

탄성표면파 PSK-MSK 변환 필터

Surface Acoustic Wave PSK-MSK Convert Filter

이 동 옥*, 이 재 경*, 황 금 찬**

(Dong Wook Lee, Jae Kyong Lee, Keum Chan Whang)

요 약

MSK 신호는 PSK 신호보다 좁은 주파수 대역을 차지하여 채널간 간섭을 줄일 수 있는 장점이 있지만, 고주파 대역에서는 신호를 만들기 어렵다.

본 논문에서는 탄성표면파 필터가 고주파 대역에서도 원하는 임펄스 응답과 선형 위상 특성을 얻기 용이하다는 장점을 이용하여 손쉽게 고주파 PSK 신호를 MSK 신호로 실시간 변환 처리하는 탄성표면파 PSK-MSK 변환 필터를 설계 제작하고 그 특성을 고찰하였다.

ABSTRACT

MSK waveforms are advantageous from the point of view of reduced interchannel interference. MSK waveform, however, is more difficult to generate than PSK due to its complex pulse shape.

A SAW filter is ideally suited for generation of MSK waveform because it provides accurate control of the required impulse response and linear phase at high frequencies.

In this paper, an implementation of SAW based PSK-MSK convert filter, which can easily convert the high frequency PSK waveform to MSK, is studied.

I. 서 론

MSK (Minimum Phase Shift Keying) 변조 방식은 주파수 에너지 밀도가 높아 이웃하는 채널간의

간섭을 줄이는 장점이 있고, 또 noncoherent 복조가 가능하며, 오류 성능 면에서 PSK와 같으므로 디지털 신호 변조 방식으로 각광을 받는 변조 방식이다¹⁾.

그러나 MSK 파형은 기저 대역에서의 펄스 모양이 복잡하므로 일반 회로로는 만들기가 상당히 까다

*연세대학교 전기공학과 박사과정

**연세대학교 전기공학과 교수

로우며, 특히 고주파 광대역의 주파수를 갖는 MSK 파형은 거의 만들기가 불가능하다²⁾.

SAW 필터는 이러한 높은 주파수와 넓은 대역에서 원하는 임펄스 응답과 선형 위상을 정확히 조절할 수 있으므로 MSK 파형을 만들어 내는 데 아주 적합한 필터이다³⁾. 이러한 SAW 필터를 이용하면 고주파 광대역의 MSK 신호를 쉽게 얻을 수 있으며, 그 필터 역시 제작하기 편하고 소형이어서 통신용 소자로 널리 사용할 수 있다.

본 논문에서는 SAW 필터의 이러한 특성을 이용하여, 비교적 만들기가 쉬운 PSK 신호를 입력신호로 하여 이 신호를 MSK 신호로 변환하는 SAW PSK-MSK 변환 필터를 설계·제작 하였다.

II. MSK (Minimum Shift Keying) 변조

MSK 신호는 연속되는 두 data bit의 관계에 의하여 반송 주파수가 결정되는 변조 방법이다. MSK 신호는 홀수 번째 data bit와 짝수 번째 data bit의 중첩으로 반송 주파수가 결정된다.

MSK 파형의 기저 대역 파형은 그 1 chip 폭이 2T이며, 파형의 모양은

$$p(t) = \begin{cases} \cos(\pi t / 2T), & |t| \leq T \\ 0, & |t| > T \end{cases} \quad (1)$$

이고, MSK 변조 신호는 다음과 같다.

$$m(t) = a_1(t) \cos\left(\frac{\pi t}{2T}\right) \cos(2\pi f_c t) + a_2(t) \cdot \sin\left(\frac{\pi t}{2T}\right) \cdot \sin(2\pi f_c t) \quad (2)$$

여기에서,

f_c : 중심 주파수

$a_1(t)$: 홀수 번째 data bit 값(1 또는 -1)

$a_2(t)$: 짝수 번째 data bit 값(1 또는 -1)

