



华南理工大学

South China University of Technology

无线电能传输发展现状与问题及未来研究思路

张波

华南理工大学

2022.6.24



目录

1 发展现状

2 存在问题及制约因素

3 未来研究思路

4 结论



1、发展现状

➤ 无线电能传输技术分类



1、发展现状

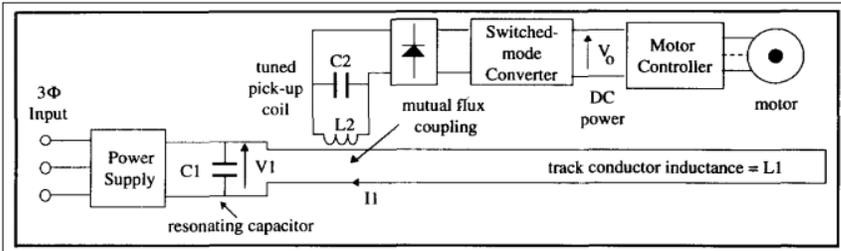
➤ 无线电能传输技术分类

磁耦合式

感应无线电能传输技术



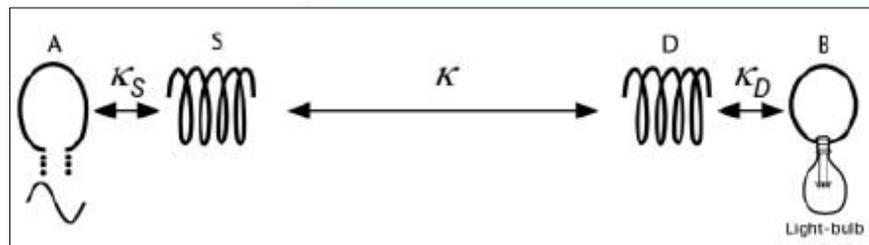
20世纪90年代新西兰奥克兰大学的J. T. Boys教授推动了磁耦合感应无线电能传输系统的快速发展。



