

삼중 결합선로 방향성결합기를 이용한 새로운 구조의 트랜스버살 필터

A Novel Transversal Filter using Triple-Coupled-Line Directional Couplers

지 기 만 · 박 동 철*

Ki-Man Jee · Dong-Chul Park*

요 약

3중 결합 구조의 방향성결합기로 구성된 새로운 구조의 트랜스버살 필터를 제안하였으며 sinc 함수를 이용하여 제안된 필터의 결합계수를 간단하게 구하는 방법도 소개하였다. 최고 -3 dB의 결합도를 갖는 일반적인 방향성결합기를 이용한 기존의 트랜스버살 필터는 방향성결합기 사이를 연결해 주는 연결선로의 영향에 의해 주파수 특성이 저하되는데 제안된 구조의 필터는 특성 저하 현상이 현저히 개선되며 또한 높은 결합도가 요구되는 광대역 필터의 경우 삽입손실 특성이 우수하다. 그리고 같은 통과대역폭의 경우 방향성결합기와 연결선로의 수가 기존 필터보다 적으며 집적도에 더 유리한 구조를 가지고 있다. 제안된 구조의 필터 특성을 제작을 통해 고찰하였으며 계산치와 비교하였다.

Abstract

A novel transversal filter using triple-coupled-line directional couplers is proposed. Simple design method which uses sinc function for computing coupling coefficients of the proposed transversal filter are also introduced. The frequency characteristics of the proposed filter are seldom degraded by the connecting sections between the cascaded directional couplers while those of the conventional transversal filter are aggravated. Moreover, the less number of the connecting sections and the directional couplers is required in the proposed filter than for the case of the conventional transversal filter having the same bandwidth. The performance of the proposed transversal filter is verified by measurement and the measured results are compared with the calculated results.

Key words : Transversal Filter, Directional Coupler, Coupled Line

I. 서 론

통신시스템이 점차 고주파수화, 소형화 되면서 유전체 필터는 마이크로파 통신시스템의 소형화에 많은 기여를 하여왔다. 그러나 더 작은 소형화와 더 높은 주파수 대역에서 사용하기 위한 공진기 형태의 필터는 공진기의 낮은 Q값에 의해 삽입손실이

증가하고 정밀한 제작의 한계성으로 튜닝이 요구된다는 단점을 가지고 있다^[1]. 이와 같은 문제점의 대안으로서 1/4 파장 방향성결합기를 이용한 트랜스버살 필터에 대한 연구가 진행되어 왔는데 트랜스버살 필터의 장점은 필터 특성이 단방향성의 전파신호에 의해 결정되며 내부에 축적되는 에너지가 공진기를 이용한 필터보다 작고 외부 임피던스와의

충남대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea)

*충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science and Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea)

· 논문 번호 : 20030116-010

· 수정완료일자 : 2003년 3월 14일

정합이 쉬우며 트랜스버살 필터는 공진기를 사용하지 않기 때문에 제작의 정교함이 덜 요구되어 튜닝 과정이 생략될 수 있다는 점이다^[2]. MMIC에 적합한 구조를 가지고 있는 트랜스버살 필터는 밀리미터파 소자뿐만 아니라 중심주파수 당 사용 대역폭이 일반적으로 25 %를 넘는 초광대역(Ultra Wideband : UWB) 통신시스템에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 예상된다^{[3],[4]}.

본 논문에서는 임의의 결합도도 구현할 수 있는 방향성결합기를 소개하였으며 이를 이용하여 기존의 트랜스버살 필터와 달리 연결선로에 의한 영향을 적게 받고 광대역의 경우 삽입손실 특성이 우수하며 같은 통과대역폭에 대해 더 적은 수의 방향성결합기가 요구되는 새로운 구조의 트랜스버살 필터를 제안하였다. 또한 기존의 트랜스버살 필터와 같이 복잡한 계산과정을 거치지 않고 간단하게 결합계수를 구하는 방법도 소개하였다. 제작 및 측정을 통해 제안된 트랜스버살 필터의 특성을 확인하였으며 계산치와 비교분석하였다.

