

# 샘플링 주파수에 따른 고주파 신호 복제특성 분석

\*임중수, \*채규수, \*정철구, \*\*최창민  
\*천안 대학교 정보통신학부/RDRC센터, \*\*(주)미래 시스템  
e-mail: [jslim@cheonan.ac.kr](mailto:jslim@cheonan.ac.kr)

## An Analysis of Radio Signal Reproduction Characteristics depending on a sampling frequency

\*Joong-Soo Lim, \*Gyu-Soo Chae, \*Chul-Gu Jung,  
\*\*Chang-Min Choi  
\*Dept. of IT/ RDRC Center, Cheonan University. \*\*Mirae Systems, Inc.

### 요 약

반도체 기술의 발달과 더불어 디지털 신호 기억회로는 매우 빠른 속도로 발달되었다. 그러나 수 GHz 이상의 높은 고주파 신호를 저장하였다가 복제하는 것은 매우 어려운 기술이다. 고주파 신호의 복제를 위해서 과거에는 신호 감쇄가 적은 고주파 케이블을 일정한 길이로 감아서 시간지연을 시키는 아날로그 방식의 고주파 신호 저장회로가 사용되었으나, 신호 샘플링 및 광대역 신호 변환기 등이 발전 되면서 고주파 신호를 고속으로 샘플링 한 뒤 디지털 회로에 저장 한 후에 필요시 고주파 신호를 복제하는 기술이 가능해 졌다. 본 논문에서는 주파수 대역이 3 옥타브 이상 되는 광대역 고주파 신호를 저장하고 복제할 때 샘플링 주파수에 따른 특성을 분석하였다.

### 1. 서론

디지털 기술의 발달로 디지털 신호 기억회로는 각종 영상이나 멀티미디어 신호들을 복제하기 위해서 폭넓게 사용되고 있으나, 수 백 MHz 또는 수 GHz 대역의 높은 고주파 신호를 디지털 신호로 변환하여 저장하였다가 복제하는 기술은 매우 어려운 분야로 분류되어 왔다. 고주파 신호의 기억을 위해서 과거에는 아날로그 주파수 기억루프가 사용되었으나 고주파 신호 변환기와 광대역 주파수 증폭기 등이 개발 되면서 디지털 고주파 신호 기억 장치에 대한 설계가 가능해 졌다. 본 연구에서는 전체 대역폭이 2GHz 이상되는 광대역 고주파 신호를 설계하고 샘플링 속도에 따른 신호 저장 및 복제 특성 결과를 조사하였다.

### 2. 고주파 신호 저장 및 복제 회로 동작 원리

고주파 신호를 샘플링하여 저장하고 이를 다시 복제하는 회로를 고주파 기억장치라 부른다. 광대역 고주파 기억회로는 수 MHz 또는 수 GHz 대역의 높은 고주파 신호를 디지털 데이터로 변환하여 디지털 메모리에 저장하는 기능과 저장된 데이터를

재생하는 기능을 기본으로 하고 있다.

광대역 고주파 기억 장치는 샘플링 방식에 따라 크게 진폭 비교(Amplitude encoding) 방식과 위상 비교(Phase encoding) 방식으로 나뉘어 지며, 본 논문에서는 샘플링 주파수에 비해서 주파수 복제 특성이 우수한 Phase encoding 방식을 중심으로 연구하였다.

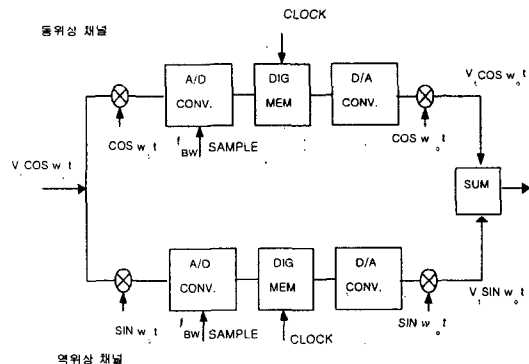


그림 1 디지털 고주파 신호 복제회로 구성도

디지털 고주파 신호 기억장치는 그림 1과 같이 구성되며, 입력된 고주파 신호를 고주파 신호 분배기를 사용하여 두 채널로 분류 한 뒤에 한 채널은 기준신호 회로 즉 동위상(inphase : I) 회로로 사용하고 나머지는 90도 위상차를 갖는 역위상(quadrature : Q) 회로로 사용한다. I와 Q신호의 변환은 믹서 또는 위상 검출기( phase detector)에 의해서 이루어진다.

