



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109690939 A

(43)申请公布日 2019.04.26

(21)申请号 201780055192.8

(74)专利代理机构 上海浦一知识产权代理有限公司 31211

(22)申请日 2017.07.27

代理人 郭四华

(30)优先权数据

62/371,507 2016.08.05 US

(51)Int.Cl.

H03F 3/217(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2019.03.08

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2017/044195 2017.07.27

(87)PCT国际申请的公布数据

W02018/026630 EN 2018.02.08

(71)申请人 思睿逻辑国际半导体有限公司

地址 英国爱丁堡

(72)发明人 伊曼纽尔·马歇斯 张伶俐

埃里克·J·金

克里斯汀·拉尔森

权利要求书4页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

用于脉宽调制放大器的可配置控制环路拓扑

(57)摘要

根据本发明的实施例,一种系统可以具有可配置控制环路技术,其中,所述系统包括第一模式控制环路、第二模式控制环路和可重新配置的PWM,所述可重新配置的PWM被配置为从输入信号产生输出信号。可重新配置的PWM可以包括数字PWM和模拟PWM,并且可以配置成使得:当第一模式控制环路被激活时,可重新配置的PWM利用模拟PWM从输入信号产生输出信号,并且当第二模式控制环路被激活时,可重新配置的PWM利用数字PWM从输入信号产生输出信号,数字PWM从数字比例积分微分控制器接收其输入。

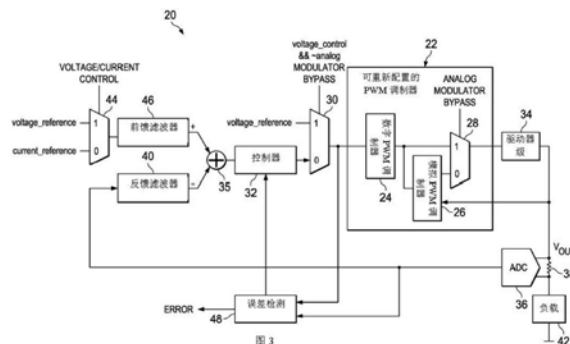


图3

1. 一种具有可配置控制环路技术的系统,该系统包括:

第一模式控制环路;

第二模式控制环路;和

可重新配置的PWM,被配置为从输入信号生成输出信号,其中,所述可重新配置的PWM包括数字PWM和模拟PWM,并且被配置为使得:

当所述第一模式控制环路被激活时,所述可重新配置的PWM利用所述模拟PWM从所述输入信号产生所述输出信号;和

当所述第二模式控制环路被激活时,所述可重新配置的PWM利用所述数字PWM从所述输入信号产生所述输出信号,并且所述数字PWM从控制器接收其输入。

2. 如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述数字PWM和所述模拟PWM被布置为所述模拟PWM接收所述数字PWM的输出作为所述模拟PWM的输入。

3. 如权利要求1所述的系统,其特征在于,当所述第一控制环路被激活时,所述模拟PWM和所述数字PWM均用于从所述输入信号产生所述输出信号。

4. 如权利要求3所述的系统,其特征在于,所述第一控制环路和所述第二控制环路均能够被同时激活。

5. 如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述第一控制环路和所述第二控制环路均能够被同时激活。

6. 如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述第一模式控制环路包括电压模式控制环路。

7. 如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述第二模式控制环路包括电流模式控制环路。

8. 如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述第二模式控制环路包括电压模式控制环路。

9. 如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述系统还包括反馈路径,所述反馈路径包括:

模数转换器,被配置为接收指示所述输出信号的模拟信号并将所述模拟信号转换为等效的数字反馈信号;和

低延迟反馈滤波器,被配置为对所述数字反馈信号进行滤波以生成滤波后数字反馈信号,并将所述滤波后数字反馈信号作为输入信号提供给所述控制器。

10. 根据权利要求9所述的系统,其特征在于,所述低延迟反馈滤波器被配置为抽取所述数字反馈信号以产生所述滤波后数字反馈信号。

11. 根据权利要求9所述的系统,其特征在于,所述低延迟反馈滤波器被配置为减少所述数字反馈信号中存在的噪声。

12. 根据权利要求9所述的系统,其特征在于,所述低延迟反馈滤波器被配置为组合多个数字化信号源,以便产生所述滤波后数字反馈信号。

13. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述系统还包括前馈滤波器,所述前馈滤波器连接在参考输入和所述控制器的输入之间。

14. 根据权利要求13所述的系统,其特征在于,所述前馈滤波器被配置为使得所述系统的所述前馈滤波器、所述控制器和反馈路径的组合响应为所述系统提供期望的频谱特性。

15. 如权利要求14所述的系统,其特征在于,所述前馈滤波器配置有极点和零点,以消除由所述控制器限定的闭环传递函数的主导极点和零点。

16. 如权利要求15所述的系统,其特征在于,所述前馈滤波器配置有极点和零点,使得所述参考输入和所述可重新配置的PWM的输出之间的第一带宽高于所述控制器的第二带宽。

17. 如权利要求15所述的系统,其特征在于,所述前馈滤波器配置有极点和零点,使得所述参考输入和所述可重新配置的PWM的输出之间的第一带宽低于所述控制器的第二带宽。

18. 如权利要求15所述的系统,其特征在于:

所述控制器包括多个积分器,所述多个积分器包括最后一级积分器;和

所述最后一级积分器被饱和极限所限制。

19. 如权利要求18所述的系统,其特征在于,基于所述系统的放大器模式、由接收所述可重新配置的PWM的所述输出信号的驱动器级驱动的负载的条件、供应到所述驱动器级的电源电压和用户建立的电压极限中的一个或多个,实时动态地调整所述饱和极限。

20. 如权利要求18所述的系统,其特征在于,所述系统从所述系统外部的监测电路接收所述饱和极限。

21. 如权利要求18所述的系统,其特征在于,经由用于对引起对所述饱和极限的违反的条件的外部管理的中断来接收对所述违反的检测。

22. 如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述控制器包括低频谐振器部分。

23. 如权利要求22所述的系统,其特征在于,所述低频谐振器部分的谐振频率明显小于参考输入与所述可重新配置的PWM的输出之间的带宽。

24. 如权利要求22所述的系统,其特征在于,所述低频谐振器部分的控制参数和所述控制器的其他部分是可独立调节的。

25. 如权利要求24所述的系统,其特征在于,所述控制参数包括所述低频谐振器部分的品质因数和谐振频率。

26. 如权利要求25所述的系统,其特征在于,所述品质因数和所述谐振频率基于由接收所述可重新配置的PWM的所述输出信号的驱动器级驱动的谐振负载的特性而调节。

27. 如权利要求1所述的系统,还包括接收所述可重新配置的PWM的所述输出信号的可变强度驱动器级。

28. 如权利要求27所述的系统,还包括用于检测所述可变强度驱动器级的输出的功率条件并控制所述可变强度驱动器级的强度的电路,以便使所述可变强度驱动器级的切换损耗最小化。

29. 如权利要求27所述的系统,其特征在于,所述控制器被配置为响应于所述可变强度驱动器级的所述强度的变化来修改其滤波器参数中的一个或多个。

30. 如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述控制器包括数字比例积分微分控制器。

31. 一种用于系统中的可配置控制环路技术的方法,所述系统具有第一模式控制环路、第二模式控制环路和可重新配置的PWM,所述可重新配置的PWM具有数字PWM和模拟PWM并且被配置为从输入信号产生输出信号,所述方法包括:

当所述第一模式控制环路被激活时,利用所述模拟PWM从所述输入信号产生所述输出

信号;和

当所述第二模式控制环路被激活时,利用所述数字PWM从所述输入信号产生所述输出信号,并且所述数字PWM从控制器接收其输入。

32.如权利要求31所述的方法,其特征在于,所述数字PWM和所述模拟PWM被布置为所述模拟PWM接收所述数字PWM的输出作为所述模拟PWM的输入。

33.如权利要求31所述的方法,还包括:当所述第一控制环路被激活时,利用所述模拟PWM和所述数字PWM从所述输入信号产生所述输出信号。

34.如权利要求33所述的方法,还包括:同时激活所述第一控制环路和所述第二控制环路二者。

35.如权利要求31所述的方法,还包括:同时激活所述第一控制环路和所述第二控制环路二者。

36.如权利要求31所述的方法,其特征在于,所述第一模式控制环路包括电压模式控制环路。

37.如权利要求31所述的方法,其特征在于,所述第二模式控制环路包括电流模式控制环路。

38.如权利要求31所述的方法,其特征在于,所述第二模式控制环路包括电压模式控制环路。

39.如权利要求31所述的方法,其特征在于,所述系统还包括反馈路径,所述反馈路径包括:

模数转换器,被配置为接收指示所述输出信号的模拟信号并将所述模拟信号转换为等效的数字反馈信号;和

低延迟反馈滤波器,被配置为对所述数字反馈信号进行滤波以生成滤波后数字反馈信号,并将所述滤波后数字反馈信号作为输入信号提供给所述控制器。

40.如权利要求39所述的方法,还包括利用所述低延迟反馈滤波器抽取所述数字反馈信号以产生所述滤波后数字反馈信号。

41.如权利要求39所述的方法,还包括利用所述低延迟反馈滤波器减少所述数字反馈信号中存在的噪声。

42.如权利要求40所述的方法,还包括:利用所述低延迟反馈滤波器组合多个数字化信号源,以便产生所述滤波后数字反馈信号。

43.如权利要求31所述的方法,其特征在于,所述系统还包括前馈滤波器,所述前馈滤波器连接在参考输入和所述控制器的输入之间。

44.如权利要求43所述的方法,其特征在于,所述前馈滤波器被配置为使得所述系统的所述前馈滤波器、所述控制器和反馈路径的组合响应为所述系统提供期望的频谱特性。

45.如权利要求44所述的方法,其特征在于,所述前馈滤波器配置有极点和零点,以消除由所述控制器和所述反馈路径限定的闭环传递函数的主导极点和零点。

46.根据权利要求45所述的方法,其特征在于,所述前馈滤波器配置有极点和零点,使得所述参考输入和所述可重新配置的PWM的输出之间的第一带宽高于所述控制器的第二带宽。

47.如权利要求45所述的方法,其特征在于,所述前馈滤波器配置有极点和零点,使得

所述参考输入和所述可重新配置的PWM的输出之间的第一带宽低于所述控制器的第二带宽。

48. 如权利要求45所述的方法,其特征在于:

所述控制器包括多个积分器,所述多个积分器包括最后一级积分器;和
所述最后一级积分器被饱和极限所限制。

49. 如权利要求48所述的方法,还包括:基于所述系统的放大器模式、由接收所述可重新配置的PWM的所述输出信号的驱动器级驱动的负载的条件、供应到所述驱动器级的电源电压和用户建立的电压极限中的一个或更多个,实时动态地调整所述饱和极限。

50. 如权利要求48所述的方法,还包括从所述系统外部的监测电路接收所述饱和极限。

51. 如权利要求48所述的方法,其特征在于,经由用于对引起对所述饱和极限的违反的条件的外部管理的中断来接收对所述违反的检测。

52. 如权利要求31所述的方法,其特征在于,所述控制器包括低频谐振器部分。

53. 如权利要求52所述的方法,其特征在于,所述低频谐振器部分的谐振频率明显小于参考输入与所述可重新配置的PWM的所述输出之间的带宽。

54. 如权利要求52所述的方法,还包括独立地控制所述低频谐振器部分的控制参数和所述控制器的其他部分。

55. 如权利要求54所述的方法,其特征在于,所述控制参数包括所述低频谐振器部分的品质因数和谐振频率。

56. 如权利要求55所述的方法,其特征在于,所述品质因数和所述谐振频率基于由接收所述可重新配置的PWM的所述输出信号的驱动器级驱动的谐振负载的特性而调节。

57. 如权利要求31所述的方法,其特征在于,所述系统还包括接收所述可重新配置的PWM的所述输出信号的可变强度驱动器级。

58. 如权利要求57所述的方法,还包括:检测所述可变强度驱动器级的输出的功率条件并控制所述可变强度驱动器级的强度,以便使所述可变强度驱动器级的切换损耗最小化。

59. 如权利要求57所述的方法,还包括:响应于所述可变强度驱动器级的所述强度的变化来修改所述控制器的一个或更多个滤波器参数。

60. 如权利要求31所述的方法,其特征在于,所述控制器包括数字比例积分微分控制器。

用于脉宽调制放大器的可配置控制环路拓扑

技术领域

[0001] 本发明总体上涉及用于音频和触觉装置,包括但不限于个人音频装置如无线电话和媒体播放器,或者包括但不限于包括触觉模块的装置的电路。背景技术

[0002] 个人音频装置被广泛使用,其中个人音频装置包括无线电话、mp3播放器和其他消费音频装置,无线电话包括移动/蜂窝电话和无绳电话。这样的个人音频装置可以包括用于驱动一对耳机或者一个或更多个扬声器的电路。这样的电路通常包括用于将音频输出信号驱动到耳机或扬声器的功率放大器。一般而言,功率放大器通过从电源获取能量来放大音频信号并且进行控制使得音频输出信号和输入信号的形状相匹配且具有更大的幅值。

[0003] 音频放大器的一个示例是D类放大器。D类放大器(也称为“开关放大器”)可以包括电子放大器,其中放大装置(例如,晶体管,通常为金属氧化物半导体场效应晶体管)作为电子开关而运行。在D类放大器中,可以通过脉冲宽度调制、脉冲密度调制或其他调制方法将待放大的信号转换成一系列脉冲,使得信号被转换成调制信号,其中调制信号的脉冲特性(例如,脉冲宽度、脉冲密度等)是信号幅值的函数。在用D类放大器放大之后,输出脉冲序列可以通过经过无源低通滤波器而被转换成未调制的模拟信号,其中这样的低通滤波器可以是D类放大器中的固有电路或者是由D类放大器驱动的负载。D类放大器经常被使用,这是由于和线性模拟放大器相比,D类放大器功率效率更高,且与线性模拟放大器相比,D类放大器可以使在有源器件中转换为热量的耗散功率更少。

[0004] 通常,选择电压模式闭环脉冲宽度调制器(pulse width modulator,PWM)放大器,以便提供具有期望的总谐波失真(THD)和电源抑制比(PSRR)的精确负载电压。闭环电压模式PWM放大器通常采用模拟电压输入和感测的反馈电压信号,这些信号被馈送通过闭环模拟PWM调制器以驱动扬声器负载上的电压。

[0005] 然而,根据具体应用,可能期望在电流模式或电压模式下使用单个PWM放大器电路交替驱动负载的选项。对于电流模式操作,需要对较大的负载阻抗变化进行精确的电流控制。为了实现较大的负载阻抗变化下的精确电流控制,现有的基于电压模式控制的模拟PWM调制器还不能灵活处理具有潜在高品质因数(Q)的负载谐振。高Q负载谐振会在闭环传递函数中产生纹波。发明内容

[0006] 根据本发明的教导,可以减少或消除与利用放大器处理信号的现有方法相关联的一个或更多个缺点和问题。

[0007] 根据本发明的实施例,一种系统可以具有可配置控制环路技术,其中,所述系统包括第一模式控制环路、第二模式控制环路和可重新配置的PWM,所述可重新配置的PWM被配置为从输入信号产生输出信号。可重新配置的PWM可以包括数字PWM和模拟PWM,并且可以配置成使得:当第一模式控制环路被激活时,可重新配置的PWM利用模拟PWM从输入信号产生输出信号;并且当第二模式控制环路被激活时,可重新配置的PWM利用数字PWM从输入信号产生输出信号,数字PWM从数字比例积分微分控制器接收其输入。

[0008] 根据本发明的这些和其他实施例,一种用于系统中的可配置控制环路技术的方法,所述系统具有第一模式控制环路、第二模式控制环路和可重新配置的PWM,所述可重新