II. 삼중 결합선로 방향성결합기

그림 1은 세 개의 층으로 구성된 넓은 면(broad-side) 결합 스트립라인 구조를 갖는 삼중 결합선로 방향성결합기의 구조를 나타낸다^[5]. 그림 1의 구조를 갖는 방향성결합기에 대해 각 출력단자에서의 출력신호에 대한 일반식이 참고문헌 [5]에 소개된 바 있으며 본 논문에서는 방향성결합기의 입출력단에 연결선로가 추가된 경우에 대해서만 자세하

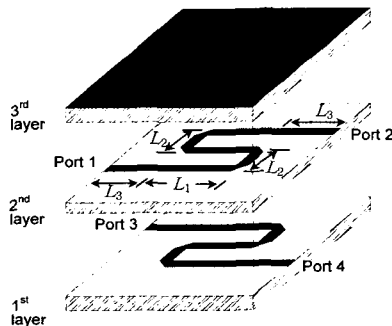


그림 1. 삼중 결합선로를 이용한 방향성결합기의 구조
Fig. 1. Structure of the directional coupler using triple-coupled lines.

다루었다. 그림에서 빗금친 부분은 세 층의 유전체 기판을 나타내며 검은색 부분은 유전체 위에 형성된 전극을 나타낸다.

그림 1에서 각 선로 L_1, L_2, L_3 의 선폭이 외부 임피던스와 정합되도록 결정되고 무손실이라 가정하면, 단자 1에 V_1 의 신호가 입력되었을 경우 단자 2, 3, 4에서의 출력 신호는 다음과 같다.

$$V_2 = V_1 e^{-j(2\phi+2\delta)} \left[\frac{(\sqrt{1-k^2})^3 - 3k^2 \sin^2 \theta \sqrt{1-k^2}}{(\sqrt{1-k^2} \cos \theta + j \sin \theta)^3} \right] \quad (1)$$

$$V_3 = V_1 e^{-j(2\phi+2\delta)} j \left[\frac{3k(1-k^2) \sin \theta - k^3 \sin^3 \theta}{(\sqrt{1-k^2} \cos \theta + j \sin \theta)^3} \right] \quad (2)$$

$$V_4 = 0 \quad (3)$$

여기서 k 는 첫 번째 층과 두 번째 층에 위치한 결합선로 한 쌍의 결합계수 θ , ϕ 그리고 δ 는 결합선로 L_1 , 비결합선로 L_2 , 입출력단에 추가된 연결선로 L_3 의 전기적 길이이다. 그림 2는 중심주파수 5.5 GHz, $L_1 = \lambda_g/4$, $L_2 = \lambda_g/8$, $L_3 = \lambda_g/8$ 이고 결합선로 L_1 의 결합계수가 각각 0.20, 0.26 그리고 0.30일 경우의 단자 2와 단자 3에서의 산란계수 특성이다. 여기서 λ_g 는 중심주파수에서의 파장이다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 5.5 GHz에서 결합선로 L_1 의 결합계수가 0.26일 때 결합 단자인 단자 3에서의 출력신호 크기는 -3 dB이다. 기존의 1/4 파장 결합선로로 구성된 방향성결합기의 경우 결합단자에서 -3 dB의 결합을 얻기 위해서는 결합계수가 0.707이어야 한다. 그러나 제안된 구조의 방향성결합기에서는 결합계수가 0.707보다 작

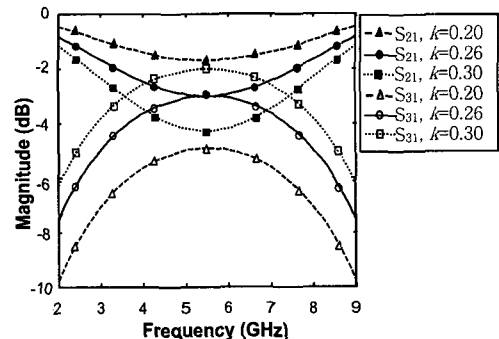


그림 2. 제안된 방향성결합기의 주파수 특성
Fig. 2. Frequency responses of the proposed directional coupler.

