

## 应用指南

# 铝电解与铝聚合物电容器及其正确使用方法



FRANK PUHANE

图 1: 实际电容器的等效电路图

## 1 了解聚合物电解电容器

铝聚合物电容器（也称为聚合物电解电容器或简称为聚合物电容器）是电解电容器的一种。这些电容器类型的特点是使用导电聚合物代替液体电解质。这需要在生产过程中进行的特殊处理步骤。在该化学反应中，即所谓的聚合，是通过加热，将代替电解质而浸渍在隔板纸中的仍然为液态的单体交联至固体聚合物。该过程通常在约  $100^{\circ}\text{C}$  的温度下完成。完成后，聚合物将无限期固化。就电极和电解质的性质而言，当今用于电解电容器制造的各种组合如图 1 所示。

铝		钽		铌	
非固体/ 湿	固体/ 干	非固体/ 湿	固体/ 干	非固体/ 湿	固体/ 干

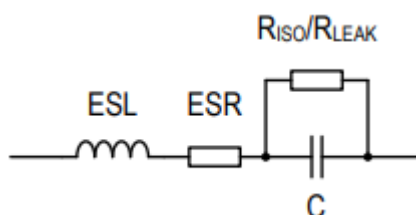
表 1: 电解电容器可能的结构

此外，存在电解电容器的混合构造的可能性。这是湿电解质和固体聚合物的组合。铝电解电容器和铝聚合物电容器在电压偏置和温度的影响方面具有非常好的性能。此外，铝聚合物电容器具有非常好的老化特性。与陶瓷电容器相比，聚合物电解电容器具有明显的优势，尤其是其直流偏置性能。另外，使用聚合物电容器能够在保持成本的同时增加电容。特殊的设计工艺还可以显著降低寄生效应（尤其是寄生电感量）。对于应用而言，这意味着可以处理高纹波电流，获得低寄生电感、高可靠性和非常好的温度特性。电容器的等效电路如图 1 所示。应该注意的是，与普通的铝电解电容器相比，聚合物电解电容器的漏电流增加，因此通常不适合小型手持电池应用。

聚合物电解电容器的明显更长的使用寿命证明了其高可靠性。但是，当遇到高振动时，应考虑应用的具体情况，因为铝聚合物电容器可能不是此处的最佳选择。这是由于固体聚合物的特性，因为它不能像电解液一样可以吸收振动。然而，就限定的容量和电压的体积而言，普通的电解电容器仍然具有优势。迄今为止，在伍尔特电子，对于铝聚合物电容器，其电容值范围从  $10\mu\text{F}$  到  $2\text{ mF}$ ，电压范围从  $6.3\text{ V}$  到  $100\text{ V}$  不等。由于其优异的电气性能，使用聚合物电解电容器的可能性非常多样，范围从传统的备用电压解决方案、ICs 的缓冲电源电压、信号的旁路或去耦、滤波器应用到开关稳压器应用的电压平滑。本应用指南讨论了铝聚合物电容器在滤波和电压平滑领域的使用。

## 2 降压转换器——常规设置

使用降压转换器证明聚合物电解电容器的积极作用。输入电压为  $12\text{ V}$ ，输出电压设置为  $5\text{ V}$ 。负载为  $5\Omega$  的纯欧姆负载。流过电阻的电流为  $1\text{ A}$ 。此设置是使聚合物电解电容器的性能清晰的基础。该设计用于始终在相同负载下的电磁兼容性测量和电压纹波输出测量。从电磁兼容性的角度来看，降压转换器在输入端更为重要。这是由于基于半导体开关快速切换过程的不连续电流消耗所致。由于这种拓扑结构，在输出端已经有一个“LC 滤波器”，它在高端集成了不连续电流（参见图 2）。



