

CODEC/CODEC Filter - 전송에서의 Analog/Digital System

韓 一 松

韓國電氣通信公社. 事業支援本部(工博)

I. 序 論

집적화된 저가격의 CODEC(아나로그인 음성과 디지털 PCM간의 변환을 시키는 coder/decoder)과 CODEC 필터의 현실화는 전화교환구조에 새로운 형태를 등장시켰으며, 다른 여러 LSI 소자들도 미래의 전화통신망에 영향을 미치게 되었다. 그것은 전화통신망의 디지털화를 가능하게 하고 있다.

초기의 CODEC 설계는 주로 국간(局間) 전송을 디지털화 하기위한 것으로, 음성신호를 전기기계적인 크로스바(crossbar) 구조와 같은 analog switching 소자들로 처리한 후 다른 국(局)으로 전송하기 전에 digital word로 변환시키는 것이었다. 이러한 digital word들은 한 쌍의 선로로 여러 채널(channel)의 음성을 다중화하여 전송시킬 수 있었으나, 아직 많은 부분이 analog multiplexer 등의 analog 소자들을 사용하였다.

그러나 최근 기술 발달로 말미암아 음성신호를 디지털 처리할 수 있는 저가격의 집적화된 CODEC 이 각 가입자의 선로마다 설치 가능하게 되었다. 이에 따라 각 가입자간의 switching도 디지털 처리가 가능하게 되었다. CODEC의 일반화는 대부분이 전기기계적인 장비들을 디지털화하여 저가격의 디지털 로직이나 메모리가 사용될 수 있어, 가격이나 크기, 잡음의 문제들을 개선시켰다. 이런 변화는 고밀도 집적회로가 저가격화 되어 일반화가 실제로 가능해졌다는 점에서 기인되었다. 앞으로의 발달에서도 집적회로화 된 소자, 즉 LSI들의 영향을 빼놓을 수 없으며, 현재의 CODEC과 CODEC 필터의 일반적 상황을 참고하면 집적회로 제작공정 및 설계 기술의 진보가 전송에서의 아나로그와 디지털 system들의 발달에 미친 영향을 알 수 있다. 지금의 추세의 가까운 예는, 미래지향적인 통신망의 한 형태인 일본의 INS 시범구조에서도 찾아 볼 수 있다.

마이크로 컴퓨터를 비롯한 디지털 LSI들의 발달은

여러 분야에 디지털화를 촉진시키고 있으며, 전화통신망도 예외가 될 수는 없을 것이다. 전화통신망에서의 디지털화는 아나로그 음성을 디지털로 변환시키는 CODEC과 CODEC 필터에서 시작되었으므로, CODEC과 CODEC 필터의 발달과정에서 앞으로의 통신망 디지털화가 현실화 되는 과정을 예측할 수도 있을 것이다.

II. 디지털 전송을 위한 CODEC 및 CODEC 필터

음성신호를 디지털 신호로 변환하는 방법들에는 여러가지가 있으나, 현 실정에서 PCM 방식이 가장 보편화 되어 있다. PCM 방식에서는 아나로그 음성신호를 8 KHz의 속도로 샘플링한다. 따라서 1 KHz의 음성신호가 변환될 때 그림 1과 같은 과정으로 샘플링된다. 각각의 샘플링된 시점의 아나로그 신호는 8bit의 디지털 word로 serial format 상태에서 1.544Mbit/s의 속도로 전송된다.

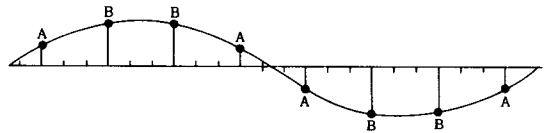


그림 1. PCM CODEC에 의하여 Sampling 되는 1 KHz의 신호

그림 2는 저가격의 CODEC 및 CODEC 필터를 사용하여 24 채널의 음성신호를 시분할 다중화시켜 한 쌍의 선로로 전송시키는 구조를 보여주고 있다. 이와 같은 구조에서 각각의 채널은 디지털 코드(code)로 변환되기 전에 XMIT 필터에서 4KHz 이하로 대역폭이 제한된다.

