



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113206552 B

(45) 授权公告日 2023. 02. 03

(21) 申请号 202110392642.0

审查员 关侠

(22) 申请日 2021.04.13

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113206552 A

(43) 申请公布日 2021.08.03

(73) 专利权人 西安理工大学

地址 710048 陕西省西安市碑林区金花南路5号

(72) 发明人 孙向东 陈泽驰 任碧莹 王之轩
张昭阳

(74) 专利代理机构 西安弘理专利事务所 61214
专利代理师 戴媛

(51) Int. Cl.

H02J 50/10 (2016.01)

H02J 50/60 (2016.01)

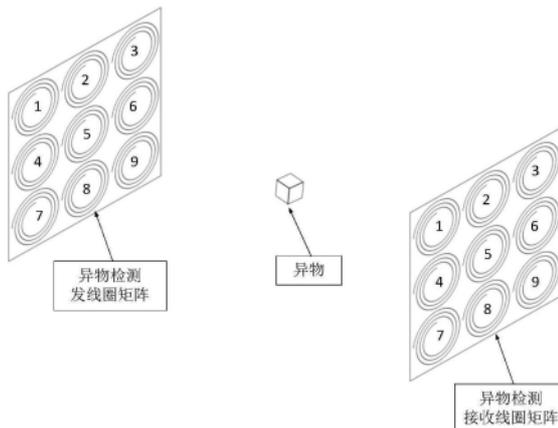
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于线圈矩阵的无线输电系统中异物检测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于线圈矩阵的无线输电系统中异物检测方法,包括线圈矩阵,线圈矩阵包括分别由多个发射小线圈排列构成的发射线圈矩阵和接收线圈矩阵,具体按照以下步骤实施:1、启动发射小线圈,记录每个接收小线圈上的输出电压 $U_{0m,n}$;2、根据每个接收小线圈上的输出电压 $U_{0m,n}$,计算每个发射小线圈与接收小线圈处线圈之间的互感;3、根据每个接收小线圈与不同发射小线圈之间的位置计算每个发射小线圈与接收小线圈处线圈之间的互感;4、根据步骤2和步骤3得到的互感值确定无线输电系统中异物的位置。本发明的方法解决了现有技术中异物检测复杂且实现难度较大的问题。



1. 一种基于线圈矩阵的无线输电系统中异物检测方法,其特征在于,包括线圈矩阵,所述线圈矩阵包括发射线圈矩阵和接收线圈矩阵,所述发射线圈矩阵由多个发射小线圈排列构成,所述接收线圈矩阵由多个接收小线圈排列构成,具体按照以下步骤实施:

步骤1、启动发射小线圈,记录每个接收小线圈上的输出电压 $U_{Om,n}$;

步骤2、根据每个接收小线圈上的输出电压 $U_{Om,n}$,计算每个发射小线圈与接收小线圈处线圈之间的互感;

所述步骤2中发射小线圈与接收小线圈处线圈之间的互感的计算如下式:

$$M_{m,n} = \frac{-jR_L U_S \pm \sqrt{4A_{m,n} U_{Om,n}^2 - R_L^2 U_S^2}}{2U_{Om,n}}$$

其中, j 为虚数符号, R_L 为负载电阻, U_S 为发射小线圈的输入电压, $U_{Om,n}$ 为每个接收小线圈上的输出电压, R_m 为发射小线圈的等效电阻, L_m 为发射小线圈的等效电感, C_m 为发射小线圈的等效电容, R_n' 为接收小线圈的等效电阻, L_n' 为接收小线圈的等效电感, C_n' 为接收小线圈的等效电容, ω 为系统的工作角频率, $A_{m,n} = (R_m + j\omega L_m + 1/j\omega C_m)(R_n' + j\omega L_n' + 1/j\omega C_n' + R_L)$;

步骤3、根据每个接收小线圈与不同发射小线圈之间的位置计算每个发射小线圈与接收小线圈处线圈之间的互感;

