

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) 。 Int. Cl. ⁷
H03B 5/32

(11) 공개번호 특2002 - 0003393
(43) 공개일자 2002년01월12일

(21) 출원번호	10 - 2001 - 7014609		
(22) 출원일자	2001년11월16일		
번역문 제출일자	2001년11월16일		
(86) 국제출원번호	PCT/JP2001/02120	(87) 국제공개번호	WO 2001/69775
(86) 국제출원출원일자	2001년03월16일	(87) 국제공개일자	2001년09월20일

(81) 지정국	국내특허 : 중국, 대한민국, 미국, 독일, 영국,		
(30) 우선권주장	JP - P - 2000 - 0007 2000년03월17일	일본(JP)	6114
(71) 출원인	아사히 가세이 마이크로시스템 가부시끼가이샤 일본 도쿄도 신주꾸꾸 니시신주꾸 3쵸메 7방 1고		
(72) 발명자	네모또,겐지 일본228 - 0804가나가와쵸사가미하라시아사히쵸22 - 10		
(74) 대리인	장수길 구영창 이중희		

심사청구 : 있음

(54) 온도 보상형 수정 발진기 및 온도 보상 방법

요약

본 발명의 온도 보상형 수정 발진기는 온도 센서(11)와, 아날로그식 온도 보상부(12)와, 디지털식 온도 보상부(13)와, 가산 회로(14)와, 전압 제어 수정 발진 회로(3)를 포함하고 있다. 그리고 온도 센서(11)의 검출 온도에 대응하는 입력 전압에 기초하여, 아날로그식 온도 보상부(12)와 디지털식 온도 보상부(13)가 온도 보상 전압을 각각 생성하고, 이 양 온도 보상 전압을 가산 회로(14)에서 가산하고, 그 가산 전압을 전압 제어 수정 발진 회로(3)의 전압 제어 단자에 인가함으로써, 전압 제어 수정 발진 회로(3)의 발진 주파수의 안정화를 도모하고, 그 결과 수정 진동자(4)의 온도 보상을 행하게 되어 있다.

대표도

도 1

색인어

발진 주파수, 전압 제어 수정 발진 회로, 온도 센서, 불휘발성 메모리, 온도 보상부, 수정 진동자

명세서

기술분야

본 발명은 수정 진동자를 사용하여 소정의 주파수 신호를 발진시킴과 함께, 온도 보상을 할 수 있도록 한 온도 보상형 수정 발진기 및 수정 발진기의 온도 보상 방법에 관한 것이다.

배경기술

종래, 수정 발진기의 온도 보상 방법으로는 이하에 나타내는 4개의 방법이 알려져 있다.

(1) 직접형

이것은 발진 루프 내에 컨덴서나 저항으로 이루어지는 온도 보상 회로를 설치하고, 발진 시에는 온도 변화에 대하여 그 온도 보상 회로의 컨덴서나 저항의 각 값이 변화하고, 이에 따라 발진 주파수의 안정화를 도모하도록 한 것이다.

(2) 간접형 아날로그 방식

이것은 온도 보상의 대상이 되는 발진기는, 도 7에 도시한 바와 같이, 전압 제어 수정 발진 회로(VCXO: 3)이다. 그리고, 온도 보상은 수정 발진기의 사용 온도를 온도 센서(1)로 검출하고, 이 검출 온도에 기초하여 수정 진동자(4)의 온도 특성을 보상하는 온도 보상 전압을 온도 보상 전압 발생 회로(2)에서 발생시켜, 그 온도 보상 전압을 전압 제어 수정 발진 회로(3)의 전압 제어 단자에 공급함으로써 행한다.

수정 진동자(4)가 AT 컷트인 경우에는 온도 특성이 3차 함수로 정밀도 좋게 근사되기 때문에, 온도 보상 회로는 온도 특성이 1차 함수로 나타내는 온도 센서와, 그 온도 센서의 검출 온도에 의해 3차 함수를 발생하는 3차 함수 발생 회로로 구성되는 것이 일반적이다.

(3) 간접형 디지털 방식

이것은, 그 온도 보상의 기본적인 사고방식은 상기한 간접형 아날로그 방식과 마찬가지로이지만, 온도 센서(1)의 검출 온도를 디지털적으로 처리하여 온도 보상 전압을 생성하는 점이 다르다.

즉, 이 온도 보상은 도 8에 도시한 바와 같이, 온도 센서(1)의 검출 온도를 A/D 컨버터(5)에서 디지털 값으로 A/D 변환하고, 그 변환한 디지털 값에 대응하는 불휘발성 메모리(6)의 어드레스에 사전에 기억되어 있는 수정 진동자(4)의 온도 특성을 보상하기 위한 온도 보상 데이터를 판독하고, 이 판독한 온도 보상 데이터를 D/A 컨버터(7)에서 아날로그 형태의 온도 보상 전압으로 D/A 변환하고, 그 온도 보상 전압을 전압 제어 수정 발진 회로(3)에 공급함으로써 행한다. 또, 불휘발성 메모리(6)로서는 EEP-ROM 등이 사용된다.

(4) 항온조에 의한 온도 보상

이것은 수정 발진기를 소형의 항온조에 넣고, 환경 온도를 일정하게 유지함으로써 외기 온도의 변화에 따른 온도 의존성을 차단하고, 발진 주파수를 일정하게 유지하도록 한 것이다.

그런데, 종래의 온도 보상 방법 (1) (4)에서는 어느 하나의 온도 보상 방법에서도 고정밀도(온도 특성의 주파수 편차가 0.01ppm 정도 이하)인 온도 보상을 저비용으로 실현하는 것이 어렵다는 과제가 있었다. 그 과제가 구체적인 내용은 이하와 같다.

(1), (2)의 아날로그 방식은 상기한 각 방법 중에서는 가장 저비용으로 실현할 수 있지만, 온도 보상의 정밀도가 중간 정도(1ppm 이하)인 것을 양산 레벨로 실현하는 것은 어렵다. 왜냐하면, (1)의 방식으로는 온도 보상에 걸리는 각 수동 소자의 변동의 영향에 따라 그 정밀도를 높이는 것이 어렵고, (2)의 방식으로는 온도 보상 회로를 아날로그 회로에서 실현하기 때문에, 그 정밀도를 높이는 것이 어렵기 때문이다.

한편, (3)의 방법으로는 A/D 컨버터나 D/A 컨버터의 분해능을 높임과 함께, 불휘발성 메모리의 기억 용량을 크게 함으로써, 원리적으로는 높은 정밀도의 온도 보상이 실현 가능하다. 그러나, A/D 컨버터나 D/A 컨버터의 비트수가 15 비트 이상 필요해지는 데다가, 불휘발성 메모리의 기억 용량도 데이터의 보관 등을 행하지 않으면, 15 비트(32768 어드레스)×15 비트=약 500k비트가 필요해지기 때문에, 집적 회로화하는 경우에도 규모가 큰 집적 회로가 되게 된다.

또한, (4)의 방법으로는 소형의 항온조가 필요해지며, 비용적으로는 상당히 고가가 되게 된다는 과제가 있다.

이러한 과제에 기초하여, 발명자가 신중히 연구를 반복한 결과, 온도 센서의 검출 온도에 기초하여 아날로그적인 수법에 의해 수정 발진기의 온도 보상을 행하는 한편, 그 온도 보상의 에러분에 대해서는 온도 센서의 검출 온도에 기초하여 디지털적인 수법에 의해 온도 보상을 행하도록 하면, 회로 규모를 소형화하여 제작 비용의 저감화를 도모할 수 있는 데다가 고정밀도의 온도 보상을 실현할 수 있다는 새로운 지견(知見)을 얻었다.

본 발명의 목적은 상기한 새로운 지견에 기초하여 이루어진 것으로, 회로 규모의 소형화에 의해 제작 비용의 저감화를 도모할 수 있는 데다가 고정밀도의 온도 보상이 가능한 온도 보상형 수정 발진기 및 수정 발진기의 온도 보상 방법을 제공하는 데 있다.

