

CATV전송회로의 최적 · 광대역 설계 및 제작에 관한 연구

김동일*, 김태균**, 하도훈**, 정세모***

A Study on Optimum Broadband Design Including of CATV Transmitting Circuits.

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

Abstract

The broadband Power Splitters and Tap-Offs are needed to transmit a number of channels of signals with the high quality of signals.

In this paper, the design theories and analysis of the theoretical frequency characteristics of the Wilkinson's Power Splitters and Tap-Offs are reviewed. Then it has been showned that the theoretical frequency characteristics of the proposed compensated Wilkinson's Power Splitter and Tap-Off are improved much in comparison with the prototype Wilkinson's Power Splitter and conventional weakly-coupled Tap-Off.

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.

1 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 HDTV등의 등장으로 각종 전송회로의 광대역화 및 고성능화의 중요한 핵심으로 부각되고 있다. 특히, 쌍방향 전송을 위하여 전송장비 중의 신호분배기(Power Splitter) 및 분기기(Tap-Off or Tap Unit)의 고성능 광대역화(5-1750MHz)가 시급히 요망되고 있다.^{2), 4)}

따라서, 본 연구에서는 Power Splitter 및 Tap-Off의 광대역 설계를 행하였으며, 실제 제작 및 측정을 통하여 고성능화 및 광대역화를 꾀하였다.

* 한국해양대학교 전파공학과

** 한국해양대학교 전자통신공학과

*** 한국해양대학교 해사수송공학과

II Wilkinson형 Power Splitter

1. 설계방법

1.1 원형의 윌킨슨형 파워디바이더

윌킨슨에 의해 제안된 신호분배기는 toroidal core을 이용한 집중정수형으로서 그림1과 같이 대체할 수 있다. 그림1에 보인 신호분배회로는 가장 기본적인 2-방향 신호분배기라 할수 있다.

그러나 이것은 이론적인 설계법 보다도 실험 또는 경험적으로 설계되고 있어서 주파수 특성은 양호하지 못한 편이다. 따라서, 본 연구에서는 그 이론적인 설계를 행하고자 한다. 우선, 문헌⁵⁾에서 기술한 바와 같이 회로중의 각 변성기는 5-500MHz의 주파수대에서 선간용량을 무시하고 이상 변성기로 근사할 수 있다.

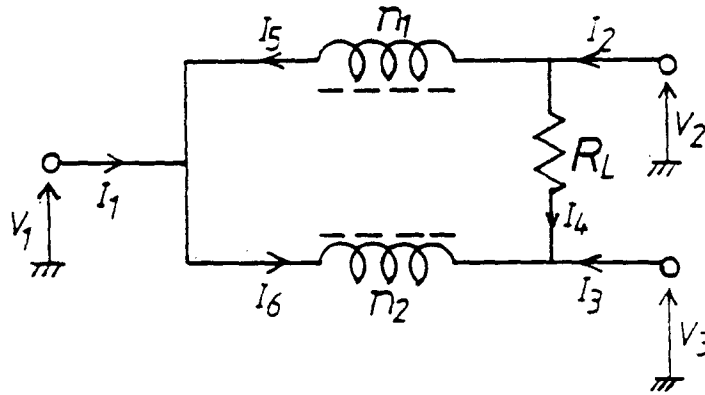


그림1 원형의 윌킨슨형 2-분배 회로

문헌¹⁾에서 산란행렬의 각 요소를 구하면 다음과 같다.

$$S_{11} = \frac{-R(1-r)^2 + 2rR_L}{D} \quad (1)$$

$$S_{22} = \frac{-R(1-r)^2 + 2rR_L(r-1)}{D}$$

$$S_{33} = \frac{-R(1-r)^2 - 2R_L(r-1)}{D}$$

$$S_{12} = S_{21} = \pm 2 \frac{[R(r-1)^2 - R_L(r-1)]}{D}$$

$$S_{13} = S_{31} = \pm 2 \frac{[R(r-1)^2 - R_L(1-r)]}{D}$$

$$S_{23} = S_{32} = \pm 2 \frac{[R(r-1)^2 + rR_L]}{D}$$

단, $D = 3R(1-r)^2 + R_L(1+r^2) + R_L(1-r)^2$
 R : 외부선로의 특성임피던스

이때, 문헌⁶⁾에 따라, $R_L=2R$, $r=-1$ 일때, $S_{11}=1/3$, $S_{12}=S_{13}=2/3$, $S_{22}=S_{33}=S_{32}=1/6$ 이 되어 분배기로 동작하게 됨을 알 수 있다.

