



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109828162 A

(43)申请公布日 2019.05.31

(21)申请号 201910204916.1

(22)申请日 2019.03.18

(71)申请人 百度在线网络技术(北京)有限公司

地址 100085 北京市海淀区上地十街10号

百度大厦三层

(72)发明人 邹明

(74)专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理

有限公司 11112

代理人 彭瑞欣 刘悦晗

(51)Int.Cl.

G01R 29/08(2006.01)

G01R 31/00(2006.01)

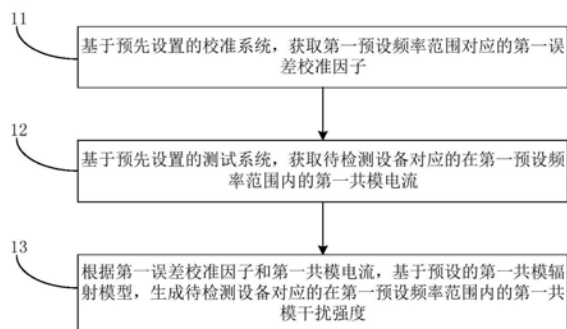
权利要求书6页 说明书19页 附图4页

(54)发明名称

电磁干扰预测方法及系统

(57)摘要

本公开提供了一种电磁干扰预测方法,包括:基于预先设置的校准系统,获取第一预设频率范围对应的第一误差校准因子;基于预先设置的测试系统,获取待检测设备对应的在所述第一预设频率范围内的第一共模电流;根据所述第一误差校准因子和所述第一共模电流,基于预设的第一共模辐射模型,生成所述待检测设备对应的在所述第一预设频率范围内的第一共模干扰强度。本公开还提供了电磁干扰预测系统。



1. 一种电磁干扰预测方法,包括:

基于预先设置的校准系统,获取第一预设频率范围对应的第一误差校准因子;

基于预先设置的测试系统,获取待检测设备对应的在所述第一预设频率范围内的第一共模电流;

根据所述第一误差校准因子和所述第一共模电流,基于预设的第一共模辐射模型,生成所述待检测设备对应的在所述第一预设频率范围内的第一共模干扰强度。

2. 根据权利要求1所述的电磁干扰预测方法,其中,所述校准系统包括参考线缆、频域电流测试子系统和空间电磁场测试子系统,所述基于预先设置的校准系统,获取第一预设频率范围对应的第一误差校准因子包括:

基于所述频域电流测试子系统,获取所述参考线缆对应的在所述第一预设频率范围内的第二共模电流;

根据所述第二共模电流,基于预设的第二共模辐射模型,计算出所述参考线缆在所述第一预设频率范围内的第二共模辐射电场强度;

基于所述空间电磁场测试子系统,获取所述参考线缆对应的第一空间电场强度;

根据所述第二共模辐射电场强度和所述第一空间电场强度之间的差值,生成所述第一误差校准因子。

3. 根据权利要求2所述的电磁干扰预测方法,其中,所述频域电流测试子系统包括:第一非导电测试桌、第一导电平面、信号源、第一电流探头、负载和第一射频接收设备,所述第一导电平面设置于所述第一非导电测试桌上,所述信号源、所述负载设置于所述第一导电平面上,所述信号源和所述负载通过所述参考线缆连接,所述第一电流探头设置于所述参考电路上,所述第一电流探头与所述第一射频接收设备连接;

所述信号源用于向所述参考线缆发出预设功率的正弦波激励;

所述第一电流探头用于测量所述参考线缆对应的在所述第一预设频率范围内的第二共模电流;

所述第一射频接收设备用于读取所述第一电流探头测量的第二共模电流;

所述获取所述参考线缆对应的在所述第一预设频率范围内的第二共模电流包括:获取所述第一射频接收设备的读取结果,所述读取结果包括所述参考线缆对应的在所述第一预设频率范围内的第二共模电流。

4. 根据权利要求2所述的电磁干扰预测方法,其中,所述预设的第二共模辐射模型包括公式:
$$E_{\text{cable}} = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{\text{CM2}} \times L2 \times F2}{r2} \sin\theta$$
,其中, I_{CM2} 表示第二共模电流, $L2$ 表示参考线缆的线束长度, $F2$ 为预设的第二频率, $r2$ 为预设的第二测试距离, $\theta = 90^\circ$, E_{cable} 表示第二共模辐射电场强度;

所述根据所述第二共模电流,基于预设的第二共模辐射模型,计算出所述参考线缆在所述第一预设频率范围内的第二共模辐射电场强度包括:

根据第二共模电流 I_{CM2} 和公式:
$$E_{\text{cable}} = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{\text{CM2}} \times L2 \times F2}{r2} \sin\theta$$
,计算出所述参考线缆在所述第一预设频率范围内的第二共模辐射电场强度 E_{cable} 。

5. 根据权利要求2所述的电磁干扰预测方法,其中,所述空间电磁场测试子系统包括:

第一非导电测试桌、第一导电平面、信号源、负载、天线和第一射频接收设备,所述第一导电平面设置于所述第一非导电测试桌上,所述信号源和所述负载设置于所述第一导电平面上,所述天线设置于与参考线缆距离预设长度的位置;所述信号源和所述负载通过所述参考线缆连接,用于向所述参考线缆发出预设功率的正弦波激励;所述天线与所述第一射频接收设备连接,所述天线用于测量所述参考线缆产生的电场强度;所述第一射频接收设备用于读取所述天线所测得的电场强度;

所述获取所述参考线缆对应的第一空间电场强度包括:

获取所述第一射频接收设备的读取结果,所述读取结果包括所述天线测得的电场强度;

根据所述天线所测得的电场强度和预设的天线因子之和,生成所述第一空间电场强度。

6. 根据权利要求1所述的电磁干扰预测方法,其中,所述测试系统包括:第二非导电测试桌、第二导电平面、实际线缆、第二电流探头、实际负载和第二射频接收设备,所述第二导电平面设置于所述第二非导电测试桌上,所述待检测设备和所述实际负载设置于所述第二导电平面上,所述待检测设备和所述实际负载通过所述实际线缆连接,所述第二电流探头设置于所述实际线缆上,所述第二电流探头与所述第二射频接收设备连接;

所述第二电流探头用于测量所述实际线缆上设定数量个预设的测试点分别对应的在所述第一预设频率范围内的共模电流;

所述第二射频接收设备用于读取所述第二电流探头测量的各预设的测试点对应的共模电流;

所述获取待检测设备对应的在所述第一预设频率范围内的第一共模电流包括:

获取所述第二射频接收设备的读取结果,所述读取结果包括实际线缆上各预设的测试点对应的在第一预设频率范围内的共模电流;

确定所有预设的测试点对应的在第一预设频率范围内的共模电流中最大的共模电流,该最大的共模电流为待检测设备对应的在第一预设频率范围内的第一共模电流。

7. 根据权利要求6所述的电磁干扰预测方法,其中,所述预设的第一共模辐射模型包括公式: $|E_{CM1}| = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{CM1} \times L1 \times F1}{r1} + K_H$, 其中, $|E_{CM1}|$ 表示所述第一共模干扰强度, I_{CM1} 表示第一共模电流, $L1$ 表示实际线缆的实际线束长度, $F1$ 表示预设的第一频率, $r1$ 表示预设的第一测试距离, K_H 表示第一误差校准因子;

所述根据所述第一误差校准因子和所述第一共模电流,基于预设的第一共模辐射模型,生成所述待检测设备对应的在所述第一预设频率范围内的第一共模干扰强度包括:

根据所述第一误差校准因子 K_H 、所述第一共模电流 I_{CM1} 和公式: $|E_{CM1}| = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{CM1} \times L1 \times F1}{r1} + K_H$, 计算出所述待检测设备对应的在所述第一预设频率范围内的第一共模干扰强度 $|E_{CM1}|$ 。

8. 根据权利要求1所述的电磁干扰预测方法,其中,还包括:

基于预先设置的校准系统,获取第二预设频率范围对应的第二误差校准因子;

基于预先设置的测试系统,获取待检测设备对应的在所述第二预设频率范围内的第一共模电压;

根据所述第二误差校准因子和所述第一共模电压,基于预设的第三共模辐射模型,生成所述待检测设备对应的在所述第二预设频率范围内的第二共模干扰强度。

9. 根据权利要求8所述的电磁干扰预测方法,其中,所述校准系统包括参考线缆、频域电流测试子系统和空间电磁场测试子系统,所述基于预先设置的校准系统,获取第二预设频率范围对应的第二误差校准因子包括:

基于所述频域电流测试子系统,获取所述参考线缆对应的在所述第二预设频率范围内的第二共模电压;

基于所述空间电磁场测试子系统,获取所述参考线缆对应的第二空间电场强度;

根据所述第二共模电压和所述第二空间电场强度之间的差值,生成所述第二误差校准因子。

10. 根据权利要求9所述的电磁干扰预测方法,其中,所述频域电流测试子系统包括:第一非导电测试桌、第一导电平面、信号源、第一电压探头、负载和第一射频接收设备,所述第一导电平面设置于所述第一非导电测试桌上,所述信号源、所述负载设置于所述第一导电平面上,所述信号源和所述负载通过所述参考线缆连接,所述第一电压探头设置于所述参考线缆上,所述第一电压探头与所述第一射频接收设备连接;

所述信号源用于向所述参考线缆发出预设功率的正弦波激励;

所述第一电压探头用于测量所述参考线缆对应的在所述第二预设频率范围内的第二共模电压;

所述第一射频接收设备用于读取所述第一电压探头测量的第二共模电压;

所述获取所述参考线缆对应的在所述第二预设频率范围内的第二共模电压包括:获取所述第一射频接收设备的读取结果,所述读取结果包括所述参考线缆对应的在所述第二预设频率范围内的第二共模电压。

11. 根据权利要求9所述的电磁干扰预测方法,其中,所述空间电磁场测试子系统包括:第一非导电测试桌、第一导电平面、信号源、负载、天线和第一射频接收设备,所述第一导电平面设置于所述第一非导电测试桌上,所述信号源和所述负载设置于所述第一导电平面上,所述天线设置于与所述参考线缆距离预设长度的位置;所述信号源和所述负载通过所述参考线缆连接,用于向所述参考线缆发出预设功率的正弦波激励;所述天线与所述第一射频接收设备连接,用于测量所述参考线缆产生的电场强度;所述第一射频接收设备用于读取所述天线所测得的电场强度;

所述获取所述参考线缆对应的第二空间电场强度包括:

获取所述第一射频接收设备的读取结果,所述读取结果包括所述天线测得的电场强度;

根据所述天线测得的电场强度与预设的天线因子之和,生成所述第二空间电场强度。

12. 根据权利要求8所述的电磁干扰预测方法,其中,所述测试系统包括:第二非导电测试桌、第二导电平面、实际线缆、第二电压探头、实际负载和第二射频接收设备,所述第二导电平面设置于所述第二非导电测试桌上,所述待检测设备和所述实际负载设置于所述第二导电平面上,所述待检测设备和所述实际负载通过所述实际线缆连接,所述第二电压探头设置于所述实际线缆上,所述第二电压探头与所述第二射频接收设备连接;

所述第二电压探头用于测量所述实际线缆上设定数量个预设的测试点分别对应的在

所述第二预设频率范围内的共模电压；

所述第二射频接收设备用于读取所述第二电压探头测量的各预设的测试点对应的共模电压；

所述获取待检测设备对应的在所述第二预设频率范围内的第一共模电压包括：

获取所述第二射频接收设备的读取结果，所述读取结果包括实际线缆上各预设的测试点对应的在第二预设频率范围内的共模电压；

确定所有预设的测试点对应的在第二预设频率范围内的共模电压中最大的共模电压，该最大的共模电压为待检测设备对应的在第二预设频率范围内的第一共模电压。

13. 根据权利要求8所述的电磁干扰预测方法，其中，所述预设的第三共模辐射模型包括公式： $|E_{CM2}| = V_{cable1} + K_L$ ，其中， $|E_{CM2}|$ 表示第二共模干扰强度， V_{cable1} 表示第一共模电压， K_L 表示第二误差校准因子；