谐振无线电能传输技术

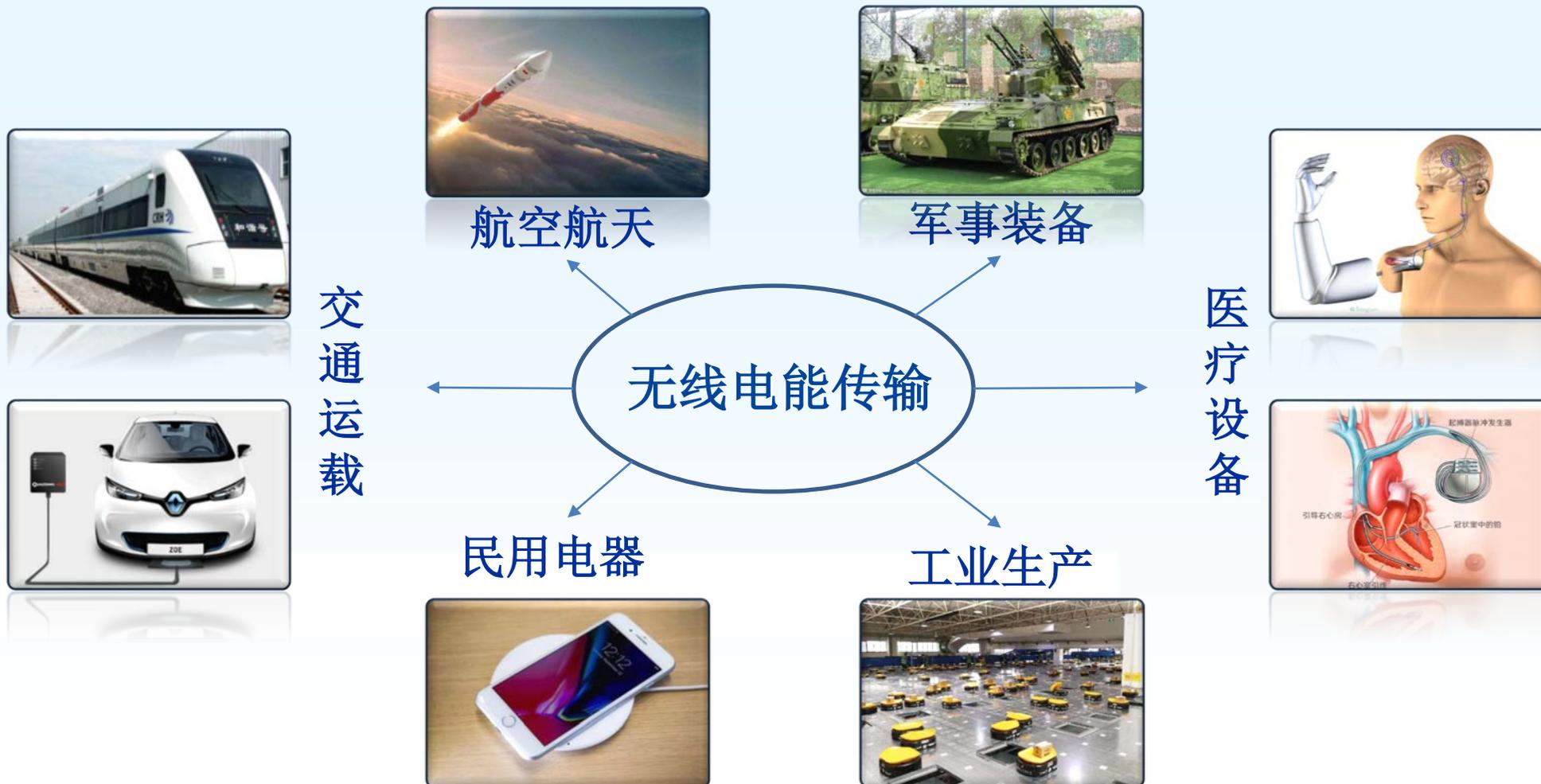


2007年MIT学者提出磁谐振无线电能传输技术掀起了全球无线电能技术产业化的热潮。



1、发展现状

➤ 无线电能传输技术应用范围



1、发展现状

➤ 无线电能传输技术产业化水平

电动汽车静态无线充电

国外

2022年Momentum Dynamics



沃尔沃XC40

传输功率: 40千瓦
系统效率: 92-94%
传输距离: 10-25厘米

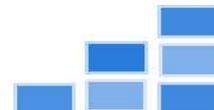
国内

2021年万安科技



红旗E-HS9

输出功率: 11千瓦
系统效率: 91-93%
传输距离: 10-25厘米



1、发展现状

➤ 无线电能传输技术产业化水平

电动汽车动态无线充电

国外

2021年美国HEVO POWER



国外最高功率

输出功率： 300千瓦
系统效率： 90-96.5%

国内

2021年南方电网公司



国内最高功率

输出功率： 60千瓦
系统效率： 87%



1、发展现状

➤ 无线电能传输技术产业化水平

轨道交通无线供电

国外

2018年韩国铁道研究院



轨道列车

传输功率: 820千瓦
系统效率: 83%
传输距离: 5厘米

国内

2021年中车株洲和西南交大



轨道列车

输出功率: 500千瓦
系统效率: 90%
传输距离: 15厘米



1、发展现状

➤ 无线电能传输技术产业化水平

电动自行车无线充电

国外

2021年荷兰Tiler



共享电动单车

传输功率: 100瓦
系统效率: >90%
传输距离: <2厘米

国内

2020年雅迪



雅迪G6S

输出功率: 350瓦
系统效率: 89%
传输距离: 15厘米

1、发展现状

➤ 无线电能传输技术产业化水平

自动导航车无线供电

国外

2020年德国 Wiferion



地面式

传输功率: 12千瓦
系统效率: 93%
传输距离: 4厘米

国内

2021年鲁渝能源



侧充式

输出功率: 6千瓦
系统效率: 85%
传输距离: 5厘米



1、发展现状

➤ 无线电能传输技术产业化水平

移动手机无线供电

国外

2022年Apple



磁吸式

传输功率: 20瓦
多负载: 一对一
充电区域: 固定位置

国内

2021年华为公司



立式

输出功率: 50瓦
多负载: 一对多
充电区域: 位置自由

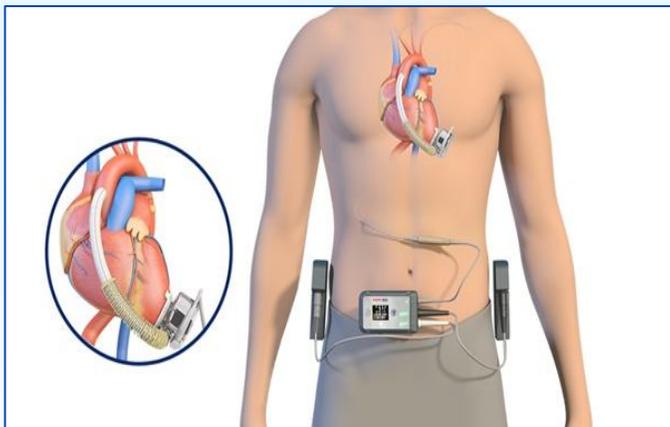
1、发展现状

➤ 无线电能传输技术产业化水平

植入式医疗无线供电

国外

2021年意大利拉奎拉大学

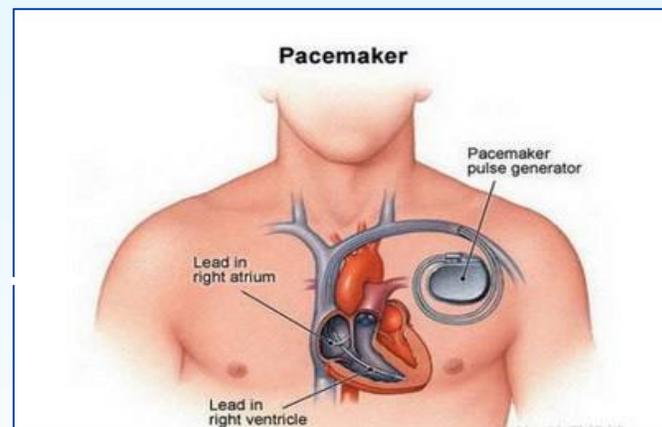


植入式电源

传输功率: 25瓦
系统效率: 88.3%
传输距离: 3厘米

国内

2018年香港城市大学



心脏起搏器

输出功率: 5瓦
系统效率: 88%
传输距离: 3-9厘米



1、发展现状

➤ 无线电能传输技术产业化水平

军事领域无线供电

国外

2022年美国海军研究实验室



微波无线供电

传输功率: 1.6千瓦
传输距离: 1千米

国内

2022年西安电子科技大学



微波波束收集

传输功率: /
传输距离: 55米



1、发展现状

➤ 电网对无线充电的需求

在线检测设备无线供电

非视屏类



峰值功耗: ≤ 25 瓦

采集功耗: ≤ 3.5 瓦

静态功耗: ≤ 1.0 瓦

视屏类



峰值功耗: ≤ 30 瓦

采集功耗: ≤ 12 瓦

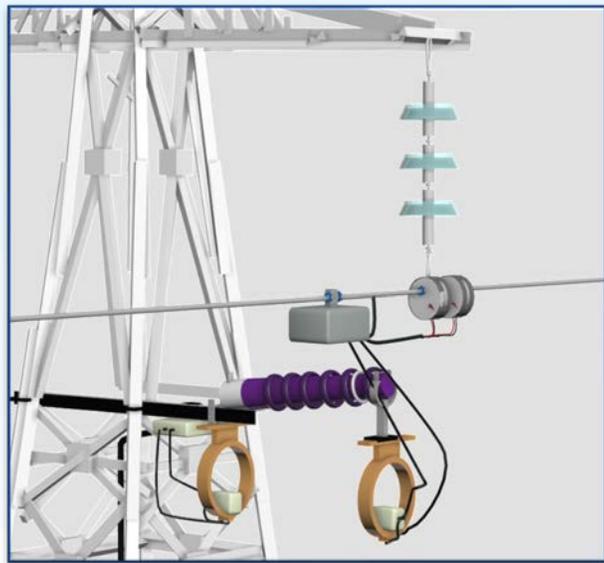
静态功耗: ≤ 3 瓦

1、发展现状

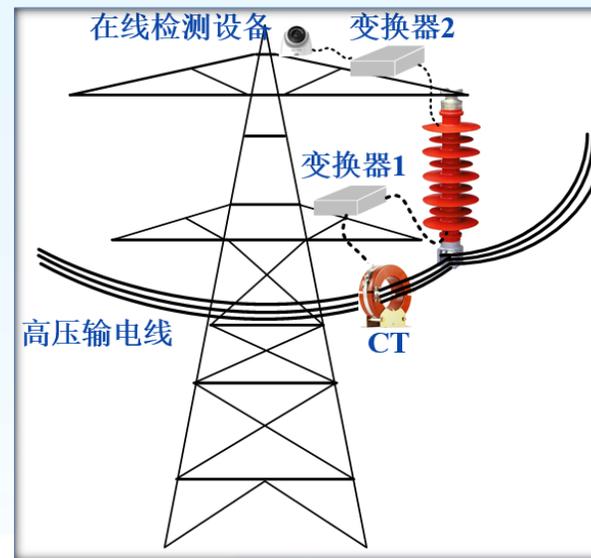
➤ 电网对无线充电的需求

高压无线取电

高压无线取电



两线圈高压无线取电



多中继线圈高压无线取电

电压：110kV；功率百w~千瓦

1、发展现状

➤ 电网对无线充电的需求

巡线无人机无线供电

无人机充电



塔上充电



地面充电

充电功率: 38w; 65w; 124w

功率密度: $> 1.2 \text{ W/g}$

距离: $> 4 \text{ cm}$; 最大横向偏移量: $\geq 25\%$

最优充电效率: $\geq 90\%$;

