

## VDTA를 이용한 양기능 인덕터와 대역통과 필터 설계

방준호\*, 천현준\*, 이인재\*, 노명준\*, 임종길\*  
 전북대학교 IT응용시스템공학과\*

### Design of a Bandpass Filter and Bi-functional Inductor Using VDTA

Jun Ho Bang\*, Hyun Jun Chun\*, In Jae Lee\*, Myung Jun Noh\*, Jong Kil Lim\*  
 \*Dept of IT Applied System Engineering, Chon Buk University

**Abstract** - 본 논문에서는 VDTA를 이용하여 플로팅 인덕터를 구현하기 위한 새로운 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 [3]에서 사용하고 있는 방법을 개선하여 더 적은 수의 회로를 이용하여 양 기능 인덕터를 구현함으로써 변환방법이 용이하고 회로의 면적과 소비전력을 줄일 수 있는 방법이다. 2장에서는 VDTA에 대한 기본적인 개념과 새로운 양기능 인덕터의 구조제안 및 새롭게 제안한 능동 인덕터를 이용하여 2차 2MHz의 중간주파수를 갖는 대역통과 설계하고 그 유용성을 확인하였다. 2MHz의 중심주파수를 가지는 대역통과 필터와 그 필터의 특성을 시뮬레이션을 통하여 나타내었다. 그리고 3장에서 결론지었다.

#### 1. 서 론

본 논문에서는 VDTA를 이용하여 플로팅 인덕터를 구현하기 위한 새로운 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 [3]에서 사용하고 있는 방법을 개선하여 더 적은 수의 회로를 이용하여 양 기능 인덕터를 구현함으로써 변환방법이 용이하고 회로의 면적과 소비전력을 줄일 수 있는 방법이다. 2장에서는 VDTA에 대한 기본적인 개념과 새로운 양기능 인덕터의 구조제안 및 새롭게 제안한 능동 인덕터를 이용하여 2차 2MHz의 중간주파수를 갖는 대역통과 설계하고 그 유용성을 확인하였다. 2MHz의 중심주파수를 가지는 대역통과 필터와 그 필터의 특성을 시뮬레이션을 통하여 나타내었다. 그리고 3장에서 결론지었다.

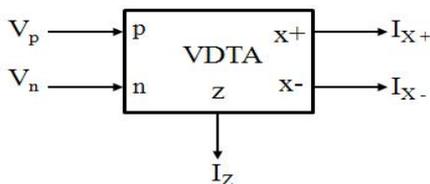
#### 2. 본 론

##### 2.1 VDTA의 기본개념

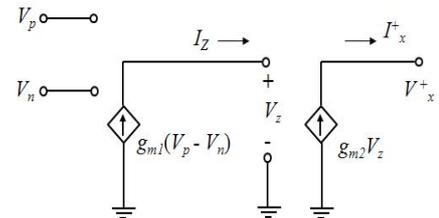
전압차동 트랜스컨덕턴스 증폭기는 5개의 단자를 갖는 능동소자로써 <그림 1 (a)> 와 같은 기호로 표시하며 VDTA의 내부 등가 회로를 <그림 1 (b)> 와 같이 나타낼 수 있다. 그림 1에서  $V_p$ ,  $V_n$ 는 차동 전압 입력 신호이며 이 차동 전압의 차이는 첫 번째 트랜스컨덕턴스,  $g_{m1}$  값만큼, 전류로 변환되며 또한 단자  $z$ 에 연결되는 임피던스에 의하여 전압신호로 변환된다. 전압으로 변환된 신호는 두 번째 트랜스컨덕턴스  $g_{m2}$  값만큼 또 다시 출력전류  $I_{x+}$ ,  $I_{x-}$  로 변환된다. 이 소자의 단자들의 관계는 다음의 행렬 방정식(1)과 같이 표현할 수 있다. [4]-[5] 등가 회로로부터 전류와 전압의 관계식은 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} I_z \\ I_x^+ \\ I_x^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{m1} & -g_{m1} & 0 \\ 0 & 0 & g_{m2} \\ 0 & 0 & -g_{m2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_p \\ V_n \\ V_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} I_z &= g_{m1}(V_p - V_n) \\ I_x^+ &= g_{m2} V_z \\ I_x^- &= -g_{m2} V_z \end{aligned} \quad (2)$$



