

한파장 페루프 공진기를 이용한 이중모드 필터 및 마이크로파 부품 응용

Dual-Mode Filters Using One Wavelength Loop Resonators and Their Applications to Microwave Devices

구본희(B.H. Koo)	RF부품팀 선임연구원
이창화(C.W. Lee)	RF부품팀 선임연구원
전동석(D.S. Jun)	RF부품팀 선임기술원
김명수(M.S. Kim)	RF부품팀 연구원
이상석(S.S. Lee)	RF부품팀 책임연구원, 팀장
최태구(T.G. Choy)	부품기술개발부 책임연구원, 부장

본 고에서는 한파장 페루프 공진기의 기본특성과 이를 활용한 이중모드 필터 구조 및 필터의 주요특징을 기술하였다. 또한 독립적인 직교공진모드를 이용한 페루프 공진기의 특성과 공진기의 크기를 소형화하는 기법 및 소형화 된 공진기의 공진조건 등을 기술하였고, 소형화 된 공진기를 이용한 듀플렉서의 응용에 대해 기술하였다. 페루프 공진기를 이용한 이중모드필터 등은 마이크로 스트립 형태로 구현이 가능하기 때문에 MIC 또는 MMIC 등에 적합한 구조이며, 능동소자 등의 삽입이 가능하기 때문에 능동필터, VCO, 튜닝필터 등의 구현이 가능하고 소형의 듀플렉서 설계가 가능하기 때문에 향후 마이크로파 부품분야에서 기대되는 부품이라 할 수 있다.

I. 머리말

마이크로웨이브 대역의 소형, 고품질의 대역통과 필터 및 듀플렉서 등은 차세대 이동통신 및 위성통신에 필수적인 핵심부품이라 할 수 있다. 현재까지의 이동통신 단말기용 필터 및 듀플렉서로는 끝이 단락된 $\lambda/4$ 공진기를 이용한 유전체 필터[1, 2]가 개발되어 800MHz 셀룰러 이동통신 및 1.7GHz 대역의 PCS 등에 이용되고 있다. 그 외에 이동통신 단말기용 필터로 다층구조의 스트립라인 구조를 갖는 적층필터[3] 등이 보고되고 있으

며, 또한 MIC 또는 MMIC에 적합한 마이크로스트립 페루프 공진기를 이용한 필터[4, 5] 등이 보고되고 있다.

일반적으로 페루프 공진기는 적은 방사손실과 높은 Q 값을 갖는 것으로 알려져 있으며, 마이크로 스트립 선로로 구현이 가능하기 때문에 제작하기가 쉽고, 제작원가가 싸며 소형 경량의 필터 제작이 가능하다. 또한 한파장 페루프 공진기에는 두 개의 독립적인 직교공진모드가 있으며, 한파장 페루프 공진기의 직교공진모드 응용은 크게 두 가지 방법으로 나눌 수 있다. 하나는 두개의 직교공

진모드 간의 결합을 이용하는 방법으로 이 방법은 2-포트 디바이스인 이중모드 필터 등에 이용된다. 다른 하나는 두개의 독립적인 직교공진 모드를 4-포트 디바이스에 응용하는 방법이다. 이 방법을 이용하여 마이크로파용 듀플렉서 등의 디바이스를 구현할 수 있다.

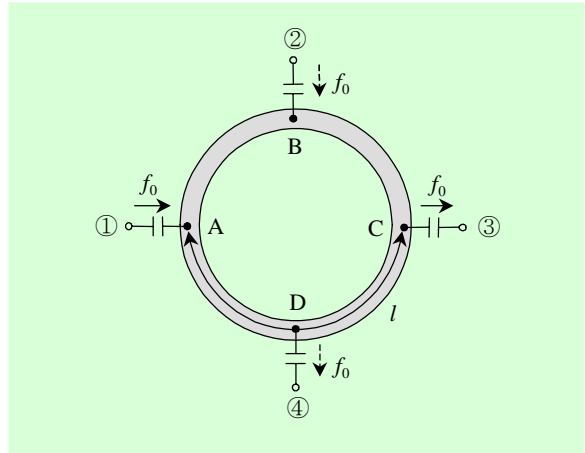
본 고에서는 한파장 페루프 공진기의 직교공진모드 간 결합을 이용한 이중모드 필터의 구조 및 해석방법을 알아보고, 몇 가지 주요 이중모드 필터의 구조 및 주요특징을 알아보고자 한다. 또한 독립적인 직교 공진모드를 활용한 페루프 공진기의 공진특성 및 공진기의 크기를 줄일 수 있는 방법에 대해 알아보고, 이를 이용한 듀플렉서 등의 마이크로파 부품 응용 예를 기술하고자 한다.

II. 한파장 페루프 공진기의 기본특성

1. 직교공진 특성

(그림 1)은 균일한 임피던스를 갖는 전송선로로 구성된 한파장 페루프 공진기(UIR)의 구조를 나타낸 것이다. 페루프 공진기는 종래의 종단이 개방된 반파장 전송선로 공진기와는 달리 개방면이 없기 때문에 개방면에 대한 손실을 줄일 수 있는 장점이 있다. 한파장 페루프 공진기의 전기적 길이는 마이크로파의 한파장 길이와 같다. 즉, 공진주파수는 페루프 공진기 전체의 전기적 길이가 마이크로파 파장 길이의 정수배를 만족하는 주파수가 된다.

