

동작주파수 및 출력파워 조절이 용이한 신호생성용 안테나 설계

이 동 호, 이 종 인, 김 문 일

An Antenna-Integrated Oscillator Design Providing Convenient Control over the Operating Frequency and Output Power

Dongho Lee, Jongin Lee, Moonil Kim

요 약

동작주파수를 쉽게 조절할 수 있는 신호생성용 안테나 (Antenna-Integrated Oscillator) 설계방법을 소개한다. 제안하는 회로는 광대역에서 부정저항을 갖는 능동회로 (Negative-Resistance Circuit)와 패치안테나로 구분되며, 오실레이터의 동작주파수는 안테나의 공진 주파수로 결정된다. 이러한 디자인 방법은 안테나와 오실레이터의 동작주파수 불일치로 인한 출력파워의 감소 가능성을 줄일 수 있다. 또, 제안하는 설계방법에서 안테나의 Feed 지점과 Feed 라인의 길이를 조절하여 최적의 출력파워를 낼 수 있음을 Load-Pull 시뮬레이션으로 확인하였다. C-band, X-band 회로를 각각 제작, 측정하였고 이를 통하여 설계방법의 타당성을 증명하였다.

Key Words : Oscillator; Patch antenna; Active antenna; Load-Pull

ABSTRACT

A new design for easily controlling operating frequency of an antenna-integrated planar oscillator is introduced. The oscillator circuit consists of a broadband negative-resistance active part and a passive load including a patch antenna. The patch resonance is used for determining the oscillation frequency. This design reduces the possibility of mismatch between antenna radiation and oscillation frequencies. To achieve optimum output power, load-pull simulation for the negative-resistance circuit is used. The Load-pull simulation shows the feed point and the delay of feed line can affect the oscillation power. Two negative-resistance circuits capable of supporting oscillation over full C-band and X-band are fabricated. The oscillation frequency, output power and phase noise for different patch antennas are measured.

I. 서 론

신호생성용 안테나 (Antenna-Integrated Oscillator) 는 통신, 레이더 시스템 등 많은 곳에서 사용되고 있다. MMIC를 비롯한 많은 능동회로는 기관 뒷면에 접지 면을 가지고 있는 마이크로스트립형태로 이루어져있다. 이러한 구조는 패치안테나를 제외한 다른 안테나들의 동작을 방해하기 때문에 능동회로에

결합하는 안테나는 주로 패치가 선택된다. 많은 논문들은 제한된 공간을 사용하여 고출력 신호를 생성하기 위하여 오실레이터와 패치안테나의 결합구조를 소개하고 있다^[1,2].

일반적인 신호생성용 안테나는 스스로 발진하는 오실레이터를 설계한 후, 안테나를 결합하는 순서로 설계된다. 하지만 고주파회로 일수록 안테나 결합으로 인한 오실레이터 자체의 특성이 바뀔 가

고려대학교 공과대학 전기전자전공학과 (ldhdl@korea.ac.kr)

논문번호 : , 접수일자 : 2006년 7월 15일, 최종게재논문통보일자 :

※본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 (R01-2006-000-10687-0) 지원으로 수행되었습니다.

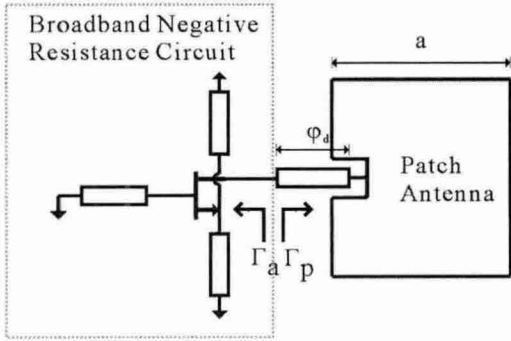


그림 1. 신호생성용 안테나 구성도
Fig 1. A patch-integrated oscillator configuration.

