

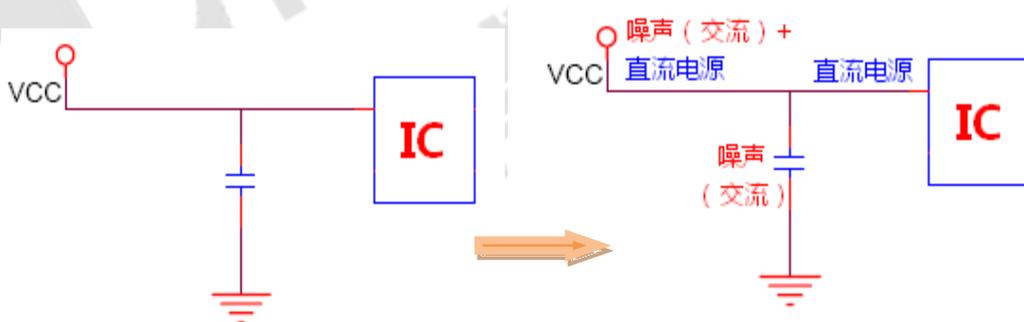
【高速先生原创|EMC 系列】电容与 EMC

作者：刘为霞 一博科技高速先生团队队员

电容与 EMC (1)

一般我们的 pcb 板的器件有很多种类,但是值得特别关注的,很多人都会说是 BGA、接口、IC、晶振之类,因为这些都是 layout 功能模块以及设计难点。然而数量上占绝对优势的器件却是阻容器件,之前围殴阻抗时,对于电阻已经说了很多了,这次我们从 EMC 的角度来说说电容。有人肯定要问了:电容的主要作用是旁路、退耦和储能,和 EMC 有什么关系呢?下面就一一讨论电容不同功能对整板 EMC 的作用。

首先来说说旁路电容。我们在原理图中看到很多类似于下面左边的图例,此时电容起什么作用,对于整板的 EMC 有什么好处呢?众所周知,由于电源芯片本身的输出不稳定,负载端对于电流需求的响应变化以及传输路径上的阻抗影响,不可避免的会引起电压波动,产生电源噪声。电源线在传输的过程中难免也会携带电源噪声,因此在使用电端一般都会在电源入口处添加电容,来减弱噪声对于负载的影响,旁路电容的作用如下面右边图例所示,对于直流电源而言,电容的阻抗是无穷大的,因此直流电源可以全部供给 IC 芯片工作,对于交流部分的噪声而言,电容是一个低阻抗的通道,因此交流噪声会接地,从而保证了芯片的稳定工作。



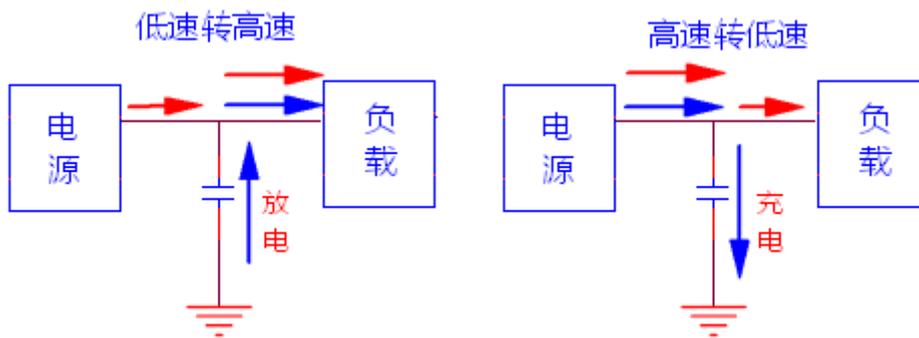
再来看退耦电容,实际上从电源芯片流向负载的电流并不是一个定值,当负载高速工作时,需要的电流比较大,当负载低速工作时,电流需求比较小。负载需要的电流发生变化时,电源芯片不能马上响应,此时负载两端的电压就会有变化,电容两端的电压与负载两端的电压是一致的,也同时发生了变化,相应充放电,满足负载对电流的要求,从而保证负载的电压不会有太大的变化,来保证负载的正常工作,如下图所示。退耦电容的存在确保电源芯片不会在负载工作状态发生变化时,产生瞬时的尖峰电流,冲击整

如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码,开始学习



个供电网络，可以有效的减小 EMI。正确的使用去耦电容，是减小整板电磁干扰的一个主要手段。



对于储能电容而言，他的作用主要体现在负载数目很多的时候。例如 DDR 之类的，有很多的数据、地址、命令信号，负载数目很多，很多负载一起切换工作状态，需要消耗的电流就很大，可能会引起电源和地平面上的电流波动，这种波动会导致电压下跌影响到其他元器件的正常工作，此时储能电容可以为电路提供储备能量，使电压和电流维持在稳定状态。