MSK 변조 신호의 반송 주파수는 $a_1(t)$, $a_2(t)$ 의 관계에 따라 f_1 , f_2 로 변하게 된다⁴⁾.

$$f_1 = f_c - 1/4T \quad (3)$$

$$f_2 = f_c + 1/4T$$

식(3)으로 부터 중심주파수 f_c 는 $f_c = (f_1 + f_2) / 2$ 와 같다. 이는 1 chip의 MSK 파형의 중심 주파수이고, 인접된 두 bit의 곱이 1인 경우는 f_1 이, 그리고 -1인 경우는 f_2 가 중첩된 신호의 주파수가 된다. 그림 1은 f_c 의 반송파를 갖는 MSK 1 chip의 파형이다.

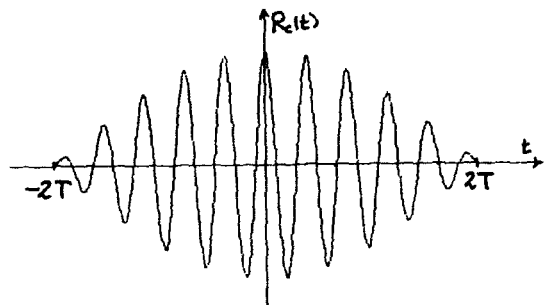


그림 1 MSK 1 chip 파형

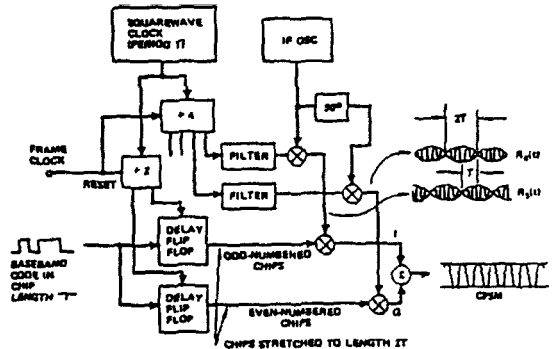


그림 2 MSK 파형 발생 회로

MSK 신호를 발생시키는 일반적인 회로는 그림 2와 같다. MSK 파형은 동상 성분과 직각 위상 성분으로 나뉘어지며, 이 두가지 성분 $R_c(t)$ 와 $R_s(t)$ 는 다음과 같다.

$$R_c(t) = \frac{T(2m+2) \cos \frac{\pi t}{2T} \cos \left(\frac{(2m+1)\pi}{2T} \right)}{\pi(2m+1)}$$

단성표면파 PSK-MSK 변환 필터

$$R_s(t) = \frac{T(2m+2) \sin\left(\frac{\pi t}{2T}\right) \sin\left(\frac{(2m+1)\pi t}{2T}\right)}{\pi(2m+1)} \quad (4)$$

식(4)에서 m 은 주파수를 결정하는 변수로 임의의 정수이며, IV장에서 다시 논의하게 된다.

이 두가지 성분은 연속되는 두 data bit의 값에 따라 다음의 두가지 신호를 발생한다.

$$S_1(t) = R_c(t) + R_s(t) = \frac{T(2m+2) \cos\left(\frac{m\pi t}{T}\right)}{\pi(2m+1)} \quad (5)$$

$$S_2(t) = R_c(t) - R_s(t) = \frac{T(2m+2) \cos\left(\frac{(m+1)\pi t}{T}\right)}{\pi(2m+1)}$$

그림 2의 입력 신호는 data 열이며, 이 data 열은 flip-flop에 의하여 홀수 번 째의 data bit과 짝수 번 째의 data bit으로 분리되고 분리된 data bit 쪽은 입력 data bit 쪽의 두 배로 늘어난다. 이 신호는 협대역 filter와 IF oscillator에 의해 식(4)의 두 신호 $R_c(t)$, $R_s(t)$ 가 되며, 이 신호는 분리된 data bit와 곱해져서 식(5)와 같은 신호가 된다.

