

전력분배기(Power Divider)

1. 전력 분배기 기초

- 입력 전력을 2, 3, 4, ..., N 개로 임의의 비율로 나누는 부품
- 용도: 고주파 회로 구현에 사용되는 부품의 일종
- 주어진 전송선 형식에 맞도록 구조 설계

인쇄회로: 마이크로스트립선로, 스트립선로, CPW(coplanar waveguide), 슬롯선로
동축선

도파관: 사각형, 리지도파관, 이중리지 도파관, 원형도파관

2. T-접합 전력분배기(T-junction power divider)

- 특징
 - 내부 손실 없음.
 - 출력포트는 정합되지 않음.
 - 출력포트 간 분리도(isolation)가 크지 않음.

- 설계

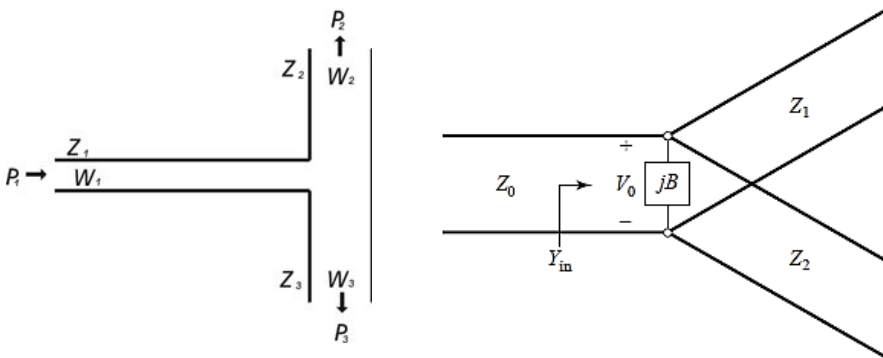
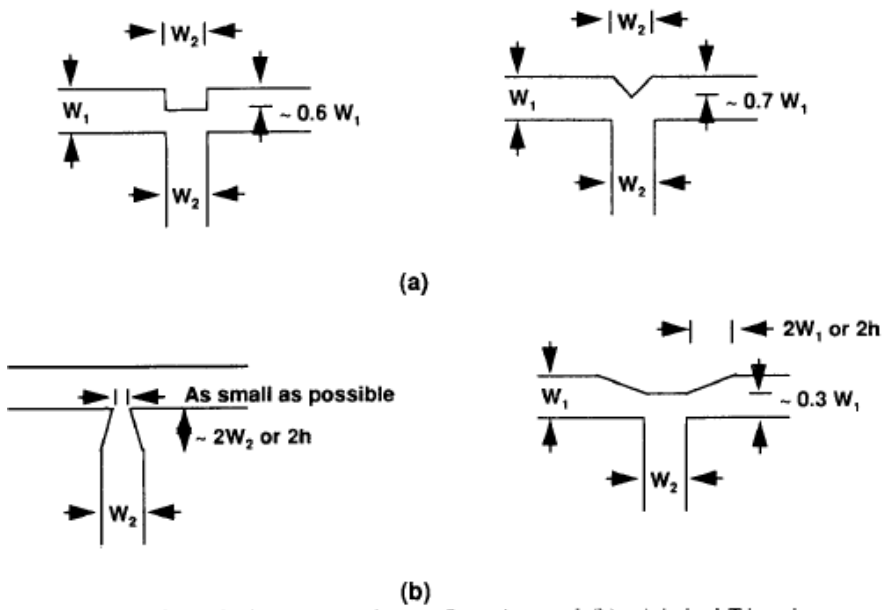
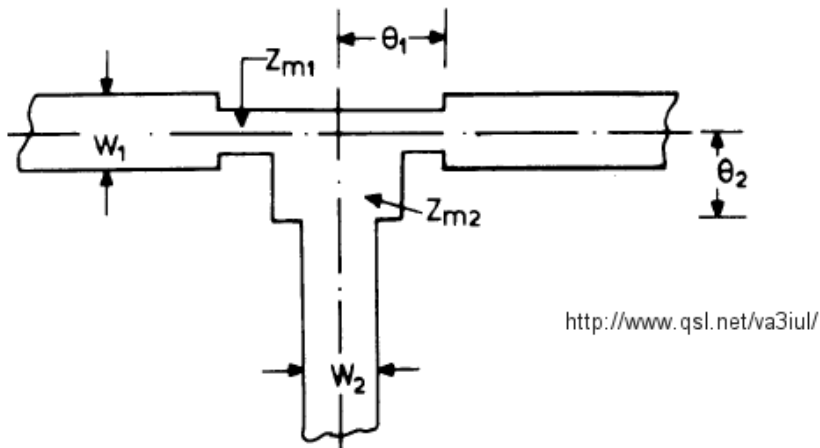