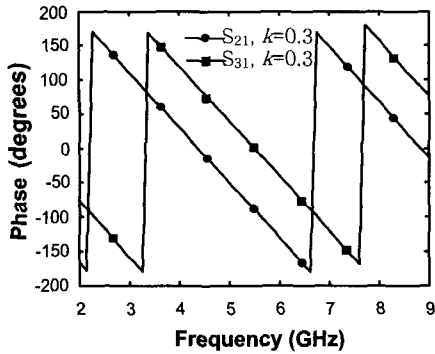


그림 3. 제안된 방향성결합기의 출력신호 위상 특성
Fig. 3. Phase characteristics of the proposed directional coupler.

아도 -3 dB 결합을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 -3 dB보다 큰 결합도 구현할 수 있다.

그림 3은 단자 1에 신호가 인가되었을 때 단자 2와 3에서 출력되는 신호의 위상을 보여주고 있다. 각 단자에서 출력되는 신호는 전체 주파수 대역에서 일정하게 90°의 위상차가 나는 것을 알 수 있다. 이 때 비결합선로의 길이를 변화시켜도 두 신호간의 상대적인 위상차는 90°로 일정하게 유지된다^[5].

제안된 방향성결합기는 종래의 -3 dB 방향성결합기와 달리 임의의 결합도를 얻을 수 있으므로 트랜스버살 필터를 구현하는데 있어서 높은 결합도가 요구되는 경우 효과적으로 사용되어 삽입손실을 감소시킬 수 있다.

III. 새로운 구조의 트랜스버살 필터

3-1 제안된 트랜스버살 필터 구조

1/4 파장 방향성결합기를 이용한 기존의 트랜스버살 필터와 달리 그림 1의 방향성결합기를 이용한 새로운 구조의 트랜스버살 필터가 그림 4에 나타나 있다. 그림에서 A_i 부분과 B_i 부분은 각각 방향성결합기와 연결선로를 나타낸다.

트랜스버살 필터의 주파수 특성은 A_i 부분에 해당하는 방향성결합기의 T 파라미터와 B_i 부분에 해당하는 연결선로의 T 파라미터로부터 계산될 수 있는데 그림 4에서 i 번째 방향성결합기의 T 파라미터인 T_{Di} 는 다음과 같다.

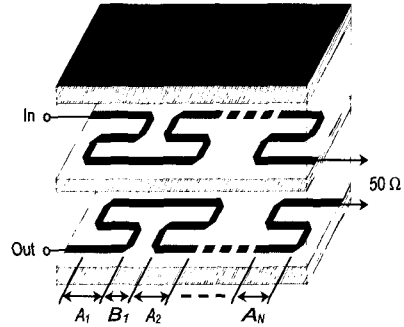


그림 4. 제안된 트랜스버살 필터의 구조
Fig. 4. Structure of the proposed transversal filter.

$$T_{Di} = \begin{bmatrix} e^{-j2\phi} \frac{F_{1i}^2 + F_{2i}^2}{F_{1i}F_{3i}} & j \frac{F_{2i}}{F_{1i}} \\ -j \frac{F_{2i}}{F_{1i}} & e^{j2\phi} \frac{F_{3i}}{F_{1i}} \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서

$$\begin{aligned} F_{1i} &= (\sqrt{1-k_i^2})^3 - 3k_i^2 \sqrt{1-k_i^2} \sin^2 \theta \\ F_{2i} &= 3k_i(1-k_i^2) \sin \theta - k_i^3 \sin^2 \theta \\ F_{3i} &= (\sqrt{1-k_i^2} \cos \theta + j \sin \theta)^3. \end{aligned} \quad (5)$$

연결선로가 무손실이며 선로간의 결합이 무시할 정도로 작다고 가정하면 i 번째 연결선로의 T 파라미터인 T_{Ci} 는 다음과 같이 주어진다.

$$T_{Ci} = \begin{bmatrix} \cos \delta_i & -j \sin \delta_i & 0 \\ 0 & \cos \delta_i & j \sin \delta_i \end{bmatrix}. \quad (6)$$