配置的PWM具有数字PWM和模拟PWM并且被配置为从输入信号产生输出信号,所述方法包括:当所述第一模式控制环路被激活时,利用所述模拟PWM从所述输入信号产生所述输出信号,并且当所述第二模式控制环路被激活时,利用所述数字PWM从所述输入信号产生所述输出信号,所述数字PWM从数字比例积分微分控制器接收其输入。

[0009] 通过本文包括的附图、描述和权利要求,本发明的技术优点对于本领域技术人员而言是显而易见的。至少通过权利要求中特别指出的元件、特征和组合来实现和达到实施例的目的和优点。

[0010] 应理解,前面的总体性描述和以下的详细描述都是示例性和解释性的,并且不限制本发明中阐述的权利要求。附图说明

[0011] 通过参照结合附图的以下描述,可以获得对本实施例及其优点的更完整的理解,其中相同的附图标记表示相同的特征,并且其中:

[0012] 图1是根据本发明的实施例的示例性个人音频装置的图示;

[0013] 图2A是根据本发明的实施例的采用模拟电压模式放大的个人音频装置的示例性音频集成电路的所选组件的框图;

[0014] 图2B是根据本发明的实施例的采用数字电流模式放大的个人音频装置的示例性音频集成电路的所选组件的框图;

[0015] 图3是根据本发明的实施例的示例性脉冲宽度调制放大器的所选组件的框图。具体实施方式

[0016] 图1是根据本发明的实施例的示例性个人音频装置1的图示。图1描绘了连接到形式为一对耳塞式扬声器8A和8B的耳机3的个人音频装置1。图1中描绘的耳机3仅是示例,并且应当理解,个人音频装置1可以结合各种音频换能器进行使用,这些音频换能器包括但不限于耳机、耳塞式耳机、入耳式耳机和外部扬声器。插头4可以提供从耳机3到个人音频装置1的电子终端的连接。个人音频装置1可以向用户提供显示器并使用触摸屏2接收用户输入,或者标准液晶显示器(LCD)可以与设置在个人音频装置1的表面和/或侧面上的各种按钮、滑块和/或拨盘相组合。如同样在图1中示出的,个人音频装置1可以包括音频集成电路(IC)9,用于产生模拟音频信号以传输到耳机3和/或另一音频换能器(例如,扬声器)。

[0017] 图2A是根据本发明的实施例的采用模拟电压模式放大的个人音频装置的示例性音频IC 9A的所选组件的框图。在一些实施例中,示例性音频IC 9A可用于实现图1的音频IC 9。如图2A所示,微控制器核18(例如,数字信号处理器或“DSP”)可将数字音频输入信号DIG_IN供应到数模转换器(DAC)14,数模转换器(DAC)14可以将数字音频输入信号转换为模拟输入信号 V_{IN} 。DAC 14可以将模拟信号 V_{IN} 供应到放大器16A,放大器16A可以放大或衰减模拟输入信号 V_{IN} 以提供音频输出信号 V_{OUT} ,音频输出信号 V_{OUT} 可以操作扬声器、耳机换能器、线路电平信号输出和/或其他合适的输出。

[0018] 图2B是根据本发明的实施例的采用数字电流模式放大的个人音频装置的示例性音频IC 9B的所选组件的框图。在一些实施例中,示例性音频IC 9B可以用于实现图1的音频IC 9。如图2B所示,微控制器核18(例如,DSP)可以将数字音频输入信号DIG_IN供应给放大器16B,放大器16B可以放大或衰减数字音频输入信号DIG_IN以提供音频输出信号 V_{OUT} ,音频输出信号 V_{OUT} 可以操作扬声器、耳机换能器、线路电平信号输出和/或其他合适的输出。

[0019] 图3是根据本发明的实施例的示例性脉冲宽度调制放大器20的所选组件的框图。

在一些实施例中, 示例性脉冲宽度调制放大器20可用于实现图2A的放大器16A和/或图2B的放大器16B。如图3所示, 示例性脉冲宽度调制放大器20可以包括控制环路拓扑, 其包括可重新配置的PWM调制器22。可重新配置的PWM调制器22可以包括数字PWM调制器24和模拟PWM调制器26, 可重新配置的PWM调制器22还利用多路复用器28实现的直接旁路功能。

[0020] 可重新配置的PWM调制器22可以被配置为当第一模式控制环路被激活时通过使用模拟PWM调制器26在第一模式控制下操作, 例如, 当多路复用器28接收的模拟调制器旁路控制信号ANALOG MODULATOR BYPASS被置为无效时所述第一模式控制环路被激活。第一模式控制可以是电压模式控制, 第一模式控制环路可以是电压模式控制环路。可重新配置的PWM调制器22还可以被配置为当第二模式控制环路被激活时通过使用数字PWM调制器24在第二模式控制下操作, 例如, 当多路复用器28接收到的模拟调制器旁路控制信号ANALOG MODULATOR BYPASS被置为有效时第二模式控制环路被激活。第二模式控制可以是电流模式控制, 第二模式控制环路可以是电流模式控制环路。或者, 在一些实施例中, 第二模式控制可以是电压模式控制, 第二模式控制环路可以是电压模式控制环路。如图3所示, 模拟PWM调制器26可以从数字PWM调制器24接收其输入。