그림: T-접합 전력 분배기 등가회로



(a) T-junction discontinuity compensation configurations and (b) minimized T-junction discontinuity effect configuration.



A T-junction with compensation for junction discontinuity reactances.

그림: Compensated T-junction power divider

○ 설계 공식:

$$\frac{1}{Z_0} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \quad (\text{impedance matching at } Z_0)$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{Z_1}{Z_2} \quad (\text{output power ratio})$$

$$Z_1 = Z_0 \left(1 + \frac{P_2}{P_1} \right), \quad Z_2 = Z_0 \left(1 + \frac{P_1}{P_2} \right)$$

○ 입력단 and/or 출력단 1/4파장 변환기 적용

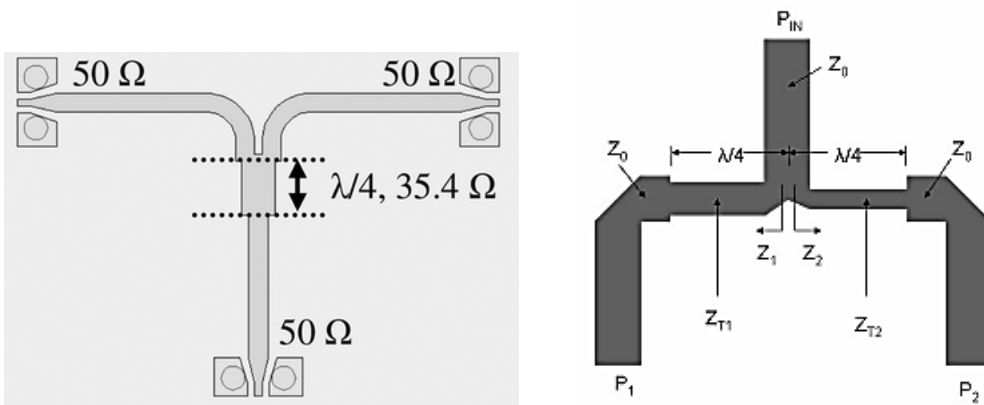


그림: 2-way symmetric T-junction power divider

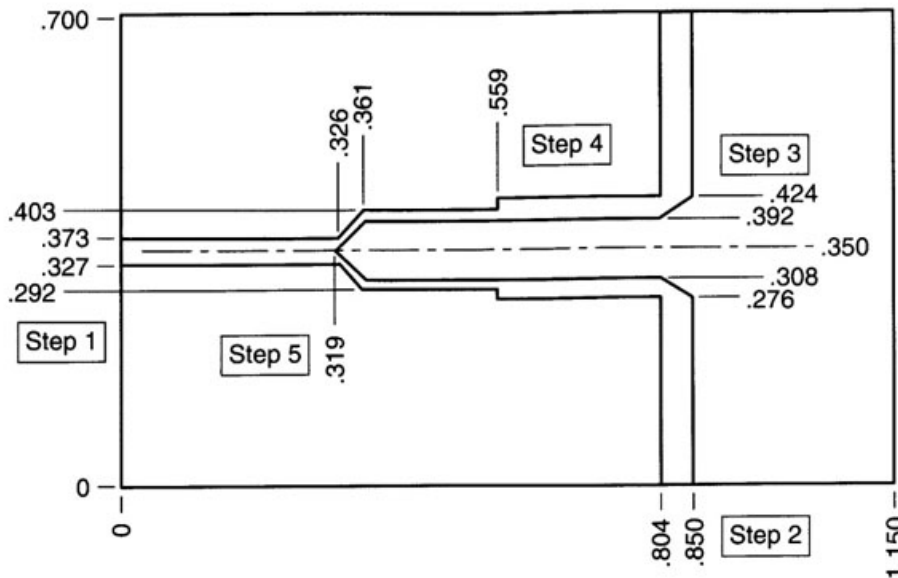
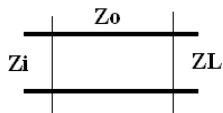


