

탄성표면파 직렬형 AWQPSK 변조기 SAW Serial Type AWQPSK Modulator

*하 준 호(Ha, J. H.)
 **김 근 목(Kim, K. M.)
 **박 용 서(Park, Y. S.)
 ***황 금 찬(Whang, K. C.)

요 약

본 논문에서는 쌍극성 임펄스형 데이터열을 AWQPSK(Amplitude Weighted QPSK) 신호로 변환하는 변조기를 탄성 표면파 소자로 구현하고 그 특성을 측정하였다. 탄성표면파 변조기는 입력 비정규형 IDT와 출력 정규형 IDT로 구성되어 있으며, 중심 주파수 f_c 는 20MHz, 비트폭은 250nsec를 갖도록 설계하여 압전물질인 YZ-LiNbO₃ substrate 위에 Photolithography 방법으로 제작하고 그 특성을 측정하였다. 측정된 중심 주파수와 영점-영점 대역폭은 각각 20MHz와 8.8MHz이고 제 1 side lobe는 -60dB로서 이는 이론치와 거의 일치하는 결과이다.

ABSTRACT

In this work an implementation of SAW based serial type AWQPSK modulator is studied.

The SAW AWQPSK modulator consisting of input apodized IDT and output uniform IDT with center

*연세대학교 전기공학과 대학원 졸업

**연세대학교 전기공학과 대학원 박사과정

***연세대학교 공대 전기공학과 교수 공학박사

frequency of 20 MHz and bit rate of 4MHz has been designed and fabricated on YZ-LiNbO₃ substrate. Measured center frequency and null-to-null bandwidth are 20MHz, respectively. The sidelobe suppression is achieved 60dB below the peak mainlobe level. Measured responses meet the theoretical values with tolerable amount of deviation.

SAW-based modulator simplifies the implementation of AWQPSK which uses complex pulse shape as a baseband pulse.

I. 서 론

스펙트럼 공간(spectrum space)이 붐비게 됨에 따라 특히 주파수 제한된 채널에서 전송하는 정보의 스펙트럼 효율(spectral efficiency)을 극대화하는 것이 매우 중요한 문제로 되었다⁽¹⁾. AWQPSK 변조 신호는 QPSK나 MSK에 비해서 전력밀도스펙트럼의 메인 로우브에 대부분의 전력이 집중되어 있으므로 전송선에 대역통과 필터에 통과시키지 않아도 되며 또한 주파수 대역제한된 채널을 통해 전송되어도 ISI가 거의 발생하지 않는다. AWQPSK 변조 신호는 3개의 QPSK 변조 신호가 각각 다른 크기로 더해진 형태이므로 이를 보통의 소자를 이용하여 제작할 경우 회로의 설계가 복잡해지고 많은 소자가 필요하게 된다.

본 연구에서는 원하는 임펄스 응답을 IDT의 기하학적 모양에 의해 쉽게 얻을 수 있고, 고주파 광대역의 신호처리가 가능하며, 소형·경량이라는 장점을 갖는 탄성표면파 소자를 이용하여 AWQPSK의 펄스 형태와 같은 임펄스 응답을 갖는 소자를 설계·제작하여 음향 집적회로(acoustic IC)를 구성함으로써 소형 경량인 하나의 칩으로 AWQPSK 변조기를 실현할 수 있음을 보이고자 한다.

II. AWQPSK 변조기의 이론

Quadrature 변조 신호는 일반적으로 식(2-1)

과 같다.

$$G(t) = U_1 P(t) \cos 2\pi f_c t + U_2 P'(t) \sin 2\pi f_c t \quad (2-1)$$

U_1, U_2 ; 동상, 직각 성분의 데이터

f_c ; 반송자 주파수

이 변조방식에서 스펙트럼 효율과 ISI 발생에 결정적인 요소는 기저대역 펄스형태로 $P(t), P'(t)$ 이다.

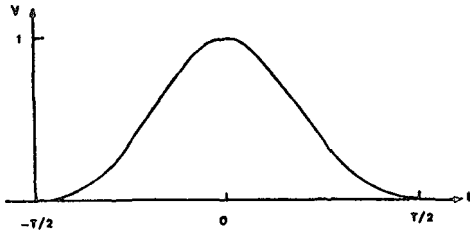
AWQPSK의 펄스 형태 $P(t)$ 는 스펙트럼 효율을 극대화하고 ISI를 최소화하기 위해서 식(2-2)와 같이 정의된다⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾.

