



10W 无线电源系统的设计技巧

作者: **Norelis Medina**, 系统工程师, 德州仪器 (TI)

Upal Sengupta, 应用经理, 德州仪器 (TI)

在手机和其它小型便携式应用中, 无线电源系统不断得到认可。现有标准受限于 5W 电力传输, 但是智能手机、平板电脑和便携式工业及医疗应用不断增长的电力需求对供电能力提出了更高的要求。随着输出功率的增加, 必须在系统设计最初就将效率和热性能考虑在内。这篇文章回顾了可批量生产的 10W 无线电源系统的实现方式, 并提供了与系统性能优化有关的系统设计指南。我们还给出了一些已经在 10W 应用中成功测试的收发器 (TX) 和接收器 (RX) 线圈的示例。

无线电源多年前就已经出现, 形式也有多种, 不过最近才由于行业标准的出现而变得更为普遍。智能手机和小型平板电脑是目前使用无线电源的主要产品类别。然而, 这项技术也开始扩展到可穿戴设备以及医疗和工业应用。当无线电源与无线连通技术配合使用时, 就可以使无外部接头、完全密闭设备的设计成为可能。这使得无线电源成为所有需要在室外或潮湿环境中运行的便携式系统的理想选择。

现有的工业标准只有有限的功率输出能力, 常在 5W 范围内。更高功率标准的开发正在进行当中, 截至 2014 年 12 月, 还未完全确定。因此, 那些需要更高功率水平来为较大容量电池充电的器件就需要定制或专有设计。虽然系统设计人员有可能使用标准组件“从零开始”, 但是这种方法就很难实现终端产品快速投放市场的这一目标。现在市面上的互补发射器和接收器芯片组可实现针对便携式应用的 10W 无线电源系统的即刻设计, 其中包括一个和两个电池节电池组架构。

无线电源系统架构

图1中显示的是一张紧密耦合智能无线电源系统的简化图。如果从原理图的角度来看，它看起来很像一款变压器耦合隔离式电源转换电路。然而在这里，初级线圈和次级线圈是完全分离开来，而不是绕在同一磁芯上的。电能从发射器（初级，或TX）端传输到接收器（次级，或RX）端，而接收器电路以数字脉冲的形式将反馈发送回磁耦合器件。