根据所述第二误差校准因子和所述第一共模电压，基于预设的第三共模辐射模型，生成所述待检测设备对应的在所述第二预设频率范围内的第二共模干扰强度包括：

根据所述第一共模电压 V_{cable1} 、所述第二误差校准因子 K_L 和公式： $|E_{CM2}| = V_{cable1} + K_L$ ，计算出所述待检测设备对应的在所述第二预设频率范围内的第二共模干扰强度。

14. 一种电磁干扰预测系统，包括电磁干扰预测装置、校准系统和测试系统，所述电磁干扰预测装置包括：

获取模块，用于基于预先设置的校准系统，获取第一预设频率范围对应的第一误差校准因子；基于预先设置的测试系统，获取待检测设备对应的在所述第一预设频率范围内的第一共模电流；

生成模块，用于根据所述第一误差校准因子和所述第一共模电流，基于预设的第一共模辐射模型，生成所述待检测设备对应的在所述第一预设频率范围内的第一共模干扰强度。

15. 根据权利要求14所述的电磁干扰预测系统，其中，所述校准系统包括参考线缆、频域电流测试子系统和空间电磁场测试子系统；

所述获取模块具体用于：基于所述频域电流测试子系统，获取所述参考线缆对应的在所述第一预设频率范围内的第二共模电流；根据所述第二共模电流，基于预设的第二共模辐射模型，计算出所述参考线缆在所述第一预设频率范围内的第二共模辐射电场强度；基于所述空间电磁场测试子系统，获取所述参考线缆对应的第一空间电场强度；根据所述第二共模辐射电场强度和所述第一空间电场强度之间的差值，生成所述第一误差校准因子。

16. 根据权利要求15所述的电磁干扰预测系统，其中，所述频域电流测试子系统包括：第一非导电测试桌、第一导电平面、信号源、第一电流探头、负载和第一射频接收设备，所述第一导电平面设置于所述第一非导电测试桌上，所述信号源、所述负载设置于所述第一导电平面上，所述信号源和所述负载通过所述参考线缆连接，所述第一电流探头设置于所述参考电缆上，所述第一电流探头与所述第一射频接收设备连接；

所述信号源用于向所述参考线缆发出预设功率的正弦波激励；

所述第一电流探头用于测量所述参考线缆对应的在所述第一预设频率范围内的第二共模电流；

所述第一射频接收设备用于读取所述第一电流探头测量的第二共模电流；

所述获取模块具体用于获取所述第一射频接收设备的读取结果,所述读取结果包括所述参考线缆对应的在所述第一预设频率范围内的第二共模电流。

17. 根据权利要求15所述的电磁干扰预测系统,其中,所述预设的第二共模辐射模型包括公式: $E_{cable} = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{CM2} \times L2 \times F2}{r2} \sin\theta$, 其中, I_{CM2} 表示第二共模电流, $L2$ 表示参考线缆的线束长度, $F2$ 为预设的第二频率, $r2$ 为预设的第二测试距离, $\theta = 90^\circ$, E_{cable} 表示第二共模辐射电场强度;

所述获取模块具体用于根据第二共模电流 I_{CM2} 和公式: $E_{cable} = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{CM2} \times L2 \times F2}{r2} \sin\theta$, 计算出所述参考线缆在所述第一预设频率范围内的第二共模辐射电场强度 E_{cable} 。

18. 根据权利要求15所述的电磁干扰预测系统,其中,所述空间电磁场测试子系统包括:第一非导电测试桌、第一导电平面、信号源、负载、天线和第一射频接收设备,所述第一导电平面设置于所述第一非导电测试桌上,所述信号源和所述负载设置于所述第一导电平面上,所述天线设置于与所述参考线缆距离预设长度的位置;所述信号源和所述负载通过所述参考线缆连接,用于向所述参考线缆发出预设功率的正弦波激励;所述天线与所述第一射频接收设备连接,用于测量所述参考线缆产生的电场强度;所述第一射频接收设备用于读取所述天线所测得的电场强度;

所述获取模块具体用于获取所述第一射频接收设备的读取结果,所述读取结果包括所述天线测得的电场强度;根据所述天线所测得的电场强度和预设的天线因子之和,生成所述第一空间电场强度。

19. 根据权利要求14所述的电磁干扰预测系统,其中,所述测试系统包括:第二非导电测试桌、第二导电平面、实际线缆、第二电流探头、实际负载和第二射频接收设备,所述第二导电平面设置于所述第二非导电测试桌上,所述待检测设备和所述实际负载设置于所述第二导电平面上,所述待检测设备和所述实际负载通过所述实际线缆连接,所述第二电流探头设置于所述实际线缆上,所述第二电流探头与所述第二射频接收设备连接;

所述第二电流探头用于测量所述实际线缆上设定数量个预设的测试点分别对应的在所述第一预设频率范围内的所述共模电流;

所述第二射频接收设备用于读取所述第二电流探头测量的各预设的测试点对应的共模电流;

所述获取模块具体用于获取所述第二射频接收设备的读取结果,所述读取结果包括实际线缆上各预设的测试点对应的在第一预设频率范围内的共模电流;确定所有预设的测试点对应的在第一预设频率范围内的共模电流中最大的共模电流,该最大的共模电流为待检测设备对应的在第一预设频率范围内的第一共模电流。

20. 根据权利要求19所述的电磁干扰预测系统,其中,所述预设的第一共模辐射模型包括公式: $|E_{CM1}| = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{CM1} \times L1 \times F1}{r1} + K_H$, 其中, $|E_{CM1}|$ 表示所述第一共模干扰强度, I_{CM1} 表示第一共模电流, $L1$ 表示实际线缆的实际线束长度, $F1$ 表示预设的第一频率, $r1$ 表示预设的第一测试距离, K_H 表示第一误差校准因子;

所述生成模块具体用于根据所述第一误差校准因子 K_H 、所述第一共模电流 I_{CM1} 和公式:

$|E_{CM1}| = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{CM1} \times L1 \times F1}{r1} + K_H$, 计算出所述待检测设备对应的在所述第一预设频率范围内的第一共模干扰强度 $|E_{CM1}|$ 。

电磁干扰预测方法及系统

技术领域

[0001] 本公开实施例涉及硬件测试技术领域,特别涉及电磁干扰预测方法及系统。

背景技术

[0002] 电磁干扰(EMI),一般指任何可能引起电子装置、设备或系统性能下降甚至失效,或者对生命或无生命物质产生损害的电磁现象。几乎每一种电子设备都会产生不同程度的电磁干扰信号,它是一种不希望存在的电磁信号。这种信号可能以电磁辐射的形式辐射出来,也可能通过载流导体(如电源线、电缆等)进行传输。

[0003] 各个国家对各个行业的电子设备的电磁干扰都有限制要求,而验证电子设备是否满足相关行业的标准要求,一方面,电子设备的电磁干扰试验通常需要在电波暗室中进行,电波暗室通过特殊屏蔽、吸波材料以及滤波技术使电波暗室为一个近似于无电磁波反射的自由空间(半电波暗室地面有反射)。这种电波暗室造价非常高,例如,3m法通信产品的电波暗室造价一般为100,000,000-300,000,000人民币,实验室的高造价导致测试费用也较高,通常按小时计费1000-3000RMB/小时,加上该项测试对电子设备通常无法一次验证通过,一般需要数周甚至数月的整改优化时间,需要投入大量的时间以及费用成本。

[0004] 另一方面,针对电磁干扰试验,目前广泛采用的是近场探头预测方法和仿真预测方法。其中,近场探头预测方法所测得的结果无法与1m、3m或10m测距下的标准要求测试限值进行比较,近场探头测试结果只能定量优化,不能定性是否可通过测试。而仿真预测方法,对仿真模型要求很高,

[0005] 各种激励、材料、负载、器件的参数要求精确输入,而且电子设备实际运行过程中环境、电源质量等因素也会对仿真结果有影响,导致复杂电路电子设备的EMI仿真通常无法与实测结果对应。

[0006] 此外,线缆的辐射问题是工程中最常见的问题之一,90%以上的电子设备不能通过电磁干扰试验(例如,电磁兼容性(EMC)试验)都是由于线缆辐射造成。

发明内容

[0007] 本公开实施例提供一种电磁干扰预测方法及系统。

[0008] 第一方面,本公开实施例提供一种电磁干扰预测方法,该电磁干扰预测方法包括:

[0009] 基于预先设置的校准系统,获取第一预设频率范围对应的第一误差校准因子;

[0010] 基于预先设置的测试系统,获取待检测设备对应的在所述第一预设频率范围内的第一共模电流;

[0011] 根据所述第一误差校准因子和所述第一共模电流,基于预设的第一共模辐射模型,生成所述待检测设备对应的在所述第一预设频率范围内的第一共模干扰强度。

[0012] 在一些实施例中,所述校准系统包括参考线缆、频域电流测试子系统和空间电磁场测试子系统,所述基于预先设置的校准系统,获取第一预设频率范围对应的第一误差校准因子包括:

[0013] 基于所述频域电流测试子系统,获取所述参考线缆对应的在所述第一预设频率范围内的第二共模电流;

[0014] 根据所述第二共模电流,基于预设的第二共模辐射模型,计算出所述参考线缆在所述第一预设频率范围内的第二共模辐射电场强度;

[0015] 基于所述空间电磁场测试子系统,获取所述参考线缆对应的第一空间电场强度;

[0016] 根据所述第二共模辐射电场强度和所述第一空间电场强度之间的差值,生成所述第一误差校准因子。

[0017] 在一些实施例中,所述频域电流测试子系统包括:第一非导电测试桌、第一导电平面、信号源、第一电流探头、负载和第一射频接收设备,所述第一导电平面设置于所述第一非导电测试桌上,所述信号源、所述负载设置于所述第一导电平面上,所述信号源和所述负载通过所述参考线缆连接,所述第一电流探头设置于所述参考电路上,所述第一电流探头与所述第一射频接收设备连接;

[0018] 所述信号源用于向所述参考线缆发出预设功率的正弦波激励;

[0019] 所述第一电流探头用于测量所述参考线缆对应的在所述第一预设频率范围内的第二共模电流;

[0020] 所述第一射频接收设备用于读取所述第一电流探头测量的第二共模电流;

[0021] 所述获取所述参考线缆对应的在所述第一预设频率范围内的第二共模电流包括:获取所述第一射频接收设备的读取结果,所述读取结果包括所述参考线缆对应的在所述第一预设频率范围内的第二共模电流。

[0022] 在一些实施例中,所述预设的第二共模辐射模型包括公式:

$$E_{\text{cable}} = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{\text{CM2}} \times L2 \times F2}{r2} \sin\theta$$
 其中, I_{CM2} 表示第二共模电流, $L2$ 表示参考线缆的线束长度, $F2$ 为预设的第二频率, $r2$ 为预设的第二测试距离, $\theta = 90^\circ$, E_{cable} 表示第二共模辐射电场强度;

[0023] 所述根据所述第二共模电流,基于预设的第二共模辐射模型,计算出所述参考线缆在所述第一预设频率范围内的第二共模辐射电场强度包括:

[0024] 根据第二共模电流 I_{CM2} 和公式: $E_{\text{cable}} = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{\text{CM2}} \times L2 \times F2}{r2} \sin\theta$,计算出所述参考线缆在所述第一预设频率范围内的第二共模辐射电场强度 E_{cable} 。

[0025] 在一些实施例中,所述空间电磁场测试子系统包括:第一非导电测试桌、第一导电平面、信号源、负载、天线和第一射频接收设备,所述第一导电平面设置于所述第一非导电测试桌上,所述信号源和所述负载设置于所述第一导电平面上,所述天线设置于与所述参考线缆距离预设长度的位置;所述信号源和所述负载通过所述参考线缆连接,用于向所述参考线缆发出预设功率的正弦波激励;所述天线与所述第一射频接收设备连接,所述天线用于测量所述参考线缆产生的电场强度;所述第一射频接收设备用于读取所述天线所测得的电场强度;

[0026] 所述获取所述参考线缆对应的第一空间电场强度包括:

[0027] 获取所述第一射频接收设备的读取结果,所述读取结果包括所述天线测得的电场强度;

[0028] 根据所述天线所测得的电场强度和预设的天线因子之和,生成所述第一空间电场

强度。

[0029] 在一些实施例中,所述测试系统包括:第二非导电测试桌、第二导电平面、实际线缆、第二电流探头、实际负载和第二射频接收设备,所述第二导电平面设置于所述第二非导电测试桌上,所述待检测设备和所述实际负载设置于所述第二导电平面上,所述待检测设备和所述实际负载通过所述实际线缆连接,所述第二电流探头设置于所述实际线缆上,所述第二电流探头与所述第二射频接收设备连接;

[0030] 所述第二电流探头用于测量所述实际线缆上设定数量个预设的测试点分别对应的在所述第一预设频率范围内的共模电流;

[0031] 所述第二射频接收设备用于读取所述第二电流探头测量的各预设的测试点对应的共模电流;

[0032] 所述获取待检测设备对应的在所述第一预设频率范围内的第一共模电流包括:

[0033] 获取所述第二射频接收设备的读取结果,所述读取结果包括实际线缆上各预设的测试点对应的在第一预设频率范围内的共模电流;

[0034] 确定所有预设的测试点对应的在第一预设频率范围内的共模电流中最大的共模电流,该最大的共模电流为待检测设备对应的在第一预设频率范围内的第一共模电流。

[0035] 在一些实施例中,所述预设的第一共模辐射模型包括公式:

$$|E_{CM1}| = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{CM1} \times L1 \times F1}{r1} + K_H, \text{ 其中, } |E_{CM1}| \text{ 表示所述第一共模干扰强度, } I_{CM1} \text{ 表示}$$

第一共模电流,L1表示实际线缆的实际线束长度,F1表示预设的第一频率,r1表示预设的第一测试距离,K_H表示第一误差校准因子;

[0036] 所述根据所述第一误差校准因子和所述第一共模电流,基于预设的第一共模辐射模型,生成所述待检测设备对应的在所述第一预设频率范围内的第一共模干扰强度包括:

[0037] 根据所述第一误差校准因子K_H、所述第一共模电流I_{CM1}和公式:

$$|E_{CM1}| = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{CM1} \times L1 \times F1}{r1} + K_H, \text{ 计算出所述待检测设备对应的在所述第一预设频}$$

率范围内的第一共模干扰强度|E_{CM1}|。

[0038] 在一些实施例中,该电磁干扰预测方法还包括:

[0039] 基于预先设置的校准系统,获取第二预设频率范围对应的第二误差校准因子;

[0040] 基于预先设置的测试系统,获取待检测设备对应的在所述第二预设频率范围内的第一共模电压;

[0041] 根据所述第二误差校准因子和所述第一共模电压,基于预设的第三共模辐射模型,生成所述待检测设备对应的在所述第二预设频率范围内的第二共模干扰强度。

[0042] 在一些实施例中,所述校准系统包括参考线缆、频域电流测试子系统和空间电磁场测试子系统,所述基于预先设置的校准系统,获取第二预设频率范围对应的第二误差校准因子包括:

[0043] 基于所述频域电流测试子系统,获取所述参考线缆对应的在所述第二预设频率范围内的第二共模电压;

[0044] 基于所述空间电磁场测试子系统,获取所述参考线缆对应的第二空间电场强度;

[0045] 根据所述第二共模电压和所述第二空间电场强度之间的差值,生成所述第二误差校准因子。

[0046] 在一些实施例中,所述频域电流测试子系统包括:第一非导电测试桌、第一导电平面、信号源、第一电压探头、负载和第一射频接收设备,所述第一导电平面设置于所述第一非导电测试桌上,所述信号源、所述负载设置于所述第一导电平面上,所述信号源和所述负载通过所述参考线缆连接,所述第一电压探头设置于所述参考线缆上,所述第一电压探头与所述第一射频接收设备连接;

[0047] 所述信号源用于向所述参考线缆发出预设功率的正弦波激励;

[0048] 所述第一电压探头用于测量所述参考线缆对应的在所述第二预设频率范围内的第二共模电压;

[0049] 所述第一射频接收设备用于读取所述第一电压探头测量的第二共模电压;

[0050] 所述获取所述参考线缆对应的在所述第二预设频率范围内的第二共模电压包括:获取所述第一射频接收设备的读取结果,所述读取结果包括所述参考线缆对应的在所述第二预设频率范围内的第二共模电压。

[0051] 在一些实施例中,所述空间电磁场测试子系统包括:第一非导电测试桌、第一导电平面、信号源、负载、天线和第一射频接收设备,所述第一导电平面设置于所述第一非导电测试桌上,所述信号源和所述负载设置于所述第一导电平面上,所述天线设置于与所述参考线缆距离预设长度的位置;所述信号源和所述负载通过所述参考线缆连接,用于向所述参考线缆发出预设功率的正弦波激励;所述天线与所述第一射频接收设备连接,用于测量所述参考线缆产生的电场强度;所述第一射频接收设备用于读取所述天线所测得的电场强度;

[0052] 所述获取所述参考线缆对应的第二空间电场强度包括:

[0053] 获取所述第一射频接收设备的读取结果,所述读取结果包括所述天线测得的电场强度;

[0054] 根据所述天线测得的电场强度与预设的天线因子之和,生成所述第二空间电场强度。

[0055] 在一些实施例中,所述测试系统包括:第二非导电测试桌、第二导电平面、实际线缆、第二电压探头、实际负载和第二射频接收设备,所述第二导电平面设置于所述第二非导电测试桌上,所述待检测设备和所述实际负载设置于所述第二导电平面上,所述待检测设备和所述实际负载通过所述实际线缆连接,所述第二电压探头设置于所述实际线缆上,所述第二电压探头与所述第二射频接收设备连接;

[0056] 所述第二电压探头用于测量所述实际线缆上设定数量个预设的测试点分别对应的在所述第二预设频率范围内的共模电压;

[0057] 所述第二射频接收设备用于读取所述第二电压探头测量的各预设的测试点对应的共模电压;

[0058] 所述获取待检测设备对应的在所述第二预设频率范围内的第一共模电压包括:

[0059] 获取所述第二射频接收设备的读取结果,所述读取结果包括实际线缆上各预设的测试点对应的在第二预设频率范围内的共模电压;

[0060] 确定所有预设的测试点对应的在第二预设频率范围内的共模电压中最大的共模电压,该最大的共模电压为待检测设备对应的在第二预设频率范围内的第一共模电压。

[0061] 在一些实施例中,所述预设的第三共模辐射模型包括公式: $|E_{CM2}| = V_{cable1} + K_L$, 其

中, $|E_{CM2}|$ 表示第二共模干扰强度, V_{cable1} 表示第一共模电压, K_L 表示第二误差校准因子;

[0062] 根据所述第二误差校准因子和所述第一共模电压, 基于预设的第三共模辐射模型, 生成所述待检测设备对应的在所述第二预设频率范围内的第二共模干扰强度包括:

[0063] 根据所述第一共模电压 V_{cable1} 、所述第二误差校准因子 K_L 和公式: $|E_{CM2}| = V_{cable1} + K_L$, 计算出所述待检测设备对应的在所述第二预设频率范围内的第二共模干扰强度。

[0064] 第二方面, 本公开实施例提供一种电磁干扰预测系统, 该电磁干扰预测系统包括电磁干扰预测装置、校准系统和测试系统, 所述电磁干扰预测装置包括:

[0065] 获取模块, 用于基于预先设置的校准系统, 获取第一预设频率范围对应的第一误差校准因子; 基于预先设置的测试系统, 获取待检测设备对应的在所述第一预设频率范围内的第一共模电流;

[0066] 生成模块, 用于根据所述第一误差校准因子和所述第一共模电流, 基于预设的第一共模辐射模型, 生成所述待检测设备对应的在所述第一预设频率范围内的第一共模干扰强度。

[0067] 在一些实施例中, 所述校准系统包括参考线缆、频域电流测试子系统和空间电磁场测试子系统;

[0068] 所述获取模块具体用于: 基于所述频域电流测试子系统, 获取所述参考线缆对应的在所述第一预设频率范围内的第二共模电流; 根据所述第二共模电流, 基于预设的第二共模辐射模型, 计算出所述参考线缆在所述第一预设频率范围内的第二共模辐射电场强度; 基于所述空间电磁场测试子系统, 获取所述参考线缆对应的第一空间电场强度; 根据所述第二共模辐射电场强度和所述第一空间电场强度之间的差值, 生成所述第一误差校准因子。

[0069] 在一些实施例中, 所述频域电流测试子系统包括: 第一非导电测试桌、第一导电平面、信号源、第一电流探头、负载和第一射频接收设备, 所述第一导电平面设置于所述第一非导电测试桌上, 所述信号源、所述负载设置于所述第一导电平面上, 所述信号源和所述负载通过所述参考线缆连接, 所述第一电流探头设置于所述参考线缆上, 所述第一电流探头与所述第一射频接收设备连接;

[0070] 所述信号源用于向所述参考线缆发出预设功率的正弦波激励;

[0071] 所述第一电流探头用于测量所述参考线缆对应的在所述第一预设频率范围内的第二共模电流;

[0072] 所述第一射频接收设备用于读取所述第一电流探头测量的第二共模电流;

[0073] 所述获取模块具体用于获取所述第一射频接收设备的读取结果, 所述读取结果包括所述参考线缆对应的在所述第一预设频率范围内的第二共模电流。

[0074] 在一些实施例中, 所述预设的第二共模辐射模型包括公式:

$$E_{cable} = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{CM2} \times L2 \times F2}{r2} \sin\theta$$
 其中, I_{CM2} 表示第二共模电流, $L2$ 表示参考线缆的线束长度, $F2$ 为预设的第二频率, $r2$ 为预设的第二测试距离, $\theta = 90^\circ$, E_{cable} 表示第二共模辐射电场强度;

[0075] 所述获取模块具体用于根据第二共模电流 I_{CM2} 和公式: $E_{cable} = 6.28 \times$

$10^{-7} \frac{I_{CM2} \times L2 \times F2}{r2} \sin\theta$, 计算出所述参考线缆在所述第一预设频率范围内的第二共模辐射电场强度 E_{cable} 。

[0076] 在一些实施例中,所述空间电磁场测试子系统包括:第一非导电测试桌、第一导电平面、信号源、负载、天线和第一射频接收设备,所述第一导电平面设置于所述第一非导电测试桌上,所述信号源和所述负载设置于所述第一导电平面上,所述天线设置于与所述参考线缆距离预设长度的位置;所述信号源和所述负载通过所述参考线缆连接,用于向所述参考线缆发出预设功率的正弦波激励;所述天线与所述第一射频接收设备连接,用于测量所述参考线缆产生的电场强度;所述第一射频接收设备用于读取所述天线所测得的电场强度;

