

Ku대역용 편파변환 편파기 설계*

서수덕** · 김동현** · 양두영***

Design of a Selectable Polarizer in Ku-band*

Sue-Dug Seo**, Dong-Hyun Kim** and Doo-Yeong Yang***

ABSTRACT

In this paper, we present a polarizer that consists of three step rotary detents which can selectively convert linear polarization into circular polarization and vice versa. For the design of the polarizer, the transmission line theory is applied to design the waveguide mode transducer for the modes to be smoothly converted between rectangular and circular waveguide. A dielectric plate is inserted in circular waveguide for the conversion of a polarized wave with the angle of an inserted dielectric plate. Also, we simulated to obtain the optimum values of the transmission and the reflection coefficient characteristics at input and output port.

Key words : Polarizer, Waveguide mode transducer, Linear polarization, Circular polarization

1. 서론

편파기 급전시스템은 위성통신 기지국 및 탑재 위성에 필요한 부품으로 단일 안테나를 이용하여 지구국에서 위성으로 신호를 전송하는 상향링크와 위성에서 지구국으로 전송하는 하향링크를 동시에 수행하는 부품이다. 또한 2개의 주

파수에 해당되는 편파를 합성·분리하고, 동일 주파수대의 전파를 동시에 송·수신할 수 있는 장치이다.

현재 사용되고 있는 편파기는 대부분 선편파와 원편파에 따라 각각 다른 형태의 급전시스템을 구성하고 있는데 본 논문에서는 도파관 테이퍼와 유전체가 삽입된 편파변환회로를 결합시켜 하나의 시스템으로 편파기를 구성한다. 이 편파기는 선편파와 원편파를 상호간에 선택적으로 변환할 수 있는 편파회로로써 3단 회전편을 이용하여 편파변환이 이루어지도록 구성된다. 도파관 테이퍼는 구형도파관에서 원형도파관으로 전송되는 결합에너지를 반사없이 전송시키는 기

* 본 논문은 '97년도 정보통신연구단의 대학기초 연구지원 사업에 의하여 연구되었음

** 제주대학교 대학원
Graduate School, Cheju Nat'l Univ.

*** 제주대학교 통신공학과
Dept. of Telecommunication Eng., Cheju Nat'l Univ.

능을 가지며, 편파변환회로는 도파관 테이퍼를 통해 전송된 에너지를 유전체를 이용하여 선편파 혹은 원편파로 변환하는 기능을 갖는다.

(1-3)

본 논문에서는 구형도파관에서의 TE_{10} 모드를 원형도파관의 TE_{11} 모드로 변환시키기 위한 도파관 테이퍼를 Ku대역용으로 설계하고, 이 모드가 유전체판을 통과하여 편파기 출력단에 전달되는 이득특성 및 위상특성을 계산한다. 그리고 원형도파관내의 유전체 경계조건을 적용하여 Ku대역에서 가장 양호한 특성을 갖도록 유전체의 길이와 두께를 결정한다.

II. 편파기 해석 및 설계

Fig. 1은 유전체 슬랩을 삽입하여 선편파와 원편파를 상호간에 선택적으로 변환시킬 수 있는 편파회로이다. 편파기의 구성은 좌측으로부터 구형도파관, 모드변환기, 유전체판이 삽입된 원형도파관으로 구성되어 있다.

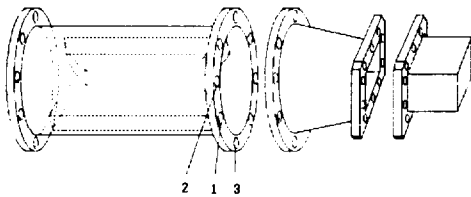


Fig. 1 Polarizer circuits.