[0021] 当第一模式控制环路被激活时(例如, 当多路复用器28接收的模拟调制器旁路控制信号ANALOG MODULATOR BYPASS被置为无效时), 数字PWM调制器24可以接收由多路复用器30输出的电压参考信号voltage_reference(例如, 图2A中描绘的输入电压 V_{IN})作为其输入信号。当第二模式控制环路被激活时, 数字PWM调制器24可以从控制器32的输出接收电压参考信号voltage_reference, 在一些实施例中, 控制器32可以包括比例积分微分控制器。

[0022] 因此, 与传统方法相比, 可重新配置的PWM调制器22可以至少支持电压模式和电流模式两者, 而没有任何显著的附加成本和/或硬件。换句话说, 对于电流模式控制(例如, 第二模式控制), 模拟PWM调制器26可以被多路复用器28旁路, 而数字PWM调制器24则被使用并会将数字PWM调制器24的输出直接馈入驱动器级34。对于电压模式控制(例如, 第二模式控制), 可以使用模拟PWM调制器26, 使得模拟PWM调制器26的输出直接馈入驱动器级34。驱动器级34可以包括多个输出开关, 所述多个输出开关被配置为从由可重新配置的PWM调制器22生成的调制信号生成输出信号 V_{OUT} 。

[0023] 因此, 在第一模式控制的操作中, 第一模式控制环路包括接收数字电压参考的数字PWM调制器24、模拟PWM调制器26、将模拟PWM调制器26的输出选择为通过的多路复用器28、驱动器级34以及一条反馈到模拟PWM调制器26的反馈路径。当第一模式控制环路被激活时, 模拟PWM调制器26和数字PWM调制器24可以一起使用。而且, 当第一模式控制环路被激活时, 可以同时使用第一模式控制环路和第二模式控制环路。

[0024] 在电流模式控制下的第二模式控制的操作中, 第二模式控制包括控制器32, 其(例如, 从加法器35)接收误差信号作为其输入, 该误差信号是电流参考信号current_reference和通过反馈路径产生的数字反馈信号之间的差。反馈路径可以包括模数转换器(ADC)36, 用于将指示由感测电阻器38感测的输出电流的模拟信号转换成相应的数字信号, 并且反馈路径还可以包括反馈滤波器40, 其被配置为对数字信号进行滤波以产生数字反馈信号。第二模式控制环路还包括数字PWM调制器24、被选择为通过数字PWM调制器24的输出并绕过模拟PWM调制器26的多路复用器28以及驱动器级34。

[0025] 在电压模式控制下的第二模式控制的操作中, 第二模式控制包括控制器32, 其(例

如,从加法器35)接收误差信号作为其输入,该误差信号是电压参考信号和通过反馈路径产生的数字反馈信号之间的差。反馈路径可以包括模数转换器(ADC)36,用于将指示由感测电阻器38感测的输出电压的模拟信号转换成相应的数字信号,并且反馈路径还可以包括反馈滤波器40,其被配置为对数字信号进行滤波以产生数字反馈信号。第二模式控制环路还包括数字PWM调制器24、被选择为通过数字PWM调制器24的输出并绕过模拟PWM调制器26的多路复用器28以及驱动器级34。

[0026] 通过使用多路复用器30对到输入数字PWM调制器的输入源进行改变,可以实现将放大器20从电压模式改变为电流模式,反之亦然。

[0027] 闭环电压模式控制的另一种实现是直接感测输出电压 V_{OUT} 并通过ADC 36数字化该电压信号。在该电压模式控制实现中,不需要模拟PWM调制器26,并且可以通过电压感测输出替换电流感测输出,并且电压参考voltage_reference输入可以在多路复用器44的控制下替换电流参考voltage_reference输入。在该实现中,基于ADC的电压模式可以具有比模拟PWM调制器方法更大的延迟。

[0028] 在电压模式操作中,数字PWM调制器24的输出可以通过将信号预失真到其编码器来解决数字PWM编码失真,使得数字PWM编码信号没有失真。

[0029] 对于例如通过第二模式控制环路实现的电流模式控制,负载电流可以由感测电阻器38直接感测并且通过ADC 36数字化。典型的电压模式闭环放大器可以具有感测电流的能力。因此,与传统方法相比,这种电流感测可以没有额外的成本。

[0030] 另外,在电流模式操作中,可以从用作电流控制器的控制器32接收数字PWM调制器24的数字输入信号。控制器32可以对由参考电流输入和流过与放大器20的负载42串联的感测电阻器38的数字化感测电流之间的差形成的误差进行滤波。

[0031] 如上所述,第二模式控制环路的反馈路径可以包括反馈滤波器40。反馈滤波器40可以对ADC 36产生的数字化信号进行滤波,以便减少噪声和/或补偿ADC和模拟前端传递函数。例如,反馈滤波器40可以校准感测电阻器38的感测路径并且可以减少传感器噪声(例如,减少数字反馈信号中存在的噪声)。感测路径可以由电压ADC、电流ADC 36或多个感测信号的组合组成,以提供对反馈的信号的良好估计,以形成输出至控制器32的误差。在一些实施例中,反馈滤波器40可以包括低延迟反馈滤波器,其被配置为对数字反馈信号进行滤波以生成滤波后数字反馈信号,并将滤波后数字反馈信号与电压参考信号或电流参考信号一起作为输入信号提供给控制器32。在这些实施例中,这样的低延迟反馈滤波器可以被配置为抽取数字反馈信号以生成滤波后数字反馈信号。另外或可替代地,这样的低延迟反馈滤波器可以被配置为组合多个数字化信号源,以便生成滤波后数字反馈信号,如第2017/0138990号美国专利所述。

