

EMI 重要元器件磁珠，它是如何影响电源的完整性，你用对了吗？

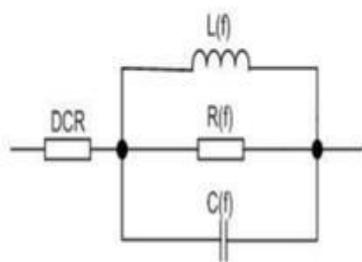
1、前言

磁珠的全称为铁氧体磁珠滤波器（另有一种是非晶合金磁性材料制作的磁珠），是一种抗干扰元件，滤除高频噪声效果显著。

磁珠的主要原料为铁氧体。铁氧体是一种立方晶格结构的亚铁磁性材料，铁氧体材料为铁镁合金或铁镍合金，它的制造工艺和机械性能与陶瓷相似，颜色为灰黑色。

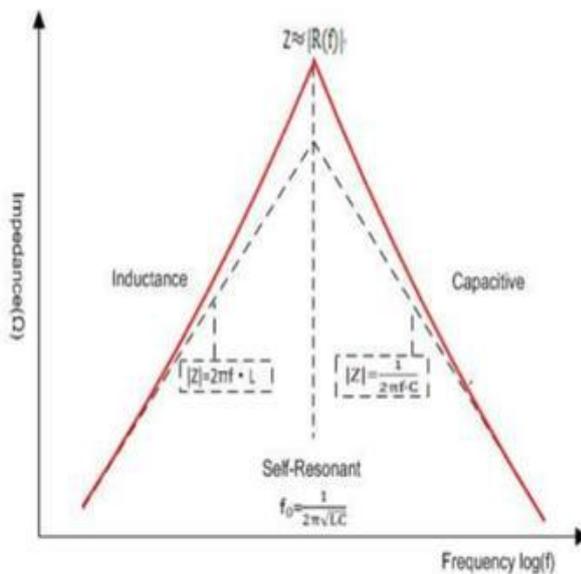
二、磁珠基础知识

磁珠（Ferritebead）有很高的电阻率和磁导率，其等效电路是一个 DCR 电阻串联一个电感并联一个电容和一个电阻。DCR 是一个恒定值，但后面三个元件都是频率的函数，也就是说它们的感抗，容抗和阻抗会随着频率的变化而变化，当然它们阻值，感值和容值都非常小。磁珠比普通的电感有更好的高频滤波特性，在高频时呈现阻性，所以能在相当宽的频率范围内保持较高的阻抗，从而提高调频滤波效果。磁珠的电路符号就是电感，但是型号上可以看出使用的是磁珠。在电路功能上，磁珠和电感是原理相同的，只是频率特性不同而已。



