

포물선형 Horn을 이용한 탄성표면파 SAW 복조기

°윤 회 종, 최 영 호, 황 금 찬
연세대학교 공과대학 전기공학과

Surface Acoustic Wave FM Demodulator Using Parabolic Horn

H. C. Yoon, Y. H. Choi, K. C. Whang
Dept. of Electrotechnology, Eng., Yonsei Univ.

Abstract

In this paper we describe a new type of SAW FM demodulator which is structurally single layer planar type and uses the elastic nonlinearity compared with acoustoelectric SAW(surface acoustic wave) FM demodulator. This device shows successful FM demodulation.

1. 서 론

탄성표면파는 1970년대 부터 스펙트럼 확산 통신방식에서 정합필터, PSK 변조기 MSK 변조기등 그 응용분야를 넓히고 있다.

1978년 W.C. Wang 등에 의해서 반도체의 비선형성을 이용한 2중구조의 FM 복조기에 관한 연구를 발표하였으며, 1979년 R. A. Becker 등은 진행하는 SAW의 에너지밀도를 포물선형 혼을 사용함으로써 증대시킬 수 있음을 연구되었다.

본 논문에서는 평판형구조로서 압전물질의 압전비선형성을 이용한 새로운 형태의 SAW FM 복조기를 제시하고자한다. 이는 압전물질인 YZ-LiNbO₃의 표면위에 2개의 IDT, horn 형 빔폭 압축기 및 출력단자로 구성되어 있다. 2개의 IDT는 같은 방향으로 SAW를 여기 시키도록 설치하였으며, 입사파의 에너지밀도를 증대시키기위하여 포물선형 horn을 설치하였으며, SAW의 수직성분 전계를 검출하도록 출력단자를 설치하여 FM 신호를 복조하고자 한다.

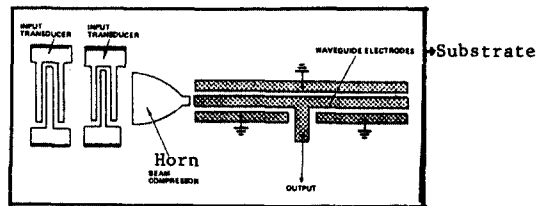
2. SAW FM 복조기의 동작원리

SAW FM 복조기의 구조는 그림 2-1 과 같다.

그림 2-1 과 같이 시간지연 t₀를 갖는 2개의 IDT에 FM 신호를 인가하면 IDT에서 같은 방향으로 진행되는 2개의 collinear wave가 여기된다.

2개의 collinear wave는 horn 형 빔폭 압축기를 지나는 동안 입사파의 에너지 밀도가 증대되어 압전물질의 압전비선형성을 이용하게 된다. 출력단자는 SAW의 수직성분 전계를 검출하게 되는데 진행되는 SAW가 출력단자를 지나는 동안 곱셈연산과 적분연산

을 동시에 수행하여 FM 신호를 복조한다.



(그림 2-1) 평판형 SAW FM 복조기의 구조

만일 인가되는 신호가 정현파로 변조된 FM 신호라면

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

압전비선형성에 의하여 출력단자를 지나는 동안 식 2와 같은 신호가 발생한다.

$$((f(t) + f(t-t_0))^2) \quad (2)$$

식 2에서 중요한 것은 식 3 과 같이 표시되는 항이다.

$$\begin{aligned} 2f(t)f(t-t_0) &= 2AB \cos(\omega_c t + \beta \sin \omega_m t) \cos(\omega_c(t-t_0) + \beta \sin \omega_m(t-t_0)) \\ &= AB \cos(\omega_c t_0 + (2\beta \sin(\omega_m t_0/2)) + AB \cos(2\omega_c t - \omega_c t_0 + (2\beta \cos(\omega_m t_0/2)) \sin(\omega_m t - \omega_m t_0/2)) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, A, B : 진폭

$$\beta = \Delta\omega / \omega_m \text{ 변조지수}$$

$\Delta\omega$: 최대 주파수 편이

f_m : 변조주파수

f_c : 반송파 주파수

또한 식 (3)은 출력단자의 길이에 따라 공간적으로 적분이 수행되므로 다음 식(4)와 같이 표시된다.