저장될 신호 대역의 중심주파수에 맞추어진 국부발진기 신호는 입력되는 고주파신호와 동위상 검출기에서 혼합되어 I, Q에 모두 포함되어져 있으며, 다음 단계는 아날로그-디지털 변환기(A/D converter)를 사용하여 I와 Q 성분을 디지털 데이터로 변환하는 것이다. 이 디지털 변환을 수행하기 위해서 저역 통과된 신호는 입력되는 신호의 가장 높은 주파수보다 적어도 두 배 이상의 주파수로 샘플링 되어야 한다. 신호의 샘플링 속도를 가장 낮추기 위해서는, 기저대역 신호로 변환하는 것이 유리하다. 그리고 신호를 디지털 화하기 위해서는 I와 Q의 변환기들이 분리 되어 있어야 한다.

광대역 고주파 기억장치의 주파수 대역폭이 500MHz라고 가정하면 그림1. 에서 500MHz 대역은 250MHz 대역폭을 가진 I와 Q 채널로 나뉜다. 이 경우에 펄스내의 모든 정보를 유지할 수 있는 아날로그-디지털 변환기의 샘플링 주파수는 500MHz이다.

일반적으로 아날로그-디지털 변환기는 I와 Q를 4~6비트로 양자화 하는데, 이는 동시에 다중 신호들이 저장될 때 불요신호를 줄이고, 소신호(small signal)의 왜곡을 막아준다.

신호는 이제 4~6비트 데이터 형태인 125개의 (0.25μs 펄스폭을 500MHz 샘플링 주파수로 아날로그-디지털 변환) I 데이터와 125개의 Q 데이터로 나타내어지고, 총 250개의 데이터 형태로 디지털 메모리에 저장된다.

저장된 신호를 재생하려면, I와 Q채널의 메모리에 저장된 데이터들을 500MHz의 속도로 읽어내면서, 디지털-아날로그 변환을 하고 이 신호를 저역통과 필터를 통과시킨 후 상향 변환하여 원래의 고주파 신호로 출력하여 송신한다.

아날로그 하향변환기(analog down-converter)는 광대역의 신호를 처리할 수 있기 때문에 일반적으로 Q 채널 광대역 기억장치에 사용된다. 아날로그 하향변환기의 가장 큰 결점은 채널간 위상과 진폭의 평형을 이루기 어려운 것이다.

아날로그 I/Q 하향변환기를 구현하는 가장 일반적인 방법은 그림1. 과 같이 90도 위상변위기(phase shifter)를 국부발진기의 출력에 연결하여 90도 위상변위를 갖는 국부 발진 신호(quadrature local oscillator signal)를 만드는 것이다.

광대역 고주파 기억장치의 어려운 점은 동작 주파수 범위의

중심에 맞추어진 국부발진기를 사용하여 입력되는 신호를 기저대역으로 변환하는 것이다. 이 방법으로는 국부발진 주파수를 기준으로 하여 보았을 때, 입력되는 신호의 상측대역(upper band)과 하측대역(low band)이 모두 동일한 기저대역으로 겹쳐진다.

