

이동통신용 서큘레이터/ 아이솔레이터의 설계 방법 및 제품특성

鄭 重 成*, 尹 相 元**

西江大學校 産業技術研究所*,

西江大學校 電子工學科**

서큘레이터/아이솔레이터는 무선 통신시스템의 RF front-end를 구성하는 부품의 하나로, 수동소자이면서도 비가역 전달특성을 갖는다. 이러한 비가역 전달특성을 이용하여 RF 회로간의 간섭을 줄여 주거나, 핵심 부품의 보호 또는 임피던스 정합용으로 널리 쓰인다. 서큘레이터는 원칙적으로 단자수에 제한이 없지만 3개의 단자로 이루어진 것이 대부분이다. 이상적인 3-단자 서큘레이터는 각 단자에서 반사가 없고 서큘레이션 방향으로는 삼입손실이 없으며, 역방향으로 전달되는 신호에 대해서는 큰 감쇄특성을 갖는다.

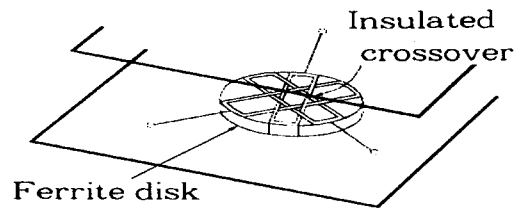
서큘레이터는 페라이트와 같은 비가역 전파특성을 이용하며, 그 내부는 자석, 페라이트 공진기와 이 공진기를 결합시키는 단자들로 이루어진다. 초기의 서큘레이터는 자이레이터(Gyrator)나 Faraday rotator를 이용하였으며 junction형 서큘레이터가 등장한 것은 1950년대 말이다^[1]. 서큘레이터는 사용되는 공진기의 형태에 따라 집중정수형과 분포소자형으로 나뉘지며, 분포소자형 공진기의 크기는 동작 주파수에 반비례하므로 상대적으로 낮은 주파수인 UHF 영역 이하에서는 공진기가 너무 커져 주로 집중정수형으로 설계하는 것이 보통이다.

아이솔레이터는 도파관형의 경우 2-port이며, 원편파 자계에 대한 페라이트의 상호작용을 이용한 공명흡수형(Resonance isolator), 순방향 및 역방향의 전계분포를 이용한 전계편위형(Field displacement isolator), Faraday 효과를 이용한 Faraday 회전형 아이솔레이터 등이 있다. 이외에 결합선로, Fin-line, Edge-guided 모드를 이용하는 마이크로스트립라인 등 새로운 형태의 아이솔레이터가 개발되었다. 그러나, 이동통신 대역에서는 대개 서큘레이터의 한 port에 정합 부하를 연결하여 2-port를 갖는 아이솔레이터로 사용한다. 따라서 본 고에서는 이동통신 대역에서 널리 쓰이는 집중소자형 및 분포소자형 평면 junction 서큘레이터를 중심으로 기술하고자 한다.

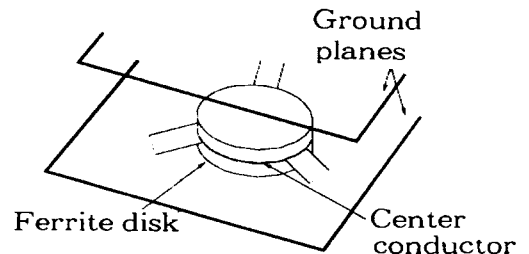
II. 서클레이터/아이솔레이터의 구성 및 동작

3GHz 이하의 이동통신 대역에서는 그림 1과 같은 집중소자(Lumped element)형 또는 분포소자(Distributed)형 스트립라인 junction 서클레이터가 널리 사용되고 있다. 대개 원형 디스크 모양의 페라이트는 핵심소재로서 ferrimagnetic 재료로 외부 자계에 따라 히스테리시스 특성을 갖는다. 이러한 페라이트의 포화 자화도($4\pi M_s$; 단위 Gauss), 비유전율과 외부에서 인가되는 자계의 세기(단위 Oersted, $1G = 1 Oe$)가 서클레이터의 크기와 특성을 결정한다. 페라이트는 $MO \cdot Fe_2O_3$ 의 분자식의 spinel 구조를 가지며, 금속원소인 $M(Ni, Mg, Mn$ 등)에 따라 그 명칭이 결정된다. 즉, M 이 니켈이면 니켈 페라이트라 부른다. 또한, 희토류 원소(Rare Earth Element)인 Yttrium이 주요한 구성 원소인 YIG(Yttrium Iron Garnet) 역시 페라이트와 같은 결정 구조를 갖는 garnet이며, 특성 또한 spinel 페라이트와 유사하기 때문에 많이 사용된다. 페라이트에 비해 YIG는 손실이 적은 특성을 갖고 있다. 포화 자화도는 페라이트(또는 YIG)의 구성 성분에 따라 100-200G부터 수천 G의 크기를 가지며, 이에 따라 인가되는 자계의 세기가 결정된다. 페라이트가 외부자계 하에서 갖는 공명(resonant) 주파수는 포화 자화도와 외부 자계의 크기에 비례한다. 이 공명주파수 위에서 또는 아래에서 서클레이션이 일어나도록 설계할 수 있다. 보통 두 개의 원형 디스크 페라이트(또는 YIG) 사이에 도체로 된 패턴이 삽입되어 그림1(a)에서와 같이 입출력 port와 연결되며 전자파 에너지는 이 패턴을 따라 전달된다. VHF 대역에서는 파장이 너무 길어 그림(a)와 같은 모양의 집중소자형으로 설계하는 것이 보통이다(그림1(a)에서 도체선 위에 있는 페라이트가 생략 되었음). 그림과 같이 세 선로를 결합시켜 한 선로에 신호가 인가되면, 한 선로로는 결합되고 나머지 한 선로로는 결합되지 않도록 하는 데, 이는 외부자계가 인가된 페라이트(또는 YIG)의 특성이 이러한 비가역적인 결합 특성을 유발한다. 세 Port에서 동일한 symmetry(3-

