



电磁感应式无线充电的充电效率的研究

陈铮 PB14210133

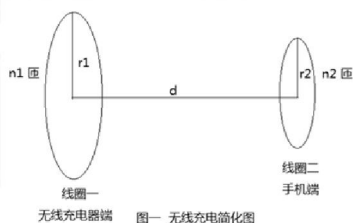
无线充电简介

- 无线充电，就是充电器与用电装置之间不需要用电线连接就可以实现能量的传输。
- 1、不需要大量的导线连接
- 2、消除了不同型号的手机充电器不适用的缺点
- 3、可以实现多个不同型号的手机同时充电
- 但是相比于有线充电，无线充电的效率显得比较低，所以无线充电的效率问题一直被人们所关心，所以本次主要研究了影响无线充电效率的一些因素，并提出了一些改进方法。



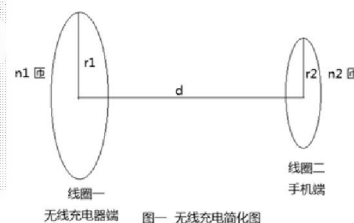
简化模型

- 我们设发射端（无线充电器端）的线圈为n1匝，线圈半径为r1；接收端（手机端）的线圈为n2匝，线圈半径为r2，两线圈之间的距离为d。两线圈垂直于他们中心的连线放置。



简化模型

- 一般情况下，无线充电器端的线圈要比手机端的线圈大。我们近似地认为线圈一的半径远大于线圈二的半径 ($r_1 \gg r_2$)，所以线圈一在线圈二处产生的磁感应强度近似可以看成是均匀的，且等于线圈二中心处的磁感应强度。

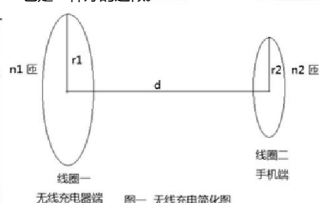


理论推导

- 当通以正弦交流电时：
- 由毕奥-萨伐尔定律可得：
$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_L \frac{I_m \sin(\omega t) d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$
- 其中 $r = \sqrt{r_1^2 + d^2}$
- 沿线圈一积分一周，有：

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I_m \sin(\omega t) * 2\pi r_1}{r_1^2 + d^2}$$

$$= \frac{\mu_0 I_m \sin(\omega t) r_1}{2(r_1^2 + d^2)}$$



理论推导

- n1匝线圈在线圈二处产生的磁通量为：

$$\psi = n_1 n_2 B S_2 = \frac{\pi n_1 n_2 \mu_0 I_m \sin(\omega t) r_1 r_2^2}{2(r_1^2 + d^2)}$$

- 线圈二处产生的感应电动势：

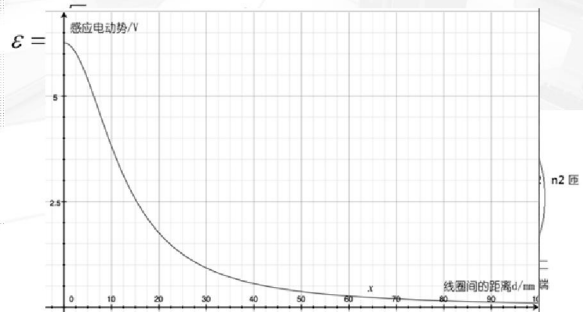
$$\varepsilon(t) = - \frac{d\psi}{dt} = - \frac{\pi n_1 n_2 \mu_0 \omega I_m \cos(\omega t) r_1 r_2^2}{2(r_1^2 + d^2)}$$

- 有效值为：

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{2} \pi n_1 n_2 \mu_0 \omega I_m r_1 r_2^2}{4(r_1^2 + d^2)}$$

距离对充电效率的影响

- 我们取无线充电器端的线圈为10匝，线圈半径为12.5mm，厚度为2.4mm；手机端的线圈为21匝，线圈半径为10mm，厚度为0.6mm。充电电流最大值为850mA，频率为500kHz。

