(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 101965568 A
(43)申请公布日 2011.02.02

(21)申请号 200980107088.4
(22)申请日 2009.01.29
(30)优先权数据
08005890.2 2008.03.27 EP
12/023,796 2008.01.31 US
(85)PCT申请进入国家阶段日
2010.08.30
(86)PCT申请的申请数据
PCT/US2009/032503 2009.01.29
(87)PCT申请的公布数据
WO2009/099903 EN 2009.08.13
(71)申请人 高通股份有限公司
地址 美国加利福尼亚州
(72)发明人 颜宏柏
丹尼尔·弗雷德·菲利波维奇
(74)专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限责任公司 11287
代理人 宋献涛
(51)Int.Cl.
G06F 17/50(2006.01)

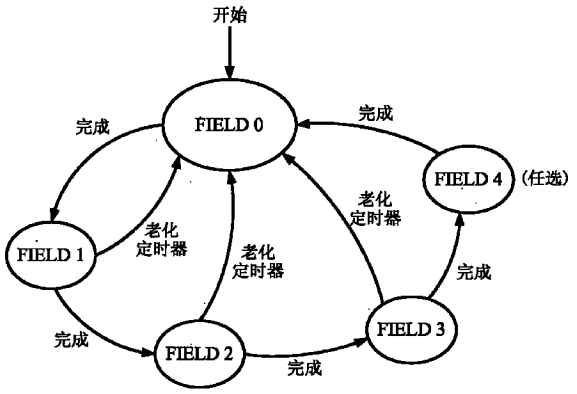
权利要求书 4 页 说明书 8 页 附图 8 页

(54)发明名称

晶体振荡器频率校准

(57)摘要

本发明揭示用于基于温度来估计晶体振荡器的频率的技术。在一实施例中，使用多项式逼近来计算所述振荡器频率。本发明揭示用于导出及周期性更新所述多项式逼近中所使用的系数的技术。



CN 101965568 A

1. 一种用于计算供在晶体振荡器频率的多项式逼近中使用的系数的方法，所述多项式包含项 c0′ 及系数 c1′ 乘以所述晶体振荡器的测得温度 T，所述方法包含：

测量第一温度 T1 及对应振荡器频率 Fm(T1)；

测量第二温度 T2 及对应振荡器频率 Fm(T2)；

基于 Fm(T1) 计算所述系数 c0′ ；及

基于 T1、T2、Fm(T1) 及 Fm(T2) 计算所述系数 c1′ 。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，所述计算所述系数 c0′ 包含取得 Fm(T1) 与初始项 $F_{init}(T1)$ 之间的差。

3. 根据权利要求 2 所述的方法，所述初始项 $F_{init}(T1)$ 包含项 $c0_{init}$ 及系数 $c1_{init}$ 乘以 T1。

4. 根据权利要求 1 所述的方法，所述计算所述系数 c1′ 包含将 Fm(T2) 与 Fm(T1) 之间的差除以 T2 与 T1 之间的差。

5. 根据权利要求 4 所述的方法，其中 T1 与 T2 之间的所述差为至少 1 摄氏度。

6. 根据权利要求 4 所述的方法，其进一步包含在测量 T1 之后且在测量 T2 之前开启热源。

7. 根据权利要求 6 所述的方法，其中所述热源为功率放大器。

8. 根据权利要求 1 所述的方法，其进一步包含计算 c0′ 及 c1′ 的多个估计。

9. 根据权利要求 8 所述的方法，其进一步包含将 c0′ 及 c1′ 的所述多个估计一起求平均。

10. 根据权利要求 8 所述的方法，其进一步包含使用无限脉冲响应 (IIR) 滤波器来更新 c0′ 及 c1′ 的估计。

11. 根据权利要求 4 所述的方法，所述多项式进一步包含系数 c2′ 乘以 T 的二阶函数及系数 c3′ 乘以 T 的三阶函数，所述方法进一步包含：

基于 c1′ 计算所述系数 c2′ 及 c3′ 。

12. 根据权利要求 11 所述的方法，所述计算所述系数 c2′ 包含将 c1′ 乘以项 m_{c2}' 。

13. 根据权利要求 11 所述的方法，所述计算所述系数 c3′ 包含将 c1′ 乘以项 $m_{c3'}$ 。

14. 根据权利要求 13 所述的方法，其进一步包含通过取得 Fm(T1) 与 F′ (T1) 之间的差来更新所述项 c0′ ，其中 F′ (T1) 包含所述预先更新的项 c0′ 以及所述计算出的系数 c1′ 、c2′ 及 c3′ 。

15. 根据权利要求 13 所述的方法，其进一步包含计算 c0′ 、c1′ 、c2′ 及 c3′ 的多个估计。

16. 根据权利要求 15 所述的方法，其进一步包含将 c0′ 、c1′ 、c2′ 及 c3′ 的所述多个估计一起求平均。

17. 根据权利要求 15 所述的方法，其进一步包含使用无限脉冲响应 (IIR) 滤波器来更新 c0′ 、c1′ 、c2′ 及 c3′ 的估计。

18. 根据权利要求 15 所述的方法，其进一步包含通过使以下两者之间的均方误差最小化来更新 c0′ 、c1′ 、c2′ 及 c3′ 的估计：1) 基于 c0′ 、c1′ 的候选估计的频率估计，及 2) 所述测得频率 Fm(T1)。

19. 根据权利要求 18 所述的方法，所述基于 c0′ 、c1′ 的候选估计的频率估计利用与

c0′ 及 c1′ 的所述候选估计线性相关的 c2′ 及 c3′ 的估计。

20. 根据权利要求 1 所述的方法，其中所述计算 c0′ 及 c1′ 的所述估计是在工厂进行的。

21. 一种用于计算供在晶体振荡器频率的多项式逼近中使用的系数的方法，所述多项式包含项 c0′ 及系数 c1′ 乘以所述晶体振荡器的测得温度 T，所述方法包含：

进入状态 FIELD0，在所述状态 FIELD0 中的操作包含：如果所述测得温度 T 在第一温度范围内，则计算所述系数 c0′ ；及

进入状态 FIELD1，在所述状态 FIELD1 中的操作包含：如果所述测得温度 T 在第二温度范围内，则计算所述系数 c1′ 。

22. 根据权利要求 21 所述的方法，所述计算所述系数 c0′ 包含：

取得测得频率 fm 与计算出的频率 fcal 之间的差以产生第一差项，其中 fcal 是从所述系数 c0′ 的先前估计及所述测得温度 T 计算出的。

23. 根据权利要求 22 所述的方法，所述计算所述系数 c0′ 进一步包含：

通过加权常数来加权所述第一差项与所述系数 c0′ 的先前估计之间的差；及

将所述经加权的差相加到 c0′ 的所述先前估计。

24. 根据权利要求 23 所述的方法，所述计算所述系数 c1′ 包含：

测量温度 T2 及 T1 以及对应频率 Fm(T2) 及 Fm(T1)；

将 Fm(T2) 与 Fm(T1) 之间的差除以 T2 与 T1 之间的差以产生第一商；

通过加权常数来加权所述第一商；及

将所述经加权的商相加到 c1′ 的先前估计。

25. 根据权利要求 24 所述的方法，在所述状态 FIELD0 中的操作进一步包含：在检查所述测得温度 T 是否在所述第一温度范围内之前等待第一预定时间周期，在所述状态 FIELD1 中的操作进一步包含在检查所述测得温度 T 是否在所述第二温度范围内之前等待第二预定时间周期。

26. 根据权利要求 25 所述的方法，其进一步包含：如果在 FIELD0 中已计算 c0′ 达第一预定次数，则从 FIELD0 转变到 FIELD1。

27. 根据权利要求 25 所述的方法，其进一步包含：如果 c0′ 的当前估计与 c0′ 的先前估计之间的差小于预定值，则从 FIELD0 转变到 FIELD1。

28. 根据权利要求 25 所述的方法，其进一步包含：如果满足预定条件，则从 FIELD0 转变回到 FIELD1。

29. 根据权利要求 25 所述的方法，其进一步包含进入状态 FIELD3，在所述状态 FIELD3 中的操作包含：如果所述测得温度 T 在第四温度范围内，则计算系数 c3′ ，在所述状态 FIELD3 中的操作进一步包含在检查所述测得温度 T 是否在所述第四温度范围内之前等待第四预定时间周期。

30. 根据权利要求 29 所述的方法，所述计算所述系数 c3′ 包含确定使以下两者之间的均方误差最小化的 c3′ 的估计：1) 基于 c0、c1、c2 的更新值及 c3′ 的候选估计的频率估计，及 2) 所述测得频率 Fm(T1)。

31. 根据权利要求 30 所述的方法，其进一步包含用 c3′ 的先前估计来 IIR 过滤 c3′ 的所述估计。

32. 根据权利要求 31 所述的方法，其进一步包含：如果已计算 c1′ 达第二预定次数，则从 FIELD1 转变到 FIELD3。

33. 根据权利要求 31 所述的方法，其进一步包含：如果 c1′ 的当前估计与 c1′ 的先前估计之间的差小于预定值，则从 FIELD1 转变到 FIELD3。

