

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200480043617.6

[51] Int. Cl.

H03L 1/02 (2006.01)

H03L 7/18 (2006.01)

H03L 7/197 (2006.01)

[43] 公开日 2007 年 7 月 4 日

[11] 公开号 CN 1993890A

[22] 申请日 2004.6.24

[21] 申请号 200480043617.6

[86] 国际申请 PCT/FI2004/000384 2004.6.24

[87] 国际公布 WO2006/000611 英 2006.1.5

[85] 进入国家阶段日期 2007.1.17

[71] 申请人 诺基亚公司

地址 芬兰埃斯波

[72] 发明人 托米·马蒂拉 奥利·加库拉

维利·卡加卡里 阿奈·奥加

海基·塞帕

[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

代理人 杜娟

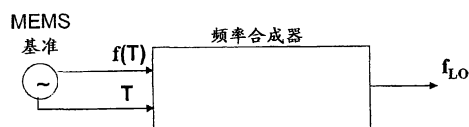
权利要求书 4 页 说明书 10 页 附图 7 页

[54] 发明名称

频率合成器

[57] 摘要

一种借助于耦合到压控振荡器 (VCO) 的基准振荡器单元来稳定频率合成器的频率的方法和频率合成器, 其中所述合成器装备有锁相环 (PLL) 以便稳定压控振荡器的操作, 其中所述基准振荡器单元是 MEMS (MicroElectromechanicalSystem, 微机电系统) 基准振荡器单元, 测量 MEMS 基准振荡器单元的温度, 并且通过使用频率/温度函数依照所测量的温度来校正输出频率。



1. 一种借助于耦合到压控振荡器 (VCO) 的基准振荡器单元来稳定频率合成器的频率的方法, 其中所述合成器装备有锁相环 (PLL) 来稳定所述压控振荡器的操作, 其特征在于:

所述基准振荡器单元是 MEMS (微机电系统) 基准振荡器单元, 测量所述 MEMS 基准振荡器单元的温度,

通过使用频率/温度函数、依照所测量的温度来校正输出频率。

2. 如权利要求 1 所述的用于稳定频率合成器的频率的方法, 其中所述压控振荡器产生本机振荡器频率, 所述压控振荡器输出频率被分频成等于所述 MEMS 基准振荡器频率, 并且它们的相对相位被检测并用于调谐所述压控振荡器,

其特征在于使用分频器来补偿随温度而变的基准频率偏移误差。

3. 如权利要求 2 所述的用于稳定频率合成器的频率的方法, 其特征在于, 使用 Σ - Δ 调制器技术来实现可调谐的 (分数-N) 分频器, 借此使用对所述分频器的 Σ - Δ 调制器反馈, 压控振荡器频率变为所述基准频率的 $N+x[n]$ 倍, 其中 N 表示分频器的整数设置并且 $x[n]$ 是用于引导所述 Σ - Δ 调制器的输入序列, 并且根据所测量的 MEMS 振荡器 (T) 的温度 (T) 和基准频率 T 相关性 $f_r(T)$, 使用逻辑电路来产生 $x[n]$, 所述 $x[n]$ 用于补偿由温度引发的基准频率的偏移。

4. 如权利要求 2 所述的用于稳定频率合成器的频率的方法, 其特征在于, 所述压控振荡器自身能够产生具有所要求的频谱纯度 (相位噪声) 的信号, 并且需要基准振荡器来提供长期频率稳定性, 借此通过计数拍频 ($f_r - f_{VCO}/N$) 来求解所述基准频率 f_r 和经分频的 VCO 频率 (f_{VCO}/N) 之间的差异, 然后把所述频率差异与所测量的 T 和已知函数 $f_r(T)$ 相组合以便产生用于 VCO 的正确的调谐电压。

5. 如权利要求 2 所述的用于稳定频率合成器的频率的方法, 其特征在于, 所述压控振荡器自身能够产生具有所要求的频谱纯度 (相位噪声) 的信号, 并且需要基准振荡器来提供长期频率稳定性, 借此

通过利用所述基准频率 f_r 和经分频的 VCO 频率 (f_{VCO}/N) 信号之一作为计数的时钟来直接计数这两个频率 (f_r) 和 (f_{VCO}/N)，从而求解这两个频率 (f_r) 和 (f_{VCO}/N) 之间的差异，并且其中然后把所述频率差异与所测量的 T 和已知函数 $f_r(T)$ 相组合以便产生用于 VCO 的正确的调谐电压。

6. 如权利要求 1 所述的用于稳定频率合成器的频率的方法，其特征在于，使用可以调谐的第二低频振荡器来进行对上变频 PLL 中的基准振荡器频率的温度补偿。

7. 如权利要求 1 所述的用于稳定频率合成器的频率的方法，其特征在于，将偏移合成器用于 VCO (55) 输出频率的温度稳定，所述 VCO 产生 LO 频率，所述 MEMS 基准振荡器 (51) 提供基准频率，所述 VCO 输出频率在分频器 (54) 中被分频并且使用混合相位检测器 (52) 把经分频的 VCO 输出与基准振荡器相混合，利用低通滤波器 (53) 来对混合器输出进行滤波以便获得 $f_1 = f_{VCO} - f_r$ ，使用第二混合器 (57) 来把由振荡器 (58) 所提供的偏移频率 (f_{offset}) 添加到信号，而且在利用第二低通滤波器 (56) 滤波之后，获得所产生的频率 ($f_2 = f_1 - f_{offset}$)。

8. 如权利要求 1 所述的用于稳定频率合成器的频率的方法，其特征在于，通过在 MEMS 谐振器中激励具有不同温度系数的两个模式来测量温度，其中通过查看所述两个模式的频移，可以测量温度的改变。

9. 如权利要求 1 所述的用于稳定频率合成器的频率的方法，其特征在于，在 PLL 计数器链的相位累加器中以恒定速率连续地增加或减去由不管任何方法的温度测量所选择的校正值，以便根据所述温度来增加或减小所述输出频率。

10. 一种频率合成器，装备有被耦合到压控振荡器 (VCO) 以便稳定频率合成器的频率的基准振荡器，其中所述合成器装备有锁相环 (PLL) 以便稳定所述压控振荡器的操作，其特征在于：

