

# 마이크로스트립 라인 가변 위상 천이기

채동규\* · Mai linh\* · 윤기완\* · 박재영\*\* · 고영준\*\*

\*한국정보통신대학교 · \*\*LG 종합 기술원

## Microstrip line tunable phase shifter

Dong-kyu Chai\* · Mai linh\* · Gi-wan Yoon\* · Jae-young Park\*\* · Young-jun Ko\*\*

\*Information & Communications University · \*\*LG Electronics Institute of Technology

E-mail : khshh@weppy.co.kr

### 요 약

본 논문에서 마이크로스트립 라인을 사용한 가변 위상 천이기를 제안한다. 인가 전압의 변화에 따라 강유전체의 상대 유전율이 변하는 특성을 이용하여 tunable 특성을 얻었고, 구조는 Au/BSTO/MgO/Au로 설계하였다. 제한된 면적에서 특정 주파수에서의 위상 편이를 증가 시키기 위하여 여러 개의 커플링을 연결한 구조를 이용하였고, 금속 도체의 선폭을 줄여 손실을 줄였다.

### ABSTRACT

In this paper, we propose a microstrip line tunable phase shifter. If we vary the applied bias voltage, the relative dielectric constant of ferroelectrics also changes and we designed tunable phase shifter using Au/BSTO/MgO/Au structure. We also used a coupling structure to increase the amount of phase shift at certain frequency in a limited size and we could reduce the loss by reducing the line width.

### 키워드

마이크로 스트립 라인, tunable, 강유전체, BSTO, 위상편이

## 1. 서 론

최근 무선통신 기술의 발달과 사용 주파수가 점점 높아감에 따라 고주파용 통신 부품의 개발이 요구되고 있다. 이 중 위상 천이기는 위성 이동통신에 이용되는 위상 배열 안테나에서 위상을 조절하는데 필수적이다. 필터를 거친 신호의 위상을 원하는 만큼 변화시키기 위해서는 위상천이기를 거쳐야 한다. 위상 천이기를 설계하는 데 있어 마이크로 스트립 라인을 사용하는 이유는 여러 가지 모양으로의 구현이 용이하다는 데에 있다.

강유전체 박막 구조는 고주파 부품 설계에서 간섭과 억제, 안전한 통신 환경 제공, 주파수 할당이 뛰어나다는 장점으로 인해 최근 연구가 활발하다 [1]. 주로 사용되는 강유전체는 LAO와 BSTO로서, LAO는 77K, 100K와 같이 주로 저온에서 사용되고, 이를 개선하여 실온에서 사용할 수 있도록 개선한 것이 BSTO이다. 강유전체를 이용한 위상천이기의 구조로는 마이크로 스트립 라인, CPW, CBCPW 등이 있다. CPW와 CBCPW는 TEM 모드에서 우수한 특성을 보이는 반면 접지면에 의한 전파 간섭을

고려해야 하므로 설계가 복잡하다. 본 논문에서는 상대적으로 구조가 간단한 마이크로 스트립 라인을 이용하여 위상 천이기를 설계하고, 인가 전압을 변화시켜 위상을 가변시키는 위상 천이기를 제시한다.

## II. 위상 천이기 이론

커플링 부분에서 전계와 자계는 그림 1과 같다 [2][3].

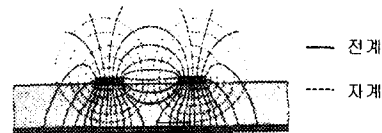


그림 1. 커플링 부분에서 전계와 자계의 분포

커플링 간격이 좁을 수록, 또 유전체의 유전율이 클수록 크로스 커플링이 커져서 손실이 작아진다. 그러나 간격이 너무 좁으면 사용 주파수에 적합하지 않으므로 유전체의 유전율을 고려하여 간격을 적당히 조절한다.

위상 천이기를 설계하는 데 있어 선행되어야 할 것은 사용 주파수 근처에서 손실이 없는 넓은 대역폭이 제공되어야 한다.

위상은 선로의 길이에 비례하는 특성이 있으므로, 사용 주파수에서 특정한 위상천이를 얻고 싶으면 선로 길이를 조절하면 된다.

인가 전압을 변화 시키면 BSTO의 상대 유전율이 변하므로[4], 이러한 특성을 이용하여 위상을 가변시킬 수 있다. 그림 2는 전계가 변함에 따라 강유전체의 상대 유전율이 얼마나 변하는가를 나타내는 그림이다.

