

변성기형 방향성결합기의 해석법 및 신호분기기의 개발

김동일, 강효석, 권해욱, 류현욱

한국해양대학교 전파공학과

Analysis of Directional Coupler in Transformer Type and Development of Tap-Offs

Dong Il Kim, Hyo Suk Kang, Hae Ok Kwon, Hyun Wook Ryu

Dept. of Radio Sciences & Eng., Korea Maritime University

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

요 약

CATV(Cable Television) 및 MATV(MasterTelevision) 시스템용 방향성결합기의 광대역 설계법을 제안한다. 결합선로형 방향성결합기의 이론을 도입하여 그 이론을 변성기형에 적용, 해석법을 확립하고, 제안한 해석법의 타당성을 입증하기 위하여 시뮬레이션결과 및 실험결과를 비교 검토한다.

그 결과 주파수특성이 반사계수 20dB, isolation 25dB를 만족하는 신호분기기를 5~2150 MHz까지 광대역화 하였다.

1. 서 론

CATV는 케이블 텔레비전(Cable Television)의 약칭으로, 문자 및 정지화상을 포함하여 영상·음성·음향 등을 유선 전기통신시설로 일반수신자에게 송신하는 다채널 방송으로 정의된다. 원래는 텔레비전 난시청해소 목적으로 산위의 공동안테나를 세워, 각 가정에 나누어 보냈기 때문에 지역 공용 안테나 텔레비전(Community Antenna Television)의 약칭이었지만, TV방송 보급과 함께 세계 각국에 널리 도입되었다.

현재까지 대부분의 TV방송은 시청자가 방송국으로부터 일방적으로 송신된 TV전파를 받아 시청하는 단방향 서비스를 이용해 왔다. 이러한 수신 방법에 대해 신기술 발달과 더불어, 초고속정보통신망에 대한 공감대가 형성되어 CATV나 주문형 비디오(VOD:Video On Demand) 사업자로부터 쌍방향으로 전환하려는 움직임이 일어났다. 이러한 VOD 서비스는 가입자들이 시간에 관계없이 특정프로그램을 선택하여 시청할 수 있다. 또한 비디오 프로그램 수신뿐만 아니라, 비디오 게임, 홈쇼핑, 홈뱅킹 등 다양한 화상정보를 제공하여 화상정보에 의한 정보통신서비스가 가능하게 된다.

CATV는 기존방송과는 다른 다채널 전문방송으로서 영화, 오락, 뉴스, 다큐멘터리, 스포츠, 교육, 바둑, 홈쇼핑 등 다양한 채널을 통해 정보화 시대를 이끌 것이다. 앞으로 CATV는 방송 이외의 부가서비스의 제공으로 화상전화, 인터넷서비스, VOD, 원격교육, 의료 등 CATV를 통해 멀티

미디어 서비스를 받을 수 있을 것이다[1]. 이와 같은 CATV 시스템은 급속한 발전을 계속하고 있는 한편, 그 기술적인 요구도 더욱 엄격해져 가고 있다.

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

최근 신호분기기 회로에 대한 이론해석 및 설계법이 검토된 바 있으나, 실제 제작되어 시판되고 있는 Tap-Offs는 특성이 불량하고, 주파수 특성이 일정하지 못하며, 대역폭이 5~600 MHz 이내이다. 이에 따라 정보를 양호하게 전송하는데 문제가 되고 있다. 현재 DBS(Direct Broadcasting Satellite)의 확대와 가입자의 증대, 다채널 영상서비스와 부가정보통신 서비스의 확대로 사용주파수 대역폭이 5(10)~2150 MHz까지 점차 확장되고 있다.

본 논문에서는 새로운 해석법으로 결합선로형 방향성결합기의 완전정합조건인 $Z_0 = \sqrt{Z_{in} \cdot Z_{in}'}$ 을 변성기형 방향성결합기에서도 성립되는 것을 확인함으로써 특성이 양호해지는 변성기형 방향성결합기의 조건을 구하고, 반사계수 20dB, isolation 25dB를 만족하는 신호분기기(15dB)의 광대역화(5~2150 MHz)를 실현하였다.

