



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1954495 B

(45) 授权公告日 2011. 11. 09

(21) 申请号 200580015533. 6

代理人 屠长存

(22) 申请日 2005. 04. 13

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

H03K 7/08 (2006. 01)

10/845, 949 2004. 05. 14 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2006. 11. 14

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2005/012397 2005. 04. 13

(87) PCT申请的公布数据

W02005/114838 EN 2005. 12. 01

(73) 专利权人 飞思卡尔半导体公司

地址 美国得克萨斯

(72) 发明人 帕拉伯·米德娅 方静

(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

(56) 对比文件

US 6606044 B2, 2003. 08. 12, 全文.

US 6414613 B1, 2002. 07. 02, 全文.

US 5933453 A, 1999. 08. 03, 全文.

WO 2004030223 A2, 2004. 04. 08, 全文.

审查员 李燕东

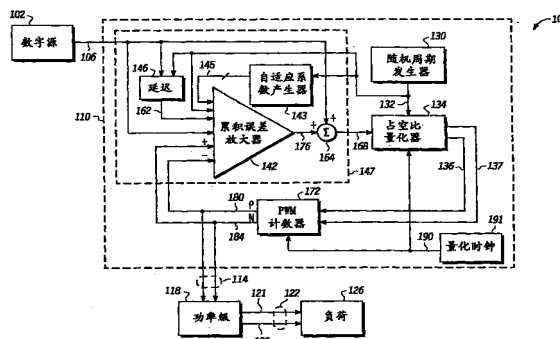
权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图 6 页

(54) 发明名称

具有使用累积噪声整形的数字 PWM 信号发生器的方法和装置

(57) 摘要

本发明提供一种具有使用累积噪声整形的数字脉宽调制发生器 (110) 的方法和装置 (100)。产生数字脉宽调制信号的装置包括随机周期信号发生器 (130), 噪声整形单元 (147), 占空比量化器 (134) 和 PWM 计数器 (172)。随机周期信号发生器 (130) 产生随机周期信号 (132)。噪声整形单元 (142) 响应至少数字信号 (106)、随机周期信号 (132) 和延迟数字信号 (162), 用于产生校正信号 (168)。占空比量化器 (134) 响应校正数字信号、随机周期信号和量化时钟信号 (190), 并且产生第一占空比信号 (136) 和第二占空比信号 (137)。PWM 计数器 (172) 响应第一和第二占空比信号 (136, 137) 以及量化时钟信号 (190), 并且分别产生正和负 PWM 信号 (180, 184)。



1. 一种数字放大器 (100) 装置, 包括:

用于产生数字脉宽调制信号的使用累积噪声整形的数字脉宽调制信号发生器 (110), 该脉宽调制信号发生器响应数字信号输入 (106) 和随机周期信号 (132), 用于将校正的数字信号输入 (168) 的量化噪声重新分布到产生数字脉宽调制信号时所关心的音频波段外部的波段; 以及

功率级 (118), 响应数字脉宽调制信号, 用于提供放大的数字脉宽调制信号 (122),

其中数字脉宽调制信号发生器 (110) 包括:

随机周期信号发生器 (130), 用于产生随机周期信号 (132);

噪声整形单元 (147), 响应至少数字信号 (106)、随机周期信号 (132) 和延迟数字信号 (162), 用于产生校正的数字信号 (168);

占空比量化器 (134), 响应校正的数字信号 (168)、随机周期信号 (132) 和量化时钟信号 (190), 用于产生第一占空比信号 (136) 和第二占空比信号 (137); 以及

脉宽调制计数器 (172), 响应第一和第二占空比信号 (136, 137) 以及量化时钟信号 (190), 用于分别产生正和负脉宽调制 (180, 184) 信号。

2. 根据权利要求 1 的数字放大器装置, 还包括:

数字源 (102), 该数字源用于提供数字信号输入 (106), 其中数字信号输入 (106) 包括脉冲编码调制信号或脉冲密度调制信号。

3. 根据权利要求 1 的数字放大器装置, 其中数字脉宽调制信号发生器 (110) 利用随机周期信号 (132) 减小数字脉宽调制信号中的电磁干扰效应。

4. 根据权利要求 1 的数字放大器装置, 其中数字脉宽调制信号发生器 (110) 利用累积噪声整形减小由数字脉宽调制信号产生时校正数字信号的量化引起的噪声量。

5. 一种产生数字脉宽调制信号的装置 (110), 包括:

随机周期信号发生器 (130), 用于产生随机周期信号;

噪声整形单元 (147), 响应至少数字信号 (106)、随机周期信号 (132) 和延迟数字信号 (162), 用于产生校正的数字信号 (168);

占空比量化器 (134), 响应校正数字信号 (168)、随机周期信号 (132) 和量化时钟信号 (190), 用于产生第一占空比信号 (136) 和第二占空比信号 (137); 以及

脉宽调制计数器 (172), 响应第一和第二占空比信号 (136, 137) 以及量化时钟信号 (190), 用于分别产生正和负脉宽调制 (180, 184) 信号。

6. 根据权利要求 5 的装置, 其中随机周期信号 (132) 包括独立可变频率信号, 而且其中独立可变频率信号在逐个周期的基础上变化。

7. 根据权利要求 5 的装置, 其中噪声整形单元 (147) 包括延迟 (146), 自适应系数产生器 (143), 累积误差放大器 (142) 和求和器 (164), 而且其中延迟 (146) 响应数字信号 (106) 和随机周期信号 (132), 用于产生延迟数字信号 (162), 而且其中自适应系数产生器 (143) 响应随机周期信号 (132) 用于产生自适应系数, 以及其中累积误差放大器 (142) 执行一系列噪声整形操作以产生估计误差信号 (176)。

8. 根据权利要求 7 的装置, 其中累积误差放大器 (142) 响应自适应系数、随机周期信号 (132)、延迟数字信号 (162)、数字信号 (106) 以及正和负脉宽调制信号 (100, 184), 用于执行一系列噪声整形操作以产生估计误差信号 (176), 其中估计误差信号 (176) 表示延迟

数字信号与正和负脉宽调制信号 (180,184) 之间的差之间的噪声整形误差,以及其中延迟数字信号与脉宽调制信号差之间的噪声整形误差由累积误差放大器 (142) 的累积部分使用自适应系数和数字信号进行噪声整形。

9. 根据权利要求 5 的装置,其中噪声整形单元 (147) 还将由占空比量化器 (134) 引起的量化噪声重新分布到所关心的音频波段外部的波段,作为第一和第二占空比信号 (136,137) 的函数。

