이중결합선로를 이용한 PCS용 여파기의 설계

이창화, 구본희, 김명수, 이상석
한국전자통신연구원 중소기업기술진흥본부 RF 부품팀
대전시 유성구 가정동 161번지

Design of filters with double coupled line for PCS

Lee Changhwa, Koo Bonhee, Kim Meyngsoo, Lee Sangseok
RF Component Technology Development Section, ETRI
161 Kajong-Dong, Yusong-Gu, Taejon
Tel.:042-860-5308, FAX:042-860-5804, E-mail:chlee@etri.re.kr

Abstract

We propose comb-line filter using SIR(Stepped Impedance Resonator) with two transmission line. The coupling structure of the filter is double coupled line where two coupled lines are linked with cascade. We find out the inverter function of the filter, using even and odd mode impedance. The merits of the filter are that first, we can design transmission zero point at any frequency that we wanted without using lumped elements : chip capacitors and inductors. Second, we can design small size filters. To validate the inverter function of the filter with double coupled line we designed and fabricated two-pole band pass filter with the proposed filter structure.

1. 서론

R.D.Richtmyer에 의해 유전체가 공진기로 사용될 수 있다는 것이 입증된 이후로 여러종류의 저손실, 고유전율, 작은 온도계수(Small Temperature Coefficient)의 특성을 갖는 세라믹 유전체가 유전체 공진기용으로 개발되었다[1]. 이동통신부품의 고성능화와 소형 경량화에 따라 유전체를 이용한 여파기의 형태도 단일 임피던스 공진기(UIR:Uniform Impedance Resonator) 외에도 서로 다른 특성 임피던스를 갖는 두개의 전송선로로 구성되는 스텝 임피던스 공진기(SIR:Stepped Impedance Resonator)를 이용한 여파기를 설계하였다[2]. 이동통신에서는 주파수의 효율적 이용을 위하여 송신과 수신주파수가 근접하므로 높은 감쇠특성이 필요하며, 통화품질을 개선하기 위하여 작은 삽입손실의 여파기가 요구된다. 따라서 이동통신용 여파기는 크기를 작게하고 높은 감쇠특성을 얻기 위하여 여러가지 구조의 여파기에 대하여 연구가 진행되고 있다[3][4].

본 연구에서는 두개의 전송선로로 구성되는 스텝 임피던스 공진기를 이용한 Comb-line 여파기를 제안하였다. 제안된 여파기의 결합구조는 두개의 결합선로가 Cascade로 연결된 구조이며, 기,우모우드 임피던스를 이용하여 여파기의 인버터 함수를 구하였으며, 이러한 인버터 함수를 이용하면 룸 구하여 칩 캐패시터나 인덕터와 같은 집중소자를 사용하지 않고 감쇠극을 가지도록 설계할 수 있다. 감쇠극 주파수는 각 결합선로의 기,우 모우드 임피던스를 적절히 하여 중심주파수보다 높은 주파수나 낮은 주파수에 위치하도록 설계할 수 있다. 또한 이러한 여파기 구조에서 각 공진회로는 결합선로의 기모우드 임피던스로 구성되는 스텝 임피던스 공진기와 같으므로 단락단과 개방단 결합선로의 기모우드 임피던스를 조절하여 공진기의 길이를 짧게 할 수 있다. 제안된 구조를 이용하여 PCS용 2-극 대역통과여파기를 설계하고 제작하여 이중결합선로를 이용한 인버터의 타당성을 확인하였다.

2. 이중결합선로 여파기의 인버터

4단자 결합선로를 어드미턴스 행렬로 나타내면 다음과 같다 [5].

$$\begin{bmatrix} -j(Y_e+Y_o)\frac{\cot\theta}{2} & -j(Y_e-Y_o)\frac{\cot\theta}{2} & -j(Y_e-Y_o)\frac{\csc\theta}{2} & -j(Y_e+Y_o)\frac{\csc\theta}{2} \\ -j(Y_e-Y_o)\frac{\cot\theta}{2} & -j(Y_e+Y_o)\frac{\cot\theta}{2} & -j(Y_e+Y_o)\frac{\csc\theta}{2} & -j(Y_e-Y_o)\frac{\csc\theta}{2} \\ -j(Y_e-Y_o)\frac{\csc\theta}{2} & -j(Y_e+Y_o)\frac{\csc\theta}{2} & -j(Y_e+Y_o)\frac{\cot\theta}{2} & -j(Y_e-Y_o)\frac{\cot\theta}{2} \\ -j(Y_e+Y_o)\frac{\csc\theta}{2} & -j(Y_e-Y_o)\frac{\csc\theta}{2} & -j(Y_e-Y_o)\frac{\cot\theta}{2} & -j(Y_e+Y_o)\frac{\cot\theta}{2} \end{bmatrix}$$

