

尽量降低无线系统供电时的电磁干扰

超低EMIDC/DC稳压器系统符合EN55022 Class B标准

本文所探讨的课题具有一定的复杂性，而且了解和减轻与噪声有关的电路问题需要长年的从业经验以及相关知识的传授。关于噪声，许多博士、科学家和才华横溢的学者撰写了大量的学术专著，其内容与篇幅之多甚至超过了托尔斯泰的文学巨著《战争与和平》。作者的目的是给读者提供一些建议，并用实例来说明旨在应对DC/DC开关稳压器EMI问题的解决方案。

作者：Afshin Odabae， μ Module产品市场经理，凌力尔特公司

您走进RF实验室并对大家说：“我不知道这款DC/DC稳压器的EMI是否会对系统的运作产生干扰或导致其发生故障，但我不得不马上开始设计，而测试工作只能稍后进行了。”对于您的担心和烦恼，同事们将报以同情，有的人还会默默地为您祈祷。

RF系统设计师是拥有丰富实践知识的工程师，而且就降低传导和辐射噪声的技术而言，他们在许多方面都是能手。他们怀有“不达目的绝不罢休”的强烈愿望并专注于消除有可能引发系统噪声的潜在根源，这就像斗牛场中面对一件红色斗篷的愤怒公牛。然而，在DC/DC开关稳压器中，这种“红色斗篷”会以神秘莫测的方式悄然袭来。

包含精细复杂高频功能电路的系统所消耗的功率日渐增多，而且正越来越多地安装于密度较高的电路板上。由于功耗较高且组件彼此十分靠近，因而增加了负载点开关稳压器的电磁能量干扰RF电路的风险。

产生自开关DC/DC稳压器的噪声包括传导噪声和辐射噪声。传导噪声通过印刷电路板(PCB)走线进行

传播并可以利用滤波器和正确的布局来减低。有经验的系统设计师会通过增设诸如铁氧体磁珠(π 型滤波器)等输入和输出滤波器以及PCB的谨慎布局来解决这一问题。人们通常在一个开关稳压器的输出之后采用一个线性后置稳压器以滤除一部分该能量。这是一种普遍的做法，比如在给RF功率放大器供电时。

辐射噪声(也被称为电磁噪声)通过空气(间隙)进行传播，常常更难对付。这个问题必须在其源头加以解决，而且产生辐射噪声的根源可能显而易见(例如：千兆位级收发器)，也可能难以查明(例如：DDR存储器或被忽视的DC/DC开关稳压器)。



图1: 测试配置: 电源(一个实验室等级的线性电源)放置在地板上。

改善某些噪声

开关DC/DC稳压器就其本质而言是耗能的。在稳压器的开关频率条件下耗能最大(例如：MOSFET栅极的开关操作便是根源之一)。视能量的频率、谐波或强度的不同，DC/DC开关稳压器有可能破坏数据完整性或时常导致系统无法通过诸如EN55022或者CISPR22 class B或A等EMI标准。

通常，那些曾经由于最后的EMI问题而被弄得焦头烂额的RF系统工程师们决定对稳压器的电路采取“过度滤波”。他们对于因EMI噪声的缘故而无法通过某项测试的恐惧远远超过了对成本或PCB面积浪费的担忧。

降低噪声的常用方法有很多种，现罗列如下：

1) 旁路

旁路用于减少高开关电流的流动(特别是在高阻抗PCB印制线中)。这常常是利用一个电容器增加分路来实现的。

2) 去耦

电源电路中的去耦指的是一条公用线路上两个电路的隔离。如前文所述，低通滤波器是非常有效的。

3) di/dt

查明快速衍生电流吸收器或电流源的信号源，并确定其返回路径。务必对它们全部进行旁路。

4) 布局

需确定您的小信号平面、接地平面和电源平面均正确布设。应使小信号平面与电源平面相互分开。必需最大限度地减小印制线中的电感。

5) 屏蔽

为了抑制并降低来自一个 DC/DC 稳压器（如果它“有噪”）的发射能量，您可能需要在电路的周围增设金属屏蔽。可采用屏蔽电感器。

6) 调整频率

开关稳压器是否具有一个调节引脚、PLL（锁相环）或 SYNC 引脚以把开关频率设定至一个期望值？选择一个具有 PLL 能力的开关稳压器是个不错的主意。在随后的电路板最终测试过程中它或许有用处。

