

浅谈共模电感设计和工艺管控

聂应发

田村(中国)企业管理有限公司, 惠州 516003

摘要: 通过对共模电感设计原理和设计方法说明, 而且对进行各种磁芯选择和说明, 提出了各种工艺对共模电感影响, 进而进行优化设计, 达到性价比好的产品。

关键词: 共模电感, 磁芯, 优化设计

Design and process control of Common Mode Choke

Nie ying fa

Tamura corporation of china Ltd., Huizhou 516003

Abstract: Through the description of the design principle and method of common mode inductor, as well as the selection and description of various magnetic cores, the influence of various processes on common mode inductor is proposed, and then the optimal design is carried out to achieve a good cost-effective product.

Keywords: Common mode inductance, Magnetic core, Optimization design

引言

大家都知道, 随着电子设备、计算机与家用电器的大量涌现和广泛普及, 电网噪声干扰日益严重并形成一种公害。特别是瞬态噪声干扰, 其上升速度快、持续时间短、电压振幅度高(几百伏至几千伏)、随机性强, 对微机和数字电路易产生严重干扰, 常使人防不胜防, 这已引起国内外电子界的高度重视。电磁干扰滤波器(EMI Filter)是近年来被推广应用的一种新型组合器件。它能有效地抑制电网噪声, 提高电子设备的抗干扰能力及系统的可靠性, 可广泛用于电子测量仪器、计算机机房设备、开关电源、测控系统等领域。如何进行优化设计, 充分发挥其重要作用, 是摆在磁性元件开发者重要课题, 本文拟对共模电感设计和材料选材及工艺管控提供一些有益思路, 供广大设计开发提供有益思路和探讨方法等参考使用。

常见的滤波电感主要有三种: 共模滤波电感、差模滤波电感和整流滤波电感。本文主要讲述共模电感, 要设计一款共模电感需要一定的理论知识和丰富经验, 才能设计合理的共模电感, 下面我们来说明共模电感构造原理及应用。

1 电磁干扰滤波器的构造原理及应用

1.1 构造原理

共模电感原理: 共模电感实质上是一个双向滤波器, 一方面要滤除信号线上共模电磁干扰, 另一方面又要抑制本身不向外发出电磁干扰, 避免影响同一电磁环境下其他电子设备的正常工作。从工作原理看, 共模电感和共模电容组成一个低通滤波器, 在不同频率范围, 其电磁干扰类型、传播机制及其抑制技术是不同的, 例如, 对于共模干扰来说, 在 1~10MHz 频段, 其干扰衰减特性主要与线圈匝间电容等因素有关, 在大于 10MHz 时, 其它诸多因素, 如漏感、总损耗等开始显现作用, 而对于 0.01~1MHz 频段, 电感器磁芯的电感量及其频率特性则起重要作用。

电源噪声是电磁干扰的一种, 其传导噪声的频谱大致为 10kHz~30MHz, 最高可达 150MHz。根据传播方向的不同, 电源噪声可分为两大类: 一类是从电源进线引入的外界干扰, 另一类是由电子设备产生并经电源线传导出去的噪声。这表明噪声属于双向干扰信号, 电子设备既是噪声干扰的对象, 又是一个噪声源。若从形成特点看, 噪

声干扰分串模干扰与共模干扰两种。串模干扰是两条电源线之间(简称线对线)的噪声,共模干扰则是两条电源线对大地(简称线对地)的噪声。因此,电磁干扰滤波器应符合电磁兼容性(EMC)的要求,也必须是双向射频滤波器,一方面要滤除从交流电源线上引入的外部电磁干扰,另一方面还能避免本身设备向外部发出噪声干扰,以免影响同一电磁环境下其他电子设备的正常工作。此外,电磁干扰滤波器应对串模、共模干扰都起到抑制作用。

1.2 基本电路及典型应用

基本电路及典型应用但其工作原理完全相同,工作原理如图1所示:

