(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106105262 B
(45)授权公告日 2019.08.16

(21)申请号 201580008920.0

(22)申请日 2015.02.18

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106105262 A

(43)申请公布日 2016.11.09

(30)优先权数据
61/941,414 2014.02.18 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2016.08.17

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2015/053372 2015.02.18

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2015/124598 EN 2015.08.27

(73)专利权人 杜比国际公司
地址 荷兰阿姆斯特丹
专利权人 杜比实验室特许公司

(72)发明人 J·T·派克林恩 M·斯密热尔斯
J·F·托里斯 H·普恩哈根

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所 11038
代理人 宿小猛

(51)Int.Cl.
H04R 3/04(2006.01)

(56)对比文件
FR 2890280 A1,2007.03.02,第1页第29行-第16页第25行,附图1、6.
US 2013054251 A1,2013.02.28,说明书第74-78段,第102-105段,附图13.
CN 102460567 A,2012.05.16,说明书第0211-0212段.
CN 101512938 A,2009.08.19,全文.
US 5577126 A,1996.11.19,全文.
FR 2890280 A1,2007.03.02,第1页第29行-第16页第25行,附图1、6. (续)

审查员 冯晨露

权利要求书5页 说明书16页 附图5页

(54)发明名称

用于对频率相关衰减级进行调谐的设备和方法

(57)摘要

提出了用于对频率相关衰减级(122)进行调谐的设备(160)和方法,目的在于抑制与频率相关衰减级相关联的音频再现系统(120)中发生的非线性失真。该设备包括接收部(162),适于接收表示在通过预定输入数据信号(110)激励音频再现系统时记录的、来自音频再现系统的输出声学信号(140)的数据;第一失真检测部(163),适于基于所接收的数据检测非线性失真的存在,并且对于所检测的非线性失真应用心理声学补偿;以及控制部(164),适于基于经心理声学补偿的非线性失真确定适合于控制该频率相关衰减级的控制信息(170)。

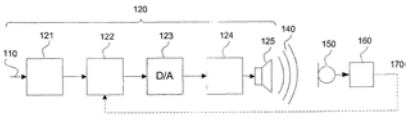


图1

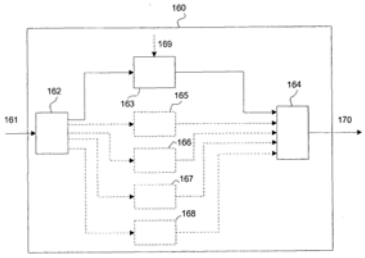


图2

CN 106105262 B

[转续页]

[接上页]

(56)对比文件

CN 1516493 A,2004.07.28,说明书第2页第15行-25行,第9页第25行-15页第9行.

CN 101411213 A,2009.04.15,摘要,说明书第4页最后一行-第7页倒数第2行.

1.一种用于对频率相关衰减级(122)进行调谐以用于抑制与所述频率相关衰减级相关联的音频再现系统(120)中发生的非线性失真的设备(160),所述音频再现系统被布置为响应于输入数据信号(110)而供给输出声学信号(140),该设备包括:

接收部(162),适于接收表示在通过预定输入数据信号激励音频再现系统时被记录的输出声学信号的数据(161);

第一失真检测部(163),适于基于所接收的数据检测非线性失真的存在,并且对于所检测的非线性失真应用心理声学补偿;以及

控制部(164),适于基于经心理声学补偿的非线性失真确定适合于控制该频率相关衰减级的控制信息(170),

其中,所述第一失真检测部适于确定所接收的数据的谱内容(301)的功率与对应于预定输入数据信号的第一频率分量的非线性失真分量(302-310)的功率和之间的功率比,所述谱内容(301)基本位于与所述第一频率分量相同的频率,所述非线性失真分量(302-310)基于所接收的数据被检测,并且其中,所述控制部适于还基于所述功率比来确定所述控制信息。

2.根据权利要求1所述的设备,其中,所述第一失真检测部适于通过至少丢弃所检测的非线性失真的低于频率相关听阈(320)的谱内容来应用心理声学补偿。

3.根据权利要求2所述的设备,其中,所述第一失真检测部适于基于与由所接收的数据表示的输出声学信号的记录相结合地估计的声压水平(169)来校准所述频率相关听阈。

4.根据权利要求1所述的设备,其中,所述第一失真检测部适于通过至少如下操作来应用心理声学补偿:

获得所述预定输入数据信号的第一频率分量的知识;

基于第一频率分量来估计用于第一频率分量的邻域的掩蔽阈值(330);以及

丢弃所检测的非线性失真的低于所述掩蔽阈值的谱内容。

5.根据权利要求1所述的设备,其中,所述频率相关衰减级是多频带压缩器并且所述控制信息指示要由所述多频带压缩器在各个频带中施加的阈值。

6.根据权利要求1所述的设备,其中,所述第一失真检测部适于至少通过在形成所述功率比之前相对于频率相关听阈对所接收的数据的所述谱内容的功率和所述非线性失真分量的功率进行归一化,来应用心理声学补偿。

7.根据权利要求1所述的设备,其中,所述第一失真检测部适于通过至少如下操作来应用心理声学补偿:

对于所述非线性失真分量分配谐波指数;以及

基于所述谐波指数对所述非线性失真分量进行加权。

8.根据权利要求1所述的设备,其中,所述第一失真检测部适于至少通过估计所接收的数据的谱内容的响度以及所述非线性失真分量的组合响度来应用心理声学补偿,并且其中,所述控制部适于还基于所估计的响度之间的差来确定所述控制信息。

9.根据权利要求1-8中任一项所述的设备,包括第二失真检测部(165),所述第二失真检测部(165)适于:

获得覆盖所述预定输入数据信号的谱内容的频率范围的知识;以及

基于所接收的数据的高于所述频率范围的谱内容检测非线性失真,

其中,所述控制部适于还基于所述第二失真检测部检测的非线性失真来确定所述控制信息。

10.根据权利要求1-8中任一项所述的设备,适于接收在通过预定输入数据信号的序列激励所述音频再现系统时被记录的数据,所述序列中的连续的预定输入数据信号对应于预定波形的逐渐放大的版本,所述设备包括谱组成分析部(166),所述谱组成分析部(166)适于:

基于所接收的数据监测由预定输入数据信号的所述序列的激励导致的音频再现系统的输出声学信号的谱组成;

检测被监测的谱组成中的突然改变;以及

确定对应于所检测的突然改变的所述预定波形的放大值,

其中所述控制部适于还基于通过所述谱组成分析部确定的放大值确定所述控制信息。

11.根据权利要求1-8中任一项所述的设备,包括相关性分析部(167),所述相关性分析部(167)适于确定预定输入数据信号和所接收的数据之间的相干性,其中,所述控制部适于还基于通过所述相干性分析部确定的相干性的值确定所述控制信息。

12.根据权利要求11所述的设备,其中,所述相关性分析部适于:

确定所述预定输入数据信号与所接收的数据之间的互相关性;

基于所确定的互相关性估计所述预定输入数据信号与所接收的数据之间的采样率差;以及

基于所接收的数据的重采样版本确定所述相干性。

13.根据权利要求1-8中任一项所述的设备,适于接收在通过预定输入数据信号的序列激励所述音频再现系统时被记录的数据,所述序列中的连续的预定输入数据信号对应于预定波形的逐渐放大的版本,所述设备包括动态范围控制DRC检测部(168),所述动态范围控制DRC检测部(168)适于:

基于所接收的数据监测由通过所述序列激励音频再现系统而导致的来自音频再现系统的输出声学信号的振幅;以及

检测被监测的振幅的、证实音频再现系统中的DRC的存在的饱和度,

其中所述控制部适于还基于DRC检测部的检测结果确定所述控制信息。

14.根据权利要求13所述的设备,其中所述控制部适于响应于DRC检测部的检测来确定用于导致所述频率相关衰减级暂停衰减的控制信息。

15.根据权利要求1-8中任一项所述的设备,适于接收在通过恒定的输入数据信号激励音频再现系统时被记录的数据,所述设备适于调谐频率相关衰减级(122),所述频率相关衰减级(122)被包含在音频再现系统中并且能够操作以基于通过所述设备的所述控制部确定的控制信息衰减输入数据信号,其中,所述设备适于通过迭代地基于所接收的数据确定所述控制信息来调谐所述频率相关衰减级。

16.根据权利要求1-8中任一项所述的设备,其中,所述控制部适于通过至少应用基于所述频率相关衰减级的一组参考调谐的机器学习确定所述控制信息。

17.根据权利要求1-8中任一项所述的设备,进一步包括:

接口,所述接口适于将预定输入数据信号提供给音频再现系统。

18.根据权利要求1-8中任一项所述的设备,进一步包括:

声学换能器(150),所述声学换能器(150)适于记录来自音频再现系统的声学输出并且将所述数据提供给所述接收部。

19.一种用于对频率相关衰减级(122)进行调谐以用于抑制与所述频率相关衰减级相关联的音频再现系统(120)中发生的非线性失真的方法,所述音频再现系统被布置为响应于输入数据信号(110)而供给输出声学信号(140),该方法包括:

接收(901)表示在通过预定输入数据信号激励音频再现系统时被记录的输出声学信号的数据(161);

基于所接收的数据检测(902)非线性失真的存在;

对于所检测的非线性失真应用(903)心理声学补偿;以及

基于经心理声学补偿的非线性失真确定(904)适合于控制该频率相关衰减级的控制信息(170),

其中,所述方法进一步包括:

确定所接收的数据的谱内容(301)的功率与对应于预定输入数据信号的第一频率分量的非线性失真分量(302-310)的功率和之间的功率比,所述谱内容(301)基本位于与所述第一频率分量相同的频率,所述非线性失真分量(302-310)基于所接收的数据被检测,并且

其中,所述控制信息还基于所述功率比被确定。

20.根据权利要求19所述的方法,其中,应用心理声学补偿包括至少丢弃所检测的非线性失真的低于频率相关听阈(320)的谱内容。

21.根据权利要求20所述的方法,其中,所述方法进一步包括基于与由所接收的数据表示的输出声学信号的记录相结合地估计的声压水平(169)来校准所述频率相关听阈。

22.根据权利要求19所述的方法,其中,应用心理声学补偿进一步包括至少如下操作:

获得所述预定输入数据信号的第一频率分量的知识;

基于第一频率分量来估计用于第一频率分量的邻域的掩蔽阈值(330);以及

丢弃所检测的非线性失真的低于所述掩蔽阈值的谱内容。

23.根据权利要求19所述的方法,其中,所述频率相关衰减级是多频带压缩器并且所述控制信息指示要由所述多频带压缩器在各个频带中施加的阈值。

24.根据权利要求19所述的方法,其中,应用心理声学补偿至少包括在形成所述功率比之前相对于频率相关听阈对所接收的数据的所述谱内容的功率和所述非线性失真分量的功率进行归一化。

