

마이크로파 회로용 Phase Shifter의 설계에 관한 연구

민 경식 · 강 태경 · 최 봉조 · 김 동철 · 임 학규 · Hiroyuki Arai

한국해양대학교 전파공학과

요코하마 국립대학 정보통신공학과

A study on Design for Phase Shifter for Microwave Circuits

Kyeong-Sik Min · Tae-Kyeong Kang · Bong-Jo Choi

Dong-Chul Kim · Hag-Gyu Lim · Hiroyuki Arai

Department of Radio Sciences and Engineering, Korea Maritime University.

Tel : 051-410-4425 / E-mail : ksmi@hanara.kmaritime.ac.kr

Division of Electrical Computer Engineering, Yokohama National University

79-5 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240, Japan

Tel : +81-45-339-4260 / E-mail : arai@arailab.dnj.ynu.ac.jp

요 약

본 논문은 2 GHz대와 12 GHz대에서 동작하는 Phase Shifter를 제안한다. 이것을 위해 비유전율이 2.6인 마이크로 스트립 선로가 사용되었다. 2 GHz대에서 전송선로 위에 비유전율 9인 유전체를 덮어서 주파수 특성이 좋고 선형적인 phase 변화를 가지는 것을 보았다. 12 GHz대에서도 S21의 위상 변화가 유전체 소자의 위치를 변화 시킴으로써 약 30°의 우수한 값을 얻을 수 있었다.

Abstract

This paper presents the characteristics of phase shifter which is operating at 2 GHz band and 12 GHz band. Two types of substrate stick with different dielectric constants are considered in these bands. Dielectric constants of microstrip feed crank line is 2.6. In the case of a small substrate stick with dielectric constant of 9 in the calculation, S21 phase is linearly varied at 1.98 GHz and 2.45 GHz, and variation of the shifting angle is about 20°. The angle of S21 phase shifting at 12 GHz band is calculated about 30°.

I. 서 론

급속도로 발전하는 정보통신 환경은 무선용 이용한 근거리 통신으로부터 위성용 이용한 원거리 통신까지 다양한 형태로 발달하고 있다. 우리나라에서도 3개 위성의 보유로 보다 높은 수준의 위성 TV 시청 및 통신 서비스가 가능하게 되었으며 이를 이용하는 사용자가 증가하고 있다. 다양한 통신 서비스를 이용하기 위한 많은 관련 부품들이 개발되고 있으며 소형, 경량, 고효율의 특성을 가진 마이크로스트립을 이용한 다양한 부품들이 각광을 받고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 마이크로스트립을 이용한 phase shifter에 대해 연구하였다. 현재까지 단일 주파수대역이동에 대해서 연구되었으나 특정한 다중 주파수에 대한 연구는 이루어지지 않고 있다. 이러한 관례로 IMT-2000 기지국용을 위한 1.98 GHz, 2.45 GHz(2 GHz대)와 무궁화 위성의 수신용을 위한 11.96 GHz(12 GHz대)로 phase shifter를 설계하였다. 두

가지 다른 모양의 비유전율 9인 유전체를 이용하여 사용자가 원하는 위상변화를 얻을 수 있도록 하였다.

II. 본론

2-1. 위상 조정용 유전체 기판이 없는 전송회로

1.98 GHz와 2.45 GHz, 11.96 GHz로 쓰이게 될 phase shifter 회로의 크기는 $\Delta X = 40$, $\Delta Y = 190$, $\Delta Z = 180$ 로 하고, $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.1$ mm인 기판을 가정하여 설계하였다. 이때 기판의 비유전율을 2.6, 기판의 두께를 0.8 mm로 하였다. 그 구조와 크랭크 회로의 각각에 대한 크기는 Fig. 1과 같다. 회로의 설계는 특성 임피던스 50 Ω에 맞추어 행하였으며, 급전시 대역

폭이 아주 넓은 광대역의 특성을 가지고 있음을 계산으로부터 알 수 있었다. T-자 분기에서 중심부분을 45°로 절단한 것의 특성이 양호한 것에 착안[1], [2]하여 본 연구에서 사용하게 될 회로에 대하여 모서리를 절단하였을 때와 절단하지 않았을 때를 먼저 계산하였다. 위상 변화를 쉽게 얻기 위하여 크랭크 회로를 사용하여 설계를 행하였다. 직각인 모양과 모서리를 절단한 크랭크에 대한 S-parameter 특성을 계산해 보면 Fig. 2와 같다.

