

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01L 21/00 (2006.01)

H03H 17/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03808081.8

[45] 授权公告日 2007 年 9 月 26 日

[11] 授权公告号 CN 100339943C

[22] 申请日 2003.4.14 [21] 申请号 03808081.8

[30] 优先权

[32] 2002. 7. 10 [33] US [31] 10/192,196

[86] 国际申请 PCT/US2003/011266 2003. 4. 14

[87] 国际公布 WO2004/008502 英 2004. 1. 22

[85] 进入国家阶段日期 2004. 10. 10

[73] 专利权人 ENI 技术公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 戴维·J·库穆 迈克尔·L·柯克

[56] 参考文献

US6046594A 2000. 4. 4

US5936481A 1999. 8. 10

EP0727923A 1996. 8. 21

EP0412568A 1991. 2. 13

审查员 刘承恩

[74] 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

代理人 鄧 迅

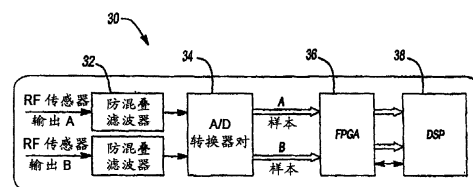
权利要求书 4 页 说明书 7 页 附图 3 页

[54] 发明名称

用于等离子体 RF 源的度量的多速率处理

[57] 摘要

一种 RF 发生器被提供用于 RF 等离子体系统中。该 RF 发生器包括：在一个调谐频率上产生 RF 功率信号的功率源；适合于检测该 RF 功率信号并且产生表示该 RF 功率信号的模拟信号的传感器单元，其中该模拟信号包括所需的频率成份和多个干扰频率成份；以及适合于从该传感器单元接收模拟信号并且把该模拟信号频带限制在一个预定带宽内的传感器信号处理单元，其中该预定带宽通过所需的频率成份，并且排除干扰的频率成份。



1.一种位于 RF 等离子体系统中的 RF 发生器，其中包括：
在一个可调频率范围内的一个调谐频率上产生 RF 功率信号的功率源；

适合于检测该 RF 功率信号并且产生表示该 RF 功率信号的模拟信号的传感器单元，该模拟信号具有与该功率源的调谐频率相关的所需的频率成份；以及

适合于从该传感器单元接收模拟信号并且把该模拟信号频带限制在一个预定带宽内的传感器信号处理单元，其中该信号处理单元的预定带宽可调节，以通过所需的频率成份，并且排除干扰的频率成份。

2. 根据权利要求 1 所述的 RF 发生器，其中该模拟信号被进一步定义为具有基频成份以及多个寄生频率成份，使得该信号处理单元的预定带宽可调节，以通过基频成分并且滤除多个寄生频率成份。

3. 根据权利要求 1 所述的 RF 发生器，其中该传感器信号处理单元的预定带宽跟踪该功率源的调谐频率。

4. 根据权利要求 1 所述的 RF 发生器，其中该传感器信号处理单元进一步包括：

A/D 转换器对，其适合于从该传感器单元接收模拟信号并且把模拟信号转换为数字功率信号；以及

数字信号处理器，其适合于从该 A/D 转换器对接收数字功率信号并且从跟踪由 RF 发生器产生的 RF 功率信号的数字功率信号导出数字控制信号。

5. 根据权利要求 4 所述的 RF 发生器，其中该传感器单元产生表示 RF 线电压的模拟电压信号和表示 RF 线电流的模拟电流信号；使得该 A/D 转换器对把模拟电压信号转换为数字电压信号，并且把模拟电流信号转换为数字电流信号。

