

低压差调节器—为什么选择旁路电容很重要

作者: Glenn Morita

虽然人们普遍认为电容是解决噪声相关问题的灵丹妙药,但是电容的价值并不仅限于此。设计人员常常只想到添加几个电容就可以解决大多数噪声问题,但却很少去考虑电容和电压额定值之外的参数。然而,与所有电子器件一样,电容并不是十全十美的,相反,电容会带来寄生等效串联电阻(ESR)和电感(ESL)的问题,其电容值会随温度和电压而变化,而且电容对机械效应也非常敏感。

设计人员在选择旁路电容时,以及电容用于滤波器、积分器、时序电路和实际电容值非常重要的其它应用时,都必须考虑这些因素。若选择不当,则可能导致电路不稳定、噪声和功耗过大、产品生命周期缩短,以及产生不可预测的电路行为。

电容技术

电容具有各种尺寸、额定电压和其它特性,能够满足不同应用的具体要求。常用电介质材料包括油、纸、玻璃、空气、云母、聚合物薄膜和金属氧化物。每种电介质均具有特定属性,决定其是否适合特定的应用。

在电压调节器中,以下三大类电容通常用作电压输入和输出旁路电容:多层陶瓷电容、固态钽电解电容和铝电解电容。“附录”部分对这三类电容进行了比较。

多层陶瓷电容

多层陶瓷电容(MLCC)不仅尺寸小,而且将低 ESR、低 ESL 和宽工作温度范围特性融于一体,可以说是旁路电容的首选。不过,这类电容也并非完美无缺。根据电介质材料不同,电容值会随着温度、直流偏置和交流信号电压动态变化。另外,电介质材料的压电特性可将振动或机械冲击转换为交流噪声电压。大多数情况下,此类噪声往往以微伏计,但在极端情况下,机械力可以产生毫伏级噪声。

电压控制振荡器(VCO)、锁相环(PLL)、RF 功率放大器(PA)和其它模拟电路都对供电轨上的噪声非常敏感。在 VCO 和 PLL 中,此类噪声表现为相位噪声;在 RF PA 中,表现为幅度调制;而在超声、CT 扫描以及处理低电平模拟信号的其它应用中,则表现为显示伪像。尽管陶瓷电容存在上述缺陷,但由于尺寸小且成本低,因此几乎在每种电子器件中都会用到。不过,当调节器用在对噪声敏感的应用中时,设计人员必须仔细评估这些副作用。

固态钽电解电容

与陶瓷电容相比,固态钽电容对温度、偏置和振动效应的敏感度相对较低。新兴一种固态钽电容采用导电聚合物电解质,而非常见的二氧化锰电解质,其浪涌电流能力有所提高,而且无需电流限制电阻。此项技术的另一好处是 ESR 更低。固态钽电容的电容值可以相对于温度和偏置电压保持稳定,因此选择标准仅包括容差、工作温度范围内的降压情况以及最大 ESR。

导电聚合物钽电容具有低 ESR 特性,成本高于陶瓷电容而且体积也略大,但对于不能忍受压电效应噪声的应用而言可能是唯一选择。不过,钽电容的漏电流要远远大于等值陶瓷电容,因此不适合一些低电流应用。

固态聚合物电解质技术的缺点是此类钽电容对无铅焊接过程中的高温更为敏感,因此制造商通常会规定电容在焊接时不得超过三个焊接周期。组装过程中若忽视此项要求,则可能导致长期稳定性问题。

铝电解电容

传统的铝电解电容往往体积较大、ESR 和 ESL 较高、漏电流相对较高且使用寿命有限(以数千小时计)。而 OS-CON 电容则采用有机半导体电解质和铝箔阴极,以实现较低的 ESR。这类电容虽然与固态聚合物钽电容相关,但实际上要比钽电容早 10 年或更久。由于不存在液态电解质逐渐变干的问题,OS-CON 型电容的使用寿命要比传统的铝电解电容长。大多数电容的工作温度上限为 105°C,但现在 OS-CON 型电容可以在最高 125°C 的温度范围内工作。

虽然 OS-CON 型电容的性能要优于传统的铝电解电容,但是与陶瓷电容或固态聚合物钽电容相比,往往体积更大且 ESR 更高。与固态聚合物钽电容一样,这类电容不受压电效应影响,因此适合低噪声应用。

为 LDO 电路选择电容输出电容

ADI公司的**低压差调节器¹** (LDO)可以与节省空间的小型陶瓷电容配合使用,但前提是这些电容具有低等效串联电阻(ESR);输出电容的ESR会影响LDO控制环路的稳定性。为确保稳定性,建议采用至少 1 μF 且ESR最大为 1 Ω 的电容。