이는 CODEC이 8KHz로 샘플링하기 때문이다. 음성영역의 PCM CODEC system에서는 샘플링 이론에

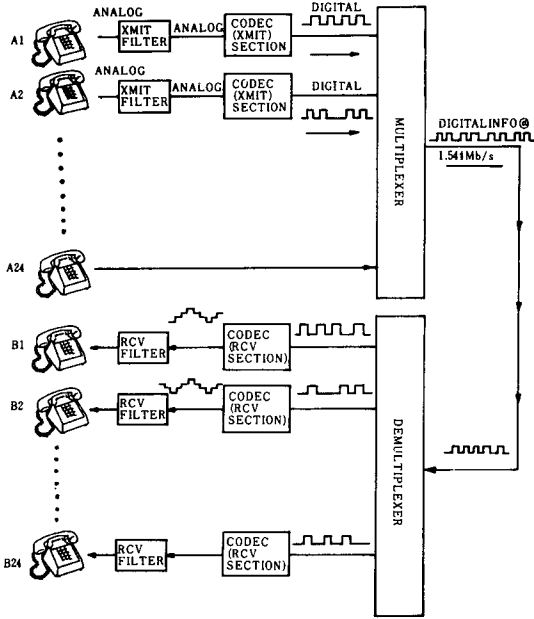


그림 2. PCM CODEC system의 예

의하여 송신단에는 주파수 대역을 제한시키는 필터가 필요하며, 수신단에는 전송되어온 디지털 word를 D/A 변환시킬 때 생기는 출력파형의 고주파 성분을 제거시키기 위한 저역 필터가 필요하다. 따라서, CODEC, 음성영역의 PCM CODEC의 일반화는 PCM코딩(coding) 과정의 8 KHz 샘플링으로 인한 필터의 일반화도 필요로 하게 되었다. CODEC과 마찬가지로 CODEC 필터도 일반화가 되려면 I·C화가 이루어져야 한다. 그러나, 많은 사람들의 오랜 기간의 노력에도 불구하고, 주파수에 관한 선택적 특성을 가지는 아날로그 필터는 실리콘(chip)상에 완전한 집적화를 이루지 못하였다. 1960년대의 저가적이면서도 고성능인 monolithic 연산 증폭기의 개발로 수동 RLC 필터가 능동 RC 필터로 발전하게 되었으나, 일반적인 I·C 제작공정으로는 안정된 RC 적(積)을 얻기 힘든 관계로 monolithic 형태의 집적화에는 문제가 많았다. 그 때문에 최근 I·C 제작공정에 적합한 회로 설계방식이 나타나기 전까지는, 각각의 개별 소자나 하이브리드(hybrid) I·C로서 필터를 구성하였다.

새로운 필터의 I·C 설계기술에 관한 방법들 중에서 가장 널리 쓰이고 있는 것은 switched-capacitor 방식이다. 이 switched-capacitor 설계기술은 저가적이면서도 집적화에 우수한 MOS(Metal Oxide Semiconductor) I·C 공정에서 나타나는 특수한 성질들을 이

용한 것이다. MOS 공정은 bipolar 공정에 비하여 월등한 로직 밀도때문에 디지털 LSI를 제작하는 것에 주로 사용될 뿐 아니라 CODEC도 MOS 공정에 의하여 저가적으로 일반화 되었기 때문이다. 따라서 switched-capacitor 방식으로 CODEC 필터를 구성할 경우 저가적으로 일반화시킬 수 있을 뿐 아니라 CODEC 그 자체도 CODEC 필터와 함께 같은 칩상에 I·C화 시키기에 용이하다는 잇점이 있다.

초기에 하나의 CODEC을 multiplex 하여 이용하는 system과 현재의 저가적으로 일반화된 CODEC과 CODEC 필터를 사용하는 system의 차이에서 알 수 있듯이, system을 구성하는 특수한 소자가 저가적으로 일반화되는 것에 의하여 system의 전체적인 구성, 즉 디지털화의 정도가 변화될 수 있다.

저가적으로 일반화되는 다른 예로는, 컴퓨터의 일반화를 들 수 있다. 오늘날의 일반화된 개인용 컴퓨터를 초기의 ENIAC과 비교하면, 여러 분야에 걸친 발달을 무시할 수 없겠으나 그중에서도 주로 컴퓨터를 구성하는 소자들이 성공적으로 VLSI화된 결과임을 알 수 있다.

