

높은 주파수대에서 사용 가능한 고품질 능동 인덕터 개발에 관한 연구

A Study on Development of High Q Active Inductor to be Used in High Frequency Band

최종은* · 이상호* · 박정훈** · 나극환*** · 박익모* · 신철재*

Jong-Eun Choi* · Sang-Ho Lee* · Jeong-Hoon Park** · Keuk-Hwan Ra*** · Ik-Mo Park* · Chull-Chai Shin*

요 약

본 논문에서는 MMIC 설계에서 필요한 능동 인덕터의 설계 방법을 제시하였다. 제안된 가변 능동 인덕터는 궤환 커패시터와 궤환 저항을 가진 종속접속된 2개의 FET로 구성을 하였다. 제안된 가변 능동 인덕터는 낮은 직렬 저항을 가져서 상대적으로 높은 Q 값을 얻을 수 있고 높은 주파수대에서 사용이 가능한 우수한 동작 특성을 가진다. 인덕턴스 값은 궤환 커패시터와 궤환 저항 및 바이어스 전압에 의하여 변화되어지며 궤환 저항과 회로내 병렬 저항을 가변하였을 때 1 GHz에서 15 GHz까지 범위에서 인덕턴스 값이 0.2 nH에서 1.7 nH까지 변화하였다. 또한 제안된 능동 인덕터를 사용하여 대역통과 필터를 설계하였을 때 삽입손실은 약 0.4 dB이고 반사 손실은 20 dB 이상의 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

Abstract

In this paper, the method of designing an active inductor for MMIC is proposed. The proposed tunable active inductor is composed of a cascade FET with feedback capacitors and resistors. Because of a very low series resistance in the proposed inductor, a very high Q factor can be obtained. Also it has an excellent characteristics suitable for high frequency band. The inductance value can be changed by controlling feedback capacitors, resistors and a bias voltage respectively. When the feedback resistor and parallel resistor within circuits are varied, the inductance value is changed from 0.2 nH to 1.7 nH in the range 1 to 15 GHz. Also we designed bandpass filter using the proposed active inductor and it shows the insertion loss of 0.4 dB and return loss, 20 dB.

I. 서 론

현대 사회가 정보화 되고 복잡해져 감에 따라 무선통신 기술은 급격히 발달을 하였고, 높은 주파수대를 필요로 하게 되었다. 이러한 무선통신의 급격한 발달은 이동 통신 및 위성통신의 핵심부품 설계

및 개발을 기본 전제로 한다. 나날이 발전하는 RF 핵심 부품에서 고성능, 경량화, 소형화 및 높은 신뢰도를 제공하기 위하여 단일기판 집적회로(MMIC : Monolithic Microwave Integrated Circuit)의 개발은 매우 중요하다^[1].

MMIC 설계에서 사용되는 인덕터는 나선형이 칩

* 아주대학교 전자공학부(School of Electronics Engineering, Ajou University)

** 인천전문대학 통신학과(Dept. of Communication, Incheon College)

*** 광운대학교 전자공학과(Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon Univ.)

· 논문 번호 : 991209-114

· 수정완료일자 : 2000년 2월 25일

크기를 감소하기 위하여 종종 사용된다^{[2],[3]}. 그러나 나선형 인덕터도 다른 집중소자에 비해 다소 크기가 크고 고유한 도체 손실 및 유전체 손실로 인하여 상대적으로 Q 값이 낮으며 기생용량 때문에 높은 주파수대에서 사용이 어렵다^[4]. 이러한 단점 때문에 나선형 인덕터는 MMIC 제작에 있어 많은 제한과 한계를 가지게 되어 실제 설계에서 문제시 될 수 있다. 또한 나선형 인덕터는 높은 인덕턴스를 얻기 위해서 도선의 길이를 증가시켜야 하는데, 이로 인해 MMIC 소자 내에서 인덕터가 차지하는 면적이 증가되는 결과로 나타나게 된다^[5]. 또한 나선형 인덕터는 사용할 수 있는 주파수대의 제약을 갖고, 높은 주파수대역에서는 높은 직렬 저항 및 누화(cross-talk)로 인해 큰 역전력의 생성 및 누화 전력생성으로 전체 회로에 큰 영향을 줄 수도 있다. MMIC 설계에 있어 나선형 인덕터가 가진 많은 제약성으로 인해 작은 면적과 낮은 직렬 저항을 동시에 가지면서도 높은 주파수대에서 사용 가능한 새로운 형태의 인덕터에 대한 필요성이 날로 증가되어져 왔다. 이로 인해 수동형태의 인덕터보다는 FET를 이용한 능동 인덕터에 대한 연구가 많이 진행되어 왔다. 그러나 기존의 제안된 능동 인덕터는 직렬 저항이 크고 낮은 주파수대에서만 사용 가능한 것이었다^{[6]~[9]}