不同的电容起到不同的作用，所以 PCB 板上的电容数量才那么多，而且种类、容值也那么多，主要是因为不同的作用需要不同的容值，不同的封装、不同的材料。

那么问题来了：列举一下自己常见的电容容值、类型、以及大概的作用。

EMC 与电容（2）

上次的问题，看到很多回答里都有关于 X 电容，Y 电容，NPO 之类，这些很奇怪的参数到底代表什么意义呢？以前很多次都在 BOM 表里看到这些参数，一直都无视过去，正好这次的 EMC 课程里也提到这方面的知识，正好跟大家一起学习一下。

NPO\X5R\X7R\Y5V\Z5U 电容之间的主要区别是它们的填充介质不同。在相同的体积下由于填充介质不同所组成的电容器的容量就不同，随之带来的电容器的介质损耗、容量稳定性等也就不同，所以在使用电容器时应根据电容器在电路中作用不同来选用。

陶瓷电容根据介质的不同，一般分为两类：

I 类陶瓷电容器：主要包涵 NPO 和 COG 等电容

如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



II类陶瓷电容器：其中 X5R、X7R 属于稳定级，Y5V、Z5U 属于可用级；下图为各个参数代表的含义

EIA Class 2 Classification					
Minimum Temperature		Maximum Temperature		Capacitance Change Permitted	
X	-55°C	4	+65°C	A	±1.0%
Y	-30°C	5	+85°C	B	±1.5%
Z	-10°C	6	+105°C	C	±2.2%
		7	+125°C	D	±3.3%
		8	+150°C	E	±4.7%
		9	+200°C	F	±7.5%
				P	±10%
				R	±15%
				S	±22%
				T	+22% / -33%
				U	+22% / -56%
				V	+22% / -82%

例如 X5R 就表示正常的工作范围为-55°C~85°C，对应的电容变化量为±15%。下面就一一来介绍一下这几种电容的主要特点和应用场合。

NPO、COG 电容器

NPO 是一种最常用的具有温度补偿特性的单片陶瓷电容器，电气性能稳定，基本上不随时间、温度、电压变化，价格比较高，适用于高可靠、高稳定的高额、特高频场合。NPO 电容器适合用于振荡器、谐振器的槽路电容，以及高频电路中的耦合电容。COG 电容和 NPO 电容特点和作用差不多，只是容值和精度有所区别。

X7R、X5R 电容器

X7R 电容器是一种被称为温度稳定型的陶瓷电容器，电气性能较稳定，随着时间、温度、电压的变化，其特性变化不明显，适用于要求较高的耦合、旁路、滤波电路以及10MHz 频率以下的场合。X7R 电容器主要应用于要求不高的工业应用，而且当电压变化时其容量变化是可以接受的条件下。它的主要特点是在相同的体积下电容量可以做的比较大。X5R 与 X7R 的区别就是材质的温度系数不同。X5R 材质所能做出来的电容容值会更高一些，与 X7R 同样容值电压的电容相比，X5R 的价格也要便宜一些

Z5U 电容器

Z5U 电容器称为”通用”陶瓷单片电容器。对于 Z5U 电容器主要的特点是它的小尺寸和低成本。相对于上述三种陶瓷单片电容说起来在相同的体积下 Z5U 电容器有最大的电容量，但它的电容量受环境和工作条件影响较大，它的老化率最大可达每 10 年下降 5%。

如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



尽管它的容量不稳定，由于它具有小体积、等效串联电感(ESL)和等效串联电阻(ESR)低、良好的频率响应，使其具有广泛的应用范围。尤其是在退耦电路的应用中。

Y5V 电容器

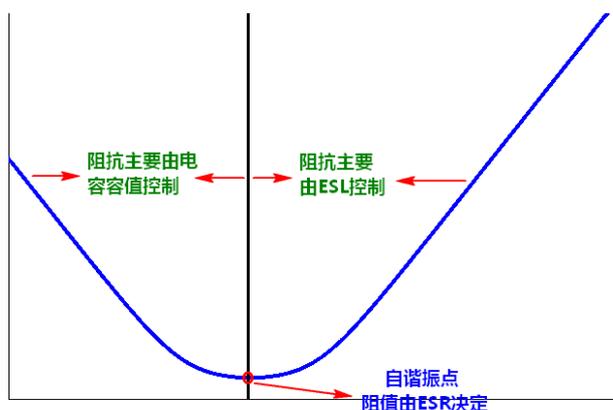
Y5V 电容器是一种有一定温度限制的通用电容器，具有很高的介电系数，能较容易做到小体积，大容量，其容量随温度变化比较明显，但成本较低。广泛应用于对容量，损耗要求不高的场合。电容器温度特性最差，容量大，可取代低容铝电解电容

