(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 101379698 B
(45)授权公告日 2012.04.18

(21)申请号 200780005026.3

(22)申请日 2007.02.07

(30)优先权数据
60/771,146 2006.02.07 US

(85)PCT申请进入国家阶段日
2008.08.07

(86)PCT申请的申请数据
PCT/US2007/061769 2007.02.07

(87)PCT申请的公布数据
WO2007/112156 EN 2007.10.04

(73)专利权人 D2音频有限公司
地址 美国得克萨斯州

(72)发明人 钱连玮 迈克尔·A·考思特
彼得·G·克雷文 杰克·B·安德森

(74)专利代理机构 北京安信方达知识产权代理有限公司 11262
代理人 王漪 郑霞

(51)Int.Cl.
H03F 3/38(2006.01)

(56)对比文件
CN 1653683 A,2005.08.10, 全文.
CN 1494762 A,2004.05.05, 全文.
US 2003147168 A1,2003.08.07, 全文.

审查员 梁韬

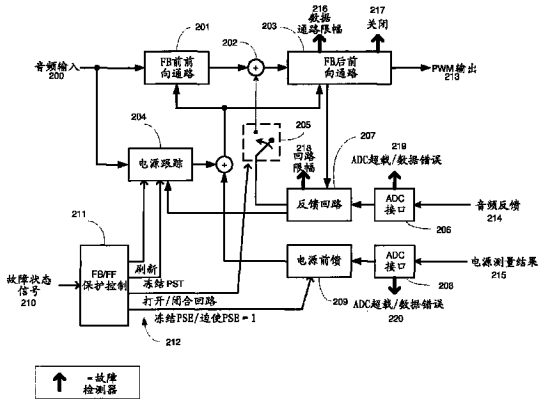
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 3 页

(54)发明名称

用于提高数字放大器中的反馈和/或前馈子系统的稳定性的系统和方法

(57)摘要

用于提高数字放大器中的反馈及/或前馈子系统的稳定性的系统和方法。一实施方式包括数字脉宽调制(PWM)控制器。控制器包括用于接收数字音频输入信号的输入且控制器被配置成基于输入信号在输出处产生PWM输出信号。控制器还具有用于接收例如反馈信号和电源前馈信号的外部音频校正信号的控制输入。控制器具有用于处理接收的外部控制信号并基于这些信号修正输入信号的校正电路。故障检测器在校正电路内不同位置监控故障状态,而保护控制单元从故障检测器接收故障信号并响应于故障信号修正控制器的操作。



CN 101379698 B

1. 一种用于提高数字放大器中的前馈和 / 或反馈子系统的稳定性的系统，所述系统包括：

数字脉宽调制 PWM 控制器；

其中所述控制器包括

第一输入，其配置成接收数字音频输入信号，

第一输出，其配置成基于所述数字音频输入信号来提供脉宽调制输出信号，

一个或更多控制输入，其配置成接收来自所述控制器外部的相应的源的音频校正信号，

校正电路，其配置成基于所述音频校正信号来修正所述数字音频输入信号，

一个或更多故障检测器，其配置成监控已接收的所述音频校正信号以识别相应的故障状态，以及

保护控制单元，其配置成从所述故障检测器接收指示所述故障状态的故障信号并响应于所述故障信号修正所述控制器的操作。

2. 如权利要求 1 所述的系统，其中所述控制器在单个集成电路芯片中实现。

3. 如权利要求 2 所述的系统，其进一步包括配置成从所述控制器接收所述脉宽调制输出信号并产生模拟音频输出信号的输出级。

4. 如权利要求 3 所述的系统，其进一步包括配置成数字化所述模拟音频输出信号并向所述控制器的所述控制输入中的一个控制输入提供得到的被数字化的音频输出信号的模数转换器 ADC，其中所述校正电路包括配置成基于所述被数字化的音频输出信号来修正所述数字音频输入信号的反馈电路。

5. 如权利要求 4 所述的系统，其进一步包括配置成在所述模数转换器数字化所述模拟音频输出信号之前滤波所述模拟音频输出信号的滤波器。

6. 如权利要求 4 所述的系统，其中所述反馈电路包括配置成接收所述数字音频输入信号和所述被数字化的音频输出信号并产生电源估计值的电源跟踪单元，其中所述控制器配置成基于所述电源估计值修正所述数字音频输入信号。

7. 如权利要求 6 所述的系统，其进一步包括配置成在所述模数转换器数字化所述模拟音频输出信号之前滤波所述模拟音频输出信号的滤波器。

8. 如权利要求 1 所述的系统，其进一步包括所述控制器外部的电源和电源测量单元以及模数转换器 ADC，其中所述电源测量单元配置成向所述模数转换器提供所述电源的测量结果，其中所述模数转换器配置成数字化所述电源的测量结果并向所述控制器的所述控制输入中的一个控制输入提供得到的电源测量结果，其中所述校正电路包括配置成基于被数字化的电源测量结果修正所述数字音频输入信号的电源前馈电路。

9. 如权利要求 1 所述的系统，其中所述保护控制单元包括数字信号处理器 DSP，所述数字信号处理器是可编程的以使所述数字信号处理器能够响应于所述故障信号来修正所述控制器的操作。

10. 如权利要求 1 所述的系统，其中所述故障检测器包括模数转换器 ADC 超载检测器、模数转换器数据错误检测器、反馈回路限幅检测器、前向数据通路限幅检测器，和调制器关闭检测器。

