

# 多种抑制和降低EMI的新技术在便携式设备及离线式开关电源中的应用

Application of various new technologies to suppress and reduce EMI in portable equipment and off-line switching power supply

鲁思慧

**摘要：**本文将对应用静音开关架构、无需EMI滤波器与频谱扩散等多种抑制和降低EMI新技术在便携式设备及开关电源中的应用作分析说明。

**关键词：**静音开关，传导和辐射，频谱扩散，滤波，超低噪声

**Abstract:** in this paper, the application of mute switch architecture, EMI filter and spectrum diffusion without EMI and other new technologies to suppress and reduce EMI in portable equipment and switching power supply is analyzed.

**Keywords:** mute switch, conduction and radiation, Spectrum diffusion, filtering, ultra-low noise

今天在许多便携式设备中，电磁干扰(EMI)成了一个越来越严重的问题。当传统的抑制或降低EMI技术已失去了魅力或无济于事时，则造成了高速技术所产生的EMI电平会日益增长。这就是说，电磁环境的复杂会对开关电源、变压器、PCB板布局以及便携式设备又提出了更高的要求。

值此本文将对应用静音开关架构、无需EMI滤波器与频谱扩散等多种抑制和降低EMI新技术在便携式设备及开关电源中的应用作分析说明。

既然要应用降低EMI的新技术，首要的是弄清EMI产生原因及带来的危害。

## 1 EMI产生原因及带来的危害

### 1.1 EMI产生原因

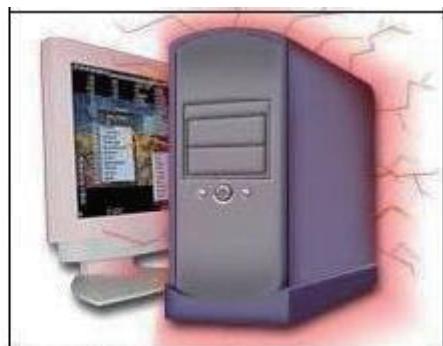


图1(a) 为电磁干扰信号示意图

众所周知，当电信号处于开关状态时，会产生EMI，一旦电信号状态发生变化，电流流动要产生电磁场。所产生的电磁场可通过不同途径与其它电磁信号相互作用。这些产生EMI互作用可能发生在设备内部或外部。其电磁环境(即设备或系统的工作环境)的EMI可分为传导干扰和辐射干扰两种(在离线式开关电源中尤为突出)，其图1(a)(b)所示为电磁干扰信号传输途径图。由于所有的EMI辐射都是由电流产生的，因此这两种干扰彼此相关。对于这两种干扰来说，辐射干扰更难预测和抑制。

那么与这EMI辐射有关的几个参数是哪些呐？

以周期时钟信号为例。某一固定距离(典型值为10m)上由周期信号产生的EMI最大值 $E_{max}$ =(单位:V/m)由下式给出：

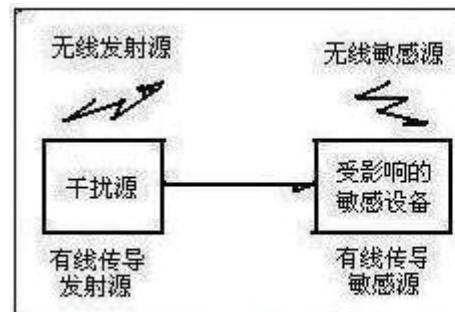


图1(b) 为电磁干扰信号传输途径图

$$E_{\max} = K \cdot A \cdot f^2 \cdot S$$

式中 K 为常数。该式说明确定一个时变信号所产生的 EMI 电平取决于以下几个关键因素：

\* 频率 f(单位：MHz)- 信号产生的 EMI 是“ $f^2$ ”的函数。当频率在不断地提高并且在大多数情况下也不可能为了解决 EMI 问题而将频率减小时，这一参数对 EMI 的影响将只增不减。随着技术的进步，电子产品的工作频率越来越高，EMI 越来越严重。