(그림 1)의 한파장 페루프 공진기에는 두 개의 직교공진모드가 있는데, 하나는 포트①에서 포트③으로 전파되는 모드이고, 다른 하나는 포트②에



(그림 1) 한파장 페루프 공진기의 직교공진

서 포트④로 전파되는 모드이다. 두개의 직교공진모드의 공진조건은

$$\tan \theta_{01} = 0 \quad (1)$$

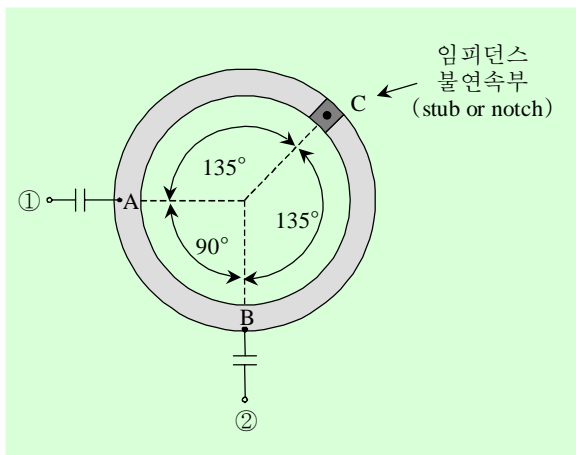
이다. 여기서 $\theta_{01} = 2\pi f_0 l / v_p$ 이고, f_0 는 공진주파수, v_p 는 위상속도를 나타낸다. 즉, 공진주파수 f_0 는 공진기 전체의 길이가 마이크로파 공진주파수의 한파장의 길이와 같아지는 주파수가 된다. 두개의 공진모드간에는 상호간섭이 없는데 그 이유는 포트①과 포트② 사이의 전기적 길이가 주파수 f_0 에서 90° 의 위상차를 가지기 때문이며, 포트①과 포트③간의 공진모드에서는 페루프 공진기의 A, C점에서 전기의 세기가 최대가 되는 반면에 공진기의 B, D점에서는 전기세가 최소화되며, 포트②와 포트④간의 공진모드는 그 반대의 현상을 나타내기 때문이다. 따라서 한파장 페루프 공진기는 두개의 독립적인 직교공진모드(dual-mode)를 갖게 된다.

이와 같은 두개의 직교공진모드의 특성은 한파장 페루프 공진기가 갖는 주요한 특징중 하나

이며, 이 특성을 응용하여 마이크로파용 듀플렉서, 이중모드 필터 등의 마이크로파 응용부품 등에 적용되고 있다.

2. 직교공진모드간의 결합방법

(그림 2)는 두 개의 직교공진모드간의 결합을 이용한 이중모드 필터의 기본구조이다.

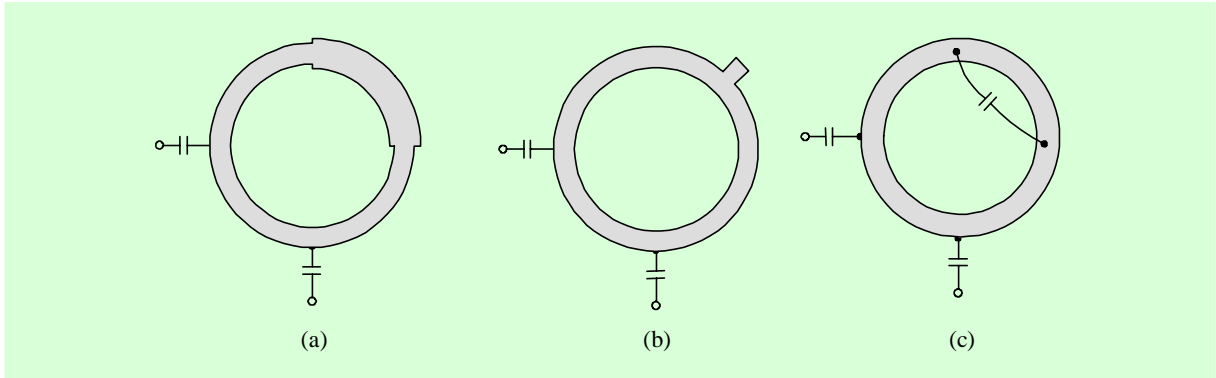


(그림 2) 이중모드 필터의 기본구조

(그림 2)에서 입력포트① 및 출력 포트②는 전기적으로 90°의 위상차를 가지고 있으며 open stub 또는 notch 등과 같은 임피던스 불연속부를 입력 포트 및 출력 포트로부터 135° 떨어진 곳에 갖고 있다. 공진기내에 임피던스 불연속부가 없을 경우에는 비록 공진기의 공진주파수를 갖는 신호를 입력포트에 인가하였다 하더라도 두 개의 직교공진 모드간의 결합이 없기 때문에 출력포트로는 아무런 신호가 전달되지 않는다. 즉, 입력포트와 출력포트의 전기적 길이가 90°의 위상차를 갖기 때문에 입력포트와 공진기간의 전계결합에 의해 공진기로 전송된 신호의 전계는 입력포트에서 최대값을 가지지만 출력포트에서는 전계가 최소값을 갖

기 때문에 공진기와 출력포트간의 전계결합이 일어나지 않는다. 그러나 공진기내에 임피던스 불연속부가 있을 경우에는 두 개의 직교공진모드간의 결합이 발생한다. 이를 진행파의 원리를 이용하여 설명하면 다음과 같다.

최초에 입력포트에 여기된 신호의 전계는 공진기의 A점에서 최대가 되며 공진기의 시계방향 및 반시계방향으로 흘러가게 된다. 반시계방향으로 흘러가는 신호에 대해 먼저 설명하면 다음과 같다. 반시계방향으로 흘러간 신호가 B점에 도달하면 이 때 전계가 최소가 되기 때문에 출력포트와의 전계결합이 발생하지 않는다. 계속하여 이 신호는 공진기의 임피던스 불연속부(C점)에 도달하게 되며 이때 임피던스 불연속부로 인해 불연속부에 도달한 신호의 일부는 반사하여 시계방향으로 진행하게 되고 나머지 신호는 계속 반시계 방향으로 진행한다. 시계방향으로 반사된 신호가 다시 B점에 도달하였을 때에는 최초 A점의 위상에 대해 총 360°의 위상변화가 있고 되고 이 때에는 전계가 최대가 되므로 공진기와 출력포트간의 커패시터에 의해 전계결합이 발생한다. 임피던스 불연속부에서 반사하지 않은 신호는 계속 전파하여 A점에 도달하게 되며 이 때 전계의 세기는 최대가 되어 공진기에서 공진하게 된다. 시계방향으로 진행한 신호도 이와 유사한 방법으로 설명할 수 있다. 즉, 시계방향으로 진행한 신호가 임피던스 불연속부 도달하면 신호의 일부가 반사하여 반시계 방향으로 진행하게 되고 계속하여 이 신호가 출력포트가 있는 B점에 도달하면 A-C-B간의 총 위상변화가 360°가 되기 때문에 출력포트와 전계결합이 일어난다.