11. 如权利要求 1 所述的系统，其中所述保护控制单元配置成通过采取从由下述项组

成的组中选择的处理来修正所述控制器的操作：打开反馈回路、闭合所述反馈回路、斜升所述反馈回路、刷新电源跟踪单元、冻结由所述电源跟踪单元产生的电源估计值。

12. 一种用于提高数字放大器中前馈和 / 或反馈子系统的稳定性的方法，所述方法在所述数字放大器的数字脉宽调制 PWM 控制器中实现，所述方法包括以下步骤：

接收数字音频输入信号；

基于所述数字音频输入信号产生脉宽调制输出信号；

接收一个或更多数字音频校正信号；

基于所述数字音频校正信号修正所述数字音频输入信号；

监控一个或多个已接收的数字音频校正信号以检测一个或更多故障状态；以及

响应于检测所述故障状态来修正所述控制器的操作。

13. 如权利要求 12 所述的方法，其中如权利要求 1 所述的所有步骤都在单个集成电路芯片中执行。

14. 如权利要求 13 所述的方法，其进一步包括基于所述脉宽调制输出信号来产生模拟音频输出信号。

15. 如权利要求 14 所述的方法，其进一步包括：数字化所述模拟音频输出信号以产生所述数字音频校正信号中的一个数字音频校正信号。

16. 如权利要求 15 所述的方法，其进一步包括在数字化所述模拟音频输出信号之前滤波所述模拟音频输出信号。

17. 如权利要求 15 所述的方法，其进一步包括基于所述数字音频输入信号和被数字化的音频输出信号之间的差值产生电源估计值，以及基于所述电源估计值来修正所述数字音频输入信号。

18. 如权利要求 17 所述的方法，其进一步包括在模数转换器数字化所述模拟音频输出信号之前滤波所述模拟音频输出信号。

19. 如权利要求 12 所述的方法，其进一步包括将被数字化的电源的测量结果提供给所述数字音频校正信号中的一个数字音频校正信号，并基于所述被数字化的电源的测量结果修正所述数字音频输入信号。

20. 如权利要求 12 所述的方法，其中响应检测所述故障状态来修正所述控制器的操作的步骤包括响应于检测所述故障状态中的相应的故障状态来采取一个或更多可编程的处理。

21. 如权利要求 12 所述的方法，其中检测故障状态的步骤包括检测模数转换器 ADC 超载、检测模数转换器数据错误、检测反馈回路限幅、检测前向数据通路限幅，和检测调制器关闭。

22. 如权利要求 12 所述的方法，其中修正所述控制器的操作的步骤包括采取从由下述项组成的组中选择的处理：打开反馈回路、闭合所述反馈回路、斜升所述反馈回路、刷新电源跟踪单元、冻结由所述电源跟踪单元产生的电源估计值。

用于提高数字放大器中的反馈和/或前馈子系统的稳定性的系统和方法

[0001] 发明背景

发明领域

[0002] 本发明一般涉及数字放大器，并且更特别地涉及用于提高数字放大器中的反馈及/或前馈子系统的稳定性的系统和方法。

[0003] 本发明要求2006年2月7日提交的美国60/771,146号临时专利申请的权益，该专利申请作为在此提出的参考文献全部并入。

[0004] 相关技术

[0005] 在全数字脉宽调制(PWM)放大器系统中，数字输入信号由数字组件处理以产生PWM信号，PWM信号随即用来驱动输出级。输出级产生模拟信号，该模拟信号被低通滤波且用来驱动负载，例如扬声器。

[0006] 数字PWM放大器系统通常包括反馈以减少输出中的噪声和失真。系统也可包括基于不同于放大器的输出的信息的前馈校正以减少噪声和失真。在具有数字反馈(使用ADC)的数字PWM放大器中，反馈回路和前馈通路的部分，尤其是高压输出级和回路/通路的模拟部分，包括模数转换器(ADC)，将处于数字PWM器件之外。因为外部的回路/通路处于数字PWM器件之外，所以并不始终保证在PWM器件设计的参数内工作。这可能是设计错误、用户错误、损坏的组件等的结果。

[0007] 在传统的放大器中，整个放大系统是集成的，因而整个反馈回路的设计是已知的，并且反馈回路可以简单地设计为稳定的。当放大器的数字部分被独立于放大器的模拟部分(例如输出级和反馈通路的模拟部分)设计时，这些模拟组件的设计是不可知的，且数字设计不能为模拟组件假定任何具体的规范或运转状态。反而对数字设计来说，为了保持反馈系统的稳定性，具有处理模拟组件的任何可能的运转状态的能力是必要的。

[0008] 因此为了对抗运转状态不端的反馈和前馈，而期望除了可向设计中加入任何过电流保护机构、直通(shoot-through)保护机构及过热保护机构外，还使反馈/前馈(FB/FF)保护成为系统的组成部分。更进一步地期望FB/FF保护不但提供免于FB/FF中的错误或故障的保护，而且提供在正常的工作状态与破坏性的状态之间缓慢的转变。这样的FB/FF保护的主要目的之一将是在非理想的状态下，尽量长时间地保持PWM系统的稳定性且保持音频放大器运转。FB/FF保护的次要的目的是通过与其他保护机构并行工作来帮助防止对放大器和扬声器的损害。

[0009] 发明概述

[0010] 可由本发明的不同的实施方式来解决一个或多个上面概括的问题。广而言之，本发明包括用于提高数字放大器中的反馈及/或前馈子系统的稳定性的系统和方法。在一个实施方式中，具有反馈的全数字PWM放大器由开环前馈通路、音频反馈通路、电源跟踪以及电源前馈组成。放大器具有一系列的置于系统中的故障/错误检测器。放大器还具有将监控并保持反馈系统的稳定性的内置的FB/FF保护。FB/FF保护系统能够在不同的破坏性的

