

CATV/DBS/CS용 신호분기기의 우·기 모드 해석법

A Study on Analysis Method of Tap-Offs for CATV/DBS/CS by Even·Odd-Mode Theory

김동일 · 황재현 · 류현욱 · 하도훈 · 정세모

Dong-Il Kim · Jae-Hyun Hwang · Hyun-Wook Ryu · Do-Hoon Ha · Se-Mo Chung

요 약

CATV, DBS(Direct Broadcasting Satellite) 및 CS (Communication Satellite) 시스템용 신호분기기의 새로운 해석법을 제안하였다. 본 논문에서는 결합선로형 방향성결합기에 대한 우·기 모드 해석법을 변성기형 방향성결합기에 적용하였다. 측정된 우·기 모드 반사계수만을 사용하여 구한 S-파라미터의 결과와 계산치를 비교함으로써 제안된 해석법의 타당성을 입증하고, 제안된 해석법을 적용하여 설계·제작한 신호분기기는 5 MHz~4,000 MHz까지 광대역화되었다.

Abstract

A new analysis method was proposed, where the even·odd-mode theory for a symmetrical coupled-line directional coupler was applied to a transformer-type directional coupler. In addition, the tap-offs were analyzed by the proposed theory, which are widely used in CATV (Cable Television), DBS (Direct Broadcasting Satellite), CS (Communication Satellite) systems. By comparing the calculation results to the measured ones using the even·odd-mode reflection coefficients only, the validity of the proposed analysis method was confirmed. Then, the tap-off has been broadened from 5 MHz over 4,000 MHz by adopting the proposed theory.

I. 서 론

CATV 시스템은 미국, 캐나다, 유럽 등지에서 널리 사용되어지고 있다. 게다가 CATV 시스템은 DBS의 도입으로 더욱더 활성화되고 있고, 대중 통신 매체로서 중요한 위치를 차지하고 있다.

CATV 시스템의 중요한 기본소자로는 신호분기기(Tap-Off or Tap Unit) 및 신호분배기(Power Splitter)가 있으며, 이들이 불량할 경우, Ghost 현상이나 화면의 찌그러짐, 전송정보의 손실, 채널확대의 한계 등이 생기게 된다.

본 연구에서는 우·기 모드 임피던스와 산란파라

미터(결합도, 삽입손실, 반사손실, 격리도)와의 관계를 사용하여 신호분기기의 새로운 해석법과 설계방법을 제안하였다. 종전에는 적어도 10개 이상의 산란파라미터를 측정하여 미조정을 했던 반면에 단지 우·기 모드 임피던스만으로 가능하게 되어 CATV 전송 네트워크 기술이 상당히 발전할 수 있을 것이다.

제작된 신호분기기의 측정된 주파수 특성은 이론적인 계산치와 잘 일치하여 제안된 해석법과 설계방법의 타당성을 입증하였다.

II. 우·기 모드 해석법의 적용

한국해양대학교 전파공학과(Dept. of Radio Sciences & Engineering, Korea Maritime University)
· 논문 번호 : 20000922-108
· 수정완료일자 : 2001년 1월 17일

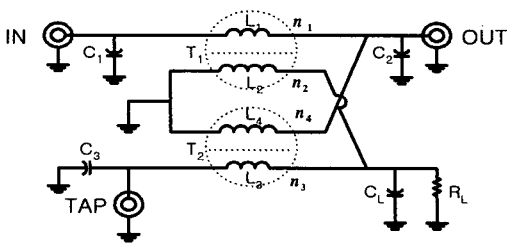


그림 1. 변성기형 방향성결합기를 이용한 신호분기
기

Fig. 1. Tap-off circuit using directional coupler in transformer type.