所述步骤3发射小线圈与接收小线圈处线圈之间的互感计算如下式:

$$M'_{m,n} = \frac{\mu_0 N^2}{4\pi} \oint_{L_2} \oint_{L_1} \frac{dl_1 dl_2}{R}$$

$$= \frac{\mu_0 N^2 R^2}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\cos(\varphi_2 - \varphi_1)}{\sqrt{h^2 + (R \cos \varphi_2 - R \cos \varphi_1)^2 + (d_{m,n} + R \sin \varphi_2 - R \sin \varphi_1)^2}} d\varphi_1 d\varphi_2$$

式中, φ_1 和 φ_2 分别表示发射小线圈和接收小线圈与初始位置的夹角,空气真空磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{N/A}^2$, $d_{m,n}$ 表示两小线圈的轴向偏移距离, N 为小线圈的绕制圈数, d_{l_1} 、 d_{l_2} 为发射小线圈和接收小线圈的积分微元, R 为小线圈的平均半径, h 为小线圈之间的垂直距离;

步骤4、根据步骤2和步骤3得到的互感值确定无线输电系统中异物的位置。

2. 根据权利要求1所述的一种基于线圈矩阵的无线输电系统中异物检测方法,其特征在于,所述步骤1具体为,首先,启动第1个发射小线圈 TX_1 ,发射小线圈的输入电压为 U_S ,记录此时每个接收小线圈的输出电压分别为 $U_{O1,n}$,记录完每个接收小线圈的输出电压后关闭第1个发射小线圈 TX_1 ;然后,启动第2个发射小线圈 TX_2 ,同时记录此时每个接收小线圈的输出电压分别为 $U_{O2,n}$,记录完每个接收小线圈的输出电压后关闭第2个发射小线圈 TX_2 ,以此类推,依次按照顺序完成发射线圈 TX_3 到 TX_9 启动与关闭,并记录启动时的每个接收小线圈的输出电压。

3. 根据权利要求1所述的一种基于线圈矩阵的无线输电系统中异物检测方法,其特征在于,所述步骤4具体为,当通过步骤2和步骤3得到的相同编号的发射小线圈和接收小线圈之间的互感值相同时,发射线圈矩阵与接收线圈矩阵之间没有异物;当通过步骤2得到的相同编号的发射小线圈和接收小线圈之间的互感值小于通过步骤3得到的相同编号的发射小线圈和接收小线圈之间的互感值时,则该编号的发射小线圈和接收小线圈之间存在异物。

一种基于线圈矩阵的无线输电系统中异物检测方法

技术领域

[0001] 本发明属于无线输电技术领域,涉及一种基于线圈矩阵的无线输电系统中异物检测方法。

背景技术

[0002] 随着无线电能传输技术的不断发展,人们越来越看重如何提高无线输电系统的传输效率以及如何提高无线输电的传输距离。但无线输电中传输距离的增加会使得线圈之间的距离增大,这意味着发送与接收线圈之间的空间中进入异物的可能性也随之增大。目前稍远距离的无线输电系统线圈结构通常包括两线圈、三线圈以及四线圈等。然而无论是无线输电系统的磁耦合谐振式还是磁感应式输电方式,对于输电空间的环境要求都较为严格。当无线输电途径中异物如一些导磁材料进入后,会使发射线圈发送的能量被导磁材料大量吸收而导致传输的效率大大降低。另外在高频磁场的作用下可能发生涡流效应加热异物,威胁到人身安全或设备的正常运行。因此检测输电途径中是否存在其他的导磁材料对于无线输电系统能否高效率运行有重要的意义。

[0003] 目前常见的异物检测方法包括机器视觉方法、热能损耗检测方法和阻抗变化检测方法等。机器视觉方法通过摄像头采集空间的图像再经过神经网络算法判断输电空间是否存在异物,这种方法需要摄像头和高性能微处理器等,成本高。热能损耗检测方法通过系统发射功率的变化和输出功率来检测热能损耗,这种方法检测精度不高,且无法得知线圈中异物的位置。阻抗变化检测方法通过检测输入侧线圈的阻抗变化来检测异物,同时可以检测导磁材料和生物体。这种方法对于阻抗变化不大情况的检测精度不高,且特征提取的算法难度较高。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种基于线圈矩阵的无线输电系统中异物检测方法,解决了现有技术中存在的异物检测复杂且实现难度较大或精度不高的问题。

