流衰减是管芯内绕组导线对称性的函数。如果精心合理安排绕线布局的话，30DB 左右的差模电流衰减是能够得到的。即使达到这个衰减值，测得的差模分量也可能超过预期的共模分量值。可用如下两项技术来解决这一问题：第一，将一只 6kHz 转折频率的高阶高通滤波器与示波器串联（注意应用 50 的终端阻抗进行匹配）。第二，在每只 10μF 的电容与电源总线之间接入一根导线。为了测量共模辐射，电流探头应夹在这些载有极小线电流的导线近旁。

#### 共模扼流圈内存在的差模与共模磁通

为了快速且浅显地介绍共模扼流圈的作用，可考虑采用以下论述：“共模扼流圈管芯两侧的

磁场相互抵消，因此不存在磁通使管芯饱和。”尽管这种论述对共模扼流圈作用的直觉叙述具体化了，但实质上并非如此。

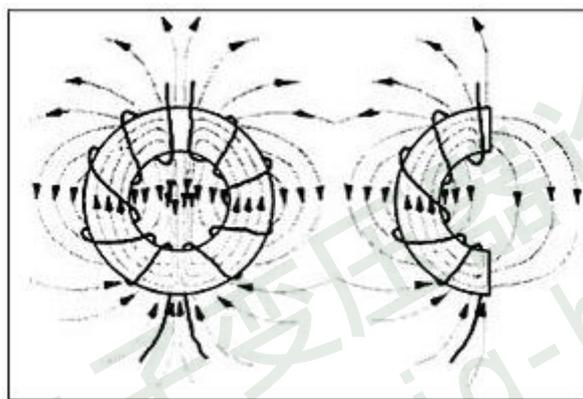
参考以下围绕麦克斯韦方程所进行的讨论：

\* 假设电流密度  $J$  产生磁场  $H$ ，那么就得出结论：附近的另一个电流不会抵消或阻止磁场或者是由此而产生的电场。

\* 同样一个相邻的电流可以导致磁场路径的改变。

\* 在环形共模电感的特殊场合中，每条引线中的差模电流密度可假定是相等的，且方向相反。所以由此而产生的磁场必定在环形磁芯周边上的总和为 0，而在其外部则不为 0！

磁芯的作用就好象它在线圈绕组的间隙处裂为两半时所表现出来的效果一样。每个绕组在环形线圈一半的区域内产生磁场，意指穿过空气的磁场必定会形成自封闭回路，下图是环形磁芯和差模电流磁路的示意图。



大比特电子变压器论坛  
<http://bbs.big-bit.com>