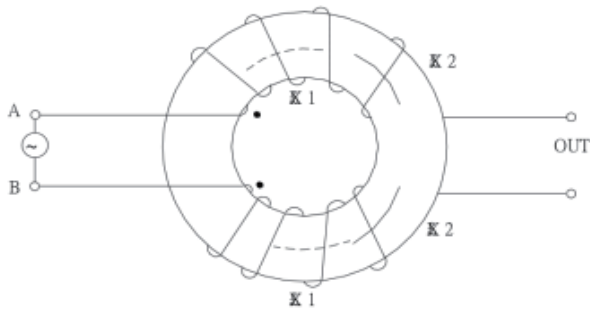


图1 共模电感的作用

图1共模电感的作用:图所示,在同一磁环上绕上两组方向相反的线圈,据右手螺旋管定则可知,当在输入端A、B两端加上极性相反,信号幅值相同的差模电压时,有实线所示的电流 i_2 ,在磁芯中产生实线所示的磁通 Φ_2 ,只要保证两绕组完全对称,则磁芯中两不同方向之磁通相互抵消。总磁通为零,线圈电感几乎为零,对差模信号无阻抗作用。若在输入端A、B两端加上极性相同,幅值相等的共模信号时,有虚线所示的电流 i_1 ,在磁芯中产生虚线所示的磁通 Φ_1 ,则磁芯中磁通有相同的方向而互相加强,使每一线圈的电感值为单独存在时的两倍,而 $X_L = \omega L$,因此,此一绕法的线圈对共模干扰有很强的抑制作用。共模电感是一个以铁氧体为磁芯的共模干扰抑制器件,它由两个尺寸相同,匝数相同的线圈对称地绕制在同一个铁氧体环形磁芯上,形成一个四端器件,要对于共模信号呈现出大电感具有抑制作用,而对于差模信号呈现出很小的电感几乎不起作用。原理是流过共模电流时磁环中的磁通相互叠加,从而具有相当大的电感量,对共模电流起到抑制作用,而当两线圈流过差模电流时,磁环中的磁通相互抵消,

几乎没有电感量,所以差模电流可以无衰减地通过。因此共模电感在平衡线路中能有效地抑制共模干扰信号,而对线路正常传输的差模信号无影响。

电磁干扰滤波器的基本电路如图2所示。

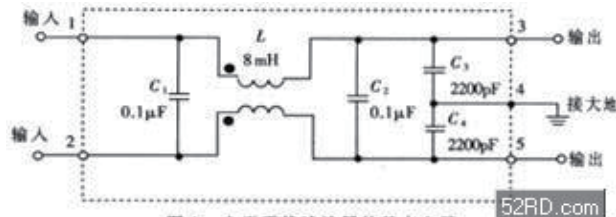


图2 电磁干扰滤波器的基本电路

该五端器件有两个输入端、两个输出端和一个接地端,使用时外壳应接通大地。电路中包含共模扼流圈(亦称共模电感)L、滤波电容 $C_1 \sim C_4$ 。L对串模干扰不起作用,但当出现共模干扰时,由于两个线圈的磁通方向相同,经过耦合后总电感量迅速增大,因此对共模信号呈现很大的感抗,使之不易通过,故称作共模扼流圈。它的两个线圈分别绕在低损耗、高导磁率的铁氧体磁环上,当有电流通过时,两个线圈上的磁场就会互相加强。L的电感量与EMI滤波器的额定电流I有关,参见表1。

表1 电感量范围与额定电流的关系

额定电流 I (A)	1	3	6	10	12	15
电感量范围 L (mH)	8~23	2~4	0.4~0.8	0.2~0.3	0.1~0.15	0.0~0.08

需要指出,当额定电流较大时,共模扼流圈的线径也要相应增大,以便能承受较大的电流。此外,适当增加电感量,可改善低频衰减特性。 C_1 和 C_2 采用薄膜电容器,容量范围大致是 $0.01\text{mF} \sim 0.47\mu\text{F}$,主要用来滤除串模干扰。 C_3 和 C_4 跨接在输出端,并将电容器的中点接地,能有效地抑制共模干扰。 C_3 和 C_4 亦可并联在输入端,仍选用陶瓷电容,容量范围是 $2200\text{pF} \sim 0.1\mu\text{F}$ 。为减小漏电流,电容量不得超过 $0.1\mu\text{F}$,并且电容器中点应与大地接通。 $C_1 \sim C_4$ 的耐压值均为630VDC或250VAC。图3示出一种两级复合式EMI滤波器的内部电路,由于采用两级(亦称两节)滤波,因此滤除噪声的效果更佳。针对某些用