따라서 트랜스버살 필터 전체의 T 행렬 T_{total} 은 다음과 같다.

$$T_{total} = T_{D1} T_{C1} T_{D2} T_{C2} \cdots T_{CN-1} T_{DN}. \quad (7)$$

식 (7)로부터 필터의 주파수 특성은 다음 식 (8)과 같이 구해진다^[1].

$$S^{21} = \frac{T_{12total}}{T_{22total}} \quad (8)$$

3-2 결합계수

그림 4의 구조를 갖는 트랜스버살 필터를 설계하기 위해서는 방향성결합기와 연결선로의 길이를 구하고 각 방향성결합기 결합선로의 결합계수 k_i 를 계산하여 결합선로의 위치를 결정하여야 한다. 그림 5

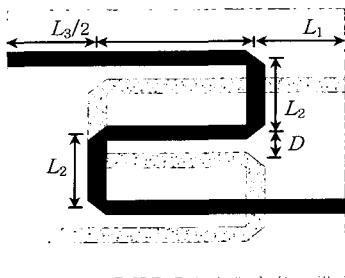


그림 5. 방향성결합기와 연결선로의 투영도
Fig. 5. The top view of a unit cell of the directional coupler and the connecting sections.

는 그림 4의 방향성결합기와 연결선로의 도체 패턴 일부를 위에서 본 그림이다. 방향성결합기의 결합도는 두 번째 층의 두께와 첫 번째 층과 두 번째 층 위에 형성된 각 결합선로의 수평 간격 D 에 의해 결정되는데 본 논문에서는 두 번째 층의 두께를 고정시키고 결합선로의 수평 간격 D 를 변화시켜 계산된 결합계수를 갖도록 설계하였다.

기존의 트랜스버살필터는 1/4 파장 방향성결합기를 이용하여 결합계수는 반사계수 분포함수 $p(x)$ 로부터 구해진다. 이렇게 구해진 결합계수는 주기적으로 음의 값도 갖게 되어 실제적으로 구현이 불가능하기 때문에 결합계수가 모두 양의 값을 갖도록 반사계수 분포함수를 수정하는 과정을 거쳐 결합계수를 구하였다. 반사계수 분포함수와 결합계수의 관계가 비선형적이기 때문에 구현 가능한 결합계수를 얻을 수 있도록 반사계수 분포함수를 조정하는 몇 가지 방법이 참고문헌 [6]에 소개된 바 있다.

기존의 트랜스버살 필터는 1/4 파장 방향성결합기를 이용하기 때문에 각 방향성결합기에서 결합되어 출력단자에 출력되는 신호의 위상은 시간영역에서 보면 주기적으로 역위상으로 출력된다. 따라서 각 방향성결합기는 강한 결합과 약한 결합이 반복적으로 발생하는 구조를 가져야 하며 앞에서 설명한 것과 같이 복잡한 계산과정을 거쳐 결합계수를 계산하여야 한다. 그러나 1/2 파장 방향성결합기를 이용하는 본 논문에서 제안하는 트랜스버살 필터의 경우 각 방향성결합기에서 결합된 신호는 기존의 트랜스버살 필터와 달리 출력단에서 모두 동위상으로 출력되기 때문에 강한 결합과 약한 결합이 반복적으로 발생하는 결합구조를 갖지 않아도 된다. 주

파수 영역에서 대역통과 특성의 함수는 시간영역에서 sinc 함수와 푸리에 변환 관계에 있으므로 각 방향성결합기의 결합계수가 sinc 함수 분포를 갖도록 하면 대역통과 특성의 필터를 구현할 수 있다. 본 논문에서는 sinc 함수를 이용하여 결합계수를 간단하게 구하는 방법을 제안하며 관계식은 각각 다음과 같다.

$$k_i = A_m \text{sinc} \left[\frac{2}{N+1} \left(i - \frac{N+1}{2} \right) \right], \quad i=1,2,\dots,N \quad (9)$$

여기서 A_m 은 함수의 크기 계수이고 N 은 방향성결합기의 수로서 중심주파수가 f_c 이고 통과대역폭이 BW 일 때 sinc 함수로부터 다음과 같이 구해진다.

