

**传导性噪声**

传导性噪声是在源极电压和电源之间流动的AC电流。它包括共模噪声和差模噪声。Vicor零电流开关转换器的传导性噪声比传统电路板上安装的PWM转换器低20-40dB；但是，如果必须满足特定EMC规范，如FCC或VDE，则可能需要额外的滤波。

由于产生的噪声是固定频率转换器的十到一百倍，如果遵循了 [Module Do's and Don'ts](#) 守则部分的条件，现有滤波器应该提供同等或更好的性能（第3节）。

如果系统中不包含现有滤波器，以下将为实现系统传导性噪声目标，下面将提供一些有价值的信息。系统要求，如Tempest（军用）或UL544/EN60601（医疗），需要稍微不同的方法。医疗要求因应用和国家的不同而有所变化——有关其他详细信息请联系Vicor应用工程部。

**没有额外滤波的共模噪声。**共模传导性噪声电流是+IN和-IN引线到模块的单向（同相）分量。这个电流经电源输入引脚从转换器循环到DC电源，并经由接地的基板或输出引线连接返回到转换器。如果不加以有效控制，很大的回路截面积机会就出现一个可能产生一个潜在的磁场的可能。共模噪声是转换器中主开关两端的dv/dt、对基板的有效输入及转换器的输入至输出电容的函数。

降低共模电流的最有效手段是用Y电容器（C2）旁路两条输入引线到基板的，短引线可减少寄生电感。另外，通常还需要一个共模扼流圈（L1）来满足FCC/VDE A或B的要求（图9-2）。

**注意：声学噪声。**在空载、轻载或动态加负载条件下模块可以发出声学噪声。我们这被认为这是模块的正常操作。

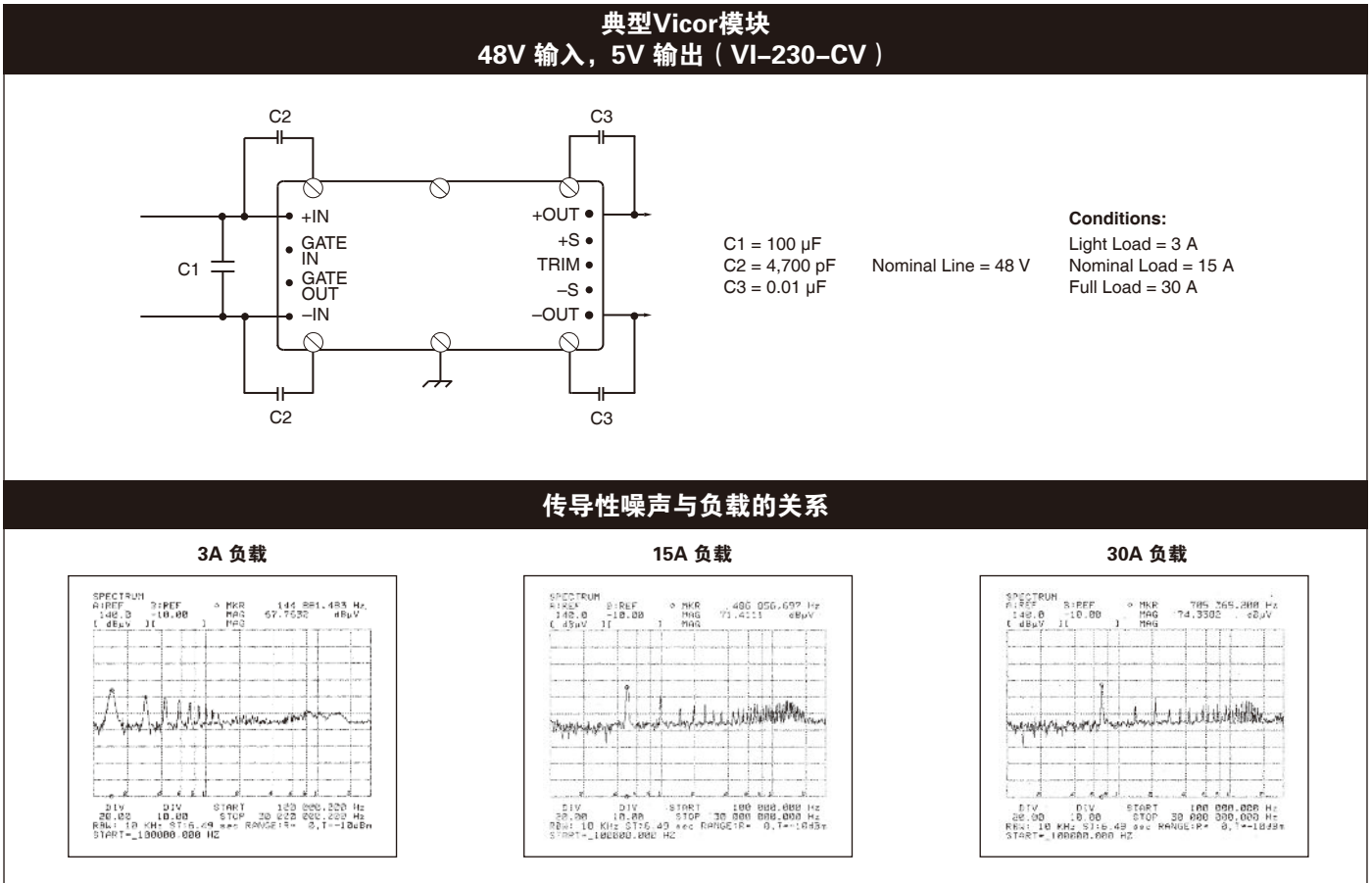


图9-1 — 没有额外滤波的传导输入噪声

针对VI-200和VI-J00系列DC-DC转换器和可配置电源

**带扼流圈的共模噪声。**在Vicor的转换器的输入滤波器设计中，没有采取任何特别的预防措施。事实上，如果系统包含一个为典型固定频率转换器设计的EMC滤波器，应该就足够了（尽管在尺寸方面不是最佳的），因为零电流开关转换器本质上产生较少的传导性噪声明显较少。

**注意：**在大多数情况下，一个带滤波器的固定频率转换器要比不带滤波器的Vicor的零电流开关转换器产生更多的输入传导性噪声。还要注意，固定频率转换器采用在同一个金属板上包括了控制电路和功率处理元件的建造技术作为功率处理元件，这将比下面所示方法产生明显更多的输入噪声。

