Apostila
de
Trabalhos Extra Classe
de Exercício e de Código (TEC)
para
Fundamentos de
Processamento Digital de Sinais

(Versão A2025M03D17)

Universidade Federal Fluminense

Alexandre Santos de la Vega

Departamento de Engenharia de Telecomunicações – TET

Escola de Engenharia – TCE

Universidade Federal Fluminense – UFF

Março – 2025

.

621.3192 (*) D278 (*) 2025	de la Vega, Alexandre Santos Apostila com Trabalhos Extra Classe de Exercício e de Código (TEC) para Fundamentos de Processamento Digital de Sinais / Alexandre Santos de la Vega. – Niterói: UFF/TCE/TET, 2025. 146 (sem romanos) ou 172 (com romanos) p. (*) Apostila com Trabalhos Extra Classe de Exercício e de Código (TEC) – Graduação, Engenharia de Telecomunicações, UFF/TCE/TET, 2025. 1. Processamento de Sinais. 2. Processamento Digital de Sinais. 3. Telecomunicações. I. Título.

(*) OBTER INFO NA BIBLIOTECA, ATUALIZAR E PEDIR NOVO REGISTRO !!!

Aos meus alunos.

Prefácio

O trabalho em questão aborda os tópicos a serem apresentados na disciplina Fundamentos de Processamento Digital de Sinais. O material completo, dividido em apostilas e tutoriais, encontra-se dividido nos seguintes volumes:

1. O conteúdo teórico pode ser encontrado no volume entitulado Apostila de Teoria para Fundamentos de Processamento Digital de Sinais.

2. O conteúdo prático pode ser encontrado no volume entitulado Apostila de Códigos de Programas Demonstrativos para Fundamentos de Processamento Digital de Sinais.

3. As especificações dos trabalhos extra classe propostos na disciplina podem ser encontradas no volume entitulado Apostila de Trabalhos Extra Classe de Exercício e de Código (TEC) para Fundamentos de Processamento Digital de Sinais.

4. Conteúdos matemáticos básicos, necessários à disciplina em questão, são abordados no volume entitulado Apostila de Nivelamento para Fundamentos de Processamento Digital de Sinais.

5. Uma abordagem integradora dos tópicos de interesse da disciplina, de forma simples e direta, utilizando o sistema de média móvel como exemplo, pode ser encontrado no volume entitulado Tutorial sobre Sistema de Média Móvel para Fundamentos de Processamento Digital de Sinais.

6. Um conteúdo associado com Teoria de Sistemas, Teoria de Controle, Teoria de Circuitos e Teoria de Processamento de Sinais, envolvendo aspectos teóricos e códigos de programas demonstrativos, pode ser encontrado no volume entitulado Tutorial sobre Influência dos zeros e dos pólos da Função de Transferência no formato da função Resposta em Frequência para Fundamentos de Processamento Digital de Sinais.

Os documentos foram escritos com o intuito de servir como uma referência rápida para os alunos dos cursos de graduação e de mestrado em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense (UFF). O material básico utilizado para o conteúdo teórico foram as minhas notas de aula, que, por sua vez, originaram-se em uma coletânea de livros sobre os assuntos abordados. Por outro lado, os códigos de programas demonstrativos e as especificações dos trabalhos propostos são completamente autorais.

A motivação inicial para o desenvolvimento desse trabalho foi a de aumentar o dinamismo das aulas. Logo, deve ficar bem claro que os documentos produzidos não pretendem substituir os livros textos ou outros livros de referência. Pelo contrário, espera-se que eles sejam utilizados como ponto de partida para estudos mais aprofundados, utilizando-se a literatura existente.

Espero conseguir manter o presente texto em constante atualização e ampliação.

Correções e sugestões são sempre bem-vindas.

Alexandre Santos de la Vega
UFF / TCE / TET

Agradecimentos

Àqueles professores do Departamento de Engenharia de Telecomunicações (TET), da Escola de Engenharia (TCE), da Universidade Federal Fluminense (UFF), que colaboraram com críticas e sugestões bastante úteis à finalização da versão inicial deste trabalho.

Aos ex-funcionários do TET, Arlei, Carmen Lúcia, Eduardo Wallace, Francisco e Jussara, pelo apoio constante.

Aos meus alunos, que, além de servirem de motivação principal, obrigam-me sempre a me tentar melhorar, em todos os sentidos.

Mais uma vez, e sempre, aos meus pais, por tudo.

Alexandre Santos de la Vega
UFF / TCE / TET

Apresentação do material didático

Metodologia de construção

- O material aqui apresentado não é fruto de um projeto educacional envolvendo idealização, planejamento, pesquisa, estudo, estruturação, desenvolvimento, revisão e edição.
- Pelo contrário, ele nasceu, evoluiu e tem sido mantido de uma forma bem orgânica.

Histórico

- Em 1995, o autor ingressou no Departamento de Engenharia de Telecomunicações (TET) da Universidade Federal Fluminense (UFF) e, desde então, tem sido responsável por diversas disciplinas oferecidas pelo TET para o Curso de Engenharia de Telecomunicações, da Escola de Engenharia da UFF (TCE/UFF), e para o Curso de Ciência da Computação, do Instituto de Computação da UFF (IC/UFF).
- Na época do seu ingresso, o Processamento Digital de Sinais já era um assunto presente na área de Telecomunicações. E com importância crescente. Apesar disso, ainda não era oferecida pelo TET uma disciplina formal sobre a matemática que o fundamenta.
- Com essa percepção, ele criou a disciplina optativa "Introdução ao Processamento Digital de Sinais", em 1998.
- Para dar suporte às aulas, foram elaboradas as primeiras notas de aula (manuscritas) para a disciplina optativa criada no TET. Nessa primeira tentativa de implantação da disciplina, foi usada a referência [Mit98] como livro texto.
- A disciplina optativa foi oferecida pelo autor apenas durante dois períodos letivos, em virtude do seu afastamento para finalização do seu doutoramento.
- Durante o afastamento, e mesmo algum tempo depois, a disciplina optativa foi oferecida por outro professor do TET. Nesse período, o autor lançou uma outra disciplina optativa, vinculada à primeira, tratando do Projeto de Filtros Digitais.
- Tendo voltado a ministrar a disciplina, o autor decidiu ampliar as notas de aula manuscritas, baseando-se em diversos outros livros.
- Na primeira década de 2000, o TET realizou uma reforma curricular e a disciplina optativa "Introdução ao Processamento Digital de Sinais" tornou-se obrigatória, sob o nome de "Processamento Digital de Sinais".

- Em 2008, com os objetivos iniciais de melhor organizar os manuscritos e de atender aos apelos dos alunos por cópia dos manuscritos, eles foram apenas transcritos para o Sistema de Preparação de Documentos LaTeX [KD04] , [MG04]. Assim, surgiu a primeira versão da apostila de teoria.

- A partir daí, com a maturação gradual que a disciplina foi ganhando a cada período letivo, novos conteúdos foram surgindo. Ora por curiosidade do autor, procurando incorporar um determinado tópico na disciplina. Ora por curiosidade dos alunos, por demandarem algum assunto em especial. Ora por necessidade pedagógica, pois, ao se perceberem dúvidas recorrentes dos alunos, novas formas de abordagem têm sido testadas.

- Além disso, como filosofia educacional do autor, as questões que fazem parte de toda e qualquer forma de avaliação formal da disciplina (testes, provas, trabalhos) são anexadas ao conteúdo, na forma de exercícios propostos.

- No final da década de 2010, o TET realizou uma nova reforma curricular, a qual acarretou uma redução na quantidade e na carga horária das disciplinas. Isso provocou uma reformulação na abordagem dos tópicos da disciplina, que passou a ser denominada de "Fundamentos de Processamento Digital de Sinais".

- Ainda como filosofia educacional do autor, a apostila de teoria não apresenta figuras que ilustrem os assuntos abordados. Pelo contrário, é demandado aos alunos que eles gerem as suas próprias figuras, a partir de um aplicativo computacional adequado.

- Desde 2011, objetivando incentivar os alunos a modificarem códigos existentes e a gerarem seus próprios códigos, uma nova apostila tem sido elaborada, contendo códigos para programas demonstrativos, relativos aos tópicos abordados na apostila de teoria, em sala de aula e/ou em alguma forma de avaliação formal da disciplina.

- A partir de 2016, com a incorporação de trabalhos semanais na prática da disciplina, uma nova apostila tem sido elaborada, contendo os trabalhos extra classe (TEC) propostos a cada período letivo.

- Em 2018, foi percebido que, utilizando o sistema de média móvel como exemplo, é possível abordar e integrar os tópicos de interesse da disciplina de forma simples e direta. Além disso, com ele, também é possível gerar exemplos, exercícios e aplicações práticas, com certa facilidade. Assim, teve início a elaboração do tutorial sobre o sistema de média móvel.

- Em 2019, foi iniciado um tutorial sobre a influência dos zeros e dos pólos da Função de Transferência no formato da função Resposta em Frequência, buscando atender a uma série de motivações, listadas no documento em questão.

- A partir do isolamento social, imposto pela Pandemia de COVID-19, nos anos de 2020 e 2021, foi notada uma deficiência relativa aos conteúdos matemáticos básicos de Matrizes, Números complexos e Polinômios, necessários à disciplina em questão.

- A princípio, tais conteúdos foram apenas abordados em aulas iniciais de revisão. Em seguida, um texto inicial foi anexado à apostila de teoria, na forma de apêndices. Por fim, a partir de 2025, uma apostila de nivelamento, foi incorporada ao conjunto dos materiais autorais produzidos.

Comentários gerais:

- Conforme foi exposto acima, desde o início da sua confecção até o presente momento, sempre foram preparadas diversas versões de cada documento ao longo de um mesmo período letivo. Por essa razão, o identificador "Versão A<ano>M<mês>D<dia>" aparece logo abaixo do título de cada apostila.
- No tocante à apresentação do conteúdo teórico, os manuscritos originais continham apenas tópicos, destinados à abordagem do conteúdo programático durante as aulas. Pode-se dizer que tais manuscritos representavam apenas um roteiro de aula. Gradativamente, com a evolução da apostila de teoria, os tópicos têm sido trocados por textos dissertativos, relativos ao conteúdo abordado.
- No ponto de vista estrutural é que o aspecto dinâmico dos documentos mais se tem feito presente. Buscando uma melhor apresentação dos tópicos abordados, os diversos seccionamentos de texto (capítulos, seções, subseções, etc.) comumente surgem, são mesclados e desaparecem, a cada nova versão.
- Por tudo isso, pode-se asseguradamente dizer que todo o material produzido encontra-se em constante atualização.
- Na preparação das aulas, têm sido utilizados os seguintes livros:
  - Livros indicados pela ementa da disciplina: [DdSN10], [Mit98].
  - Outros livros indicados: [Rob09], [PM06], [Jac96], [She95], [SK89], [Ant86], [SDD84], [OWY83], [PL76], [OS75], [Cad73].

Teoria abordada no material didático

- Introdução <2 horas>
  - Conceitos básicos: que busca contextualizar a disciplina no âmbito do curso e apresentar conceitos que serão necessários ao longo do texto. <2 horas>
  - Conexão entre os modelos analógico e discreto/digital: que apresenta um resumo das representações dos sinais analógicos no domínio da freqüência e aborda as duas formas de conexão entre os domínios analógico e digital. [Opcional]
- Sinais e sistemas (com tempo discreto) no domínio do tempo <12 horas>
  - Sinais no domínio do tempo: definições, classificações, operações, exemplos e caracterizações. <4 horas>
  - Seqüências exponenciais: características relevantes de exponenciais, funções com dependência exponencial, decomposição de funções usando exponenciais, amostragem de sinais contínuos no tempo. <4 horas>
  - Sistemas no domínio do tempo: definições, classificações, operações, exemplos e caracterizações. <4 horas>
- Representações de um Sistema Linear e Invariante ao Tempo (SLIT) <10 horas>
  - Resposta ao impulso. <1 hora>
  - Diagramas de blocos de complexidade genérica. <1 hora>
  - Equação de diferença. <1 hora>
  - Diagramas de sistema (ou estruturas ou realizações). <2 horas>
  - Operador de transferência. <1 hora>
  - Diagrama de pólos e zeros do operador de transferência. <2 horas>
  - Equações de estado. <2 horas>
  - Relações e mapeamentos entre as diversas representações. <distribuído ao longo da apresentação do conteúdo e exercitado na forma de trabalhos>
- Respostas de um Sistema Linear e Invariante ao Tempo (SLIT) <10 horas>
  - Cálculos da resposta de um SLIT <8 horas>
    - Cálculo da resposta de um SLIT baseado na solução das equações de estado. <1 hora>
    - Cálculo da resposta de um SLIT baseado no uso do operador de transferência. <1 hora>

    - Cálculo da resposta de um SLIT baseado na solução convencional da equação de diferença. <4 horas>
    - Cálculo da resposta de um SLIT FIR (Resposta ao Impulso Finita) com entrada de comprimento indefinido. <2 horas>
  - Tipos de resposta de um SLIT <2 horas>
    - Resposta completa.
    - Resposta homogênea + resposta do sistema relaxado (resposta particular + resposta complementar).
    - Resposta ao estado + resposta à entrada.
    - Resposta natural + resposta forçada.
    - Resposta transitória + resposta permanente.

- Noções da representação em domínio transformado para sistemas de primeira ordem [Opcional]
  - Resposta em Freqüência: baseado no cálculo da resposta de um SLIT de primeira ordem, para um determinado tipo de sinal de entrada, pode-se identificar um novo tipo de representação para o sistema.
  - Função de Transferência: baseado no cálculo da resposta de um SLIT de primeira ordem, para um determinado tipo de sinal de entrada, pode-se identificar um novo tipo de representação para o sistema.

- Sinais e sistemas (com tempo discreto) no domínio da freqüência <20 horas>
  - Sinais <10 horas>
    - Motivações para a mudança de domínio de uma representação. <1/2 hora>
    - Revisão das representações em freqüência com tempo contínuo
(Série de Fourier, Transformada de Fourier e Transformada de Laplace).
<1/2 hora>
    - Série de Fourier de Tempo Discreto (DTFS). <1 hora>
    - Transformada de Fourier de Tempo Discreto (DTFT). <2 horas>
    - Transformada de Fourier Discreta (DFT). <2 horas>
    - Transformada Z. <2 horas>
    - Relações entre as diversas representações em freqüência, parâmetros e efeitos importantes. <2 horas>
  - Técnicas básicas para aceleração do cálculo da DFT. [Opcional]
  - Aplicações básicas da Transformada Z em sinais e sistemas. <6 horas>
    - Transformada Z de alguns sinais importantes.
    - Transformada Z aplicada na convolução.
    - Transformada Z aplicada em sinais deslocados.
    - Transformada Z aplicada na equação de diferença.
    - Transformada Z no cálculo de respostas de um SLIT.

- SLIT de ordem qualquer <4 horas>
  * Tipos de respostas de um sistema.
  * Resposta completa em domínio transformado.
  * Resposta em Freqüência.
  * Seletividade em Freqüência.
  * Função de Transferência ou Função de Sistema.
  * Representações de um SLIT no domínio da freqüência.

• Aplicações: exemplos de aplicações são distribuídos ao longo do texto e exercitados na forma de trabalhos.

Objetivos da disciplina

- Apresentar a base matemática que fundamenta o Processamento Digital de Sinais.
- Trabalhar com sistemas que apresentem as seguintes características:
  - Sistema Linear e Invariante ao Tempo (SLIT).
  - Sistema *Single-Input Single-Output* (SISO).
  - Sistema operando com tempo discreto.
  - Sistema operando com sinais definidos em tempo discreto, quantizados (digitais) ou não (amostrados).
- Trabalhar com sinais básicos que sejam simultaneamente dependentes das variáveis tempo e freqüência, utilizando-os na composição dos demais sinais envolvidos.
- Discutir a análise de sistemas no domínio da variável tempo e no domínio da variável freqüência. No domínio do tempo, o foco está na FORMA que os sinais apresentam. No domínio da freqüência, o foco está na COMPOSIÇÃO que os sinais apresentam.
- Discutir a aplicação dos conceitos de Operador de Transferência (no domínio do tempo) e de Função de Transferência (no domínio da freqüência), bem como a relação existente entre ambos.
- Discutir a aplicação do conceito de estado de um sistema e da análise do sistema no espaço de estados.

Sumário

Parte I

Introdução

Capítulo 1

Introdução

1.1 Regras básicas

Para todo e qualquer trabalho definido a seguir, sempre valerão as seguintes regras:

- Todo o material relativo ao trabalho deverá ser enviado simultaneamente para o professor e para o monitor da disciplina, na forma de anexos em uma mensagem de *e-mail*.
- Documentos deverão ser enviados na forma de arquivos no formato PDF.
- Itens não textuais (figuras, tabelas, imagens) deverão ser incluídos nos documentos apresentados.
- Serão ignorados os trabalhos entregues após a data de entrega definida.
- Serão ignorados os trabalhos entregues fora das normas definidas.
- Será atribuída nota nula aos trabalhos com indicação de cópia de outro(s) trabalho(s).

Parte II

Trabalhos TEC básicos

Capítulo 2

Definição dos trabalhos TEC básicos manuais

2.1 TEC-BM1

2.1.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Revisão de números complexos.
- Objetivo: Revisar tópicos básicos e tópicos importantes para a disciplina de DSP, relativos a números complexos.

2.1.2 Especificações

- Na área de Processamento Digital de Sinais, os números complexos são largamente empregados e possuem grande importância na modelagem teórica.
- Na sua definição básica, os números complexos são duplas de números reais.
- Da mesma forma, as operações aritméticas complexas são definidas a partir das operações aritméticas reais.
- Alternativamente, os números complexos podem ser interpretados a partir de uma visão geométrica.
- Com a visão geométrica, os números complexos podem ser diretamente associados com as funções trigonométricas e exponenciais.

2.1.3 Tarefas

Teoria

1. Considerando a definição básica de duplas de números reais, apresente a definição das operações de adição e de multiplicação para números complexos.
2. Na representação geométrica alternativa para os números complexos, descreva as formas retangular (ou algébrica) e polar (ou trigonométrica).

3. Na representação polar, destaque as relações trigonométricas e exponencial (Equação de Euler) .

4. Apresente as operações de multiplicação, divisão, potenciação e radiciação, com base na representação geométrica.

Prática

1. Dados os números complexos $z_1 = (a_1 + j\ b_1)$ e $z_2 = (a_2 + j\ b_2)$, atenda aos seguintes itens:

   (a) Calcule os números complexos conjugados z_1^* e z_2^*.
   (b) Calcule $(z_1 + z_2)$.
   (c) Calcule $(z_1 - z_2)$.
   (d) Calcule $(z_1 \cdot z_2)$.
   (e) Calcule $(z_1^* + z_2^*)$.
   (f) Calcule $(z_1^* - z_2^*)$.
   (g) Calcule $(z_1^* \cdot z_2^*)$.
   (h) Calcule $(z_1 + z_2)^*$.
   (i) Calcule $(z_1 - z_2)^*$.
   (j) Calcule $(z_1 \cdot z_2)^*$.
   (k) Mostre que $(z_1 + z_2)^* = (z_1^* + z_2^*)$.
   (l) Mostre que $(z_1 \cdot z_2)^* = (z_1^* \cdot z_2^*)$.
   (m) Mostre que $(z_1 \cdot z_2) = (z_2 \cdot z_1)$.

   (2.0 pts)

2. Calcule os números complexos $z_k = j^k$, para $k = \{0, 1, 2, 3\}$, dado que $j = (0, 1)$, empregando as seguintes representações:

   (a) Par ordenado.
   (b) Forma algébrica (ou retangular).
   (c) Forma trigonométrica (ou polar).

   (1.5 pts)

3. Prove as seguintes relações:

   (a) $\left(1 - e^{-j2\theta}\right) e^{j\theta} = 2j\ sin(\theta)$.
   (b) $\left(e^{j2\theta} - 1\right) e^{-j\theta} = 2j\ sin(\theta)$.
   (c) $\left(1 + e^{-j2\theta}\right) e^{j\theta} = 2\ cos(\theta)$.
   (d) $\left(e^{j2\theta} + 1\right) e^{-j\theta} = 2\ cos(\theta)$.

   (1.0 pts)

4. Dados $\boldsymbol{r} = \{r_1, r_2, r_3\} = \{0.5, 1, 2\}$ e $\Theta_N = \frac{2\pi}{N}$, onde $N = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12\}$, esboce o gráfico, no plano complexo, dos números complexos $z_{kN} = r_k \cdot e^{j\Theta_N}$.

   (1.0 pts)

5. Esboce o gráfico, no plano complexo, do lugar geométrico definido por $|z| = 1$.

   (0.5 pts)

6. Dada a função (seqüência em n) complexa $x[n] = e^{j\Theta[n]}$, onde $\Theta[n] = n\Theta_N$, $\Theta_N = \frac{2\pi}{N}$, $-2N \leq n \leq (2N-1)$ e $N = \{3, 4, 6, 8\}$, atenda aos seguintes itens:

   (a) Esboce o gráfico, no plano complexo, de $x[n]$. Indique o valor de n em cada ponto do gráfico.

   (b) Esboce o gráfico $|x[n]| \times n$.

   (c) Esboce o gráfico $\angle x[n] \times n$, usando:

      i. Valores absolutos (*unwrapped*).

      ii. Valores principais na faixa $[-\pi; \pi]$ (*wrapped around*).

   (d) Esboce o gráfico $Re\{x[n]\} \times n$.

   (e) Esboce o gráfico $Im\{x[n]\} \times n$.

   (2.0 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Desenhe os gráficos manualmente, digitalize-os e inclua-os no texto editado, na forma de imagens. (2.0 pts)

2.2 TEC-BM2

2.2.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Operações básicas sobre seqüências.
- Objetivo: Identificar especificidades em algumas operações básicas sobre seqüências e manualmente realizar tais operações sobre seqüências fornecidas.

2.2.2 Especificações

- Em sistemas de processamento digital de sinais, os sinais de entrada, os sinais internos ao sistema e o sinal de saída, são seqüências ordenadas de valores numéricos.
- Algumas das operações básicas, realizadas por tais sistemas sobre as seqüências, são as seguintes:
  - Adaptação de comprimento do sinal, com adição de zeros.
  - Adição de sinais.
  - Multiplicação de sinal por constante (escalamento).

- Deslocamento linear de sinal não periódico.
- Deslocamento linear de sinal periódico.
- Deslocamento circular de sinal não periódico.
- Espelhamento linear de sinal não periódico.
- Espelhamento linear de sinal periódico.
- Espelhamento circular de sinal não periódico.
- Extensão periódica.
- Convolução linear (ou não periódica).
- Convolução circular (ou periódica).

2.2.3 Tarefas

Teoria

1. Os somatórios dos produtos de duas seqüências, $h[n]$ e $x[k]$, definidos por

$$y[n] = \sum_{k=K_1}^{K_2} h[n-k]\ x[k] \tag{2.1}$$

e

$$y[n] = \sum_{k=K_1}^{K_2} x[n-k]\ h[k]\ , \tag{2.2}$$

podem ser descritos por relações matriciais.

2. Considere as seguintes faixas de valores: $-3 \leq n \leq 3$ e $-5 \leq k \leq 5$.

3. Considerando os vetores $\boldsymbol{y}[n]$ e $\boldsymbol{x}[n]$, respectivamente formados pelos valores das seqüências $y[n]$ e $x[n]$, descreva o somatório de produtos da Equação (2.1) pela relação matricial $\boldsymbol{y}[n] = \boldsymbol{H} \cdot \boldsymbol{x}[n]$, onde a matriz $\boldsymbol{H}$ é formada pelos valores da seqüência $h[n]$.

4. Considerando os vetores $\boldsymbol{y}[n]$ e $\boldsymbol{h}[n]$, respectivamente formados pelos valores das seqüências $y[n]$ e $h[n]$, descreva o somatório de produtos da Equação (2.2) pela relação matricial $\boldsymbol{y}[n] = \boldsymbol{X} \cdot \boldsymbol{h}[n]$, onde a matriz $\boldsymbol{X}$ é formada pelos valores da seqüência $x[n]$.

Prática

1. Considere os sinais $h[n] = [7, 5, 3, 0, -1, -2, 1]$, para $n = [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6]$, $x[n] = [1, 2, 1]$, para $n = [2, 3, 4]$, e $h[n] = x[n] = 0$, para os demais valores de n.

2. Considere os sinais periódicos $\tilde{h}[n]$ e $\tilde{x}[n]$, respectivamente formados pelas extensões periódicas de $h[n]$ e $x[n]$, com $N_f = 7$.

3. Para a faixa $-12 \leq n \leq 12$, esboce, contendo todas as indicações pertinentes, os seguintes gráficos:

   (a) $x[n] \times n$.

   (b) $h[n] \times n$.

   (c) $x[-n] \times n$.

(d) $h[-n] \times n$.
(e) $h[n-3] \times n$.
(f) $h[n+5] \times n$.
(g) $h[-n+2] \times n$.
(h) $h[-n-1] \times n$.

(2.00 pts)

4. Para a faixa $-12 \leq n \leq 12$, esboce, contendo todas as indicações pertinentes, os seguintes gráficos:

(a) $\tilde{x}[n] \times n$.
(b) $\tilde{h}[n] \times n$.
(c) $\tilde{x}[-n] \times n$.
(d) $\tilde{h}[-n] \times n$.
(e) $\tilde{h}[n-3] \times n$.
(f) $\tilde{h}[n+5] \times n$.
(g) $\tilde{h}[-n+2] \times n$.
(h) $\tilde{h}[-n-1] \times n$.

(2.00 pts)

5. Para a faixa $0 \leq n \leq 6$, esboce, contendo todas as indicações pertinentes, os seguintes gráficos:

(a) $x[\langle n \rangle_7] \times n$.
(b) $h[\langle n \rangle_7] \times n$.
(c) $x[\langle -n \rangle_7] \times n$.
(d) $h[\langle -n \rangle_7] \times n$.
(e) $h[\langle n-3 \rangle_7] \times n$.
(f) $h[\langle n+5 \rangle_7] \times n$.
(g) $h[\langle -n+2 \rangle_7] \times n$.
(h) $h[\langle -n-1 \rangle_7] \times n$.

(2.00 pts)

6. Para o cálculo da convolução $y[n] = h[n] * x[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h[n-k]\ x[k]$, realize os seguintes passos:

(a) Monte a operação na forma matricial, para $-2 \leq n \leq 12$.
(b) Demonstre, por meio dos gráficos pertinentes, cada um dos cálculos efetuados na operação matricial.

(2.00 pts)

7. Para o cálculo da convolução $y[n] = x[n] * h[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[n-k]\ h[k]$, realize os seguintes passos:

(a) Monte a operação na forma matricial, para $-2 \leq n \leq 12$.

(b) Demonstre, por meio dos gráficos pertinentes, cada um dos cálculos efetuados na operação matricial.

(2.00 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Desenhe os gráficos manualmente, digitalize-os e inclua-os no texto editado, na forma de imagens. (2.0 pts)

Capítulo 3

Definição dos trabalhos TEC básicos computacionais

3.1 TEC-BC1

3.1.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Pesquisa e geração de exemplos simples envolvendo alguns elementos básicos (valores/comandos/funções) da linguagem do aplicativo Octave.
- Objetivo: Adquirir conhecimento e estabelecer domínio sobre alguns elementos básicos (valores/comandos/funções) da linguagem do aplicativo Octave.

3.1.2 Especificações

- O Octave é um aplicativo computacional, que trabalha com um processo de interpretação de uma linguagem imperativa.
- O trabalho em questão visa explorar alguns elementos básicos (valores/comandos/funções) da linguagem do aplicativo Octave.
- Suponha os seguintes valores definidos no Octave: eps, realmax, realmin, intmax, intmin, inf, NaN, i ou j, pi.
- Suponha os seguintes comandos definidos no Octave: iskeyword, lookfor ‘pattern’, help ‘name’, who, whos, clear, close, clc.
- Suponha as seguintes funções definidas no Octave:
  - disp(), pause().
  - complex(), conj(), real(), imag(), abs(), angle(), unwrap().
  - format().
  - ones(), zeros(), eye(), diag(), magic(), rand(), randn().
  - cat(), horzcat(), vertcat(), repmat(), blkdiag().
  - reshape(), rot90(), fliplr(), flipud(), flipdim(), transpose(), ctranspose(), permute().
  - circshift(), sort().
  - ndims(), numel(), size(), length(), find().

3.1.3 Tarefas

1. Pesquise e escreva uma breve descrição sobre cada um dos elementos listados acima. (1.0 + 1.0 + 2.0 pts)

2. Desenvolva exemplos simples de código Octave que ilustrem a operação dos elementos listados acima. (1.0 + 1.0 + 2.0 pts)

3. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

3.2 TEC-BC2

3.2.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.

- Título: Modelagem matricial para equações.

- Objetivo: Elaborar um modelo matricial para um conjunto de equações e realizar os devidos cálculos.

3.2.2 Especificações

- Em Processamento Digital de Sinais, um par de equações de elevada importância é dado por

$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] \; e^{jk\left(\frac{2\pi}{N}\right)n}, \text{ para } 0 \leq n \leq N-1, \tag{3.1}$$

e

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \; e^{-jk\left(\frac{2\pi}{N}\right)n}, \text{ para } 0 \leq k \leq N-1 \; . \tag{3.2}$$

- As equações acima realizam uma transformação da seqüência $x[n]$ na seqüência $X[k]$ e vice-versa.

- Para o cálculo das equações acima, o primeiro passo é a escolha de um valor para a constante N.

- Em seguida, o cálculo de um número finito de pontos pode ser efetuado por meio de um número finito de operações.

3.2.3 Tarefas

Teoria

1. Considere a constante $W_N = e^{-j\left(\frac{2\pi}{N}\right)}$. Reescreva as equações acima. (0.5 pts)
2. Considere os vetores coluna $x = [x[0], x[1], ..., x[N-1]]'$ e $X = [X[0], X[1], ..., X[N-1]]'$. Reescreva as equações contendo W_N na forma matricial dada por

$$x = D_{inv}\ X \tag{3.3}$$

   e

$$X = D_{dir}\ x\ . \tag{3.4}$$

   (1.0 pts)
3. Estabeleça uma relação entre as matrizes D_{inv} e D_{dir}. (0.5 pts)

Prática

1. Desenvolva um código Octave que receba um valor para a variável N e calcule as matrizes D_{inv} e D_{dir}. (3.0 pts)
2. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que receba um vetor x e calcule o vetor X correspondente ou que receba um vetor X e calcule o vetor x correspondente. Se o comprimento L do vetor recebido for menor que N, ele deverá ser completado com valores nulos de $L + 1$ até N (operação de *zero padding*). Se o comprimento L do vetor recebido for maior que N, deverão ser utilizados apenas os N primeiros valores. (3.0 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

Parte III

Trabalhos TEC 2016

Capítulo 4

Definição dos trabalhos TEC 2016-2

4.1 TEC1

Realizar o TEC1-BC.

4.2 TEC2

Realizar o TEC2-BC.

4.3 TEC3

4.3.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Elaboração de gráficos de funções unidimensionais.
- Objetivo: Elaborar gráficos de funções unidimensionais e organizá-los de diferentes formas.

4.3.2 Especificações

- Suponha a Série de Fourier em Tempo Contínuo (*Continuous-Time Fourier Series* ou CTFS) definida por

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} X_k \; e^{jk\omega_P t} \tag{4.1}$$

  e

$$X_k = \frac{1}{T_P} \int_{t_0}^{t_0+T_P} x(t) \; e^{-jk\omega_P t} \; dt \; , \tag{4.2}$$

  onde: $x(t)$ é um sinal periódico, com período T_P, que atende às Condições de Dirichlet, X_k são os coeficientes da Série Exponencial de Fourier e $\omega_P = 2\pi f_P = 2\pi \frac{1}{T_P}$.

- As equações acima realizam uma transformação da seqüência $x(t)$ nos coeficientes X_k e vice-versa.

- Suponha o sinal analógico periódico definido por

$$x(t) = \begin{cases} |A| & , \quad |t| < T_B \\ \\ 0 & , \quad T_B < |t| < \frac{T_P}{2} \end{cases} \; . \tag{4.3}$$

- Uma vez que a Série de Fourier envolve um cálculo numérico com infinitas parcelas, não é possível efetuá-lo sem erros.
- Para que se efetue o cálculo numérico é necessário que se defina uma faixa $k = [-K; K]$, onde $K \in \mathbb{N}+$.
- Deve ser lembrado que, mesmo para um elevado valor de K, sempre haverá uma manifestação significativa do erro de aproximação nos dados calculados (Fenômeno de Gibbs).

