

电容介绍及在逆变电源中的设计要求

编写：陈浩 审阅：Norman Day

电容是电子行业中使用最广泛的器件之一，在电子行业内的系统中绝大部分都会使用电容稳压、滤波等功能，但为了达到系统的最优化，对于电容的选用要求也越来越高。本文主要介绍了电容的定义、根据其作用的相关分类以及一些电容的特征参数，在此基础上着重介绍了逆变焊接电源对电解电容性能的基本要求。

电容的定义及作用

电容定义：由两个金属极，中间夹有绝缘材料（介质）构成。由于绝缘材料的不同，所构成的电容的种类也有所不同。按结构可分为：固定电容，可变电容，微调电容。按介质材料可分为：气体介质电容，液体介质电容，无机固体介质电容，有机固体介质电容电解电容。按极性分为：有极性电容和无极性电容。

电容在电路中的作用主要有以下几方面：

(1) 滤波电容：它接在直流电源的正、负极之间，以滤除直流电源中不需要的交流成分，使直流电平滑。在电源电路中，整流电路将交流变成脉动的直流，而在整流电路之后接入一个较大容量的电解电容，利用其充放电特性，使整流后的脉动直流电压变成相对比较稳定的直流电压。在实际中，为了防止电路各部分供电电压因负载变化而产生变化，所以在电源的输出端及负载的电源输入端一般接有数十至数百微法的电解电容。由于大容量的电解电容一般具有一定的电感，对高频及脉冲干扰信号不能有效地滤除，故在其两端并联了一只容量为 0.001--0.1 μ F 的电容，以滤除高频及脉冲干扰。

(2) 隔直电容：这是利用电容的基本特性，隔绝直流，流通交流。

(3) 耦合电容：在交流信号处理电路中，用于两级电路（信号源部分电路和信号处理电路）间连接，用以隔断直流，让交流信号或脉冲信号通过，使前后级放大电路的直流工作点互不影响。

(4) 旁路电容：是为本地器件提供能量的储能器件。在交、直流信号的电路中，将电容并接在电阻两端，为交流信号或脉冲信号开通一条路径，避免交流信号成分因通过电阻产生压降衰减。



