

EMC-PRODUCTS

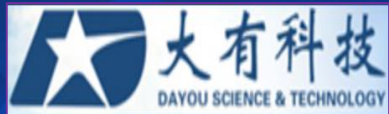
共模滤波磁芯及电感

Common Mode Cores and Chokes

周国华 博士

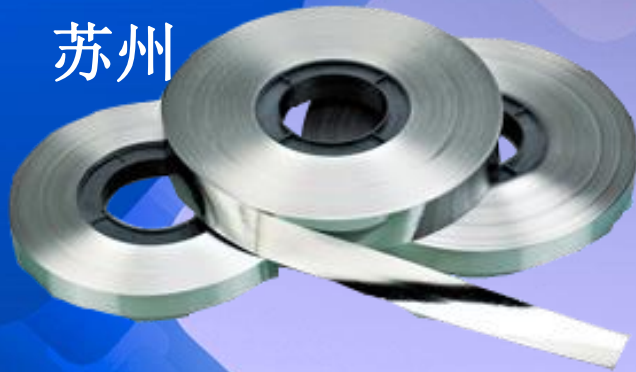
2018年7月27日

苏州




江西大有科技有限公司

<http://www.dayou-tech.com>



目

录

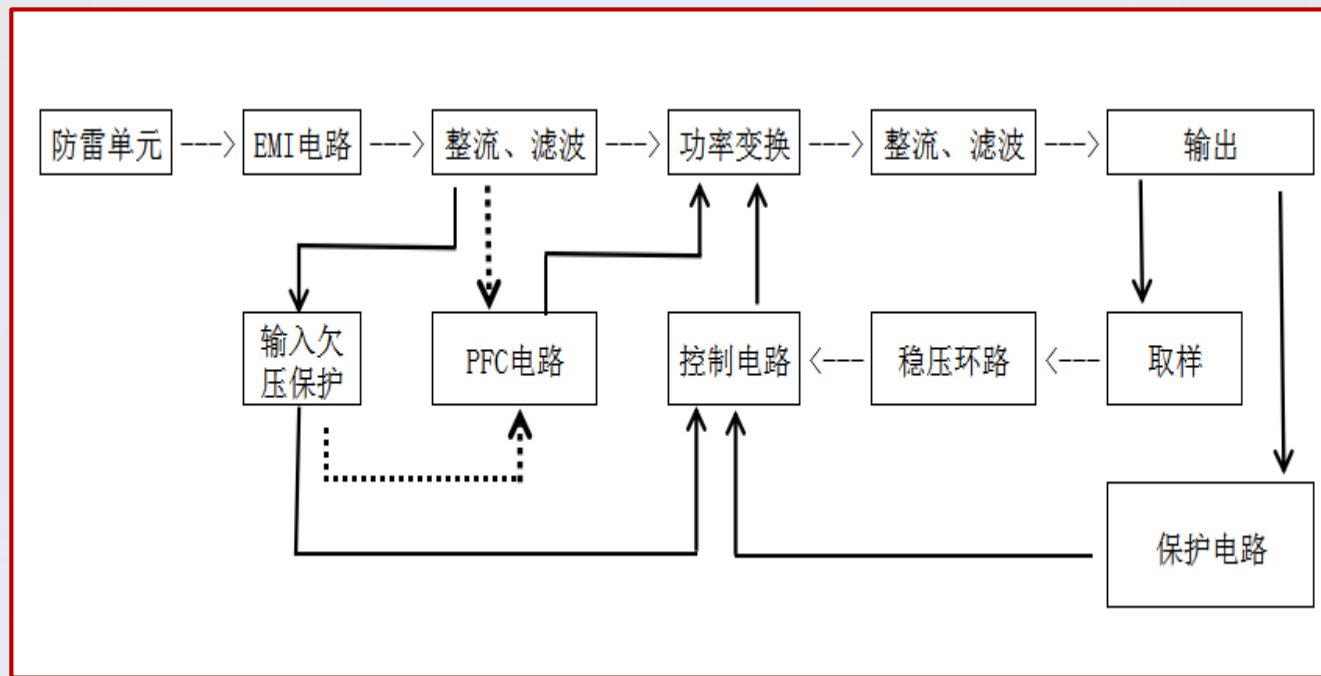
- 
- 开关电源电路结构
 - 开关电源EMI干扰
 - 共模电感关键参数
 - 材料特性对比
 - 应用案例
 - 大有科技产品介绍

开关电源发展趋势



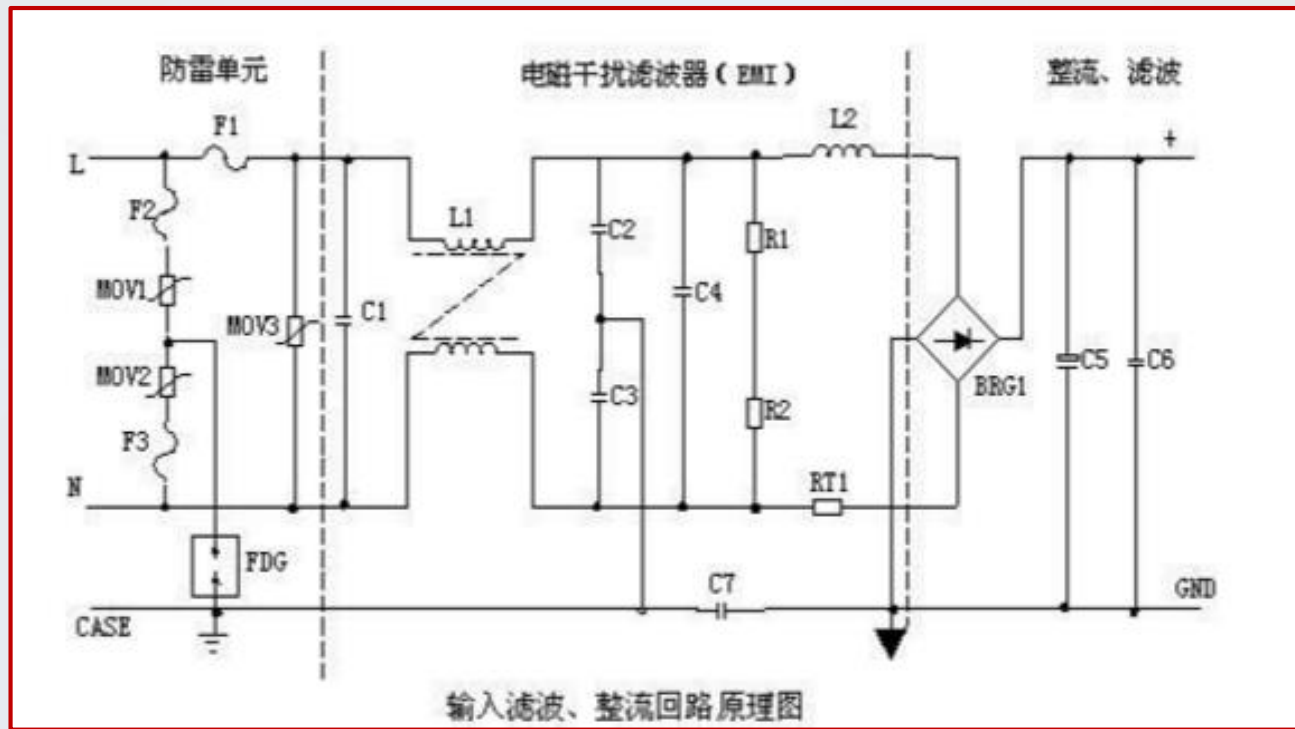
- 1) 高频化
- 2) 小型化
- 3) 高功率密度
- 4) 模块化
- 5) 高效化