基准振荡器单元是 MEMS (微机电系统) 基准振荡器单元，而

且频率合成器具有用于测量 MEMS 基准振荡器单元的温度、并且用于通过使用频率/温度函数依照所测量的温度来校正输出频率的装置。

11. 如权利要求 10 所述的频率合成器, 其特征在于, 至少一个组件是具有方形板和在所述板的各个面上所布置的用于电容耦合的电极的微机械体声波模式 (BAW) 硅谐振器, 其中振动模式被表征为用于保留原始方形的 2-D 板扩展。

12. 如权利要求 10 所述的频率合成器, 其特征在于包括: 用于产生本机振荡器频率的装置, 用于对压控振荡器输出频率进行分频以便等于 MEMS 基准振荡器频率的装置, 和用于检测它们的相对相位以及用于调谐压控振荡器的装置。

13. 如权利要求 12 所述的频率合成器, 其特征在于包括一个分频器以便补偿随温度而变的基准频率偏移误差。

14. 如权利要求 12 所述的频率合成器, 其特征在于, 可调谐的 (分数-N) 分频器是 Σ - Δ 调制器。

15. 如权利要求 12 所述的频率合成器, 其特征在于, 压控振荡器具有用于由自身产生具有所要求的频谱纯度 (相位噪声) 的信号装置, 并且需要基准振荡器来提供长期频率稳定性。

16. 如权利要求 10 所述的频率合成器, 其特征在于, 偏移合成器被用于 VCO (55) 输出频率的温度稳定, 而且它包括产生 LO 频率的 VCO, 所述 MEMS 基准振荡器 (51) 提供基准频率, 所述 VCO 用于在分频器 (54) 中对输出频率进行分频, 并且使用混合相位检测器 (52) 把经分频的 VCO 输出与基准振荡器相混合, 利用低通滤波器 (53) 来对混合器的输出进行滤波以便获得 $f_1 = f_{VCO} - f_r$, 使用第二混合器 (57) 来把由振荡器 (58) 所提供的偏移频率 (f_{offset}) 添加到信号, 而且存在用于在利用第二低通滤波器 (56) 滤波之后获得所产生的频率 ($f_2 = f_1 - f_{offset}$) 的装置。

17. 如权利要求 10 或 11 所述的频率合成器, 其特征在于, MEMS 谐振器具有温度系数不同的两个模式, 使得通过在 MEMS 谐振器中激励具有不同温度系数的两个模式来测量温度, 其中通过查看所述两

个模式的频移，可以测量温度的改变。

18. 如权利要求 19 所述的频率合成器，其特征在于，它具有用于同时检测所述两个模式的装置。

19. 如权利要求 18 所述的频率合成器，其特征在于，电极结构具有用于利用相同电极检测两个模式的装置。

20. 如权利要求 18 所述的频率合成器，其特征在于，所述电极结构具有不同偏压的不同电极（对于另一 Lamé 电极来说具有相反的极性）以便激励 Lamé 和扩展模式。

21. 如权利要求 18 所述的频率合成器，其特征在于，所述电极结构具有用于激励两个模式的不同谐振器。

22. 如权利要求 10 所述的频率合成器，其特征在于，它包括基准频率振荡器和锁相环（分数-N PLL），借此基准振荡器给出用于产生温度信息的频率（f1）和（f2），所述振荡器被设计成使得信号频率 f1 具有低相位噪声，而且利用压控振荡器（VCO）来合成期望的频率。

23. 如权利要求 10 所述的频率合成器，其特征在于，所述频率合成器具有三维表以便为制造校准校正、基准振荡器温度校正和信道选择频率偏移的所有组合提供校正值。

频率合成器

技术领域

本发明涉及一种用于稳定频率合成器的频率的方法。更具体地说，本发明涉及一种借助于通过使用锁相环（PLL）耦合到压控振荡器（VCO）的基准振荡器来稳定频率合成器的频率的方法。本发明还涉及一种频率合成器。

背景技术

在典型的现代无线收发器中，根据基准振荡器来导出通信频率。例如，在无线电话机中，使用基于基准振荡器的频率来发起与基站的通信。在已经建立连接之后，可以进一步借助各种同步方法来改进频率精确度，但是初始通信频率必须足够精确以便能够建立初始通信。

在典型的收发器体系结构中，基准振荡器的输出被锁相到 VCO 的输出，并且所述 VCO 的输出提供了期望的本机振荡器（local oscillator, LO）频率。

在图 1a 中描绘了这种基于 PLL 的频率产生的例子。使用相位比较器 12 的输出 13 来稳定 VCO 14 的操作；VCO 14 的输出频率 15 是基准振荡器频率 11 乘以分频器链（divider chain）16 的分频因数（dividing factor）N。

基本的基于 PLL 的频率产生利用整数计数器链作为分频器，但是分数版本（fractal version）一般在 Σ - Δ 转换器的控制之下使用分数分频器来近似连续输出的频率范围，所述分数分频器在两个不同的分频模（dividing modulo）之间交替。

如果分频因数 N 被设置为动态可变的，那么图 1a 中所描绘的基于 PLL 的频率产生可以发展为图 1b 中所描绘的频率合成器。

除要求向 VCO 提供长期频率精确度之外，由于 LO 产生的载波

所包含的相位噪声越少，通信信道越适于提供无差错信息传输，所以需要低基准振荡器相位噪声。

基准振荡器被用作为频率合成器中的精确且稳定的基准频率并且提供精确且稳定的基准频率信号以便能够产生可变但稳定的频率，所述频率可以被用作为可调谐的 LO 频率。

频率合成器的输出频率信号的关键要求是稳定性、低相位噪声以及高热稳定性，例如具有低热系数，并且还要求可以迅速地选择所述输出频率的精确值。

在无线通信设备中，基准振荡器通常是基于石英晶体的。石英谐振器稳定且精确的机械振动很适于产生具有优秀的长期（漂移和老化）和短期（相位噪声）稳定性的振荡器。此外，借助适当的石英制备方法（例如，AT-cut），可以把谐振频率的温度相关性降低为较低值（小于典型的操作温度范围的百万分之几）。石英晶体基准振荡器模块的主要缺点是它们相当笨重的大小并且难于与收发器模块单片集成，所述收发器模块典型情况下是基于高度集成的解决方案。现代微加工技术可以制造微型机械谐振器（微机电系统=MEMS），其谐振频率范围从几个 kHz 直到 GHz 范围。在 H. J. De Los Santos 的“RF MEMS Circuit Design for Wireless Communications”中给出了基于表面或整体微加工硅的这种微谐振器的例子，Artech House, Boston/London, 2002 年。微谐振器的优点包括尺寸小、功耗低、以及可以增加谐振器、振荡器电子器件和器件封装之间的集成度。单片集成和芯片级系统方法是用于增加基准振荡器集成度的可行解决方案。微加工谐振器和集成电路的单片集成便于更复杂的微机电电路，并且可以提供完整的芯片级频率合成器。