Equivalent Circuit

$$Z=R+jX$$

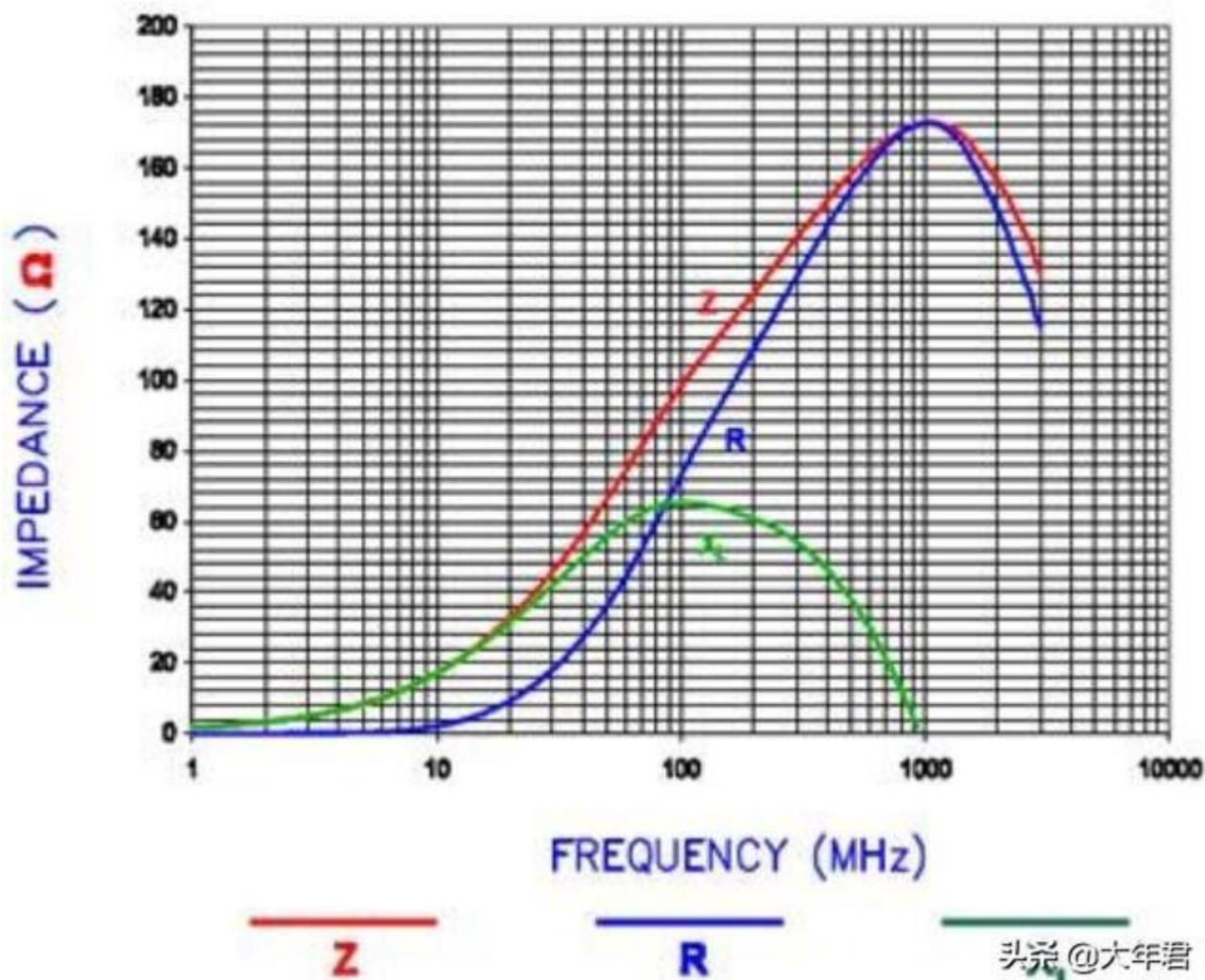


Impedance vs Frequency 头条@大年君

从等效电路中可以看到，当频率低于 f_L （LC 谐振频率）时，磁珠呈现电感特性；当频率等于 f_L 时，磁珠是一个纯电阻，此时磁珠的阻抗（impedance）最大；当频率高于谐振频率点 f_L 时，磁珠则呈现电容特性。EMI 选用磁珠的原则就是磁珠的阻抗在 EMI 噪声频率处最大。比如如果 EMI 噪声的最大值在 200MHz，那你选择的时候就要看磁珠的特性曲线，其阻抗的最大值应该在 200MHz 左右。

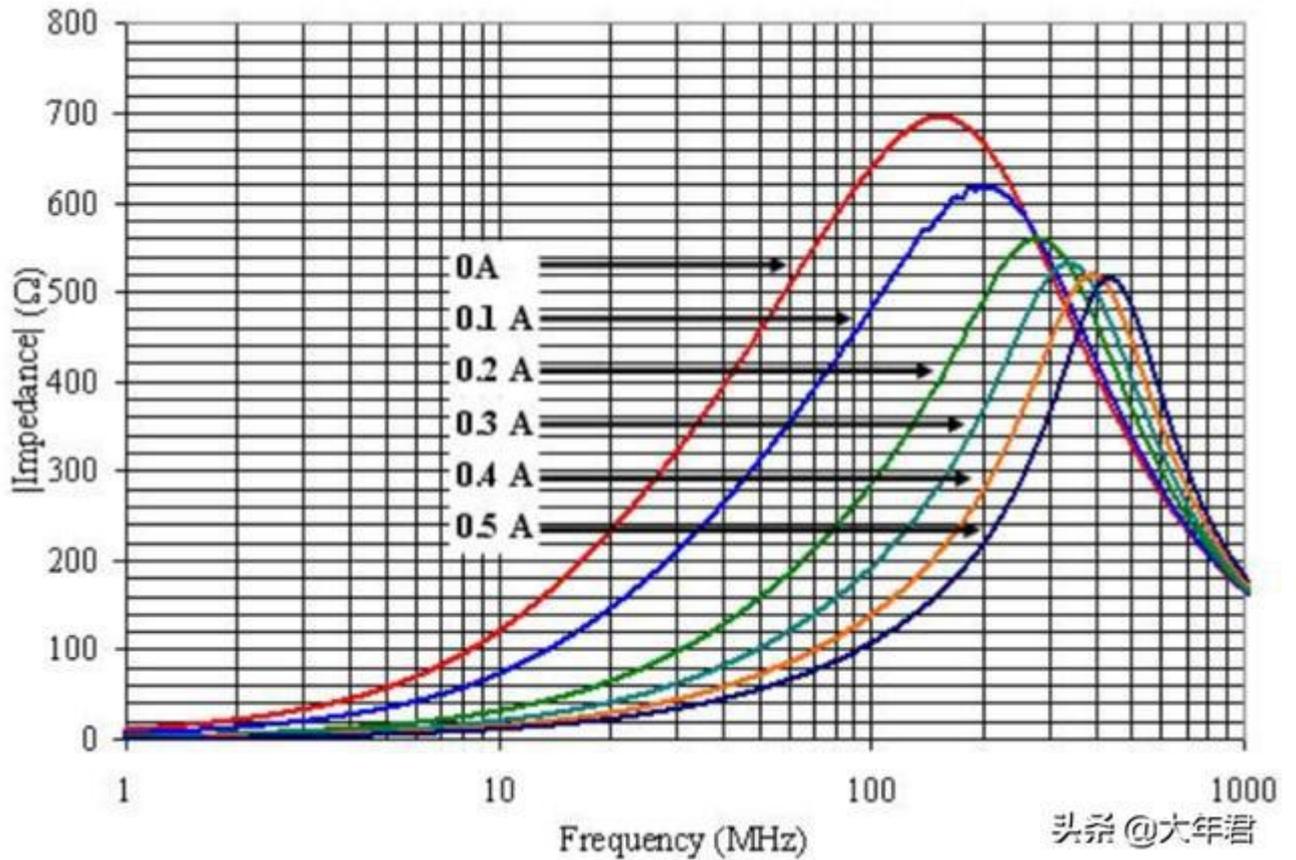
下图是一个磁珠的实际的特性曲线图。大家可以看到这个磁珠的峰值点出现在 1GHz 左右，在峰点时，阻抗（Z）曲线的值与电阻（R）的相等。也就是说这个磁珠在 1GHz 时，是个纯电阻，而且阻抗值最大。