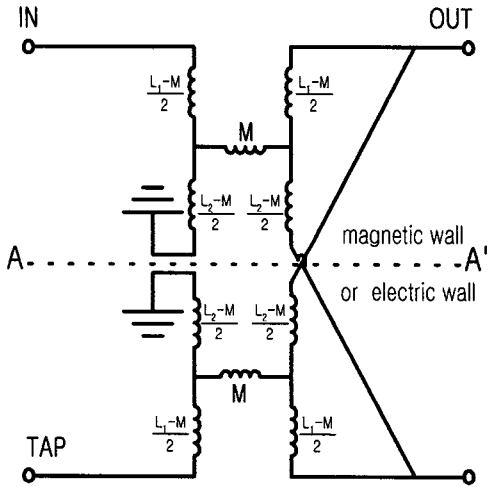


그림 2. 변성기형 방향성결합기의 등가회로

Fig. 2. Proposed equivalent circuit to the transformer-type directional coupler.

그림 1은 변성기형 방향성 결합기^{[1]~[3]}를 사용한 신호분기기를 나타낸다. 그림 2는 회로의 특성에 크게 영향을 주지 않는 콘덴서를 제거한 변성기형 방향성결합기의 등가회로이다.

그림 2에서 보는 바와 같이 A-A'를 기준으로 한 축 대칭으로 간주하자. 대칭성을 이용하여 Even과 Odd mode의 경우로 해석을 하면 아래와 같다^[2]. 그림 2의 회로를 우·기 모드에 의해서 여진하면, 대칭축은 각각 magnetic wall과 electrical wall이 놓여진다. 그러면, 각 모드에 대한 등가회로와 입력임피던스는 [1]에 의해서 얻어질 수 있다.

만약 입력임피던스가 식 (1)을 만족하면 각 포트

는 정합된다^[4].

$$Z_{in} = Z_0 = \sqrt{Z_{in}^e \cdot Z_{in}^o} \quad (1)$$

그리고, S-parameter는 식 (2)와 식 (3)에 의해서 $Z_{1,in}^e, Z_{1,in}^o, Z_{2,in}^e, Z_{2,in}^o$ 를 이용하여 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} S_{11} &= \frac{(\Gamma_1^e + \Gamma_1^o)}{2} & S_{31} &= \frac{(\Gamma_1^e - \Gamma_1^o)}{2} \\ S_{22} &= \frac{(\Gamma_2^e + \Gamma_2^o)}{2} & S_{42} &= \frac{(\Gamma_2^e - \Gamma_2^o)}{2} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,

$$\begin{aligned} \Gamma_{1,in}^e &= \frac{Z_{1,in}^e - Z_L}{Z_{1,in}^e + Z_L} & \Gamma_{1,in}^o &= \frac{Z_{1,in}^o - Z_L}{Z_{1,in}^o + Z_L} \\ \Gamma_{2,in}^e &= \frac{Z_{2,in}^e - Z_L}{Z_{2,in}^e + Z_L} & \Gamma_{2,in}^o &= \frac{Z_{2,in}^o - Z_L}{Z_{2,in}^o + Z_L} \end{aligned} \quad (3)$$

III. 시뮬레이션 및 실험결과

3-1 시뮬레이션 결과

본 연구에서 Even, Odd mode로 시뮬레이션하기 위해 그림 1에서의 Turn수는 $n_1 = 0.9, n_2 = 4.9$ 로 하고, $n_1 = n_3, n_2 = n_4$ 로 한다. 주파수분산을 이용한 코일의 투자율 μ 는 식 (4)와 같이 근사하였다^[4].

$$\mu = 1 + \frac{K}{1 + j \frac{f}{f_m}} \quad (4)$$

여기서, K 는 초투자율, f 는 측정주파수, f_m 은 완화주파수이다.

식 (4)를 이용해 각각의 권선의 인덕턴스 L_1, L_2 및 상호인덕턴스 M 은 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} L_1 &= \mu L_0 n_1^2 & L_2 &= \mu L_0 n_2^2 \\ M &= k \sqrt{L_1 L_2} \end{aligned} \quad (5)$$

단, k 는 자기결합계수, L_0 는 페라이트 코어의

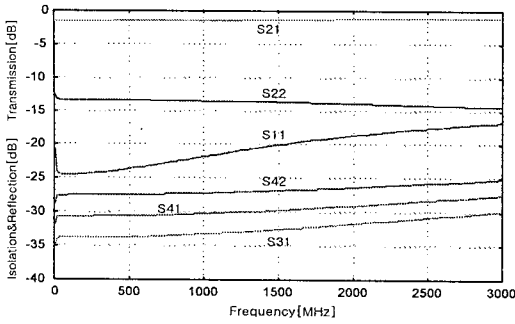


그림 3. 등가회로의 이론적 주파수특성
Fig. 3. The theoretical frequency characteristics of equivalent circuit.