状态下，维护 (assert) 不同的保护功能以保持系统稳定。在此实施方式中，保护功能包括打开反馈回路、冻结电源跟踪、迫使电源估计值为一，以及冻结电源估计值。FB/FF 保护系统可使系统在开环和闭环状态间逐渐地转变以保持稳定性。

[0011] 另一个实施方式包括具有数字脉宽调制 (PWM) 控制器的系统。控制器包括用于接收数字音频输入信号的输入，并被配置成在输出产生基于输入信号的 PWM 输出信号。控制器还具有用于接收例如反馈信号和电源前馈信号的外部音频校正信号的控制输入。控制器具有用于处理接收的外部控制信号并基于这些信号修正输入信号的校正电路。故障检测器在校正电路内不同的位置监控故障状态，保护控制单元从故障检测器接收故障信号并响应于这些故障信号来修正控制器的操作。

[0012] 在一个实施方式中，控制器在单个集成电路芯片中实现。控制器可耦合到输出级以根据从控制器接收的 PWM 输出信号来产生模拟音频输出信号。可提供模数转换器以数字化模拟音频输出信号（可能在滤波后）并将得到的信号作为反馈提供给控制器，所述得到的信号随即被反馈电路处理并用来修正输入信号。被数字化的音频输出信号也可连同输入音频信号一起提供给电源跟踪单元，所述电源跟踪单元可随即产生电源估计值并基于此估计值修正输入信号。在一个实施方式中，将电源电压的被数字化的（且可能是被滤波的）测量结果提供给电源前馈单元，所述电源前馈单元随即产生电源估计值并基于此估计值修正输入信号。控制器可以是可编程的。在一个实施方式中，故障检测器包括模数转换器 (ADC) 超载检测器、ADC 数据错误检测器、反馈回路限幅检测器、前向数据通路限幅检测器，以及调制器关闭检测器。在一个实施方式中，对检测到的故障状态的响应可包括 :打开反馈回路、闭合反馈回路、斜升 (ramp up) 反馈回路、刷新 (flush) 电源跟踪单元，及冻结由电源跟踪单元产生的电源估计值。

[0013] 又一个实施方式包括一种在数字脉宽调制 (PWM) 控制器中实现的方法。该方法包括接收数字音频输入信号并产生相应的 PWM 输出信号，接收数字音频校正信号并基于这些信号修正输入信号，在控制器中检测故障状态，以及响应检测故障状态而修正控制器的操作。由控制器输出的 PWM 输出信号可用来产生模拟输出信号。音频校正信号可能是必要时被滤波的反馈或前馈信号，这些信号被数字化并提供给控制器。反馈信号可与输入信号比较以产生可用来修正该输入信号的差值。音频校正信号中的一个信号可以是能被处理并用来修正输入的音频信号的前馈电源测量结果。检测故障信号可包括例如检测模数转换器 (ADC) 超载、检测 ADC 数据错误、检测反馈回路限幅、检测前向数据通路限幅，或检测调制器关闭。控制器的修正操作可包括例如打开反馈回路、闭合反馈回路、斜升反馈回路、刷新电源跟踪单元，或冻结由电源跟踪单元产生的电源估计值。

[0014] 许多其他的实施方式和变化形式同样是可能的。

[0015] 附图的简要说明

[0016] 通过阅读下面详细的说明并参考附图，本发明的其他目的和优点将变得显而易见。

[0017] 图 1 是示出根据一个实施方式的具有音频反馈和电源前馈校正的数字 PWM 放大系统的不同部分的框图；

[0018] 图 2 是示出具有反馈和前馈保护的示例性的数字 PWM 控制器的结构的原理框图；

[0019] 图 3 是示出根据一个实施方式的反馈 / 前馈保护控制单元的结构的原理框图。

[0020] 尽管本发明服从于各种更改和可供选择的形式，但是其中具体的实施方式以实施例的方式在附图和随附的详细说明中显示出。然而应该理解，附图和详细说明并不旨在将本发明限于所描述的特定的实施方式。相反本公开旨在包含落在由所附权利要求界定的本发明范围内的所有的更改、等价形式和可供选择的形式。

[0021] 详细说明

[0022] 下面描述了本发明的一个或多个实施方式。应该注意到下面描述的这些以及任何其他实施方式是示例性的，旨在说明本发明而不是限制本发明。

[0023] 如在此描述的，本发明的各种实施方式包括用于提高数字放大器中的反馈及 / 或前馈子系统的稳定性的系统和方法。

[0024] 在具有数字反馈 (使用 ADC) 的全数字 PWM 放大器中，反馈回路和前馈通路的部分——尤其是回路 / 通路的高压和模拟部分，包括模数转换器 (ADC)——将处于数字 PWM 器件之外。外部的回路 / 通路并不始终保证在规定的参数内工作。这可能是设计错误、用户错误或损坏的组件等的结果。因此，反馈系统的稳定性必须被监控。除了可加入系统的过电流保护机构、直通保护机构以及过热保护机构外，现应将反馈 / 前馈 (FB/FF) 保护也装入系统以对抗运转状态不端的反馈和前馈。同时，FB/FF 保护可在正常的工作状态与破坏性的状态之间提供缓慢的转变。FB/FF 保护的主要目的是在非理想的状态下，尽量长时间地保持 PWM 系统的稳定性且保持音频放大器运转。次要的目的是通过与其他 PWM 保护机构并行工作来帮助防止对放大器和扬声器的损害。

[0025] 在一个实施方式中，具有反馈的数字 PWM 放大器可如图 1 中所显示的被分为 5 部分。这些部分 (在图中标记为内部) 包括 :a) 反馈前前向通路 (forward path before feedback)，b) 反馈后前向通路 (forward path afterfeedback)，c) 反馈回路 (FB)，d) 电源跟踪 (PST)，以及 e) 电源前馈 (PSFF)。图 1 示出了各个部分的互连。