본 논문에서는 이러한 제한을 극복하기 위하여 새로운 구조의 가변 능동 인덕터를 제안하였다. 이 능동 인덕터는 궤환 커패시터와 궤환 저항을 가진 종속접속된 2개의 FET로 구성하여서 낮은 직렬 저항을 가지면서 상대적으로 높은 Q 값을 가질 수 있었다. 또한 이 능동 인덕터는 기존에 비해 상당히 높은 주파수대에서 사용할 수 있도록 설계한 것이 장점이다. 또한 제안된 가변 능동 인덕터는 궤환 커패시터와 궤환 저항뿐만 아니라 바이어스 전압의 제어에 의해 인덕턴스를 가변할 수 있다. 그리고, 본 논문에서는 제안된 가변 능동 인덕터를 이용하여 대역통과 필터를 구현하여 제안된 가변 능동 인덕터의 동작 특성을 살펴보았다.

II. 기존의 능동 인덕터

기존의 제안된 능동 인덕터 구조중에서 Shinji Hara의 궤환 저항을 사용하는 능동 인덕터의 구조

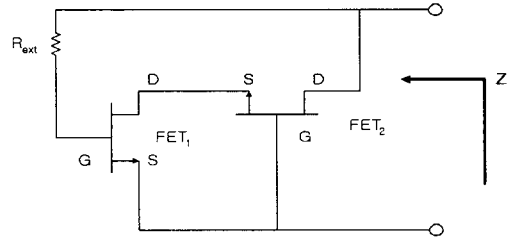


그림 1. Shinji Hara의 궤환 저항 능동 인덕터 회로 구성

Fig. 1. Circuit configuration of the feedback resistor active inductor of Shinji Hara.

를 그림 1에 도시하였다. 이 능동 인덕터는 FET를 캐스코드 구조로 구성하였고, 궤환 저항 R_{ext} 을 두어서 인덕터의 가변 동작을 하도록 구성하였다. 따라서 이 구조는 가변 능동 인덕터에서 가장 기본적인 형태를 제한한 것으로서 매우 간단하며, 외부 가변 요소를 저항만을 두어서 다른 능동 인덕터에 비해 전체적인 크기가 매우 작고, 동작 주파수대역에서 다른 구조에서 보다 가장 큰 인덕턴스값을 구현할 수 있다는 것들을 장점으로 들 수 있다.

이러한 구조의 회로에서 FET를 트랜스컨덕턴스 g_m 과 게이트-소오스간의 커패시턴스 C_{gs} 만으로 나타낼 수 있을 때, 그림 1을 등가 회로로 이를 표시하여 근사화된 입력 임피던스를 구해 보면 직렬저항성분

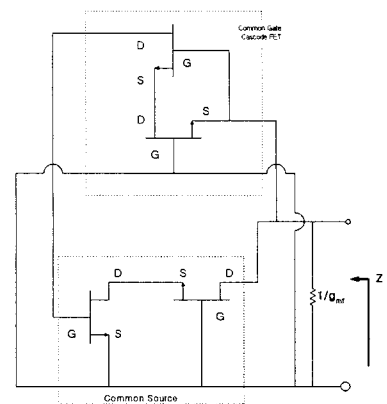


그림 2. Shinji Hara의 궤환 FET 능동 인덕터의 회로 구성

Fig. 2. Circuit configuration of the feedback FET active inductor of Shinji Hara.

은 $\frac{1}{g_m}$ 이 되고, 인덕터 성분은 $\frac{C_{gs} R_{ext}}{g_m}$ 이 된다.

따라서 이 구조는 입력 직렬저항성분이 상당히 큰값을 가지게 되어 회로자체 내에서 많은 손실을 가지게 되고, 또한 FET의 차단 주파수의 절반 영역 이하에서 인덕터의 특성을 가지게 되어서 상당히 낮은 주파수대에서 동작을 하게 되는 단점들을 안고 있다^[6].

Shinji Hara의 케환 저항 능동 인덕터에서 입력 직렬 저항성분으로 인한 손실을 줄이기 위해서 케환 FET를 사용한 능동 인덕터를 제안한 구조를 그림 2에 도시하였다.