输出电容还会影响调节器对负载电流变化的响应。控制环路的大信号带宽有限,因此输出电容必须提供快速瞬变所需的大多数负载电流。当负载电流以 500 mA/ μs 的速率从 1 mA 变为 200 mA 时,1 μF 电容无法提供足够的电流,因而产生大约 80 mV 的负载瞬态,如图 1 所示。当电容增加到 10 μF 时,负载瞬态会降至约 70 mV,如图 2 所示。当输出电容再次增加并达到 20 μF 时,调节器控制环路可进行跟踪,主动降低负载瞬态,如

图 3 所示。这些示例都采用线性调节器ADP151，其输入和输出电压分别为 5 V和 3.3 V。

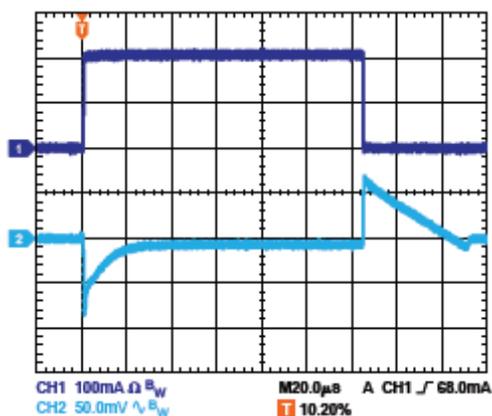


图 1. 瞬态响应($C_{OUT} = 1 \mu\text{F}$)

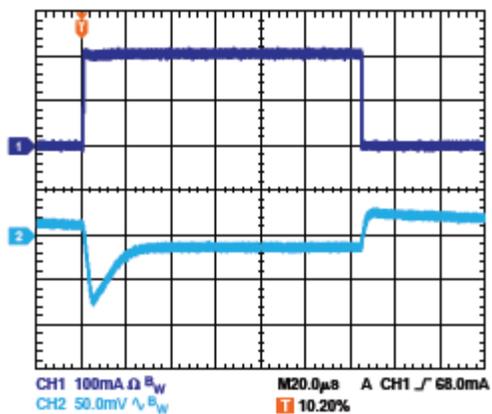


图 2. 瞬态响应($C_{OUT} = 10 \mu\text{F}$)

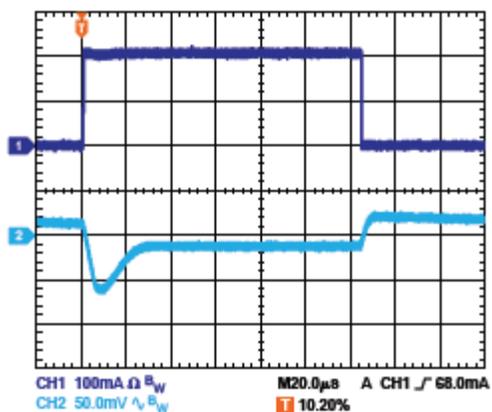


图 3. 瞬态响应($C_{OUT} = 20 \mu\text{F}$)

输入旁路电容

在 V_{IN} 和GND之间连接一个 $1 \mu\text{F}$ 电容可以降低电路对PCB布局的敏感性，特别是在长输入走线或高信号源阻抗的情况下。如果输出端上要求使用 $1 \mu\text{F}$ 以上的电容，则应增加输入电容，使之与输出电容匹配。

输入和输出电容特性

输入和输出电容必须满足预期工作温度和工作电压下的最小电容要求。陶瓷电容可采用各种各样的电介质制造，温度和电压不同，其特性也不相同。对于 5 V 应用，建议采用电压额定值为 6.3 V 至 10 V 的 X5R 或 X7R 电介质。Y5V 和 Z5U 电介质的温度和直流偏置特性不佳，因此不适合与 LDO 一起使用。

图 4 所示为采用 0402 封装的 $1 \mu\text{F}$ 、10 V X5R 电容与偏置电压之间的关系。电容的封装尺寸和电压额定值对其电压稳定性影响极大。一般而言，封装尺寸越大或电压额定值越高，电压稳定性也就越好。X5R 电介质的温度变化率在 -40°C 至 $+85^\circ\text{C}$ 温度范围内为 $\pm 15\%$ ，与封装或电压额定值没有函数关系。

