

## 【高速先生原创|十大误区系列】PCB 设计十大误区

### 电容的布局布线 - 电源是不是必须从滤波电容进入芯片管脚（共 3 篇）

作者：吴均 一博科技高速先生团队队长

#### 电容的布局布线 - 电源是不是必须从滤波电容进入芯片管脚（上）

碰到过好些设计要求里面写着电源必须从滤波电容进入芯片管脚，也有不少工程师在实际设计中遵守这个规则，我们这次就一起来看看这个规则的实用场合。

单、双面板设计的时候，没有电源、地平面。电源、地网络是通过走线来进行连接的，这个时候在设计上要求电源和地先走到滤波电容，然后在进入芯片管脚，具体设计如图 1 所示

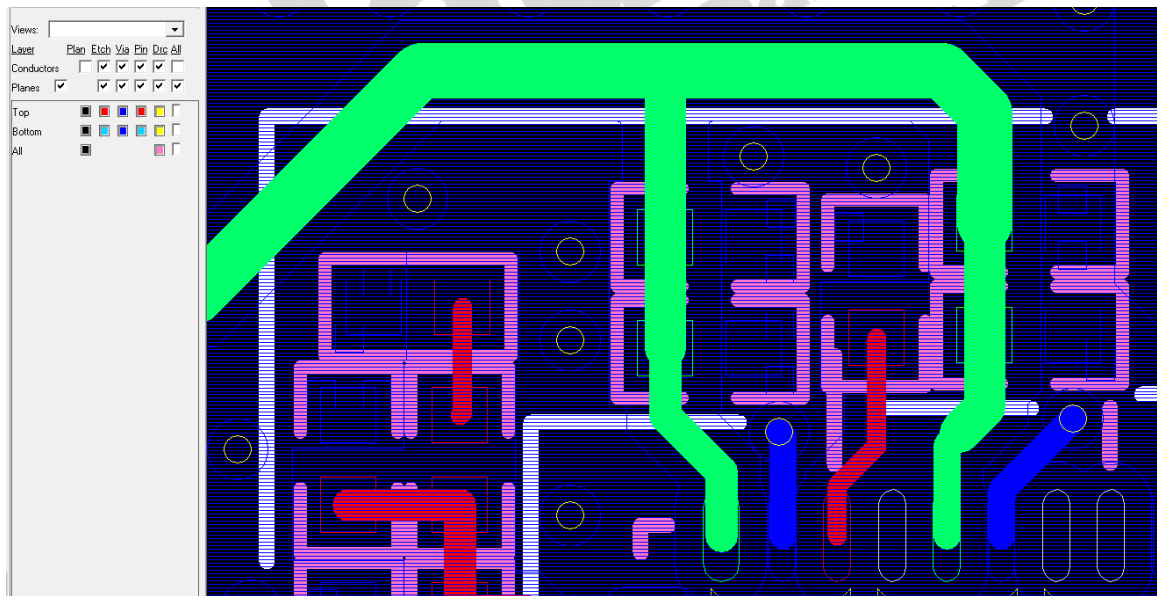


图 1

这时候，PDN 也就是电源供电网络，没有平板电容。然后芯片的工作频率一般也不高，工作时电源噪声的频率包括谐波一般都不超过 100M，电源噪声主要由各级滤波电容来滤除。

但是，现在的设计有什么区别呢？大部分设计采用多层板层叠方式，也就是我们有了专门的电源、地平面了；在大多数的层叠教材中，都会建议在可能的情况下，尽量把电源和地紧邻在一起，也就是说，我们的电源、地紧耦合形成平板电容；同时系统的工作频率越来越高，工作时电源噪声的频率如果考虑谐波分量的话，动辄几个 GHz。