[0032] 如图3所示,放大器20还可以包括前馈滤波器46,其可以实现输入电流参考信号current_reference或输入电压参考信号voltage_reference的增益和/或频谱整形。在第二环路控制模式中,实现数字控制环路,并且可以配置前馈滤波器46,使得前馈滤波器46、控制器32和系统的反馈路径的组合响应为系统提供期望的频谱特性。因此,可以对前馈滤波器46、反馈滤波器40和控制器32一起进行调节以实现从参考输入到负载42的信号传递函数带宽与抑制负载扰动、电源噪声、PWM失真和/或ADC 36噪声之间的最佳权衡。在这样的数字控制环路中,控制器32可以设计成为数字控制环路设定期望的带宽。由于放大器路径中

引入的失真减小,所以数字控制环路的高带宽可以改善总谐波失真噪声。低带宽可以改善信噪比以减少感测路径中的噪声。前馈滤波器46可用于将至负载42的传递函数与数字控制环路的闭环传递函数解耦。例如,可以将至负载42的传递函数设定为具有与环路带宽无关的固定带宽的低通滤波器。在这种情况下,系统的阶跃响应不变,而环路带宽提供了调整总谐波失真噪声和信噪比之间的权衡的方法。在另一实例中,可以将至负载42的传递函数设定为具有以固定比率跟踪环路带宽的带宽低通滤波器。如果该比率大于1,则效果可能是增加从输入到负载的传递函数的表面带宽。这种方法可以有利地减少感兴趣的带宽中的下垂或者增加可用带宽以超过闭环的稳定性极限。在又一实例中,该比率可以设定为小于1。在这种情况下,高环路带宽可以提供合适的总谐波失真噪声,而低的输入-负载带宽限制受控变量的稳定。如果这种变量是驱动高感性负载的电流,则输入带宽限制可以帮助避免电压过冲。

[0033] 因此,前馈滤波器46可以配置有极点和零点以消除由控制器32限定的闭环传递函数的主导极点和零点。例如,前馈滤波器46可以配置有极点和零点,使得参考输入和可重新配置的PWM调制器22的输出之间的第一带宽高于控制器32的第二带宽。或者,前馈滤波器46可以配置有极点和零点,使得参考输入和可重新配置的PWM调制器22的输出之间的第一带宽低于控制器32的第二带宽。

[0034] 放大器20还可以包括误差检测块48,其监测可重新配置的PWM调制器22的输出由于受限的电源而饱和的条件。当发生该饱和条件时,控制器32或误差检测块48可以(例如,通过中断)将误差error条件发送到参考信号的源,以便采取适当的动作。另外或可替代地,响应于饱和条件,控制器32还可以冻结控制环路以防止状态变量逐步建立附加误差,附加误差可能在去除饱和条件时导致输出伪像。通过可用的电压和电流信息,控制器32还可以监测输送到负载42的功率,以限制在负载42处产生的电压或电流。例如,放大器20输出的最大电压可以被限制为小于电源电平的指定值,这可能是保护电源或负载42所期望的。为了进一步说明,控制器32可以包括多个积分器,多个积分器包括最后一级积分器,其中最后一级积分器受饱和极限的限制。饱和极限可以通过计算控制器32中的最后一级积分器产生受限的电压电平所需要达到的极限电平然后将该极限电平应用于最后一级积分器来实现。

[0035] 在一些实施例中,可以基于系统的放大器模式、由接收可重新配置的PWM调制器22的输出信号的驱动器级34驱动的负载的条件、供应到驱动器级34的电源电压和用户建立的电压极限中的一个或多个来实时动态地调整饱和极限。在这些和其他实施例中,放大器20可以从放大器20外部的监测电路接收饱和极限。在这些和其他实施例中,可以经由用于对引起对饱和极限的违反的条件的外部管理的中断来接收对饱和极限的违反的检测。

[0036] 在一些实施例中,负载42可以具有远低于控制器32的带宽的谐振。例如,负载42可以包括具有大约100赫兹至大约200赫兹的谐振频率的线性谐振致动器,而放大器20的闭环带宽可以在大约2千赫兹到大约20千赫兹之间。在那种情况下,当在电流模式下操作时,谐振的高品质因数(Q)可在闭环传递函数中产生纹波。对于在负载谐振附近具有高增益的开环传递函数(TF),通过在控制器32中添加低频谐振器部分,实际上可以抑制纹波。因此,在操作中,低频谐振器部分的谐振频率可以明显小于参考输入和可重新配置的PWM调制器22的输出之间的带宽。在一些实施例中,低频谐振器部分的控制参数(例如,低频谐振器部分的品质因数和/或谐振频率)以及控制器32的其他部分可以是可独立调节的。在一些这样的