이상의 과정에서 발생하는 주파수 모호성은 I 채널과 Q 채널 간의 위상 차이를 측정하여 해결할 수 있다. 예를 들면, Q 채널의 위상이 I 채널보다 앞서면(lead), 입력신호의 주파수가 국부발진기 주파수보다 높은 것이며, 반면에 Q 채널의 위상이 I 채널보다 늦으면(lag) 입력신호의 주파수는 국부발진기의 주파수보다 낮은 것이다. 구적채널 신호처리(Quadrature channel process)를 고려하면, 고주파신호는 다음과 같다.

$$v(t) = x(t) \cdot \cos w_0 t - y(t) \cdot \sin w_0 t \quad (1)$$

여기에서 x(t)와 y(t)는 반송파 각 주파수  $w_0$ 에 비해서 느리게 변화하는 신호이다. 식(1)에서 신호 스펙트럼을 도출하면 식(2)와 같다.

$$V(w) = \frac{1}{2} [X(w - w_0) + jY(w - w_0)] + \frac{1}{2} [X(w + w_0) - jY(w + w_0)]$$

(2)

여기서  $X(w)$ 와  $Y(w)$ 는  $x(t)$ 와  $y(t)$ 의 푸리에 변환(Fourier transform)들이다. 식 (2)는 복소 표현(complex notation)으로 다시 쓰면 식 (3)과 같다.

$$V(t) = \frac{1}{2} [V^*(w - w_0) + V(w - w_0)]$$

(3)

여기서  $V^*(w) = X(w) - jY(w)$ 이며 "\*"은공액(conjugate)을 나타낸다.

국부발진기  $w_{LO}$ 와 혼합되고 저역통과 필터를 거친 후에, I 채널 신호와 Q 채널 신호는 아래와 같다.

$$v_I(t) = \frac{1}{2} [x(t) \cdot \cos(w_0 - w_{LO})t - y(t) \cdot \sin(w_0 - w_{LO})t] \quad (4)$$

$$v_Q(t) = \frac{1}{2} [x(t) \cdot \sin(w_0 - w_{LO})t - y(t) \cdot \cos(w_0 - w_{LO})t] \quad (5)$$

상기의 신호를 국부발진 주파수를 신호의 주파수와 일치 ( $w_0 = w_{LO}$ ) 시키면

$$v_I(t) = x(t) \quad (6)$$

$$v_Q = y(t) \quad (7)$$

광대역 고주파 기억장치에서 출력되기 위하여 국부발진기로 다시 혼합되어 상향 변환된 신호는 아래와 같다.

$$v(t) = v_I(t) \cos(w_{LO})t + v_Q(t) \sin(w_{LO})t \quad (8)$$

I 신호 성분은 아래와 같다.

$$v'_I(t) = \frac{1}{2} [x(t) \cdot \frac{1}{2} (\cos(\omega_0 t) + \cos(\omega_0 - 2\omega_{LO})t) - \frac{1}{2} [y(t) \cdot \frac{1}{2} (\sin(\omega_0 t) + \sin(\omega_0 - 2\omega_{LO})t)]$$

(9)

반면, Q 신호 성분은

$$v'_Q(t) = \frac{1}{2} [x(t) \cdot (-\frac{1}{2}) \cdot (\cos(\omega_0 t) - \cos(\omega_0 - 2\omega_{LO})t) + \frac{1}{2} \cdot y(t) \sin(\omega_0 t) - \sin(\omega_0 - 2\omega_{LO})t]$$

$\omega_{LO} = \omega_0$ 이면 출력은 식(1)에서 나타낸 입력 신호를 복제할 수 있다.

### 3. 고주파 신호 저장/복제 회로 설계

광대역 고주파 기억장치는 고주파 입력 모듈, 국부 발진기 모듈, 디지털 메모리 모듈, 컨트롤 모듈과 고주파 출력모듈 등으로 나눌수 있으며, 제한된 범위의 고주파 신호 값을 디지털로 저장하는 부분은 디지털 메모리 모듈이다.

