

자동 이득 제어기를 적용한 5-밴드 디지털 오디오 그래픽 이퀄라이저 설계

(Design of the 5-band Digital Audio Graphic Equalizer adopted Automatic Gain Controller)

김 태 형*

김 환 용**

(Tae-Hyung Kim) (Hwan-Yong Kim)

요 약

네트워크와 IT산업의 급속한 발전과 더불어 정보통신에 대한 관심이 매우 커지고 있다. 정보통신 분야에서는 주로 디지털 신호가 사용되므로 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하여야 한다. 그러나 음성이나 영상과 같은 자연상태의 아날로그 신호가 디지털 신호로 변환될 때 발생하는 왜곡을 제거하는 것은 매우 어려운 과정이다. 원음 또는 각자 취향에 맞는 음질을 발생시키기 위해서 기존의 오디오 그래픽 이퀄라이저는 매우 복잡한 과정을 통하여 고차의 필터 계수 및 이득을 계산하였다. 그러므로 이러한 요구사항을 만족시키기 위해서는 시스템이 복잡하여 경제성이 떨어지고 타 시스템 내부에 장착할 수가 없었다. 본 논문에서는 오디오 음질의 개선과 시스템 성능향상 및 내부 장착이 가능한 새로운 디지털 오디오 그래픽 이퀄라이저를 설계하였다. 또한 필터 계수 및 이득을 자동으로 처리함으로써 실시간 처리가 가능하고 음질이 향상되도록 하였다.

ABSTRACT

There is much interest on information communications owing to the rapid development of network and IT(Information Technology). Analog signals are converted into digital signals for information communications. However, it is very difficult to completely erase the distortion induced during the conversion of analog signals such as voices and images into digital signals. Existing audio graphic equalizer requires very complex processes to calculate the gain and coefficients of the higher-order filter which is required to generate natural sound and to satisfy the need of each person. Unfortunately it is uneconomical and very difficult to embed the existing digital audio equalizer in the system because of the complexity of the existing digital audio equalizer for high quality sound. This paper discusses the design of a new digital audio graphic equalizer(DAGEQ) which can improve system performance and the quality of audio sound, and can be embedded in the system. This new DAGEQ is designed so that the gain can be controlled automatically. The automatic control of coefficients and gain empowers real time processing and the improvement of audio quality.

* 정회원 : 원광대학교 전자공학과 박사수료

** 정회원 : 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 교수

1. 서론

디지털 기술은 아날로그 기술에 비해 여러 가지 장점을 갖는다. 채널 잡음이나 기록매체 손상의 경우에 에러 정정 기법을 이용하여 원 신호를 재생할 수 있고, 신호처리 관점에서는 디지털화 함으로써 데이터 양이 크게 늘어나지만 데이터 압축 등 다양하고 효과적인 디지털 신호처리 기법을 활용할 수 있다.[1] 아날로그 음성신호는 일반적으로 표본화, 양자화, 부호화에 의해 디지털화 되며 음성신호의 주파수 대역에 따라 전화수준의 음성신호는 3.4[kHz]로 대역폭이 제한되고 표본화 주파수 8[kHz]로 디지털 음성으로 변환된다. 또한 FM 수준의 음성신호는 대역폭 15[kHz]로 제한되며 표본화 주파수는 32[kHz]이다. 콤팩트디스크(CD), 디지털 테이프 레코더(DTR)나 디지털 TV에서는 이보다 넓은 20[kHz] 대역폭과 44.1[kHz] 표본화 주파수를 갖는다. 이러한 디지털 음성 신호들은 일상생활에서 많이 쓰이고 있으며 점점 고음질 및 고품격을 요구하는 추세에 있다.[2]

이에 부응하기 위해서는 개인 취향에 맞는 음질을 제공할 수 있는 오디오 그래픽 이퀄라이저가 필요하며, 3~5 밴드의 사용이 용이하면서도 하나의 칩으로 내장할 수 있는 저렴한 디지털 오디오 그래픽 이퀄라이저(Digital Audio Graphic Equalizer : DAGEQ)의 필요성이 증가하고 있다.[3] 그러나 이러한 음성분야에서 사용되는 3~5 밴드의 DAGEQ는 근접채널간의 이득 중첩으로 인하여 통과대역 평탄 주파수 응답을 얻기가 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 고차의 디지털 필터를 사용해야 하지만 시스템이 복잡해지고 경제성이 떨어지는 단점이 있다.[4]~[6]

따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 인접 밴드의 이득을 자동으로 조절할 수 있는 자동이득제어기(Automatic Gain Controller : AGC)를 설계하여 주파수 응답특성이 우수한 5-밴드 DAGEQ를 설계한다.