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

$$P'(t) = [0.44 - 0.5 \cos(2\pi t/T) + 0.07 \cos(4\pi t/T)] \quad 0 \leq t \leq T \quad (2-2)$$

그림 2-1은 이러한 AWQPSK의 펄스형태다. 이와같이 주어진 펄스 형태 $P(t)$ 와 식(2-1)에 의해 AWQPSK 변조 신호 $G(t)$ 는 식(2-3)과 같이 된다.

$$G(t) = U_1 [0.44 \cos 2\pi f_c t + 0.5 \cos(2\pi t/T) \cdot \cos 2\pi f_c t + 0.07 \cos(4\pi t/T) \cos 2\pi f_c t] + U_2 [0.44 \sin 2\pi f_c t - 0.5 \cos(2\pi t/T) \sin 2\pi f_c t + 0.07 \cos(4\pi t/T) \sin 2\pi f_c t] \quad (2-3)$$



2-1 AWQPSK pulse shape

또한 $G(t)$ 는 다음과 같이 세 식 $G_1(t)$, $G_2(t)$, $G_3(t)$ 의 합으로 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned}
 G(t) &= G_1(t) + G_2(t) + G_3(t) \\
 G_1(t) &= 0.44[U_i \cos 2\pi f_c t + U_q \sin 2\pi f_c t] \\
 G_2(t) &= 0.5 \cos(2\pi t/T) [U_i \cos 2\pi f_c t - U_q \sin 2\pi f_c t] \\
 G_3(t) &= 0.07 \cos(4\pi t/T) [U_i \cos 2\pi f_c t + U_q \sin 2\pi f_c t]
 \end{aligned}
 \tag{2-4}$$

이때 식(2-4)의 $G_1(t)$, $G_2(t)$, $G_3(t)$ 는 모두 각각 다른 weighting을 갖는(amplitude weighted) QPSK 신호이다.

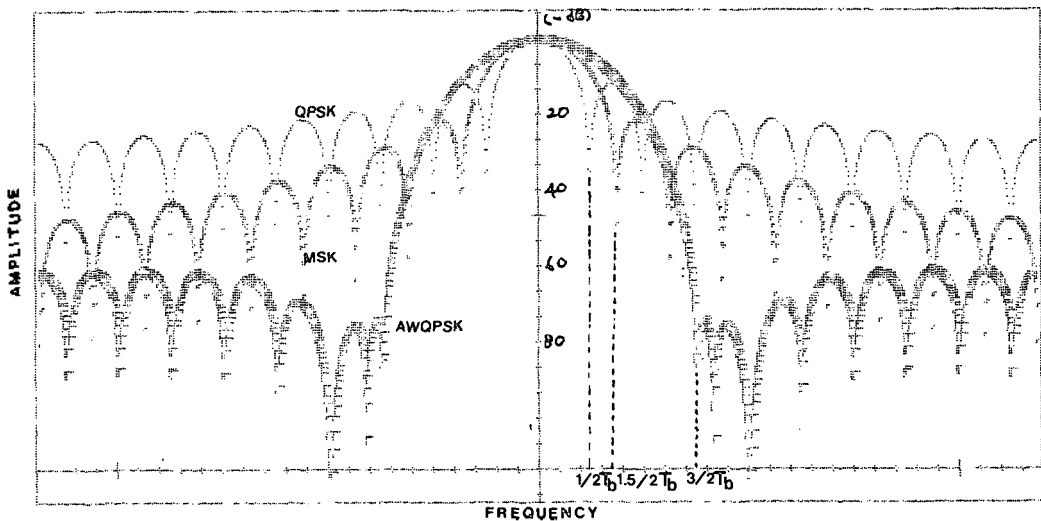
AWQPSK 전력밀도 스펙트럼을 QPSK 및 MSK 전력밀도 스펙트럼과 비교하면 그림 2-2와 같다.