#### 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



那么，在以上几个变化的设计条件下，如果我们还坚持按照图 2 的方式，电源和地网络通过过孔连接到滤波电容，然后通过滤波电容连接到芯片，这样的设计存在哪些问题呢？

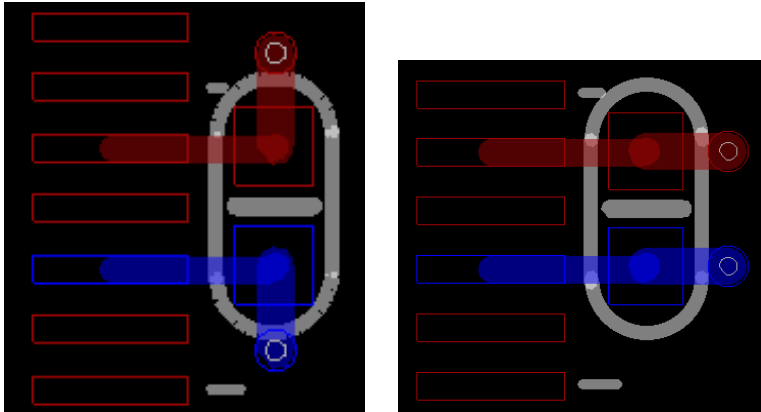


图 2

图 2 的设计方式，是假定电容还是主要的滤波元件，限定供电路径经过电容。但是实际上从图 3 我们可以看到，电源供电网络里面，电源、地之间形成的平板电容，才是板级响应速度最快的滤波元件。我们希望从滤波元件到供电管脚之间的电感尽量小，提高元件滤波的效率。

我们从两个角度来理解电源设计的目标。一个是传统的储能角度，另一个是频域的 PDN 阻抗角度。从储能角度来说，VRM 是蓄水池，Buck 电容是我们挑回来放在水缸的水，那么板上的小滤波电容就是水瓢，这时候我们先忽略芯片内部的封装基板电容和 Die 电容（或者我们把这两种电容理解为身体内部储存的水）。那么 N 年前，当我们身体缺水，口渴的时候，拿着水瓢从水缸舀起水来解渴，如果实在不着急，走到水池边上埋头喝水也未尝不可（那些年，水质干净，路上不堵，环境好哈）（电源噪声频段不高，用电需要的速度-频率也不是很高）。

#### 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



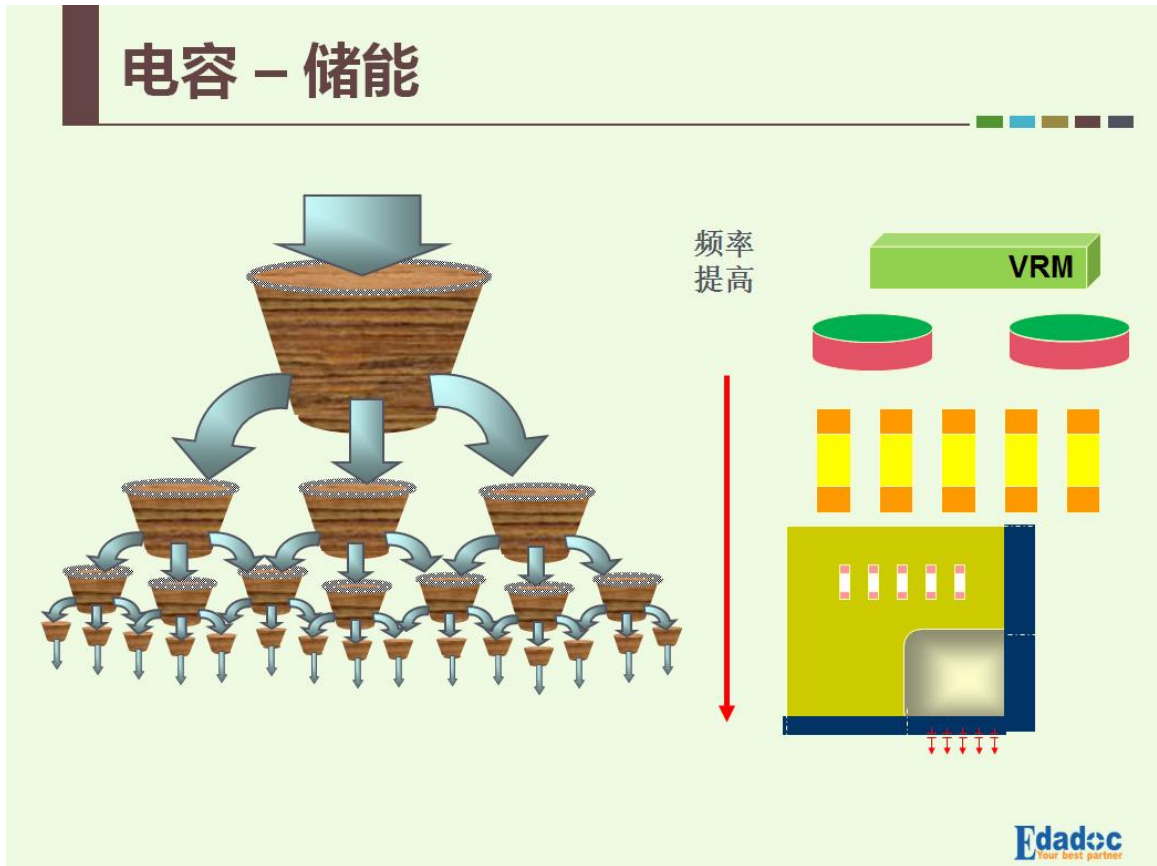
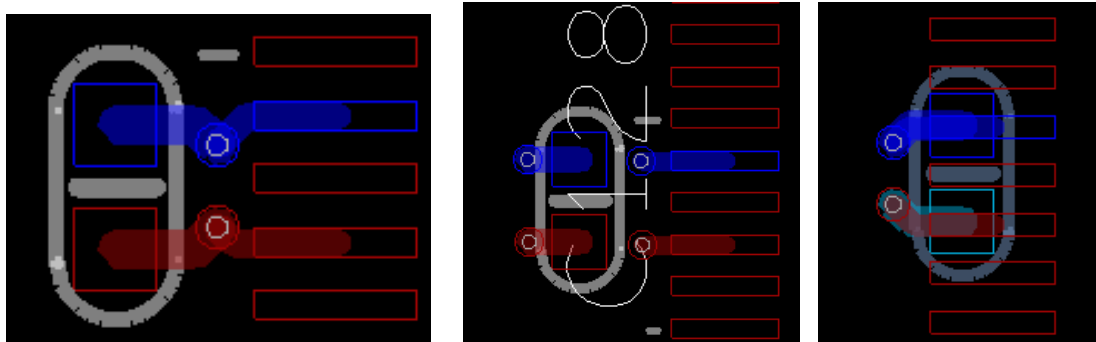