4.3.3 Tarefas

1. Pesquise sobre o Fenômeno de Gibbs que ocorre na telescopagem de uma série. Faça um resumo do resultado da sua pesquisa. (0.5 pts)

2. Suponha o sinal analógico periódico $x(t)$ descrito acima. Desenvolva a equação de cálculo dos coeficientes X_k de $x(t)$, a partir da equação da CTFS, usando os parâmetros genéricos A, T_B e T_P. (0.5 pts)

3. Desenvolva um código Octave que, recebendo valores para os parâmetros A, T_B e T_P, para uma faixa de tempo $[T_1; T_2]$, onde $T_1 = (-N_{per} \cdot T_P)$ e $T_2 = (N_{per} \cdot T_P)$, para a quantidade K de parcelas da Série de Fourier e para o intervalo de amostragem $T_S = \frac{1}{F_S}$, de tal forma que $F_S > 2\ F_{max} = 2 \cdot K \cdot f_P$ (sugestão: $F_S = 10 \cdot K \cdot f_P$), calcule:

   (a) A seqüência $x_{def}[n] = x_{def}(nT_S)$, que aproxima a função $x(t)$, definida acima.

   (b) Os Coeficientes de Fourier X_k, relativos à função $x(t)$ definida acima, por meio da equação desenvolvida acima.

   (c) A seqüência $x_{aprox}[n] = x_{aprox}(nT_S)$, que aproxima a função $x_{aprox}(t)$, que é o sinal $x(t)$ da equação (1) calculado na faixa $k = [-K; K]$.

   (1.5 pts)

4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 3 gráficos, organizados de forma matricial. Na primeira coluna, deverá ser gerado um único gráfico, ocupando duas posições, referente ao sinal original $x(t)$. Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir as ordenadas na faixa $[-0.25 \cdot A; 1.25 \cdot A]$ e as abscissas na faixa $[T_1; T_2]$. Na segunda coluna, deverão ser gerados dois gráficos, referentes ao módulo e ao ângulo de fase dos Coeficientes da Série de Fourier de $x(t)$. Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir as ordenadas na faixa $[0; A]$ e as abscissas na faixa $[-K; K]$. (1.5 pts)

5. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 8 gráficos, organizados de forma matricial. Na primeira linha, deverão ser gerados três gráficos, referentes às três primeiras componentes harmônicas de $x(t)$. Na segunda linha, deverão ser gerados três gráficos, referentes às próximas três componentes harmônicas de $x(t)$. Na terceira linha, deverá gerado um único gráfico, ocupando três posições, referente às seis primeiras componentes harmônicas de $x(t)$ superpostas. Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir as ordenadas na faixa $[-A; A]$ e as abscissas na faixa $[T_1; T_2]$. Na última linha, deverá gerado um único gráfico, ocupando três posições, referente ao sinal $x_{aprox}(t)$, que é a composição do sinal $x(t)$ com K parcelas da Série de Fourier. Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir as ordenadas na faixa $[-0.25 \cdot A; 1.25 \cdot A]$ e as abscissas na faixa $[T_1; T_2]$. (3.0 pts)

6. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 2 gráficos, organizados de forma matricial. Na primeira linha, deverá ser gerado um gráfico, referente ao sinal original $x(t)$. Na segunda linha, deverá ser gerado o outro gráfico, referente ao sinal $x_{aprox}(t)$, que é a composição do sinal $x(t)$ com K parcelas da Série de Fourier. Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir as ordenadas na faixa $[-0.25 \cdot A; 1.25 \cdot A]$ e as abscissas na faixa $[T_1; T_2]$. (1.0 pts)

7. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

4.4 TEC4

4.4.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Elaboração de gráficos de funções bidimensionais.
- Objetivo: Elaborar gráficos de funções bidimensionais.

4.4.2 Especificações

- As funções polinomiais de variáveis complexas, com coeficientes constantes, são muito importantes em Processamento de Sinais.
- Para facilitar a compreensão do comportamento de tais funções bidimensionais, normalmente são elaborados gráficos em espaço tridimensional e/ou projeções em espaços bidimensionais.
- Suponha a variável complexa $z = |z| \; e^{j\angle z} = |z| \; e^{j\Omega}$, na forma polar, ou $z = Re\{z\} + jIm\{z\} = x + jy$, na forma retangular, que define um plano complexo.
- Dentro do plano complexo associado à variável z, suponha o círculo de raio unitário, definido por $|z| = 1$ ou $z = e^{j\Omega}$.
- Suponha a superfície definida pela seguinte função polinomial: $H(z) = H_1(z) + H_2(z)$, onde: $H_1(z) = \sum_{k=0}^{(N-1)} b_k z^{-k}$ e $H_2(z) = z^{(N-1)}$.
- Suponha a curva definida pela função polinomial $H(e^{j\Omega})$, calculada por $H(z)$, quando $|z| = 1$ ou $z = e^{j\Omega}$.

4.4.3 Tarefas

1. Desenvolva um código Octave que, recebendo o valor de N, os valores dos coeficientes $b = \{b_k\} = \{b_0 \; b_1 \; \cdots \; b_{N-1}\}$, o valor do intervalo de amostragem retangular uniforme $\Delta_x = \Delta_y = Z_{smp}$, os valores $|x|_{max}$, $|y|_{max}$, os valores $|H(z)|_{min}$, $|H(z)|_{max}$, azimute e elevação, desenhe, em um único gráfico, em espaço tridimensional, a superfície $H(z)$, a curva $H(e^{j\Omega})$ e o círculo unitário no plano complexo z. Para teste, utilize $N = 4$, $b_k = \frac{1}{N}$, $Z_{smp} = 0.05$, $|x|_{max} = |y|_{max} = 2$, $|H(z)|_{min} = 0$, $|H(z)|_{max} = 3$, azimute $= -45$ e elevação $= 65$. (6.0 pts)

2. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que desenhe o mesmo gráfico definido acima, em outra figura, porém recalculando os pontos da superfície para $|x|_{max} = |y|_{max} = 1$ (o que equivale a interseção da superfície com um cilindro de raio unitário), bem como considerando $|H(z)|_{max} = 2$. (1.0 pts)

3. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (3.0 pts)

4.5 TEC5

4.5.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Representação, manipulação e exibição de imagens com o auxílio de matrizes.
- Objetivo: Trabalhar noções básicas sobre a representação de imagens por meio de matrizes, a realização de manipulações matriciais básicas e a exibição de imagens armazenadas.

4.5.2 Especificações

- Imagens podem ser interpretadas como representações gráficas de funções bidimensionais. Cada par de coordenadas cartesianas (x, y) é mapeado em um valor $z = f(x, y)$, que carrega uma informação de cor da imagem em (x, y). Nessa interpretação, a imagem representa o conjunto de todos os pontos $p = p_k$ formados por triplas $p_k = (x_k, y_k, z_k)$. Cada ponto p_k é denominado de *picture element* ou pixel. Por definição, uma imagem analógica contém um número infinito de pixels.

- Uma imagem discreta pode ser interpretada como um gráfico discreto de função bidimensional. Os valores z_k dos pontos p_k podem ser armazenados em matrizes, onde as linhas e as colunas da matriz são associadas ao valores x_k e y_k, respectivamente. Com esse tipo de representação, as imagens podem ser matricialmente manipuladas.

- Na amostragem de imagens, quanto menor for o intervalo de amostragem (resolução) utilizado na geração da imagem discreta, maior será o número de pontos p_k (pixels) obtidos.

- Na exibição das imagens armazenadas em matrizes, considera-se que o ponto p_k (pixel) ocupa uma determinada área em torno da posição (x_k, y_k), a qual é preenchida com a cor definida pelo valor z_k da matriz. Quanto menor for a área ocupada por cada pixel, maior será a densidade superficial de pontos. Uma unidade comumente utilizada para expressar a densidade superficial de pontos é "Pontos Por Polegada" ou *Dots Per Inch* ou DPI.

- Levando-se em consideração a resolução usada na amostragem de uma imagem e a densidade superficial de pontos usada na sua reprodução, pode-se dizer que, independentemente do tamanho original da imagem, quanto menor for o valor da resolução e quanto maior for a densidade superficial, maior será a qualidade visual da reprodução da imagem.

- Na tentativa de se ocupar menos espaço no armazenamento, pode-se aplicar a operação de *downsampling*. Por exemplo:

  - Aplicando-se um *downsampling* de 2 em x, elimina-se uma coluna entre cada duas antigas colunas.
  - Aplicando-se um *downsampling* de 2 em y, elimina-se uma linha entre cada duas antigas linhas.

- Por outro lado, na tentativa de se melhorar a resolução de uma imagem armazenada, diminuindo-se o seu valor, pode-se aplicar a operação de *upsampling*, seguida de algum método de interpolação. Por exemplo:
  - Aplicando-se um *upsampling* de 2 em x, abre-se uma nova coluna entre cada duas antigas colunas e novos valores devem ser calculados.
  - Aplicando-se um *upsampling* de 2 em y, abre-se uma nova linha entre cada duas antigas linhas e novos valores devem ser calculados.

  Um método de interpolação simples de se implementar é a interpolação linear, que, para um *upsampling* de 2, resume-se ao cálculo de uma média aritmética de dois valores.

4.5.3 Tarefas

1. Explique as seguintes afirmações:
   - Levando-se em consideração a resolução usada na amostragem de uma imagem e a densidade superficial de pontos usada na sua reprodução, pode-se dizer que, independentemente do tamanho original da imagem, quanto menor for o valor da resolução e quanto maior for a densidade superficial, maior será a qualidade visual da reprodução da imagem.
   - Diminuir o valor da resolução usada na amostragem de uma imagem e manter a densidade superficial de pontos usada na sua reprodução, equivale a aumentar o tamanho da imagem.
   - Manter o valor da resolução usada na amostragem de uma imagem e aumentar a densidade superficial de pontos usada na sua reprodução, equivale a diminuir o tamanho da imagem.

   (1.5 pts)

2. Desenvolva um código Octave que, recebendo uma matriz M_{org}, com dimensões $L_{org} \times C_{org}$, contendo os índices de cores de uma imagem, e um mapa de cores, realize um *upsampling* de 2, tanto em x quanto em y, na matriz M_{org}, gerando uma nova matriz M_{int}, e calcule o valor de cada novo ponto usando a média aritmética entre os dois pontos existentes imediatamente a cada lado do ponto em questão. (3.0 pts)

3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 7 imagens, organizadas de forma matricial.

   Atenção: Todas as imagens deverão estar alinhadas com a origem $(x = 0, y = 0)$.

   Na primeira linha, deverão ser gerados três imagens, referentes à matriz M_{org}.
   - A primeira imagem deve ser gerada pela matriz M_{org}, em tamanho original, em uma área igual ao dobro do tamanho da imagem original.
   - A segunda imagem deve ser gerada pela matriz M_{org}, com o dobro do tamanho, em uma área igual ao dobro do tamanho da imagem original.

- A terceira imagem deve ser gerada pela matriz M_{org}, realizando a superposição das duas imagens anteriores, em uma área igual ao dobro do tamanho da imagem original.

Na segunda linha, deverão ser gerados três imagens, referentes à matriz M_{int}.

- A primeira imagem deve ser gerada pela matriz M_{int}, em tamanho original, em uma área igual ao dobro do tamanho da imagem original.
- A segunda imagem deve ser gerada pela matriz M_{int}, com a metade do tamanho, em uma área igual ao dobro do tamanho da imagem original.
- A terceira imagem deve ser gerada pela matriz M_{int}, realizando a superposição das duas imagens anteriores, em uma área igual ao dobro do tamanho da imagem original.

Na terceira linha, deverá gerada uma única imagem, referente às matrizes M_{org} e M_{int}, realizando a superposição das duas imagens, em tamanho original, em uma área igual ao dobro do tamanho da imagem original.

(3.5 pts)

4. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

4.6 TEC6

4.6.1 Definições

- Tempo de execução: 2 semanas.
- Título: Implementação e simulação digital de sistemas em tempo discreto.
- Objetivo: Aplicar conhecimentos de Circuitos Digitais para implementar uma aproximação digital de um sistema em tempo discreto representado por uma equação recursiva, utilizando o ambiente de desenvolvimento integrado (*Integrated Development Environment* ou IDE) do fabricante Altera (MaxPlus-II ou Quartus-II).

4.6.2 Especificações

- Suponha um sistema em tempo discreto, com entrada $x[n]$ e saída $y[n]$, representado pela seguinte equação recursiva:

$$a_0\ y[n] + a_1\ y[n-1] + a_2\ y[n-2] = b_0\ x[n] + b_1\ x[n-1] + b_2\ x[n-2]\ . \tag{4.4}$$

- Suponha que $y[-1] = y[-2] = x[-1] = x[-2] = 0$.
- Suponha que, dada uma determinada especificação para o funcionamento do sistema, foram calculados os seguintes coeficientes:

$$b = [\ b_0\ b_1\ b_2\ ] = [\ 0.435390588649551\ 0.507111243808470\ 0.435390588649552\ ]$$

e

$$a = [\ a_0\ a_1\ a_2] = [\ 1.000000000000000\ 0.113933557377612\ 0.263958863729961\ ]\ .$$

- Suponha uma implementação digital, do tipo ponto fixo, com TODOS os dados numéricos fracionários e representados no Sistema de Numeração Posicional Convencional (SNPC), com base $b = 2$, codificados em Complemento a 2, empregando um total de 10 *bits*.
- Suponha que o bloco atrasador unitário é implementado por um registrador, que apresenta dois comandos ($LOAD$ e $CLEAR$) e é formado por *flip-flops* do tipo D.
- Suponha que o bloco somador é implementado por um *Carry Propagate Adder* (CPA) ou *Ripple Carry Adder* (RCA), formado apenas por blocos do tipo *Full Adder* (FA).
- Suponha um bloco complementador condicional, controlado por um sinal $C2$. No caso de $C2 = 0$, a saída deve ser igual a entrada. No caso de $C2 = 1$, a saída deve ser o Complemento a 2 da entrada.
- Suponha um bloco escalador simplificado básico, que opera apenas com fatores de escala positivos, do tipo 2^{-k}, onde $k \in \mathbb{Z}^+$, empregando a técnica de *sign extension*.
- Suponha um bloco escalador simplificado genérico, para fatores de escala $\pm 2^{-k}$, onde $k \in \mathbb{Z}^+$, formado pela composição de um bloco escalador simplificado básico com um bloco complementador condicional.

4.6.3 Tarefas

1. Desenhe um diagrama de blocos que represente o sistema e as condições em questão. (0.5 pts)
2. Calcule os valores dos coeficientes b_0, b_1, b_2, a_1 e a_2, em uma representação binária truncada, empregando um total de 10 *bits*, codificada em Complemento a 2. (0.5 pts)
3. Calcule os valores decimais dos coeficientes b_0, b_1, b_2, a_1 e a_2, correspondentes aos valores binários encontrados. (0.5 pts)
4. Implemente um registrador na IDE, na forma de um bloco funcional. Realize uma simulação que mostre as operações de $LOAD$ e $CLEAR$. (0.5 pts)
5. Projete um bloco FA, empregando o seguinte processo: tabela verdade, mapa de Karnaugh e equação na forma SOP (*Sum Of Products*) mínima. (1.0 pts)
6. Implemente o FA projetado na IDE, na forma de um bloco funcional. Realize uma simulação que mostre a sua tabela verdade. (0.5 pts)
7. Implemente o CPA/RCA na IDE, na forma de um bloco funcional. Realize uma simulação que mostre sua operação sem *overflow*, com *overflow* positivo e com *overflow* negativo. (0.5 pts)
8. Projete o bloco complementador condicional com uma arquitetura modular, baseado na técnica de complementação por varredura. Projete o módulo básico empregando o seguinte processo: tabela verdade, mapa de Karnaugh e equação na forma SOP (*Sum Of Products*) mínima. (1.0 pts)
9. Implemente bloco complementador condicional na IDE, na forma de um bloco funcional. Realize uma simulação que mostre sua operação com um operando nulo, com um operando positivo e com um operando negativo. (0.5 pts)

10. Implemente o bloco multiplicador simplificado genérico na IDE, na forma de um bloco funcional. Realize uma simulação que mostre sua operação com um operando nulo, com um operando positivo e com um operando negativo, empregando um fator de escala positivo e outro negativo. (1.0 pts)
11. Implemente o sistema na IDE, empregando os blocos funcionais desenvolvidos. Realize uma simulação que mostre sua resposta $y[n] = 0.5\ h[n]$, para a entrada $x[n] = 0.5\ \delta[n]$, onde $n = [0; 20]$. (1.5 pts)
12. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Coloque as imagens da IDE (esquemáticos e formas de onda) na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

4.7 TEC7

4.7.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Conexões básicas de sistemas e cálculo da resposta de um sistema usando simulação.
- Objetivo: Efetuar cálculos manuais envolvidos nas conexões básicas de sistemas (cascata e paralela) e realizar o cálculo da resposta de um sistema usando simulação.

4.7.2 Especificações

- Considere que todos os sistemas envolvidos nesse trabalho estão relaxados.
- Considere o BIQUAD definido por

$$\begin{aligned} T_B(D) &= \frac{b_0 + b_1 D^{-1} + b_2 D^{-2}}{1 + a_1 D^{-1} + a_2 D^{-2}} \\ &= (b_0) \cdot \frac{1 + \left(\frac{b_1}{b_0}\right) D^{-1} + \left(\frac{b_2}{b_0}\right) D^{-2}}{1 + a_1 D^{-1} + a_2 D^{-2}} \\ &= (b_0) \cdot \frac{\left(1 - z_{B1} D^{-1}\right)\left(1 - z_{B2} D^{-1}\right)}{\left(1 - p_{B1} D^{-1}\right)\left(1 - p_{B2} D^{-1}\right)} \ . \end{aligned} \tag{4.5}$$

- Considere o sistema S_{11} definido por

$$T_{11}(D) = \frac{K_{11}}{1 - p_{11} D^{-1}} \ . \tag{4.6}$$

- Considere o sistema S_{12} definido por

$$T_{12}(D) = \frac{K_{12}}{1 - p_{12} D^{-1}} \ . \tag{4.7}$$

- Considere o sistema S_1 formado pela conexão paralela de S_{11} com S_{12}.
- Considere o sistema S_2 definido por

$$T_2(D) = K_2 \left(1 - z_2 D^{-1}\right) \ . \tag{4.8}$$

- Considere o sistema S formado pela conexão cascata de S_1 com S_2.

4.7.3 Tarefas

1. Considere que a entrada e a saída do sistema S são, respectivamente, $x[n]$ e $y[n]$.

   Onde for necessário, utilize $x[n] = \delta[n]$, para $0 \leq n \leq 49$.

2. Desenhe um diagrama de blocos que represente o sistema S. (0.25 pts)

3. Calcule $T_1(D)$ do sistema S_1. (1.0 pts)

4. Calcule $T(D)$ do sistema S. (1.0 pts)

5. Compare $T_B(D)$ e $T(D)$, particularmente comparando os diversos parâmetros existentes nas equações envolvidas. (0.5 pts)

6. Escreva a equação de diferença do sistema S_{11}. (0.25 pts)

7. Escreva a equação de diferença do sistema S_{12}. (0.25 pts)

8. Escreva a equação de diferença do sistema S_1. (0.25 pts)

9. Escreva a equação de diferença do sistema S_2. (0.25 pts)

10. Escreva a equação de diferença do sistema S. (0.25 pts)

11. Desenvolva um código Octave que calcule a resposta do sistema S_{11}, usando a função *filter*(), para a entrada $x[n]$. (0.5 pts)

12. Desenvolva um código Octave que calcule a resposta do sistema S_{12}, usando a função *filter*(), para a entrada $x[n]$. (0.5 pts)

13. Desenvolva um código Octave que calcule a resposta do sistema S_1, usando a função *filter*(), para a entrada $x[n]$.

    Desenvolva um código Octave que calcule a resposta do sistema S_1, usando as saídas dos sistemas S_{11} e S_{12}. (Total: 1.0 pts)

14. Desenvolva um código Octave que calcule a resposta do sistema S_2, usando as saídas dos sistemas S_{11} e S_{12}.

    Desenvolva um código Octave que calcule a resposta do sistema S, usando a função *filter*(), para a entrada $x[n]$. (Total: 1.0 pts)

15. Desenvolva um código Octave que elabore os gráficos necessários para ilustrar a entrada $x[n]$ e TODAS as saídas calculadas. Identifique os gráficos com indicações nos eixos e títulos. Organize os gráficos de forma a evidenciar as relações existentes entre os diversos sistemas. (1.0 pts)

16. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

4.8 TEC8

4.8.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Realimentação em sistemas do tipo SISO.
- Objetivo: Efetuar cálculos manuais envolvidos na realimentação em sistemas do tipo SISO e realizar o cálculo das posições de zeros e pólos dos sistemas.

4.8.2 Especificações

- Considere que todos os sistemas envolvidos nesse trabalho estão relaxados.
- Uma configuração básica de sistemas do tipo SISO realimentados é formada por: uma planta (P), um sistema de controle (C) e um sistema de realimentação ou de *feedback* (F)
- A planta P recebe o sinal de atuação $a[n]$ e gera o sinal controlado $c[n]$.
- O sistema de controle C recebe o sinal de erro $e[n]$ e gera o sinal de atuação $a[n]$.
- O sistema de realimentação F recebe o sinal controlado $c[n]$ e gera o sinal realimentado $f[n]$.
- Por fim, o sinal de erro $e[n]$ é gerado pela diferença entre o sinal de referência $r[n]$ e o sinal realimentado $f[n]$, de tal forma que $e[n] = r[n] - f[n]$.
- O sinal de referência $r[n]$ e o sinal controlado $c[n]$, representam, respectivamente, a entrada e a saída do sistema realimentado S.
- O raciocínio que leva a tal arranjo é o seguinte:
  - A planta P é o sistema original, pré-existente, e no qual não pode ser feita qualquer modificação. Portanto, qualquer alteração das suas características deve ser realizada por um arranjo externo de controle.
  - O sinal controlado $c[n]$ é a variável da planta sobre a qual se deseja ter controle.
  - O sistema de controle C é um sistema projetado para atuar sobre a planta e exercer a ação de controle desejada.
  - O sinal de atuação $a[n]$ é a variável da planta sobre a qual o sistema de controle atua para exercer o controle desejado.
  - Como o próprio nome indica, o sistema de realimentação F é responsável pelas ações de medição, modificação e reaplicação de sinal, na forma de uma referência interna. No arranjo em questão, ele mede o sinal controlado $c[n]$ e gera o sinal realimentado $f[n]$.
  - Pode-se demonstrar que a realimentação traz uma série de benefícios em troca de uma perda no valor do ganho do sistema original.
  - Completando o arranjo realimentado, um sinal de erro $e[n]$ é gerado por meio da comparação (subtração) do sinal de referência externo $r[n]$ com o sinal de referência interno $f[n]$.

- O sinal de erro $e[n]$ é aplicado no sistema de controle C, fornecendo a informação necessária à sua operação de controle.
- De ponto de vista externo, o sistema SISO S é o sistema realimentado final, com entrada $r[n]$ e saída $c[n]$.

- A relação proveniente da associação cascata do sistema de controle e da planta é conhecida como Ganho de Malha Aberta (*Open Loop Gain*).
- A relação proveniente da associação cascata do sistema de controle, da planta e do sistema de realimentação, é conhecida como Ganho de Malha (*Loop Gain*).
- A relação apresentada pelo sistema realimentado é conhecida como Ganho de Malha Fechada (*Closed Loop Gain*).
- Supondo-se que cada um dos sistemas envolvidos é descrito por uma equação de diferença do tipo
$$\sum_{k=0}^{N} a_k \; y[n-k] = \sum_{k=0}^{L} b_k \; x[n-k] \ ,$$
pode-se representá-los por operadores de transferência que assumem as seguintes formas:
$$T(D) = \frac{N_T(D)}{D_T(D)} = \frac{\sum_{k=0}^{L} b_k \; D^{-k}}{\sum_{k=0}^{N} a_k \; D^{-k}} = K \cdot \frac{\prod_{k=0}^{L}(1 - z_k \; D^{-1})}{\prod_{k=0}^{N}(1 - p_k \; D^{-1})} \ .$$
- A constante K é conhecida como ganho de transmissão do sistema.
- As raízes do polinômio numerador $N_T(D) = \sum_{k=0}^{L} b_k \; D^{-k}$ são os zeros z_k de $T(D)$.
- As raízes do polinômio denominador $D_T(D) = \sum_{k=0}^{N} a_k \; D^{-k}$ são os pólos p_k de $T(D)$.
- Observa-se uma relação direta entre os coeficientes a_k e os pólos p_k, bem como entre os coeficientes b_k e os zeros z_k,
- Os zeros e os pólos de $T(D)$ podem ser complexos. Uma vez que os coeficientes a_k e b_k são reais, se existir uma raiz complexa, deve existir uma segunda raiz complexa, cujo valor é o conjugado da primeira.
- O gráfico que mostra a localização dos pólos e dos zeros de $T(D)$ em um plano complexo é denominado de Diagrama de Pólos e Zeros (DPZ). Normalmente, as posições dos zeros e dos pólos são marcadas com os símbolos “O” e “X”, respectivamente. O valor da constante de ganho K costuma ser escrito em algum lugar do gráfico.

4.8.3 Tarefas

1. Tarefas teóricas (5.0 pts):
   (a) Desenhe o diagrama de blocos genéricos do sistema S. (0.25 pts)
   (b) Calcule o ganho de malha aberta (*open loop gain*), definido por $c[n] = T_{OLG}(D) \; e[n]$, em função de $T_C(D)$, $T_P(D)$ e $T_F(D)$. (0.50 pts)
   (c) Calcule o ganho de malha (*loop gain*), definido por $f[n] = T_{LG}(D) \; e[n]$, em função de $T_C(D)$, $T_P(D)$ e $T_F(D)$. (0.50 pts)

(d) Calcule o ganho de malha fechada (*closed loop gain*), definido por $c[n] = T_{CLG}(D)\, r[n]$, em função de $T_{OLG}(D)$ e $T_{LG}(D)$. (0.50 pts)

(e) Calcule o operador de transferência $T_S(D) = \frac{N_S(D)}{D_S(D)}$, do sistema S, em função de $T_C(D)$, $T_P(D)$ e $T_F(D)$. (0.50 pts)

(f) Expresse $T_S(D) = \frac{N_S(D)}{D_S(D)}$ exclusivamente em função dos polinômios $N_\alpha(D)$ e D_α (D), onde $\alpha = \{C, P, F\}$. (1.00 pts)

(g) Discuta como os zeros e os pólos de T_α, onde $\alpha = \{C, P, F\}$, influenciam a formação dos zeros e dos pólos de $T_S(D)$. (1.00 pts)

(h) Calcule o ganho de transmissão K_{OLG}. (0.25 pts)

(i) Calcule o ganho de transmissão $K_{CLG} = K_S$. (0.50 pts)

2. Tarefas práticas (5.0 pts):

(a) Desenvolva um código Octave que calcule os zeros, os pólos e a constante de ganho de um sistema, a partir dos coeficientes da sua equação de diferença, dados pelos vetores $a = [\ a_0,\ a_1,\ \cdots\ ,\ a_N\ ]$ e $b = [\ b_0,\ b_1,\ \cdots\ ,\ b_L\ ]$. (0.50 pts)

(b) Desenvolva um código Octave que implemente uma função que receba os zeros, os pólos e a constante de ganho de um sistema, e que gere um DPZ contendo: o círculo de raio unitário, os zeros, os pólos e a constante de ganho.

Controle o formato do gráfico, de forma que: i) o círculo não sofra distorção e ii) os valores de visualização mínimo e máximo sejam iguais em módulo e sejam iguais tanto na abscissa quanto na ordenada. (1.00 pts)

(c) Desenvolva um código Octave que gere o DPZ de $T_P(D)$. (0.50 pts)

(d) Desenvolva um código Octave que gere o DPZ de $T_{OLG}(D)$. (0.50 pts)

(e) Desenvolva um código Octave que gere o DPZ de $T_{CLG}(D)$. (0.50 pts)

(f) Teste os códigos propostos com os sistemas C, P e F, respectivamente definidos por

$$a[n] - 0.50\ a[n-1] = 3\ e[n] - 0.75\ e[n-1]\ ,$$

$$c[n] - 1.60\ c[n-1] + 1.45\ c[n-2] = 5\ a[n] + 4\ a[n-1] + 2.60\ a[n-2]$$

e

$$f[n] = 7\ c[n]\ .$$

(g) Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

4.9 TEC9

4.9.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Função Resposta em Freqüência de sistemas de primeira ordem
- Objetivo: Elaborar gráficos da função Resposta em Freqüência de sistemas de primeira ordem, observando seus perfis.

4.9.2 Especificações

- Um sistema em tempo discreto, com entrada $x[n]$ e saída $y[n]$, representado por

$$a_0 \; y[n] + a_1 \; y[n-1] = b_0 \; x[n] + b_1 \; x[n-1] \; , \tag{4.9}$$

possui uma função Resposta em Freqüência definida por

$$H(e^{j\Omega}) = \frac{b_0 + b_1 e^{-j\Omega}}{a_0 + a_1 e^{-j\Omega}} \; . \tag{4.10}$$

- Uma vez que $H(e^{j\Omega})$ é uma função complexa da variável real Ω, ela pode ser escrita na forma polar

$$H(e^{j\Omega}) = \left| H(e^{j\Omega}) \right| \; e^{j\angle H(e^{j\Omega})} \; . \tag{4.11}$$

- Pode-se mostrar que $H(e^{j\Omega})$ é periódica, com período $\Omega_P = 2\pi \; rad$.

- Supondo-se que os coeficientes $\boldsymbol{a} = [\; a_0 \; a_1 \;]$ e $\boldsymbol{b} = [\; b_0 \; b_1 \;]$ são reais, pode-se mostrar que $H(e^{j\Omega})$ apresenta as seguintes simetrias:
  - $\left| H(e^{j\Omega}) \right|$ é uma função par.
  - $\angle H(e^{j\Omega})$ é uma função ímpar.

- Devido às propriedades de periodicidade e de simetrias, apresentadas por $H(e^{j\Omega})$, é comum que os seus gráficos de módulo e de ângulo de fase sejam representados apenas na faixa dada por $0 \leq \Omega < \pi$. Também é comum que se apresente tais gráficos com a variável Ω normalizada, de tal forma que $\Omega_N = \frac{\Omega}{\pi}$ e $0 \leq \Omega_N < 1$.

- Há uma relação de equivalência angular entre os valores na faixa $[0; 2\pi]$, denominados de valores principais, e os valores fora dessa faixa. Por essa razão, é comum que os gráficos de ângulo de fase sejam apresentados na faixa $[-180^o; -180^o]$.

- No caso de um arranjo de M sistemas em cascata, com funções Resposta em Freqüência dadas por $H_m(e^{j\Omega})$, a Resposta em Freqüência total $H(e^{j\Omega})$ é calculada por

$$\begin{aligned}
H(e^{j\Omega}) &= \prod_{m=1}^{M} H_m(e^{j\Omega}) \\
&= H_1(e^{j\Omega}) \; H_2(e^{j\Omega}) \; \cdots \; H_M(e^{j\Omega}) \\
&= \left(\left| H_1(e^{j\Omega}) \right| \; \left| H_2(e^{j\Omega}) \right| \; \cdots \; \left| H_M(e^{j\Omega}) \right| \right) \; e^{j\left(\angle H_1(e^{j\Omega}) + \angle H_2(e^{j\Omega}) + \cdots + \angle H_M(e^{j\Omega}) \right)} \\
&= \left(\prod_{m=1}^{M} \left| H_m(e^{j\Omega}) \right| \right) \; e^{j\left(\sum_{m=1}^{M} \angle H_m(e^{j\Omega}) \right)} \\
&= \left| H(e^{j\Omega}) \right| \; e^{j\angle H(e^{j\Omega})} \; ,
\end{aligned} \tag{4.12}$$

onde

$$\left| H(e^{j\Omega}) \right| = \prod_{m=1}^{M} \left| H_m(e^{j\Omega}) \right| \tag{4.13}$$

e

$$\angle H(e^{j\Omega}) = \sum_{m=1}^{M} \angle H_m(e^{j\Omega}) \; . \tag{4.14}$$

- Uma vez que $K\ log_{10}(A \cdot B) = K\ log_{10}(A) + K\ log_{10}(B)$, o gráfico de $\left| H(e^{j\Omega}) \right|$ costuma ser apresentado utilizando-se a relação

$$\begin{aligned} \left. \left| H(e^{j\Omega}) \right| \right|_{dB} &= 20\ log_{10} \left(\left| H(e^{j\Omega}) \right| \right)\ dB \\ &= 20\ log_{10} \left(\prod_{m=1}^{M} \left| H_m(e^{j\Omega}) \right| \right)\ dB \\ &= \sum_{m=1}^{M} 20\ log_{10} \left(\left| H_m(e^{j\Omega}) \right| \right)\ dB \\ &= \sum_{m=1}^{M} \left. \left| H_m(e^{j\Omega}) \right| \right|_{dB}\ dB\ . \end{aligned} \tag{4.15}$$

- Dependendo dos valores dos coeficientes reais $\boldsymbol{a} = [\ a_0\ a_1\ ]$ e $\boldsymbol{b} = [\ b_0\ b_1\ ]$, diversos tipos de curvas podem ser obtidos para $\left| H(e^{j\Omega}) \right|$ e $\angle H(e^{j\Omega})$. Escolhendo-se adequadamente tais valores, podem-se conseguir curvas que apresentam seletividade em relação à freqüência Ω, tais como:

  - Passa-baixa.
  - Passa-alta.
  - Passa-faixa (ou passa-banda)
  - Rejeita-faixa (ou rejeita-banda)
  - Equalização (diferentes amplitudes em diversas faixas diferentes).

