

평판형 SAW 광대역 FM Discriminator

최영호, 안재영, 황금찬

* 삼성전자 종합 연구소 ** 연세대학교 전기공학과

A Planar Type Surface Acoustic Wave Wideband FM Discriminator

Y. H. Choi, J. Y. Ahn, K. C. Whang

* : Research and Development Center, Samsung Elec. Co., Ltd.

** : Dept. of Electrical Eng., Yonsei Univ.

Abstract

In this paper we describe a planar type SAW(surface acoustic wave) FM discriminator, in which a 3 dB multistrip coupler is used to keep the linearity of wideband FM discrimination.

This discriminator without 3 dB multistrip coupler is also applicable to DPSK demodulation.

1. 서론

탄성표면파(surface acoustic wave) 소자는 크기가 작고 제작이 간편하며, 안정된 특성을 갖는 외에도 수십 MHz - 수백 MHz 의 광대역폭의 신호를 처리할 수 있다는 장점으로 인하여, 특히 광대역 통신 시스템의 송·수신단에서 신호처리소자로서 널리 응용되고 있다.

1978년 W.C.Wang은 반도체의 비선형성을 이용한 다중구조의 음향전기 FM discriminator 에 대한 연구를 발표하였다.¹⁾ 그러나 이 소자는 그 출력이 크진 않지만, 반도체와 압전물질 사이에 일정한 공극을 유지시켜야 하는 어려움이 있으며, 동일 방향에 두 입력 IDT(inter-digital transducer) 가 설치될 때 두 IDT 사이의 거리가 IDT 폭보다 넓어야 하므로, 광대역폭의 신호 복조시 선형성을 유지하기가 곤란하다는 문제점이 있다.²⁾

본 논문에서는 W.C.Wang 이 제안한 다중구조의 음향전기 discriminator를 제작이 편리한 평판형 구조의 탄성표면파 FM discriminator 로 개선하고자 한다. 이는 압전물질의 압전 비선형성을 이용한 elastic convolver 를 이용한 것으로 압전 비선형성을 증대시키기 위하여 R.A.Becker 등이 제안한 포물선형 horn 도파관을 이용하여 입사파의 에너지 밀도를 높이고자 한다. 또한 FM 신호 복조시 선형성을 유지하면서 광대역폭의 신호를 처리하기 위해서는 두 입력 IDT 사이가 $\lambda/4$ 에 해당하는

시간지연을 갖도록 설계되어야 하는데, 이를 위하여 두 입력 IDT 와 포물선형 horn 도파관 사이에 3 dB MSC(multistrip coupler) 를 설치하였으며, 탄성표면파의 수직 성분 전계를 검출하도록 출력 단자를 설계하여 FM 신호를 복조하고자 한다.

2. 평판형 탄성표면파 FM discriminator 의 동작 원리

광대역폭의 FM 신호를 복조하기 위해서는 그림 1 과 같은 구성이 필요하며, 이와 같이 시간지연, 곱셈연산 및 저역통과 필터의 역할을 수행할 수 있도록 그림 2 와 같이 탄성표면파 FM discriminator 를 구성하였다.

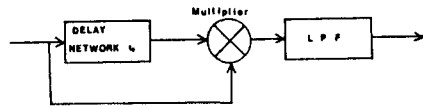


그림 1 동기형 FM 복조기의 블록선도

그림 2 와 같은 시간지연 t_0 만큼 떨어진 2 개의 IDT 에 FM 신호를 인가하면 같은 방향으로 전파하는 2 개의 collinear wave 가 여기된다. 2 개의 collinear wave 는 horn 형 beam 폭 압축기를 지나는 동안 그 에너지 밀도가

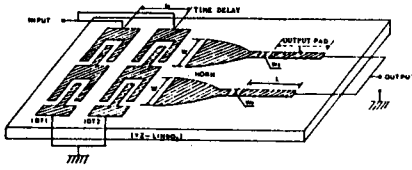


그림 2. 평판형 탄성표면파 FM discriminator 의 구조

높아져 압전물질의 압전 비선형성이 증대되며, 이러한 압전 비선형성에 의해 출력단에서 곱셈연산과 적분연산이 동시에 수행되어 FM 신호를 discrimination 하게 된다.^{3) 4)}

