

PIN 다이오드를 이용한 Loaded-Line 移相器

84322

이 상 미, 홍재표, 손 현  
경북대학교 전자공학과

Loaded-Line Phase Shifter with PIN Diode

Sang Mi LEE, Jae Pyo HONG, Hyun SON  
Department of Electronics, Kyungpook National University

(Abstract) A design of digital loaded-line phase shifter circuits with PIN Diode is presented. A computer program shows that any phase difference which is satisfied with the condition of minimum VSWR can be obtained with variable stub length and spacing between stubs. A 30° phase bit is designed and measured at 3GHz. Experimental and theoretical performance are compared and found to be in good agreement.

1. 서 론

위상 어레이 레이더 (phased array radar)와 전자적으로 회전가능한 안테나의 사용이 증가하고 있다. 따라서 종래의 부피가 큰 것에 상응할 수 있는 작 으면서도 신뢰도가 높은 안테나가 필요하게 되었다. 이런 욕구를 충족시키기 위해 MIC(microwave integrated circuit)가 각광을 받고 있다.

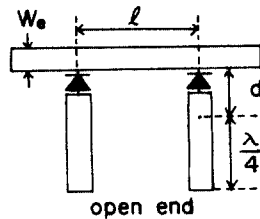
다이오드를 이용하여 main beam을 임의의 각도 로 변화시키기 위한 이상기 (移相器)에는 switched-line, reflection, loaded-line 그리고 Hi-Low pass 형 등이 있다. 1) Loaded-line 형은 사용하는 부하의 형태에 따라 1) 영이 아닌 서로 다른 두 값 으로, 2) 하나는 영으로 다른 하나는 임의의 값으로 3) 크기는 같고 위상이 반대가 되도록 하는 방법이 있다. 2)의 경우를 HOFFMAN 은 22.5° 이하의 위상차에, GARVER 은 45° 이상의 위상차에 사용한다는 것 같은 주장을 하고 있다. 1,2)

본 논문에서는 방법 2)를 이용하여 3GHz에서 30°의 위상차를 갖는 이상기를 마이크로스트립으로 제작, 실험하였다. 정제파비를 최소화 하며 원하는 위상차를 얻을 수 있는 설계방법을 프로그래밍 하였다.

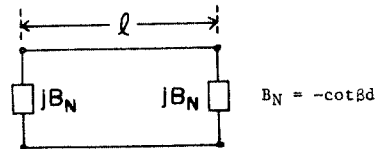
2. 이 론

전송 선로의 부하를 변화시켜 위상차를 얻는 loaded-line 이상기는 그림 1과 같다. 3) 여기서 사용할 PIN 다이오드는 isolation이 20dB 이상되어 이상적인 스위칭소자로 간주될 수 있다. 4,5) 이하 모

두 정규화 된 값을 사용하고 손실이 없다고 가정한다.



<그림 1> Loaded-line 이상기  
<Fig.1> Loaded-line phase shifter



<그림 2> 이상기의 등가전송선로  
<Fig.2> equivalent transmission line

그림 2는 이상기를 등가전송선로로 표시한 것이다. ABCD행렬은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \cos \beta l - B_N \sin \beta l & j \sin \beta l \\ j [2B_N \cos \beta l + (1 - B_N^2) \sin \beta l] & \cos \beta l - B_N \sin \beta l \end{bmatrix} \dots (1)$$

전달계수를 구하면

$$S_{21} = \frac{2}{A+B+C+D} = \frac{1}{(\cos \beta l - B_N \sin \beta l) + j [B_N \cos \beta l + (1 - \frac{1}{2} B_N^2) \sin \beta l]}$$

로 되는데 위상에서 負는 지연을 나타내고  $\tan^{-1}$ 의 함수가  $\pm \frac{\pi}{2}$  사이에서 값을 취하므로 다음과 같다.

$$\phi_{on} = \pi + \tan^{-1} \left[ \frac{B_N + (1 - \frac{1}{2} B_N^2) \tan \beta \ell}{1 - B_N \tan \beta \ell} \right] \dots \dots \dots (3)$$