6. 根据权利要求 5 所述的 RF 发生器，其中该数字信号处理器

为该数字电压信号和该数字电流信号中的每一个产生同相信号和正交信号。

7. 根据权利要求4所述的RF发生器，其中该数字信号处理器进一步包括：

产生数字混合信号的数字频率合成器；

用于处理第一数字功率信号的第一处理部件；以及

用于处理第二数字功率信号的第二处理部件，使得每个处理部件包括：

数字复合混频器，其适合于接收数字混合信号和一个数字功率信号并且把该数字混合信号与一个数字功率信号相合并，以形成复坐标信号；

抽取模块，其适合于接收该复坐标信号并且减小该复坐标信号的数据率；以及

低通滤波器，其适合于从该抽取模块接收降频变换的复坐标信号，并且整形该降频变换的复坐标信号的频率响应。

8. 根据权利要求7所述的RF发生器，其中该抽取模块被进一步定义为级联积分器梳状滤波器。

9. 根据权利要求7所述的RF发生器，其中该数字频率合成器的数字混合信号与该功率源的调谐频率相关联。

10. 根据权利要求5所述的RF发生器，其中该数字信号处理器被至少部分地到场可编程门阵列中实现。

11. 一种RF等离子体系统，其中包括：

等离子体腔；

把RF功率信号传送到该等离子体腔的RF发生器；以及

匹配网络，其置于该RF发生器和等离子体腔之间，以匹配该RF发生器和该等离子体腔之间的阻抗，其中该RF发生器进一步包括：

在可调频率范围内的调谐频率处产生RF功率信号的可调节功率源；

适合于检测该 RF 功率信号并且产生表示该 RF 功率信号的模拟信号的传感器单元, 该模拟信号具有基频成分和多个寄生频率成份; 以及

传感器信号处理单元, 其适合于从该传感器单元接收模拟信号并且把该模拟信号频带限制在预定带宽内, 其中该信号处理单元的预定带宽可调节, 以通过该基频成分, 并且排除所述寄生频率成份。

12. 一种在 RF 等离子体系统中的 RF 发生器, 其中包括:

以第一固定频率产生 RF 功率信号的第一功率源;

以第二固定频率产生 RF 功率信号的第二功率源;

适合于检测由第一和第二功率源之一所产生的 RF 功率信号并且产生表示该 RF 功率信号的模拟信号的传感器单元, 该模拟信号具有与该功率源的固定频率相关的所需频率和多个寄生频率成份; 以及

在数字域中实现的传感器信号处理单元, 该传感器信号处理单元适合于从该传感器单元接收模拟信号并且把该模拟信号频带限制在通过所需的频率并且排除所述寄生频率成份的预定带宽内。

13. 根据权利要求 12 所述的 RF 发生器, 其中多个寄生频率成份中的至少一些频率成份是由来自第一和第二功率源的 RF 功率信号的互调制所造成的。

14. 根据权利要求 12 所述的 RF 发生器, 其中该传感器信号处理单元进一步包括:

A/D 转换器对, 其适合于从该传感器单元接收模拟信号并且把该模拟信号转换为数字功率信号; 以及

数字信号处理器, 其适合于从该 A/D 转换器对接收数字功率信号并且从跟踪由 RF 发生器所产生的 RF 功率信号的数字功率信号导出数字控制信号。

15. 根据权利要求 14 所述的 RF 发生器, 其中该传感器单元产生表示 RF 线电压的模拟电压信号和表示 RF 线电流的模拟电流信号; 使得该 A/D 转换器对把该模拟电压信号转换为数字电压信号,

