



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년07월30일

(11) 등록번호 10-2689671

(24) 등록일자 2024년07월25일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01K 13/00 (2021.01) *G01K 7/20* (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G01K 13/006 (2013.01)
G01K 7/20 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2024-0028640
- (22) 출원일자 2024년02월28일
 심사청구일자 2024년02월28일
- (56) 선행기술조사문헌
 KR1020130032733 A*
 KR1020130123903 A*
 KR1020170012293 A*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
 국립한밭대학교 산학협력단
 대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
- (72) 발명자
 조건희
 대구광역시 수성구 들안로78길 45 (범어동, 이편
 한세상범어) 101동 801호
- 김주성
 대전광역시 유성구 상대북용로29번길 51 (상대동,
 대전아이파크시티 2단지) 207동 703호
 (뒷면에 계속)
- (74) 대리인
 특허법인 플러스

전체 청구항 수 : 총 5 항

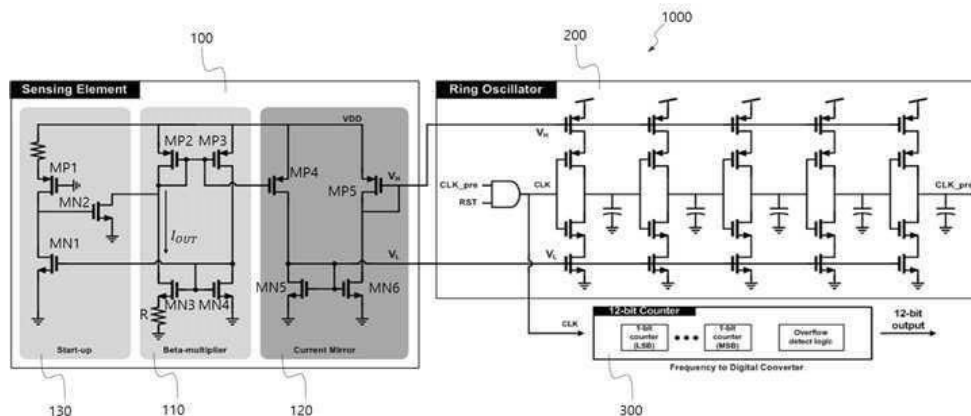
심사관 : 백재홍

(54) 발명의 명칭 극저온에서 동작하는 온도 센서

(57) 요약

본 발명은 극저온에서 동작하는 온도 센서에 관한 것으로, 보다 상세히는 센싱된 온도 정보를 전류 정보로 변환하는 센싱 엘리먼트 회로, 상기 센싱 엘리먼트 회로로부터 전류 정보를 입력받아 주파수를 출력하는 링 오실레이터 회로 및 상기 링 오실레이터 회로로부터 출력되는 주파수에 기초하여 센싱된 온도 정보에 대응되는 디지털 값을 출력하는 카운터를 포함하되, 상기 센싱 엘리먼트 회로는 적어도 하나의 기준 전압을 생성하는 베타 멀티플라이어 회로 및 상기 기준 전압에 기초한 전류 정보를 생성하고, 상기 전류 정보를 상기 링 오실레이터 회로로 전달하는 커런트 미러 회로를 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도



(52) CPC특허분류

G01K 2203/00 (2013.01)

(72) 발명자

박찬정

대구광역시 수성구 지범로22길 23 (지산동, 지산협화맨션) 101동 509호

김지영

대구광역시 북구 산격로10길 32, 303호(더라임)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711172900

과제번호 2022R1A4A3029433

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 기초연구실지원사업

연구과제명 확장성, 신뢰성 갖춘 양자컴퓨터 실현을 위한 극저온 CMOS Interconnect Electronics 개발

과제수행기관명 한밭대학교

연구기간 2022.06.01 ~ 2025.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

센싱된 온도 정보를 전류 정보로 변환하는 센싱 엘리먼트 회로;

상기 센싱 엘리먼트 회로로부터 전류 정보를 입력받아 주파수를 출력하는 링 오실레이터 회로; 및

상기 링 오실레이터 회로로부터 출력되는 주파수에 기초하여 센싱된 온도 정보에 대응되는 디지털 값을 출력하는 카운터;를 포함하되,

상기 센싱 엘리먼트 회로는,

적어도 하나의 기준 전압을 생성하는 베타 멀티플라이어 회로;

상기 기준 전압에 기초한 전류 정보를 생성하고, 상기 전류 정보를 상기 링 오실레이터 회로로 전달하는 커런트 미러 회로; 및

온도 센서의 동작을 활성화시키는 스타트업 회로;를 포함하고,

상기 스타트업 회로는,

제1 복수의 트랜지스터를 포함하고, 전원 전압을 분압하여 출력하는 분압 회로; 및

상기 분압 회로로부터 분압된 상기 전원 전압을 입력받아 상기 베타 멀티플라이어의 동작을 활성화시키는 제2 트랜지스터;를 포함하는, 온도 센서.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 베타 멀티플라이어 회로는,

상기 제2 트랜지스터의 스위칭 동작에 의하여 적어도 하나 이상의 기준 전압을 발생시키는 제3 복수의 트랜지스터; 및

상기 제3 복수의 트랜지스터 중 어느 하나에 연결되는 저항;을 포함하는, 온도 센서.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 커런트 미러 회로는,

일단이 상기 전원 전압과 각각 연결되는 제4 및 제5 트랜지스터; 및

상기 제4 및 제5 트랜지스터의 타단과 일단이 각각 연결되며, 게이트 단자가 서로 연결되는 제6 및 제7 트랜지스터;를 포함하되,

상기 제4 트랜지스터의 게이트 단자는, 상기 베타 멀티플라이어 회로와 연결되고,

상기 제5 트랜지스터의 게이트 단자와 타단은, 서로 연결되며,
 상기 제4 및 제6 트랜지스터 사이에서 제1 전압이 출력되고,
 상기 제5 및 제7 트랜지스터 사이에서 제2 전압이 출력되는, 온도 센서.