\* 环路面积 S(单位： $\text{cm}^2$ )- 电子系统中的每个信号都有一个回路，回路由信号线和接地回路组成。环路的面积越大，EMI 越大。环路面积主要取决于两个因素，即信号线的长度以及与接地回路是如何闭合的。在绝大多数系统中，信号线的长度又是由许多因素决定的，不能仅仅考虑 EMI，不可能所有的信号线都做得很短。好的印刷电路板设计，尽量使高频信号靠近接地面，以减少环路面积。

\* 屏蔽因子 S-EMI 可通过屏蔽来减少，屏蔽可导致这个因子小于 1。

\* 电流 I, EMI 是正比于流经信号线的电流。

## 1.2 EMI 带来的危害

\* 其外部 EMI 能够扰乱许多便携设备的运行，例如，包括音频设备、电视接收机、内置医疗设备和无线控制系统。由于这些 EMI 可能产生严重的后果。为此，国内外对这些早有规定了标准与要求。如果不能按照这些要求去阻止超过 EMI 限值的产品销售，就可能会损坏其它产品。

\* 其内部 EMI 会产生更加错综复杂的后果，可能造成设备内部其它信号无法预测的特性改变。这种 EMI 会导致难以诊断和修复的间歇发生的可靠性问题。如果设备包含可能被 EMI 严重破坏的无线整机电路，内部 EMI 将是一个更加严重的问题。

\* 离线式开关电源中存在的高电压高电流开关波形会产生电磁干扰(EMI)。而这些电磁干扰真是以传导和辐射的形式存在。因此，所有离线式电源的设计都必须考虑衰减或抑制 EMI 干扰，以满足可接受的标准要求。

由此 EMI 带来的危害则抑制和降低 EMI 的新技术也应运而生。

## 2 抑制和降低 EMI 的新技术

由 EMI 的产生，则如何抑制并降低 EMI 新技术就应运而生。应该说，对抑制和降低 EMI 的技术可有多种：如

果是通过接地、屏蔽和滤波的方法，但对于高速与频率高的电子系统或便携式设备而言，则就显得很传统了。为此应用改变 NRZ 测试码型功率谱的频率、幅度与应用频谱扩散技术是较理想的方案，值此作重点介绍。

### 2.1 通过改变 NRZ 测试码型的功率谱的频率或者幅度降低或消除 EMI

在数字通信系统中的 EMI 效应可以通过改变 NRZ 测试码型功率谱的频率或者幅度来降低或消除。通过改变数据率或码长可以实现这种改变。

随着数据速率增加，频谱零点间隔变大。而且，各条谱线的幅度降低，一部分功率被推到更高的频率。由于功率被扩散到更宽的频率范围，留在感兴趣频率的功率就更少了。实现这种效果的办法之一便是在原始数据流中加入额外的比特，等效增加了数据速率。

码长在 EMI 中也扮演了重要的角色，因为谱线幅度和间隔随着码长而变。较长的码降低了谱线幅度和间隔，而更短的码会增加谱线的幅度和间隔。为减少特定频率上的 EMI，可以改变码长，将谱线移出特定的敏感频段。另外，可以使用长码来降低 EMI 的幅度。

### 2.2 频谱扩散技术

\* 特征 通过展宽信号频谱来减少 EMI 的需求，根据这个基本概念加以拓展的主要优化技术被称为优化频谱扩散。

频谱扩散极大地减少了 EMI，而没有受频谱展宽时钟(SSC) 抖动问题的困扰。图 2 为所示的典型辐射频谱扩展技术的效果。图 2 中例举是采用了 MAX9705 芯片(超低 EMI 功放)得到的辐射数据，展示了扩谱调制作用。