$$N = \frac{2f_c}{BW} \quad N=\text{정수} \quad (10)$$

위 식 (9)와 (10)을 이용하여 트랜스버살 필터를 설계할 때 N 의 수를 증가시키면 통과대역폭이 감소하며 A_m 을 크게 하면 통과대역폭이 증가하고 삽입 손실이 감소한다. 따라서 원하는 주파수 특성을 갖는 트랜스버살 필터를 설계하기 위해서는 기존의 트랜스버살 필터 설계방법과 마찬가지로 먼저 N 의 초기 값을 식 (10)으로부터 정하고 A_m 을 변화시키면서 계산된 주파수 특성으로부터 A_m 의 크기를 정한다. 이렇게 결정된 N 과 A_m 으로부터 다시 N 을 변화시키고 앞의 과정을 반복해 최적의 N 과 A_m 을 결정한다.

방향성결합기의 수와 결합계수가 결정되면 식 (8)로부터 무손실인 경우에 대한 트랜스버살 필터의 주파수 특성을 계산할 수 있는데 그림 6은 본 논문에서 제안한 설계방법을 검증하기 위해 같은 대역폭을 갖는 트랜스버살 필터에 대해 기존의 구조와 설계방법을 이용하여 설계된 필터의 주파수 특성과, 본 논문에서 제안한 구조를 가지며 식 (9)로부터 구해진 결합계수를 이용하여 설계된 필터의 계산된 주파수 특성을 나타낸 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이 기존의 설계방법처럼 복잡한 계산과정을 거치지 않고 본 논문에서 제안한 간단한 설계방법을 통해서 필터를 구현할 수 있음을 알 수 있다.

그림 6에서 기존의 구조와 설계방법으로 설계된 필터는 19개의 방향성결합기로 구성되어 있으며 양의 값만을 갖는 결합계수를 얻기 위하여 참고문헌

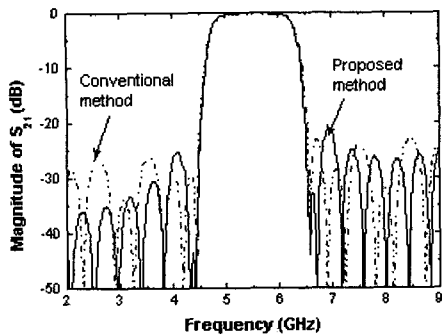


그림 6. 기존 필터와 제안된 필터의 계산된 주파수 특성

Fig. 6. Calculated frequency characteristics of the conventional and the proposed filter.

표 1. 기존 트랜스버살 필터의 계산된 결합계수
Table 1. Calculated coupling coefficients of the conventional transversal filter.

Position	k_i (dB)	Position	k_i (dB)
1, 19	-17.65	6, 14	-16.87
2, 18	-22.49	7, 13	-6.40
3, 17	-10.84	8, 12	-16.28
4, 16	-18.40	9, 11	-5.76
5, 15	-7.88	10	-15.15

[6]에서 소개된 방법 중에서 반사계수 분포함수에 일정한 선형함수를 더하는 방법을 사용하였다. 계산된 결합계수가 표 1에 나타나 있다.

제안된 구조의 트랜스버살 필터는 11개의 방향성 결합기로 구성되어 있으며 식 (9)로부터 계산된 결합계수가 표 2에 정리되어 있다.

같은 대역폭을 갖는 경우에 대해 표 1과 2에서 방향성결합기의 수가 다른 것은 기존의 필터가 1/4 파장 방향성결합기를 사용하는 것과 달리 제안된 구조의 필터는 1/2 파장 방향성결합기를 사용하기 때문이다. 따라서 같은 대역폭의 경우 제안된 구조의 필터는 기존의 필터에 비해 약 반수의 방향성결합기가 요구되어 더 좁은 대역폭의 필터를 설계할 때 더욱 유용한 구조를 가질 수 있다.

표 2. 제안된 트랜스버살 필터의 계산된 결합계수
Table 2. Calculated coupling coefficients of the proposed transversal filter.