开关电源电路结构



开关电源方框图

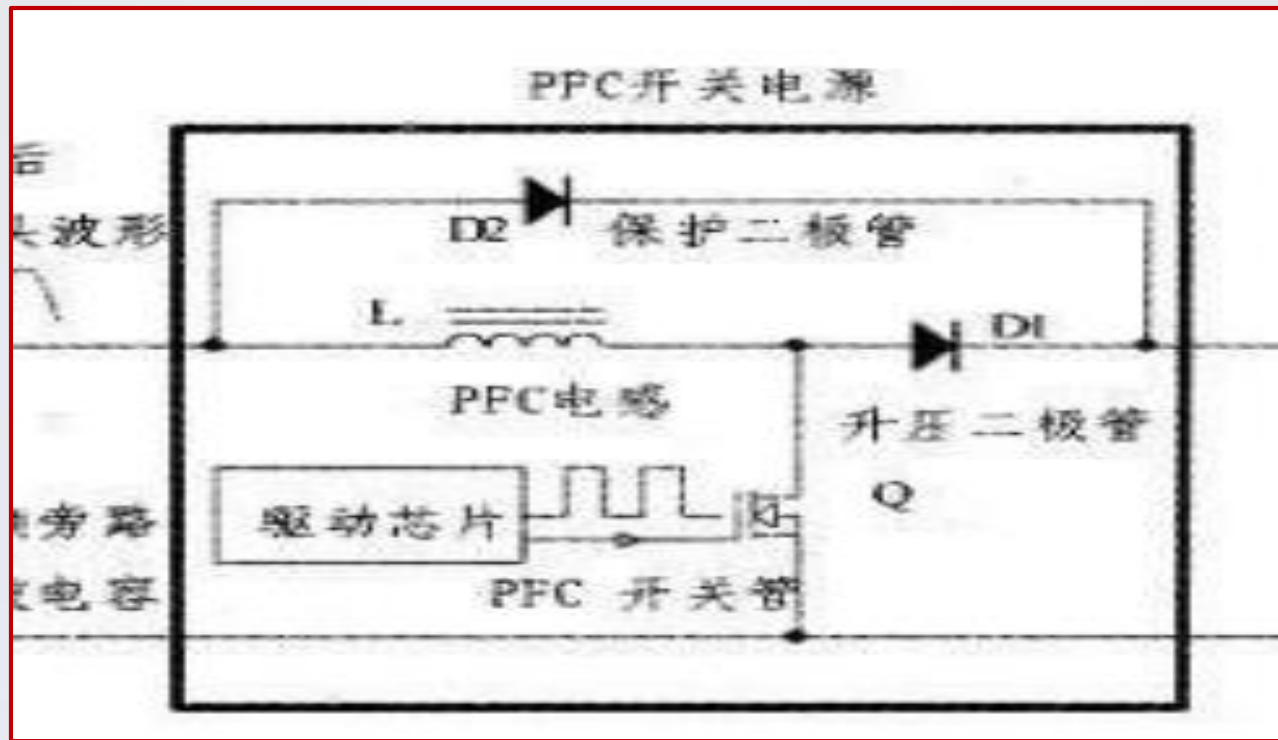
开关电源电路结构



开关电源中主要磁元件与使用材料——EMI滤波

1. 共模电感 —— 铁氧体磁芯、纳米晶磁芯
2. 差模电感 —— 棒形铁氧体、铁基非晶磁芯

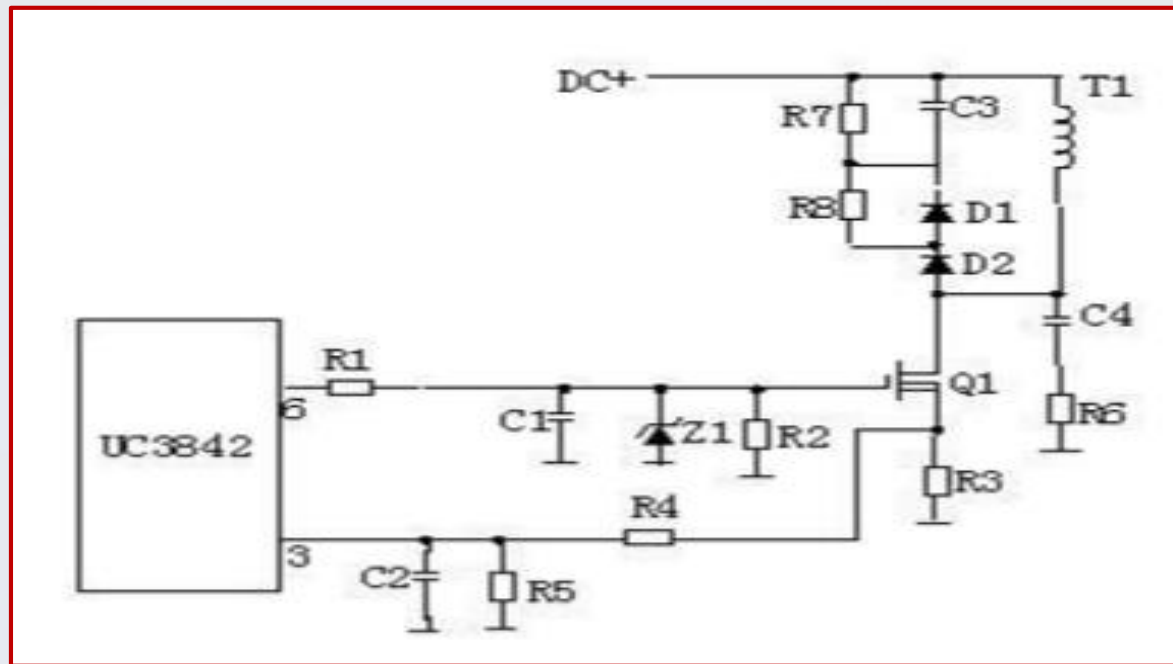
开关电源电路结构



开关电源中主要磁元件与使用材料——功率因素校正电路

PFC电感 —— 气隙非晶磁芯、磁粉芯

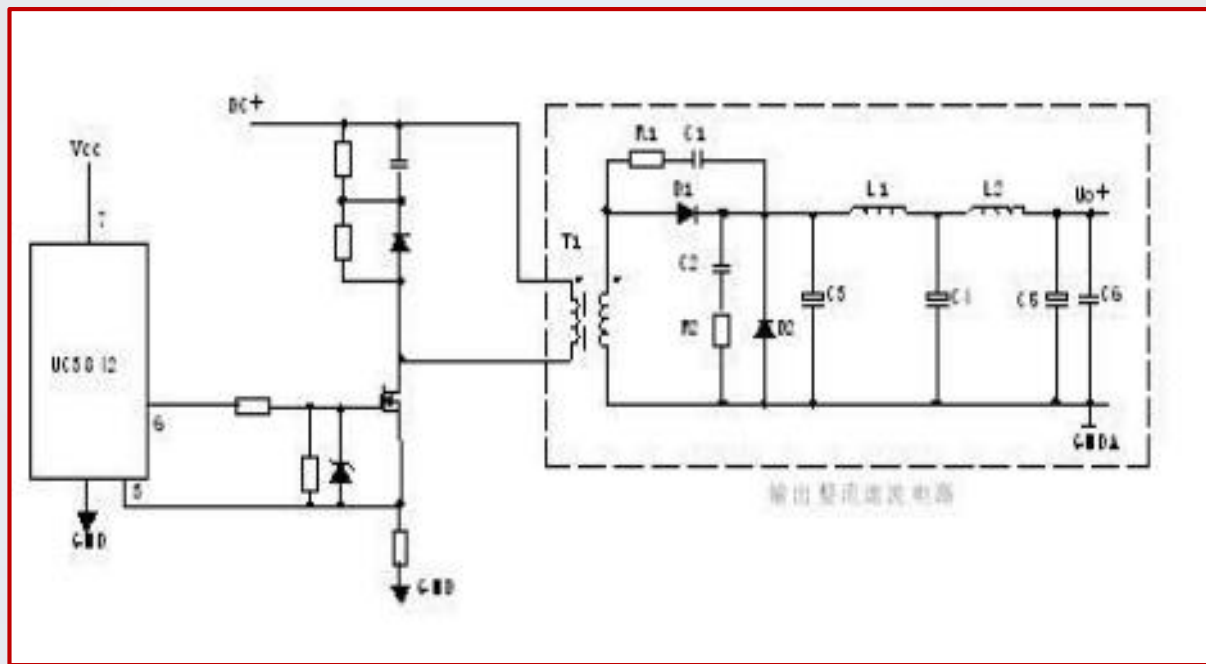
开关电源电路结构



开关电源中主要磁元件与使用材料——功率变换电路

1. 高频变压器 --- 铁氧体
2. 尖峰抑制器 --- 铁氧体、纳米晶、钴基非晶
3. 谐振电感 (LLC) --- 气隙铁氧体磁芯、磁粉芯

开关电源电路结构



开关电源中主要磁元件与使用材料——**输出电路**

1. 尖峰拟制器 —— 铁氧体磁芯、纳米晶磁芯、钴基非晶磁芯
2. 输出电感 —— 磁粉芯、铁基非晶磁芯
3. 磁放大（3.3V输出）—— 纳米晶磁芯、钴基非晶磁芯