然而，在频率合成器中使用基于硅的微谐振器的基础复杂性源于它们的大温度系数，典型情况下 df/dT 从 -10 到 -30 ppm/K。这种温度相关性如果不加以应对的话则对于基准应用来说太大。因此要求补偿此温度相关性以使微谐振器适于作为频率合成器的基准频率。

发明内容

本发明的目的是消除现有技术的缺点并且提供一种用于稳定频率合成器的频率的改进方法以及一种改进的频率合成器。

本发明提供了 LO 频率合成器体系结构，其中具有非零温度系数的 MEMS 基准振荡器单元用于频率稳定，并且其中在合成器级应对基准频率的温度相关性。

本发明是基于以下原理的，测量谐振器温度以便电子补偿温度相关性以及所产生的与温度相关的频移。通过测量如在图 1c 中所描述的 MEMS 谐振器的温度 T 并且通过使用已知的频率 vs. 温度函数 $f_r(T)$ ，谐振频率变为精确定义的量，其可以用来改进依照图 1b 的现有技术频率合成器的稳定性。

在优选实施例中，温度测量是基于激励 MEMS 谐振器中具有不同温度系数的两个模式。通过查看两个模式的频移，可以测量并且电补偿温度的改变。此方法具有以下优点：1) 不需要温度传感器来消除与所述传感器和谐振器的温度差异相关联的温度瞬时滞后，2) 频率测量是准确的并且直接数字地实现，和 3) 由于谐振器也是传感器，所以不需要附加传感器。这简化了构造并且降低了成本。

在所附权利要求中详细地给出了本发明的特征。

在本发明中所给出方法的主要优点在于，因为在频率合成中直接考虑 MEMS 振荡器的相当大的（但是可预测的）温度相关性，所以在振荡器本身不被补偿的情况下，基准振荡器的长期稳定性和低相位噪声可以被更好地优化。使用所描述的方法，MEMS 基准振荡器可以（单片地）集成为无线收发器模块的一部分。

附图说明

结合附图根据本发明的以下具体实施方式，将更清楚地理解本发明的上述和附加目的、特征和优点，其中：

图 1a 是典型的基于 PLL 的频率合成器的框图，其中 VCO 产生 LO 频率，

图 1b 是频率合成器的简化框图，

图 1c 是依照本发明的频率合成器的简化框图，

图 2a 是依照本发明优选实施例的频率合成器的框图，

图 2b 是依照本发明实施例的简化频率合成器的框图，

图 2c 是依照本发明另一实施例的频率合成器的框图，

图 3a 和 3b 图示了对方形板谐振器 (square plate resonator) 所观察的具有不同温度系数的两个振动模式，

图 4 公开了两个方形板振动模式的测量频率系数，

图 5a、5b 图示了用于同时检测两个方形板振动模式的两种方法，
和

图 6 图示了利用根据两个模式测量所提取的温度信息来实现的本发明优选实施例。

具体实施方式

本发明涉及一种通过使用基准振荡器来稳定频率合成器的频率的方法，所述基准振荡器使用锁相环 (PLL) 或频率比较控制器耦合到压控振荡器 (VCO)，其中利用基准 MEMS 振荡器来稳定所述 VCO，借此通过测量 MEMS 谐振器的温度 T 并且通过使用其已知的频率 vs. 温度函数 $f_r(T)$ ，输出频率变为精确定义的量，其可以被用为频率合成器中的基准。

在下面对于基于 MEMS 振荡器的频率合成器给出了三种稳定方法。

依照第一方法，利用在图 2a 中所描绘的框图，VCO 24 产生 LO 频率(例如在 1GHz) f_{LO} 。典型情况下以相当低的频率(例如在 10 MHz)操作 MEMS 基准振荡器 21。VCO 输出频率在分频器 25 中被分频，以便使分频器的输出频率 28 等于 MEMS 基准振荡器频率。它们的相对相位由相位检测器 22 来检测，并且在低通滤波 (LPF) 23 之后，该结果被用来稳定 VCO 24。此环路形成了基本 PLL，如先前所描述。

MEMS 基准振荡器 21 的频率随温度是不稳定的，但是其随温度

而变的频率偏移可以通过修改分频器 25 来补偿。

先前已知的可连续调谐的分数 N 分频器 (fractional-N divider) 技术可以方便地用来调节分频器链 (divider chain) 25 的计数。这可以例如通过使用 Σ - Δ 调制器技术来实现, 所述 Σ - Δ 调制器技术连续地调节分频器级的计数模 N。使用 Σ - Δ 调制器 27 来调节 26 分频器 25, VCO 频率变为基准频率的 $N+x[n]$ 倍并且可以是几乎可连续调整的。N 表示分频器的模整数设置 (module integer setting) 而 $x[n]$ 是用来控制 Σ - Δ 调制器 27 的相位检测器输出信号 28。

根据所测量 29 的 MEMS 基准振荡器 21 的温度 T 和 MEMS 基准 21 的 T 相关性 $f(T)$, 使用 LOGIC (逻辑) 电路 30 来产生 $x[n]$ 32 信号, 所述 $x[n]$ 信号使 Δ - Σ 调制器 27 补偿由温度引发的 MEMS 基准振荡器 21 的输出频率偏移。

所述补偿借助于用于调节分频器链 25 的模 N 的 Δ - Σ 调制器 27。逻辑电路 30 可以有益地使用查找表 31, 所述查找表 31 提供使用所测量的基准振荡器 21 的温度 T 而选择的所需要的校正控制信号 $x(n)$ 。基准频率中的制造容差偏移也被校准并可以依照相同方式被额外用于调节 $x[n]$, 例如通过使用二维查找表 31 或适当的组合算法。

使用稍后所描述的技术来实现 MEMS 基准振荡器 21。可以根据体声波 (bulk acoustic wave, BAW) 操作使用单个 MEMS 振荡器来提供基准振荡器的长期稳定性和低相位噪声。如果必要的话, 可以使用两个或多个 MEMS 组件来实现基准振荡器的改进性能, 其中所述 MEMS 组件的属性被有选择地组合。例如, 可以通过组合两个 MEMS 组件的属性来得出基准振荡器的长期稳定性和低相位噪声。

