

특집논문-03-08-1-01

가변 Q-factor를 가지는 디지털 그래픽 이퀄라이저

이 용 희*, 김 인 철*

A Digital Graphic Equalizer with Variable Q-factor

Yong-Hee Lee* and Rin-Chul Kim*

요 약

본 논문에서는 대역 및 이득에 따라 Q-factor를 가변 시키는 필터를 채용한 가변 Q 디지털 그래픽 이퀄라이저 필터를 제안한다. 제안한 이퀄라이저는 가청 주파수 대역에서 대칭적인 주파수응답을 보인다. 그리고, 동일한 수준의 하드웨어 복잡도를 유지하면서도 기존의 방법에 비해 실제 응답이 원하는 응답에 더 근접하는 것을 보인다. 또한 중심주파수 선정에 따른 성능 변화에 대해서도 고찰한다

Abstract

This paper proposes a variable-Q digital graphic equalizer, in which each equalizer filter has different Q-factor depending on the band as well as the gain. The proposed equalizer demonstrates the symmetric frequency response over the audible frequency range. While maintaining the similar level of hardware complexity, the proposed equalizer yields an actual response that is quite close to the desired one, as compared with the conventional equalizers. Also, we investigate how the performance is affected by the center frequencies of the filters.

I. 서 론

오디오 신호는 주위 환경에 따라 발생하는 반향 등으로 인해 특정 주파수 성분이 감쇠되거나 증폭되어 원음이 왜곡될 수 있다. 이러한 오디오 신호의 왜곡을 보상하여 원음을 충실히 표현하기 위해 오디오 이퀄라이저를 사용한다^{[1]-[3]}. 현재, 이퀄라이저는 이러한 목적 이외에 다양한 효과를 얻기 위해서도 사용된다. 그래픽 이퀄라이저는 가장 널리 사용되는 오디오 이퀄라이저로, 가청 주파수 대역을 미리 정의된 몇 개의 브 대역으로 나누고, 각 대역별로 필터를 설치하여 이득을 증감시킨다. 각 대역별로 설치된 이퀄라이저 필터는

일반적으로 2차 IIR(infinite impulse response) 필터로 구현되며, 이 필터들은 중심주파수(center frequency), Q-factor, 그리고 이득(gain)이라는 세가지 요소들에 의해 결정된다^[2]. 여기서 Q-factor는 필터의 대역폭을 규정하는 요소로서, 이퀄라이저 설계 시 대역에 관계없이 동일한 Q-factor의 필터를 사용하는 상수 Q(constant-Q) 방법^{[2][3]}, 혹은 각 대역에 적합한 Q-factor를 적용하는 가변 Q(variable-Q) 방법^[4]으로 Q-factor를 결정한다.

한편, 최근 들어 대부분의 오디오 신호가 디지털화된 형태로 제공되고, class-D 증폭기 등 디지털 증폭기가 보급됨에 따라 디지털 오디오 증폭기에 대한 관심이 높아졌다^[5]. 이에 따라 디지털 필터를 사용하는 디지털 그래픽 이퀄라이저의 개발이 필요하게 되었다. 디지털 그래픽 이퀄라이저를 위한 디지털 필터는 기존의 아날로그 필터를 쌍선형 변환(bilinear transform)하여 얻을 수 있다. 그러나 이러한 경

* 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부
Dept. of Electrical & Computer Eng., University of Seoul

** 본 논문은 2002-3년 산자부 산업기술개발사업중 (주)디지털엔아날로그 위탁 연구의 일부분입니다.

우 고주파 대역에서 필터의 주파수응답이 비대칭적으로 나타나 원하지 않은 왜곡이 발생한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 최소화하는 한 방법으로 대역 및 각 대역의 이득에 따라 최적의 Q-factor를 가지는 필터를 적용하는 방법을 제안한다.

본 논문에서는 먼저 II절에서 일반적인 디지털 그래픽 이퀄라이저에 대하여 살펴보고, 제 III절에서는 제안하는 가변 Q-factor 디지털 필터를 이용한 이퀄라이저에 대하여 설명한다. 제 IV절에서는 여러 가지 환경에서 제안한 방법의 성능을 평가하고, 제 V절에서는 본 논문의 결론을 제시하겠다.