[0005] 本发明所采用的技术方案是,一种基于线圈矩阵的无线输电系统中异物检测方法,包括线圈矩阵,所述线圈矩阵包括发射线圈矩阵和接收线圈矩阵,所述发射线圈矩阵由多个发射小线圈排列构成,所述接收线圈矩阵由多个接收小线圈排列构成,具体按照以下步骤实施:

[0006] 步骤1、启动发射小线圈,记录每个接收小线圈上的输出电压 $U_{0m,n}$;

[0007] 步骤2、根据每个接收小线圈上的输出电压 $U_{0m,n}$,计算每个发射小线圈与接收小线圈处线圈之间的互感;

[0008] 步骤3、根据每个接收小线圈与不同发射小线圈之间的位置计算每个发射小线圈与接收小线圈处线圈之间的互感;

[0009] 步骤4、根据步骤2和步骤3得到的互感值确定无线输电系统中异物的位置。

[0010] 本发明的特点还在于:

[0011] 步骤1具体为,首先,启动第1个发射小线圈TX₁,发射小线圈的输入电压为U_S,记录此时每个接收小线圈的输出电压分别为U_{01,n},记录完每个接收小线圈的输出电压后关闭第1个发射小线圈TX₁;然后,启动第2个发射小线圈TX₂,同时记录此时每个接收小线圈的输出电压分别为U_{02,n},记录完每个接收小线圈的输出电压后关闭第2个发射小线圈TX₂,以此类推,依次按照顺序完成发射线圈TX₃到TX₉启动与关闭,并记录启动时的每个接收小线圈的输出电压。

[0012] 步骤2中发射小线圈与接收小线圈处线圈之间的互感的计算如下式:

$$[0013] \quad M_{m,n} = \frac{-jR_L U_S \pm \sqrt{4A_{m,n} U_{Om,n}^2 - R_L^2 U_S^2}}{2U_{Om,n}}$$

[0014] 其中,j为虚数符号,R_L为负载电阻,U_S为发射小线圈的输入电压,U_{Om,n}为每个接收小线圈上的输出电压,R_m为发射小线圈的等效电阻,L_m为发射小线圈的等效电感,C_m为发射小线圈的等效电容,R_n'为接收小线圈的等效电阻,L_n'为接收小线圈的等效电感,C_n'为接收小线圈的等效电容,ω为系统的工作角频率,A_{m,n}=(R_m+jωL_m+1/jωC_m)(R_n'+jωL_n'+1/jωC_n'+R_L)。

[0015] 步骤3发射小线圈与接收小线圈处线圈之间的互感计算如下式:

$$[0016] \quad M'_{m,n} = \frac{\mu_0 N^2}{4\pi} \iint_{L_2} \iint_{L_1} \frac{dl_1 dl_2}{R}$$

$$= \frac{\mu_0 N^2 R^2}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\cos(\varphi_2 - \varphi_1)}{\sqrt{h^2 + (R \cos \varphi_2 - R \cos \varphi_1)^2 + (d_{m,n} + R \sin \varphi_2 - R \sin \varphi_1)^2}} d\varphi_1 d\varphi_2$$

[0017] 式中,φ₁和φ₂分别表示发射小线圈和接收小线圈与初始位置的夹角,空气真空磁导率μ₀=4π×10⁻⁷N/A²,d_{m,n}表示两两小线圈的轴向偏移距离,N为小线圈的绕制圈数,dl₁、dl₂为发射小线圈和接收小线圈的积分微元,R为小线圈的平均半径,h为小线圈之间的垂直距离。

[0018] 步骤4具体为,当通过步骤2和步骤3得到的相同编号的发射小线圈和接收小线圈之间的互感值相同时,发射线圈矩阵与接收线圈矩阵之间没有异物;当通过步骤2得到的相同编号的发射小线圈和接收小线圈之间的互感值小于通过步骤3得到的相同编号的发射小线圈和接收小线圈之间的互感值时,则该编号的发射小线圈和接收小线圈之间存在异物。