(5) 退耦电容：并接于放大电路的电源正、负极之间，满足驱动电路电流的变化，避免相互间的耦合干扰，在电路中进一步减小电源与参考地之间的高频干扰阻抗。

(6) 定时电容：在 RC 时间常数电路中与电阻 R 串联，共同决定充放电时间长短的电容。

(7) 反馈电容：跨接于放大器的输入与输出端之间，使输出信号回输到输入端的电容。

(8) 软启动电容：一般接在开关电源的开关管基极上，防止在开启电源时，过大的浪涌电流或过高的峰值电压加到开关管基极上，导致开关管损坏。

(9) 中和电容：并接在三极管放大器的基极与发射极之间，构成负反馈网络，以抑制三极管极间电容造成的自激振荡。

(10) 降压限流电容：串联在交流电回路中，利用电容对交流电的容抗特性，对交流电进行限流，从而构成分压电路。

(11) 自举升压电容：利用电容器的充、放电储能特性提升电路某点的电位，使该点电位达到供电端电压值的倍。

(12) 调谐电容：连接在谐振电路的振荡线圈两端，起到选择振荡频率的作用。

(13) 衬垫电容：与谐振电路主电容串联的辅助性电容。

(14) 补偿电容：它是与谐振电路主电容并联的辅助性电容。

(15) 稳频电容：在振荡电路中，起稳定振荡频率的作用。

(16) 加速电容：接在振荡器反馈电路中，使正反馈过程加速，提高振荡信号的幅度。

(17) 缩短电容：在 UHF 高频头电路中，为了缩短振荡电感器长度而串接的电容。

(18) 克拉泼电容：在电容三点式振荡电路中串联电感振荡线圈的电容，起到消除晶体管结电容对频率稳定性影响的作用。

(19) 锅拉电容：在电容三点式振荡电路中并联电感振荡线圈的电容，起到消除晶体管结电容的影响，使振荡器在高频端容易起振。

(20) 稳幅电容：在鉴频器中，用于稳定输出信号的幅度。

(21) 预加重电容：设置的 RC 高频分量提升网络电容。

(22) 去加重电容：为恢复原伴音信号设置在 RC 网络中的电容。

(23) 移相电容：用于改变交流信号相位的电容。

(24) S 校正电容：串接在偏转线圈回路中，用于校正显像管边缘的延伸线性失真。

(25) S 校正电容：串接在偏转线圈回路中，用于校正显像管边缘的延伸



线性失真。

(26) 消亮点电容: 设置在视放电路中, 用于关机时消除显像管上残余亮点的电容。

(27) 启动电容: 串接在单相电动机的副绕组上, 为电动机提供启动移相交流电压。

(28) 运转电容: 与单相电动机的副绕组串联, 为电动机副绕组提供移相交流电流。

上述基本上包含了电容的应用特性, 在一般的焊机设计中都会用到滤波电容、隔直电容等作用, 但在逆变电源驱动, 保护等部分, 也会使用到其他部分的电容。

电容的参数

(1) 电容量

标称电容量是标志在电容器上的电容量。

电容的基本单位是法拉, 简称法(F)。由于在实际标注时, 法拉的单位值比较大, 故一般使用更小的单位标注, 具体单位换算关系如下:

$$1\text{F}=1000\text{mF}$$

$$1\text{mF}=1000\mu\text{F}$$

$$1\mu\text{F}=1000\text{nF}$$

$$1\text{nF}=1000\text{pF}$$

电容实际电容量与标称电容量的偏差称误差, 在允许的偏差范围称精度。精度等级与允许误差对应关系: 00(01)- $\pm 1\%$ 、0(02)- $\pm 2\%$ 、I - $\pm 5\%$ 、II - $\pm 10\%$ 、III- $\pm 20\%$ 、IV- (+20%-10%)、V- (+50%-20%)、VI- (+50%-30%)。

电容量是由(IEC 60384-1 和 IEC 60384-4)规定的特殊标准来测得的。由于交流电容决定于频率及温度, IEC 60384-1 和 IEC 60384-4 规定了测试频率和测试温度。

(2) 电压

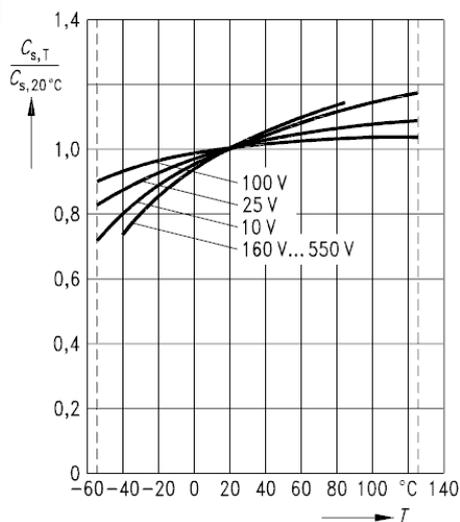
在最低环境温度和额定环境温度下可连续加在电容上的最高直流电压有效值, 一般直接标注在电容外壳上, 如果工作电压超过电容耐压就会击穿, 造成不可修复的永久损坏。电容应用在高压场合时, 必须注意电晕的影响。电晕是由于在介质、电极层之间存在空隙而产生, 它除了可以产生损坏设备的寄生信号外, 还会导致电容介质击穿。在交流或脉动条件下, 电晕特别容易发生。



