



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108957192 B

(45) 授权公告日 2021.03.23

(21) 申请号 201810832357.4
 (22) 申请日 2018.07.26
 (65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 108957192 A
 (43) 申请公布日 2018.12.07
 (73) 专利权人 北京经纬恒润科技股份有限公司
 地址 100020 北京市朝阳区酒仙桥路14号1幢4层
 (72) 发明人 童心 陈有锋 王显赫
 (74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227
 代理人 王宝筠

(56) 对比文件
 CN 103823127 A, 2014.05.28
 CN 101839949 A, 2010.09.22
 CN 101458282 A, 2009.06.17
 CN 104020364 A, 2014.09.03
 CN 103163393 A, 2013.06.19
 CN 101191806 A, 2008.06.04
 CN 101799494 A, 2010.08.11
 CN 102565546 A, 2012.07.11
 CN 104569888 A, 2015.04.29
 JP 2007333416 A, 2007.12.27

审查员 倪秀敏

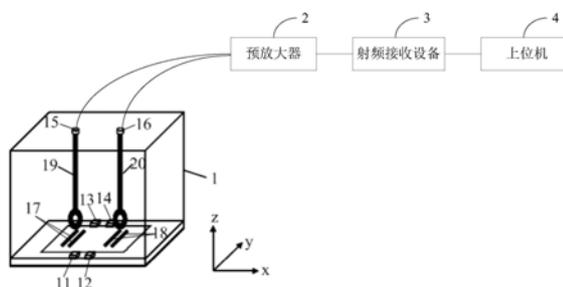
(51) Int. Cl.
 G01R 31/00 (2006.01)
 G01R 29/08 (2006.01)

权利要求书3页 说明书16页 附图5页

(54) 发明名称
 一种电磁干扰诊断系统及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种电磁干扰诊断系统及方法,该系统包括:电磁干扰诊断装置、预放大器、射频接收设备和上位机,电磁干扰诊断装置将输入的电磁干扰信号的差模干扰和共模干扰,分别转换成第一射频输出电压,以及第二射频输出电压,并经预放大器、射频接收设备处理后发送给上位机,上位机基于第一射频输出电压计算得到差模干扰强度,基于第二射频输出电压计算得到共模干扰强度。本发明公开的系统及方法通过将差模干扰和共模干扰分别转化为差异明显且与干扰强度成正比的射频电压,实现了对共模干扰和差模干扰强度确定的、量化的测量,以及对电磁干扰类型的诊断。



1. 一种电磁干扰诊断系统,其特征在于,包括:

电磁干扰诊断装置,用于将输入的被测电磁干扰信号的差模干扰和共模干扰,分别转换成与差模干扰强度成正比的第一近场磁场,以及与共模干扰强度成正比的第二近场磁场;预置在所述电磁干扰诊断装置内的第一近场探头采集所述第一近场磁场的强度,获得与所述差模干扰强度成正比的第一射频输出电压;预置在所述电磁干扰诊断装置内的第二近场探头采集所述第二近场磁场的强度,获得与所述共模干扰强度成正比的第二射频输出电压;

输入端与所述电磁干扰诊断装置的差模射频输出端和/或共模射频输出端连接的预放大器,用于对所述第一射频输出电压进行放大,得到差模射频输出电压,对所述第二射频输出电压进行放大,得到共模射频输出电压;

输入端与所述预放大器的输出端连接的射频接收设备,用于采集在预设频率范围内的差模射频输出电压和/或共模射频输出电压;

输入端与所述射频接收设备的输出端连接的上位机,用于获取所述预设频率范围内的所述差模射频输出电压和/或所述共模射频输出电压,将所述差模射频输出电压减去所述预放大器的放大倍数以及差模标定耦合系数,得到所述被测电磁干扰信号的差模干扰强度;将所述共模射频输出电压减去所述预放大器的放大倍数以及共模标定耦合系数,得到所述被测电磁干扰信号的共模干扰强度;其中,所述差模标定耦合系数为单位强度的差模干扰馈入所述电磁干扰诊断装置时产生的射频输出电压,所述共模标定耦合系数为单位强度的共模干扰馈入所述电磁干扰诊断装置时产生的射频输出电压,所述差模标定耦合系数和所述共模标定耦合系数都是通过对所述电磁干扰诊断装置进行标定测试获得。

2. 根据权利要求1所述的电磁干扰诊断系统,其特征在于,当超标频段已知时,所述上位机还用于基于所述超标频段内的共模干扰强度和相对应的频率绘制得到所述超标频段内第一共模干扰强度频域曲线,基于所述超标频段内的差模干扰强度和相对应的频率绘制得到超标频段内第一差模干扰强度频域曲线,对所述第一共模干扰强度频域曲线进行移动平均处理,得到移动平均处理后的第二共模干扰强度频域曲线,对所述第一差模干扰强度频域曲线进行移动平均处理,得到移动平均处理后的第二差模干扰强度频域曲线,比较所述第二共模干扰强度频域曲线中的共模干扰强度和所述第二差模干扰强度频域曲线中的差模干扰强度在相同频段对应的差值,若差模干扰强度减去共模干扰强度的差值不小于所述超标频段的超标值,则判定相对应的频段以差模干扰为主;若共模干扰强度减去差模干扰强度的差值不小于所述超标值,则判定相对应的频段以共模干扰为主;若差模干扰强度和共模干扰强度的差值的绝对值小于所述超标值,则判定相对应的频段内差模干扰和共模干扰并存;

其中,所述上位机对所述第二共模干扰强度频域曲线进行移动平均处理和对所述第二差模干扰强度频域曲线进行移动平均处理,所采用的移动平均期数N的表达式为:

$$N=M*RBW/f_{size};$$

式中,M为预设范围内的奇数,根据不同干扰特性调整;RBW为所述射频接收设备的分辨率带宽;当所述射频接收设备为接收机时, f_{size} 为接收机的测量步进,当所述射频接收设备为频谱分析仪时, f_{size} 为频谱分析仪的采样频点的间距。

3. 根据权利要求1所述的电磁干扰诊断系统,其特征在于,还包括:第一网络分析仪,所

述第一网络分析仪的第一端口与所述电磁干扰诊断装置的输入端连接,所述电磁干扰诊断装置的输出端连接射频负载,所述第一网络分析仪的第二端口连接所述差模射频输出端,所述差模射频输出端用于输出作为所述差模标定耦合系数的射频输出电压;

所述第一网络分析仪用于标定所述电磁干扰诊断装置在输入单位强度的差模干扰时,产生并输出的作为所述差模标定耦合系数的射频输出电压。

4. 根据权利要求3所述的电磁干扰诊断系统,其特征在于,所述第一网络分析仪通过第一同轴电缆与所述电磁干扰诊断装置的输入端连接,其中,所述第一同轴电缆的内芯连接所述电磁干扰诊断装置的第一输入连接头,所述第一同轴电缆的屏蔽层连接所述电磁干扰诊断装置的第二输入连接头。

5. 根据权利要求1所述的电磁干扰诊断系统,其特征在于,还包括:第二网络分析仪和功率分配器,所述第二网络分析仪的第一端口与所述功率分配器的输入端连接,所述功率分配器的第一输出端与所述电磁干扰诊断装置的第一输入连接头以及金属底座连接,所述功率分配器的第二输出端与所述电磁干扰诊断装置的第二输入连接头以及所述金属底座连接,所述电磁干扰诊断装置的第一输出连接头和第二输出连接头分别连接一个射频负载,所述共模射频输出端连接所述第二网络分析仪的第二端口,所述共模射频输出端用于输出作为所述共模标定耦合系数的射频输出电压;

所述第二网络分析仪用于标定所述电磁干扰诊断装置在输入单位强度的共模干扰时,产生并输出的作为所述共模标定耦合系数的射频输出电压。

6. 根据权利要求5所述的电磁干扰诊断系统,其特征在于,所述功率分配器的第一输出端通过第二同轴电缆与所述电磁干扰诊断装置的第一输入连接头连接,所述第二同轴电缆的内芯连接所述电磁干扰诊断装置的第一输入连接头,所述第二同轴电缆的屏蔽层连接所述电磁干扰诊断装置的所述金属底座;

所述功率分配器的第二输出端通过第三同轴电缆与所述电磁干扰诊断装置的第二输入连接头连接,所述第三同轴电缆的内芯连接所述电磁干扰诊断装置的第二输入连接头,所述第三同轴电缆的屏蔽层连接所述电磁干扰诊断装置的所述金属底座。

7. 根据权利要求1所述的电磁干扰诊断系统,其特征在于,还包括:被测电磁干扰系统,所述被测电磁干扰系统包括:被测设备、负载箱和供电设备;

所述被测设备与所述负载箱连接,且所述被测设备以及所述被测设备与所述负载箱之间互连的导线放置于金属平板上的绝缘垫上;

所述负载箱采用金属外壳,所述负载箱的内部电路能够模拟所述被测设备所连接的各种输入负载和输出负载,或所述负载箱内部直接装载真实负载;

所述供电设备用于为所述被测设备和所述负载箱供电,且所述供电设备和所述负载箱放置于所述金属平板上;

所述被测设备的被测电磁干扰线对连接到所述电磁干扰诊断装置的第一输入连接头和第二输入连接头,并由所述电磁干扰诊断装置的第一输出连接头和第二输出连接头连接到所述被测电磁干扰线对在所述负载箱上对应的接口,所述电磁干扰诊断装置用于采集所述被测电磁干扰线对上的电磁干扰。

8. 根据权利要求7所述的电磁干扰诊断系统,其特征在于,所述被测电磁干扰系统还包括:测试桌和绝缘垫;

所述测试桌的表面为金属平板,所述被测设备以及所述被测设备与所述负载箱之间互连的导线通过所述绝缘垫放置在所述测试桌的表面上,所述负载箱和所述供电设备直接放置在所述测试桌的表面上。

9. 一种电磁干扰诊断方法,其特征在于,应用于权利要求1~8任意一项所述的电磁干扰诊断系统中的上位机,所述方法包括:

获取射频接收设备输出的在预设频率范围内的差模射频输出电压和/或共模射频输出电压;

将所述差模射频输出电压减去所述预放大器的放大倍数以及差模标定耦合系数,得到被测电磁干扰信号的差模干扰强度;

将所述共模射频输出电压减去所述预放大器的放大倍数以及共模标定耦合系数,得到所述被测电磁干扰信号的共模干扰强度;

其中,所述差模标定耦合系数为单位强度的差模干扰馈入所述电磁干扰诊断装置时产生的射频输出电压,所述共模标定耦合系数为单位强度的共模干扰馈入所述电磁干扰诊断装置时产生的射频输出电压,所述差模标定耦合系数和所述共模标定耦合系数都是通过对所述电磁干扰诊断装置进行标定测试获得。