그림 2에서 보여준 것처럼 Shinji Hara의 케환 FET 능동 인덕터는 케환 저항 성분으로 2개의 FET를 케스크로드 접속한 회로를 사용하였다. 케환 FET 능동 인덕터에서 입력 임피던스 특성을 살펴보면 저항 성분은 음의 저항 성분인 $-\frac{1}{g_{mf}}$ 을 가지고 인덕터 성분은 $\frac{C_{gs}}{g_m g_{mf}}$ 을 가지게 된다. 따라서 음 저항 성분을 소거하기 위하여 그림 2에 있는 회로에 $\frac{1}{g_{mf}}$ 을 병렬로 연결을 하여 음 저항 성분을 소거하게 된다. 따라서 이 회로의 전체적인 입력 임피던스 특성상에서는 이론상 무손실 특성을 가질 수 있게 된다. 이로 인해서 Shinji Hara의 케환 FET 능동 인덕터는 케환 저항 능동 인덕터의 직렬 저항으로 인한 손실을 개선시킬 수 있었다^[7]. 또한 앞의 구조보다는 구현할 수 있는 인덕턴스 값이 다소 낮지만 비교적 큰 값을 구현할 수 있다. 그러나 케환 FET 능동 인덕터는 낮은 주파수대에서 동작을 하게 되고, 가변을 할 때 동작 주파수 범위에서 상대적으로 입력 직렬 저항이 커지기 때문에 가변을 할 때 손실이 커지는 단점이 생긴다.

그래서, 본 논문에서는 Shinji Hara가 제안한 두 구조가 극복하지 못하는 동작 주파수 대역의 한계와 입력 직렬저항의 증가라는 단점을 개선시키기 위하여 새로운 구조의 가변 능동 인덕터를 제안하였다.

III. 제안된 가변 능동 인덕터

본 논문에서 제안한 새로운 구조의 능동 인덕터를 그림 3에 도시하였다. 제안된 능동 인덕터는 중

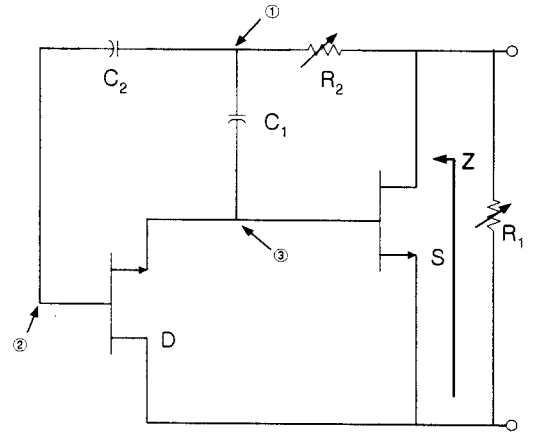


그림 3. 제안된 가변 능동 인덕터의 회로 구성
Fig. 3. Circuit configuration of the proposed tunable active inductor.

속접속된 구조로 2개의 FET로 구성을 하였고, 케환을 위한 성분으로서 커패시터와 저항을 사용하였다.

제안된 능동 인덕터에서 입력 임피던스 Z를 구하기 위하여 회로내 병렬 저항 R1이 없을 때 단순화한 등가 회로로 구현을 하게 되면 그림 4와 같이 나타남을 알 수 있다.

제안된 능동 인덕터의 입력 임피던스 Z를 구하기 위하여 ①번, ②번, ③번 노드에서 키르히호프 전류 법칙을 적용하게 되면 아래와 같은 수식들로 나타나게 된다.

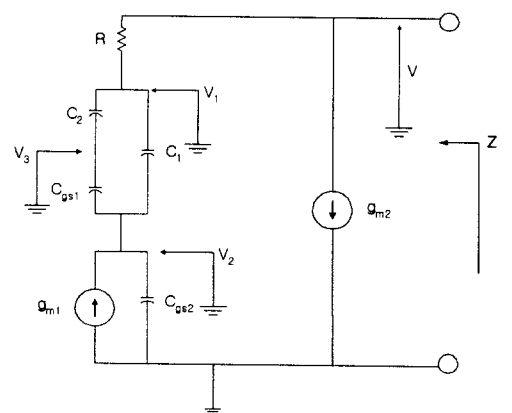


그림 4. 제안된 능동 인덕터의 등가 회로
Fig. 4. Equivalent circuit of the proposed active inductor.

①번 노드에서는 다음과 같고,

$$\frac{V - V_1}{R} = j\omega C_1 (V_1 - V_2) + j\omega C_2 (V_1 - V_3) \quad (1)$$

②번 노드에서는 아래와 같으며,

$$j\omega C_2 (V_1 - V_3) = j\omega C_{gs} (V_3 - V_2) \quad (2)$$

③번 노드에서 다음과 같은 수식으로 나타난다.

$$j\omega C_{gs} (V_3 - V_2) + j\omega C_1 (V_1 - V_2) = j\omega C_{gs} V_2 + g_m (V_3 - V_2) \quad (3)$$

따라서 제안된 능동 인덕터의 입력 임피던스 Z 는 다음과 같은 수식으로 표현될 수 있다.