在图 2b 中描绘了第二方法的框图。它图示了 VCO 44 自身能够产生具有所要求的频谱纯度 (相位噪声) 的信号并且只需要基准振荡器 41 来提供长期频率稳定性的情况。

在这种情况下, 可以使 VCO 反馈环路是非常窄带的, 并且可以在分频器 43 中使用恒定的整数 N 进行分频来产生输出以便在混合器 42 中与来自基准振荡器 41 的基准频率相混合。混合器 42 输出混合频

率的总和以及差异频率，但是在低通滤波器 48 之后只有基准频率 f_r 和经分频的 VCO 输出频率 f_{VCO}/N 之间的低频差异频率 $f_{beat} = f_r - f_{VCO}/N$ (或 $f_{VCO}/N - f_r$) 保留，并且可以用来产生 VCO 的控制信号，所述控制信号调节 VCO 以便输出期望的频率。重要的是应当注意，VCO 输出信号不必是基准信号的恒定倍数。通过适当地选择差异频率 f_{beat} ，可以精调输出频率 $f_{VCO} = N \cdot (f_r - f_{beat})$ 。这可以用来数字补偿在基准振荡器中由温度引发的改变。

VCO 控制信号 49 由逻辑电路 45 产生并且可以向此控制信号进一步添加校正控制电压以便产生 VCO 的调谐电压，其另外为基准振荡器校正与温度相关的频率偏移和/或在校准期间所发现的偏移。

如果频率的相对频率感测不改变，才可以使用所描述的混合方法。另一更通用的方法是通过使用一个公共信号选通计数器来直接计数两个较低频率信号 f_r 和 f_{VCO}/N 来确定频率差异及其感测。该时钟例如可以是所述信号中的任何一个。

逻辑电路 45 输出调谐控制电压 49，所述调谐控制电压 49 按照这样一种方式取决于频率差异，即，经分频的 VCO 输出频率和基准频率之间的差异频率更接近于期望的频率差异。

取决于所测量的振荡器温度 T 和任何校准校正 (calibration correction) 的电压可以另外被设置来调节 VCO 44 的调谐电压，有益地是通过简单地使用查找表和 DAC 来调节。依照先前针对第一方法所描述的相同方式，查找表可以包含校准校正值和取决于 MEMS 基准振荡器的已知的与温度相关的特性的校正值。

此方法的有益实施例是借助模拟方法使用频率差异来控制 VCO 并且使用逻辑电路 45 和控制信号 50 来为温度和校准校正数字地调节整数计数器链以便改变分频器计数器链 43 的分频模。

每当合成器分频器使用整数值来分频时 (例如对于信道选择)，逻辑电路如果被馈送了期望信道的信息，那么可以迅速地提供信道选择，在图 2b 的例子中，逻辑电路 45 可以直接地向期望的信道提供所需要的、经温度校正的 N ，并且从而提供迅速的信道选择。

在收发器中用于迅速信道选择的此方法不局限于在图 2b 中所描绘的方法，而是每当校正值被安排来修改计数器链时就可以使用。从而此方法也可以与优选实施例一起使用。在未示出的一个有利实施例中，使用三维表来代替二维校正表以便为制造校准校正、基准振荡器温度校正和信道选择频率偏移的所有组合提供校正值。

可以依照对本领域技术人员来说显而易见的许多其它方式来实现向计数器链提供温度、校准或信道校正的 N 值。例如除改变计数器链的模或使用分数方法之外，可以通过以规则的速率增加或减小计数来修改计数器本身的计数值以便增加或减小输出频率。此方法（通常在相位累加器中用来给出固定的相位偏移）可以针对连续相位改变而容易地修改，其实际上提供了可控制地增加或减少输出频率。

图 2c 是依照本发明另一实施例的频率合成器的框图，其中使用偏移合成器来用于 VCO 55 输出频率的温度稳定。VCO 产生 LO 频率（例如在 1 GHz） f_{LO} 。MEMS 基准振荡器 51 提供了基准频率，典型情况下为 10 MHz。VCO 输出频率在分频器 54 中被分频，并且使用混合相位检测器 52 把经分频的 VCO 输出与基准振荡器相混合。利用低通滤波器 53 来滤波混合器输出以便获得 $f_1 = f_{VCO} - f_r$ 。第二混合器 57 用来把由振荡器 58 所提供的偏移频率 f_{offset} 添加到所述信号。在利用第二低通滤波器 56 滤波之后，获得所产生的频率 $f_2 = f_1 - f_{offset}$ 。当相位环路被锁定时，频率 f_2 是零并且 VCO 输出等于 $f_{VCO} = N \cdot (f_r + f_{offset})$ 。

MEMS 基准振荡器 51 的频率随温度是不稳定的，但是其随温度而变的频率偏移可以通过调节 f_{offset} 来补偿。根据所测量的 MEMS 基准的温度 T 和 MEMS 基准 51 的 T 相关性 $f(T)$ ，逻辑电路 60 和查找表 59 用来控制偏移振荡器 58。偏移振荡器可以是具有宽调谐范围的 VCO 或 MEMS 振荡器（例如挠性振荡器）。

依照本发明另一实施例，以两个模式同时激励硅谐振器，每个模式具有不同的温度系数。在图 3 中示出了用于示出这两类模式的有用谐振器结构的例子。图 3a 图示了板中的扩展模式振动（在 $f_0 = 13.1$

MHz, $Q = 120\,000$) 并且图 3b 是 Lamé 模式振动 (在 $f_0 = 12.1$ MHz, $Q = 60000$)。扩展振动模式被表征为保留原始方形的 2-D 板扩展 (plate expansion)。Lamé 模式被表征为保留板体积的板弯曲 (plate bending)。所述组件可以通过绝缘体上硅结构 (silicon-on-insulator SOI) 晶片的深度反应离子蚀刻来制造。可以利用角锚定 (T 型角锚定) 来电接触到谐振器使得可以利用一个掩模来制造整个器件。另外已经示出非常适于获得低相位噪声的扩展模式, 参见 V. Kaajakari、T. Mattila、A. Oja、J. Kiihamaki、H. Kattelus、M. Koskenvuori、P. Rantakari、I. Tittonen 和 H. Seppä 刊登于 Transducers '03 的论文 “Square - Extensional Mode Single - Crystal Silicon Micromechanical RF - resonator” (Boston, 2003 年 6 月)。图 4 示出了两个模式中所测量的温度相关性, 所述两个模式彼此不同。