fold symmetry)를 가져야 하므로, 세 입력선을 모두 둘로 분리하여 대칭적으로 꼬는 형태로 제작한다. 두 분리된 도체는 입력의 반대쪽 페라이트 끝에서 접지면에 단락시켜 분포회로에서 볼 때 인덕턴스로 동작시킨다. 세 개의 분포회로 인덕턴스는 등가회로적으로는 그림2와 같은 결합된 세 개의 인덕턴스가 된다. 외부 자계가 인가되지 않으면 한 인덕터에 인가된 신호가 동일하게 나머지 두 인덕턴스에 동일한 크기로 신호가 결합되나, 외부자계가 인가되면 두 인덕터 중 하나만 결합되는 비가역 결합 특성이 얻어진다. 따라서, 구조와 동작은 집중소자의 경우와 다르지만, 등가회로가 쉽게 인덕터로 구해지기 때문에 집중소자형이라고 불린다. 이러한 형태의 서클레이터는 소형으로 설계가 용이하기 때문에 단말기용으로 2GHz 대역에서도 초소형으로 설계가 가능하다. 반면에 그림1(b)와 같은 스트립라인 junction 형태에서는 페라이트(또는 YIG)의 위 아래면이 도체로 싸이고 옆면은 개방된 분포소자형의 공진기를 구성한다. 따라서, 서클레이션은 이 공진기의 공진 주파수를 중심으로 일어난다. 이 공진주파수는 페라이트(또는 YIG)의 비유전율과 그 크기에 의해 결정되므로, 낮은

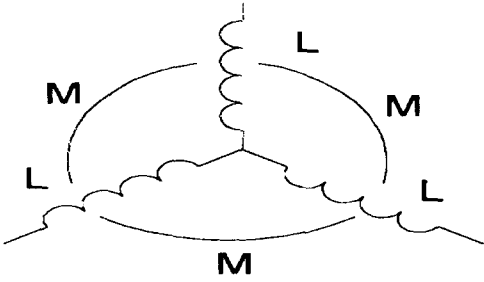


(a) 집중소자형



(b) 분포소자 스트립라인 junction형

(그림 1) 서클레이터의 종류



(그림 2) 집중소자형 junction의 등가회로

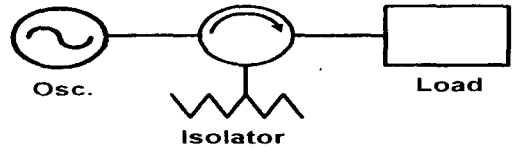
주파수에서는 크기가 너무 커지는 문제가 있다. 외부자계 세기와 포화화도의 크기에 따라 동작 대역폭이 결정되며 정합회로를 적절히 설계하여야 광대역 동작 특성을 얻을 수 있다. 이 형태는 아래서 간략히 언급할 도파관형을 대체하여 10GHz 이상의 주파수까지 사용이 가능하며, 그림1(b)에서 위 도체가 없이 페라이트 기판 상에 마이크로스트립형으로 제작된 제품도 있다.

III. 서클레이터/아이솔레이터의 종류 및 응용

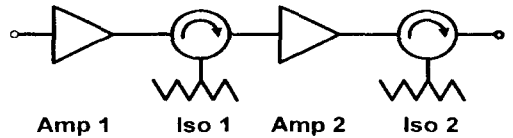
X-밴드 이상의 높은 주파수에서는 대전력, 낮은 삽입손실 특성을 갖는 도파관 서클레이터가 이용되며 도파관 형태로 광대역 특성을 원할 경우 Ridge waveguide를 사용한다. 집중정수형 서클레이터는 비교적 낮은 주파수 대역에서 사용되며 전력이 커지면 그 크기도 커진다. 그 사이 주파수 대역에서는 광대역에 걸쳐 동작하며, 경제적인 스트립라인 혹은 마이크로스트립라인 형태의 평면형 서클레이터를 많이 사용한다(그림 1). 인가되는 외부자계의 방향에 따라 서클레이션 방향이 바뀌므로 이를 이용하면 고주파 스위치로 사용할 수 있다. 이와같은 특성을 갖는 서클레이터는 주로 도파관 형태로 제작되며 페라이트 안에 전선을 삽입하여 여기에 인가하는 전류의 극성을 바꿔 동작시킨다^[2].