25.根据权利要求19所述的方法,其中,应用心理声学补偿进一步包括至少如下操作:

对于所述非线性失真分量分配谐波指数;以及

基于所述谐波指数对所述非线性失真分量进行加权。

26.根据权利要求19所述的方法,其中,应用心理声学补偿至少包括估计所接收的数据的谱内容的响度以及所述非线性失真分量的组合响度,并且

其中,所述控制信息还基于所估计的响度之间的差被确定。

27.根据权利要求19-26中任一项所述的方法,包括:

获得覆盖所述预定输入数据信号的谱内容的频率范围的知识;以及

基于所接收的数据的高于所述频率范围的谱内容检测非线性失真,

其中,所述控制信息还基于所检测的非线性失真被确定。

28.根据权利要求19-26中任一项所述的方法，进一步包括接收在通过预定输入数据信号的序列激励所述音频再现系统时被记录的数据，所述序列中的连续的预定输入数据信号对应于预定波形的逐渐放大的版本，

其中，所述方法进一步包括：

基于所接收的数据监测由预定输入数据信号的所述序列的激励导致的音频再现系统的输出声学信号的谱组成；

检测被监测的谱组成中的突然改变；以及

确定对应于所检测的突然改变的所述预定波形的放大值，

其中所述控制信息还基于通过所确定的放大值被确定。

29.根据权利要求19-26中任一项所述的方法，还包括确定预定输入数据信号和所接收的数据之间的相干性，

其中，所述控制信息还基于所确定的相干性的值被确定。

30.根据权利要求29所述的方法，其中，确定相干性包括：

确定所述预定输入数据信号与所接收的数据之间的互相关性；

基于所确定的互相关性估计所述预定输入数据信号与所接收的数据之间的采样率差；以及

基于所接收的数据的重采样版本确定所述相干性。

31.根据权利要求19-26中任一项所述的方法，包括接收在通过预定输入数据信号的序列激励所述音频再现系统时被记录的数据，所述序列中的连续的预定输入数据信号对应于预定波形的逐渐放大的版本，

其中，所述方法进一步包括：

基于所接收的数据监测由通过所述序列激励音频再现系统而导致的来自音频再现系统的输出声学信号的振幅；以及

检测被监测的振幅的、证实音频再现系统中的DRC的存在的饱和度，

其中所述控制信息还基于检测饱和度的结果被确定。

32.根据权利要求31所述的方法，其中确定控制信息包括响应于饱和度的检测来确定用于导致所述频率相关衰减级暂停衰减的控制信息。

33.根据权利要求19到26中任一项所述的方法，包括接收在通过恒定的输入数据信号激励音频再现系统时被记录的数据，

所述方法适于调谐频率相关衰减级(122)，所述频率相关衰减级(122)被包含在音频再现系统中并且能够操作以基于所确定的控制信息衰减输入数据信号，

其中，所述方法适于通过迭代地基于所接收的数据确定所述控制信息来调谐所述频率相关衰减级。

34.根据权利要求19到26中任一项所述的方法，其中，所述控制信息通过至少应用基于所述频率相关衰减级的一组参考调谐的机器学习被确定。

35.根据权利要求19到26中任一项所述的方法，其中，预定输入数据信号经由接口被提供给音频再现系统。

36.根据权利要求19到26中任一项所述的方法，进一步包括：

记录来自音频再现系统的声学输出并且提供所接收的数据。

37.一种计算机可读介质,具有使得计算机执行根据权利要求19-36中任一项所述的方法的指令。

38.一种用于对频率相关衰减级(122)进行调谐以用于抑制与所述频率相关衰减级相关联的音频再现系统(120)中发生的非线性失真的设备,所述音频再现系统被布置为响应于输入数据信号(110)而供给输出声学信号(140),所述设备包括:

一个或多个处理器,以及

一个或多个计算机可读介质,存储指令,所述指令在被所述一个或多个处理器执行时使得所述设备执行根据权利要求19-36中任一项所述的方法。

39.一种包含用于执行根据权利要求19-36中任一项所述的方法的装置的设备。

用于对频率相关衰减级进行调谐的设备和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求以下申请的优先权:2014年2月18日提交的美国临时专利申请No.61/941,414,该申请的全部内容通过引用并入本文。

技术领域

[0003] 文中公开的示例实施例总体上涉及音频再现系统,并且尤其涉及在音频再现系统中发生的失真的抑制。

背景技术

[0004] 音频行业中当前的一个趋势是使用用于提高消费级音频再现系统的声音质量的数字信号处理。小型化或便宜音频再现系统的典型缺陷包括例如不平坦的幅值响应、适度的辐射低频和噪声的能力。许多这样的系统的另一个不希望的属性是非线性失真的发生,非线性失真可能导致诸如音色和音相的声音属性作为声音振幅的函数而改变。非线性失真还可能导致在给定频率的非线性幅值响应(相对于强度),并且可能在声音输出中、例如在输出频率分量的整数倍频率(谐波)处创建新频率分量。结果,在非线性失真音频再现系统上以不同回放增益播放两个相同的声音可能导致两个大不相同的输出声音。商用音频再现系统的非线性失真的典型源是迫使扬声器单元在其线性操作范围之外操作以便在不增加换能器的成本的情况下实现更响的声音输出。

[0005] 一种抑制非线性失真的方式是在输入信号被馈送到扬声器之前对输入信号进行衰减,但是这使得系统更安静,这典型地是不可接受的。一种在仅仅牺牲系统的少量响度的情况下抑制非线性失真的方法是使用动态范围限制器,该动态范围限制器监测输入信号并且仅对于响部分应用衰减,使得被馈送到扬声器的信号的振幅绝不会超过给定的阈值。

[0006] 由于非线性失真典型地是频率相关的,因此常常需要对于不同的频带分别应用限制,从而仅仅有问题的频率和信号幅值组合被衰减。被称为多频带限制/压缩的此方法还缓解了诸如“音量抽吸(volume pumping)”的与动态范围压缩有关的副作用中的一些。

[0007] 但是,由于多频带限制器/压缩器依赖于输入信号对不同频率进行不同衰减,因此这样可能导致感知上令人不适的音色改变。在其全文并入这里的美国专利申请公开No.2013/0013096A1中,具有音色保持的多频带压缩器被提出以减少这样的音色改变。

[0008] 如上文所述的,已经提出了用于抑制在音频再现系统中发生的非线性失真以便提高音频再现系统的声音质量的数种方法。但是,希望的是提供缓解上述与非线性失真的抑制相关联的问题中的至少一些的设备和/或方法。

附图说明

[0009] 现在将参照附图描述示例性实施例,在附图中:

[0010] 图1是使用根据示例实施例的设备对频率相关衰减级进行调谐(tune)的示例性布置的一般化框图;

[0011] 图2是根据示例实施例的用于对频率相关衰减级进行衰减的设备的一般化框图；

[0012] 图3示意性地示出在通过对应于单频音频信号的输入数据信号激励非线性失真音频再现系统时的输出声学信号的示例谱的双对数图；

[0013] 图4和5分别示意性地示出根据示例实施例的指示可被调谐设备考虑的心理声学效果的频率相关听阈(实线)和掩蔽阈值(虚线)；

[0014] 图6示意性地示出根据示例实施例的被用作音频再现系统的激励的示例输入信号；

[0015] 图7a示意性地示出图6中示出的示例输入信号的振幅；

[0016] 图7b示意性地示出在通过图6所示的示例输入信号激励时音频再现系统的示例输出信号的频率分量的振幅，其中该频率分量位于与示例输入信号相同的频率，并且其中饱和度可指示音频再现系统中的动态范围控制的存在；

[0017] 图8是使用根据示例实施例的设备对频率相关衰减级进行调谐的替代性示例布置的一般化框图；

[0018] 图9是根据示例实施例的用于对频率相关衰减级进行调谐的方法的流程图；以及

[0019] 图10是根据示例实施例的用于检测音频再现系统中的DRC的存在的方法的流程图。

[0020] 所有附图都是示意性的并且通常仅仅示出用于阐述本公开所必需的部分，而其它部分可被省略或者仅仅被建议。除非另外指出，否则相似的附图标记指示不同视图中的相似部分。

具体实施方式

[0021] I.概述-调谐

[0022] 如文中使用的，音频信号可能是与元数据相组合的纯音频信号、音视频信号或者多媒体信号的音频部分、或者这些中的任一个。

[0023] 根据示例实施例，提供了用于对频率相关衰减级进行调谐以用于抑制与所述频率相关衰减级相关联的音频再现系统中发生的非线性失真的设备。与被该设备调谐的频率相关衰减级相关联的音频再现系统被布置为响应于输入数据信号而供给输出声学信号。该设备包括接收部，该接收部适于接收表示在通过预定输入数据信号激励音频再现系统时被记录的输出声学信号的数据。该设备还包括第一失真检测部，该第一失真检测部适于基于所接收的数据检测非线性失真的存在，并且对于所检测的非线性失真应用心理声学补偿。该设备进一步包括控制部，该控制部适于基于经心理声学补偿的非线性失真确定适合于控制该频率相关衰减级的控制信息。

[0024] 频率相关衰减级尤其指的是适于对音频信号或者多媒体信号的音频部分执行频率相关衰减的处理级，例如多频带限制器。频率相关衰减级对要由音频再现系统回放的信号进行衰减，以便减少在音频再现系统中创建的非线性失真的量，而不是衰减已经存在的非线性失真。

[0025] 非线性失真指的是由音频再现系统的非线性效果导致的失真，该非线性效果例如是导致诸如音色和/或音相的声音属性作为声音振幅的函数而改变的效果。非线性失真可例如包括位于输入频率的整数倍频率处或附近的谐波失真分量。

[0026] 基于在通过预定输入数据信号激励特定音频再现系统时检测到的非线性失真的对频率相关衰减级的调谐考虑了该特定音频再现系统的失真行为，并且允许更高效地抑制在该特定音频再现系统中发生的非线性失真。

[0027] 心理声学效果影响音频再现系统的输出中的非线性失真被收听者如何感知。通过对所检测的非线性失真应用心理声学补偿，并且基于经心理声学补偿的非线性失真确定用于控制频率相关衰减级的控制信息，频率相关衰减级可被调谐以更高效地抑制可感知/可听的非线性失真，和/或减少将主要导致不可听的和/或不特别干扰的非线性失真的音频内容的不必要衰减。换句话说，在频率相关衰减级的调谐期间应用心理声学补偿可提高音频再现系统创建的可听非线性失真与音频再现系统的总体响度之间的平衡。