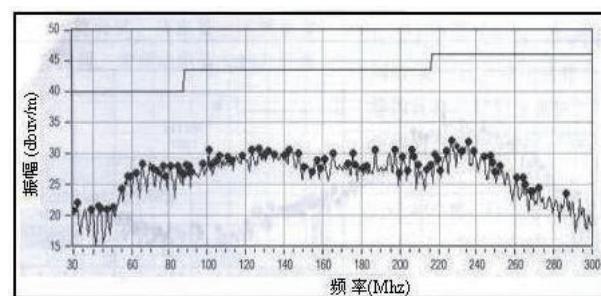


图 2 为所示的典型辐射频谱扩展技术的效果

其图 3(a) 表示了为频谱扩展技术降低 EMI 的基本概念。初始源信号与数字噪声源的输出相乘。合成信号被送往终端，在那里与一个相同的噪声源相乘，产生出一个

原始信号的精确复制品。

而图 3(b) 为频谱扩展信号示意图, 以显示了系统里的信号。因为乘法运算是对称的, 恢复后的源信号和初始源信号是相同的。低的 EMI 信号的全部边缘与源信号的边缘都同时出现在相同的位置。因此, 恢复后的源信号其边缘与原来的边缘精确地出现在同一时间。采用了精细分析的算法来优化噪声源, 以致于合成信号具有非常有效的扩展频谱, 导致 EMI 的峰值非常低。这个技术能够使 EMI 降低 30dB(1000 倍) 或更多。

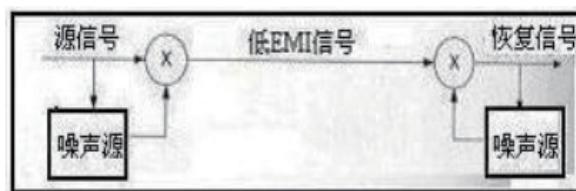


图 3 (a) 表示了为频谱扩展技术降低 EMI 的基本概念示意图

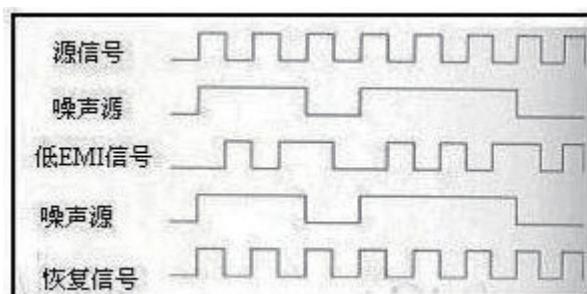


图 3 (b) 为频谱扩展信号示意图

#### \* 应用环境

频谱扩散技术最初的商业应用是为了证明这项技术的有效性。在许多个人电脑和服务器系统上, PCI Express 迅速地成为 I/O 互连的标准, 并且要求许多 100MHz 的参考时钟信号传遍整个主板。其 PCI Express 产品将提高参考时钟频率, 使其达到 200MHz 至 250MHz 之间的某一个值。在这一环境下, 长的高频信号的激增提供了应用频谱扩散技术的绝好机会。

为了能保证现代电子系统和便携式设备之间能够协调工作, 应当进行电磁兼容的测试与抑制或降低 EMI 技术的应用, 其虚拟暗室 EMC 测量系统不失为一种简易实用的方法, 而降低 EMI 技术的应用是要根据干扰源的产生而在

产品设计作出选择。

### 3 抑制和降低 EMI 的新技术的应用

根据 EMI 给便携设备与离线式开关电源中带来的危害, 在此将从这两个方面对抑制和降低 EMI 新技术的应用作分析说明。而在便携设备中应用仅以音频 / 视频接口的 EMI 抑制和降低为例作重点说明, 而对离线式开关电源中抑制和降低 EMI 以基于静音开关架构与无需 EMI 滤波器稳压模块的应用为例作重点说明。

#### 3.1 在音频 / 视频接口中抑制 EMI 技术的应用

可以采用多种方法来满足 EMI/EMC 标准中所限定的条件。但这些方法大都可以归入屏蔽和滤波两大类。在实际产品中, 这些方法都要与特定的应用相结合, 实现全面的 EMI 抑制解决方案。例如, 在大多数产品中, 都会用一个金属壳体来屏蔽辐射, 同时利用 LC 或 RC 滤波器来降低输入 / 输出线的传导干扰。此外, 还可以使用一个抖动时钟来扩展频谱范围, 以降低特定应用的滤波或屏蔽要求。