图9-2中的曲线代表了有输入滤波器的固定频率转换器。

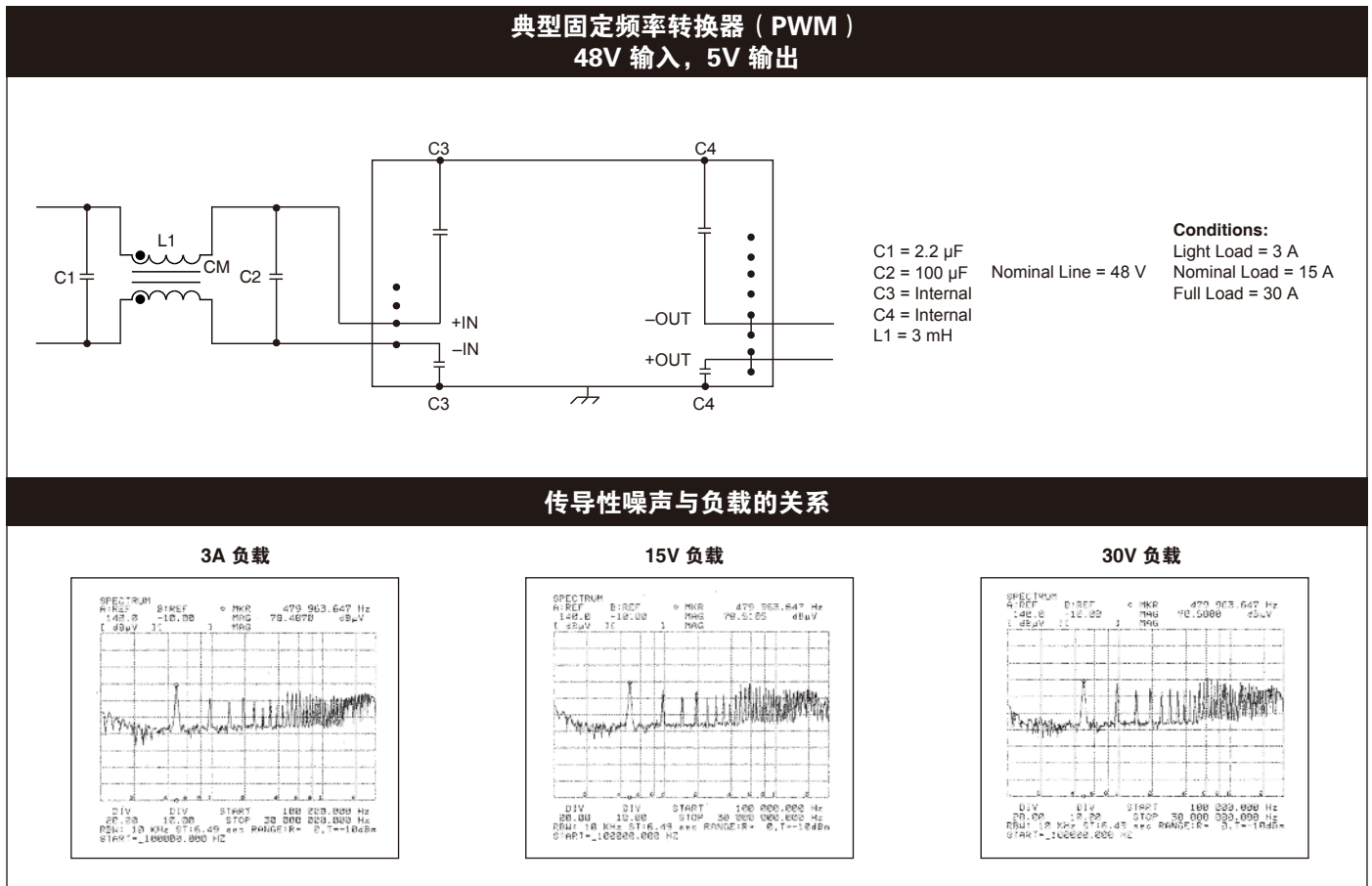
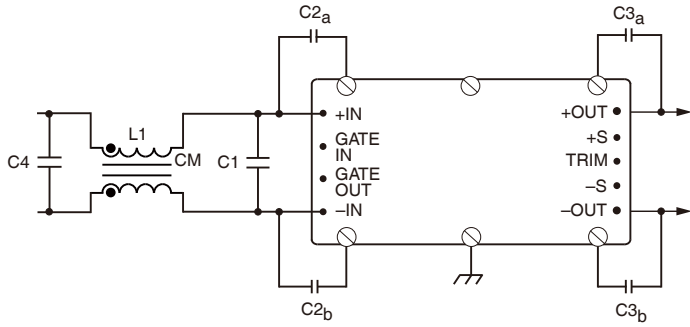


图9-2 带滤波器的典型固定频率转换器的传导输入噪声

典型Vicor模块 ( VI-230-CV )  
48V 输入, 5V 输出



三只共模扼流圈作为标准配件提供的共模扼流圈。

器件编号	每个绕组的电感	最大DC电流	每个绕组的电阻
31743	1,000 $\mu$ H	12安培	6.5m $\Omega$
31742	3,000 $\mu$ H	7安培	18m $\Omega$
31943	2,163 $\mu$ H	1安培	42m $\Omega$

注意: 共模滤波器可能是一个或多个模块共用的, 但应该只有一个经GATE IN或者GATE OUT至GATE IN的互连与模块配合使用。举个例子, Driver / Booster阵列或Driver与GATE IN连接在一起, 提供一个共用的禁用失能功能。

- C1 = 100  $\mu$ F
  - C2a - C2b = 4,700 pF (Vicor器件编号01000)
  - C3a - C3b = 0.01  $\mu$ F (Vicor器件编号04872)
  - C4 = 2.2  $\mu$ F
  - L1 = 3,000  $\mu$ H (Vicor器件编号31742)
- 条件**
- 轻载 = 3 A
  - 标称负载 = 15 A
  - 满载 = 30 A

