

CATV용 신호분배회로의 광대역 설계 및 제작에 관한 연구

正會員 金東一*, 金泰均**, 河度勳**, 鄭世謨***

A Study on Broadband Design and Fabrication of Power Dividing Circuits for CATV System.

Dong Il Kim*, Tae Gyun Kim**, Do Hoon Ha**, Se-Mo Chung*** Regular Members

이 연구는 '95년도 한국과학재단 산학협력연구과제 산학협력연구 지원에 의해 이루어졌습니다.

要 約

광대역 신호분기기는 고화질의 CATV신호의 많은 채널을 전송할 필요가 있다. 본 논문에서는 종래의 약결합형 분기기의 이론적 주파수 특성의 설계이론 및 해석과 2-방향 탭단자들로 이루어지는 다분기기를 재검토하였다. 만약 종래의 약결합형 분기기들을 2-방향 탭단자를 가지는 다분기기에 의해 재구성한다면, 분기기의 수를 반으로 줄일 수 있을 것이다.

나아가서, 제작한 회로의 주파수 특성 측정결과가 이론적인 결과와 잘 일치하고 있음을 보여주고 있으며, 따라서 제안된 설계와 해석 방법의 타당성을 증명하였다.

ABSTRACT

The broadband tap-offs are needed to transmit a number of channels of CATV signals with the high quality of signals. In this paper, the design theories and analyses of the theoretical frequency characteristics of the conventional weakly coupled tap-off and the multiple tap-offs with 2-way tap ports are reviewed. If the conventional weakly coupled tap-offs are replaced by multiple tap-off with 2-way tap port, the number of tap-offs is decreased a half.

Furthermore, the measured results of frequency characteristics for the fabricated circuits show agreement with the theoretical results, and hence the validity of the proposed design and analysis methods has been confirmed.

*한국해양대학교 전자공학과

**한국해양대학교 전자통신공학과

***한국해양대학교 해사수송공학과

論文番號 : 95117-0324

接受日字 : 1995年 3月 24日

I. 서론

CATV시스템은 광대역전송로(동축 또는 광케이블)에 영상, 음성 및 데이터 등 많은 정보를 가입자 단말기까지 전송하는 시스템으로, 현재는 Cable TV의 의미로서 TV방송의 재송신 뿐만 아니라 자체방송서비스와 다목적 쌍방향통신의 기능까지 수행하게 되었다.¹⁾ 또한, CATV시스템은 지역네트워크에서 벗어나 전국적인 망을 갖게 되었으며, 방송위성을 이용한 DBS 및 HDTV 등의 등장으로 각종 전송회로의 광대역화 및 고성능화의 중요한 요소로 부각되고 있다. 특히, 쌍방향 전송을 위하여 전송장비중의 신호분배기(Power Splitter) 및 분기기(Tap-Off or Tap Unit)의 고성능 광대역화가 시급히 요망되고 있다.^{2),4)} 국제적으로 사용되는 주파수대역을 살펴보면, 종래에는 5 - 600MHz대의 주파수대를 사용하여 왔지만, 위성방송을 이용한 DBS의 확대 등으로 인하여 사용 주파수 대역이 5 - 1350MHz 또는 지역에 따라서는 1750MHz까지 확장되고 있는 추세이다.

그러나, 이에 대한 국내의 기술은 5 - 300MHz대의 신호분배/분기회로 제조기술을 보유하고 있고 일본, 미국 등에서도 5 - 600MHz를 cover하는 정도의 수준이며, 그것도 경험적, 실험적인 것이어서 특성 및 재현성에 문제가 있는 실정이었다.

따라서, 본 연구에서는 Tap-Off의 광대역 설계를 행하였으며, 실제 제작 및 측정을 통하여 고성능화 및 광대역화를 꾀하였으며, Multi-tap 단자를 제작하기 위한 실험으로써 원형의 약결합형 신호분기기를 종속접속하여 2개의 분기단자를 가지는 4-Port 회로를 구성하여 이론적 주파수 특성과 실측 주파수특성을 비교 검토하여 설계의 타당성을 확인하고자 한다.