2. 오디오 그래픽 이퀄라이저

아날로그 디스크나 테이프에서 콤팩트디스크로

AM과 FM과 같은 아날로그 변복조방식에서 PSK(Phase Shift Keying)방식의 디지털 변·복조방식으로 변화하는 시점에서 아날로그 방송이 디지털 방송으로 진화하는 것은 당연하다. 특히 오디오 분야와 같이 아날로그 신호와 디지털 신호처리를 병행해야 하는 분야는 매우 정교한 신호처리를 해야한다.

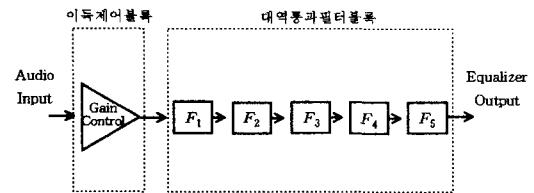
디지털 오디오 신호는 아날로그 오디오 신호를 표본화 주파수로 샘플링한 다음 최적의 양자화 비트수로 디지털 변환하여 필터링, 음장제어, 변조, 합성 및 데이터 압축을 수행하여 데이터 량을 감소시키기도 한다.[3][7]

이러한 일련의 과정은 매우 복잡한 신호처리과정을 거치기 때문에 원음에 가깝도록 변환시키는 연구가 활발히 진행되고 있다.[8]

이 중 오디오 그래픽 이퀄라이저(Audio Graphic Equalizer : AGEQ)는 오디오의 특정 밴드나 범위내의 주파수 대역을 감쇠 또는 증폭하는 시스템으로써 대역폭 또는 적용되는 필터의 수에 따라 종류가 분류되며, 이득 제어시 레벨 위치에 따라 주파수 응답 특성이 시각적으로 나타내기 때문에 AGEQ라 한다.[9]

이러한 AGEQ는 대역 통과필터들의 조합으로 이루어지며 대역통과 필터는 고정 주파수와 고정 대역폭을 갖는다.

기존의 AGEQ는 [그림 1]과 같이 A/D 변환된 이산신호의 이득을 제어하는 이득 제어블록과 특정주파수 대역을 통과시켜주는 대역통과 필터 블록으로 구성된다.



[그림 1] 기존 AGEQ 구조

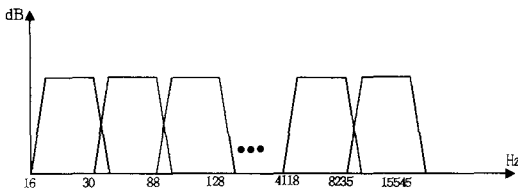
[Fig. 1] Existed AGEQ architecture

이득 제어블록은 대역통과 필터에서 최대이득을 고려하여 최대 +12dB에서 -12dB까지의 이득을 조절한다.

AGEQ에 사용되는 필터블록은 대역 통과필터로 구성되어 있으며 F_1 과 F_2 필터는 오디오 신호의

저음(321Hz~250Hz) 영역에서 신호의 증폭 및 감쇠를 수행하고 F_3 필터는 중음(250Hz~500Hz) 영역에서 필터링을 수행한다. 또한 F_4 와 F_5 는 고음(500Hz~20kHz) 영역 대역 필터링을 수행하게 된다.

이때 각각의 대역폭에 따라 중심주파수와 밴드의 폭을 결정하게 되는데 [그림 2]에서와 같이 각 밴드의 경계에서 하위영역과 상위영역의 이득이 기준 값보다 가중되거나 작은 값이 되면 음압 분포도가 평탄하지 않거나 연산의 오버플로우가 발생하여 일그러짐이 발생하게 된다.