34. 一种用于计算供在晶体振荡器频率的多项式逼近中使用的系数的设备，所述多项式包含项 c0′ 及系数 c1′ 乘以所述晶体振荡器的测得温度 T，所述设备包含：

温度测量单元，其用于测量第一温度 T1 及第二温度 T2；

频率测量单元，其用于测量对应振荡器频率 Fm(T1) 及 Fm(T2)；及

计算模块，其用于基于 Fm(T1) 计算所述系数 c0′ 及用于基于 T1、T2、Fm(T1) 及 Fm(T2) 计算所述系数 c1′。

35. 根据权利要求 34 所述的设备，所述计算模块通过取得 Fm(T1) 与初始项 $F_{init}(T1)$ 之间的差来计算所述系数 c0′。

36. 根据权利要求 34 所述的设备，所述计算模块通过将 Fm(T2) 与 Fm(T1) 之间的差除以 T2 与 T1 之间的差来计算所述系数 c1′。

37. 根据权利要求 34 所述的设备，所述多项式进一步包含系数 c2′ 乘以 T 的二阶函数，所述计算模块进一步通过对所述计算出的系数 c1′ 执行线性运算来计算所述系数 c2′。

38. 根据权利要求 37 所述的设备，所述多项式进一步包含系数 c3′ 乘以 T 的三阶函数，所述计算模块进一步通过对所述计算出的系数 c1′ 执行线性运算来计算所述系数 c3′。

39. 一种用于计算供在晶体振荡器频率的多项式逼近中使用的系数的设备，所述多项式包含项 c0′ 及系数 c1′ 乘以所述晶体振荡器的测得温度 T，所述设备包含：

用于测量第一温度 T1 及第二温度 T2 的装置；

用于测量对应振荡器频率 Fm(T1) 及 Fm(T2) 的装置；

用于基于 Fm(T1) 计算所述系数 c0′ 及用于基于 T1、T2、Fm(T1) 及 Fm(T2) 计算所述系数 c1′ 的装置。

40. 一种用于计算供在晶体振荡器频率的多项式逼近中使用的系数的计算机程序产品，所述多项式包含项 c0′ 及系数 c1′ 乘以所述晶体振荡器的测得温度 T，所述产品包含：

计算机可读媒体，其包含：

用于致使计算机测量第一温度 T1 及对应振荡器频率 Fm(T1) 的代码；

用于致使计算机测量第二温度 T2 及对应振荡器频率 Fm(T2) 的代码；

用于致使计算机基于 Fm(T1) 计算所述系数 c0′ 的代码；

用于致使计算机基于 T1、T2、Fm(T1) 及 Fm(T2) 计算所述系数 c1′ 的代码。

41. 一种用于计算供在晶体振荡器频率的多项式逼近中使用的系数的设备，所述多项式包含项 c0′ 及系数 c1′ 乘以所述晶体振荡器的测得温度 T，所述设备包含：

用于进入状态 FIELD0 的装置，在所述状态 FIELD0 中的操作包含：如果所述测得温度 T 在第一温度范围内，则计算所述系数 c0′；及

用于进入状态 FIELD1 的装置，在所述状态 FIELD1 中的操作包含：如果所述测得温度 T 在第二温度范围内，则计算所述系数 c1′。

42. 根据权利要求 41 所述的设备，所述计算所述系数 c0′ 包含取得测得频率 fm 与计算出的频率 fcal 之间的差以产生第一差项，其中 fcal 是从所述系数 c0′ 的先前估计及所述测得温度 T 计算出的。

43. 一种用于计算供在晶体振荡器频率的多项式逼近中使用的系数的计算机程序产品，所述多项式包含项 c0′ 及系数 c1′ 乘以所述晶体振荡器的测得温度 T，所述产品包含：

计算机可读媒体，其包含：

用于致使计算机进入状态 FIELD0 的代码，在所述状态 FIELD0 中的操作包含：

如果所述测得温度 T 在第一温度范围内，则计算所述系数 c0′ ；及

用于致使计算机进入状态 FIELD1 的代码，在所述状态 FIELD1 中的操作包含：

如果所述测得温度 T 在第二温度范围内，则计算所述系数 c1′ 。

44. 根据权利要求 43 所述的计算机程序产品，所述用于致使计算机计算所述系数 c0′ 的代码包含用于致使计算机取得测得频率 fm 与计算出的频率 fcal 之间的差以产生第一差项的代码，其中 fcal 是从所述系数 c0′ 的先前估计及所述测得温度 T 计算出的。

45. 根据权利要求 43 所述的计算机程序产品，所述用于致使计算机计算所述系数 c0′ 的代码进一步包含：

用于致使计算机通过加权常数来加权所述第一差项与所述系数 c0′ 的先前估计之间的差的代码；及

用于致使计算机将所述经加权的差相加到 c0′ 的所述先前估计的代码。

46. 根据权利要求 45 所述的计算机程序产品，所述用于致使计算机计算所述系数 c1′ 的代码包含：

用于致使计算机测量温度 T2 及 T1 以及对应频率 Fm(T2) 及 Fm(T1) 的代码；

用于致使计算机将 Fm(T2) 与 Fm(T1) 之间的差除以 T2 与 T1 之间的差以产生第一商的代码；

用于致使计算机通过加权常数来加权所述第一商的代码；及

用于致使计算机将所述经加权的商相加到 c1′ 的先前估计的代码。

47. 根据权利要求 46 所述的计算机程序产品，在所述状态 FIELD0 中的操作进一步包含在检查所述测得温度 T 是否在所述第一温度范围内之前等待第一预定时间周期，在所述状态 FIELD1 中的操作进一步包含在检查所述测得温度 T 是否在所述第二温度范围内之前等待第二预定时间周期。

48. 根据权利要求 47 所述的计算机程序产品，所述计算机可读媒体进一步包含用于致使计算机在 FIELD0 中已计算 c0′ 达第一预定次数的情况下从 FIELD0 转变到 FIELD1 的代码。

49. 根据权利要求 48 所述的计算机程序产品，所述计算机可读媒体进一步包含用于致使计算机进入状态 FIELD3 的代码，在所述状态 FIELD3 中的操作包含：如果所述测得温度 T 在第四温度范围内，则计算系数 c3′ ，在所述状态 FIELD3 中的操作进一步包含在检查所述测得温度 T 是否在所述第四温度范围内之前等待第四预定时间周期。

50. 根据权利要求 49 所述的计算机程序产品，所述计算机可读媒体进一步包含用于致使计算机在已计算 c1′ 达第二预定次数的情况下从 FIELD1 转变到 FIELD3 的代码。

晶体振荡器频率校准

技术领域

[0001] 本发明涉及晶体振荡器，且更明确地说，涉及用于估计晶体振荡器的频率的技术。

背景技术

[0002] 晶体振荡器 (XO) 作为频率源而用于通信装置中。在典型的晶体振荡器中，具有标称谐振频率的石英晶体耦合到产生具有标称输出频率的信号的振荡器电路。实际上，晶体的谐振频率及电路的输出频率可归因于例如温度、老化、驱动电平及振动等因素而随时间变化。

[0003] 在通信应用中，频率源通常需要满足严格的准确度要求，进而强制要求使用补偿方案以改进晶体振荡器的频率准确度。本文所揭示的是用以估计晶体振荡器频率并解决晶体振荡器频率随温度的变化的技术。

发明内容

[0004] 本发明的一方面提供一种用于计算供在晶体振荡器频率的多项式逼近中使用的系数的方法，多项式包含项 c0′ 及系数 c1′ 乘以晶体振荡器的测得温度 T，所述方法包含：测量第一温度 T1 及对应振荡器频率 Fm(T1)；测量第二温度 T2 及对应振荡器频率 Fm(T2)；基于 Fm(T1) 计算系数 c0′；及基于 T1、T2、Fm(T1) 及 Fm(T2) 计算系数 c1′。

[0005] 本发明的另一方面提供一种用于计算供在晶体振荡器频率的多项式逼近中使用的系数的方法，多项式包含项 c0′ 及系数 c1′ 乘以晶体振荡器的测得温度 T，所述方法包含：进入状态 FIELD0，在状态 FIELD0 中的操作包含如果测得温度 T 在第一温度范围内，则计算系数 c0′；及进入状态 FIELD1，在状态 FIELD1 中的操作包含如果测得温度 T 在第二温度范围内，则计算系数 c1′。

[0006] 本发明的又一方面提供一种用于计算供在晶体振荡器频率的多项式逼近中使用的系数的设备，多项式包含项 c0′ 及系数 c1′ 乘以晶体振荡器的测得温度 T，所述设备包含：温度测量单元，其用于测量第一温度 T1 及第二温度 T2；频率测量单元，其用于测量对应振荡器频率 Fm(T1) 及 Fm(T2)；及计算模块，其用于基于 Fm(T1) 计算系数 c0′，及用于基于 T1、T2、Fm(T1) 及 Fm(T2) 计算系数 c1′。

[0007] 本发明的再一方面提供一种用于计算供在晶体振荡器频率的多项式逼近中使用的系数的计算机程序产品，多项式包含项 c0′ 及系数 c1′ 乘以晶体振荡器的测得温度 T，所述产品包含计算机可读媒体，其包含：用于致使计算机测量第一温度 T1 及对应振荡器频率 Fm(T1) 的代码；用于致使计算机测量第二温度 T2 及对应振荡器频率 Fm(T2) 的代码；用于致使计算机基于 Fm(T1) 计算系数 c0′ 的代码；及用于致使计算机基于 T1、T2、Fm(T1) 及 Fm(T2) 计算系数 c1′ 的代码。

[0008] 本发明的又一方面提供一种用于计算供在晶体振荡器频率的多项式逼近中使用的系数的设备，多项式包含项 c0′ 及系数 c1′ 乘以晶体振荡器的测得温度 T，所述设备包含：用于进入状态 FIELD0 的装置，在状态 FIELD0 中的操作包含如果测得温度 T 在第一温度

