

## 저지대역 특성이 개선된 이중 E-평면

### 대역통과 여파기의 설계

임 재봉<sup>0</sup>, 오 영주  
국민대학교 전자공학과

Design of Double E-Plane Bandpass Filters with Improved Stopband Characteristics

J.B. Lim, Y.J. Oh  
Dept. of Electronic Eng. Kookmin University

#### Abstract

A new CAD program for double E-plane bandpass filters is developed based on the variational analysis method and the passband correction method combined with the synthesis procedures.

By taking the widths of three narrow waveguide equally, we can design band-pass filters with best stopband characteristics.

#### 1. 서 론

최근 마이크로파 및 밀리미터파 대역에서 많이 이용되고 있는 E-평면형 대역통과 여파기는 구조가 간단하고 통과대역에서의 손실이 작지만, 여파기 설계 이론치에 비해 Fig.2에서와 같이 저지대역에서의 최대삽입 손실이 작아지고 통과대역 외의 사통과대역(spurious passband) 사이의 간격이 좁아지는 단점을 갖고 있다. 이에 비해 이중 E-평면 구조를 사용한 대역통과 여파기는 두개의 E-평면 사이의 간격을 넓혀줄 수 있기 때문에 다른 형태의 E-평면형 구조에 비해 저지대역 특성이 우수한 것으로 알려져 있고, 이에 대한 CAD 프로그램이 제시되고 있다. 그러나 이중 E-평면형 대역통과 여파기의 특성이 두개의 E-평면(E-plane septa) 사이의 간격에 의해 크게 달라진다는 사실만 알려져 있으며, 이들 간격이 어느 정도가 될 때에 가장 좋은 특성을 얻을 수 있는가에 관한 연구결과가 아직 보고된 것이 없다 또한 이미 발표된 이중 E-평면 대역통과 여파기 CAD프로그램의 해석방법은 모드매칭법을 이용하고, 설계는 최적화기법을 이용하고 있기 때문에 계산이 복잡수로 수행되고 계산량이 많아 대형 컴퓨터에서만 실행이 가능하고, 초기치 설정이 매우 어렵다.

본 연구에서는 이중 E-평면 구조를 변분해석법에 의해 해석하고, 통과대역 보정에 의한 합성설계 이론을 적용하여 이중 E-평면 대역통과 여파기를 설계하는 CAD프로그램을 개발하였다. 이 CAD 프로그램은 기

존의 CAD 프로그램과는 달리 모든 연산이 실수로 처리되고, 연산이 간단하기 때문에 소형 컴퓨터나 IBM-PC급의 개인용 컴퓨터에서도 실행이 가능하다. 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 E-평면 불연속 구조로 형성된 좁은 도파판에서의 정규모드의 차단주파수가 높아질수록 여파기의 저지대역 특성이 개선됨을 보였다. 여파기의 저지대역 특성이 가장 좋은 경우는 E-평면 사이의 간격이 넓은 도파판의 1/3이 되어 새개의 좁은 도파판이 동일한 폭을 갖도록 하면 됨을 보였다.

#### 2. 이중 E-평면 구조의 해석

이중 E-평면구조는 Fig.1에서 보는 바와 같이 Bilateral Fin-line 구조에서 유전체를 공기로 생각하면 되므로 [2]의 변분해석방법을 이용하여 동가회로 소자 값을 구한다. 이중 E-평면구조의 동가회로는 Fig.3과 같이 T-동가회로로 나타낼 수 있다.

Fig.4 - Fig.6는 표 1에 나타낸 첫수를 갖는 이중 E-평면 구조의 동가회로 소자값  $X_s$ 와  $X_p$ 를 보여준다.

#### 3. 결과분석

Fig.1에서 TE<sub>10</sub> 모드가 입사하면  $-1 < z < 1$  구간의 새개의 도파판 영역에 고차모드가 발생한다. 이들 고차모드는 감쇄모드가 되어 동가회로상으로는 Fig.3에 나타난 것과 같이 인덕턴스 성분으로 표시된다. 주파수가 높아지게 되면 이들 고차모드의 일부가 전파하게 되며(차단주파수 이상에서), 이때 동가회로의 소자값은 길이  $l$  가 변화함에 따라 인덕티브 성분과 캐패시티브 성분이 교대로 나타나게 된다. 위의 표1에 나타낸 고차모드의 최저 차단주파수는 각각의 경우에 도파판의 폭이 가장 넓은 도파판의 최저차수의 고차모드에 대한 차단주파수를 나타낸 것이며, 해당 도파판의 폭에 \*로 표시하였다.