능성이 커진다. 더욱이 패치안테나는 대역폭이 좁기 때문에 오실레이터와 안테나의 동작주파수를 일치시키는 것은 더욱 어렵고 이는 출력파워 감소의 원인이 된다.

본 논문에서 소개하는 설계방법은 패치안테나의 공진을 이용하여 오실레이터의 동작주파수를 결정한다. 이 설계방법은 오실레이터와 안테나의 동작주파수의 불일치로 인한 출력파워 감소 가능성이 없고, 설계가 간단하다는 장점을 가지고 있다. 제안하는 설계방법의 검증을 위하여 C-band, X-band 대역에서 동작하는 오실레이터를 제작하였고, 발진 주파수, 출력파워, Phase Noise를 확인하였다.

II. Negative-Resistance Circuit

제안하는 신호생성용 안테나는 그림 1과 같이 Negative-Resistance Circuit와 패치안테나로 구분할 수 있다. Negative-Resistance Circuit은 광대역에서 부성저항 (Negative Resistance)을 갖지만, 50-Ohm을 출력에 연결했을 때는 발진하지 않는다. 패치안테나는 능동회로가 부성저항을 갖는 대역폭에서 공진하도록 설계한다. 이때 부성저항을 갖는 주파수 대역은 발진가능성이 있는 주파수대역이며, 실제 발진주파수는 패치안테나에 의해 선택된다. 이 설계 방법은 패치안테나의 공진이 발진에 직접 이용되기 때문에 발진주파수와 안테나의 동작주파수가 자동적으로 일치하게 된다. 게다가, 설계와 제작간의 오차의 주요원인이 되는 능동회로는 넓은 대역폭의 발진 가능주파수를 제공하며, 수동회로인 패치안테나가 동작주파수를 결정하기 때문에 설계가 용이하다는 장점이 있다.

제안하는 설계방법을 검증하기 위하여 안테나를

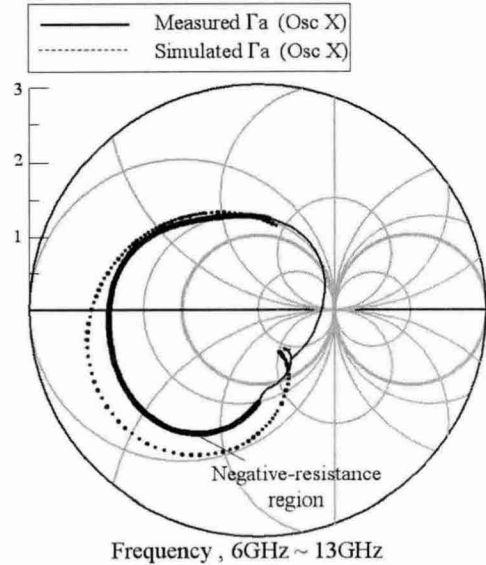


그림 2. Broadband Negative-Resistance Circuit의 시뮬레이션 및 측정된 반사계수
Fig 2. Measured and simulated reflection coefficient for X-band negative-resistance circuit

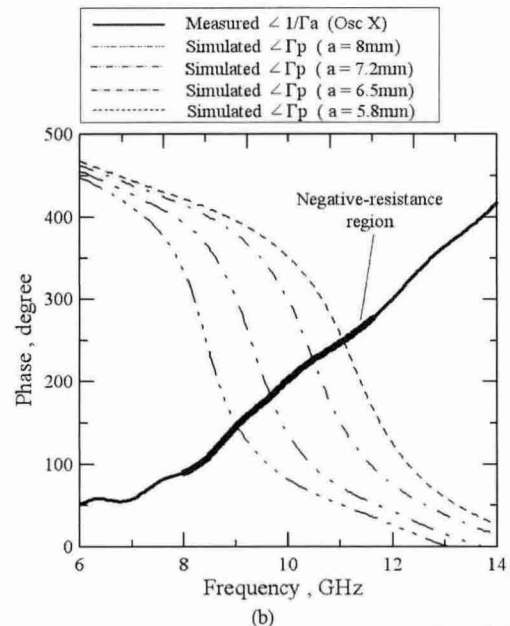


그림 3. Broadband Negative-Resistance Circuit의 측정된 반사계수 역수의 위상 및 시뮬레이션 된 패치안테나 반사계수의 위상.
Fig 3. The phase of the reciprocal of measured reflection coefficient for negative-resistance circuit and simulated the phases of reflection coefficients for various patch antennas.