무선통신에서는 대개 하나의 안테나를 사용하여 송·수신을 동시에 하므로 송·수신 신호를 적절히 분리시키려면 서클레이터를 이용한 듀플렉서

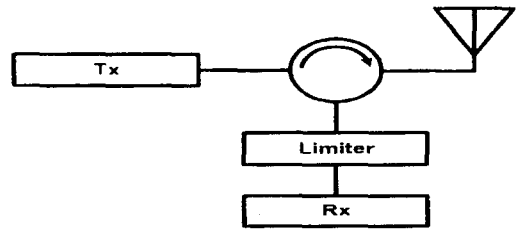
(Duplexer)가 필요하다(그림 3(c)). 발진기의 부하가 부정합됨으로써 발진 주파수가 틀어지는 현상(load pulling)을 방지하기 위해서는 발진기와 부하 사이에 서클레이터를 장착하여 신호원과 부하를 분리해야 한다(그림3(a)). 1단 혹은 여러 단에 걸쳐 있는 증폭기의 경우 부정합으로 인해 생기는 문제점을 제거하기 위해 서클레이터/아이솔레이터가 사용된다(그림3(b)). 특히 대전력 증폭기와 부하 사이에는 서클레이터를 장착하는 것이 필수적이다. 이외에도 서클레이터는 그림3(d)와 같이 전력증폭기 출력 합성기에 널리 사용된다.



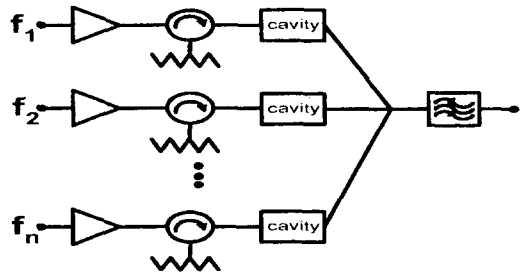
(a) 신호원에 대한 강제 정합 응용



(b) 다단 증폭기의 정합용



(c) 듀플렉서용



(d) RF 전력 합성기

(그림 3) 서클레이터의 응용 예

IV. 서클레이터의 해석 및 설계

페라이트^[3]와 YIG는 페리 자성체(ferrimagnetic material)로서 인접 원자의 자기 모멘트(magnetic moment)가 서로 반대의 방향을 가지나 완전히 상쇄되지는 않는다. 외부에서 자계가 인가되면 자성체 내부에 큰 자속이 유도되며 hysteresis 특성을 갖는다. 페라이트는 비저항값이 커서 손실이 적으며 결정구조에 따라 spinel, hexagonal형이 있으며 YIG는 garnet의 일종이다. 고주파 대역에서 페라이트는 외부에서 직류 자계를 인가하지 않으면 투자율 μ 가 일반 유전체와 마찬가지로 스칼라 양으로 나타나지만 직류자계가 인가되어 자화된 상태에서는 이 투자율이 텐서(tensor)량으로 표시되며 z방향으로 포화자화되어 있는 경우, 무한 구조에 대한 페라이트 투자율은 다음과 같다.

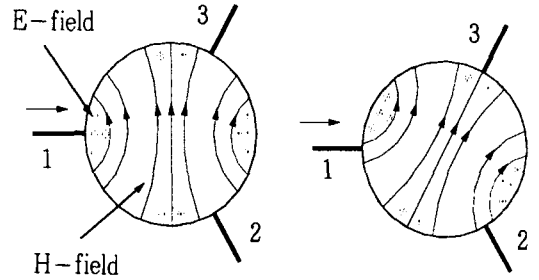
$$[\mu_r] = \begin{bmatrix} \mu - j\chi & 0 \\ j\chi & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, μ 및 χ 는 사용주파수, 포화자화도 $4\pi M_s$, 페라이트 내에 인가되는 외부 자계의 함수이다. 페라이트는 유전체가 갖고 있는 손실항 외에 자성체 손실항을 더 갖고 있다.

1. 원형 디스크 공진기를 사용한 분포형 서클레이터^[4, 5, 6, 7]

페라이트 원형판 공진기가 자화되지 않은 경우에 페라이트는 단순히 비유전률 ϵ_r 을 갖는 유전체 공진기로 페라이트 공진기 내의 전자계 분포는 시계 방향으로 회전하는 모드와 반시계 방향으로 회전하는 모드가 같은 위상 정수를 갖게되어 두 모드는 축퇴된 하나의 모드로 나타난다($n=1$ 모드의 경우). 여기에 z 방향으로 외부의 충분히 큰 직류 자계가 인가되면 투자율은 텐서(tensor)량이 되며 이때 축퇴되어 있던 공진 모드가 분리되어 나타난다.

외부자계가 인가되지 않은 상태에서 공진하고 있는 경우, 단자 1에서 입사한 신호가 서로 반대 방향으로 진행하여 단자 2 및 단자 3에서 같은 크기 및 같은 위상으로 만나므로 단자 2, 3에서 신호의 크기 및 위상이 같다(그림 4(a)).



- (a) 자계를 걸지 않은 상태의 전자계 분포($n = \pm 1$)
 (b) 자계가 인가되어 서클레이션이 일어날 때의 전자계 분포($n = \pm 1$)

(그림 4) 페라이트 디스크 공진기의 전자계 분포

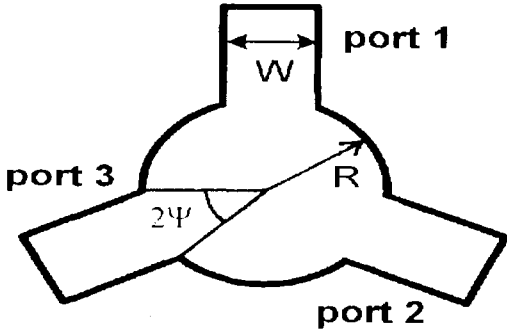
페라이트 공진기가 자화됨에 따라 전자계 분포가 회전하며 그림 4(b)와 같이 전자계가 회전하는 정도는 인가되는 직류 자계에 따라 결정된다. 그림 4(b)처럼 30°회전하면 한 단자는 완전히 분리되어 서클레이션이 일어난다. 이와 같이 전자계가 회전하는 개념을 수식화하기 위하여 서클레이터 경계의 자계 성분에 대해 경계조건을 인가하여 각 단자의 전류, 전압을 계산하면 대칭적인 구조로 이루어진 비가역 소자의 일반적인 임피던스 행렬을 얻는다.