现代音频 / 视频模拟接口的尺寸不断减小, 而性能期望值却很高, 这对设计提出了非常严峻的挑战。

在过去, 可以采用大型外部滤波器和 / 或屏蔽电缆来解决这些问题。但是这些方法不仅增加了成本, 而且还影响了产品性能和增大了产品尺寸。随着这些产品的尺寸不断缩小, 演变为当前的音频 / 视频播放器, EMI/EMC 解决方案必须在保持甚至改善系统性能的同时减小产品尺寸。为实现这一目的, 开发出了诸如 MAX9511 图形视频接口和 MAX9705D 类音频放大器等小型器件, 这些器件能够提供优异的 EMI 性能。首先, 我们应该了解音频 / 视频接口设计中必须解决的各种 EMI 问题, 然后给出解决这些问题的方法。

#### \* 音频接口中时钟扩谱调制抑制 EMI 技术的应用

方案 音频接口要在不产生 EMI 的情况下获得效率和性能, 要解决一系列不同的问题。在便携式应用中, 我们想要最大限度延长电池寿命, 而不期望效率低下的设计产生热量, 值此以广泛应用的 D 类放大器为音频接口典例作说明。

D 类放大器广泛应用中的问题是使用 PWM 来实现高效率, 这与开关电源很相似。使用非屏蔽扬声器连线接至输出端时, 连线会像天线一样辐射 EMI。尽管时钟频率 (典

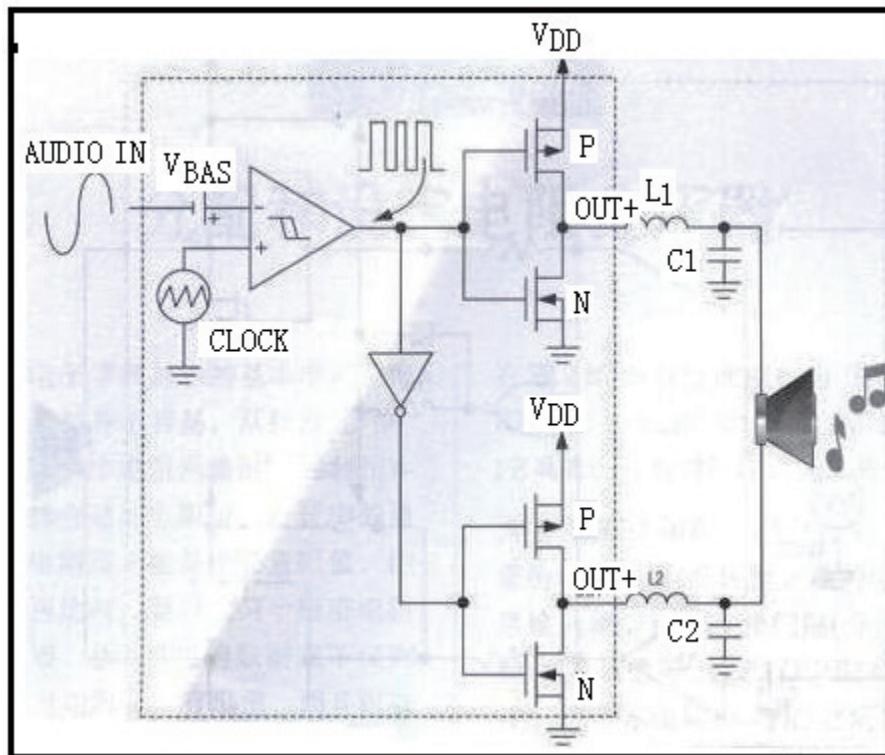


图 4 在音频 / 视频接口中抑制 EMI 技术的应用 (在 D 类放大器中应用) 例举

型值为 300kHz 至 1MHz) 高于音频频谱, 但它是一个具有大量谐波分量的方波。用来滤除该谐波分量的滤波器尺寸比较大, 而且成本又高。在膝上型电脑等便携应用中, 由于尺寸原因, 这不是一个可行的解决方案。