II. 그래픽 이퀄라이저

이퀄라이저에서는 일반적으로 다음과 같이 표현되는 2차 IIR 필터를 사용한다^[1].

$$H(s) = \frac{1 + \frac{G^+ 2\pi F_c}{Q} s^{-1} + (2\pi F_c)^2 s^{-2}}{1 + \frac{2\pi F_c}{G^- Q} s^{-1} + (2\pi F_c)^2 s^{-2}} \quad (1)$$

여기서, F_c 와 Q 는 각각 중심 주파수와 Q-factor를 나타내고, G^+ , G^- 는 이득을 나타낸다. 필터의 이득을 G 라고 하면, 이득이 양수일 때는 $G^- = 1$, $G^+ = G$ 이고 음수일 때는 $G^+ = 1$, $G^- = G$ 로 정의되는데, 이는 필터의 주파수 응답이 이득에 대하여 대칭이 되도록 하기 위함이다. 식 (1)로 표현된 아날로그 필터를 쌍선형 변환하면 다음과 같은 디지털 필터를 얻는데,

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} \quad (2)$$

이때, F_s 를 표본화율(sampling rate)이라고 하면, 필터 계수들은 다음과 같이 주어진다^[6].

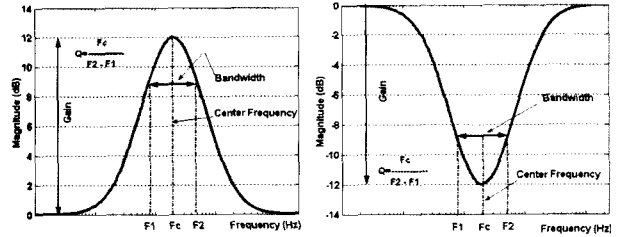
$$\begin{aligned} b_0 &= T^2 + \frac{G^+ 2\pi F_c T}{Q} + (2\pi F_c)^2 \\ b_1 &= -2T^2 + 2(2\pi F_c)^2 \\ b_2 &= T^2 - \frac{G^+ 2\pi F_c T}{Q} + (2\pi F_c)^2 \end{aligned}$$

$$a_0 = T^2 + \frac{2\pi F_c T}{Q G^-} + (2\pi F_c)^2 \quad (3)$$

$$a_1 = -2T^2 + 2(2\pi F_c)^2$$

$$a_2 = T^2 - \frac{2\pi F_c T}{Q G^-} + (2\pi F_c)^2$$

$$T = \frac{2\pi F_c}{\tan\left(\pi \frac{F_c}{F_s}\right) Q}$$



(a) 양의 이득

(b) 음의 이득

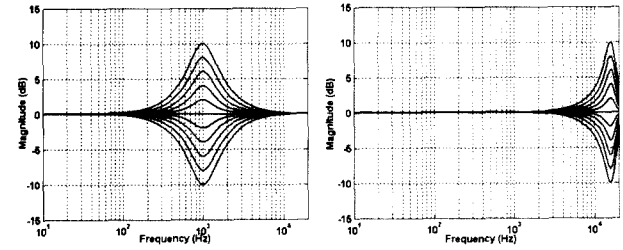
(c) $\pm 10\text{dB per } 2\text{dB } 1\text{KHz}$ (d) $\pm 10\text{dB per } 2\text{dB } 16\text{KHz}$

그림 1. 이퀄라이저 필터의 주파수응답

Fig. 1. Frequency responses of the equalizer filter

그림 1에서는 식 (2)로 표현되는 디지털 필터의 주파수 응답을 제시하였다. 그림 1(a)와 (b)에서는 각각 이득이 +12dB, -12dB일때의 주파수응답을 나타내었고, 이와 동시에 중심주파수, 대역폭, 그리고, Q-factor와의 관계를 도시하였다. 그림 1(c)에서는 중심주파수가 1KHz이고 $Q=1.4$ 일 때 이득을 -10dB에서 10dB까지 2dB씩 변화시켰을 때의 주파수응답이다. 그림 1(c)를 참조하면, 각 이득에서의 주파수 응답은 좌우대칭으로 나타나고, 0dB를 중심으로 상하대칭으로 나타남을 알 수 있다. 그러나 그림 1(d)에 제시한 중심주파수가 16KHz일 때의 주파수응답은 쌍선형 변환으로 인한 왜곡때문에 좌우 대칭적인 주파수응답을 보이지 못하는 것을 알 수 있다.

