

EMI 之-磁珠(bead)的作用

磁珠：磁珠专用于抑制信号线、电源线上的高频噪声和尖峰干扰，还具有吸收静电脉冲的能力。磁珠是用来吸收超高频信号，象一些 RF 电路，PLL，振荡电路，含超高频存储器电路（DDRSDRAM，RAMBUS 等）都需要在电源输入部分加磁珠，而电感是一种蓄能元件，用在 LC 振荡电路，中低频的滤波电路等，其应用频率范围很少超过 50MHZ。磁珠有很高的电阻率和磁导率，等效于电阻和电感串联，但电阻值和电感值都随频率变化。

1 引言

由于电磁兼容的迫切要求，电磁干扰(EMI)抑制元件获得了广泛的应用。然而实际应用中的电磁兼容问题十分复杂，单单依靠理论知识是完全不够的，它更依赖于广大电子工程师的实际经验。为了更好地解决电子产品的电磁兼容性这一问题，还要考虑接地、电路与 PCB 板设计、电缆设计、屏蔽设计等问题[1][2]。本文通过介绍磁珠的基本原理和特性来说明它在开关电源电磁兼容设计中的重要性与应用，以期为设计者在设计新产品时提供必要的参考。

2 磁珠及其工作原理

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。电磁干扰滤波器中经常使用的一类磁芯就是铁氧体材料，许多厂商都提供专门用于电磁干扰抑制的铁氧体材料。这种材料的特点是高频损耗非常大，具有很高的导磁率，它可以使电感的线圈绕组之间在高频高阻的情况下产生的电容最小。铁氧体材料通常应用于高频情况，因为在低频时它们主要呈现电感特性，使得损耗很小。在高频情况下，它们主要呈现电抗特性并且随频率改变。实际应用中，铁氧体材料是作为射频电路的高频衰减器使用的。实际上，铁氧体可以较好的等效于电阻以及电感的并联，低频下电阻被电感短路，高频下电感阻抗变得相当高，以至于电流全部通过电阻。铁氧体是一个消耗装置，高频能量在上面转化为热能，这是由它的电阻特性决定的。

对于抑制电磁干扰用的铁氧体，最重要的性能参数为磁导率和饱和磁通密度。磁导率可以表示为复数，实数部分构成电感，虚数部分代表损耗，随着频率的增

加而增加。因此它的等效电路为由电感 L 和电阻 R 组成的串联电路，如图 1 所示，电感 L 和电阻 R 都是频率的函数。当导线穿过这种铁氧体磁芯时，所构成的电感阻抗在形式上是随着频率的升高而增加，但是在不同频率时其机理是完全不同的。

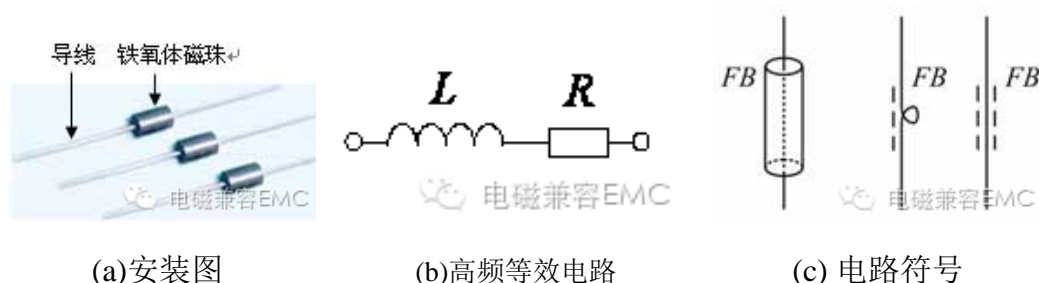


图 1 铁氧体磁珠

在高频段，阻抗主要由电阻成分构成，随着频率的升高，磁芯的磁导率降低，导致电感的电感量减小，感抗成分减小，但是，这时磁芯的损耗增加，电阻成分增加，导致总的阻抗增加，当高频信号通过铁氧体时，电磁干扰被吸收并转换成热能的形式消耗掉。在低频段，阻抗主要由电感的感抗构成，低频时 R 很小，磁芯的磁导率较高，因此电感量较大，电感 L 起主要作用，电磁干扰被反射而受到抑制，并且这时磁芯的损耗较小，整个器件是一个低损耗、高品质因素 Q 特性的电感，这种电感容易造成谐振，因此在低频段时可能会出现使用铁氧体磁珠后干扰增强的现象[3]。

磁珠种类很多，制造商会提供技术指标说明，特别是磁珠的阻抗与频率关系的曲线。有的磁珠上有多个孔洞，用导线穿过可增加元件阻抗(穿过磁珠次数的平方)，不过在高频时所增加的抑制噪声能力可能不如预期的多，可以采用多串联几个磁珠的办法。

值得注意的是，高频噪声的能量是通过铁氧体磁矩与晶格的耦合而转变为热能散发出去的，并非将噪声导入地或者阻挡回去，如旁路电容那样。因而，在电路中安装铁氧体磁珠时，不需要为它设置接地点。这是铁氧体磁珠的突出优点[4]。