7) 扩频调频（SSFM）

某些新式开关稳压器具有一种板上 SSFM 功能。或者，如果稳压器不具备此项功能，您也可以购买一个 SSFM 时钟发生器。凭借 SSFM，您就能够通过将能量散布于较宽的频率范围之上而降低能级，从而避免某个强大的能级集中在一个特定的频率值上。应确定开关稳压器具备 SYNC 或 PLL 能力。

8) 让其他人操心此事

如果开关稳压器电路设计精巧，其布局是优化的，而且最重要的是已经按照严格的业界 EMI 标准进行了测试，那就是其他人已替您完成了相关的工作。这样的产品确实存在。

EMI 的种类有很多。敏感性和辐射均是工程师必须关心的对象。敏感性指的是在不发生故障或毁坏的情况下在设计中所能发出的噪声量，例如：ESD 尖峰、“骑跨”在 DC 线路上的 AC 信号、甚至包括雷击。而辐射则指的是设计在其他产品上所释放的噪声量。

一般而言，设计师最担心的是辐

射。大多数系统的工作环境均要求每个产品的辐射不得超过某个预定的水平。从理论上说，如果每个产品都符合这些辐射水平的要求，则整个系统中的运行噪声电平将足够低，因而根本无需过多地考虑敏感性。

我们没通过 EMI 测试

有几个字设计工程师很害怕：“我们没通过 EMI 测试。”。还有几个更害怕的字：“我们再次未通过 EMI 测试。”。长时间不分昼夜在 EMI 实验室中，奋力用铝箔、带状铜缆、箱式滤波器珠和指甲等来解决一个就是去不掉的设计问题，这种恐怖记忆令很多富有经验的工程师感到恐惧。

发射的类型有两种：传导发射和辐射发射。传导发射存在于与某个产品相连的导线和印制线上。由于噪声局限在设计中的某个特定终端或连接器上，因此借助上佳的布局或滤波器设计常常能够在开发过程的早期阶段保证与传导发射要求的相符性。

辐射发射则是另一回事。电路板上所有传输电流的线路和元器件都会辐射出一个电磁场。电路板上的每一根印制线都是一个天线，而每个铜平面则都是一个谐振器。在整个信号频谱上，除了纯正弦波或 DC 电压之外的任何电物理量都会产生噪声。即使采用了谨慎的设计，在对系统进行测试之前也没有人真正知道辐射发射的情况会有多严重，而且，只有到设计基本完成之后才能正式进行辐射发射测试。

那么，设计工程师该怎么做呢？一种方法是使用预先经过测试并已知具有低辐射的器件。通过采用这些“经过验证和检定”的器件，将极大地提高设计获得成功的机率。

在美国，辐射发射和测试由联邦通信委员会（FCC）负责管理。最常遇到的规范是联邦管理法规（CFR）FCC Part 15。CFR FCC Part 15 用于管制所有的射频设备，不管它们是不是有意

辐射体。它定义了两类无意辐射数字设备，即 Class A 设备和 Class B 设备。Class B 的要求更加严格，规定的辐射噪声限值比 Class A 低 10dB 左右。

不要被“数字设备”这个专用名词给迷惑了。在 FCC 看来，数字设备就是指任何产生并使用频率高于 9kHz 的定时信号的装置。如今，这涵盖了许多产品，包括大多数开关电源。

Class A 设备在商业、工业或办公环境中使用。Class B 设备则在居住环境中使用。Class A 设备的实例之一是家庭中不常见的大型计算机。而监视器这种理所当然会在办公室里使用的设备同样也是私人家庭里的常用装置，因此是 Class B 设备。

为了适用于 Class B 设备，组件的辐射噪声应低于规定的限值。至于低多少，则取决于构成系统的其他组件。如果设备的辐射噪声超过了 Class B 限值，则必须采取某种方法来降低噪声，例如：屏蔽或转换速率限制。

满足 EMI 管理标准

在欧洲，可容许的电磁辐射水平通常由 EN55022 标准来规定。另一种常见规范是 CISPR 22，该规范由国际无线电干扰特别委员会（International Special Committee on Radio Interference）制定。上述这两种规范与 FCC Part 15 很类似，它们规定了相似（但并不相等）的限值，并将辐射等级划分为 Class A 和 Class B。

在当今的新式设计中，系统所产生的辐射噪声当中有相当大部分是拜开关电源所赐。迄今为止，有三款产品具有符合 CISPR 22 Class B 标准的辐射 EMI 发射指标，它们是：LTM8020、LTM8021 和 LTM8032 μ Module[®]DC/DC 稳压器。