발명의 상세한 설명

본 발명은 수정 진동자를 사용하여 발진시킴과 함께, 상기 수정 진동자의 온도 보상을 행하는 온도 보상 신호에 의해 발진 주파수를 제어할 수 있는 전압 제어 수정 발진 회로를 포함한 수정 발진기에 있어서, 상기 수정 발진기의 사용 온도를 검출하는 온도 센서와, 이 온도 센서의 검출 온도에 기초하여 상기 수정 진동자의 온도 특성에 대응하는 근사 2차, 근사 3차 또는 4차 이상의 근사 함수로 이루어지는 온도 보상 전압을 발생하고, 이 발생 전압을 상기 전압 제어 수정 발진 회로에 공급하는 아날로그 온도 보상 수단과, 상기 온도 센서의 검출 온도를 A/D 변환하고, 이 A/D 변환 값에 대응하여 사전에 메모리에 기억되어 있는 디지털 형태의 온도 보상 데이터를 출력하고, 이 온도 보상 데이터를 아날로그 형태의 온도 보상 전압으로 D/A 변환하고, 그 온도 보상 전압을 상기 전압 제어 수정 발진 회로에 공급하는 디지털 온도 보상 수단을 포함하고, 상기 양 온도 보상 수단으로부터의 양 온도 보상 전압에 기초하여 상기 전압 제어 수정 발진 회로의 발진 주파수의 제어를 행하도록 한 것을 특징으로 하는 온도 보상형 수정 발진기를 제공한다.

또한, 본 발명의 온도 보상형 수정 발진기의 실시 형태로서는, 상기 아날로그 온도 보상 수단이 상기 온도 센서의 검출 온도에 기초하여 상기 수정 진동자의 온도 특성에 대응하는 근사 3차 함수로 이루어지는 온도 보상 전압을 발생하는 3차 함수 발생 수단과, 이 3차 함수 발생 수단이 발생하는 온도 보상 전압의 소정의 계수를 설정하는 데이터를 사전에 기억하는 메모리를 포함하고, 상기 3차 함수 발생 수단의 상기 계수는 상기 메모리로부터 판독한 상기 데이터에 의해 설정되도록 되어 있는 것을 특징으로 하는 온도 보상형 수정 발진기를 예로 들 수 있다.

또한, 본 발명의 온도 보상형 수정 발진기의 실시 형태로서는, 상기 디지털 온도 보상 수단이 상기 온도 센서의 검출 온도를 A/D 변환하는 A/D 컨버터와, 이 A/D 컨버터의 A/D 변환 값에 대응하여 사전에 기억되어 있는 디지털 형태의 온도 보상 데이터를 발생하는 불휘발성 메모리와, 이 불휘발성 메모리로부터의 온도 보상 데이터를 아날로그 형태의 온도 보상 전압으로 D/A 변환하는 D/A 변환기를 포함한 것을 특징으로 하는 온도 보상형 수정 발진기를 예로 들 수 있다.

또한, 본 발명의 온도 보상형 수정 발진기의 실시 형태로서는, 상기 아날로그 온도 보상 수단과 상기 디지털 온도 보상 수단이 반도체 기판 상에 원칩화한 것을 특징으로 하는 온도 보상형 수정 발진기를 예로 들 수 있다.

이러한 구성으로 이루어지는 본 발명의 온도 보상형 수정 발진기에 따르면, 아날로그 온도 보상 수단이 온도 센서의 검출 온도를 아날로그적인 수법에 의해 처리하여 검출 온도에 대응하는 소정의 온도 보상 전압을 생성하고, 그 온도 보상 전압을 전압 제어 수정 발진 회로에 공급한다. 한편, 디지털 온도 보상 수단이 온도 센서의 검출 온도를 디지털적인 수법에 의해 처리하여 검출 온도에 대응하는 소정의 온도 보상 전압을 생성하고, 그 온도 보상 전압을 전압 제어 수정 발진 회로에 공급한다.

이 때문에, 본 발명에 따르면, 아날로그 온도 보상 수단으로는 중간 정도 이상의 정밀도의 온도 보상이 가능하며, 디지털 온도 보상 수단으로는 그 중간 정도의 온도 보상의 에러분에 대하여 더욱 미세한 온도 보상이 가능하기 때문에, 전체로서 고정밀도의 온도 보상이 가능하다.

또한, 본 발명에서는 아날로그 온도 보상 수단은 온도 보상 전압을 아날로그적인 수법으로 생성하기 때문에, 그 회로 규모를 비교적 작게 할 수 있다. 한편, 디지털 온도 보상 수단은 온도 보상 전압을 디지털적인 수법으로 생성하지만, 취급하는 디지털 신호의 비트수를 감소시킬 수 있어 회로 규모를 비교적 작게 할 수 있다. 이 때문에, 전체로서 그 회로 규모를 작게 하는 것이 가능해지며 제작 비용의 저감화를 도모할 수 있다.

또한, 본 발명의 온도 보상형 수정 발진기에 있어서, 아날로그 온도 보상 수단과 디지털 온도 보상을 반도체 기판 상에 원칩화한 경우에는 상기한 효과를 용이하고 확실하게 실현할 수 있다.

본 발명은 또한, 전압 제어 수정 발진 회로에 온도 보상 신호를 공급함으로써 수정 발진기의 온도 보상을 행하는 온도 보상 방법에 있어서, 상기 수정 발진기의 사용 온도를 검출하고, 이 검출 온도에 대응하는 소정의 온도 보상 신호를 아날로그적인 수법에 의해 생성하고, 그 온도 보상 신호에 의해 상기 수정 발진기의 아날로그 온도 보상을 행하는 한편, 그 아날로그 온도 보상의 에러분에 대해서는, 상기 검출 온도에 대응하는 소정의 온도 보상 신호를 디지털적인 수법에 의해 생성하고, 그 온도 보상 신호에 의해 상기 수정 발진기의 디지털 온도 보상을 행하도록 한 것을 특징으로 하는 수정 발진기의 온도 보상 방법을 제공한다.

또한, 본 발명의 수정 발진기의 온도 보상 방법의 실시 형태로서는 상기 아날로그 온도 보상이 상기 검출 온도에 기초하여, 상기 수정 진동자의 온도 특성에 대응하는 근사 3차 곡선으로 이루어지는 온도 보상 전압을 발생하는 과정으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 수정 발진기의 온도 보상 방법을 예로 들 수 있다.

또한, 본 발명의 수정 발진기의 온도 보상 방법의 실시 형태로서는, 상기 디지털 온도 보상이 상기 검출 온도를 A/D 변환하여 A/D 변환값을 구하는 제1 과정과, 그 구해진 A/D 변환값에 대응하여 사전에 메모리에 기억되어 있는 디지털 형태의 온도 보상 데이터를 발생하는 제2 과정과, 상기 온도 보상 데이터를 아날로그 형태의 온도 보상 전압으로 D/A 변환하는 제3 과정으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 수정 발진기의 온도 보상 방법을 예로 들 수 있다.

이와 같이 본 발명의 방법에 따르면, 수정 발진기의 온도 보상을 행하는 경우에, 아날로그 온도 보상으로는 중간 정도 이상의 정밀도의 온도 보상이 가능하며, 디지털 온도 보상으로는 그 중간 정도의 온도 보상의 에러분에 대하여 더 미세한 온도 보상을 할 수 있기 때문에 전체적으로 고정밀도의 온도 보상이 가능하다.

또한, 본 발명의 방법으로는 아날로그 온도 보상에서의 온도 보상 전압은 아날로그적인 수법으로 생성하기 때문에, 그 회로를 실현하는 경우에 회로 규모를 비교적 작게 할 수 있다. 한편, 디지털 온도 보상에서의 온도 보상 전압은 디지털적인 수법으로 생성하지만, 취급하는 디지털 신호의 비트수를 감소시킬 수 있기 때문에, 그 회로를 실현하는 경우에 회로 규모를 비교적 작게 할 수 있다. 이 때문에, 온도 보상형 수정 발진기의 실현에 있어서 전체적으로 회로 규모가 작아

저 제작 비용의 저감화를 도모할 수 있다.

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 실시 형태의 구성예를 나타내는 블록도.

도 2는 도 1의 3차 성분점 상수 성분 발생부의 구성예를 나타내는 블록도.

도 3은 수정 진동자의 온도 특성의 일례를 나타내는 도면.