그래픽 이퀄라이저는 그림 2와 같이 k 개의 이퀄라이저 필터를 직렬 연결하여 구현한다. 이때, 오디오 신호에 원하는 주파수 선택 효과를 충실히 재현하기 위해서, k 개의 필

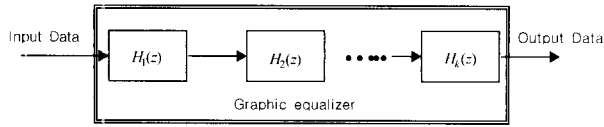


그림 2. 그래픽 이퀄라이저의 블록선도
Fig. 2. Block diagram of the graphic equalizer

터의 중심주파수들은 가청주파수 범위를 적절히 나눌 수 있도록 결정한다. 일반적으로 그래픽 이퀄라이저는 각 대역에 대한 이득을 잘 반영하면 좋지만, 대역간의 간섭현상으로 인해서 원하는 주파수응답과 상이한 결과를 얻게 된다. Azizi^[1]는 opposite 필터를 도입하여 이러한 대역간 간섭을 보상하려고 하였다. 그러나, opposite 필터를 이용한 이퀄라이저에서는 매 이퀄라이저 필터마다 2개의 opposite 필터를 설치해야 하기 때문에, 일반적인 방법에 비해 약 3배의 계산량 및 메모리를 요구한다는 단점이 있어 실제 적용하기는 어렵다.

III. 가변 Q 이퀄라이저

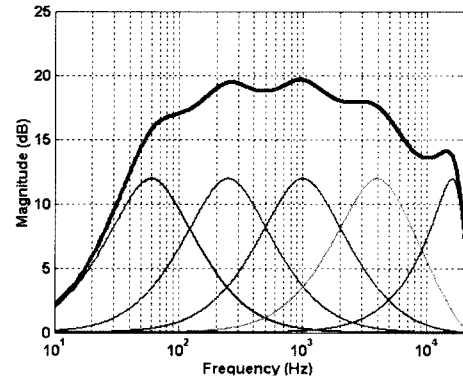
본 절에서는 아날로그 영역에서 처리할 때 우수한 성능을 보이는 것으로 알려진 상수 Q 이퀄라이저와 기존의 가변 Q 이퀄라이저에 대하여 살펴본다. 그런 다음, 본 논문에서 제안하는 가변 Q 이퀄라이저에 대해 구체적으로 설명한다.

1. 상수 Q 이퀄라이저

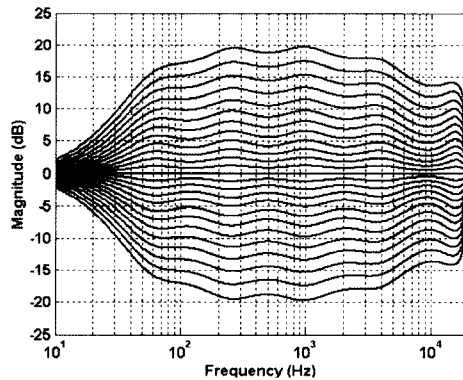
상수 Q 이퀄라이저는, 아날로그 영역에서 처리할 때 이득이 낮아짐에 따라 Q-factor가 작아져 이퀄라이저의 성능이 저하되는 것을 방지하기 위해 1980년대에 제안된 방식이다^[2]. 상수 Q 이퀄라이저에서는 모든 대역과 모든 이득에 대해 동일한 Q-factor를 가지는 필터를 사용하는데, 한 예로 표 1에서는 Texas Instruments(TI)사^[3]에서 제시한 5대역 이퀄라이저의 대역별 중심주파수와 Q-factor를 나타내었다. TI사에서 제시한 것은 아날로그 필터인데, 이를 식 (2)로 주어지는 디지털 필터로 변환하여 구현하였을 때의 주파수응답은 그림 3과 같다. 그림 3(a)는 각 대역의 이득을 12dB로 설정하여, 각 대역의 주파수응답 및 전체 주파수응답을 나타내고, (b)는 모든 대역의 이득을 동일하게 설정하되, 이득을 -12dB에서 12dB까지 1dB 단위로 변화시켰을 때의 주파수응답을 나타낸다.

