



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1908608 B

(45) 授权公告日 2010.10.13

(21) 申请号 200610110155.6

US 4690116 A, 1987.09.01, 全文.

(22) 申请日 2006.08.07

审查员 赵士祯

(30) 优先权数据

11/198219 2005.08.05 US

(73) 专利权人 通用汽车环球科技运作公司

地址 美国密执安州

(72) 发明人 C·A·赫南德茨

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

司 72001

代理人 原绍辉 黄力行

(51) Int. Cl.

G01L 23/22(2006.01)

(56) 对比文件

CN 1389715 A, 2003.01.08, 全文.

US 5598822 A, 1997.02.04, 参见说明书第3
栏第45行至第8栏第53行、附图1,6-8,14,15.

US 4444043 A, 1984.04.24, 全文.

US 4384473 A, 1983.05.24, 全文.

CN 1386164 A, 2002.12.18, 全文.

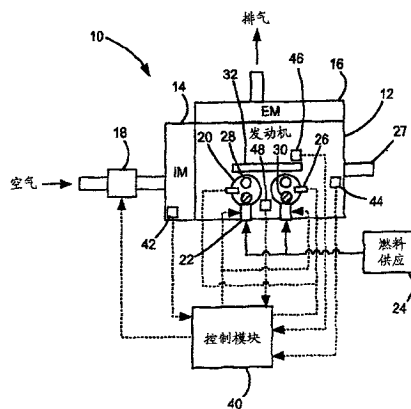
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 8 页

(54) 发明名称

包括爆震传感器与电路诊断的基于 DSP 的发动机爆震检测

(57) 摘要

火花点火发动机所用的爆震检测系统包括爆震传感器,该爆震传感器响应于发动机的振动并且产生爆震信号。第一模块根据爆震信号计算爆震能量,而第二模块根据爆震能量计算爆震强度。第三模块根据爆震强度调节发动机的火花正时。



1. 一种火花点火发动机所用的爆震检测系统,包括:
响应于发动机的振动并且产生爆震信号的爆震传感器;
根据所述爆震信号计算爆震能量的第一模块;
根据所述爆震能量计算爆震强度的第二模块;
根据所述爆震强度调节所述发动机的火花正时的第三模块;以及
窗口模块,所述窗口模块根据所述发动机的曲轴的旋转位置产生窗口信号,其中所述窗口信号显示爆震检测所发生的周期。
2. 根据权利要求1所述的爆震检测系统,还包括用于估算噪声值的噪声模块,其中所述第二模块还根据所述噪声值进一步计算所述爆震强度。
3. 根据权利要求1所述的爆震检测系统,还包括诊断模块,所述诊断模块根据所述爆震能量而选择性地产生爆震传感器故障与爆震电路故障之一。
4. 根据权利要求1所述的爆震检测系统,还包括根据所述爆震信号产生频率信号的快速傅里叶变换(FFT)模块。
5. 根据权利要求4所述的爆震检测系统,还包括根据所述频率信号产生功率信号的功率模块,其中所述爆震能量根据所述功率信号而得出。
6. 根据权利要求1所述的爆震检测系统,其中所述爆震能量进一步根据所述窗口信号来计算。
7. 根据权利要求1所述的爆震检测系统,其中所述第二模块确定所述爆震能量与噪声能量之间的爆震差并将所述爆震强度计算为所述爆震差与爆震强度阈值之差。
8. 根据权利要求1所述的爆震检测系统,其中所述第二模块确定所述爆震能量与噪声能量之间的爆震比率并将所述爆震强度计算为所述爆震比率与爆震强度阈值之差。
9. 根据权利要求1所述的爆震检测系统,其中所述第二模块将所述爆震强度确定为所述爆震能量与能量阈值之差。
10. 一种检测火花点火发动机的发动机爆震的方法,包括:
根据所述发动机的曲轴的旋转位置产生窗口信号,其中所述窗口信号显示爆震检测所发生的周期;
根据所述发动机的振动产生爆震信号;
根据所述爆震信号计算爆震能量;
根据所述爆震能量计算爆震强度;以及
根据所述爆震强度调节所述发动机的火花正时。
11. 根据权利要求10所述的方法,还包括估算噪声值,其中还根据所述噪声值进一步计算所述爆震强度。
12. 根据权利要求10所述的方法,还包括根据所述爆震能量而产生爆震传感器故障与爆震电路故障之一。
13. 根据权利要求10所述的方法,还包括使用快速傅里叶变换(FFT)来根据所述爆震信号产生频率信号。
14. 根据权利要求13所述的方法,还包括根据所述频率信号产生功率信号,其中所述爆震能量根据所述功率信号而得出。
15. 根据权利要求10所述的方法,其中所述爆震能量进一步根据所述窗口信号来计

算。

16. 根据权利要求 10 所述的方法,还包括:

确定所述爆震能量与噪声能量之间的爆震差;以及
将所述爆震强度计算为所述爆震差与爆震强度阈值之差。

17. 根据权利要求 10 所述的方法,还包括:

确定所述爆震能量与噪声能量之间的爆震比率;以及
将所述爆震强度计算为所述爆震比率与爆震强度阈值之差。

18. 根据权利要求 10 所述的方法,还包括将所述爆震强度确定为所述爆震能量与能量阈值之差。

19. 根据权利要求 10 所述的方法,还包括根据基线噪声信号计算基于所述发动机的噪声信号。

20. 根据权利要求 19 所述的方法,还包括根据所述发动机的气缸的点火顺序和所述发动机的噪声的历史数据确定所述基线噪声。

21. 根据权利要求 19 所述的方法,还包括根据所述发动机的当前操作条件更新所述基线噪声。

22. 根据权利要求 19 所述的方法,还包括根据所述爆震能量而产生爆震传感器故障与爆震电路故障之一。

23. 根据权利要求 19 所述的方法,还包括使用快速傅里叶变换 (FFT) 来根据所述爆震信号产生频率信号。

24. 根据权利要求 23 所述的方法,还包括根据所述频率信号产生功率信号,其中所述爆震能量根据所述功率信号而得出。

25. 根据权利要求 19 所述的方法,其中所述爆震能量进一步根据所述窗口信号来计算。

26. 根据权利要求 19 所述的方法,还包括:

确定所述爆震能量与噪声能量之间的爆震差;以及
将所述爆震强度计算为所述爆震差与爆震强度阈值之差。

27. 根据权利要求 19 所述的方法,还包括:

确定所述爆震能量与噪声能量之间的爆震比率;以及
将所述爆震强度计算为所述爆震比率与爆震强度阈值之差。

28. 根据权利要求 19 所述的方法,还包括将所述爆震强度确定为所述爆震能量与能量阈值之差。

包括爆震传感器与电路诊断的基于 DSP 的发动机爆震检测

技术领域

[0001] 本发明涉及发动机爆震检测,更特别涉及包括爆震传感器的爆震检测系统。

背景技术

[0002] 车辆可以包括内燃机,该内燃机产生驱动转矩以便驱动轮子。更具体而言,发动机吸入空气并且将空气与燃料混合以便形成燃烧混合物。燃烧混合物在气缸内受到压缩并且使之燃烧以便驱动可滑动地置于相应气缸内的活塞。活塞可旋转地驱动曲轴以便将驱动转矩传递至传动系统并最终传递至轮子。

[0003] 当发动机不点火时,特定气缸的燃烧混合物就会在不合需要的时间燃烧。更具体而言,气缸内的未燃烧的空气/燃料混合物的温度与压力就超过临界水平并导致气体自燃。这样就导致发动机爆震并产生冲击波,该冲击波使气缸压力快速增加。如果发生持续的重爆震,就可能对活塞、环以及排气阀造成损坏。此外,发动机爆震会引起不合需要的颤动和传动系统振动。

[0004] 发动机控制系统可以包括用于确定何时发动机不点火的非点火检测系统和/或爆震检测系统。按照这种方式,发动机控制系统可以调节发动机的操作以便抑止发动机不点火并且改善发动机性能与车辆驾驶性能。

