

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G11B 5/09 (2006.01)

G11B 5/584 (2006.01)

G11B 5/008 (2006.01)



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200510124786.9

[43] 公开日 2006年7月12日

[11] 公开号 CN 1801329A

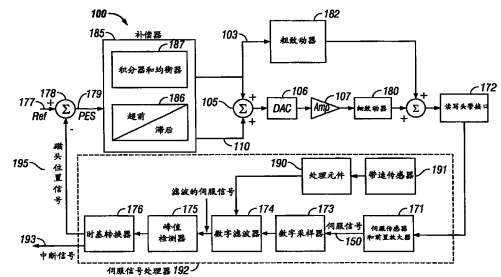
[22] 申请日 2005.11.15
 [21] 申请号 200510124786.9
 [30] 优先权
 [32] 2004.12.15 [33] US [31] 11/012,952
 [71] 申请人 国际商业机器公司
 地址 美国纽约
 [72] 发明人 南布依 兰迪·英奇 小仓英司
 鹤田和弘

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所
 代理人 黄小临 王志森

权利要求书 11 页 说明书 22 页 附图 12 页

[54] 发明名称
 用于同步采样时基伺服系统的速度适应补偿器

[57] 摘要
 本发明公开了一种系统、方法和制造品，以提供速度适应补偿器，用于同步采样伺服控制系统。



1. 一种用于操作磁带驱动器的方法，所述磁带驱动器具有基本带速，用于沿磁头移动磁带，并且从所述磁头以第一采样频率产生第一磁头位置信号，
5 该第一采样频率与所述基本带速成比例，所述方法包括：
使用控制系统控制所述磁头的位置，该控制系统处理与所述第一采样频率同步的所述第一磁头位置信号，所述控制系统包括在第一交叉频率具有最大相位响应的补偿器；
以第二带速移动所述磁带，该第二带速是所述基本带速的倍数；
10 从所述磁头以第二采样频率产生第二磁头位置信号，该第二采样频率与所述第一采样频率乘以所述倍数成比例；以及
响应于所述倍数是大于1的整数：
使用所述控制系统控制所述磁头的所述位置，所述控制系统处理与所述第一采样频率同步的所述第二磁头位置信号，并且丢弃与所述第一采样频率
15 不同步的所述第二磁头位置信号。
2. 根据权利要求1所述的方法，其中所述控制系统处理与所述第一采样频率同步的所述第二磁头位置信号，并且丢弃与所述第一采样频率不同步的所述第二磁头位置信号包括：
提供与所述第一采样频率同步的中断信号给处理系统；以及
20 响应于所述处理系统接收所述中断信号，所述处理系统提供输出值 $h(k)$ ，包括 $h(k) = G1 \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$ ，其中 $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G1} X_n(k-1)$ ， N 大于0， $g(k)$ 与所述第二磁头位置信号成比例， $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值， $G1$ 是增益系数，而 $D1$ 、 A_n 、 B_n 是常数。
3. 根据权利要求1所述的方法，包括附加步骤：
25 响应于所述倍数不是整数且小于2：
使用所述控制系统控制所述磁头的所述位置，所述控制系统处理与所述第二采样频率同步的所述第二磁头位置信号；以及
修改所述补偿器，以便在近似等于所述第一交叉频率乘以所述倍数的频率具有最大相位响应，并且使第二交叉频率近似等于所述第一交叉频率。
- 30 4. 根据权利要求3所述的方法，其中所述修改所述补偿器，以便在近似

等于所述第一交叉频率乘以所述倍数的频率具有最大相位响应，并且使第二交叉频率近似等于第一交叉频率由下述实现：

提供与所述第二采样频率同步的中断信号给处理系统；以及

响应于所述处理系统接收所述中断信号，所述处理系统提供输出值 $h(k)$ ，

- 5 包括 $h(k) = G2 \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$ ，其中 $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G2} X_n(k-1)$ ， N 大于 0， $g(k)$ 与所述第二磁头位置信号成比例， $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值， $G2$ 是增益系数，而 $D1$ 、 A_n 、 B_n 是常数。

- 10 5. 根据权利要求 4 所述的方法，其中响应于所述倍数小于 1，所述增益系数 $G2$ 近似等于用于所述第一交叉频率的所述增益系数 $G1$ 的值乘以所述倍数的平方。

6. 根据权利要求 4 所述的方法，其中响应于所述倍数大于 1，所述增益系数 $G2$ 近似等于用于所述第一交叉频率的所述增益系数 $G1$ 的值乘以所述倍数。

7. 根据权利要求 1 所述的方法，包括附加步骤：

- 15 响应于所述倍数不是整数且大于 2：

使用所述控制系统控制所述磁头的所述位置，所述控制系统处理与第三采样频率同步的所述第二磁头位置信号，并且丢弃与所述第三采样频率不同步的所述第二磁头位置信号，其中所述第三采样频率等于所述第一采样频率乘以缩放比例数，所述缩放比例数等于所述倍数除以所述倍数的整数值；以

- 20 及

修改所述补偿器，以便在近似等于所述第一交叉频率乘以所述缩放比例数的频率具有最大相位响应，并且使第二交叉频率近似等于所述第一交叉频率。

- 25 8. 根据权利要求 7 所述的方法，其中所述修改所述补偿器，以便在近似等于所述第一交叉频率乘以所述缩放比例数的频率具有最大相位响应，并且使第二交叉频率近似等于所述第一交叉频率由下述实现：

提供与所述第三采样频率同步的中断信号给处理系统；以及

响应于所述处理系统接收所述中断信号，所述处理系统提供输出值 $h(k)$ ，

- 30 包含 $h(k) = G3 \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$ ，其中 $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G3} X_n(k-1)$ ， N 大于 0， $g(k)$ 与所述第二磁头位置信号成比例， $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值， $G3$ 是

增益系数，而 $D1$ 、 A_n 、 B_n 是常数。

9. 根据权利要求 8 所述的方法，其中所述增益系数 $G3$ 近似等于用于所述第一交叉频率的所述增益系数 $G1$ 的值乘以所述缩放比例数。

10. 一种系统，包括：

5 磁带传输系统，配置该系统以沿磁头以基本带速移动磁带；

控制系统，配置该系统以控制所述磁头的位置，包括：

伺服信号处理器，配置该处理器以从所述磁头以第一采样频率产生第一磁头位置信号，该第一采样频率与所述基本带速成比例；

补偿器，配置该补偿器以在第一交叉频率具有最大相位响应；

10 其中所述系统适于：

以第二带速移动所述磁带，该第二带速是所述基本带速的倍数；

所述伺服信号处理器从所述磁头以第二采样频率产生第二磁头位置信号，该第二采样频率与所述第一采样频率乘以所述倍数成比例；以及

响应于所述倍数是大于 1 的整数：

15 通过处理与所述第一采样频率同步的所述第二磁头位置信号，并且丢弃与所述第一采样频率不同步的所述第二磁头位置信号，所述控制系统控制所述磁头的所述位置。

11. 根据权利要求 10 所述的系统，其中所述控制系统处理与所述第一采样频率同步的所述第二磁头位置信号，并且丢弃与所述第一采样频率不同步的所述第二磁头位置信号包括：

20 所述伺服信号处理器提供与所述第一采样频率同步的中断信号给处理系统；以及

响应于所述处理系统接收所述中断信号，所述处理系统提供输出值 $h(k)$ ，包含 $h(k) = G1 \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$ ，其中 $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G1} X_n(k-1)$ ， N 大于 0，

25 $g(k)$ 与所述第二磁头位置信号成比例， $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值， $G1$ 是增益系数，而 $D1$ 、 A_n 、 B_n 是常数。

12. 根据权利要求 10 所述的系统，其中所述系统还适于：

响应于所述倍数不是整数且小于 2：

所述控制系统处理与所述第二采样频率同步的所述第二磁头位置信号；

30 以及

所述补偿器在近似等于所述第一交叉频率乘以所述倍数的频率具有最大相位响应，并且使第二交叉频率近似等于所述第一交叉频率。

13. 根据权利要求 12 所述的系统，其中所述补偿器在近似等于所述第一交叉频率乘以所述倍数的频率具有最大相位响应，并且使第二交叉频率近似等于所述第一交叉频率由下述实现：

所述伺服信号处理器提供与所述第二采样频率同步的中断信号给处理系统；以及

- 响应于所述处理系统接收所述中断信号，所述处理系统提供输出值 $h(k)$ ，包含 $h(k) = G2 \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$ ，其中 $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G2} X_n(k-1)$ ，N 大于 0， $g(k)$ 与所述第二磁头位置信号成比例， $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值，G2 是增益系数，而 D1、 A_n 、 B_n 是常数。

14. 根据权利要求 13 所述的系统，其中所述系统还适于：

响应于所述倍数小于 1，所述增益系数 G2 近似等于用于所述第一交叉频率的所述增益系数 G1 的值乘以所述倍数的平方。

15. 根据权利要求 13 所述的系统，其中所述系统还适于：

响应于所述倍数大于 1，所述增益系数 G2 近似等于用于所述第一交叉频率的所述增益系数 G1 的值乘以所述倍数。

16. 根据权利要求 10 所述的系统，其中所述系统还适于：

响应于所述倍数不是整数且大于 2：

- 所述控制系统处理与第三采样频率同步的所述第二磁头位置信号，并且丢弃与所述第三采样频率不同步的所述第二磁头位置信号，其中所述第三采样频率等于所述第一采样频率乘以缩放比例数，所述缩放比例数等于所述倍数除以所述倍数的整数值；以及

- 所述补偿器在近似等于所述第一交叉频率乘以所述缩放比例数的频率具有最大相位响应，并且使第二交叉频率近似等于所述第一交叉频率。

17. 根据权利要求 16 所述的系统，其中所述补偿器在近似等于所述第一交叉频率乘以所述缩放比例数的频率具有最大相位响应，并且使第二交叉频率近似等于所述第一交叉频率由下述实现：

- 所述伺服信号处理器提供与所述第三采样频率同步的中断信号给处理系统；以及

响应于所述处理系统接收到所述中断信号，所述处理系统提供输出值 $h(k)$ ，包含 $h(k) = G3 \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$ ，其中 $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G3} X_n(k-1)$ ， N 大于 0， $g(k)$ 与所述第二磁头位置信号成比例， $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值， $G3$ 是增益系数，而 $D1$ 、 A_n 、 B_n 是常数。

- 5 18. 根据权利要求 17 所述的系统，其中所述增益系数 $G3$ 近似等于用于所述第一交叉频率的所述增益系数 $G1$ 的值乘以所述缩放比例数。
19. 根据权利要求 10 所述的系统，其中使用基于定时的伺服系统产生所述磁头位置信号。
20. 根据权利要求 10 所述的系统，其中所述系统包括磁带驱动器，并且
- 10 还包括：
- 读/写头，用于相对所述磁带读和写数据；以及
- 耦合到所述读/写头的致动器，用于设置所述读/写头的位置。
21. 根据权利要求 10 所述的系统，其中所述系统包括自动数据存储库，用于访问数据存储介质，并且还包括：
- 15 访问器，用于访问和移动所述数据存储介质；以及
- 存储器架，用于所述数据存储介质的存储。
22. 一种控制系统，配置该系统以控制磁头的位置，该控制系统包括：
- 伺服信号处理器，配置该处理器从所述磁头以第一采样频率产生第一磁头位置信号，该第一采样频率与基本带速成比例；
- 20 补偿器，配置该补偿器在第一交叉频率具有最大相位响应；
- 其中所述控制系统适于：
- 响应于所述磁带基本带速改变到作为所述基本带速的倍数的第二带速：
- 所述伺服信号处理器从所述磁头以第二采样频率产生第二磁头位置信号，该第二采样频率与所述第一采样频率乘以所述倍数成比例；以及
- 25 响应于所述倍数是大于 1 的整数：
- 通过处理与所述第一采样频率同步的所述第二磁头位置信号，并且丢弃与所述第一采样频率不同步的所述第二磁头位置信号，所述控制系统控制所述磁头的所述位置。
23. 根据权利要求 22 所述的控制系统，其中所述控制系统处理与所述第一采样频率同步的所述第二磁头位置信号，并且丢弃与所述第一采样频率不
- 30

同步的所述第二磁头位置信号包括:

所述伺服信号处理器提供与所述第一采样频率同步的中断信号给处理系统; 以及

5 响应于所述处理系统接收所述中断信号, 所述处理系统提供输出值 $h(k)$, 包含 $h(k) = G1 \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$, 其中 $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G1} X_n(k-1)$, N 大于 0, $g(k)$ 与所述第二磁头位置信号成比例, $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值, $G1$ 是增益系数, 而 $D1$ 、 A_n 、 B_n 是常数。

24. 根据权利要求 22 所述的控制系统, 其中所述控制系统还适于:

响应于所述倍数不是整数且小于 2:

10 所述控制系统处理与所述第二采样频率同步的所述第二磁头位置信号; 以及

所述补偿器在近似等于所述第一交叉频率乘以所述倍数的频率具有最大相位响应, 并且使第二交叉频率近似等于所述第一交叉频率。

15 25. 根据权利要求 24 所述的控制系统, 其中所述补偿器在近似等于所述第一交叉频率乘以所述倍数的频率具有最大相位响应, 并且使第二交叉频率近似等于所述第一交叉频率由下述实现:

所述伺服信号处理器提供与所述第二采样频率同步的中断信号给处理系统; 以及

20 响应于所述处理系统接收所述中断信号, 所述处理系统提供输出值 $h(k)$, 包含 $h(k) = G2 \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$, 其中 $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G2} X_n(k-1)$, N 大于 0, $g(k)$ 与所述第二磁头位置信号成比例, $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值, $G2$ 是增益系数, 而 $D1$ 、 A_n 、 B_n 是常数。

26. 根据权利要求 25 所述的控制系统, 其中所述控制系统还适于:

25 响应于所述倍数小于 1, 所述增益系数 $G2$ 近似等于用于所述第一交叉频率的所述增益系数 $G1$ 的值乘以所述倍数的平方。

27. 根据权利要求 25 所述的控制系统, 其中所述控制系统还适于:

响应于所述倍数大于 1, 所述增益系数 $G2$ 近似等于用于所述第一交叉频率的所述增益系数 $G1$ 的值乘以所述倍数。

28. 根据权利要求 22 所述的控制系统, 其中所述控制系统还适于:

30 响应于所述倍数不是整数且大于 2:

所述控制系统处理与第三采样频率同步的所述第二磁头位置信号，并且丢弃与所述第三采样频率不同步的所述第二磁头位置信号，其中所述第三采样频率等于所述第一采样频率乘以缩放比例数，所述缩放比例数等于所述倍数除以所述倍数的整数值；以及

- 5 所述补偿器在近似等于所述第一交叉频率乘以所述缩放比例数的频率具有最大相位响应，并且使第二交叉频率近似等于所述第一交叉频率。

29. 根据权利要求 28 所述的控制系统，其中所述补偿器在近似等于所述第一交叉频率乘以所述缩放比例数的频率具有最大相位响应，并且使第二交叉频率近似等于所述第一交叉频率由下述实现：

- 10 所述伺服信号处理器提供与所述第三采样频率同步的中断信号给处理系统；以及

响应于所述处理系统接收所述中断信号，所述处理系统提供输出值 $h(k)$ ，包含 $h(k) = G3 \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$ ，其中 $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G3} X_n(k-1)$ ， N 大于 0， $g(k)$ 与所述第二磁头位置信号成比例， $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值， $G3$ 是

15 增益系数，而 $D1$ 、 A_n 、 B_n 是常数。

30. 根据权利要求 29 所述的控制系统，其中所述增益系数 $G3$ 近似等于用于所述第一交叉频率的所述增益系数 $G1$ 的值乘以所述缩放比例数。

31. 一种包括数据存储介质的制造品，该数据存储介质有形地包含可由数字处理装置执行的机器可读指令的程序，以便执行用于操作磁带驱动器的方法步骤，所述磁带驱动器具有用于沿磁头移动磁带的基本带速，并且从所述磁头以与所述基本带速成比例的第一采样频率产生第一磁头位置信号，所述步骤包括：
- 20

- 使用控制系统控制所述磁头的位置，该控制系统处理与所述第一采样频率同步的所述第一磁头位置信号，所述控制系统包括在第一交叉频率具有最大相位响应的补偿器；
- 25