송신기 혹은 수신기에 결합되는 첫번째 도파관은 구형단면으로 되어 있고, 구형도파관과 원형도파관 사이에 결합된 모드변환기는 구형단면에서 원형단면으로 변환되도록 설계되었다. 이 변환기는 구형도파관의 기본모드인 TE_{10} 모드를 원형도파관의 기본모드인 TE_{11} 모드로 변환시키는 인터페이스 작용을 한다. 유전체가 삽입된 원형도파관은 모드변환기와 결합되어 TE_{11} 모드로 전송된 전자파를 원편파 혹은 선편파로

변환한다. 이들간에 결합방법은 모드변환기와 원형도파관사이에 설치된 세개의 회전편을 이용한다. 첫번째 회전편은 선편파된 신호가 편파기를 통하여 지나가서도 선편파로 남아 있을 수 있게 한다. 두번째 회전편에서는 선편파와 우선회 원편파 사이의 변환이 이루어지고 세번째 회전편에서는 선편파와 좌선회 원편파사이의 변환이 이루어진다.

1. 도파관 모드변환기 해석

Schelkunoff의 모드 변환 이론인 telegraphist 방정식을 도파관 테이퍼에 적용하면 다음과 같은 반사계수식을 구할 수 있다.⁽⁴⁾⁻⁶⁾

$$\Gamma_i = \frac{1}{2} \int_0^L \frac{d}{dz} (\ln \bar{Z}) \cdot \exp \left[-2j \int_0^z \beta dz \right] dz \quad (1)$$

여기서 \bar{Z} 는 정규화된 임피던스이고, L 은 도파관 길이이다.

테이퍼가 완만할 경우 식(1)의 β 에 대한 적분항을 선형함수로 바꾸어 서로 다른 특성임피던스를 갖는 테이퍼된 전송선로의 입력반사계수식으로 변환하면 다음과 같다.

$$\Gamma_i = \frac{1}{2} \int_0^L e^{-j2\beta z} \frac{d}{dz} (\ln \bar{Z}) dz \quad (2)$$

식(2)에서 최소가 되는 반사계수값을 구하기 위해서는 정규화된 임피던스의 미분항을 적당한 테이퍼 함수로 대체하여야 한다.

1-1. Klopfenstein함수 테이퍼

Klopfenstein함수 테이퍼는 Chebyshev함수 테이퍼를 응용한 것으로 반사계수 특성이 양호하며 다른 테이퍼함수에 비해 설계길이를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 식(2)에서 $\ln \bar{Z}$ 는 다음과 같이 z 에 대해서선형적으로 변

하는 테이퍼 함수를 사용한다.⁷⁾

$$\ln \bar{Z}(z) = \frac{1}{2} \ln \bar{Z}_L + \frac{\Gamma_0}{\cosh A} A^2 \phi(2z/L - 1, A),$$

$$0 \leq z \leq L \quad (3)$$

$$\phi(x, A) = -\phi(-x, A)$$

$$= \int_0^x \frac{I_1(A\sqrt{1-y^2})}{A\sqrt{1-y^2}} dy,$$

$$|x| \leq 1$$

여기서 $\ln \bar{Z}_L$ 은 정규화된 부하임피던스이며 $I_1(x)$ 은 수정된 베셀 함수이다. 그리고 상수 A 는 반사계수의 제1영점을 결정하며 식(3)을 식(2)에 대입하여 적분하면 입력반사계수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Gamma_i = \frac{1}{2} e^{-j\beta L} \ln \bar{Z}_L \frac{\cos \sqrt{(\beta L)^2 - A^2}}{\cosh A} \quad (4)$$

식(4)는 입력반사계수를 정규화된 부하임피던스와 주파수의 함수로 표현한 식이다. 반사계수의 크기값은 sinc 함수 형태이며 상수 A 의 값의 변화에 따라 반사계수 특성이 변한다.

1-2. Fourier 변환함수 테이퍼

식(2)는 $d(\ln \bar{Z})/dz$ 에 대한 Fourier 변환식이다. 따라서 식(2)를 역변환 시켜 찾고자 하는 테이퍼 함수를 계산하면 다음과 같다.

$$\frac{1}{2} \frac{d(\ln \bar{Z})}{dz} = \quad (5)$$

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{j2\beta z} \Gamma_i(\beta) 2 d\beta$$

식(7)에서 반사계수의 특성곡선 함수를 특정

함수로 결정하게 되면 테이퍼 함수를 쉽게 찾을 수 있다.

