

马达 EMC 的解决方法

什么是 EMC 认证

什么是 EMC 认证 随着电气电子技术的发展,家用电器产品日益普及和电子化,广播电视、邮电通讯和计算机网络的日益发达,电磁环境日益复杂和恶化,使得电气电子产品的电磁兼容性(EMC 电磁干扰 EMI 与电磁抗 EMS)问题也受到各国政府和生产企业的日益重视。电子、电器产品的电磁兼容性(EMC)是一项非常重要的质量指标,它不仅关系到产品本身的工作可靠性和使用安全性,而且还可能影响到其他设备和系统的正常工作,关系到电磁环境的保护问题。欧共体政府规定,从 1996 年 1 月 1 起,所有电气电子产品必须通过 EMC 认证,加贴 CE 标志后才能在欧共体市场上销售。此举在世界上引起广泛影响,各国政府纷纷采取措施,对电气电子产品的 EMC 性能实行强制性管理。国际上比较有影响的,例如欧盟 89/336/EEC 指令(即 EMC 指令)、美国联邦法典 CFR 47/FCC Rules 等都对电磁兼容认证提出了明确的要求

EMC 是 Electro Magnetic Compatibility 的缩写,即电磁兼容。

顺便说一句,我国 CCC 认证标志后带 EMC 字母的才表示电磁兼容认证

我们看电视的时候,如果旁边有人使用电吹风或电剃须刀之类的家用电器,屏幕上会出现令人烦感的雪花条纹。电饭锅煮不熟米饭,明明关闭了的空调器,过一会却又自己启动……这些都是常见到的电磁干扰现象。更为严重的是,如果电磁干扰信号妨碍了正在监视病情的医疗电子设备或正在飞行的飞机时,则会造成不堪设想的后果。

电磁兼容性(EMC)是指设备或系统在其电磁环境中符合要求运行并不对其环境中的任何设备产生无法忍受的电磁干扰的能力。因此,EMC 包括两个方面的要求:一方面是指设备在正常运行过程中对所在环境产生的电磁干扰不能超过一定的限值;另一方面是指器具对所在环境中存在的电磁干扰具有一定程度的抗扰度,即电磁敏感性。

所谓电磁干扰是指任何能使设备或系统性能降级的电磁现象。而所谓电磁干扰是指因电磁干扰而引起的设备或系统的性能下降。

EMC 包括 EMI(电磁干扰)及 EMS(电磁耐受性)两部份,所谓 EMI 电磁干扰,乃为机器本身在执行应有功能的过程中所产生不利于其它系统的电磁噪声;而 EMS 乃指机器在执行应有功能的过程中不受周围电磁环境影响的能力。

EMC CHINA.COM 中国电磁兼容网

下面讨论一下马达 EMC 的解决方法。解决电磁兼容的手段无非是电容、电感(扼流圈)、电源滤波器和接地。

不幸的是,电磁兼容问题通常是在产品已彻底完成设计并组装完毕时发现。这时考虑电磁兼容是十分困难的。制造商不仅面临着时间上的紧迫,而且项目预算已经用完,责任工程师已经调到其它项目上,不能随时帮助解决有关的问题。如果在产品的开发阶段就考虑这些则容易的多。

2.1 电容

电容通过向噪声源的公共端提供一条阻抗很低的通路来将电压尖峰旁路掉。尖峰电压主要是由马达电刷产生的。电容可以接在马达的每根引线与地之间，也可以接在两根引线之间。如果尖峰噪声是共模的，则跨接在引线之间的电容几乎没有什么效果。但是这种由电刷产生的随机噪声通常是差模的。尽管这样，在电刷与地之间接入电容会有很大效果。电容安装什么位置或怎样连接主要取决于所面临的噪声的种类。电压尖峰是由电刷与换向片触点的断开产生的。尖峰的幅度可以通过将电刷材料换成较软的材料或增加电刷对换向片的压力来减小。但是这会缩短电刷的寿命周期和其它一些问题。

原创力文档
max.book118.com
预览与源文档一致, 下载高清无水印

要使电容具有较好的滤波效果，它与噪声源的公共地之间的连线要尽量短。自由空间中的导线的电感约为每英寸 1nH 。如果电刷产生的噪声频率为 $50\sim 100\text{MHz}$ ，与电容连接的导线的长度为 $4\sim 6$ 英寸，那么即使不考虑电容的阻抗，仅导线电感的阻抗已经有：

$$X_L = 2\pi f L = 3.77$$

总阻抗还需要加上电容 ($0.1\mu\text{F}$) 的阻抗， $X_C = 1/2\pi f C = 0.159\Omega$ 。

从这个结果可以看出，单看电容的阻抗，这是一个非常好的旁路型滤波器。但是由于引线电感的影响，已经根本不起滤波器的作用了。如果将导线的长度缩短为 1 英寸，则电感的阻抗仅为 0.628Ω ，这时滤波电容的效果提高了 20%。当用马达外壳做接地端时，壳体上的漆必须去掉，以便导线能够良好的与地接触。依靠连接螺钉的 4、5 个螺纹来连接不是一个好办法。即使产品的外壳是金属的，将滤波器件直接安装在噪声源上，而不是靠近噪声源或外壳的某个最方便的位置，是一个聪明的选择。这消除了任何额外的引线长度，使噪声回到噪声源的阻抗最小，具有最佳的滤波效果。

2.2 电源线滤波器

在许多产品中，电源线滤波器都必要的。电源线滤波器安装正确时，是一种简捷的解决干扰的方法。电源线滤波器保证了电网免受产品内部噪声的污染。但是，与其它滤波器件一样，使用电源线滤波器的关键点也是保证连接到噪声源公共端的导线尽量短。电源线滤波器中有可以滤除差模和共模噪声的电感和电容。这种滤波器是滤除电源线干扰的简单而又经济的方法。电源线滤波器要安装在电源线入口处。在有些产品中，滤波器安装在产品的中部，这会使产品内部产生的辐射干扰耦合到电源输入端，使滤波器完全失效。记住以下三点，你的产品就有更大的可能符合电磁兼容标准：

