

浅析片式铁氧体磁珠的基本特性及分类应用

周志敏

摘要：本文在简介铁氧体磁珠基本特性的基础上，重点论述了通用型、大电流型、低DC电阻型、尖峰型片式、片式铁氧体磁珠阵列、GHz高频频型GHz高频频型片式铁氧体磁珠选用及应用。

关键词：磁珠，特性，应用

Analysis on the Basic Characteristic and Classified Application of Sheet Ferrite Beads

ZHOU Zhimin

Abstract: On the basis of introducing the basic characteristics of ferrite beads, this paper focuses on the selection and application of universal, high current, low DC resistance, spike, Chip Ferrite Beads array, GHz high frequency GHz high frequency chip ferrite beads.

Keywords: Magnetic beads, Characteristic, Application

1 片式磁珠的基本特性

片式铁氧体磁珠在EMI抑制中占有重要的位置，片式铁氧体磁珠是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。由于是在高温下烧结而成，因而致密性好、可靠性高。两端的电极由银、镍、焊锡3层构成，可满足再流焊和波峰焊的要求。

当电流流过其中心孔中的导线时，便会在磁珠内部产生循环流动的磁道。用于EMI控制的铁氧体在配制时，应使其可把大部分磁通作为材料中的热耗散掉。这个现象可以由一个电感器和一个电阻器的串联组合来模拟。两个元件的数值大小与磁珠的长度成正比，而且磁珠的长度对抑制效果有明显影响，磁珠长度越长抑制效果越好。由于信号能量呈磁耦合加到磁珠上，故电感器的电抗与电阻的大小随频率的升高而增大。磁耦合的效率取决于磁珠材料相对于空气的导磁率。

通常组成磁珠的铁氧体材料的损耗可以通过其相对于空气的导磁率，表示成一个复数量。磁性材料常用由此比值表征出损耗角。用于EMI抑制元件要求较大的损耗角，这意味着大部分干扰都将被耗散而不被反射。片式铁氧体磁珠的等效电路的阻抗Z可以表达为：

$$Z=R + jX$$

式中：X为电抗，Z、R、X都是频率f的函数。

|Z|、R、X随频率的增加而上升，直至由片式铁氧体磁珠的寄生电容C引起的自谐振频率时X将迅速下降，并由感性转为容性。在自谐振频率处，|Z|达到最大值。利用铁氧体磁珠的阻抗频率特性，可以达到让低频信号通过而同时抑制高频噪声的目的。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阻挡回去。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之一。

片式磁珠的功能主要是消除存在于传输线中的RF噪声，RF能量是叠加在直流传输出电平上的交流正弦波成分，直流成分是需要的有用信号，而射频RF能量却是无用的EMI沿着线路传输和辐射(EMI)。要消除这些不需要的信号能量，使用片式磁珠的高频电阻特性，即允许直流信号通过，而滤除交流信号。通常高频信号为30MHz以上，然而，低频信号也会受到片式磁珠的影响。

片式磁珠由软磁铁氧体材料组成的高体积电阻率的独石结构，涡流损耗同铁氧体材料的电阻率成反比，涡流损

耗随信号频率的平方成正比。使用片式磁珠的优点有：小型化和轻量化。在射频噪声频率范围内具有高阻抗，消除传输线中的 EMI。闭合的磁路结构可更好地消除信号的串扰，极好的磁屏蔽结构降低直流电阻，以免对有用信号产生过大的衰减。高频特性和阻抗特性（更好的消除 RF 能量）在高频放大电路中消除寄生振荡，可有效的工作在几个 MHz 到几百 MHz 的频率范围内。