在图 5a 和图 5b 中描绘了两个振动的同时且独立的检测。在图 5a 和 5b 中, 示出了声模 (BAW) 硅谐振器, 包括方形板、在所述板的各个面上提供电容耦合的电极 ELE1 - ELE4、被连接到所述电极的电压源 U_{in} 和 U_{bias} 和输出电压。利用在图 5a 中所示出的差分电极结构, 可以利用相同电极来检测两个模式。这对于这两个模式给出了最大的信号幅度但是使振荡器电子器件变得复杂。在图 5b 中所示出的结构使用具有不同偏压的不同电极 (对于另一 Lamé 电极来说具有不同的极性) 以便激励和/或激励 Lamé 和扩展模式。驱动电子器件更为简单并且两个模式具有良好的隔离, 但是该结构对于信号功率来说并非是最优的。为简单起见, 所示出两个模式的电极大小相等, 但是实际的实现方式可以对于用来产生基准频率的模式使用较大电极并且对于用来产生温度信息的模式使用较小电极。

在相同谐振器中检测两个模式的替换方式是在邻近热触点中 (例如在相同的衬底上) 制造两个谐振器, 以板扩展模式驱动一个谐振器并且以 Lamé 模式驱动另一个谐振器。由于这些谐振器在相同的硅衬底上, 所以谐振器温度是高度相关的。此结构的好处在于所述模式在电和机械上是隔离的并且简化了振荡器电子器件。

还可以使用其它微谐振器结构来产生温度信息。例如，可以从扭转和挠性梁振动模式获得温度信息，因为这两个模式也具有不同的温度相关性。或者，可以使用由具有不同温度相关性的不同材料制成的两个谐振器。

可以如下产生频率补偿所需的温度信息：两个模式在频率 f_1 和 f_2 谐振。两个模式被同时激励并且由两个谐振所产生的脉冲如先前描述被检测并且分别在计数器 1 和 2 中计数。如果计数器 1 已经存储 N_1 个周期，那么计数器 2 已经在相同时间内存储了 $N_2 = f_2/f_1 \cdot N_1$ 个周期。保持 N_1 固定，从而可以获得温度。

这种温度信息可以由本发明用来依照第一方法、其简化形式和第三方法来校正频率合成器的输出频率。也可以使用其它温度测量方法来实现频率补偿，但是双模式方法尤其适用于 MEMS 基准振荡器。

如在图 6 中所描述，可以直接使用此双模式方法来使基准振荡器用于高频率合成器。所描绘的合成器使用基准振荡器和分数 N 的锁相环路。基准振荡器 71 具有两个频率输出 72 和 73，其具有不同的温度相关性。频率输出 72 被设计成具有低相位噪声。这些输出 72 和 73 利用计数器 1 74 和计数器 2 75 来计数。如先前已经描述，计数器输出由逻辑电路 77 用来计算振荡器温度。使用温度信息连同在存储器 76 中所存储的校准信息来计算分频器 83 中的正确的分频因数 N ，以产生由 $f_{VCO} = N \cdot f_1$ 所给出的期望 LO 频率。由于 f_1 取决于温度，所以所要求的分频 N 因数可能是分数而不是整数。

使用 VCO 80 合成期望的频率来产生 LO 频率。VCO 输出频率在分频器 83 中被分频，以便使分频器的输出频率 81 等于 MEMS 基准振荡器频率 72。依照先前所描述的方式由分数 Σ - Δ 调制器 82 来改变分频器 83 中的分频因数。逻辑电路 77 用来控制 Σ - Δ 调制器以便获得分数分频。基准振荡器信号 72 和经分频的信号 81 之间的相对相位由相位检测器 78 来检测，并且在 LPF 79 中低通滤波之后，使用相位比较结果来稳定 VCO 80。如先前所描述，此环路形成了基本 PLL。

基准振荡器 71 被设计成使得输出信号 72 主要具有低相位噪声并

且只是其次才具有高温稳定性。期望的 LO 频率使用具有低质量因数的压控振荡器来合成，并且因此为了良好的稳定性而被锁定到基准振荡器以便提供低抖动的 LO 信号，该信号为载波信号及其它用途所需要。