완전히 整合되었을 때 입력측 반사계수의 크기인  $|S_{11}| = 0$ 이므로 사용되는 부하는  $B_N = 2 / \tan \beta \ell$ 가 된다. 식(3)의 위상은 다음과 같이 간략화 된다.

$$\phi_{on} = \pi - \tan^{-1} \left( \frac{2}{B_N} \right) \dots \dots \dots (4)$$

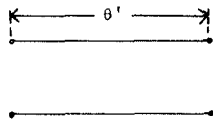
스위칭에 의한 위상차를  $\Delta\phi = \phi_{off} - \phi_{on}$ 이라 할 때 스테르브의 길이 d와 스테르브 사이의 간격  $\ell$ 은 아래와 같이 나타낸다.

$$d = \frac{\lambda}{2\pi} \tan^{-1} \left( \frac{1}{2 \tan \frac{\Delta\phi}{2}} \right) \dots \dots \dots (5)$$

$$\ell = \frac{\lambda}{2\pi} \left( \frac{\pi}{2} + \frac{\Delta\phi}{2} \right) \dots \dots \dots (6)$$

경재파비가 최소가 되면서 원하는 위상차를 얻을 수 있도록 식(5),(6)을 프로그램화 했다.

특정한 주파수에서 d와  $\ell$ 을 결정하면 실효유전율이 주파수의 함수이므로 整合과 위상차가 다소 변한다. 그림3은 그림2를 전기적 등가선로로 나타낸 것이다.



<그림 3> 전기적 등가전송선로  
<Fig.3> Electrical equivalent uniform transmission line

여기서  $\theta' = \cos^{-1}(\cos \beta \ell - B_N \sin \beta \ell)$ 이다.<sup>5)</sup>  
 $\Delta\phi = \theta'_{off} - \theta'_{on}$ 을 계산하여 주파수에 따른 실효유전율의 영향을 표1에 나타냈다.

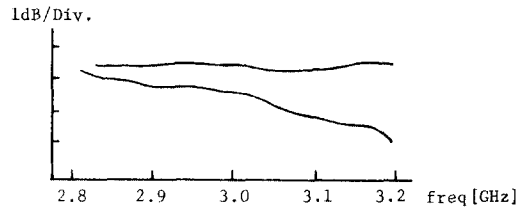
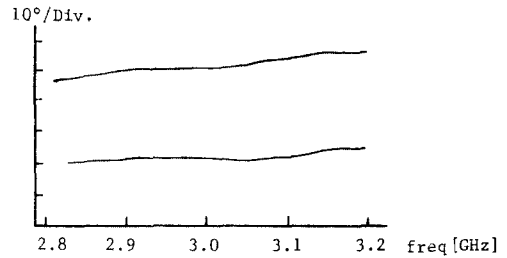
<표1> 주파수에 따른 실효유전율과 위상차  
<Table 1> Effective permittivity and phase difference for variable frequency.

freq[GHz]	$\epsilon_r'(f)$	$\Delta\phi(\epsilon_r'(f))$	$\Delta\phi(\epsilon_r')$
2.8	2.134	36.43	36.99
2.9	2.136	32.78	33.35
3.0	2.137	29.47	30.03
3.1	2.139	26.46	27.02
3.2	2.140	23.73	24.29

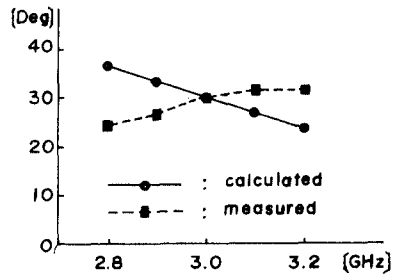
단,  $d = 11.81 \text{ mm}$ ,  $\ell = 20.07 \text{ mm}$ 일때 계산한 것이다.

