



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년07월16일  
(11) 등록번호 10-1284687  
(24) 등록일자 2013년07월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H03L 7/099 (2006.01) H03B 15/00 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2012-0040590  
(22) 출원일자 2012년04월18일  
심사청구일자 2012년04월18일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR10201110036205 A  
KR2019990031229 U  
US20080150640 A1

(73) 특허권자  
한국과학기술원  
대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)  
(72) 발명자  
오인열  
대전광역시 유성구 노은동 553-8번지 스타덤 아파트 507호  
박철순  
대전광역시 유성구 용산동 테크노밸리 11단지 1007동 502호  
(74) 대리인  
맹성재, 이시근

전체 청구항 수 : 총 10 항

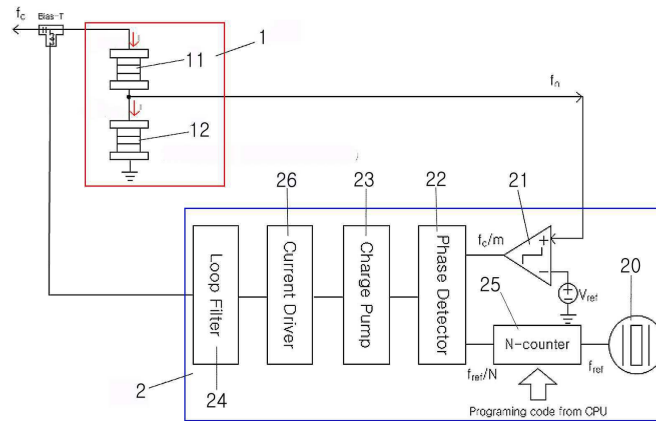
심사관 : 김수섭

(54) 발명의 명칭 스핀전달토크 나노 발진기에 적합한 피엘엘

**(57) 요약**

본 발명은 고속 통신에 유리한 스핀 나노 발진기의 위상 잡음 특성을 개선할 수 있는 스핀 나노 발진기용 PLL 방법에 관한 것으로서, 동일한 전류가 흐르되 서로 다른 주파수 출력 특성을 갖는 최소한 한 쌍의 스핀 나노 발진기로 이루어져 전류의 흐름을 제어하여 주파수를 고정할 수 있게 한 스핀 나노 발진기용 PLL에 관한 것이다.

**대표도 - 도2**



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2011-0027906
부처명	교육과학기술부
연구사업명	파이오니어 사업
연구과제명	스핀트로닉 나노 라디오 구현
주관기관	한국과학기술원
연구기간	2011.09.01 ~ 2012.02.28

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

서로 다른 주파수 발진 특성을 갖고 동일한 전류가 흐르는 적어도 한 쌍의 스핀 나노 발진기로 이루어진 발진부 및

상기 발진부의 스핀 나노 발진기 중 상대적으로 낮은 주파수로 발진하는 스핀 나노 발진기의 주파수와 기준 주파수를 비교하여 주파수를 고정하는 주파수고정부를 포함하는 것을 특징으로 하는 스핀 나노 발진기용 PLL

### 청구항 2

입력 전류에 따라 발진 주파수가 반비례하는 스핀 나노 발진기;

상기 스핀 나노 발진기를  $n \times m$  행렬로 배치하되, 열 방향은 앞선 행의 2개의 스핀 나노 발진기 한 쌍을 병합하여 최종적으로 하나의 출력으로 프리스케일링하는 발진부 및

상기 발진부의 첫 번째 행은 동작 주파수로 출력하고, 마지막 행의 출력 주파수를 기준 주파수와 비교하여 상기 동작 주파수를 고정하는 주파수고정부를 포함하는 것을 특징으로 하는 스핀 나노 발진기용 PLL

### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 발진부의 마지막 행 스핀 나노 발진기의 전류는 첫 번째 행 전류의  $2^{(n-1)}$  배인 것을 특징으로 하는 스핀 나노 발진기용 PLL

### 청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 주파수고정부는,

상대적으로 낮은 주파수 특성을 갖는 스핀 나노 발진기의 출력과 기준전압(Vref)을 비교하는 비교기,

상기 기준 주파수와 상기 비교기로부터 출력되는 낮아진 주파수를 비교하는 위상검출기(Phase Detector),

펄스신호에 따라 특정량의 전하를 밀고 당기는 충전펌프(Charge pump) 및

상기 충전펌프의 출력을 축적했다 방출하는 루프필터(Loop filter)로 이루어진 것을 특징으로 하는 스핀 나노 발진기용 PLL

### 청구항 5

제4항에 있어서,

상기 주파수고정부는 전류 제어를 위한 전류드라이버를 더 구비한 것을 특징으로 하는 스핀 나노 발진기용 PLL

### 청구항 6

제4항에 있어서,

상기 기준주파수를 프리스케일링하기 위한 카운터를 더 구비한 것을 특징으로 하는 스핀 나노 발진기용 PLL

### 청구항 7

제6항에 있어서,

상기 비교기의 출력단에 상기 비교기의 출력을 프리스케일링하기 위한 카운터가 더 구비된 것을 특징으로 하는 스핀 나노 발진기용 PLL

### 청구항 8

제7항에 있어서,

상기 카운터에서 카운트하는 값은 제어기에 의해 제어되는 것을 특징으로 하는 스핀 나노 발진기용 PLL

**청구항 9**

제5항에 있어서,

상기 전류드라이버는 전류미러 회로로 구성되는 것을 특징으로 하는 스핀 나노 발진기용 PLL

**청구항 10**

전류에 따라 발진 주파수가 비례하는 스핀 나노 발진기;

상기 스핀 나노 발진기를  $n \times m$  행렬로 배치하되, 열 방향은 앞선 행의 스핀 나노 발진기를 2개로 분주하고 최종적으로  $2^{n-1}$ 개로 분기하여 프리스케일링하는 발진부 및