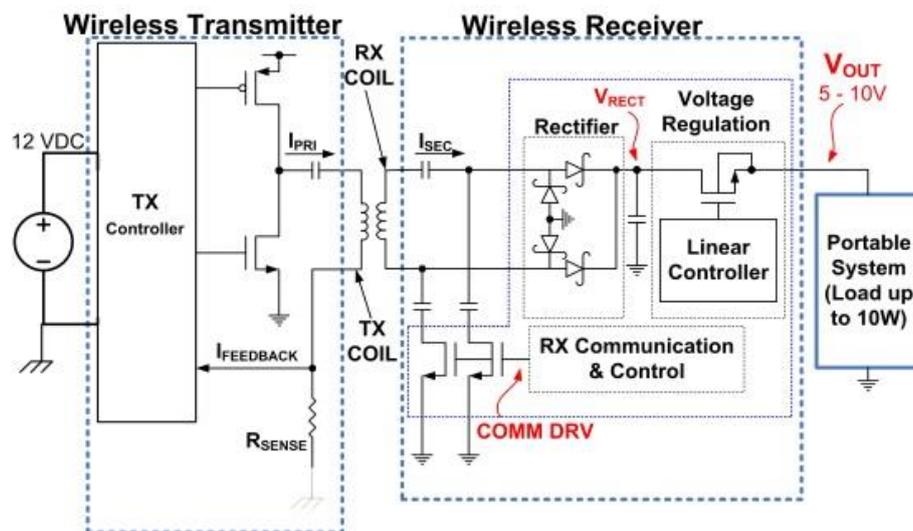


图1：典型无线电源系统架构图

参考文献 [2] 详细介绍了无线电源的基本概念，而参考文献 [3 至 6]为无线电源器具提供了其它系统设计指南。

将功率性能扩展至 10W 就不得不有几点额外的考虑。首先，必须将硅功率元件设计成能够处理所需的峰值和持续功率水平。在发射器端，功率 FET 元件在发射控制器的外部，所以可按照需要将它们升级为能够处理峰值电流。在接收器端，解决方案的小尺寸是十分重要的，集成 FET 器件被用来提供单芯片器具。为了提供高效率并改进热性能，与之前的 5W 接收器相比，RX 控制器中的 FET 具有更低的 $R_{DS(on)}$ 。磁性元件，即 TX 和 RX 线圈也必须具有能够处理 10W 电源传输所需的更高峰值电流的额定值。最后，由于 10W 系统的磁场强度更高，相对于 5W 系统来说，接收器端的屏蔽范围就需要扩大。这对于为系统中的金属元件提供更好的屏蔽，最大限度地降低接收器端的“临近、接触金属”损耗，并尽可能地提高系统效率也是有必要的。

现在再来参考一下图 1，我们注意到 RX 控制器提供到 TX 控制器的反馈，要求 TX 根据不同负载条件，以及线圈对齐/耦合效率等的需求来改变其输出功率。一种改变输出功率的常见方法是用恒定振幅/可变频率 ac 信号来激励线圈。另外一个替代方法是用可变振幅/固定频率激励。