그림 2의 PCM 전송구조를 크게 구분하면 아날로그 회로로 구성된 부분과 디지털 회로로 구성된 부분으로 나눌 수 있다. 전화통신망에서 보내고자 하는 것이나 받고자 하는 것이 주로 아날로그 상태인 음성이며, 목적이 system의 디지털화라는 것을 생각하면 당연한 것이다. 디지털화를 유도하는 부분은 아날로그 부분보다 디지털 부분이라 할 수 있는데, 이는 마이크로 프로세서를 비롯한 각종 디지털 I·C들이 저가적으로 생산, 공급되어 system의 디지털화가 가능하게 되었기 때문이다. 그러나 전송 system의 완전한 디지털화를 위하여는 디지털 회로로 구성될 부분들을 디지털 VLSI들로 일반화시키는 것 외에도 아날로그 회로로 구성되는 부분도 역시 저가적으로 일반화 시켜야 한다는 것을 알 수 있다. 따라서 아날로그 회로들도 디지털 회로들이 저가적으로 일반화 되어지는 방법, 즉 VLSI 기술에 의하여 I·C화가 이루어져야 한다는 것을 의미한다. 그림 2에 나타난 전송구조에서, CODEC은 아날로그의 음성신호를 디지털 word로 변환시키는 부분이므로 A/D, D/A 변환기 이외에는 디지털 회로로만 구성되므로 LSI화가 비교적 용이하다. 그러나 CODEC 필터는 아날로그 신호가 입력이 되어 아날로그 신호가 출력되므로, 대부분의 회로가 아날로그 상태의 동작을 고려하여 설계되어야 하고, 높은 정밀도가 요구되므로 일반적인 LSI 제조공정 측면에서 특수한 설계기술이

요구되고 있다. 현재 일반화되고 있는 CODEC 필터는 MOS 공정의 특수성을 충분히 활용한 설계기술인 switched capacitor filter(SCF)로서 구성되어 있다. SCF 방식에 의한 CODEC 필터는 그 특수한 설계방식으로 음성영역에서의 PCM CODEC 필터로 많은 장점을 가지고 있으며 CODEC과 함께 전화통신망의 디지털화를 이루는 근본이 되고 있다.

CODEC 필터를 구성하는 SCF의 동작원리에 따르면, 단점에서 앞으로의 전송선로 디지털화에 관한 아나로그 시스템의 가능성을 추정할 수 있다. SCF의 가장 큰 장점은, 일반적인 I·C 제조공정에서 얻기 힘든 정확한 저항치를 등가적으로 얻어내는 데 있다. 그림 3에서와 같은 구조에서, 각각의 스위치(switch)와 커패시터(capacitor)가 이상적이라면, 인가되는 클럭(clock)에 따라 정확한 값의 등가저항이 생긴다. 저항은 인가되어진 전압에 선형으로 비례하는 전류가 흐르도록 하게하며, 저항치는 전류에 대한 전압의 비례계수인 소자를 의미한다. 또한 전류란 단위시간당 흐르는 전하(charge)의 양으로 정의되어 있다. 따라서 단위시간당 인가되어진 전압에 선형으로 비례되는 전하가 흐른다면 그 소자는 저항의 역할을 하게되는 것이다. SCF는 이러한 논리에 그 근거를 두고 있다. 단위시간당(비록 샘플링된다고 하여도) 전압에 비례하는 전하가 흐르기 때문이다($CV_{IN} = \Delta Q$). 스위칭 주기를 T, 커패시턴스를 C라고 하면, 각 주기마다 입력전압에 의하여 커패시터를 충전시키게 되므로, 단위시간당 흐른 전하량 Q에 의한 전류 I는

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{CV_{IN}}{T} \quad (1)$$

가 되며, V_{IN} 은 입력전압이며 스위치가 닫힌 시점에서 전압이 변하지 않는다고 가정하다. (1)식에서 등가저항 R_{eq} 는

$$R_{eq} = \frac{T}{C} = \frac{1}{Cfc} \quad (2)$$

와 같이 되며, 등가저항 R_{eq} 는 클럭 주파수 f_c 를 가변시킴으로서 조정가능한 것을 알 수 있다. 이는, 저가격으로 대량생산이 가능하고, 상대적인 정밀도가 높은 장점을 가지는 반면에, 절대적인 값에서의 정밀도가 떨어지는 단점이 있는 I·C 제작상의 문제를 해결하여 단점을 보완시키는 역할을 한다. SCF는 제작상의 오차를 제작 후의 전기적 tuning에 의하여 상쇄시키도록 하여, 디지털 회로보다 정밀한 특성이 요구되는 아나로그 필터의 I·C화를 현실화 시켰다.

