

180° 실리콘 MEMS 위상 천이기를 이용한 균등한 2 비트 가변형 주파수 측정 식별기 설계

¹ 심성민, ¹ 이연수, ¹ 강혜림, ² Ignacio Llamas-Garro, ² Moises Espinosa-Espinosa, ³ 김정무*,

¹ 전북대학교 전자정보공학부, ² Centre Tecnologic de Telecomunicacions de Catalunya,

³ 전북대학교 전자공학부

E-mail: jungmukim@jbnu.ac.kr

Design of Uniform 2-bit Reconfigurable Frequency Measurement Discriminator using 180° Silicon MEMS Phase Shifter

¹ Sung-min Sim, ¹ Yeonsu Lee, ¹ Hye-lim Kang, ² Ignacio Llamas-Garro, ² Moises Espinosa-Espinosa, ³ Jung-Mu Kim*

¹ Division of Electronic and Information Engineering, Chonbuk National University,

² Centre Tecnologic de Telecomunicacions de Catalunya,

³ Department of Electronic Engineering, Chonbuk National University

Abstract

This paper proposes a reconfigurable frequency receiver using a silicon MEMS phase shifter. The proposed Reconfigurable Frequency Measurement (RFM) receiver has lower power consumption and smaller size than conventional IFM and RFM receiver using PIN diodes. We designed a MEMS phase shifter that produces a phase difference of 180° at 35 GHz. The RF simulation results show that the MEMS phase shifter has a phase difference of 180.2° at 35 GHz and can be used as a reconfigurable delay line. The RFM discriminator shows that 2-bit identification is possible in the 30-40 GHz frequency band. We obtain a uniform frequency division between 32 GHz and 40 GHz by tuning the length of reference line and short stub.

Keyword - *Phase Shifter*(위상 천이기), *Frequency Discriminator*(주파수 식별기), *Coplanar waveguide*(동일평면 도파관), *Electronic warfare*(전자전)

1. 서론

순시 주파수 측정(Instantaneous Frequency Measurement: IFM) 회로는 높은 다이내믹 레인지(Dynamic range), 높은 정확도의 주파수 측정, 넓은 주파수 대역폭과 저렴한 가격을 가지는 장점 때문에 레이더 모니터링, 통신 및 무기 유도 시스템이 사용되는 전자전에서 널리 사용된다 [1]. 일반적으로 IFM 회로는 비트마다 경로 차에 따른 주파수 응답 특성을 활용한 병렬 출력을 통해 순간적인 임의의 무선 주파수를 식별한다 [1, 2]. IFM 회로는 각 비트별로 전력 분배기 식별기, 전력 결합기, 검파기, 증폭기, 비교기로 구성된다 [2]. 위와 같이 필수로 사용되는 수많은 전자소자들에 의해 IFM 회로는 높은 전력 소모와 크기가 증가하는 문제점을 가진다. IFM 회로의 한계를 극복하기 위해 전자소자의 개수를 획기적으로 감소시킨 가변형 주파수 측정(Reconfigurable Frequency Measurement: RFM) 회로가 제안되었다 [3]. 제안된 RFM 회로는 PIN

다이오드와 지연선을 사용하여 L 밴드와 S 밴드의 주파수 대역을 식별한다. 하지만, 사용된 PIN 다이오드와 choke inductor 에 의한 RF 특성 영향 등으로 인해 주파수 식별이 균등하지 않았고 균등하지 않은 주파수 식별은 높은 해상도의 주파수 측정 회로 구현에 있어 한계를 가진다 [3]. 그러므로 정확한 주파수 측정을 위해 균등한 주파수 대역 분할에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 가변형 주파수 측정 식별기를 사용한 RFM 회로와 설계 주파수 대역을 균등하게 분할하는 방법을 제안한다. 제안하는 RFM 회로는 각각 1 개의 입력, 출력 단자를 가지며 MEMS 위상 천이기를 사용하여 Ka 밴드에서 2 비트의 주파수 식별할 수 있다. 기존의 IFM 과 RFM 회로와 달리 소형화된 설계와 최소화된 전자소자의 개수에 의해 저전력 구동이 가능하다(그림 1). MEMS 위상 천이기는 180° 위상 변화를 통해 주파수의 2 비트 식별을 위한 핵심 소자로 사용된다. 본 연구진은 RFM 회로의 RF 특성 시뮬레이션을 통해 30-40 GHz 주파수 대역에서 S₂₁ 특성을 분석하였으며, 2 비트의 주파수 식별을 위한 주파수 대역의 균등한 분할 방법을 제안하였다.

