# 전기 음향

## 전기의 역사

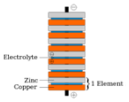


## 전지의 발명

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Gerolamo Umberto Volta (18 February 1745 – 5 March 1827)

Volt










## 전기와 자기

**André-Marie Ampère**
(20 January 1775 – 10 June 1836

**Hans Christian Ørsted**
(14 August 1777 – 9 March 1851)





전기와 자기와의 상관관계

➔ 발전기, 모터

Ampere

Oerted



## 모터

**Michael Faraday**
(22 September 1791 – 25 August 1867)











## Ohm의 법칙

**Georg Simon Ohm**
(16 March 1789 – 6 July 1854)

Ω



오옴의 법칙

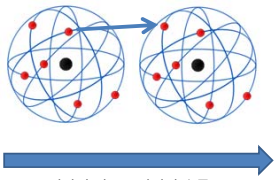
$$V = I R$$

# 전압, 전류, 저항, 전력



## 전기 (Electricity)

- 전기
  - 물질 내부의 전자의 움직임에서 생기는 에너지 흐름

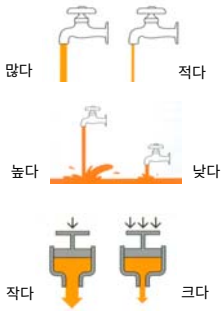


전자의 이동 = 전기의 흐름



## 전류, 전압, 저항

- 전류 *Current*
  - 전기의 양
  - 단위는 A (Ampere)
- 전압(전위차) *Voltage*
  - 두 지점간의 전기의 세기의 차이
  - 단위는 V (Volt)
- 저항 *Resistance*
  - 전기가 흐르기 힘들게 하는 정도
  - 단위는 Ω(Ohm)





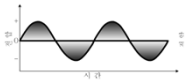

## 도체

- 도체와 절연체
  - 도체 : 저항이 작아서 전기가 잘 통하는 물질
  - 부도체, 절연체 : 저항이 커서 전기가 통하지 않는 물질
  - 반도체 : 전기의 흐름을 조절할 수 있는 물질

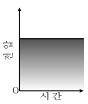


## 교류와 직류

- 교류(AC, Alternating Current)
  - 전압과 전류의 극성(+,-)이 주기적으로 바뀌는 전기
  - 주파수(frequency) : 1초 동안 파형이 반복되는 횟수 (단위 Hz)
  - (예) 가정용 전원
    - 대한민국 : 220V, 60Hz
    - 전압과 주파수는 나라마다 다름



- 직류(DC, Direct Current)
  - 전압과 전류가 일정한 전기
  - (예)건전지





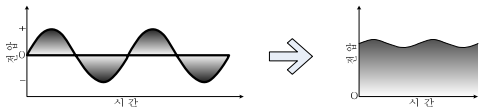

## 어댑터 사양 확인

- 입력 전압, 전류, 주파수
- 출력 전압, 전류
- 출력 커넥터 극성



## 맥류

- 맥류, 리플(ripple)
  - 교류를 직류로 변환하는 경우, 완전히 직류로 변환되지 못하고 약간의 교류 성분이 남아있는 파형



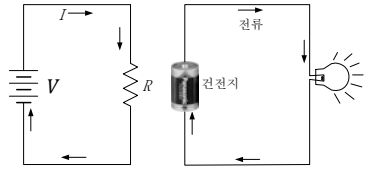



## Ohm's Law

- 전압, 전류, 저항 사이의 관계식

$$V = IR$$

$$I = \frac{V}{R}$$




V=5v, R=220Ω 일때 회로에 흐르는 전류 I는?



## 회로 기초



## Ohm's Law

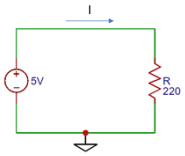
- 회로에서 전압(V), 전류(I), 저항(R) 사이의 관계식

$$V = IR,\ I = \frac{V}{R}$$

(예) 오른쪽 회로에 흐르는 전류 $I$는 몇 A인가?

