



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103201639 B

(45) 授权公告日 2015. 07. 08

(21) 申请号 201180053547. 2

(22) 申请日 2011. 11. 30

(30) 优先权数据

12/956, 372 2010. 11. 30 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2013. 05. 07

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2011/062614 2011. 11. 30

(87) PCT国际申请的公布数据

W02012/075123 EN 2012. 06. 07

(73) 专利权人 德克萨斯仪器股份有限公司

地址 美国德克萨斯州

(72) 发明人 T·J·探戈

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

公司 11245

代理人 赵蓉民

(51) Int. Cl.

G01R 23/16(2006. 01)

(56) 对比文件

US 6236371 B1, 2001. 05. 22, 全文.

US 4652816 A, 1987. 03. 24, 全文.

US 2006020865 A1, 2006. 01. 26, 全文.

US 5591913 A, 1997. 01. 07, 全文.

审查员 张岩

权利要求书2页 说明书4页 附图9页

(54) 发明名称

使用连续扫描频率的系统频率响应测试

(57) 摘要

一种系统和方法,其使用单一扫描频率啁啾信号测量被测系统的频率响应。产生具有由第一和第二频率限定的带宽的逐渐减弱的啁啾测试信号(1101)。测试信号被路由到校准路径(1102),并且校准路径的输出被路由到数字转换器(1103)。校准路径的输出被数字化(1104),并产生校准路径输出的傅立叶变换(1105)。然后,测试信号被路由到测试系统(1106),并且测试系统的输出被联接到数字转换器(1107)。测试系统的输出被数字化(1108),并产生测试系统输出的傅立叶变换(1109)。通过用校准路径输出的傅立叶变换除测试系统输出的傅立叶变换产生测试系统的归一化频域表示(1110)。



1. 一种用于带宽测试的系统,其包括:

波形发生器,其被适配为产生啁啾频率信号,该啁啾频率信号在从低频到高频的预定义范围上具有连续变化;

复用器,其被联接到啁啾频率发生器的输出,所述复用器选择性地路由所述啁啾频率信号到被测系统或校准路径;

数字转换器,其接收来自所述被测系统的输出或来自所述校准路径的输出,所述数字转换器被配置为产生来自所述被测系统或来自所述校准路径的数据点;以及

快速傅立叶变换电路,其被适配为接收来自所述数字转换器的数据点,并计算所述数据点的离散傅立叶变换。

2. 根据权利要求1所述的系统,其中所述波形发生器包括窗电路,其被适配为逐渐减弱所述啁啾频率信号。

3. 根据权利要求1所述的系统,其中所述快速傅立叶变换电路还工作以存储来自通过所述校准路径路由的信号在指定频率范围内采集的校准数据点。

4. 根据权利要求3所述的系统,其中所述快速傅立叶变换电路还工作以通过用所述校准数据点除来自路由通过所述被测系统的信号在所述指定频率范围内采集的数据点以产生归一化测试测量数据。

5. 根据权利要求1所述的系统,还包括将所述被测系统和所述校准路径联接到所述数字转换器的第二复用器;与所述快速傅立叶变换电路的输出联接的存储器,所述存储器存储校准数据点和归一化测试测量数据;以及与所述快速傅立叶变换电路的输出联接的显示器,所述显示器显示校准数据点或归一化测试测量数据或二者给用户。

6. 根据权利要求1所述的系统,其中通过用所述校准路径的输出的傅立叶变换除所述被测系统的输出的傅立叶变换产生针对所述测试带宽的所述被测系统的频域表达。

7. 一种用于带宽测试的方法,其包括:

使用波形发生器产生啁啾频率信号,该啁啾频率信号在预定义范围上从低频到高频经历连续变化;

选择性路由所述啁啾频率信号至校准路径或被测系统;

数字化来自所述校准路径的输出信号以产生校准数据;

生成所述校准数据的傅立叶变换以产生频域校准数据;

数字化来自所述被测系统的输出信号以产生测量数据;

生成所述测量数据的傅立叶变换以产生频域测量数据;以及

通过用所述频域校准数据除所述频域测量数据产生归一化测量数据。

8. 根据权利要求7所述的方法,还包括在所述校准路径或所述被测系统之前使用窗函数逐渐减弱所述啁啾频率信号。

9. 根据权利要求8所述的方法,其中所述啁啾频率信号在前端或后端或两端逐渐减弱。

10. 根据权利要求7所述的方法,还包括在存储器中存储所述校准数据和所述测量数据。

11. 根据权利要求7所述的方法,还包括在存储器中存储所述归一化测量数据。

12. 根据权利要求7所述的方法,还包括显示所述归一化测量数据给用户。

13. 根据权利要求 7 所述的方法,还包括显示所述校准数据和所述测量数据给用户。

14. 根据权利要求 7 所述的方法,其中使用复用器将所述啁啾频率信号选择性地路由到校准路径或被测系统。

15. 根据权利要求 7 所述的方法,还包括使用复用器联接所述校准路径的输出和所述被测系统的输出。

16. 根据权利要求 7 所述的方法,其中通过用所述校准路径的输出的傅立叶变换除所述被测系统的输出的傅立叶变换产生针对所述测试带宽的所述被测系统的频域表达。

17. 一种用于带宽测试的方法,其包括:

生成逐渐减弱的啁啾频率测试信号,其具有由第一频率和第二频率限定的带宽,其中该信号在预定义范围上从低频到高频经历连续变化;

通过第一复用器路由所述测试信号至校准路径;

通过第二复用器联接所述校准路径的输出至数字转换器;

数字化所述校准路径的输出;

生成所述校准路径的输出的傅立叶变换;

通过所述第一复用器路由所述测试信号至测试系统;

通过所述第二复用器联接所述测试系统的输出至所述数字转换器;

数字化所述测试系统的输出;

生成所述测试系统的输出的傅立叶变换;以及

通过用所述校准路径的输出的傅立叶变换除所述测试系统的输出的傅立叶变换产生针对所述带宽的所述测试系统的频域表达。

18. 根据权利要求 17 所述的方法,还包括使用 Tukey 窗函数逐渐减弱所述逐渐减弱的啁啾频率测试信号。

19. 根据权利要求 18 所述的方法,还包括在存储器中存储所述测试系统的频域表达。

使用连续扫描频率的系统频率响应测试

技术领域

[0001] 本发明实施例通常涉及测试硬件系统的频率响应,更具体地涉及使用连续扫描输入信号提供被测系统的准确分析。

背景技术

[0002] 测试滤波器的频率响应是耗时的任务,特别是在滤波器中测试宽的频率范围时。在现有系统中,正弦波形发生器与被测滤波器联接,并产生单音(即单频率)测试信号。当正弦波形发生器将不同频率的测试信号按一次一个的方式输入到滤波器时,输出信号被采集。当足够数量不同频率的信号被输入和相关联的输出信号被采集后,可以测量滤波器的频率响应。当必须在宽频范围内测试多个滤波器时,例如在生产-测试环境中,需要大量的测试时间以使多个不同频率的测试信号循环通过每个滤波器。