- 1) 使用电源线滤波器；
- 2) 良好的系统地线；
- 3) 滤波器的衰减频率低到 150kHz ；

很难从滤波器产品样本上选择到合适的电源线滤波器。工业标准规定在 50Ω 输入/输出条件下测量滤波器的特性。在现实中，没有一个恰好为 50Ω 的环境。进行传导发射测试时，在电源线的输入端要接入线路阻抗稳定网络 (LISN)。这为所有的测试机构提供了一个标准的试验方法。LISN 的作用主要是为滤波器的输入端在测试频率范围内提供稳定的 50Ω 阻抗。

滤波器输出端的阻抗由家用电器产品本身决定，这绝不会恰好为 50Ω 。如果恰好为 50Ω ，你就可以利用滤波器样本上的数据来确定哪个滤波器的性能更好。在实际中，通常要通过试验来确定一只最合适的滤波器。作为一个原则，当实际阻抗条件不清楚时，可以将滤波器样本中给出的数据减小 20dB 使用，以保证在实际产品中的效果。两线电器上，滤波器的性能不如在三线电器上好。滤波器有两种滤波机理，这就是串联和旁路。在两线系统中，只有串联滤波（电感）和线—线间滤波电容起作用，线—地电容不起作用。

2.3 电感器件

减小噪声的另一个方法是在电刷上直接放置一个电感器件。电感的作用是防止当电刷通过换向片间隙时流进电刷电流的突然变化。电感的电感量大约为 $10\sim 25\mu\text{H}$ 。串联在电路中的扼流圈可以和到地的旁路电容组合起来构成一个低通滤波器，这可以增强单个电感或电容的滤波效果。这对抑制传导噪声很有好处。单个电容和 LC 滤波器之间的差别是很大的。LC 滤波器比单个电容具有更宽的滤波带宽，因此对电刷产生的宽带噪声具有更大的效果。以上介绍的滤波技术能够消除传导干扰，但是尖峰产生的辐射干扰也是需要抑制的。这可以通过屏蔽来实现。

2.4 接地

接地也是很重要的一个方法。在前面所讨论的技术中已经多次提到接地。滤波器如果不接好地，就达不到设计的性能。对于旁路电容，如果接地阻抗过大，就起不到良好的旁路作用。这里的阻抗过大是指阻抗超过数 $\text{m}\Omega$ 。地线是消除噪声的路径。如果使用了性能良好的滤波器件，但是没有提供良好接地路径，器件的滤波效果将大打折扣。在非金属机箱中，没有将所有器件连接起来的接地板，这时滤波是十分困难的。要获得一个良好的地线，可以将产生噪声的器件限制在一块公共地线板上。

3 总结

马达，特别是带电刷的马达，会产生大量的噪声。电器要满足电磁兼容标准的要求，必须对这些噪声进行处理。解决这些问题的最好时机是在产品的设计阶段，而不是产品开发周期最终阶段。许多试验是可以在产品装入最终机壳之前进行的。设计人员要注意，导线束的状态必须与最终产品中的导线束状态很接近。对地线的处理十分重要。如果没有良好的地线，滤波器和其它电磁兼容器件都不能有效地工作。另外，建议对实际电路做一个简单的分析，包括马达绕组，以便了解个别滤波器件是怎样影响噪声的。这并不需要复杂的计算机辅助分析，只要了解阻抗与滤波器件之间的简单关系就可以了。家用电器可以通过设计或修改使其达到有关规范的要求。尽管要满足电磁兼容标准需要预先考虑、精心设计和预先测试，但这都不是很困难的。由于马达产生的噪声在幅度和频率上有很大的随机性，因此要使产品的干扰发射与规定的极限值之间有一定的富裕量。还有，即使使用同一种器件，器件之间的差异性要比想象的大得多。

磁性材料基本现象

自发磁化:

从“磁性来源”中我们了解到,某些原子的核外电子的自旋磁矩不能抵消,从而产生剩余的磁矩。但是,如果每个原子的磁矩仍然混乱排列,那么整个物体仍不能具有磁性。只有当原子的磁矩沿一个方向整齐地排列,就象很多小磁铁首尾相接,才能使物体对外显示磁性,成为磁性材料。这种原子磁矩的整齐排列现象,就称为自发磁化。

既然磁性材料内部存在自发磁化,那么是不是物体中所有的原子都沿一个方向排列整齐了呢?当然不是,否则,凡是钢铁等就会永远带有磁性,成为一块大磁铁,永远能够相互吸引了(实际上,两块软铁不会自己相互吸引)。事实上,磁性材料绝大多数都具有磁畴结构,使得它们没有磁化时不显示磁性。

磁畴:

所谓磁畴,是指磁性材料内部的一个个小区域,每个区域内部包含大量原子,这些原子的磁矩都象一个个小磁铁那样整齐排列,但相邻的不同区域之间原子磁矩排列的方向不同,如右图所示。各个磁畴之间的交界面称为畴壁。宏观物体一般总是具有很多磁畴,这样,磁畴的磁矩方向各不相同,结果相互抵消,矢量和为零,整个物体的磁矩为零,它也就不能吸引其它磁性材料。也就是说磁性材料在正常情况下并不对外显示磁性。只有当磁性材料被磁化以后,它才能对外显示出磁性。下图为在显微镜中观察到的磁性材料中常见的磁畴形状,其中左面是软磁材料常见的条形畴,黑白部分因为不同的磁畴其磁矩方向不同而具有不同的亮度,它们的交界面就是畴壁;中间是树枝状畴和畴壁;右面是薄膜材料中可以见到的磁畴形状。实际的磁性材料中,磁畴结果五花八门,如条形畴、迷宫畴、楔形畴、环形畴、树枝状畴、泡状畴等。

