

## 无线电源接收器 RT1650 之简介

### 摘要

RT1650 是全集成的无线电源接收器，可为移动设备提供 7.5W 的电源供应。本文解释了无线电源传输的基本原理，简要介绍了各种无线电源传输的标准，重点介绍了名为 Qi 的 WPC 1.1 低功率标准的实现方法，对 RT1650 的主要特性进行了讲解。文章最后以 Nokia DT601 无线电源发射器和以 RT1650 为核心的 EVB 结合在一起所构成的无线电源传输系统为例对实际应用中可能遇到的各种问题进行了讲解，具有重要的参考价值。

### 目录

1. 无线电源传输之优点.....	2
2. 无线电源传输之原理.....	2
3. 无线电源的标准.....	3
4. 无线电源传输系统之简介.....	4
5. 无线电源接收器 RT1650 之特点.....	6
6. 无线功率传输的实际范例.....	7
功率级.....	8
发射器的待机状态和接收器的启动过程.....	9
从接收器到发射器的 ASK 通信.....	10
接收器的电压调节.....	11
异物检测 (FOD).....	12
系统效率.....	13
7. 用户可调的 RT1650 固件设定.....	14
8. 总结.....	15

## 1. 无线电源传输之优点

在两个装置之间，无实体缆线连接而能传输电源之方式有许多优点：

- 在两装置之间完全的电流隔离，可使应用更加安全。
- 电源接收器可完全封闭，使应用装置较易达到完全防水。
- 省去体积较大的连接器可使整体应用的体积减少，对于如蓝牙耳机、智慧手表和健康（医疗）等方面的穿戴式装置而言，是非常重要的。
- 非接触式的电源传输非常方便：无需插上或拔出连接器，只需将接收器放在发射器的表面上，即可开始电源传输。
- 无线电源传输多用于行动装置电池的充电，因此也常被称为「无线充电」。

图一显示使用无线电源传输之应用。



图 1：无线电源传输之应用

## 2. 无线电源传输之原理

最常见之无线电能传输方法是透过两个耦合的电感器之间的磁感应来实现的，交流变压器即为应用此原理之一例，线圈附近的磁场强度是随距离呈指数关系下降的，换言之，若要高效率的电源传输，就必须使发射器线圈和接收器线圈之间的距离尽可能地近，或是其距离要远小于线圈的直径，以达到高效率的电源传输。

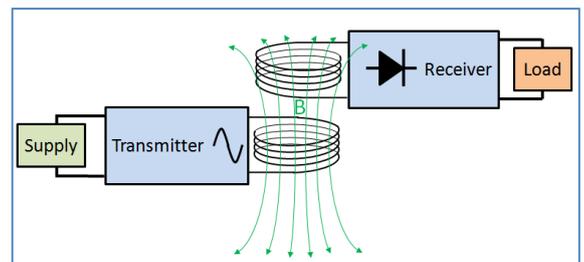


图 2：磁感应

另一种允许发射器和接收器线圈之间的距离较大的方法称为**谐振感应耦合**。在这种系统中，发射器和接收器的内部都有谐振在相同频率上的 LC 电路，电源就在这一谐振频率上被传输。两个线圈之间的谐振可加强相互之间的耦合，并改善电源传输的效率。此方式允许的发射器和接收器线圈之间的距离可较大，但和磁感应式相比，其最大可传输功率较低。

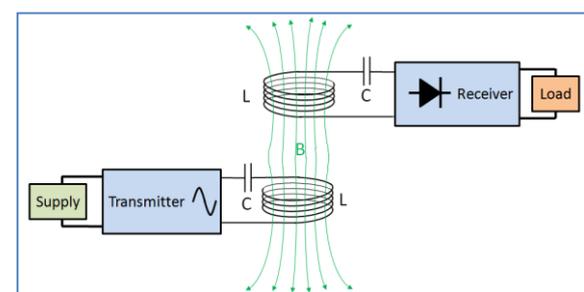


图 3：磁谐振

### 3. 无线电源的标准

随着需要定期充电的便携设备（如手机，平板计算机和笔记本电脑）的用量的增加，无线电源联盟（Wireless Power Consortium，WPC）于 2008 年成立，其使命为制定在电子装置之间进行无线电源传输的标准。2009 年，WPC 推出了命名为 Qi 的低功率标准，使得任何符合 Qi 标准的装置之间能够以磁感应方式传输 5W 以下的电源。

目前，针对无线电源传输的标准有三种：Qi, PMA 和 A4WP。Qi 和 PMA 都是应用磁感应原理，而 A4WP 则是采用谐振感应原理。表一显示了这三种标准之间的差异。

	WPC	PMA/A4WP	
标准	Qi V1.1	PMA	Rezence
创立时间	2008	2012	2012
技术	磁感应	磁感应	磁共振
工作频率	100~205kHz	201~304kHz	6.78MHz
通讯方式	ASK/FSK	ASK	Bluetooth 2.4GHz
耦合方式	紧耦合	紧耦合	松耦合
充电距离	< 5mm	< 5mm	< 50mm
充电设备数量	1	1	n
系统效率 (%)	60~80%	60~80%	40~70%
主要成员	ConvenientPower, Samsung, LG, Nokia, Panasonic, Philip, TI, <b>RICHTEK 立锜科技</b>	Duracell, Powermat, Google, AT&T, Starbucks	Qualcomm, INTEL, DELL, Broadcom, Samsung, <b>RICHTEK 立锜科技</b>

图 4：不同无线电源标准之异同

Qi 和 PMA 标准的性能非常接近，容许电源传输在短距离（通常约为 5 毫米）上对单一接收装置进行，发射器和接收器之线圈必须对齐以实现高效率的电源传输，两装置之间的通讯透过所传输的电源信号进行，避免了额外硬件的使用。Qi 和 PMA 在通讯协议上是有差异的。

Rezence（先前的称呼是 A4WP）使用磁谐振感应耦合技术，允许在较大的距离下（高达约 50 毫米）传输电源，发射器和接收器之线圈不需要很好地对齐，其缺点是全系统效率较低，能传输的功率较低。接收器和发射器之间以蓝牙作为通讯手段，这使多个设备之间的通讯成为可能，因此容许多个装置从一个发射器接收电源。由于需要额外的硬件实现蓝牙连接，此解决方案的成本较高。

Qi WPC 1.1\* 低功率标准（5W）是目前被最广泛采用的手机无线供电方法。

\* 新的 WPC 1.2 标准已于 2015 年 6 月发布，RT1650 接收器可以兼容 WPC 1.1 和 WPC 1.2。

## 4. Qi 无线电源传输系统之简介

Qi WPC 1.1 标准定义了磁感应式无线电源传输系统中所有重要的参数，如电源发射器和接收器的设计、系统控制和通讯接口等方面，其基本方块图如图 5 所示。

发射器用交流信号驱动发射线圈，同时对交流电压和电流信号进行监控。接收线圈被放置在发射线圈之上。藉由磁感应，在接收器线圈上可生成交流电压，此信号被导入整流器整流后，即可得到直流输出电压，再经由稳压调节后，即可用于驱动应用之负载。

