

브랜치라인 커플러 결합을 이용한 가변 전력 분배기 회로

박웅희*

A variable power divider circuit using the combine characteristic of the branchline coupler

Ung-hee Park*

Division of Electronics, Information & Communication Engineering, Kangwon University, Samcheok, 25913, Korea

요 약

제안된 가변 전력 분배기는 입력된 신호를 동일한 신호 전력으로 분배하는 2-way 윌킨슨 전력 분배기, 90도 위상 변화가 가능한 두 개의 가변 위상 변환기, 두 개의 경로 신호를 결합하는 브랜치라인 커플러로 구성된다. 제안된 가변 전력 분배기는 이론적으로 가변 위상 변환기의 90도 위상 변화에 의해 브랜치라인 커플러의 두 개 출력 단자에 1:∞에서 ∞:1까지 전력 분배 비율로 출력할 수 있다. 제안된 가변 전력 분배기는 중심주파수 1.7 GHz에서 Taconic사의 TLX-9 20mil을 이용하여 제작해 동작 특성을 확인하였다. 제작된 회로는 1.7 GHz에서 두 개 출력 단자에 1:100에서부터 200:1까지 전력 분배 비율의 변화가 가능하였으며, 1.65-1.75 GHz 주파수 대역에서 다양한 전력 분배 비율에 대하여 입력 반사계수 약 -16 dB 이하, 삽입 손실 약 -1.0 dB, 두 출력 단자의 격리 특성 약 -17 dB 이하의 안정적인 특성을 보였다.

ABSTRACT

The proposed variable power divider in this paper is composed of one equal power 2-way Wilkinson power divider, two variable phase shifters with 90-degree phase variation to be connected two output paths of the 2-way power divider, and one branchline coupler to combine output signals of two variable phase shifter. The proposed variable power divider can theoretically have an arbitrary power division ratio ranging from 1:∞ to ∞:1 due to 90-degree phase variation of two phase shifter. The proposed power divider circuit fabricates on laminated TLX-9(h=20 mil, $\epsilon_r=2.5$; Taconic) with a center frequency of 1.7 GHz. The power division ratio of the fabricated prototype varies from about 1:100 to 200:1, with an input reflection characteristic(S11) of below -16 dB, an insertion loss of about -1.0 dB, and an isolation characteristic of below -17 dB between two output ports in the range 1.65-1.75 GHz.

키워드 : 전력 분배기, 가변 전력 분배기, 비균등 전력 분배기, 브랜치라인 커플러

Key word : Power divider, Variable power divider, Unequal power divider, Branchline coupler

Received 23 November 2016, Revised 24 November 2016, Accepted 06 December 2016

* Corresponding Author Ung-hee Park(E-mail:uhpark@kangwon.ac.kr, Tel:+82-33-570-6357)

Division of Electronics, Information & Communication Engineering, Kangwon University, Samcheok, 25913, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkice.2017.21.2.245>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

전력 분배기는 입력하는 신호를 두 개 이상의 경로로 분배하여 출력하는 대표적인 초고주파 수동 소자 중 하나이다. 초고주파 전력 분배기는 동작 전력, 동작 주파수 범위, 입력과 출력의 정합 특성 개선, 출력 단자 개수, 분배 전력의 비율, 소형화 등을 목적으로 다양하게 연구되고 있다[1-4]. 또한, 동작 상황에 따라 전력 분배기의 전력 분배 비율을 가변시킬 수 있는 가변 전력 분배기에 대한 연구도 진행되고 있다[5-7].