<그림 1> (a) VDTA의 기호

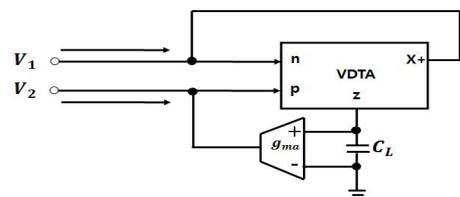


<그림 1> (b) VDTA의 등가회로

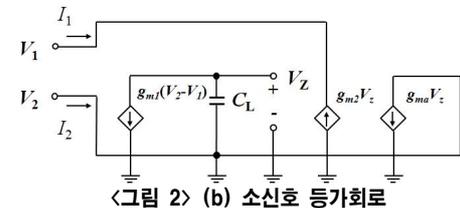
여기서  $g_{m1}$ 과  $g_{m2}$ 는 각각 VDTA의 트랜스컨덕턴스의 제1, 제2 이득이다. 수식 1에서,  $p$ 와  $n$ 의 단자( $V_p - V_n$ )로 부터의 차동 입력 전압은 트랜스컨덕턴스  $g_{m1}$ 에 의해서 단자  $z$ 를 통하여 전류로 변환된다. 단자  $z$ ( $V_z$ )에서의 전압강하는 트랜스컨덕턴스  $g_{m2}$ 로부터 단자  $I_{x+}$ 와  $I_{x-}$ 에서 출력 전류로 변환된다. 일반적으로, VDTA의 트랜스컨덕턴스 이득은 외부 바이어스 전압, 전류에 의해 제어할 수 있는데, 이것은 여러 가지 이유로 나타날 수 있는 VDTA의 특성 변형을 조정할 수 있는 중요한 특성이 된다.

##### 2.2 새로운 VDTA 양기능 인덕터의 구조제안.

<그림 1 (a)>의 VDTA 플로팅 인덕터에 비하여 더욱 크기를 줄일 수 있는 새로운 구조의 VDTA 양 기능 인덕터를 제안한다. 제안된 VDTA 양 기능 인덕터를 <그림 2 (b)>에 나타내었다. 두 개의 VDTA를 이용하여 플로팅 인덕터를 구성한 기존의 구조에 비하여 <그림 2 (a)>의 제안된 구조는 오직 한 개의 VDTA를 사용하여 플로팅 인덕터를 구성하였고 다만 트랜스컨덕터,  $g_{ma}$ 를  $z$ 단자와 접지단자 사이에 연결하였다. 또한 기존 플로팅 인덕터의 양쪽 두 단자가 각 VDTA의  $z$  단자에 연결되었으나 제안된 구조에서는 VDTA의 두 개의 입력단자를 플로팅 인덕터의 두 단자로 구성하였다.



<그림 2> (a) 제안된 VDTA 플로팅 인덕터



<그림 2> (b) 소신호 등가회로

제안된 VDTA 플로팅 인덕터의 등가회로를 <그림 2 (b)>에 나타내었으며 이 등가회로로부터 플로팅 인덕터의 양단자 전류  $I_1$ 과  $I_2$ 를 다음과 같이 유도할 수 있다. 먼저  $C_L$ 에 인가되는 전압  $V_z$ 는  $g_{m1}(V_2 - V_1)/sC_L$  이 된다. 전압  $V_z$ 에 의하여 발생한 두 개의 전류들은  $g_{m2} V_z$ 와  $g_{ma} V_z$  이고 또한 이 전류들은 각각  $I_1$ 과  $I_2$ 으로 표시할 수 있다. 이때  $I_1$ 은 전류  $g_{m2} V_z$ 와 역방향이며  $I_2$ 는 전류  $g_{ma} V_z$ 와 순방향이며 식 (3-5)과 같다.

$$I_1 = \frac{g_{m1}g_{m2}(V_1 - V_2)}{sC_L}, I_2 = \frac{g_{m2}g_{ma}(V_2 - V_1)}{sC_L} \quad (3)$$

