

电磁干扰抑制器件中的片式元件

钱振宇

一 引言

随着电子设备朝小型、轻量、集成、高速、智能和多功能方向发展，表面贴装的片式元件应用得到了迅速发展。具有体积小，性能好、功能全、价位低的优势，作为新一代电子组装技术，被广泛应用各个领域的电子产品中。

设备小型化的同时，设备的工作电压却一再降低（已低至1点几伏），工作速度却一再提高，由此引发的设备电磁兼容问题就越发严重了。作为对电磁兼容对策处理而使用的片式电磁兼容对策器件理所当然地得到了迅速发展，以便与设备的小型化趋势相匹配。

现在，片式电磁兼容对策器件的品种已经相当齐全：有片式磁珠、片式电感、片式电容、片式电磁干扰（EMI）滤波器和片式压敏电阻等等。

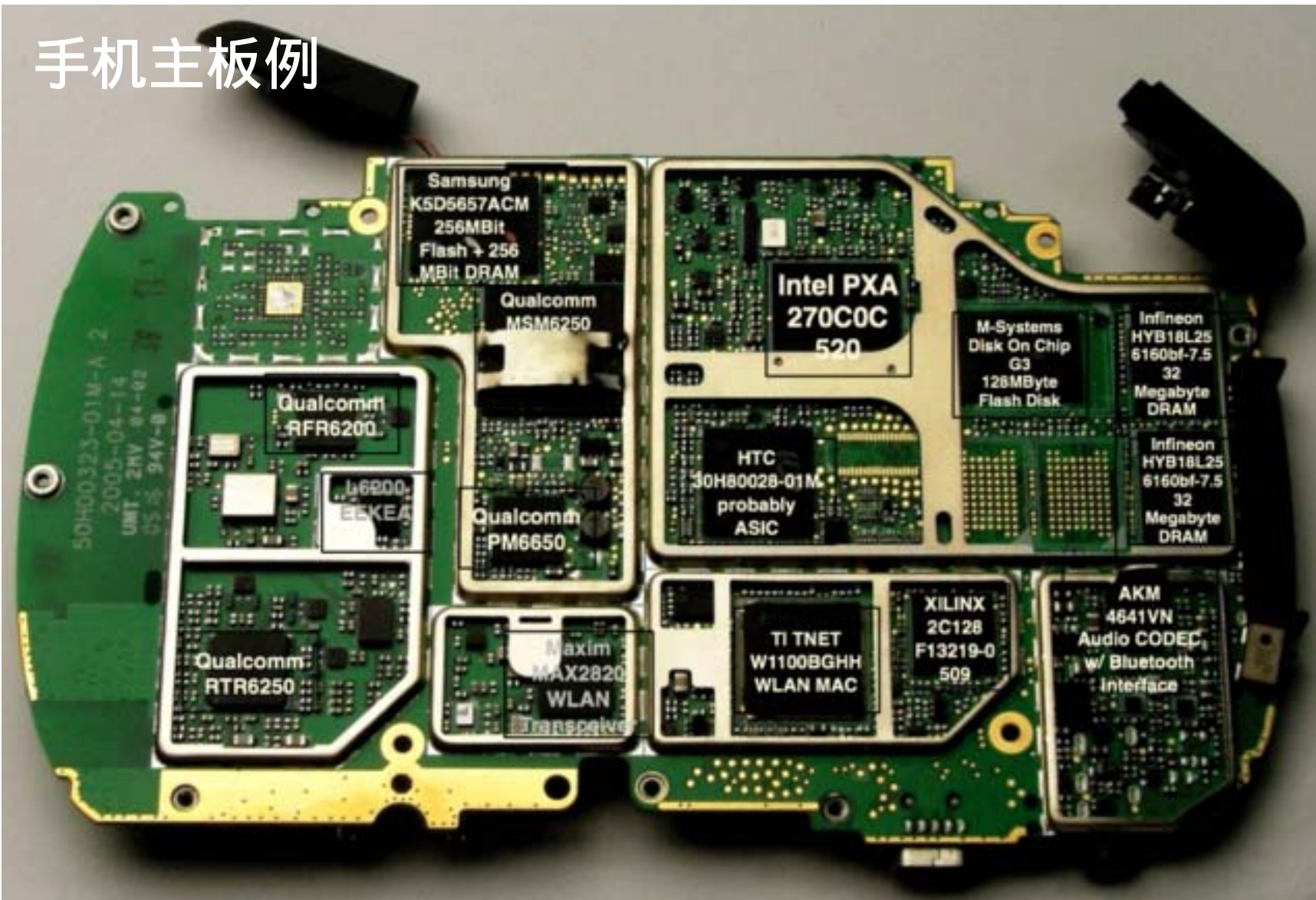
计算机主板例



计算机主板例（局部放大）



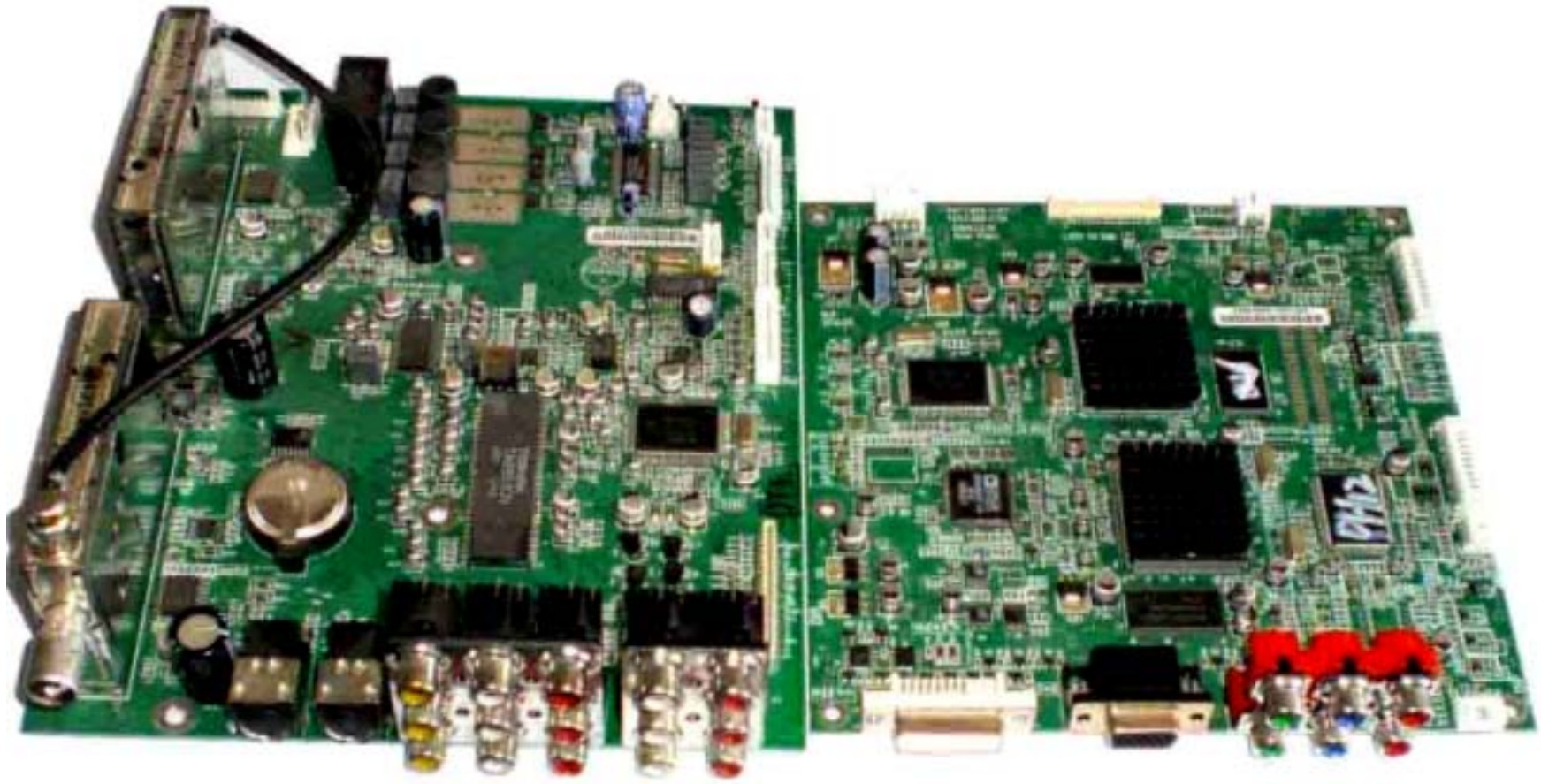
手机主板例



MP3主板例（不同方位）



液晶电视主板例



二 片式电磁兼容对策器件的应用例

片式电磁兼容对策器件的应用例见图1所示。

其中：

部位	使用的片式电磁兼容对策器件
电源线输入	片式压敏电阻，片式EMI滤波器，片式铁氧体磁珠
DC-DC变换器	片式EMI滤波器，片式铁氧体磁珠，片式三端电容器，片式三端电容器与普通电容器的组合
集成电路的供电电源	片式铁氧体磁珠，片式三端电容器，片式三端电容器与普通电容器的组合
时钟电路	片式EMI滤波器
总线	排式EMI滤波器
外部接口	排式EMI滤波器
外部测量控制线路	片式压敏电阻