范围内，则计算系数 c0′；及用于进入状态 FIELD1 的装置，在状态 FIELD1 中的操作包含如果测得温度 T 在第二温度范围内，则计算系数 c1′。

[0009] 本发明的又一方面提供一种用于计算供在晶体振荡器频率的多项式逼近中使用的系数的计算机程序产品，多项式包含项 c0′ 及系数 c1′ 乘以晶体振荡器的测得温度 T，所述产品包含计算机可读媒体，其包含：用于致使计算机进入状态 FIELD0 的代码，在状态 FIELD0 中的操作包含如果测得温度 T 在第一温度范围内，则计算系数 c0′；及用于致使计算机进入状态 FIELD1 的代码，在状态 FIELD1 中的操作包含如果测得温度 T 在第二温度范围内，则计算系数 c1′。

附图说明

[0010] 图 1 展示晶体 100 耦合到振荡器电路 110 以形成晶体振荡器的框图。

[0011] 图 1A 绘制晶体的谐振频率随温度及晶体切割角度的典型变化。

[0012] 图 2 描绘根据本发明的用于估计系数 c0、c1、c2、c3 的步骤。

[0013] 图 2A 描绘本发明的替代实施例。

[0014] 图 2B 描绘用于测量接收器处的频率偏移 Fm(T1) 的技术的实施例。

[0015] 图 3A 描绘由 L1/2 表示的 c1′ 与 c2′ 之间的线性关系。

[0016] 图 3B 描绘可用以从 c1′ 计算 c3′ 的估计的 c1′ 与 c3′ 之间的类似线性关系。

[0017] 图 4 展示用以重新调整从（例如）图 2 中所描述的程序导出的经初始校准的系数集合的状态机。

[0018] 图 5 展示在状态 FIELD0 期间执行的操作的实施例。

[0019] 图 6 展示在状态 FIELD1 期间执行的操作的实施例。

[0020] 图 7 展示在状态 FIELD3 期间执行的操作的实施例。

具体实施方式

[0021] 本文所揭示的是用以基于晶体振荡器的测得温度估计其频率的技术。

[0022] 图 1 展示晶体 100 耦合到振荡器电路 110 以形成晶体振荡器的框图。晶体 100 的温度是由温度传感器 120 来测量的，温度传感器 120 产生测得温度 T。晶体振荡器产生具有标称参考频率的输出信号 110a。

[0023] 在一实施例中，温度 T 可为在晶体处本地测得的温度。在替代实施例（未图示）中，可测量并提供对应于振荡器电路本地温度的额外温度 T_0 以改进频率估计，如下文进一步描述。

[0024] 图 1A 绘制晶体的谐振频率随温度及晶体切割角度的典型变化。在现有技术中已展示晶体温度与晶体谐振频率之间的关系可由多项式方程式如下逼近得出（方程式 1）：

[0025] $F_x(T) = a3(T-T_0)^3+a2(T-T_0)^2+a1(T-T_0)$；

[0026] 其中 T 表示晶体温度，T_0 表示固定参考温度，$F_x(T)$ 表示在温度 T 下晶体谐振频率相对于标称频率 F_{x0} 的偏移，且 a1、a2、a3 为表征经取样的特定晶体的系数。通常，系数 a1、a2、a3 是由晶体的物理性质确定的，所述物理性质包括其切割角度。参见（例如）阿瑟·巴拉托 (Arthur Ballato) 的“用于 TCXO 应用的谐振器的频率 - 温度 - 负载电容行为 (Frequency-Temperature-Load Capacitance Behavior of Resonators for

TCXOApplication)”(IEEE 声学与超声学学报 (IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics),第 SU-25 卷,第 4 号,1978 年 7 月)。

[0027] 当如图 1 中所示晶体 100 耦合到振荡器电路 110 时,振荡器输出信号 110a 的频率可随温度如下变化(方程式 2):

[0028] $F_o(T, T_0) = c3(T-T_0)^3+c2(T-T_0)^2+c1(T-T_0)^2+c0+cp(T_0-T_{00})$。

[0029] 在方程式 2 中,T 表示晶体温度,T_0 表示固定参考温度,$F_0(T, T_0)$ 表示在温度 T 下信号 110a 的相对于参考频率 F_{00} 的预测频率偏移,T_0 表示振荡器温度,T_{00} 表示固定振荡器参考温度,c0、c1、c2、c3 为表征振荡器输出信号 110a 的对晶体温度的频率相依性的系数,且 cp 为表征振荡器输出信号 110a 的对振荡器温度的频率相依性的系数。系数 cp 可取决于(例如)负载振荡器电路的电容。

[0030] 在一实施例中,通过将由晶体供货商所提供的晶体的标称 F-T 曲线与使用全负载晶体振荡器而测量的 F-T 曲线进行比较来导出系数 cp。可离线(例如,在实验室中)进行所述测量。

[0031] 或者,为了导出 cp,晶体温度可为固定的,而振荡器温度从第一温度 To1 变化到第二温度 To2。可测量对应的振荡器输出频率 Fo(To1) 及 Fo(To2)。接着可如下估计系数 cp(方程式 2a):

[0032] $cp = [Fo(To1)-Fo(To2)]/(To1-To2)$。

[0033] 因为对于给定振荡器设计,系数 cp 通常为固定的,所以仅需要执行一次测量以估计所述系数。所述估计可随后用于晶体振荡器的所有实施方案。

[0034] 根据本发明的一方面,提供用以根据方程式 2 使用测得温度 T 及 T_0 以及系数 c0、c1、c2、c3 的估计来计算 $F_0(T)$ 的技术。

[0035] 图 2 描绘根据本发明的用于估计系数 c0、c1、c2、c3 的步骤。在一实施例中,图 2 中描绘的步骤可在工厂中执行。

[0036] 在步骤 200 处,从存储器加载 c0、c1、c2、c3 的初始值。在图 2 中,所加载的初始值分别指定为 $c0_{init}$、$c1_{init}$、$c2_{init}$、$c3_{init}$。在一实施例中,$c0_{init}$ 经设定为零。在一实施例中,$c1_{init}$、$c2_{init}$、$c3_{init}$ 分别经设定为根据方程式 1 表征晶体的系数 a1、a2、a3 的值。系数 a1、a2、a3 可从(例如)由晶体供货商提供的数据来计算。在一实施例中,可通过对如由晶体供货商所提供的来自多个晶体样本的数据求平均来估计系数 a1、a2、a3。或者,可从由晶体供货商所提供的标称 F-T 曲线来估计系数 a1、a2、a3。

[0037] 返回到图 2,在步骤 202 处,例如使用图 1 中的温度传感器 120 来测量在任意时间 t1 处的晶体的温度 T1。还测量从参考频率 F_{00} 的对应振荡器频率偏移 Fm(T1)。在一实施例中,可通过将已知频率 F1 的单一载频调注入到接收器中、将晶体振荡器标称地调谐到频率 F1 及观测在下变频转换之后的信号的频率来测量频率偏移 Fm(T1),如图 2B 中所描绘。在下变频转换之后的信号的频率可用于导出频率偏移 Fm(T1)。注意,所属领域的技术人员将认识到,为了简单起见,已从图 2B 中所描绘的频率测量设置中省略了某些块,例如放大器及/或其它滤波器。

[0038] 在步骤 204 处,基于在步骤 202 处收集的信息来计算估计系数 c0′。在一实施例中,如下计算估计系数 c0′(方程式 3):

[0039] $c0' = Fm(T1)-F_{init}(T1)$,

[0040] 其中通过将初始系数估计 $c0_{init}$、$c1_{init}$、$c2_{init}$、$c3_{init}$ 代入到方程式 2 中而计算 $F_{init}(T1)$（即，方程式 4）：

[0041] $F_{init}(T1) = c3_{init}(T1-T_0)^3+c2_{init}(T1-T_0)^2+c1_{init}(T1-T_0)+c0_{init}$。

[0042] 在步骤 206 中，测量在第二温度 T2 下的振荡器频率，从而产生 Fm(T2)。温度 T2 优选地与 T1 充分分隔以允许准确估计 F-T 曲线的斜率，但充分接近 T1 以最小化二阶项及三阶项的影响。举例来说，T1 与 T2 之间的分隔可经选择为至少 1 摄氏度。

[0043] 在一实施例中，可在对 T1 进行取样的时间 t1 后等待预定时间量之后对温度 T2 进行取样。在替代实施例中，可在一时间间隔内对多个温度 - 频率数据点进行取样，且最低温度可取为 T1，且最高温度可取为 T2。在一实施例中，为了进一步促进温度 T2 与 T1 之间的充分分隔，可在步骤 202 之后开启热源，以升高振荡器温度。在一实施例中，所述热源可为功率放大器。

[0044] 在步骤 208 处，计算估计系数 c1′。在一实施例中，c1′ 可如下计算（方程式 5）：

[0045] $c1' = [Fm(T2)-Fm(T1)]/[T2-T1]$。

[0046] 在步骤 210 处，计算估计系数 c2′ 及 c3′。在一实施例中，将 c2′ 及 c3′ 假定为 c1′ 的函数，使得指定 c1′ 便唯一地指定 c2′ 及 c3′。在一实施例中，将 c2′ 及 c3′ 假定为如下与 c1′ 线性相关（方程式 6）：