10. 根据权利要求9所述的电磁干扰诊断方法,其特征在于,还包括:

当超标频段已知时,基于所述超标频段内的共模干扰强度和相对应的频率绘制得到所述超标频段内的第一共模干扰强度频域曲线,基于所述超标频段内的差模干扰强度和相对应的频率绘制得到所述超标频段内的第一差模干扰强度频域曲线;

对所述第一共模干扰强度频域曲线进行移动平均处理,得到移动平均处理后的第二共模干扰强度频域曲线;

对所述第一差模干扰强度频域曲线进行移动平均处理,得到移动平均处理后的第二差模干扰强度频域曲线;

比较所述第二共模干扰强度频域曲线中的共模干扰强度和所述第二差模干扰强度频域曲线中的差模干扰强度在相同频段对应的差值;

若差模干扰强度减去共模干扰强度的差值不小于所述超标频段的超标值,则判定相对应的频段以差模干扰为主;

若共模干扰强度减去差模干扰强度的差值不小于所述超标值,则判定相对应的频段以共模干扰为主;

若差模干扰强度和共模干扰强度的差值的绝对值小于所述超标值,则判定相对应的频段内差模干扰和共模干扰并存;

其中,所述上位机对所述第二共模干扰强度频域曲线进行移动平均处理和对所述第二差模干扰强度频域曲线进行移动平均处理,所采用的移动平均期数N的表达式为:

$$N=M*RBW/f_{size};$$

式中,M为预设范围内的奇数,根据不同干扰特性调整;RBW为所述射频接收设备的分辨率带宽;当所述射频接收设备为接收机时, f_{size} 为接收机的测量步进,当所述射频接收设备为频谱分析仪时, f_{size} 为频谱分析仪的采样频点的间距。

一种电磁干扰诊断系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电磁兼容技术领域,更具体的说,涉及一种电磁干扰诊断系统及方法。

背景技术

[0002] 随着汽车电子产品数量的增加,工作频率的提高,功率的增大,使得汽车工作环境中充斥着电磁波,导致电磁干扰问题日益突出。电磁干扰包括差模干扰和共模干扰两种类型。差模干扰是信号线与该信号线的回线之间的干扰,电流在信号线与回线构成的回路中流动,信号线与回线上的电流方向相反,如图1(a)所示;共模干扰是信号线和该信号线的回线相对于外界大地的干扰,电流在回线与外界大地构成的回路中流动,信号线与回线上的电流方向相同,如图1(b)所示。

[0003] 实际产品中往往同时存在差模干扰和共模干扰,并且,二者分布的频段往往有重叠。由于差模干扰和共模干扰产生和耦合的机理不同,因此差模干扰和共模干扰有不同的干扰抑制措施,并且各种干扰抑制措施及其参数设计都只能在特定的频率范围起作用,因此,诊断电磁干扰属于差模干扰还是共模干扰,以及确定差模干扰和共模干扰分别存在于哪些频段,以便采取针对性的有效措施对于电子设计非常重要。

[0004] 由于差模干扰和共模干扰的产生与其源阻抗、终端阻抗和传播路径上的分布参数等因素有关,因此准确分析干扰类型较为困难。现有技术诊断电磁干扰属于共模干扰还是差模干扰时,采用的是粗略的判别方式,无法使共模干扰和差模干扰形成确定的、可测量的物理量,因此,诊断结果对产品设计的指导意义有限。

[0005] 另外,对于电磁兼容测试标准而言,现有标准对传导发射的测量都是测总的干扰强度,并不区分共模和差模干扰。但是,共模干扰和差模干扰的机理和影响效果不同,如果有准确、可靠、确定的方法分别测量共模和差模干扰,对于电磁干扰的标准化测量是有意义的。

发明内容

[0006] 有鉴于此,本发明公开一种电磁干扰诊断系统及方法,以实现将共模干扰和差模干扰分别转化为正比于干扰强度的近场磁场,用近场探头测量近场磁场,并通过接收设备和上位机处理测量数据,从而对共模干扰和差模干扰强度进行确定的、量化的测量,并对电磁干扰类型和频段进行诊断,为电磁兼容设计提供指导和依据。

[0007] 一种电磁干扰诊断系统,包括:

[0008] 电磁干扰诊断装置,用于将输入的被测电磁干扰信号的差模干扰和共模干扰,分别转换成与差模干扰强度成正比的第一近场磁场,以及与共模干扰强度成正比的第二近场磁场;预置在所述电磁干扰诊断装置内的第一近场探头采集所述第一近场磁场的强度,获得与所述差模干扰强度成正比的第一射频输出电压;预置在所述电磁干扰诊断装置内的第二近场探头采集所述第二近场磁场的强度,获得与所述共模干扰强度成正比的第二射频输出电压;

[0009] 输入端与所述电磁干扰诊断装置的差模射频输出端和/或共模射频输出端连接的预放大器,用于对所述第一射频输出电压进行放大,得到差模射频输出电压,对所述第二射频输出电压进行放大,得到共模射频输出电压;

[0010] 输入端与所述预放大器的输出端连接的射频接收设备,用于采集在预设频率范围内的差模射频输出电压和/或共模射频输出电压;

[0011] 输入端与所述射频接收设备的输出端连接的上位机,用于获取所述预设频率范围内的所述差模射频输出电压和/或所述共模射频输出电压,将所述差模射频输出电压减去所述预放大器的放大倍数以及差模标定耦合系数,得到所述被测电磁干扰信号的差模干扰强度;将所述共模射频输出电压减去所述预放大器的放大倍数以及共模标定耦合系数,得到所述被测电磁干扰信号的共模干扰强度;其中,所述差模标定耦合系数为单位强度的差模干扰馈入所述电磁干扰诊断装置时产生的射频输出电压,所述共模标定耦合系数为单位强度的共模干扰馈入所述电磁干扰诊断装置时产生的射频输出电压,所述差模标定耦合系数和所述共模标定耦合系数都是通过对所述电磁干扰诊断装置进行标定测试获得。

[0012] 优选的,当超标频段已知时,所述上位机还用于基于所述超标频段内的共模干扰强度和相对应的频率绘制得到所述超标频段内第一共模干扰强度频域曲线,基于所述超标频段内的差模干扰强度和相对应的频率绘制得到超标频段内第一差模干扰强度频域曲线,对所述第一共模干扰强度频域曲线进行移动平均处理,得到移动平均处理后的第二共模干扰强度频域曲线,对所述第一差模干扰强度频域曲线进行移动平均处理,得到移动平均处理后的第二差模干扰强度频域曲线,比较所述第二共模干扰强度频域曲线中的共模干扰强度和所述第二差模干扰强度频域曲线中的差模干扰强度在相同频段对应的差值,若差模干扰强度减去共模干扰强度的差值不小于所述超标频段的超标值,则判定相对应的频段以差模干扰为主;若共模干扰强度减去差模干扰强度的差值不小于所述超标值,则判定相对应的频段以共模干扰为主;若差模干扰强度和共模干扰强度的差值的绝对值小于所述超标值,则判定相对应的频段内差模干扰和共模干扰并存;

[0013] 其中,所述上位机对所述第二共模干扰强度频域曲线进行移动平均处理和对所述第二差模干扰强度频域曲线进行移动平均处理,所采用的移动平均期数N的表达式为:

$$[0014] \quad N = M * RBW / f_{size};$$

[0015] 式中,M为预设范围内的奇数,根据不同干扰特性调整;RBW为所述射频接收设备的分辨率带宽;当所述射频接收设备为接收机时, f_{size} 为接收机的测量步进,当所述射频接收设备为频谱分析仪时, f_{size} 为频谱分析仪的采样频点的间距。

[0016] 优选的,还包括:第一网络分析仪,所述第一网络分析仪的第一端口与所述电磁干扰诊断装置的输入端连接,所述电磁干扰诊断装置的输出端连接射频负载,所述第一网络分析仪的第二端口连接所述差模射频输出端,所述差模射频输出端用于输出作为所述差模标定耦合系数的射频输出电压;

[0017] 所述第一网络分析仪用于标定所述电磁干扰诊断装置在输入单位强度的差模干扰时,产生并输出的作为所述差模标定耦合系数的射频输出电压。

[0018] 优选的,所述第一网络分析仪通过第一同轴电缆与所述电磁干扰诊断装置的输入端连接,其中,所述第一同轴电缆的内芯连接所述电磁干扰诊断装置的第一输入连接头,所述第一同轴电缆的屏蔽层连接所述电磁干扰诊断装置的第二输入连接头。

[0019] 优选的,还包括:第二网络分析仪和功率分配器,所述第二网络分析仪的第一端口与所述功率分配器的输入端连接,所述功率分配器的第一输出端与所述电磁干扰诊断装置的第一输入连接头以及金属底座连接,所述功率分配器的第二输出端与所述电磁干扰诊断装置的第二输入连接头以及所述金属底座连接,所述电磁干扰诊断装置的第一输出连接头和第二输出连接头分别连接一个射频负载,所述共模射频输出端连接所述第二网络分析仪的第二端口,所述共模射频输出端用于输出作为所述共模标定耦合系数的射频输出电压;

[0020] 所述第二网络分析仪用于标定所述电磁干扰诊断装置在输入单位强度的共模干扰时,产生并输出的作为所述共模标定耦合系数的射频输出电压。

[0021] 优选的,所述功率分配器的第一输出端通过第二同轴电缆与所述电磁干扰诊断装置的第一输入连接头连接,所述第二同轴电缆的内芯连接所述电磁干扰诊断装置的第一输入连接头,所述第二同轴电缆的屏蔽层连接所述电磁干扰诊断装置的所述金属底座;

[0022] 所述功率分配器的第二输出端通过第三同轴电缆与所述电磁干扰诊断装置的第二输入连接头连接,所述第三同轴电缆的内芯连接所述电磁干扰诊断装置的第二输入连接头,所述第三同轴电缆的屏蔽层连接所述电磁干扰诊断装置的所述金属底座。

[0023] 优选的,还包括:被测电磁干扰系统,所述被测电磁干扰系统包括:被测设备、负载箱和供电设备;

[0024] 所述被测设备与所述负载箱连接,且所述被测设备以及所述被测设备与所述负载箱之间互连的导线放置于金属平板上的绝缘垫上;

[0025] 所述负载箱采用金属外壳,所述负载箱的内部电路能够模拟所述被测设备所连接的各种输入负载和输出负载,或所述负载箱内部直接装载真实负载;