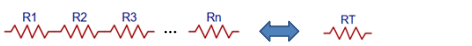
$$I = \frac{V}{R}$$

$$= \frac{5}{220} = .022727 \ldots A \approx 22.7\ mA$$






## 저항의 직렬 연결

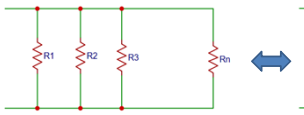



$$RT = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n$$

- (예) 저항 3개를 직렬로 연결하였을 때 합성 저항 RT의 값은 얼마인가? 단, $R_1$=100 Ω, $R_2$=200 Ω, $R_3$=500 Ω 이다.
- (답) RT = R1 + R2 + R3=100+200+500=800 Ω



## 저항의 병렬 연결




$$\frac{1}{RT} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_4}$$

- (예) 저항 3개를 병렬로 연결하였을 때 합성 저항 RT의 값은 얼마인가? 단, $R_1$=100 Ω, $R_2$=200 Ω, $R_3$=500 Ω 이다.
- (답) $\frac{1}{RT} = \frac{1}{100} + \frac{1}{200} + \frac{1}{500} = \frac{10+5+2}{1000} = \frac{17}{1000}$ 이므로 $RT = \frac{1000}{17} \approx 58.8\ \Omega$

## 합성 저항 계산

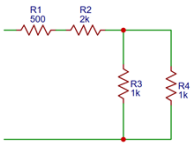
1. 병렬 연결을 1개의 합성 저항으로 환산

$$\frac{1}{RT}=\frac{1}{1000}+\frac{1}{1000}=\frac{2}{1000}=\frac{1}{500}$$

$$RT_1 = 500\ \Omega$$

2. 직렬 연결 환산

$$RT = 500 + 2000 + 500 = 3000\ \Omega$$
$$= 3k\ \Omega$$






## 전력 (power)

- 전력(power)
  - 단위 시간당 전기의 에너지
  - 단위는 Watt [W]
- [참고] 증기기관과 Watt
  - 증기기관은 인간, 자연 이외에 일을 한 최초의 기계
  - 기계의 힘(power)을 수치로 객관화 할 필요성
  - 힘을 나타내는 와트(Watt) 단위는 이 사람의 이름을 딴 것



James Watt
(1736-1819)



## 전력을 구하는 식

- 전력(power) 구하는 식

$$P = VI = \frac{V^2}{R} = I^2R$$

- 전력은 "전압 x 전류" 이므로 큰 전력을 얻기 위해서는 전압과 전류가 동시에 커야 한다.



## 기기의 소비 전력

- 기기의 소비 전력
  - 기기가 1초 동안 사용하는 전력 (W)
- 소비전력량
  - 기기가 어떤 시간 동안 사용한 전력
  - (예) 1시간 사용 시 소비전력량 = 소비전력 x 3600초 (단위 Wh)
- (문제) 220V, 소비전력 1100W 기기에 필요한 전류는 몇 A인가 ?

$$1100 = 220 \times I$$
$$I = \frac{1100}{220} = 5A$$

$$P=VI=\frac{V^2}{R}=I^2R$$



## 몇 개나 연결 가능?






## 정전기 (Electrostatics)

정전기는 전압은 매우 높지만 전력은 낮다. 이유는 ?

| Means of static generation<br>www.interfacebus.com | Electrostatic voltages | |
|---|---|---|
| | 10 to 20 percent relative humidity | 65 to 90 percent relative humidity |
| Walking across carpet | 35,000 | 1,500 |
| Walking over vinyl floor | 12,000 | 250 |
| Worker at bench | 6,000 | 100 |
| Vinyl envelopes for work instructions | 7,000 | 600 |
| Common poly bag picked up from bench | 20,000 | 1,200 |
| Work chair padded with polyurethane foam | 18,000 | 1,500 |

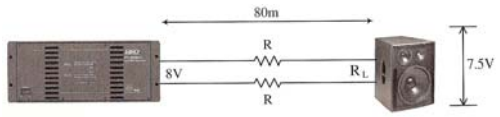
## 케이블의 손실

[예제 12.1] 그림 12.14와 같은 시스템에서 케이블 손실은 얼마인가? 여기에서 스피커의 임피던스는 8Ω 이고, 앰프에서 8V가 출력된다고 가정하고, 케이블 AWG #10 300m의 저항은 1Ω 이다.

