

在电源组件设计空间内 实用电磁干扰控制方法



David Bourner

摘要

控制开关模式电源系统中的电磁干扰 (EMI) 是一个永久课题。本文旨在探索将 Vicor 电源组件应用到客户线路中时控制电磁干扰的方法。Vicor 已开发出准谐振拓扑电源转换架构, 这种拓扑结构可通过设计显著降低电磁噪声。尽管在开关电源中使用谐振拓扑可以显著降低噪声, 但没有一款转换器是无噪声的。这些为了符合 CE 工程标准而设计的电源模块, 通常可以避免在将产品推向市场时出现无法预测的延迟、或成本过高的问题。

从概念到实施解决传导发射问题

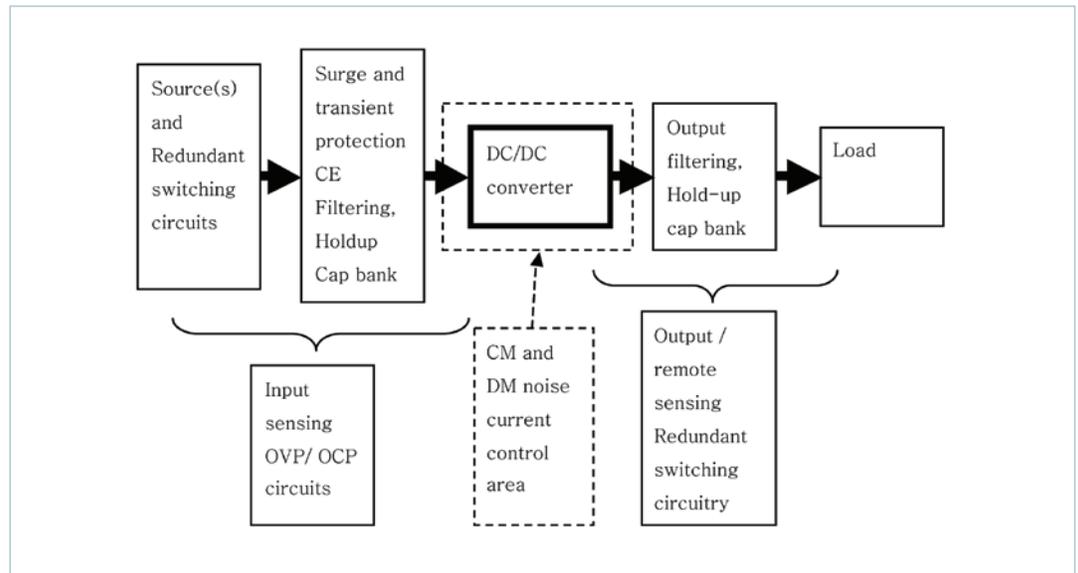
介绍

在电源系统设计初期, 必须考虑传导发射控制问题, 并在与整个应用的其它部分进行最终集成之前得出良好的解决方案。采用的降噪方案必须与电源及信号处理途径一起制定。系统的实施应定期进行一系列资格预审测试, 这些测试虽然是主观的, 但很快就会产生结果, 表明最终产品是否将得到适当布置, 以获得成功的资格认证结果。我们致力于寻求用最少的外部器件来满足 EMI 标准需求。

嵌入式电源组件的模型

图1所示的框图是作者想要介绍的、电源系统的所有特性, 这些特性可以解决超出简单 DC 输入/输出电源规范的问题。用这种角度看待电源支持功能, 有助于我们考虑这些不同功能之间的利弊权衡和相互作用。了解所需功能之间的相互作用, 有助于设计人员采用有效的设计顺序, 解决各方面的问题从而达到设计目的需求。

图 1
开关电源系统的通用系统框图。母线上的 DC 功率流用粗体箭头表示。DC-DC 转换器通常设有电流隔离的输入输出电源端口



对模型的评论

在噪声背景下，模拟系统和数字系统分别被视为电气噪声的接收器和发射器。开关模式电源转换器提供一种混合模式的环境。无论控制器是数字属性还是模拟属性，都挨着开关电源器件设置。电源组件是模块化的：很大程度上，原始工程制造商 (OEM) 会煞费苦心降低模块内部噪声源的影响，但有时会喜忧参半。如果不进行抵消，电源模块的自身噪声通常足以影响信号发送，进而影响组件内的电源控制。