传导性噪声与负载的关系

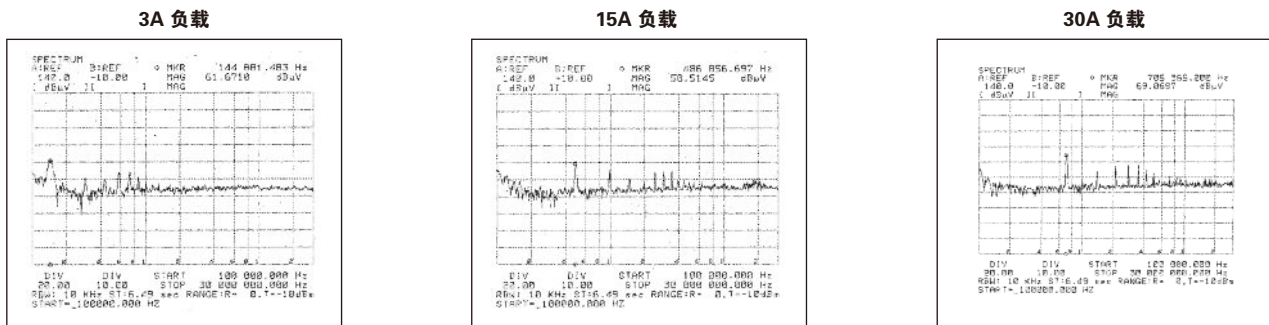
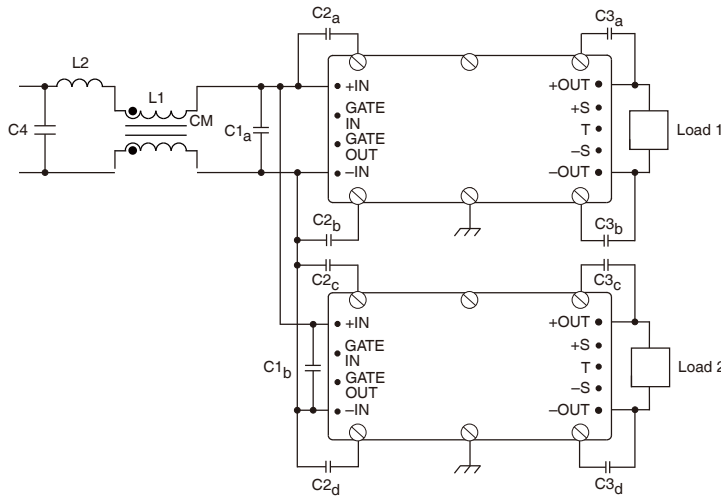


图9-3 — 带扼流圈传导输入噪声

有多个模块的差模和共模滤波器。当使用两个或多个模块时，不需要如何特殊的预防措施。所需的滤波器将具有作为一个模块滤波器的相同特性，不过，磁性元件的引线规格将需要

反映匹配增加的输入电流。下面所示是共享一个共同输入源的两个模块的输入传导性噪声。

**有多个模块差模和共模滤波器  
48V 输入， 5V 输出（两个Vicor VI-230-CV模块）**



- C1<sub>a</sub> - C1<sub>b</sub> = 47 μF
  - C2<sub>a</sub> - C2<sub>d</sub> = 4,700 μF (Vicor 器件编号 01000)
  - C3<sub>a</sub> - C3<sub>d</sub> = 0.01 μF (Vicor 器件编号 04872)
  - C4 = 2.2 μF
  - L1 = 3,000 μH (Vicor 器件编号 31742)
  - L2 = 20 μH
- 条件**  
 轻载 = 3 A  
 标称负载 = 15 A  
 满载 = 30 A

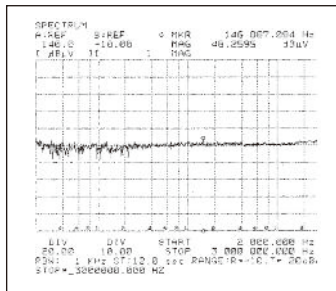
三只共模扼流圈作为标准配件提供的共模扼流圈。

器件编号	每个绕组的电感	最大DC电流	每个绕组的电阻
31743	1,000 μH	12安培	6.5mΩ
31742	3,000 μH	7安培	18mΩ
31943	2,163 μH	1安培	42mΩ

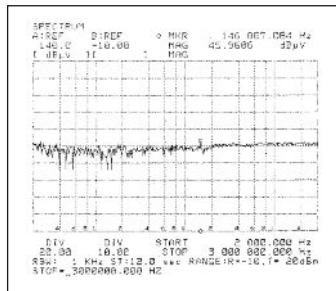
注意：共模滤波器可能是一个或多个模块共用，但应该只有一个通过GATE IN或GATE OUT到GATE IN与模块互连使用。举个例子，与GATE IN连接在一起的Driver/Booster阵列或Driver提供了一个共用的禁用失能功能。

**传导性噪声与负载的关系**

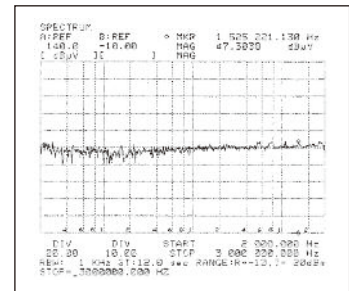
3A / 3A 负载



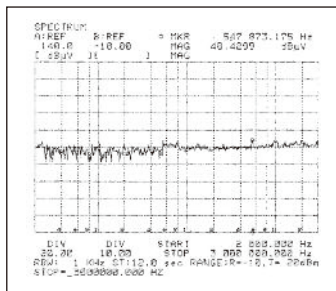
3A / 6A 负载



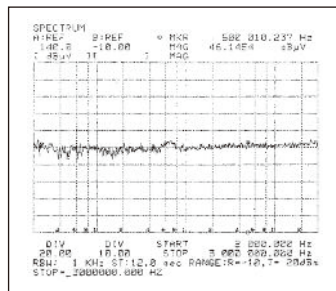
3A / 30A 负载



15A / 15A 负载



15A / 30A 负载



30A / 30A 负载

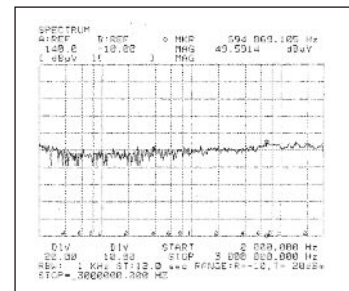


图9-4 多个零电流开关转换器的传导性噪声

**差模噪声滤波器。**差模传导性噪声电流是输入电源引脚上的电流的分量，它的方向或相位与其他输入电源引脚相反。所有Vicor转换器都有一个内部差模LC滤波器，它搭配一个小型外部电容器C1（最小值以 $\mu\text{F}$ 为单位）=  $400 / V_{in}$ ，用于减少了差模传导性噪声。外部电容应靠近模块放置，以减少回路截面积。

应该注意减少在源和C1之间流动的差模电流的回路截面积。由于差模输入电流被定义为相位相反，扭曲的输入引线会引起噪声抑制。如果走线位于直接相互重叠的PCB的反面，PCB电源层可以减少辐射噪声。如果使用了差模电感，则它可以被一个或多个模块共用。