그림 2-2로부터 AWQPSK 변조 방식이 QPSK, MSK 변조 방식에 비해서 스펙트럼 효율이 우수하다는 것을 알 수 있다.

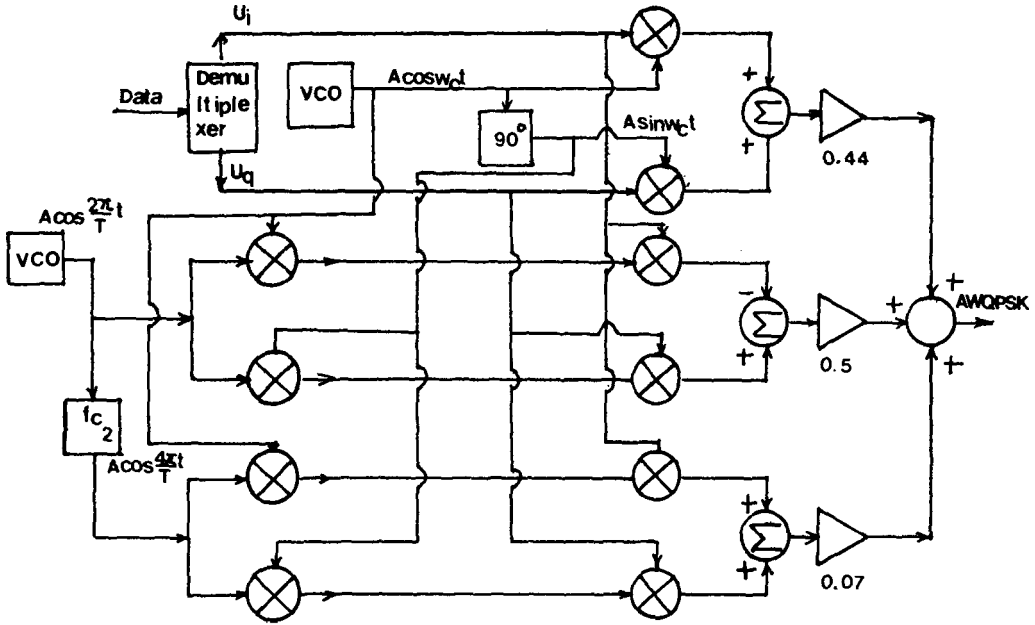
AWQPSK 변조기의 형태는 병렬형과 직렬형의 두 가지로 나눌 수 있으며 각각 그림 2-3, 그림 2-4와 같다.

그림 2-4에서 $h(t)$ 는 다음과 같다.

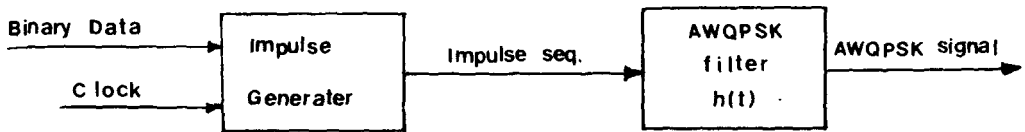
$$\begin{aligned}
 h(t) &= [0.44 + 0.5 \cos(2\pi t/T) \\
 &\quad + 0.07 \cos(4\pi t/T)] \cos 2\pi f_c t \\
 &\quad -\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2}
 \end{aligned}
 \tag{2-5}$$



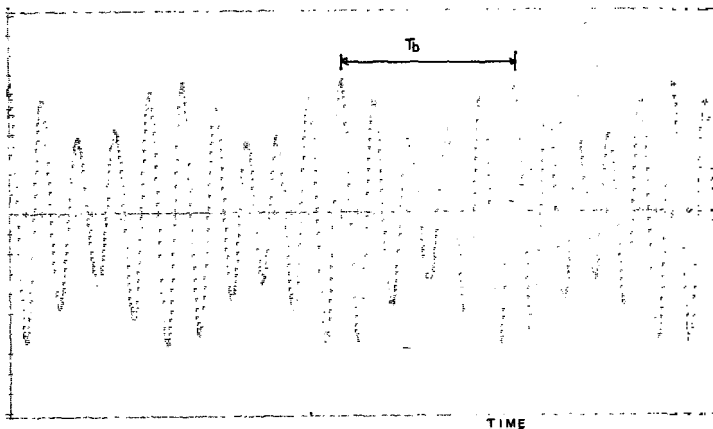
2-2 Normalized power spectral densities of QPSK, MSK and AWQPSK



2-3 Block diagram of parallel type AWQPSK modulator



2-4 Block diagram of serial type AWQPSK modulator



2-5 AWQPSK signal envelope, simulated view

Ⅲ. 탄성표면파 AWQPSK 변조기의 이론 및 설계

탄성표면파 필터의 기본 이론은 선형필터의 개념으로 설명할 수 있다. 선형필터의 블록선도는 다음 그림 3-1과 같다.