$$Z = \frac{V}{\frac{V - V_1}{R} - g_m V_2} \quad (4)$$

식 (1)~(4)로부터 제안된 능동 인덕터 구조에서 FET가 가지는 변수들과 외부에서 연결한 수동 가변 변수들을 가지고 입력 임피던스 Z 에 대한 수식을 유도하면 식 (5)와 같이 표현될 수 있다.

$$Z = \left(\frac{f}{f_T}\right)^2 \cdot \left[C_1 R \left\{ \frac{C_1}{C_{gs}} \left(\frac{2}{C_2} + \frac{1}{C_{gs}} \right) + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_{gs}} \right\} - \left(\frac{C_1 (C_{gs} + C_1)}{C_2^2} + \frac{C_{gs} + 3C_1}{C_2} + \frac{C_1}{C_{gs}} \left(\frac{C_1}{C_{gs}} + 2 \frac{C_1}{C_2} + 3 \right) + 1 \right) \cdot \frac{1}{g_m} \right] - \frac{1}{g_m} + j\omega \left\{ \frac{C_{gs}}{g_m^2} \cdot \left(\frac{C_{gs}}{C_2} + 1 \right) - \left(\frac{f}{f_T} \right)^2 \cdot \frac{R}{g_m} \cdot \left(\frac{C_{gs} + C_1}{C_2} + \frac{C_{gs} C_1}{C_2^2} \right) \left(C_1 + C_2 + \frac{C_1 C_2}{C_{gs}} \right) \right\} \quad (5)$$

여기서 입력 직렬 저항 성분과 인덕터 성분은 식 (5)에서 보여지는 것과 같이 변수 C_1 , C_2 , R 에 의해서 그 값들이 변화함을 알 수 있다. 또한 직렬 저항과 인덕턴스는 FET에 가해지는 바이어스 전압에 의해서도 변화될 수 있다. 제안된 능동 인덕터에서 회로내 병렬 저항 R_1 이 없을 때 입력 임피던스 특성이 그림 5와 같이 나타나게 된다. 그림 5에서 보여지듯이 제안된 능동 인덕터는 안정 영역에서 동작하고 기존의 능동 인덕터에 비해 낮은 직렬 저항성분을

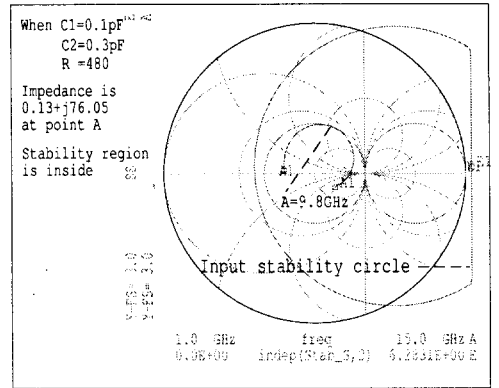


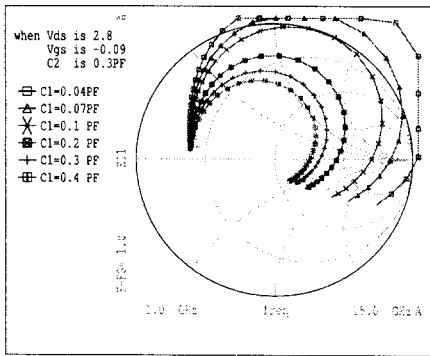
그림 5. 제안된 가변 능동 인덕터의 입력 임피던스 특성

Fig. 5. Input impedance characteristic of the proposed tunable active inductor.

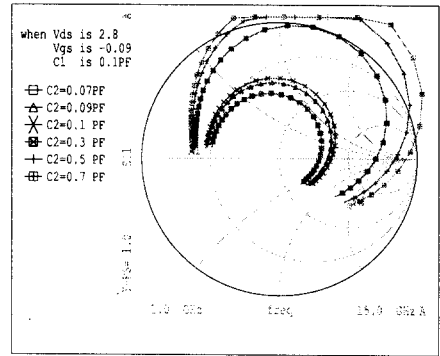
가지며 또한 높은 주파수대에서 사용 가능함을 알 수 있다.

제안된 가변 능동 인덕터에서 회로내 병렬 저항 R_1 이 없을 때 캐환 커패시터 및 바이어스 전압을 가변시켰을 때 제안된 능동 인덕터의 입력 임피던스 특성 변화가 그림 6에서 보여진다.