[0019] 本发明的有益效果是:本发明一种基于线圈矩阵的无线输电系统中异物检测方法通过在无线输电系统中设置线圈矩阵,根据接收线圈和发射线圈之间的传输特性变化对接收线圈输出电压的影响来检测异物,当发射线圈和接收线圈之间存在导磁体或生物体等异物时,会检测到接收线圈的电压变化,通过判断电压变化情况得到线圈间互感的变化,再根据互感的变化规律确定输电系统中是否存在异物以及异物出现的位置,该检测方法简单、可靠,易于实现。

附图说明

[0020] 图1是本发明一种基于线圈矩阵的无线输电系统中异物检测方法中线圈矩阵的结构图;

[0021] 图2是本发明一种基于线圈矩阵的无线输电系统中异物检测方法的无线输电系统等效电路图；

[0022] 图3是本发明一种基于线圈矩阵的无线输电系统中异物检测方法中线圈矩阵中一对发射小线圈和接收小线圈的等效电路图；

[0023] 图4是通过本发明一种基于线圈矩阵的无线输电系统中异物检测方法得到的无线输电系统中异物出现前后线圈之间的互感变化曲线图。

具体实施方式

[0024] 下面结合附图和具体实施方式对本发明进行详细说明。

[0025] 本发明一种基于线圈矩阵的无线输电系统中异物检测方法,包括线圈矩阵,如图1所示,线圈矩阵的结构是由一个发射线圈矩阵和一个接收线圈矩阵组成,其中,发射线圈矩阵和接收线圈矩阵均由多个(本例中选择9个,但实际中不仅限于9个)小线圈排列构成,发射线圈矩阵中每个发射小线圈分别记为TX_m (m=1~9),接收线圈矩阵中每个接收小线圈分别记为RX_n (n=1~9),单独的每个发射小线圈和接收小线圈均满足磁感应式无线输电方式,且每个发射小线圈的等效电路可以等效为电阻R_m、电感L_m和电容C_m的串联电路结构,以及接收小线圈的等效电路可以等效为电阻R'_n、电感L'_n和电容C'_n的串联电路结构,于是系统整体的等效电路可以表示为如图2所示,其中异物可以等效为一个电阻R₀、电感L₀和电容C₀的串联电路结构。

[0026] 当无线输电系统空间中无异物时,定义每个发射小线圈与其对应的接收小线圈之间的电路模型如图3所示,以第1个发射小线圈进行分析,其等效电路为电阻R₁、电感L₁、电容C₁串联以及第1个接收小线圈的等效电路为电阻R'₁、电感L'₁、电容C'₁串联,第1个接收小线圈的输出电压为U_{01,1},第1个发射小线圈和第1个接收小线圈之间的互感为M_{1,1},第1个发射小线圈上输入电压为逆变器输出电压有效值U_s,流过其上的电流为I₁,第1个接收小线圈上流过的电流为I'₁,那么根据基尔霍夫电压定律,对于第一组线圈由式(1)表示:

$$[0027] \begin{bmatrix} U_s \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 + j\omega L_1 + 1/j\omega C_1 & j\omega M_{1,1} \\ -j\omega M_{1,1} & R'_1 + j\omega L'_1 + 1/j\omega C'_1 + R_L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I'_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0028] 当两个线圈之间距离确定时,设第1个发射小线圈上的电压为U_s,则两个线圈之间的传递函数如式(2)所示,其中 ω 为系统发射线圈的工作频率,R_L为负载电阻值:

$$[0029] G_{1,1} = \frac{j\omega M_{1,1} R_L}{(R_1 + j\omega L_1 + 1/j\omega C_1)(R'_1 + j\omega L'_1 + 1/j\omega C'_1 + R_L) - \omega^2 M_{1,1}^2} \quad (2)$$

[0030] 由于空间中无异物存在时两个线圈间互感一定,则当第1个发射小线圈的电压为U_s时,第1个接收小线圈上的输出电压为U_{1,1};当第2个发射线圈的电压为U_s时,第2个接受小线圈的输出电压U_{2,2};同样第m个发射线圈对应的第n个接受线圈的输出电压U_{m,n}应均保持一致,即U_{1,1}=U_{2,2}=U_{m,n(m=n)};然而当异物进入时会导致磁场的变化,从而使两个线圈之间传输的功率发生变化,当接收线圈的负载为阻性负载时,则表现为阻性负载电压发生变化,因此,检测异物的方法是通过采集发射小线圈上输入电压和接收小线圈上的输出电压,然后通过输入电压和输出电压之间的变化计算两个线圈之间的互感,从而判断两个线圈之间是否存在异物;