☞ 케이블 손실이 전혀 없는 경우 부하에 걸리는 전력은 다음과 같이 8W(= $E^2/R_L = 8^2/8$)가 된다.
여기에서의 케이블의 길이가 80m이면, 저항은 0.26Ω(=80/300Ω)이 되고, 왕복 케이블의 저항은 0.52Ω이 된다.
따라서 8Ω 스피커 양단에 걸리는 전압은 7.5V가 된다.

$$E_L = \frac{8}{8+0.52} \times 8 = 7.5\,\mathrm{V}$$

그리고 부하의 전력은 7W(= $7.5^2/8$)가 된다. 따라서 전력 손실은 -0.58dB{=10log(7/8)}가 된다.





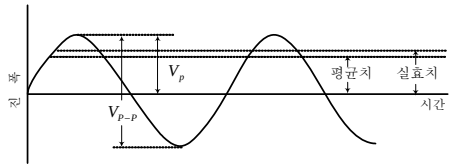

[예제 12.2] AWG #14선(저항 300m 당 2Ω)의 50m 선에 의한 8Ω 부하에서의 전력 손실은 얼마인가?

☞ R=(50/300)×2 =0.33Ω, E=8/{8+(2×0.33)}=7.4V
부하 전력= $7.4^2/8$ = 6.8W, loss=10log(6.8/8) = -0.7dB



## 교류 전류와 전압의 표시법

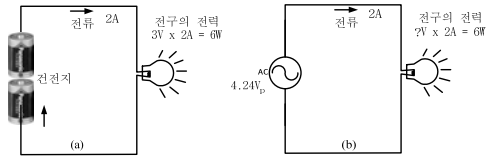
- 교류 진폭의 표시법
  - 최대값 ($V_p$)
  - peak to peak ($V_{p-p}$)
  - 평균값 ($V_{avg}$)
  - 실효값 ($V_{rms}$)






## 실효값 (RMS값)

- 실효값(rms; root mean square)
  - AC 전압을 동일한 에너지를 갖는 DC 전압으로 환산한 값
  - 일반적인 교류 전압의 표기법






## 실효값 (RMS값)

- 실효값(rms; root mean square)
  - 계산방법 : 제곱(Square) → 평균(Mean) → 루트(Root)

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_T (V_p \sin\omega t)^2 dt}$$

- Sin파의 경우 (교류 전기)

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \cong 0.707\, V_p$$

$$V_p = \sqrt{2}\, V_{rms} \cong 1.414\, V_{rms}$$

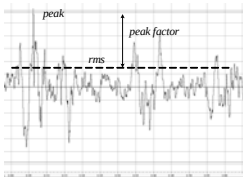


## 문제

(문제 1) 220V 가정용 전기의 피크값은?

(문제 2) 피크값이 10V인 교류전기의 RMS값은?

## 피크 팩터(Peak Factor), Crest Factor




$$F_c = \frac{V_{peak}}{V_{rms}}$$

| 신호 | peak factor |
|---|---|
| 구형파 | 0 dB |
| MLS신호, 사인파 | 3 dB |
| 핑크 노이즈 | 10~12 dB (AES스피커 테스트 신호는 6dB) |
| 음성 | 12 dB |
| 클래식 음악 | 25 dB |
| Rock 음악 | 8~10 dB |



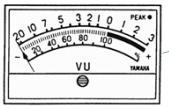
## 미터

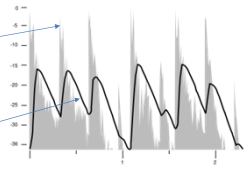
- VU(Volume Unit) Meter
  - 신호 파형의 RMS값 지시
- PPM(Peak Program Meter)
  - 신호 파형의 최대값 지시

Peak Meter



VU Meter



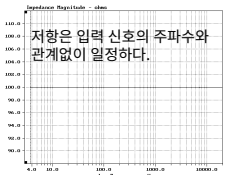


## 임피던스와 저항

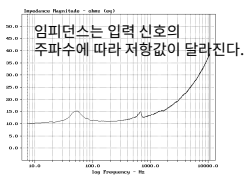


## 임피던스(Impedance)

- impedance
  - 시스템이나 소자의 저항이 주파수에 따라서 달라지는 경우 이를 임피던스(Impedance)라고 부른다.
  - 기호는 Z로 표시하고, 단위는 저항과 동일하게 오옴( )을 사용한다.