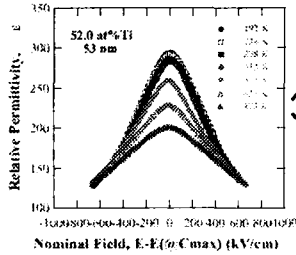


그림 2. 전압 대 강유전체의 상대 유전율의 변화

인가 전압과 커플링 간격을 알면 전계 E를 구할 수 있으므로, 식 (1)를 이용하여 인가 전압에 따른 강유전체의 상대 유전율을 추정할 수 있다.

$$V = E \cdot d \tag{1}$$

0V일때의 위상과 인가한 특정 전압에서의 위상을 비교했을 때, 두 위상의 차를 위상 편이라 한다. 그림 3은 실제 시뮬레이션에서 볼 수 있는 그림으로써 주파수에 대한 위상편이의 변화를 나타낸다. 즉, 전압을 증가시키에 따라 위상편이가 점점 커진다[5].

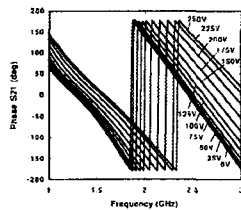


그림 3. 주파수에 대한 위상편이

위 그림을 인가 전압에 대한 위상편이로 다시 그리면 그림 4와 같다. 인가 전압에 대한 위상편이가

거의 직선에 가까움을 알 수 있다[6].

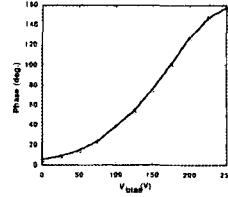


그림 4. 인가 전압에 대한 위상편이

식 (2)에 의하면 0 V일 때와 비교했을 때, 인가 전압을 증가시키면 BSTO의 상대 유전율이 작아지고, 위상편이(Δθ)는 커지므로, 전압을 증가시킬수록 더 큰 위상편이를 얻을 수 있다.

$$3 v_{-applied} = 2\pi \frac{\sqrt{\epsilon_r}}{\lambda_0} \tag{2}$$

$$\Delta\theta = \Delta\beta \cdot L = (\beta_{OV} - \beta_{v-applied}) \cdot L$$

삽입 손실(IL)과 반사 손실(RL)은 식 (3), (4)와 같다[2]. 원하는 주파수에서 매칭이 잘 되었으면  $\Gamma_{in} = 0$ 이 되므로  $IL=0dB$ ,  $RL=-\infty dB$ 가 된다.

본 논문에서 제시한 위상 천이기의 단면은 아래 그림 5와 같이 아래면은 그라운드, 그 위에 유전체 손실을 최소화 하면서 기판을 안정화시키기 위하여 상대 유전율이 10인 MgO, 튜블 특성을 얻기 위하여 BSTO, 맨 위에 마이크로 스트립 라인으로 위상 천이기를 구성하였다.

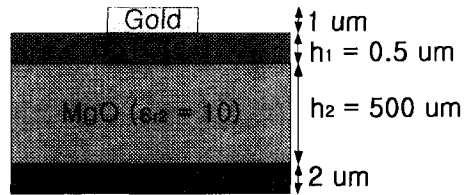


그림 5. 위상 천이기의 단면도

커플링 부분의 길이가 길어 질수록 중심 주파수는 낮아 지므로, 중심 주파수가 19 GHz 에 오도록 커플링 길이를 조절한다.

인가 전압에 따른 BSTO의 유전율이 10~13 사이의 값을 가진다고 가정하고, 커플링이 5개 일 때의 top-view를 그림 6, BSTO의 유전율이 10일때와 13 일 때의 결과를 그림 7과 그림 8에 나타내었다. 전체 크기는 2.4 ?2.0 mm2 정도로 작다.

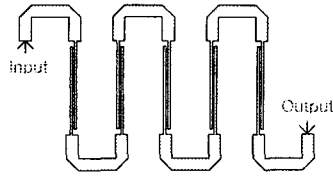


그림 6. 모델 1(5 커플링)

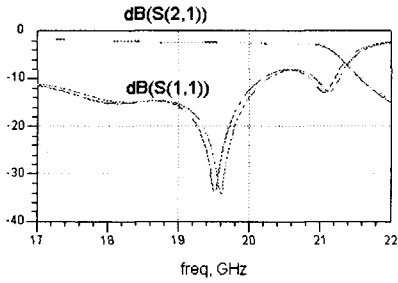


그림 7. 모델 1의 dB(S(2,1)), dB(S(1,1))

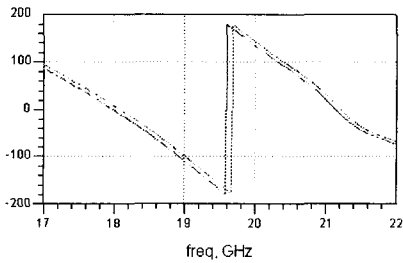


그림 8. 모델 1의 위상 편이

18GHz~20GHz 사이에서 반사 손실은 2.5dB로 좋지만, 삽입 손실은 12dB로 개선할 필요가 있음을 알 수 있다. 19GHz에서 위상 편이는  $11^\circ$ 로 그렇게 크지 않다.