  Assim, os sistemas podem ser interpretados como filtros (seletores em freqüência), com perfil dado por sua função Resposta em Freqüência.

4.9.3 Tarefas

1. Suponha o sistema S_1 definido por

$$a_{10}\ v[n] + a_{11}\ v[n-1] = b_{10}\ x[n] + b_{11}\ x[n-1]\ , \tag{4.16}$$

   o sistema S_2 definido por

$$a_{20}\ y[n] + a_{21}\ y[n-1] = b_{20}\ v[n] + b_{21}\ v[n-1]\ , \tag{4.17}$$

   bem como o sistema S formado por um arranjo em cascata de S_1 e S_2, onde

$$\begin{aligned} \boldsymbol{a_{LP}} &= \boldsymbol{a_{S1}} = [\ a_{10}\ a_{11}\ ] = [\ 1.00000000000000000\ 0.24198643793324792\ ] \\ \boldsymbol{b_{LP}} &= \boldsymbol{b_{S1}} = [\ b_{10}\ b_{11}\ ] = [\ 0.62099321896662396\ 0.62099321896662396\ ] \\ \boldsymbol{a_{HP}} &= \boldsymbol{a_{S2}} = [\ a_{20}\ a_{21}\ ] = [\ 1.00000000000000000\ \ -0.24198643793324828\ ] \\ \boldsymbol{b_{HP}} &= \boldsymbol{b_{S2}} = [\ b_{20}\ b_{21}\ ] = [\ 0.62099321896662418\ \ -0.62099321896662418\ ]\ . \end{aligned} \tag{4.18}$$

2. Calcule as funções Resposta em Freqüência $H_{S1}(e^{j\Omega}) = H_{vx}(e^{j\Omega})$ e $H_{S2}(e^{j\Omega}) = H_{yv}(e^{j\Omega})$.

3. Demonstre que $H_S(e^{j\Omega}) = H_{yx}(e^{j\Omega}) = H_{S2}(e^{j\Omega})\ H_{S1}(e^{j\Omega}) = H_{yv}(e^{j\Omega})\ H_{vx}(e^{j\Omega})$. (0.5 pts)

4. Desenvolva um código Octave que calcule os valores do módulo em escala linear, do módulo em dB e do ângulo de fase em graus, para $H_{S1}(e^{j\Omega})$, para $H_{S2}(e^{j\Omega})$ e para $H_S(e^{j\Omega})$. Empregue o seguinte passo para a variação de Ω: $\Omega_{step} = \frac{2\pi}{360}$. No caso do módulo em dB, use a faixa $\Omega_{step} \leq \Omega \leq (\pi - \Omega_{step})$. (1.5 pts)

5. Para cada uma das funções Resposta em Freqüência ($H_{S1}(e^{j\Omega})$, $H_{S2}(e^{j\Omega})$ e $H_S(e^{j\Omega})$):

   - Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 8 gráficos, organizados de forma matricial.
   - Em cada coluna, deverão ser gerados dois gráficos, referentes ao módulo e ao ângulo de fase da função Resposta em Freqüência em questão.
   - Em todas as colunas, elabore os gráficos de ângulo de fase dentro da faixa $[-180^o \,;\, 180^o]$.
   - Na primeira coluna, considere o módulo em escala linear e empregue a faixa $-7\pi \leq \Omega \leq 7\pi$.
   - Na segunda coluna, considere o módulo em escala linear e empregue a faixa $0 \leq \Omega \leq \pi$.
   - Na terceira coluna, considere o módulo em escala linear e empregue a faixa $0 \leq \Omega_N \leq 1$.
   - Na quarta coluna, considere o módulo em dB e, ao invés de usar a faixa $0 \leq \Omega_N \leq 1$, empregue a faixa $\left(\frac{\Omega_{step}}{\pi}\right) \leq \Omega_N \leq \left(1 - \frac{\Omega_{step}}{\pi}\right)$.

   (6.0 pts)

6. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 6 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Em cada coluna, deverão ser gerados dois gráficos, referentes ao módulo e ao ângulo de fase da função Resposta em Freqüência em questão.
   - Em todas as colunas, elabore os gráficos de ângulo de fase dentro da faixa $[-180^o \,;\, 180^o]$.
   - Em todas as colunas, elabore os gráficos de módulo em dB. Ao invés de usar a faixa $0 \leq \Omega_N \leq 1$, empregue a faixa $\left(\frac{\Omega_{step}}{\pi}\right) \leq \Omega_N \leq \left(1 - \frac{\Omega_{step}}{\pi}\right)$.
   - Na primeira coluna, considere $H_{S1}(e^{j\Omega})$.
   - Na segunda coluna, considere $H_{S2}(e^{j\Omega})$.
   - Na terceira coluna, considere $H_S(e^{j\Omega})$.

   (0.5 pts)

7. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (1.5 pts)

4.10 TEC10

4.10.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.

- Título: Sinais periódicos e a DTFS.
- Objetivo: Calcular e elaborar os gráficos de módulo e de ângulo de fase dos coeficientes da DTFS de um sinal periódico.

4.10.2 Especificações

- A seqüência *gate* retangular unitário $G_{N_W}[n]$ é definida por

$$G_{N_W}[n] = \begin{cases} 1 \quad , \quad |n| \leq N_W \\ \\ 0 \quad , \quad |n| > N_W \end{cases} . \tag{4.19}$$

- A seqüência impulso unitário $\delta[n]$ é definida por

$$\delta[n] = \begin{cases} 1 \quad , \quad n = 0 \\ \\ 0 \quad , \quad n \neq 0 \end{cases} . \tag{4.20}$$

- A seqüência trem de impulsos unitários $\delta_{N_P}[n]$ é definida por

$$\delta_{N_P}[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta[n - kN_P] \ . \tag{4.21}$$

- A DTFS de um sinal periódico, com período fundamental N_F, é definida por

$$\begin{cases} \tilde{x}[n] = \sum_{k=\langle N_F \rangle} \tilde{X}[k] \ e^{jk\left(\frac{2\pi}{N_F}\right)n} \\ \\ \tilde{X}[k] = \frac{1}{N_F} \sum_{n=\langle N_F \rangle} \tilde{x}[n] \ e^{-jk\left(\frac{2\pi}{N_F}\right)n} \end{cases} . \tag{4.22}$$

- A função $Drcl(\cdot)$ é definida por

$$Drcl(r, M) = \frac{1}{M} \ \frac{sin(M\pi r)}{sin(\pi r)} \ . \tag{4.23}$$

4.10.3 Tarefas

1. Calcule o sinal $x_k[n] = G_2[n] * \delta[n-k]$, para um valor genérico $k \in \mathbb{Z}$. (0.5 pts)
2. Baseado no cálculo de $x_k[n]$, calcule o sinal $x[n] = G_2[n] * \delta_8[n]$. (0.5 pts)
3. Escreva a equação de $\tilde{X}[k] = DTFS\{x[n]\}$ na forma matricial. Desenvolva um código Octave que calcule o módulo e o ângulo de fase dos coeficientes $\tilde{X}[k]$, $0 \leq k \leq (N_F - 1)$, usando a equação matricial. (1.0 pts)
4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 3 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:
   - Na primeira linha, apresente o gráfico de $x[n] \times n$, para $-32 \leq n \leq 32$.
   - Na segunda linha, apresente o gráfico de $|\tilde{X}[k]|$, para $-32 \leq k \leq 32$.

- Na terceira linha, apresente o gráfico de $\angle\tilde{X}[k]$, para $-32 \leq k \leq 32$. Represente o ângulo de fase na faixa $[-180^o; -180^o]$.

(1.0 pts)

5. Utilizando a relação

$$\sum_{n=0}^{N-1} b^n = \begin{cases} N & , \quad b = 1 \\ \frac{1-b^N}{1-b} & , \quad b \neq 1 \end{cases} , \tag{4.24}$$

demonstre que

$$\tilde{X}[k] = \left(\frac{1}{8}\right) \, e^{jk\left(\frac{\pi}{2}\right)} \, \frac{1 - e^{-jk\left(\frac{5\pi}{4}\right)}}{1 - e^{-jk\left(\frac{\pi}{4}\right)}} = \left(\frac{1}{8}\right) \, \frac{sin(k\frac{5\pi}{8})}{sin(k\frac{\pi}{8})} \tag{4.25}$$

e descreva $\tilde{X}[k]$ usando a função $Drcl(\dot{})$, de tal forma que $\tilde{X}[k] = (K) \; Drcl(r, M)$.
(2.0 pts)

6. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura equivalente à figura do item (4), usando a Equação (4.25). (1.0 pts)

7. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura de comparação entre os cálculos apresentados nas figuras dos itens (4) e (6), usando a diferença dos valores de cada par de gráficos. (1.0 pts)

8. Repita o item (6) para o sinal $\hat{x}[n] = G_2[n] * \delta_{32}[n]$, com a faixa $-128 \leq n, k \leq 128$.
(1.0 pts)

9. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

4.11 TEC11

4.11.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Relações da DTFT com sinais aperiódicos, com as respostas de um SLIT e com a função Resposta em Freqüência.
- Objetivo: Calcular e elaborar os gráficos de módulo e de ângulo de fase da DTFT de um sinal aperiódico, bem como interpretar os resultados.

4.11.2 Especificações

- Em um SLIT, com entrada $x[n]$ e saída $y[n]$, vale a seguinte relação

$$x[n] \rightarrow y_{tot}[n] = y_{ent}[n] + y_{est}[n] \ ,$$

onde

$$y_{ent}[n] = y_{tot}[n]|_{CI's \ nulas}$$

e

$$y_{est}[n] = y_{tot}[n]|_{entrada \ nula} \ .$$

- Além disso, sabe-se que as seguintes relações também são válidas:

$$\delta[n] \rightarrow y_{ent}[n] = h[n] \tag{4.26}$$

e

$$x[n] \rightarrow y_{ent}[n] = h[n] * x[n] \ . \tag{4.27}$$

- A DTFT de um sinal aperiódico $v[n]$ é definida por

$$\begin{cases} v[n] = \frac{1}{2\pi} \int_{\Omega=\langle 2\pi \rangle} V(e^{j\Omega}) \ e^{j\Omega n} \ d\Omega \\ \\ V(e^{j\Omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} v[n] e^{-j\Omega n} \end{cases} \tag{4.28}$$

e a função $V(e^{j\Omega})$ pode ser interpretada como a representação em domínio transformado (freqüência Ω) do sinal $v[n]$.

- Aplicando-se (4.28) em (4.26), obtém-se

$$\delta[n] = \frac{1}{2\pi} \int_{\Omega=\langle 2\pi \rangle} \Delta(e^{j\Omega}) \ e^{j\Omega n} \ d\Omega \rightarrow y_{ent}[n] = h[n] = \frac{1}{2\pi} \int_{\Omega=\langle 2\pi \rangle} H(e^{j\Omega}) \ e^{j\Omega n} \ d\Omega \ , \tag{4.29}$$

que define $H(e^{j\Omega})$ como a DTFT da resposta ao impulso $h[n]$.

- Aplicando-se (4.28) em (4.27), obtém-se

$$x[n] = \frac{1}{2\pi} \int_{\Omega=\langle 2\pi \rangle} X(e^{j\Omega}) \ e^{j\Omega n} \ d\Omega$$

$$\rightarrow$$

$$y_{ent}[n] = h[n] * x[n] = \frac{1}{2\pi} \int_{\Omega=\langle 2\pi \rangle} \left[H(e^{j\Omega}) \ X(e^{j\Omega}) \right] \ e^{j\Omega n} \ d\Omega \ , \tag{4.30}$$

que define $H(e^{j\Omega})$ como a função Resposta em Freqüência de um SLIT estável.

- Portanto, conclui-se que a função Resposta em Freqüência de um SLIT estável é a DTFT da resposta ao impulso do sistema.

- De (4.28), pode-se demonstrar as seguintes relações:

$$v[n] \leftrightarrow V(e^{j\Omega}) \ ,$$

$$K \ v[n] \leftrightarrow K \ V(e^{j\Omega}) \ ,$$

$$v[n - N_D] \leftrightarrow e^{-j\Omega N_D} \ V(e^{j\Omega})$$

e

$$K_1 \ v[n - N_1] + K_2 \ v[n - N_2] \leftrightarrow \left(K_1 \ e^{-j\Omega N_1} + K_2 \ e^{-j\Omega N_1} \right) \ V(e^{j\Omega}) \ .$$

- Aplicando-se as relações definidas acima sobre a equação de diferença de um SLIT estável e relaxado, dada por

$$\sum_{k=0}^{N} a_k \ y_{ent}[n-k] = \sum_{k=0}^{L} b_k \ x[n-k] \ ,$$

obtém-se

$$\left(\sum_{k=0}^{N} a_k \ e^{-j\Omega k} \right) \ Y_{ent}(e^{j\Omega}) = \left(\sum_{k=0}^{L} b_k \ e^{-j\Omega k} \right) \ X(e^{j\Omega})$$

e

$$H(e^{j\Omega}) = \frac{Y_{ent}(e^{j\Omega})}{X(e^{j\Omega})} = \frac{\left(\sum_{k=0}^{N} b_k \ e^{-j\Omega k} \right)}{\left(\sum_{k=0}^{L} a_k \ e^{-j\Omega k} \right)} \ ,$$

que indica como calcular a função Resposta em Freqüencia de um SLIT diretamente a partir da equação de diferença que o define.

- Conhecendo-se a relação $h[n] \leftrightarrow H(e^{j\Omega})$, pode-se calcular a resposta ao impulso $h[n]$ do sistema utilizando-se a DTFT inversa, definida em (4.28).
- Ajustando-se adequadamente os coeficientes a_k e b_k, a função Resposta em Freqüência pode apresentar um perfil seletor em freqüência e o sistema pode ser interpretado como um filtro seletor em freqüência.

4.11.3 Tarefas

1. Suponha o sistema definido por

$$\sum_{k=0}^{6} a_k \ y[n-k] = \sum_{k=0}^{6} b_k \ x[n-k] \ , \tag{4.31}$$

onde

$$\begin{aligned} \boldsymbol{a_{BP}} \ &= \ \boldsymbol{a} \ = \ [\ a_0, \ a_1, \ a_2, \ a_3, \ a_4, \ a_5, \ a_6 \ ] \\ &= \ [\ 1.0000000000000000 \ e+000, \ -2.7755575615628914 \ e-016, \\ & \quad 1.7153161674673143 \ e+000, \ -9.1593399531575415 \ e-016, \\ & \quad 1.1387378097125811 \ e+000, \ -4.8572257327350599 \ e-016, \\ & \quad 2.6466648510149532 \ e-001 \ ] \end{aligned} \tag{4.32}$$

e

$$\begin{aligned} \boldsymbol{b_{BP}} \ &= \ \boldsymbol{b} \ = \ [\ b_0, \ b_1, \ b_2, \ b_3, \ b_4, \ b_5, \ b_6 \ ] \\ &= \ [\ 1.9844394642971434 \ e-002, \ 0.0000000000000000 \ e+000, \\ & \quad -5.9533183928914303 \ e-002, \ 0.0000000000000000 \ e+000, \\ & \quad 5.9533183928914303 \ e-002, \ 0.0000000000000000 \ e+000, \\ & \quad -1.9844394642971434 \ e-002 \ ] \ . \end{aligned} \tag{4.33}$$

2. Calcule o operador de transferência $T(D)$ do sistema.

3. Buscando colocar o operador de transferência na forma

$$T(D) = K_P \ \frac{\prod_k \left(1 - z_k \ D^{-k} \right)}{\prod_k \left(1 - p_k \ D^{-k} \right)} \ , \tag{4.34}$$

desenvolva um código Octave que calcule o ganho K_P , os zeros z_k e os pólos p_k de $T(D)$. (0.5 pts)

4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo o gráfico de um plano complexo contendo os zeros z_k e os pólos p_k de $T(D)$, conhecido como Diagrama de Pólos e Zeros. Marque os zeros com o símbolo “O” e os pólos com o símbolo “X”. Inclua também a curva do círculo de raio unitário. (0.5 pts)

5. Calcule a função Resposta em Freqüência do sistema $H(e^{j\Omega})$.

6. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule os valores do módulo em escala linear, do módulo em dB e do ângulo de fase em graus, para $H(e^{j\Omega})$. Empregue o seguinte passo para a variação de Ω: $\Omega_{step} = \frac{2\pi}{360}$. No caso do módulo em dB, use a faixa $\Omega_{step} \leq \Omega \leq (\pi - \Omega_{step})$. (0.5 pts)

7. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 4 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Em cada coluna, deverão ser gerados dois gráficos, referentes ao módulo e ao ângulo de fase da função Resposta em Freqüência em questão.
   - Em todas as colunas, elabore os gráficos de ângulo de fase dentro da faixa $[-180^o\ ;\ 180^o]$. Ajuste os limites de visualização da ordenada para $[-200^o\ ;\ 200^o]$.
   - Na primeira coluna, considere o módulo em escala linear e empregue a faixa $0 \leq \Omega_N \leq 1$. Ajuste os limites de visualização da ordenada para $[0; 1]$.
   - Na segunda coluna, considere o módulo em dB e, ao invés de usar a faixa $0 \leq \Omega_N \leq 1$, empregue a faixa $\left(\frac{\Omega_{step}}{\pi}\right) \leq \Omega_N \leq \left(1 - \frac{\Omega_{step}}{\pi}\right)$. Ajuste os limites de visualização da ordenada para $[-60; 0]$.

   (1.0 pts)

8. Considere o sinal analógico definido por $x(t) = \sum_k x_k(t) = \sum_k A_k \ cos\,(2\pi f_k t + \phi_k)$, onde $\boldsymbol{A} = [\ A_1,\ A_2,\ A_3\ ] = [\ 2,\ 1,\ 3\ ]$, $\boldsymbol{f} = [\ f_1,\ f_2,\ f_3\ ] = [\ 0.5,\ 1.0,\ 1.5\ ]\ kHz$ e $\boldsymbol{\phi} = [\ \phi_1,\ \phi_2,\ \phi_3\ ] = [\ 0,\ 0,\ 0\ ]\ rad$.

   Suponha que $x(t)$ foi uniformemente amostrado, com taxa de amostragem $F_S = 4\ kHz$, gerando a seqüência $x[n] = x(nT_S) = x(t)|_{t=nT_S}$.

9. Apresente a equação de $x[n]$, destacando os valores dos seus parâmetros. (0.5 pts)

10. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 4 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

    - Ajuste os limites de visualização da abscissa para a faixa $0 \leq t \leq 12\ ms$.
    - Na primeira linha, apresente a componente $x_1(t)$.
    - Na segunda linha, apresente a componente $x_2(t)$.
    - Na terceira linha, apresente a componente $x_3(t)$.
    - Na quarta linha, apresente o sinal $x(t)$.

    (1.0 pts)

11. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 4 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

    - Ajuste os limites de visualização da abscissa para a faixa $0 \leq n \leq 48$.
    - Na primeira linha, apresente a componente $x_1[n]$.
    - Na segunda linha, apresente a componente $x_2[n]$.
    - Na terceira linha, apresente a componente $x_3[n]$.

- Na quarta linha, apresente o sinal $x[n]$.

(1.0 pts)

12. Considere o sistema relaxado e desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a saída $y_{ent}[n]$ do sistema, empregando a função $filter(\cdot)$, para a faixa $0 \leq n \leq 48$. (0.5 pts)

13. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule os valores de $H(e^{j\Omega})$ para os valores de Ω relativos às componentes de $x[n]$ e, a partir deles, calcule a saída $y_{RP}[n]$, para a faixa $0 \leq n \leq 48$. (1.0 pts)

14. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 4 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

    - Ajuste os limites de visualização da abscissa para as faixas $0 \leq t \leq 12\ ms$ e $0 \leq n \leq 48$.
    - Na primeira linha, apresente a sinal $x(t)$.
    - Na segunda linha, apresente a sinal $x[n]$.
    - Na terceira linha, apresente a sinal $y_{ent}[n]$.
    - Na quarta linha, apresente a sinal $y_{RP}[n]$.

    (1.0 pts)

15. Compare os valores encontrados para as saídas $y_{ent}[n]$ e $y_{RP}[n]$. Explique a diferença existente para os valores iniciais de n. (0.5 pts)

16. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

4.12 TEC12

4.12.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Experimentos com a *N-point* DFT.
- Objetivo: Verificar a diferença de complexidade computacional da *N-point* DFT, calculada pelas equações originais e pela função *fft*(·). Verificar as características do cálculo da *N-point* DFT de um sinal senoidal.

4.12.2 Especificações

- A *N-point* DFT é definida por

$$\begin{cases} x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{(N-1)} X[k] e^{jk\left(\frac{2\pi}{N}\right)n} & , \quad 0 \leq n \leq (N-1) \\ X[k] = \sum_{n=0}^{(N-1)} x[n] e^{-jk\left(\frac{2\pi}{N}\right)n} & , \quad 0 \leq k \leq (N-1) \end{cases} .$$

- A *N-point* DFT também pode ser definida matricialmente por

$$\begin{cases} \boldsymbol{x}[n] = \boldsymbol{D}_N^{-1} \ \boldsymbol{X}[k] & , \quad 0 \leq n \leq (N-1) \\ \\ \boldsymbol{X}[k] = \boldsymbol{D}_N \ \boldsymbol{x}[n] & , \quad 0 \leq k \leq (N-1) \end{cases} ,$$

  onde:

  - $\boldsymbol{x}[n] = [\ x[0] \ x[1] \ \cdots \ x[(N-1)] \ ]^T$.
  - $\boldsymbol{X}[k] = [\ X[0] \ X[1] \ \cdots \ X[(N-1)] \ ]^T$.
  - $W_N = e^{-j\left(\frac{2\pi}{N}\right)}$.
  - $\boldsymbol{D}_N^{-1} = \frac{1}{N} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 1 & W_N^{-1} & W_N^{-2} & \cdots & W_N^{-(N-1)} \\ 1 & W_N^{-2} & W_N^{-4} & \cdots & W_N^{-2(N-1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & W_N^{-(N-1)} & W_N^{-2(N-1)} & \cdots & W_N^{-(N-1)(N-1)} \end{bmatrix}$.
  - $\boldsymbol{D}_N = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 1 & W_N^{1} & W_N^{2} & \cdots & W_N^{(N-1)} \\ 1 & W_N^{2} & W_N^{4} & \cdots & W_N^{2(N-1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & W_N^{(N-1)} & W_N^{2(N-1)} & \cdots & W_N^{(N-1)(N-1)} \end{bmatrix}$.
  - $\boldsymbol{D}_N^{-1} = \frac{1}{N} \ \boldsymbol{D}_N^*$.
  - $\boldsymbol{D}_N = N \ \left(\boldsymbol{D}_N^{-1}\right)^*$.

- Observa-se que o cálculo de $X[k]$ por meio das equações originais envolve a realização de "(N) multiplicações complexas + $(N-1)$ adições complexas", para cada valor de k.

- Assim, no cálculo total, são necessárias um total de "$N(N)$ multiplicações complexas + $N(N-1)$ adições complexas",

- Cada adição complexa requer "2 adições reais", enquanto cada multiplicação complexa requer "4 multiplicações reais + 2 adições reais",

- Portanto, o cálculo total necessita de "$4N(N)$ multiplicações reais + $[2N(N)] + [2N(N-1)]$ adições reais",

- Uma vez as multiplicações reais são computacionalmente mais custosas do que as adições reais, pode-se assumir que as equações originais da *N-point* DFT apresentam uma complexidade computacional de ordem N^2.

- Por outro lado, existem algoritmos otimizados que calculam a *N-point* DFT com uma complexidade computacional de ordem $N \ log_2 \ N$.

- O ouvido humano é capaz de identificar vibrações senoidais do ar, que são denominadas de som, em uma faixa padrão de freqüências dada por $20 \leq f \leq 22000 Hz$. O sinal da fala humana pode ser identificado mesmo sem as freqüências acima de 4 kHz.

- Assim, normalmente, o sinal de voz é filtrado em 3800 Hz e amostrado com $F_S = 8000Hz$. Por sua vez, o sinal de música é filtrado em 22000 Hz e amostrado com $F_S = 44100Hz$. Isso exemplifica a importância da aceleração do cálculo da DFT.
- O sinal senoidal $\tilde{x}[n] = A_0 \ cos\,(\Omega_0 n + \phi_0)$, onde $\Omega_0 = \frac{2\pi}{N_0}$, apresenta uma composição espectral dada por $\tilde{x}[n] = \sum_{k=\langle N_0 \rangle} \tilde{X}[k] \ e^{jk\Omega_0 n} = \left(\frac{A_0}{2}\right) \ e^{j(\Omega_0 n + \phi_0)} + \left(\frac{A_0}{2}\right) \ e^{-j(\Omega_0 n + \phi_0)}$.
- Conhecendo-se a relação entre a DTFS e a DFT, pode-se empregar uma *N-point* DFT para estimar a composição espectral de $\tilde{x}[n]$.

4.12.3 Tarefas

1. Com base nas especificações acima, calcule quantas amostras são obtidas na amostragem de um sinal de voz e na amostragem de um sinal de música, para $T_{rec} = 1 \ s$. (0.5 pts)
2. Desenvolva um código Octave que calcule as funções N^2, $N \ log_2 \ N$ e $G = \frac{N^2}{N \ log_2 \ N}$, para $10 \leq N \leq 45000$. Calcule, separadamente, os valores obtidos para os números de amostras calculados no item anterior. (0.5 pts)
3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 4 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:
   - Deverá ser gerado 1 gráfico por coluna.
   - Cada gráfico deverá simular uma função contínua.
   - Na primeira coluna, gere o gráfico da função N^2, em preto.
   - Na segunda coluna, gere o gráfico da função $N \ log_2 \ N$, em vermelho.
   - Na terceira coluna, gere os gráficos da função N^2, em preto, e da função $N \ log_2 \ N$, em vermelho, superpostos, na mesma escala.
   - Na quarta coluna, gere o gráfico da função $G = \frac{N^2}{N \ log_2 \ N}$, em azul.

   (1.0 pts)
4. Considere os vetores $N_{equ} = 2^m$, para $4 \leq m \leq 9$, e $N_{fft} = 2^m$, para $16 \leq m \leq 20$. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que atenda aos seguintes itens:
   - Gere um sinal aleatório com N_{rand} amostras, onde $N_{rand} = max\{N_{equ}, N_{fft}\}$.
   - Calcule a N_{equ}-*point* DFT, usando as equações matriciais especificadas, e compute o tempo gasto em cada cálculo $t_{equ}(N)$.
   - Calcule a N_{fft}-*point* DFT, usando a função *fft*(x, N), e compute o tempo gasto em cada cálculo $t_{fft}(N)$.

   (1.0 pts)
5. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 2 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:
   - Deverá ser gerado 1 gráfico por coluna.
   - Cada gráfico deverá simular uma função discreta.

- Na primeira coluna, gere o gráfico da função $t_{equ}(N)$, em preto.
- Na segunda coluna, gere o gráfico da função $t_{fft}(N)$, em vermelho.

Discuta os resultados provenientes dos dois processos de cálculo, levando em consideração os perfis esperados e os valores numéricos encontrados.

(1.0 pts)

6. Esboce, manualmente, os gráficos de módulo e de ângulo de fase da DTFS do sinal $\tilde{x}[n] = A_0 \; cos\,(\Omega_0 n + \phi_0)$, onde $A_0 = 1$, $\Omega_0 = \frac{\pi}{64}$ e $\phi_0 = -\frac{\pi}{4}$. (1.0 pts)

7. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que atenda aos seguintes itens:

   - Gere o sinal $\tilde{x}[n] = A_0 \; cos\,(\Omega_0 n + \phi_0)$, onde $A_0 = 1$, $\Omega_0 = \frac{\pi}{64}$ e $\phi_0 = -\frac{\pi}{4}$, para $0 \le n \le 512$.
   - Calcule a *N-point* DFT $X[k] = fft(\tilde{x}[n], N)$, para $N = [\ 64\ ,\ 128\ ,\ 512\ ,\ 1024]$.

   (1.0 pts)

8. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 8 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Em cada coluna, deverão ser gerados dois gráficos, referentes ao módulo e ao ângulo de fase da *N-point* DFT em questão.
   - Em todas as colunas, ajuste os limites de visualização da abscissa para $[0\ ;\ N]$.
   - Em todas as colunas, ajuste os limites de visualização da ordenada do módulo para $[0\ ;\ N]$.
   - Em todas as colunas, elabore os gráficos de ângulo de fase dentro da faixa $[-180^o\ ;\ 180^o]$. Ajuste os limites de visualização da ordenada para $[-200^o\ ;\ 200^o]$.
   - Elabore os gráficos das colunas 1 e 4 em vermelho, bem como os gráficos das colunas 2 e 3 em azul.

   (1.0 pts)

9. Compare os valores obtidos em cada *N-point* DFT com os valores esperados, justificando os resultados. (1.0 pts)

10. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

Parte IV

Trabalhos TEC 2017

Capítulo 5

Definição dos trabalhos TEC 2017-1

5.1 TEC1

Realizar o TEC1-BC.

5.2 TEC2

Realizar o TEC2-BC.

5.3 TEC3

5.3.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Elaboração de gráficos de funções unidimensionais.
- Objetivo: Elaborar gráficos de funções unidimensionais e organizá-los de diferentes formas.

5.3.2 Especificações

- Um interpolador de ordem zero é uma função ou um circuito que, recebendo uma seqüência de pontos, realiza a interpolação de cada par desses pontos por meio de um segmento de reta paralelo à abscissa, iniciando no ponto que contém a abscissa de menor valor.
- Um interpolador de ordem um é uma função ou um circuito que, recebendo uma seqüência de pontos, realiza a interpolação de cada par desses pontos por meio de um segmento de reta que conecta o par.

5.3.3 Tarefas

1. Suponha um sinal discreto, definido por $x[n] = A\ cos(\Omega_0 n)$, onde $A = 1$, $\Omega_0 = \frac{2\pi}{N_0}$ e $N_0 = 40$.

   Suponha um interpolador de ordem 0 que receba $x[n]$, para $n = [0; N_0]$.

   Suponha um interpolador de ordem 1 que receba $x[n]$, para $n = [0; N_0]$.

   Suponha que os interpoladores recebem os pontos de $x[n]$ com uma taxa de $F_S = 44\ kHz$.

Desenvolva um código Octave que calcule $x[n]$ para o intervalo considerado.

Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 4 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

- Na primeira linha e na primeira coluna, deverá ser gerado um gráfico, referente ao sinal original $x[n]$.
- Na primeira linha e na segunda coluna, deverá ser gerado um gráfico, referente ao sinal gerado pelo interpolador de ordem 0.
- Na segunda linha e na primeira coluna, deverá ser gerado um gráfico, referente ao sinal gerado pelo interpolador de ordem 1.
- Na segunda linha e na segunda coluna, deverá ser gerado um gráfico, referente aos três sinais superpostos.
- Cada uma das três curvas deve possuir uma cor diferente das demais.
- Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

(3.0 pts)

2. Suponha os sinais discretos definidos por $x_k[n] = A_k \; cos(\Omega_k n)$, onde $A_k = 1$, $\Omega_k = k\Omega_0$, $\Omega_0 = \frac{2\pi}{N_0}$, $N_0 = 12$ e $k = [0; 11]$. Considere a faixa $n = [0; N_0]$.

   Desenvolva um código Octave que calcule $x_k[n]$ para o intervalo considerado.

   Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 6 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Na primeira linha, nas colunas $c = [1; 5]$, deverão ser gerados cinco gráficos, referentes aos sinais $x_k[n]$, para $k = [5; 1]$.
   - Na segunda linha, na coluna $c = 5$, deverá ser gerado um gráfico, referente ao sinal $x_k[n]$, para $k = 0$.
   - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir as ordenadas na faixa $[-A_k; A_k]$ e as abscissas na faixa $[0; N_0]$.