图 3

可惜好时光的那年已经匆匆而过了。现在环境污染，水质变坏，我们再要喝水，已经不敢喝生水了。VRM 成了自来水厂，Bulk 电容就是设在小区的水塔，通过自来水管接到我们家里，我们用水壶（小滤波电容）来接水，烧开之后倒在杯子（平板电容）里，口渴的时候，只能用杯子喝水了。当然如果不着急，又想表现豪爽，直接对着水壶喝水也没问题。

例子不是 100%恰当，只是说明一个问题，现在的 PDN 设计，我们不能忽视电源、地间的平板电容。既然已经是多层板设计，甚至是 8 层以上（电源、地板间距离较小）设计，这时候还限定电源地用电强制经过滤波电容，已经是不合理了）

图 4 是常见的电容与芯片的 Fan out 设计方案，我们不需要限定用电经过电容到达芯片管脚。而是要求芯片就近打孔到平面，减少芯片与电容和电源、地平面的距离（也就是减小安装电感）。简单来说，把水杯放在办公桌上随手可及的地方，口渴了伸手就能喝水。



### 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



图 4

电源的事情让无数工程师头痛，大家想尽办法来让电源变得“干净”，滤波电容设计是其一，还有磁珠隔离等其他手段，我们会一一道来。下一节就是从 PDN 角度来看电源滤波及电容设计。

水的事情也让升斗小民头痛，大家不放心国家的用水标准，绞尽脑汁来加一级过滤。于是活性炭、超级过滤膜，到现在最推崇的 RO 膜。忙忙碌碌关心水质的为了得到纯水。而无所谓的人直接烧自来水，几十年了也活的好好的。

看来“水”真是一个好东西，高速先生都喜欢用水来做比喻，是不是该给“水”发点版权费用呢……

## 电容的布局布线 - 电源是不是必须从滤波电容进入芯片管脚（中）

承前：电容的布局布线讨论之从储能角度解释电源不是必须从滤波电容进入芯片管脚

本节：从过滤水的流程来看电源滤波的指导思想，以及引出电源供电网络轨道 PDN。本节没有列出新的设计误区，还是在讨论电源是不是必须从滤波电容进入芯片管脚的问题，篇幅关系，先讲一讲滤波电容的作用。