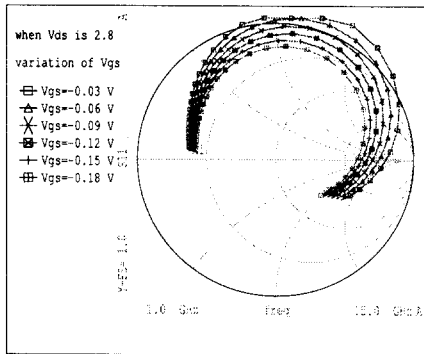
제안된 능동 인덕터에서 캐환 저항 성분을 증가시키면 입력 저항 성분이 증가하면서 이와 함께 인덕턴스 값이 변화하게 된다. 그러나 캐환 저항 성분을 줄이면 입력 저항 성분이 음 저항을 가지게 된다. 또한 높은 주파수대에서 인덕턴스 특성을 나타내며 가변 성분으로 인해 인덕턴스 값이 변화될 수 있다. 이를 이용하여 병렬로 저항 R_1 을 연결하여 음 저항 성분을 없애고 더 높은 주파수대에서 인덕터의 특성을 나타내도록 설계하였다. 제안된 가변 능동 인덕터는 여기서 사용된 FET 소자에 대해서 C_1 과 C_2 가 0.01 pF~2 pF 범위내에서 변화할 때 입력 임피던스가 변화하였다. 외부 저항의 값을 변화시키면서 인덕턴스 값을 변화시키기 위해서는 이 범위에서 캐환 커패시터의 값을 최적화시킬 필요가 있다. 식 (5)를 보게 되면 C_1 과 C_2 는 C_{gs} 와 비슷한 값을 유지하면서 변화시키는 것이 유리하다. 따라서 제안된 가변 능동 인덕터의 C_1 과 C_2 를 모의실험을 통하여 최적의 상태를 찾은 뒤 바이어스 전압 및 C_1 과 C_2 를 최적의 상태를 유지하면서 R_1 과 R_2 의 값을 가변을



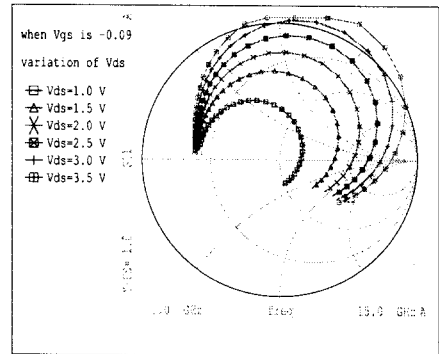
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 6. 궤환 커패시터와 궤환 바이어스 전압을 가변할 때 입력 임피던스 변화

- (a) C_1 가변 시 제안된 능동 인덕터의 입력 임피던스 특성
- (b) C_2 가변 시 제안된 능동 인덕터의 입력 임피던스 특성
- (c) V_{gs} 가변 시 제안된 능동 인덕터의 입력 임피던스 특성
- (d) V_{ds} 가변 시 제안된 능동 인덕터의 입력 임피던스 특성

Fig. 6. Input impedance change in variation of feedback capacitor and feedback bias voltage.

- (a) Input impedance characteristic of the proposed active inductor in C_1 variation
- (b) Input impedance characteristic of the proposed active inductor in C_2 variation
- (c) Input impedance characteristic of the proposed active inductor in V_{gs} variation
- (d) Input impedance characteristic of the proposed active inductor in V_{ds} variation

하게 된다. 그림 7은 R_1 과 R_2 의 값이 각각 188 Ω 과 200 Ω 일 때 제안된 가변 능동 인덕터의 입력 임피던스 특성을 보여 주고 있다.

그림 7에서 보여지듯이 제안된 가변 능동 인덕터는 높은 주파수대에서 인덕터의 특성이 나타남을 알 수 있다. 제안된 가변 능동 인덕터에서 궤환 저항을 가변시켰을 때 Q값의 변화를 그림 8에서 보여 주었다. 그림 8에서 보여 지듯이 Q 값이 낮은 직렬 저항

성분으로 인해 상당히 높게 나타남을 알 수 있다.

제안된 가변 능동 인덕터는 궤환 커패시터와 바이어스 전압을 최적의 상태로 놓고 궤환 저항과 회로내 병렬 저항을 변화시켰을 때 입력 임피던스의 변화를 그림 9에서 확인할 수 있다. 1 GHz와 7 GHz 사이의 범위에서는 일정한 저항을 가지고 인덕턴스가 0.2 nH에서 0.6 nH까지 변하고, 7 GHz와 15 GHz 사이의 범위에서는 낮은 직렬 저항 성분을 가지면서

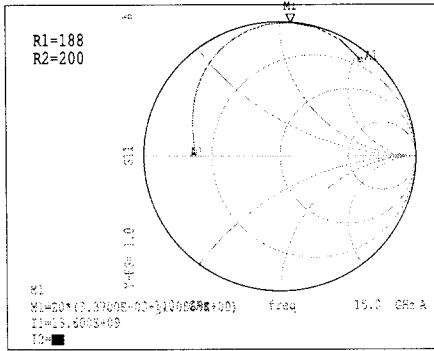


그림 7. 제안된 가변 능동 인덕터의 입력 임피던스 특성

Fig. 7. Input impedance characteristic of the proposed tunable active inductor.