그림 5와 같은 구조에서 단자가 결합된 구간을 제외한 경계면에서 자계 벽을 가정하고 근사적으로 서클레이터의 임피던스 행렬을 구할 수 있으며 서클레이션 조건

$$Z_{11} = 0 \quad (k_e R = 1.84) \quad (2)$$

$$Z_{12} = -R_0 \quad \left(R_0 = \frac{\sqrt{3}(1.84)R_0 \sin \Psi}{\pi(\chi/\mu)} \right) \quad (3)$$

에서 공진기 크기 및 인가되는 외부 직류 자계의



〈그림 5〉 스트립라인 서큘레이터의 구조

세기를 결정할 수 있다.

서큘레이터는 외부에서 인가되는 자계의 크기에 따라 공명 아래(below resonance), 공명(resonance), 공명 위(above resonance)로 나눌 수 있으며 이는 ferrimagnetic 공명을 기준으로 인가되는 자계의 세기와 동작 주파수로 구분한다. 공명 아래 영역은 외부 자계가 동작 주파수에서 ferrimagnetic 공명을 일으키는데 필요한 자계보다 작게 인가하는 경우이다^[8].

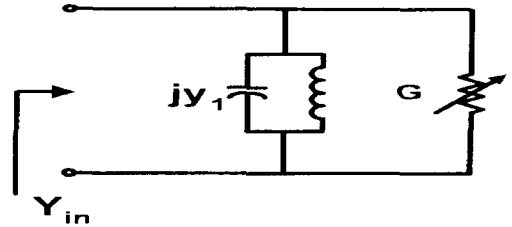
서큘레이션이 일어나는 동작주파수에서 junction 서큘레이터는 그림 6과 같이 병렬 공진회로로 나타낼 수 있다. 한 단자가 분리됐다고 가정하면

$$Y_{in} = G_0 + jy_1 \quad (4)$$

이 되며 y_1 은 junction의 주파수 특성을 결정해 주며 G_0 는 입력단자의 임피던스 레벨 선택에 영향을 준다. 1-단자 등가 회로는 junction 외부에 정합회로를 설계하는데 유용하게 이용된다.

2. 집중정수형 서큘레이터

집중정수형 소자를 이용한 경우에는 해석이 용이하나 상대적으로 작은 공진기를 사용하므로 Q가 낮아 삽입손실은 junction 형태의 서큘레이터보다 크다. 페라이트 디스크로 둘러싸인 도선에 흐르는 전류에 의해서 유도되는 RF자계를 균일하게 유지하기 위해서는 이 도선을 wire 형태보다는 스트립라인의 구조를 여러 가닥으로 만들어(스트립라인



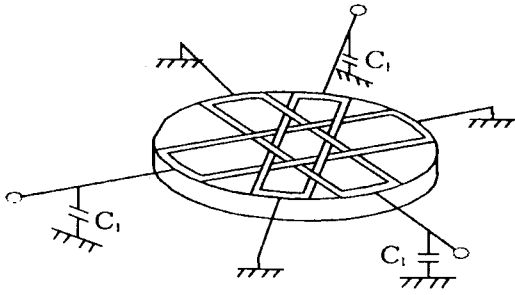
〈그림 6〉 서큘레이션 주파수 부근에서의 1단자 등가 회로

결합선로의 형태) 이들을 서로 대칭적으로 교차시키는 것이 효과적이다(그림 7(a)). 여기서 절연된 도선이 교차되면서 생기는 캐패시턴스를 무시한 구조에서 서큘레이션이 일어나려면 μ 가 0이 되어야 한다. 실제로 이러한 페라이트는 없으므로 서큘레이터를 구현하려면 위의 기본적인 구조를 변형시켜야 한다. 실제로는 도선이 교차하면서 생기는 크로스오버 캐패시턴스와 결합하여 공진이 일어나 서큘레이터로 동작이 가능하다.

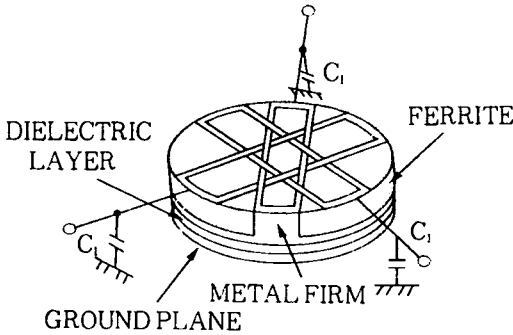
그림 1(a)의 구조에서 각 단자에 병렬로 캐패시터 C_i 을 단 경우가 Konishi에 의해 처음 제안되었으며^[9], 보다 일반적인 형태의 구조가 Knerr에 의해 제안되었다^[10]. 그림8은 그림7(b)의 특성을 해석한 결과이다.