가변 전력 분배기는 정해진 전력 분배 비율로만 동작하는 비연속적인 가변 전력 분배기와 다양한 전력 분배 비율을 갖는 임의의 전력 분배 비율의 연속적인 가변 전력 분배기로 구분할 수 있다. 대표적인 비연속적인 가변 전력 분배기는 분배 선로의 특성 임피던스를 변화시켜 구현하는 방법을 예로 들 수 있다[5]. 이러한 비연속적인 가변 전력 분배기는 비교적 작은 구조로 제작할 수 있지만 일반적으로 안정적인 정합 특성을 유지하기 위해서는 전력 분배 비율 변화를 크지 않게 해야 한다. 연속적인 가변 전력 분배기는 하나의 분배 소자만으로 안정적인 정합 특성을 유지하며 전력 분배 비율을 변화시키는 구조를 갖는 것은 매우 어렵다. 그렇기 때문에 여러 개의 소자가 결합된 회로 형태로 구현하는 것이 가장 합리적인 방법이라 할 수 있다. 대표적인 연속적인 가변 전력 분배기 회로로는 링-하이브리드 결합 특성을 이용한 방법을 예로 들 수 있다[7]. 링-하이브리드 커플러를 이용한 가변 전력 분배기는 회로 내에 존재하는 두 개의 90도 위상 변환기의 동작에 따라 다양한 전력 분배 비율의 신호를 만들 수 있지만 링-하이브리드 커플러에 의해 상대적으로 큰 회로 구조와 두 개의 출력 단자에 대한 외부 회로 연결이 복잡하게 구성된다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 브랜치라인 커플러를 이용하여 연속적인 가변 전력 분배기 구성이 가능함을 이론적으로 살펴보고, 브랜치라인 커플러를 이용하여 연속적인 가변 전력 분배기 회로를 제안하였다. 제안된 브랜치라인 커플러를 이용한 가변 전력 분배기는 이론적으로 1:∞부터 ∞:1 까지 전력 분배를 가변 할 수 있고, 상대적으로 링-하이브리드 커플러를 이용한 가변 전력 분배기보다 작은 크기와 외부 회로와 연결이 쉬운 출력 단자 구조를 갖는다. 제안된 브랜치라인 커플러의 결합 특성을 이용한 연속적인 가

변 전력 분배기에 대해 살펴보면 다음과 같다.

II. 본 론

2.1. 제안된 연속적인 가변 전력 분배기 회로

그림 1의 (a)와 (b)는 일반적인 두 개 출력 단자에 동일한 전력으로 신호를 분배하는 브랜치라인 커플러의 모습과 블록 다이어그램이다[8, 9]. 브랜치라인 커플러의 동작을 블록 다이어그램을 이용하여 간단하게 살펴 보면 1번 단자로 신호가 입력하면 4번 격리 단자에는 신호가 출력하지 않고, 출력 단자 2와 3에는 90도 위상차 상태로 입력 전력의 반에 해당하는 전력 신호가 동일하게 출력한다. 또한, 4번 격리 단자로 신호가 입력하면 1번 단자에는 신호가 출력하지 않고, 출력 단자 2와 3에는 입력 단자 1에 신호가 입력한 것과 동일하게 90도 위상차 상태로 입력 전력의 반에 해당하는 전력 신호가 동일하게 출력한다. 입력 단자 1과 격리 단자 4에 신호가 입력하면 1번 단자와 4번 단자로는 신호가 출력하지 않고, 2번 단자와 3번 단자만 입력한 신호가 출력하게 된다. 여기서, 출력하는 두 개의 단자의 총 전력은 두 개의 단자에 입력하는 전력의 합과 동일하다.

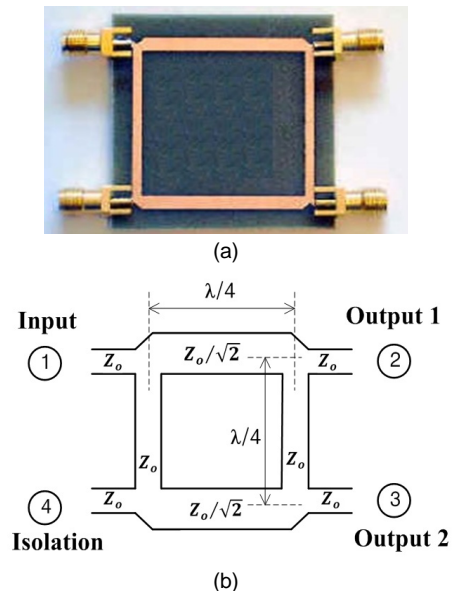


Fig. 1 Branch-line coupler; (a) The photograph, and (b) The block diagram

3-dB 브랜치라인 커플러에서 입력 단자와 격리 단자로 신호가 입력하면 두 출력 단자의 출력 신호 세기는 입력하는 두 개 단자의 신호 위상에 의해 결정된다. 브랜치라인 커플러의 입력 단자와 격리 단자에 입력하는 신호의 세기가 같은 경우에 두 입력 신호의 위상차가 0도, 90도, 180도, 270도인 4개의 영역으로 구분하여 두 개의 출력 단자에서의 출력 전력을 살펴보면 다음과 같다. 이해를 쉽게 하기 위해 입력 단자 1에서 입력하는 신호 세기를 V_1 , 입력 단자 2에서 입력하는 신호 세기를 V_2 로 표시하였다. 여기서, V_1 과 V_2 는 같은 값이다.