[0026] 所述供电设备用于为所述被测设备和所述负载箱供电,且所述供电设备和所述负载箱放置于所述金属平板上;

[0027] 所述被测设备的被测电磁干扰线对连接到所述电磁干扰诊断装置的第一输入连接头和第二输入连接头,并由所述电磁干扰诊断装置的第一输出连接头和第二输出连接头连接到所述被测电磁干扰线对在所述负载箱上对应的接口,所述电磁干扰诊断装置用于采集所述被测电磁干扰线对上的电磁干扰。

[0028] 优选的,所述被测电磁干扰系统还包括:测试桌和绝缘垫;

[0029] 所述测试桌的表面为金属平板,所述被测设备以及所述被测设备与所述负载箱之间互连的导线通过所述绝缘垫放置在所述测试桌的表面上,所述负载箱和所述供电设备直接放置在所述测试桌的表面上。

[0030] 一种电磁干扰诊断方法,应用于上述所述的上位机,所述方法包括:

[0031] 获取射频接收设备输出的在预设频率范围内的差模射频输出电压和/或共模射频输出电压;

[0032] 将所述差模射频输出电压减去所述预放大器的放大倍数以及差模标定耦合系数,得到被测电磁干扰信号的差模干扰强度;

[0033] 将所述共模射频输出电压减去所述预放大器的放大倍数以及共模标定耦合系数,得到所述被测电磁干扰信号的共模干扰强度;

[0034] 其中,所述差模标定耦合系数为单位强度的差模干扰馈入所述电磁干扰诊断装置时产生的射频输出电压,所述共模标定耦合系数为单位强度的共模干扰馈入所述电磁干扰

诊断装置时产生的射频输出电压,所述差模标定耦合系数和所述共模标定耦合系数都是通过所述电磁干扰诊断装置进行标定测试获得。

[0035] 优选的,还包括:

[0036] 当超标频段已知时,基于所述超标频段内的共模干扰强度和相对应的频率绘制得到所述超标频段内的第一共模干扰强度频域曲线,基于所述超标频段内的差模干扰强度和相对应的频率绘制得到所述超标频段内的第一差模干扰强度频域曲线;

[0037] 对所述第一共模干扰强度频域曲线进行移动平均处理,得到移动平均处理后的第二共模干扰强度频域曲线;

[0038] 对所述第一差模干扰强度频域曲线进行移动平均处理,得到移动平均处理后的第二差模干扰强度频域曲线;

[0039] 比较所述第二共模干扰强度频域曲线中的共模干扰强度和所述第二差模干扰强度频域曲线中的差模干扰强度在相同频段对应的差值;

[0040] 若差模干扰强度减去共模干扰强度的差值不小于所述超标频段的超标值,则判定相对应的频段以差模干扰为主;

[0041] 若共模干扰强度减去差模干扰强度的差值不小于所述超标值,则判定相对应的频段以共模干扰为主;

[0042] 若差模干扰强度和共模干扰强度的差值的绝对值小于所述超标值,则判定相对应的频段内差模干扰和共模干扰并存;

[0043] 其中,所述上位机对所述第二共模干扰强度频域曲线进行移动平均处理和对所述第二差模干扰强度频域曲线进行移动平均处理,所采用的移动平均期数N的表达式为:

[0044] $N=M*RBW/f_{size}$;

[0045] 式中,M为预设范围内的奇数,根据不同干扰特性调整;RBW为所述射频接收设备的分辨率带宽;当所述射频接收设备为接收机时, f_{size} 为接收机的测量步进,当所述射频接收设备为频谱分析仪时, f_{size} 为频谱分析仪的采样频点的间距。

[0046] 从上述的技术方案可知,本发明公开了一种电磁干扰诊断系统,包括:电磁干扰诊断装置、预放大器、射频接收设备和上位机,电磁干扰诊断装置将输入的被测电磁干扰信号的差模干扰和共模干扰,分别转换成与差模干扰强度成正比的第一近场磁场,以及与共模干扰强度成正比的第二近场磁场,通过电磁干扰诊断装置内预置的第一近场探头和第二近场探头分别采集第一近场磁场的强度和第二近场磁场的强度,获得与差模干扰强度成正比的第一射频输出电压,以及与共模干扰强度成正比的第二射频输出电压。第一射频输出电压和第二射频输出电压经预放大器放大后得到差模射频输出电压和共模射频输出电压,并被射频接收设备采集,射频接收设备将采集的预设频段范围内的差模射频输出电压、共模射频输出电压以及相对应的频段发送给上位机,上位机利用差模标定耦合系数和预放大器的放大倍数对差模射频输出电压进行修正,得到差模干扰强度,利用共模标定耦合系数和预放大器的放大倍数对共模射频输出电压进行修正,得到共模干扰强度。本发明通过将电磁干扰转化为差异明显且与干扰强度成正比的射频电压,实现了将共模干扰和差模干扰形成确定的、可测量的物理量,从而对共模干扰强度和差模干扰强度进行确定的、量化的测量,并对电磁干扰类型和频段进行诊断,为电子电气设计提供重要的指导和依据。

附图说明

[0047] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据公开的附图获得其他的附图。

[0048] 图1(a)为差模干扰的原理示意图;

[0049] 图1(b)为共模干扰的原理示意图;

[0050] 图2为本发明实施例公开的一种电磁干扰诊断系统的结构图;

[0051] 图3(a)为在频段0.1MHz~30MHz内对某直流有刷电机进行电磁干扰诊断得到的差模干扰和共模干扰图谱;

[0052] 图3(b)为在频段30MHz~200MHz内对某直流有刷电机进行电磁干扰诊断得到的差模干扰和共模干扰图谱;

[0053] 图4(a)为对某EPS驱动线进行电磁干扰诊断得到的结果图;

[0054] 图4(b)为对某EPS驱动线进行电磁干扰诊断得到的改善结果图;

[0055] 图5为本发明一实施例公开的一种使用电磁干扰诊断系统进行电磁干扰诊断的示意图;

[0056] 图6(a)为本发明一实施例公开的一种电磁干扰诊断装置在差模干扰测量标定时的设置示意图;

[0057] 图6(b)为本发明一实施例公开的一种电磁干扰诊断装置在共模干扰测量标定时的设置示意图;

[0058] 图7为本发明实施例公开的一种电磁干扰诊断方法的流程图;

[0059] 图8为本发明实施例公开的另一种电磁干扰诊断方法的流程图。

具体实施方式

[0060] 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、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0061] 本发明实施例公开了一种电磁干扰诊断及方法,电磁干扰诊断系统包括:电磁干扰诊断装置、预放大器、射频接收设备和上位机,电磁干扰诊断装置将输入的被测电磁干扰信号的差模干扰和共模干扰,分别转换成与差模干扰强度成正比的第一近场磁场,以及与共模干扰强度成正比的第二近场磁场,通过电磁干扰诊断装置内预置的第一近场探头和第二近场探头分别采集第一近场磁场的强度和第二近场磁场的强度,获得与差模干扰强度成正比的第一射频输出电压,以及与共模干扰强度成正比的第二射频输出电压。第一射频输出电压和第二射频输出电压经预放大器放大后得到差模射频输出电压和共模射频输出电压,并被射频接收设备采集,射频接收设备将采集的预设频段范围内的差模射频输出电压和共模射频输出电压发送给上位机,上位机利用差模标定耦合系数和预放大器的放大倍数对差模射频输出电压进行修正,得到差模干扰强度,利用共模标定耦合系数和预放大器的放大倍数对共模射频输出电压进行修正,得到共模干扰强度。本发明通过将差模干扰

和共模干扰分别转化为差异明显且与干扰强度成正比的射频电压,实现了对共模干扰和差模干扰强度确定的、量化的测量,以及对电磁干扰类型的诊断,从而为电子电气设计提供重要的指导和依据。

[0062] 参见图2,本发明一实施例公开的一种电磁干扰诊断系统的结构图,电磁干扰诊断系统包括:电磁干扰诊断装置1、预放大器2、射频接收设备3和上位机4;

[0063] 其中:

[0064] 电磁干扰诊断装置1将输入被测电磁干扰信号的差模干扰和共模干扰,分别转换成与差模干扰强度成正比的第一近场磁场,以及与共模干扰强度成正比的第二近场磁场,通过预置在电磁干扰诊断装置1内的第一近场探头19采集第一近场磁场的强度,获得与差模干扰强度成正比的第一射频输出电压,通过预置在电磁干扰诊断装置1内的第二近场探头20采集第二近场磁场的强度,获得与共模干扰强度成正比的第二射频输出电压。

[0065] 具体的,电磁干扰诊断装置1的对外接口包括:第一输入连接头11、第二输入连接头12、第一输出连接头13、第二输出连接头14、差模射频输出端15和共模射频输出端16,第一输入连接头11和第一输出连接头13相对,第二输入连接头12和第二输出连接头14相对,差模射频输出端15用于输出与差模干扰强度成正比的第一射频输出电压,共模射频输出端16用于输出与共模干扰强度成正比的第二射频输出电压。

[0066] 电磁干扰诊断装置1的设计原理为:被测电磁干扰信号经由电磁干扰诊断装置1的第一输入连接头11和第二输入连接头12进入电磁干扰诊断装置1,并同时经过第一支路和第二支路,从电磁干扰诊断装置1的第一输出连接头13和第二输出连接头14输出。

[0067] 第一支路包括:第一线对17,第一线对17中的两线相互靠近,且第一线对17在差模干扰馈入时,在第一线对17的两线中流过相同方向电流,在共模干扰馈入时,在第一线对17的两线中流过相反方向电流。

[0068] 第二支路包括:第二线对18,第二线对18中的两线相互靠近,且第二线对18在差模干扰馈入时,在第二线对18的两线中流过相反方向电流,在共模干扰馈入时,在第二线对18的两线中流过相同方向电流。

[0069] 第一线对17中两线的间距和第二线对18中两线的间距相等,第一线对17和第二线对18的长度相等,第一线对17和第二线对18之间的距离大于10倍电磁干扰诊断装置1内PCB(Printed Circuit Board,印制电路板)的单个走线的线宽,该线宽能够保证过电流能力且不小于2倍线间距,该线间距为第一线对17中两线的间距,或为第二线对18中两线的间距。