[0028] 预定输入数据信号可例如被设备预先已知，并且可例如作为对频率相关衰减级进行调谐的预定过程的一部分由设备提供给音频再现系统。作为替代，关于预定输入数据信号的信息可例如被该设备基于所接收的数据被获得，和/或可被设备单独地接收。

[0029] 根据示例实施例，该第一失真检测部可适于通过至少丢弃所检测的非线性失真的低于频率相关听阈的谱内容来应用心理声学补偿。

[0030] 对于给定频率，频率相关听阈可例如被设定为如下的振幅/功率/能量水平，在该振幅/功率/能量水平，处于该给定频率的音频内容变得可被平均收听者听到/感知到。作为替代，听阈可被设定为更低以使得仅丢弃低于听力水平的音频内容，或者听阈可被设定为更高水平以使得平均收听者感知为足够微弱/安静的音频内容被丢弃。

[0031] 丢弃低于频率相关听阈的谱内容可包括丢弃所检测的非线性失真的具有低于频率相关听阈的振幅/功率/能量水平的那些频率分量。例如，可在后续处理步骤中假定在对应的频率范围中失真谱为0。

[0032] 根据至少一些示例实施例，丢弃频率相关听阈的谱内容还可包括使所检测的非线性失真分量的振幅/功率/能量水平在与各非线性型失真分量对应的频率处减少频率相关听阈的水平，即可包括一种形式的相对于频率相关听阈的归一化。后续处理步骤可例如基于所检测的非线性失真分量的被减少的/归一化的振幅/功率/能量水平。

[0033] 根据示例实施例，该第一失真检测部可适于基于与由所接收的数据表示的输出声学信号的记录相结合地估计的声压水平来校准所述频率相关听阈。声压水平可用作表示输出声学信号的所接收的数据和与估计输出声学信号如何被收听者感知有关的物理量之间的联系，并且可有助于频率相关听阈的合适校准。

[0034] 根据示例实施例，第一失真检测部可适于通过至少如下操作来应用心理声学补偿：获得预定输入数据信号的第一频率分量的知识；基于第一频率分量来估计用于第一频率分量的近邻(neighborhood)的掩蔽阈值；以及丢弃所检测的非线性失真的低于这样估计的掩蔽阈值的谱内容。

[0035] 当音频再现系统被预定输入数据信号激励时，预定输入数据信号的第一频率分量产生所接收的数据的基本位于与第一频率分量相同的频率的谱分量，并且此谱分量对于所接收的音频信号的其它音频内容具有掩蔽效果。

[0036] 丢弃低于掩蔽阈值的谱内容可包括丢弃所检测的非线性失真的具有低于该掩蔽阈值的振幅/功率/能量水平的那些频率分量。

[0037] 根据一些示例实施例，预定输入音频信号和第一频率分量可被设备和/或第一失

真检测部预先知道，并且可例如通过设备中包含的接口提供给音频再现系统。根据其它示例实施例，第一频率分量的指示可被第一失真检测部接收和/或可基于所接收的数据被获得。

[0038] 根据示例实施例，第一失真检测部可适于获得预定输入数据信号的第一频率分量的知识；以及基于所接收的数据检测与第一频率分量对应的非线性失真分量。换句话说，根据本示例实施例，第一失真检测部可适于基于所接收的数据检测由通过第一频率分量激励音频再现系统而导致的非线性失真分量。

[0039] 当音频再现系统被预定输入数据信号激励时，预定输入数据信号的第一频率分量产生所接收的数据的基本位于与第一频率分量相同的频率处的谱内容以及位于其它频率的非线性失真分量，例如位于第一频率分量的频率的整数倍频率处或附近的谐波分量。

[0040] 根据示例实施例，第一失真检测部可适于确定所接收的数据的谱内容的功率与所述非线性失真分量的功率和之间的功率比，所述谱内容基本位于与所述第一频率分量相同的频率。根据本示例实施例，控制部还可适于基于所述功率比来确定所述控制信息。

[0041] 根据示例实施例，第一失真检测部可适于至少通过在形成所述功率比之前对所接收的数据的基本位于与所述第一频率分量相同的频率的所述谱内容的功率进行归一化，以及通过进一步归一化非线性失真分量的功率，来应用心理声学补偿，其中所述归一化是相对于频率相关听阈被执行的。换句话说，在形成该功率比之前，通过相对于频率相关听阈归一化各谱内容或分量来减少分子和分母两者。通过在形成功率比之前相对于频率相关听阈归一化各谱内容或分量，所获得的功率比的值可更充分地指示由收听者感知到的所希望的声音输出与非线性失真之间的功率比(或者强度差)。

[0042] 在一些示例实施例中，第一失真检测部可适于基于与由所接收的数据表示的输出音频信号的记录相结合地估计的声压水平来校准频率相关听阈。

[0043] 根据示例实施例，第一失真检测部可适于通过至少如下操作来应用心理声学补偿：对于非线性失真分量分配谐波指数；并且基于所述谐波指数对所述非线性失真分量进行加权，这些例如在形成功率比之前进行。

[0044] 谐波指数使非线性失真分量(还被称为谐波失真分量)所位于的频率与输入音频再现系统的激励信号中存在的基本频率有关。不同谐波失真分量典型地不被收听者感知为均匀干扰。二次谐波分量例如常常被报告为与更高阶谐波分量相比对于声音具有更微妙(subtle)的影响。这可通过基于非线性失真分量的谐波指数对非线性失真分量进行加权(例如通过对于二次谐波分量给予相对较小的权重)来被考虑。

[0045] 根据一些示例实施例，非线性失真分量中的至少一个可基于其谐波指数被丢弃。

[0046] 根据示例实施例，第一失真检测部可适于至少通过估计所接收的数据的基本位于与第一频率分量相同的频率的谱内容的响度并且估计非线性失真分量的组合响度来应用心理声学补偿。根据本示例实施例，该控制部可适于还基于所估计的响度之间的差来确定控制信息。收听者所感知的响度典型地是频率相关的，并且可通过例如基于非线性失真分量所位于的各自的频率区域对非线性失真分量进行重新缩放或者加权来被考虑。非线性失真分量的组合响度可例如通过使用响度求和方案被估计。根据示例实施例，该设备可包括第二失真检测部，该第二失真检测部适于获得覆盖所述预定输入数据信号的谱内容的频率范围的知识；以及基于所接收的数据的高于所述频率范围的谱内容检测非线性失真。根据

本示例实施例，该控制部可适于还基于该第二失真检测部检测的非线性失真来确定控制信息。

[0047] 应指出，根据一些示例实施例，预定输入数据信号可包括相对弱的噪声，例如总能量为预定输入数据信号的总能量的至多5％或10％的噪声。在这样的情况中，文中提及的以及在权利要求中的频率范围不需要包括在该处仅存在噪声的频率。

[0048] 对于高于覆盖该预定输入数据信号的谱内容的频率范围的频率的所接收的数据的谱内容的发生可指示非线性失真。第二失真检测部对非线性失真的检测可用作第一失真检测部对非线性失真的检测的补充。通过基于这两个失真检测部对于非线性失真的检测结果确定控制信息，音频再现系统中的非线性失真的抑制可被改进。

[0049] 根据示例实施例，该设备可适于接收在通过预定输入数据信号的序列激励所述音频再现系统时被记录的数据，其中所述序列中的连续的预定输入数据信号对应于预定波形的逐渐放大的版本。根据本示例实施例，该设备可包括谱组成分析部，该谱组成分析部适于：基于所接收的数据监测由预定输入数据信号的所述序列的激励导致的音频再现系统的输出声学信号的谱组成；检测被监测的谱组成中的突然改变；以及确定对应于所检测的突然改变的该预定波形的放大值。根据本示例实施例，该控制部可适于还基于通过所述谱组成分析部确定的放大值确定所述控制信息。

[0050] 例如，通过谱组成分析部确定的放大值可被控制部用于识别最大能量/功率水平，低于该最大能量/功率水平的特定频带的谱内容必须总是被频率相关衰减级保持以便避免扬声器在其线性操作间隔之外操作。关于来自第一失真检测部的经声学心理补偿的非线性失真的信息可例如被该控制部用于在该特定频带中的能量/功率水平已经低于该最大能量/功率水平时确定用于频率相关衰减级的衰减水平。

[0051] 预定波形可例如是单个正弦信号或包括多个频率分量的更复合的音频信号。预定波形可例如是窄带信号，从而音频再现系统的非线性失真属性可对于特定频带被分析。

[0052] 如果例如，预定输入数据信号的序列的各个元素例如通过表示静音的输入数据被时间分隔开，则谱组成分析部可适于在与预定输入数据信号的序列的各个元素对应的离散时间点处确定音频再现系统的输出声学信号的谱组成，并且可适于检测在各时间点处确定的谱组成的值之间的突然改变。应指出，用于将音频的连续时间段组合成单个连续音频序列的数种方案对于本领域技术人员是已知的，这些方案中的至少一些可被采用以减少通过将音频的一个时间段附接到另一个时间段之后而导致的瞬态和/或其它伪像。这样的方案可例如已经被采用以将预定输入数据信号的序列的元素组合成将被用作音频再现系统的激励的单个输入数据信号，以便减少通过将音频的一个时间段附接到另一个时间段之后而导致的瞬态和/或伪像在被监测的谱内容中的贡献。

[0053] 如果例如，该预定波形是单个正弦信号，则该预定输入数据信号的序列可被音频再现系统以具有例如逐渐或者连续增加的振幅的单个正弦信号的形式接收，并且音频再现系统的输出声学信号的谱组成可例如被谱组成分析部连续监测，而不是在与预定输入数据信号的序列的各个元素对应的离散时间点处被监测和/或确定。在本示例中，谱组成分析部可适于检测被连续监测的谱组成中的突然改变。

[0054] 谱组成可例如通过估计谱质心和/或到谱最大值被监测。被监测的谱组成中的突然改变指示音频再现系统达到其线性操作范围的上端，在该线性操作范围之外非线性失真

的量可能显著增加。对应于所检测的突然改变的预定波形的振幅值也可对应于与音频再现系统的线性操作范围的上端相关联的能量/功率/振幅水平，并且控制部可适于还基于此能量/功率/振幅水平确定该控制信息。

[0055] 根据示例实施例，该设备可包括相关性分析部，所述相关性分析部适于确定预定输入数据信号和所接收的数据之间的相干性。通过此设置，控制部可适于还基于通过所述相干性分析部确定的相干性的值确定所述控制信息。例如，预定输入数据信号和所接收的数据之间的低相关性可指示非线性失真的存在，尤其在低噪声条件下。

[0056] 根据示例实施例，该相关性分析部可适于确定所述预定输入数据信号与所接收的数据之间的互相关性；基于所确定的互相关性估计所述预定输入数据信号与所接收的数据之间的采样率差；以及基于所接收的数据的重采样版本确定所述相干性。对所接收的数据进行重采样可被用于提高预定输入数据信号与所接收的数据之间的时间同步性，并且可减少所确定的相干性中的噪声。