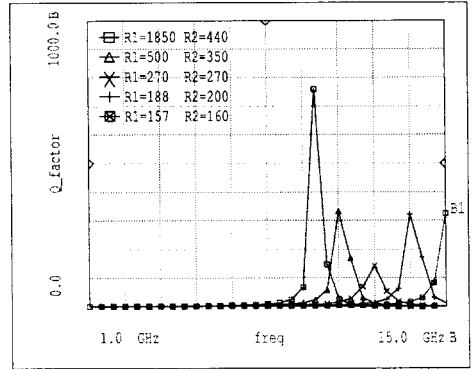


그림 8. 새로이 제안된 가변 능동 인덕터에서 Q factor의 변화

Fig. 8. Change of Q factor in the newly proposed tunable active inductor.

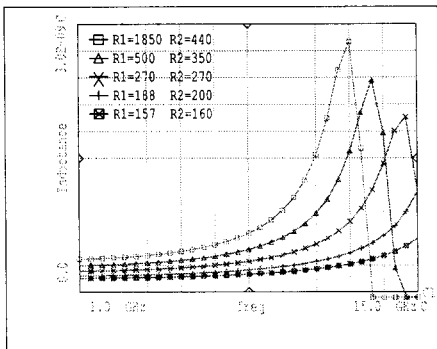
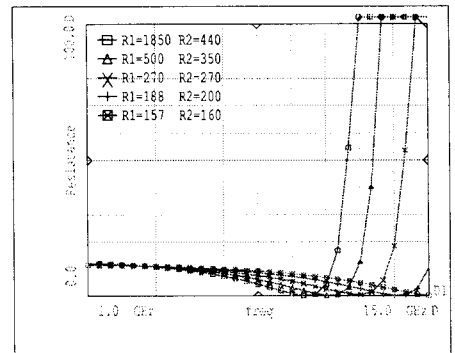


그림 9. 1GHz에서 15GHz 사이에서의 입력 임피던스 변화

(a) 인덕턴스 값의 변화, (b) 입력 저항의 변화

Fig. 9. Input impedance variation at from 1 GHz to 15 GHz.

(a) variation of the inductance value, (b) variation of the input resistance.



인덕턴스가 0.2 nH에서 1.7 nH까지 변함을 알 수 있다.

IV. 제안된 가변 능동 인덕터의 응용

먼저, 제안된 가변 능동 인덕터의 동작 특성을 다른 기존의 두 구조와 전기적 특성을 비교하기 위해서 단순한 직·병렬 RLC구조에 적용하였다. 이때 직렬과 병렬 모든 구조에서 제안된 능동 인덕터의 고주파 특성이 매우 우수함을 그림 10에서 알 수 있었다.

이것들은 공진 주파수가 15 GHz을 목적으로 설계

된 것이나 제안된 인덕터 구조외에 다른 두 구조에서는 이 공진 주파수가 낮은 주파수 대역으로 이동되어서 나타난 것을 알 수 있었다. 그리고, 본 논문에서는 다시 이를 대역통과 여파기에 적용하여 설계한 것을 그림 11에 도시하였다.

그림 12에서 보여 지듯이 설계된 대역 통과 여파기는 삽입손실이 약 0.4 dB이고 반사손실은 20 dB 이상의 결과를 얻었다. 따라서 제안된 가변 능동 인덕터는 인덕터로서 동작 특성을 나타냄을 알 수 있다.