청구항 6

제4항에 있어서,
 상기 저항은, 하기 수식을 만족하는, 온도 센서.
 -수식-

$$R = R_{ref}[1 + a(T - T_{ref})]$$

(R은 온도 T에서의 저항 값, R_{ref} 는 기준 온도에서의 저항 값, a는 Temperature coefficient(TC), T는 회로가 동작하는 온도, T_{ref} 는 a가 정의되는 기준 온도)

청구항 7

제6항에 있어서,
 상기 저항은, rppolywo 저항인, 온도 센서.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 온도 센서에 관한 것으로, 보다 상세히는 극저온에서 동작하는 온도 센서에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 도 1은 종래 relaxation oscillator 기반 온도 센서를 도시한 회로도이고,

[0003] 도 2는 종래 bandgap reference circuit을 도시한 회로도이며,

[0004] 도 3은 종래 ring oscillator의 주파수 - 온도 그래프이다.

[0005] 도 1을 보면, 종래의 온도 센서는 relaxation oscillator를 기반으로 한 온도 센서이다. 구체적으로 보면, 종래의 온도 센서는 온도 정보를 전류로 변환한 뒤, 전류로 oscillator를 구동하여 최종적으로 주파수 정보로 변환할 수 있다. 이때, comparator를 구동하기 위해서는 reference voltage가 필요하다. 온도에 무관한 reference voltage를 발생시키기 위해서는 도 2에 도시된 바와 같이, bandgap reference circuit가 필요한데, 여기에는 BJT가 포함된 것을 알 수 있다. 이 회로에 사용되는 BJT는 $-60^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 에서 동작하며, 극저온 영역에서는 동작하지 않아 광대역 온도 센싱에 적합하지 않는 단점이 있다.

[0006] 또한, 도 3에 도시된 그래프를 보면, 기존의 ring oscillator의 경우, 주파수가 온도에 비례한 선형적인 특성이 나타나지 않는 것을 알 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 한국 특허공보 제10-2014-0011200호("온도 측정 회로". 공고일 2014.01.28.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상기한 바와 같은 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, 본 발명에 의한 극저온에서 동작하는 온도 센서의 목적은, [start-up]-[beta multiplier]-[current mirror]-[current controlled ring oscillator]-[counter] 구조에 기초하여 BJT를 포함하는 bandgap reference circuit을 제외하여 극저온에서도 온도 측정이 가능한 온도 센서를 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기한 바와 같은 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 다양한 실시예에 의한 극저온에서 동작하는 온도 센서는 센싱된 온도 정보를 전류 정보로 변환하는 센싱 엘리먼트 회로, 상기 센싱 엘리먼트 회로로부터 전류 정보를 입력받아 주파수를 출력하는 링 오실레이터 회로 및 상기 링 오실레이터 회로로부터 출력되는 주파수에 기초하여 센싱된 온도 정보에 대응되는 디지털 값을 출력하는 카운터를 포함하되, 상기 센싱 엘리먼트 회로는 적어도 하나의 기준 전압을 생성하는 베타 멀티플라이어 회로 및 상기 기준 전압에 기초한 전류 정보를 생성하고, 상기 전류 정보를 상기 링 오실레이터 회로로 전달하는 커런트 미러 회로를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0010] 또한, 상기 센싱 엘리먼트 회로는 상기 온도 센서의 동작을 활성화시키는 스타트업 회로를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0011] 또한, 상기 스타트업 회로는 제1 복수의 트랜지스터를 포함하고, 전원 전압을 분압하여 출력하는 분압 회로 및 상기 분압 회로로부터 분압된 상기 전원 전압을 입력받아 상기 베타 멀티플라이어의 동작을 활성화시키는 제2 트랜지스터를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0012] 또한, 상기 베타 멀티플라이어 회로는 상기 제2 트랜지스터의 스위칭 동작에 의하여 적어도 하나 이상의 기준 전압을 발생시키는 제3 복수의 트랜지스터 및 상기 제3 복수의 트랜지스터 중 어느 하나에 연결되는 저항을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0013] 또한, 상기 커런트 미러 회로는 일단이 상기 전원 전압과 각각 연결되는 제4 및 제5 트랜지스터 및 상기 제4 및 제5 트랜지스터의 타단과 일단이 각각 연결되며, 게이트 단자가 서로 연결되는 제6 및 제7 트랜지스터를 포함하되, 상기 제4 트랜지스터의 게이트 단자는 상기 베타 멀티플라이어 회로와 연결되고, 상기 제5 트랜지스터의 게이트 단자와 타단은 서로 연결되며, 상기 제4 및 제6 트랜지스터 사이에서 제1 전압이 출력되고, 상기 제5 및 제7 트랜지스터 사이에서 제2 전압이 출력되는 것을 특징으로 한다.

[0014] 또한, 상기 저항은 하기 수식을 만족하는 것을 특징으로 한다.

