# 원고주파 변성기형방향성결합기를 이용한 신호분기기의 광대역화에 관한 연구

강 효 석* · 김 동 일**

# A Study on the Method of Broadening the Bandwidth of the Tap-Offs Using High-Frequency Transformer Type Directional Coupler

Hyo-Suk Kang* · Dong Il Kim**


## 요 약

본 논문에서는 CATV(Cable Television) 및 DBS(Direct Broadcasting Satellite)시스템용 신호분기기(Tap-Offs)의 기본이 되는 변성기형 방향성결합기의 해석법 및 광대역 설계법을 제안하고 시뮬레이션 및 실험을 하였다. 시뮬레이션에서는 Even 및 Odd 입력임피던스 즉, $Z_{in}^{e}$ 및 $Z_{in}^{o}$ 만으로 주파수특성을 구할 수 있었다. 또한, 결합계수($S_{31}$)를 복소귄선수로 표현할 수 있게 하였다.

나아가서, $Z_{in}^{e}$ 및 $Z_{in}^{o}$ 만으로 모든 산란 파라미터를 구함으로써 미조정을 간단히 하고, 이를 실험을 통하여 증명하였다. 또한, 제안한 변성기형 방향성결합기의 설계법에 의해 반사계수 -20dB, isolation -25dB를 만족하는 신호분기기를 5~2450 MHz의 주파수대에서 광대역화하였다.


## Ⅰ. 서 론

CATV(Cable Television)는 문자 및 영상·음성·음향 등을 유선통신설비로 가입자에게 전송하는 다채널 방송이다. 초기에는 난시청지역 해소를 위해 시작하였으나 최근 다양한 방송과 문자 및 정보서비스 기능 제공 등 종합유선방송으로 발전해오고 있다.


* 한국해양대학교 전파공학과 석사과정 전파공학 전공

** 한국해양대학교 전파공학과 조교수

CATV는 기존의 공중파 방송과는 다른 다채널 전문방송으로서 영화, 오락, 뉴스, 다큐멘터리, 스포츠, 교육, 바둑, 홈쇼핑 등 다양한 채널을 통해 정보화시대를 이끌 것이다. 앞으로 CATV는 방송 이외의 다양한 부가서비스의 제공 즉, 화상전화, 인터넷서비스, VOD, 원격교육, 의료 서비스 등의 멀티미디어 서비스를 제공할 것이다[1]. 이와 같은 CATV 시스템은 급속한 발전을 계속하고 있는 한편, 그 기술적인 요구도 더욱 엄격해져가고 있다.

CATV 시스템의 중요한 기본소자로는 신호분기기(Tap-Offs or Tap Unit) 및 신호분배기(Power Splitter)가 있으며, 이 소자들의 주파수 특성이 양호하지 못할 경우, Ghost 현상이나 화면의 찌그러짐, 전송정보의 손실, 채널확대의 한계 등이 생기게 된다[2].

최근 신호분기기 회로에 대한 이론해석 및 설계법이 검토된 바 있으나, 실제 제작되어 시판되고 있는 Tap-Offs는 특성이 불량하고, 주파수 특성이 일정하지 못하며, 대역폭이 5~800 MHz 이내이다. 이에 따라 많은 양의 정보를 전송하는데 문제가 되고 있다. 현재 DBS의 확대와 가입자의 증대, 다채널 영상서비스와 부가정보통신 서비스의 확대로 사용주파수 대역폭이 유럽의 경우 CATV는 5~770 MHz, DBS는 1035~2150 MHz이고, 일본의 경우는 CATV는 10~770 MHz, DBS는 950~2150 MHz로 확장되었다. 향후 2450 MHz 대역까지 확장될 계획이다.

본 논문에서는 변성기형 방향성결합기의 해석법 및 설계법을 제안하고, 이를 이용하여 신호분기기가 5~2450 MHz까지의 주파수대역에서 반사계수 -20dB, 아이솔레이션 -25dB를 만족하는 신호분기기의 광대역 설계·제작을 위한 미조정법을 제시하고자 한다.