这几款组件均在位于美国加利福尼亚州 Santa Clara 的 MET 实验室中进行了测试。MET 实验室所进行的 EMI 测试得到了众多机构的认可，其

中包括 NIST（美国国家标准与技术研究院）和 A2LA（美国实验室认可协会）。MET 在其网站 (<http://www.metlabs.com/pages/emcaccred.html>) 上公布了所获证书的完整清单。

辐射发射测试受到了高度管制，而且测试方法规范制定得非常详尽。设计工程师不能借助任何方法来对测量技

巧或方法施加影响。当请求某家实验室进行辐射发射测试时，工程师所做的仅仅是选择测试规范；其余的事项均由实验室负责处理，而且不会邀请设计工程师参与测量过程。就上面罗列的 LTM8000 μ Module 系列器件而言，所选的测试规范是 CISPR 22 Class B。

在本文讨论的三款产品中，

LTM8032 是特意为实现低 EMI 而设计的。其额定参数针对高达 $36V_{IN}$ 和 $10V_{OUT}/2A$ 的条件而拟订。如图 1 所示，该器件是在 MET 实验室的 5 米暗室配置中进行测试的。LTM8032 被安装在一块未装大容量电容的电路板上。输入和输出陶瓷电容器的数值是产品手册中所规定并用于实现正确运作的电容值。

装配单元被置于一张全木制桌子的顶上。这种全木制结构可确保测试装置不会屏蔽或遮蔽“被测器件 (DUT)”所发出的噪声。电源（一个实验室等级的线性电源）放置在地板上。LTM8032 的负载及其散热器也位于桌子上。

测量 LTM8032 所产生的 EMI

在测量来自 LTM8032 的辐射之前，进行了一项旨在确定房间里的环境噪声的基线测量。图 2 示出了所有设备均未运行时暗室中的噪声频谱。图 2 示出了所有设备均未运行时暗室中的噪声频谱。这可以用来确定被测器件所产生的实际噪声。请不要理会图 2 所示曲线图中的红线，它们与这里的讨论无关。

图 3a 和图 3b 给出了最大功率输出 ($10V/2A$) 条件下的 LTM8032 辐射图，分别对应于 $24V$ 和 $36V$ 输入。我们注意到：在频谱图和 CISPR 22 Class B 限值之间存在着微小的差异。图 3-7 中示出的 CISPR 22 Class B 限值针对的是准峰值测量，它捕获峰值噪声辐射并计算噪声信号随时间推移的积分平均值。求平均的时间基于检测到噪声的频率。然而，图 2 - 6 中的噪声测量则完全是峰值测量（在频谱图的右上角做了指示），因此这些频谱图中所表明的设计余量甚至比图示的更大。这篇报告可登录 www.linear.com.cn/umodule 网站查阅。