并且把该模拟电流信号转换为数字电流信号。

16. 根据权利要求 15 所述的 RF 发生器，其中该数字信号处理器为该数字电压信号和数字电流信号中的每一个产生同相信号和正交信号。

17. 根据权利要求 14 所述的 RF 发生器，其中该数字信号处理器进一步包括：

产生数字混合信号的数字频率合成器；

用于处理第一数字功率信号的第一处理部件；以及

用于处理第二数字功率信号的第二处理部件，使得每个处理部件包括：

数字复合混频器，其适合于接收该数字混合信号和一个数字功率信号，并且把该数字混合信号与一个数字功率信号相合并，以形成复坐标信号；

抽取模块，其适合于接收该复坐标信号并且减小该复坐标信号的数据率；以及

低通滤波器，其适合于从该抽取模块接收降频变换的复坐标信号，并且整形该降频变换的复坐标信号的频率响应。

18. 根据权利要求 17 所述的 RF 发生器，其中该抽取模块被进一步定义为级联积分器梳状滤波器。

19. 根据权利要求 17 所述的 RF 发生器，其中该数字频率合成器的数字混合信号与该功率源的调谐频率相关联。

20. 根据权利要求 14 所述的 RF 发生器，其中该数字信号处理器被至少部分地在场可编程门阵列中实现。

用于等离子体 RF 源的度量的多速率处理

技术领域

本发明一般涉及采用频率可调节源的 RF 等离子体系统, 特别涉及跟踪 RF 发生器的调谐频率和有效地除去不必要的频率成份的多速率信号处理技术。

背景技术

在半导体工业中, 等离子体蚀刻已经变为制造半导体集成电路的一个不可分割的部分。实际上, 蚀刻器通常在需要相关直角边缘时被用于半导体处理中。例如, 当蚀刻 MOS 晶体管的多晶硅栅极时, 钻蚀该多晶硅可能对该半导体的操作造成不良影响。当使用液体蚀刻方法时通常会遇到钻蚀的情况。结果, 涉及例如等离子体蚀刻这样的其他蚀刻技术。使用由电场加速的离子的等离子体蚀刻倾向于仅仅蚀刻水平暴露的表面, 因此避免钻蚀。

为了有效地执行等离子体蚀刻处理 (以及任何其他等离子体处理), 非常希望精确地控制传送到该等离子体腔的功率。控制该功率的严格必要条件随着蚀刻处理的复杂度增加而发展。结果, 各种控制技术被用于监视实际传送到该等离子体腔的功率。

由于多个原因, 常规的控制方法不能够满足等离子体处理的不断增加的严格容限必要条件。一个特殊的原因是传送到等离子体腔的 RF 功率一般包括多个基频以及相对应的谐波。例如, 施加到该等离子体腔的电压可以具有在 2MHz 和 27MHz 处的基频, 其中 2MHz 信号包括在 4MHz、6MHz、8MHz 等等处的谐波。另外, 27MHz 信号可以包括在 25MHz、23MHz 等等处的互调制分量。这是重要的, 因为关于由该来源所传送的能量的认识可能被谐波或者互调制分量所歪曲, 因此为了精确测量需要限制或消除这些频率。多速率处理

具有大的处理增益，以大大地减小不必要的频率成份。处理增益是消除频带外噪声。这出现在所需的频率占用比输入信号更少的带宽的情况。

本发明提供一种多速率信号处理技术，其跟踪 RF 发生器的调谐频率，从而有效地从所需的频率除去不必要的频率成份。该方法大大地放宽了在传感器和信号处理单元之间的任何滤波元件的设计标准。该方法还具有增加精度和减小占用面积的立竿见影的优点。该方法还适用于各种 RF 传感器。

本发明对于采用频率可调节的来源的 RF 等离子体系统来说也是重要的。在频率可调节系统中的 RF 发生器调节其频率，以使得功率传输最大化。当该频率被调节时，该度量的带通区域必须为该调谐频率相应地移动，以通过所需的频率并且除去其他频率。本发明连贯地跟踪该 RF 发生器的调谐频率。

本发明的一个附加优点在利用多 RF 频率源的等离子体系统中实现。在多 RF 频率源中，通常互调制分量存在于该度量电路的频带中。当该高频 RF 源带宽的度量大于该频率源的互调制分量时，将得到该结果。一个多速率处理方案对频带外信号提供大的衰减，以消除这些互调制分量对度量精度的影响。

发明内容

根据本发明，一种 RF 发生器被提供用于一个 RF 等离子体系统中。该 RF 发生器包括：在一个调谐频率上产生 RF 功率信号的功率源；适合于检测该 RF 功率信号并且产生表示该 RF 功率信号的模拟信号的传感器单元，该模拟信号包括所需的频率成份和多个干扰频率成份；以及适合于从该传感器单元接收模拟信号并且把该模拟信号频带限制在一个预定带宽内的传感器信号处理单元，其中该预定带宽通过所需的频率成份，并且排除干扰的频率成份。该传感器信号处理单元最好在数字域上实现。