[0057] 根据示例实施例，该设备可适于接收在通过预定输入数据信号的序列激励音频再现系统时被记录的数据，所述序列中的连续的预定输入数据信号对应于预定波形的逐渐放大的版本。根据本示例实施例，该设备可包括动态范围控制(DRC)检测部，该动态范围控制DRC检测部适于：基于所接收的数据监测由通过所述序列激励音频再现系统而导致的来自音频再现系统的输出声学信号的振幅；以及检测被监测的振幅的、证实音频再现系统中的DRC的存在的饱和度。根据本示例实施例，该控制部可适于还基于DRC检测部的检测结果确定控制信息。

[0058] 对于给定的音频再现系统，典型地存在可在声学输出中获得的振幅的上限，该上限是在即使没有DRC的情况下、由例如放大级和/或扬声器中的物理限制导致的。所检测的证实音频再现系统中的DRC的存在的饱和度指的是处于低于所述上限的水平的被监测的振幅的饱和度。

[0059] 根据示例实施例，预定输入数据信号的序列可基本上对应于具有增加的振幅的单频音频信号。根据本示例实施例，DRC检测部可适于基于所接收的数据监测来自音频再现系统的输出声学信号中的频率分量的振幅，其中，所监测的频率分量基本位于与所述单频音频信号相同的频率；并且检测被监测的频率分量的振幅的、证实音频再现系统中的DRC的存在的饱和度。

[0060] 根据示例实施例，该控制部可适于响应于DRC检测部的检测来确定用于导致所述频率相关衰减级暂停衰减的控制信息。音频再现系统中的DRC的存在可导致可听伪像。在至少一些示例实施例中，因此频率相关衰减级不应用衰减可能是有益的。

[0061] 根据示例实施例，该设备可适于接收在通过恒定的输入数据信号激励音频再现系统时被记录的数据。根据本示例实施例，该设备可适于对频率相关衰减级进行调谐，该频率相关衰减级被包含在音频再现系统中并且可操作以基于通过所述设备的所述控制部确定的控制信息衰减输入数据信号。根据本示例实施例，该设备可适于通过迭代地基于所接收的数据确定所述控制信息来对该频率相关衰减级进行调谐。

[0062] 根据示例实施例，该控制部可适于通过至少应用基于所述频率相关衰减级的一组参考调谐的机器学习确定所述控制信息。该组参考调谐可例如包括：表示在通过预定输入数据信号激励各参考音频再现系统时记录的输出声学信号的一组参考数据、以及与各参考

数据对应的、用于控制频率相关衰减级以用于抑制在各参考音频再现系统中发生的非线性失真的参考控制信号。参考调谐可例如已经由调音师在听力试验中获得。该控制部可例如包括在其中存储参考调谐的存储器。

[0063] 根据示例实施例，该设备可进一步包括接口，所述接口适于将预定输入数据信号提供给音频再现系统。该接口可例如是有线的或无线的。

[0064] 根据示例实施例，该设备可进一步包括声学换能器，所述声学换能器适于记录从音频再现系统输出的声学输出并且将所述数据提供给所述接收部。

[0065] 根据示例实施例，提供了用于对频率相关衰减级进行调谐以用于抑制与所述频率相关衰减级相关联的音频再现系统中发生的非线性失真的方法。所提出的方法可通常具有与上文提出的设备的特征和优点相同或对应的特征和优点。特别地，根据一些示例实施例，该方法可包括接收表示在通过预定输入数据信号激励音频再现系统时被记录的输出声学信号的数据。该方法可包括基于所接收的数据检测非线性失真的存在。该方法可包括对于所检测的非线性失真应用心理声学补偿；以及基于经心理声学补偿的非线性失真确定适合于控制该频率相关衰减级的控制信息。

[0066] 根据示例实施例，一种计算机程序产品可包括具有使得计算机执行根据上文提出的方法中的任一个的指令的计算机可读介质。所提出的计算机程序产品可通常具有与上文提出的方法和设备的特征和优点相同或对应的特征和优点。

[0067] 从属权利要求中定义了进一步的示例实施例。应指出，示例实施例包括特征的所有组合，即使特征是在彼此不同的权利要求中被列举的。

[0068] II.概述-DRC检测

[0069] 示例实施例提出了用于检测音频再现系统中的动态范围控制DRC的存在的方法、设备和计算机程序产品。所提出的用于检测音频再现系统中的DRC的存在的方法、设备和计算机程序产品通常可共享相同或相对应的特征和优点。应指出，所提出的用于检测音频再现系统中的DRC的存在的方法、设备和计算机程序产品与前述段落中描述的各方法、设备和计算机程序产品是独立的，或者可与之组合。

[0070] 根据示例实施例，提供了用于检测音频再现系统中的动态范围控制(DRC)的存在的方法。音频再现系统被布置为响应于输入数据信号提供输出声学信号。该方法包括接收表示在通过预定输入数据信号的序列激励音频再现系统时被记录的输出声学信号的数据，其中该序列中的连续的预定输入数据信号对应于预定波形的逐渐放大的版本；基于所接收的数据监测由通过所述序列激励音频再现系统而导致的来自音频再现系统的输出声学信号的振幅；以及检测被监测的振幅的、证实音频再现系统中的DRC的存在的饱和度。

[0071] 对于给定的音频再现系统，典型地存在可在声学输出中获得的振幅的上限，该上限是在即使不存在DRC的情况下、由例如放大级和/或扬声器中的物理限制导致的。所检测的证实音频再现系统中的DRC的存在的饱和度指的是处于远离(例如，低于)所述上限的水平的被监测的振幅的饱和度。

[0072] 音频再现系统的扬声器典型地具有线性操作间隔，在该线性操作间隔之上，输入信号的能量内容的重要部分在输出信号中被转移/转变至位于比输入信号更高的频率处的频率分量的能量，即被转移/转变至为谐波失真分量的形式的非线性失真。

[0073] 根据至少一些实施例，所检测的证实音频再现系统中的DRC的存在的饱和度可以

是处于与在其相对应的线性操作间隔中音频再现系统的一个或多个扬声器和/或耳机的操作对应的水平的、被监测的振幅的饱和度。

[0074] 线性操作间隔的上端/上限可例如通过检测在通过具有逐渐增加的振幅/功率的信号激励音频再现系统时音频再现系统的输出声学信号的谱内容/组成中的突然改变而被确定，如在以上部分“I.概述-调谐”中的示例实施例中所描述的。

[0075] 根据示例实施例，该方法可包括接收表示在通过基本对应于具有增加的振幅的单频音频信号的预定输入数据信号的序列激励音频再现系统时被记录的输出声学信号的数据。该方法可包括基于所接收的数据监测来自音频再现系统的输出声学信号中的频率分量的振幅，其中，所监测的频率分量基本位于与所述单频音频信号相同的频率。该方法可包括检测被监测的振幅的、证实音频再现系统中的DRC的存在的饱和度。换句话说，在本示例实施例中，预定波形是单频音频信号。还可构想其中预定波形是例如包括多个频率分量的更复合(composite)信号的其它示例实施例。

[0076] 根据示例实施例，一种计算机程序产品可包括具有使得计算机执行根据上文提出的用于检测DRC的存在的方法中的任一个的指令的计算机可读介质。

[0077] 根据示例实施例，提供了用于检测音频再现系统中的动态范围控制(DRC)的存在的DRC检测设备。音频再现系统被布置为响应于输入数据信号提供输出声学信号。该DRC检测设备适于接收表示在通过基本对应于具有增加的振幅的单频音频信号的输入数据信号激励音频再现系统时被记录的输出声学信号的数据。该DRC检测设备还适于基于所接收的数据监测来自音频再现系统的输出声学信号中的频率分量的振幅。所监测的频率分量基本位于与所述单频音频信号相同的频率，并且检测被监测的振幅的、证实音频再现系统中的DRC的存在的饱和度。

[0078] III.示例实施例

[0079] 图1是根据示例实施例的使用设备160对频率相关衰减级122进行调谐的示例布置的一般化框图。

[0080] 在本示例实施例中，音频再现系统120接收表示要由音频再现系统120回放的音频内容的输入数据信号110。音频再现系统120可例如是被包含在移动设备中的消费级音频再现系统、或者例如是较大的静态音频再现系统。输入数据信号110可例如被从文件存储器或者从外部数字输入播放。如果音频再现系统120被包含在移动设备中，则输入数据信号110可例如被从设备160经由无线通信传输到音频再现系统120。

[0081] 在本示例布置中，音频再现系统120响应于输入数据信号110供给输出声学信号140。声学换能器150(例如，一个或多个麦克风)记录来自音频再现系统120的输出声学信号140，并且将表示所记录的声学输出供给所述设备160。基于所接收的数据，设备160对于音频再现系统120相关联的频率相关衰减级122进行调谐以用于抑制音频再现系统120中发生的非线性失真。

[0082] 在本示例布置中，音频再现系统120包括处理级121、频率相关衰减级122、数字模拟转换级123、放大级124以及一个或多个扬声器125或耳机。处理级121可实现对于输入数据信号110的一个或多个信号处理任务，例如由输入数据信号110表示的音频信号/通道的混合、和/或用于校正/平衡音频再现系统的扬声器125的幅值响应的均衡化。处理后的输入数据信号然后被供给频率相关衰减级122。频率相关衰减级122的用途是控制在音频再现系

统120的其余级中(例如,数字模拟转换级123、放大级124、和扬声器125或耳机中)产生的非线性失真的量。通过对于处理后的输入数据信号应用合适的衰减,在音频再现系统120中发生的非线性失真可被抑制(例如,通过避免对于非线性失真敏感/易受非线性失真影响的频率间隔中的高振幅),并且可在音频再现系统120的总体响度与可听非线性失真之间实现折中。频率相关衰减级122可例如被实现为其中不同的频带可被相互独立地衰减的多频带限制器,或者被实现为如其全部内容并入这里的美国专利申请公开No.2013/0013096A1中所描述的音色保持多频带限制器。频率相关衰减级122输出的数据信号然后被数字模拟转换级123转换为模拟形式,并且在其被馈送到扬声器125或耳机以作为输出声学信号140被输出之前被放大级124放大。

[0083] 为了控制在特定音频再现系统中产生的非线性失真,频率相关衰减级122可基于关于该特定音频再现系统的失真行为的信息被调谐。这样的信息可通过下文将参照图2被描述的设备160的示例实施例被获得。