10. 根据权利要求 5 的装置,其中占空比量化器 (134) 对于随机周期信号 (132) 的左半周期和右半周期计算第一和第二占空比信号 (136,137),其中对于左半周期,占空比量化器 (134) 使用正和负脉宽调制信号 (180,184) 的预测量化形式的第一持续时间和第一随机半周期信号产生第一和第二占空比信号 (136,137),并且其中第一随机半周期信号对应于随机周期信号 (132) 的左半周期,以及其中正和负脉宽调制信号 (180,184) 的预测量化形式的第一持续时间对应于随机周期信号 (132) 的左半周期的校正数字信号 (168)。

11. 根据权利要求 10 的装置,其中对于右半周期,占空比量化器 (134) 使用正和负脉宽调制信号 (180,184) 的预测量化形式的第二持续时间和第二随机半周期信号产生第一和第二占空比信号 (136,137),其中第二随机半周期信号对应于随机周期信号 (132) 的右半周期,以及其中正和负脉宽调制信号 (180,184) 的预测量化形式的第二持续时间对应于随机周期信号 (132) 的右半周期的校正数字信号 (168)。

12. 根据权利要求 5 的装置,其中噪声整形单元 (147) 将由占空比量化器 (134) 引起的量化噪声重新分布到所关心的音频波段外部,并且用于在功率级 (118) 的输出满足期望的信号噪声比标准。

13. 根据权利要求 5 的装置,其中脉宽调制计数器 (172) 通过分别计数由第一和第二占空比信号 (136,137) 表示的量化时钟周期的数目来产生正和负脉宽调制信号 (180,184),而且其中正和负脉宽调制信号是方波形式。

14. 一种数字脉宽调制信号产生的方法,包括:

接收数字信号;

使用随机周期发生器 (130) 产生随机周期信号,随机周期信号具有随机周期并且包括左半周期和右半周期;

基于随机周期 (132) 计算自适应系数;

使用第一发生器计算随机周期 (132) 的左半周期的第一函数,其中左半周期的第一函数是数字信号 (106)、随机周期 (132)、延迟数字信号 (162) 以及正和负脉宽调制信号 (180,184) 的函数;

使用第二发生器计算随机周期 (132) 的左半周期的第二函数,其中第二函数是左半周期的第一函数、自适应系数 (145) 以及左半周期的先前第二函数的函数;

使用左半周期的第二函数估计误差信号 (176);

将数字信号 (106) 与左半周期的估计误差信号 (176) 求和;

对于左半周期量化第一和第二占空比以建立正和负脉宽调制信号 (180,184) 的左半周期的量化时钟计数;

使用第一发生器计算随机周期 (132) 的右半周期的第一函数 (f1, f2, f3, f4),其中右半周期的第一函数是数字信号 (106)、随机周期 (132)、延迟数字信号 (162) 以及正和负脉

宽调制信号 (180,184) 的函数；

使用第二发生器计算随机周期 (132) 的右半周期的第二函数 (I1, I2, I3, I4), 其中右半周期的第二函数是右半周期的第一函数、自适应系数 (145) 以及右半周期的先前第二函数的函数；

使用右半周期的第二函数估计误差信号 (176)；

将数字信号 (106) 与右半周期的估计误差信号求和；以及

对于右半周期量化第一和第二占空比以建立正和负脉宽调制信号 (180,184) 的右半周期的量化时钟计数。

15. 根据权利要求 14 的方法, 还包括：

响应获得右半周期的结束, 以新的随机周期信号的产生代替前一个随机周期信号开始重复所述方法。

具有使用累积噪声整形的数字 PWM 信号发生器的方法和装置

技术领域

[0001] 本发明涉及数字放大器,尤其涉及脉宽调制 (PWM) 信号的干扰和噪声减小。

背景技术

[0002] 在数字音频放大器中,脉宽调制 (PWM) 经常用来将数字信号转换成其模拟分量。这种数字音频放大器经常称作数字 PWM 音频放大器。数字 PWM 音频放大器可以在各种应用中使用,例如蜂窝式电话和高端数字音频设备。

[0003] 许多数字 PWM 音频放大器符合称作 D 类数字放大器的特殊类别的放大器。在典型 D 类数字放大器中,固定频率信号发生器,例如三角波振荡器,与数字音频输入结合使用以执行脉宽调制。脉宽调制的信号放大并提供给低通滤波器以减小电磁干扰 (EMI)。虽然使用低通滤波器是去除 EMI 干扰的一种可行方法,它也承担另外板空间的使用以及给数字音频放大器增加另外的成本。在许多低端蜂窝式电话应用中,增加单位成本不是一种可行的选择,因此,可以用来减少成本同时提高信号质量的备选方法经常认为是值得效仿的。

[0004] 因此,存在对减少数字放大器中 EMI 和量化噪声的改进数字放大器的需求。

发明内容

[0005] 根据本发明的第一方面,提供一种数字放大器装置,包括:用于产生数字脉宽调制信号的使用累积噪声整形的数字脉宽调制信号发生器,该脉宽调制信号发生器响应数字信号输入和随机周期信号,用于将校正的数字信号输入的量化噪声重新分布到产生数字脉宽调制信号时所关心的音频波段外部的波段;以及功率级,响应数字脉宽调制信号,用于提供放大的数字脉宽调制信号。

[0006] 根据本发明的第二方面,提供一种产生数字脉宽调制信号的装置,包括:随机周期信号发生器,用于产生随机周期信号;噪声整形单元,响应至少数字信号、随机周期信号和延迟数字信号,用于产生校正的数字信号;占空比量化器,响应校正数字信号、随机周期信号和量化时钟信号,用于产生第一占空比信号和第二占空比信号;以及脉宽调制计数器,响应第一和第二占空比信号以及量化时钟信号,用于分别产生正和负脉宽调制信号。

[0007] 根据本发明的第三方面,提供一种数字脉宽调制信号产生的方法,包括:接收数字信号;使用随机周期发生器产生随机周期信号,随机周期信号具有随机周期并且包括左半周期和右半周期;基于随机周期计算自适应系数;使用第一发生器计算随机周期的左半周期的第一函数,其中左半周期的第一函数是数字信号、随机周期、延迟数字信号以及正和负脉宽调制信号的函数;使用第二发生器计算随机周期的左半周期的第二函数,其中第二函数是左半周期的第一函数、自适应系数以及左半周期的先前第二函数的函数;使用左半周期的第二函数估计误差信号;将数字信号与左半周期的估计误差信号求和;对于左半周期量化第一和第二占空比以建立正和负脉宽调制信号的左半周期的量化时钟计数;使用第一发生器计算随机周期的右半周期的第一函数,其中右半周期的第一函数是数字信号、随机

