

# 最小的大容量电容器——Evans 混合电容器

David A. Evans

(Evans Company, 33 Eastern Avenue, East Providence, RI 02914)

**摘要：**介绍了一种由钽阳极、 $Ta_2O_5$  介质、液体电解质和  $RuO_2$  阴极组成的高能量密度电容器——Evans 混合电容器 (Evans Hybrid capacitors)。它具有与电化学电容器相当的能量密度和比电解电容器更完善的交流特性。单元工作电压达 215 V。目前已实现了用改进封装技术将若干个该类电容器并联封装在同一外壳内。给出了 50 V, 18 mF 混合电容器的性能数据。

**关键词：**混合电容器；电解电容器；电化学电容器

**中图分类号：**TM535<sup>+</sup>.1 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-2028 (2002) 01-0013-03

## The Littlest Big Capacitor—An Evans Hybrid

David A. Evans

(Evans Company 33 Eastern Avenue, East Providence, RI 02914)

**Abstract:** High-energy-density capacitors with a tantalum metal anode,  $Ta_2O_5$  dielectric, aqueous electrolyte, and  $RuO_2$  cathode have been described. Known as Evans Hybrid capacitors, these devices have the high energy density of electrochemical capacitors with the improved a.c. behavior of electrolytic capacitors. Single-cell working voltages up to 215 volts have been demonstrated. Capacitors of this type, with multiple elements arranged in parallel within a single case, and improved packaging techniques have now been assembled. Performance data on a 50 V, 18 mF hybrid capacitor are presented.

**Key words:** hybrid capacitors; electrolytic capacitors; electrochemical capacitors

电解电容器的工作电压高、交流特性好、成本低；电化学电容器的能量密度高、功率大，成本尚有下降的余地。Evans 公司研制的混合电容器 (Evans Hybrid capacitors, 专利号：US 5, 369, 547) 具有这两种电容器的优点。Evans 混合电容器用大容量电化学电容器阴极取代电解电容器的阴极。电化学电容器阴极的体积很小，省下的空间可用于增大阳极尺寸。因此，电容器的能量密度可成倍增长。混合电容器已引起了通常采用钽或铝电解电容器的领域的关注。混合电容器可用于脉冲电源、滤波器和通信设备。它的容量可达 1 F，工作电压可达 450 V。

电气和电子设备 (尤其是后者) 的性能改进很快，电容器的性能也必须随之而改进。对电容器而言，需要改善的性能主要是电性能和能量密度。Evans 混合电容器具有电化学电容器的能量密度和电解电容器的交流电性能。

### 1 讨论

电解电容器实际上是两个串联电容器组成的，它们通过电解质连接在一起，其总容量  $C_T$  可用下式表示：

$$1/C_T = 1/C_A + 1/C_C \quad (1)$$

式中： $C_A$  为阳极容量； $C_C$  为阴极容量。

由该式可以看出， $C_T$  比  $C_A$  或  $C_C$  小。经电化学氧化处理后，电解电容器电极上形成了一层介质氧化物。调整它的厚度可获得所需的单元工作电压 (cell working voltage)。

电化学电容器也是一对通过电解质串接的电容器组成的。它们的功能相当于电极。电化学电容器与电解电容器的电荷存储方式不同。另外，电化学电容器没有介质。电化学电容器靠双电层存储电荷。一种被称为赝电容器的化学电容器以可逆变电学方式将电荷存储在电极的氧化物上。用于赝电容的  $RuO_2$  比率容量很高，电极质量比率容量可达 100 F/g 级。因电化学电容器没有介质，它的单元电压受电解质击穿电压的限制。对液态电解质而言，单元电压约为 1 V/单元。为了能在高电压下工作，就必须增加串接单元的数量。这样势必会增加成本。解决电压平衡问题的常用方法是减小单元电压，降低能量密度，提高电化学电容器在高电压下的可靠性。

Evans 混合电容器既发挥了赝电容器电极能量密度高的固有特点，又保持了电解电容器单元电压高、

比率容量(rate capability)高、设计简单的优点。图1所示,系双阳极混合电容器。虽然这些混合电容器都具有和电化学电容器相似的叠层结构,但它们都只有一个单元。1至4个阳极的混合电容器的结构大体上都是一样的。