## 应用指南

## 铝电解与铝聚合物电容器及其正确使用方法

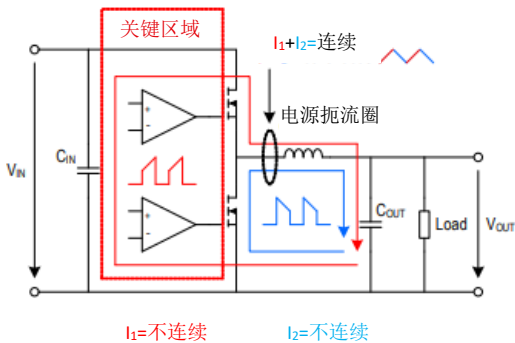


图 2: 降压转换器的原理

降压转换器的结构和设计基于芯片数据手册的规范，并使用线圈和电容器的默认值进行设计。线圈的电感值以及输入和输出电容器的电容已通过制造商的数据手册及其仿真软件进行了验证。仅使用一个铝电解电容器时，这一点尤其重要。较高的等效串联电阻值使转换器的稳定性受到损害。为了抵消这种影响，在反馈回路上附加一个电容器。这种额外的容量即使在高等效串联电阻值下也能确保稳定性。降压转换器的电路图见图 3，相关布局见图 4。该布局包括两层，每层的顶部和底部均具有完整的铜区域，并与地面连接。布局本身仍可以在各个方面进行改进。总之，元器件与接地层的连接仍然需要优化，以实现更好的滤波效果。在输出电容器的测量中可以清楚地看出，高寄生电感会在输

出信号上引起电压峰值。

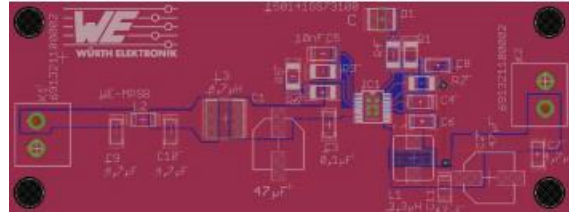


图 4: 降压转换器布局

## 3 电磁兼容性测量

根据 CISPR 32 标准（代替 CISPR 22 和 15）在射频屏蔽室中进行测量，并与机舱地面进行了相应的接地连接，参见图 5。测试接收器是 R&S ESRP 3，网络仿真可以使用 ENV216 两线制 V 型网络仿真。在测量过程中，第一步是在布局上取消了额外的输入滤波器。只有在最后一次测量中，才放置了一个含电感的 T 型滤波器。该滤波器是根据数据手册中的规格构造的。首次测量时，将铝电解电容器 WCAP-ASLL 865 060 343 004 作为输入电容器 C1（链接到 [REDEXPERT](#)）。电容器的电气特性如下：电容 47  $\mu\text{F}$ ，额定电压 16 V，ESR 411 m $\Omega$ ，ESL 19 nH。相关的测量结果如图 6 所示。