Fig.4는 표1의 1번째 첫수를 갖는 이중 E-평면구조의 동가회로 소자값을 나타내고 있다. 이 경우에 최저차단 주파수가 13.123

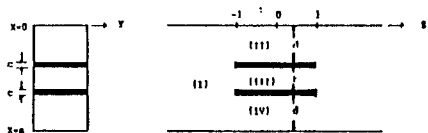


Fig 1 Basic structures of Double E-Plane bandpass filters

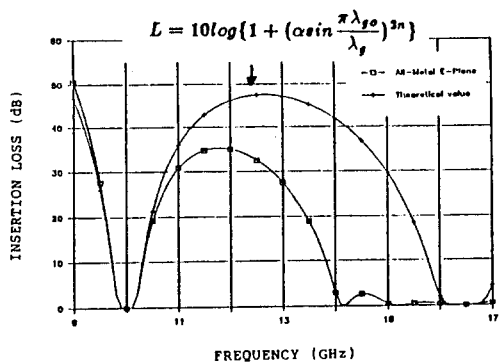


Fig.2 Frequency response of bandpass filters

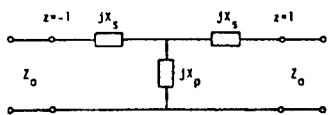


Fig 3 (a) T-equivalent circuit of E-plane type structures  
(b) Modification of T-circuit.

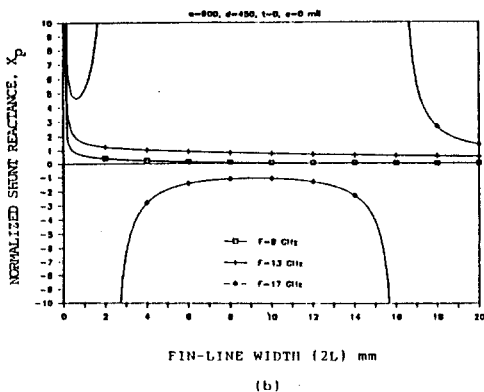
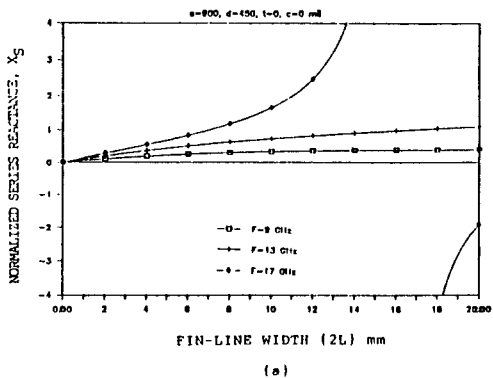


Fig 4 Normalized reactances of All-Metal E-Plane structure  
(a) series reactance  $X_s$  vs. Fin-line width  
(b) shunt reactance  $X_p$  vs. Fin-line width

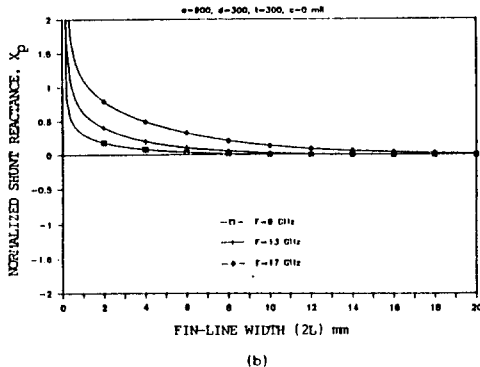
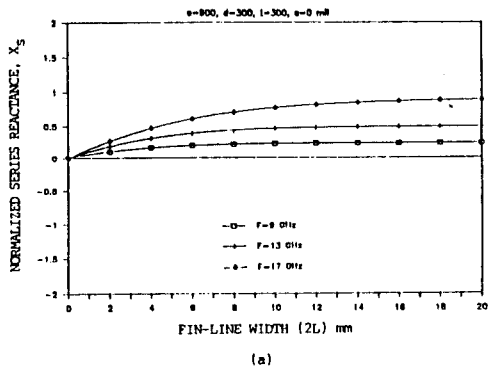


Fig 5 Normalized reactances of Double E-Plane structure. (t=300 ml)  
(a) series reactance  $X_s$  vs. Fin-line width  
(b) shunt reactance  $X_p$  vs. Fin-line width.