계산과정을 편리하게 하기 위해, 특정함수를 다음과 같이 정의한다.

$$g(p) = \frac{d(\ln \bar{Z})}{dp} \quad (6)$$

$$F(u) = \int_{-\pi}^{\pi} e^{-jpu} g(p) dp \quad (7)$$

$$\Gamma_i = \frac{1}{2} e^{-j\beta L} F(u) \quad (8)$$

여기서 $p = 2\pi \frac{(z - \frac{L}{2})}{L}$, $u = \frac{\beta L}{\pi}$
 $= \frac{2L}{\lambda}$ 이며 $g(p)$ 가 테이퍼 함수이고,

$F(u)$ 는 반사계수 특성곡선을 결정해주는 함수가 된다. 식(8)을 u 축에서 $2N$ 만큼씩 변화하는 영점을 가진 임의의 다항식으로 변환하여 반사계수식을 구하면 다음과 같다.^{8),9)}

$$\Gamma_i = \frac{\sin \pi u}{\pi u} e^{-j\beta L} \frac{\prod_{n=1}^N (u^2 - 4n^2)^2}{\prod_{n=1}^N (u^2 - n^2)} \quad (9)$$

2. 편파변환회로 해석

편파 변환회로는 Fig. 2와 같이 원형도파관 내에 유전체가 삽입된 구조를 가지고 있다. 모드 변환기를 통하여 원형도파관으로 유입된 TE_{11} 모드 전자계는 유전체판의 회전된 각도에 따라 선 혹은 원편파를 발생시킨다.

편파 변환회로를 해석하기 위해서는 유전체판이 놓인 각도에 따라 TE_{11} 모드의 전자계 성분을 유전체와 접하는 접선모드 성분과 유전체와 직교하는 직교모드 성분으로 분리하여 경계조건에 일치되는 전자계를 구해야 한다.¹⁰⁾

Fig. 2와 같이 유전체판이 θ 만큼 기울었을 때 전계는 유전체판에 평행인 접선성분모드와

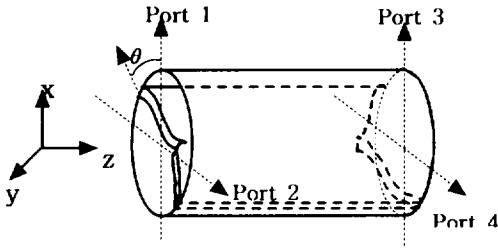


Fig. 2 Transduced circuits of polarized wave

수직인 법선성분모드로 나눌 수 있고, θ 가 $\pi/4$ 일 때 즉, 좌선회 편파 발생시 z 방향으로 전파되는 접선성분모드와 법선성분모드를 다음과 같이 나눌수 있다.

$$\vec{E}_t = \frac{1}{2} \left(\frac{k_{11}}{a} \right) J_1 \left(\frac{k_{11}}{a} \rho \right) (-\vec{a}_x + \vec{a}_y) e^{-i\beta z} \quad (10)$$

$$\vec{E}_n = \frac{1}{2} \frac{1}{\rho} J_1 \left(\frac{k_{11}}{a} \rho \right) (\vec{a}_x + \vec{a}_y) e^{-i\beta z} \quad (11)$$

식(10)와 (11)을 Maxwell방정식에 대입하여 고유치 함수를 구하면 접선과 법선에 대한 전파 상수값은 다음과 같다.

$$\left(\frac{k_{11}}{a} \right)^2 + \beta_t^2 = \epsilon_r \beta_0^2, \quad \left(\frac{k_{11}}{a} \right)^2 + \beta_n^2 = \beta_0^2 \quad (12)$$

여기서 ϵ_r 은 비유전율, β_0 는 자유공간의 전파 상수를 나타낸다.

유전체판이 삽입된 원형도파관 편파회로는 Fig. 2과 같이 4단자망으로 구성되어 있다. 입력측에 수직인 y 방향을 단자 1, x 방향을 단자

2로 하고 이에 대응되는 출력측의 단자를 각각 단자 3, 단자 4로 한다. 원형도파관내 삽입된 유전체 판은 가역성과 대칭성을 갖고 있으므로 4단자망으로 구성된 산란행렬로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{21} & S_{31} & S_{41} \\ S_{21} & S_{11} & S_{41} & S_{31} \\ S_{31} & S_{41} & S_{11} & S_{21} \\ S_{41} & S_{31} & S_{21} & S_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