브랜치라인 커플러의 입력 단자 1와 격리 단자 4에 식 (1-a)과 (1-b)의 신호가 입력하면 출력 단자 2와 3에는 식 (2)와 (3)의 값이 출력하게 된다. 여기서, α 는 0에서 90도까지의 입력 신호의 위상 변화량이다. 입력 단자 1에 존재하는 위상 변화량 α 에 따라 두 개의 출력 단자에서는 그림 2 (a)와 같은 형태의 전압을 갖는다. 그림 2 (a)에서 위상 변화량 α 가 0이면 두 개의 출력 단자에서는 135도 위상의 동일 신호 세기로 출력하고, 위상 변화량 α 가 90이면 출력 단자 3에서는 입력 신호 전력이 나타나지 않고 모든 입력 신호 전력이 출력 단자 2로 출력한다. 반대로 격리 단자 4의 위상 변화량이 90도인 상태를 살펴보면 브랜치라인 커플러의 입력 단자 1과 격리 단자 4의 입력 신호를 식 (4-a)와 (4-b)로 나타낼 수 있고, 출력 단자 2와 3에는 식 (5)와 (6)의 신호가 출력하게 된다. 식 (4-b)에 있는 β 는 0에서 90도까지의 격리 단자에 공급하는 입력 신호 위상 변화량을 의미하며, 위상 변화량 β 값에 따라 그림 2 (b)의 모습으로 브랜치라인 커플러의 두 출력 단자로 신호가 출력하게 된다. 앞의 두 개의 동작 상황을 종합적으로 살펴보면 3-dB 브랜치라인 커플러의 입력 단자와 격리 단자의 입력하는 신호의 세기가 같은 경우 출력 단자 2와 3에는 동일 위상의 동일 세기로 신호가 출력한다. 여기서, 입력 단자의 신호 위상이 90도 범위로 변화면 출력 단자 2의 신호 세기는 증가하여 최대 입력 단자와 격리 단자의 입력 신호 합이 되고, 출력 단자 3의 신호 세기는 감소하여 최소 0이 된다. 또한, 격리 단자의 신호 위상이 90도 범위로 변화면 출력 단자 2의 신호 세기는 감소하여 최소 0이 되고, 출력 단자 3의 신호 세기는 증가하여 최대 입력 단자와 격리 단자의 입력 신호 합이 된다. 결론적으로, 입력 단자와 격리 단자의 90도 위상 변화에 의해 두 개의 출력 단자의 출력 전력 분배 비율을

이론적으로 $\infty:1$ 에서 $1:\infty$ 까지 변화시킬 수 있게 됨을 알 수 있다.

$$V_{i1} = 2 V_1 \angle (0^\circ + \alpha) \quad (1-a)$$

$$V_{i2} = 2 V_2 \angle (0^\circ) \quad (1-b)$$

$$V_{o1} = V_1 \angle (90^\circ + \alpha) + V_2 \angle (180^\circ) \quad (2)$$

$$V_{o2} = V_1 \angle (180^\circ + \alpha) + V_2 \angle (90^\circ) \quad (3)$$

$$V_{i1} = 2 V_1 \angle (0^\circ) \quad (4-a)$$

$$V_{i2} = 2 V_2 \angle (0^\circ + \beta) \quad (4-b)$$

$$V_{o1} = V_1 \angle (90^\circ) + V_2 \angle (180^\circ + \beta) \quad (5)$$

$$V_{o2} = V_1 \angle (180^\circ) + V_2 \angle (90^\circ + \beta) \quad (6)$$

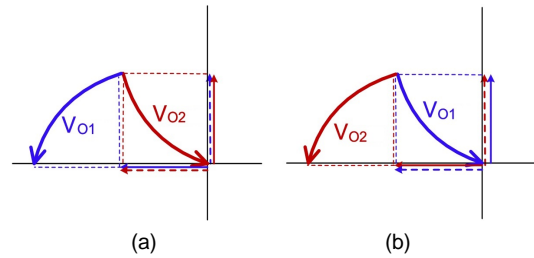


Fig. 2 The output characteristic of Branch-line coupler in case of the phase difference of 0-degree between the input port and the isolation port; (a) Output characteristic in according to the 90-degrees phase variation of the input port, and (b) Output characteristic in according to the 90-degrees phase variation of the isolation port.