[0026] “反馈前前向通路”和“反馈后前向通路”组成主要的开环前馈通路，数字输入信号通过该前馈通路被处理以产生 PWM 输出信号。PSFF 通过对送往主前向通路的电源估计值 (PSE) 提供校正因数来提供电源噪声 / 纹波抑制。没有 PSFF 或 PST 时，PSE 额定地设置为 1，即，假定电源是理想的。PSE 是在输入音频信号转换为用于输出的 PWM 信号前施加于该输入信号的倍增因数或“增益”。若具有 PSFF 及 / 或 PST 能力，则为了使输出水平保持在校正水平的目的，通过感测实际电源水平 PSE 能够被调整。例如，如果电源下降 5%，则 5% 被加到 PSE。此被加到 PSE 的 5% 为“校正因数”。可选择性地，PST 能够通过向 PSE 提供校正而减少电源中的 120Hz 音调和其他低频纹波的影响。FB 回路是校正音频非理想性的主要的音频反馈。

[0027] 音频反馈由 PWM 放大器输出的被模数转换 (A/D) 的样值组成。PWM 输出通常为高压信号，所述高压信号必须首先被衰减、低通滤波，然后被反馈进 ADC，在所述 ADC 中被采样并被数字化。电源测量结果与音频反馈相似，只是样值由电源电压组成。

[0028] 图 1 是示出有音频反馈和电源前馈校正的数字 PWM 放大系统的不同部分的框图。系统被分成片上 (内部)PWM 控制器电路和片外 (外部) 电路。片上电路由反馈前前向通路 101、反馈后前向通路 103、反馈回路 111、电源前馈通路 119，以及电源跟踪单元 110 组成。片外电路由输出级 109、衰减器 123，124、抗混叠滤波器 (anti-alias filter)122，125，以及 ADC 转换器 121，126 组成。

[0029] 反馈前前向通路通常在第一非线性校正单元 102 中执行非线性的和电源的校正。反馈后通路在第二非线性校正单元 105 中执行附加的非线性的和电源的校正。反馈后通路还包括噪声整形器 106 和调制器 107。在此实施方式中的反馈回路由仿真器 (simulator)115、ADC 接口 114、抽取器 (decimator)113，以及回路滤波器 112 组成。电源前馈通路由 ADC 接口 118、抽取器 117 以及滤波器 116 组成。

[0030] 音频信号 100 由 PWM 控制器接收并首先对非线性和电源的波动进行校正。来自反馈回路 111 的反馈信号随即被加 104 到预校正的输入信号中。在反馈信号被加入后，由第二非线性校正单元 105 向信号施加附加的校正。得到的信号被噪声整形 106，之后被调制 108，并作为 PWM 控制器的输出而被提供。PWM 输出驱动可具有半桥或全桥配置的输出级 109。

[0031] 高压输出 130 被取样，衰减 123，低通滤波 122，并被转换为数字信号 121。数字化的比特流通过对比特流进行串并转换的 ADC 接口 114 输入到 PWM 控制器。ADC 接口 114 的输出被抽取 113，被从仿真器输出中减去，被滤波 112，并送到电源跟踪块 110，再被加 104 到第一非线性校正单元 102 的输出。同时，输出级的高压供电 128，129 被取样，衰减 124，低通滤波 125，被另一个 ADC126 数字化，并被送到第二 ADC 接口 118。ADC 接口的数字化的输出被抽取 117 并被滤波 116，之后，该输出与电源跟踪单元 110 的输出相加求和，并被送到非线性校正单元 101，103 用于电源校正。

[0032] 传统地，反馈系统将反馈回路保持在器件内部。相位容限和增益容限被规定并设计到系统中，使得回路的稳定性得到保证。然而，在此描述的全数字 PWM 反馈系统中，部分回路处于器件之外，且通过 ADC 连接到 PWM 控制器。回路的外部部分中许多行为会出错，这将引起反馈回路变得不稳定并可能随后引起对终端系统的损害。另外，用户可能错误地为 PWM 控制器设计程序，这对没有任何保护的系统来说可能是致命的。

[0033] 如果没有首先关闭系统，则在运行中难以改变回路滤波器特性。而且，也难以实时预测校正异常情况需要的补偿。可供选择的办法是将 PWM 放大器转变为已知的通常为开环的稳定状态，然后整理 (clean up) 反馈 / 前馈通路，之后重新闭合回路。

[0034] 错误的来源、检测以及对错误的反应

[0035] 有许多错误状态的来源，这些来源包括 ：

[0036] 1) 在反馈 / 前馈通路中，料想不到的外部模拟电路运转状态。例如，如果衰减器未能将信号减少到适当的水平，抗混叠滤波器将限幅，这将很可能引起 ADC 超载 ；

[0037] 2) 有故障的包括 ADC 的外部模拟电路 - 短路、断路或过应激 (over-stressed)。受损的电路可导致不可预知的运转状态。如果由于前端电路中的损害，对 ADC 的输入超出额定范围，则 ADC 将超载 ；

[0038] 3) 在反馈 / 前馈通路中，料想不到的数字滤波器特性。在回路 / 通路中存在设计成补偿模拟滤波器的数字滤波器，而如果用来设计数字滤波器的标准和假定不再与模拟滤波器的特性相匹配，则反馈回路的稳定性不再得到保证 ；

[0039] 4) 有误的校准——增益与偏移。信号增益与偏移在模拟通路中被优化以最大化 ADC 的动态范围，在校准期间，增益与偏移在器件中被补偿。不正确的补偿会影响稳定性 ；