使用分数 N 调制器以便对 VCO 频率进行分数分频来校正任何基准振荡器频移。

所存储的校准值和已知的温度相关性由逻辑电路用来控制分数 N 调制器。

可以有益地使用 Σ - Δ 调制器来实现分数 N PLL。此技术提供了几乎连续的频率调谐并且已经被证明能够满足 GSM 相位噪声规范。

对本领域技术人员来说显然，本发明的不同实施例不局限于上述例子，而是它们可以在所附权利要求的范围内改变。

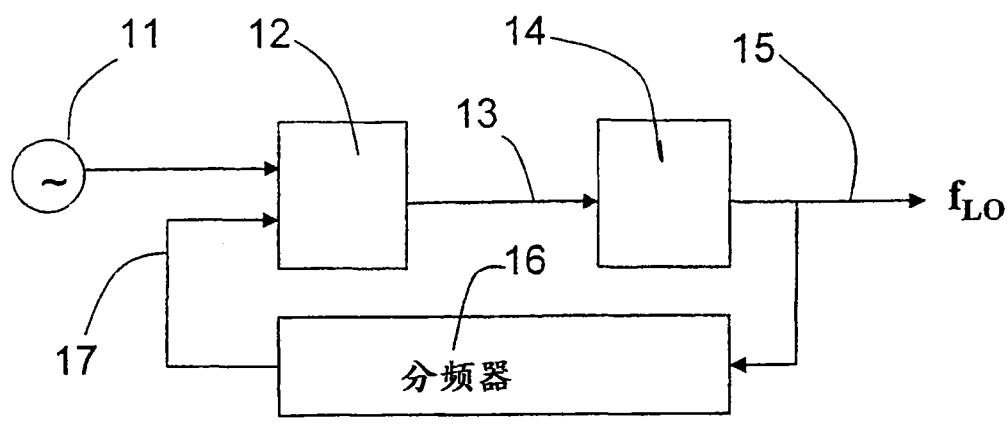


图 1a