3-1 Block diagram of a linear filter

선형 시스템에서 전달함수를 $H(\omega)$ 라 하면, 입력 $V_i(\omega)$ 와 출력 $V_o(\omega)$ 의 관계는 다음식(3-1)과 같다.

$$V_o(\omega) = V_i(\omega) \cdot H(\omega) \quad (3-1)$$

식(3-1)에서 $H(\omega)$ 를 만족하는 탄성표면파 필터의 임펄스 응답은 트랜스버설 필터의 이론과 같다. 탄성표면파 필터는 입력 IDT(interdigital transducer)와 출력 IDT로 구성되며 IDT에 전기적

신호를 인가하면 압전물질의 역압전효과에 의해서 IDT의 기하학적 구조와 같은 형태로 탄성표면파가 여기되며 이를 다시 출력 IDT에서 전기적 신호로 검출한다. 입력 IDT와 출력 IDT의 주파수 응답을 각각 $H_1(\omega)$, $H_2(\omega)$ 라 하고 임펄스 응답을 각각 $h_1(t)$, $h_2(t)$ 라 할 때 탄성표면파 필터의 주파수 응답과 임펄스 응답은 다음 식(3-2)와 같다.

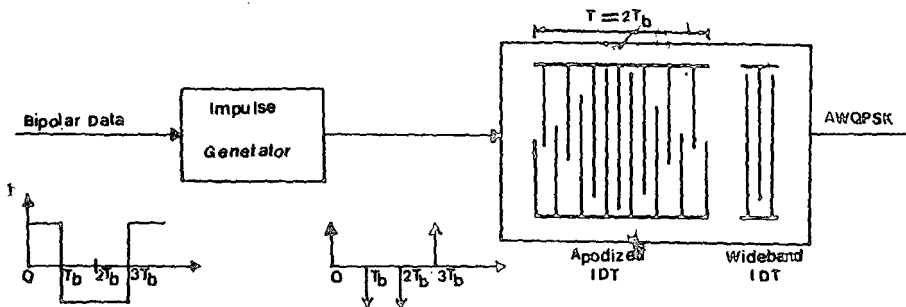
$$H(\omega) = H_1(\omega) \cdot H_2(\omega) \quad (3-2)$$

$$h(t) = h_1(t) * h_2(t)$$

본 연구에서는 식(2-5)와 그림 2-1로 주어진 펄스 형태를 임펄스 응답 $h(t)$ 로 갖는 탄성표면파 필터를 설계·제작 하였으며 AWQPSK 변조기 시스템의 구조는 그림 3-2와 같다.

입력 IDT는 AWQPSK 펄스 형태를 임펄스 응답으로 갖도록 했으며, 광대역의 출력 IDT는 음향-전기변환을 통해 변조 출력을 발생시킨다.

입력 임펄스는 실제적으로 유한폭을 갖게 되므로 비정규형 입력 IDT에서 여기되는 펄스 형태에 변형을 일으키게 된다. 그러므로 5개의 sinc 함수의 합으로 이루어지는 AWQPSK 주파수축 스펙트럼에



3-2 Block diagram of SAW AWQPSK modulator

중심주파수 f_c 를 중심으로 저주파쪽과 고주파쪽에 각각 적당한 보상 상수를 곱해줌으로써 입력 IDT의 형태만을 약간 변화시켜, 임펄스 응답의 길이나 전체 시스템의 변화없이 유한 폭을 갖는 임펄스 데이터에 의해서 발생하는 찌그러짐을 보정할 수 있다. 이때 보상 상수는 중심주파수, 영점-영점 대역 폭과 임펄스 폭에 의해서 결정된다.