模組型EMI濾波器

貼片EMI濾波器

貼片磁珠

排式貼片EMI

貼片壓敏電阻

DC 電源入力

DC 電源入力

貼片EMI濾波器

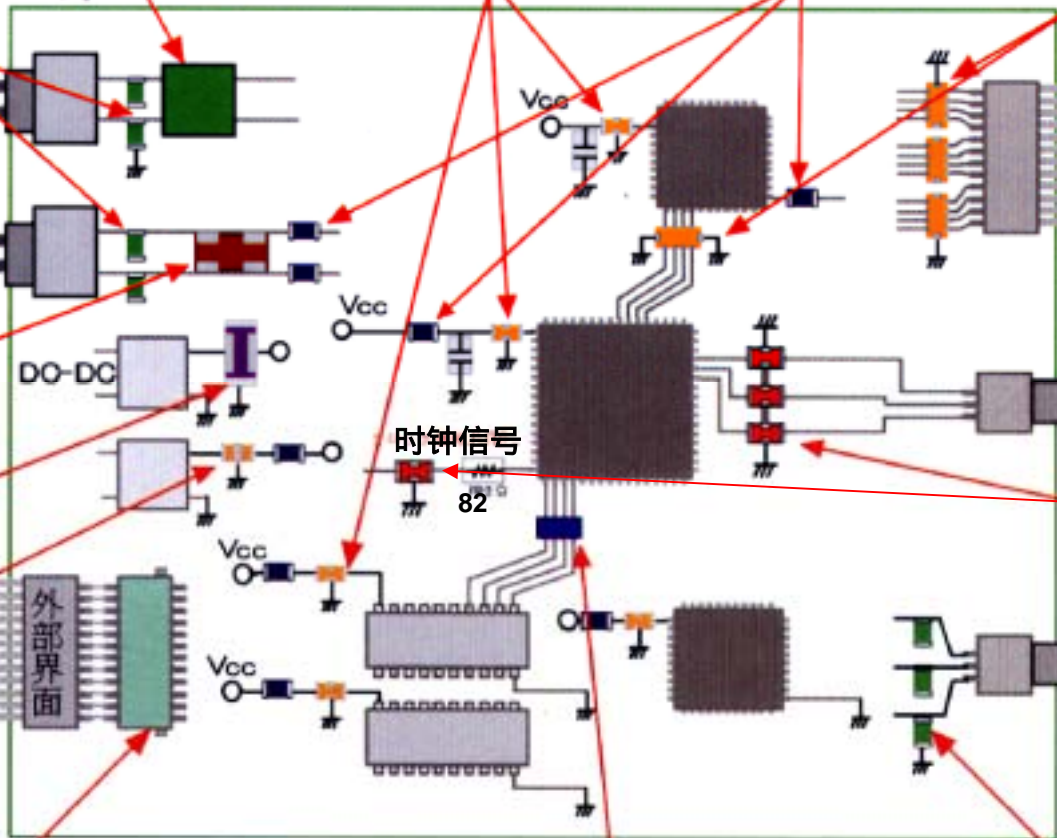
貼片EMI濾波器

貼片饋通電容

排式EMI濾波器

排式貼片磁珠

貼片壓敏電阻



外部界面

时钟信号

82

Vcc

Vcc

Vcc

Vcc

貼片EMI濾波器

Jack

图1

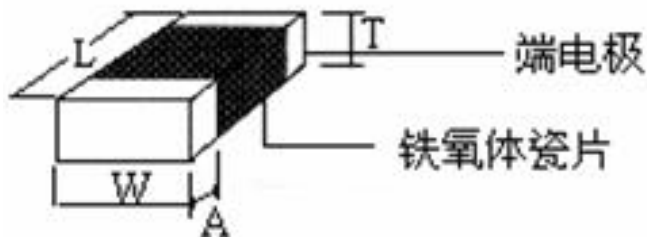
三 片式铁氧体磁珠

铁氧体抗干扰磁芯是近年来发展起来的新型干扰抑制器件，其作用相当于低通滤波器，较好地解决了电源线、信号线和连接器的射频干扰抑制问题，而且具有使用简单、方便、有效（使用时只要把铁氧体磁芯套在被保护线路上，无需接地，利用铁氧体磁芯所以对高频干扰所反映出来的阻抗，使高频干扰得到有效抑制）、占用空间不大及价格便宜等一系列优点，被获得了广泛的应用。

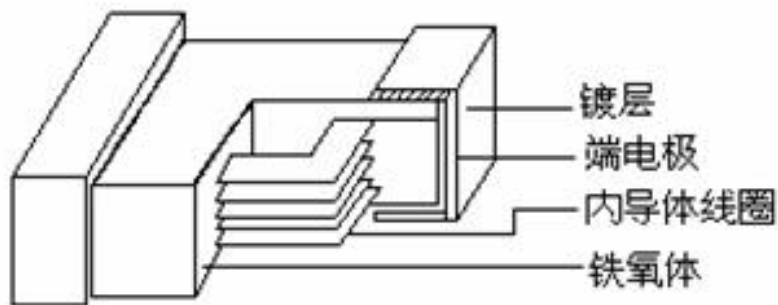
片式铁氧体磁珠则是目前片式元件中应用、发展很快的一种抗干扰元件，具有廉价、易用，以及滤除高频噪声效果显著的特点。

3.1 片式铁氧体磁珠的工作原理

图2为片式铁氧体磁珠的结构和等效电路，图中可见它实质上是1个片式叠层型电感器，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，可满足再流焊和波峰焊的要求。



a)片式铁氧体磁珠外形



(b)片式铁氧体磁珠的结构

图2

磁珠的等效电路用电感L和电阻R（后者体现涡流损耗的电阻）的串联来表示（图3），L和R都是频率的函数。在低频段，磁珠的阻抗主要由电感L构成，其值随频率的升高而增加。随着频率的升高，电阻R的分量逐渐增大，并逐渐成为总阻抗的主要部分。在高频段，磁珠的阻抗主要由电阻R构成，其值随频率的升高而增加。磁珠的损耗很小，由较整感。在低频段，磁珠的损耗很小，由较整感。在高频段，磁珠的损耗很大，由较整感。在高频段，磁珠的损耗很大，由较整感。

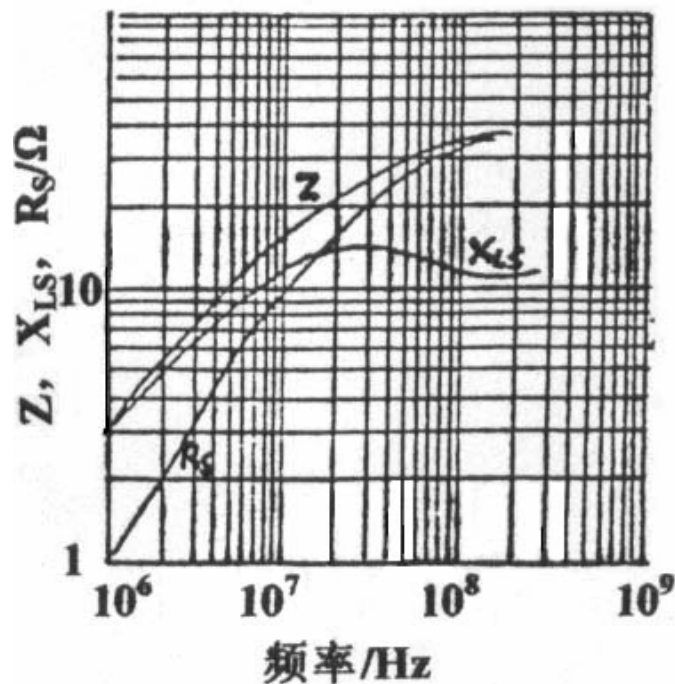
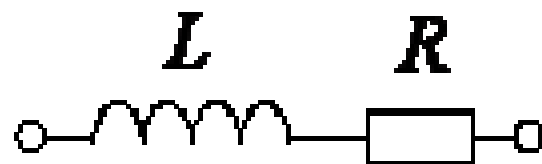


图3

片式磁珠的功能主要是用来消除传输线中叠加在信号传输电平上的高频成分。这是无用的电磁干扰，能够沿着线路边传输和边辐射。为了消除这些不需要的信号成分，利用片式磁珠在高频下产生的涡流损耗来扮演高频电阻角色，让频率比较低的信号顺利通过，而滤除叠加在信号传输电平上的高频成分（通常在30MHz以上）。当然片式磁珠在滤除高频成分的同时，对低频有用信号多少也要受到一点影响。

3.2 片式铁氧体磁珠的分类

3.2.1 普通系列

这是应用最多的片式铁氧体磁珠，在比较宽的频率范围内都有很好的抑制EMI性能。选用时要注意，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 $|Z|$ 要尽可能地低；而在需要抑制的电磁骚扰高频范围内， $|Z|$ 要尽可能高；同时还要考虑其直流电阻和额定电流。

3.2.2 大电流系列

片式铁氧体磁珠使用时，不应超过其额定电流范围。否则会出现铁氧体磁芯接近饱和，导磁率下降，抑制高频噪声的效果明显减弱。对于某些必须承受大电流的场合，如直流电源输出端口，在通过大电流的同时，还必须有效抑制其中的高频成分。为此，厂家专门开发了大电流的片式铁氧体磁珠，通过电流几乎提高1个数量级。而且在较宽的频率范围内有高阻抗及EMI抑制效果。这在现代数字电子产品的电源电路、USB电源电路都会遇到这样的问题。

3.2.3 高频系列

当前，数字电路高速化趋势强劲，时钟频率越来越高。这使得电磁干扰的频率向高频段扩展，直至2GHz ~ 3GHz；与此同时，高速数字信号的基波频率也在提高，为了使信号通过磁珠后不发生畸变，就要求磁珠对3次乃至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磁珠在几百MHz（例如400MHz）以下的频段内保持低阻抗 $|Z|$ ，而在几百MHz至2GHz ~ 3GHz的高频段内具有高阻抗 $|Z|$ ，能够有效抑制高频电磁干扰。此，生产厂家开发了一些GHz高频型片式铁氧体磁珠，以便应用在超高速电路的产品中（如移动通讯、计算机及其周边设备）。

3.2.4 定频系列

某些电子产品中，有时会在某一固定频率下出现强烈干扰。出现的原因有高次谐波、自激振荡或外界干扰等。由于干扰频率固定，幅度又很大，用普通EMI对策元件很难抑制，为此，厂家开发了一种定频系列的片式磁珠，其阻抗特性在某一频率下呈现尖锐峰值，如果峰值阻抗的频率与干扰频率重合，那么这个片式磁珠便可获得较高的干扰衰减效果，而对有用信号不产生影响。由于在不同产品的干扰频率是不同的，应根据具体情况（干扰的频率、频带、幅度等）进行专项订购，以达到满意效果。

图4是村田制作所BLM15BA定频系列片式铁氧体磁珠。

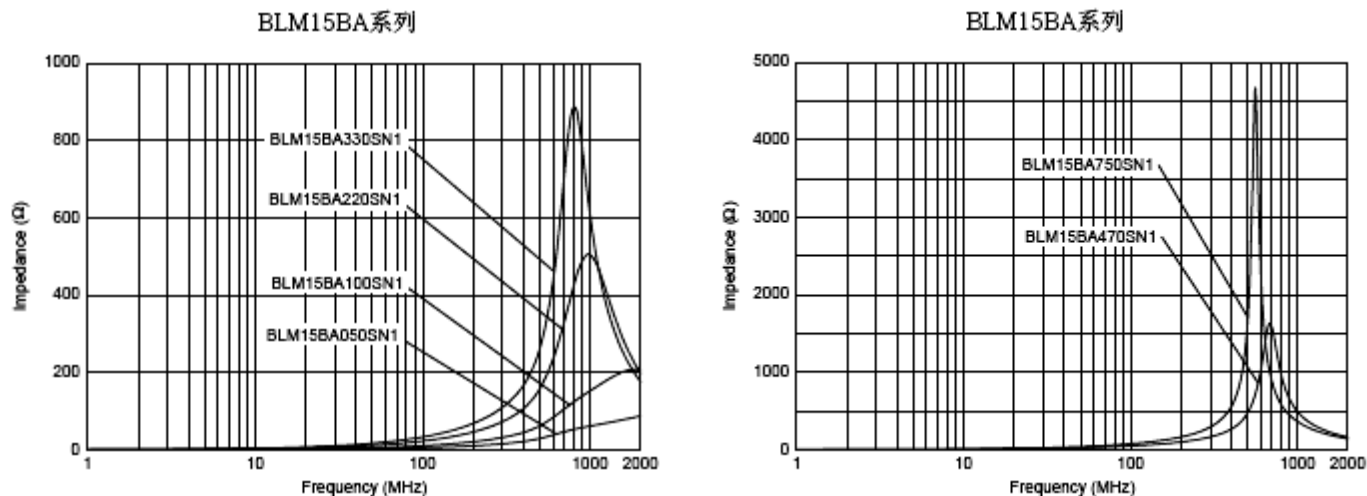


图4

3.2.5 磁珠排（磁珠阵列）

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，构成集成型片式EMI对策元件，被称为片式铁氧体磁珠排或磁珠阵列。磁珠排中的每1线的性能与单个磁珠相同。磁珠排适合于在有排线的部位（如I/O排线）作抗电磁干扰和高密度电路设计。磁珠排的使用十分方便，既能节省印刷电路板的面积，又能提高贴装速度，而且回路之间没有串扰。只要需要，前面提到的几类片式铁氧体磁珠都可以做成磁珠排。