[그림 2] 기존 AGEQ의 이득 중첩현상
[Fig. 2] Overlap effect of existed AGEQ

3. DAGEQ에 적합한 자동이득 제어기

현재 전문가용 AGEQ는 아날로그 8~10밴드용(1 Octave), 12~15밴드용(1/2 Octave), 27~31밴드용(1/3 Octave) 외장형이 있으며, DAGEQ로는 전문오디오 감상용으로 10밴드 외장형이 사용되고 있다. 이러한 외장형 AGEQ는 전문가용이기 때문에 사용 방법이 매우 어렵고 조정을 잘못하였을 경우에는 오히려 오디오 신호에 악 영향을 미치기도 한다.

<표 1> 5-밴드 DAGEQ 설계 명세조건

<Table 1> Design spec. for the 5-band DAGEQ

Sampling Frequency	32 kHz
Band Level	5 Band
Positive Band Gain	+12 dB
Negative Band Gain	-12 dB
Gain Adjustment Step	1.0 dB

또한 고가의 시스템이라 카오디오나 TV에 장착하기에는 경제성이 문제가 되며 외장형이라 부피가 커 내부 장착은 거의 불가능하다. 그러므로 본 논문에서는 각자의 개성에 맞는 음질을 제공하며 기존 시스템에 장착이 용이한 단일 칩 형태의 5밴드 DAGEQ를 설계한다.

이러한 요구를 충족시키기 위하여 5밴드 DAGEQ를 <표 1>과 같이 설계명세조건을 설정하였다. 이득은 각 밴드 당 +12 [dB] 까지 가능하게 하였고 감쇠 역시 -12[dB]까지로 설정하였다.

이득 및 감쇠의 조절step은 인간의 청각기능을 고려하여 1[dB]로 하였다. 밴드 수는 경제성과 내부장착을 고려 5-밴드로 설정하였다.

<표 1>과 같은 5-밴드 DAGEQ 설계명세조건을 만족하기 위하여 설정한 필터종류, 함수 및 사양은 <표 2>와 같다.

필터 함수는 평탄영역 특성과 타 함수에 비해 위상특성이 양호한 버터워스(Butterworth) 함수를 사용하였고, 대역통과 필터의 차수는 2차로 저역과 고역통과 필터의 차수는 1차로 설정하였다.

아날로그 필터로부터 디지털 필터를 유도하기 위해 널리 사용되는 변환은 수치 적분에 근간을 둔 쌍선형 변환(bilinear transform) 이다.

디지털 필터의 시스템 함수는 쌍선형 변환을 통

<표 2> 5-밴드 DAGEQ 필터 설계명세조건

<Table 2> 5-band DAGEQ filter design spec.

	Lowpass Filter	Bandpass Filter 1	Bandpass Filter 2	Bandpass Filter 3	Highpass Filter
Method	Butterworth	Butterworth	Butterworth	Butterworth	Butterworth
Filter Order	1	2	2	2	1
Center Frequency (Positive Gain)	70 Hz (Passband Edge)	300 Hz	1 KHz	3.3 KHz	7.5 KHz
Center Frequency (Negative Gain)	110 Hz (Passband Edge)	300 Hz	1 KHz	3.3 KHz	7.5 KHz

해 아날로그 필터 $H_a(s)$ 로부터 얻을 수 있으며 그 결과는 식 (1)과 같다.

$$H(z) = H_a\left(\frac{2}{T} \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}\right) \quad (1)$$

일반적인 1차 아날로그 함수는 식 (2)와 같으며 식 (2)를 쌍선형 변환하여 디지털함수로 변환하면 식 (3)과 같다.

$$H_a(s) = \frac{\beta_0 s + \gamma_0 \Omega_c}{s + c_0 \Omega_c} \quad (2)$$

(2)식에서 Ω_c 는 차단주파수(cutoff frequency)이다.

$$H(z) = \frac{\beta_0 \frac{2}{T} \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} + \gamma_0 \Omega_c}{\frac{2}{T} \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} + c_0 \Omega_c} = \frac{b_{00} + b_{01} z^{-1}}{1 + a_{01} z^{-1}} \quad (3)$$

