

设计 RC 缓冲器网络

缓冲器是任何多个简单能量吸收回路，它用于消除当一个开关（机械或者半导体）打开时回路电感引起的电压尖峰值。缓冲器的目标是通过提供一个交替回路给电流流过回路内在的泄漏电感来消除开关开启时发生的暂态电压和响应。在开关模式功率供应中缓冲器提供以下三种有价值的功能中的一个或几个：

- 影响一个二极开关晶体管承载
线使它处于安全操作区域
- 从一个开关晶体管去除能量并
耗散到一个电阻中以此来降低
节点温度
- 降低回振来限制转换晶体管或
者整流二极管上的峰值电压，同
时通过降低发射流和降低其频
率来降低 EMI

最流行的缓冲回路是一个电容器和一串
连电阻通过一个开关连接。这里是如何
设计无处不在的 RC 缓冲器。

组件选择：选取一个非电感电阻。一个

好的选择是炭质电阻。炭膜电阻是令人
满意的除非它用螺线打磨方式做过阻值
剪裁。避免电线缠绕因为它是电感性的。
选择一个电容器来承载缓冲器中的电晕
高峰值电流。对于高达 $0.01\mu\text{F}$ 的电容
值，先看看浸渍云母电容器。对于更高
电容值，参看 DPP 型径向引线的聚丙
烯，膜/箔电容。轴向引线的 WPP 类型
也不错，除了对径向引线装置有内在较
高电感。

最高 DPP 类型额定电压为 630V 直流，
最高 WPP 类型额定电压是 1000V 直流。
对于更高电压和电容量，坚持用聚丙烯
膜/箔电容器，要从类型 DPFF 和 DPPS
选择你所需的外壳尺寸。对于最小的外
壳尺寸，选择类型 DPPM 或者 DPMF，
但是要意识到这些电容类型包括浮动金
属化膜作为共同的箔来取得小尺寸。使
用金属化膜会降低峰值电流容量达到其
他高压选择的三分之一到五分之一。

该手册中选择过程简单---伴随电容额定
值已提供了峰值电流和 RMS 电流容量。

应用指南 缓冲电容器

峰值电流容量是 dV/dt 容量乘以名义电容量。RMS 电流容量是以下两种中较低的，引起电容器温升 15°C 的电流，或者是引起电容器达到它交流电压的电流。

我们已经包括 dV/dt 容量表格允许你把 CDE 缓冲电容器同其他品牌做比较。对于所有额定值浸渍云母电容能够承载的 dV/dt 值超过 $100000\text{V}/\mu\text{s}$ ，DPP 类型能承载超过 $2000\text{V}/\mu\text{s}$ ，对于高电压缓冲器，类型 DPFF 和 DPPS 能对付超过 $3000\text{V}/\mu\text{s}$ ，类型 DPMF 和 DPPM 对付超过 $1000\text{V}/\mu\text{s}$ 。请参看根据外壳长度的数值表。

假设源阻抗是可忽略的---最坏的假设情况---你的 RC 缓冲器的峰值电流是：

$$I_{pk} = \frac{V_0}{R_S}$$

V_0 = 开路电压； R_S = 缓冲器电阻

C_S = 缓冲器电容

峰值 dV/dt 是：
$$\frac{dV}{dt_{pk}} = \frac{V_0}{R_S \cdot C_S}$$

然而对于一正弦波激发电压，RMS 电流安培值是类似的：

$$I_{rms} = 2\pi f \cdot C \cdot V_{rms} \times 10^6$$

f = 频率，Hz； C = 电容量， μF

V = 电压， V_{rms}

对于方波你可以把 rms 和峰值电流近似为：

$$I_{RMS} = \frac{C \cdot V_{PP}}{0.64\sqrt{tT}} \quad \text{和} \quad I_{peak} = \frac{C \cdot V_{PP}}{0.64tT}$$