以第二带速移动所述磁带，该第二带速是所述基本带速的倍数；

从所述磁头以第二采样频率产生第二磁头位置信号，该第二采样频率与所述第一采样频率乘以所述倍数成比例；以及

响应于所述倍数是大于 1 的整数：

- 30 使用所述控制系统控制所述磁头的所述位置，所述控制系统处理与所述

第一采样频率同步的所述第二磁头位置信号，并且丢弃与所述第一采样频率不同步的所述第二磁头位置信号。

32. 根据权利要求 31 所述的制造品，其中所述控制系统处理与所述第一采样频率同步的所述第二磁头位置信号，并且丢弃与所述第一采样频率不同步的所述第二磁头位置信号包括：

提供与所述第一采样频率同步的中断信号给处理系统；以及

- 10 响应于所述处理系统接收所述中断信号，所述处理系统提供输出值 $h(k)$ ，包含 $h(k) = G1 \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$ ，其中 $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G1} X_n(k-1)$ ， N 大于 0， $g(k)$ 与所述第二磁头位置信号成比例， $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值， $G1$ 是增益系数，而 $D1$ 、 A_n 、 B_n 是常数。

33. 根据权利要求 31 所述的制造品，包括附加步骤：

响应于所述倍数不是整数且小于 2：

使用所述控制系统控制所述磁头的所述位置，所述控制系统处理与所述第二采样频率同步的所述第二磁头位置信号；以及

- 15 修改所述补偿器，以便在近似等于所述第一交叉频率乘以所述倍数的频率具有最大相位响应，并且使第二交叉频率近似等于所述第一交叉频率。

34. 根据权利要求 33 所述的制造品，其中所述修改所述补偿器，以便在近似等于所述第一交叉频率乘以所述倍数的频率具有最大相位响应，并且使第二交叉频率近似等于所述第一交叉频率由下述实现：

- 20 提供与所述第二采样频率同步的中断信号给处理系统；以及

响应于所述处理系统接收所述中断信号，所述处理系统提供输出值 $h(k)$ ，包含 $h(k) = G2 \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$ ，其中 $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G2} X_n(k-1)$ ， N 大于 0， $g(k)$ 与所述第二磁头位置信号成比例， $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值， $G2$ 是增益系数，而 $D1$ 、 A_n 、 B_n 是常数。

- 25 35. 根据权利要求 34 所述的制造品，其中响应于所述倍数小于 1，所述增益系数 $G2$ 近似等于用于所述第一交叉频率的所述增益系数 $G1$ 的值乘以所述倍数的平方。

- 30 36. 根据权利要求 34 所述的制造品，其中响应于所述倍数大于 1，所述增益系数 $G2$ 近似等于用于所述第一交叉频率的所述增益系数 $G1$ 的值乘以所述倍数。

37. 根据权利要求 31 所述的制造品, 包括附加步骤:

响应于所述倍数不是整数且大于 2:

5 使用所述控制系统控制所述磁头的所述位置, 所述控制系统处理与第三采样频率同步的所述第二磁头位置信号, 并且丢弃与所述第三采样频率不同步的所述第二磁头位置信号, 其中所述第三采样频率等于所述第一采样频率乘以缩放比例数, 所述缩放比例数等于所述倍数除以所述倍数的整数值; 以及

10 修改所述补偿器, 以便在近似等于所述第一交叉频率乘以所述缩放比例数的频率具有最大相位响应, 并且使第二交叉频率近似等于所述第一交叉频率。

38. 根据权利要求 37 所述的制造品, 其中所述修改所述补偿器, 以便在近似等于所述第一交叉频率乘以所述缩放比例数的频率具有最大相位响应, 并且使第二交叉频率近似等于所述第一交叉频率由下述实现:

提供与所述第三采样频率同步的中断信号给处理系统; 以及

15 响应于所述处理系统接收所述中断信号, 所述处理系统提供输出值 $h(k)$, 包含 $h(k) = G3 \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$, 其中 $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G3} X_n(k-1)$, N 大于 0, $g(k)$ 与所述第二磁头位置信号成比例, $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值, $G3$ 是增益系数, 而 $D1$ 、 A_n 、 B_n 是常数。

20 39. 根据权利要求 38 所述的制造品, 其中所述增益系数 $G3$ 近似等于用于所述第一交叉频率的所述增益系数 $G1$ 的值乘以所述缩放比例数。

40. 一种用于部署计算架构的方法, 包括将计算机可读代码集成到系统中, 用于操作磁带驱动器, 所述磁带驱动器具有基本带速, 用于沿磁头移动磁带, 并且从所述磁头以与所述基本带速成比例的第一采样频率产生第一磁头位置信号, 其中代码与所述系统结合能够执行如下步骤:

25 使用控制系统控制所述磁头的位置, 该控制系统处理与所述第一采样频率同步的所述第一磁头位置信号, 所述控制系统包括在第一交叉频率具有最大相位响应的补偿器;

以第二带速移动所述磁带, 该第二带速是所述基本带速的倍数;

30 从所述磁头以第二采样频率产生第二磁头位置信号, 该第二采样频率与所述第一采样频率乘以所述倍数成比例; 以及

响应于所述倍数是大于 1 的整数:

使用所述控制系统控制所述磁头的所述位置, 所述控制系统处理与所述第一采样频率同步的所述第二磁头位置信号, 并且丢弃与所述第一采样频率不同步的所述第二磁头位置信号。

- 5 41. 根据权利要求 40 所述的方法, 其中所述控制系统处理与所述第一采样频率同步的所述第二磁头位置信号, 并且丢弃与所述第一采样频率不同步的所述第二磁头位置信号包括:

提供与所述第一采样频率同步的中断信号给处理系统; 以及

- 10 响应于所述处理系统接收所述中断信号, 所述处理系统提供输出值 $h(k)$, 包含 $h(k) = G1 \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$, 其中 $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G1} X_n(k-1)$, N 大于 0, $g(k)$ 与所述第二磁头位置信号成比例, $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值, $G1$ 是增益系数, 而 $D1$ 、 A_n 、 B_n 是常数。

42. 根据权利要求 40 所述的方法, 其中所述代码与所述系统结合还能够执行如下步骤:

- 15 响应于所述倍数不是整数且小于 2:

使用所述控制系统控制所述磁头的所述位置, 所述控制系统处理与所述第二采样频率同步的所述第二磁头位置信号; 以及

修改所述补偿器, 以便在近似等于所述第一交叉频率乘以所述倍数的频率具有最大相位响应, 并且使第二交叉频率近似等于所述第一交叉频率。

- 20 43. 根据权利要求 42 所述的方法, 其中所述修改所述补偿器, 以便在近似等于所述第一交叉频率乘以所述倍数的频率具有最大相位响应, 并且使第二交叉频率近似等于所述第一交叉频率由下述实现:

提供与所述第二采样频率同步的中断信号给处理系统; 以及

- 25 响应于所述处理系统接收所述中断信号, 所述处理系统提供输出值 $h(k)$, 包含 $h(k) = G2 \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$, 其中 $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G2} X_n(k-1)$, N 大于 0, $g(k)$ 与所述第二磁头位置信号成比例, $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值, $G2$ 是增益系数, 而 $D1$ 、 A_n 、 B_n 是常数。

- 30 44. 根据权利要求 43 所述的方法, 其中响应于所述倍数小于 1, 所述增益系数 $G2$ 近似等于用于所述第一交叉频率的所述增益系数 $G1$ 的值乘以所述倍数的平方。

45. 根据权利要求 43 所述的方法, 其中响应于所述倍数大于 1, 所述增益系数 G2 近似等于用于所述第一交叉频率的所述增益系数 G1 的值乘以所述倍数。

46. 根据权利要求 40 所述的方法, 其中所述代码与所述系统结合还能够
5 执行如下步骤:

响应于所述倍数不是整数且大于 2:

使用所述控制系统控制所述磁头的所述位置, 所述控制系统处理与第三
10 采样频率同步的所述第二磁头位置信号, 并且丢弃与所述第三采样频率不同
步的所述第二磁头位置信号, 其中所述第三采样频率等于所述第一采样频率
乘以缩放比例数, 所述缩放比例数等于所述倍数除以所述倍数的整数值; 以
及

修改所述补偿器, 以便在近似等于所述第一交叉频率乘以所述缩放比例
15 数的频率具有最大相位响应, 并且使第二交叉频率近似等于所述第一交叉
频率。

47. 根据权利要求 46 所述的方法, 其中所述修改所述补偿器, 以便在近似
20 等于所述第一交叉频率乘以所述缩放比例数的频率具有最大相位响应, 并
且使第二交叉频率近似等于所述第一交叉频率由下述实现:

提供与所述第三采样频率同步的中断信号给处理系统; 以及

20 响应于所述处理系统接收所述中断信号, 所述处理系统提供输出值 $h(k)$,
包含 $h(k) = G3 \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$, 其中 $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G3} X_n(k-1)$, N 大于 0,
 $g(k)$ 与所述第二磁头位置信号成比例, $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值, G3 是增益
系数, 而 D1、An、Bn 是常数。

48. 根据权利要求 47 所述的方法, 其中所述增益系数 G3 近似等于用于
所述第一交叉频率的所述增益系数 G1 的值乘以所述缩放比例数。

用于同步采样时基伺服系统的速度适应补偿器

5 技术领域

本公开在此涉及伺服控制系统。

背景技术

在磁带存储领域，积极寻求越来越高的轨道密度。典型的时基伺服系统
10 将在如下固定的时间提供反馈伺服信号：时间 = 信号距离/带速。数字轨道跟
随伺服系统将读取该时间反馈信号，并且计算输出以控制具有补偿器的致动
器(actuator)。如方程所指示的，反馈信号可用时间是带速的函数。带速越快，
可得到反馈信号的时间越短，或者可得到越多的时间采样的反馈信号。然而，
使用固定采样率设计补偿器，因此，为了对所有不同带速使用该相同的补偿
15 器，则补偿器不得不以固定速率读取(采样)，因而将导致时基反馈信号的异
步采样(读反馈信号的时间与反馈信号的可用性不同步)；有时甚至导致跳过
可用的一个或两个反馈采样信号。显然，由于延迟(信号可用的时间到正在
使用它的时间)，该异步采样方法将导致非最优性能。在大多数情况下，这种
20 延迟将给出较小的相位裕度，因此对轨道中心的跟踪不如希望的那样近，结
果，限制了轨道密度。克服该问题的一个方法是对每个操作速度同步采样并
在不同补偿器中切换。缺点将会是基于带速的切换算法和很多组补偿器系数。

发明内容

本发明提供了一种用于操作磁带驱动器的方法，所述磁带驱动器具有基
25 本带速，用于沿磁头移动磁带，并且从所述磁头以第一采样频率产生第一磁
头位置信号，该第一采样频率与所述基本带速成比例，所述方法包括：

使用控制系统控制所述磁头的位置，该控制系统处理与所述第一采样频
率同步的所述第一磁头位置信号，所述控制系统包括在第一交叉频率具有最
大相位响应的补偿器；

30 以第二带速移动所述磁带，该第二带速是所述基本带速的倍数；
从所述磁头以第二采样频率产生第二磁头位置信号，该第二采样频率与

所述第一采样频率乘以所述倍数成比例；以及

响应于所述倍数是大于1的整数：

使用所述控制系统控制所述磁头的所述位置，所述控制系统处理与所述第一采样频率同步的所述第二磁头位置信号，并且丢弃与所述第一采样频率不同步的所述第二磁头位置信号。

5 本发明还提供了一种系统，包括：

磁带传输系统，配置该系统以沿磁头以基本带速移动磁带；

控制系统，配置该系统以控制所述磁头的位置，包括：

10 伺服信号处理器，配置该处理器以从所述磁头以第一采样频率产生第一磁头位置信号，该第一采样频率与所述基本带速成比例；

补偿器，配置该补偿器以在第一交叉频率具有最大相位响应；

其中所述系统适于：

以第二带速移动所述磁带，该第二带速是所述基本带速的倍数；

15 所述伺服信号处理器从所述磁头以第二采样频率产生第二磁头位置信号，该第二采样频率与所述第一采样频率乘以所述倍数成比例；以及

响应于所述倍数是大于1的整数：

通过处理与所述第一采样频率同步的所述第二磁头位置信号，并且丢弃与所述第一采样频率不同步的所述第二磁头位置信号，所述控制系统控制所述磁头的所述位置。

20 本发明还提供了一种控制系统，配置该系统以控制磁头的位置，该控制系统包括：

伺服信号处理器，配置该处理器从所述磁头以第一采样频率产生第一磁头位置信号，该第一采样频率与基本带速成比例；

补偿器，配置该补偿器在第一交叉频率具有最大相位响应；

25 其中所述控制系统适于：

响应于所述磁带基本带速改变到作为所述基本带速的倍数的第二带速：

所述伺服信号处理器从所述磁头以第二采样频率产生第二磁头位置信号，该第二采样频率与所述第一采样频率乘以所述倍数成比例；以及

响应于所述倍数是大于1的整数：

30 通过处理与所述第一采样频率同步的所述第二磁头位置信号，并且丢弃与所述第一采样频率不同步的所述第二磁头位置信号，所述控制系统控制所

述磁头的所述位置。

附图说明

- 图 1 是用于控制磁头相对于磁带的位置的伺服控制系统的图。
- 5 图 2 是说明磁带传输系统中磁带路径的图。
- 图 3 是有限冲激响应数字滤波器的图。
- 图 4 是无限冲激响应数字滤波器的图。
- 图 5 是用于伺服控制系统的传递函数的开环响应频域图。
- 图 6 是说明用于执行实现包含补偿器的伺服控制系统的计算的处理系统
- 10 的例子图。
- 图 7 显示实现用于控制磁头相对于磁带的位置的实施例的步骤的流程图。
- 图 8 是对于正规化的磁带速度的整数值显示用于获得和丢弃磁头位置信号的时间周期的图。
- 15 图 9 是对于正规化的磁带速度的非整数值显示用于获得和丢弃磁头位置信号的时间周期的图。
- 图 10 是对正规化的磁带速度的不同值,显示用于磁头位置信号的采样频率和采样周期的正规化的值的图。
- 图 11 是显示读/写磁带驱动器的图。
- 20 图 12 是显示自动数据存储库的图。

具体实施方式

- 参考所述图描述下面的实施例。尽管结合了实施例进行描述,但是本领域的技术人员将认识到:它旨在涵盖可能包括在由权利要求定义的精神和范
- 25 围内的替代、修改和等效。

- 图 1 是伺服控制系统 100 的一部分的方块图,该系统用于数据存储磁带驱动器中的轨道跟随伺服系统。使用用于在此描述的实施例的基于定时的伺服信号的轨道跟随伺服系统的一个实现的描述在美国专利 6021013 中公开,通过引用合并该专利的公开。本领域的技术人员将认识到:虽然参照了具有
- 30 时基伺服系统的磁带驱动器来进行下面的详细说明,但是不旨在将说明的实施例限制为具有时基伺服系统的磁带驱动器。更确切地说,实施例可以用于

光带或可用在具有任何类型的伺服系统的任何带驱动器中的其它带。

参考图 1, 磁头信号由伺服传感器和前置放大器 171 感测, 以便从磁头至介质接口 172 产生伺服信号 150。可以参考图 2 更好地理解磁头至介质接口 172。图 2 是说明示范性磁带传输系统 200 的磁带路径的图。图 2 中说明的磁带传输系统 200 接受包含第一磁带卷轴 204 的磁带盒 202, 在该卷轴上缠绕一段磁带 206。磁带传输系统 200 包括: 第二磁带卷轴 208、至少一个磁头 210 和导辊(guide roller)212。当盒 202 插入磁带传输系统 200 中时, 磁带 206 自动围着辊 212 绕过、越过磁头 210 并缠绕在第二磁带卷轴 108 上。以运转方式耦合到卷轴 204 和 208 的马达 (未显示), 越过磁头 210 以带速 V 拉磁带 206, 该磁头 210 以已知的方式从磁带读信息或写信息到磁带。马达也可以在快速前进和倒卷操作中从一个卷轴到另一个卷轴高速移动磁带 206。马达可以直接耦合到第一磁带卷轴 204 和第二磁带卷轴 208, 或者卷轴和马达之间可以有机械驱动系统。是直接耦合还是通过机械驱动系统耦合, 这种耦合的类型确定马达和磁带卷轴之间的机械关系。机械驱动系统可能是, 例如齿轮、皮带、滑轮、离合器等。所有磁带操作可以随着磁带 206 在任一方向移动时发生。这样, 依赖于磁带 206 的方向, 第一磁带卷轴 204 或第二磁带卷轴 208 可以用作供带卷轴或拉紧卷轴。在图 2 中, 显示了磁带盒 202 中用作磁带供带卷轴的第一磁带卷轴 204, 同时显示了用作拉紧卷轴的第二磁带卷轴 208。在此公开中, 术语“供带卷轴”指目前作为供带卷轴操作的卷轴, 并且术语“拉紧卷轴”指目前作为拉紧卷轴操作的卷轴。此外, 术语“供带马达”和“拉紧马达”分别指以操作方式耦合到供带和拉紧卷轴的马达。图 2 中所示的所述类型的磁带传输系统 200 只是为了说明, 并且在此说明的实施例可以与其它类型的传输系统一起使用。

