



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107192891 A

(43)申请公布日 2017.09.22

(21)申请号 201710221714.9

(22)申请日 2017.04.06

(71)申请人 中国汽车工程研究院股份有限公司

地址 401121 重庆市北部新区金渝大道9号

(72)发明人 贾晋 赖志达 李彪 黄雪梅

雷剑梅

(74)专利代理机构 重庆市恒信知识产权代理有

限公司 50102

代理人 陈志生

(51)Int. Cl.

G01R 29/08(2006.01)

G01R 31/00(2006.01)

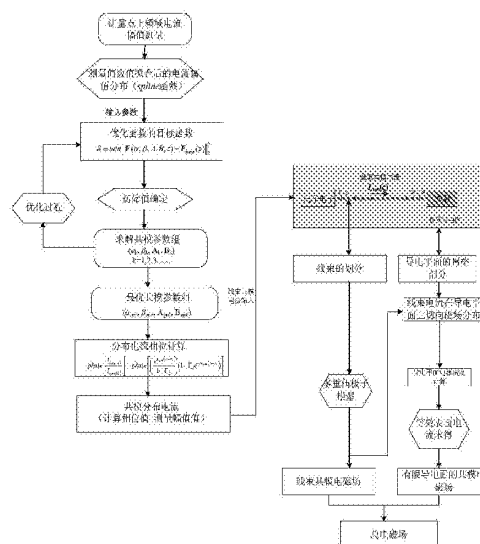
权利要求书2页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

一种基于频域共模电流测量的辐射预测方法

(57)摘要

本发明请求保护一种基于电流频域幅值测量的相位重构方法,该发明算法能够快速获得频域电流所缺失的相位信息,利用测量电流幅值与计算电流相位信息能够快速预测汽车线束的电磁辐射水平,该方法能够获取30MHz-1000MHz的线缆共模电流分布及其辐射预测,主要包括两块:1.线束共模电流的获取:共模电流的测量;拟合测量结果,得到光滑的测量曲线;利用TRR优化函数计算共模参数;利用传输线电流计算表达式求得相位分布;2.共模辐射预测:第一步获取的共模电流作为辐射源;利用线束多偶极子天线计算得到线束的共模辐射;利用表面电流法计算得到有限导电面的共模辐射;两者相加得到总的辐射水平。



1.一种基于频域共模电流测量的辐射预测方法,其特征在于,包括以下步骤:

101、首先测量线束的共模电流幅值,利用Spline样条函数拟合电流幅值空间分布,建立关于共模参数的目标函数;

102、然后利用TRR优化函数求解所建立的目标函数,从而得到线束最优共模参数;

103、依据获得的线束最优共模参数与电流分布表达式计算得到电流相位分布,根据测量的共模电流幅值参数与计算得到的相位参数计算线缆的共模辐射;在辐射的计算过程中,将线缆划分为一组偶极子天线的组合,利用叠加原理计算求得线缆的辐射值;另外将有限导电平面划分为一组等效表面电流的组合,同样利用叠加原理计算求得导电平面的辐射值;将线缆的辐射值加上导电平面的辐射值即为待测汽车部件总的辐射值。

2.根据权利要求1所述的基于频域共模电流测量的辐射预测方法,其特征在于,所述步骤101测量线束的共模电流幅值具体包括:通过电流线圈与频谱仪或接收机对线缆进行共模电流幅值测试,具体的可以根据最高频率的波长来确定测量间隔。

3.根据权利要求2所述的基于频域共模电流测量的辐射预测方法,其特征在于,所述步骤101共模参数的目标函数是:

$$S = \min \|F(\alpha, \beta, A, B, z) - F_{\text{meas}}(z)\|_2^2 \\ = \sum_{i=0}^m [F(\alpha, \beta, A, B, z_i) - F_{\text{meas}}(z_i)]^2$$

归一化共模电流幅值表达式为:

$$F(z) = \left| \left(\frac{e^{(\alpha+j\beta)(L-z)}}{1-(A+jB)} \right) (1-(A+jB)e^{-2(\alpha+j\beta)(L-z)}) \right|^2 \\ \Gamma_2 = \frac{Z_2 - Z_0}{Z_2 + Z_0} = A + jB, \quad \gamma = \alpha + j\beta$$