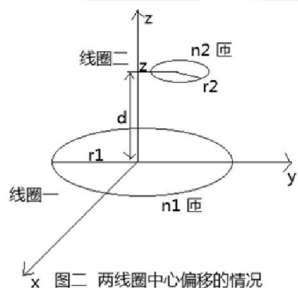


距离对充电效率的影响

- 可以看出，当手机端的感应电动势为5V时，两线圈之间的距离约为6.28mm。并且随着距离的增加，手机端的感应电动势迅速下降，当线圈之间的距离为10mm时，感应电动势已不足4V，当距离进一步增加到30mm时感应电动势不足1V。
- 所以在无线充电的过程中要严格控制两线圈之间的距离，以保证感应电动势保持足够的大小。一般两线圈之间的距离控制在6.28mm左右比较合适。

理论推导

- 当手机端的线圈的中心对无线充电器端的线圈中心有大小为z的偏移时，其他条件不变。



图二 两线圈中心偏移的情况

理论推导

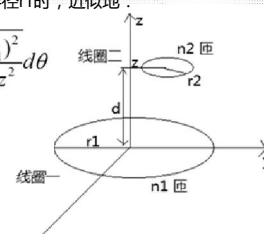
$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_L \frac{I_m \sin(\omega t) d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{I_m \sin(\omega t) r_1}{r_1^2 + d^2 + z^2} \sqrt{\frac{d^2 + (z-r_1)^2}{r_1^2 + d^2 + z^2} - 2r_1 z \sin \theta} d\theta$$

- 当水平偏移量z远小于发射端线圈的半径r1时，近似地：

$$B \approx \frac{\mu_0}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{I_m \sin(\omega t) r_1}{r_1^2 + d^2 + z^2} \sqrt{\frac{d^2 + (z-r_1)^2}{r_1^2 + d^2 + z^2}} d\theta$$

$$= \frac{\mu_0 I_m \sin(\omega t) r_1}{2(r_1^2 + d^2 + z^2)} \sqrt{\frac{d^2 + (z-r_1)^2}{r_1^2 + d^2 + z^2}}$$



图二 两线圈中心偏移的情况

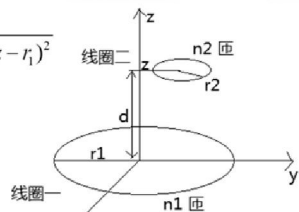
理论推导

- 同样的，由全磁通计算公式和感应电动势计算公式：

$$\psi = n_1 n_2 B S_2 \quad \varepsilon(t) = -\frac{d\psi}{dt}$$

- 可得电动势的有效值计算公式为：

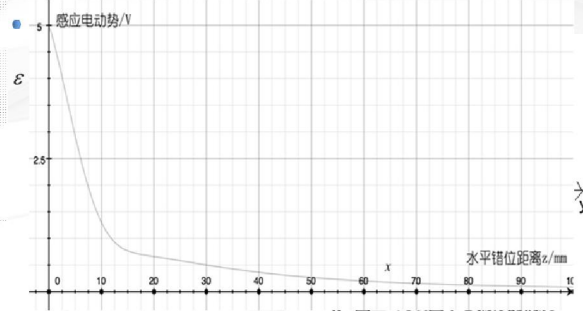
$$\varepsilon = \frac{\sqrt{2} \pi n_1 n_2 \mu_0 \omega I_m r_1 r_2^2}{4(r_1^2 + d^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \sqrt{d^2 + (z-r_1)^2}$$



图二 两线圈中心偏移的情况

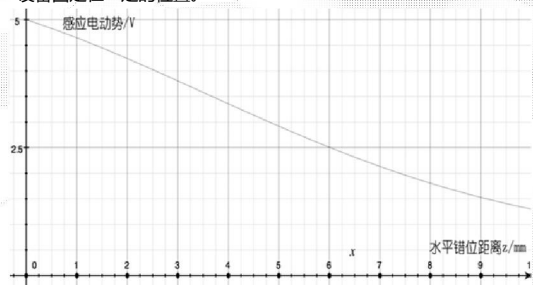
水平错位对充电效率的影响

- 我们仍然取无线充电器端的线圈为10匝，线圈半径为12.5mm，厚度为2.4mm；手机端的线圈为21匝，线圈半径为10mm，厚度为0.6mm。充电电流最大值为850mA，频率为500kHz。



