2

ÁUDIO PARTE 2
CONCEITOS BÁSICOS

Fabio Montoro
Revisado em 12-3-2015

2.1 Áudio e som

O estudo de sistemas de áudio requer conhecimento de alguns conceitos básicos de matemática e física, que serão abordados neste capítulo.

Antes de continuar, vamos deixar clara a diferença entre “áudio” e “som”:

> ***<u>Áudio</u>***
> Refere-se àquilo que é audível, ou seja, que pode ser ouvido. Está relacionado à percepção que o ser humano tem de vibrações mecânicas, mas se apresenta sob a forma de sinais elétricos.

> ***<u>Som</u>***
> Refere-se a ondas mecânicas (vibrações) longitudinais que se propagam em meios materiais elásticos, que podem ser sólidos, líquidos ou gasosos.

As ondas sonoras podem ou não ser ouvidas, ou seja, podem ser percebidas pelo ser humano, cujo receptor (ouvido) possui sensibilidade a apenas uma faixa de frequências, tipicamente de 20 a 20.000 Hz, para jovens sadios. Áudio, portanto, corresponde à faixa audível do som.

Apesar de ser um consenso se referir à faixa de áudio como sendo de 20 Hz a 20 kHz, já foram reportados estudos em que pessoas conseguem ouvir frequências abaixo de 20 Hz e acima de 20 kHz. A máxima frequência audível de uma pessoa de meia idade é perto de 14 kHz.

Os sons que não ouvimos, se tiverem frequência abaixo da faixa de áudio são chamados de infra-som e se tiverem frequência acima da faixa de áudio são chamados de ultra-som.

De todos os mamíferos, o ser humano possui uma das menores capacidades de ouvir altas frequências. Estudos mostram que a capacidade de ouvir altas frequências é, de forma aproximada, inversamente proporcional ao tamanho da cabeça: os cabeçudos elefantes, por exemplo, ouvem apenas até 10 kHz, os cães até 40 kHz e a percepção dos morcegos eco localizadores pode chegar a 100 kHz. A natureza é sábia, dá exatamente o que cada um precisa. A capacidade de localização da origem de sons, importante para a sobrevivência, depende da distância entre os dois receptores (ouvidos). Cabeça pequena precisa ouvir comprimentos de onda menores.

Então, o que é áudio para nós, humanos, pode não ser para outros animais.

2.2 A cadeia do sistema de áudio

As fontes de programação geram os sinais elétricos que serão transformados em som.

Essas fontes sonoras podem estar ligadas diretamente ou remotamente a um mixer, ou mesa de som, que possui funções de pré-amplificar os sinais, ajustar suas intensidades e combiná-los em um ou mais sinais.

O processador de sinais possui as funções de modificar o sinal de entrada a fim de adequá-lo à aplicação, como por exemplo, filtrando, equalizando, comprimindo, limitando a intensidade, aplicando um retardo no tempo, etc.

O amplificador eleva a intensidade do sinal elétrico para alimentar os sonofletores e produzir um som com intensidade adequada à aplicação.

Uma vez no ambiente, o sinal sonoro sofre influência da característica acústica do ambiente, como reflexões e absorções, bem como a combinação com o ruído local.

O sensoriamento depende do sistema auditivo de cada ouvinte e sua posição física no ambiente.

Finalmente, o resultado chega ao cérebro do ouvinte que dará sua própria interpretação.

