

【高速先生原创|学习笔记系列】原来你是这样的 PDN

作者：陈亮 一博科技高速先生团队成员

【关键词 keyword】

PDN、电容、ESL、ESR、容抗、感抗、谐振频率、低电压、大电流

【内容摘要 description】

说起 PDN 想必大家都不陌生。在 PCB 电源趋于低电压、大电流的今天，电源分配网络 (Power Delivery Network) 设计就显得尤为重要。要保证系统稳定的运行，除了要考虑电源的直流压降，还需要考虑电源噪声是否满足系统要求。今天我们就来看看，怎么才能满足噪声要求？

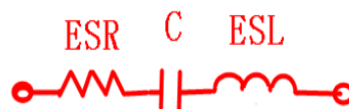
原来你是这样的 PDN

说起 PDN 想必大家都不陌生。在 PCB 电源趋于低电压、大电流的今天，电源分配网络 (Power Delivery Network) 设计就显得尤为重要。要保证系统稳定的运行，除了要考虑电源的直流压降，还需要考虑电源噪声是否满足系统要求。每个工程师都希望自己项目的电源都能和自己一样，安静的当一个的美男子。



看过《谜一样的电容》的小伙伴都明白，利用电容的隔直通交属性，可以将 DC 电源中的交流噪声短路进 GND 来达到滤波的效果。理论上一个电容就能将所有的噪声都滤除，但是理想很丰满，现实很骨感。之前为了方便理解电容的特性，我们使用的都是理想电容模型，而实际电容器除了电容之外还有另外的寄生参数。分别是等效串联电阻 (ESR)、等效串联电感 (ESL)。这两个寄生参数与电容一起构成一个等效电路，影响着电容的实际滤波效果。

实际电容器模型表示如下：



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



要了解寄生参数是怎么影响电容的滤波效果，就需要引入容抗和感抗。因为寄生参数变化会使容抗、感抗随之变化，进而影响电容的滤波能力。想了解变化原理的同学就仔细看下公式，不想看公式的同学直接看黑体笔记吧！

容抗：交流电路中，电荷在电路中做周期性的往返运动，电荷的运动速度与电压、电容和频率成正比关系，将电容和频率相乘，则得到一个类似于电阻的量，由于没有热的产生，因此将这一量称为容抗，容抗的单位和电阻单位一样，也是欧姆。

容抗公式：

Xc 电容容抗值

ω 角速度

π 圆周率

f 频率

C 电容值 法拉

$$X_c = 1 / (\omega C) = 1 / (2 \pi f C)$$

感抗：因为电感对交流电有阻碍作用，所以把电感与频率的合成效应称为感抗。单位和容抗一样都是欧姆。

感抗公式：

XL 电感性抗直

ω 角速度

f 频率

L 电感

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

电容的阻抗=寄生电阻+（感抗-容抗）

$$Z = ESR + j2\pi fESL + \frac{1}{j2\pi fC} = ESR + j(2\pi fESL - \frac{1}{2\pi fC})$$

从公式可以总结以下三点：

频率很低时： $2\pi fESL$ （感抗）小于 $\frac{1}{2\pi fC}$ （容抗），电容阻抗随频率增加而减小，复阻抗为负值，电流超前于电压，呈电容特性。

频率很高时： $2\pi fESL$ （感抗）大于 $\frac{1}{2\pi fC}$ （容抗），电容阻抗随频率增加而增加，复阻抗为正值，电压超前于电流，呈电感特性。

当在某一频率， $2\pi fESL$ （感抗）等于 $\frac{1}{2\pi fC}$ （容抗），容抗与感抗抵消，只剩下等效串联电阻，此频率点电容的滤波效果最好，这个频率点被称为电容的谐振频率。

