

Sinais e Sistemas - Trabalho 2

Leonardo Soares da Costa Tanaka
Matheus Henrique Sant Anna Cardoso
Theo Rudra Macedo e Silva

Setembro de 2022

1.) Uma nota musical, ou tom, pode ser modelada por um sinal periódico com uma frequência fundamental e vários harmônicos. Quando duas notas musicais são “tocadas” ao mesmo tempo — um acorde — o efeito resultante pode soar agradável, consonante ou desagradável, dissonante. Desde os antigos gregos, com Pitágoras, se sabe que as combinações ou acordes agradáveis acontecem quando a razão entre as frequências fundamentais das notas é expressa por números naturais pequenos. Assim, os acordes mais harmônicos e consonantes são, pela ordem, aqueles associados às razões 1:1 (uníssono), 2:1 (oitava), 3:2 (5.a perfeita), 4:3 (4.a perfeita), 5:4 (3.a maior) etc.

(a) Crie, no Octave, uma nota com frequência **G2**: $f_0 = 170\text{Hz}$, usando ondas quadradas ou triangulares (pesquise e use os comandos `square` ou `sawtooth` no Octave) em uma escala de tempo de 3 segundos com espaçamento entre as amostras de $\Delta t = 1/44000$ (`t=0:dt:3`) e chame-a de tônica $x_t(t)$;

(b) crie a oitava $x_8(t)$ da tônica, a 5.a $x_5(t)$, a 4.a $x_4(t)$, a 2.a (9:8) $x_2(t)$ e também a nota com relação 321:319 $x_d(t)$;

(c) usando o comando `sound(x, 44000)` ouça no Octave as notas isoladas e todos os acordes (para os acordes, crie a soma $z = x_t + x_8$, por exemplo, e depois use o comando `sound` acima em z) verificando se são consonantes;

(d) explique a teoria harmônica de Pitágoras usando Série de Fourier e análise dos harmônicos da tônica e das compa-
nheiras.

2.) Um sinal definido como abaixo em um intervalo de largura $L = 4$ e nulo para outros valores de t é chamado de pulso:
G2: $x(t) = 1 - e^{|t|}$ para $-L/2 \leq t < L/2$

(a) Esboce o gráfico do pulso;

(b) calcule sua energia total E_t ;

O que buscamos é:

$$E_t = \int_{-2}^2 |1 - e^{|t|}|^2 dt$$

Para motivações de cálculo, podemos separar esta integral em duas partes:

$$E_t = \int_{-2}^0 (1 - e^{-t})^2 dt + \int_0^2 (1 - e^t)^2 dt$$

Porém, como o gráfico possui eixo de simetria em $t = 0$, sabemos que o valor das duas integrais separadas é igual. Dessa forma fazemos:

$$E_t = 2 \cdot \int_{-2}^0 (1 - e^{-t})^2 dt = 2 \cdot \int_0^2 (1 - e^t)^2 dt$$

Escolhendo a que melhor convém para o cálculo, obtemos:

$$E_t = 2 \cdot \int_0^2 (1 - e^t)^2 dt$$

Finalmente:

$$E_t = 2 \cdot \int_0^2 (1 - 2e^t + e^{2t}) dt$$

$$E_t = 2 \cdot [t - 2e^t + e^{2t}]_0^2$$

$$E_t = 7 - 4e^2 + e^4$$

Fazendo os cálculos utilizando o Octave, a energia total será:

$$E_t = 32.042$$

(c) calcule $X(0)$ fazendo $f = 0$ na fórmula de definição;

Primeiramente, anotemos a definição com a fórmula abaixo:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt$$