(그림 3) 이중모드 필터 구성 예

이상에서와 같이 최초에 반시계방향으로 진행한 신호가 임피던스 불연속부에서 반사하여 시계방향으로 진행하는 신호의 위상과 시계방향으로 진행한 신호가 임피던스 불연속에서 반사하지 않고 계속하여 시계방향으로 진행하는 신호의 위상 간에는 90°의 위상차를 갖게 되며 두 신호간의 상호간섭은 없다. 그러므로 이중모드 필터는 두 개의 독립적인 직교 공진모드가 공존하게 되며, 입력포트와 출력포트간의 신호 결합은 이 두 개의 직교 공진모드간의 결합에 의해 발생된다. 따라서 (그림 2)와 같은 필터는 두 개의 직교하는 공진모드간의 결합을 이용한 이중모드필터라 부른다.

(그림 2)와 같은 이중모드 필터의 일반적 구성요건은 다음과 같다.

- (1) 입출력포트는 90°의 위상차를 가져야 함.
- (2) 입사파를 반사할 수 있는 임피던스 불연속부를 공진기내에 최소 1군데 이상 가지고 있을 것.
- (3) 회로구조상에 대칭면이 존재할 것.

이와 같이 한파장 페루프 공진기를 이용한 이중모드 필터는 여러 가지의 임피던스 불연속부를 도입한 형태로 구성이 가능하다.

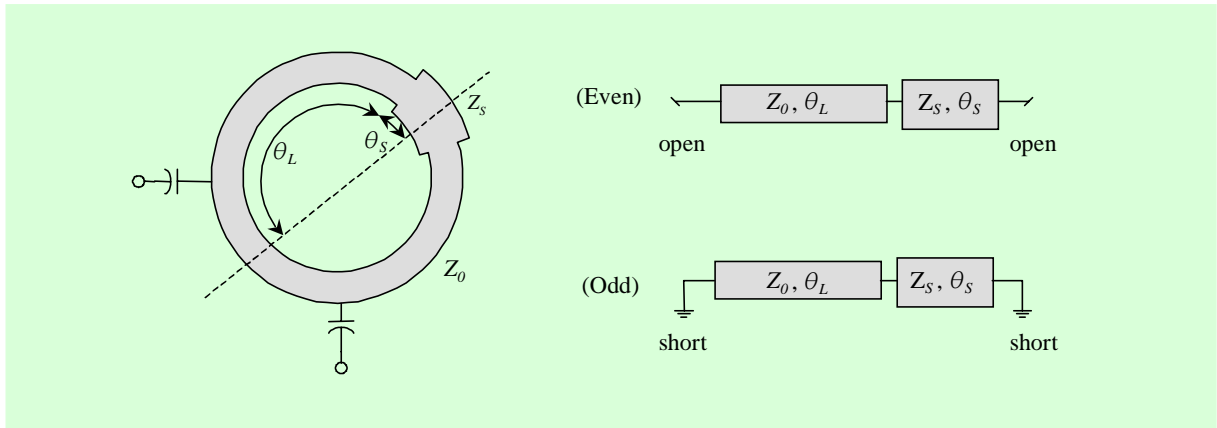
(그림 3)은 몇 가지 이중모드필터의 구조를 나타낸 것이다. (그림 3a)의 구조는 공진기내에 계단형 임피던스 불연속부를 갖고 있는 구조이다. (그림 3b)의 구조는 임피던스 불연속부가 종단이 개방된 open stub를 갖는 구조이고 (그림 3c)는 커패시터 또는 인덕터 등의 집중소자를 갖는 구조이다. 두 개의 직교모드간 결합계수 즉, 필터의 대역폭은 계단형 선로의 임피던스와 공진기의 임피던스 비, open stub의 길이 또는 집중소자의 소자값에 의해 조정될 수 있다.

III. 한파장 페루프 공진기의 응용

여기에서는 한파장 페루프 공진기의 두 개의 직교 공진모드의 결합을 이용한 이중모드 필터의 구성 및 해석방법과 독립적인 직교공진모드를 이용한 4포트 디바이스의 특성, 공진기의 소형화 기법 및 공진조건, 소형화된 공진기를 이용한 듀플렉서의 응용예 등에 대해 기술한다.

1. 이중모드 필터

(그림 4)는 계단형 임피던스 불연속부를 갖는



(그림 4) 계단형 임피던스 불연속부를 갖는 이중모드 필터

이중모드 필터의 구조를 나타낸 것이다. 여기서 Z_0 는 페루프 공진기의 특성임피던스이며 Z_s 는 계단형 임피던스 불연속부의 특성임피던스이다. 이 구조에서는 직교모드간의 결합량은 전송선로의 임피던스 비에 의해 결정된다. 필터의 결합계수 k 는 구조의 대칭을 이용한 우모드(even mode) 및 기모드(odd mode) 여기에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$k = \frac{|f_{even} - f_{odd}|}{f_{even} + f_{odd}} \quad (2)$$

여기서 f_{even}, f_{odd} 는 각각 우모드 공진주파수, 기모드 공진주파수를 나타내며 등가회로의 입력 어드미턴스를 이용하면 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\text{(우모드)} \quad \tan\left(\frac{\theta_s f_{even}}{f_0}\right) + R_z \tan\left(\frac{\theta_L f_{even}}{f_0}\right) = 0 \quad (3)$$

$$\text{(기모드)} \quad R_z \tan\left(\frac{\theta_s f_{odd}}{f_0}\right) + \tan\left(\frac{\theta_L f_{odd}}{f_0}\right) = 0 \quad (4)$$

여기서, R_z 는 페루프 공진기의 특성임피던스와 계단형 임피던스 불연속부의 특성 임피던스의

비(Z_0/Z_s)이다. $\theta_s \ll \theta_L$ 일 경우 필터의 결합계수 k 는 다음식과 같이 표현할 수 있다.

$$k = \frac{\theta_s}{\theta_L} \left| R_z - \frac{1}{R_z} \right| \approx \frac{\theta_s}{\pi} \left| R_z - \frac{1}{R_z} \right| \quad (5)$$