输出功率的调节通过单向的数字控制回路完成。通过对接收到的交流电源讯号进行调制的反向散射方法，接收器持续不断地将功率需求讯号回送给发射器。发射器对这些电源需求讯号进行解调与译码并调整线圈驱动之讯号后，即可改变要供应给接收器的功率。

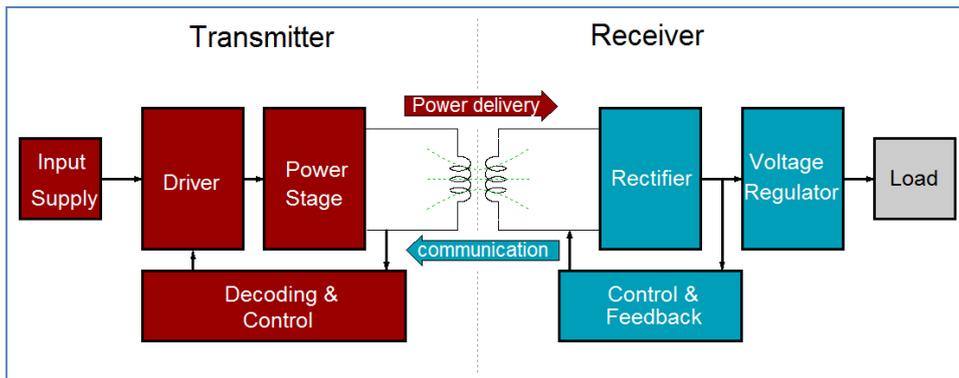


图 5: Qi 标准的无线电源传输系统

WPC 1.1 定义了数种发射器类型，有固定式单线圈系统、多线圈系统和可自动定位发射线圈以达到最佳电源传输效果的可动线圈等类型。功率级可以是半桥谐振式或全桥谐振式，而所发射功率之调整可透过增加或减少交流信号的振幅或改变交流驱动信号的频率来达成。

典型的无线电源传输之操作顺序如下：

- 在低功耗待机模式下，发射器会定期送出一固定频率的「模拟回音检测 (PING)」信号以检查是否有接收器的存在。若在发射器线圈上出现了接收器，发射器就会侦测到功率级的谐振有些变化，然后就会立即切换到「数字回音检测 (PING)」状态。（注：某些发射器如 Nokia DT601 就不使用模拟回音检测而仅仅使用数字回音检测方法进行接收器的检测。）
- 发射器所发出的数字回音检测信号具有足够的能量，可以启动接收器的通讯功能，并藉由调制出「讯号强度」封包的数字回音检测讯号而作出响应。在成功接收「讯号强度」封包后，发射器会维持电源讯号，使系统进到下一个阶段。
- 在辨识及配置 (identification and configuration) 阶段，接收器会将包含接收器的 WPC 版本信息和其他配置讯息 (如所需的最大输出功率) 的数据封包发送给发射器。
- 完成配置后，系统会进入电源传输阶段。此时接收器会测量整流后的电压，然后送出「误差」封包使发射器可增加或减少所传输的功率。接收器的「误差封包」主要是为了能控制发射器所发射的功率，好让在接收器之整流器的输出上有足够的电压能提供给后置的稳压器，并得以维持稳定的输出电压。此外，接收器会定期送出一个「收到功率」封包到发射器；如果发射器发现「收到功率」和所发射功率之间的差异过大，就会关闭系统，这是为了确保电源传输的安全。若在电源传输接口上有（金属）异物，该物体可能被杂散磁场加热，因而导致危险的出现。
- 如果接收器不再需要接受任何电源（例如其电池已完全充电）时，它就会送出一个「结束功率传输」封包，而发射器即回到低功率之待机模式。

WPC 的通讯流程示于图六。

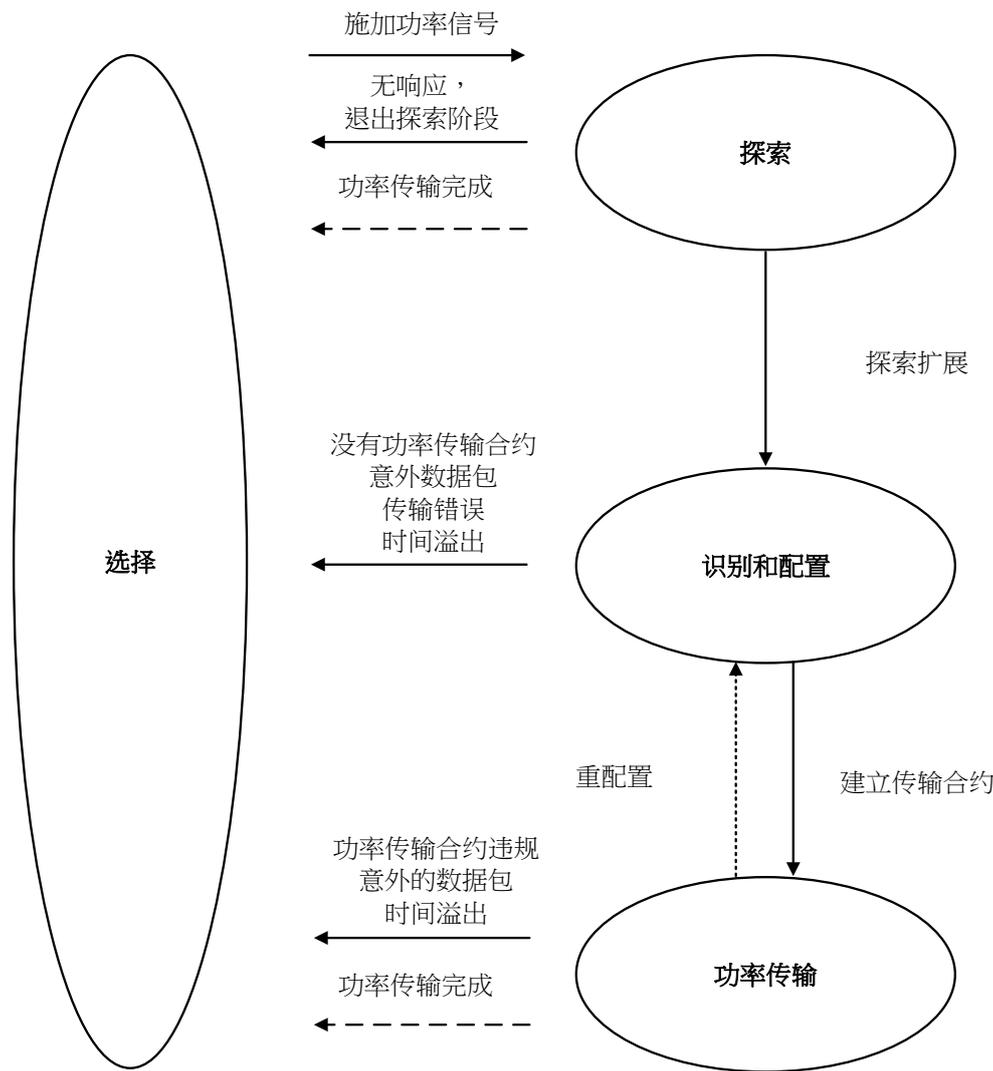


图 6: PWC 通讯流程

## 5. 无线电源接收器 RT1650 之特点

RT1650 是高集成度的无线电源接收器，它集成了 MCU 和可多次写入的 MTP 内存，可以极大的灵活性去满足各种标准和应用的需要。当使用预设的固件时，它符合 WPC 1.1 低功率标准，支持输出 5W 的功率。通过对固件的某些改变，RT1650 就可以工作在 WPC 1.2.0 的中功率配置下，输出功率可上升到 7.5W。最大输出功率可通过在 MTP 内存中写入不同的数据进行设定。RT1650 也可经配置支持 PMA 标准。