(3)식에서

$$b_{00} = \frac{\gamma_0(\Omega_c T/2) + \beta_0}{c_0(\Omega_c T/2) + 1}$$

$$b_{01} = \frac{\gamma_0(\Omega_c T/2) - \beta_0}{c_0(\Omega_c T/2) + 1}$$

$$a_{01} = \frac{c_0(\Omega_c T/2) - 1}{c_0(\Omega_c T/2) + 1}$$

이다. 또한 2차 아날로그 함수는 식 (4)와 같으며 식 (4)를 쌍선형 변환을 이용하여 z-변환하게 되면 식 (5)와 같이 표현된다.

$$H_a(s) = \frac{\alpha_k s^2 + \beta_k \Omega_c s + \gamma_k \Omega_c^2}{s^2 + b_k \Omega_c s + c_k \Omega_c^2} \quad (4)$$

$$H(z) = \frac{\alpha_k(4/T^2)(1-z^{-1})^2 + \beta_k \Omega_c(2/T)(1-z^{-2}) + \gamma_k \Omega_c^2(1+z^{-1})^2}{(4/T^2)(1-z^{-1})^2 + b_k \Omega_c(2/T)(1-z^{-2}) + c_k \Omega_c^2(1+z^{-1})^2} \\ = A_{k0} \frac{1 + b_{k1} z^{-1} + b_{k2} z^{-2}}{1 + a_{k1} z^{-1} + a_{k2} z^{-2}} \quad (5)$$

식 (5)에서

$$A_{k0} = b_{k0} / a_{k0}$$

$$b_{k1} = 2[-\alpha_k + \gamma_k(\Omega_c T/2)^2] / b_{k0}$$

$$b_{k2} = [\alpha_k - \beta_k(\Omega_c T/2) + \gamma_k(\Omega_c T/2)^2] / b_{k0}$$

$$a_{k1} = 2[-1 + c_k(\Omega_c T/2)^2] / a_{k0}$$

$$a_{k2} = [1 - b_k(\Omega_c T/2) + c_k(\Omega_c T/2)^2] / a_{k0}$$

이다. 식(3)과 식(5)에서 주파수 변환을 활용하여 고역통과나 대역통과 필터로 변환할 수 있다. 즉 z^{-1} 대신에 고역통과 필터 함수는 식 (6)을 통하여 구할 수 있고

$$z \Rightarrow -\frac{z^{-1} + \alpha}{1 + \alpha z^{-1}} \quad (6)$$

$$\alpha = -\frac{\cos\left(\frac{w_c' + w_c}{2}\right)}{\cos\left(\frac{w_c' - w_c}{2}\right)}$$

대역통과 필터 함수는 식(7)을 이용하여 구한다.

$$z \Rightarrow \frac{z^{-2} - \frac{2ak}{k+1} z^{-1} + \frac{k-1}{k+1}}{\frac{k-1}{k+1} z^{-2} - \frac{2ak}{k+1} z^{-1} + 1}$$

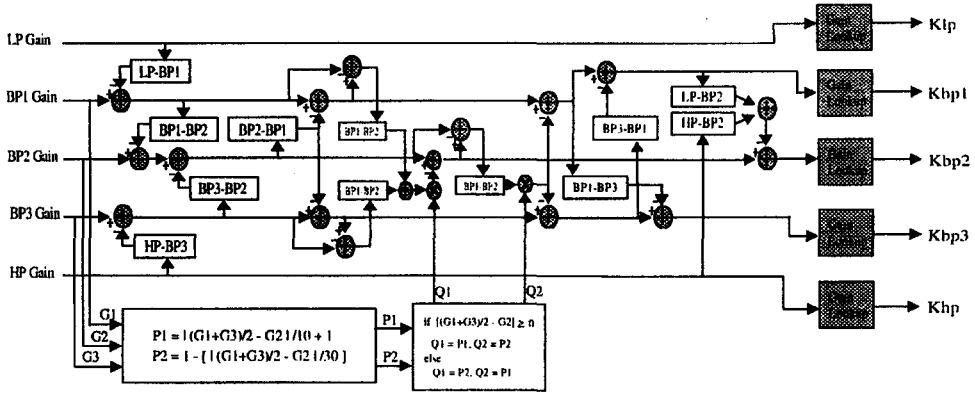
$$\alpha = \frac{\cos\left(\frac{w_2 + w_1}{2}\right)}{\cos\left(\frac{w_2 - w_1}{2}\right)} = \cos w_0 \quad (7)$$