Position	k_i (dB)	Position	k_i (dB)
1, 11	-26.42	4, 8	-13.69
2, 10	-19.71	5, 7	-12.44
3, 9	-15.96	6	-12.04

3-3 각 선로의 길이 및 연결선로의 영향

그림 5에서 각 선로의 길이는 먼저 L_2 와 L_3 의 길이를 서로 인접한 선로의 간격을 고려해 정하면 결합선로의 길이 L_1 은 다음 식 (11)로부터 구할 수 있다.

$$L_1 = \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda_g}{2} - 2L_2 - L_3 \right) - L_c \quad (11)$$

여기서는 L_c 는 선로의 굴곡 부분과 가장자리 효과(fringing effect)에 의한 영향을 보상해 주기 위한 부분으로서 시뮬레이션을 통해 결정된다.

대역통과 필터를 구현하기 위해 약한 결합과 강한 결합의 방향성결합기가 반복적으로 연결되어 구성되는 기존의 트랜스버살 필터는 연결선로에 의해 주파수 특성이 저하된다. 따라서 연결선로의 길이를 줄이기 위한 연구가 수행되었으나 이러한 현상을 근본적으로 제거하지는 못하였다^[7]. 그러나 그림 1의 방향성결합기를 사용하여 트랜스버살 필터를 구현하면 단순히 결합계수를 조정함으로써 연결선로의 영향에 의한 특성 저하 현상을 현저히 억제할 수 있다.

그림 7은 19개의 방향성결합기로 구성된 기존의 트랜스버살 필터에서 연결선로의 길이에 따른 계산된 주파수 특성을 나타낸다. 그림에서 점선과 실선은 연결선로의 길이가 각각 $\lambda_g/32$ 와 $\lambda_g/8$ 인 경우를 나타낸다. 통과대역의 특성이 동일하도록 방향성결합기의 길이와 결합계수를 보정한 경우로서 저지대역에서 연결선로의 길이에 따라 많은 차이가 있음

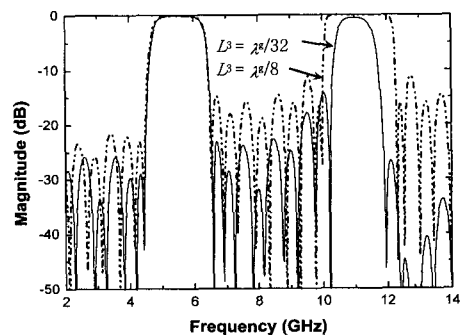


그림 7. 연결선로의 길이에 따른 기존 필터의 주파수 특성 비교

Fig. 7. Comparison of the frequency characteristics of the conventional transversal filters having different connecting section lengths.

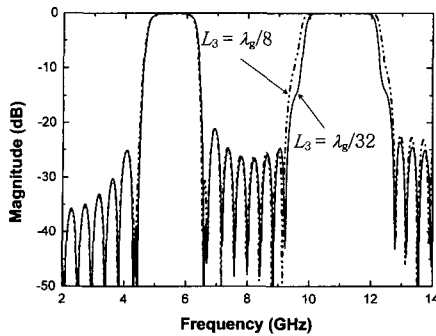


그림 8. 연결선로의 길이에 따른 제안된 필터의 주파수 특성 비교

Fig. 8. Comparison of the frequency characteristics of the proposed filters having different connecting section lengths.

을 볼 수 있다.

그림 8은 그림 7의 경우와 같이 11개의 방향성결합기로 구성된 제안된 구조의 트랜스버살 필터에 대해 연결선로의 길이에 따른 계산된 주파수 특성을 비교한 것이다. 점선과 실선은 각각 연결선로의 길이가 $\lambda_g/32$ 인 경우와 $\lambda_g/8$ 인 경우를 나타내며 기존의 필터에 비해 특성간의 차이가 매우 작음을 알 수 있다.