이와 같은 방식은 그 회로의 크기가 무척 커지고, 가격도 비싸기 때문에 좋은 방법은 아니다. 또한 회로의 각 부분의 시간을 정확히 맞추어야 하는 등 설계 상의 어려움도 많다.

III. SAW PSK-MSK 변환 필터

SAW 필터를 이용하여 MSK 변조기를 구성하는 방법은 그림 3에 나타내었다. IF oscillator의 출력 신호인 반송파가 입력 data bit과 곱해져서 PSK 변조된 신호는 SAW 필터에 의해 MSK 신호로 변환된다. 반송파 주파수가 f_c 일 때, n 번째 data bit의 PSK 변조 파형 $S_n(t)$ 는 식(6)과 같다.

식(6)에서 $k(n)$ 은 n 번째 data bit의 값으로 1 또는 -1의 값을 갖는다. 이와 같이 PSK 변조된 신호를 식(7)과 같은 임펄스 응답을 갖는 SAW 필터에 입력시키면 MSK 변조된 신호가 출력된다.

SAW 필터의 출력은 SAW 필터의 임펄스 응답 $h(t)$ 와 입력 신호 $P_n(t)$ 의 convolution이다. 편의상 $\phi = \pi/2$ 라고 가정하면, 입력 신호 $P_n(t)$ 에 대한 SAW 필터의 출력은 $R_n(t)$ 로 식(8)과 같다.

$$P_n(t) = \begin{cases} k(n) \sin(2\pi f_c t + \phi), & nT \leq t < (n+1)T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$h(t) = \begin{cases} \sin(2\pi f_c t), & 0 \leq t < T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$R_n(t) = \begin{cases} k(n) \cdot R_c(t), & n : \text{짝수}, nT \leq t < (n+2)T \\ k(n) \cdot R_s(t), & n : \text{홀수}, nT \leq t \leq (n+2)T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

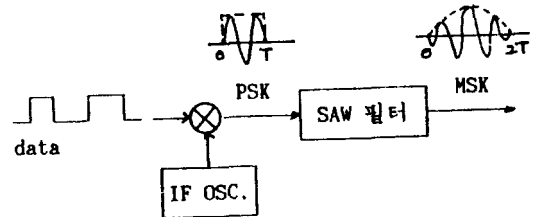


그림 3 SAW PSK-MSK 변환 필터를 이용한 PSK-MSK 변환

그림 3과 같이 SAW 필터의 1 chip의 PSK 신호에 대한 출력 신호 1 chip의 MSK 신호 $R_n(t)$ 의 pulse 폭은 입력 신호 $P_n(t)$ 의 두 배인 $2T$ 이며, 반송 주파수는 $(f_1 + f_2)/2$ 이다. 출력 신호 $R_n(t)$ 는 $t = nT$ 일 때 시작하여 $t = (n+1)T$ 일 때 포락선이 최대치를 갖고, $t = (n+2)T$ 일 때 끝난다. SAW 필터의 입력 신호인 PSK 변조 신호가 T 마다 연속으로 입력되므로 연속된 두 입력 신호에 의한 출력 신호는 정확히 T 만큼 겹치게 된다. 그러므로 $nT \leq t < (n+1)T$ 구간에서의 출력 신호는 $R_{n-1}(t) + R_n(t)$ 이다. 식(8)에서부터 연속되는 입력 신호에 대한 SAW 필터의 출력 신호는 식(5)와 같이 MSK 파형인 $S_{msk}(t)$ 이 됨을 알 수 있다.

$$S_{msk}(t) = \begin{cases} S_1(t), & k(n-1) \neq k(n) \\ S_2(t), & k(n-1) = k(n) \\ nT \leq t < (n+1)T \end{cases} \quad (9)$$

그림 4는 이와 같은 과정을 그림으로 설명한 것이다.

이와 같이 SAW PSK-MSK 변환 필터는 앞에서 설명한 MSK 변조 회로 보다 간단하고 가격도 싸다. 또한 MSK 변조 회로에서 하기 어려운 각 회로 구성부분에서의 시간 정렬 문제를 쉽게 해결할 수 있다.