그림 3의 주파수응답은 [3]에 제시한 응답과는 다소 차이

가 있음을 알 수 있다. 즉, 그림 3(a)의 주파수응답은 가청 주파수 대역에서 대칭적인 형태가 아니라 고주파 영역에서 이득이 감소된 형태로 나타났다. 이것은 그림 1(d)에 제시된 바와 같이 쌍선형 변환 결과 고주파 영역에서 필터의 주파수응답이 왜곡되고, 다른 주파수영역과는 달리 상위 대역이 없어 대역간 간섭이 상이하게 나타나기 때문이다. 그리고, 그림 3(b)에 제시한 바와 같이 이득이 클수록 주파수응답의 증감 정도가 커지는 것을 알 수 있다. 이는 모든 대역 및 각 대역의 이득에 따라 Q-factor를 동일하게 설정하기 때문에 디지털 필터를 얻는 과정에서 사용한 쌍선형 변환으로 인해 고주파 영역 필터의 대칭성이 손상되고, 이득이 커짐에 따라 인접한 대역 사이의 간섭이 커지기 때문이다.



(a) all 12dB



(b) ±12dB per 1dB

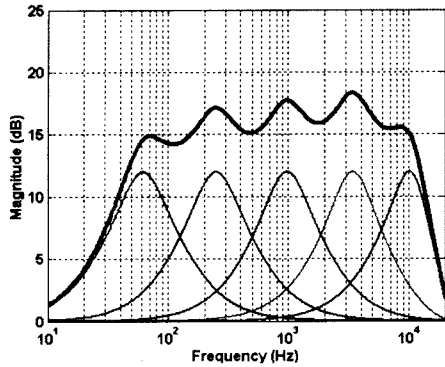
그림 3. 상수 Q 이퀄라이저의 주파수응답
Fig. 3. Frequency responses of the constant-Q equalizer

표 1. 상수 Q 이퀄라이저의 Q-factor 및 중심주파수
Table 1. Center frequencies and Q-factors for the constant-Q equalizer

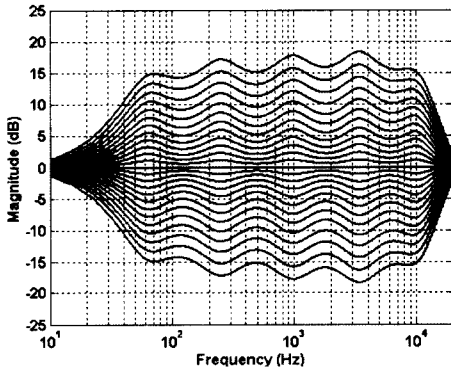
대역	1	2	3	4	5
Fc(Hz)	60	250	1000	4000	16000
Q	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85

표 2. 가변 Q 이퀄라이저의 Q-factor 및 중심주파수
Table 2. Center frequencies and Q-factors for the variable-Q equalizer

대역	1	2	3	4	5
Fc(Hz)	61.81	250.81	977.34	3429	10158
Q	1.15	1.21	1.20	1.25	1.15



(a) all 12dB



(b) ±12dB per 1dB

그림 4. 가변 Q 이퀄라이저의 주파수응답

Fig. 4. Frequency responses of the variable-Q equalizer

2. 가변 Q 이퀄라이저

표 2는 STMicroelectronics^[4]에 제시된 5대역 이퀄라이저의 대역별 중심주파수와 Q-factor를 나타낸다. 표 2는 대역별로 상이한 Q-factor를 갖는 가변 Q 이퀄라이저로 그림 4(a), (b)와 같은 주파수응답을 갖는다. 그림 4를 참조하면, 가변 Q 이퀄라이저는 상수 Q 이퀄라이저와 마찬가지로 모든 대역의 이득이 동일하게 12dB일 때 비대칭적인 주파수 응답을 보이며, 모든 대역의 이득을 동일하게 1dB씩 증가시킬 때 이득이 증가함에 따라 이득의 증감의 정도가 커짐을 알 수 있다. 그러나 그림 3의 상수 Q 이퀄라이저에 비해 개선된 성능을 가짐을 알 수 있다.

3. 제안한 기법

앞에서 살펴본 바와 같이 기존의 상수 Q 혹은 가변 Q 이퀄라이저는 가청 주파수 대역에서의 대칭성 문제와 이득이 증가함에 따라 이득의 증감 정도가 커진다는 단점이 있다.