一般的设计拓扑无法同时解决这两个问题。为使输出音频功率达到最大, 便携式应用采用桥接负载 (BTL) 的连接方式, 此时扬声器的两根连线都得到有效驱动, 见图 4 所示。

在 D 类放大器中, 利用比较器监视模拟输入电压, 将输入电压与一个三角波进行比较。当三角波的幅度高于音频输入电压时, 比较器翻转, 同时反相器产生互补的 PWM 波形来驱动 BTL 输出级的另一侧。由于采用了这种 BTL 拓扑, 输出滤波器实际上需要两倍于单端音频输出的元件数量: 两个电感 (L1 和 L2) 和两个电容 (C1 和 C2)。这两个电感需要处理峰值输出电流, 因此尺寸都比较大, 并占据了大部分空间。

**技术特征** D 类放大器可利用扬声器的线圈电感和分立电容构成滤波器, 从而省掉额外的滤波器。由于扬声器连线仍会辐射相当数量的能量, 这种方式仅限于内部扬声器。

器。有一种做法是改变开关过程, 使得放大器保持高效的同时又能减少 EMI, 从而只需要一个小型滤波器。要实现这一目的, 可以调制时钟频率, 以降低基于每赫兹带宽的能量。这种方法称为时钟扩谱调制, 或时钟频率抖动。

### 3.2 离线式开关电源中应用抑制 EMI 干扰

离线式开关电源中存在的高电压高电流开关波形会产生电磁干扰 (EMI)。这些电磁干扰以传导和辐射的形式存在。因此, 所有离线式电源的设计都必须考虑衰减或抑制 EMI 干扰, 以满足可接受的标准要求。值此以 DC/DC 电源转换器为例对其抑制 EMI 干扰的新模块应用技术作研讨。

#### \* 问题的提出

拥挤的应用电路板为高性能 DC/DC 负载点转换器留出的安放空间极为狭小。不仅如此, 在组件安装密度很高的情况下, 电磁干扰 (EMI) 也是一个重大问题, 因而限制了可接受电源解决方案的电场。为容易地满足这些限制因素, 应用 μModule 稳压器是一种较理想的选择。因该稳压器器件结构紧凑, 使之能够安置在 PCB 正面的有限空间,

或者凭借其扁平的外形而布设在 PCB 的背面。尤其是采用静音开关架构，使其无需额外的滤波或屏蔽组件就能通过严格的 EMI 测试，从而简化设计和生产。故实现了为容易地满足这些限制因素的要求，具体分析如下。

\* 基于 静音开关架构与无需 EMI 滤波器稳压模块的应用

该稳压模块 ( $\mu$ Module) 采用静音开关 (SilentSwitcher) 架构可以将 EMI 降至最低，以实现低 EMI 热循环，这最大限度降低了辐射发射，其内置扩频调频 (SSFM) 技术有助于降低传导和辐射 EMI。从而使其能够容易地满足严格的电磁兼容性标准。图 5 (a) (b) 为典型的应用电路及其效率示意。

从图 5 (a) 中红线框内稳压模块内无需 EMI 滤波器，

在图中由 7V 至 40V 输入、而输出为 5V/1.2A 所需组件极少。

基于静音开关架构与无需 EMI 滤波器稳压模块的应用例举

其一，稳压模块 ( $\mu$ Module) 是一款输入电压为 40V，连续电流为 1.2A，峰值电流为 1.75A 的降压  $\mu$ Module (电源模块) 稳压器。静音开关架构最大限度地降低了 EMI，同时可在高达 2.2MHz 的频率下实现高效率。该 LTM8074 封装内包括开关控制器、电源开关、电感器和所有配套组件。它的工作输入电压范围为 3.2V 至 40V，它支持 0.8V 至 12V 的输出电压范围和 200kHz 至 2.2MHz 的开关频率范围，这两个范围各由一个电阻器进行设置。只需要输入和输出滤波电容器