为了更加完整地理解本发明、其目的和优点，可以参考下文的

说明书和附图。

附图说明

图 1 为示意的单源 RF 等离子体系统的示意图；

图 2 为根据本发明用于传感器信号处理单元的示意硬件构架的示意图；

图 3 为示出根据本发明用于传感器信号处理单元的优选信号处理技术的方框图；

图 4 为在本发明的传感器信号处理单元中用于实现抽取处理的常规抽取器方案的方框图；

图 5 为在本发明的传感器信号处理单元中可以用于实现该抽取处理的级联积分器梳状滤波器的方框图；以及

图 6 为示出对于各种抽取因子的级联积分器梳状滤波器的频率响应的示意图。

具体实施例

在图 1 中示出一个示意单源 RF 等离子体系统 10。如本领域所公知，该 RF 等离子体系统 10 包括 RF 发生器 12、匹配网络 14 和等离子体腔 16。尽管在下文的描述参照一种单源系统，但是容易理解本发明的广义方面可以应用于具有两个或多个 RF 发生器的 RF 等离子体系统。

该 RF 发生器 12 进一步包括 RF 功率源 22、RF 传感器 24 和传感器信号处理单元 26。在操作中，RF 功率源 22 被操作，以产生 RF 功率信号，其通过匹配网络 14 输出到等离子体腔 16。应当知道，仅仅发生器的主要部件被讨论，但是需要其他已知的部件来实现该发生器。

一种 RF 传感器 24 被置于 RF 功率源 22 和匹配网络之间，以检测由 RF 功率源 22 输出的 RF 功率信号。该 RF 传感器 24 通常可用于产生表示该 RF 功率信号的模拟信号，其接着被用作为对 RF 功率

源 22 的控制信号。在一个示意实施例中，RF 传感器 24 包括电压探针和电流探针，使得传感器输出分别代表 RF 线电压和 RF 线电流。在另一个实施例中，该 RF 传感器可以被定义为方向传感器，其输出对应于正向功率和被反射功率。在任何一种情况中，来自 RF 传感器 24 的两个输出信号最好用作到传感器信号处理单元 26 的输入。该传感器输出通过 50 欧姆传输线路连接到传感器信号处理单元 26。传输线路被根据如下原则而任意提供：通过仔细地匹配该线路和终端的阻抗而保持良好的波形保真度，以及通过适当地屏蔽和注入外部电磁干扰的结构来保持干扰信号的良好衰减。尽管传感器信号处理对特定的传感器配置具有一定相关性，但是容易理解，本发明的传感器信号处理方法的广义方面可以应用于不同类型的传感器配置。

根据本发明，该传感器信号处理单元 26 适合于从 RF 传感器接收模拟信号，并且输出跟踪由 RF 功率源 22 所产生的 RF 功率信号的调谐频率的数字控制信号。应当知道，从该 RF 传感器接收的模拟信号将包括所需的频率和多个干扰频率成份或者不希望出现的寄生频率成份。在操作中，该传感器信号处理单元 26 把该模拟信号频带限制在使得所需的频率通过的预定频带内，并且排除该干扰频率成份。尽管所需的频率最好是在该功率的调谐频率上的基频成分，但是可以设想所需的频率还可以包括与该调谐频率相关的其他频率成份。在可调节 RF 功率信号的情况中，该预定带宽可调节，以通过所需的频率，如下文进一步描述。可以设想该传感器信号处理单元 26 可以在 RF 传感器 24 的位置处或远离该 RF 传感器 24。

参见图 2，其中示出一个示意硬件构架 30，用于实现该传感器信号处理单元 26。每个传感器输出最初由防混叠滤波器 32 所滤波。该防混叠滤波器的目的是频带限制所需的信号频率。该滤波器的最小带宽一般等于该 RF 功率信号的工作频带。在该滤波器之前的传感器输出信号的衰减可以取决于该输出信号的幅度；否则，用于这些防混叠滤波器 32 的设计标准不是关键的，因为在抽取处理过程中实现进一步的频带限制。

每个防混叠滤波器 32 接着连接到高速模数 (A/D) 转换器对 34。该 A/D 转换器 34 作为一对通过同时采样从每个滤波器输出的各个信号而工作。然后该 A/D 转换器 34 把模拟输入信号转换为相应的数字功率信号。该输入信号的频谱内容包括在奈奎斯特范围 ($[1/2]$ 采样率) 或更大范围内的防混叠滤波器的通频带中的频率。由于该转换器的带宽大于该采样率, 因此这是可以实现的。