周期、延迟数字信号以及正和负脉宽调制信号的函数；使用第二发生器计算随机周期的右半周期的第二函数，其中右半周期的第二函数是右半周期的第一函数、自适应系数以及右半周期的先前第二函数的函数；使用右半周期的第二函数估计误差信号；将数字信号与右半周期的估计误差信号求和；以及对于右半周期量化第一和第二占空比以建立正和负脉宽调制信号的右半周期的量化时钟计数。

附图说明

[0008] 本发明通过实例说明并且不受附随附图限制，其中类似的参考指示类似的元件，并且其中：

[0009] 图 1 以框图形式说明根据本发明一种实施方案的 PWM 数字放大器；

[0010] 图 2 以框图形式说明根据本发明一种实施方案的 PWM 数字放大器；

[0011] 图 3 以框图形式说明根据本发明一种实施方案的累积误差放大器；

[0012] 图 4 以流程图形式说明在本发明一种实施方案中使用的方法；

[0013] 图 5 说明已知放大器的频谱对比根据本发明一种实施方案的放大器的频率；以及

[0014] 图 6 以时序图形式说明根据本发明一种实施方案与脉宽调制相关联的各种信号。

[0015] 本领域技术人员理解，图中的元件仅为了简单和清楚说明，而不一定按照比例绘制。例如，图中一些元件的尺寸可能相对于其他元件放大以帮助提高本发明实施方案的理解。

具体实施方式

[0016] 在本发明的一种实施方案中，数字放大器装置包括用于产生数字 PWM 信号的使用累积噪声整形 (integral noise shaping) 的数字脉宽调制 (PWM) 信号发生器以及功率级。PWM 信号发生器响应数字信号输入和随机周期信号，用于将校正的数字信号输入的量化噪声重新分布到产生数字 PWM 信号时所关心的音频波段外部的波段。功率级响应数字 PWM 信号，用于提供放大的数字 PWM 信号。

[0017] 在本发明的一种实施方案中，产生数字脉宽调制 (PWM) 信号的装置包括随机周期信号发生器、噪声整形单元、占空比量化器和 PWM 计数器。随机周期信号发生器产生随机周期信号。噪声整形单元响应至少数字信号、随机周期信号和延迟数字信号，用于产生校正信号。占空比量化器响应校正的数字信号、随机周期信号和量化时钟信号，并且产生第一占空比信号和第二占空比信号。PWM 计数器响应第一和第二占空比信号以及量化时钟信号，并且分别产生正和负 PWM 信号。

[0018] 在本发明的一种实施方案中，提供一种数字脉宽调制 (PWM) 信号产生的方法。接收数字信号。使用随机周期发生器产生随机周期信号，随机周期信号包括左半周期和右半周期。基于随机周期计算自适应系数。使用第一发生器计算随机周期的左半周期的第一函数。使用第二发生器计算随机周期的左半周期的第二函数。使用左半周期的第二函数估计误差信号。将接收的数字信号与左半周期的估计误差信号求和。第一和第二占空比对于左半周期而量化以建立正和负 PWM 信号的左半周期的量化时钟计数。使用第一发生器计算随机周期的右半周期的第一函数。使用第二发生器计算随机周期的右半周期的第二函数。使用右半周期的第二函数估计误差信号。将接收的数字信号与右半周期的估计误差信号求

和。第一和第二占空比对于右半周期而量化以建立正和负 PWM 信号的右半周期的量化时钟计数。

[0019] 图 1 说明根据本发明一种实施方案的数字放大器 100。数字放大器 100 包括数字源 102, 具有使用累积误差整形的数字脉宽调制信号发生器 (DPSG) 110, 功率级 118 和负荷 126。数字源 102 可以包括设备例如 CD 唱机、数字音频磁带放音机、蜂窝式电话、数字汽车收音机等。在一种实施方案中, 负荷 126 可能是音频扬声器。本发明的其他实施方案可以使用其他类型的负荷。

[0020] 操作中, 数字源 102 提供数字信号 106 到 DPSG 110。数字信号 106 可能是例如脉冲编码调制 (PCM) 信号或脉冲密度调制 (PDM) 信号形式的数字输入。DPSG 110 接收数字信号 106 并且利用随机周期发生器减小电磁干扰 (EMI), 以及使用累积噪声整形减小由量化引起的量化噪声的量。DPSG 110 提供数字 PWM 信号 114 到功率级 118 以放大。功率级 118 放大数字 PWM 信号 114 并且将放大的 PWM 信号 122 作为音频输出提供到负荷 126。

[0021] 图 2 说明根据本发明一种实施方案的数字放大器 100。数字放大器 100 的 DPSG 110 包括噪声整形单元 147, 随机周期发生器 130, 占空比量化器 134 和脉宽调制 (PWM) 计数器 172。噪声整形单元 147 包括延迟块 146, 累积误差放大器 142, 加法器 164 以及自适应系数产生器 143。

[0022] 操作中, DPSG 110 接收来自数字源 102 的数字信号 106。数字信号 106 提供到噪声整形单元 147 的延迟块 146、加法器 164 和累积误差放大器 142。在一种实施方案中, 延迟块 146 接收数字信号 106 并且将数字信号 106 延迟由随机周期发生器 130 产生的随机周期信号 132 (随机周期 132) 的持续时间限制的延迟量。在一种实施方案中, 随机周期信号 132 可能包括独立可变频率信号并且可能基于逐个周期而变化。延迟量使用随机周期 132 的一半 (随机半周期 132) 在累积误差放大器中标准化。标准化的延迟量可以称作延迟比。延迟数字信号 162 提供到累积误差放大器 142。

[0023] 除了提供随机周期 132 到延迟块 146 之外, 随机周期发生器 130 将随机周期 132 提供到占空比量化器 134、累积误差放大器 142 和自适应系数产生器 143。自适应系数产生器 143 使用随机周期 132 产生自适应系数 145。自适应系数 145 然后提供给累积误差放大器 142。