问题：对于电容的选择，是不是 ESR 越小越好？

EMC 与电容 (3)

对于电容，从理想的角度来讲，应该是电容的容值越大，容抗越低，对交流的滤波效果越好，然而实际上一般容值越大的电容，寄生电感也越大，其实际的阻抗

值为： $z = \sqrt{ESR^2 + \left(2\pi fESL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}$ ，电容的特性阻抗曲线如下图所示：



在自谐振点前，电容呈现电容的特性，在自谐振点之后，呈现电感的特性，并且随着感抗值和频率的增加，对于高频信号的退耦和旁路作用也随之减弱。因此对于电容的选择，不仅仅要考虑其容值，还有需要考虑 ESR 和 ESL 等方面。

ESL 对于电容选择是非常大的一个影响因素，ESL 越大，谐振点右边的阻抗越高；同时，谐振点也会随着 ESL 的增大，往左边偏移，导致低阻抗的区域变小，需要更多的电容并联才能有相同的效果。所以对于选取电容而言，ESL 越小越好。

那么 ESR 是不是也是越小越好呢？一般我们认为比较大的 ESR 会增加板子的功耗，会影响电容滤波旁路的效果，在 PDN 设计时，ESR 更是让我们苦恼。然而，

如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



有些情况是需要 ESR 比较高的，例如 LDO 电路，ESR 产生的电压波动能及时反馈负载的电流波动，以便 LDO 电源及时调整，因此需要 ESR 比较大。还有 ESR 越小，Q 值越大，在一些需要小 Q 值电容的场合，ESR 也不是越小越好的。

下面再来看看不同作用的电容选值时有什么侧重点。

旁路电容，主要是减弱来自高频分量或者电源线的射频能量，因此要考虑到射频分量所在频率的低阻抗通道，以增加其削弱效果，还要考虑寄生电感对其自谐振频率的影响，此时，就要考虑电容结构的问题了，一般的馈通和插装电容都有比较长的引脚，寄生电感比较大，对于高频的滤波效果不佳，因此贴片电容一般是旁路电容的最佳选择。

去耦电容，容值的选择一般按照 $C = \frac{I\Delta t}{\Delta V}$ 的公式来计算，C 是电容值，I 是瞬变电流， Δt 是开关时间， ΔV 是允许的压降。实际上去耦电容应用时一般都是两个电容并联退耦的方法，一般电容之间有两个数量值的差别（例如 0.1 μ F 和 10 μ F），这样可以在一个比较宽的频率范围内都有一个比较好的电容特性。另外小的 ESR 也是退耦电容选择的重点。

储能电容，需要确保能够足够稳定的电压和电流，所以一般要选择容值比较大的电容，一般都是在 μ F 级别，同时需要防止电压波动损坏电容器，所以储能电容的选择一般还要考虑其额定电压，一般为工作电压的两倍以上。

电容的选择需要考虑到各个方面，介质材料，可靠性等都会对电容的选择有一定的影响。下图是关于电容器种类性能介绍的一个总结。

电解	大容量 大尺寸 低ESL和低ESR 有效使用期短
钽	容值从1~1000 μ F 封装尺寸属中小类 ESL值范围很广，有些型号的 ESR很低
陶瓷	容值很小 封装尺寸很小 低ESR 可靠性和成本比最优

电容的选择对于 EMC 的影响是比较大，正确的选择可以有效的减小板上的 EMI 干扰，但是错误的选择反而会使情况恶化。

如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



【关于一博】

一博科技专注于高速 PCB 设计、PCB 制板、焊接加工、物料供应等服务。作为全球最大的高速 PCB 设计公司，我司在中国、美国、日本设立研发机构，全球研发工程师 500 余人。超大规模的高速 PCB 设计团队，引领技术前沿，贴近客户需求。

一博旗下 PCB 板厂成立于 2009 年，位于广东四会（广州北 50KM），采用来自日本、德国的一流加工设备，TPS 精益生产管理以及品质管控体系的引入，致力为广大客户提供高品质、高多层的制板服务。

一博旗下 PCBA 总厂位于深圳，并在上海设立分厂，现有 12 条 SMT 产线，配备全新进口富士 XPF、NXT3、全自动锡膏印刷机、十温区回流炉等高端设备，并配有波峰焊、AOI、XRAY、BGA 返修台等配套设备，专注研发打样、中小批量的 SMT 贴片、组装等服务。

【关于高速先生】

高速先生由深圳市一博科技有限公司 R&D 技术研究部创办，用浅显易懂的方式讲述高速设计，成立至今保持每周发布两篇原创技术文章，已和大家分享了百余篇呕心沥血之作，深受业内专业人士欢迎，是中国高速电路第一自媒体品牌。



扫一扫，即可关注

如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习

