

탄성표면파 AWQPSK 변조기

하준호, 최영호, 황금찬  
연세대학교 공과대학 전기공학과

Surface Acoustic Wave Amplitude Weighted QPSK Modulator

J.H.Ha, Y.H.Choi, K.C.Whang,  
Dept. of Electrical Eng., Yonsei Univ.

ABSTRACT

In this paper SAW(Surface Acoustic Wave) AWQPSK(Amplitude Weighted QPSK) modulator, which modulates impulse data sequence into AWQPSK signal, is described. A SAW filter has been designed and fabricated, and measured responses are presented. This SAW-based device shows good performance as a simple AWQPSK modulator.

1. 서론

스펙트럼 공간(Spectrum Space)이 분비게 됨에 따라서 특히 주파수제한된 채널에서 전송하는 정보의 스펙트럼 효율(Spectral Efficiency)을 극대화 하는 것이 매우 중요하다. 그 목적을 달성하는 방법으로 현재 스펙트럼 확산 통신(Spread Spectrum Communication) 방식에서 가장 많이 이용되고 있는 Quadrature 변조 방식으로서 QPSK, OQPSK 와 MSK 를 들수있다.

기존의 방식들과 비교해서 스펙트럼 효율과 ISI(Intersymbol Interference)에 결정적인 요소인 Baseband 펄스 형태를 이루는 함수 P(t)를 스펙트럼 효율을 극대화 하고 또한 ISI를 줄이는 함수로 선택해서 보다 나은 새로운 변조방식으로 AWQPSK(Amplitude Weighted Quadrature Phase Shift Keying)가 제안 되었다.

통신 시스템에서 전송하는 정보의 스펙트럼 효율을 극대화 하는 것은 신호 파형의 에너지 대부분은 반송파 중심 주파수 주위의 대역(Main lobe)에 있고 그밖의 대역(Side lobe)에로의 에너지 확산을 최소화 하는 것이다. 이와 같이 정보의 대역폭을 제한하기 위해서 전송전에 대역제한 필터에 통과시키거나 전송 데이터를 변조기에서 변형하는 방법이 있다.

QPSK의 경우에 변조된 신호의 스펙트럼 포락선은 -13dB의 Sidelobe 수준을 나타낸다. 신호의 대역폭은 전송전의 Filtering 에 의해서 제한될 수 있다. 그러나 결과적으로 필터의 임펄스응답 길이와 비트 심볼에 tail 발생함에 의해서 비트 심볼이 인접한 심볼들과 겹치는 결과(Intersymbol interference)를 남게 된다. ISI는 전반적 시스템 동작을 나쁘게 하며, 수신단에서 애러가 발생할 확률은 높아진다.

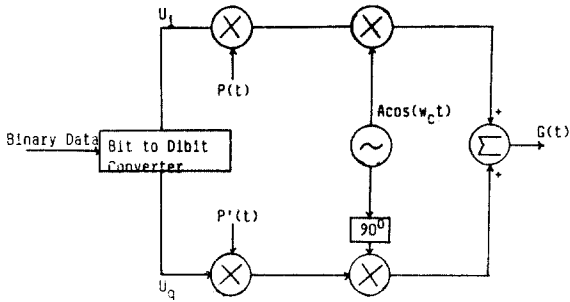
AWQPSK 변조된 신호는 QPSK나 MSK에 비해서 전력 스펙트럼의 Mainlobe에 대부분의 전력이 모여있으므로 전송전에 Filtering을 필요로하지 않고 주파수 대역제한된 채널을 통해서 전송되어도 ISI 발생이 거의 없다.

AWQPSK 변조된 신호는 성격상 기존의 QPSK 변조된 신호 3개가 각 weighting 함수가 곱해져 중첩되어서 이루어지게 되므로 AWQPSK System 의 제작은 회로의 설계가 복잡해지고 많은 소자들이 필요하게 된다. 탄성 표면파 소자는 요구되는 변조기의 펄스형태와 같은 임펄스응답을 정확히 만들어 낼 수 있고 고주파, 광대역 처리가 가능하며 회로가 간단하고 소형 경량이며 적은 전력을 소모하는 특성을 갖는다.

본 연구에서는 탄성 표면파 소자의 콘블루션 특성과 Apodized IDTs를 이용해서 정확한 펄스 형태를 발생하는 소자를 설계하고 제작하여 음향집적 회로 (Acoustic Integrated circuits)를 구성함으로써 소형 경량인 하나의 칩으로 AWQPSK 변조기를 실현할 수 있음을 보이고자 한다.