   (2.0 pts)

3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 12 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Na primeira linha, nas colunas $c = [1; 5]$, deverão ser gerados cinco gráficos, referentes aos sinais $x_k[n]$, para $k = [5; 1]$.
   - Na segunda linha, nas colunas $c = 1$ e $c = 5$, deverão ser gerados dois gráficos, referentes aos sinais $x_k[n]$, para $k = 6$ e k $= 0$.
   - Na terceira linha, nas colunas $c = [1; 5]$, deverão ser gerados cinco gráficos, referentes aos sinais $x_k[n]$, para $k = [7; 11]$.
   - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir as ordenadas na faixa $[-A_k; A_k]$ e as abscissas na faixa $[0; N_0]$.

   (3.0 pts)

4. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

5.4 TEC4

5.4.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.

- Título: Elaboração de gráficos de funções unidimensionais.

- Objetivo: Elaborar gráficos de funções unidimensionais e organizá-los de diferentes formas.

5.4.2 Especificações

- Suponha a seqüência $x[n] = A\ cos(\Omega n)$. Pode-se mostrar que, para que ela seja periódica, deve-se ter a relação $\frac{2\pi}{\Omega} = \frac{n}{d}$, onde $\frac{n}{d}$ deve ser uma fração simplificada. Nesse caso, o parâmetro n significa o período fundamental de repetição N_f enquanto o parâmetro d significa a quantidade mínima de ciclos com valor 2π (rad), necessária para que ocorra o período fundamental de $Nf = n$ pontos na seqüência.

- Pode-se mostrar que, para a faixa básica $0 \leq \Omega < \pi$ (rad), os sinais $x[n]$ formados com esses valores de Ω são todos distintos. E que, para $\Omega > \pi$ (rad), os sinais $x[n]$ são iguais aos da faixa básica. (Nota: isso foi trabalhado no TEC3 de 2017-1).

- Para certos valores de Ω, os gráficos dos sinais $x[n]$ visualmente lembram sinais senoidais. No entanto, para diversos outros valores, é muito difícil associar o padrão de pontos a uma forma senoidal.

- Suponha a geração de um sinal $x[n] = A\ cos(\Omega n)$, por meio de uma amostragem uniforme, com freqüência de amostragem F_S, a partir de um sinal analógico $x(t) = A\ cos(\omega t)$, onde $\omega = 2\pi f$. Sabe-se que o sinal gerado $x[n]$ terá uma correspondência biunívoca com o sinal original $x(t)$ apenas se for respeitada a relação $F_S > 2f_{max}$. Se tal relação for respeitada, serão gerados valores de Ω na faixa básica $0 \leq \Omega < \pi$ (rad). Caso contrário, serão gerados valores $\Omega \geq \pi$ (rad), que produzirão sinais $x[n]$ que representarão uma ambigüidade em fase para $x(t)$ (quando Ω for equivalente a π), ou que produzirão sinais $x[n]$ iguais ao gerados pela faixa básica, surgindo o fenômeno de *aliasing* ou *frequency folding* para $x(t)$.

- Supondo-se uma amostragem correta, pode-se mostrar que, para que $x[n]$ seja periódico, deve-se ter a relação $\frac{2\pi}{\Omega} = \frac{T}{T_S} = \frac{n}{d}$, onde $\frac{n}{d}$ deve ser uma fração simplificada. Nesse caso, onde $T_S = \frac{d\ T}{n}$, o parâmetro n significa o período fundamental de repetição N_f enquanto o parâmetro d significa a quantidade mínima de ciclos com valor T (s), necessária para que ocorra o período fundamental de $Nf = n$ pontos na seqüência.

5.4.3 Tarefas

1. Considere:

    - A faixa de valores $k = [0; 12]$.
    - A freqüência básica $f_b = 1\ kHz$.
    - A faixa de freqüências $f_k = k f_b$.
    - Os sinais $x_k(t) = A_k\ cos(\omega_k t)$, onde $A_k = 1$ e $\omega_k = 2\pi f_k$.
    - A freqüência de amostragem $F_S = 12\ kHz$.
    - Os sinais $x_k[n] = A_k\ cos(\Omega_k n)$, gerados por amostragem uniforme de $x_k(t)$.

    (0.0 pts)

2. Desenvolva um código Octave que gere uma figura contendo 21 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

    - Na primeira coluna, de $k = 0$ na primeira linha até $k = 6$ na sétima linha, deverão ser gerados os gráficos referentes aos sinais $x_k(t)$.
    - Na segunda coluna, deverão ser gerados os gráficos referentes aos sinais $x_k(t)$ superpostos aos sinais amostrados $x_k(nT_S)$.
    - Na terceira coluna, deverão ser gerados os gráficos referentes aos sinais $x_k[n]$, gerados pela amostragem dos sinais $x_k(t)$.
    - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

    (2.5 pts)

3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 21 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

    - Na primeira coluna, de $k = 12$ na primeira linha até $k = 6$ na sétima linha, deverão ser gerados os gráficos referentes aos sinais $x_k(t)$.
    - Na segunda coluna, deverão ser gerados os gráficos referentes aos sinais $x_k(t)$ superpostos aos sinais amostrados $x_k(nT_S)$.
    - Na terceira coluna, deverão ser gerados os gráficos referentes aos sinais $x_k[n]$, gerados pela amostragem dos sinais $x_k(t)$.
    - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

    (2.5 pts)

4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere seis figuras, referentes aos seguintes pares (k_1, k_2) de valores de k: $(0, 12)$, $(1, 11)$, $(2, 10)$, $(3, 9)$, $(4, 8)$ e $(5, 7)$.

Cada figura deverá conter 6 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

- Na primeira coluna, com $k = k_1$ na primeira linha e $k = k_2$ na segunda linha, deverão ser gerados os gráficos referentes aos sinais $x_k(t)$.
- Na segunda coluna, deverão ser gerados os gráficos referentes aos sinais $x_k(t)$ superpostos aos sinais amostrados $x_k(nT_S)$.
- Na terceira coluna, deverão ser gerados os gráficos referentes aos sinais $x_k[n]$, gerados pela amostragem dos sinais $x_k(t)$.
- Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

(3.0 pts)

5. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

5.5 TEC5

Realizar o TEC4 de 2016-2.

5.6 TEC6

Realizar o TEC5 de 2016-2.

5.7 TEC7

5.7.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Representação, manipulação e reprodução de sons com o auxílio de matrizes.
- Objetivo: Trabalhar noções básicas sobre a representação de sons por meio de matrizes, a realização de manipulações matriciais básicas e a reprodução de sons armazenados.

5.7.2 Especificações

- Ao se provocar ondas de pressão no ar, de tal forma que os valores da pressão sigam o perfil de um sinal matemático senoidal do tipo $x(t) = A\ cos(\omega t)$, onde $\omega = 2\pi f$, definido por uma determinada freqüência na faixa $20\ Hz < f < 20\ kHz$, gera-se um sinal sonoro, musicalmente associado a uma nota ou a um tom.
- A distância entre a fonte e o receptor do sinal sonoro produz uma atenuação na amplitude do sinal sonoro senoidal gerado (efeito de dissipação ou perda de energia).
- Quando a fonte e o receptor do sinal sonoro apresentam uma velocidade relativa entre si, isso provoca a sensação de variação na freqüência do sinal sonoro senoidal (efeito Doppler).

- O sinal sonoro de um carro de bombeiro pode ser modelado por meio da alternância entre dois sinais sonoros senoidais que possuem duas freqüências distintas (f_1 e f_2).

- O Octave possibilita a execução de sons, cujas amostras são armazenadas em matrizes, por meio de funções específicas, tais como: *sound()* e *soundsc()*.

5.7.3 Tarefas

1. Em relação ao modelo definido para um sinal sonoro de um carro de bombeiro real, pesquise e apresente os resultados encontrados, para cada um dos seguintes itens:

   - O padrão de freqüências utilizadas em cada um dos dois sinais senoidais.
   - O padrão de amplitudes relativas utilizadas em cada um dos dois sinais senoidais.
   - O tempo de execução de cada um dos dois sinais senoidais.

   (1.0 pts)

2. Desenvolva um modelo de atenuação de amplitude em função da distância entre a fonte e o receptor do sinal sonoro. (0.5 pts)

3. Apresente e explique as equações envolvidas no efeito Doppler aplicado a sons. (0.5 pts)

4. Desenvolva um código Octave que gere um sinal sonoro equivalente ao sinal de um carro de bombeiro que é escutado dentro do próprio carro. (2.0 pts)

5. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere um sinal sonoro equivalente ao sinal de um carro de bombeiro que é escutado por um pedestre parado na calçada, enquanto o carro de bombeiro se aproxima dele, passa por ele e se afasta dele, em um movimento contínuo. Nesse caso, devem ser levados em consideração os efeitos de atenuação e de efeito Doppler, de acordo com a velocidade do carro.

   (4.0 pts)

6. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

5.8 TEC8

5.8.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.

- Título: Sistemas com realimentação negativa.

- Objetivo: Trabalhar noções básicas sobre realimentação negativa em um SLIT.

5.8.2 Especificações

- Sobre um sistema básico P, pode ser criado um *loop* de realimentação.
- No sistema realimentado final R, tem-se uma entrada de referência $r[n]$ e uma saída controlada $c[n]$.
- A função principal do *loop* de realimentação é garantir que, se alguma variável do *loop* sofrer um alteração, uma ação será gerada pelo *loop*, de tal forma a compensar a referida alteração e, com isso, estabilizar a variável controlada $c[n]$.
- A fim de que o sistema realimentado R seja estável, deve ser aplicada uma estrutura de realimentação negativa.
- Supondo-se que todos os sistemas envolvidos sejam do tipo SLIT, descrito por uma equação de diferença, pode-se definir um operador de transferência $T_K(D)$ para cada um deles. Nesse caso, $T_K(D)$ será uma função polinomial racional (uma razão de polinômios) da variável D, com coeficientes reais.
- Fatorando-se o polinômio numerador $N_K(D)$ e o polinômio denominador $D_K(D)$, do operador de transferência $T_K(D) = \frac{N_K(D)}{D_K(D)}$, obtém-se a constante de ganho, os pólos e os zeros do sistema K.
- Naturalmente, a constante de ganho, os pólos e os zeros do sistema realimentado R serão definidos uma determinada combinação da constante de ganho, dos pólos e dos zeros, de cada um dos sistemas do *loop* de realimentação.

5.8.3 Tarefas

1. Considere um sistema realimentado S, com entrada $r[n]$ e saída $c[n]$, composto por um subsistema básico A e por um subsistema de realimentação F, definido pelas seguintes equações com notação operacional:

$$c[n] = T_A(D)\ e[n] \ ,$$

$$e[n] = (r[n] - f[n]) \ ,$$

$$f[n] = T_F(D)\ c[n] \ ,$$

$$T_A(D) = K_A \cdot \frac{(1 - z_A D^{-1})}{(1 - p_A D^{-1})}$$

e

$$T_F(D) = K_F \cdot \frac{(1 - z_F D^{-1})}{(1 - p_F D^{-1})} \ .$$

2. Calcule o operador de transferência $T_S(D)$ do sistema S, em função de $T_A(D)$ e $T_F(D)$, sem substituir as funções definidas para os dois operadores. (0.25 pts)

3. Substitua em $T_S(D)$ as funções definidas para $T_A(D)$ e $T_F(D)$ e mostre que $T_S(D)$ pode ser descrito da seguinte forma:

$$T_S(D) = K_S \cdot \frac{(1 + b_1 D^{-1} + b_2 D^{-2})}{(1 + a_1 D^{-1} + a_2 D^{-2})} = K_S \cdot \frac{(1 - z_{S_1} D^{-1})\,(1 - z_{S_2} D^{-1})}{(1 - p_{S_1} D^{-1})\,(1 - p_{S_2} D^{-1})} \ ,$$

onde valem as dependências: $K_S = f(K_A, K_F)$, $b_1 = f((z_A + p_F))$, $b_2 = f((z_A \cdot p_F))$, $a_1 = f(K_A, K_F, (z_A + z_F), (p_A + p_F))$ e $a_2 = f(K_A, K_F, (z_A \cdot z_F), (p_A \cdot p_F))$. (1.25 pts)

4. Calcule a equação de diferença do subsistema A. (0.25 pts)
5. Calcule a equação de diferença do subsistema F. (0.25 pts)
6. Calcule a equação de diferença do sistema S. (0.25 pts)
7. Esboce o Diagrama de Blocos Genéricos do sistema S. (0.25 pts)
8. Esboce a realização do subsistema A na Forma Direta I. (0.25 pts)
9. Esboce a realização do subsistema F na Forma Direta I. (0.25 pts)
10. Esboce a realização do sistema S substituindo as realizações na Forma Direta I dos subsistemas A e F no Diagrama de Blocos Genéricos de S. (0.25 pts)
11. Esboce a realização do sistema S na Forma Direta I. (0.25 pts)
12. Desenvolva um código Octave que obtenha do usuário os valores $V_A = \{K_A, z_A, p_A\} \in \mathbb{R}$ e $V_F = \{K_F, z_F, p_F\} \in \mathbb{R}$, bem como calcule os valores $V_S = \{K_S, z_{S_1}, z_{S_2}, p_{S_1}, p_{S_2}\} \in \mathbb{R}$.

    NÃO deverão ser utilizadas funções especializadas para calcular ganho, pólos e zeros.

    Deverá ser usada APENAS a função $roots(\cdot)$.

    (1.00 pts)

13. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo três gráficos, organizados matricialmente em uma linha e três colunas, tal que:

    - O gráfico da primeira coluna apresente o Diagrama de Pólos e Zeros do subsistema A, contendo: o círculo unitário, os zeros e os pólos de A, bem como apareça escrito o texto "$K_A =< valor >$" em algum lugar fora do círculo unitário, onde $< valor >$ é o valor de K_A recebido do usuário.
    - O gráfico da segunda coluna apresente o Diagrama de Pólos e Zeros do subsistema F, contendo: o círculo unitário, os zeros e os pólos de F, bem como apareça escrito o texto "$K_F =< valor >$" em algum lugar fora do círculo unitário, onde $< valor >$ é o valor de K_F recebido do usuário.
    - O gráfico da terceira coluna apresente o Diagrama de Pólos e Zeros do sistema S, contendo: o círculo unitário, os zeros e os pólos de S, bem como apareça escrito o texto "$K_S =< valor >$" em algum lugar fora do círculo unitário, onde $< valor >$ é o valor calculado para K_S.
    - NÃO deverão ser utilizadas funções especializadas para gerar os gráficos.
      Deverão ser usadas APENAS as funções básicas para desenho.
    - Deverão ser empregados o símbolo "X" para marcar os pólos e o símbolo "O" para marcar os zeros.
    - Os gráficos deverão ter uma área visível definida por $x = Re\{D\} = [-2.0; 2.0]$ e $y = Im\{D\} = [-2.0; 2.0]$.
    - Os gráficos deverão ser controlados para que o círculo unitário apareça com a forma de um círculo.

    (3.50 pts)

14. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.00 pts)

5.9 TEC9

5.9.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Equivalência nas representações e no cálculo da resposta de um SLIT: equação de diferença e equações de estado.
- Objetivo: Realizar o mapeamento de uma equação de diferença nas equações de estado correspondentes, calcular a resposta ao impulso por meio de ambas as representações e comparar os resultados.

5.9.2 Especificações

- Um SLIT definido por uma equação de diferença pode ser representado de diversas formas equivalentes.
- Alguns exemplos de representações são: resposta ao impulso, operador de transferência e equações de estado.
- A resposta ao impulso é definida como a resposta do sistema quando a entrada é um impulso unitário e o estado inicial é nulo.
- Uma vez que, para tal tipo de sistema, o operador de transferência é uma função polinomial racional, ele pode ser decomposto de várias formas equivalentes.
- Para cada conjunto de variáveis de estado $\boldsymbol{x}[n] = \{x_1, x_2, \cdots, x_X\}$ utilizado, define-se um conjunto de matrizes $\boldsymbol{S} = \{\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}, \boldsymbol{C}, \boldsymbol{D}\}$, que representa o sistema.
- A resposta do sistema a uma determinada entrada, partindo de um estado inicial, pode ser calculada a partir de suas representações.

5.9.3 Tarefas

1. Desenvolva um código Octave que obtenha do usuário os coeficientes a_k e b_k, da equação de diferença que define um SLIT, sem restrições nas suas quantidades. (0.5 pts)
2. Utilizando o código desenvolvido no TEC8 de 2017-1:
   - Calcule os valores dos zeros, dos pólos e do ganho de transmissão, relativos ao operador de transferência do sistema definido pelo usuário.
   - Desenhe o Diagrama de Pólos e Zeros do sistema, conforme especificado no TEC8.

   (1.0 pts)
3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule o sinal $h[n]$ usando a função *filter*(), que calcula a resposta do sistema a partir da Forma Direta II Transposta. (1.0 pts)
4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule as matrizes $\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{B}$, $\boldsymbol{C}$ e $\boldsymbol{D}$, no formato definido na Apostila de Teoria como Forma Canônica III, a partir dos coeficientes fornecidos pelo usuário. (2.0 pts)

5. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule o sinal $h[n]$ usando as matrizes $\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{B}$, $\boldsymbol{C}$ e $\boldsymbol{D}$. (1.5 pts)

6. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo três gráficos, organizados matricialmente em três linhas e uma coluna, tal que:

   - O gráfico da primeira linha apresente o sinal $h[n]$, calculado pela função *filter*().
   - O gráfico da segunda linha apresente o sinal $h[n]$, calculado pelas matrizes $\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{B}$, $\boldsymbol{C}$ e $\boldsymbol{D}$.
   - O gráfico da terceira linha apresente a diferença entre os sinais $h[n]$ apresentados nos dois gráficos anteriores.
   - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

   (1.5 pts)

7. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule o erro absoluto máximo entre as duas formas de cálculo de $h[n]$. (0.5 pts)

8. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

5.10 TEC10

5.10.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Tipos de resposta de um SLIT de primeira ordem.
- Objetivo: Trabalhar as diversas decomposições da resposta de um SLIT de primeira ordem.

5.10.2 Especificações

- A resposta total de um SLIT deinido por uma equação de diferença pode ser decomposta de diversas formas equivalentes.
- De acordo com a origem (interna ou externa) da fonte geradora do sinal de saída, tem-se a seguinte decomposição: $y_{tot}[n] = y_{est}[n] + y_{ent}[n]$.
- De acordo com a solução da equação de diferença, tem-se a seguinte decomposição: $y_{tot}[n] = y_h[n] + y_r[n]$.
- De acordo com as formas de onda geradas na saída, tem-se a seguinte decomposição: $y_{tot}[n] = y_h[n] + (y_p[n] + y_c[n])$.
- De acordo com a imposição das formas de onda geradas na saída, tem-se a seguinte decomposição: $y_{tot}[n] = y_{nat}[n] + y_{for}[n]$.
- De acordo com a permanència do sinal de saída, tem-se a seguinte decomposição: $y_{tot}[n] = y_{tran}[n] + y_{perm}[n]$.

5.10.3 Tarefas

Teoria

1. Suponha o sistema S definido por $y[n] + a_1\ y[n-1] + a_2\ y[n-2] = b_0\ x[n]$.

2. Calcule o operador de transferência $T(D)$ de S, nas seguintes formas:

$$T(D) = \frac{\sum_{k=0}^{L}\ b_k\ D^{-k}}{\sum_{k=0}^{N}\ a_k\ D^{-k}} = K_T \cdot \frac{\prod_{k=0}^{K_z}\ (1 - z_k\ D^{-1})}{\prod_{k=0}^{K_p}\ (1 - p_k\ D^{-1})}\ .$$

   (0.5 pts)

3. Decomponha o sistema S na cascata dos subsistemas S_1, S_2 e S_3, definidos respectivamente por $T_1(D) = \frac{(1-z_1 D^{-1})}{(1-p_1 D^{-1})}$, $T_2(D) = \frac{(1-z_2 D^{-1})}{(1-p_2 D^{-1})}$ e $T_3(D) = K_T$. (0.5 pts)

4. Escreva as equações de diferença dos sistemas S_1, S_2 e S_3. (0.5 pts)

5. Utilizando as equações que definem as respostas homogêneas $y_h[n]$ e as respostas complementares $y_c[n]$ dos sistemas S_1, S_2 e S_3, verifique quais são as condições para que tais sistemas sejam estáveis segundo o Critério BIBO de Estabilidade. Em seguida, indique as condições para que o sistema S seja estável segundo o Critério BIBO de Estabilidade. (0.5 pts)

6. Utilizando as equações que definem as respostas particulares $y_p[n]$ dos sistemas S_k, apresente a Função Resposta em Freqüência $H_k(\Omega)$, associada a cada sistema, onde $k = 1, 2, 3$. (0.5 pts)

7. Considere que o sinal $x[n] = cos(\Omega_0 n)$ é aplicado na entrada do sistema S e calcule a resposta particular $y_p[n]$ em cada um dos sistemas S_1, S_2 e S_3. (0.5 pts)

8. A partir da resposta particular $y_p[n]$ do sistema S, para a entrada $x[n] = cos(\Omega_0 n)$, apresente a Função Resposta em Freqüência $H(\Omega)$ do sistema. (1.0 pts)

Prática

1. Utilizando o código desenvolvido no TEC8 de 2017-1:

   - Obtenha do usuário os coeficientes a_k e b_k, da equação de diferença que define o sistema S.
   - Calcule os valores dos zeros, dos pólos e do ganho de transmissão, relativos ao operador de transferência do sistema definido pelo usuário.
   - Desenhe o Diagrama de Pólos e Zeros do sistema, conforme especificado no TEC8.

   (1.0 pts)

2. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo oito gráficos, organizados matricialmente em quatro linhas e duas colunas, tal que:
    - Os gráficos da primeira coluna representem os módulos das funções em questão.
    - Os gráficos da segunda coluna representem os ângulos de fase das funções em questão.
    - Os gráficos da primeira linha representem a função $H_1(\Omega)$, do sistema S_1.
    - Os gráficos da segunda linha representem a função $H_2(\Omega)$, do sistema S_2.
    - Os gráficos da terceira linha representem a função $H_3(\Omega)$, do sistema S_3.
    - Os gráficos da quarta linha representem a função $H(\Omega)$, do sistema S.
    - No cálculo das funções, deve ser considerada a faixa $-5\pi \leq \Omega \leq 5\pi$ (rad). (Sugestão: use uma resolução de $\Delta\Omega = \pi/180$ rad)
    - Nos gráficos das funções, a abscissa deve ser normalizada por π.
    - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

    (3.0 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

5.11 TEC11

Escrever...

5.12 TEC12

5.12.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Experimentos com a Série de Fourier em Tempo Contínuo (CTFS) e com a Transformada de Fourier em Tempo Contínuo (CTFT).
- Objetivo: Trabalhar a composição de sinais analógicos por meio da Série de Fourier em Tempo Contínuo (CTFS) e da Transformada de Fourier em Tempo Contínuo (CTFT).

5.12.2 Especificações

- Um sinal analógico periódico, que obedeça às Condições de Dirichlet, pode ser composto pela Série de Fourier em Tempo Contínuo (CTFS).
- Por sua vez, um sinal analógico não periódico, sem variações exponenciais, pode ser composto pela Transformada de Fourier em Tempo Contínuo (CTFT).
- No caso onde o sinal não periódico é igual ao módulo básico de repetição do sinal periódico, existe uma clara relação entre a CTFS (na forma exponencial) e a CTFT desses sinais.

5.12.3 Tarefas

Teoria

1. Suponha o sinal analógico periódico $\tilde{x}(t)$, definido por

$$\tilde{x}(t) = \begin{cases} A & , \quad |t| < T_M \\ \\ 0 & , \quad T_M < |t| < \frac{T_F}{2} \end{cases} ,$$

   onde $A \in \mathbb{R}$ e T_F é o período fundamental de $\tilde{x}(t)$.

2. Calcule a Série de Fourier em Tempo Contínuo (CTFS) de $\tilde{x}(t)$, na forma exponencial. (1.0 pts)

3. Suponha o sinal analógico não periódico $x(t)$, definido por

$$x(t) = \begin{cases} \tilde{x}(t) & , \quad |t| < \frac{T_F}{2} \\ \\ 0 & , \quad \frac{T_F}{2} < |t| \end{cases} .$$

4. Calcule a Transformada de Fourier em Tempo Contínuo (CTFT) de $x(t)$. (1.0 pts)

5. Relacione a CTFS de $\tilde{x}(t)$ com a CTFT de $x(t)$, a partir dos cálculos efetuados. (1.0 pts)

Prática

1. Desenvolva um código Octave que obtenha do usuário os parâmetros A, T_M e T_F, bem como gere uma figura contendo dois gráficos, organizados matricialmente em duas linhas e uma coluna, tal que:

   - O gráfico da primeira linha represente o sinal $\tilde{x}(t)$.
   - O gráfico da segunda linha represente o sinal $x(t)$.
   - Para a abscissa, deve ser considerada a faixa $[-4\ T_F\ ; 4\ T_F]$ (s).
   - Para a ordenada, deve ser considerada a faixa $[-0.2\ A\ ; 1.2\ A]$.
   - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

   (1.0 pts)

2. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo oito gráficos, organizados matricialmente em quatro linhas e duas colunas, tal que:

   - Os gráficos da primeira coluna representem os módulos dos coeficientes de Fourier $|F_n|$ de $\tilde{x}(t)$.
   - Os gráficos da segunda coluna representem os ângulos de fase dos coeficientes de Fourier $\angle F_n$ de $\tilde{x}(t)$.
   - Os gráficos da primeira linha representem os coeficientes F_n para $T_{F_4} = 4\ T_M$.
   - Os gráficos da segunda linha representem os coeficientes F_n para $T_{F_8} = 8\ T_M$.
   - Os gráficos da terceira linha representem os coeficientes F_n para $T_{F_{16}} = 16\ T_M$.
   - Os gráficos da quarta linha representem os coeficientes F_n para $T_{F_{32}} = 32\ T_M$.
   - Para a abscissa, que deverá representar a variável f (Hz), deve ser considerada a faixa $[-30\ f_4\ ; 30\ f_4]$ (Hz), onde $f_4 = \frac{1}{T_{F_4}}$.
   - Para a ordenada do módulo, deve ser considerada a faixa $[0\ ; |(F_0)_4|]$, onde $(F_0)_4$ é o coeficiente F_0 quando $T_F = T_{F_4}$.
   - Para a ordenada do ângulo de fase, deve ser considerada a faixa $[-180^o\ ; 180^o]$.
   - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

   (2.0 pts)

3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo oito gráficos, organizados matricialmente em quatro linhas e duas colunas, tal que:

   - Os gráficos da primeira coluna representem os módulos dos coeficientes de Fourier escalados $|T_F F_n|$ de $\tilde{x}(t)$, superpostos à curva de módulo da Transformada de Fourier $|F(j\omega)|$ de $x(t)$.
   - Os gráficos da segunda coluna representem os ângulos de fase dos coeficientes de Fourier escalados $\angle T_F F_n$ de $\tilde{x}(t)$, superpostos à curva de ângulo de fase da Transformada de Fourier $\angle F(j\omega)$ de $x(t)$.

- Os gráficos da primeira linha representem os coeficientes F_n para $T_{F_4} = 4\ T_M$.
- Os gráficos da segunda linha representem os coeficientes F_n para $T_{F_8} = 8\ T_M$.
- Os gráficos da terceira linha representem os coeficientes F_n para $T_{F_{16}} = 16\ T_M$.
- Os gráficos da quarta linha representem os coeficientes F_n para $T_{F_{32}} = 32\ T_M$.
- Para a abscissa, que deverá representar a variável f (Hz), deve ser considerada a faixa $[-30\ f_4\ ; 30\ f_4]$ (Hz), onde $f_4 = \frac{1}{T_{F_4}}$.
- Para a ordenada do módulo, deve ser considerada a faixa $[0\ ; |T_{F_4}(F_0)_4|]$, onde $(F_0)_4$ é o coeficiente F_0 quando $T_F = T_{F_4}$.
- Para a ordenada do ângulo de fase, deve ser considerada a faixa $[-180^o\ ; 180^o]$.
- Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

(2.0 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

5.13 TEC13

5.13.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Experimentos envolvendo Séries, Telescopagem de uma série, Fenômeno de Gibbs, Série de Fourier em Tempo Contínuo (CTFS) e Série de Fourier em Tempo Discreto (DTFS).
- Objetivo: Trabalhar o efeito provocado pela telescopagem de uma série na composição de sinais.

5.13.2 Especificações

- Por definição, uma série é um somatório com uma quantidade infinita de termos.
- A telescopagem de uma série é a imposição de um limite finito no cálculo da série.
- Claramente, a telescopagem acarreta um erro de aproximação no cálculo da série.
- A telescopagem de uma série causa a perda das componentes de alta freqüência. Isso provoca um efeito típico em sinais que possuem descontinuidades e/ou alterações bruscas na sua taxa de variação. Esse efeito é conhecido como Fenômeno de Gibbs e produz oscilações no entorno de tais pontos, no sinal aproximado.
- Um sinal analógico periódico, que obedeça às Condições de Dirichlet, pode ser composto pela Série de Fourier em Tempo Contínuo (CTFS).

- A CTFS é realmente uma série, uma vez que é um somatório de comprimento infinito. Portanto, qualquer tentativa de cálculo da CTFS acarretará um erro de aproximação e o surgimento do Fenômeno de Gibbs.
- Por sua vez, um sinal discreto periódico pode ser composto pela Série de Fourier em Tempo Discreto (DTFS).
- Os componentes da DTFS formam um sinal de comprimento infinito, dado que ele é periódico. Porém, a DTFS é um somatório de comprimento finito. Logo, o cálculo da DTFS é livre de erro de aproximação e do Fenômeno de Gibbs.

5.13.3 Tarefas

Teoria

1. Suponha o sinal analógico periódico $\tilde{x}(t)$, definido por

$$\tilde{x}(t) = \begin{cases} A & , \quad |t| < T_M \\ \\ 0 & , \quad T_M < |t| < \frac{T_F}{2} \end{cases} ,$$

   onde $A \in \mathbb{R}$ e T_F é o período fundamental de $\tilde{x}(t)$.

2. Calcule a Série de Fourier em Tempo Contínuo (CTFS) de $\tilde{x}(t)$, na forma exponencial. (1.0 pts)

3. Suponha o sinal discreto periódico $\tilde{x}[n]$, definido por

$$\tilde{x}[n] = \begin{cases} A & , \quad |n| \leq N_M \\ \\ 0 & , \quad N_M < |n| < (N_F - N_M) \end{cases} ,$$

   onde $A \in \mathbb{R}$, N_F é o período fundamental de $\tilde{x}[n]$ e $N_F > (2N_M + 1)$.

4. Calcule a Série de Fourier em Tempo Discreto (DTFS) de $\tilde{x}[n]$. (1.0 pts)

Prática

1. Desenvolva um código Octave que obtenha do usuário os parâmetros A, T_M e T_F, bem como gere uma figura contendo oito gráficos, organizados matricialmente em quatro linhas e duas colunas, tal que:
   - Todos os gráficos apresentem uma superposição do sinal original $\tilde{x}(t)$ com o sinal aproximado pela CTFS $\tilde{x}_L(t)$, com limites $\pm L$.
   - Os gráficos da primeira coluna representem a aproximação com um limite ímpar.
   - Os gráficos da segunda coluna representem a aproximação com um limite par.
   - Os gráficos da primeira linha representem a aproximação com $L_{c_1} = \pm 1$ e $L_{c_2} = \pm 2$.
   - Os gráficos da segunda linha representem a aproximação com $L_{c_1} = \pm 3$ e $L_{c_2} = \pm 4$.
   - Os gráficos da terceira linha representem a aproximação com $L_{c_1} = \pm 7$ e $L_{c_2} = \pm 8$.
   - Os gráficos da quarta linha representem a aproximação com $L_{c_1} = \pm 15$ e $L_{c_2} = \pm 16$.