그림: Multisecton T-junction power divider

(복습) 1/4 파장 임피던스 변환기

$$Z_i = \frac{Z_0^2}{Z_L} \quad Z_0 = \sqrt{Z_i Z_L}$$



Z_i 를 크게 하려면 Z_L 을 작게하고 Z_0 를 크게 한다.

3. 병렬 급전회로망 (Parallel Feed Network)

○ T-접합 전력분배기 다수 사용

○ 적용 사례: 8×8 패치 배열 안테나

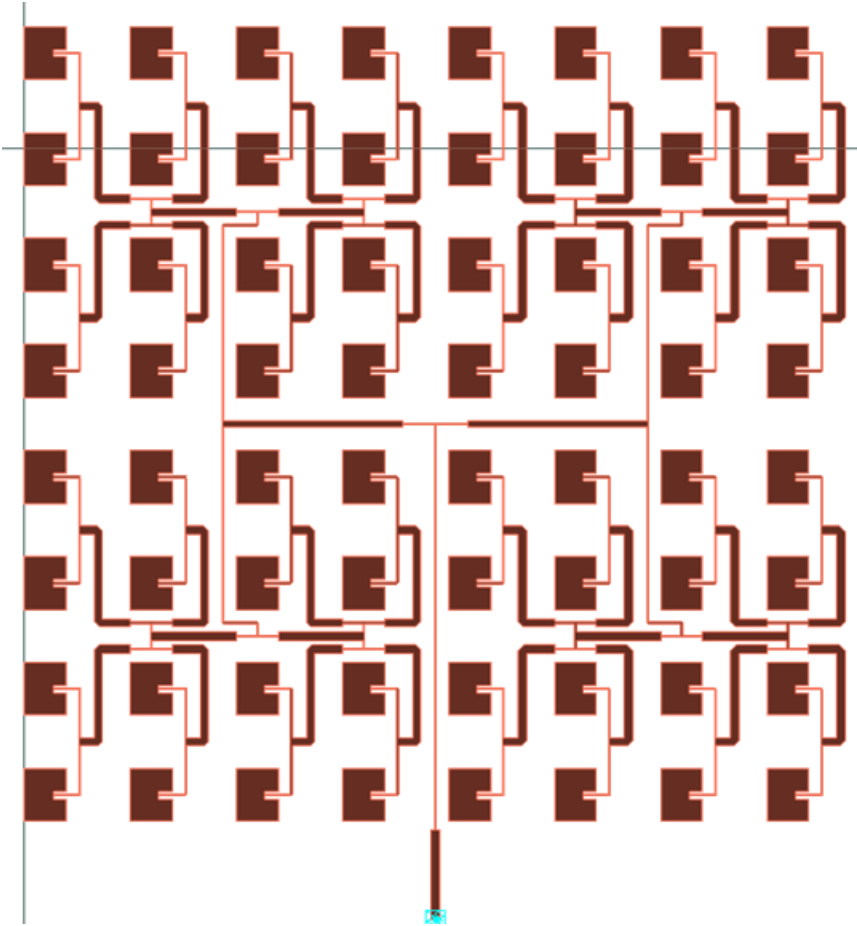
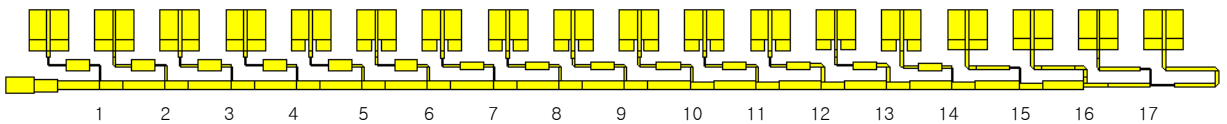