식 (3)을 전압  $V_1$ 과  $V_2$ 으로 표현하면 식 (4)와 같다.

$$V_1 - V_2 = \frac{sC_L}{g_{m1}g_{m2}}I_1, V_2 - V_1 = \frac{sC_L}{g_{m2}g_{ma}}I_2 \quad (4)$$

식 (5)에 제안된 VDTA의 인덕턴스 값을 나타내었다.

$$L_1 = \frac{C_L}{g_{m1}g_{m2}}, L_2 = \frac{C_L}{g_{m2}g_{ma}} \quad (5)$$

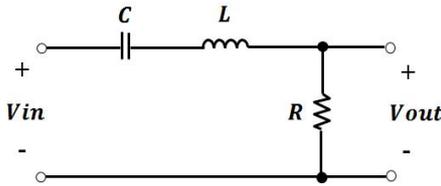
모든 트랜스컨덕턴스  $g_{m1}$ ,  $g_{m2}$ 와  $g_{ma}$ 를 같은 값으로 설정한다면 같다고 한다면 <그림 2 (a)>의 제안된 VDTA 플로팅 인덕터의 인덕턴스 값은 식 (6)으로 표현된다.

$$L_{proposed} = \frac{C_L}{g_m^2} \quad (6)$$

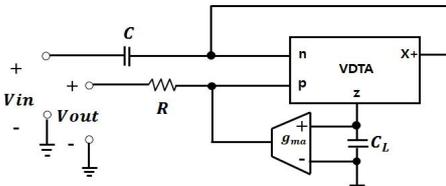
마찬가지 방법으로 모든 트랜스컨덕턴스  $g_{m1}$ ,  $g_{m2}$ 와  $g_{ma}$ 를 같은 값으로 설정한다면 같다고 한다면 <그림 2 (a)>의 제안된 VDTA 플로팅 인덕터의 인덕턴스 값은 식 (6)으로 표현된다.

### 2.3 대역통과 필터설계

제안된 양 기능 VDTA 플로팅 인덕터를 이용하여 능동 대역통과 필터를 설계하고 그 특성을 검증함으로써 제안된 양기능 VDTA 인덕터의 유용성을 확인하고자 한다. 능동 대역통과 필터를 설계하는 방법은 먼저 수동 소자로만 구성된 수동 대역통과 필터를 설계한 후, 수동 인덕터를 능동 인덕터로 변환한다. 대역통과 필터의 차수는 2차, 그리고 중간주파수는 2MHz로 설정하였으며 설계된 수동 대역통과 필터를 <그림 3 (a)>에 나타내었다. 그리고 <그림 3 (a)>의 수동 대역통과 필터를 구성하고 있는 수동 플로팅 인덕터를 본 논문에서 제안한 VDTA 양 기능 인덕터를 이용하여 변환하여 설계한 능동 대역통과 필터를 <그림 3 (b)>에 나타내었다.



<그림 3> (a) 수동 대역통과 필터



<그림 3> (b) 능동 대역통과 필터

<그림 3 (a)>에서 수동 대역통과 필터를 구성하였던 플로팅 인덕터가 <그림 3 (b)>의 능동 대역통과로 변환되면서 한 개의 VDTA와 트랜스컨덕턴스,  $g_m$  그리고 캐패시터,  $C_L$ 로 변환되었다. 설계된 능동 대역통과 필터의 입력 출력 전달함수는 식 (7)과 같고 이로부터 얻어진 중심주파수  $\omega_o$ 와, Q를 식 (8)에 나타내었다.