$$k = \cot\left(\frac{w_2 - w_1}{2}\right) \tan \frac{w_c'}{2}$$

본 논문에서는 필터 함수 중 통과 대역 특성이 우수하고 상대적으로 위상특성도 우수한 버터워스 필터함수를 SPW(Signal Processing Workstation)에서 모델링을 수행하여 필터계수 및 이득을 구하였다.

AGEQ는 개인의 특성에 맞는 주파수 대역을 원하는 만큼 증폭 또는 감쇠시켜 자기 고유의 취향에 맞는 음질을 선택하는 시스템이다. 그러나 AGEQ 사용자가 레벨 조정을 잘못 수행하였을 경우 음질의 왜곡이 발생하여 전체 시스템에 심각한 악영향을 미치는 경우가 자주 발생하게 된다. 특히 음악에 관한 전문가가 아닌 일반 사용자들이 AGEQ를 사용할 때는 이러한 문제가 빈번하게 발생하므로 심각하게 고려하여 시스템을 설계하여야 한다.

특히 다 채널 AGEQ는 상호인접 채널간 이득 조정으로 인한 간섭이 매우 심하다. 이러한 경우 오히려 AGEQ가 있는 것이 없는 것 보다 못한 경우가 많다. 즉, 정(+) 이득을 원하는 주파수에서 +12 [dB]로 설정하였는데 근접 채널의 영향으로 다른 주파수가 오히려 더 낮은 이득을 얻을 수도 있고, 근접 채널이득을 모두 +12[dB]로 설정할 경우 두 채널 중심 주파수의 가운데에서 +12[dB]보다 훨씬 높은 이득을



[그림 3] 자동이득조절기(AGC) 블록도
 [Fig. 3] Automatic gain controller block diagram

언어 사용자가 원하지 않는 음질일 뿐만 아니라 이득 대역을 벗어나는 결과를 초래하게 된다.

그러므로 본 논문에서는 이러한 인접채널 간의 영향으로 인한 왜곡이 발생하지 않도록 자동이득조절기(AGC)를 설계하였으며 설계한 AGC에서 자동으로 보정된 이득 값이 주어진다. 필터 이득으로부터 인접채널간 간섭을 보상해주는 자동이득 조절기의 블록도는 [그림 3]과 같다.

[그림 3]을 고찰하여 보면 각각의 디지털필터 이득은 인접채널 간 왜곡이 발생되지 않도록 이득 차를 구하여 미리 계산하여 저장한 룩업테이블 값이 제공된다.

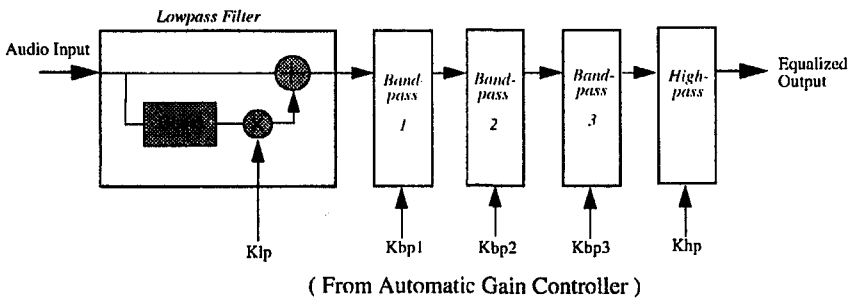
각각의 필터이득이 구하여 지는 계산 인자 P1, P2, Q1, Q2에 대한 수식은 식 (8)과 같다.

$$\begin{aligned}
 P1 &= L(G1 + G3)/2 - G2L/10 + L \\
 P2 &= L - [L(G1 + G3)/2 - G2L/30]
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

식 (8)에서 $[(G1 + G3)/2 - G2] \geq 0$, $Q1 = P1$, $Q2 = P2$ 이고 $[(G1 + G3)/2 - G2] < 0$, $Q1 = P2$, $Q2 = P1$ 이다.