使用此类产品组成一款系统，需要引入 OEM 厂商应在应用文献中提供的措施。模块自身的噪声可通过引入合适的外部组件来降低，这些外部组件选择布置旨在引入最小寄生效应的电路板布局中。这些组件将与印刷电路板布局相互作用，这就意味着无法确保噪声性能可以自动满足要求。在几乎所有有此类规定的情况下，都将参考传导发射 (CE) 的工程标准，例如 CISPR22 或 EN61000-4-6。这两个标准包含明确的定义和详细的测试安排，其可用于验证电源系统的发射和敏感性特征。

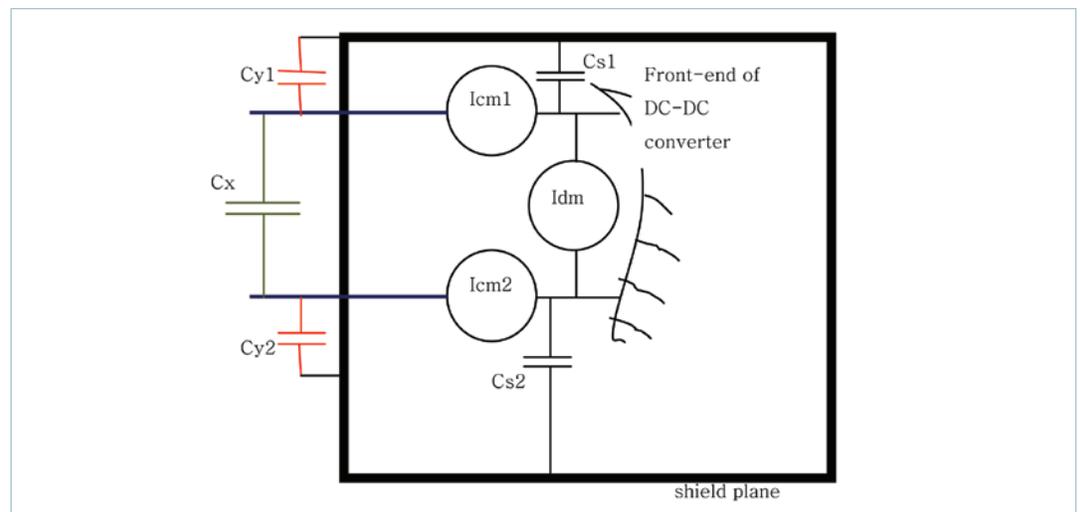
CE 标准主要针对传播到输入电源的传导电气噪声。出现在系统输出端的噪声也可通过共模 (CM) 或差模 (DM) 滤波或两者的组合来衰减，如输入源端接的 CE 标准一样。可以说，在集成型应用中，使用电源组件有助于实现噪声控制设计。尽管通常不可能将所有抑制元件都集成在电源组件中，但制造商建议最大限度减少最佳电路板布局中所需的有效外部措施。鉴于客户正在开发的不同类型应用的性质，通常可以要求 OEM 厂商的应用工程师来确定当前噪声控制策略是否妥当，并提出抑制噪声的方法。本文将介绍这样一个示例。

应用模型

为了用图 1 演示一个重要的相互作用示例，输入电源母线的电感和位于 DC-DC 转换器输入端口的电容器（它们是保持功能或滤波功能的一部分）将与转换器提供的动态（负）输入阻抗相互作用。这会导致输入电源母线的不稳定。^[b]显然，选择保持电容器的容值以及其 ESR 至关重要。这些组件以及必不可少的浪涌及瞬态保护元件会影响从 DC-DC 转换器输入端口传输到电源的传导噪声的差分滤波。

除 DM 噪声外，还有从转换器每个输入输出端口输出的 CM 噪声电流。控制此类噪声，需要使用高度局部化的共模滤波组件。这些组件将为非常小的环路提供 HF 电流，其从电源端形成，通过由专门设计的屏蔽层提供的耦合电容，返回转换器。图 2 是 DC-DC 转换器的等效电路，用噪声术语表示，主要用作设置了 X 电容器和 Y 电容器的输入参考噪声电流源。

图 2
DC 转换器的输入电源端口噪声等效电路，用差分及共模噪声电流源以及噪声抑制 X 电容器和 Y 电容器表示，安装并连接到提供 HF 电容耦合（在低阻抗时返回电源）的底层屏蔽层（Cs1、Cs2 表示为集总等效电路）。