3. 임의 모양을 한 평면형 공진기를 이용한 분포형 서큘레이터

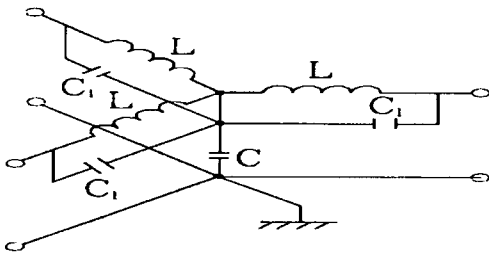
서큘레이터에 사용되는 공진기의 모양을 원형이나 삼각형과 같은 구조에서 변형시켜 특성을 개선할 수 있다. 원형 디스크, 삼각형 등 극히 제한적인 형태의 공진기만이 해석적인 방법에 의해 공진 주파수 및 전계분포를 구할 수 있으며, 공진기가 임의의 형태를 가진 경우에는 해석적인 해를 구하기가 어려우므로 수치해석 방법을 사용한다. 1970년대 후반에 들어서면서 삼각형 공진기가 디스크형 공진기에 비해 방사 손실이 작은 것으로 알려지고, 이를 이용한 서큘레이터 제작이 실험적으로 이루어지면서 삼각형 외에 육각형, Y자형 등의 3-fold symmetry를 갖는 공진기를 사용한 서큘레이터에 대한 해석이 시도되었다^[11, 12, 13, 14]. 그림 9는 3-port 평면형 junction 서큘레이터로 사용 가능한



(a) Konishi가 제안한 구조



(b) Knerr가 제안한 구조

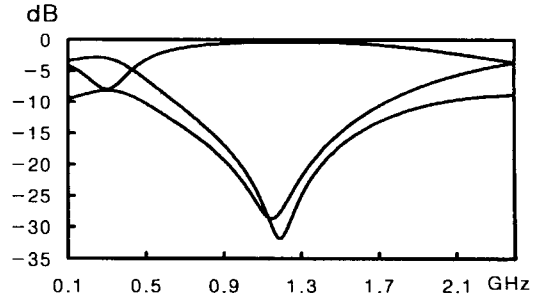


(c) (b)구조의 등가회로

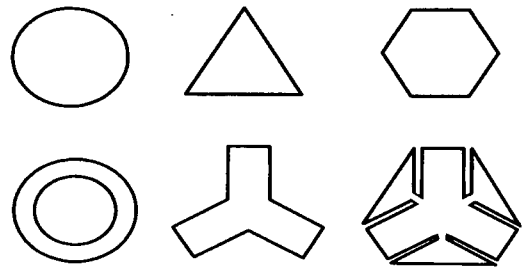
〈그림 7〉 스트립라인 결합선로 된 집중정수형 서클레이터

여러 3-fold symmetry를 갖는 공진기 형이다.

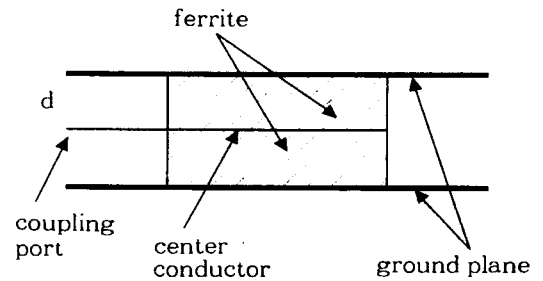
임의의 모양을 한 평면형 서클레이터 회로는 그림 10과 같다. 자화된 페라이트 공진기가 스트립라인 형태로 놓이며, 가운데 도체면의 경계면에 단자 P_i 가 연결되어 있다. 각 단자의 넓이는 W_i 로 나타내며 공진기의 나머지 경계는 개방되어 있으므로 완전 자기 도체(Perfect Magnetic Conductor)로 가정한다. RF 전압에 대해 유한요소법 해석 결



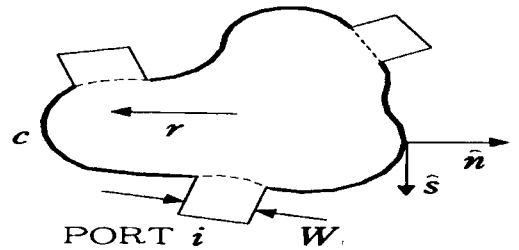
〈그림 8〉 그림 7(b)의 해석결과($4\pi M_s=235G$, $H_{int}=150 Oe.$, $C=6pF$, $C_1=1pF$)



〈그림 9〉 서클레이터에 사용되는 페라이트 공진기의 모양



(a)



(b)

〈그림 10〉 임의의 모양을 한 공진기를 이용한 평면형 서클레이터의 구조

과와 그린함수(Green function)를 이용하여 단자를 결합시킨 서큘레이터의 특성을 유도할 수 있다.