参照图 1, 从伺服传感器和前置放大器 171 得到的伺服信号 150, 是在磁头到介质接口 172 以带速 V 沿磁头 (即, 磁头 210) 移动磁带 (即, 磁带 206) 的结果。来自伺服传感器和前置放大器 171 的伺服信号 150 由数字采样器 173 采样, 并且由数字滤波器 174 滤波, 然后提供给峰值检测器 175。来自伺服传感器和前置放大器 171 的伺服信号 150 由数字采样器 171 以可随带速变化的采样速率采样。数字采样器 173 采样伺服信号 150 产生伺服信号 150 的数字表示, 该数字表示适合数字处理装置如中央处理单元或数字滤波器的处理。数字滤波器 174 接收由数字采样器 173 产生的伺服信号 150 的数字表示, 并

且进行滤波操作以从伺服信号 150 消除不想要的噪声，从而产生滤波的伺服信号。

图 3 显示了有限冲激响应 (FIR) 数字滤波器 300 的一个例子，它可以用于数字滤波器 174 和/或补偿器 185 (图 1)。数字滤波器 300 可以在代码、逻辑、硬件逻辑 (如，集成电路芯片、可编程门阵列 (PGA)、特定用途集成电路 (ASIC) 等) 中实现。本领域的技术人员将认识到：可以使用其它类型的数字滤波器。FIR 数字滤波器 300 具有接受伺服信号 150 的采样版本的输入 305 和产生伺服信号 150 的滤波版本到峰值检测器 175 的输出 330。滤波器包括：一系列时间延迟单元 Z^{-1} 306；乘法器 310，用于乘数字滤波器系数 C_0 , $C_2C_3, \dots C_{N-2}$ 和 C_{N-1} ；以及加法器 320。在一个实施例中，FIR 数字滤波器 300 包含 17 阶数字滤波器，导致 $N=17$ ，但是 N 可以依赖于使用的系统和所需要的性能变化。对于在数字滤波器 174 中的应用，通过得到每个平均伺服信号 160 的一部分的 17 个等间距采样，确定 17 个数字滤波器系数 C_0 , $C_2C_3, \dots C_{15}$ 和 C_{16} ，该采样对每个带速关于水平中心点对称。

参考图 1，数字滤波器 174 受处理元件 190 控制。处理元件 190 可以包含：中央处理单元 (CPU)、可供选择的数字处理装置、ASIC、专用逻辑电路等，或者其组合。带速传感器 191 感测并提供带速给处理元件 190。处理元件 190 提供数字滤波器系数给数字滤波器 174，并且依赖于带速的状况使滤波器 174 工作或不工作。数字滤波器 174 提供伺服信号 150 的滤波版本给峰值检测器 175。峰值检测器 175 确定滤波的伺服信号 150 的峰值的时间位置。时基转换器 176 接收峰值检测器 175 的输出，并且将信号转换为磁头位置信号用于到补偿器 185 (图 1) 的输入。在优选实施例中，来自峰值检测器 175 的输出信号在正跳变 (前沿) 时变高，并且在负跳变时变低，允许时基转换器 176 区别两种极性。如上所述，磁头位置信号由时基转换器 176 产生。时基转换器 176 的功能是执行必要的计算以使磁头位置信号对伺服控制系统的剩余部分可用。时基转换器 176 可以使用晶体振荡器作为参考以精确测量峰值之间的时间，从而得到磁头位置信号。时基转换器 176 提供磁头位置信号 195 和中断信号 193 给伺服控制系统 100 的剩余组件。在这里，元件 171、173、174、175、176、190 和 191 统称为伺服信号处理器 192。通过处理磁带沿磁头以带速 V 移动时从磁头得到的信号，伺服信号处理器 192 产生磁头位置信号 195 和中断信号 193。为了系统的最优性能，在时间上符合地提供磁

头位置信号 195 和中断信号 193, 并且在从所述时间最小延迟的情况下, 在读写头带介质接口 172 从磁头产生信号。

由比较器 178 比较磁头位置信号 195 与参考信号 177, 以在线 179 上确定磁头和与定义的伺服轨道有关的希望的位置之间的位置误差, 称为“位置误差信号”或“PES”。比较器 178 可以通过使用处理系统(即, 处理系统 600, 图 6)在补偿器 185(图 1)中实现。磁头位置信号 195 提供指示磁头相对于磁带的相对横向位置的值。位置误差信号或 PES 提供指示希望的磁头相对于磁带的横向位置和实际的磁头相对于磁带的横向位置之间的差值。对于在此的公开, 磁头相对于磁带的横向位置意味着在垂直于由磁带传输系统 200 移动磁带的方向上, 磁头相对于磁带的位置。

使用复合致动器对磁头(即, 磁头 210)相对于磁带定位。在标题为“Servo Control of a Coarse Actuator”的美国专利 6587303 中说明了磁带驱动器中使用复合致动器的例子, 由此通过引用合并该专利的公开的内容。在典型的复合致动器中, 细致动器 180 跟随如由 PES 确定的轨道引导扰动, 从而在数据轨道或轨道的中央对磁头的数据头定位。在某些实施例中, 细致动器 180 具有相对小的质量, 以产生宽带宽响应, 因而能够跟随高频扰动。在某些实施例中, 细致动器 180 可具有很有限的移动范围, 以便提供高带宽。在某些实施例中, 按照寻找功能粗致动器 182 携带了从轨道到轨道的细致动器。细致动器伺服系统通常在位置误差信号环路中包含补偿器功能 185(图 1), 其被设计以允许最大带宽具有足够的稳定性裕度。

在某些实施例中, 补偿器功能 185(图 1)通过将可变增益应用于 PES 信号修改 PES 信号, 该增益基于输入 PES 信号 179 的频率, 或者从另一视角看, 基于输入 PES 信号的变化速率。在某些实施例中, 补偿器功能 185 包括积分器和均衡器 187 以及其它传递功能元件, 如超前/滞后功能元件 186, 从而达到希望的静态和动态系统性能和总体稳定性。补偿器 185 的任何或所有传递功能元件可以实现为滤波器, 使用分立元件的模拟滤波器或数字滤波器, 如 IIR(无限冲激响应)或 FIR(有限冲激响应), 或者使微处理器执行该功能的微代码。这导致连接 103 上的积分功能信号, 并且如应用到 PES 的超前/滞后增益产生线 110 上的信号。各信号由加法器 105 加起来, 并且如果是数字的, 提供给数模转换器 106。然后, 功率放大器 107 施加该信号到细致动器 180, 操作各细致动器以减小确定的位置误差的方式平移磁头。或者, 可

以利用数字驱动器操作细致动器 180。结果是：伺服控制器使用位置误差信号，通过控制大致动器 182 和/或细致动器 180，控制磁头相对于磁带的位置。在某些实施例中，伺服控制系统 100 从磁头位置信号 195 得到 PES，并且伺服控制系统 100 使用 PES 控制磁头相对于磁带的位置。

- 5 在某些实施例中，补偿器 185 可以由图 3 中显示和上面说明的有限冲激响应 (FIR) 数字滤波器 300 实现。为确定数字滤波器系数 $C_0, C_2, C_3, \dots, C_{N-2}$ 和 C_{N-1} ，按照用于轨道跟随误差、伺服带宽等的规范设计整个系统。从设计要求得到用于补偿器 185 的频域传递函数 $H(s)$ 。用于补偿器 185 的频域传递函数可以变换到时域，从而得到用于补偿器 185 的冲激响应 $H(t)$ 。数字滤波器系数 $C_0, C_2, C_3, \dots, C_{N-2}$ 和 C_{N-1} 可以由在 N 个等间距采样点对冲激响应 $H(t)$ 采样确定，其中 N 是使用的数字滤波器的阶数。输出 $h(k)$ 330 是输入 $g(k)$ 乘以延迟元件 (即， Z^{-1} 306) 和数字滤波器系数 $C_0, C_2, C_3, \dots, C_{N-2}$ 和 C_{N-1} 常数 (即，元件 310) 的和，得出， $h(k) = G1 \left[\sum_{n=0}^N C_n g(k-n) \right]$ ，其中 N 是滤波器的阶数。例如，对四阶滤波器 ($N=4$)，得到， $h(k) = G1 [C_0 g(k) + C_1 g(k-1) + C_2 g(k-2) + C_3 g(k-3) + C_4 g(k-4)]$ 。G1 是增益系数，该增益系数用于调整伺服控制系统 100 的增益以便通过适当的交叉频率实现希望的带宽。
- 10 15

- 在某些实施例中，补偿器 185 可以由无限冲激响应 (IIR) 数字滤波器，如例如如图 4 中显示的 IIR 数字滤波器 400 实现。数字滤波器 400 处理输入 $g(k)$ 405 以产生输出 $h(k)$ 450。用于数字滤波器 400 的 z 域传递函数 $T(z)$ ，可以写为部分分式展开的和， $T(z) = \frac{h(z)}{g(z)} = G1 \left[D1 + \sum_{n=1}^N \frac{A_n}{z - B_n} \right]$ ，其中 N 是滤波器阶数。例如，对二阶滤波器 ($N=2$)，得出， $T(z) = G1 \left[D1 + \frac{A_1}{z - B_1} + \frac{A_2}{z - B_2} \right]$ 。输出 $h(k)$ 450 是处理元件 (即，元件 460) 的和， $h(k) = G1 \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$ ，其中 $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G1} X_n(k-1)$ ，以及 N 是滤波器阶数。例如，对二阶滤波器 ($N=2$)，得出 $h(k) = G1 [D1(g(k)) + A_1 g(k-1) + A_2 g(k-1)] + B_1 X_1(k-1) + B_2 X_2(k-1)$ 。
- 20 25

在某些实施例中，用于数字滤波器系数 $D1, A1, A2, \dots, A_n, B1, B2, \dots, B_n$ 和增益系数 $G1$ 的常数通过根据系统规范设计补偿器 185 确定。例如，图 5 中显示用于伺服控制系统的三个不同的开环传递函数 500 的图，该伺服控制系统用于控制磁头相对于磁带的位置。开环传递函数 500 是在给定致动器 (即，

粗糙动器 182 和/或细致动器 180) 和特定采样率的情况下, 在三个不同交叉频率可以通过设计用于实现稳定性的补偿器来确定的例子。曲线 501、502 和 503 是开环传递函数 500 的幅度响应, 交叉频率 530 指示曲线 501、502 和 503 上与 0 dB 线相交的近似位置。曲线 511、512 和 513 是开环传递函数 500 的相位响应, 最大相位响应 520 指示曲线 511、512 和 513 上各曲线在各自交叉频率附近呈现局部最大的近似位置。用于开环传递函数 500 中任何一个的数字滤波器系数 $D1, A1, A2, \dots, An, B1, B2, \dots, Bn$ 和增益系数 $G1$ 可以通过得到补偿器的各频域传递函数的 z 平面变换的部分分式展开来确定, 该展开对实现各开环传递函数是必要的。设计用于数字控制系统的补偿器的过程的逐步说明可以在 Farah Bates 的标题为 “Modeling and simulation of a digital focusing servo control system for an optical disk tester” 的 1997 年 University of Arizona Master of Science Thesis(大学理科硕士论文)中得到。

图 6 显示了处理系统 600 的一个例子, 它可以用于实现补偿器 185 和伺服控制系统 100 的其它组件。处理系统 600 包括: 处理器 610、RAM (随机访问存储器) 625、非易失存储器 630、设备专用电路 615 和 I/O 接口 620。或者, RAM 625 和/或非易失存储器 630 可以包含在处理器 610 中, 正如设备专用电路 615 和 I/O 接口 620 可以包含在处理器 610 中那样。处理器 610 可以包含现成微处理器、定制处理器、FPGA (现场可编程门阵列)、ASIC (特定用途集成电路)、分立逻辑等。RAM (随机访问存储器) 625 通常用于保存可变数据、堆栈数据、可执行指令等。非易失存储器 630 可以包含任何类型非易失存储器, 如 PROM (可编程只读存储器)、EEPROM (电可擦除可编程只读存储器)、快闪 PROM、电池备份 RAM、MRAM (磁阻(Magnetoresistive)随机访问存储器)、基于 MEMS (微电机系统) 的存储器、硬盘驱动器等。非易失存储器 630 通常用于保存可执行固件和任何非易失数据。I/O 接口 620 包含通信接口, 该接口允许处理器 610 与控制器外的设备通信。I/O 接口 620 的例子可以包含串行接口, 如 RS-232 或 USB (通用串行总线)、SCSI (小计算机系统接口)、光纤通道等。另外, I/O 接口 620 可以包含如 RF 或红外的无线接口。设备专用电路 615 提供附加的硬件以使控制器 610 能够执行独特的功能, 如用于卷轴 204、205 的卷轴马达、附加的致动器、盒装载器、DAC 106、Amp 107 等的马达控制。作为例子, 设备专用电路 615 可以包含提供脉宽调制 (PWM) 控制、模数转换 (ADC)、数模转换 (DAC) 等的电子装置。另

外，设备专用电路 615 的所有或部分可以位于控制器 610 之外。除了上述功能，处理器 610 接受磁头位置信号 195 和中断信号 193 用于处理，以产生包含信号 103 和 110 的输出值 $h(k)$ 。

通过参考图 7 中所示的流程图 700 和图 1 中所示的伺服控制系统 100 的
5 方块图，可以更好地理解一个实施例。在步骤 705，通过如图 2 中所示的磁带传输系统 200，系统正在以第一带速 $V1$ 沿磁头（即，磁头 210）移动磁带（即，磁带 206）。第一带速 $V1$ 是用于磁带驱动操作的基本带速，并且对在此的描述，第一带速 $V1$ 和基本带速是相同的。在步骤 710，伺服信号处理器 192 正以第一采样频率 $f1$ 从磁头产生磁头位置信号， $f1$ 与第一带速 $V1$ 成比例。在某些实施例中，磁头位置信号 195 是写在磁带 206 上的基于定时的伺服模式的检测结果。图 8 显示伺服控制系统 100 操作期间，对各种采样频率和带速的磁头位置信号 195 的采样定时。当磁带正以第一带速 $V1$ 移动时，在第一采样频率 $f1$ 810，采样周期 $t1=1/f1$ 可以得到磁头位置信号 195。在步骤 715，当以第一带速 $V1$ 运行时，系统使用控制系统（即，控制系统 100）
15 正在控制磁头位置，该控制系统处理与第一采样频率 $f1$ 同步的第一磁头位置信号。控制系统包含在第一交叉频率 $fc1$ 具有最大相位响应的补偿器（即，补偿器 185）。在步骤 718，补偿器（即，补偿器 185）工作在第一交叉频率 $fc1$ ，从而通过细致动器 180 提供磁头的控制，以实现系统操作规范。第一交叉频率 $fc1$ 可以是，例如曲线 502（图 5）与 0dB 线相交的地方（即，交叉频率 530）。在某些实施例中，补偿器 185 通过使用由数字滤波器 400 使用的数字滤波器系数 $D1, A1, A2, \dots, An, B1, B2, \dots, Bn$ 和增益系数 $G1$ ，提供适当的频域补偿。在其它实施例中，补偿器 185 通过使用由数字滤波器 300 使用的数字滤波器系数 $C_0, C_2, C_3, \dots, C_{N-2}$ 和 C_{N-1} ，提供适当的频域补偿。在其它实施例中，补偿器 185 通过使用模拟滤波器提供适当的频域补偿。在某些实施例中，增益 $G1$ 可以等于 1，因此不需要。在某些实施例中，对在基本速度的操作，补偿器 195 可以由伺服信号处理器 192 实现，该处理器提供与第一采样频率同步的中断信号给处理系统（即，处理系统 600），以便开始用于实现用于补偿器 185 的数字滤波器的计算。响应于处理系统接收到中断信号，处理系统提供输出值 $h(k)$ ，该输出值 $h(k)$ 在第一交叉频率产生最大相位响应并因此提供伺服控制系统 100 的稳定操作，从而控制磁头相对于移动的磁带的横向位置。参考图 8 中所示的曲线 811 可以更好地说明这种操作模式。曲线 811
30