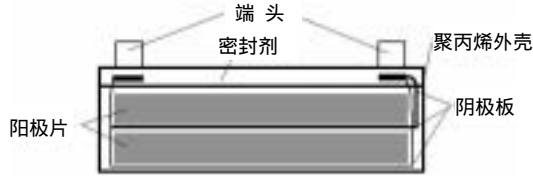


图1 混合电容器原型原理

Fig.1 Prototype hybrid capacitor schematic view

这些混合电容器采用了0.5 mm厚的热塑性聚丙烯外壳封装。焊片从阴极箔引出;导线从阳极引出。先通过盖子上的孔将电解质加入,然后用聚合物密封剂将孔密封。它同时还起到支撑镍焊片的作用。阳极片是用商用级钽粉压制,然后按常规方法真空烧结而成的。密度约为5 g/cm<sup>3</sup>。阳极上的Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>介质是在磷酸溶液中用电化学方法形成的。在0.05 mm钽箔的一面或两面涂敷RuO<sub>2</sub>,即形成阴极。容量约为每面140 mF。电极由0.13 mm的无纺隔离片隔开。用硫酸溶液作电解液。

图2所示,系3阳极混合电容器各部分所占的体积比。电解质所占的体积较大,其中包括填充阳极间空间的电解质。图3所示,系同一电容器的各部分的质量比。它的有效部分,即电极和电解质的质量占90%。是同类电容器中,封装效率最高的。这有利于提高能量密度。图中的“其他”项包括隔离片和端头。

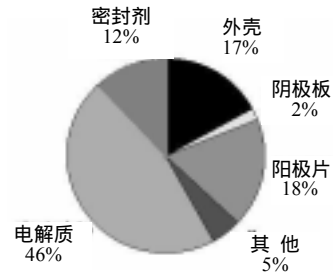


图2 混合电容器各部分所占的体积比

Fig.2 Volume fraction for hybrid capacitor components

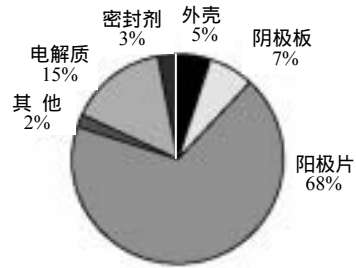


图3 混合电容器各部分所占质量比

Fig.3 Weight fraction for hybrid capacitor components

$R_{ES}$  对电容器性能至关重要。电化学电容器的  $R_{ES}$  与单元几何面积及电极厚度的关系最为密切。混合电容器的情形与此相似。为研究阳极和介质厚度对  $R_{ES}$  和交流性能的影响,制作了若干只电压和电容额定值不同的混合电容器试样。表1列出了3种不同规格电容器的  $R_{ES}$ 。12 g的阳极的厚度为6 g的阳极厚度的两倍。由表1可见,增加并联阳极数量或降低阳极厚度,的确可以如预计的那样,降低  $R_{ES}$ 。这样,设计  $R_{ES}$  时,就不必考虑电压或电容额定值。

表1 混合电容器特性

Tab.1 Hybrid capacitor characteristics

试样	C / mF (120 Hz)	V / V	$R_{ES} / \mu\Omega$ (1 kHz)	m / g	d × h / mm	$m_a / g$	阳极数量
1	18.0	50	20.0	56	36 × 12	12	3
2	18.1	28	10.2	30	36 × 8	6	3
3	8.0	32	<50.0	20	36 × 7	12	1

注:表中,  $m_a$  为阳极质量。

电化学电容器有一个明显的特点,即它们的阻抗性能极不理想。其主要原因是电化学电容器采用了多孔电极。造成的结果是  $dV/dt$  升高时,容量陡降。通过复数阻抗分析,可以很方便地观察到这一特性。另外,还对电容器在交流频段的电阻及电抗数据进行了收集对比。如果说上文中所给的数据只是电容器在某一固定频率下的性能的“快照”;那么阻抗分析则勾

画出了电容器在一段频谱下的性能。由此可以精确地预测电容器在任何应用场合下的性能,还可与各种电容器技术比较。

阻抗数据可以用各种实用的方法提供给工程师。其中一种是尼奎斯特图(Nyquist plot)。它描述在一定频率下,电抗与电阻的关系。可用于研究多孔电极的性能。一只理想电容器的尼奎斯特图是一条在  $R_{ES}$  值