可变频控制免除了对于 TX 端上可调前置稳压级的需要，而是依靠 TX/RX 谐振电路的共振调谐。当 TX 工作频率接近共振点时，最大可能功率从 TX 传输到 RX。为了减少传递到 RX 端的功率，TX 控制器增加其频率，使其远远高于共振峰值。在 RX 需要较少的功率等较轻负载情况下，TX 频率往往会增加。然而，这个方法使得电力传输/控制过程在很大程度上取决于线圈调节。当在较高功率水平下使用时，一个可变频率架构在电磁干扰 (EMI) 控制方面也会提出一些问题。

10W 发射器系统运行在固定频率下，但是却使用一个可调前置稳压器来改变用于线圈激励的直流电压轨。一个全桥电路被用来生成用于 TX 线圈的交流激励电流。图2中显示的是一个定频 (10W) 无线电源发射器系统的基本方框图。当 RX 需要更多的输出功率时，直流电压轨为 TX 线圈功率级提供的电压会增加。直流电压随着 RX 负载的下降而减少。

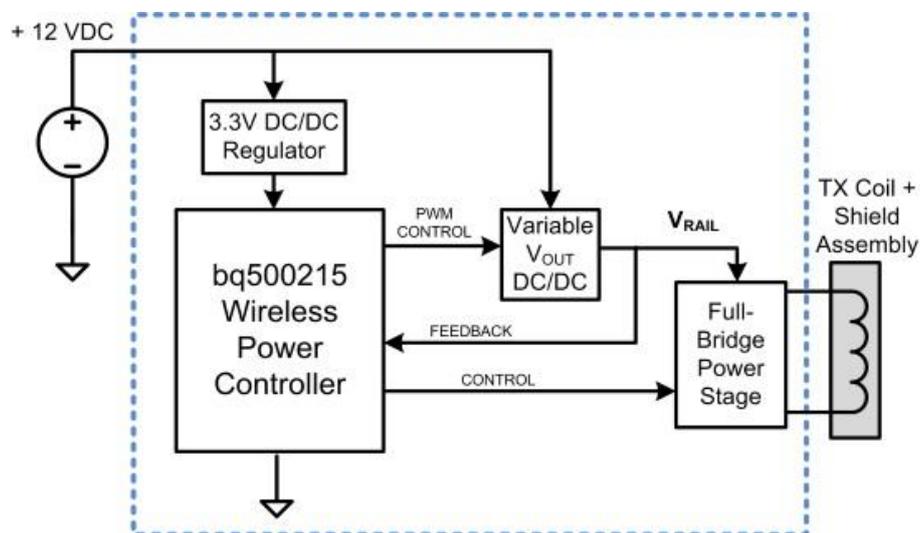


图2. 具有一个无线数字控制的 10W 无线电源发射器

10W 系统的可调输出电压和热性能

第一代 5W 无线电源系统通常在接收器端产生一个固定的 5V 输出电压。这已经足够为一个充电率在 1A 范围内的单节锂离子电池充电了，而从本质上讲，这个电源系统与随处可见的 USB 类型电源很相似。然而，随着便携式器件内电池容量的增加，要保持快速的充电时间就需要更高的电流。