[0084] 应指出,在图1中所示的音频再现系统120用作与可通过设备160调谐的频率相关衰减级相关联的音频再现系统的示例。特别地,可通过设备160调谐的频率相关衰减级可与如下音频再现系统相关联,该音频再现系统包括与图1所示的音频再现系统120不同的处理级、转换级和/或放大级的组合。例如,可通过设备160调谐的频率相关衰减级可与不具有数字模拟转换级123的音频再现系统相关联,这例如是由于输入数据信号110被从模拟输入播放(并且衰减由模拟频率相关衰减级122执行),或者扬声器125被实现为使用微机电系统(MEMS)的数字扬声器。在另一示例中,音频再现系统可不包括处理级121。

[0085] 图2是用于对频率相关衰减级122进行调谐以用于抑制在与频率相关衰减级122相关联的音频再现系统120中发生的非线性失真的根据示例实施例的设备160的一般化框图。该设备160包括接收部162,该接收部162适于接收表示在通过预定输入数据信号110激励音频再现系统120时被记录的输出声学信号140的数据161。例如,设备160可包括适于例如经由有线或无线通信将预定输入音频信号110提供到音频再现系统120的接口(图2中未示出)。作为替代,预定输入音频信号110可由音频再现系统120从文件存储器播放,或者可被从一些其它设备接收,并且设备160可例如经由被单独接收的信令和/或基于所接收的数据161获得关于预定输入音频信号110的指示。记录表示输出声学信号140的数据161的图1所示的声学换能器150可例如被包括在设备160中,或者可被与设备160分离地布置。

[0086] 根据第一示例实施例,该设备160包括第一失真检测部163,该第一失真检测部163适于基于所接收的数据检测非线性失真的存在,并且对于所检测的非线性失真应用心理声学补偿。该设备160还包括控制部164,该控制部164适于基于经心理声学补偿的非线性失真确定适合于控制该频率相关衰减级122的控制信息170。如果频率相关衰减级122是多频带限制器,则控制信息170可包括将被该多频带限制器应用于各频带中的合适阈值。如果频率相关衰减级122是其全部内容并入这里的美国专利申请公开No.2013/0013096A1中所描述的类型的音色保持多频带限制器。应用固定阈值和时变阈值两者,该控制信息170可例如指示该固定阈值的适当值。

[0087] 现在将参照图3-5描述根据第一示例实施例的第一失真检测部163的示例操作。下文将进一步描述图2中所示的设备160的其它示例实施例。

[0088] 图3示意性地示出在通过对应于单频音频信号的输入数据信号110激励非线性失

真音频再现系统120时的输出声学信号140的示例谱的双对数图。在图3中通过绘制振幅对比频率来示出该谱。输出声学信号140包括第一频率分量301，该第一频率分量301也由c_1指示、基本位于与该单频音频信号相同的频率，但是还包括由音频再现系统120中的非线性失真导致的数个非线性失真分量302-310，该数个非线性失真分量302-310也由c_i指示，其中$i \geq 2$、位于不同于该单频音频信号的其它频率。图3中所示的示例非线性失真分量302-310是位于单频音频信号的频率的整数倍频率的谐波失真分量。第一失真检测部163可基于由预定输入数据信号110表示的单频音频信号的知识检测非线性失真分量302-310。不是对频率相关衰减级122进行调谐以抑制这样检测的非线性失真分量302-310的产生，第一失真检测部163首先考虑非线性失真分量302-310可能被收听者如何感知。特别地，不是基于第一频率分量301的功率与非线性失真分量302-310的功率和的功率比 $\frac{\sum_{i=2}^{10} RMS(c_i)^2}{RMS(c_1)^2}$ 对频率相关衰减级122进行调谐，而是如下文参照图4和5所述的，首先对不同分量应用心理声学补偿。在上述功率比中，RMS(c)指示分量c的均方根，即

[0089] $$RMS(c) = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1}\int_{T_1}^{T_2} |c(t)|^2\, dt},$$

[0090] 从而，第一频率分量301的功率可被表达为$RMS(c_1)^2$，并且非线性失真分量的功率可被表达为$RMS(c_i)^2$。

[0091] 在图4中，图3中所示的谱与频率相关听阈320相比较，该频率相关听阈320指示将被代表性(或平均)收听人员可听和/或可感知的不同频率分量的阈值振幅。根据第一示例实施例，第一失真检测部163通过丢弃所检测的非线性失真的低于频率相关听阈320的谱内容来应用心理声学补偿。例如，一些非线性失真分量306-310没有超出听阈320，并且被丢弃。

[0092] 可选地，第一失真检测部163可丢弃第一频率分量301的低于听阈320的部分301a，并且可丢弃所检测的非线性失真分量302-305各自的低于听阈320的部分302a，并且可例如在任何其余处理步骤中仅考虑第一频率分量301的剩余部分301b以及所检测的非线性失真分量302-305各自的剩余部分302b。

[0093] 作为替代，在形成第一频率分量301的功率与非线性失真分量302-310的功率和的功率比

[0094] $$\frac{\sum_{i=2}^{5}(RMS(c_i) - Th(f(c_i)))^2}{(RMS(c_1) - Th(f(c_1)))^2},$$

[0095] 由第一失真检测部163应用的心理声学补偿可被表达为第一频率分量301的功率$RMS(c_1)^2$以及所检测的非线性失真分量302-306的功率$RMS(c_i)^2$的相对于听阈302的归一化。在上述功率比中，$Th(f(c_1))$和$Th(f(c_i))$分别指示在第一频率分量301的频率$f(c_1)$的和非线性失真分量302-310的频率$f(c_i)$的听阈320的均方根水平。应指出，上述功率比中的和仅包括四个非线性失真分量302-305，因为其他非线性失真分量306-310不达到听阈320之上。还应指出，图3、4和5中所示的非线性失真分量302-310作为示例，并且可构想其它示例场景，其中任何数量的非线性失真分量可存在于输出声学信号140中，并且可被包含在上述

功率比中。

[0096] 根据第一示例实施例，控制部164适于还基于所确定的功率比来确定控制参数170。例如，控制部164可应用如下准则来确定功率比是否高于公差水平T，该公差水平指示所检测的失真是不可接受的。

[0097] $$\frac{\sum_{i=2}^{5}(RMS(c_i)-Th(f(c_i)))^2}{(RMS(c_1)-Th(f(c_1)))^2}\geq T$$

[0098] 为了在音频再现系统120的输出声学信号140中避免这样的不可接受的失真，控制部164可例如确定用于使得频率相关衰减级122对已经被检测为导致高于这样的公差水平T的失真的频率和振幅组合进行衰减的控制信息170。

[0099] 频率相关听阈320可例如基于与由所接收的数据161表示的输出声学信号140的记录相结合地估计的声压水平169被校准，例如通过从包括与不同声压水平相关联的听阈的查找表选择合适的听阈。例如，声压水平169可通过专用声压水平计被测量/估计，并且可被第一失真检测部163接收。作为替代，声学换能器150可在输出声学信号140的记录之前被校准，并且第一失真检测部163可适于基于经声压校准的声学换能器150的已知属性对频率相关听阈320进行校准。

[0100] 在图5中，掩蔽阈值330已经被包含在图4中所示的谱中，以指示平均收听者所感知的频率掩蔽。第一频率分量301可对于其谱邻域中的非线性失真(以及其它声音)具有掩蔽效果。类似地，非线性失真分量302-310可对于其谱邻域中的其它非线性失真分量具有掩蔽效果。因此，所检测的非线性失真的低于掩蔽阈值330的谱内容可能不能被收听者听到/感知到，并且例如可在对频率相关衰减级122进行调谐时被丢弃。因而，根据第二示例实施例，第一失真检测部163基于第一频率分量301估计掩蔽阈值330，并且指出，第一非线性失真分量302达到掩蔽阈值330之上。然后通过还考虑由第一非线性失真分量302导致的掩蔽来更新掩蔽阈值330，并且指出，第二非线性失真分量303达到更新后的掩蔽阈值330之上。然后通过还考虑由第二非线性失真分量303导致的掩蔽来更新掩蔽阈值330，并且指出，第三非线性失真分量304低于更新后的掩蔽阈值330。根据第二示例实施例，第一失真检测部163通过至少丢弃第三非线性失真分量304(因为其低于掩蔽阈值330)来应用心理声学补偿。根据第二示例实施例，第一失真检测部163然后形成与参照图4描述的功率比相似的功率比，但是其中至少丢弃了第三非线性失真分量304。控制部164然后还基于所确定的功率比来确定控制参数170。

[0101] 分别参照图4和5描述的频率相关听阈320和掩蔽阈值330可基于代表性收听者的已知属性被校准或者估计。由于声音感知可能在不同的收听者之间变化，因此频率相关听阈320和掩蔽阈值330可例如被设定为足够低以确保可能例如可被具有非常灵敏的听力的收听者听到的非线性失真不被丢弃。作为替代，在形成功率比之前可对于所检测的非线性失真分量302-10应用加权，权重是基于各非线性失真分量302-10的振幅在频率相关听阈320和/或掩蔽阈值330之上或之下有多少的。

[0102] 所有非线性失真分量典型地不被收听者感知为均匀干扰。二次谐波分量例如(即，图3中的第一非线性失真分量302)常常被报告为与更高阶谐波分量(例如，图3中的非线性失真分量310)相比对于声音具有更微妙(subtle)的影响。因此，第一失真检测部163可例如向所检测的非线性失真分量302-10分配谐波指数，并且可在形成第一频率分量301的功率

与非线性失真分量302-10的功率和之间的功率比之前，基于非线性失真分量302-10各自的谐波指数对非线性失真分量302-10进行加权。

[0103] 作为使用参照图4和5描述的频率相关听阈320和/或掩蔽阈值330的一种替代方式是评估收听者所感知的第一频率分量301与所检测的非线性失真分量302-10的相对响度。例如，应用心理声学补偿可包括估计第一频率分量301的响度和所检测的非线性失真分量302-10的组合响度。控制部164可例如适于还基于所估计的响度之间的差来确定控制信息170。估计响度可例如包括采用加权滤波器，例如A-、B-或C-加权。非线性失真分量的组合响度可例如使用响度求和方案被估计。上文参照图3-5描述的非线性失真的分析可例如对于不同的频带通过采用来自各频带的预定输入数据信号110被重复进行，并且控制部164可例如基于关于各频带的失真属性的信息确定控制信息170。

[0104] 根据一些示例实施例，除了参照图3-5描述的心理声学分析方法之外，图2中所描述的设备160还可采用一个或多个失真分析方法。

[0105] 一种用于估计非线性失真的总量的方法是使用处于相对低频率的相对窄带激励信号作为预定输入数据信号110，来估计输出声学信号140中的高频能量，并且将此与预定阈值进行比较。如果在输出声学信号140中高于激励频率的带宽存在不可忽略的信号能量，这可被认为主要是由非线性失真导致的。因此，根据示例实施例，设备160可包括第二失真检测部165，所述第二失真检测部165适于获得覆盖该预定输入数据信号110的谱内容的频率范围的知识，并且基于所接收的数据161的高于所述频率范围的谱内容检测非线性失真。在总非线性失真的这样的估计中，不必确定特定频率分量的位置，给定频率区域中的能量内容可以是足以进行估计的输入数据。