[0070] 利用近距离两线产生的电磁场相互叠加或抵消的原理,第一线对17在流过差模干扰时,在其上方垂直于走线方向产生较强的第一近场磁场,第一近场磁场的磁场强度与差模干扰电流大小成正比;第一线对17在流过共模干扰时,在其上方垂直于走线方向产生的第三近场磁场相互抵消,第三近场磁场的强度微弱;第二线对18在流过共模干扰时,在其上方垂直于走线方向产生较强的第二近场磁场,第二近场磁场的强度与共模干扰电流大小成正比;第二线对18在流过差模干扰时,在其上方垂直于走线方向产生的第四近场磁场相互抵消,第四近场磁场强度微弱。

[0071] 本发明通过在第一线对17上方设置第一近场探头19来采集第一近场磁场的强度,并将采集的第一近场磁场的强度转换为第一射频输出电压在差模射频输出端15输出;通过在第二线对18上方设置第二近场磁场20来采集第二近场磁场的强度,并将采集的第二近场

磁场的强度转换为第二射频输出电压在共模射频输出端16输出。

[0072] 电磁干扰诊断装置1内部的敷铜、走线和接地设计需确保第一线对17和第二线对18以外的其他走线产生的电磁场被屏蔽和吸收,避免对近场磁场造成影响。同时,第一线对17和第二线对18的对称设计以及敷铜和走线的设计,需确保单位强度的差模干扰在垂直于第一线对17的水平方向产生的磁场强度,与单位强度的共模干扰在垂直于第二线对18的水平方向产生的磁场强度之间的差值,低于预设差值。按照本方案设计参数,在电磁干扰诊断装置有效频率范围内,预设差值在3dB以内。本发明提供的电磁干扰诊断装置1由于采用了近场耦合机理,因此电磁干扰诊断装置1对外界电磁环境不敏感,无需在电磁兼容暗室中使用。

[0073] 预放大器2的输入端与电磁干扰诊断装置1的差模射频输出端15和/或共模射频输出端16连接,预放大器2用于对差模射频输出端15输出的第一射频输出电压进行放大,得到差模射频输出电压,对共模射频输出端16输出的第二射频输出电压进行放大,得到共模射频输出电压。

[0074] 需要说明的是,在实际应用中,预放大器2既需获取差模射频输出端15输出的第一射频输出电压,又需获取共模射频输出端16输出的第二射频输出电压,所采用的预放大器2可能包含有一个或两个以上通路,即包含有一个或两个以上的输入端及对应的输出端,当仅包含有一个通路时需要分别采集差模射频输出端15及共模射频输出端16的输出;具有两个以上通路时,可以同时采集差模射频输出端15及共模射频输出端16的输出,具体获取方式可以采用如下方案:

[0075] 方案一,首先,预放大器2的输入端仅与差模射频输出端15连接,对差模射频输出端15输出的第一射频输出电压进行放大,得到差模射频输出电压;然后,预放大器2的输入端再仅与共模射频输出端16连接,对共模射频输出端16输出的第二射频输出电压进行放大,得到共模射频输出电压。

[0076] 方案二,首先,预放大器2的输入端仅与共模射频输出端16连接,对共模射频输出端16输出的第二射频输出电压进行放大,得到共模射频输出电压;然后,预放大器2的输入端再仅与差模射频输出端15连接,对差模射频输出端15输出的第一射频输出电压进行放大,得到差模射频输出电压。

[0077] 方案三,选取预放大器2的其中两个输入端同时与差模射频输出端15和共模射频输出端16连接,预放大器2对差模射频输出端15输出的第一射频输出电压进行放大,得到差模射频输出电压,对共模射频输出端16输出的第二射频输出电压进行放大,得到共模射频输出电压。

[0078] 较优的,预放大器2与电磁干扰诊断装置1通过同轴电缆连接。

[0079] 射频接收设备3的输入端与预放大器2的输出端连接,射频接收设备3用于采集在预设频段范围内的差模射频输出电压和/或共模射频输出电压。

[0080] 基于上述论述可知,所采用的预放大器2可能包含有一个或两个以上的通路,当预放大器2仅包含一个通路时,预放大器2具有一个输出端,射频接收设备3通过该输出端分别采集在预设频段范围内的差模射频输出电压及共模射频输出电压。

[0081] 当预放大器2包含两个以上通路时,与上述选取的预放大器2两个输入端对应的两个输出端,分别输出在预设频段范围内的差模射频输出电压及共模射频输出电压,若射频

接收设备3仅具有一个输入端,则射频接收设备3通过该输入端分别与预放大器2的上述两个输出端连接,以分别采集在预设频段范围内的差模射频输出电压及共模射频输出电压。若射频接收设备3具有两个以上输入端,则射频接收设备3可通过其中两个输入端分别与预放大器2的上述两个输出端连接,以同时采集在预设频段范围内的差模射频输出电压及共模射频输出电压。

[0082] 在实际应用中,射频接收设备3可以为频谱分析仪或接收机。

[0083] 其中,预设频段范围依据实际需要而定,本发明在此不做限定。

[0084] 较优的,射频接收设备3与预放大器2通过同轴电缆连接。

[0085] 上位机4的输入端与射频接收设备3的输出端连接,上位机4用于获取射频接收设备3输出的预设频率范围内的差模射频输出电压和/或共模射频输出电压,将差模射频输出电压减去预放大器2的放大倍数以及差模标定耦合系数,得到被测电磁干扰信号的差模干扰强度;将共模射频输出电压减去预放大器2的放大倍数以及共模标定耦合系数,得到被测电磁干扰信号的共模干扰强度,其中,差模标定耦合系数为单位强度的差模干扰馈入电磁干扰诊断装置1时产生的射频输出电压,共模标定耦合系数为单位强度的共模干扰馈入电磁干扰诊断装置1时产生的射频输出电压,差模标定耦合系数和共模标定耦合系数都是通过对电磁干扰诊断装置1进行标定测试获得。

[0086] 上位机4具有多个输入端,当射频接收设备3仅有一个输入端及一个输出端时,则需分别获取射频接收设备3输出的预设频率范围内的差模射频输出电压和共模射频输出电压;若射频接收设备3具有两个以上的输入端及对应的输出端,且此时预放大器2有两个以上的输入及输出端,则可以同时获取射频接收设备3输出的预设频率范围内的差模射频输出电压和共模射频输出电压,否则也需要分别获取,即分两次获取。

[0087] 为方便理解,本发明还提供了一个具体实施例,如下:

[0088] 采用本发明对某直流有刷电机的电源正负线进行0.1MHz~200MHz频率范围内的电磁干扰诊断,得到的共模干扰强度 $V_{CM}(f)$ 和差模干扰强度 $V_{DM}(f)$ 如图3(a)和图3(b)所示,由图3(a)和图3(b)可知,差模干扰分布在0.1MHz~15MHz,共模干扰分布在10MHz~30MHz及30MHz~200MHz。由此可以设计有针对性的电磁干扰抑制电路并计算器件参数,经计算得到:以4.7uF电容滤波抑制差模干扰,以串联5uH电感+并联10nF共模电容的方式抑制共模干扰。

[0089] 较优的,上位机4可以通过GPIB(General-Purpose Interface Bus,通用接口总线)或LAN(Local Area Network,局域网)等方式与射频接收设备3连接。

[0090] 综上可知,本发明公开的电磁干扰诊断系统包括:电磁干扰诊断装置1、预放大器2、射频接收设备3和上位机4,电磁干扰诊断装置1将输入的被测电磁干扰信号的差模干扰和共模干扰,分别转换成与差模干扰强度成正比的第一近场磁场,以及与共模干扰强度成正比的第二近场磁场,通过电磁干扰诊断装置内预置的第一近场探头19和第二近场探头20分别采集第一近场磁场的强度和第二近场磁场的强度,获得与差模干扰强度成正比的第一射频输出电压,以及与共模干扰强度成正比的第二射频输出电压。第一射频输出电压和第二射频输出电压经预放大器2放大后得到差模射频输出电压和共模射频输出电压,并被射频接收设备3采集,射频接收设备3将采集的预设频段范围内的差模射频输出电压和共模射频输出电压发送给上位机4,上位机4利用差模标定耦合系数和预放大器2的放大倍数对差模射频输出电压进行修正,得到差模干扰强度,利用共模标定耦合系数和预放大器2的放大

倍数对共模射频输出电压进行修正,得到共模干扰强度。本发明通过将差模干扰和共模干扰分别转化为差异明显且与干扰强度成正比的射频电压,实现了对共模干扰和差模干扰强度确定的、量化的测量,以及对电磁干扰类型的诊断,从而为电子电气设计提供重要的指导和依据。

[0091] 需要特别说明的是,当电磁干扰诊断系统用于研发调试阶段,需要掌握产品的干扰特性,从而进行有针对性的设计时,上位机4执行的是对射频接收设备3输出的差模射频输出电压和共模射频输出电压进行处理,得到差模干扰强度和共模干扰强度的过程。

[0092] 当电磁干扰诊断系统用于电磁兼容整改优化阶段时,也即已经知晓产品电磁发射超标,且已知晓超标频段和超标值,需要进行整改时,图2所示实施例中的上位机4执行如下操作:

[0093] 当超标频段已知时,上位机4还用于基于超标频段内的共模干扰强度和相对应的频率绘制得到超标频段内的第一共模干扰强度频域曲线,基于超标频段内差模干扰强度和相对应的频率绘制得到超标频段内的第一差模干扰强度频域曲线,对第一共模干扰强度频域曲线进行移动平均处理,得到移动平均处理后的第二共模干扰强度频域曲线,对第一差模干扰强度频域曲线进行移动平均处理,得到移动平均处理后的第二差模干扰强度频域曲线,比较第二共模干扰强度频域曲线中的共模干扰强度和第二差模干扰强度频域曲线中的差模干扰强度在相同频段对应的差值,若差模干扰强度减去共模干扰强度的差值不小于超标频段的超标值,则判定相对应的频段以差模干扰为主;若共模干扰强度减去差模干扰强度的差值不小于超标值,则判定相对应的频段以共模干扰为主;若差模干扰强度和共模干扰强度的差值的绝对值小于超标值,则判定相对应的频段内差模干扰和共模干扰并存。

[0094] 上位机4基于超标频段内的共模干扰强度和相对应的频率绘制得到第一共模干扰强度频域曲线的过程为:以频率为横轴,以共模干扰强度为纵轴,利用超标频段内的共模干扰强度和相对应的频率,绘制第一共模干扰强度频域曲线。

[0095] 上位机4基于超标频段内差模干扰强度和相对应的频率绘制得到第一差模干扰强度频域曲线的过程为:以频率为横轴,以差模干扰强度为纵轴,利用超标频段内的差模干扰强度和相对应的频率,绘制第一差模干扰强度频域曲线。