[0024] 噪声整形单元 147 的累积误差放大器 142 接收随机周期 132, 来自延迟块 146 的延迟数字信号 162, 来自数字源 102 的数字信号 106, 来自自适应系数产生器 143 的自适应系数 145, 来自 PWM 计数器 172 的 PWM 信号 184 以及来自 PWM 计数器 172 的 PWM 信号 180。累积误差放大器 142 执行一系列噪声整形操作 (进一步在图 3 的描述中描述) 以产生误差信号 (估计误差) 176。估计误差 176 表示延迟数字信号 162 与 PWM 信号差 (也就是 PWM 信号 180 与 PWM 信号 184 之间的差) 之间的噪声整形的误差。在一种实施方案中, 延迟数字信号 162 与 PWM 信号差之间的误差由累积误差放大器 142 的累积部分使用自适应系数 145 和数字信号 106 噪声整形。在一种实施方案中, 与占空比 136 和占空比 137 相对应的占空比可以由累积误差放大器 142 使用 PWM 信号 180 和 PWM 信号 184 导出。在备选实施方案中, 占空比 136 和占空比 137 可以直接提供给累积误差放大器 142 (没有显示)。加法器 164 接收估计误差 176 和数字信号 106 并且执行求和操作以产生校正的数字信号 168。校正的数字信号 168 与随机周期 132 和量化时钟信号 190 一起提供给占空比量化器 134。

[0025] 占空比量化器 134 接收来自求和器 164 的校正数字信号 168, 来自随机周期发生器 130 的随机周期 132 以及来自量化时钟 191 的量化时钟信号 190, 并且产生占空比 136 和占空比 137。在一种实施方案中, 占空比 136 和占空比 137 为随机周期 132 的周期的左半 (左半周期) 和随机周期 132 的周期的右半 (右半周期) 而计算。在一种实施方案中, 占空比量化器 134 使用 PWM 信号 180 的预测量化形式的持续时间 (对应于随机周期 132 的左半周期的校正数字信号 168) 和随机半周期 (对应于左半周期的随机周期 132 的一半) 以产生占空比 137。类似地, 占空比量化器 134 使用 PWM 信号 184 的预测量化形式的持续时间 (对应于随机周期 132 的左半周期的校正数字信号 168) 和随机半周期 (对应于左半周期的随机周期 132 的一半) 以产生占空比 136。对于右半周期, 占空比量化器 134 使用 PWM 信号 180 的预测量化形式的持续时间 (对应于随机周期 132 的右半周期的校正数字信号 168) 和随机半周期 (对应于右半周期的随机周期 132 的一半) 以产生占空比 137。类似地, 占空比量化器 134 使用 PWM 信号 184 的预测量化形式的持续时间 (对应于随机周期 132 的右半周期的校正数字信号 168) 和随机半周期 (对应于右半周期的随机周期 132 的一半) 以产生占空比 136。

[0026] 在一种实施方案中, 由例如占空比量化器 134 引起的量化噪声由噪声整形单元 147 在所关心的音频波段外部重新分布, 使得期望的信号噪声比标准在功率级 118 的输出满足。在一种实施方案中, 例如对于 CD 质量音频, 期望的信号噪声比标准可能是 96dB。备选实施方案可能具有其噪声整形单元 147 可能因此调节的备选信号噪声标准。

[0027] PWM 计数器 172 接收来自占空比量化器 134 的占空比 136, 来自占空比量化器 134 的占空比 137 以及来自量化时钟 191 的量化时钟信号 190, 并且产生 PWM 信号 180 和 PWM 信号 184。在一种实施方案中, PWM 信号 180 通过计数由占空比 137 表示的量化时钟周期的数目而产生, 并且 PWM 信号 184 通过计数由占空比 136 表示的量化时钟周期的数目而产生。PWM 信号 180 和 PWM 信号 184, 二者都是方波形式, 提供到累积误差放大器 142 和功率级 118。功率级 118 放大 PWM 信号 180 和 PWM 信号 184 以产生放大的 PWM 信号 120 和放大的 PWM 信号 121。放大的 PWM 信号 120 和放大的 PWM 信号 121 提供给负荷 126 并且表示数字放大器 100 的音频输出。

[0028] 图 3 描绘根据本发明一种实施方案的累积误差放大器 142。在一种实施方案中, 估计误差 176 使用与图 3 中所示的框图相对应的等式 1-15 产生。估计误差 176 对由随机周期发生器 130 产生的随机周期 132 的左半周期和右半周期计算。f 发生器为左半周期和右半周期产生 f 函数, f1, f2, f3, f4, 而 I 发生器为左半周期和右半周期产生 I 函数, I1, I2, I3, I4。

[0029] 本发明一种实施方案的数学表示将使用下面的变量给出:

[0030] 半周期索引 k

[0031] 周期索引 n

[0032] 额定半周期 $T_0[n]$

[0033] 随机半周期, $T[n]$

[0034] 增益常数, C1, C2, C3, C4

[0035] 左半周期的延迟数字信号 162, $x_r[n-1]$

[0036] 右半周期的延迟数字信号 162, $x_l[n]$

[0037] 左半周期的数字信号 106, $x1[n]$

[0038] 右半周期的数字信号 106, $xr[n]$

[0039] 左半周期的延迟比, $d1[n]$

[0040] 右半周期的延迟比, $dr[n]$

[0041] 左半周期的 PWM 信号 180 的占空比, $d1_1[n]$

[0042] 右半周期的 PWM 信号 180 的占空比, $dr_1[n]$

[0043] 左半周期的 PWM 信号 184 的占空比, $d1_2[n]$

[0044] 右半周期的 PWM 信号 184 的占空比, $dr_2[n]$

[0045] 周期索引 n 可以使用等式 1 计算 :

[0046] 等式 1 : $n = \frac{k+1}{2}$ 对于左半周期或者

[0047] $n = \frac{k}{2}$ 对于右半周期

[0048] 自适应系数 145 可以使用等式 2 计算 :

[0049] 等式 2 : $a[n] = \frac{T[n]}{T_0[n]}$

[0050] 左半周期的 f 函数 $f1, f2, f3, f4$ 可以使用等式 3-6 计算 :

[0051] 等式 3 : $f1 = xr[n-1] + (x1[n] - xr[n-1])d1[n] + (1-d1_1[n]) - (1-d1_2[n])$

[0052] 等式 4 : $f2 = xr[n-1] + (x1[n] - xr[n-1])d1^2[n] + (1-d1_1[n])^2 - (1-d1_2[n])^2$

[0053] 等式 5 : $f3 = xr[n-1] + (x1[n] - xr[n-1])d1^3[n] + (1-d1_1[n])^3 - (1-d1_2[n])^3$

