



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03813927.8

[43] 公开日 2005 年 8 月 31 日

[11] 公开号 CN 1663111A

[22] 申请日 2003.8.27 [21] 申请号 03813927.8

[30] 优先权

[32] 2002. 8. 28 [33] JP [31] 248932/2002

[86] 国际申请 PCT/JP2003/010853 2003. 8. 27

[87] 国际公布 WO2004/025824 日 2004. 3. 25

[85] 进入国家阶段日期 2004. 12. 15

[71] 申请人 旭化成微系统株式会社

地址 日本东京都

[72] 发明人 川崎誉子 根本谦治

[74] 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

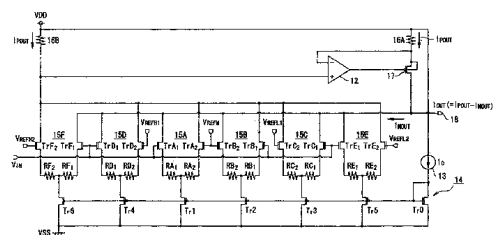
代理人 杨晓光 李 峥

权利要求书 8 页 说明书 28 页 附图 19 页

[54] 发明名称 近似 n 次函数发生装置和温度补偿晶体振荡电路

[57] 摘要

一种用于产生 n 次分量的电路，包括：六个差分放大器(15A 到 15F)，其使得公共线性输入信号和预定电平的恒定电平信号施加到一对输入端，输出与该线性输入信号反相或同相的信号，并具有将所述输出信号限制到预定最大值和最小值的限制函数；恒定电平信号发生电路，用于提供所述恒定电平信号到所述六个差分放大器的每一个；电流镜电路(14)，用于控制流动在所述差分放大器(15A 到 15F)中的电流；以及相加电阻(16A, 16B)，用于相加所述差分放大器(15A 到 15F)的输出电流。通过增加第六差分放大器(15F)的流动电流从而增加所述电阻值，可以获得关于所述输入信号有更陡倾向的 5 次函数分量的高精确度输出电流。



1. 一种 k 次分量发生电路，其特征在于，包括：

i (i 为 5 或大于 5 的整数) 个差分放大器，其使得公共线性输入信号输入到一个输入端，预定电平的恒定电平信号输入到另一个输入端，输出与所述线性输入信号反相或同相的信号，并具有将输出信号限制到预定最大和最小值的限制函数；以及

恒定电平信号发生电路，用于提供所述恒定电平信号到所述 i 个差分放大器的每一个，其中：

所述 i 个差分放大器中的第一、第二和第三差分放大器被设置为使所述恒定电平信号以逐渐增加的更高电平依次输入，并且所述第一和第三差分放大器的输出信号与所述第二差分放大器的输出信号被设置为相互相反的极性；

所述 i 个差分放大器中的第四差分放大器把要输入的恒定电平信号设置为与要输入到所述第二差分放大器的恒定电平信号相同电平的信号，并将其输出信号设置为与所述第一和第三差分放大器的输出信号相同的极性而且还将所述输入信号为所述最大值和该输入信号为所述最小值的范围设置为比所述第二差分放大器的大；

所述 i 个差分放大器中除了所述第一、第二、第三和第四差分放大器之外的 $(i-4)$ 个差分放大器中的每一个把要输入的恒定电平信号设置为低于要输入到所述第一差分放大器的恒定电平信号的电平或高于要输入到所述第三差分放大器的恒定电平信号的电平，且所述 $(i-4)$ 个差分放大器的输出信号与所述第二差分放大器的输出信号被设置为相互相反的极性；并且

于是将所述第一、第二、第三和所述 $(i-4)$ 个差分放大器的输出信号相加以形成 k 次函数分量输出信号 (k 为 3 或大于 3 的奇数)；并且

所述第四差分放大器被构造用于形成线性分量输出信号，该线性分量用于抵消所述 n 次函数分量的线性分量，从而通过相加所述 i 个差分放大器的输出信号而产生不包括线性分量的 k 次函数分量。

2. 根据权利要求 1 的三次分量发生电路，其特征在于，被设置为 $i=5$ 且 $k=3$ 。

3. 根据权利要求 2 的三次分量发生电路，其特征在于，第五差分放大器把要输入的恒定电平信号设置为低于要输入到所述第一差分放大器的恒定电平信号的电平，并将所述输入信号为所述最大值和该输入信号为所述最小值的范围设置为比所述第一差分放大器的小。

4. 根据权利要求 2 的三次分量发生电路，其特征在于，所述第五差分放大器把要输入的恒定电平信号设置为高于要输入到所述第三差分放大器的恒定电平信号的电平，并将所述输入信号为所述最大值和该输入信号为所述最小值的范围设置为比所述第三差分放大器的小。

5. 根据权利要求 1 的五次分量发生电路，其特征在于，被设置为 $i=6$ 且 $k=5$ 。

6. 根据权利要求 5 的五次分量发生电路，其特征在于，所述第五差分放大器把要输入的恒定电平信号设置为低于要输入到所述第一差分放大器的恒定电平信号的电平，并将所述输入信号为所述最大值和该输入信号为所述最小值的范围设置为比所述第一差分放大器的小，并且所述第六差分放大器把要输入的恒定电平信号设置为高于要输入到所述第三差分放大器的恒定电平信号的电平，并将所述输入信号为所述最大值和该输入信号为所述最小值的范围设置为比所述第三差分放大器的小。

7. 一种 m 次分量发生电路，其特征在于，包括：

j (j 为 4 或大于 4 的整数) 个差分放大器，其将公共线性输

入信号输入到一个输入端，将预定电平的恒定电平信号输入到另一个输入端，输出与该线性输入信号反相或同相的信号，并具有将输出信号限制到预定最大和最小值的限制函数；以及

恒定信号输出电路，用于输出恒定输出信号；

恒定电平信号发生电路，用于提供所述恒定电平信号到所述 j 个差分放大器的每一个，其中：

所述 j 个差分放大器中的第一、第二、第三和第四差分放大器被设置为使所述恒定电平信号以逐渐增加的更高电平依次输入；

所述第一和第二差分放大器的输出信号与所述第三和第四差分放大器的输出信号被设置为相互相反的极性；并且

于是将所述 j 个差分放大器的输出信号相加以形成 m 次函数分量的输出信号（ m 为 4 或大于 4 的偶数）；以及

8. 恒定信号输出电路，被构造以形成零次分量输出信号，该零次分量用于抵消所述 m 次函数分量的零次分量，从而通过相加所述 j 个差分放大器和所述恒定信号输出电路的输出信号而产生不包括零次分量的 m 次函数分量。根据权利要求 7 的 m 次分量发生电路，其特征在于， j 为 6 或大于 6 的偶数，并且所述 j 个差分放大器中除了所述第一、第二、第三和第四差分放大器之外的（ $j - 4$ ）个差分放大器中的每一个把要输入的恒定电平信号设置为低于要输入到第一差分放大器的恒定电平信号的电平或高于要输入到第四差分放大器的恒定电平信号的电平。

9. 根据权利要求 7 的四次分量发生电路，其特征在于，被设置为 $j=4$ 且 $m=4$ 。

10. 一种近似 n 次函数发生装置，其特征在于，包括：

零次分量发生部分，用于使得恒定信号输入并产生恒定分量；

线性分量发生部分，用于使得线性输入信号输入并产生线性分量；

至少一个 k 次分量发生部分，具有用于使得所述线性输入信号输入的 k 次分量 (k 为 3 或大于 3 的奇数) 发生电路以及用于使得该 k 次分量发生电路的输出信号输入的第一增益可变放大电路；

至少一个 m 次分量发生部分，具有用于使得所述线性输入信号输入的 m 次分量 (m 为 4 或大于 4 的偶数) 发生电路以及用于使得该 m 次分量发生电路的输出信号输入的第二增益可变放大电路；以及

相加电路，用于相加所述零次分量发生部分、所述线性分量发生部分、所述 k 次分量发生部分和所述 m 次分量发生部分的输出信号，在其中近似 n 次函数 (n 为 4 或大于 4 的整数) 得以产生。

11. 一种近似 n 次函数发生装置，其特征在于，包括：

零次分量发生部分，用于使得恒定信号输入并产生恒定分量；

线性分量发生部分，用于使得线性输入信号输入并产生线性分量；

至少一个 k 次分量发生部分，具有用于使得所述线性输入信号输入的根据权利要求 1 的 k 次分量 (k 为 3 或大于 3 的奇数) 发生电路以及用于使得该 k 次分量发生电路的输出信号输入的第一增益可变放大电路；

至少一个 m 次分量发生部分，具有用于使得所述线性输入信号输入的根据权利要求 7 的 m 次分量 (m 为 4 或大于 4 的偶数) 发生电路以及用于使得该 m 次分量发生电路的输出信号输入的第二增益可变放大电路；以及

相加电路，用于相加所述零次分量发生部分、所述线性分量发生部分、所述 k 次分量发生部分和所述 m 次分量发生部分的输出信号，在其中近似 n 次函数 (n 为 4 或大于 4 的整数) 得以产生。

12. 一种近似三次函数发生装置，其特征在于，包括：

零次分量发生部分，用于使得恒定输入信号输入并产生恒定分量；

线性分量发生部分，用于使得线性输入信号输入并产生线性分量；

三次分量发生部分，具有用于使得所述线性输入信号输入的根据权利要求 2 或权利要求 4 的三次分量发生电路以及用于使得该三次分量发生电路的输出信号输入的第一增益可变放大电路；以及

相加电路，用于相加所述零次分量发生部分、所述线性分量发生部分和所述三次分量发生部分的输出信号。

13. 一种近似四次函数发生装置，其特征在于，包括：

零次分量发生部分，用于使得恒定输入信号输入并产生恒定分量；

线性分量发生部分，用于使得线性输入信号输入并产生线性分量；

三次分量发生部分，具有用于使得所述线性输入信号输入的根据权利要求 2 或权利要求 4 的三次分量发生电路以及用于使得该三次分量发生电路的输出信号输入的第一增益可变放大电路；

四次分量发生部分，具有用于使得所述线性输入信号输入的根据权利要求 9 的四次分量发生电路以及用于使得该四次分量发生电路的输出信号输入的第二增益可变放大电路；以及

相加电路，用于相加所述四次分量发生部分、所述三次分量发生部分、所述线性分量发生部分和所述零次分量发生部分的输出信号。

14. 一种近似五次函数发生装置，其特征在于，包括：

零次分量发生部分，用于使得恒定输入信号输入并产生恒定分量；

线性分量发生部分，用于使得线性输入信号输入并产生线性分量；

三次分量发生部分，具有用于使得所述线性输入信号输入的根据权利要求 2 或权利要求 4 的三次分量发生电路以及用于使得该三次分量发生电路的输出信号输入的第一增益可变放大电路；

四次分量发生部分，具有用于使得所述线性输入信号输入的根据权利要求 9 的四次分量发生电路以及用于使得该四次分量发生电路的输出信号输入的第二增益可变放大电路；

五次分量发生部分，具有用于使得所述线性输入信号输入的根据权利要求 5 或权利要求 6 的五次分量发生电路以及用于使得该五次分量发生电路的输出信号输入的第三增益可变放大电路；
以及

相加电路，用于相加所述五次分量发生部分、所述四次分量发生部分、所述三次分量发生部分、所述线性分量发生部分和所述零次分量发生部分的输出信号。

15. 一种近似 n 次函数发生装置，其特征在于，使得线性输入信号输入，输出与 n 次函数成比例的 n 次输出信号，该 n 次函数由 n 次多项式表示且该 n 次多项式中不包括二次项。

16. 一种温度函数发生电路，其特征在于，包括温度探测电路以及用于使得该温度探测电路的探测信号输入的根据权利要求 15 的近似 n 次函数发生装置。

17. 一种温度补偿晶体振荡电路，其特征在于，包括根据权利要求 16 的温度函数发生电路以及用于使得产生于该温度函数发生电路的近似 n 次函数输入的晶体振荡电路。

18. 一种温度函数发生电路，其特征在于，包括温度探测电路以及用于使得该温度探测电路的探测信号输入的根据权利要求 10 或 11 的近似 n 次函数发生装置。

19. 一种温度补偿晶体振荡电路，其特征在于，包括根据权利

要求 18 的温度函数发生电路以及用于使得产生于该温度函数发生电路的近似 n 次函数输入的晶体振荡电路。

20. 一种温度函数发生电路，其特征在于，包括温度探测电路以及用于使得该温度探测电路的探测信号输入的根据权利要求 12 的近似三次函数发生装置。

21. 一种温度补偿晶体振荡电路，其特征在于，包括根据权利要求 20 的温度函数发生电路以及用于使得产生于该温度函数发生电路的近似三次函数输入的晶体振荡电路。

22. 一种温度函数发生电路，其特征在于，包括温度探测电路以及用于使得该温度探测电路的探测信号输入的根据权利要求 13 的近似四次函数发生装置。

23. 一种温度补偿晶体振荡电路，其特征在于，包括根据权利要求 22 的温度函数发生电路以及用于使得产生于该温度函数发生电路的近似四次函数输入的晶体振荡电路。

24. 一种温度函数发生电路，其特征在于，包括温度探测电路以及用于使得该温度探测电路的探测信号输入的根据权利要求 14 的近似五次函数发生装置。

25. 一种温度补偿晶体振荡电路，其特征在于，包括根据权利要求 24 的温度函数发生电路以及用于使得产生于该温度函数发生电路的近似五次函数输入的晶体振荡电路。

26. 一种温度补偿调整方法，其特征在于，对于包括了含有温度探测电路和近似 n 次函数发生装置 (n 为 3 或大于 3 的整数) 的温度补偿电路以及压控晶体振荡电路的温度补偿晶体振荡电路而言，当对其进行温度补偿调整时，在预定温度环境中进行在所述温度补偿电路的输出电压 $V_{C_{OUT}}$ 的 n 次分量 $V_{C_{OUTn}}$ 到零次分量 $V_{C_{OUT0}}$ 上的测量，并且还在期望温度补偿范围内的多个温度进行输入电压 $V_{C_{IN}}$ 上的测量，其中从所述压控晶体振荡电路输出的振荡频率在该电压上与预置选择频率相配，而且所述测得的输出电压 $V_{C_{OUT}}$ 的 n 次分量 $V_{C_{OUTn}}$ 在每一个温度上近似为温度 T 的函数：

$$VC_{OUTn}'(T) = VC_{OUTn}(T) - VC_{OUT0}(T),$$

并且所述输出电压 VC_{OUT} 可以被描述为所述温度 T 的函数:

$$\begin{aligned} VC_{OUT}(T) = & \alpha_n VC_{OUTn}'(T + \Delta T) + \dots\dots\dots \\ & + \alpha_3 VC_{OUT3}'(T + \Delta T) + \alpha_1 VC_{OUT1}'(T + \Delta T) \\ & + VC_{OUT0}'(T + \Delta T) + \alpha_0, \end{aligned}$$

并且所述温度补偿电路的系数 α_n 到 α_3 , α_1 , α_0 和 ΔT 被调整使得所述输入电压 VC_{IN} 与在每一个所述温度上测得的输出电压 VC_{OUT} 相配。

近似 n 次函数发生装置和温度补偿晶体振荡电路

技术领域

本发明涉及用于产生近似 n 次的函数的近似 n 次函数发生装置以及使用该装置的温度补偿晶体振荡电路。

背景技术

对于通常用于晶体振荡器的 AT 切的晶体谐振器而言，温度变化与固有自然共振频率的关系可以表示为如图 17 所示的近似三次函数。此温度特性可以近似为下面的公式 (1)。

$$Y = \alpha(t - t_0)^3 + \beta(t - t_0) + \gamma \dots\dots\dots (1)$$

其中，Y 是输出频率， α 是三次系数， β 是温度特性的倾角， γ 是频率偏移量， t_0 是曲线的中心温度，即拐点（通常在从 25 到 30°C 的范围）。上述公式 (1) 中的 α 、 β 和 γ 中的每一个均取决于该晶体谐振器。

