

# 设计无线充电系统时的注意事项

Dean Clark

Abracon 公司

2018 年无线充电预计将从 2017 年的 5 亿组增长到 7.5 亿组；由消费电子设备引领的这一增长率在 2015 年开始增长，并且已经被内置无线充电的 iPhone 8 和 iPhone X 手机加速。

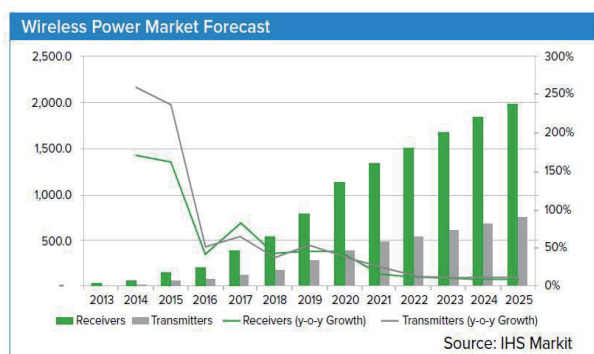


图 1 无线充电市场预测

这种增长也是现在想要结合无线充电的辅助产品设计的催化剂。对于许多设计师来说，这是他们第一次接触无线充电设计。

无线充电技术经常引发以下问题：

- 选择哪种无线充电线圈技术？
- 我应该使用什么尺寸的线圈？
- 如何匹配发射器和接收器线圈以获得最佳效率？
- 我的设计可以带来什么功效和效率？
- 我的设计中可以使用哪种接收器线圈？

哪种无线充电线圈技术可供选择？

直到最近，无线充电市场分为两个标准机构：WPC（无线电力联盟）和（PMA）电力事务联盟，但现在已经看到了融合趋势。CES 2018 展示了 Qi（\*）充电器主导着无线充电市场的潮流。创建了另一个标准团体 PWA 的 PowerMat 现已与 WPC 合作，专注于 Qi 系统。

(\* Qi, 发音为齐，是无线充电联盟（WPC）的无线充电标准。

## Qi 无线充电技术

Qi 是用于紧耦合感应无线充电的无线电源联盟（WPC）标准，并涉及将来自发射器线圈的 EMF 与紧密耦合的 Rx 线圈（放置在其顶部）进行耦合。

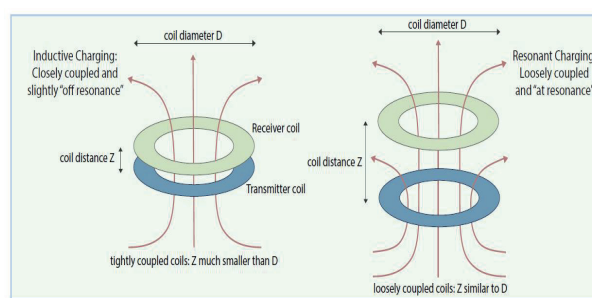


图 2 感应充电与谐振充电

紧耦合的谐振线圈（左）允许最大功率传输，而松散的谐振线圈（右）可以放置在磁场中的任何位置。图 2 显示了两种技术之间的基本差异。

上述的 Qi 技术正在实现新的增长高度，现在已成为硅供应商和产品开发商的主流，但远距离充电仍然是无线充电的圣杯。

谐振充电是提供松散耦合充电的另一种选择，因此充电的物品具有更大的自由度。谐振无线充电技术具有许多优点，例如允许多个设备一起充电，为应用提供不同的充电范围并允许控制首先充电哪些设备。

虽然谐振充电的充电效率低于紧耦合技术，但通过提供创新的解决方案，不同的用户应用仍然可以受益。比如，通过这种方法可以实现诸如在超市中对交互式客户显示屏进行充电，或者在客厅中对设备进行后台充电。谐振充电不是最便宜或最有效的，但这两种技术都会在最终应用中找到自己的分众市场。