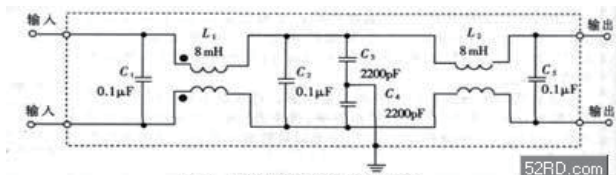


图3 两级复合式EMI滤波器电路

户现场存在重复频率为几千赫兹的快速瞬态群脉冲干扰的问题,国内外还开发出群脉冲滤波器(亦称群脉冲对抗器),能对上述干扰起到抑制作用。

共模电感是一个以铁氧体为磁芯的共模干扰抑制器件,它由两个尺寸相同,匝数相同的线圈对称地绕制在同一个铁氧体环形磁芯上,形成一个四端器件,要对于共模信号呈现出大电感具有抑制作用,而对于差模信号呈现出很小的漏电感几乎不起作用。原理是流过共模电流时磁环中的磁通相互叠加,从而具有相当大的电感量,对共模电流起到抑制作用,而当两线圈流过差模电流时,磁环中的磁通相互抵消,几乎没有电感量,所以差模电流可以无衰减地通过。因此共模电感在平衡线路中能有效地抑制共模干扰信号,而对线路正常传输的差模信号无影响。

共模电感在制作时应满足以下要求:

- 1) 绕制在线圈磁芯上的导线要相互绝缘,以保证在瞬时过电压作用下线圈的匝间不发生击穿短路。
- 2) 当线圈流过瞬时大电流时,磁芯不要出现饱和。
- 3) 线圈中的磁芯应与线圈绝缘,以防止在瞬时过电压作用下两者之间发生击穿。
- 4) 线圈应尽可能绕制单层,这样做可减小线圈的寄生电容,增强线圈对瞬时过电压的而授能力。
- 5) 电感的温度系数应小,而分布电容宜小。直流电阻应尽量小。
- 6) 感应电感应尽量大,电感值需稳定。绕组间之绝缘性须满足安规要求。

通常情况下,同时注意选择所需滤波的频段,共模阻抗越大越好,因此我们在选择共模电感时需要看器件资料,主要根据阻抗频率曲线选择。另外选择时注意考虑差模阻抗对信号的影响,主要关注差模阻抗,特别注意高速端口。

2 共模电感设计

2.1 导线规格

根据电源滤波器的额定电流,选择合适的电流密度,确定铜线的截面直径规格。

2.2 电感量 L 的确定

$$N_{\min} = \sqrt{\frac{L}{A_L}}$$

A) 根据装置的实测传导噪音(传入或发射)值与要求

的级别标准值之差,计算出滤波器所需的插入损耗值(通常留出 20dB 的余量),然后换算成所需阻抗值,再计算所需电感量。一般来说,由于实际装置的阻抗与标准的两端阻抗(50Ω)差别很大以及寄生电感,电容的影响,计算误差较大。

B) 经验估算:例如,对于开关电源的电源滤波器,其共模电感的经验 L 值大体如表 2。

电磁兼容标准	经验共模电感量 L(mH)
FCC	3.0
GB9254	8.0
开关 f=100kHz	10.0
欧洲 CE 认证 开关 f=70kHz	15.0
开关 f=50kHz	30.0