由于这个原因，温度补偿通常利用来自于例如专利 3233946 所述的近似三次函数发生装置的输出电压来实现。

具体地说，如图 18 所示，用于产生所述近似三次函数的近似三次函数发生装置的输出被作为用于补偿晶体温度特性的控制电压而施加到压控晶体振荡器 (VCXO) 上，该装置使用从温度探测电路输出的电压 V_{IN} 作为输入信号，该温度探测电路用于输出主要相对于作为输入信号的所述温度变化进行变化的电压。

目前被广泛采用的压控晶体振荡电路的电压 - 频率特性可以用线型函数近似。因此，晶体谐振器的频率特性与温度的关系可以被近似为电压特性与该温度的关系，如图 19 所示。

所述控制电压的电压 - 温度特性可以为下述公式 (2)。

$$f(t) = a_3(t-t_0)^3 + a_1(t-t_0) + a_0 \dots\dots\dots (2)$$

具体地说，与公式(2)中的控制电压相配的电电压由所述近似三次函数发生装置产生，并被输入到所述压控晶体振荡器中，从而补偿所述晶体谐振器的温度特性。

但是，所述晶体谐振器的频率-温度特性包括比三次分量更高次的分量。因此，存在近似三次函数和数据之间的差别，使得即使产生了能够严格地补偿该近似三次函数的控制电压，该差别仍将作为不能进行温度补偿的因素。

为解决该问题，可以用更高次的函数近似所述晶体谐振器的温度特性，并用相应的更高次函数的电压控制所述压控晶体振荡器，以减少所述差别。

例如，在用三次函数近似一个晶体谐振器上的频率-温度特性数据的情形下，在-30到85℃的温度范围内的近似表达式和数据之间的差最大为0.320ppm。如果用四次函数近似，其变为0.130ppm。如果进一步用五次函数近似，其变为0.126ppm。于是可以调整系数并通过使用用于产生高次函数的装置来产生所述控制电压，从而用更高次精确度来实现温度补偿。

对于目前用于输出成比例于所述三次或更高次函数的信号的电路而言，例如图1所示的函数发生装置已为日本专利公开8-116214所披露。

从此电路输出的信号可以用诸如公式(3)的多项式表示，以下为通式。

$$\begin{aligned} f(x) &= a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots\dots + a_2 x^2 + a_1 x + a_0 \\ &= a_n'(x-x_0)^n + \dots\dots + a_1'(x-x_0) + a_0' \dots\dots (3) \end{aligned}$$

例如，四次函数发生装置的输出信号可以用以下公式(4)表示。

$$\begin{aligned} f(x) &= a_4 x^4 + a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x + a_0 \\ &= a_4'(x-x_0)^4 + a_2'(x-x_0)^2 + a_1'(x-x_0) + a_0' \\ &\dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

其中，

$$a_4' = a_4, a_2' = a_2 - 6a_4 x_0^2, a_1' = a_1 + 2a_2 x_0 - 8a_4 x_0^3, a_0' = a_0 + a_1 x_0 + a_2 x_0^2 - 3a_4 x_0^4, x_0 = -a_3/(4a_4)$$

对于近似四次函数发生装置而言，可以使用如上述公式(4)中的 x_0 以忽略第 $n-1$ 项，即三次项，并减小了电路规模。

但是，该常规例子仍有未解决的问题，即很难实现用公式(4)的结构来产生所述控制电压的电路。

所述未解决的问题将以具体的例子加以描述。如果一个晶体谐振器上的频率-温度特性数据首先被描述为具有被公式(4)所忽略的三次项的公式，表示该函数拐点的 t_0 变为 -149°C ，显然超出了 -30 到 85°C 的正常补偿范围。 t_0 的显著偏差意味着所述电路必须具有用于产生与之相应的控制电压的功能电路的宽输入范围，而且该电路必须考虑超出调整范围之外的温度。图20示出了各次分量，可以理解的是，当一个晶体谐振器的频率-温度特性在 $\pm 10\text{ppm}$ 之间，这些次分量使得最大为 $\pm 1500\text{ppm}$ 的显著偏差宽度附加在所述函数上。因此，为了补偿该晶体谐振器的频率-温度特性，各次参数 a_4' 到 a_0' 的调整范围必须较宽以适合所述控制电压，并且用于执行该补偿的电路将因为动态范围而变得非常不方便。因此，会产生这样的问题，即如果将所述控制电压从所述三次函数扩展到所述四次函数会导致噪声的显著增加以及电路规模的扩大。于是，尽管考虑到有获得更高次精确度的优势，但这样做还是不实际的。

因此，本发明的实现注意到了所述常规例子中未解决的问题。并且其中一个目的是提供能够精确地提供三次或更高次的高次分量的电路以及用于所述温度补偿并使用了所述函数发生装置的精确可调晶体振荡器。

发明内容

根据本发明的权利要求1的k次分量发生电路，其特征在于，包括： i (i 为5或大于5的整数)个差分放大器，其使得公共线性输入信号输入到一个输入端，预定电平的恒定电平信号输入到另一个输入端，输出与所述线性输入信号反相或同相的信号，并具有将输出信号限制到预定最大和最小值的限制函数；以及恒定电平信号发生电路，用于提供所述恒定电平信号到所述 i 个差分放大器的每一个，其中：所述 i 个差分放大器中的第一、第二和第三差分放大器被设置为使所述恒定电平信号以逐渐增加的更高电平依次输入；所述第一和第三差分放大器的输出信号与所述第二差分

放大器的输出信号被设置为相互相反的极性；所述 i 个差分放大器中的第四差分放大器把要输入的恒定电平信号设置为与要输入到所述第二差分放大器的恒定电平信号相同电平的信号，并将其输出信号设置为与所述第一和第三差分放大器的输出信号相同的极性而且还将所述输入信号为所述最大值和该输入信号为所述最小值的范围设置为比所述第二差分放大器的大；所述 i 个差分放大器中除了所述第一、第二、第三和第四差分放大器之外的 $(i-4)$ 个差分放大器中的每一个把要输入的恒定电平信号设置为低于要输入到所述第一差分放大器的恒定电平信号的电平或高于要输入到所述第三差分放大器的恒定电平信号的电平，且所述 $(i-4)$ 个差分放大器的输出信号与所述第二差分放大器的输出信号被设置为相互相反的极性，于是将所述第一、第二、第三和所述 $(i-4)$ 个差分放大器的输出信号相加以形成 k 次函数分量输出信号 (k 为 3 或大于 3 的奇数)；并且所述第四差分放大器被构造用于形成线性分量输出信号，该线性分量用于抵消所述 n 次函数分量的线性分量，从而通过相加所述 i 个差分放大器的输出信号而产生不包括线性分量的 k 次函数分量。

据此，可以通过调整所述 $(i-4)$ 个差分放大器的激励电流，以形成在所述输入信号大于所述最大值或小于所述最小值的范围内对该输入信号倾角更陡的输出信号，从而产生具有高精确定度的近似 k 次函数 (k 为 3 或大于 3 的奇数)。

根据本发明权利要求 2 的三次分量发生电路，其特征在于，权利要求 1 中的 i 和 k 分别被设置为 $i=5$ 且 $k=3$ 。

于是，可以从用于产生 k 次奇数分量的电路中构造出三次专用电路 (cubic-specific circuit)，从而输出具有高精确定度的三次函数。

根据本发明权利要求 3 的三次分量发生电路，其特征在于，在权利要求 2 中，所述第五差分放大器把要输入的恒定电平信号设置为低于要输入到所述第一差分放大器的恒定电平信号的电平，并将所述输入信号为所述最大值和该输入信号为所述最小值的范围设置为比所述第一差分放大器的小。

于是，在只向所述输入信号拐点的更高侧扩展该输入信号范围的情形下，可以输出具有高精确度的所述三次函数。

根据本发明权利要求 4 的三次分量发生电路，其特征在于，所述第五差分放大器把要输入的恒定电平信号设置为高于要输入到所述第三差分放大器的恒定电平信号的电平，并将所述输入信号为所述最大值和该输入信号为所述最小值的范围设置为比所述第三差分放大器的小。

于是，在只向所述输入信号拐点的更低侧扩展该输入信号范围的情形下，可以输出具有高精确度的所述三次函数。

根据本发明权利要求 5 的三次分量发生电路，其特征在于，权利要求 1 中的 i 和 k 分别被设置为 $i=6$ 且 $k=5$ 。

于是，可以从用于产生 k 次奇数分量的电路中构造出专用于五次的电路，从而输出具有高精确度的五次函数。

根据本发明权利要求 6 的五次分量发生电路，其特征在于，在权利要求 5 中，所述第五差分放大器把要输入的恒定电平信号设置为低于要输入到所述第一差分放大器的恒定电平信号的电平，并将所述输入信号为所述最大值和该输入信号为所述最小值的范围设置为比所述第一差分放大器的小，并且所述第六差分放大器把要输入的恒定电平信号设置为高于要输入到所述第三差分放大器的恒定电平信号的电平，并将所述输入信号为所述最大值和该输入信号为所述最小值的范围设置为比所述第三差分放大器的小。

于是，在只向拐点的更高侧扩展所述输入信号范围的情形下，可以输出具有高精确度的所述五次函数。

根据本发明权利要求 7 的 m 次分量发生电路，其特征在于，包括： j (j 为 4 或大于 4 的整数) 个差分放大器，其将公共线性输入信号输入到一个输入端，将预定电平的恒定电平信号输入到另一个输入端，输出与该线性输入信号反相或同相的信号，并具有将输出信号限制到预定最大和最小值的限制函数；以及用于输出恒定输出信号的恒定信号输出电路；恒定电平信号发生电路，用于提供所述恒定电平信号到所述 j 个差分放大器的

每一个，其中：所述 j 个差分放大器中的第一、第二、第三和第四差分放大器被设置为使所述恒定电平信号以逐渐增加的更高电平依次输入；所述第一和第二差分放大器的输出信号与所述第三和第四差分放大器的输出信号被设置为相互相反的极性；于是将所述 j 个差分放大器的输出信号相加以形成 m 次函数分量的输出信号（ m 为 4 或大于 4 的偶数）；以及恒定信号输出电路，被构造以形成零次分量输出信号，该零次分量用于抵消所述 m 次函数分量的零次分量，从而通过相加所述 j 个差分放大器和所述恒定信号输出电路的输出信号而产生不包括零次分量的 m 次函数分量。

于是，可以产生具有高精度且不包括零次分量的 m 次偶数分量。

根据本发明权利要求 8 的 m 次分量发生电路，其特征在于，在权利要求 7 中， j 为 6 或大于 6 的偶数，所述 j 个差分放大器中除了所述第一、第二、第三和第四差分放大器之外的（ $j-4$ ）个差分放大器中的每一个把要输入的恒定电平信号设置为低于要输入到第一差分放大器的恒定电平信号的电平或高于要输入到第四差分放大器的恒定电平信号的电平。

于是，可以通过调整所述（ $j-4$ ）个差分放大器的激励电流以形成在所述输入信号大于所述最大值或小于所述最小值的范围内对该输入信号倾角更陡的输出信号，从而产生具有高精度度的近似 m 次函数。

根据本发明权利要求 9 的四次分量发生电路，其特征在于，权利要求 7 中的 j 和 m 分别被设置为 $j=4$ 且 $m=4$ 。

于是，可以从用于产生 m 次偶数分量的电路中构造出专用于四次的电路，从而输出具有高精度度的四次函数。

根据本发明权利要求 10 的近似 n 次函数发生装置，其特征在于，包括：零次分量发生部分，用于使得恒定信号输入并产生恒定分量；线性分量发生部分，用于使得线性输入信号输入并产生线性分量；至少一个 k 次分量发生部分，具有用于使得所述线性输入信号输入的 k 次分量（ k 为 3 或大于 3 的奇数）发生电路以及用于使得该 k 次分量发生电路的输出信号输入的第一增益可变放大电路；至少一个 m 次分量发生部分，具有用于使得所述线性输入信号输入的 m 次分量（ m 为 4 或大于 4 的偶数）发生电路以及

用于使得该 m 次分量发生电路的输出信号输入的第二增益可变放大电路；以及相加电路，用于相加所述零次分量发生部分、所述线性分量发生部分、所述 k 次分量发生部分和所述 m 次分量发生部分的输出信号，在其中近似 n 次函数（ n 为 4 或大于 4 的整数）得以产生。

于是，可以通过忽略二次项并使用接近其拐点的拐点 x_0 来对所述三次函数主要部分给予补偿。由于除了三次之外的 $n \geq 4$ 的 n 次分量变得更小，还可以使用所述常用拐点 x_0 作为结构（configuration）并实现偏移量 + 线性分量 + 三次分量 + 修正的高次分量的结构，从而减少对电路规模的影响。

根据本发明权利要求 11 的近似 n 次函数发生装置，其特征在于，包括：零次分量发生部分，用于使得恒定信号输入并产生恒定分量；线性分量发生部分，用于使得线性输入信号输入并产生线性分量；至少一个 k 次分量发生部分，具有用于使得所述线性输入信号输入的根据权利要求 1 的 k 次分量（ k 为 3 或大于 3 的奇数）发生电路以及用于使得该 k 次分量发生电路的输出信号输入的第一增益可变放大电路；至少一个 m 次分量发生部分，具有用于使得所述线性输入信号输入的根据权利要求 7 的 m 次分量（ m 为 4 或大于 4 的偶数）发生电路以及用于使得该 m 次分量发生电路的输出信号输入的第二增益可变放大电路；以及相加电路，用于相加所述零次分量发生部分、所述线性分量发生部分、所述 k 次分量发生部分和所述 m 次分量发生部分的输出信号，在其中近似 n 次函数（ n 为 4 或大于 4 的整数）得以产生。

于是，可以通过忽略二次项并使用接近其拐点的拐点 x_0 来补偿所述能够精确产生主要部分的三次分量。由于除了三次之外的 $n \geq 4$ 的 n 次分量变得更小，还可以使用所述常用拐点 x_0 作为所述结构并实现偏移量 + 线性分量 + 三次分量 + 修正的高次分量的结构，从而减少对电路规模的影响。

根据本发明权利要求 12 的近似三次函数发生装置，其特征在于，包括：零次分量发生部分，用于使得恒定输入信号输入并产生恒定分量；线性分量发生部分，用于使得线性输入信号输入并产生线性分量；三次分量发生部分，具有用于使得所述线性输入信号输入的根据权利要求 2 或权利要求

4 的三次分量发生电路以及用于使得该三次分量发生电路的输出信号输入的第一增益可变放大电路；以及相加电路，用于相加所述零次分量发生部分、所述线性分量发生部分和所述三次分量发生部分的输出信号。

于是，可以产生具有高精确度的近似三次函数。

根据本发明权利要求 13 的近似四次函数发生装置，其特征在于，包括：零次分量发生部分，用于使得恒定输入信号输入并产生恒定分量；线性分量发生部分，用于使得线性输入信号输入并产生线性分量；三次分量发生部分，具有用于使得所述线性输入信号输入的根据权利要求 2 或权利要求 4 的三次分量发生电路以及用于使得该三次分量发生电路的输出信号输入的第一增益可变放大电路；四次分量发生部分，具有用于使得所述线性输入信号输入的根据权利要求 9 的四次分量发生电路以及用于使得该四次分量发生电路的输出信号输入的第二增益可变放大电路；以及相加电路，用于相加所述四次分量发生部分、所述三次分量发生部分、所述线性分量发生部分和所述零次分量发生部分的输出信号。

于是，可以产生具有高精确度的近似四次函数。

根据本发明权利要求 14 的近似五次函数发生装置，其特征在于，包括：零次分量发生部分，用于使得恒定输入信号输入并产生恒定分量；线性分量发生部分，用于使得线性输入信号输入并产生线性分量；三次分量发生部分，具有用于使得所述线性输入信号输入的根据权利要求 2 或权利要求 4 的三次分量发生电路以及用于使得该三次分量发生电路的输出信号输入的第一增益可变放大电路；四次分量发生部分，具有用于使得所述线性输入信号输入的根据权利要求 9 的四次分量发生电路以及用于使得该四次分量发生电路的输出信号输入的第二增益可变放大电路；五次分量发生部分，具有用于使得所述线性输入信号输入的根据权利要求 5 或权利要求 6 的五次分量发生电路以及用于使得该五次分量发生电路的输出信号输入的第三增益可变放大电路；以及相加电路，用于相加所述五次分量发生部分、所述四次分量发生部分、所述三次分量发生部分、所述线性分量发生部分和所述零次分量发生部分的输出信号。