[0040] 5) 电源估计值 (PSE) 的误算。PSE 计算结果依赖于电源 (外部) 精确的测量结果和适当的数字滤波器设计 (内部)。因为 PSE 是倍增参数，因此不正确的 PSE 将在信号通路中产生错误 ；

[0041] 6) 关闭。在闭合反馈回路时，必须还考虑到由电路发起，旨在防止对输出级损害的逐周 (cycle-by-cycle) 关闭和永久关闭。没有考虑到关闭可能引起回路饱和。

[0042] 虽然错误状态不能被预知并防止发生，但其必定能被检测到。检测错误状态的方便的方法是对 ADC 接口和沿反馈回路和前馈通路的不同的检查点进行监控。例如，在 ADC 接口处，可检查由接口产生的位模式以确定 ADC 是否超载。输入数据速率和输出数据速率的频率可也被比较以检测成帧错误。也可监控反馈回路和前馈通路的信号限幅，或信号超过某一最大允许范围。错误检测可被设置成在错误已发生或将要发生时，发出相应的信号。

[0043] 对具体的错误状态的响应视错误的类型而变化。对错误的反应可包括 ：

[0044] 1) 打开反馈回路 ；

[0045] 2) 闭合 / 斜升反馈回路 ；

[0046] 3) 冻结电源跟踪 (PST) ；

[0047] 4) 刷新 PST ；

[0048] 5) 冻结 PSE ；

[0049] 6) 迫使 PSE 为一 ；

[0050] 硬件设计

[0051] FB/FF 保护系统监控沿着 PWM 数据通路的不同的检查点，包括 ADC 接口。图 2 显示了在示例性的系统中，故障检测器安装的一些位置。FB/FF 保护系统在任何故障检测器感测到错误状态时，均作出反应。在一个实施方式中，FB/FF 保护系统是与 DSP 分离但可由 DSP 配置的可编程的硬件实体。一旦由 DSP 编程，则 FB/FF 保护系统将在很少的 DSP 干预情况下提供保护。

[0052] 图 2 是示出有反馈和前馈保护的示例性的数字 PWM 控制器的结构的原理框图。反馈 / 前馈保护控制单元 211 处理输入的故障状态 210，输入的故障状态 210 由位于遍及系统的不同位置的故障检测器 216，217，218，219，220 检测。保护控制单元 211 通过发出输出控制信号 212 响应检测到的故障状态。

[0053] 在此实施方式中被检测到的输入的故障状态包括数据通路限幅 216、反馈回路限幅 218、调制器中的关闭 217、ADC 超载 219，220 以及 ADC 数据错误 208。响应于这些状态的输出控制信号 212 被送到电源跟踪 204，反馈回路 205 以及电源前馈通路 209。对电源跟踪采取的操作可包括，例如，刷新或冻结电源跟踪 204，冻结或迫使电源前馈通路 209 为单位增益，以及反馈通路 205 的打开 / 闭合。

[0054] 对 FB/FF 保护系统的输入为来自故障检测器的错误信号。这些错误信号可以被低通滤波使得 FB/FF 保护系统只在连续数量的错误事件发生时才作出反应。在示例性的系统中，输入由 ADC 超载、ADC 数据错误、PWM 关闭、反馈回路限幅以及前向通路限幅信号组成。图 3 显示了在一个实施方式中的 FB/FF 保护系统硬件结构 ：

[0055] 图 3 是示出反馈 / 前馈保护控制单元的结构的原理框图。所述单元由接合或切断保护控制的启用单元 301，305，310，以及关联的滤波器 302，306，311 和控制块 303，307，312 组成。故障状态信号 300，309 是当相应的保护启用时，通过启用单元的数字信号。该数字信号被低通滤波以除去高频假信号，且滤波后的信号被提供给控制块以允许控制块确定要采取的适当操作 304，308，313。

[0056] 滤波器为简单的低通滤波器。其在此实施方式中的唯一用途就是除去不定时发生

的故障状态。用可编程的延迟来为刷新 PST 留出时间以使得 PSE 保持不受影响。其也可在再次闭合回路之前，用来彻底刷新（flush out）反馈回路。

[0057] 硬件功能

[0058] FB/FF 保护系统对不同类型的错误不同地作出反应。FB/FF 保护系统控制输出可被分为 3 组：a) 打开 / 闭合反馈回路，b) 冻结 / 刷新电源跟踪，以及 c) 冻结 PSE/ 迫使 PSE 为一。在一个实施方式中，系统可以下面的方式作出反应：

[0059] 1) 打开反馈回路——简单地内部断开反馈通路；

[0060] 2) 冻结 PST——“冻结”电源跟踪 (PST) 意指保持最后的电源估计值 (PSE)。通过冻结 PST，PSE 将保持恒定并因此防止可能的超载；

[0061] 3) 当所有错误被 DSP 清除后，PST 将重新开始而 FB 回路将缓慢地斜升返回至程序化的水平。软件将读取错误状态并采取操作来补救这种情况。一旦软件操作完成，其可通过允许 PST 再用电源估计值来重启反馈，并且允许反馈回路通过例如从 0 到 1 逐渐地改变回路增益，来重新缓慢地闭合。

[0062] 4) 迫使 PSE 为一——当 PSFF 或 PST 不存在时，假定电源估计值是理想的，即增益 = 1。通过迫使 PSE 为 1，PSFF 和 PST 被有效地除去，因而 PSFF 或 PST 中的任何错误将不再影响信号。