对于电解电容绝大多数电解电容不允许施加反向电压，铝电解电容的反向电压短时间内不得超过 1.5V，一般允许不超过 0.8V。

(3) 温度

电容是一种随着温度变化相对比较敏感的器件，下图是电解电容温度特性的说明。

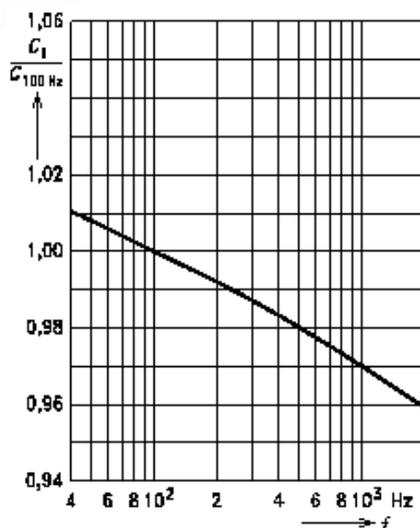


图一 电解电容温度特性图

在电容中定义在一定温度范围内，温度每变化 1°C，电容量的相对变化值为温度系数，故温度系数越小越好。

(4) 频率

电容会随频率变化而呈现其变化，如图二为某电解电容的频率曲线。



图二 电解电容频率特性图



(5) 绝缘电阻

直流电压加在电容上，并产生漏电流，两者之比称为绝缘电阻。像陶瓷电容、薄膜电容的话，绝缘电阻是越大越好的，而铝电解电容之类的绝缘电阻是越小越好。

结合上述参数，常见电容的特性归纳表如下：

电容种类	容量范围	直流工作电压 (V)	运用频率 (MHz)	准确度	
中小型纸介电容	470pF - 0.22uF	63 - 630	8 以下	I - III	>5000
金属壳密封纸介电容	0.01uF - 10uF	250 - 1600	直流, 脉动直流	I - III	>1000 - 5000
中、小型金属化纸介电容	0.01uF - 0.22uF	160、250、400	8 以下	I - III	>2000
金属壳密封金属化纸介电容	0.22uF - 30uF	160 - 1600	直流, 脉动电流	I - III	>30 - 5000
薄膜电容	3pF - 0.1uF	63 - 500	高频、低频	I - III	>10000
云母电容	10pF - 0.51uF	100 - 7000	75 - 250 以下	02 - III	>10000
瓷介电容	1pF - 0.1uF	63 - 630	低频、高频 50 - 3000 以下	02 - III	>10000
铝电解电容	1uF - 10000uF	4 - 500	直流, 脉动直流	IV V	
钽、铌电解电容	0.47uF - 1000uF	6.3 - 160	直流, 脉动直流	III IV	
瓷介微调电容	2/7pF - 7/25pF	250 - 500	高频		>1000 - 10000
可变电容	最小 >7pF 最大 <1100pF	100 以上	低频, 高频		>500



(6) 损耗角正切

电容在外施交流电压的作用下，除了会输出一定容量的无功功率 Q 之外，在电容的内部介质中、在电容的极板中、引线等导体中，以及在瓷瓶间的漏泄电流等都会产生一定的有功损耗功率 P 。通常把电容的有功功率 P 与无功功率 Q 的比值称做为该电容的损耗角正切，并用下式表示：

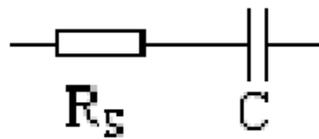
$$\tan \delta = \frac{P}{Q}$$

式中： $\tan \delta$ — 电容的损耗角正切（%）；

P — 电容的有功功率（W）；

Q — 电容的无功功率（var）

所以在实际应用中，电容的简化等效电路如图三所示。



图三 电容的简化等效电路

对于电子设备来说，要求 R_s 愈小愈好，也就是说要求损耗功率小，其与电容的功率的夹角要小。

(7) 操作温度范围

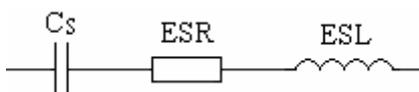
电容设计所确定的能连续工作的环境温度范围。该范围取决于它相应类别的温度极限值，如上限类别温度、下限类别温度、额定温度（可以连续施加额定电压的最高环境温度）等。

(8) 使用寿命

电容的使用寿命随着温度的增加而减少。主要原因是温度加速化学反应而使介质随时间而退化。

逆变焊接电源对电解电容性能的基本要求

电解电容是逆变焊接电源电路中最重要器件之一。通常，电解电容的等效电路可以认为是理想电容与寄生电感、等效串联电阻的串联，如图四所示。



图四 电解电容的等效电路

随着技术的发展，逆变焊接电源也在不断的更新和进步，小型化、轻量化和高效率等要求越来越高。相应的就要求电解电容小型大容量化，耐纹波电流，高频低阻抗化，高温长寿命化和更适应高密度组装。

(1) 大容量、小体积

由于电解电容多数采用卷绕结构，所以在体积上随意增减，而且单位体积电容量非常大，比其它电容大几倍到几十倍。但是大电容量的获取是以体积的扩大为代价的，现代逆变焊接电源要求越来越高的效率，越来越小的体积，因此，电容行业的也不断开发新的产品以获得大电容量、小体积的电容器。

在开关电源的原边一旦采用有源滤波器电路，则铝电解电容的使用环境变得比其他电路中更为严酷：第一，高频脉冲电流主要是 20 kHz 的脉动电流；第二，变换器的主开关管发热，导致铝电解电容的周围温度升高；第三，变换器多采用升压电路，因此要求耐高压的铝电解电容。如此一来，如果随意使用市场上常见的技术制造的铝电解电容，由于要吸收比以往更大的脉动电流，不得不选择大尺寸的电容。那么电源的体积必然会很大，难以满足小体积方面的要求。因此，为了解决这些难题，必须选用适合于逆变焊接电源电路的电解电容，体积小、耐高压，并且允许流过大量高频脉冲电流。此外，对于这种电解电容，在高温环境下工作，工作寿命也须得到保证。