1.2 출력단이 보상된 윌킨슨형 Power Splitter

그림2는 보조변성기 2개를 원형의 윌킨슨형 Power Splitter의 2-port와 3-port에 각각 부가한 경우이다. 부가된 변성기가 이상변성기라고 가정 했을 때 산란행렬의 각 요소는 식(1)과 같은 방법으로 구하고, 완전 isolation이 취해졌다고 가정 했을때 최적저항치 R_L 은

$$R_L = -\frac{(1-r_1)^2(1-r_2)^2}{(r_1-r_2)(1-r_1r_2)} \quad (2)$$

이되며, 완전정합의 조건인 $S_{11}=S_{22}=S_{33}=0$ 에 대입한 결과 r_1 및 r_2 의 최적값은 다음과 같이 정해진다.

$$r_1 = -1, \quad r_2 = -1 \pm \sqrt{2} \quad (3)$$

이들 값을 식(2)에 대입하면 $R_L = (12 \pm 8\sqrt{2})R[\Omega]$ 이 된다.

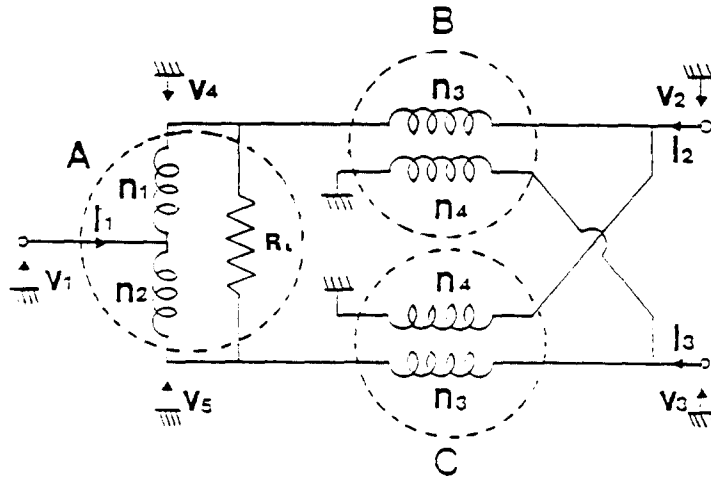


그림2 출력단이 보상된 윌킨슨형 Power Splitter

2. 주파수 특성 해석

2.1 원형의 윌킨슨형 Power Splitter

가. 이미턴스 행렬

그림1과 같은 원형의 윌킨슨형 분배회로의 주파수 특성을 해석하기 위하여, 우선 문헌⁴⁾에서와 같은 방법으로 이미턴스 행렬을 구한다. 분배회로를 구성하는 변성기의 인덕턴스를 각각 L_1 , L_2 라 하고, 상호인덕턴스를 M 이라 하였다. 이때 전압과 전류사이의 관계식은 식(4)와 같다.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = [Y] \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\text{단, } [Y] = Q \times \begin{bmatrix} (2M-L_1-L_2)R_L & (L_1-M)R_L & (L_1-M)R_L \\ (L_1-M)R_L & j\omega(M^2-L_1L_2)-L_2R_L & j\omega(L_1L_2-M^2)+MR_L \\ (L_1-M)R_L & j\omega(L_1L_2-M^2)+MR_L & j\omega(M^2-L_1L_2)-L_2R_L \end{bmatrix}$$

$$Q = \frac{1}{j\omega(M^2-L_1L_2)R_L}$$

나. 주파수 특성

어드미턴스 행렬 $[Y]$ 또는 임피던스 행렬 $[Z]$ 로 부터 산란행렬 $[S]$ 은 다음 식(5)로 부터 쉽게 구해진다.

$$[S] = \{ Z_0[Y] + [U] \}^{-1} \{ [U] - Z_0[Y] \}$$

또는, $[S] = \{ [Z] + Z_0[U] \}^{-1} \{ [Z] - Z_0[U] \} \quad (5)$

여기서, $Z_0(=R)$ 는 외부선로의 특성임피던스이며, $[U]$ 는 단위행렬이다.