[0047] $c2' = m_{c2'} * c1' + b_{c2'}$；且

[0048] $c3' = m_{c3'} * c1' + b_{c3'}$；

[0049] 其中线性系数 $m_{c2'}$、$m_{c3'}$、$b_{c2'}$、$b_{c3'}$ 可凭经验来确定及 / 或预先存储于存储器中。

[0050] 图 3A 描绘由 L1/2 表示的 c1′ 与 c2′ 之间的线性关系。在一实施例中，表征线性关系的系数 $m_{c2'}$ 及 $b_{c2'}$ 可从如由晶体供货商所提供的多个晶体数据样本导出。这多个数据样本在图 3A 中展示为叠加于线 L1/2 上的散布图。基于所述数据点，可根据预定最佳性准则（例如，线 L1/2 与散布图中的数据样本之间的最小均方误差）来确定估计系数 $m_{c2'}$ 及 $b_{c2'}$。

[0051] 图 3B 描绘可用以从 c1′ 计算 c3′ 的估计的 c1′ 与 c3′ 之间的类似线性关系。

[0052] 在一实施例中，可仅包括来自由与正被校准的晶体相同的晶体供货商制造的晶体样本的数据以估计系数 $m_{c2'}$、$b_{c2'}$、$m_{c3'}$、$b_{c3'}$。在一实施例中，可包括来自多个供货商的晶体样本。

[0053] 返回到图 2，在步骤 212 处，可基于在步骤 204、208 及 210 中所导出的估计系数 c0′、c1′、c2′ 及 c3′ 而获得系数 c0 的经更新的估计 c0″。在一实施例中，c0″ 可经计算为 $c0'' = Fm(T1)-F'(T1)$，其中如下计算 F′ (T1)（方程式 7）：

[0054] $F'(T1) = c3'(T1-T_0)^3+c2'(T1-T_0)^2+c1'(T1-T_0)+c0'$。

[0055] 在步骤 214 中，可分别将系数 c0、c1、c2、c3 更新为计算出的系数 c0″、c1′、c2′、c3′ 的值。在一实施例中，可将经更新的系数存储于存储器中。

[0056] 图 2A 描绘本发明的替代实施例。在图 2A 中，步骤 202 到 212 各自执行总共 N+1 次以获得系数 c0、c1、c2、c3 的多个估计。图 2A 中的编号步骤对应于图 2 中的类似编号步骤。

[0057] 在图 2A 中，步骤 200 初始化系数。在一实施例中，这可以如早先参看图 2 所描述的相同方式来进行。另外，在步骤 200 处，将反复索引 n 设定为 0。步骤 202 到 212 如早先参看图 2 所描述而进行，其中 [n] 表示对应于每一反复索引的计算出的系数。在步骤 213 处，

算法检查反复索引 n 是否已达到 N。如果为否，则算法使 n 递增，且返回到步骤 202 以进行下一反复。如果 n 已达到 N，则算法进行到步骤 214。

[0058] 在返回到步骤 202 以进行后续反复后，可重复步骤 202 到 212 以导出与每一反复索引 n 相关联的系数 c0′ [n]、c1′ [n]、c2′ [n]、c3′ [n]、c0″ [n] 的集合。在一实施例中，可将针对每一反复索引 n 导出的系数集合存储于存储器中以供稍后处理。

[0059] 在一实施例中，来自所有 N+1 次反复的系数 c0″、c1′、c2′、c3′ 可经组合以产生系数 c0、c1、c2、c3 的估计。这可通过将在总共 N+1 次反复期间计算出的估计系数的集合一起求平均以产生一个系数集合来进行，如图 2A 的步骤 214 中所提及。

[0060] 在另一实施例（未图示）中，无限脉冲响应 (IIR) 滤波器可用于以每一反复来更新系数，如下（方程式 8）：

[0061] $[c0, c1, c2, c3]_{new} = \alpha [c0, c1, c2, c3]_{old} + (1-\alpha)[c0, c1, c2, c3]_{current}; 0 < \alpha < 1$

[0062] 在此实施例中，$[c0, c1, c2, c3]_{old}$ 为系数的流动估计，$[c0, c1, c2, c3]_{current}$ 为针对当前反复 n 计算的系数的估计，且 $[c0, c1, c2, c3]_{new}$ 为系数的经更新估计。

[0063] 在又一实施例中，可使用联合概率最大化方法来基于 N+1 个可用系数集合而导出最佳系数集合，而非对估计系数集合求平均或进行 IIR 过滤。举例来说，给定在图 2A 的过程中取样的多个 F-T 数据点，可导出在 F(T) 与经取样数据点之间产生最小均方误差的最佳系数集合 $c0_{opt}$、$c1_{opt}$、$c2_{opt}$、$c3_{opt}$。在一实施例中，为了简化搜索过程，如本文先前参看图 3A 及图 3B 所描述，可假定在 $c1_{opt}$ 与系数 $c2_{opt}$ 及 $c3_{opt}$ 中的每一者之间为线性关系。

[0064] 所属领域的技术人员将注意到，并非需要使用图 2 及图 2A 中所描绘的技术来估计所有系数 c0、c1、c2、c3。举例来说，在一实施例中，在对图 2 及图 2A 中所描绘的步骤进行适当修改的情况下，仅估计系数 c0 及 c1。此些实施例预期属于本发明的范围内。

[0065] 在一实施例中，图 2 及图 2A 中所示的步骤可在振荡器电路的现场操作之前在工厂中执行。或者，所述步骤可在振荡器电路的现场操作期间执行。

[0066] 在一实施例中，图 2 及图 2A 中所描绘的步骤可在利用晶体振荡器的装置的初始校准阶段期间（例如，在工厂处装配所述装置期间）执行一次。在替代实施例中，图 2 中所描绘的步骤可根据需要执行多次。

[0067] 在本发明的一方面中，可在正常操作期间周期地更新系数 c0、c1、c2、c3 的估计以随时间维持其准确度。下文所揭示的是用以周期性地更新系数估计的技术。

[0068] 图 4 展示用以重新调整从（例如）图 2 中所描述的程序导出的初始校准的系数集合的状态机。所述重新调整可有助于减轻工厂校准的不准确度，以及归因于晶体及 / 或振荡器老化的不准确度。

[0069] 在图 4 中，重新调整程序开始于状态 FIELD0。在一实施例中，状态 FIELD0 校准系数 c0。在一实施例中，可根据本文稍后参看图 5 所描述的操作来进行对 c0 的校准。当满足预定条件集合（图 4 中标记为“完成”）时，状态 FIELD0 可转变到状态 FIELD1。

[0070] 状态 FIELD1 可校准系数 c1 以及 c0。在一实施例中，可根据本文稍后参看图 6 所描述的操作来进行对 c0 及 c1 的校准。当满足预定条件集合时，状态 FIELD1 可转变到状态 FIELD2。如果老化定时器期满，则状态 FIELD1 还可转变回到状态 FIELD0。

[0071] 在一实施例中，老化定时器可跟踪自从上次已更新任一系数以来所经过的时间

量。老化定时器可为驻存于具有振荡器的芯片上的电子计数器，或其可为将在上次系数更新期间所存储的时戳与当前时戳进行比较的模块。在一实施例中，老化定时器可经设定为在上次校准之后的两年期满。

[0072] 返回参看图 4，状态 FIELD2 可校准系数 c2 以及系数 c1 及 / 或 c0。当满足预定条件集合时，状态 FIELD2 可转变到状态 FIELD3。如果老化定时器期满，则状态 FIELD2 还可转变回到 FIELD0。

[0073] 状态 FIELD3 可校准系数 c3 以及系数 c2、c1 及 / 或 c0。在一实施例中，可根据本文稍后参看图 7 所描述的操作来进行对 c3、c2、c1、c0 的校准。当满足预定条件集合时，状态 FIELD3 可转变到状态 FIELD4。或者，状态 FIELD3 可转变回到 FIELD0。

[0074] 在一实施例中，状态 FIELD4 可为休眠状态。在休眠状态中，校准机构可在预定时间量内停止操作。在一实施例中，所述预定时间量可为一年。

[0075] 注意，在其中 c2 大致为零的实施例中，在满足预定条件集合时，状态 FIELD1 可跳过 FIELD2 并直接转变到状态 FIELD3。

[0076] 在一实施例中，状态机的当前状态（即，FIELD0、FIELD1、FIELD2、FIELD3 或 FIELD4）存储于非易失性存储器中，使得在利用晶体振荡器的装置加电或掉电时状态得以保存。在一实施例中，晶体振荡器可用于无线手持机中。

[0077] 图 5 展示在状态 FIELD0 期间执行的操作的实施例。注意，图 5 中所说明的实施例并不打算将本发明的范围限于 FIELD0 中的任何特定操作集合。而是，所属领域的技术人员将认识到，用以更新系数的估计的任何步骤可在状态 FIELD0、FIELD1、FIELD2、FIELD3 及 FIELD4 中的任一者期间执行。此些实施例预期属于本发明的范围内。

[0078] 在状态 FIELD0 中，用于计数循环的反复的计数器 n0 经初始化为零。在第一步骤 500 处，状态机通过等待 FT_update0 秒的时间周期而开始。在 FT_update0 秒的末端处，测量晶体的温度 T（例如，以摄氏度计）。在步骤 510 处，检查温度 T 是否属于范围 $|T-T_0| < T_1$ 度内。如果为是，则根据步骤 520 来更新系数 c0 的当前估计 c0[n0]。如果为否，则状态机可返回到步骤 500 以等待另一 FT_update0 秒。