본 논문에서는 기존 기법의 문제점이 Q-factor를 결정하는데 있다고 보고 각 대역뿐만 아니라 각 이득에 따라 Q-factor를 결정하는 기법을 제안한다. 기존의 기법에 비해 다양한 Q-factor가 적용되지만, 하드웨어 구현 시 계수를 저장한다고 할 때 대역 수에 따라 동일한 수의 계수가 요구되므로 제안한 기법의 하드웨어 복잡도는 기존의 기법과 동일하다.

제안한 기법에서 Q-factor는 모든 대역에 동일한 이득을 주었을 때 이득 리플이 가장 작고, 주파수응답이 대칭적으로 표현될 수 있도록 결정하였다. 여기서 이득 리플은 첫 번째 대역의 중심주파수에서 마지막 대역의 중심주파수까지의 주파수 영역에서 최대 이득과 최소 이득의 차이로 측정하였다.

k밴드 이퀄라이저를 구현한다고 할 때, Q-factor 결정 과정을 보다 상세히 설명하면 다음과 같다. 먼저, 1~k-2 대역에서는 어느 정도 대칭성이 유지되는 점을 고려하여, 주어진 이득에 대해 1~k-2 대역에서 최소의 이득 리플을 나타내는 Q-factor들을 얻는다. 그런 다음, 각 이득에서 k-1, k 대역의 Q-factor들을 조정하여, 전체 대역에서의 이득 리플을 최소로 하는 Q-factor로 결정하였다.

IV. 실험 및 결과

1. 실험 방법

본 논문에서는 48KHz로 표본화된 오디오 신호를 위한 10대역 이퀄라이저의 성능을 Matlab을 이용하여 평가하였다. 중심주파수에 따른 성능을 평가하기 위하여 표 3에 제

표 3. 3가지 중심주파수 설정 방법(단위:Hz)

Table 3. 3 different configurations of center frequencies(unit: Hz)

대역	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
설정 1	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
설정 2	28	56	112	224	447	893	1782	3556	7096	14158
설정 3	28	56	112	224	447	892	1774	3494	6643	11419

시한 바와 같은 세가지 중심주파수 설정을 고려하였다. 설정 1에서는 1KHz를 중심으로 2배 증가 혹은 1/2로 감소하는 주파수를 중심주파수로 선정하고, 설정 2에서는 가청 주파수 대역 즉, 20~20000Hz를 로그 스케일(log-scale)로 나타내어 10등분한 중심주파수를 사용하였다. 실제 구현시 설정 2의 중심주파수는 쌍선형 변환 후 고주파 부분이 wrapping 되어 나타나는데, 설정 3은 wrapping된 주파수를 그대로 사용한 것이고, 설정 2는 주파수 보정을 통해 원래 주파수를 복원시킨 것이다.

제안한 이퀄라이저에서 표 3에 제시한 세가지 중심주파수 설정에 대해 Q-factor는 0.5~2.5 범위에서 0.05 단위로 변화시키면서 3.3절에서 설명한 방법에 따라 결정하였다. 큰 실험에서는 각 이득에 대해 최소 이득 리플을 갖는 Q-factor를 표 4와 같이 얻었고, 이 Q-factor를 적용하여 제안한 이퀄라이저의 성능을 평가하였다. 한편, 상수 Q 이퀄라이저에서 Q-factor는 [1]에서 예를 든 1.4를 이용하였다.

2. 실험 결과

첫 번째 실험에서는 대역별 이득을 동일하게 설정하고, 이득을 -10dB부터 10dB까지 2dB 간격으로 변화시키면서 각 이퀄라이저의 성능을 측정하였다. 그림 5에서는 표 3에 제시한 3가지 중심주파수 설정에 대하여 Q=1.4인 상수 Q 이퀄라이저의 성능을 제시하였고, 그림 6에서는 표 4와 같이 이득 및 대역 별로 Q-factor를 가변적으로 적용하는 제안한 가변 Q 이퀄라이저의 성능을 제시하였다. 그림 5와 6을 비교하면, 제안한 이퀄라이저가 상수 Q 이퀄라이저에 비해 이득에 따라 주파수응답의 증감정도가 일정하게 나타나고, 주어진 이득과 실제 이득과의 차이가 적음을 알 수 있다. 예를 들면, 이득을 10dB로 설정하였을 때, 실제 이득을 살펴보면 그림 5(c)와 그림 6(c)에 보인 바와 같이 상수 Q 이퀄라이저는 약 21dB, 그리고 제안한 이퀄라이저는 약 16dB로 측정되어, 제안한 이퀄라이저가 설정한 이득에 보다 근접한 실제 이득을 가졌다. 또한, 그림 5와 그림 6을 참조