[0063] 基于遇到的错误的类型，响应可按类集合在一起。错误的类型一般落入 3 类。这几类错误，连同相应的响应，在下面列出。

[0064] 1) 对于下面的错误类型：

[0065] • PWM 永久关闭——直到 DSP 清除为止才设置

[0066] • 反馈 ADC 错误

[0067] • 反馈回路限幅

[0068] • 主要的通路信号限幅

[0069] FB/FF 保护系统将典型地：

[0070] • 打开反馈回路；

[0071] • 冻结 PST；以及

[0072] • 当所有错误被 DSP 清除时，PST 将重新开始且 FB 回路将缓慢地斜升返回至程序化的水平。

[0073] 可以两种不同的方式处理关闭：1) 直到错误被 DSP 清除为止才设置，以及 2) 每个 PWM 开关周期清除并设置。在本实施方式中需要的是后一种方式，这使得 FB/FF 保护系统可处理 PWM 调制器中的逐周关闭。

[0074] 反馈 ADC 错误可能是 ADC 限幅或数据错误。ADC 接口不断地检查 ADC 调制器输出的模式，其指示超载 / 溢出。ADC 接口也检查输入和输出数据速率以检测 ADC 成帧错误。

[0075] 反馈回路限幅是系统可能将要变得不稳定的另一个重要的指示。许多其他的因素也促成了此问题。

[0076] 主要的通路中的过度的信号限幅也可指示问题。

[0077] 2) 对于下面的错误类型：

[0078] • PWM 关闭——每个 PWM 开关周期清除并设置，

[0079] FB/FF 保护系统将典型地：

[0080] • 打开反馈回路；

[0081] • 冻结 PST；以及

[0082] • 当错误停止时，PST 将重新开始且 FB 回路将缓慢地斜升返回至程序化的水平。不需要 DSP 干预。

[0083] 3) 对于下列的错误类型：

[0084] • 电源前馈 (PSFF)ADC 错误，

[0085] FB/FF 保护系统具有 3 个可选项：

[0086] • 冻结 PSE；

[0087] • 迫使 PSE 为一；或

[0088] • 不操作。

[0089] PSFF 块具有不断地取电源估计值的平均的低通滤波器。在正常工作中，瞬时估计值提供给 PSE。当 FB/FF 保护系统被维护时，PSE 将或者取平均值或者被迫使为一。

[0090] 本领域中的技术人员应该理解信息和信号可使用各种不同的术语 (technology) 和技术中任一种来表示出。例如，整个上面的描述中可能被引用的数据、信息、信号、位等可由电压、电流、电磁波或类似的量，包括这些量的组合来表示出。使用任何合适的，包括电线、金属记录线等的传输媒介可在本公开的系统中的组件间传递信息和信号。

[0091] 技术人员将进一步认识到与在此公开的实施方式结合描述的各种说明性的逻辑块、模块、电路和算法步骤可作为电子硬件、计算机软件或两者的组合来实现。为了清楚地说明硬件和软件的这种可互换性，上面一般根据其功能性来描述的各种说明性的组件、块、模块、电路和步骤。这样的功能性是作为硬件还是作为软件实现由加于整个系统上的特定的应用和设计限制决定。本领域中的技术人员对每一特殊的应用可以用不同的方式实现所描述的功能性，但这样的实现决定不应解释为导致偏离了本发明的范围。

[0092] 与在此公开的实施方式结合描述的各种说明性的逻辑块、模块和电路可通过专用集成电路 (ASIC)、现场可编程门阵列 (FPGA)、通用处理器、数字信号处理器 (DSP) 或其他逻辑器件、分立门电路或晶体管逻辑电路、分立硬件组件，或设计以执行在此所描述的功能的其任何组合来实现或执行。

[0093] 根据具体的实施方式，已在上面描述了可由本发明提供的益处和优点。这些益处和优点，以及任何可引起这些益处和优点发生或变得更明显的元件或条件限制不被解释为任何的或所有的权利要求的重要的、必需的或本质的特征。在此使用的名词“包括”(“comprises，”“comprising”) 或其任何其他的变化的形式，旨在被解释为非排他地包括服从这些术语的元件或条件限制。相应地，包括一组元件的系统、方法或其他实施方式不是仅限于那些元件，并可能包括其他对所要求的实施方式来说没有特别列出的或固有的元件。

[0094] 尽管根据具体的实施方式描述了本发明，但应该理解这些实施方式是说明性的，并且本发明的范围不限于这些实施方式。许多对上面描述的实施方式的变化的形式、更改、添加和改进是有可能的。预期这些变化的形式、更改、添加和改进落在如在下面的权利要求中详述的本发明的范围内。