## 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 바라다 본 선로 내부의 임력 임피던스가 식 (1)과 같으면 각 포트는 정합이 된다[3].

dCollection

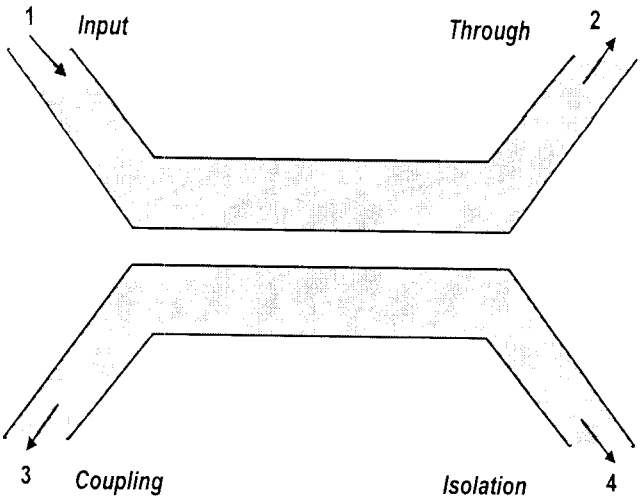


그림 1. 결합선로형 방향성결합기의 구조

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

## 2. 변성기형 방향성결합기의 해석

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

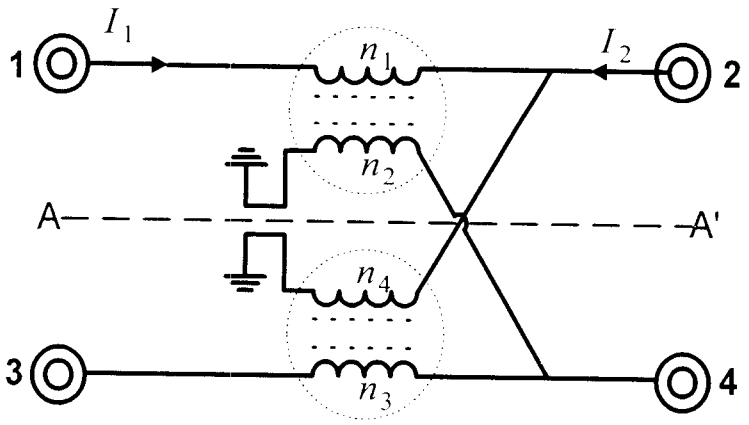


그림 2. 변성기형 방향성 결합기의 등가회로

dCollection

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

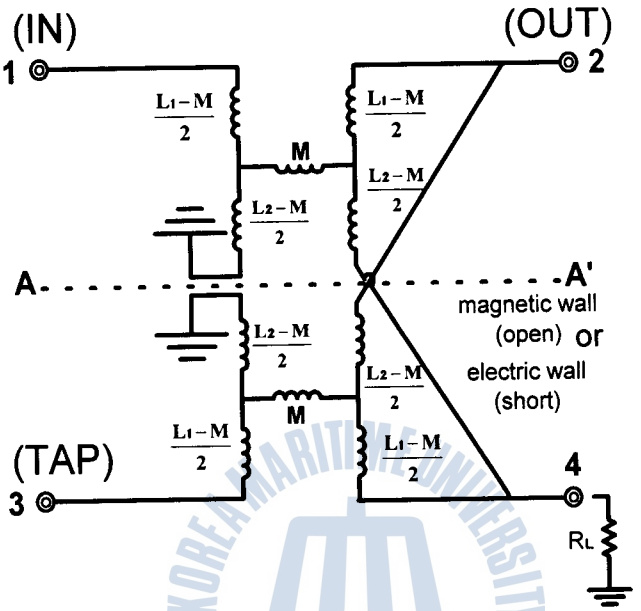


그림 3. 제안된 변성기형 방향성결합기의 등가회로

## (1) EVEN 모드일 경우

그림 4, 5는 각각 포트 1-3 및 2-4에서 Even mode 여진시의 등가회로이며, 대칭축은 open(magnetic wall)이며, 입력임피던스 $Z_{1,in}^{e}$와 $Z_{2,in}^{e}$는 식 (2)와 같다.

