

시정수 특성을 이용한 Gm-C 필터의 주파수 튜닝

이 광, 최배근, 박환옥, 조규형
한국과학기술원 / 회로 및 시스템 응용연구실

Frequency Tuning of Gm-C Filter using Time-constant Characteristics

K.Lee, B.K.Choi, H.W.Park and G.H.Cho
Circuits & System Application Lab. KAIST

Abstract - 아날로그 필터는 각종 시스템의 특히 임 출력단에서 신호의 선택적 분리 및 잡음 특성을 개선하는 것으로 필수적인 구성체이다. 아날로그 필터에는 여러 가지의 형태가 있으나 집적화가 가능하고 높은 주파수 영역에서도 사용이 가능한 Gm-C필터가 많이 연구되고 시스템에서 구현되어 지고 있다. 본 논문에서는 저주파에서 수백 MHz의 주파수 영역에서 동작이 가능한 아날로그 IC 필터인 Gm-C 필터의 새로운 튜닝구조를 제안 하였다.

1. 서 론

Gm-C 필터를 비롯한 집적화된 필터는 시스템의 소형화 및 대량 생산이 가능하여 가격의 저렴화가 가능하다는 장점이 있다. 하지만 IC필터는 RLC 수동 필터에 비해 인가 가능한 입력 전압의 범위가 좁고, Gm-C 필터에서는 기본 구성체인 트랜스컨덕터(Gm) 회로설계와 공정 및 온도 등의 동작환경에 따른 필터 특성변화를 보상해주는 자동튜닝 회로의 설계가 아주 중요하다. Gm-C 필터에서 튜닝하고자 하는 중심 주파수 및 -3dB 주파수는 gm/c 로 표현된다. 따라서 주파수 튜닝은 결국 능동소자인 트랜스컨덕터의 트랜스컨덕턴스(gm)를 튜닝하는 것이 된다. 즉, gm을 조절하여 gm/c를 원하는 값으로 맞추는 것이다. 현재 까지 널리 이용되고 있는 주파수의 튜닝 방법은 직접 튜닝과 간접 튜닝으로 크게 나눌 수 있다.

직접 튜닝 방식은 그림1에서와 같이 하나의 필터 입력에 신호와 테스트 신호가 시간에 따라 번갈아 인가 된다. 즉 신호가 영상신화 같이 불연속 적으로 인가 되는 경우에 적합하다. 이러한 방법은 연속적으로 인가 되는 아날로그 신호에서는 사용할 수 없고 구조가 복잡하다는 단점이 있다.

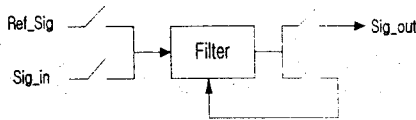


그림1 주파수 직접 튜닝 방식

간접 튜닝은 그림 2에서 보듯이 Slaver(Main Filte)와 Master(튜닝을 위한 간단한 구조의 필터)로 구성되어 있다. 부궤환된 마스터에는 계속적으로 기준신호가 인가 되어 마스터의 gm/c을 원하는 원하는 값이 되게 gm을 제어하고, 이 제어 신호로 주 신호 필터인 슬레이브의 gm을 조절하여 주파수를 튜닝한다. 즉, 마스터의 주파수를 맞추고 이 제어신호로 바로 주 필터를 튜닝 하므로 이 방법에서는 마스터와 슬레이브의 정합이 아주 중요하다. 마스터의 종류에 따라 여러 가지 방법이 있다. 마스터로 주로 사용되는 소자 및 회로는 다음과 같다.

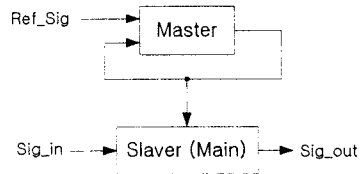


그림2 주파수 간접 튜닝 방식

- 외부 정밀 저항

$$g_m \propto \frac{1}{R_{EXT}}, \text{ ref_sig} = R_{EXT}$$

외부에서 저항을 사용하는 방법은 gm/c을 자동으로 튜닝하는 것이 아니라 원하는 gm/c의 비가 되게 IC에서 외부에서 저항을 조절하는 것이다.

- 간단한 지역 필터

특성 주파수에서 필터의 감쇄량을 조절하여 튜닝.

$$\text{ref_sig} = \text{pure sine wave}$$

일차 지역 필터인 경우 원하는 주파수의 사인함수를 입력하여 출력의 사인 신호의 크기가 입력보다 -3dB 감쇄되게 하면 이 때의 지역 필터의 -3dB 주파수(gm/c)가 입력한 사인 함수의 주파에 맞추어 진다. 마스터로는 간단한 지역 필터가 사용되므로 구조가 간단하다는 장점이 있으나 정확한 튜닝을 위해서는 특정 주파수의 순수 사인함수가 항상 기준 신호로 인가 되어야 한다는 것이 큰 단점이다.