상기 발진부의 첫 번째 행은 동작 주파수로 출력하고, 마지막 행의 주파수 출력은 기준 주파수를 비교하여 주파수를 고정하는 주파수고정부를 포함하는 것을 특징으로 하는 스핀 나노 발진기용 PLL

**청구항 11**

삭제

**청구항 12**

삭제

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 무선통신에서 스핀전달토크 나노 발진기(spin transfer torque oscillator, 이하 '스핀 나노 발진기'라 함)의 주파수를 고정하기 위한 제어회로인 PLL(Phase Locked Loop)에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 기존의 프리스케일러 대신에 스핀 나노 발진기 어레이를 이용하여 제어회로를 구성한 PLL에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 스핀 나노 발진기를 이용한 무선통신 방식은 소자를 나노 사이즈 단위로 제작할 수 있어서 어레이화하기 용이하여 초소형 구현이 가능하며, 광대역 발진 신호 특성으로 주파수 융복합 동작이 가능하고, 안정시간 동작 특성이 빨라 간단히 고속 통신 기능 구현이 가능하다.

[0003] 그러나 현재까지 발표된 스핀 나노 발진기의 출력 레벨은 -40dBm 이하의 미약한 신호이며, 위상잡음 특성이 좋지 못해 기존 VCO(voltage controlled oscillator)를 대체한다든가 또는 기타 무선통신 부품에 적용하기에는 문제가 많다. 즉 -40dBm 이하의 출력 레벨로는 이동통신용의 국부 발진기(local oscillator: LO)로 사용할 수 없으며, 나쁜 위상 잡음 특성은 통신의 잡음 레벨을 크게 올려서 SNR을 열화 또는 왜곡시켜서 현재의 수준으로는 이동통신 등의 VCO를 대체하여 사용할 수는 없다.

[0004] 이러한 문제로 전 세계적으로 앞서가는 그룹들은 출력 레벨을 개선하거나, 위상 잡음(phase noise) 특성을 개선하려는 노력이 계속되고 있다. 대부분의 연구는 스핀 나노 발진기의 발진기능에 초점이 맞춰져 있어 스핀 나노 발진기를 어떻게 하면 반송파의 발진기로서 활용할 것인가에 연구가 집중되어 있다.

[0005] 위상 잡음 특성의 개선을 위한 방법으로 주파수원의 주파수를 고정하는 방법이 사용되고 있고, 주파수원의 주파수 고정하기 위해 PLL(Phase Locked Loop)기술이 이용되고 있다. 기존 발진기의 주파수 고정 기술은 도 9에 도시한 바와 같이, 전자회로 기반으로 만들어져 전압으로 주파수를 가변시키는 특성이 이용되었다.

[0006] 도 9(a)의 위상 비교방식 PLL 회로는 전압으로 주파수를 바꾸는 방식의 전압 제어 발진기에 사용되는 것으로서 300MHz 이상의 초고주파 신호에서 프리스케일러(Pre-scaler)를 사용하여 고풍력 주파수 신호를 출력한다. 그러나 스핀 나노 발진기에서 얻어지는 발진 신호는 현재 -40dBm정도로써 일정 레벨의 출력을 요구하는 프리스케일

터를 구동하기에는 동작이 불안하여 일반적인 PLL 방식인 위상 비교 방식의 PLL 회로를 사용할 수 없다. 또한, 도 9(b)의 Injection-locked 방식 PLL은 같은 발진주파수를 가지면서 주파수 고정 특성을 갖는 기준 주파수( $f_{ref}$ )가 필요하여 비효율적인 주파수 고정 방식이다. 즉, 스핀 나노 발진기에서 얻어지는 발진 신호의 주파수를 고정하기 위해서는 같은 주파수가 발진하면서 고정된 주파수를 제공할 수 있는 기존 LC-발진기를 더 구비하여야 한다는 문제가 있었다.

[0007] 위와 같은 문제점으로 스핀 나노 발진기를 이용한 발진기는 기존 전기전자 회로의 발진기 신호의 PLL 회로 방식과 다른 주파수 고정 방식을 요구하고 있다. 그러나 스핀 나노 발진기에서 얻어지는 스핀트로닉스 발진 신호는 스핀 나노 발진기 주변의 자계의 환경과 스핀 나노 발진기를 통해 흐르는 전류의 크기에 의해서 주파수 특성이 결정되는 것으로, 기존의 전자회로 기반으로 만들어진 PLL 기술에서 사용되는 전압의 변화에 의한 주파수 고정 방식을 사용하는 데 문제가 있었다. 또한, 스핀 나노 발진기의 신호 특징은 낮은 출력 레벨과 좋지 못한 위상 잡음 특성을 가지므로 기존 사용되어 왔던 위상 비교 방식 PLL 회로와 Injection Locked PLL 회로는 사용하기에 많은 문제가 있었다.

[0008] PLL의 종래 기술로서 비특허문헌 1에 주입 고정 발진기를 제시하였으나 기존 전자회로 기반 PLL의 일반적인 내용으로서 스핀 나노 발진기의 단점을 극복할 수 없는 구조이다. 특허문헌 1에 본 출원원인은 전류원으로서 트랜지스터 어레이를 사용하여 저전력, 광대역, 고분해력을 갖춘 스핀 디지털 제어 발진기를 제안한바 있다.

### 선행기술문헌

#### 특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 1. 한국 공개특허 제2011-0036205호(2011. 4. 7.)

#### 비특허문헌

[0010] (비특허문헌 0001) 1. Patrick Villard, et al., "GHz Spintronic-Based RF Oscillator," IEEE JSSC, Vol. 45(1), Jan. 2010

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 상기와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위해 개발된 것으로서, 아주 낮은 출력의 스핀 나노 발진기에 적합한 주파수 고정 제어회로를 제공하고자 한다.