식(13)를 유전체판의 접선성분에 대한 입력반사계수(ρ_t)와 전송계수(τ_t), 법선성분에 대한 전계의 입력반사계수(ρ_n)와 전송계수(τ_n)로 표현하면 다음과 같다.

$$\rho_t = S_{11} - S_{21}, \quad \tau_t = S_{31} - S_{41} \quad (14)$$

$$\rho_n = S_{11} + S_{21}, \quad \tau_n = S_{31} + S_{41} \quad (15)$$

식(13) ~ 식(15)을 이용하여 산란행렬의 특성식을 구하면 다음과 같이 각포트의 입출력관계식을 얻을 수 있다.

$$S_{11} = \frac{(\beta_t \beta_n - \beta_0^2)}{(\beta_0 + \beta_t)(\beta_0 + \beta_n)} \quad (16)$$

$$S_{21} = \frac{\beta_0(\beta_n - \beta_t)}{(\beta_0 + \beta_t)(\beta_0 + \beta_n)} \quad (17)$$

$$S_{31} = \frac{1}{2} \left\{ [1 - |S_{11} - S_{21}|^2]^{\frac{1}{2}} e^{-j\beta_t l} + [1 - |S_{11} + S_{21}|^2]^{\frac{1}{2}} e^{-j\beta_n l} \right\} \quad (18)$$

$$S_{41} =$$

$$\frac{1}{2} \left\{ -[1 - |S_{11} - S_{21}|^2]^{\frac{1}{2}} e^{-j\beta_n l} \right. \\ \left. + [1 - |S_{11} + S_{21}|^2]^{\frac{1}{2}} e^{-j\beta_n l} \right\} \quad (19)$$

유전체판이 Fig. 2에서 $\theta = -\frac{\pi}{4}$ 에 놓여 있으면 선편파와 우선회 원편파간의 편파변환이 일어나며 이때 각 포트의 산란행렬 관계식은 다음과 같이 유도된다.

$$S_{11} = \frac{(\beta_t \beta_n - \beta_0^2)}{(\beta_0 + \beta_t)(\beta_0 + \beta_n)} \quad (20)$$

$$S_{21} = \frac{\beta_0(\beta_t - \beta_n)}{(\beta_0 + \beta_t)(\beta_0 + \beta_n)} \quad (21)$$

$$S_{31} =$$

$$\frac{1}{2} \left\{ [1 - |S_{11} + S_{21}|^2]^{\frac{1}{2}} e^{-j\beta_t l} \right. \\ \left. + [1 - |S_{11} - S_{21}|^2]^{\frac{1}{2}} e^{-j\beta_n l} \right\} \quad (22)$$

$$S_{41} =$$

$$\frac{1}{2} \left\{ [1 - |S_{11} + S_{21}|^2]^{\frac{1}{2}} e^{-j\beta_t l} \right. \\ \left. - [1 - |S_{11} - S_{21}|^2]^{\frac{1}{2}} e^{-j\beta_n l} \right\} \quad (23)$$

III. Ku대역용 모드변환기 및 편파변환회로 설계

1. 모드변환기 설계

Fig. 3과 Fig. 4는 앞에서 제시한 테이퍼 함수를 이용하여 반사계수 특성곡선과 테이퍼 길이에 따라 달라지는 테이퍼 폭을 나타낸 그림

이다.

