



深圳市恒创技术有限公司

EMC 器件知识分享

电磁兼容元器件介绍之电容应用第十八期

电容应用分享

1. 电容介绍

电容（或称电容量）是表征电容器容纳电荷本领的物理量，两极板间的电势差增加 1 伏所需的电量，叫做电容器的电容。从物理学上讲，它是一种静态电荷存储介质，主要用于电源滤波、信号滤波、信号耦合、谐振、隔直等电路中。

2. 电容分类

按照电容的材料构成和用途的不同，电容的种类非常繁多，但是对于解决 EMC 问题实际应用最多的电容，主要有以下几种：

- 1、陶瓷电容：用陶瓷做介质，在陶瓷基体两面喷涂银层，然后烧成银质薄膜做极板制成。它的特点是体积小，耐热性好、损耗小、绝缘电阻高，但容量小，适宜用于高频电路。容值从几 pF 到 10 μ F 不等，根据容值和体积的不同其耐压由 16V 到 2000V 不等，封装一般以贴片为主，这类电容通常在单板数字电路上使用，电源接口经常使用的 Y 电容为插件电容；
- 2、薄膜电容：以金属箔当电极，将其和聚乙酯，聚丙烯，聚笨乙烯或聚碳酸酯等塑料薄膜，从两端重叠后，卷绕成圆筒状的构造之电容器。电源接口经常使用的 X 电容，其中 X 电容是跨接在电力线（L-N）之间的电容；
- 3、电解电容：金属箔为正极（铝或钽），与正极紧贴金属的氧化膜（氧化铝或五氧化二钽）是电介质，阴极由导电材料、电解质（电解质可以是液体或固体）和其他材料共同组成，因电解质是阴极的主要部分，电解电容因此而得名。同时电解电容正负不可接错，铝电解电容常用在电源电路，其主要作用是电源储能与低频滤波，由于其容值比较大，一般范围为 0.47 μ F~4700 μ F，耐压范围为：6.3V ~500V。

3. 电容主要特性参数

在电容的众多参数中，主要关注的参数如下：

1. 温度特性

电容工作温度范围，决定电容的应用环境。

2. 标称容值

理想状态下电容容值的大小决定了其滤波频率点，一般电容容值越大其滤波频率越低，容值越小其滤波频率越高。

3. 额度电压

在最低环境温度或额定环境温度下，可连续加在电容器上的最高直流电压有效值，一般直接标注在电容器外壳上，根据材料和应用电路的不同，额定电压从 DC 2 伏~DC 几千伏不等。

4. 电容容差

在标称容值下电容的精度范围，一般分为三档： $\pm 5\%$ (J)， $\pm 10\%$ (K)， $\pm 20\%$ (M)。

5. 绝缘电阻

施加在电容两端一定的测试电压，一定的测试时间内测试到电容两端的电阻值。

6. 直流电阻

对于串在信号线上的三端电容，在一定同流的测试条件下测得电阻两端的电阻值。

7. 等效串联电阻 (ESR)：代表电容的固有电阻值。

8. 等效串联电感 (ESL)：代表电容的固有电感值。

9. 漏电流：代表器件本身交流的漏电路。

4. 电容选型规则

使用电容时按照如下的步骤进行选型：

1、应用电路的电气特性

- 工作电压：电容标称的额定电压需要大于等于应用电路的最高工作电压；
- 工作温度：器件标称工作温度范围需要满足产品对于器件的要求；
- 绝缘电阻：器件应用电路对于电容绝缘电阻值的要求，一般应用到交流电源输入口的高压电容在安全方面有这方面的要求；
- 泄露电流：在应用到交流电源接口的 Y 电容需要考虑漏电流对于安全的影响。