도 4는 아날로그식 온도 보상부의 출력 전압(온도 보상 전압)의 일례를 나타내는 도면.

도 5는 아날로그식 온도 보상부에만 의한 온도 보상을 나타내고, 각 온도와 그에 대응하는 주파수 편차의 측정예.

도 6은 그 측정 결과를 그래프로 한 도면.

도 7은 종래의 온도 보상형 수정 발진기를 나타내는 블록도.

도 8은 종래의 다른 온도 보상형 수정 발진기를 나타내는 블록도.

< 발명을 실시하기 위한 최량의 형태 >

이하, 본 발명의 실시 형태에 대하여 도면을 참조하여 설명한다.

도 1은 본 발명의 온도 보상형 수정 발진기의 실시 형태의 구성예를 나타내는 블록도이다.

본 실시 형태에 따른 온도 보상형 수정 발진기는, 도 1에 도시한 바와 같이 온도 센서(11)와, 아날로그식 온도 보상부(12)와, 디지털식 온도 보상부(13)와, 가산 회로(14)와, 전압 제어 수정 발진 회로(3)를 적어도 포함하고 있다.

또한, 이 온도 보상형 수정 발진기는 온도 센서(11)의 검출 온도에 대응하는 입력 전압에 기초하여, 아날로그식 온도 보상부(12)가 아날로그적인 수법에 의해 그 검출 온도에 대응하는 소정의 온도 보상 전압 V_1 을 생성하고, 한편 디지털식 온도 보상부(13)가 디지털적인 수법에 의해 그 검출 온도에 대응하는 소정의 온도 보상 전압 V_2 를 생성하고, 이 양 온도 보상 전압을 가산 회로(14)에서 가산하고, 그 가산 전압 V_3 을 전압 제어 수정 발진 회로(3)의 전압 제어 단자에 인가함으로써, 수정 발진기의 온도 보상을 행하게 되어 있다.

또한, 온도 보상형 수정 발진기는 도 1에 도시한 온도 센서(11), 아날로그식 온도 보상부(12), 디지털식 온도 보상부(13), 가산 회로(14) 및 전압 제어 수정 발진 회로(3) 중 적어도 아날로그식 온도 보상부(12), 디지털식 온도 보상부(13) 및 가산 회로(14)는 반도체 기판 상에 원칩화되어 구성되며, 이에 따라 회로의 소형화, 저렴화를 도모하도록 하고 있다.

다음에, 이 실시 형태에 따른 온도 보상형 수정 발진기의 각 부의 구성예에 대하여 상술한다.

온도 센서(11)는 전압 제어 수정 발진 회로(3)의 사용 온도(사용 분위기 온도)를 검출하는 것으로, 그 검출 온도에 대응하는 출력 아날로그 전압은 온도 변화에 대하여 1차 함수적으로 변화하는 것이다. 온도 센서(11)의 출력 아날로그 전압은 아날로그식 온도 보상부(12)와 디지털식 온도 보상부(13)에 각각 입력 전압 V_{IN} 으로서 입력되도록 되어 있다.

아날로그식 온도 보상부(12)는 본 출원인이 먼저 제안한 국제 공개 공보(국제 공개 번호 W098/56105호)에 기재된 근사 3차 함수 발생 장치를 이용할 수 있기 때문에, 그 개요에 대하여 도 1 및 도 2를 참조하여 이하에 설명한다.

아날로그식 온도 보상부(12)는 도 1에 도시한 바와 같이, 후술한 수학식 2의 온도 보상 전압 V_1 을 발생하는 것으로, 입력 전압 V_{IN} 에 대하여 가변 전압 V_0' 를 가산하는 가산기(21)와, 이 가산기(21)의 가산 출력 V_s 가 입력되며, 이에 기초하여 후술한 수학식 2의 제1항의 3차 성분 및 상수 성분을 발생하는 3차 성분점 상수 성분 발생부(22)와, 후술한 수학식 2의 제2항의 1차 성분만을 발생하는 1차 성분 발생부(23)와, 3차 성분점 상수 성분 발생부(22)와 1차 성분 발생부(23)의 양 출력 신호를 가산하는 가산 회로(24)를 포함하고 있다.

또한, 아날로그식 온도 보상부(12)는 도 1에 도시한 바와 같이 불휘발성 메모리(28)를 포함하고, 이 불휘발성 메모리(28)에 후술한 바와 같이 사전에 기억되어 있는 각 계수 설정 데이터에 의해 상기한 가변 전압 V_0' , 오프셋 전압 V_{OFF} , 1차 성분 발생부(23)의 가변 저항 및 가변 저항(226a)의 각 조정값을 자동적(전자적)으로 설정할 수 있게 되어 있다.

3차 성분점 상수 성분 발생부(22)는 도 2에 도시한 바와 같이, 가산기(21)의 가산 출력 V_s 와 참조 정전압 V_{REFH} , V_{REFM} , V_{REFL} 에 기초하여 3차 성분만을 발생하는 3차 성분 발생 회로(221)와, 그 3차 성분 발생 회로(221)로부터의 정회전 출력 신호 P_{OUT} 및 반전 출력 신호 N_{OUT} 가 각각 입력되는 버퍼 회로(223, 224)와, 버퍼 회로(223, 224)의 각 출력을 차동 증폭하는 차동 증폭 회로(225)와, 이 차동 증폭 회로(225)의 출력이 입력되는 가변 이득 증폭 회로(226)와, 임의의 오프셋 전압 V_{OFF} 를 발생하는 정전압 발생 회로(227)로 구성된다.

그 가변 이득 증폭기(226)는 연산 증폭기(226b)와, 그 연산 증폭기(226b)의 출력 단자와 그 하나의 입력 단자 간에 접속되는 전자 볼륨으로 이루어지는 가변 저항(226a)으로 구성된다. 그리고, 가변 저항(226a)은 불휘발성 메모리(28)로부터의 데이터에 기초하여 그 저항치가 조정되며, 이에 따라 가변 이득 증폭기(226)의 이득을 가변할 수 있게 되어 있다.

한편, 디지털식 온도 보상부(13)는 도 1에 도시한 바와 같이, 온도 센서(11)의 검출 온도에 따른 아날로그 입력 전압 V_{IN} 을 디지털 값으로 A/D 변환하는 A/D 컨버터(25)와, 그 A/D 컨버터(25)의 디지털 출력값에 대응하는 수정 진동자(4)의 온도 보상 데이터를 사전에 기억하는 불휘발성 메모리(26)와, 그 불휘발성 메모리(26)로부터의 디지털 형태의 온도 보상 데이터를 아날로그 형태의 온도 보상 전압으로 D/A 변환하는 D/A 컨버터(27)로 구성되어 있다.

불휘발성 메모리(26)는 EEPROM 등으로 구성되고, A/D 컨버터(25)의 디지털 출력값과 그 어드레스가 대응되어 있다. 예를 들면, 그 디지털 출력값이 n 비트이면, 불휘발성 메모리(26)의 어드레스도 n 비트 준비되며, 그 디지털 출력값과 동일한 어드레스에, 후술한 바와 같이 구해진 소정의 온도 보상 데이터가 사전에 저장되어 있다.

가산 회로(14)는 아날로그식 온도 보상부(12)의 가산 회로(24)로부터 출력되는 온도 보상 전압과, 디지털식 온도 보상부(13)의 D/A 컨버터(27)로부터 출력되는 온도 보상 전압을 가산하고, 그 가산된 온도 보상 전압을 전압 제어 수정 발진 회로(3)의 전압 제어 단자에 공급하도록 구성되어 있다.

다음에, 이와 같이 구성되는 실시 형태에 따른 온도 보상형 수정 발진기의 동작예에 대하여 설명한다.

우선, 동작의 설명에 앞서서, 전압 제어 수정 발진 회로(3)에 포함되는 수정 진동자(4)의 온도 특성에 대하여 설명한다. 수정 진동자(4)는, 일반적으로 횡축에 온도($^{\circ}C$), 종축에 주파수 편차(ppm)를 취하면, 그 주파수 편차는, 예를 들면 도 3에 도시한 바와 같은 곡선이 된다. 이 주파수 편차 Y 는 다음의 수학식 1로 근사할 수 있다.