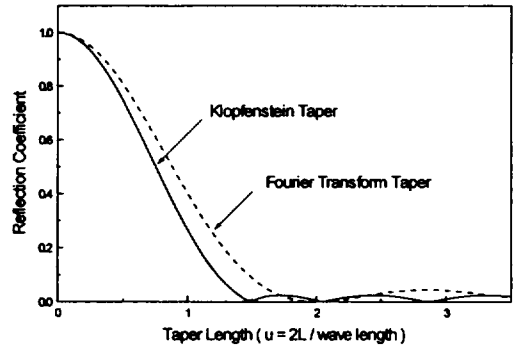


Fig. 3 Characteristic curves of reflection coefficient versus taper function

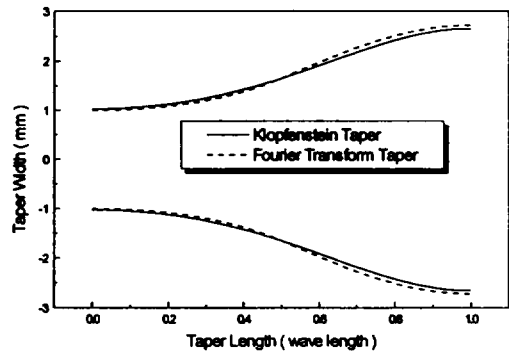


Fig. 4 Tapered characteristic curves versus taper function

Fig. 3에서 각 테이퍼함수의 반사계수 특성 곡선은 부엽의 크기가 주엽의 크기에 비해 약 5%이하로 양호한 특성을 나타내고 있다. 그러나 설계시 Klopfenstein함수 테이퍼를 사용할 경우 Fourier 함수 테이퍼에 비해 약 $\lambda/4$ 정도 테이퍼길이를 줄일 수 있음을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 특성이 좋고 테이퍼길이를 줄일 수 있는 Klopfenstein 함수 테이퍼를 이용하여 구형 도파관과 원형 도파관을 연결시켜주는 Ku대역 도파관 모드변환기를 설계한다.

구형-원형 도파관간의 모드변환 문제는 도파관간의 크기도 다를 뿐아니라 서로 다른 구조의

좌표계를 가지고 있다. 따라서 동일 구조를 갖는 좌표계로 변환시켜 각 θ 에 따라 두개의 도파관을 Fig. 5과 같이 대응시킨다.

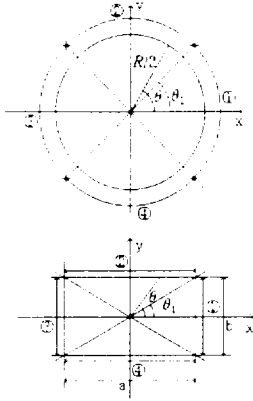


Fig. 5 Correspondence between rectangular waveguide and circular waveguide.

1 $2\pi - \theta_1 < \theta \leq \theta_1$

$$x = \frac{a}{2}, y = \frac{a}{2} \tan \theta$$

2 $\theta_1 < \theta \leq \pi - \theta_1$

$$x = \frac{b}{2} \tan\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right), y = \frac{b}{2}$$

3 $\pi - \theta_1 < \theta \leq \pi + \theta_1$

$$x = -\frac{a}{2}, y = \frac{a}{2} \tan(\pi - \theta)$$

4 $\pi + \theta_1 < \theta \leq 2\pi - \theta_1$

$$x = -\frac{b}{2} \tan\left(\frac{3\pi}{2} - \theta\right), y = -\frac{b}{2}$$

구형도파관은 각 θ 가 변함에 따라 도파관 폭이 달라지지만 원형도파관은 도파관 폭이 각 θ 에는 아무런 상관 없이 일정하다. 따라서 구형도파관을 ① ~ ④까지의 구간으로 나누고 원형도파관을 이 구간에 대응하도록 설계한다.

Fig. 6는 Ku 대역에서 사용되는 WR75 구형도파관에서 WC94 원형도파관으로 모드변환

되는 과정을 설계데이터를 이용하여 도시한 그림이다. 설계주파수는 Ku대역인 11.95GHz를 사용하였으며 가로길이 19.05mm, 높이 9.53mm인 구형도파관과 지름이 23.83mm인 원형도파관간에 테이퍼길이를 한파장으로 설정하여 설계한 결과 2.51mm를 얻었다. 이렇게 설계된 테이퍼는 반사계수 특성이 거의 영에 가깝고 표준도파관 WR75와 WC94 도파관간에 완전한 곡선을 이루도록 설계되어 모드손실이 없이 모드변환된다.