V_{pp} = 峰-峰电压，V

t = 脉冲宽度， μs

V = 电压，V rms

其他电容类型：

这里是关于电容器选择的最后的话，来帮助你自己走进未阐明的电容器领域，这些电容没有特指为缓冲器使用和没有包含在该部分中。

要意识到金属化膜类型和高 K 陶瓷类型已经限制了峰值电流和暂态承载能力，在 50 到 $200\text{V}/\mu\text{s}$ 的数量级。聚脂有聚丙烯损失的 15 倍，并且仅仅适合于低 rms 电流或者责任循环。同时，要确保把电压和温度系数考虑进去。尽管云母或者 DPP 类型的电容量几乎独立于电压和温度，经比较，高 K 陶瓷介电常数

象 Y5V 从室温到 50°C (122F) 能失去其电容量的四分之一，从 0 电压到 50% 的额定电压它会损失另外的四分之一。

快速缓冲器设计

对于功率耗散不是关键的场合，有一个设计缓冲器的快速方法。计划使用一个 2 瓦炭质电阻器。选择该电阻值以至于同样的电流能继续流过而开关开启后没有电压过载，该电流被转向缓冲器。测量或者计算开关打开后穿过开关的电压和开关开启前此时刻通过的电流。对于流过该电阻器而且没有要求电压过载的电流，欧姆定律要求该阻值必须是：

$$R \leq \frac{V_o}{I}$$

V_o = 开路电压 I = 合启电流

该电阻的功率耗散独立于该电阻值 R ，因为该电阻耗散储存在缓冲电容器的能量， $1/2 \cdot C_s V_o^2$ ，对每一个电压过渡不考虑电阻。选择容量使得该 2 瓦电阻耗散其额定功率的一半，1 瓦。对于每秒 2 倍 f_s 过渡，该电阻将耗散 1 瓦，当：

$$1 = \left(\frac{1}{2} \cdot C_s \cdot V_o^2\right)(2f_s)$$

f_s = 转换频率

$$C_s = \frac{1}{V_o^2 \cdot f_s}$$

作为演示，假设你已经设计了一个交换模式转换器同时你想缓冲其中一个晶体管开关。该转换频率是 50kHz，开关开启电压是 160Vdc，最大转换电流为 5A。

电阻值必须是： $R \# 160/5 = 32$ 欧姆

电容值是：

$$C_s = \frac{1}{(160)^2 (50 \times 10^3)} = 780 pF$$

优化缓冲器设计：

对于使用该回路 AC 特征的优化缓冲器设计，首先确定该回路的内在电容量和电感。假设你在设计一个缓冲器用于“快速”例子中同样的晶体管开关。然后记下当该晶体管关掉时电压暂态响振频率。下一步，开始于一个 100pF 云母电容器，逐步增加穿过晶体管的电容量直到响振频率达到起始频率的一半。当响振频率与该回路电感电容乘积的平方根成反比时，你所加入的与晶体管内在电容并行

应用指南 缓冲电容器

的容量已经增加了总容量一个 4 倍因子。

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

因此，晶体管的内在电容量， C_i ，是所增加电容的三分之一，从以上的方程得出该回路电感是：

$$L_j = \frac{1}{C_i(2f_i)^2}$$

f_i = 初始谐振频率

C_i = 内在电容量 (增加的电容) / 3

L_i = 内在电感

当该晶体管开关打开时，缓冲器电容看起来象对电压改变的短路，仅仅该缓冲器电阻在回路中。选择一个不大于回路特征阻抗的电阻值以至将被缓冲的电感电流能够继续不变，当开关打开时没有一个暂态电压：