수학식 1

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

여기서, 수학식 1 중에 있어서, α 는 3차의 계수, β 는 온도 특성의 기울기, γ 는 주파수 오프셋, t 는 분위기 온도, t_0 은 그 곡선의 중심이 되는 온도(통상 $25^{\circ}C$ 내지 $30^{\circ}C$ 의 범위)이다.

이 수학식 1 중의 α , β , γ 는 각각 수정 진동자(4) 및 전압 제어 수정 발진 회로(3)의 특성에 의존하고, 특히 수정 진동자(4)에 크게 의존하고 있어, 수정 진동자(4)의 형상, 크기 등의 영향을 받는다.

또한, 현재 널리 사용되고 있는 전압 제어 수정 발진 회로(3)의 전압-주파수 특성은 1차 함수로 근사할 수 있기 때문에, 수정 진동자(4)의 온도에 대한 주파수 특성은 온도에 대한 전압 특성으로 대응할 수 있다.

그래서, 이 실시 형태에서는 수정 진동자(4)의 온도 보상을, 아날로그식 온도 보상부(12)에서 생성하는 온도 보상 전압 V_1 과 디지털식 온도 보상부(13)에서 생성하는 온도 보상 전압 V_2 에 기초하여 행하도록 하였다.

다음에, 그 동작을 설명하면, 아날로그식 온도 보상부(12)에서는 온도 센서(11)의 검출 온도에 대응하는 입력 전압 V_{IN} 이 가산기(21)에 입력되면, 가산기(21)는 그 입력 전압 V_{IN} 과 가변 전압 V' 을 가산하고, 그 가산 전압 V_S 를 출력한다. 3차 성분점 상수 성분 발생부(22)는 그 가산 전압 V_S 에 기초하여 3차 성분과 상수 성분으로 이루어지는 출력 전압 V_{AOUT} 를 발생한다.

또한, 1차 성분 발생부(22)는 그 가산 전압 V_S 에 기초하여 1차 성분에 관한 출력 전압 V_{BOUT} 를 발생한다. 가산 회로(24)는 3차 성분점 상수 성분 발생부(22)로부터의 출력 전압 V_{AOUT} 와, 1차 성분 발생부(22)로부터의 출력 전압 V_{BOUT} 를 가산함으로써, 다음의 수학적 식 2에 도시한 바와 같은 온도 보상 전압 V_1 을 출력한다.

수학적 식 2

$$V_1 = b_3 (V_{IN} - V_0)^3 + b_1 (V_{IN} - V_0) + b_0$$

여기서, 수학적 식 2에 있어서, V_0 은 참조 기준 전압 V_{REFM} 과 가변 전압 V_0' 의 차이이며, 가변 전압 V_0' 을 조정함으로써, 임의로 설정할 수 있다. 또한, 3차 성분의 계수 b_3 '는 3차 성분 발생 회로(221)의 이득(게인) 및 가변 이득 증폭기(226)의 이득을 조정함으로써 조정 가능하다. 또한, 1차 성분의 계수 b_1 '는 1차 성분 발생부(23)를 구성하는 가변 저항(도시하지 않음)의 저항치의 조정 및 정회전 증폭기(도시하지 않음)의 이득의 조정에 의해 조정 가능하다. 또한, 상수 b_0 '에 대해서는 정전압 발생 회로(227)에서 설정하는 오프셋 전압 V_{OFF} 에 의해 조정할 수 있다.

이들의 계수나 상수의 설정은 독립적으로 조정할 수 있기 때문에, 아날로그식 온도 보상부(12)의 온도 보상 전압 V_1 은 도 4에 도시한 바와 같은 임의의 3차 함수를 발생시킬 수 있다.

그리고, 이들의 계수나 상수의 설정은 불휘발성 메모리(28)에 후술한 바와 같이 구하여 사전에 기억되어 있는 각 계수 설정 데이터를 동작 시에 판독하고, 이 각 데이터에 의해 상기한 가변 저항 등의 저항치를 전자적으로 조정함으로써 행한다.

여기서, 아날로그식 온도 보상부(12)에 의해서만 수정 진동자(4)의 온도 보상을 행한 일례를 도 5 및 도 6에 도시한다. 이 예에 따르면, 사용 온도 범위가 -30°C ~ 85°C 의 범위에서 온도 보상을 행한 경우로서, 아날로그식 온도 보상부(12)의 온도 보상을 행하기 이전에는 그 주파수 편차가 $\pm 8\text{ppm}$ 정도이지만, 온도 보상 후에는 주파수 편차를 $\pm 1\text{ppm}$ 이하 정도까지 저감할 수 있는 것을 알 수 있다.

한편, 디지털식 온도 보상부(13)에서는 온도 센서(11)의 검출 온도에 대응하는 아날로그 형태의 입력 전압 V_{IN} 이 A/D 컨버터(25)에 입력되면, A/D 컨버터(25)는, 그 입력 전압 V_{IN} 을 디지털 전압으로 A/D 변환한다. 이 디지털 전압은 불휘발성 메모리(26)의 어드레스에 대응하고, 이 어드레스에 수정 진동자(4)의 온도 보상에 필요한 보정 데이터가 저장되어 있기 때문에, 불휘발성 메모리(26)로부터는 그 보정 데이터가 판독된다. 그 디지털 형태의 보정 데이터는 D/A 컨버터(27)에 의해 아날로그 형태의 온도 보상 전압으로 D/A 변환된다.

이와 같이 하여 얻어진 아날로그식 온도 보상부(12)로부터의 온도 보상 전압 V_1 과, 디지털식 온도 보상부(13)로부터의 온도 보상 전압 V_2 가 가산 회로(14)에 입력되면, 가산 회로(14)는 이들을 가산하고, 그 가산 전압 V_3 이 전압 제어 수정 발진 회로(3)의 전압 제어 단자에 인가된다. 이 때문에, 전압 제어 수정 발진 회로(3)는 그 사용 온도 범위에서 소정의 주파수로 안정적으로 발진할 수 있다.

그런데, 이 실시 형태에서는 아날로그식 온도 보상부(12)가 동작 시에 원하는 온도 보상 동작이 가능하도록 각 부의 이득 등을 설정하기 위해 불휘발성 메모리(28)에 후술하는 각 계수 설정 데이터를 저장할 필요가 있는 데다가 디지털식 온도 보상부(13)가 동작 시에 원하는 동작이 가능하도록 불휘발성 메모리(26)에 사전에 온도 보상 데이터를 저장할 필요가 있다. 그리고, 이들의 작업은 제작 시에 항온조에 수납하여 행하기 때문에 이하에 이에 대하여 설명한다.

우선, 아날로그식 온도 보상부(12)의 조정은 디지털식 온도 보상부(13)를 정지 상태로 함과 함께, 아날로그식 온도 보상부(12)를 가산 회로(14)로부터 분리한 상태로 행한다. 즉, 항온조의 온도를 온도 보상을 행하고자 하는 예를 들면 최저 온도로 설정하고, 이 최저 온도 상태에서 가산 회로(14)에 디지털식 온도 보상부(13)로부터의 출력 전압 대신에 외부 입력 전압 V_{Cin} 을 입력하고, 이 입력 전압 V_{Cin} 의 전압치를 변화시켜, 소정의 발진 주파수가 되는 입력 전압 V_{Cin1} 을 측정함과 함께, 그 때의 아날로그식 온도 보상부(12)의 출력 전압 V_{Cout1} 을 측정한다. 또, 이 측정 시에는 D/A 컨버터(27)로부터 소정의 전압이 가산 회로(27)에 입력된다.

이상의 측정 처리를 항온조의 설정 온도를 순차 다른 온도로 올리면서 사용 최고 온도까지 반복하고, 각 설정 온도에서의 가산 회로(14)의 입력 전압 V_{Cin1} ~ V_{CinN} 을 측정함과 함께, 아날로그식 온도 보상부(12)의 출력 전압 V_{Cout1} ~ V_{CoutN} 을 측정한다.

계속해서, 그 측정한 각 입력 전압 V_{Cin1} ~ V_{CinN} 및 각 출력 전압 V_{Cout1} ~ V_{CoutN} 을 온도의 함수로서 하기의 수학식 3 및 수학식 4로 근사한다.