既然磁畴内部的磁矩排列是整齐的,那么在畴壁处原子磁矩又是怎样排列的呢?在畴壁的一侧,原子磁矩指向某个方向,假设在畴壁的另一侧原子磁矩方向相反。那么,在畴壁内部,原子磁矩必须成某种形式的过渡状态。实际上,畴壁由很多层原子组成。为了实现磁矩的转向,从一侧开始,每一层原子的磁矩都相对于畴壁中的磁矩方向偏转了一个角度,并且每一层的原子磁矩偏转角度逐渐增大,到另一侧时,磁矩已经完全转到和这一侧磁畴的磁矩相同的方向。上图给出了典型的畴壁结构示意图。

居里温度:

对于所有的磁性材料来说,并不是在任何温度下都具有磁性。一般地,磁性材料具有一个临界温度 T_c ,在这个温度以上,由于高温下原子的剧烈热运动,原子磁矩的排列是混乱无序的。在此温度以下,原子磁矩排列整齐,产生自发磁化,物体变成铁磁性的。

利用这个特点,人们开发出了很多控制元件。例如,我们使用的电饭锅就利用了磁性材料的居里点的特性。在电饭锅的底部中央装了一块磁铁和一块居里点为 105°C 的磁性材料。当锅里的水分干了以后,食品的温度将从 100°C 上升。当温度到达大约 105°C 时,由于被磁铁吸住的磁性材料的磁性消失,磁铁就对它失去了吸力,这时磁铁和磁性材料之间的弹簧就会把它们分开,同时带动电源开关被断开,停止加热。

与磁性材料有关的常用物理量:

磁场强度:指空间某处磁场的大小,用 H 表示,它的单位是安/米 (A/m)。

磁化强度:指材料内部单位体积的磁矩矢量和,用 M 表示,单位是安/米 (A/m)。

磁感应强度:磁感应强度 B 的定义是: $B = \mu_0(H + M)$, 其中 H 和 M 分别是磁化强度和磁场强度,而 μ_0 是一个系数,叫做真空导磁率。磁感应强度又称为磁通密度,单位是特斯拉(T)。

导磁率:导磁率的定义是 $\mu = B/\mu_0 H$, 是磁化曲线(见材料的静态磁化)上任意一点上 B 和 H 的比值。导磁率实际上代表了磁性材料被磁化的容易程度,或者说是材料对外部磁场的灵敏程度。

磁性材料的静态磁化及常用性能指标:

我们已经知道，磁性材料内部具有磁畴，它们就好象众多的小磁铁混乱地堆积，整体对外没有磁性。这时我们称材料处于磁中性状态。但是，如果材料处在外加磁场的环境中，那么这些小磁铁（实际上是磁畴的磁矩）就会和磁场发生相互作用，其结果就是材料中的磁矩发生向外加磁场方向的转动，导致这些磁矩不再能相互抵消，也就是说所有磁矩的矢量和不等于零。在外加磁场的作用下，磁性材料由磁中性状态变成对外显示磁矩状态的过程称为磁化。那么磁性材料在磁化过程中到底发生了哪些变化呢？

在磁中性状态（即没有外加磁场），材料内部的磁矩成混乱排列，总的磁矩为零，因此材料显示的磁化强度也是零。

当磁性材料处于外加磁场中时，材料内部的磁矩就会受到磁场的作用力，磁矩会向外磁场的方向转动，就象磁铁在磁场中转动一样。这时，磁矩就不再是完全混乱排列的了，而是沿外磁场方向产生了一个总的磁化强度，这时我们说材料被磁化了。并且，外磁场越大，材料内部的磁矩向外磁场方向转动的数量和程度就越多。当外磁场足够大时，材料内部所有的磁矩都会沿外磁场方向整齐排列，这时材料对外显示的磁化强度达到最大值，我们说材料被磁化到了饱和。达到饱和之后，无论怎样增大磁场，材料的磁化强度也不再增大。因此材料被磁化到饱和时的磁化强度称为饱和磁化强度，用 M_s 来表示。

从上面的分析，我们知道材料的磁化强度随外磁场而变化。在科学实验和生产实际中，常把磁场和磁化强度的关系画成曲线，称为磁化曲线，如图所示。其中，横坐标表示外磁场的大小，纵坐标表示磁化强度的高低。磁化曲线一般可以分成三个阶段：可逆磁化阶段、不可逆磁化阶段、饱和阶段。

在工程上，一般不用磁化强度—磁场的关系画磁化曲线，而用磁感应强度—磁场的关系画磁化曲线。这时，磁化饱和时就有个饱和磁感应强度（或者饱和磁通密度），用 B_s 表示。以后，如果没有特殊说明，我们都用的是 $B-H$ 磁化曲线。饱和磁感应强度是磁性材料的一个重要指标。

在磁化曲线上，每一点都有一个磁感应强度和磁场的比值，称为导磁率。在磁化的不同阶段，材料的导磁率也不同，导磁率在最高点称为最大导磁率。在磁化起始点的导磁率称为初始导磁率。导磁率是软磁材料的另一个非常重要的指标。

那么，在磁化过程中，材料内部的磁矩究竟是怎样转动的？有两种方式使材料的磁矩产生转动：一是畴壁位移：材料磁化时，畴壁内部的原子磁矩逐渐转向外磁场的方向，畴壁逐渐推移，这样，与外磁场方向接近的磁畴面积逐渐扩大，而与外磁场方向相反的磁畴逐渐缩小。这种方式一般发生在非饱和阶段。二是磁矩一致转动：在外磁场的作用下，与外磁场方向相反的磁畴中的磁矩向外磁场方向整体转动，就象磁铁转动一样。这种方式主要发生在接近饱和阶段。