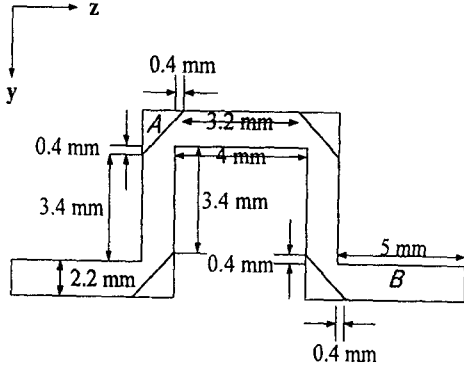


Fig. 1 Basic crank line of phase shifter

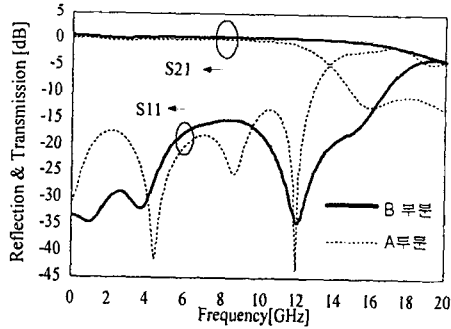


Fig. 2 Comparison with S11 and S21 for two types of basic crank line

전자계 해석은 FDTD법[3]을 이용하여 산란행렬을 구하고, Fig. 1에 주어진 각각의 수치를 이용하여 A부분 회로(모서리를 자르지 않았을 때의 크랭크 회로)와 B부분 회로(모서리를 자른 크랭크 회로)의 주파수 특성을 구하였다.

Fig. 2로부터 알 수 있는 것처럼 두 회로 모두 -15 dB를 허용 한계치로 두었을 때 광대역의 특성을 보이고 있으나 B부분의 회로가 설계하고자 하는 2 GHz대와 12 GHz대 모두를 만족하며 더 광대역임을 알 수 있다.

따라서 본 논문에서는 B부분 회로를 설계 대상으로 정하고, 이후부터 위상 조절을 하기 위한 설계회로 데이터로 이용한다.

2-2. 위상 조정용 유전체 기판을 가지는 전송 회로

1) 크랭크 회로 위에 유전체 막대를 가로로 삽입하였을 때 Fig. 3은 모서리를 자른 크랭크 회로 위에 비유전율 9인 유전체 막대로 크랭크 회로의 Z축 왼쪽에서부터 오른쪽으로 덮어 나갔다. 길이 L을 1 mm씩 변화시키면서 +z방향으로 이동시켰을 때의 S-parameter를 도시한 것이다.

이때, 각 축의 방향에 따른 셀의 크기는 $40\Delta x \times 190\Delta y \times 180\Delta z$ 이고, $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.1 \text{ mm}$ 로 설계하였다. 길이 L의 변화하는 것은 Fig. 3에 표시된 시작점으로부터이며 길이 L은 1 mm ~ 17 mm까지 변화하는 것으로 한다.