[0079] 在一实施例中，T_0 经设定为 30 摄氏度，且 T_1 经设定为 15 摄氏度。

[0080] 在一实施例中，在步骤 520 处，可通过 IIR 滤波器来如下更新系数 c0[n0]（方程式 9）：

[0081] $c0[n0+1] = c0[n0]+(fm-fcal-c0[n0])/N0$；

[0082] 其中 c0[n0] 为在反复 n0 处的估计系数 c0，fm 为振荡器的实际测得频率，fcal 为如使用（例如）假定当前（到反复 n0 时）系数集合的方程式 2 所估计的振荡器频率，且 N0 为加权常数。注意，对于 n0 = 0，可将系数 c0[0] 假定为存储于存储器中的最后 c0。

[0083] 在一实施例中，可从在（例如）用于码分多址 (CDMA) 的接收器设备中所使用的自动频率控制电路导出振荡器的实际测得频率 fm。所属领域的技术人员将认识到，存在在现场操作期间测量振荡器的实际频率的替代方式。

[0084] 在步骤 530 处，将 n0 与变量 maxIterations0 进行比较。如果 n0 已达到变量 maxIterations0，则状态机退出状态 FIELD0 且进行到下一状态。如果 n0 尚未达到 maxIterations0，则状态返回到步骤 500。图 6 展示在状态 FIELD1 期间执行的操作的实施例。在状态 FIELD1 中，用于计数反复的计数器 n1 经初始设定为零。在步骤 600 处，状态机

等待 FT_update1 秒的时间周期。在 FT_update1 秒的末端处，测量晶体的温度 T（例如，以摄氏度计）。在步骤 610 处，检查 T 是否属于范围 $T_1 \leq |T-T_0| < T_2$ 内。如果为是，则可根据步骤 620 更新系数 c1 的当前估计 c1[n1]。如果为否，则状态进行到步骤 615，在步骤 615 中状态机检查 T 是否属于所述范围内。如果为是，则在步骤 625 中更新 c0 的当前估计。如果为否，则状态机返回到步骤 600 以等待 FT_update1 秒。

[0085] 在一实施例中，步骤 625 中的操作可与参看图 5 中的步骤 520 所描述的操作相同。在一实施例（未图示）中，还可提供反复索引以用于更新系数 c0。

[0086] 在一实施例中，T_2 为 30 摄氏度。

[0087] 在步骤 620 处，更新系数 c1[n1]。

[0088] 在一实施例中，可如下更新 c1[n1]。给定 c0 的当前值，可根据某些最佳性准则来评估 c1[n1] 的候选值以确定测得的频率及温度的最佳 c1 候选者。在一实施例中，最佳性准则可包括测得的温度 - 频率对与计算出的温度 - 频率特性之间的误差，其中假定当前值为 c0 及候选值为 c1。在一实施例中，可通过假定（例如）如参看图 3A 及图 3B 所描述的 c1 与 c2/c3 之间的线性关系来辅助对最佳 c1 的搜索。

[0089] 在一实施例中，一旦确定最佳候选者 c1，便可用 c1 的先前估计来 IIR 过滤所述 c1。

[0090] 在另一实施例中，可通过计算以下度量来确定系数 c1[n1]：

[0091] $$c1[n1] = \frac{Fm(T2) - Fm(T1)}{T2 - T1};$$

[0092] 且接着用先前 c1[n1-1] 来 IIR 过滤计算出的系数 c1[n1]。在一实施例中，IIR 加权常数可为 256。

[0093] 在步骤 630 处，将 n1 与变量 maxIterations1 进行比较。如果 n1 已达到 maxIterations0，则状态机退出状态 FIELD1 且进行到下一状态。如果 n1 尚未达到 maxIterations1，则状态返回到步骤 600。

[0094] 在一实施例中，可类似于先前所描述的状态 FIELD0 及 FIELD1 而实施状态 FIELD2。在替代实施例中，如果系数 c2 被预定为接近零，则无需实施 FIELD2。在此实施例中，状态 FIELD 1 可绕过 FIELD2 并直接转变到 FIELD3。

[0095] 图 7 展示在状态 FIELD3 期间执行的操作的实施例。在状态 FIELD3 中，用于对反复进行计数的计数器 n3 被初始设定为零。在步骤 700 处，状态机等待 FT_update3 秒的时间周期。在 FT_update3 秒结束时，测量晶体的温度 T（例如，以摄氏度计）。在一实施例中，在步骤 710 处，如果 $|T-T_0| > T_2$ 度，则在步骤 720 处更新 c3 的当前估计。

[0096] 在一实施例中，在步骤 720 处，假定有 c0、c1 及 c2 的最近值，可根据某些最佳性准则来评估 c3 的候选值以确定测得的频率及温度的最佳 c3。一旦确定最佳 c3，便可用 c3 的先前估计来 IIR 过滤所述最佳 c3。

[0097] 在步骤 730 处，将 n3 与变量 maxIterations3 进行比较。如果 n3 已达到 maxIterations0，则状态机进行到下一状态。如果 n3 尚未达到 maxIterations3，则状态返回到步骤 700。

[0098] 在本发明的替代实施例中，可使用其它准则来确定状态机何时从一个状态进行到下一状态。举例来说，状态机可在检测到待更新的系数有很少变化或没有变化时转变到下

一状态，而非仅在预定数目的反复之后才转变到下一状态，如图 5、6 及 7 中所示。在一实施例中，举例来说，如果 $|c0[n0]-c0[n0-1]| < \Delta$，则状态机可从 FIELD0 转变到 FIELD1，其中 Δ 具有适当小的值。此些实施例预期属于本发明的范围内。

[0099] 在一个或一个以上示范性实施例中，所描述的功能可以硬件、软件、固件或其任何组合来实施。如果以软件来实施，则所述功能可作为一个或一个以上指令或代码存储于计算机可读媒体上或经由计算机可读媒体传输。计算机可读媒体包括计算机存储媒体与通信媒体两者，通信媒体包括促进将计算机程序从一个地方传送到另一个地方的任何媒体。存储媒体可为可由计算机存取的任何可用媒体。借助于实例而非限制，此类计算机可读媒体可包含 RAM、ROM、EEPROM、CD-ROM 或其它光盘存储装置、磁盘存储装置或其它磁性存储装置，或可用于以指令或数据结构的形式携载或存储所要程序代码且可由计算机存取的任何其它媒体。而且，任何连接均适当地称为计算机可读媒体。举例来说，如果使用同轴电缆、光纤电缆、双绞线、数字订户线 (DSL) 或例如红外、无线电及微波等无线技术而从网站、服务器或其它远程源传输软件，则同轴电缆、光纤电缆、双绞线、DSL 或例如红外、无线电及微波等无线技术包括在媒体的定义中。如本文中所使用的磁盘及光盘包括紧密光盘 (CD)、激光光盘、光学光盘、数字通用光盘 (DVD)、软性磁盘及蓝光光盘，其中磁盘通常以磁性方式再现数据，而光盘用激光以光学方式再现数据。上述各项的组合也应包括在计算机可读媒体的范围内。