由于容抗和感抗的影响，导致实际电容器的阻抗会随频率变化而变化。

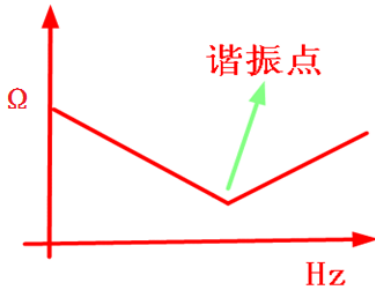
电容阻抗曲线：

电容的谐振频率公式。

如何关注

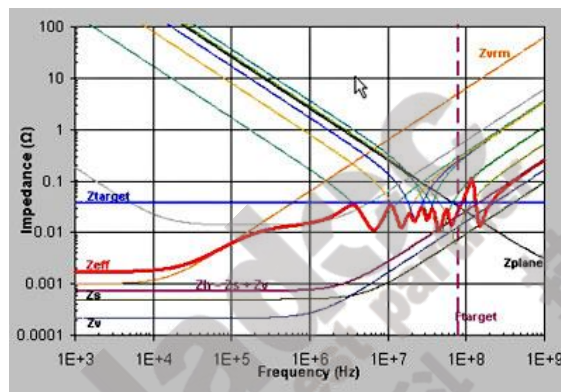
- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习





$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{ESL \cdot C}}$$

因为寄生参数对电容的影响，导致实际电容器只有在谐振频率点附近频段，才具有很好的滤波效果。根据电容阻抗公式可以知道容量大的电容谐振频率点较低，容量小的电容谐振频率点较高。通过将不同容量的电容并联使用，让不同的谐振频率覆盖工作频段，使工作频段整体都能获得很好的滤波效果。这就是电源通常需要使用大小不同的电容进行组合滤波的原因，由多种大小不同的电容阻抗曲线组合成的包线就是电源 PDN 阻抗曲线。如下图红色曲线：



电源 PDN 阻抗曲线就是 PCB 滤波能力的直观体现(划重点)。

通过使用频域目标阻抗法分析 PDN 阻抗曲线，判断我的 PCB 滤波能力是否满足系统对电源质量的要求。说到这里有的小伙伴就要问了，如果有的频段 PDN 阻抗不满足怎么办，通常我们增加该谐振频率的电容，或者调整周围频段的电容搭配降低该频段的阻抗。

由于电源 PDN 曲线并不是固定不变的。电容自身封装大小、容值公差等因素都会影响电容的阻抗曲线。除了器件自身的影响，设计引入的安装电感，也会使电容的阻抗曲线偏移。不良设计会引入过量的安装电感，甚至会使电容失去滤波效果。由于低电压、大电流的电源对滤波能力要求更高，PDN 阻抗裕量更小。所以需要通过仿真得到准确的电源 PDN 阻抗曲线。

提问：良好的设计能避免引入过量的安装电感，那设计中有哪些方法可以减小电容的安装电感呢？欢迎各位小伙伴们加入评论留言区的互动！

【关于一博】

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



深圳市一博科技股份有限公司（简称一博科技）成立于 2003 年 3 月，专注于高速 PCB 设计、PCB 制板、SMT 焊接加工和供应链服务。我司在中国、美国、日本设立研发机构，全球研发工程师 600 余人。

一博旗下 PCB 板厂位于深圳松岗，采用来自日本、德国等一流加工设备，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、成都、长沙设立分厂，厂房面积 23000 平米，现有 30 条 SMT 产线，配备全新进口富士 XPF、NXT3、AIMEX III、全自动锡膏印刷机、十温区回流炉、波峰焊等高端设备，并配有 AOI、XRAY、SPI、智能首件测试仪、全自动分板机、BGA 返修台、三防漆等设备，专注研发打样、中小批量的 SMT 贴片、组装等服务。作为国内 SMT 快件厂商，48 小时准交率超过 95%。常备一万余种 YAGEO、MURATA、AVX、KEMET 等全系列阻容以及常用电感、磁珠、连接器、晶振、二三极管，并提供全 BOM 元器件服务。

PCB 设计、制板、贴片、物料一站式硬件创新平台，缩短客户研发周期，方便省心。

EDADOC, Your Best Partner.

【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。



高速先生微信公众号



历届所有技术文章
持续更新中

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