启后：从 PDN 的角度，看看滤波电容在电源噪声滤除时起到什么作用，同时讨论下电容的特性，谐振频率，安装电感等

无所不能的“水”又要在高速先生的故事里面登场了。家里领导几次提出要买更好的滤水器，领导有令，当然得坚决执行。不过作为新时代的理工男，前面也提到，“经历了社会锻炼的我们，其实是在社会上读更大的 MBA，我们必须学会问：为什么……”工作中养成的习惯根深蒂固哈。

为什么要过滤水，理工男找到答案，水里有杂质：

- 1 余氯。就是漂白粉啦，去除常用的技术就是活性炭。
- 2 部分有机物，这个靠活性炭和超滤都能去除。
- 3 细菌超标
- 4 其他杂物，比如铁锈等。管道老化，没办法。
- 5 重金属。
- 6 农药啊，化工污染物啊。

怎么过滤：

- 1 不锈钢滤网的前置净水器
- 2 活性炭
- 3 超滤膜
- 4 ro 膜

最好的 RO 膜过滤方法，需要经过 5 级过滤

怎么保证过滤效果是好的，测试，还是测试…… 这个过滤水，和电源滤波真的是好像呀。

于是买了最高级别的测试笔，叫 TDS 测试笔，还附带了测试溶液和试纸。回家兴冲冲开始测试。

- 直接从水龙头出来的水，度数 59，对比标准，深圳的水质还不错哈
- 之前家里装了滤水机，平常喝的水都是从滤水机出来的，测试过滤之后的水，读数是 70，比不过滤还差（我们加了滤波电容，也会让电源噪声更大吗？）

### 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





- 测试也要校准哈，取一瓶怡宝的纯净水（不是矿泉水哦），测试，读数为 0，怡宝的产品还不错嘛
- 更多测试，包括测试溶液和试纸测试，就不赘述了，再说就真变成测试水了回到我们电源设计：
- 我们老是担心电源不干净，噪声大，实际上按照正常设计要求做好的电源设计，一般问题不会太大。（符合国家标准的大城市供水，其实水质问题没有那么严重）
- 别老是担心，最重要的是测试，拿测试结果说话。现实中的表现会呈现多样性，什么误码，时序等等，可能都和电源相关，测试一下，就可以排除忧患。（水质的表现也很多：烧水有水垢；过滤后的水喝起来甜；过滤后的水，种豆芽都是甜的……测试一下，就知道问题所在了）
- 测试一定要校准，不准确的测试一定会误导判断，测准要有好的工具（仪器），要按步骤操作，要有校准件……
- 过滤不见得都有好的作用，会带来二次污染，滤波电容之间会形成反谐振点，用的不好，也可能会增大噪声