实施例中,品质因数和/或谐振频率可以基于谐振负载42的特性而可调节。

[0037] 在一些实施例中,驱动器级34可包括可变强度驱动器级。驱动器级34的驱动强度可以动态切换,而对负载42具有轻微(例如,不可听见的)干扰。在低输出功率通道期间增加驱动强度可以节省切换损耗,从而提高放大器效率。例如,当模拟PWM调制器26驱动模拟控制环路时,当接合模拟控制模式时,电源的电源抑制比可以自动地减小驱动强度的变化。在数字控制模式中,数字控制环路最终可以减少由于负载阻抗变化引起的干扰。然而,为了改善响应,控制器32的控制器增益可以在驱动器级34的驱动强度改变的精确时刻动态改变。增益可以通过放大器在驱动强度变化之前和之后看到的阻抗比来改变。因此,放大器20可以包括用于检测可变强度驱动器级的输出的功率条件并控制可变强度驱动器级的强度的电路,以便使可变强度驱动器级的切换损耗最小化。另外,控制器32可以被配置为响应于可变强度驱动器级的强度的变化来修改其滤波器参数中的一个或更多个。

[0038] 有利地,前述提供了用于实现和使用包括与电压ADC或电流ADC一起使用的可重新配置的放大器系统的系统和方法,其中,与现有的放大器系统相比,放大器可以在最小附加数字逻辑的情况下从电压放大模式切换到电流放大模式。

[0039] 如本文所使用的,当两个或更多个元件被称为彼此“连接”时,该术语表示这样的两个或更多个元件适用于电子通信或机械连通,无论是间接连接还是直接连接、具有或没有中间元件。

[0040] 本发明包含本领域普通技术人员将理解的对本文的示例性实施例的所有改变、替换、变化、变更和修改。类似地,在适当时,所附权利要求包含本领域普通技术人员将理解的对本文的示例性实施例的所有改变、替换、变化、变更和修改。此外,在所附权利要求中对适应于、布置成、能够、配置成、使能、可操作或操作性地执行特定功能的设备或系统或者设备或系统的组件的引用包括该设备、系统或组件,无论其或者特定功能是否被激活、打开或解锁,只要该设备、系统或组件被如此地适应于、布置成、能够、配置成、使能、可操作或操作性地即可。

[0041] 本文所述的所有示例和条件性语言旨在使得教学对象帮助读者理解本发明以及发明人为进一步领域而贡献的构思,并且本文所述的所有示例和条件性语言被解释为不限于这些具体叙述的示例和条件。尽管已经详细描述了本发明的实施例,但是应该理解,在不脱离本发明的精神和范围的情况下,可以对其进行各种改变、替换和变更。

