

# SAW 필터 군 지연 리플에 의한 영향 분석

이제원, 정준영, 이상욱

한국전자통신연구원

{jw\_lee, jungjy, slee}@etri.re.kr

## Effects of SAW Filter Group Delay Ripple

Jewon Lee, Joon-Young Jung, Sanguk Lee

Electronics and Telecommunications Research Institute

### 요약

본 논문은 SAW 필터 주파수 응답 모델링 방법을 소개하고 SAW 필터의 통과대역에서 진폭 및 군 지연 리플이 필터 입력신호에 미치는 영향을 분석하기 위해 Microchip 사의 TFS 174G 명세서를 통해 진폭 및 군 지연 리플을 추정하고 모의실험을 통해 EVM(Error Vector Magnitude) 결과를 분석하였다.

### I. 서론

SAW(Surface Acoustic Wave) 필터는 일반적인 통과대역(Passband) 필터의 평탄한 군 지연(Group Delay)과는 다른 특성을 보인다. SAW 필터는 통과대역 전반에 걸쳐 수십에서 수백 나노초의 주기적인 진폭 및 군 지연 리플이 발생한다. 이러한 리플은 SAW 필터 입력신호의 왜곡을 가져온다.[1]

HW 구현시 SAW 필터 적용 여부를 결정하기 위해서는 SAW 필터의 진폭 및 군 지연 리플이 필터 입력신호에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 분석이 필요하다.

본 논문에서는 [1]의 저자들이 제안한 SAW 필터의 진폭 및 군 지연 리플 모델링 방법을 소개하고 모델링 검증을 위해서 사용된 TriQuint SEMICONDUCTOR 사의 SAWTEK 854668[2]의 측정된 군 지연 파라미터를 이용하여 시간 및 주파수 응답을 확인하여 제시된 모델링 방법을 검증한다. 추가로 모의실험을 통해서 Microchip 사의 TFS 174G[3] SAW 필터의 군 지연 리플이 입력신호에 주는 영향을 EVM(Error Vector Magnitude)을 이용하여 분석하였다.

### II. SAW 필터 군 지연 모델링

SAW 필터의 입력 및 출력은 그림 1과 같이 페이저(Phasor) 표현으로 나타낼 수 있다. 여기서 입력 전압 페이저는 진폭이 1이고 위상이 0이다.

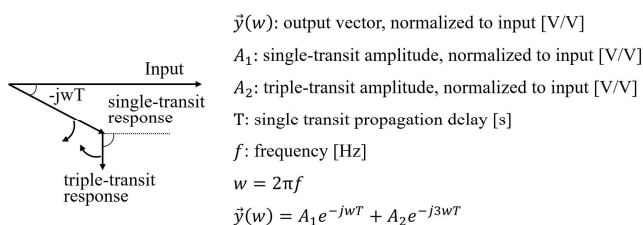


그림 1. SAW 필터의 입력 및 출력 페이저 표현

(Single Transit) 및 삼중 통과(Triple Transit) 응답만을 이용해서 SAW 필터 군 지연을 모델링하였다. 리플은 정현파(Sinusoid) 구성요소로 식(1)과 같이 근사화될 수 있다.

$$A(w) = A_1 + A_2 \sin(-2wT) \quad (1)$$

$$\theta(w) = -wT + \arctan\left(\frac{A_2}{A_1}\right) \sin(-2wT)$$

여기서  $A(w)$ 는 SAW 필터의 출력 진폭,  $\theta(w)$ 는 출력 위상을 나타낸다. 군 지연은 식(1)의 위상을 각속도  $w$ 로 미분한 결과로 식 (2)와 같다.

$$T_d(w) = -\frac{d\theta(w)}{dw} \quad (2)$$

$$T_d(w) = T + 2T \arctan\left(\frac{A_2}{A_1}\right) \cos(-2wT)$$

### III. 군 지연 모델링을 통한 SAW 필터 시간 및 주파수 응답

[1]에서는 TriQuint SEMICONDUCTOR 사의 SAWTEK 854668을 네트워크 분석기 HP8753A를 이용해서  $T, A_1, A_2$ 를 표 1과 같이 측정하였다.