前面说了，RO 膜纯水机，需要经过 5 级过滤

第一级过滤：5 $\mu$ m PPF 滤芯，俗称粗滤或者 PP 棉，过滤精度:5 微米

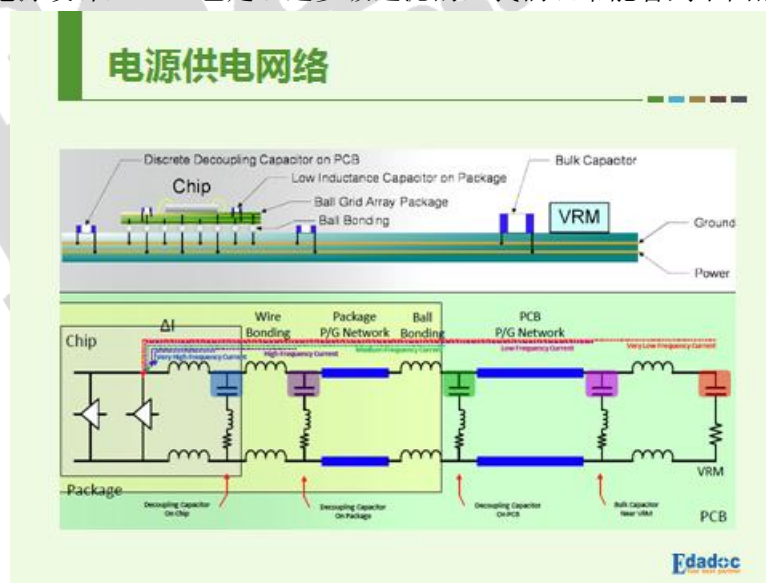
第二级过滤：优质颗粒活性炭滤芯，俗称 UDF/GAC

第三级过滤：1 $\mu$ m PPF/PP 棉滤芯（PPF）

第四级过滤：孔径为 0.0001 微米的反渗透膜

第五级过滤：后置抑菌活性炭滤芯

我们的电源设计，PDN 也是经过多级过滤的，我们经常能看到下面的图：



这是一个典型的电源供电网络，

首先是电源供电的源头，VRM 部分，从 PDN 角度，可以滤除几十 K 到几百 K 以内的电源噪声

然后是 Bulk 电容，从 PDN 角度，可以滤除几百 K 到几 M 以内的电源噪声

板级滤波电容，从 PDN 角度，负责几 M 到 100M 以内的电源噪声

电源、地平板电容，滤波频段在几百 M 左右

芯片封装内部电容及封装基板平板电容，负责更高频段的电源噪声

## 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



Die 内电容，这个厉害，做得好的芯片的 Core 电源，Die 内电容基本上保证了 100M 以上（有的甚至 22M 以上）所有的噪声滤除。

电源滤波也是分了这么多级，大家各司其职又互相配合。电源轨道看起来就像一个铁轨，PI 工程师工作的时候，遵守一个格言：铁路工人，各管一段。

## 电容的布局布线 - 电源是不是必须从滤波电容进入芯片管脚（下）

承前：从过滤水的流程来看电源滤波的指导思想，及引出电源供电网络轨道 PDN

本节：从 PDN 的角度，看看滤波电容在电源噪声滤除时起到什么作用，同时讨论下电容的特性，谐振频率，安装电感等

这一篇是“电源是不是必须从滤波电容进入芯片管脚”的最后一篇，换个方式，先来开门见山，亮出观点和结论，再逐一解释：

1. 随着系统工作频率的提升，PDN 噪声对应的频段也在提高
2. 滤波电容的谐振频率点变化不大，比如说，常见的 0.1uF 的电容，考虑了安装电感之后，谐振频率点基本都在 10~15M 之间，滤除噪声的作用范围有限
3. 随着多层板的普及，平板电容在板级扮演着高频电容的角色
4. 封装内电容和 Die 电容，对高频噪声起决定作用