그림3은 1.1절에서 설계된 분배율 3dB($r=-1$, $R_L=150[\Omega]$)의 선계치를 이용한 경우의 원형의 윌킨슨형 신호분배기에 대한 주파수 특성을 식(5)에 의하여 계산한 것이다.

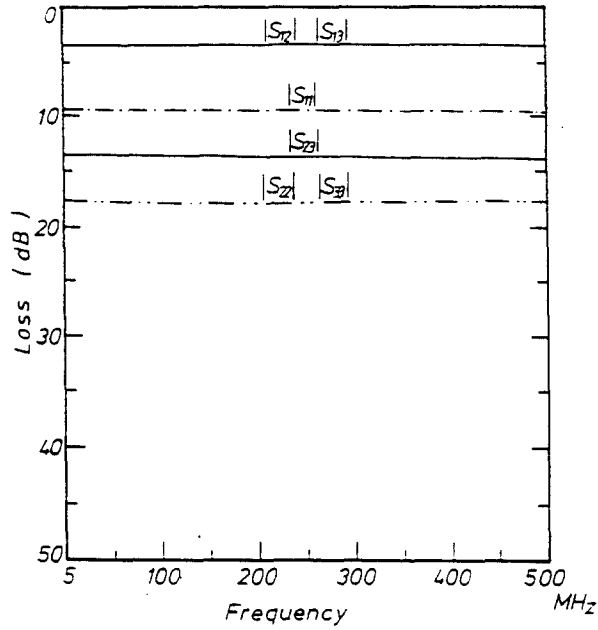


그림3 원형의 윌킨슨형 신호분배기의 이론적 주파수특성

2.2 출력단이 보상된 Wilkinson형 Power Splitter

아이소레이션과 출력단의 반사를 줄이기 위한 방안으로 출력단에 보조회로를 부가하여 정합도를 향상시킨 경우로서, 이미턴스행렬 및 주파수특성을 해석하고 이론적 주파수특성과 실측주파수 특성을 비교하면 다음과 같다.

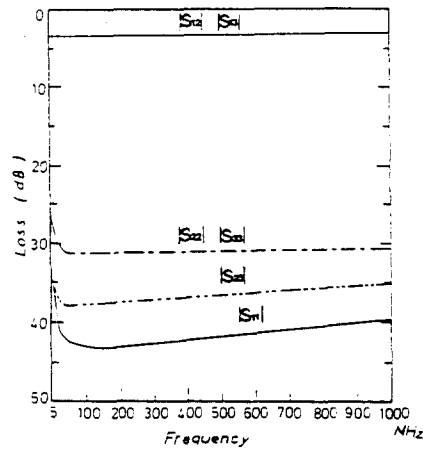


그림4 출력단이 보상된 윌킨슨형 신호분배기의 이론적 주파수 특성

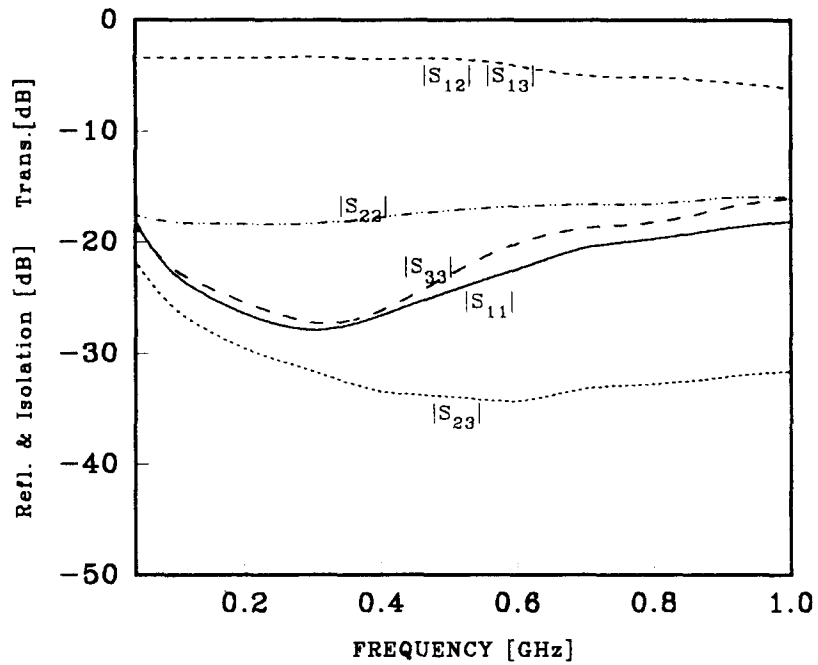


그림5 출력단이 보상된 윌킨슨형 신호분배기의 실측 주파수 특성

III 신호분기기(Tap-Off or Tap Unit)