AGC에서 계산되어 룩업테이블에서 얻어진 각각의 새로운 이득은 [그림 4]와 같이 이퀄라이저 필터 블록에 인가된다.

즉, Klp는 저역통과 필터의 새로운 이득이고 Kbp1은 대역통과필터1, Kbp2는 대역통과필터2, Kbp3은 대역통과필터3, Khp는 고역통과 필터의 이득이 된다.

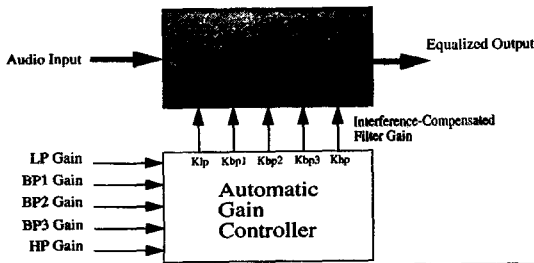


[그림 4] 디지털필터와 AGC 계수
 [Fig. 4] Digital filters and AGC coefficient

4. 5-밴드 DAGEQ 설계

디지털 음성분야에서 사용되는 DAGEQ는 근접채널간의 이득 중첩으로 인하여 통과대역 평탄 주파수 응답을 얻기가 어렵다.

이러한 DAGEQ를 HDTV나 카오디오에 적용한다면 발생하는 문제는 더욱 심각하다. 그러므로 본 논문에서는 사용자가 인접채널에 대하여 어떠한 이득 레벨을 취하더라도 본 논문에서 주어진 설계명세에서 $\pm 1[\text{dB}]$ 이내에 이득이 존재하도록 [그림 5]와 같이 AGC를 갖는 5-밴드 DAGEQ를 설계하였다.



[그림 5] AGC를 갖는 5-밴드 DAGEQ 구조

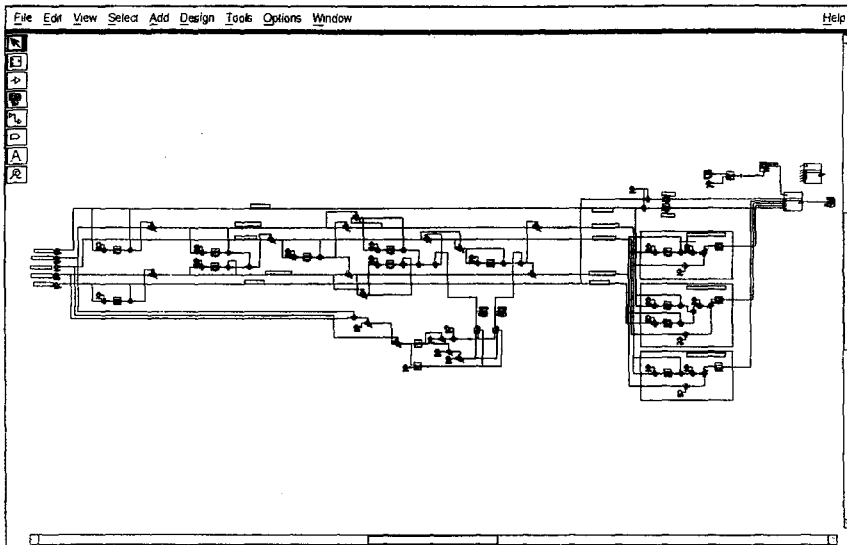
[Fig. 5] 5-band DAGEQ architecture with AGC

즉, 사용자가 어떠한 이득 값을 설정하더라도 왜곡이 발생하지 않도록 AGC에서 계산한 후 록업테이블을 이용, 이득 값을 결정한다. 그러므로 사용자가 조작성을 잘못된 경우라도 전체 시스템에는 악영향이 미치지 않도록 작동하게 된다.

[그림 6]은 오디오 주파수대역에 대하여 설계명세 조건에 따라 설계한 5-밴드 DAGEQ의 회로도이다.