그림 3에 나타난 것처럼, switched capacitor 방식

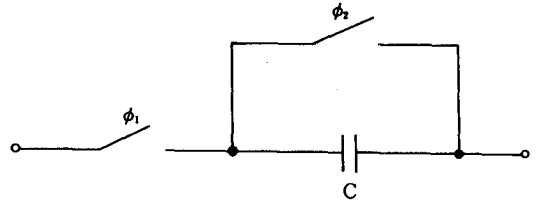


그림 3. SCF의 기본구조

은 continuous time 축상의 소자인 저항을 discrete time 축상의 샘플링 소자로 대처함으로써, 동작 특성중에 샘플링으로 인한 문제점이 생기게 된다. SCF는 I·C 제조공정상의 정밀도 문제를 개선시키는 외에도, 실제의 저항을 사용하는 경우보다 칩 면적을 상당히 절약시키는 장점을 가지지만 switching 혹은 샘플링으로 인한 제한이 있다. 이에 따라 여러가지 구성방법들이 제안되었으나, 널리 일반적으로 사용되는 구조는 적분기에 의한 Leap-Frog 방식의 LC-ladder 시뮬레이션 방법이다. 다른 구성방법들중 연산증폭기의 수를 줄여 칩 면적을 절약할 수 있는 방법이 있는 데도 불구하고 이와 같은 구조가 널리 사용되는 이유는, 제조 과정에 생기는 문제점들로 인한 영향을 가장 적게 받기 때문이다. 그림 4 (a)의 LC 구조로 CODEC 필터 규격을 만족시키는 5 차의 저역 필터를 SCF로 변환시키면 그림 4 (b)과 같이 된다. CODEC 필터로서의 규격을 만족시키려면 5 차의 저역 필터들과 3 차의 고역 필터가 필요하다. 여기서 고역 필터는 전원 noise에 대한 대책이다.

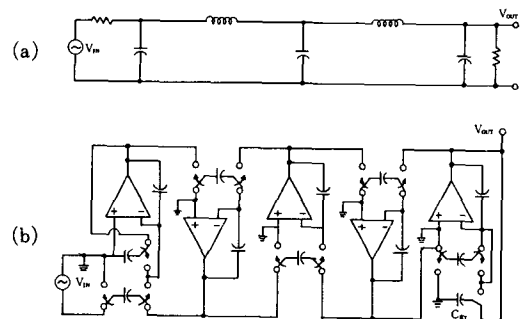
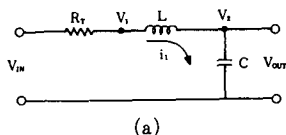


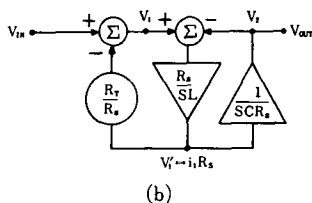
그림 4. (a) 5 차의 저역 CODEC filter
(b) SCF화된 5 차 Filter

앞에서 언급한 SCF에서의 샘플링에서 생기는 문제점을 그림 5 (a)과 같은 간단한 LC 필터의 변환에서도 알 수 있다. 그림 5 (a)의 회로는 그림 5 (b)과 같이 적분기로 시뮬레이션 되며, 따라서 그림 6 (a)의 SCF로 변환시킬 수 있다. 그림 6 (a)의 SCF는 그림

6 (b)의 등가회로로 modeling 되어 클럭 주파수에 따라 특성이 변화될 수 있다. 그림 7에서 클럭 주파수에 따른 특성 변화를 볼 수 있다. 이와 같은 샘플링으로 인한 문제점은 추가의 저성능의 능동 RC 필터를 필요로 하며, 실제로 사용되는 CODEC 필터인 2912 나 그 대체소자들도 저성능의 능동 RC 필터를 포함하고 있다.