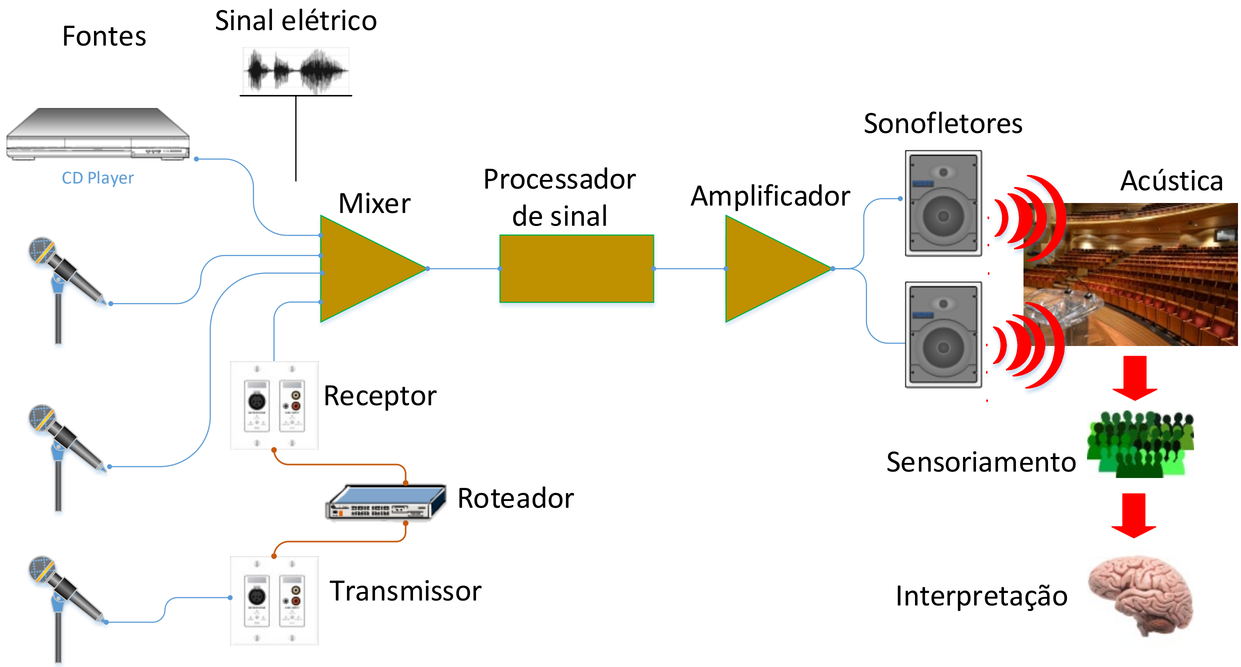
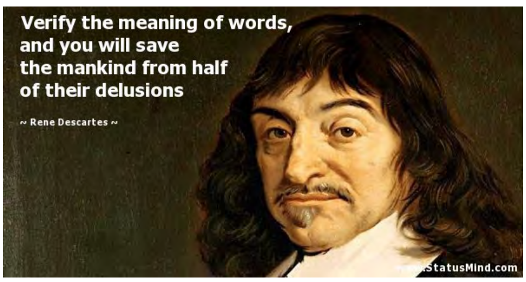


Fig. 2.1: Sistema de áudio: fluxo do sinal

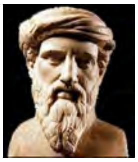
2.3 Recordando...



Seno e cosseno são relações trigonométricas:

$$\boxed{sen(\alpha)=\frac{cateto\ oposto}{hipotenusa}} \quad [2.1]$$

$$\boxed{\cos(\alpha)=\frac{cateto\ adjacente}{hipotenusa}} \quad [2.2]$$



Pitágoras

$$\boxed{tg(\alpha)=\frac{sen(\alpha)}{\cos(\alpha)}} \quad [2.3]$$

$$\boxed{(hipotenusa)^2=(cateto\ adjacente)^2+(cateto\ oposto)^2} \quad [2.4]$$

Potência é a representação de uma multiplicação repetida “n” vezes:

$$\boxed{p=b^n=\underbrace{b\cdot b\cdot b\cdots b}_{\text{“n” vezes}}} \quad [2.5]$$

b = base n = expoente

Descartes

Logaritmo é o expoente de uma potência:

$$\boxed{n=\log_b(p)} \quad [2.6]$$

logaritmo na base “b”

exemplos:

$\boxed{10^3=1000}$ $\therefore \log_{10}(1000)=3$

$\boxed{2^{10}=1024}$ $\therefore \log_2(1024)=10$

Joost Burgi

John Napier

Número complexo: possui uma parte real e outra imaginária:

Nicolo Tartaglia

Gauss

$\boxed{c=a+jb}$ [2.7] c = número complexo a = parte real b = imaginária j = $\sqrt{-1}$