其中A:发射系数 Γ_2 的实部,B:发射系数 Γ_2 的虚部, α :衰减常数, β :相位常数, z :线束位置, $F_{\text{meas}}(z)$:测量电流幅值分布函数,S:目标函数, γ :传播常数, Z_2 :负载阻抗, Z_0 :线束的特性阻抗,L:线束长度。

4.根据权利要求1-3之一所述的基于频域共模电流测量的辐射预测方法,其特征在于,所述步骤103利用电流分布表达式计算得到电流相位分布,如下:

$$\text{phase}(I_{\text{com}}(z)) = \text{phase} \left\{ \left(\frac{e^{\gamma(L-z)}}{1-\Gamma_2} \right) (1-\Gamma_2 e^{-2\gamma(L-z)}) I_{\text{com}}(L) \right\},$$

$\text{phase}(I_{\text{com}}(z))$:共模电流相位分布, $I_{\text{com}}(z)$ 共模电流。

5.根据权利要求4所述的基于频域共模电流测量的辐射预测方法,其特征在于,所述将线缆划分为一组偶极子天线的组合,利用叠加原理计算求得线缆的辐射值,其中单个偶极子天线的计算公式为,以电场为例:

$$E_y^d = \frac{IdL \cdot zy}{4\pi r^2} \eta_0 \beta_0^2 \left(j \frac{1}{\beta_0 r} + \frac{3}{\beta_0^2 r^2} - j \frac{3}{\beta_0^3 r^3} \right) e^{-j\beta_0 r}$$

I为偶极子天线的电流幅值与相位,r为偶极子到场点的距离, ϵ_0 为空气中的介电常数,dL为电偶极子的长度, η_0 为波阻抗, β_0 为电磁波相位常数。

6. 根据权利要求4所述的基于频域共模电流测量的辐射预测方法, 其特征在于, 所述将有限导电平面划分为一组等效表面电流的组合, 利用叠加原理计算求得导电平面的辐射值, 具体包括: 将有限导电面等效为表面电流, 表面电流密度由线缆共模电流近场磁场近似计算得到:

$$\begin{aligned} \mathbf{J} &= \mathbf{J}_x \mathbf{e}_x + \mathbf{J}_z \mathbf{e}_z \approx \mathbf{e}_n \times (\mathbf{H}^{\text{TL}} + \mathbf{H}^{\text{TL-mirror}}) \\ &\approx -H_z \mathbf{e}_x + H_x \mathbf{e}_z \end{aligned} \quad \begin{aligned} I_{\text{dip}x} e_x &= \Delta L_z \cdot J_x e_x \quad I_{\text{dip}z} e_z = \Delta L_x \cdot J_z e_z, \end{aligned}$$

式中 $\mathbf{e}_n (= -\mathbf{e}_y)$ 是相对于导电桌面的单位法向矢量, \mathbf{e}_x 与 \mathbf{e}_y 相对于导电桌面的单位切向矢量, \mathbf{H}^{TL} 是来自于导电桌面上导线的磁场强度, $\mathbf{H}^{\text{TL-mirror}}$ 是来自于导线关于导电桌面镜像的磁场强度, J_x 或 J_z 表示导体桌面 x 或 z 轴切向电流密度, ΔL_z 或 ΔL_x 表示划分导电桌面网格长宽, 等效表面电流为短偶极子天线列阵, 根据偶极子天线辐射计算式, 计算得到有限导电面的辐射。

一种基于频域共模电流测量的辐射预测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及汽车电子辐射发射领域,特别涉及一种基于线束共模电流测量的辐射预测方法。

背景技术

[0002] 随着汽车电子的高度集成化,以及智能汽车联网技术的快速发展。汽车电子的相互干扰是而引起行车安全隐患以及对周围空间法定频段的干扰是不容忽视的问题。因此汽车电子部件都要求通过相关的辐射发射限值,如国标GB18655。该标准中,汽车电子部件要求连接一根1.5m-2m的线束,并且必须在半波暗室内进行测量。半波暗室的测试成本对于大多数的零部件厂商太高,而且送检测试周期较长。通常情况下,部件的辐射测试一般不能一次性通过。

[0003] 所以,通过基于电流测量的汽车电子辐射预评估系统能够有效地降低测量成本与时间周期。然而一般的电流测量法是通过时域的方法取得,虽然该方法通过FFT能够较快地获得电流的幅值与相位。但是由于示波器的底噪较高,而干扰电流幅值又较小。往往无法测量获得准确的值。

