

DART와 EWC/SPUDT형 SAW 필터의 특성 비교

이승희* · 이영진* · 노용래**

*경북대학교 센서공학과

**경북대학교 센서공학과/전자전기공학부

Comparison of the performance of DART and EWC/SPUDT type SAW filters

Seung-Hee Lee*, Youngjin Lee* and Yongrae Roh**

*Department of Sensor Engineering, Kyungpook National University

**Department of Sensor Engineering/School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University

*leesh@aslab.kyungpook.ac.kr, *yjlee@aslab.kyungpook.ac.kr, **yryong@eeg.kyungpook.ac.kr

요약

본 연구에서는 작은 삽입손실을 구현하기 위해 적용되는 SPUDT 중에서 현재 가장 널리 사용되고 좋은 성능을 가지는 DART와 EWC/SPUDT형 SAW 필터에 대해서 그 효율성을 Smith 등가회로 해석법을 이용하여 분석하였다. 그리고 apodization weighting된 SAW 필터에 단순히 SPUDT를 적용하였을 때 발생하는 일부 특성열화를 보상하기 위한 방법으로, 이 두 종류 SPUDT의 폭이 넓은 전극에 대한 weighting을 독립적으로 행하였고 전극두께를 조절하여 성능변화를 보았다.

그 결과로 동일 전극길이를 갖는 경우에는 EWC/SPUDT형 SAW 필터가 DART형 SAW 필터보다 삽입손실이 더 작으나 리플이 크고, apodization weighting된 SAW 필터에 SPUDT를 적용한 경우에는 전반적으로 DART형 SAW 필터가 EWC/SPUDT형 SAW 필터보다 우수한 성능을 가지는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 특정 형태의 SAW 필터에 SPUDT를 적용하는 문제에 있어서 적절한 SPUDT의 타입을 결정하는데 도움을 주리라 기대된다.

I. 서론

SPUDT(single phase unidirectional transducer)를 적용하는 주요 목적은 기존의 양방향성 SAW 필터보다 작은 삽입손실을 구현하는 것이다. 이외에도 TTI(triple transit interference)가 감소되어 통과대역내의 리플이 작아지고, 지연에 따른 왜곡이 적어지는 장점이 있다.[1] 따라서 정합회로가 간단해지고, 소자의 치수를 줄일 수 있다. 단점으로는 삽입손실과 TTI를 동시에 개선시키기 어렵고, 낮은 삽입손실에 대해서 약 2%이하의 낮은 비대역폭을 가지며, 주기의 1/8인 폭을 가지는 전극으로 구성되어 중심 주파수를 맞추기 어려운 면이 있지만, 현재 적절한 설계를 통하여 장점을 잘 살린 제품들이 양산되어지고 있다.

현재까지 개발된 SPUDT는 여러 종류가 있고, 또 각 종류마다 고유의 장단점을 가지고 있으나, 서로간의 성능차를 비교한 결과는 거의 없어서, 실제 SPUDT를 적용할 때 과연 어느 종류를 선택할지를 결정하기에 많은 어려움이 있어왔다. 따라서 본 연구에서는 여러 종류의 SPUDT 중에서 현재 가장 널리 사용되어지고 좋은 성능을 가지는 DART(distributed acoustic reflection transducers)와 EWC(electrode width controlled)/SPUDT에 대하여 해석

을 하였고, 이 두 가지 SPUDT의 특성을 기존의 양방향성 SAW 필터와 비교하여 분석하였다. 이러한 해석 결과는 실제 SPUDT를 적용하고자 할 때 DART와 EWC/SPUDT 중 어느 것을 선택할 지에 대한 기준을 제시하여 줄 것으로 기대된다.

SPUDT 해석을 위하여 Smith 등가회로 해석법[2]을 이용하였는데, 이는 전극 각각에 대해 구체적인 수식으로 표현하기 때문에 불균일한 전극 구조를 하고 있는 SPUDT나 weighting된 경우에 대한 해석이 용이하며, IDT나 지연선 전체를 하나의 블록으로 단순화하여 해석하는 COM(Coupling-of-Modes) 해석법[3]보다 더 정확한 해석을 할 수 있다.