图5是村田的BLA22AA/ BLA22AB系列磁珠排的引线、出脚和外形尺寸图。

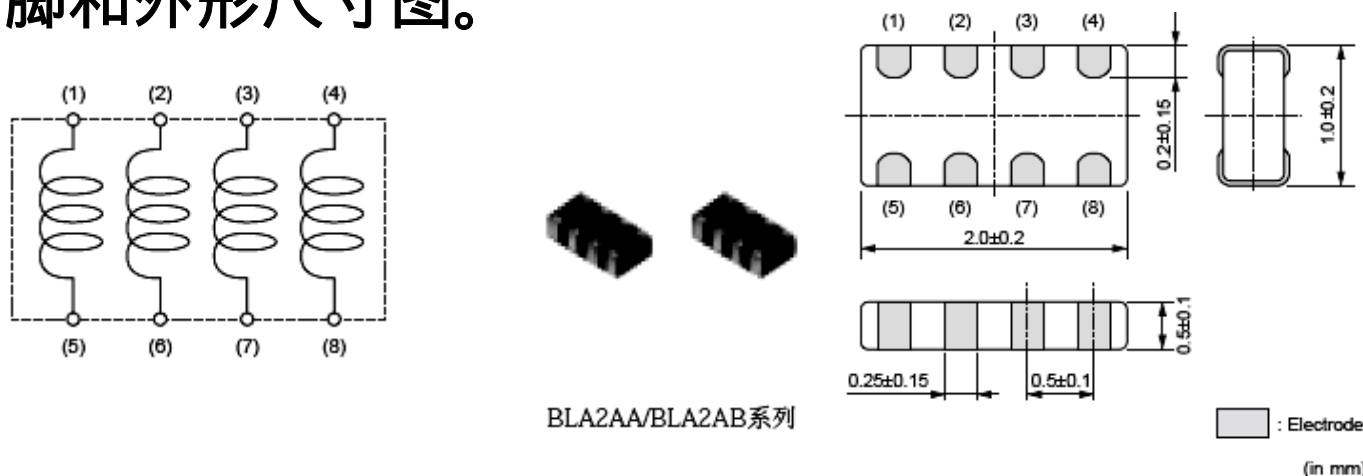


图5

四 片式电感和片式共模电感

4.1 概述

按照电感器在线路中的作用主要有两方面的应用，分别是波形发生和扼流电抗。

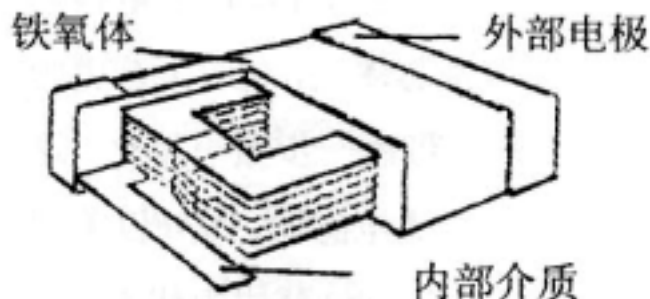
作为电磁兼容的对策器件，主要是将电感器作为扼流线圈来使用，这在电源和信号电路中都有应用。用它构成的滤波电路具有较宽的频率抑制特性和较高的通过电流。这种电感器不需要有高的Q值，而低的直流电阻可以保证在额定电流通过时有最小的电压降。

4.2 片式电感

片式电感的结构分类，分为叠层和绕线两大类型。

4.2.1 片式叠层电感器

片式叠层电感器，是电感领域重点开发的产品。片式叠层电感器不用绕线，是用铁氧体浆料（主要是镍锌材料。锰锌材料用在片式变压器和片式低频电感中）和导体浆料交替印刷、叠层、烧结，形成有闭合磁路的电感线圈（见图6）。它采用先进的厚膜多层钝化技术和叠层生产工艺，尺寸更加微小型化，更加容易实现规模化大生产。



就图中结构来看，片式叠层电感器与片式磁珠并无根本差别

图6

叠层型电感的主要特点是有磁屏蔽，不会干扰周围的元器件，也不会受临近元器件的干扰，有利于元器件的高密度安装。另外，规整的形状，适合于自动化表面安装生产。

与绕线型相比，电感量和可允许通过的电流相对较小，但是更适合在高频下使用。

4.2.2 绕线型片式电感

另一种形式的片式电感器是片式绕线电感器，这是对传统绕线型电感器的一种改进，采用微小型工字型磁芯，将细导线绕在软磁铁氧体磁芯上制成，外层一般用树脂封固（见图7）。这种类型的片式电感生产工艺简单、继承性强，体积小型化有限。但电性能优良（电感量大，品质因素高），适合于大电流通过，可靠性好。

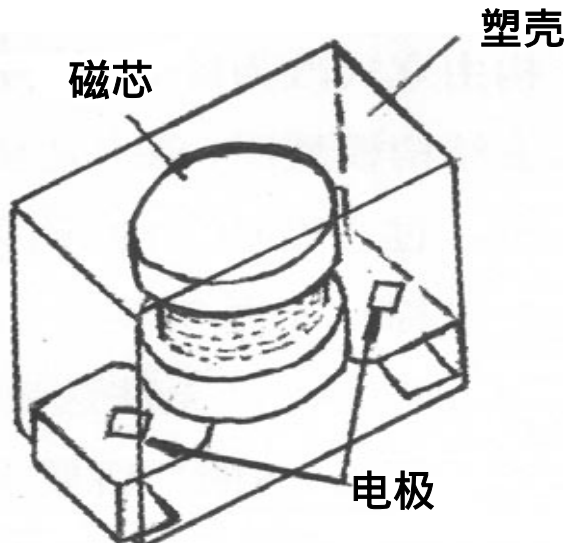


图7

4.3 片式电感与片式磁珠的区别

在《电磁干扰抑制器件的片式元件》话题中，片式电感主要用来抑制电磁干扰的发生。所以比较电感器与磁珠（包括片式电感与片式磁珠）也应该从这个主题出发。

电感器本身是一个无功元件，它在电路中不消耗能量。电感器之所以能够阻止高频信号在线路中流通，发挥对电磁干扰的抑制作用，是因为电感器在高频信号作用下体现了一个高阻抗元件，阻止了高频信号在线路中的流通，而将高频信号反射回干扰源。就这个应用的频率范围来说，很少有超过50MHz的。

对磁珠来说，是一个串联在需要抑制干扰线路上的软磁铁氧体磁芯。诚然在低频率时，铁氧体磁珠在电路上仍体现为一个电感。然而对于更高频率的干扰，由于磁芯磁导率的降低，导致电感量减小，感抗成分减小，使得磁珠电感成分对高频干扰的阻挡作用在减少。而与此同时，磁芯的损耗（涡流损耗）却在增加。后者等效为损耗电阻，电阻成分的增加，导致磁珠在线路上的总阻抗仍然在增加，所以当高频干扰通过铁氧体时，磁珠对高频干扰的阻挡作用仍然在增加，不过这次磁珠不是将高频干扰反射回干扰源，而是将其转换成热能的形式给耗散掉了。

这样看来，电感器和磁珠的结构没有本质上的不同，但是从抑制干扰的机理（依照抑制干扰的频率范围来划分）来说，两者明显是不同的，一个是将干扰反射回干扰源（指电感），另一个是将干扰吸收掉（指磁珠）。

4.4 片式共模电感器

在电子设备中，片式电感器的主要作用是抑制出现在信号线和电源线上的干扰，因此片式电感器的应用也从这两方面着手。

4.4.1 信号线的滤波

在电子设备中，对信号线的滤波主要是用来对付来自空间的干扰问题（包括从空间进入设备的干扰，和设备向空间发射的干扰），信号线在这里起了被动天线的作用（接收和发射天线的作用），这说明了信号线是电磁兼容的薄弱环节。由于从空间（包括辐射、电磁感应和电容耦合）进入信号线的干扰主要是共模形式的。基于这一原因，对于非屏蔽的信号线端口应当安装信号线滤波器，滤波器要安装在信号线进出的交界面上，要滤除的主要是一些频率相当高的共模干扰信号。

4.4.2 电源线的滤波

在设备电源线的电磁干扰传播途径中，电源线是最重要和关键的媒介。电源线是电力传输的网架，在空载时，电源线是天线，在电网中，电源线是传输电流的导体。电源线在电网中，电源线是传输电流的导体。电源线在电网中，电源线是传输电流的导体。

电源线在电网中，电源线是传输电流的导体。电源线在电网中，电源线是传输电流的导体。电源线在电网中，电源线是传输电流的导体。电源线在电网中，电源线是传输电流的导体。

电源线滤波器则安装在电源线上，专门用来抑制射频干扰。电源线滤波器则安装在电源线上，专门用来抑制射频干扰。电源线滤波器则安装在电源线上，专门用来抑制射频干扰。电源线滤波器则安装在电源线上，专门用来抑制射频干扰。

这样看来，无论是信号线或者是电源线，从抑制电磁干扰的角度出发，用得最多的还是共模抑制措施。因此实用中片式电感器使用最多的还是片式共模电感器。另外，电磁兼容对策器件制造厂商所提供的片式电感器主要也是片式共模电感器。

4.4 片式共模电感器举例

村田的片式共模电感有多种不同的系列产品，其中：

DLP S和DLP D系列薄膜型片式共模电感、DLW21S、DLW21H和DLW31S系列绕线型片式共模电感，可用于高密度装配。它们在高频时的高共模阻抗对噪声有极好的抑制功能；可在不造成高速信号传输失真情况下实现差分信号的噪声抑制。常被用于**USB 2.0、IEEE1934、LVDS、DVI、HDMI**等高速差分信号线的共模噪声抑制。