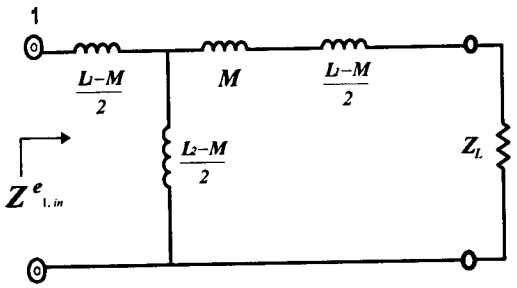


그림 4. port 1-3에 Even mode로 여진한 때의 등가회로

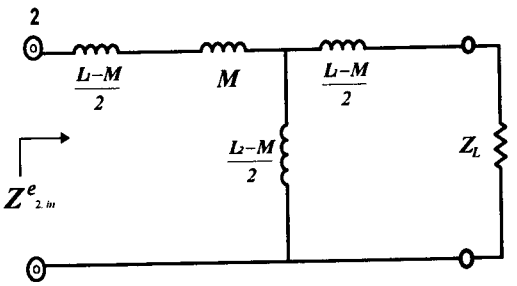


그림 5. port 2-4에 Even mode로 여진한 때의 등가회로

Collection

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

## (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, 입력임피던스 $Z^{o}_{1,in}$, $Z^{o}_{2,in}$는 각각 식 (3)과 같다.

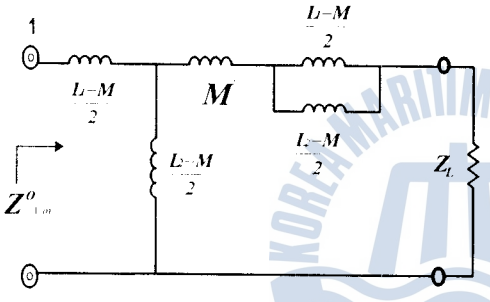


그림 6. port 1-3에 Odd mode로 여진한 때의 등가회로

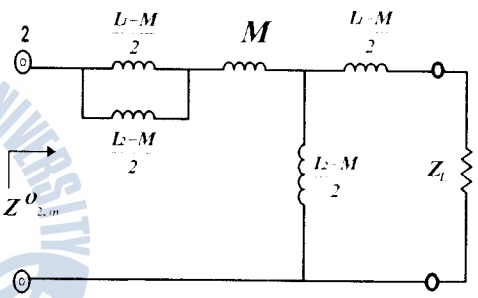


그림 7. port 2-4에 Odd mode로 여진한 때의 등가회로

$$Z^{o}_{1,in} = \frac{j\omega^3(-2L_1L_2^2+4L_1L_2M+2L_1M^2-2L_1^2L_2+2L_2M^2-4M^3)}{-2\omega^2(L_2^2-2L_2M-M^2+2L_1L_2)+4j\omega Z_L(L_1+L_2-2M)} + \frac{-2\omega^2\cdot Z_L(L_1^2+2L_1L_2-4L_1M-4L_2M+4M^2+L_2^2)}{-2\omega^2(L_2^2-2L_2M-M^2+2L_1L_2)+4j\omega Z_L(L_1+L_2-2M)}$$

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

이상에서 구해진 $Z^{e}_{1,in}$, $Z^{o}_{1,in}$, $Z^{e}_{2,in}$, $Z^{o}_{2,in}$을 사용하여 구한 반사계수는 식 (6)과 같다.

dCollection

$$\Gamma^{e}_{1,in}=\frac{Z^{e}_{1,in}-Z_L}{Z^{e}_{1,in}+Z_L}\ ,\ \Gamma^{o}_{1,in}=\frac{Z^{o}_{1,in}-Z_L}{Z^{o}_{1,in}+Z_L}$$

$$\Gamma^{e}_{2,in}=\frac{Z^{e}_{2,in}-Z_L}{Z^{e}_{2,in}+Z_L}\ ,\ \Gamma^{o}_{2,in}=\frac{Z^{o}_{2,in}-Z_L}{Z^{o}_{2,in}+Z_L} \tag{6}$$

식 (6)에서 구한 반사계수를 사용하여 구한 산란파라미터는 식 (7)~(11)과 같다.