[0077] 所述获取模块具体用于获取所述第一射频接收设备的读取结果,所述读取结果包括所述天线测得的电场强度;根据所述天线所测得的电场强度和预设的天线因子之和,生成所述第一空间电场强度。

[0078] 在一些实施例中,所述测试系统包括:第二非导电测试桌、第二导电平面、实际线缆、第二电流探头、实际负载和第二射频接收设备,所述第二导电平面设置于所述第二非导电测试桌上,所述待检测设备和所述实际负载设置于所述第二导电平面上,所述待检测设备和所述实际负载通过所述实际线缆连接,所述第二电流探头设置于所述实际线缆上,所述第二电流探头与所述第二射频接收设备连接;

[0079] 所述第二电流探头用于测量所述实际线缆上设定数量个预设的测试点分别对应的在所述第一预设频率范围内的所述共模电流;

[0080] 所述第二射频接收设备用于读取所述第二电流探头测量的各预设的测试点对应的共模电流;

[0081] 所述获取模块具体用于获取所述第二射频接收设备的读取结果,所述读取结果包括实际线缆上各预设的测试点对应的在第一预设频率范围内的共模电流;确定所有预设的测试点对应的在第一预设频率范围内的共模电流中最大的共模电流,该最大的共模电流为待检测设备对应的在第一预设频率范围内的第一共模电流。

[0082] 在一些实施例中,所述预设的第一共模辐射模型包括公式:

$|E_{CM1}| = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{CM1} \times L1 \times F1}{r1} + K_H$, 其中, $|E_{CM1}|$ 表示所述第一共模干扰强度, I_{CM1} 表示第一共模电流, $L1$ 表示实际线缆的实际线束长度, $F1$ 表示预设的第一频率, $r1$ 表示预设的第一测试距离, K_H 表示第一误差校准因子;

[0083] 所述生成模块具体用于根据所述第一误差校准因子 K_H 、所述第一共模电流 I_{CM1} 和公式: $|E_{CM1}| = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{CM1} \times L1 \times F1}{r1} + K_H$, 计算出所述待检测设备对应的在所述第一预设频率范围内的第一共模干扰强度 $|E_{CM1}|$ 。

[0084] 本公开实施例提供的电磁干扰预测方法及系统,测试系统简单易搭建,测试系统无需设置于电波暗室中进行测试,仅需结合基于校准系统测试得到的第一误差校准因子/第二误差校准因子,即可模拟出在电波暗室中测试的结果,故测试系统的测试成本远远低于电波暗室的测试成本,为产品开发节省大量时间以及经费成本;同时,本公开实施例所提供的电磁干扰预测方法及系统,测试精度高,效率高,避免了近场探头测试法和仿真预估法

的不足,可以较为准确的预估电子产品(待检测设备)是否可通过标准化测试限值要求。

附图说明

[0085] 附图用来提供对本公开实施例的进一步理解,并且构成说明书的一部分,与本公开的实施例一起用于解释本公开,并不构成对本公开的限制。

[0086] 通过参考附图对详细示例实施例进行描述,以上和其他特征和优点对本领域技术人员将变得更加显而易见,在附图中:

[0087] 图1为本公开实施例提供的一种电磁干扰预测方法的流程图;

[0088] 图2为图1中的步骤11的一种具体实施方式的流程图;

[0089] 图3为频域电流测试子系统的一种结构示意图;

[0090] 图4为空间电磁场测试子系统的一种结构示意图;

[0091] 图5为测试系统的一种结构示意图;

[0092] 图6为本公开实施例提供的另一种电磁干扰预测方法的流程图;

[0093] 图7为图6中的步骤21的一种具体实施方式的流程图;

[0094] 图8为本公开实施例提供的一种电磁干扰预测系统的结构示意图。

具体实施方式

[0095] 为使本领域的技术人员更好地理解本公开的技术方案,下面结合附图对本公开提供的电磁干扰预测方法及系统进行详细描述。

[0096] 在下文中将参考附图更充分地描述示例实施例,但是所述示例实施例可以以不同形式来体现且不应当被解释为限于本文阐述的实施例。反之,提供这些实施例的目的在于使本公开透彻和完整,并将使本领域技术人员充分理解本公开的范围。

[0097] 如本文所使用的,术语“和/或”包括一个或多个相关列举条目的任何和所有组合。

[0098] 本文所使用的术语仅用于描述特定实施例,且不意欲限制本公开。如本文所使用的,单数形式“一个”和“该”也意欲包括复数形式,除非上下文另外清楚指出。还将理解的是,当本说明书中使用术语“包括”和/或“由……制成”时,指定存在所述特征、整体、步骤、操作、元件和/或组件,但不排除存在或添加一个或多个其他特征、整体、步骤、操作、元件、组件和/或其群组。

[0099] 本文所述实施例可借助本公开的理想示意图而参考平面图和/或截面图进行描述。因此,可根据制造技术和/或容限来修改示例图示。因此,实施例不限于附图中所示的实施例,而是包括基于制造工艺而形成的配置的修改。因此,附图中例示的区具有示意性属性,并且图中所示区的形状例示了元件的区的具体形状,但并不旨在是限制性的。

[0100] 除非另外限定,否则本文所用的所有术语(包括技术和科学术语)的含义与本领域普通技术人员通常理解的含义相同。还将理解,诸如那些在常用字典中限定的那些术语应当被解释为具有与其在相关技术以及本公开的背景下的含义一致的含义,且将不解释为具有理想化或过度形式上的含义,除非本文明确如此限定。

[0101] 图1为本公开实施例提供的一种电磁干扰预测方法的流程图,如图1所示,该电磁干扰预测方法包括:

[0102] 步骤11、基于预先设置的校准系统,获取第一预设频率范围对应的第一误差校准

因子。

[0103] 传统的待检测设备 (Equipment Under Test, 简称:EUT) 的电磁干扰测试一般在电波暗室中进行,电波暗室模拟的是一个除地面反射之外的无反射自由空间,在这样的空间里,待检测设备发出的电磁波除地面发射之外其余都是直接由待检测设备发射出来的,但是这样的理想自由空间是不存在的,即使是电波暗室也是有一定反射影响的。

[0104] 考虑到实际测试时电波暗室对测试结果的影响,比如待检测设备的精度误差、电波暗室的导电地面反射和墙面反射等因素影响,在本公开实施例中,预先在电波暗室中搭建布置校准系统,在对待检测设备进行电磁干扰测试之前,首先通过校准系统在电波暗室中的预测试,以获取第一预设频率范围对应的第一误差校准因子;在对待检测设备正式进行电磁干扰测试时,通过预先设置的测试系统进行测试,同时引入第一误差校准因子,从而可以模拟出在电波暗室中测试的结果。这样,在对待检测设备正式进行电磁干扰测试时,基于第一误差校准因子和测试系统的测试结果,即可模拟出在电波暗室中测试的测试结果,因此对于待检测设备的电磁干扰测试,无需在电波暗室中进行,从而节省了待检测设备的电磁干扰测试成本。

[0105] 在实际应用中,校准系统的布置可根据实际所要预估的测试标准要求布置,在本公开实施例中,以汽车电子的测试标准要求CISPR25为例。相应地,在汽车电子的测试标准要求CISPR25中,一般汽车电子的电磁干扰测试频率范围为30MHz至1GHz,即在本公开实施例中,第一预设频率范围为30MHz至1GHz。需要说明的是,本公开实施例对于第一预设频率范围不作具体限定,第一预设频率范围可根据实际所要预估的测试标准要求进行设置。

[0106] 在一些实施例中,校准系统包括参考线缆、频域电流测试子系统和空间电磁场测试子系统。图2为图1中的步骤11的一种具体实施方式的流程图,如图2所示,步骤11包括:

[0107] 步骤111、基于频域电流测试子系统,获取参考线缆对应的在第一预设频率范围内的第二共模电流。

[0108] 图3为频域电流测试子系统的一种结构示意图,如图3所示,在一些实施例中,根据实际所要预估的测试标准要求,频域电流测试子系统可包括但不限于:第一非导电测试桌31、第一导电平面32、信号源33、第一电流探头34、负载35和第一射频接收设备36,其中,第一导电平面32设置于第一非导电测试桌31上,信号源33、负载35设置于第一导电平面32上,信号源33和负载35通过参考线缆37连接,第一电流探头34设置于参考线缆37上,第一电流探头34与第一射频接收设备36连接。

[0109] 其中,信号源33用于向所述参考线缆发出预设功率的正弦波激励,例如,预设功率为10dBm;第一电流探头34用于测量参考线缆37对应的在第一预设频率范围内的第二共模电流 I_{CM2} (单位:dB μ A);第一射频接收设备36用于读取第一电流探头34测量的第二共模电流 I_{CM2} 。

[0110] 在一些实施例中,第一电流探头34通过射频电缆与第一射频接收设备36连接。其中,如图3所示,第一电流探头34的形状为圆环形,环绕参考线缆37设置,第一电流探头34可以选择在探头直径符合参考线缆37的线束直径以及实际预估的测试频率要求的前提下,转移阻抗较大的电流探头,这是由于转移阻抗越大,探头越灵敏,从而可以保证测量的灵敏度。

[0111] 在一些实施例中,负载35的阻值为50 Ω 。

[0112] 为了方便测试,在一些实施例中,参考线缆37由单根导线构成,参考线缆的线束长度为1.5米。需要说明的是,参考线缆37还可以由多根导线构成,参考线缆37的线束长度还可以为其他长度,具体可根据实际需要进行设置。

[0113] 在一些实施例中,第一射频接收设备36包括EMI接收机或者频谱分析仪。

[0114] 在一些实施例中,步骤111包括:获取第一射频接收设备36的读取结果,该读取结果包括参考线缆37对应的在第一预设频率范围内的第二共模电流 I_{CM2} 。其中,可以主动获取第一射频接收设备36的读取结果,也可以由第一射频接收设备36上报获取第一射频接收设备36的读取结果。

[0115] 步骤112、根据第二共模电流,基于预设的第二共模辐射模型,计算出参考线缆在第一预设频率范围内的第二共模辐射电场强度。

[0116] 在一些实施例中,预设的第二共模辐射模型包括公式: $E_{cable} = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{CM2} \times L2 \times F2}{r2} \sin\theta$,其中, I_{CM2} 表示第二共模电流(单位:dB μ A), $L2$ 表示参考线缆的线束长度(单位:m), $F2$ 为预设的第二频率(单位:HZ), $r2$ 为预设的第二测试距离(单位:m), $\theta=90^\circ$, E_{cable} 表示第二共模辐射电场强度(单位:dB μ V/m)。

[0117] 其中,参考线缆的线束长度 $L2$ 在布置校准系统时,可根据实际需要给定;第二频率 $F2$ 为第一预设频率范围(如30MHZ至1GHZ)中的任意一个频率,可根据实际需要给定,例如,当需要测试频率为40MHZ的电磁干扰时,则 $F2=40MHZ$;第二测试距离 $r2$ 表示观测点(如天线)与被测物(如参考线缆)的距离,可根据实际测试标准要求给定,一般而言,电磁干扰的测试标准中,测试距离一般为1米、3米或者10米,即第二测试距离 $r2$ 可以为1米、3米或者10米; θ 表示预设的观测点(如天线)与发射天线(如参考线缆)的轴向间的角度。

[0118] 在一些实施例中,步骤112包括:根据第二共模电流 I_{CM2} 和公式: $E_{cable} = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{CM2} \times L2 \times F2}{r2} \sin\theta$,计算出参考线缆在第一预设频率范围内的第二共模辐射电场强度 E_{cable} 。