II. 변성기형 방향성결합기의 해석

1. 결합선로형 방향성결합기의 이론

결합선로형 방향성결합기의 이론을 변성기형 방향성결합기에 적용하기로 한다. 그림 1은 두축 대칭이지만 변성기형 방향성결합기를 해석하기 위해 한축 대칭으로 해석한다. 그림 3은 Even모드(동상 동전압)일 때와 Odd모드(역상 동전압)로 각각 여진시켰을 때의 등가회로이며, 각 포트에서 바라다본 선로내부의 입력임피던스가 식 (1)과 같으면 각 포트는 정합이 된다[3].

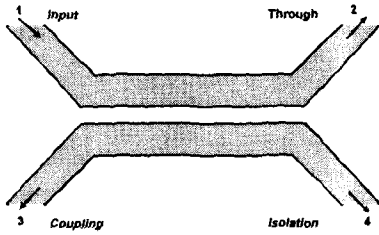


그림 1. 결합선로형 방향성결합기의 구조

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

2. 변성기형 방향성결합기의 해석

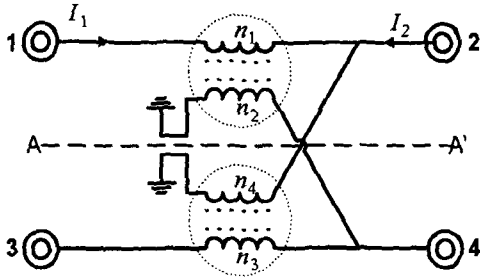


그림 2. 변성기형 방향성결합기의 등가회로

그림 2는 변성기형 방향성결합기의 회로도를 나타낸 것이며, 그림 3은 저자 등이 제안한 변성기형 방향성결합기의 등가회로이다[4].

그림 3에서 보는 바와 같이 A-A'를 기준으로 한축 대칭이다. 대칭성을 이용하여 Even과 Odd mode의 경우로 나누어 해석하면 다음과 같다.

(1) EVEN 모드일 경우

그림 4, 5는 각각 포트 1-3 및 2-4에서 Even mode 여진시의 등가회로이며, 대칭축은

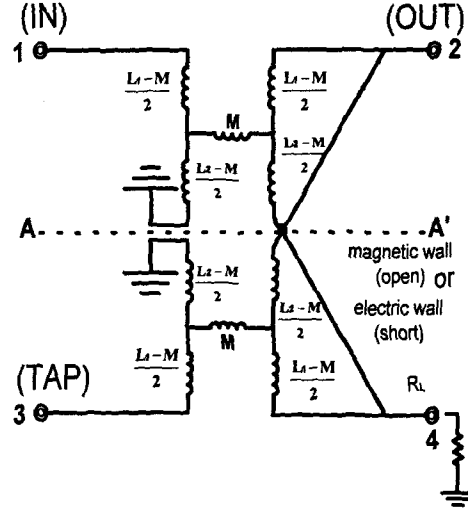


그림 3. 제안된 변성기형 방향성결합기의 등가회로
open(magnetic wall)이며, 입력임피던스 $Z_{1,in}^e$ 와 $Z_{2,in}^e$ 는 식 (2), (3)과 같다.