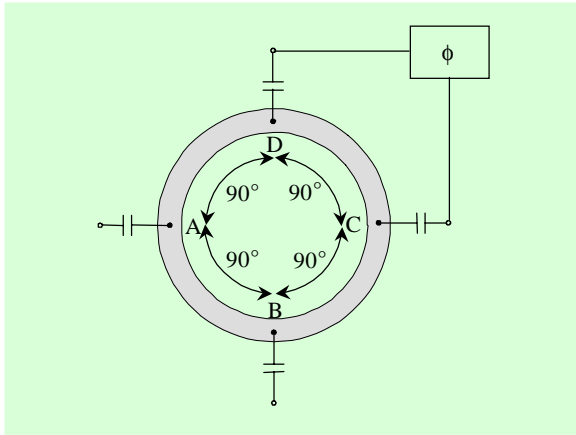
또한 우모드 공진주파수 f_{even} 과 기모드 공진주파수 f_{odd} 의 평균값을 나타내는 중심주파수 f_{center} 는 다음과 같이 주어진다.

$$f_{center} = \frac{f_{even} + f_{odd}}{2} = \frac{\pi f_0}{\theta_L} \approx f_0 \quad (6)$$

따라서 $\theta_s \ll \theta_L$ 인 경우 계단형 임피던스 불연속부를 갖는 이중모드 공진기의 중심주파수는 상기식에서 기술한 것과 같이 균일한 임피던스를 갖는 페루프 공진기(UIR)의 공진주파수와 같은 값을 가지게 되며, 필터의 결합량은 임피던스비 R_z 에 의해 결정됨을 알 수 있다.

(그림 4)의 이중모드 필터의 단점은 대역폭의 조정이 R_z 에 의해 결정됨으로 기 제작된 필터의 대역폭 조정 및 대역폭확장이 어려운 것이다.

(그림 5)는 대역폭 조정과 대역폭 확장을 쉽게 하기 위해 위상변위기가 도입된 이중모드 필터



(그림 5) 위상변이기를 갖는 이중모드 필터

의 구조이다. (그림 5)에서는 공진기내에 임피던스의 불연속부를 갖고 있지 않지만 공진기의 C점과 D점 사이에 위상변이기를 삽입함으로써 임피던스 불연속부를 갖게한 효과를 얻을 수 있다. 위상변이회로는 커패시터, 인덕터, 증폭기 및 이를 조합한 회로들로 구성이 가능하며, 이 위상변이기의 역할은 (그림 5)의 C점과 D점간의 위상을 180°의 정수배로 변화시킨다.

(그림 5)의 동작원리는 이중모드필터의 동작 원리와 유사하게 설명될 수 있다. 즉, 공진주파수 f_0 를 갖는 마이크로파 신호가 입력포트에 여기되면 입력포트와 공진기 간의 결합 커패시터에 의해 전계결합이 발생하며 공진기의 A점에서의 마이크로파 신호의 전계는 최대가 된다. 그 후 공진기로 결합된 신호는 시계방향 및 반시계방향으로 공진기를 따라 전송하게 된다. 반시계방향으로 전송된 신호가 B점(결합점 A로부터 전기적 길이가 90° 떨어진 곳)에 도달하였을 경우 전계의 세기는 최소가 되어 출력포트로의 전계결합이 발생하지 않는다. 또한 시계방향으로 전송된 신호가 D점에 도달하였을 경우도 마찬가지로 공진기와 위상변

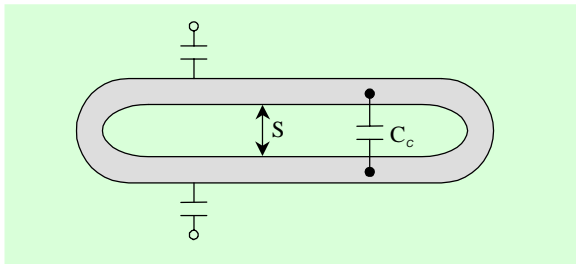
이기와의 전계결합이 발생하지 않는다. 그러나 시계방향 및 반시계방향으로 전송된 신호가 C점(결합점 A로부터 전기적 길이가 180° 떨어진 곳)에 도달하였을 경우는 마이크로파의 전계의 세기가 최대가 되며 이 경우에는 결합점 C에서 공진기와 위상변이기와와의 전계결합이 발생한다. C점에서 전계결합된 신호는 위상변이 회로로 전송되며 위상변이 회로의 출력부에서는 다시 전계의 세기가 최대가 되어 위상변이기 출력부의 결합 커패시터에 의해 공진기와 전계결합을 한다. 전계결합된 신호는 공진기의 D점에 도달한 후 다시 시계방향 및 반시계 방향으로 공진기를 따라 전송된다. 이 신호가 공진기의 A점과 C점에 도달하였을 경우 전계의 세기는 최소가 되어 입력포트 및 출력포트로 전계결합이 발생하지 않게 되나 B점에 도달하였을 경우 전계의 세기가 최대가 되어 출력포트로 전계결합이 발생한다. 이상에서 설명한 것과 같이 (그림 5)와 같은 위상변이기가 도입된 이중모드 필터는 위상변이기를 통과하기 전의 신호와 위상변이기를 통과한 후의 신호간에는 90°의 위상차이를 갖는 두 개의 직교 공진모드의 결합에 의한 필터로 간주할 수 있다.

위상변이기로 이용되는 회로로는 반파장 전송선로, 인덕터 또는 커패시터 등의 수동소자 및 전력증폭기 등과 같은 능동소자 등이 이용될 수 있다. 전력증폭기 등과 같은 능동소자가 위상변이회로로 이용될 경우 증폭특성을 갖는 튜닝필터 등의 제작이 가능하다.

(그림 5)와 같은 위상변이기를 갖는 이중모드 필터의 특징으로는 위상변이된 마이크로파의 공진폭은 루프 공진기의 특성임피던스 및 위상변이 회로의 특성임피던스에 의해 결정된다. 따라서 공진폭은 위상변이회로의 임피던스 조정으로 조절

할 수 있으므로 open stub 또는 계단형 임피던스 불연속부 등을 갖는 구조에 비해 필터의 대역폭 조정이 쉽고, 전력증폭기 등의 능동소자를 추가할 수 있으므로 능동 필터, VCO 등의 부품에 응용될 수 있다.