A/D 转换器 34 的输出然后连接到用于大规模集成 (LSI) 的可编程器件。在一个示意实施例中, 场可编程门阵列 (FPGA) 36 接收由 A/D 转换器 34 输出的数字信号。该 FPGA 36 的主要目的是把 A/D 转换器 34 的采样率减小到可以由数字信号处理器 38 所管理的数据率。该信号处理单元不在该等离子体 RF 发生器的控制环路中导入大的群时延是关键的。因此, 该抽取因子的基础是提供用于该控制环路的最佳群时延以及用于传感器测量精度的适当频带限制。

在一个优选实施例中, 该传感器信号处理单元 26 采用多速率信号处理技术实现从如图 3 中所示的所需频率中除去不必要的频率成份。例如, 在具有两个或更多的来源的 RF 发生器的情况中, 该传感器信号处理单元 26 的带宽可以被设计为通过与两个功率源之一相关的所需频率并且滤除由来自两个来源的功率信号的互调制所造成的寄生频率成份。该多速率信号处理最好使用数字频率合成器 42、一对数字混合模块 44、一对抽取模块 46 和一对低通滤波器 48 在数字域中实现。

从 A/D 转换器 34 获得的数字信号被应用于一对数字混合模块 44。每个数字混合模块 44 还接收来自数字频率合成器 42 的输入。通常, 该数字频率合成器 42 产生数字混合信号。特别地, 该数字频率合成器产生表示频率调整点的正弦和余弦波形, 其中该频率调整点与所需频率相关联。在一个实施例中, 该频率调整点通常是从驱动 RF 功率源的频率源接收的一个频率调整点。因此, 该频率跟踪技术是连贯性的。容易理解, 其他连贯的频率跟踪技术以及各种独立的频率跟踪技术都在本发明的范围内。

每个数字混合模块 44 可以操作, 以把从数字频率合成器 42 接收的数字混合信号与从 A/D 转换器 34 接收的数字功率信号相混合。为了实现该目的, 每个数字混合模块包括两个数字乘法器。另外, 该数字混合模块 44 在与 A/D 转换器对 34 相同的采样率下工作。来自每个数字混合模块 44 的结果是由包含在采样的输入信号和由该数字频率合成器所提供的信号中的频率之和和之差构成的频谱。

该采样率到可管理的数据率的转换出现在抽取模块 46 中。该抽取是一种用于减小信号的数据率的众所周知的处理。常规的抽取器方案在图 4 中示出。尽管这是一种用于抽取的可接受的方法, 但是该方案体现难以实现的各种限制。这些限制包括高速乘法器的数目与低通滤波器级数相等、用于滤波器系数的存储要求、以及本地时序对于该低通滤波器的实现是关键的。

一种替换的抽取方案在图 5 中示出。特别地, 通过一个级联积分器梳状 (CIC) 滤波器 40 来实现抽取。该 CIC 滤波器 40 的频率响应取决于设计参数 K 、 N 和 R 。 K 产生该滤波器的级数。该滤波器最好是对称的, 使得对于一个给定的 K 有 K 个积分器级和 K 个梳状滤波器级。 N 是在该梳状滤波器的反馈中的延迟单元。 R 是抽取因子。对于一个给定的 R , 该采样率被减小到 (采样率/ R) 的数据率。为了说明的目的, 在图 6 中示出对于第 5 级 CIC 滤波器的各种抽取因子的频率响应的示意图, 其中延迟单元 N 为 1。随着抽取因子的增加, 该数据率成比例地减小, 并且频带限制增加。本领域的普通技术人员应当知道其他抽取方案 (例如, 多项分解 (polyphase decomposition)) 也在本发明的范围内。

转到图 3, 一对低通滤波器 48 紧接着在该抽取处理之后。该低通滤波器提供 CIC 滤波器 40 的频谱输出的整形函数。例如, 19 个抽头的半频带滤波器可以被用于此目的。对于输入到传感器信号处理单元 26 的每个数字功率信号, 输出被示出为一个同相 (I) 信号和一个正交 (Q) 信号。应当知道, 这些输出信号可以作为用于 RF 功率源 22 的控制反馈信号。进一步知道其他类型的控制反馈信号可以