포함하지 않는 Negative-Resistance Circuit 만을 제작하였다. Package 타입인 Fujitsu사의 FHX35LG HEMT를 능동소자로 사용하였고, 제조회사에서 제공된 측정소신호 S2P 파일을 이용하여 설계하였다. 그림 2는 50-Ohm 시스템 임피던스로 측정 및 시뮬레이션된 Negative-Resistance Circuit의 반사계수 (그림 1. Γ_a)를 보여주고 있다. 회로는 8~12GHz에서 부성저항을 갖는다.

III. Start-up Conditions

밀리미터파 회로 발진의 시작은

$$|\Gamma_a(j\omega)\Gamma_p(j\omega)| > 1 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \angle(\Gamma_a(j\omega)\Gamma_p(j\omega)) &= 0 \\ \Rightarrow \angle\Gamma_p(j\omega) &= \angle \frac{1}{\Gamma_a(j\omega)} \end{aligned} \quad (2)$$

(1), (2) 두 조건을 모두 만족해야 한다^[3]. Γ_a 는 Negative-Resistance Circuit의 반사계수, Γ_p 는 패치 안테나의 반사계수에 해당한다.

그림 3은 측정된 Negative-Resistance Circuit의 반사계수 역수의 위상과 시뮬레이션 된 패치 안테나의 반사계수 위상을 보여주고 있다. 패치안테나는 능동회로가 부성저항을 갖는 주파수 대역 내에서 동작한다. 그림 3의 Bold-Line은 부성저항을 갖는 영역에 해당하며 (1) 조건을 만족 시킬 수 있는 영역이다. 그림 3에서 두 위상이 만나는 지점은 (2) 조건 또한 만족하여 발진주파수에 해당한다. 즉, 고정된 Negative-Resistance Circuit에 패치안테나의 사이즈만을 조절하여 발진주파수를 선택할 수 있음을 이론적으로 확인할 수 있다.

IV. Load-Pull 시뮬레이션

설계된 Negative-Resistance Circuit의 매칭임피던스에 따른 출력파워를 추측하기 위하여 Load-Pull 시뮬레이션을 하였다. Agilent사의 ADS를 시뮬레이터로 사용하였고, 트랜지스터 제조회사에서 제공되는 대신호 모델을 이용하였다. 제조회사에서 제공되는 대신호 모델과 소신호 S2P파일에 다소 차이가 있어, Load-Pull 시뮬레이션은 정확한 출력파워 수치보다는 경향을 파악하는데 이용된다. 그림 4와 그림 5는 각각 출력파워와 발진주파수의 Load-Pull 결과이다. 즉, 각 임피던스가 Negative-Resistance Circuit에 연결 되었을 때 출력 파워와 발진주파수