1、发展现状

➤ 电网对无线充电的需求

巡检机器人无线充电

巡线机器人无线供电



输入：220V/50 Hz；输出：43.8 V/10 A

功率：>1000 W；频率：85 kHz

充电距离：2~5 cm；偏移：±4 cm

最优效率：>91%

目录

1 发展现状

2 存在问题及制约因素

3 未来研究思路

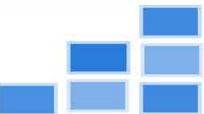
4 结论



2、存在问题及制约因素

➤ 亟待解决的问题

- 高效、远距离、大功率无线电能传输新机理
- 能量与信号同步传输技术
- 异物及生物体检测技术
- 电磁兼容与电磁屏蔽技术



2、存在问题及制约因素

➤ 制约新机理发展的主要因素

磁耦合无线电能传输技术

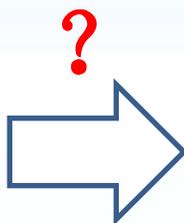


感应无线电能传输技术

谐振无线电能传输技术

PT对称无线电能传输技术

技术分类的不科学



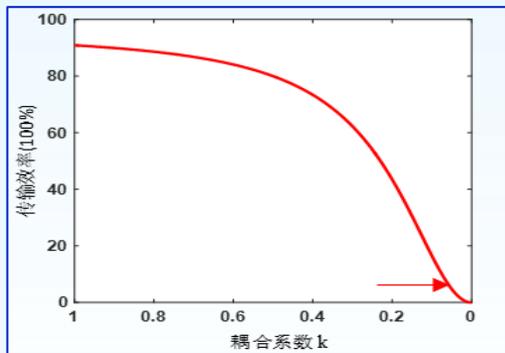
制约新机理的发展



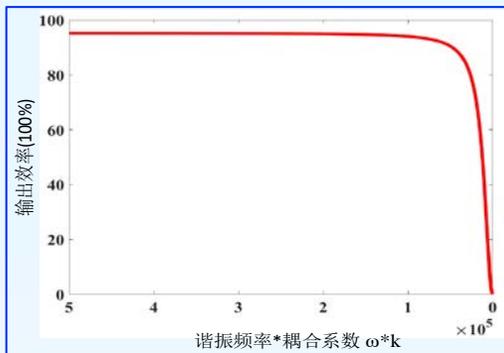
2、存在问题及制约因素

➤ 制约新机理发展的主要因素

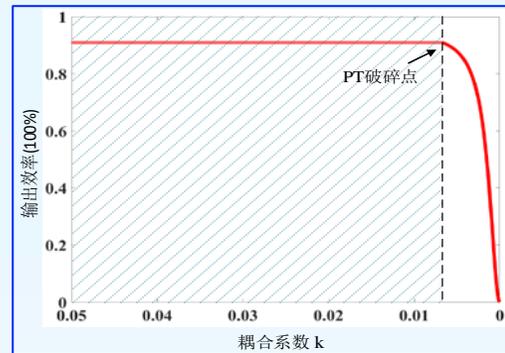
效率



感应

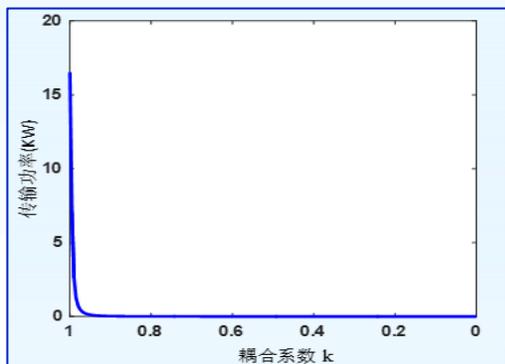


谐振

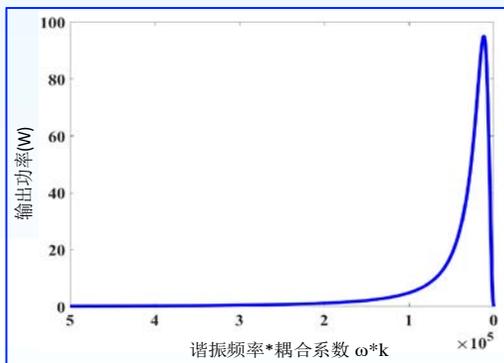


PT对称

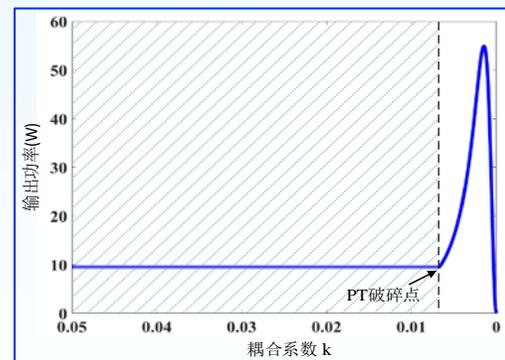
输出功率



近距离才能传输功率



近距离无法传输功率



远近距离均能传输功率

传输距离

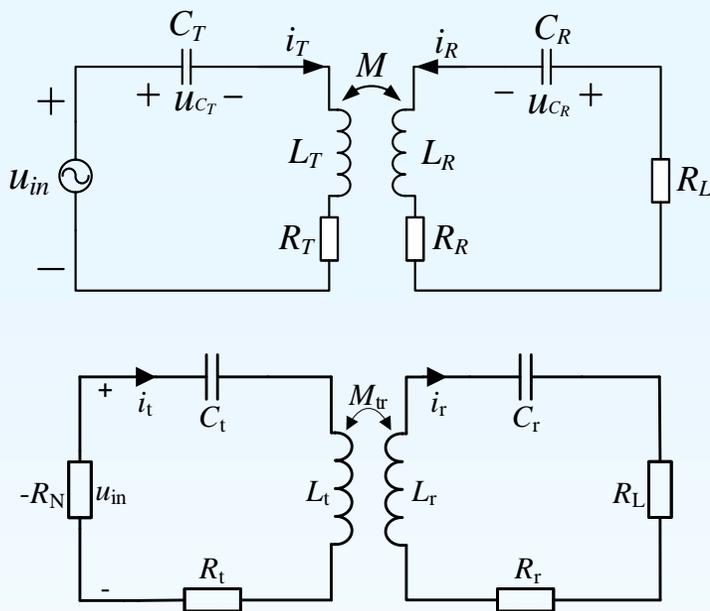
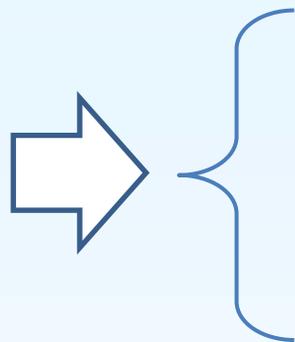
外特性完全不同



2、存在问题及制约因素

➤ 制约新机理发展的主要因素

感应
谐振
PT对称



感应、谐振

PT对称

电路拓扑相同

?