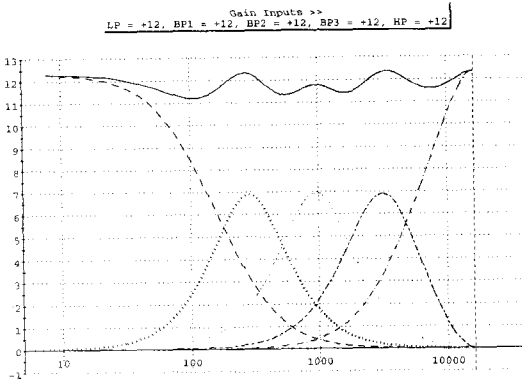
회로설계는 양자화 오차를 고려하여 24 비트로 설계하였으며 단일 칩 화 및 실시간 처리를 위하여 고정소수점 연산을 수행하도록 하였다.

[그림 7]은 설계되어진 5-밴드 DAGEQ의 모든 이득레벨을 $+12[\text{dB}]$ 로 설정했을 때, 즉 최악의 경우를 고려하여 설계 전문툴(tool) SPW(signal processing work)를 이용 시뮬레이션한 결과이다.



[그림 6] 5-밴드 DAGEQ 회로도

[Fig. 6] 5-band DAGEQ circuit

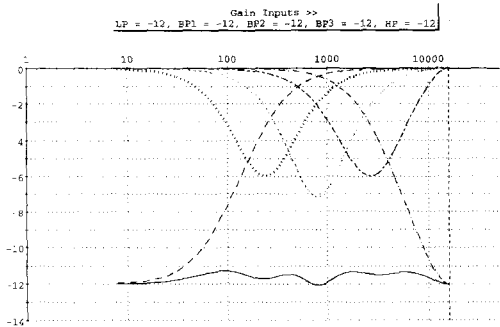


[그림 7] 오디오 주파수 대역에 대하여 모든 밴드의 이득을 +12[dB]로 인가한 경우

[Fig. 7] The case in the +12[dB] band-gain for audio frequency band

[그림 7]의 시뮬레이션 결과를 고찰하여 보면 평탄특성은 1[dB]내에 존재하며 최대 이득은 +12[dB]보다 0.3[dB] 벗어나 최악의 경우에도 설계명세조건을 만족함을 알 수 있다.

[그림 8]은 5-밴드 DAGEQ의 모든 이득레벨을 -12[dB]로 설정했을 때, 즉 최악의 경우를 고려하여 시뮬레이션 한 결과이다.

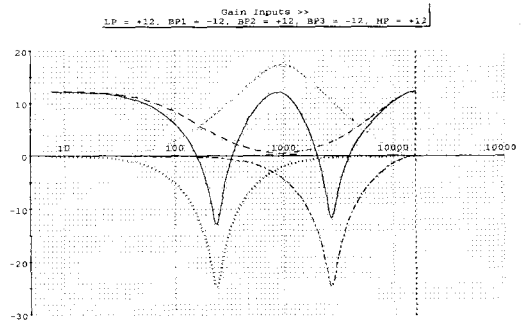


[그림 8] 오디오 주파수 대역에 대하여 모든 밴드의 이득을 -12[dB]로 인가한 경우

[Fig. 8] The case in the -12[dB] band-gain for audio frequency band

[그림 8]의 시뮬레이션 결과를 고찰하여 보면 평탄특성은 0.8[dB]내에 존재하며 최대 이득은 -12[dB]내에 존재함을 확인하였다.

[그림 9]는 오디오 주파수 대역에서 이득레벨을 +12[dB]와 -12[dB]로 교번하며 인가하였을 때의 시뮬레이션 결과이며, 5-밴드 DAGEQ 설계명세조건을 만족함을 알 수 있다.



[그림 9] 오디오 주파수 대역에 대하여 모든 밴드의 이득을 교번적으로 인가한 경우

[Fig. 9] The case in the alternative band-gain for audio frequency band

5. 결 론

오디오 그래픽 이퀄라이저의 대역간 이득조정에 의해서 오디오 신호가 왜곡되는 현상은 매우 자주 발생하는 현상으로써 전체 시스템에 나쁜 영향을 미칠 수 있다.