处，与电阻值轴相交的垂线。多孔电极电容器的特性呈曲线。图 4 所示，系混合电容器 (18 mF, 50 V) 与 RuO<sub>2</sub> 赝电容器 (1 F, 1 V) 交流阻抗的对比。串联电化学电容器的额定值为 18 mF, 50 V，与混合电容器的容量、电压额定值相同，但 R<sub>ES</sub> 值却要高好几倍。电化学电容器的曲线通常与多孔电极电容器相近，而混合电容器的特性曲线基本上是垂直的。

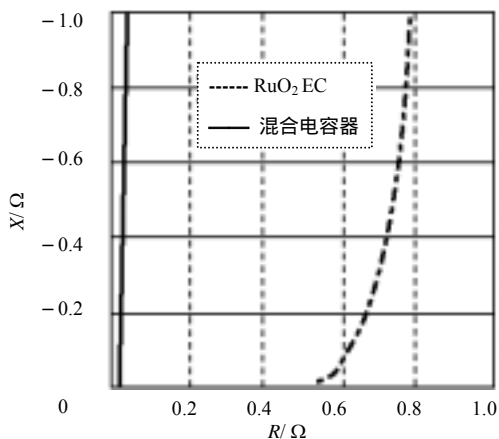


图 4 混合电容器与 RuO<sub>2</sub> 赝电容器交流阻抗尼奎斯特图

Fig.4 Nyquist plot comparing the a.c impedances of a hybrid capacitor and a RuO<sub>2</sub> pseudocapacitor

图 5 所示，系混合电容器 (18mF, 50 V) 与铝电解电容器 (18 mF, 50 V) 的尼奎斯特图。混合电容器与电解电容器的 R<sub>ES</sub> 值相差不大，曲线形状非常接近。通过下文中的图，还可做进一步的比较。

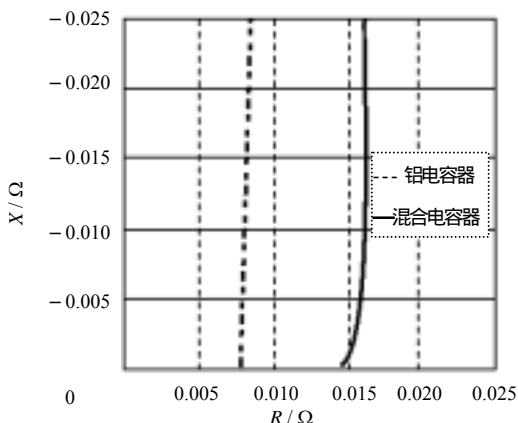


图 5 混合电容器与铝电解电容器的尼奎斯特图

Fig.5 Nyquist plots of a hybrid and an aluminum electrolytic capacitor.

图 6 所示，系混合电容器和铝电解电容器的电阻及电抗与频率的关系。频率范围 0.01 Hz~100 kHz。它们的阻抗特性基本一致。电抗最低点出现在频率自谐振点上。

图 7 所示，系混合电容器和铝电解电容器的相位角与频率的关系。在交流电路中，电压与电流峰值的

相位不同。理想电容器的相位角是 -90°，电压滞后于电流。电阻相位角为 0°，而电感的相位角为 +90°。为更有效地使用电容器，频率不应高于图中相位角 -45° 处，该例中，约 0.1 kHz。

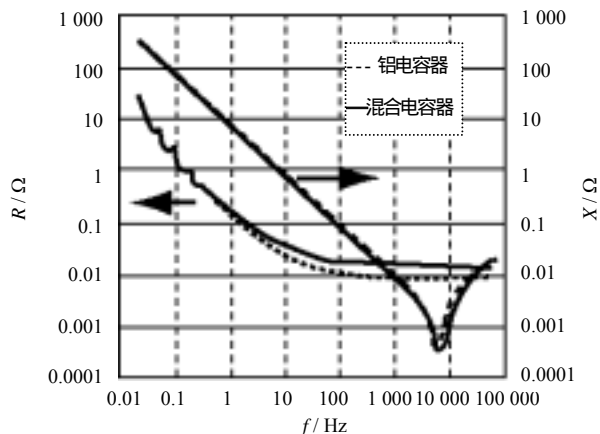


图 6 混合电容器和铝电解电容器的电阻及电抗与频率的关系

Fig.6 Resistance and reactance vs. frequency for a hybrid and an aluminum electrolytic capacitor