II. 원형의 약결합형 신호분기기

1. 설계방법

종래부터 사용되어 오고 있는 신호분기기는 단지 경험적 실험적으로 설계되고 있어서 주파수특성은 양호하지 못한 편이다. 따라서 본 연구에서는 그 이론적인 설계를 행하고자 한다. 우선 문헌³⁾에서 기술한 바와 같이 회로의 특성에 크게 영향을 주지 않는 콘덴서를 제거한 원형의 약결합형 신호분기기의 등가회로는 그림1과 같다.

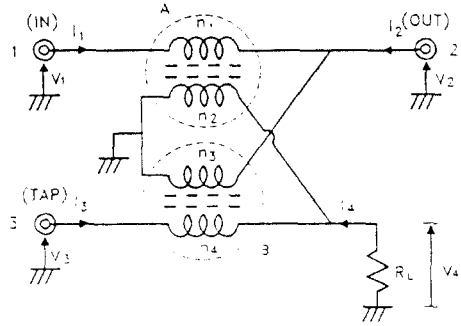


그림 1. 원형의 약결합형 신호분위기의 등가회로
Fig. 1. The Equivalent Circuit of Conventional Weakly Coupled Tap-Off.

문헌(1)에 발표된 바와 같이, 회로중의 각 변성기는 5(MHz)에서 적어도 500(MHz)의 주파수대에서 선간용량을 무시하고 이상변성기로 근사할 수 있으므로 전압전류 방정식은 다음 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{V_1 - V_2}{n_1} &= \frac{-V_1}{n_2} \\ \frac{V_3 - V_4}{n_3} &= \frac{-V_2}{n_4} \\ n_1 I_1 &= n_2 (I_3 + I_4) \\ n_3 I_3 &= n_4 (I_1 + I_2) \end{aligned} \tag{1}$$

여기서, 신호분기기를 구성하는 변성기의 권선비를 다음 식(2)와 같이 놓았다.

$$r_1 = \frac{n_1}{n_2} \quad r_2 = \frac{n_3}{n_4} \tag{2}$$

문헌³⁾에서와 같이 식(3)을 이용해 산란행렬의 각 요소를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} S_{11} &= \frac{\tilde{R}_L \{ (1 - r_1 r_2)^2 + (r_1^2 - 1) \} - r_2^2}{D} \\ S_{22} &= \frac{R_L (1 + r_1^2 - (1 - r_1 r_2)^2) - r_2^2}{D} \\ S_{33} &= \frac{\tilde{R}_L \{ 1 - r_1^2 + (1 - r_1 r_2)^2 \} + r_2^2 - 2}{D} \\ S_{12} = S_{21} &= \frac{\pm 2 \{ \tilde{R}_L (1 - r_1 r_2) + 1 \}}{D} \end{aligned}$$

$$S_{13} = S_{31} = \frac{\pm 2\{\tilde{R}_L r_1 + r_2\}}{D}$$

$$S_{23} = S_{32} = \frac{\pm 2\{\tilde{R}_L r_1(r_1 r_2 - 1) + r_2\}}{D} \quad (3)$$

단, $D = \tilde{R}_L (1 - r_1 r_2)^2 + r_1^2 + 1 + 2 + r_2^2$

$$\tilde{R}_L = \frac{R_L}{R_o}, \quad r_1 = \frac{n_1}{n_2}, \quad r_2 = \frac{n_3}{n_4}$$

R_o 는 external line의 특성 임피던스
이 회로에 요구되는 반사 및 isolation 특성을 고려하여

$$F = |S_{11}|^2 + |S_{22}|^2 + |S_{33}|^2 + |S_{23}|^2 \quad (4)$$

의 평가함수를 최소로 하는 흡수저항(isolation resistance) \tilde{R} 의 최적치를 식(5)에 의하여 구한다.