[0005] 传统的爆震检测系统包括爆震传感器与专用爆震检测芯片或特定用途集成电路(ASIC),以用于处理爆震传感器信号并且计算发动机爆震强度。可使用个别的爆震传感器和爆震 ASIC 来检测来自每个气缸的爆震。爆震 ASIC 通常包括放大器、过滤器、整流器、积分器、A/D 转换器、采样与保持电路和/或其它模拟电路。这种硬件价格昂贵,难以升级与校准并且因制造商的不同而不同。

发明内容

[0006] 相应地,本发明提供了火花点火发动机所用的爆震检测系统。这种爆震检测系统包括爆震传感器,该爆震传感器响应于发动机的振动并且产生爆震信号。第一模块根据爆震信号计算爆震能量,而第二模块根据爆震能量计算爆震强度。第三模块根据爆震强度调节发动机的火花正时。

[0007] 根据另一个特征,爆震检测系统还包括用于估算噪声值的噪声模块。第二模块根据噪声值计算爆震强度。

[0008] 根据另一个特征,爆震检测系统还包括诊断模块,该诊断模块根据爆震能量而选择性地产生爆震传感器故障与爆震电路故障之一。

[0009] 根据其它特征,爆震检测系统还包括根据爆震信号产生频率信号的快速傅里叶变换(FFT)模块。功率模块根据频率信号产生功率信号。爆震能量根据功率信号而得出。

[0010] 根据另一个特征,爆震检测系统还包括根据发动机的曲轴的旋转位置而产生窗口信号的窗口模块。根据所述窗口信号来计算爆震能量。

[0011] 根据另一个特征,第二模块确定爆震能量与噪声能量之间的爆震差并将爆震强度

计算为所述爆震比率与爆震强度阈值之差。

[0012] 根据又一个特征,第二模块确定爆震能量与噪声能量之间的爆震比率并将爆震强度计算为所述爆震比率与爆震强度阈值之差。

[0013] 根据又一个特征,第二模块将爆震强度确定为爆震能量与能量阈值之差。

[0014] 通过阅读下文中提供的详细描述,将会清楚本发明的更多适用领域。应当理解,尽管以下详细描述和特定实例显示了本发明的优选实施例,但是它们仅用于示例说明,而未意欲限制本发明的范围。

附图说明

[0015] 通过阅读详细描述与附图,将会更充分地理解本发明,其中:

[0016] 图 1 为包括根据本发明的基于数字信号处理 (DSP) 的爆震检测系统的示例性发动机的示意图;

[0017] 图 2 为曲线图,其示出了由爆震检测系统的相应传感器所产生的示例性爆震传感器信号和示例性窗口信号;

[0018] 图 3 为根据本发明的执行时域爆震检测的示例性模块的示意图;

[0019] 图 4 为根据本发明的执行频域爆震检测的示例性模块的示意图;

[0020] 图 5 为曲线图,其示出了正常发动机的示例性爆震传感器信号功率谱与相应的示例性带通过滤器 (BPF) 输出功率谱;

[0021] 图 6 为曲线图,其示出了呈现轻度爆震的发动机的示例性爆震传感器信号功率谱与相应的示例性 BPF 输出功率谱;

[0022] 图 7 为曲线图,其示出了呈现中度爆震的发动机的示例性爆震传感器信号功率谱与相应的示例性 BPF 输出功率谱;以及

[0023] 图 8 为曲线图,其示出了呈现重度爆震的发动机的示例性爆震传感器信号功率谱与相应的示例性 BPF 输出功率谱。

具体实施方式

[0024] 对优选实施例的以下描述事实上仅为示例性并且决非用于限制本发明、其应用或用途。为清楚起见,在各图中,将使用相同的参考数字来标示相似的元件。在此处用到时,术语“模块”指的是特定用途集成电路 (ASIC)、电子电路、执行一个或多个软件或固件程序的处理器 (共享、专用或组) 和存储器、组合逻辑电路或提供所述功能的其它适用部件。

[0025] 现在参看图 1,示意性地示出了示例性发动机系统 10,该发动机系统 10 包括发动机 12、进气歧管 14 和排气歧管 16。空气通过节流阀 18 而被吸入进气歧管 14。将空气导入气缸 20 中并使其与气缸中的燃料混合。燃料通过与燃料供应装置 24 相连通的燃料注射器 22 注入气缸 20 中。火花塞 26 引燃空气 / 燃料混合物在其相应的气缸中的燃烧并通过排气歧管 16 将燃烧废气排出气缸 20 和发动机 12。尽管只示出了两个气缸 20,但是可以理解本发明可以通过具有更多或更少气缸 20 的发动机来实施。

[0026] 燃烧过程驱动着可滑动地支承于气缸 20 内的活塞 (未示出),所述活塞又可旋转地驱动着曲轴 27。发动机 12 还包括分别与各气缸 20 相关联的进气阀 28 与排气阀 30。进气阀 28 与排气阀 30 分别调节进入气缸 20 的空气与从气缸 20 排出的燃烧废气。进气凸轮

轴 32 由曲轴 27 可旋转地驱动并且调节进气阀 28 的打开与关闭。尽管并未示出,但是发动机 12 还可以包括排气凸轮轴,其由曲轴 27 可旋转地驱动并且调节排气阀 30 的打开与关闭。

[0027] 控制模块 40 根据本发明的基于 DSP 的爆震检测装置来调节发动机操作。更具体而言,控制模块 40 根据发动机爆震的出现与强度来调节相对于气缸中的活塞位置的火花正时。歧管绝对压力 (MAP) 传感器 42 响应于进气歧管 14 内的压力并根据所述压力产生 MAP 信号,该信号被传递至控制模块 40。发动机速度传感器 44 响应于曲轴 27 的转动并根据所述转动产生曲轴信号,该信号被传递至控制模块 40。类似地,凸轮轴传感器 46 响应于凸轮轴 32 的转动并向控制模块 40 发送凸轮轴信号。控制模块 40 根据曲轴信号和凸轮轴信号而产生窗口信号,如以下更详细所述。

[0028] 爆震传感器 48 响应于气缸的振动并根据所述振动产生爆震信号,该爆震信号被传递至控制模块 40。控制模块 40 对爆震信号进行处理以便使用本发明的基于 DSP 的爆震检测系统来检测发动机爆震情况。尽管只示出了单个爆震传感器 48,但是可以理解可以采用多个爆震传感器 48。例如,在 6 缸或 8 缸式发动机中可以采用两个爆震传感器。

[0029] 现在参看图 2,曲线示出了示例性周期上的示例性爆震信号和示例性窗口信号。窗口信号根据凸轮轴信号和曲轴信号来确定并且通常以阶梯波的形式来提供。窗口信号显示爆震检测所发生的周期。更具体而言,窗口信号的高侧表示特定气缸越过上止点 (TDC) 之前或之后的时间或者需要爆震检测的时间(例如对于示例性发动机而言,在离开 TDC 约 4° 至 TDC 之后约 70° 之间)。例如,在 4 缸式发动机的情况下,第一阶梯波与点火顺序的第一气缸相对应,第二阶梯波与点火顺序的第二气缸相对应,等等。第五阶梯波再与点火顺序的第一气缸相对应并且各阶梯波相应地重复。

[0030] 本发明的基于 DSP 的爆震检测系统根据爆震信号与窗口信号来检测发动机爆震情况。执行以下两种方法之一:基于时域与基于频域。这两种方法不仅进行处理与分析爆震信号的域不同,而且用于检测算法中的信号处理功能不同,如以下部分中所述。对于这两种方法,基于 DSP 的爆震检测系统都包括爆震传感器和电路诊断装置。

[0031] 现在参看图 3,在基于时域的方法中,对爆震信号的所有处理与分析均在时域中进行。执行基于时域 DSP 的爆震检测的示例性模块包括:数字过滤器模块 300(例如:带通过滤波器 (BPF))、增益器模块 302、整流器模块 304、积分器模块 306、保持模块 308、窗口与气缸模块 310、强度模块 312、噪声评估模块 314 以及诊断模块 316。可以实施其它模块,包括但不限于倍增器 320、过滤器 322 以及模数 (A/D) 转换器 324。