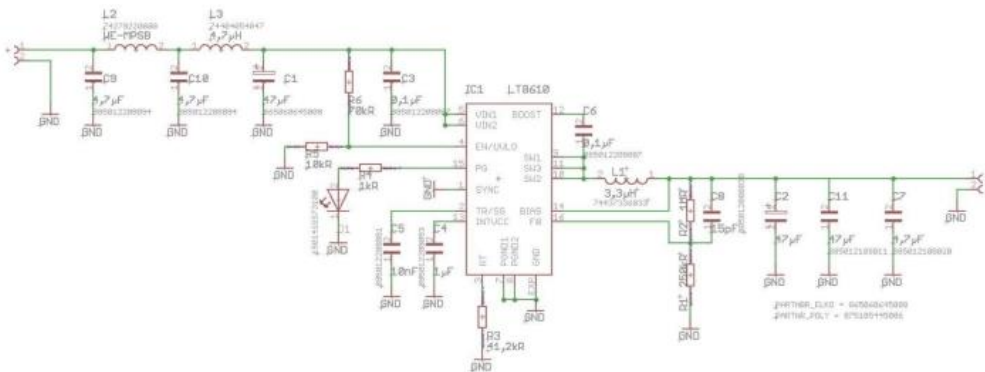


图 3: 降压转换器原理图

## 应用指南

## 铝电解与铝聚合物电容器及其正确使用方法

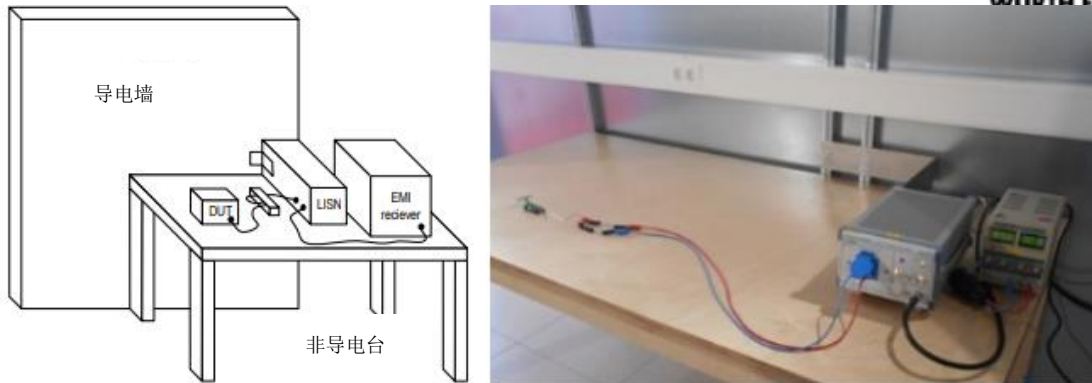


图 5: 依据 CISPR 35 标准的电磁兼容性测量装置

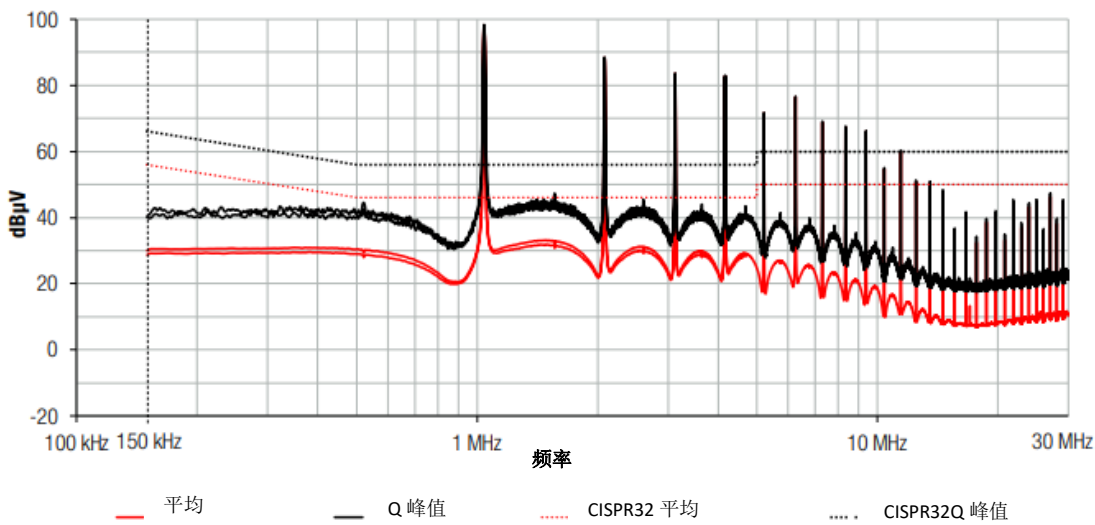


图 6: 将铝电解电容器作为输入电容器 C1 的首次电磁兼容性测量

可以看出，明显超出了 CISPR 32 B 类的限值。可以检测到高达  $100\text{dB}\mu\text{V}$  的噪声水平。但是这些干扰信号从何而来？作为实际元器件的电容器具有寄生效应，特别是等效串联电阻与布局（引线电感）的寄生效应会产生高频压降，这些可以通过测量来检测，如图 7 所示。为实现可接受的发射水平并保持在限值以下，第一次尝试可以使用铝聚合物电容器。选择的铝聚合物电容器的电容量和额定电压方面的电性能与铝电解电容器的电性能相同。