기하학적 구조에 의해 정해지는 상수이다. 그림 3은 등가회로의 산란 파라미터를 나타낸다. 그러나 그림 3에서 S_{31} 과 S_{22} 가 뒤바뀌었는데 이것은 그림 1에서 전송선로부분이 교차하고 있는 부분 때문인 것으로 판단된다.

3-2 실험결과

그림 4는 내부 전송선로를 Microstrip Line으로 구성하여 제작한 신호분기기의 사진이다. 전송선로 내부의 특성임피던스 Z_0 (75 Ω)을 매칭시키는 선로 폭은 식 (6)으로 계산되었으며^[5], 이를 제작하여 전송선로를 구성하였다.

$$Z_0 = \frac{120\pi\sqrt{\epsilon_{ff}}}{W/h + 1.393 + 0.667\ln(W/h + 1.444)}$$

$$\epsilon_{ff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12\frac{h}{W}\right)^{-1/2} \quad (6)$$

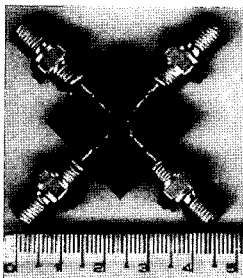
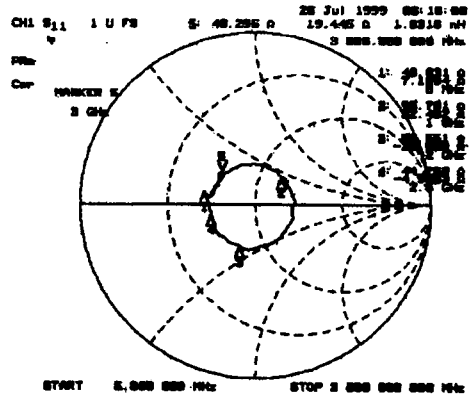
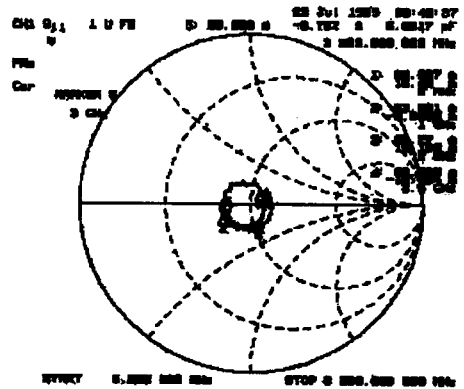


그림 4. 제작된 신호분기기
Fig. 4. The fabricated tap-off (microstrip width = 0.63 mm, $\epsilon_r = 3$).



(a) 우 모드 여진
(a) For even mode excitation.



(b) 기 모드 여진
(b) For odd mode excitation.

그림 5. 포트 1에서 측정된 입력임피던스
Fig. 5. The measured input impedances at Port-1.

여기서, $\epsilon_r = 3$ 인 경우, 전송선로 폭의 최적값은 식 (6)에 의해서 0.63 mm로 계산되었다.

그림 5와 6은 각각 포트 1과 포트 2에서 측정된 입력임피던스를 나타내는데, Even과 Odd모드 입력 임피던스가 식 (1)의 관계를 잘 만족하고 있음을 알 수 있다.