[0003] 除了需要长的测试时间之外,使用各个测试频率会阻止滤波器频率响应的精确表征。一般情况下,对应于滤波器响应中频率小于通频带 3dB 的点的频率被用于测量滤波器的带宽。由于不知道产生的滤波器中实际的 3dB 点,因此为输入正弦波选择的频率不会在准确的 3dB 点上提供测量。可能在 3dB 点以上和 3dB 以下的频率输入测试信号,这会使测试器插入 3dB 点,但不能提供 3dB 点的精确测量或识别。在一些滤波器中,例如陷波滤波器或通频带相当窄的滤波器,若输入测试音的步长太大,则测试设备会丢失陷波或通频带中的响应,从而导致错误的滤波器通频带表征。现有方案一次只采集一个频率并步进通过有限的频率组以覆盖整个频带。出现在测试频率之间的很多分频不能被测试。现有系统的测试时间相当长,而且只提供少量数据点。因此,现有测试系统提供的滤波器频带宽度测试的分辨率差。

发明内容

[0004] 本发明实施例需要较少的测试时间,并有效提高了滤波器频带带宽测试的分辨率。使用连续扫描频率信号作为输入测试信号。输出信号被数字化,并使用快速傅立叶变换(FFT)方法计算频率响应。旁路路径提供了校准因子。用校准因子除测试数据以消除测试系统的影响,并获得正确的系统响应。本文公开的方案只需要一个输出信号采集,并连续覆盖整个频带而不丢失测试频率间的任意分频。另外,测试时间只是现有系统的一小部分,但比之前的方法提供明显更多的数据点。

附图说明

[0005] 图 1 (现有技术) 图示了传统单音测试系统的框图;

[0006] 图 2 图示了与本发明原理一致的实施啁啾频率测试系统的实例实施例的框图;

[0007] 图 3 图示了通过线性频率调制源产生啁啾波形输入信号;

[0008] 图 4 图示了图 3 中的啁啾波形信号的频域表示;

[0009] 图 5 图示了被测系统的期望频率响应;

- [0010] 图 6 图示了啁啾被测系统的期望频率响应；
- [0011] 图 7 图示了被窗函数逐渐减弱的测试信号；
- [0012] 图 8 图示了测试信号在时域上逐渐减弱对频率响应的影响；
- [0013] 图 9A 图示了通过校准路径后时域中的测试波形；
- [0014] 图 9B 图示了从图 9A 显示的校准测量获得的 FFT 数据；
- [0015] 图 10A 图示了通过被测系统后时域中的测试波形
- [0016] 图 10B 图示了由图 10A 显示的测量数据获得的归一化 FFT 数据 1002；
- [0017] 图 11 的流程图说明了实施啁啾频率测试系统的实例方法。

具体实施方式

[0018] 图 1 图示了传统单音测试系统 100。正弦波发生器 101 与被测系统 102 的输入联接,其中的被测系统可以是例如,滤波器。数字转换器 103 采集和数字化被测系统 102 的输出,然后将其传输到快速傅立叶变换(FFT)电路 104,该电路计算采集的输出信号的离散傅立叶变换(DFT)。在系统 100 中,数字转换器 103 对来自正弦波发生器 101 的每个频率采集一次,FFT 电路 104 为每个采集的信号产生一个 DFT 数据点。在所有的 FFT 数据中,只需要一个 DFT 数据点,这不能有效利用时间。由于实际权衡了长测试时间和低数据点,所以可能难以使用系统 100 测试窄频带滤波器,例如带通或带阻滤波器。测量窄频带滤波器的响应需要的数据点越多,测量时间越长。另外,正弦波发生器 101 产生分频以准确测量所需点,例如 3dB 点,会比较困难。

[0019] 图 2 是根据其中一个实施例说明啁啾频率测试系统 200 的框图。正弦波发生器 201 与复用器(MUX) 202 联接,该复用器选择信号路径,使其通过被测系统 203,例如,可以是滤波器,或通过校准路径 204。被测系统 203 和校准路径 204 的输出由复用器 205 接收,然后将其路由到用于采集和数字化的数字转换器 206 中,然后被其传输到 FFT 电路 207 中,FFT 电路 207 计算采集的输出信号的离散傅立叶变换(DFT)。从 FFT207 输出的数据点可以存储到存储器 208 中和 / 或显示在显示器 209 上。

[0020] 系统 200 可以对所有数据点单独采集和 FFT 变换。在系统 200 的实施例中,系统 100 中单音测试仅仅一个数据点所需的相同时间内,可以实现四千个数据点的测试。系统 200 中其他数据点的采集对总测试时间影响较小。系统 200 还为窄频带滤波器提供最佳测试台,因为它对全频谱测试。

[0021] 校准路径 204 用于识别测试硬件和软件造成的损失。当损失被识别后,可以将其用于弥补硬件和软件对被测系统 203 测量的影响。在一个实施例中,首先将来自啁啾发生器 201 的数据传输通过校准路径 204。采集校准路径 204 的输出作为基线。然后,将被测系统 203 接入到信号路径,并输入来自啁啾发生器 201 的信号数据。采集来自被测系统 203 的输出数据,并用校准数据除输出数据,获得被测系统 203 的正确系统响应。

[0022] 在一个实施例中,使用的输入测试信号是线性扫描信号,例如方程 1 所定义的。该输入信号可以是啁啾波形,例如图 3 所示的波形 300,该波形由线性频率调制源产生。扫描信号在所定义的范围内从低频到高频连续变化。

$$[0023] \quad s(t) = w(t) \sin(f_1 t) + \frac{1}{2T} (f_2 - f_1) t^2 \quad 0 \leq t \leq T \quad (1)$$