[0106] 尤其在扬声器中的常见失真现象(这里被称为“硬失真”)是当激励信号振幅超过一些限值时失真量的突然增加。失真量典型地对于低于此限值的激励信号相对低，但是对于高于该限值的激励信号过高。这可被认为是特别类型的非线性增益响应。使用表示具有逐渐增加的振幅的音频信号的输入数据信号110作为音频再现系统120的激励，设备160可搜索输出声学信号140中的指示这样的限值的存在的突然谱改变，并且可估计对应于该限值的输入增益值。特别地，使用具有增加的振幅的窄带信号作为激励允许音频再现系统120中的用于硬失真的限值可作为频率的函数被分析。输出声学信号140中的突然谱改变可例如通过监测响应信号的谱质心和/或倒谱最大值(例如，倒谱的最大)被检测。因此，根据示例实施例，设备160可适于接收在通过预定输入数据信号110的序列激励音频再现系统120时被记录的数据，所述序列中的连续的预定输入数据信号110对应于预定波形的逐渐放大的版本。根据本示例实施例，所述设备160包括谱组成分析部166，所述谱组成分析部166适于：基于所接收的数据161监测由预定输入数据信号110的所述序列的激励导致的音频再现系统120的输出声学信号140的谱组成；检测被监测的谱组成中的突然改变；以及确定对应于所检测的突然改变的所述预定波形的放大值。

[0107] 如果例如，预定输入数据信号110的序列的各个元素例如通过表示静音的输入数据被时间分隔开，则谱组成分析部166可适于在与预定输入数据信号110的序列的各个元素对应的离散时间点处确定音频再现系统120的输出声学信号140的谱组成，并且可适于检测在各时间点处确定的谱组成的值之间的突然改变。

[0108] 如果例如，该预定波形是单个正弦信号，则该预定输入数据信号110的序列可被音

频再现系统120以具有例如连续增加的振幅的单个正弦信号的形式接收，并且音频再现系统120的输出声学信号140的谱组成可例如被谱组成分析部166连续监测，而不是在与预定输入数据信号110的序列的各个元素对应的离散时间点处被监测和/或确定。

[0109] 作为使用具有不同频率范围的窄带信号作为音频再现系统120的激励的替代方案，诸如音乐的宽带激励可被使用，并且基于双通道快速傅里叶变换的分析方法可被利用以估计非线性失真量。特别地，测量音频再现系统120的输入信号和输出信号之间的相干性给出了输入信号和输出信号之间的线性相关性的估计。在该响应中低于该相干值存在非线性失真产物以及噪声，而线性和时不变处理不会具有这样的效果。因此，在低噪声条件下，相干值的逆可被用作宽带激励信号的情况下的非线性失真的度量。因此，根据示例实施例，该设备160可包括相关性分析部167，所述相关性分析部167适于确定预定输入数据信号110和所接收的数据之间的相干性。为了提高预定输入数据信号110和所接收的数据161之间的时间同步，所述相关性分析部167可适于：确定所述预定输入数据信号110与所接收的数据161之间的互相关性；基于所确定的互相关性估计所述预定输入数据信号110与所接收的数据161之间的采样率差；以及基于所接收的数据161的重采样版本确定所述相干性。

[0110] 除了图1中所示的音频再现系统120的频率相关衰减级122之外，一些可用的音频再现系统具有动态范围控制(DRC)级。这些DRC级中的一些DRC级可能不能被绕过或者禁用，并且可产生不会类似于适于被设备160分析的“传统”非线性失真的可听干扰伪像。因此，如下这样是有益的：设备160能够检测音频再现系统120中的任何内置DRC，并且以合适的方式对其作出反应，诸如指示频率相关衰减级122不应用限制(即，暂停衰减)。

[0111] 因此，根据示例实施例，设备160可适于接收在通过输入数据信号110激励音频再现系统120时被记录的数据，所述输入数据信号110对应于如图6中通过具有增加的振幅的正弦信号601-604示例说明的具有增加的振幅的单频音频信号。根据本示例实施例，所述设备160可包括DRC检测部168，所述DRC检测部168适于：基于所接收的数据161监测来自音频再现系统120的输出声学信号140中的频率分量的振幅，所监测的频率分量基本位于与单频音频信号601-604相同的频率；并且检测被监测的振幅的、证实音频再现系统120中的DRC的存在的饱和度。单频音频信号601-604的振幅在图7a中由振幅值701a-704a的序列示出。所监测的振幅，例如输出声学信号140中的基本位于与单频音频信号601-604相同的频率处的频率分量的振幅，在图7b中由振幅值701b-704b的序列示例性示出。如图7a和7b中所示，输入振幅701a-704a增加，而输出振幅701b-704b在水平710处饱和。控制部164可例如适于响应于DRC检测部168的检测确定用于使得频率相关衰减级122暂停衰减的控制信息170。

[0112] 作为图6中所示的正弦信号601-604的替代，用作音频再现系统120的激励的、基本对应于具有增加的振幅的单频音频信号的输入数据信号110可被以连续增大的正弦信号的形式被提供(而不是时间分隔开的正弦信号601-604)。通过这样的连续增大正弦信号作为激励，输出振幅可被DRC检测部168连续监测，得到曲线，而不是图7中所示的离散振幅值701b-704b。

[0113] 作为接收在通过基本与具有增加的振幅的单频音频信号对应的输入数据信号110激励音频再现系统120时被记录的数据161的替代，设备160可适于接收在通过预定输入数据信号的序列激励所述音频再现系统120时被记录的数据，所述序列中的连续的预定输入数据信号对应于预定波形的逐渐放大的版本。该预定波形可以是例如单个正弦信号，如图6

中示例示出，但是也可是更复合的信号。DRC检测部168可适于例如基于所接收的数据161监测由通过所述序列激励音频再现系统120而导致的来自音频再现系统120的输出声学信号140的振幅，并且检测被监测的振幅的、证实音频再现系统120中的DRC的存在的饱和度。预定波形的谱组成可能优选地是由设备160已知的，从而扬声器125的在其线性操作范围之外的操作可基于输出声学信号140的谱组成被检测，并且证实DRC的存在的饱和度可区别于由扬声器在其线性操作范围之外的操作导致的饱和度。

[0114] 对于给定的音频再现系统120，典型地存在可在输出声学信号140中获得的振幅的上限，该上限是在即使没有DRC的情况下、由例如放大级和/或扬声器中的物理限制导致的。所检测的证实音频再现系统120中的DRC的存在的饱和度指的是处于低于所述上限的水平710的被监测的振幅的饱和度。

[0115] 根据一些示例实施例，DRC检测部168可适于通过考虑在连同可能由于非线性失真而存在的任何谐波一起去除了与单频音频信号处于相同频率的谱内容之后所剩余的内容，估计输出声学信号140中的信号与噪声比(SNR)。与高SNR的检测相组合的、如参照图7a和7b所描述的饱和度的检测可指示音频再现系统120中的DRC的存在。因此，根据一些示例实施例，控制部164可适于响应于高于预定阈值的所估计的SNR以及DRC检测部168对饱和度的检测，确定用于使得频率相关衰减级122暂停衰减的控制信息170。

[0116] 图10是根据示例实施例的用于检测音频再现系统120中的DRC的存在的方法的流程图。该方法可例如由参照图1和2描述的调谐设备160的DRC检测部168使用，或者由例如就像调谐设备160在图1中的布置那样被布置的单独的DRC检测设备使用(除了该DRC检测设备可能不被布置为向衰减级122提供控制信息170之外)。根据本示例实施例，该方法包括接收1010接收在通过预定输入数据信号的序列激励所述音频再现系统120时被记录的数据，所述序列中的连续的预定输入数据信号对应于预定波形的逐渐放大的版本，并且基于所接收的数据检测1020由于通过所述序列激励音频再现系统120而导致的、来自音频再现系统120的输出声学信号140的振幅。根据本示例实施例，该方法包括检测1030所监测的振幅的饱和度，并且一旦饱和度被检测到(由图10中的“Y(是)”指示)，则确定1040所检测的饱和度是否指示/证实DRC的存在。确定1040所检测的饱和度是否指示/证实DRC的存在可例如包括将已经检测到饱和度时的振幅/能量/功率水平与音频再现系统120中的扬声器和/或放大级中的物理限制进行比较(如上所述)，和/或考虑所估计的SNR是否足够高(如上所述)。如果基于对应于直到一些振幅/能量/功率水平的音频再现系统120的激励的、已经接收的数据没有检测到饱和，则该方法返回(由图10中的“N(否)”指示)接收1010对应于由更高的振幅/能量/功率水平激励音频再现系统120的更多数据，并且监测1020所接收的数据以用于检测1030处于更高振幅/能量/功率水平的饱和度。如果所检测的饱和度被确定1040为指示/证实DRC的存在(图10中由“Y(是)”指示)，则进一步的步骤可基于此判定，诸如将DRC的检测输出/用信号通知1050到例如控制部164以用于确定控制信息170，如上文参照图2所描述。可选地，如果所检测的饱和度被确定1040为指示/证实DRC的存在，则该方法可返回以接收数据1010，该数据1010表示在通过处于与先前用作激励的信号不同的频率的输入数据信号110激励音频再现系统120时被记录的输出声学信号140。对于不同激励频率的饱和度的检测可以是音频再现系统120中的DRC的甚至更强检测。如果所检测的饱和度可被确定1040为不指示/证实DRC的存在(图10中由“N(否)”指示)，则进一步的步骤可基于此判定，诸如输

出/用信号通知1060没有检测到DRC的存在。在具有DRC的一些音频再现系统120中，DRC的存在可在一些频带中被更容易地检测。因此，如果所检测的饱和度被确定为1040不指示/证实DRC的存在，该方法可例如返回以接收数据1010，该数据1010表示在通过处于与先前用作激励的信号不同的频率的输入数据信号110激励音频再现系统120时被记录的输出声学信号140。

[0117] 上文已经参照图2描述了一些示例实施例，其中除了第一失真检测部163之外，设备160还包括第二失真检测部165、谱组成分析部166、相关性分析部167、和/或DRC检测部168。构想了如下实施例，在该实施例中设备160包括这些部分的任何组合，并且在该实施例中，控制部164基于由各个部确定的信息的任何组合确定控制信息170。通过基于对于在音频再现系统120中发生的非线性失真的不同类型的分析确定控制信息170，可改进频率相关衰减级122的调谐，和/或可在音频再现系统120的非线性失真和总响度之间实现感知上更具吸引力的平衡。例如，控制信息170还可基于在各个部163、165、166、167和168中获得的分析结果的加权组合。