开关电源电路结构

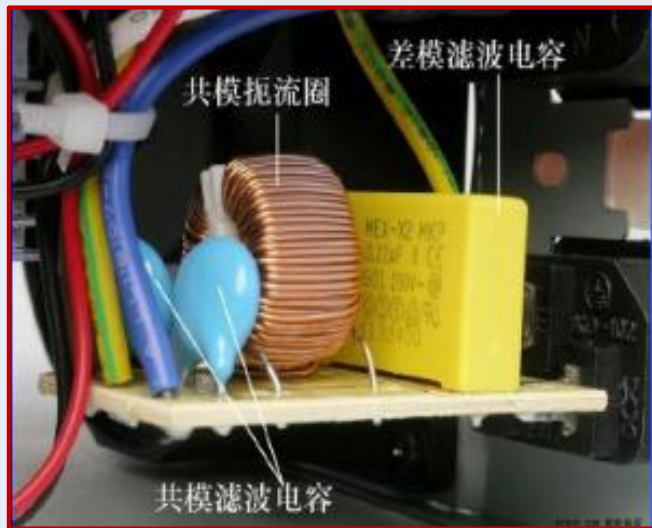


某开关电源的拓扑图

开关电源EMI干扰

EMI滤波的作用：

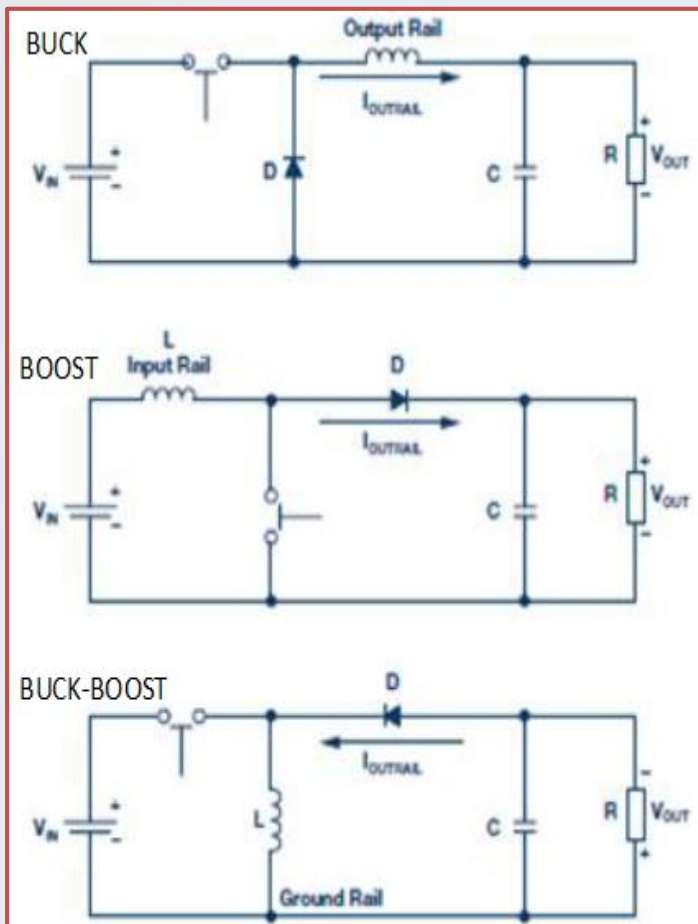
- A. 滤除开关电源本身的电磁波，防止其进入电网。
- B. 滤除由电网传输过来的电磁波，防止其干扰电源。



电磁干扰的种类：

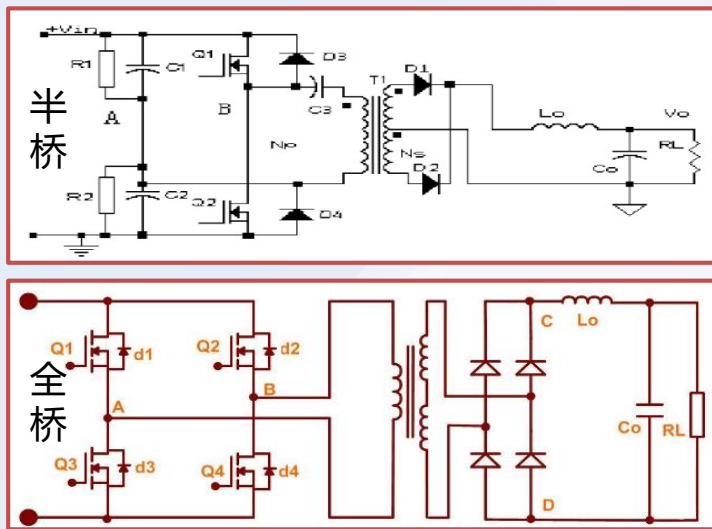
- a. 差模干扰：幅值相等、相位相反
- b. 共模干扰：幅值相等、相位相同

开关电源EMI干扰



影响EMI测试的原因:

1. 电路的拓扑
2. 电源功率密度 \uparrow \longrightarrow 磁芯要求 \uparrow
3. 元器件的选择
4. 滤波电路设计



开关电源EMI干扰

电路拓扑对比表

	反激		正激		推挽	半桥		全桥	
	单管	双管	单管	双管		硬开关	软开关	硬开关	软开关
输入电压	最宽	最宽	比较宽	比较宽	适合低压输入	比较宽		比较宽	
适用功率范围	几十W到几百W	几十W到几百W	一般几百W左右	比单管大一些	一般几十到几百W	一般几十到几百W	百W到千W级别	几百到千W以上	几百到千W以上
变压器复杂程度及成本	要求良好的耦合性	比单管要求稍低	无特殊要求	无特殊要求	无特殊要求	无特殊要求	无特殊要求	无特殊要求	无特殊要求
储能电感	无	无	有	有	有	有	有	有	有
输出电容	体积大价格高	体积大价格高	价格低	价格低	价格低	价格低	价格低	价格低	价格低
纹波	大	大	较小	较小	很小	很小	很小	很小	很小
EMI	最差	差	一般	好	一般	好	好	好	好

共模电感关键参数



EMI共模电感的关键参数

感量-频率特性 (L-F) :
100K-1MHZ

阻抗-频率特性 (Z-F) :
150KHZ-30MHZ

谐振频率 (F) :
1MHZ以上

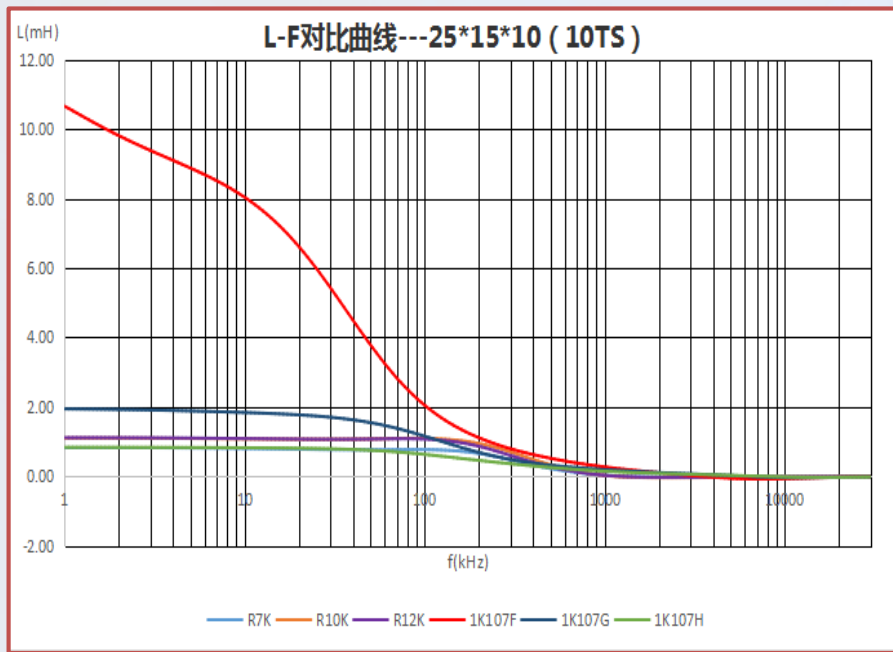
不平衡电感 | LN1-LN2 | :
越小越好

饱和电流 (I_{cm}) :
越大越好

共模电感关键参数

共模电感的关键参数

-----电感量



决定电感感量的因素:

1. 磁芯磁导率

$$AL = \frac{4\pi\mu Ae}{Le}$$

AL: 电感因素; μ : 相对磁导率

Ae: 有效截面积; Le: 有效磁路长

*选取高磁导材料作为共模电感磁芯。可有效提高感量。

*纳米晶初始磁导率远高于铁氧体（约为铁氧体的15倍左右）

2. 绕线圈数

$$L = AL * N^2$$

AL: 电感因素; N: 绕线圈数

共模电感关键参数

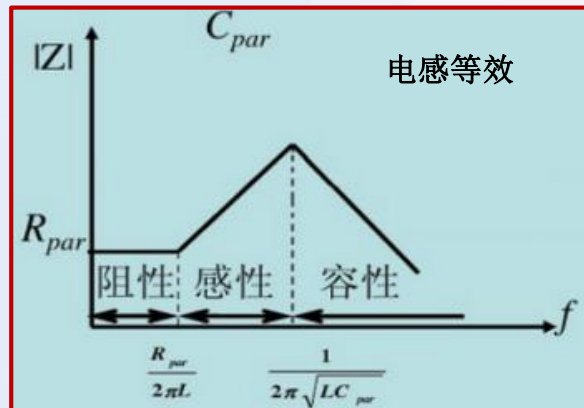
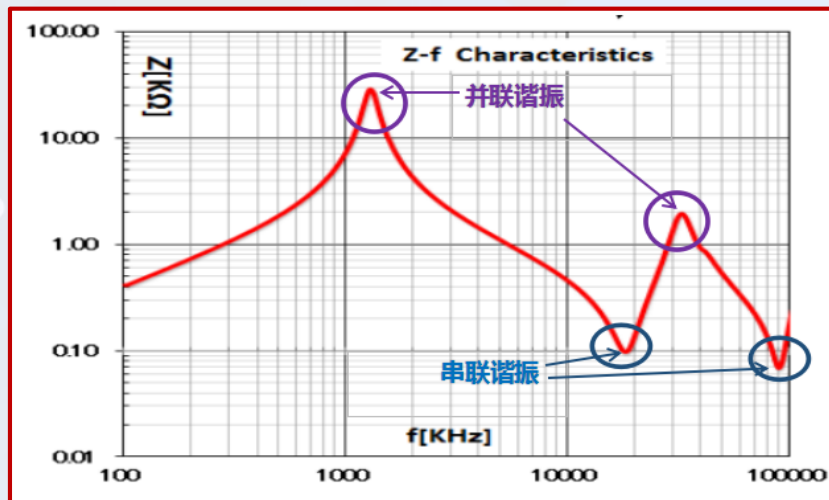
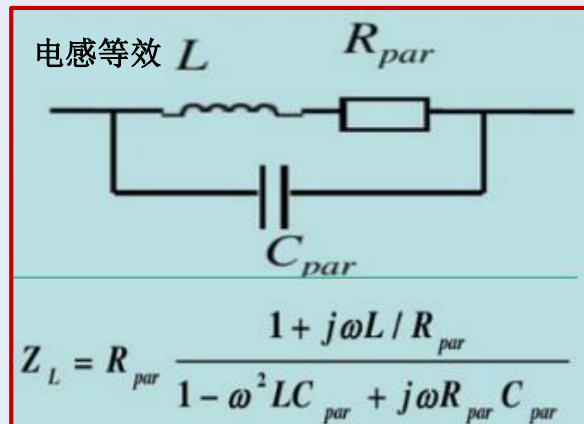
共模电感的关键参数

———阻抗与谐振频率

理想的电感的阻抗与感量成正比

$$X_L = 2\pi fL$$

实际上，因为分布参数的原因，电感线圈可作右图等效



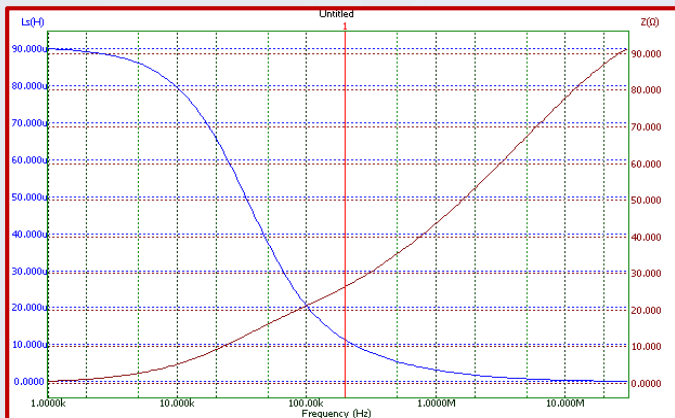
共模电感关键参数

共模电感的关键参数

-----阻抗与谐振频率

DY251510HB L-F/Z-F曲线

N=1T



减小分布参数的方法

1. 减少绕线圈数并尽量采用**单层绕线**

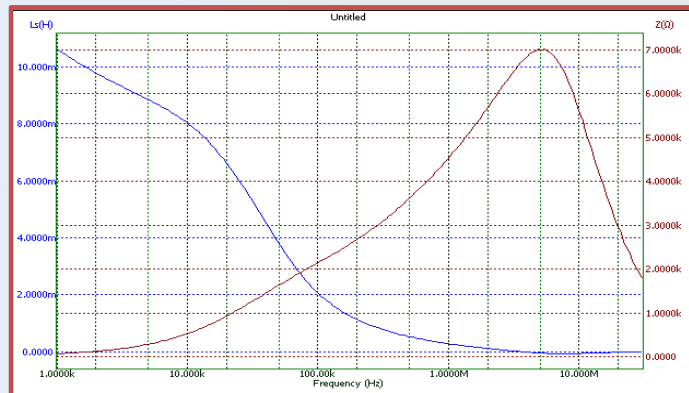
---采用更高磁导率磁芯

2. 多层绕线时，采用**十字绕法**

3. 采用**扁平线**

DY251510HB L-F/Z-F曲线

N=10TS



影响电感频率特性的因素:

1. 磁芯的频率特性

---高频时磁导率越高的磁芯，第一个并联谐振频率点越往后移

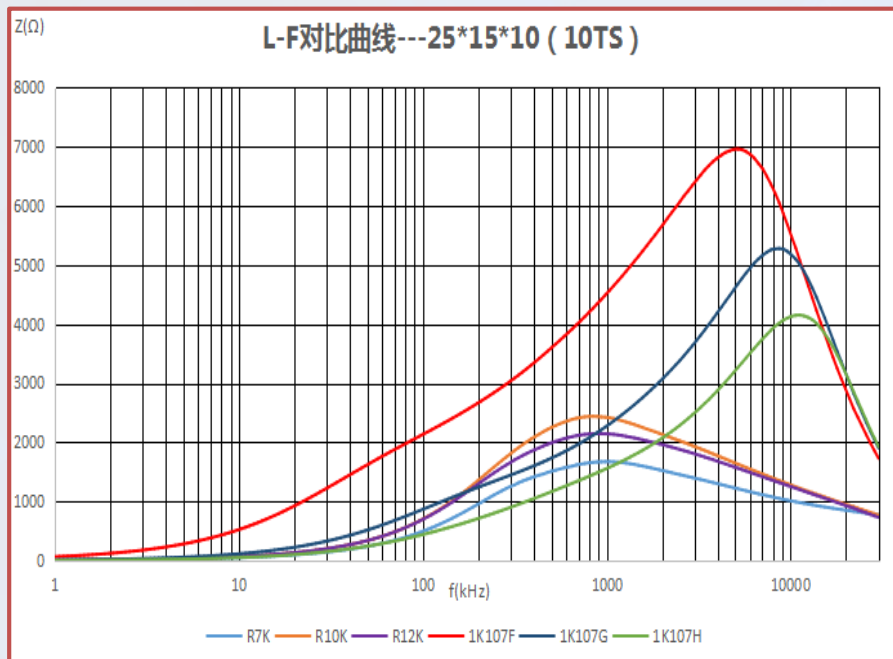
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

2. 电路的寄生参数（尤其是**分布电容**）的影响

共模电感关键参数

共模电感的关键参数

-----阻抗



同尺寸磁芯同样圈数、同样绕法。

1. 纳米晶共模阻抗远高于铁氧体
2. 纳米晶共模的谐振频率点远大于铁氧体

若感量一定，磁芯尺寸相同则：

线圈减少——>分布电容小

——>阻抗持性更好——>谐振频率点后移

共模电感关键参数

共模电感的关键参数

-----饱和电流

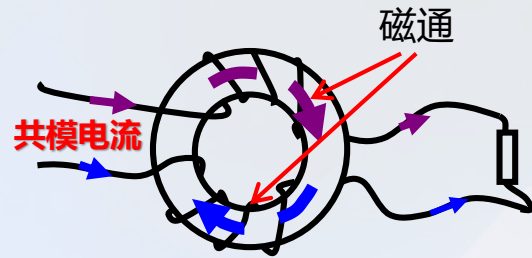
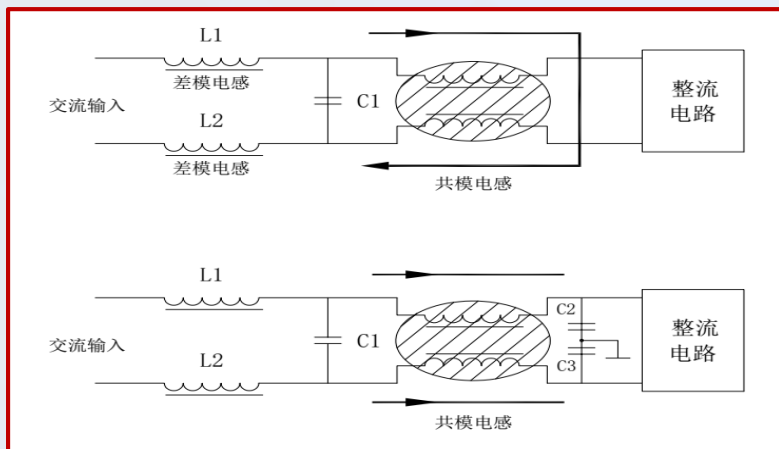
共模电感通常采用高磁导率材料作为磁芯，
所以加偏流时电感很容易饱和

$$B = \mu * H$$

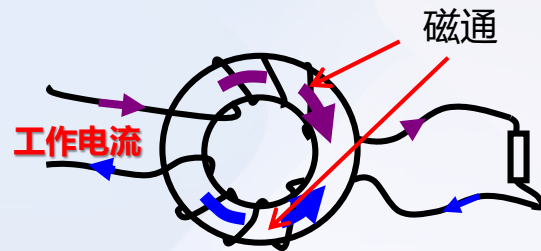
B: 磁感应强度, μ : 相对磁导率, H: 磁场强度

$$H = NI / L_e$$

N: 绕线圈数, I: 电流, L_e : 有效磁路长度



共模电感对共模信号呈高阻抗状态



工作电流在磁芯中产生的磁场相互抵销，
因此磁芯不会饱和。

共模电感关键参数

共模电感设计

1. 输入电流 I_{in} :