그림 11에 원형 디스크 서큘레이터의 특성을 유도요소법에 의한 해석결과를 [7]에 제시된 것과 비교하였다. 이 서큘레이터는 동작 주파수가 인가된 직류자계에 의해 결정되는 f_H (Ferrimagnetic resonance frequency)보다 높은 공명 아래 영역 (Below resonance region)에서 동작한다. 그림 10 (b)에서 단자의 결합 각이 작은 경우 ($\psi=0.1$) 결합 단자에 의한 섭동이 비교적 작은 경우이므로, 독립된 페라이트 공진기의 공진 주파수(8.7GHz, 11.1GHz)와 유사하다. 결합 각이 점점 커져 $\psi=0.3$ 에 이르면 병렬 공진을 하던 두 모드는 하나의 모

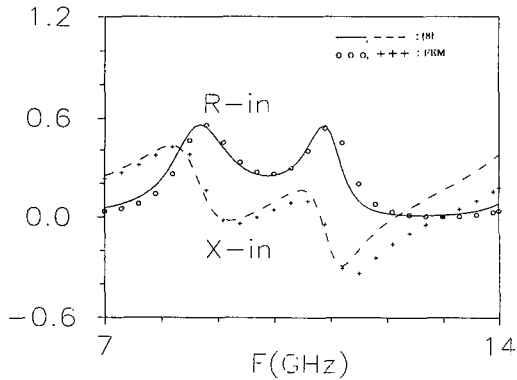
드로 겹쳐져 나타나 그림 5와 같은 1단자 등가회로로 나타낼 수 있다.

그림 11에서는 제작한 서큘레이터의 특성으로 서큘레이션이 일어나는 근방에서 병렬 공진기 형태로 동작함을 보여준다($H_{int}=150 Oe.$, $C=6pF$, $C_1=1pF$ marker→계산치, 실선 → 실험치)

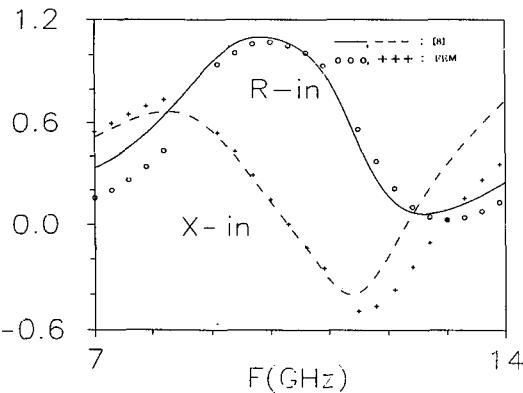
그림 12는 클로버형 공진기를 이용한 서큘레이터의 특성으로 인가된 직류자계는 1500Oe 정도이다. 그림 13은 육각형 공진기와 이것의 옆면을 recess한 공진기로 설계한 서큘레이터의 특성을 나타낸다.

5. 서큘레이터의 광대역설계 및 제품현황

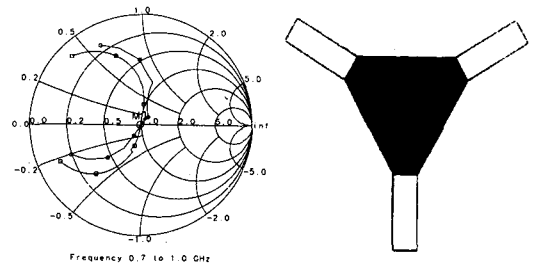
서큘레이터의 대역폭은 사용하는 페라이트의 모양, $4\pi M_s=235G$, 인가되는 자계의 세기, 단자의 결합폭 등에 따라 결정된다. 공진기와 결합단자만으로 충분한 대역폭을 얻을 수 없는 경우는 공진기 외부에 정합회로를 구성하는데 서큘레이터의 1-단자 등가회로를 이용하여 정합조건 찾을 수 있으며 이 조건은 공진기의 Q, 포화자화도 및 외부 자계에 의해