造成机理相同的误解

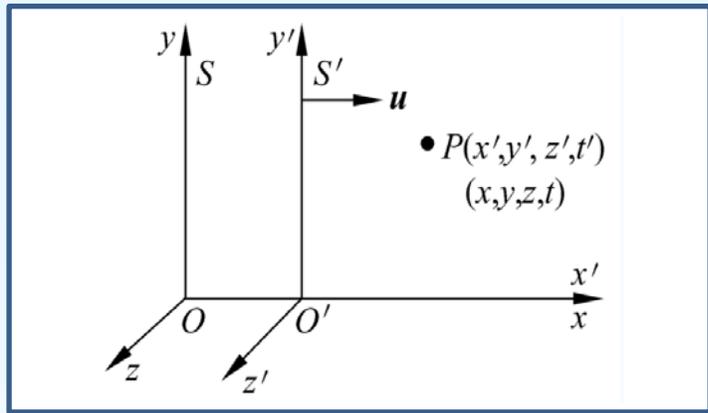
性价比低
难以市场化

设计均采用感
应的方式



2、存在问题及制约因素

➤ 制约新机理发展的主要因素



P 点在S、S'坐
标系的关系



P 运动速度满足
叠加原理

相对S 坐标系P 运
动速度大于c(光速)

从相对论的提
出看感应、谐
振、PT对称机
理的不同

牛顿力学
1867

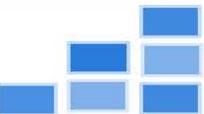
伽利略变换

$$x' = x - ut, y' = y, z' = z, t' = t$$

$$\frac{x'}{t} = \frac{x}{t} - u \Rightarrow \frac{x}{t} = \frac{x'}{t} + u$$

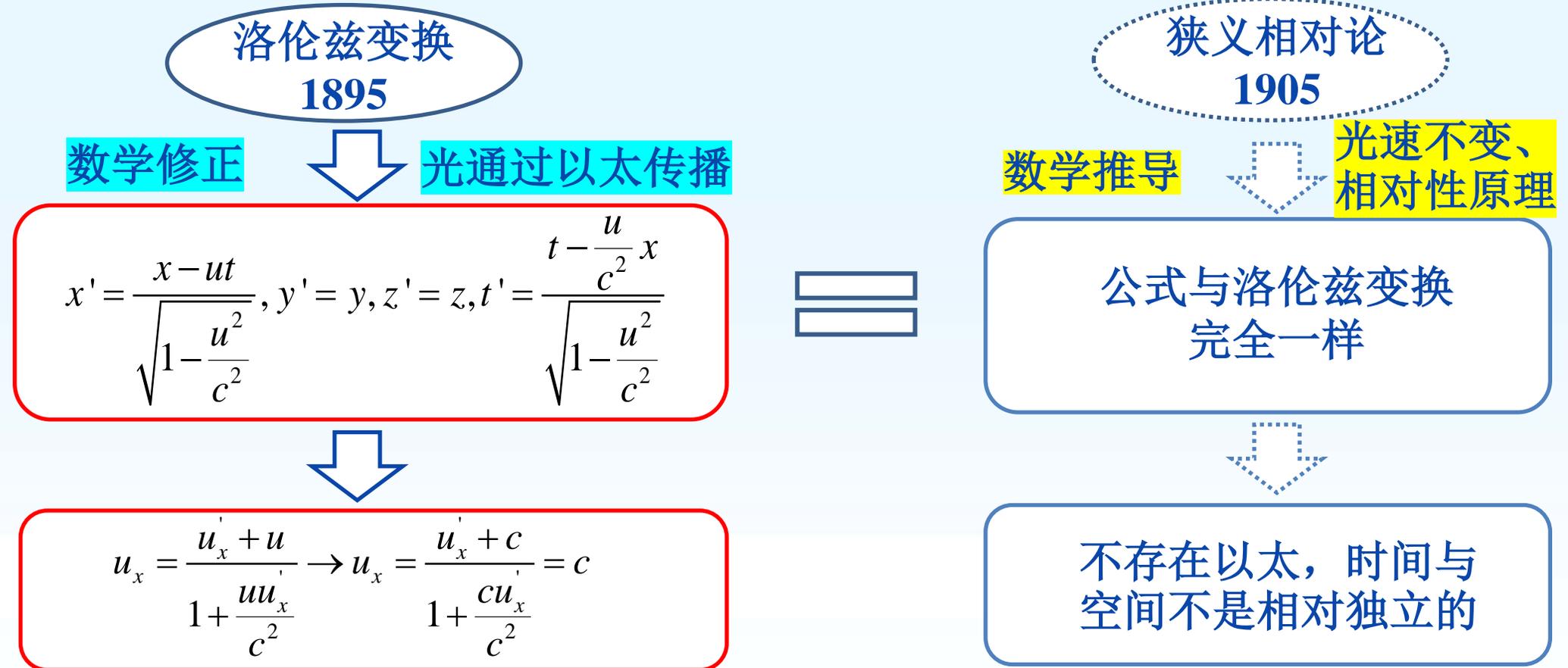
$$\frac{x}{t} = \frac{x'}{t} + u \rightarrow \frac{x}{t} = \frac{x'}{t} + c > c$$

?