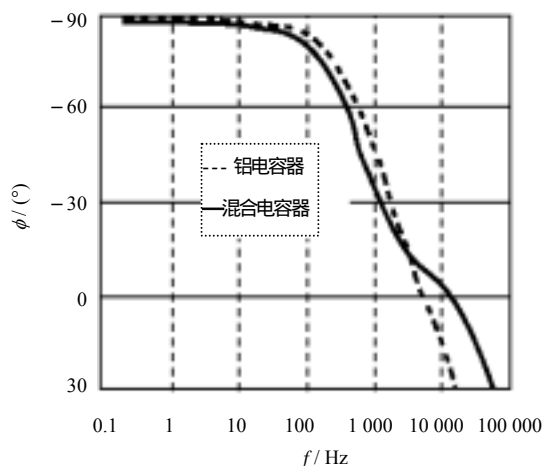


图 7 混合电容器和铝电解电容器的相位角与频率的关系

Fig.7 Phase angle vs. frequency for the hybrid and aluminum capacitors

图 8 所示，系混合电容器与铝电解电容器 (18 mF, 50 V) 容量变化与频率的关系。这里的模式系 RC 串联电路，容量 C 用下式表示：

$$C = 1 / (2 \pi f X) \tag{2}$$

式中：f 为频率；X 为电抗量。两条曲线极相似，只是铝电解电容器的容量略低一些。

在略高于 2.5 kHz 处，两种电容器都出现容量峰值。那是一种假象，因为式 (2) 中，X → 0，C → ∞。它出现在有效工作频率范围以外，几乎不产生任何影响。

用这些方法，可以为特定的应用场合选择效率最高的电容器。此外，还可用这些方法检测电容器在使用过程中性能变化的情况。

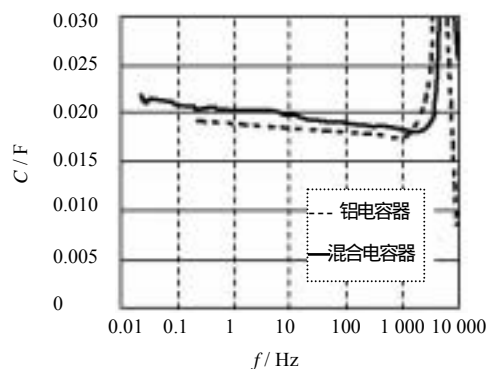


图8 混合电容器与铝电解电容器容量变化与频率的关系

Fig.8 Capacitance vs. frequency for the hybrid and aluminum electrolytic capacitors.

表2 混合电容器与铝电解电容器的质量、体积及能量密度

Tab.2 Weight, volume, and energy density of the hybrid and aluminum electrolytic capacitors

电容器种类	m/g	d × h /mm	v /cm <sup>3</sup>	质量能量密度	体积能量密度
				J/g	J/cm <sup>3</sup>
混合	56	36 × 12	12.2	0.40	1.840
铝电解	141	51 × 67	136.9	0.16	0.164

表2所示,系混合电容器与铝电解电容器(18 mF, 50 V)在其他方面的比较。

$$E = 0.5 C V^2 \quad (3)$$

式中:  $E$  为能量;  $C$  为电容量;  $V$  为电压, 各个电容器存储的能量为 22.5 J。从表 2 可知, 混合电容器的质量能量密度为铝电解电容器的 2.5 倍; 体积能量密度为其 11 倍。

## 2 结论

用一套普通零件即可设计出任意  $R_{ES}$  值及容量的 Evans 混合电容器。其电性能与相同容量和额定电压值的铝电解电容器极相似。混合电容器能大幅度地减少体积和质量。一只 50 V 的混合电容器的能量密度与一只 50 V 的电化学电容器的能量密度相近。在需求高能量密度的场合, 混合电容器是极有吸引力的铝解电容器替代品。

## 编后语

美国 Evans 公司是一家专门生产电解电容器的公司。公司总裁 David A Evans 先生本人是电解电容器专家, 在历界相关技术研讨会上发表了数十篇论文。混合电容器系该公司的专利产品。

经协商, Evans 先生授权本刊翻译并刊载版权归他所有的全部论文。本文系 Evans 先生推荐给中国读者的第一篇论文。

(编译: 白丁)