决定导线线径 Φ ,

电流密度通常取 $j=400-700A/cm^2$

2. 阻抗 X_L :

与绕线有关, 但主要取决于感量

3. 频率Hz:

不同频率下, 纳米晶的磁导率不同。

电源的工作频率是设计纳米晶电感的关键。

4. 安全间距 (根据输入电压符合安规要求)

根据环形磁芯材质的电感系数 (AL)

计算电感所需的匝数:

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L}}$$

N: 匝数;

L: 电感量;

AL: 电感系数。

不同的工作电压的安规间距要求

工作電壓(以上與含) V rms or dc	Functional, Basic and Supplementary insulation		
	Pollution degree 2		
	Material group		
	I	II	III
50	0.6	0.9	1.2
100	0.7	1.0	1.4
125	0.8	1.1	1.5
150	0.8	1.1	1.6
200	1.0	1.4	2.0
250	1.3	1.8	2.5
300	1.6	2.2	3.2
400	2.0	2.8	4.0
600	3.2	4.5	6.3

共模电感设计

共模电感绕线注意事项：

1. 匝数相等的两组或多组（三相共模）

对称绕制

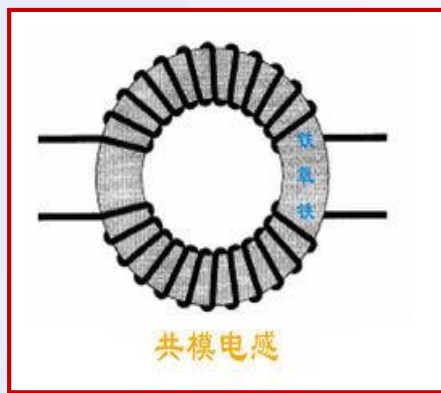
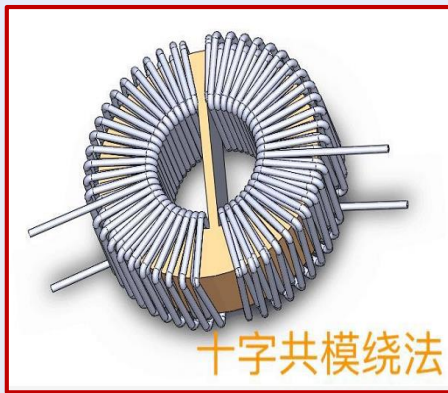
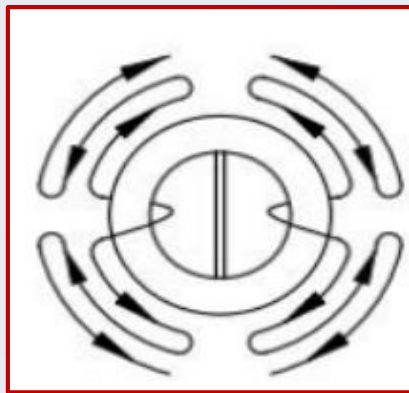
2. 尽量采用**单层绕线**

双层或三层时采用**十字绕法**

——通过减小层间电势差达到减小**分布电容**的目的

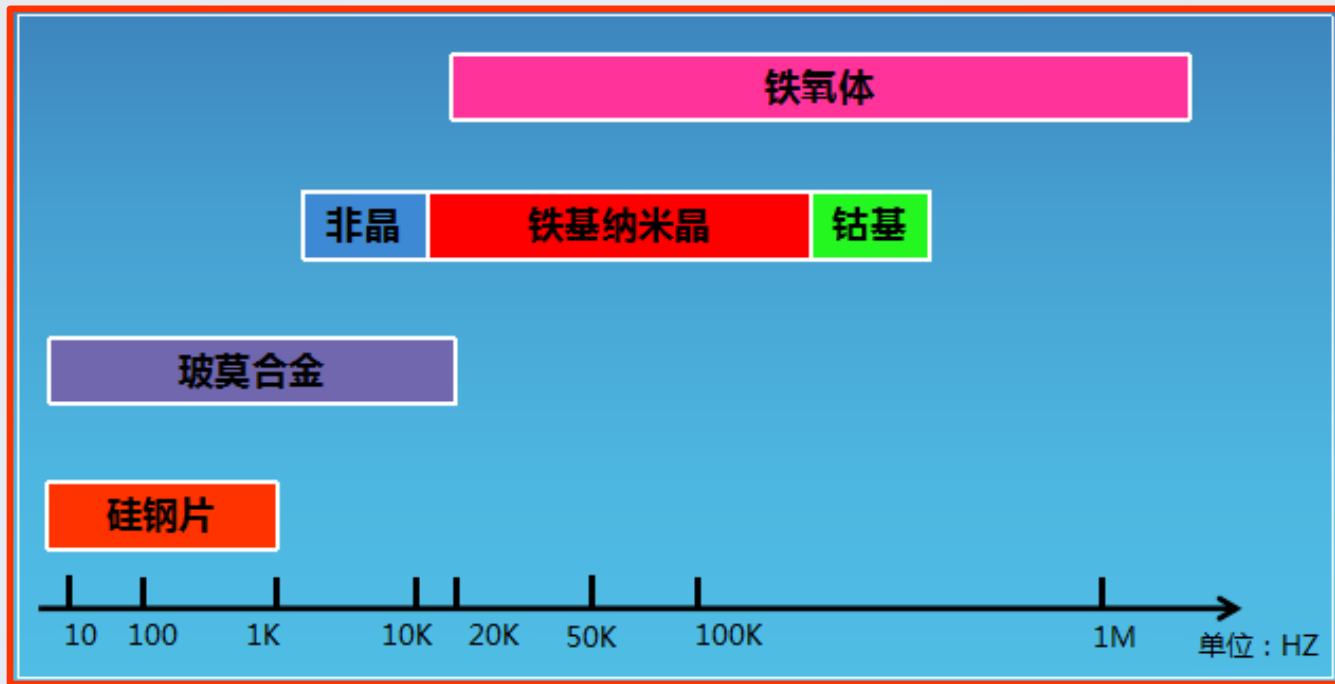
3. 两绕组通常分布在磁环相对边
（或采用三层绝缘线双线并绕）
目的：保证安全间距

4. 经验：双边分绕时每个绕组通常各占环内圆周的 **150° - 170°** 。



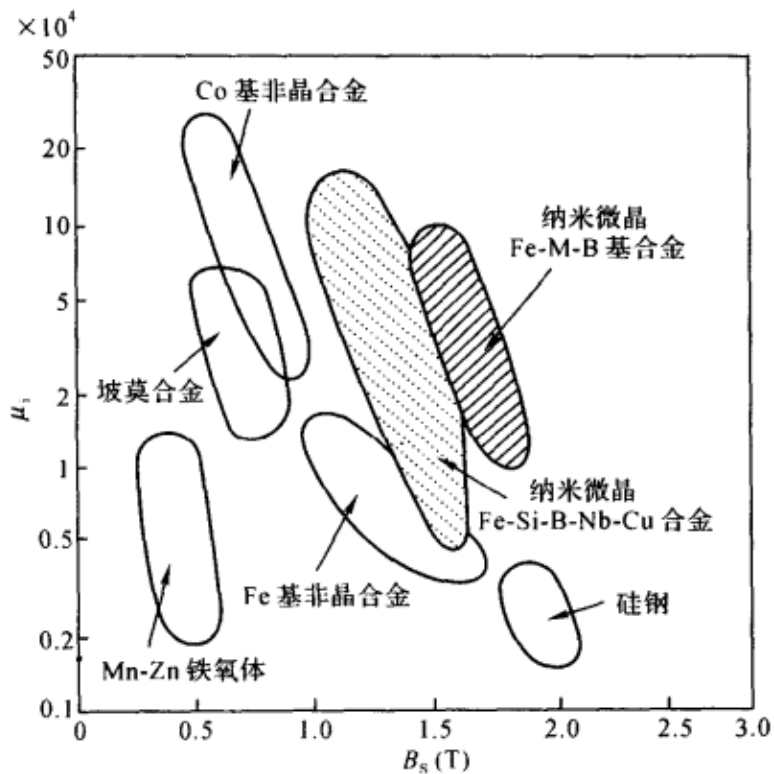
材料特性对比

● 应用频段



材料特性对比

● 软磁性能对比

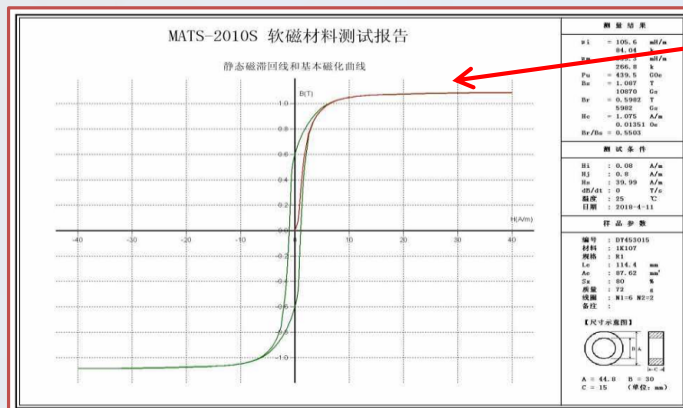


材料特性对比

材料名称	铁氧体	铁基纳米晶		
材料特性	Mn-Zn	1K107F	1K107G	1K107H
饱和磁感应强度 Bs (T)	0.5	1.2	1.2	1.2
矫顽力 Hc (A/m)	8	<2	< 1.2	< 1.2
起始磁导率 $\mu_i \times 10^4$	0.3	8	2-3	0.3-0.7
最大磁导率 $\mu_m \times 10^4$	0.6	40	3.8	1
电阻率 $\rho \Omega \cdot \text{cm}$	5×10^7	90	90	90
居里温度 Tc (°C)	220	570	570	570