第一条不需要解释，我们从频域来考虑 PDN 问题的时候，噪声的频谱分布范围最好能覆盖到信号的截止频率。

第二条，我们来看看常见电容的谐振频率点以及安装电感的评估。

图 1 是一个 Murata 0402 封装，0.1uF 电容的参数，谐振频率 25M 左右



图 1

图 2 是把电容安装到一个 6 层板上面，层叠如左图所示，4、5 层是电源地平面，右图是安装之后仿真的谐振频率，大约是 10M 左右

### 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



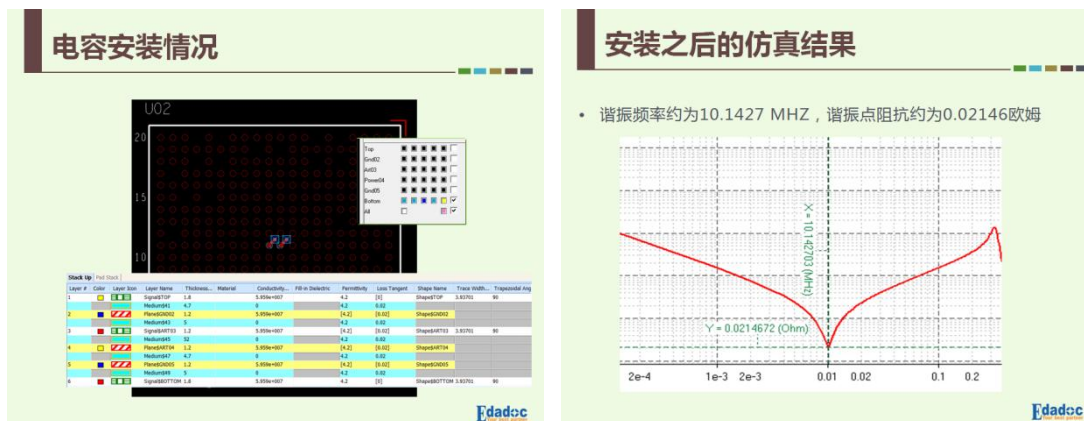


图 2

通过简单的计算，我们就可以评估出电容的安装电感。

电容谐振频率的计算公式：
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

原始电容的谐振频率为：
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{0.1\mu f + 0.39\text{nH}}} = 25.486 \text{ MHz}$$

安装之后的谐振频率为 10.1427 MHz，假定电容值不变，这样反推出来电感为 2.4597 nH，本例中安装电感大小约为 2.07nH。

从图 3 可以看出，电容在谐振频率点之后呈现感性，电容起作用的频率范围不会超过谐振频率点的 2~3 倍。

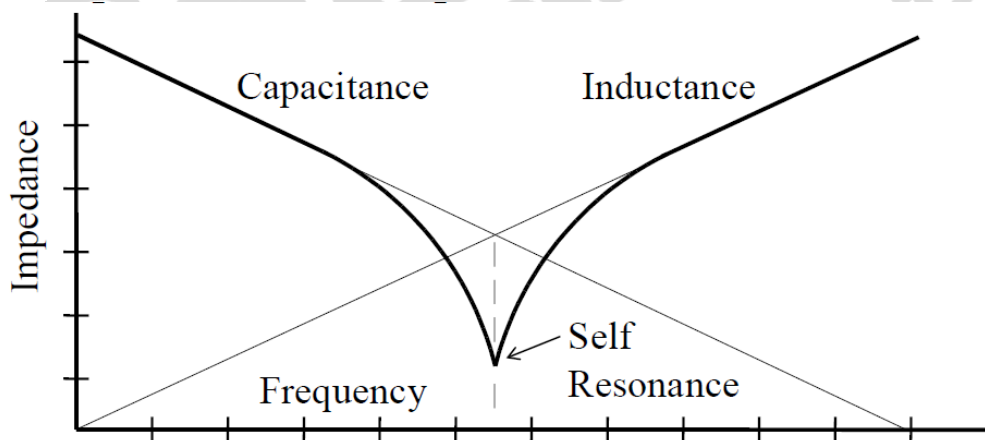


图 3

第三条，板级更高频率的噪声怎么办？多层板设计时注意电源地之间紧耦合，可以成为更加高频的平板间电容。

图 4 是 2013 年高速先生团队在研究埋容设计的案例，给出了几种不同电源地间距的平板阻抗曲线：

- 电源地间距 28.31mil，电源地耦合较差，波形为红色
- 电源地间距 4.2mil，增加电源地耦合，波形为绿色
- 使用埋容材料 3M\_C Ply，间距 0.56mil，波形为蓝色

