

탄성표면파 MSK 변조기

°성 창 열, 김 근 목, 황 금 찬
연세대학교 공과대학 전기공학과

Surface Acoustic Wave MSK Modulator

C. Y. Sung, K. M. Kim, K. C. Whang
Dept. of Electrotechnology, Eng., Yonsei Univ.

(ABSTRACT)

In this paper the SAW(surface acoustic wave) MSK(minimum shift keying) modulator which converts PSK(phase shift keying) signal to the MSK signal is described. This device shows good performance as a simple MSK modulator.

1. 서 론

MSK(Minimum Shift Keying) 변조방식은 1 비트처리법에 비하여 연속적인 증첩에 의하여 2 비트로 변조하므로 전송속도가 빨라 high speed 의 bit rate 를 갖는 데이터 전송에 적합하다. 또한 PSK 나 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 및 OQPSK(Off-set QPSK) 에 비하여 power spectrum 의 main lobe 가 side-lobe 에 비하여 높으므로 마변조방식 보다 작은 대역내에 더 많은 전력을 모을 수 있다. MSK 파형의 스펙트럼에서 전력의 99%가 약 1.2/T 내의 대역에 모이므로 PSK 경우의 약 20.6/T 나 QPSK 및 OQPSK 의 약 10.3/T 에 비하여 spectral efficiency 가 대단히 좋다.

본 논문에서는 종래의 MSK 변조기에 비하여 소형이며, 회로가 간단해 지고, 고주파 광대역폭의 신호를 처리할 수 있는 탄성표면파 MSK 변조기를 제작하고자 한다.

탄성표면파 MSK 변조기는 두 개의 입, 출력 IDT (Interdigital Transducer) 로 구성되었는데, 입력 IDT 는 중심주파수 50 MHz 인 1 bit 에 해당되는 전극의 수를 가지며, 출력 IDT 는 PSK 신호가 MSK 신호로 변환되도록 설계하여 이를 압전물질인 YZ-LiNbO₃ 위에 포토리소그라피 방법으로 제작함으로써 스펙트럼 확산 통신방식의 송신단에서 응용될 수 있음을 보이고자 한다.

2. SAW MSK 변조기의 이론

2-1 MSK 변조이론

MSK 신호는 동상성분과 직각위상성분을 갖는 두개의 antipodal pulse stream 의 증첩으로써 얻을 수 있다. MSK 변조방식에서의 전형적인 형태는 식(1)과 같다.

$$P(t) = \begin{cases} \cos(\pi t/2T) & |t| \leq T \\ 0 & |t| > T \end{cases} \text{-----(1)}$$

MSK 변조된 파형은 식(2)와 같으며,

$$m(t) = a_I(t)\cos(\pi t/2T) + \cos 2\pi f_c t + a_Q(t)\sin(\pi t/2T) \sin 2\pi f_c t \text{-----(2)}$$

여기서, $a_k(t)$: antipodal 입력 digital sequence
T : 입력 digital sequence 의 bit interval

f_c : 중심 주파수

$a_I(t)$: $a_k(t)$ 에 대한 동상성분

$a_Q(t)$: $a_k(t)$ 에 대한 직각위상성분

이며, $a_I(t)$ 는 $a_Q(t)$ 에 대하여 T 만큼 Off-set delay 되어있다.

식(2)를 $a_I(t), a_Q(t)$ 의 1 혹은 -1의 값에 따라 정리하면 식(3)과 같으며,

$$m(t) = \cos(2\pi f_c t + b_k(t)\pi t/2T) \text{---(3)}$$

$$b_k(t) = -a_I(t) \cdot a_Q(t) = \pm 1 \text{-----(4)}$$

로 표시된다.

식(3)에서 중심 주파수에 대한 과잉위상을 $\theta(t)$ 라면,

$$\theta(t) = b_k(t)\pi t/2T = \pm \pi t/2T \text{-----(5)}$$

과 같다.

또한 식(3)에서 주파수만을 살펴보면 임의의 비트구간에서 $a_I(t)$ 와 $a_Q(t)$ 의 비트값에 따라

$$f_1 = f_c - \frac{1}{4T} \text{ -----(5)}$$

$$f_2 = f_c + \frac{1}{4T} \text{ -----(6)}$$

를 변조 주파수로 하는 MSK 가 된다.
MSK 변조기의 구성도는 그림 1과 같으며 antipodal 한 입력 digital sequence 를 주파수 f_1 의 PSK 신호로 변조한 후 이를 식(7)과 같은 impulse 응답을 갖는 PSK-to-MSK 필터를 통과시켜 MSK 파형을 얻는다.