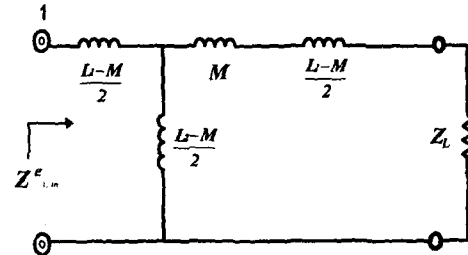


그림 4. port 1-3를 Even mode 여진한 때의 등가회로

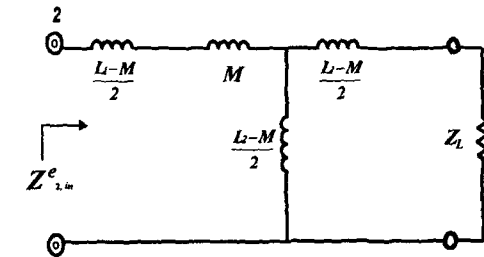


그림 5. port 2-4를 Even mode

여진한 때의 등가회로

$$Z_{1,in}^e = \frac{-\omega^2(2L_1L_2 + L_1^2 - 2L_1M - M^2)}{2 \cdot \{j\omega(L_1 + L_2) + 2 \cdot Z_L\}} + \frac{2 \cdot j\omega \cdot Z_L(L_1 + L_2 - 2M)}{2 \cdot \{j\omega(L_1 + L_2) + 2 \cdot Z_L\}} \quad (2)$$

$$Z_{2,in}^e = \frac{-\omega^2(L_1^2 + 2L_1L_2 - 2L_1M - M^2) + 2j\omega \cdot Z_L(L_1 + L_2)}{2(j\omega(L_1 + L_2) + 2Z_L)} \quad (3)$$

(2) ODD 모드일 경우

Odd mode 여진일 때는 대칭축이 short(electric wall)가 되며, 포트 1-3 및 2-4에서 바라다 본 등가회로는 그림 6, 7과 같으며, 입력 임피던스 $Z_{1,in}^o$, $Z_{2,in}^o$ 는 각각 식 (4), (5)과 같다.

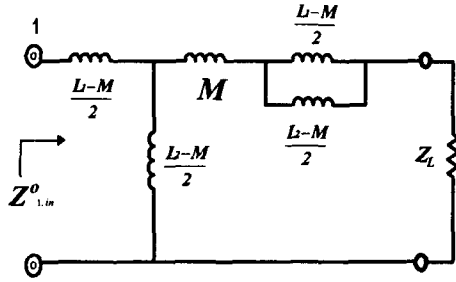


그림 6. port 1-3를 Odd mode 여진한 때의 등가회로

$$Z_{1,in}^o = \frac{-\omega^2(L_1L_2 - L_1M - L_2M + M^2) + 2j\omega M(L_1 + L_2 - 2M)}{2j\omega(L_1 + L_2 - 2M)} + \frac{-\omega^2(L_1L_2 - L_1M - L_2M + M^2) + 2j\omega Z_L(L_2 - M)}{2j\omega(L_1 + L_2 - 2M) + 4Z_L} \quad (4)$$

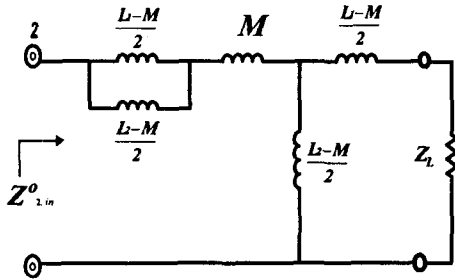


그림 7. port 2-4를 Odd mode 여진한 때의 등가회로

$$Z_{2,in}^o = \frac{j\omega^3(-2L_1L_2^2 + 4L_1L_2M + 2L_1M^2 - 2L_1^2L_2 + 2L_2M^2 - 4M^3)}{-2\omega^2(L_2^2 - 2L_2M - M^2 + 2L_1L_2) + 4 \cdot Z_L \cdot j\omega(L_1 + L_2 - 2M)} + \frac{-2\omega^2 \cdot Z_L(L_1^2 + 2L_1L_2 - 4L_1M - 4L_2M + 4M^2 + L_2^2)}{-2\omega^2(L_2^2 - 2L_2M - M^2 + 2L_1L_2) + 4 \cdot Z_L \cdot j\omega(L_1 + L_2 - 2M)} \quad (5)$$

이상에서 구해진 $Z_{1,in}^o$, $Z_{1,in}^e$, $Z_{2,in}^o$, $Z_{2,in}^e$ 를 사용하여 구한 반사계수는 식 (6)~(7)과 같다.