$$v_{op}(t) = \int_0^L f(t-z/v) f(t-t_0-z/v) dz$$

$$= KAB \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(2\beta \cos(\omega_m t_0/2)) \frac{\sin((2\omega_c + n\omega_m)L/2v)}{\sin((2\omega_c + n\omega_m)L/2v)} \cos(2\omega_c t - \omega_c t_0 + n(\omega_m t - \omega_m t_0/2) - \omega_c L/v - n\omega_m L/2v) + KAB \sum_{p=-\infty}^{\infty} J_p(2\beta \sin(\omega_m t_0/2)) \frac{\sin(p\omega_m L/2v)}{p\omega_m L/2v} \cdot \cos(\omega_c t_0 + p\pi/2 + p(\omega_m t - \omega_m t_0/2) - p\omega_m L/2v)$$

$$= KAB \sum_{p=-\infty}^{\infty} J_p(\Delta\omega t_0) \cos(p\omega_m t + \omega_c t_0 + \varphi) \quad (4)$$

여기서, $J_n(\Delta\omega t_0)$; 베셀 함수

식(4)에서 $\sin \theta / \theta$ 의 형태에서 공간적인 필터링이 수행된다. 즉

$$\frac{\sin(p\omega_m L/2v)}{p\omega_m L/2v} = 1 \quad \text{for } p \leq 2$$

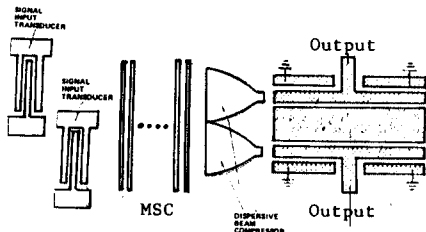
$$\frac{\sin((2\omega_c + n\omega_m)L/2v)}{(2\omega_c + n\omega_m)L/2v} = 0 \quad \text{for all } n$$

또한 $2\beta \sin(\omega_m t_0/2) = \Delta\omega t_0$ 가 되기 위해서는 시간 지연 t_0 를 $0.34 \mu\text{sec}$ 로 설계하였다.

그리고 $\Delta\omega t_0 < 1$ 이면 베셀함수에서 $p \geq 2$ 일때 $J_p[\Delta\omega t_0] \ll J_1[\Delta\omega t_0]$ 이므로 결국 식(4)는 FM 신호의 복조가 가능함을 보여준다.

그러나 이와같은 소자에서 두개의 collinear wave가 진행하므로 다른 하나의 IDT에서 다른 하나의 SAW를 여기하므로 불요신호가 발생한다는 문제점이 있다.

따라서 그림 2-1의 구조에 MSC(multistrip coupler)를 사용하여 그림 2-2와 같은 구조의 SAW 복조기에 관한 연구도 진행중이다.



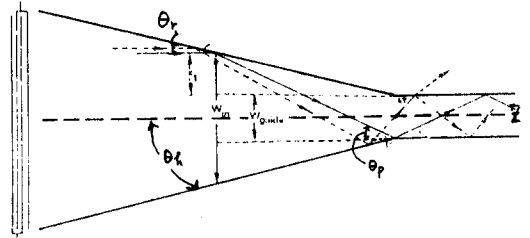
(그림 2-2) MSC를 이용한 SAW FM 복조기

그림 2-2에서 MSC는 3 dB MSC로서 진행하는 SAW는 반은 MSC를 통과하여 진행하고, 나머지 반은 track이 바뀌어 진행한다.

이와같이 진행하는 SAW는 2중 horn을 지나는 동안 앞에서 설명한 것과 동일하게 곱셈연산과 적분연산이 수행되어 FM 신호를 복조하게 된다.

3. 포물선형 horn 도파관의 설계

평면 광학 도파관에서 빔폭이 압축되어 도파관내로 들어가는 조건을 선형 horn 형태의 모드 전파로 알아보면 θ_p 를 horn의 평면에서 가장 낮은 차수의 모드의 광각이라 하고, θ_h 를 horn의 각도라 하면 입사된 빔이 도파관 속으로 들어가려면 θ_h 는 θ_p 보다 작아야만 한다.



(그림 2-3) 포물선형 horn 도파관의 모델

$$\theta_h(z) = \alpha \theta_p(z) \quad (\alpha \leq 1) \quad (5)$$

그리고 $\theta_r = \frac{1}{2} \theta_p$ 이므로 θ_p 를 임계각이라 하면 horn의 경계로부터 반사된 빔의 각 θ_r 은 $\frac{1}{2} \theta_p$ 보다 작은 각도 이어야만 도파관내에서 전파된다.