- Para a abscissa, deve ser considerada a faixa $[-\frac{T_F}{2}\ ;\frac{T_F}{2}]$.
- Para a ordenada, deve ser considerada a faixa $[-0.2\ A\ ; 1.2\ A]$.
- Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

(3.0 pts)

2. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo oito gráficos, organizados matricialmente em quatro linhas e duas colunas, tal que:

   - Para todos os gráficos, $(2N_M + 1) = 9$ e $N_F = 17$.
   - Todos os gráficos apresentem o sinal aproximado pela DTFS $\tilde{x}_L[n]$, com limites $\pm L$.
   - Os gráficos da primeira linha representem a aproximação com $L_{c_1} = \pm 1$ e $L_{c_2} = \pm 5$.
   - Os gráficos da segunda linha representem a aproximação com $L_{c_1} = \pm 2$ e $L_{c_2} = \pm 6$.
   - Os gráficos da terceira linha representem a aproximação com $L_{c_1} = \pm 3$ e $L_{c_2} = \pm 7$.
   - Os gráficos da quarta linha representem a aproximação com $L_{c_1} = \pm 4$ e $L_{c_2} = \pm 8$.
   - Para a abscissa, deve ser considerada a faixa $[-2.5\ N_F\ ; 2.5\ N_F]$.
   - Para a ordenada, deve ser considerada a faixa $[-0.2\ A\ ; 1.2\ A]$.
   - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

   (3.0 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

5.14 TEC14

5.14.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Experimentos com a Série de Fourier em Tempo Discreto (DTFS) e com a Transformada de Fourier em Tempo Discreto (DTFT).
- Objetivo: Trabalhar a composição de sinais discretos por meio da Série de Fourier em Tempo Discreto (DTFS) e da Transformada de Fourier em Tempo Discreto (DTFT).

5.14.2 Especificações

- Um sinal discreto periódico pode ser composto pela Série de Fourier em Tempo Discreto (DTFS).

- Por sua vez, um sinal discreto não periódico, sem variações exponenciais, pode ser composto pela Transformada de Fourier em Tempo Discreto (DTFT).
- No caso onde o sinal não periódico é igual ao módulo básico de repetição do sinal periódico, existe uma clara relação entre a DTFS e a DTFT desses sinais.

5.14.3 Tarefas

Teoria

1. Suponha o sinal discreto periódico $\tilde{x}[n]$, definido por

$$\tilde{x}[n] = \begin{cases} A & , \quad |n| \le N_M \\ \\ 0 & , \quad N_M < |n| < (N_F - N_M) \end{cases} ,$$

   onde $A \in \mathbb{R}$, N_F é o período fundamental de $\tilde{x}[n]$ e $N_F > (2N_M + 1)$.

2. Calcule a Série de Fourier em Tempo Discreto (DTFS) de $\tilde{x}[n]$. (1.0 pts)
3. Suponha o sinal discreto não periódico $x[n]$, definido por

$$x[n] = \begin{cases} \tilde{x}[n] & , \quad n \le N_M \\ \\ 0 & , \quad n > N_M \end{cases} .$$

4. Calcule a Transformada de Fourier em Tempo Discreto (DTFT) de $x[n]$. (1.0 pts)
5. Relacione a DTFS de $\tilde{x}[n]$ com a DTFT de $x[n]$, a partir dos cálculos efetuados. (1.0 pts)

Prática

1. Desenvolva um código Octave que obtenha do usuário os parâmetros A, N_M e N_F, bem como gere uma figura contendo dois gráficos, organizados matricialmente em duas linhas e uma coluna, tal que:
   - O gráfico da primeira linha represente o sinal $\tilde{x}[n]$.
   - O gráfico da segunda linha represente o sinal $x[n]$.
   - Para a abscissa, deve ser considerada a faixa $[-4\ N_F\ ; 4\ N_F]$.
   - Para a ordenada, deve ser considerada a faixa $[-0.2\ A\ ; 1.2\ A]$.
   - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

   (1.0 pts)
2. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo oito gráficos, organizados matricialmente em quatro linhas e duas colunas, tal que:
   - Para todos os casos, $(2N_M + 1) = 5$.
   - Os gráficos da primeira coluna representem os módulos dos coeficientes de Fourier $|\tilde{X}[k]|$ de $\tilde{x}[n]$.

- Os gráficos da segunda coluna representem os ângulos de fase dos coeficientes de Fourier $\angle\tilde{X}[k]$ de $\tilde{x}[n]$.
- Os gráficos da primeira linha representem os coeficientes $\tilde{X}[k]$ para $N_{F_{10}} = 10$.
- Os gráficos da segunda linha representem os coeficientes $\tilde{X}[k]$ para $N_{F_{20}} = 20$.
- Os gráficos da terceira linha representem os coeficientes $\tilde{X}[k]$ para $N_{F_{40}} = 40$.
- Os gráficos da quarta linha representem os coeficientes $\tilde{X}[k]$ para $N_{F_{80}} = 80$.
- Para a abscissa, que deverá representar a variável contínua $\Omega_{norm} = \frac{\Omega}{\pi}$, deve ser considerada a faixa $[-3\ ; 3]$.
- Para a ordenada do módulo, deve ser considerada a faixa $[0\ ; |\tilde{X}_{10}[0]|]$, onde $\tilde{X}_{10}[0]$ é o coeficiente $\tilde{X}[0]$ quando $N_F = N_{F_{10}}$.
- Para a ordenada do ângulo de fase, deve ser considerada a faixa $[-180^o\ ; 180^o]$.
- Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

(2.0 pts)

3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo oito gráficos, organizados matricialmente em quatro linhas e duas colunas, tal que:

- Os gráficos da primeira coluna representem os módulos dos coeficientes de Fourier escalados $|N_F\tilde{X}[k]|$ de $\tilde{x}[n]$, superpostos à curva de módulo da Transformada de Fourier $|X(e^{j\Omega})|$ de $x[n]$.
- Os gráficos da segunda coluna representem os ângulos de fase dos coeficientes de Fourier escalados $\angle N_F\tilde{X}[k]$ de $\tilde{x}[n]$, superpostos à curva de ângulo de fase da Transformada de Fourier $\angle X(e^{j\Omega})$ de $x[n]$.
- Os gráficos da primeira linha representem os coeficientes $\tilde{X}[k]$ para $N_{F_{10}} = 10$.
- Os gráficos da segunda linha representem os coeficientes $\tilde{X}[k]$ para $N_{F_{20}} = 20$.
- Os gráficos da terceira linha representem os coeficientes $\tilde{X}[k]$ para $N_{F_{40}} = 40$.
- Os gráficos da quarta linha representem os coeficientes $\tilde{X}[k]$ para $N_{F_{80}} = 80$.
- Para a abscissa, que deverá representar a variável contínua $\Omega_{norm} = \frac{\Omega}{\pi}$, deve ser considerada a faixa $[-3\ ; 3]$.
- Para a ordenada do módulo, deve ser considerada a faixa $[0\ ; |N_{F_{10}}\tilde{X}_{10}[0]|]$, onde $\tilde{X}_{10}[0]$ é o coeficiente $\tilde{X}[0]$ quando $N_F = N_{F_{10}}$.
- Para a ordenada do ângulo de fase, deve ser considerada a faixa $[-180^o\ ; 180^o]$.
- Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

(2.0 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

5.15 TEC15

5.15.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Comparação dos efeitos causados por filtros discretos causais e não causais.
- Objetivo: Verificar as diferenças nos efeitos causados por filtros discretos causais e não causais sobre sinais unidimensionais e bidimensionais.

5.15.2 Especificações

- Em sistemas discretos que trabalham efetivamente em modo *online*, não é possível que se implementem equações de diferença não causais, pelo simples fato de que as amostras futuras ainda não se encontram à disposição para o processamento.
- Uma solução comumente adotada nesses casos é a adição de uma linha de retardo com uma profundidade suficiente para que se obtenha a quantidade de amostras futuras requerida. Porém, na realidade, essa solução se utiliza de um armazenamento de dados (temporário) e adiciona uma latência ao sistema.
- Outros dois casos onde é possivel implementar sistemas discretos não causais são os seguintes:
  - Sistemas *online* onde o tempo de processamento é muito menor do que as variações encontradas no sistema.
  - Sistemas *offline*.

  Nesses casos, também é realizado um armazenamento de dados, que é temporário no primeiro caso e permanente no segundo.
- Uma vez que as implementações adotadas para sistemas discretos não causais se utilizam de armazenamento de dados, pode-se até mesmo dizer que, em essência, não existe processamento não causal. Isso porque as amostras passadas e futuras, em relação a um determinado valor de índice, já existem e estão armazenadas. Portanto, o problema torna-se puramente o endereçamento dos dados.
- Por outro lado, sistemas causais e não causais produzem efeitos diferentes sobre os seus sinais de saída. Esses efeitos podem envolver tanto deslocamentos da resposta quanto mudanças no seu formato.

5.15.3 Tarefas

Teoria

1. Suponha o sistema discreto unidimensional conhecido por Filtro de Média Móvel.
2. Na sua versão causal, ele pode ser descrito por

$$y_C[n] = \frac{1}{(2N_W + 1)} \sum_{k=0}^{2N_W} x[n-k] \ ,$$

onde $x[n]$ e $y_C[n]$ respectivamente representam a sua saída e a sua entrada.

3. Calcule a resposta ao impulso $h_C[n]$ de tal sistema. (0.25 pts)
4. Calcule Resposta em Freqüência $H_C(e^{j\Omega})$ de tal sistema. (0.25 pts)
5. Na sua versão não causal, ele pode ser descrito por

$$y_{NC}[n] = \frac{1}{(2N_W + 1)} \sum_{k=-N_W}^{N_W} x[n-k] \ .$$

onde $x[n]$ e $y_{NC}[n]$ respectivamente representam a sua saída e a sua entrada.

6. Calcule a resposta ao impulso $h_{NC}[n]$ de tal sistema. (0.25 pts)
7. Calcule Resposta em Freqüência $H_{NC}(e^{j\Omega})$ de tal sistema. (0.25 pts)
8. Compare as respostas $h_C[n]$ e $h_{NC}[n]$. (0.125 pts)
9. Compare as Respostas em Freqüência $H_C(e^{j\Omega})$ e $H_{NC}(e^{j\Omega})$. (0.125 pts)
10. Considere o sinal $p_{N_D N_X}[n]$, unidimensional, discreto, não periódico e definido por

$$p_{N_D N_X}[n] = \begin{cases} 1 & , \quad N_D - N_X \le n \le N_D + N_X \\ \\ 0 & , \quad \text{caso contrário} \end{cases} ,$$

onde $N_D \ge N_X$.

11. Considere a matriz $M[l,c]$, onde l e c respectivamente representam os índices de suas linhas e colunas. Suponha que as linhas de $M[l,c]$ são definidas por

$$M[l,c] = \begin{cases} 0 & , \quad 1 \le l \le (L_{W_1} - 1) \\ \\ 1 & , \quad L_{W_1} \le l \le L_{W_2} \\ \\ 0 & , \quad (L_{W_2} + 1) \le l \le L_M \end{cases} ,$$

onde $1 < L_{W_1} < L_{W_2} < L_M$, e que as colunas de $M[l,c]$ são definidas por

$$M[l,c] = \begin{cases} 0 & , \quad 1 \le c \le (C_{W_1} - 1) \\ \\ 1 & , \quad C_{W_1} \le c \le C_{W_2} \\ \\ 0 & , \quad (C_{W_2} + 1) \le c \le C_M \end{cases} ,$$

onde $1 < C_{W_1} < C_{W_2} < C_M$.

12. Suponha que $M[l,c]$ é a entrada de um sistema discreto bidimensional, com resposta à entrada calculada por $y_{ent}[l,c] = h[l,c] * M[l,c]$, onde $h[l,c]$ é a resposta ao impulso do sistema.
13. Considere que as linhas e as colunas de uma matriz $M[l,c]$ são sinais unidimensionais. Suponha que as respostas ao impulso $h_l[l,c]$, $h_c[l,c]$ e $h_{lc}[l,c]$, são respectivamente aplicadas nas linhas, nas colunas e nas linhas e colunas de $M[l,c]$. Considere que $h_{lc}[l,c]$ é equivalente à aplicação de $h_l[l,c]$ e de $h_c[l,c]$.
14. Após a elaboração dos cálculos e dos gráficos descritos a seguir, classifique o tipo de seletividade em freqüência apresentado por $H_C(e^{j\Omega})$ e $H_{NC}(e^{j\Omega})$, em relação aos tipos básicos (passa-baixas, passa-altas, passa-faixa, rejeita-faixa). (0.25 pts)

Prática (cálculos)

1. Desenvolva um código Octave que obtenha do usuário os seguintes parâmetos: N_W, N_D, N_X, L_{W_1}, L_{W_2}, L_M, C_{W_1}, C_{W_2}, e C_M.

2. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a Resposta em Freqüência $H_C(e^{j\Omega})$ e a Resposta em Freqüência $H_{NC}(e^{j\Omega})$.
(Sugestão: use uma resolução de $\Delta\Omega = \pi/500$ rad) (0.5 pts)

3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a resposta à entrada $y_{ent_C}[n] = h_C[n] * p_{N_D N_X}[n]$ do sistema causal e a resposta à entrada $y_{ent_{NC}}[n] = h_{NC}[n] * p_{N_D N_X}[n]$ do sistema não causal, empregando a função *conv()* em ambos os casos. (0.5 pts)

4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a resposta à entrada $y_{ent_C}[n] = h_C[n] * p_{N_M N_M}[n]$ do sistema causal e a resposta à entrada $y_{ent_{NC}}[n] = h_{NC}[n] * p_{N_M N_M}[n]$ do sistema não causal, empregando a função *conv()* em ambos os casos e $N_M = \frac{(C_M - 1)}{2}$. (0.5 pts)

5. Considere $h_{l_C}[l, c] = h_{c_C}[l, c] = h_C[n]$ e $h_{l_{NC}}[l, c] = h_{c_{NC}}[l, c] = h_{NC}[n]$.

6. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a resposta à entrada $y_{ent_C}[l, c] = h_{l_C}[l, c] * M[l, c]$ do sistema causal e a resposta à entrada $y_{ent_{NC}}[l, c] = h_{l_{NC}}[l, c] * M[l, c]$ do sistema não causal, empregando a função *conv2()* em ambos os casos. (0.5 pts)

7. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a resposta à entrada $y_{ent_C}[l, c] = h_{c_C}[l, c] * M[l, c]$ do sistema causal e a resposta à entrada $y_{ent_{NC}}[l, c] = h_{c_{NC}}[l, c] * M[l, c]$ do sistema não causal, empregando a função *conv2()* em ambos os casos. (0.5 pts)

8. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a resposta à entrada $y_{ent_C}[l, c] = h_{lc_C}[l, c] * M[l, c]$ do sistema causal e a resposta à entrada $y_{ent_{NC}}[l, c] = h_{lc_{NC}}[l, c] * M[l, c]$ do sistema não causal, empregando a função *conv2()* em ambos os casos. (0.5 pts)

Prática (gráficos)

1. Para a elaboração dos gráficos descritos a seguir, considere $0 \leq n \leq 180$, $N_W = 15$, $N_D = 91$, $N_X = 10$, $L_{W_1} = 81$, $L_{W_2} = 101$, $L_M = 181$, $C_{W_1} = 81$, $C_{W_2} = 101$, e $C_M = 181$.

2. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo quatro gráficos, organizados matricialmente em duas linhas e duas colunas, tal que:

   - Os gráficos da primeira coluna representem a Resposta em Freqüência $H_C(e^{j\Omega})$.
   - Os gráficos da segunda coluna representem a Resposta em Freqüência $H_{NC}(e^{j\Omega})$.
   - Os gráficos da primeira linha representem os módulos das funções.
   - Os gráficos da segunda linha representem os ângulos de fase das funções.
   - Para a abscissa, que deverá representar a variável contínua $\Omega_{norm} = \frac{\Omega}{\pi}$, deve ser considerada a faixa $[-1\ ; 1]$.
   - Para a ordenada do módulo, deve ser considerada a faixa $[0\ ;\ |H(e^{j0})|]$, onde $H(e^{j0}) = max\{H_C(e^{j0}), H_{NC}(e^{j0})\}$.
   - Para a ordenada do ângulo de fase, deve ser considerada a faixa $[-200^o\ ; 200^o]$.
   - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

   (0.5 pts)

3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo seis gráficos, organizados matricialmente em três linhas e duas colunas, tal que:

   - Todos os gráficos sejam relativos ao sistema causal.
   - Os gráficos da primeira coluna sejam relativos à entrada $p_{N_D N_X}[n]$.
   - Os gráficos da segunda coluna sejam relativos à entrada $p_{N_M N_M}[n]$.
   - Os gráficos da primeira linha representem a resposta ao impulso do sistema.
   - Os gráficos da segunda linha representem o sinal de entrada.
   - Os gráficos da terceira linha representem o sinal de saída do sistema relaxado.
   - Para a abscissa, deve ser considerada a faixa $-N_W \leq n \leq (C_M - 1)$.
   - Para as ordenadas, deve ser considerada a faixa $[-0.1\ A\ ; 1.1\ A]$, onde A é o valor máximo do sinal em questão.
   - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

   (1.0 pts)

4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo seis gráficos, organizados matricialmente em três linhas e duas colunas, tal que:

   - Todos os gráficos sejam relativos ao sistema não causal.
   - Os gráficos da primeira coluna sejam relativos à entrada $p_{N_D N_X}[n]$.

- Os gráficos da segunda coluna sejam relativos à entrada $p_{N_M N_M}[n]$.
- Os gráficos da primeira linha representem a resposta ao impulso do sistema.
- Os gráficos da segunda linha representem o sinal de entrada.
- Os gráficos da terceira linha representem o sinal de saída do sistema relaxado.
- Para a abscissa, deve ser considerada a faixa $-N_W \leq n \leq (C_M - 1)$.
- Para as ordenadas, deve ser considerada a faixa $[-0.1\ A\ ; 1.1\ A]$, onde A é o valor máximo do sinal em questão.
- Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

(1.0 pts)

5. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo quatro gráficos, organizados matricialmente em duas linhas e duas colunas, tal que:

   - Todos os gráficos sejam relativos ao sistema causal.
   - O gráfico da primeira linha e da primeira coluna seja a imagem relativa à matriz $M[l, c]$ original.
   - O gráfico da primeira linha e da segunda coluna seja a imagem relativa à saída $y_{ent_C}[l, c] = h_{c_C}[l, c] * M[l, c]$.
   - O gráfico da segunda linha e da primeira coluna seja a imagem relativa à saída $y_{ent_C}[l, c] = h_{l_C}[l, c] * M[l, c]$.
   - O gráfico da segunda linha e da segunda coluna seja a imagem relativa à saída $y_{ent_C}[l, c] = h_{lc_C}[l, c] * M[l, c]$.
   - Devem ser consideradas as faixas $1 \leq l \leq L_M$ e $1 \leq c \leq C_M$.
   - A área visível dos gráficos deve estar alinhada com as bordas das imagens.

   (1.0 pts)

6. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo quatro gráficos, organizados matricialmente em duas linhas e duas colunas, tal que:

   - Todos os gráficos sejam relativos ao sistema não causal.
   - O gráfico da primeira linha e da primeira coluna seja a imagem relativa à matriz $M[l, c]$ original.
   - O gráfico da primeira linha e da segunda coluna seja a imagem relativa à saída $y_{ent_{NC}}[l, c] = h_{c_{NC}}[l, c] * M[l, c]$.
   - O gráfico da segunda linha e da primeira coluna seja a imagem relativa à saída $y_{ent_{NC}}[l, c] = h_{l_{NC}}[l, c] * M[l, c]$.
   - O gráfico da segunda linha e da segunda coluna seja a imagem relativa à saída $y_{ent_{NC}}[l, c] = h_{lc_{NC}}[l, c] * M[l, c]$.
   - Devem ser consideradas as faixas $1 \leq l \leq L_M$ e $1 \leq c \leq C_M$.
   - A área visível dos gráficos deve estar alinhada com as bordas das imagens.

   (1.0 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (1.0 pts)

Capítulo 6

Definição dos trabalhos TEC 2017-2

6.1 TEC1

Realizar o TEC1-BM.

6.2 TEC2

Realizar o TEC1-BC.

6.3 TEC3

Realizar o TEC2-BC.

6.4 TEC4

6.4.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Elaboração de gráficos de funções unidimensionais.
- Objetivo: Elaborar gráficos de funções unidimensionais e organizá-los de diferentes formas.

6.4.2 Especificações

- Uma linha de retardo com derivações é um sistema com uma entrada $x[n]$ e diversas saídas $y_k[n]$, formado por um conjunto de atrasadores unitários (D^{-1}) conectados em cascata. As derivações podem ser formadas pela própria entrada ($y_0[n]$) e pelas saídas dos atrasadores ($y_k[n]$, $k > 0$).
- Um sistema *downsampler* ($\downarrow L$) realiza uma reamostragem no seu sinal de entrada $x[n]$, gerando um sinal de saída $y[n] = x[L\ n]$.
- Suponha que um sinal $\tilde{p}[n]$ periódico, com período fundamental N_f, é aplicado a uma linha de retardo com N_f derivações, gerando os sinais $d_k[n]$, para $0 \leq k \leq (N_f - 1)$.

Em seguida, cada seqüência $d_k[n]$ é utilizada como entrada em um sistema *downsampler* $(\downarrow L)$, com fator de *downsampling* $L = N_f$, gerando as seqüências $c_k[n]$.

6.4.3 Tarefas

Teoria

1. Calcule a relação funcional $d_k[n] = f_1(k, \tilde{p}[n])$.
2. Calcule a relação funcional $c_k[n] = f_2(d_k[n])$.
3. Calcule a relação funcional $c_k[n] = f_3(k, \tilde{p}[n])$.
4. Baseado nas relações funcionais calculadas, relate o tipo das seqüências $c_k[n]$.

   (1.0 pts)

Prática

1. Suponha um sinal discreto periódico, definido por $\tilde{p}[n]$.
2. Desenvolva um código Octave que obtenha do usuário o valor do período fundamental N_f de $\tilde{p}[n]$, tal que $N_f \in \mathbb{N}^+$. (0.5 pts)
3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que obtenha do usuário os valores N_L e N_H da faixa de visualização de sinais $n = [N_L; N_H]$, tal que $N_H > N_L \in \mathbb{Z}$. (1.0 pts)
4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule os valores de um único período fundamental $\tilde{p}[n]$, usando a função $rand(\cdot)$. (0.5 pts)
5. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo o gráfico $\tilde{p}[n] \times n$, de tal forma que:
   - Apresente valores apenas na faixa de visualização dada por $n = [N_L; N_H]$.
   - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

   (1.0 pts)
6. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo até 4 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:
   - Na primeira linha, deverá ser gerado um gráfico, referente ao sinal $d_0[n]$.
   - Na segunda linha, deverá ser gerado um gráfico, referente ao sinal $d_1[n]$.
   - Na terceira linha, deverá ser gerado um gráfico, referente ao sinal $d_2[n]$.
   - Na quarta linha, deverá ser gerado um gráfico, referente ao sinal $d_3[n]$.
   - Cada uma das curvas $d_k[n]$ deverá possuir uma cor diferente das demais.
   - Apresente valores apenas na faixa de visualização dada por $n = [N_L; N_H]$.
   - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

(2.0 pts)

7. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo até 4 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:
   - Na primeira linha, deverá ser gerado um gráfico, referente ao sinal $c_0[n]$.
   - Na segunda linha, deverá ser gerado um gráfico, referente ao sinal $c_1[n]$.
   - Na terceira linha, deverá ser gerado um gráfico, referente ao sinal $c_2[n]$.
   - Na quarta linha, deverá ser gerado um gráfico, referente ao sinal $c_3[n]$.
   - Cada uma das curvas $c_k[n]$ deverá possuir uma cor diferente das demais, as quais deverão ser iguais às cores dos sinais $d_k[n]$ para os mesmos valores de k.
   - Apresente valores apenas na faixa de visualização dada por $n = [N_L; N_H]$.
   - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

   (2.0 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

6.5 TEC5

6.5.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Operador de transferência e conexões de sistemas.
- Objetivo: Cálculo de operador de transferência, de equação de diferença e de resposta ao impulso, relacionados com as conexões de sistemas.

6.5.2 Especificações

- Um operador de transferência $T(D)$ é uma forma alternativa para se representar uma equação de diferença, utilizando-se uma notação operacional. Assim, empregando-se o operador deslocamento unitário, definido por

  $$D^{-k} \, \{v[n]\} = \left(D^{-k}\right) \, v[n] = v[n-k] \ ,$$

  a equação de diferença

  $$y[n] = \sum_{k=1}^{N} (-a_k) \, y[n-k] + \sum_{k=0}^{L} b_k \, x[n-k]$$

  pode ser representada por

  $$y[n] = T(D) \, x[n] \ ,$$

onde

$$T(D) = \frac{\left(\sum_{k=0}^{L} b_k \ D^{-k}\right)}{\left(1 + \sum_{k=1}^{N} a_k \ D^{-k}\right)}$$

é o operador de transferência associado a ela.

- Um sistema genérico pode ser modelado por meio da interconexão de subsistemas. No tocante ao operador de transferência, isso representa uma composição funcional baseada nos operadores dos subsistemas.

- Supondo-se a composição de um sistema por meio da conexão em cascata de subsistemas, isso representa a formação do seu operador de transferência por meio da multiplicação dos operadores dos subsistemas, tal que

$$T(D) = T_1(D) \ T_2(D) \cdots \ T_U(D) \ .$$

Para facilitar a manipulação funcional nesses arranjos, é comum que os operadores de transferência sejam representados por meio de uma fatoração polinomial do tipo

$$P(D) = c_0 + c_1 D^{-1} + c_2 D^{-2} + \cdots + c_M D^{-M} = c_0 (1 - r_1 D^{-1})(1 - r_2 D^{-1}) \cdots (1 - r_M D^{-M}) \ .$$

6.5.3 Tarefas

Teoria

1. Suponha a composição do sistema genérico S por meio da conexão em cascata dos sistemas S_1, S_2 e S_3.

2. Suponha que S_1 é definido por

$$v[n] = \sum_{k=1}^{2} (-a_{1_k}) \ v[n-k] + \sum_{k=0}^{4} b_{1_k} \ x[n-k] \ ,$$

onde

$$\boldsymbol{a_1} = [a_{1_0} a_{1_1} a_{1_2}] = [1.000000 \quad 0.300000 \quad 0.020000]$$

e

$$\boldsymbol{b_1} = [b_{1_0} b_{1_1} b_{1_2} b_{1_3} b_{1_4}] = [1.00000 \quad 0.50000 \quad 0.50000 \quad 0.54000 \quad 0.12240] \ .$$

3. Suponha que S_2 é definido por

$$w[n] = \sum_{k=1}^{2} (-a_{2_k}) \ w[n-k] + \sum_{k=0}^{4} b_{2_k} \ v[n-k] \ ,$$

onde

$$\boldsymbol{a_2} = [a_{2_0} a_{2_1} a_{2_2}] = [1.00000 \quad 0.70000 \quad 0.12000]$$

e

$$\boldsymbol{b_2} = [b_{2_0} b_{2_1} b_{2_2} b_{2_3} b_{2_4}] = [1.000000 \quad -0.100000 \quad -0.050000 \quad 0.207000 \quad 0.041000] \ .$$

4. Suponha que S_3 é definido por

$$y[n] = \sum_{k=1}^{2} (-a_{3_k}) \; y[n-k] + \sum_{k=0}^{4} b_{3_k} \; w[n-k] \; ,$$

onde

$$\boldsymbol{a_3} = [a_{3_0} a_{3_1} a_{3_2}] = [1.00000 \quad 1.10000 \quad 0.30000]$$

e

$$\boldsymbol{b_3} = [b_{3_0} b_{3_1} b_{3_2} b_{3_3} b_{3_4}] = [1.000000 \quad -1.100000 \quad -0.110000 \quad 0.261000 \quad 0.026000] \; .$$

5. Calcule o operador de transferência $T_k(D)$ de cada subsistema S_k, para $k = \{1, 2, 3\}$. (1.5 pts)

6. Calcule o operador de transferência $T(D)$ do sistema S. (1.5 pts)

7. Calcule a equação de diferença do sistema S. (0.5 pts)

8. Calcule a resposta ao impulso $h[n]$ do sistema S. (0.5 pts)

Prática

1. Desenvolva um código Octave que, empregando a função `roots(.)`, calcule, para cada operador de transferência, a constante de ganho K_T, os zeros e os pólos. (1.0 pts)

2. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 4 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Cada gráfico será referente a um Diagrama de Pólos e Zeros (DPZ), contendo a constante de ganho K_T escrita em alguma parte do gráfico, os zeros representados pelo símbolo 'O' e os pólos representados pelo símbolo 'X'.
   - Na primeira linha e primeira coluna, deverá ser apresentado o DPZ de $T_1(D)$.
   - Na primeira linha e segunda coluna, deverá ser apresentado o DPZ de $T_2(D)$.
   - Na segunda linha e primeira coluna, deverá ser apresentado o DPZ de $T_3(D)$.
   - Na segunda linha e segunda coluna, deverá ser apresentado o DPZ de $T(D)$.
   - Todos os gráficos devem ter seus eixos identificados e devem possuir um título.

   (2.0 pts)

3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 1 gráfico, de tal forma que:

   - O gráfico deve apresentar a resposta ao impulso $h[n]$ de S.
   - O gráfico deve ter seus eixos identificados e deve possuir um título.

   (1.0 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, adequadamente formatadas e organizadas em subseções. (2.0 pts)

6.6 TEC6

6.6.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Cálculo da resposta à entrada de um SLIT.
- Objetivo: Cálculo da resposta à entrada de um SLIT por meio de mecanismos diferentes e comparação dos resultados.

6.6.2 Especificações

- Um SLIT definido por uma equação de diferença pode ser descrito de diversas formas, tais como: resposta ao impulso, equação de diferença, operador de transferência, equações de estado e diagrama de sistema.
- Tais formas podem ser utilizadas para o cálculo da resposta total do sistema.
- Por exemplo, dadas a equação de diferença

$$y[n] = \sum_{k=1}^{N} (-a_k)\ y[n-k] + \sum_{k=0}^{L} b_k\ r[n-k]\ , \tag{6.1}$$

as condições iniciais $y[-1], y[-2], \cdots, y[-N]$ e a entrada $r[n] = f[n]\ u[n]$, pode-se calcular a resposta $y[n]$, para $n \geq 0$, por simples iteração.

- A partir da Equação (6.1), podem-se obter outras equações que definem o sistema, diretamente por manipulação algébrica ou com a ajuda do diagrama de sistema.
- Por exemplo, podem-se obter as equações de estado

$$\left\{ \begin{array}{rcl} \boldsymbol{x}[n+1] & = & \boldsymbol{A} \cdot \boldsymbol{x}[n] + \boldsymbol{B} \cdot \boldsymbol{r}[n] \\ & = & \\ \boldsymbol{y}[n] & = & \boldsymbol{C} \cdot \boldsymbol{x}[n] + \boldsymbol{D} \cdot \boldsymbol{r}[n] \end{array} \right. , \tag{6.2}$$

que, com o estado inicial $\boldsymbol{x}[0]$ e a entrada $r[n] = f[n]\ u[n]$, também podem ser usadas para calcular a resposta $y[n]$, para $n \geq 0$, por sua simples iteração ou por meio da sua solução, dada por

$$\boldsymbol{y}[n] = \left\{ \begin{array}{lcl} \boldsymbol{C} \cdot \boldsymbol{x}[0] + \boldsymbol{D} \cdot \boldsymbol{r}[0] & , & n = 0 \\ \boldsymbol{C} \cdot \boldsymbol{A}^n \cdot \boldsymbol{x}[0] + \boldsymbol{C} \cdot \sum_{k=0}^{(n-1)} \boldsymbol{A}^{(n-1-k)} \cdot \boldsymbol{B} \cdot \boldsymbol{r}[k] + \boldsymbol{D} \cdot \boldsymbol{r}[n] & , & n > 0 \end{array} \right. . \tag{6.3}$$

6.6.3 Tarefas

Teoria

1. Considere $L < N$ na Equação (6.1),
2. Apresente a realização do SLIT definido pela Equação (6.1), por meio de diagrama de blocos, nas seguintes formas: Forma Direta I (FDI), Forma Direta I Transposta (FDI-T), Forma Direta II (FDII), Forma Direta II Transposta (FDII-T). (0.5 pts)

3. A partir da FDII-T, calcule as matrizes $\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{B}$, $\boldsymbol{C}$ e $\boldsymbol{D}$, da Equação 6.2, com a matriz $\boldsymbol{A}$ na forma companheira III (conforme a notação da Apostila de Teoria). Calcule ainda, para esse caso, o vetor de condições iniciais $\boldsymbol{x}[0]$. (0.5 pts)

4. Estude a função $filter(\cdot)$ dos aplicativos Octave e Matlab, identificando a estrutura a ela associada.

Prática

1. Desenvolva um código Octave que obtenha do usuário os seguintes dados:

   - Os coeficientes a_k e b_k.
   - As condições iniciais $y[-k]$.
   - A entrada $r[n] = f[n]\ u[n]$, para $n \geq 0$.

   Realize um política de tratamento de dados e interaja com o usuário em caso de erro na entrada de dados. (0.5 pts)

2. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a resposta à entrada $y_{ent}[n]$, para $n \geq 0$, empregando as seguintes formas de cálculo:

   - Equação de diferença.
   - Função $filter(\cdot)$.
   - Equações de estado.