$|Z|$, R, AND X vs. FREQUENCY



Z:impedance R:R(f) X: $X = \omega L - \frac{1}{\omega C}$ 前面简单介绍了 EMI 磁珠的基本特性曲线。从磁珠的阻抗曲线来看，其实它的特性就是可以用来做高频信号滤波器。需要注意的是，通常大家看到的厂家提供的磁珠阻抗曲线，都是在无偏置电流情况下测试得到的曲线。但大部分磁珠通常被放在电源线线上用来滤除电源的 EMI 噪声。在有偏置电流的情况下，磁珠的特性会发生一些变化。

下面是某个 0805 尺寸 500mA 的磁珠在不同的偏置电流下的阻抗曲线。大家可以看到，随着电流的增加，磁珠的峰值阻抗会变小，同时阻抗峰值点的频率也会变高。



在进一步阐述磁珠的特性之前，让我们先来看一下磁珠的主要特性指标的定义：
Z(阻抗, impedanceohm):磁珠等下电路中所有元件的阻抗之和,它是频率的函数。通常大家都用磁珠在 100MHz 时的阻抗值作为磁珠阻抗值。
DCR(ohm):磁珠导体的的直流电阻。
额定电流:当磁珠安装于印刷电路板并加入恒定电流，自身温升由室温上升 40C 时的电流值。那么 EMI 磁珠的磁珠有成千上万种，阻抗曲线也各不相同，我们应该如何根据我们的实际应用选择合适的磁珠呢？让我们首先来看一下阻抗值同为 600ohm@100MHz，但尺寸大小不同的磁珠在不同偏置电流电流和工作频率下的特性。

Part Number / Size (All 600 Ohm chip beads)		Z (Ohms)		Z (Ohms)		Z (Ohms)	
		@ 100 MHz		@ 500 MHz		@ 1 GHz	
		Zero Bias	100 mA	Zero Bias	100 mA	Zero Bias	100 mA
1206C601R	1206 size	600	550	220	220	105	120
0805E601R	0805 size	600	380	304	250	151	120
0603C601R	0603 size	600	300	330	420	171	200
0402A601R	0402 size	600	175	644	600	399	500