그림: T-점합 전력분배기를 이용한 안테나 배열 병렬 급전회로망

4. 직렬 급전회로망

○ 구조

- 입력선로: 특성임피던스 Z_I , 전력 P_I
- Thru line: 입력 임피던스 Z_T , 전력 P_T
- Branch line: 입력 임피던스 Z_B , 전력 P_B



○ 설계

- 각 branch 선로로 전달되는 전력비 지정

$$P_{B,1} : P_{B,2} : \dots : P_{B,n} : \dots : P_{B,N}$$

- 각 Thru line으로 전달되는 전력을 구함

$$P_{T,n} = P_{B,n+1} + \dots + P_{B,N}$$

- 각 Thru line과 branch line에 T-접합 전력분배기 공식 적용

$$\frac{1}{Z_{I,n}} = \frac{1}{Z_{T,n}} + \frac{1}{Z_{B,n}} \quad (Z_{I,n} = Z_0 = \text{constant})$$

$$\frac{P_{T,n}}{P_{B,n}} = \frac{Z_{B,n}}{Z_{T,n}} \quad (\text{output power ratio})$$

$$Z_{B,n} = Z_0 \left(1 + \frac{P_{T,n}}{P_{B,n}} \right), \quad Z_{T,n} = Z_0 \left(1 + \frac{P_{B,n}}{P_{T,n}} \right)$$

- 높은 입력 임피던스를 얻기 위해 다단 1/4-파장 변환기 사용

$$Z_Q = \sqrt{Z_{in} Z_{out}} \rightarrow Z_{out} = \frac{Z_Q^2}{Z_{in}} : \text{large} \rightarrow Z_Q \text{ large}, Z_{in} \text{ small}$$

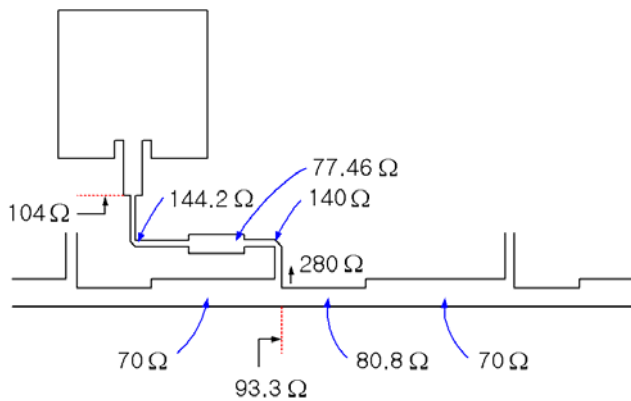


그림: 안테나 배열 직렬 급전회로망 설계 사례

5. 저항성 전력분배기(resistive power divider)

1) 특징

- 내부 손실 있음.
- 모든 포트 정합
- 출력포트간 분리도가 낮음.
- 최대 전력이 저항의 전력능력에 의해 결정

2) Direct n-way resistive power divider

- 모든 포트 선로 특성 임피던스 Z_0 로 동일

$$R = Z_0(N-1) : N \text{ 개 저항 모두 동일}$$

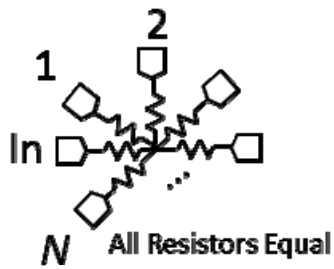


그림: Direct n-way power divider [Marki Microwave]

3) Branched wye resistive power divider

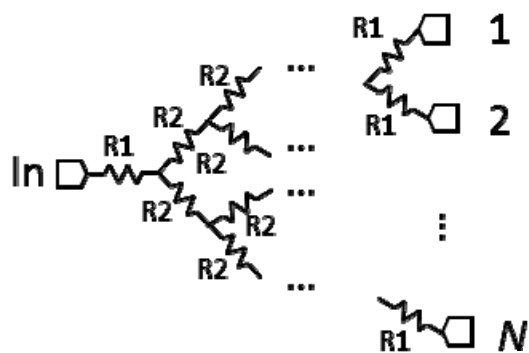


그림: Y형 저항성 전력 분배기 [Marki Microwave]