[0054] 等式 6 : $f4 = xr[n-1] + (x1[n] - xr[n-1])d1^4[n] + (1-d1_1[n])^4 - (1-d1_2[n])^4$

[0055] 右半周期的 f 函数 $f1, f2, f3, f4$ 可以使用等式 7-10 计算 :

[0056] 等式 7 : $f1 = x1[n] + (xr[n] - x1[n-1])dr[n] + dr_2[n] - dr_1[n]$

[0057] 等式 8 : $f2 = x1[n] + (xr[n] - x1[n-1])dr^2[n] + dr_2^2[n] - dr_1^2[n]$

[0058] 等式 9 : $f3 = x1[n] + (xr[n] - x1[n-1])dr^3[n] + dr_2^3[n] - dr_1^3[n]$

[0059] 等式 10 : $f4 = x1[n] + (xr[n] - x1[n-1])dr^4[n] + dr_2^4[n] - dr_1^4[n]$

[0060] 左半周期和右半周期的 I 函数 $I1, I2, I3, I4$ 可以使用等式 11-14 计算 :

[0061] 等式 11 : $I1[k] = I1[k-1] + (a)(f1)$

[0062] 等式 12 : $I2[k] = I2[k-1] + (a)(I1[k-1]) + \left(\frac{a^2}{2}\right)(f2)$

[0063] 等式 13 : $I3[k] = I3[k-1] + (a)(I2[k-1]) + \left(\frac{a^2}{2}\right)(I1[k-1]) + \left(\frac{a^3}{6}\right)(f3)$

[0064] 等式 14 :

$$I4[k] = I4[k-1] + (a)(I3[k-1]) + \left(\frac{a^2}{2}\right)(I2[k-1]) + \left(\frac{a^3}{6}\right)(I1[k-1]) + \left(\frac{a^4}{24}\right)(f4)$$

[0065] 估计误差 176 可以使用等式 15 计算 :

[0066] 等式 15 : $e[k] = (C1)I1[k] + (C2)I2[k] + (C3)I3[k] + (C4)I4[k]$

[0067] 图 4 以流程图形式说明由本发明一种实施方案执行的功能。在一种实施方案中, 流程 401 以 DPSG 110 的初始化开始。流程 401 然后前进到步骤 404, 在那里随机周期由随

机周期发生器 130 产生。流程 401 然后继续到步骤 408,在那里自适应系数基于随机周期计算。流程 401 然后前进到步骤 412,在那里 f 发生器为由随机周期发生器 130 产生的随机周期的左半周期计算 f 函数 f_1, f_2, f_3, f_4 。f 函数(等式 3-6 中所示)是数字信号 106、随机周期 132、延迟数字信号 162、PWM 信号 180 和 PWM 信号 184 的函数。流程 401 然后前进到块 416,在那里 I 函数 I_1, I_2, I_3, I_4 对于左半周期而计算。I 函数(等式 11-14 中所示)是左半周期的 f 函数、自适应系数 145 和左半周期的先前 I 函数的函数。流程 401 然后继续到块 420,在那里估计误差 176 使用 I 函数和增益常数 C_1, C_2, C_3 和 C_4 估计。流程 401 然后前进到块 424,在那里数字信号 106 与估计误差 176 求和。流程 401 然后前进到块 428,在那里量化左半周期的占空比以建立 PWM 信号 180 和 184 的左半周期的量化时钟计数。流程 401 然后继续到判定菱形 432,在那里确定左半周期的结束是否完成。当左半周期的结束没有完成时,判定菱形 432 重复直到左半周期的结束完成。当左半周期的结束完成时,流程 401 继续到块 436,在那里 f 发生器为由随机周期发生器 130 产生的随机周期的右半周期计算 f 函数 f_1, f_2, f_3, f_4 。右半周期的 f 函数(等式 7-10 中所示)是数字信号 106、随机周期 132、延迟数字信号 162、PWM 信号 180 和 PWM 信号 184 的函数。流程 401 然后前进到块 440,在那里 I 函数 I_1, I_2, I_3, I_4 对于右半周期而计算。右半周期的 I 函数(等式 11-14 中所示)是右半周期的 f 函数、自适应系数 145 和右半周期的先前 I 函数的函数。流程 401 然后继续到块 444,在那里估计误差 176 使用右半周期的 I 函数和增益常数 C_1, C_2, C_3 和 C_4 估计。流程 401 然后前进到块 448,在那里数字信号 106 与估计误差 176 求和。流程 401 然后前进到块 452,在那里量化右半周期的占空比以建立 PWM 信号 180 和 184 的右半周期的量化时钟计数。流程 401 然后继续到判定菱形 456,在那里确定右半周期的结束是否完成。当右半周期的结束没有完成时,判定菱形 456 重复直到右半周期的结束完成。当右半周期的结束完成时,流程 401 继续到块 404。

[0068] 图 5 说明使用随机切换频率的随机周期发生器的仿真(较低峰值 504)对比使用固定切换频率的固定周期发生器的仿真(较高峰值 502)。对于较高峰值 502,频谱内容的大部分位于 125kHz。通过使用由随机周期发生器 130 产生的随机周期,切换频率噪声在宽频谱上延伸(如由较低峰值 504 所显示的),除去低通滤波器执行类似操作的需求。

[0069] 图 6 说明在数字放大器 100 中使用和/或产生的信号的一些的时域表示(图 1 和图 2 中所示)。数字输入信号 106 是表示为输入 PCM 信号 106 的 PCM 信号。采样点 1A 和 1B 所示为显示为随机周期三角函数的随机周期信号 132 与校正的数字信号 168 之间的交点。采样点 1A 对应于校正数字信号 168 的左半周期中的第一原始采样点。采样点 2A 对应于校正数字信号 168 的左半周期中第一原始采样点的负数(随机周期三角函数的参考中心点 1)。采样点 1B 对应于校正数字信号 168 的右半周期中的第一原始采样点。采样点 2B 对应于校正数字信号 168 的右半周期中第一原始采样点的负数。在一种实施方案中,随机周期三角函数的随机周期具有周期持续时间 $2T[n]$,因为左半周期和右半周期都具有半周期持续时间 $T[n]$ 。量化的预测 PWM 信号 180 表示由 PWM 计数器 172 输出的 PWM 信号 180,并且量化的 PWM 信号 184 表示由 PWM 计数器 172 输出的 PWM 信号 184。预测的 PWM 信号 180 和预测的信号 184 分别显示 PWM 信号 180 和 PWM 信号 184 的非量化形式。