[0119] 具体而言,当根据实际需要给定参考线缆的线束长度 $L2$ 、预设的第二频率 $F2$ 、预设的第二测试距离 $r2$ 和预设的观测点与参考线缆的轴向间的角度 θ 时,将步骤111中测试得到的第二共模电流 I_{CM2} 、参考线缆的线束长度 $L2$ 、预设的第二频率 $F2$ 、预设的第二测试距离 $r2$ 和预设的观测点与参考线缆的轴向间的角度 θ 代入公式:

$E_{cable} = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{CM2} \times L2 \times F2}{r2} \sin\theta$ 中,即可得到参考线缆在第二频率 $F2$ 的第二共模辐射电场强度 E_{cable} 。

[0120] 需要说明的是,第二共模辐射电场强度 E_{cable} 为基于预设的第二共模辐射模型计算出的参考线缆在理论上的共模干扰强度(电场强度)。

[0121] 步骤113、基于空间电磁场测试子系统,获取参考线缆对应的第一空间电场强度。

[0122] 图4为空间电磁场测试子系统的一种结构示意图,如图4所示,在一些实施例中,根据实际所要预估的测试标准要求,空间电磁场测试子系统可包括但不限于:第一非导电测试桌31、第一导电平面32、信号源33、负载35、天线38和第一射频接收设备36,第一导电平面32设置于第一非导电测试桌31上,信号源33和负载35设置于第一导电平面32上,天线38设置于与参考线缆37距离预设长度的位置。

[0123] 其中,信号源33和负载35通过参考线缆37连接,用于向参考线缆37发出预设功率的正弦波激励,例如,预设功率为10dBm;天线38与第一射频接收设备36连接,天线38用于测量参考线缆37产生的电场强度;第一射频接收设备36用于读取天线38所测得的电场强度 V_{antenna} (单位:dB μ V)。

[0124] 在一些实施例中,天线与参考线缆37之间的距离为所述预设的第二测试距离,即预设长度为所述预设的第二测试距离 r_2 ,例如,预设长度为1m、3m或者10米。需要说明的是,天线38与参考线缆37之间的距离可以理解为天线38的中心点与参考线缆37(相当于直线)的距离。

[0125] 在一些实施例中,天线38通过射频电缆与与第一射频接收设备36连接。其中,当测试的频率范围在小于30MHZ的范围(如150KHZ至30MHZ)时,天线38可以采用杆天线;当测试的频率范围在30MHZ至200MHZ时,天线38可以采用双锥天线;当测试的频率范围在200MHZ至1GHZ时,天线38可以采用对数天线。在本公开实施例中,不限制天线38的具体形式,可以根据实际情况进行设置。

[0126] 可以理解的是,为了节省设备的布置,在一些实施例中,第一非导电测试桌31、第一导电平面32、信号源33、负载35和第一射频接收设备36为空间电磁场测试子系统和频域电流测试子系统的共用设备。关于该共用设备的具体描述可参见上述对步骤111的描述,此处不再赘述。

[0127] 在一些实施例中,步骤113包括:获取第一射频接收设备36的读取结果,该读取结果包括天线38测得的电场强度 V_{antenna} ;根据天线38所测得的电场强度 V_{antenna} 和预设的天线因子 AF_{antenna} (单位:dB/m)之和,生成第一空间电场强度 E_{antenna1} (单位:dB μ V/m),即 $E_{\text{antenna1}} = V_{\text{antenna}} + AF_{\text{antenna}}$ 。其中,可以主动获取第一射频接收设备36的读取结果,也可以由第一射频接收设备36上报获取第一射频接收设备36的读取结果。

[0128] 其中,天线因子 AF_{antenna} 可通过天线校准得到,一般天线出厂时都会附带天线因子 AF_{antenna} 。因此,天线因子 AF_{antenna} 具体可根据实际采用的天线38而设置。

[0129] 需要说明的是,第一空间电场强度 E_{antenna1} 为实际测试得到的参考线缆实际产生的共模干扰强度(电场强度)。

[0130] 步骤114、根据第二共模辐射电场强度和第一空间电场强度之间的差值,生成第一误差校准因子。

[0131] 在本公开实施例中,第一误差校准因子 K_H 等于第二共模辐射电场强度和第一空间电场强度之间的差值。换言之,通过将理论上测试得到的第二共模辐射电场强度 E_{cable} 减去实际上测试得到的第一空间电场强度 E_{antenna1} 即可得到参考线缆对应的在第一预设频率范围的第一误差校准因子 K_H 。其中,第一误差校准因子 K_H 用于表征电波暗室的环境因素对测试结果造成的影响,电波暗室的环境因素包括电波暗室导电地面反射、墙面反射等因素。

[0132] 第一误差校准因子 K_H 可在一定时间段内(如一年内)反复被使用,同时,考虑到实验室(如电波暗室)的一些变化,可每间隔预设时间(如一年)采用上述步骤111至步骤114的方法进行更新。

[0133] 步骤12、基于预先设置的测试系统,获取待检测设备对应的在第一预设频率范围内的第一共模电流。

[0134] 在本公开实施例中,在对待检测设备进行电磁干扰测试之前,预先搭建测试系统。

图5为测试系统的一种结构示意图,如图5所示,在一些实施例中,测试系统包括:第二非导电测试桌51、第二导电平面52、实际线缆53、第二电流探头54、实际负载55和第二射频接收设备56,其中,第二导电平面52设置于第二非导电测试桌51上,待检测设备57和实际负载55设置于第二导电平面52上,待检测设备57和实际负载55通过实际线缆53连接,第二电流探头54设置于实际线缆53上,第二电流探头54与第二射频接收设备56连接。

[0135] 其中,待检测设备57通过实际线缆55与实际负载55通信,因此,实际线缆55上通常会产生信号;第二电流探头54用于测量实际线缆53上设定数量个预设的测试点分别对应的在第一预设频率范围内的共模电流 I_{CM} (单位:dB μ A);第二射频接收设备56用于读取第二电流探头54测量的各预设的测试点对应的共模电流 I_{CM} 。

[0136] 在一些实施例中,第二电流探头54通过射频电缆与第二射频接收设备56连接。其中,如图5所示,第二电流探头54的形状为圆环形,环绕实际线缆53设置,第二电流探头54可以选择在探头直径符合实际线缆53的线束直径以及实际预估的测试频率要求的前提下,转移阻抗较大的电流探头,这是由于转移阻抗越大,探头越灵敏,从而可以保证测量的灵敏度。

[0137] 在一些实施例中,实际线缆53可以包括一根导线,也可以包括多根导线。

[0138] 在一些实施例中,第二射频接收设备56包括EMI接收机或者频谱分析仪。

[0139] 在实际情况下,线缆是系统(如待检测设备、实际线缆和实际负载构成的系统)中导致待检测设备57的电磁兼容问题的最主要因素。线缆本身是效率远远大于部件本体(如待检测设备)的电磁干扰发射载体。待检测设备57的高频电路结构自身形成发射天线或者耦合到周围的结构以充当有效的发射天线,从而产生电磁干扰。通常,将待检测设备57上的外拖线缆取下来时,待检测设备57就可以顺利通过电磁兼容性试验(EMC);在现场中遇到EMI现象时,只要将线缆拔下来,故障就会消失。这是因为线缆是一根高效的接收和发射天线。另外,线缆中的导线平行布置的距离长,因此导线之间存在较大的分布电容和互电感,这会导致导线之间发生信号的串扰。由此可见,线缆的辐射问题是工程中最常见的问题之一,90%以上的待检测设备57不能通过辐射发射试验都是由于线缆辐射造成的。

[0140] 因此,在本公开实施例中,对待检测设备57进行电磁干扰测试时,仅通过测试与待检测设备57连接的实际线缆产生的辐射,即只测试实际线缆产生的电磁干扰。在步骤12中,基于预先设置的测试系统,获取实际线缆53在第一预设频率范围内的第一共模电流,实际线缆53在第一预设频率范围内的第一共模电流即为该待检测设备57对应的在第一预设频率范围内的第一共模电流。

[0141] 在测试过程中,首先需要确定实际线缆53上的测试点。具体地,根据第一预设频率范围(所需的测试频率范围)的最高频率对应的波长的十分之一确定测试间隔,例如,第一预设频率范围为3MHZ至1GHZ,则最高频率为1GHZ,根据公式: $f = c/\lambda$ (频率=波速/波长),得到最高频率1GHZ对应的波长 $\lambda = c/f = 3 \times 10^8 / 10^9 = 0.3$ 米,则最高频率1GHZ对应的波长 λ 的十分之一即为0.03米,即测试间隔为0.03米。进一步地,根据测试间隔和实际线缆53的线束长度,确定实际线缆53上的测试点的数量即设定数量。例如,假设实际线缆53的线束长度为1.5米,1.5米长的实际线缆53上的测试点至少为30个,即设定数量为至少30个。

[0142] 按照测试间隔确定实际线缆53上的设定数量个测试点后,在测试过程中,通过移动实际线缆53上的第二电流探头54,依次测试各测试点对应的共模电流。而后,将所有测试

点对应的共模电流中最大的共模电流确定为所述实际线缆53在第一预设频率范围内的第一共模电流。其中,各测试点对应的共模电流可以采用以下公式计算: $I_{CM}=P-10\log Z+90+C_{CableLoss}-Z_{clamp}$,其中, I_{CM} (单位:dB μ A)表示当前测试点对应的共模电流, $Z=50\Omega$, P (单位:dBm)表示第二电流探头54测试当前测试点时第二射频设备56的读取结果, $C_{CableLoss}$ (单位:dB)表示实际线缆的线路损耗, Z_{clamp} (单位:dB Ω)表示第二电流探头54的转移阻抗。

[0143] 基于上述描述,可以理解,在步骤12中,基于预先设置的测试系统,获取待检测设备57对应的实际线缆53上的各测试点对应的在第一预设频率范围内的共模电流,并确定出所有测试点对应的共模电流中最大的共模电流,该最大的共模电流即为实际线缆在第一预设频率范围内的第一共模电流 I_{CM1} 。即,步骤12包括:获取所述第二射频接收设备56的读取结果,所述读取结果包括实际线缆53上各预设的测试点对应的在第一预设频率范围内的共模电流;确定所有预设的测试点对应的在第一预设频率范围内的共模电流中最大的共模电流,该最大的共模电流为待检测设备57对应的在第一预设频率范围内的第一共模电流。其中,可以主动获取第二射频接收设备56的读取结果,也可以由第二射频接收设备56上报获取第二射频接收设备56的读取结果。

[0144] 步骤13、根据第一误差校准因子和第一共模电流,基于预设的第一共模辐射模型,生成待检测设备对应的在第一预设频率范围内的第一共模干扰强度。

[0145] 在一些实施例中,预设的第一共模辐射模型包括公式: $|E_{CM1}|=6.28\times 10^{-7}\frac{I_{CM1}\times L1\times F1}{r1}+K_H$,其中, $|E_{CM1}|$ 表示第一共模干扰强度(单位:dB μ V/m), I_{CM1} 表示第一共模电流(单位:dB μ A), $L1$ 表示实际线缆的实际线束长度(单位:m), $F1$ 表示预设的第一频率(单位:HZ), $r1$ 表示预设的第一测试距离(单位:m), K_H 表示第一误差校准因子(单位:dB)。

[0146] 其中,预设的第一频率 $F1$ 与前述预设的第二频率 $F2$ 相同,具体可参见前述对第二频率 $F2$ 的描述,此处不再赘述;预设的第一测试距离 $r1$ 与前述预设的第二测试距离 $r2$ 相同,具体可参见前述对第二测试距离 $r2$ 的描述,此处不再赘述;实际线缆53的实际线束长度 $L1$ 根据实际情况而定,本公开实施例对此不作限定。