이러한 실험 결과를 이용하여 S-parameter는 식 (7)과 같이 구해질 수 있다.

$$S_{11} = \frac{\Gamma_{1,in}^e + \Gamma_{1,in}^o}{2} \quad S_{31} = \frac{\Gamma_{1,in}^e - \Gamma_{1,in}^o}{2}$$

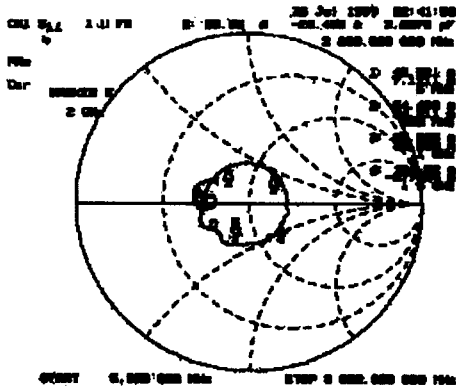
$$S_{22} = \frac{\Gamma_{2,in}^e + \Gamma_{2,in}^o}{2} \quad S_{42} = \frac{\Gamma_{2,in}^e - \Gamma_{2,in}^o}{2}$$

$$S_{21} = \sqrt{1 - 2|\Gamma_{2, in}^e|^2}$$

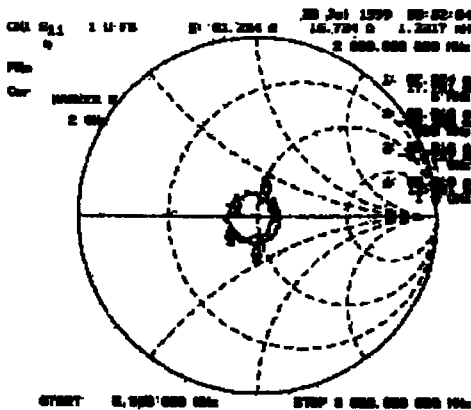
$$S_{41} = \sqrt{1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2 - |S_{31}|^2} \quad (7)$$

그림 7은 회로망분석기로부터 얻은 Γ_1^e , Γ_2^o , Γ_1^o , Γ_2^e 만을 이용하여 식 (7)에 의해서 계산된 산란 파라미터를 나타낸다.

그림 8은 지금까지 제시된 이론들에 의해서 최적 설계된 신호분기기의 측정된 주파수 특성을 나타낸다. 그림 8로부터 5 MHz에서 4,000 MHz까지 삽입 손실, 반사손실, 결합도 모두 우수한 특성을 나타냄을 확인할 수 있다.



(a) 우 모드 여진
(a) For even mode excitation.



(b) 기 모드 여진
(b) For odd mode excitation.

그림 6. 포트 2에서 측정된 입력임피던스
Fig. 6. The measured input impedances at Port-2.

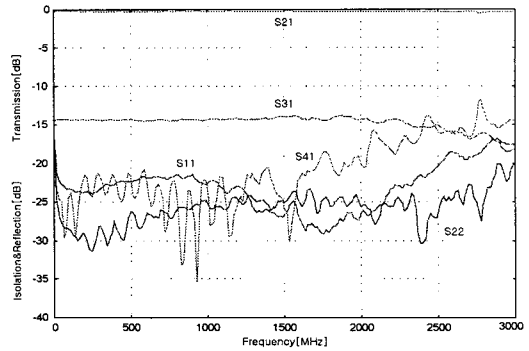


그림 7. 우·기 모드 여진시 측정된 반사계수에 의해 계산된 산란파라미터

Fig. 7. The S-parameters calculated by the measured reflection coefficients by even- and odd-mode excitations.

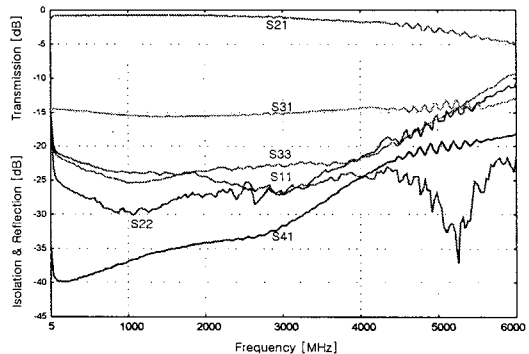


그림 8. 14.7 dB의 결합도를 가지는 신호분기기의 측정된 주파수 특성

Fig. 8. The measured frequency characteristics of Tap-off with 14.7 dB coupling.

IV. 결 론

본 논문에서는 변성기형 방향성 결합기에 우·기 모드 이론을 적용하여 해석하였다. 그리고 측정된 우·기 모드 반사계수만을 사용하여 구한 S-파라미터의 결과와 계산치를 비교함으로써 제안된 해석법의 타당성을 확인하였다.