포물선형 horn 도파관의 설계공식은 다음과 같다.

$$\frac{dW}{dL} = \frac{2\alpha K_0}{\eta_0 \beta_0} \quad (6)$$

여기서, W; horn의 폭

L; horn의 길이

α ; 1보다 작거나 같은 상수

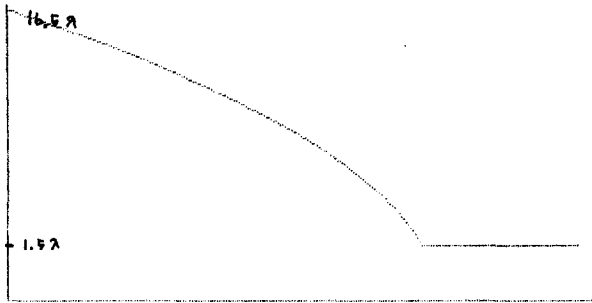
β_0 ; 도파관 내의 전파상수

K_0 ; $k_0 = \eta_0 (k_c^2 - \beta_0^2)^{1/2}$

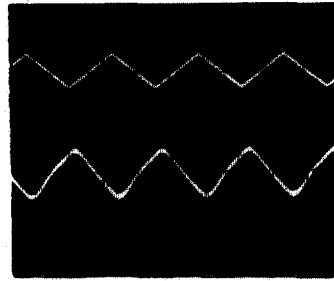
η_0 ; YZ-LiNbO₃의 비등방성 인자

k_c ; 금속을 입힌 부분의 YZ-LiNbO₃의 전파상수

식(6)과 같이 설계된 horn의 컴퓨터 시뮬레이션 결과는 그림 2-4와 같다.



(그림 2-4) 포물선형 horn 의 이론적 결과

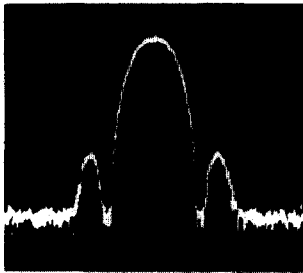


(b)

4. 실험 및 결과 고찰

중심주파수 100 MHz, 압축비 11:1 및 출력단자의 길이를 5 μ sec.로 설계하여 압전물질인 YZ-LiNbO₃ 위에 포토리토그래피 방법으로 제작하여 그 특성을 측정하였다.

우선 SAW 지연선의 주파수 응답을 살펴 보았는데 이는 그림 4-1 과 같다.

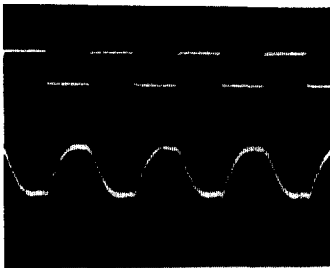


Ver. 10dB/div.
Hor. 20MHz/div.

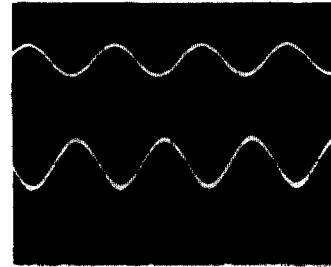
center freq. 100MHz

(그림 4-1) SAW 지연선의 주파수 응답

그리고 2 개의 입력 IDT 에 구형파, 삼각파 및 정현파로 변조시킨 FM 신호를 인가하여 얻은 복조 신호는 그림 4-2 와 같다.



(a)



(c) hor. 0.1 msec./

upper trace modulating signal 0.5 V/div. div.

lower trace demodulated signal 0.1 V/div.

(그림 4-2) 복조된 출력 신호

5. 결론

압전물질인 YZ-LiNbO₃ 위에 중심주파수 100 MHz, 압축비 11:1, 출력단자의 길이 5 μ sec.로 설계된 IDT, horn 형 빔폭 압축기 및 출력단자를 포토리토그래피 방법으로 제작하여 그 특성을 측정한 결과 FM 신호를 복조하였다.

또한 두개의 collinear wave 가 여기되므로 발생되는 문제점을 없애기 위하여 3 dB MSC 를 사용하는 방법을 제시하였다.

그리고 이는 DPSK 복조기로서도 응용이 가능하다.

REFERENCE

1. W. C. Wang, H. Schachter, F. Cassara and Rosenheck, "An Acoustoelectric FM Demodulator," 1978 IEEE Ultrasonics symp. Proc., p.25
2. R. A. Becker and D. H. Hurlburt, "Wideband LiNbO₃ Elastic Convolver with Parabolic Horns," 1979 IEEE Ultrasonics Symp. Proc., p. 224
3. I. Yao, "High Performance Elastic Convolver with Parabolic Horns," 1980 IEEE Ultrasonics Symp. Proc., p. 37