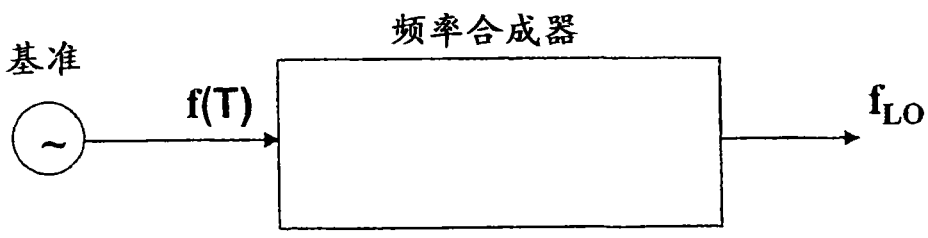


图 1b

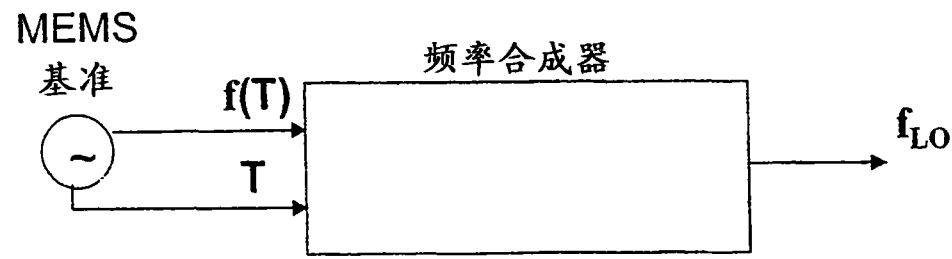


图 1c

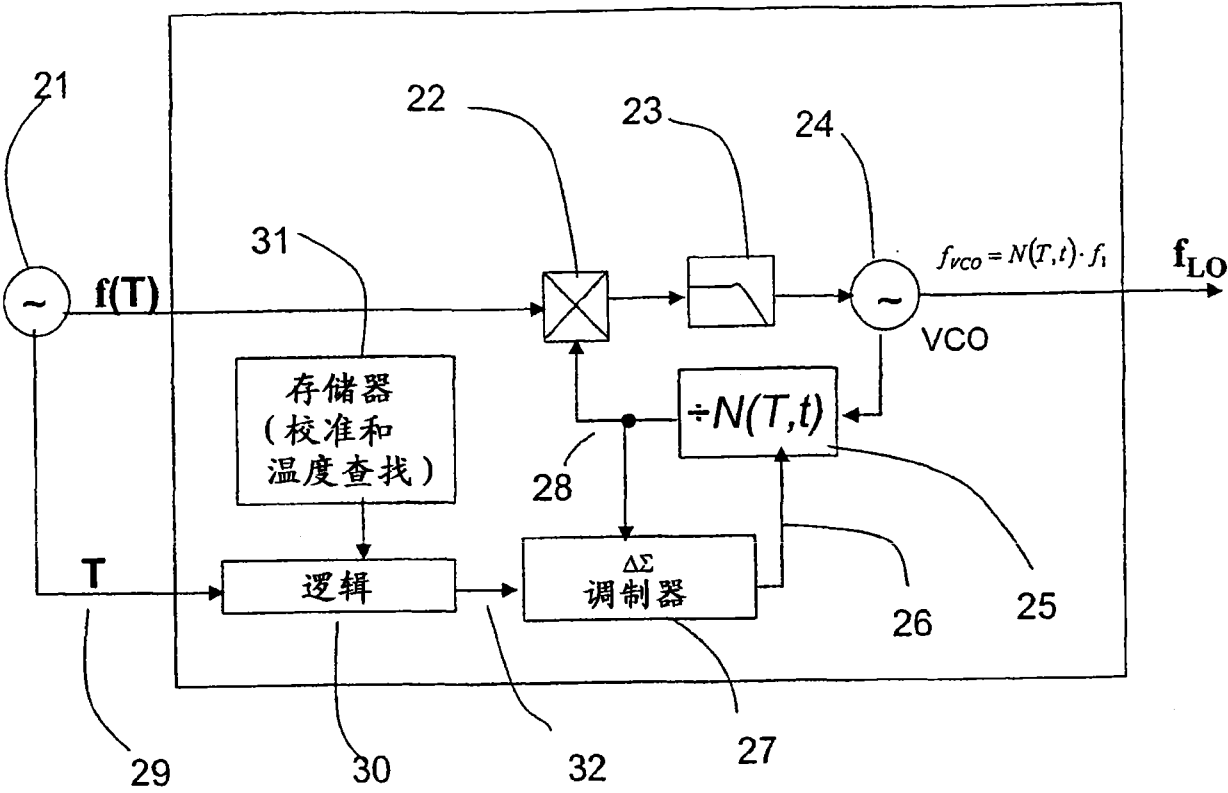


图 2a

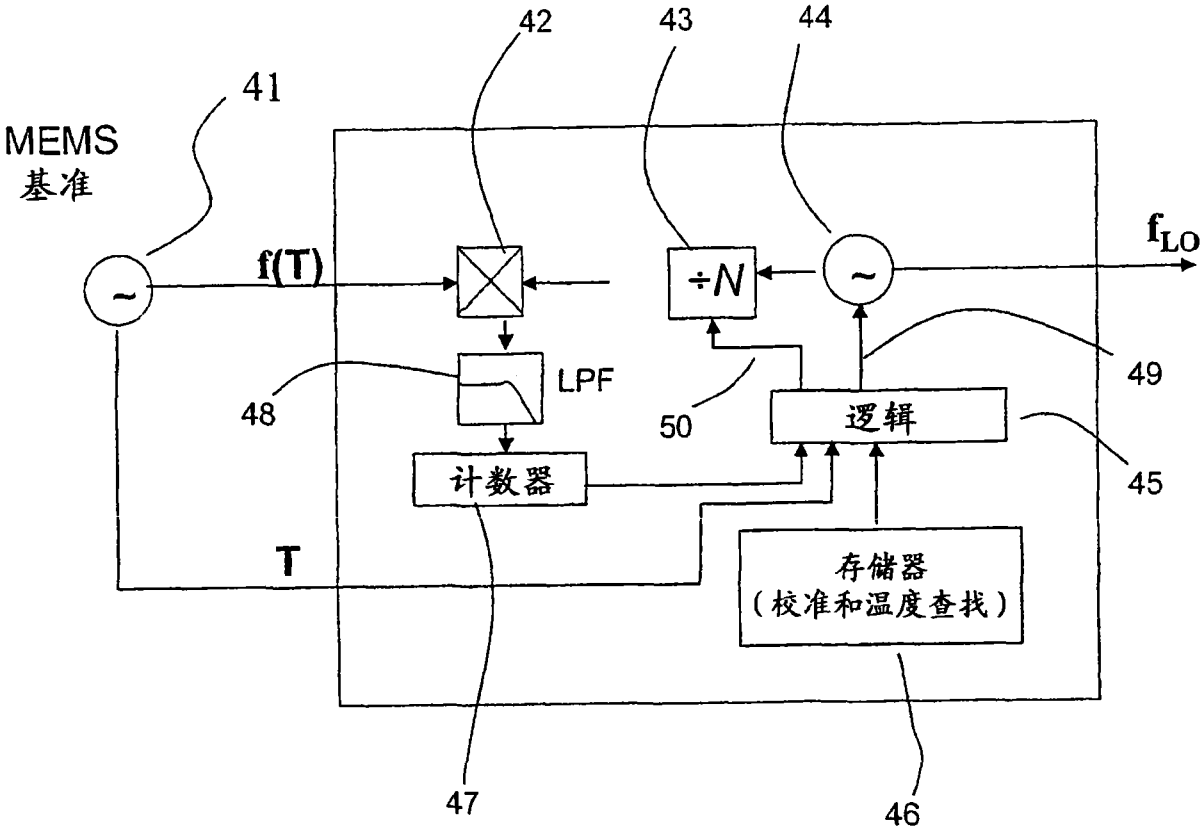


图 2b

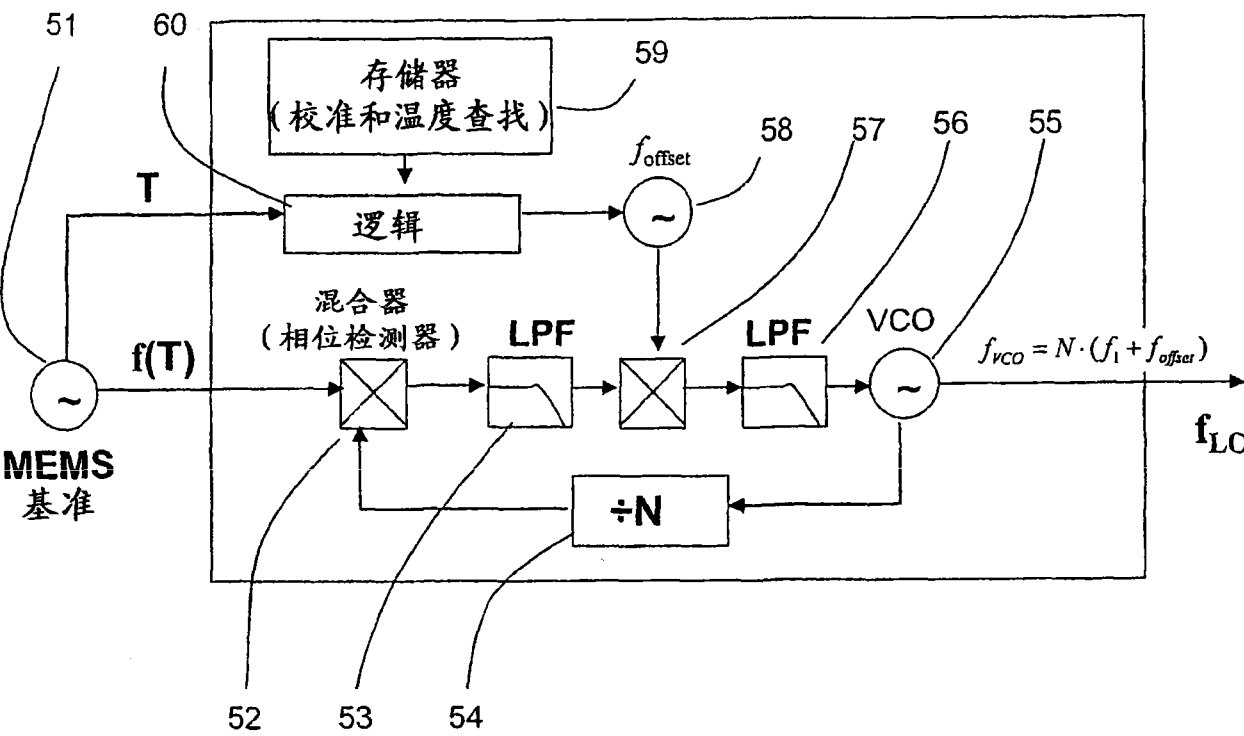


图2c

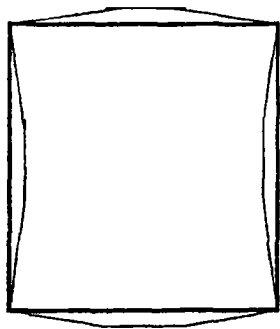