[0024] 其中, $s(t)$ 是输出波形; $w(t)$ 是窗函数; f_1 是初始频率; f_2 是最终频率; T 是总扫描时间。

[0025] 波形 300 在时间 0 到 T 之间任意时间的瞬时频率由方程 2 给定。

$$[0026] \quad f_1(t) = (1 - \frac{t}{T})f_1 + \frac{t}{T}f_2 \quad (2)$$

[0027] 图 4 图示了信号 300 的频域图。如图 4 所示, 扫描输入测试信号 300 跨越从 f_1 到 f_2 的整个频率范围。

[0028] 图 5 图示了被测系统的期望频率响应 501, 例如中心频率为 f_c 的陷波滤波器。测试信号的频带 502, 例如啁啾波形发生器 201 产生的信号, 可以通过调整起始频率 f_1 和终点频率 f_2 来选择, 以使中心频率 f_c 落在被测频率范围内。频率 f_1 和 f_2 被调整以覆盖被测系统所需的任意频率。一旦确定频率 f_1 和 f_2 , 则可通过使用一个扫描整个频带的输入信号分析被测系统。

[0029] 图 6 图示了啁啾频率测试系统, 例如系统 200 (图 2) 的期望频率响应 601。频率响应 601 提供了频率 f_1 和 f_2 之间的整个测试频带上的水平测试信号。然而, 实际测试系统可能具有不在测试频带的水平的响应。频率响应 602 图示了啁啾频率测试系统不太理想的频率响应。如果测试信号具有非理想的频率响应, 例如响应 602, 则被测系统的已测量频率响应包括测试信号 602 的任意偏离。例如, 频率响应 603 表示使用具有频率响应 602 的输入信号测量的被测系统的已测频率响应。理想情况下, 被测系统的测量结果应该和响应 501 (图 5) 相似, 但是输入信号 602 的频率响应导致测量的响应 603 偏离实际响应 501。这个误差可以通过使用校准路径 204 来解决。啁啾频率测试系统的频率响应 602 可以首先通过校准路径测量。然后, 测量被测系统的频率响应 603。用校准频率响应 602 除频率响应 603, 能够确定被测系统实际的频率响应 501。

[0030] 快速傅立叶变换电路 207 (图 2) 进行 FFT 的运算可以通过使用窗函数来改善, 窗函数减小时间域中的震荡和不连续。窗函数 $w(t)$ 是上述方程 1 的部分, 该方程定义了啁啾频率输入信号 $s(t)$ 。窗函数, 例如 Tukey 窗函数, 可用于逐渐减弱测试信号的前端或尾部。Tukey 窗函数如方程 3 所示。也可以用其他窗函数。

$$[0031] \quad w(t) = \begin{cases} p + (1-p)\sin^2(\frac{\pi}{2}\frac{t}{T_w}) & 0 \leq t \leq T_w \\ p + (1-p)\sin^2(\frac{\pi}{2}\frac{t-(T-T_w)}{T_w}) & T-T_w \leq t \leq T \end{cases} \quad (3)$$

[0032] 其中, T_w 是窗逐渐减弱的程度, $0 \leq p \leq 1$, 大多数情况下 p 为 0。

[0033] 啁啾波形发生器 201 (图 2) 可以包括逐渐减弱啁啾频率信号的窗函数电路 210。或者, 啁啾信号频率可以通过发生器 201 以逐渐减弱的方式产生。

[0034] 图 7 图示了尾部 702 逐渐减弱的测试信号 701。图 8 图示了测试信号在时间域中的不同减弱程度对频率响应的影响。频率曲线 801-804 图示了输入信号逐渐减弱程度逐渐增加的情形。曲线 801 没有逐渐减弱, 其显示扫描输入信号的不连续造成的振荡 805。随着减弱程度的增加, 振荡 805 减小 (曲线 802 和 803) 或消除 (曲线 804)。逐渐减弱的不良影响是使测试信号的频率范围变窄, 如曲线 801-804 所示。

[0035] 图 9A, 9B, 10A 和 10B 图示了在本发明实施例的实例中, 使用低通滤波器 (LPF) 作

为被测系统而采集的波形。图 9A 图示了通过校准路径后时域中的测试波形 901。测试波形 901 在前端和尾部逐渐减弱。图 9B 图示了由校准测量 901 获得的 FFT 数据 902。校准频率响应 902 图示了由于测试系统频率响应引起的更高频率的损失。

[0036] 图 10A 图示了通过被测系统后时域中的测试波形 1001。图 10B 图示了由测量数据 1001 获得的归一化 FFT 数据 1002。用校准数据 902 (图 9B) 除测量数据 1001 获得归一化 FFT 数据 1002。本发明实施例提供了采集连续频率响应数据 1002 的方法,其精确识别所需点,例如 3dB 点 1003,从而指出被测 LPF 的通频带边缘。

[0037] 如上述实例所示,本发明提供了一种快速通用的用于滤波器、放大器或其他被测系统的带宽测试方法。本发明可以软件实施,而且适于大多数现有测试板,而不需要改变测试硬件。本文公开的系统还通过减少测试时间和提高已测系统响应的精确度来节省成本。可以调整窗函数和选择起始和终点频率(f_1, f_2)来优化扫描信号,从而提供由测试系统中获得的最佳结果。

[0038] 图 11 图示了实施本文公开的啁啾频率测试系统的实例方法。在步骤 1101 中,生成逐渐减弱的啁啾频率测试信号,它的测试带宽由第一频率和第二频率限定。步骤 1102 中,测试信号通过第一复用器路由到校准路径中。在步骤 1103 中,校准路径的输出通过第二复用器 1103 连接到数字转换器。在步骤 1104 中,数字化校准路径的输出,然后,在步骤 1105 中,生成校准路径输出的傅立叶变换。在步骤 1106 中,测试信号通过第一复用器被路由到测试系统中。在步骤 1107 中,测试系统的输出通过第二复用器与数字转换器连接。在步骤 1108 中,测试系统的输出被数字化,然后在步骤 1109 中,生成测试系统输出的傅立叶变换。在步骤 1110 中,通过用校准路径输出的傅立叶变换除测试系统输出的傅立叶变换为测试带宽产生被测系统的频域表达。

[0039] 本发明涉及的本领域的技术人员应当理解,可以对上述描述的实例实施例进行修改,而且很多其他实施例的实施在本发明权利要求的范围内。

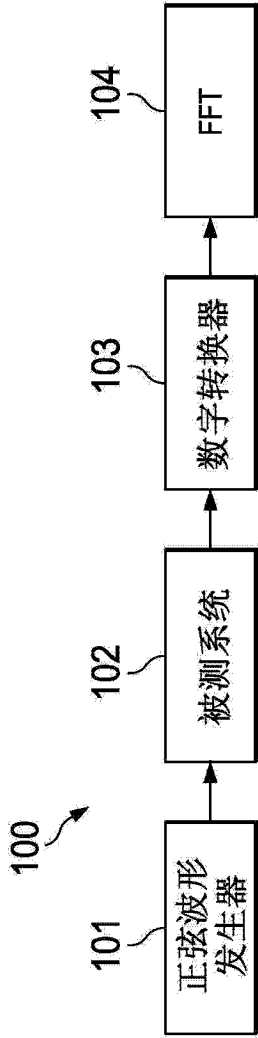


图 1(现有技术)