SAW 필터를 단순히 SPUDT화하면 일반적으로 삽입손실이 개선되기는 하나 다른 성능들은 열화 되는 경향이 있다. 본 연구에서는 apodization weighting된 SAW 필터를 단순히 SPUDT화한 결과로 발생하는 일부 특성열화를 보상하기 위한 방법으로 IDT내의 폭이 넓은 전극을 폭이 좁은 전극의 weighting과 무관하게 삼각형 모양으로 독립적인 weighting을 행하였고, 그 효율성을 분석해 보았다. 더불어 전극 두께에 따른 DART 및 EWC/SPUDT형 SAW 필터의 특성변화도 분석함으로써 SPUDT의 특성에 대한 개선방안도 제시하였다.

II. 이론적 배경 및 SPUDT의 설계

2. 1. DART와 EWC/SPUDT의 구조와 특징

현재 가장 널리 이용되는 SPUDT의 종류인 DART와 EWC/SPUDT는 IDT내에서 내부반사를 주로 발생시키는 넓은 폭의 전극을 포함하고 있으며, 구조적인 차이는 그림 1에서 보는 바와 같이 넓은 폭의 전극의 폭에서 구조적인 차이를 보인다. 이러한 차이는 동일한 파장에 대해서 DART가 EWC/SPUDT에 비해 낮은 중심 주파수를 가지게 한다.

이 두 가지 SPUDT의 성능을 비교하여 설명하면, DART가 EWC/SPUDT에 비해서 반사계수는 크지만 EWC/SPUDT가 DART보다 큰 변환각도를 가진다. 변환위상각의 경우는 DART가 EWC/SPUDT에 비해 SPUDT의 이상적인 위상각인 $\pm 45^\circ$ 에 더 근접하므로 EWC/SPUDT가 통과대역 내의 왜곡이 발생할 소지가 더 많다. 따라서 weighting을 행한 경우에 이러한 왜곡의 영향이 적은 DART가 EWC/SPUDT보다 더 작은 삽입손실

을 기대할 수 있다.[4]

2. 2. Smith 등가회로 해석

Smith 등가회로해석법에 이미 잘 알려진 이론이고, 이를 기초로 한 전송행렬을 이용하여 필터의 성능을 계산하는 구체적인 방법은 참고문헌[5]에 소개되어 있다.

본 연구에서 해석하고자 하는 대상은 일반적인 경우와 달리 IDT내에서의 전극폭과 전극들간의 간격들이 동일하지 않으므로, 각각의 IDT 전극에 대해서 Smith 등가회로로 표현되는 전송행렬을 구성하는 파라미터들에 대한 관계식들을 각각 다르게 설정해 주어야한다. 표 1은 이중전극형과 EWC/SPUDT 및 DART의 넓은 폭의 전극에 대한 관계식들이다. EWC/SPUDT 및 DART에서의 좁은 폭의 전극은 이중전극형과 같은 구조를 가지므로, 이중전극형의 관계식을 그대로 이용하면 된다.

다음으로 apodization weighting의 영향을 반영하였는데, apodization 기법으로는 디지털 필터의 설계법으로 잘 알려진 Remez exchange 알고리즘을 채택하였다.[6]

Apodization weighting 기법은 전극 길이에 변화를 주어 성능을 개선하는 방법으로 Smith 등가회로 모델을 구성함에 있어서 전기적 캐패시턴스가 전극 길이에 비례하여 바뀔 수 있어서 고려하면 된다.

III. SPUDT 해석 및 성능비교

3. 1. 양방향성 SAW 필터와 SPUDT를 단순히 적용시킨 SAW 필터의 성능 비교

먼저 Smith 등가회로 해석법을 이용한 시뮬레이션 도구를 이용하여 동일전극길이를 가지는 경우와 apodization weighting된 경우에 대하여 각각 이중전극형 SAW 필터와 여기에 단순히 EWC/SPUDT와 DART를 적용한 형태의 필터가 가지는 특성을 해석, 비교하였다. 압전기판의 재료는 36° YX LiTaO₃의 물성을 이용하였다. 단순히 SPUDT를 적용한 필터의 형태는 입력단 IDT의 경우 폭이 넓은 전극의 weighting을 폭이 좁은 전극의 weighting과 같이 sink함수의 형태를 가지도록 하였고, 출력단 IDT는 전극 길이가 일정한 IDT를 사용하되 대역폭을 맞추기 위해서 IDT 전극 개수를 입력단 IDT 전극 개수보다 작게 두었다. 성능 해석을 위한 초기 구조변수 사양은 표 2에 제시한 바와 같다.