Frequency




Frequency



## Resistor (저항)



$$V = IR$$



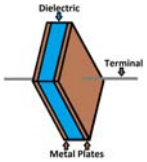


## Capacitor

- 전하를 저장하는 소자
- 임피던스 특성
  - 임피던스는 주파수에 반비례한다.
  - 주파수가 0인 직류인 경우 임피던스는 무한대가 되므로 직류 전기는 흐르지 못한다
  - 공식

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

C : capacitor의 용량 (단위 : F (Farad))



## Inductor, Coil

- 전기에너지를 자기 에너지의 형태로 저장하는 소자
- 임피던스 특성
  - 임피던스는 주파수에 비례한다.
  - 주파수가 0인 직류에 대해서는 임피던스가 0이 된다.

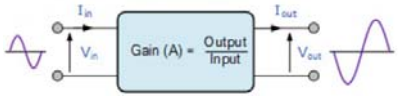
$$X_L = 2\pi f L$$

L : Inductance (단위 Henry [H])



## 기기의 입력 임피던스, 출력 임피던스

- 음향 기기의 입력단에서 측정한 임피던스와 출력단에서 측정한 임피던스는 다른 값을 갖는다.
  - 입력 임피던스 : 입력단에서 측정한 임피던스
  - 출력 임피던스 : 출력단에서 측정한 임피던스




$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} \qquad Z_{out} = \frac{V_{out}}{I_{out}}$$



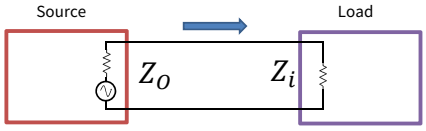
## 임피던스 매칭

- 기기 연결 시 Souce 장비의 출력 임피던스와 Load 장비의 입력 임피던스가 서로 적절한 값을 갖도록 하는 것
- 임피던스 매칭이 되지 않으면 전송 손실, 노이즈 증가 등이 일어날 수 있다.



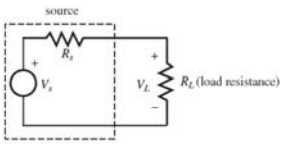
## 오디오 장비의 임피던스 매칭 방법

1. $Z_O = Z_i$ → 최대 전력 전송
2. $Z_O \ll Z_i$ → 최대 전압 전송 (현재 오디오 장비에서 사용)
3. $Z_O > Z_i$ → 사용하지 않음






## 이유




$$V_L = \frac{R_L}{R_S + R_L} V_S$$

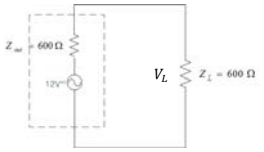
$$P = \frac{R_L}{(R_S + R_L)^2} V_S^2$$

1. $R_S \ll R_L$ 일 때 $V_L$이 최대값이 됨. ➔ 전압 최대 ➔ 전압 전송
2. $R_S = R_L$ 일 때 $P$가 최대값이 됨. ➔ 전력 최대 ➔ 전력 전송



## 예

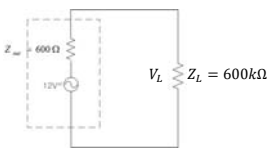
전력전송




$V_L = 6\,V$ →6dB 손실

$P = 60mW$

전압전송



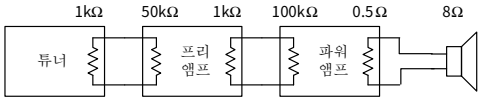

$V = 11.99\,V$ →0.01dB 손실

$P = 0.24mW$

음향기기에서는 전압전송을 사용

## 임피던스 매칭

- 음향 장비의 출력 임피던스는 낮게(200Ω이하), 입력 임피던스는 높게(10kΩ이상) 설계



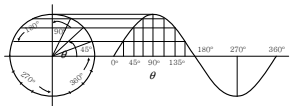


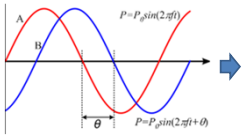

## 위상과 군지연



## 위상 (phase)

- 시간축상에서의 위치관계를 의미. 각도로 표시



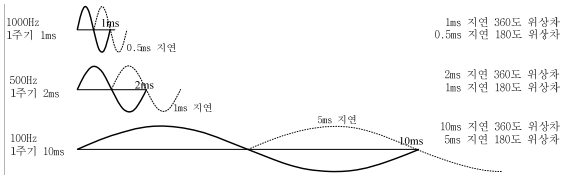




B는 A보다 위상이 θ만큼 늦다.
A는 B보다 위상이 θ만큼 빠르다.



