

CATV/DBS용 신호분기기의 우·기 모드 해석법

김동일, 황재현, 류현욱, 하도훈, 정세모

한국해양대학교

An Even · Odd mode Analysis Method of Tap-Offs for CATV/DBS Systems

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

Korea Maritime University

E-mail : dikim@hanara.kmartime.ac.kr

요약

CATV, DBS(Direct Broadcasting Satellite), CS(Communication Satellite) 시스템용 신호분기기를 4-port와 3-port 등가회로를 사용한 새로운 해석법을 제안하였다. 결합선로형 방향성결합기에 대한 우·기 모드 해석법을 도입하여, 변성기형 방향성 결합기에 적용하였다. 시뮬레이션과 실험결과를 비교함으로써 제안된 해석법의 타당성을 입증하였고, 또한 제작된 신호분기기는 제안된 해석법을 적용하여 5 MHz ~ 4,000 MHz의 광대역화가 되었다.

Abstract

A new analysis method of Tap-Off for CATV, DBS, CS systems was proposed and investigated by using 4-port and 3-port equivalent circuits. As an analysis method the even · odd-mode theory for a symmetrical coupled-line directional coupler was introduced, and then it was applied to transformer type directional coupler. By comparing the results of simulation and measurement, the validity of the proposed analysis method was confirmed. Furthermore, the Tap-off has been broadened from 5 MHz to 4,000 MHz by adopting the proposed theory.

1. 서 론

CATV는 광대역 특성을 이용하여 다양한 방송과 문자 및 정보서비스 기능을 제공하는 등 종합 유선방송으로 발전하고 있으며, 그 기술적인 요구도 더욱 엄격해지고 있다.

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

최근 신호분리기 회로에 대한 이론해석 및 설계법이 검토된 바 있으나, 실제 제작되어 시판되고 있는 Tap-Off는 특성이 불량하고, 주파수 특성이 일정하지 못하며, 대역폭이 5~600 MHz 이내이다. 이에 따라 정보를 양호하게 전송하는데 문제가 되고 있다. 현재 DBS의 확대와 가입자의 증대, 다채널 영상서비스와 부가정보통신 서비스의 확대에 사용주파수 대역폭이 유립의 경우 CATV는 5~770 MHz, DBS는 1035~2150 MHz 이고, 일본의 경우는 CATV는 10~770 MHz, DBS는 950~2150 MHz로 확장되었다. 또한 CS의 사용으로 2,650 MHz까지 확장되고 있다.

본 논문에서는 새로운 해석법으로 결합선로형 방향성결합기의 완전정합조건인 $Z_0 = \sqrt{Z_m \cdot Z_n}$ 을

변성기형 방향성결합기에서도 성립되는 것을 확인하고, 제작된 신호분기기로부터 측정된 Γ_1^e , Γ_1^o , Γ_2^e , Γ_2^o , T_{21}^e , T_{21}^o 를 이용하여 해석의 타당성을 입증하고자 한다. 그리고 제안한 이론을 적용함으로써 반사계수 20dB, isolation 25dB를 만족하는 신호분리기(14.7dB)의 광대역화(5~2,650 MHz)를 실현하고자 한다.

II. 우·기 모드 해석법의 적용

II-1 결합선로형 방향성결합기의 이론

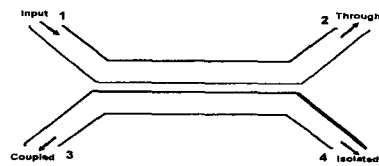


그림 1. 결합선로형 방향성결합기의 구조

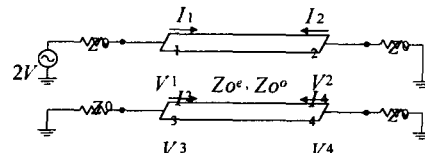


그림 2. 결합선로형 방향성결합기의 등가회로

결합선로형 방향성결합기의 이론을 변성기형 방향성결합기에 적용하기로 한다. 그림 1과 2는 두축 대칭이지만 변성기형 방향성결합기의 해석에 적용하기 위해 한축 대칭으로 간주하여 해석한다. 그림 2에서 우·기 모드 여진시의 각 입력 임피던스를 Z_{in}^e, Z_{in}^o 라 하면,

$$Z_0 = \sqrt{Z_{in}^e \cdot Z_{in}^o} \quad (2.1)$$

일 때 $Z_{in} = Z_0$ 가 되어 포트1은 정합되며, 대칭성에 의해 다른 모든 포트도 정합된다[1]. 이 결과를 변성기형 방향성결합기에 적용하기로 한다.