[0100] 已描述了许多方面及实例。然而，能够对这些实例进行各种修改，且本文中所呈现的原理还可应用于其它方面。这些及其它方面属于所附权利要求书的范围内。

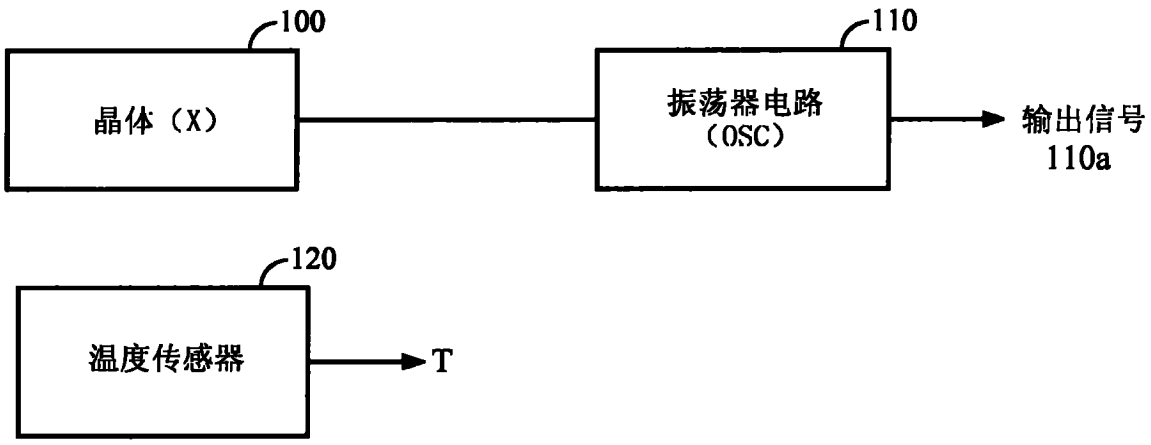

100
晶体（X）
110
振荡器电路
（OSC）
输出信号
110a
120
温度传感器
T

图 1

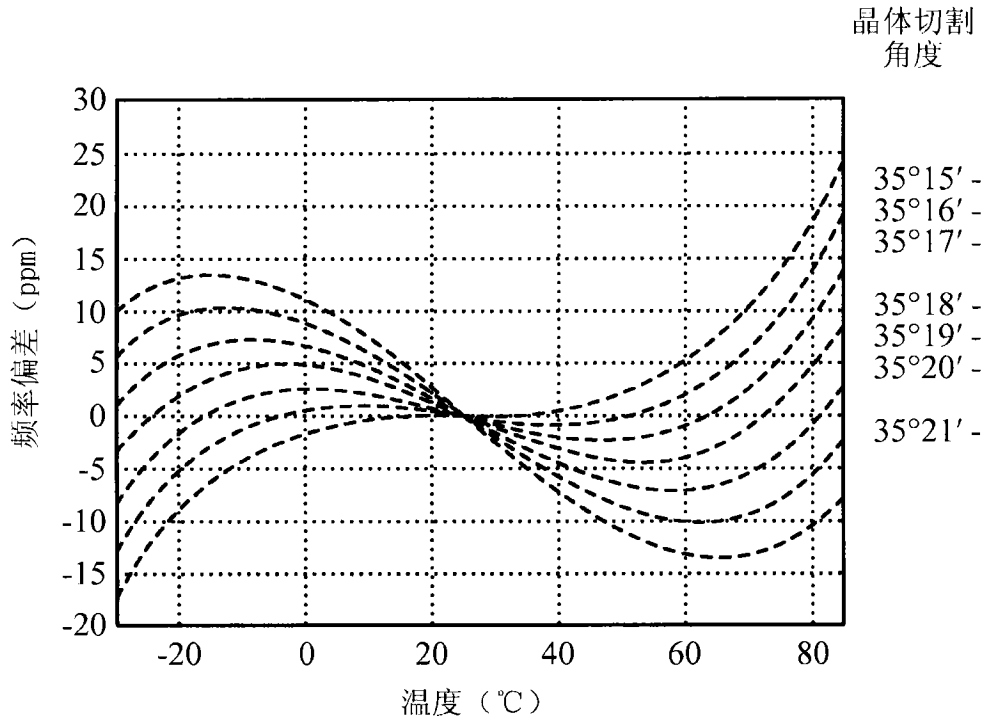

晶体切割
角度
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
频率偏差（ppm）
-20
0
20
40
60
80
温度（℃）
35°15′ -
35°16′ -
35°17′ -
35°18′ -
35°19′ -
35°20′ -
35°21′ -

图 1A

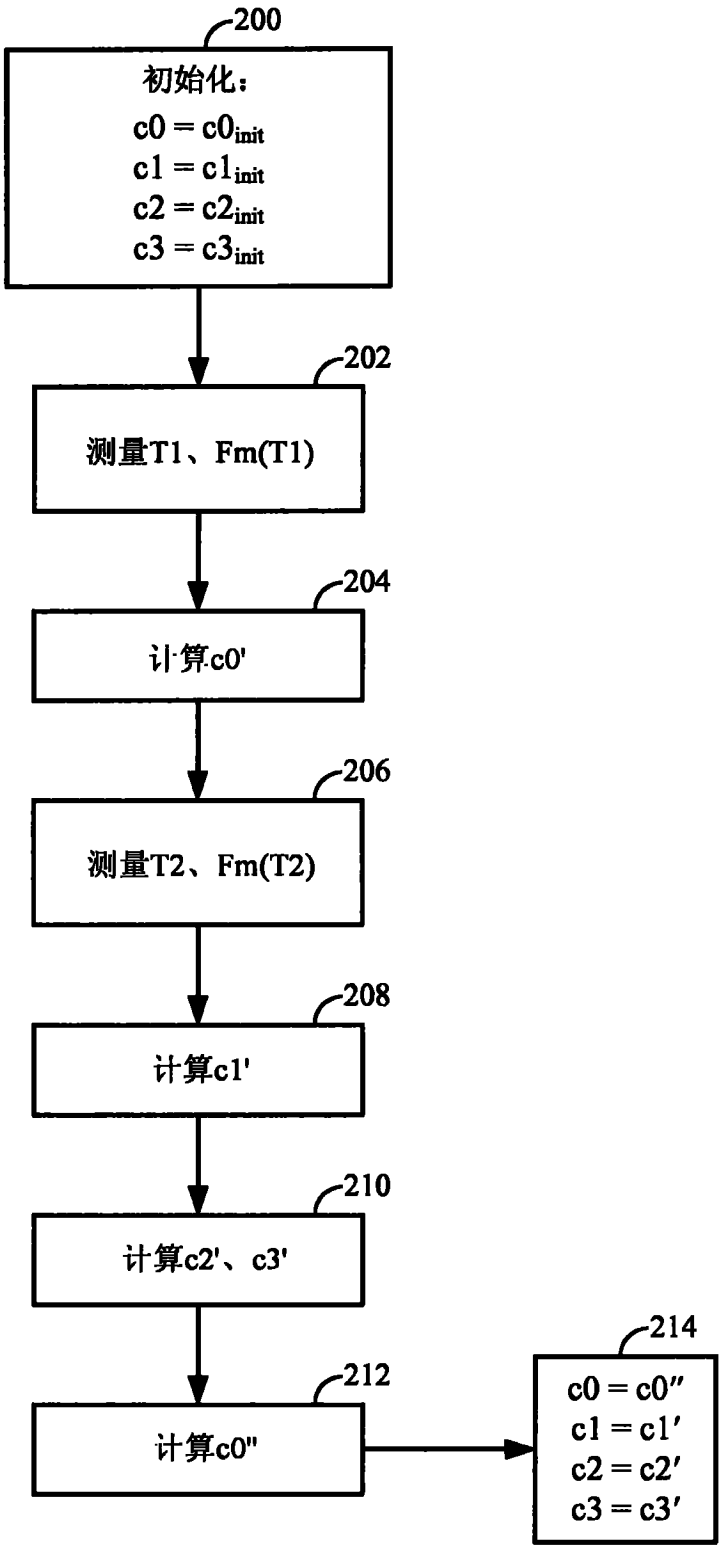

200
初始化：
c0 = c0init
c1 = c1init
c2 = c2init
c3 = c3init
202
测量T1、Fm(T1)
204
计算c0'
206
测量T2、Fm(T2)
208
计算c1'
210
计算c2'、c3'
212
计算c0"
214
c0 = c0″
c1 = c1′
c2 = c2′
c3 = c3′

图 2

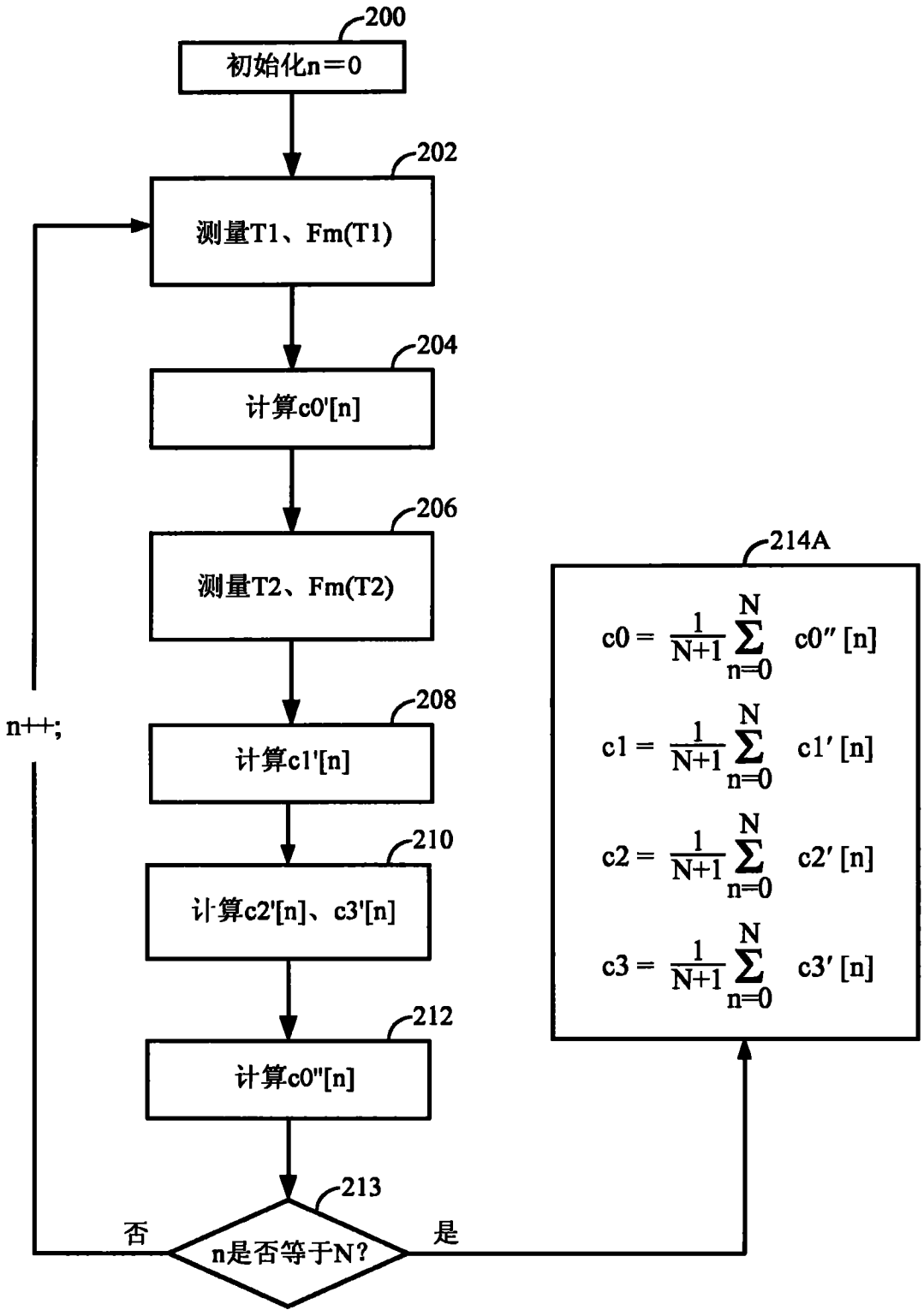

200
初始化n＝0
202
测量T1、Fm(T1)
204
计算c0'[n]
206
测量T2、Fm(T2)
208
计算c1'[n]
210
计算c2'[n]、c3'[n]
212
计算c0"[n]
213
n是否等于N?
否
是
n++;
214A
c0 = 1/(N+1) Σ(n=0 to N) c0″[n]
c1 = 1/(N+1) Σ(n=0 to N) c1′[n]
c2 = 1/(N+1) Σ(n=0 to N) c2′[n]
c3 = 1/(N+1) Σ(n=0 to N) c3′[n]