[0096] 本实施例中,上位机4对第一共模干扰强度频域曲线进行移动平均处理和对第一差模干扰强度频域曲线进行移动平均处理,所采用的移动平均期数N的表达式为:

$$[0097] \quad N = M * RBW / f_{size};$$

[0098] 式中,M为预设范围内的奇数,如为21至99之间的奇数,根据不同干扰特性调整;RBW为射频接收设备3的分辨率带宽;当射频接收设备3为接收机时, f_{size} 为接收机的测量步进,当射频接收设备3为频谱分析仪时, f_{size} 为频谱分析仪的采样频点的间距。

[0099] 具体的,当上位机4对第一共模干扰强度频域曲线进行移动平均处理,得到移动平均处理后的第二共模干扰强度频域曲线,对第一差模干扰强度频域曲线进行移动平均处理,得到移动平均处理后的第二差模干扰强度频域曲线后,因为第二共模干扰强度频域曲线和第二差模干扰强度频域曲线的频段范围相同,只是在相同频点,第二共模干扰强度频域曲线对应的共模干扰强度的强度值,与第二差模干扰强度频域曲线对应的差模干扰强度的强度值不同。基于此,本发明通过将相同频段的共模干扰强度和差模干扰强度求差,得到差值,并将该差值与超标值进行比较,即可确定差模干扰和共模干扰对应的频段,具体为:

若差模干扰强度减去共模干扰强度的差值不小于超标频段的超标值,则判定相对应的频段以差模干扰为主;若共模干扰强度减去差模干扰强度的差值不小于超标值,则判定相对应的频段以共模干扰为主;若差模干扰强度和共模干扰强度的差值的绝对值小于超标值,则判定相对应的频段内差模干扰和共模干扰并存。

[0100] 因此,本发明还可以通过比较相同频率范围内共模干扰强度频域曲线中的共模干扰强度和差模干扰强度频域曲线中的差模干扰强度在相同频段的大小关系,确定该相同频段的干扰类型。

[0101] 为方便理解,本发明还提供了一个具体实施例,如下:

[0102] 假设,某EPS(Electric Power Steering,电动助力转向系统)的驱动线在0.5MHz~1.8MHz频段电磁干扰非常强烈,导致辐射发射超标。采用本发明对其进行电磁干扰诊断,得到差模干扰曲线 $VV_{DM}(f)$ 和共模干扰曲线 $VV_{CM}(f)$ 如图4(a)所示,由图4(a)可知,在0.5MHz~1.8MHz频段以共模干扰为主,从而可以采用有针对向的措施,通过改善驱动和地的布局以及共模滤波,以抑制共模干扰。当对图4(a)所示的曲线改善后,针对改善后的电磁干扰再进行电磁干扰诊断,得到差模干扰曲线 $VV_{DM}(f)$ 和共模干扰曲线 $VV_{CM}(f)$ 如图4(b)所示,可见采用本发明中的方案对电磁干扰改善明显,因此,本发明可为电子电气设计提供重要的指导和依据。

[0103] 为方便理解,本发明还提供了使用电磁干扰诊断系统进行电磁干扰诊断的过程,具体如下:

[0104] 需要特别说明的是,在使用电磁干扰诊断系统进行电磁干扰诊断之前,需要搭建被测电磁干扰系统,通过将电磁干扰诊断系统与被测电磁干扰系统建立连接关系,来进行电磁干扰诊断。

[0105] 参见图5,本发明一实施例公开的一种使用电磁干扰诊断系统进行电磁干扰诊断的示意图,包括:电磁干扰诊断系统以及被测电磁干扰系统,其中,电磁干扰诊断系统的组成请参见图2所示实施例,此处不再赘述。

[0106] 被测电磁干扰系统包括:被测设备5、负载箱6和供电设备7;

[0107] 被测设备5与负载箱6连接,具体的,被测设备5的信号输入端和信号输出端均连接到负载箱6,且被测设备5以及被测设备5与负载箱6之间互连的导线放置于测试桌8上表面的金属平板上的绝缘垫9上;

[0108] 负载箱6采用金属外壳,负载箱6的内部电路能够模拟被测设备5所连接的各种输入负载和输出负载,或负载箱6内部直接装载真实负载;

[0109] 供电设备7用于为被测设备5和负载箱6供电,且供电设备7和负载箱6放置于金属平板上;

[0110] 被测设备5的被测电磁干扰线对连接到电磁干扰诊断装置1的第一输入连接头和第二输入连接头,并由电磁干扰诊断装置1的第一输出连接头和第二输出连接头连接到被测电磁干扰线对在所述负载箱6上对应的接口,电磁干扰诊断装置用于采集被测电磁干扰线对上差模干扰和共模干扰。

[0111] 较优的,本发明为使被测电磁干扰系统满足电磁干扰诊断所需的环境,在上述实施例的基础上,被测电磁干扰系统还可以包括:测试桌8和绝缘垫9;

[0112] 测试桌8的表面为金属平板,被测设备5以及被测设备5与负载箱6之间互连的导线

通过绝缘垫9放置在测试桌8的表面上,负载箱6和供电设备7直接放置在测试桌8的表面上。

[0113] 本实施例中,供电设备7包括:蓄电池71和LISN(Line Impedance Stabilization Network,阻抗稳定网络)72,蓄电池71的输出端通过LISN72的电源线、穿过负载箱6的输入接口和输出接口连接到被测设备5的电源输入端口,用于为被测设备5供电。

[0114] 蓄电池71的负极输出、LISN72的接地端子和负载箱6的金属外壳均通过接地铜带连接到测试桌8的金属平板。

[0115] 绝缘垫9为高度50mm、介电常数 $\epsilon_r < 1.4$ 的介质,被测设备5放置在绝缘垫9上,若被测单元采用金属外壳且在整车上与车身金属电气连接,则被测设备5的金属外壳通过接地铜带连接到测试桌8的金属平板,以模拟被测单元与车身之间的连接关系。负载箱6与被测设备5之间连接的导线,包括线缆放置在绝缘垫9上。

[0116] 电磁干扰诊断系统以及被测电磁干扰系统之间的连接关系如下:

[0117] 参见图5,在被测电磁干扰线对中插入电磁干扰诊断装置1,即被测设备5的被测电磁干扰线对连接到电磁干扰诊断装置1的第一输入连接头11和第二输入连接头12,并由电磁干扰诊断装置1的第一输出连接头13和第二输出连接头14连接到被测电磁干扰线对在负载箱6上对应的电源或信号接口。其中,被测电磁干扰线对可以是电源线和地线,信号线和回线,或是驱动线和回线。

[0118] 电磁干扰诊断装置1放置在绝缘垫9上,距离被测设备5不超过100mm,电磁干扰诊断装置1的差模射频输出端15和/或共模射频输出端16通过同轴线缆连接到预放大器2的输入端,预放大器2的输出端通过同轴电缆连接到射频接收设备3,射频接收设备3的数据接口通过GPIB或LAN等方式与上位机4连接,通过上位机4对射频接收设备3采集的干扰数据进行分析处理,完成电磁干扰的测量与诊断。

[0119] 需要特别说明的是,射频接收设备3在对电磁干扰诊断时的设计原则为:当电磁干扰为窄带干扰时,射频接收设备3采用峰值或平均值检波;当电磁干扰为宽带干扰时,射频接收设备3采用峰值或准峰值检波。其中,射频接收设备3的参数设置需符合CISPR25等标准的要求。

[0120] 电磁干扰诊断系统的工作原理为:

[0121] 在被测电磁干扰线对中插入电磁干扰诊断装置1,即被测设备5的被测电磁干扰线对连接到电磁干扰诊断装置1的第一输入连接头11和第二输入连接头12,并由电磁干扰诊断装置1的第一输出连接头13和第二输出连接头14连接到被测电磁干扰线对在负载箱6上对应的电源或信号接口。

[0122] 电磁干扰诊断装置1将输入的被测电磁干扰信号的差模干扰和共模干扰,分别转换成与差模干扰强度成正比的第一近场磁场,以及与共模干扰强度成正比的第二近场磁场,通过电磁干扰诊断装置内预置的第一近场探头19和第二近场探头20分别采集第一近场磁场的强度和第二近场磁场的强度,获得与差模干扰强度成正比的第一射频输出电压,以及与共模干扰强度成正比的第二射频输出电压。第一射频输出电压和第二射频输出电压经预放大器2放大后得到差模射频输出电压和共模射频输出电压,并被射频接收设备3采集,射频接收设备3将采集的预设频段范围内的差模射频输出电压和共模射频输出电压发送给上位机4,上位机4利用差模标定耦合系数和预放大器2的放大倍数对差模射频输出电压进行修正,得到差模干扰强度,利用共模标定耦合系数和预放大器2的放大倍数对共模射频输

出电压进行修正,得到共模干扰强度。

[0123] 综上所述,本发明通过将电磁干扰转化为差异明显且与干扰强度成正比的射频电压,实现了将共模干扰和差模干扰形成确定的、可测量的物理量,从而对共模干扰强度和差模干扰强度进行确定的、量化的测量,并对电磁干扰类型和频段进行诊断,为电子电气设计提供重要的指导和依据。

[0124] 需要说明的是,电磁干扰诊断装置在使用前,还需要进行标定,以确定差模干扰强度与第一射频输出电压之间的耦合系数,即差模标定耦合系数,以及共模干扰强度与第二射频输出电压之间的耦合系数,即共模标定耦合系数。差模标定耦合系数反映了单位强度的差模干扰在馈入电磁干扰诊断装置1时,电磁干扰诊断装置1产生并输出的第一射频输出电压。共模标定耦合系数反映了单位强度的共模干扰在馈入电磁干扰诊断装置1时,电磁干扰诊断装置1产生并输出的第二射频输出电压,其中,第一射频输出电压与差模干扰强度成正比,第二射频输出电压与共模干扰强度成正比。

[0125] 因此,电磁干扰诊断系统还可以包括:第一网络分析仪,第一网络分析仪用于标定电磁干扰诊断装置在输入单位强度的差模干扰时,产生并输出的作为差模标定耦合系数的射频输出电压。

[0126] 参见图6(a),本发明一实施例公开的一种电磁干扰诊断装置在差模干扰测量标定时的设置示意图,包括:第一网络分析仪30和电磁干扰诊断装置1;

[0127] 第一网络分析仪30的第一端口1与电磁干扰诊断装置1的输入端连接,电磁干扰诊断装置1的输出端连接射频负载,第一网络分析仪30的第二端口2连接电磁干扰诊断装置1的差模射频输出端15,差模射频输出端15用于输出第一射频输出电压;第一网络分析仪30用于标定电磁干扰诊断装置1在输入单位强度的差模干扰时,产生并输出的作为差模标定耦合系数的射频输出电压。