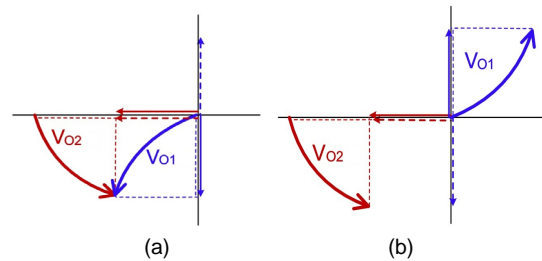


Fig. 3 The output characteristic of Branch-line coupler in case of the phase difference of 90-degree between the input port and the isolation port; (a) Output characteristic in according to the 90-degrees phase variation of the input port, and (b) Output characteristic in according to the 90-degrees phase variation of the isolation port.

브랜치라인 커플러의 입력 단자와 격리 단자로 입력하는 신호의 전압이 같고 위상차가 90도인 경우에 입력 단자의 위상 변화량 α 와 격리 단자의 위상 변화량 β 에 따른 두 개 출력 단자의 출력 특성을 살펴보면 다음과 같다. 입력 단자의 위상 변화량 α 에 의해서는 브랜치라인 커플러 출력 단자 2와 3의 출력 전압은 식 (7)과 (8)로 표현되며, 이를 그림으로 나타내면 그림 3 (a)와 같다. 또한, 격리 단자의 위상 변화량 β 에 따른 브랜치라인 커플러 출력 단자 2와 3의 출력 전압은 식 (9)과 (10)이 되며, 그림 3 (b)의 모습으로 동작한다. 브랜치라인 커플러의 입력 단자와 격리 단자의 입력하는 신호의 위상차가 90도인 상태에서 입력 단자의 위상 변화량 α 가 90도 변화하는 경우와 격리 단자에서 입력하는 신호의 위상 변화량 β 가 90도 변화하는 경우에 동일한 전력으로 출력 단자 2와 3에 신호가 출력하게 된다. 하지만, 입력 단자 1에서 입력하는 신호 위상이 변하는 경우와 격리 단자 4에서 입력하는 신호의 위상이 변하는 경우에 출력 단자 2에서는 180도 위상이 다른 상태의 신호가 존재하게 된다.

$$V_{o1} = V_1 \angle (90^\circ + \alpha) + V_2 \angle (270^\circ) \quad (7)$$

$$V_{o2} = V_1 \angle (180^\circ + \alpha) + V_2 \angle (180^\circ) \quad (8)$$

$$V_{o1} = V_1 \angle (90^\circ) + V_2 \angle (270^\circ + \beta) \quad (9)$$

$$V_{o2} = V_1 \angle (180^\circ) + V_2 \angle (180^\circ + \beta) \quad (10)$$

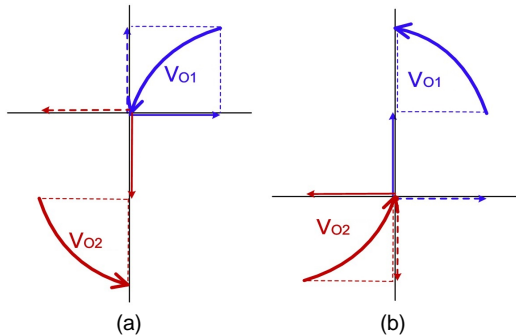


Fig. 4 The output characteristic of Branch-line coupler in case of the phase difference of 180-degree between the input port and the isolation port; (a) Output characteristic in according to the 90-degrees phase variation of the input port, and (b) Output characteristic in according to the 90-degrees phase variation of the isolation port.