RT1650 内部包含高效率的全同步整流器和后置的低压差、1.5A 线性电压调节器 (LDO)。通过特别的余量控制系统对 LDO 的输入电压余量进行调节，可在瞬态响应特性和系统效率之间进行平衡优化。

所有符合 WPC 规范的通讯过程、系统监控和故障检测都由内置的 32 位 ARM Cortex-M0 进行掌控，还有 I<sup>2</sup>C 总线和可程序设计的 GPIO 引脚可与系统主机进行通讯实现需要的控制功能。

除了支持从接收器到发射器的 ASK 通讯，RT1650 也支持对由发射器发送给接收器的 FSK (移频键控) 通讯信号进行译码，这可用于对中功率发射器进行识别，对其它扩展信息的译码也不在话下。它有高精度的 10 位 ADC 用于对接收到的电压和电流进行测量，还有特殊的算法可对接收器功率损失进行计算，完成精确的接收功率汇报。

RT1650 同时支持来自适配器和无线传输的电源输入，有两个 MODE 输入端可用于使能或禁止特定的输入，还支持 NTC 温度检测和可程序设计的温度控制，它采用了小型的、具有很好的热性能的 3mmX3.5mm 48B CSP 封装。

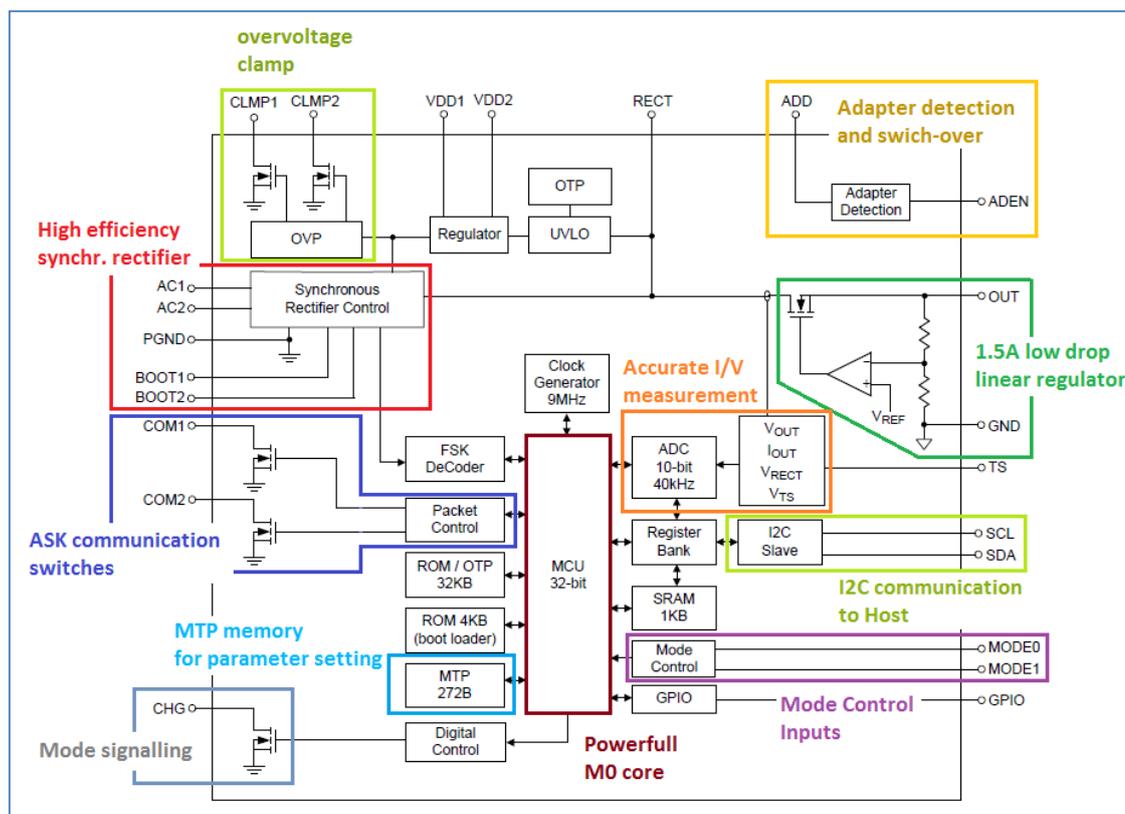


图 7: RT1650 功能方框图

## 6. 无线功率传输的实际范例

下面的案例展示的是 Nokia DT601 发射器和 Richtek RT1650 接收器的组合，我们可以从中看到一个典型的 5W 无线电源传输系统是如何工作的。Nokia 的这款发射器采用 WPC 所定义的 A11 类型的设计，其电源输入为 5V，它和 RT1650 接收器一样，都符合 WPC 1.1 的低功率 (5W) 标准，外形尺寸小，是一种低成本解决方案。