于是，可以产生具有高精确度的近似五次函数。

根据本发明权利要求 15 的近似 n 次函数发生装置，其特征在于，使得所述线性输入信号输入，输出与 n 次函数成比例的 n 次输出信号，该 n 次函数由 n 次多项式表示且该 n 次多项式中不包括二次项。

于是，可以对所述三次分量主要部分进行补偿，并使用接近其拐点的拐点 x_0 。由于除了三次之外的 $n \geq 4$ 的 n 次分量变得更小，还可以使用所述常用拐点 x_0 作为所述结构并实现偏移量 + 线性分量 + 三次分量 + 修正的高次分量的结构，从而减少对电路规模的影响。

根据本发明权利要求 16 的温度函数发生电路，其特征在于，包括温度探测电路以及用于使得该温度探测电路的探测信号输入的根据权利要求 15 的近似 n 次函数发生装置。

于是，可以构造这样的温度函数发生电路，其能够向所述近似 n 次函数发生装置提供作为输入信号的所述温度探测电路的探测信号，该电路还可以产生能够修正晶体温度特性的电压。

根据本发明权利要求 17 的温度补偿晶体振荡电路，其特征在于，包括根据权利要求 16 的温度函数发生电路以及用于使得产生于该温度函数发生电路的近似 n 次函数输入的晶体振荡电路。

于是，可以构造能够进行具有高精确度温度补偿的温度补偿晶体振荡电路。

根据本发明权利要求 18 的温度函数发生电路，其特征在于，包括温度探测电路以及用于使得该温度探测电路的探测信号输入的根据权利要求 10 或 11 的近似 n 次函数发生装置。

于是，可以构造这样的温度函数发生电路，其能够产生通过使用所述具有高精确度的近似 n 次函数发生装置来修正所述晶体温度特性的电压。

根据本发明权利要求 19 的温度补偿晶体振荡电路，其特征在于，包括根据权利要求 18 的温度函数发生电路以及用于使得产生于该温度函数发生电路的近似 n 次函数输入的晶体振荡电路。

于是，可以构造能够进行具有高精确度的温度补偿的温度补偿晶体振

荡电路。

根据本发明权利要求 20 的温度函数发生电路,其特征在于,包括温度探测电路以及用于使得该温度探测电路的探测信号输入的根据权利要求 12 的近似三次函数发生装置。

于是,可以构造专用于所述三次函数的温度函数发生电路。

根据本发明权利要求 21 的温度补偿晶体振荡电路,其特征在于,包括根据权利要求 20 的温度函数发生电路以及用于使得产生于该温度函数发生电路的近似三次函数输入的晶体振荡电路。

于是,可以构造专用于所述三次函数的温度补偿晶体振荡电路。

根据本发明权利要求 22 的温度函数发生电路,其特征在于,包括温度探测电路以及用于使得该温度探测电路的探测信号输入的根据权利要求 13 的近似四次函数发生装置。

于是,可以构造专用于所述四次函数的温度函数发生电路。

根据本发明权利要求 23 的温度补偿晶体振荡电路,其特征在于,包括根据权利要求 22 的温度函数发生电路以及用于使得产生于该温度函数发生电路的近似四次函数输入的晶体振荡电路。

于是,可以构造专用于所述四次函数的温度补偿晶体振荡电路。

根据本发明权利要求 24 的温度函数发生电路,其特征在于,包括温度探测电路以及用于使得该温度探测电路的探测信号输入的根据权利要求 14 的近似五次函数发生装置。

于是,可以构造专用于所述五次函数的温度函数发生电路。

根据本发明权利要求 25 的温度补偿晶体振荡电路,其特征在于,包括根据权利要求 24 的温度函数发生电路以及用于使得产生于该温度函数发生电路的近似五次函数输入的晶体振荡电路。

于是,可以构造专用于所述五次函数的温度补偿晶体振荡电路。

根据本发明权利要求 26 的温度补偿调整方法,其特征在于,对于包括了含有温度探测电路和近似 n 次函数发生装置 (n 为 3 或大于 3 的整数) 的温度补偿电路以及压控晶体振荡电路的温度补偿晶体振荡电路而言,当

对其进行温度补偿调整时，在预定温度环境中进行在所述温度补偿电路的输出电压 VC_{OUT} 的 n 次分量 VC_{OUTn} 到零次分量 VC_{OUT0} 上的测量，并且还在期望温度补偿范围内的多个温度进行输入电压 VC_{IN} 上的测量，其中从所述压控晶体振荡电路输出的振荡频率在该电压上与预置选择频率相配，而且所述测得的输出电压 VC_{OUT} 的 n 次分量 VC_{OUTn} 在每一个温度上近似为温度 T 的函数：

$$VC_{OUTn}'(T) = VC_{OUTn}(T) - VC_{OUT0}(T),$$

并且所述输出电压 VC_{OUT} 可以被描述为所述温度 T 的函数：

$$\begin{aligned} VC_{OUT}(T) = & \alpha_n VC_{OUTn}'(T + \Delta T) + \dots \dots \dots \\ & + \alpha_3 VC_{OUT3}'(T + \Delta T) + \alpha_1 VC_{OUT1}'(T + \Delta T) \\ & + VC_{OUT0}'(T + \Delta T) + \alpha_0, \end{aligned}$$

并且所述温度补偿电路的系数 α_n 到 α_3 ， α_1 ， α_0 和 ΔT 被调整使得所述输入电压 VC_{IN} 与在每一个所述温度上测得的输出电压 VC_{OUT} 相配。

于是，可以获得允许所述具有高精确度的温度补偿的效果。另外，可以通过独立测量各次以获得详细而且正确的数据。并且通过考虑各次分量的误差之外的误差可以基于实际数据计算更佳的系数。此外，不仅对于近似三次函数电路，而且对于 $n \geq 4$ 的近似 n 次函数发生电路均可以通过一次温度扫描实现对所述温度补偿的精确调整。

附图说明

图 1 为框图，示出了将本发明应用到温度补偿晶体振荡电路的实施例；

图 2 为框图，示出了采用近似五次函数发生装置的温度补偿晶体振荡电路的具体例子；

图 3 为框图，示出了采用近似四次函数发生装置的温度补偿晶体振荡电路的具体例子；

图 4 为电路图，示出了图 1 中的 n 次分量发生部分的例子；

图 5 为电路图，示出了可被用于图 4 电路的五次分量发生电路的例子；

图 6 为原理电路图，用于解释图 5 中的五次分量发生电路如何工作；

图 7A 和 7B 为特性图，示出了每一差分对的输出特性，以解释图 5 中的五次分量发生电路的部分如何工作；

图 8 是图 5 的输出波形图；

图 9A 到 9D 为输出波形图，用于解释图 5 中的五次分量发生电路如何工作；

图 10 为电路图，示出了可被应用于图 4 电路的四次分量发生电路的例子；

图 11A 到 11D 为输出波形图，用于解释图 10 中的四次分量发生电路如何工作；

图 12 为电路图，示出了可被应用于图 4 电路的三次分量发生电路的基本部分；

图 13A 到 13E 为输出波形图，用于解释图 12 中的三次分量发生电路的基本部分如何工作；

图 14 为电路图，示出了适合于扩展输入电压范围情形的三次分量发生电路的例子；

图 15A 到 15E 为输出波形图，用于解释图 14 中的三次分量发生电路如何工作；

图 16 为框图，示出了可被应用于图 1 到 3 电路的线型函数发生部分；

图 17 为示图，示出了晶体谐振器对温度的频率特性；

图 18 为框图，示出了常规例子；

图 19 为示图，示出了要输入到压控晶体振荡器的控制电压的温度特性；

图 20 为特性图，示出了常规近似表达式的特性；

图 21 为特性图，示出了本发明的近似表达式的特性。

具体实施方式

以下将基于附图描述本发明的实施例。

首先，给出本发明的近似 n 次函数发生装置的规则。

n 阶函数一般可以用如下公式 (5) 表示。

$$\begin{aligned} f(x) &= a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x + a_0 \\ &= a_n' (x - x_0)^n + a_{n-1}' (x - x_0)^{n-1} + \dots + a_3' (x - x_0)^3 + a_1' (x - x_0) + a_0' \quad \dots \quad (5) \end{aligned}$$

作为具体例子，五次函数可以用如下公式 (6) 表示。

$$\begin{aligned} f(x) &= a_5 x^5 + a_4 x^4 + a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x + a_0 \\ &= a_5' (x - x_0)^5 + a_4' (x - x_0)^4 + a_3' (x - x_0)^3 + a_1' (x - x_0) + a_0' \quad \dots \quad (6) \end{aligned}$$

公式 (6) 中系数间的关系如下。

$$\begin{aligned} a_5' &= a_5 \\ a_4' &= a_4 + 5a_5 x_0 \\ a_3' &= a_3 + 4a_4 x_0 + 10a_5 x_0^2 \\ a_1' &= a_1 - 3a_3 x_0 - 8a_4 x_0^3 - 15a_5 x_0^4 \\ a_0' &= a_0 + a_1 x_0 - 2a_3 x_0^3 - 5a_4 x_0^4 - 9a_5 x_0^5 \end{aligned}$$

另外， x_0 是以下三次方程的根。

$$10a_5 x_0^3 + 6a_4 x_0^2 + 3a_3 x_0 + a_2 = 0$$

对于该 x_0 而言，可以获得一个或三个根，因此，应当选择一个接近假定值的值。在公式 (6) 中的 x_0 由于此变换变为“29”，即近似等于拐点，近似为三次函数在正常补偿温度范围中心附近的相同数据。因此，在这种电路结构中三次分量为主要分量而四次和五次分量变得很小，从而使得该电路结构具有优势。

四次函数可以用如下公式 (7) 表示。

$$\begin{aligned} f(x) &= a_4 x^4 + a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x + a_0 \\ &= a_4' (x - x_0)^4 + a_3' (x - x_0)^3 + a_1' (x - x_0) + a_0' \quad \dots \quad (7) \end{aligned}$$

公式 (7) 中系数间的关系如下。

$$\begin{aligned} a_4' &= a_4 \\ a_3' &= a_3 + 4a_4 x_0 \\ a_1' &= a_1 - 3a_3 x_0^2 - 8a_4 x_0^3 \\ a_0' &= a_0 + a_1 x_0 - 2a_3 x_0^3 - 5a_4 x_0^4 \end{aligned}$$

另外， x_0 是以下二次方程的根。

$$6a_4 x_0^2 + 3a_3 x_0 + a_2 = 0$$

对于该 x_0 而言，可以获得两个根，于是可以选择一个接近曲线中心的值。因此， x_0 为“31”，即近似等于拐点，近似为三次函数在正常补偿温度范围中心附近的相同数据。此外，各次（分量）表示于前述公式（7）时如图 21 所示，使得所述四次分量在 $\pm 3\text{ppm}$ 之间。于是，如果公式的表示中无二次分量，如公式（6）或（7），那么主要分量为三次分量和线性分量，并且还仅存在具有近似等于所述三次分量拐点的拐点的高次分量。由于用于产生控制电压的电路的动态范围与此相等，其结构是非常具有优势的。

图 1 为框图，示出了根据本发明的温度补偿晶体振荡电路的实施例。

在图 1 中，参考数字 1 表示温度探测电路，该电路的模拟输出电压对于温度变化线性函数地变化。并且归因于从温度探测电路 1 输出的模拟电压的已探测温度值作为输入信号 V_{IN} 输入到近似 n 次函数发生装置 2 以产生用于补偿晶体的温度特性的电压并将之提供给压控晶体振荡器（VCXO）3。

在此，近似 n 次函数发生装置 2 产生由前述公式（5）的 n 次函数所表示的电压。该近似 n 次函数发生装置 2 使得输入信号 V_{IN} 输入其中，且该装置包括：用于只产生前述公式（5）中的第一项的 n 次分量的 n 次分量发生部分 6n，用于只产生前述公式（5）中的第 $n-2$ 项的三次分量的三次分量发生部分 6B，用于只产生前述公式（5）中的第 $n-1$ 项的线性分量的线性分量发生部分 6A，以及用于将 n 次分量发生部分 6n，三次分量发生部分 6B 和线性分量发生部分 6A 的输出信号相加的相加电路 4。

所述近似 n 次函数发生装置 2 能够将 n 设置为任意高次。从具体的例子来说，所述温度补偿晶体振荡电路通过采用如图 2 所示的近似五次函数发生装置 2A 或如图 3 所示的近似四次函数发生装置而构成。

更具体的说，关于图 2 中的温度补偿晶体振荡电路，其中的近似五次

函数发生装置 2A 除了具有图 1 中的前述构造中的相加电路 4、零次分量发生部分 5、线性分量发生部分 6A 以及三次分量发生部分 6B 之外，还具有四次分量发生部分 6C 和五次分量发生部分 6D，其中线性分量发生部分 6A、三次分量发生部分 6B、四次分量发生部分 6C 和五次分量发生部分 6D 的输出信号由相加电路 4 相加。

关于图 3 中的温度补偿晶体振荡电路，近似四次函数发生装置 2B 由图 2 中的结构去掉所述五次分量发生部分 6D 后构成。

如图 4 所示，图 1 到 3 中的三次分量发生部分 6B、四次分量发生部分 6C、五次分量发生部分 6D……以及 n 次分量发生部分 $6n$ 的每一个包括用于只产生三次、四次、五次…… n 次分量中一个分量的 n 次分量发生电路 9，用于输入该 n 次分量发生电路 9 的输出的增益可变放大电路 11 以及用于向 n 次分量发生电路 9 提供后文将提及的恒定电平信号 V_{REFL1} 到 V_{REFH2} 的恒定电平信号发生电路 20。

此处，五次分量发生电路将被作为奇函数的例子加以叙述。如图 5 所示，所述五次分量发生电路包括：电流镜电路 14，该电流镜电路 14 包括 MOS 场效应晶体管 Tr_0 ，其栅极和漏极经由恒流源 13 连接到电源正极端 VDD，其源极接地到 VSS，该电路 14 还包括各自栅极与 MOS 场效应晶体管 Tr_0 的栅极相连的六个 MOS 场效应晶体管 Tr_1 到 Tr_6 ；构成第一到第六放大器的六个差分放大器 15A 到 15F，从电流镜电路 14 为它们提供恒定电流；具有相同电阻值的电阻 16A 和 16B，用于构成将差分放大器 15A 到 15F 的输出电流相加的加法器；以及差分放大器 12，用于获得所述输出的电流差。差分放大器 15A 到 15F 上施加了来自于恒定电平信号发生电路 20 的不同的恒定电平参考电压 V_{REFH1} ， V_{REFH2} ， V_{REFM} ， V_{REFL2} 和 V_{REFL1} 。

此处，差分放大器 15A 具有分别经由电阻 RA_1 和 RA_2 串联到电流镜电路 14 的 MOS 场效应晶体管 Tr_1 漏极的 MOS 场效应晶体管 Tr_{A1} 和 Tr_{A2} 。输入信号 V_{IN} 被加到晶体管 Tr_{A1} 的栅极上，恒定电平参考电压 V_{REFM} 被加到晶体管 Tr_{A2} 的栅极上，并且晶体管 Tr_{A1} 的漏极经由构成所述加法器的电阻之一的电阻 16A 和 MOS 场效应晶体管 17 连接到电源正极端 VDD，该 MOS 场效应晶

晶体管 17 用于从其栅极接收差分放大器 12 的输出，同时晶体管 TrA_2 的漏极经由构成所述加法器的另一个电阻 16B 连接到电源正极端 VDD。

同样地，差分放大器 15B 也具有分别经由电阻 RB_1 和 RB_2 串联到电流镜电路 14 的 MOS 场效应晶体管 $Tr2$ 漏极的 MOS 场效应晶体管 TrB_1 和 TrB_2 。输入信号 V_{IN} 被加到晶体管 TrB_1 的栅极上，恒定电平参考电压 V_{REFM} 被加到晶体管 TrB_2 的栅极上。与前述差分放大器 15A 相反，晶体管 TrB_1 的漏极经由构成所述加法器的另一个电阻 16B 连接到电源正极端 VDD，同时晶体管 TrB_2 的漏极经由 MOS 场效应晶体管 17 和构成所述加法器的电阻之一的电阻 16A 连接到电源正极端 VDD，从而具有与其它差分放大器 15A、15C、15D、15E 和 15F 相反的特性。