$$\frac{\partial F}{\partial \tilde{R}_L} = 0 \quad (5)$$

식(5)을 만족시키는 R_L 의 최적치는 단 하나 존재하며 식(6)으로 표현된다

$$\tilde{R}_L = \frac{2 - r_1 r_2}{2 - 3r_1 r_2} \quad (6)$$

식(6)을 산란행렬의 각 요소에 대입하면 식(7)을 구할 수 있다.

$$S_{11} \cong \frac{-r^2}{2 - 2r^2}, \quad S_{22} = \frac{r^2}{2 - 2r^2} = -S_{11}$$

$$S_{33} = 0, \quad S_{12} \cong \frac{2 - 3r^2}{2 - 2r^2} = 1 + S_{11} \quad (7)$$

$$S_{13} \cong r, \quad S_{23} = 0$$

2. 주파수특성 해석

종래부터 사용되어 오고 있는 약결합형 신호분기기의 이미턴스 행렬 및 주파수특성을 해석하고 보조 변성기를 삽입하여 결합도의 간격을 좁히도록 설계한 Out-Terminator 단자가 보상된 약결합형 신호분기기의 주파수특성을 실험결과와 비교하면 다음과 같다.

가. 이미턴스 행렬(Immittance matrices)

그림1과 같은 원형의 약결합형 신호 분기기의 주파수 특성을 해석하기 위하여, 먼저 admittance행렬 또는

impedance행렬을 계산한다.

각 변성기의 인덕턴스를 각각 L_1, L_2, L_3, L_4 라 하고 각 인덕턴스 사이의 상호 인덕턴스를 M_{12}, M_{34} 등으로 표시하면 그림1의 어드미턴스행렬은 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = [Y] \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix}$$

$$[Y] = \begin{bmatrix} Y_{11}^A - \frac{Y_{11}^A Y_{12}^A}{Y_{dm}} & -\frac{Y_{11}^A Y_{13}^A}{Y_{dm}} \\ -\frac{Y_{11}^A Y_{12}^A}{Y_{dm}} & Y_{22}^A - \frac{Y_{12}^A Y_{23}^A}{Y_{dm}} \\ Y_{11}^A - \frac{Y_{11}^A (Y_{12}^A - Y_{13}^A)}{Y_{dm}} & Y_{22}^A - \frac{Y_{12}^A (Y_{12}^A - Y_{13}^A)}{Y_{dm}} \\ Y_{11}^A - \frac{Y_{11}^A (Y_{12}^A - Y_{13}^A)}{Y_{dm}} & Y_{22}^A - \frac{Y_{12}^A (Y_{12}^A - Y_{13}^A)}{Y_{dm}} \\ Y_{22}^A - Y_{33}^A - \frac{(Y_{12}^A - Y_{13}^A)(Y_{12}^A - Y_{13}^A)}{Y_{dm}} \end{bmatrix} \quad (8)$$

단,

$$[Y^A] = \frac{1}{j\omega(L_1 L_2 - M_{12}^2)} \begin{bmatrix} L_2 & -L_2 - M_{12} & M_{12} \\ -L_2 & L_2 & M_{12} - M_{12} \\ -M_{12} & M_{12} & L_1 & -L_1 \\ M_{12} & -M_{12} & -L_1 & L_1 \end{bmatrix}$$

$$[Y^B] = \frac{1}{j\omega(L_1 L_2 - M_{34}^2)} \begin{bmatrix} L_2 & -L_2 - M_{34} & M_{34} \\ -L_2 & L_2 & M_{34} - M_{34} \\ -M_{34} & M_{34} & L_1 & -L_1 \\ M_{34} & -M_{34} & -L_1 & L_1 \end{bmatrix}$$

$$Y_{dm} = Y_{11}^A + Y_{22}^A + \frac{1}{R_L}$$

식(8)에서, 첨자 1~4는 각각 변성기 A의 포트 번호이고, 5~8은 각각 변성기 B의 포트 번호로 하였다.