[0015] -수식-

$$R = R_{ref}[1 + a(T - T_{ref})]$$

[0016]

[0017] (R은 온도 T에서의 저항 값, R_{ref} 는 기준 온도에서의 저항 값, a는 Temperature coefficient(TC), T는 회로가 동작하는 온도, T_{ref} 는 a가 정의되는 기준 온도)

[0018] 또한, 상기 저항은 rppolywo 저항인 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0019] 상기한 바와 같은 본 발명의 다양한 실시예에 의한 극저온에서 동작하는 온도 센서에 의하면, 온도 구간에 따른 선형성을 개선할 수 있으며, 측정 가능한 온도 범위를 확대할 수 있는 효과가 있다.

[0020] 또한, 양자 컴퓨팅 시스템의 4K 영역에서 사용이 가능한 효과가 있다.

[0021] 뿐만 아니라, 양자 컴퓨팅 시스템의 동작 속도를 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 종래 relaxation oscillator 기반 온도 센서를 도시한 회로도

- 도 2는 종래 bandgap reference circuit을 도시한 회로도
- 도 3은 종래 ring oscillator의 주파수 - 온도 그래프
- 도 4는 본 발명의 실시예에 의한 온도 센서를 도시한 회로도
- 도 5는 본 발명의 실시예에 의한 센싱 엘리먼트 회로도
- 도 6은 본 발명의 실시예인 센싱 엘리먼트 회로에 따른 PTAT 전류 그래프
- 도 7은 본 발명의 실시예에 의한 온도에 따른 CTAT rppolywo 저항 그래프
- 도 8은 본 발명의 실시예인 센싱 엘리먼트 회로에 의해 보상된 주파수 - 온도 그래프
- 도 9는 본 발명의 실시예에 의한 전류 제어 기반 ring oscillator의 주파수 - 온도 그래프

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시예에 의하여 달성되는 목적을 설명하기 위하여 이하에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하고 이를 참조하여 살펴본다.
- [0024] 먼저, 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로서, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니며, 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함할 수 있다. 또한 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0025] 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다.
- [0026] 도 4는 본 발명의 실시예에 의한 온도 센서를 도시한 회로도이다.
- [0027] 도 4에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 의한 온도 센서(1000)는 센싱 엘리먼트 회로(100), 링 오실레이터 회로(200) 및 카운터(300)를 포함할 수 있다.
- [0028] 센싱 엘리먼트 회로(100)는 센싱된 온도 정보를 전류 정보로 변환할 수 있다.
- [0029] 링 오실레이터 회로(200)는 센싱 엘리먼트 회로(100)와 연결되어, 센싱 엘리먼트 회로(100)로부터 전류 정보를 받아 주파수를 출력할 수 있다. 이때, 센싱 엘리먼트 회로(100)로부터 얻어진 전류 정보에 주파수가 제어될 수 있다.
- [0030] 카운터(300)는 링 오실레이터 회로(200)로부터 출력되는 주파수에 기초하여 센싱 엘리먼트 회로(100)에서 센싱한 온도 정보에 대응되는 디지털 값을 출력할 수 있다. 이때, 카운터(300)는 온도 정보에 대응되는 12-bit 정보를 출력할 수 있다.
- [0031] 도 5는 본 발명의 실시예에 의한 센싱 엘리먼트 회로도이다.
- [0032] 도 5에 도시된 바와 같이, 센싱 엘리먼트 회로(100)는 적어도 하나의 기준 전압을 생성하는 베타 멀티플라이어 회로(110) 및 커런트 미러 회로(120)를 포함할 수 있다.
- [0033] 커런트 미러 회로(120)는 베타 멀티플라이어 회로(110)에서 생성된 기준 전압에 기초한 전류 정보를 생성할 수 있으며, 생성된 전류 정보를 링 오실레이터 회로(200)로 전달할 수 있다.
- [0034] 한편, 도 4에 도시된 바와 같이, 본 발명에 의한 센싱 엘리먼트 회로(100)는 스타트업 회로(130)를 더 포함할 수 있다.
- [0035] 스타트업 회로(130)는 베타 멀티플라이어 회로(110)의 전단과 연결되어 온도 센서(1000)의 동작을 활성화시킬 수 있다. 즉, 스타트업 회로(130)는 베타 멀티플라이어 회로(110)의 전단과 연결되어 베타 멀티플라이어 회로(110)의 동작을 활성화시킬 수 있다.
- [0036] 구체적으로, 스타트업 회로(130)는 분압 회로 및 제2 트랜지스터를 포함할 수 있다.
- [0037] 분압 회로는 제1 복수의 트랜지스터를 포함하여, 이를 통해 전원 전압을 분압하여 출력할 수 있다. 제1 복수의

트랜지스터는 PMOS와 NMOS인 것이 바람직하며, 각각 MP1, MN1으로 도시하겠다.

[0038] 제2 트랜지스터는 분압회로 및 베타 멀티플라이어 회로(110)의 전단과 연결되어, 분압회로로부터 분압된 전원 전압을 입력받아 베타 멀티플라이어 회로(110)의 동작을 활성화시킬 수 있다. 이때, 제2 트랜지스터는 NOMS인 것이 바람직하며, MN2로 도시하겠다.

[0039] 더불어, 베타 멀티플라이어 회로(110)는 제3 복수의 트랜지스터 및 저항(R)을 포함할 수 있다.