差分放大器 15C、15D、15E 和 15F 也具有与差分放大器 15A 相同的结构，并分别地输入由恒定电平信号发生电路 20 产生的恒定电平参考电压 V_{REFL1} ， V_{REFH1} ， V_{REFL2} 和 V_{REFH2} 。并且 MOS 场效应晶体管 TrA_1 、 TrB_2 、 TrC_1 、 TrD_1 、 TrE_1 和 TrF_1 经由 MOS 场效应晶体管 17 连接到构成所述加法器的电阻 16A，其中电阻 16 和晶体管 17 的连接点连接到运算放大器 12 的反相输入端。

施加到差分放大器 15A 到 15F 的恒定电平参考电压 V_{REFH1} 到 V_{REFL1} 的大小被设置为 $V_{REFH2} > V_{REFH1} > V_{REFM} > V_{REFL1} > V_{REFL2}$ ，并且差分放大器 15B 也被施加有与差分放大器 15A 相同的电压，恒定电平参考电压 V_{REFM} 。

通过电阻 16A 和 16B 的同相 (normal rotation) 输出电流 I_{POUT} 与经由差分放大器 15A 到 15F 的 MOS 场效应晶体管 TrA_1 到 TrF_1 、电阻 RA_1 到 RF_1 及 MOS 场效应晶体管 $Tr1$ 到 $Tr6$ 通过地 VSS 的反相输出电流 I_{NOUT} 之间的差电流，作为输出电流 I_{OUT} 从所述五次分量发生电路的输出端 18 输出。输出电流 I_{OUT} 被施加到运算放大器 OPA 的反相输入端，该运算放大器 OPA 与经由负反馈嵌入的可变电阻 VR 构成增益可变放大电路 11。由恒定电压发生电路 10 产生的恒定电压 V_{OFF} 被施加到运算放大器 OPA 的同相输入端 (normal rotation input side)，并且可以获得只有五次分量而不包含线性分量的输出 $V5_{OUT}$ ，如以下公式 (8) 所表示。

$$V5_{OUT} = B5(V_{IN} - V_{OFF})^5 \quad \dots\dots\dots (8)$$

在此，系数 B5 由所述五次分量发生电路的增益和所述增益可变放大电路 11 的增益所决定。

下面将具体描述所述五次分量发生电路是如何工作的。

为了简化对所述五次分量发生电路的电路工作的描述，可以从如图 6 所示的一个差分放大器 15C 着手进行描述。当处于输入电压 V_{IN} 足够小于参考电压 V_{REFL1} 的状态时，所有通过 MOS 场效应晶体管 Tr3 的电流将通过 MOS 场效应晶体管 TrC_2 。

由于这个原因，如果电流镜电路 14 的恒定电流值为 I_0 ，那么通过 MOS 场效应晶体管 TrC_2 的电流 $I_{C2} = I_0$ ，并且通过 MOS 场效应晶体管 TrC_1 的电流 $I_{C1} = 0$ 。因此，电流 I_{NOUT} 和电流 I_{POUT} 变为 I_0 和 0，如图 7A 中的虚线和实线所示。

在这一状态下，如果输入电压 V_{IN} 增加并超过 V_{CL} ，其中 V_{CL} 为恒定电平参考电压 V_{REFL1} 减去作为电阻 RC_2 上的压降的 $I_0 \cdot RC_2$ ，输出电流 I_{C2} 将逐渐且平滑地减少。与此相反，输出电流 I_{C1} 平滑地增加，并且如果输入电压 V_{IN} 变成与恒定电平参考电压 V_{REFL1} 相等，输出电流 I_{C1} 和 I_{C2} 将也变成相等。如果输入电压 V_{IN} 进一步升高，输出电流 I_{C2} 保持减少的趋势且输出电流 I_{C1} 保持增加的趋势。并且如果输入电压 V_{IN} 等于或超出 V_{CH} ，其中 V_{CH} 为恒定电平参考电压 V_{REFL1} 加上作为电阻 RC_1 上的压降的 $I_0 \cdot RC_1$ ，相反地输出电流 I_{C2} 变为 0 且输出电流 I_{C1} 变为 I_0 。

最终，在图 7B 的输出特性中，就仅由电阻 RC_1 和 RC_2 的电阻值 RC 及电流镜电路 14 的恒定电流值 I_0 所决定的晶体管特性而言，在 $V_{REFL1} \pm I_0 \cdot RC$ 附近的输出只有平滑变化。

下面，为简化对图 5 中五次分量发生电路工作的描述，考虑除了差分放大器 15A、15E 和 15F 之外的电路。当输入电压 V_{IN} 足够小于恒定电平参考电压 V_{REFL1} ($V_{IN} \ll V_{REFL1}$) 时，如前所述，所有通过 MOS 场效应晶体管 Tr3 的电流将通过差分放大器 15C 中的 MOS 场效应晶体管 TrC_2 ，使得 $I_{C2} = I_0$ ， $I_{C1} = 0$ 。同样地，在差分放大器 15B 和 15D 中，变成 $I_{B2} = I_{D2} = I_0$ ， $I_{B1} = I_{D1} = 0$ ，并且相加电流 $I_{POUT} = 2I_0$ 且 $I_{NOUT} = I_0$ 。

并且如果输入电压 V_{IN} 增加, 电流开始通过 MOS 场效应晶体管 TrC_1 并且通过 MOS 场效应晶体管 TrC_2 的电流开始相应减少。如果输入电压 V_{IN} 等于恒定电平参考电压 V_{REFL1} , 则变为 $I_{C1} = I_{C2} = I_0/2$ 。若此状态不改变, 则使得其它差分放大器 15B 和 15D 有, 输出电流 I_{NOUT} 和 I_{POUT} 由此变为 $I_{NOUT} = I_{POUT} = 3I_0/2$ 。如果输入电压 V_{IN} 进一步升高, 将变成 $I_{C2} = 0$, $I_{C1} = I_0$, 使得输出电流 I_{POUT} 和 I_{NOUT} 因此变为 $I_{POUT} = I_0$ 和 $I_{NOUT} = 2I_0$ 。

如果输入电压 V_{IN} 进一步增加, 电流开始通过差分放大器 15B 的 MOS 场效应晶体管 TrB_1 并且通过 MOS 场效应晶体管 TrB_2 的电流开始减少。如果输入电压 V_{IN} 等于恒定电平参考电压 V_{REFM} , 则变为 $I_{B1} = I_{B2} = I_0/2$ 。并且输出电流 I_{POUT} 和 I_{NOUT} 再次变为 $I_{NOUT} = I_{POUT} = 3I_0/2$ 。

如果输出电压 V_{IN} 在变成 $I_{POUT} = 2I_0$ 且 $I_{NOUT} = I_0$ 后进一步增加, 电流开始通过差分放大器 15D 的 MOS 场效应晶体管 TrD_1 并且通过 MOS 场效应晶体管 TrD_2 的电流开始减少。如果输入电压 V_{IN} 等于恒定电平参考电压 V_{REFH1} , 则输出电流 I_{POUT} 和 I_{NOUT} 再次变为 $I_{POUT} = I_{NOUT} = 3I_0/2$ 。并且如果输入电压 V_{IN} 进一步增加, 它们会变为 $I_{POUT} = I_0$ 和 $I_{NOUT} = 2I_0$ 。

因此, 例如从 I_{NOUT} 侧来看, 第三差分放大器 15C 的输出电流 I_{C1} 直到输入信号 V_{IN} 的电压等于第三差分放大器 15C 的最小值 V_{CL} 时均为 0, 在该电压超过最小值 V_{CL} 时, I_{C1} 开始增加, 在该电压等于恒定电平参考电压 V_{REFL1} 时变为 $I_0/2$, 并随后根据输入信号 V_{IN} 的电压的增加而增加, 在该电压的最大值 V_{CH} 处达到 I_0 并变成饱和, 如图 8 中点线所示。

第二差分放大器 15B 的输出电流 I_{B2} 直到输入信号 V_{IN} 的电压等于第二差分放大器 15B 的最小值 V_{BL} (根据本实施例设置为与 V_{CH} 相等的值) 时均为 I_0 , 在该电压超过最小值 V_{BL} 时, I_{B2} 开始减少, 在该电压等于恒定电平参考电压 V_{REFM} 时变为 $I_0/2$, 并随后根据输入信号 V_{IN} 的电压的增加而减少, 在该电压的最大值 V_{BH} 或更大处保持为 0, 如图 8 中虚线所示。

此外, 第四差分放大器 15D 的输出电流 I_{D1} 直到输入信号 V_{IN} 的电压等于第四差分放大器 15D 的最小值 V_{DL} (根据本实施例设置为与 V_{BH} 相等的值) 时均为 0, 在该电压超过最小值 V_{DL} 时, I_{D1} 开始增加, 在该电压等于恒定电

平参考电压 V_{REFH1} 时变为 $I_0/2$ ，并随后根据输入信号 V_{IN} 的电压的增加而增加，在该电压的最大值 V_{DHI} 处达到 I_0 并变成饱和，如图 8 中实线所示。

由于第一差分放大器 15A 并未及时加在这一点上，负倾角的线性函数被加在奇函数上。

因此，对于与差分放大器 15C 和 15D 相同的结构，线性函数可以通过加入第一差分放大器 15A 的输出电流加以抵消，该输出电流的最小值 V_{ALI} 和最大值 V_{AHI} 的范围可以被很宽地设置。

更具体地，关于图 8 中的系列双点线所示的输入-输出特性，通过调整加在差分放大器 15A 的激励电流与电阻 RA_1 和 RA_2 以及优化区域和线型函数区域的倾角，使得最小值 V_{ALI} 与第三差分放大器 15C 的 V_{CLI} 相等，并使得最大值 V_{AHI} 与第四差分放大器 15D 的最大值 V_{DHI} 相等，从而获得无线性分量的输出电流。

此外，加入了与差分放大器 15C 结构相同的差分放大器 15E。加入该差分放大器是为了精确地实现所述五次函数的特性，这是因为该五次函数在输入电压 V_{IN} 非常远离恒定电平参考电压 V_{REFM} 的区域内，为具有对于 V_{IN} 的显著倾角的输出。

更具体地，通过将输入的恒定电平参考电压 V_{REFL2} 设置为小于输入到差分放大器 15C 的 V_{REFL1} 的值，可以增加所述激励电流值和增加所述电阻值，从而使得在输入电压 V_{IN} 小于最小值 V_{CLI} 的范围内对输入电压 V_{IN} 有更陡倾角的输出电流得以通过。同样地，通过将输入到与差分放大器 15D 结构相同的差分放大器 15F 的恒定电平参考电压 V_{REFH2} 设置为大于输入到差分放大器 15D 的 V_{REFH1} 的值，可以增加所述激励电流值和增加所述电阻值，从而使得在输入电压 V_{IN} 大于最大值 V_{DHI} 的范围内对输入电压 V_{IN} 有更陡倾角的输出电流得以通过。

如上所述，关于所述五次分量发生电路的输出电流 I_{OUT} ，差分放大器 15A 的输出如图 9C 所示，差分放大器 15B、15C 和 15D 的输出相加如图 9A 所示，差分放大器 15E 和 15F 的输出相加如图 9B 所示。如果将这些全部相加，将得到光滑的五次函数电流输出 I_{OUT} ，如图 9D 所示。因此，如图 4 所

示,如果所述恒定电压加到所述同相输入端并且五次函数电流输出 I_{OUT} 加到运算放大器 OPA 的反相输入端,其中该运算放大器 OPA 与经由负反馈嵌入的可变电阻 VR 构成增益可变放大电路 11,则可以从运算放大器 OPA 获得只有五次分量而不包括线性分量的输出 $V_{5_{OUT}}$ 。

于是,通过利用如上所述的六个差分放大器,可以适当地设置电路常数,从而只产生不包括线性分量的五次函数,如以下公式(9)所示。

$$V_{5_{OUT}} = B5(V_{IN} - V_{REFM})^5 \quad \dots\dots\dots (9)$$

这种电路结构也可以被应用到 n 次奇函数中。因此,可以通过适当地设置恒定电平参考电压 V_{REFL2} 和 V_{REFH2} ,电阻值 RE_1 、 RE_2 、 RF_1 和 RF_2 以及输入到差分放大器 15E 和 15F 的激励电流值并且进一步加入多个差分放大器以优化所述电阻值、参考电压和激励电流值,从而获得如以下公式(10)的输出。

$$V_{n_{OUT}} = Bn(V_{IN} - V_{REFM})^n \quad \dots\dots\dots (10)$$

更具体地,其应包括: i (i 为5或大于5的整数)个差分放大器,使得公共线性输入信号输入到一个输入端,预定电平的恒定电平信号输入到另一个输入端,输出与所述线性输入信号反相或同相的信号,并具有将输出信号限制到预定最大和最小值的限制函数;以及恒定电平信号发生电路,用于提供所述恒定电平信号到所述 i 个差分放大器的每一个,其中:所述 i 个差分放大器中的第一、第二和第三差分放大器被设置为使所述恒定电平信号以逐渐增加的更高电平依次输入;所述第一和第三差分放大器的输出信号与所述第二差分放大器的输出信号被设置为相互相反的极性;所述 i 个差分放大器中的第四差分放大器把要输入的恒定电平信号设置为与要输入到所述第二差分放大器的恒定电平信号有相同电平的信号,并将其输出信号设置为与所述第一和第三差分放大器的输出信号相同的极性而且还将所述输入信号为所述最大值和该输入信号为所述最小值的范围设置为比所述第二差分放大器的大;所述 i 个差分放大器中除了所述第一、第二、第三和第四差分放大器之外的($i-4$)个差分放大器中的每一个把要输入的恒定电平信号设置为低于要输入到所述第一差分放大器的恒定电平信号

的电平或高于要输入到所述第三差分放大器的恒定电平信号的电平，且所述 $(i-4)$ 个差分放大器的输出信号与所述第二差分放大器的输出信号被设置为相互相反的极性，于是将所述第一、第二、第三和所述 $(i-4)$ 个差分放大器的输出信号加起来以形成 k 次函数分量的输出信号 (k 为 7 或大于 7 的奇数)；并且所述第四差分放大器被构造用于形成线性分量输出信号，该线性分量用于抵消所述 n 次函数分量的线性分量，从而通过相加所述 i 个差分放大器的输出信号而产生不包括线性分量的 k 次函数分量。

下面，将四次分量发生电路作为偶函数输出电路的例子加以描述。

图 10 示出了四次分量发生电路的例子。

所述四次分量发生电路包括：电流镜电路 14，该电流镜电路 14 包括 MOS 场效应晶体管 Tr_0 ，其栅极和漏极经由恒流源 13 连接到电源正极端 VDD，其源极接地到 VSS，该电路 14 还包括各自栅极与 MOS 场效应晶体管 Tr_0 的栅极相连的五个 MOS 场效应晶体管 Tr_1 到 Tr_5 ；构成恒流源电路的 MOS 场效应晶体管 Tr_6 ，其中恒定电流从电流镜电路 14 加到该电流源电路上；以及具有相同电阻值的电阻 16A 和 16B，作为用于将差分放大器 15A 到 15D 以及恒流源电路的输出电流相加的加法器。差分放大器 15A 到 15D 上施加了由恒定电平信号发生电路 20 产生的不同的恒定电平参考电压 V_{REFH1} ， V_{REFH2} ， V_{REFL2} 和 V_{REFL1} 。