bq51025 10W 无线接收器输出电压可在 5V 至 10V 的范围内用外部反馈电阻器进行调节。这样就可实现对一节或两节串联电池配置的充电，并且在与一个宽输入电压范围开关模式 NVDC 类型充电器组合在一起时，能够保持单节电池充电情况下的高效率^[7]。在诸如无线 RX 输出情况下，NVDC 充电器架构在减少较高电压电源所需的输入电流的同时，可实现低压电池的高效充电。图3显示的是无线

接收器电路板在为负载提供一个 10W 电源的同时，在 5V、7V 和 10V 输出设置下的热响应（分别为图. 3a, b 和 c）。很明显，10V 输出情况下产生的热量最少，应该在高频开关模式充电器可用于电池充电的情况下使用。

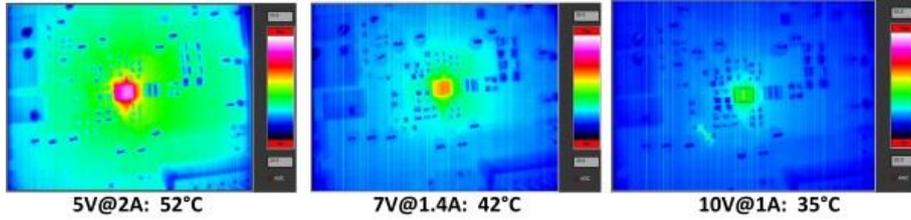


图3. 无线接收器在 10W 负载条件下的散热测量。

接收器电路上的串联谐振电容器（图4 中的 C_1 ）对于优化热性能也同样关键。实际操作中，将多个电容器并联在一起来提供所需的总电容值。

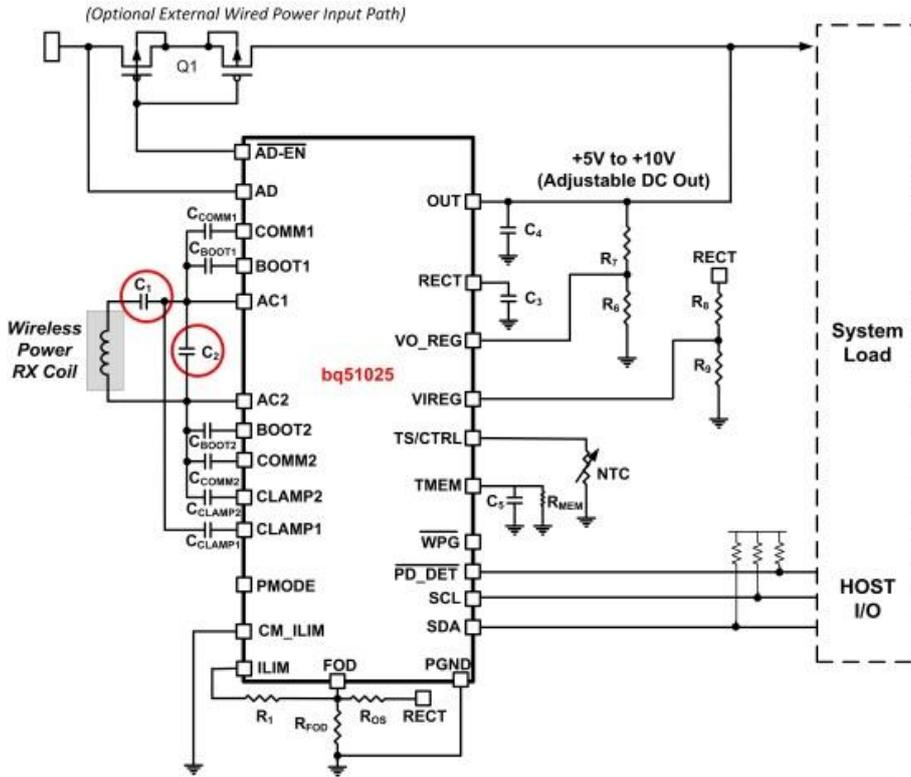


图4. 无线电源接收器和关键谐振电容器

在使用 COG（较大封装，低串联等效电阻 (ESR)）和 X7R（较小封装，较高 ESR）时的热性能差异是十分可观的（图5）。

Effect of Capacitor Type at 10W Load (7V@1.4A)

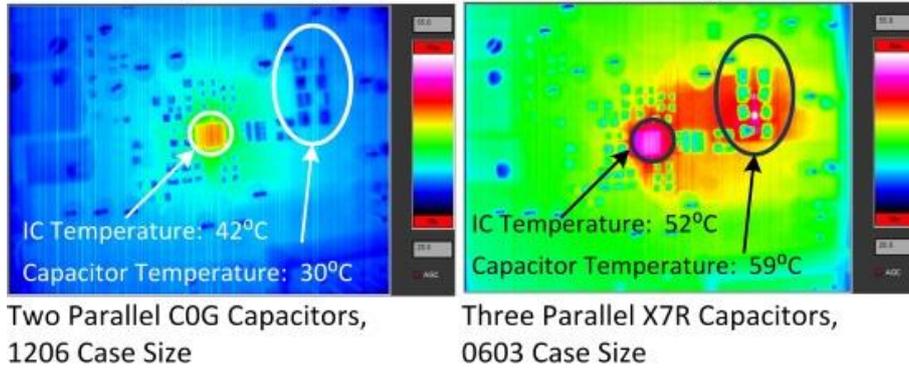


图5. 电容器对热性能的影响

较小的、高 ESR 电容器会成为 RX 印刷电路板 (PCB) 上温度最高的地方。由这些电容器所导致的 PCB 温度上升，会阻碍其散发集成电路 (IC) 本身产生的热量，这也就意味着 IC 和 PCB 的总体温度都会增加。又由于使用了较小的谐振电容器，总效率从 80% 下降到 74%。

图6 显示的是使用一个无线电源发射器 (bq500215) 与一个无线电源接收器 (bq51025)、评估板 (EVM) 和适当组件选择组合配置的 10W 无线电力传输的总系统效率。