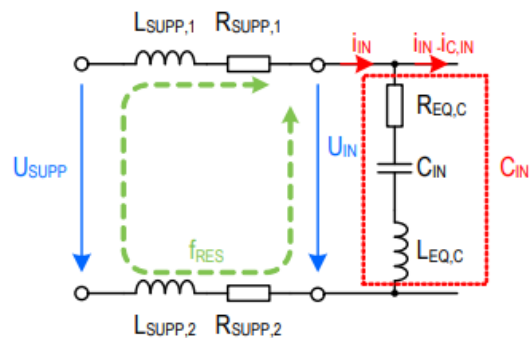
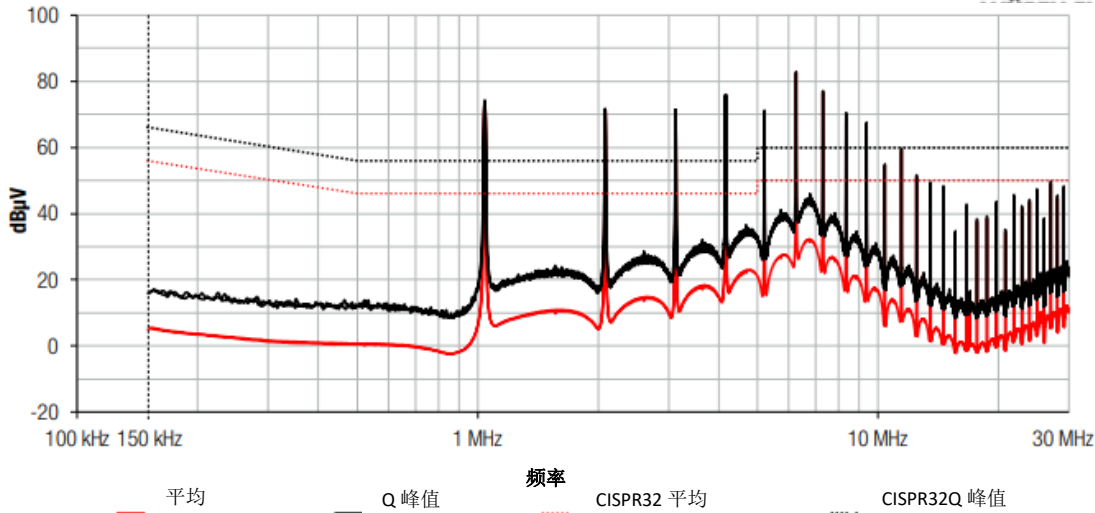


图 7: 干扰来源示意图

## 应用指南

## 铝电解与铝聚合物电容器及其正确使用方法

图 8: 使用铝聚合物电容器作为输入电容器  $C_1$  的电磁兼容性测量

该设计在  $47\mu\text{F}$  的电容时也等效，并且该电容器适合原始的封装。使用的铝聚合物电容器是 WCAP-PSLP 875 105 344 006（链接到 [REDEXPERT](#)），电容为  $47\mu\text{F}$ ，额定电压为 16 V，ESR 为  $20.7\text{m}\Omega$ ，ESL 为  $3.9\text{ nH}$ 。由于 ESR 和 ESL 非常低，图 8 所示的干扰频谱得以获得。

可以清楚地看到，仅更改一个元器件即可显著提高电磁兼容性性能。由基频和该频率的一次谐波产生的电压降减小，因此产生的干扰较小。但是，仍无法满足限制，必须放置其他滤波器。输入滤波器的结构基于数据表中的信息。滤波器具有以下插入损耗（在  $50\Omega$  系统中），如图 9 所示。将输入滤波器设置在印刷电路板上并进行另一项测量。结果如图 10 所示，可见铝聚合物电容器和输入滤波器之间的相互作用。输入滤波器与聚合物电解电容的低 ESR 和低 ESL 相结合，可以将较宽频带降低到 B 类限值以下。很容易实现小于  $40\text{ dBuV}$ （平均和准峰值）的值（与大约  $100\text{ dBuV}$  的第一次测量相比），因此测量通过。