频谱图中有两条线迹，代表了测试实验室接收天线的垂直和水平取向。LTM8032 轻而易举地满足了 CISPR 22 Class B 限值的要求，留出的余量很大。

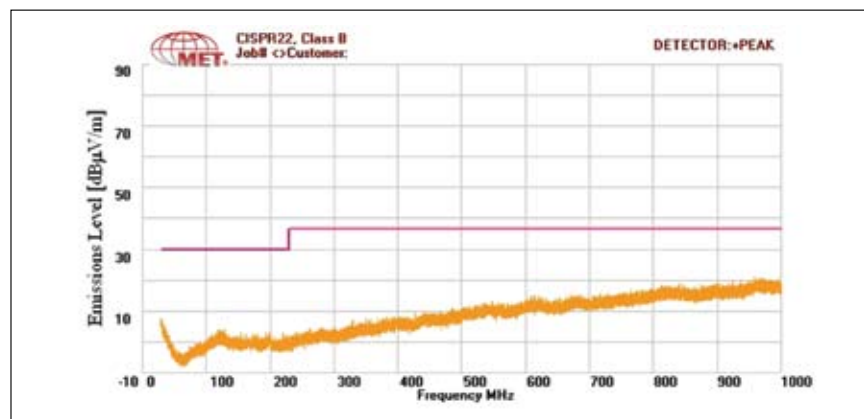


图 2: LTM8032 基线: 5 米暗室中的环境噪声 (没有设备处于运作状态)。

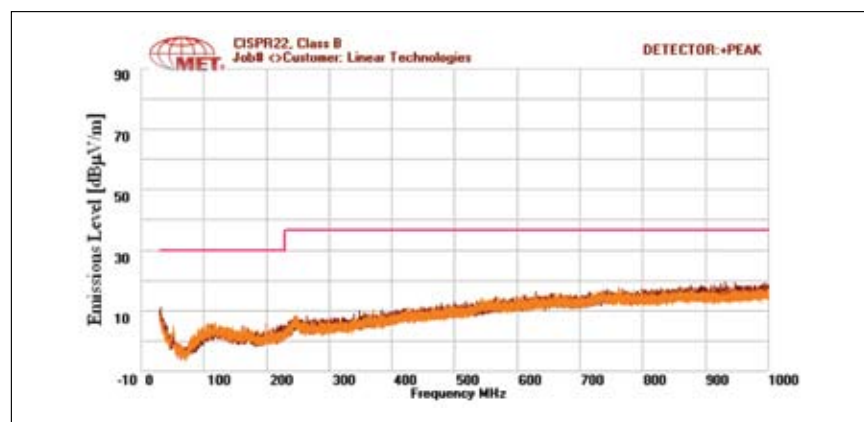


图 3a: LTM8032 产生的辐射 ($20W$ 输出、 $24V_{IN}$)。

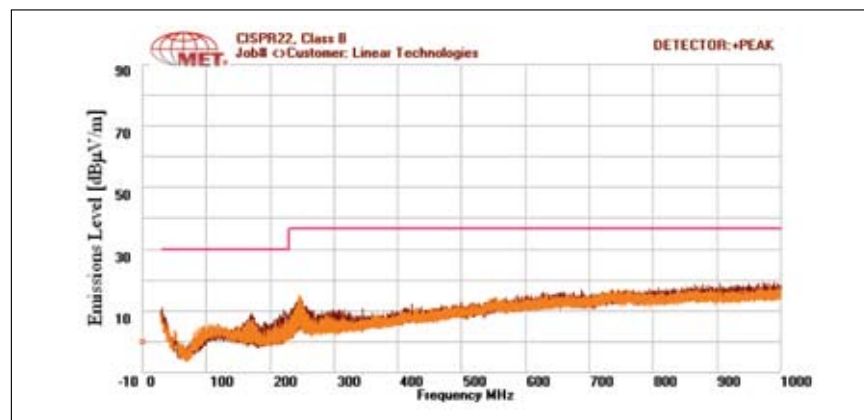


图 3b: LTM8032 产生的辐射 ($20W$ 输出、 $36V_{IN}$)。

图 4 示出了 12V_{IN}、10W 输出 (5V/2A) 条件下 LTM8032 产生的辐射。辐射水平同样非常之低。

另两款器件 LTM8020 和 LTM8021 也符合 CISPR 22 Class B 标准。LTM8020 的额定参数针对高达

36V_{IN} 和高达 5V_{OUT}/200mA 的条件而拟订，而 LTM8021 的额定参数则针对高达 36V_{IN}、5V_{OUT}/500mA 的条件而拟订。这两款器件在 MET 实验室的 10 米暗室中进行测试。如图 5 所示，该暗室的噪声略高于 5 米暗室。

和 LTM8032 一样，图中的红线为准峰值限值，而频谱图则示出了峰值测量。实际的噪声裕度比图 5 - 6 中示出的要大。

被测器件配置与 LTM8032 的情形相似。它们装配于电路板卡上，未使用大容量电容，并仅采用了所需的最小陶瓷电容。它们和负载一起安装在木制桌面上，电源则位于地板上。

12V 输入电压条件下的 LTM8020 辐射频谱示于图 5 (24V 和 36V 输入时的相关数据可登录 www.linear.com.cn 网站查阅)。输出功率为 1W (5V/200mA)。

12V 输入电压条件下的 LTM8021 辐射频谱示于图 6。输出功率为 2.5W (5V/500mA)。

概要：超低 EMI、低热耗散和紧凑型 DC/DC 系统级封装解决了 RF 系统中的 EMI 问题

针对诸如 RF 系统等关心 EMI 问题的噪声敏感型电子系统，凌力尔特设计了一个创新的 DC/DC μ Module 稳压器系列。这些器件已经通过了一家经核准的 EMI 评估测试实验室的相关测试。