[0128] 具体的,第一网络分析仪30通过第一同轴电缆与电磁干扰诊断装置1的输入端连接,其中,第一同轴电缆的内芯连接电磁干扰诊断装置1的第一输入连接头11,第一同轴电缆的屏蔽层连接电磁干扰诊断装置1的第二输入连接头12。在实际应用中,第一同轴电缆的内芯通过转接器连接电磁干扰诊断装置1的第一输入连接头11,第一同轴电缆的屏蔽层通过转接器连接电磁干扰诊断装置1的第二输入连接头12。

[0129] 电磁干扰诊断装置1的输出端连接射频负载具体为:电磁干扰诊断装置1的第一输出连接头13通过转接器连接射频负载的一端,电磁干扰诊断装置1的第二输出连接头14通过转接器连接射频负载的另一端。射频负载的阻值依据实际需要而定,比如 50Ω 。

[0130] 电磁干扰诊断装置1的差模射频输出端15通过同轴电缆连接到第一网络分析仪30的第二端口2,测量第一网络分析仪的S21参数的幅度,并记录为 $|S21|_{DM}(f)$, $|S21|_{DM}(f)$ 为差模标定耦合系数,是差模干扰标定测量中测到的第一网络分析仪30的S21参数,S21是一个矢量,包含幅度和相位, $||$ 表示取幅度,DM是一个标记,表示差模,f是频率,(f)表示S21是关于频率f的函数。

[0131] 需要说明的是,网络分析仪的S21参数,表示第一网络分析仪30第一端口1的差模干扰,经过电磁干扰诊断装置1后,到第一网络分析仪30第二端口2的耦合系数。它反映了单位强度的差模干扰馈入电磁干扰诊断装置1时,产生的差模射频输出电压,此处所说的差模射频输出电压也即图1所示实施例中的第一射频输出电压。

[0132] 参见图6(b),本发明一实施例公开的一种电磁干扰诊断装置在共模干扰标测量定时的设置示意图,包括:第二网络分析仪40、功率分配器50和电磁干扰诊断装置1;

[0133] 第二网络分析仪40的第一端口1与功率分配器50的输入端口,也即SUM端口连接,在实际应用中,第二网络分析仪40的第一端口1可通过同轴电缆与功率分配器50的输入端口连接。

[0134] 功率分配器50的第一输出端口1与电磁干扰诊断装置1的第一输入连接头11以及金属底座连接,功率分配器50的第二输出端口2与电磁干扰诊断装置1的第二输入连接头12以及金属底座连接。

[0135] 具体的,功率分配器50的第一输出端口1通过第二同轴电缆与电磁干扰诊断装置1的第一输入连接头11连接,第二同轴电缆的内芯连接电磁干扰诊断装置1的第一输入连接头,第二同轴电缆的屏蔽层连接电磁干扰诊断装置1的金属底座。在实际应用中,第二同轴电缆的内芯可通过转接器连接电磁干扰诊断装置1的第一输入连接头,第二同轴电缆的屏蔽层可通过转接器连接电磁干扰诊断装置1的金属底座。

[0136] 功率分配器50的第二输出端口通过第三同轴电缆与电磁干扰诊断装置1的第二输入连接头连接,第三同轴电缆的内芯连接电磁干扰诊断装置1的第二输入连接头,第三同轴电缆的屏蔽层连接电磁干扰诊断装置1的金属底座。在实际应用中,第三同轴电缆的内芯可通过转接器连接电磁干扰诊断装置1的第二输入连接头,第三同轴电缆的屏蔽层可通过转接器连接电磁干扰诊断装置1的金属底座。

[0137] 电磁干扰诊断装置1的第一输出连接头13和第二输出连接头14分别连接一个射频负载,记为:第一射频负载和第二射频负载。具体的,第一射频负载的一端连接第一输出连接头13,第一射频负载的另一端连接电磁干扰诊断装置1的金属底座,第二射频负载的一端连接第二输出连接头14,第二射频负载的另一端连接电磁干扰诊断装置1的金属底座。第一射频负载和第二射频负载的阻值依据实际需要而定,比如 $50\ \Omega$ 。

[0138] 电磁干扰诊断装置1的共模射频输出端16连接第二网络分析仪40的第二端口,共模射频输出端16用于输出作为共模标定耦合系数的射频输出电压。

[0139] 第二网络分析仪40用于标定电磁干扰诊断装置在输入单位强度的共模干扰时,产生并输出的作为共模标定耦合系数的射频输出电压。

[0140] 功率分配器50的作用是把SUM端口的输入信号分成两路相等的输出信号分别从第一输出端口1和第二输出端口2输出,本发明将功率分配器50从输入端口到输出端口的损耗定义为 $T_{\text{loss}}(f)$,也就是说, $T_{\text{loss}}(f)$ 是功率分配器50的输入端口到输出端口的损耗,是功率分配器50的固有属性。同样, (f) 表示一个关于频率 f 的函数。

[0141] 电磁干扰诊断装置1的共模射频输出端16通过同轴电缆连接到第二网络分析仪40的第二端口2,测量第二网络分析仪的 S_{21} 参数的幅度,并记录为 $|S_{21}|_{\text{CM}}(f)$, $|S_{21}|_{\text{CM}}(f)$ 为原始共模标定耦合系数, $(|S_{21}|_{\text{CM}}(f)+T_{\text{loss}}(f))$ 为共模标定耦合系数,其中, $|S_{21}|_{\text{CM}}(f)$ 是共模干扰标定测量中测到的第二网络分析仪40的 S_{21} 参数, S_{21} 是一个矢量,包含幅度和相位, $||$ 表示取幅度,CM是一个标记,表示共模, f 是频率, (f) 表示 S_{21} 是关于频率 f 的函数。

[0142] 需要说明的是,网络分析仪的 S 参数,表示第二网络分析仪40第一端口1的共模干扰,经过电磁干扰诊断装置1后,到第二网络分析仪40第二端口2的耦合系数。它反映了单位强度的共模干扰馈入电磁干扰诊断装置1时,产生的共模射频输出电压,此处所说的共模射

频输出电压也即图1所示实施例中的第二射频输出电压。

[0143] 在差模干扰和共模干扰的标定过程中,电磁干扰诊断装置1放置在介电常数 $\epsilon_r < 1.4$ 、厚度为50mm的绝缘垫10上,绝缘垫10放置在测试桌6的金属平板上。

[0144] 根据测量结果可知,共模标定耦合系数与差模标定耦合系数的差值 $D(f)$ 的表达式为:

$$D(f) = (|S21|_{CM}(f) + T_{loss}(f)) - |S21|_{DM}(f);$$

[0146] 式中, $|S21|_{DM}(f)$ 为差模标定耦合系数, $|S21|_{CM}(f)$ 为原始共模标定耦合系数, $(|S21|_{CM}(f) + T_{loss}(f))$ 为共模标定耦合系数,也即对原始共模标定耦合系数修正后得到的耦合系数, $T_{loss}(f)$ 为功率分配器50的输入端口到输出端口的损耗。

[0147] 一般设计良好的电磁干扰诊断装置1, $D(f)$ 在有效频率范围 $\pm 3\text{dB}$ 以内。为达到电磁干扰诊断要求,需要 $D(f) < 6\text{dB}$,若 $D(f) \geq 6\text{dB}$,则需要重新设计电磁干扰诊断装置1。

[0148] 需要特别说明的是,在实际应用中,仅需对电磁干扰诊断装置1进行一次差模干扰和共模干扰的标定,标定完成之后的电磁干扰诊断装置1可重复用于后续测量。并且,由于对电磁干扰诊断装置1进行差模干扰标定和共模干扰标定的过程是相互独立的,因此,在进行差模干扰标定时所使用的第一网络分析仪30和在进行共模干扰标定时所使用的第二网络分析仪40,实际上可以为同一个网络标定义。

[0149] 与上述系统实施例相对应,本发明还公开了一种电磁干扰诊断方法。

[0150] 参见图7,本发明一实施例公开的一种电磁干扰诊断方法的流程图,该方法应用于上述实施例中的上位机,包括步骤:

[0151] 步骤S701、获取射频接收设备输出的在预设频率范围内的差模射频输出电压和/或共模射频输出电压;

[0152] 步骤S702、将差模射频输出电压减去预放大器的放大倍数以及差模标定耦合系数,得到被测电磁干扰信号的差模干扰强度;

[0153] 其中,差模标定耦合系数通过电磁干扰诊断装置的标定测量得到,差模标定耦合系数为单位强度的差模干扰馈入电磁干扰诊断装置时产生的射频输出电压,具体标定过程请参见系统实施例对应部分,此处不再赘述。

[0154] 预放大器的放大倍数依据实际需要而定,本发明在此不做限定。

[0155] 步骤S703、将共模射频输出电压减去预放大器的放大倍数以及共模标定耦合系数,得到被测电磁干扰信号的共模干扰强度;

[0156] 其中,共模标定耦合系数通过电磁干扰诊断装置的标定测量得到,共模标定耦合系数为单位强度的共模干扰馈入电磁干扰诊断装置时产生的射频输出电压,具体标定过程请参见系统实施例对应部分,此处不再赘述。

[0157] 需要说明的是,步骤S702和步骤S703是两个相互独立的过程。

[0158] 综上所述,本发明通过将差模干扰和共模干扰分别转化为差异明显且与干扰强度成正比的射频电压,实现了对共模干扰和差模干扰强度确定的、量化的测量,以及对电磁干扰类型的诊断,从而为电子电气设计提供重要的指导和依据。

[0159] 需要特别说明的是,当电磁干扰诊断系统用于研发调试阶段,需要掌握产品的干扰特性,从而进行有针对性的设计时,上位机执行的是图7所示的实施例。

[0160] 当电磁干扰诊断系统用于电磁兼容整改优化阶段时,也即已经知晓产品电磁发射

超标,且已知晓超标频段和超标值,需要进行整改时,上位机执行图8所示实施例中的操作。

[0161] 参见图8,本发明一实施例公开的一种电磁干扰诊断方法的流程图,该方法应用于上述实施例中的上位机,包括步骤:

[0162] 步骤S801、当超标频段已知时,基于超标频段内的共模干扰强度和相对应的频率绘制得到超标频段内的第一共模干扰强度频域曲线,基于超标频段内的差模干扰强度和相对应的频率绘制得到超标频段内的第一差模干扰强度频域曲线;

[0163] 步骤S802、对第一共模干扰强度频域曲线进行移动平均处理,得到移动平均处理后的第二共模干扰强度频域曲线;