나. 주파수특성

어드미턴스행렬 [Y] 또는 임피던스행렬 [Z]로부터 산란행렬 [S]는 다음 식(9)로부터 구해진다.

$$\begin{aligned} \{S\} &= \{Z\} + Z_0\{U\}^{-1} \{Z - Z_0\{U\} \\ \{S\} &= \{Z_0\{Y\} + \{U\}^{-1}U - Z_0\{Y\} \end{aligned} \quad (9)$$

다음의 그림2는 16(dB)의 설계치를 이용한 경우의 원형의 약결합형 신호분기기에 대한 주파수특성을 식(9)에 의하여 계산한 것이다. 코일의 인덕턴스는 core의 투자율을 1로 하였을 때 0.001113 μH로 하고, 실제 계산에서는

16 (dB) Tap-off의 경우 :

$$\begin{aligned} L_0n_1^2 &= L_0n_3^2 = 0.001113[\mu H], L_0n_2^2 = 0.040068[\mu H] \\ L_0n_4^2 &= 0.054537[\mu H], r_1=0.167, r_2=0.142. \\ K &= 1000 f_m=3.0[\text{MHz}] R_L=76.9[\Omega], \\ C_1=C_L &= 0.5[\text{pF}] \text{로 하였다.} \end{aligned}$$

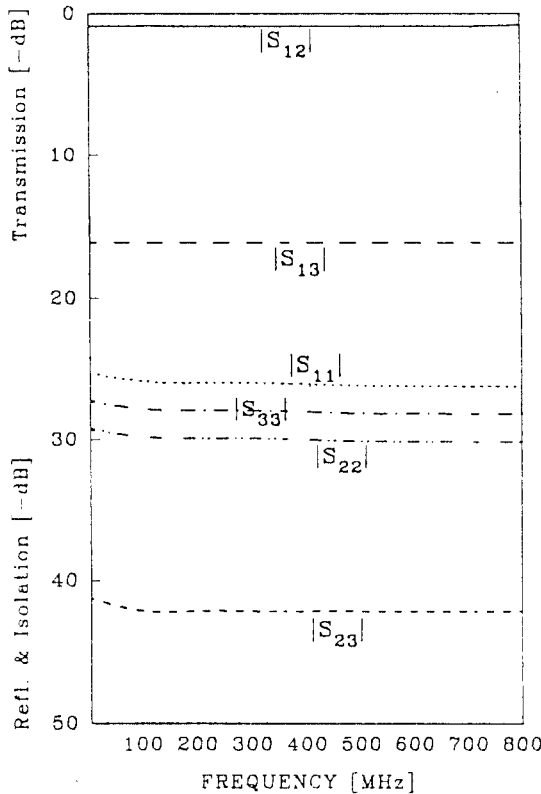


그림 2. 원형의 약결합형 신호분기기의 16dB 이론적 주파수특성
Fig. 2. Theoretical Frequency Characteristics of Conventional Weakly Coupled Tap-Off(16dB).

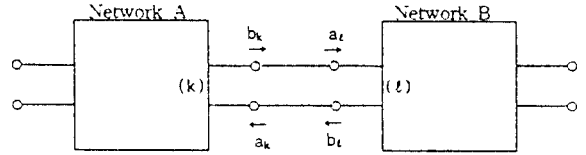


그림 3. 2-포트 회로망의 상호접속
Fig. 3. Interconnection Between 2-Port Circuits.

Ⅲ. 약결합형 신호분기기의 종속접속⁷⁾

1. 2-Port 회로망의 상호접속

그림3과 같이 2-Port 회로망을 상호접속(cascade)한 경우의 산란행렬을 구해보자.