(2) 高温、长寿命化

在逆变焊接电源电路设计过程中，不可避免地要挑选适用的电容。相对于电容行业内的使用来说，因为铝电解电容的价格便宜，所以，迄今使用的最为广泛。但是，最近几年却发生了微妙的变化，避免使用铝电解电容的情况正在增加。主要是由于铝电解电容的寿命往往会成为整个设备的薄弱环节。现电源模块行业内的工程师都明显有这样一个相同的感触：对于铝电解电容这种寿命有限的元件，如果有替代方案，就尽量不要采用。因为铝电解电容内部的电解液会蒸发或产生化学变化，导致静电容量减少或等效串联电阻(ESR)增大，随着时间的推移，电容性能肯定会劣化。



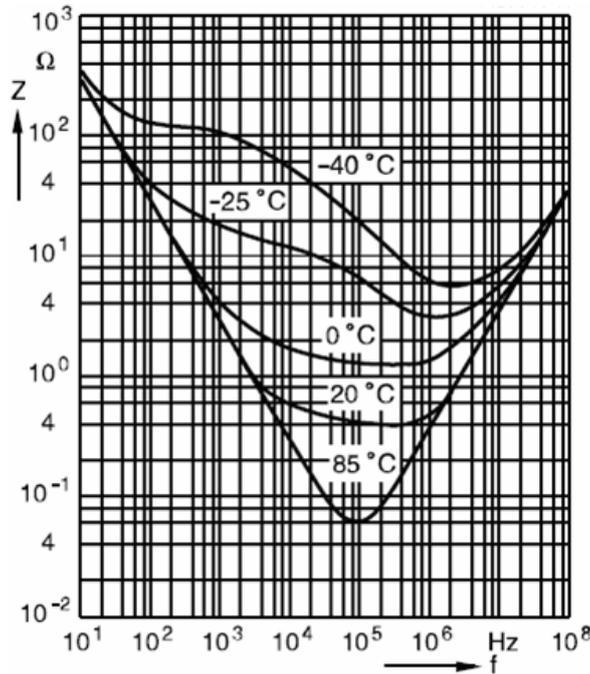
电解电容的寿命与电容长期工作的环境温度也有直接关系，温度越高，电容的寿命就越短，例如普通的电解电容在环境温度为 90°C 时会出现损坏。但是现在有很多种类的电解电容的工作环境已经很高，如B43502在环境温度为 90°C ，通过电解电容的交流电流和额定脉冲电流的比为0.5时，寿命仍然为10000小时，但是如果温度上升到 95°C 时，电解电容就会损坏。因此，在选择电容的时候，应该根据具体的环境温度和其它的参数指标来选定，如果忽略了环境温度对电容寿命的影响，那么电源工作的可靠性、稳定性将大大降低，甚至损坏设备。就一般情况而言，电解电容工作在环境温度为 80°C 时，一般都能达到10000小时寿命的要求。

另一方面，电解电容的寿命还与电容长时间工作的交流电流与额定脉冲电流的比值有关。一般而言，此值越大，电解电容的寿命越短，如果当流过电解电容的电流为额定电流的3.8倍时，电解电容一般都会损坏。所以，电解电容也有它的安全工作区，对于一般应用，当交流电流与额定脉冲电流的比值在3.0倍以下时，对于寿命的要求已经满足。

(3) 高频低阻抗化

对于大功率开关电源的开关频率受主开关（IGBT）的开关速度限制而一般在20k左右Hz。尽管开关频率有一定的浮动，但是开关电源的输出整流滤波电容的作用基本相同，主要是通过利用滤波电容吸收开关频率及其高次谐波频率的电流分量而滤除其纹波电压分量。

在开关电源输出端用的滤波电容，与工频电路中选用的滤波电容并不一样，在工频电路中用作滤波的普通电解电容，其上的脉动电压频率仅有100Hz，充放电时间是毫秒数量级，为获得较小的脉动系数，需要的电容量高达数十万容量、损耗角正切值以及漏电流是鉴别其优劣的主要参数。在开关稳压电源中作为输出滤波用的电解电容，由于大多数的开关电源工作在方波或矩形波的状态，含有大量的高次谐波电压与电流，其上锯齿波电压的频率高达数十千赫，甚至数十兆赫，它的要求和低频应用时不同，电容量并不是主要指标，衡量它好坏的则是它的阻抗频率特性，如图五所示。