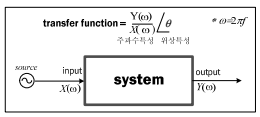
## 위상과 시간 지연

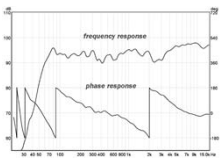
- 위상차는 두 신호 사이의 시간 지연을 의미함

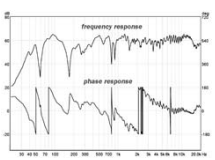





## 시스템의 위상 특성



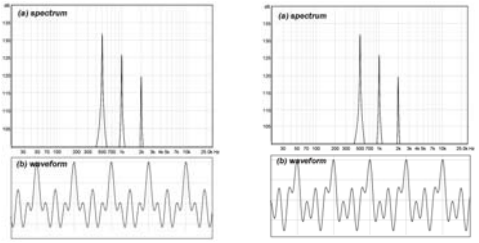

좋은 위상 특성
➔ 기울기 일정
➔ 지연 시간 일정

좋지 않은 위상 특성
➔ 주파수 마다 기울기 다름
➔ 지연 시간이 다름

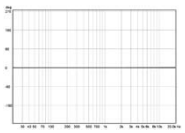


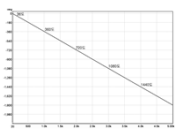
## 위상 특성의 중요성

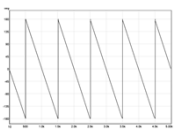
- 동일한 진폭 특성을 갖지만 위상 특성이 다른 3개의 신호의 합성



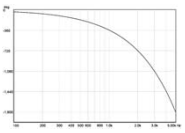
## 위상 그래프 표시

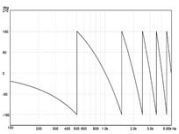

위상 = 0


선형 스케일, unwrapped


선형 스케일, wrapped

그래프의 기울기가 해당 주파수의 시간 지연을 의미

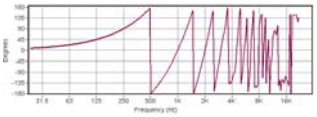

로그 스케일, unwrapped

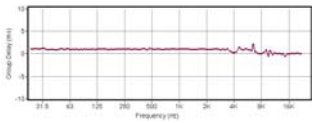

로그 스케일, wrapped



## 군지연 (Group Delay)

- 위상 특성을 시간 지연으로 환산한 값


1ms 지연시 위상 특성
= 선형 위상


1ms 지연시 군지연 특성

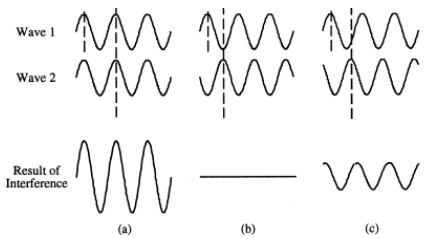


## 주파수가 같은 두 사인파 신호의 합과 위상차

http://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/superposition/superposition.html

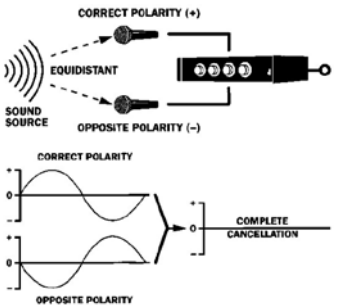
| 위상(도) | 합[dB] | 위상(도) | 합[dB] |
|---|---|---|---|
| 0 | 6 | 100 | 2.18 |
| 10 | 5.99 | 110 | 1.19 |
| 20 | 5.89 | 120 | 0 |
| 30 | 5.72 | 130 | -1.46 |
| 40 | 5.48 | 140 | -3.3 |
| 50 | 5.17 | 150 | -5.72 |
| 60 | 4.77 | 160 | -9.19 |
| 70 | 4.29 | 170 | -15.17 |
| 80 | 3.71 | 180 | -∞ |
| 90 | 3.01 | | |