此处，差分放大器 15A 具有分别经由电阻 RA_1 和 RA_2 串联到电流镜电路 14 的 MOS 场效应晶体管 Tr_1 漏极的 MOS 场效应晶体管 Tr_{A_1} 和 Tr_{A_2} 。输入信号 V_{IN} 被加到晶体管 Tr_{A_1} 的栅极上，恒定电平参考电压 V_{REFL1} 被加到晶体管 Tr_{A_2} 的栅极上。晶体管 Tr_{A_1} 的漏极经由构成所述加法器的电阻之一的电阻 16B 连接到电源正极端 VDD，同时晶体管 Tr_{A_2} 的漏极经由 MOS 场效应晶体管 17 和构成所述加法器的另一个电阻 16A 连接到电源正极端 VDD。

差分放大器 15B、15C 和 15D 具有相等的结构，在该结构中，由恒定电平信号发生电路 20 产生的恒定电平参考电压 V_{REFH1} ， V_{REFL2} 和 V_{REFH2} 被施加到晶体管 Tr_{B_2} 、 Tr_{C_2} 和 Tr_{D_2} 各自的栅极上。但是，差分放大器 15B 和 15D 被设置为具有与差分放大器 15A 和 15C 相反的特性。

所述恒定电平参考电压为 $V_{REFH2} > V_{REFH1} > V_{REFL1} > V_{REFL2}$ ，并且通过晶体管 TrC 和 TrD 的电流值被设置为大于 TrA 和 TrB 的电流值，例如 $I_A = I_B = I_0$ ， $I_C = I_D = 2I_0$ 。

由于单一差分放大器的行为与前面对五次分量发生电路所描述的行为相同，差分放大器 15A 和 15B 的输出 I_{OUT} 如图 11A 所示。此外，差分放大器 15C 和 15D 的输出如图 11B 所示。这些输出电流被图 4 中所示的可变电阻 VR 相加并转换为电压，从而获得所述四次函数相对于输入信号 V_{IN} 的输出。

当输入信号 V_{IN} 在所述四次函数的拐点 x_0 时，即，在恒定电平参考电压 V_{REFL1} 和 V_{REFH1} 之间，输出电流 I_{OUT} 变成 $I_{OUT} = I_{POUT} - I_{NOUT} = 2I_0 + I_0 + I_0 + 2I_0 = 6I_0$ ，从而使得其变成所述输出的零次分量。因此，为了抵消所述零次分量而向该电路施加了 $6I_0$ 的恒定电流。这可以通过从电流镜电路 14 向差分放大器 15A 到 15D 的每一个提供恒定电流来实现。这时，可以将构成所述加法器的一个电阻 16A 经由另一个 MOS 场效应晶体管 Tr6 连接到电流镜电路 14 的 MOS 场效应晶体管 Tr1 到 Tr5，其中输入信号 V_{IN} 输入到晶体管 Tr6 的栅极使得构成电流镜电路 14 的 MOS 场效应晶体管 Tr1 到 Tr5 的源极-漏极电压接近于另一个 MOS 场效应晶体管 Tr6 的源极-漏极电压，从而获得更精确的输出。

来自于所述恒定电流电路的输出电流如图 11C 所示。如果将全部电流输出相加，可以获得如图 11D 所示的四次函数电流输出 I_{OUT} 。可以将由恒定电压发生电路 10 产生的恒定电压 V_{OFF} 施加到运算放大器 OPA 的同相输入端，并且也可以将电流输出 I_{OUT} 施加到运算放大器 OPA 的反相输入端，该运算放大器 OPA 与经由负反馈嵌入的可变电阻 VR 构成如图 4 所示的增益可变放大电路 11，从而从运算放大器 OPA 获得只含有四次分量的输出 $V4_{OUT}$ 。

于是，可以如前所述利用所述四个差分放大器 15A 到 15D 以及所述恒定电流电路适当地设置电路常数，从而只产生不包括零次分量的四次函数，如以下公式 (11) 所示。

$$V4_{OUT} = B4(V_{IN} - V_{REFM})^4 \quad \dots\dots\dots (11)$$

这种电路结构也可以被应用到 m 次偶函数中。并且可以通过适当地设

置恒定电平参考电压 V_{REFL1} 、 V_{REFL2} 、 V_{REFH1} 和 V_{REFH2} 的值，电阻 RA_1 到 RD_2 以及输入到差分放大器 15A 到 15D 的激励电流值并且进一步加入多个差分放大器以优化所述电阻值、恒定电平参考电压和激励电流值，从而获得如以下公式 (12) 的输出。

$$V_{mOUT} = Bm (V_{IN} - V_{REFM})^m \dots\dots\dots (12)$$

更具体地，其应包括： j (j 为 4 或大于 4 的整数) 个差分放大器，其使得常用线性输入信号输入到一个输入端，预定电平的恒定电平信号输入到另一个输入端，输出与该线性输入信号反相或同相的信号，并具有将输出信号限制到预定最大和最小值的限制函数；用于输出恒定输出信号的恒定信号输出电路；以及恒定电平信号发生电路，用于提供所述恒定电平信号到所述 j 个差分放大器的每一个，其中：所述 j 个差分放大器中的第一、第二、第三和第四差分放大器被设置为使所述恒定电平信号以逐渐增加的更高电平依次输入；所述第一和第二差分放大器的输出信号与所述第三和第四差分放大器的输出信号被设置为相互相反的极性；于是将所述 j 个差分放大器的输出信号相加以形成 m 次函数分量的输出信号 (m 为 6 或大于 6 的偶数)；以及恒定信号输出电路，被构造以形成零次分量输出信号，该零次分量用于抵消所述 m 次函数分量的零次分量，从而通过相加所述 j 个差分放大器和所述恒定信号输出电路的输出信号而产生不包括零次分量的 m 次函数分量。

下面，对在将所述补偿温度范围扩展到更高或更低情况下的三次分量发生电路的改进例子进行描述。扩展所述温度的范围等价于扩展来自于温度探测电路 1 的输出电压的范围，也就是说，扩展所述三次分量发生电路的输入电压的范围。

如图 12 所示，目前所知的三次分量发生电路包括：电流镜电路 14，该电流镜电路 14 包括 MOS 场效应晶体管 Tr_0 ，其栅极和漏极经由恒流源 13 连接到电源正极端 VDD，其源极接地到 VSS，该电路 14 还包括各自栅极与 MOS 场效应晶体管 Tr_0 的栅极相连的四个 MOS 场效应晶体管 Tr_1 到 Tr_4 ；构成第一到第四放大器的四个差分放大器 15A 到 15D，所述恒定电流从电流

镜电路 14 被施加到这些放大器；以及具有相同电阻值的电阻 16A 和 16B，用于构成将差分放大器 15A 到 15D 的输出电流相加的加法器。差分放大器 15A 到 15D 上施加了不同的恒定电平参考电压 V_{REFH} ， V_{REFM} 和 V_{REFL} 。

此处，差分放大器 15A 具有分别经由电阻 RA_1 和 RA_2 串联到电流镜电路 14 的 MOS 场效应晶体管 $Tr1$ 漏极的 MOS 场效应晶体管 TrA_1 和 TrA_2 。输入信号 V_{IN} 被加到晶体管 TrA_1 的栅极上，恒定电平参考电压 V_{REFM} 被加到晶体管 TrA_2 的栅极上。晶体管 TrA_1 的漏极经由构成所述加法器的电阻之一的电阻 16A 和 MOS 场效应晶体管 17 连接到电源正极端 VDD，该 MOS 场效应晶体管 17 用于从其栅极接收差分放大器 12 的输出，同时晶体管 TrA_2 的漏极经由构成所述加法器的另一个电阻 16B 连接到电源正极端 VDD。

同样地，差分放大器 15B 也具有分别经由电阻 RB_1 和 RB_2 串联到电流镜电路 14 的 MOS 场效应晶体管 $Tr1$ 漏极的 MOS 场效应晶体管 TrB_1 和 TrB_2 。输入信号 V_{IN} 被加到晶体管 TrB_1 的栅极上，并且恒定电平参考电压 V_{REFM} 被加到晶体管 TrB_2 的栅极上。与前述差分放大器 15A 相反，晶体管 TrB_1 的漏极经由构成所述加法器的另一个电阻 16B 连接到电源正极端 VDD，同时晶体管 TrB_2 的漏极经由 MOS 场效应晶体管 17 和构成所述加法器的电阻之一的电阻 16A 连接到电源正极端 VDD，从而具有与其它差分放大器 15A、15C 和 15D 相反的特性。

差分放大器 15C 和 15D 具有与差分放大器 15A 相同的结构，输入信号 V_{IN} 加在属于它们各自的晶体管 TrC_1 和 TrD_1 的栅极上，且恒定电平参考电压 V_{REFL} 与 V_{REFH} 被加在晶体管 TrC_2 和 TrD_2 的栅极上。

差分放大器 15A 的输出电流 I_{OUT} 如图 13A 所示，差分放大器 15B 的输出电流 I_{OUT} 如图 13B 所示，差分放大器 15C 的输出电流 I_{OUT} 如图 13C 所示，且差分放大器 15D 的输出电流 I_{OUT} 如图 13D 所示。整个输出电流是这些输出电流 I_{OUT} 相加所得的结果，如图 13E 所示。该输出电流被加到所述运算放大器 OPA 的反相输入端，该运算放大器 OPA 与经由负反馈嵌入的可变电阻 VR 构成增益可变放大电路 11，并且所述恒定电压被施加到该运算放大器 OPA 的同相输入端，从而获得只有三次分量而不包含线性分量的输出 $V3_{OUT}$ ，如以

下公式 (13) 所表示。

$$V_{3\text{OUT}} = B3(V_{\text{IN}} - V_{\text{OFF}})^3 \dots\dots\dots (13)$$

在此，系数 B3 由所述三次分量发生电路的增益和所述增益可变放大电路 11 的增益所决定。

但是，在例如关于所述三次分量发生电路只将输入电压的范围扩展为更高的情形，输入电压 V_{IN} 在如图 13E 所示的高位显著偏离所述三次分量发生电路。这是因为差分放大器 15D 的输出变为饱和。

由于这个原因，必须修正输入恒定电平参考电压 V_{REFH} 的差分放大器 15D 的输出。

在此，加入了用于输入恒定电平参考电压 V_{REFH2} 的差分放大器 15E。改进后的三次分量发生电路如图 14 所示。但是，将恒定电平参考电压设置为 $V_{\text{REFH2}} > V_{\text{REFH}}$ 。可以通过将差分放大器 15C、15D 和 15E 的激励电流 I_{C0} 、 I_{D0} 和 I_{E0} 设置为 $I_{\text{C0}} = I_{\text{D0}} + I_{\text{E0}}$ 来抵消零次分量。

首先，差分放大器 15A、15B 和 15C 具有相同的结构，使得其输出分别如图 15A、15B 和 15C 所示。且差分放大器 15D 的输出以图 15D 中的实线表示，而差分放大器 15E 的输出如图 15D 所示。可以通过在差分放大器 15D 变成饱和的点的附近加上差分放大器 15E 的输出电流，以修正输入电压 V_{IN} 在高位从所述三次分量发生电路的显著偏离，从而相加全部所得的输出结果如图 15E 所示。

于是，通过适当地设置电阻值 RD_1 、 RD_2 、 RF_1 和 RF_2 以及各差分放大器的恒定电平参考电压 V_{REFH} 和 V_{REFH2} ，可以构造用于获得更好的三次函数的三次分量发生电路，对于该函数只将输入电压 V_{IN} 的范围扩展为更高。

如图 16 所示，线性分量发生部分 16A 包括：可变电阻 VR，连接在用于使输入信号 V_{IN} 输入的输入端 t_{IN} 和恒定电平参考电压输入端 t_{R} 之间；同相放大器（normal rotation amplifier），其同相输入端与可变电阻 VR 的滑触臂相连，并经由电阻 R_1 将恒定电平参考电压输入端 t_{R} 提供到其反相输入端，而且其输出信号经由电阻 R_2 返回到其反相输入端，其中所述三次分量发生电路的恒定电平参考电压 V_{REFM} 被施加到参考电压输入端 t_{R} 。

根据线性分量发生部分 6A，输入信号 V_{IN} 被同相放大器 20 放大，其中同相放大器 20 的输出电压 $V_{B_{OUT}}$ 可以用以下公式表示。

$$V_{B_{OUT}} = B1(V_{IN} - V_{REFM}) \quad \dots\dots\dots(14)$$

在此，系数 B1 由可变电阻 VR 的设置值和同相放大器 20 的增益决定。

前述图 1 表示本发明的温度补偿晶体振荡电路的例子。用在该电路中的晶体谐振器具有如图 17 所示的相对于温度的振荡频率的温度特性。该特性通常可以用如以下公式 (15) 的多项式表示。

$$Y = a_n(t-t_0)^n + a_{n-1}(t-t_0)^{n-1} + \dots\dots\dots + a_3(t-t_0)^3 + a_1(t-t_0) + a_0 \quad \dots\dots\dots(15)$$

此特性依赖于所述晶体谐振器和所述压控晶体振荡电路的特性。当今被广泛采用的压控晶体振荡电路的电压 - 频率特性可以被近似为线性函数。因此，相对于晶体谐振器的温度的频率特性可以通过相对于该温度的电压特性来实现。因此，在图 1 的实施例中，可以用近似 n 次函数发生装置 2 基于温度探测电路 1 的温度探测信号产生等于公式 (15) 右手侧项的电压，还可以用每一个 n 次分量发生部分中的增益可变放大电路 11 对每一次的系数 a_0 到 a_n 中的独立变量的增益进行调整，也可以进行微调，用所述相加电路相加经过微调的所述电压，以及获得相应于对所述晶体谐振器的温度的频率特性的所述压控晶体振荡电路的控制电压，从而提供所述控制电压到压控晶体振荡电路 3，并且由此正确地补偿包含在该电路中的晶体谐振器的温度依赖。

更准确地说，图 1 中的近似 n 次函数发生装置 2 和压控晶体振荡器 (VCXO) 3 分离地贮放在恒温加热炉中，该恒温加热炉的温度然后被设置为在进行温度补偿的期望范围内的任意温度 t_1 。随着所述恒温加热炉的温度被稳定地设置在预设温度 t_1 ，压控晶体振荡器 3 的输入电压 $V_{C_{IN}}$ 被改变以测量输入信号 $V_{C_{IN}}(t_1)$ ，在该输入信号下输出信号的频率与预设频率相配，并且还可以测量关于每一单独次的近似 n 次函数发生装置 2 的输出电压 $V_{C_{OUTn}}(t_1)$ 。更具体地说，通过将其它分量的增益设置为零并实现只能获得一个分量的输出，可以进行精确测量。于是，n 次到三次数据以及线性和零次数据被作为近似 n 次函数发生装置 2 的输出电压得到。

在继续地改变所述恒温加热炉的预设温度的同时，多次地重复上述测量过程，从而测量压控晶体振荡器 3 的输入电压 $VC_{IN}(t_1)$ 到 $VC_{IN}(t_m)$ 以及测量近似 n 次函数发生装置 2 在预设温度 (t_1 到 t_n) 的输出电压 $VC_{OUT1}(t_1)$ 到 $VC_{OUTm}(t_m)$ 。

下面，近似 n 次函数发生装置 2 的输出电压 $VC_{OUTn}(t_1)$ 到 $VC_{OUTn}(t_m)$ 减去各自的零次分量 $VC_{OUT0}(t_1)$ 到 $VC_{OUT0}(t_m)$ 后近似为如以下公式 (16) 的温度函数。这是因为，由于近似 n 次函数发生装置 2 的输出电压 VC_{OUTn} 包括由零次分量发生部分产生的零次分量 VC_{OUT0} ，该零次分量（偏移）应该被去除以获得更正确的 n 次分量 VC_{OUTn} 并允许更精确的调整。在这种情形下，并不限于近似函数，而可以根据所述数据任意地确定。各次数据被独立地获得以增加用于所述调整的信息并允许高精度调整。

$$VC_{OUTn}'(t) \equiv VC_{OUTn}(t) - VC_{OUT0}(t) \dots\dots\dots (16)$$

随后，通过调整系数 a_n 到 a_0 和 Δt 使得如以下公式 (17) 所示的函数 $VC_{OUT}(t)$ 与在每一个所述温度所测得的输入电压 $VC_{IN}(t_1)$ 到 $VC_{IN}(t_m)$ 相配，以进行所述温度补偿。

$$\begin{aligned} VC_{OUT}(t) = & \alpha_n VC_{OUTn}'(t + \Delta t) + \dots\dots\dots \\ & + \alpha_3 VC_{OUT3}'(t + \Delta t) + \alpha_1 VC_{OUT1}'(t + \Delta t) \\ & + VC_{OUT0}'(t + \Delta t) + \alpha_0 \dots\dots\dots (17) \end{aligned}$$