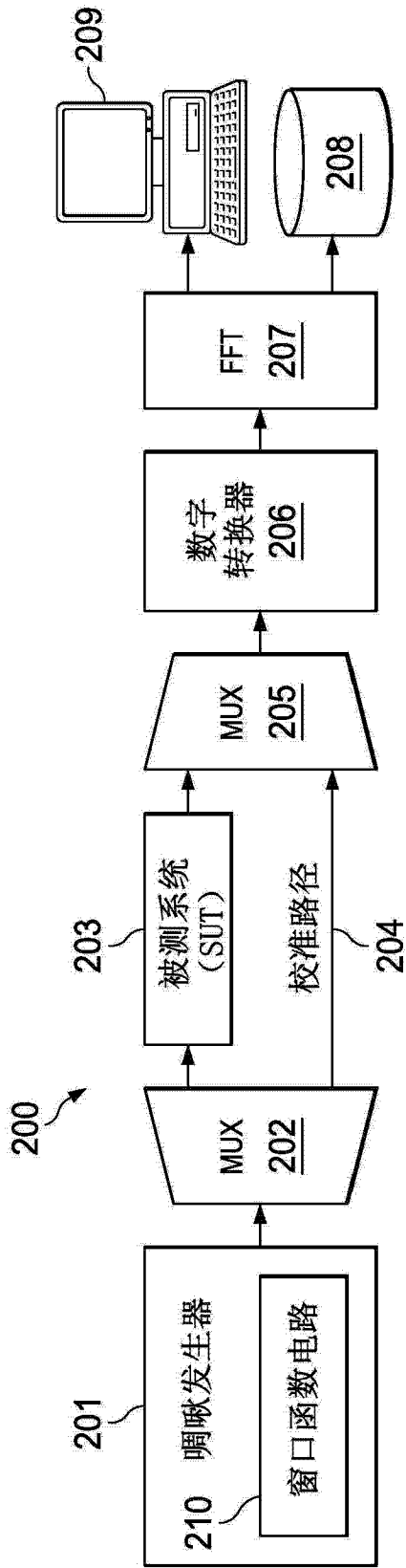


图 2

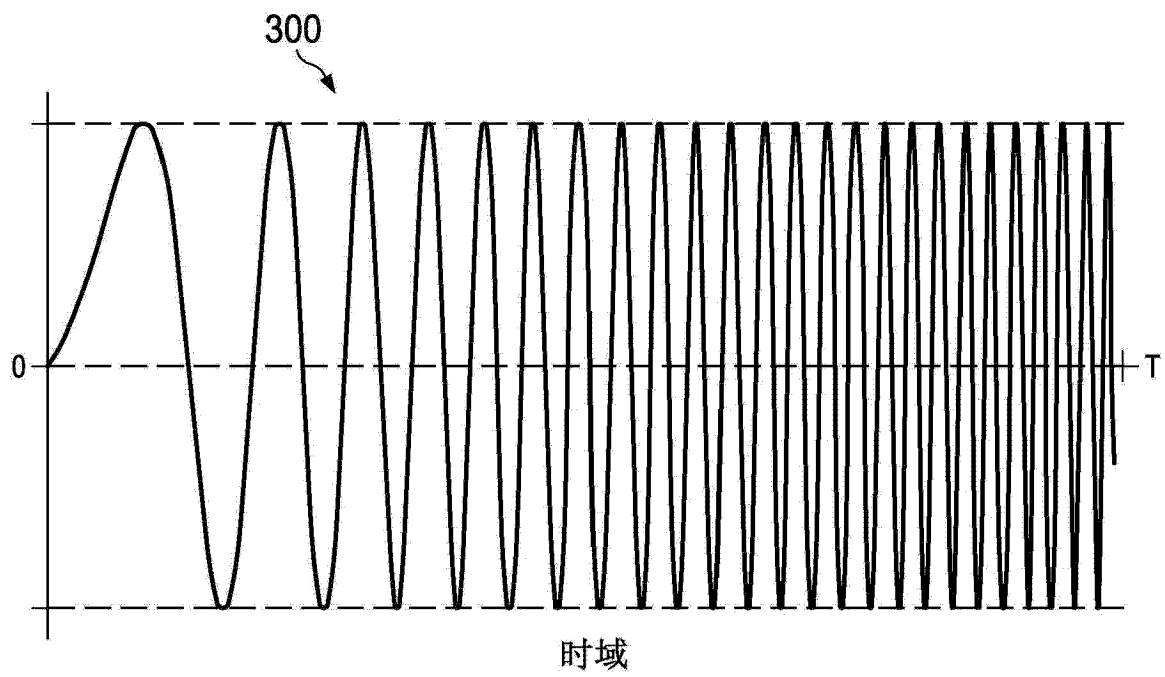


图 3