[0118] 应指出，通过第一失真检测部163、第二失真检测部165、谱组成分析部166、相关性分析部167和DRC检测部168中的至少一些所执行的分析可采用不同类型的预定输入音频信号110作为音频再现系统120的激励。因此，根据至少一些示例实施例，不同类型的预定输入数据信号110的序列可被提供给音频再现系统120，并且不同的部可适于在彼此之后(例如，在不同的时间点)执行它们各自的分析。图2中所示的不同的部可例如被实现为单个处理器的多种功能，或者例如在两个或更多个分离的物理单元/部件中实现。

[0119] 如果设备160访问示例设备输出声学信号140以及例如通过受过训练的调音师获得的频率相关衰减级122的对应参考调谐的大数据库，则用于找到用于对频率相关衰减级122进行调谐的合适控制信息的例如基于神经网络的机器学习方法可被采用。因此，根据示例实施例，控制部可适于通过至少应用基于频率相关衰减级122的一组参考调谐的机器学习来确定控制信息。例如，设备160可包括参考调谐被存储于其中的存储部(图2中未示出)。

[0120] 如上文在至少一些示例实施例中描述的，使用图1中所示的布置的频率相关衰减级122的调谐可包括改变激励信号110的振幅，并且分析输出声学信号140。图8是用于对频率相关衰减级122进行调谐的替代性示例布置的一般化框图，其中在调谐期间，频率相关衰减级122可被绕过801或者其衰减被暂停，以便在不影响频率相关衰减级122的情况下分析音频再现系统120中产生的非线性失真。

[0121] 但是，如果频率相关衰减级122不是简单的多频带限制器，而是具有用于基于例如频率区域/频带之间的交互改变所应用的衰减的一些功能(诸如，其内容整体并入这里的美国专利申请公开No.2013/0013096A1中所描述的音色保持多频带限制器)，则将频率相关衰减级122包括在测量过程中(如图1所示)并且在测量输出声学信号140时调整期参数是有益的。在此情况下，激励信号110可例如是静态信号，因为所产生的非线性失真量可通过经由控制信息170调整频率相关衰减级122提供的衰减而被改变。因此，根据示例实施例，设备160可适于接收在通过恒定输入数据信号110激励音频再现系统120时被记录的数据161，并且频率相关衰减级122可操作以基于通过设备的控制部确定的控制信息170对输入数据信号110进行衰减。根据本示例实施例，设备160可适于通过迭代地基于所接收的数据161确定控制信息170来对频率相关衰减级122进行调谐。

[0122] 除了分析在音频再现系统120中出现的非线性失真之外，还估计是否所有频率区域都可被音频再现系统120辐射作为输出声学信号140可能是有益的。例如，对频率相关衰减级122进行调谐以完全衰减没有在音频再现系统120的输出声学信号140中引起可听声的频率区域可能是有益的，因为这样做可防止换能器中的不必要的功率损耗并且还可能导致额外的失真抑制。一种估计频率是否可被音频再现系统120辐射的方法是使用固定频率信号作为激励110，对于激励110与输出声学信号140之间的不同迟滞估计激励110与输出声学信号140之间的互相关性，并且检查互相关的最大值是否超过给定阈值。

[0123] 图9是根据示例实施例的用于对频率相关衰减级122进行调谐以用于抑制与频率相关衰减级122相关联的音频再现系统120中发生的非线性失真的方法的流程图。该方法包括接收901表示在通过预定输入数据信号110激励音频再现系统120时被记录的输出声学信号140的数据161；基于所接收的数据161检测902非线性失真的存在；对于所检测的非线性失真应用903心理声学补偿；以及基于经心理声学补偿的非线性失真，确定904适合于控制该频率相关衰减级122的控制信息170。

[0124] IV.等同物、扩展、替代物及其它

[0125] 在研究了上文描述之后，本公开的其它实施例对于本领域技术人员而言是清楚的。即使本描述和附图公开了实施例和示例，但是该公开并不局限于这些具体示例。可在不背离所附权利要求所限定的本公开的范围的情况下做出各种修改和改变。权利要求中所出现的任何附图标记不应被理解为限制它们的范围。

[0126] 另外，通过对于附图、公开和所附权利要求的研究，所公开的实施例的变型可被本领域技术人员在实现本公开时理解和实施。在权利要求书中，术语“包括”并不排除其它元素或步骤，并且不定冠词“一”或“一个”也不排除多个。唯一的事实是在相互不同的从属权利要求中引用一些措施指的是这些措施的组合不能被有利地使用。

[0127] 上文公开的设备和方法可被实现为软件、固件、硬件或者它们的组合。在硬件实现中，上文描述中提及的功能单元之间的任务的分配并不必然对应于物理单元的分配；相反，一个物理部件可具有多个功能，并且一个人物可被若干物理部件协作地实现。一些部件或所有部件可被实现为由数字信号处理器或微处理器执行的软件，或者可被实现为硬件或专用集成电路。这样的软件可被分布在计算机可读介质上，该计算机可读介质可包括计算机存储介质(或者非暂态介质)和通信介质(或者暂态介质)。如本领域中技术人员公知的，术语计算机存储介质包括以用于存储信息(诸如计算机可读指令、数据结构、程序模块或其它数据)的任何方法或技术实现的易失性和非易失性的、可拆装和不可拆装介质。计算机存储介质包括但不局限于RAM、ROM、EEPROM、闪存或者任何其它存储技术，CD-ROM、数字通用盘(DVD)或者其它光盘存储器、磁盒、磁带、磁盘存储器或者其它磁性存储设备、或者可被用于存储所希望的信息并且可被计算机访问的任何其它介质。此外，本领域技术人员公知的是通信介质典型地将计算机可读指令、数据结构、程序模块或者其它数据体现为调制数据信号(诸如载波或者其它传输机制)，并且包括任何信息输送介质。