이상적인 경우 CPSK에서와 같이 carrier의 위상과 데이터의 위상이 식 (6)에서 $\phi = \pi/2$ 로 맞추어야만 한다. 그러나 이와 같은 위상 조절 없이도 식 (5), (6)에서 $|f_1 - f_2| \ll |f_1 - f_c|$, 즉 $m \ll 1$ 의 조건을 만족하면 복조시 시스템의 성능에 거의 영향을 미치지 않는다.

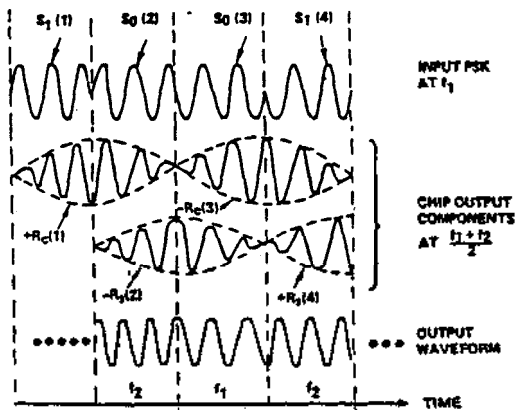


그림 4 출력 pulse의 중첩에 의한 MSK 파형

IV. SAW PSK-MSK 변환 필터의 설계

본 논문에서는 $m=10$, 1 bit 데이터 주기 $T=105$ ns로 설계하였다. 그러므로 입력 PSK 신호의 중심 주파수는 $f_2=52.37$ MHz이며, 입력 신호의 null-to-null 대역폭은 약 19 MHz이다. 식(3)에 의해서 SAW PSK-MSK 변환필터의 중심 주파수는 $f_c=47.63$ MHz으로 하였다.

SAW PSK-MSK 변환 필터의 구조는 그림 5와 같다.

SAW PSK-MSK 변환 필터는 입, 출력 IDT (Interdigital Transducer)로 구성되며, 입력 IDT는

입력 신호를 왜곡 없이 받기 위해서 원하는 입력 신호의 null-to-null 점이 입력 IDT 주파수 특성의 3 dB 대역폭 안에 있도록 설계를 하며, 출력 IDT는 SAW PSK-MSK 변환 필터의 주파수 특성을 갖도록 비정규형으로 설계한다.

본 논문에서 사용한 압전기판은 Y-cut Z-propagation YZ-LiNbO₃로 이 압전기판에서의 SAW 속도는 3488.3m/sec이며, 전극에서의 SAW 속도는 3403.7m/sec이다. 그러므로 전극의 두께와 전극이 없는 부분의 두께가 같은 경우 평균속도는 3445.5m/sec 이다⁴⁾.

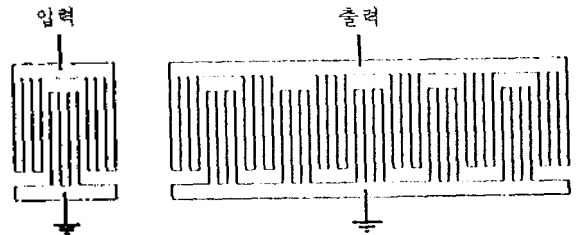


그림 5 SAW PSK-MSK 변환 필터의 구조

SAW PSK-MSK 변환 필터의 입력 IDT의 중심 주파수는 f_1 과 f_2 의 중간 주파수인 f_c 는 50 MHz이며, 이와 같은 중심 주파수를 갖고 입력 신호의 상한 주파수를 포함하는 대역폭 B를 갖도록 다음의 식을 만족해야 한다.

$$B=2 \times (f_2+B_1/2-f_c) \tag{10}$$

여기서 B_1 는 입력 신호의 null-to-null 대역폭이다. 그러므로 입력 IDT는 약 22.8 MHz의 3 dB 대역폭을 가져야 한다.