材料特性对比

● 磁滞回线



[1K107F]

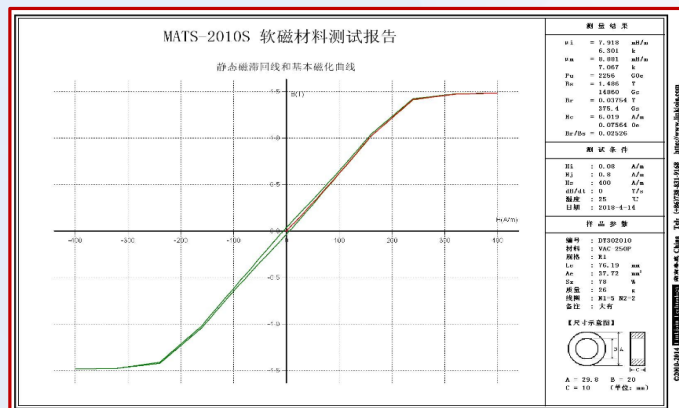
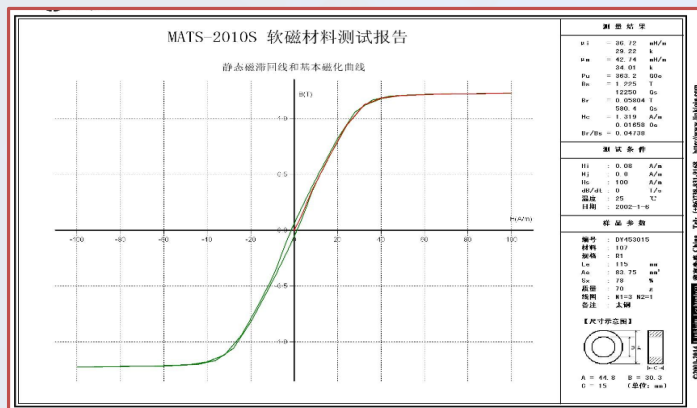
$B_s = 1.2T$
 $B_r \leq 1.0T$
 $H_m: 8A/m$
 $\mu_i: 8-10W$

[1K107G]

$B_s = 1.2T$
 $B_r \leq 0.1T$
 $H_m: 40A/m$
 $\mu_i: 2-3.5W$

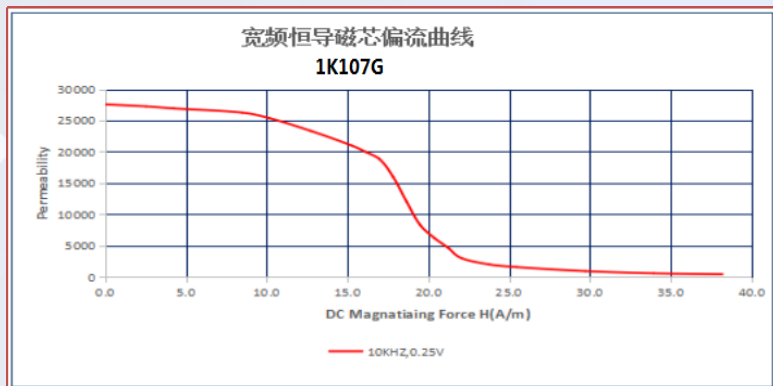
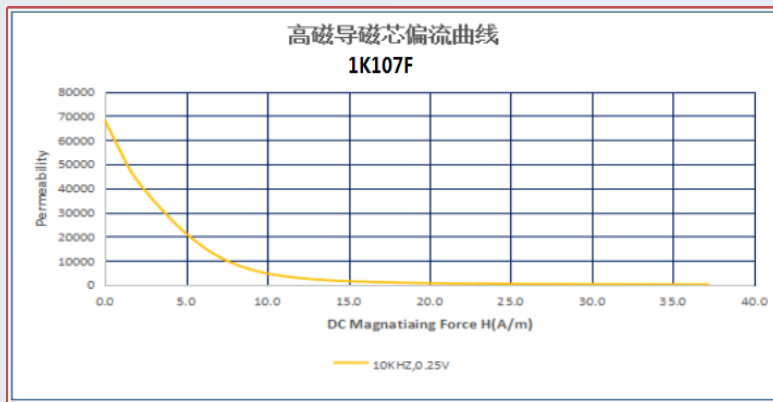
[1K107H]

$B_s = 1.2T$
 $B_r \leq 0.1T$
 $H_m: 300A/m$
 $\mu_i: 3000-7000$



材料特性对比

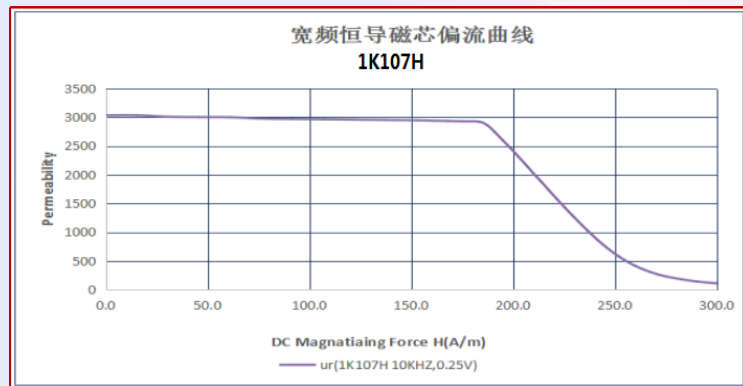
● 偏流特性曲线对比



1 10KHZ时的偏流对比 μ -H

【说明】不同体积的磁芯， μ (%) - H 曲线的拐点会有不同。

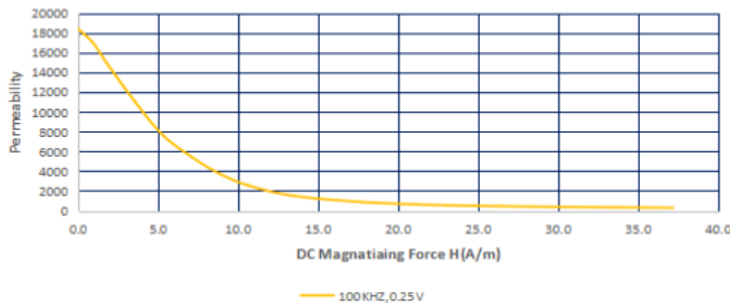
磁芯体积越大，抗饱和能力越强， μ -H 曲线的拐点越会往后移



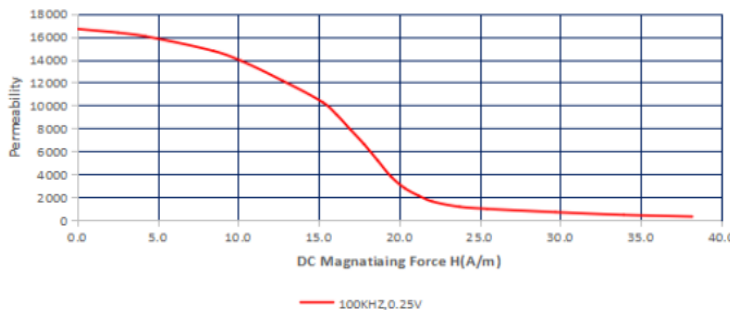
材料特性对比

● 偏流特性曲线对比

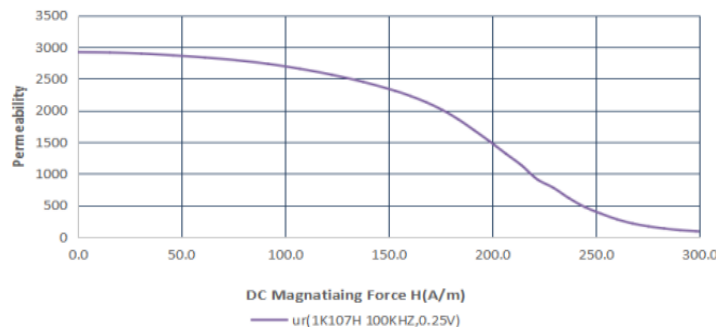
高磁导磁芯偏流曲线
1K107F



宽频恒导磁芯偏流曲线
1K107G



宽频恒导磁芯偏流曲线
1K107H



2 100KHZ时的偏流对比 u-H

【说明】不同体积的磁芯，u(%) -H曲线的拐点会有不同。

磁芯体积越大，抗饱和能力越强，u-H曲线的拐点越会往后移

材料特性对比

1K107F:

具有极高的初始磁导率:

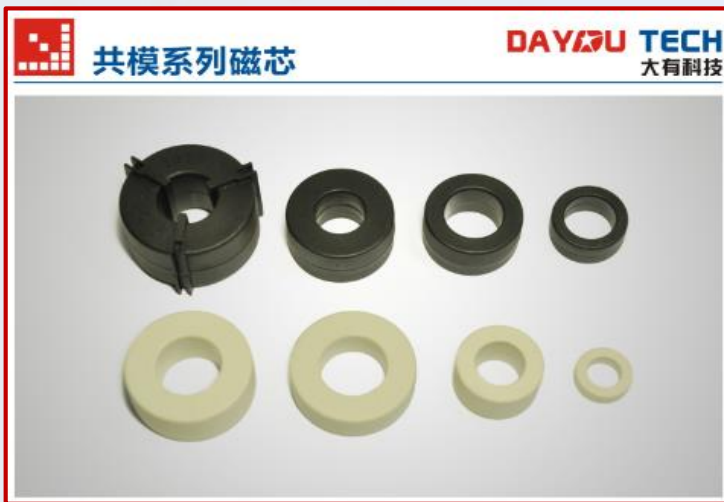
1KHZ时 μ_i 可达到8-10万

具有良好的u-F特性:

100KHZ时 μ_i 可达到1.8-2.6万

适用于感量要求较高的场合合作

EMI滤波共模电感



1K107G:

具有良好的u-F特性:

1KHZ时 μ_i 可达2.0-3.5万

100KHZ时 μ_i 可达到1.5-2.0万

抗饱和能力强:

相同体积相同圈数时, 抗饱和能力远优于1K107F

适用于电流不平衡或较小DC偏流的条件下作EMI滤波共模

1K107H:

具有极好的u-F特性:

抗饱和能力强:

相同体积相同圈数时, 抗饱和能力更甚于1K107G

适用于电流不平衡或一定DC偏流的条件下作EMC滤波共模

选择哪种磁芯？

用纳米晶磁芯还是铁氧体磁芯？



纳米晶共模：

- *体积更小——节约空间
- *损耗更低——提高效率
- *圈数更少——减少分布电容
- *阻抗特性更好——插入损耗更高
- *滤波效果更明显

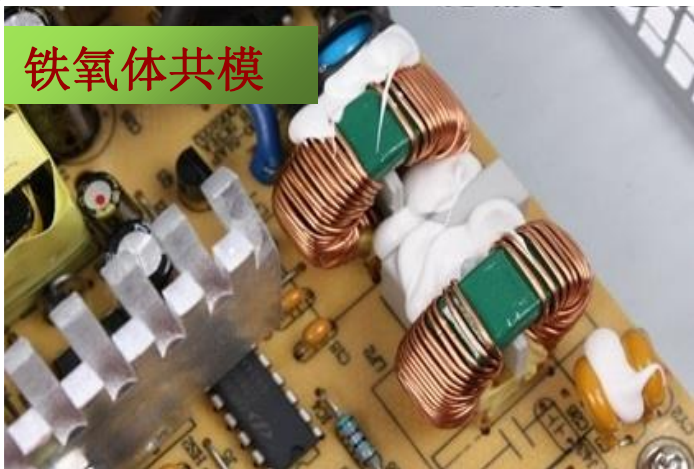
铁氧体共模：

- *频率范围更宽
- *更丰富的外形结构

纳米晶共模



铁氧体共模



替代案例---90W笔记本电脑适配器

铁氧体

13 x 6 x 4 mm

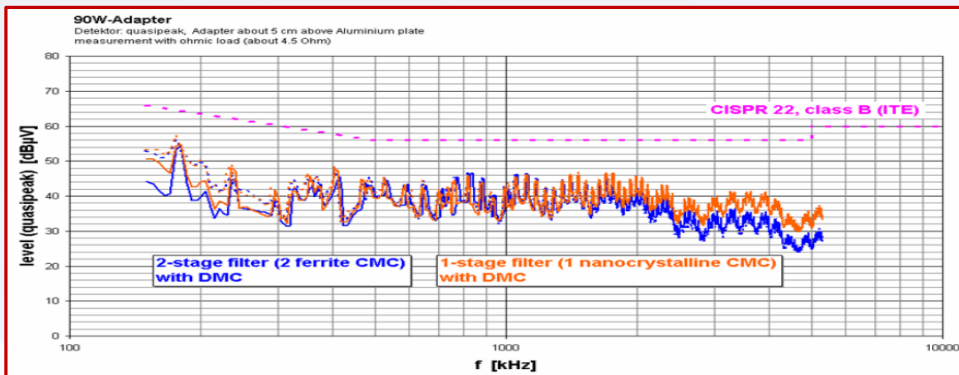


15 x 10 x 8 mm



纳米晶

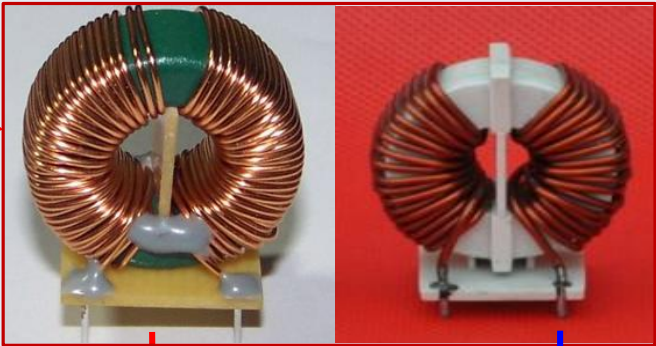
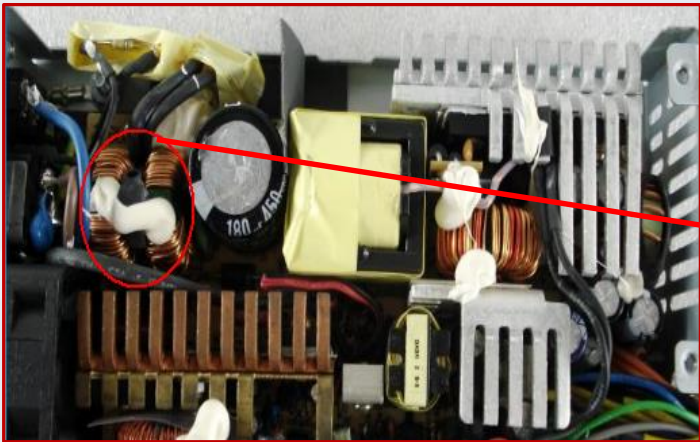
12 x 8 x 4.5 mm



应用实例

l i c a t i

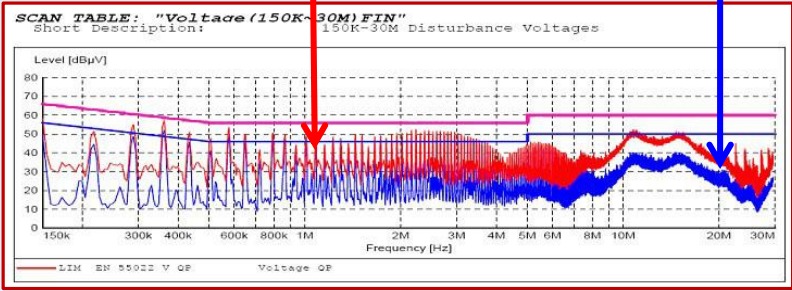
替代案例---服务器电源 (1K107F)