(그림 6)은 평행결합선로가 도입된 이중모드 필터의 구조이다. 필터의 대역폭은 결합선로의 이격거리 S 와 삽입된 집중소자 C_c 를 가변하면 조정이 가능하다. (그림 6)과 같은 이중모드 필터의 특징은 대역폭 확장이 용이하고 원형공진기를 사용하지 않았기 때문에 원형공진기가 갖고 있는 중심부의 필요 없는 영역(dead space)을 줄일 수 있으므로 폭이 좁은 필터의 구현이 가능하기 때문에 소형화가 가능한 장점이 있다.



(그림 6) 평행 결합선로가 도입된 이중모드 필터

2. 두개의 직교 공진모드를 응용한 4포트 디바이스

두개의 직교공진모드 간의 결합을 이용하여 2-포트 디바이스인 이중모드 필터 등을 구현한 반면에 두개의 직교공진모드 간의 결합을 이용하지 않고 독립적인 공진모드를 이용하고자 할 경우에는 4-포트 디바이스가 이용된다.

(그림 1)과 같은 기본 폐루프 공진기를 이용한 4-포트 디바이스는 원형 루프의 중심부인 필요 없

는 영역(dead space)을 가지고 있기 때문에 부품 구현시 크기면에서 불리한 형태이다. 이와 같이 dead space를 줄이고 크기를 작게하는 방법은 (그림 7)과 같이 폐루프 공진기의 기본구조에 커패시터 첨가하면 크기를 줄일 수 있다.

(그림 7a) 및 (그림 7b)의 소형화된 공진기의 공진조건은 ABCD 행렬요소를 이용하여 구하면 다음과 같다.

(그림 7a)의 구조:

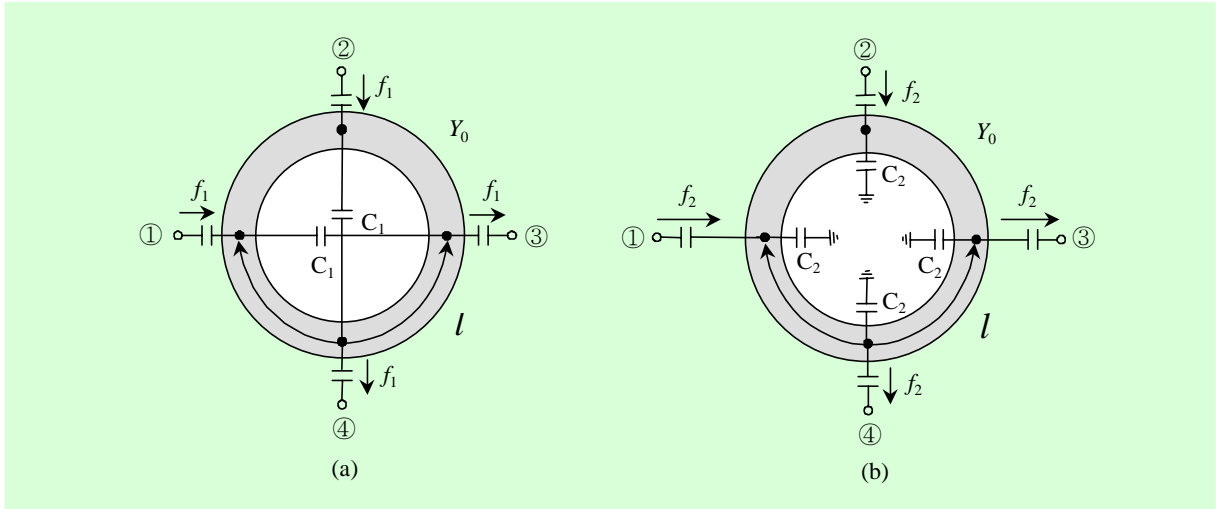
$$Y_o \sin \theta_{01} + \omega C_1 (\cos \theta_{01} - 1) = 0 \quad (7)$$

(그림 7b)의 구조:

$$(Y_o^2 - \omega^2 C_2^2) \sin \theta_{02} + 4Y_o \omega C_2 \cos \theta_{02} = 0 \quad (8)$$

여기서, $\theta_{01} = 2\pi f_1 l / v_p$, $\theta_{02} = 2\pi f_2 l / v_p$ 이다.

상기식에서 Y_o 는 링 공진기의 특성 어드미턴스($1/Z_0$)이며, v_p 는 위상속도이다. f_1 및 f_2 는 (그림 7a) 및 (그림 7b)의 공진주파수이다. 포트 ①에 공진 주파수를 갖는 신호를 여기하면 전압분포는 전송선로를 따라 정현파 분포를 한다. 이 때 포트 ② 및 ④의 전압분포는 최소가 되며 포트 ③은 최대 전압분포를 한다. 동일한 방법으로 만일 포트 ②에 공진주파수를 갖는 신호를 인가하면 포트①, ③에서는 전압이 최소, ②, ④에서는 전압이 최대가 된다. 그러므로 물리적인 길이가 공진기의 $\lambda/4$ 간격을 갖는 두 개의 포트는 공진주파수에서 공간적으로 직교하게 되며, 전기적으로 상호간에 간섭이 없는 분리된 신호가 전송된다. 이중모드 루프 공진기를 이용할 경우 이러한 아이솔레이션 특성은 매우 유용하며 따라서 높은 아이솔레이션 특성으로 인해 좋은 감쇠특성을 갖는 필터의 제작



(그림 7) 소형화된 페루프 공진기 구조

이 가능하고 상호간섭이 없는 오실레이터 및 듀플렉서 등의 설계를 가능하게 한다.