3-4 각 층의 패턴

그림 9는 각 층에 위치한 도체 패턴의 형상을 나타낸다. 그림 (a)는 동일한 층의 선로 패턴이 같은 방향으로 이동되어져 있는 형상이며 (b)는 인접한 방향성결합기 간에 서로 반대 방향으로 이동되어 있

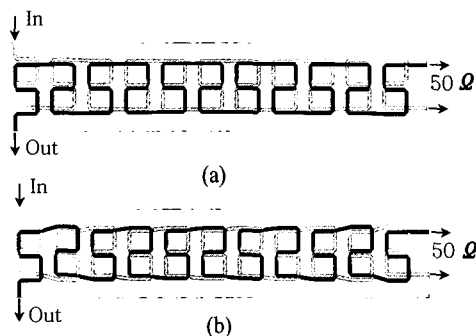


그림 9. 트랜스버살 필터 각 층 패턴의 투영도 (a) 규칙적인 구조, (b) 어긋난 구조

Fig. 9. The top view of the proposed transversal filter patterns.

(a) regular pattern, (b) skewed pattern

는 구조이다.

그림 9의 (a)와 (b)에 나타난 형상으로 필터를 제작하면 통과 대역에서는 비슷한 특성을 보이지만 (a)의 경우 $0.5 f_c$ 와 $1.5 f_c$ 에서 감쇠특성이 나빠지는데 이것은 두개의 방향성결합기가 마치 한 개의 1 파장 방향성결합기처럼 동작하기 때문이다. 따라서 (b)의 구조로 필터를 구현하는 것이 바람직하다.

IV. 측정 및 결과

UWB 시스템을 고려해 중심주파수 5.5 GHz, 3 dB 대역폭 1.375 GHz (25 %) 이상, 감쇠량은 $f_c \pm 1.5$ GHz에서 30 dB 이상의 대역통과 트랜스버살 필터를 설계하였다. 설계된 필터는 11개의 방향성결합기로 구성되어 있으며 결합계수는 표 2에 나타나 있는 것과 같다. 각 방향성결합기 결합선로의 수평간격 D 와 선폭 W 는 다음 표 3에 나타나 있다.

저지대역의 감쇠 특성을 향상시키기 위해 그림 9(b)의 구조를 갖는 설계된 트랜스버살 필터 두개를 직렬 연결하여 필터를 제작하였다. 상대유전율 2.2, 두께 0.254 mm의 Rogers사 RT/duroid 5880 테프론 기판 세 장을 적층하여 제작된 필터의 크기는 $80 \times 40 \times 0.762 \text{ mm}^3$ 이다. 비결합선로와 연결선로의 폭은 모두 0.51 mm로 제작되었으며 선로 L_1, L_2, L_3 의 길이는 각각 2.94, 2.80, 그리고 2.80 mm이다. 제작된 필터의 주파수 특성 측정치와 무손실이며 선로간에 원하지 않는 결합 현상이 발생하지 않는다는 가정 하에 계산된 계산치가 그림 10에 나타나 있다.

통과대역 내에서 최소 삽입손실과 반사손실은 각각 1.3 dB와 11.3 dB이며 3 dB 대역폭은 1.38 GHz (25.1 %)이다. 제안된 필터는 1/2 파장 방향성결합기를 이용하기 때문에 중심주파수의 두 배 주파수인 11 GHz에서 고조파가 발생하고 있다. 저지대역

표 3. 설계된 트랜스버살 필터 결합선로의 수평간격 및 선폭

Table 3. Coupled line offsets and widths of the designed filter.

Position	$D(\text{mm})$	$W(\text{mm})$	Position	$D(\text{mm})$	$W(\text{mm})$
1, 11	0.86	0.50	4, 8	0.43	0.47
2, 10	0.66	0.49	5, 7	0.37	0.46
3, 9	0.53	0.48	6	0.35	0.46

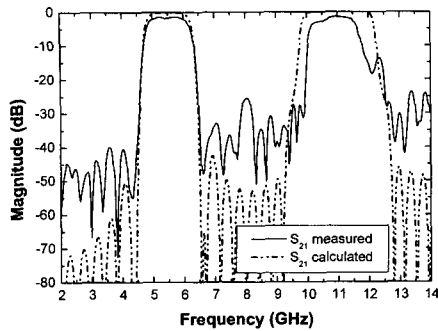


그림 10. 제작된 필터의 주파수 특성 계산치 및 측정결과

Fig. 10. Calculated and measured frequency characteristics of the fabricated filter.