- 대역통과 필터

스텝 pusle를 인가 하여 정상상태에 도달하기 전에 발생하는 발진파형의 수를 특정 시간 동안 카운터하여 보상

$$\text{ref_sig} = \text{clk_pulse}$$

발진파형 카운터를 위한 부가적인 회로가 필요하며 이로 인해 구조가 복잡해 진다. 이 구조는 특정 응용 분야에서 직접 튜닝 방법으로 사용 할 수 있으며 사용되는 대역통과필터의 Q가 클 때는 구조는 복잡하지만 정확한 튜닝을 할 수 있다.

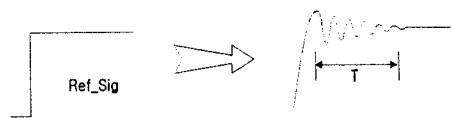


그림3 대역 필터의 발진 파형

- VCO(@PLL)

주 필터에서 사용되는 트랜스컨덕터로 구성된 전압제어 발진기(VCO)의 발진 주파수(gm/c)와 외부 기준 클럭 신호의 주파수를 PLL 구조로 맞추어 gm/c를 제어한다. 앞의 저역 필터보다 구조는 다소 복잡하나 특정 주파수의 순수 사인 함수 대신 기준 클럭을 사용하므로 사

$$f_{CLK} \propto \frac{g_m}{c}, \text{ ref_sig} = \text{clk_pulse}$$

용이 용이하고 튜닝의 정확도가 높다는 장점으로 인해 간접 튜닝 방법으로 많이 사용된다.

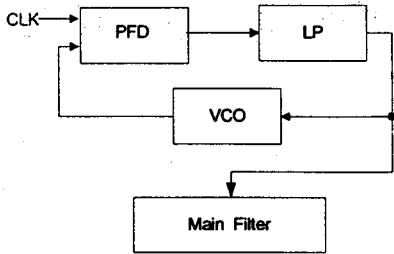


그림4 PLL을 이용한 간접 튜닝

2. 본 론

2.1 제안된 주파수 튜닝 구조

그림5는 제안된 주파수 튜닝 회로의 기본 구조를 보여 주고 있다. 이는 앞의 간접 튜닝에서 저역 필터를 사용한 것과 동일한 구조이나 기준 신호로 특정 주파수의 순수한 사인 함수가 필요 없이 디지털 클럭 신호로 가능하다. 따라서 저역 필터를 사용한 구조의 간단하다는 장점을 살리고 단점을 보완한 것이 된다.

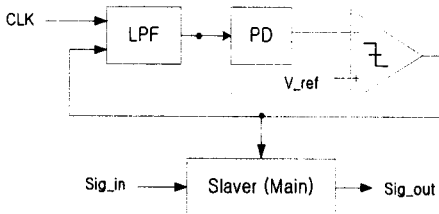


그림5 제안된 주파수 튜닝 회로의 기본 구조

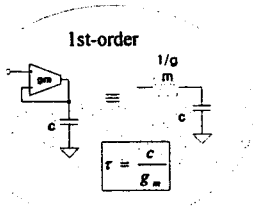


그림6 1차 저역 필터

그림5에서 LPF는 그림6과 같이 간단히 구현할 수 있으며 동등적으로 1차 RC 저역 필터의 특성을 갖는다. 이 저역 필터에 입력으로 구형파를 인가 하면 그림 7과 같은 파형이 된다. 이때 인가된 펄스의 주기 T와 저역필

터의 시상수(time constant : c/gm)의 함수로 출력파형의 피크 값이 결정된다. 즉, 출력의 피크(vp), 펄스의 주기(T)와 (c/gm)은 하나의 연관된 식으로 표현되므로 정해진 T와 vp와 비교 되는 기준 전압을 제어 함으로 필터의 시상수인 c/gm을 조절 할 수 있다.

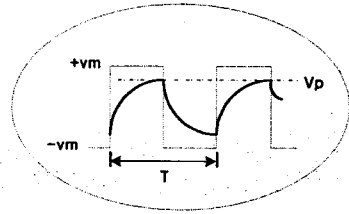


그림7 저역 필터의 시간 응답

이는 개념적으로 시간 영역에서 시간을 맞추어 주는 것으로 주파수는 시간의 역수가 되므로 주파수가 튜닝 된다. PLL과 기존의 순수 사인 함수가 인가되는 저역 필터 튜닝 방식은 주파수 영역에서 그 특성을 이용하여 튜닝하는 것이고, 제안된 구조 시간영역에서의 특성을 이용한 것이다. 앞 소절에서 설명한 대역 필터의 발진 파형 카운터 방식도 시간 영역에서의 특성을 이용한 것이다. 시간과 주파수는 역수로 직접적인 관계가 있으므로 상황에 따라 편리한 영역의 특성을 이용 하면 하나의 특성으로 다른 하나의 특성을 보상 할 수 있음은 명백한 사실이고 이를 이용하여 본 튜닝 구조를 제안하게 되었다.