噪声控制开发策略

全面的认证测试既耗资，又耗时。该流程应只在开发的预生产阶段执行一次，即在冻结设计进入生产之前的那个阶段。

与此同时，许多较为简单的测试可以在实验室环境，由从事硬件工作的设计人员和技术人员根据简单的实验设备进行。这样可以设置和定制噪声控制网络，以最大限度降低噪声。这通常是一个对布局中的寄生效应详细了解之后，根据工程直觉进行的迭代过程，可能会利用它们来帮助控制噪声。^[h]

首先应建立测试参考。要运行一些“零信号”测试，以建立仪表的本底噪声，并确定是否还有其它噪声源意外地为系统提供能量，这一点非常重要。如果有这些来源，就需要注意。如果需要采取适当的措施消除它们，则可能需要对实验室工作台的屏蔽和接地进行少量投资。

一旦获得并收集到了零能量输入配置文件，则应该针对具有已知特征的信号开发数据。该测试数据集将用作背景模板，其可用于评估与应用的 CE 噪声轮廓相关的噪声源。确定了示波器仪表及其同轴探针的精确度后，现在可以在宽带示波器上运行的特色 FFT 处理用作传导噪声信号频谱的快速指示器。可以便捷地建立 CM 及 DM 滤波不同部署效果的读回，并针对 CE 控制进行拓扑和分立式组件选择进行迭代。

噪声控制评估示例

图 3 中的框图是使用 CE 控制元件网络设置扩增的系统。针对组件选项以及组件网络（例如图 4 和 5 中所示的设置）优化布局进行了一些实验，以最大限度加强对噪声的抑制。在建立和测试噪声控制布置（在图 6 至图 9 中突出显示）的改版阶段完成，客户对其先前不合规的目标系统进行了全面的测试，并采用推荐的措施进行了修改，结果表明，以足够的裕度稳稳地通过了系统的 CE 验证。^[h]

图 3
展示未抑制系统电源/电源转换器及负载基本布置的框图

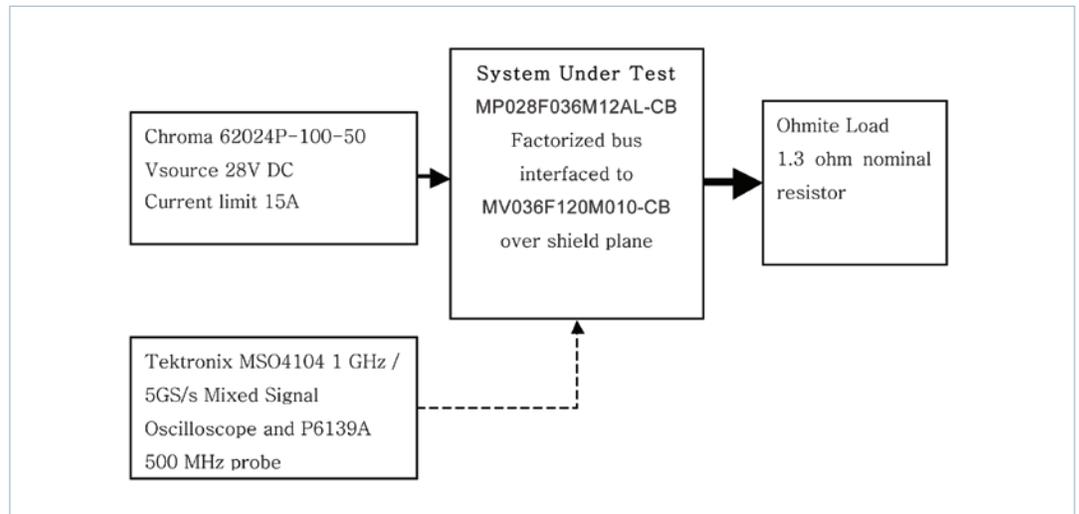


图 4
 中间工作台设置显示了同轴接地的示波器探针、在测量站使用 Johnson jacks 屏蔽罩适配器制成的板内屏蔽接地触点。屏蔽接地层是固体铜箔层。对 Y 电容临时布局进行了更改，以改善示波器获得的噪声频谱