上面是四个不同大小的磁珠分别工作在 0A，100mA 偏置电流及在 100MHz，500MHz 和 1GHz 工作频率下的阻抗值。

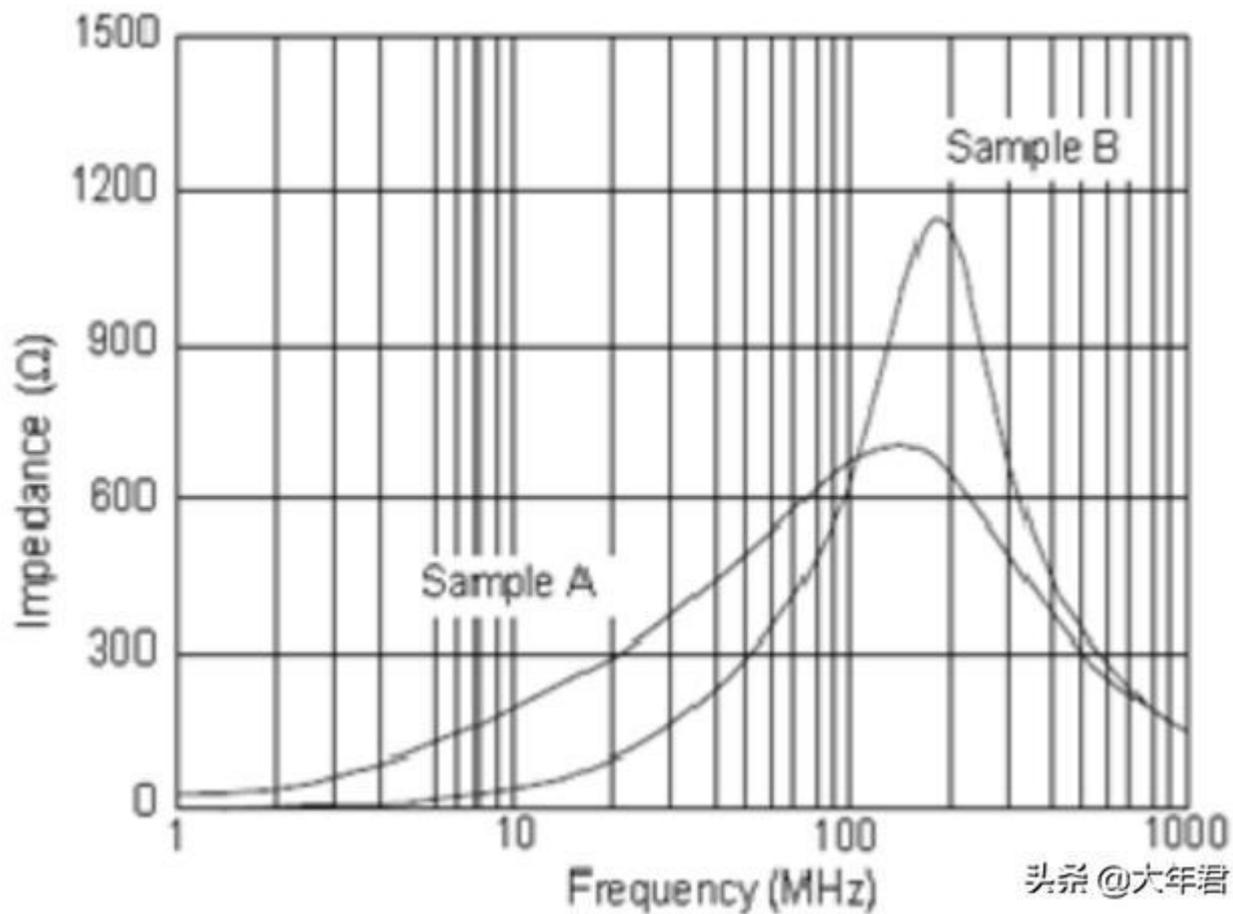
从上表的测试数据中可以看出，1206 尺寸的磁珠在低频 100MHz 工作时，其阻抗值仅从 0A 下的 600ohm 减小到 100mA 偏置电流下的 550ohm,而 0402 尺寸的磁珠阻抗值却从 0A 下的 600ohm 大幅减小为 175ohm。

由此看来，在低频大偏置电流应用的情况下，应该选择大尺寸的磁珠，其阻抗特性会更好一些。让我们来看一下磁珠在高频工作时的情形。1206 尺寸的磁珠其 1GHz 下的阻抗从 100MHz 下的 600ohm 大幅减小为 105ohm,而 0402 尺寸的磁珠其 1GHz 下的阻抗则只由 100MHz 下的 600ohm 小幅减小为 399ohm。