브랜치라인 커플러의 입력 단자와 격리 단자로 입력하는 신호의 위상차가 180도인 경우에는 입력 단자의 위상 변화량 α 에 의한 출력 단자 2와 3의 출력 신호 전압은 식 (11)과 (12)이 되며, 그림 4 (a)의 모습으로 동작한다. 또한, 격리 단자의 위상 변화량 β 에 의한 출력 단자 2와 3의 출력 신호 전압은 식 (13)과 (14)와 같으며, 그림 4 (b)의 형태로 동작한다. 브랜치라인 커플러의 입력 단자와 격리 단자의 위상차가 0도인 경우와 동일하게 입력 단자와 격리 단자의 90도 위상 변화에 따라 출력 단자 2와 3의 전력 분배 비율을 이론적으로 1:∞에서 ∞:1까지 가변 시킬 수 있다. 하지만 출력단자 2와 3의 출력 신호 위상이 약 180도 차이가 발생함을 볼 수 있다.

$$V_{o1} = V_1 \angle (90^\circ + \alpha) + V_2 \angle (0^\circ) \quad (11)$$

$$V_{o2} = V_1 \angle (180^\circ + \alpha) + V_2 \angle (270^\circ) \quad (12)$$

$$V_{o1} = V_1 \angle (90^\circ) + V_2 \angle (0^\circ + \beta) \quad (13)$$

$$V_{o2} = V_1 \angle (180^\circ) + V_2 \angle (270^\circ + \beta) \quad (14)$$

브랜치라인 커플러의 입력 단자와 격리 단자로 입력하는 신호의 위상차가 270도인 경우에 출력 단자 2와 3의 출력 신호 전압은 입력 단자의 위상 변화량 α 에 의해 식 (15)과 (16), 격리 단자의 위상 변화량 β 에 의해 식 (17)과 (18)의 값을 갖는다. 출력 단자 2와 3에서의 위상

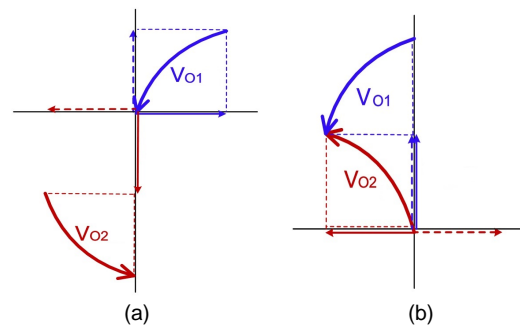


Fig. 5 The output characteristic of Branch-line coupler in case of the phase difference of 270-degree between the input port and the isolation port; (a) Output characteristic in according to the 90-degrees phase variation of the input port, and (b) Output characteristic in according to the 90-degrees phase variation of the isolation port.

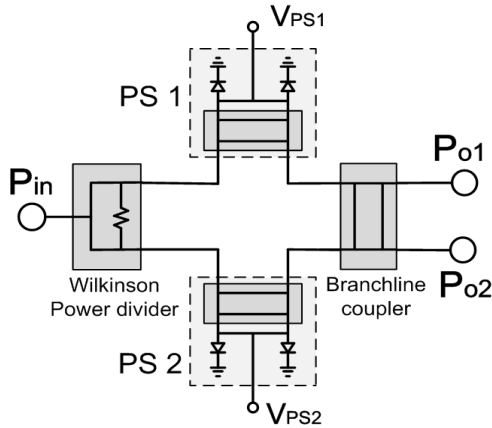


Fig. 6 The block diagram of the proposed variable power divider

변화량 α 의 90도 변화에 따른 출력 전압과 격리 단자 위상 변화량 β 의 90도 변화에 따른 출력 전압은 그림 5의(a), (b)와 같다. 위상 변화량 α 와 β 가 0이면 출력 단자 2에서만 신호가 출력하고, 두 개의 위상 변화량의 상대적인 차이가 90도이면 출력 단자 2와 3에 동일한 전압의 신호가 발생함을 볼 수 있다.