해석 결과를 그림 2에 나타내었는데, 먼저 SPUDT를 적용하면 전반적으로 S₂₁의 주파수 스펙트럼의 대칭성이 증가함을 알 수 있다. 동일전극길이를 가지는 경우 SPUDT를 적용함으로써 비교적 많은 성능개선이 이루어졌음을 알 수 있다. EWC/SPUDT와 DART를 구체적으로 비교하면, 삽입손실은 EWC/SPUDT가 약간 더 작고, 저지대역 감쇠도와 통과대역내의 리플은 DART가 좋은 특성을 보인다. Apodization weighting된 경우에는 SPUDT를 적용하여서 삽입손실 개선의 효과를 볼 수 없었지만, 리플과 저지대역 감쇠도는 많이 개선되었다. 하지만 형상도는 조금 나빠졌음을 알 수 있다. 그리고 SPUDT의 두 사양을 비교하면, DART가 전반적으로 조금 더 좋은 특성을 가짐을 알 수 있다.

이러한 결과들로 비추어 보면 apodization weighting된 SAW 필터에 SPUDT를 적용했을 때, 개선된 점들이 있지

만, 성능이 오히려 좋지 않은 방향으로 변화하는 경우가 있음을 알 수 있다.

3. 2. SPUDT의 폭이 넓은 전극의 weighting에 따른 변화 경향

앞에서 나타난 바와 같은 SPUDT의 적용시에 발생하는 성능열화를 보상하고자 하는 목적으로 폭이 넓은 전극의 weighting을 독립적으로 다르게 적용하여 해석하였다. 폭이 넓은 전극의 역할은 폭이 좁은 전극에 대해서 압전변환보다는 탄성파의 반사에 주로 영향을 미치기 때문에 weighting을 다르게 할 필요성이 있다. 폭이 넓은 전극에 대해서 삼각형 함수 모양으로 weighting을 하는 방법이 일반적으로 알려져 있다.[7]

이러한 삼각형 함수에 대한 설계값을 결정하기 위해 폭이 넓은 전극의 weighting을 그림 3에 제시한 바와 같이 weighting 비율을 조절하여 그 성능변화를 보았다. 이에 대한 결과는 그림 4에 나타난 바와 같다. weighting 비율을 증가시키면 삽입손실은 계속 감소하는 경향을 보이고, 특히 weighting 비율이 낮을 때는 DART가 EWC/SPUDT보다 작은 삽입손실을 가지다가, weighting의 비율이 높아지면 오히려 EWC/SPUDT가 DART보다 삽입손실이 더 작아지게 되는데, 이는 EWC/SPUDT가 DART보다 큰 변환강도를 가지기 때문이다. Weighting 비율에 따라 -5 dB 대역폭과 -20 dB 대역폭이 다른 경향으로 변화하는데, 이는 형상도를 결정짓고, 형상도는 그림 4(b)와 같은 경향을 보인다. 여기서 형상도는 중심주파수 근처의 두 전송영역에 해당하는 주파수차를 -5 dB 대역폭으로 나눈 값으로 정의하였다. 즉, weighting 비율이 0 %에서 60 %까지 증가하는 구간에서는 형상도가 나빠지는 경향을 보인다. 그리고 weighting 비율이 60 %에서 80 %까지 증가하는 구간에서는 형상도가 다시 개선된다. 80 % 이상의 구간에서는 형상도가 다시 나빠진다. 저지대역 감쇠도는 그림 4(c)와 같이 EWC/SPUDT와 DART가 비슷한 경향을 가지나 전반적으로 DART가 더 좋은 특성을 가진다. 따라서 삽입손실을 감소시켜 SPUDT의 특성을 확대하기 위하여 weighting 비율을 최대로 설정해야 하겠지만, 형상도와 저지대역 감쇠도를 고려한다면 본 경우에 대해서는 약 70~80 %의 weighting 비율을 가질 때 여러모로 좋은 성능이 기대된다.

여기서 한가지 더 고려할 수 있는 설계인자로 삼각형 모양으로 weighting된 폭이 넓은 전극의 평균길이 있는데, 그 길이가 길수록 삽입손실은 감소하고, 나머지 성능들은 큰 변화가 없으므로, 최대로 하는 것이 좋다.