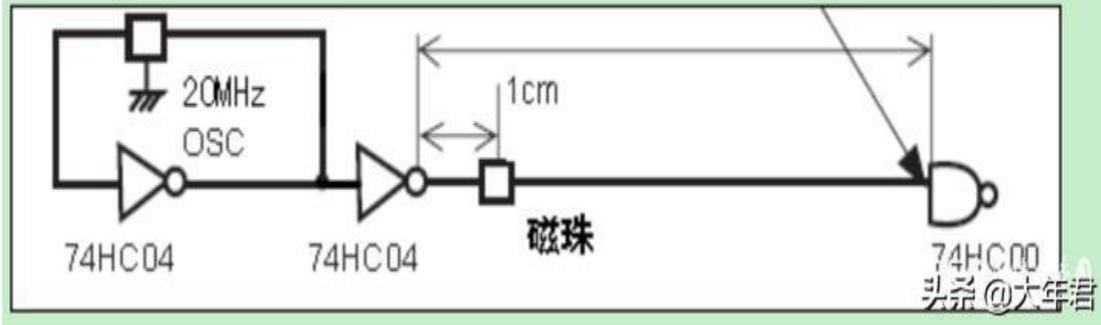
这也就是说，在低频大偏置电流的情况下，我们应该选择较大尺寸的磁珠，而在高频应用中，我们应该尽量选择小尺寸的磁珠。

三、应用于信号线上的磁珠

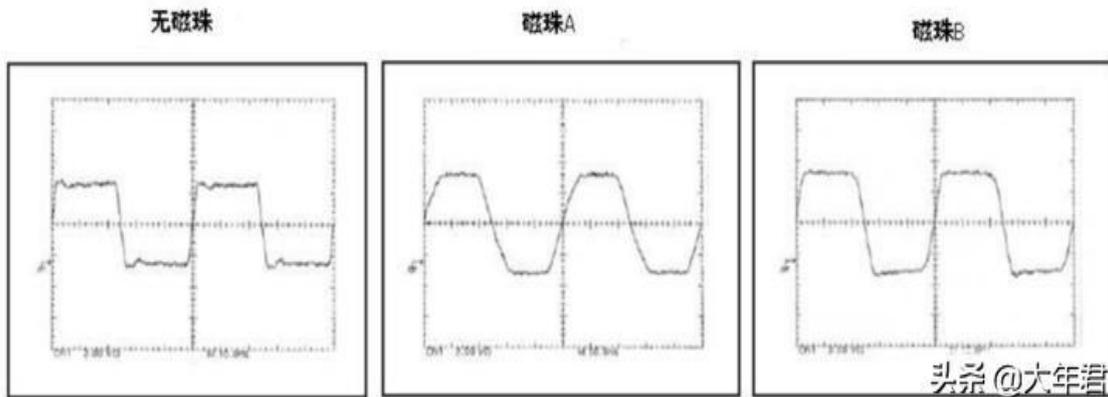
让我们再来看一下下面两个不同曲线特征的磁珠 A 和磁珠 B 应用于信号线时的情况。



磁珠 A 和磁珠 B 的阻抗峰值都在 100MHz 和 200MHz 之间，但磁珠 A 阻抗频率曲线比较平坦，磁珠 B 则比较陡峭。我们将两个磁珠分别放在如下的 20MHz 的信号线上，看看对信号输出会产生什么样的影响。

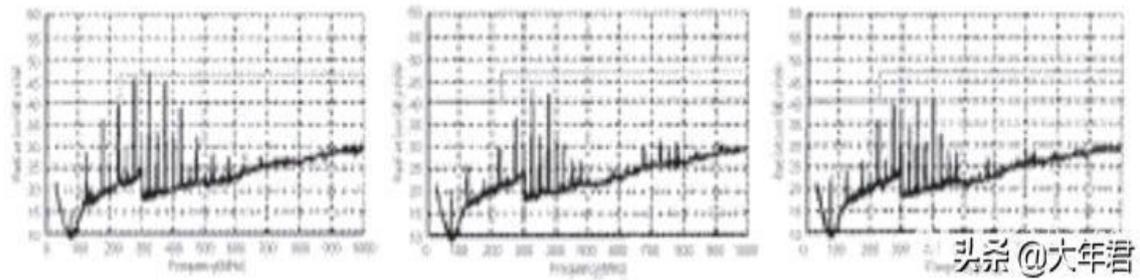


下面是用示波器分别量测磁珠输出端的波形图



从输出波形来看，磁珠 B 的输出波形失真要明显小于磁珠 A。原因是磁珠 B 的阻抗频率特性比较陡峭，其阻抗在 200MHz 时较高，只对 200MHz 附近的信号的衰减较大，但对频谱很宽的方波波形影响较小。而磁珠 A 的阻抗频率特性比较平坦，其对信号的衰减频谱也比较宽，因此对方波的波形影响也较大。

下面是上述三种情况对应的 EMI 测试结果。结果是磁珠 A 和磁珠 B 都会对 EMI 噪声产生很大的衰减。磁珠 A 在整个 EMI 频谱范围内的衰减要稍好于磁珠 B。