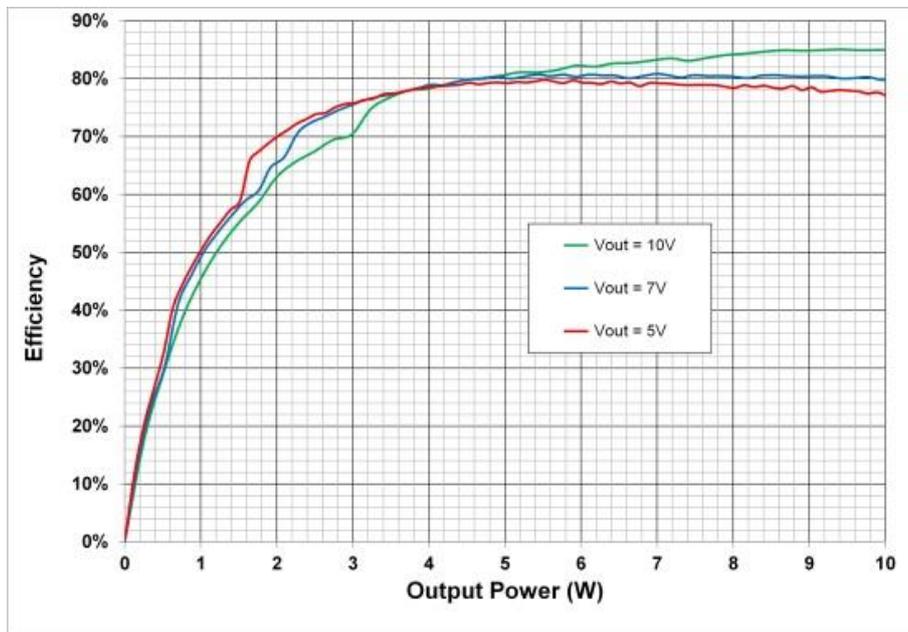


图6. 在 5V, 7V 和 10V 输出设置时, 10W 电源系统的端到端效率

bq500215 发射器评估模块使用一个无线电源联盟 (WPC) 类型的 29, $10\mu\text{H}$, $30\text{m}\Omega$ 线圈, 其额定电流为 9A。除了 10W 接收器之外, 这个线圈确保了与之前 5W WPC 类型接收器的兼容性。

在接收器端, 应该对线圈参数进行优化, 以匹配应用的目标输出电压。在需要 5V 输出的情况下, RX 线圈的标称电感值应该在 $10\mu\text{H}$ 范围内; 对于 7V 或 10V 的较高输出电压, RX 线圈应该在 $15\mu\text{H}$ 的范围内。

虽然理想状态是最大限度地减少线圈的直流电阻 (DCR), 但是在较高的输出电压情况下, 允许稍微地增加 DCR 来应对较低的电流。图 7 显示的是两个典型 RX 端线圈。所有 RX 和 TX 线圈组装时需要背面屏蔽材料。

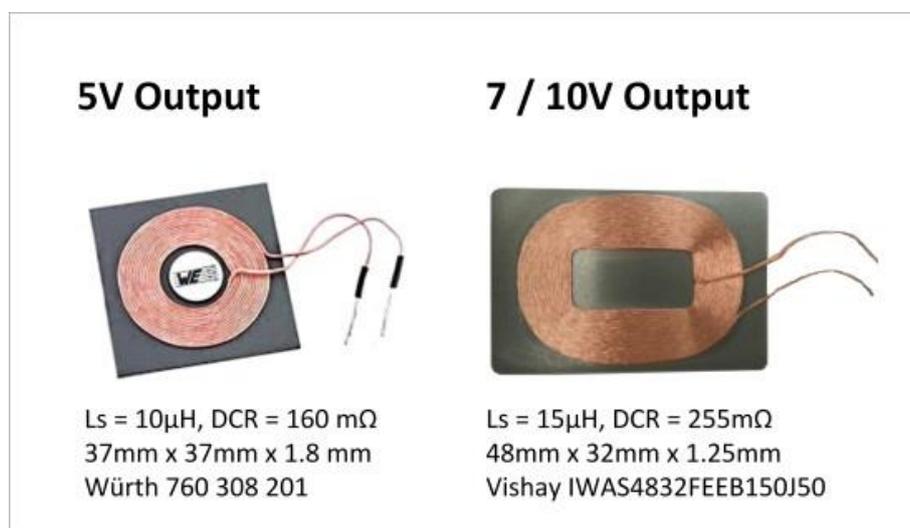


图 7. 针对 5V, 7V 和 10V 输出要求的典型 RX 线圈技术规格

电池充电时间比较

最后, 执行一个 10W 无线电源系统的原因是减少大容量电池的充电时间。图 8 显示了与 bq24261 NVDC 开关模式充电器组合使用时, 使用 5W 和 10W 无线电源系统时针对 3.1Ah 锂离子电池的充电时间。充电时间被大幅减少—从使用 5W 充电器时接近 4 个小时减少到使用 10W 充电器时的少于 3 小时。由于锂离子电池充电算法的逐渐降低“渐止”属性, 总充电时间的减少值与提供的电源不直接成比例。然而, 代表满充电状态大约 70% 的恒定电流到恒定电压模式的转换点减小到了原来的一半 (图 8)。