DLM G系列叠层共模电感，可以同时实现共模和差模噪声的抑制。在**100MHz**时的共模阻抗为**600**，差模阻抗为**1200**。可采取高密度安装，用于个人移动设备（如移动电话的麦克风、扬声器和耳机，以及**PDA、数码相机、MD播放机**）的噪声抑制。

另一种，**DLM2HG叠层共模电感**，在**100MHz**时的共模阻抗为**600**，内部含有三根连接线，可用于高品质的数字音乐设备的耳机线。

DLW5AH/5BS系列高性能绕线型片式共模电感，其外形尺寸为 $5.0 \times 5.0 \times 4.5\text{mm}$ ，共模阻抗达到 $190 \sim 4000$ ，通过电流为 $200\text{mA} \sim 5\text{A}$ 。由于 100MHz 时的共模阻抗最大值可达到 4000 ，实现了大的噪声抑制。另外，由于最大通过电流可达 5A ，非常适合于在电源线上使用。可用于便携设备的AC适配器中的直流电源线。

还有一种DLW5BT系列绕线型片式共模电感为薄型结构，外形尺寸为 $5.0 \times 5.0 \times 2.5\text{mm}$ 。在 100MHz 时的共模阻抗最大值可达 1400 ，最大通过电流可达 6A 。尤其适合于DC-DC转换器、电池充电器等便携电源设备的使用。

五 片式电容器

为了满足电子设备的整机向小型化、大容量化、高可靠性和低成本方向发展的需要，片式电容本身也在迅速发展：种类不断增加，体积不断缩小，性能不断提高，技术不断进步，材料不断更新，轻薄短小系列产品已趋向于标准化和通用化。此外，为了适应线路高度集成化的要求，多功能复合片式电容器正成为技术研究热点。

5.1 片式叠层陶瓷介质电容器

在片式电容器里用得最多的要数片式叠层陶瓷介质电容器了。

片式叠层陶瓷电容器(MLCC)，简称片式叠层电容器（或进一步简称为片式电容器），是由印好电极（内电极）的陶瓷介质膜片以错位的方式叠合起来，经过一次性高温烧结形成陶瓷芯片，再在芯片的两端封上金属层（外电极），形成独石结构，故也叫独石电容器，如图8所示。

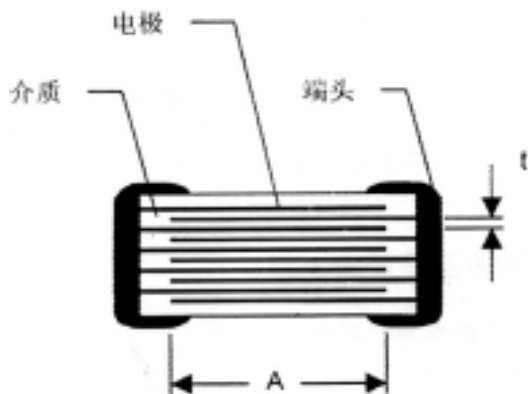


图8

片式叠层陶瓷电容器是一个多层叠合的结构，是多个简单平行板电容器的并联体。为了实现片式叠层陶瓷电容器大容量和小体积的要求，增大 N （增加层数，但会增大电容器的体积）、采用高 K 值材料（但会降低电容器容量的稳定性）、增加 A （但会增大电容器的体积）和减小 t （但会降低电容器的电压耐受能力）都能在不同程度上达到目的。

目前最常用的多层陶瓷电容器介质有三个类型：

COG和**NPO**为超稳定材料，**K**值为**10 ~ 100**。在 **-55 ~ +125** 范围内电容器的容量变化不超过 **±30ppm/**。

X7R是较稳定的材料，**K**值为**2000 ~ 4000**。它的使用温度范围为 **-50 至 +125**；此范围内的电容量变化可达到 **±15%**。

Y5V或**Z5U**为一般用途的材料，**K**值为**5000 ~ 25000**。

Z5U的使用温度范围为 **+10 至 +85**；此范围内的电容量变化从 **-56%至 +22%**。

Y5V的使用温度范围为 **-30 至 +85**；此范围内的电容量变化从 **-82%至 +22%**。

这些关系表明，对片式电容器选择不能一味只考虑体积和价格，如果有使用环境温度问题，还应当注意电容器的介质带来的电容量变化问题。

NPO电容器适用于要求比较高的场合，例如振荡器、谐振器的槽路电容，以及高频电路中的耦合电容。

X7R电容器由于性能比较稳定，可用在绝大多数要求不是十分严格的场合。它的主要特点是在相同的体积下电容量可以做得比较大（与**NPO**电容器相比）。

Z5U电容器尽管它的容量不稳定，但它特有的体积小、等效串联电感（**ESL**）和电阻（**ESR**）低、以及频率响应好的优点，使这种电容获得了广泛应用，特别是在退耦电路的应用。

Y5V电容器是一种温度有一定限制的通用电容器，但**Y5V**的高介电常数允许在较小的物理尺寸下制造出高达 $4.7 \mu\text{F}$ 的电容器。

另外，电容器的工作电压和储存时间对电容器的电容量变化也有影响：

使用电压对电容器的容量有影响，对介质稳定性低的电容器，在施加额定工作电压后电容量会大幅度下降（图9），有可能达不到使用效果。因此在电容器的选择不能一味追求大容量和小体积，必须在容量和使用电压上留有充分余地。

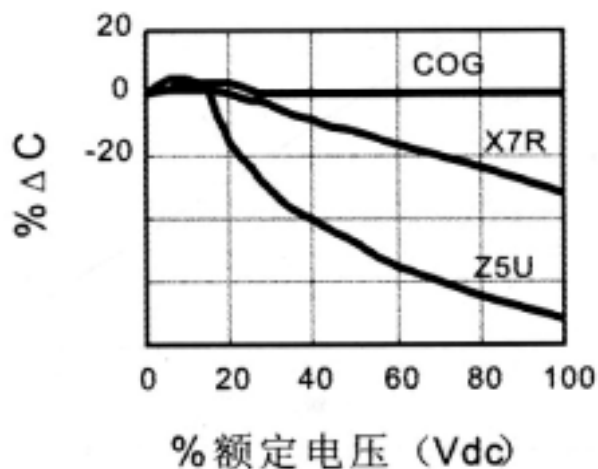


图9

储存时间对电容器的容量也有影响。

对稳定性好的电容器，如COG和X7R，随时间增长，电容器容量的变化不大。

可是对Z5U/Y5V这类电容器，在存放1000小时后的电容量变化可以达到5 ~ 10%，或更大。然而这类电容器的容量老化是可逆的。每次将电容温度升到125℃，老化过程便重新开始。所以这类电容器的长时间存放后所发生的容量偏低不属于产品的质量问題，其特性是符合国际规范的。对容量偏低电容器的通用解决办法是将电容器放在150℃左右的环境下预热1小时。其电容量就能恢复正常值。

5.2 片式电容器在设备电磁干扰抑制中的应用

片式电容器在一般电子电路中的主要应用有：滤波、耦合、去耦、旁路、谐振、时间常数（定时）和反馈等等。片式电容器在电磁干扰抑制中的应用，只是片式电容器的一个应用方面，为了突出电容器的“对策”作用，才专门列成一节。其中，电源线路去耦和滤波也是设备电磁干扰抑制的一部分。此外还有信号线的共模滤波，信号线和电源线的辐射抑制等等。

有时为了使片式电容干扰抑制的效果更加显现，还要与片式磁珠和片式电感器结合起来一起使用。现时还有一种将电容和电感综合在一个元件里的片式叠层复合器件可以供应，使得使用更加方便，使用效果也更好。

5.3 片式电容器的线路形式

5.3.1 片式二端电容器

片式二端电容器是使用最普遍的片式电容器。普通的引线式陶瓷圆片电容器，可作为旁路电容，短路到地，是电容器的引线电感限制了它的高频特性。从图10中可见，电容器插入损耗开始随频率增加而增加，直至与电容的感抗相等后，插入损耗开始下降。较好的旁路电容器的引线不能长。

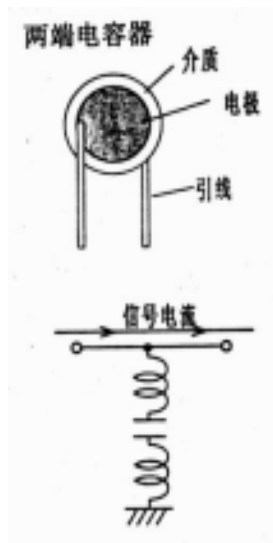
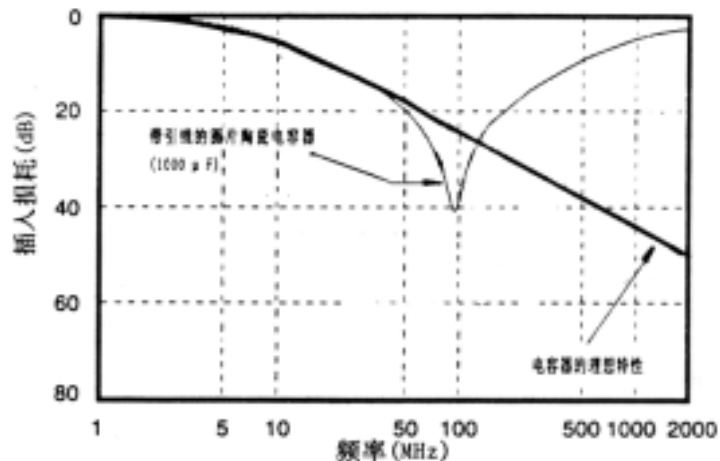


图10

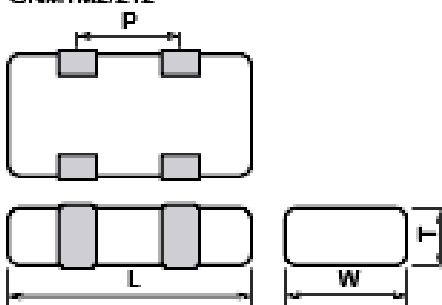
片式二端电容器（图11）对于改进普通引线式电容器的自谐振问题很有好处，因为片式二端电容器的引线长度得到了最大限度的缩减。只是电容器的内部结构，并不能够消除内部电极的残留电感，这样当频率达到使电容器的容抗 X_C 同残留电感的 X_L 的绝对值相等时，片式二端电容依然会产生自谐振，但是与普通有引线的二端电容相比较，还是有很大改进（谐振频率点明显移向高端频率）。