C) 材料选择:根据电感量 L,重点频段范围,对小型号化尺寸的要求以及负载的漏电和三相电流不平衡情况,进行磁芯材料的选择。

D) 根据各共模电感生产厂家产品目录中的各种尺寸(环形)磁芯的每匝电感量 AL 值数据,计算出最少匝数。

E) 根据各厂家产品目录中的各种磁芯的外形的内径尺寸,选择合适的磁芯尺寸规格,使得在 4/10 的内圆上能够单层绕出 N 匝合适直径的铜线。

另外高端产品使用磁芯纳米晶态合金,其定义:纳米晶合金(Nanocrystalline alloy)是由铁元素为主,加入少量的 Nb、Cu、Si、B 元素所构成的合金经快速凝固工艺所形成的一种非晶态材料,这种非晶态材料经热处理后可获得直径为 10~20nm 的微晶,弥散分布在非晶态的基体上,被称为微晶、纳米晶材料或纳米晶材料。注:纳米晶合金和非晶合金的最大区别在于,纳米晶合金是通过热处理来获得纳米晶晶粒。纳米晶软磁合金现在主要有三类:名为 Finemet 的 FeCuNbSiB 系合金(1988 年发明);名为 Nanoperm 的 FeMBCu 系合金(M=Nb、Zr 系元素、1990 年发明);名为 Hitperm 的 FeCoZrBSi 系合金(1998 年发明) Finemet 合金是日立金属公司的 Y.Yoshizawa 等人发明的。最早公布的合金成份、商品牌号及性能见表 1。Finemet 合金的标准成份 Fe73.5Cu1Nb3Si13.5B9,它与商品牌号 FT-1 的 Bs 值不同,因此二者的成份应略有不同。Fe73.5Cu1Nb3Si13.5B9 合金在不同 Br 状态的磁性比商品牌号 FT-1 也优越。

FERRITE MATERIALS FOR EMI PREVENTION/EMC and PULSE TRANSFORMER

高透磁率材標準材質特性
High μ i Material Characteristics



標準材質特性

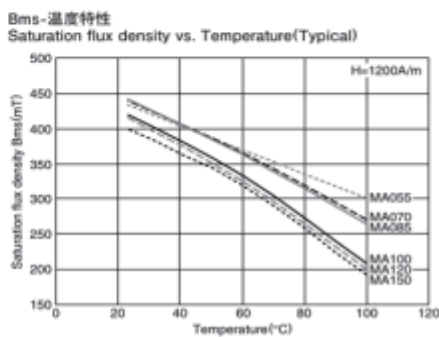
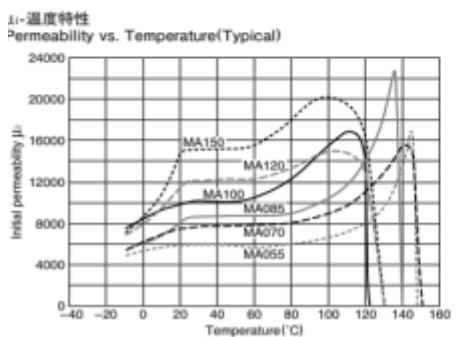
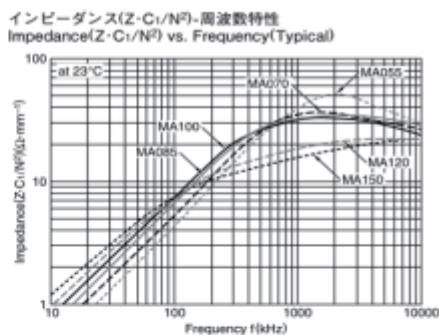
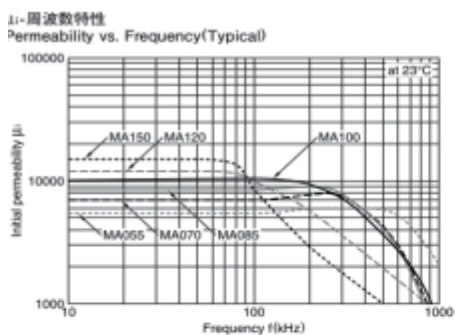
Material Characteristics