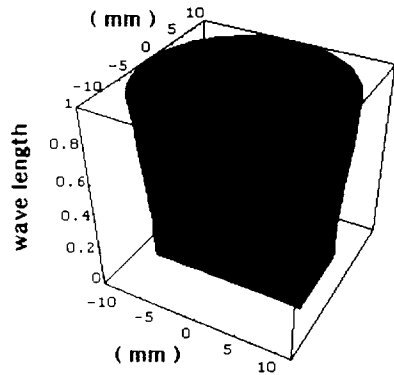


Fig. 6 Design of rectangular-circular waveguide taper

2. 편파변환회로 설계

2-1. 유전체판 테이퍼 설계

Fig. 2의 편파변환회로에 있어서 입력단 1.2에서 입력전계를 입사시킬 경우 공기만으로 채워진 원형도파관 입력단과 유전체판이 삽입된 경계면간에 불연속 특성이 발생하여 입사에너지를 반사시키는 부정합 조건을 야기시킨다. 전파상수 β_0 를 갖는 입력 원형도파관과 유전체가 삽입된 원형도파관 간에 정합조건을 유도하려면 유전체판의 전파상수를 점차적으로 테이퍼시켜 입력 원형도파관의 전파상수 β_0 와 일치하도록 설계하여야 한다. 따라서 유전체판 테이퍼함수로 Klopfenstein 변환함수를 이용하여 반사계수 특성을 줄이면서 $\lambda_g/4$ 길이가 되도록 짧게 설계

한다. Fig. 7과 Table 1은 원형도파관에 삽입시키기 위하여 설계한 유전체판에 대한 그림과 유전체 테이퍼의 설계 데이터를 나타낸 것이다.

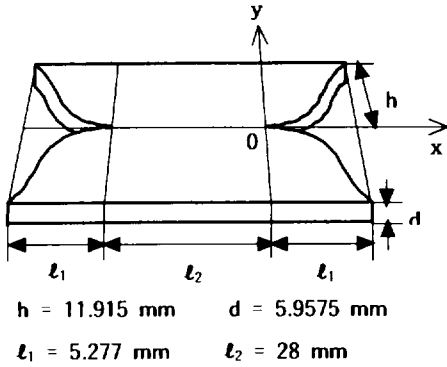


Fig. 7 Dielectric plate inserted in circular waveguide

Table 1 Designed data of dielectric taper

x(cm)	y(cm)	x(cm)	y(cm)
0	0.0500	0.2902	0.3299
0.0264	0.0508	0.3166	0.4319
0.0528	0.0533	0.3430	0.5479
0.0792	0.0577	0.3694	0.6733
0.1055	0.0644	0.3958	0.8016
0.1319	0.0743	0.4222	0.9245
0.1583	0.0885	0.4485	1.0331
0.1847	0.1087	0.4749	1.1183
0.2111	0.1379	0.5013	1.1728
0.2375	0.1806	0.5277	1.1915
0.2638	0.2441		

2-2. 편파 변환회로의 이득 및 위상특성

Fig. 8과 Fig. 9는 지름이 23.83mm인 원형 도파관 내에 유전율 2.5, 두께 5.9575mm, 길이 28mm인 유전체판의 삽입시켰을 때 나타나는 이득 및 위상특성을 나타낸 그림이다.

Fig. 8로부터 출력단의 전송 산란계수 S_{31} 과 S_{41} 의 크기값은 약 -3dB로 거의 동일하게 나타나 원편파 변환이 정확히 이루어짐을 알 수 있다. 또한 입력단 반사계수 S_{11} 은 Ku밴드 전

송대역(11.7~14.5GHz)에서 약 -25dB이하로 양호한 특성을 보였고, 입력단 1과 2간에 결합계수 S_{21} 은 전대역 주파수에서 약 -18dB로 평탄하게 나타났다. Fig. 9는 각각 좌선회 원편파변환회로(LHCP)의 위상특성과 우선회 원편파변환회로(RHCP)의 위상특성을 그림으로 나타낸 것이다. 위상차가 거의 모든 주파수 대역에서 $\pm(90 \pm 1)^\circ$ 인 우수한 우선회 원편파와 좌선회 원편파를 발생시키고 있다.