2.2 주기 T, 시상수 τ, 피크전압 Vp의 관계

본 소절에서는 인가된 펄스의 주기 T, 저역 필터의 시상수(time constant : c/gm) τ, 그리고 출력의 피크(vp) 전압 사이의 관계를 정량적으로 기술하고, 살펴 보고자 한다. 먼저 Vp는 다음의 함수로 표현되고,

$$V_p = \tanh\left(\frac{T}{4\tau}\right) \cdot V_m \tag{1}$$

여기서, Vm은 인가된 펄스의 피크 전압이다.

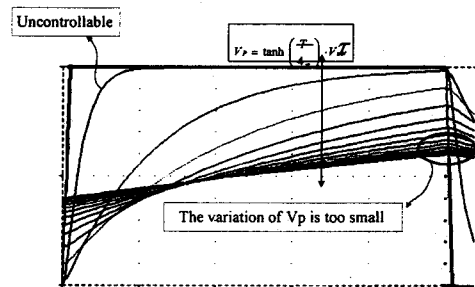


그림8. 저역 필터의 시간 응답

그림8은 Pspice를 통한 모의 실험된 시간응답을 보여 주고 있다. 그리고 그림9는 T가 일정할 때 Vp와 τ의 관계 그래프 이다. 그림8을 통해 알 수 있듯이 Vp, τ, 그리고 T는 모든 영역에서 제어 가능하지는 않다. 어떤 범위에서 세 변수의 연관관계가 성립되는가를 고찰 하여 한다. 즉, 튜닝하고자 하는 주파수에 대해 인가되는 펄스의 주기 T의 범위가 정해진다. 식(2)

(참 고 문 헌)

- [1] Z.Y. Chang, Macq, and Bernard L.A.G. Goffart, "A CMOS analog front-end circuit for FDN -Based ADSL System," IEEE JSSC, Vol. 30, No. 12, pp.1449-1455, Dec 1995
- [2] Y. Tsvividis, M. Banu, and J. Khoury, "Continuous-time MOSFET-C filters in VLSI", IEEE JSSC, Vol. sc-21, No.1, pp.15-30, Feb 1986
- [3] E. Sackinger and W. Cuggenbuhl, "A high-swing, high-impedance MOS cascode circuit," IEEE JSSC, Vol.25, No.1, pp.289-298, Feb, 1990

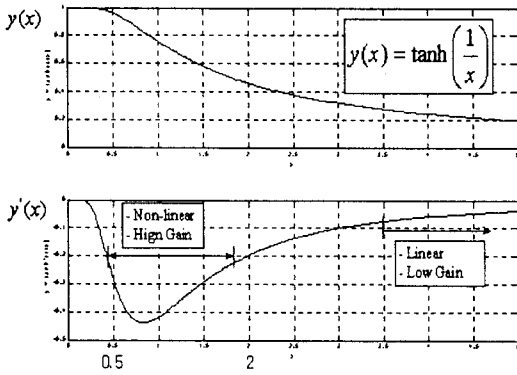


그림9. V_p , τ 와 T 의 관계 그래프

$$\frac{\pi}{4} f_o < f_{CLK} < \pi f_o, \left(\frac{1}{\pi}\right) f_{CLK} < f_o < \left(\frac{4}{\pi}\right) f_{CLK} \quad (2)$$

식(2)의 범위를 가지는 클럭 펄스를 인가하면 V_p 로 시상수 즉, 주파수가 튜닝된다.

2.3 제안된 주파수 튜닝회로의 상세도

본 소절에서는 이제 까지 논의 한 내용을 바탕으로 하여 제안된 튜닝 회로의 자세한 구조에 대해 언급 한다.

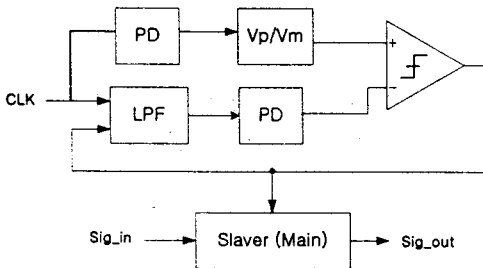


그림9. V_p , τ 와 T 의 관계 그래프

그림 10은 제안된 시상수를 이용해서 주파수를 튜닝 하는 전체 구조의 상세한 블록도이다. 여기서 PD는 위상 검파기가 아니고 피크 검출기(Peak Detector)이다. 주파수를 결정하는 기준 전압은 클럭의 피크를 검출하여 일정한 비로 감쇄하여 튜닝하고자 하는 시상수에 관계되는 피크 전압이 되게 하면 된다. 이는 간단히 저항 분배기를 사용 할 수 있다.

3. 결 론

제안된 튜닝 구조는 저역 필터를 사용한 것과 동일한 구조이나 기준 신호로 특정 주파수의 순수한 사인 함수가 필요 없이 디지털 클럭 신호로 가능하다. 따라서 저역 필터를 사용한 구조의 간단하다는 장점을 살리고 단점을 보완한 것이 된다. 그리고 기준 신호로 인가되는 클럭의 주기가 제어 하고자 하는 시상수와 같거나 일정한 비가 될 필요 없이 어느 정도의 범위 안에 있는 신호이면 주파수의 튜닝이 가능하다.