## 无线充电技术对比

正如我们已经表明 Qi（紧耦合感应充电）是主导技术，

但最好的无线充电技术将由应用因素决定。

## 感应充电

- 紧密耦合意味着更高的效率，但空间自由度更低。
- 只能为单个移动设备充电。
- 如果使用，校准磁铁会降低“k”（耦合系数）以及电感，并降低效率。
- 可实现高功率传输，例如：Semtech TSDMRX-19V20W-EVM (19V/20W)，使用 Abracon AWCCA-RX350300-101Rx 线圈。
- 在线圈尺寸方面，其充电速率快于谐振充电速率。

## 谐振充电

- 宽松耦合效率较低，但更大的空间自由度。
- 可以为多个移动设备充电，不需要校准辅助工具。
- 低功率传输 (8W/1.6A)，例如 IDT P9038 5V 谐振功率发射器。
- 新型高功率近场 WattUp 发射器可进行 10W 充电。
- 两个线圈保持谐振操作的最小距离。如果谐振线圈移得太近，它们的互感会使振荡磁场“崩溃”并停止功率传输。
- 线圈往往更大，以提供电力传输并需要 Q 值。较高的 Q 值要求低阻抗，也驱动较粗的较低电阻线。

## 效率

这是决定哪种无线充电技术最适合特定应用的最重要的测量参数。包括无线充电系统在内的任何充电系统的效率测量可以从基本效率公式计算： $\text{效率} = P_{\text{out}} / (P_{\text{out}} + P_{\text{loss}})$ ，但是当进行这些测量时，了解总系统效率非常重要。

图 3 和图 4 为有线充电与谐振充电的比较，显示了在测量 DC Out 的情况下效率如何变化。

有线与感应式紧耦合无线充电：

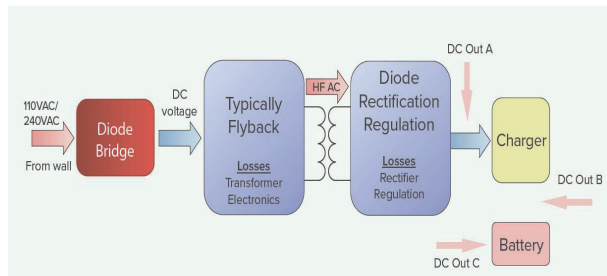


图 3 典型的墙式有线充电系统

墙式充电系统中不同点的效率：

- At (DC Out A) 时，无线电力接收器输出效率约为 80% 至 90%；
- 在 (DC 输出 B) 时，无线电力接收器输出效率约为 60% 至 76%；
- 在 (DC 输出 C) 时，无线电力接收器输出效率约为 50% 至 64%；
- 当将导线的效率 (~95%) 纳入进去时，系统效率可以达到充电器的约 72%，低至电池的 47%。

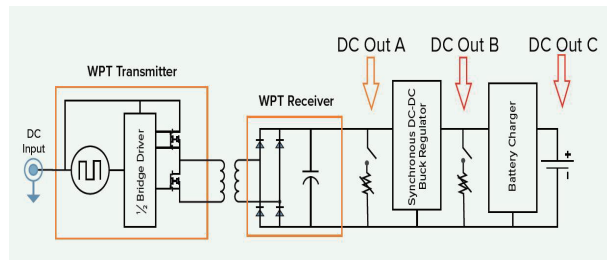


图 4 典型的无线充电系统

无线充电系统中不同点的效率：

- 在 (DC 输出 A) 时，无线电力接收器输出效率约为 89%；
- 在 (DC 输出 B) 时，无线电力接收器输出效率约为 75%；
- 在 (DC Out C) 时，无线功率接收器输出效率约为 60%。