$$S_{11}=20\log_{10}\left|\frac{\Gamma^{e}_{1,in}+\Gamma^{o}_{1,in}}{2}\right|=20\log_{10}\left|\frac{Z^{e}_{1,in}\cdot Z^{o}_{1,in}-Z_L^2}{(Z^{e}_{1,in}+Z_L)(Z^{o}_{1,in}+Z_L)}\right| \tag{7}$$

$$S_{22}=20\log_{10}\left|\frac{\Gamma^{e}_{1,in}-\Gamma^{o}_{1,in}}{2}\right|=20\log_{10}\left|\frac{Z_L(Z^{e}_{1,in}-Z^{o}_{1,in})}{(Z^{e}_{1,in}+Z_L)(Z^{o}_{1,in}+Z_L)}\right| \tag{8}$$

$$S_{31}=20\log_{10}\left|\frac{\Gamma^{e}_{2,in}+\Gamma^{o}_{2,in}}{2}\right|=20\log_{10}\left|\frac{Z^{e}_{2,in}\cdot Z^{o}_{2,in}-Z_L}{(Z^{e}_{2,in}+Z_L)(Z^{o}_{2,in}+Z_L)}\right| \tag{9}$$

$$S_{41}=S_{32}=20\log_{10}\left|\frac{\Gamma^{e}_{2,in}-\Gamma^{o}_{2,in}}{2}\right|=20\log_{10}\left|\frac{Z_L(Z^{e}_{2,in}-Z^{o}_{2,in})}{(Z^{e}_{2,in}+Z_L)(Z^{o}_{2,in}+Z_L)}\right| \tag{10}$$

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

## 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 $\mu$는 식 (12)와 같다[5].

$$\mu=1+\frac{K}{1+jf/fm} \tag{12}$$

단, $K$는 초투자율, $f_m$은 완화주파수, $f$는 측정주파수이며 5 MHz ~ 2450 MHz이다.

각각의 파라미터를 사용하고 식 (7)~(11)을 시뮬레이션 하면 그림 8과 같다.

Collection

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

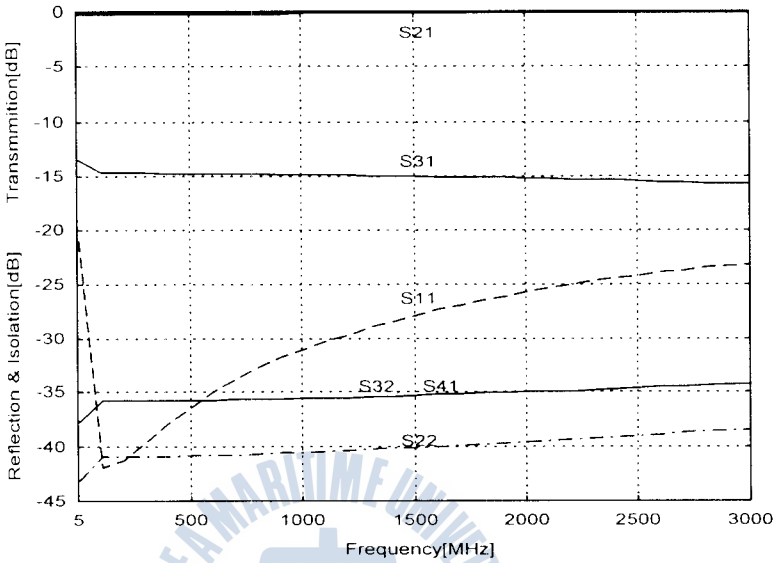


그림 8. 신호분기기의 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 $S_{31}$을 구하기 위한 또 다른 방법을 연구하였다. 일반적으로 이상변성기에서는 권선수가 실수의 항으로 표현하지만, 본 연구에서는 권선수를 복소수로 표현하였다.

복소투자율은 식 (13)과 같이 실수부와 허수부로 나타내며

$$\mu = 1 + \frac{K}{1 + jf/fm} = \mu' - j\mu'' \tag{13}$$

1차측 권선수의 실수부는 식 (14)와 같다.

$$L_1 = n_{01}^2 |\mu L_0| = |n_1|^2 |\mu L_0| \tag{14}$$

단, $n_{01}$은 실수턴수이며, $n_1$은 복소턴수, $L_o$는 투자율을 1로 하였을 때의 인덕턴스이다.