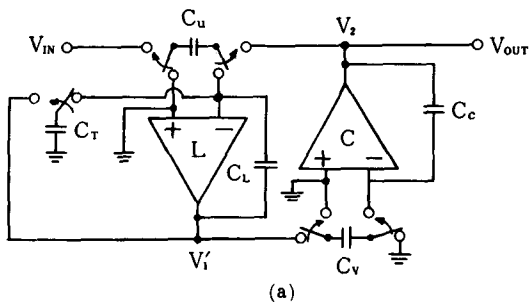


(a)

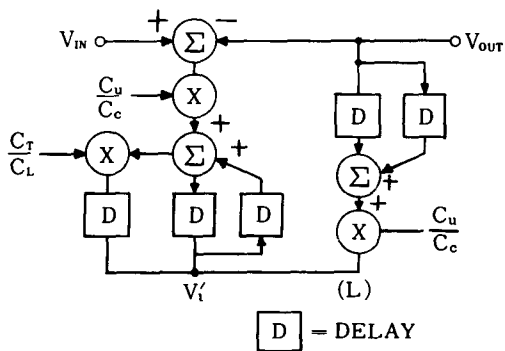


(b)

그림 5. (a) 간단한 RLC 필터와 (b) 등가의 능동 RC 필터



(a)



(b)

그림 6. SCF화된 그림 5 회로와 등가회로

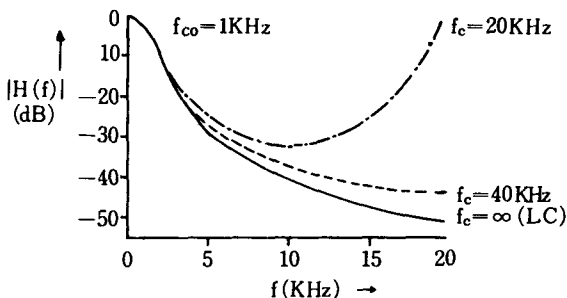


그림 7. 그림 6 회로의 실험결과

III. 새로운 형태의 CODEC 필터

현재의 CODEC 필터에 사용되는 SCF 방식은 CODEC 필터규격은 만족시키나 그 이상의 응용, 즉 보다 넓은 주파수 대역이 필요한 필터로는 샘플링 주파수 때문에 적합하지 못하다. 그러나, 전화선로의 디지털화 정도에 따라, 넓은 주파수 대역의 새로운 필터가 필요하게 되었다. SCF 방식의 문제점을 제거시키기 위하여 순수한 아날로그 영역에서 동작하며 CODEC 필터로 사용될 수 있는 새로운 방식이 필요하게 되었다.

이에 따라, 새로운 방법들이 제안되었다. Tsividis와 Banu가 제안한 그림 8의 Balanced Structure가 한 가지 해결이 될 수도 있다. 이 방법은, 저항을 얻기 위하여 switched-capacitor 대신 triode 영역의 MOSFET을 사용하고, 클럭 주파수 대신 게이트 전압을 이용하여 tuning을 한다. MOSFET를 저항으로 이용할 때 생기는 비선형항들을 제거시키기 위하여 Balanced Structure를 사용한다. 그림 8의 방식은 블록(block) 단위로 구성해야 될 뿐 아니라 개별의 저항을 얻지 못한다는 점을 단점으로 지적할 수 있다.

그러므로, 그림 9와 같은 새로운 구조의 저항을 제안하게 되었다. 그림 9의 방식은, 완전한 아날로그 영

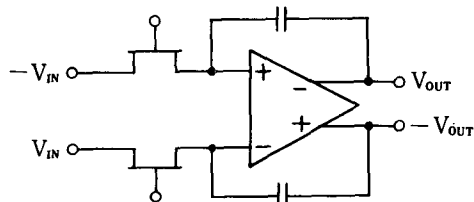


그림 8. Balanced Structure로 구성된 MOSFET을 이용한 적분기

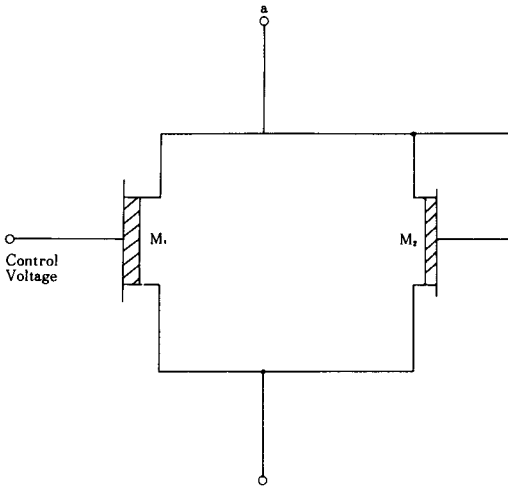


그림 9. MOSFET를 이용한 새로운 전압제어 선형저항

역에서 개별의 저항을 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 저항을 개별적으로 얻을 수 있으며, 따라서 전압제어 선형저항으로 대체될 수 있다. 동작원리도 아주 간단하다. Depletion-mode의 MOSFET를 선택하여 triode 영역에서 동작시키면, MOSFET의 V-I 관계는

$$I_{DS} = \frac{\mu_n C_{ox} W}{L} \left[(V_{GS} - V_{TD}) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] \quad (3)$$