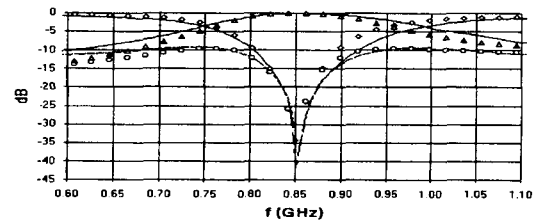
(a) $\psi=0.1$ 인 경우



(b) $\psi=0.3$ 인 경우



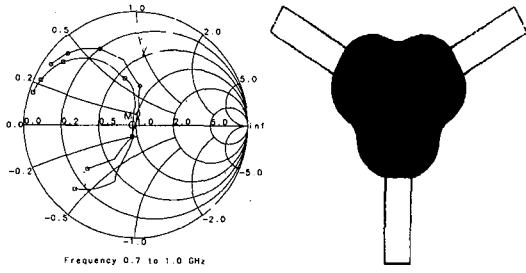
(a) 입력 임피던스



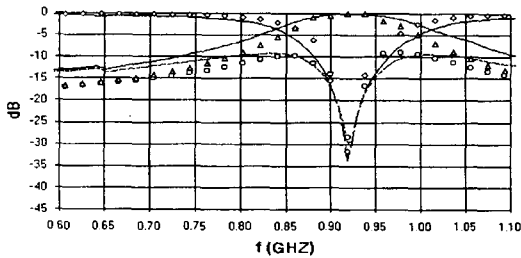
(b) 서큘레이터 산란행렬

(그림 11) 원형 공진기를 이용한 서큘레이터의 주파수 응답 해석결과

(그림 12) 육각형 공진기를 이용한 서큘레이터의 주파수 응답



(a) 입력 임피던스

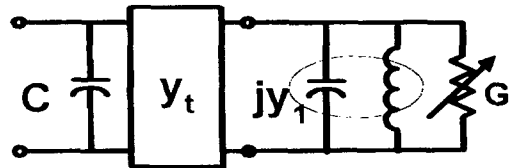


(b) 서클레이터의 산란행렬

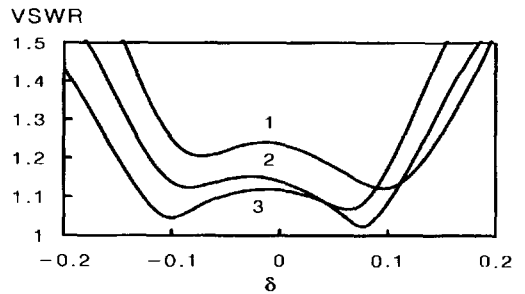
〈그림 13〉 클로버형 공진기를 이용한 서클레이터의 주파수 응답

제한이 된다. 1-단자 등기회로부터 정합회로를 설계하는 방법이 제시되었으며^[16], 그림 14는 $\lambda/4$ 변성기 및 병렬 콘덴서 이용하여 계산한 서클레이터의 VSWR특성이다

Bosma등에 의한 서클레이터 해석은 f_M 에서 $2f_M$ 에서 동작하는 것이 얻을 수 있는 가장 넓은 대역이었다^[7]. Schloemann은 이 이론을 보다 확장하여 2 octave 이상의 대역폭을 갖는 서클레이터를 설계하였다^[17]. 페라이트 내부의 직류자계가 $4\pi M_s$ 보다 작고 인가된 주파수가 $f_M(=r \cdot 4\pi M_s)$ 보다 작으면 유효투자율이 음이 된다. 이 경우 낮은 직류자계에 의한 삽입손실의 증가는 페라이트 공진기

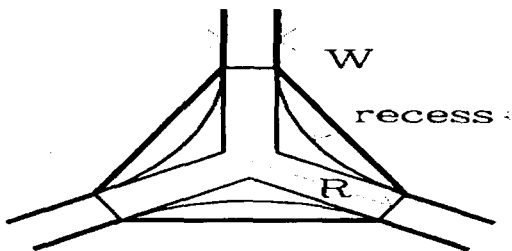


(a)



(b)

〈그림 15〉 $\lambda/4$ 변성기 및 병렬 콘덴서를 이용한 서클레이터의 VSWR특성: $(\delta_0 = \frac{BW}{f_0} = 0.2, VSWR=1.1, kR=1.8085, w_0C=0.0(1), w_0C=0.1(2), w_0C=0.2(3))$.



〈그림 14〉 육각형 공진기의 recess에 따른 서클레이터 동작 주파수의 변화

(페라이트 : TTG-1004, $R=10\text{mm}$, $w=7.3\text{mm}$) ① 육각형 공진기, ② 공진기 안쪽으로 2.4 mm recess된 공진기, ③ Y자형 공진기를 사용한 서클레이터의 특성

내에 직류자계가 불균일하게 인가되는데서 원인을 찾을 수 있다. 페라이트의 높이 대 지름의 비가 1 : 10인 경우 $f < 0.87f_M$ 인 대역에서 삽입손실이 증가하며 페라이트 손실까지 고려하면 낮은 직류자계에 의한 손실은 f_M 까지 이른다. 낮은 직류자계에 의한 손실은 서클레이터 주파수 대역폭을 크

게 제한하므로 이를 개선하기 위해서 페라이트 위에 구형돔(dome)을 설치하여 자체가 균일하게 인가되도록 하였다. 이 경우 사용가능한 최소 주파수는 $f_M/2$ 정도이다.

초소형의 집중정수형 서클레이터의 경우 결합선로를 끄는 대신에 양면기판을 이용한 인쇄회로를 페라이트 사이에 삽입하는 방법이 활용되고 있으며, thin-film 기술을 이용하여 X-밴드까지 동작주파수를 끌어올리고 있다. 이동통신 단말기에 사용되는 서클레이터/아이슬레이터는 800 MHz, 1800 MHz 대역에서 7mm×7mm×3mm로 무게 0.8g 이하의 제품이 표면실장형으로 상용화 되어 있다. 대전력용의 평면형 서클레이터는 공진기의 모양을 변화시켜 UHF 이하의 낮은 대역에서 설계하는 기술이 시도되고 있으며 수 watt - 150 watt의 평균 허용전력을 갖는다. 보다 큰 허용전력 특성을 갖는 서클레이터/아이슬레이터는 일반적으로 도파관형을 이용한다(표1).

V. 결 론

이동통신용 무선통신 시스템에 널리 사용중인 집중정수형 및 분포형 서클레이터/아이슬레이터에 대한 동작원리 및 설계에 필요한 기본 이론들을 간략하게 소개하였다. 집중정수형이나 원형 디스크 서클레이터와 같이 해석적인 풀이가 간단한 경우는 현재 상용화되어 있는 범용의 최적화 프로그램을 이용하여 설계에 필요한 데이터를 구할 수 있다. 임의 모양을 한 공진기를 이용한 평면형 서클레이터의 경우 유효요소법을 사용하여 공진기의 모양, 페라이트의 포화자화, 직류 자계 등을 변화시켜 이 특성을 최적화 하는데 많은 계산시간이 필요하나 일단 구조나 재료가 고정되어 고유치 해석이 완료되면 단자의 결합 폭을 변경하여 공진기 외부에 정합회로를 구성할 경우 별도의 추가되는 고유치 해석 없이 계산할 수 있는 장점이 있다. 이