是用于第一带速即基本带速 $V = V1$ 的操作。向上的实箭头表示在周期 $t1=1/f1$ 与第一采样频率 $f1$ 同步的磁头位置信号。如果，例如磁头位置信号发生在相对于中断信号 193 的特定时间窗和/或例如采样频率信号的周期性波形的特征的特定相位内，就认为与采样频率和/或中断信号同步的各磁头位置信号是同步的。实现补偿器的处理系统 600 的同步操作提供下述二者之间的最小相位延迟：与第一采样频率 $f1$ 同步的磁头位置信号可用的时间，以及来自用于提供补偿器的传递函数的数字滤波器（即，数字滤波器 300 或 400）的实际输出值 $h(k)$ 。例如，由磁头在读写头带接口 172 检测到磁带上的伺服模式时，磁头位置信号 195 和中断信号 193 几乎立即由伺服信号处理器 192 产生。中断信号 193 使处理系统 600 执行计算（即，数字滤波器的插入），并且在几个指令周期内产生和输出值 $h(k)$ ，导致处理系统 600 产生与由磁头对伺服模式的检测同步的输出值。在某些实施例中，磁头位置信号 195 和中断信号 193 一同产生，它们之间存在小的时间延迟，时间延迟可以覆盖认为磁头位置信号 195 和中断信号 193 实际上互相符合的范围或“时间窗”。

在某些实施例中，对以基本带速的操作，通过使用数字滤波器（即，数字滤波器 400）产生输出值 $h(k)$ ，处理系统提供在第一交叉频率产生最大相位响应的输出值 $h(k)$ ，其中 $h(k) = G1 \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$ ， $X_n(k) = A_n g(k-1) + B_n X_n(k-1)$ ， N 大于 0， $g(k)$ 与所述第二磁头位置信号成比例， $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值，并且 $D1$ 、 A_n 、 B_n 是常数。对由开环响应 500（图 5）所示的代表性的采样，使用 $N=4$ ，得到用于补偿器 185 的四阶数字滤波器（即，数字滤波器 400）实现。提供与第一采样频率同步的中断信号 193 给处理系统 600 的处理元件 610 可以由伺服信号处理器 192 完成，选择以发送与每个磁头位置信号同步的中断信号 193。可以设计或编程处理系统 600 以处理与中断信号符合的磁头位置信号，例如通过要求磁头位置信号 195 发生在相对被认为符合的中断信号 193 的特定时间窗内，因此由处理系统 600 处理。

在某些实施例中，对以基本带速的操作，通过使用数字滤波器（即，数字滤波器 300）产生输出值 $h(k)$ ，处理系统提供在第一交叉频率产生最大相位响应的输出值 $h(k)$ ，其中 $h(k) = \sum_{n=0}^N C_n g(k-n)$ ， N 大于 0， $g(k)$ 与所述第二磁头位置信号成比例， $g(k-n)$ 等于 $g(k)$ 的前面第 n 个值，并且数字滤波器系数 C_n

是常数。对由开环响应 500 (图 5) 所示的代表性的采样, 使用 $N = 17$, 得到用于补偿器 185 的 17 阶数字滤波器 (即, 数字滤波器 300) 实现。提供与第一采样频率同步的中断信号 193 给处理系统 600 的处理元件 610 可以由伺服信号处理器 192 完成, 选择以发送与每个磁头位置信号同步的中断信号 193。

- 5 可以设计或编程处理系统 600, 以便例如通过要求磁头位置信号 195 发生在相对被认为符合的中断信号 193 的特定时间窗内, 处理与中断信号符合的磁头位置信号, 因而由处理系统 600 处理。

在步骤 720, 磁带传输系统正以第二带速移动磁带, 该第二带速是基本带速的倍数。该带速可由例如磁带传输系统 200 改变为第二带速, 该第二带速是第一带速的 M 倍 (即, 从 $V1$ 到 $V2$, 其中 $V2 = M * V1$)。改变带速可以是给磁带传输系统 200 的如下命令的结果: 增大或减小带速以提供不同读/写数据速率给磁带 206, 或者用于其它系统操作要求。虽然参考值的范围内带速的变化说明了本实施例的操作, 但那些受益于此公开的本领域的技术人员将明白: 通过适当地按比例增大各频率、速度等到更大的值的范围, 还可以提供更大的带速变化。

在步骤 725, 伺服信号处理器 192 正以第二采样频率 $f2$ 从磁头产生第二磁头位置信号, 该第二采样频率 $f2$ 与第一采样频率 $f1$ 乘以倍数 M 成比例。例如, 以等于 $2 * V1$ 的带速 $V2$ 操作磁带传输系统 200 可能是必要的。使用 $M = 2$, 则在第二采样频率 $f2$ 可以得到磁头位置信号 195, 其中 $f2 = 2 * f1$ 。

- 20 在步骤 730, 倍数 M 的值确定用于伺服控制系统 100 的操作模式。响应于倍数 M 是大于 1 的整数, 控制转移到步骤 735。在步骤 735, 伺服控制系统 100 通过控制磁头 210 的位置, 通过处理与第一采样频率 $f1$ 同步的第二磁头位置信号并丢弃与第一采样频率 $f1$ 不同步的第二磁头位置信号来操作。参考图 8 中所示的曲线 821 可以更好地说明该操作模式。曲线 821 是用于以第二带速 $V2 = 2 * V1$ 的操作, 产生 M 等于整数值 2。向上的实箭头表示在周期 $t1 = 1/f1$ 与第一采样频率 $f1$ 同步的第二磁头位置信号。如果, 例如磁头位置信号发生在相对于中断信号 193 的特定时间窗内和/或例如采样频率信号的周期性波形的特征的特定相位内, 就认为与采样频率和/或中断信号同步的磁头位置信号是同步的。参考图 8 和 9 可以最好地理解如在此公开中使用的同步,
- 25 其中磁头位置信号 195 的丢弃的采样 820 是不同步的, 并且磁头位置信号 195 的伺服采样 (用向上的实箭头显示并标为“伺服采样”) 与特定的采样频率同
- 30

步。磁头位置信号 195 的丢弃的采样 820 由向上的虚箭头表示，并且因为在这些采样时间可得到的第二磁头位置信号与第一采样频率 f_1 不同步而被丢弃。对 $M=2$ ，每隔一个磁头位置信号被丢弃，留下在采样频率 f_1 的磁头位置信号，用于由伺服控制系统 100（图 1）使用。在操作中，磁头位置信号 195 的采样可以由例如处理器 610（图 6）丢弃，该处理器 610 有指令、软件、硬件代码、逻辑配置或其它的装置，用于接收到中断信号（例如，来自伺服处理器 192 的中断信号 193）时，根据中断信号 193、磁头位置信号 195、带速和磁头位置信号 195 的采样频率之间的时序关系丢弃磁头位置信号。例如，处理器 610 可以执行依赖于接收到的中断信号 193 的指令。对中断信号 193 的给定频率范围，可以执行到丢弃选择数目的磁头位置信号 195 的指令的分支。当中断信号 193 的给定频率范围变化时，可以改变到丢弃选择数目的磁头位置信号 195 的指令的分支以覆盖宽的范围。对 $M=2$ ，磁头位置信号 195 以第二采样频率 $f_2=2*f_1$ 出现。通过丢弃每隔一个磁头位置信号 195 的采样，补偿器可以以第一交叉频率 fc_1 （即，图 5 的曲线 502 和曲线 512）操作。通过从步骤 730 到步骤 735 的分支，倍数 M 的任何整数值可以导致类似的操作。例如，曲线 826（图 8）是用于以第二带速 $V_2=3*V_1$ 的操作，产生倍数 M 等于 3 的整数值。向上的实箭头表示在周期 $t_1=1/f_1$ 与第一采样频率 f_1 同步的第二磁头位置信号。磁头位置信号 195 的丢弃的采样 825 由向上的虚箭头表示，并且因为在这些采样时间可得到的第二磁头位置信号与第一采样频率 f_1 不同步而被丢弃。对 $M=3$ ，三个磁头位置信号中被丢弃两个，剩下在采样频率 f_1 的磁头位置信号，用于由伺服控制系统 100 使用。在操作中，磁头位置信号 195 的采样可以如上所述对 $M=2$ 由例如处理器 610（图 6）丢弃。对 $M=3$ ，磁头位置信号 195 以第二采样频率 $f_2=3*f_1$ 出现。通过每隔一个丢弃磁头位置信号 195 的采样，补偿器可以以第一交叉频率 fc_1 （即，图 5 的曲线 502 和曲线 512）操作。对整数值 M ，操作的另一个例子由曲线 831（图 8）显示，用于以第二带速 $V_2=4*V_1$ 的操作，产生 M 等于整数值 4。向上的实箭头表示在周期 $t_1=1/f_1$ 与第一采样频率 f_1 同步的第二磁头位置信号。磁头位置信号 195 的丢弃的采样 830 由向上的虚箭头表示，并且因为在这些采样时间可用的第二磁头位置信号与第一采样频率 f_1 不同步而被丢弃。对 $M=4$ ，四个磁头位置信号中被丢弃三个，剩下在采样频率 f_1 的磁头位置信号，用于由伺服控制系统 100 使用。在操作中，磁头位置信号 195 的采样

可以如上所述对 $M=2$ 由例如处理器 610 (图 6) 丢弃。对 $M=4$, 磁头位置信号 195 以第二采样频率 $f_2=4*f_1$ 出现。通过丢弃磁头位置信号 195 的四个采样中的三个, 补偿器可以以第一交叉频率 f_{c1} (即, 图 5 的曲线 502 和曲线 512) 操作。

- 5 在某些实施例中, 通过提供与第一采样频率 f_1 同步的中断信号 193 给处理系统 600, 伺服控制系统 100 处理与第一采样频率 f_1 同步的第二磁头位置信号, 并且丢弃与第一采样频率 f_1 不同步的第二磁头位置信号。响应于处理系统 600 接收到中断信号 193, 处理系统 600 提供输出值 $h(k)$, 包含
- $$h(k) = G1 \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right],$$
- 其中 $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G1} X_n(k-1)$, 并且 N 是滤波器阶数, $N>1$, $g(k)$ 与第二磁头位置信号成比例, $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值, $D1$ 、 A_n 、 B_n 是用于数字滤波器系数的常数, 而 $G1$ 是增益系数。对由开环响应 500 (图 5) 所示的代表性的采样, 使用 $N=4$, 产生用于补偿器 185 的四阶数字滤波器 (即, 数字滤波器 400) 实现。提供与第一采样频率同步的中断信号 193 给处理系统 600 的处理元件 610 可以由伺服信号处理器 192
- 10 完成, 选择以发送与每隔一个磁头位置信号 (即, 对 $M=2$) 同步的中断信号 193, 使得每隔一个磁头位置信号被丢弃 (曲线 821, 图 8), 留下以采样频率 f_1 的磁头位置信号, 用于由伺服控制系统 100 使用。可以设计或编程处理系统 600, 以便只处理与中断信号符合的磁头位置信号, 例如通过要求磁头位置信号 195 发生在与被认为符合的中断信号 193 相对的特定时间窗内, 因此
- 15 由处理系统 600 处理。或者, 在发送磁头位置信号 195 的采样到处理器 610 (图 6) 之前可以丢弃它们, 这是通过包含指令、软件、硬件编码、逻辑配置或伺服信号处理器 192 中的其它装置来进行。这可以用于其它 M 值, 而没有限制。每个 k 值表示一个间隔, 其中从用于处理系统 600 的输入 $g(k)$ 产生输出 $h(k)$ 。例如, 第一输出 $h(1)$ (即, $k=1$) 可以由处理系统 600 在接收到
- 20 第一个中断信号 193 和磁头位置信号 195 时产生。下一个输出值 $h(2)$ (即, $k=2$) 可以由处理系统 600 在接收到下一个中断信号 193 和下一个磁头位置信号 195 等时产生。所有输出 $h(k)$ 共同产生用于控制磁头的位置的连续信号 (可能存在使用 D/A 转换器和低通滤波器的后处理)。

- 如果在步骤 730, 倍数 M 的值不是整数, 则执行步骤 740。响应于倍数
- 30 M 不是整数并且小于 2, 执行步骤 745。在步骤 745, 通过处理与第二采样频

率 f_2 同步的第二磁头位置信号，伺服控制系统 100 控制磁头的位置，其中 $f_2 = M \cdot f_1$ 。可以参考图 9 中所示的曲线 911 理解该操作模式。曲线 911 用于以第二带速 $V_2 = M \cdot V_1$ 的操作，其中 $M < 2$ 并且不是整数。对小于 1 的倍数 M 的值，可以在 $t_2 = 1/f_2 > 1/f_1$ 的情况下使用曲线 911。向上的实箭头表示在周

5 期 $t_2 = 1/f_2$ 与第二采样频率 f_2 同步的第二磁头位置信号，其中 $0 < f_2 < 2 \cdot f_1$ 。对曲线 911，没有磁头位置信号 195 的采样被丢弃，使得以采样频率 f_2 的磁头位置信号由伺服控制系统 100 使用。在操作中，磁头位置信号 195 的采样由例如处理器 610 (图 6) 选择，该处理器 610 有指令、软件、硬件编码、逻辑配置或其它的装置，用于在接收到中断信号 (例如，来自伺服处理器 192 的

10 中断信号 193) 时，根据中断信号 193、磁头位置信号 195、带速和磁头位置信号 195 的采样频率之间的时序关系接受磁头位置信号。执行步骤 745 之后，执行步骤 748。在步骤 748，修改补偿器 185 以在频率 f_p 具有最大相位响应，该频率 f_p 近似等于第一交叉频率 f_{c1} 乘以倍数 M ，并且使第二交叉频率 f_{c2} 近似等于第一交叉频率 f_{c1} 。在操作中，希望使第二交叉频率 f_{c2} 等于第一交叉

15 频率 f_{c1} ，导致伺服系统的带宽没有变化，但是实际上，组件响应 (即，控制磁头 210 的位置的致动器) 中的小变化可能导致 f_{c2} 近似等于 f_{c1} 。随着 M 增大， f_p 成比例增大，产生对于伺服控制系统 100 可能更大的工作带宽。为保持 $f_{c2} \approx f_{c1}$ ，有必要改变增益系数 G_1 。例如，当倍数 $M = 1$ 时，(对基本带速) 在第一交叉频率 f_{c1} 的操作可以由图 5 中所示的开环幅度响应曲线 501

20 和相位响应曲线 511 表示。增大 M 大于 1 可能导致幅度响应曲线 503 和相位响应曲线 513 在最大相位响应频率 f_p 上相应增大，并且交叉频率 (即， $f_{c2} \approx f_{c1}$) 几乎不变。减小 M 小于 1 可能导致幅度响应曲线 502 和相位响应曲线 512 在最大相位响应频率 f_p 上相应减小，并且交叉频率 (即， $f_{c2} \approx f_{c1}$) 几乎不变。

在步骤 748，通过修改补偿器 185 以便在近似等于第一交叉频率 f_{c1} 乘以

25 倍数 M 的频率具有最大相位响应，并且使第二交叉频率 f_{c2} 近似等于第一交叉频率 f_{c1} ，补偿器 185 在第二交叉频率 f_{c2} 工作。这可以由伺服信号处理器 192 提供与第二采样频率 f_2 同步的中断信号给处理系统 600 实现。响应于处理系统 600 接收到中断信号 19，处理系统 600 提供输出值 $h(k)$ ，包含

$$h(k) = G_2 [DI(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k)]$$

其中 $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G_2} X_n(k-1)$ ， N 是滤波

30 器阶数， $N > 1$ ， $g(k)$ 与第二磁头位置信号成比例， $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值，

D1、An、Bn 是用于数字滤波器系数的常数，而 G2 是增益系数，其中 G2 大于 0 并且近似小于倍数 $2 \cdot M^2$ 平方（即， $0 < G2 < 2 \cdot M^2 \cdot G1$ ）。

对在此描述的伺服控制系统 100，补偿器 185 的操作在第二交叉频率 $fc2$ 快速和高效地实现。通过提供与第二采样频率 $f2$ 同步的中断信号 193 给处理系统 600（其中第二采样频率 $f2$ 相对第一采样频率 $f1$ 的比例，是与近似等于第一交叉频率 $fc1$ 乘以倍数 M 的最大相位响应的频率的比例要求的比例相同），导致数字滤波器系数 D1、An 和 Bn 没有改变，因为对恒定的数字滤波器系数 D1、An 和 Bn，数字滤波器 400 的极点、零点和作为结果得到的相位响应随采样频率按比例缩放。当伺服控制系统 100 在不同采样频率 $f1$ 、 $f2$ 、 $f3$ 等操作时，增益系数 G2 是可能要求改变的唯一常数。因为对由处理系统 600 执行的计算只有一个常数必须改变，所以降低了存储器要求，减小了软件，随系统复杂度减小，减小了在不同带速的操作之间的转换时间。增益系数 G2 依赖于 M 和精确的系统设计。例如，如果对第一交叉频率 $fc1$ ， $G1 = 1$ ，则对第二交叉频率 $fc2 \approx fc1$ ，G2 的大致范围可能是 $0 < G2 < 2 \cdot M^2$ 。