因此可以证明，当从系统的端到端进行测量时，感应充电可以像有线充电器一样有效。

电感式紧耦合与谐振无线充电：

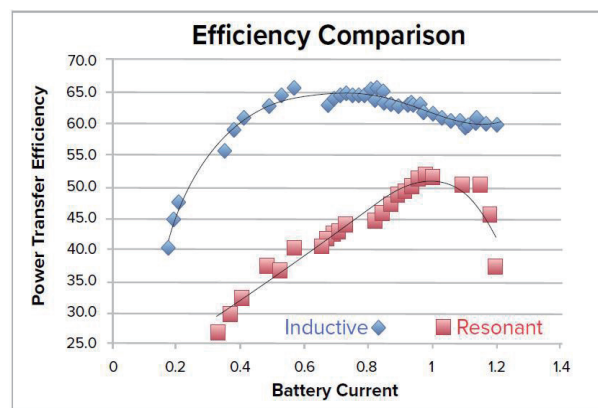


图 5 感应式和谐振充电效率与负载（电池）电流的关系

图 5 中这种比较的目的是为了显示感应式和谐振充电技术之间的权衡。

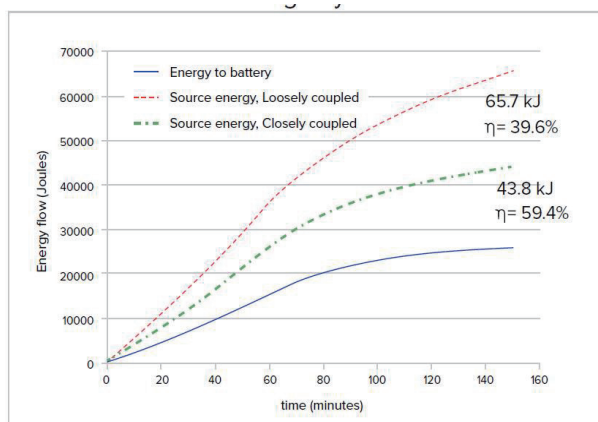


图 6 电荷循环效率计算绘制出电池充电周期内的总能量与时间的关系曲线

与电池的 2100mAh 充电时间相比，感应式紧耦合系统比松散耦合的谐振系统节省了 50% 的能量。这两种技术相比而言，松散耦合的高频频率通常会使用 GaN 输出晶体管 and 零电压开关，这会导致显著的发射器开关损耗，但由于谐振充电的性质，松散耦合的解决方案即使在 20mm 处也显示出相对较小的耦合损耗。

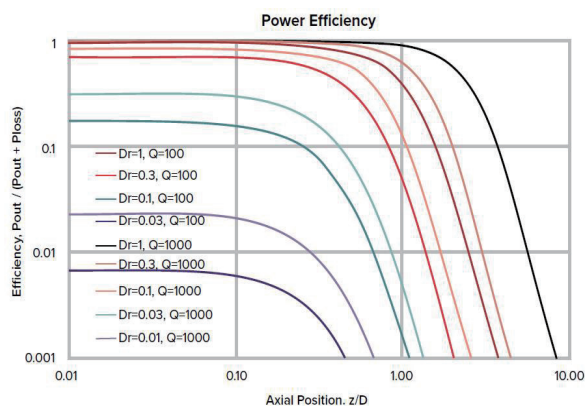


图 7 Tx 和 Rx 线圈之间的功率效率与 Q 值和动态比 (Dr) 的关系

图 7 显示了感应充电的一些限制，这需要线圈对齐并且匹配良好。曲线图表明，功率传输效率是系统 Q 值和功率发射器与功率接收器之间距离的函数。一些数据显示 Q 值为 1000，但实际上由于导线或绕组损耗，这是无法实现的，所以 Q 值为 20 到 100 是正常的。线圈的调谐

有助于改善 Q 值。这些限制表明松耦合谐振充电的益处，它的线圈对准通过设计不能是平面的。

## 选择 Rx 线圈进行感应充电时的注意事项——耦合因子

电感式紧耦合无线充电系统中的“变压器”是两个独立的交互器件：一个 Tx 线圈和一个 Rx 线圈。当它们相互叠置时，它们会感应耦合，并被做成带有空芯的双线圈变压器。