즉, 각각의 주파수밴드에서 이득 왜곡은 음질 및 선명도를 떨어지게 한다. 또한 잦은 이득변화는 주파수 밴드의 설정을 위한 계수 값에도 영향을 주어 전체적인 오디오 시스템 성능을 저하시키는 요인으로 작용된다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 인접 밴드의 이득을 자동으로 조절할 수 있는 AGC를 설계하여 이득 왜곡을 억압시킴으로써 음질 및 선명도를 향상시켰다. 이를 설계전문 CAD 툴 SPW를 이용 모의실험을 통하여 고찰한 결과 평탄특성 설계명세조건인 1[dB]보다 낮은 0.8[dB]의 결과를 얻었으며, 현재 시판되고 있는 SGE-THOMSON사의 3[dB] 보다 성능이 3배 이상 향상됨을 확인하였다.

단일 칩 형태로 설계한 5-밴드 DAGEQ(Digital Audio Graphic Equalizer)는 기존 카오디오나 TV 시스템에 장착이 용이함으로, 사용자의 개성에 맞는 음질을 제공할 수 있을 것이다. 따라서 본 논문에서 제안한 AGC를 이용한 DAGEO는 실시간 처리가 가능하며, 저가이고, 사용이 간편하므로 디지털 오디오 시스템에 적용할 수 있다.

※ 참고문헌

[1] 노일영, “디지털 오디오” 전자공학회지, Vol., 18, No., 6, pp., 390-395, 1991, 6

[2] Jonathan Scaler and Mark Jones, “A Run-Time Reconfigurable Plug-In for the Winamp MP3 Player”, Proc. 2000 IEEE Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines, pp., 319-320, 2000

[3] 김정석, “오디오용 디지털 이퀄라이저 개발에 관한 연구”, 청주대학교, 1995, 12

[4] Alberto L. Andres and Robert Y. Wong, “Design of Microcomputer-Based Graphic Equalizer”, Modeling Simulation. Proceeding of The 14th Annual Pittsburgh Conference, part 3 Vol., 1457, pp., 381-385, 1983

[5] John Lane, “Build 10-Band Graphic Equalizer for Stereo with DSP Technology”, Electronic Design, Vol., 36, No., 12 pp., 95-100 May, 1988

[6] Raymond E. Slyh and Randolph L. Moses, “Microphone Array Speech Enhancement In Overdetermined Signal Scenarios”, 1993 IEEE International Conference on Acoustic, Speech, and Signal Processing, Vol., 2, pp., 347-350, 1993

[7] 박종철, “고선명 텔레비전(HDTV) 개발” 전자공학회지, Vol., 24, No., 5, pp., 540-548, 1997, 5

[8] 강성훈, “디지털 오디오와 심리음향” 전자공학회지, Vol., 22, No., 5, pp., 518-528, 1995, 5

[9] Van Ginderdeuren. J. K. J, “A High-Quality Digital Audio Filter Set Designed By Silicon Compiler Cathedral-1”, IEEE Journal Solid-

State Circuit, Vol., SC-21, No., 6, pp., 1067-1075, Dec., 1986

[10] SGE - THOMSON MICROELECTRONICS “Five Band Digital Controlled Graphic Equalizer” Databook , 1998

[11] Nullsoft. “Nullsoft winamp online documentation” Nullsoft, 2000

김 태 형



1985 - 1991 원광대학교
전자공학과 졸업(공학사)
1991 - 1993 원광대학교
대학원 졸업 (공학석사)
1993 - 1996 원광대학교
대학원 박사수료
1995 - 현재 익산대학
전자공학과 부교수

김 환 용

1973년 2월 전북대학교
전자공학과 (공학사)
1978년 2월 전북대학교
대학원 전자공학과(공학석사)
1984년 2월 전북대학교
대학원 전자공학과(공학박사)
1979년 3월 - 현재 :
원광대학교 전기전자 및
정보공학부 교수
관심 분야 :
영상 신호처리 및 압축,
디지털 통신,
멀티미디어 통신