[0032] 在多个爆震传感器的情况下,倍增器 320 根据信号输入而发送多个爆震信号 ($KS_1 \dots KS_n$) 之一。信号输入根据将哪一个气缸点火而显示发送哪一个爆震信号。该爆震信号被发送至过滤器 322,该过滤器 322 优选地设置为低通过滤波器。过滤器 322 滤出爆震信号的任何错误、高频成分。A/D 转换器 324 将所过滤的模拟信号转换成数字信号并将数字信号输出至数字过滤器模块 300。

[0033] 数字过滤器模块 300 优选地为 BPF,该 BPF 可以通过使用无限脉冲响应过滤器 (IIR) 或有限脉冲响应过滤器 (FIR) 来实施。IIR 过滤器的行为可以由以下差分方程式来描述:

$$[0034] \quad y = \sum_{n=0}^m b_n x_n(k-n) - \sum_{n=1}^m a_n y_n(k-n)$$

[0035] 其中 y 为滤波器的输出, x 为滤波器的输入 (即爆震信号), m 为过滤级或过滤阀的数量, k 为爆震传感器试样数量 (1、2、3...), 而 a_n 和 b_n 为过滤器系数。 m 个阀的 FIR 滤波器可以由以下差分方程式来表示:

$$[0036] \quad y = \sum_{n=0}^m b_n x_n(k-n)$$

[0037] BPF 的频带根据特定用途而定。在爆震检测的情况下, 示例性的范围为从 4kHz 至 22kHz (即将小于 4kHz 的频率和大于 22kHz 的频率滤出)。频带可以在设计阶段和 / 或校准阶段期间容易地配置。FIR 滤波器包括但是并不限于以下参数: 多个系数 (b_n)、带通频率以及爆震传感器试样的数量 (k)。这些参数的示例性值分别包括 32 个系数、4kHz-22kHz 以及 256 个试样。应当理解, 准确的结果可以利用设计有不同数量的系数、不同的带通频率以及试样数量的滤波器而获得。例如: 可以使用较低数量的试样 (例如: 128 个或以下), 但是可能减少所估算的爆震强度的分辨率。类似地, 可以使用较高数量的试样 (例如: 512 个或以上), 但是较高数量的试样会影响处理速度。

[0038] 增益模块 302 放大来自数字过滤器模块 300 的过滤过的信号并将该放大信号发送至整流器模块 304。绝对或全波整流器模块 304 的特征在于以下方程式:

$$[0039] \quad y_a = |y|$$

[0040] 其中 y_a 为整流器的输出, 而 y 为整流器的输入 (即: BPF 输出) 而 $||$ 为绝对值运算。

[0041] 积分器模块 306 接收来自整流器模块的整流过的爆震信号和来自窗口与气缸模块 310 的窗口信号。积分器模块 306 产生爆震能量信号, 该爆震能量信号由以下示例性方程式确定:

$$[0042] \quad y_o(n) = y_o(n-1) + T * y_a(n)$$

[0043] 其中 $y_o(n)$ 为对应于积分器输入 y_a (即: 整流器模块 304 的输出) 的第 n 个试样的积分器输出, $y_o(n-1)$ 为对应于积分器输入 y_a 的第 $n-1$ 个试样的积分器输出, $y_a(n)$ 为对应于爆震传感器输入的试样 n 的整流器模块 304 的输出, 而 T 为采样周期。可以使用不同的采样频率 (例如: 100000 试样 / 秒与 200000 试样 / 秒)。例如, 当发动机速度处于 6000RPM 以下时, 100000 试样 / 秒的采样频率就足够。然而, 在较高速度下, 较高采样频率将会改进所估算的爆震的分辨率。采样周期根据采样频率的反比或 $T = 1/100,000$ 秒来计算。

[0044] 保持模块 308 接收积分的爆震信号和窗口信号并且为中间爆震信号值提供存储位置。保持模块 308 根据窗口信号而将积分的爆震信号发送至强度模块 312 和诊断模块 316。爆震强度根据在爆震窗口 (例如从示例性发动机的 TDC 之前 4° 至 TDC 之后 40°) 的端点处的积分器的最终值 (即最大值) 来计算。当积分器模块 306 在爆震窗口内对爆震信号进行积分时, 没有爆震强度更新值。爆震强度可以通过使用爆震比率法或爆震差分法来估算。爆震比率 (KR) 按照如下方式计算:

$$[0045] \quad KR = (\text{爆震 } y_o) / (\text{噪声 } y_o);$$

[0046] 其中爆震 y_o 为在爆震窗口端点处的积分器模块输出, 而噪声 y_o 为在噪声窗口端点处的积分器模块输出。

[0047] 爆震强度 (KI) 根据以下方程式来计算：

$$[0048] \quad KI = KR - KI_{THR}$$

[0049] 其中 KI_{THR} 为根据发动机速度与发动机负载而确定的爆震强度阈值。可以预期， KI_{THR} 可以根据根据发动机速度与负载的查表来确定或者可以根据使用发动机速度与负载作为输入的方程式来计算。查表或方程式可以根据由在不同发动机速度与负载下以及发动机正常操作情况（即：无爆震条件下）下的车辆测试所产生的实验数据来生成。

[0050] 爆震比率法需要使用两个爆震窗口或两个不同的数据部分（即两个数据组）来计算噪声（当预计没有爆震时）与爆震信号（包含爆震行为或预计有爆震行为的数据的部分）两者。这两种不同的数据组产生两种不同的积分器输出“爆震 y_o ”和“噪声 y_o ”，其均为在每个数据组端点处的积分器模块 306 的最终值。

[0051] 在爆震差分法中，爆震差 (KD) 按照如下方式计算：

$$[0052] \quad KD = \text{爆震 } y_o - \text{噪声 } y_o$$

[0053] 爆震强度 (KI) 根据以下方程式来计算：

$$[0054] \quad KI = KD - KI_{THR}$$

[0055] 任一种方法都提供了充足的结果，然而，爆震差分法更易于实施。

[0056] 噪声估算模块 314 根据由窗口与气缸模块 310 所产生的气缸信号来确定噪声 y_o 。更具体而言，噪声 y_o 根据基于气缸信号的查表来确定。发动机噪声（噪声 y_o ）查表根据实验数据来设计，所述实验数据通过在不同的发动机速度与负载下进行车辆测试并记录平均积分器输出而得出。优选地，只使用由正常发动机操作（即：无爆震行为）得到的数据来估算噪声。这种发动机噪声被保存为基线发动机噪声并且可以在每个发动机循环中更新以便将瞬态与系统性能变化考虑在内。基于 DSP 的爆震检测系统使用一个爆震窗口来收集两组数据（即用于噪声估算 / 更新的数据和用于爆震信号计算的数据）。

[0057] 强度模块 312 产生由控制模块 40 用来调节发动机操作的输出或爆震强度信号。更具体而言，控制模块 40 根据输出信号调节发动机火花以便抑止发动机爆震。

[0058] 诊断模块 316 监控基于 DSP 的爆震检测系统的操作并且产生传感器诊断信号 (SD) 与电路诊断信号 (CD) 以便检查爆震电路与爆震传感器的电力或接地短路以及断路故障。电力或接地短路以及断路将会导致积分器模块输出低于或高于正常的爆震传感器信号范围。因此，诊断模块 316 就使用来自保持模块的输出（即延迟的积分器输出）、原爆震传感器信号（即数字过滤器之前）、来自噪声估算模块的平均噪声、爆震强度（即输出信号）以及气缸标识（即气缸信号）来确定爆震传感器信号是否落入正常范围内并且在未落入正常范围的情况下诊断故障。

[0059] 接地短路导致积分器输出读数低于正常范围。在各发动机操作条件下，爆震传感器输出平均信号，即使没有发动机爆震的情况下也是如此。这种平均爆震传感器信号（即噪声）用于根据以下逻辑来检测故障：

[0060] 如果 ($KS_{CurrentCalculation} < KS_{THRLOW}$)