여기서 Y_e와 Y_o는 결합선로의 기,우 모우드 어드미턴스이며, θ는 결합선로의 전기적 길이를 나타낸다.

이중결합선로를 이용한 2-극 대역통과 여파기를 (그림 1)에 나타내었다. 공진기는 개방단 부근과 단락단 부근에서의 임피던스가 다른 두개의 전송선로로 구성된 스텝 임피던스 공진기 구조이며, 공진기 사이의 결합은 이중결합선로 사이에서 전자계의 결합에 의하여 이루어진다. 따라서 제안된 이중결합선로를 이용한 2-극 대역통과 여파기는 두개의 결합선로가 Cascade로 연결된 구조이다. 두개의 결합선로가 Cascade로 연결되어 있는 이중결합선로를 2단자 어드미턴스 행렬로

나타내면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} -j\frac{1}{2}\{y_{2o}B_o(f)+y_{2e}B_e(f)\} & -j\frac{1}{2}\{y_{2o}B_o(f)-y_{2e}B_e(f)\} \\ -j\frac{1}{2}\{y_{2o}B_o(f)-y_{2e}B_e(f)\} & -j\frac{1}{2}\{y_{2o}B_o(f)+y_{2e}B_e(f)\} \end{bmatrix}$$

여기서

$$B_o(f)=\frac{k_o-\tan\theta_1\tan\theta_2}{\tan\theta_1+k_o\tan\theta_2} \qquad B_e(f)=\frac{k_e-\tan\theta_1\tan\theta_2}{\tan\theta_1+k_e\tan\theta_2}$$

$$k_e=\frac{y_{1e}}{y_{2e}} \qquad k_o=\frac{y_{1o}}{y_{2o}} \qquad \theta_1=\sqrt{\varepsilon_r}\frac{2\pi f}{v_c}l_1 \qquad \theta_2=\sqrt{\varepsilon_r}\frac{2\pi f}{v_c}l_2$$

이다. 첨자 1, 2는 결합선로의 위치, v_c는 광속, ε_r은 유전율, l_1, l_2는 각 결합선로의 물리적 길이를 나타내며, θ_1, θ_2는 각 결합선로의 전기적 길이를 나타낸다. k_e, k_o는 두 결합선로사이의 기,우 모우드 어드미턴스의 비이다. $B_o(f)$는 우모우드로 이루어진 스텝 임피던스 공진기의 서셉턴스이며, $B_e(f)$는 기모우드로 이루어진 스텝 임피던스 공진기의 시셉턴스로서 각각 주파수에 따라 변화하는 값이다. 따라서 이중결합선로를 이용한 여파기에서 공진회로는 기보우드로 이루어진 스텝 임피던스 공진회로로 이루어지며, 결합 어드미턴스는 우모우드의 어드미턴스로 이루어진 스텝 임피던스 공진기의 어드미턴스에서 기모우드로 이루어진 스텝 임피던스 공진기의 어드미턴스 차의 반이다. 그러므로 결합회로의 인버터 함수를 기,우 모우드 어드미턴스를 이용하여 나타내면 다음과 같다.