[0012] 상세하게 본 발명은 서로 직렬로 연결된 최소한 한 쌍의 스핀 나노 발진기로 이루어진 구조에서 한 쌍의 스핀 나노 발진기 중에서 낮은 주파수 특성을 갖는 하나의 스핀 나노 발진기를 통해 프리스케일러(Pre-scaler) 역할을 하게 하여 반송파의 주파수를 고정시켜 낮은 출력 레벨과 좋지 못한 위상잡음 특성을 갖는 스핀 나노 발진기에서도 이용할 수 있는 스핀 나노 발진기용 PLL을 제공하고자 한다.

[0013] 본 발명은 발진기의 형상, 자계의 영향 및 스핀 나노 발진기를 통해 흐르는 전류의 크기에 의해서 주파수 특성이 결정되는 스핀트로닉스 발진기에 적합하도록 전류의 제어를 통한 자계 및 전류의 변화를 통해 스핀 나노 발진기에서 얻어진 주파수를 고정할 수 있게 한 스핀 나노 발진기용 PLL을 제공하고자 한다.

#### 과제의 해결 수단

[0014] 상기의 해결하려는 과제를 위한 본 발명에 따른 스핀 나노 발진기에 적합한 PLL의 구성은, 동일한 전류가 흐르되, 서로 다른 주파수 출력 특성이 있으며 직렬로 연결된 최소한 한 쌍의 스핀 나노 발진기로 이루어진 발진부, 발진부의 스핀 나노 발진기 중 상대적으로 낮은 주파수를 출력하는 스핀 나노 발진기의 주파수와 기준 주파수를 비교하여 주파수를 고정하는 주파수고정부를 포함하여 구성된 것을 특징으로 한다.

[0015] 본 발명의 바람직한 예로는 서로 다른 주파수 대역을 갖는 두 개의 스핀 나노 발진기를 이용하여 주파수 고정하는 방식과 발진부를 복수의 스핀 나노 발진기를 행렬로 배열한 스핀 나노 발진기 어레이로 구성하여 전류에 선

형적으로 반비례 또는 비례하는 주파수 특성을 이용한 주파수 고정 방식을 들 수 있다.

- [0016] 또한, 본 발명의 주파수고정부는 다양하게 변형할 수 있으나 바람직하게는 상대적으로 낮은 주파수 특성을 갖는 스핀 나노 발진기의 출력과 기준전압(Vref)을 비교하여 프리스케일(Pre-scaled)된 낮아진 주파수를 출력하는 비교기, 기준 주파수와 비교기로부터 출력되는 낮아진 주파수를 비교하는 위상검출기(Phase Detector), 펄스신호에 따라 특정량의 전하를 밀고 당기는 충전펌프(Charge pump) 및 충전펌프의 출력을 축적했다 방출하는 루프필터(Loop filter)로 이루어질 수 있다.
- [0017] 또한, 기준주파수를 프리스케일링(Pre-scaling)하여 더욱 정밀하게 원하는 주파수를 얻을 수 있게 하기 위하여 하나 이상의 카운터를 더 구비할 수 있다.
- [0018] 또한, 본 발명은 전압을 이용하여 주파수를 변환시키는 것이 아니라 전류를 이용하여 주파수를 변환시키는 것으로 정밀한 주파수의 변환을 위해서는 정밀한 전류의 제어가 필요하므로 전류드라이버를 더 구비하는 것이 바람직하다.
- [0019] 다른 일 양상에 따른 본 발명은 위와 같이 구성된 스핀 나노 발진기에 적합한 PLL의 설계방법에 관한 것으로, 서로 다른 주파수 출력 특성을 갖는 최소한 한 쌍의 스핀 나노 발진기를 배열하는 단계; 주파수 고정부를 구성하는 상대적으로 낮은 주파수 특성을 갖는 스핀 나노 발진기의 출력과 기준전압(Vref)을 비교하여 프리스케일(Pre-scaled)된 낮아진 주파수를 출력하는 비교기, 기준 주파수와 비교기로부터 출력되는 낮아진 주파수를 비교하는 위상비교기(Phase Detector), 펄스신호에 따라 특정량의 전하를 밀고 당기는 충전펌프(Charge pump) 및 충전펌프의 출력을 축적했다 방출하는 루프필터(Loop filter)를 배열하는 단계; 및 배열된 발진부와 주파수고정부를 연결하여 하나의 루프를 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

**발명의 효과**

- [0020] 본 발명은 전압제어가 아닌 전류제어를 통해 주파수 고정할 수 있게 하고, 필요에 따라 주파수를 제어할 수 있게 함으로서 스핀 나노 발진기 주변의 자계의 환경과 스핀 나노 발진기를 통해 흐르는 전류의 크기 및 발진기의 형상에 의해서 주파수 특성이 결정되는 스핀 나노 발진기에도 사용할 수 있는 PLL을 제공할 수 있는 것이다.
- [0021] 스핀 나노 발진기는 출력 신호가 저 출력 레벨의 신호, 좋지 못한 위상 잡음 특성이 있기 때문에 반송파의 주파수를 고정하기 위해 기존의 PLL기술을 사용할 수 없으나, 본 발명의 PLL 기술은 주 발진 신호를 얻는 스핀 나노 발진기와 Pre-scaled된 주파수의 낮은 주파수를 얻는 스핀 나노 발진기의 한쌍의 직렬 구조에서 PLL 루프는 Pre-scaled된 낮은 주파수를 발진하는 스핀 나노 발진기의 신호를 이용하면서 최종 발진 신호는 주 발진 신호를 발생하는 스핀 나노 발진기로부터 얻는 기술이다. 한 쌍 이상의 스핀 나노 발진기의 자계 및 전류를 제어하여 주파수를 변화시킬 수 있는 주파수 고정 방식을 제공하여 스핀 나노 발진기에도 사용할 수 있는 것이다.
- [0022] 즉, 동일한 전류가 흐르되, 서로 다른 주파수 출력 특성이 있으며 직렬로 연결된 최소한 한 쌍의 스핀 나노 발진기로 구성되어 주파수 고정 특성을 갖는 발진 신호를 얻음으로 신호의 출력 레벨이 커지고, 위상 잡음 특성이 개선되어 스핀 나노 발진기 신호의 단점인 저 출력 레벨의 신호, 좋지 못한 위상 잡음 특성을 개선할 수 있는 효과가 있는 것이다.