## 마이크의 역위상 연결

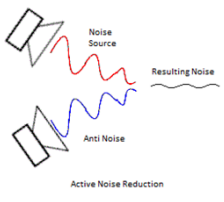




www. sti.or.kr

## 역위상특성을 이용한 능동소음제어

- Active Noise Control - 능동소음제어



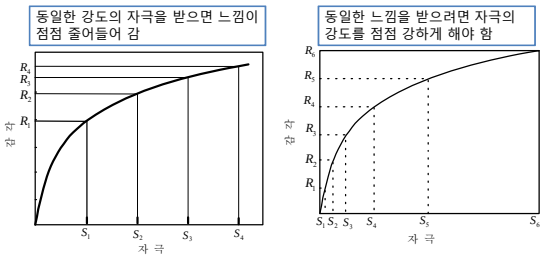



## 데시벨



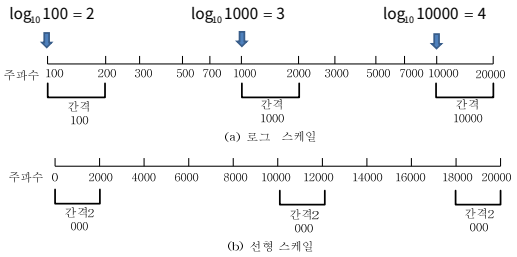
## Weber의 법칙

- 인간이 자극의 변화를 느끼기 위해서는 처음 자극에 대해 일정 비율 이상으로 자극을 받아야 된다는 법칙






## 로그 스케일과 선형 스케일




로그 스케일은 로그를 취했을 때 눈금의 간격이 같다.



## 데시벨 (Decibel)

- 음의 세기를 직접 표시하면 아주 넓은 범위의 숫자가 된다.
  - (예) 0.00002 ~ 20
- 데시벨로 표시하면 이러한 숫자를 0~120 범위의 친숙한 값으로 바꿀 수 있다.
- 또한 변화량을 배수로 느끼는 인간의 감각과도 일치하게 된다.



## 데시벨 표시

- 파워를 표시하는 경우 10을 곱하고, 전류나 전압을 비교할 때는 20을 곱한다.

$$dB = 10\log\frac{P}{P_0} \qquad dB = 20\log\frac{V}{V_0}$$



## 절대 데시벨

- 비교하는 기준값이 고정되어 있는 경우

| 기호 | 기준값 | 비고 |
|---|---|---|
| dBm | 1mW | 부하 600Ω. 소출력 레벨을 표기할 때 사용 |
| dBW | 1W | 파워 앰프의 출력레벨 표기시 사용 |
| dBV | 1V | 가정용 오디오 표준 레벨, –10dBV (0.316V) |
| dBu | 0.775V | PA 음향기기의 표준 레벨, +4dBu (1.23V) |

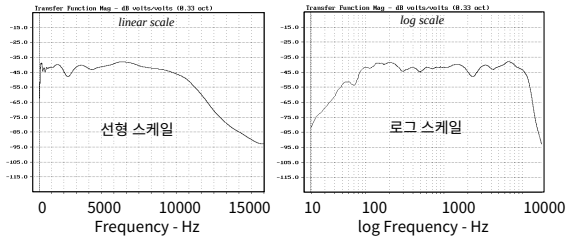
dBFS : 디지털 신호에서 최대값을 0으로 한 상대적인 값

## 주파수 특성, 옥타브



## 시스템의 주파수 특성

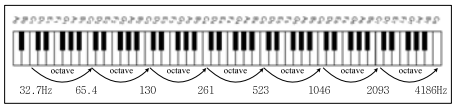
- 시스템의 주파수 별 증폭도를 표시한 그래프 또는 식
- 동일한 그래프라도 스케일에 따라 달라 보인다.





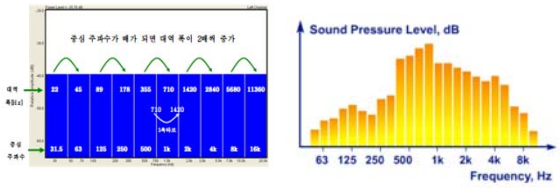

## 인간의 청각과 옥타브 대역

- 인간의 음 높이를 느끼는 청각 특성은 옥타브 특성과 일치한다.
- 음향에서는 주파수 특성을 표시할 때 주파수를 옥타브 간격으로 표시하는 경우가 많다.