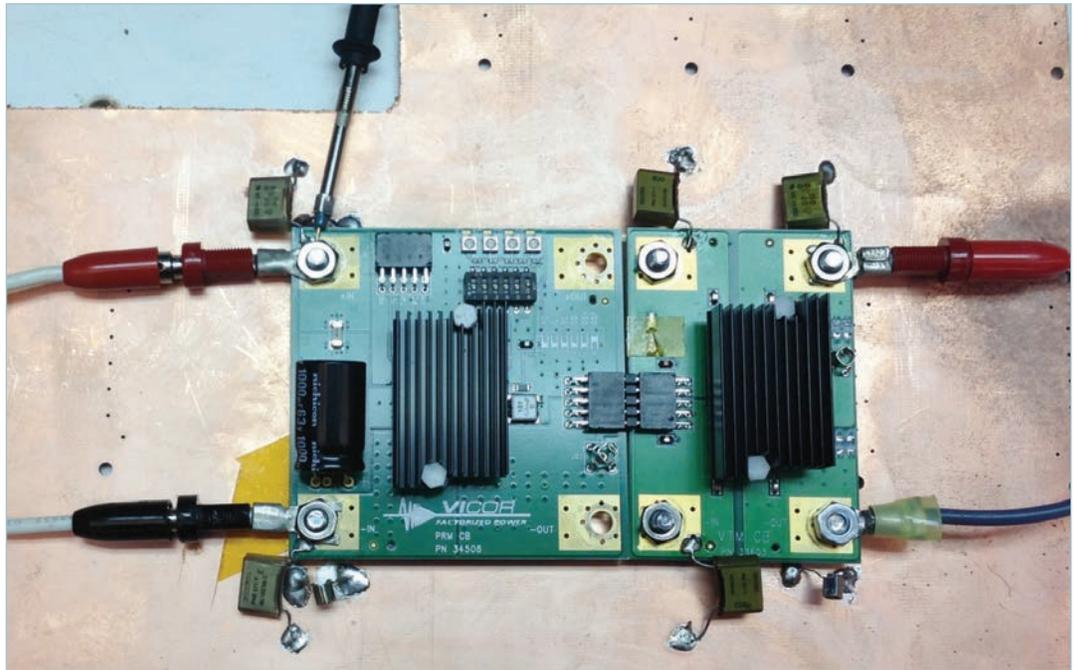


图 5
 VTM™ 评估测试夹具电路板边缘的视图，展示位于 VTM (-OUT) 端的系统参考电压点



图 6
 PRM™ (+IN) 电源端未抑制的 CE 噪声特征

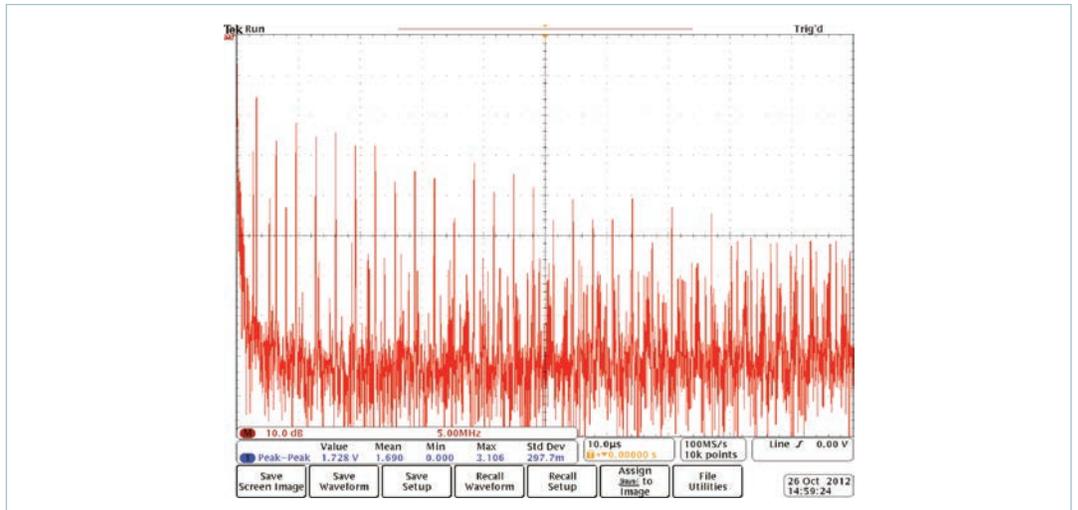


图 7
CE 噪声抑制布局轮廓图。