[0040] 제3 복수의 트랜지스터는 PMOS와 NMOS를 포함할 수 있으며, 구체적으로, MP2, MP3, MN3, MN4를 포함할 수 있다. 이를 통해 연결된 제2 트랜지스터의 스위칭 동작에 의해 적어도 이상의 기준 전압을 발생시킬 수 있다.

[0041] 저항(R)은 제3 복수의 트랜지스터 중 어느 하나와 연결될 수 있으며, 구체적으로, MN3와 연결될 수 있다. 보다 구체적으로, 베타 멀티플라이어 회로(110)에 흐르는 전류인 I_{OUT} 은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$I_{OUT} = \frac{2}{\mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_N} * \frac{1}{R^2} * \left(1 - \frac{1}{\sqrt{K}}\right)$$

[0043] 이에 따라, 저항(R)을 수식으로 나타내면 다음과 같이 정의 될 수 있다.

$$R = R_{ref}[1 + a(T - T_{ref})]$$

[0045] (R은 온도 T에서의 저항 값, R_{ref} 는 기준 온도에서의 저항 값, a는 Temperature coefficient(TC), T는 회로가 동작하는 온도, T_{ref} 는 a가 정의되는 기준 온도)

[0046] 한편, 커런트 미러 회로(120)는 일단이 전원 전압과 각각 연결되는 제4 및 제5 트랜지스터 및 제4 및 제5 트랜지스터의 타단과 일단이 각각 연결되며, 게이트 단자가 서로 연결되는 제6 및 제7 트랜지스터를 포함할 수 있다. 제4 및 제5 트랜지스터는 각각 MP4, MP5로 도시하고, 제6 및 제7 트랜지스터는 각각 MN5, MN6으로 도시하겠다.

[0047] 여기서, 제4 트랜지스터의 게이트 단자는, 베타 멀티플라이어 회로(110)와 연결될 수 있다. 또한, 제5 트랜지스터의 게이트 단자와 타단은 서로 연결될 수 있다. 또한, 제4 및 제6 트랜지스터 사이에서 제1 전압이 출력될 수 있으며, 제5 및 제7 트랜지스터 사이에서 제2 전압이 출력될 수 있다. 제1 전압은 도면상 V_L 을 의미하고, 제2 전압은 도면상 V_H 를 의미한다.

[0048] 이처럼, 본 발명에 의한 온도 센서(1000)는 센싱 엘리먼트 회로(100)에 베타 멀티플라이어 회로(110)를 포함하여 기준 전압을 생성하고, 이후, 커런트 미러 회로(120)의 V_L 과 V_H 를 통해 링 오실레이터 회로(200)에 전류 정보를 전달함으로써 링 오실레이터 회로(200)의 TC(Temperature coefficient) 특성을 보상할 수 있으며, 종래의 기준 전압을 생성하기 위한 BJT를 포함하지 않아 극저온에서 동작할 수 있다.

[0049] 도 6은 본 발명의 실시예인 센싱 엘리먼트 회로에 따른 PTAT 전류 그래프이고,

[0050] 도 7은 본 발명의 실시예에 의한 온도에 따른 CTAT rppolywo 저항 그래프이며,

[0051] 도 8은 본 발명의 실시예인 센싱 엘리먼트 회로에 의해 보상된 주파수 - 온도 그래프이고,

[0052] 도 9는 본 발명의 실시예에 의한 전류 제어 기반 ring oscillator의 주파수 - 온도 그래프이다.

[0053] 구체적으로, 커런트 미러 회로(120)를 통해 유도된 V_L 과 V_H 노드의 전류는 상기의 수식들에 따라 1/R에 비례한다. 그렇기 때문에, 링 오실레이터 회로(200)에 인가되는 전류의 TC는 베타 멀티플라이어 회로(110)에 포함된 저항(R)의 TC에 반비례하게 된다. 따라서, 도 6에 도시된 바와 같이, 선형적인 PTAT 전류를 만들기 위해 베타 멀티플라이어 회로(110)에 포함된 저항(R)은 도 7에 도시된 바와 같이, CTAT(complementary to absolute temperature) 저항일 수 있다. 보다 구체적으로, TSMC 65nm 공정에서 지원하는 rppolywo 저항일 수 있다.

[0054] 이에 따라, 본원 발명의 센싱 엘리먼트 회로(100)를 통해 보상된 주파수-온도 그래프를 보면 도 8에 도시된 바와 같을 수 있다. 이때, 센싱 엘리먼트 회로(100)를 통해 생성된 전류의 TC를 통해 주파수의 TC를 제어할 수 있

으며, 이에 따라, 도 9와 같이, 링 오실레이터 회로(200)가 4K에서 300K까지 넓은 구간에서 높은 선형성을 갖도록 제어할 수 있다.

[0055] 이상에서 본 발명의 바람직한 실시 예에 대하여 설명하였으나, 본 발명은 상술한 특정의 실시 예에 한정되지 아니한다. 즉, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가지는 자라면 첨부된 특허청구범위의 사상 및 범주를 일탈함이 없이 본 발명에 대한 다수의 변경 및 수정이 가능하며, 그러한 모든 적절한 변경 및 수정은 균등물들로 본 발명의 범위에 속하는 것으로 간주되어야 할 것이다.