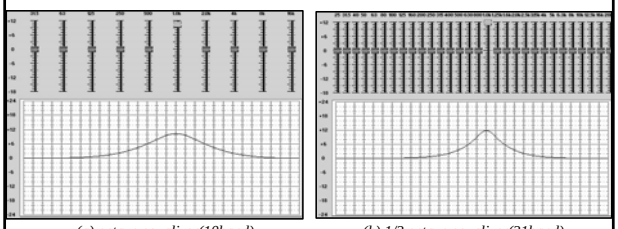



## 옥타브, 1/3옥타브 그래프





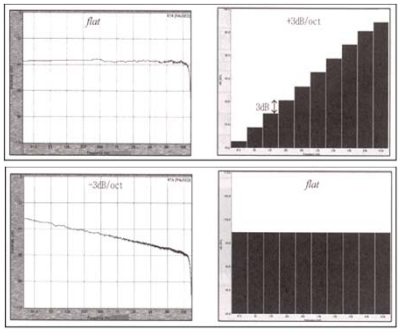

## 그래픽 이퀄라이저의 슬라이드 간격



*(a) octave equalizer(10band)* *(b) 1/3 octave equalizer(31band)*



## White Noise 와 Pink Noise



# 필터



## 전기전자 분야에서 필터란?

- 입력 신호의 주파수 성분을 변형시키는 시스템
- 입력 신호에서 원하지 않는 주파수 성분을 걸러내는 시스템
- 효과적용, 신호 추출, 잡음 제거 등에 사용



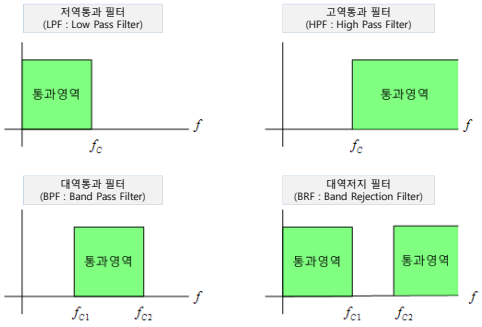



## 필터 용도

- 용도
  - 특정 주파수 대역의 불필요한 신호 제거
  - 하울링 제거
  - 험 제거
  - 스펙트럼 분석
  - 스피커 컨트롤러
  - 이퀄라이저



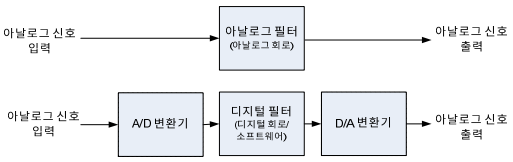
## 필터의 분류






## 디지털 필터와 아날로그 필터

- 디지털 필터
  - 디지털 소자를 사용해서 만든 필터
  - 디지털 하드웨어와 소프트웨어(프로그램)로 구성된다.
- 아날로그 필터
  - 아날로그 소자를 사용해서 만든 필터
  - 순수하게 아날로그 회로로만 구성된다.



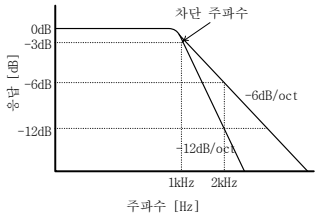



## 디지털 필터의 장단점

- 장점
  - 선형위상(linear phase)특성과 같이 아날로그 필터에서 구현하기 힘든 특성을 손쉽게 구현할 수 있다.
  - 필터의 특성을 주변 상황에 맞춰 자동으로 조절이 가능하다.(적응 필터)
  - 하나의 필터로 다양한 필터의 작용을 수행할 수 있다.
  - 높은 정밀도의 필터 구현이 가능하다.
  - 아주 낮은 주파수 대역의 필터링이 가능하다.
  - 온도, 갱년 변화 등 환경 변화에 의한 특성의 변동이 없다.
  - VLSI 기술의 발달로 소형, 저전력, 저가 구현이 가능하다.
- 단점
  - 샘플링 주파수에 따라서 처리 가능한 대역폭이 제한된다.
  - A/D 변환 시에 생기는 잡음, 유한어장으로 인한 잡음 등 디지털 신호처리 고유의 잡음이 있다.

## Cutoff frequency (차단주파수)

- 차단주파수
  - 통과와 차단의 경계 주파수
  - 일반적으로 통과 대역보다 파워가 3dB 감쇄되는 주파수가 기준
- 대역 구분
  - Pass band (통과대역)
  - Stop band (정지대역, 저지대역)





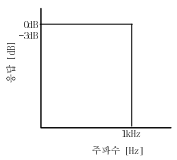

## -3dB를 기준으로 삼는 이유

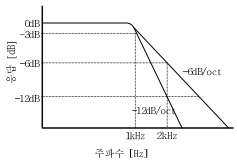
- 차단 주파수는 신호의 파워가 50%로 감소하는 주파수를 기준으로 함
- 레벨의 최고점을 1로 했을 때, 파워가 1/2이 되려면 레벨은 $\frac{1}{\sqrt{2}} \cong 0.707$ 감쇄되어야 함
- 0.707을 dB로 환산하면 -3dB



## 필터의 기울기

- 수직으로 차단하는 필터는 만들 수 없다.
- 기울기가 급경사가 될 수록 구조가 복잡해진다.