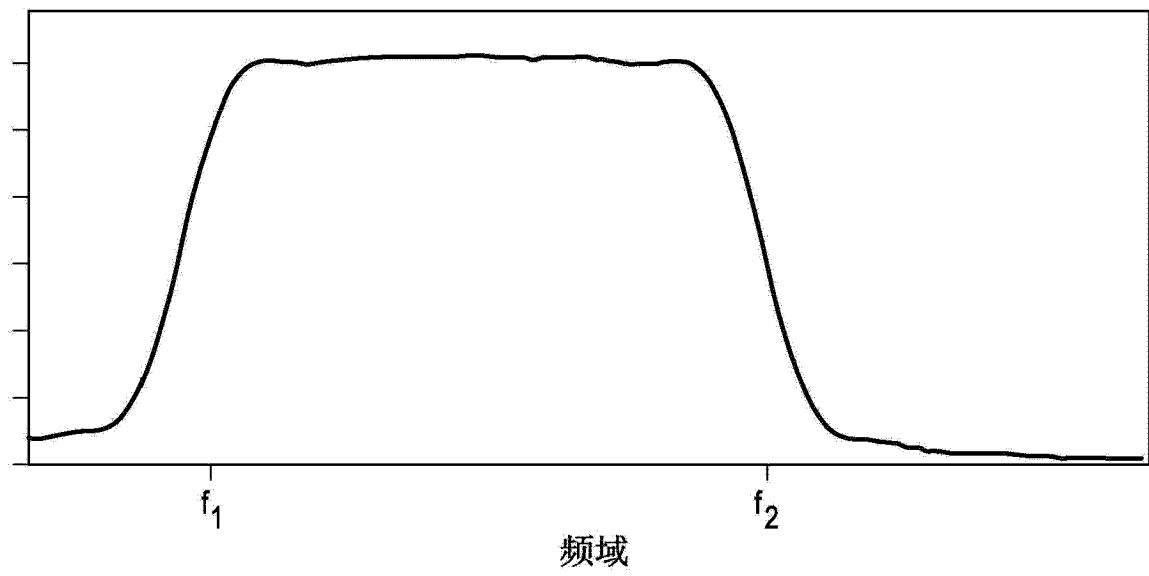


图 4

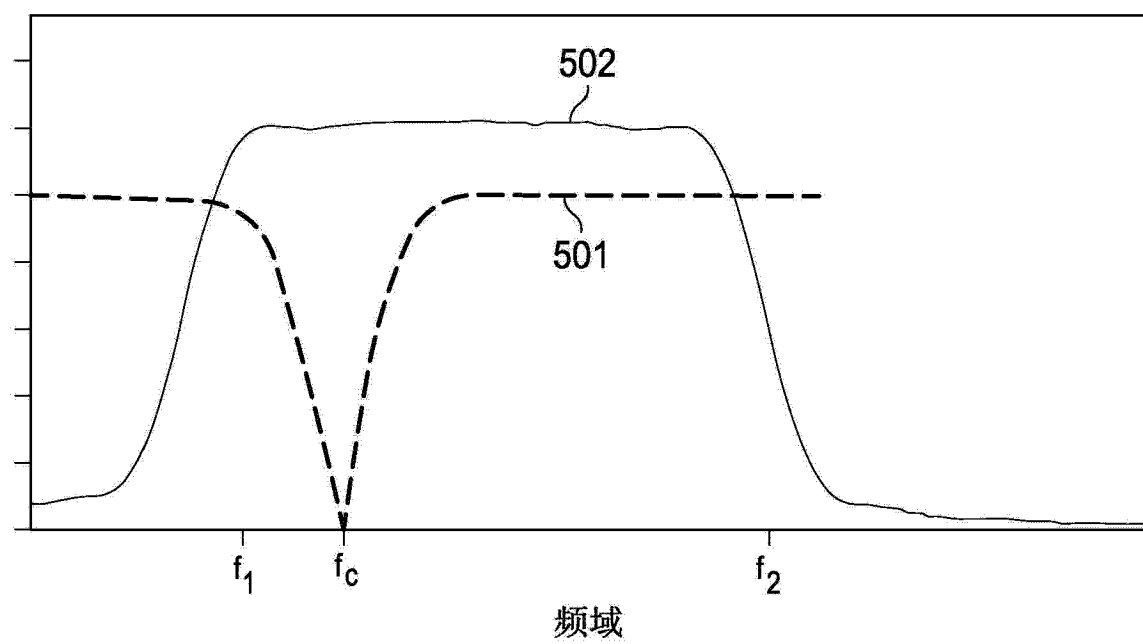


图 5

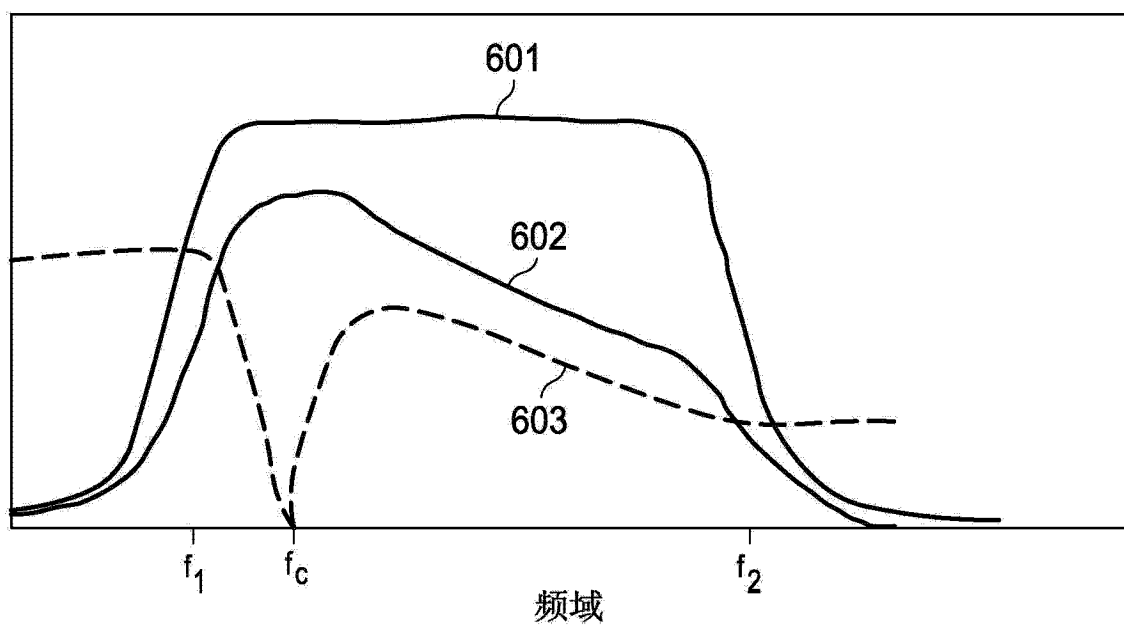