更具体地，通过设置在 n 次分量发生部分的增益可变放大电路 11 进行增益调整以获得系数 a_n ，并且通过在所述相加电路加入用于获得系数 a_0 的恒定电压值来调整零次分量。修正值 Δt 通过调整温度探测电路 1 的偏移来进行调整。

可以测量压控晶体振荡器 3 的输入电压 VC_{IN} 以及温度补偿电路输出电压，即，分别测量近似 n 次函数发生装置 2 的每一次的输出电压 VC_{OUTn} 到 VC_{OUT0} ，并基于这些测量结果调整近似 n 次函数发生装置 2，从而只需进行一次温度扫描工作即可实现高精度温度补偿。

通过对上述内容的理解，很容易通过使用对诸如前述的公式 (5) 的描述，来实现用于产生所述近似 n 次函数的输出电压的近似 n 次函数发生装

置。而且例如在将前述结构作为所述晶体振荡器的温度补偿电路的情形下，也很容易对该结构进行调整。对于奇函数和偶函数均可以设计具有高精度的上述结构的各次分量发生装置。而且通过使用上述调整方法，既可以调整目前所知的近似三次函数发生装置，也可以调整具有更高精确度的 $n \geq 4$ 的近似 n 次函数发生装置 2。

同样，也可以在采用了如图 2 所示的近似五次函数发生装置 2A 的温度补偿晶体振荡电路中进行与上述相同的调整方法，从而对专用于所述近似五次函数的温度补偿晶体振荡电路进行高精度温度补偿。

此外，可以在采用了如图 3 所示的近似四次函数发生装置 2B 的温度补偿晶体振荡电路中进行与上述相同的调整方法，从而对专用于所述近似四次函数的温度补偿晶体振荡电路进行高精度温度补偿。

前述的实施例是关于在所述近似 n 次函数发生电路使用 MOS 场效应晶体管的情形，但是，并不限于此，还可以在其中使用其它有源元件，诸如二极管。

前述的实施例是关于接地标准（ground standard）的情形，但是，并不限于此，还可以采用 VDD 标准。

此外，前述的实施例是关于从每一次分量发生装置的输出为电流输出的情形。但是，并不限于此，必然地，还可以采用电压输出。

工业实用性

可以通过采用所述 n 次函数发生装置产生具有高精度的 n 次函数，且可以通过将所述 n 次函数发生装置用到所述温度补偿晶体振荡电路中进行高精度温度补偿。

通过采用所述温度补偿调整方法可以进行高精度温度补偿。另外，通过分别测量各次可以获得详细而且正确的数据。并且通过考虑各次分量误差之外的误差可以基于实际数据计算更佳的系数。此外，不仅对于目前已知的近似三次函数发生部分，而且对于 $n \geq 4$ 的近似 n 次函数发生部分均可以通过一次温度扫描实现对温度补偿的精确调整。