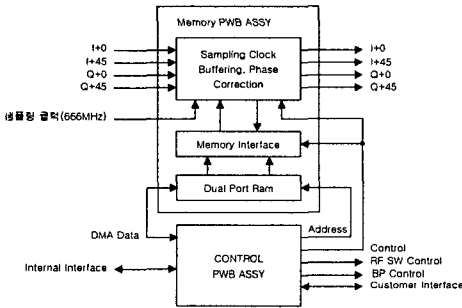


그림2 디지털 메모리 회로 모듈

디지털 메모리 회로 모듈은 그림 2와 같이 제한된 일정 주파수 범위의 고주파 입력을 QIFM과 Hybrid(or Phase Shift)를 사용하여 I+, Q+ 신호를 생성하고, 생성된 각 신호는 45도 위상 차를 갖는 4개의 신호로 변경한다.

디지털 메모리 모듈은 600MHz로 동작하는 Serial to Parallel Register를 이용하여 이산 신호를 디지털화하고, 디지털 신호를 16비트로 저장하는 기능을 수행한다.

저장된 데이터는 Parallel to Serial Register를 통해 D/A Converter에 입력되어 아날로그 신호로 변경되어 고주파 출력모듈의 입력으로 사용된다.

### 4. 고주파 신호 복제 특성 모사 및 결론

저장하고자 하는 고주파 신호의 대역 폭이 4 GHz 일 때 이 신호를 7개의 서브-대역으로 나누고 이것을 다시 I- 채널, Q-채널로 분리하면, 각 채널에는 최대 285 MHz 대역폭의 신호가

흐른다고 가정할 수 있다.

이회로의 신호를 600 MHz, 300 MHz로 디지털화하고 디지털 신호를 16비트 Parallel Register로 지연시켜 Dual Port RAM에 저장한 뒤에, 저장된 신호를 복제한 결과가 그림 3과 그림4이다. 그림 3은 샘플링 주파수를 600 MHz 로 했을 경우이며, 결과는 입력 신호의 위상과 진폭이 잘 유지되어서 복제되며 고주파 신호의 반송파 신호로 사용되기에 충분하다. 그림 4는 샘플링 주파수가 300 MHz 인 경우로 입력 신호의 위상과 진폭이 잘 유지되지 않는 것을 볼 수 있다.

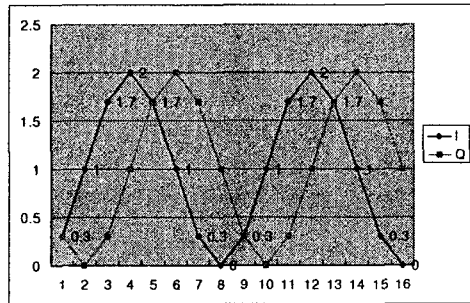


그림3. 디지털 고주파 신호 모사 특성 (샘플링 주파수 ; 600 MHz )

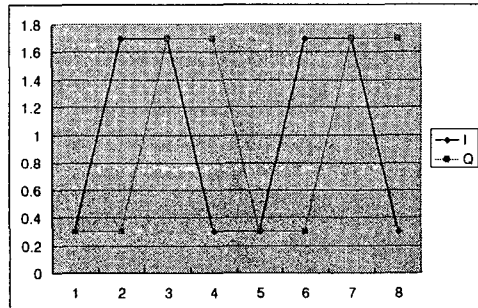


그림4. 디지털 고주파 신호 모사 특성 (샘플링 주파수 ; 300 MHz )

따라서 그림 2와 같이 설계한 디지털 고주파 기억회로는 입력신호의 대역폭이 4 GHz 이하인 경우에 입력 주파수를 7채널로 분리하면 600 MHz 이상의 샘플링 주파수를 사용하면 고주파 신호를 양호하게 복제할 수 있는 것을 알 수 있다.

#### 참고 문헌

- [1] Schleher, D. C. " Introduction to Electronic Warfare," Artech House, 1986.
- [2] Tsui, J., "Digital Techniques for Wideband Receivers," Artech House, 1996
- [3] Schleher, D. C. " Electronic Warfare in the Information Age," Artech House, 1999.
- [4] Richard G. Wiley "Electronic Intelligence: The Analysis of Radar Signals." Artech House, 1993.
- [5] James Bao-Yen Tsui " DIGITAL MICROWAVE

RECEIVERS Theory and Concepts," Artech House, 1989.