1. 설계방법

1.1 원형의 약결합형 신호분기기

종래부터 사용되어 오고 있는 신호분기기는 단지 경험적·실험적으로 설계되고 있어서 주파수 특성은 양호하지 못한 편이다. 따라서 본 연구에서는 그 이론적인 설계를 행하고자 한다.

우선 문헌⁷⁾에서 기술한 바와 같이 회로의 특성에 크게 영향을 주지 않는 콘덴서를 제거한 원형의 약결합형 신호분기기의 등가회로는 그림6과 같다.

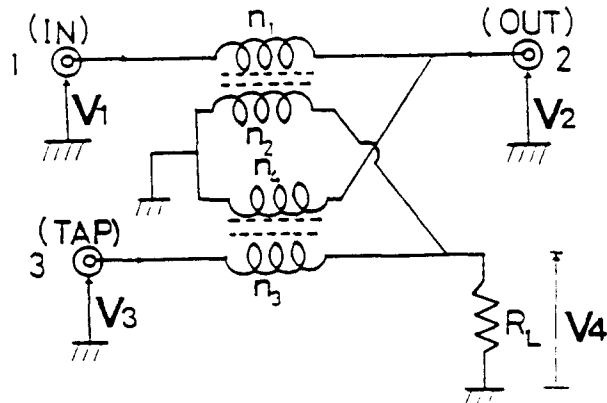


그림6 원형의 약결합형 신호분기기의 등가회로

식(1)과 같은 방법으로 산란행렬의 각 요소를 구한 다음,
이 회로에 요구되는 반사 및 isolation 특성을 고려하여

$$F \cong |S_{11}|^2 + |S_{22}|^2 + |S_{33}|^2 + |S_{23}|^2 \quad (6)$$

의 평가함수를 최소로 하는 흡수저항(isolation resistance)의 최적치를 식(7)에 의하여 구한다.

$$\frac{\partial F}{\partial \tilde{R}_L} = 0 \quad (7)$$

식(7)를 만족시키는 R_L 의 최적치는 단 하나 존재하며 식(8)로 표현된다

$$\tilde{R}_L = \frac{2-r_1r_2}{2-3r_1r_2} \quad (8)$$

식(8)을 산란행렬의 각 요소에 대입하면 식(9)를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} S_{11} &\cong \frac{-r^2}{2-2r^2} \quad , \quad S_{22} = \frac{r^2}{2-2r^2} = -S_{11} \\ S_{33} &= 0 \quad , \quad S_{13} \cong \frac{2-3r^2}{2-2r^2} = 1+S_{11} \\ S_{12} &\cong r \quad , \quad S_{23} = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

1.2 OUT-Terminator 단자가 보상된 약결합형 신호분기기

그림7은 종래의 약결합형 신호분기기의 Out-Terminator단에 보조변성기를 부가한 경우이다.
부가된 변성기가 이상 변성기라고 가정했을 때 산란행렬의 각 요소를 구하면 식(10)과 같다.