〈표 1〉 이동통신용 서클레이터의 제품규격

모델명	주파수 (GHz)	삽입손실 /분리도 (dB)	VSWR (max)	허용전력 (평균, W)	크기(mm)	비고
D01S15P02	0.145-0.174	0.5/20	1.12	30	46×51×17	Formem
C8709	0.65-1.0	1.0/13	1.6	150	54.5×56.5×20.5	Dorado
C8822A	0.78-0.96	.0.7/15	1.5	10	45×45×17	Dorado(lumped)
D01C09D19	0.820-0.960	0.4/20	1.18	100	60.5×54.7×23.5	Forem
CU407A1F -836.5-1T	0.824-0.849	0.9/15	1.5	2.5	7.3×7.3×4	TDK(lumped)
CE06A	0.890-0.960	1.5/10	2.0	2.5	6.8×6.9×4	Murata(lumped)
C8736	1.0-2.0	1.0/15	1.5	75	98×87.5×22.5	Dorado
C4087	1.0-2.0	0.8/14	1.6	150	115.6×93.3×26.5	Dorado
C47894	1.7-2.6	0.9/24	1.1	2200	1730×438×630	Dorado(wg)
CE07A	1.895-1.920	0.9/15	1.5	2.5	7×7×3	Murata(lumped)
C4088	2.0-4.0	0.6/15	1.45	250	75.6×62.8×25	Dorado
D01B22P02	1.7-2.1	0.25/27	1.09	100	45×50×30	Forem

와는 별도로 선택한 구조의 페라이트 junction 특성을 network analyzer로 측정한 후 외부에 정합회로를 삽입하여 서클레이터가 되도록 하는 방법이 있다.

서클레이터/아이솔레이터와 같은 비가역 소자에 대한 연구는 다른 RF 소자에 비해 덜 활성화된 상태로서 ferrite 및 YIG 소재에 대한 연구와 아울러 설계기술에 대한 지속적인 연구 개발이 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] H. N. Chait and T. R. Curry, "A new type of Y-circulator," *J. Appl. Phys., suppl.* vol. 30, pp. 152-153, Apr. 1959.
- [2] G. P. Rodrigue, "A Generation of Microwave Ferrite Devices," *Proceedings of the IEEE*, vol. 76, no. 2, Feb. 1988.
- [3] B. Lax and K. J. Button, *Microwave Ferrites and Ferrimagnetics*, McGraw-Hill, N.Y., 1960.
- [4] J. Helszajn, *Non-Reciprocal Microwave Junctions and Circulators*, Wiley, New York, 1975.
- [5] H. Bosma, "On stripline circulation at UHF," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-12, pp. 61-72, Jan. 1964.
- [6] C. E. Fay and R. L. Comstock, "Operation of the ferrite junction circulator," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-13, pp. 15-27, Jan. 1965.
- [7] Y. S. Wu and F. J. Rosenbaum, "Wideband operation of microstrip Circulators," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-22, pp. 849-856, Oct. 1974.
- [8] D. K. Linkhart, *Microwave Circulator Design*, Artech House, 1989.
- [9] Y. Konishi, "Lumped element Y circulators," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-13, pp. 852-862, Nov. 1965.
- [10] R. H. Knerr, C. E. Barnes, and F. Bosch, "A compact broad-band thin-film lumped-element L-band circulator," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-18, pp. 1100-1108, Dec. 1970.
- [11] J. Helszajn and D. S. James, "Planar Triangular Resonators with Magnetic Walls," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-26, pp. 95-100, Feb. 1978.
- [12] R. W. Lyon and J. Helszajn, "A Finite Element Analysis of Planar Circulators Using Arbitrarily Shaped Resonators," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-29, pp. 1964-1982, Nov. 1982.
- [13] T. Okoshi, and T. Miyoshi, "The planar circuit - An approach to microwave integrated circuitry," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-20, pp. 245-252, April, 1972.
- [14] 정중성, 김병욱, 전동석, 윤상원, 장익수, "임의 모양을 갖는 평면형 서클레이터의 해석," 대한전자공학회논문지, 제 33권 A편 제 5호, pp.75-84.1996
- [15] R. F. Harrington, *Time-Harmonic Electromagnetic Fields*. New York: McGraw-Hill, 1961
- [16] J. Helszajn, "Scattering matrix of junction circulators with Chebyshev characteristics," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-23, pp. 548-554, Dec. 1975.
- [17] E. Schloemann and R. E. Blight, "Broad-band stripline circulators based on YIG and Li-ferrite single crystals," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-34, pp. 1394-1400, Dec. 1986.

저자소개



尹相元

1954年 11月 9日生

1977年 2月 서울대학교 공과대학 전자공학과(학사)

1979年 2月 서울대학교 대학원 전자공학과(석사)

1984年 5月 미국 텍사스 주립대(오스틴) 전기 및 컴퓨터공학과(박사)

1984年 8月~현재 서강대학교 전자공학과 교수

주관심분야: 초고주파 및 밀리미터파 소자와 회로 설계



鄭重成

1960年 1月 1日生

1984年 8月 서강대학교 공과대학 전자공학과(학사)

1987年 2月 서강대학교 대학원 전자공학과(석사)

1996年 8月 서강대학교 대학원 전자공학과(박사)

1987年 2月~1990年 12月 국방과학연구소 연구원

1996年 8月~현재 서강대학교 산업기술연구소 전임연구원

주관심분야: 초고주파 수동 소자 설계, 수치해석