2、确定电容容值，针对单个电容容值的确定，在理论计算上按照如下的计算方法：

- 在选择电容的时，实际上需要对电容器实际的等效电路进行了解，一个电容其实际等效电路如下图所示：



图 1 电容等效电路

其中，L：引线电感； R：等效串连电阻； C：理想电容器；

整个电容等效电路的阻抗如下：

$$|Z| = \sqrt{R_s^2 + (2\pi fL - 1/2\pi fC)^2}$$

图 2 电容阻抗计算公式

当串联 RLC 电路在谐振频率点 F_R 时，整个电路的 $|Z|$ 拥有最小值，其值就是电路的等效串联电阻值，此时的电容滤波特性最好。

基于以上电容参数特性原因，需要对实际电容的滤波特性做一个了解，下图是实际电容的和理想电容的滤波特性曲线。

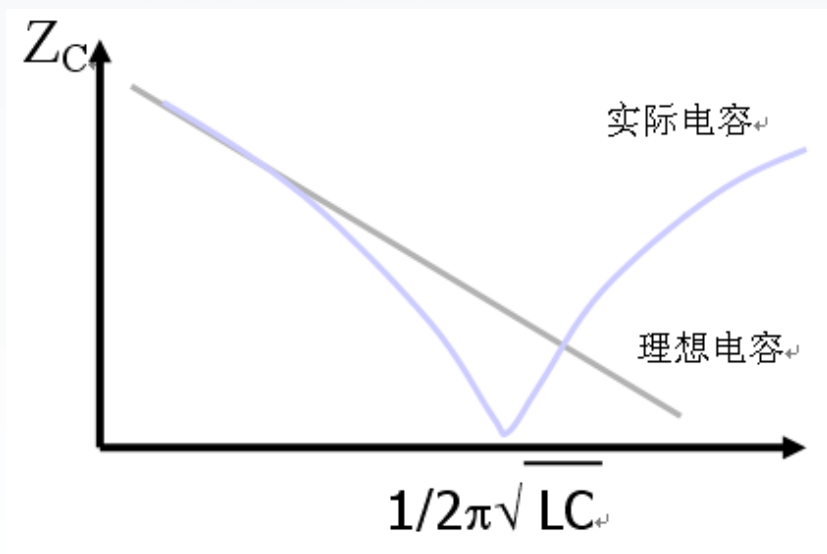


图 3 实际电容滤波曲线

在以上公式可以看出，在谐振点 F_R 谐振频率值为：

$$F_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

图 4 电容谐振频率计算

其中， F_R 为谐振频率，单位赫兹 (Hz)， C 为电容的容值，单位为法拉。 L 为电容的等效串联电感值，单位为亨，不同的电容厂家，不同安装方式会产生不同的 L 值的电容在其规格书中会有说明。按照经验，贴片器件 L 值取 1nH，插件器件 L 值取 3.75nH，或者根据厂家的说明书提供的参考值进行电容其谐振频率值的计算。

按照如上公式和等效电感的取值，计算需要滤波 100MHz 的频率，其贴片式电容值选择计算为：

$$F_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \Rightarrow C \approx 2500\text{pF}$$

相同滤除 159MHz 的频率段，贴片电容容值按照计算选择大概为：1000pF；

电容滤波谐振频率计算公式		$F_R = 1 / 2\pi \sqrt{LC}$					
电容类型	固定值	谐振频率 (Hz)	固定值	派值	等效电感 (H)	电容容值 (pF)	电容容值 (uF)
贴片电容选型计算公式	1	1000000000	2	3.1415926	0.000000001	25.33029677	
	1	500000000	2	3.1415926	0.000000001	101.3211871	
	1	300000000	2	3.1415926	0.000000001	281.4477419	
	1	100000000	2	3.1415926	0.000000001	2533.029677	
	1	50000000	2	3.1415926	0.000000001	10132.11871	0.01
	1	30000000	2	3.1415926	0.000000001	28144.77419	0.028
	1	10000000	2	3.1415926	0.000000001	253302.9677	0.25
	1	5000000	2	3.1415926	0.000000001	1013211.871	1
插件电容选型计算公式	1	1000000	2	3.1415926	0.000000001	25330296.77	25
	1	100000000	2	3.1415926	0.000000003750	675.4745807	
	1	50000000	2	3.1415926	0.000000003750	2701.898323	
	1	30000000	2	3.1415926	0.000000003750	7505.273118	
	1	20000000	2	3.1415926	0.000000003750	16886.86452	0.017
	1	10000000	2	3.1415926	0.000000003750	67547.45807	0.068
	1	5000000	2	3.1415926	0.000000003750	270189.8323	0.27
	1	3000000	2	3.1415926	0.000000003750	750527.3118	0.75
	1	2000000	2	3.1415926	0.000000003750	1688686.452	1.7
	1	1000000	2	3.1415926	0.000000003750	6754745.807	6.75

按照一般经验，在基于一定的引线长度的情况下，不同容值的电容其谐振频率点可以参考如下表格：

电容器的自谐振频率约值(基于引线长度)

电容值	通孔* 0.25in 引线	表面安装** (0805)
1.0 μF	2.6 MHz	5 MHz
0.1 μF	8.2 MHz	16 MHz
0.01 μF	26 MHz	50 MHz
1000 pF	82 MHz	159 MHz
500 pF	116 MHz	225 MHz
100 pF	260 MHz	503 MHz
10 pF	821 MHz	1.6 GHz

* 对通孔而言， $L = 3.75\text{nH}(15\text{nH}/\text{in})$ 。

** 对表面安装而言， $L = 1\text{nH}$ 。

图 5 电容典型谐振频率对照表

- 220V 交流电源：放置在 L、N 线之间的电容（通常也称之为 X 电容），其额定工作电压值通常选择 250V 交流，安规上只要满足工作绝缘要求即可；放置在 L、N 对地的电容（通常也称之为 Y 电容），其额定工作电压值通常选择为 250V 交流，但是其两端的耐压值需要满足安规 1500VAC 甚至更高以上的绝缘耐压要求；