图 6

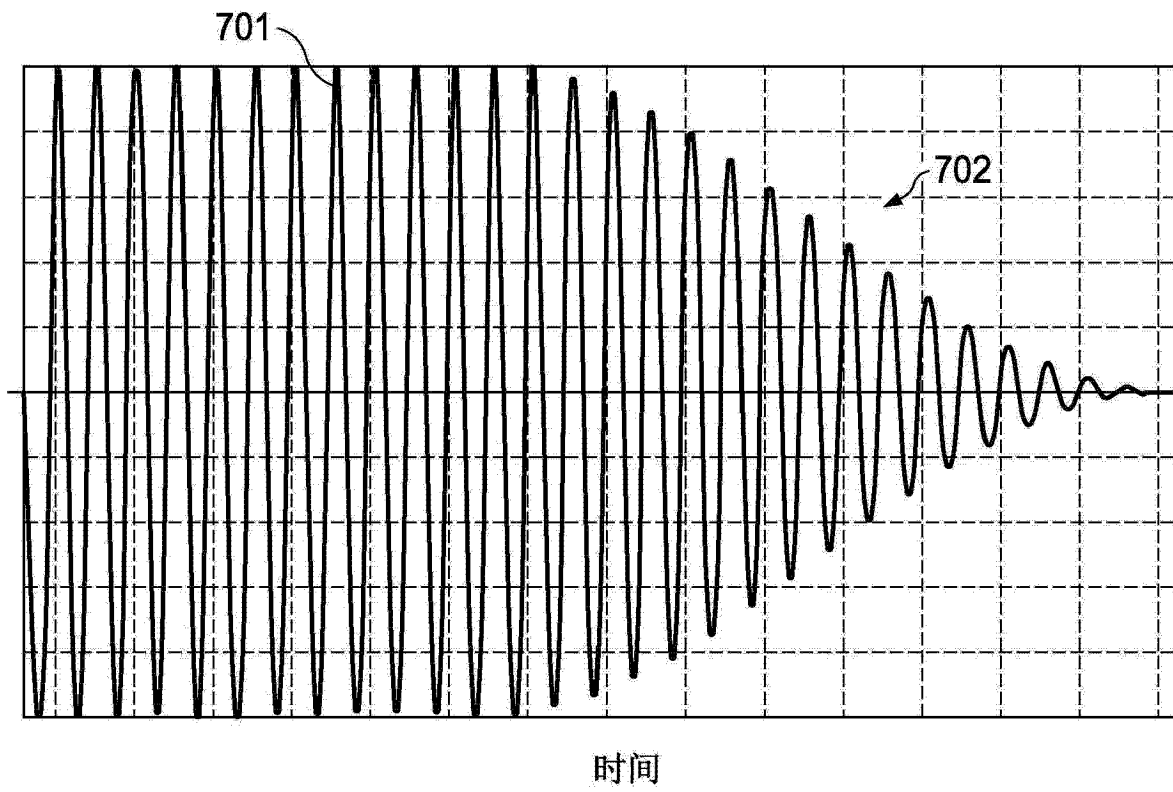


图 7

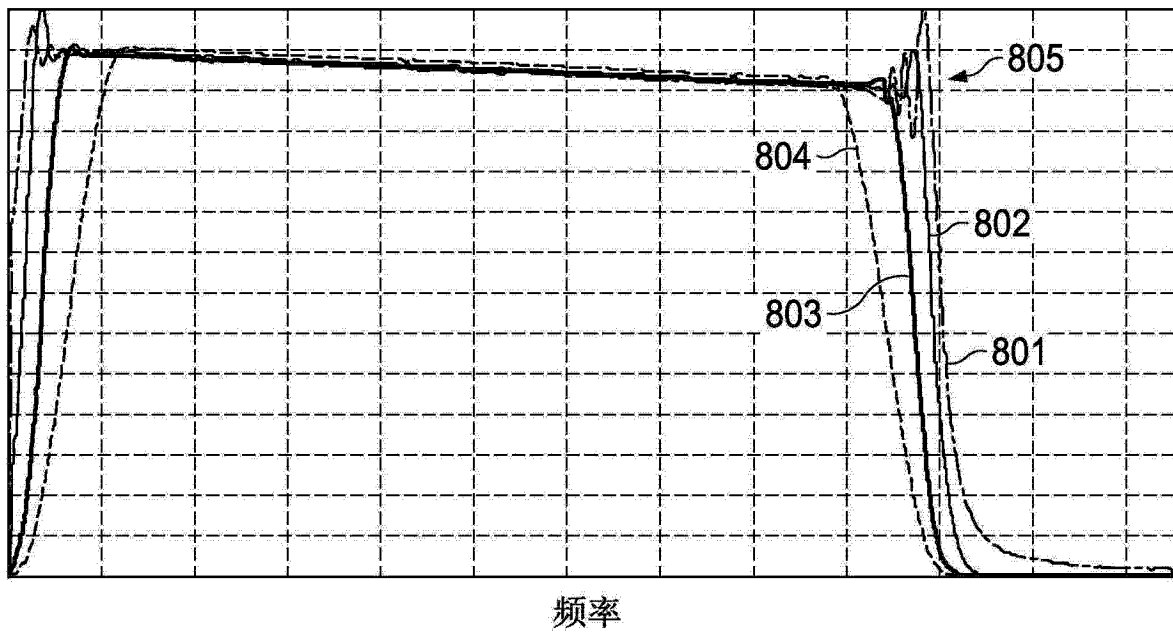


图 8