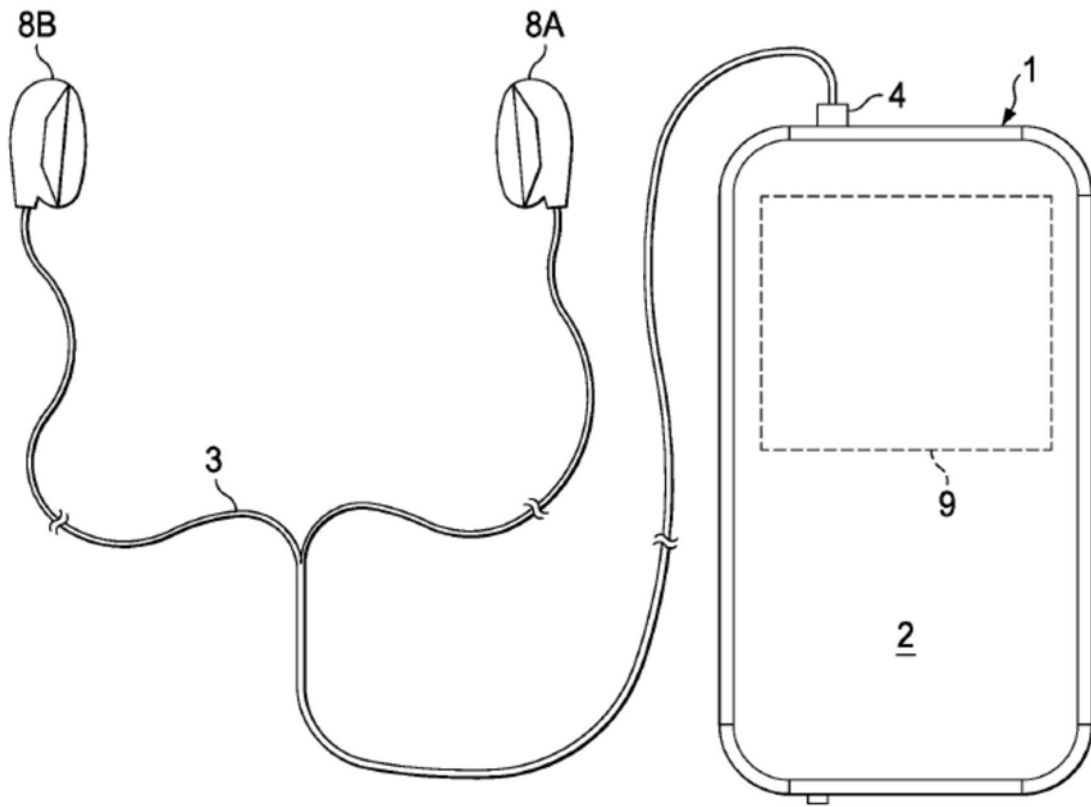


图1

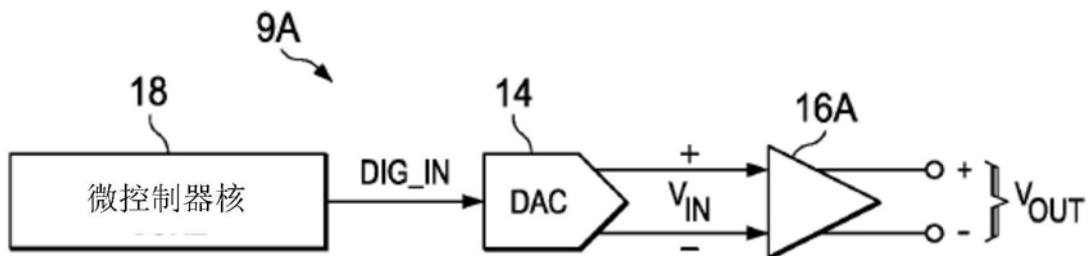


图2A

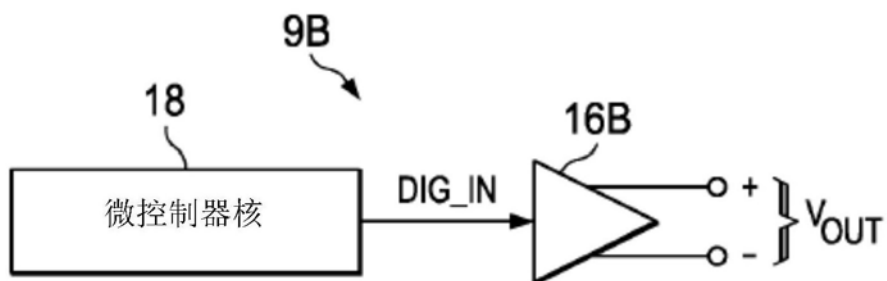


图2B

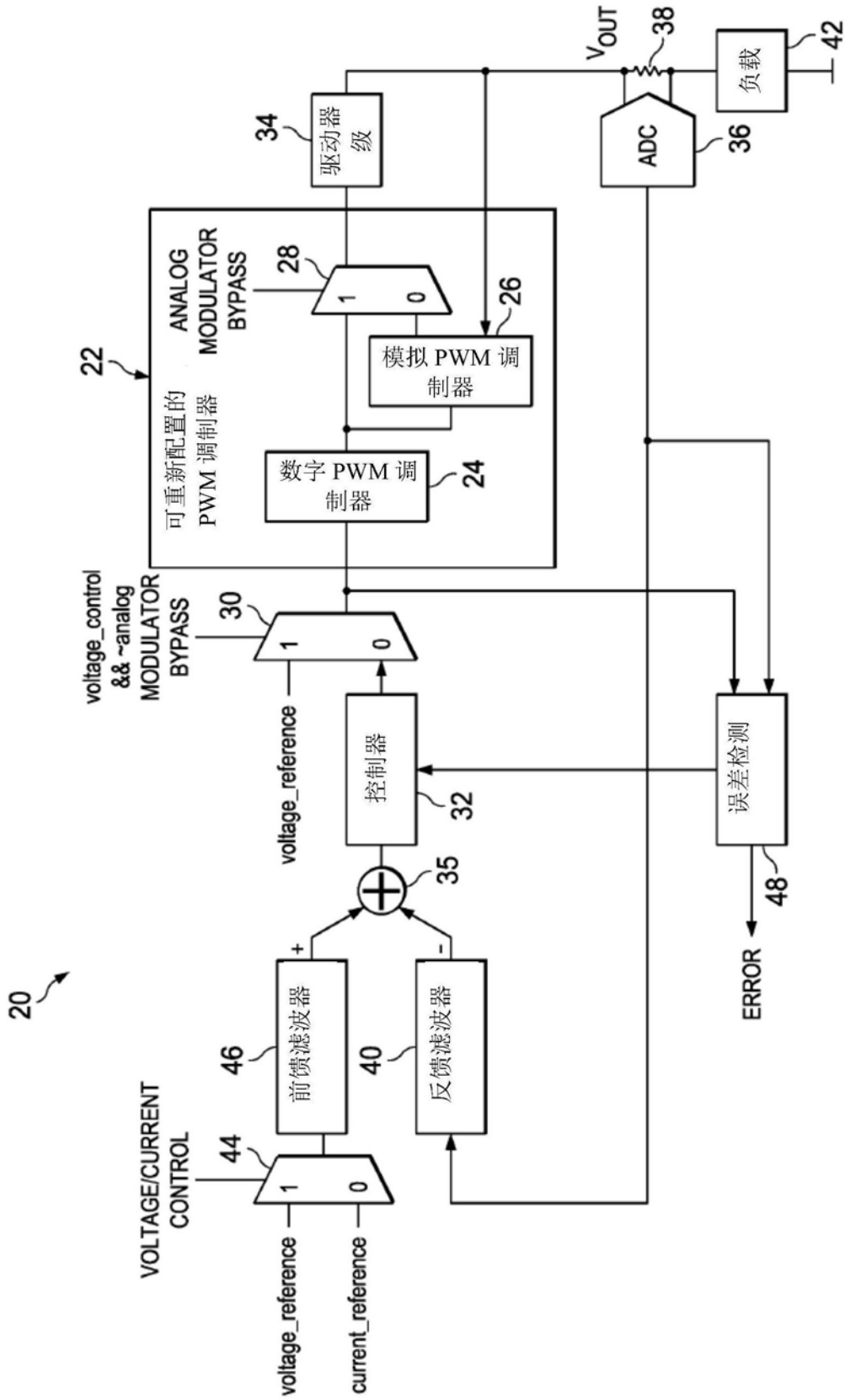


图3