3. 3. 전극 두께에 따른 성능변화

IDT 내부반사를 이용하는 SPUDT의 특성은 전극두께에 따라 변화함을 예상할 수 있다. 전극두께가 변하면 SAW 속도가 변하게 되고, 따라서 중심주파수도 변화하게 된다. 이는 압전변환효율과 전극의 반사계수에 영향을 주어 삽입손실의 변화를 초래하게 된다.

그림 5는 앞서 세 가지 경우에 대해 전극두께만을 변화시킨 경우의 성능변화이다. 삽입손실은 전극두께가 두꺼워지면 계속 증가하게 되는데, 전극두께가 얇을 때는 이중전극형 SAW 필터가 삽입손실이 작지만 전극두께가 두꺼워지면 SPUDT가 오히려 삽입손실이 더 작게 된다. 전극두

께가 두꺼워지면 폭이 넓은 전극에서 반사가 더 크게 일어나므로 이러한 결과를 보이는 것으로 생각된다. 리플의 경우는 이중전극형 SAW 필터와 SPUDT가 서로 반대되는 경향을 가진다. 이중전극형 SAW 필터는 전극두께가 두꺼워 질수록 리플이 감소하게 되고, SPUDT는 리플이 거의 없다가 특정 전극두께에서 리플이 발생하여 전극두께가 증가함에 따라 리플이 증가하는 경향을 보인다. 특히 DART는 EWC/SPUDT에 비해 리플이 작다.

여기서 알 수 있는 것은 이중전극형 SAW 필터의 설계 시에 리플을 감소시키려면 전극두께를 두껍게 해야하고, 이는 삽입손실을 증가시키는 원인이 된다. 반면에 SPUDT의 경우는 전극두께를 얇게 설계하면 리플이 거의 없고, 삽입손실도 작게 할 수 있다. 그러므로 리플이 없는 필터를 설계하는 경우에는 이중전극형 SAW 필터보다 훨씬 작은 삽입손실을 가지는 SPUDT를 설계할 수 있다.

IV. 결론

본 연구에서는 현재 가장 널리 사용되는 SPUDT의 종류로서 DART와 EWC/SPUDT를 선정하고 Smith 등가회로 해석법을 이용한 성능해석을 하였고, 이 두 가지의 형태의 SPUDT를 양방향성인 이중전극형 SAW 필터와 비교하여 분석하였다.

전극길이가 동일한 경우와 apodization weighting을 한 경우에 대하여 단순히 SPUDT를 적용했을 때 어떠한 성능을 가지는가를 보았고, 성능열화에 대한 보상의 목적으로 폭이 넓은 전극에 삼각형 형태의 weighting을 적용하였을 때 나타나는 성능변화를 분석하였다. 그리고 전극두께 따른 성능변화도 보았다. 그 결과 동일 전극길이를 갖는 경우에는 EWC/SPUDT형 SAW 필터가 DART형 SAW 필터보다 삽입손실은 작지만 리플이 많이 존재하고, apodization weighting된 SAW 필터에 SPUDT를 적용한 경우에는 전반적으로 DART형 SAW 필터가 EWC/SPUDT형 SAW 필터보다 성능이 우수한 것으로 나타났다.

본 연구의 결과는 특정 형태의 SAW 필터에 SPUDT를 적용하는 문제에 있어서 적절한 SPUDT의 타입을 결정하는데 도움을 주리라 기대된다. 또한 apodization weighting된 DART 및 EWC/SPUDT형 SAW 필터를 설계할 시에 SPUDT의 장점인 삽입손실 및 TTI를 개선시키고, SPUDT의 적용으로 인해 생기는 특성열화를 보상하기 위한 방법을 제시하여 준다. 나아가 본 연구에서는 시뮬레이션을 통한 SAW 필터에 대한 해석을 행하였는데, 이 시뮬레이션 도구에 대한 실험적인 검증이 이루어질 필요성이 있고 이는 향후에 수행할 계획이다.