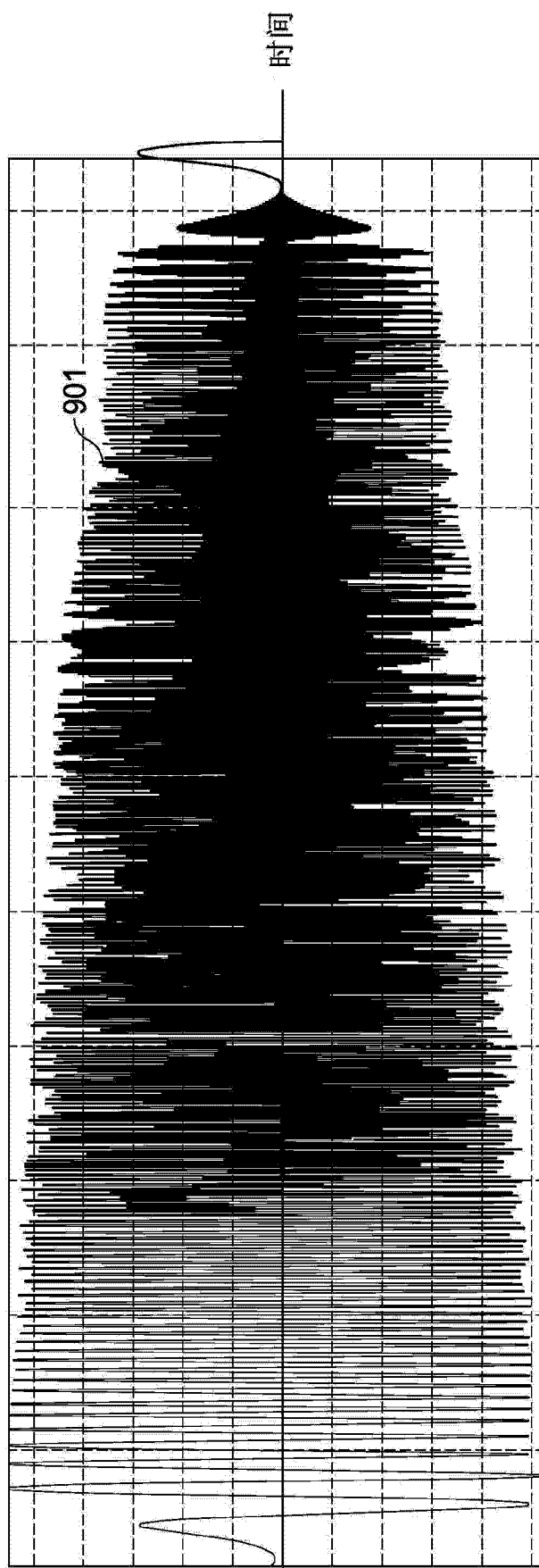


图 9A

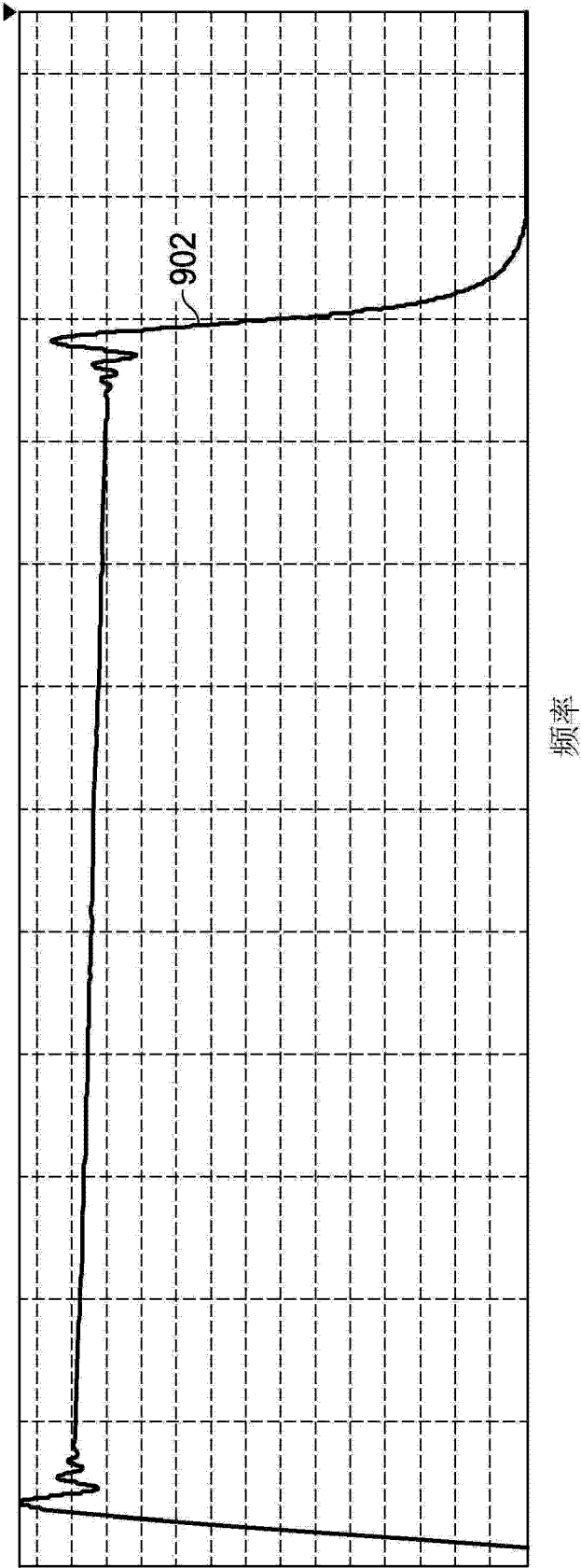


图 9B

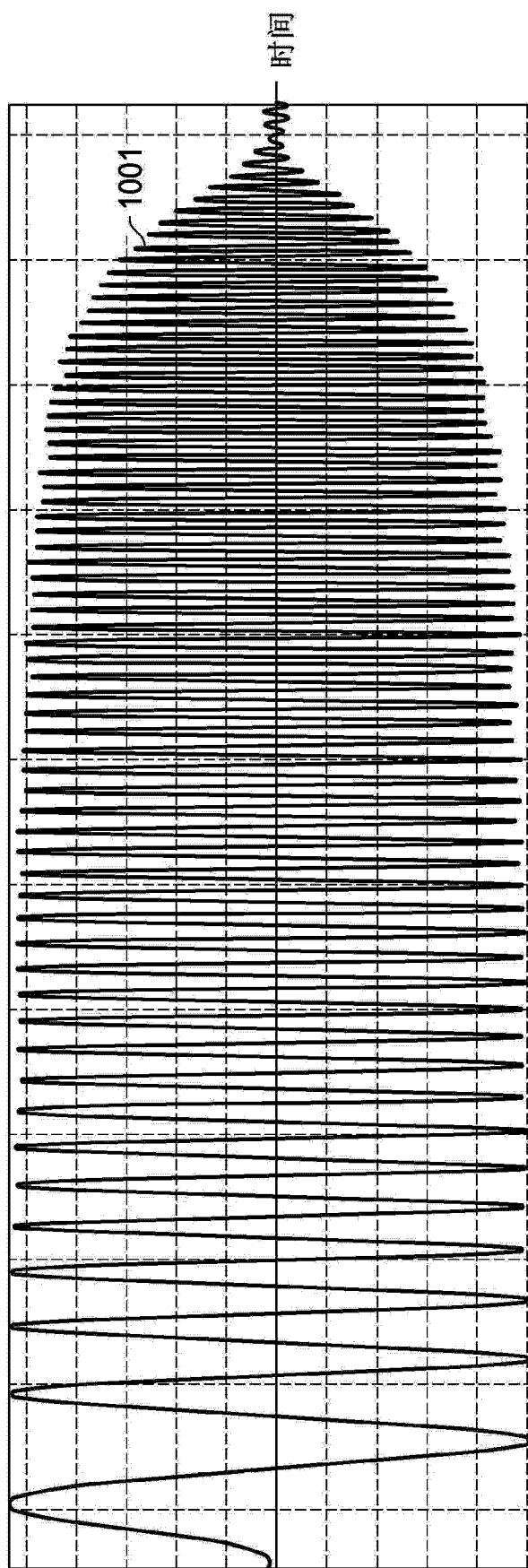