2. AWQPSK 이론

Quadrature 변조신호는 동상(In-Phase)과 직각(Quadrature)성분의 반송자로 변조된 두 펄스열, 즉 홀수열과 짝수열의 합으로 나오는 변조된 파형 G(t)로 표시되며 Quadrature 변조기의 구성도는 그림(1)과 같다.



그림(1) Quadrature 변조기 시스템 구성도

이때 동상과 직각성분 펄스열의 상대적 배열과 펄스형태에 의해서 QPSK, Offset QPSK, MSK 등으로 구분된다. Quadrature 변조신호는 일반적으로 식(1)과 같다.

$$G(t) = U_i P(t) \cos w_c t + U_q P'(t) \sin w_c t$$

$U_i, U_q$ ; Dabit data sequence,  $(\pm 1)$  -----(1)  
 $P(t), P'(t)$ ; Baseband pulse,  $T_d = T$

이들 변조방식에서 스펙트럼효율과 ISI발생에 결정적인 요소는 Baseband 펄스 형태  $P(t), P'(t)$  이다. QPSK와 MSK의 다른 점은 한 칩구간에서 정의되는 펄스함수  $P(t)$ 이다. MSK 경우에는 정현파형(Sinusoidal) 펄스를 채택해서 주파수 스펙트럼형태는 Offset된 두 Sinc 함수의 중첩으로 표시된다. Cosine 함수를 Weighting으로 하는 펄스 함수  $P(t)$ 는 일반적으로 식(2)와 같다.

$$P(t) = \sum_{n=0}^N a_n \cos \frac{n\pi}{T} t \cdot \text{rect}[(t-T/2)T] \text{ ----(2)}$$

MSK는  $N=1$ 에 해당하며 QPSK보다 스펙트럼효율을 개선함과 동시에 주파수 제한된 채널에서 전송시 ISI가 줄어든다. AWQPSK의 경우 펄스형태  $P(t)$ 는 스펙트럼효율을 극대화 하고 ISI를 최소화 하기 위해서 식(3)과 같이 정의된다.

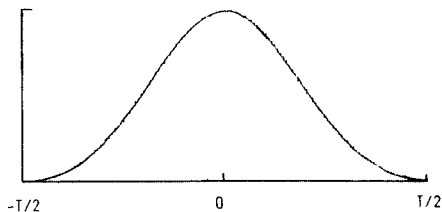
$$P(t) = [0.44 + 0.5 \cos(2\pi t/T) + 0.07 \cos(4\pi t/T)]$$

$$-T/2 \leq t \leq T/2 \text{ ----(3)}$$

$$P'(t) = [0.44 + 0.5 \cos(2\pi t/T) + 0.07 \cos(4\pi t/T)]$$

$$0 \leq t \leq T$$

식(3)에 의한 펄스 형태는 그림(2)와 같다.



그림(2) AWQPSK 펄스

주어진 펄스 형태  $P(t)$ 와 식(1)에 의해서 AWQPSK 변조신호  $G(t)$ 는 식(4)와 같다.

$$G(t) = U_i [0.44 \cos w_c t + 0.5 \cos(2\pi t/T) \cos w_c t + 0.07 \cos(4\pi t/T) \cos w_c t] +$$

$$U_q [0.44 \sin w_c t - 0.5 \cos(2\pi t/T) \sin w_c t + 0.07 \cos(4\pi t/T) \sin w_c t]$$

또한  $G(t)$ 는 식(5)에서와 같이  $G_1(t), G_2(t), G_3(t)$ 의 합으로 다음 식(5)와 같이 쓸 수 있다.

$$G(t) = G_1(t) + G_2(t) + G_3(t)$$

$$G_1(t) = 0.44 [U_i \cos w_c t + U_q \sin w_c t]$$

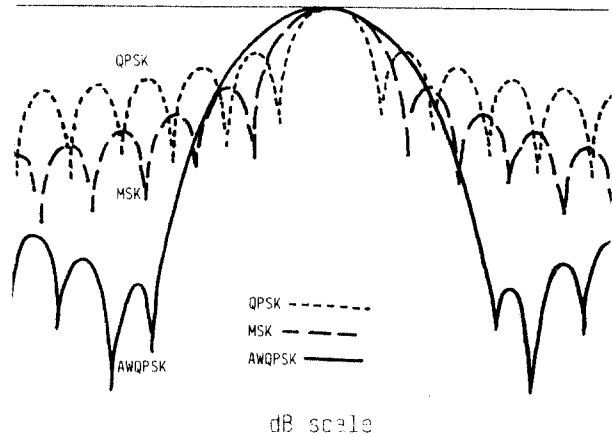
$$G_2(t) = 0.5 \cos(2\pi t/T) [U_i \cos w_c t - U_q \sin w_c t] \text{ ----(5)}$$