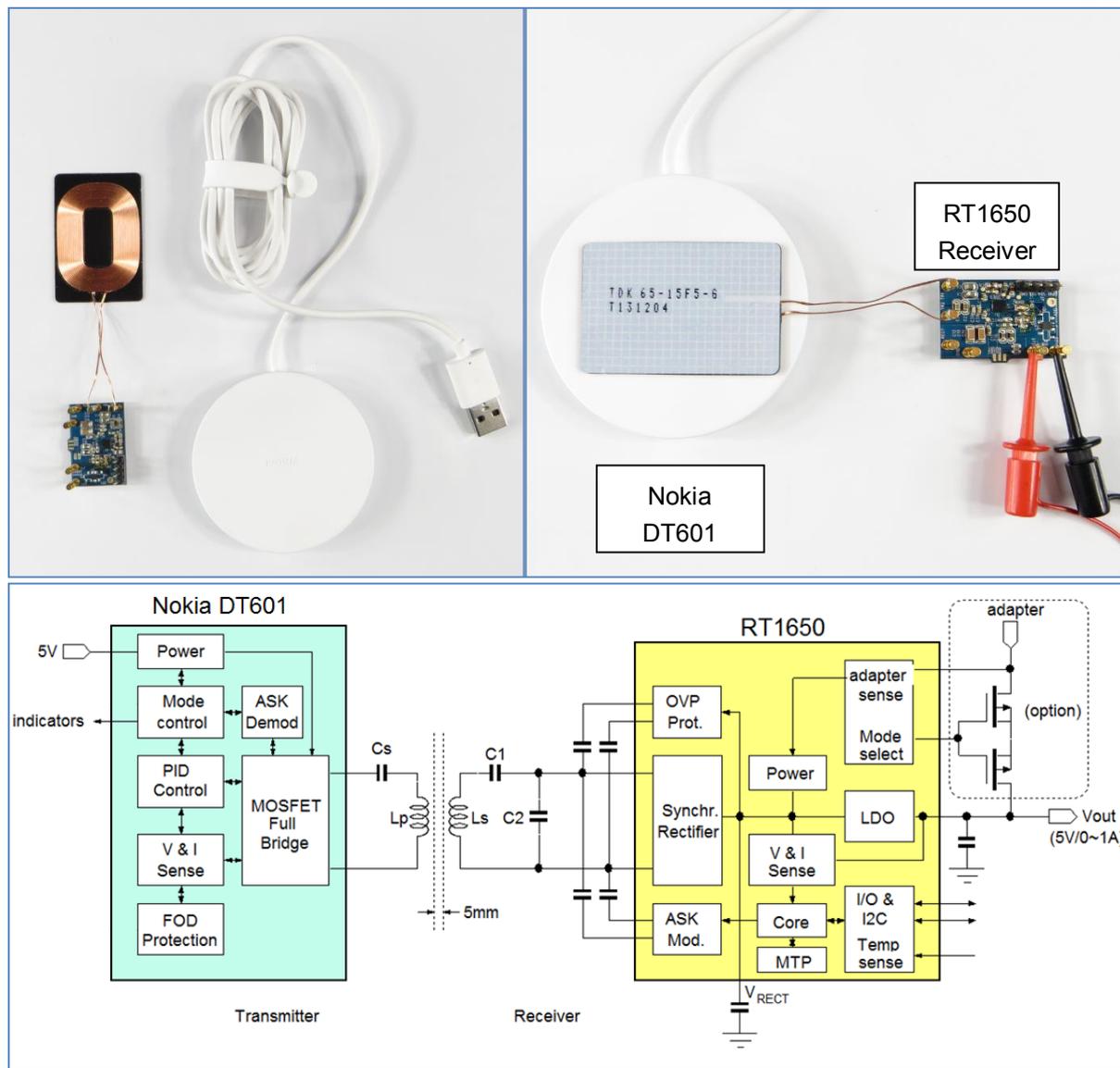


图 8：使用 NOKIA DT601 和 RT1650 的无线电源传输系统案例

## 功率级

虽然 WPC 1.1 规范是基于磁感应技术的，发射器和接收器也都使用串联连接的 LC 电路并被调谐至 100kHz 的频率上，但实际的工作频率总是高于此串联谐振频率的，这与磁谐振技术并不相同。在磁谐振技术中，工作频率总是与 LC 谐振频率相同，与采用非谐振耦合的方法相比，它能提供改善了功率传输过程。

Nokia DT601 发射器的功率级采用 MOSFET 全桥对串联连接的 LC 电路进行驱动。按照 WPC 1.1 标准的规定，A11 发射器采用的电感量为 6.3μH，串联电容为 400nF，合成起来的谐振频率为 100kHz。在我们使用的接收器中，接收线圈也是连接成串联谐振电路的形式，我们使用了电感量为 13.3μH 的 TDK 电感，其型号为 WR483265-15F5-G，其厚度为 1.1mm。接收器的 LC 串联电路应该同样谐振在 100kHz 频率上，这应该发生在接收器线圈和发射器耦合在一起的时候。为了做到这一点，我们应当将线圈放置在发射器线圈之上，使其空间位置以及屏蔽状况和真实的应用状态相仿，在不加电的情况下测量该线圈的电感量。在此案例中，实际测量到的电感量为 18.2μH，于是，我们可用下述公式计算出与之串联的电容量

$$C1 = \frac{1}{L_s \times (2\pi f_s)^2}$$

其中， $L_s$  是接收器线圈被放置在发射器上时测量所得的电感量。为了得到 100kHz 的谐振频率， $C1$  的值应该是 140nF，这可通过将 3 只 47nF 的电容并联在一起获得。

按照 WPC 标准，一只并联电容需要被添加在接收器的 LC 电路上以形成并联谐振，并联谐振的现象可被用于检测是否有接收器被放置在发射器上。整个电路的并联谐振频率应该被设定为 1MHz，并联电容的计算公式为

$$C2 = \frac{1}{L_s \times (2\pi f_d)^2 - \frac{1}{C1}}$$

其中， $L_s$  是接收线圈的电感量。在我们的案例中， $C2$  的值应该是 2nF。

最后形成的功率级显示在图 9 中：

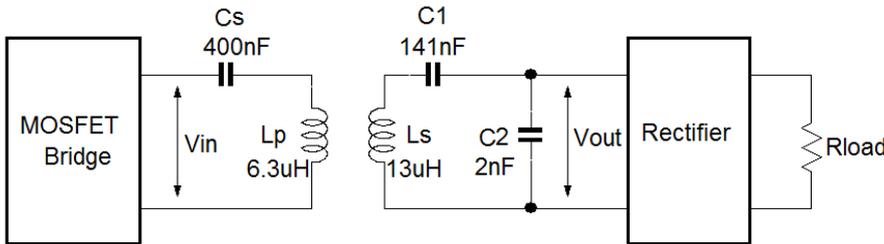


图 9：功率级的参数

从发射器的驱动级到接收器的整流器，整个功率传输电路的功率传递函数显示出如图 10 所示的谐振曲线。A11 型发射器的工作频率可在 110kHz~205kHz 范围内进行调节，总是处于谐振点的右侧。由于谐振曲线是倾斜的，通过改变发射器功率级的信号频率即可实现对接收器的整流器输出电压的控制。

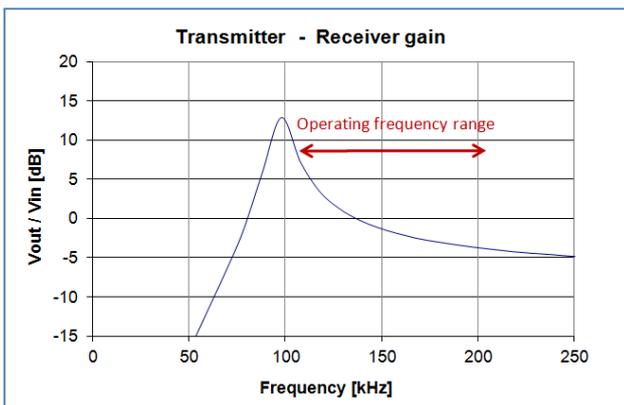


图 10：Tx-Rx 传输曲线

请注意此曲线的峰值幅度是与 LC 电路的质量因子相关的，与负载大小也有关系。为了确保从发射器到接收器的电压增益在所有负载条件下都能最大化，功率级所有组件的选择都应根据 WPC 1.1 的需求来进行。

发射器的待机状态和接收器的启动过程

WPC 无线电源传输系统应当在接收器被放上发射器线圈以后就立即启动电源传输过程，这就意味着发射器在待机状态下应当持续地检测是否有接收器出现，这种检测过程只应在消耗极小功率的前提下完成，以使发射器的待机功耗最小化。