村田的片式二端电容器产品极其丰富，有一般的去耦和滤波用电容器（规格多、容量大）。还有排容产品，在一个器件中有2至4个电容，尤其适合在单片机的总线上使用，见图12。另外，还有一些特殊的电容器可供使用。



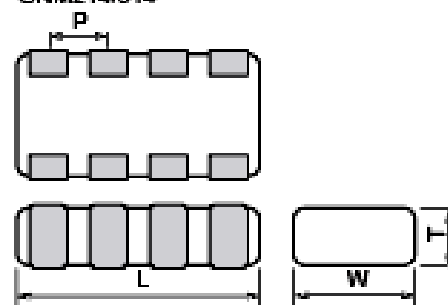
图11

GNM1M2/212



2元件

GNM214/314



4元件

图12

5.3.2 片式三端电容器

在分离元件的电容器中还有一种贯通电容器，亦称为穿芯电容器，堪称是最理想的电容器。穿芯电容的结构是地电极围绕在介质周围，同时信号线通过介质。由于这种电容器的接地端面 and 信号端面都不存在剩余电感，因此它提供的插入损耗近乎是理想的（见图13，作为特性的比较，图中也给出了普通引线电容的损耗特性）。

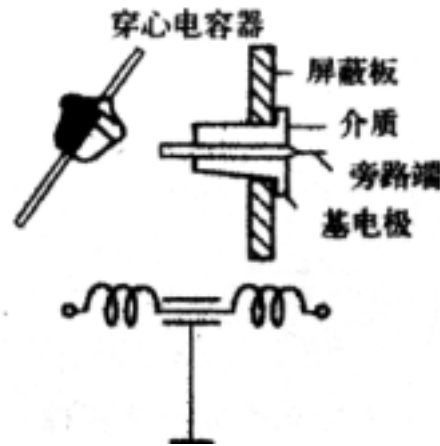
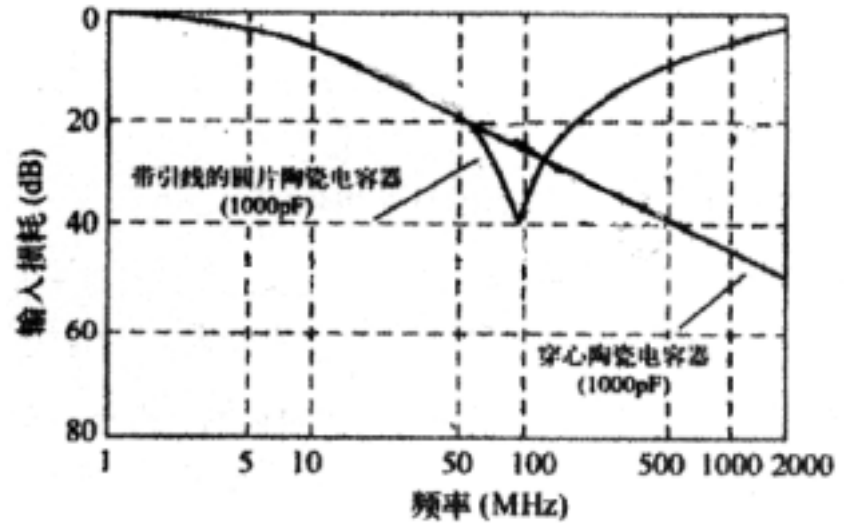


图13

将穿芯电容的结构原理运用到片式电容器上，这就穿芯电容的穿芯纵向部分这种结构在横向两侧。由于四端式结构，如图14所示。使用片式三端穿芯电容器时，横向侧的两个接地端子同时接地。

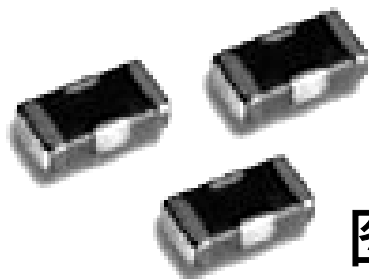


图14

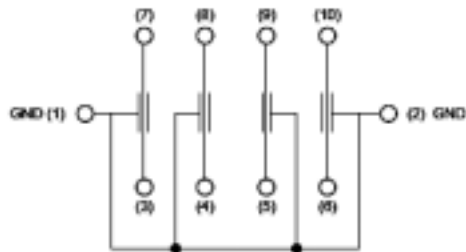


图15

村田还有一种片式三端电容器排容（内部有2个或4个电路。其中NFA31C系列的内部电路有4个，见图15，尺寸为 $3.2 \times 1.6 \times 0.8\text{mm}$ ；25V，通过电流为200mA，静电容有22、47、100、220、470、1000、2200、22000pF等几种），4个电路采用共用的双端子简单接地，实现了极好的高频噪声抑制功能。

图16给出了多种电容器的插入损耗和自谐振频率的比较。从图中可以看出片式三端电容的性能要明显优于片式二端电容器。

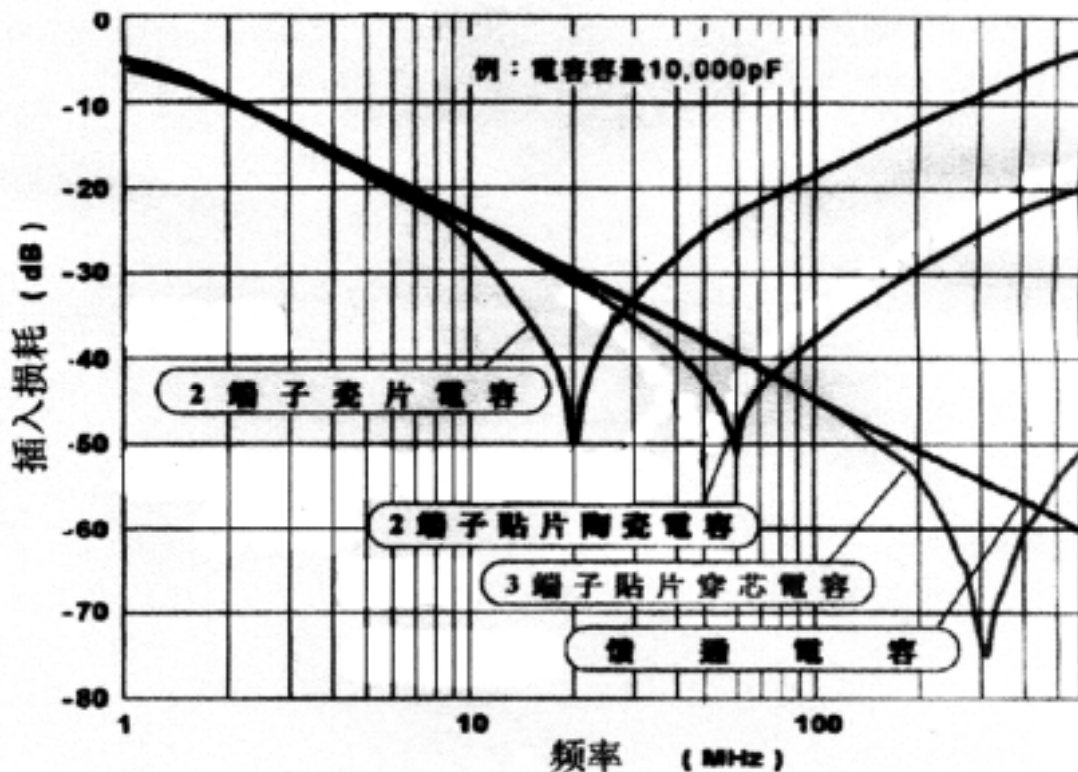


图16

5.3.3 大电流片式三端电容器

这里专门将大电流片式三端电容器列为一节，以示它与前面三端电容器的区别。这种电容器的残留电感低、静电容大，通过电流大，在宽频率范围内有很高的插入损耗，而小巧的外形尺寸更有利于高密度的安装。可用在高速IC电路电源线的噪声抑制。

在村田，有NFM18P/21P/3DP/41P/55P等系列的大电流片式三端电容器，视型号不同，外形尺寸从 $1.6 \times 0.8 \times 0.6$ mm至 $5.7 \times 5 \times 2.2$ mm；工作电压有6.3V，10V，16V和50V等数种；通过电流达到2 ~ 6A；静电容可选的规格有 $0.1 \mu\text{F}$ ， $0.22 \mu\text{F}$ ， $0.47 \mu\text{F}$ ， $1.0 \mu\text{F}$ ， $1.5 \mu\text{F}$ ， $2.2 \mu\text{F}$ ， $4.7 \mu\text{F}$ 等数种。

5.3.4 片式平衡线滤波器

英国的SYFER公司还将两个Y电容器和一个X电容器集成在一起，构成一个片式叠层型X2Y电容组件，可同时抑制共模和差模噪声，见图17。

可以用在DC电源作为滤波器使用；也可以用在平衡线和双绞线上，抑制寄生在信号线上的共模和差模噪声。

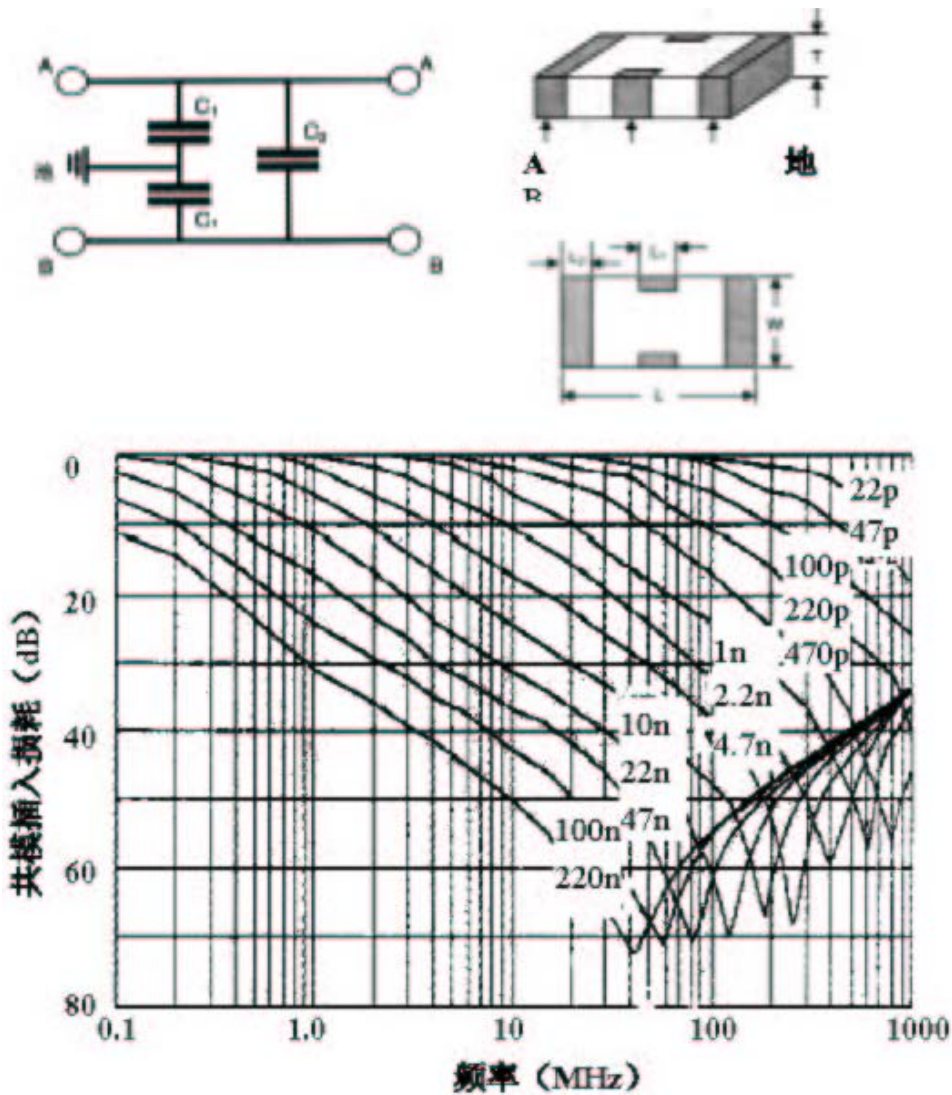


图17

SYFER的片式平衡线滤波器，根据尺寸不同，从16V至100V有数档可选择；片中电容 $C1=2C2$ ， $C2$ 从50pF ~ 600nF分成许多档次可以选择。