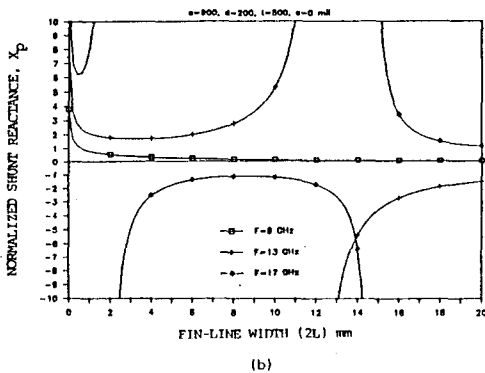
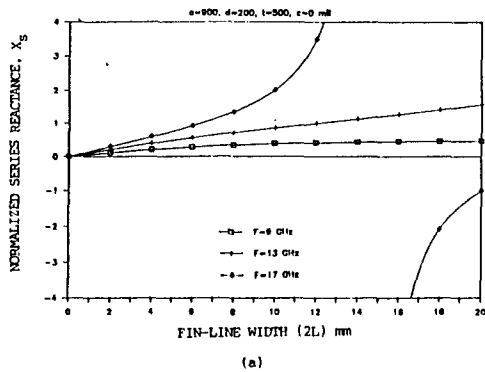


Fig 6 Normalized reactances of Double E-Plane structure. ( $t=500$  mil)

- (a) series reactance  $X_s$  vs. Fin-line width
- (b) shunt reactance  $X_p$  vs. Fin-line width.

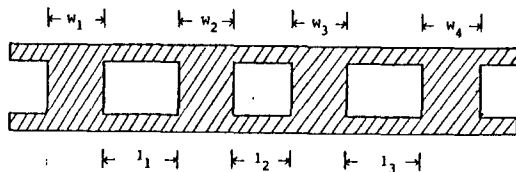


Fig. 7 Fin-line septum of bandpass filters.

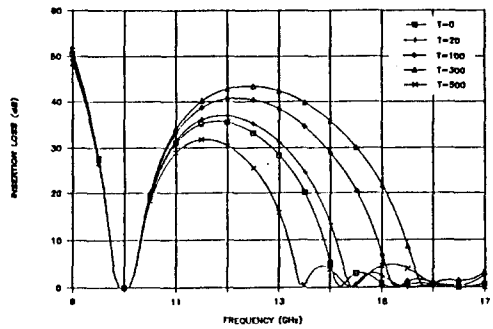


Fig. 8 Comparison of frequency responses for Double E-Plane bandpass filters with different Fin-line spacings.

( $a=900$ mil,  $d=(a-t)/2$ , Butterworth 3-section,  $N=3$ term approx.)

Table 1. Dimensions of Double E-Plane structures shown in Fig. 4-6  
 $a = 900$  mil,  $c = 0$  mil

no	$t$ (mil)	$d=(a-t-2c)/2$ (mil)	$- z  < 1$ 구간에서의 정규모드의 최저차단주파수 (GHz)
1	0	* 450	13.123
2	* 300	* 300	19.685
3	* 500	200	11.811

Table 2. Specifications of Double E-Plane Bandpass Filters  
Passband : 9.8 - 10.2 GHz,  $a=900$  mil,  $c=0$  mil.  
3rd Order Butterworth Filter.

no	$t$ (mil)	$d=(a-t-2c)/2$ (mil)	$- z  < 1$ 구간에서의 정규모드의 최저 차단주파수 (GHz)
1	* 500	200	11.811
2	0	* 450	13.123
3	20	* 440	13.421
4	100	* 400	14.763
5	* 300	* 300	19.685