从这些输出信号导出，并且控制反馈信号的类型可以取决于由 RF 发生器 12 所采用的传感器 24 的类型。

在自动频率跟踪的情况下，通过取每个被采样输入信号的输出对于时间的倒数而导出该频率调整点。该倒数的结果提供通过复坐标系统旋转的速率。该速率与用于包含在被采样的输入信号中等所需频率和数字频率合成器之差的被抽取频率成正比。当在一个 RF 频率调谐系统中改变该频率时，该数字频率合成器的调整点被调节，以把所需频率保持在 CIC 滤波器通频带内。该导出的频率还可以是每个被采样的输入信号的输出对于时间的倒数的滤波后的结果。例如，该倒数可以由每个输出信号对于时间来计算，然后由一个线性（平均）或非线性（中值）滤波器所滤波。

上述信号处理方法可以在一个可编程的数字信号处理器、用于大规模集成或其组合的可编程器件中实现。该 LSI 方法是优选的，用于通过并行处理来获得速度；尽管 DSP 方法优选用于转换数据，并且应用适当的校正因子。

总而言之，本发明提供一种有效的窄带滤波器，以消除传感器信号的测量中的失真。互调制分量和与 RF 等离子体系统相关的环境噪声被大大地衰减。所提出的实现方式有效地使用数字逻辑，从而需要更小的占用面积。一种可比较的模拟方法通常需要成份调节和/或不同的成份。所提出的数字实现方式还具有最小的长期漂移并且容易适用于不同的应用。