$\boxed{e^{j\theta}=\cos(\theta)+j\cdot sen(\theta)}$ [2.8] (teorema de Euler) θ = ângulo em radianos

Leonhard Euler (1707-1783)

O número complexo pode ser visto como um vetor que possui amplitude e fase. A amplitude é dada por:

$$\boxed{\left|H(j\omega)\right| = \left|a + jb\right| = \sqrt{a^2 + b^2}} \quad [2.9]$$

E a fase é dada por:

$$\boxed{\Phi(\omega) = tg^{-1}\left[\frac{b}{a}\right]} \quad [2.10]$$

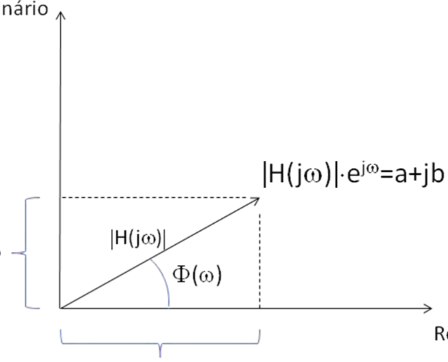


Fig. 2.2: número complexo

Força é uma grandeza vetorial que, ao agir sobre um corpo, altera sua velocidade:

$\boxed{F = m \cdot a}$ [2.9] F = força [kg·m/ s^2 = N] m = massa [kg] a = aceleração [m/s^2] (2ª Lei de Newton)

Isaac Newton

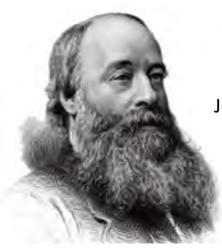
Pressão é a relação entre a força e a superfície em que ela está agindo:

$\boxed{P = \frac{F}{A}}$ [2.11] P = pressão [N/m^2 = Pascal] F = força [N] A = área [m^2]

Pascal

2.4 Energia de um sinal elétrico

$$E[Joule] = \frac{1}{R}\int_{-\infty}^{+\infty}\left|v(t)\right|^2 \cdot dt$$



Joule

Considerando R =1:

$$\boxed{E[Joule] = \int_{-\infty}^{+\infty} |v(t)|^2 \cdot dt}$$ [2.12]

2.5 Potência de um sinal elétrico

Watt

$$\boxed{P[Watts] = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} |v(t)|^2 \cdot dt}$$ [2.13]

Para um sinal periódico, a medida pode ser somente em um período "T":

$$\boxed{P[Watts] = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} |v(t)|^2 \cdot dt}$$ [2.14]

Para um sinal senoidal:

$$P[Watts] = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} V^2 \cos^2(\omega_0 t + \theta) \cdot dt = \frac{V^2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} \frac{1}{2} \cdot [1 + \cos(2\omega_0 t + \theta)] \cdot dt$$

$$= \frac{V^2}{2T} \left\{ \int_{-T/2}^{+T/2} dt + \int_{-T/2}^{+T/2} [\cos(2\omega_0 t + \theta)] \cdot dt \right\} = \frac{V^2}{2T} \left\{ \frac{T}{2} - \left(-\frac{T}{2} \right) \right\} = \frac{V^2}{2}$$

2.6 Valor médio de um sinal periódico

Volta

$$\boxed{\overline{V}[volts] = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} v(t) \cdot dt}$$ [2.15]

2.7 Valor médio quadrático de um sinal periódico

Valor médio quadrático, ou RMS (*Root Mean Square*):

$$\boxed{V_{RMS}[volts] = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} |v(t)|^2 \cdot dt}}$$ [2.16]

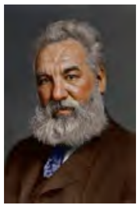
$$\boxed{V_{RMS}[volts] = \sqrt{P}}$$ [2.17]

Para um sinal senoidal:

$$V_{RMS}[volts] = \sqrt{\frac{V^2}{2}} = \frac{V}{\sqrt{2}} = \frac{V}{1{,}414} = 0{,}707 \cdot V$$