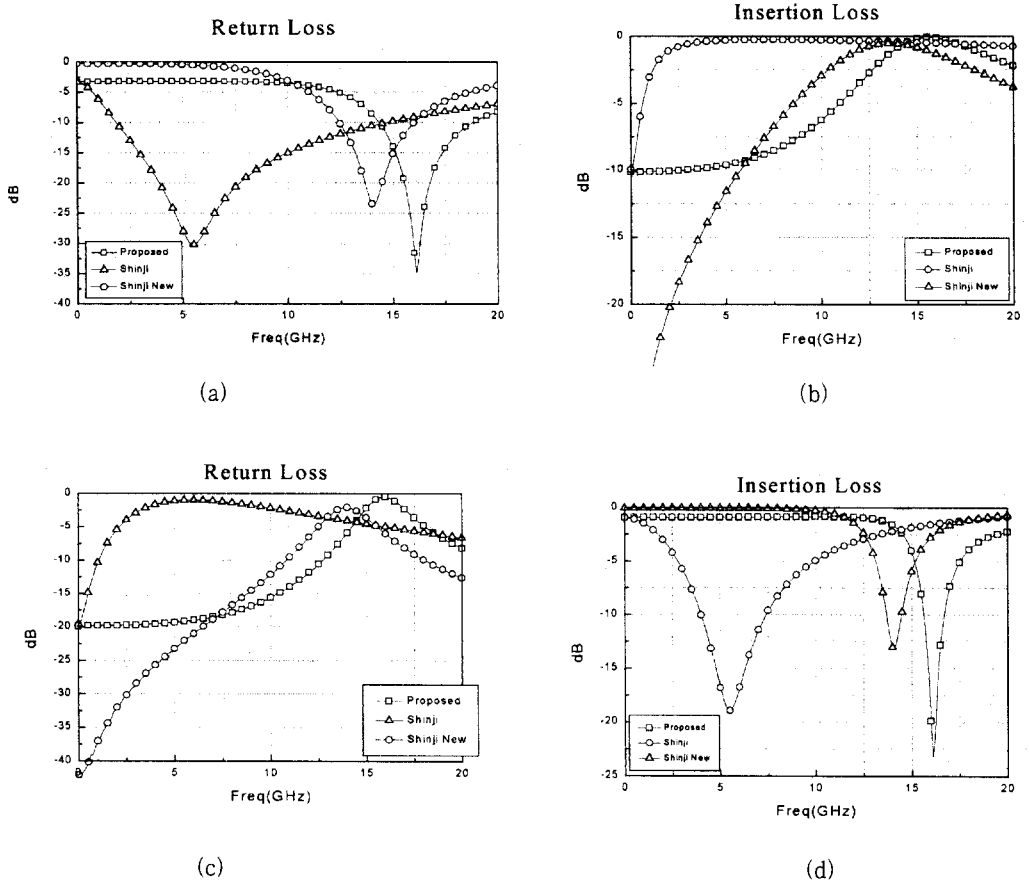


그림 10. 직렬·병렬도 구성된 RLC 여파기의 특성

- (a) 직렬 구조를 가진 RLC 여파기의 반사 손실, (b) 직렬 구조를 가진 RLC 여파기의 삽입 손실
- (c) 병렬 구조를 가진 RLC 여파기의 반사 손실, (d) 병렬 구조를 가진 RLC 여파기의 삽입 손실

Fig. 10. Characteristic of RLC filters with series and parallel circuit.

- (a) Return loss of RLC filter with series, (b) Insertion loss of RLC filter with series
- (c) Return loss of RLC filter with parallel, (d) Insertion loss of RLC filter with parallel

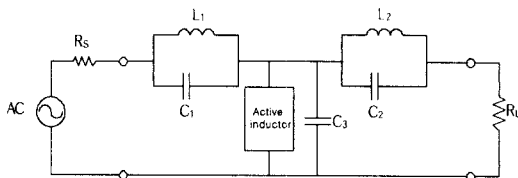


그림 11. 제안된 가변 능동 인덕터를 사용한 대역통과 여파기 회로 구성

Fig. 11. Circuit configuration of bandpass filter using the proposed tunable active inductor.

V. 결론

본 논문에서는 높은 주파수대에서 사용 가능하고 인덕턴스를 가변할 수 있는 손실이 적은 능동 인덕터 설계 방법을 제안하였다. 제안된 가변 능동 인덕터는 궤환 커패시터와 궤환 저항을 가지고 종속접속된 2개의 FET로 구성을 하였다. 제안된 가변 능동 인덕터는 높은 주파수대에서 사용 가능하고, 낮은 직렬 저항 성분을 가지고 상대적으로 높은 Q 값을 얻을 수 있으며, 궤환 커패시터 및 궤환 저항과 바이어스 전압을 이용하여 인덕턴스를 가변할 수 있다.

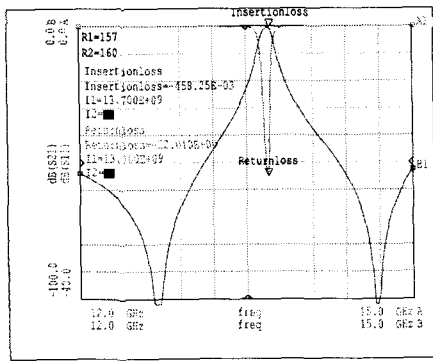


그림 12. 제안된 가변 능동 인덕터를 사용한 대역통과 여파기의 특성

Fig. 12. Characteristic of bandpass filter using the proposed tunable active inductor.