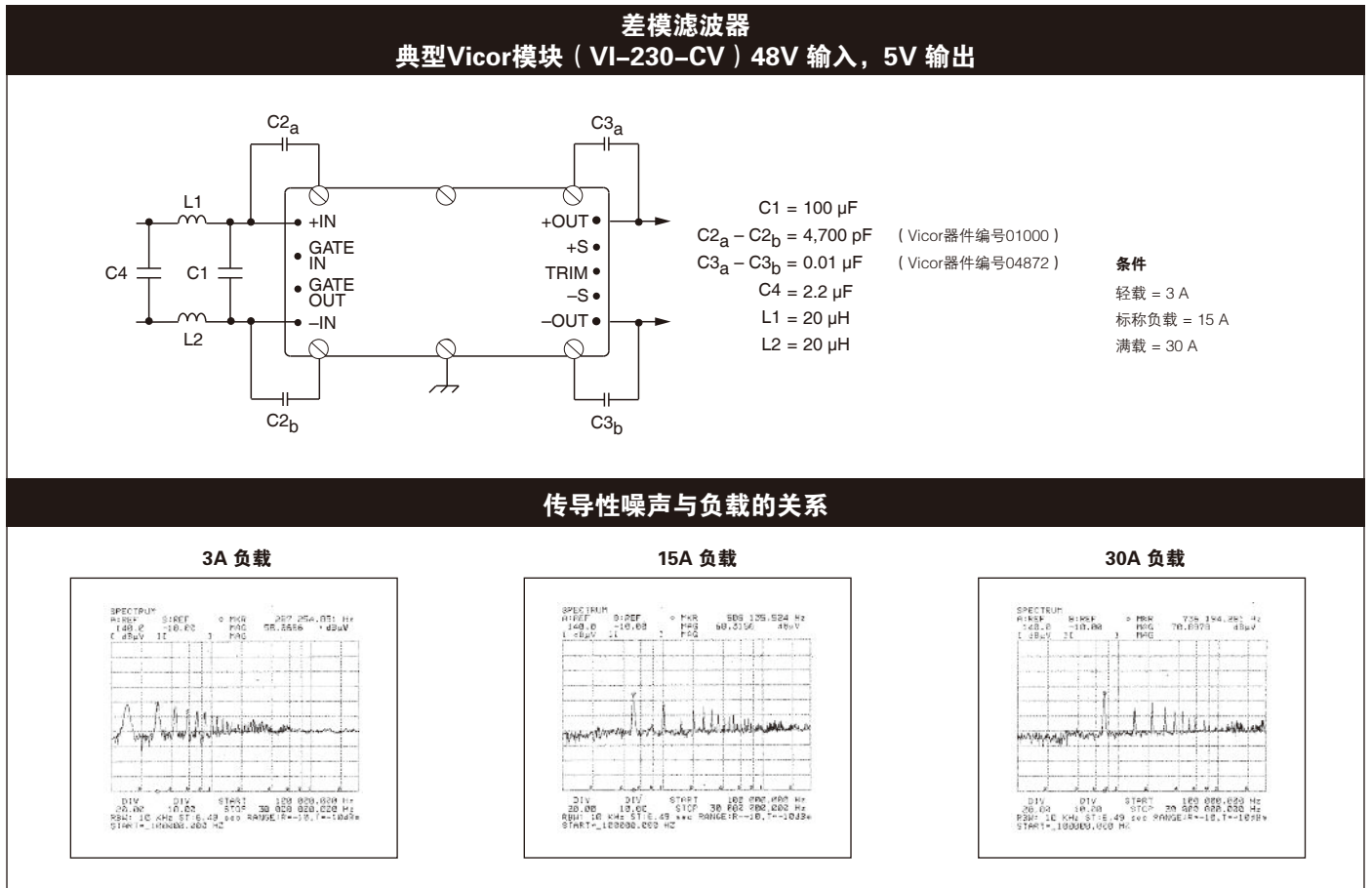


图9-5 — 差模滤波的传导性噪声

## 辐射噪声

辐射噪声可以是电场或磁场。磁辐射是由高 $di/dt$ 引起的，通常是由FCC、VDE或MIL-STD-461测量的。Vicor转换器利用零电流开关，它具有超过跃PWM非零电流开关的优势，所以零电流开关拓扑结构的开关电流波形不连续性最小，从而实现较低的 $di/dt$ 。电场辐射（由 $dv/dt$ 引起）是“近场”，也就是说，它作为距离的函数迅速衰减，因此通常不影响辐射测量。

辐射可以通过正确的电路板布局来最小化。使有AC电流的所有引线短、扭曲或作为重叠层路由，可以最大限度地减小回路截面积。还要记住电容耦合的影响——即使是未预料到在出乎意料的时候。不要把非屏蔽滤波器放在有模块的PCB的另一侧。传导性噪声可以容性耦合周围的滤波器。不要将输入和输出引线放在同一电缆束中。同样，没有最好特别的预防措施，只有好的设计实践。

## 噪声的考虑

所有开关电源都会产生一定量的“噪声”，但然而它仍然是电源转换中最少被了解的参数之一。VI-200和VI-J00都采用相同的拓扑结构，因此它们的工作非常相似。这些产品都是零电流开关转换器——即当主开关开启或关闭时电流为零。当开关导通时，通过开关或变压器初级的电流是一个半波整流正弦波。谐振转换器的工作情形类似，这些产品通常被称作准谐振转换器。LC谐振频率是固定的，因此开关的导通时间大约为500ns。当开关导通时，能量积聚在变压器的漏感（L）中，然后“转移”到模块次级侧的电容器（C，图9-6）中。每个脉冲处理的能量是固定的，并且最终能量存储在这个电容器中， $1/2 CV^2$ 。由于每个脉冲中的能量是固定的，所以脉冲串的重复率会随输出电压的负载变化而变化作为调节输出电压的负载函数的是不同的。最大重复率发生在最小电压、满载条件下，大约是LC时间周期的两倍或 $1\mu s$ 。如果负载下降了50%，那么重复率大约是最大值的一半（因为在每个脉冲中的能量是固定的）。因此，脉冲重复率随负载呈线性变化，达到一阶近似值。

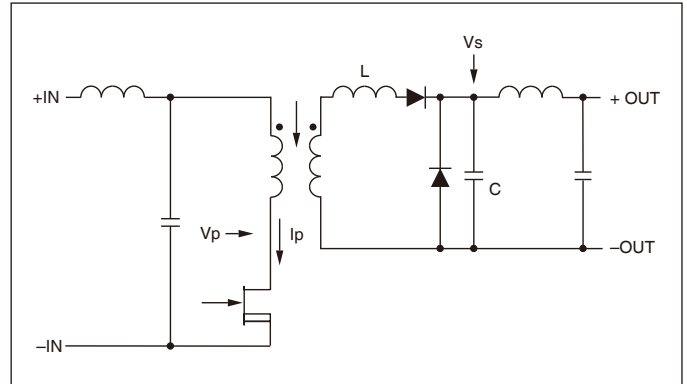


图9-6 基本零电流开关转换器拓扑结构  
(VI-200 / VI-J00)