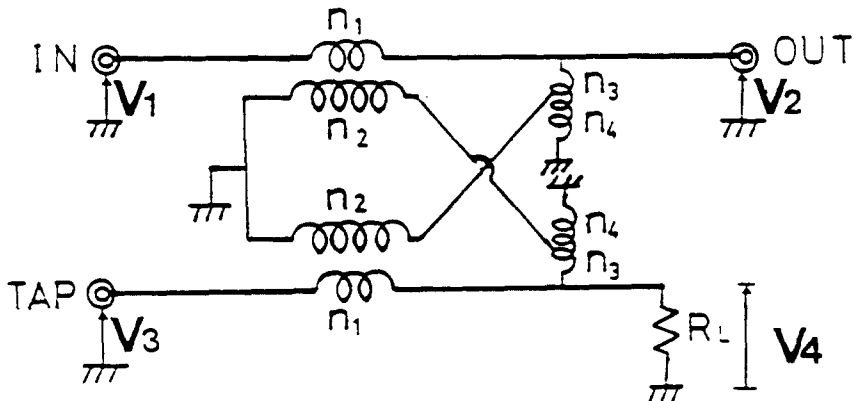


그림7 Out-Terminator 단자가 보상된 변형된 약결합형 신호분기기

$$S_{11} \cong \frac{-r_1^2}{2(x^2 - r_1^2)}, S_{22} \cong \frac{r_1^2}{2(x^2 - r_1^2)}, S_{33} \cong 0$$

$$S_{12} \cong \frac{2x^2 - 3r_1^2}{2(x^2 - r_1^2)}, S_{13} \cong \frac{r_1}{x}, S_{23} \cong 0 \quad \text{단, } x = 1 + r_1 \quad (10)$$

2. 주파수특성

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.