M-FIAM™ 是一款滤波器及输入
衰减器模块，支持符合
MIL-STD 461E 的 CE 标准

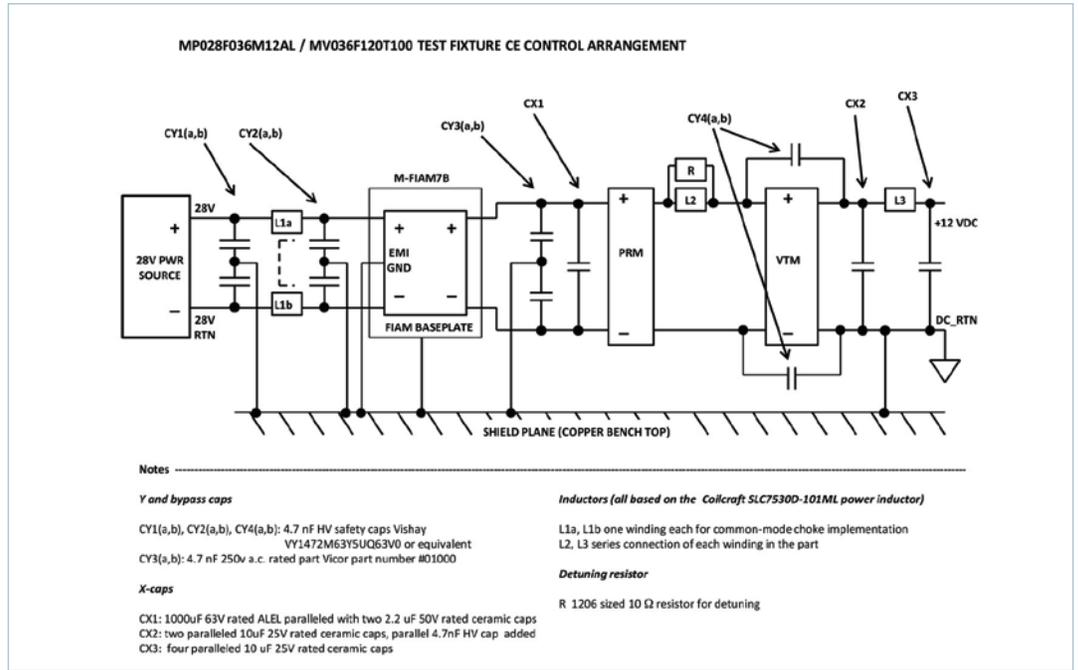


图 8
适应性噪声控制原型设计的
局部视图：请参见为在
M-FIAM (-IN) 端测量 CE 而连
接的探针。请注意，VTM™
隔离层顶部和底部间的“旁
路式”Y电容
(C4a、C4b) 安装在 VTM
评估板的下方