**도면의 간단한 설명**

- [0023] 도 1은 스핀 나노 발진기의 일반적인 단면 구조도
- 도 2는 본 발명에 의한 스핀 나노 발진기용 PLL의 일례의 구성도
- 도 3은 본 발명에 의한 스핀 나노 발진기용 PLL에 구비된 전류드라이버의 서로 다른 일례의 구성도
- 도 4는 본 발명에 의한 스핀 나노 발진기용 PLL에서 주파수고정부의 다른 일례의 구성도
- 도 5는 전류가 증가하는 경우 발진 주파수가 감소하는 발진기 특성의 그래프
- 도 6은 본 발명에 의한 스핀 나노 발진기용 PLL의 다른 일례의 구성도
- 도 7은 전류가 증가하는 경우 발진 주파수가 증가하는 발진기 특성의 그래프
- 도 8은 본 발명에 의한 스핀 나노 발진기용 PLL의 또 다른 일례의 구성도
- 도 9는 종래의 PLL회로의 서로 다른 예의 구성도

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0024] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 용이하게 실시할 수 있는 바람직한 실시 예를 상세히 설명한다. 본 발명의 각 도면에 있어서, 구조물들의 사이즈나 치수는 본 발명의 명확성을 기하기 위하여 실제보다 확대하거나 축소하여 도시한 것이고, 특징적 구성이 드러나도록 공지의 구성들은 생략하여 도시하였으므로 도면으로 한정하지는 아니한다. 본 발명의 바람직한 실시 예에 대한 원리를 상세하게 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0025] 본 발명은 전류에 의해서 주파수를 변화시켜 고정할 수 있게 하여 저 출력 레벨 및 좋지 못한 위상 잡음 특성에서도 동작할 수 있게 한 PLL을 제공하기 위한 것으로, 동일한 전류가 흐르되, 서로 다른 주파수 출력 특성을 갖는 최소한 한 쌍의 스핀 나노 발진기(11, 12)로 이루어진 발진부(1)를 포함한다.
- [0026] 발진부(1)는 도 2에 도시한 바와 같이 2개가 미러 형태로 쌍을 이루어 하나 또는 복수로 구성될 수 있고, 도 6 및 도 8에 도시한 바와 같이 복수의 행렬로 배열한 스핀 나노 발진기(11<sub>1</sub>~1N<sub>1</sub>) 어레이로 구성할 수 있다.
- [0027] 도 1은 발진부(1)에 사용되는 스핀 나노 발진기의 일반적인 구조도로서, 고정 자성층/비자성층/자유 자성층의 구조로 형성된 스핀밸브 구조로, 전류 또는 자계를 인가하여 자유 자성층의 자화방향을 회전시키면서 스핀 각운 동량을 전달하여 초고주파 교류신호를 발생시킨다. 비자성층이 절연층으로 구현되는 경우 TMR(tunneling magnetoresistance)구조가 되고, 비자성층이 도전층일 경우 GMR(giant magnetoresistance)구조가 된다. 자유 자성층은 자구벽(magnetic domain wall) 또는 자기소용돌이(magnetic vortex)를 포함할 수 있다. 스핀 나노 발진기는 제조방법에 따라 기둥(pillar) 또는 점접촉(point contact) 구조로 형성될 수 있다. 본 발명에서 사용되는 스핀 나노 발진기는 도 1에 제시한 구조에 한정하지 않고 위와 같이 스핀 전달 토크 현상을 이용한 모든 구조의 스핀 나노 발진기를 포함한다.
- [0028] 스핀전달 토크 현상에서 자화반전을 위한 임계전류(I<sub>c</sub>)는 수학적 1과 같이 표현될 수 있다.

**수학적 1**

$$I_c \approx \frac{2e\alpha}{\hbar g} M_s V (H_k + 2\pi M_s)$$

- [0029]
- [0030] 여기서 H는 자화 용이축(magnetic easy axis) 방향의 외부자기장을 나타내며, M<sub>s</sub>는 포화자화, V는 자유자성층의 부피, α와 g는 각각 고유 감쇄상수(damping constant), 스핀 분극 인자(spin polarization), H<sub>k</sub>는 이방성 자기장을 의미한다. 수학적 1에서 알 수 있듯이, 자화반전전류의 크기는 자유층의 크기에 비례한다. 즉, 자유층의 크기가 작아질수록 자화반전 전류가 감소하여, 기존의 자기장 구동 방식에 비해 기록밀도 측면에서 매우 유리한 방식을 제공한다. 또한, 수평 자화를 갖는 구조에서 이방성 자기장은 2πM<sub>s</sub>에 비하여 매우 작기 때문에, 반전전류의 크기는 포화자화 값의 제곱에 비례한다고 할 수 있다.
- [0031] 따라서 스핀 나노 발진기의 발진 주파수에 영향을 주는 것은 포화자화, 감쇄상수, 스핀 분극 인자 등 물질에 따라 결정되는 인자와 자유자성층의 부피와 같이 형상적인 인자가 있으므로 자유자성층의 부피 등을 조절하면 동일한 전류를 인가해도 발진 주파수가 다른 스핀 나노 발진기를 제작할 수 있다.
- [0032] 이와 같이 동일한 전류를 인가하여도 발진주파수가 다른 한 쌍의 스핀 나노 발진기를 이용한 PLL에 대하여 설명한다. 도 2와 같이 기가헤르츠 대역을 발진하는 스핀 나노 발진기(11)의 발진 출력 신호를 주파수 고정하기 위해 스핀 나노 발진기(11)와 주파수가 다른 모형(replica)의 스핀 나노 발진기(12)를 구비하고 있으며, 이들 두 스핀 나노 발진기(11, 12)는 서로 직렬로 연결되어 있고, 동일한 양의 전류가 흐르도록 동작한다. 도 2에서 두 개의 스핀 나노 발진기(11, 12) 중에서 1행의 스핀 나노 발진기(11)는 얻고자 하는 주파수의 신호가 출력으로 발진되고, 2행의 스핀 나노 발진기(12)는 상대적으로 낮은 주파수를 발진하게 한다. 즉, 2행의 스핀 나노 발진기(12)가 기존 PLL회로의 프리스케일러의 동작 특성을 대신하는 것이다.
- [0033] 주파수고정부(2)는 도 2, 4 및 5에 도시한 바와 같이, 상대적으로 낮은 주파수 특성을 갖는 스핀 나노 발진기(12)의 출력과 기준전압(V<sub>ref</sub>)을 비교하여 프리스케일(Pre-scaled)된 낮아진 주파수를 출력하는 비교기