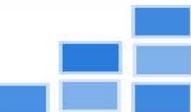
2、存在问题及制约因素

➤ 制约新机理发展的主要因素



物理解释：不同运动速度的坐标系，空间尺度和时间受以太影响，发生收缩和膨胀。

物理解释：不同运动速度的坐标系，空间尺度和时间都不一样。



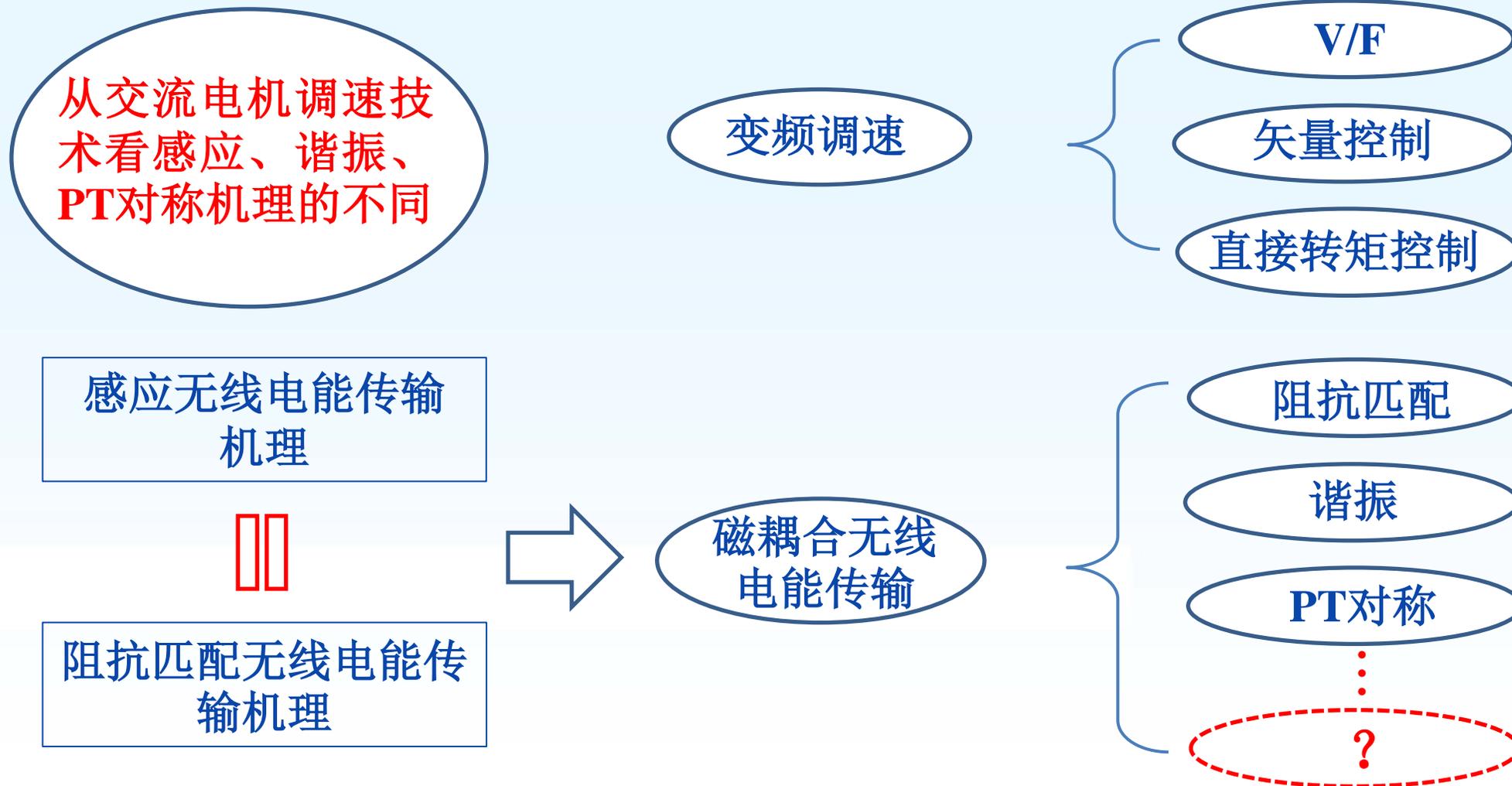
2、存在问题及制约因素

➤ 制约新机理发展的主要因素



2、存在问题及制约因素

➤ 制约新机理发展的主要因素



目录

1 发展现状

2 存在问题及制约因素

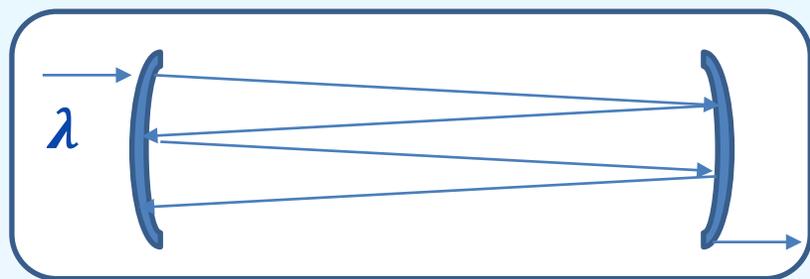
3 未来研究思路

4 结论

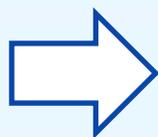


3、未来研究思路

➤ 基于光相干干涉原理的无线电能传输技术



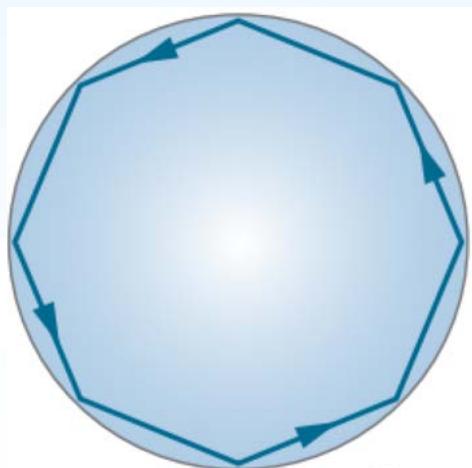
Fabry-Perot 腔



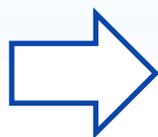