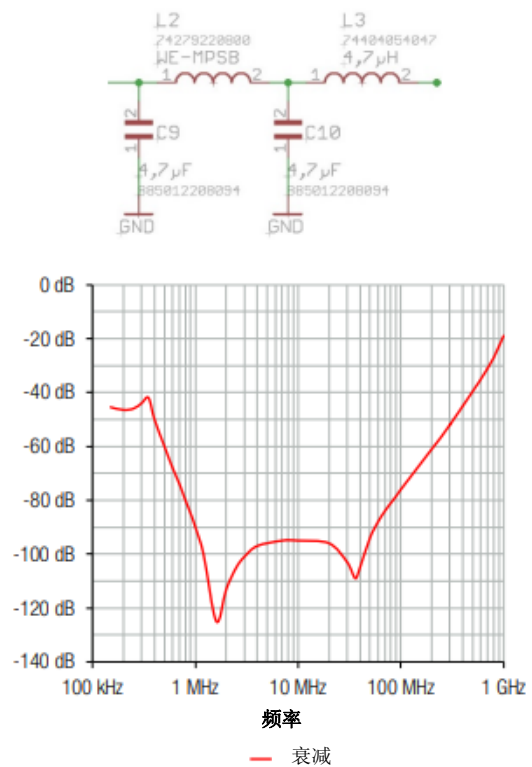


图 9: 具有模拟滤波器性能的内置输入滤波器

## 应用指南

### 铝电解与铝聚合物电容器及其正确使用方法

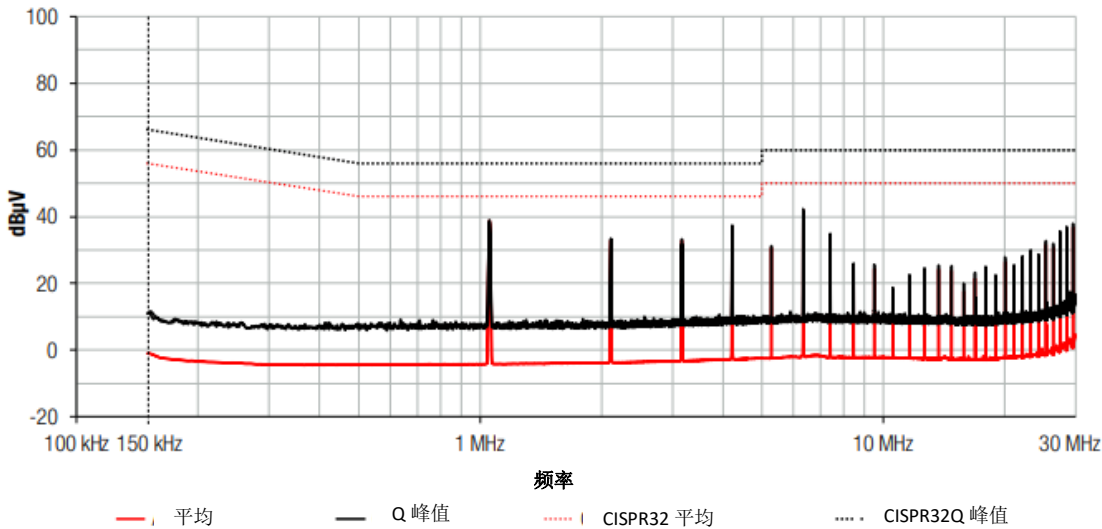


图 10: 使用输入滤波器和铝聚合物电容器 C<sub>1</sub> 测量电磁兼容性

#### 4 输出信号纹波比较

对于降压转换器的输出电容器，需要一定的电容以保持控制环路稳定，从而保持输出电压稳定。如果输出电压降低了电容值，则最坏的情况是转换器不再符合其规格（例如在负载变化期间）。必须考虑到这一点，尤其是在使用 2 类陶瓷电容器（例如 X7R 和 X5R）工作时。在下一章中，将考虑产生的纹波对输出信号的影响。图 11 中的第一个测量结果显示了仅使用一个铝电解电容器时开关调节器的输出纹波结果。使用的电容器是 WCAP-ASLL 865 060 343 004，与之前使用的电容器（REDEXPERT）相同。电容器的电学特性如下：电容 47μF，额定电压 16V，ESR 411mS<sup>2</sup>，ESL 19 nH。高 ESR 值导致 400 mV 的峰间值。至少，这意味着在 5V 输出电压下的电压纹波为 8%。即使并联使用两个相同类型的铝电解电容器，最终的 ESR 仍为 205.5mΩ，因此显然过高。不应忽略的另一个方面是通过电容器的纹波电流。这会导致元器件发热并导致电容器故障。因此，必须始终检查铝电解电容器的纹波电流能力。