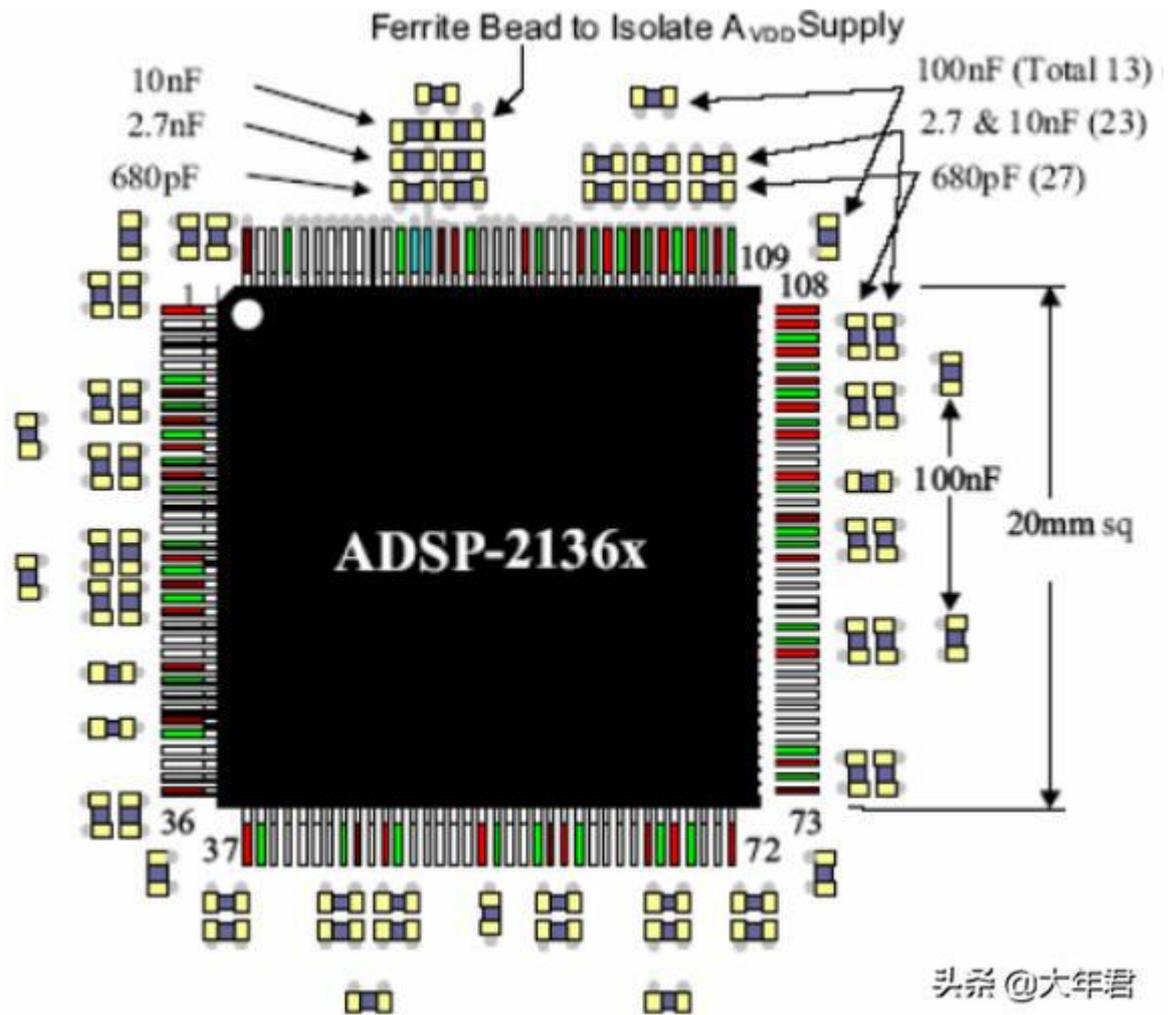


因此,在具体选用磁珠时,阻抗频率特性平坦型的磁珠 A 比较适合应用于电源线,而频率特性比较陡峭的磁珠 B 则较适合应用于信号线。磁珠 B 在应用于信号线时,可以在尽量保持信号完整性的情况下,尽可能只对 EMI 频率附近的噪声产生最大的衰减。