材質名 Material		MA055	MA070	MA085	MA100	MA120	MA150
初透磁率 Initial permeability	μ_i	5500±20%	7000±25%	8500±25%	10000±25%	12000±30%	15000±30%
実効飽和磁束密度(1200A/m) Saturation flux density at 1200A/m	Bms (mT)	434	440	422	415	410	400
実効飽和残留磁束密度 Remanence	Brms (mT)	67	93	66	76	80	85
実効飽和保磁力 Coercivity	Hcms (A/m)	5.2	3.4	3.3	3.0	3.0	2.0
相対損失係数(10kHz) Relative loss factor at 10kHz	$\tan\delta/\mu_i \times 10^{-6}$	0.75	1.4	1.3	1.9	6.4	6.8
初透磁率の相対温度係数 Relative temperature factor	$\alpha_{\mu i} \times 10^{-6}$	-0.5~2.0	-0.5~2.0	-0.5~2.0	-0.5~2.0	-0.5~2.0	-0.5~2.0
キュリー温度 Curie temperature	Tc (°C)	140min.	130min.	130min.	115min.	115min.	115min.
抵抗率 Resistivity	ρ (-m)	0.8min.	0.3min.	0.2min.	0.1min.	0.02min.	0.02min.
密度 Density	d (kg/m ³)	4.9×10 ³	4.95×10 ³	4.95×10 ³	5.0×10 ³	5.0×10 ³	5.0×10 ³

1A/m=4 π ×10⁻³Oe, 1mT=10Gauss

MA055~MA100は材質評価用標準コア(R31/19/8Aリングコア)、MA120とMA150は材質評価用標準コア(R20/10/5Aリングコア)における特性を示しています。

(典型 JFE 高導鉄氧体磁芯, 应用在共模电感)



(典型 JFE 高導鉄氧体磁芯电气特性)

表1 Finemet型合金的成份商品牌号和性能[3]

合金成份或牌号 {at%}	带厚 {μm}	B _s {T}	B _r /B _s {%}	H _L {A/m}	μ _s {1kHz}	P _{0.2/100t} {kW/m ² }	λ _s {×10 ⁻⁴ }	T _c {K}
Fe _{12.5} Cu ₁ Nb ₃ Si _{13.5} B ₀	18	1.24	54	0.53	100000	280	+2.1	843
Fe _{12.5} Cu ₁ Nb ₃ Si _{16.5} B ₀	18	1.18	58	1.1	75000	280	-0	843
FT-1H	20	1.35	90	0.8	5000	950	+2.3	843
FT-1M	20	1.35	60	1.3	70000	350	+2.3	843
FT-1L	20	1.35	7	1.6	22000	310	+2.3	843

T_H=0.44/n

表1 Finemet型合金的成份商品牌号和性能[3]

合金成份或牌号 {at%}	带厚 {μm}	B _s {T}	B _r /B _s {%}	H _L {A/m}	μ _s {1kHz}	P _{0.2/100t} {kW/m ² }	λ _s {×10 ⁻⁴ }	T _c {K}
Fe _{12.5} Cu ₁ Nb ₃ Si _{13.5} B ₀	18	1.24	54	0.53	100000	280	+2.1	843
Fe _{12.5} Cu ₁ Nb ₃ Si _{16.5} B ₀	18	1.18	58	1.1	75000	280	-0	843
FT-1H	20	1.35	90	0.8	5000	950	+2.3	843
FT-1M	20	1.35	60	1.3	70000	350	+2.3	843
FT-1L	20	1.35	7	1.6	22000	310	+2.3	843

T_H=0.44/n

2.3 共模电感器之设计步骤

Step 0 SPEC 取得: EMI 允许级别, 应用位置。

Step 1 电感值确定。

Step 2 core 材质及规格确定。

Step 3 绕组匝数及线径确定。

Step 4 打样

Step 5 测试

示例 1: Step 0 如图 4 所示 EMI 滤波电路

C_x=1.0uF C_y=3300PF EMI 等级: Fcc Class A

Type: Ac Common Mode Choke

Step 1: 电感 (L) 确定: 由电路图可知共模信号由 L3 和 C2、C3 组成的共模滤波器抑制, 实际 L3 与 C2 和 C3 构成两路 LC 串行电路, 分别吸收 L 和 N 在线的噪声。只要确定滤波电路的截止频率, 也已知电容容量 C, 则可以下式求出电感 L。