[0061] 那么爆震电路和 / 或爆震传感器 = 故障

[0062] 否则

[0063] 爆震电路和 / 或爆震传感器 = 通过

[0064] 其中 $KS_{CurrentCalculation}$ 为来自用于爆震传感器诊断的试样和保持模块 308 的电流输

出,或者为用于爆震电路诊断的噪声估算模块 316 的电流输出,而 KS_{THRLow} 为较低阈值,其根据实验获得并且可在发动机的整个寿命期间更新。

[0065] 电力短路导致爆震传感器信号高于正常范围。诊断块使用来自保持模块的输入、 KS_{ndIG} 、平均噪声与输出信号(即爆震强度)以及 A/D 转换器信号(KS_{ndIG})以便检测电力短路。诊断模块采用以下逻辑来检测电力短路:

[0066] 如果((积分器输出 $> KS_{\text{THRHl}}$) 并且 ($KS_{\text{ndIG}} > KS_{\text{THRHlndIG}}$))

[0067] 那么爆震电路和 / 或爆震传感器 = 故障

[0068] 否则

[0069] 爆震电路和 / 或爆震传感器 = 通过

[0070] 其中 KS_{THRHl} 和 $KS_{\text{THRHlndIG}}$ 根据发动机操作条件来确定。更具体而言, KS_{THRHl} 和 $KS_{\text{THRHlndIG}}$ 根据发动机速度与质量空气流(MAF)通过查表来确定。

[0071] 由于数字过滤器模块 300 去除了恒定或低频成分,所以爆震传感器或爆震电路可能具有电力短路(即由过滤器去除的恒定高电压)并且积分器的输出可能低于 KS_{THRHl} 。然而,由于诊断模块 316 还接收 KS_{ndIG} 以及来自强度模块 312 的输出信号,所以就可以检测到电力短路故障。诊断模块 316 使用来自基于 DSP 的爆震检测系统的不同部分的信息以便成功地辨别爆震电路或爆震传感器的正常操作与故障操作。

[0072] 如果检测到故障,在多个爆震传感器的情况下,诊断模块 316 就确定在读取每个传感器时是否存在故障。如果在读取每个传感器时存在故障,因为极不可能每个传感器都呈现相同的故障,所以诊断模块 316 就将该故障分类为“电路故障”。如果在只读取一个爆震传感器时检测到故障,那么诊断模块 316 就将该故障分类为特定传感器故障。

[0073] 现在参看图 4,示出了根据本发明的执行基于频域 DSP 的爆震检测控制的示例性模块。示例性模块包括数字过滤器模块、增益器 402、缓冲器模块 404、快速傅立叶变换(FFT)模块 406、动力模块 408、能量模块 410、强度模块 412、噪声模块 414、诊断模块 416 以及窗口与气缸模块 418。所述模块还包括倍增器 420、过滤器 422 以及 A/D 转换器 424,如以下更详细所述。

[0074] 数字过滤器模块 400 可以实施为使用 IIR 或 FIR 过滤器的 BPF,如以上更详细所述。所过滤的爆震传感器信号的试样在缓冲器模块 404 中采集以便形成给定维数的向量(例如:N 维向量)。缓冲器模块 404 的输出可以描述如下:

[0075] $y_b = [y_0 \ y_1 \ \dots \ y_N]$

[0076] 其中 y_b 为缓冲器输出, $y_0 y_1 \dots y_N$ 为 BPF 输出的试样,而 N 为试样的数量。应当理解,尽管 N 优选地根据 2 的幂数(例如:64、128、256、512、1023 等)确定,但是也可以使用任意数量。缓冲器模块 404 的输出为 N 维向量,该 N 维向量由所过滤的爆震传感器信号的试样形成。

[0077] FFT 模块 406 在缓冲器模块 404 的输出处获取 N 维向量并且将其转换成频域复数偶。FFT 功能可以由以下方程式来描述:

[0078] $Y_f = \text{FFT}(y_b)$

[0079] 其中 Y_f 为 FFT 模块 406 的输出,而 y_b 为 FFT 模块输入。 Y_f 与 y_b 两者均为向量,然而 Y_f 为复数向量并且根据以下方程式得出:

$$[0080] \quad Y_f = \sum_{i=1}^N y_b(i) \omega_N^{(i-1)(k-1)}$$

[0081] 其中 $\omega_N = e^{(-2\pi j)/N}$, N 为缓冲器中试样的数量, k 为频率成分的数量, 而 $j = \sqrt{-1}$ 为复算子。

[0082] Y_f 向量的每个成分均为一对实数与虚数。这些复数偶可以通过以下公式来描述：

$$[0083] \quad \text{Re } Y_f[k] = \sum_{i=1}^N y_b(i) \cos(2\pi ki / N)$$

$$[0084] \quad \text{Im } Y_f[k] = -\sum_{i=1}^N y_b(i) \sin(2\pi ki / N)$$

[0085] 其中 $\text{Re } Y_f[k]$ 与 $\text{Im } Y_f[k]$ 为 Y_f 向量的实部与虚部。

[0086] 动力模块 408 估算功率谱, 其为每个频率成分的功率的测量值。 Y_f 向量的每个成分的功率按照如下方式计算：

$$[0087] \quad PY_f = Y_f * \text{conj}(Y_f) / N$$

[0088] 其中 PY_f 为 Y_f 的功率谱, Y_f 为 FFT 模块 406 的输出, 而 $\text{conj}(Y_f)$ 为 Y_f 的复共轭。复数 $(a+jb)$ 的复共轭定义为 $(a-jb)$ 。

[0089] 尽管示出了数字过滤器模块 400, 但是可以预期基于频域 DSP 的爆震检测系统并非必须具有数字过滤器模块。如果使用数字过滤器模块 400 (例如 :BPF), 过滤器将会阻断处于特定频率范围 (例如 :4kHz 至 20kHz) 以下或以上的频率成分。因此, 对于那些成分, 爆震信号的功率谱将会显示零功率。然而, 如果不使用数字过滤器模块 400, 则处于特定频率范围以下或以上的频率成分将会在功率谱中显示。就是说, 这些成分的功率不再为零。这些附加的频率成分将会增加更多的数据点, 但是还将会增加更多的噪声。数字过滤器模块 400 用于排除不合需要的噪声, 但是在这样做的过程中, 其还可能也删除了一些有用的信息。

[0090] 如以下对于图 5 至 8 的更详细地讨论, 当发动机爆震强度增加时, 爆震信号频率成分的功率增加。因此, 通过确定这些成分的功率, 可以估算发动机爆震强度。此外, 由于爆震信号的能量为所有其单个频率成分的功率的积分 (即离散信号总和), 所以可以通过估算使信号在特定频率范围 (例如 :4kHz 至 20kHz) 具有的能量来确定发动机爆震强度。

[0091] 在频域法中, 爆震强度可以根据能量计算、选择频率 (例如在约 6kHz 处与约 15kHz 处) 的功率计算以及爆震信号或爆震信号的一部分的能量和 / 或功率计算中的至少一种方法来进行计算。例如, 爆震信号的能量 (E) 通过对功率谱积分 (即对每个频率成分的功率求和) 而获得。于是, KI 根据以下方程式来确定：

$$[0092] \quad KI = E - E_{\text{THR}}$$

[0093] 其中 E_{THR} 根据发动机速度与发动机负载通过查表来确定。该查表通过正常发动机操作 (即 :无爆震) 情况下的车辆测试而根据实验获得。E 在给定的频率范围内进行计算 (例如 4kHz 至 20kHz)。

[0094] 频域中的故障检测类似于如上所述的时域中的故障检测。然而, 频域中的故障检测比时域中更容易且更可靠。这是因为当传感器或者电路中没有故障时, 爆震信号的功率谱显著不同。因此, 除了信号水平或总能量之外, 可以比较不同频率成分之间的功率以便检测接地短路或电力短路。例如, 如果信号的总能量或其成分的功率低于给定较低阈值