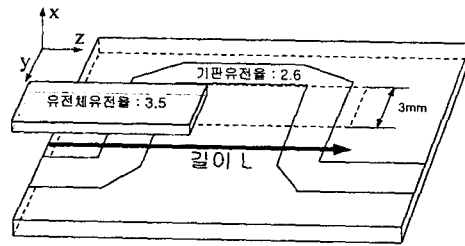


Fig. 3. Structure of the crank line and the covered substrate stick horizontally

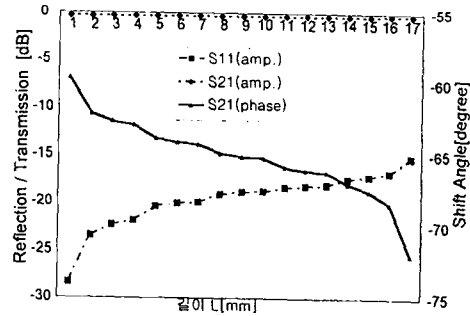


Fig. 4(a) S11, S21 and phase variations at 1.98 GHz

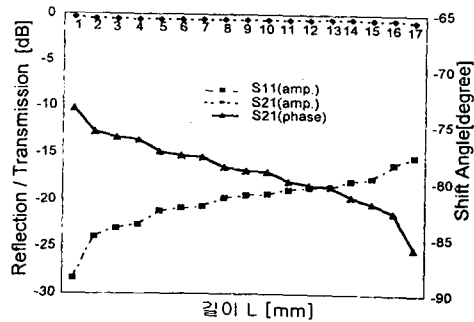


Fig. 4(b) S11, S21 and phase variations at 2.45 GHz

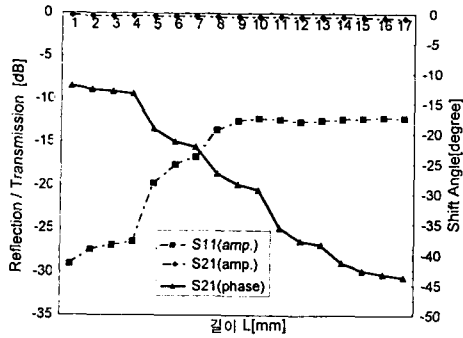


Fig. 4(c) S11, S21 and phase variations at 11.96 GHz

Fig. 4(a)는 1.98 GHz에서의 비유전율 9인 막대를 +z 축 방향으로 이동시켰을 때의 반사계수, 투과계수, 위상 변화로 반사계수 S11은 -15 dB ~ -29 dB까지 변화하였고 이에 따른 위상변화는 13° 정도를 보이고 있다.

Fig. 4(b)는 2.45 GHz에서의 반사계수, 투과계수, 그리고 위상변화를 나타낸 것이다. 반사계수 S11은 -15 dB ~ -28 dB까지, 1.98 GHz에서의 반사계수와 비슷한 값을 가지며, 이에 따른 위상변화 S21의 값도 1.98 GHz의 값과 비슷하게 약 12° 정도 변화를 보이고 있다.

Fig. 4(c)에서는 11.96 GHz에서의 반사계수, 투과계수, 위상변화를 나타내었다. 이 그래프 역시 S11의 값은 -12 dB ~ -32 dB까지 변화하여 Fig. 4(a), Fig. 4(b)에서와 비슷한 값을 가지는데 반해 이에 따른 위상의 변화는 32° 정도로 양호한 위상의 변화를 볼 수 있다.

Fig. 4(a), (b), (c)에서의 그림을 보면 S11과 위상변화 S21은 S11이 증가함에 따라 S21의 값이 줄어드는 반대의 선형성을 가지는 것을 알 수 있다.

2) 크랭크 회로 위에 작은 유전체 막대를 얹었을 때

Fig. 5는 크랭크 회로의 끝단에 비유전율이 9인 작은 유전체 막대를 얹어 놓은 구조이다.

그림에서 보는 바와 같이 비유전율 9인 유전체를 -y축 방향으로 0.1 mm씩 이동시켜 가면서 반사계수, 투과계수, 위상변화를 살펴보았다. 유전체 기판의 사이즈는 $40\Delta x \times 190\Delta y \times 180\Delta z$ 의 크기에 대하여 $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.1$ mm로 하여 계산하였다.

비유전율 9인 유전체 막대의 길이 L은 2.0 mm ~ 3.5 mm까지 변화하면서 -y축 방향으로 이동시켰으며, 이때 유전체 막대의 폭은 3 mm로 고정하였다.

유전체 막대의 폭은 2 mm ~ 5 mm까지 변화 시켜 보았으나, 이 경우에는 폭을 3 mm로 하였을 때의 반사계수, 투과계수 및 위상변화가 가장 양호하여 유전체의 폭을 3 mm로 고정하였다.