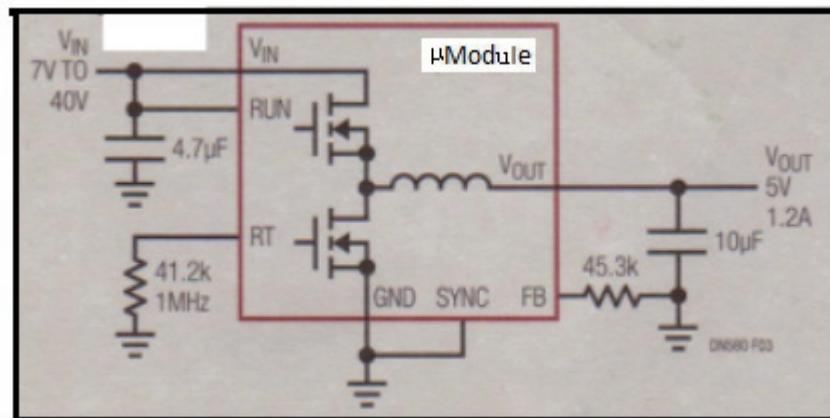


图 5 (a) 为  $\mu$ Module 典型的应用电路

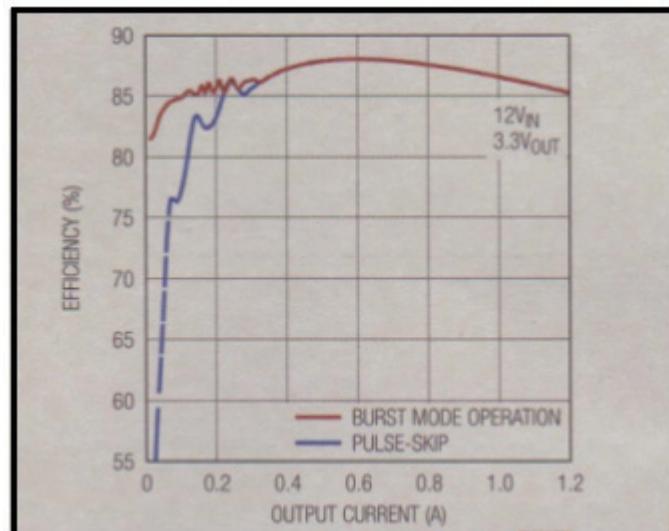


图 5 (b) 为  $\mu$ Module 典型的应用效率示意

即可完成该设计。该稳压模块在符合 RoHS 标准的扁平 4mm × 4mm × 1.82mm 表面贴装型 BGA 封装中内置了控制器、电源开关、电感器和所有的支持性组件，因而可以利用 PC 板底面的未用空间，以实现高功率密度负载点调节。在承受负载的情况下之外壳温度升幅极小，并具有低热阻。内部控制器的峰值电流模式控制架构可实现快速瞬态响应和优良的环路稳定性。

其二，稳压模块还具有可编程软启动、输出电压跟踪、电源良好指示器和使能控制，以及多种导通模式选项，包括脉冲跳跃模式、突发模式 (BurstMode) 操作和扩展频谱调制，从而进一步优化了轻负载效率和 EMI 性能。

其三，具有内涵超低噪声 CISPR 22 Class B 技术。

其 CISPR 22 是 EMC( 电磁兼容 ) 的中的 EMI( 对外干扰 ) 标准，而 Class B 是电机绝缘等级。

众所周知，开关稳压器自然会产生辐射 EMI，因为它们的运行需要在相对高的频率下经历高  $di/dt$  过程。而  $\mu$ Module 的低 EMI 性能，源于其内置的专有静音开关架构，而并未依赖繁琐的 EMI 缓解方法，即无需降低开关频率、增设滤波器电路、或安装屏蔽等缓解 EMI 方法 ( 见图 7 所示上端 Class B 峰值限制特性曲线 )，以实现满足 CISPR 22 Class B 等辐射 EMI 标准而又无需采用外部电路或特殊的布局方法。