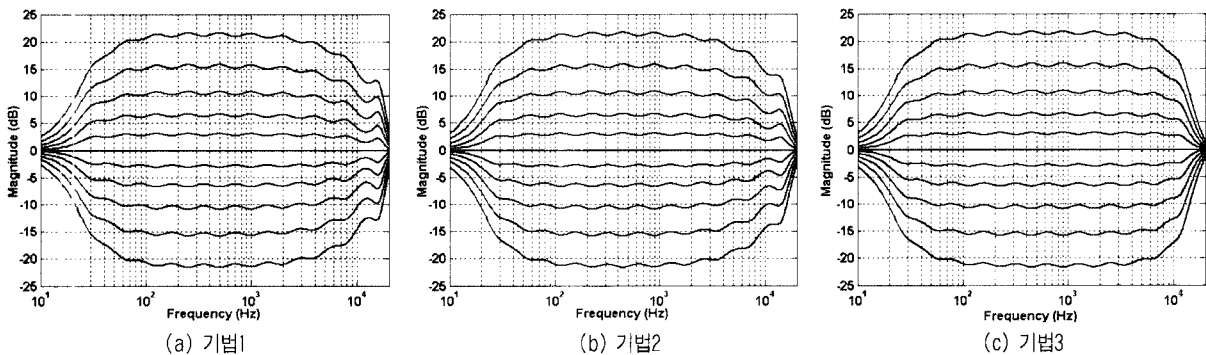


그림 5. 실험 1에 대한 상수 Q 이퀄라이저의 주파수응답
Fig. 5. Frequency responses of the constant-Q equalizer for the experiment 1

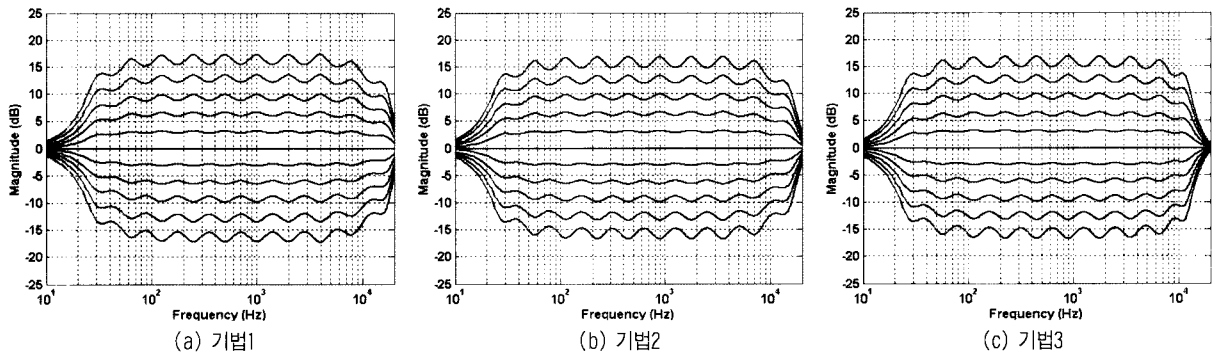


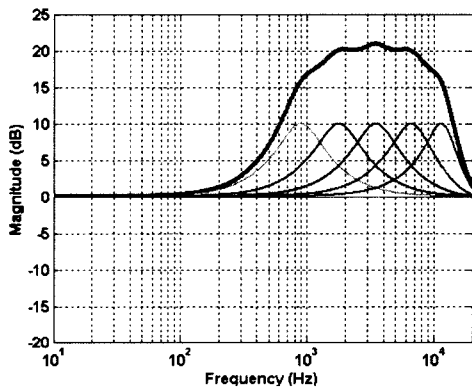
그림 6. 실험 1에 대한 제안한 가변 Q 이퀄라이저의 주파수응답
Fig. 6. Frequency responses of the proposed variable-Q equalizer for the experiment 1