Nokia DT601 发射器对接收器的检测是通过定时发出数字回音检测信号实现的。数字回音检测信号是突发的、包含了足够启动接收器的能量的信号。当没有接收器出现时，该发射器的平均待机功耗大约是 70mW。假如没有接收器出现在发射器线圈上，就不会有通讯信号返回给发射器，发射器就会主动停止检测工作。一旦接收器被放置到发射器上，下一次数字回音检测开始时，接收器的整流器输出端就会建立起足够的电压并且启动通讯过程。（整流器输出电压上的凸起揭示出通讯处于活动状态。）接收器开始对发射器进行通讯活动以后就会开始系统初始化，发射器也将继续维持活动状态。参见图 11。

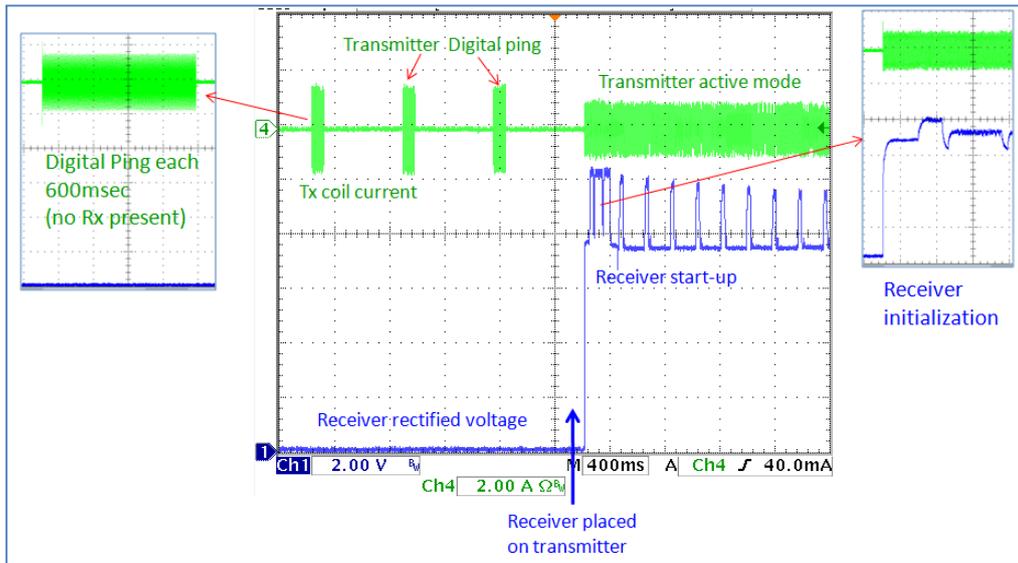


图 11: 接收器检测和系统启动过程

从接收器到发射器的 ASK 通信

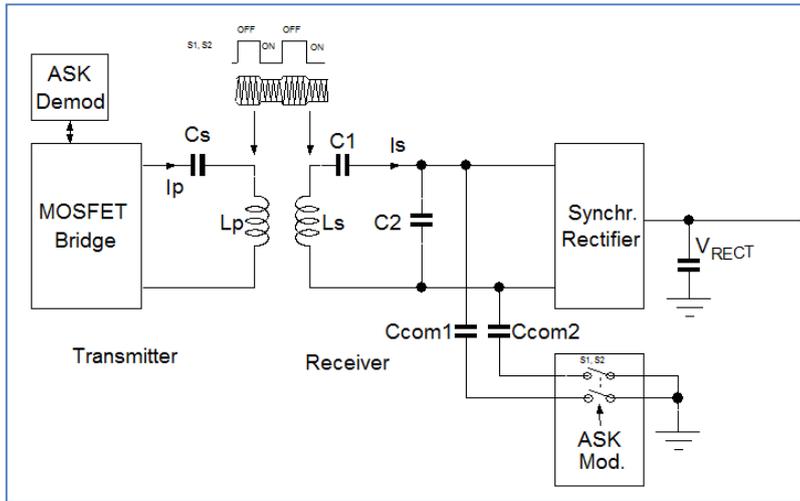


图 12: ASK 通信

在 WPC 1.1 标准中，接收器对发射器的通信采用 ASK（幅度键控）的反向散射方法进行：接收器通过对接收到的来自发射器的信号的幅度进行调制，该信号幅度的变化会被反射到发射器一侧，再经解调、译码以后供系统使用。在我们的案例中，接收器一侧的 ASK 调制由开关控制的与接收到的交流信号并联的电容来实现，这相当于给交流信号增加了一个额外的负载，它将导致交流信号电压的下降（或者说是增加了交流信号的电流）。这种被改变了的交流信号幅度会被反射到发射器一侧，发射器可以检测到交流信号的变化，这种变化可在信号电压或电流的包络上看出来，经过对它的解调制操作以后即可取得其原始信息。

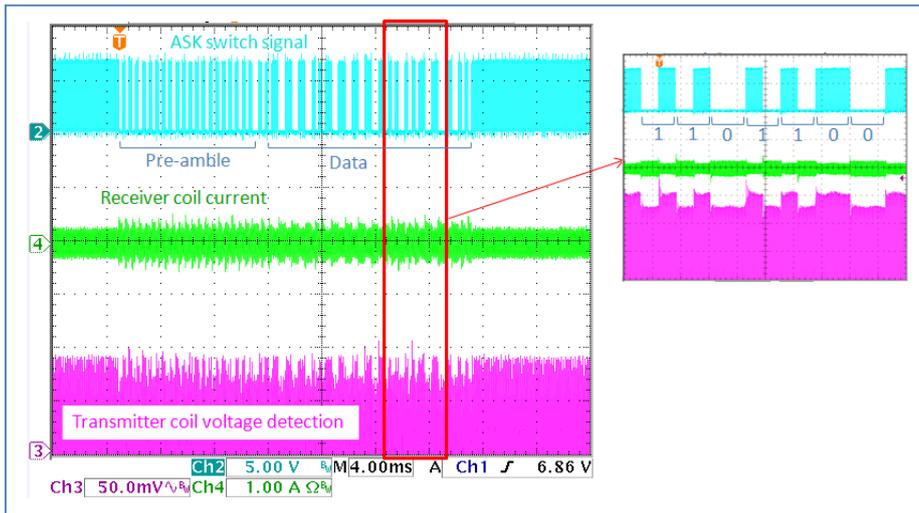
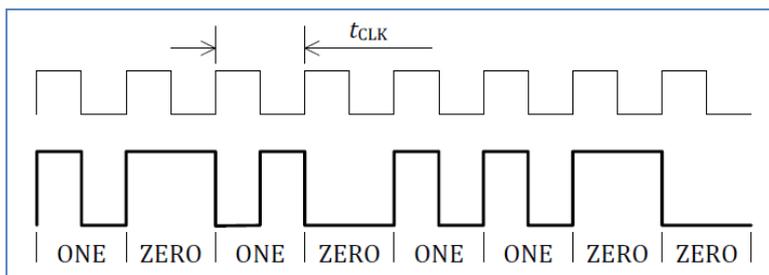


图 13: ASK 通信波形

通过图 13 的波形可以看出 ASK 调制的基本表现形式。由于是串行信号，它包含了时钟信息和数据，其第一部分是前置的用于时钟同步的信号，紧接着是数据报的头部、被编码的信息，最后是校验码。信息的传输采用了差分双相编码方式，如下图所示：