(E_{THRL0}) 或者高于给定较高阈值 (E_{THRH1}), 则在爆震传感器和 / 或爆震电路中存在故障。

[0095] 现在参看图 5 至 8, 分别示出了正常发动机操作条件 (即没有爆震)、轻度爆震、中度爆震和重度爆震情况下的示例性爆震传感器信号功率谱与相应的示例性带通过滤波器 (BPF) 输出功率谱。如所示, 功率谱随着爆震强度增大而增大。

[0096] 基于时域和频域 DSP 的爆震检测系统提供了类似的结果。根据 Parseval 关系, 信号的总能量可通过计算每单位时间的能量并在全部时间上进行积分 (即使用绝对值和积分器方块) 或者通过计算每单位频率的能量并在所有频率上进行积分 (即对离散的信号进行求和) 而确定。Parseval 关系定义如下:

$$[0097] \quad \int_{-\infty}^{+\infty} |y_a|^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} |Y_f(jw)|^2 dw$$

[0098] 其中 $|y_a|$ 为在 BPF 输出处的信号的绝对值, $w = 2\pi f$, 其中 f 为信号成分的频率 (例如 4kHz 至 20kHz) 而 $|Y_f(jw)|^2$ 为从爆震信号的功率谱获得的信号频率成分的功率。公式的左侧为时域中的能量的计算, 而右侧为频域中的能量的计算。

[0099] 根据以上描述, 本发明所属领域的普通技术人员现在能够理解, 本发明的广义思想能够按照各种形式实现。因此, 尽管以上结合其特定实例描述了本发明, 但本发明的真正范围不应当被限制于此, 因为在研究了附图、说明书和以下权利要求之后, 本发明所属领域的普通技术人员将会清楚其它改型。