수학식 3

$$V_{Cin}(T) = \alpha_3(T - T_0)^3 + \alpha_1(T - T_0) + \alpha_0$$

수학식 4

$$V_{Cout}(T) = \beta_3(T - T_0')^3 + \beta_1(T - T_0') + \beta_0$$

여기서, 수학식 3 중 계수 α_3 , α_1 및 상수 α_0 은 상술한 수학식 1에서의 α , β 및 γ 에 대응하는 것으로, 수정 진동자에 의존하는 값이다.

그리고, 아날로그식 온도 보상부(12)에서 $\beta_3 = \alpha_3$, $\beta_1 = \alpha_1$, $\beta_0 = \alpha_0$, $T_0' = T_0$ 이 되도록 조정하는 경우가 필요해진다. 즉, 아날로그식 온도 보상부(12)의 구체적 조정은, 상기 수학식 4에서의 3차 함수 곡선의 중심 온도 T_0' '는 도 1에서의 가산기(21)에 인가되는 가변 전압 V_0' '에 의해 조정하고, 상수 계수 β_0 은 도 2에서의 정전압 발생 회로(227)로부터 출력되는 오프셋 전압 V_{OFF} 에 의해 조정하고, 1차 계수 β_1 은 도 1에 도시한 1차 성분 발생부(23)의 가변 저항(도시하지 않음)에 의해 조정하고, 또한 3차 계수 β_3 은 3차 성분 결합 상수 성분 발생부(22)에서의 도 2에 도시한 가변 이득 증폭기(226)의 가변 저항(226a)에 의해 조정한다.

여기서, 아날로그식 온도 보상부(12)에서는 불휘발성 메모리(28)에 사전에 기억되어 있는 각 계수 설정 데이터에 의해 상기한 가변 전압 V_0' , 오프셋 전압 V_{OFF} , 1차 성분 발생부(23)의 가변 저항 및 가변 저항(226a)의 각 조정치의 설정이 전자적으로 행해지도록 되어 있다.

그래서, 그 각 계수 설정 데이터에 해당하는 데이터를 외부로부터 아날로그식 온도 보상부(12)에 입력함과 함께 그 데이터값을 가변시키고, 상기한 $\beta_3 = \alpha_3$, $\beta_1 = \alpha_1$, $\beta_0 = \alpha_0$, $T_0' = T_0$ 을 만족하는 각 조정치를 구하고, 이 구해진 각 조정값에 대응하는 각 계수 설정 데이터를 구한다. 그리고, 이 구해진 각 계수 설정 데이터를 아날로그식 온도 보상부(12)의 불휘발성 메모리(28)에 사전에 기억시켜둔다.

다음에, 디지털식 온도 보상부(13)의 불휘발성 메모리(26)에 온도 센서(11)의 검출 온도에 따른 온도 보상 데이터를 저장하는 작업에 대하여 설명한다.

이 경우에는 항온조의 설정 온도를, 예를 들면 최저 온도로 설정하고, 이 때의 온도 센서(11)의 검출 온도에 따른 A/D 컨버터(25)의 출력 코드(출력 데이터)를 측정한다. 이와 동시에, D/A 컨버터(27)의 입력 코드(입력 데이터)를 외부로부터 변화시키고, 수정 진동자(4)의 주파수 편차가 최소가 되는, 즉 전압 제어 수정 발진 회로(3)의 발진 주파수의 에러가 최소가 되는 입력 코드를 측정한다.

이상의 측정 처리를 항온조의 설정 온도를 순차 다른 온도로 올리면서 사용 최고 온도까지 반복하고, 각 설정 온도에서의 A/D 컨버터(25)의 각 출력 코드와, 각 설정 온도에서의 D/A 컨버터(27)의 각 입력 코드를 각각 측정한다. ,

그리고, 그 측정한 A/D 컨버터(25)의 각 출력 코드를 불휘발성 메모리(26)의 어드레스로 하고, 이 각 어드레스의 내용으로서, 그 각 출력 코드(검출 온도)에 대응하는 각 입력 코드(온도 보상 데이터)를 기입한다.

이상 설명한 바와 같이, 이 실시 형태에 따른 온도 보상형 수정 발진기에 따르면, 아날로그식 온도 보상부(12)가 온도 센서(11)의 검출 온도를 아날로그적인 수법에 의해 처리하여 그 검출 온도에 대응하는 소정의 온도 보상 전압을 생성하고, 다른 쪽 디지털식 온도 보상부(13)가 온도 센서(11)의 검출 온도를 디지털적인 수법에 의해 처리하여 그 검출 온도에 대응하는 소정의 온도 보상 전압을 생성하고, 이들 양 온도 보상 전압을 전압 제어 수정 발진 회로(3)의 전압 제어 단자에 공급하도록 하였다.

이 때문에, 아날로그식 온도 보상부(12)가 생성하는 온도 보상 전압 V_1 로 비교적 정밀도가 낮은 온도 보상이 가능하며, 디지털식 온도 보상부(13)가 생성하는 온도 보상 전압 V_2 로 그 온도 보상의 에러분에 대하여 더 정밀한 온도 보상이 가능하므로, 전체적으로 고정밀도의 온도 보상이 가능하다.

또한, 아날로그식 온도 보상부(12)는 온도 센서(11)의 검출 온도를 아날로그적으로 처리하기 때문에 그 회로 규모를 비교적 작게 할 수 있고 또한 디지털식 온도 보상부(13)는 온도 센서(11)의 검출 온도를 디지털적으로 처리하지만 그 취급하는 디지털 신호의 비트수를 감소시킬 수 있어 회로 규모를 비교적 작게 할 수 있기 때문에, 전체적으로 그 회로 규모를 작게 하는 것이 가능해지며, 그 결과 제작 비용의 저감화를 도모할 수 있다.

그런데, 도 1에서의 A/D 컨버터(25)의 비트수는 보상해야 할 주파수의 온도 특성의 미계수($\Delta f/\Delta^\circ\text{C}$)의 최대치에 의해 결정되지만, 수정 진동자의 주파수 편차(온도 특성)는 약 $1\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 정도이지만, 아날로그식 온도 보상부(12)에 의해 온도 보상한 후의 에러분의 주파수 편차는 0.1ppm 정도까지 작게 할 수 있다.

또한, 디지털식 온도 보상부(13)의 D/A 컨버터(27)의 출력이 온도 보상해야 할 주파수 편차는 아날로그식 온도 보상부(12)가 없는 경우에는 $\pm 15\text{ppm}$ 정도이지만, 이 실시 형태와 같이 아날로그식 온도 보상부(12)가 있는 경우에는 $\pm 2\text{ppm}$ 정도가 된다.

따라서, 도 8에 도시한 바와 같이 디지털 방식에 의해서만 수정 진동자의 온도 보상을 행한 경우와 비교하면, 종래와 같은 정도의 정밀도를 실현하기 위해서 필요한 A/D 컨버터(25)와, D/A 컨버터(27)의 각 비트수를 감소시킬 수 있다. 즉, A/D 컨버터(25)에서는 종래보다도 약 3 비트 감소하여 1/10로 감소시킬 수 있어, D/A 컨버터(27)에서는 종래보다도 약 3 비트 감소하여 2/15로 감소시킬 수 있다. 이와 같이, A/D 컨버터의 비트수가 3 비트 감소시킬 수 있다는 것은 불휘발성 메모리(6)의 용량을 종래에 비하여 1/8로 감소시킬 수 있다.

또, 이 실시 형태에서는 수정 진동자의 온도 특성이 3차 곡선인 경우에 대해 설명하였지만, 그 온도 특성이 2차 곡선 또는 4차 곡선 이상이 되는 경우에도 본 발명은 적용 가능하다. 이 경우에는 아날로그식 온도 보상부(12)는 그 2차 곡선 또는 4차 곡선 이상의 각 곡선에 대응하고 근사 2차 또는 4차 이상의 각 근사 함수로 이루어지는 온도 보상 전압을 발생하게 된다.