입력 IDT는 광대역 특성을 갖도록 3개의 split 전극으로 구성하였으며, 출력 IDT는 f_1 을 중심 주파수로 하였으며, 전극의 갯수는,

$$N_{out}=(2 \cdot T \cdot f_1+1) \tag{11}$$

에 의해 11개의 split 전극을 사용하였다.

각 전극 간의 거치는 길이는 IDT의 어드미턴스플

탄성표면파 PSK-MSK 변환 필터

결정하는 변수로 본 논문에서는 외부 회로의 저항 성분인 50 Ω과 같은 저항을 갖도록 조절하고, 나머지 capacitance 성분은 적절 inductance로 정합시킨다. 이와 같은 임피던스 정합은 feed through의 영향을 줄이는 역할도 한다.

또 입, 출력 IDT 사이의 거리는 SAW filter의 입력과 출력 사이의 지연시간을 결정하는 요소로 SAW 지연선으로 이용하기 위한 목적이 아니면, 거리는 그다지 중요한 요소는 아니다. 그 이유는 압전기판에서 SAW가 진행할 때 생기는 손실은 거의 없다고 보아도 될 정도로 작고, 그 지연시간은 어떤 입력 신호에 대해서도 같기 때문이다. 그러나 너무 가까운 경우는 SAW에 의한 신호의 전달 외에 bulk파에 의한 신호의 왜곡이 나타나므로 너무 가깝게 하지 않는 것이 좋으며, 너무 멀리 하면 소자의 크기가 커지므로 소자의 크기가 bulk파의 영향을 고려하여 3000 μm 정도로 하는 것이 적당하나, 본 논문에서는 편의상 10000 μm로 하였다.

그러나 이와 같이 설계한 SAW 필터는 mask 제작 시에 발생하는 오차로 인해 특성이 바뀔 수 있다. 표 1은 이와 같은 SAW 필터 mask의 오차를 나타낸 것이고, 표 2는 입, 출력 IDT 어드미턴스 값과 mask 제작 오차에 따른 어드미턴스 변화를 나타내었다.

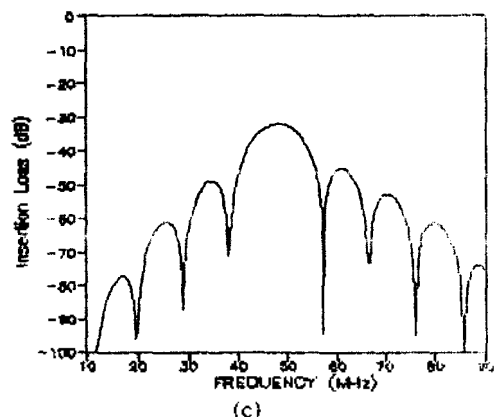
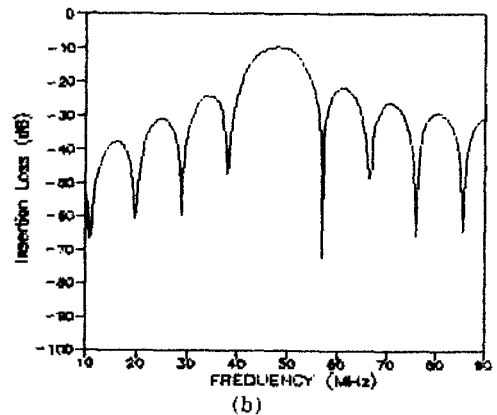
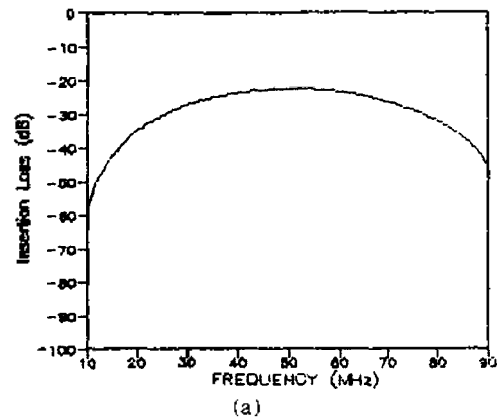
그림 6(a)~(c)는 설계한 SAW PSK-MSK 변환 필터의 입, 출력 IDT 각각의 주파수 특성과 SAW PSK-MSK 변환 필터의 주파수 특성을 나타내었고, 그림 6(d)는 mask 제작 오차에 따른 필터 특성의 변화를 나타내었다.