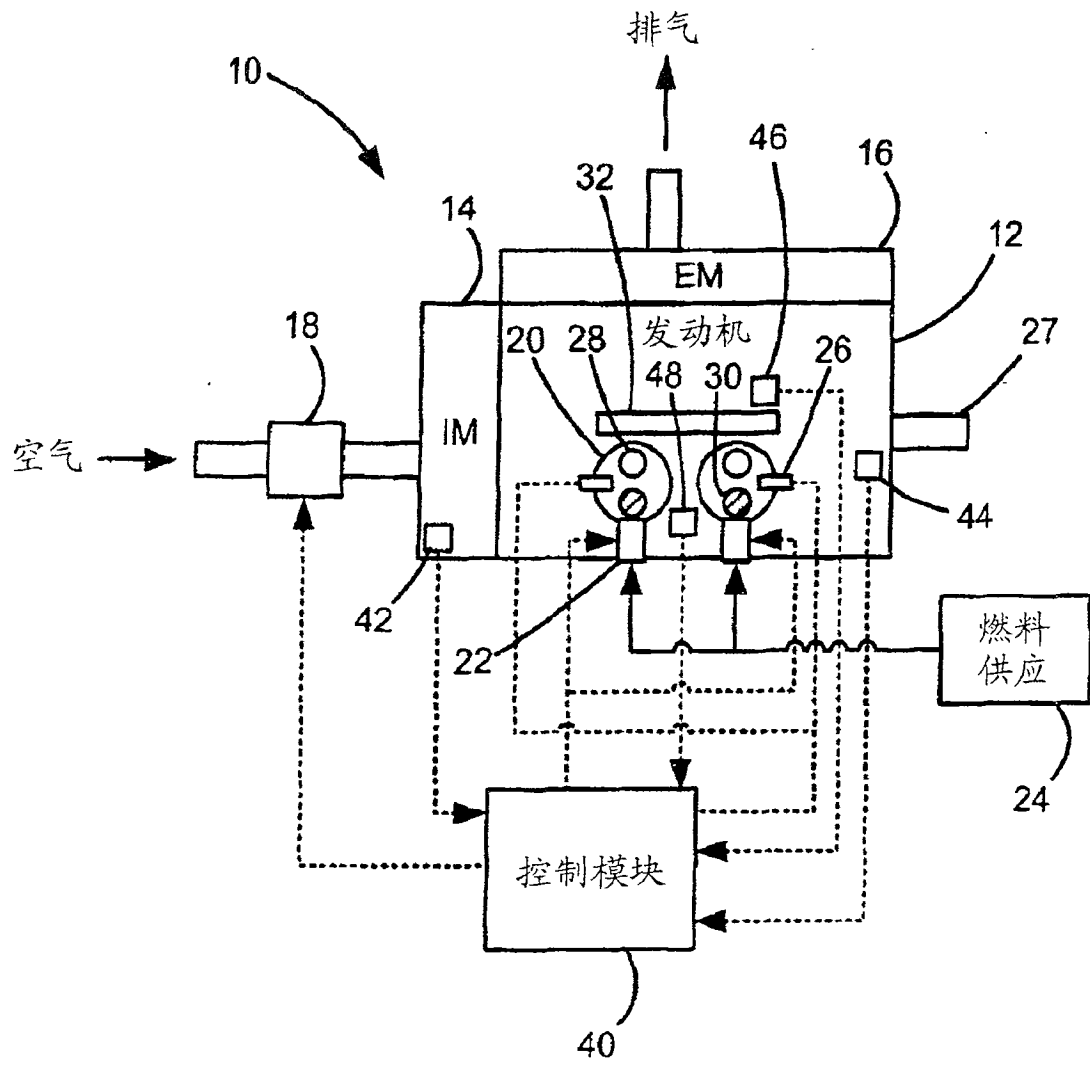


图 1

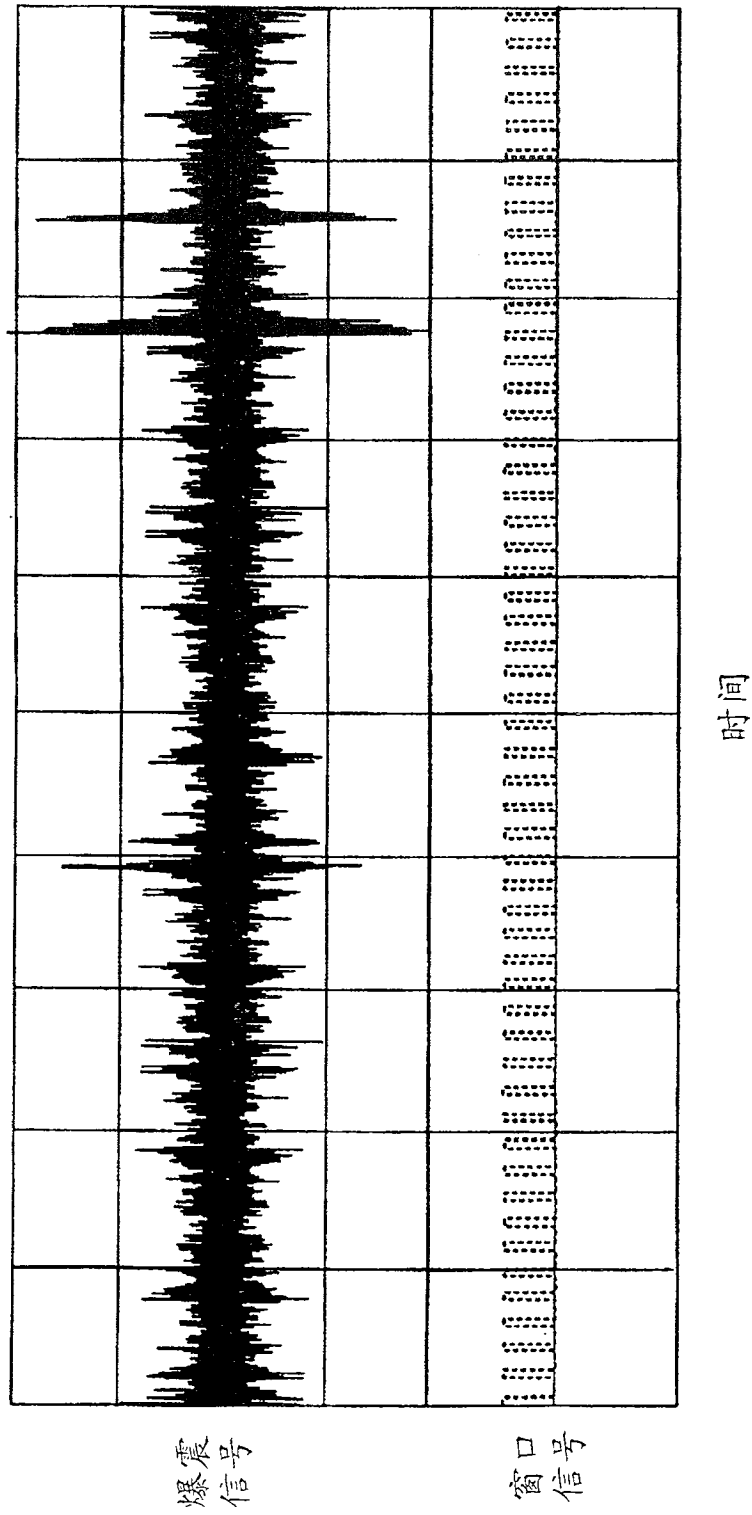


图 2

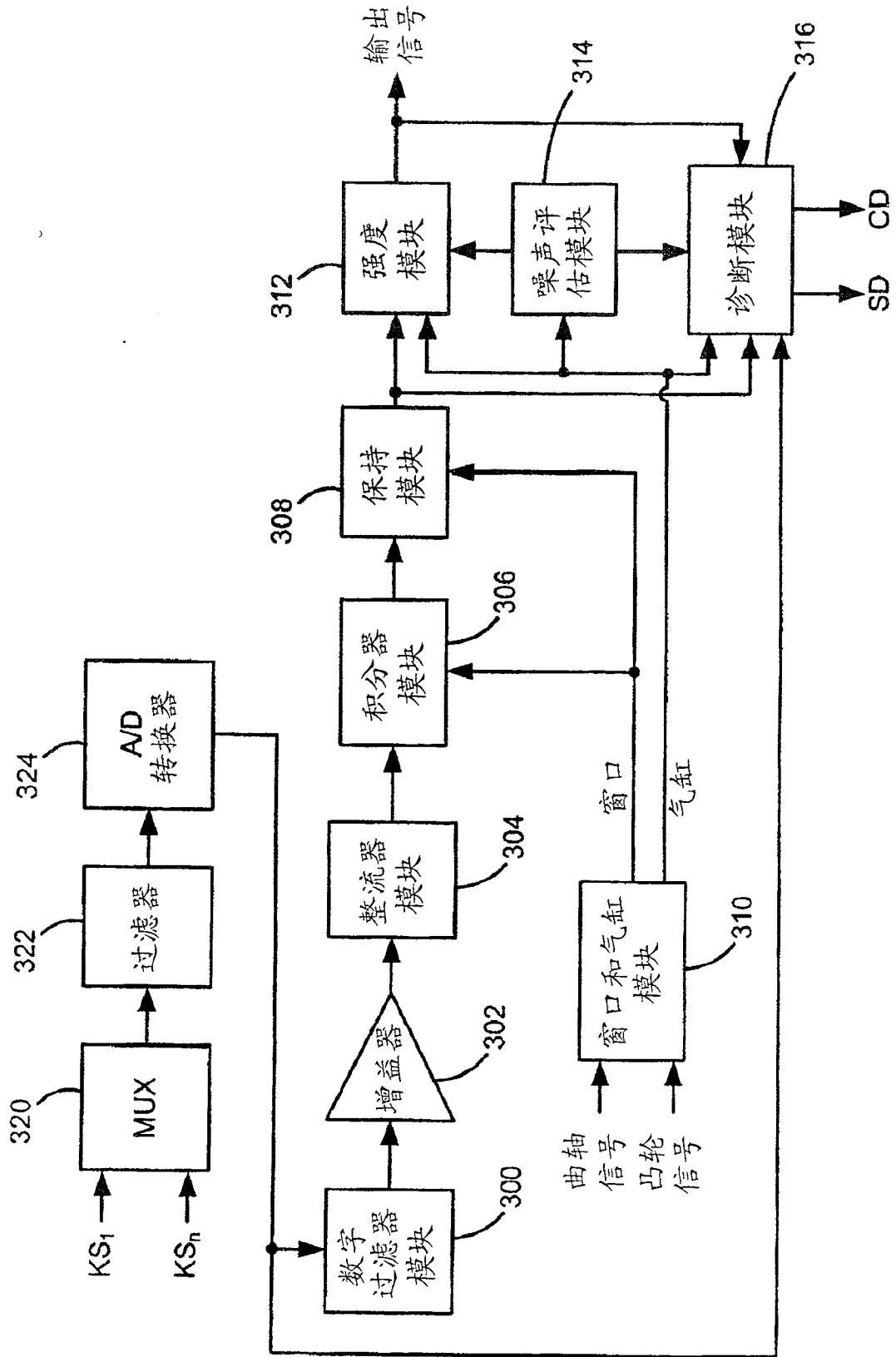