산업상 이용 가능성

이상 진술한 바와 같이, 본 발명의 온도 보상형 수정 발진기에 따르면, 아날로그 온도 보상 수단으로는 중간 정도 이상의 정밀도의 온도 보상이 가능하며, 디지털 온도 보상 수단으로서는 그 중간 정도의 온도 보상의 에러분에 대하여 더 정밀한 온도 보상이 가능하므로, 전체로서 고정밀도의 온도 보상을 할 수 있다.

또한, 본 발명의 온도 보상형 수정 발진기에서는 아날로그 온도 보상 수단은 온도 보상 신호를 아날로그적인 수법으로 생성하기 때문에, 그 회로 규모를 비교적 작게 할 수 있다. 한편, 디지털 온도 보상은 온도 보상 신호를 디지털적인 수법으로 생성하지만, 취급하는 디지털 신호의 비트수를 감소시킬 수 있어 회로 규모를 비교적 작게 할 수 있다. 이 때문에, 전체로서 그 회로 규모를 작게 하는 것이 가능해지며 제작 비용의 저감화를 도모할 수 있다.

또한, 본 발명의 온도 보상형 수정 발진기에 있어서, 아날로그 온도 보상 수단과 디지털 온도 보상을 반도체 기판 상에 원칩화한 경우에는 상기한 효과를 용이하고 확실하게 실현할 수 있다.

한편, 본 발명의 수정 발진기의 온도 보상 방법에 따르면, 수정 발진기의 온도 보상을 행하는 경우에 아날로그 온도 보상으로는 중간 정도 이상의 정밀도의 온도 보상이 가능하며, 디지털 온도 보상으로는 그 중간 정도의 온도 보상의 에러분에 대하여 더 정밀한 온도 보상을 할 수 있기 때문에, 전체적으로 고정밀도의 온도 보상이 가능하다.

또한, 본 발명의 수정 발진기의 온도 보상 방법으로는 아날로그 온도 보상에서의 온도 보상 전압은 아날로그적인 수법으로 생성하기 때문에, 그 회로를 실현하는 경우에 회로 규모를 비교적 작게 할 수 있다. 한편, 디지털 온도 보상에서의 온도 보상 전압은 디지털적인 수법으로 생성하지만, 취급하는 디지털 신호의 비트수를 감소시킬 수 있어, 그 회로를 실현하는 경우에 회로 규모를 비교적 작게 할 수 있다. 이 때문에, 온도 보상형 수정 발진기의 실현에 있어서 전체적으로 회로 규모가 작아져서 제작 비용의 저감화를 도모할 수 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

수정 진동자를 사용하여 발진시킴과 함께, 상기 수정 진동자의 온도 보상을 행하는 온도 보상 신호에 의해 발진 주파수를 제어할 수 있는 전압 제어 수정 발진 회로를 포함한 수정 발진기에 있어서,

상기 수정 발진기의 사용 온도를 검출하는 온도 센서와,

상기 온도 센서의 검출 온도에 기초하여, 상기 수정 진동자의 온도 특성에 대응하는 근사 2차, 근사 3차 또는 4차 이상의 근사 함수로 이루어지는 온도 보상 전압을 발생하고, 이 발생 전압을 상기 전압 제어 수정 발진 회로에 공급하는 아날로그 온도 보상 수단과,

상기 온도 센서의 검출 온도를 A/D 변환하고, 이 A/D 변환값에 대응하여 사전에 메모리에 기억되어 있는 디지털 형태의 온도 보상 데이터를 출력하고, 이 온도 보상 데이터를 아날로그 형태의 온도 보상 전압으로 D/A 변환하고, 그 온도 보상 전압을 상기 전압 제어 수정 발진 회로에 공급하는 디지털 온도 보상 수단

을 포함하고,

상기 양쪽 온도 보상 수단으로부터의 양쪽 온도 보상 전압에 기초하여 상기 전압 제어 수정 발진 회로의 발진 주파수의 제어를 행하도록 한 것을 특징으로 하는 온도 보상형 수정 발진기.

청구항 2.

제1항에 있어서,

상기 아날로그 온도 보상 수단은,

상기 온도 센서의 검출 온도에 기초하여, 상기 수정 진동자의 온도 특성에 대응하는 근사 3차 함수로 이루어지는 온도 보상 전압을 발생하는 3차 함수 발생 수단과,

상기 3차 함수 발생 수단이 발생하는 온도 보상 전압의 소정의 계수를 설정하는 데이터를 사전에 기억하는 메모리를 포함하고,

상기 3차 함수 발생 수단의 상기 계수는, 상기 메모리로부터 판독한 상기 데이터에 의해 설정되도록 되어 있는

것을 특징으로 하는 온도 보상형 수정 발진기.

청구항 3.

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 디지털 온도 보상 수단은,

상기 온도 센서의 검출 온도를 A/D 변환하는 A/D 컨버터와,

상기 A/D 컨버터의 A/D 변환값에 대응하여 사전에 기억되어 있는 디지털 형태의 온도 보상 데이터를 발생하는 불휘발성 메모리와,

상기 불휘발성 메모리로부터의 온도 보상 데이터를 아날로그 형태의 온도 보상 전압으로 D/A 변환하는 D/A 변환기

를 포함하는 것을 특징으로 하는 온도 보상형 수정 발진기.

청구항 4.

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 아날로그 온도 보상 수단과 상기 디지털 온도 보상 수단은 반도체 기판 상에 원칩화한 것을 특징으로 하는 온도 보상형 수정 발진기.

청구항 5.

전압 제어 수정 발진 회로에 온도 보상 신호를 공급함으로써 수정 발진기의 온도 보상을 행하는 온도 보상 방법에 있어서,

상기 수정 발진기의 사용 온도를 검출하고, 상기 검출 온도에 대응하는 소정의 온도 보상 신호를 아날로그적인 수법에 의해 생성하고, 그 온도 보상 신호에 의해 상기 수정 발진기의 아날로그 온도 보상을 행하는 한편,

상기 아날로그 온도 보상의 에러분에 대해서는 상기 검출 온도에 대응하는 소정의 온도 보상 신호를 디지털적인 수법에 의해 생성하고, 상기 온도 보상 신호에 의해 상기 수정 발진기의 디지털 온도 보상을 행하도록 하는

것을 특징으로 하는 수정 발진기의 온도 보상 방법.

청구항 6.

제5항에 있어서,

상기 아날로그 온도 보상은 상기 검출 온도에 기초하여, 상기 수정 진동자의 온도 특성에 대응하는 근사 3차 곡선으로 이루어지는 온도 보상 전압을 발생하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 수정 발진기의 온도 보상 방법.

청구항 7.

제5항 또는 제6항에 있어서,

상기 디지털 온도 보상은,

상기 검출 온도를 A/D 변환하여 A/D 변환값을 구하는 제1 과정과,

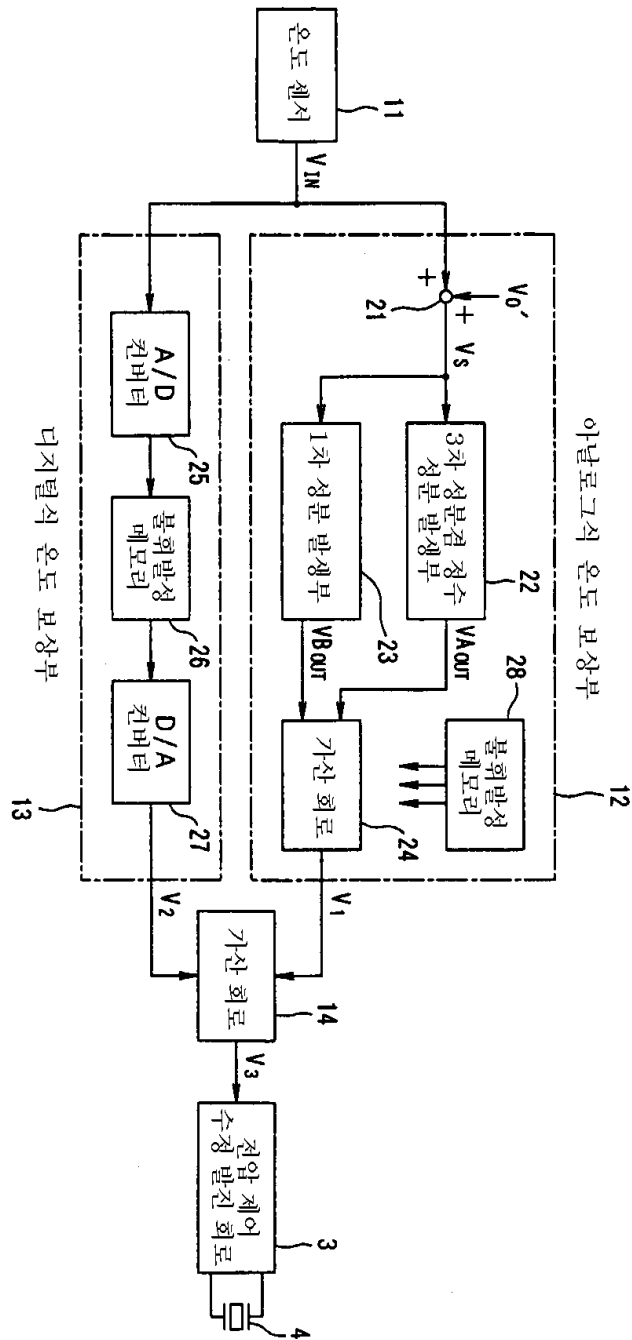
상기 구해진 A/D 변환값에 대응하여 사전에 메모리에 기억되어 있는 디지털 형태의 온도 보상 데이터를 발생하는 제2 과정과,