본 연구에서는 중심 주파수 f_c 가 20MHz이며 한 비트의 길이 T_b 가 250 nsec인 변조기를 탄성표면파 소자를 이용하여 설계하였다. 입력 IDT는 $T=2T_b$ 의 길이를 갖도록 설계하였으며, IDT의 Weighting 값들은 펄스 함수 $P(t)$ 를 반송 주파수로 샘플링하여 구하였으며 표 3-1에 주어졌다. 출력 IDT는 광대역의 응답을 갖고 효율이 좋도록 각각 4쌍과 2쌍으로 설계하였다.

Table 3-1 Apodization weights(CAD data).

YC(1)=1721.80853	YC(11)=0
YC(2)=1817.03315	YC(12)=3370.29907
YC(3)=1593.30013	YC(13)=360.62132
YC(4)=2054.49819	YC(14)=2845.9267
YC(5)=1229.37101	YC(15)=956.663336
YC(6)=2542.23667	YC(16)=2269.52899
YC(7)=652.973298	YC(17)=1444.40181
YC(8)=3138.27868	YC(18)=1905.59988
YC(9)=128.600934	YC(19)=1681.86685
YC(10)=3498.9	YC(20)=1777.09147

탄성 표면파 필터의 중심 주파수 f_c , 길이 T 인 IDT 전극의 쌍수를 N_{Pair} , 전체 전극의 수를 N_{elec} 라 하면 다음 식이 성립한다.

$$N_{Pair} = f_c \cdot T$$

$$N_{elec} = 2 \cdot N_{Pair} = 2 \cdot f_c \cdot T \quad (3-3)$$

본 논문에서 설계한 탄성표면파 AWQPSK 변조기의 입, 출력 IDT는 식(3-3)에 의해서 다음식

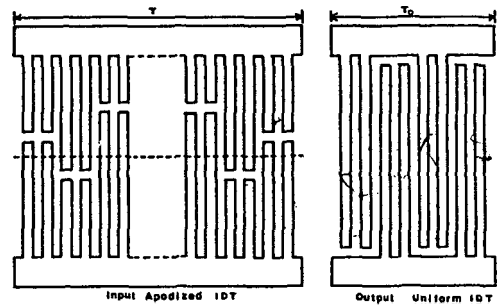
(3-4)로 주어지며 전극과 전극 사이의 반사파의 영향을 줄이기 위해서 이중 전극(double electrode) 형태를 갖도록 설계하였다.

$$N_{input} = (2 \pi f_c T + 1) \times 2 = 82$$

$$N_{out} = (2 \pi f_c T + 1) \times 2 = 10.18 \quad (3-4)$$

IV. 실험 및 결과고찰

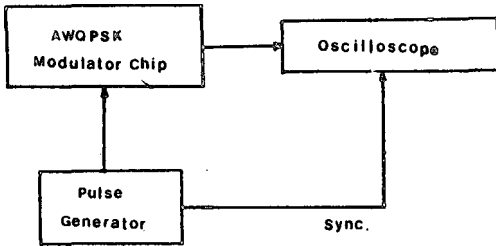
탄성표면파 AWQPSK 변조기는 설계된 데이터에 의해 제작된 마스크(mask)를 이용하여 전기기재 결합계수가 큰 압전물질인 $L.NbO_3$ substrate 위에 photolithography 방법으로 제작하였다. 제작된 탄성 표면파 AWQPSK 변조기의 구조는 그림 4-1과 같고 제원은 표 4-1과 같다.



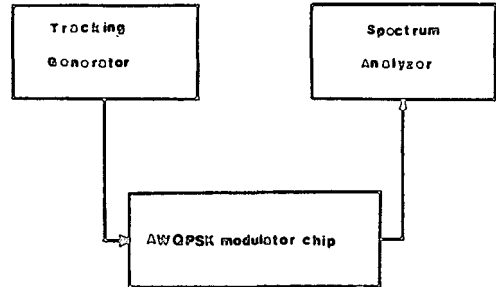
4-1 Configuration of SAW AWQPSK modulator

Table 4-1 Specification of SAW AWQPSK modulator.