접속한 Port에서의 입사파와 반사파와의 관계는,

$$\{b_c\} = [T_c]\{a_c\} \quad (10)$$

여기서 $[T_c]$ 는 접속행렬이다. 회로망 A의 k단자와 회로망 B의 l단자를 연결했을 때 $b_k=a_l, b_l=a_k$ 이며, 행렬로 표시하면

$$\begin{aligned} b_k &= 0 \cdot a_k + 1 \cdot a_l \\ b_l &= 1 \cdot a_k + 0 \cdot a_l \end{aligned}$$

$$\text{단, } [T_c] = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

외부단자(첨자 p 사용)와 접속단자(첨자 c 사용)로 분리하여 나타내면,

$$\begin{bmatrix} \bar{b}_p \\ \bar{b}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{S}_{pp} & \bar{S}_{pc} \\ \bar{S}_{cp} & \bar{S}_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{a}_p \\ \bar{a}_c \end{bmatrix} \quad (12)$$

단, $\bar{b}_p, \bar{b}_c, \bar{S}_{pp}, \bar{S}_{pc}, \bar{S}_{cp}, \bar{S}_{cc}, \bar{a}_p, \bar{a}_c$ 는 각각 $\{b_p\}, \{b_c\}, \{S_{pp}\}, \{S_{pc}\}, \{S_{cp}\}, \{S_{cc}\}, \{a_p\}, \{a_c\}$ 를 의미한다.

외부단자의 입사파와 접속단자의 입사파와의 관계는

$$\{a_c\} = (\{T_c\} - \{S_{cc}\})^{-1}\{S_{cp}\}\{a_p\} \quad (13)$$

이 되며, 외부단자의 입사파와 반사파와의 관계는

$$\{b_p\} = \{S_{pp}\} + \{S_{pc}\} (\{T_c\} - \{S_{cc}\})^{-1}\{S_{cp}\} \{a_p\} \quad (14)$$

이 된다. 2단자 회로망을 상호접속한 경우의 산란행렬은

$$\{S\} = \{S_{pp}\} + \{S_{pc}\} (\{T_c\} - \{S_{cc}\})^{-1}\{S_{cp}\} \quad (15)$$

과 같이 구할 수 있다. 회로망 A와 B의 산란행렬을 각각 알고, 두 회로망이 종속접속되었을 경우 산란행렬은

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11}^A & 0 \\ 0 & S_{22}^B \end{bmatrix} + \frac{1}{1 - S_{22}^A S_{11}^B} \begin{bmatrix} S_{12}^A S_{21}^A S_{11}^B & S_{12}^A S_{12}^B \\ S_{21}^A S_{21}^B & S_{22}^A S_{22}^B \end{bmatrix} \quad (16)$$

와 같이 나타낼 수 있다.

2. 약결합형 신호분기기의 상호접속

3-Port를 가진 약결합형 신호분기기 A와 B를 종속 접속하여, 4-Port 회로망을 구성할 수 있다. 회로망 A와 B의 산란행렬을 알고 있을 때 4-Port 회로망의 산란행렬은 식(17)과 같이 된다.

$$S_{11} = S_{11}^A + \frac{S_{12}^A S_{21}^A S_{11}^B}{D}$$

단, $D = 1 - S_{22}^A S_{11}^B$

$$S_{22} = S_{22}^B + \frac{S_{22}^A S_{12}^B S_{21}^B}{D}$$

$$S_{33} = S_{33}^A + \frac{S_{22}^A S_{32}^A S_{11}^B}{D}$$

$$S_{44} = S_{33}^B + \frac{S_{22}^A S_{13}^B S_{31}^B}{D}$$

$$S_{12} = S_{21} = \frac{S_{12}^A S_{12}^B}{D}, \quad S_{13} = S_{31} = S_{13}^A$$

$$S_{14} = S_{41} = \frac{S_{12}^A S_{13}^B}{D}, \quad S_{23} = S_{32} = \frac{S_{23}^A S_{12}^B}{D}$$

$$S_{24} = S_{42} = S_{23}^B, \quad S_{34} = S_{43} = \frac{S_{23}^A S_{12}^B}{D} \quad (17)$$

위에서 구한 산란행렬을 이용하여 이론적 주파수특성을 구하면 그림4와 같다.