光在两个镜面
之间来回地反射



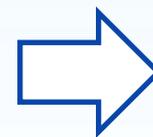
提高
磁耦合



回音壁



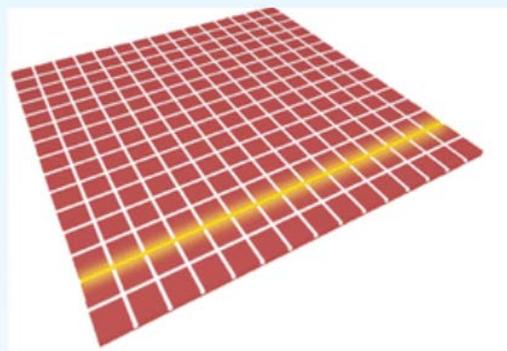
多级循环的
Fabry-Perot 腔



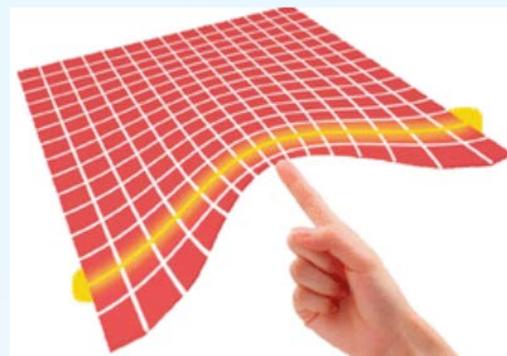
提高
传输
距离

3、未来研究思路

➤ 基于光学变换原理的无线电能传输新机理



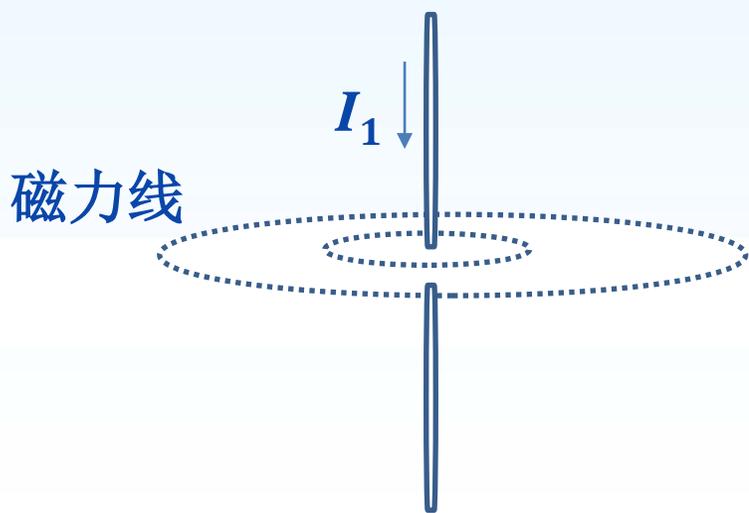
光学变换



光的弯曲

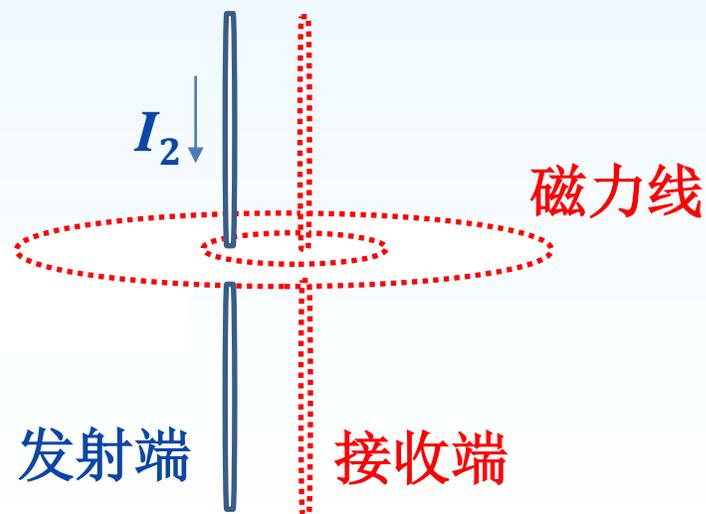
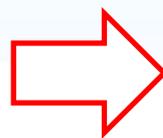


隐身



磁力线

I_1



磁力线

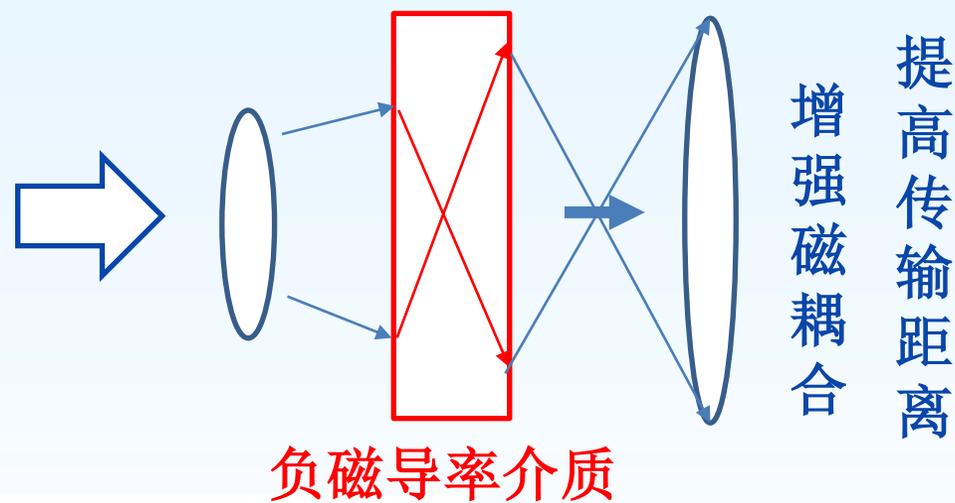
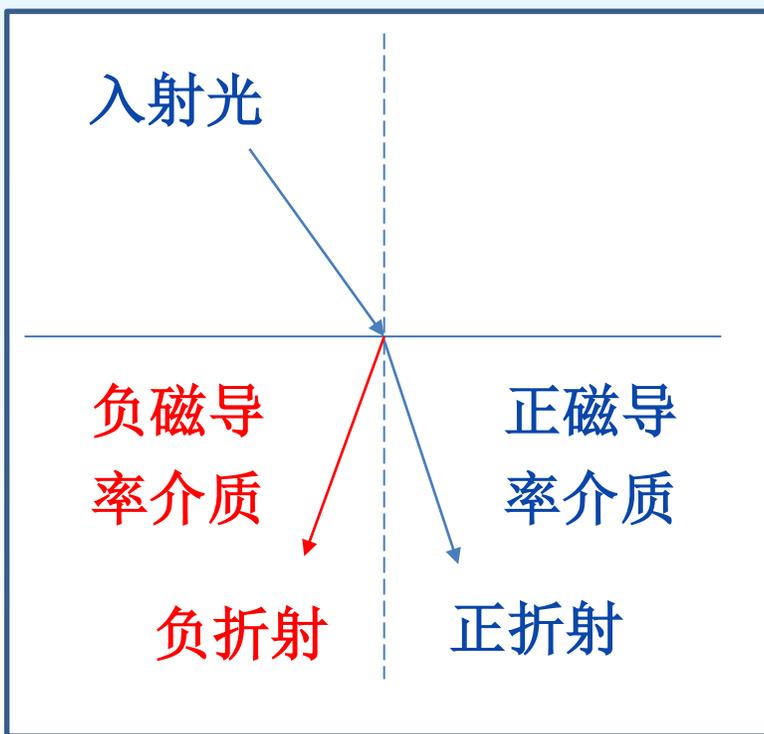
I_2