2.1 원형의 약결합형 신호분기기

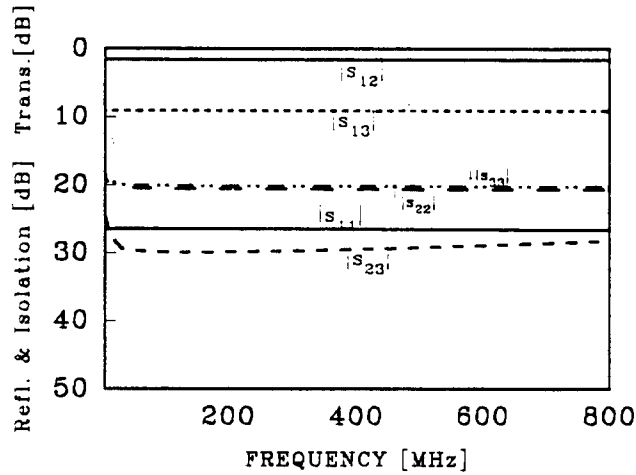


그림8 원형의 약결합형 신호분기기의 9 dB 이론적 주파수 특성

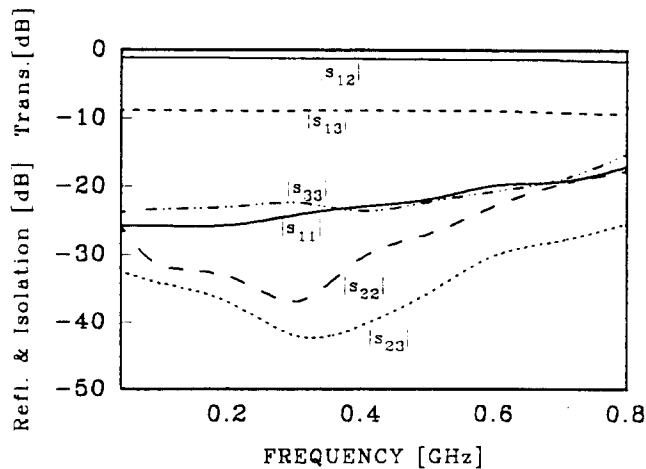


그림9 원형의 약결합형 신호분기기의 9dB 실측주파수 특성

2.2 Out-Terminator단자가 보상된 약결합형 신호분기기

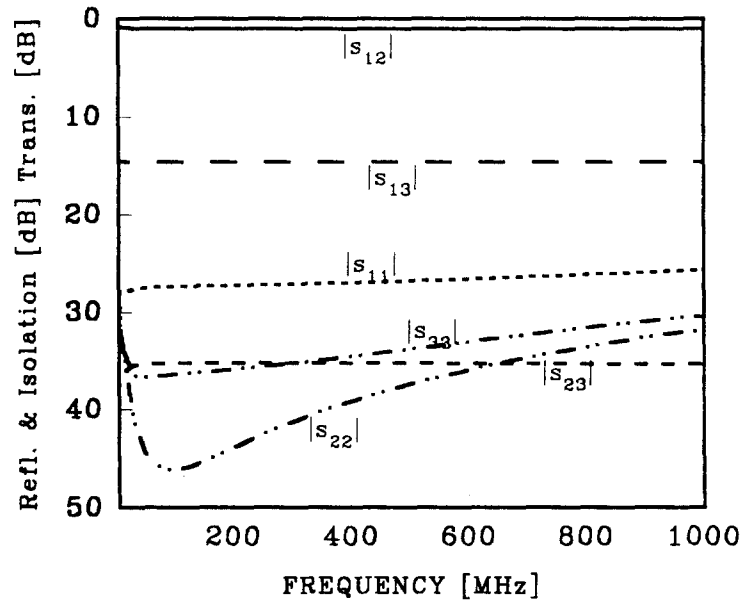


그림10 Out-Terminator단자가 보상된 약결합형 신호분기기의 14 dB 이론적 주파수 특성

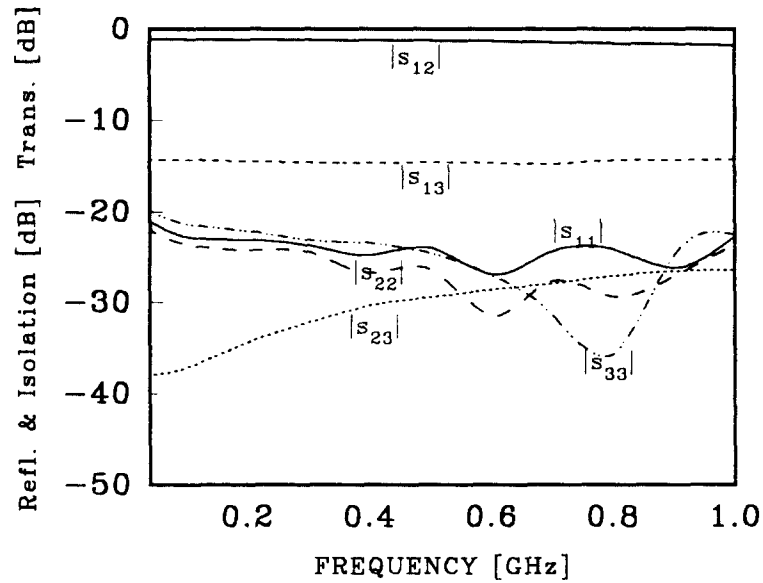


그림11 Out-Terminator단자가 보상된 약결합형 신호분기기의 14 dB 실측 주파수 특성

IV 실험결과 및 고찰

앞절에서 제안한 윌킨슨형 분배기의 광대역 설계법 및 보상방법의 타당성을 확인하기 위해서 출력단이 보상된 윌킨슨형 Power Splitter를 제작하여 실험을 행하였다. 그림5는 2.2절에서 설계한 3dB의 이론적 설계값을 이용하여 분배회로를 실제로 제작하여 주파수특성을 측정한 그림이다. 회로제작에 사용한 페라이트는 Nippon ferrite Co. LTD T-314이며 코일의 직경은 0.18mm의 굵기를 사용하였고, 권선비는 $r_1=-1$, $r_2=0.2$ 로 하였다. 실측 주파수특성은 5 - 600[MHz]주파수대에서 비교적 잘 일치하며, 상당히 양호한 특성을 보이고 있다.

그림8은 원형의 약결합형 신호분기기의 이론적 주파수특성이며, 그림11은 Out-Terminator단에 보조변성기를 부가한 경우에 주파수대별로 실측한 그림이다. 회로제작에 사용한 Core는 위에서 언급한 Core와 같으며 권선비는 $r_1=r_2=0.25$ 이다. 설계치와 비교적 잘 일치하고 있으며 그림 11에서 보는 바와 같이 특성이 많이 향상됨을 알 수 있다.

V 결론

윌킨슨형 Power Splitter 및 Tap-Off의 설계이론 및 주파수특성 해석법의 타당성을 확인하기 위하여 출력단이 보상된 윌킨슨형 Power Splitter와 Out-Terminator단자가 보상된 약결합형 분기기를 제작하여 주파수특성을 측정하였다. 여기서 제안한 회로는 신호분배기일 경우 5-600[MHz]의 주파수대에서 아주 양호한 특성을 나타내고 있으며, 신호분기기일 경우 5-1000[MHz]의 주파수대역까지 광대역 특성을 보이고 있으므로 광대역 설계한 이론치와도 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

참고문헌

- 1) 민 경식, 김 동일, "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 CATVの 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.