II-2 4-port 회로망의 우·기 모드 해석법

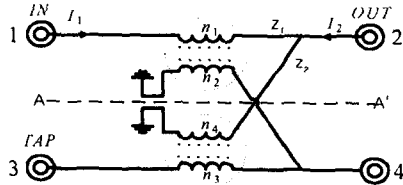


그림 3. 변성기형 방향성결합기의 등가회로

그림 3은 회로의 특성에 크게 영향을 주지 않는 콘덴서를 제거한 변성기형 방향성결합기의 가회로이다[2]

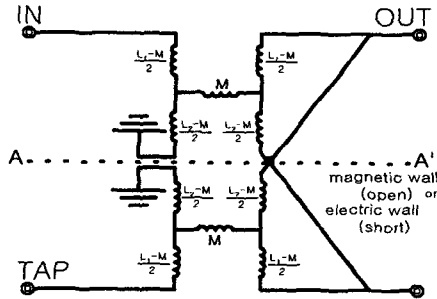


그림 4. 제안된 변성기형 방향성결합기의 등가회로

그림 4는 제안된 변성기형 방향성결합기의 등가회로이다. 그림 4에서 보는 바와 같이 A-A'를 기준으로 한축 대칭으로 간주하자. 대칭성을 이용하여 우·기 모드의 경우로 해석을 하면 식(2.2)와 식(2.3)과 같다[3].

$$\Gamma_{1.in}^e = \frac{Z_{1.in}^e - Z_L}{Z_{1.in}^e + Z_L} \quad \Gamma_{1.in}^o = \frac{Z_{1.in}^o - Z_L}{Z_{1.in}^o + Z_L} \quad (2.2)$$

$$\Gamma_{2.in}^e = \frac{Z_{2.in}^e - Z_L}{Z_{2.in}^e + Z_L} \quad \Gamma_{2.in}^o = \frac{Z_{2.in}^o - Z_L}{Z_{2.in}^o + Z_L} \quad (2.3)$$

식 (2.2), (2.3)에서 구한 반사계수를 사용하여 구한 산란파라미터는 식 (2.4)~(2.6)과 같다.

$$S_{11} = 20 \log \left| \frac{\Gamma_{1.in}^e + \Gamma_{1.in}^o}{2} \right| = 20 \log \left| \frac{Z_{1.in}^e \cdot Z_{1.in}^o - Z_L^2}{(Z_{1.in}^e + Z_L)(Z_{1.in}^o + Z_L)} \right| \quad (2.4)$$

$$S_{11} = 20 \log \left| \frac{\Gamma_{1.in}^e - \Gamma_{1.in}^o}{2} \right| = 20 \log \left| \frac{Z_L(Z_{1.in}^e - Z_{1.in}^o)}{(Z_{1.in}^e + Z_L)(Z_{1.in}^o + Z_L)} \right| \quad (2.5)$$

$$S_{22} = 20 \log \left| \frac{\Gamma_{2.in}^e + \Gamma_{2.in}^o}{2} \right| = 20 \log \left| \frac{Z_{2.in}^e \cdot Z_{2.in}^o - Z_L^2}{(Z_{2.in}^e + Z_L)(Z_{2.in}^o + Z_L)} \right| \quad (2.6)$$

II-3 3-port 등가회로망으로 간주한 새로운 해석법

이 절에서는 II-2의 문제점을 해결하기 위하여 3-Port 등가회로를 제안하고 이 등가회로를 이용한 해석법에 관하여 검토한다.

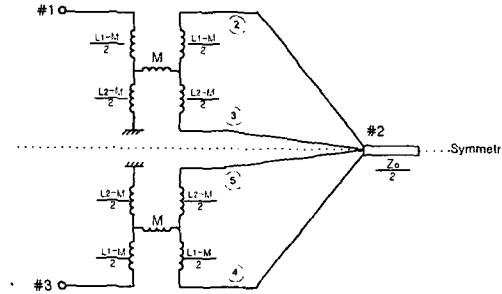


그림 5. 신호분기기의 3-Port 등가회로

그림 3의 분기회로에서 선로 임피던스 Z_1, Z_2 를 구하면 다음과 같다.

$$Z_1 = (1 + r^2)Z_0 \quad (2.7)$$

$$Z_2 = \frac{1 + r^2}{r^2} Z_0$$

여기서 Z_1, Z_2 는 선로의 임피던스이며, 이를 이용하여 그림 4의 4-port 회로를 3-port 등가회로로 나타내면 그림 5와 같다.