2.8 Decibel

Decibel é a relação logarítmica entre duas medidas de potência elétrica:



Graham Bell

$$\boxed{P[dB] = 10 \cdot \log\left(\frac{p_1}{p_0}\right)} \quad [2.18]$$

$$\boxed{P[dBm] = 10 \cdot \log\left(\frac{p_1}{1mW}\right)} \quad [2.19]$$

$$P[dB] = 10 \cdot \log\left(\frac{(v_1)^2}{(v_0)^2}\right) = 20 \cdot \log\frac{v_1}{v_0}$$

$$\boxed{V[dBV] = 20 \cdot \log\left(\frac{v_1}{1V_{RMS}}\right)} \quad [2.20]$$

$$P[dB] = 10 \cdot \log\left(\frac{(v_1)^2 / 600\Omega}{(1mW)}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{(v_1)^2}{0{,}6}\right) = 20 \cdot \log\frac{v_1}{0{,}775}$$ em carga de 600 Ω

$$\boxed{V[dBu] = 20 \cdot \log\left(\frac{v_1}{0{,}775}\right)} \quad [2.21] \qquad V[dBu] = 20 \cdot \log(v_1) - 20 \cdot \log(0{,}775)$$

$$\boxed{V[dBu] = V[dBV] - 2{,}2\ dB} \quad [2.22]$$

Para determinar a amplitude RMS em volts:

$$\boxed{v_1 = 0{,}775 \cdot 10^{\frac{V[dBu]}{20}}} \quad [2.23]$$

Exemplos: 4 dBu = 1,23 V 0 dBu = 0,775 V 2,2 dBu ≈ 1V

A potência resultante da soma das potências de diferentes sinais é dada por:

$$\boxed{P[dB] = 10 \cdot \log\left\{\sum_{1}^{N} 10^{\frac{Pn}{10}}\right\}} \quad [2.24]$$

Em equipamentos que usam áudio digital, o nível do sinal é representado por um número binário. O maior número binário que o equipamento consegue representar corresponde a 0 dBFS, que significa dB Full Scale. Não há relação entre um valor de intensidade analógico e o valor interno do equipamento digital expresso em dBFS.

O processador HAL-1, por exemplo, possui uma faixa dinâmica de 109 dB, ou seja, lida com sinais até -109 dBFS. Como ele suporta entradas analógicas de até + 20 dBu, deduz-se que consegue capturar sinais até -89 dBu.

2.9 Fator de pico (*Crest Factor*)

É a relação entre o valor de pico do sinal e seu valor RMS. Por definição é:

$$\boxed{CF[dB] = 20 \cdot \log\left(\frac{V_{Pico}}{V_{RMS}}\right)} \quad [2.25]$$

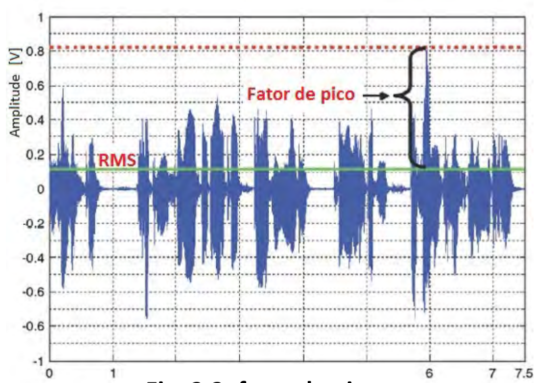


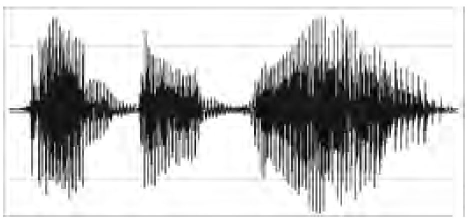
Fig. 2.3: fator de pico

Para um sinal senoidal:

$$CF[dB] = 20 \cdot \log\left(\frac{V}{0{,}707 \cdot V}\right) = 20 \cdot \log(1{,}414) = 3\,dB$$

Abaixo alguns exemplos de fatores típicos:

- Ruído rosa: 12 dB
- Música: 18 a 20 dB
- Voz: 12 a 15 dB



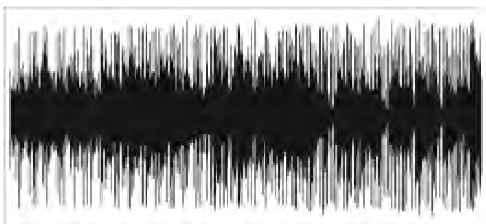


Fig. 2.4: a) Voz **b) música**

2.10 Loudness War

A tendência atual é de produzir som em alto volume e baixa qualidade, devido ao tipo de música e da forma em que ela é ouvida atualmente.

A quantidade de informação e variações sonoras são proporcionais à faixa dinâmica.

A faixa dinâmica das gravações musicais vem diminuindo com o tempo, com ilustra a figura 2.5

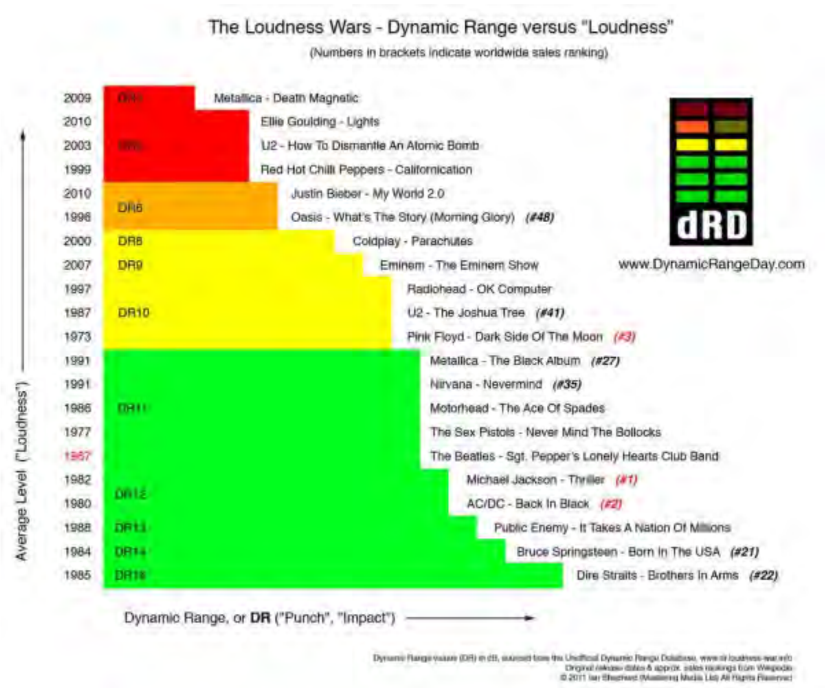
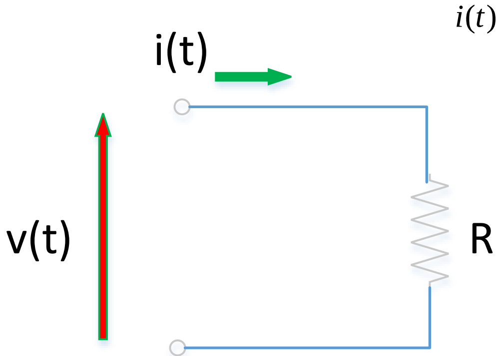