$$G_3(t) = 0.07 \cos(4\pi t/T) [U_i \cos w_c t + U_q \sin w_c t]$$

이때 식(5)의 각  $G_1(t), G_2(t), G_3(t)$ 는 모두 상수와 정현파로 곱해진 Amplitude Weighted QPSK신호이다. AWQPSK신호의 주파수축 스펙트럼은 식(3)의 펄스함수  $P(t)$ 의 Fourier Transform, 즉 중첩 정리에 의해서 1개의 Sinc 함수와 4개의 Offset된 Sinc 함수들의 합으로 구성되며 식(6)으로 표시된다.

$$P(f) = 0.44T \text{ sinc}(fT) + 0.25T [\text{sinc}(fT-1) + \text{sinc}(fT+1)] + 0.035T [\text{sinc}(fT-2) + \text{sinc}(fT+2)] \text{ ----(6)}$$

AWQPSK 전력밀도 스펙트럼을 QPSK 및 MSK 전력밀도 스펙트럼과 비교하면 그림(3)과 같다.



그림(3) QPSK, MSK, AWQPSK 전력 스펙트럼 비교도

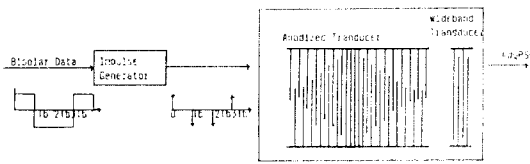
변조 방식에 따른 각 스펙트럼효율은 bits/sec/Hz로 표시 되는데 이때 전송 대역폭 (Transmission Bandwidth)을 전체 전력밀도의 99.99% 포함하는 대역폭으로 정의할 때에 각 변조방식에 따른 전송 대역폭과 스펙트럼효율은 표(1)과 같다.

표(1)

변조 방식	전송 대역폭 (Hz)	스펙트럼 효율 (bits/sec/Hz)
QPSK	10/Tb	0.1
MSK	2.75/Tb	0.364
AWQPSK	1.15/Tb	0.869

3. 탄성 표면파 AWQPSK 변조기 이론 및 설계

본 연구에서는 식(3)과 그림(2)로 주어진 펄스 형태를 임펄스 응답  $H(t)$ 로 갖는 탄성 표면파 필터를 설계 제작하였으며 AWQPSK 변조기 시스템 구성은 그림(4)와 같다.



그림(4) SAW AWQPSK 변조기 구성도

입력 Bipolar 데이터는 임펄스 제너레이터를 통과하면서 데이터 클럭 주파수와 같은 비율로 적당한 위상을 갖는 임펄스 열로 변화되며 각 임펄스는  $H(t)$ 의 주파수 응답을 갖는 탄성 표면파 소자를 구동하게 된다.

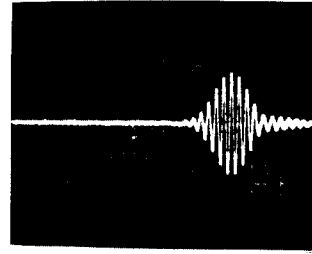
$$H(t) = |0.44 + 0.5 \cos(2\pi t/T) + 0.07 \cos(4\pi t/T)| \quad \text{-----(7)}$$

입력 Apodized IDTs는 정확한 AWQPSK 펄스 형태를 만들어 주며, 광대역의 출력 Uniform IDTs는 Acousto-Electric 변환을 해서 변조 출력을 낸다.

입력 데이터 임펄스는 실재적으로 유한 폭을 갖게 되므로 Apodized IDTs에서 여기되는 펄스 형태에 변형을 일으키게 된다. 유한 폭을 갖는 임펄스는 주파수 축 스펙트럼에서 고주파쪽으로 기울어진 형태를 취하므로 5개의 Sinc 함수의 합으로 이루어지는 AWQPSK 주파수 축 스펙트럼에 중심 주파수  $f_c$ 를 중심으로 저주파 쪽과 고주파 쪽에 각각 적당한 보상 상수를 곱해줌으로써 Apodization 형태를 변화시켜서 임펄스 응답 길이나 전체 시스템의 변화 없이 유한 폭을 갖는 임펄스 데이터에 의해서 발생하는 찌그러짐을 보상할 수 있다.