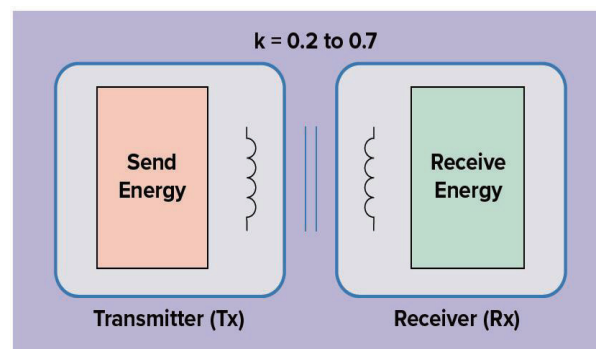


图 8 感应线圈耦合

Tx 和 Rx 线圈上的屏蔽是必不可少的，并且提供短磁通量，允许磁通场包含在两个磁芯内。需要查看线圈铁氧体片内的磁通线浓度。

与传统变压器 ( $k=0.95-0.99$ ) 相比，典型的耦合因子要低得多 ( $k=0.2-0.7$ )。一些较弱的耦合可以通过 Tx 和 Rx 线圈上的串联谐振帽来减轻，这增加了 Q 值。这意味着效率被限制在大约 85%。

$$\text{耦合系数 (k)} \quad k = \frac{L_{12}}{\sqrt{L_{11} L_{22}}}$$

## 选择 Rx 线圈进行感应充电时的注意事项——屏蔽

感应无线充电线圈通常可以使用铁氧体屏蔽。这在图 10 中显示为线圈所在的黑色基座。这具有重要的特性，可以屏蔽铁氧体片后面的电子元件。

屏蔽有两个主要功能：

- 为磁通量提供“短路径”，从而限制屏蔽后面其他元件的加热，将 EMF 聚焦到铁氧体中。
- 改善电感值，使线圈绕线更少，节省过大的电阻。
- 注意：屏蔽应延伸超出线圈的外边缘，以减少 EMF

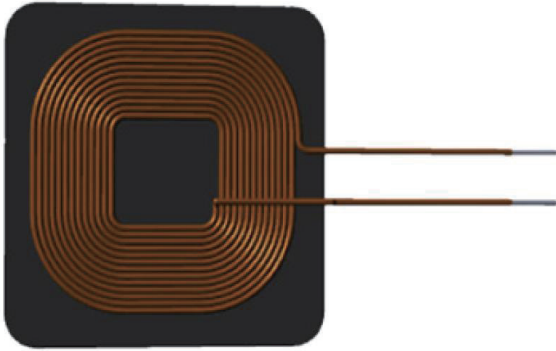
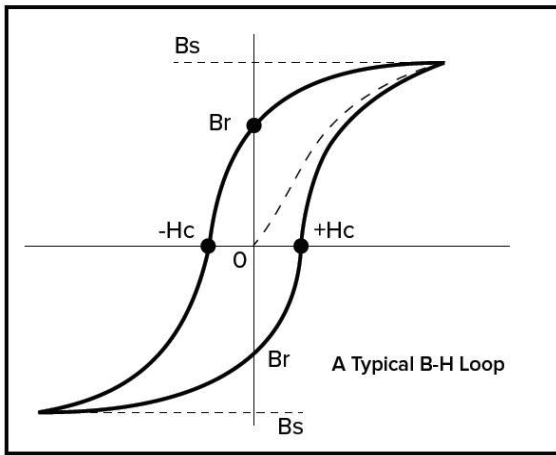