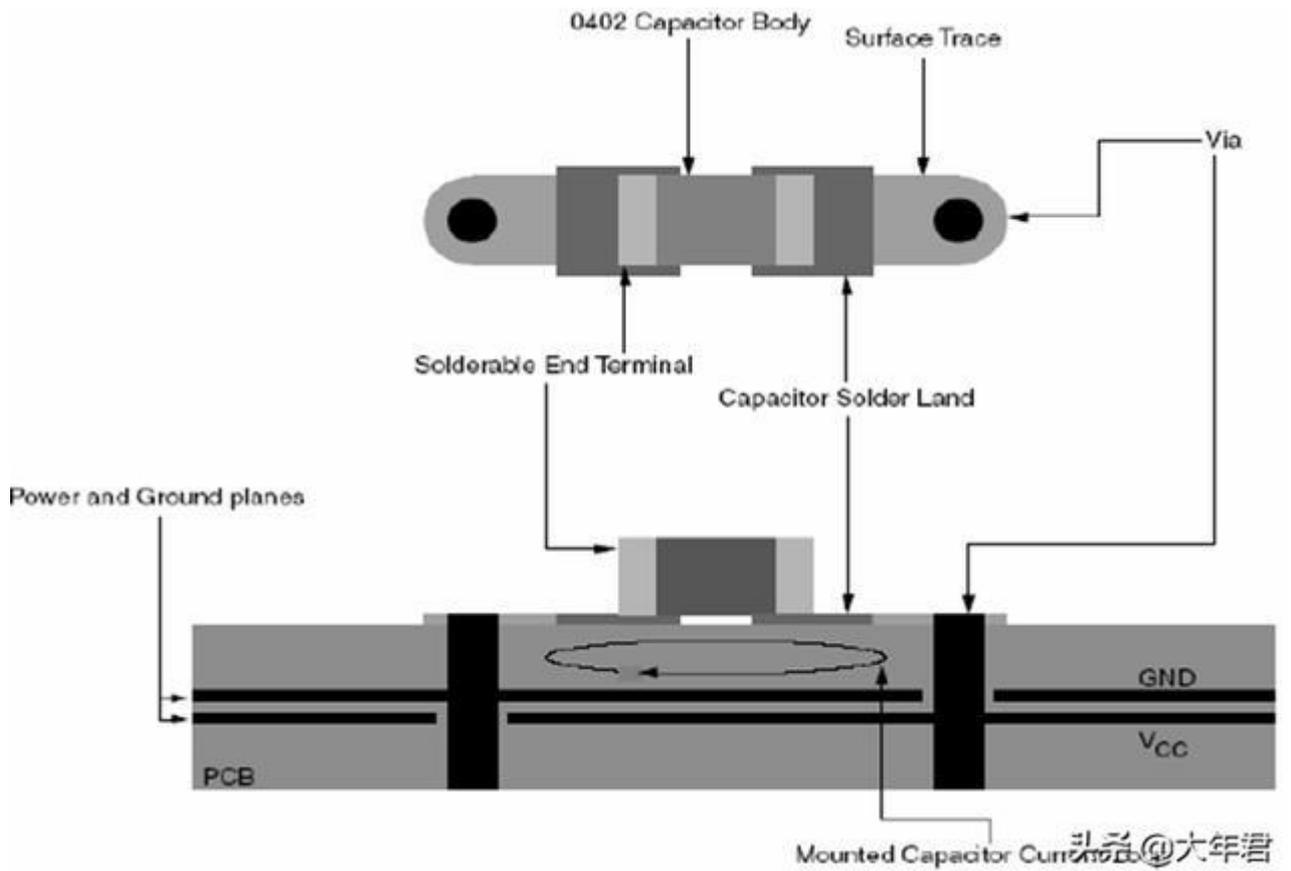
四、磁珠与电容回路

在一些器件的数据手册或者应用文档中,一般会建议对一些要求较高的电源管脚(比如 VCCA, VCCPLL 之类的)做隔离处理,并推荐使用磁珠进行隔离。

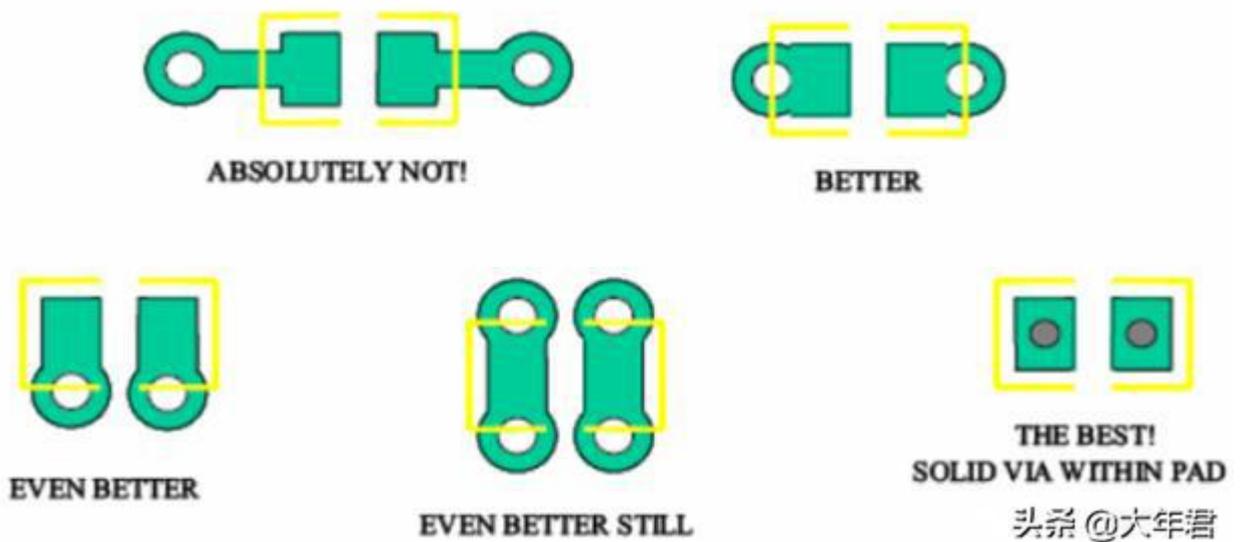
一般建议将电容放在更加靠近器件电源管脚的地方(相对于磁珠的位置),如下图所示。至于电容的容值,和该电源管脚的功率(电压&电流),电容距离管脚的位置,电容的封装大小等因素有关系。



对于电容的 Layout 也有一些讲究，安装电容时，要从焊盘拉出一段引线通过过孔和电源平面连接，接地段也一样。则电容的电流回路是：电源平面→过孔→引出线→焊盘→电容→焊盘→引出线→过孔→低平面。如下图所示：



放置过孔的基本原则就是让这一环路面积最小，减小寄生电感。下图显示几种安装方法：



※第一种方法从焊盘引出很长的线然后连接到过孔，这会引入很大的寄生电感，一定要避免这样做。

※第二种方法在焊盘二端打过孔，比第一种方法路面积小的多，寄生电感也较小，可以接受。

※第三种方法在焊盘侧面打孔，进一步减小了环路面积，寄生电感比第一个更小，是比较好的方法。

※第四种方法焊盘二侧面打孔，和第三种方法相比，电容的每端都是通过并联的过孔接入电源和地平面，比第三种的寄生电感还小，只要空间允许，尽量使用。

※最后一种方法在焊盘上直接打孔，寄生电感最小，但是焊接可能会出现问題。

五、“滥用”磁珠的危害