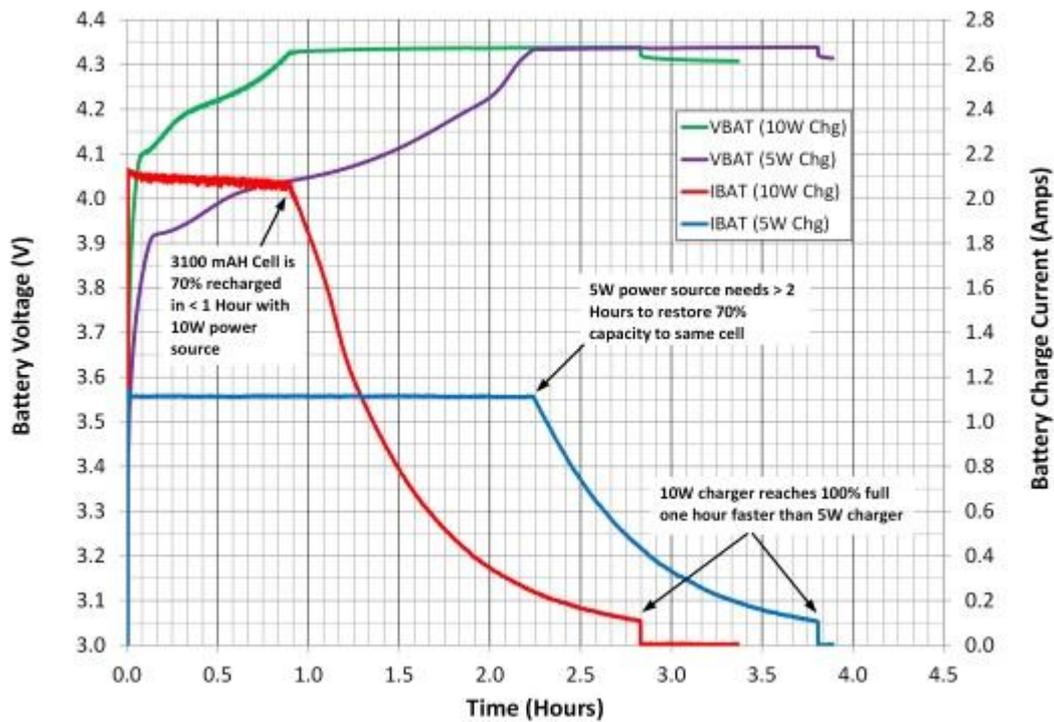


图8. 用10W无线电源系统减少电池充电时间

在设计一个完整的10W电源系统时，还有很多需要考虑在内的其它细节。参考文献 [9-10] 提供了使用TI 10W无线电源解决方案来实现一个系统的完整指南和设计计算结果。

参考文献

1. [无线电源联盟标准](#)
2. Sengupta & Johns, “[使用 Qi 协议的普遍兼容无线电源](#),” 低功率设计
3. Tahar Allag, “[无线电源接收器的测试和排错](#),” 应用报告 (SLUA724), 德州仪器 (TI), 2014 年 8 月
4. Johns, Antonacci, 和 Siddabatula, “[设计一个用于无线电源系统的 Qi 兼容接收器](#),” 模拟应用期刊 (SLYT479), 德州仪器 (TI), 2012 年 3 季度
5. Tahar Allag, “[无线电源接收器布局布线指南](#),” 应用报告 (SLUA710), 德州仪器 (TI), 2014 年 6 月
6. Ilya Kovarik, “[构建无线电源接收器](#)”
7. Jing Ye, “[NVDC 充电设计注意事项和权衡考虑](#)” 视频教程
8. Würth Elektronik
(<http://katalog.we-online.de/pbs/datasheet/760308141.pdf>)
9. Norelis Medina, 10W 无线电源系统[视频](#)演示
10. 下载这些数据表: [bq500215](#), [bq51025](#), [bq24261](#)