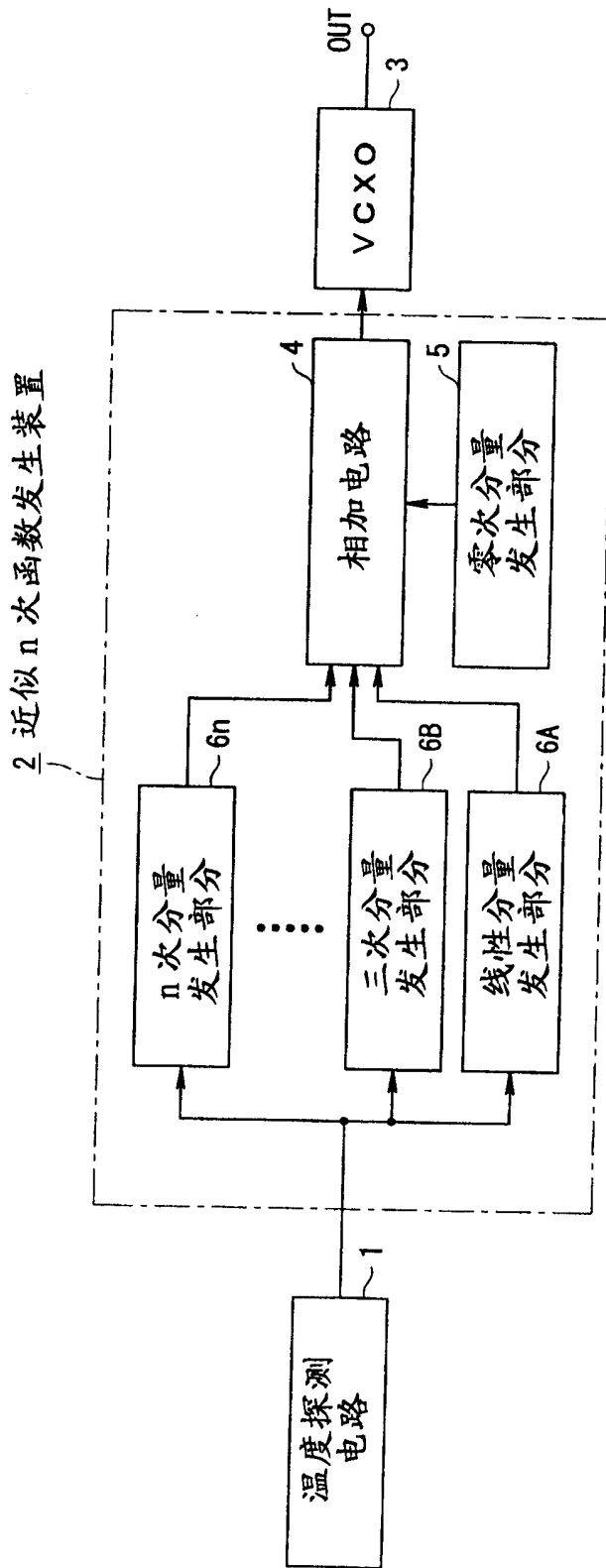


图1

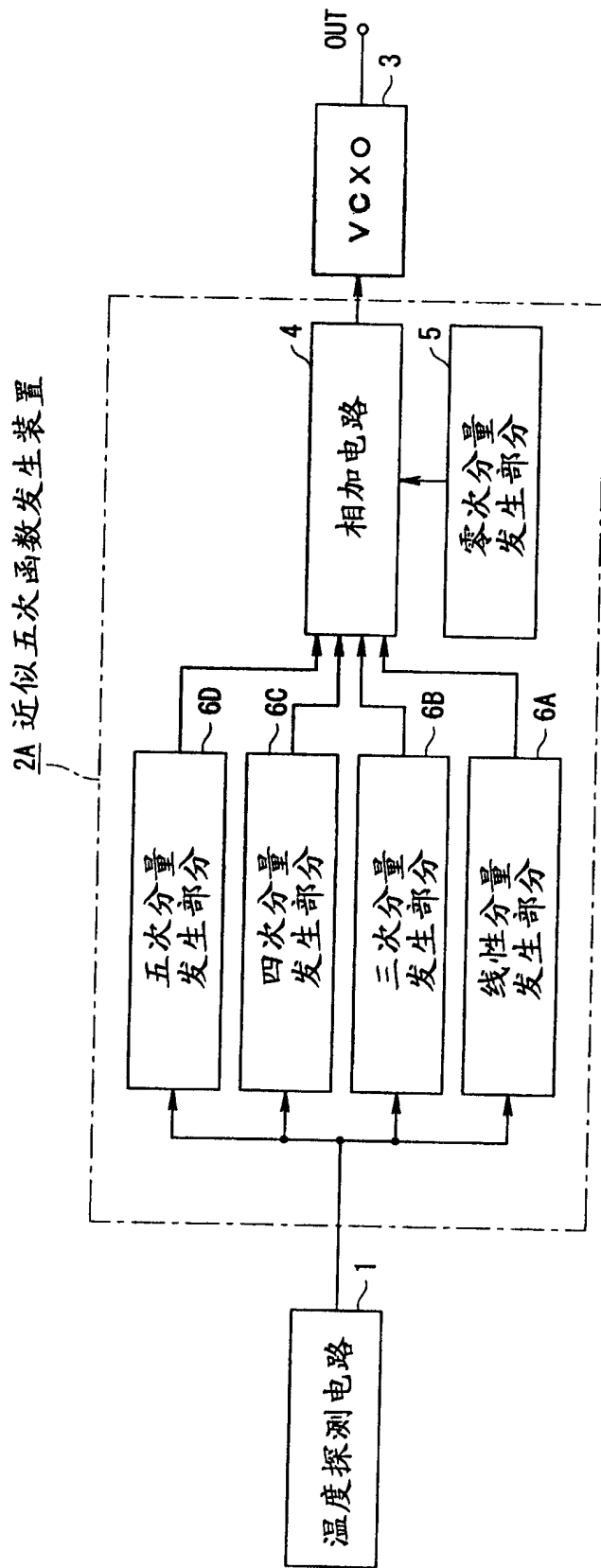


图 2

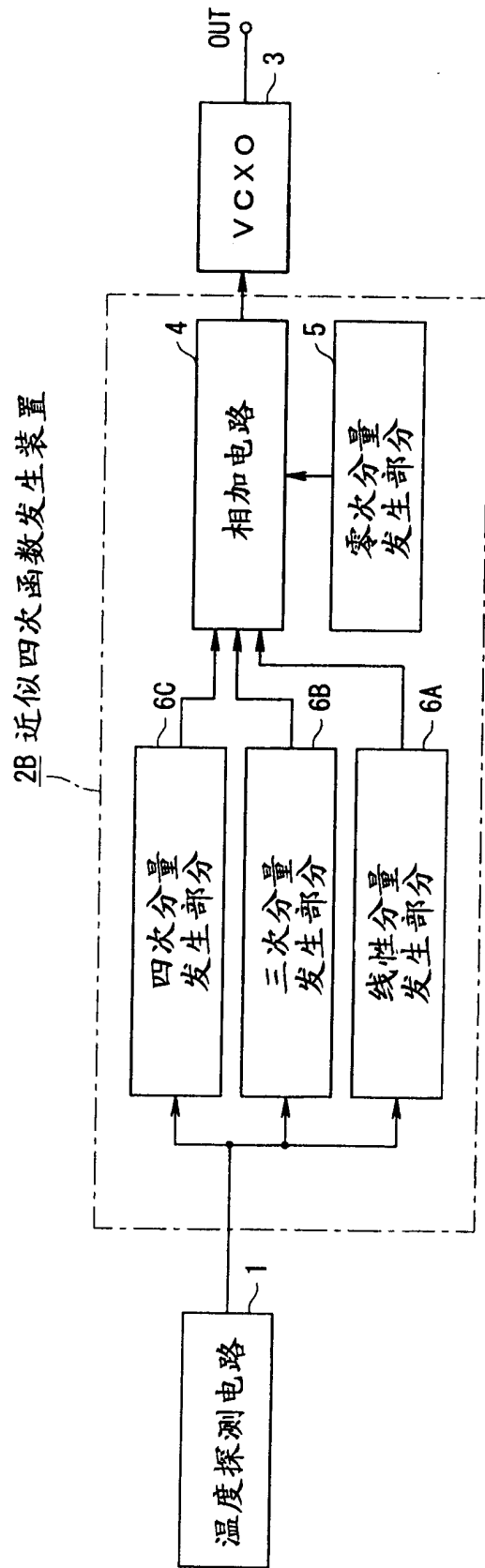


图 3

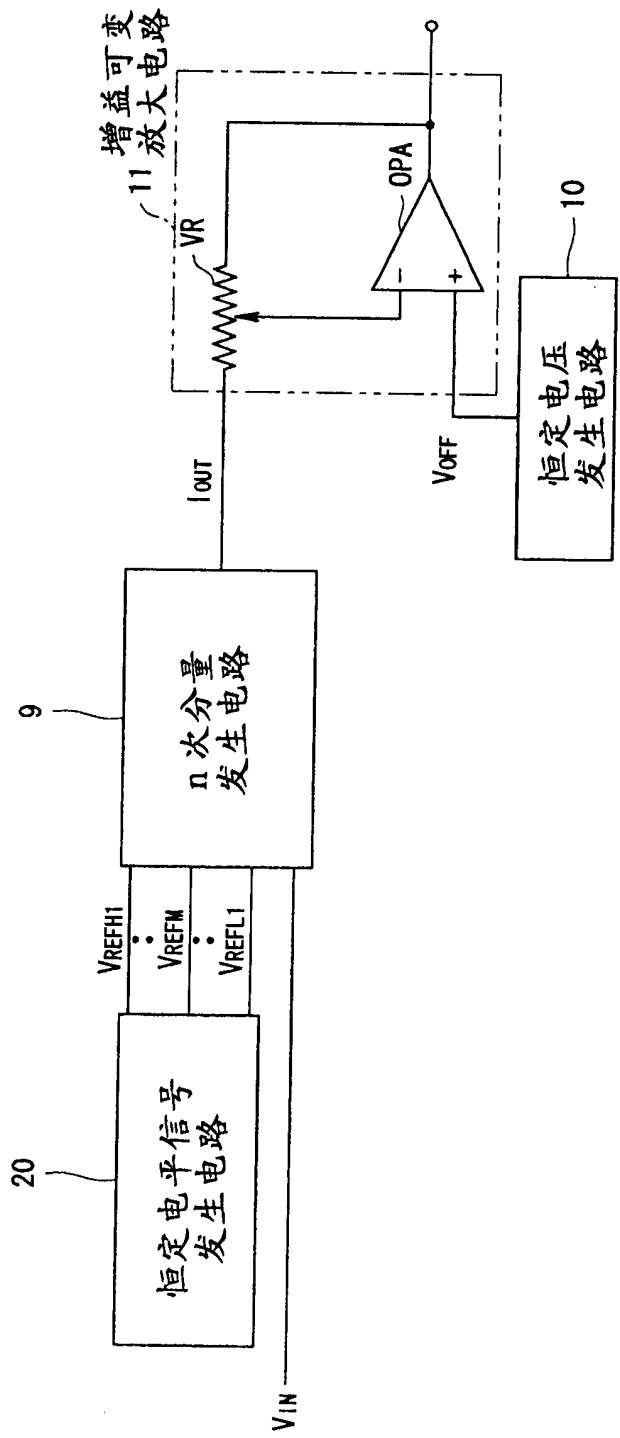


图 4

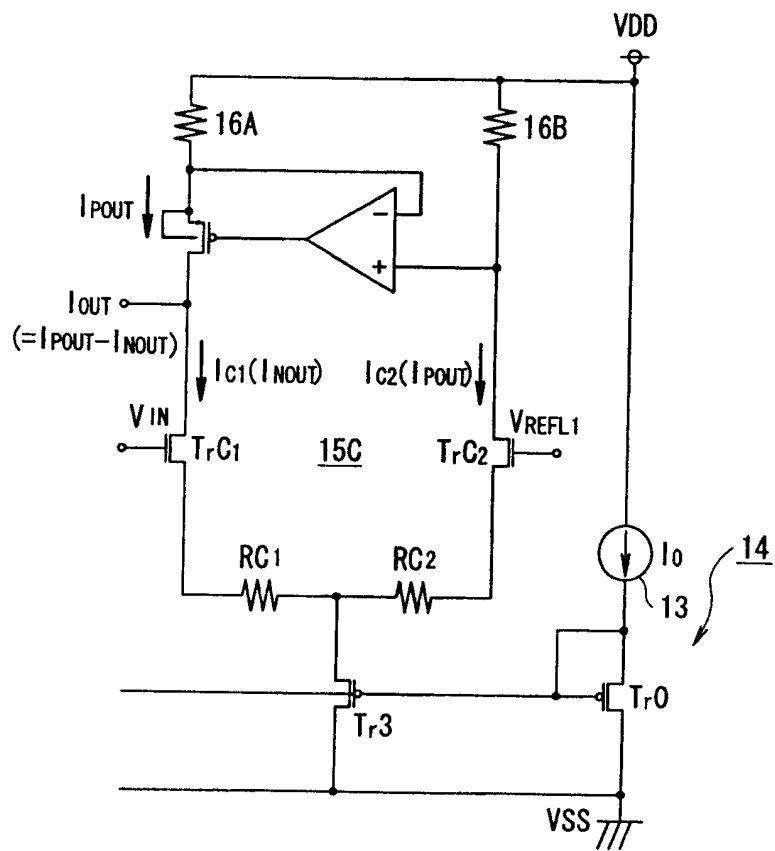


图 6

图 7A

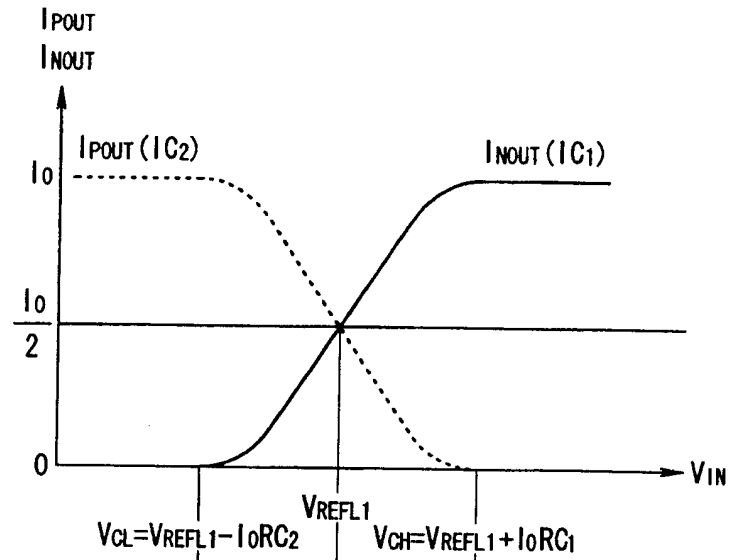
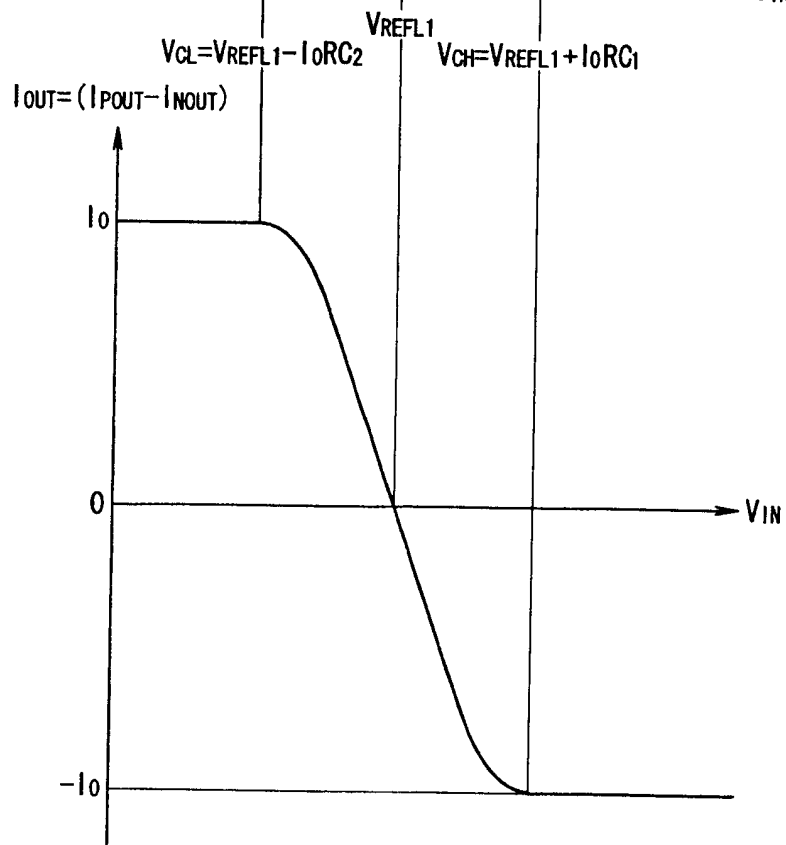