제안한 해석법을 이용하면 실제의 Tap-off를 제작할 때의 다수의 산란파라미터를 회로망 분석기상에서 관측하지 않고, even-odd 모드만을 관측하여 성능개선 및 미조정을 할 수 있으므로 시간과 인력

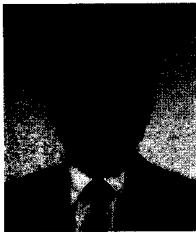
을 절감할 수 있다.

나아가서, 제작된 변성기형 방향성결합기의 결합 손실, 반사손실, 결합도, 격리도 모두가 제안된 해석법을 적용하여 5 MHz~4,000 MHz까지 광대역화되었다.

참 고 문 헌

- [1] Dong-Il Kim, Jae-Hyun Hwang and Michiharu Takahashi, "A New Analysis Method and Broad-Band Design of Tap-offs for CATV /DBS Systems," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 46, no. 1, pp. 171-178, Feb., 2000.
- [2] Dong-Il Kim, Kyeong-Sik Min and Se-Mo Chung, "A study on the Fine Adjusting Method of Tap-off for CATV Transmitting Circuit Using Coupled Line Theory," *Journal of the Korean Institute of Telematics and Electronics*, vol. 31-A, no. 6, Jun., 1994.
- [3] Dong-Il Kim, Michiharu Takahashi, Kiyomichi Araki and Yoshiyuki Naito, "Optimum Design of the Power Dividers with Ferrite Toroids for CATV and/or MATV Systems," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. CE-29, no. 1, pp. 27-38, Feb., 1983.
- [4] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, Addison-Wesley, 1990.
- [5] Y. Natio, "Formulation of Frequency Dispersion of Permeability," *Trans. IECE*, vol. 59-C, pp. 297-304, May, 1976.
- [6] Guillermo Gonzalez, *Microwave Transistor Amplifiers : Analysis and Design*, Prentice Hall, 2nd ed. 1997.

김 동 일



1952년 2월 26일생
 1975년 2월: 한국해양대학교 항해학과(공학사)
 1977년 2월: 한국해양대학교 대학원 전파공학전공(공학석사)
 1984년 3월: 일본 동경공업대학원 전기전자공학과(공학박사)

1975년 3월~1993년 9월: 한국해양대학교 조교~부교수
 1993년 10월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 교수
 1990년 3월 10일: 산학협동상 대상 수상
 1993년 12월 11일: 본 학회 학술상 수상
 1995년 4월 21일: 과학기술진흥 대통령 표창 수상
 1998년 9월 30일: 한국항해학회 우수논문상 수상
 [주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 회로의 설계, CATV 전송회로의 설계, 고성능, 전파흡수체의 개발, EMI/EMC 대책 등

황 재 현



1973년 11월 7일생
 1999년 2월: 동의대학교 전자통신공학과(공학사)
 1999년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
 [주 관심분야] RF 회로설계, CATV 전송회로 설계 등

류 현 욱



1971년 7월 13일생
 1999년 2월: 한국해양대학교 전파공학과(공학사)
 1999년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
 [주 관심분야] RF 회로설계, CATV 전송회로 설계 등

하 도 훈



1967년 12월 8일생
1995년 2월: 동의대학교 전자통신
공학과(공학사)
1997년 2월: 한국해양대학교 대학
원 전파공학전공(공학석사)
1997년 3월~현재: 한국해양대학
교 대학원 전파공학과 박사과정

[주 관심분야] CATV 전송회로 설계, RF 회로설계 등

정 세 모



1959년 5월: 한국해양대학교 항해
학과(공학사)
1967년 2월: 연세대학교 전기공학
과(공학사)
1971년 2월: 연세대학교 전기공학
과(공학석사)
1976년 9월: 일본동경공업대학 대
학원 전자물리학과(공학박사)

1964년 10월~현재: 한국해양대학교 해사수송과학부 교
수

[주 관심분야] 전파항법, 안테나공학