$$J_{m}=\left|-\frac{1}{2}\{y_{2o}B_o(f)-y_{2e}B_e(f)\}\right|$$

인버터 값을 이용하여 감쇠극 주파수, 공진회로 및 결합 어드미턴스를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{y_{2e}}{y_{2o}}=\frac{B_o(f_p)}{B_e(f_p)} \qquad C_e\approx\frac{C_{01}}{1+(\frac{2\pi f_o C_{01}}{Y_o})^2}$$

$$B_1(f_o)\approx 2\pi f_o C_e-\frac{1}{2}\{y_{2o}B_o(f_o)+y_{2e}B_e(f_o)\}$$

$$Y_c=-\frac{1}{2}\{y_{2o}B_o(f_o)-y_{2e}B_e(f_o)\}$$

여기서 f_p, f_o는 감쇠극의 주파수와 공진주파수를 나타내며, Y_o는 회로의 특성 어드미턴스, C_e는 입출력단에 인결되는 캐패시턴스가 공진회로에 영향을 미치는 유효 캐패시턴스를 나타낸다. Y_c는 결합 어드미턴스, $B_1(f_o)$는 공진 주파수에서 공진회로의 시셉턴스이다. 만일 공진기의 임피던스가 일정한 단일 임피던스 공진기를 이용한 여파기에서는 $k_e=k_o=1$이므로 $B_o(f)=B_e(f)$가 되어 일반적인 Comb-line 구조의 어드미턴스 행렬과 같다. 이때에는 감쇠극 주파수가 존재하지 않는다.

3. 이중결합선로 여파기의 특성

이중결합선로를 이용한 여파기의 공진회로는 기모우드 어드미턴스로 이루어진 스텝 임피던스 공진기 구조이다. 스텝 임피던스 공진기 구조의 여파기는 임피던스를 적절히 함으로써 단일 임피던스 공진기를 이용한 여파기보다 동일한 중심주파수에서 공진기의 길이를 짧게 할 수 있다. 단락단 결합선로의 길이에 따른 공진기의 길이변화를 (그림 2)에 나타내었다. 공진주파수 1765MHz, 대역폭 30MHz일 때 유전율이 40인 유전체를 사용하였을 경우의 공진주파수에서의 이중결합선로 길이를 나타내었다. 개방단 및 단락단 우모우드 임피던스 비는 0.25에서 1.5사이를 변화하며 단락단의 길이는 공진기 길이의 1%에서 100% 까지 변화한다. 단락단 및 개방단 결합선로의 우모우드 임피던스 비(ke)가 1 일 때의 길이로 정규화하여 나타내었다. 우모우드 임피던스 비가 1일 때는 단락단과 개방단 결합선로의 우모우드 임피던스가 같은 경우이다. 즉 공진기는 단일 임피던스 공진기(Uniform Impedance Resonator)이다. ke가 작을수록 공진기의 길이를 짧게 할 수 있으며, ke 가 1 보다 작으면 개방단 결합선로의 길이가 단락단 결합선로의 길이가 같을 때 이중결합선로의 길이가 최소가 된다. 또한 ke가 1 보다 크면 공진기의 길이는 단일 임피던스 공진기의 길이보다 길게 되며, 이때는 개방단 결합선로의 길이가 단락단 결합선로의 길이가 같을 때 공진기의 길이가 최대가 된다. 또한 이중결합선로를 이용하여 여파기를 설계하면 통과대역보다 낮은 주파수나 높은 주파수에 감쇠극을 형성할 수 있다. 이러한 감쇠극 주파수는 이중결합선로의 기,우 모우드 임피던스를 적절히 함으로써 조절이 가능하다. 유전율은 40이며, 중심주파수는 1765Mhz에서 감쇠극 주파수의 변화를 (그림 3)에 나타내었다. 개방단 결합선로의 기,우 모우드 임피던스 비(k2)는 2.5이며 단락단 결합선로의 기,우 모우드 임피던스의 비(k1)가 각각 2.2, 2.4, 2.5 및 2.8일때 에 따른 감쇠극 주파수의 변화이다. k2와 k1이 같은 2.5일때는 ke에 관계없이 감쇠극 주파수는 공진주파수에서 형성된다. 만일 k1이 k2보다 작을 때에는 공진주파수보다 낮은 주파수에서 감쇠극이 형성되며, ke가 작을 수록 감쇠극의 주파수는 낮아진다. 또한 k1이 k2보다 클 때에는 공진주파수보다 높은 주파수에서 감쇠극이 형성되며, ke가 작을 수록 감쇠극의 주파수는 높아진다. 이러한 특성은 이중결합선로를 이용한 여파기의 설계에서 감쇠극 주파수를 결정하는데 이용할 수 있다.