부호의 설명

[0056] 1000 : 온도 센서

100 : 센싱 엘리먼트 회로

110 : 베타 멀티플라이어 회로

120 : 커런트 미러 회로

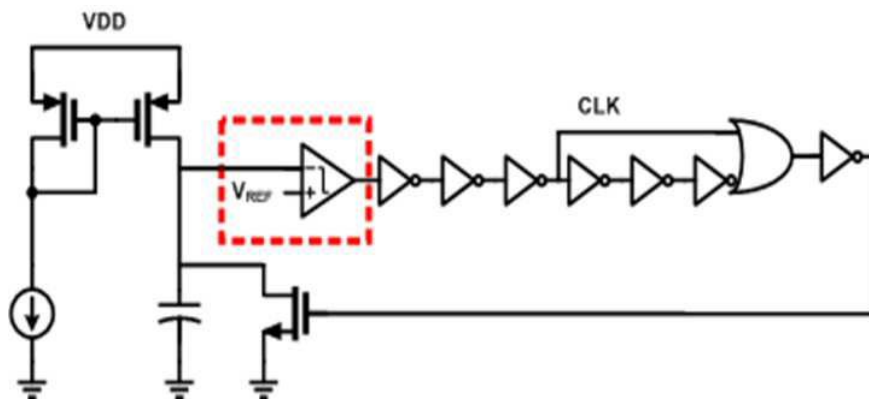
130 : 스타트업 회로

200 : 링 오실레이터 회로

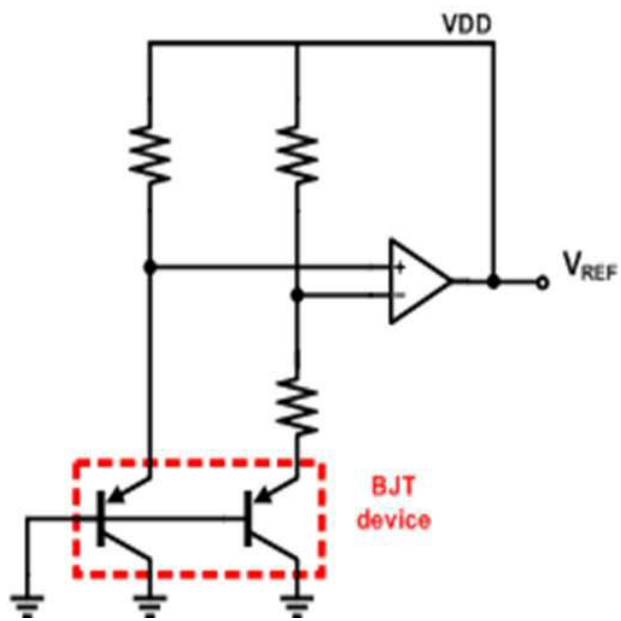
300 : 카운터

도면

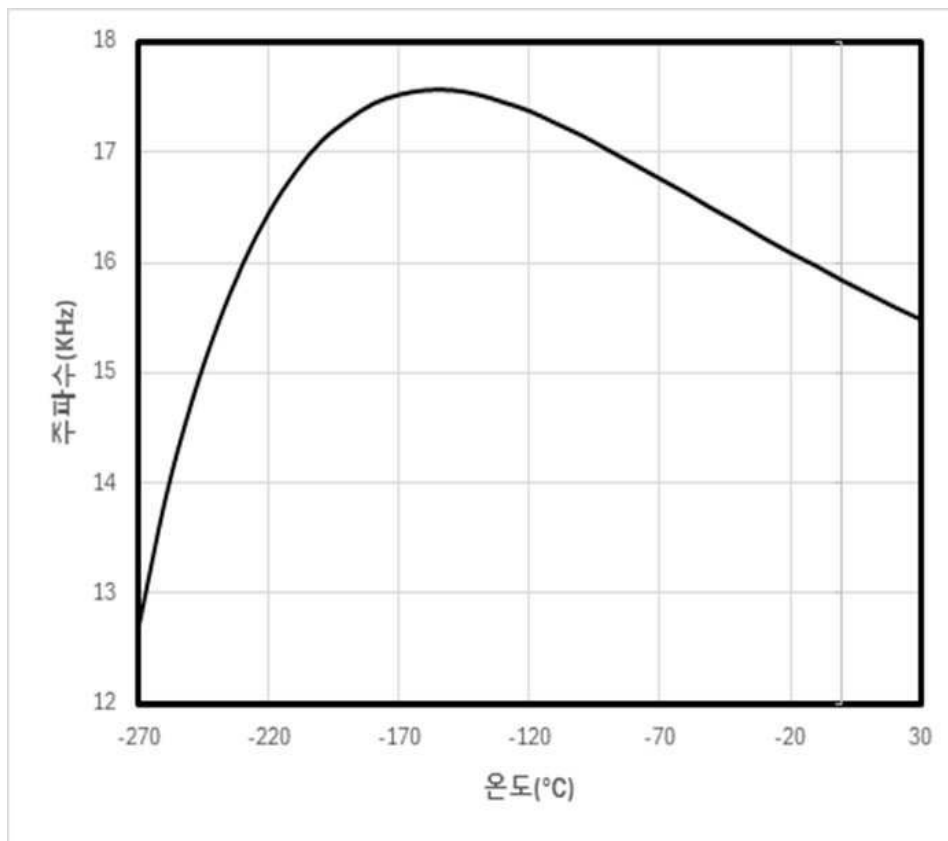
도면1



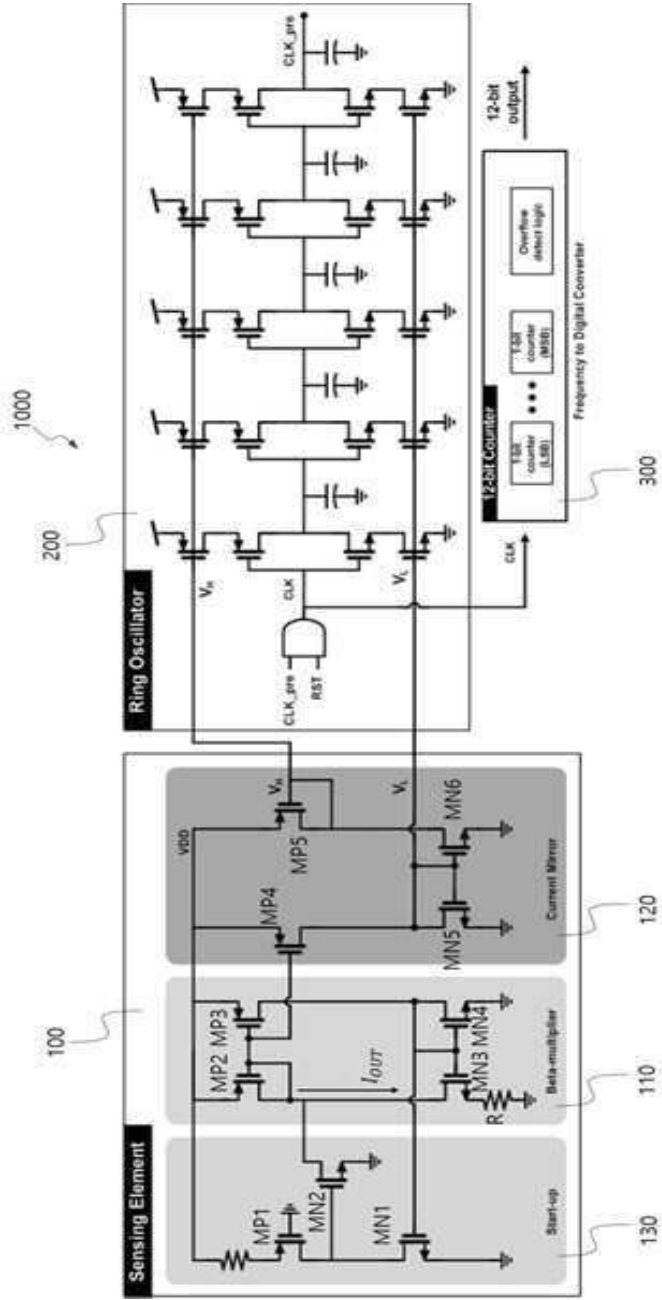
도면2



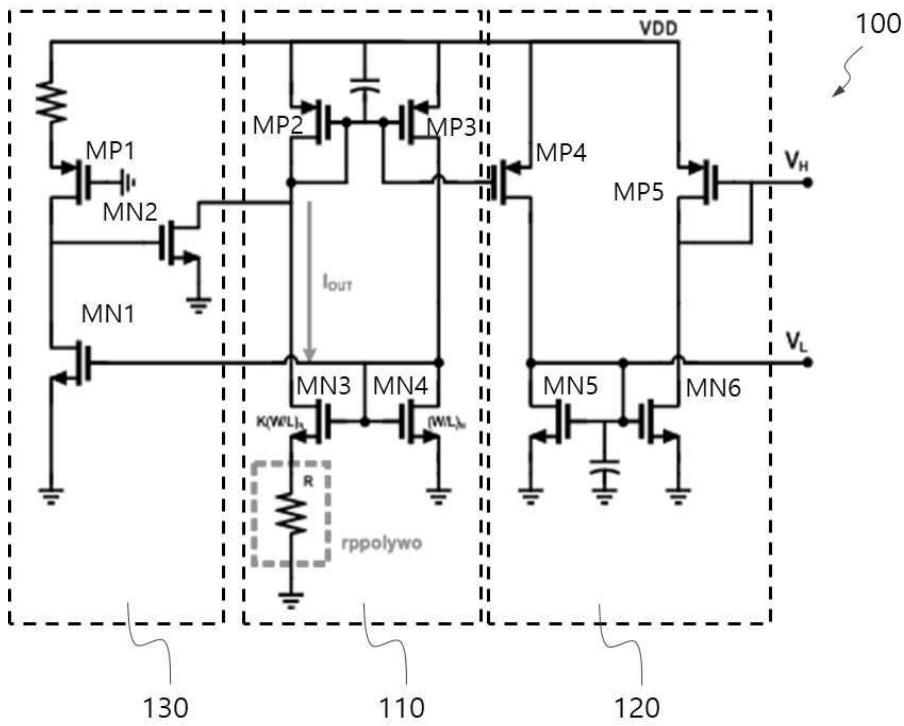
도면3



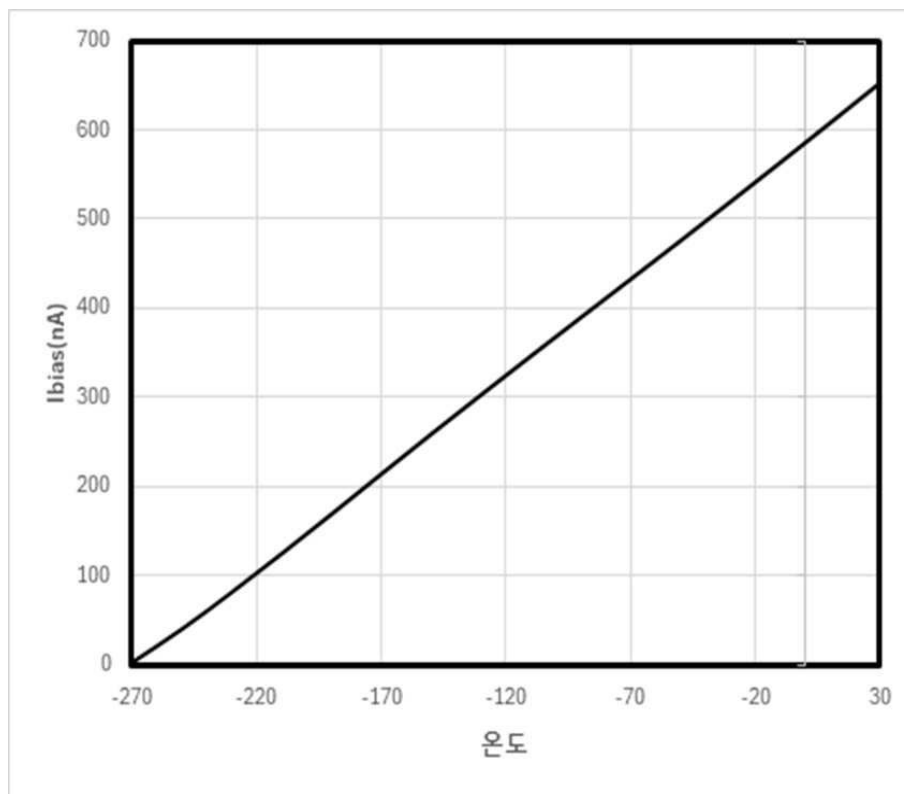