[0031] 具体实施步骤如下:

[0032] 步骤1,记录的每个接收小线圈上的输出电压数据,具体为:首先,启动第1个发射小线圈TX₁,作用在发射小线圈上的输入电压为U_S,记录此时每个接收小线圈的输出电压分别为U_{01,n}(n=1~9),记录完成每个接收小线圈的输出电压后关闭第1个发射小线圈TX₁,然后,顺序启动第2个发射小线圈TX₂,同时记录此时每个接收小线圈的输出电压分别为U_{02,n}(n=1~9),同样完成每个接收小线圈的输出电压后关闭第2个发射小线圈TX₂,以此类推,依次按照顺序完成发射线圈TX₃到TX₉启动与关闭,并记录启动时的每个接收小线圈的输出电压,完成上述过程后,记录的输出电压数据U_{0m,n}(m=1~9,n=1~9)共有81个,由于所有依次发射的小线圈输入电压均一致,所以对于每个发射小线圈,其与对应位置相同序号接收小线圈之间的距离一致,在没有异物的情况下相同序号接收小线圈上的输出电压相同,但当异物存在时,由于线圈之间存在相互耦合,会使发射线圈传输到接收线圈上的电压减小;

[0033] 步骤2,根据每个接收小线圈上的电压U_{0m,n},计算出此时每个发射小线圈与接收小线圈处线圈之间的互感,互感的计算公式如式(3)所示:

$$[0034] \quad M_{m,n} = \frac{-jR_L U_S \pm \sqrt{4A_{m,n} U_{0m,n}^2 - R_L^2 U_S^2}}{2U_{0m,n}} \quad (3)$$

[0035] 其中j为虚数符号,R_L为负载电阻大小,U_S为发射小线圈的输入电压,U_{0m,n}为每个接收小线圈上的输出电压,R_m为发射小线圈的等效电阻,L_m为发射小线圈的等效电感,C_m为发射小线圈的等效电容,R_n'为接收小线圈的等效电阻,L_n'为接收小线圈的等效电感,C_n'为接收小线圈的等效电容,ω为系统的工作角频率。

$$[0036] \quad A_{m,n} = (R_m + j\omega L_m + 1/j\omega C_m) (R_n' + j\omega L_n' + 1/j\omega C_n' + R_L) \quad (4)$$

[0037] 步骤3,根据每个接收小线圈于不同发射小线圈之间的位置计算出线圈之间的互感;

[0038] 具体为:每个发射小线圈和接收小线圈之间的互感可以根据线圈的匝数、大小以及距离变化等计算出来,发射线圈矩阵和接收线圈矩阵之间的垂直距离为h,每个小线圈的平均半径为R,线圈匝数为N,线圈按照近似同心圆进行分析,M'_{m,n}表示发射线圈矩阵中第m发射小线圈和接收线圈矩阵中第n接收小线圈之间的互感值,当m=n时两个小线圈呈平行且共轴排列,m≠n时两个小线圈的关系为非共轴平行的排列顺序,线圈之间的耦合关系需要考虑之间的偏移情况,此时两个小线圈之间互感关系可根据冯·诺曼公式得出如式(5)所示。

$$[0039] \quad M'_{m,n} = \frac{\mu_0 N^2}{4\pi} \left(\iint_{L_2} \iint_{L_1} \frac{dl_1 dl_2}{R} \right) \\ = \frac{\mu_0 N^2 R^2}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\cos(\varphi_2 - \varphi_1)}{\sqrt{h^2 + (R \cos \varphi_2 - R \cos \varphi_1)^2 + (d_{m,n} + R \sin \varphi_2 - R \sin \varphi_1)^2}} d\varphi_1 d\varphi_2 \quad (5)$$