- 控制电路电源：放置在控制电路电源管脚，其电容的容值耐压须为滤波电路最大输入电压的 1.5 倍，比如 5V DC 输入电源管脚，电容耐压需要大于 7.5V DC；
- 如果较宽频率的滤波电路，需要采用不同容值进行搭配的方式滤波，这种应用形式主要是针对电源电路和控制电路，一般电容值相差为两个数量级，比如 1 μ F 搭配 0.01 μ F 级电容，使得电路的高频和低频都有较好的滤波效果。

3、电容种类选型

电源输入电路：主要应用到铝电解电容、薄膜电容（X 电容）、陶瓷电容（Y 电容）；

单板控制电路：主要应用到铝电解电容、陶瓷电容。

4、电容安装

在电容容值确定以后，需要对电容所摆放的位置进行确定，针对在单板内部的滤波电容，其放置的位置需要尽可能靠近所需要滤波的电路，减小其环路面积，如果是对输入和输出接口电路进行滤波，那么电容需要尽可能靠近接口进行放置，减小其滤波后的电路进行二次耦合。

5. 选型注意事项

在进行电容选型的时候，还需要注意以下几个参数：

- 1、 应用在交流输入电源接口对地的电容称为 Y 电容，需要注意其漏电流值满足标准的法规要求；
- 2、 温度范围：电容器设计所确定的能连续工作的环境温度范围，该范围取决于电容相应材料的温度极限值，一般电容的使用环境温度有 -30 $^{\circ}$ C ~ +85 $^{\circ}$ C、-55 $^{\circ}$ C ~ +85 $^{\circ}$ C、-55 $^{\circ}$ C ~ +125 $^{\circ}$ C、-55 $^{\circ}$ C ~ +150 $^{\circ}$ C 等多个级别，具体选择应根据产品使用环境温度的定义来确定所使用电容的工作温度范围；
- 3、 电容容值偏差的选择：针对电源输入端口对 EMC 影响比较大的，电容容值的精度需要满足 $\pm 10\%$ 这个档，其他应用在单板信号控制电路上面的电容偏差一般为 $\pm 20\%$ ；
- 4、 等效串联电阻（ESR）：电容器固有的等效串联电阻阻值，需要查看电容的规格资料，很多资料中会标注器件属于低 ESR 的电容；
- 5、 等效串联电感（ESL）：电容器的等效串联电感感值，这个与电容的安装位置有很大的关系，电容器越靠近滤波的电路管脚放置，其 ESL 越小，走线越长其值越大。

6. 典型应用举例

针对交来自开关电源的干扰，主要需要滤除的干扰为几百 kHz~几十 MHz，电容容值典型值选择一般为 nF 级至 μF 级，当增加对地 Y 电容的时候需要注意漏电流对安规的影响；对于一般信号电路的滤波主要是从几十 MHz~几百 MHz，电容容值典型值选择一般为 μF 级至几百 pF，但是在选择到 μF 级电容的时候需要注意电容对电路正常工作的影响。