尽管已经用优选的形式来描述本发明，但是应当知道，本发明可以作出各种改变，而不脱离所附权利要求给出的本发明的精神实质。

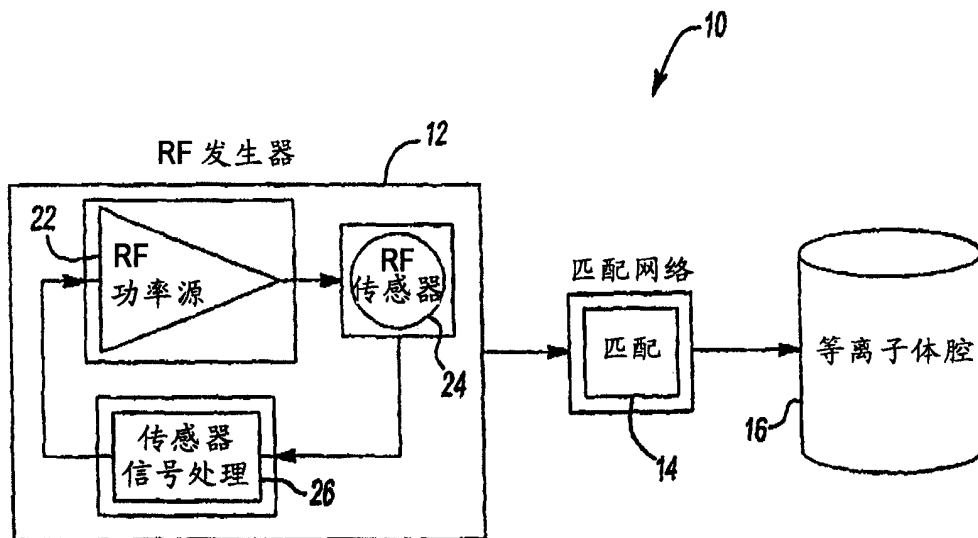


图 1

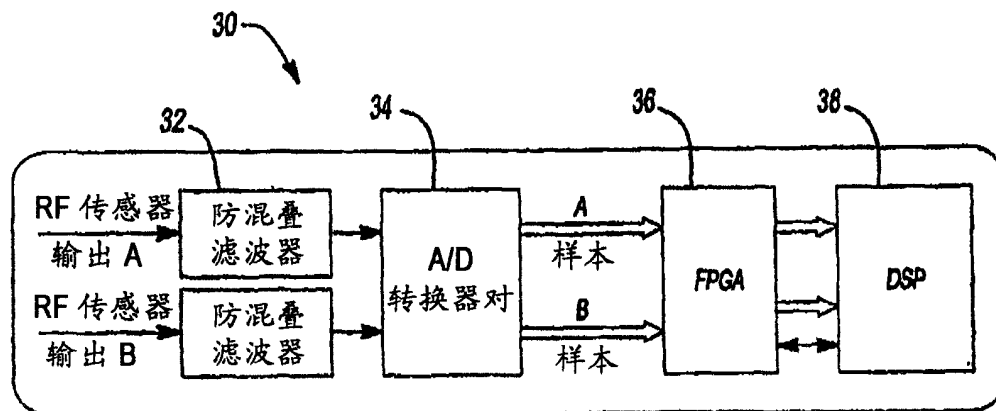


图 2