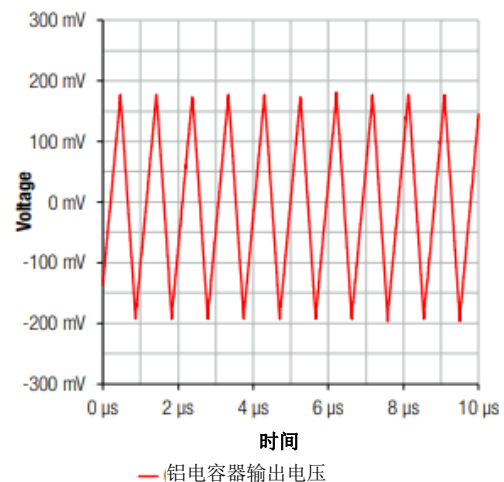


图 11: 仅使用一个铝电解电容器时降压转换器输出端的纹波电压

在使用聚合物电解电容器的情况下，由于 ESR 低，在相同的纹波电流下，元器件的发热要低得多，因此相比之下，在不使元器件热过载的情况下，可以提供较大的纹波电流。铝电解电容器的 ESR 与聚合物电解电容器的 ESR 的比较如图 12 所示。

## 应用指南

### 铝电解与铝聚合物电容器及其正确使用方法

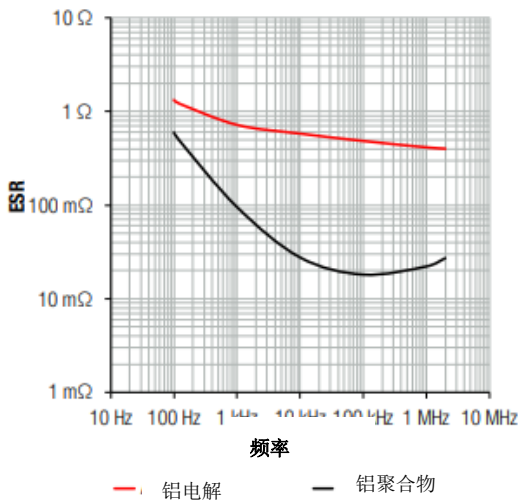


图 12: 铝和铝聚合物电容器的 ESR 比较

用聚合物电容器作为输出电容器测量输出信号的残留纹波，如图 13 所示。所用的铝聚合物电容器是 WCAP-PSLP 875 105 344 006（链接到 [REDEXPERT](#)），电容为  $47\mu\text{F}$ ，额定电压为 16 V，ESR 为  $20.7\text{m}\Omega$ ，ESL 为  $3.9\text{ nH}$ 。

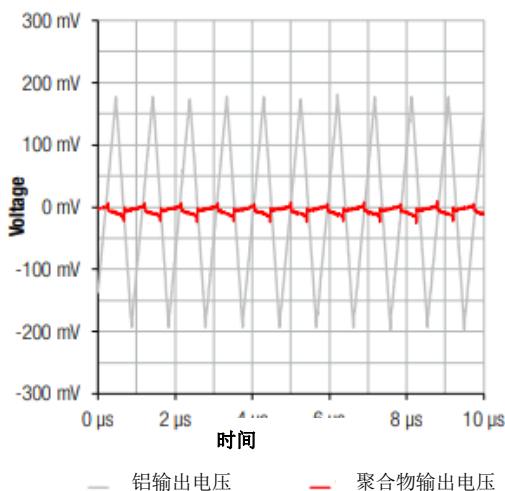


图 13: 在输出端使用铝聚合物电容器时测量纹波电压

测量的峰间值仅为  $35\text{ mV}$ ，因此处于可接受的范围内。图 13 中所示的电压峰值是由开关期间的寄生电感引起的。在实际应用中，没有人会单独使用一种铝聚合物电解质。建议将 MLCC 与铝聚合物电容