图五 某 47 μ F/350V 铝电解电容器的阻抗频率特性

由图可知，随着频率的升高，容抗下降、感抗上升，容抗等于感抗并相互抵消时的频率为铝电解电容的谐振频率，这时的阻抗最低，仅剩下ESR。如果ESR为零，则这时的阻抗也为零；频率继续上升，感抗开始大于容抗，当感抗接近于ESR时，阻抗频率特性开始上升，呈感性，从这个频率开始以上的频率下电容器时间上就是一个电感。由于制造工艺的原因，电容量越大，寄生电感也越大，谐振频率也越低，电容呈感性的频率也越低。这就要求它在开关稳压电源的工作频段内要有低的等效阻抗，同时，对于电源内部，由于半导体器件开始工作所产生高达数百千赫的尖峰噪声，亦能有良好的滤波作用，一般低频用普通电解电容在10kHz左右，其阻抗便开始呈现感性，无法满足开关电源使用要求。

用于开关稳压电源输出整流的电解电容，要求其阻抗频率特性在300kHz甚至500kHz时仍不呈现上升趋势。电解电容ESR较低，能有效地滤除开关稳压电源中的高频纹波和尖峰电压。而普通电解电容在100kHz后就开始呈现上升趋势，用于开关电源输出整流滤波效果相对较差。

开关电源为了高效率而提高了工作频率的高频化，特别是小型高输出开关电源中输入滤波用电容要求高纹波性，输出端低阻抗化。要使输出滤波用电容在高频下低阻抗化，必须降低等效串联电阻。



(4) 耐纹波电流

影响电解电容性能的最主要的参数之一就是纹波电流问题。纹波电流对铝电解电容的影响主要是在ESR上产生功耗使铝电解电容发热，进而缩短使用寿命。纹波电流在ESR上产生的损耗与纹波电流有效值的平方成正比，因而随着纹波电流的增加，小时寿命曲线类似于抛物线函数曲线。降低纹波电流的方法可以采用较大容量的铝电解电容，毕竟大容量铝电解电容可承受的纹波电流比小容量的铝电解电容大；也可以采用多只小容量铝电解电容的并联方式，还可以选用纹波电流低的电路拓扑结构。

如果ESR小，则在有大电流流动时，电容输出电压的下降量也小。伴随着电流增大而来的降低ESR的要求，有可能成为推进电容替换进程的主要原因。相对于铝电解电容将近 1Ω 的ESR来说，多层陶瓷电容的ESR很小，还不到 $10m\Omega$ 。导电性高分子电容的ESR通常为几十 $m\Omega$ ，ESR比较小的则在 $10m\Omega$ 以下。铝电解电容也在开发ESR比较小的产品，其ESR大约是一般产品的 $1/2\sim 1/3$ 。

(5) 高可靠性

逆变焊接电源是一种专门应用于逆变焊机上的电源，它使逆变焊机相对于传统焊机以小型、轻量和高效率的特点被广泛使用。逆变焊机作为焊机行业发展的主要方向，其逆变焊接电源的稳定性直接影响着逆变焊机的质量。电源的稳定输入滤波和平滑作用的铝电解电容，它的质量和可靠性直接影响到逆变焊接电源的可靠性。一旦铝电解电容失效，就会导致电源的故障，以至于导致整台逆变焊机的失效。

逆变焊接电源用铝电解电容的失效模式有击穿失效、开路失效、漏液失效及电参数超差失效。其中击穿失效又分为介质击穿和热击穿，对于大功率和大电流输出的开关电源用电解电容，热击穿失效常占一定比例；电腐蚀导致铝引出条断裂和电容芯子干涸，使开关稳压电源用铝电解电容开路失效的主要失效模式；漏液是开关稳压电源用铝电解电容常见的失效模式，由于使用环境及工作状态较严酷，常发生漏液失效；开关稳压电源用铝电解电容在使用中最常见的失效模式是电容量减少、漏电流增大及损耗角正切值增大。



结束语:

本文以电容的定义入手，介绍了电容的分类以及电容的各个参数，在此基础上分析逆变焊接电源对电解电容性能的基本要求，给予读者一个了解电容的平台，并给在选取电容时给予一定的参考意义。

www.powertsemi.com