磁性材料的反磁化过程：

现在，让我们假设把磁性材料逐步磁化，随着磁场的增大，磁感应强度也增加，一直到饱和。整个磁化过程可以用图中的曲线 $O-a-b-c$ 表示。

然后逐步减小外磁场，材料会发生什么情况？不难想象，外磁场减小，肯定会使材料的磁感降低，但有趣的是，磁感并不沿 $c-b-a$ 原路返回，而是沿曲线 $c-d-e$ 降低。也就是说，在从饱和点减小外磁场时，相应的磁感要高于初始磁化时的磁感，似乎是磁感的减小比磁场的降低“落后”或者“滞后”了。磁性材料的这种特性称为磁滞现象。磁滞现象是磁性材料的一个极其重要的特征。

由于磁滞现象，如果磁性材料从饱和点撤掉外磁场，也就是说使外磁场返回到零，那么材料的磁感不能同时降低到零，而是仍然存在一部分磁感 B_r ，称为剩余磁感应强度，简称剩磁。之所以存在剩磁现象，是因为外磁场减小后，材料内部的磁矩不能完全转回原来的方向，而是由于种种阻力会停留在先前的某个方向。这就是所谓的不可逆磁化。只有在极低的磁场中

材料才可能发生完全的可逆磁化，一般情况下的磁化都不是完全可逆的。

那么，如果现在有意地想让磁感返回到零，应该任何做呢？可以推断，应该对材料施加反向磁场。不错，施加反向磁场，磁感就会进一步降低，并且在某个特征磁场 H_c 处磁感恰好为零，这个磁场称为矫顽力。如果继续增大反向磁场，磁感则也会反向，并且随着反向磁场的增大而逐渐趋向反向饱和 g 点。同样，从 g 点逐渐降低反向磁场，磁感会沿曲线 $g-h-i$ 饱和，最后又到达正向饱和 c 点。

这样，外磁场正负变化一周，磁感会沿 $c-d-e-f-g-h-i-j-c$ 变化一周，这条闭合曲线称为磁滞回线。磁滞回线所包含的面积代表外磁场对材料做的功，也就是所消耗的能量，称为磁滞损耗。磁性材料的动态磁化及常用性能指标：

如果磁性材料处于变化的磁场中，那么它们的磁化过程和静态磁化相比会发生某些有趣的变化。

首先，在动态磁化时，材料的导磁率发生变化。我们已经知道，在反复磁化时，材料内部的磁感应强度总是落后于磁场的变化，称为磁滞。假设动态磁化时的磁场是按照正弦变化的，磁滞现象在动态磁化时表现为磁感应强度总是比磁场的变化落后一个相位，其直接后果就是材料的导磁率变成了一个复数。这个导磁率分成两部分：一是和磁场方向（或者说相位）相同的部分，称为复数导磁率的实部，又称为弹性导磁率，它代表材料磁化时所能够储存的能量；二是和磁场相位成 90° 的部分，称为复数导磁率的虚部（损耗导磁率），它代表材料在动态磁化时所消耗的能量。

其次，材料在动态磁化时将产生涡流，导致涡流损耗。涡流损耗在软磁材料中是有害的。为了减小涡流损耗，在制造变压器铁芯时，一般都把材料做成多层相迭的、相互绝缘的薄片。由于铁芯由薄片组成，而薄片之间又绝缘，铁芯薄片在动态磁化时产生的涡流就会被限制在薄片内部。如果铁芯由一整块材料做成，那么由于铁芯材料所组成的导体回路很大，涡流将很严重。另外，动态磁化时涡流的大小还与铁芯材料的电阻率有关。例如，铁氧体做成的铁芯虽然是一个整体，但是它的电阻率极大，因此涡流损耗仍然可以很低。

根据动态磁化时磁场的种类，动态磁化也有很多方式。

最普通磁化场是正弦波。如果磁场比较低，材料还没有磁化到饱和，那么这时磁感应强度的波形也是正弦波，这样，动态磁滞回线就是一个椭圆，如图所示。如果磁场较大，导致材料饱和，那么这时的磁滞回线将不再是椭圆，而是会发生变形：磁场变成有尖峰的形状，而磁感应强度的波形则成为平顶，整个磁滞回线和静态饱和的磁滞回线相似。

在某些场合（例如单端脉冲变压器），材料所受的磁化场是单方向的方波脉冲，此时的磁滞回线如右图所示。此外，有些材料受到交直流磁场的共同影响，称为交直流叠加磁化，此时的磁滞回线会变得不对称。

dB, dBi, dBd, dBc, dBm, dBw 释义

1、dB

dB 是一个表征相对值的值，纯粹的比值，只表示两个量的相对大小关系，没有单位，当考虑甲的功率相比于乙功率大或小多少个 dB 时，按下面计算公式： $10\lg(\text{甲功率}/\text{乙功率})$ ，如果采用两者的电压比计算，要用 $20\lg(\text{甲电压}/\text{乙电压})$ 。

【例】甲功率比乙功率大一倍，那么 $10\lg(\text{甲功率}/\text{乙功率})=10\lg 2=3\text{dB}$ 。也就是说，甲的功率比乙的功率大 3 dB。反之，如果甲的功率是乙的功率的一半，则甲的功率比乙的功率

小 3 dB。

2、dBi 和 dBd

dBi 和 dBd 是表示天线功率增益的量，两者都是一个相对值，但参考基准不一样。dBi 的参考基准为全方向性天线，dBd 的参考基准为偶极子，所以两者略有不同。一般认为，表示同一个增益，用 dBi 表示出来比用 dBd 表示出来要大 2.15。