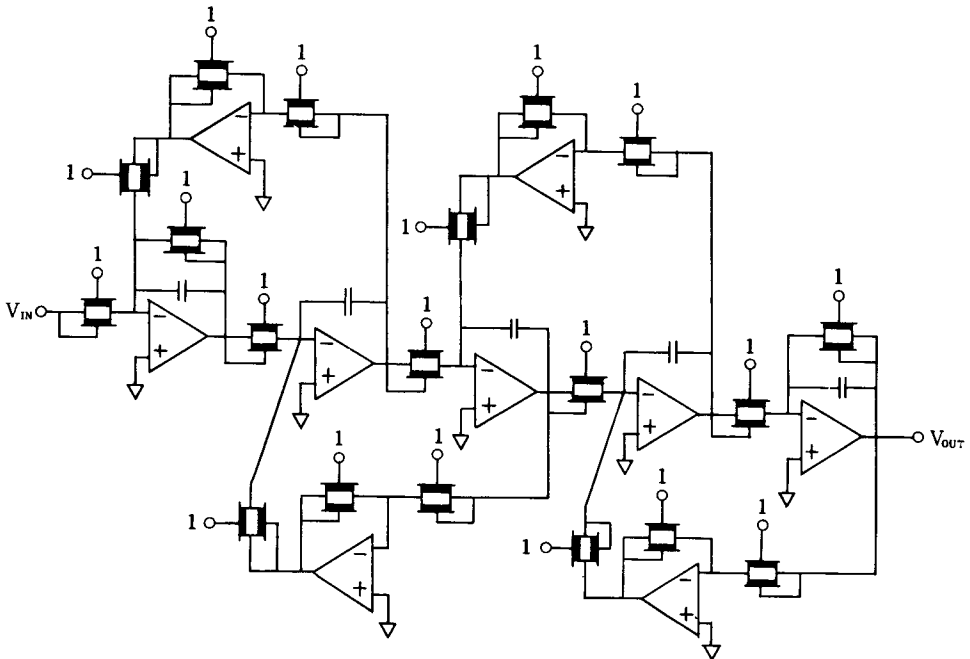
가 된다. 여기서 μ_n 은 n-channel에서의 carrier의 mobility, C_{ox} 는 게이트 산화막의 단위 커패시턴스, W는 게이트의 폭, L은 게이트의 길이, V_{GS} 는 게이트-소오스간의 전압, V_{DS} 는 드레인-소오스간의 전압, V_{TD} 는 depletion-mode MOSFET의 threshold 전압, 그리고 I_{DS} 는 드레인-소오스간의 전류임을 의미한다. 입력 전압이 (+)이고 M1, M2 Tr이 triode 영역에서 동작한다면, M1을 흐르는 전류 I_1 과 M2를 흐르는 전류 I_2 를 (3)식에 의하여 구할 수 있다.

$$I_1 = \frac{\mu_n C_{ox} W}{L} \left[(V_C - V_{TD}) V_{IN} - \frac{V_{IN}^2}{2} \right] \quad (4, 1)$$

$$I_2 = \frac{\mu_n C_{ox} W}{L} \left[(V_{IN} - V_{TD}) V_{IN} - \frac{V_{IN}^2}{2} \right] \quad (4, 2)$$