$$h(t) = \sin(2\pi f_2 t) \quad 0 \leq t \leq T \text{ -----(7)}$$

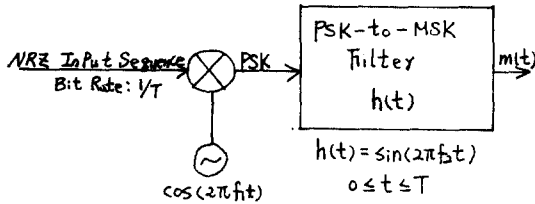


그림 1. MSK 변조기의 구성도

MSK 변조신호의 전력밀도 스펙트럼은 pulse stream $p(t)$ 를 Fourier 변환한 후 그 크기의 제곱으로 얻을 수 있다. 즉,

$$P(f) = \int_{-T}^T \cos(\pi t/2T) \exp(-j2\pi f t) dt$$

$$= T \frac{4 \cos(2\pi f T)}{1-16f^2 T^2} \text{ -----(8)}$$

식(8)을 T 에 대하여 정규화 한후 전력밀도 스펙트럼을 구하면

$$G(f) = \left(\frac{P(f)}{T}\right)^2 = \frac{16}{\pi^2} \left(\frac{\cos(2\pi f T)}{1-16f^2 T^2}\right)^2 \text{ --(9)}$$

이 된다.

식(9)에서 구한 MSK 신호의 전력밀도 스펙트럼을

PSK 및 QPSK (OQPSK) 신호의 전력밀도 스펙트럼과 비교하여 그림 2에 나타내었다.

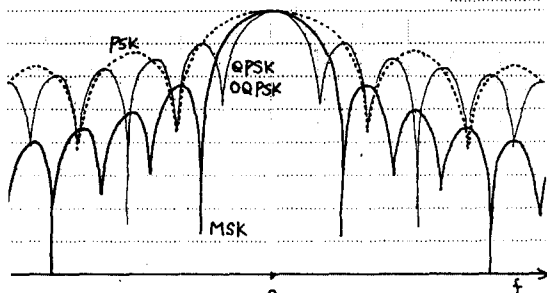


그림 2. 전력밀도 스펙트럼의 비교

2-2. SAW MSK 변조기의 이론 및 설계

본 논문에서는 식(7)과 같은 impulse 응답을 갖는 PSK-to-MSK 필터를 SAW 소자로 설계하여 제작하였으며 동작원리는 다음과 같다.

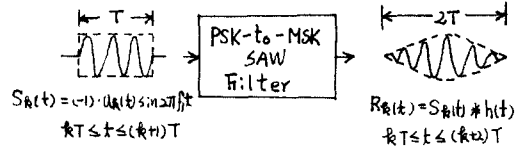


그림 3. 한 bit PSK 입력에 대한 PSK-to-MSK 필터의 출력 펄스

그림 3 과 같이 하나의 k 번째 비트의 PSK 신호가 SAW PSK-to-MSK 필터에 인가되는 경우 이 PSK 신호는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$S_k(t) = (-1)^k a_k(t) \sin(2\pi f_1 t), \quad kT \leq t \leq (k+1)T \text{ --(10)}$$

식(10)과 같은 입력 PSK신호에 대한 식(7)의 impulse 응답을 갖는 SAW 필터의 출력은 convolution 에 의하여

$$R_k(t) = S_k(t) * h(t) = (-1)^k a_k(t) \begin{cases} R_s(t), n \text{ even} \\ R_c(t), n \text{ odd} \end{cases}$$

$$kT \leq t \leq (k+2)T \text{ -----(11)}$$

과 같이 된다. 식(11)에서 $R_s(t)$ 와 $R_c(t)$ 는 결과적으로 각각 $f_c = (f_1 + f_2)/2$ 로 변조된 두개의 antipodal 한 pulse stream 을 나타내며 다음과 같다.

$$R_c(t) = \cos\left(\frac{\pi t}{2T}\right) \cos(2\pi f_c t) \text{ -----(12)}$$

$$R_s(t) = \sin\left(\frac{\pi t}{2T}\right) \sin(2\pi f_c t)$$

따라서, 연속적인 PSK 신호가 인가될때 SAW PSK-to-MSK 필터의 출력은 개개의 PSK 에 대한 식(11) 과 같은 출력들의 SAW 필터에서의 연속적인 중첩으로서 식(13)과 같은 형태중의 하나를 취하게 된다.

$$S_1(t) = R_c(t) + R_s(t) = \cos(2\pi f_c t - \frac{t}{2T})$$

$$= \cos(2\pi f_1 t) \text{ -----(13)}$$

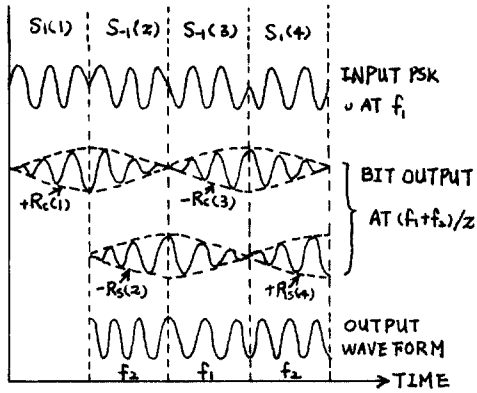
$$S_2(t) = R_c(t) - R_s(t) = \cos(2\pi f_c t - \frac{t}{2T})$$

$$= \cos(2\pi f_2 t)$$

따라서 식(14)와 같은 최종적인 MSK 신호를 얻게 된다.

$$m(t) = \begin{cases} S_1(t), a_{k-1}(t) = a_k(t) \\ S_2(t), a_{k-1}(t) = -a_k(t) \end{cases} \text{ -----(14)}$$

이러한 과정의 한 예를 도식적으로 그림 4에 나타내었다.