发明内容

[0004] 本发明旨在解决以上现有技术的问题。提出了一种能够快速排查超标频点,同时解决现有半波暗室法测量成本较高的方法。本发明的技术方案如下:

[0005] 一种基于频域共模电流测量的辐射预测方法,其包括以下步骤:

[0006] 101、首先测量线束的共模电流幅值,利用Spline (样条函数) 函数拟合电流幅值空间分布,建立关于共模参数的目标函数;

[0007] 102、然后利用TRR优化函数求解所建立的目标函数得到线束最优共模参数;

[0008] 103、依据获得的线束最优共模参数与电流分布表达式电流表达式计算得到电流相位分布,根据测量的共模电流幅值与计算得到相位计算线缆的共模辐射;在辐射的计算过程中,将线缆划分为一组偶极子天线的组合,利用叠加原理计算求得线缆的辐射值;另外将有限导电平面划分为一组等效表面电流的组合,同样利用叠加原理计算求得导电平面的辐射值;将线缆的辐射值加上导电平面的辐射值即为待测汽车部件总的辐射值。

[0009] 进一步的,所述步骤101测量线束的共模电流幅值具体包括:通过电流线圈与频谱仪或接收机对线缆进行共模电流幅值测试,具体的可以根据最高频率的波长来确定测量间隔。

[0010] 进一步的,所述步骤101共模参数的目标函数是:

$$S = \min \|F(\alpha, \beta, A, B, z) - F_{meas}(z)\|_2^2$$

$$= \sum_{i=0}^m [F(\alpha, \beta, A, B, z_i) - F_{meas}(z_i)]^2,$$

[0012] 归一化共模电流幅值表达式为:

$$[0013] \quad F(z) = \left[\left(\frac{e^{(\alpha+j\beta)(L-z)}}{1-(A+jB)} \right) (1-(A+jB)e^{-2(\alpha+j\beta)(L-z)}) \right]^2$$

$$[0014] \quad \Gamma_2 = \frac{Z_2 - Z_0}{Z_2 + Z_0} = A + jB, \quad \gamma = \alpha + j\beta$$

[0015] 其中A:发射系数 Γ_2 的实部,B:发射系数 Γ_2 的虚部, α :衰减常数, β :相位常数, z :线束位置, $F_{\text{meas}}(z)$:测量电流幅值分布函数, S :目标函数, γ :传播常数, Z_2 :负载阻抗, Z_0 :线束的特性阻抗, L :线束长度

[0016] 进一步的,所述步骤103利用电流分布表达式计算得到电流相位分布,如下:

$$[0017] \quad \text{phase}(I_{\text{com}}(z)) = \text{phase} \left\{ \left(\frac{e^{\gamma(L-z)}}{1-\Gamma_2} \right) (1-\Gamma_2 e^{-2\gamma(L-z)}) I_{\text{com}}(L) \right\}, \text{phase}(I_{\text{com}}(z)) : \text{共模电流相位}$$

分布, $I_{\text{com}}(z)$ 共模电流

[0018] 进一步的,所述将线缆划分为一组电偶极子天线的组合,利用叠加原理计算求得线缆的辐射值,其中单个偶极子天线的计算公式为,以电场为例:

$$[0019] \quad E_y^d = \frac{IdL \cdot zy}{4\pi r^2} \eta_0 \beta_0^2 \left(j \frac{1}{\beta_0 r} + \frac{3}{\beta_0^2 r^2} - j \frac{3}{\beta_0^3 r^3} \right) e^{-j\beta_0 r}$$

[0020] I 为偶极子天线的电流幅值与相位, r 为偶极子到场点的距离, ϵ_0 为空气中的介电常数, dL 为电偶极子的长度, η_0 为波阻抗, β_0 为电磁波相位常数。

[0021] 进一步的,所述将有限导电平面划分为一组等效表面电流的组合,利用叠加原理计算求得导电平面的辐射值,具体包括:将有限导电面等效为表面电流,表面电流密度由线缆共模电流近场磁场近似计算得到:

$$[0022] \quad \begin{aligned} \mathbf{J} &= J_x \mathbf{e}_x + J_z \mathbf{e}_z \approx \mathbf{e}_n \times (\mathbf{H}^{\text{TL}} + \mathbf{H}^{\text{TL-mirror}}) \\ &\approx -H_z \mathbf{e}_x + H_x \mathbf{e}_z \end{aligned} \quad \begin{aligned} I_{\text{dipx}} \mathbf{e}_x &= \Delta L_z \cdot \mathbf{J}_x \mathbf{e}_x \quad I_{\text{dipz}} \mathbf{e}_z = \Delta L_x \cdot \mathbf{J}_z \mathbf{e}_z, \end{aligned}$$