3 磁珠和电感

3.1 磁珠和电感的区别

磁珠由氧磁体组成，电感由磁芯和线圈组成，磁珠把交流信号转化为热能，电感把交流存储起来，缓慢的释放出去，因此说电感是储能元件，而磁珠是能量

转换(消耗)器件。电感多用于电源滤波回路,磁珠多用于信号回路,磁珠主要用于抑制电磁辐射干扰,而电感用于这方面则侧重于抑制传导性干扰。两者都可用于处理 EMC、EMI 问题。磁珠是用来吸收超高频信号,例如一些 RF 电路、PLL、振荡电路、含超高频存储器电路(DDR SDRAM, RAMBUS 等)都需要在电源输入部分加磁珠,而电感是一种蓄能元件,用在 LC 振荡电路、中低频的滤波电路等,其应用频率范围很少超过 50MHZ。地的连接一般用电感,电源的连接也用电感,而对信号线则常采用磁珠。

4 片式磁珠与片式电感

片式电感

在电子设备的 PCB 板电路中会大量使用感性元件和 EMI 滤波器元件,这些元件包括片式电感和片式磁珠。在需要使用片式电感的场合,要求电感实现以下两个基本功能:电路谐振和扼流电抗。谐振电路包括谐振发生电路、振荡电路、时钟电路、脉冲电路、波形发生电路等。谐振电路还包括高 Q 带通滤波器电路。要使电路产生谐振,必须有电容和电感同时存在于电路中。在电感的两端存在寄生电容,这是由于器件两个电极之间的铁氧体本体相当于电容介质而产生的。在谐振电路中,电感必须具有高品质因素 Q,窄的电感偏差,稳定的温度系数,才能达到谐振电路窄带,低的频率温度漂移的要求。高 Q 电路具有尖锐的谐振峰值。窄的电感偏置保证谐振频率偏差尽量小。稳定的温度系数保证谐振频率具有稳定的温度变化特性。标准的径向引出电感和轴向引出电感以及片式电感的差异仅仅在于封装不一样。电感结构包括介质材料(通常为氧化铝陶瓷材料)上绕制线圈,或者空心线圈以及铁磁性材料上绕制线圈。在功率应用场合,作为扼流圈使用时,电感的主要参数是直流电阻(DCR,定义为元件在没有交流信号下的直流电阻)、额定电流和低 Q 值。当作为滤波器使用时,希望宽的带宽特性,因此并不需要电感的高 Q 特性,低的直流电阻(DCR)可以保证最小的电压降。

片式磁珠

片式磁珠是目前应用、发展很快的一种抗干扰元件,廉价、易用,滤除高频噪声效果显著。片式磁珠由软磁铁氧体材料组成,片式铁氧体磁珠的结构和等效电路如图 2 所示,实质上它就是 1 个叠层型片式电感器,是由铁氧体磁性材料与导体线圈组成的叠层型独石结构。由于在高温下烧结而成,因而具有致密性好、

可靠性高等优点。两端的电极由银/镍/焊锡 3 层构成，可满足回流焊和波峰焊的要求。在图 2 所示的等效电路中， R 代表由于铁氧体材料的损耗(主要是磁损耗)以及导体线圈的欧姆损耗而引起的等效电阻， C 是导体线圈的寄生电容。

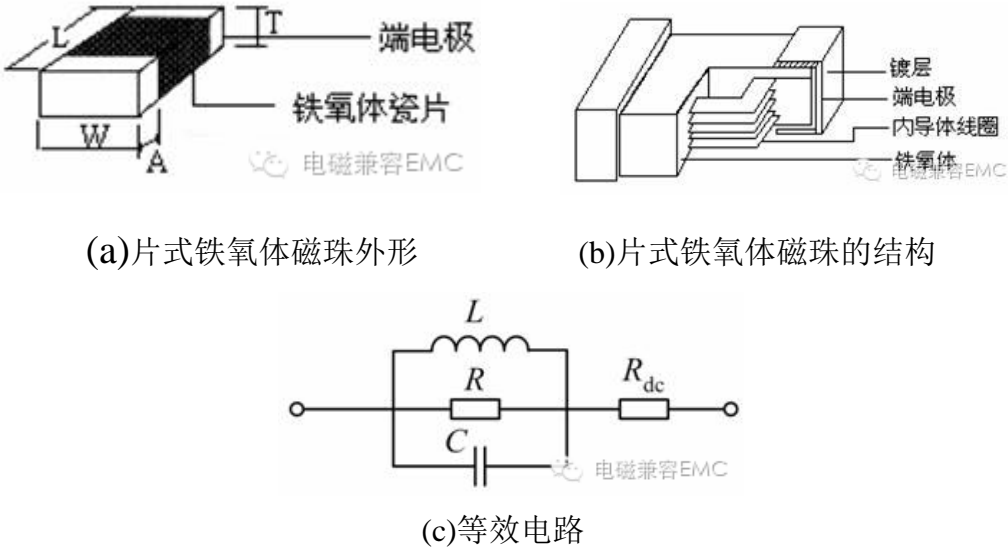


图 2 片式铁氧体磁珠的结构与等效电路

片式磁珠的功能主要是消除存在于传输线结构(PCB 电路)中的 RF 噪声,RF 能量是叠加在直流传输电平上的交流正弦波成分，直流成分是需要有用信号，而射频 RF 能量却是无用的电磁干扰沿着线路传输和辐射(EMI)。要消除这些不需要的信号能量，使用片式磁珠扮演高频电阻的角色(衰减器)，该器件允许直流信号通过，而滤除交流信号。通常高频信号为 30MHz 以上，但是低频信号也会受到片式磁珠的影响。