■ 电源输入接口典型应用：

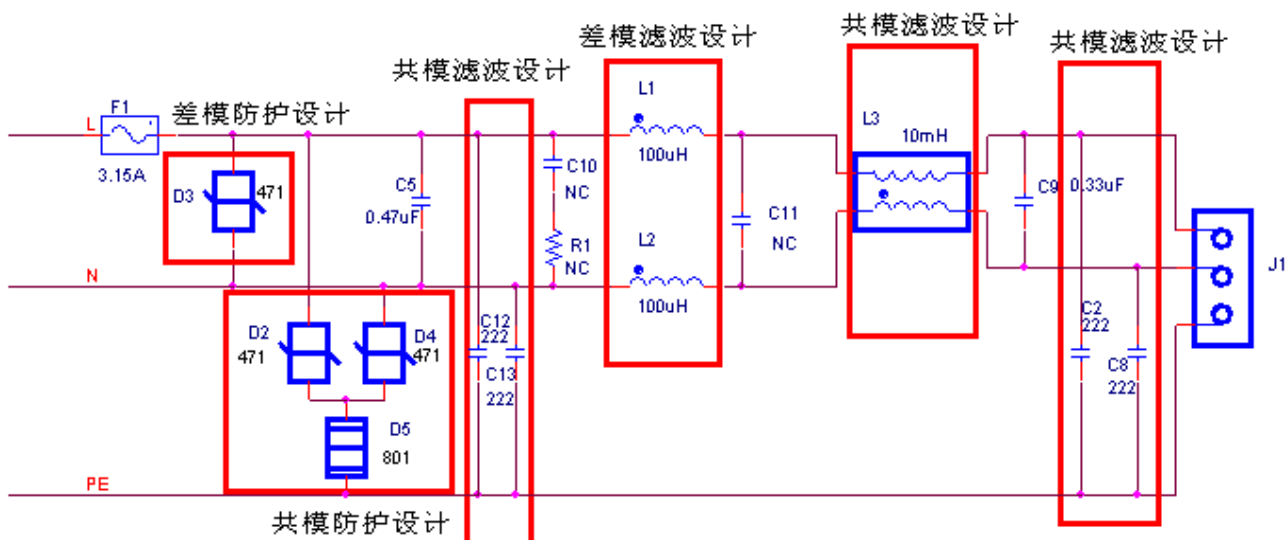


图 6 电源滤波电路典型应用

- 1、C12、C13、C2、C8 为共模滤波 Y 电容，电容值为 $1\text{nF} \sim 4.7\text{nF}$ ，典型值为 2.2nF ，主要滤波频段为 $10\text{MHz} \sim$ 几十 MHz，Y 电容主要作用是滤除共模干扰，另外在选择增加对地 Y 电容时需要注意引线的长度和其对地漏电流对安规的影响；
- 2、C5、C11、C9 为差模滤波 X 电容，电容值为 $0.1 \sim 2.2\mu\text{F}$ ，典型值为 $0.33\mu\text{F}$ ，主要是滤除端口对外的差模干扰，主要滤波频段是几百 KHz-10MHz 左右。

■ 信号输入/输出口接口典型应用

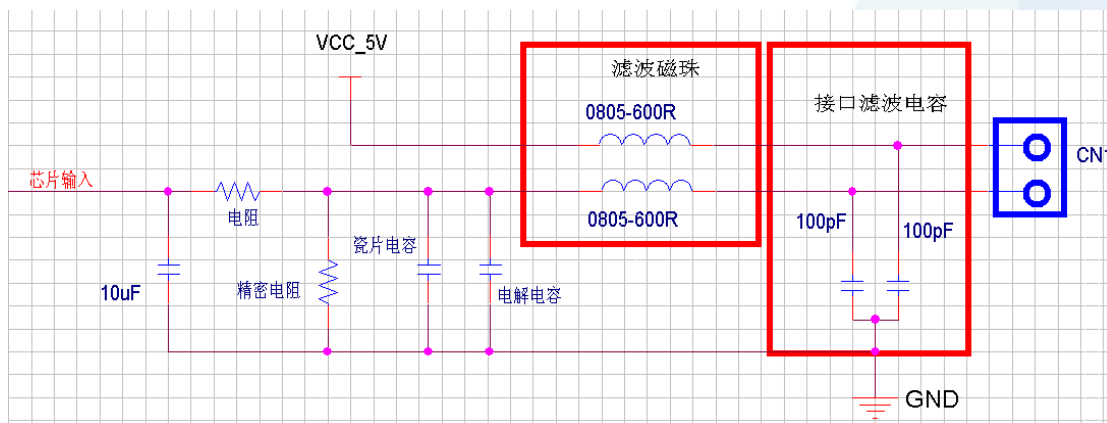


图 7 信号输入/输出室内感温包原理典型设计

- 1、靠近连接器接口 CN1 两个电容为滤除外界干扰的元器件，一般选取 100pF，主要滤波频段为几百 MHz 的高频，当接口出现问题时，该电容容值可以增大至 0.01 μ F-1 μ F，主要滤波频率范围可以为几 MHz-几十 MHz，为具体根据实际情况进行调整，具体电容容值选择可以参考电容容值与滤波频率对应表格，但是当电容容值选择较大时，需要注意电容滤波频率对有用信号的衰减。

7. 批量生产品质控制

针对生产批量器件品质控制，这块主要从以下几个方面进行管理：

- 1、电容容值：可以按照一定的测试环境条件进行测量，测试其容值是否在产品规格书标称的范围内；
- 2、电容耐压值：采用耐压测试仪对电容的标称额定耐压值进行抽样检测；
- 3、尺寸外观：采用游标卡尺等测试工具对元器件的外观尺寸进行检查，看是否符合其规格书标称范围内；
- 4、抽样百分比率：一般对于体积比较小，每次采购数量比较大的贴片器件，抽样率一般为 5%，对于体积比较大，每次采购数量比较小的器件，抽样率一般为 1%，具体抽样百分比率的选择可以由品质部自行决定；
- 5、供应商送货自检报告：品质部可要求供应商每批货物提供出厂检验报告，并且详细列出其测试环境和条件，以便保证每批货物做到供应商在工厂做到抽检合格。

感谢您对恒创技术的支持，敬请期待第 19 期

如需预定请发邮件至 hanker@hc-emc.com