(Comparator)(21), 기준 주파수와 비교기로부터 출력되는 낮아진 주파수를 비교하는 위상검출기(Phase Detector)(22), 펄스신호에 따라 특정량의 전하를 밀고(push) 당기는(pull) 충전펌프(charge pump)(23) 및 충전펌프의 출력을 축적했다 방출하는 루프필터(Loop filter)(24)로 이루어진다. 스핀 나노 발진기(12)가 비교기(21)에서 인식할 수 있는 주파수로 내려갈 수 있도록 주파수를 조절하여 비교기에 입력하면 비교기의 기준 레벨(Vref)과 비교하여 프리스케일된(Pre-scaled) 낮아진 주파수를 얻을 수 있게 된다. 이렇게 얻어진 주파수와 기준 주파수를 위상검출기(22)에서 비교하여 출력하고, 이 출력이 후속되는 회로에 의해 발진하여 주파수를 고정한다. 즉, 충전펌프(Charge pump)(23)와 루프필터(Loop filter)(24)는 통상의 PLL회로를 구성하는 충전펌프(Charge pump) 및 루프필터(Loop filter)와 동일한 것이다.

[0034] 본 발명에 의한 PLL은 기존의 LC-발진기용 PLL와 달리 전류에 의해 주파수를 변화시켜 주파수를 고정한다. 즉, 기존의 LC-발진기는 전압에 의해서 주파수를 변화시켜 고정을 하지만, 본 발명의 스핀 나노 발진기의 경우는 전류에 의해서 주파수를 변화시켜 고정을 한다. 따라서, 본 발명의 PLL은 전류를 제어하기 위한 수단으로 전류드라이버(Current Driver)(26)를 더 구비하고 있다. 전류 드라이버(26)는 일정한 크기의 전류를 지속적으로 유지시키기 위한 수단으로 일반적인 커런트미러(Current Mirror) 회로를 이용하여 만들 수 있으며, 도 3에 도시한 바와 같이 다양하게 변형하여 실시할 수 있다.

[0035] 스핀 나노 발진기는 전류에 따라 여러 가지 발진 주파수 특성을 갖는다. 도 5와 같이 인가 전류가 증가하면 발진 주파수도 증가하는 스핀 나노 발진기가 있고, 반대로 도 7과 같이 인가 전류가 증가하면 발진 주파수도 감소하는 스핀 나노 발진기가 있다. 또는 하나의 발진기 전류가 증가함에 따라 발진 주파수가 감소하다 다시 증가하는 경우도 있다. 이러한 발진기들을 조합하여 배열하면 주파수 분주기와 같은 프리 스케일러를 구현할 수 있다.

[0036] 본 발명에 따른 일 실시예로서 주파수 동작 특성이 다른 두개의 스핀 나노 발진기를 이용한 PLL을 도 2를 예로 설명한다. 도 2에서 두 개의 스핀 나노 발진기(11, 12) 중 1행의 스핀 나노 발진기(11)의 주파수가 설계자가 얻고자 하는 최종의 반송파 주파수가 되고, 2행의 스핀 나노 발진기(12)의 주파수는 비교기(21)의 입력 주파수가 된다. 스핀 나노 발진기(12)는 수백 MHz이하까지 낮은 주파수로 동작할 수 있으므로 비교기는 낮아진 주파수 인식이 용이하다. 또한, 2행의 스핀 나노 발진기(12)는 1행의 스핀 나노 발진기(11)와 같은 크기의 전류가 입력되므로 스핀나노소자(12)의 주파수의 전류 조절을 함으로써 반송파 주파수 즉, 1행의 스핀 나노 발진기(11)의 출력 주파수를 조절하게 된다. 이렇게 얻어진 주파수 고정된 1행의 스핀 나노 발진기(11)는 스핀 나노 발진기의 어레이 특성상 큰 레벨의 출력과 위상 잡음 특성이 개선된 출력을 얻을 수 있는 것이다.

[0037] 본 발명에 의한 PLL은 주파수를 고정하는 기능과 더불어 사용자가 원하는 주파수로 주파수를 변경하여 고정할 수도 있다. 주파수를 변경하기 위해 기준주파수를 프리스케일링하기 위한 수단으로 카운터(25)를 구비하고 있다. 카운터(25)는 기준주파수를 분주(分周)하기 위한 수단으로 카운팅 값을 변경함에 의해 충전펌프(Charge pump)(23)에 제공되는 기준주파수의 값을 변경하는 것이다. 더욱 미세한 주파수 조정이 필요할 경우에는 도 4에 도시한 바와 같이 비교기(21)의 출력단에 카운터(27)를 더 설치할 수 있다. 스핀 나노 발진기(11, 12)들 쌍에 의해 2행까지 어레이하여 낮아진 발진 주파수는 카운터(27)에서도 인식할 수 있어서 카운터(27)의 카운팅 값을 조절함에 의해 비교기로 출력되는 낮아진 주파수값을 조절할 수 있고, 낮아진 주파수와 기준주파수를 모두 조절함에 의해 더욱 미세하게 주파수를 조절하여 1행의 발진주파수를 원하는 주파수에 맞추어 고정할 수 있는 것이다. 상기 각 카운터(25, 27)의 카운팅 값은 제어기(CPU)에 의해 제어될 수 있다.