참고문헌

1. S. Jen and C. S. Hartmann, "Synthesis and Performance of Medium Bandwidth, Low Time-Spurious, High Out-of-Band Rejection SPUDT Filters", IEEE Ultras. Symp. Proc., pp. 9-13, 1993.
2. W. R. Smith, H. M. Gerard, and W. R. Jones, "Analysis and Design of Dispersive Interdigital Surface-Wave Transducers", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-20, No. 7, 1972.
3. P. V. Wright, "Analysis and Design of Low-Loss SAW Device with Internal Reflections Using

Coupling-of-Modes Theory", IEEE Ultras. Symp. Proc., pp. 141-152, 1989.

4. E. M. Garber, D. S. Yip and D. K. Henderson, "Design of High Selectivity DART SPUDT and Lithium Tantalate", IEEE Ultras. Symp. Proc., pp. 7-12, 1994.
5. 노용래, "사다리형 SAW 필터의 최적 설계", 한국음향학회지, 18, 1-16, 1999.
6. C. Campbell, Surface Acoustic Wave Devices and Their Signal Processing Applications, (Academic Press, Inc., 1989), Chap. 8, pp. 145-192.
7. T. Kodama, H. Kawabata, Y. Yasuhara and H. Sato, "Design of Low-Loss SAW Filters Employing Distributed Acoustic Reflection Transducers", IEEE Ultras. Symp. Proc., pp. 59-64, 1986.

Table 1. Parameters in IDT transmission matrix.

	η	l_m	β_m	θ_g
Double et. type	0.5	$p/8$	$\frac{1}{2} \eta \frac{\pi \cdot f \cdot p}{v_m}$	$\frac{1}{2} (1 - \eta) \frac{\pi \cdot f \cdot p}{v_o}$
Wide IDT in EWC	0.5	$p/4$	$\eta \frac{\pi \cdot f \cdot p}{v_m}$	$(1 - \eta) \frac{\pi \cdot f \cdot p}{v_m}$
Wide IDT in DART	0.75	$3p/8$	$\eta \frac{\pi \cdot f \cdot p}{v_m}$	$(1 - \eta) \frac{\pi \cdot f \cdot p}{v_o}$

, where f : frequency
 l_m : IDT finger width
 β_m : acoustic transit angle in electrode region
 θ_g : acoustic transit angle in unelectrode region
 p : IDT period (= wavelength)
 η : metallization ratio
 v_m : stiffened SAW velocity
 v_o : unstiffened SAW velocity

Table 2. Initial reference specification for simulation.

Specifications	Uniform type	Apodization weighting type
Center Frequency	100 MHz	100 MHz
Number of the Input IDT Pair	30 Pairs	30 Pairs
Number of the Output IDT Pair	30 Pairs	15 Pairs
Electrode Thickness	$0.02 \times \text{Wavelength}$	$0.02 \times \text{Wavelength}$
Aperture Width	$25 \times \text{Wavelength}$	$50 \times \text{Wavelength}$
Terminal Impedance	50 Ohm	50 Ohm

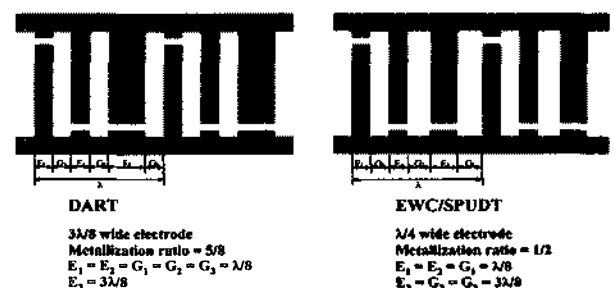
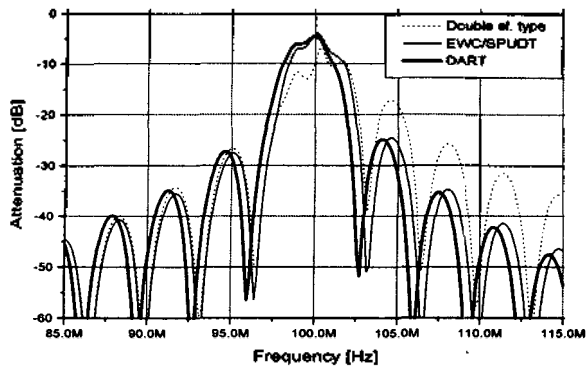
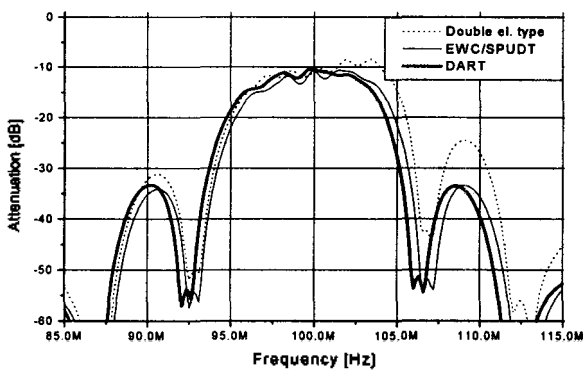


Fig. 1. Basic structure of DART and EWC/SPUDT.