图 6 为实现满足 CISPR 22 Class B 等辐射 EMI 标准而又无需采用外部电路或特殊的布局方法示意图。

从图 6 可知，它是对于 12VIN 至 3.3VOUT/1.2A 的 EMI 性能 ( 见图 6 所示下端红线群毛尖峰值特性与 CISPR 22 Class B( 图 6 所示上端 Class B 峰值限制特性曲线 ) 要求的比较示意图。图 6 所示上端是无 EMI 滤波器的 Class B 峰值限制特性曲线比是图 7 所示下端红线群毛尖峰值特性要干净平滑得多。

由此可知，该稳压器是一种覆盖宽输入和输出电压范围的紧凑型 1.2A 负载点的优异  $\mu$ Module 稳压器。这是由于该器件具有独特架构以及实现内置的低 EMI 性能和方便设计可调节能力的优异性能，从而使其可满足众多应用的要求，即能从便携式设备到高组装密度工业电路板均在其列。如今已有不少基于静音开关架构与无需 EMI 滤波器稳压模块获得广泛应用，其中 LTM8047 稳压模块是一典例，它具有上述离线式开关电源中抑制 EMI 干扰的优异性能与特征。

#### 4 后话

便携式设备及开关电源中降低传导 EMI 的设计方法，使其低于通常的标准限制要求。而对便携式设备与变压器、PCB 板布局以及 EMI 滤波器进行合理适当的设计，不仅可以降低传导 EMI，而且抑制辐射 EMI 干扰，同时可以提高电源的 EMI 抗干扰度。这些技术同样可用在直流输入电压的情况，比如电信及电视电缆通讯（或电缆通信）等设备中。

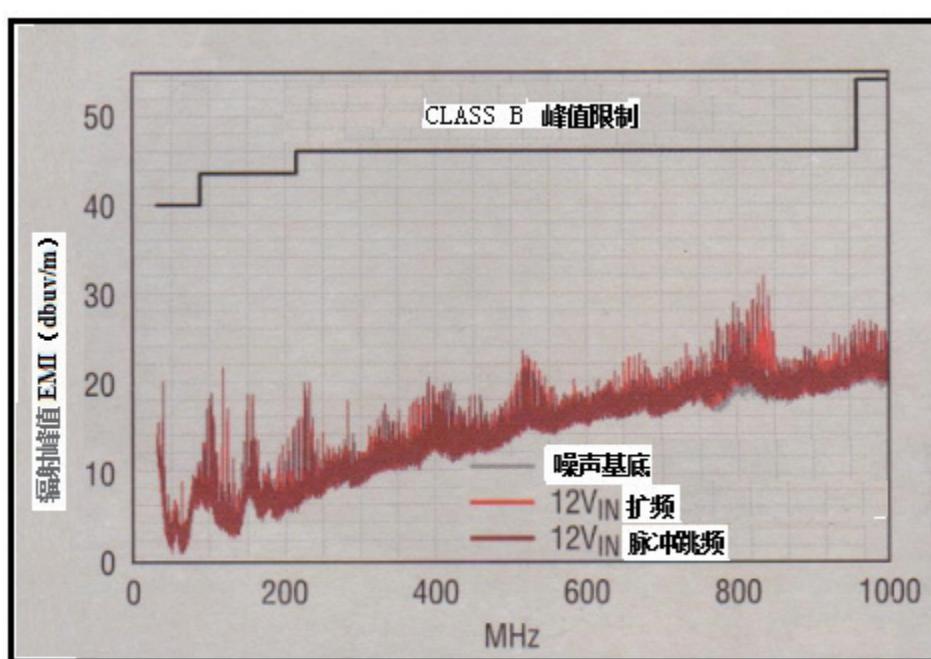


图 6 为实现满足 CISPR 22 Class B 等辐射 EMI 标准而又无需采用外部电路或特殊的布局方法示意图