发射端

接收端

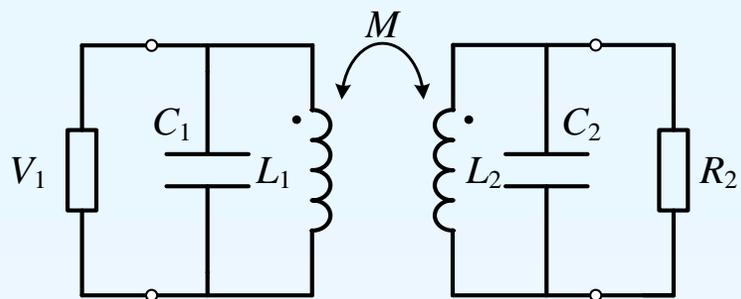
3、未来研究思路

➤ 基于负磁导材料的无线电能传输新机理

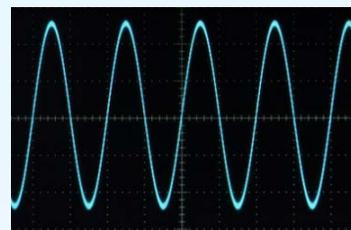


3、未来研究思路

➤ 非线性无线电能传输技术



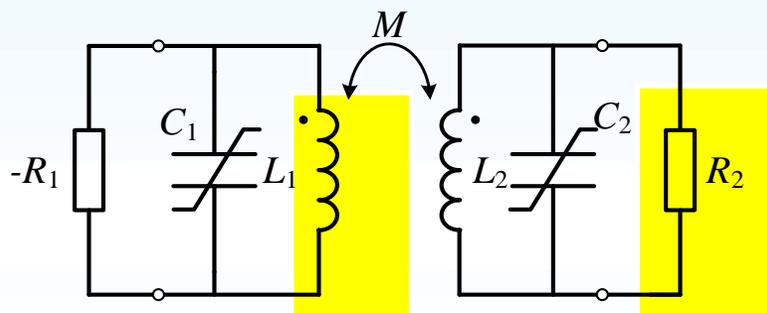
线性传输系统



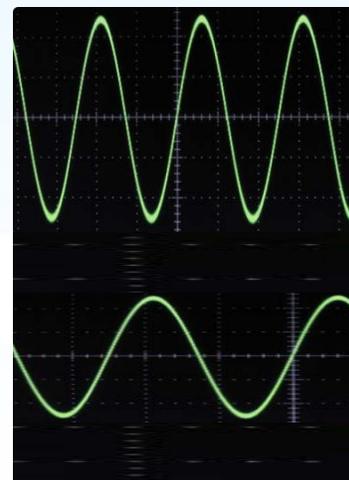
单频传输



有限传输
功率、效
率和距离



非线性传输系统



多频传输

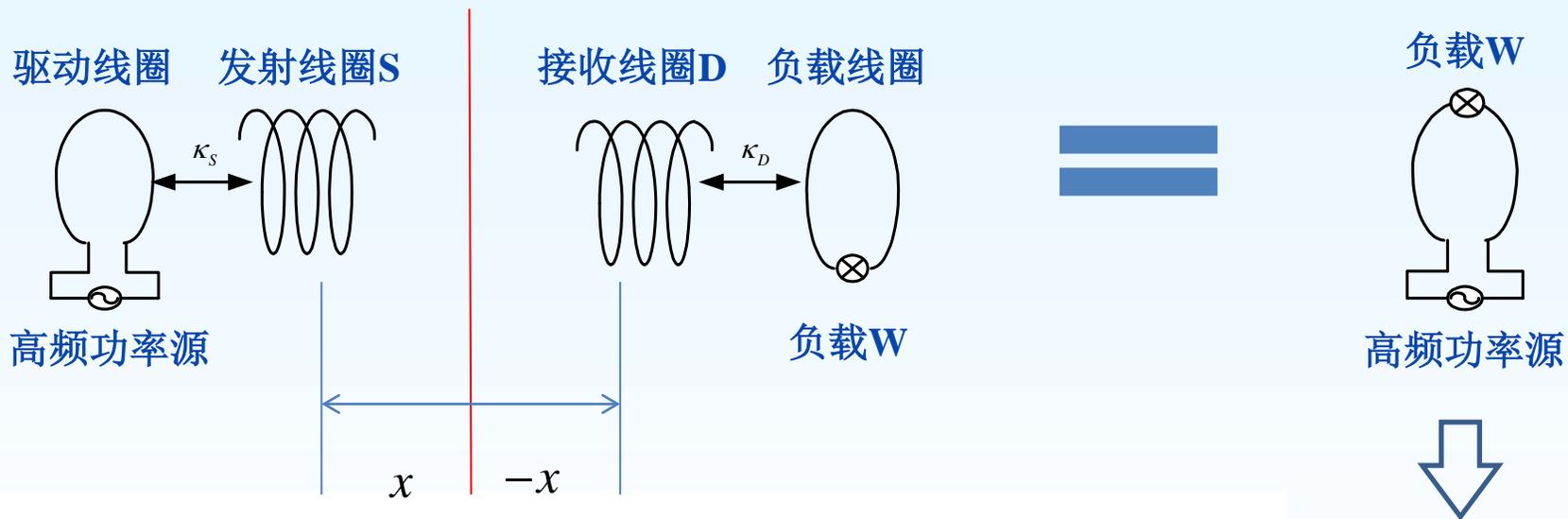


提高传输
功率、效
率和距离

3、未来研究思路

➤ 大功率、远距离、高效率PT对称无线电能传输技术

PT(镜像对称)条件



发射线圈与接收线圈镜像对称

- 与距离无关
- 高效无线电能传输

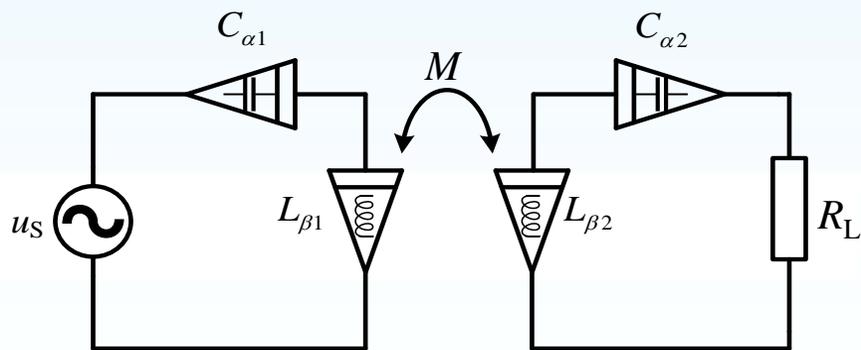
3、未来研究思路

▶ 大功率、远距离、高效率分数阶无线电能传输技术

$$\begin{cases} v_L = L \frac{d^\beta i_L}{dt^\beta} \\ i_C = C \frac{d^\alpha v_C}{dt^\alpha} \end{cases} \quad \alpha, \beta \in [0, 2] \quad \Rightarrow \quad f_r = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\sin \frac{\alpha\pi}{2}}{LC \sin \frac{\beta\pi}{2}} \right)^{\frac{1}{\alpha+\beta}}$$