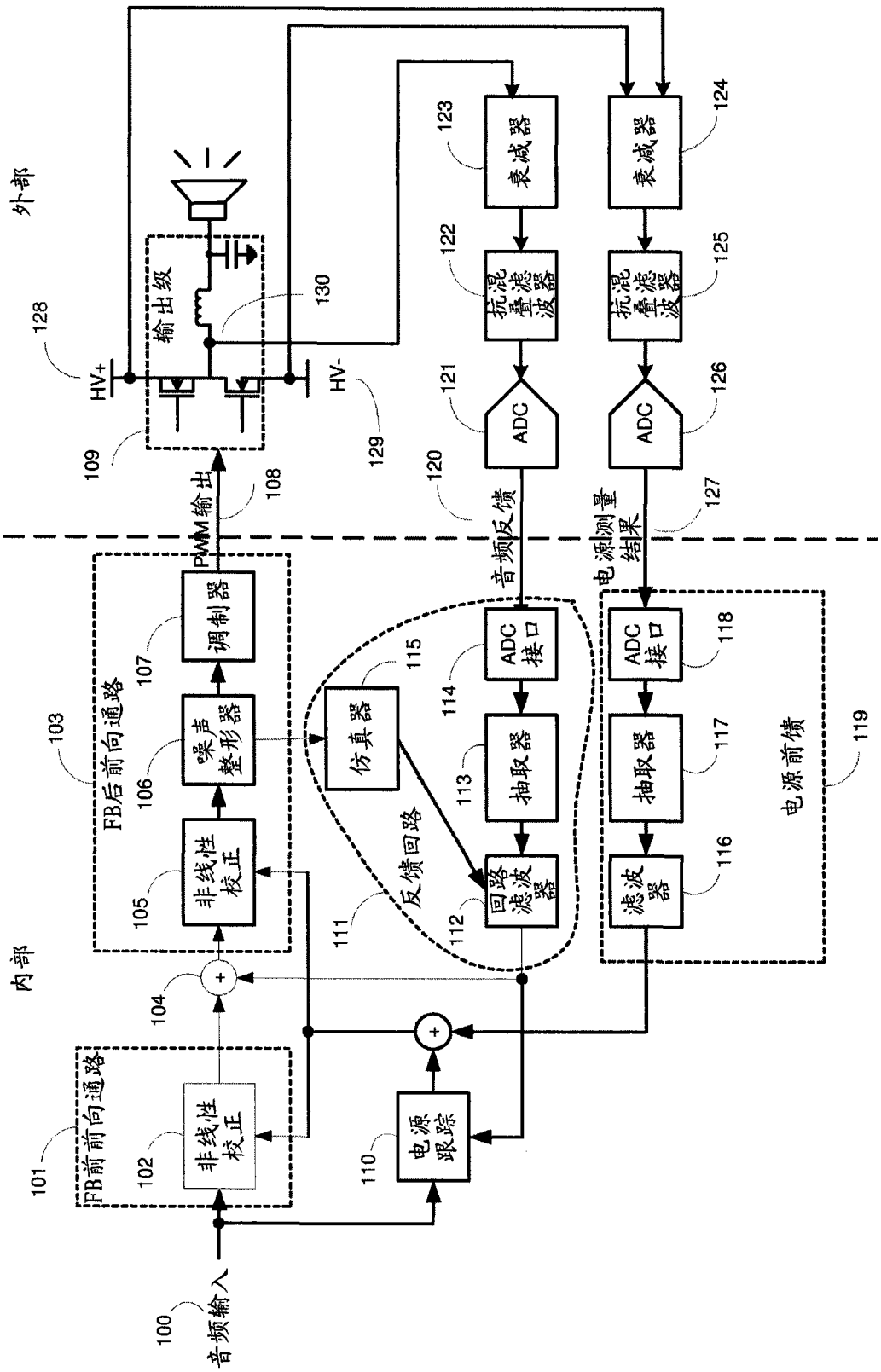

外部
内部
输出级
HV+
HV-
PWM输出
音频反馈
电源测量结果
音频输入
FB前前向通路
FB后前向通路
非线性校正
调制器
噪声整形器
仿真器
反馈回路
ADC接口
抽取器
回路滤波器
电源跟踪
衰减器
抗混叠滤波器
ADC
滤波器
电源前馈
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130