IV. 실험결과 및 고찰

앞절에서 제안한 원형의 약결합형 신호분기기의 설계의 타당성을 확인하기 위하여 16(dB) 이론적 설계치를 이용하여 분기회로를 실제로 제작하여 주파수특성을 측정한 그림은 그림5와 같으며, 회로제작에 사용한 페라이트는 Nippon Ferrite Co. LTD. T-314이며, 코일의 직경은 0.18mm의 굵기를 사용하였고, 권선비는 $r_1=0.167, r_2=0.142$ 로 하였다. 본 연구에서는 5 - 900MHz의 주파수 범위내에서 반사계수 -21dB 이하, 단자간 결합도 -25dB 이하를 목표로 하고 있으며, 실측은 Wiltron 360B Network Analyzer를 이용하였다. 실측 주파수특성은 5-700(MHz) 주파수대에서 비교적 잘 일치하며, 상당히 양호한 특성을 보이고 있다.

그림6은 원형의 약결합형 신호분기기 2개를 종속접속하여 2개의 분기단자를 가지는 회로의 실측 주파수특성을 나타내고 있다. 1차측 분기단자의 분기율은 16(dB)이며, 2차측 분기단자의 분기율은 14(dB)이다. 회로제작에 사용한 Core는 위에서 언급한 Core와 같으며 권선비는 1차측 회로에서는 $r_1=0.167, r_2=0.142$ 이며, 2차측 회로의 권선비는 $r_1=r_2=0.25$ 이다. 그림4 및 그림6에서 보는 바와 같이 설계된 이론치와 실측치가 상당히 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

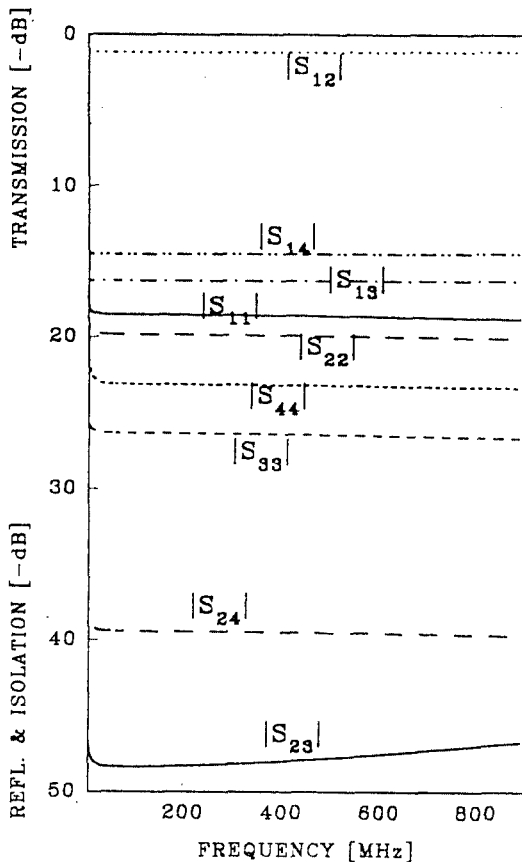


그림 4. 종속접속한 약결합형 신호분기기의 이론적 주파수특성
Fig. 4. Theoretical Frequency Characteristics of Cascade Interconnection of Weakly Coupled Tap-Off. (Tap1=16dB, Tap2=14dB)