$$V_{o1} = V_1 \angle (90^\circ + \alpha) + V_2 \angle (90^\circ) \quad (15)$$

$$V_{o2} = V_1 \angle (180^\circ + \alpha) + V_2 \angle (0^\circ) \quad (16)$$

$$V_{o1} = V_1 \angle (90^\circ) + V_2 \angle (90^\circ + \beta) \quad (17)$$

$$V_{o2} = V_1 \angle (180^\circ) + V_2 \angle (0^\circ + \beta) \quad (18)$$

그림 6은 브랜치라인 커플러의 전력 결합 특성을 이용하여 다양한 전력 분배 비율을 갖는 제안된 가변 전력 분배기의 블록 다이어그램이다. 제안된 가변 전력 분배기는 먼저 3-dB 전력 분배 비율을 가지는 윌킨슨 전력 분배기를 이용하여 입력하는 신호(P_{in})를 동일 위상과 동일 세기 신호로 분배한다. 분배된 신호는 세기 변화가 거의 없이 90도 위상 변화가 가능한 가변 위상 변환기를 거쳐 브랜치라인 커플러의 격리 관계에 있는 두 개의 입력 단자에 신호를 공급하게 된다. 만약, 가변 위상 변환기에서 전력 손실이 없고 3-dB 윌킨슨 전력 분배기로 입력하는 신호(P_{in})의 전압 세기가 $4V_1$ 라 하면 브랜치라인 커플러의 격리 관계에 있는 두 입력 단자의 입력으로는 식 (1-a)와 식 (4-b)($V_2=V_1$)와 같다. 그림 6

에서 가변 위상 변환기 PS1의 위상 변화는 식 (1-a)의 위상 변화량 α 가 되고, 가변 위상 변환기 PS2의 위상 변화는 식 (4-b)의 위상 변화량 β 가 된다. 그러므로 브랜치라인 커플러를 이용한 제안된 회로는 위상 변화량 α , β 의 90도 변화에 의해 브랜치라인 커플러의 두 출력 단자(P_{o1} 와 P_{o2})에 이론적으로 $\infty:1$ 부터 $1:\infty$ 까지 다양한 값의 전력 분배 비율을 가지고 출력할 수 있다.

2.2. 제안된 가변 전력 분배기 제작 및 동작 특성

그림 7은 Taconic사의 비유전율(ϵ_r) 2.5인 TLX-9 ($h=20\text{mil}$) 기판을 이용하여 중심주파수 1.7 GHz에서 제작된 제안된 가변 전력 분배기의 모습이다. 입력부의 윌킨슨 전력 분배기는 기판 상에서 제작하였으며, 가변 위상 변환기는 Xinger사의 브랜치라인 커플러 제품인 1A1305-3를 이용한 반사형 구조로 하였다[10]. 반사형 가변 위상 변환기에 사용된 다이오드는 Sony사의 1T-362 Varactor 다이오드로 1.7 GHz에서 약 92도의 위상 변화가 가능하며 위상 변화에 따른 신호 전달 특성 (S_{21})은 $-0.7 \pm 0.1\text{dB}$, 입력 정합 특성(S_{11})은 -18dB 이하의 값을 갖는다. 두 개의 가변 위상 변환기 출력은 브랜치라인 커플러 1A1305-3의 격리 관계인 두 단자에 입력되고, 브랜치라인 커플러의 나머지 두 단자로 입력된 신호가 출력한다. 제작된 가변 전력 분배기의 크기는 $53 \times 39 \text{ mm}^2$ 이다.

표 1은 가변 위상 변환기의 위상 변화량에 의해 제안된 가변 전력 분배기 회로가 무손실인 경우에 가지는 이상적인 출력 값과 제작된 가변 전력 분배기를 Protek A333 network analyzer를 이용하여 측정한 결과를 나타

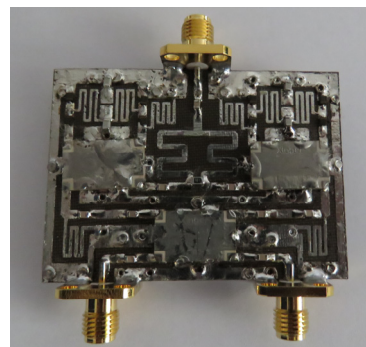


Fig. 7 The photograph of the fabricated variable power divider (size: $53 \times 39 \text{ mm}^2$)

Table. 1 The measured value of the fabricated variable power divider at 1.7GHz

PS 1 [°]	PS 2 [°]	Ideal Value [dB]		Measured Value [dB]		
		P_{o1}	P_{o2}	P_{o1}	P_{o2}	P_{o1}/P_{o2}
0	0	-3.0	-3.0	-3.9	-3.9	0.0
0	20	-1.7	-4.8	-2.7	-5.8	3.1
0	45	-0.7	-8.3	-1.6	-9.3	7.7
0	90	0.0	-∞	-1.0	-22.1	21.1
20	0	-4.8	-1.7	-5.8	-2.7	-3.1
45	0	-8.3	-0.7	-9.4	-1.7	-7.7
90	0	-∞	0.0	-24.8	-1.0	-23.8
90	90	-3.0	-3.0	-4.1	-4.1	0.0