표 1 SAW PSK-MSK 변환 필터의 제원

구 분	설계	제작	
입력 IDT	전극수(개)	3 split	3 split
	전극폭(μm)	8.61	8.18
	전극간 간격(μm)	8.61	9.05
출력 IDT	전극수(개)	11 split	11 split
	전극폭(μm)	9.04	8.64
	전극간 간격(μm)	9.04	9.26
입, 출력 IDT의 거리(μm)	10000.00	10000.00	
전극간 경치는 길이(μm)	5100.00	5100.00	

표 2 입, 출력 IDT의 어드미턴스 특성 (50 MHz)

구 분		설계	제작
입력 IDT	어드미턴스 (mho)	6.2×10^{-8}	5.9×10^{-8}
	저 항 (ohm)	44.3	44.0
출력 IDT	어드미턴스 (mho)	1.3×10^{-8}	1.2×10^{-8}
	저 항 (ohm)	50.1	49.6



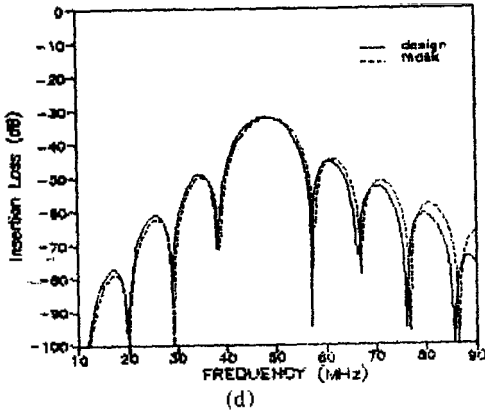


그림 6 설계한 SAW PSK-MSK 변환 필터의 주파수 특성 simulation
 (a) 입력 IDT의 주파수 특성
 (b) 출력 IDT의 주파수 특성
 (c) 변환 필터 주파수 특성
 (d) MASK 제작오차에 따른 주파수특성의 변화

V. 실험 및 결과 고찰

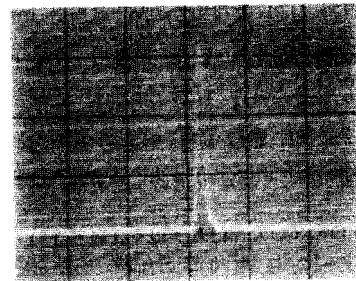
그림 7은 SAW PSK-MSK 변환 필터의 임펄스 입력과 임펄스 특성을 나타낸다. SAW PSK-MSK 변환 필터의 임펄스 응답은 중심 주파수 47.63 MHz 이고 폭 105 ns인 구형 펄스의 PSK 변조된 파형이다. 그림 7(b)의 사진은 이 105 ns 보다 더 긴 약 150 ns의 폭을 갖는다. 이는 입력 신호는 임펄스가 그림 7(a)와 같이 약 20 ns의 폭을 갖는 펄스인 것이 주된 이유이며, 입, 출력 IDT간의 SAW의 반사 현상도 약간 작용하였다. 그러나 그 반사 현상에 대한 필터의 출력은 그 크기가 작으므로 PSK-MSK 변환 필터로서의 성능에는 영향이 적다고 사려된다.

그림 8은 SAW PSK-MSK 변환 필터의 주파수 특성으로 삽입 손실이 약 27 dB이고 중심 주파수는 47.63 MHz로 그림 6의 이론치와 거의 일치하는 특성을 얻었다. 주파수 특성이 중심 주파수를 중심으로 대칭이 아닌 이유는 입력 IDT와 출력 IDT의 중심 주파수가 각각 50 MHz, 47.63 MHz이기 때문이다.