[例] 对于一面增益为 16dBd 的天线，其增益折算成单位为 dBi 时，则为 18.15dBi（一般忽略小数位，为 18dBi）。

[例] $0\text{dBd}=2.15\text{dBi}$ 。

3、dBc

dBc 也是一个表示功率相对值的单位，与 dB 的计算方法完全一样。一般来说，dBc 是相对于载波（Carrier）功率而言，在许多情况下，用来度量与载波功率的相对值，如用来度量干扰（同频干扰、互调干扰、交调干扰、带外干扰等）以及耦合、杂散等的相对量值。在采用 dBc 的地方，原则上也可以使用 dB 替代。

4、dBm

dBm 是一个表示功率绝对值的值（也可以认为是以 1mW 功率为基准的一个比值），计算公式为： $10\log(\text{功率值}/1\text{mw})$ 。

[例] 如果功率 P 为 1mw，折算为 dBm 后为 0dBm。

[例] 对于 40W 的功率，按 dBm 单位进行折算后的值应为：

$$10\log(40\text{W}/1\text{mw}) = 10\log(40000) = 10\log 4 + 10\log 10000 = 46\text{dBm}。$$

5、dBw

与 dBm 一样，dBw 是一个表示功率绝对值的单位（也可以认为是以 1W 功率为基准的一个比值），计算公式为： $10\log(\text{功率值}/1\text{w})$ 。dBw 与 dBm 之间的换算关系为： $0\text{dBw} = 10\log 1\text{W} = 10\log 1000\text{mw} = 30\text{dBm}$ 。

[例] 如果功率 P 为 1w，折算为 dBw 后为 0dBw。

总之，dB，dBi，dBd，dBc 是两个量之间的比值，表示两个量间的相对大小，而 dBm、dBw 则是表示功率绝对大小的值。在 dB，dBm，dBw 计算中，要注意基本概念，用一个 dBm（或 dBw）减另外一个 dBm（dBw）时，得到的结果是 dB，如： $30\text{dBm} - 0\text{dBm} = 30\text{dB}$ 。

一般来讲，在工程中，dBm（或 dBw）和 dBm（或 dBw）之间只有加减，没有乘除。而用得最多的是减法：dBm 减 dBm 实际上是两个功率相除，信号功率和噪声功率相除就是信噪比（SNR）。dBm 加 dBm 实际上是两个功率相乘。

最近一个重要客户的机器测试分别要求测试 QP、AV 和 PK（测试项是 EN55022 的传导辐射 CE），突然问起来这几个值之间的数值关系，在想 PK QK AV 的区别在于检波器的 RC 参数，公式是对标准的理想正弦信号而言。在电磁兼容测试工程实践中，时变的信号目前是没有公式去算的，不过后来在想既然提到了这个问题，也该要让自己的答案再深入一些：

EMI Receiver 可以进行准峰值测量、峰值测量和平均值测量。当输入信号是正弦波时，无论用何种方式测量，得到的读数都是相同的，等于该正弦波的有效值，精度应优于 $\pm 2\text{dB}$ 。但是如果输入的是周期脉冲信号，则三种测量方法得到的读数是不同的，其结果如表所示。

峰值、准峰值和平均值测量的结果比较

信号类型	峰值测量 PK ie 有效值 ie 均方根值	准峰值测量 QP	平均值测量 AV
正弦波	E	E	E
周期脉冲	$1.414215(\text{Bimp})$ 脉冲幅度 $\times$ 脉冲宽度 sec $\times 1.05 \times$ 脉冲重复频率 之 6Db 脉冲带宽	$1.14215(\text{Bimp})P(\alpha)$ 脉冲幅度 $\times$ 脉冲宽度 sec $\times 1.05 \times$ 脉冲重复频率 之 6Db 脉冲带宽	$1.14215(\text{fPR})$ 脉冲幅度 $\times$ 脉冲宽度 sec $\times$ 脉冲重复频率

表中 E——正弦波的有效值；

δ ——脉冲强度，等于脉冲幅度 $\times$ 脉冲宽度 sec，单位：mVs

Bimp——脉冲宽度：Bimp="1".05B6(B6 表示 6Db 带宽的脉冲带宽，在 15k-30MHZ, 8kHz<B6<10kHz)

PP(α)——准峰值检波效率，与检波器的充、放电时间常数、脉冲重复频率和带宽有关， $P(\alpha) \leq 1$ 。

fPR——脉冲重复频率；

由表可知，**峰值测量结果 $\geq$ 准峰值测量结果**。下表列出了输入标准脉冲，在标准带宽情况下峰值与准峰值表头指示之比值。峰值测量时的绝对脉冲特性

频段	脉冲重复频率 (Hz)	脉冲强度 (mVs)	脉冲带宽 Bimp (Hz)	峰值 PK 与 准峰 值 QP 表头指示比
15k-30MHZ	100	0.148×10^{-3}	9.45×10^3	6.6

下表列出了具有相同带宽的**准峰值 QP**和**平均值 AV**表头指示之比值，在相同带宽条件下准峰值和平均值表头读数之比值

频段	脉冲重复频率 (Hz)			
	25	100	1000	10000
B	-	32.9	17.4	-

由表可知，**准峰值 $\geq$ 平均值**。对于规则的周期性脉冲可以根据表 7 来进行峰值、准峰值、平均值之间的转换。

但是一般骚扰都是随机的，很难进行彼此间的换算，因此有些标准同时规定了发射测量的准峰值限值和平均值限值。

综上所述：PK $\geq$ QP $\geq$ AV

电容引线对电路干扰

电容器是电路中最基本的元件之一，利用电容滤除电路上的高频骚扰和对电源解耦是所有电路设计人员都熟悉的。但是，随着电磁干扰问题的日益突出，特别是干扰频率的日益提高，由于不了解电容的基本特性而达不到预期滤波效果的事情时有发生。本文介绍一些容易被忽略的影响电容滤波性能的参数及使用电容器抑制电磁骚扰时需要注意的事项。