SYFER的片式平衡线滤波器所采用的介质材料有COG和X7R两种，由于介电系数不同，同样尺寸下COG材料电容的容量要比X7R小很多。

片式平衡线滤波器的优点：

用一个元件取代两个或两个以上的电容和电感。减少了线路板上的元件数量，节省了线路板的使用面积，提高了组装的效率，有利于微型化。

内部结构特殊，残留电感非常低（一般的线-地电感仅为100pH，而线-线电感仅50pH），因此在高频工作时的性能尤其突出。

能同时进行共模与差模的衰减。

两个对称的共模电容，容量的一致性较易得到保证。温度、电压和时间的影响会使两个共模电容作出同步反应，保证了两线的绝对平衡。

平衡线滤波器设计为两根线的旁路去耦元件，对处理高电流信号最为理想。

六 片式高频噪声抑制组件

由于片式叠层技术的发展，已经有可能将普通分离元件的滤波器做成片式的EMI滤波器。

片式EMI滤波电路按基本构成可分为三种，从最简单的单个电容或电感元件（已经介绍过的片式铁氧体磁珠、片式电感器和片式电容器就是这种元件），到电感与电容的二元件复合（L-C）电路，再到三元件构成的T型或型电路。通常组成的元件数越多，电路的插入损耗特性也就越好。

6.1 各种不同的片式高频噪声滤波组件

6.1.1 片式T型或 型高频噪声滤波组件

采用叠层工艺制作的高频噪声滤波器组件，可以在很小的尺寸内实现T型（如村田制作所的NFL18ST系列）或 型（如村田的NFL18SP和NFL21SP系列）的滤波器结构。这种滤波器有着非常陡峭的插入损耗特性，使得它对高速信号线有了极好的噪声抑制功能，防止了信号波形的失真。器件内部对电感器成功的杂散电容控制，获得了在高频范围内噪声的抑制。另外，组件的电极采用相同的结构，所以不存在极化的问题。这种组件可用于视频信号线（RGB线）和高速信号和时钟线的噪声抑制。

图18为NFL18ST系列T型滤波器组件（尺寸为 $1.6 \times 0.8 \times 0.8\text{mm}$ ），截止频率有200、300和500MHz三种，额定工作电压为16VDC，额定工作电流在150mA至200mA（视型号）。

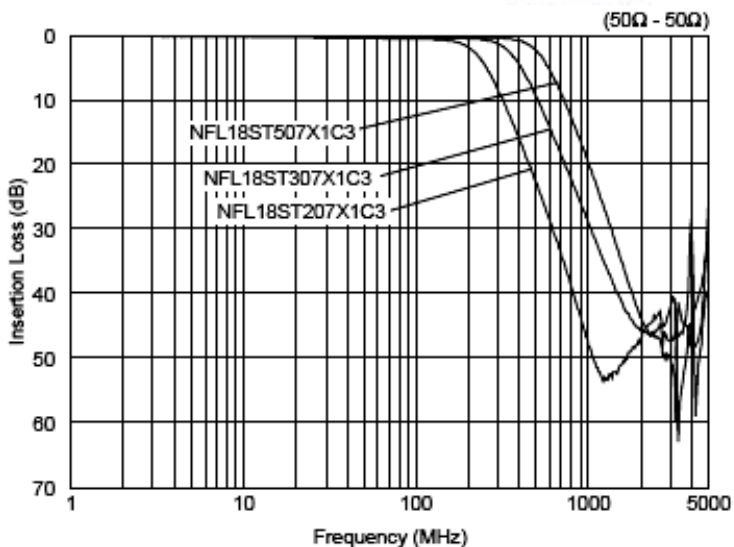
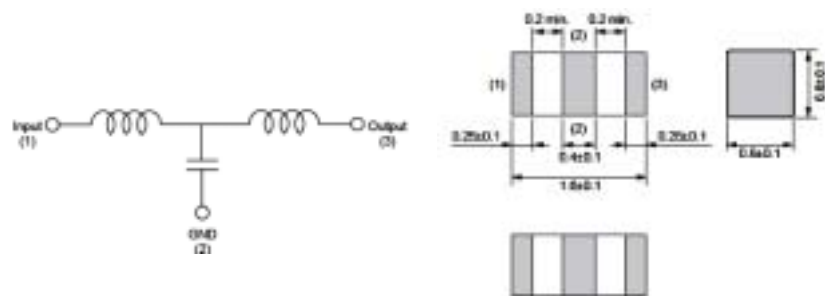


图18

图19为NFL18SP系列型滤波器组件（尺寸为 $1.6 \times 0.8 \times 0.6\text{mm}$ ），截止频率有150、200、300和500MHz四种，额定工作电压为10VDC，额定工作电流为100mA。

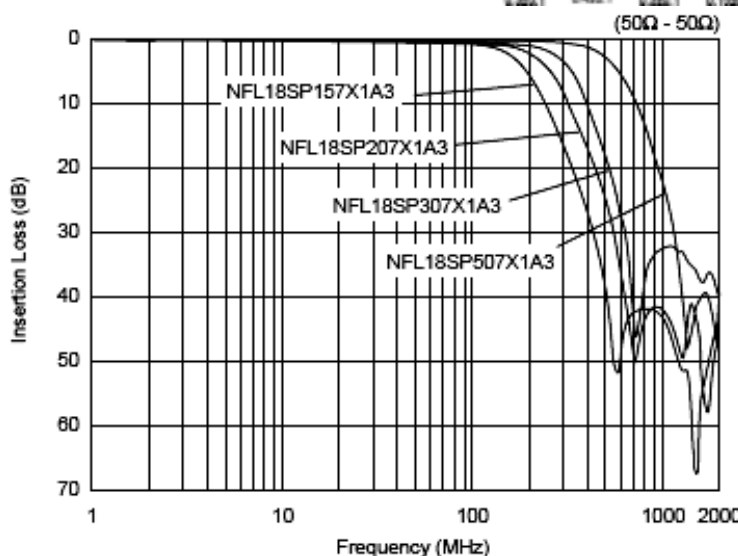
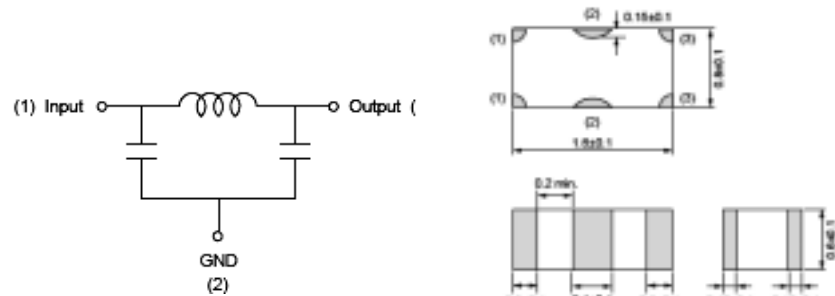


图19

从图18和图19可以看出，这两种滤波组件（一种是T型，另一种是 型滤波组件）有着非常相近的插入损耗特性，注意，这是在特定系统（50 -50 系统）中的测试结果。按照滤波组件与干扰源以及被保护部件的选择原则，在实际应用时，应该根据干扰源和被保护部件的阻抗情况选用内部线路不同的组件（是T型或者是 型滤波组件），否则很难保证滤波组件的使用效果，详见6.2节。

6.1.2 片式L-C高频噪声抑制组件

村田的片式L-C高频噪声抑制组件有NFA18SL（尺寸为 $1.6 \times 0.8 \times 0.8\text{mm}$ ，截止频率有300、400和480MHz三种，额定工作电压为10VDC，额定工作电流为100mA）和NFA21SL（尺寸为 $2.0 \times 1.25 \times 0.85\text{mm}$ ，截止频率有80、200、280、300、310和330MHz共11种，额定工作电压为10VDC，额定工作电流为100mA）两个系列。

在一个小尺寸的器件里安装了4个L-C电路（图20），它们陡峭的插入损耗特性曲线，特别适合于对800MHz及以上频率的噪声抑制。常用于对LCD以及照相机模块数据线的噪声抑制。

(3)(4)(5)(6): IN (OUT)
(7)(8)(9)(10): OUT (IN)