2 片式铁氧体磁珠的分类及应用

(1) 通用型片式铁氧体磁珠

通用型片式铁氧体磁珠是应用最为广泛的 EMI 抑制元件，生产厂家一般提供 100MHz 时的阻抗 $|Z|$ 、直流电阻和额定电流等数据。表 1 给出某公司生产的 BG1005 系列通用型片式铁氧体磁珠的数据，同时，生产厂家还提供阻抗频率曲线，在选用时，主要依据其阻抗频率曲线的特性，不同的片式铁氧体磁珠其阻抗 $|Z|$ 随频率的上升趋势是不相同的。选择原则是：在有用的信号频率范围内 $|Z|$ 尽可能低，不致造成信号的衰减和畸变，而在需要抑制的 EMI 高频范围内， $|Z|$ 尽可能高，以将高频噪声有效抑制，同时还要考虑其直流电阻和额定电流。

(2) 大电流型片式铁氧体磁珠

片式铁氧体磁珠所能承受的额定电流与其材料和结构有关，在表 3-4 中，对于通用型 1005 规格片式铁氧体磁珠而言，当其在 100MHz 的阻抗为 5Ω 时，额定电流可以达到 500mA，当阻抗提高到 120Ω 时，额定电流下降到 150mA。如果超过额定电流将会出现两个问题：一是由于偏置电流过大，使铁氧体接近饱和使导磁率下降，导致抑制高频噪声的效果明显减弱，这是不能允许的。而在

某些场合，必须要求片式铁氧体磁珠能够承受较大的电流。例如，安装在 DC 电源输出端口的片式铁氧体磁珠，必须在通过大的 DC 电流的同时能够有效地抑制 DC 电源中产生的高次谐波分量，即片式铁氧体磁珠必须在大的偏置磁场下对高频信号仍然保持较高的阻抗值。为此，生产厂家开发了大电流型片式铁氧体磁珠，其额定电流几乎提高了 1 个数量级。如 MBW 系列产品中的 1608 规格，当其在 100MHz 阻抗为 150Ω 时，其额定电流高达 300mA。

(3) 低 DC 电阻型片式铁氧体磁珠

在某些情况下要求片式铁氧体磁珠的 DC 电阻越小越好，如所有电池供电的便携式电子产品都要求减少电阻以延长电池的使用时间，随着高速数字电路的发展，IC 电源的功率消耗增加，所以在 IC 电源线中插入的片式铁氧体磁珠必须是低 DC 电阻型，IC 及半导体器件的工作电压逐步下降，这也要求片式铁氧体磁珠的 DC 电阻下降。另外，片式铁氧体磁珠的 DC 电阻会引起热噪声，在某些电路中是不允许的。为了解决上述问题，近年来生产厂家提高了材料的导电性，优化了导体线圈的结构设计，从而大大降低了片式铁氧体磁珠的 DC 电阻，现在已经有 DC 电阻低于 0.01Ω 的片式铁氧体磁珠面市。

(4) 尖峰型片式铁氧体磁珠

一些电子产品有时会在某一固定的频率下出现强烈的干扰信号，出现这种现象的原因很多，例如高次谐波、自激振荡或外界干扰等。由于这样的干扰信号出现在固定的频率下，幅度很大，用普通的 EMI 元件很难抑制。针对这种情况，生产厂家开发了一种称为尖峰型片式铁氧体磁珠的产品。尖峰型片式铁氧体磁珠在某一频率下，阻抗 $|Z|$ 呈现尖锐的峰值。显然，如果尖峰型片式铁氧体磁珠阻抗

表 1 BG1005 系列通用型片式铁氧体磁珠的电气参数

型号	阻抗/ Ω ($\pm 25\%$)	测试频率/MHz	直流电阻/ Ω (max)	额定电流/mA(max)
BGL1005A050H	5	100	0.05	500
BGL1005A070H	7	100	0.05	500
BGL1005A110H	11	100	0.05	500
BGL1005A190H	19	100	0.05	300
BGL1005A310H	31	100	0.25	300
BGL1005A600H	60	100	0.4	200
BGL1005A800H	80	100	0.4	200
BGL1005A12IH	120	100	0.5	150
BGL1005A18IH	150	100	0.6	150
BGL1005A30IH	300	100	0.8	100
BGL1005A50IH	500	100	1.2	100
BGL1005A60IH	600	100	1.5	100