상기 온도 보상 데이터를 아날로그 형태의 온도 보상 전압으로 D/A 변환하는 제3 과정

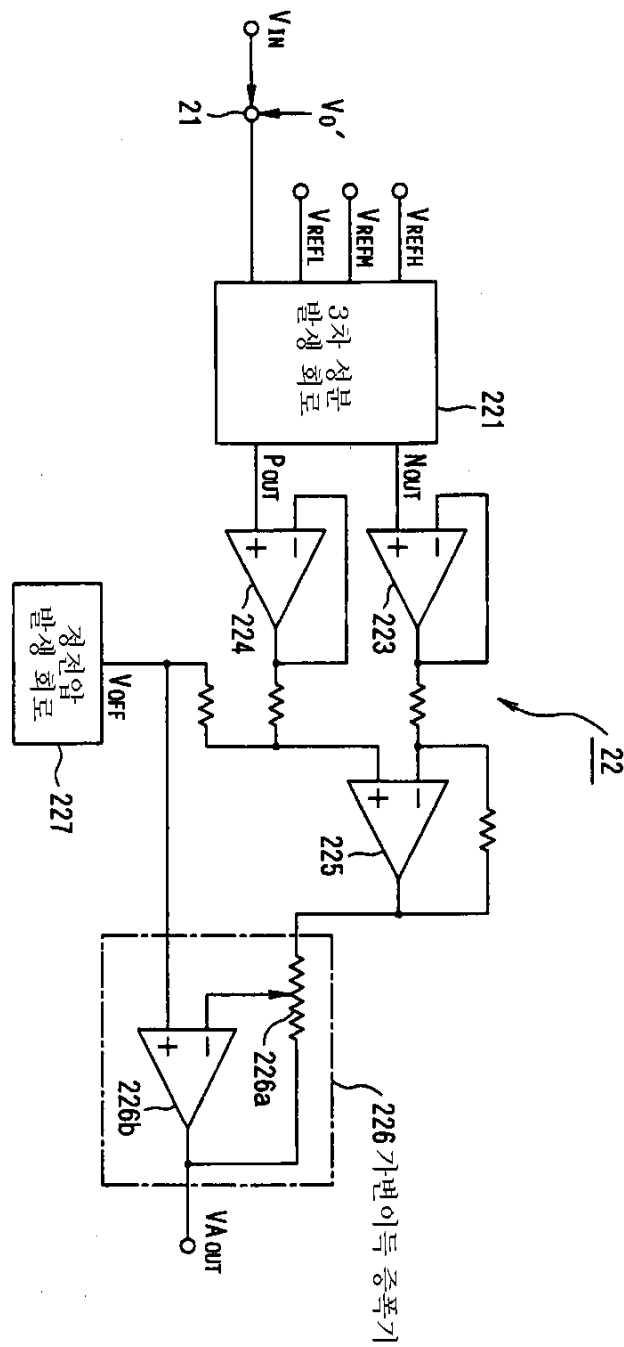
을 포함하는 것을 특징으로 하는 수정 발진기의 온도 보상 방법.