$$\Gamma_{1,in}^e = \frac{Z_{1,in}^e - Z_L}{Z_{1,in}^e + Z_L}, \quad \Gamma_{1,in}^o = \frac{Z_{1,in}^o - Z_L}{Z_{1,in}^o + Z_L} \quad (6)$$

$$\Gamma_{2,in}^e = \frac{Z_{2,in}^e - Z_L}{Z_{2,in}^e + Z_L}, \quad \Gamma_{2,in}^o = \frac{Z_{2,in}^o - Z_L}{Z_{2,in}^o + Z_L} \quad (7)$$

식 (6), (7)에서 구한 반사계수를 사용하여 구한 산란파라미터는 식 (8)~(12)와 같다.

$$S_{11} = 20 \log_{10} \left| \frac{\Gamma_{1,in}^e + \Gamma_{1,in}^o}{2} \right| = 20 \log_{10} \left| \frac{Z_{1,in}^e \cdot Z_{1,in}^o - Z_L^2}{(Z_{1,in}^e + Z_L)(Z_{1,in}^o + Z_L)} \right| \quad (8)$$

$$S_{22} = 20 \log_{10} \left| \frac{\Gamma_{2,in}^e - \Gamma_{2,in}^o}{2} \right| = 20 \log_{10} \left| \frac{Z_L(Z_{2,in}^e - Z_{2,in}^o)}{(Z_{2,in}^e + Z_L)(Z_{2,in}^o + Z_L)} \right| \quad (9)$$

$$S_{31} = 20 \log_{10} \left| \frac{\Gamma_{2,in}^e + \Gamma_{2,in}^o}{2} \right| = 20 \log_{10} \left| \frac{Z_{2,in}^e \cdot Z_{2,in}^o - Z_L^2}{(Z_{2,in}^e + Z_L)(Z_{2,in}^o + Z_L)} \right| \quad (10)$$

$$S_{41} = S_{32} = 20 \log_{10} \left| \frac{\Gamma_{2,in}^e - \Gamma_{2,in}^o}{2} \right| = 20 \log_{10} \left| \frac{Z_L(Z_{2,in}^e - Z_{2,in}^o)}{(Z_{2,in}^e + Z_L)(Z_{2,in}^o + Z_L)} \right| \quad (11)$$

$$S_{21} = 20 \log_{10} \sqrt{1 - |S_{11}|^2 - |S_{31}|^2 - |S_{41}|^2} \quad (12)$$

III. 시뮬레이션

시뮬레이션하기 위한 각 파라미터는 다음과 같다.

그림 2에서 Turn수를 이상변성기로 가정하면 $n_1 = 0.5$, $n_2 = 4.5$ 이고, $n_1 = n_3$, $n_2 = n_4$ 이며 주파수분산식을 이용한 코일의 투자율 μ 는 식 (13)와 같다[5].

$$\mu = 1 + \frac{K}{1 + jf/f_m} \quad (13)$$

단, K 는 초투자율, f_m 은 완화주파수, f 는 측정주파수이며 5 MHz ~ 2150 MHz이다.

각각의 파라미터를 사용하고 식 (8)~(12)을 시뮬레이션 하면 그림 8과 같다.

그림 8은 반사계수 20dB, 아이솔레이션 25dB를 잘 만족하고 있음을 보여주고 있다.

본 논문에서는 S_{31} 을 구하기 위한 또 다른 방법을 연구하였다. 일반적으로 이상변성기에서는 권선수가 실수의 항으로 표현하지만, 본 연구에서

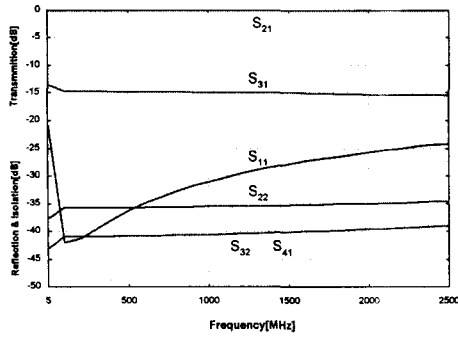


그림 8. 시뮬레이션 결과

는 권선수를 복소수로 표현하였다.