图 2A

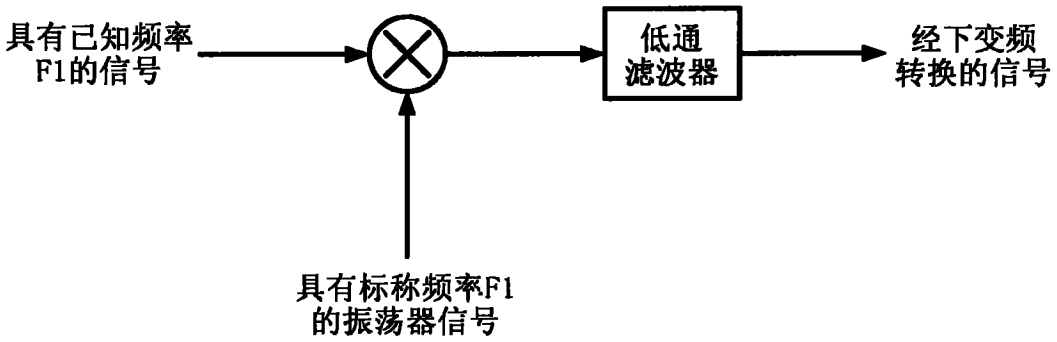

具有已知频率
F1的信号
低通
滤波器
经下变频
转换的信号
具有标称频率F1
的振荡器信号

图 2B

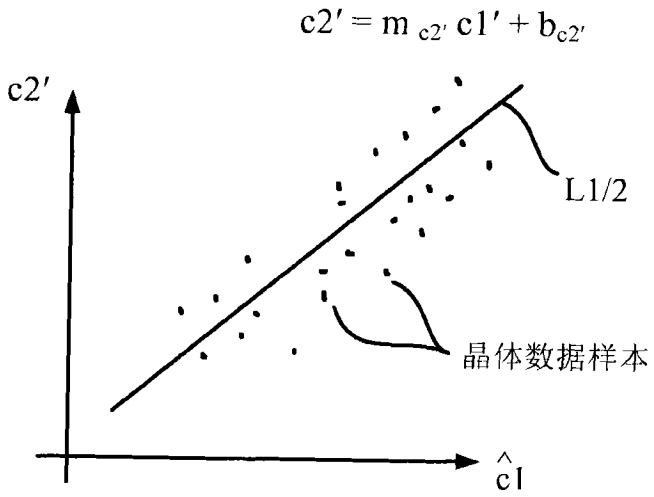

c2′ = m c2′ c1′ + b c2′
c2′
L1/2
晶体数据样本
ĉ1

图 3A

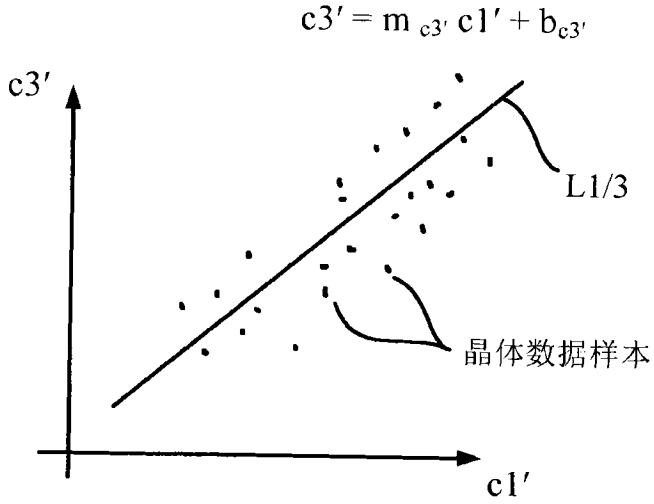

c3′ = m c3′ c1′ + b c3′
c3′
L1/3
晶体数据样本
c1′

图 3B

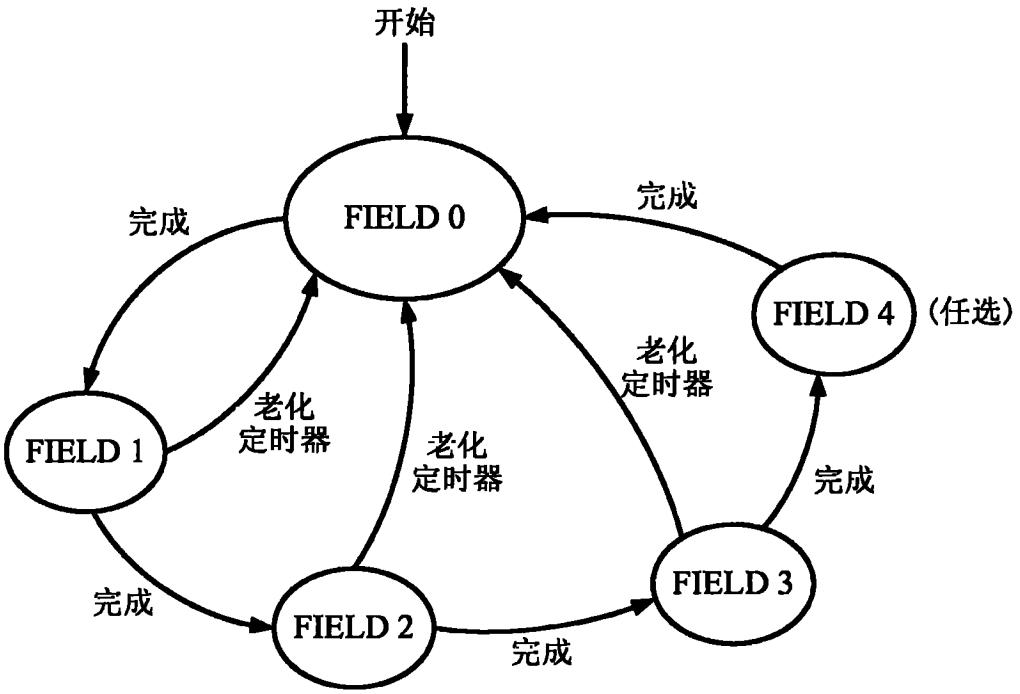

开始
FIELD 0
完成
完成
FIELD 4
(任选)
老化
定时器
FIELD 1
老化
定时器
老化
定时器
完成
完成
FIELD 2
FIELD 3
完成

图 4

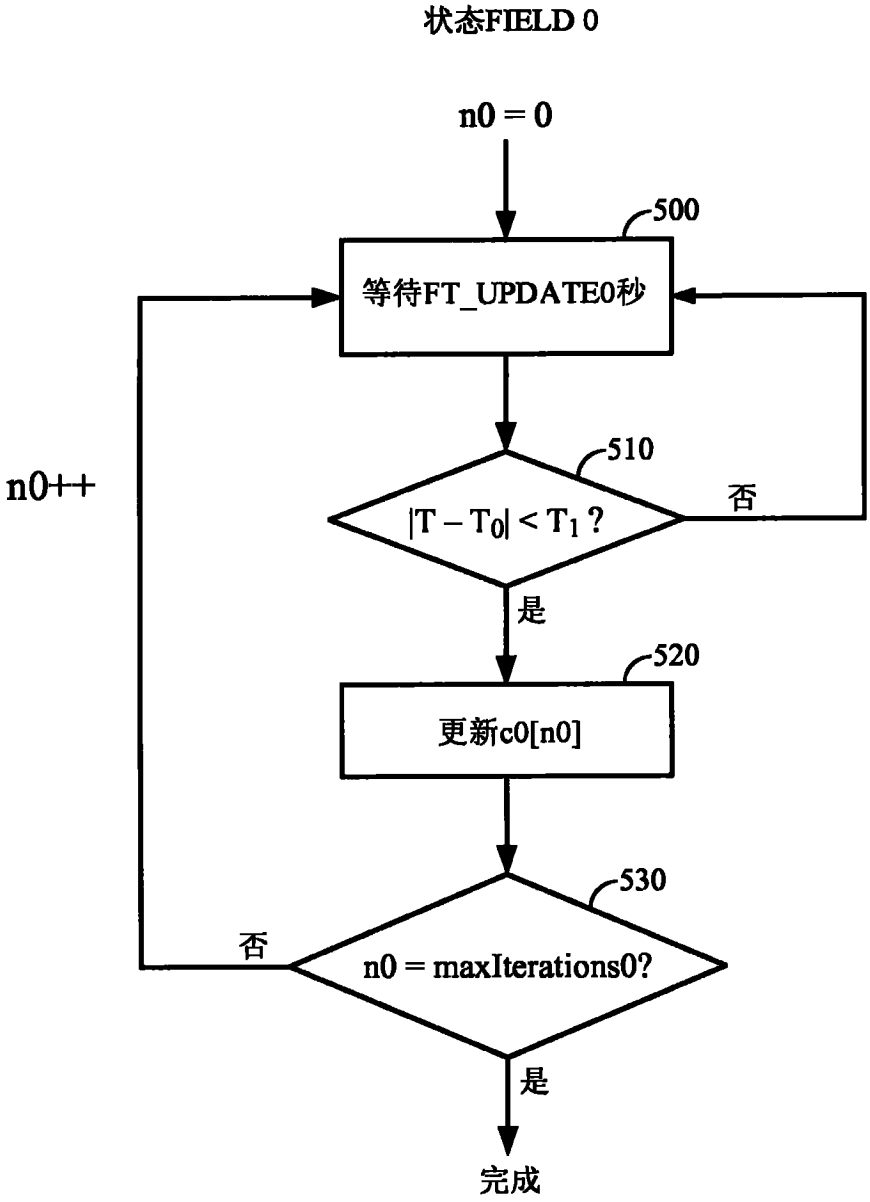

状态FIELD 0
n0 = 0
500
等待FT_UPDATE0秒
510
n0++
|T – T0| < T1 ?
否
是
520
更新c0[n0]
530
否
n0 = maxIterations0?
是
完成