$$R_2 = 2R_1 = 2Z_0 / 3$$

4) Branched delta resistive power divider

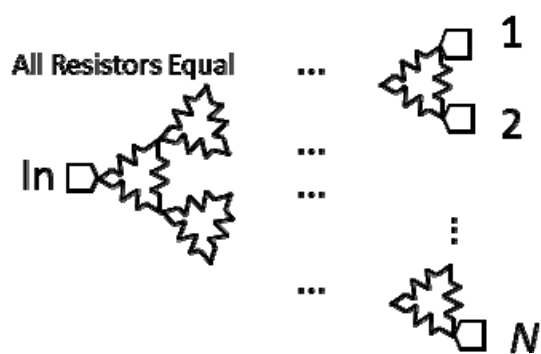


그림: 델타형 저항성 전력 분배기 [Marki Microwave]

$$R = Z_0$$

6. 윌킨슨 전력분배기(Wilkinson power divider)

1) 특징

- 내부 손실 없음(모든 포트가 정합되었을 때)
- 출력포트간 분리도가 높음.
- 출력포트에서 반사된 신호는 윌킨슨 전력분배기에 사용된 저항에서 소모됨.
- 1단 윌킨슨 전력분배기

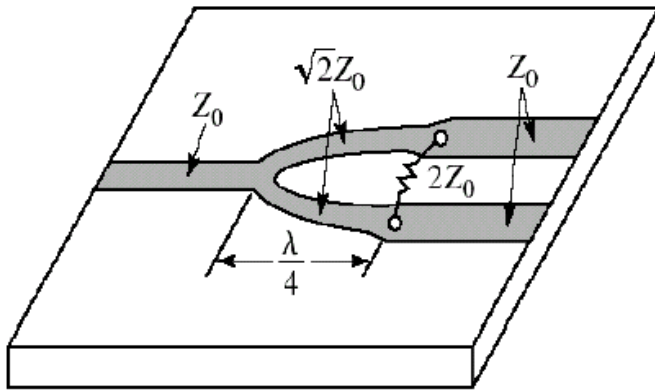
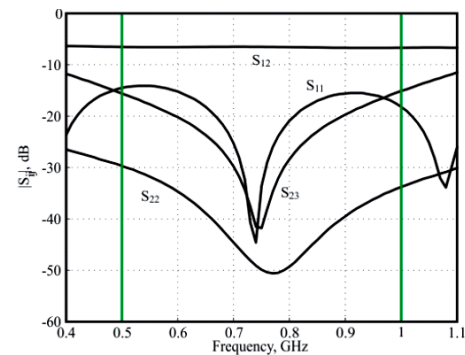
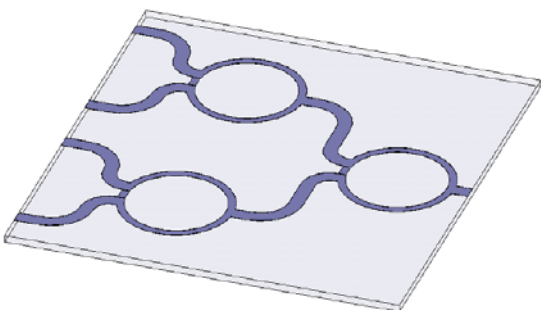
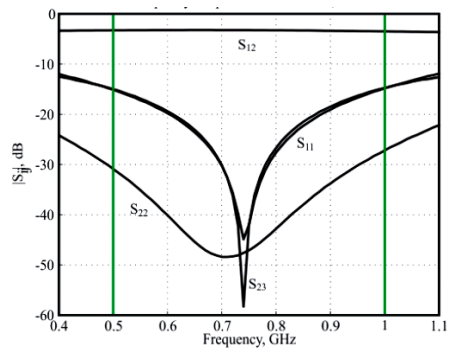
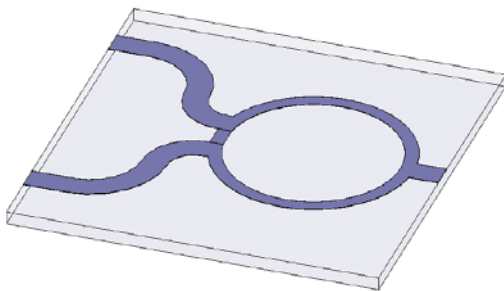