1 电容引线的作用

在用电容抑制电磁骚扰时，最容易忽视的问题就是电容引线对滤波效果的影响。电容器的容抗与频率成反比，正是利用这一特性，将电容并联在信号线与地线之间起到对高频噪声的旁路作用。然而，在实际工程中，很多人发现这种方法并不能起到预期滤除噪声的效果，面对顽固的电磁噪声束手无策。出现这种情况的一个原因是忽略了电容引线对旁路效果的影响。

实际电容器的电路模型如图 1 所示，它是由等效电感（ESL）、电容和等效电阻（ESR）构成的串联网路。

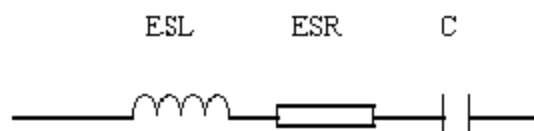


图 1 实际电容器的等效电路

理想电容的阻抗是随着频率的升高降低，而实际电容的阻抗是图 1 所示的网络的阻抗特性，在频率较低的时候，呈现电容特性，即阻抗随频率的增加而降低，在某一点发生谐振，在这点电容的阻抗等于等效串联电阻 ESR。在谐振点以上，由于 ESL 的作用，电容阻抗随着频率的升高而增加，这是电容呈现电感的阻抗特性。在谐振点以上，由于电容的阻抗增加，因此对高频噪声的旁路作用减弱，甚至消失。

电容的谐振频率由 ESL 和 C 共同决定，电容值或电感值越大，则谐振频率越低，也就是电容的高频滤波效果越差。ESL 除了与电容器的种类有关外，电容的引线长度是一个十分重要的参数，引线越长，则电感越大，电容的谐振频率越低。因此在实际工程中，要使电容器的引线尽量短，电容器的正确安装方法和不正确安装方法如图 2 所示。

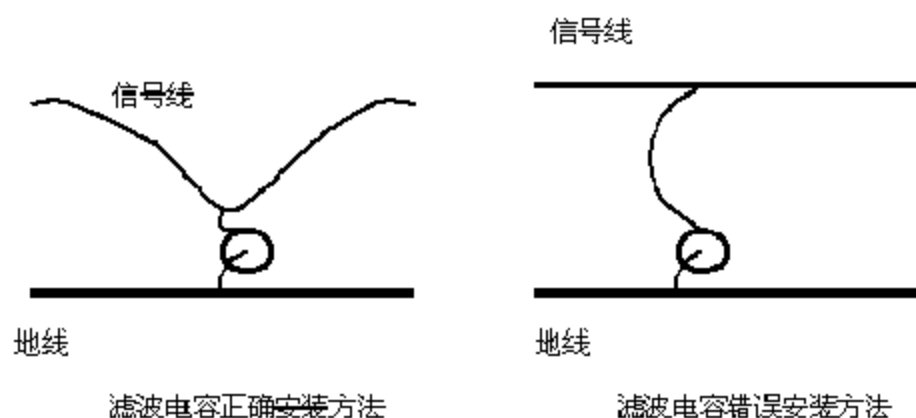


图 2 滤波电容的正确安装方法与错误安装方法

根据 LC 电路串联谐振的原理，谐振点不仅与电感有关，还与电容值有关，电容越大，谐振点越低。许多人认为电容器的容值越大，滤波效果越好，这是一种误解。电容越大对低频干扰的旁路效果虽然好，但是由于电容在较低的频率发生了谐振，阻抗开始随频率的升高而增加，因此对高频噪声的旁路效果变差。表 1 是不同容量瓷片电容器的自谐振频率，电容的引线长度是 1.6mm（你使用的电容的引线有这么短吗？）。

表 1

电容值	自谐振频率 (MHz)	电容值	自谐振频率 (MHz)
1 μ F	1.7	820 pF	38.5
0.1 μ F	4	680 pF	42.5
0.01 μ F	12.6	560 pF	45
3300pF	19.3	470 pF	49
1800 pF	25.5	390 pF	54
1100pF	33	330 pF	60

尽管从滤除高频噪声的角度看，电容的谐振是不希望的，但是电容的谐振并不是总是有害的。当要滤除的噪声频率确定时，可以通过调整电容的容量，使谐振点刚好落在骚扰频率上。

2. 温度的影响

由于电容器中的介质参数受到温度变化的影响，因此电容器的电容值也随着温度变化。不同的介质随着温度变化的规律不同，有些电容器的容量当温度升高时会减小 70%以上，常用的滤波电容为瓷介质电容，瓷介质电容器有超稳定型：COG 或 NPO，稳定型：X7R，和通用型：Y5V 或 Z5U 三种。不同介质的电容器的温度特性如图 2 所示。