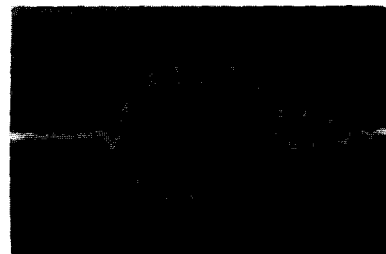
그림 9는 1 bit PSK 변조 신호에 대한 SAW PSK-MSK 의 출력인 1 bit의 MSK 파형이다. 신호의 폭은 이론치인 210 ns에 근사하며, 앞에서 언급한 바와 같이 IDT간의 반사 현상에 의하여 뒷 부분이 늘어진 형태를 보인다. 이와 같은 특성도 그 크기가 주 신호에 비하여 작은 크기를 갖으므로 필터 특성에는 별 영향을 주지 않을 것으로 사려된다.

그림 10은 중심 주파수 52.37 MHz의 반송파를 임의의 데이터를 PSK 변조한 파형, 그리고 이 PSK 신호를 SAW PSK-MSK 변환 필터를 사용하여 MSK 신호로 변환시켜 얻은 MSK 신호이다. 그림 9에서 알 수 있듯이 MSK 파형은 인접한 두 bit의 부호에 의하여 f_1 과 f_2 , 즉 47.63 MHz와 52.37 MHz를 갖는다. 그림 10를 통하여 정확한 MSK 파형이 PSK 파형으로 부터 변환되어 있음을 알 수 있다.

그림 11은 제작된 SAW PSK-MSK 변환 필터의 사진이다.



X : 50 ns / div. Y : 2 V / div.
 (a)



X : 50 ns / div. Y : 50 mv / div.
 (b)

그림 7 SAW PSK-MSK 변환 필터의 임펄스 응답
 (a) 입력 임펄스 (b) 임펄스 응답

탄성표면파 PSK-MSK 변환 필터

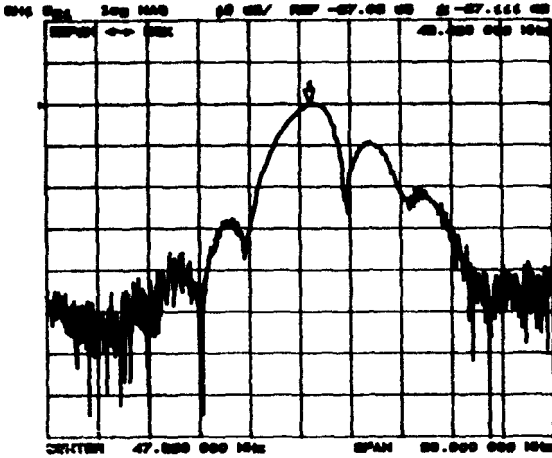
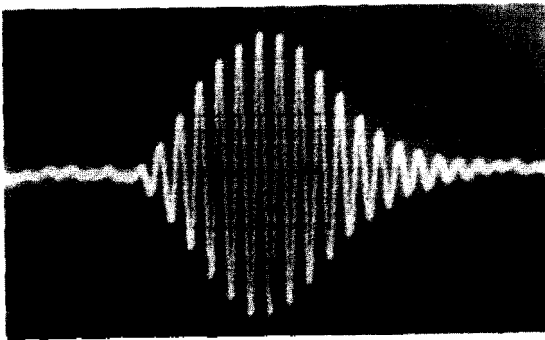
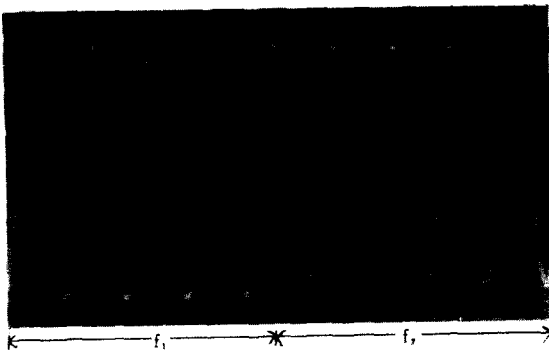


그림 8 SAW PSK-MSK 변환 필터의 주파수 응답의 측정치



X : 50 ns / div. Y : 50 mv / div.