그림: 윌킨슨 전력분배기 구조

2) 윌킨슨 전력분배기를 이용한 N-way 전력분배기



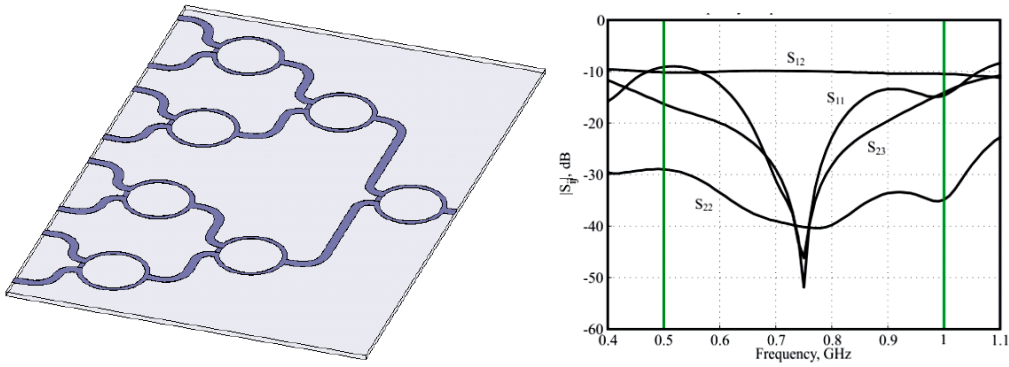


그림: 윌킨슨 전력분배기를 이용한 N-way 전력분배기[Harty(2010, thesis)]

2) 2단 윌킨슨 전력분배기

- 입출력 선로 특성 임피던스 모두 Z_0

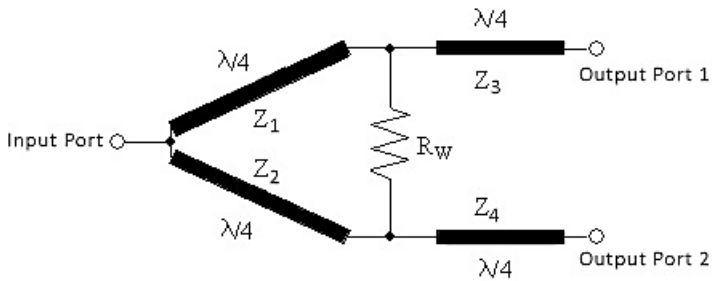


그림: 2단 윌킨슨 전력분배기[www.everythingrf.com]

$$Z_1 = Z_0 \left[(P_1 / P_2)^{-1.5} + (P_1 / P_2)^{-0.5} \right]^{0.5}, Z_2 = Z_0 (1 + P_1 / P_2)^{0.5} (P_1 / P_2)^{0.5}$$

$$Z_3 = Z_0 (P_1 / P_2)^{-0.25}, Z_4 = Z_0 (P_1 / P_2)^{0.25}$$

$$R_W = Z_0 \left[(P_1 / P_2)^{0.5} + (P_1 / P_2)^{-0.5} \right]$$

3) 광대역 윌킨슨 전력분배기

- 광대역 특성을 얻기 위해 다단 전력분배기 사용

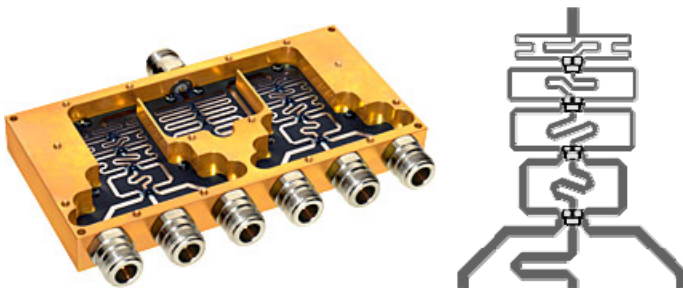


그림: In-phase 3-way power divider. 0.7-2.7GHz, VSWR 1.2:1, 40-W max. input [InStock Wireless Components Co.]