[0147] 在一些实施例中,步骤13包括:根据第一误差校准因子 K_H 、第一共模电流 I_{CM1} 和公式: $|E_{CM1}|=6.28\times 10^{-7}\frac{I_{CM1}\times L1\times F1}{r1}+K_H$,计算出待检测设备对应的在第一预设频率范围内的第一共模干扰强度 $|E_{CM1}|$ 。

[0148] 在实际应用中,当根据实际情况确定实际线缆53的实际线束长度 $L1$ 、第一频率 $F1$ 和第一测试距离 $r1$ 时,基于校准系统测试出第一误差校准因子 K_H ,以及基于测试系统测试出第一共模电流 I_{CM1} 后,即可根据公式: $|E_{CM1}|=6.28\times 10^{-7}\frac{I_{CM1}\times L1\times F1}{r1}+K_H$ 确定出待检测设备对应的在第一频率 $F1$ ($F1\in[30\text{MHZ},1\text{GHZ}]$)的第一共模干扰强度 $|E_{CM1}|$ 。不难理解,第一共模干扰强度 $|E_{CM1}|$ 为电场强度。

[0149] 在实际应用中,在预测出待检测设备对应的在第一预设频率范围内的第一共模干扰强度 $|E_{CM1}|$ 后,可以将第一共模干扰强度 $|E_{CM1}|$ 与实际预估的测试标准要求(如CISPR25)中的超标限值进行比较,即可确定出电磁干扰的超标频点或者超标频段,从而可以确定该待检测设备是否可以通过测试标准要求。其中,当比较出第一共模干扰强度 $|E_{CM1}|$ 大于超标

限值时,即可确定该第一共模干扰强度 $|E_{CM}|$ 对应的频点或频段为超标频点或超标频段,存在高风险。

[0150] 应当了解,待测试的线缆的辐射通常包括差模辐射和共模辐射,而在实际应用中,待测试的线缆通常包括多根导线,该待测试的线缆的辐射主要来自共模辐射。这是因为传输有用信号的导线对常常是紧靠在一起的,而且经常导线使用双绞线,所以差模电流在周围空间产生的辐射场往往大小相等,方向相反,从而相互抵消,而导线对中两根导线上的共模电流产生的辐射场则相互迭加。共模电流的环路是由待测试的线缆与大地形成,因此具有很大的环路面积,会产生很强的辐射。在本公开实施例中,把待测试的线缆的电磁干扰发射模型简化为一个偶极子天线模型,那么,待测试的线缆的共模辐射模型包括:公式:

$$|E_{CM}| = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{CM} \times L \times F}{r} \sin\theta \text{ 和公式: } |H_{CM}| = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{CM} \times L \times F}{r\eta} \sin\theta, \text{ 其中, } E_{CM}$$

表示待测试的线缆的共模辐射电场(单位:dB μ V/m), H_{CM} 表示待测试的线缆的共模辐射磁场, I_{CM} 表示待测试的线缆的共模电流(单位:dB μ A), L 表示待测试的线缆的线束长度(单位:m), F 表示待测试频率(单位:HZ), r 表示待测试的测试距离(单位:m), η 表示自由空间波阻抗, θ 表示观测点与发射天线(待测试的线缆)轴向间的角度, $\theta=90^\circ$ 时 $|E_{CM}|$ 为最大共模辐射电场。

[0151] 考虑到电波暗室的环境等因素的影响,引入误差校准因子 K (单位:dB),因此,在观测点测试的线缆的最大电场($\theta=90^\circ$)和最大磁场($\theta=90^\circ$)分别为:

$$|E_{CM}| = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{CM} \times L \times F}{r} + K \text{ 和 } |H_{CM}| = 1.67 \times 10^{-9} \frac{I_{CM} \times L \times F}{r} + K.$$

[0152] 考虑到汽车电子、信息技术设备以及通信设备的辐射发射测试都是以测试电场值(单位:dB μ V/m)为准,因此,本公开实施例中,采用公式: $|E_{CM}| = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{CM} \times L \times F}{r} \sin\theta$

作为预设的第二共模辐射模型,采用 $|E_{CM}| = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{CM} \times L \times F}{r} + K$ 作为预设的第一共模辐射模型。当需要计算待测试的线缆的磁场时,也可采用公式:

$$|H_{CM}| = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{CM} \times L \times F}{r\eta} \sin\theta \text{ 和公式: } |H_{CM}| = 1.67 \times 10^{-9} \frac{I_{CM} \times L \times F}{r} + K \text{ 进行计算。}$$

[0153] 本公开实施例所提供的电磁干扰预测方法中,基于电波暗室中的校准系统,测试得到第一误差校准因子,并通过测试系统的测试,基于待检测设备对应的实际线缆的实测结果(第一共模电流),根据偶极子天线理论转化得到远场测试结果(第一共模干扰强度),避免了近场探头测试法和仿真预估法的不足,可以较为准确的预估待检测设备是否可通过标准化测试限值要求。且测试系统简单易搭建,测试系统无需设置于电波暗室中进行测试,仅需结合基于校准系统测试得到的第一误差校准因子,即可模拟出在电波暗室中测试的结果,故测试系统远远低于电波暗室的搭建成本,为产品开发节省大量时间以及经费成本。

[0154] 本公开实施例所提供的电磁干扰预测方法的技术方案中,基于预先设置的校准系统,获取第一预设频率范围对应的第一误差校准因子;基于预先设置的测试系统,获取待检测设备对应的在第一预设频率范围内的第一共模电流;根据第一误差校准因子和第一共模电流,基于预设的第一共模辐射模型,生成待检测设备对应的在第一预设频率范围内的第一共模干扰强度。其中,测试系统简单易搭建,测试系统无需设置于电波暗室中进行测试,仅需结合基于校准系统测试得到的第一误差校准因子,即可模拟出在电波暗室中测试的结

果,故测试系统的测试成本远远低于电波暗室的测试成本,为产品开发节省大量时间以及经费成本;同时,本公开实施例所提供的电磁干扰预测方法,测试精度高,效率高,避免了近场探头测试法和仿真预估法的不足,可以较为准确的预估电子产品(待检测设备)是否可通过标准化测试限值要求。

[0155] 图6为本公开实施例提供的另一种电磁干扰预测方法的流程图,如图6所示,该电磁干扰预测方法包括:

[0156] 步骤21、基于预先设置的校准系统,获取第二预设频率范围对应的第二误差校准因子。

[0157] 其中,第二预设频率范围为低于30MHZ的频率范围。

[0158] 在一些实施例中,步骤21中的校准系统包括参考线缆、频域电流测试子系统和空间电磁场测试子系统,图7为图6中的步骤21的一种具体实施方式的流程图,如图7所示,步骤21包括:

[0159] 步骤211、基于频域电流测试子系统,获取参考线缆对应的在第二预设频率范围内的第二共模电压。

[0160] 在本公开实施例中,步骤211中的频域电流测试子系统与上述步骤111中的频域电流测试子系统的区别仅在于:步骤211中的频域电流测试子系统包括第一电压探头,未包括第一电流探头。其中,第一电压探头设置于参考线缆上,其形状为圆环形,其环绕参考线缆设置,第一电压探头与第一射频接收设备连接,第一电压探头用于测量参考线缆对应的在第二预设频率范围内的第二共模电压,第一射频接收设备用于读取第一电压探头测量的第二共模电压。

[0161] 在一些实施例中,第一电压探头通过射频电缆与第一射频接收设备连接。关于步骤211中的频域电流测试子系统的其他描述可参见上述对步骤111中的频域电流测试子系统的描述,此处不再赘述。

[0162] 在一些实施例中,步骤211包括:获取第一射频接收设备的读取结果,该读取结果包括参考线缆对应的在第二预设频率范围内的第二共模电压 V_{cable2} (单位:dB μ V)。

[0163] 步骤212、基于空间电磁场测试子系统,获取所述参考线缆对应的第二空间电场强度。

[0164] 在本公开实施例中,步骤212中的空间电磁场测试子系统与上述步骤113中的空间电磁场测试子系统相同,具体描述可参见上述对步骤113中的空间电磁场测试子系统的描述,此处不再赘述。需要说明的是,由于第二预设频率范围为低于30MHZ的频率范围,因此,在步骤211的空间电磁场测试子系统中,天线可以采用杆天线。

[0165] 在一些实施例中,步骤212包括:获取所述第一射频接收设备的读取结果,该读取结果包括天线测得的电场强度 $V_{antenna}$ (单位:dB μ V);根据天线测得的电场强度 $V_{antenna}$ 与预设的天线因子 $AF_{antenna}$ (单位:dB/m)之和,生成第二空间电场强度 $E_{antenna2}$ (单位:dB μ V/m),即 $E_{antenna2}=V_{antenna}+AF_{antenna}$ 。

[0166] 步骤213、根据第二共模电压和第二空间电场强度之间的差值,生成第二误差校准因子。

[0167] 在本公开实施例中,第二误差校准因子 K_L 等于第二共模电压 V_{cable2} 和第二空间电场强度 $E_{antenna2}$ 之间的差值,即 $K_L=V_{cable2}-E_{antenna2}$ 。其中,第二误差校准因子 K_L 用于表征电波

暗室的环境因素对测试结果造成的影响,电波暗室的环境因素包括电波暗室导电地面反射、墙面反射等因素。

[0168] 第二误差校准因子 K_L 可在一定时间段内(如一年内)反复被使用,同时,考虑到实验室(如电波暗室)的一些变化,可每间隔预设时间(如一年)采用上述步骤211至步骤213的方法进行更新。

[0169] 步骤22、基于预先设置的测试系统,获取待检测设备对应的在第二预设频率范围内的第一共模电压。

[0170] 在本公开实施例中,步骤22中的测试系统与上述步骤12中的测试系统的区别仅在于:步骤22中的测试系统还包括第二电压探头,而未包括第二电流探头。

[0171] 其中,第二电压探头设置于实际线缆上,其形状为圆环形,且环绕实际线缆设置,第二电压探头与第二射频接收设备连接,第二电压探头用于测量实际线缆上设定数量个预设的测试点分别对应的在第二预设频率范围内的共模电压,第二射频接收设备用于读取第二电压探头测量的各预设的测试点对应的共模电压。

[0172] 在一些实施例中,第二电压探头通过射频电缆与第二射频接收设备连接。关于步骤22中的测试系统的其他描述可参见上述对步骤12中的测试系统的描述,此处不再赘述。

[0173] 在本公开实施例中,对待检测设备进行电磁干扰测试时,仅通过测试与待检测设备连接的实际线缆产生的辐射,即只测试实际线缆产生的电磁干扰。在步骤22中,基于预先设置的测试系统,获取实际线缆在第二预设频率范围内的第一共模电压,实际线缆在第二预设频率范围内的第一共模电压即为该待检测设备对应的在第二预设频率范围内的第一共模电压。

[0174] 在测试过程中,首先需要确定实际线缆上的测试点。具体地测试点的确定方法可参见上述步骤12中的描述,此处不再赘述。按照测试间隔确定实际线缆上的设定数量个测试点后,在测试过程中,通过移动实际线缆上的第二电压探头,依次测试各测试点对应的共模电压。而后,将所有测试点对应的共模电压中最大的共模电压确定为所述实际线缆在第二预设频率范围内的第一共模电压。