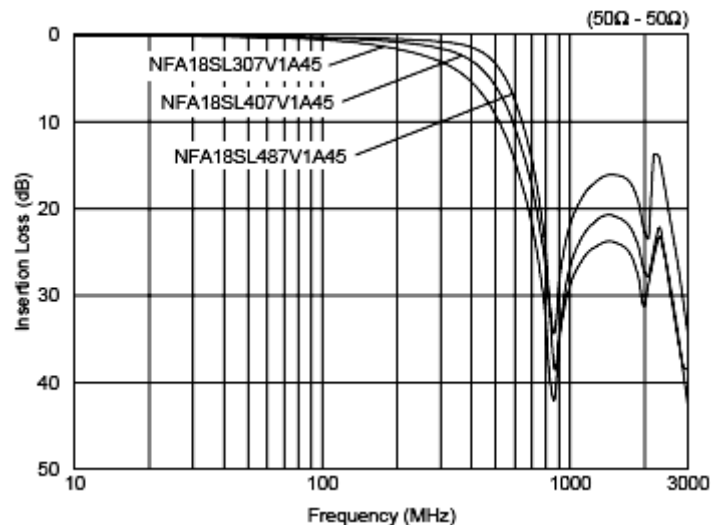
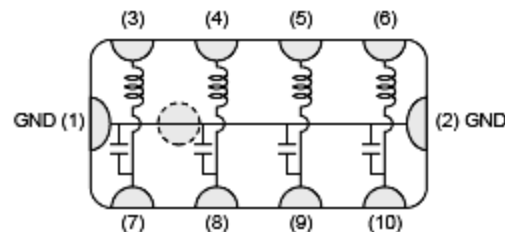
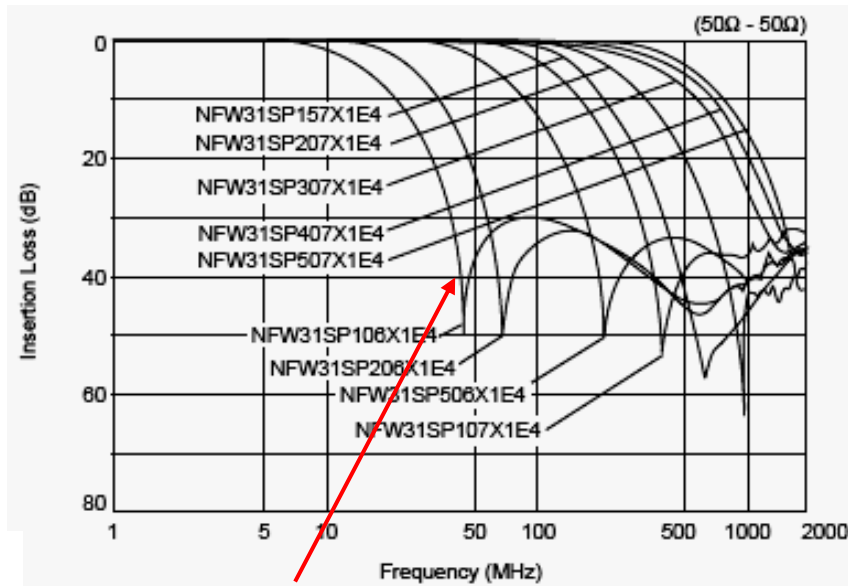
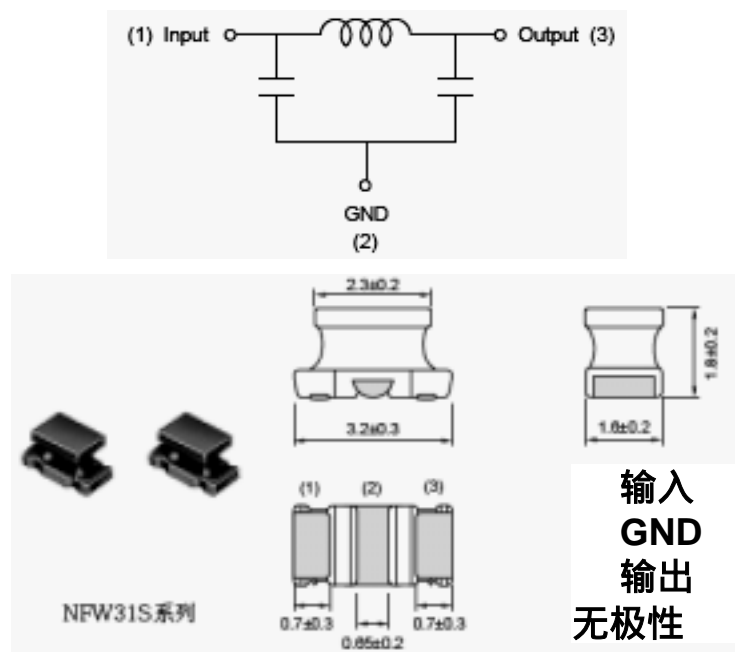


图20

6.1.3 片式复合绕线型滤波组件

村田的NFW31S系列（图21）是高性能片式复合绕线型滤波组件，可用于高速数字电路的噪声抑制，特别是用在信号和噪声频率彼此接近的场合，而对信号本身不产生衰减（或只有极少衰减）。组内部的独特结构设计实现了在高频下卓越噪声抑制能力（1GHz时的标准衰减值为40dB）。NFW31S系列有截止频率从10MHz到500MHz的9个不同型号（分别为10、20、50、100、150、200、300、400和500MHz）。



片式复合绕线型滤波组件中的电感可以做得比较大，所以它所抑制的频率可以做得比较低。

图21

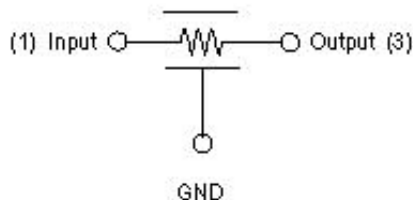
6.1.4 片式阻容复合滤波组件

村田还有NFR21G（单路，图22左， $2.0 \times 1.25 \times 0.5\text{mm}$ ）和NFA31G（4路，图22右， $3.2 \times 1.6 \times 0.8\text{mm}$ ，每路中心距为 0.8mm ）片式阻容复合滤波组件，是由电阻（对NFR21G为 $22 \sim 100 \Omega$ ；对NFA31G为 $10 \sim 100 \Omega$ ）和电容（对NFR21G为 $10 \sim 100\text{pF}$ ；对NFA31G为 $6.8 \sim 100\text{pF}$ ）组成的R-C滤波电路。

在电路设计上巧妙地利用分布参数，实现了阻抗的平滑变化，从而阻止了信号的反射和畸变。滤波电路中的电阻分量可以吸收噪声，并通过电容将其返回地线。电路设计中不存在极化问题，因而可以在双向传输线中使用。主要用于容易产生波形失真的接口线路和时钟线路中。



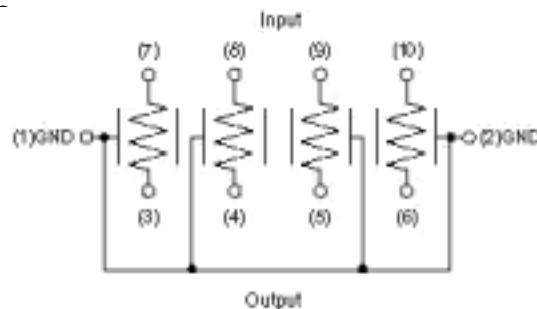
NFR21G系列



单路



NFA31G系列



四路

图22

6.1.5 大电流LC复合型T型滤波器

村田还有一种大电流LC复合型T型滤波器NFE31P（尺寸为 $3.2 \times 1.6 \times 1.6\text{mm}$ ，工作电压为25V，工作电流为6A）/61P（尺寸为 $6.8 \times 1.6 \times 1.6\text{mm}$ ，工作电压为50V，工作电流为2A）/61H（尺寸为 $6.8 \times 1.6 \times 1.6\text{mm}$ ，工作电压为100V，工作电流为2A）。

由于它有很低的直流电阻，即使有大电流通过时所产生的压降也很低，因此非常适合于在直流电源线上使用。另外，由于滤波器中所采用的穿心电容具有很好的高频特性，再加上内藏的铁氧体磁珠，它大大地降低了与周围电路发生谐振的可能性。同时考虑到滤波器中穿心电容的电容量选择范围很宽，因此这种滤波器还可以在信号线上得到应用。

6.1.6 表面贴装的高性能滤波器

村田的表面贴装高性能BNX系列滤波器（图23）有通过电流高（视型号不同为10~15A不等）和直流电阻低的特点。滤波器内部有多个滤波元件，因此它有很高的插入损耗（1MHz~1GHz范围内的插入损耗最小值为35~40dB）和很宽的频率范围（1MHz~1GHz），对静电放电和尖峰干扰也能有良好的抑制作用。被广泛地用在显示器、LCD电视机、数码AV设备、娱乐设备、电脑外围、工业设备、测量仪器和供电电源中。



12 × 9.1 × 3.1mm
50VDC, 10A

BNX022



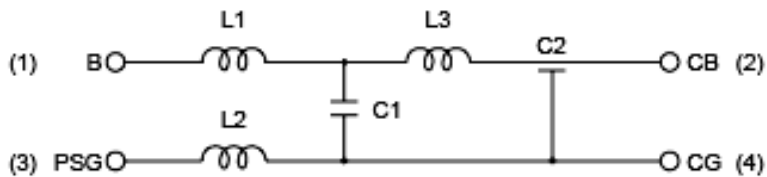
12 × 11 × 13.5mm
50VDC, 10A/ 15A ; 150VDC, 10A

BNX002/003



12 × 11 × 8mm
50VDC, 15A ; 25VDC, 15A

BNX012



~ 端子号
PSG : 电源地
CG : 电路地
CB : 电路电源+

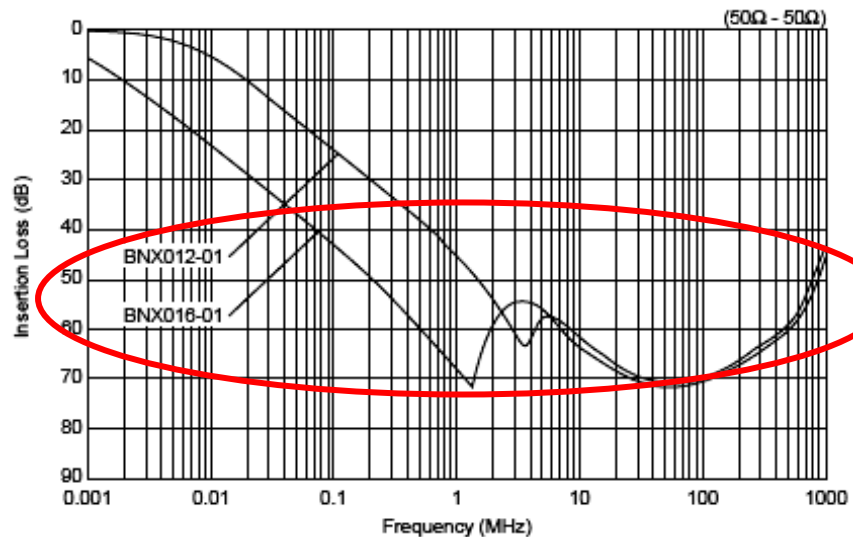


图23

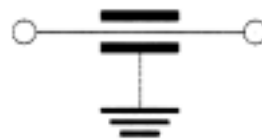
6.2 高频噪声滤波组件使用中应当注意的一个问题

尽管已介绍的每种器件都有足够优良的插入损耗和阻抗特性，但在实际应用时未必取得满意结果。这是因为器件的插入损耗都是在测试标准所规定的特定条件（测试用的信号源的内阻是50 Ω；测试用的测量接收机的输入阻抗也是50 Ω）下进行的。而接入线路中的噪声源和负载（接在高频噪声抑制组件后面的受保护线路）的阻抗却是一个未知数（可能大于，也可能小于50 Ω；甚至有可能在某些频点上大于50 Ω，而在另外一些频点上却是小于50 Ω），所以情况非常复杂，使得高频噪声抑制组件的使用效果难于预测。

