

Application Note

使用 DRSS 降低充电器 EMI：实际效益与实验室验证方法



Christian Moyer

摘要

本应用手册介绍了双随机展频 (DRSS) 的概念及其在更大限度降低充电器 EMI 方面的优势，并重点介绍了 BQ25773 的运行和配置。本文提供了在实验室中评估 EMI 性能的实用指导，包括建议的测试设置以及 DRSS 启用与禁用状态下 EMI 频谱的比较。测试结果表明，启用 DRSS 可有效抑制 EMI 的影响，从而符合 IEC-CISPR 32 EMI 规范。

内容

1 简介.....	2
2 双随机展频 (DRSS).....	3
3 为什么需要 DRSS?.....	3
4 BQ25773 DRSS 评估.....	4
4.1 设备.....	4
4.2 设备设置.....	4
4.3 评估和结果.....	5
5 总结.....	6
6 参考资料.....	6

插图清单

图 1-1. 展频频率调制降低 EMI.....	2
图 2-1. DRSS 实现.....	3
图 4-1. 无抖动 (已禁用).....	5
图 4-2. 1X 抖动 ($\pm 2\%$).....	5
图 4-3. 2X 抖动 ($\pm 4\%$).....	5
图 4-4. 3X 抖动 ($\pm 6\%$).....	5

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

展频也称为频率抖动，广泛用于开关稳压器。其通过将窄带信号转换为宽带信号，将能量分散在多个频率上，而不是将能量集中在基本开关频率和谐波上，以此降低电磁干扰 (EMI)。能量守恒要求总能量保持恒定，但将此能量分散在多个频段上，可尽量减小峰值能量。因此，附近的敏感电路较少受到干扰的影响。图 1-1 说明了随时间操作时钟频率，如何分散开关电路生成的能量。

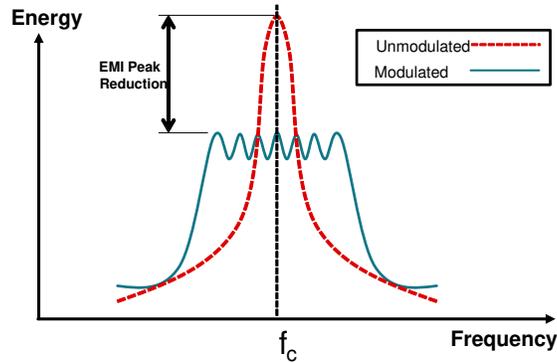


图 1-1. 展频频率调制降低 EMI

2 双随机展频 (DRSS)

模拟三角抖动和伪随机调制等传统方法可以有效地降低特定范围内的峰值 EMI，但这些方法通常很难在多分辨率带宽 (RBW) 上保持一致的性能。这些挑战在充电器设计中尤为关键，设计必须满足传导 EMI 的限值要求，同时又不能引入过大的输出纹波、可闻噪声（如啸叫）或稳定性问题。

双随机展频 (DRSS) 通过结合两个独立的变化层来应对上述局限：一是低频三角扫描，二是更高频率的假随机元件。三角扫描提供受控且可预测的频率偏差，而假随机调制可防止重复频谱模式累积到次级峰值。通过结合这两种机制，DRSS 可以确保开关频率绝不会保持在任何足够长的值上，从而产生主要的窄带发射。此举可在维持稳定、高效运行的前提下，提高多个频带上的峰值 EMI 性能，产生更平滑的频谱分布，并显著降低峰值振幅，同时不会对平均开关行为产生可察觉的影响。

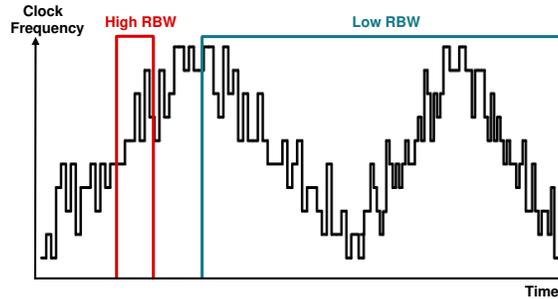


图 2-1. DRSS 实现

3 为什么需要 DRSS ?

IEC-CISPR 32 是面向多媒体设备 (MME) 的国际无线电干扰标准，规定了为无线电频谱提供足够保护级别的要求，以及试验测量再现性和结果重复性的规程。

随着人们对更高效充电器的需求、对更快开关速度的需求不断增长。然而，更快的开关速度会导致 EMI 增加。此外，向更高的直流输入电压和更高的电感器电流（例如与 EPR 范围相关的电流）的演进，进一步加剧了 EMI 挑战。由于工程限制，电池充电器系统可能很难仅使用布局和滤波来满足发射限制。为满足 IEC-CISPR 32 标准，一些较新的充电器器件包含 DRSS 功能，可在无需修改电路板布局的前提下提高系统级 EMI 性能。