接收器的电压调节

接收器可对整流后的电压、输出电压和负载电流进行测量，它通过要求更多或更少的来自发射器的功率来对 LDO 的输入电压余量进行调节以维持输出电压的调节性能。参见图 14。

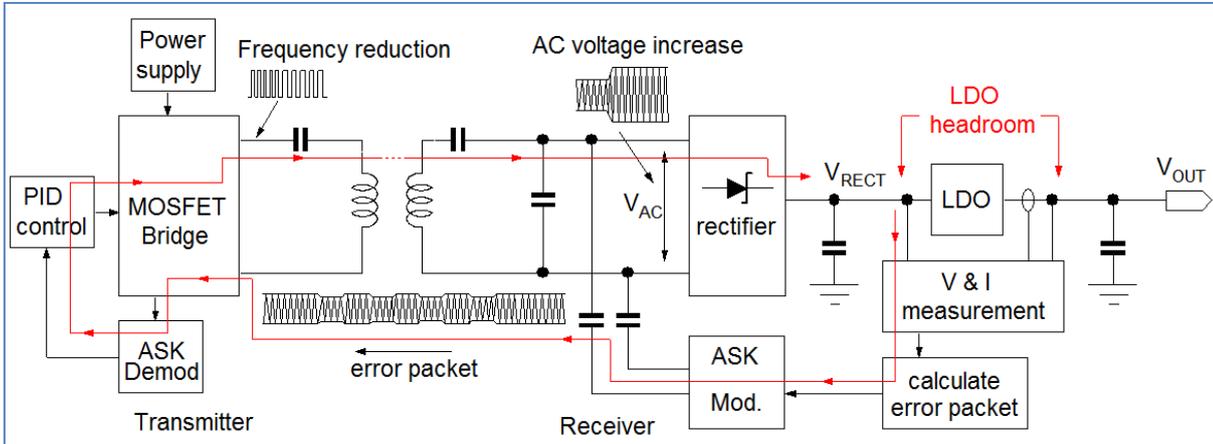


图 14: 系统电压调节过程

我们必须了解，由于 ASK 通讯的长时延特性，这种数字控制回路的响应速度是极慢的。 $V_{RECT}$  的开环负载调节性能取决于接收器线圈末端的输出阻抗，这与线圈的耦合状况、功率级组件的质量因子和发射器的电源供应有关。LDO 的输入电压余量应足够维持它在常规应用中遇到阶跃负载时的输出电压调节性能。由于这样的原因，整流器的电压控制策略是动态的：

当负载较轻时，整流器的电压被设定在比较高的水平上，以便在遇到突然出现的阶跃负载时 LDO 有足够的调节空间。

当平均负载增加以后，LDO 所需的电压余量也相应降低，整流器电压就要降下来，这样可使 LDO 在较高负载电流的情况下形成的功耗降下来。请参见图 15。

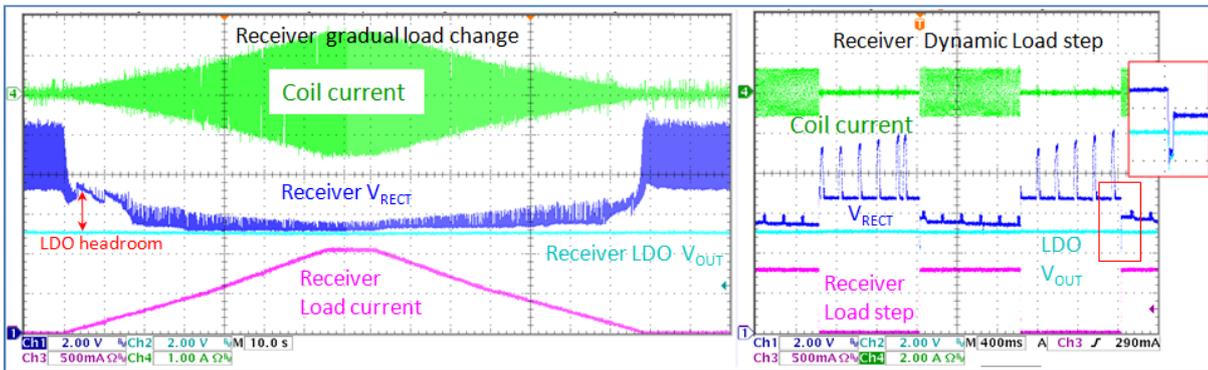


图 15: 系统负载调节状况（负载渐变和阶跃的状况）

当负载发生从轻到重的跳变时，整流器的电压将出现下跌的情形，但由于存在轻载情况下的额外余量，输出电压仍可维持不变。只有在发生从空载到重灾的跳变时，输出电压上才会看到比较轻微的下跌。RT1650 的整流器电压在不同负载下的参数是可程序设计的，这可使其满足特定应用的需要，适应功率级的阻抗特性。

系统的动态表现与发射器的电源供应稳定性是有关的。当它使用 5V 电源时，这有可能尤显重要。Nokia DT601 的 5V 适配器可向其提供很稳定的 5V 电源，这是因为它采用了内建的线缆补偿措施；当使用 5V 的 USB 接口输出为之供电时，其电压在重载情况下就会出现下降。在某些时候，调节回路是可以自行修复的，但当接收器的  $V_{RECT}$  在重载之下下降到低于 IC 的欠压锁定电压时，系统就会关机，然后再重启。这些情形在图 16 中有所呈现。

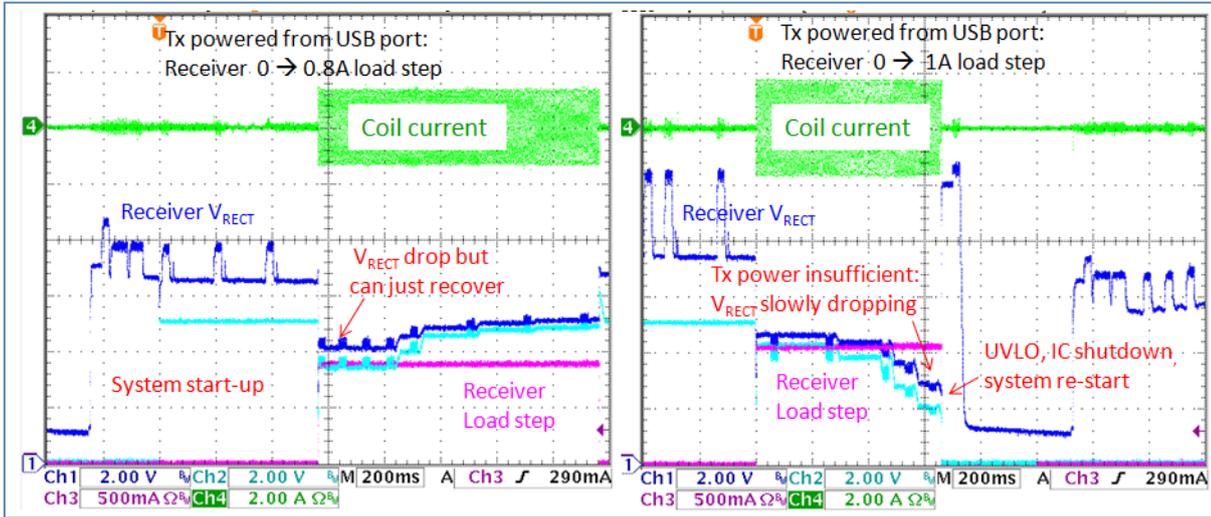


图 16: 发射器电源供应不足带来的电压调节性能局限

### 异物检测 (FOD)

在待机模式下，发射器并不会对放置在发射线圈上的金属物体予以回应，但当有金属物体出现在正在进行电源传输的发射器和接收器线圈之间时，金属物体就会因在其内部生成的涡状电流而发热，如果没有采取任何安全措施，此金属物体就会变得越来越热，这可能最终导致难以收拾的结局。