   Compare numericamente os resultados. (2.0 pts)

3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 3 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Na primeira linha, deverá ser apresentada a resposta à entrada $y_{ent}[n]$, calculada por meio da equação de diferenca.
   - Na segunda linha, deverá ser apresentada a resposta à entrada $y_{ent}[n]$, calculada por meio da função $filter(\cdot)$.
   - Na terceira linha, deverá ser apresentada a resposta à entrada $y_{ent}[n]$, calculada por meio das equações de estado.
   - Todos os gráficos devem ter seus eixos identificados e devem possuir um título.

   (1.0 pts)

4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a resposta ao estado $y_{est}[n]$, para $n \geq 0$, empregando as seguintes formas de cálculo:

   - Função $filter(\cdot)$.
   - Equações de estado.

   Compare numericamente os resultados. (2.0 pts)

5. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 2 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

- Na primeira linha, deverá ser apresentada a resposta ao estado $y_{est}[n]$, calculada por meio da função $filter(\cdot)$.
- Na segunda linha, deverá ser apresentada a resposta ao estado $y_{est}[n]$, calculada por meio das equações de estado.
- Todos os gráficos devem ter seus eixos identificados e devem possuir um título.

(1.0 pts)

6. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 3 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Na primeira linha, deverá ser apresentada a resposta ao estado $y_{est}[n]$.
   - Na segunda linha, deverá ser apresentada a resposta à entrada $y_{ent}[n]$.
   - Na terceira linha, deverá ser apresentada a resposta completa $y[n]$.
   - Todos os gráficos devem ser apresentados com as mesmas faixas, para a abscissa e para a ordenada.
   - Todos os gráficos devem ter seus eixos identificados e devem possuir um título.

   (0.5 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, adequadamente formatadas e organizadas em subseções. (2.0 pts)

6.7 TEC7

6.7.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título:
  Respostas de um SLIT: solução da equação homogênea e análise de estabilidade.
- Objetivo:
  Cálculo da solução da equação homogênea de um SLIT de ordem 1 e análise de estabilidade, a partir das diversas formas que a solução pode assumir em função da posição do pólo do operador de transferência do sistema.

6.7.2 Especificações

- Suponha o SLIT SISO definido por

$$y[n] = \sum_{k=1}^{N} (-a_k)\ y[n-k] + \sum_{k=0}^{L} b_k\ r[n-k]\ , \tag{6.4}$$

dadas as condições iniciais $y[-1], y[-2], \cdots, y[-N]$ e a entrada $r[n] = f[n]\ u[n]$.

- Quando $r[n] = 0$, pode-se calcular a solução da equação homogênea ($y_h[n]$) ou a resposta ao estado do sistema ($y_{est}[n]$), a partir das condições iniciais.

- Para um SLIT de ordem 1, definido por $N = 1$ e $L = 0$, pode-se mostrar que

$$y_{tot}[n]\big|_{r[n]=0} = y_h[n] = y_{est}[n] = [y[-1]\ (-a_1)]\ \ (-a_1)^n\ u[n] = y[0]\ (-a_1)^n\ u[n]\ ,$$

  onde $y[-1]$ é uma dada condição inicial.

6.7.3 Tarefas

Teoria

1. Considere o sistema S, definido pela Equação (6.4), com $N = 1$ e $L = 0$.

2. Apresente o operador de transferência de S, na forma

$$T_C(D) = K_C\ \frac{\prod_l \left(1 - z_l D^{-l}\right)}{\prod_l \ (1 - p_l D^{-l})}\ .$$

3. Discuta a estabilidade de S, em função da posição do pólo de $T(D)$ de S. (0.5 pts)

Prática

1. Suponha os seis sistemas definidos por $\boldsymbol{b} = [\ b_0,\ b_1\ ] = [\ 1,\ 0\ ]$ e $\boldsymbol{a} = [\ a_0,\ a_1\ ] = [\ 1,\ a_1\ ]$, onde $\boldsymbol{a_1} = [\ (-1.5),\ (-1),\ (-0.5),\ (0.5),\ (1),\ (1.5)\ ]$ e $y[-1] = 3$.

2. Desenvolva um código Octave que calcule a tríade (z, p, k) e o valor inicial $y[0]$, para cada sistema. (1.0 pts)

3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 6 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Cada gráfico será referente a um Diagrama de Pólos e Zeros (DPZ), contendo a constante de ganho K_T escrita em alguma parte do gráfico, os zeros representados pelo símbolo 'O' e os pólos representados pelo símbolo 'X'.
   - Na primeira linha e primeira coluna, deverá ser apresentado o DPZ de $T_1(D)$.
   - Na primeira linha e segunda coluna, deverá ser apresentado o DPZ de $T_2(D)$.
   - Na primeira linha e terceira coluna, deverá ser apresentado o DPZ de $T_3(D)$.
   - Na segunda linha e primeira coluna, deverá ser apresentado o DPZ de $T_6(D)$.
   - Na segunda linha e segunda coluna, deverá ser apresentado o DPZ de $T_5(D)$.
   - Na segunda linha e terceira coluna, deverá ser apresentado o DPZ de $T_4(D)$.
   - Todos os gráficos devem ter seus eixos identificados e devem possuir um título.

   (3.0 pts)

4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule $y_h[n] = y_{est}[n]$, onde $0 \leq n \leq 20$, para cada sistema. (1.0 pts)

5. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 6 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Cada gráfico será referente a uma resposta $y_h[n] = y_{est}[n]$.
   - Na primeira linha e primeira coluna, deverá ser apresentada a resposta do sistema S_1.
   - Na primeira linha e segunda coluna, deverá ser apresentada a resposta do sistema S_2.
   - Na primeira linha e terceira coluna, deverá ser apresentada a resposta do sistema S_3.
   - Na segunda linha e primeira coluna, deverá ser apresentada a resposta do sistema S_6.
   - Na segunda linha e segunda coluna, deverá ser apresentada a resposta do sistema S_5.
   - Na segunda linha e terceira coluna, deverá ser apresentada a resposta do sistema S_4.
   - Todos os gráficos devem ter seus eixos identificados e devem possuir um título.

   (2.0 pts)

6. Verifique a estabilidade prevista na parte teórica. (0.5 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, adequadamente formatadas e organizadas em subseções. (2.0 pts)

6.8 TEC8

6.8.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Decomposição de sistemas e resposta ao estado de um SLIT de ordem 2.
- Objetivo: Cálculo da resposta ao estado de um SLIT de ordem 2, a partir das respostas de SLITs de ordem 1.

6.8.2 Especificações

- Suponha o SLIT SISO definido por

$$y[n] = \sum_{k=1}^{N} (-a_k) \; y[n-k] + \sum_{k=0}^{L} b_k \; r[n-k] \; , \tag{6.5}$$

dadas as condições iniciais $y[-1], y[-2], \cdots, y[-N]$ e a entrada $r[n] = f[n] \; u[n]$.

- Para um SLIT de ordem 1, definido por $N = 1$ e $L = 0$, pode-se resolver a sua equação de diferença no domínio da variável n, encontrando-se uma forma fechada para a sua resposta, de tal forma que

$$y_{tot}[n] = y_h[n] + y_r[n] = y_{est}[n] + y_{ent}[n] \ .$$

- A resposta de um SLIT de ordem 2 pode ser calculada por meio da sua decomposição em sistemas de ordem menor, seguida da combinação das respostas de tais sistemas.

6.8.3 Tarefas

Teoria

1. Considere o sistema S, definido pela Equação (6.5), com $N = 2$ e $L = 0$.

2. Considerando que S possua pólos reais e diferentes, apresente o operador de transferência de S, na forma

$$T_C(D) = K_C \ \frac{\prod_l \left(1 - z_l D^{-l}\right)}{\prod_l \ (1 - p_l D^{-l})} \ .$$

(0.25 pts)

3. Decomponha $T_C(D)$ em uma cascata de três operadores, tal que

$$T_C(D) = K_C \ T_1(D) \ T_2(D) \ .$$

(0.25 pts)

4. Calcule a resposta ao estado de S, baseando-se nas respostas do arranjo em cascata.

(1.0 pts)

5. Considerando que S possua pólos reais e diferentes, apresente o operador de transferência de S, na forma

$$T_P(D) = K_P \ \left[\sum_l \frac{K_l}{(1 - p_l D^{-l})} \right] \ .$$

(0.25 pts)

6. Decomponha $T_P(D)$ em uma combinação de três operadores, tal que

$$T_P(D) = K_P \ \left[T_3(D) + T_4(D) \right] \ .$$

(0.25 pts)

7. Calcule a resposta ao estado de S, baseando-se nas respostas do arranjo em paralelo.

(1.0 pts)

Prática

1. Suponha os sistema S definido por $\boldsymbol{b} = [\ b_0,\ b_1,\ b_2\ ] = [\ 1,\ 0,\ 0\ ]$ e $\boldsymbol{a} = [\ a_0,\ a_1,\ a_2\ ] = [\ (1),\ (0.8),\ (0.15)\ ]$, com $y[-1] = 2$ e $y[-2] = 5$.

2. Desenvolva um código Octave que calcule a tríade (z, p, k) de S e compare o resultado com seus cálculos teóricos.

3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 4 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Cada gráfico será referente a um Diagrama de Pólos e Zeros (DPZ), contendo a constante de ganho K_T escrita em alguma parte do gráfico, os zeros representados pelo símbolo 'O' e os pólos representados pelo símbolo 'X'.
   - Na primeira linha e primeira coluna, deverá ser apresentado o DPZ de $T_1(D)$.
   - Na primeira linha e segunda coluna, deverá ser apresentado o DPZ de $T_2(D)$.
   - Na segunda linha e primeira coluna, deverá ser apresentado o DPZ de $T_3(D)$.
   - Na segunda linha e segunda coluna, deverá ser apresentado o DPZ de $T_4(D)$.
   - Todos os gráficos devem ter seus eixos identificados e devem possuir um título.

   (1.0 pts)

4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule todas as respostas envolvidas no arranjo em cascata. (1.0 pts)

5. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo gráficos referentes às respostas envolvidas no arranjo em cascata. organizados de forma matricial. Todos os gráficos devem ter seus eixos identificados e devem possuir um título. (1.0 pts)

6. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule todas as respostas envolvidas no arranjo em paralelo. (1.0 pts)

7. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo gráficos referentes às respostas envolvidas no arranjo em paralelo. organizados de forma matricial. Todos os gráficos devem ter seus eixos identificados e devem possuir um título. (1.0 pts)

8. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere a resposta ao estado de S por meio da função $filter(\cdot)$ e compare-a numericamente com os seus resultados anteriores.

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, adequadamente formatadas e organizadas em subseções. (2.0 pts)

6.9 TEC9

6.9.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Sinais periódicos e a DTFS.
- Objetivo: Calcular e elaborar os gráficos de módulo e de ângulo de fase dos coeficientes da DTFS de um sinal periódico.

6.9.2 Especificações

- A DTFS $\tilde{X}[k]$ de um sinal periódico $\tilde{x}[n]$, com período fundamental N_F, é definida por

$$\begin{cases} \tilde{x}[n] = \sum_{k=\langle N_F \rangle} \tilde{X}[k] \; e^{jk\left(\frac{2\pi}{N_F}\right)n} \\ \\ \tilde{X}[k] = \frac{1}{N_F} \sum_{n=\langle N_F \rangle} \tilde{x}[n] \; e^{-jk\left(\frac{2\pi}{N_F}\right)n} \end{cases} . \quad (6.6)$$

- Definindo-se $W_N = e^{-j\left(\frac{2\pi}{N}\right)}$, as equações da DTFS podem ser reescritas como

$$\begin{cases} \tilde{x}[n] = \sum_{k=\langle N_F \rangle} \tilde{X}[k] \; W_{N_f}^{-kn} \\ \\ \tilde{X}[k] = \frac{1}{N_F} \sum_{n=\langle N_F \rangle} \tilde{x}[n] \; W_{N_f}^{kn} \end{cases} . \quad (6.7)$$

- Por fim, os somatórios de produtos das equações da DTFS podem ser descritos por meio de equações matriciais, de tal forma que

$$\begin{cases} \boldsymbol{\tilde{x}[n]} = \boldsymbol{W_{N_f}^{-1}} \; \boldsymbol{\tilde{X}[k]} \\ \\ \boldsymbol{\tilde{X}[k]} = \boldsymbol{W_{N_f}} \; \boldsymbol{\tilde{x}[n]} \end{cases} , \; (n,k) = \langle N_F \rangle \; . \quad (6.8)$$

6.9.3 Tarefas

Teoria

1. Suponha $N_F = 360$ e $\Omega_F = \left(\frac{2\pi}{N_F}\right) \; rad$.
2. Suponha os sinais $\tilde{x}[n] = cos(\Omega_F \; n)$ e $\tilde{m}[n] = mod(\; cos(\Omega_F \; n) \;) = | \; cos(\Omega_F \; n) \; |$.
3. Calcule, manualmente, $\tilde{X}[k]$.

Prática

1. Desenvolva um código Octave que calcule os sinais $\tilde{x}[n]$ e $\tilde{m}[n]$, a partir das suas equações originais, considerando a faixa $0 \leq n \leq (N_F - 1)$. (0.5 pts)
2. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule as matrizes $\boldsymbol{W_{N_f}^{-1}}$ e $\boldsymbol{W_{N_f}}$. (1.0 pts)

3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule $\tilde{X}[k]$ e $\tilde{M}[k]$, utilizando as equações matriciais da DTFS. (0.5 pts)

4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que recalcule $\tilde{x}[n]$ e $\tilde{m}[n]$, utilizando as equações matriciais da DTFS. (0.5 pts)

5. Compare, numericamente, os valores de $\tilde{X}[k]$, calculados manualmente e por meio das equações matriciais. (0.5 pts)

6. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que compare, numericamente, os valores de $\tilde{x}[n]$ e de $\tilde{m}[n]$, calculados pelas suas equações originais e por meio das equações matriciais. (0.5 pts)

7. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que normalize os valores encontrados para $\tilde{X}[k]$ e $\tilde{M}[k]$, tal que $\tilde{X}_{norm}[k] = N_F \cdot \tilde{X}[k]$ e $\tilde{M}_{norm}[k] = N_F \cdot \tilde{M}[k]$. (0.5 pts)

8. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 3 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Na primeira linha, apresente o gráfico de $\tilde{x}[n] \times n$, para $0 \leq n \leq (N_F - 1)$.
   - Na segunda linha, apresente o gráfico de $|\tilde{X}[k]|$, para $0 \leq k \leq (N_F - 1)$.
   - Na terceira linha, apresente o gráfico de $\angle\tilde{X}[k]$, para $0 \leq k \leq (N_F - 1)$. Represente o ângulo de fase na faixa $[-180^o; -180^o]$.
   - Todos os gráficos devem ter seus eixos identificados e devem possuir um título.

   (1.0 pts)

9. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 3 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Na primeira linha, apresente o gráfico de $\tilde{m}[n] \times n$, para $0 \leq n \leq (N_F - 1)$.
   - Na segunda linha, apresente o gráfico de $|\tilde{M}[k]|$, para $0 \leq k \leq (N_F - 1)$.
   - Na terceira linha, apresente o gráfico de $\angle\tilde{M}[k]$, para $0 \leq k \leq (N_F - 1)$. Represente o ângulo de fase na faixa $[-180^o; -180^o]$.
   - Todos os gráficos devem ter seus eixos identificados e devem possuir um título.

   (1.0 pts)

10. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 6 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

    - Na primeira coluna, apresente os 3 gráficos da Figura 1, relativos à função $\tilde{x}[n]$.
    - Na segunda coluna, apresente os 3 gráficos da Figura 2, relativos à função $\tilde{m}[n]$.
    - Todos os gráficos devem ter seus eixos identificados e devem possuir um título.

    (1.0 pts)

11. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 6 gráficos, equivalentes aos da Figura 3, para $\tilde{X}_{norm}[k]$ e $\tilde{M}_{norm}[k]$. (1.0 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, adequadamente formatadas e organizadas em subseções. (2.0 pts)

6.10 TEC10

6.10.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Operador de Transferência × Resposta completa um SLIT.
- Objetivo: Empregar o Operador de Transferência para calcular a resposta completa de um SLIT de ordem 2.

6.10.2 Especificações

- Suponha o SLIT SISO definido por

$$y[n] = \sum_{k=1}^{N} (-a_k)\ y[n-k] + \sum_{k=0}^{L} b_k\ x[n-k]\ , \tag{6.9}$$

dadas as condições iniciais $y[-1], y[-2], \cdots, y[-N]$ e a entrada $x[n] = f[n]\ u[n]$.

- Empregando-se o Operador de Transferência $T(D)$, pode-se calcular a resposta completa do sistema.
- Para tal, pode-se calcular a resposta ao estado $y_{est}[n]$, a resposta ao impulso $h[n]$, a resposta à entrada $y_{ent}[n]$ e, finalmente, a resposta completa $y_{tot}[n] = y_{est}[n] + y_{ent}[n]$.

6.10.3 Tarefas

Teoria

1. Considere o sistema S, definido pela Equação (6.9), com $N = 2$ e $L = 0$.
2. Considerando que S possua pólos reais e diferentes, apresente o operador de transferência de S, na forma

$$T_C(D) = K_C\ \frac{\prod_l \left(1 - z_l D^{-l}\right)}{\prod_l\ (1 - p_l D^{-l})}\ .$$

(0.25 pts)

3. Considerando que S possua pólos reais e diferentes, apresente o operador de transferência de S, na forma

$$T_P(D) = K_P\ \left[\sum_l \frac{K_l}{(1 - p_l D^{-l})}\right]\ .$$

(0.25 pts)

4. Calcule a resposta ao estado $y_{est}[n]$ de S, empregando o Operador de Transferência. (1.0 pts)

5. Calcule a resposta ao impulso $h[n]$ de S, empregando o Operador de Transferência. (0.5 pts)

Prática

1. Suponha os sistema S definido por $\boldsymbol{b} = [\ b_0,\ b_1,\ b_2\ ] = [\ 1,\ 0,\ 0\ ]$ e $\boldsymbol{a} = [\ a_0,\ a_1,\ a_2\ ] = [\ (1),\ (0.8),\ (0.15)\ ]$, com $y[-1] = 2$ e $y[-2] = 5$.

2. Suponha a entrada $x[n] = u[n]$.

3. Desenvolva um código Octave que calcule a tríade (z, p, k) de S e compare o resultado com seus cálculos teóricos. (0.25 pts)

4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a tríade (r, p, k) de S e compare o resultado com seus cálculos teóricos. (0.25 pts)

5. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a resposta ao estado $y_{est}[n]$, a partir da equação calculada na Parte Teórica. (0.50 pts)

6. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a resposta ao impulso $h[n]$, a partir da equação calculada na Parte Teórica. (0.50 pts)

7. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a resposta à entrada $y_{ent}[n]$, a partir da resposta ao impulso calculada na Parte Teórica. (0.50 pts)

8. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a resposta ao estado $y_{est}[n]$, usando a função $filter(\cdot)$. (0.50 pts)

9. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a resposta ao impulso $h[n]$, usando a função $filter(\cdot)$. (0.25 pts)

10. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a resposta à entrada $y_{ent}[n]$ usando a função $filter(\cdot)$. (0.25 pts)

11. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 5 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

    - Nessa figura, deverão ser organizadas as respostas geradas pela função $filter(\cdot)$.
    - Na primeira linha e segunda coluna, deverá ser apresentado o gráfico de $y_{est}[n] \times n$.
    - Na segunda linha e segunda coluna, deverá ser apresentado o gráfico de $h[n] \times n$.
    - Na terceira linha e primeira coluna, deverá ser apresentado o gráfico de $x[n] \times n$.
    - Na terceira linha e segunda coluna, deverá ser apresentado o gráfico de $y_{ent}[n] \times n$.
    - Na quarta linha e segunda coluna, deverá ser apresentado o gráfico de $y_{tot}[n] \times n$.
    - Todos os gráficos devem ter seus eixos identificados e devem possuir um título.

    (1.0 pts)

12. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 5 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:
    - Nessa figura, deverão ser organizadas as respostas geradas a partir do Operador de Transferência.
    - Na primeira linha e segunda coluna, deverá ser apresentado o gráfico de $y_{est}[n] \times n$.
    - Na segunda linha e segunda coluna, deverá ser apresentado o gráfico de $h[n] \times n$.
    - Na terceira linha e primeira coluna, deverá ser apresentado o gráfico de $x[n] \times n$.
    - Na terceira linha e segunda coluna, deverá ser apresentado o gráfico de $y_{ent}[n] \times n$.
    - Na quarta linha e segunda coluna, deverá ser apresentado o gráfico de $y_{tot}[n] \times n$.
    - Todos os gráficos devem ter seus eixos identificados e devem possuir um título.

    (1.0 pts)
13. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 4 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:
    - Nessa figura, deverão ser organizados os erros absolutos entre as respostas geradas pela função $filter(\cdot)$ e a partir do Operador de Transferência.
    - Na primeira linha, deverá ser apresentado o gráfico de $\Delta y_{est}[n] \times n$.
    - Na segunda linha, deverá ser apresentado o gráfico de $\Delta h[n] \times n$.
    - Na terceira linha, deverá ser apresentado o gráfico de $\Delta y_{ent}[n] \times n$.
    - Na quarta linha, deverá ser apresentado o gráfico de $\Delta y_{tot}[n] \times n$.
    - Todos os gráficos devem ter seus eixos identificados e devem possuir um título.

    (1.0 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, adequadamente formatadas e organizadas em subseções. (2.0 pts)

Parte V

Trabalhos TEC 2018

Capítulo 7

Definição dos trabalhos TEC 2018-1

7.1 TEC1

Realizar o TEC1-BM.

7.2 TEC2

Realizar o TEC1-BC.

7.3 TEC3

Realizar o TEC2-BC.

7.4 TEC4

7.4.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Elaboração de gráficos de funções unidimensionais.
- Objetivo: Elaborar gráficos de funções unidimensionais e organizá-los de diferentes formas.

7.4.2 Especificações

- Todos os sinais senoidais $x_k[n] = cos(\Omega_k n)$, para $0 \leq \Omega_k < \pi$ rad, são seqüências distintas entre si. Por sua vez, todos os sinais $x_m[n] = cos(\Omega_m n)$, para $\Omega_m < 0$ rad e para $\Omega_m > \pi$ rad, se confundem com algum sinal $x_k[n]$. Nesse caso, os valores $0 \leq \Omega_k < \pi$ rad, são denominados de *valores principais*.
- Suponha-se um sinal amostrado $x[n]$, gerado a partir de um sinal analógico $x(t)$, por meio de um processo de amostragem uniforme, com uma taxa de amostragem $F_S = \frac{1}{T_S}$ Hz, tal que $x[n] = x(nT_S) = x(t)|_{t=nTS}$.
- Por meio desse processo, o sinal senoidal $x(t) = cos(\omega t)$ irá gerar o sinal $x[n] = cos(\Omega n)$, onde $\Omega = \omega \, T_S = 2\pi \, \frac{f}{F_S}$.

- Para que não ocorra ambigüidade na representação de $x(t)$ por $x[n]$, o valor obtido para $\Omega = \omega\ T_S$ deve pertencer à faixa $0 \leq \Omega < \pi$ rad. Isso equivale a dizer que deve-se atender à seguinte relação: $F_S > 2\ f$.

- Caso a relação acima não seja obedecida, uma seqüência senoidal $x[n] = cos(\Omega n)$ obtida do sinal $x_G(t) = cos(2\pi f_G t)$, onde $f_G > \frac{F_2}{2}$, irá representar, ao mesmo tempo, o sinal $x_G(t)$ e o sinal $x_L(t) = cos(2\pi f_L t)$, onde $0 \leq f_L < \frac{F_2}{2}$.

- Tal ambigüidade na representação de $x(t)$ por $x[n]$ é denominada *aliasing* ou *frequency folding* ou *folding back*.

- No caso de um sinal genérico $x(t)$, composto de uma combinação linear de sinais senoidais $x_k(t) = cos(2\pi f_k t)$, deve-se atender à relação $F_S > 2\ f_{max}$, onde $f_{max} = max\{f_k\}$ é a freqüência máxima presente na composição espectral do sinal $x(t)$.

- Se ocorrer *aliasing* para um sinal genérico $x(t)$, as suas componentes espectrais com freqüências altas serão interpretadas como componentes espectrais com freqüências baixa. Essa nova interpretação do espectro fará com que o sinal original $x(t)$ seja interpretado como um novo sinal $x_{alias}(t)$, com uma nova forma ao longo do tempo.

7.4.3 Tarefas

Teoria

1. Suponha os seguintes sinais senoidais: $x_1(t) = A_1\ cos(2\pi f_1 t)$, $x_2(t) = A_2\ cos(2\pi f_2 t)$, $x_3(t) = A_3\ cos(2\pi f_3 t)$ e $x_4(t) = A_4\ cos(2\pi f_4 t)$, onde $\boldsymbol{f} = [f_1, f_2, f_3, f_4] = [2, 21, 24, 40]$ kHz.

2. Suponha os seguintes sinais: $x_{low}(t) = x_1(t)$, $x_{med}(t) = x_2(t) + x_3(t)$, $x_{high}(t) = x_4(t)$ e $x(t) = x_{low}(t) + x_{med}(t) + x_{high}(t)$.

3. Suponha um processo de amostragem uniforme, com $F_S = 44$ kHz.

4. Assumindo uma geração do tipo $v[n] = v(nT_S) = v(t)|_{t=nTS}$, calcule as equações das seguintes seqüências: $x_1[n]$, $x_2[n]$, $x_3[n]$, $x_4[n]$, $x_{low}[n]$, $x_{med}[n]$, $x_{high}[n]$ e $x[n]$.

5. Verifique se ocorre o fenômeno de *aliasing* nesse processo.

6. Caso ocorra *aliasing*, recalcule as equações dos sinais $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_3(t)$, $y_4(t)$, $y_{low}(t)$, $y_{med}(t)$, $y_{high}(t)$ e $y(t) = y_{low}(t) + y_{med}(t) + y_{high}(t)$, empregando os valores $0 \leq f < \frac{F_s}{s}$ e assumindo as seguintes bandas de freqüências: $0 \leq f_{low} \leq 11$ kHz, $11 \leq f_{med} \leq 33$ kHz e $f_{high} \geq 33$ kHz.

7. Indique quais sinais sofrem de ambigüidade na sua representação.

Prática

1. Suponha, para os sinais $x_k(t)$, as amplitudes $A_k = 1$, para $1 \leq k \leq 4$.

2. Suponha as freqüências $F_S = 44$ kHz e $F_A = 10\ F_S$ Hz.

3. Desenvolva um código Octave que, empregando a freqüência F_A, calcule uma aproximação para os seguintes sinais analógicos: $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$, $x_4(t)$, $x_{low}(t)$, $x_{med}(t)$, $x_{high}(t)$ e $x(t)$. Utilize uma aproximação com 440 pontos para cada sinal. (1.0 pts)

4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que, empregando a freqüência F_S, calcule os seguintes sinais discretos: $x_1[n]$, $x_2[n]$, $x_3[n]$, $x_4[n]$, $x_{low}[n]$, $x_{med}[n]$, $x_{high}[n]$ e $x[n]$. Calcule cada sinal com 44 pontos. (1.0 pts)

5. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que, empregando a freqüência F_A, calcule uma aproximação para os seguintes sinais analógicos: $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_3(t)$, $y_4(t)$, $y_{low}(t)$, $y_{med}(t)$, $y_{high}(t)$ e $y(t)$. Utilize uma aproximação com 440 pontos para cada sinal. (1.0 pts)

6. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo um conjunto de gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Os sinais analógicos deverão ser traçados em azul, enquanto os sinais discretos deverão ser traçados em vermelho.
   - Na primeira coluna, deverão ser gerados os gráficos referentes aos sinais $x_k(t)$, superpostos aos sinais $x_k[n]$, onde k representa o número da linha.
   - Na segunda coluna, deverão ser gerados os gráficos referentes aos sinais $x_k[n]$, onde k representa o número da linha.
   - Na terceira coluna, deverão ser gerados os gráficos referentes aos sinais $y_m(t)$, superpostos aos sinais $y_m[n]$, nas mesmas linhas que os sinais $x_k(t)$ com os quais eles sofrem *aliasing*.
   - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.
   - Devem ser colocados identificadores nos gráficos e nos eixos.

   (1.0 pts)

7. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo um conjunto de gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Os sinais analógicos deverão ser traçados em azul, enquanto os sinais discretos deverão ser traçados em vermelho.
   - Na primeira linha, deverão ser gerados os gráficos referentes aos sinais $x_k(t)$, onde k representa o número da coluna.
   - Na segunda linha, deverão ser gerados os gráficos referentes aos sinais $x_k[n]$, onde k representa o número da coluna.
   - Na terceira linha, deverão ser gerados os gráficos referentes aos sinais $y_m(t)$, nas mesmas colunas que os sinais $x_k(t)$ com os quais eles sofrem *aliasing*.

- Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada. Considere os limites de $x(t)$ como os limites a serem usados para as ordenadas dos gráficos.
- Devem ser colocados identificadores nos gráficos e nos eixos.

(1.0 pts)

8. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo um conjunto de gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Na primeira coluna, na terceira linha, deverá ser gerado o gráfico referente ao sinal $x_{low}(t)$. Nas duas primeiras linhas, deverão ser gerados os gráficos referentes às suas componentes.
   - Na segunda coluna, na terceira linha, deverá ser gerado o gráfico referente ao sinal $x_{med}(t)$. Nas duas primeiras linhas, deverão ser gerados os gráficos referentes às suas componentes.
   - Na terceira coluna, na terceira linha, deverá ser gerado o gráfico referente ao sinal $x_{high}(t)$. Nas duas primeiras linhas, deverão ser gerados os gráficos referentes às suas componentes.
   - Na quarta coluna, na terceira linha, deverá ser gerado o gráfico referente ao sinal $x(t)$.
   - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada. Considere os limites de $x(t)$ como os limites a serem usados para as ordenadas dos gráficos.
   - Devem ser colocados identificadores nos gráficos e nos eixos.

   (1.0 pts)

9. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo um conjunto de 4 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Na primeira linha, deverá ser gerado o gráfico referente ao sinal $x(t)$, em azul.
   - Na segunda linha, deverá ser gerado o gráfico referente ao sinal $x[n]$, em vermelho.
   - Na terceira linha, deverá ser gerado o gráfico referente ao sinal $y(t)$, em preto.
   - Na quarta linha, deverá ser gerado o gráfico referente à superposição dos três sinais, mantendo a relação de cores.
   - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada. Considere os limites de $x(t)$ como os limites a serem usados para as ordenadas dos gráficos.
   - Devem ser colocados identificadores nos gráficos e nos eixos.

   (1.0 pts)

10. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo um conjunto de gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

    - Na primeira coluna, na terceira linha, deverá ser gerado o gráfico referente ao sinal $y(t)$.
    - Na segunda coluna, na terceira linha, deverá ser gerado o gráfico referente ao sinal $y_{low}(t)$. Nas duas primeiras linhas, deverão ser gerados os gráficos referentes às suas componentes.
    - Na terceira coluna, na terceira linha, deverá ser gerado o gráfico referente ao sinal $y_{med}(t)$. Nas duas primeiras linhas, deverão ser gerados os gráficos referentes às suas componentes.
    - Na quarta coluna, na terceira linha, deverá ser gerado o gráfico referente ao sinal $y_{high}(t)$. Nas duas primeiras linhas, deverão ser gerados os gráficos referentes às suas componentes.
    - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada. Considere os limites de $x(t)$ como os limites a serem usados para as ordenadas dos gráficos.
    - Devem ser colocados identificadores nos gráficos e nos eixos.

    (1.0 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, adequadamente formatadas e organizadas em subseções. (2.0 pts)

7.5 TEC5

7.5.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Diferentes representações de sistemas e composições básicas de sistemas.
- Objetivo: Trabalhar as diferentes representações de um SLIT e as composições básicas de tais sistemas.

7.5.2 Especificações

- Um Sistema Linear e Invariante ao Tempo (SLIT), do tipo *Single-Input Single-Output* (SISO) e definido por uma equação de diferença, pode ser descrito por diversas outras formas, tais como: diagrama de blocos genéricos, diagrama de blocos básicos (diagrama de sistema, estrutura ou realização), resposta ao impulso, operador de transferência e diagrama de pólos e zeros (DPZ).
- De acordo com o fluxo do sinal, as conexões básicas de blocos genéricos podem ser de dois tipos: *feedforward* e *feedback*.

- As conexões em *feedforward* podem ser ainda de dois tipos: cascata e paralela.
- Quanto ao cálculo da variável de saída, o sistema pode ser classificado como: recursivo e não recursivo.