마이크로스트립 직접회로 등의 응용분야에서는 집중소자의 구현이 어렵기 때문에 집중 소자 대신 open stub를 이용한 이중모드 공진기를 구현할 수 있다. (그림 8)은 open stub를 이용한 이중모드 공진기이다. 이 회로의 공진조건은 (그림 7)의 경우와 같이 ABCD 행렬을 이용하여 구하면 다음과 같다.

$$4Y_o Y_s \tan \theta_s + 4Y_o^2 \tan \theta_{03} - Y_s^2 \tan^2 \theta_s \tan \theta_{03} = 0 \quad (9)$$

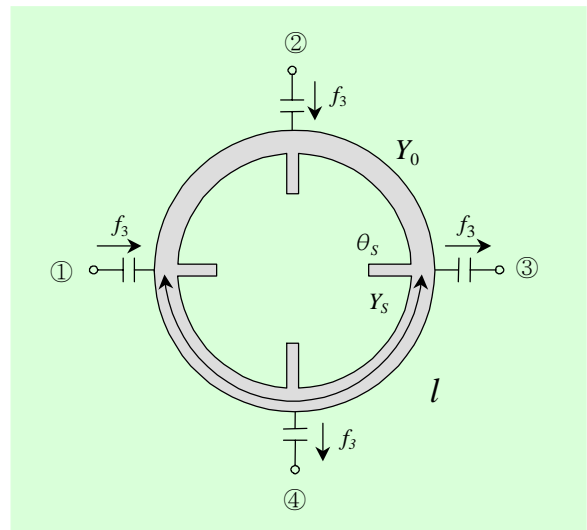
여기서, Y_s : open stub의 특성 어더미턴스,

θ_s : open stub의 전기적 길이,

$$\theta_{03} = 2\pi l f_3 / v_p,$$

f_3 : (그림 8)의 공진기의 공진주파수이다.

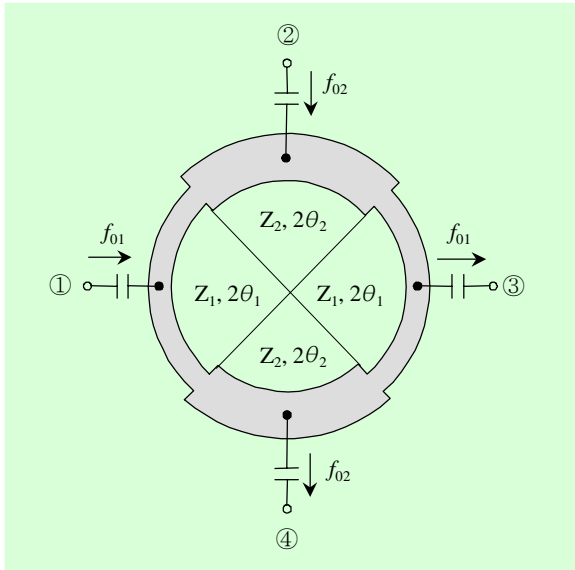
(그림 7), (그림 8)의 소형화된 페루프 공진기 구조에서 두 개의 직교공진 포트간에 삽입된 커패시터 값 또는 open stub 길이나 특성 임피던스



(그림 8) Open Stub를 이용한 이중모드 페루프 공진기

를 서로 다르게 선택하면 서로 다른 두개의 공진 주파수를 갖는 직교공진 특성을 얻을 수 있다. 예를 들면 (그림 7a)의 구조에서 포트 ①-③간에는 C1을 삽입하고 ②-④간에는 C1을 삽입하지 않을

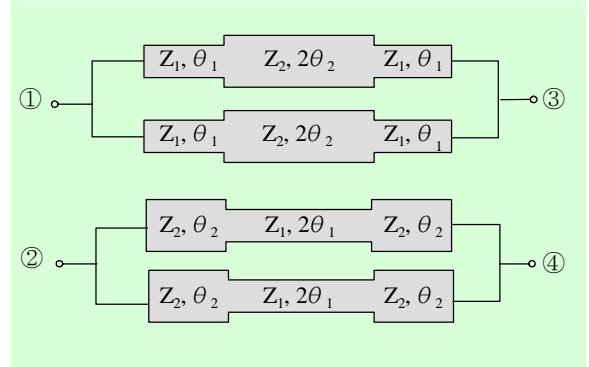
경우 ①-③포트의 공진주파수는 f_1 이 되며, ②-④ 간에는 기본 루프공진기의 공진주파수인 f_0 가 된다. 여기서 $f_0 > f_1$ 인 관계를 만족 한다. 이러한 원리를 이용하면 분파기 또는 듀플렉서 등의 설계가 가능하다.



(그림 9) 직교모드를 이용한 두개의 공진주파수를 갖는 SIR의 구조

두개의 서로 다른 공진주파수를 갖는 폐루프 공진기의 또 다른 구조는 (그림 9)와 같다. (그림 9)는 전송선로 특성 임피던스 Z_1, Z_2 로 이루어진 계단형 폐루프 공진기이다. 전송선로 특성의 임피던스 비는 R_z 이다. 특성임피던스 Z_1, Z_2 인 선로의 중심부에 전기적 신호를 여기하면 (그림 10)과 같은 서로 다른 두 개의 독립적인 공진모드가 나타난다.

(그림 10)의 두 개의 공진모드는 $\lambda/2$ 형태의 SIR가 병렬로 연결된 구조이다. 공진조건은 $\theta_1 =$



(그림 10) 두개의 공진모드

$\theta_2 = \theta_0$ 일 때 다음과 같다.