[0038] 본 발명에 따른 일 실시예로서 도 5에 도시한 바와 같이 전류에 대한 출력 주파수 특성을 갖는 스핀 나노 발진기라고 한다면 주파수 고정(PLL) 동작을 갖도록 하기 위해서 도 6에 도시한 바와 같이, 복수의 스핀 나노 발진기(11<sub>1</sub>~1N<sub>1</sub>)를 행렬로 배열하여 어레이화시킬 수 있다.

[0039] 즉, 다수의 행렬로 스핀 나노 발진기를 배열하여 주파수를 미세하게 분주시킴으로써 전류에 선형적으로 역 비례하는 주파수로 주파수를 고정할 수 있는 것이다. 즉, 원하는 주파수의 스핀 나노 발진기를 1행에 두고, 두 개의 스핀 나노 발진기에 흐르는 전류를 하나의 스핀 나노 발진기에 흐르도록 하는 구조를 반복하면 2행의 전류는 1행의 전류의 두 배가 되고, 3행의 스핀 나노 발진기 역시 2행의 스핀 나노 발진기의 2개에 흐르는 전류를 흐르게 하면 1행의 스핀 나노 발진기의 흐르는 전류의 4배의 전류가 흐르게 된다. 이렇게 하면 n행의 스핀 나노 발진기는 1행의 전류에 2<sup>(n-1)</sup> 배의 전류가 흐르게 된다. 이러한 동작은 스핀 나노 발진기의 전류 증가에 대한 주파수가 내려가는 동작에 의해서 제일 아래쪽에 위치한 n번째 행의 스핀 나노 발진기가 가장 큰 전류가 흐르게 되어 가장 낮은 주파수 출력 특성을 갖게 된다. 이러한 동작은 PLL회로의 프리스케일러(pre-scaler)의 동작 특성을 대신 할 수 있어서 스핀 나노 발진기의 출력 특성인 낮은 출력 특성과 좋지 않은 위상 잡음 특성으로 인해 동작하지 못하는 기존의 프리스케일러의 동작을 대신 할 수 있게 된다. 즉, 도 5에 도시한 바와 같이, 스핀 나



노 발진기의 어레이 구조를 이용하여 비교기가 인식할 수 있는 주파수로 주파수를 하향 조절하여 비교기의 입력에 넣어주면 비교기의 기준 레벨(Vref)과 비교하게 하여 프리스케일된(pre-scaled) 낮아진 주파수를 얻을 수 있고, 얻어진 주파수와 기준 주파수를 위상검출기(phase detector)로 비교하여 발진하는 주파수를 고정할 수 있는 것이다.

- [0040] 상기한 바와 같이 구성된 본 발명에 의한 스핀 나노 발진기용 PLL은 스핀 나노 발진기의 특성이 전류의 증가에 따라 발진하는 주파수가 낮아지는 특성을 이용한 것으로 주파수를 고정시키기 위한 PLL 기능을 구현할 수 있다. 스핀 나노 발진기는 나노단위 사이즈로 만들어지기 때문에 어레이로 구성하기 유리하다. 예를 들어 100nm 크기의 스핀 나노 발진기를 100 x 100으로 어레이화 하여도 수십  $\mu\text{m}$ 크기로 구현될 수 있는 것이다.
- [0041] 본 발명에 따른 다른 실시예로서 인가 전류가 증가하면 발진 주파수가 증가하는 특성을 이용한 PLL을 도 8을 예로서 설명한다. 도 7에 도시한 바와 같이 전류에 대한 출력 주파수 특성을 갖는 스핀 나노 발진기라고 한다면 주파수 고정(PLL) 동작을 갖도록 하기 위해서 도 8에 도시한 바와 같이, 복수의 스핀 나노 발진기( $1N_1 \sim 1N_n$ )를 행렬로 배열하여 어레이화시킬 수 있다.
- [0042] 즉, 다수의 행렬로 스핀 나노 발진기를 배열하여 전류를 미세하게 분주시킴으로써 전류에 대한 발진 신호의 주파수가 증가하는 특성을 이용하여 주파수를 고정할 수 있는 것이다. 즉, 원하는 주파수의 스핀 나노 발진기를 1행에 두고, 한 개의 스핀 나노 발진기에 흐르는 전류를 두 개의 스핀 나노 발진기에 나누어 흐르도록 하는 구조를 반복하면 2행의 전류는 1행의 전류의 절반이 되고, 3행의 스핀 나노 발진기 역시 2행의 스핀 나노 발진기의 한 개에 흐르는 전류를 흐르게 하면 1행의 스핀 나노 발진기의 흐르는 전류의 1/4배의 전류가 흐르게 된다. 이렇게 하면 n행의 스핀 나노 발진기는 1행의 전류에  $1/2^{(n-1)}$  배의 전류가 흐르게 된다. 이러한 동작은 스핀 나노 발진기의 전류 증가에 대한 주파수가 증가하는 동작에 의해서 제일 아래쪽에 위치한 n번째 행의 스핀 나노 발진기가 가장 작은 전류가 흐르게 되어 가장 낮은 주파수 출력 특성을 갖게 된다. 이러한 동작은 PLL회로의 프리스케일러(pre-scaler)의 동작 특성을 대신 할 수 있어서 스핀 나노 발진기의 출력 특성인 낮은 출력 특성과 좋지 않은 위상 잡음 특성으로 인해 동작하지 못하는 기존의 프리스케일러의 동작을 대신 할 수 있게 된다. 즉, 도 8에 도시한 바와 같이, 스핀 나노 발진기의 어레이 구조를 이용하여 비교기가 인식할 수 있는 주파수로 주파수를 하향 조절하여 비교기의 입력에 넣어주면 비교기의 기준 레벨(Vref)과 비교하게 하여 프리스케일된(pre-scaled) 낮아진 주파수를 얻을 수 있고, 얻어진 주파수와 기준 주파수를 위상검출기(phase detector)로 비교하여 발진하는 주파수를 고정할 수 있는 것이다.
- [0043] 이하, 본 발명의 다른 일 양상에 따른 스핀 나노 발진기용 PLL의 설계방법은 상기의 구성에 대한 설명에서 이미 설명되었으나 이를 약술하면 다음과 같다.
- [0044] 본 발명에 의한 스핀 나노 발진기용 PLL에서 프리스케일러 설계방법은 다음과 같다. 원하는 발진 주파수의 스핀 나노 발진기 원형(原型)을 설계하고 이의 대응 짝으로 동일한 전류로 다른 발진 주파수를 갖는 모형(模型, replica)을 설계하여 쌍(pair)으로 한다. 모형의 발진주파수는 바람직하게 원형 주파수의  $1/2n$ 배로 결정하는 것이 바람직하나 이에 한정하지는 않는다.
- [0045] 원형과 모형은 하나의 쌍으로 하여 행렬로 어레이하여 첫 번째 행의 원형은 목표 주파수원이 되고 두 번째 행의 모형은 프리스케일러로서 비교기의 입력 주파수원이 된다. 두 번째 행의 주파수가 높은 경우 모형을 원형으로 하여 주파수가 낮은 모형을 설계하여 직렬로 부가할 수 있다.
- [0046] 스핀 나노 발진기를 프리스케일러로 이용하는 또 다른 방법은 입력 전류에 대하여 발진 주파수가 비례 또는 반비례하는 스핀 나노 발진기를 행렬로 배열하여 구현할 수 있다.
- [0047] 입력전류에 발진주파수가 반비례하는 경우에는 앞선 행의 2개의 스핀 나노 발진기를 병합하는 방식으로 하여 최종행에는 하나의 발진기로 하여 총합 전류가 흐르도록 하면 발진 주파수가 입력전류에 반비례하기 때문에 프리스케일된 주파수를 얻을 수 있다.
- [0048] 입력전류에 발진주파수가 비례하는 경우에는 앞서 기술한 병합 방식의 역으로 할 수 있다. 즉, 앞선 행의 전류를 분주하는 방식으로 하면 최종 행의 발진 주파수는 프리스케일될 수 있다. 그러나 입력전류가 작기 때문에 출력이 작아질 수 있기 때문에 비교기를 구동하기 위해서는 병합하는 방식이 유리하다.