水平错位对充电效率的影响

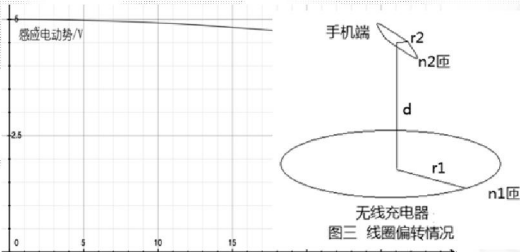
- 我们发现当错位距离达到6mm时，感应电动势已经降为原来的一半，若要保持手机端的电压至少为4V，那么水平错位距离必须控制在2.5mm以内。所以要保证较高的无线充电传输效率，我们需要将充电设备固定在一定的位置。



线圈的偏转对充电效率的影响

- 若手机端线圈的中心轴在yOz平面顺时针转动了 θ 角度，那么此时

$$\psi' = \psi \cos \theta \quad \varepsilon' = \varepsilon \cos \theta$$
- 我们考虑两线圈之间的距离为6.28mm，并且中心没有发生错位时的情况（其他条件与之前相同）。

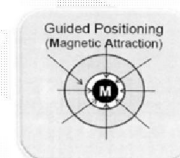


总结

- 通过分析，我们知道了：
- 1、两线圈之间的距离对无线充电的传输效率产生较大的影响（理想的距离约为6.28mm）
- 2、水平错位会引起充电效率的急剧下降，在实际应用中要严格固定两线圈之间的相对位置。
- 3、线圈的偏转对充电效率的影响较小。

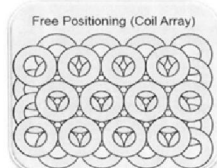
精确定位方案

- 方案一：
- 手机端有相应的磁铁和充电器端的磁铁通过相反的磁性互相吸引，从而使得手机和充电器固定在设定的位置。



精确定位方案

- 方案二：
- 控制器可以对线圈阵列与接收端线圈的相对程度做检测，然后它可以只对相对符合度最高的线圈供电。
- 优点：
- 1、可以使得充电设备无论处于何种方向都能充电。
- 2、发射端的其他线圈不工作，这样也实现了减少电能的浪费和电磁的辐射。



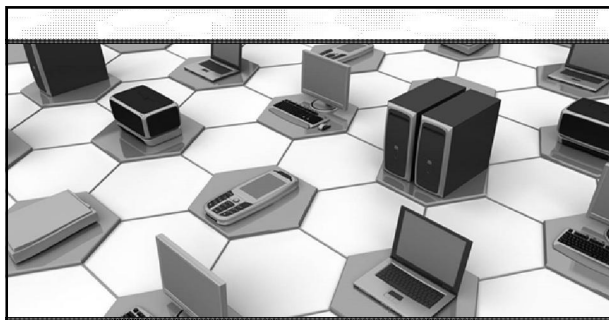
精确定位方案

- 方案三：
- 控制器对线圈与接收端线圈的相对度做检测，发射端根据检测结果对发射线圈进行位置调整，直到发射线圈和接收线圈完全对位，从而达到最大功率传输效率。
- 优点：允许充电设备在一定范围内移动，同样增加了充电的自由度。
- 缺点：可移动线圈通常是利用马达驱动，成本必然比电磁感应式的线圈要高。



优缺点分析

- 主要以理论分析为主，将充电过程理想化成两个线圈之间的电能传输，实际的电路结构会更加复杂，这给计算带来了一定的误差。
- 在理论分析的过程中用到了一定的近似方法，比如假定无线充电器线圈的半径远大于手机端的线圈半径，但是实际中两线圈之间的大小差距并不满足远大于的关系，近似地认为手机端线圈处产生的磁感应强度是均匀的，且等于中心处的磁感应强度会导致计算结果略偏大。
- 当线圈之间的距离很近时，我们还应该考虑线圈的厚度的因素，这样能使计算值更接近实际。



谢谢！