在图24中给出了高频噪声抑制组件的一般使用原则：当电路是高阻抗的，可选用电容型滤波器（或型滤波器）；如果电路是低阻抗的，可选用电感型滤波器（或T型滤波器）。如果滤波电路两侧的阻抗相差较大时，则对阻抗低的一侧，采用电感型滤波器；而对阻抗高的一侧，采用电容型滤波器。掌握这种处理原则会使滤波效果大大提高。

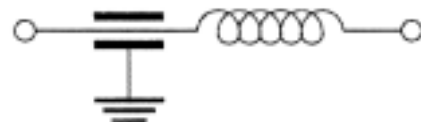
C 型

低电感的滤波器，将高频噪音分流接地。适用于高源阻抗和高负载阻抗的线路。



LC 型

电感加电容的滤波器，一般用于低源高负载阻抗（或相反）的线路。电感面对低阻抗的一方。



Pi 型

两电容夹一电感，适用于高源高负载阻抗的线路。



T 型

两电感中夹一电容，适用于低源低负载阻抗的线路。



图24

七 片式压敏电阻

随着电子产品的小型和多功能化，集成电路的集成度和速度大幅提高。与此同时，电路的敏感度也在不断提高，半导体芯片在电脉冲的冲击下显得越来越脆弱。通过传导和感应进入电子线路的各类电磁噪声、浪涌电流、甚至人体静电放电都能使整机产生误动作或损坏半导体元器件。芯片内部的保护电路由于空间受到限制，不可能将完善的保护线路和器件集成在一个芯片里，必须使用片外辅助的抑制器件。所以压敏电阻和硅瞬变电压吸收二极管（TVS管）等浪涌吸收元件得到了大量使用。

但是传统的圆片型氧化锌压敏电阻由于尺寸大、压敏电压高、响应速度低、能量耐受能力小等缺点，不能满足新型电子产品保护的要求。目前片式叠层氧化锌压敏电阻已在逐渐取代圆片型压敏电阻，甚至硅瞬变电压吸收二极管，成为新型电子产品脉冲保护的首选元件。

7.1 片式叠层压敏电阻的结构和工作原理

图25是片式叠层压敏电阻的外形和内部结构。

氧化锌介质 内电极（钽） 外电极（内层镀银，外层镀镍锡）

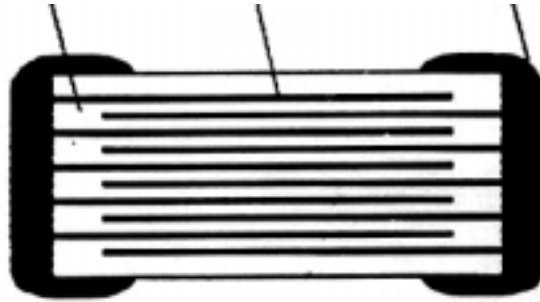
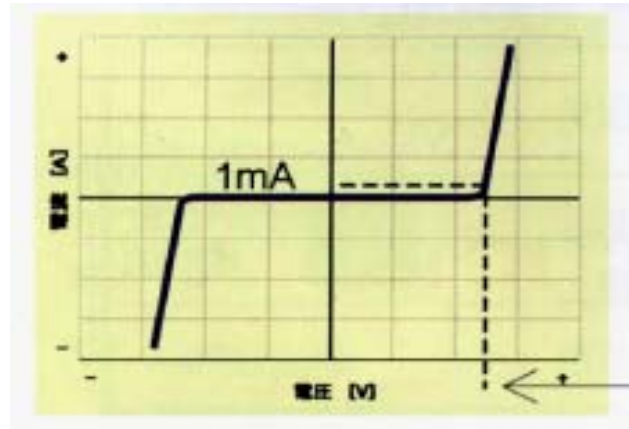


图25

压敏电阻以ZnO为主要原料，ZnO晶粒是一种半导体，电阻率只有 $0.1 \sim 1 \Omega \cdot \text{cm}$ 。而压敏电阻中的添加物存在于晶粒之间的边界层，电阻率为 $10^{12} \sim 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ ，比氧化锌要高出许多。这样，ZnO粒子中的电子要想达到临近的粒子，就必须穿过边界层，就需要一定的能量，通常要 $2 \sim 3\text{V}$ 的电压。

片式压敏电阻的这种特性，使得压敏电阻低于某一定电压时，晶粒间的阻值显得非常大，呈绝缘状态。但电压超过某值之后，内部内阻急剧下降，电极之间开始有电流通路。利用这一特性，当被保护线路中如有异常电压侵入，压敏电阻就将导通，而将保护电路的电压维持在正常水平下，见图26。



压敏电压

压敏电阻的伏-安特性

图26

7.2 片式叠层压敏电阻的特点

与圆片型压敏电阻相比，片式压敏电阻具有以下优点：

体积更小。目前 $3 \times 1.5\text{mm}$ 已经成为片式压敏电阻的标准尺寸，为同类圆片型压敏电阻和TVS管尺寸的 $1/4$ 到 $1/3$ 。 $2 \times 1.25\text{mm}$ 、 $1.6 \times 0.8\text{mm}$ 和 $1 \times 0.5\text{mm}$ 等尺寸标准也得到了应用。日本的村田制作所和松下公司甚至在1997年和1998年就已经推出了 $0.5 \times 0.25\text{mm}$ 型片式叠层压敏电阻。

能量耐受能力和通流能力更强。同体积的片式压敏电阻对 $8/20 \mu\text{s}$ 脉冲电流和 2ms 方波能量耐受能力分别达到圆片型压敏电阻的8倍和6倍。这是因为片式压敏电阻内的氧化锌陶瓷层与金属内电极层是相互交替叠合的，相邻的两内电极与所夹的陶瓷层组成一个单层“压敏电阻”，这些小的“压敏电阻”又通过外电极彼此并联在一起，从而大大提高了叠层压敏电阻的有效电极面积，使得瞬态过电压所产生的热量能均匀地耗散在外电极间的整个区域内，保证了元件高的能量耐受能力。

残压比小，保护性能好。压敏电阻保护性能的好坏主要取决于残压比（大电流通过时的限制电压与压敏电阻的压敏电压之比）。由于片式叠层压敏电阻的多层结构，当脉冲电流峰值一定时，流过两内电极间的电流仅为 I/n （ n 为内部陶瓷层数），其残压比必然较小。因此，片式叠层压敏电阻保护性将明显好于圆片式压敏电器。

响应速度更快、电压过冲更小。氧化锌材料本身的响应速度极快，响应时间小于**500ps**。传统圆片式氧化锌压敏电阻的响应速度较慢是由于其引线和封装带来的寄生电感造成的。而片式叠层压敏电阻采用表面贴装形式，无任何引线和外部封装，几乎是零电感，因此响应时间极短，仅为**1ns ~ 5ns**，而且电压过冲很小。

压敏电压易调。圆片式压敏电阻的压敏电压不仅与材料配方和器件厚度有关，而且受制造工艺影响很大。片式压敏电阻由于采用并联叠层结构，压敏电压只与单层介质的厚度有关，而与整片压敏电阻的厚度无关，因此在生产工序中只要通过控制陶瓷层的厚度就可调整器件压敏电压。

压敏电阻的固有静电容问题（在普通的圆片式压敏电阻中同样存在）。对于低频电路，大的静电容是有益的，因为它可以滤去高频干扰而使低频信号顺利通过。但是对于高频电路则正相反，大的静电容会导致信号恶化，降低电路对信号的识别能力。随着线路传输速度的提高，这一问题越益成为电路设计中不容忽视的问题。目前，片式压敏电阻产品的标准电容值为数十pF到几千pF不等，可适用于数据传输率最高为12Mbps的电子线路。对于更高的传输速率，可以考虑在压敏电阻的制作原料中添加 Sb_2O_3 以降低材料的介电系数，另外，也可在片式压敏电阻内部设计串联微间隙来降低片式压敏电阻的电容量。

7.3 片式叠层压敏电阻例

7.3.1 高速数据线保护用片式压敏电阻

MARUWA的CVL系列片式叠压敏电阻因其低电容（视型号不同，静电容为1~15pF）的特点，可以用在高速数据线上而不会引起波形衰减。该系列的片式压敏电阻在性能上能符合IEC61000-4-2标准对接触放电第4级的要求。此外，元件本身有高可靠性，而且没有引线。非常适合在USB2.0和其他高速信号线，以及高频应用场合里对静电放电实施保护。

7.3.2 静电保护用片式叠层压敏电阻

MARUWA的CVS系列片式叠层压敏电阻由于电容低（视型号不同，静电容为200~1000pF），可用在高速信号线上。它可以快速对脉冲响应，并且有低的ESR值，所以可用在对静电和浪涌进行保护上。该器件的可靠性高、体积小、吸收电流大，且无引线。主要应用在对便携式设备、AV设备进行防静电和浪涌的保护；也可用于对各种半导体元件进行过电压保护

7.3.3 低电压电路保护用片式叠层压敏电阻

MARUWA的CVG系列片式叠层压敏电阻在紧凑的器件尺寸里可以吸收非常大的脉冲峰值电流，而且该系列压敏电阻具有高的可靠性，优良的保护特性和非常快速的响应速度。常被用于对各种半导体器件的过电压进行保护；也用于各种电子设备对感应雷击的保护；同时对于由继电器、喇叭和马达所引起的切换瞬变，以及对于由静电和浪涌所形成瞬变进行保护。

7.3.4 车载电器保护用片式叠层压敏电阻

MARUWA的CVA系列片式叠层压敏电阻是专门用在供电电压为12VDC的汽车配套电气设备里的片式叠层压敏电阻。这一系列的压敏电阻具有尺寸紧凑，吸收的脉冲峰值电流特别大的特点。另外，它还具有高的可靠性，优良的保护特性和快的响应速度。被用来保护汽车配套的电子设备免受感应雷击；保护各种半导体器件免受过电压危害；对继电器、喇叭和马达产生的切换瞬变，以及静电和浪涌都能进行保护。

7.3.5 较高电压线路保护用片式叠层压敏电阻

MARUWA的CVH系列片式叠层压敏电阻是专门用在高电压系统（**100VAC和200VAC**）的电源电路中的压敏电阻。用来保护各种电子设备，防止它们受到感应雷去的攻击；还可用来保护各种半导体器件免受过高电压危害；同样也可以用来对继电器、喇叭和马达的切换瞬变，以及静电和浪涌的冲击进行保护。



谢谢!