이중결합선로를 이용한 여파기에서 중심주파수와 감쇠극 주파수에 따라 이중결합선로의 기모우드 임피던스 비가 변화할 때 개방단 결합선로의 기,우 모우드 임피던스 변화를 (그림 4)에 나타내었다. 단락단과 개방단 결합선로 길이를 같게 두며, k1을 2로 일정하게 하였으며, 단락단 결합선로의 기모우드 임피던스가 10, 20, 30, 40 일 때 ke에 따른 k2의 변화를 나타내었다. (그림 4a)는 중심주파수 1765Mhz, 감쇠극 주파수를 1850Mhz로 하였을 때 ke 변화에 따른 개방단 결합선로 k2의 변화이다. 중심주파수보다 높은 주파수에 감쇠극을 설치하면 ke가 클수록 k2는 작아지며, 단락

단 결합선로의 임피던스가 클수록 k2가 낮아진다. (그림 4b)는 중심주파수 1855Mhz, 감쇠극 주파수를 1780Mhz로 하였을 때 ke의 변화에 따른 k2의 변화이다. 중심주파수보다 낮은 주파수에 감쇠극을 형성하였을 때 ke가 작으면 k2도 작아진다. 또한 단락단 결합선로 임피던스가 작을수록 k2가 작아짐을 알 수 있다.

그러므로 이중결합선로를 이용하여 여파기를 설계하면 기,우 모우드 임피던스를 적절히 함으로써 감쇠극 주파수를 임의의 주파수에 설계할 수 있으며, 여파기의 길이를 짧게하여 소형화할 수 있다. 이중결합선로의 기,우 모우드 임피던스는 중심주파수, 감쇠극 주파수, 여파기의 길이 등을 고려하여 설계하여야 한다.

4. 이중결합선로 여파기의 설계 및 제작

무선통신에서 하나의 안테나를 사용하여 송신과 수신을 할 때 안테나 다음에 송수신 분리 여파기를 사용하게 된다. 이때 송신 여파기는 송신주파수에서 삽입손실이 작고 수신주파수에서 높은 감쇠를 가져야 하며, 수신 여파기는 수신주파수에서 삽입손실이 작고 송신주파수에서 높은 감쇠를 가지도록 설계하여야 한다. 이중결합선로를 이용하여 통과대역보다 낮은 주파수나 높은 주파수에 감쇠극을 설치할 수 있는 특성을 이용하여 (표 1)과 같은 PCS 송신용 대역통과 여파기를 설계하였다. 여파기 설계에 사용된 유전체의 유전율은 38이다. 송신측 대역통과 여파기는 수신주파수에서 높은 감쇠를 가져야 하므로 대역폭보다 높은 주파수에서 감쇠극을 가지도록 설계하여 HP사의 HFSS(High Frequency Structure Simulator)를 이용하여 특성을 (그림 5)에 나타내었다. 여파기에서 K_1은 2.094이며 K_2는 1.293이므로 중심주파수보다 높은 주파수에서 감쇠극이 존재함을 알 수 있다. 이중결합선로를 이용한 대역통과 여파기의 해석결과 설계 요구조건을 잘 만족하며, 임피던스를 조절하여 감쇠극을 중심주파수보다 낮은 주파수나 높은 주파수에 쉽게 설계할 수 있어 칩 캐패시터나 인덕터와 같은 집중소자를 사용하지 않고 감쇠특성을 향상할 수 있다. 이러한 여파기의 구조를 본 연구팀에서 개발한 ZST(Zi-Sn-TiO2)계 소재를 사용하여 PCS용 송신 여파기를 제작하였다. 제작된 여파기의 외형과 특성을 (그림 6)과 (그림 7) 및 (표 1)에 나타내었다. 유전체의 유전율은 38이며, 품질계수(Qxf)는 42,000이다. 여파기의 대량생산을 위하여 금형을 이용하여 여파기를 제작하였으며, 제작된 여파기의 크기는 7.2x5x2.5mm이다. 제작된 여파기는 개발규격을 잘 만족하며 수신주파수 대역에서 감쇠극을 가지고 있음을 보여준다.