[0164] 步骤S803、对第一差模干扰强度频域曲线进行移动平均处理,得到移动平均处理后的第二差模干扰强度频域曲线;

[0165] 其中,上位机对第一共模干扰强度频域曲线进行移动平均处理和对第一差模干扰强度频域曲线进行移动平均处理,所采用的移动平均期数N的表达式为:

[0166] $N = M * RBW / f_{size}$;

[0167] 式中,M为预设范围内的奇数,根据不同干扰特性调整;RBW为射频接收设备的分辨率带宽;当射频接收设备为接收机时, f_{size} 为接收机的测量步进,当射频接收设备为频谱分析仪时, f_{size} 为频谱分析仪的采样频点的间距。

[0168] 步骤S804、比较第二共模干扰强度频域曲线中的共模干扰强度和第二差模干扰强度频域曲线中的差模干扰强度在相同频段对应的差值;

[0169] 步骤S805、若差模干扰强度减去共模干扰强度的差值不小于超标频段的超标值,则判定相对应的频段以差模干扰为主;

[0170] 步骤S806、若共模干扰强度减去差模干扰强度的差值不小于超标值,则判定相对应的频段以共模干扰为主;

[0171] 步骤S807、若差模干扰强度和共模干扰强度的差值的绝对值小于超标值,则判定相对应的频段内差模干扰和共模干扰并存。

[0172] 具体的,假设第三共模干扰强度频域曲线中的共模干扰强度为 $VV_{CM}(f)$,第三差模干扰强度频域曲线中的差模干扰强度为 $VV_{DM}(f)$,比较相同频段的 $VV_{CM}(f)$ 和 $VV_{DM}(f)$;

[0173] 当 $VV_{DM}(f) - VV_{CM}(f) \geq T$ 时,则 $VV_{DM}(f) - VV_{CM}(f) \geq T$ 对应的频段以差模干扰为主,T为超标值,此时,应采取差模干扰抑制措施。

[0174] 当 $VV_{CM}(f) - VV_{DM}(f) \geq T$ 时,则 $VV_{CM}(f) - VV_{DM}(f) \geq T$ 对应的频段以共模干扰为主,此时应采取共模干扰抑制措施。

[0175] 当 $|VV_{CM}(f) - VV_{DM}(f)| < T$,也即 $VV_{DM}(f)$ 与 $VV_{CM}(f)$ 的差在 $(-T, +T)$ 内,则 $|VV_{CM}(f) - VV_{DM}(f)| < T$ 对应的频段内差模干扰和共模干扰并存,此时,应同时采用差模干扰和共模干扰抑制措施。

[0176] 综上所述可知,本发明通过将电磁干扰转化为差异明显且与干扰强度成正比的射频电压,实现了将共模干扰和差模干扰形成确定的、可测量的物理量,并且,当超标频段已知时,通过获取超标频段内的第一共模干扰强度频域曲线和第一差模干扰强度频域曲线,并进行移动平均处理,可以得到移动平均处理后的第二共模干扰强度频域曲线和第二差模干扰强度频域曲线,通过比较第二共模干扰强度频域曲线中的共模干扰强度和第二差模干扰强度频域曲线中的差模干扰强度在相同频段对应的差值,与超标值的大小关系,可以确定超标

频段引起超标的干扰类型,以便采取针对性的有效电磁兼容设计措施,为电子电气设计提供重要的指导和依据。

[0177] 另外,本发明还可以通过比较相同频率范围内共模干扰强度频域曲线中的共模干扰强度和差模干扰强度频域曲线中的差模干扰强度在相同频段的大小关系,确定该相同频段的干扰类型。

[0178] 需要说明的是,方法实施例中各步骤的具体工作原理,可参见系统实施例对应部分,此处不再赘述。

[0179] 最后,还需要说明的是,在本文中,诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来,而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0180] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。

[0181] 对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

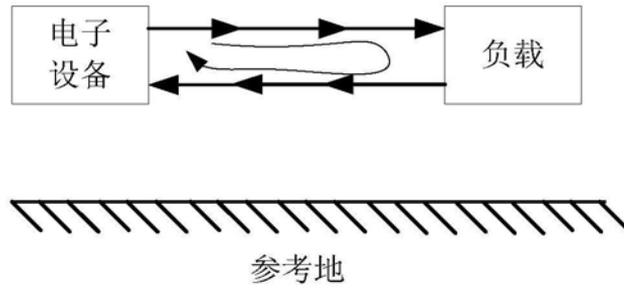


图1 (a)

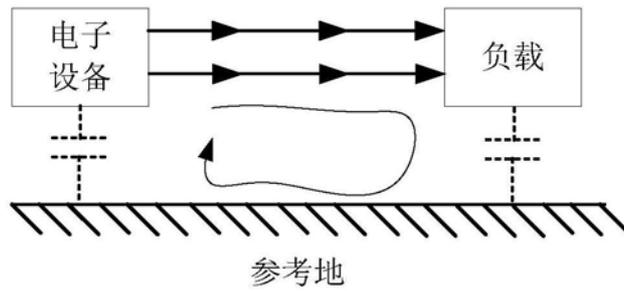


图1 (b)

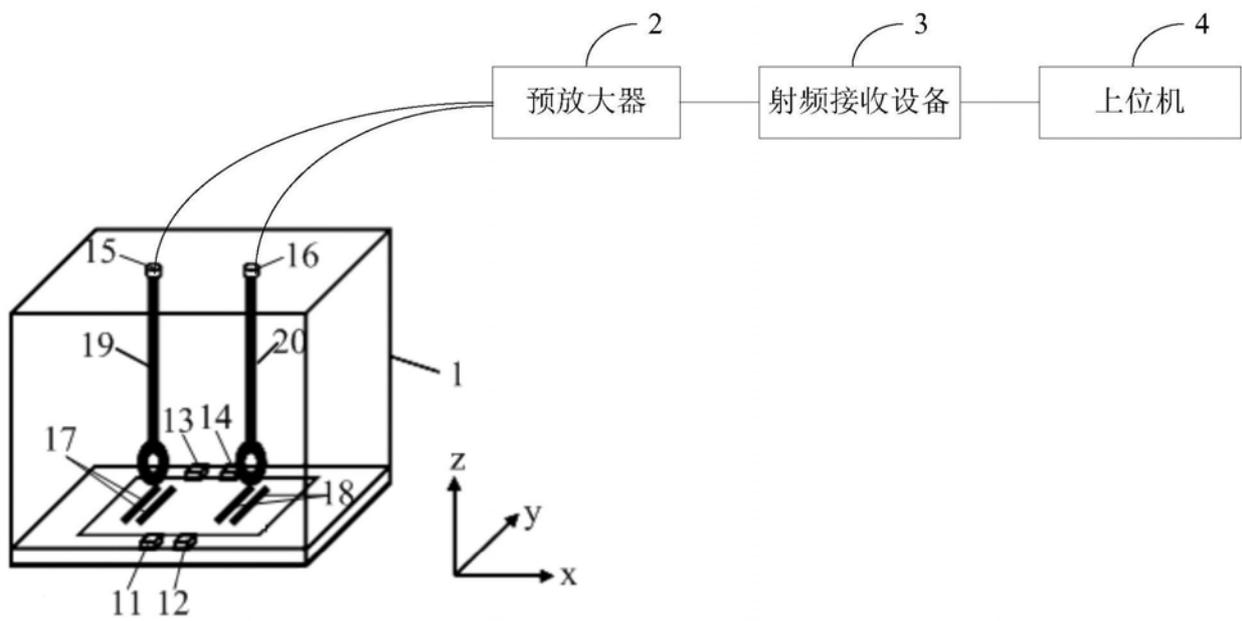


图2

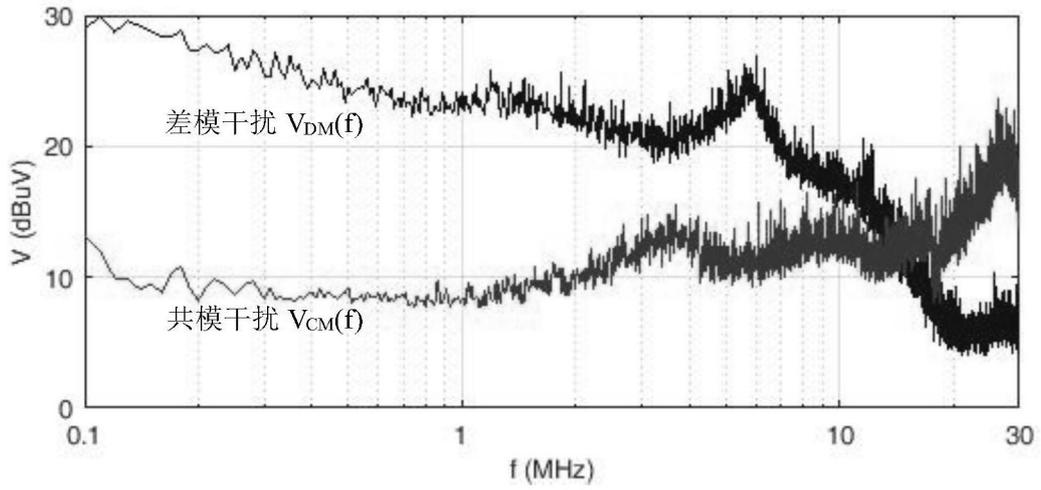


图3 (a)

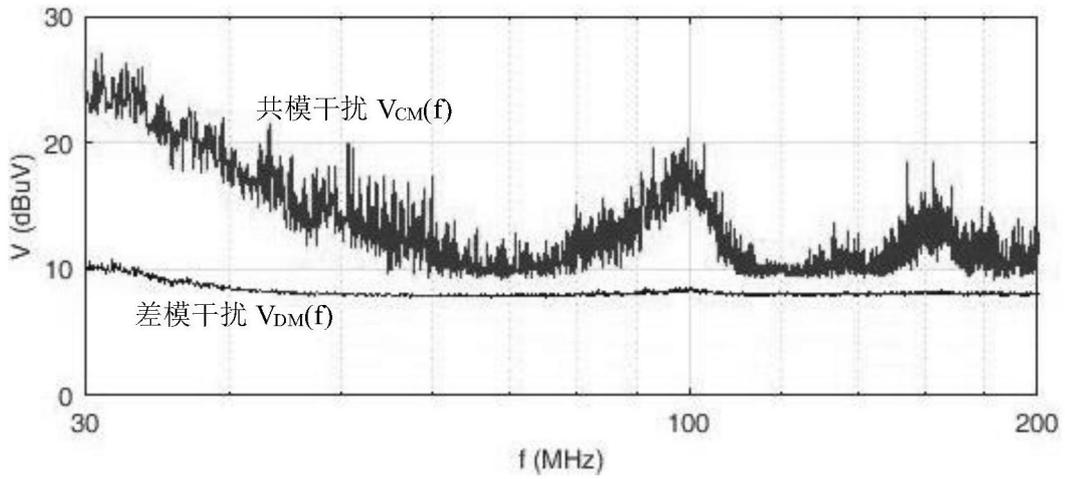


图3 (b)