$$\tan^2\left(\frac{\theta_0 f_{01}}{f_0}\right) = \frac{1}{R_z} \quad (10)$$

$$\tan^2\left(\frac{\theta_0 f_{02}}{f_0}\right) = R_z \quad (11)$$

여기서 f_0 : 균일한 특성 임피던스를 갖는 폐루프 공진기(UIR)의 공진주파수

f_{01} : 포트 ①-③간의 공진주파수

f_{02} : 포트 ②-④간의 공진주파수

θ_0 : 주파수 f_0 에서 UIR총길이의 $1/8$

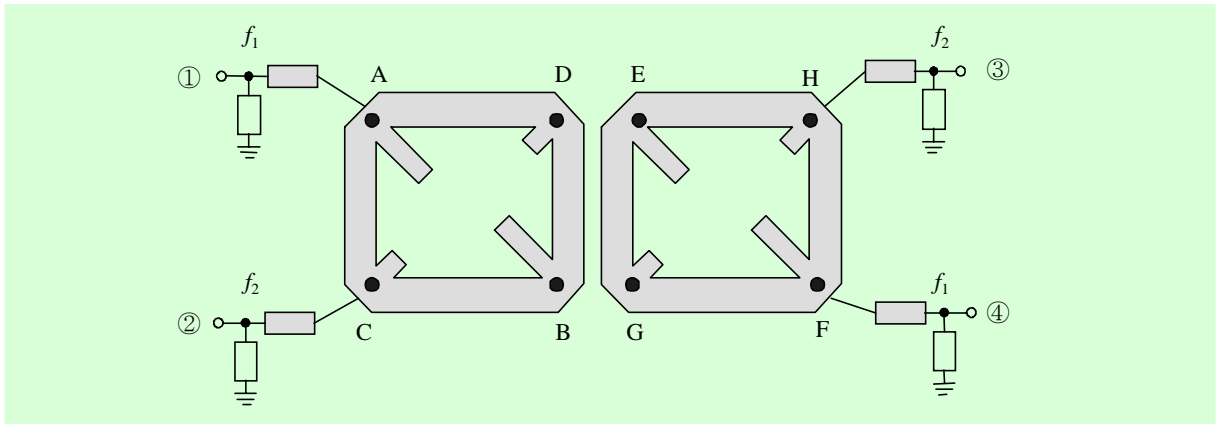
두 개의 공진주파수 차이는 f_0 로 정규화하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{4}{\pi} \left| \tan^{-1} \sqrt{\frac{1}{R_z}} - \tan^{-1} \sqrt{R_z} \right| \quad (12)$$

상기식으로부터 두 개의 공진주파수 차이는 전송선로의 비(R_z)에 의해 결정됨을 알 수 있으며, 전송선로의 비 R_z 는 듀플렉서 또는 필터 설계의 주요 파라미터가 된다.

3. 듀플렉서 응용

(그림 11)은 두 개의 독립적인 공진주파수를 갖는 필터의 구조이다. (그림 11)의 필터는 (그림



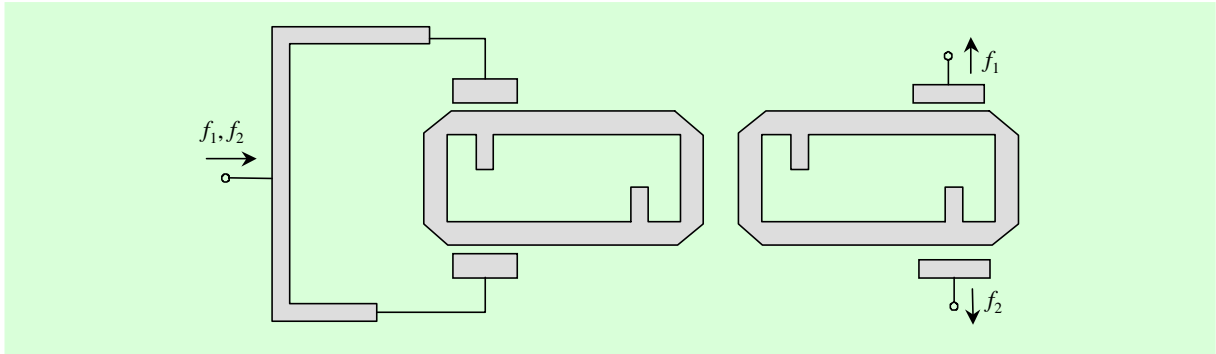
(그림 11) 두 개의 독립적인 공진주파수를 갖는 필터

8)의 open stub를 갖는 이중모드 페루프 공진기를 사각형 형태의 페루프 공진기로 구성하고 공진기와 공진기 간의 결합은 평행 결합선로로 이루어진 형태이다. 두 개의 서로 다른 공진주파수 특성을 가지기 위해 open stub의 길이가 서로 다르게 구성되었다.

(그림 11)의 필터에는 두 개의 공진모드가 있게 되며 두 모드 간에는 직교하는 특성을 갖게 된다. 첫번째 공진모드는 (그림 11)에서 포트 ①-④ 간의 모드이고 두 번째 공진모드는 포트 ②-③ 간의 모드이다. 공진주파수 f_1 을 포함한 마이크로파 신호가 포트④에 여기될 경우 첫번째 한파장 페루프 공진기는 주파수 선택적으로 신호를 여파하며, 주파수 f_1 을 갖는 신호만이 남게 된다. 이 신호는 한파장 페루프 공진기의 A, B점에서는 전계의 세기가 최대가 되며, C 및 D점에서는 최소가 된다. 또한 이 신호는 첫번째 한파장 페루프 공진기와 두 번째 한파장 페루프 공진기의 평행 결합선로에 의해 두 번째 한파장 페루프 공진기로 결합되며, 이 때 두번째 한파장 페루프 공진기의 E,

F점에서는 전계의 세기가 최대가 되며, G, H점에서는 최소가 된다. 두 번째의 공진모드도 첫번째 공진모드와 같은 방법으로 설명될 수 있다. 두 공진모드간 주파수 차이는 한파장 페루프 공진기의 Open Stub의 길이 차이에 의한 것이다. 또한 두 개의 공진모드는 직교하는 특성이 있으므로 두 모드 간의 상호 간섭은 없다.