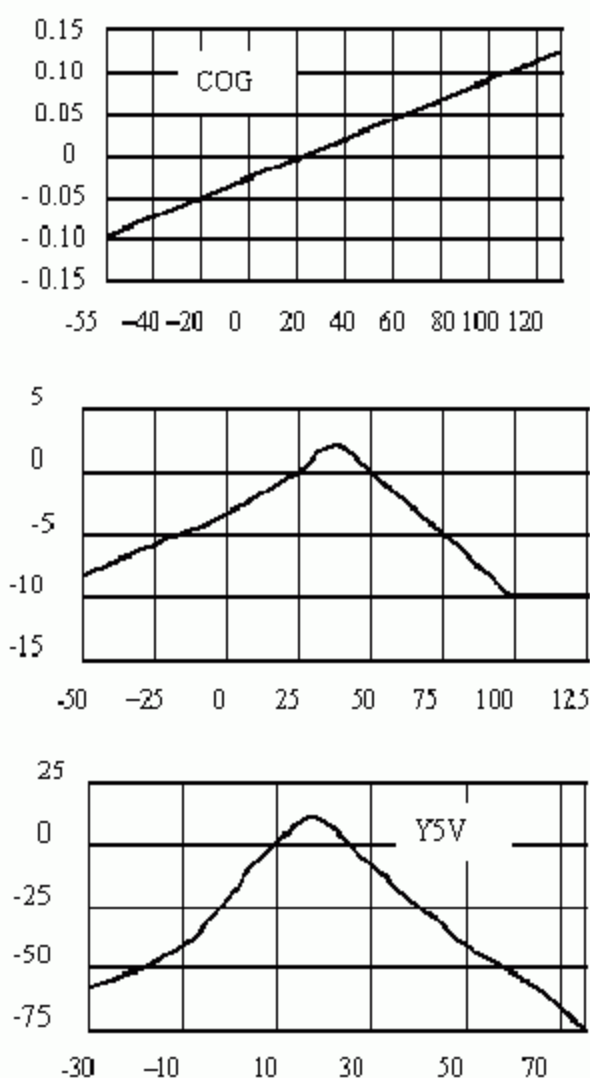


图 3 不同介质电容器的温度特性

从图中可以看到，COG 电容器的容量几乎随温度没有变化，X7R 电容器的容量在额定工作温度范围变化 12% 以下，Y5V 电容器的容量在额定工作温度范围内变化 70% 以上。这些特性是必须注意的，否则会出现滤波器在高温或低温时性能变化而导致设备产生电磁兼容问题。

COG 介质虽然稳定，但介质常数较低，一般在 10~100，因此当体积较小时，容量较小。X7R 的介质常数高得多，为 2000 ~ 4000，因此较小的体积能产生较大的电容，Y5V 的介质常数最高，为 5000 ~ 25000。

许多人在选用电容器时，片面追求电容器的体积小，这种电容器的介质虽然具有较高的介质常数，但温度稳定性很差，这会导致设备的温度特性变差。这在选用电容器时要特别注意，尤其是在军用设备中。

3. 电压的影响

电容器的电容量不仅随着温度变化，还会随着工作电压变化，这一点在实际工程必须注意。不同介质材料的电容器的电压特性如图 3 所示。从图中可以看出，X7R 电容器在额定电压状态下，其容量降为原始值的 70%，而 Y5V 电容器的容量降为原始值的 30%！了解了这个特性，在选用电容时要在电压或电容量上留出余量，否则在额定工作电压状态下，滤波器会达不到预期的效果。

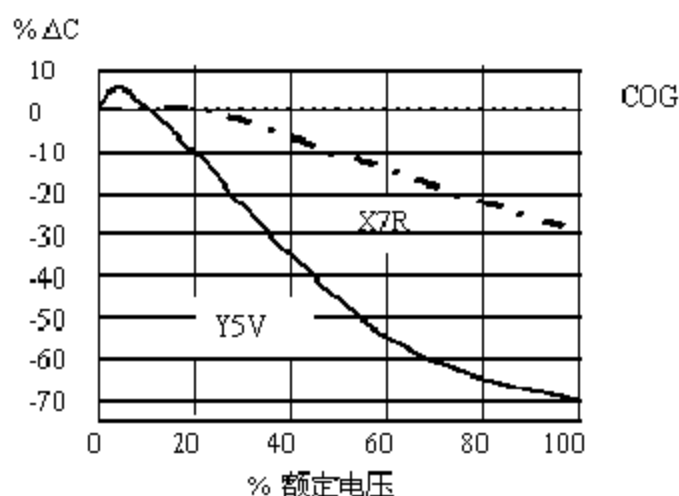


图 4 电容器的电压特性

综合考虑温度和电压的影响时，电容的变化如图 4 所示。

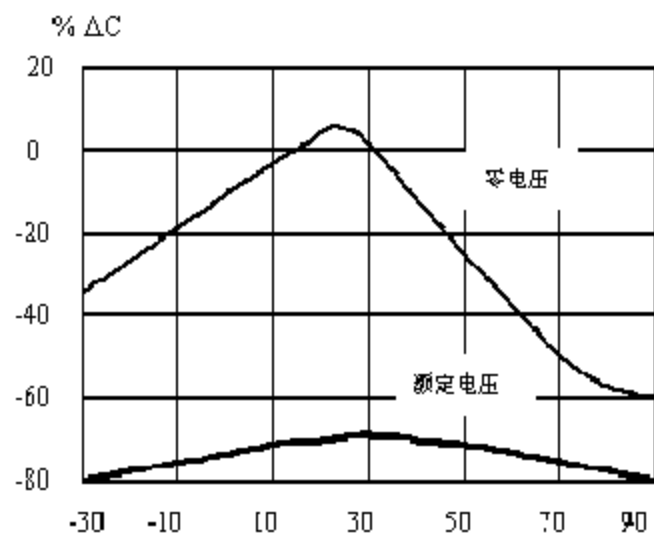
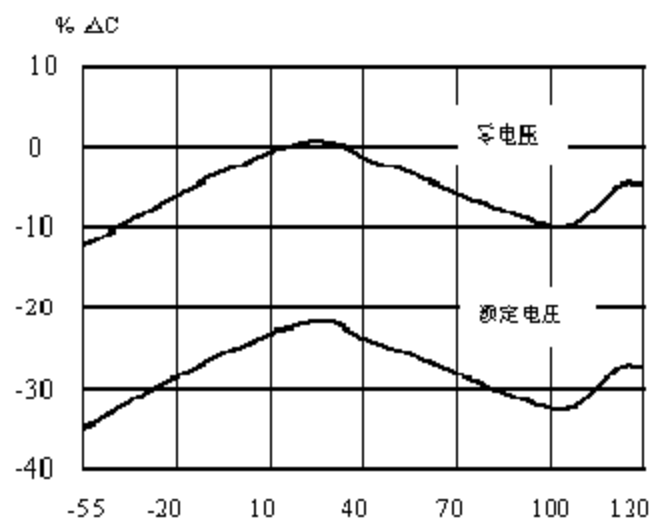
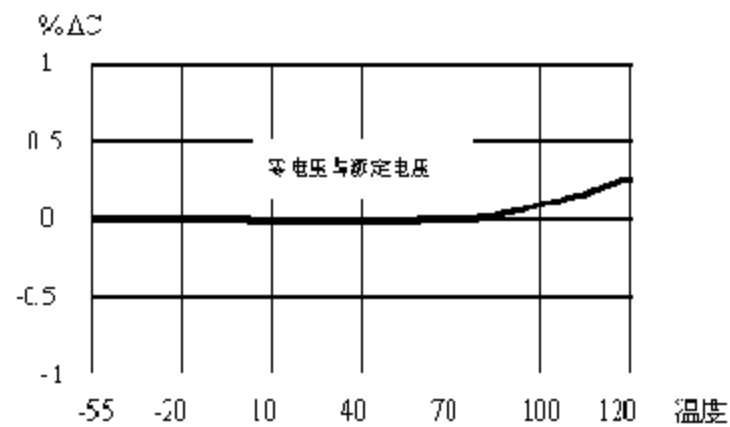