캐환 저항과 회로내 병렬저항을 가변하였을 때 인덕턴스는 1 GHz에서 7 GHz까지 범위에서 0.2 nH에서 0.6 nH까지 가변이 되며 직렬 저항은 10 Ω의 일정한 저항을 가진다. 그리고 7 GHz에서 15 GHz까지 범위에서 0.2 nH에서 1.7 nH까지 가변이 되며 직렬 저항은 약 0 Ω에서 10 Ω까지 변한다. 제안된 가변 능동 인덕터를 이용하여 대역통과 여파기를 설계하였을 때 삽입손실은 0.4 dB 그리고 반사손실은 20 dB 이상의 결과를 얻을 수 있었으며 제안된 가변 능동 인덕터가 인덕터로서 우수한 동작 특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서 제안된 가변 능동 인덕터는 단일기판 집적회로 제작을 목적으로 하는 많은 회로에 보다 효율적이고 폭넓게 이용되어질 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

[1] Ravender Goyal, *Monolithic Microwave Integrated Circuit : Technology & Design*, Artech House, 1989.

[2] S. L. G. Chu, Y. Tajima, J. B. Cole, A. Platzker, and M. J. Schindler, "A novel 4-18 GHz monolithic matrix distributed amplifier," *IEEE Microwave and Millimeter-wave Monolithic Circuits Symp. Dig.*, June, 1989, 43-147.

[3] N. M. Nguyen and R. G. Meyer, "Si IC-compatible inductors and LC passive filters," *IEEE J. solid-state Circuit*, vol. 25, no. 4, : 1028-1031(1990).

[4] Piter L. D. Abrie, *Design of RF and Microwave Amplifiers and Oscillators*, Artech House.

[5] I. D. Robertson, *MMIC DESIGN*, IEE Circuits and Systems Series 7.

[6] Hara et al., "Broad-band monolithic microwave active inductor and It's application to miniaturized wide-band amplifiers", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 36(12) : 1920-1924 (1988).

[7] Hara, et al., "Lossless broad-band monolithic microwave active inductor", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 37(12): 1979-1984(1989).

[8] Charles F. Campbell, Ames, "Broad-band microwave active inductor circuit", *united states patent. patent Number 5, 256*, 1991. Oct., 26, 1993.

[9] Hayashi et al., "Active inductor" *united states patent. Patent Number 5, 726, 613*, Mar., 10, 1998.

[10] Sedra and Smith, *Microelectronic Circuit*, Third Edition.

[11] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, Addison-Wesley, 1990.

이 상 호



1993년 2월: 아주대학교 전자공학과(공학사)
 1995년 2월: 아주대학교 전자공학과(공학석사)
 1995년 3월~현재: 아주대학교 박사과정 재학중
 [주 관심분야] 이동통신 및 위성

통신 부품설계, MMIC 및 부품모델링, 수치해석

나 극 환



1973년 2월: 연세대학교 전자공학과(공학사)
 1977년 2월: 연세대학교 전자공학과(공학석사)
 1981년 7월: 프랑스 ENSEEIHT 국립종합공과대학 전자공학과(공학박사)

1986년~현재: 광운대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] 초고주파 회로설계, 레이더 및 위성통신

최 종 은

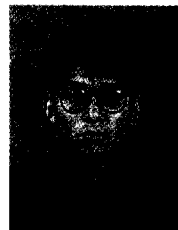


1998년 2월: 아주대학교 전자공학과(공학사)
 2000년 2월: 아주대학교 전자공학과(공학석사)
 2000년 2월~현재: 삼성전자 정보통신 연구원

[주 관심분야] 이동통신 및 부품

설계, 이동통신 시스템

박 익 모



1984년: 뉴욕주립대학교 전기전자공학(공학사)
 1989년: 일리노이대학교 전기전자공학(공학석사)
 1994년: 일리노이대학교 전기전자공학(공학박사)
 1994년~1996년: LG전자기술원 선임연구원

1996년~현재: 아주대학교 전기전자공학과 조교수

[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, EMI/EMC, 수치해석

박 정 훈



1984년 2월: 아주대학교 전자공학과(공학사)
 1993년 2월: 아주대학교 전자공학과(공학석사)
 1998년 2월: 아주대학교 전자공학과 박사과정 수료
 1993년 7월: 전기통신 기술사

1987년 2월: SK텔레콤 연구원

1994년 8월~현재: 시립 인천전문대학 통신과 부교수

[주 관심분야] 이동통신 시스템, 통신 시스템 관련, 초고주파 통신 및 회로

신 철 재



1964년: 연세대학교 전자공학과(공학사)
 1968년: 연세대학교 전자공학과(공학석사)
 1983년: 연세대학교 전자공학과(공학박사)
 1970년~1977년: 광운대학교 조교수

1986년~1987년: 플로리다 대학교 방문교수

1977년~현재: 아주대학교 전기전자공학부 교수
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, EMI/EMC, 초고주파 통신부품 개발, 전파전파