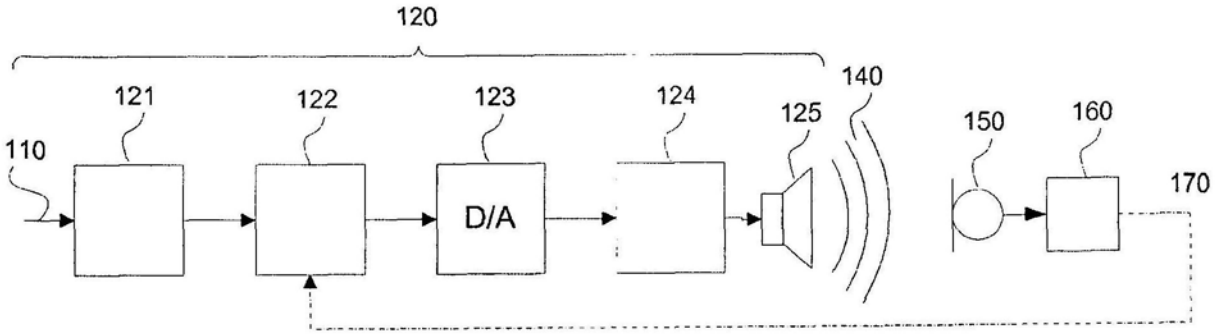

120
121
122
123
124
125
140
150
160
170
110
D/A

图1

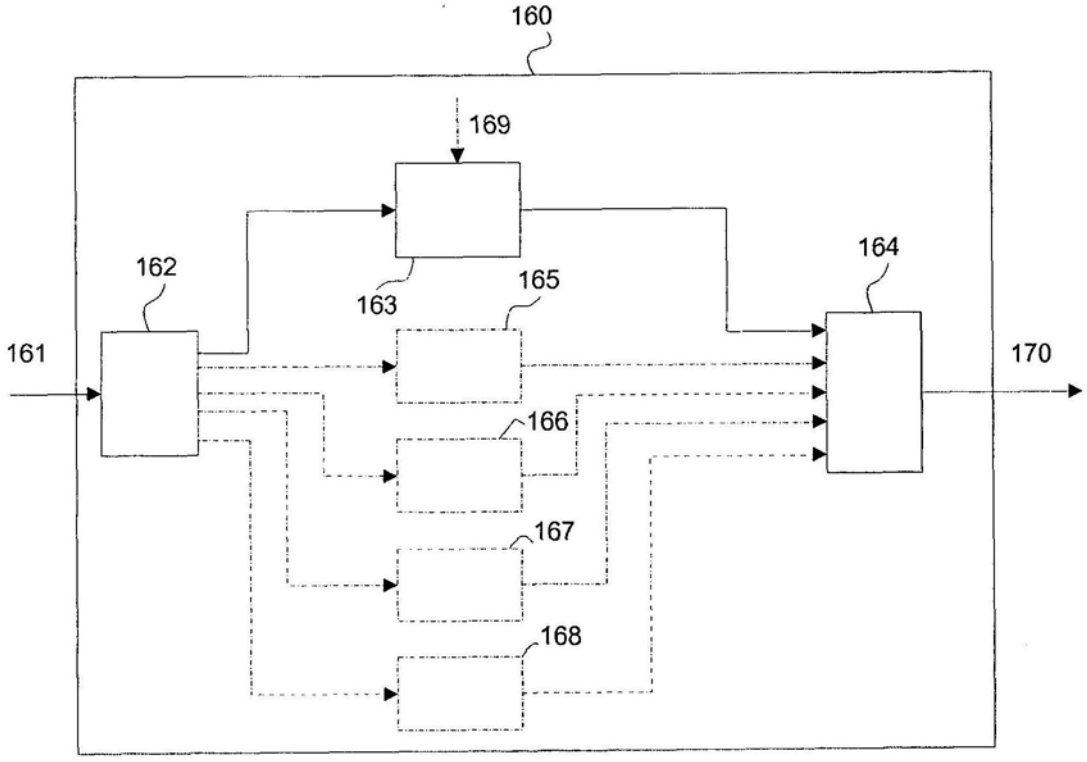

160
169
162
163
165
164
161
170
166
167
168

图2

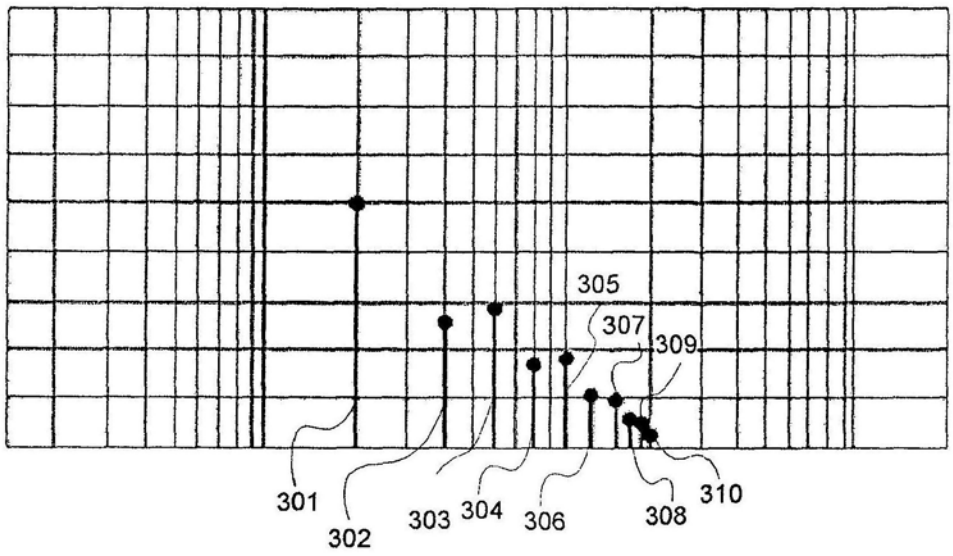


图3

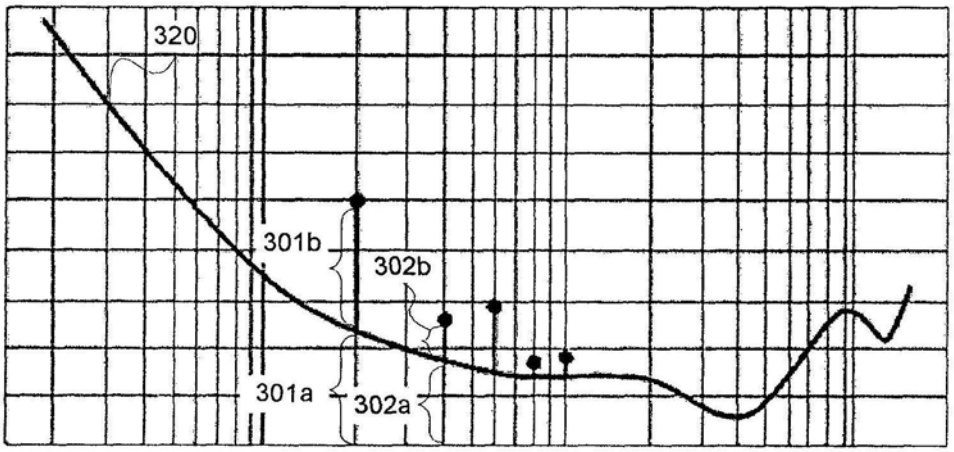


图4

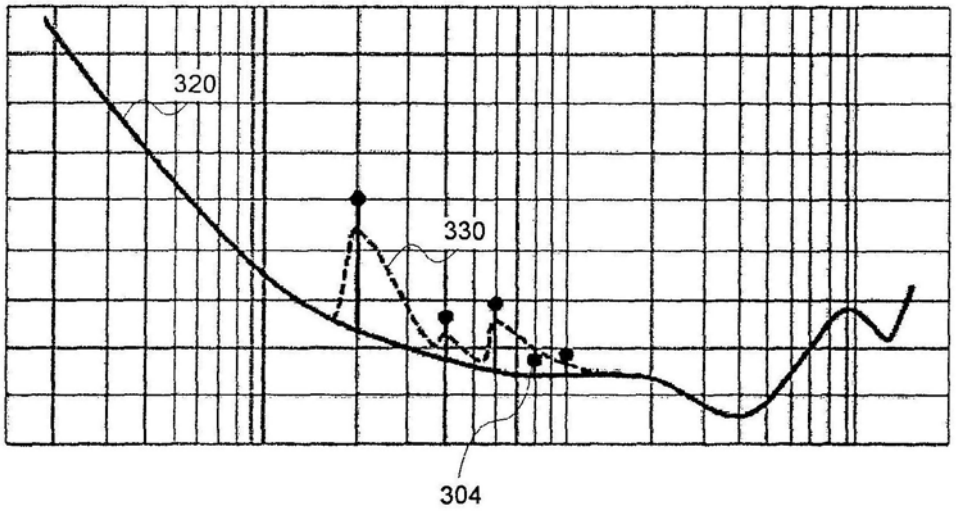


图5

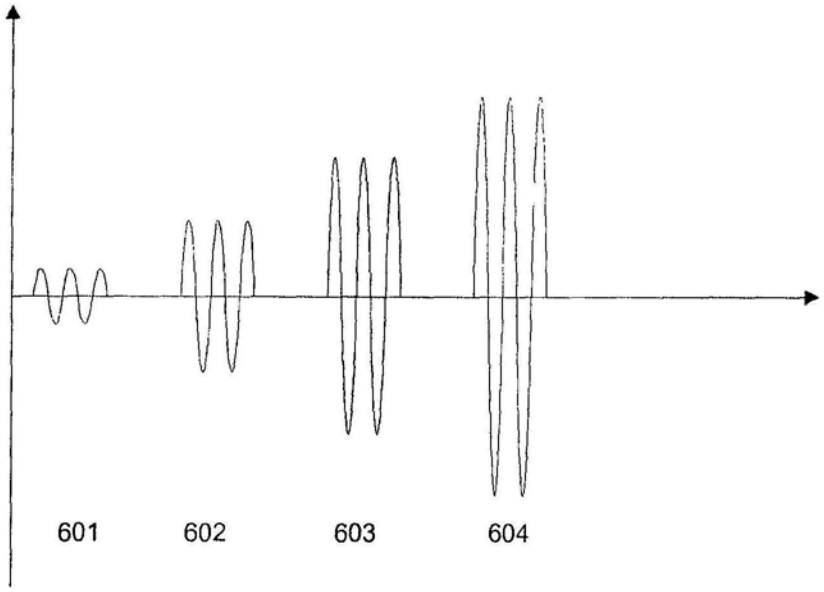


图6

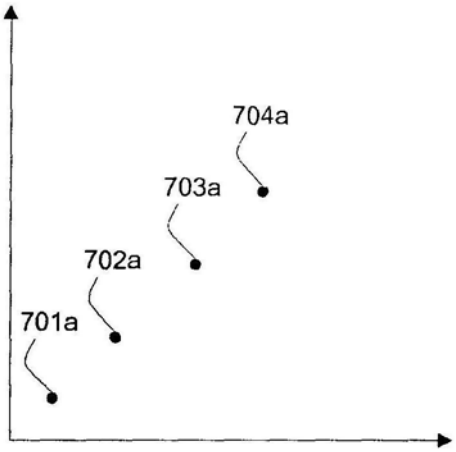

704a
703a
702a
701a

图7A

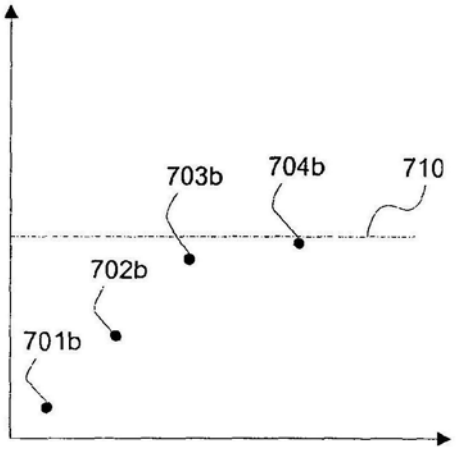

703b
704b
710
702b
701b

图7B

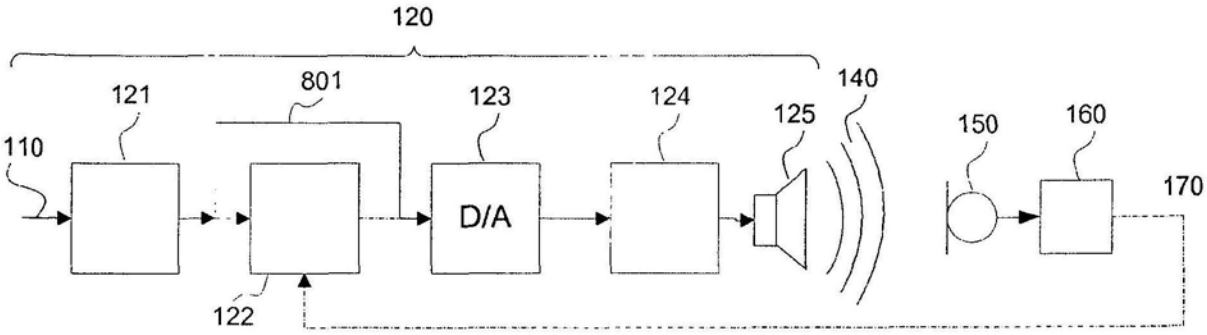

120
121
801
123
124
125
140
150
160
170
110
D/A
122

图8

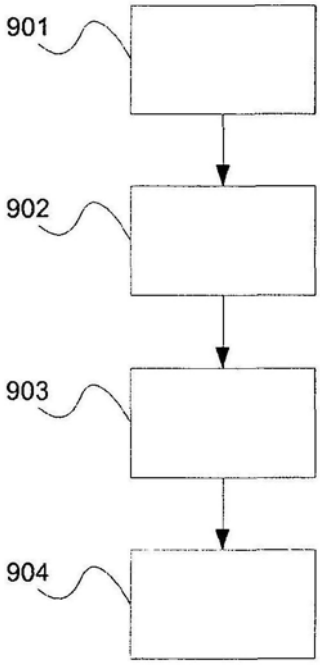


图9

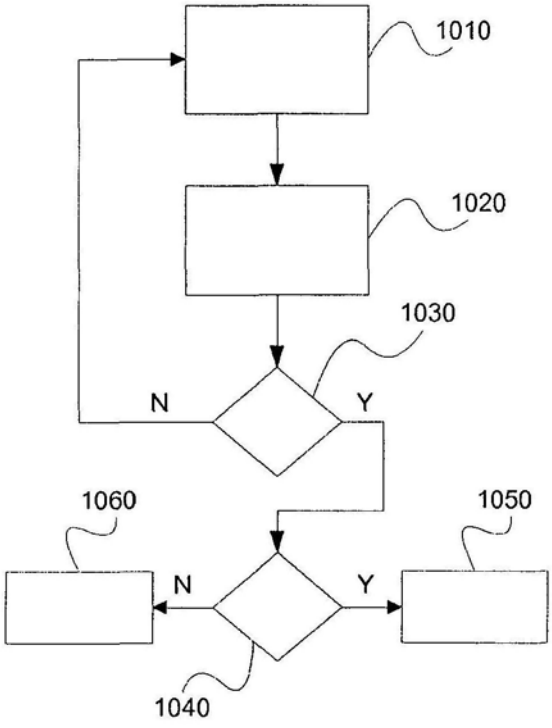


图10