**부호의 설명**

- [0049] 1: 발진부

11~1N<sub>1</sub> : 스핀 나노 발진기

2: 주파수조정부

21: 비교기

22: 위상검출기

23: 충전펌프

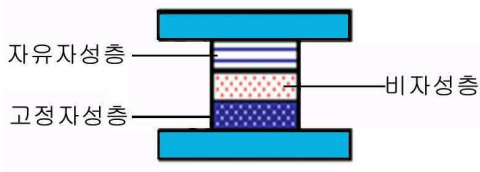
24: 루프필터

25, 27: 카운터

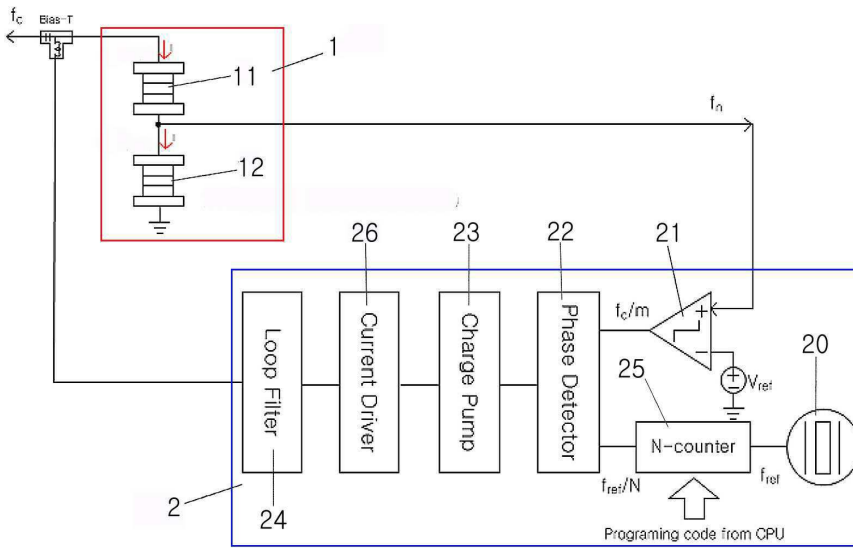
26: 전류드라이버

도면

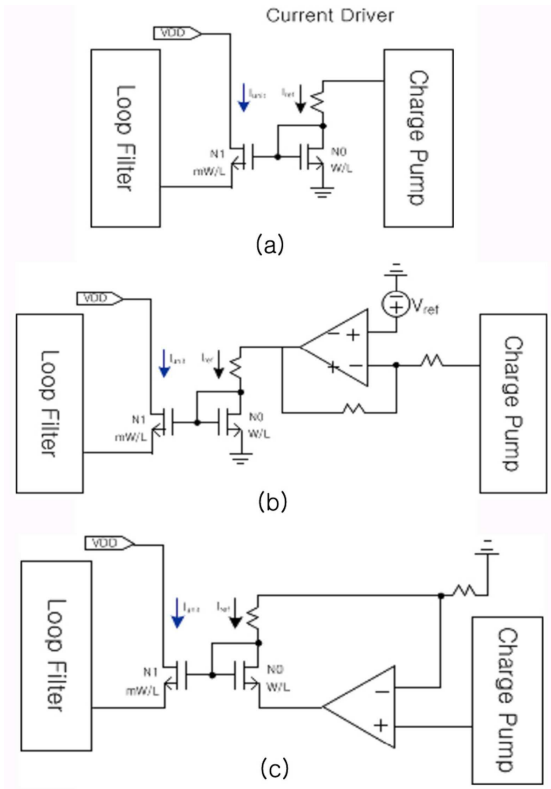