在某些实施例中，响应于倍数 M 小于 1，增益系数 G2 近似等于用于第一交叉频率 $fc1$ 的增益系数 $G1$ （即，对 $M = 1$ ）的值乘以倍数 M 的平方（即， $G2(fc2) \approx M^2 \cdot G1(fc1)$ ）。对开环响应 500（图 5）， $N = 4$ ，并且假定二阶频域致动器传递函数 $Act(s)$ （即， $Act(s) = 1/s^2$ ，其中 $s = \sigma + j\omega$ ），当 M 减小到 1 以下以便对伺服控制系统 100 保持交叉频率和相应的工作带宽不变时，G2 应该按 $\approx M^2$ 的比例缩放。在某些实施例中，致动器传递函数 $Act(s)$ 和致动器（即，致动器 180）的传递函数之间的相互作用可能要求：当 M 减小到 1 以下时， $G1$ 由 M 线性地按比例缩放。在某些实施例中，补偿器 185 的传递函数可以是一阶、三阶等，因此要求：当 M 减小时， $G1$ 分别由 M 、 M^3 线性按比例缩放。

在某些实施例中，响应于倍数 M 大于 1，增益系数 G2 近似等于用于第一交叉频率 $fc1$ 的增益系数 $G1$ （即，对 $M = 1$ ）的值乘以倍数 M （即， $G2(fc2) \approx M \cdot G1(fc1)$ ）。对开环响应 500（图 5）， $N = 4$ ，并且假定二阶频域致动器传递函数 $Act(s)$ （即， $Act(s) = 1/s^2$ ，其中 $s = \sigma + j\omega$ ），则当 M 增大到大于 1 的值以便对伺服控制系统 100 保持交叉频率和相应的工作带宽不变时，G2 应该按 $\approx M$ 的比例缩放。在某些实施例中，致动器传递函数 $Act(s)$ 和补偿器 185 的传递函数之间的相互作用可能要求：当 M 增大到 1 以上时，G2 由按 M 的比例

次线性地(sub-linearly)缩放。在某些实施例中，致动器（即，致动器 180）的传递函数可以是一阶、三阶等，因此要求：当 M 增大时，G2 分别按 M、M³ 的比例线性地缩放。在执行步骤 748 后，控制流程到步骤 795 直至结束。

如果在步骤 740，倍数 M 的值不是整数并且大于 2，则执行步骤 760。

- 5 在步骤 760，通过处理与第三采样频率 f₃ 同步的第二磁头位置信号并且丢弃与第三采样频率 f₃ 不同步的第二磁头位置信号，伺服控制系统 100 控制磁头的位置，其中 f₃ = K*f₁，其中缩放比例数 K = M / (M 的整数值)。可以参考图 9 中所示的曲线 921 和 931 理解该操作模式。曲线 921 是用于以第二带速 V₂ = M*V₁ 的操作，其中 2 < M < 3。向上的实箭头表示在周期 t₃ = 1/f₃ 与第三
- 10 采样频率 f₃ 同步的第二磁头位置信号，其中 t₃ > $\frac{2}{3f_1}$ 。对曲线 921，磁头位置信号 195 的丢弃的采样 920 由向上的虚箭头表示，并且被丢弃是因为在这些采样时间可用的第二磁头位置信号与第三采样频率 f₃ 不同步。对 2 < M < 3，每隔一个磁头位置信号被丢弃，留下以第三采样频率 f₃ 的磁头位置信号，用于由伺服控制系统 100 使用。如上面参考图 8 的曲线 821、826 和 831 说明的，
- 15 在操作中丢弃磁头位置信号 195 的采样。执行步骤 760 后，执行步骤 770。在步骤 770，修改补偿器 185，以便在近似等于第一交叉频率 fc₁ 乘以缩放比例数 K 的频率具有最大相位响应，并且使第二交叉频率 fc₂ 近似等于第一交叉频率 fc₁。在操作中，希望使第二交叉频率 fc₂ 等于第一交叉频率 fc₁，导致伺服系统的带宽没有变化，但是实际上，组件响应（即，致动器控制磁头
- 20 210 的位置）的小变化可能导致 fc₂ 近似等于 fc₁。当 K 增大时，f_p 成比例增大，产生用于伺服控制系统 100 的可能更大的工作带宽。为保持 fc₂ ≈ fc₁，有必要改变增益系数 G₁。例如，当倍数 M = 1 时，在第一交叉频率 fc₁ 的操作可以由图 5 中所示的开环幅度响应曲线 501 和相位响应曲线 511 表示。增大 M 因此也增大 K，可能导致幅度响应曲线 503 和相位响应曲线 513 在最大相
- 25 位响应频率 f_p 相应增大，并且交叉频率几乎不变（即，fc₂ ≈ fc₁）。

- 在步骤 770，通过修改补偿器 185 以便在近似等于第一交叉频率 fc₁ 乘以缩放比例数 K 的频率具有最大相位响应，并且使第二交叉频率 fc₂ 近似等于第一交叉频率 fc₁，补偿器 185 操作在第二交叉频率 fc₂。这可以通过伺服信号处理器 192 提供与第三采样频率 f₃ 同步的中断信号给处理系统 600 来实现。
- 30 响应于处理系统 600 接收中断信号 193，处理系统 600 提供输出值 h(k)，包括

$$h(k) = G3 \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right], \text{ 其中 } X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G3} X_n(k-1), \text{ N 是滤波器}$$

阶数, $N > 1$, $g(k)$ 与第二磁头位置信号成比例, $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值, $D1$ 、 A_n 、 B_n 是数字滤波器系数, 而 $G3$ 是增益系数, 其中 $G3$ 具有从 0 到 $2 * K^2$ 的大致范围 (即, $0 < G3 < 2 * K^2 * G1$)。

- 5 对这里描述的伺服控制系统 100, 在第二交叉频率 $fc2$ 快速和高效地完成补偿器 185 的操作。通过提供与第三采样频率 $f3$ 同步的中断信号 193 给处理系统 600, 其中第三采样频率 $f3$ 相对第一采样频率 $f1$ 的缩放比例与为近似等于第一交叉频率 $fc1$ 乘以缩放比例数 K 的最大相位响应的频率的缩放比例所要求的缩放比例相同 (即, 通过缩放比例数 K), 导致数字滤波器系数 $D1$ 、
- 10 A_n 、 B_n 没有改变, 因为对恒定的数字滤波器系数 $D1$ 、 A_n 和 B_n , 数字滤波器 400 的极点和零点和作为结果得到的相位响应随采样频率按比例缩放。当伺服控制系统 100 在不同采样频率 $f1$ 、 $f2$ 、 $f3$ 等操作时, 增益系数 $G3$ 是可以要求改变的唯一常数。因为对由处理系统 600 执行的计算只有一个常数必须改变, 所以降低了存储器要求, 减小了软件, 随系统复杂度减小, 减小了
- 15 在不同带速的操作之间的过渡时间。增益系数 $G3$ 依赖于 M 和精确的系统设计。例如, 如果对第一交叉频率 $fc1$, $G1 = 1$, 则对第二交叉频率 $fc2 \approx fc1$, $G3$ 的大致范围可以是 $0 < G3 < 2 * M^2$ 。

- 在某些实施例中 (10), 对在第二交叉频率 $fc2$ 的操作, 增益系数 $G3$ 近似等于用于第一交叉频率 $fc1$ 的增益系数 $G1$ 的值乘以缩放比例数 K (即,
- 20 $G3(fc2) \approx K * G1(fc1)$)。例如, 如果用于第一交叉频率 $fc1$ 的 $G1 = 1$ (即, $M = 1$), 则用于第二交叉频率 $fc2$ 的 $G3$ 的范围可以是 $0 < G3 < 2 * K^2$ 。对开环响应 500 (图 5), $N = 4$, 并且假定二阶频域致动器传递函数 $Act(s)$ (即, $Act(s) = 1/s^2$, 其中 $s = \sigma + j\omega$), 当 K 增大到大于 1 的值, 以便对伺服控制系统 100 保持交叉频率和相应的工作带宽不变时, $G3$ 应该按 $\approx K$ 的比例缩放。在某些实施例中,
- 25 致动器传递函数 $Act(s)$ 和补偿器 185 的传递函数之间的相互作用可能要求: 当 K 增大到 1 之上时, $G1$ 按比例 K 次线性 (sub-linearly) 缩放。在某些实施例中, 致动器 (即, 细致动器 180) 的传递函数可以是一阶、三阶等, 因此要求当 K 增大时, $G1$ 分别按 K 、 K^3 等的比例线性地缩放。

- 如果倍数 M 不是整数并大于 3, 则操作与上面对 $M > 2$ 描述的相同。现在
- 30 在提供另一个例子以进一步阐明这里描述的实施例的操作。对于该例, 通过

处理与第三采样频率 f_3 同步的第二磁头位置信号并且丢弃与第三采样频率 f_3 不同步的第二磁头位置信号，伺服控制系统 100 控制磁头的位置，其中 $f_3 = K \cdot f_1$ ，其中缩放比例数 $K = M / (M \text{ 的整数值})$ 。可以参考图 9 中所示的曲线 931 理解该操作模式。曲线 931 是用于在第二带速 $V_2 = M \cdot V_1$ 的操作，其中 $3 < M < 4$ 。向上的实箭头表示在周期 $t_3 = 1/f_3$ 与第二采样频率 f_3 同步的第二磁头位置信号，其中 $t_3 > \frac{1}{4f_1}$ 。对曲线 931，磁头位置信号 195 的丢弃的采样 930 由向上的虚箭头表示，并且被丢弃是因为在这些采样时间可用的第二磁头位置信号与第三采样频率 f_3 不同步。对 $3 < M < 4$ ，三个磁头位置信号中两个被丢弃，留下以第三采样频率 f_3 的磁头位置信号，用于由伺服控制系统 100 使用。

10 如上面参考图 8 的曲线 821、826 和 831 说明的，在操作中丢弃磁头位置信号 195 的采样。修改补偿器 185，以便在近似等于第一交叉频率 f_{c1} 乘以缩放比例数 K 的频率具有最大相位响应，并且使第二交叉频率 f_{c2} 近似等于第一交叉频率 f_{c1} 。在操作中，希望使第二交叉频率 f_{c2} 等于第一交叉频率 f_{c1} ，导致伺服系统的带宽没有变化，然而，实际上，组件响应（即，致动器控制磁头 210 的位置）的小变化可能导致 f_{c2} 近似等于 f_{c1} 。当 K 增大时， f_p 成比例增大，对伺服控制系统 100 产生潜在的更大工作带宽。为保持 $f_{c2} \approx f_{c1}$ ，有必要改变增益系数 G_1 。例如，当倍数 $M = 1$ 时，在第一交叉频率 f_{c1} 的操作可以由图 5 中所示的开环幅度响应曲线 501 和相位响应曲线 512 表示。增大 M 因此 K 也增大，可能导致幅度响应曲线 503 和相位响应曲线 513 在最大相位响应频率 f_p 相应增大，并且交叉频率几乎不变（即， $f_{c2} \approx f_{c1}$ ）。

通过修改补偿器 185，以便在近似等于第一交叉频率 f_{c1} 乘以缩放比例数 K 的频率处具有最大相位响应，并且使第二交叉频率 f_{c2} 近似等于第一交叉频率 f_{c1} ，从而补偿器 185 工作在第二交叉频率 f_{c2} 。这可以由伺服信号处理器 192 提供与第三采样频率 f_3 同步的中断信号给处理系统 600 实现。响应于处理系统 600 接收中断信号 193，处理系统 600 提供输出值 $h(k)$ ，包含

$$h(k) = G_3 \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right], \text{ 其中 } X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G_3} X_n(k-1),$$

25 N 是滤波器阶数， $N > 1$ ， $g(k)$ 与第二磁头位置信号成比例， $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值， $D1$ 、 A_n 、 B_n 是数字滤波器系数，而 G_3 是增益系数，其中 G_3 的大致范围是从 0 到 $2 \cdot K^2$ （即， $0 < G_3 < 2 \cdot K^2 \cdot G_1$ ）。

30 对于在此描述的伺服控制系统 100，补偿器 185 在第二交叉频率 f_{c2} 的操

作快速和高效地被完成。通过提供与第三采样频率 f_3 同步的中断信号 193 给处理系统 600，其中第三采样频率 f_3 相对第一采样频率 f_1 的缩放比例与近似等于第一交叉频率 f_{c1} 乘以缩放比例数 K 的最大相位响应的频率的缩放比例所要求的缩放比例相同（即，按缩放比例数 K ），导致数字滤波器系数 D_1 、
 5 A_n 和 B_n 没有改变，因为对于恒定的数字滤波器系数 D_1 、 A_n 和 B_n ，数字滤波器 400 的极点和零点和结果所得的相位响应随采样频率按比例缩放。当伺服控制系统 100 工作在不同采样频率 f_1 、 f_2 、 f_3 等时，增益系数 G_3 是可能要求改变的唯一常数。因为对由处理系统 600 执行的计算只有一个常数必须改变，降低了存储器要求，减小了软件，随系统复杂度减小，减小了在不同
 10 带速的操作之间的过渡时间。增益系数 G_3 依赖于 M 和精确的系统设计。例如，如果对第一交叉频率 f_{c1} ， $G_1 = 1$ ，则对第二交叉频率 $f_{c2} \approx f_{c1}$ ， G_3 的范围可以近似为 $0 < G_3 < 2 * M^2$ 。

在某些实施例中，对于以第二交叉频率 f_{c2} 的操作，增益系数 G_3 近似等于用于第一交叉频率 f_{c1} 的增益系数 G_1 的值乘以缩放比例数 K （即， $G_3(f_{c2}) \approx K * G_1(f_{c1})$ ）。例如，如果用于第一交叉频率 f_{c1} 的 $G_1 = 1$ ，则用于第二交叉
 15 频率 f_{c2} 的 G_3 的范围可以是 $0 < G_3 < 2 * K^2$ 。对开环响应 500（图 5）， $N = 4$ ，并且假定二阶频域致动器传递函数 $Act(s)$ （即， $Act(s) = 1/s^2$ ，其中 $s = \sigma + j\omega$ ），则当 K 增大到大于 1 的值，以便对伺服控制系统 100 保持交叉频率和相应的工作带宽不变时， G_3 应该按 $\approx K$ 的比例缩放。在某些实施例中，致动器传递
 20 函数 $Act(s)$ 和补偿器 185 的传递函数之间的相互作用可能要求：当 K 增大到 1 之上时， G_1 按 K 比例次线性地缩放。在某些实施例中，致动器（即，细致动器 180）的传递函数可以是一阶、三阶等，因此要求：当 K 增大时， G_1 分别按比例 K 、 K^3 等线性地缩放。

参照图 10 可以更好地理解上述实施例的操作，其中对不同带速以图形形式显示用于采样频率 1020 和采样周期 1000 的正规化值。曲线 1010 是正规化
 25 采样频率，而曲线 1020 是正规化的采样周期。对正规化带速 1，正规化采样频率 1010 和正规化采样周期 1020 每个都等于 1。对 M 的非整数值，其中 $1 < M < 2$ ，正规化带速 V 具有 $1 < V < 2$ 的范围，正规化采样频率 1010 即 f 具有 $1 < f < 2$ 的范围，并且正规化采样周期 $t = 1/f$ 。对 M 的整数值，其中 $M = 1、2、$
 30 3 等，正规化带速 V 也是整数并且按 $V = 1、2、3$ 等变化。在正规化带速 V 的每个整数值，正规化采样频率 1010 即 f 具有值 1，并且正规化采样周期 $t = 1/f$

也等于 1，因为在正规化带速 V 的每个整数值，如上面参考曲线 821、826 和 831（图 8）解释的，磁头位置信号被丢弃。同样地，对正规化带速 V 的每个整数值，正规化交叉频率 f_c 具有值 1。