낸 것이다. 제작된 가변 전력 분배기의 전체적인 삽입 손실(S_{21} 과 S_{31})은 약 -0.9dB 값이 측정되었다. 가변 위상 변환기 1(PS1)과 가변 위상 변환기 2(PS2)의 위상 변화량이 0도면 브랜치라인 커플러에 입력하는 위상이 같게 되어, 제작된 가변 전력 분배기의 두 출력 단자에 전력 분배 비율은 1:1인 -3.9dB의 값이 출력하였다. 가변 위상 변환기 2의 위상 변화량이 20도이면 브랜치라인 커플러에 입력하는 신호의 위상차가 20도가 되어 이론 값과 동일한 P_{o1} 의 값이 P_{o2} 보다 약 -3.0dB 높게 출력하는 확인할 수 있었다. 또한, 가변 위상 변환기 1의 위상 변화 없이 가변 위상 변환기 2의 위상 변화량이 90도이면 제작된 가변 전력 분배기의 출력 전력은 대부분 P_{o1} 으로 출력하였다. 역으로, 가변 위상 변환기 2의 위상 변화 없이 가변 위상 변환기 1의 위상 변화량이 20도인 경우는 P_{o2} 의 값이 P_{o1} 보다 약 -3.0dB 높게 출력하였고 가변 위상 변환기 2의 위상 변화 없이 가변 위상 변환기 1의 위상 변화량이 90도인 경우는 대부분의 전력은 P_{o2} 로 출력하였다. 그림 8은 제작된 가변 전력 분배기에서 가변 위상 변환기 1과 가변 위상 변환기 2의 위상 변화가 0도와 0도인 경우, 0도와 45도인 경우, 0도와 90도인 세 가지 경우 Protek A333 network analyzer를 이용하여 측정한 값을 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 검은색 선으로 표현된 입력 정합 특성(S_{11}), 출력 정합 특성(S_{22})과 두 출력 단자 사이의 격리 특성(S_{32})은 데시벨(dB) 단위로 표시된 그림의 왼쪽 세로축의 값에 해당하며, 적색 선으로 표현된 두 단자의 출력 값(S_{21} 과 S_{31})과 두 출력 값의 차이(S_{21}/S_{31})는 데시벨(dB) 단위로 표시된 오른쪽 세로축의 값에 해당한다. 제안된 연속형 가변 전력 분배기의 두 출력 단자 사이의 격리 특성(S_{32})은 제

안된 회로의 종단에 위치하는 브랜치라인 커플러의 동작 특성이 주된 값으로 동작하여 전력 분배 비율에 따른 변화가 매우 적어 그림 8(a)에만 표시하였다. 그림 8을 통해 제작된 가변 전력 분배기가 가변 위상 변환기의 위상 변화에 따라 중심 주파수 1.7 GHz에서 다양한 전력 분배 비율로 두 개의 출력 단자에 출력하고, 안정적인 단자 정합 특성(S_{11} 과 S_{22})과 출력 단자 사이의 격리 특성(S_{23} 또는 S_{32})을 가짐을 확인할 수 있다.

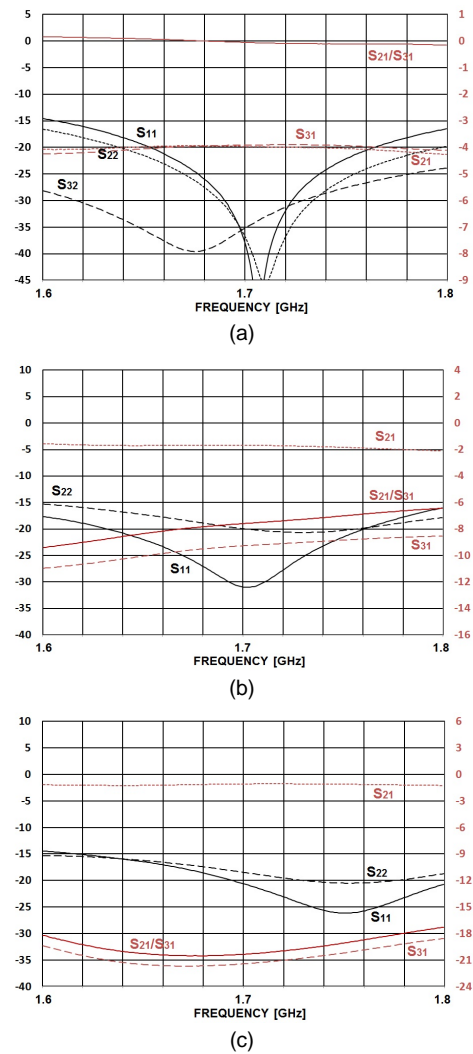


Fig. 8 The operation characteristics of the fabricated variable power divider; (a) PS1=0° and PS2=0°, (b) PS1=0° and PS2=45°, and (c) PS1=0° and PS2=90°