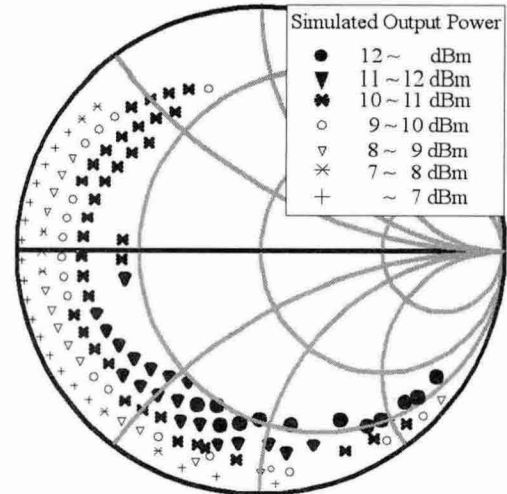
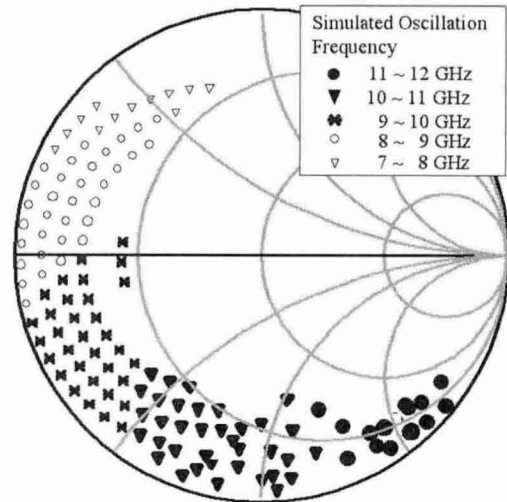


그림 4. 설계된 Negative-Resistance Circuit의 출력파워에 관한 Load-Pull 시뮬레이션.

Fig 4. Load-pull simulation for output power of the designed negative-resistance circuit.



(b)

그림 5. 설계된 Negative-Resistance Circuit의 발진주파수에 관한 Load-Pull 시뮬레이션.

Fig 5. Load-pull simulation for oscillation frequency of the designed negative-resistance circuit.

를 스미스 차트 (Smith Chart) 에 나타내었다. 출력 파워가 표시되어 있지 않는 스미스 차트 안쪽 영역은 Negative-Resistance Circuit과 결합하더라도 (1) 조건을 만족하지 못하기 때문에 발진하지 않는다. 발진이 가능한 임피던스에서 출력 파워는 패치안테나의 반사계수의 크기에 다소 영향을 받고, 위상은 특정범위 내에서는 크게 영향을 주지 못함을 확

인할 수 있다. 패치안테나의 반사계수의 크기는 Feed Point, 위상은 Feed 라인 길이(그림 1. ϕ_d)로 조절 가능하므로 설계된 Negative-Resistor Circuit에서 최대출력파워는 이러한 두 가지 성분을 조절하여 얻을 수 있다.

V. 측정

C-band, X-band에서 각각 부성저항을 갖는 Negative-Resistance Circuit에 다양한 크기의 패치 안테나를 결합하여 각각의 특성을 확인하였다. 그림 6은 각각의 신호생성용 안테나의 발진 주파수, 출력파워, Phase Noise를 나타내고 있다. 그림 6의 안테나 주파수는 능동회로를 제외한 안테나만의 공진 중심주파수 (Center Frequency)를 나타낸다. 예측한바와 같이 회로의 발진 주파수가 안테나 동작주파수를 조금 다른 기울기로 따르는 경향을 보인다. 이러한 기울기 차이의 경향은 그림 3에서 예측한 바와 일치하며, 높은 Q-Factor의 패치를 사용하면 기울기 차이를 줄일 수 있다.

각각의 회로의 Negative-Resistance Circuit과 Feed Line 길이 (그림 1. ϕ_d)는 고정되어 있고 Feed Point의 임피던스는 300-Ohm 정도로 유사하다. 따라서 각 회로는 발진 주파수에 따라 안테나 임피던스의 Resistance는 유사하고, Reactance는 차이가 난다. 그림 4를 통하여 각각 회로의 출력파워는 특정 범위의 Reactance에서는 유사하지만, 그 범위를 벗어나면 다소 달라짐을 추측할 수 있다. 즉, 제작된 회로의 특정주파수 대역의 출력파워는 일정하지만, 그 범위를 벗어나면 다소 달라지는 것으로 예상된다. 이러한 경향은 측정결과와 일치한다.