这些 μ Module 稳压器提供了超低噪声性能和高效率、紧凑型封装、以及一种与线性稳压器相似的简单设计，原因是具有以下特点：

- 屏蔽电感器
- 谨慎的布局
- 片内滤波器
- 受控型 MOSFET 栅极驱动
- 低输入和输出纹波
- 内置于一个表面贴装型封装中的完整 DC/DC 电路

该 DC/DC μ Module 稳压器系列给所有关心噪声问题的系统设计师吃了一颗“定心丸”。LTM8020、LTM8021 和 LTM8032 是低噪声器件，并提供了面向无线系统的完整电源解决方案。

www.linear.com.cn

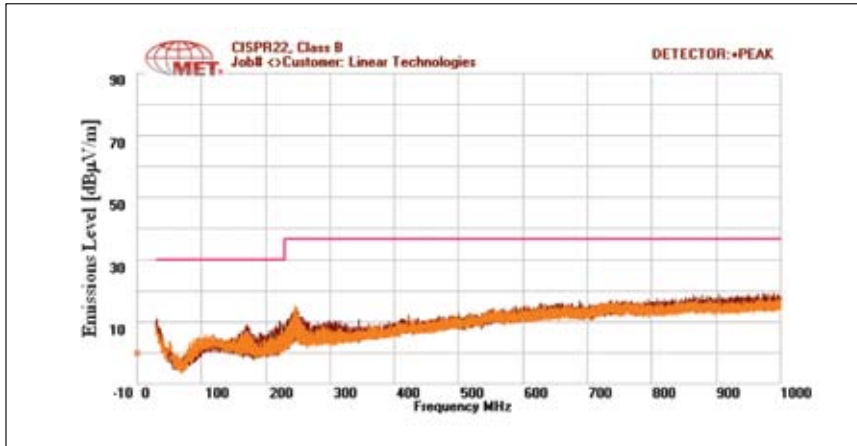


图4: LTM8032产生的辐射 (10W输出、12V_{IN})。

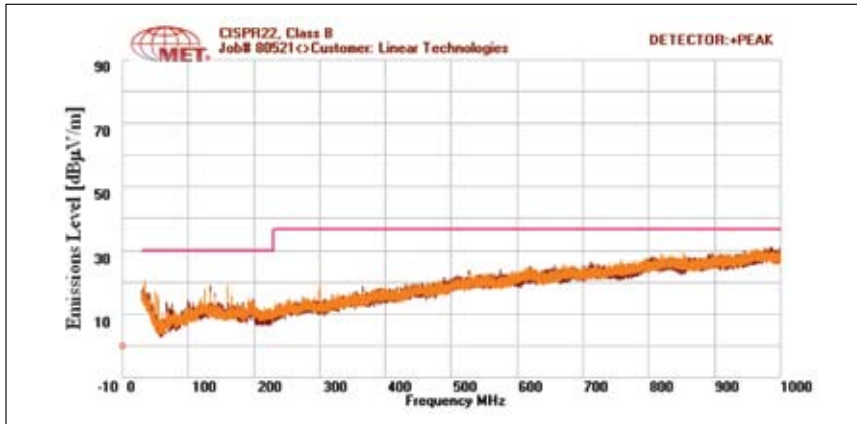


图5: LTM8020产生的辐射 (12V_{IN}、5V_{OUT}/200mA)。

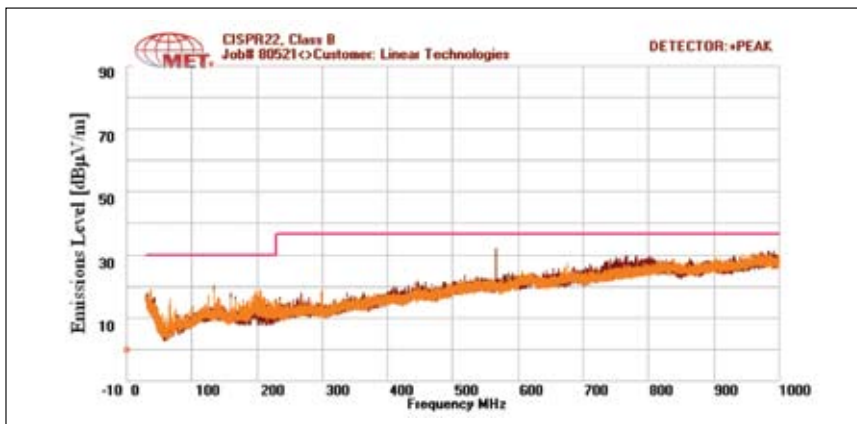


图6: LTM8021产生的辐射 (12V_{IN}、5V_{OUT}/500mA)。