2. 본론

2.1 설계

본 논문에서 제안하는 RFM 수신기는 증폭기, 전력 분배기, 가변형 주파수 식별기, 전력 분배기, 전력 검파기 및 비교기로 구성된다(그림 1). RFM 수신기는 입력된 신호가 분배되고 기준선을 통과한 신호와 위상지연이 발생한 수신호를 결합해서 출력을 얻는다. 실리콘 MEMS 위상 천이기가 캐패시턴스를 변화시켜서 목표 주파수에서 기준선 신호와 180 도 위상이 차이 나도록 설계하였다.

2.2 180° 실리콘 MEMS 위상 천이기

실리콘 MEMS 위상 천이기는 short stub 와 slot capacitor 및 실리콘 구조물로 구성되었다(그림 2a). 그림 2b 와 2c 는 실리콘 구조물의 수직 변위의 변화로 인해 실효 유전율이 변함으로써 OFF-상태에 비해 ON-상태에서 위상이 지연되는 개요도를 보여주며 ON-상태의 위상은 OFF-

상태보다 180° 지연되도록 되었다. 그림 2d는 180° 실리콘 MEMS 위상 천이기의 S_{21} 위상을 Ansoft 社의 HFSS(High Frequency Structure Simulator)를 통한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 시뮬레이션 결과는 35 GHz 에서 OFF-상태와 ON-상태의 위상차를 180.2° 가짐으로써 가변형 주파수 측정 식별기에 적용 가능하다.

2.3 가변형 주파수 측정 식별기

그림 1 의 구조를 기반으로 수정기판 위에 동일평면 도파관을 사용하여 30~40 GHz 주파수 대역에서 동작하는 전력 분배기, 기준선로, 전력 결합기를 설계하였다. 가변형 지연선로는 그림 1 의 위상 지연선 부분인 θ_2, θ_3 부분을 그림 2 의 위상천이기로 대체하면 실리콘 MEMS 위상 천이기를 이용한 가변형 주파수 측정 식별기를 구현할 수 있다. 그림 3 은 S-파라미터 시뮬레이션 결과를 보여준다. 30~40 GHz 주파수 대역에서 -9.2 dB 의 문턱치를 가질 때 2 비트 식별되는 것을 확인 할 수 있다. 하지만, 주파수 대역이 균등하게 2 비트로 분할되지않아 주파수 식별 정확도가 떨어진다. 균등한 주파수 분할을 위해 기준선로의 특성 임피던스 및 short stub 의 길이를 조절하였고 주파수 대역의 균등한 분할 방법은 다음과 같이 진행하였다. 기준선로의 특성 임피던스가 증가함에 따라 그래프의 특성이 목표 주파수 대역에서 이탈하게 된다. 따라서, 높은 주파수 대역으로 벗어나는 것을 보상하기 위해 short stub 의 길이를 1.5 mm 에서 1.8 mm 로 증가시키며 S_{21} 의 공진 주파수를 낮추었고 기준선로의 특성 임피던스를 54.5 Ω 에서 71.89 Ω 로 증가시켜 ON-상태와 OFF-상태의 특성의 간격을 좁혔다(그림 4). 1.8 mm 길이의 short stub 와 71.89 Ω 특성 임피던스의 기준선로를 갖는 주파수 측정 식별기는 문턱치가 -7.6 dB 일 때 32-40GHz 의 주파수 대역에서 균등하게 분할 되는 것을 확인할 수 있다(그림 5).

3. 결론

본 논문은 실리콘 MEMS 위상 천이기를 이용하여 가변형 주파수 측정 수신기를 설계하였다. 가변형 지연선로를 위해 180° 위상차를 가지는 MEMS 위상 천이기를 설계하였고 이를 이용한 RFM 식별기는 30-40 GHz 주파수 대역에서 2 비트 식별이 가능함을 보여주었다. 불균일한 주파수 식별을 해결하기 위한 방안을 제시하고 32-40 GHz 에서 균등하게 주파수 대역을 분할하였다.