式中 $\mathbf{e}_n (= -\mathbf{e}_y)$ 是相对于导电桌面的单位法向矢量, \mathbf{e}_x 与 \mathbf{e}_y 相对于导电桌面的单位切向矢量, \mathbf{H}^{TL} 是来自于导电桌面上导线的磁场强度, $\mathbf{H}^{\text{TL-mirror}}$ 是来自于导线关于导电桌面镜像的磁场强度, $J_x (J_z)$ 表示导体桌面切向电流密度, $\Delta L_z (\Delta L_x)$ 表示划分导电桌面网格长宽。等效表面电流为短偶极子天线列阵,根据偶极子天线辐射计算式,计算得到有限导电面的辐射。

[0023] 本发明的优点及有益效果如下:

[0024] 由于频谱仪或接收机的底噪很低,通过频域的电流测量法能够测量到很微小干扰电流信号,即很宽的动态范围。同时通过优化算法计算得到缺失的相位信息能够减少测量时间与测量布置复杂度。再次,结合偶极子方法能够快速地计算与评估汽车电子的辐射水平。本发明能够通过测量共模电流幅值的方式预测汽车电子部件的辐射发射水平,该方法只需要在普通实验室进行即可,不需要在昂贵的半波暗室内进行测量,大大降低了测量成本。

附图说明

[0025] 图1是本发明提供优选实施例基于共模电流频域测量的辐射预测方法总的流程图,其中包括电流相位的计算过程以及基于电流幅值与相位的辐射计算过程;

- [0026] 图2通过频谱仪电流辐射测量与网络分析仪电流幅值(相位)测量;
- [0027] 图3频谱仪的电流幅值与网络分析仪电电流幅值对比,优化算法得到相位分布与网络分析仪测量得到相位分布对比;
- [0028] 图4线束的辐射发射模型;
- [0029] 图5有限导电面的辐射发射模型;
- [0030] 图6步进电机控制器辐射发射的布置图;
- [0031] 图7基于电流扫描法与暗室天线测量法的对比图。

具体实施方式

[0032] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、详细地描述。所描述的实施例仅是本发明的一部分实施例。

[0033] 本发明解决上述技术问题的技术方案是:

[0034] 在本发明的描述中,除非另有规定和限定,需要说明的是,术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解,例如,可以是机械连接或电连接,也可以是两个元件内部的连通,可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语的具体含义。

[0035] 本发明提供了一种基于频域共模电流测量的辐射预测方法,如图1所示,其中包括如下步骤:

[0036] S1:通过电流线圈与频谱仪(或接收机)对线缆进行共模电流幅值测试,如图2所示。具体的可以根据最高频率的波长来确定测量间隔,比如测量最高频率600MHz($\lambda=0.5\text{m}$),可以按波长的十分之一来确定,即0.05m;

[0037] S2:按照上面的测量间距,1.5m-2m的线缆一共有30-40个测量点。因此需要通过插值拟合函数对电流幅值空间分布进行光滑处理,通常采取0.01m;

[0038] S3:当知道线缆的共模电流幅值空间分布,采用一种非线性优化函数TRR(Trust-Region-Reflective)可以迭代计算得到等效的线缆共模参数。其中

[0039] TRR优化函数进行迭代的目标函数是:

$$S = \min \|F(\alpha, \beta, A, B, z) - F_{meas}(z)\|_2^2$$

$$= \sum_{i=0}^m [F(\alpha, \beta, A, B, z_i) - F_{meas}(z_i)]^2,$$

[0041] 其中归一化地共模电流幅值表达式:

$$F(z) = \left[\frac{e^{(\alpha + j\beta)(L-z)}}{1 - (A + jB)} \right] \left(1 - (A + jB)e^{-2(\alpha + j\beta)(L-z)} \right)^2$$