표 1. 네트워크 분석기를 통한 SAWTEK 854668의 군 지연 파라미터 측정값

군 지연 파라미터	값
단일 통과 전파 지연 ( $T$ )	1.07 $\mu$ sec
단일 통과 진폭 ( $A_1$ )	$10^{\frac{-17}{20}}$ (-8.5 dB)
삼중 통과 진폭 ( $A_2$ )	$10^{\frac{-52}{20}}$ (-26 dB)

표 1의 측정값을 식 (2)에 대입하면 식 (3)과 같다.

$$T_d(f) = 1.07 \mu\text{sec} + (38.1 \text{ nsec}) \cos(-(13.4 \mu\text{sec})f) \quad (3)$$

여기서 38.1 nsec는 군 지연 리플의 피크 진폭을 나타낸다.

표 1의 측정값을 식(1)에 대입하면 SAWTEK 854668의 주파수 응답을

[1]의 저자들은 진폭 및 군 지연 리플 분석의 용이성을 위해 단일 통과

모델링할 수 있다. 그림 2는 SAWTEK 854668의 주파수 응답을 나타낸다. 주파수 영역은 62부터 78MHz로 16MHz 대역이며 주파수 간격은 50kHz이다.

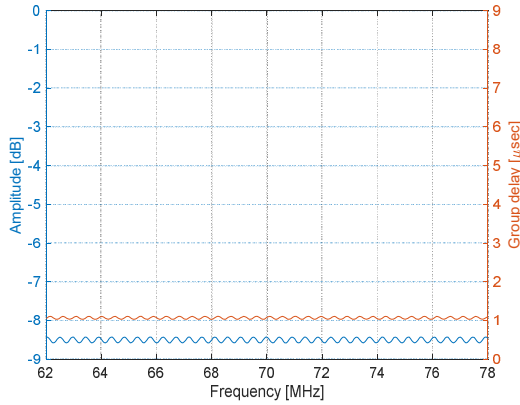


그림 2. SAWTEK 854668의 주파수 응답

그림 3은 SAWTEK 854668의 주파수 응답을 푸리에 역변환해서 시간 영역으로 변환했을 때의 결과를 보여준다.

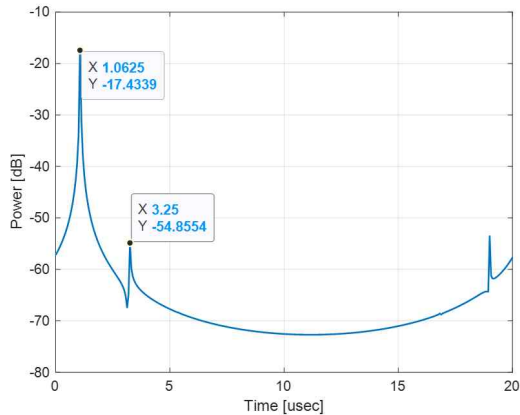


그림 3. SAWTEK 854668의 시간영역 응답

그림 3의 시간영역 응답 결과는 [1]에서 네트워크 분석기 HP8753A를 통해 확인한 단일 및 삼중 통과 응답을 잘 모사하고 있음을 보여준다.