정현파로 변조된 FM 신호,

$$f(t) = A \cos(\omega_c t + \beta \sin \omega_m t) \quad (1)$$

여기서, ω_c : 반송파 주파수

ω_m : 변조 주파수

가 두 개의 입력 IDT 에 인가되면, 압전 비선형성에 의하여 곱셈 연산과 적분 연산이 동시에 수행되어 출력단의 개방전압은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} K \cdot v_p &= \int_0^L f(t-z/v) \cdot f(t-t, z/v) dz \\ &= \int_0^L \left[\sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n \left[2\beta \cos \left(\frac{1}{2} \omega_m t_0 \right) \right] \cos \left[2\omega_c (t-z/v) - \omega_c t_0 + n \left(\omega_m (t-z/v) - \frac{1}{2} \omega_m t_0 \right) \right] \right. \\ &\quad \left. + \sum_{p=-\infty}^{\infty} J_p \left[2\beta \sin \left(\frac{1}{2} \omega_m t_0 \right) \right] \cos \left[\omega_c t_0 + \frac{p\pi}{2} + p \left(\omega_m (t-z/v) - \frac{1}{2} \omega_m t_0 \right) \right] \right] dz \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n \left[2\beta \cos \left(\frac{1}{2} \omega_m t_0 \right) \right] \frac{\text{SIN} \left(-(2\omega_c + n\omega_m) L/2v \right)}{-(2\omega_c + n\omega_m) \frac{L}{2v}} \\ &\quad \times \cos \left[2\omega_c t - \omega_c t_0 + n \left(\omega_m t - \frac{1}{2} \omega_m t_0 \right) - \omega_c L/v - \frac{1}{2} n \omega_m L/v \right] \\ &\quad + \sum_{p=-\infty}^{\infty} J_p \left[2\beta \sin \left(\frac{1}{2} \omega_m t_0 \right) \right] \frac{2 \text{SIN} \left(-p \omega_m L/2v \right)}{-p \omega_m L/2v} \\ &\quad \times \cos \left[\omega_c t_0 + \frac{p\pi}{2} + p \left(\omega_m t - \frac{1}{2} \omega_m t_0 \right) - \frac{p}{2} \omega_m L/v \right] \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, K : 상수

$\Delta\omega$: 최대 주파수 편이

$\beta = \Delta\omega/\omega_{st}$: 변조 지수

$J_n(\Delta\omega t_0)$: n 차의 베셀 함수.

식(2)에서

$$\begin{aligned} \text{SIN} \left(p \omega_m L/2v \right) / \left(p \omega_m L/2v \right) &\cong 1 \quad p \leq 2 \\ \text{SIN} \left((2\omega_c + n \omega_m) L/2v \right) / \left((2\omega_c + n \omega_m) L/2v \right) &\cong 0 \\ &\text{for all } n \quad (3) \end{aligned}$$

으로 근사화되며, 또 시간지연 t_0 를 가능한 작게 하면

$\omega_m t_0/2 \ll 1$ 이 되어 $2\beta \sin(\omega_m t_0/2) \approx \omega_m t_0$ 로 근사화되며,

이때

$$\Delta\omega t_0 < 1 \quad (4)$$

의 조건을 만족하면 베셀 함수는

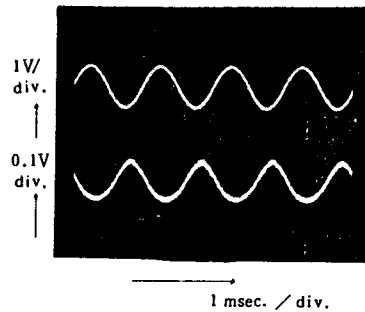
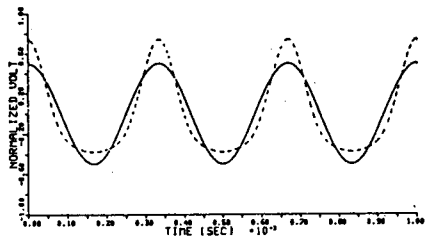
$$J_1(\Delta\omega t_0) \ll J_p(\Delta\omega t_0) \quad \text{for } p \leq 2 \quad (5)$$

이 되어 식(2)는 다음과 같이 근사화 할 수 있다.

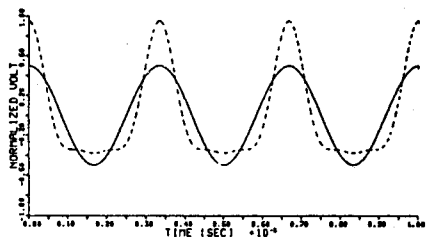
$$v_{op}(t) = K' \cos(\omega_c t + \varphi) \quad (6)$$

여기서 $p = 0$ 일 때의 직류 성분은 생략하였다. 결국 식(6)에서 이러한 탄성표면파 소자가 FM 신호를 복조할 수 있음을 알 수 있다.