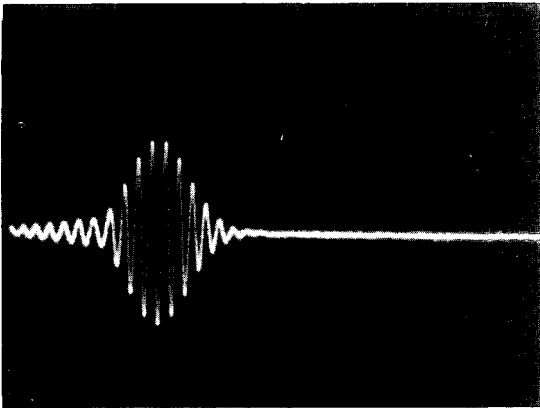
탄성표면파 변조기의 크기	6016.8×3668.2(μm ²)
입력비정규형 IDT의 전극수	42(개)
출력 정규형 IDT의 전극수	10, 18(개)
입력비정규형 IDT의 전극폭	21.81(μm)
출력 정규형 IDT의 전극폭	21.81(μm)
입력비정규형 IDT와 출력 정규형 IDT사이의 거리	3488(μm)
최대 Aperture 길이	3488(μm)



4-2 Block diagram of impulse response measurement circuit

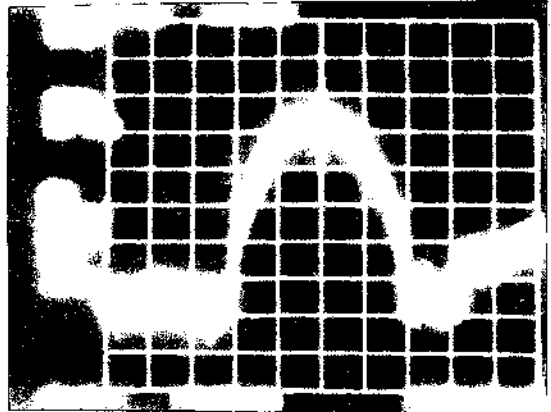


4-3 Block diagram of frequency response measurement circuit



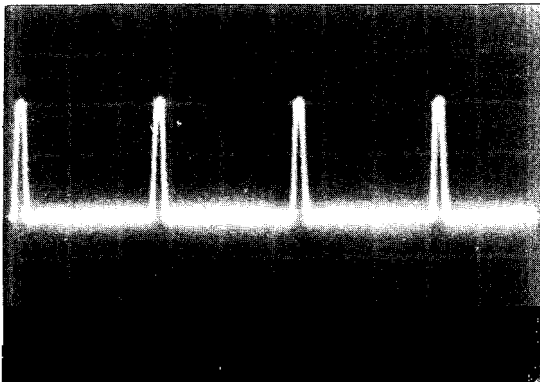
Hor. $0.2 \mu\text{sec}/\text{div.}$
Ver. $0.2\text{V}/\text{div.}$

4-4 Impulse response of SAW AWQPSK modulator



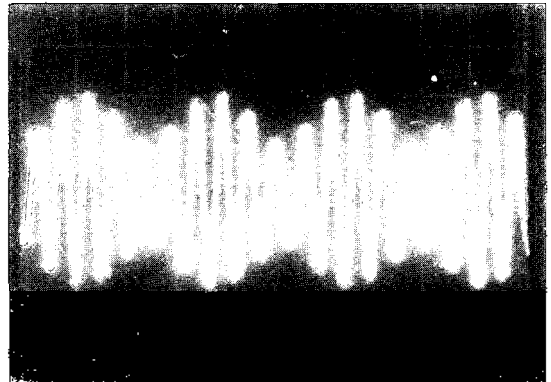
Hor. $2 \text{MHz}/\text{div.}$
Ver. $10\text{dB}/\text{div.}$
 $f_c = 10\text{MHz}$

4-5 Frequency response of SAW AWQPSK modulator



Hor. $0.1 \mu\text{sec}/\text{div.}$
Ver. $0.5\text{V}/\text{div.}$

4-6 Input impulse data sequence



Hor. $0.2 \mu\text{sec}/\text{div.}$
Ver. $0.2\text{V}/\text{div.}$

4-7 AWQPSK signal output

탄성표면파 AWQPSK 변조기의 임펄스 응답과 주파수 특성을 측정하기 위하여 그림 4-2, 그림 4-3과 같은 측정회로를 구성하였다.