[0175] 基于上述描述,可以理解,在步骤22中,基于预先设置的测试系统,获取待检测设备对应的实际线缆上的各测试点对应的在第二预设频率范围内的共模电压,并确定出所有测试点对应的共模电压中最大的共模电压,该最大的共模电压即为实际线缆在第二预设频率范围内的第一共模电压 V_{cable1} 。即,步骤22包括:获取所述第二射频接收设备的读取结果,所述读取结果包括实际线缆上各预设的测试点对应的在第二预设频率范围内的共模电压;确定所有预设的测试点对应的在第二预设频率范围内的共模电压中最大的共模电压,该最大的共模电压为待检测设备对应的在第二预设频率范围内的第一共模电压 V_{cable1} (单位:dB μ V)。

[0176] 步骤23、根据第二误差校准因子和第一共模电压,基于预设的第三共模辐射模型,生成待检测设备对应的在第二预设频率范围内的第二共模干扰强度。

[0177] 在一些实施例中,预设的第三共模辐射模型包括公式: $|E_{CM2}| = V_{cable1} + K_L$,其中, $|E_{CM2}|$ 表示第二共模干扰强度(单位:dB μ V/m), V_{cable1} 表示第一共模电压, K_L 表示第二误差校准因子(单位:dB)。

[0178] 在一些实施例中,步骤23包括:根据第一共模电压 V_{cable1} 、第二误差校准因子 K_L 和

公式： $|E_{CM2}| = V_{cable1} + K_L$ ，计算出待检测设备对应的在第二预设频率范围内的第二共模干扰强度 $|E_{CM2}|$ 。

[0179] 在实际应用中，在预测出待检测设备对应的在第二预设频率范围内的第二共模干扰强度 $|E_{CM2}|$ 后，可以将第二共模干扰强度 $|E_{CM2}|$ 与实际预估的测试标准要求中的超标限值进行比较，即可确定出低于30MHZ的频率范围的电磁干扰是否超标，该频率范围是否为超标频率范围。其中，当比较出第二共模干扰强度 $|E_{CM2}|$ 大于超标限值时，即可确定出低于30MHZ的频率范围的电磁干扰超标，存在高风险。

[0180] 需要说明的是，关于本公开实施例所提供的电磁干扰预测方法（即步骤21至步骤23）的其他相关描述可参见上述步骤11至步骤13中的描述，此处不再赘述。

[0181] 本公开实施例所提供的电磁干扰预测方法的技术方案中，基于预先设置的校准系统，获取第二预设频率范围对应的第二误差校准因子；基于预先设置的测试系统，获取待检测设备对应的在第二预设频率范围内的第一共模电压；根据第二误差校准因子和第一共模电压，基于预设的第三共模辐射模型，生成待检测设备对应的在第二预设频率范围内的第二共模干扰强度。其中，测试系统简单易搭建，测试系统无需设置于电波暗室中进行测试，仅需结合基于校准系统测试得到的第二误差校准因子，即可模拟出在电波暗室中测试的结果，故测试系统的测试成本远远低于电波暗室的测试成本，为产品开发节省大量时间以及经费成本；同时，本公开实施例所提供的电磁干扰预测方法，测试精度高，效率高，避免了近场探头测试法和仿真预估法的不足，可以较为准确的预估电子产品（待检测设备）是否可通过标准化测试限值要求。

[0182] 本公开实施例还提供了一种服务器，该服务器包括：一个或多个处理器以及存储装置；其中，存储装置上存储有一个或多个程序，当上述一个或多个程序被上述一个或多个处理器执行时，使得上述一个或多个处理器实现前述的电磁干扰预测方法。

[0183] 本公开实施例还提供了一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，其中，该计算机程序被执行时实现前述的电磁干扰预测方法。

[0184] 图8为本公开实施例提供的一种电磁干扰预测系统的结构示意图，如图8所示，该电磁干扰预测系统包括：电磁干扰预测装置81、校准系统82和测试系统83，电磁干扰预测装置81包括获取模块811和生成模块812。

[0185] 其中，获取模块811用于基于预先设置的校准系统82，获取第一预设频率范围对应的第一误差校准因子；基于预先设置的测试系统83，获取待检测设备对应的在第一预设频率范围内的第一共模电流。

[0186] 生成模块812用于根据第一误差校准因子和第一共模电流，基于预设的第一共模辐射模型，生成待检测设备对应的在第一预设频率范围内的第一共模干扰强度。

[0187] 在一些实施例中，校准系统82包括参考线缆、频域电流测试子系统和空间电磁场测试子系统。获取模块811具体用于基于频域电流测试子系统，获取参考线缆对应的在第一预设频率范围内的第二共模电流；根据第二共模电流，基于预设的第二共模辐射模型，计算出参考线缆在第一预设频率范围内的第二共模辐射电场强度；基于空间电磁场测试子系统，获取参考线缆对应的第一空间电场强度；根据第二共模辐射电场强度和第一空间电场强度之间的差值，生成第一误差校准因子。

[0188] 在一些实施例中，如图3所示，频域电流测试子系统包括：第一非导电测试桌31、第

一导电平面32、信号源33、第一电流探头34、负载35和第一射频接收设备36,第一导电平面32设置于第一非导电测试桌31上,信号源33、负载35设置于第一导电平面32上,信号源33和负载35通过参考线缆37连接,第一电流探头34设置于参考线缆37上,第一电流探头34与第一射频接收设备36连接。

[0189] 其中,信号源33用于向参考线缆37发出预设功率的正弦波激励;第一电流探头34用于测量参考线缆37对应的在第一预设频率范围内的第二共模电流;第一射频接收设备36用于读取第一电流探头34测量的第二共模电流。

[0190] 在本公开实施例中,电磁干扰预测装置81与第一射频接收设备36通信连接。在一些实施例中,获取模块811与第一射频接收设备36通信连接。

[0191] 在一些实施例中,获取模块811具体用于获取第一射频接收设备36的读取结果,该读取结果包括参考线缆37对应的在第一预设频率范围内的第二共模电流。

[0192] 在一些实施例中,预设的第二共模辐射模型包括公式: $E_{\text{cable}} = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{\text{CM2}} \times L2 \times F2}{r2} \sin\theta$,其中, I_{CM2} 表示第二共模电流, $L2$ 表示参考线缆的线束长度, $F2$ 为预设的第二频率, $r2$ 为预设的第二测试距离, $\theta = 90^\circ$, E_{cable} 表示第二共模辐射电场强度;获取模块811具体用于根据第二共模电流 I_{CM2} 和公式:

$E_{\text{cable}} = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{\text{CM2}} \times L2 \times F2}{r2} \sin\theta$,计算出参考线缆37在第一预设频率范围内的第二共模辐射电场强度 E_{cable} 。

[0193] 在一些实施例中,如图4所示,空间电磁场测试子系统包括:第一非导电测试桌31、第一导电平面32、信号源33、负载35、天线38和第一射频接收设备36,第一导电平面32设置于第一非导电测试桌31上,信号源33和负载35设置于第一导电平面32上,天线38设置于与参考线缆37距离预设长度的位置。

[0194] 其中,信号源33和负载35通过参考线缆37连接,用于向参考线缆37发出预设功率的正弦波激励;天线38与第一射频接收设备36连接,天线38用于测量参考线缆37产生的电场强度;第一射频接收设备36用于读取天线38所测得的电场强度。

[0195] 获取模块811具体用于获取第一射频接收设备36的读取结果,该读取结果包括天线38测得的电场强度;根据天线38所测得的电场强度和预设的天线因子之和,生成第一空间电场强度。

[0196] 在一些实施例中,如图5所示,测试系统83包括:第二非导电测试桌51、第二导电平面52、实际线缆53、第二电流探头54、实际负载55和第二射频接收设备56,其中,第二导电平面52设置于第二非导电测试桌51上,待检测设备57和实际负载55设置于第二导电平面52上,待检测设备57和实际负载55通过实际线缆53连接,第二电流探头54设置于实际线缆53上,第二电流探头54与第二射频接收设备56连接。

[0197] 其中,第二电流探头54用于测量实际线缆53上设定数量个预设的测试点分别对应的在第一预设频率范围内的共模电流 I_{CM} (单位:dBμA);第二射频接收设备56用于读取第二电流探头54测量的各预设的测试点对应的共模电流 I_{CM} 。

[0198] 在本公开实施例中,电磁干扰预测装置81与第二射频接收设备56通信连接。在一些实施例中,获取模块811与第二射频接收设备56通信连接。

[0199] 在一些实施例中,获取模块811具体用于获取所述第二射频接收设备56的读取结果,该读取结果包括实际线缆53上各预设的测试点对应的在第一预设频率范围内的共模电流;确定所有预设的测试点对应的在第一预设频率范围内的共模电流中最大的共模电流,该最大的共模电流为待检测设备57对应的在第一预设频率范围内的第一共模电流 I_{CM1} 。

[0200] 在一些实施例中,预设的第一共模辐射模型包括公式: $|E_{CM1}| = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{CM1} \times L1 \times F1}{r1} + K_H$,其中, $|E_{CM1}|$ 表示第一共模干扰强度(单位:dB μ V/m), I_{CM1} 表示第一共模电流(单位:dB μ A), $L1$ 表示实际线缆的实际线束长度(单位:m), $F1$ 表示预设的第一频率(单位:HZ), $r1$ 表示预设的第一测试距离(单位:m), K_H 表示第一误差校准因子(单位:dB)。

[0201] 生成模块812具体用于根据第一误差校准因子 K_H 、第一共模电流 I_{CM1} 和公式: $|E_{CM1}| = 6.28 \times 10^{-7} \frac{I_{CM1} \times L1 \times F1}{r1} + K_H$,计算出待检测设备57对应的在第一预设频率范围内的第一共模干扰强度 $|E_{CM1}|$ 。

[0202] 在一些实施例中,电磁干扰预测装置可以包括前述服务器或者计算机可读存储介质。

[0203] 本公开实施例所提供的电磁干扰预测系统,用于实现前述的电磁干扰预测方法,关于本公开实施例所提供的电磁干扰预测系统的其他相关描述,可参见上述在电磁干扰预测方法中的描述,此处不再赘述。

[0204] 本领域普通技术人员可以理解,上文中所公开方法中的全部或某些步骤、系统、装置中的功能模块/单元可以被实施为软件、固件、硬件及其适当的组合。在硬件实施方式中,在以上描述中提及的功能模块/单元之间的划分不一定对应于物理组件的划分;例如,一个物理组件可以具有多个功能,或者一个功能或步骤可以由若干物理组件合作执行。某些物理组件或所有物理组件可以被实施为由处理器,如中央处理器、数字信号处理器或微处理器执行的软件,或者被实施为硬件,或者被实施为集成电路,如专用集成电路。这样的软件可以分布在计算机可读介质上,计算机可读介质可以包括计算机存储介质(或非暂时性介质)和通信介质(或暂时性介质)。如本领域普通技术人员公知的,术语计算机存储介质包括在用于存储信息(诸如计算机可读指令、数据结构、程序模块或其他数据)的任何方法或技术中实施的易失性和非易失性、可移除和不可移除介质。计算机存储介质包括但不限于RAM、ROM、EEPROM、闪存或其他存储器技术、CD-ROM、数字多功能盘(DVD)或其他光盘存储、磁盒、磁带、磁盘存储或其他磁存储装置、或者可以用于存储期望的信息并且可以被计算机访问的任何其他的介质。此外,本领域普通技术人员公知的是,通信介质通常包含计算机可读指令、数据结构、程序模块或者诸如载波或其他传输机制之类的调制数据信号中的其他数据,并且可包括任何信息递送介质。