7.5.3 Tarefas

Teoria

1. Suponha os sistemas não recursivos definidos pelas seguintes equações de diferença:
   - C: $y[n] = c_0 \; x[n] + c_1 \; x[n-1]$.
   - P: $y[n] = p_0 \; x[n] + p_1 \; x[n-1]$.
   - V: $y[n] = v_0 \; x[n] + v_1 \; x[n-1]$.
   - W: $y[n] = w_0 \; x[n] + w_1 \; x[n-1]$.
   - F: $y[n] = f_0 \; x[n] + f_1 \; x[n-1]$.
2. Suponha os sistemas formados pelas seguintes conexões em *feedforward*:
   - Cascata de C com P: S_c, com entrada $e[n]$ e saída $c[n]$.
   - Paralela de V com W: S_p, com entrada $e[n]$ e saída $a[n]$.
   - Paralela de W com a cascata de C com P: S_{pc}, com entrada $e[n]$ e saída $a[n]$.
3. Suponha o sistema S_{fb}, formado pela seguinte conexão em *feedback*:
   - Sistema S_{fb}, com entrada $r[n]$ e saída $c[n]$.
   - Sistema C, com entrada $e[n]$ e saída $a[n]$.
   - Sistema P, com entrada $a[n]$ e saída $c[n]$.
   - Sistema F, com entrada $c[n]$ e saída $f[n]$.
   - Conexão cascata de C com P.
   - Conexão em *feedback* de F com a cascata, de tal forma que: $e[n] = r[n] - f[n]$.
4. Calcule a equação de diferença de cada sistema em *feedforward* e para o sistema em *feedback*, empregando as equações de diferença dos seus blocos constituintes. (1.0 pts)
5. Calcule a resposta ao impulso $h[n]$ para cada sistema não recursivo. (0.5 pts)
6. Calcule a resposta ao impulso $h[n]$ para cada sistema em *feedforward* e para o sistema em *feedback*, empregando as respostas ao impulso dos seus blocos constituintes. (1.0 pts)
7. Calcule o operador de transferência $T(D)$ para cada sistema não recursivo. (0.5 pts)
8. Calcule o operador de transferência $T(D)$ para cada sistema em *feedforward* e para o sistema em *feedback*, empregando os operadores de transferência dos seus blocos constituintes. (0.5 pts)
9. Apresente todos os operadores de transferência calculados na forma:

   $$T(D) = K_T \; \frac{\prod_k (1 - z_k D^{-1})}{\prod_k (1 - p_k D^{-1})} \; .$$

   (0.5 pts)

10. Empregando os valores para teste, fornecidos na parte “Tarefas - Prática”, a seguir, esboce um DPZ separado para cada $T(D)$ do item (9), incluindo o círculo de raio unitário.

    (1.0 pts)

Prática

1. Suponha os seguintes valores para teste:

    - $c = [c_0, c_1] = [1, 0.9]$.
    - $p = [p_0, p_1] = [1, 0.8]$.
    - $v = [v_0, v_1] = [1, 0.7]$.
    - $w = [w_0, w_1] = [1, 0.6]$.
    - $f = [f_0, f_1] = [1, 0.5]$.

2. Desenvolva um código Octave que, empregando os valores para teste, bem como usando apenas funções básicas e nativas, gere um DPZ separado para cada $T(D)$ do item (9), da parte “Tarefas - Teoria”, incluindo o círculo de raio unitário. (3.0 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, adequadamente formatadas e organizadas em subseções. (2.0 pts)

7.6 TEC6

7.6.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Conexões básicas de sistemas e cálculo da resposta de um sistema usando simulação.
- Objetivo: Efetuar cálculos manuais envolvidos nas conexões básicas de sistemas e realizar o cálculo da resposta de um sistema usando simulação.

7.6.2 Especificações

- Considere que todos os sistemas envolvidos nesse trabalho estão relaxados.
- Considere o BIQUAD definido por

$$\begin{aligned} T_B(D) &= \frac{b_0 + b_1 D^{-1} + b_2 D^{-2}}{1 + a_1 D^{-1} + a_2 D^{-2}} \\ &= (b_0) \cdot \frac{1 + \left(\frac{b_1}{b_0}\right) D^{-1} + \left(\frac{b_2}{b_0}\right) D^{-2}}{1 + a_1 D^{-1} + a_2 D^{-2}} \\ &= (b_0) \cdot \frac{\left(1 - z_{B1} D^{-1}\right)\left(1 - z_{B2} D^{-1}\right)}{\left(1 - p_{B1} D^{-1}\right)\left(1 - p_{B2} D^{-1}\right)} \, . \end{aligned} \tag{7.1}$$

- Considere o sistema S_{11} definido por

$$T_{11}(D) = \frac{K_{11}}{1 - p_{11} D^{-1}} \ . \tag{7.2}$$

- Considere o sistema S_{12} definido por

$$T_{12}(D) = \frac{K_{12}}{1 - p_{12} D^{-1}} \ . \tag{7.3}$$

- Considere o sistema S_1 formado pela conexão paralela de S_{11} com S_{12}.

7.6.3 Tarefas

Teoria

1. Considere que a entrada e a saída do sistema S_1 são, respectivamente, $x[n]$ e $y[n]$.
2. Desenhe um diagrama de blocos genéricos que represente o sistema S_1. (0.25 pts)
3. Calcule $T_1(D)$ do sistema S_1. (1.0 pts)
4. Compare $T_B(D)$ e $T_1(D)$, particularmente comparando os diversos parâmetros existentes nas equações envolvidas. (0.25 pts)
5. Escreva a equação de diferença do sistema S_{11}. (0.5 pts)
6. Escreva a equação de diferença do sistema S_{12}. (0.5 pts)
7. Escreva a equação de diferença do sistema S_1. (0.5 pts)

Prática

1. Considere os seguintes parâmetros: $K_{11} = 1$, $p_{11} = 0.8$, $K_{12} = 1$, $p_{12} = 0.6$.
2. Como entradas, utilize $x[n] = \delta[n]$ e $x[n] = u[n]$, para $0 \leq n \leq 49$.
3. Desenvolva um código Octave que calcule a resposta do sistema S_{11}, usando a função *filter*(), para a entrada $x[n]$. (0.5 pts)
4. Desenvolva um código Octave que calcule a resposta do sistema S_{12}, usando a função *filter*(), para a entrada $x[n]$. (0.5 pts)
5. Desenvolva um código Octave que calcule a resposta do sistema S_1, usando a função *filter*(), para a entrada $x[n]$.

   Desenvolva um código Octave que calcule a resposta do sistema S_1, usando as saídas dos sistemas S_{11} e S_{12}. (Total: 1.0 pts)
6. Desenvolva um código Octave que elabore os gráficos necessários para ilustrar a entrada $x[n]$ e TODAS as saídas calculadas. Identifique os gráficos com indicações nos eixos e títulos. Organize os gráficos de forma a evidenciar as relações existentes entre os diversos sistemas. (3.0 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, adequadamente formatadas e organizadas em subseções. (2.0 pts)

7.7 TEC7

7.7.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.

- Título: Diferentes representações de um sistema, cálculo da sua resposta e verificação do seu perfil de seletividade em freqüência.

- Objetivo: Efetuar cálculos manuais envolvidos nos mapeamentos entre as representações de um sistema, realizar o cálculo da sua resposta usando simulação e informalmente verificar seu perfil de seletividade em freqüência, a partir da sua resposta. .

7.7.2 Especificações

- Um Sistema Linear e Invariante ao Tempo (SLIT), definido por uma equação de diferença, pode ser representado de diversas formas diferentes.

- As diversas representações do sistema podem ser mapeadas entre si.

- A saída de um SLIT, para uma determinada condição inicial e para uma determinada entrada, pode ser calculada de diversas formas diferentes.

- Mesmo sem realizar uma análise freqüencial, que prove matematicamente o perfil de seletividade em freqüência de um SLIT, testes realizados com a resposta de um sistema podem indicar um determinado perfil.

7.7.3 Tarefas

Teoria

1. Suponha o sistema S, representado pelo Diagrama de Pólos e Zeros (DPZ) contendo o seguinte ganho de transmissão e as seguintes singularidades finitas:
   $K_T = 0.067455$, $\boldsymbol{z} = [\ -1,\ -1,\ 1,\ 1\ ]$, $\boldsymbol{p} = [\ \pm 0.18842 \pm 0.77910j\ ]$.

2. Considere que a entrada e a saída do sistema S são, respectivamente, $x[n]$ e $y[n]$.

3. Esboce o DPZ de S. (0.25 pts)

4. Calcule o operador de transferência $T_S(D)$ de S. (0.75 pts)

5. Calcule a equação de diferença de S. (0.25 pts)

6. Esboce a estrutura FDII-T de S. (0.25 pts)

Prática

1. Considere que S está relaxado.
2. Utilize as seguintes seqüências como entrada:
   $x_\delta[n] = \delta[n]$, $x_u[n] = u[n]$, $x_L[n] = cos(\Omega_L n)$, $x_M[n] = cos(\Omega_M n)$, $x_H[n] = cos(\Omega_H n)$ e $x_c[n] = x_L[n] + x_M[n] + x_H[n]$, onde $\Omega_L = 0.1\ \pi$ rad, $\Omega_M = 0.5\ \pi$ rad e $\Omega_H = 0.9\ \pi$ rad, para $0 \leq n \leq 100$.
3. Desenvolva um código Octave que calcule as respostas do sistema S, usando a função *filter*(), para as entradas $x[n]$ definidas acima. (2.5 pts)
4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo o DPZ de S, em conjunto com o círculo de raio unitário. Adote o limite de visualização $|V_{lim}| = 1.2$. (1.0 pts)
5. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo um conjunto de 4 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:
   - Na primeira linha, deverão ser gerados os gráficos referentes ao sinal $x[n]$.
   - Na segunda linha, deverão ser gerados os gráficos referentes ao sinal $y[n]$.
   - Na primeira coluna, deverão ser gerados os gráficos referentes ao impulso unitário.
   - Na segunda coluna, deverão ser gerados os gráficos referentes ao degrau unitário.
   - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada. Considere os valores de amplitude da primeira linha na faixa [0 ; 1]. Considere os valores de amplitude da segunda linha na faixa [-0.5 ; 0.5].
   - Devem ser colocados identificadores nos gráficos e nos eixos.

   (1.0 pts)
6. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo um conjunto de 6 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:
   - Na primeira linha, deverão ser gerados os gráficos referentes ao sinal $x[n]$.
   - Na segunda linha, deverão ser gerados os gráficos referentes ao sinal $y[n]$.
   - Na primeira coluna, deverão ser gerados os gráficos referentes ao sinal cossenoidal de baixa freqüência.
   - Na segunda coluna, deverão ser gerados os gráficos referentes ao sinal cossenoidal de média freqüência.
   - Na terceira coluna, deverão ser gerados os gráficos referentes ao sinal cossenoidal de alta freqüência.
   - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada. Considere os valores do índice n na faixa [0 ; 50]. Considere os valores de amplitude da primeira linha na faixa [-1 ; 1]. Considere os valores de amplitude da segunda linha na faixa [-1.2 ; 1.2].
   - Devem ser colocados identificadores nos gráficos e nos eixos.

   (1.0 pts)

7. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo um conjunto de 2 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Na primeira linha, deverá ser gerado o gráfico referente ao sinal $x_c[n]$.
   - Na segunda linha, deverá ser gerado o gráfico referente ao sinal $y_c[n]$.
   - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada. Considere os valores do índice n na faixa [0 ; 100]. Considere os valores de amplitude de $x_c[n]$ na faixa [-3 ; 3]. Considere os valores de amplitude de $y_c[n]$ na faixa [-1.2 ; 1.2].
   - Devem ser colocados identificadores nos gráficos e nos eixos.

   (0.5 pts)

8. Para levantar o perfil de seletividade em freqüência do sistema, seria necessário realizar uma série de simulações com entradas cossenoidais dentro de uma faixa significativa de freqüências diferentes. Ainda que tenham sido realizadas simulações com apenas três freqüências diferentes, indique o aparente perfil de seletividade em freqüência do sistema. Justifique a sua indicação e explique porque os três valores foram escolhidos dentro da faixa [0 ; π] rad. (0.5 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, adequadamente formatadas e organizadas em subseções. (2.0 pts)

7.8 TEC8

Realizar o TEC7 de 2017-1.

7.9 TEC9

7.9.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Sinais periódicos e a DTFS.
- Objetivo: Calcular e elaborar os gráficos de módulo e de ângulo de fase dos coeficientes da DTFS de um sinal periódico.

7.9.2 Especificações

- A seqüência *gate* retangular unitário $G_{N_W}[n]$ é definida por

$$G_{N_W}[n] = \begin{cases} 1 & , \quad |n| \leq N_W \\ \\ 0 & , \quad |n| > N_W \end{cases} . \tag{7.4}$$

- A seqüência impulso unitário $\delta[n]$ é definida por

$$\delta[n] = \begin{cases} 1 \quad , \quad n = 0 \\ \\ 0 \quad , \quad n \neq 0 \end{cases} \quad . \tag{7.5}$$

- A seqüência trem de impulsos unitários $\delta_{N_P}[n]$ é definida por

$$\delta_{N_P}[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta[n - kN_P] \ . \tag{7.6}$$

- A DTFS de um sinal periódico, com período fundamental N_F, é definida por

$$\begin{cases} \tilde{x}[n] = \sum_{k=\langle N_F \rangle} \tilde{X}[k] \ e^{jk\left(\frac{2\pi}{N_F}\right)n} \\ \\ \tilde{X}[k] = \frac{1}{N_F} \sum_{n=\langle N_F \rangle} \tilde{x}[n] \ e^{-jk\left(\frac{2\pi}{N_F}\right)n} \end{cases} \quad . \tag{7.7}$$

- A função $Drcl(\cdot)$ é definida por

$$Drcl(r, M) = \frac{1}{M} \, \frac{sin(M\pi r)}{sin(\pi r)} \ . \tag{7.8}$$

7.9.3 Tarefas

Teoria

1. Calcule o sinal $x_k[n] = G_2[n] * \delta[n - k]$, para um valor genérico $k \in \mathbb{Z}$. (0.5 pts)

2. Baseado no cálculo de $x_k[n]$, calcule o sinal $\tilde{x}[n] = G_2[n] * \delta_8[n]$. (0.5 pts)

3. Escreva a equação de $\tilde{X}[k] = DTFS\{\tilde{x}[n]\}$ na forma matricial.

Prática

1. Desenvolva um código Octave que calcule o módulo $|\tilde{X}[k]|$ e o ângulo de fase $\angle\tilde{X}[k]$ dos coeficientes $\tilde{X}[k]$, para $0 \leq k \leq (N_F - 1)$, usando a equação matricial. (1.0 pts)

2. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 3 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Na primeira linha, apresente o gráfico de $\tilde{x}[n] \times n$, para $-32 \leq n \leq 32$.
   - Na segunda linha, apresente o gráfico de $|\tilde{X}[k]|$, para $-32 \leq k \leq 32$.
   - Na terceira linha, apresente o gráfico de $\angle\tilde{X}[k]$, para $-32 \leq k \leq 32$.
     Represente o ângulo de fase na faixa $[-180^o; -180^o]$.

   (1.0 pts)

3. Utilizando a relação

$$\sum_{n=0}^{N-1} b^n = \begin{cases} N & , \quad b = 1 \\ \frac{1-b^N}{1-b} & , \quad b \neq 1 \end{cases} , \tag{7.9}$$

demonstre que

$$\tilde{X}[k] = \left(\frac{1}{8}\right) e^{jk\left(\frac{\pi}{2}\right)} \frac{1 - e^{-jk\left(\frac{5\pi}{4}\right)}}{1 - e^{-jk\left(\frac{\pi}{4}\right)}} = \left(\frac{1}{8}\right) \frac{sin(k\frac{5\pi}{8})}{sin(k\frac{\pi}{8})} \tag{7.10}$$

e descreva $\tilde{X}[k]$ usando a função $Drcl(\dot{})$, de tal forma que $\tilde{X}[k] = (K)\ Drcl(r, M)$. (2.0 pts)

4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura equivalente à figura do item (2), usando a Equação (7.10). (1.0 pts)

5. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura de comparação entre os cálculos apresentados nas figuras dos itens (2) e (4), usando a diferença dos valores de cada par de gráficos. (1.0 pts)

6. Repita o item (2) para o sinal $\tilde{v}[n] = G_2[n] * \delta_{32}[n]$, com a faixa $-128 \leq (n, k) \leq 128$. (1.0 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, adequadamente formatadas e organizadas em subseções. (2.0 pts)

7.10 TEC10

7.10.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: DTFS, DTFT, N-*point* DFT e *Leakage*.
- Objetivo: Calcular e elaborar os gráficos de módulo e de ângulo de fase da N-*point* DFT de um sinal e das suas componentes senoidais, verificando a ocorrência de *leakage* em cada caso.

7.10.2 Especificações

- A composição espectral de uma seqüência periódica $\tilde{x}[n]$ pode ser calculada pela DTFS, definida por

$$\text{DTFS} : \begin{cases} \tilde{x}[n] = \sum_{k=\langle N \rangle} \tilde{X}[k]\ e^{jk\left(\frac{2\pi}{N}\right)n} \\ \tilde{X}[k] = \frac{1}{N} \sum_{n=\langle N \rangle} \tilde{x}[n]\ e^{-jk\left(\frac{2\pi}{N}\right)n} \end{cases} . \tag{7.11}$$

- A composição espectral de uma seqüência não periódica $x[n]$ pode ser calculada pela DTFT, definida por

$$\text{DTFT}: \begin{cases} x[n] = \frac{1}{2\pi} \int_{\Omega=\langle 2\pi \rangle} X(e^{j\Omega})\ e^{j\Omega n}\ d\Omega \\ \\ X(e^{j\Omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]\ e^{-j\Omega n} \end{cases} . \tag{7.12}$$

- Criando-se uma extensão periódica $\tilde{x}[n]$ da seqüência $x[n]$, com período $N_p \geq N$, pode-se calcular $\tilde{X}[k] = \frac{1}{N_p}\ X(e^{j\Omega})\Big|_{\Omega=k\left(\frac{2\pi}{N_p}\right)}$. Em seguida, separando-se um período de $\tilde{X}[k]$, para $0 \leq k \leq (N_p - 1)$, e gerando-se o sinal $X[k] = N_p\ \tilde{X}[k] = X(e^{j\Omega})\Big|_{\Omega=k\left(\frac{2\pi}{N_p}\right)}$, obtém-se a N_p-*point* DFT de $x[n]$, definida por

$$N_p\text{-}point\ \text{DFT}: \begin{cases} x[n] = \frac{1}{N_p} \sum_{k=0}^{(N_p-1)} X[k]\ e^{jk\left(\frac{2\pi}{N_p}\right)n} & , \quad 0 \leq n \leq (N_p - 1) \\ \\ X[k] = \sum_{n=0}^{(N_p-1)} x[n]\ e^{-jk\left(\frac{2\pi}{N_p}\right)n} & , \quad 0 \leq k \leq (N_p - 1) \end{cases} \tag{7.13}$$

- O processo de obtenção da DFT de um sinal periódico $\tilde{x}[n]$, a partir de um conjunto finito de seus valores $x[n]$, pode apresentar um fenômeno conhecido por *leakage*.

7.10.3 Tarefas

Teoria

1. Suponha o sinal dado por

$$x[n] = \begin{cases} \sum_{l=1}^{3} x_l[n] & , \quad 0 \leq n \leq (N-1) \\ \\ 0 & , \quad \text{caso contrário} \end{cases} , \tag{7.14}$$

onde

$$x_l = A_l\ cos(\Omega_l\ n + \Phi_l)\ ,$$

$\boldsymbol{A} = [A_1, A_2, A_3] = [1, 1, 1]$, $\boldsymbol{\Omega} = [\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3] = [\frac{2\pi}{N_1}, \frac{2\pi}{N_2}, \frac{2\pi}{N_3}]$ e $\boldsymbol{\Phi} = [\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3] = [0, 0, 0]$.

2. Considerando os valores genéricos N, N_1, N_2, N_3 e N_p, discuta as condições necessárias para que $X[k]$, $X_1[k]$, $X_2[k]$ e $X_3[k]$, sejam calculadas sem *leakage*. (0.5 pts)

3. Calcule $X_l[k]$, para $N_p = N = N_l$. (1.5 pts)

4. Esboce os gráficos $|X_l[k]| \times k$ e $\angle X_l[k] \times k$, para $N_p = N = N_l$ e $0 \leq k \leq (N_p - 1)$. (0.75 pts)

5. Calcule $X[k]$, para $N_p = N = \prod_{l=1}^{3} N_l$.

6. Esboce os gráficos $|X[k]| \times k$ e $\angle X[k] \times k$, para $N_p = N = \prod_{l=1}^{3} N_l$ e $0 \leq k \leq (N_p - 1)$. (0.25 pts)

Prática

1. A função *fft*$(\cdot)$ realiza um cálculo otimizado de uma N_p-*point* DFT, reduzindo a sua complexidade computacional.

2. Desenvolva um código Octave que calcule $X_l[k]$, para $N_p = N = N_l$, usando a função *fft*$(\cdot)$, bem como o seu módulo e o seu ângulo de fase. (0.75 pts)

3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule $X[k]$, para $N_p = N = \prod_{l=1}^{3} N_l$, usando a função *fft*$(\cdot)$, bem como o seu módulo e o seu ângulo de fase. (0.25 pts)

4. Para a elaboração das figuras a seguir, utilize $N_1 = 5$, $N_2 = 9$ e $N_3 = 11$.

5. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 4 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Na primeira linha, apresente o gráfico de $x_1[n] \times n$.
   - Na segunda linha, apresente o gráfico de $x_2[n] \times n$.
   - Na terceira linha, apresente o gráfico de $x_3[n] \times n$.
   - Na quarta linha, apresente o gráfico de $x[n] \times n$.
   - Em todos os gráficos, utilize $0 \leq n \leq 99$.

   (0.8 pts)

6. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere três figuras Fig-l, para $1 \leq l \leq 3$, contendo 4 gráficos cada, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Na primeira linha, apresente o gráfico de $|X_1[k]| \times k$.
   - Na segunda linha, apresente o gráfico de $|X_2[k]| \times k$.
   - Na terceira linha, apresente o gráfico de $|X_3[k]| \times k$.
   - Na quarta linha, apresente o gráfico de $|X[k]| \times k$.
   - Considere que as DFT's foram calculadas com $N_p = N = N_l$.
   - Em todos os gráficos, utilize $0 \leq k \leq (N_p - 1)$.

   (0.8 pts)

7. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 4 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Na primeira linha, apresente o gráfico de $|X_1[k]| \times k$.
   - Na segunda linha, apresente o gráfico de $|X_2[k]| \times k$.
   - Na terceira linha, apresente o gráfico de $|X_3[k]| \times k$.
   - Na quarta linha, apresente o gráfico de $|X[k]| \times k$.
   - Considere que as DFT's foram calculadas com $N_p = N = \prod_{l=1}^{3} N_l$.
   - Em todos os gráficos, utilize $0 \leq k \leq (N_p - 1)$.

   (0.8 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, adequadamente formatadas e organizadas em subseções. (2.0 pts)

Capítulo 8

Definição dos trabalhos TEC 2018-2

8.1 TEC1

Realizar o TEC-BM1.

8.2 TEC2

Realizar o TEC-BM2.

8.3 TEC3

Realizar o TEC-BC1.

8.4 TEC4

Realizar o TEC-BC2.

8.5 TEC5

8.5.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Elaboração de gráficos de funções unidimensionais.
- Objetivo: Elaborar gráficos de funções unidimensionais e organizá-los de diferentes formas.

8.5.2 Especificações

- De uma forma geral, um sistema de média móvel (SMM) tem a função de calcular o n-ésimo valor da sequência de saída $y[n]$ por meio da média simples de M_T valores da sequência de entrada $x[n]$. Em um caso particular, a média pode ser calculada em torno do n-ésimo valor da sequência de entrada. Nesse caso, o sistema é definido por

$$\begin{aligned} y[n] \quad = \quad & (x[n - M_P] + x[n - (M_P - 1)] + \cdots + \\ & x[n] + \cdots + \\ & x[n + (M_F - 1)] + x[n + M_F]) \ / \ M_T \end{aligned} \tag{8.1}$$

ou

$$y[n] = \frac{1}{M_T} \sum_{k=-M_F}^{M_P} x[n-k] \ , \tag{8.2}$$

onde $M_T = (M_P + M_F + 1)$ e $\{M_P, M_F\} \in \mathbb{N}$.

- As equações de definição do SMM podem ser interpretadas de diversas formas. Do ponto de vista de operações básicas sobre sequências, pode-se dizer que o sistema realiza uma primeira etapa de deslocamento, seguida de uma fase de soma e, finalmente, de um escalamento de amplitude. Por exemplo, na Equação (8.1), tais etapas são definidas por

$$v_k[n] = x[n-k] \ ,$$

$$w[n] = \sum_{k=-M_F}^{M_P} v_k[n]$$

e

$$y[n] = \frac{1}{M_T} \ w[n] \ .$$

8.5.3 Tarefas

Teoria

1. Discuta a linearidade do SMM definido pela Equação (8.2). (1.0 pts)
2. Discuta a invariância ao tempo do SMM definido pela Equação (8.2). (0.5 pts)

Prática

1. Suponha um SMM definido pela Equação (8.2).
2. Desenvolva um código Octave que obtenha do usuário os valores de M_F e de M_P, bem como calcule o valor de M_T. (0.25 pts)
3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere um sinal de entrada $x[n] = [1, 2, 3, \cdots, M_T, \cdots, 3, 2, 1]$, para $n = [0, 1, 2, \cdots, (2M_T - 1)]$. (0.25 pts)
4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo o gráfico $x[n] \times n$. (0.5 pts)
5. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo $M_T + 1$ gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:
   - Na primeira linha, deverá ser gerado um gráfico, referente ao sinal $v_{(-M_F)}[n]$.
   - Na penúltima linha, deverá ser gerado um gráfico, referente ao sinal $v_{(M_P)}[n]$.

- Na última linha, deverá ser gerado um gráfico, referente ao sinal $y[n]$.

(3.0 pts)

6. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo o gráfico $x[n] \times n$. (0.5 pts)

7. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 2 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Na primeira linha, deverá ser gerado um gráfico, referente ao sinal $x[n]$.
   - Na segunda linha, deverá ser gerado um gráfico, referente ao sinal $y[n]$.

   (1.0 pts)

8. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo o gráfico de $x[n] \times n$ sobreposto a $y[n] \times n$. (1.0 pts)

9. Nos gráficos especificados:

   - O sinal de entrada deve ser desenhado na cor preta.
   - Os sinais de entrada deslocados devem ser desenhados na cor azul.
   - O sinal de saída deve ser desenhado na cor vermelha.
   - Os limites da abscissa devem ser os valores mínimo e máximo dentre os sinais de entrada deslocados $v_k[n]$.
   - Os limites da ordenada devem ser os valores mínimo e máximo do sinal de entrada $x[n]$.
   - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

8.6 TEC6

8.6.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Elaboração de gráficos de funções bidimensionais.
- Objetivo: Elaborar gráficos de funções bidimensionais.

8.6.2 Especificações

- As funções polinomiais de variáveis complexas, com coeficientes constantes, são muito importantes em Processamento de Sinais.
- Em sistemas definidos por uma equação de diferença, é comum que tais funções apareçam na forma de uma razão de polinômios do tipo $H(e^{j\Omega}) = \frac{N_H(e^{j\Omega})}{D_H(e^{j\Omega})}$ ou $H(z) = \frac{N_H(z)}{D_H(z)}$.
- Para facilitar a compreensão do comportamento de tais funções bidimensionais, normalmente são elaborados gráficos em espaço tridimensional e/ou projeções em espaços bidimensionais.
- Suponha um plano complexo, definido pela variável complexa $z = |z| \; e^{j\angle z} = |z| \; e^{j\Omega}$, na forma polar, ou $z = Re\{z\} + jIm\{z\} = x + jy$, na forma retangular.
- Dentro do plano complexo associado à variável z, suponha o círculo de raio unitário, definido por $|z| = 1$ ou $z = e^{j\Omega}$.
- Suponha a superfície definida pela seguinte função polinomial:

$$H(z) = \sum_{k=0}^{L} b_k \; z^{-k} = \frac{1}{M_T} \sum_{k=0}^{(M_T-1)} z^{-k} \; .$$

- Suponha a curva definida pela função polinomial $H(e^{j\Omega})$, calculada por $H(z)$, quando $|z| = 1$ ou $z = e^{j\Omega}$.

8.6.3 Tarefas

Teoria

1. Pesquise e estude o comportamento das seguintes funções:
   meshgrid(), mesh(), plot3(), plot(), axis(), view().

Prática

1. Desenvolva um código Octave que obtenha do usuário o valor de M_T, o valor do intervalo de amostragem retangular uniforme $\Delta_x = \Delta_y = Z_{smp}$, os valores $|x|_{max}$, $|y|_{max}$, os valores $|H(z)|_{min}$, $|H(z)|_{max}$, azimute e elevação. Para teste, utilize $M_T = 5$, $Z_{smp} = 0.03$, $|x|_{max} = |y|_{max} = 1.25$, $|H(z)|_{min} = 0$, $|H(z)|_{max} = 3$, azimute = 22 e elevação = 15.
2. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura, contendo, em um único gráfico tridimensional, os seguintes elementos: a superfície $|H(z)|$ no mapa de cores padrão, a curva $|H(e^{j\Omega})|$ em vermelho e o círculo de raio unitário no plano complexo z em preto. (5.0 pts)
3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que desenhe o mesmo gráfico definido acima, em outra figura, porém recalculando os pontos da superfície para $|x|_{max} = |y|_{max} = 1$ (o que equivale a interseção da superfície com um cilindro de raio unitário), bem como considerando $|H(z)|_{max} = 2$. (1.0 pts)
4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 2 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:
   - Na primeira linha, deverá ser gerado um gráfico, referente à curva $|H(e^{j\Omega})|$.

- Na segunda linha, deverá ser gerado um gráfico, referente à curva $\angle H(e^{j\Omega})$.
- Deverá ser utilizada a faixa $\Omega_{norm} = [0; 2]$.
- No gráfico de módulo, deverá ser visualizada a faixa $[0; max(|H(e^{j\Omega})|)]$.
- No gráfico de argumento, deverá ser visualizada a faixa $[-200^o; 200^o]$.
- Devem ser colocados identificadores nos gráficos e nos eixos.

(2.0 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

8.7 TEC7

Realizar o TEC7 de 2017-1.

8.8 TEC8

8.8.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Representação de SLIT por equação de diferença, por operador de transferência e por diagrama de pólos e zeros.
- Objetivo: Relacionar algumas das representações de um SLIT, bem como realizar cálculos e elaborar gráficos relativos a tais representações.

8.8.2 Especificações

- Um Sistema Linear e Invariante ao Tempo (SLIT), definido por uma equação de diferença, pode ser representado de diversas formas diferentes.
- Algumas delas são o Operador de Transferência $T(D)$ e o Diagrama de Pólos e Zeros (DPZ).
- Suponha o SLIT representado pela equação de diferença

$$\sum_{k=0}^{N} a_k \ y[n-k] = \sum_{k=0}^{L} b_k \ x[n-k] \ .$$

- Empregando-se um operador de atraso $D^{-|k|}\{v[n]\} = v[n-|k|]$, a equação de diferença pode ser reescrita como

$$y[n] = T(D) \ \{x[n]\} \ ,$$

onde

$$T(D) = \frac{\sum_{k=0}^{L} b_k \ D^{-k}}{\sum_{k=0}^{N} a_k \ D^{-k}}$$

é o operador de transferência do sistema.

- Por sua vez, $T(D)$ pode ser fatorado e reapresentado como

$$T(D) = K \ \frac{(D - z_1) \cdots (D - z_L)}{(D - p_1) \cdots (D - p_N)} \ .$$

- Uma terceira forma de representação para o SLIT pode ser obtida elaborando-se o gráfico de um plano complexo, contendo os zeros z_k, representados pelo símbolo "O", os pólos p_k, representados pelo símbolo "X", todos devidamente posicionados, bem como o valor da constante de ganho K escrita em algum lugar do gráfico. Singularidades (zeros ou pólos) com multiplicidade m_k maior que a unidade devem possuir uma indicação do seu valor próximo ao símbolo. Tal gráfico é denominado de Diagrama de Pólos e Zeros (DPZ) do Operador de Transferência $T(D)$ do sistema.