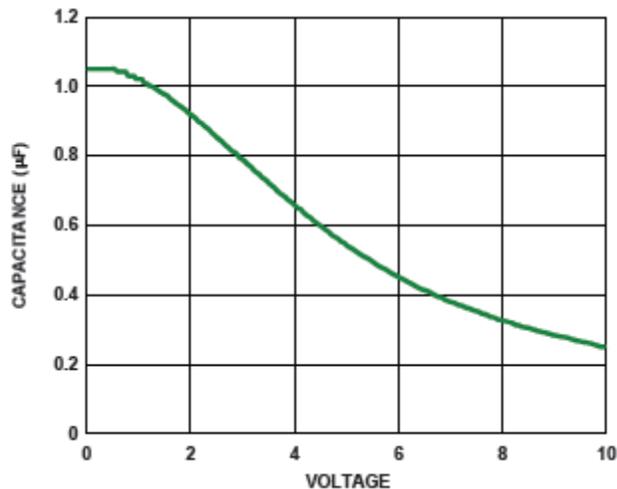


图 4. 电容与电压的特性关系

要确定温度、元件容差和电压范围内的最差情况下电容，可用温度变化率和容差来调整标称电容，如公式 1 所示：

$$C_{EFF} = C_{BIAS} \times (1 - TVAR) \times (1 - TOL) \quad (1)$$

其中， C_{BIAS} 是工作电压下的标称电容；TVAR 是温度范围内最差情况下的电容变化率（百分率）；TOL 是最差情况下的元件容差（百分率）。

本例中，X5R 电介质在 -40°C 至 $+85^\circ\text{C}$ 范围内的 TVAR 为 15%；TOL 为 10%； C_{BIAS} 在 1.8 V 时为 $0.94 \mu\text{F}$ ，如图 4 所示。将这些值代入公式 1，即可得出：

$$C_{EFF} = 0.94 \mu\text{F} \times (1 - 0.15) \times (1 - 0.1) = 0.719 \mu\text{F}$$

在工作电压和温度范围内，ADP151 的最小输出旁路电容额定值为 $0.70 \mu\text{F}$ ，因此此电容符合该项要求。

总结

为保证 LDO 的性能，必须正确认识并严格评估旁路电容的直流偏置、温度变化率和容差。在要求低噪声、低漂移或高信号完整性的应用中，也必须考虑电容技术。所有电容都存在一些不够理想的行为效应，因此所选的电容技术必须与应用需求相适应。

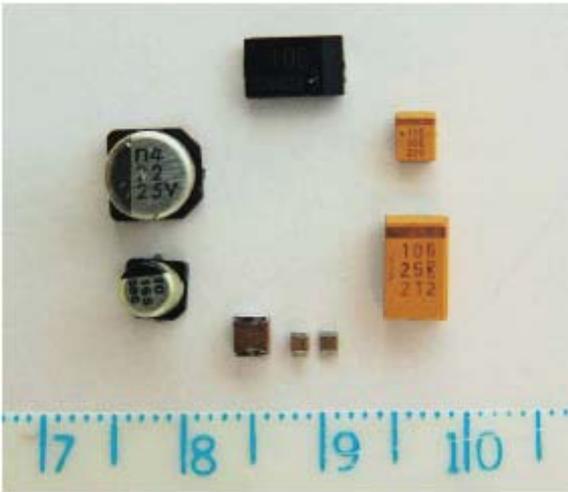


图 A. 用于电源旁路的常用电容

从顶部开始沿顺时针方向依次为（刻度为毫米）：

100 μF /6.3 V 聚合物固态铝电容

1 μF /35 V 和 10 μF /25 V 固态钽电容

1 μF /25 V、4.7 μF /16 V 和 10 μF /25 V 多层陶瓷电容

10 μF /16 V 和 22 μF /25 V 铝电解电容

进一步阅读

AN-1099 应用笔记：ADI公司LDO的电容选择指南

参考文献

（有关ADI所有器件的信息请访问www.analog.com）

¹ www.analog.com/zh/power-management/linear-regulators/products/index.html.

关于作者

Glenn Morita [glenn.morita@analog.com] 于 1976 年获得华盛顿州立大学电气工程学士 (BSEE) 学位。毕业后加入 Texas Instruments 公司，期间参与研制旅行者号太空探测用红外分光仪。之后，Glenn 一直从事仪器仪表、军用和航空航天以及医疗行业的装置设计工作。



2007 年，他加入 ADI 公司，成为华盛顿州贝尔维尤电源管理产品团队的一名应用工程师。他拥有 25 年以上的线性 and 开关模式电源设计经验，所设计电源的功率范围从微瓦到千瓦不等。Glenn 拥有两项利用体热能量给植入式心脏除颤器供电方面的专利。闲暇时，他喜欢收集矿石、雕琢宝石、摄影和逛国家公园。

不同电容技术的关键参数比较

电容技术	等效串联电阻	等效串联电感	电压稳定性	温度稳定性	振动敏感度	电容值/单位体积
铝电解电容	最高	最高	好	最低	低	低
固态钽电容	中等	中等	最佳	好	低	高
聚合物固态铝电容	低	低	最佳	好	低	高
多层陶瓷电容	最低	最低	差	好	高	中等