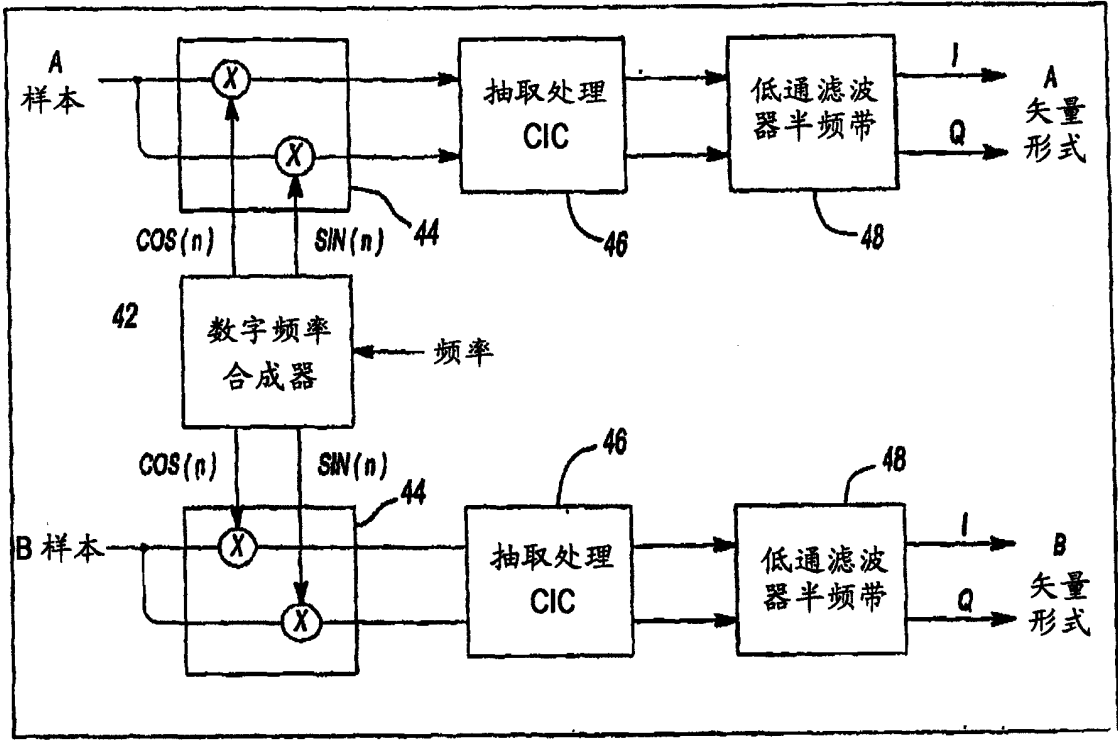


图 3

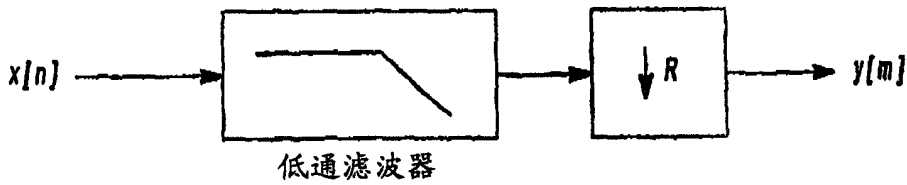


图 4

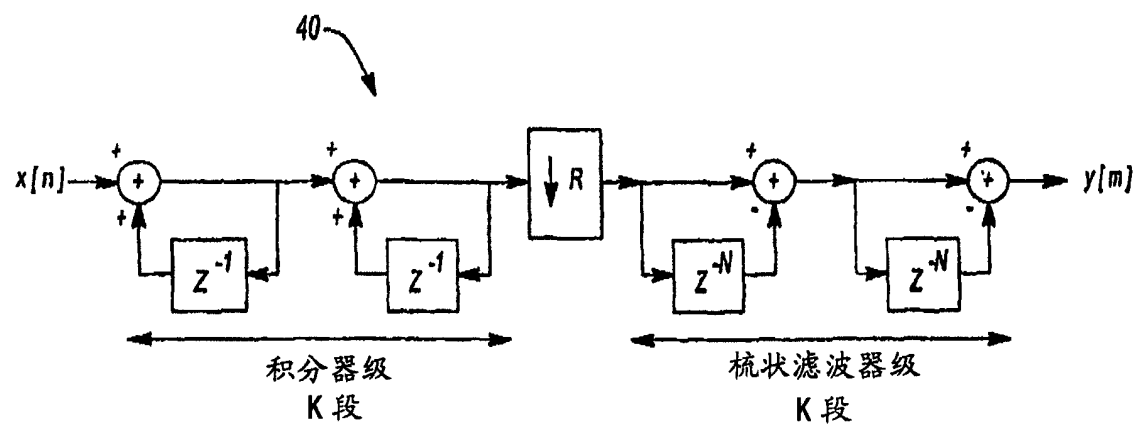


图 5

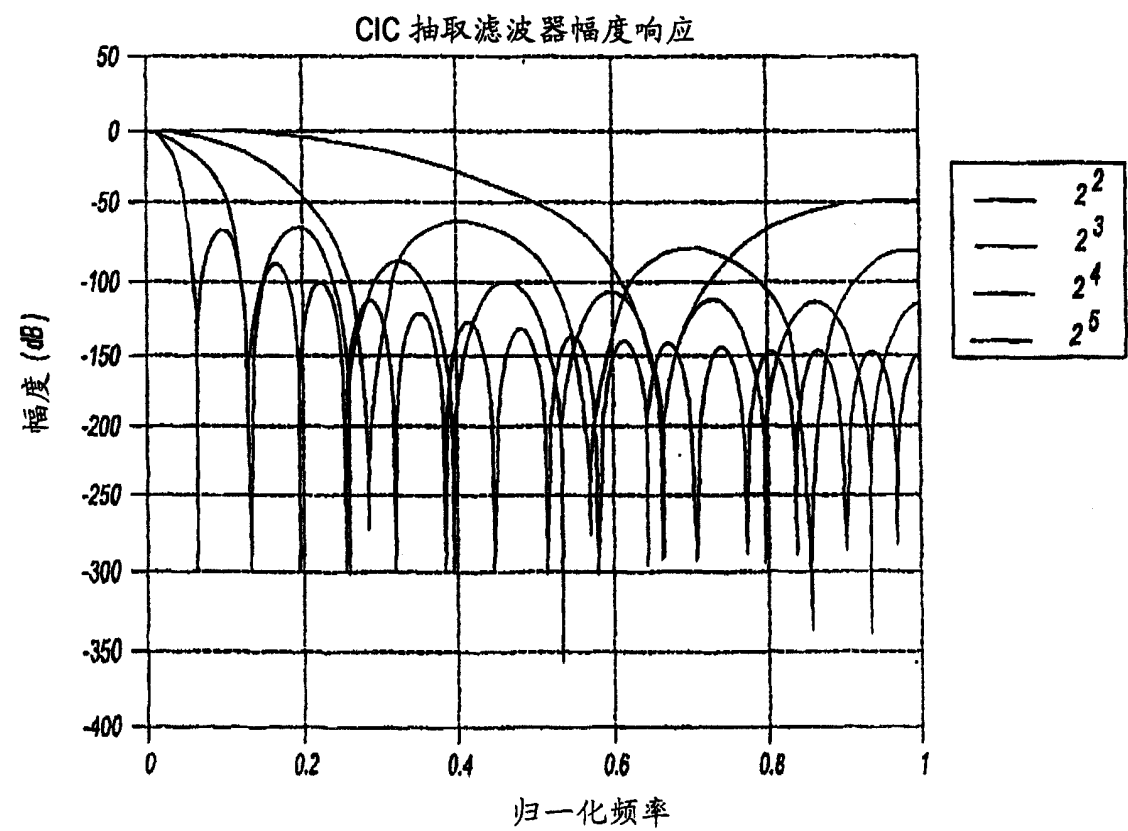


图 6