$$\Gamma_2 = \frac{Z_2 - Z_0}{Z_2 + Z_0} = A + jB$$

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

[0045] 其中, Γ_2 :反射系数, γ :传播常数, Z_2 :负载阻抗, Z_0 :线束的特性阻抗,

[0046] A:发射系统的实部, B:发射系数的虚部, α :衰减常数, β :相位常数

[0047] S4:通过计算得到的线缆共模参数,利用电流分布表达式计算得到电流相位分布,

如下:

$$[0048] \quad \text{phase}(I_{com}(z)) = \text{phase}\left\{\left(\frac{e^{\gamma(L-z)}}{1-\Gamma_2}\right)\left(1-\Gamma_2 e^{-2\gamma(L-z)}\right)I_{com}(L)\right\}$$

[0049] S5:将线缆划分若干个电偶极子天线,每个电偶极子天线的电流幅值与相位即为上述步骤所取;

[0050] S6:利用偶极子辐射模型,如图4所示,可以得到线缆的辐射,其中单个偶极子天线的计算公式为,以电场为例:

$$[0051] \quad E_y^d = \frac{IdL \cdot zy}{4\pi r^2} \eta_0 \beta_0^2 \left(j \frac{1}{\beta_0 r} + \frac{3}{\beta_0^2 r^2} - j \frac{3}{\beta_0^3 r^3} \right) e^{-j\beta_0 r}$$

[0052] I为偶极子天线的电流幅值与相位,r为偶极子到场点的距离, ϵ_0 为空气中的介电常数,dL为电偶极子的长度, η_0 为波阻抗, β_0 为电磁波相位常数。

[0053] S7:将有限导电面(“地”)等效为表面电流,如图5所示。表面电流密度由线缆共模电流近场磁场近似计算得到:

$$[0054] \quad \begin{aligned} \mathbf{J} &= J_x \mathbf{e}_x + J_z \mathbf{e}_z \approx \mathbf{e}_n \times (\mathbf{H}^{TL} + \mathbf{H}^{TL, mirror}) \\ &\approx -H_z \mathbf{e}_x + H_x \mathbf{e}_z \end{aligned} \quad \begin{aligned} I_{dipx} e_x &= \Delta L_z \cdot J_x e_x \quad I_{dipz} e_z = \Delta L_x \cdot J_z e_z \end{aligned}$$

[0055] S8:等效表面电流为短偶极子天线列阵,根据偶极子天线辐射计算式,计算得到有限导电面的辐射;

[0056] S9:最后叠加线缆的辐射与有限导电面的辐射,最终得到总的辐射。

[0057] 本发明的实施例中,即一步进电机的控制器的辐射发射,如图6所示。将提出的基于共模电流扫描法的辐射发射与暗室天线法进行比较,如图7所示。对比的频率范围为30MHz-600MHz,在主要超标点提出的方法的误差在5dB以内,主要辐射频点的平均误差4.2dB。本发明涉及的预测方法,能够满足工程需要对汽车电子的辐射水平进行快速而低成本的预评估。

[0058] 以上这些实施例应理解为仅用于说明本发明而不适用于限制本发明的保护范围。在阅读了本发明的记载的内容之后,技术人员可以对本发明作各种改动或修改,这些等效变化和修饰同样落入本发明权利要求所限定的范围。