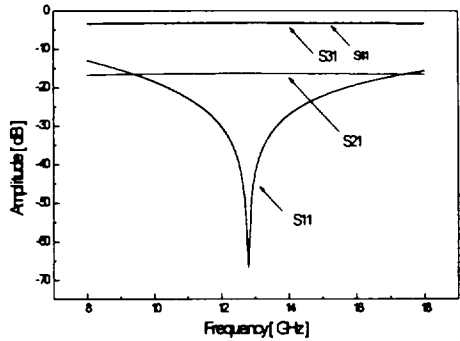


Fig. 8 Amplitude of scattering coefficient of circular polarized wave

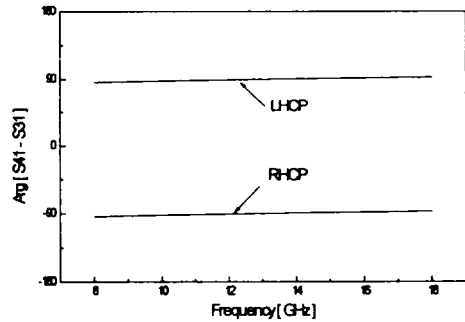


Fig. 9 Phase of transduced circuits generating circular polarized wave

IV. 결 론

본 논문에서는 선편파와 원편파간에 상호 선

택적으로 편파의 방향을 변환시킬 수 있는 Ku 밴드용 편파기를 설계하였다. 편파기의 성능을 개선시키기 위하여 구형 도파관과 원형 도파관 간에 전파모드를 손실없이 변환시키도록 모드 변환회로를 해석·설계하였으며, 원형도파관내에 유전체를 삽입시켜 편파변환회로를 구성하였다.

모드변환회로는 반사계수특성이 양호한 Klopfenstein 테이퍼함수를 선택하여 설계하였다. 유전체가 삽입된 편파변환회로는 모드 변환회로에서 입사된 TE_{10} 모드를 전자파이론을 적용하여 해석한 후 유전체판을 통과하여 출력단에 선편파 혹은 원편파가 발생되도록 결합모드이론을 적용하여 해석하였다. 또한 공기와 유전체사이의 경계면에서 발생하는 부정합조건을 해결하기위해 $\lambda_g/4$ 의 길이를 갖는 유전체 테이퍼를 설계하여 에너지 전달특성을 최대화 시켰으며, 설계된 제원에 따라 산란계수를 계산하여 그래프로 나타내었다. 편파변환회로의 이득 특성 및 위상특성을 살펴본 결과 Ku대역내에 양호한 특성을 나타냈다.

본 논문에서 사용된 설계방법은 도파관 트랜스미터, 임피던스 정합장치, 혼 안테나 설계에 유용하게 응용될 수 있으며 유한요소법(FEM)이나 FDTD법을 사용하므로써 이론에대한 좀더 정확한 검증이 이루어질 것으로 여겨진다.

참 고 문 헌

- 1) Jaroslav Uher, Jense Boremann and Uwe Rosenberg, 1993, *Waveguide Components for Antenna Feed Systems : Theory and CAD*, McGraw-Hill.
- 2) Lawrance G. Bryans, 1980, Selectable for Circular Polarization Network, *United Sates Patent [19]*, No.209, 804, pp.1~5.
- 3) Fritz Arndt, Andreas Frye, Manfred Wellnitz, and Rainer Wirsing, 1985, Double Dielectric slab filled Waveguide Phase Shifter, *IEEE Trans. vol. MTT-33*, No. 5, pp.373~381.
- 4) Robert E. Collin, 1992, *Foundations for Microwave Engineering*, McGraw-Hill., pp.370~386, pp.404~413.
- 5) Schelkunoff, S. A., 1952, Generalized telegraphist's equations for waveguides, *Bell System Tech. J.* 31, pp.784~801.
- 6) Leo Young, 1969, *Advances in Microwaves*, New York & London : Academic Press, vol.4,pp.301~372.
- 7) David M. Pozar, 1993, *Microwave Engineering*, Addison-Wesley, pp.318~325.
- 8) 박재신, 양두영, 장재성, 윤찬의, 1995, 구형도파관과 원형도파관간의 도파관 테이퍼 설계, 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집, Vol.14, No.1, pp.632~635.
- 9) 양두영, 1996, 구형 도파관 TE_{10} 모드와 원형 도파관 TE_{11} 모드간의 모드변환기 설계, 한국전자과학회 논문집, Vol.7, No.3, pp.246~253.
- 10) 양두영, 1996, 좌-우선회 원편파 상호 선택 변환 편파기 설계, 한국전자과학회 논문집, Vol.7, No.3, pp.254~262.