Fig. 2.5: Loudness War

2.11 Resistor, capacitor, indutor

2.11.1 Resistor

$$i(t) = \frac{v(t)}{R} \qquad \left[A = \frac{V}{\Omega} \right]$$



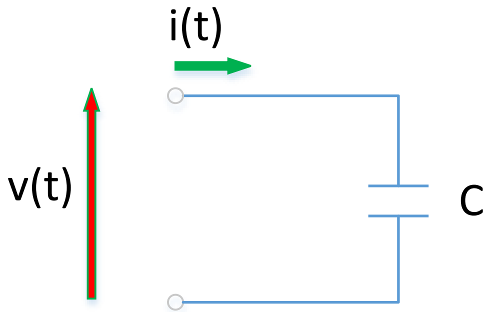
Ohm

Georg Ohm

Fig. 2.6: Resistor

2.11.2 Capacitor

$$i(t) = C \frac{d}{dt} v(t) \qquad \left[A = F \cdot \frac{V}{t} \right]$$



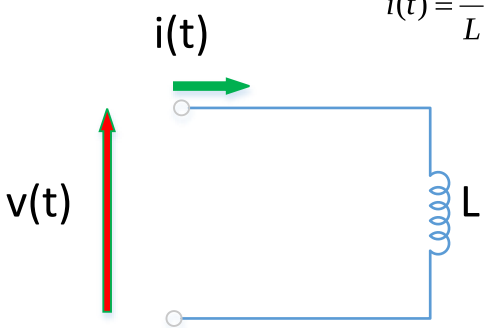
Faraday

Michael Faraday

Fig. 2.7: Capacitor

2.11.3 Indutor

$$i(t)=\frac{1}{L}\int v(t)\cdot dt \qquad \left[A=\frac{1}{H}\cdot V\cdot t\right]$$



Henry

Joseph Henry

Fig. 2.8: Indutor

2.12 Leis de Kirchhoff

Gustav Kirchhoff

2.12.1 Lei do nó

A soma das correntes em um nó
é sempre zero

2.12.2 Lei da malha

A soma das tensões em uma malha
é sempre zero

2.13 Componentes em paralelo e em série

	Série	Paralelo
Resistores	$R_{eq} = R_1 + R_2$	$R_{eq} = \dfrac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$
Indutores	$L_{eq} = L_1 + L_2$	$L_{eq} = \dfrac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$
Capacitores	$C_{eq} = \dfrac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$	$C_{eq} = C_1 + C_2$

2.14 Transformador

Considerando dois enrolamentos sobre um núcleo de ferro de alta permeabilidade, temos as seguintes equações para o transformador ideal:

$$\boxed{\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{N_2}{N_1}} \quad [2.26]$$

$$\boxed{Z_i(s) = \frac{N_1^2}{N_2^2} \cdot Z_C(s)} \quad [2.27]$$

Onde **N_2** e **N_1** são as quantidades de espiras do secundário e do primário do transformador, **Z_C** a impedância da carga e **Z_i** é a impedância de entrada.

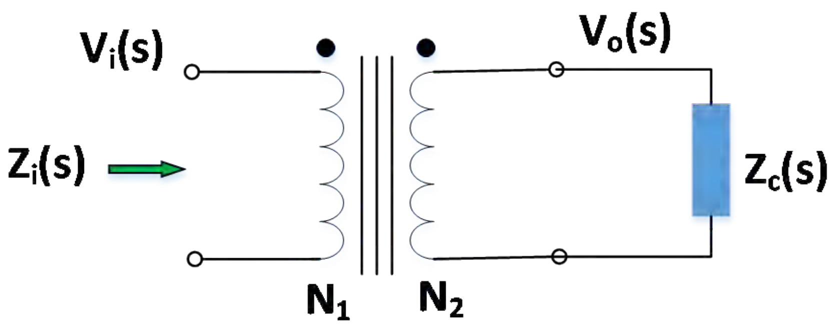


Fig. 2.9: Transformador

2.15 Fontes de tensão e corrente

Conceito de resistência equivalente.

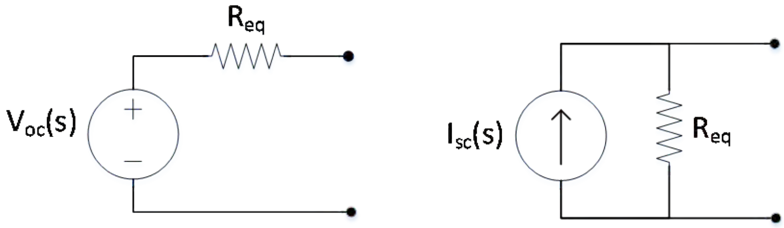


Fig. 2.10: Fontes ideais

2.16 Exercícios

(a serem apresentados em aula)