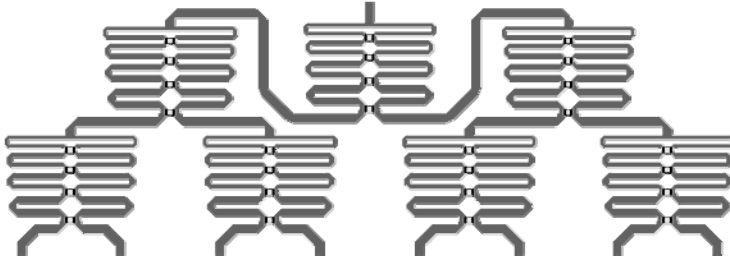
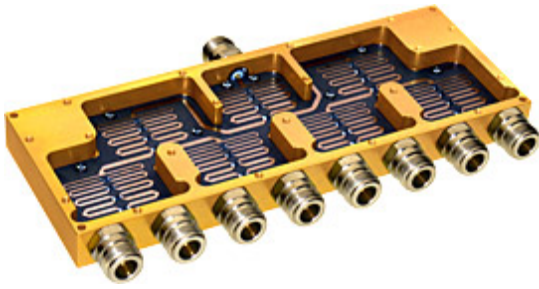


그림: In-phase 8-way power divider. 0.7-2.7GHz, VSWR 1.2:1, 40-W max. input [InStock Wireless Components Co.]

- 다음의 참고문헌의 설계공식 이용

S. B. Cohn, "A class of broadband three-port TEM-mode hybrids," *IEEE T-MTT*, 16(2), 110-116, 1968.

M. M. Honari, "Theoretical design of broadband multisection Wilkinson power dividers with arbitrary power split ratio," *IEEE Trans Comp Pack Manufac Tech*, 6(4), 605-612, 2016.

S.-W. Lee, "A general design formula of multi-section power divider based on singly terminated filter design theory," *IEEE MTT-S Symp Dig*, 2001, 1297-1300.

N. Dib and M. Khodier, "Design and optimization of multi-band Wilkinson power divider," *Int J RF Microw Comp Aided Eng*, 15-20, 2007.

(연습문제)

1. 100Ω 은 50Ω 으로 변환하는 $1/4$ 파장 임피던스 변환기를 설계하라.
2. 최소 개수의 $1/4$ 파장 변환기를 이용하여 50Ω 임피던스를 5000Ω 으로 변환하라. $1/4$ 파장 변환기의 특성임피던스는 $20-120\Omega$ 의 값만 사용한다.
3. 3:1의 전력비를 가지는 T-접합 전력분배기를 설계하라. 입력 임피던스는 50Ω 이다. $1/4$ 파장 변환기는 사용하지 않는다.
4. 전송선로의 특성임피던스가 $20-120\Omega$ 의 값으로 제한될 때 3번 문제를 T-접합 전력분배기와 출력단의 $1/4$ 파장 변환기를 사용하여 구현하라.

5. 전송선로의 특성임피던스가 $20-120\Omega$ 의 값으로 제한될 때 3번 문제를 T-접합 전력분배기와 입력단의 1/4파장 변환기를 사용하여 구현하라.
6. 입력 1개, 출력 4개인 병렬 전력분배기를 설계하라. 입력과 출력 전송선 특성 임피던스는 모두 50Ω 이다. 1/4파장 변환기를 사용하라.
7. 입력 1개, 출력 4개인 직렬 전력분배기를 설계하라. 입력과 출력 전송선 특성 임피던스는 모두 50Ω 이다. 1/4파장 변환기를 사용하라.

(실습) Python coding

입력 1개를 균등하게 출력 n 개로 분배하는 직렬 전력분배기를 설계하는 Python 코드를 작성하라.
입력과 출력 전송선의 임피던스는 모두 Z_0 이다.

힌트:

아래 그림에서 출력전력 $P_1, \dots, P_n$ 의 주어진 경우 (본 문제에서는 모두 1)

$$Z_{b1}, \dots, Z_{b,n-1}$$

$$Z_{s1}, \dots, Z_{s,n-1}$$

을 계산하는 프로그램을 작성하는 것이다.