Phase Noise는 발진 주파수에서의 공진 Q-Factor에 영향을 받으므로, 제안하는 회로에서는 패치안테나의 Q-Factor가 Phase Noise를 결정한다. 패치안테나의 Q-Factor는 공진 중심주파수에 근접할수록 커진다. 따라서 실험에서 공진 중심주파수와 발진주파수가 일치할 때 최적의 Phase Noise를 나타내었다. 또, 원하는 주파수에서 최적의 Phase Noise는 안테나의 Feed 라인의 길이를 조절하면 쉽게 얻을 수 있다.

VI. 결론

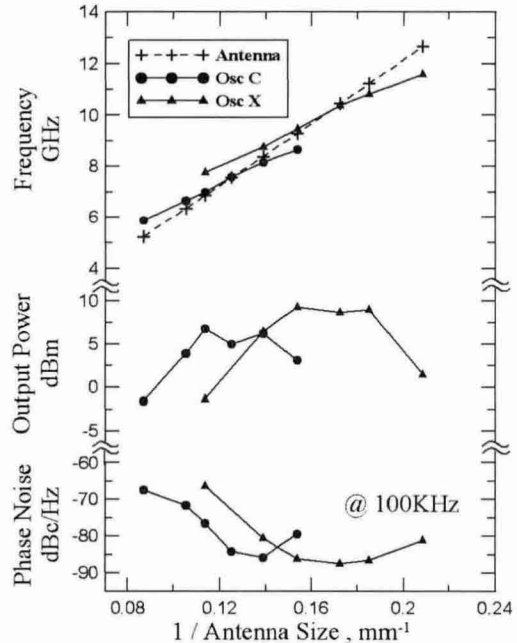


그림 6. 두 개의 Negative Resistance Circuit에 다양한 크기의 안테나와 결합된 회로의 발진주파수, 출력파워, Phase Noise 측정결과
 Fig 6. Measured oscillation frequencies plotted together with the simulated patch resonance frequency. The measured output powers and phase noise for various oscillators are also shown.

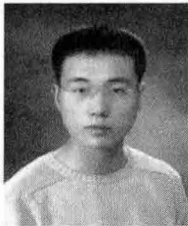
본 논문에서는 새로운 신호생성용 안테나 설계 방법을 소개하였다. 제안한 회로는 패치안테나의 공진이 발진주파수 선택에 직접 이용된다. 이러한 방법은 설계가 쉽고, 안테나와 발진주파수의 불일치로 인한 출력파워의 감소를 막을 수 있다는 장점이 있다. 또 안테나의 Feed에서의 임피던스와 Feed 라인의 길이 조절을 통하여 설계된 Negative-Resistance Circuit로 부터 최대 출력파워를 얻을 수 있다. C-band, X-band의 회로를 제작하여 설계 방법을 증명하였다.

참 고 문 헌

- [1] Kenneth H. Y. Ip, George V. Eleftheriades, "A compact CPW-based single-layer injection-locked active antenna for array applications," *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech.*, vol. 50, no. 2, pp. 481-486, February 2002.
- [2] Davor BONEFAČIĆ, and Juraj BARTOLIĆ, "Design considerationsof an active integrated antenna with negative resistor transistor oscillator," *Radioengineering.*, vol. 14, no. 4, pp. 33-39, December 2005.
- [3] Nhat M. Nguyen, and Robert G. Meyer, "Start-up and frequency stability in high-frequency oscillator," *IEEE J. Solid-State Circuits.*, vol. 27, no. 5, pp. 810-819, May 1992.

저 자

이 동 호 (Dongho Lee)



2004년 2월 : 고려대학교 전기
전자전파공학부 졸업
2004년 3월 ~ 현재 : 고려대학
교 전기전자전파공학과 석박통
합과정

<관심분야> 초고주파 능동회로, InP HBT MMIC 설계

이 종 인 (Jongin Lee)



2006년 2월 : 고려대학교 전기
전자전파공학부 졸업
2006년 3월 ~ 현재 : 고려대학
교 전기전자전파공학과 석사과
정

<관심분야> Waveguide Transition 설계