이중결합선로를 이용하여 여파기를 설계하면 결합선로의 기,우 모우드 임피던스를 적절히 설계함으로써 외부의 회로소자를 사용하지 않고 감쇠극을 설계할 수 있으며, 감쇠극 주파수는 중심주파수보다 높은 주파수나 낮은 주파수 모두 가능하다. 또한 스텝 임피던스 공진기를 이용한 여파기의 길이를 단일 임피던스 공진기를 사용한 여파기보다 짧게 할 수 있다. 따라서 이러한 이중결합선로를 이용한 여파기는 무선통신의 대역통과 여파기 뿐만 아니라 송수신 분리여파기로 사용하면 적은수의 공진기를 사용하여 우수한 감쇠특성을 얻을 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 두개의 전송선로로 구성되는 스텝 임피던스 공진기를 이용한 Comb-line 여파기를 제안하였다. 제안된 여파기의 결합구조는 두개의 결합선로가 Cascade로 연결된 이중결합선로의 결합으로 기,우모우드 임피던스를 이용하여 인버터 함수를 구하였다. 이러한 여파기 구조는 칩 캐패시터나 인덕터 같은 집중소자를 사용하지 않고 원하는 주파수에 감쇠극을 가지도록 설계할 수 있다. 감쇠극 주파수는 각 결합선로의 기,우 모우드 임피던스를 적절히 하여 중심주파수보다 높은 주파수나 낮은 주파수에 감쇠극을 설계할 수 있으며, 감쇠극 주파수는 각 결합선로의 기모우드 비가 작으면 중심주파수에서 멀어진다. 또한 이러한 여파기 구조에서 공진회로는 결합선로의 기모우드 임피던스로 구성되는 스텝 임피던스 공진기와 같으므로 단락단과 개방단 결합선로의 기모우드 임피던스를 조절하여 공진기의 길이를 짧게 할 수 있다. 제안된 구조를 이용하여 PCS용 2-극 대역통과 여파기를 설계 및 제작하여 이중결합선로를 이용한 인버터 함수의 타당성을 확인하였다.

6. 참고문헌

[1] J.K.Plourde and Chung-Li Ren, "Application of dielectric resonator in microwave component," IEEE Trans. MTT, vol.29, pp.754-770, Aug. 1981.

[2] Sagawa M., Makimoto M. and Yamashita S., "A design method of bandpass filter using dielectric-filled coaxial resonators," IEEE Trans. MTT, vol.33, pp.152-157, Feb. 1985.

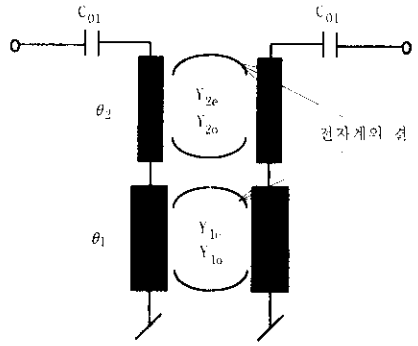
[3] D.Zhang, G.C.Liang, C.F.Shih and R.S.Withers, "Narrowband lumped-element microstrip filters using capacitively-loaded inductors," IEEE MTT/S Digest vol.WE1C-1, pp.379-382, 1995.

[4] A.F.Sheta, K.Hettak, J.Ph.Coupez, C.Person, S.Toutain and J.P.Blot, "A new Semi-lumped Microwave Filter Structure," IEEE MTT/S Digest vol.WE1C-2, pp.383-386, 1995.

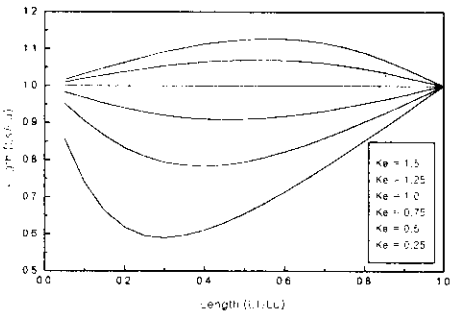
[5] G.L.Mattaei, L.Young and E.M.T.Jones, Microwave filter, Impedance-Matching Network, and Coupling Structures, New York : Mcgraw-Hill, 1964.