도면4



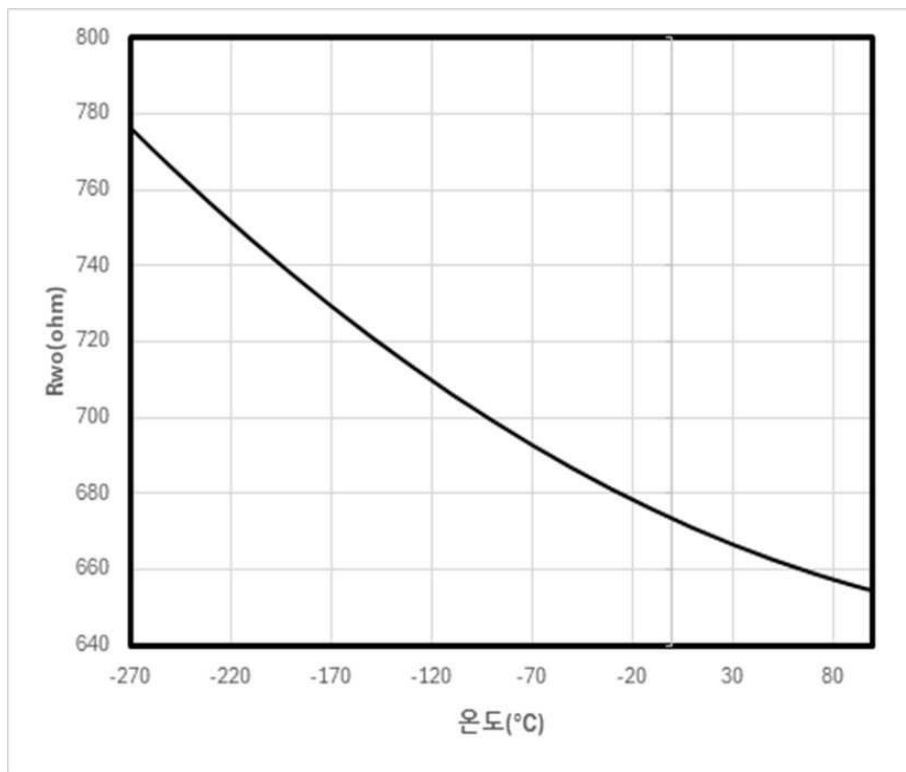
도면5



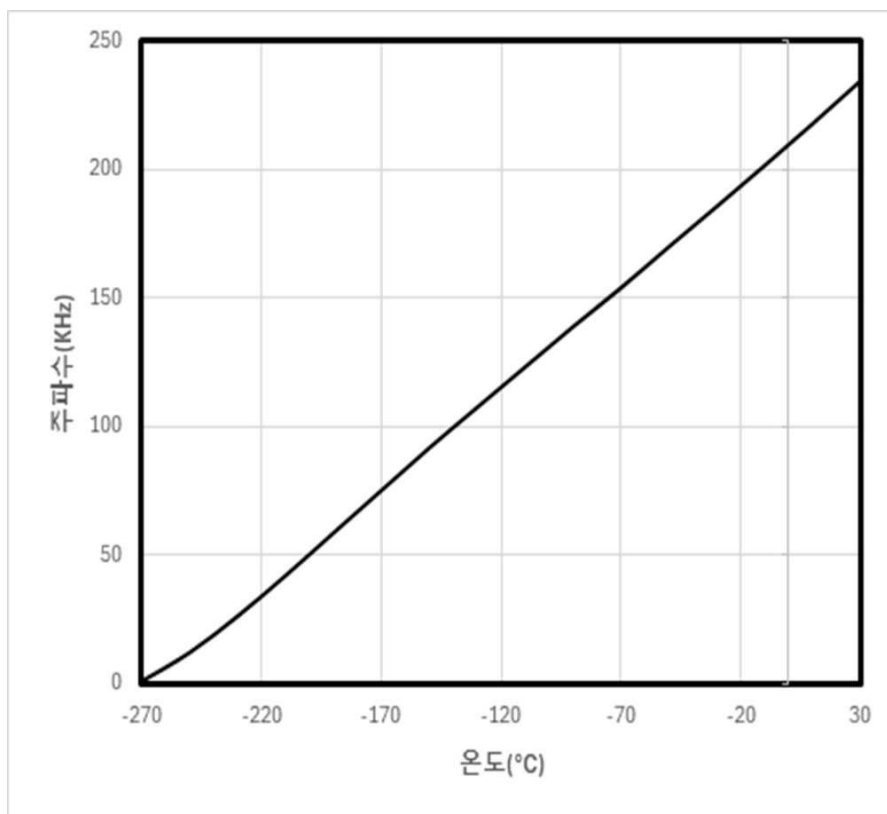
도면6



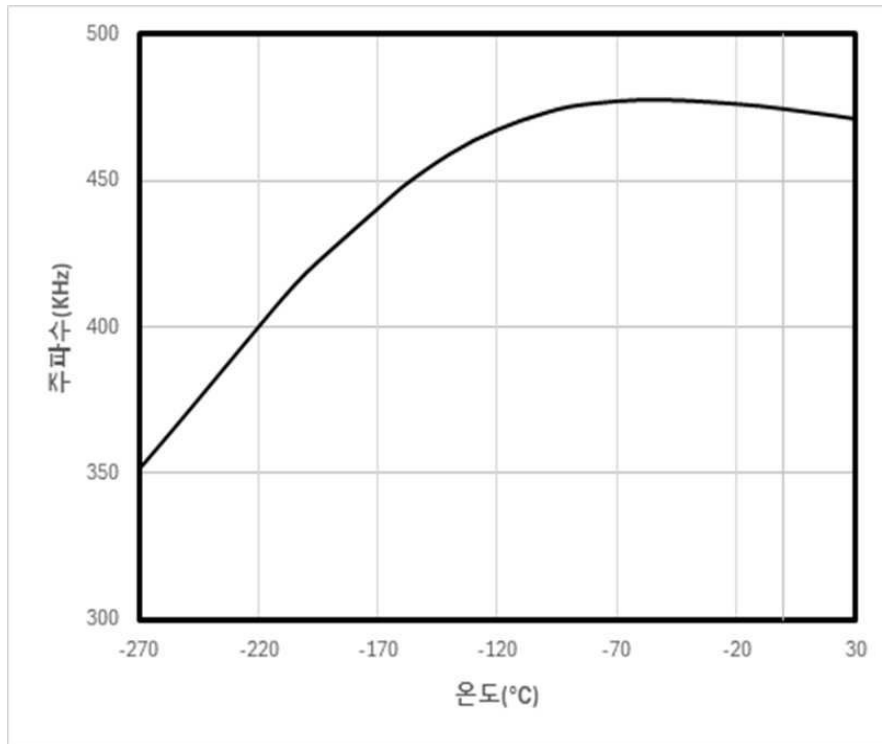
도면7



도면8



도면9



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 1

【변경전】

센싱된 온도 정보를 전류 정보로 변환하는 센싱 엘리먼트 회로;

상기 센싱 엘리먼트 회로로부터 전류 정보를 입력받아 주파수를 출력하는 링 오실레이터 회로; 및

상기 링 오실레이터 회로로부터 출력되는 주파수에 기초하여 센싱된 온도 정보에 대응되는 디지털 값을 출력하는 카운터;를 포함하되,