图1

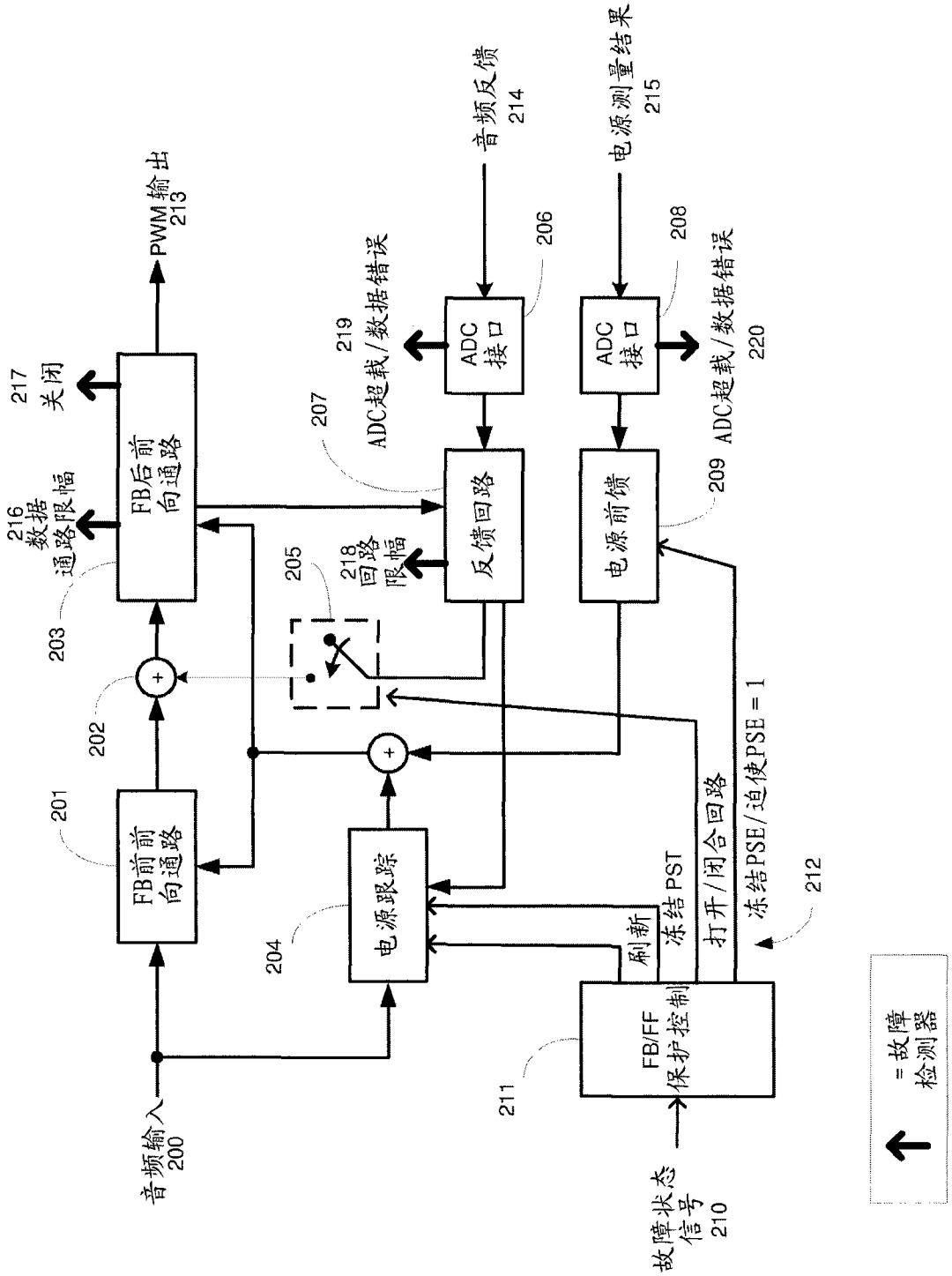

音频输入
200
FB前前向通路
201
202
FB后前向通路
203
PWM输出
213
217
关闭
216
数据通路限幅
205
218
回路限幅
反馈回路
207
219
ADC超载/数据错误
ADC接口
206
音频反馈
214
电源跟踪
204
电源前馈
209
208
ADC超载/数据错误
220
ADC接口
电源测量结果
215
刷新
冻结PST
打开/闭合回路
冻结PSE/迫使PSE = 1
212
FB/FF保护控制
211
故障状态信号
210
= 故障检测器

图2

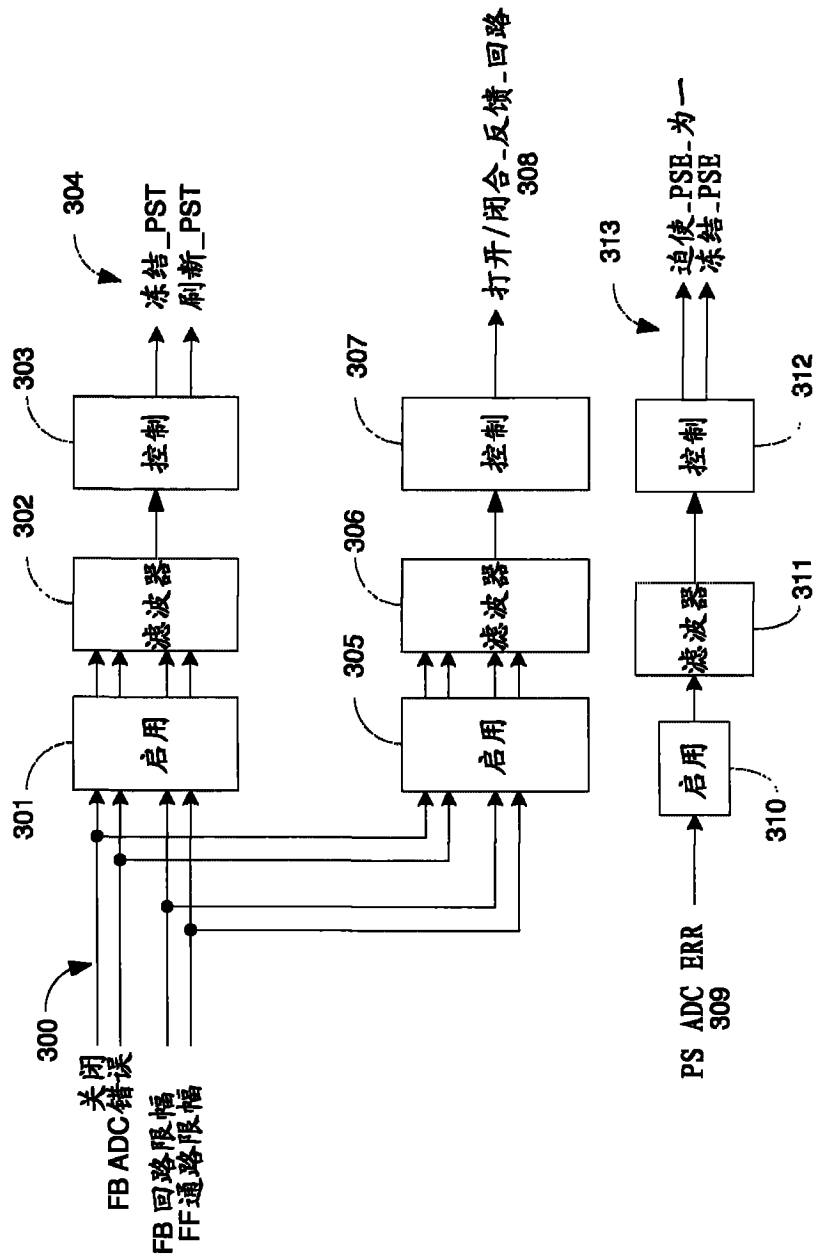

300
关闭
FB ADC错误
FB 回路限幅
FF通路限幅
301
启用
302
滤波器
303
控制
304
冻结_PST
刷新_PST
305
启用
306
滤波器
307
控制
308
打开/闭合_反馈_回路
PS ADC ERR
309
310
启用
311
滤波器
312
控制
313
迫使_PSE_为一
冻结_PSE

图 3