광대역폭의 FM 복조기를 설계하는데 있어서 가장 중요하게 고려되어야 할 사항은 복조기의 선형성이다. 그림3은 시간지연이 0.34 μsec 로 고정되었을 때의 최대 주파수 편이에 따른 탄성표면파 FM discriminator 의 복조된 출력의 컴퓨터 시뮬레이션 결과 및 측정 결과이다.



(a)



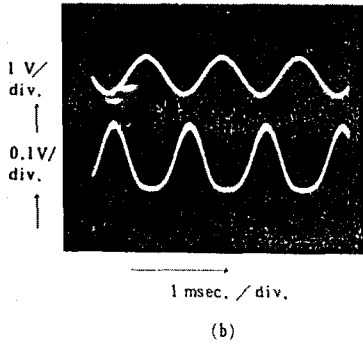


그림 3 컴퓨터 시뮬레이션 및 측정 결과
(a) $\Delta f = 600 \text{ kHz}$ (b) $\Delta f = 800 \text{ kHz}$

그림 3에서 최대 주파수 편이가 클수록 distortion 이 심함을 알 수 있는데, 이는 두 IDT 사이의 시간지연이 커 광대역폭의 FM 신호에 대한 소자의 선형성을 떨어 뜨리기 때문이다.

따라서 광대역폭의 FM 신호를 처리하기 위해서는 동일한 방향으로 탄성표면파를 여기시키면서 두 입력 IDT 사이를 이론적 최소치인 $\lambda/4$ 에 해당하는 시간지연을 갖도록 해야하는데 그림 1과 같이 두 입력 IDT 를 직렬로 설치할 경우에는 두 IDT 사이의 거리는 최소한 하나의 입력 IDT 이 거리 이상이 된다. 이 두 IDT 사이의 거리를 $\lambda/4$ 로 하기 위하여 3 dB MSC 를 사용한다.⁵⁾

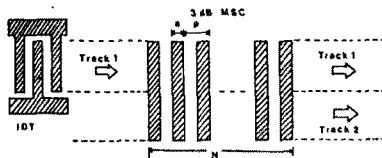


그림 4 3 dB MSC 의 구조

3 dB MSC 는 입력 탄성표면파를 같은 에너지를 갖는 두개의 파로 나누어 주는 소자로서 그 구조는 그림 4와 같다. 그러므로 3 dB MSC 를 사용하면 그림 5와 같이 두 입력 IDT 를 병렬로 설치할 수 있으므로, 두 입력 IDT 사이의 거리를 전국 하나의 폭인 $\lambda/4$ 로 설계하므로써 광대역폭의 FM 신호를 처리할 수 있게 된다.

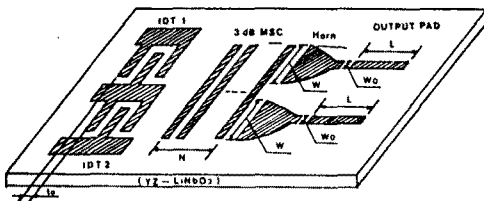
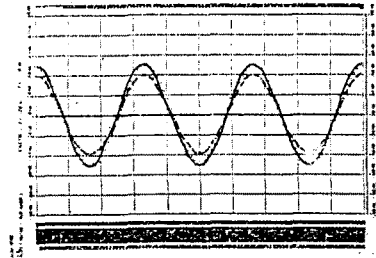
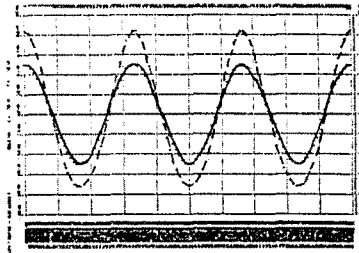


그림 5 3 dB MSC 를 이용한 탄성표면파 FM discriminator

그림 6은 3 dB MSC 를 사용한 평판형 FM discriminator 의 컴퓨터 시뮬레이션 결과이다.



(a)



(b)

그림 6 3 dB MSC 를 이용한 탄성표면파 FM discriminator 의 컴퓨터 시뮬레이션
(a) $\Delta f = 10 \text{ MHz}$ (b) $\Delta f = 20 \text{ MHz}$

3. DPSK 복조기에의 응용

그림 7은 DPSK 복조기의 블록선도이다. 따라서, 탄성표면파 FM discriminator 는 두 입력 IDT 사이의 시간지연을 DPSK 신호의 한 bit 폭인 T 로 설계하면 DPSK 복조기로서 이용될 수 있음을 알 수 있다.