## 噪声的考虑

由于每个脉冲的能量与所施加电压的平方（ $CV^2$ ）有关，脉冲重复率变化近似为线电压的平方。例如，一个300V输入单元可在200-400V变化，或是两倍，因此得出结论，重复率必须改变大约四倍来调节输出。如先前所建立的那样，初级的电流是一个半波整流正弦波，但初级上的电压是一个方波。由于这个电压是方波，它包含基本开关频率的谐波。它也扩展到70MHz的频率。

这些频率可能在下列情况下有用。快速变化的电压（高 $dv/dt$ ）可以产生电场（主要是近场），这通常不会导致系统噪声问题，因为作为距离的函数它显著减小了。出于这个原因，电场不是由机构来测定的，如FCC或VDE。不过，这些机构要测量由一个导体的高频电流导致的磁辐射。变压器中的半波整流正弦波就是一个这样的例子，但是，因为电流波形中的不连续性最小，而回路截面积非常小，所以得到的电场也非常小。如果敏感电路位于模块附近，电场可能是一个问题。在这种情况下，屏蔽层可以作为一个分立元件放置在模块标签一侧或作为PCB的接地层。其他影响还有共模噪声，由于如主开关上出现的50-70MHz分量会（图9-7）

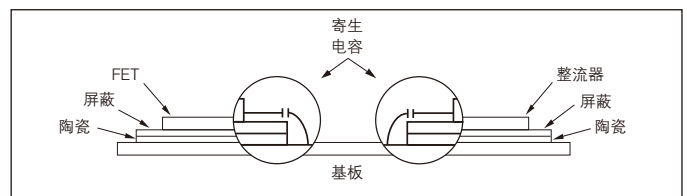


图9-7 屏蔽层的作用是减小电容

开关 (FET) 的 $dv/dt$ 是一个噪声发生器。此FET被安装在一个与基板相连的两层绝缘和屏蔽组件上。由于陶瓷是一种电介质, 从FET到基板存在电容 (图9-7)。输出整流器也是用陶瓷绝缘子连结在基板上, 增加了额外电容。FET的 $dv/dt$ 通过这两个串联电容器进行差分, 从而在50-70MHz产生一个从初级流向次级的噪声电流尖峰 (图9-8)。此噪声电流是与差分截然相反的共模, 因此, 不应该影响系统的运行。不过, 应当注意, 示波器抑制共模信号的能力有限, 并且这些信号可以通过使用示波器探头的长接地引线进行特别加强。

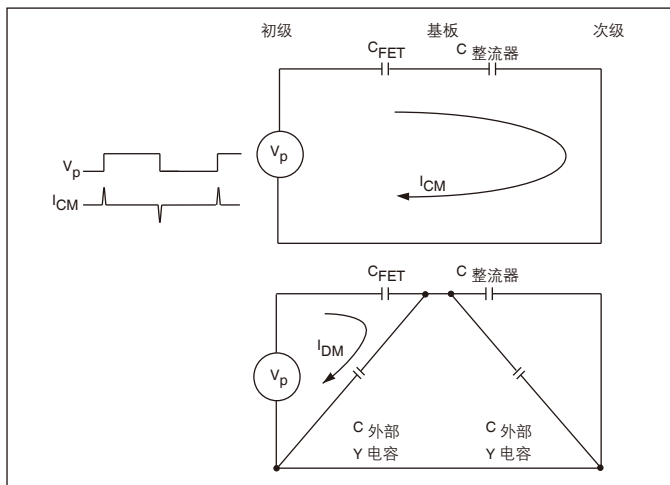


图9-8 — 噪声耦合模型

### 测量输出噪声

由于接地引线不存在信号线上的电感, 长接地引线可能对示波器的共模抑制能力产生不利影响。这些差分阻抗带有共模信号, 并可将其转换为出现在走线上的差分信号。要检查共模噪声, 可将示波器探头放在探头的接地连线, 同时将接地线连接到输出回路 (图9-9)。如果噪声是共模的, 仍然会在同一个测试点观察到“噪声”。

**注意:** 输出回路必须在相同的相对电位, 因为示波器的接地或破坏性电流可能会流过示波器的接地线。

从+/-IN到基板需要有电容器, 从而分流共模电流, 进而降低输入电源线上的噪声电流。由于频率很高, 电容器的引线必须非常短。电容的质量也必须很好 (即, 陶瓷或具有低ESR / ESL的其他材料)。因为“ $dv$ ”较大, 这种类型的电容对高输入

电压单元是最重要的, 而且对所有单元都是必需的。对于离线应用这个电容必须有相应的安全认证。

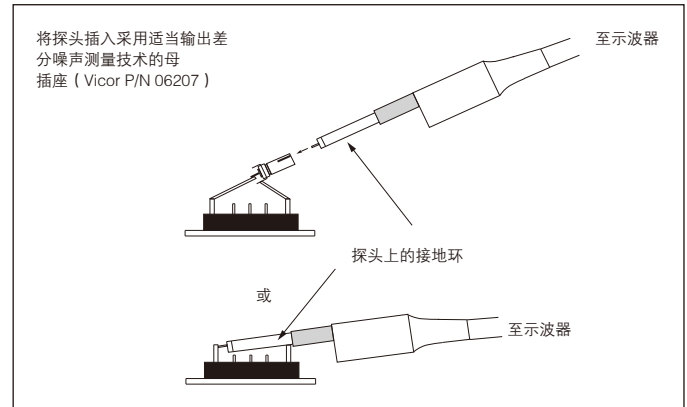


图9-9 — 输出纹波测量技术

从+/-Vout到基板必须有电容器, 因为输出整流器有变化的电压, 像FET一样, 可能产生共模噪声。该电容器也同样推荐用于高输出电压单元 (48 V)。

共模噪声相对于输出不是差分的。不过, 它流过电源的输入和输出引线, 而且是要由FCC或VDE测定的一个噪声参数。它可能会导致电源系统辐射干扰测试失败, 因此必须予以处理。在模块的输入端或电源的主输入端, 必须要有带共模滤波器的至基板的旁路电容器。