$$R = \sqrt{L_i / C_i}$$

你可以选择一个更小的电阻来降低电压过载。为了更好的内在 LC 回路采样，正确的电阻能够小到特征阻抗的一半。

耗散在电阻器中的功率是电容中的能

量， $1/2 \cdot C_s V_o^2$ ，乘以转换频率， f_s ，乘

以每个循环中电压过渡的数目。例如，

如果你的回路是一个半桥转换器，每个循环有两个电压过渡，电阻中的功率是：

$$P_r = C_s \cdot V_o^2 \cdot f_s$$

C_s = 缓冲器电容

V_o = 关闭电压 f_s = 转换频率

选择一个缓冲器电容值符合两个要求：

- 1) 它能提供一个最终的大于回路电感中能量的储存能量。

$$1/2 \cdot C_s V_o^2 > 1/2 \cdot L_i \cdot I^2$$

I = 闭路电流

$$C_s > \frac{L \cdot I_i^2}{V_o^2}, \text{ 以及}$$

- 2) 它能和缓冲器电阻产生一个时间常数，对于晶体管开关的最短期望及时值相比要小

$$R \cdot C_s < t_{ON} / 10 \quad C_s < t_{ON} / 10R$$

选择一个接近工作范围低端的电容可减少耗散在电阻中的功率，而且选择一个 8 到 10 倍于内在电容 (C_i) 的电容值几乎压制了开关关闭时的电压过载。尝试在范围低端的电容作为初始值，如果有

应用指南 缓冲电容器

必要以后可以增加该值。

现在用允许“优化”设计增加的数据来回顾“快速”例子。在你的开关模式转化器上你已经做了更多的测量：当晶体管开关打开时暂态电压的响振频率是 44 MHz，一个 200pF 的附加并行电容把响振频率降低到 22 MHz。伴随 10%最小责任循环的转换频率是 50kHz，开启开关电压是 160Vdc 伴随最大开关电流 5A。因此，你知道以下参数：

$$f_i = 44 \text{ MHz}$$

$$C_i = 200/3 = 67 \text{ pF}$$

$$f_s = 50 \text{ kHz}$$

$$t_{ON} = 0.1/(50 \times 10^3) = 2 \mu s$$

$$V_o = 160 \text{ Vdc}$$

$$I = 5 \text{ A}$$

计算该回路电感：

$$L_i = \frac{1}{(67 \times 10^{-12})(2\pi \cdot 44 \times 10^6)^2} = 0.196 \mu H$$

缓冲器电阻值：

$$R = \sqrt{0.196/67}(10^{-3}) = 54 \Omega$$

能计算电阻功率耗散之前，你必须首先

选择缓冲器电容：

$$\frac{L_i I^2}{V_o^2} < C_s < \frac{t_{ON}}{10R}$$

$$\frac{(0.196 \times 10^{-6})(5)^2}{(160)^2} < C_s < \frac{2 \times 10^{-6}}{(10)(54)}$$

$$192 < C_s < 3700 \text{ pF}$$

既然电阻器中功率耗散与电容成正比，选择一个标准电容值接近以上范围的低端。对于 220 pF 电容器和每循环两个过渡，电阻中耗散功率是：

$$P_r = (220 \times 10^{-12})(160)^2(50 \times 10^3) = 0.2W$$

比较“快速”设计和“优化”设计，你会发现对于同样转化器开关，所要求的缓冲器电阻功率容量被降低了一个因子 5，从 1W 到 0.2W，缓冲器电容降低了一个因子 3.5，从 780pF 到 220pF。这是可能的，因为额外回路测量揭示源阻抗实际上是 54Ω 而不是 32Ω，而且回路电感允许较小的电容来吸纳回路能量。

通常，“快速”方法对于最终设计完全充分。开始于一个“快速”方式来证明你的回路面包板，仅仅在功率效率和尺寸约束强制要求优化设计时继续进行“优化”设计方式。

注意：对于 RC 缓冲器设计，RCD 缓冲

器设计，使用 IGBT 缓冲器模块设计缓

冲器如果有更多要求，可以在

www.cde.com

得到应用记录，“功率回路的缓冲器设

计”。