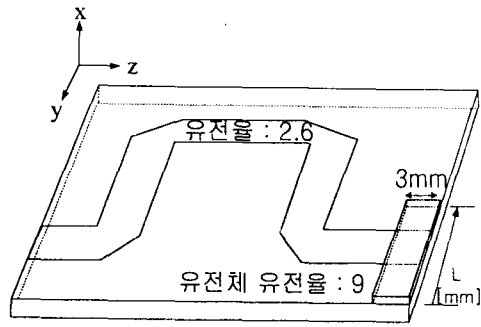


Fig. 5 Structure of the crank line and small substrate stick

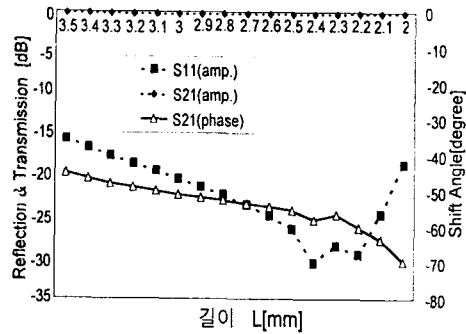


Fig. 6(a) S11, S21 and phase variations at 1.98 GHz

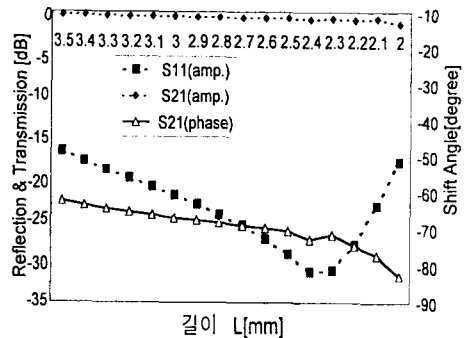


Fig. 6(b) S11, S21 and phase variations at 2.45 GHz

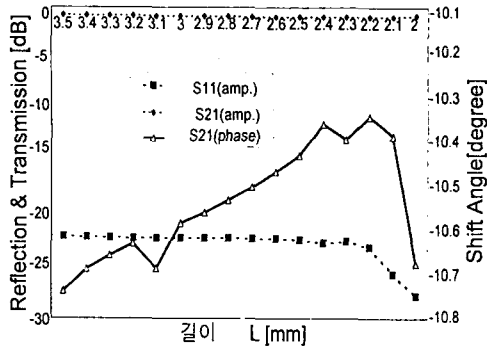


Fig. 6(c) S11, S21 and phase variations at 11.96 GHz

Fig. 6(a), (b)와 (c)는 각각 1.98 GHz, 2.45 GHz와 11.96 GHz에서의 S11의 진폭 및 S21의 진폭과 위상의 변화를 나타낸 것이다.

Fig. 6(a)의 그래프는 1.98 GHz에서의 유전체 막대를 -y축으로 위치를 이동시킴에 따라 S11의 진폭 값과 위상 변화는 약 -15 dB에서 -30 dB 까지 변화하는 것을 볼 수 있으며, S21의 위상 변화는 약 -50° ~ -70° 까지 변화를 보이고 있다.

Fig. 6(a)에서 알 수 있듯이 1.98 GHz의 경우 S11이 전체적으로 -15 dB이하이고 S21의 위상 변화는 약 20° 정도로 양호한 특성을 얻을 수 있었다.

Fig. 6(b)의 2.45 GHz에서는 S11의 진폭 역시 -15 dB 이하이며 S21의 위상의 변화는 약 20° 정도인데 Fig. 6(a)의 그래프 모양과 매우 흡사한 결과를 보이고 있다.

반면 Fig. 6(c)의 경우, S21의 위상변화는 0.5° 정도로 거의 변화가 없다. 그러므로 Fig. 5의 구조를 가지는 Phase Shifter는 고주파수용으로는 적합하지 않음을 보여 주고 있다.

III. 결론

본 논문에서는 위성 및 이동통신과 방송용으로 동시에 사용할 수 있는 phase shifter의 설계에 관하여 살펴 보았다. 크랭크 회로의 주파수 특성을 계산한 결과 크랭크 회로의 각 모서리를 45° 각도로 절단한 것이 광대역의 특성을 보였다.

Fig 3.에서 폭 3 mm이고 비유전율이 3.5인 유전체를 y축을 고정된 후 +z축으로 길이 L만큼 이동시켰을 경우에는 1.98 GHz나 2.45 GHz에서는 양호한 반사계수 값에 대한 위상은 13° 정도의 변화를 볼 수 있었으며, 모든 데이터들은 선형적인 결과를 얻을 수 있었다. 11.96 GHz에서는 S11의 진폭이 위상과 반대인 모양으로 선형성을 가지며 그에 따른 위상의 변화는 약 30° 정도의 우수한 특성을 보이고 있다.

선로 끝단에 작은 유전체 막대를 -y축 방향으로 길이 L 만큼 이동시켰을 경우에는 1.98 GHz 와 2.45 GHz에서 S11의 진폭이 -15 dB이하를 유지하면서 S21의 위상이 선형적으로 약 20°까지 변화하는 것을 볼 수 있었다. 11.96 GHz에서는 반사계수는 양호하지만 약 0.5° 정도의 위상변화를 보이고 있어 매우 불량한 특성을 보였다.

다. 이 경우는 고주파수에서 사용할 수 없음을 이론적으로 알 수 있었다.

향후 과제는 현재까지 시행한 시뮬레이션 결과를 직접 제작과 실험을 통해 타당성을 입증하는 것이다.

참고 문헌

[1] J. R James and P. S Hall "Handbook of Microstrip Antennas", IEE 1989

[2] D. M. Pozar and D. H. Schaubert, eds. "Microstrip Antennas: The analysis and design of microstrip antennas and arrays", IEEE Press, Piscataway, 1995.

[3] E. Yamasita and Qian, "FDTD Analysis of Microwave Planner Circuits and Antennas." Realize Inc. 1996.