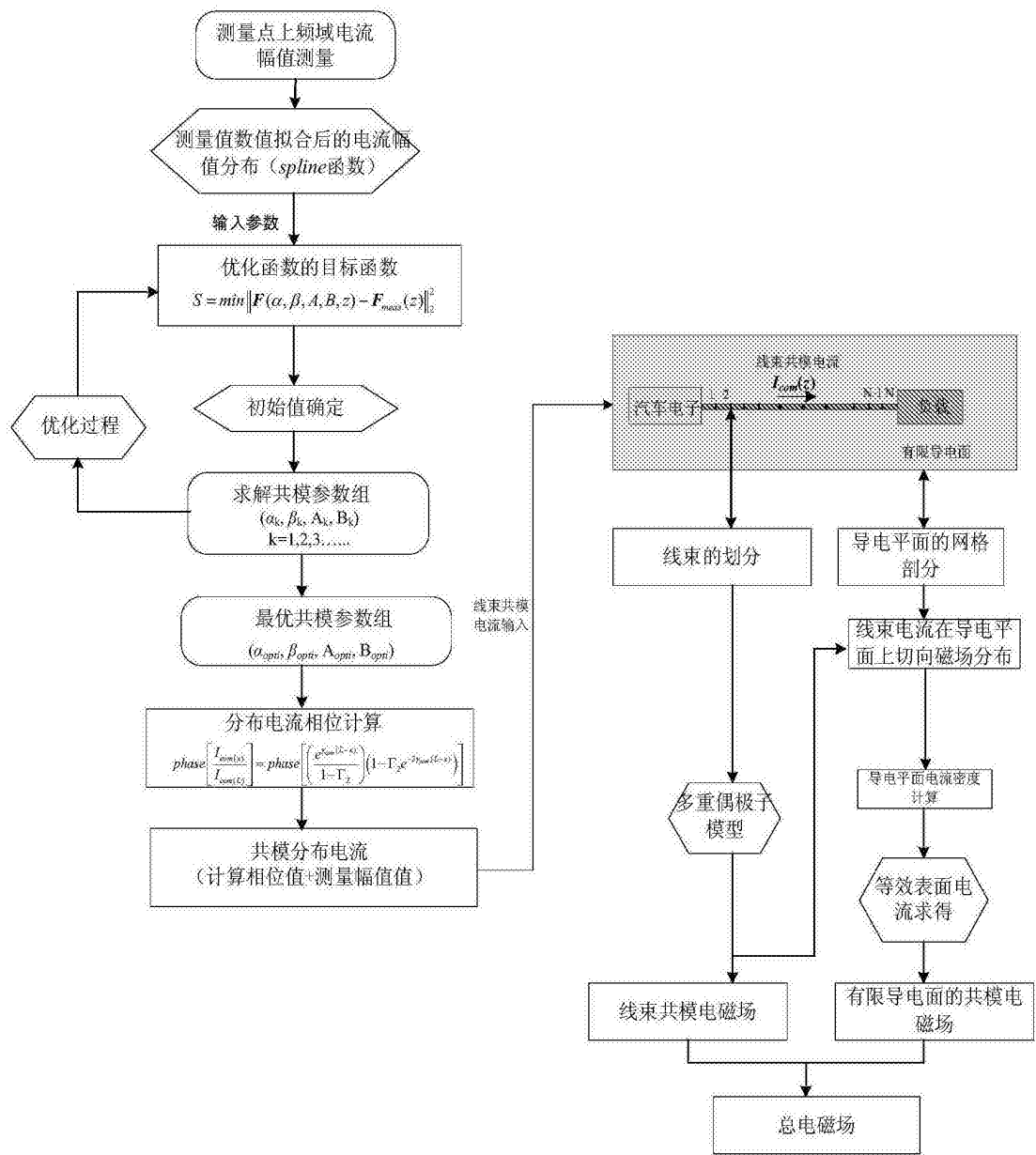


图1

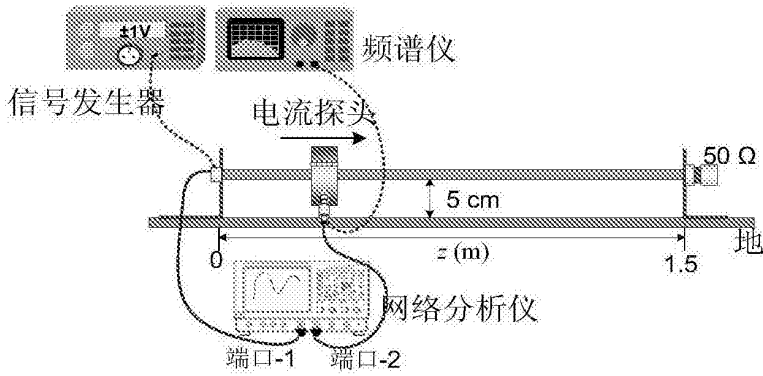


图2

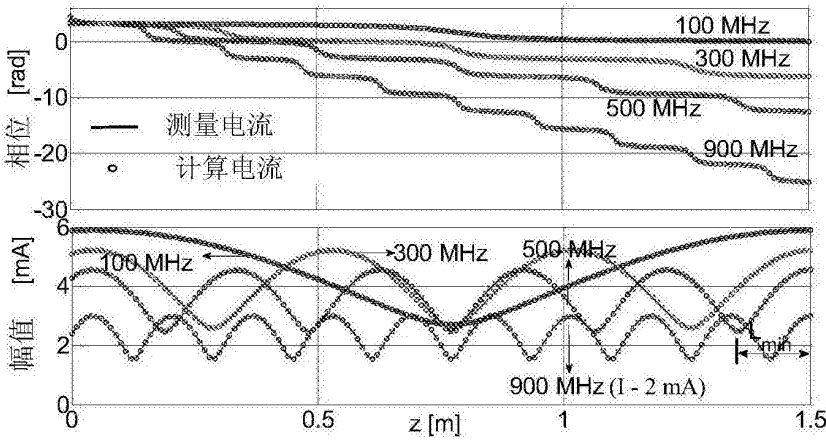


图3

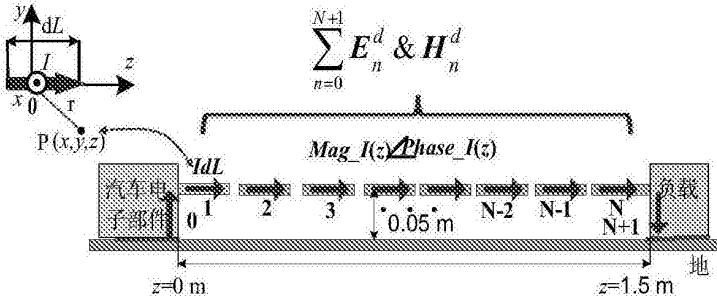