[0070] 在前述说明书中,本发明已经参考具体实施方案描述。但是,本领域技术人员理解,可以进行各种修改和改变而不背离如下面权利要求中陈述的本发明的范围。因此,说明

书和附图将认为在说明而不是限制的意义上,并且所有这种修改打算包括在本发明的范围内。

[0071] 已经针对具体实施方案在上面描述了本发明的好处、其他优点和问题的解决方案。但是,可能使得任何好处、优点或解决方案出现或变得更明显的好处、优点、问题解决方案和任何元素并不解释为任何或全部权利要求的关键、必需或重要特征或元素。如这里使用的,术语“包括”、“包含”或任何其他变化打算覆盖非排他包含,使得包括一系列元素的处理、方法、物品或装置不仅包括那些元素而且包括没有明确列出或这种处理、方法、物品或装置固有的其他元素。

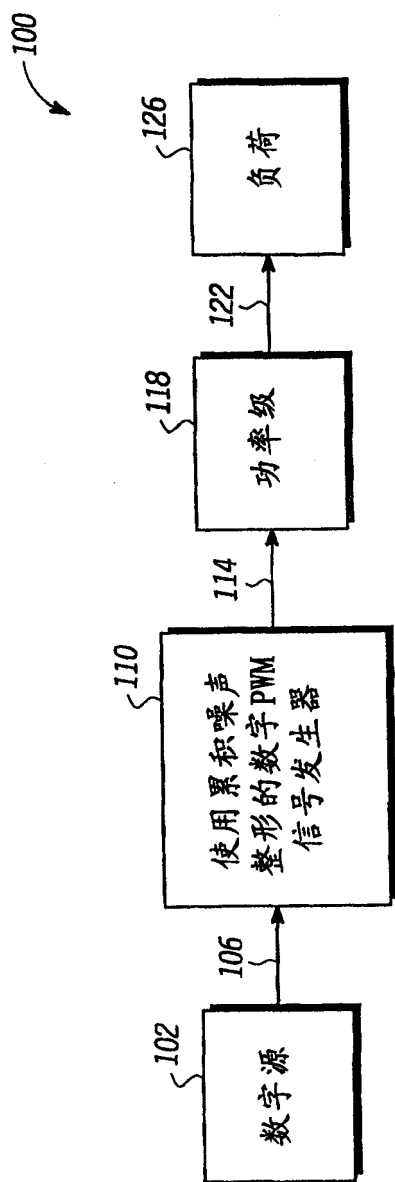
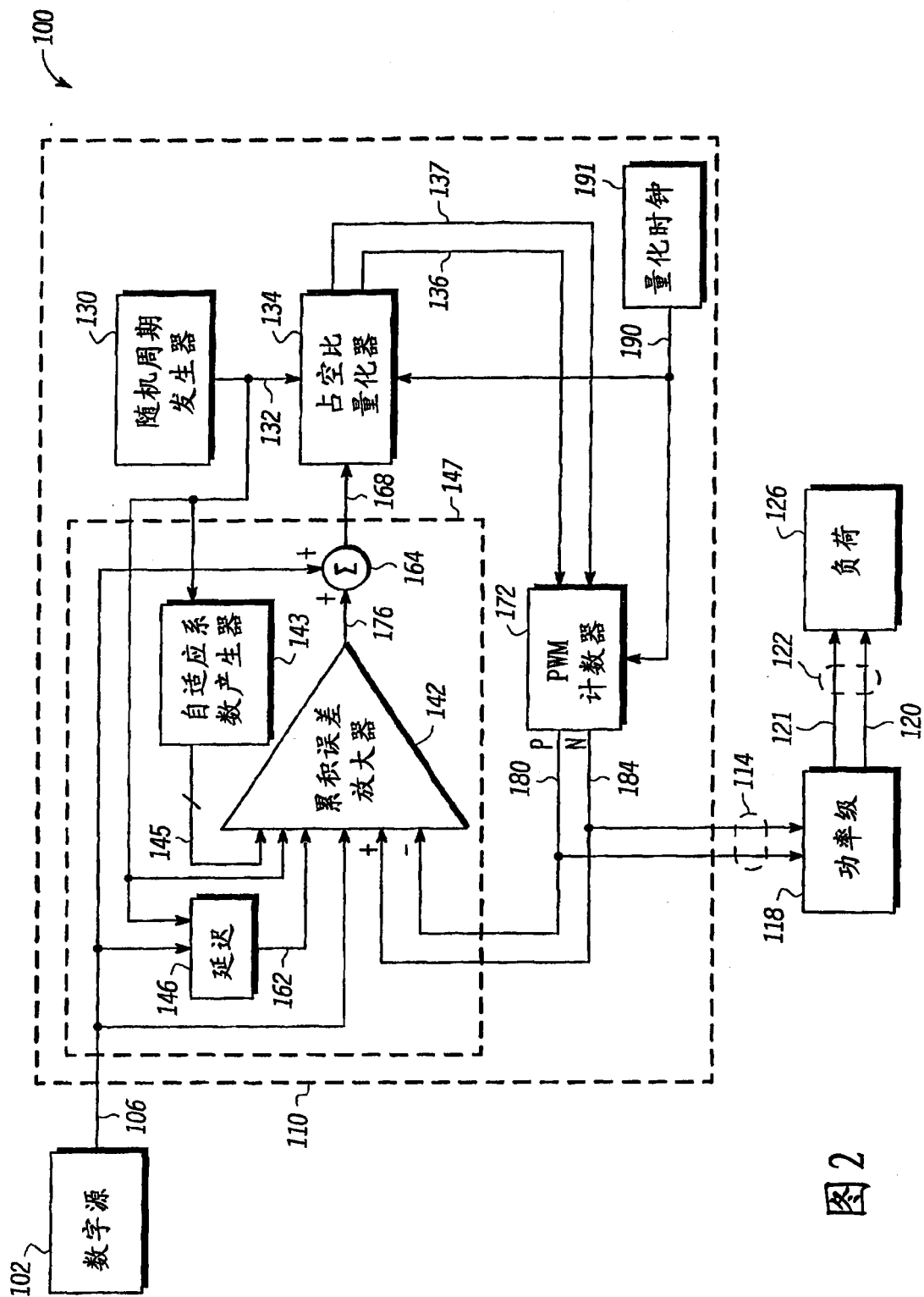