(그림 11)과 같은 필터의 주요특징으로는 두 개의 마이크로파 신호를 동시에 여파할 수 있는 특성을 가지며, 두 개의 공진주파수의 파장은 사각형 형태의 페루프의 총 길이보다 길게 되므로 한파장 페루프 공진기보다 크기가 작은 소형의 필터를 제작할 수 있다. 또한 Open stub 길이조정으로 공진주파수의 조정이 계단형 임피던스 불연속부 또는 Open Stub 불연속부를 갖는 이중모드 필터보다 쉽고 정확한 공진주파수의 설정이 가능하고 한파장 페루프 공진기를 다단으로 연결할 수 있으므로 감쇠특성이 우수하고 높은 Q를 갖는 필터의 제작이 가능하다는 것이다. 또한 두 개의 마이크로파 신호를 동시에 주고 받을 수 있는 특성을 지



(그림 12) 듀플렉서 구성예

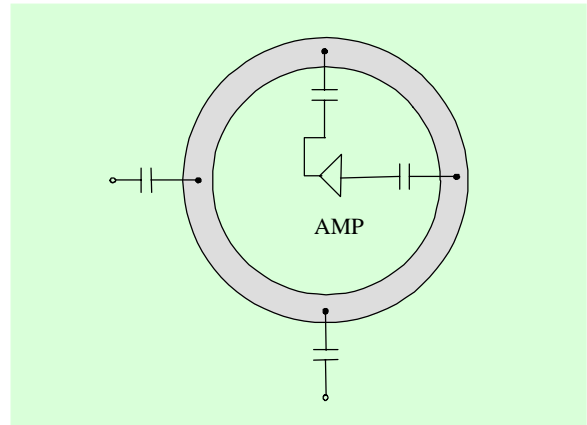
니고 두 모드간의 아이솔레이션 특성이 우수하므로 마이크로파용 듀플렉서의 응용이 가능하다.

(그림 12)는 (그림 11)의 필터를 이용한 듀플렉서의 구성예이다. (그림 12)과 같은 한파장 페루프 공진기의 직교공진을 이용한 듀플렉서 등은 페루프 공진기가 갖고 있는 직교공진 특성으로 인해 송수신 신호의 간섭이 없기 때문에 별도의 송수신 분리 장치를 마련할 필요가 없다. 또한 마이크로 스트립 또는 스트립라인 형태로 구현이 가능하기 때문에 평면구조로 제작가능하고 제조단가가 싸다. 또한 공진주파수의 정확한 설정이 용이하고 주파수 조정이 쉽게 이루어질 수 있으며, 제작시 재현성이 우수하기 때문에 대량 양산이 가능하다.

4. 기 타

(그림 13)은 이중모드 페루프 공진기를 이용하여 구성한 동조 증폭기의 기본구조를 나타낸 것이다. 이 구조는 위상변이기가 삽입된 이중모드 필터에서 위상변이기가 증폭기로 대체된 구조이다.

루프형 공진기를 이용한 동조증폭기 이외에



(그림 13) 동조증폭기의 기본구조

도 저위상잡음을 갖는 VCO 및 오실레이터의 구성에 대한 내용도 보고되고 있다.

IV. 맺는말

본 고에서는 한파장 페루프 공진기가 갖는 기본특성을 요약하여 정리하였다. 한파장 페루프 공진기에는 두 개의 직교공진모드가 있으며, 두 개의 직교모드간에는 상호 간섭이 없는 특성이 있었다. 한파장 페루프 공진기의 응용에는 크게 두

가지가 있었으며, 첫번째는 두 개의 직교모드간의 결합을 이용한 이중모드 필터이며, 두 번째는 직교 공진모드를 독립적으로 이용하는 4포트 디바이스로의 응용이다.

페루프 공진기의 크기를 줄일 수 있는 몇 가지 구조에 대한 공진조건과 주요 특징을 기술하였으며, 서로 다른 공진주파수를 갖는 공진기에 대한 내용도 기술하였다. 또한 이중모드 필터의 일반적인 구성요건과 몇 가지 형태에 대한 이중모드 필터의 해석방법과 주요 특징 등을 기술하였다. 초창기의 이중모드 필터는 계단형 임피던스 불연속부 또는 Open stub 등과 같은 임피던스 불연속부를 두어 필터를 설계하였으나 공진주파수 조정 및 대역폭 확장 등에 어려움이 있었다. 이를 보완한 형태의 이중모드 필터로는 임피던스 불연속부 대신에 위상변이기를 삽입함으로써 공진주파수 조정 및 대역폭 확장이 용이한 필터가 개발되었다. 또한 페루프 공진기의 직교공진 특성을 이용한 두 개의 독립적인 신호를 동시에 여과할 수 있는 필터의 구조에 대해 기술하였으며, 이를 이용한 듀플렉서의 구성예에 대해서도 기술하였다. 그 외에도 한파장 페루프 공진기를 응용한 동조증폭기 및 VCO 등의 통신용 부품에 대해서도 언급하였다.

이와 같이 한파장 페루프 공진기를 이용한 필터 및 듀플렉서 등은 마이크로 스트립라인 형태로 구현이 가능하기 때문에 MIC 및 MMIC에 적합하고 소형 및 경량이고, 제조단가가 싼 부품의 개발이 가능하다. 또한 능동소자 등과의 결합이 가능하기 때문에 다양한 형태의 마이크로파용 응용부품이 개발가능하다. 그러므로 한파장 페루프 공진기의 이중모드 특성을 이용한 듀플렉서 등의 통신

용 부품은 차세대 이동통신용 부품으로 각광받을 것으로 예상된다.

참고 문헌

- [1] Toshio Nishikawa, "RF Front End Circuit Components Miniaturized Using Dielectric Resonators for Cellular Portable Telephones," *IEICE Trans.*, Vol. E 74, No. 6, June 1991, pp. 1556–1562.
- [2] Haruo Matsumoto *et al.*, A Miniaturized Dielectric Band-pass Filter Using a Monoblock Ceramic for Portable Telephones, *Technical Reports of IEICE MW94-49*, pp. 7–12.
- [3] Toshio Ishizaki *et al.*, "A Very Small Dielectric Planar Filter for Portable Telephones," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, Vol. 42, No. 11, 1994, pp. 2017–2022.
- [4] Hiroyuki Yabuki *et al.*, "Stripline Dual-Mode Ring Resonators and Their Application to Microwave Devices," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, Vol. 44, No. 5, May 1996, pp. 723–729.
- [5] J.A. Curtis and S.J. Fiedziuszko, "Miniature Dual Mode Microstrip Filters," *1991 IEEE MTT-S Dig.*, 1991, pp. 443–446.
- [6] M. Fujimura *et al.*, Excitation Methods of Orthogonal Resonant Modes for the Stripline Ring Resonator and Their Application to Filtering Devices, Technical Report of IEICE, MW92-115, pp. 15–22.