共模滤波器通常放置在相对于输出的输入端处。理论上, 由于该电流从初级流到次级, 扼流圈可以放置在任何输入或输出端, 但最好是放在输入引线上, 其原因如下:

- 1) 由于输入电压通常较高, 输入电流较小;
- 2) 模块的稳压可以纠正扼流圈上的压降; 而且
- 3) 如果扼流圈在输出端, 而检测被连接到它的另一侧, 回路的稳定性可能会受到影响。

差分输出噪声是输出电压的AC分量, 对两个输出不是共用的。噪声是由低频、线相关工频噪声 (通常为120Hz) 和 高频开关噪声组成的。

**高频开关噪声。** 输出电压峰-峰值纹波通常为2%或以下（12 V输出为1%及以上）。因此，通常不需要额外的输出滤波。数字系统很少需要额外的滤波。不过，一些模拟系统，如超声系统，可能会需要额外输出滤波。参见表9-1所示的额外输出滤波器选择。

p-p的波纹，输出峰-峰值纹波应该是15.8mV。由于其频率低，用无源滤波进一步衰减这个分量是不实际的，因此必须采用有源滤波。RAM包含一个针对高频噪声无源滤波器和一个针对低频噪声的有源滤波器。

**线相关工频输出噪声。** 线相关工频输出噪声可由转换器规格来确定——输入纹波抑制。举一个例子，在120Hz的 $30+20\text{Log}(V_{in}/V_{out})$ 条件下，VI-260-CV（300 Vin至5 Vout）有一个抑制规范。Vin = 300和Vout = 5，因此，其抑制为 $30+35.56=65.56\text{ dB}$ ，从而提供了1.89 k的衰减系数。因此，如果转换器的输入有30 V

	5V 输出	12 – 15V 输出	24 – 48V 输出
没有额外的滤波器	2% p-p (典型值)	1% p-p (典型值)	0.2% p-p (典型值)
低ESR输出电容	1% p-p (典型值)	0.5% p-p (典型值)	0.1% p-p (典型值)
LC输出滤波器	0.4% p-p (典型值)	0.2% p-p (典型值)	0.05% p-p (典型值)
RAM滤波器 (VI-200)	<3mV p-p (最大值)	<3mV p-p (最大值)	<3 mV p-p (最大值)
RAM滤波器 (VI-J00)	<10mV (最大值)	<10mV (最大值)	<10 mV (最大值)