图 10 磁屏蔽

逃逸并降低饱和点。

所用的铁氧体材料很重要，优选软磁铁氧体。铁氧体可以根据它们的磁矫顽力（它们对去磁的抵抗力）分为两个系列。软磁铁氧体具有低矫顽力并且最适合屏蔽。

铁氧体厚度是一个重要的考虑因素，较厚的屏蔽吸收更多的磁通并且不易饱和（Bs），因此线圈外部的厚度和 O/D 是一个重要的考虑因素。



饱和磁化强度（Bs）表示磁通密度的饱和极限，剩余磁通（Br）是在感应磁场退出之后的剩余磁通量。矫顽力（Hc）是在与铁氧体去磁相反的方向上所需的磁场。

### 选择 Rx 线圈进行感应充电时的注意事项 - 线圈导线

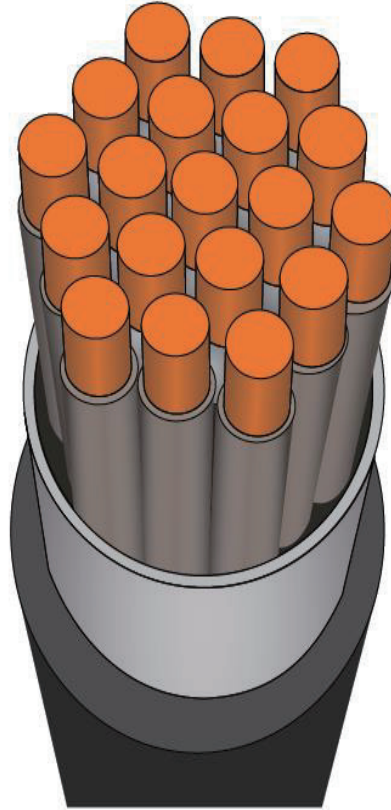
导线类型的影响因素：

成本——通常在 Rx 线圈而不是 Tx 线圈中，线材类型和规格由成本决定。

较大直径和双线导线提供较低的直流电阻和较小的损

耗，但成本更高。

利兹线通常用于降低开关频率（~125KHz）的阻抗。它通过减少趋肤效应来实现这一点。



在 125KHz 时铜的趋肤效应深度为 184μm，因此捆绑电线都具有较少的损耗，并且有更多的铜被用于传递电流。

扭转也沿着长度均匀 EMF，因此减少了邻近效应和涡流以及进一步的损耗。这就是设计人员应该检查 R<sub>ac</sub> 以及线圈的 R<sub>dc</sub> 的原因。

像 Abracon AWCCARX350300-101 这样的高功率 Rx 线圈的 R<sub>dc</sub> 为 150mΩ，Q 值为 90，具有低损耗，有助于 Semtech 20W Rx 系统的高效率。

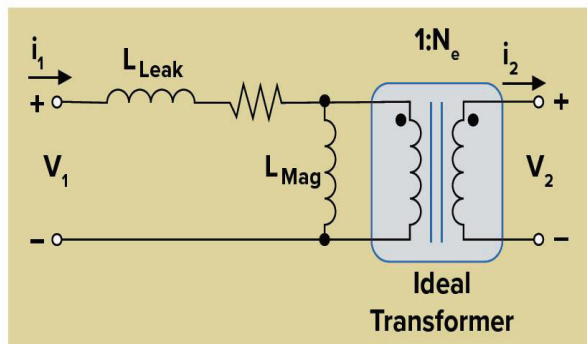
屏蔽应延伸超出外部绕组边缘 2.5 毫米，以使焊剂流动，而不会饱和或溢出到其他电子设备中。

### 选择用于感应的 Rx 线圈时的注意事项 - 匝数和电感：

选择导线和屏蔽后，匝数决定了电感和可用功率。

$$\text{线圈电感 } N_e = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{L_{22}}{L_{11}}} \text{ 和耦合因子 } k = \frac{L_{12}}{\sqrt{L_{11} L_{22}}}$$

决定了电压增益  $\frac{V_2}{V_1} \propto k \sqrt{\frac{L_{22}}{L_{11}}}$  和可用的电力。



Coil Dimensions	TURNS	Vout (V)	Pout (W)	L22 (uH)	k
48 x 22mm	15	5	5	12	*0.6
28 x 14mm	24	5	2.5	33	*0.25
35 x 35mm	24	7	5	22	*0.5

Coil Dimension Example

Rx 线圈的面积应等于或小于 Tx 线圈的 80%。根据 WPC 的规定，这应提供 > 50% 的合适耦合系数，Tx 和 Rx 线圈之间的距离为 2.5-5mm。

如果需要 5V/5W 输出，那么耦合系数约为 0.5，Rx 线圈电感为 10uH 就足以产生所需的电压。

因为  $V_2 \propto k V_{IN} \sqrt{\frac{L_{22}}{L_{11}}}$  &  $L_{22} \propto N_2^2$ ，所以线圈电感与匝数平方成正比。

## 总结

在选择用于无线充电应用的线圈时，需要考虑多种因素。在满足尺寸和形状设计要求的同时实现适当的功率传输、效率和性能可能是一项挑战。通过正确的线圈和对必要权衡的理解，可以优化无线充电设计。

我们期待设计人员利用 Abracon 广泛的产品和内部专业知识，以获得最佳的无线充电解决方案。