[0205] 本文已经公开了示例实施例,并且虽然采用了具体术语,但它们仅用于并仅应当被解释为一般说明性含义,并且不用于限制的目的。在一些实例中,对本领域技术人员显而易见的是,除非另外明确指出,否则可单独使用与特定实施例相结合描述的特征、特性和/或元素,或可与其他实施例相结合描述的特征、特性和/或元件组合使用。因此,本领域技术人员将理解,在不脱离由所附的权利要求阐明的本公开的范围的情况下,可进行各种形式

和细节上的改变。

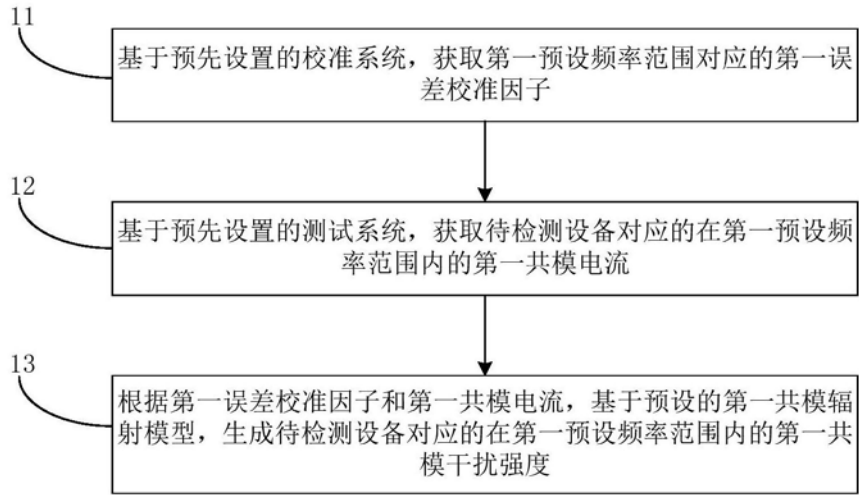


图1

11

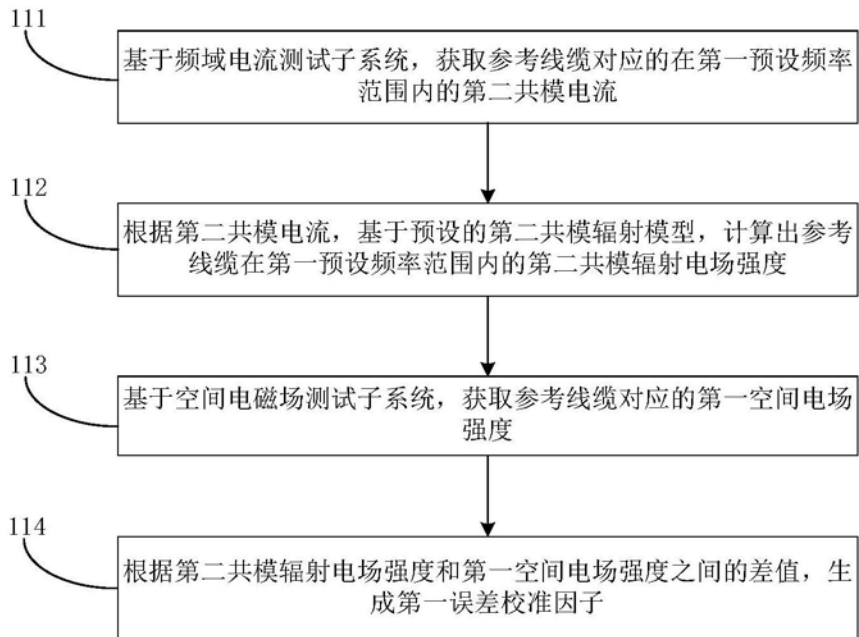


图2

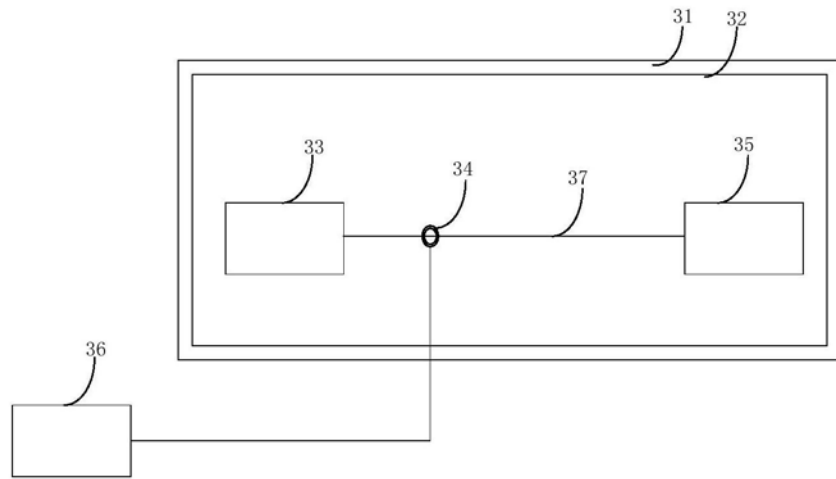


图3

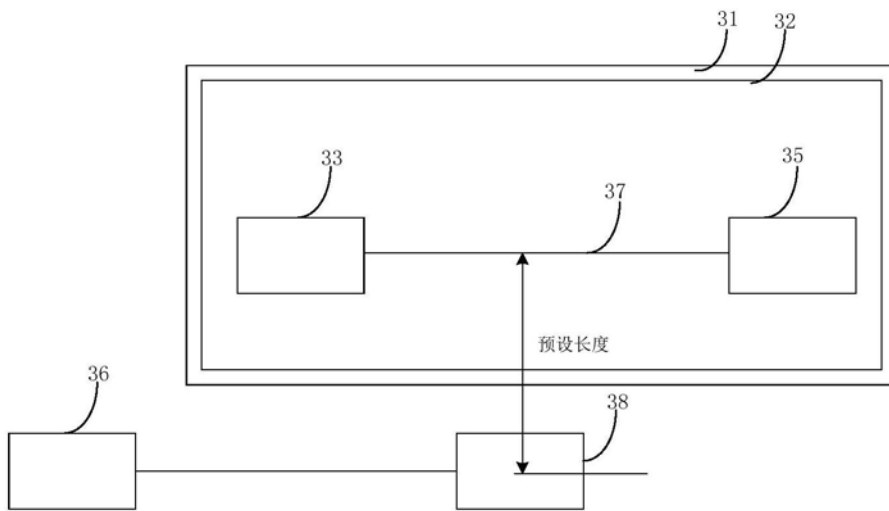


图4

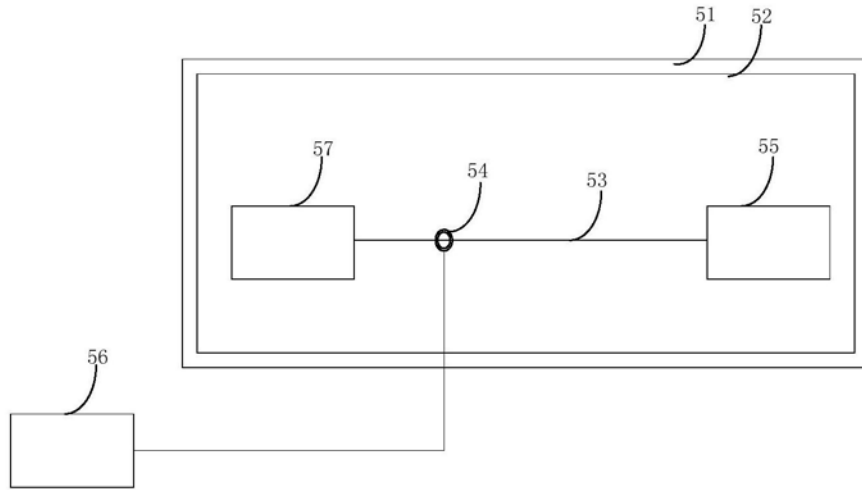


图5

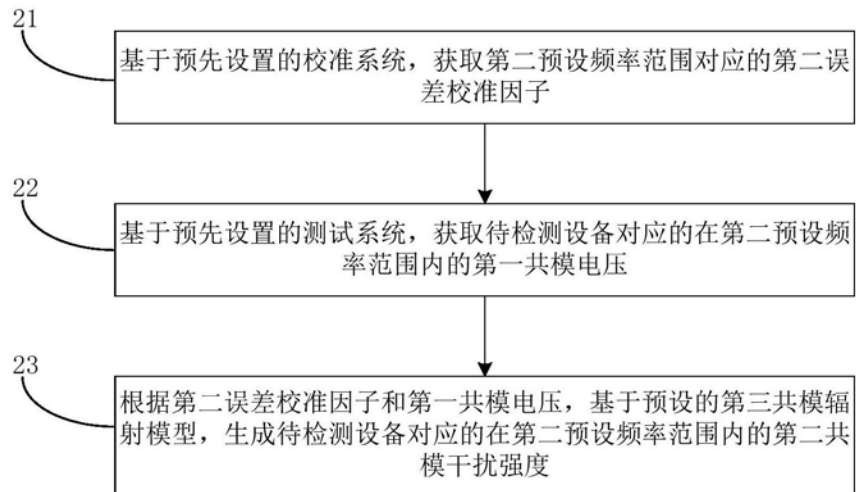


图6

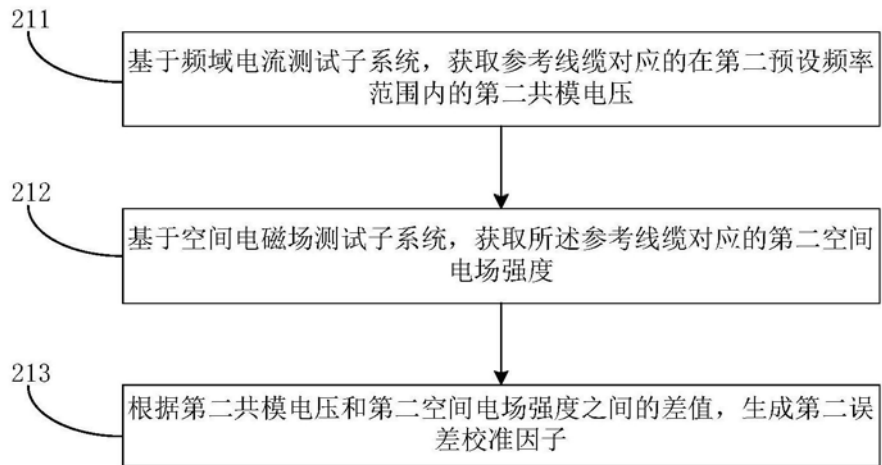


图7

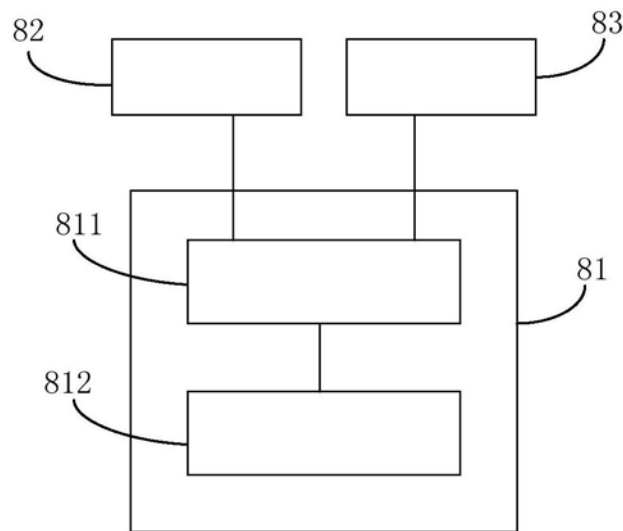


图8