当 M 增大到大于 2 的非整数值时，正规化采样频率 1010 和正规化的采样周期 1020 的范围每个都按如图 10 中所示的那样减小，因为通过在正规化带速 $V = 1$ 处的正规化采样频率 1010 乘以缩放比例数 K 来确定正规化采样频率 1010，其中 $K = M / (\text{INT}(M))$ ，其中“INT”通过对 M 向下取整到最接近的整数值来取 M 的整数值。当 M 减小到 1 以下的非整数值时，正规化采样频率 1010 随 M 线性减小，并且正规化采样周期 1020 如图 10 上所示那样增大。出于说明的目的，图 10 显示了正规化带速 V ，其中 $0.5 \leq V \leq 5$ ，然而，对正规化带速 V ，所说明的实施例不限于正规化带速 V 的这个范围，并且从 0 到大值的正规化带速 V 的值在对在此描述的实施例的操作范围内。

在某些实施例中，使用基于定时的伺服系统完成产生磁头位置信号。在美国专利 6021013 中公开了使用用于在此说明的实施例的基于定时的伺服信号的轨道跟随伺服系统的一个实现的描述。

在某些实施例中，一个或更多申请人的实施例包含磁带驱动器，用于对于磁带（即，磁带 206）读和写数据。例如，在此描述的伺服控制系统 100 及其操作，没有限制地用在读/写磁带驱动器中，例如，如图 11 中所示的读/写磁带驱动器，以便为关于磁带的有效数据读写提供磁头位置控制。转让给在此的共同受让人的美国专利 6,813,112 说明了这样的读/写磁带驱动器，因此通过引用被合并。

在某些实施例中，一个或更多申请人的实施例包括用于访问数据存储介质的自动数据存储库。自动数据存储库包括：例如，用于访问和移动数据存储介质的访问器(accessor)；以及用于数据存储介质的存储的存储器架。例如，在此描述的伺服控制系统 100 及其操作，没有限制地用在读/写磁带驱动器中，例如用在图 12 中所示的自动数据存储库中，以便为关于与数据存储介质相关联的磁带的有效数据读写提供磁头位置控制。转让给在此的共同受让人的美国专利 6,356,803 说明这样的自动介质库，由此通过引用被合并。

本领域的技术人员将认识到：虽然已经参考时基伺服信号说明了各实施例，但本发明不旨在局限于时基伺服信号。更确切地说，本发明可以与任何伺服信号一起使用。

在此公开的发明可以作为使用标准编程和/或工程技术以产生软件、固
件、硬件或其任何组合的方法、装置或制造品来实现。如这里使用的术语“制
造品”指在硬件逻辑(如,集成电路芯片、可编程门阵列(PGA)、特殊用途
集成电路(ASIC)等)、或计算机可读介质(例如,磁存储介质(如硬盘驱动
器、软盘、磁带等))、光存储器(CD-ROM、光盘等)、易失或非易失存储
器器件(如EEPROM、ROM、PROM、RAM、DRAM、SRAM、固件、可编
程逻辑等)中实现的代码或逻辑。由处理器访问并执行计算机可读介质中的
代码。进而可以通过传输介质或在网络上从文件服务器访问代码。在这种的
情况下,其中实现代码的制造品可以包括:传输介质,如网络传输线;无线
传输介质;通过空间传播的信号;无线电波;红外信号等。当然,本领域的
技术人员将认识到:在不脱离本发明的范围的情况下,可以对这种配置做很
多修改;并且制造品可以包括在技术上已知的任何信息承载介质。

在某些实施例中,申请人的发明包括指令,其中由处理器610(图6)和
/或处理单元190(图1)执行那些指令,以便执行图7中所示的流程图中叙
述的步骤。

在其它实施例中,申请人的发明包括驻留在任何其它计算机程序产品中
的指令,其中这些指令由伺服控制系统之外或之内的计算机执行。在任一情
况下,指令可以在信息存储介质中编码,该信息存储介质包括:例如,磁信
息存储介质、光信息存储介质、电子信息存储介质等。关于“电子存储介质”,
申请人的意思是,例如,一种器件,如PROM、EPROM、EEPROM、快闪
PROM、compactflash(致密快闪)、smartmedia(智能介质)等。

某些实施例可以被导向用于由人或由自动处理系统部署计算架构的方
法,包含将计算机可读代码集成到系统中以执行用于所描述的实施例的操作。
例如,图7解释了用于通过使用所描述的实施例控制磁头的位置的步骤。所
述代码结合系统(即,伺服控制系统100)能够执行用于在此所述的实施例
的操作的步骤。可以在这里所述的实施例的服务(service)、制造和/或配置期
间执行计算架构的部署。例如,咨询业务可能对若干系统负有服务责任。这
种服务责任可以包括如系统升级、错误诊断、性能调节和改进、新硬件的安
装、新软件的安装、与其它系统的配置等这样的任务。作为该服务的一部分
或作为单独的服务,服务人员可以根据在此所述的技术配置系统,以便有效
地使在此所述的实施例能够操作。例如,这样的配置可能涉及装载计算机指

令、参数、常数（即，数字滤波器系数常数 A_n 、 B_n 等）、中断向量到存储器中，使得当执行代码时，系统可以执行说明的技术以实现在此所述的实施例。

出于解释的目的，前面的描述使用特定的术语以提供对本发明的彻底的理解。然而，本领域的技术人员将会明白：为实施本发明，不要求具体的细节。在其它例子中，为避免不必要的将注意力从本发明引开，公知的电路和设备以方块图形式显示。因此，出于说明和描述的目的，提供了前面的本发明的具体实施例的描述。它们不旨在穷举，或者限制本发明为所公开的精确的形式。鉴于上面的教导，显然很多修改和变化是可能的。

图 7 的逻辑描述了以特定顺序发生的具体操作。在可供选择的实现中，可以以不同的顺序，修改、去除或执行某些逻辑操作。此外，可以增加步骤到如上所述的逻辑并仍然符合所描述的实现。而且，在此所描述的操作可以顺序地发生，或者可以并行处理某些操作，或者如由单个过程执行的所述操作可以由分布式的过程执行。

图 7 的逻辑被描述为在软件中实现。该逻辑可以是主机系统的操作系统的一部分或一个应用程序。在进一步的实现中，该逻辑可以保存在由伺服控制系统 100 所管理的存储区域中，或者保存在只读存储器或其它硬件类型的设备中。优选的逻辑可以在硬盘驱动器中或可编程和不可编程门阵列逻辑中实现。

选择并描述各实施例，以便最好地解释本发明的原理和它的实际应用，从而使本领域的其他技术人员能够最好地利用本发明和各种实施例按适合于所期望的特定用途进行各种修改。意图是由权利要求和它们的等效定义本发明的范围。