Deve-se perceber que o intervalo de integração será de $[-2, 2]$. Como queremos $X(0)$, fazemos $f = 0$ na fórmula:

$$X(0) = \int_{-2}^2 x(t) e^{-j2\pi 0t} dt$$

$$X(0) = \int_{-2}^2 (1 - e^{|t|}) dt$$

Separando, novamente, em duas integrais, temos:

$$X(0) = \int_{-2}^0 (1 - e^{-t}) dt + \int_0^2 (1 - e^t) dt$$

$$X(0) = (t + e^{-t}) \Big|_{-2}^0 + (t - e^t) \Big|_0^2$$

$$X(0) = 3 - e^2 + 3 - e^2$$

$$X(0) = 6 - 2e^2$$

(d) calcule analiticamente $X(f)$ e verifique se $X(0)$ pode ser obtido a partir desta fórmula sem indeterminações; Agora, queremos calcular a seguinte integral:

$$X(f) = \int_{-2}^2 (1 - e^{|t|}) e^{-j2\pi ft} dt$$

Aqui, podemos, novamente, separar em duas integrais:

$$X(f) = \int_{-2}^0 (1 - e^{-t}) e^{-j2\pi ft} dt + \int_0^2 (1 - e^t) e^{-j2\pi ft} dt$$

$$X(f) = \left(-\frac{e^{-j2\pi ft}}{j2\pi f} + \frac{e^{-t(1+j2\pi f)}}{1+j2\pi f} \right) \Big|_{-2}^0 + \left(-\frac{e^{-j2\pi ft}}{j2\pi f} - \frac{e^{t(1-j2\pi f)}}{1-j2\pi f} \right) \Big|_0^2$$

$$X(f) = -\frac{1}{j2\pi f} + \frac{1}{1+j2\pi f} + \frac{e^{j4\pi f}}{j2\pi f} - \frac{e^2 e^{j4\pi f}}{1+j2\pi f} + \frac{1}{j2\pi f} + \frac{1}{1-j2\pi f} - \frac{e^{-j4\pi f}}{j2\pi f} - \frac{e^2 e^{-j4\pi f}}{1-j2\pi f}$$

Resumindo as contas, temos:

$$X(f) = 4\text{sinc}(4f) + \frac{2}{1+4\pi^2 f^2} - \frac{2e^2 \cos(4\pi f)}{1+4\pi^2 f^2} + \frac{4e^2 \pi f \text{sen}(4\pi f)}{1+4\pi^2 f^2}$$

Primeiramente, perceba que os valores de $X(f)$ são reais.

Agora, que temos a expressão, calculemos $X(0)$ com base nela e comparar com a expressão obtida em (c).

$$X(0) = 4\text{sinc}(0) + \frac{2}{1+4\pi^2 0} - \frac{2e^2 \cos(4\pi 0)}{1+4\pi^2 0} + \frac{4e^2 \pi 0 \text{sen}(4\pi 0)}{1+4\pi^2 0}$$

$$X(0) = 4 + 2 - 2e^2 = 6 - 2e^2$$

Perceba, então, que obtivemos a mesma expressão, não existindo indeterminações para $f = 0$.

(e) trace o espectro de energia $|X(f)|^2 \times f$ para $f \in [-1, 1] \text{ Hz}$ usando muitos pontos e calcule a energia contida nesta banda ($\int_{-1}^1 |X(f)|^2 dt$) usando integração aproximada;

(f) por tentativa e erro, e usando o método anterior, calcule a banda de passagem que retém 95% da energia do sinal: f_M tal que $\int_{-f_M}^{f_M} |X(f)|^2 df$;

Dica: há vários possíveis meios para integrar funções não triviais, como por exemplo <https://www.integral-calculator.com/> e certamente outros.

3.) Um sinal é caracterizado por

$$\mathbf{G2:} \quad X_m(f) = 80p_{20}(f + 810) + 80p_{20}(f - 790)$$

com frequências medidas em kHz . Lembrar que $p_\Delta(f - \tau)$ denota um pulso de largura Δ , amplitude Δ^{-1} e aplicado a partir de τ , com transformada conhecida.

(a) Esboçar os espectros de amplitude e de energia;

(b) calcular sua anti-transformada de Fourier: $\mathcal{F}^{-1}\{X_m(f)\} = x_m(t)$ (use as propriedades);

(c) ao sinal $x_m(t)$ se aplica um filtro PB (passa-baixas) ideal; determinar sua frequência de corte M de modo que 50% da energia total seja retida;

(d) ao sinal $x_m(t)$ se aplica um filtro PA (passa-altas) ideal; determinar sua frequência de corte M de modo que 50% da energia total seja retida.