III. 결 론

입력 신호를 동일 세기와 동일 위상의 두 개의 경로 신호로 분배한 후 동일 지연 시간을 가지는 90도 위상 변화가 가능한 회로를 거쳐 브랜치라인 커플러의 격리 관계에 있는 두 단자에 입력하면 90도 위상 변화에 의해 브랜치라인 커플러의 두 출력 단자에 임의의 전력 비율로 입력 신호를 분배할 수 있는 연속적인 가변 전력 분배기를 제안하였다. 제안된 회로는 이론적으로 가변 위상 변환기의 90도 위상 변화에 의해 브랜치라인 커플러의 두 출력 단자에 $\infty:1$ 부터 $1:\infty$ 까지 다양한 전력 비율로 동작한다. 제작한 연속적인 가변 전력 분배기는 1.65~1.75 GHz 범위에서 안정적인 정합 특성을 유지하면서 100:1에서 1:200의 전력 분배 비율을 가졌다.

제안된 브랜치라인 결합 특성을 이용한 연속적인 가변 전력 분배기 회로는 기존의 링-하이브리드 결합 특성을 이용한 연속적인 가변 전력 분배기 회로보다 작은 크기, 낮은 선로 손실값, 용이한 제작, 외부 연결의 단순 구조 등 많은 장점을 가지고 있다. 이러한 상대적으로 우수한 특성으로 인해 기존의 링-하이브리드 결합을 이용한 가변 전력 분배기 회로 보다 안정적이고 좋은 가변 전력 분배기 회로로서 다양한 초고주파 회로에서 사용될 수 있을 것이다.

ACKNOWLEDGMENTS

This study is supported by 2016 Research Grant from Kangwon National University (No. 620160078)

REFERENCES

- [1] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, Addison-Wesley Publishing Company, New York, pp. 383-449, 1990.
- [2] E. Wilkinson, "An N-Way Hybrid Power Divider," *IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-8, pp.116-118, Jan.1960.
- [3] S. B. Cohn, "A Class of Broadband Three-Port TEM-Mode Hybrids," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-16, no.2, pp.116-118, Feb.1968.
- [4] U. H. Park, "Power Divider Using a Coaxial Cable," *Journal of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 6, no.4, pp. 661-668, April 2012.
- [5] U. H. Park, "A variable power divider with 1:3 and 3:1 power division ratios," *IEICE ELECTRONICS EXPRESS*, vol.9, no.6, pp. 596-601, March 2012.
- [6] U. H. Park, "Dual-impedance transmission line employing an ungrounded copper plane," *IEICE ELECTRONICS EXPRESS*, vol.10, no.12, pp. 1-5, June 2013.
- [7] U. H. Park, "The variable power divider circuit to use the ring-hybrid coupler," *Journal of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 20, no.2, pp. 253-259, Feb. 2016.
- [8] J. Reed and G. J. Wheeler, "A Method of Analysis of Symmetrical Four-Port Networks," *IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-4, pp. 246-252, Oct. 1956.
- [9] Y. C. Jeong, J. W. Kim, H. R. Ahn, D. Ahn, and I. S. Chang, "Synthesis of Ring Hybrid Coupler having arbitrary termination impedance," *The 1990 symposium of the Korean Institute of Electronics and Information*, vol. 13, no. 1, pp.67-70, July 1990.
- [10] U. H. Park, I. S. Chang, J. W. Huh and I. H. Kan, "Design of a RF fixed phase control circuit using I&Q Demodulator," *Journal of the Korean Institute of Telematics and Electronics*, vol. 36D, pp.8-14, Jan. 1999.



박응희(Unghee Park)

2000년 서강대학교 전자공학과 공학박사
 2000.3 ~ 2006.8 한국전자통신연구원 선임연구원
 2006.8 ~ 현재 강원대학교 공학대학 전자공학과 교수
 ※관심분야 : 초고주파 소자 및 시스템