### 3. 실험 및 결과검토

50Ω 전송선로 제작시 Wheeler와 Schneider의 식을 이용했다.<sup>7,8)</sup> 제작한 이상기는 그림1에서  $\ell = 20.27 \text{ mm}$ ,  $d = 11.81 \text{ mm}$ ,  $We = 4.55 \text{ mm}$ 이다. 다이오드의 직류바이어스로 S-parameter test set (HP-8746B)의 bias 회로를 사용하기 위해 다이오드의 박향을 바꾸고 스테르브의 끝은 단락시켰다. 여기서 사용한 소자는 다음과 같다.  
PIN 다이오우드: NEC 1SV36  
커넥터: NM23  
기판: CGP-500( $\epsilon_r = 2.55$ ,  $h = 1.6 \text{ mm}$ ,  $t = 0.036 \text{ mm}$ )  
주파수는 2.8GHz에서 3.2GHz까지 실험했다.

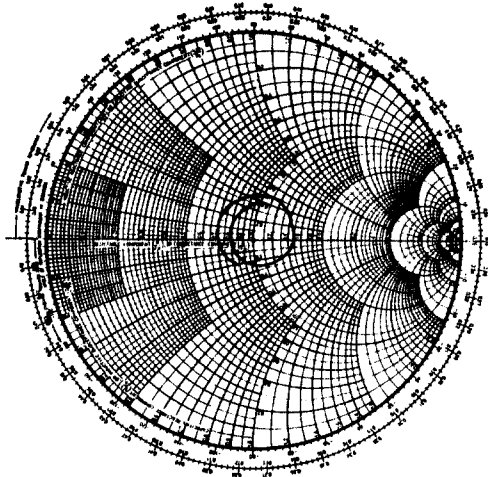


<그림 4> 바이어스에 따른 위상과 크기  
<Fig.4> Phase and magnitude between forward and reverse bias



<그림 5> 위상차의 실험치와 계산치 비교  
<Fig.5> Measured and calculated phase difference vs. frequency.

3GHz에서 위상차는 30°로 완전 일치할 하며 전대역에서  $\pm 4^\circ$ 의 오차가 있어 아주 우수하다. 다이오드를 OFF했을 때 전달계수가 떨어지는 것은 다이오드의 저항성분과 결합성용량에 기인하는 것 같다. 정재파비가 1.1인 커넥터를 양쪽에 연결했으므로 그림 6에서 이상기만의 정재파비는 조금 감소하여 이론치와 거의 일치할 것이다.



<그림 6> 정재파비  
<Fig.6> V.S.W.R

#### 4. 결 론

PIN 다이오드를 이용하여 개박과 임의의 값으로 스위칭 하는 移相器를 써서 Hoffman은 22.5° 이하의 위상차를 만들었고 Garver는 45° 이상의 위상차를 만들 수 있다고 했다. 그러나 본 논문에서는 동일한 방법으로 제작, 실험하므로써 30°의 위상차도 가능함을 증명했다. 또한 帶幅이 잘 되면서 원하는 위

상차를 얻을 수 있는 스테브의 길이 및 간격을 프로그래밍 했다.

앞으로 더 연구할 과제는 여러 가지의 위상차를 갖는 多角度 移相器(multi-bit phase shifter)를 만들어 마이크로프로세서와 연결하여 실시간(real-time) 처리를 하는 것이다.

#### 참 고 문 헌

- 1) Robert V. Garver, "Broad-Band Diode Phase Shifters", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-20, No. 5, pp. 314-323, May, 1972.
- 2) Francis L. Opp and W. F. Hoffman, "Design of Digital Loaded-Line Phase-Shift Networks for Microwave Thin-Film Applications," IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-16, No. 7, pp. 462-468, July, 1968.
- 3) Gary G. Sanford "Conformal Microstrip phased Array for Aircraft Tests with ATS-6", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Vol. AP-26, No. 5, pp. 642-646, September, 1978.
- 4) Earnest J. Wilkinson and Leonard I. Parad and William R. Connerney, "An X-Band Electronically Steerable Phased Array", Microwave Journal, pp. 43-48, February, 1964.
- 5) J.F. White, "High Power, p-i-n Diode Controlled, Microwave Transmission Phase Shifters", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, pp. 233-242, March, 1965.
- 6) NEC, "NEC PIN Diode 응용", 半導體 技術資料.
- 7) James R. Fisk, "マイクロストリップライン", ham radio magazine, January, 1973.
- 8) Tri T. Ha, "Solid-State Microwave Amplifier Design," John Wiley & Sons, 1981.