因此，WPC 无线电源传输标准纳入了异物检测功能以检测系统中可能出现的任何异常功率损耗。参见图 17。

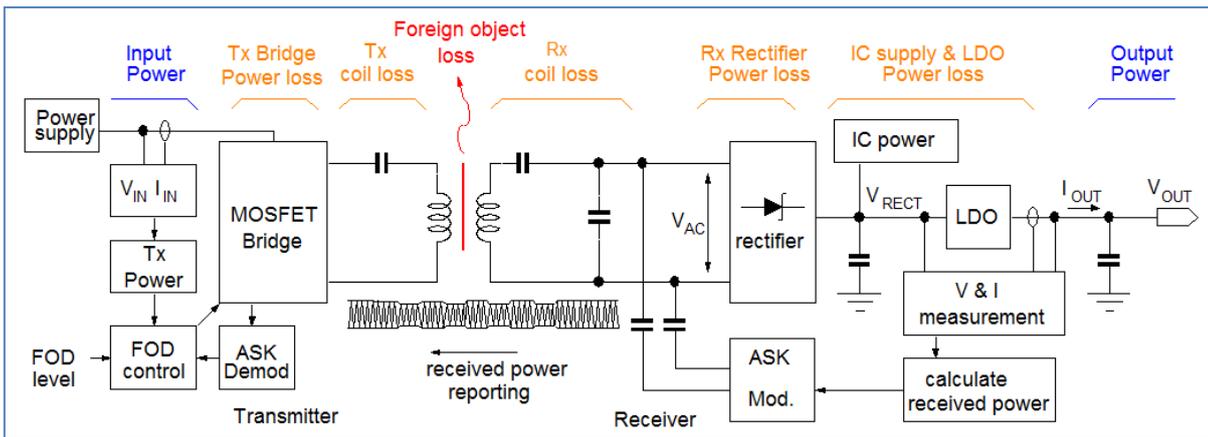


图 17: 异物检测系统图

异物检测功能以如下方式工作：接收器首先测量整流器和 LDO 的输出电压及电流，利用这些参数计算出总的接收到功率，计算中会把接收线圈、谐振电容、整流器和 LDO 的损耗都包含进去，然后将此数据打包成接收到功率数据报发送给发射器。发射器也会测量其输入电压和电流，计算出它在发射过程中消耗在 MOSFET 桥路、发射线圈和电容上的损耗，然后将发射出去的功率数值和接收到的来自接收器的功率数据进行比较，如果发现两者之间的差值超出了预设的异物检测触发阈值，它就会停止发射过程，并且发出异物检测故障信号。

整个信号链路上每个段落的功率损失都与实际使用的组件有关，其非线性非常严重。通过 WPC 1.1 认证的发射器和接收器如 Nokia DT601 和 RT1650 的 EVB 都对其功率计算进行了细调，以便在全负载范围内确保精确的异物检测性能。假如 RT1650 要被使用在靠近金属物体的最终应用中，对其 MTP 内存中的数据进行微调以实现精确的异物检测就是非常必要的，这样才能反映特定的损耗状况。

### 系统效率

无线电源传输应用的系统总效率与我们在谈论异物检测问题时提到的整个信号链路中的每一个环节的功率损失都有关系，用接收器的输出功率除以发射器的输入功率即可得到系统总效率。对于 WPC 所定义的低功率系统来说，此数据一般在 70%~80%之间。在发射器和接收器中使用高性能的线圈和电容可对效率有提升效果，线圈尺寸、相互之间的距离和位置关系也会对其有影响。在最终的应用中，其它具有感性的材料如电池、防护物等也会影响到效率，它们会对杂散的磁场分布发生影响，甚至可能产生额外的影响如表现为异物的存在等。

在 RT1650 接收器中，可通过对整流桥的工作方式进行设置以尽可能降低其损耗；LDO 的损耗可通过尽可能降低其输入电压余量得到降低，但必须同时照顾到系统在面临阶跃负载和系统状态转换时维持输出稳定性的需要。

图 18 显示了应用案例中的系统效率状况。

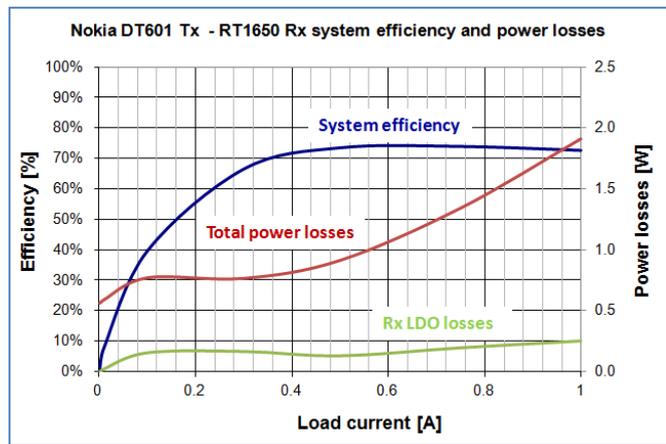


图 18: 系统效率与功耗

图中的系统效率曲线和功耗曲线显示出典型的开关电源的特征：负载很轻的时候，开关损耗占据主要份额；在较高的负载下，功率组件的导通损耗占据主要份额。由于 LDO 使用了动态余量控制策略，它在轻载状态下的损耗所占比例较高，因为它需要提高输入余量以应对负载瞬变的挑战；在重载情况下，LDO 的压降被最小化，因而即便在高达 1A 负载电流的情况下，其功耗也只有 250mW。