器并联放置，将使寄生效应降到最低，并且可以获得非常干净的输出信号，如图 14 所示。

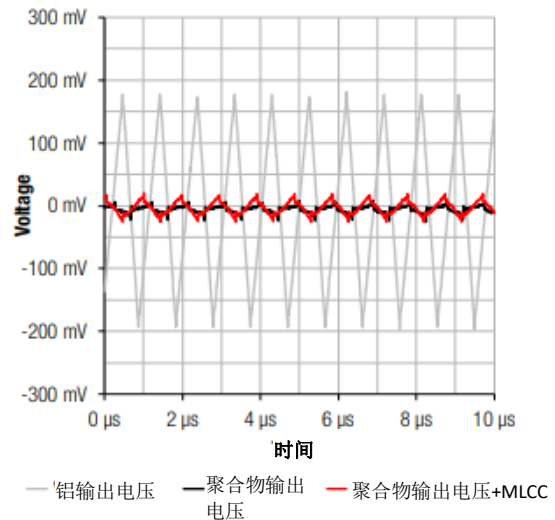


图 14: 使用铝聚合物电容器和 MLCC 测量纹波电压

所用的 MLCC 是 X7R 陶瓷，其电容为  $4.7\mu\text{F}$ ，额定电压为 16 V（链接至 [REDEXPERT](#)）。如果 PCB 的布局也将得到优化，那么峰间值有望达到  $20\text{ mV}$ ，另请参见图 14。

## 5 寿命可能性

电解电容器的寿命在工业应用和要求高寿命的其他应用中非常重要。电容器不像在消费电子产品中那样被用作一种预定的断点（也称为计划陈旧产品），而是一种耐用且可靠的元器件。电容器的寿命取决于应用的许多因素。一个重要因素是温度，或热负荷，这是因为内部结构会随着时间的流逝而老化，并且电性能会下降。这导致泄漏电流增大，ESR 增大，进而导致温度进一步升高。温度升高的原因是由 ESR 产生的功率损耗。如果未超过这些限制，则当元器件的内部温度负载在较低范围内时，可能会有较高的使用寿命。此处

列出了通过温度负载对铝电解电容器和铝聚合物电容器的寿命进行的比较。这种可能性的基础是两

## 应用指南

### 铝电解与铝聚合物电容器及其正确使用方法

个公式。对于液体静电电容，当元器件温度降低 10°C 时，预期寿命将增加一倍 (2)。对于聚合物电解电容器，当元器件温度降低 20°C 时，寿命会增加十倍 (1)。

铝聚合物电容器公式：

$$L_x = L_{nom} * 10^{\frac{T_0 - T_a}{20}} \quad (1)$$

铝电解电容器公式：

$$L_x = L_{nom} * 2^{\frac{T_0 - T_a}{10}} \quad (2)$$

为了进一步说明这一点，表 1 中显示了一些示例温度值下的计算寿命值。使用最高规定的元器件温度来比较铝电解电容器和铝聚合物电容器。

温度 (°C)	铝聚合物电容器 (h)		铝电解电容器 (h)		
125	2.000		2.000		
105	20.000	2.000	8.000	2.000	1.000
85	200.000	20.000	32.000	8.000	4.000
65	2.000.000	200.000	128.000	32.000	16.000

表 2：不同环境温度下的使用寿命概览

该表分为四列。在公式 (1) 和 (2) 中将施加温度定义为环境温度  $T_a$ 。在接下来的两列中，在铝聚合物和铝电解电容器表中，105°C 时的小时数是元器件  $L_{NOM}$  的标称寿命。这与元器件上的最高特定温度相关联，并定义为  $T_0$ 。表中的其他小时数是使用公式 (1) 和 (2) 计算的寿命  $L_x$ 。在铝聚合物电容器列中，在 65°C 环境温度下的计算寿命为 2.000.000 小时，这意味着理论寿命为 228 年。保持这样的寿命是不可能的。一般最大预期寿命因不同的供应商而异，介于 13 到 15 年之间。

此外，可以在此表中清楚地看到环境温度下铝聚合物电容器在使用寿命方面的优势。如果铝电解电容



器和铝聚合物电容器的特定元器件温度相同 (例如在 105°C 时为 2000 h)，可以看出在 85°C 时，该聚合物电解电容器具有更长的寿命。仅在特定最高温度下具有较长特定寿命的铝电解电容器具有较高的相交点，但这一相交点始终会出现 (见图 15)。此图中指定的小时数始终是该元器件在此温度下的一般使用寿命值。除了这个优点之外，还必须比较电容器的其他参数。可能在特殊应用中，预期寿命是相同的，但更好的 ESR 和 ESL 对应用至关重要，有利于铝聚合物电容器运行。