$$f_0 = 1 / (2\pi \sqrt{LC}) \rightarrow L = 1 / ((2\pi f_0)^2 \times C)$$

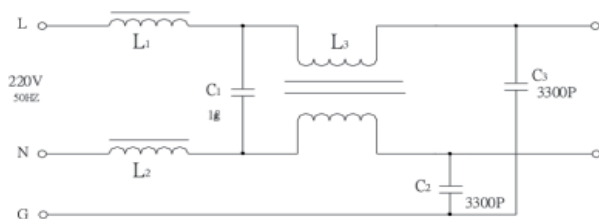


图 4 实际 EMI 滤波器

Step 2: 如图 4 所示 EMI 滤波电路

C_x=1.0uF C_y=3300PF EMI 等级: Fcc Class A

Type: Ac Common Mode Choke

Step 1: 电感 (L) 确定:

由电路图可知共模信号由 L3 和 C2、C3 组成的共模滤波器抑制, 实际 L3 与 C2 和 C3 构成两路 LC 串行电路, 分别吸收 L 和 N 在线的噪声。只要确定滤波电路的截止频率, 也已知电容容量 C, 则可以下式求出电感 L。

$$f_0 = 1 / (2\pi \sqrt{LC}) \rightarrow L = \sqrt{\frac{1}{(2\pi \times f_0)^2 \times C}} \quad \text{通常}$$

EMI 测试带宽如下:

传导干扰: 150KHZ 30MHZ (注: VDE 标准 10KHZ~30MHZ)

辐射干扰: 30MHZ 1GHZ

实际的滤波器无法达到理想滤波器那样陡峭的阻抗曲线, 通常可将截止频率设定在 50KHZ 左右。在此, 假设 f₀=50KHZ, C=3300pF。

则

$$L = \sqrt{\frac{1}{(2\pi \times f_0)^2 \times C}} = \sqrt{\frac{1}{(2 \times 3.14159 \times 50000)^2 \times 3300 \times 10^{-12}}} = 3.07\text{mH}$$

L₁、L₂、C₁ 组成 (低通) 常模滤波器, 线间电容

有 1.0uF, 则常模电感为:

$$L = \sqrt{\frac{1}{(2 \times 3.14159 \times 50000)^2 \times 10^{-6}}} = 10.14 \mu\text{H}$$

如此, 可得到理论要求的电感值, 若想获得更低的截止频率 f_0 , 则可进一步加大电感值, 截止频率一般不低于 10KHZ。理论上电感量越高对 EMI 抑制效果越好, 但过高的电感将使截止频率更低, 而实际的滤波器只能做到一定带宽, 也就使高频噪声的抑制效果变差 (一般开关电源的噪声成分约为 5~10MHZ 间, 但也有超过 10MHZ 之情形)。另外, 电感量愈高, 则绕线匝数愈多, 或 CORE 之 u_i 越高, 如此将造成低频阻抗增加 (DCR 变大)。匝数增加使分布电容也随之增大 (如图 4), 使高频电流全部经此电容流通。过高的 u_i 使 CORE 极易饱和, 同时制作也极困难, 成本也较高。

Step 3: CORE 材质及 SIZE 确定

从前述设计要求中可知, 共模电感器需不易饱和, 如此就需要选择低 B-H 角形比之材料, 因需要较高的电感值, 磁芯的 u_i 值也就要高, 同时还必须有较低的磁芯损耗和较高的 B_s 值, 符合上述要求之 CORE 材质, 目前以 Mn-Zn 铁氧体材料 CORE 最为合适。CORE SIZE 在设计时并无一定的规定, 原则上只要符合所需电感量, 且在允许的低频损耗范围内, 以所设计的产品体积最小化即可。因此, CORE 材质及 SIZE 选取应以成本、允许损耗、安装空间等作考虑。共模电感常用 CORE 之 u_i 约在 5000~15000 之间。纳米晶磁芯也有低的铁损, 高的 B_s 和较低的 B-H 角形比率, 且其 u_i 较高, 故也被应用于共模电感, 而金属磁粉芯磁芯因 U 值低只作为差模电感器之优选材料。