그림 4-2의 측정회로에서 임펄스 응답을 얻기 위하여 인가한 펄스는 폭이 10nsec의 펄스이며, 이에 의한 임펄스 응답은 그림 4-4와 같다.

그림 4-3의 측정회로에 의한 변조기의 주파수 응답은 다음 그림 4-5와 같다.

또한 데이터 임펄스열 입력에 대한 AWQPSK 변조 파형을 얻기 위해서 그림 4-6과 같은 $T_b = 250$ nsec의 간격을 갖는 임펄스열을 변조기의 입력에 가하였으며 이에 따라 그림 4-7과 같은 변조 신호를 얻을 수 있었다.

이상의 측정치와 이론치에 대한 비교를 다음의 표 4-2에 제시하였다.

표 4-2 Comparison of theoretical and measured values of SAW AWQPSK modulator

	이론치	측정치
중심 주파수	20 MHz	20 MHz
영점 - 대역폭	8.6 MHz	8.8 MHz
메인 로우브에 대한 사이드 로우브 수준	-65 dB	-60 dB
임펄스 응답 길이	500 nsec	600 nsec

임펄스 응답 길이는 이론치보다 약간 긴 값으로 측정되었는데, 이는 출력 IDT와의 콘벌루션 시간과 입력 임펄스가 유한폭, 약 10nsec의 폭을 갖기 때문이며 이는 주파수 대역폭에도 영향을 끼친다. 이는 비트 비율보다 중심주파수 f_c 가 매우 커 출력 정규형 IDT의 응답 길이가 상대적으로 매우 작은 경우에는 그 영향을 무시할 수 있고, 그밖의 경우에는 입력 IDT와 출력 IDT의 임펄스 응답 사이의 콘벌루션 출력의 폭이 변조기의 전체 임펄스 응답 길이가 되도록 입력 IDT의 폭과 출력 IDT의 폭을

결정해야 한다.

V. 결 론

탄성표면파 AWQPSK 변조기를 YZ-LiNbO₃ 압전 Substrate 위에 제작, 특성을 측정한 결과 중심 주파수는 이론치와 일치하는 20MHz이며 영점-영점 주파수 대역폭은 이론치와 근사한 8.8MHz로 측정되었고, 변조기 임펄스 응답의 포락선은 AWQPSK 펄스 형태와 거의 같은 모양을 나타내었으며 AWQPSK 변조의 장점인 영점-영점 대역폭의 사이드 로우브를 억제하는 효과는 메인 로우브에 대해 이론치 -65dB에 접근하는 -60dB 정도로 측정되었다. 이는 비정규형 IDT에서 정확한 펄스 형태를 발생한다고 볼 수 있으며, 탄성표면파 소자는 AWQPSK 변조와 같이 복잡한 펄스 형태가 요구되는 변조 방식에 매우 유리하게 이용될 수 있음을 나타낸다. 또한, 탄성표면파 소자는 유한폭을 갖는 임펄스 데이터 입력에 의한 신호의 피그러짐도 입력 비정규형 IDT만을 약간 변화시켜 쉽게 보상해 줄 수 있는 장점이 있다.

*본 연구는 문교부의 1986년도 자유과제 학술연구 조성비에 의해 이루어 졌음.

참 고 문 헌

1. C.P. Tou and D.A. Roy, "On efficient spectrum utilization from the standpoint of communication theory," Proc. IEEE, Vol.68, pp.2460-2465, Dec. 1980.
2. D.C. Malocha, J.H. Goll, and M.A. Heard, "Design of compensated SAW filter used in a widespread MSK waveform generator," Proc. IEEE Ultrason. Symp., pp.518-522, 1979.
3. M.C. Austin, M.U. Chang, D.F. Harwood, and R.A. Maslov, "QPSK, staggered QPSK, and MSK - A comparative evaluation," IEEE Trans. on Com.

Vol.31, pp.171-182, Feb. 1983.

4. R.B. Blackman and J.W. Turkey, "The measurement of power spectra from the point of view of communication engineering - part II" Bell Syst. Tech. Jour., pp.485-569, Aug. 1975.