식(2.2)와 식(2.3)의 방법으로 구한 반사계수를 이용하여 산란파라미터 S_{11} 을 구하면 식(2.8)로 주어지고, 결합도 C와 S_{13} 의 관계는 식(2.9)와 같이 놓을 수 있다[3].

$$S_{11} = \Gamma_1^e \quad (2.8)$$

$$S_{31} = C = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.9)$$

반사계수로부터 S_{21}, S_{42} 를 구하면 식(2.10)과 식(2.11)과 같다.

$$S_{21} = \frac{1}{\sqrt{2}} T_{12}^e \cong \sqrt{[1 - (\Gamma_2^e)^2]} \quad (2.10)$$

$$S_{42} = \frac{1}{2} (\Gamma_2^e - \Gamma_2^o) \quad (2.11)$$

그리고 port 2에서의 출력을 b_2 라 하고 $b_2^2 = (2S_{22})^2 = (\Gamma_2^e)^2$ 으로 놓으면,

$$S_{22} = \frac{1}{4} \Gamma_2^e \quad (2.12)$$

$$S_{41} = \sqrt{1 - |S_{11}|^2 - |S_{12}|^2 - |S_{13}|^2} \quad (2.13)$$

이 된다.

III. 시뮬레이션 및 실험결과

III-1 시뮬레이션

(1) 4-port 등가회로의 시뮬레이션

본 연구에서 우·기 모드로 시뮬레이션하기 위해 그림 3에서의 Turn수는 $n_1 = 0.9, n_2 = 4.9$ 로 하고, $n_1 = n_3, n_2 = n_4$ 로 한다.

그림 6은 4-port 등가회로를 이용한 경우의 산란파라미터이다. 그림 6에서 S_{31} 과 S_{22} 가 뒤바뀌어 있는데 이것은 전송선로부분이 교차하고 있는 부분 때문인 것으로 판단된다.

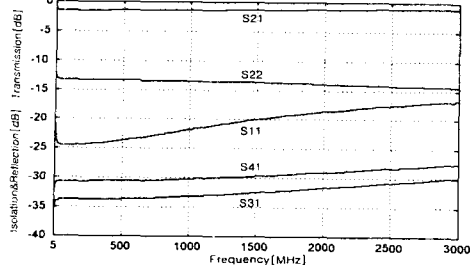


그림 6. 4-Port 등가회로 해석법에 의한 주파수특성

(2) 3-port 등가회로의 시뮬레이션

그림 7은 II-3에 기술한 3-port 등가회로로부터 얻은 산란파라미터를 나타낸다. 그림으로부터 4-port 회로망의 문제점이 해결됨을 확인할 수 있다.

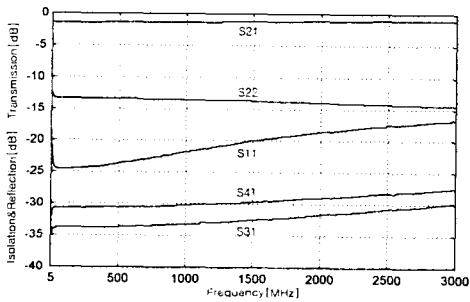


그림 7. 3-Port 등가회로 해석법에 의한 주파수특성

III-2 실험 결과

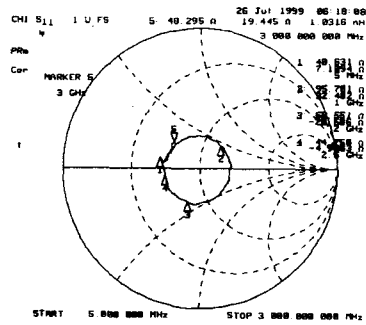
그림 9는 내부 전송선로를 Microstrip Line으로 구성하여 제작한 신호분기기의 사진이다. Microstrip Line의 선로폭은 특성임피던스가 75Ω일 때 식(3.1)[5]에 의해 계산되며, 유전율 $\epsilon_r=3$ 인 기판을 사용하였다.



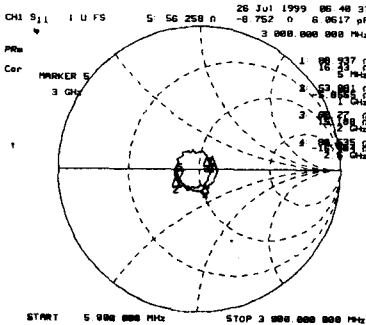
그림 8. 전송선로가 Microstrip Lines로 구성된 신호분기기(선로폭=0.63 mm, $\epsilon_r=3$)

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

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W}\right)^{-1/2} \quad (3.1)$$