이때 triode 영역에 있기 위하여 M_1 은 $V_C > V_{IN}$ 이 되어야 하며, M_2 는 depletion-mode 이므로 당연히 triode 영역에 있게 된다. (MOS Tr이 triode 영역에 있기 위한 조건: $V_{GS} - V_{TD} > V_{DS}$) (4, 1)식과 (4, 2)식에서 양단자의 전류-전압특성은

$$I = I_1 + I_2 = \frac{\mu_n C_{ox} W}{L} (V_{GS} - 2V_{TD}) V_{IN} \quad (5)$$



1=CONTROL TERMINAL

그림 10. 전압제어 선형저항을 이용한 5차 저역필터

과 같이 되어, 전압제어 선형저항이 됨을 알 수 있다. 즉 단자간의 저항R은

$$R = \frac{L}{\mu_n C_{ox} W (V_c - 2V_{TD})} \quad (6)$$

인 소자가 된다. (-) 입력에 대하여도 같은 방법으로 정리하면 (6)과 같은 관계가 유도된다. 그림 9의 전압제어 선형저항을 필터 구성에 이용하면 소자의 tuning 문제를 해결하며, SCF 방식에서 필요한 클럭이 필요없으므로 샘플링으로 인한 문제점도 제거시킬 수 있다. 그림 9의 전압제어 선형저항을 이용하여 CODEC 필터를 설계하면, 그림 10과 같이 능동 RC 구조로 시뮬레이션할 수 있다.

이와 같이 전압제어 선형저항으로 그림 10의 필터를 구성하면, SCF 방식으로 구성한 필터보다 고주파수 영역의 특성이 좋아진다. 또한 온도보상회로를 사용할 경우 온도계수를 170ppm/°C 이하로 유지시킬 수 있음이 실험으로 증명되었다. 그림 9의 구성방식은 SCF 방식보다 동작원리가 단순하며 저항을 직접 대체시킬 수 있어서 T-회로와 같이 여러가지 형태의 회로구성에 유리할 뿐 아니라, 클럭이 필요없으므로 사용 주파수 범위가 넓어지게 되어 광대역 필터 구성에 적합하다. 이런 점은 음성 영역의 CODEC 보다 점점 광대역 디지털화되는 가입자 신호처리가, 전압제어 선형저항을 이용한 adaptive 필터 구성으로 가능하다는 것을 의미한다.

IV. 結 論

전화통신망의 디지털화 과정에서, 음성영역 PCM CODEC과 CODEC 필터의 일반화가 전체적인 구조에 주는 영향을 알 수 있고, 초고밀도 집적회로 제작기술의 발달이 음성영역 PCM CODEC과 CODEC 필터의

일반화에 어떠한 영향을 주고 있는지를 알 수 있다. 그리고, 일본의 시험용 INS에서 가입자 선로를 종합 정보통신망의 선로로 사용 가능하도록 하는 소자가 CODEC 필터와 같은 구성방식인 SCF 방식으로 설계되었다. 이와 같은 사실에서, 전화통신망의 다목적화를 위한 필터의 중요성을 알 수 있으며, 새로운 형태의 전압제어 선형저항을 이용한 필터가 있으므로 하여 전화통신망의 발달이 가속될 수 있다.

參 考 文 獻

- [1] R.W. Brodersen, P.R. Gray and D.A. Hodges "MOS Switched-Capacitor Filters" Proceedings of IEEE, pp. 61-75.
- [2] Il S. Han, Ph.D Dissertation, KAIST, 1984.
- [3] Il S. Han and Song B. Park, "Voltage-Controlled Linear Resistor and its Application to Active RC Filters MOS Integration" Proceedings of IEEE pp. 1655-1657, Nov., 1984.
- [4] M. Banu and Y. Tsividis, "Fully Integrated Active RC filters," ISCAS' pp. 602-605, 1983.
- [5] Norio Tamaki et al, "A CMOS Adaptive Line Equalizer," IEEE JSSC, pp. 788-793, Oct., 1984.
- [6] K.B. Oh ri and Michael J. Callahan, Jr., "Integrated PCM CODEC," IEEE JSSC pp. 38-46, Feb., 1979.
- [7] 한일송, 박송배, "전압제어 MOSFET 선형저항과 능동 RC 필터 MOS 집적화에의 응용" 1984년도 하계종합학술대회 논문집, pp. 58-60, 대한전자공학회, 1984년 여름 *

◆ 用 語 解 說 ◆

Time-Division System(시분할 방식)

하나의 전송로를 시간적으로 분할하여 전송하는 다중 통신 방식 보통은 펄스 통신 방식을 사용한다. PWM, PCM, PDM, PPM 등이 있고, 현재에는 주로 PCM이 사용된다.

Time Division Switching System(시분할 교환기 방식)

교환기의 통과로를 시간적으로 분할하여 다중 사용하는 교환방식을 말한다. 시분할화하는 방법으로서 펄스 진폭변조 방식과 펄스 부호 변조 방식이 있다.