도면

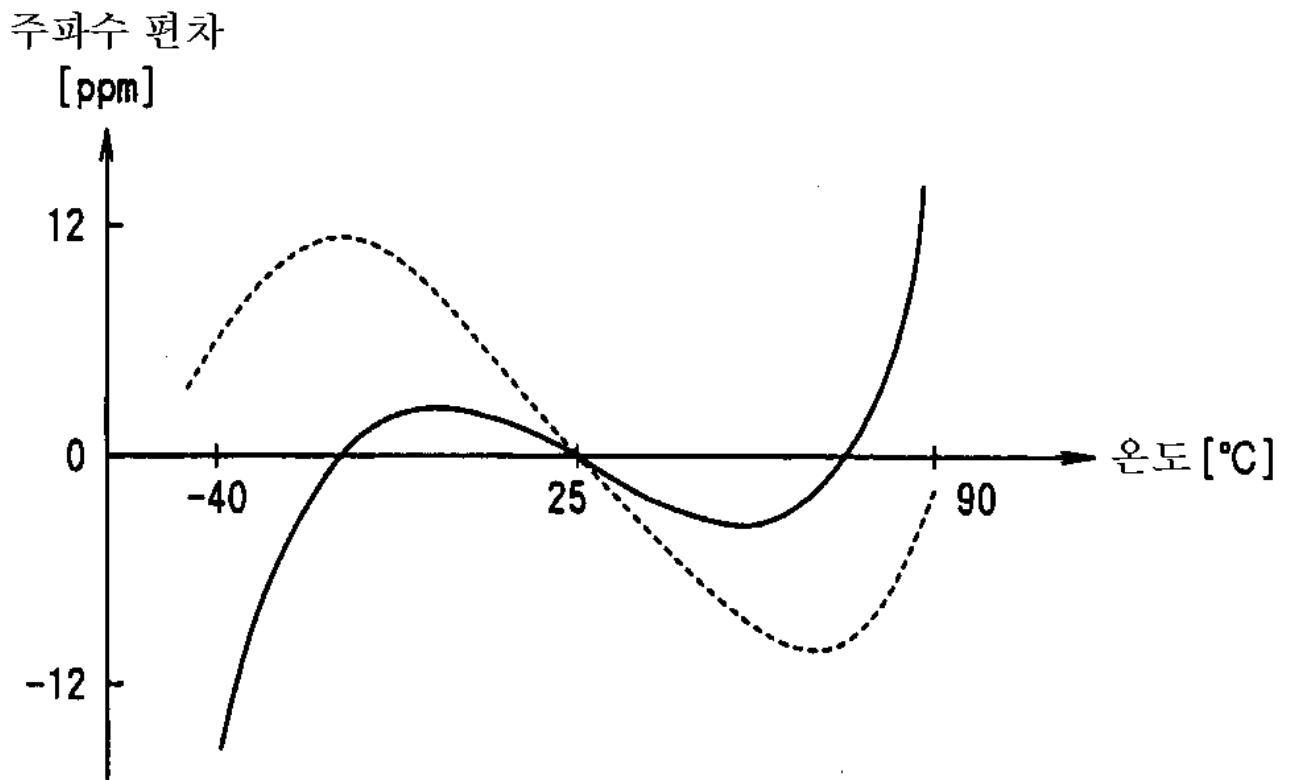
도면 1



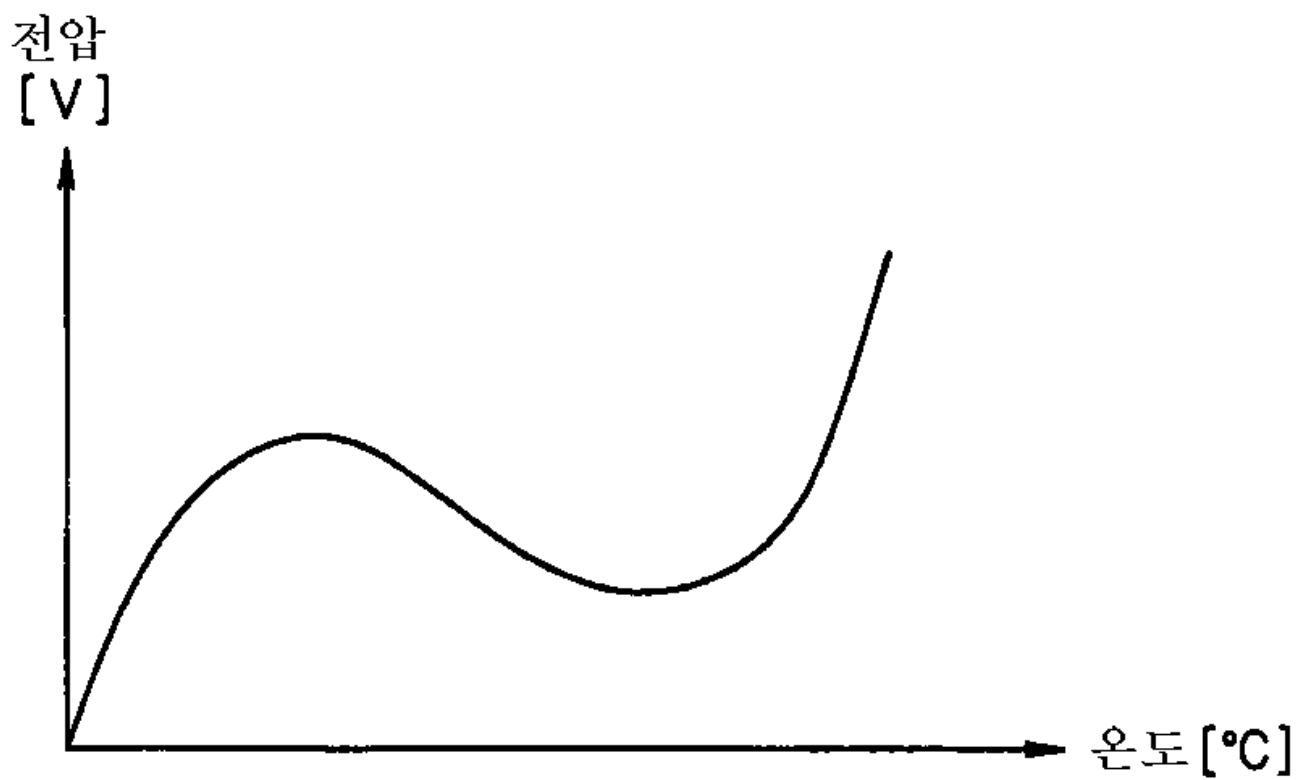
도면 2



도면 3



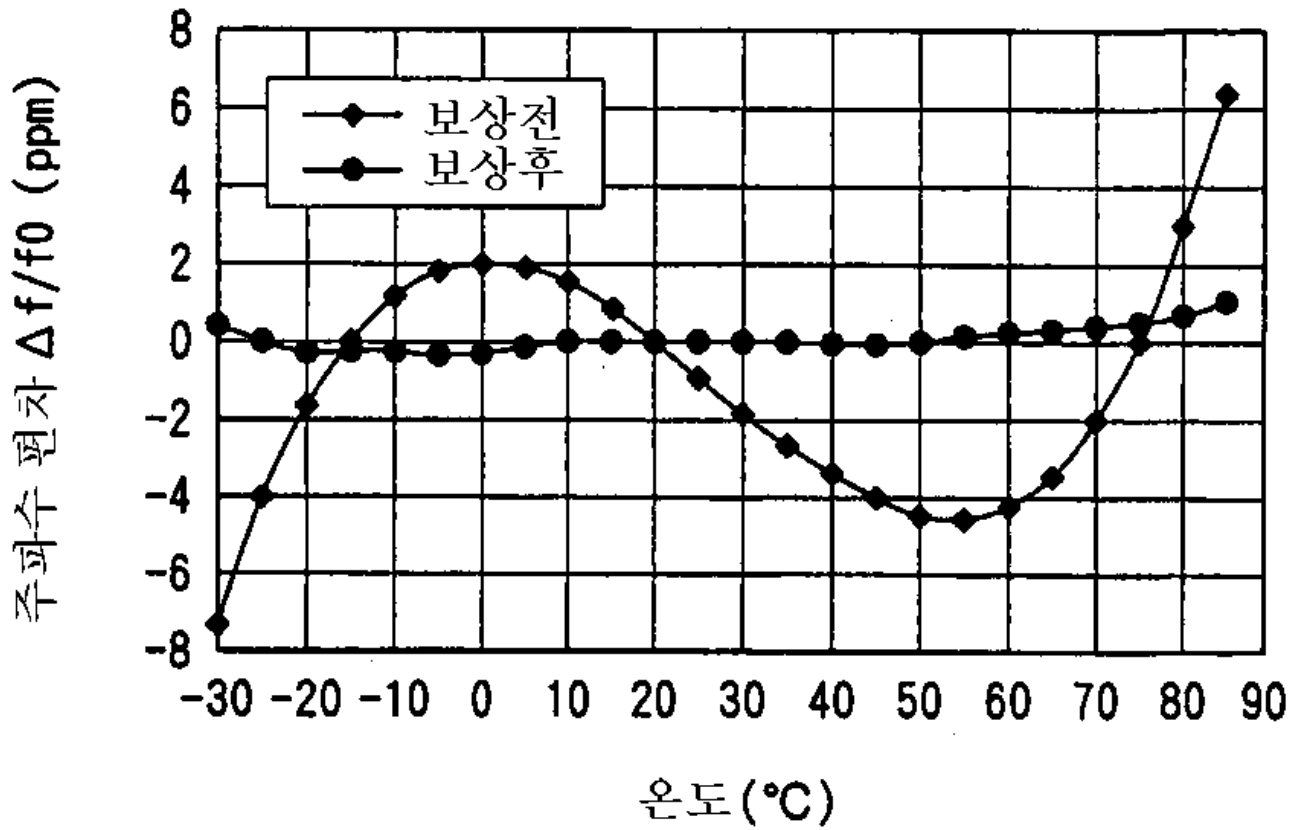
도면 4



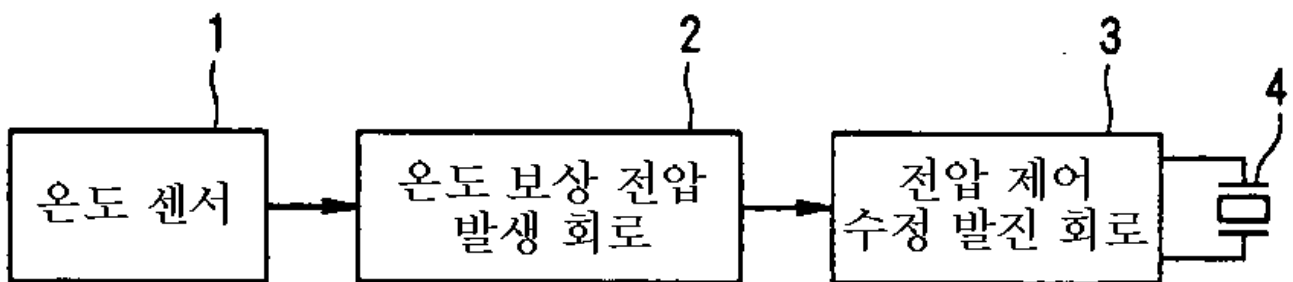
도면 5

온도 (°C)	주파수 편차(ppm)	
	보상전	보상후
-30	-7.17	0.5
-25	-4.11	0
-20	-1.75	-0.18
-15	0	-0.16
-10	1.18	-0.18
-5	1.87	-0.26
0	2.13	-0.25
5	2	-0.16
10	1.59	-0.04
15	0.94	0.03
20	0.11	0.07
25	-0.81	0.04
30	-1.78	0
35	-2.68	-0.04
40	-3.49	-0.04

도면 6



도면 7



도면 8