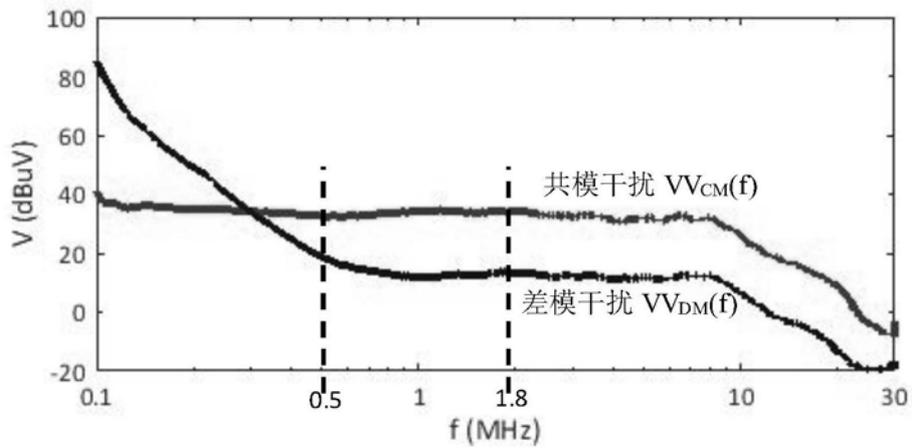


图4 (a)

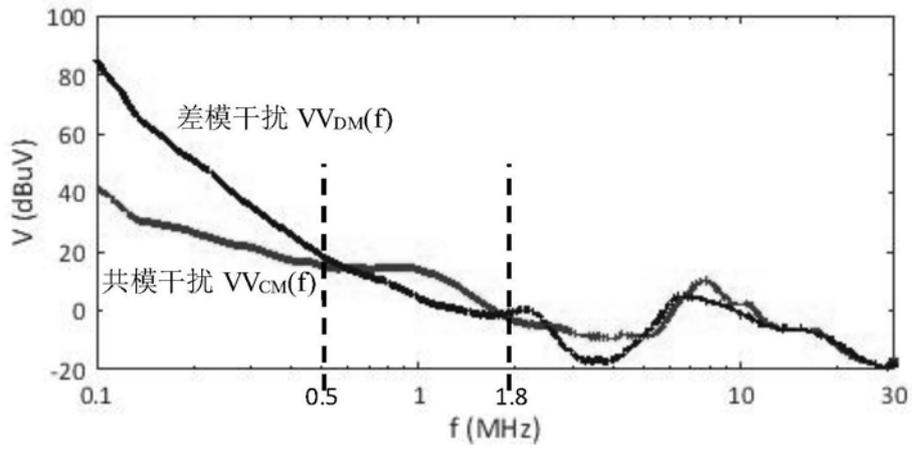


图4 (b)

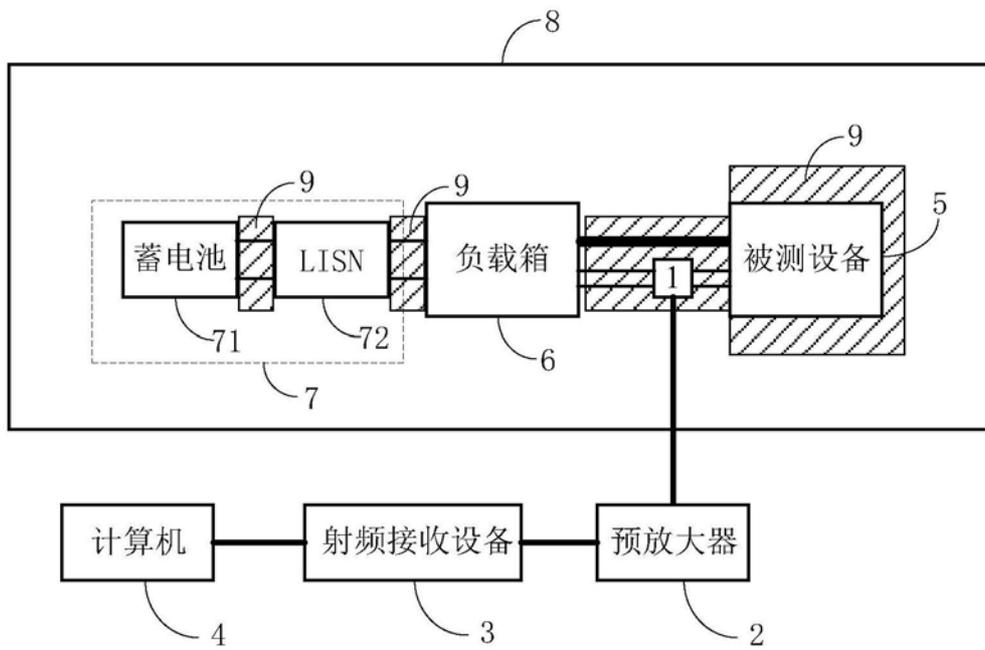


图5

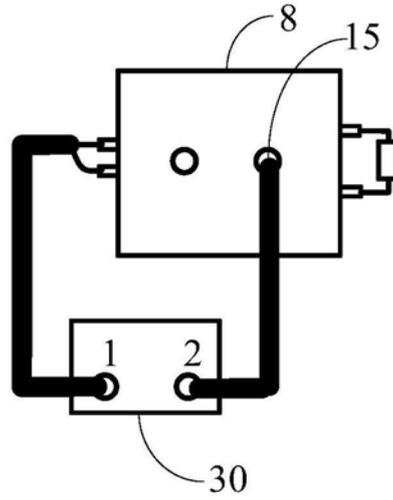


图6 (a)

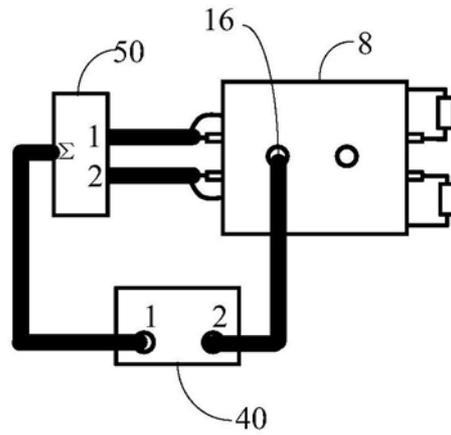


图6 (b)



图7

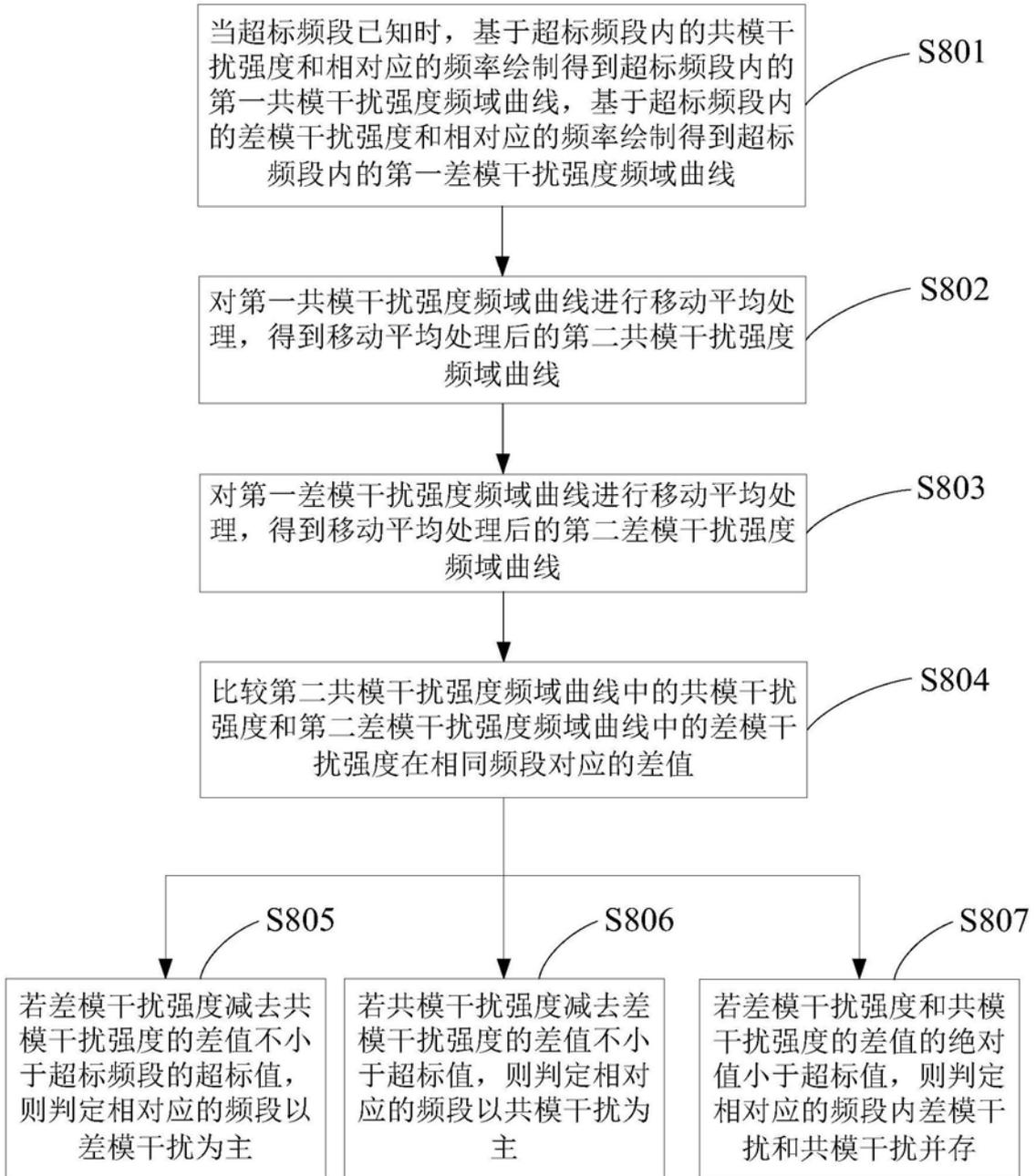


图8