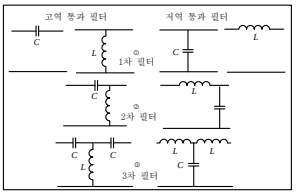




**제작 불가능**



## 필터의 차수(Order)와 기울기

- 필터의 차수가 높아질 수록 기울기를 급하게 만들 수 있다.
- 차수를 높이기 위해서는
  - 아날로그 필터 : 소자의 개수가 많아져서 회로가 복잡해진다.
  - 디지털 필터 : 프로그램 길이가 늘어나고, 실행 시간이 길어진다.





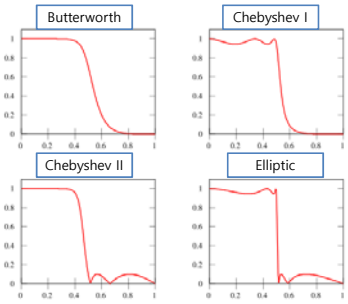

## 필터의 분류

- 구현 방법과 주파수 특성에 따라 분류

| 아날로그 필터 | 디지털 필터 |
|---|---|
| • Butterworth filter<br>• Chebychev I filter<br>• Chebychev II filter<br>• Elliptic filter<br>• Bessel filter<br>• L-R filter | • FIR filter<br>• IIR filter |



## 아날로그 필터의 종류와 특징




- Butterworth
  - No ripple
  - 느린 cutoff
- Chebyshev I
  - Passband ripple
  - 보통 cutoff
- Chebyshev II
  - Stopband ripple
  - 보통 cutoff
- Elliptic
  - Passband와 stopband ripple
  - 가장 빠른 cutoff

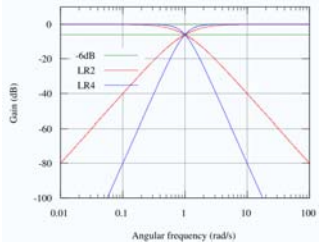
## 디지털 필터의 2 종류 : FIR, IIR

| | FIR 필터 | IIR 필터 |
|---|---|---|
| 의미 | Finite Impulse Response | Infinite Impulse Response |
| 임펄스 응답 | 유한한 임펄스 응답 특성 | 무한한 임펄스 응답 특성 |
| 피드백 구조 | 피드백이 없는 구조 | 피드백이 있는 구조 |
| 안정성 | 언제나 안정 | 불안정 가능성 있음 |
| 선형위상특성 | 쉽게 구현 가능 | 구현 복잡함 |
| 계산량 | 많다 | 적다 |
| 설계방법 | FIR 고유의 설계법 | 동일 스펙의 아날로그 필터를 먼저 설계한 후 디지털로 변환 |



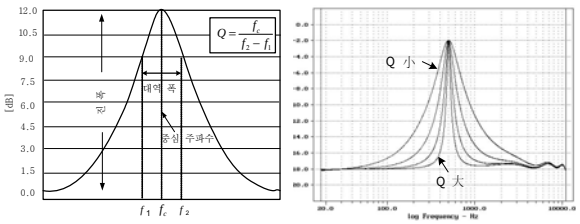
## Linkwitz-Riley filter

- 네트워트의 크로스오버에서 peak가 생기지 않도록 고안된 필터 (크로스오버에서 -6dB 이득)
- 오디오 네트워크에서 사용





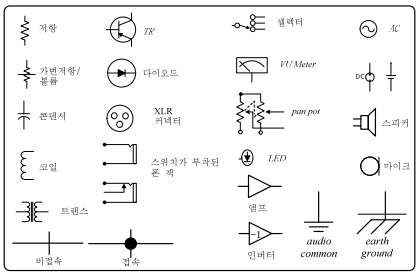

## Band Pass Filter




$$f_c = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$$



## 회로기호






## 필터, 앰프, 계통도