片式磁珠不仅具有小型化和轻量化的优点，而且在射频噪声频率范围内具有高阻抗特性，可以消除传输线中的电磁干扰。片式磁珠能够降低直流电阻，以免对有用信号产生过大的衰减。片式磁珠还具有显著的高频特性和阻抗特性，能更好的消除 RF 能量。在高频放大电路中还能消除寄生振荡。有效的工作在几个 MHz 到几百 MHz 的频率范围内[5] [6]。

片式磁珠在过大的直流电压下，阻抗特性会受到影响，另外，如果工作温升过高，或者外部磁场过大，磁珠的阻抗都会受到不利的影响。

片式电感与片式磁珠的使用

是使用片式磁珠还是片式电感主要还在于应用。在谐振电路中需要使用片式电感，而在需要消除不需要的 EMI 噪声时，则使用片式磁珠是最佳的选择。片

式电感的应用场合主要有：射频(RF)和无线通讯，信息技术设备，雷达检波器，汽车电子，蜂窝电话，寻呼机，音频设备，PDAs(个人数字助理)，无线遥控系统以及低压供电模块等。片式磁珠的应用场合主要有：时钟发生电路，模拟电路和数字电路之间的滤波，I/O 输入/输出内部连接器(比如串口、并口、键盘、鼠标、长途电信、本地局域网等)，射频(RF)电路和易受干扰的逻辑设备之间，供电电路中滤除高频传导干扰，计算机，打印机，录像机，电视系统和手提电话中的 EMI 噪声抑止。

5 磁珠的选用与应用

由于铁氧体磁珠在电路中使用能够增加高频损耗而又不引入直流损耗，而且体积小、便于安装在区间的引线或者导线上，对于 1MHz 以上的噪声信号抑制效果十分明显，因此可用作高频电路的去耦、滤波以及寄生振荡的抑制等。特别对消除电路内部由开关器件引起的电流突变和滤波电源线或其它导线引入电路的高频噪声干扰效果明显。低阻抗的供电回路、谐振电路、丙类功率放大器以及可控硅开关电路等，使用铁氧体磁珠进行滤波都是十分有效的。铁氧体磁珠一般可以分为电阻性和电感性两类，使用时可以根据需要选取。单个磁珠的阻抗一般为十至几百欧姆，应用时如果一个衰减量不够时可以用多个磁珠串联使用，但是通常三个以上时效果就不会再明显增加了[7]。如图 3 示出了利用两只电感性铁氧体磁珠构成的高频 LC 滤波器电路，该电路可有效的吸收由高频振荡器产生的振荡信号而不致窜入负载，并且不降低负载上的直流电压。

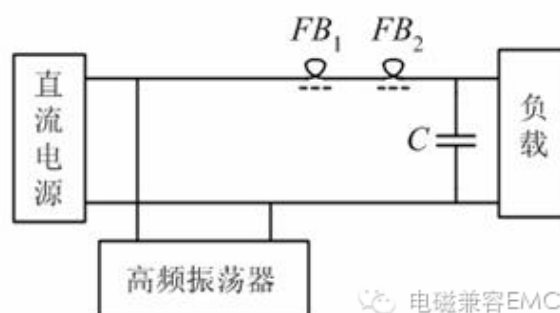
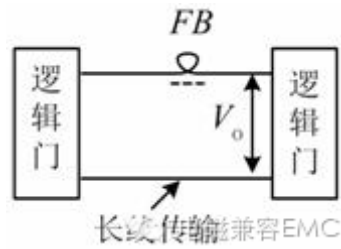


图 3 利用电感性铁氧体磁珠构成的 LC 高频滤波器电路

由于任何传输线都不可避免的存在着引线电阻、引线电感和杂散电容，因此，一个标准的脉冲信号在经过较长传输线后，极易产生上冲及振铃现象。大量的实验证明，引线电阻可使脉冲的平均振幅减小，而引线电感和杂散电容的存在，则

是产生上冲和振铃的根本原因。在脉冲前沿上升时间相同的条件下，引线电感越大，上冲及振铃现象就越严重，杂散电容越大，则使波形的上升时间越长，而引线电阻的增加，将使脉冲的振幅减小。在实际电路中，可以利用串联电阻的方法来减小和抑制上冲及振铃。图 4 给出了利用一个电阻性铁氧体磁珠来消除两只快速逻辑门之间由于长线传输而引起的振铃现象。



(a)