(a) Uniform type SAW filter



(b) Apodization weighting SAW filter

Fig. 2. Comparison of double electrode type SAW filter and simply applied EWC/SPUDT and DART.

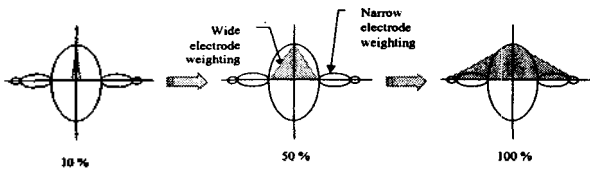
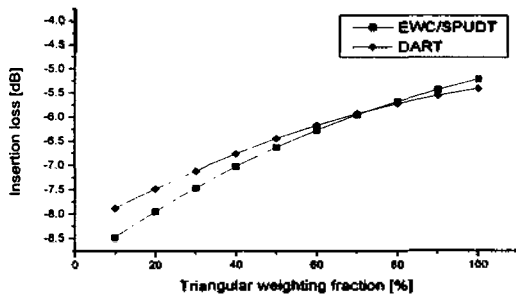
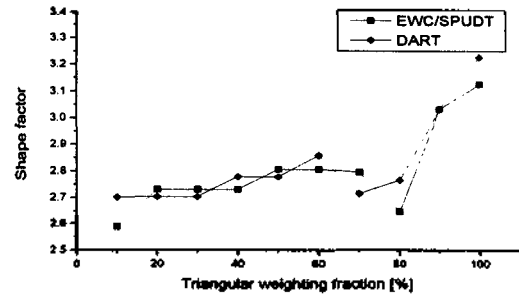


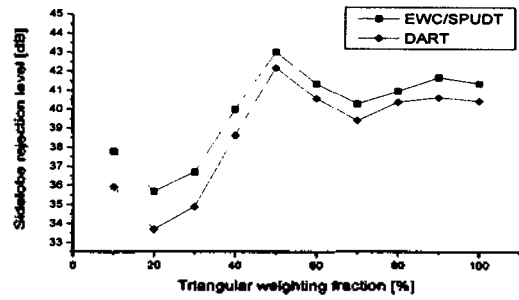
Fig. 3. Change method of wide electrode triangular weighting fraction.



(a) Variation of insertion loss.

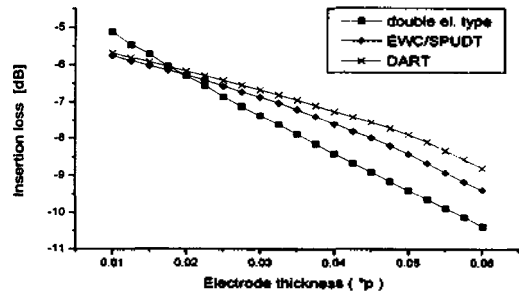


(b) Variation of shape factor.

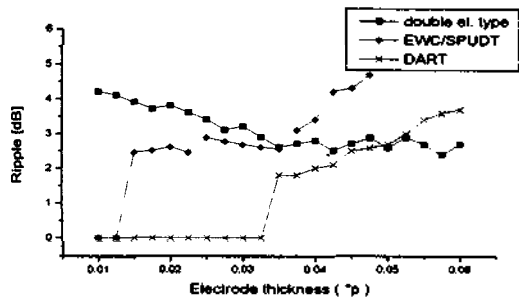


(c) Variation of sidelobe rejection level.

Fig. 4. Performance variation of EWC/SPUDT and DART with wide electrode triangular weighting fraction.



(a) Variation of insertion loss



(b) Variation of passband ripple

Fig. 5. Performance variation of EWC/SPUDT and DART with electrode thickness