图9-1 输出滤波器选项和输出电压及纹波

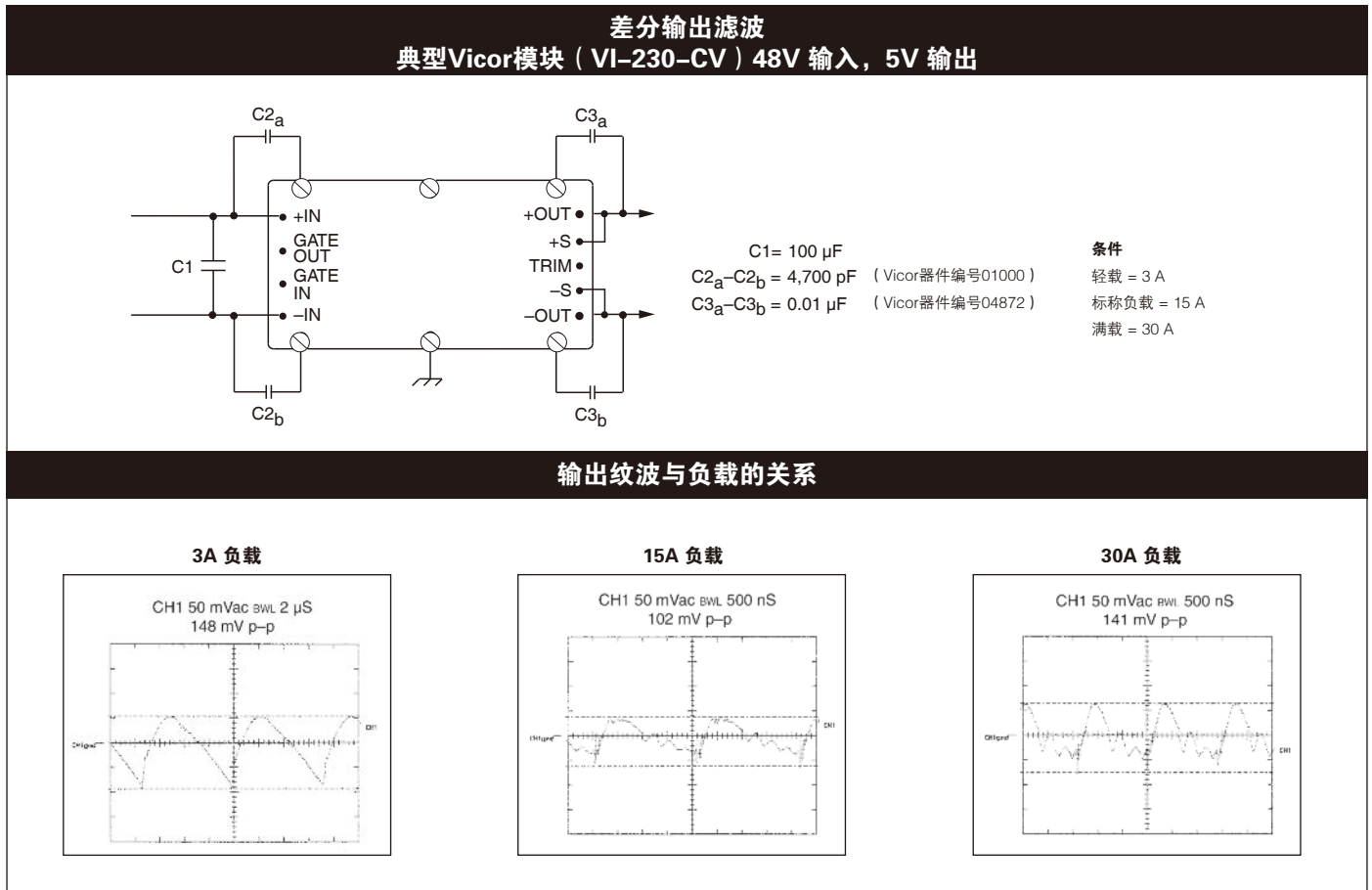


图9-10 没有额外输出滤波的输出噪声



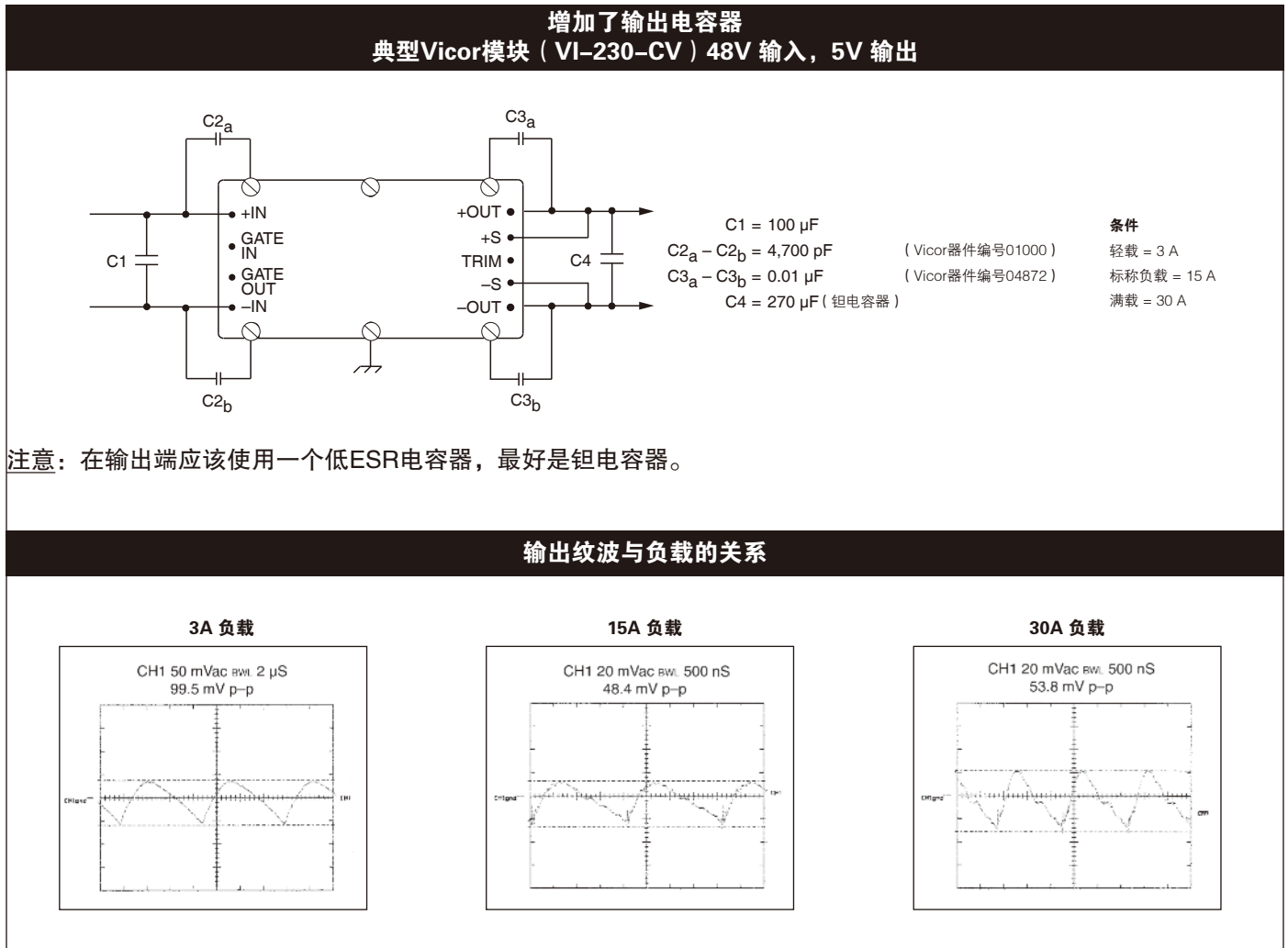


图9-11 — 额外输出电容的输出噪声

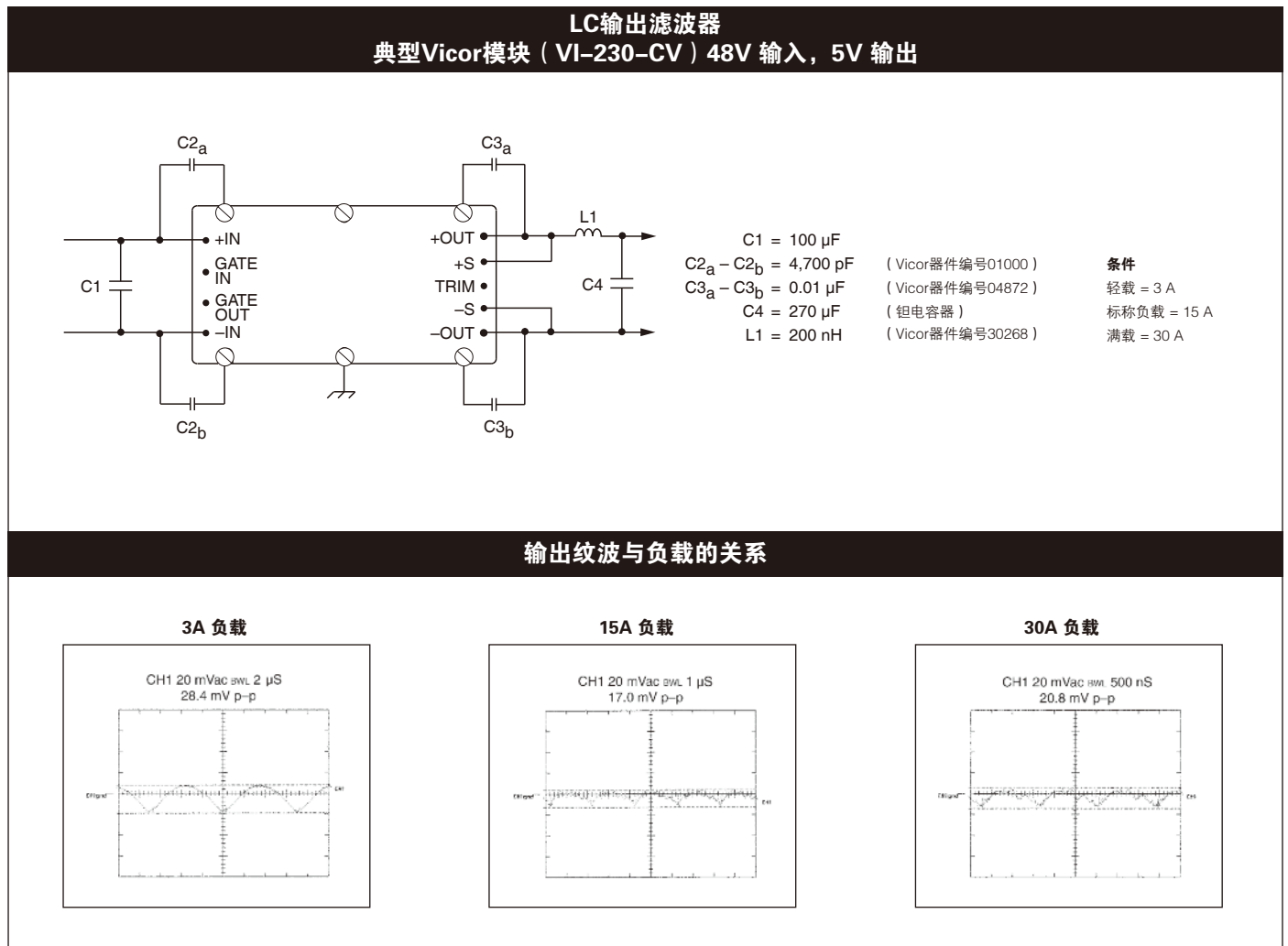


图9-12 — 额外输出电感器和电容器 (L-C滤波器) 的输出噪声

RAM / MI-RAM的操作

RAM/MI-RAM以两种方式来衰减输出噪声。首先，RAM/MI-RAM中的LC滤波器衰减与开关频率相关的高频分量。其次，RAM/MI-RAM包含一个有源滤波器，可衰减与转换器的输入相关的低率分量。这些频率在60-120Hz的数量级，而如果采用了无源方法，谐波衰减将需要非常大的输出LC。从本质上讲，有源电路着眼于来自转换器的输出纹波，该值乘以-1（颠倒）并将其加到输出。这有效地消除了低频分量。