따라서, 1차측 복소인덕턴스는 식 (15)와 같다.

dCollection

$$L_1^c = n_{01}^2 \frac{\mu}{|\mu|} |\mu L_0| = n_1^2 |\mu L_0| \tag{15}$$

또한, 복소턴수는 식 (16), (17)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} n_1 &= n_{01}\sqrt{\frac{\mu}{|\mu|}} = n_{01}\sqrt{\frac{\mu' - j\mu''}{|\mu|}} \\ &= n_{01}\left(\frac{\mu' - j\mu''}{\sqrt{\mu'^2 + \mu''^2}}\right)^{1/2} = n_{01}\left(\frac{\sqrt{\mu' - j\mu''}}{\sqrt[4]{\mu'^2 + \mu''^2}}\right) \end{aligned} \tag{16}$$

$$n_2 = n_{02}\left(\frac{\sqrt{\mu' - j\mu''}}{\sqrt[4]{\mu'^2 + \mu''^2}}\right) \tag{17}$$

1차측과 2차측의 상호인덕턴스는 식 (18)과 같다.

$$M = k\sqrt{L_1 L_2} \tag{18}$$

단, $k$는 자기결합계수이다. 식 (16), (17)을 사용하여 결합계수를 구하면 식 (19)로 나타낼 수 있다.

$$S_{31} = 20 \log_{10}\left|\frac{n_1}{n_2}\right| \tag{19}$$

## Ⅳ. 실험결과

그림 9는 실제 제작한 방향성결합기이다. 이것의 하나의 포트를 종단시키면 신호분기기가 된다. 그림 10는 종래의 신호분기기의 실제 측정 결과이며 5~800 MHz대역까지만 주파수 특성이 만족함을 알 수 있다. 그림 11은 T-314 OPW 5-3-3-1$H_2$ 페라이트 코어와 0.14mm$\phi$의 코일을 사용하여 신호분기기를 제작하고 산란파라미터를 측정한 것이다. 그 결과 주파수대역 5 MHz~2450 MHz에서 반사계수 -20dB, 아이솔레이션 -25dB를 잘 만족하고 있음을 알 수 있으며, 이는 그림 8의 시뮬레이션 결과와 잘 일치하고 있음을 보여준다.

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

Collection

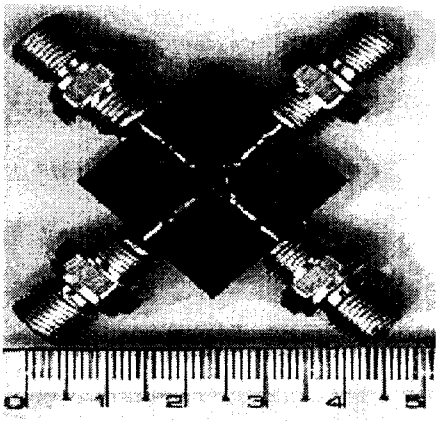

그림 9. 실제 제작한 신호분기기

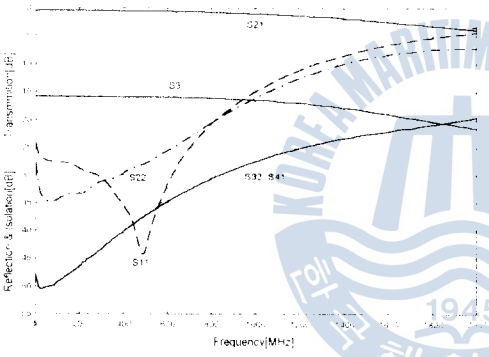


그림 10. 종래의 약결합형 신호분기기의 주파수 특성

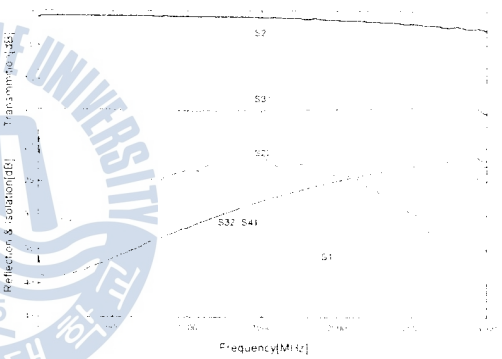


그림 11. 실제 제작한 신호분기기의 주파수 특성

## V. 결 론

본 논문에서는 CATV 시스템용 고주파 변성기형 방향성결합기의 해석법을 제안하고, $Z_{in}^{e}$ 및 $Z_{in}^{o}$ 만을 조절함으로써 미조정이 가능함을 제시하였다. 또한, 제안한 설계법에 따른 시뮬레이션 및 실험결과에 의하여 주파수대역 5 MHz~2450 MHz까지 주파수특성이 양호하였으며, 이는 CATV 및 DBS 시스템용 광대역 Tap Offs로 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

Collection

# 참 고 문 헌

[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 한국통신학회 부산 경남지부 추계 학술 합동 발표회 논문집, pp. 222-226, 1997

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

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

dCollection