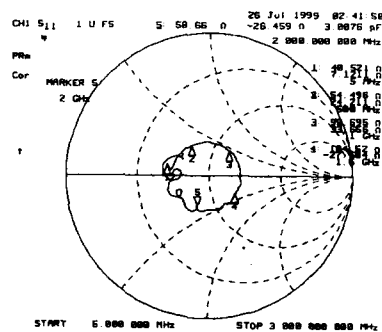


(a) Even mode 여진시

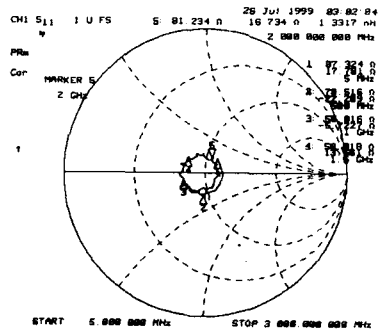


(b) Odd mode 여진시

그림 9. Port 1에서 측정된 입력임피던스



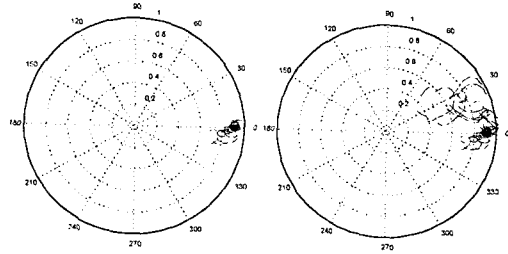
(a) Even mode 여진시



(b) Odd mode 여진시

그림 10. Port 2에서 측정된 입력임피던스

그림 9와 10은 각각 포트 1과 포트 2에서 측정된 입력임피던스를 나타내는데, 우·기 모드 입력 임피던스가 식(2.1)의 관계를 잘 만족하고 있음을 알 수 있다. 그림 11은 우·기 모드 여진시 투과계수에 대한 크기와 각도를 나타낸다.



(a) Even mode 여진시 (b) Odd mode 여진시
그림 11. 투과계수 (T_{21})의 크기와 각도

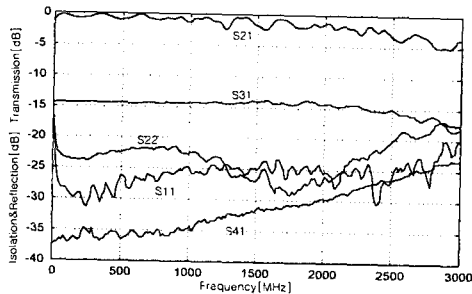


그림 12. 측정된 Even·Odd mode 반사계수와 투과계수로부터 얻은 주파수특성

그림 12는 Even mode 여진시의 측정된 Γ_1^e , Γ_2^e , Odd mode 여진시 측정된 Γ_1^o , Γ_2^o , 그리고 T_1^e , T_1^o 에 의해 계산된 산란파라미터이다.

그림 13은 내부전송선로가 Microstrip Line으로 구성된 신호분기기를 제작하여 주파수 5 MHz ~ 6,000 MHz에서 이론치와 실험치를 비교, 검토하였다. 연구목표로 하고 있는 5 MHz ~ 2,650 MHz까지의 주파수대 뿐만 아니라 4,000 MHz까 삽입손실, 반사손실, 결합계수가 아주 우수한 특성을 나타내고 있다.

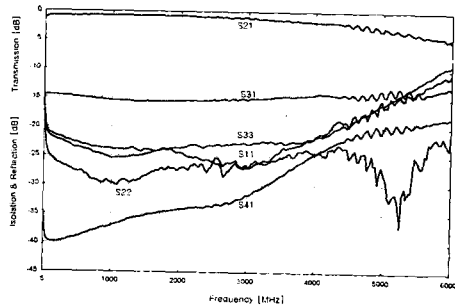


그림 13. 14.7dB 결합도를 가지는 신호분기기의 측정된 주파수특성

IV. 결론

본 논문에서는 일반적인 변성기를 회로이론적인 등가회로로 제시하였고, 결합선로형 방향성결합기 이론을 변성기형 방향성결합기에 적용하여 새로운 해석법을 제시하였으며, 이를 4-port와 3-port 등가회로를 구성하여 우·기 모드 이론에 입각한 시뮬레이션과 제작된 변성기형 방향성결합기로부터 Γ_1^e , Γ_1^o , Γ_2^e , Γ_2^o , T_{21}^e , T_{21}^o 를 측정하여 S-parameter의 계산을 통하여 해석의 타당성을 입증하였다. 제안한 해석법을 이용하면 실제의 Tap-off를 제작할 때의 다수의 산란파라미터를 회로망 분석기상에서 관측하지 않고, 우·기 모드 임피던스만을 관측하여 성능개선 및 미조정을 할 수 있으므로 시간과 인력을 절감하는 효과를 얻을 수 있다.

나아가서, 제작된 변성기형 방향성결합기의 결합도, 반사계수 및 격리도가 5 MHz ~ 4,000 MHz에서 양호한 특성을 나타내는 것을 확인함으로써 광대역화가 실현되었다.

참고 문헌

- [1] David M. Pozar, Microwave Engineering, Addison-Wesley, 1990.
- [2] Dong Il Kim, Kyeong Sik Min, 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, 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] Y. Natio, "Formulation of Frequency Dispersion of Permeability," Trans. IECE, vol. 59-c, pp.297-304, May. 1976.
- [5] Guillermo Gonzalez, Microwave Transistor Amplifiers : Analysis and Design, Prentice Hall, 2nd ed. 1997