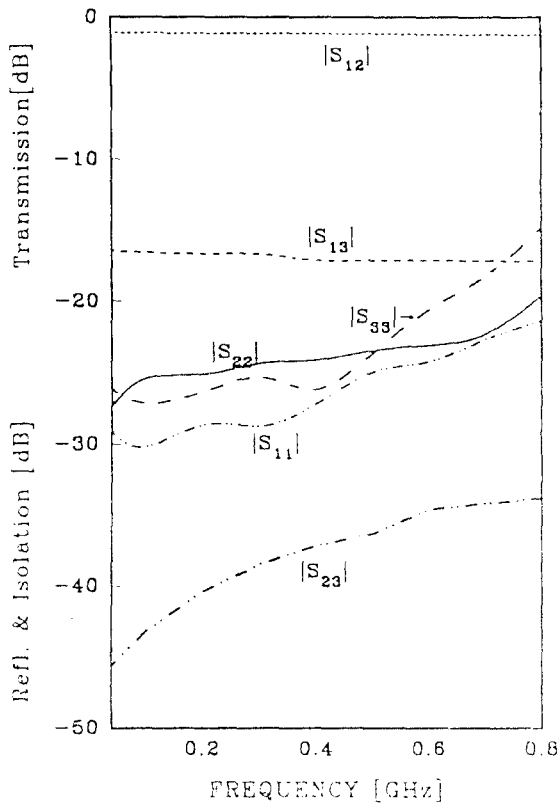


그림 5 원형의 약결합형 신호분위기의 16dB 실측 주파수특성
Fig. 5. Experimental Frequency Characteristics of Conventional Weakly Coupled Tap-Off(16dB).

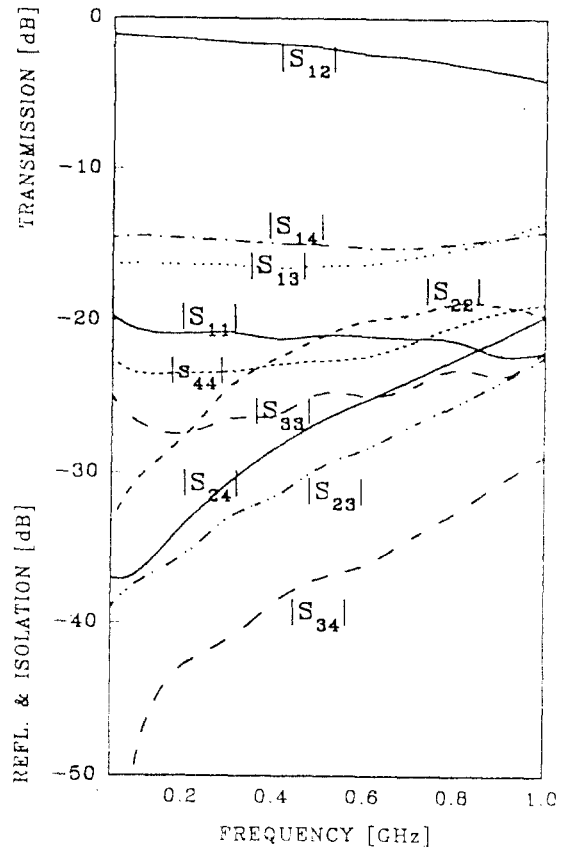


그림 6 종속집속한 약결합형 신호분위기의 실측 주파수특성
Fig. 6. Experimental Frequency Characteristics of Cascade Interconnection of Weakly Coupled Tap-Off. (Tap1=16dB, Tap2=14dB)

V. 결 론

CATV시스템용 신호분배/분기기의 광대역화를 위하여, 원형의 신호분기기와 2개의 분기단자를 가지는 신호분기기의 설계이론 이들을 종속집속한 경우의 주파수특성 해석법을 검토하고, 그 타당성을 확인하기 위하여 원형의 약결합형 신호분기기 및 4-Port회로의 신호분기기를 제작하여 주파수특성을 측정하였다. 원형의 약결합형 신호분기기의 경우 5-700(MHz)의 주파수대역까지 아주 양호한 특성을 나타내고 있으며, 2개의 분기단자를 가지는 신호분기기의 경우도 같은 특성을 나타내고 있으나 In-Out간의 전송계수가 700(MHz) 주파수대역 이상에서 특성이 조금 열화되어 분기기에 요구되는 규격을

벗어나고 있으나 대체적으로 설계한 이론치와 잘 일치하고 있음을 밝힘으로써 본 연구의 타당성을 확인하였다.