分数阶电感、电容

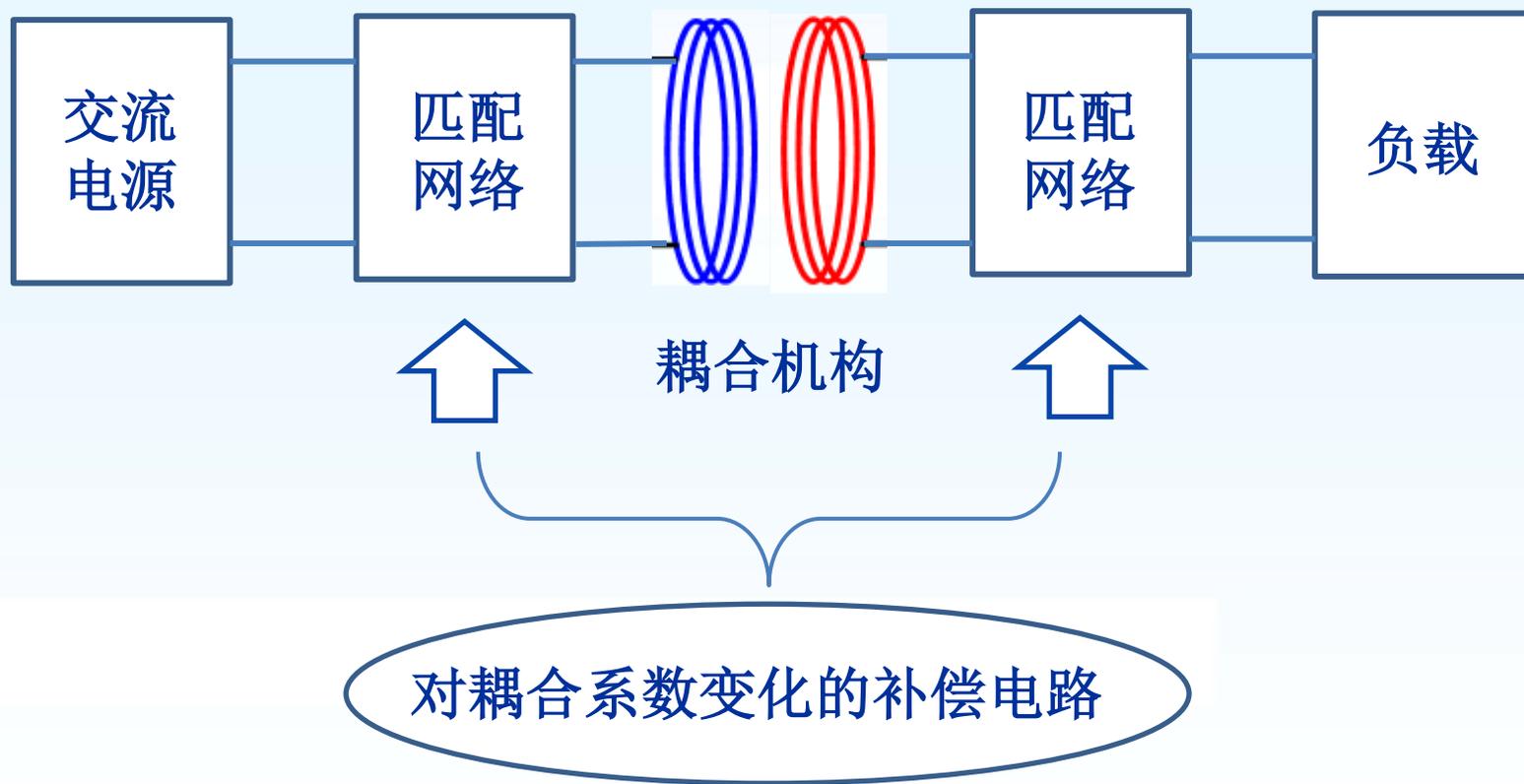
分数阶谐振频率



SS型分数阶无线电能传输电路

3、未来研究思路

➤ 具有新结构的补偿网络的无线电能传输技术



目录

1 发展现状

2 存在问题及制约因素

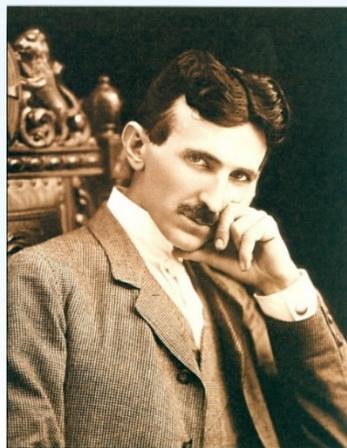
3 未来研究思路

4 结论

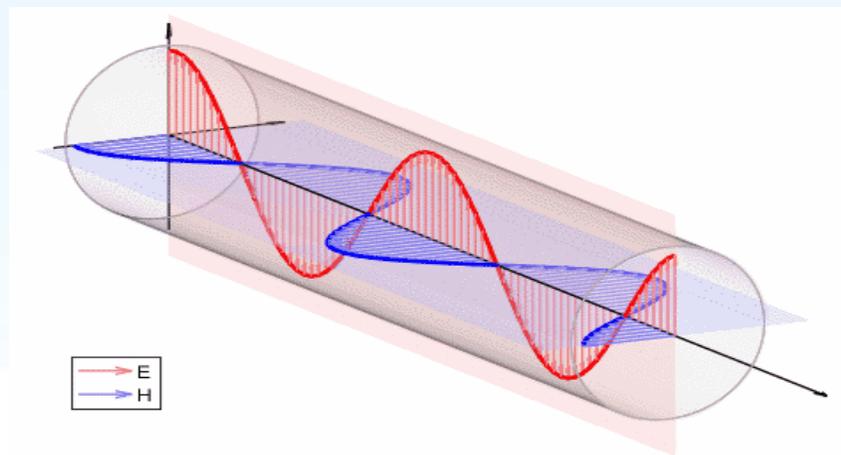


4、结论

- 无线电能传输必然是未来一种供电、充电方式
- 无线电能传输机理不能局限于现有研究思路
- 提高无线电能传输综合性能才能真正使产品走向市场化



尼古拉·特斯拉



许多年以后，人类的机器可以在宇宙中任何一点获取能量从而驱动机器

谢谢！