服务器电源

铁氧体: T251515 (R12K) 纳米晶: DY251515HB-20K
绕线: 34TS*2P 绕线: 17TS*2P

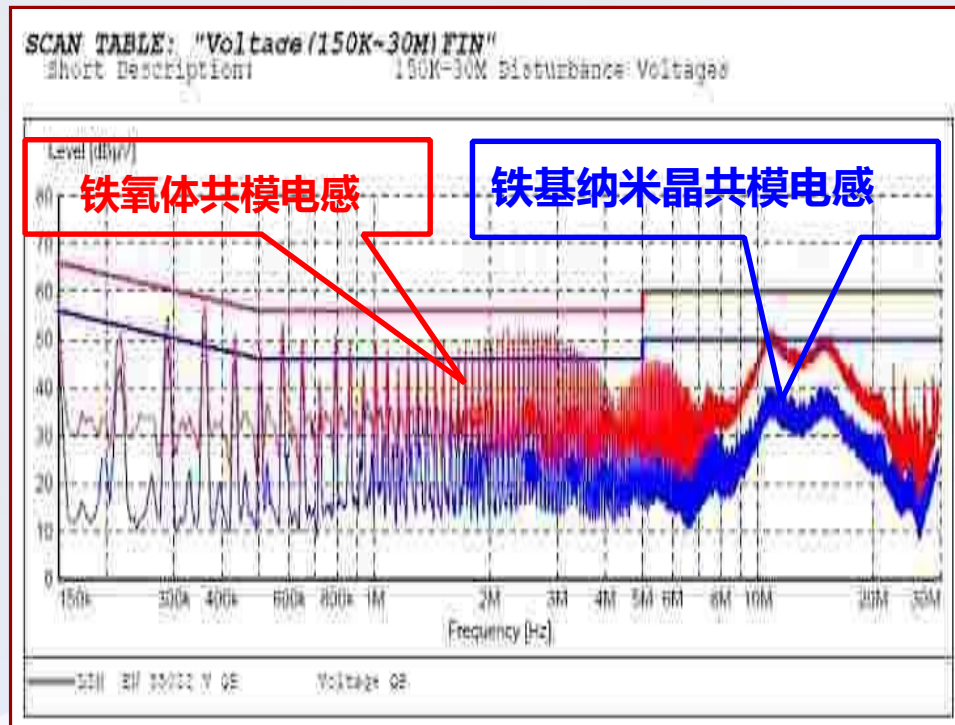
INPUT SPEC.	
Input Voltage Range	110~240Vac
Input Frequency Range	50~60Hz
Leakage Current	3.5mA@ 120V/60Hz
AC Input Current	8A@100V
PFC (Harmonic)	Meet EN61000-3-2 Class D (100V & 230V/50Hz)
EMI/RFI	CISPR 22 Class B
Energy Star	Efficiency 50%* @1W standby mode, 115V/50Hz
OUTPUT SPEC.	
Rated Power	500W
Efficiency	85%* @20%, 88%* @50%, 85%* @100% loads
OVP	+3.3V/4.3V/+5V/7V/+12V1/12V/3.15 6V
OCP	+3.3V/45A/+5V/45A/+12V1/40A/+12V2/3.35A
OTP	Latch off all main outputs if over temperature
SCP	Latch off all main outputs reset by cycling on/off control or AC power



应用实例

l i c a t i

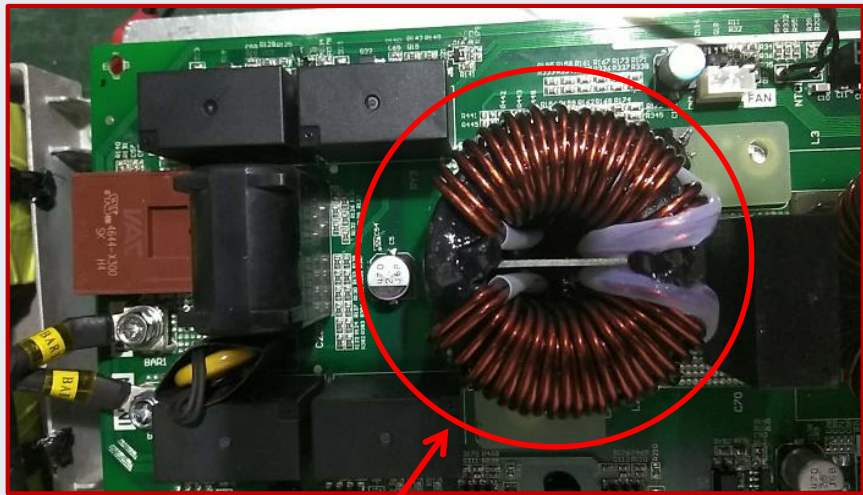
1K107F与铁氧体共模电感的传导测试对比



用同尺寸的铁基纳米晶磁芯绕以同样的圈数替换铁氧体共模电感。

在同款开关电源上测试结果表明：
性能明显改善（约下降了8-10dB）

1K107G应用实例---太阳能光伏



型号: DYG453015HB

性能要求:

$L_{11TS} \geq 2.5\text{mH}@20\text{KHz}/0.25\text{V}$, $\text{DC}=0\text{A}$

$L_{11TS} \geq 1.4\text{mH}@20\text{KHz}/0.25\text{V}$, $\text{DC}=0.3\text{A}$

原方案:

纳米晶 (1K107F) 磁芯

DYF453015HB (20TS) 及铁氧
体磁芯

DYT504020HB (23TS)

两级滤波

因电容耦合存在直流分量的
原因, 电路EMI传导不过。

改进方案:

采用抗直流纳米晶共模
(1K107G)

DYG453015HB (22TS)

传导测试余量3dB

应用实例

l i c a t i

大有科技产品介绍

● 公司简介

江西大有科技有限公司，为：

国家高新技术企业

江西省中磁科技协同创新体龙头企业

江西省节能减排示范企业

江西省知识产权优势企业

拥有：

江西省抗电磁干扰材料及元器件工程技术研发中心

江西省省级企业技术中心。

大有科技产品介绍

● 公司简介

公司先后通过：

ISO9001
质量管理体系

ISO14001
环境管理体系

ISO18001
职业健康安全管理体系

IATF 16949
管理体系

大有科技产品介绍

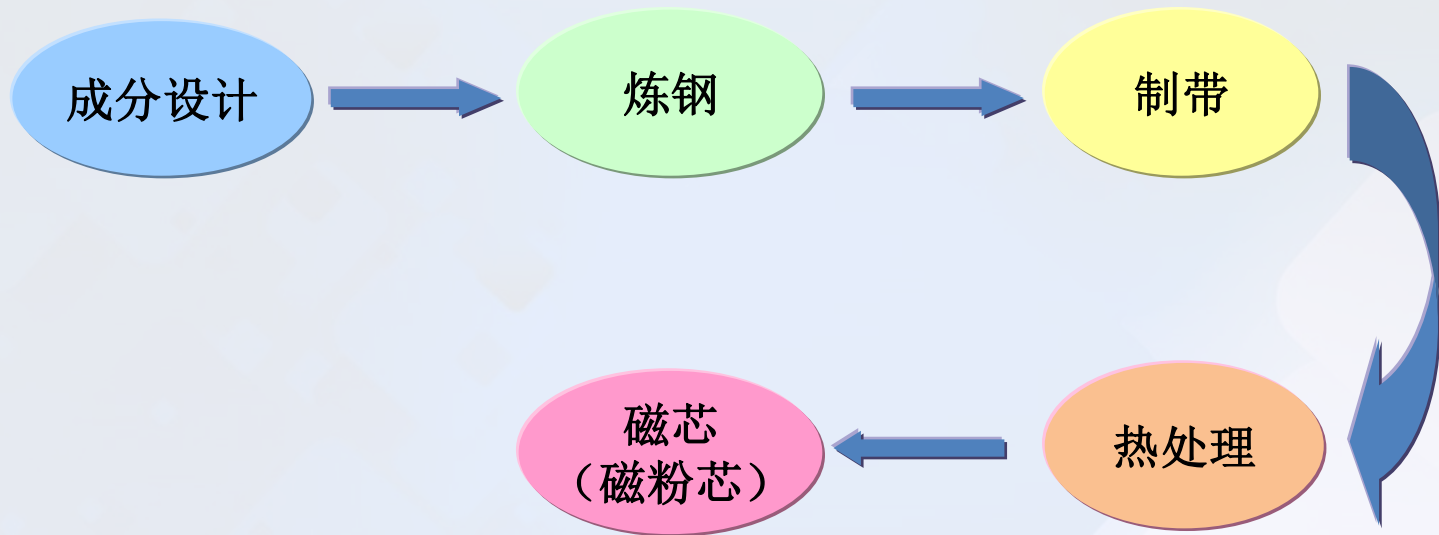
● 公司简介



- ※ 公司先后承担**国家级**科技计划项目8项；省级科技项目30多项。
- ※ 开发国家重点新产品3项；省重点新产品28项，其中：6项为**国内领先水平**，1项为**国际先进技术水平**。7项获**省优秀新产品**。
- ※ 申请**国际发明专利1项**，国家发明专利**26项**，已授权**12项**（其中1项获**国家优秀专利奖**），受理14项。

大有科技产品介绍

● 产品系列



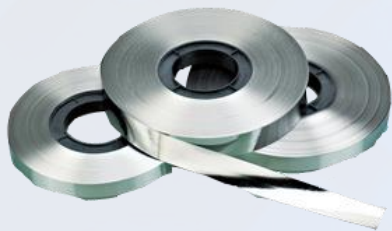
※ 全产业链

※ 研发、生产、销售

大有科技产品介绍

● 产品系列

铁基非晶带材
铁基纳米晶带材
钴基非晶带材
铁镍基非晶带材



非晶、纳米晶带材

大有科技
产品结构

非晶

铁基纳米晶磁芯
铁基非晶磁芯
钴基非晶磁芯
磁粉芯

绕线品器件+模块器件



共模电感、PFC、
精密互感器
滤波模块
等...

铁基纳米晶磁芯
铁基非晶磁芯
钴基非晶磁芯
磁粉芯



Thank You!

江西大有科技有限公司

<http://www.dayou-tech.com>