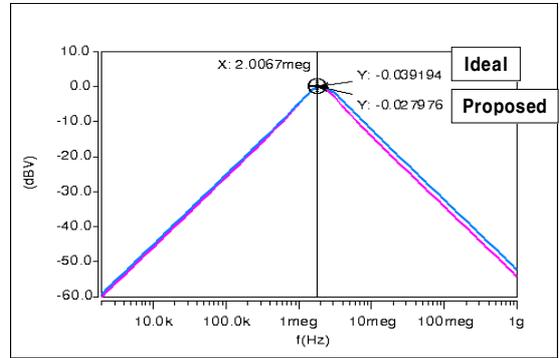
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{S^2 \frac{g_m R}{C_L C}}{S^2 + S \frac{g_m R}{C_L} + \frac{g_m}{C_L C}} \quad (7)$$

$$\omega_o = \frac{g_m}{\sqrt{C_L C}}, Q = \omega_o RC = \sqrt{\frac{g_m R^2 C}{C_L}} \quad (8)$$

앞서 언급했던 VDTA 내부의 두 개의  $g_{m1}$ ,  $g_{m2}$  그리고 추가된  $g_{ma}$ 를 모두 같은 값으로 설정하고 그 값을 대표 값인  $g_m$ 으로 표기 하였다.  $C$ 와  $C_L$  값을 식에 대입하여 계산함으로써 4.7pF로 설정하였고 중간주파수, 2MHz의 수동 대역통과 필터의 Ideal한 특성을 갖도록 계산한 소자 값들을 <표 1>에 나타내었다. 또한 계산된 파라미터 값을 이용하여 HSPICE로 시뮬레이션한 결과를 <그림 4>에 나타내었다.

<표 1> 수동(Ideal) 및 능동(Proposed) 대역필터 소자값

수동필터 소자값 (Ideal)		능동필터 소자값(Proposed)	
Parameter	Value	Parameter	Value
Filter Order	2nd	Filter Order	2nd
$\omega_o$	$2\pi \times 2 \times 10^6$ rad/sec	$\omega_o$	$2\pi \times 2 \times 10^6$ rad/sec
Q	0.707	Q	0.707
C	2.2pF	$C_L$	4.7pF
L	0.0033H	C	4.7pF
R	56K $\Omega$	$g_m$	60 $\mu$ S
		R	22K $\Omega$



<그림 4> 수동 및 능동 대역통과 필터의 2MHz 중간주파수 시뮬레이션 결과

### 3. 결 론

본 논문에서 대역통과 필터 특성에서 수동소자 필터의 이상적인 필터 특성과 제안한 VDTA 양 기능 인덕터를 이용한 필터의 특성이 2MHz 대역에서 거의 일치함으로써 제안한 VDTA 양 기능 인덕터를 사용한 경우, 필터의 특성이 이상적인 특성에 근접하게 나타남을 확인할 수 있었다. 본 논문에서 제안한 VDTA 양 기능 인덕터가 회로의 크기를 줄이고 중간주파수 대역의 조정이 가능한 필터 설계에 매우 유용하게 활용할 수 있음을 확인하였다. 제안된 VDTA 양 기능 인덕터는 플로팅 및 그라운드 인덕터로서 동시에 사용할 수 있어서 설계의 편리성을 제공하고 필터 설계에도 활용할 수 있어서 향후 다양한 형태의 저소비전력용 아날로그 집적회로 설계에 활용될 것으로 기대한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] T-K. Nguyen, S-G. Lee, "A low voltage, low power CMOS fifth order elliptic low pass Gm-C filter for direct conversion receiver", Asia-pacific Microwave Conference, 2003.
- [2] R. Sotner, J. Jerabek, and R. Prokop and K. Vrba, "Current gain controlled CCTA and its application in quadrature oscillator and direct frequency modulator", Radio Engineering, Vol. 20, No. 1, Apr. 2011.
- [3] D. Prasad and D. R. Bhaskar, "Grounded and floating inductance simulation circuits using VDTAs," Scientific Research, Circuits and Systems, Vol. 3, pp. 342-347, Oct. 2012.
- [4] Harshvardhan Singh, Kunal Arora, Dinesh Prasad, "VDTA-Based Wave Active Filter" Scientific Research, Circuits and Systems, pp. 124-131, 2014
- [5] Birolek, D., Senani, R., Biolkova, V. and Kolka, Active elements for analog signal processing: Classification, review and new proposals, Radioengineering, 17 (4), 2008, pp. 15-32.
- [6] D. Birolek and V. Biolkova, "Tunable ladder CDTA based filters", 4th Multiconference WSEAS, Spain, pp 1-3, 2003.