4 BQ25773 DRSS 评估

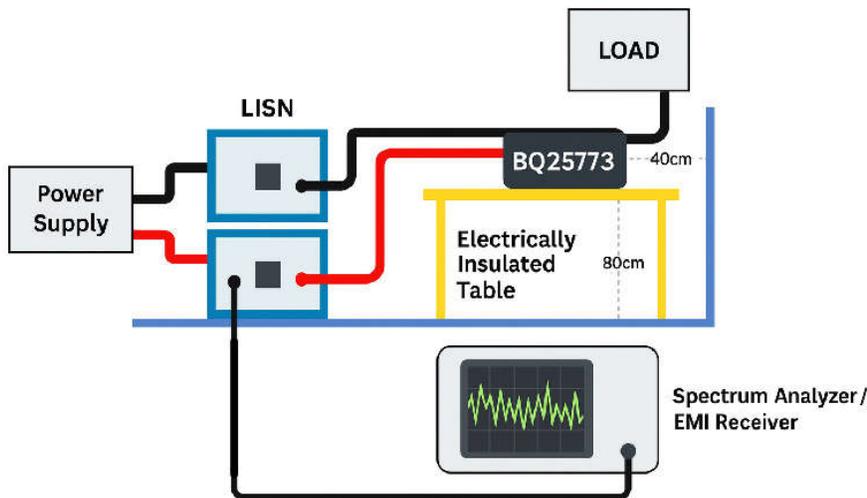
BQ25773 是 TI 的一款电池充电器，集成了双随机展频功能，可帮助降低开关相关的 EMI。虽然下文提到的具体实现细节可能因器件而异，但底层 DRSS 概念和 EMI 优势广泛应用于支持此功能的 TI 所有电池充电器。

4.1 设备

要评估 BQ25773 的 DRSS 功能，需要使用以下设备：

1. **TI EVM**：BQ25773 评估模块 (EVM)。
2. **EMI 分析仪/信号电缆**：Rhode 和 Schwarz ESRP3 或等效的符合 CISPR 标准的 EMI 测试接收器。
3. **EMC 测试电波暗室**：用于电磁兼容性 (EMC) 测试的屏蔽室。
4. **LISN**：两条线路阻抗稳定网络 (LISN)，每条电源线各配一个。
5. **电源**：直流电源，能够提供 20V 电压、5A 电流。
6. **负载**：Kepco BOP36-6M，直流 0 至 $\pm 36V$ ，0 至 $\pm 6A$ ，或等效设备。在无真实电池的情况下进行测试时，请在电池输入端连接 2000uF 的电容。
7. **计算机**：至少有一个 USB 端口和一条 USB 电缆的计算机。
8. **通信套件 EV2400 或等效通信适配器**。

4.2 设备设置



按照以下步骤评估 BQ25773 的 DRSS 功能

1. 将 36V 电源连接到两个 LISN 的输入端，每条电源线各一个。
2. 将 LISN 的输出连接到 BQ25773 EVM 的输入 (J1)。
3. 将负载/电池仿真器连接到 BQ25773 EVM 的输出端 (J3)。
4. 将 EMI 分析仪信号电缆连接到 LISN 正极信号输出。
5. 使用 EV2400 与 BQ25773 进行通信，以便根据 [BQ2577xEVM 评估模块](#) 配置电路板。
6. 配置 EMI 接收器以进行 CISPR32 评估。所需的设置取决于所使用的 CISPR 32 版本和特定的 EMI 接收器型号
7. 使用 REGx3D[3:4] 来配置 DRSS 频率抖动。

在评估 DRSS 功能时，TI 建议首先在禁用抖动的情况下，在正常运行条件下捕获传导 EMI 测量，然后在启用抖动的情况下进行评估。

4.3 评估和结果

所有 DRSS 测试结果均在相同测试条件下评估：输入为 36V/4A，输出为 15.4V/9A（功率约 140W），开关频率为 600kHz。

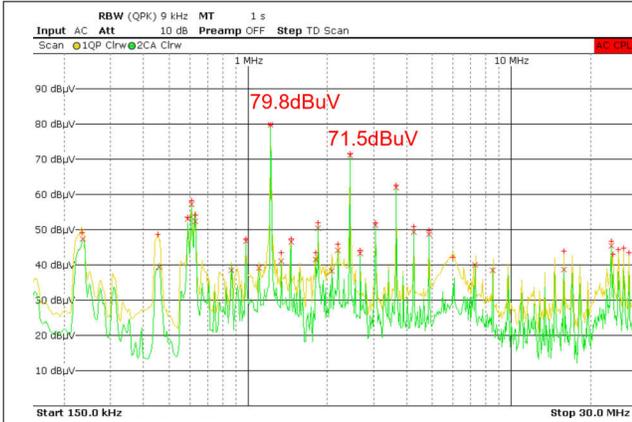


图 4-1. 无抖动 (已禁用)