显示在图 19 中的 3 组效率曲线图显示了不同的应用因素对效率的影响：

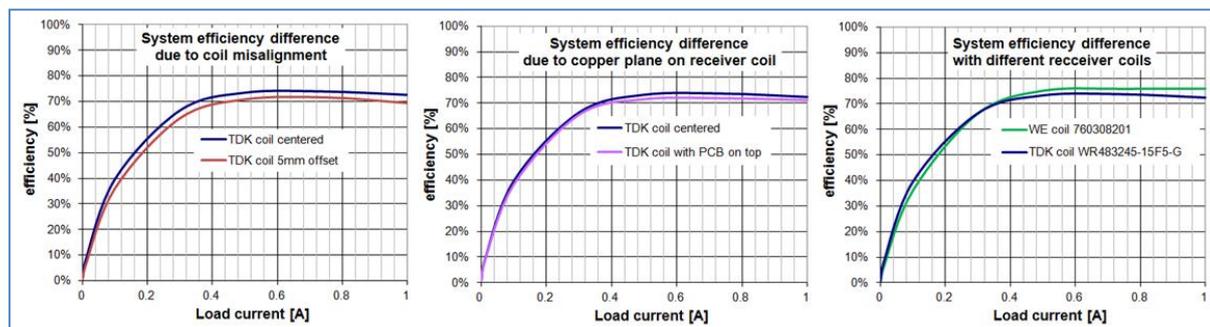


图 19: 应用中的不同因素对效率的影响

- 不对准放置线圈将降低效率，因为那将导致不良的耦合，增加磁场的漏失。对于 Nokia DT601 来说，接收器线圈的放置是很讲究的，较大的偏移很容易导致系统宕机和重启的循环。
- 在接收器线圈的顶部放置金属导体（如存在 PCB 上的地线层）会增加额外的涡流损失。由于接收器线圈都有屏蔽措施，这种效应是相对比较小的，一般不会被当作异物被检测到。如果在发射器和接收器线圈之间放置金属隔离材料，那就一定会有明显的损耗增加，并会被当作异物被检测到，所以，在发射器和接收器的线圈之间是绝对不能有金属屏蔽措施的。
- 在重载应用中使用大型、高质量的接收线圈可明显地提高系统效率，但这种线圈一般使用多股绞合线，并且使用坚硬的铁氧体屏蔽材料，这并不适合所有的应用采用。

## 7. 用户可调的 RT1650 固件设定

通过 I<sup>2</sup>C 总线可对 RT1650 的 MTP 内存中的设定数据进行存取，立锜科技的接口工具 Sparrowboard 或 Wrenboard 可以作为连接 PC 和 RT1650 EVB 的工具完成这一任务。在固件调整模式下，一个独立的 7.5V 电源应当连接到 RT1650 EVB 的整流器电压端子上。在这种模式下，无线电源发射器是不应该被使用的。具体的连接方法请参见图 20。

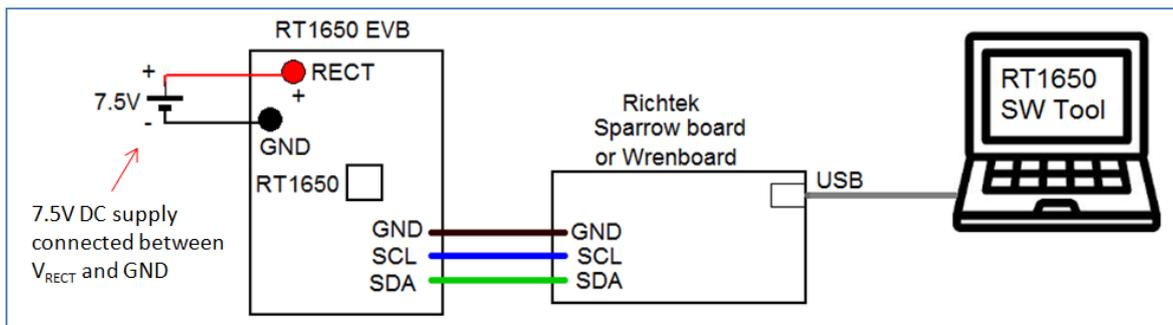


图 20: RT1650 固件设定时的连接方法

图 21 显示了使用 RT1650 的软件工具进行固件设定时的软件界面。

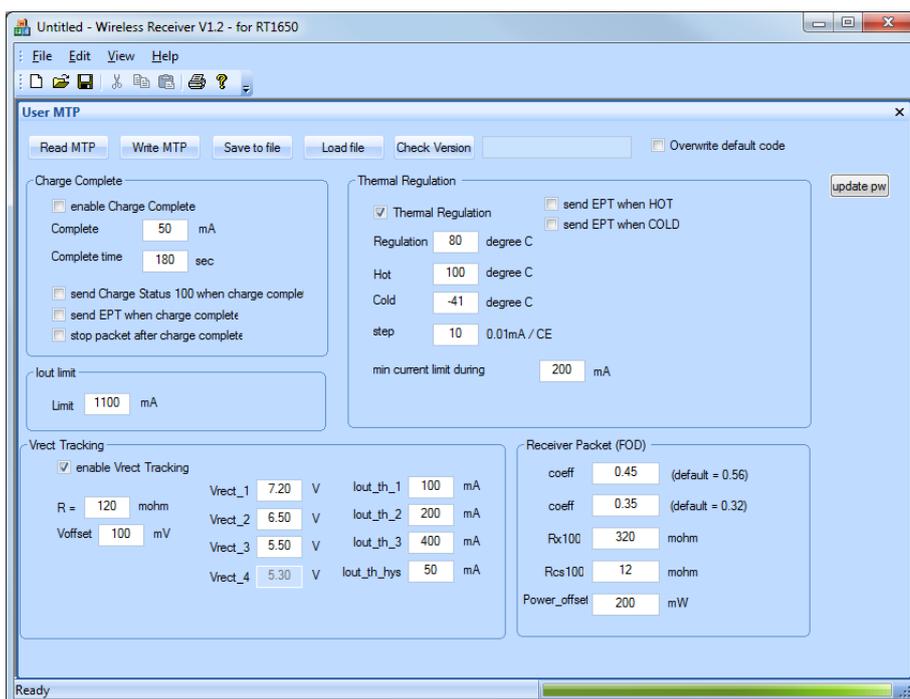


图 21: 进行 RT1650 MTP 内存设定的图形用户界面

此工具容许用户读取 RT1650 MTP 内存里面的数据，容许改变诸如充电完成以后的动作、IC 温度调节策略、最大电流限制、不同负载下的整流器输出电压等参数，可对接收器进行异物检测的判据进行微调。在完成所有的改变以后，新的设定可被写入 RT1650 的 MTP 存储器中。

## 8. 总结

RT1650 的出现让无线电源接收器的设计变得更简单和容易，其外围组件极少，调节其 MTP 内存的内容即可对应用参数进行优化。设计中比较关键的地方是对接收线圈和谐振电容的选择；在面对负载瞬变的场合，需要对整个系统的功率级的特性进行仔细的打磨，整流器的动态特性可能也需要进行调整以满足开环特性的要求。在改变了整流器的电压设定以后，一定要检查 LDO 的功耗状况。在进行 PCB 设计时要注意进行优化，尽量利用 PCB 的内层达成散热的目的，降低 IC 本体的温度。对靠近接收器线圈的金属材料、PCB 地线层要进行检查，可能还需要对异物检测的标准进行某些调节。为了达成最佳的效率，使用高品质的接收线圈和谐振电容是必须的。

为了获取更多的信息，请登录与 [RT1650](#) 相关的产品页面查阅相关文件。

### 相关资源

立錡科技电子报

[订阅立錡科技电子报](#)

### Richtek Technology Corporation

14F, No. 8, Tai Yuen 1<sup>st</sup> Street, Chupei City

Hsinchu, Taiwan, R.O.C.

Tel: 886-3-5526789

Richtek products are sold by description only. Richtek reserves the right to change the circuitry and/or specifications without notice at any time. Customers should obtain the latest relevant information and data sheets before placing orders and should verify that such information is current and complete. Richtek cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Richtek product. Information furnished by Richtek is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Richtek or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Richtek or its subsidiaries.