상기 센싱 엘리먼트 회로는,

적어도 하나의 기준 전압을 생성하는 베타 멀티플라이어 회로;

상기 기준 전압에 기초한 전류 정보를 생성하고, 상기 전류 정보를 상기 링 오실레이터 회로로 전달하는 커런트 미러 회로; 및

상기 온도 센서의 동작을 활성화시키는 스타트업 회로;를 포함하고,

상기 스타트업 회로는,

제1 복수의 트랜지스터를 포함하고, 전원 전압을 분압하여 출력하는 분압 회로; 및

상기 분압 회로로부터 분압된 상기 전원 전압을 입력받아 상기 베타 멀티플라이어의 동작을 활성화시키는 제2 트랜지스터;를 포함하는, 온도 센서.

【변경후】

센싱된 온도 정보를 전류 정보로 변환하는 센싱 엘리먼트 회로;

상기 센싱 엘리먼트 회로로부터 전류 정보를 입력받아 주파수를 출력하는 링 오실레이터 회로; 및

상기 링 오실레이터 회로로부터 출력되는 주파수에 기초하여 센싱된 온도 정보에 대응되는 디지털 값을 출력하는 카운터;를 포함하되,

상기 센싱 엘리먼트 회로는,

적어도 하나의 기준 전압을 생성하는 베타 멀티플라이어 회로;

상기 기준 전압에 기초한 전류 정보를 생성하고, 상기 전류 정보를 상기 링 오실레이터 회로로 전달하는 커런트 미러 회로; 및

온도 센서의 동작을 활성화시키는 스타트업 회로;를 포함하고,

상기 스타트업 회로는,

제1 복수의 트랜지스터를 포함하고, 전원 전압을 분압하여 출력하는 분압 회로; 및

상기 분압 회로로부터 분압된 상기 전원 전압을 입력받아 상기 베타 멀티플라이어의 동작을 활성화시키는 제2 트랜지스터;를 포함하는, 온도 센서.