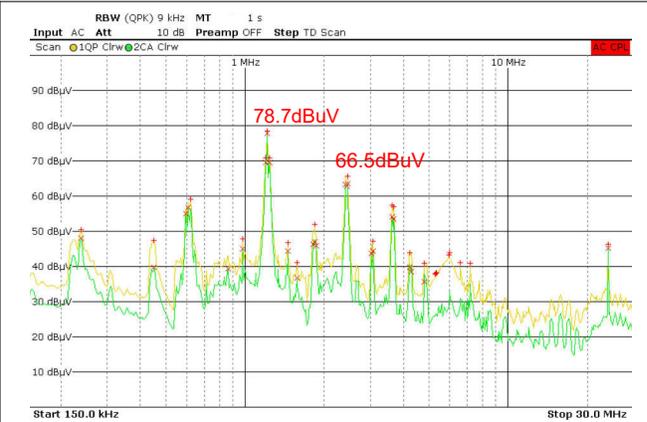


图 4-2. 1X 抖动 (±2%)

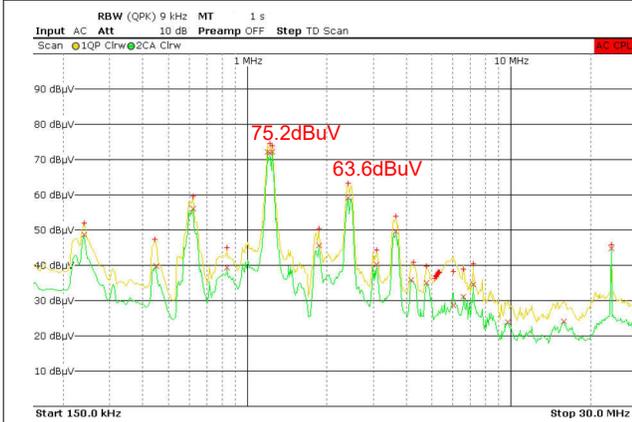


图 4-3. 2X 抖动 (±4%)

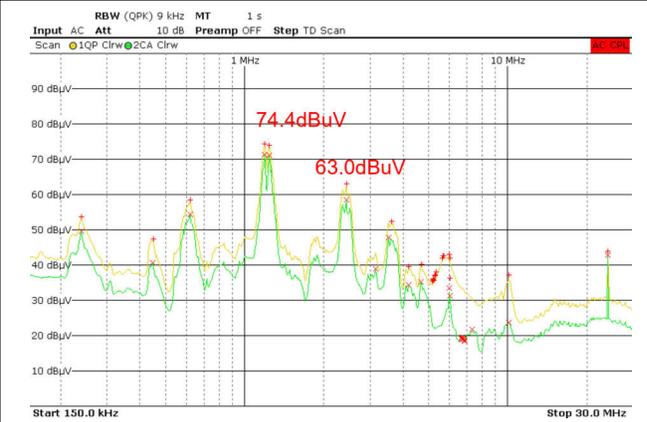


图 4-4. 3X 抖动 (±6%)

禁用抖动后，基线 EMI 准峰值在大约 1.2MHz 时为 79.8dBuV，相当于大约两倍的开关频率 (600kHz)。与无抖动相比，启用 $\pm 2\%$ 抖动可使噪声峰值略有降低，但总体改善有限。将抖动范围增加到 $\pm 4\%$ 可使噪声峰值更明显地降低，这表明抖动开关频率有助于降低主要的 EMI 峰值。 $\pm 6\%$ 抖动实现了出色的 EMI 性能，其中噪声峰值相对于基线降低了大约 5.4-8.5dBuV。总体而言，这些结果清晰地表明：DRSS 技术可有效降低 EMI 准峰值的量级。

5 总结

本应用手册介绍了双随机展频 (DRSS) 在更大限度降低充电器 EMI 方面的优势。本文提供了使用 BQ25773 EVM 评估 DRSS 的实用指南，包括建议的测试设置以及 DRSS 启用与禁用状态下 EMI 频谱的比较。测试结果证实，DRSS 功能可被有效用于降低峰值 EMI，从而满足 IEC-CISPR 32 EMI 规格。

6 参考资料

- 德州仪器 (TI)，《[了解噪声传播技术及其在开关模式电源应用中的影响](#)》技术研讨会资料。
- Timothy Hegarty. 《*The Engineer's Guide To EMI In DC-DC Converters (Part 1): Standards Requirements And Measurement Techniques*》，How2Power Today，2017 年 12 月。
- Pareschi, F.; Rovatti, R.; Setti, G. 《*EMI reduction via spread-spectrum in DC/DC converters: State of the art, optimization, and tradeoffs*》IEEE Access。2015, 3, 2857 - 2874.
- CISPR 25:2016，第 4 版 (或 EN 55025:2017)，《*Vehicles, boats and internal combustion engines - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers*》。
- 德州仪器 (TI)，《[EMI 降低技术，双随机展频](#)》应用指南。

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月