图 3

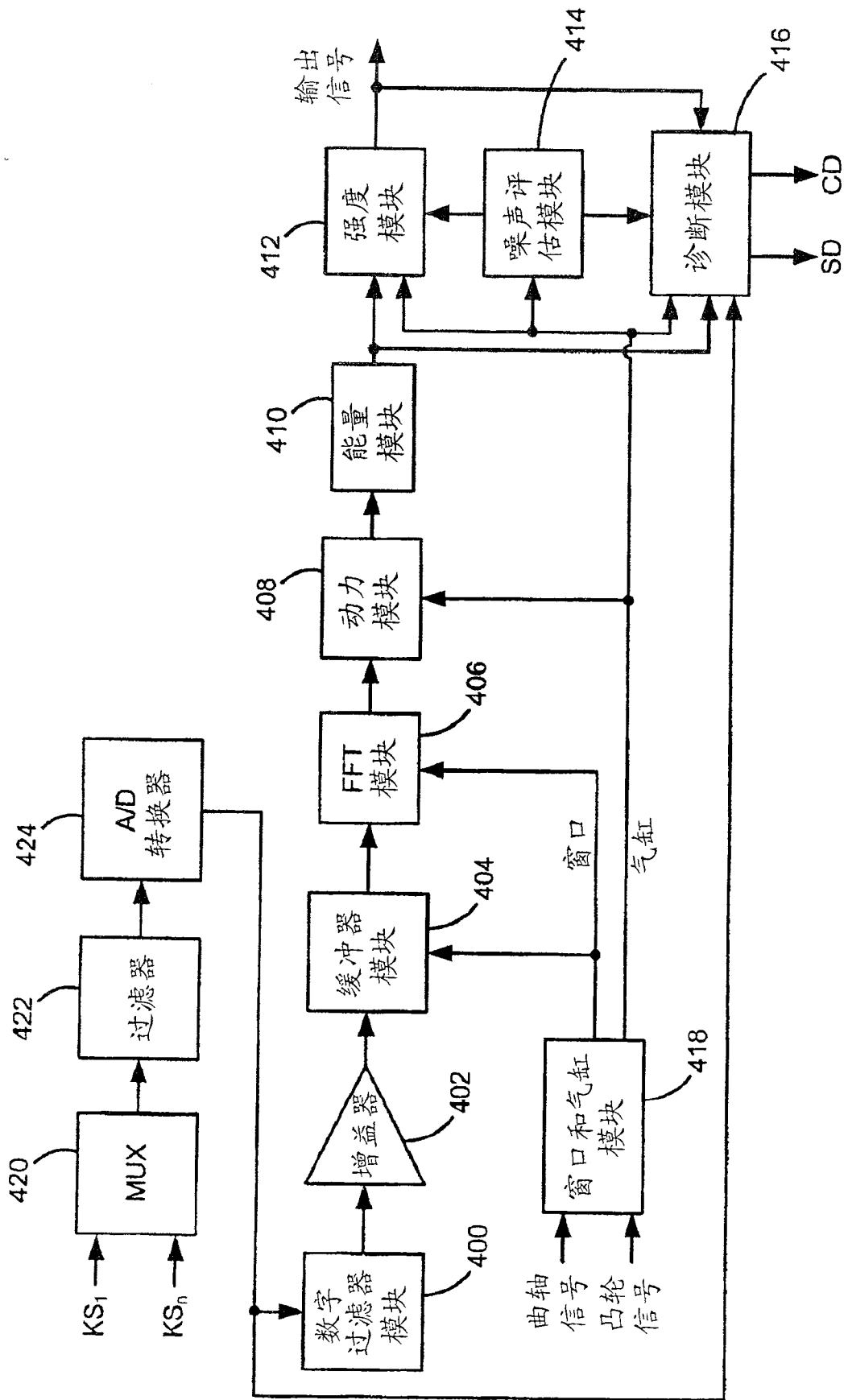


图 4

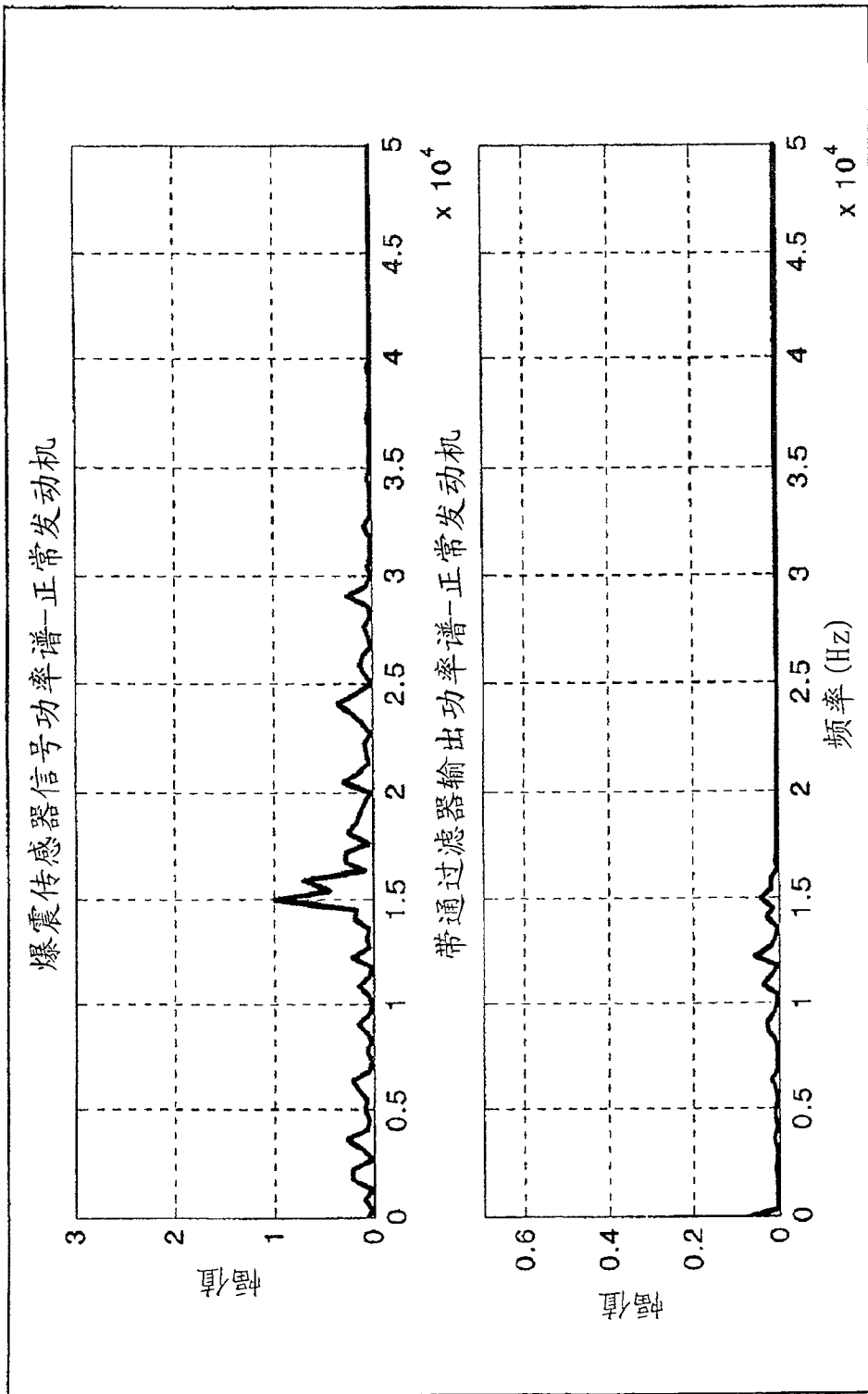


图 5