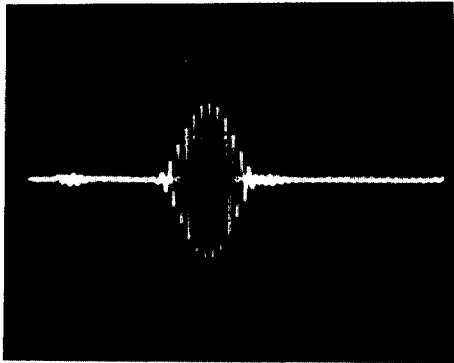


(그림 4) MSK 파형을 생성하기 위한 출력펄스의 증첩

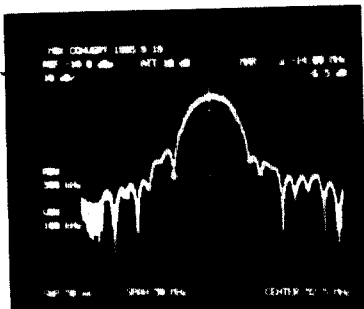
3. 실험 및 결과 고찰

본 논문에서는 중심주파수 50 MHz 인 입력 IDT 와 중심주파수 55 MHz 인 출력 IDT 를 압전물질인 YZ-LiNbO₃ 위에 포토리토그래피 방법으로 제작하여 탄성표면파 MSK 변조기를 제작하였다. 이때 1 chip 의 펄스폭을 100 nsec. 로 설계하였다.

이와같이 제작된 탄성표면파 MSK 변조기의 임펄스 응답과 주파수응답은 그림 5와 그림 6 과 같다.

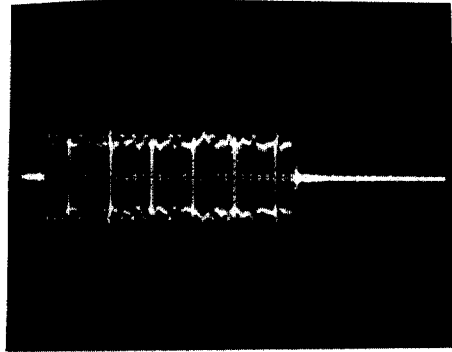


Hor. 0.1 μ sec./div. Ver. 1 V/div.
(그림 5) SAW MSK 변조기의 임펄스응답

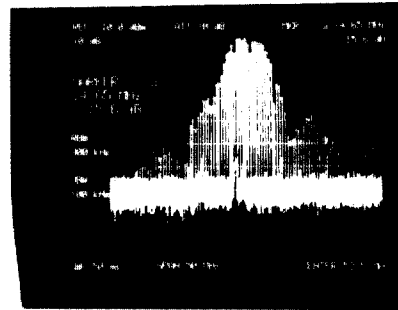


Hor. 5 MHz/div. Ver. 10dB/div. $f_c = 52.5$ MHz
(그림 6) SAW MSK 변조기의 주파수응답

또한 63 chip pn코드로 변조된 PSK 신호를 탄성표면파 MSK 변조기에 인가하여 얻은 MSK 신호 및 스펙트럼은 그림 7 과 그림 8과 같다.



Hor. 1 μ sec./div. Ver. 2 V/div.
(그림 7) MSK 출력



Hor. 5 MHz/div. Ver. 10dB/div. $f_c = 52.5$ MHz
(그림 8) MSK 파형의 스펙트럼

4. 결론

중심주파수 50 MHz 인 입력 IDT 및 중심주파수 55 MHz 인 출력 IDT 를 압전물질인 YZ-LiNbO₃ 위에 포토리토그래피 방법으로 제작하여 그특성을 측정한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) MSK 신호의 중심주파수는 $(f_1 + f_2)/2$ 인 52.5 MHz 이었다.
- 2) MSK 파형의 null to null 대역폭은 이론치와 근사한 14.8 MHz 이었다. 이는 PSK 신호의 이론치인 20 MHz 보다 $1.5/T$ 인 대역폭을 얻음으로써 스펙트럼의 효율이 높음을 알 수 있었다.
- 3) MSK 의 시간축에서 본 모양은 거의 일정한 포락선을 유지하였다.

REFERENCE

1. F. Amoroso and J. A. Kivett, " Simplified MSK Signaling Technique," IEEE Trans. on Comm., April 1977, p. 433
2. S. A. Gronemeyer and A. L. McBride, " MSK and Offset QPSK Modulation," IEEE Trans. on Comm., August 1976, p. 809
3. W. R. Smith, "SAW Filters for CPSM Spread Spectrum Communication," 1977 IEEE Ultrasonics Symp. Proc., 1977, p. 524
4. S. Pasupathy, " MSK; A Spectrally Efficient Modulation," IEEE Communication Magazines, July 1979, p. 14