그림 9 1 chip MSK 파형



X : 20 ns / div. Y : 50 mv / div.

그림 10 SAW PSK-MSK 변환 필터의 출력 MSK 신호



그림 11 제작된 SAW PSK-MSK 변환 필터

VI. 결 론

본 논문에서는 데이터 폭이 105 ns이고 중심 주파수 52.37 MHz로 PSK 변조된 신호를 MSK 변조 신호로 실시간 변환시키는 SAW PSK-MSK 변환 필터를 설계 제작하고 그 특성을 측정하였다.

설계 시에는 외부 회로와의 임피던스 정합을 위하여 IDT 전극의 저항 성분이 50 Ω이 되도록 그 전극 간의 절치는 길이를 조절하였으며 전극의 폭은 전극이 있는 부분과 전극이 없는 부분 간의 속도 차이를 고려하여 설계하였다. 이와 같이 설계 제작한 SAW PSK-MSK 변환 필터의 성능을 측정한 결과 이론치와 근사한 주파수 특성과 PSK 입력 신호에 대한 MSK 출력 신호를 얻었다.

본 논문에서 제작한 SAW PSK-MSK 변환 필터는 기존의 MSK 변조기보다 고주파 광대역의 신호를 처리할 수 있고, 소형이며, 제작하기 손쉬워 무선 통신 시스템에 적합한 변조기이다.

참 고 문 헌

1. P. Z. Peebles, Digital Communication Systems, Prentice-Hall, pp. 271~290, 1987.
2. F. Amoroso and I. A. Kivett "Simplified MSK Signalling Technique". IEEE Trans. on Comm, pp. 432~441 Aug. 1976.
3. M. F. Lewis, P. J. Lowe and W. G. Picken, "MSK SAW Filter to Complement Today's", IEEE Ultrason. Symp., pp. 256~261, 1982.
4. W. R. Smith, "Analysis of Interdigital Surface Acoustic Wave Transducers by use of an Equivalent

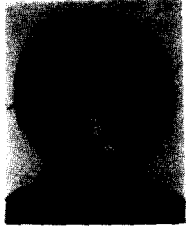
Circuit Model", IEEE Trans. on MTT, Vol. 17, No. 11, pp. 856~864, 1969.

- 5. 성장열, 김근목, 황금찬, "한성표면파 MSK 변조기", 한국통신학회 추계 학술발표회 논문집, pp. 41~44, 11월, 1985.

- 6. W. R. Smith and W. F. Pedler, "Fundamental- and Harmonic- Frequency Transducer with Arbitrary Metalization", IEEE Trans. on MTT., Vol. 23, pp. 853~864, 1975.

▲이 동 욱 (정회원)

1962년 1월 8 일생
 1984년 : 연세대학교 전기공학과 졸업(학사)
 1986년 : 연세대학교 전기공학과 대학원 졸업(석사)
 1987년 8 월~현재 : 연세대학교 전기공학과 박사과정



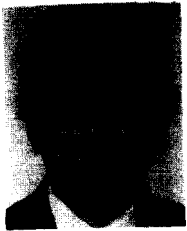
▲이 재 경 (정회원)

1959년 7 월 4 일생
 1983년 : 충전대학교 전기공학과 졸업(학사)
 1985년 : 연세대학교 전기공학과 대학원 졸업(석사)
 1985년 8 월~현재 : 연세대학교 전기공학과 박사과정



▲황 금 찬 (정회원)

1944년 7 월 18 일생
 1967년 : 연세대학교 전기공학과 졸업(학사)
 1975년 : Polytechnic Institute of New York 졸업(석사)
 1979년 : Polytechnic Institute of New York 졸업(박사)



1979년~1980년 : 국방과학연구소 선임연구원
 1980년~현재 : 연세대학교 전기공학과 교수