[0040] 式中,φ₁和φ₂分别表示发射线圈和接收线圈与初始位置的夹角,空气真空磁导率μ₀=4π×10⁻⁷N/A²,N为小线圈的绕制圈数,d₁₁、d₁₂为发射小线圈和接收小线圈的积分微元,R为小线圈的平均半径,h为小线圈之间的垂直距离,d_{m,n}表示两两小线圈的轴向偏移距离,m=1~9和n=1~9时所有的两两小线圈的轴向偏移距离由式(6)中的d表示:

$$[0041] \quad d = 2R \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} & 2 & \sqrt{5} & \sqrt{8} \\ 1 & 0 & 1 & \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} & 2 & \sqrt{5} \\ 2 & 1 & 0 & \sqrt{5} & \sqrt{2} & 1 & \sqrt{8} & \sqrt{5} & 2 \\ 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} & 0 & 1 & 2 & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} \\ \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} & 1 & 0 & 1 & \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} \\ \sqrt{5} & \sqrt{2} & 1 & 2 & 1 & 0 & \sqrt{5} & \sqrt{2} & 1 \\ 2 & \sqrt{5} & \sqrt{8} & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} & 0 & 1 & 2 \\ \sqrt{5} & 2 & \sqrt{5} & \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} & 1 & 0 & 1 \\ \sqrt{8} & \sqrt{5} & 2 & \sqrt{5} & \sqrt{2} & 1 & 2 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

[0042] 步骤4,通过两种计算互感的方法,根据互感变化来确定异物的位置所在;根据发射小线圈输入电压 U_S 和每个接收小线圈输出电压 $U_{0m,n}$,通过步骤2可以计算出相同序号线圈之间的互感 $M_{m,n}$;然后根据线圈的参数、线圈之间的位置,通过步骤3计算出每个小线圈之间的互感 $M'_{m,n}$;

[0043] 具体为:当发射线圈矩阵与接收线圈矩阵之间没有异物时,相同序号的发射小线圈和接受小线圈之间的互感 $M_{m,n}$ 与 $M'_{m,n}$ 基本一致,但当线圈之间存在异物时,会使计算出的互感 $M_{m,n}$ 明显减小,而互感 $M'_{m,n}$ 基本不变,因此可以通过检测 $M_{m,n}$ 与 $M'_{m,n}$ 之间的差距来确定异物存在的位置。

[0044] 例如,图4是 $M_{m,n}$ 在 t_1 时刻开始出现大幅减小的情况,在初始0时刻,线圈矩阵之间不存在异物时,此时通过输入电压 U_S 和输出电压 $U_{0m,n}$ 计算出一对小线圈之间的互感为 $M_{m,n} = M_1$,通过线圈参数和线圈距离计算出的互感为 $M'_{m,n} = M_{m,n} = M_1$,说明此时两个线圈之中无异物出现,在 t_1 时刻,小线圈之间通过线圈参数和线圈距离计算出的互感 $M'_{m,n}$ 保持不变,但通过输入电压 U_S 和输出电压 $U_{0m,n}$ 计算出的互感 $M_{m,n}$ 会因为异物的存在吸收了磁场而导致互感出现大幅减小,此时 $M_{m,n} = M_2, M_2 < M_1$,所以通过判断 $M_{m,n}$ 大幅减小以及此刻 $M_{m,n}$ 减小时对应小线圈的坐标 m 和 n 即可判断出异物出现的位置,其中 m 代表了发射线圈矩阵第 m 个小线圈所对的方向, n 代表了接收线圈矩阵第 n 个小线圈所对的方向。