RAM不包含任何共模滤波，所以无论共模噪声是存在还是通过（passedthrough）。它仅提供噪声的差分滤波，该噪声存在于相对于另一个引脚的输出引脚。

使用RAM/MI-RAM非常简单，但应注意几个注意事项。LC滤波器位于正输出引线上，因此，如果该引线短路，则高频衰减会受到损害。有源电路在负输出引线上，因此，如果该引线短路，则低频衰减受到损害。RAM必须与转换器的输入端使用一个共模扼流圈。

RAM是为了与VicorVI-200/VI-J00配合使用，而MI-RAM是为了与Vicor MI-200/MI-J00系列DC-DC转换器模块配合使用。它也提供了在一个机箱中安装的版本，如VI-LRAM-x（MegaMod封装）或VI-RAM-xx-B1（BusMod封装）。

**注意：**如果负载是感性的，就不要使用，否则可能会导致不稳定。增加的RAM将提高约14%的转换器电流限制设定值。

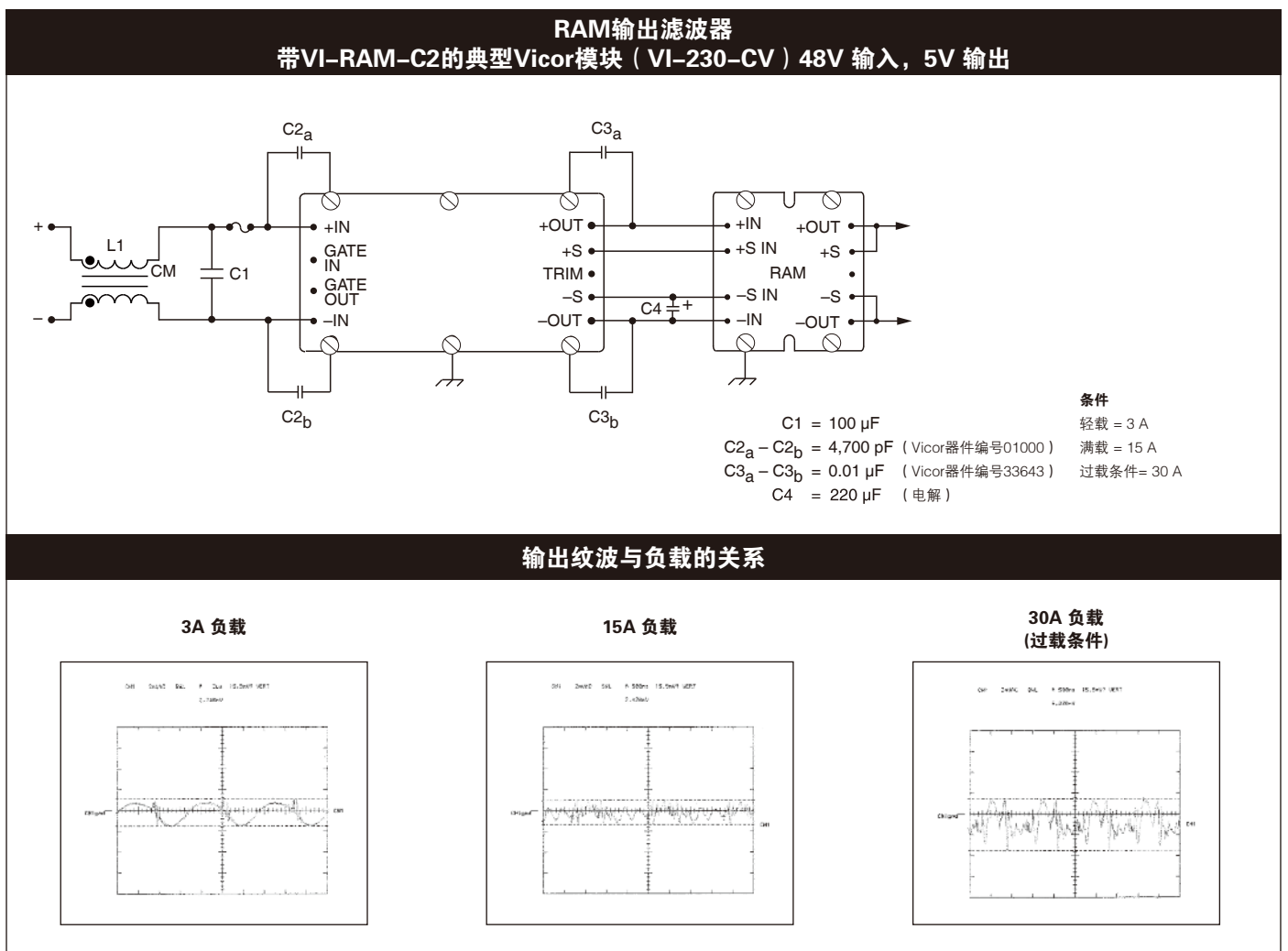


图9-13 — 纹波衰减模块 (RAM) 的输出噪声