**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



能看到平板电容谐振频率点较高，一般在 200M 以上，能有效应对几百兆的高频电源噪声。

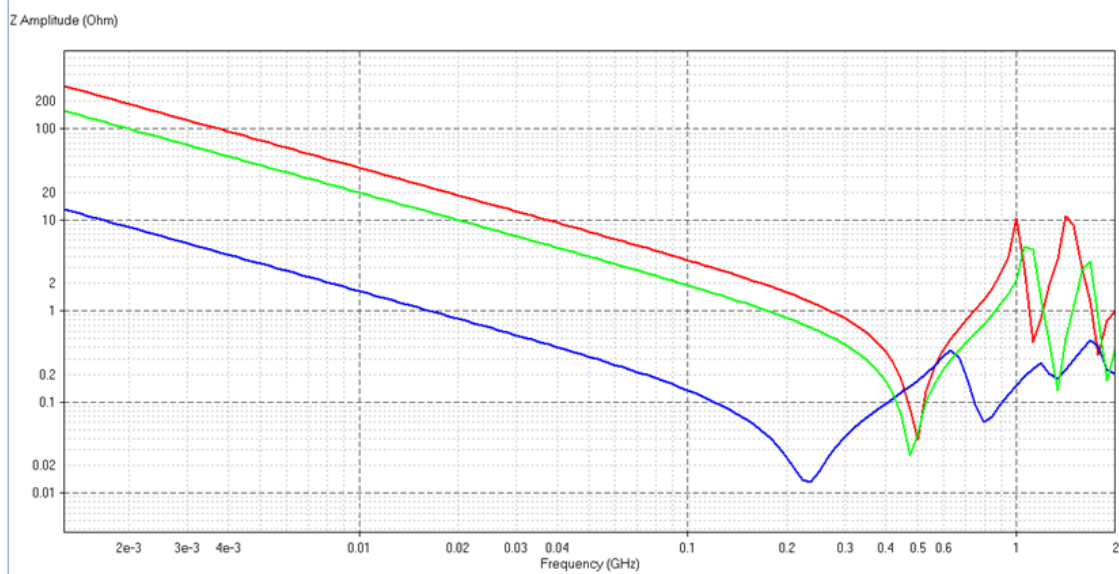


图 4

第四条，封装电容和 Die 电容这里不做太多描述，只给出一个实际案例，图 5 是某芯片，Die 电容大小为 2071NF。能看到 Die 电容起作用之后，30M 以上的 PDN 阻抗基本完全被压下来了。也就是说，30M 以上的电源噪声，进入芯片之后被 Die 电容滤除。系统设计时不需要考虑这个频段以上的滤波。

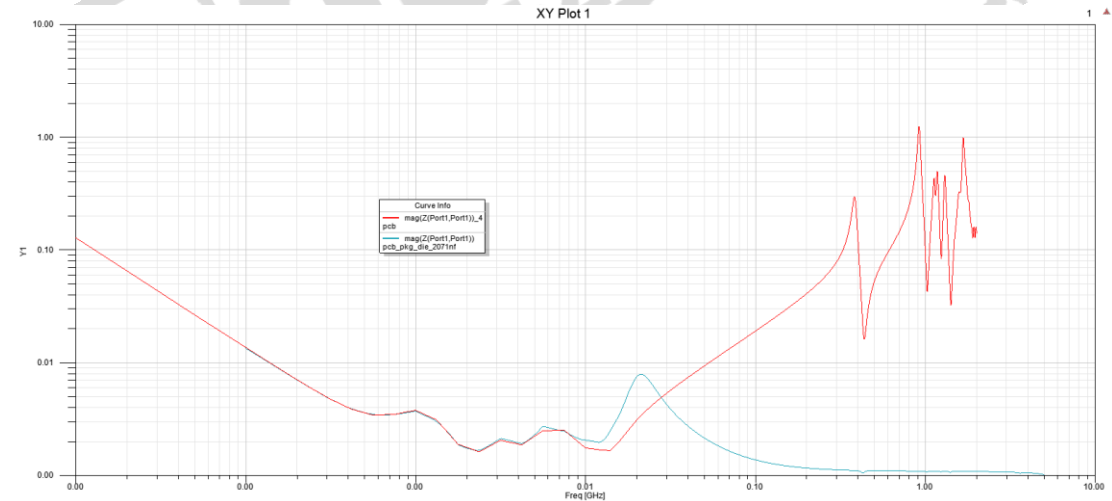


图 5

“铁路工人，各管一段”，滤波电容作为 PDN 的一个组成部分，只涵盖了部分频段的滤波效果。设计的时候，不需要特别指定电源必须从滤波电容进入芯片管脚。因为这样设计往往会增加整体的安装电感，反而影响滤波效果。

关于滤波电容正确的 Fan out 方式，会在高速先生其他系列的文章里面进行讨论，敬请期待。

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





## 问题来了

关于电源设计时，是不是必须从滤波电容进入芯片管脚，对这个问题大家如果有更多的想法和思考，欢迎提出来和高速先生一起讨论。

高速先生欢迎您和我们一起进行交流，关注微信名（高速先生），直接将答案通过会话回复，参与互动答题即有机会获得奖品，回复关键词“奖品”查看更多。

## 【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。

## 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





扫一扫，即可关注

Edadoc  
Your best partner  
— 博 科 技

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