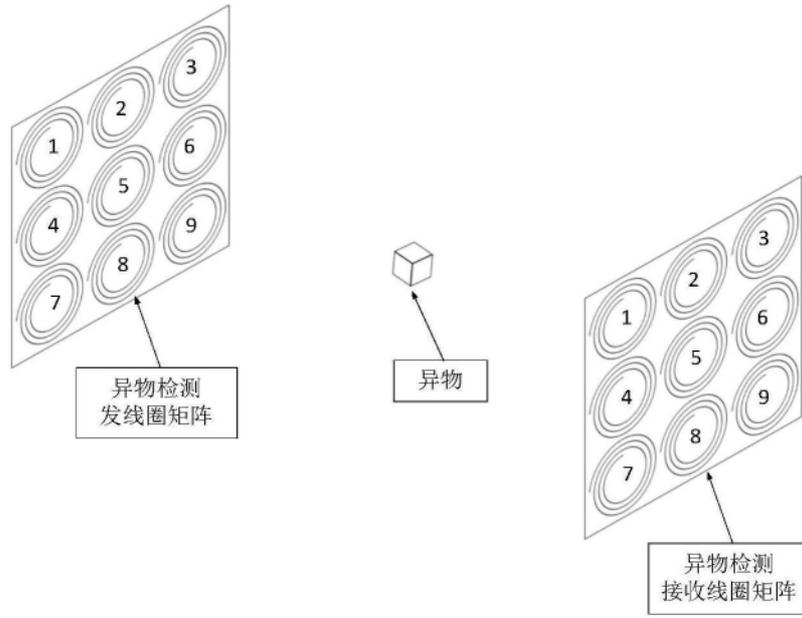


图1

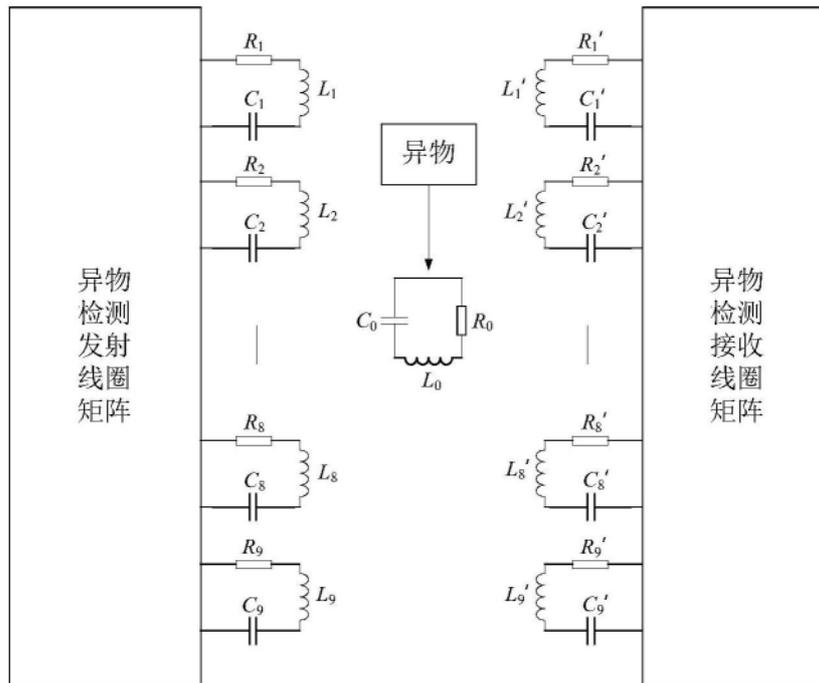


图2

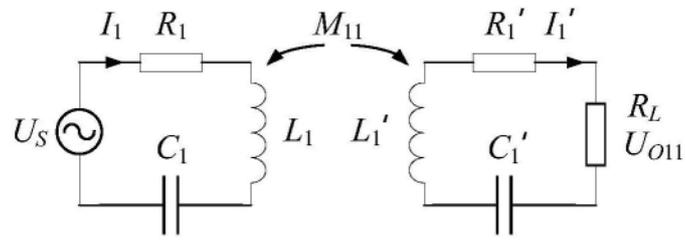


图3

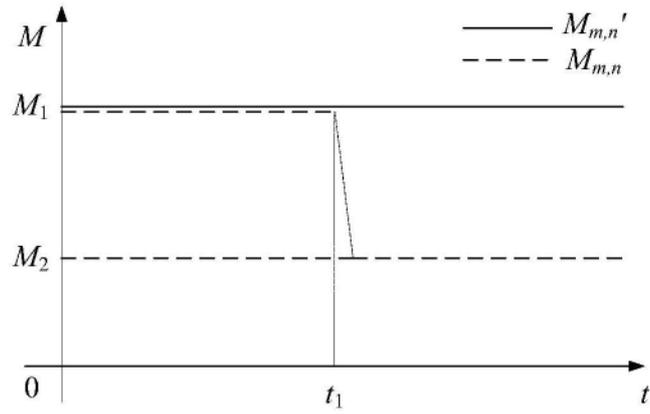


图4