#### IV. 모의실험

Microchip사의 TFS 174G의 군 지연 리플은 중심 주파수 +/- 12MHz에서 일반적으로 22nsec(p-p)이다. 따라서 피크 진폭은 11nsec이다. 명세서는 단일 통과 전파 지연 T가 명시되어 있지는 않다. 다만, 제시된 군 지연 리플의 주파수 응답 그림을 통해 대략 0.458µsec로 추정할 수 있다.  $A_1, A_2$ 의 상대적인 비는 식 (4)를 통해서 구할 수 있다.

$$\frac{A_2}{A_1} = \tan\left(\frac{\text{peak amplitude}}{2T}\right) \quad (4)$$

앞서 추정된 값을 식(4)에 대입하면  $A_1, A_2$ 의 상대적인 비는 0.0117이다. 이것을 데시벨로 나타내면 -19.3172dB가 된다. 모의실험을 위해서  $A_1$ 을 -8.5dB라고 가정하면  $A_2$ 는 -27.8172dB가 된다. 따라서, SAW 필터 주파수 응답을 위한 군 지연 파라미터  $T, A_1, A_2$ 는 0.47µsec, -8.5dB, -19.3172dB이다.

SAW 필터의 진폭 및 군 지연 리플이 입력된 변조신호에 얼마큼의 왜곡을 주는지 그림 4와 같이 모의실험을 진행하였다. 여기서 사용된 펄스 성형 필터는 RRC(Root Raised Cosine) 필터이며 리플에 의한 영향만을 보기 위해서 SAW 필터 진폭의 경우 진폭의 최댓값으로 정규화하였다.

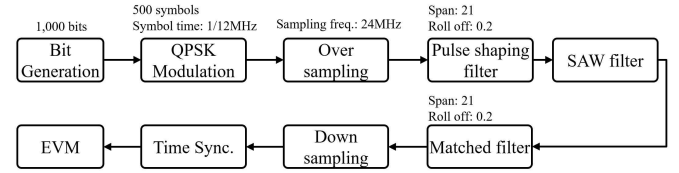


그림 4. 모의실험 블록 다이어그램

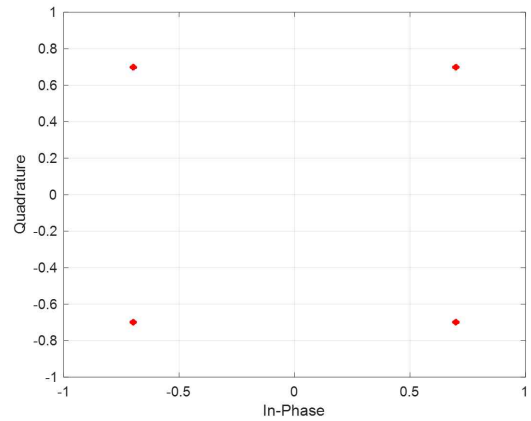


그림 5. TFS 174G의 진폭 및 군 지연 리플에 의한 정상도

그림 5는 TFS 174G의 진폭 및 군 지연 리플에 의한 정상도 결과를 보여준다. EVM은 -36.7067dB가 나왔으며 그림 4에서 SAW 필터를 제외했을 경우 EVM은 -57.1964dB로 20.4897dB 차이를 보였다.

#### V. 결론

본 논문은 HW 구현시 SAW 필터 적용 여부를 결정하기 위한 SAW 필터의 진폭 및 군 지연 리플이 필터 입력신호에 어떠한 영향을 미치는지에 대해서 분석하기 위해서 [1]에서 제시한 모델링 방법을 소개하고 모의 실험을 통해 검증하였다. Microchip사의 TFS 174G 명세서를 통해서 진폭 및 군 지연 리플을 추정하고 그것이 입력신호에 주는 영향을 모의실험을 통해서 확인하였다. 모의실험 결과 EVM은 -36.7067dB이며 이것은 다른 왜곡이 없으면 최대 확보 가능한 신호 대 잡음비가 36.7067dB임을 나타낸다.

#### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2022-00165951)

#### 참고 문헌

- [1] Adams, D. "The effects of SAW GROUP delay ripple on GPS and Glonass signal," Novatel Technical Paper, 2003.
- [2] TriQuint SEMICONDUCTOR, "SAWTEK 854668 Datasheet", 1998.
- [3] Microchip Technology, "TFS 174G Filter Specification", 2007.