도면1



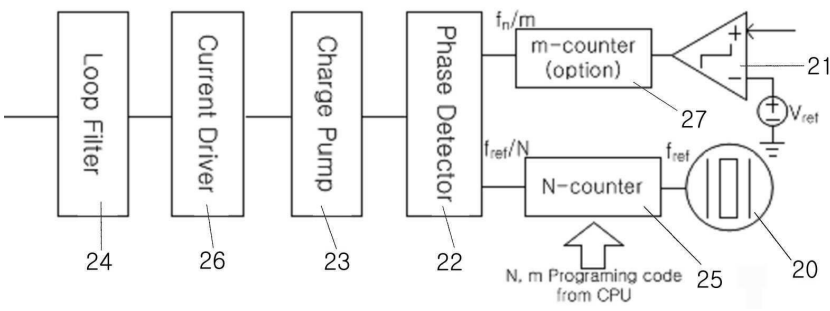
도면2



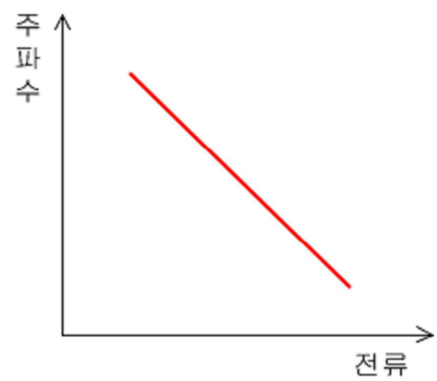
도면3



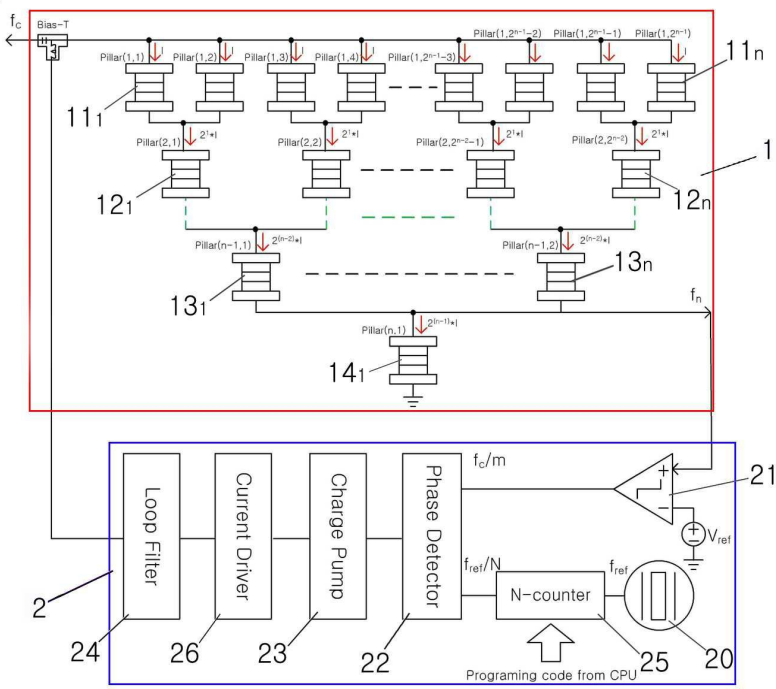
도면4



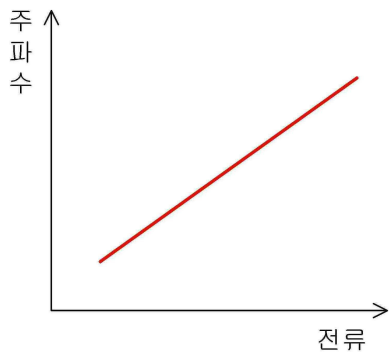
도면5



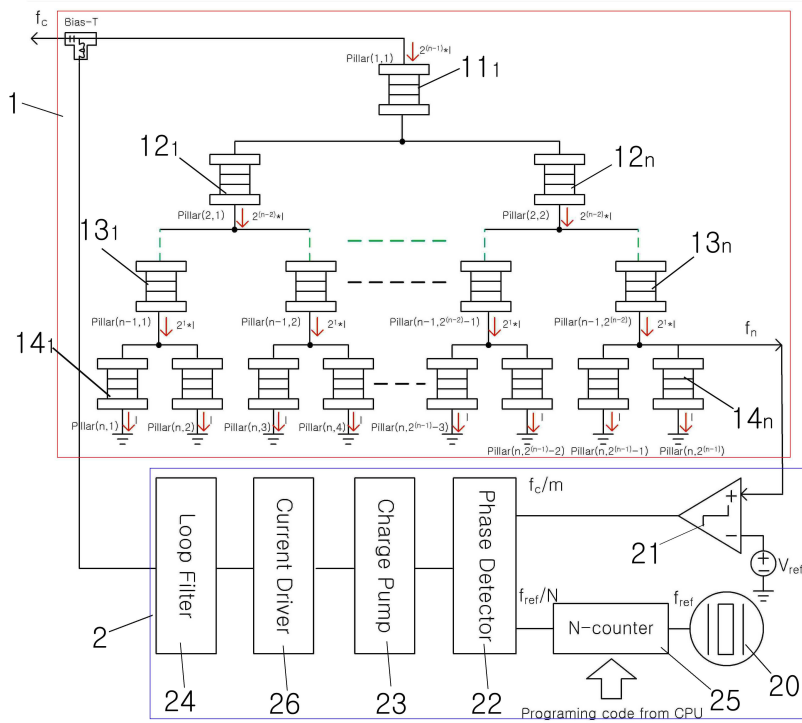
도면6



도면7



도면8



도면9