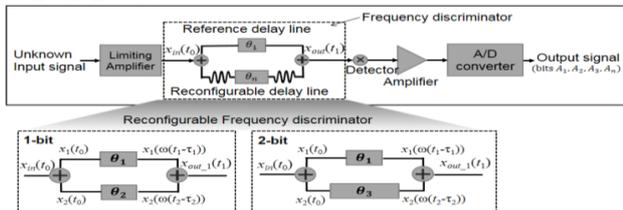


그림 1. 가변형 주파수 측정 (RFM) 수신기의 구성도

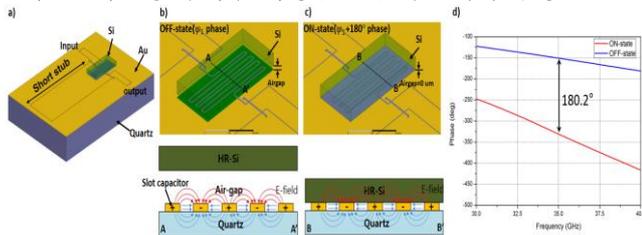


그림 2. 180° 실리콘 MEMS 위상 천이기 a) 개요도, b) OFF-상태, c) ON-상태, d) RF 시뮬레이션 결과

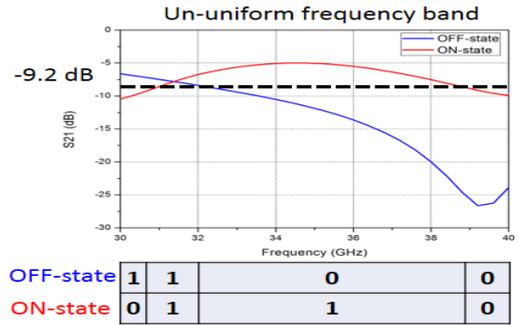


그림 3. 가변형 주파수 식별기의 RF 시뮬레이션 결과

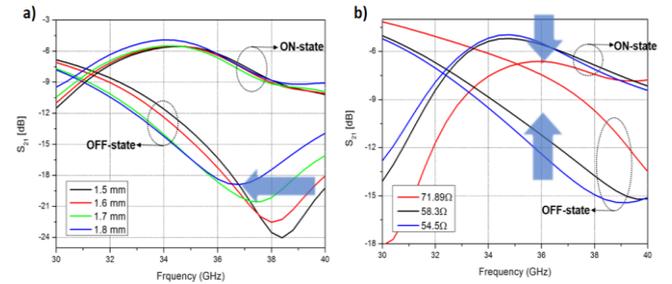


그림 4. 균등한 주파수 식별을 위한 매개변수 분석 그래프 a) short stub, b) 기준선로의 특성 임피던스

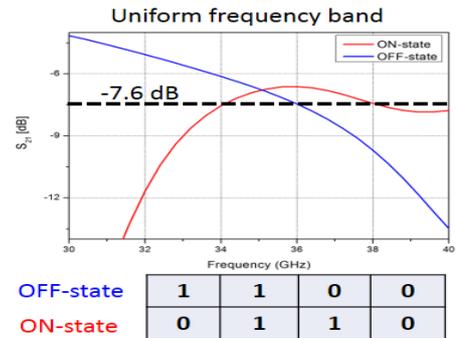


그림 5. 가변형 주파수 식별기의 RF 시뮬레이션 결과

사사

이 논문은 북대서양조약기구로부터 지원을 받아 수행되었습니다 (NATO project Sfp 984809).

참고문헌

1. P. W. East, Fifty years of instantaneous frequency measurement, *IET Rada Sonar Navig.* **6**, 2 pp. 112-122 (Jan. 2012).
2. M. F. A. De Souza *et al.*, Discriminators for instantaneous frequency measurement subsystem based on open-loop resonators, *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.* **57**, 9 pp. 2224-2231 (Sep. 2009)
3. Moises Espinosa-Espinosa *et al.*, 2-Bit, 1-4 GHz Reconfigurable Frequency Measurement Device, *IEEE MWCL* **24** 8 pp. 569-571 (Jun. 2014)