$|Z|$ 呈现尖锐峰值的频率与干扰信号的频率重合，那么就能够将这个幅度很高的强烈干扰有效抑制。不同电子产品出现这样的干扰信号的频率是不相同的，因此在设计中要根据产品的情况（干扰信号的频率、频带、幅度等）向片式铁氧体磁珠生产厂家专项订购，才能达到满意的效果。

开关电源最大的缺点就是容易产生噪声和干扰，开关电源的噪声主要是由开关功率管和开关整流二级管快速变化的高压切换和脉冲短路电流引起的，因此采用有效元件把它们限制到最小程度是抑制噪声的主要方法之一。通常采用非线性饱和电感来抑制反向恢复电流尖峰，此时铁芯的工作状态是从 $-Bs \sim +Bs$ 。根据开关电源续流二极管上的高磁导率与可饱和性的超小型电感元件的特性，开发出用来抑制开关电源开关时产生的峰值电流的尖峰抑制器，其性能特点有：

- 1) 初始和最大电感值很高，饱和后残余电感值非线性极不明显。串联接入回路后，电流升高瞬间显示出高阻抗，可以作为瞬间阻抗元件使用。
- 2) 适用于防止半导体回路中瞬态电流峰值信号、冲击激励电路和由此而伴生的噪声，还可以防止半导体损坏。
- 3) 剩余电感极小，电路稳定时损耗很小。
- 4) 与铁氧体制品的性能不同。
- 5) 只要避免磁饱和，可作为超小型、高电感的电感元件使用。
- 6) 可以作为低损耗的高性能可饱和铁芯用于控制和产生的振荡。

尖峰抑制器要求铁芯材料具有较高的磁导率以得到较大的电感量，高矩形比可使铁芯饱和时电感量应迅速下降到零；矫顽力小、高频损耗低，否则铁芯放热不能正常工作。

尖峰抑制器用途主要表现在减小电流尖峰信号；降低由于电流峰值信号引起的噪声；防止开关功率管的损坏；减低开关功率管的开关损耗；补偿二极管的恢复特性；防止高频脉冲电流冲击激励。

(5) 片式铁氧体磁珠阵列（磁珠排）

将几个（一般是 2 个、4 个、6 个、8 个）铁氧体磁珠并列封装在一起，构成一个集成型片式 EMI 抑制元件，称之为片式铁氧体磁珠阵列或磁珠排，例如 BMA2010 型就是将 4 个磁珠并列封装在 $2.0\text{mm} \times 1.0\text{mm}$ 尺寸的外壳内，其中铁氧体磁珠阵列每一线的性能与单个磁珠相同。如果需要，上述的几类片式铁氧体磁珠均可做成阵列元件。在开关电源中某些有排线的部位，使用这种铁氧体磁珠阵列元件非常方便，既能节省 PCB 的占用面积，又能提高贴装速度。

(6) GHz 高频型片式铁氧体磁珠

数字电路高速化的发展趋势非常强劲，时钟频率越来越高。这样，一方面将 EMI 的频率范围向高频段扩展，直至 $2\text{GHz} \sim 3\text{GHz}$ ，另一方面，由于高速数字信号的脉冲波形更加陡峭，以致基波频率提高，为了使这样的信号通过片式铁氧体磁珠后波形不发生畸变，就要求它对 3 次谐波乃至 5 次谐波不产生大的损耗。这就意味着装入高速数字电路的片式铁氧体磁珠在几百 MHz（例如 400MHz）以下的频段内保持低阻抗 $|Z|$ ，以致不引起信号波形的畸变，而在几百 MHz 至 $2\text{GHz} \sim 3\text{GHz}$ 的高频段内具有高阻抗 $|Z|$ ，以能够有效地抑制高频 EMI。

为了满足上述要求，生产厂家开发出一些 GHz 高频型片式铁氧体磁珠，此类 GHz 高频型片式铁氧体磁珠采用低温烧结 Z 型 6 角晶系铁氧体材料。