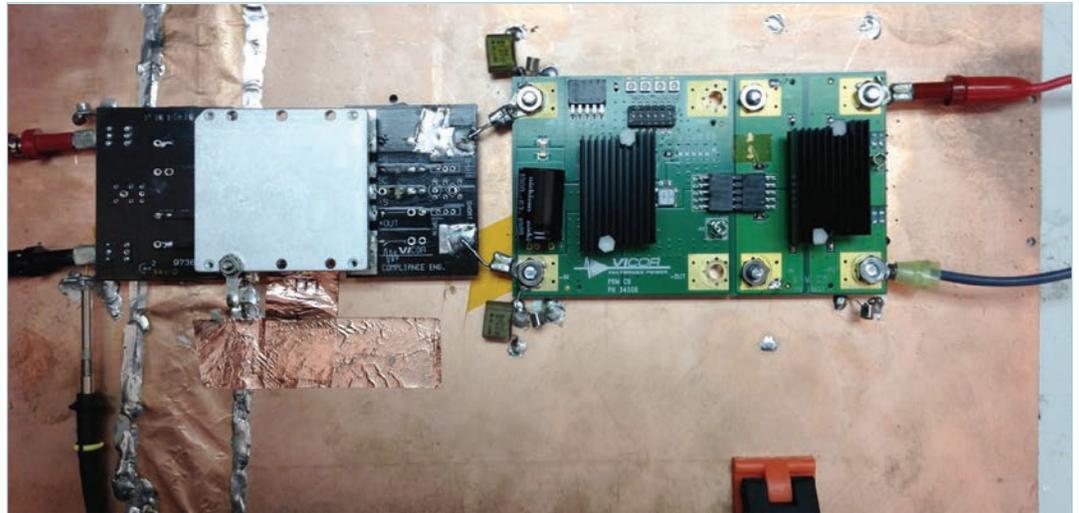


图 9
在 28V DC 电源 (+) 端测量的
CE 噪声抑制布局的结果，其
位置如图 8 所示

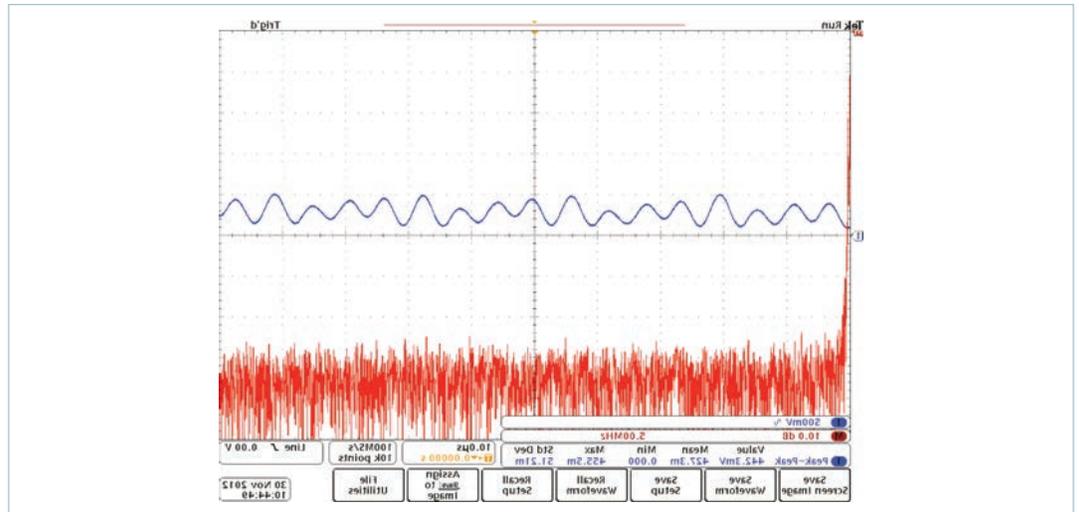


表 1
DC 电源数据
或被测系统的总结

基于 PRM™、VTM™ 功率级的测试台的传导发射 DC 电压、电流与输出电源母线电感		
V_SOURCE	27.993V	在 Chroma 的输出电源端测量的电压
V_IN_PRM	27.093V	在 PRM 输入电源两端 (+IN、-IN) 之间测量的电压
R_LOAD	1.37Ω	在 VTM 输出电源母线两端 (+OUT、-OUT) 之间设置的负载
I_SOURCE	4.507A	Chroma 电源提供的电流
I_LOAD	9.72A	负载端电流
L_OUTPUT	24μH	欧姆负载上的寄生电感 (1kHz 测试频率)

总结

本文概括性地介绍了在电源系统的设计与开发早期时候，解决系统性设计问题并测试和抑制 EMI 噪声的方法。采用这种方法实现降噪，可形成轻松遵循的范例。这个方法已经在大多数电子开发实验室环境中被成功验证。

参考文献

- [a] Vicor Application Note AN: 005 “FPA Printed Circuit Board Layout Guidelines” P. Yeaman Rev 1.2, Nov 2013
- [b] Vicor Application Note AN:023 “Filter Network Design for VI Chip DC to DC Converter Modules” Xiaoyan Yu, Vicor Applications Engineering, Aug 2012
- [c] “Power System – CE EMI Topology Review”, Vicor Internal document
- [d] “Introduction to Electromagnetic Compatibility” P Clayton, (Wiley Interscience ISBN-13 978-0471755005)
- [e] “The Circuit Designer’s Companion” T Williams, 2nd Edition, (EDN Series for Design Engineers, Newnes ISBN-13: 978-0750663700)
- [f] “Back to Basics -- What are Y-Capacitors?” Vicor PowerBlog, June 5, 2013
- [g] “Capacitor Characteristics Impact Power Supply Decoupling” D Bourner, *PCIM*, May 2001
- [h] “CE EMI Topology Review” D Bourner, Vicor Internal Report

联系我们: <http://www.vicorpower.cn/zh-cn/contact-us>

Vicor Corporation

电话: 400 101 5482

www.vicorpower.cn

电子邮件

客服: vicorchina@vicorpower.com

技术支持: chinaapps@vicorpower.com

©2018 年 Vicor 公司版权所有。保留一切权利。Vicor 名称是 Vicor 公司的注册商标。所有其它商标、产品名称、徽标及品牌均是其各自所有者的财产。