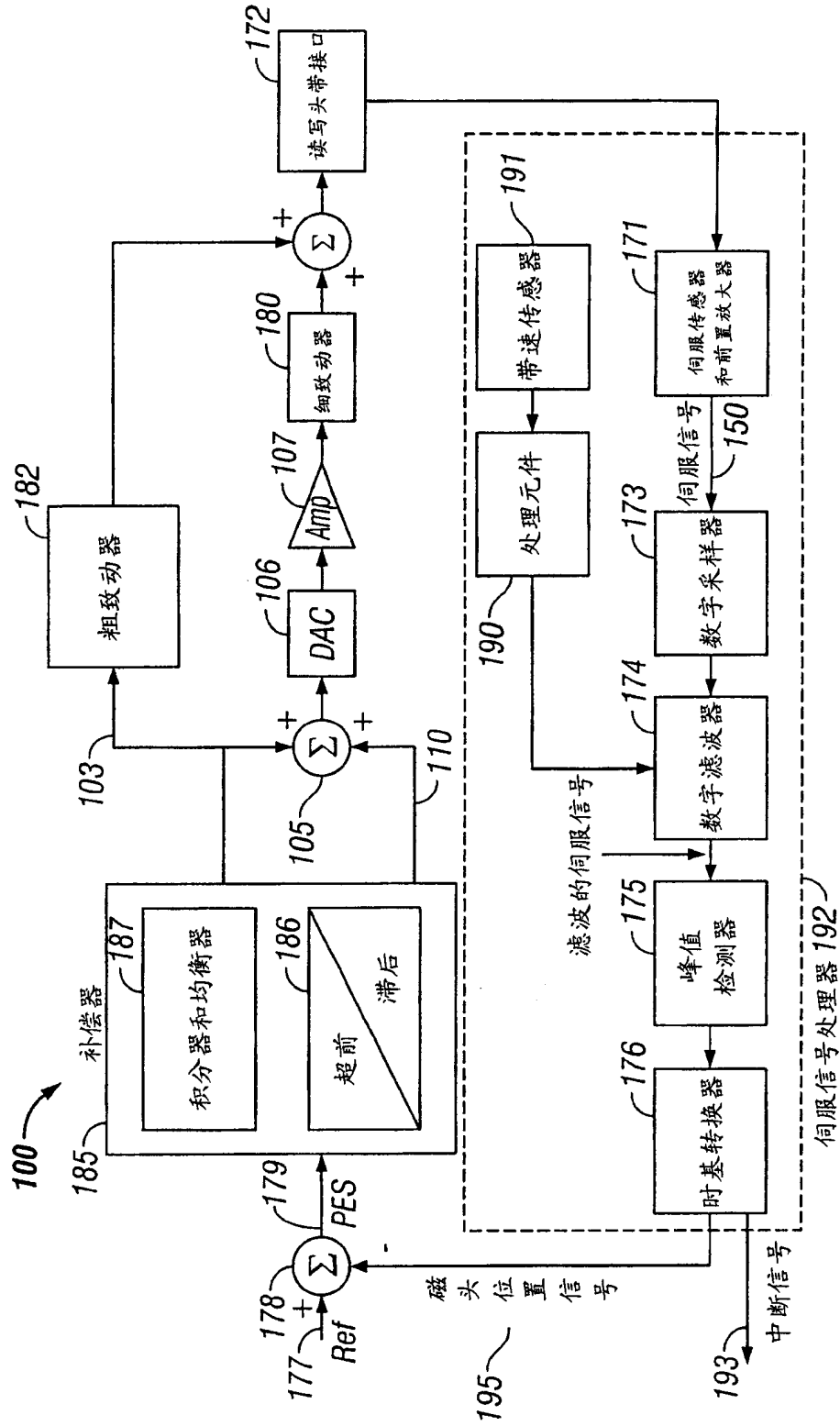


图 1

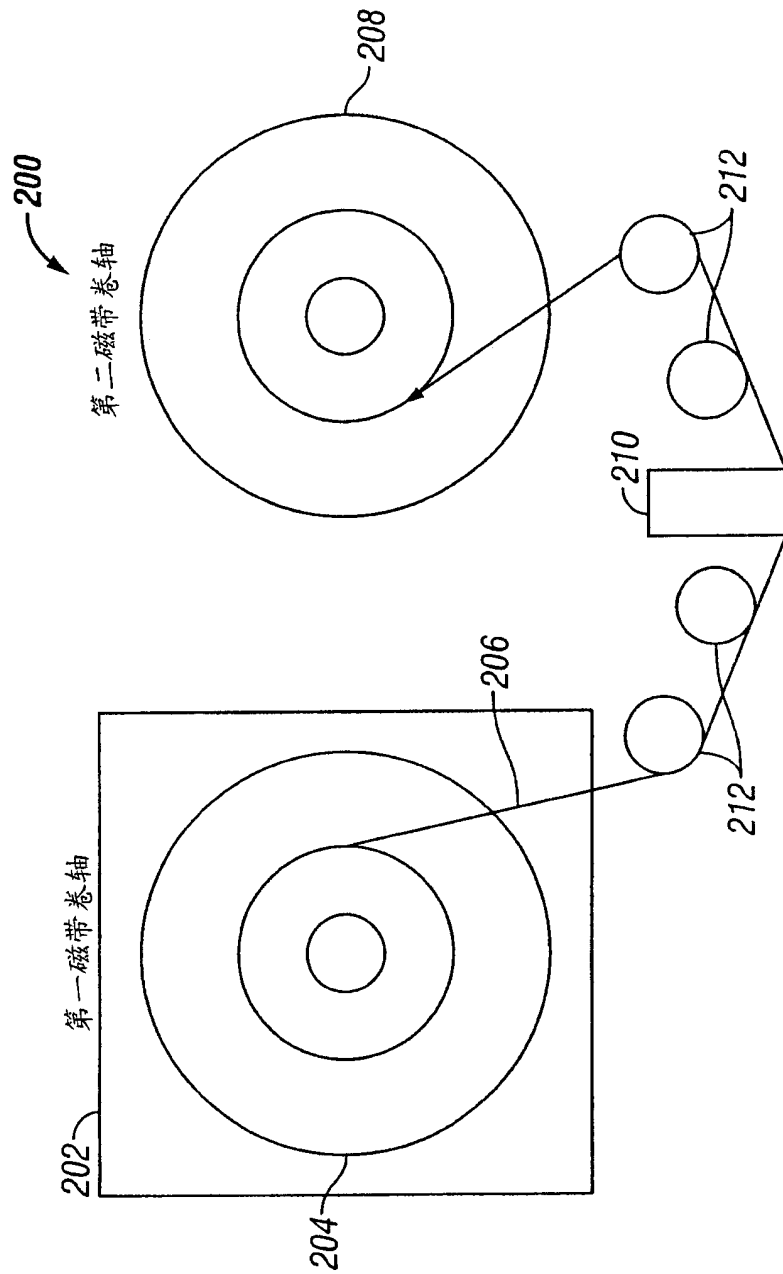


图 2

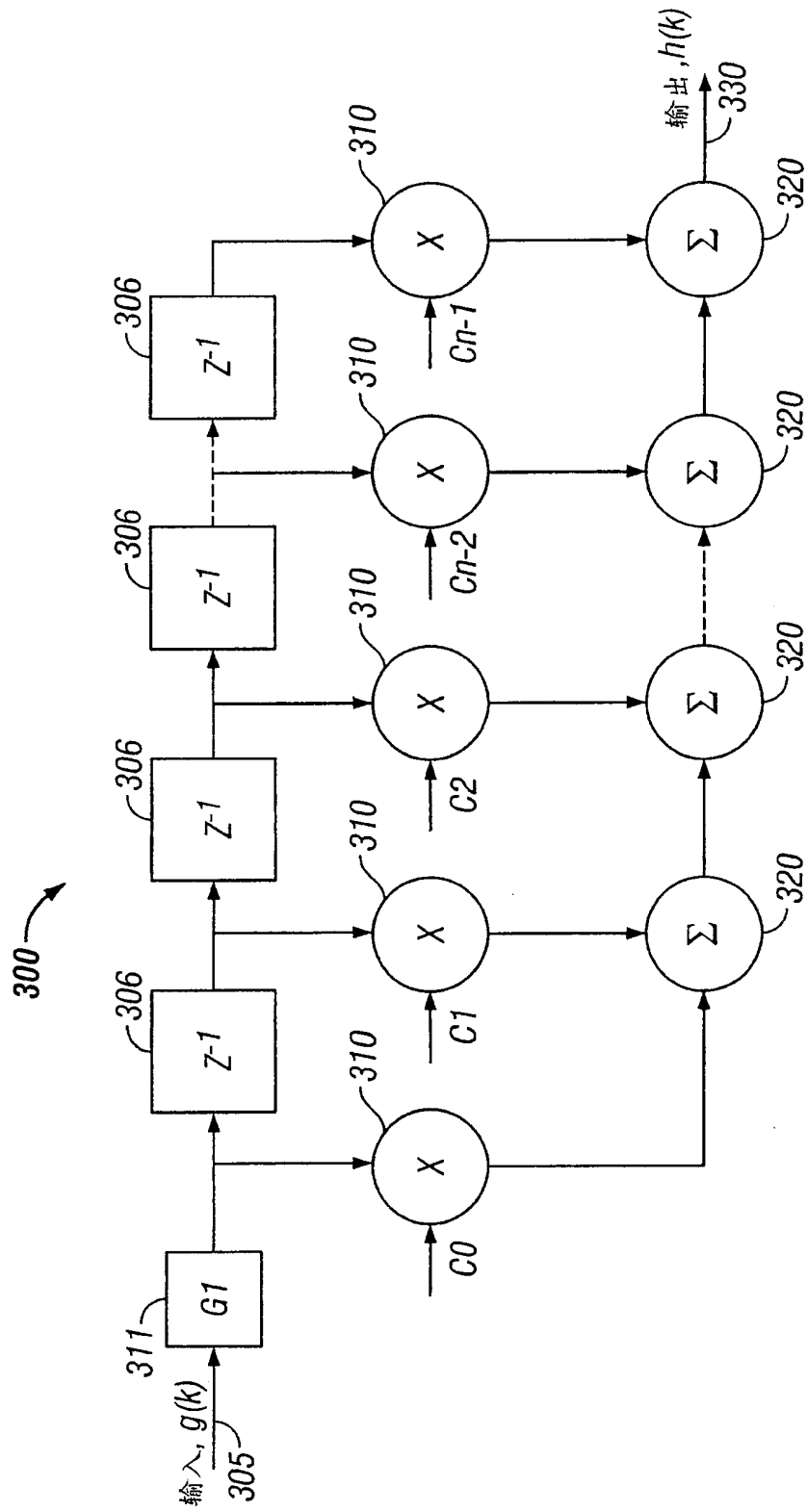


图 3

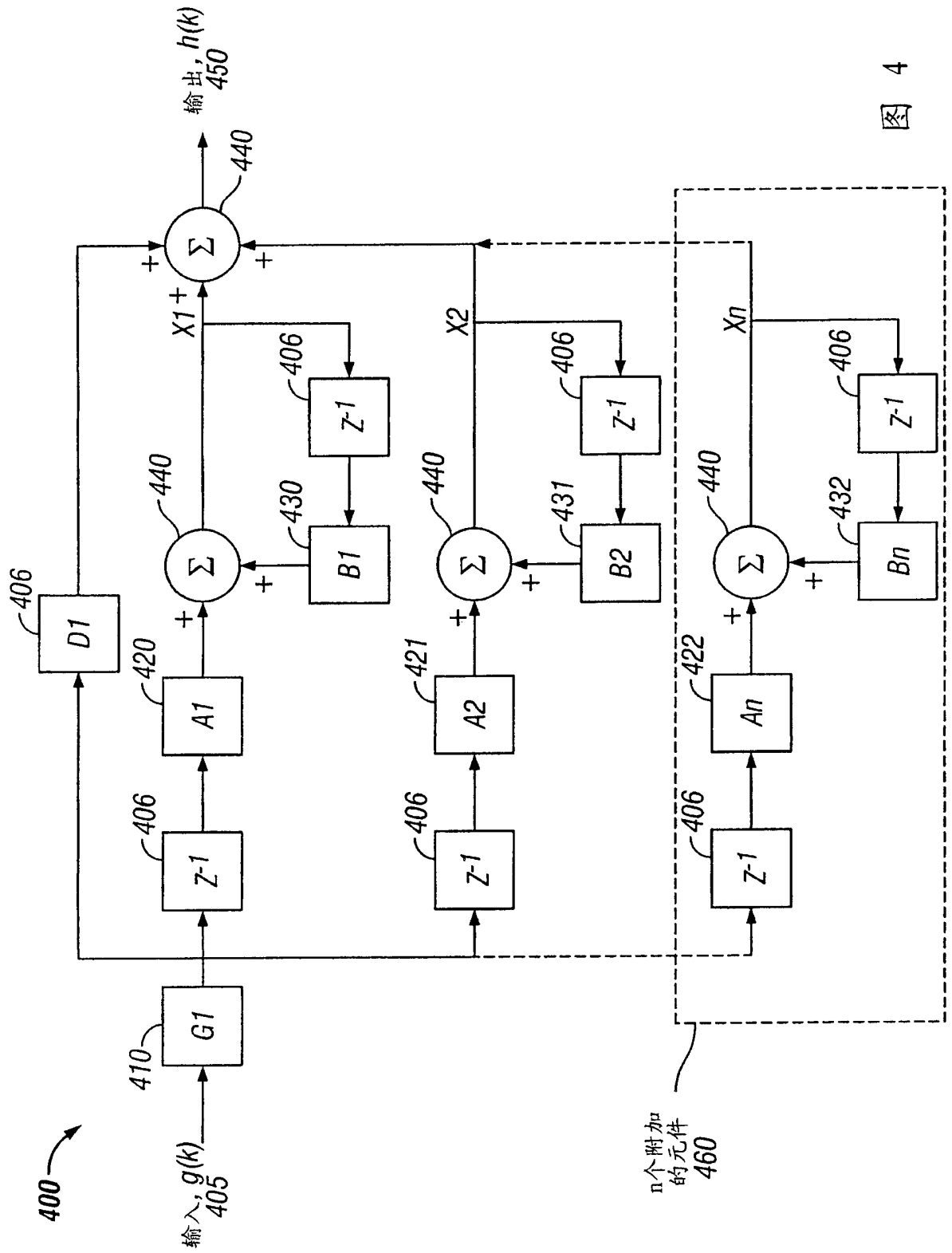


图 4

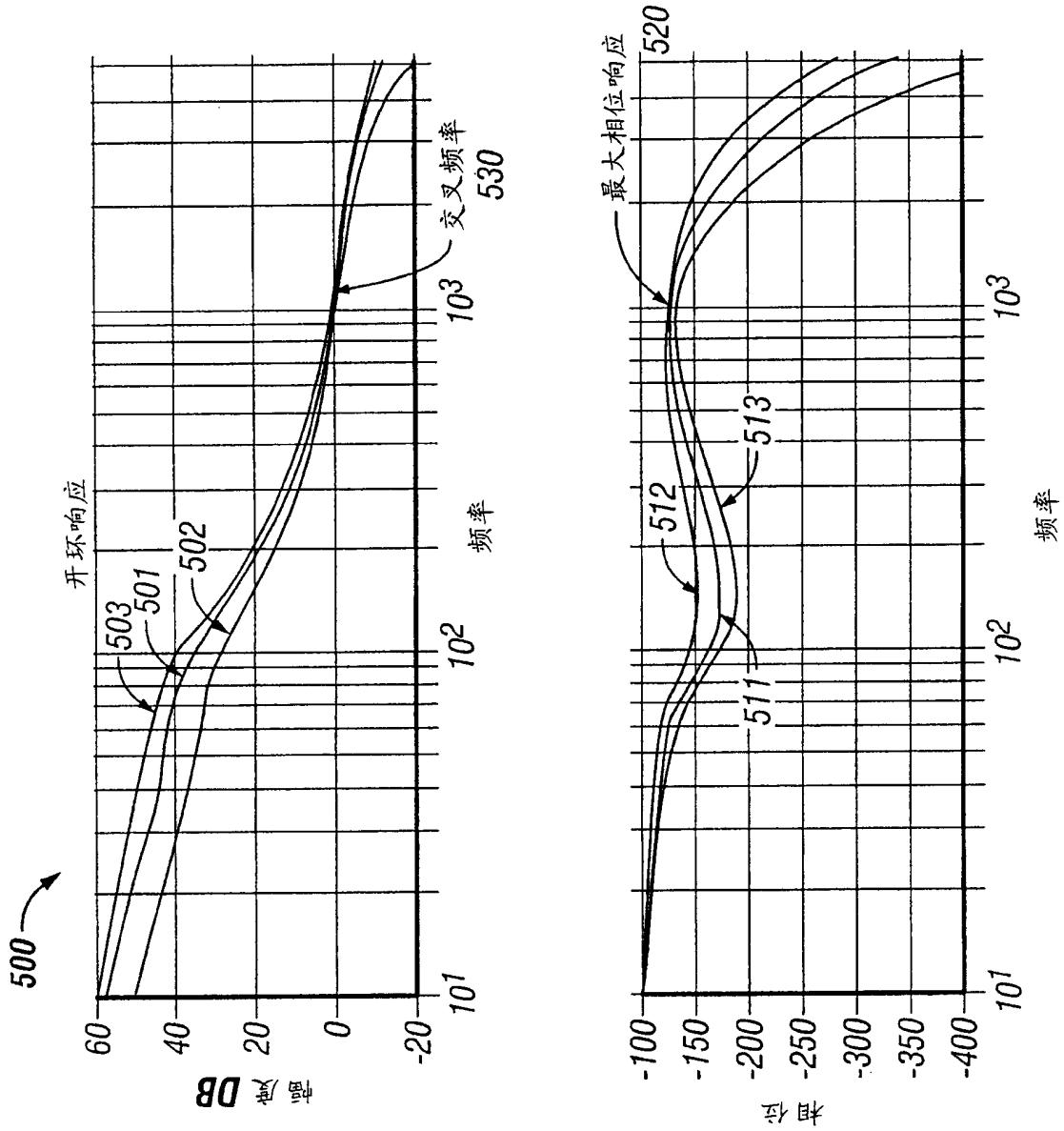


图 5

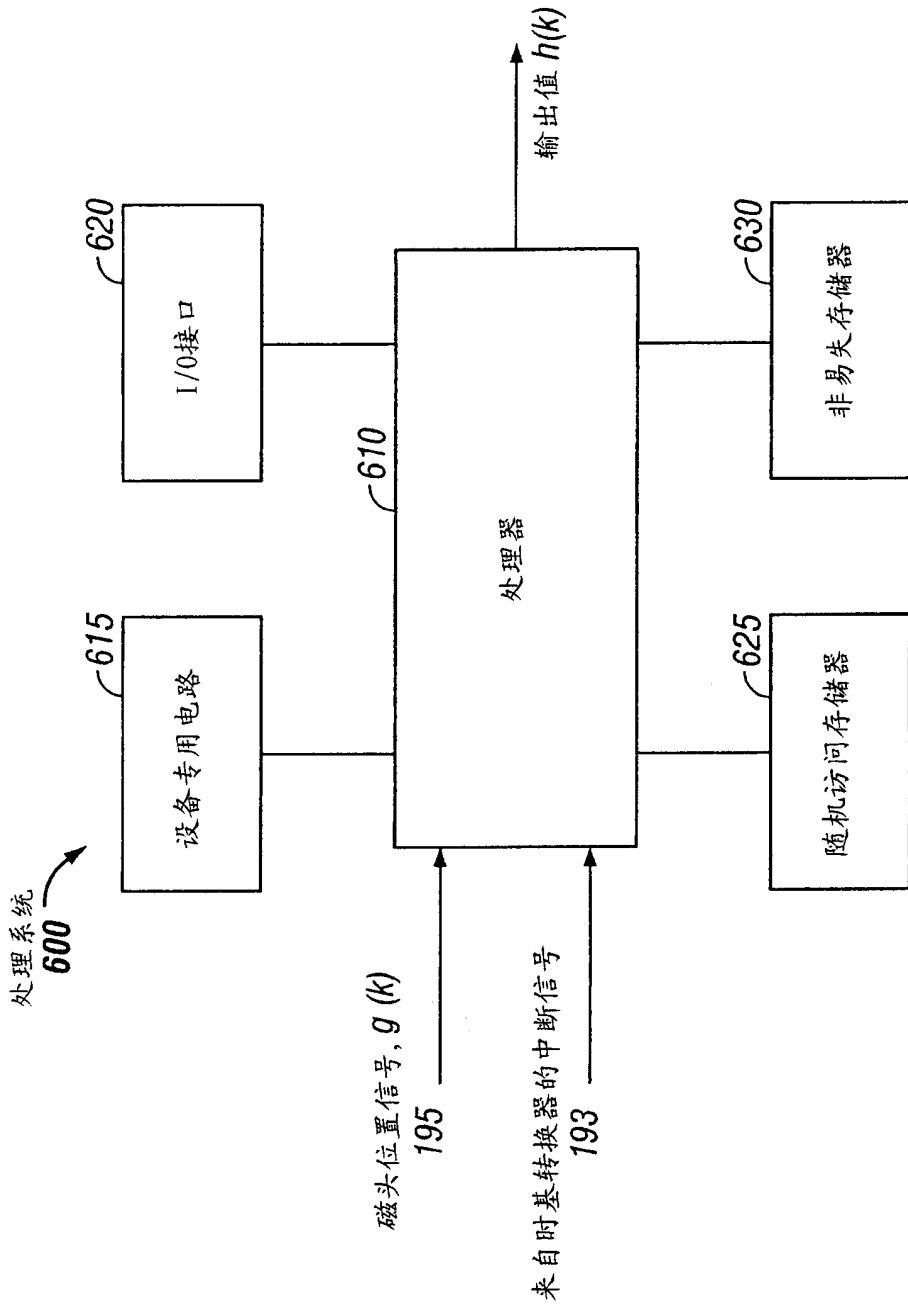


图 6