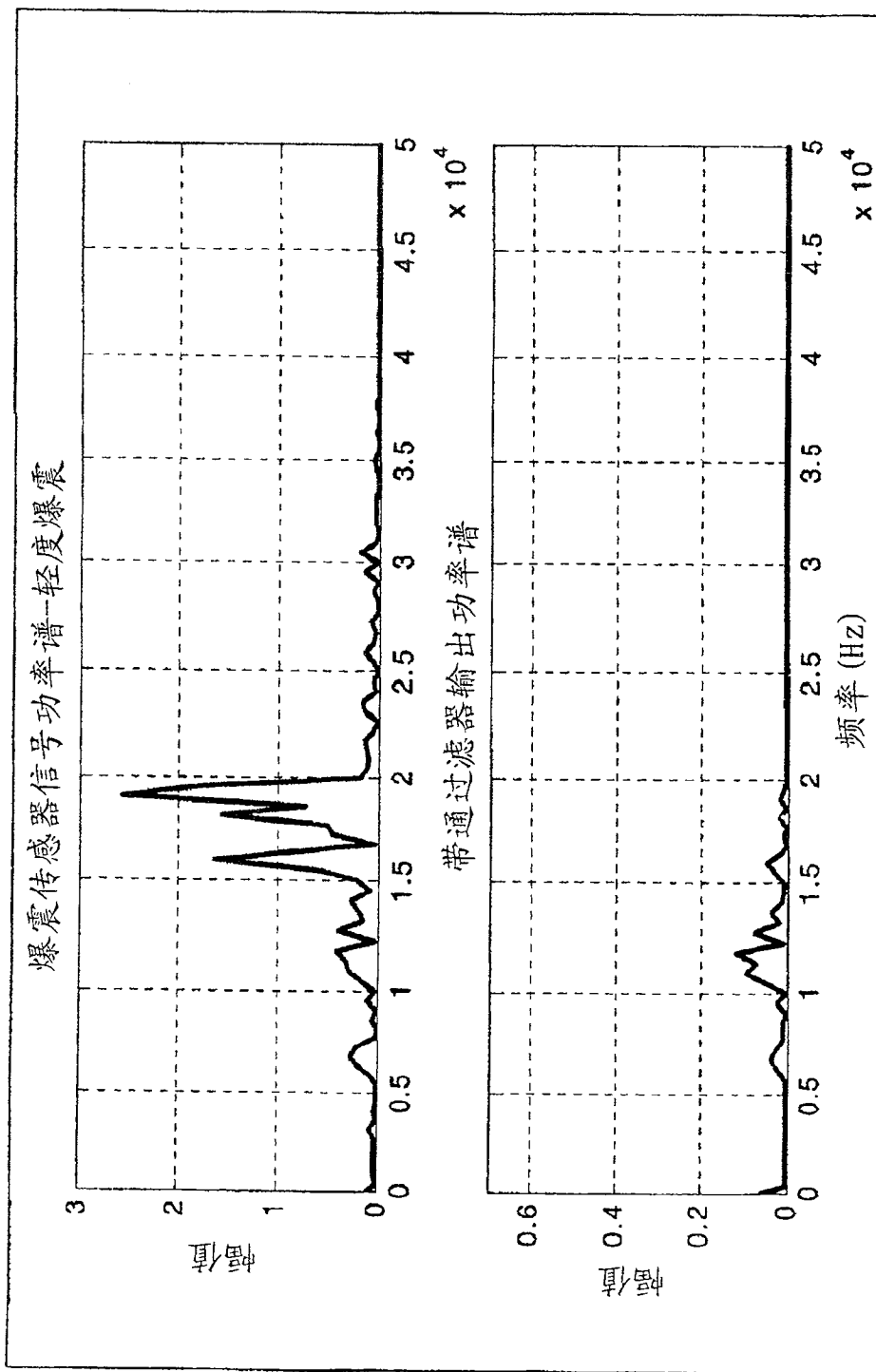


图 6

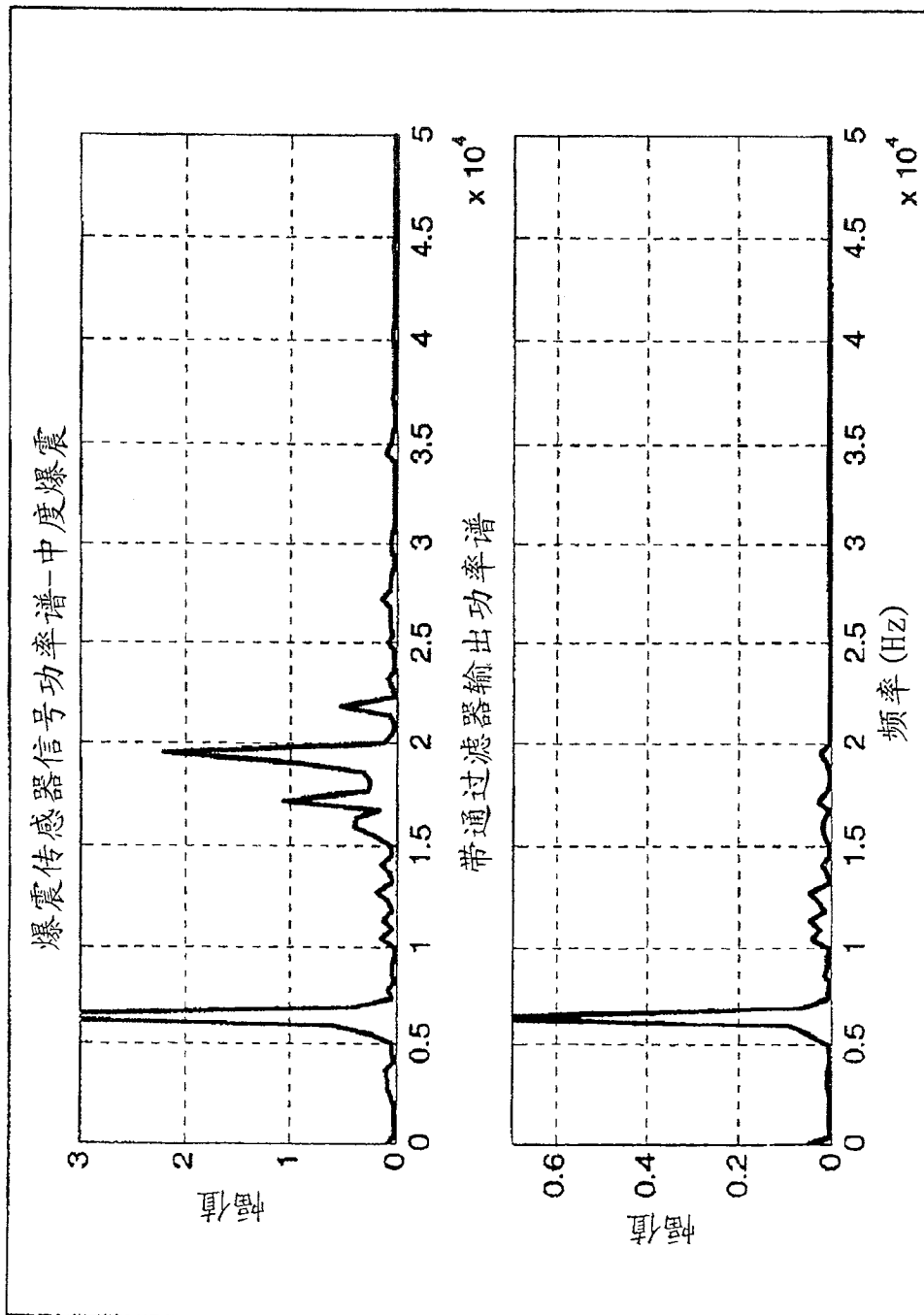


图 7

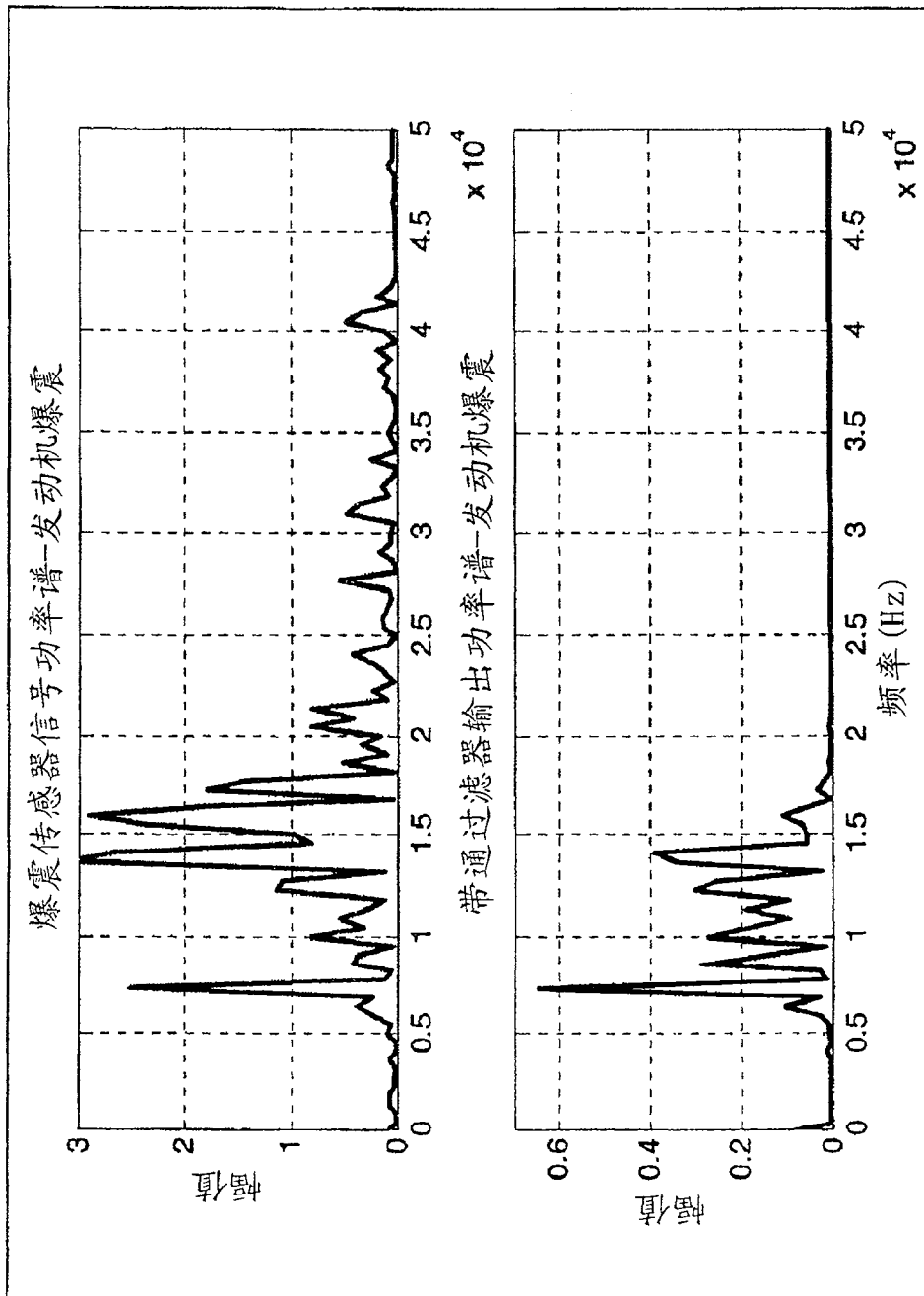


图 8