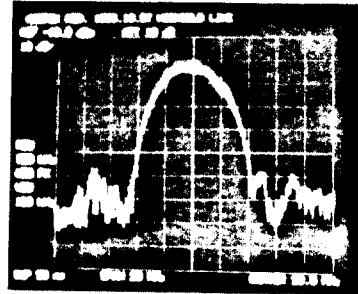
4. 실험 및 결과 고찰

본 논문에서는 중심 주파수가 20 MHz이며 20쌍의 Apodized IDTs를 입력으로 2쌍과 4쌍의 Uniform IDTs를 각각 출력으로 하는 탄성 표면파 필터를 압전 물질인 LiNbO<sub>3</sub> 기판위에 포토리소그래피 방법으로 제작하였다. 이때 1 Chip의 펄스 폭은  $T_b = 0.25 \mu\text{sec}$ ,  $f_b = 4\text{MHz}$ 로 설계 했다. 이와같이 제작된 탄성 표면파 AWQPSK 변조기의 임펄스 응답과 주파수 응답은 그림(5), 그림(6)과 같다.



Hor. 0.2 usec./div. Ver. 0.2 V/div.

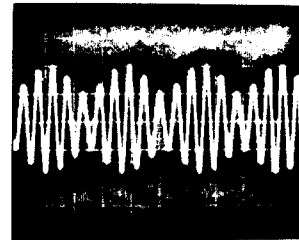
그림(5) SAW AWQPSK 변조기 임펄스 응답



Hor. 2 MHz/Div. Ver. 10 dB/div.  $f_c = 20 \text{ MHz}$

그림(6) SAW AWQPSK 변조기 주파수 응답

또한 데이터 임펄스 입력에 대한 AWQPSK 변조 파형은 그림(7)과 같다.



Hor. 0.2 usec./div. Ver. 0.2 V/div.

그림(7) AWQPSK 출력

5. 결론

20 MHz의 중심 주파수로 제작된 변조기의 측정 중심 주파수 값은 20 MHz로 이론치와 일치 하였으며 임펄스 응답 길이는 이론치 0.5  $\mu\text{sec}$ 보다 약간 긴 값을 나타내는데 이는 Output IDTs의 콘볼루션 시간 때문으로 주파수 대역폭에도 영향을 끼친다. 이는 입력 IDTs의 길이가 상대적으로 출력 IDTs의 길이보다 매우 커질 경우(중심 주파수가 커질 경우) 그 영향은 무시될 수 있다.

주파수 응답의 null to null 대역폭은 이론치 8.6 MHz와 근사한 약 8.8 MHz로 측정되었다. Mainlobe에 대한 Sidelobe 수준은 이론치 -65 dB에 접근하는 -60 dB 수준으로 이는 SAW 변조기 입력 Apodized IDTs는 정확한 펄스를 발생시켜 줄 수 있으므로 복잡한 형태의 펄스가 요구되는 RF 변조기로 매우 유용하게 응용될 수 있다.

### 참고 문헌

- [1] M.K.Simon, "A generalization of minimum-shift keying(MSK)-type signal based upon input data symbol pulse shaping," IEEE Trans. Commun., Vol. 24, pp. 845-856, Aug. 1976.
- [2] D.C.Maloche, "J.H.Goll, and M.A.Heard, "Design of compenated SAW filter used in a widespread MSK waveform generator," in Proc. 1979 IEEE Ultrason. Symp., pp. 518-522, 1979.
- [3] M.F.Lewis, P.J.Lowe and W.G.Picken, "MSK SAW filter to complement todays SAW convolver," in Proc. 1982 IEEE Ultrason. Symp., pp. 256-261, 1982.
- [4] M.C.Austin, M.U.Chang, D.F.Harwood, and R.A.Maslov, "QPSK, staggered QPSK, and MSK-A comparative evaluation," IEEE Trans. Commun., vol. 31, pp. 171-182, Feb. 1983.
- [5] S.Pasapaty, "Minimum shift Keying: A spectrally efficient modulation," IEEE Commun. Mag., p. 4, July 1979.
- [6] M.A.Belkerdid, D.C.Maloche, B.E.Petrasco, and S.M. Richie, "AWQPSK: An optimum modulation technique for spread spectrum communication using a SAW modulator," in proc. IEEE Ultrason. Symp. pp. 116-120, 1984