(표 1)송신 여파기의 개발규격 및 개발된 여파기 특성

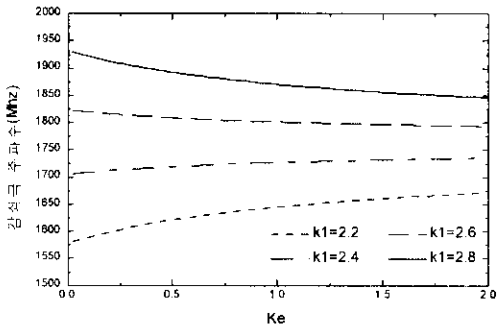
구 분	개발규격	여파기 특성
중심주파수	1765Mhz	1765Mhz
대역폭	30Mhz	30Mhz
삽입손실	1.8dB	0.877dB
VSWR	2.0	1.405
감쇠특성	18dB	21.06dB
통과대역 리플	1.0dB	0.742dB



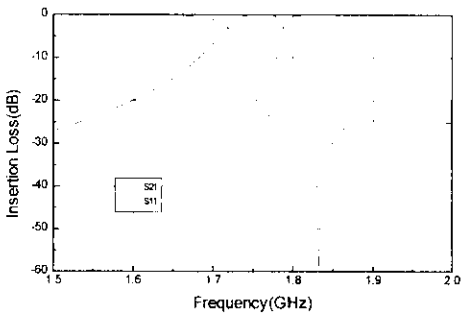
(그림 1) 이중결합선로를 이용한 여파기



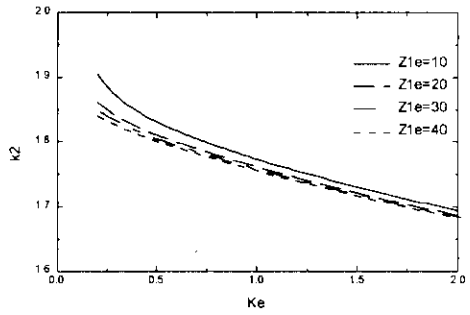
(그림 2) 단락단 결합선로에 따른 이중결합선로 길이



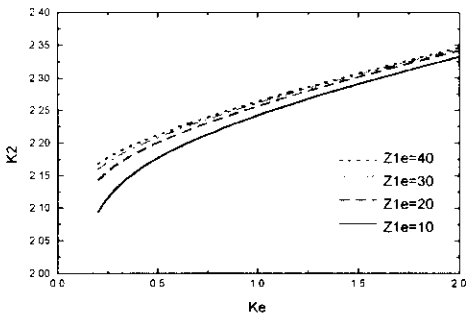
(그림 3) ke에 따른 이중결합선로의 감쇠극 주파수



(그림 5) 제안된 여파기의 HFSS 해석 결과

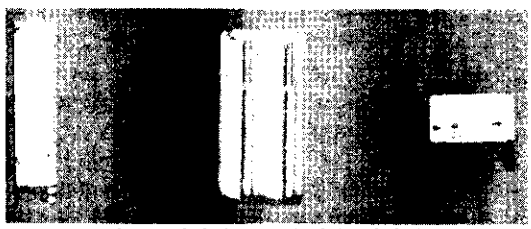


(a) 감쇠극 주파수가 공진주파수보다 높은 경우

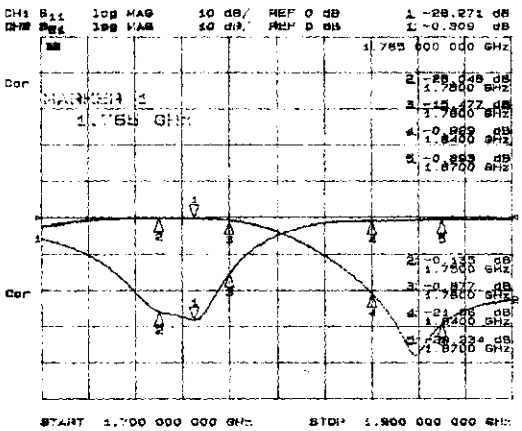


(b) 감쇠극 주파수가 공진주파수보다 낮은 경우

(그림 4) ke에 따른 개방단 결합선로의 임피던스 변화



(그림 6) 제작된 PCS 송신용 여파기 구조



(그림 7) 제작된 PCS 송신용 여파기의 전기적 특성