에서 측정치와 계산치 간의 차이는 인접한 선로의 원하지 않는 결합현상과 각기 다른 층에 위치한 선로의 교차된 부분에 의한 영향 때문이다.

V. 결 론

임의의 결합도도 구현 가능한 방향성결합기를 소개하였으며 이를 이용하여 기존의 트랜스버살 필터와 달리 연결선로에 의한 영향을 적게 받고 광대역의 경우 삽입손실 특성이 우수하며 같은 통과대역 폭에 대해 더 적은 수의 방향성결합기가 요구되어 구조적으로 더 유리한 새로운 구조의 트랜스버살 필터를 제안하였다. 또한 기존의 트랜스버살 필터와 같이 복잡한 계산과정을 거치지 않고 설계하는 방법도 제시하였다. 결합선로 이론으로부터 제안된 필터의 특성을 도출하였으며 제작 및 측정을 통해 제안한 필터의 구조와 설계이론을 검증하였다. 계산치와 측정치를 비교하였는데 제작된 필터의 주파수 특성은 통과 대역에서는 계산치와 잘 일치되며 저지대역에서는 차이를 보이고 있다. 이러한 차이는 인접한 선로간에 발생한 결합현상과 각기 다른 층에 위치한 선로의 교차된 부분에 의한 영향 때문이다. 제안된 구조의 트랜스버살 필터는 LTCC 기술로 제작하면 소형화 될 수 있으며 최근에 관심을 모

으고 있는 초광대역 시스템뿐만 아니라 밀리미터웨이브 MMIC에 유용하게 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] T. Hiratsuka, Y. Ida, N. Imai and E. Ogawa, "A Ku-band transversal filter using directional couplers made of a multilayer ceramic", *IEICE Trans. Electron.*, E78-C, no. 8, pp. 1134-1138, Aug. 1995.
- [2] K. Wakino, T. Nishikawa and Y. Ishikawa, "Miniaturization technologies of dielectric resonator filters for mobile communications", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 42, pp. 1295-1300, Dec. 1994.
- [3] L. W. Fullerton, "Reopening the electromagnetic spectrum with ultrawideband radio for aerospace", *IEEE Aerospace Conference Proceedings 2000*, vol. 1, pp. 201-210, 2000.
- [4] M. L. Welborn, "System considerations for ultrawideband wireless networks", *IEEE Radio and Wireless Conference, 2001*, pp. 5-8, 2001.
- [5] K. M. Jee, S. W. Kim, and D. C. Park, "Quadrature directional couplers using multisection coupled lines", *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 10, no. 2, pp. 58-60, Feb. 2000.
- [6] S. Uysal, J. Watkins, "Novel microstrip multi-function directional coupler and filters for microwave and millimeter-wave applications", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 39, pp. 977-985, June 1991.
- [7] Y. Ida, N. Imai and E. Ogawa, "A transversal filter using CPW directional couplers", *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 6, no. 11, pp. 401-403, Nov. 1996.

지 기 만



1996년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
1998년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
1999년 2월~2003년 2월: (주)에스지 테크놀러지 책임연구원
1998년 3월~현재: 충남대학교 전

자공학과 박사과정
[주 관심분야] 초고주파 회로 설계, 수동 소자, 안테나

박 동 철



1974년 2월: 서울대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
1976년 2월: 한국과학기술원 전기 전자공학과 (공학석사)
1984년 12월: Univ. of California, Santa Barbara (공학박사)
1977년~1978년: Ruhr University,

Bochum, Germany, 방문교수
1994년~1998년: IEEE MTT Korea Chapter Chairperson
1998년~2001년: IEEE EMC Korea Chairperson
2000년~2001년: 한국전자과학회 회장
1976년~현재: 충남대학교 공과대학 전자공학과 교수
2002년 5월~현재: 충남대학교 산업기술연구소장
[주 관심분야] Microwave and millimeter-wave, passive devices, EMC/EMI topics and antenna