图1



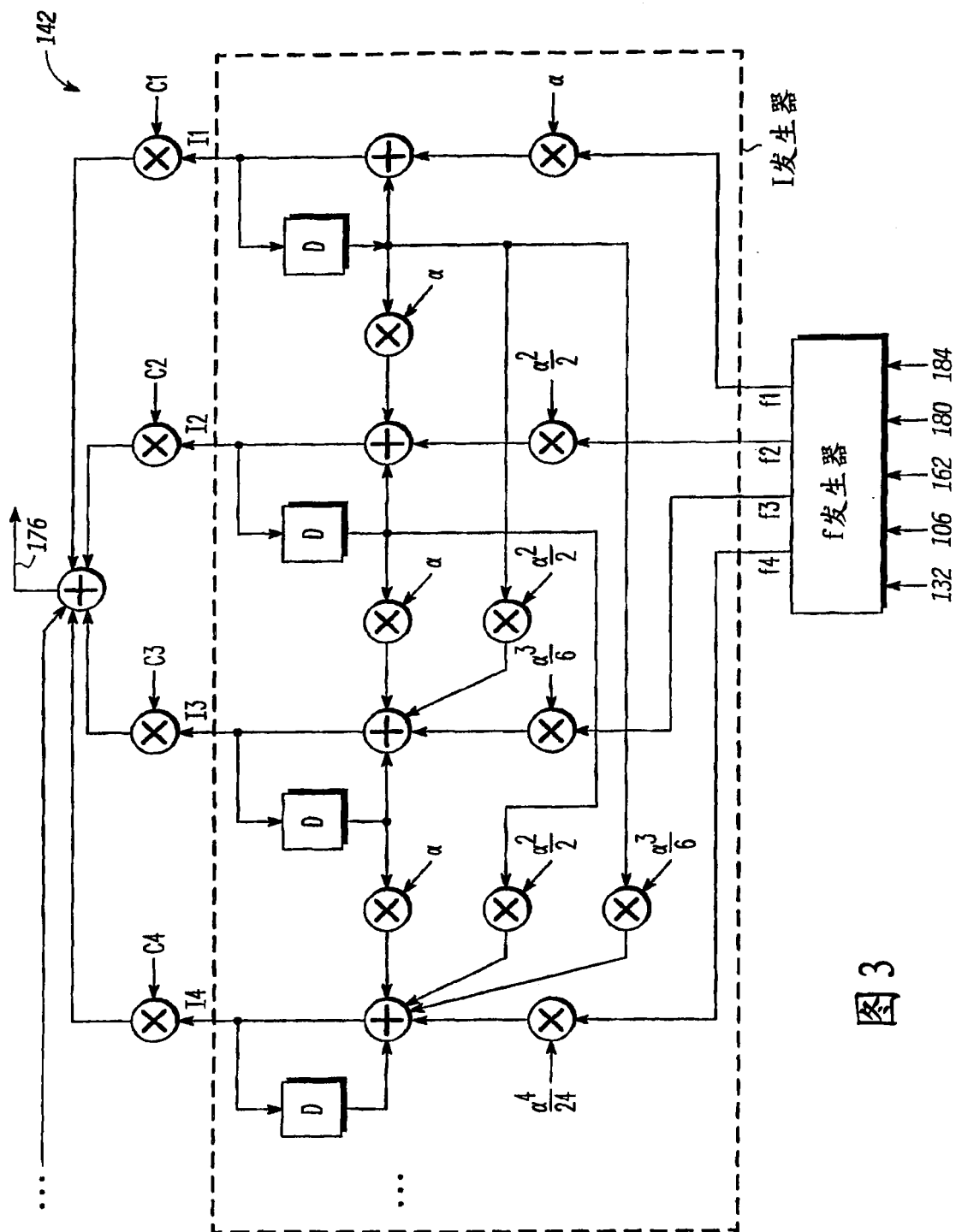


图 3

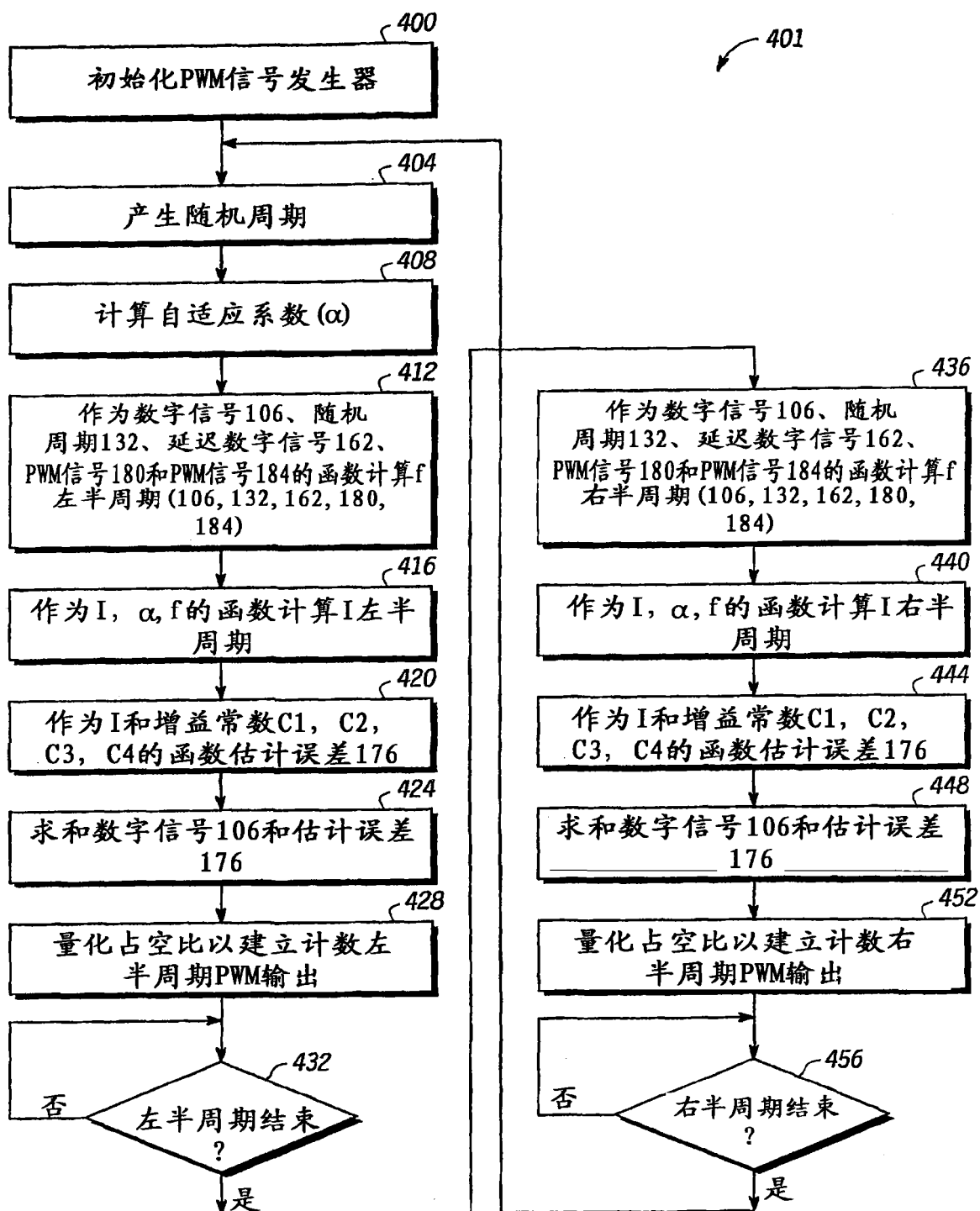