Step4: 确定匝数 N 和线径 dw

首先确定 CORE 之规格, 如本例采用 T18×10×7 $u_i=10K$ 、 $AL=8230 \pm 30\%$, 则:

$$N = \sqrt{\frac{L}{AL}} = \sqrt{\frac{3.07 \times 10^{-6}}{8230 \times 70\%}} = 23 \text{ TS}$$

线径以电流密度 3~5A/mm² 为选择原则, 若空间允许可选择尽量低的电流密度。

假设本例输入电流 $I_i=1.2A$, 取 $J=4A/mm^2$

$$\text{则 } Aw = 1.2/4 = 0.3 \text{ mm}^2 \rightarrow \Phi dw = \sqrt{\frac{0.3 \times 4}{3.14159}} = \Phi 0.70 \text{ mm}$$

实际的共模电感还必需通过实做样品进行测试, 方可

确认设计之可靠性, 因为制作工艺的差异也将导致电感参数的差异而影响滤波效果, 如分布电容的增加, 将使高频噪声更易传递, 两绕组的不对称性, 使两组感量差异变大, 对常模信号形成一定阻抗。

2.4 小结

1> 共模电感器的作用是滤除线路中的共模噪声, 设计时要求两绕组具有完全对称的结构, 电参数相同。

2> 共模电感的分布电容对抑制高频噪声有负面影响, 应尽量减小。

3> 共模电感的感值与须滤除的噪声频带及配合电容量有关, 通常感值在 2mH~50mH 之间。

例 2, 比较铁氧体与纳米晶实例电源成品: 230W 电压 230V, 电流 1A 开关频率 100kHz, 无滤波器噪声级同种功能 L1 滤波器。

铁氧体共模电感: 磁芯尺寸: 25×15×10mm
 $N=2 \times 18 \text{ Turns}$ 铜线 $\Phi 0.5$ 重量: 20g $L_1=2 \times 2.4 \text{ mH}$
从铁氧体磁芯目录不难找出以下参数

$$A_e = 0.415 \text{ (cm}^2\text{)} \quad L_e = 6.28 \text{ (cm)} \quad u_i = 9000, \quad AL = 7150 \text{ nH/n}^2$$

通过以下计算可以得出:

$$N = \sqrt{\frac{L}{AL}} = \sqrt{\frac{2400}{7150/1000}} = 18 \text{ T}$$

$$\text{单边 } G = 6.9898 \times 18 \times ((25-15+10) \times 2 + 0.5 \times 4) / 2 \times 0.5^2 / 100 = 10 \text{ G}$$

纳米晶共模电感: 磁芯尺寸 16×12.5×6mm
 $N=2 \times 17 \text{ Turns}$ 铜线 $\Phi 0.5$ 重量: 10.4g $L_1=2 \times 2.4 \mu\text{H}$

从铁氧体磁芯目录不难找出以下参数:

$$A_e = 0.0872 \text{ (cm}^2\text{)} \quad L_e = 4.47 \text{ (cm)} \quad u_i = 35000, \quad AL = 8304 \text{ nH/n}^2$$

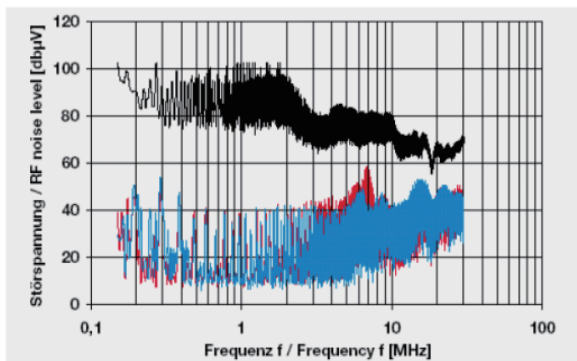
通过以下计算可以得出:

$$N = \sqrt{\frac{L}{AL}} = \sqrt{\frac{2400}{8304/1000}} = 17 \text{ T}$$

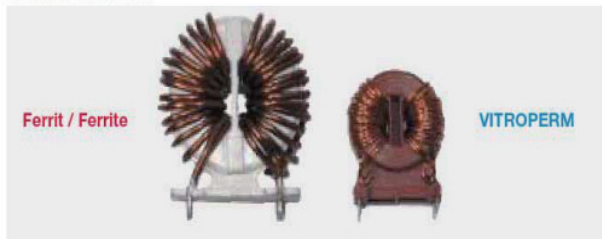
$$\text{单边 } G = 6.9898 \times 18 \times ((16-12.5+6) \times 2 + 0.5 \times 4) / 2 \times 0.5^2 / 100 = 5.2 \text{ G}$$

因为纳米晶比铁氧体贵 6 倍以上, 而铜线又减少近一半, 总体比较还纳米晶磁材的共模电感贵一些, 所以只适用高端和高科技领域。下记从体积和阻抗-频率特性看出, 纳米晶磁材的共模电感有明显优势。

基本相同的抑制效果:



所用磁芯大小的比较:



3 共模电感制作工艺

1) 从共模电感磁芯分析, 这高磁导磁芯很容易受外力影响, 变化很大, 容易出现电感急速变小情况, 所以在磁芯外加磁盖或外半包胶带来缓冲对磁芯的应力作用, 同时也必有 PEW+ 尼龙漆包线进行绕线, 效果更好些。

2) 对磁芯绕线必须起、尾头进行保护起来, 防止出现

刺破磁芯绝缘层, 进而破坏耐压。

3) 在检查测试必须注意, 电感公差范围应放大些, 一般在 +/-25% 以上, 两侧必须进行匝比测试, 这个很重要, 否则 Q 值严重减小及温升变得很多。

4) 在考察两侧安全距离时必须按照电源变压器初级异极间安全距离来测试, 一般为 3.0mm 以上, 耐压测试至 2KV 以上测试, 同时匝间层间绝缘也必须进行脉冲实验测试。下记一实例

4 结论

通过对于共模电感选材和制造工艺说明, 以及共模电感设计一些方法, 进而说明对于专业设计磁性元件, 还需具备对材料特性熟悉及应用。同时还需借鉴同时有益新产品和新工艺, 多参加一些同行技术研讨会和材料技术学习会。只有在实践不断积累和总结, 在理论更加丰富结合起来, 一定能达到很好的设计水平。

作者简介

聂应发 (1972 -), 男, 广东惠州人, 课长, 研究方向为高、低频电子变压器及电感开发设计。

コア磁芯	C-C3-30162 高导铁氧体T22X14X12.7
材质	KH15K
磁芯外包胶带	(20)060KPT 1圈半包
卷线棒	φ G1或4.5
电线	1-PEW 1-PEWN, 1-EI-AIW TAI-I ELECTRIC WIRE 台一 260mmX2 18g
电线保护テープ 电线保护胶纸	保護テープ or ホットメルト 保護胶纸或热融胶

保護テープ or
ホットメルト
保護胶纸或热融胶

(120mm)

銅線

无 5x2 | 5x2

Φ 1.6 1-PEWN(台一电线)

磁芯

机台

卷线棒

保護テープ or
ホットメルト
保護胶纸或热融胶

A側: 2根均卷5圈
A側: 2本平均巻き線5ター

B側: 2根均卷5圈
B側: 2本平均巻き線5ター

卷线方法:

1) コアの引き出す線は5Tまで巻く(第一層)
A側とB側は対象に巻線すること

巻線方法:

1) 磁芯側引出銅線巻5T(第一層)
※A側とB側用同样的方法巻線

卷線の傷/卷线伤

× 傷 划伤

× ビンホール 针孔

× 皮膜破裂 皮膜剥れ

× 皮膜破裂 皮膜剥れ

卷線の状態/卷线状态

× キンク 扭结

× クロス 交叉

下转176页