图 10A

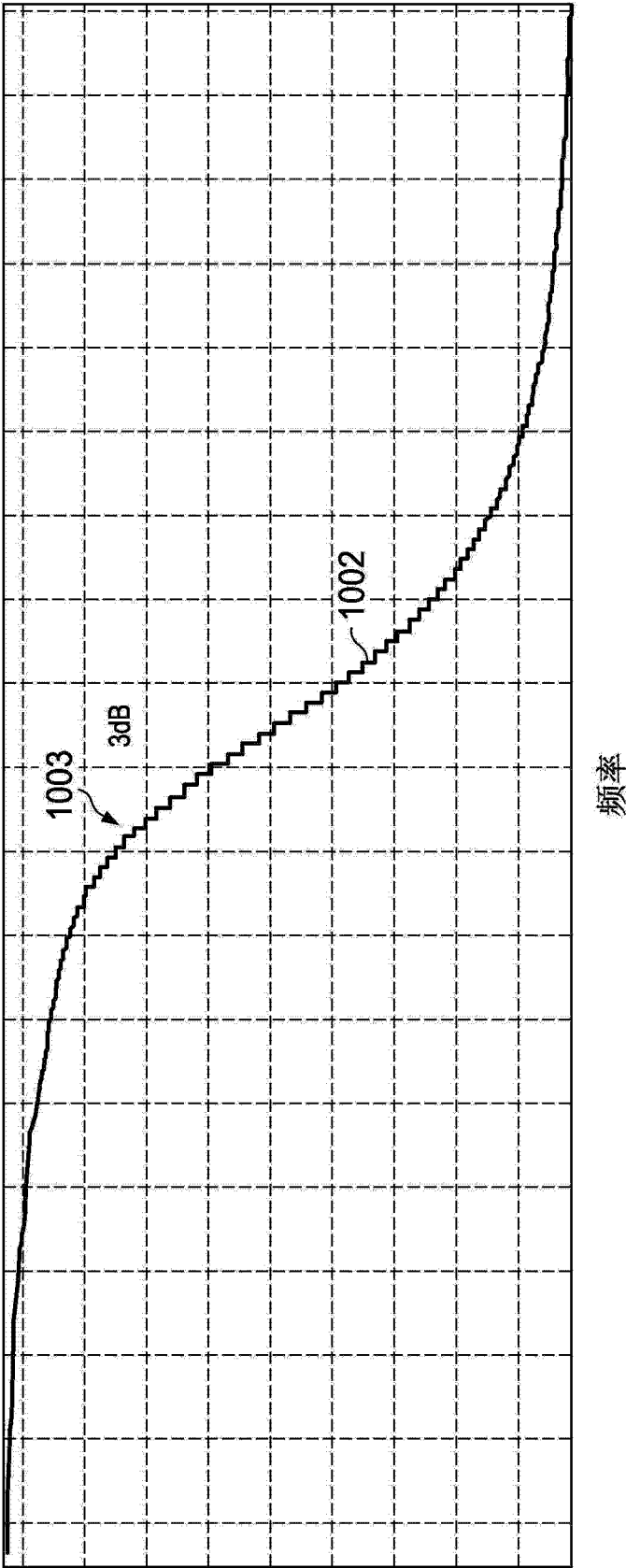


图 10B

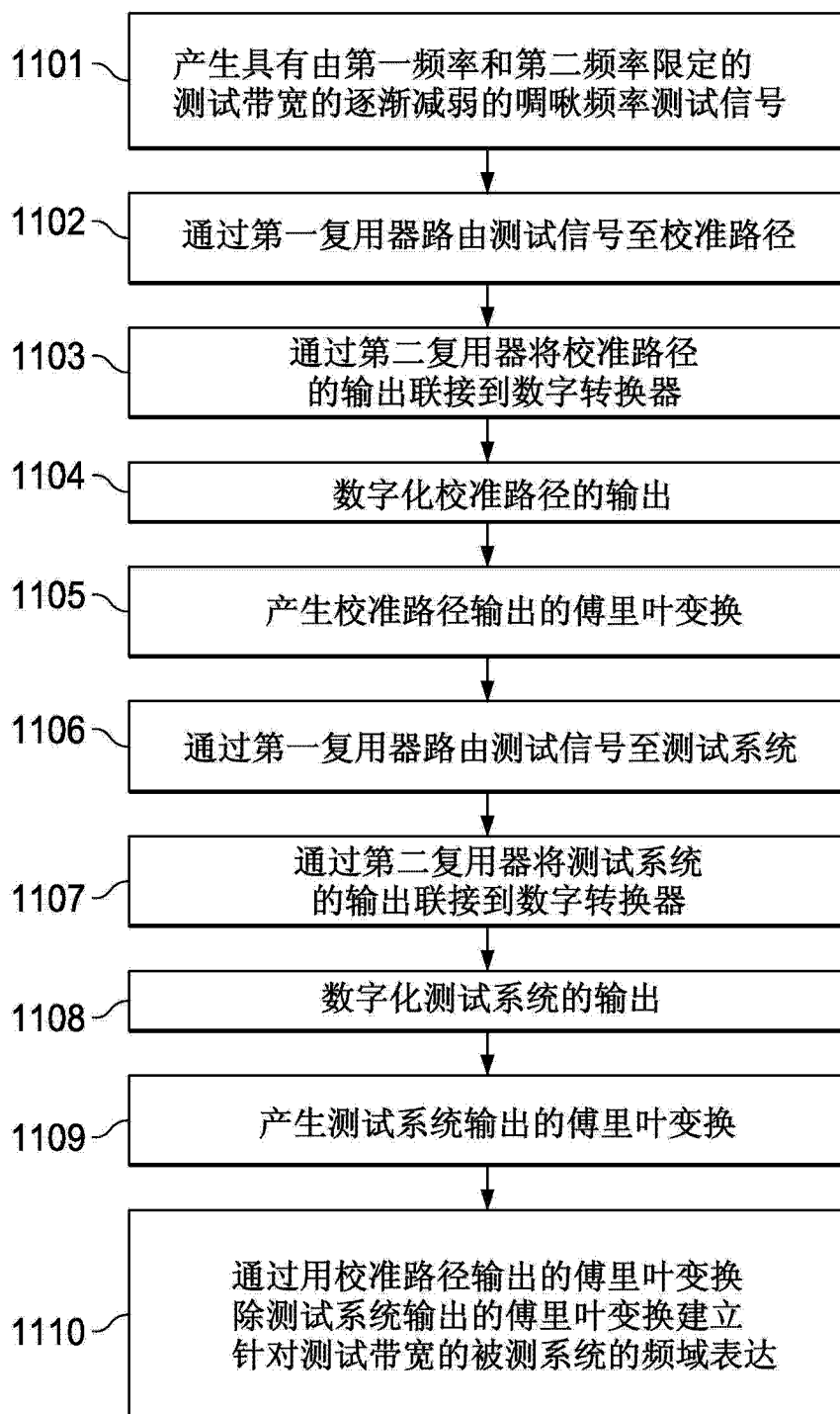


图 11