图 4

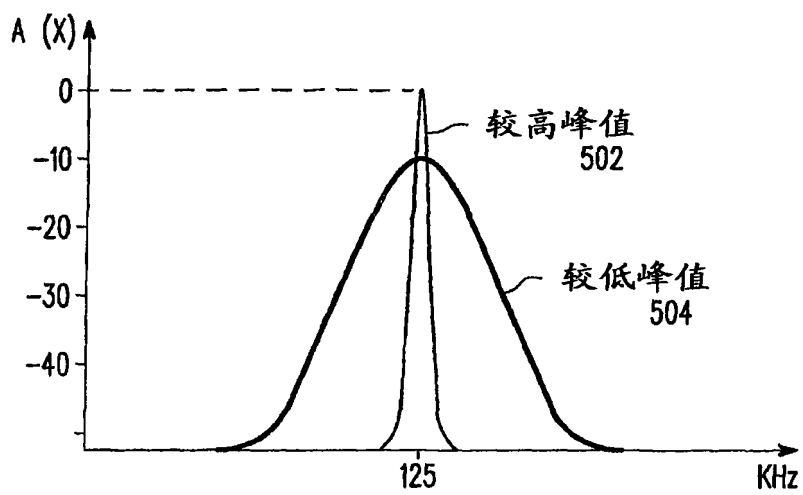


图 5

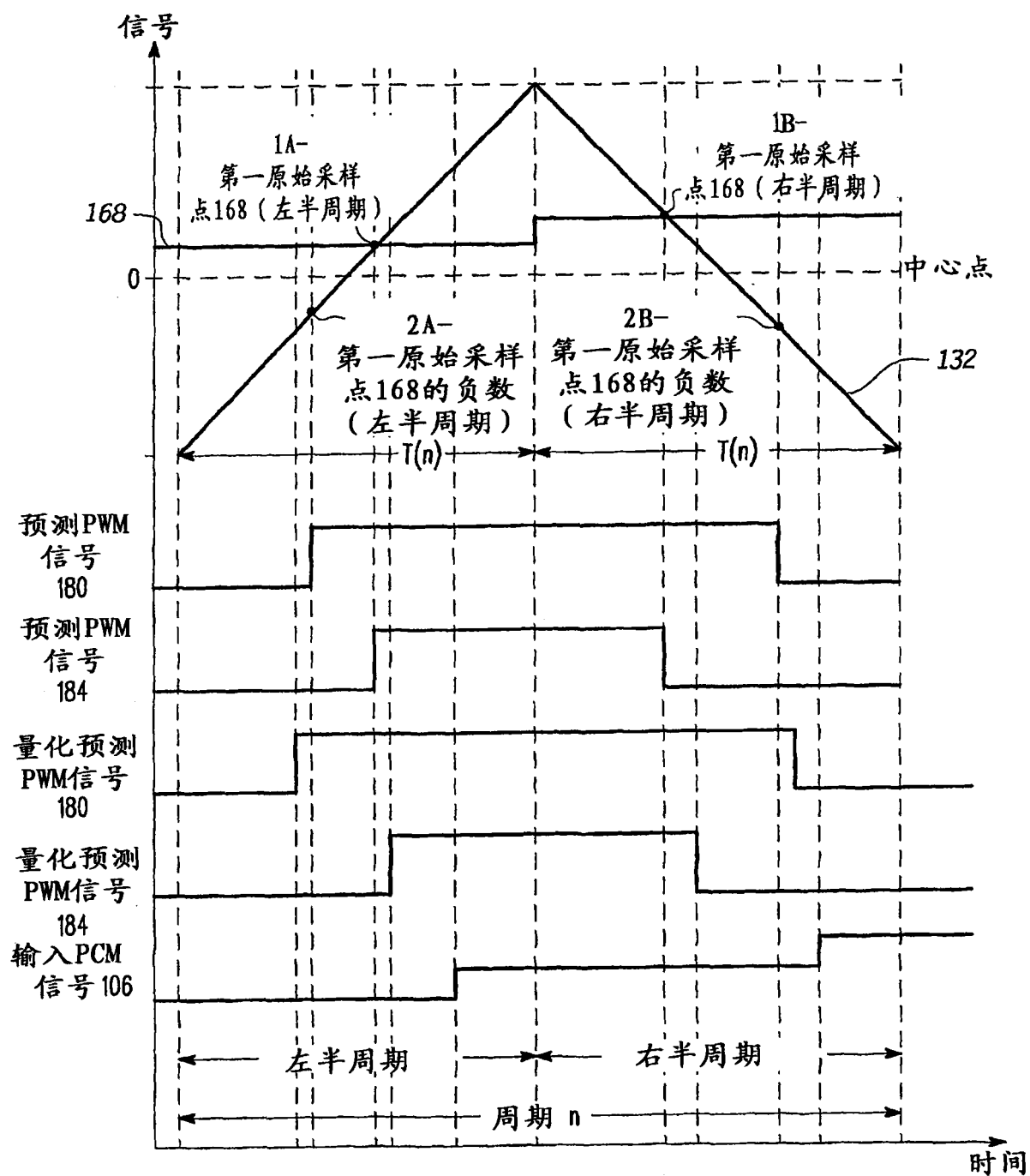


图 6