#### IV. 모델 2

Au에 의한 도체손실을 줄이기 위하여 Input단과 Output단을 제외한 부분의 선폭을 줄였다. 위상 편이를 크게 할 목적으로 커플링 수를 늘리면, 늘어난 커플링 길이와 인접과의 간섭으로 중심 주파수가 이동하므로 중심 주파수가 19GHz에 오도록 커플링 길이를 다시 조절한다. 인가 전압에 따른 BSTO의 유전율이 10~13 사이의 값을 가진다고 가정하고, 커플링이 15개일 때의 top-view를 그림 9에 나타내었다. 전체 크기는  $5.0 \times 2.0\text{mm}^2$  정도로 작다.

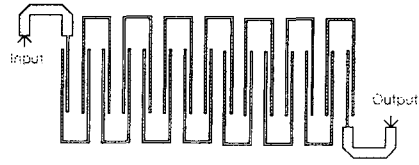


그림 9. 모델 2(15 커플링)

모델 2에서 BSTO의 유전율이 10일때와 13일 때의 결과를 그림 10, 11에 나타내었다.

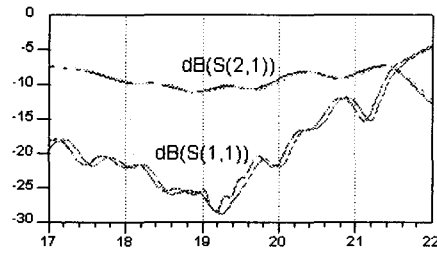


그림 10. 모델 2의 dB(S(2,1)), dB(S(1,1))

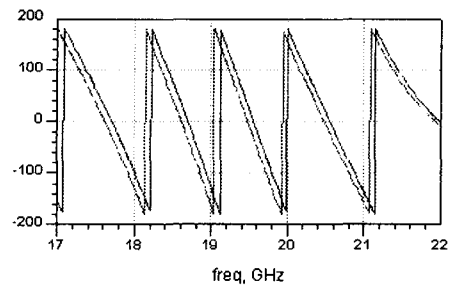


그림 11. 모델 2의 위상 편이

18GHz~20GHz 사이에서 반사 손실은 12dB로 다소 크지만, 삽입 손실은 20dB 이상이다. 19GHz에서 위상 편이는  $32^\circ$ 에 달한다.

#### V. 결론

본 논문에서 마이크로 스트립 라인을 이용하여 광대역 가변 위상 천이기의 두 가지 모델을 제시했다. 시뮬레이션은 Hewlett Packard 사의 ADS를 이용하였다. 이 두 가지 모델에서 얻은 결과를 표 1에 정리하였다.

표 1. 모델 1과 모델 2의 비교

	RL	IL	위상 편이
모델 1	$\leq 2.5\text{dB}$	$\leq 12\text{dB}$	$11^\circ$
모델 2	$\leq 12\text{dB}$	$\leq 20\text{dB}$	$32^\circ$

모델 1에서는 RL이 2.5dB로 작지만 IL이 충분히 크지 않고, 위상편이는  $11^\circ$ 로 개선할 필요가 있다. 모델 2에서 위상 편이를 증가시키기 위하여 커플링 수를 증가시켰다. 그 결과 위상 편이는  $32^\circ$ 로 모델 1에 비해 거의 3배 향상되었다. 이것은 일반적으로 커플링 수가 많을수록 tunability가 커진다는 이론과 일치한다. 모델 2에서 RL은 12dB로 손실이 많지만 IL은 20dB로 큰 값이다.

즉, 커플링이 많을 수록 위상 편이는 증가시킬 수 있지만 인접파의 간섭과 도체에 의한 손실이 증가하여 반사 손실이 커지는 단점을 초래한다. 두 모델의 크기는 각각  $2.4 \times 2.0\text{mm}^2$ ,  $5.0 \times 2.0\text{mm}^2$  정도로 둘 다 작은 편에 속한다.

#### 참고문헌

- [1] J. S. Hong, "Microstrip filters for RF/Microwave applications", John Wiley & Sons
- [2] L. Bretchko, "RF Circuit Design", Prentice Hall
- [3] S. Koul, "Microwave and Millimeter wave phase shifters", Artech House
- [4] B. Acikel, Yu Liu, "Phase Shifters using (Ba,Sr)TiO<sub>3</sub> thin films on Sapphire and Glass substrates" IEEE MTT-S Digest, 2001.
- [5] F. D. Flaviis, N. G. Alexopoulos, "Planar microwave integrated phase-shifter design with high purity ferroelectric material", IEEE Trans, 1997
- [6] P. T. Teo, K. A. Jose, "Adapted ferroelectric phased shifters for phased array antenna", IEEE 1999.

※본 연구는 LG 종합기술원의 지원에 의한 것임.