图 5

状态FIELD 1

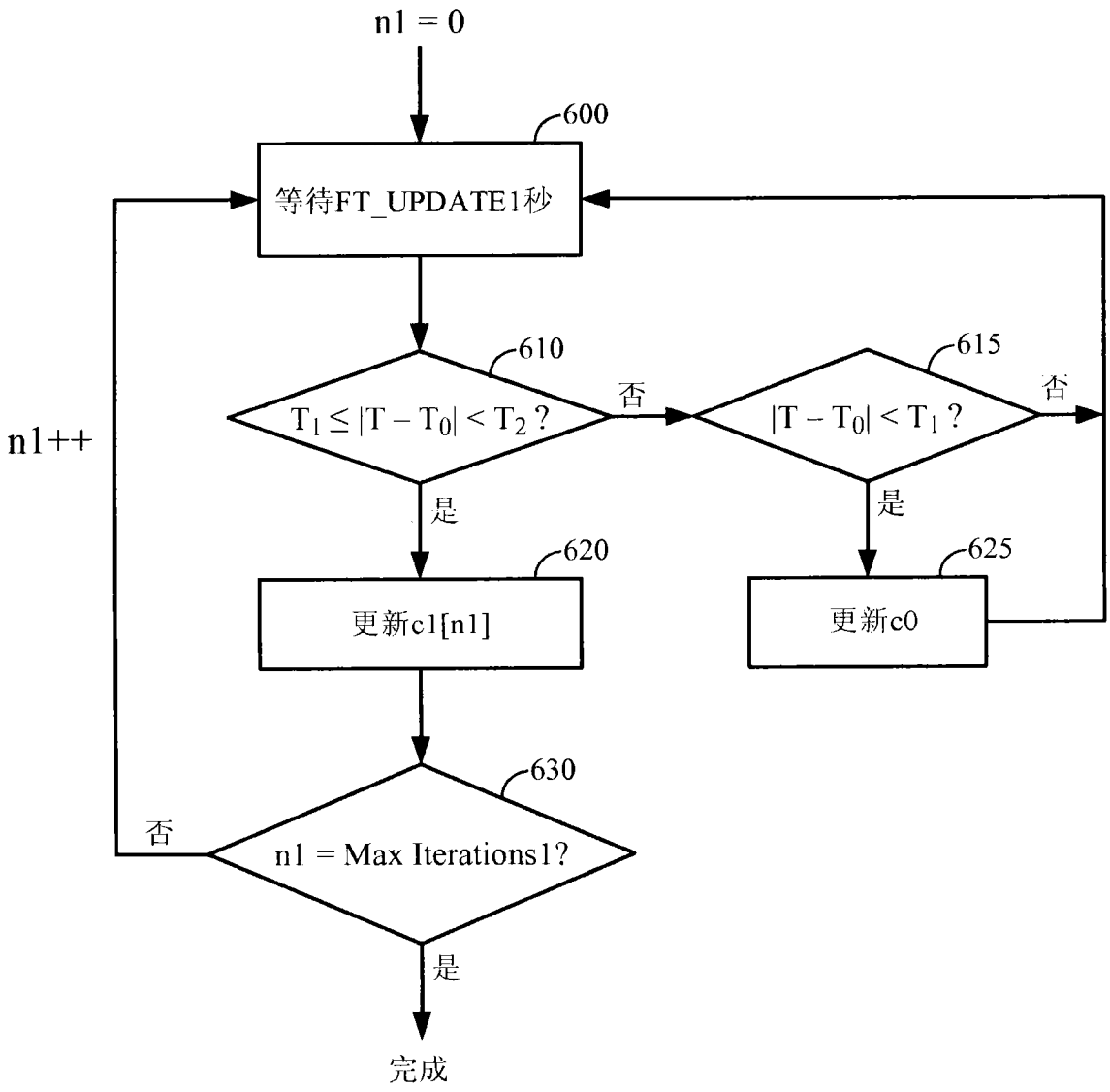

n1 = 0
600
等待FT_UPDATE1秒
610
$T_1 \le |T - T_0| < T_2$?
否
615
$|T - T_0| < T_1$?
否
是
是
620
更新c1[n1]
625
更新c0
630
n1 = Max Iterations1?
否
是
完成
n1++

图 6

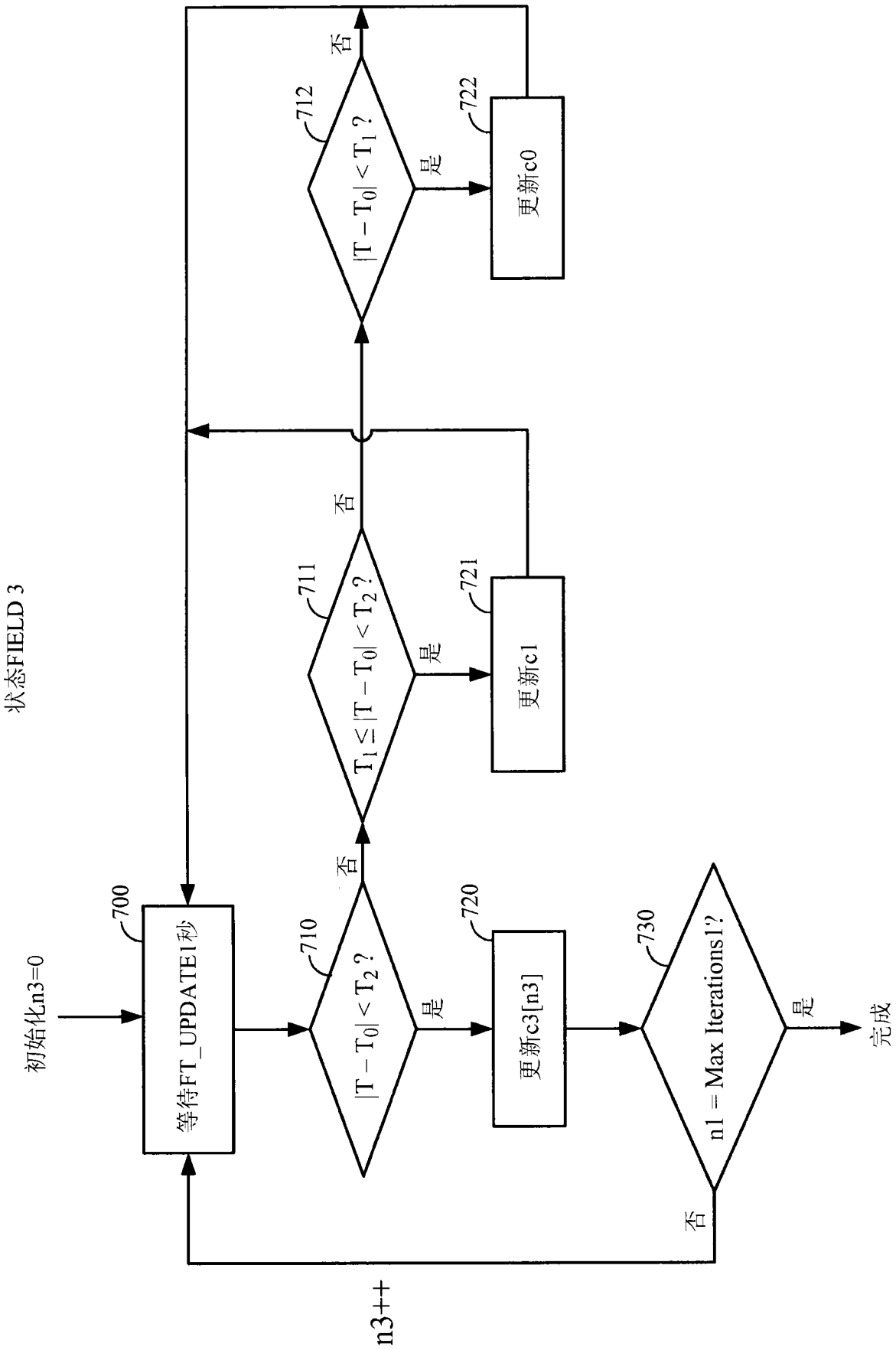

状态FIELD 3
初始化n3=0
700
等待FT_UPDATE1秒
710
|T – T0| < T2 ?
是
720
更新c3[n3]
730
n1 = Max Iterations1?
是
完成
否
n3++
否
711
T1 ≤ |T – T0| < T2 ?
是
721
更新c1
否
712
|T – T0| < T1 ?
是
722
更新c0

图 7