참고문헌

1. 민경식, 김동일, "CATV 및 MATV시스템 구축의 운영현황과 전망", 한국통신학회지, 제8권 3호 : pp.35-47(1991.3)1).
2. 徐台鉉, "有線 TELEVISION.", 釜山日報出版局, ch. 7, 1984.
3. 宋在克, 林春奎, "CATV기술", KBS技術政策開發局長, 日本NHK協會編, 第7章, 1986.
4. 倉石源三郎, "美國における CATV의 現況", 日本電子

通信學會誌, Vol. 53, No. 1, pp.16-21.(1970. 1)

5. Dong Il Kim, Michiharu Takahashi, Yoshiyuki Naito, "Optimum Design of the Power Divider with Ferrite Toroids for CATV and/or MATV Systems", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. CE-29 NO. 1, pp.27-38, Feb. 1983.

6. ERNEST J. WILKINSON, "An N-Way Hybrid

Power Divider" IRE trans. on MTT, pp.116-118 (1960.1) Y.Naito, "Formulation of Frequency Dispersion of Permeability", Trans. IECE of Japan, Vol. 5a-c, pp.297-304, May. 1976.

7. Max W. Medley, "Microwave and RF Circuits: Analysis, Synthesis and Design", Artech House, INC., 1993, pp.2-59.



金 東 一(Dong Il Kim) 정회원

1952년 2월 26일생
 1975년 2월 : 한국해양대학 항해학과 졸업(공학사)
 1977년 2월 : 한국해양대학 대학원 전파공학전공 공학석사 학위취득

1984년 3월 : 일본동경공업대학 대학원 전기전자공학과 공학박사 학위취득

1975년 3월~1993년 9월 : 한국해양대학교 전자통신공학과 조교~부교수

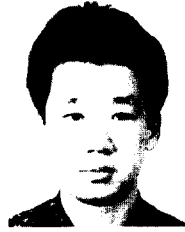
1993년 10월~현재 : 한국해양대학교 전파공학과 교수

1990. 3. 30 산학협동상 대상 수상

1993. 12. 11 한국전자과학회 학술상 수상

1995. 4. 21 과학기술진흥 유공 대통령표창 수상

※주관심 분야 : 마이크로파 및 밀리미터파회로의 설계, CATV전송회로의 설계, 고성능 전파흡수체의 개발분야 등



金 泰 均(Tae Gyun Kim) 정회원

1969년 6월 29일
 1993년 2월 : 한국해양대학교 전자통신공학과 졸업(공학사)
 1995년 2월 : 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)

1995년 3월~현재 : 대통령실연구소 연구원

※주관심 분야 : CATV전송회로 및 마이크로 스트립회로 분야 등



鄭 世 讓(Se-Mo Chung) 정회원

1936년 9월 4일생
 1959년 2월 : 한국해양대학 항해학과 졸업(이학사)
 1967년 2월 : 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)

1971년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1976년 9월 : 일본동경공업대학 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1960년 4월~1963년 8월 : 해군한국함대(중위계대)

1963년 10월~1964년 9월 : 한국해양대 조교

1964년 10월~현재 : 한국해양대학교 교수

※주관심 분야 : 마이크로파 및 안테나 설계, 전파방법의 성능 향상 분야, 전파흡수체 개발분야등



河 度 勳(Do Hoon Ha) 정회원

1967년 12월 8일생
 1994년 2월 : 동의대학교 전자통신공학과 졸업(공학사)
 1994년 3월~현재 : 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과 재학중

1995년 1월~현재 : 한국이동통신군부

※주관심 분야 : CATV전송회로 및 교환기 분야 등