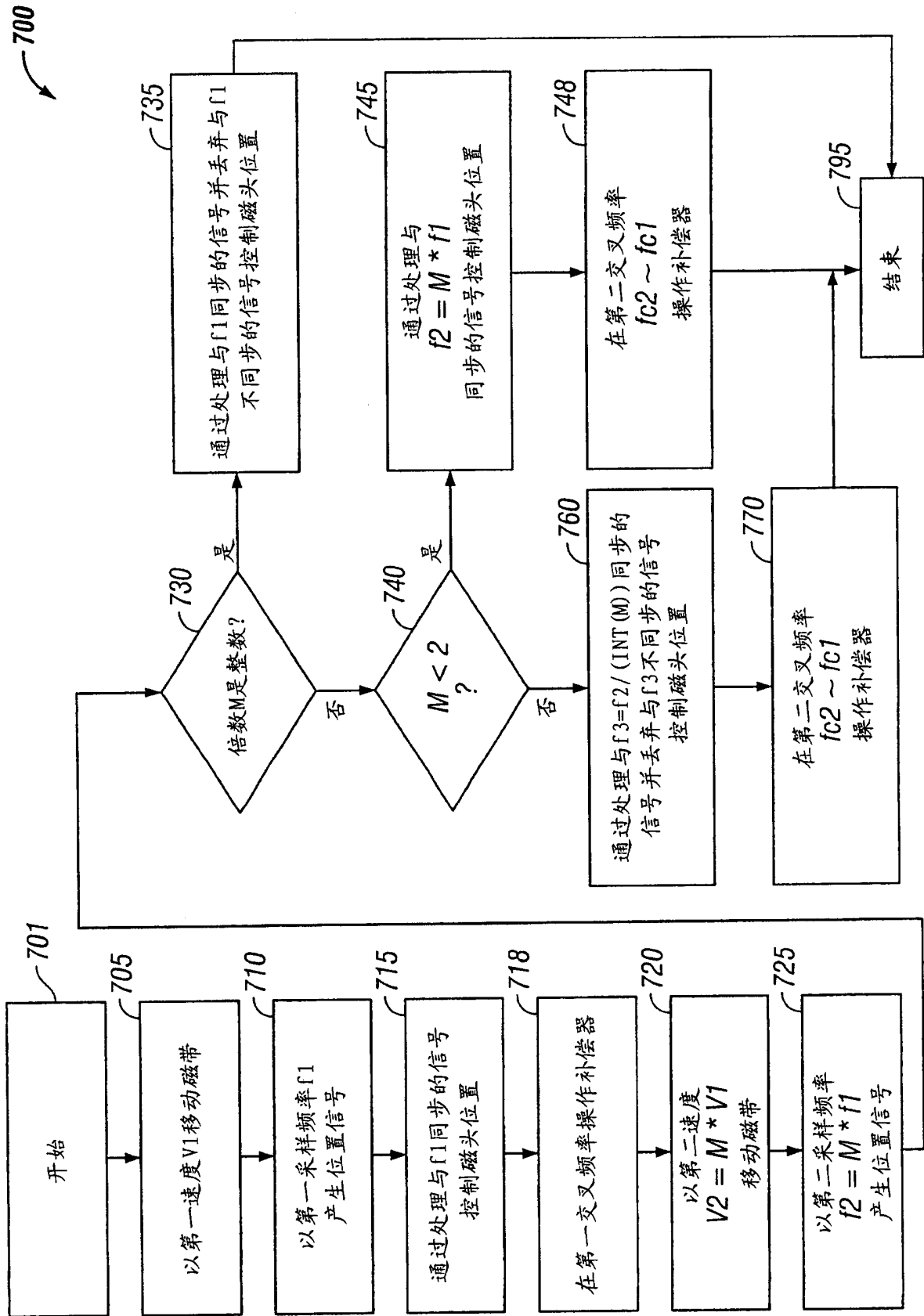


图 7

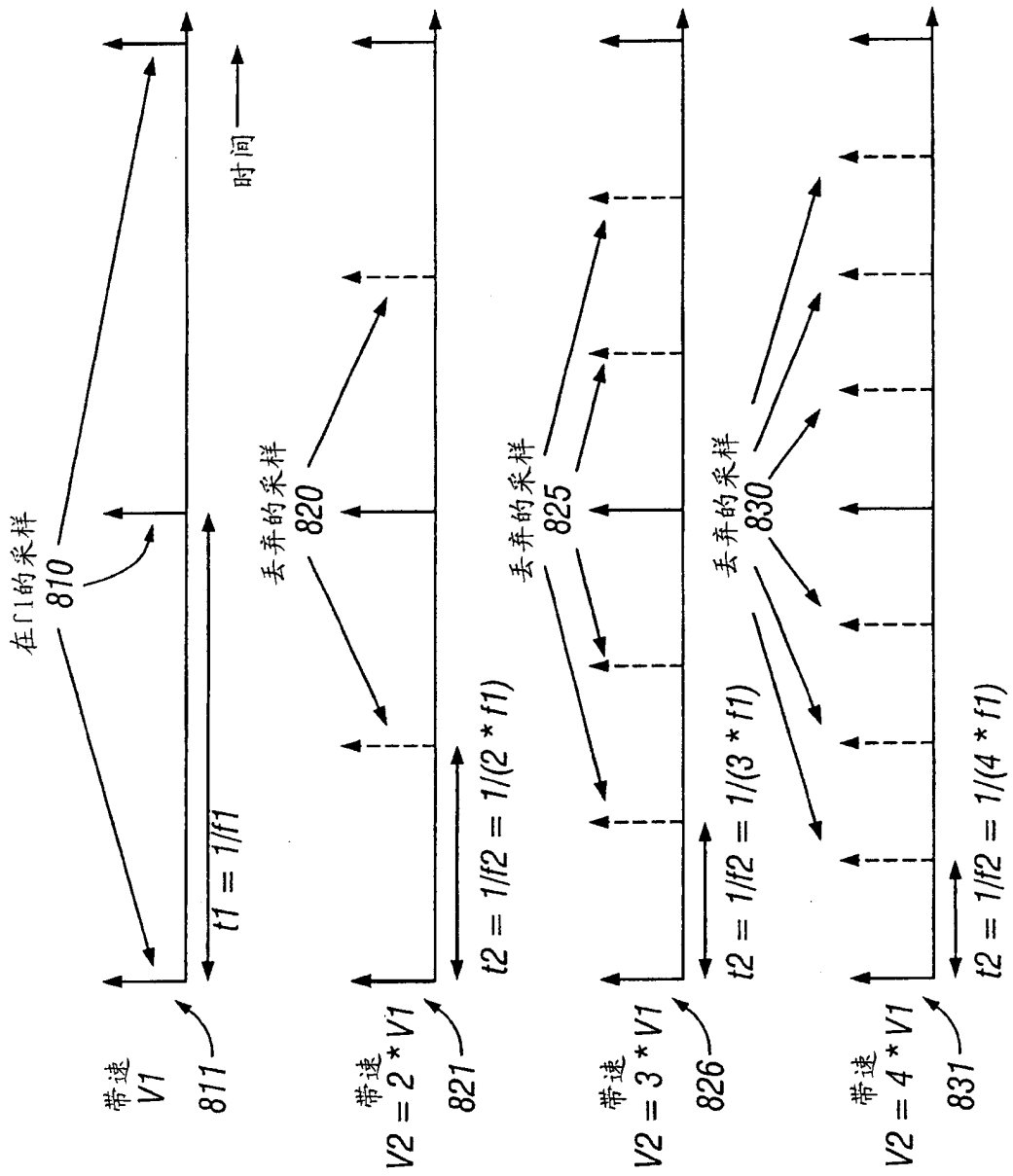


图 8

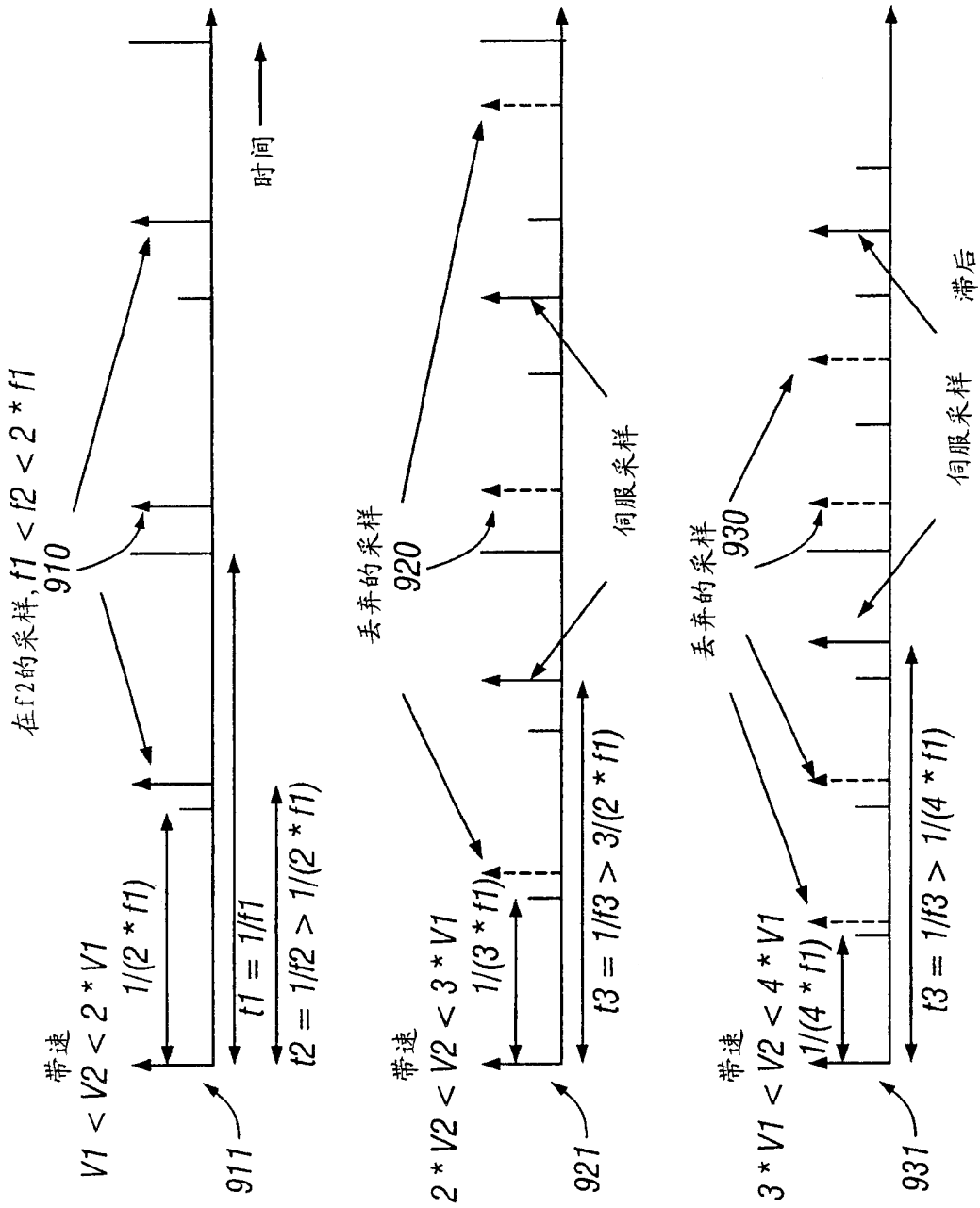


图 9

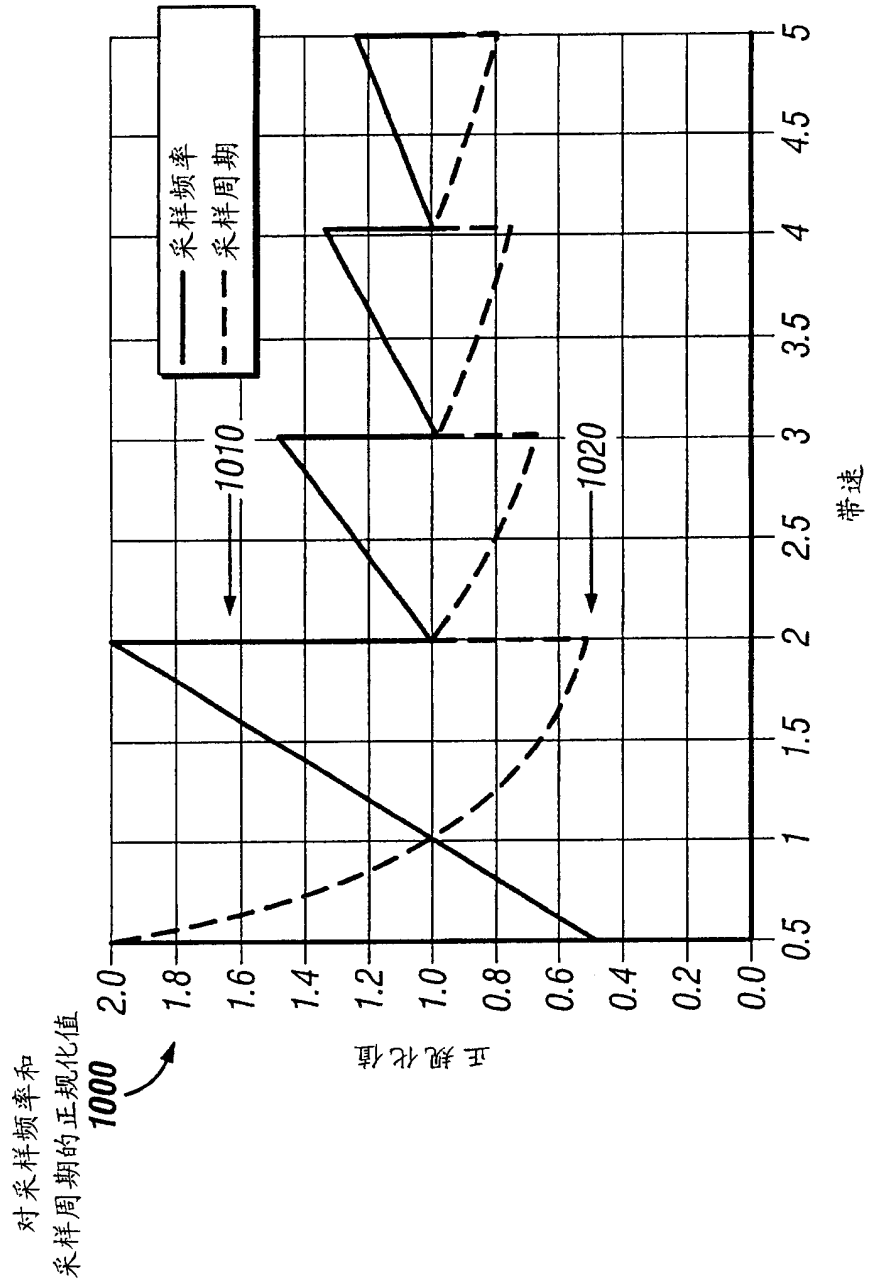


图 10

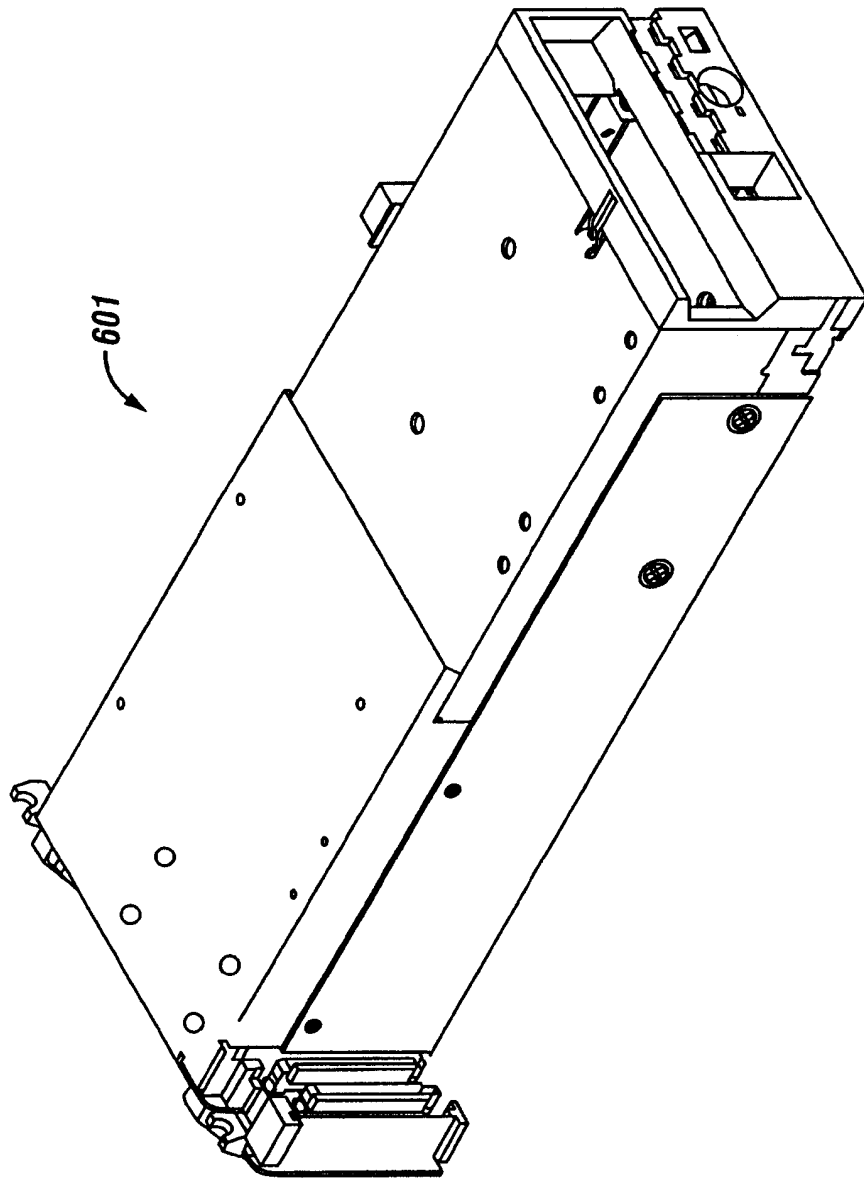


图 11

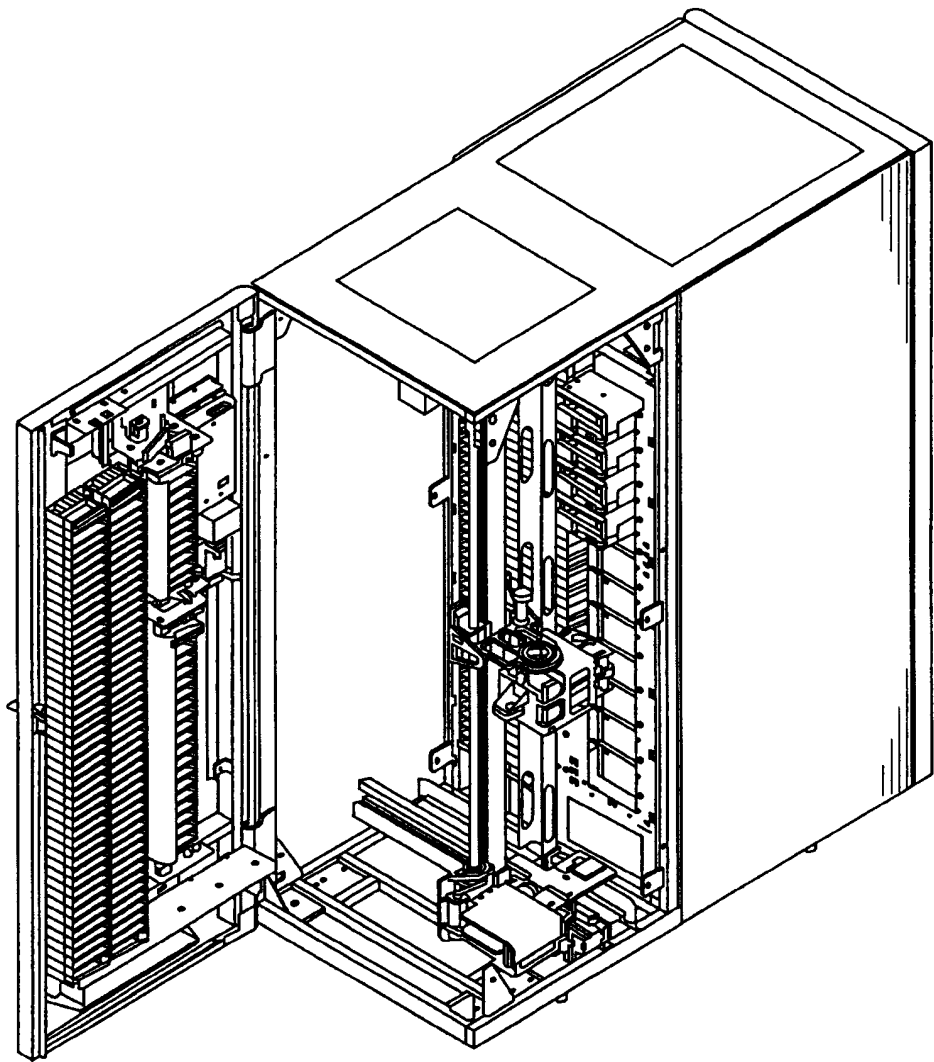


图 12