图 3a

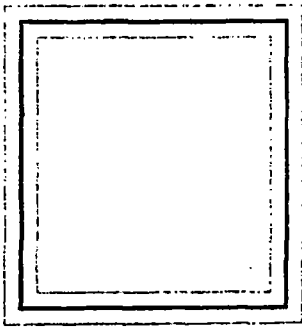


图 3b

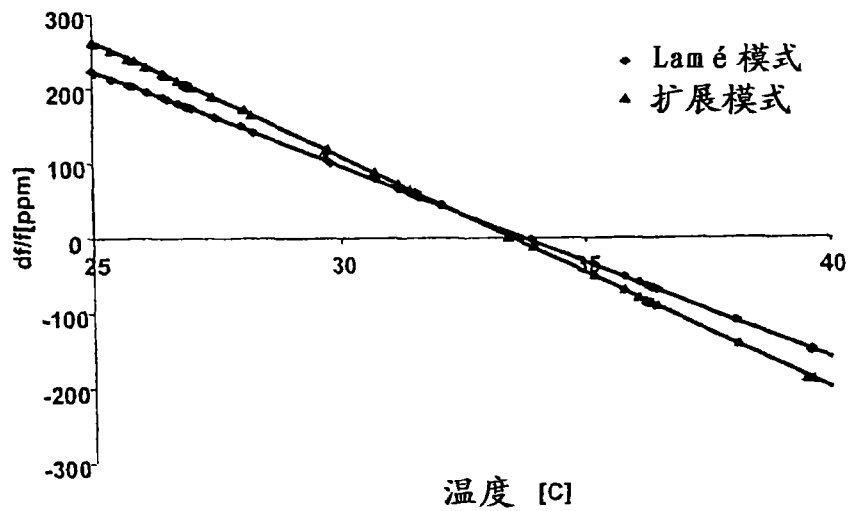


图 4

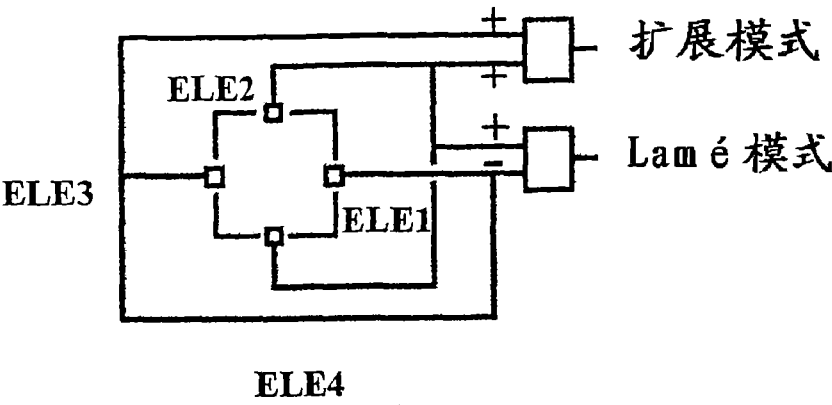
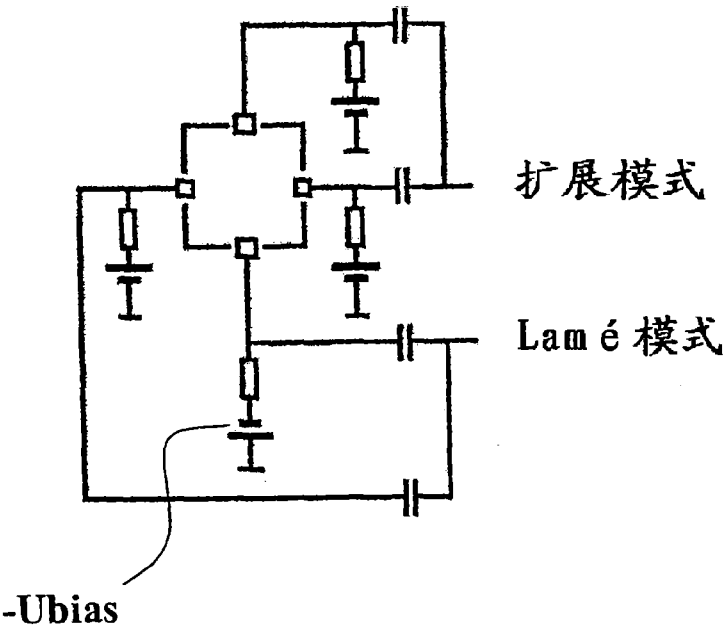


图 5a

图 5b



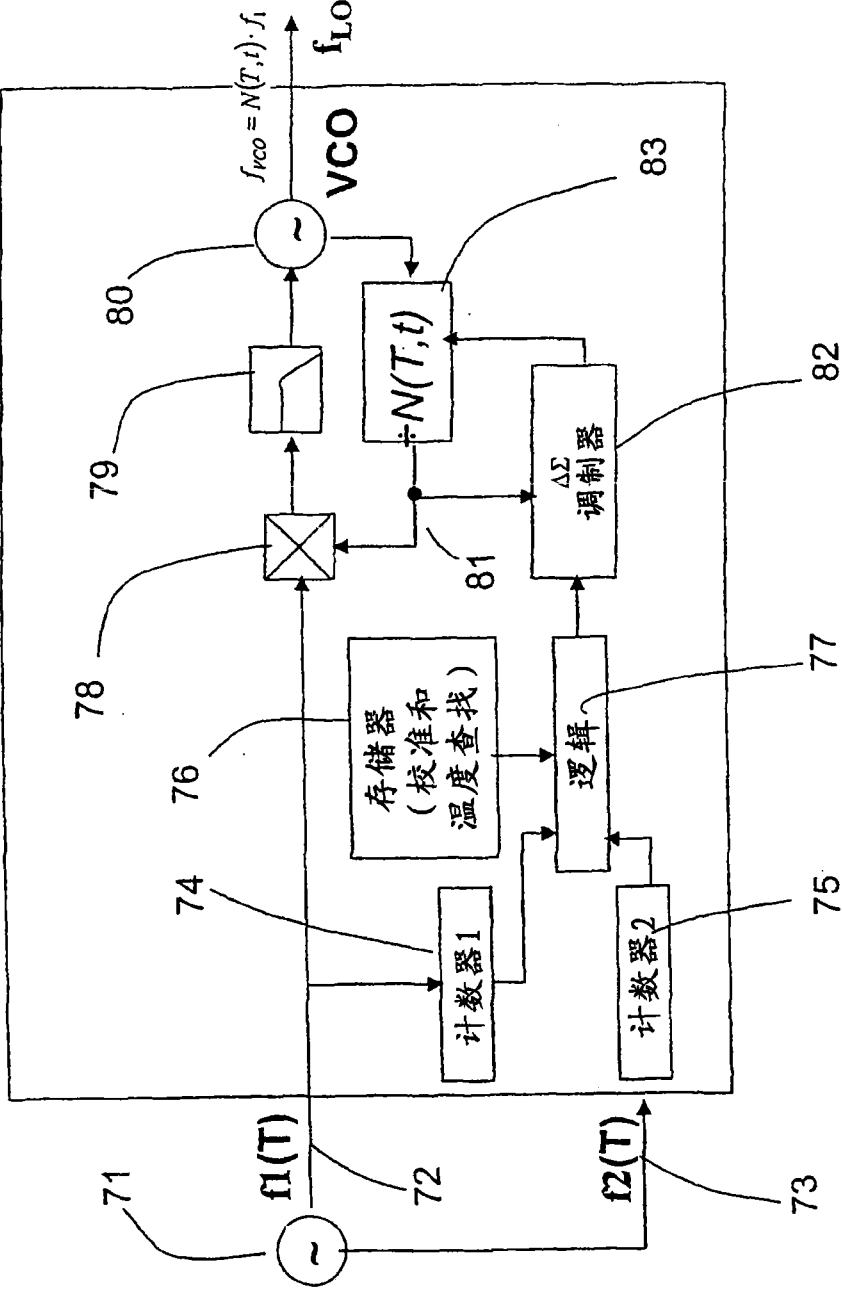


图6