표 4. 제안한 가변 Q 이퀄라이저 Q-factor
Table 4. Q-factors for the proposed variable-Q equalizer

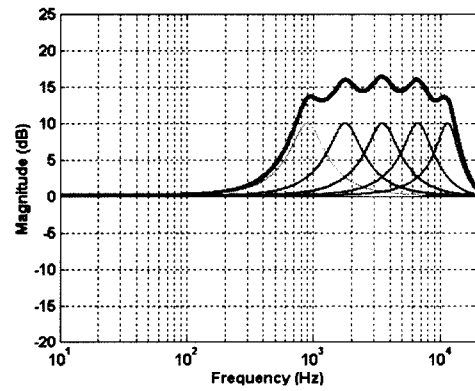
이득(dB) 대역	기법			기법1		기법2		기법3	
	1~8	9	10	1~8	9	10	1~10		
12	2.2	1.8	1.25	2.3	2	1.4	2.3		
11	2.1	1.75	1.15	2.15	1.85	1.35	2.15		
10	2	1.65	1.1	2.1	1.85	1.25	2.1		
9	1.95	1.6	1.05	1.95	1.7	1.2	1.95		
8	1.8	1.5	1	1.85	1.6	1.15	1.85		
7	1.7	1.4	0.95	1.75	1.5	1.1	1.75		
6	1.65	1.4	0.85	1.65	1.4	1.05	1.65		
5	1.6	1.4	0.8	1.6	1.25	0.95	1.6		
4	1.45	1.2	0.8	1.45	1.2	0.95	1.5		
3	1.4	1.15	0.75	1.4	1.2	0.9	1.4		
2	1.35	1.2	0.65	1.35	1.2	0.8	1.35		
1	1.25	1.05	0.65	1.3	1.15	0.75	1.3		

하면, 가청 주파수 대역에서 중심주파수를 균일하게 분포시킨 설정 3이 설정 1과 2에 비해 주파수응답의 대칭성 측면에서 우수하나, 고주파 성분이 손상되는 특성이 있어, 세가지 설정 방법은 서로 trade-off 관계에 있다. 그러나, 세가지 설정 방법은 유사한 성능을 보이므로, 본 논문에서는 편의상 설정 3을 중심으로 성능을 비교하겠다.

두 번째로, 1~5 대역은 0dB, 6~10 대역은 10dB로 설정하고 설정 3과 같이 중심주파수를 설정하였을때, 상수 Q와 제안한 가변 Q 이퀄라이저의 성능을 측정하고, 그 결과를 그림 7에 제시하였다. 이때 그림 7(a)에 보인 상수 Q 이퀄라이저에서는 인접한 대역간 간섭으로 인해 실제 이득이 크게 나타나는 반면 그림 7(b)에 보인 제안한 이퀄라이저에서는 실제 이득이 설정 이득에 보다 더 근접해 있음을 알 수 있다.

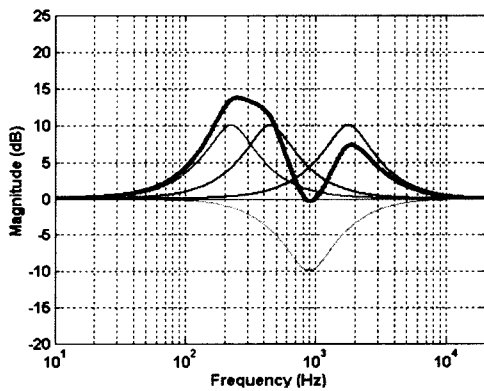


(a) 상수 Q(Q=1.4)

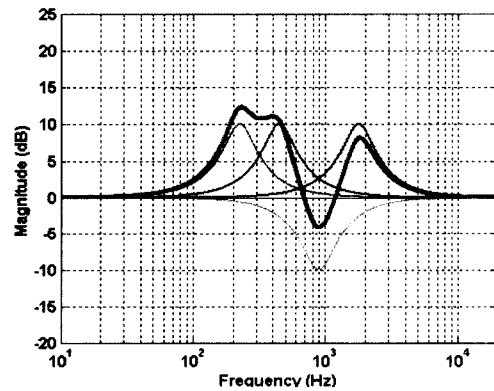


(b) 제안한 기법 3

그림 7. 실험 2에 대한 주파수응답
Fig. 7. Frequency responses for the experiment 2



(a) 상수 Q(Q=1.4)