图 5 电容器的温度/电压特性

5. 穿心电容的使用

在实际工程中，要滤除的电磁噪声频率往往高达数百 MHz，甚至超过 1GHz。对这样高频的电磁噪声必须使用穿心电容才能有效地滤除。普通电容之所以不能有效地滤除高频噪声，是因为两个原因，一个原因是电容引线电感造成电容谐振，对高频信号呈现较大的阻抗，削弱了对高频信号的旁路作用；另一个原因是导线之间的寄生电容使高频信号发生耦合，降低了滤波效果，如图 5 所示。

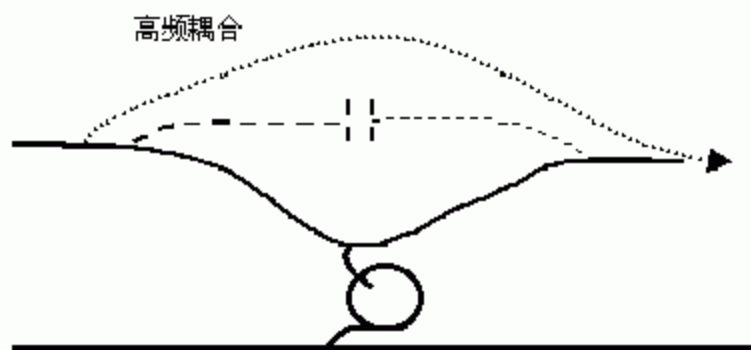


图 6 普通电容在高频滤波中的问题

穿心电容之所以能有效地滤除高频噪声，是因为穿心电容不仅没有引线电感造成电容谐振频率过低的问题，而且穿心电容可以直接安装在金属面板上，利用金属面板起到高频隔离的作用。但是在使用穿心电容时，要注意的问题是安装问题。穿心电容最大的弱点是怕高温和温度冲击，这在将穿心电容往金属面板上焊接时造成很大困难。许多电容在焊接过程中发生损坏。特别是当需要将大量的穿心电容安装在面板上时，只要有一个损坏，就很难修复，因为在将损坏的电容拆下时，会造成邻近其它电容的损坏。

随着电子设备复杂程度的提高，设备内部强弱电混合安装、数字逻辑电路混合安装的情况越来越多，电路模块之间的相互骚扰成为严重的问题。解决这种电路模块相互骚扰的方法之一是用金属隔离舱将不同性质的电路隔离开。但是所有穿过隔离舱的导线要通过穿心电容，否则会造成隔离失效。当不同电路模块之间有大量的联线时，在隔离舱上安装大量的穿心电容是十分困难的事情。为了解决这个问题，国外许多厂商开发了“滤波阵列板”，这是用特殊工艺事先将穿心电容焊接在一块金属板构成的器件，使用滤波阵列板能够轻而易举地解决大量导线穿过金属面板的问题。但是这种滤波阵列板的价格往往较高，每针的价格约 30 元。

1999 年，北京天亦通公司开发成功了 TLZ - 1 系列滤波阵列板（专利申请中）。这种滤波阵列板的滤波性能接近国外产品，但价格仅为国外产品的 1/10 以下。TLZ - 1 系列滤波阵列板的密度是标准 2.54mm，可以直接与扁平电缆插座配合，便于安装，可广泛用于电子设备的滤波隔离（图 6）。

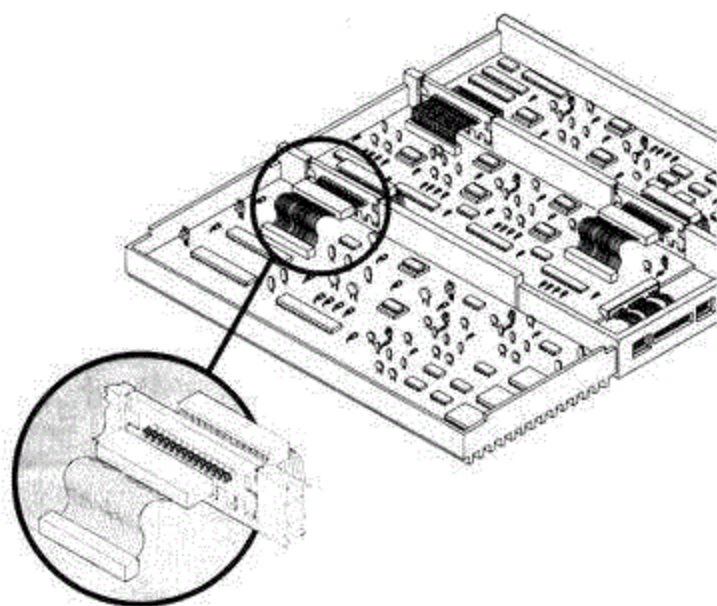


图 7 滤波阵列板用于电路隔离