图 7B



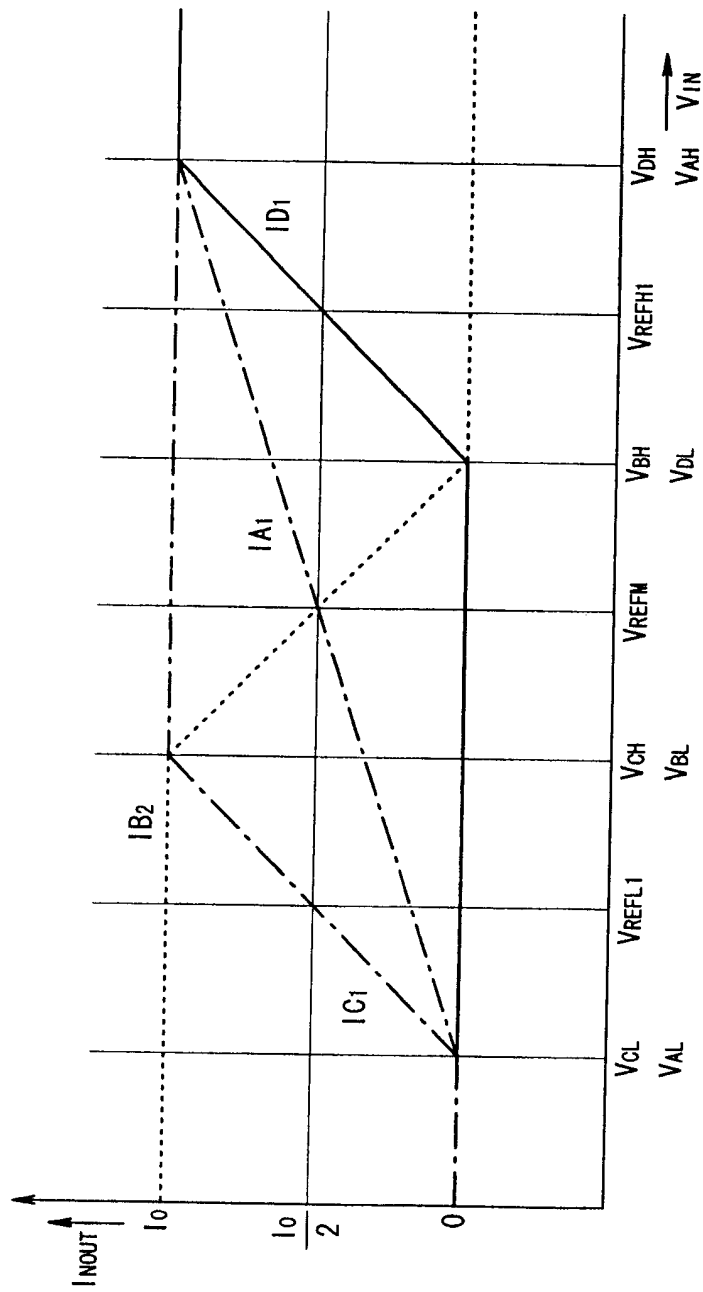


图 8

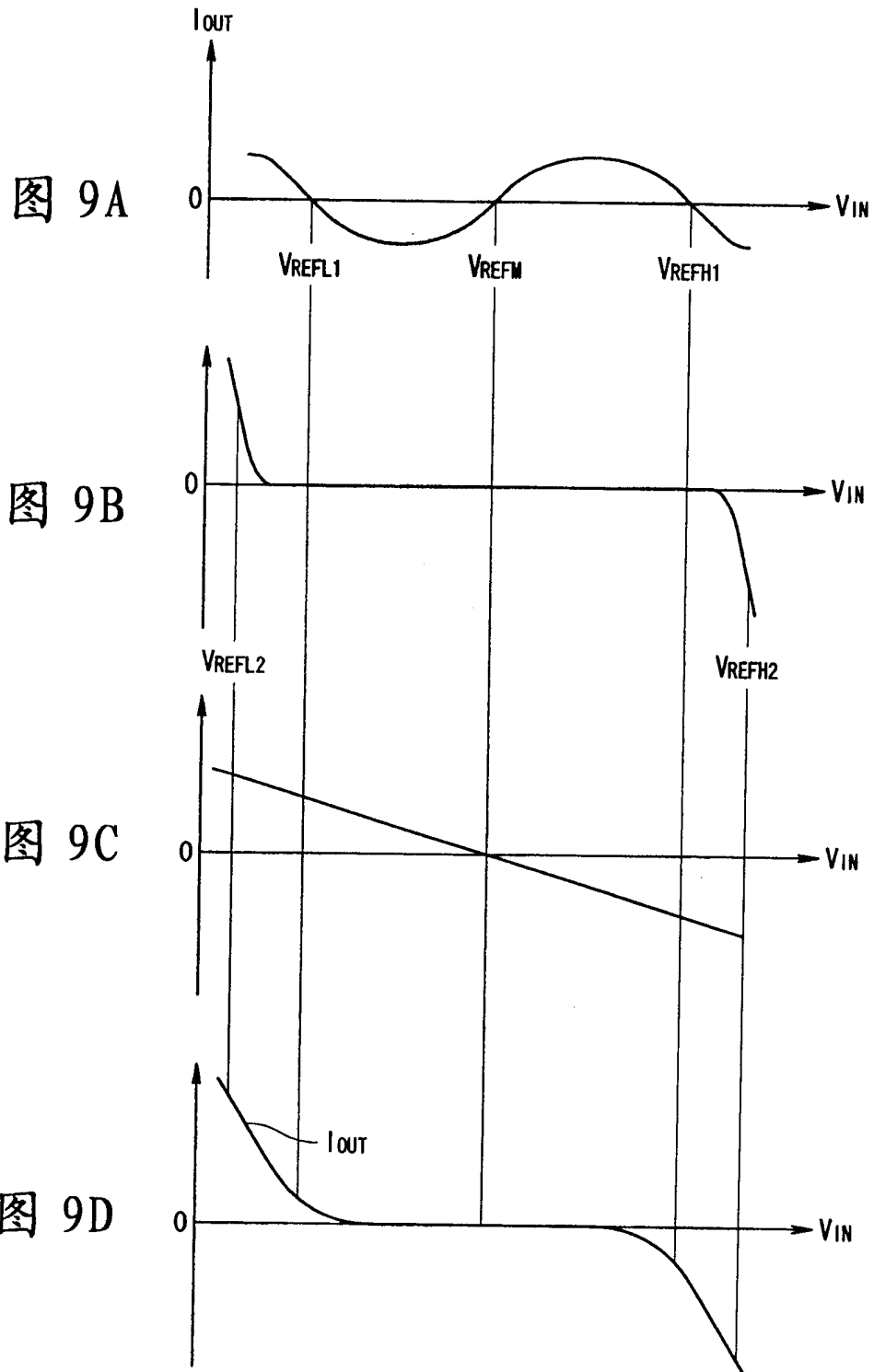


图 11A

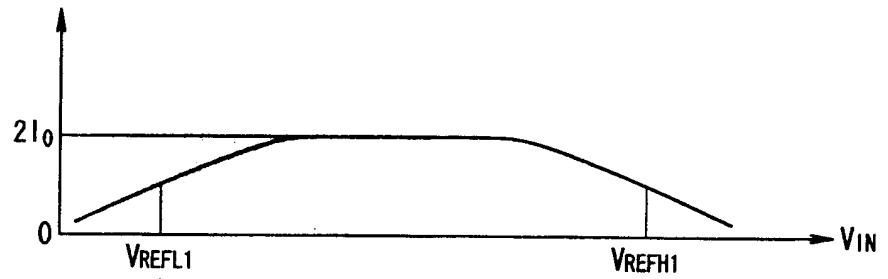


图 11B

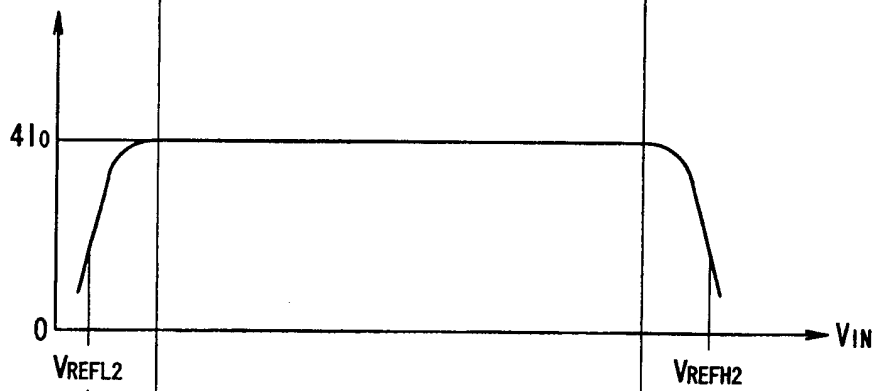


图 11C

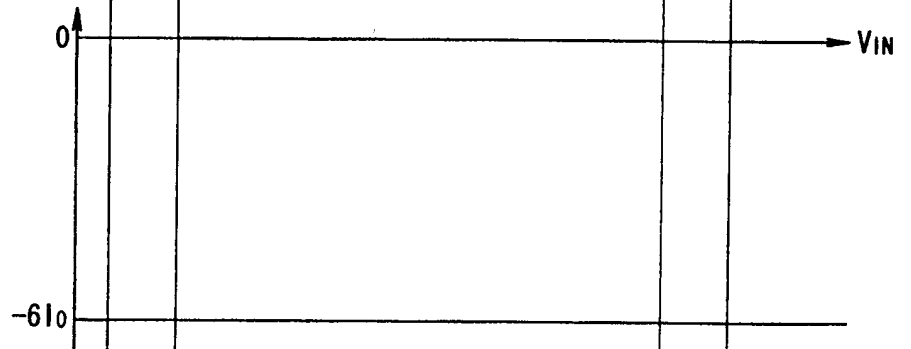


图 11D

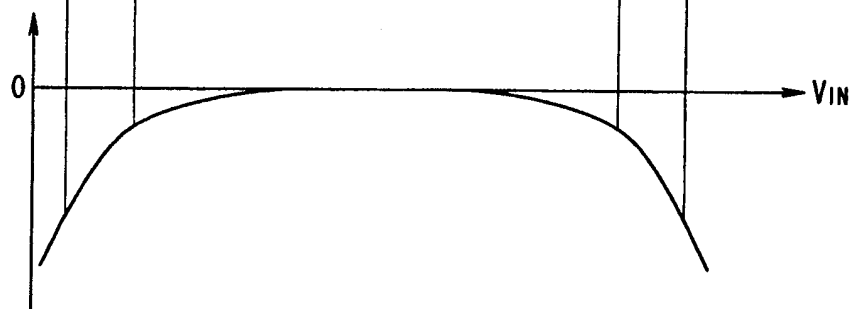


图 13A

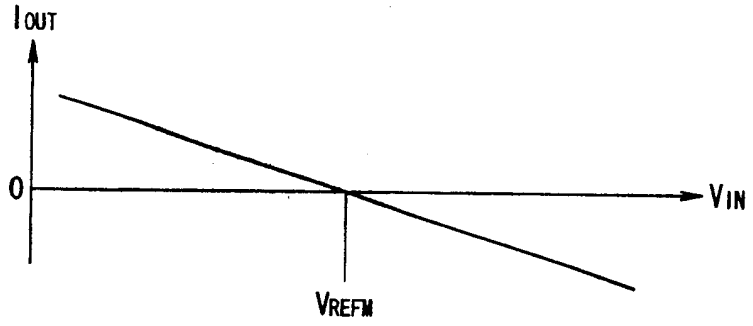


图 13B



图 13C

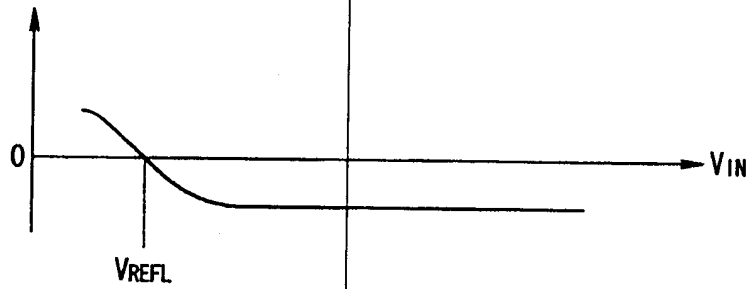


图 13D

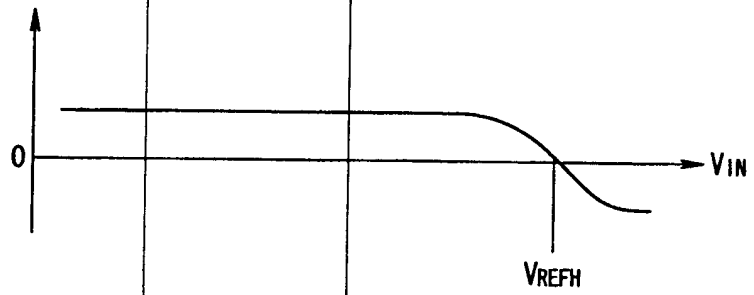


图 13E

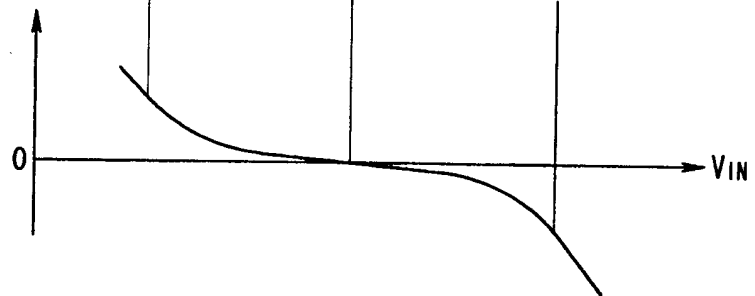


图 15A

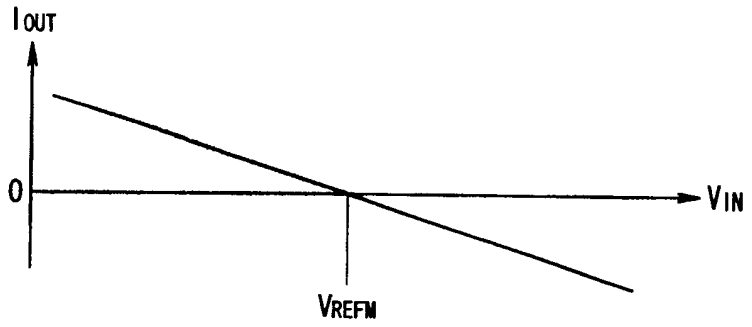


图 15B



图 15C

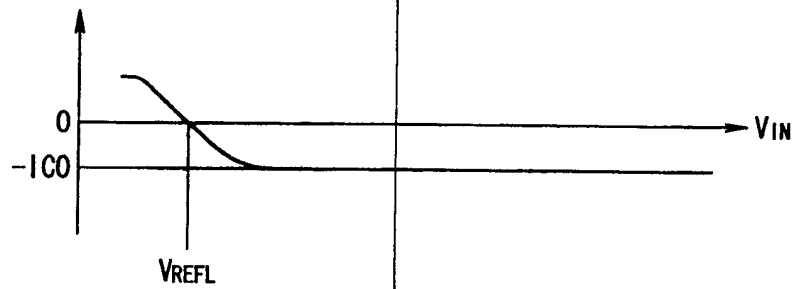


图 15D

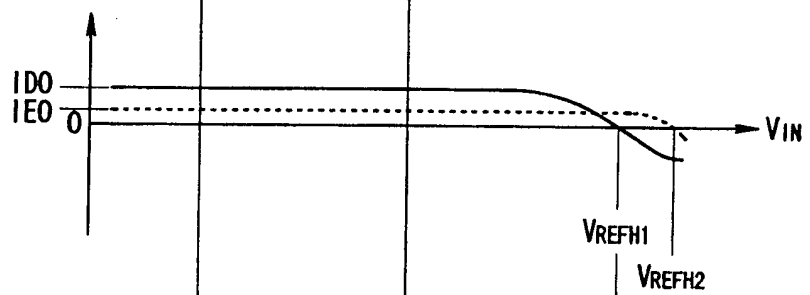


图 15E



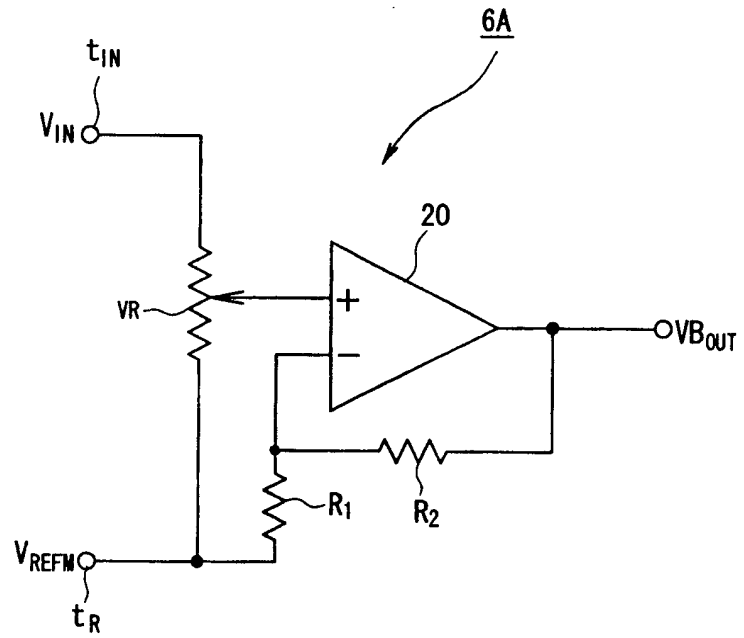


图 16

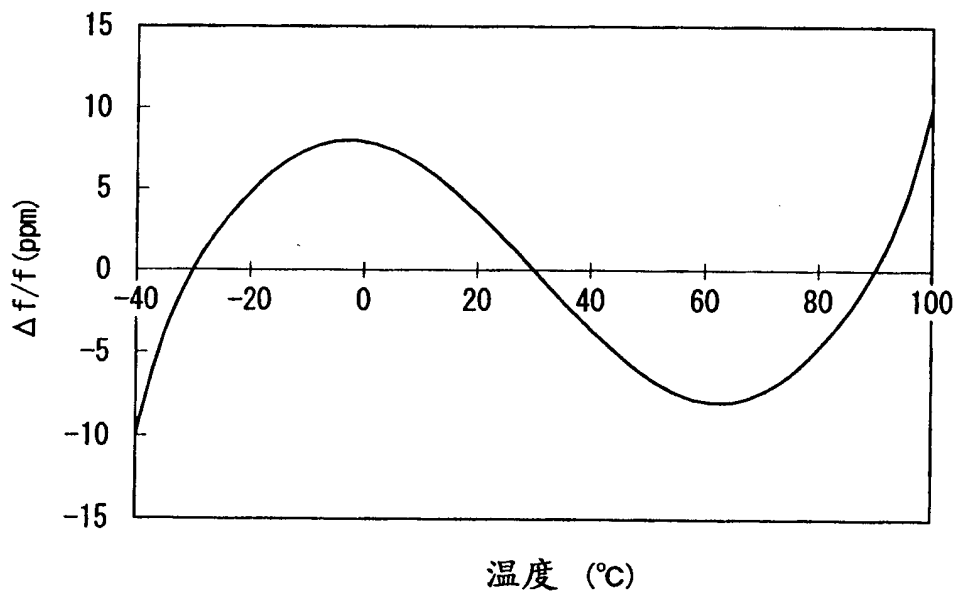


图 17

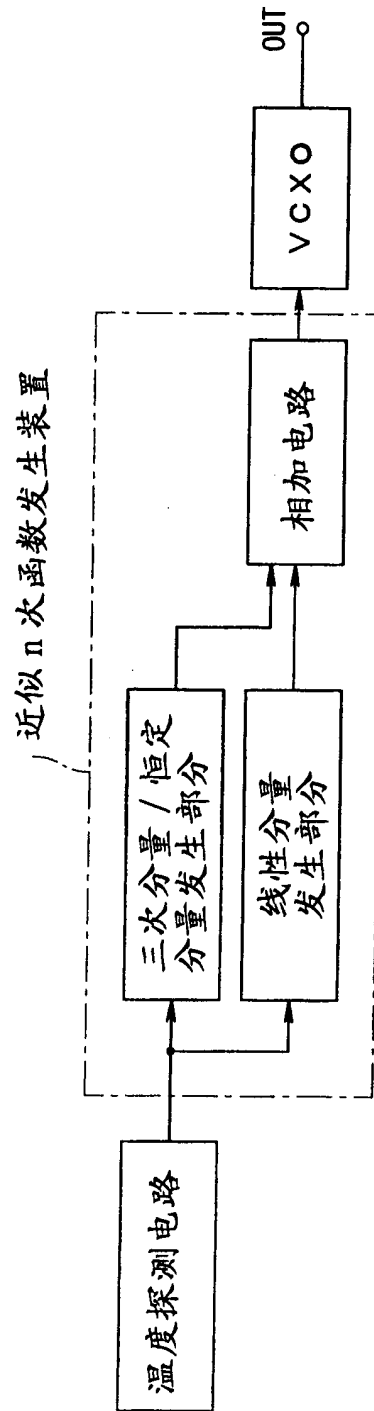


图 18

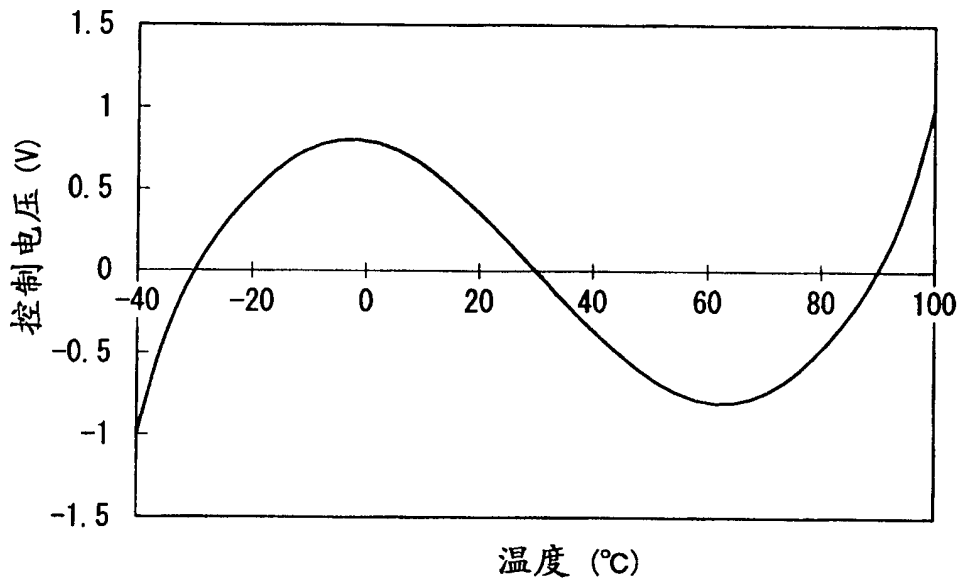


图 19

$$f(t) = a_4 t^4 + a_3 t^3 + a_2 t^2 + a_1 t + a_0$$

$$= a'_4 (t - t_0)^4 + a'_2 (t - t_0)^2 + a'_1 (t - t_0) + a'_0$$

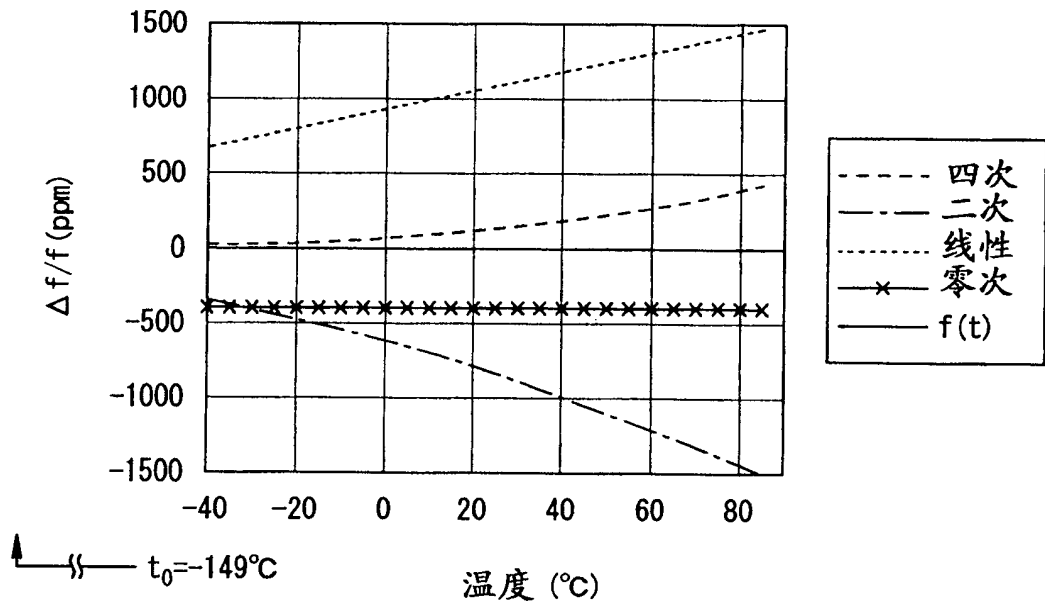


图 20

$$\begin{aligned}\frac{\Delta f}{f} = f(t) &= a_4 t^4 + a_3 t^3 + a_2 t^2 + a_1 t + a_0 \\ &= b'_4 (t-t_0)^4 + b'_2 (t-t_0)^3 + b'_1 (t-t_0) + b'_0\end{aligned}$$

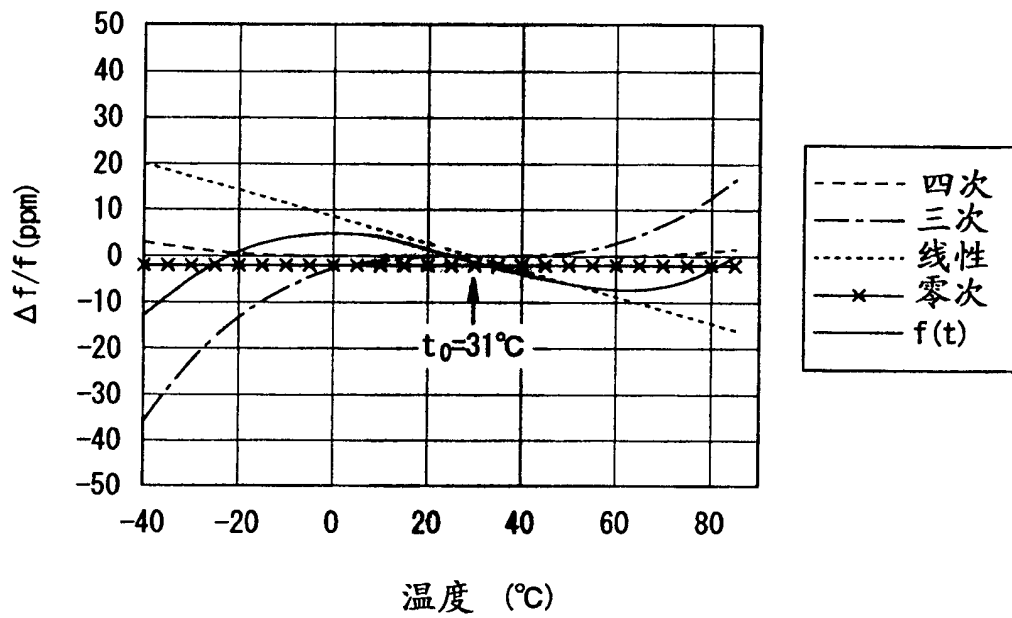


图 21