典型的 8 层以上单板，或者 6 层板采用 3 个电源地平面，电源地相对紧耦合的设计，这时候板上的滤波电容呈现“全局特性”，也就是说电容的位置不是很“重要”，电容在全局起作用。双面板四层板，以及 6 层板电源地距离比较远，相对松耦合的时候，板上的滤波电容倾向于“局部特性”，电容的位置比较重要，最好能靠近芯片管脚放置。

当电源供电网络不使用电源地平面来设计的时候，电容更倾向于“局部特性”。如 PLL 电源的电容，如 DDR3 设计中 Vref 电源的电容，都希望严格把相应的电容靠近芯片的管脚，甚至最好能做到设计时指定电源必须从滤波电容进入芯片管脚。

同样的，对于常规数字电源，如 3.3V，2.5V 等 IO 电源，如果我们对每一个芯片都使用磁珠隔离之后单独供电，那么电容就失去了“全局”作用。最直接的一个负

面作用就是导致设计需要增加更多的滤波电容。或者某个芯片的电容数量与种类不够，导致电源轨道噪声变大。

就算是电容的数量不是问题，电源噪声可控，"滥用"磁珠还会造成其他设计问题。电源种类多是设计的现状，"滥用"磁珠会"雪上加霜"的让电源种类更多。加大电源地平面设计的难度。而增加的磁珠，其实并没有给电源噪声带来好处。

六、总结

常规的数字电源，在采用多层板设计，电源地平面紧耦合的情况下，不建议"滥用"磁珠，保持电容的"全局"特性起作用。

需要使用磁珠的场合大致分为两种

- 1、"特别"保护自己，如 PLL 电源，FPGA 中的 SerDes 模拟电源等**
- 2、"关爱"他人，自身的干扰性比较强，避免 EMI 问题，如强驱动的时钟芯片等**