복소투자율은 식 (14)와 같이 실수부와 허수부로 나타내며

$$\mu = 1 + \frac{K}{1 + jf/f_m} = \mu' - j\mu'' \quad (14)$$

1차측 권선수의 실수부는 식 (15)와 같다.

$$L_1 = n_{01}^2 |\mu L_0| = |n_1|^2 |\mu L_0| \quad (15)$$

단, n_{01} 은 실수턴수이며, n_1 은 복소턴수, L_0 는 투자율을 1로 하였을 때의 인덕턴스다.

따라서, 1차측 복소인덕턴스는 식 (16)과 같다.

$$L_1^c = n_{01}^2 \frac{\mu}{|\mu|} |\mu L_0| = n_1^2 |\mu L_0| \quad (16)$$

또한, 복소턴수는 식 (17)~(18)로 나타낼 수 있다.

$$n_1 = n_{01} \sqrt{\frac{\mu}{|\mu|}} = n_{01} \sqrt{\frac{\mu' - j\mu''}{|\mu|}} \quad (17)$$

$$= n_{01} \left(\frac{\mu' - j\mu''}{\sqrt{\mu'^2 + \mu''^2}} \right)^{1/2} = n_{01} \left(\frac{\sqrt{\mu' - j\mu''}}{\sqrt{\mu'^2 + \mu''^2}} \right)$$

$$n_2 = n_{02} \left(\frac{\sqrt{\mu' - j\mu''}}{4\sqrt{\mu'^2 + \mu''^2}} \right) \quad (18)$$

1차측과 2차측의 상호인덕턴스는 식 (19)와 같다.

$$M = k\sqrt{L_1 L_2} \quad (19)$$

단, k 는 자기결합계수이다.

식 (17), (18)을 사용하여 결합계수를 구하면 식 (20)으로 나타낼 수 있다.

$$S_{31} = 20 \log_{10} \left| \frac{n_1}{n_2} \right| \quad (20)$$

IV. 실험결과

그림 9는 T-314 OPW 5-3-3-1H₂ 페라이트 코어를 사용하고, 코일은 0.18mm ϕ 를 사용하여 변성기형 방향성결합기를 제작하고 산란파라미터를

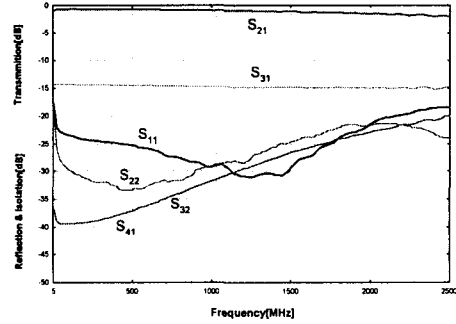


그림 9. 15dB 신호분기기의 실험결과

측정한 것이다. 그 결과 주파수대역 5 MHz~2150 MHz에서 반사계수 20dB, 아이솔레이션 25dB를 잘 만족하고 있음을 알 수 있으며, 이는 그림 8의 시뮬레이션 결과와 잘 일치하고 있음을 보여준다.

V. 결론

본 논문에서는 CATV 시스템용 고주파 변성기형 방향성결합기의 해석법을 제안하고, Z_{in}^c 및 Z_{in}^o 만을 조절함으로써 미조정 가능성이 제시하였다. 시뮬레이션 및 실험결과는 주파수대역 5 MHz~2150 MHz까지 주파수특성이 양호하였으며, 이는 CATV 시스템용 광대역 Tap-Offs로 사용이 가능하다.

참고 문헌

- [1] 이상근, "한국CATV기기 산업 및 국산화 현황", *방송공학회지*, pp. 56-64, 6. 1997.
- [2] Dong Il Kim, et al., "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.
- [3] David M. Pozar, "Microwave Engineering", Addison-Wesley, pp. 425-474, 1990.
- [4] 김동일, "고주파 변성기형 방향성결합기의 해석방법에 관한 연구", *대한전자공학회 및 한*

국통신학회 부산 경남지부 추계 학술 합동 발표회 논문집, pp. 222-226.

[5] Y. Natio, "Formulation of frequency dispersion of permeability", *Trans. IECE*, vol. 59-c, pp. 297-304, May 1976.