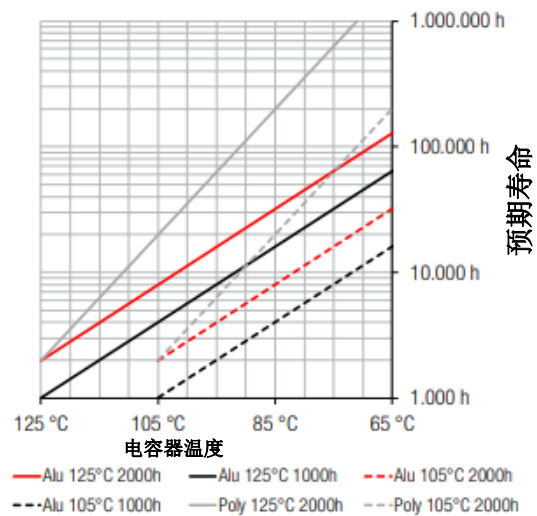


图 15：铝和铝聚合物电容器的预期寿命

## 6 结论

铝聚合物电容器的结构使其在电子应用中具有明显优势。低 ESR 和低 ESL 值以及非常高的预期寿命使该技术应用广泛。因此，应根据本应用指南中提供的信息考虑选择应用类型。这样可以改善设计的质量，并最终提高应用程序的性能。

## 应用指南

### 铝电解与铝聚合物电容器及其正确使用方法



#### 重要声明

本应用指南基于我们对这些领域典型要求积累的知识 and 经验。它是一般性指南，不应被视为伍尔特电子集团对客户应用适用性的承诺。本文中的信息如有更改，恕不另行通知。未经书面许可，不得翻印或复制本文档及其部分内容，不得将其内容透露给第三方，也不得将其用于未经授权的用途。

伍尔特电子集团及其子公司和分支机构（伍尔特电子）不对任何形式的应用支持承担责任。客户可以在其应用和设计中使 用伍尔特电子的帮助和产品建议。伍尔特电子产品在特定客户设计中的适用性和使用责任始终完全在客户自己。基于这一事实，客户应在适当时自行评估和研究，判断具有产品规格中所述特定产品特征的设备是否有效，以及是否适合相应的客户应用。

技术规格见产品最新规格书。顾客应使用规格书，并注意确认最新规格书。可以从 [www.we-online.com](http://www.we-online.com) 下载。客户应严格遵守所有产品特定的说明、注意和警告。我们保留对产品和服务进行更正、修改、增强、改进和其他更改的权利。伍尔特电子不保证或代表任何基于与伍尔特电子产品或服务使用的任何组合、机器或过程有关的任何专利权、版权、屏蔽作品权或其他知识产权，以

及以明示或暗示的方式授予的许可。伍尔特电子发布的有关第三方产品或服务的信息并不代表伍尔特电子授予的使用此类产品或服务的许可证、保修书或认证。

伍尔特电子产品不可用于对安全有严格要求的应用，或合理预期产品故障会导致严重的人身伤害或死亡的用途。此外，伍尔特电子产品不应用于军事、航空航天、航空、核控制、潜艇、运输（汽车控制，火车控制，船舶控制）、交通信号、防灾、医疗、公共信息网络等领域。客户应在进入设计阶段之前告知伍尔特电子有关此类用途的意图。在某些要求高安全性的客户应用中，电子元器件的故障或故障可能危及人类生命或健康，客户必须确保他们在应用安全和法规后果方面具有所有必要的专业知识。客户承认并同意，无论伍尔特电子提供与应用程序相关的任何信息或支持，他们将对与其产品以及在对安全有严格要求的应用中使用伍尔特电子产品有关的所有法律、法规 and 安全性要求承担全部责任。客户应就在对安全有严格要求的应用中使用伍尔特电子产品造成的损害，对伍尔特电子进行赔偿。

#### 相关链接



应用指南

[www.we-online.com/app-notes](http://www.we-online.com/app-notes)



**REDEXPERT** 设计工具

[www.we-online.com/redexpert](http://www.we-online.com/redexpert)



工具箱

[www.we-online.com/toolbox](http://www.we-online.com/toolbox)



产品目录

[www.we-online.com/products](http://www.we-online.com/products)

#### 联系信息

[appnotes@we-online.com](mailto:appnotes@we-online.com)

电话: +49 7942 945 - 0



伍尔特电子集团

德国 Max-Eyth-Str. 1, 74638 Waldenburg

[www.we-online.com](http://www.we-online.com)