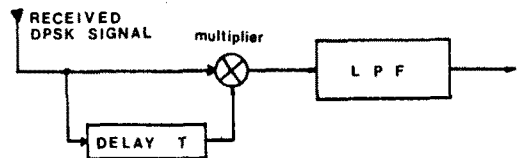


그림 7 DPSK 복조기의 블록선도
수신된 DPSK 신호,

$$v(t) = A \cdot b(t) \cdot \cos(\omega_c t) \quad (7)$$

가 시간지연 T 인 두 입력 IDT 에 인가될 때, 출력단의 개방 전압은 다음과 같이 주어진다.

$$e_o(t) = K \int_0^t [b(t-z/v) \cdot b(t-T-z/v) \cos(\omega_c z)] dz \quad (8)$$

+ 고차의 주파수 성분항

여기서, K 는 상수.

식(8)에서, 고차의 주파수 성분항은 출력단자에서의 공간적분, 즉 저역통과 필터링에 의하여 제거되고, 변수 변환 $u = t-z/v$ 을 행하면 다음과 같이 된다.

$$e_o(t) = K \int_{t-L/v}^t b(u) \cdot b(u-T) \cos(\omega_c T) du \quad (9)$$

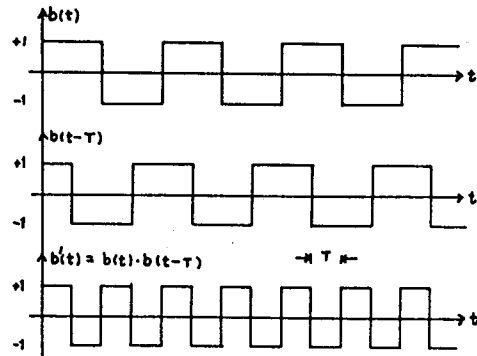
이때 $\omega_c T = 2n\pi$ 이면 식(9)는,

$$e_o(t) = K \int_{t-L/v}^t b(u) \cdot b(u-T) du \quad (10)$$

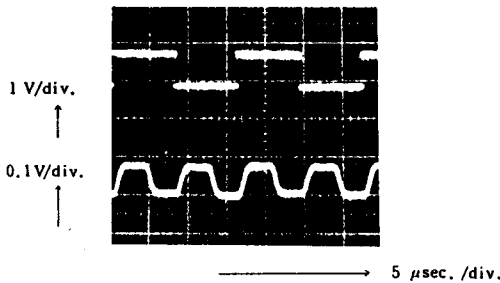
이 되고 식(10)에서 $L/v \ll T$ 이라면, 즉 출력단자의 길이 L 을 vT 보다 작게 설계하면 식(10)은 다음과 같이 근사화 할 수 있다.

$$e_o(t) = K' \cdot b(t) \cdot b(t-T) = K' \cdot b'(t) \quad (11)$$

식(11)에서 이 소자는 수신된 DPSK 신호를 복조할 수 있음을 알 수 있다. 그림 8은 데이터 시이퀀스의 복조 및 실험 결과를 나타내고 있다.



(a)



(b)

그림 8 데이터 시이퀀스의 복조 및 측정 결과

4. 결 론

포물선형 horn 도파관을 이용한 탄성표면파 FM discriminator 는 구조적으로 간단한 평판형 구조로서, 두 개의 입력 IDT 에 동시에 FM 신호를 인가함으로써 FM 신호를 복조할 수 있음을 알 수 있었으며, 특히 3 dB MSC 를 설치함으로써 광대역폭의 FM 신호의 복조시 선형성을 크게 개선할 수 있었다.

그리고 또한 두 입력 IDT 사이의 시간지연을 DPSK 신호의 한 bit 간격으로 하였을 때 인가된 DPSK 신호를 복조함으로써, 이 소자가 DPSK 복조기에도 이용될 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

1. W.C.Wang, H.Schachter, F.Cassara and L.Rosenheck, "An Acoustoelectric FM Demodulator", 1978 IEEE Ultrasonics Symp. Proc., p25
2. J.F.Lutz, "Synchronous Delay Line Detector Provides Wideband Performance", Microwave & RF, p.71 Nov.1982
3. R.A.Becker and D.H.Hurlbert, "Wideband LiNbO₃ Elastic Convolver with Parabolic Horns", 1979 IEEE Ultrasonic Symp.Proc., p729
4. I.Yao, "High Performance Elastic Convolver with Parabolic Horns", 1980 IEEE Ultrasonic Symp.Proc., p37
5. F.G.Marshall, C.O.Newton, and E.G.S.Paige, "Theory and Design of the Surface Acoustic Wave Multi-strip Coupler", IEEE Trans.on Sonics and Ultrasonics Vol.SU-20, No.2, April 1973