(b) 제안한 기법 3

그림 8. 실험 3에 대한 주파수응답
Fig. 8. Frequency responses for the experiment 3

세 번째로, 그림 8에서는 4, 5, 7 대역은 10dB, 6 대역은 -10dB, 그리고 나머지 대역은 0dB로 이득을 설정하였을 때 두 이퀄라이저의 주파수응답을 제시하였다. 그림 8(a)에 제시한 바와 같이 상수 Q 이퀄라이저는 가운데 -10dB 일 때의 주파수응답이 약 0dB 정도로 나타나지만, 제안한 이퀄라이저에서는 그림 8(b)에 보인 바와 같이 약 -5dB로 측정되어 얻고자하는 주파수응답에 보다 더 근접하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 10dB가 연속되는 곳에서의 주파수응답도 제안한 방법이 상수 Q 이퀄라이저에 비해 얻고자하는 주파수응답에 근접한 결과를 나타냄을 확인할 수 있다.

표 5. 이퀄라이저 설정 예

Table 5. Examples of the equalizer settings

대역	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
실험1	-10~10dB per 2dB									
실험2	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10
실험3	0	0	0	10	10	-10	10	0	0	0

본 실험에서는 표 5에 보인 세가지 이퀄라이저 설정 예에 대해서 제안한 방법과 상수 Q 이퀄라이저의 성능을 평가하였다. 그 결과 Q-factor를 대역 및 각 대역의 이득에 따라 설정하는 제안한 방법은 단순히 일정한 값으로 고정된 경우보다 월등하게 우수한 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 디지털 그래픽 이퀄라이저에 대하여 검토하고, 대역 및 이득에 따라 Q-factor를 가변시키는 디지털 그래픽 이퀄라이저를 제안하였다. 제안한 방법은 고정된 Q-factor를 사용하거나, 대역에 따라 Q-factor를 결정하는 기존의 방법들에 비해 가청 주파수 대역에서 대칭성을 유지하기 때문에 이득 리플 측면에서 기존의 이퀄라이저에 비해 우수한 특성을 보임을 알 수 있었다. 또한, 중심주파수 설정 방법에 따라 이퀄라이저의 특성이 달라지고, 각 설정 방법은 상호 교환 관계가 있음을 보였다. 그리고, 제안한 기법은 하드웨어 복잡도 측면에서 기존의 기법들과 동등한 수준임을 보였다.

참고 문헌

- [1] S.A. Azizi, "A new concept of interference compensation for parametric and graphic equalizer banks," 111th AES Convention, Preprint 5482, Sep, 2001.
- [2] D. Bohn, "Constant-Q graphic equalizers," J. Audio Eng. Soc., Vol. 34, No. 9, pp. 611~626, Sep, 1986.
- [3] B. Carter, "An audio circuit collection Part3," Analog application Journal, Texas Instruments, Jul, 2001.
- [4] "Five bands digital controlled graphic equalizer," STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES, data sheet, Nov. 1999.
- [5] J.M. Goldberg and M.B. Sandler, "Noise shaping and pulse-width modulation for an all-digital audio power amplifier," J. Audio Eng. Soc., Vol. 39, No. 6, pp. 441~448, Aug, 1991.
- [6] Release Notes for Release 13, MathWorks.

저 자 소 개



이 용 회

- 2002년 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 공학사
- 2003년~현재 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 석사과정 재학중
- 주관심분야 : 디지털 신호처리, 음향 및 신호처리

저 자 소 개

**김 인 철**

- 1985년 : 서울대학교 제어계측공학과 공학사
- 1987년 : 서울대학교 제어계측공학과 공학석사
- 1992년 : 서울대학교 제어계측공학과 공학박사
- 1992년 8월~1994년 3월 : 대우전자 영상연구소
- 1994년 3월~1999년 8월 : 한성대학교 정보전산학부 조교수
- 1999년 9월~현재 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 부교수
- 주관심분야 : 오디오 및 비디오 신호처리, 멀티미디어통신, 실시간 신호처리, ATR등