图4

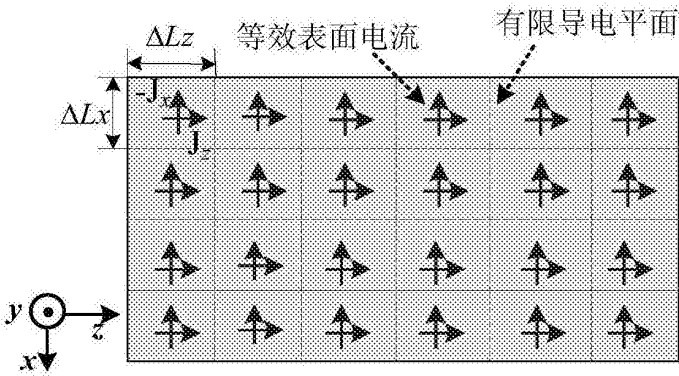


图5

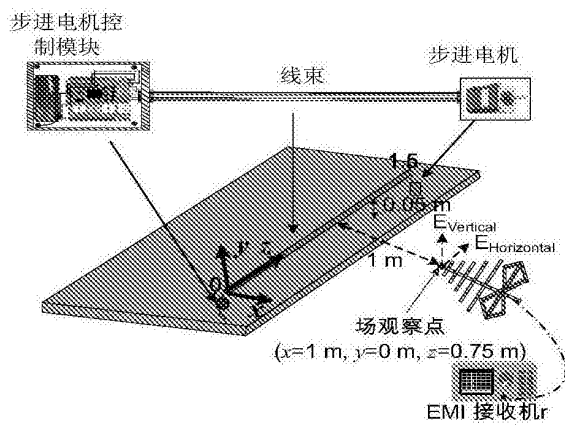


图6

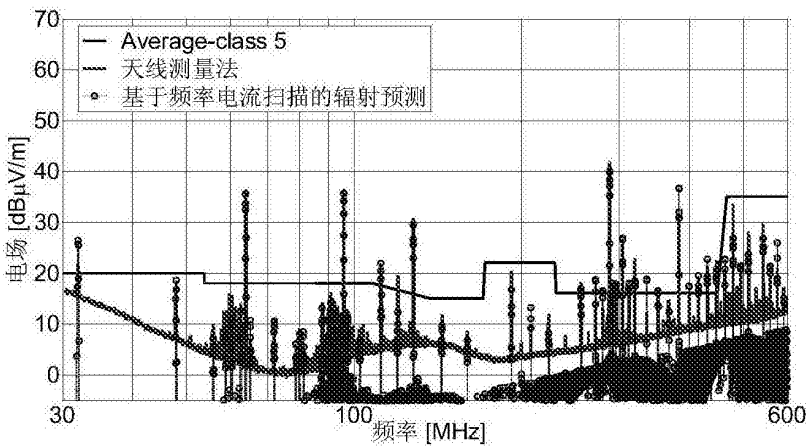


图7