GHz 이므로 그림에서 보는 바와 같이 F=9 GHz와 13 GHz에 대해서는 Xs와 Xp가 인덕티브를 나타내지만 F=17GHz에서는 고차모드가 전파하게 되고, 그 결과로서 Xs와 Xp가 Fin-line의 길이 l가 변화함에 따라 인덕티브와 캐패시티브가 교대로 나타남을 보여주고 있다. Fig. 5는 표1의 2번 구조에 관한 자료로서, 최저차단 주파수가 19.685 GHz 이므로 F=9, 13, 17 GHz 모두에 대해 Xs와 Xp가 항상 인덕티브 특성을 나타낸다. Fig. 6은 표1의 3번 구조에 관한 사항으로서, 최저차단 주파수가 11.811 GHz이므로 그림에서와 같이 9GHz에서는 Xs와 Xp가 인덕티브가 되지만 13과 17 GHz에서는 1<sup>o</sup> 변화에 따라 인덕티브와 캐패시티브가 교대로 나타난다. 이와 같이 등가회로의 소자값이 주파수에 따라 급격히 변화하는 경우에는 대역통과 여파기의 저지대역에서의 특성에 상당한 영향을 초래할 것으로 예상되며, 그 결과로는 저지대역에서의 최대삽입손실의 감소와 통과대역과 기생통과대역(spurious passband)사이의 간격이 좁아지는 현상을 보일 것으로 예상된다. 따라서 저지대역 특성이 우수한 여파기를 설계하기 위해서는 E-평면 구조가 고차모드의 최저차단 주파수가 가능하면 높게 되도록 두개의 E-평면 사이의 간격을 조절해야 할 것으로 판단된다. 이중 E-평면 구조는  $|\zeta| < 1$  구간이 E-평면에 의해 3개의 도파관 영역으로 구분되므로, 3개의 도파관 폭이 균등하게 되도록 ( $d=1$ ) 설계하면 가장 좋은 저지대역 특성을 갖는 대역통과 여파기의 설계가 가능하다.

#### 4. 이중 E-평면 대역통과 여파기 CAD 프로그램

위와 같은 분석 결과를 검증하기 위해서 다음과 같이 이중 E-평면 대역통과 여파기를 설계하기 위한 CAD 프로그램을 개발하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다.

a) 이중 E-평면 구조를 변분해석법에 의해 해석하고,

b) Rhodes의 반파장 지역통과 원형 여파기로부터 도파관형 대역통과 여파기의 설계공식을 유도하였다.

c) 본인이 제시한 통과대역 보정에 의한 합성설계 방법을 이용하여 대역통과 여파기의 첫수(Fig. 7)를 결정한다.

Fig. 8은 분석결과를 검증하기 위해서 여파기를 설계하여 삽입손실 특성을 나타낸 것이다. 여파기의 설계사양과 사용된 이중 E-평면 구조의 치수를 표 2에 나타내었다.

Fig. 8의 5개의 특성곡선은 각각 표2에 나타낸 5가지 치수를 갖는 구조에 대해, 통과대역이 9.8 GHz - 10.2 GHz인 3단 Butler-worth 여파기를 설계하여 삽입손실 특성을 계산한 것을 나타낸 것이다. 이 그림에서는 5개의 특성중에서 표 2의 5번 구조로 설계한 것이 가장 우수한 특성을 보여주고 있음을 알 수 있다. 이 여파기의 특성은 ALL-Metal Insert E-Plane 여파기(표2의 2번 구조)에 비해 저지대역 최대삽입손실이 약 8 dB가 크며 통과대역과 기생통과대역 사이의 간격에 있어 약 1.6GHz가 더 떨어져 있음을 보여주고 있다. 여파기의 특성은 우수한 순서부터 나열하면 5-4-3-2-1이 되며, 이 결과는 앞의 3 절에서 예상한 바와 일치되는 것을 확인할 수 있다.

#### 5. 결론

이중 E-평면 여파기의 경우에 두개의 E-평면 사이의 간격 l를 넓혀 주면, d는 상대적으로 감소하게 되어 간격이 d인 도파관에서의 고차모드들의 최저차단 주파수가 높아져서 여파기의 저지대역 특성이 개선된다. 그러나 l가 더욱 증가하여 l>d가 되면, 폭이 l인 도파관 영역의 고차모드들의 차단 주파수가 오히려 폭이 d인 부분의 그것보다 낮아지게 되어 여파기의 저지대역 특성을 열화시키는 원인이 된다. 결국 여파기의 저지대역 특성을 최선으로 개선할 수 있는 방법은 l=d인 경우가 된다.

#### 참고문헌

- [1] F. Arndt, J. Bornemann, R. Vahldieck, and D. Grauerholz, "E-plane intergrated circuit filters with improved stopband attenuation," IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., Vol. MTT-32, pp. 1391-1394, Oct. 1984.
- [2] 임재봉, 이충응, "변분법에 의한 Bilateral Fin-line 구조의 해석에 관한 연구," 대한전자공학회지, 제23권 제1호, pp.36-41, 1986년 1월.
- [3] 임재봉, 이충응, "합성방법에 의한 E-평면형 대역통과 여파기의 정밀설계에 관한 연구," 대한전자공학회지, 제23권 제5호, pp.26-34, 1984.