8.8.3 Tarefas

Teoria

1. Pesquise e estude o comportamento das seguintes funções: roots(), plot(), axis().

2. Suponha o Sistema de Média Móvel (SMM) descrito por

$$y[n] = \sum_{k=0}^{L} b_k \ x[n-k] = \frac{1}{M_T} \sum_{k=0}^{M_T - 1} x[n-k] \ .$$

3. Calcule o operador de transferência $T(D)$ do SMM. (0.5 pts)

4. Apresente o operador de transferência na forma

$$T(D) = K \ \frac{N_T(D)}{D_T(D)} \ ,$$

   de tal forma que $N_T(D)$ e $D_T(D)$ sejam expressos apenas por meio do operador avanço $D^{|k|}\{v[n]\} = v[n + |k|]$. (1.0 pts)

Prática

1. Desenvolva um código Octave que obtenha do usuário o valor de M_T. (0.5 pts)

2. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule o ganho K, os zeros z_k e os pólos p_k do SMM. (1.0 pts)

3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura, contendo o DPZ, conforme definido acima, do T(D) do SMM.

   O gráfico deve apresentar um título, os eixos devem ser identificados e o fator de forma deve ser 1x1. (5.0 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

8.9 TEC9

8.9.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Função Resposta em Freqüência de sistemas de primeira ordem
- Objetivo: Elaborar gráficos da função Resposta em Freqüência de sistemas de primeira ordem, observando seus perfis.

8.9.2 Especificações

- Um sistema em tempo discreto, com entrada $x[n]$ e saída $y[n]$, representado por
$$a_0 \ y[n] + a_1 \ y[n-1] = b_0 \ x[n] + b_1 \ x[n-1] \ , \tag{8.3}$$
possui uma função Resposta em Freqüência definida por
$$H(e^{j\Omega}) = \frac{b_0 + b_1 e^{-j\Omega}}{a_0 + a_1 e^{-j\Omega}} \ . \tag{8.4}$$
- Uma vez que $H(e^{j\Omega})$ é uma função complexa da variável real Ω, ela pode ser escrita na forma polar
$$H(e^{j\Omega}) = \left| H(e^{j\Omega}) \right| \ e^{j\angle H(e^{j\Omega})} \ . \tag{8.5}$$
- Pode-se mostrar que $H(e^{j\Omega})$ é periódica, com período $\Omega_P = 2\pi \ rad$.
- Supondo-se que os coeficientes $\boldsymbol{a} = [\ a_0 \ a_1 \ ]$ e $\boldsymbol{b} = [\ b_0 \ b_1 \ ]$ são reais, pode-se mostrar que $H(e^{j\Omega})$ apresenta as seguintes simetrias:
  - $\left| H(e^{j\Omega}) \right|$ é uma função par.
  - $\angle H(e^{j\Omega})$ é uma função ímpar.
- Devido às propriedades de periodicidade e de simetrias, apresentadas por $H(e^{j\Omega})$, é comum que os seus gráficos de módulo e de ângulo de fase sejam representados apenas na faixa dada por $0 \leq \Omega < \pi$. Também é comum que se apresente tais gráficos com a variável Ω normalizada, de tal forma que $\Omega_N = \frac{\Omega}{\pi}$ e $0 \leq \Omega_N < 1$.
- Há uma relação de equivalência angular entre os valores na faixa $[0; 2\pi]$, denominados de valores principais, e os valores fora dessa faixa. Por essa razão, é comum que os gráficos de ângulo de fase sejam apresentados na faixa $[-180^o; -180^o]$.
- No caso de um arranjo de M sistemas em cascata, com funções Resposta em Freqüência dadas por $H_m(e^{j\Omega})$, a Resposta em Freqüência total $H(e^{j\Omega})$ é calculada por

$$\begin{aligned}
H(e^{j\Omega}) &= \prod_{m=1}^{M} H_m(e^{j\Omega}) \\
&= H_1(e^{j\Omega}) \ H_2(e^{j\Omega}) \ \cdots \ H_M(e^{j\Omega}) \\
&= \left(\left| H_1(e^{j\Omega}) \right| \ \left| H_2(e^{j\Omega}) \right| \ \cdots \ \left| H_M(e^{j\Omega}) \right| \right) \ e^{j\left(\angle H_1(e^{j\Omega}) + \angle H_2(e^{j\Omega}) + \cdots + \angle H_M(e^{j\Omega}) \right)} \\
&= \left(\prod_{m=1}^{M} \left| H_m(e^{j\Omega}) \right| \right) \ e^{j\left(\sum_{m=1}^{M} \angle H_m(e^{j\Omega}) \right)} \\
&= \left| H(e^{j\Omega}) \right| \ e^{j\angle H(e^{j\Omega})} \ ,
\end{aligned} \tag{8.6}$$

onde

$$\left| H(e^{j\Omega}) \right| = \prod_{m=1}^{M} \left| H_m(e^{j\Omega}) \right| \tag{8.7}$$

e

$$\angle H(e^{j\Omega}) = \sum_{m=1}^{M} \angle H_m(e^{j\Omega}) \ . \tag{8.8}$$

- Uma vez que $K \ log_{10}(A \cdot B) = K \ log_{10}(A) + K \ log_{10}(B)$, o gráfico de $\left| H(e^{j\Omega}) \right|$ costuma ser apresentado utilizando-se a relação

$$\begin{aligned} \left| H(e^{j\Omega}) \right|_{dB} &= 20 \ log_{10} \left(\left| H(e^{j\Omega}) \right| \right) \ dB \\ &= 20 \ log_{10} \left(\prod_{m=1}^{M} \left| H_m(e^{j\Omega}) \right| \right) \ dB \\ &= \sum_{m=1}^{M} 20 \ log_{10} \left(\left| H_m(e^{j\Omega}) \right| \right) \ dB \\ &= \sum_{m=1}^{M} \left| H_m(e^{j\Omega}) \right|_{dB} \ dB \ . \end{aligned} \tag{8.9}$$

- Supondo-se uma cascata de N sistemas de primeira ordem S_k, a função Resposta em Freqüência $H(e^{j\Omega})$, do sistema final S, vai apresentar os coeficientes $\boldsymbol{a} = [\ a_0 \ a_1 \ \cdots \ a_N \ ]$ e $\boldsymbol{b} = [\ b_0 \ b_1 \ \cdots \ b_N \ ]$. Dependendo dos valores de tais coeficientes, diversos tipos de curvas podem ser obtidos para $\left| H(e^{j\Omega}) \right|$ e $\angle H(e^{j\Omega})$. Escolhendo-se adequadamente tais valores, podem-se conseguir curvas que apresentam seletividade em relação à freqüência Ω, tais como:

  - Passa-baixa.
  - Passa-alta.
  - Passa-faixa (ou passa-banda)
  - Rejeita-faixa (ou rejeita-banda)
  - Equalização (diferentes amplitudes em diversas faixas diferentes).

  Assim, os sistemas podem ser interpretados como filtros (seletores em freqüência), com perfil dado por sua função Resposta em Freqüência.

8.9.3 Tarefas

Teoria

1. Suponha o sistema S_1 definido por

$$a_{10} \ v[n] + a_{11} \ v[n-1] = b_{10} \ x[n] + b_{11} \ x[n-1] \ , \tag{8.10}$$

o sistema S_2 definido por

$$a_{20} \ y[n] + a_{21} \ y[n-1] = b_{20} \ v[n] + b_{21} \ v[n-1] \ , \tag{8.11}$$

bem como o sistema S formado por um arranjo em cascata de S_1 e S_2, onde

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{a_{LP}} &= \boldsymbol{a_{S1}} = [\, a_{10} \; a_{11} \,] = [\, 1.00000000000000000 \; 0.24198643793324792 \,] \\
\boldsymbol{b_{LP}} &= \boldsymbol{b_{S1}} = [\, b_{10} \; b_{11} \,] = [\, 0.62099321896662396 \; 0.62099321896662396 \,] \\
\boldsymbol{a_{HP}} &= \boldsymbol{a_{S2}} = [\, a_{20} \; a_{21} \,] = [\, 1.00000000000000000 \; -0.24198643793324828 \,] \\
\boldsymbol{b_{HP}} &= \boldsymbol{b_{S2}} = [\, b_{20} \; b_{21} \,] = [\, 0.62099321896662418 \; -0.62099321896662418 \,] \; .
\end{aligned} \tag{8.12}$$

2. Calcule as funções Resposta em Freqüência $H_{S1}(e^{j\Omega}) = H_{vx}(e^{j\Omega})$ e $H_{S2}(e^{j\Omega}) = H_{yv}(e^{j\Omega})$.
3. Demonstre que $H_S(e^{j\Omega}) = H_{yx}(e^{j\Omega}) = H_{S2}(e^{j\Omega})\; H_{S1}(e^{j\Omega}) = H_{yv}(e^{j\Omega})\; H_{vx}(e^{j\Omega})$. (0.5 pts)

Prática

1. Desenvolva um código Octave que calcule os valores do módulo em escala linear, do módulo em dB e do ângulo de fase em graus, para $H_{S1}(e^{j\Omega})$, para $H_{S2}(e^{j\Omega})$ e para $H_S(e^{j\Omega})$. Empregue o seguinte passo para a variação de Ω: $\Omega_{step} = \frac{2\pi}{360}$. No caso do módulo em dB, use a faixa $\Omega_{step} \leq \Omega \leq (\pi - \Omega_{step})$. (2.0 pts)
2. Para cada uma das funções Resposta em Freqüência ($H_{S1}(e^{j\Omega})$, $H_{S2}(e^{j\Omega})$ e $H_S(e^{j\Omega})$):
   - Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 8 gráficos, organizados de forma matricial.
   - Em cada coluna, deverão ser gerados dois gráficos, referentes ao módulo e ao ângulo de fase da função Resposta em Freqüência em questão.
   - Em todas as colunas, elabore os gráficos de ângulo de fase dentro da faixa $[-180^o \,;\, 180^o]$.
   - Na primeira coluna, considere o módulo em escala linear e empregue a faixa $-7\pi \leq \Omega \leq 7\pi$.
   - Na segunda coluna, considere o módulo em escala linear e empregue a faixa $0 \leq \Omega \leq \pi$.
   - Na terceira coluna, considere o módulo em escala linear e empregue a faixa $0 \leq \Omega_N \leq 1$.
   - Na quarta coluna, considere o módulo em dB e, ao invés de usar a faixa $0 \leq \Omega_N \leq 1$, empregue a faixa $\left(\frac{\Omega_{step}}{\pi}\right) \leq \Omega_N \leq \left(1 - \frac{\Omega_{step}}{\pi}\right)$.

   (5.0 pts)
3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 6 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:
   - Em cada coluna, deverão ser gerados dois gráficos, referentes ao módulo e ao ângulo de fase da função Resposta em Freqüência em questão.
   - Em todas as colunas, elabore os gráficos de ângulo de fase dentro da faixa $[-180^o \,;\, 180^o]$.
   - Em todas as colunas, elabore os gráficos de módulo em dB. Ao invés de usar a faixa $0 \leq \Omega_N \leq 1$, empregue a faixa $\left(\frac{\Omega_{step}}{\pi}\right) \leq \Omega_N \leq \left(1 - \frac{\Omega_{step}}{\pi}\right)$.
   - Na primeira coluna, considere $H_{S1}(e^{j\Omega})$.
   - Na segunda coluna, considere $H_{S2}(e^{j\Omega})$.

- Na terceira coluna, considere $H_S(e^{j\Omega})$.

(1.0 pts)

4. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (1.5 pts)

8.10 TEC10

8.10.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Equivalência nas representações e no cálculo da resposta de um SLIT: equação de diferença e equações de estado.
- Objetivo: Realizar o mapeamento de uma equação de diferença nas equações de estado correspondentes, calcular a resposta ao impulso por meio de ambas as representações e comparar os resultados.

8.10.2 Especificações

- Um SLIT definido por uma equação de diferença pode ser representado de diversas formas equivalentes.
- Alguns exemplos de representações são: resposta ao impulso, operador de transferência e equações de estado.
- A resposta ao impulso é definida como a resposta do sistema quando a entrada é um impulso unitário e o estado inicial é nulo.
- Uma vez que, para tal tipo de sistema, o operador de transferência é uma função polinomial racional, ele pode ser decomposto de várias formas equivalentes.
- Para cada conjunto de variáveis de estado $\boldsymbol{x}[n] = \{x_1, x_2, \cdots, x_X\}$ utilizado, define-se um conjunto de matrizes $\boldsymbol{S} = \{\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}, \boldsymbol{C}, \boldsymbol{D}\}$, que representa o sistema.
- A resposta do sistema a uma determinada entrada, partindo de um estado inicial, pode ser calculada a partir de suas representações.

8.10.3 Tarefas

Teoria

1. Suponha um SLIT definido pela equação de diferença

$$\sum_{k=0}^{N} a_k \; y[n-k] = \sum_{k=0}^{N} b_k \; r[n-k] \ ,$$

com condições iniciais $y[-1], y[-2], \cdots, y[-N]$ e submetido à entrada $r[n[= f[n] \; u[n]$, onde $u[n]$ representa a seqüência degrau unitário.

2. Suponha a estrutura Forma Direta II Transposta, associada a tal equação de diferença.

3. Apresente uma formulação genérica para as Equações de Estado do SLIT, no formato definido na Apostila de Teoria como Forma Canônica III. (0.25 pts)

4. Apresente uma formulação genérica para a conversão das condições iniciais no vetor de estado inicial, para a formulação de estados citada acima. (0.25 pts)

Prática

1. Desenvolva um código Octave que obtenha do usuário os coeficientes a_k e b_k, da equação de diferença que define um SLIT, bem como as condições iniciais, sem restrições nas suas quantidades. (0.5 pts)

2. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule o sinal $h[n]$ usando a função *filter*(), que calcula a resposta do sistema a partir da Forma Direta II Transposta. (0.5 pts)

3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule o sinal $y_{est}[n]$ usando a função *filter*(), que calcula a resposta do sistema a partir da Forma Direta II Transposta. (0.5 pts)

4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule as matrizes $\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{B}$, $\boldsymbol{C}$ e $\boldsymbol{D}$, no formato definido na Apostila de Teoria como Forma Canônica III, a partir dos coeficientes fornecidos pelo usuário. (1.5 pts)

5. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule o vetor de estado inicial $\boldsymbol{x}[0]$, com base no formato definido na Apostila de Teoria como Forma Canônica III, a partir das condições iniciais fornecidas pelo usuário. (0.5 pts)

6. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule o sinal $h[n]$ usando as matrizes $\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{B}$, $\boldsymbol{C}$ e $\boldsymbol{D}$. (1.0 pts)

7. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule o sinal $y_{est}[n]$ usando as matrizes $\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{B}$, $\boldsymbol{C}$ e $\boldsymbol{D}$. (1.0 pts)

8. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo três gráficos, organizados matricialmente em três linhas e uma coluna, tal que:
    - O gráfico da primeira linha apresente o sinal $h[n]$, calculado pela função *filter*().
    - O gráfico da segunda linha apresente o sinal $h[n]$, calculado pelas matrizes $\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{B}$, $\boldsymbol{C}$ e $\boldsymbol{D}$.
    - O gráfico da terceira linha apresente a diferença entre os sinais $h[n]$ apresentados nos dois gráficos anteriores.
    - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

    (0.75 pts)

9. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo três gráficos, organizados matricialmente em três linhas e uma coluna, tal que:
    - O gráfico da primeira linha apresente o sinal $y_{est}[n]$, calculado pela função *filter*().
    - O gráfico da segunda linha apresente o sinal $y_{est}[n]$, calculado pelas matrizes $\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{B}$, $\boldsymbol{C}$ e $\boldsymbol{D}$.
    - O gráfico da terceira linha apresente a diferença entre os sinais $y_{est}[n]$ apresentados nos dois gráficos anteriores.
    - Os valores dos eixos deverão ser controlados, de forma a exibir apenas as faixas consideradas para a abscissa e para a ordenada.

    (0.75 pts)

10. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule o erro absoluto máximo entre as duas formas de cálculo de $h[n]$. (0.25 pts)

11. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule o erro absoluto máximo entre as duas formas de cálculo de $y_{est}[n]$. (0.25 pts)

12. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

8.11 TEC11

Realizar o TEC12 de 2017-1.

8.12 TEC12

Realizar o TEC9 de 2018-1.

8.13 TEC13

Realizar o TEC10 de 2018-1.

8.14 TEC14

8.14.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Sistema de Média Móvel: Resposta ao Impulso, Resposta em Freqüência, Função de Transferência e Diagrama de Pólos e Zeros.
- Objetivo: Relacionar algumas das representações de um Sistema de Média Móvel, bem como realizar cálculos e elaborar gráficos relativos a tais representações.

8.14.2 Especificações

- Um Sistema Linear e Invariante ao Tempo (SLIT), definido por uma equação de diferença, pode ser representado de diversas formas diferentes.
- Algumas delas são: Resposta ao Impulso $h[n]$, Resposta em Freqüência $H(e^{j\Omega})$, Função de Transferência $H(z)$ e Diagrama de Pólos e Zeros (DPZ) de $H(z)$.
- Suponha o Sistema de Média Móvel (SMM), causal, definido pela equação de diferença

$$y[n] = \sum_{k=0}^{L} b_k \, x[n-k] = \frac{1}{M_T} \sum_{k=0}^{M_T-1} x[n-k] \ .$$

8.14.3 Tarefas

Teoria

1. A partir da equação de diferença não recursiva que define o SMM, calcule uma equação recursiva que também o defina. (0.5 pts)
2. Esboce as estruturas que definem o SMM, a partir da sua equação de diferença recursiva, nas seguintes formas: Forma Direta I e Forma Direta II. (0.5 pts)
3. Mostre que o SMM pode ser visto como a ligação em cascata de um escalador, de um sistema FIR e de um acumulador. (0.5 pts)
4. Calcule a seqüência Resposta ao Impulso $h[n]$ do SMM. (0.5 pts)
5. Calcule a Função de Transferência $H(z)$ do SMM. (0.5 pts)
6. Calcule as singularidades (zeros e pólos) da $H(z)$ do SMM e apresente-a na forma

$$H(z) = K \, \frac{(z-z_1)\cdots(z-z_L)}{(z-p_1)\cdots(z-p_N)} \ .$$

   (0.5 pts)
7. Esboce o DPZ da $H(z)$ do SMM, para $M_T = 5$ e $M_T = 6$. (0.5 pts)
8. Calcule a função Resposta em Freqüência $H(e^{j\Omega})$ do SMM. (0.5 pts)

Prática

1. Desenvolva um código Octave que obtenha do usuário o valor de M_T. (0.5 pts)
2. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a seqüência $h[n]$ do SMM. (0.5 pts)
3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule o ganho K, os zeros z_k e os pólos p_k do SMM. (0.5 pts)
4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a função Resposta em Freqüência $H(e^{j\Omega})$ do SMM, para $0 \leq \Omega \leq 2\pi$ rad, com um passo de $\Delta\Omega = 2\pi/360$ rad. (0.5 pts)
5. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura, contendo a seqüência $h[n]$.

   O gráfico deve apresentar um título, os eixos devem ser identificados, a quantidade total de valores deve ser igual ao triplo dos valores de $h[n]$ e o valor de M_T deve ser indicado. (0.5 pts)
6. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura, contendo o DPZ do SMM.

   O gráfico deve apresentar um título e os eixos devem ser identificados.

   O valor de M_T, o valor de K e os valores de possíveis multiplicidades devem ser indicados. (0.5 pts)
7. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 2 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:
   - Na primeira linha, deverá ser gerado um gráfico, referente ao módulo de $H(e^{j\Omega})$.
   - Na segunda linha, deverá ser gerado um gráfico, referente ao argumento de $H(e^{j\Omega})$.
   - A figura deve apresentar um título, os eixos devem ser identificados, o valor de M_T deve ser indicado.
   - As abscissas dos gráficos devem ser limitadas em $0 \leq \Omega_{norm} \leq 2$.
   - A ordenada do gráfico de argumento deve ser limitada em $[-200^o; 200^o]$.

   (1.0 pts)
8. Para fins de inserção no Relatório, execute o código para $M_T = 5$ e $M_T = 6$. Compare o resultado com o esperado a partir da Parte Teórica.

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

8.15 TEC15

Realizar o TEC9 de 2016-2.

Parte VI

Trabalhos TEC 2019

Capítulo 9

Definição dos trabalhos TEC 2019-1

9.1 TEC1

Realizar o TEC-BM1.

9.2 TEC2

Realizar o TEC-BM2.

9.3 TEC3

Realizar o TEC-BC1.

9.4 TEC4

Realizar o TEC-BC2.

9.5 TEC5

9.5.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Elaboração de gráficos de funções unidimensionais.
- Objetivo: Elaborar gráficos de funções unidimensionais e organizá-los de diferentes formas.

9.5.2 Especificações

- Os números complexos $z = (a, b)$ podem ser interpretados, geometricamente, como pontos $z = a + j\ b = Re\{z\} + j\ Im\{z\}$, em um espaço bidimensional $Im\{z\} \times Re\{z\}$.
- Na sua representação polar $z = |z|\ e^{j\angle z}$, eles podem ser interpretados como vetores de módulo $|z|$ e argumento ou ângulo de fase $\angle z$.

- O lugar geométrico formado por $|z| = 1$ é denominado de círculo de raio unitário ou círculo unitário.
- O monômio $H_k(z) = (z - z_k)$ é uma função básica na composição de funções polinomiais racionais $H(z) = N_H(z)/D_H(z) = (z - z_1)(z - z_2)...(z - z_L) \;/\; (z - p_1)(z - p_2)...(z - p_N)$.
- Para $z = e^{j\Omega}$, $H_k(z)$ reduz-se a $H_k(e^{j\Omega}) = (e^{j\Omega} - z_k)$.
- Para $\Omega = \Omega_0$, o valor $e^{j\Omega_0}$ pode ser interpretado como um ponto sobre o círculo unitário, com ângulo Ω_0.
- Para $\Omega = \Omega_0$, $H_k(e^{j\Omega_0}) = (e^{j\Omega_0} - z_k)$ pode ser interpretado como o vetor diferença entre o vetor $e^{j\Omega_0}$ e o vetor z_k.

9.5.3 Tarefas

Teoria

1. Calcule a função $|H_k(e^{j\Omega})| = |(e^{j\Omega} - z_k)|$. (0.5 pts)
2. Calcule a função $\angle H_k(e^{j\Omega}) = \angle(e^{j\Omega} - z_k)$. (0.5 pts)
3. Pesquise e estude o comportamento das seguintes funções:
   figure, axes, axes(“position”,[.]), subplot(m,n,[.]), grid, gcf, gca, clf, cla, delete, stem, stairs, plot, axis, axis(“image”), linspace, logspace.

Prática

1. Desenvolva um código Octave que gere uma figura onde sejam identificados, conjuntamente, os pontos $z_1 = -0.5$ e $z_2 = 0.5$, com o símbolo “O”, e o círculo unitário.

   (0.50 pts)

2. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 2 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Na primeira coluna, deverá ser gerado um gráfico, contendo o círculo unitário e os três vetores $e^{j\Omega_0}$, z_1 e $(e^{j\Omega_0} - z_1)$, para $\Omega_0 = 2\pi/8$.
   - Na segunda coluna, deverá ser gerado um gráfico, contendo o círculo unitário e os três vetores $e^{j\Omega_0}$, z_2 e $(e^{j\Omega_0} - z_2)$, para $\Omega_0 = 2\pi/8$.

   (1.0 pts)

3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 2 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Na primeira coluna, deverá ser gerado um gráfico, contendo o círculo unitário, o ponto z_1, marcado com “O”, e os vetores diferença $(e^{j\Omega_0} - z_1)$, para $\Omega_0 = k\ 2\pi/8$, onde $0 \leq k \leq 7$.
   - Na segunda coluna, deverá ser gerado um gráfico, contendo o círculo unitário, o ponto z_2, marcado com “O”, e os vetores diferença $(e^{j\Omega_0} - z_2)$, para $\Omega_0 = k\ 2\pi/8$, onde $0 \leq k \leq 7$.

   (2.0 pts)

4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 2 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:
   - Na primeira linha, deverá ser gerado um gráfico, contendo a curva $|H_1(e^{j\Omega})|$, para $-4\pi \leq \Omega \leq 4\pi$.
   - Na segunda linha, deverá ser gerado um gráfico, contendo a curva $\angle H_1(e^{j\Omega})$, para $-4\pi \leq \Omega \leq 4\pi$.

   (1.0 pts)
5. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 2 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:
   - Na primeira linha, deverá ser gerado um gráfico, contendo a curva $|H_2(e^{j\Omega})|$, para $-4\pi \leq \Omega \leq 4\pi$.
   - Na segunda linha, deverá ser gerado um gráfico, contendo a curva $\angle H_2(e^{j\Omega})$, para $-4\pi \leq \Omega \leq 4\pi$.

   (1.0 pts)
6. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 4 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:
   - Na primeira linha, primeira coluna deverá ser gerado um gráfico, contendo a curva $|H_1(e^{j\Omega})|$, para $0 \leq \Omega \leq \pi$.
   - Na segunda linha, primeira coluna deverá ser gerado um gráfico, contendo a curva $\angle H_1(e^{j\Omega})$, para $0 \leq \Omega \leq \pi$.
   - Na primeira linha, segunda coluna deverá ser gerado um gráfico, contendo a curva $|H_2(e^{j\Omega})|$, para $0 \leq \Omega \leq \pi$.
   - Na segunda linha, segunda coluna deverá ser gerado um gráfico, contendo a curva $\angle H_2(e^{j\Omega})$, para $0 \leq \Omega \leq \pi$.

   (1.5 pts)
7. Nos gráficos especificados:
   - Nos gráficos de plano complexo, o mesmo deve ser visualizado apenas nas faixas $-1.5 \leq Re\{\cdot\} \leq 1.5$ e $-1.5 \leq Im\{\cdot\} \leq 1.5$.
   - Os gráficos de módulo devem ser visualizados na faixa $0 \leq |H_k(e^{j\Omega})| \leq 2$.
   - Os gráficos de argumento, ou ângulo de fase, devem ser visualizados em graus, na faixa $-200^o \leq \angle H_k(e^{j\Omega}) \leq 200^o$.

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

9.6 TEC6

Realizar o TEC6 de 2018-2.

9.7 TEC7

9.7.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Realimentação em sistemas do tipo SISO.
- Objetivo: Efetuar cálculos manuais envolvidos na realimentação em sistemas do tipo SISO e realizar o cálculo das posições de zeros e pólos dos sistemas.

9.7.2 Especificações

- Considere que todos os sistemas envolvidos nesse trabalho estão relaxados.
- Uma configuração básica de sistemas do tipo SISO realimentados é formada por: uma planta (P), um sistema de controle (C) e um sistema de realimentação ou de *feedback* (F)
- A planta P recebe o sinal de atuação $a[n]$ e gera o sinal controlado $c[n]$.
- O sistema de controle C recebe o sinal de erro $e[n]$ e gera o sinal de atuação $a[n]$.
- O sistema de realimentação F recebe o sinal controlado $c[n]$ e gera o sinal realimentado $f[n]$.
- Por fim, o sinal de erro $e[n]$ é gerado pela diferença entre o sinal de referência $r[n]$ e o sinal realimentado $f[n]$, de tal forma que $e[n] = r[n] - f[n]$.
- O sinal de referência $r[n]$ e o sinal controlado $c[n]$, representam, respectivamente, a entrada e a saída do sistema realimentado S.
- O raciocínio que leva a tal arranjo é o seguinte:
  - A planta P é o sistema original, pré-existente, e no qual não pode ser feita qualquer modificação. Portanto, qualquer alteração das suas características deve ser realizada por um arranjo externo de controle.
  - O sinal controlado $c[n]$ é a variável da planta sobre a qual se deseja ter controle.
  - O sistema de controle C é um sistema projetado para atuar sobre a planta e exercer a ação de controle desejada.
  - O sinal de atuação $a[n]$ é a variável da planta sobre a qual o sistema de controle atua para exercer o controle desejado.
  - Como o próprio nome indica, o sistema de realimentação F é responsável pelas ações de medição, modificação e reaplicação de sinal, na forma de uma referência interna. No arranjo em questão, ele mede o sinal controlado $c[n]$ e gera o sinal realimentado $f[n]$.
  - Pode-se demonstrar que a realimentação traz uma série de benefícios em troca de uma perda no valor do ganho do sistema original.
  - Completando o arranjo realimentado, um sinal de erro $e[n]$ é gerado por meio da comparação (subtração) do sinal de referência externo $r[n]$ com o sinal de referência interno $f[n]$.

  - O sinal de erro $e[n]$ é aplicado no sistema de controle C, fornecendo a informação necessária à sua operação de controle.
  - De ponto de vista externo, o sistema SISO S é o sistema realimentado final, com entrada $r[n]$ e saída $c[n]$.

- A relação proveniente da associação cascata do sistema de controle e da planta é conhecida como Ganho de Malha Aberta (*Open Loop Gain*).
- A relação proveniente da associação cascata do sistema de controle, da planta e do sistema de realimentação, é conhecida como Ganho de Malha (*Loop Gain*).
- A relação apresentada pelo sistema realimentado é conhecida como Ganho de Malha Fechada (*Closed Loop Gain*).
- Supondo-se que cada um dos sistemas envolvidos é descrito por uma equação de diferença do tipo
$$\sum_{k=0}^{N} a_k \ y[n-k] = \sum_{k=0}^{L} b_k \ x[n-k] \ ,$$
pode-se representá-los por operadores de transferência que assumem as seguintes formas:
$$T(D) = \frac{N_T(D)}{D_T(D)} = \frac{\sum_{k=0}^{L} b_k \ D^{-k}}{\sum_{k=0}^{N} a_k \ D^{-k}} = K \cdot \frac{\prod_{k=0}^{L}(1 - z_k \ D^{-1})}{\prod_{k=0}^{N}(1 - p_k \ D^{-1})} \ .$$
- A constante K é conhecida como ganho de transmissão do sistema.
- As raízes do polinômio numerador $N_T(D) = \sum_{k=0}^{L} b_k \ D^{-k}$ são os zeros z_k de $T(D)$.
- As raízes do polinômio denominador $D_T(D) = \sum_{k=0}^{N} a_k \ D^{-k}$ são os pólos p_k de $T(D)$.
- Observa-se uma relação direta entre os coeficientes a_k e os pólos p_k, bem como entre os coeficientes b_k e os zeros z_k,
- Os zeros e os pólos de $T(D)$ podem ser complexos. Uma vez que os coeficientes a_k e b_k são reais, se existir uma raiz complexa, deve existir uma segunda raiz complexa, cujo valor é o conjugado da primeira.
- O gráfico que mostra a localização dos pólos e dos zeros de $T(D)$ em um plano complexo é denominado de Diagrama de Pólos e Zeros (DPZ). Normalmente, as posições dos zeros e dos pólos são marcadas com os símbolos "O" e "X", respectivamente. O valor da constante de ganho K costuma ser escrito em algum lugar do gráfico.

9.7.3 Tarefas

Teoria

1. A partir dos blocos básicos P, C e F, desenhe o diagrama de blocos genéricos do sistema S. (0.25 pts)
2. Calcule o ganho de malha aberta (*open loop gain*), definido por $c[n] = T_{OLG}(D) \ e[n]$, em função de $T_C(D)$, $T_P(D)$ e $T_F(D)$. (0.50 pts)
3. Calcule o ganho de malha (*loop gain*), definido por $f[n] = T_{LG}(D) \ e[n]$, em função de $T_C(D)$, $T_P(D)$ e $T_F(D)$. (0.50 pts)

4. Calcule o ganho de malha fechada (*closed loop gain*), definido por $c[n] = T_{CLG}(D)\ r[n]$, em função de $T_{OLG}(D)$ e $T_{LG}(D)$. (0.50 pts)

5. Calcule o operador de transferência $T_S(D) = \frac{N_S(D)}{D_S(D)}$, do sistema S, em função de $T_C(D)$, $T_P(D)$ e $T_F(D)$. (0.50 pts)

6. Considerando $T_\alpha(D) = \frac{N_\alpha(D)}{D_\alpha(D)}$, onde $\alpha = \{C, P, F\}$, expresse $T_S(D) = \frac{N_S(D)}{D_S(D)}$ exclusivamente em função dos polinômios $N_\alpha(D)$ e D_α (D). (1.00 pts)

7. Discuta como os zeros e os pólos de T_α, onde $\alpha = \{C, P, F\}$, influenciam a formação dos zeros e dos pólos de $T_S(D)$. (1.00 pts)

8. Calcule o ganho de transmissão K_{OLG}. (0.25 pts)

9. Calcule o ganho de transmissão $K_{CLG} = K_S$. (0.50 pts)

Prática

1. Considere os sistemas P, C e F, definidos pelas seguintes equações de diferença:

$$c[n] - 1.5\ c[n-1] = a[n]\ ,$$

$$a[n] = e[n]$$

e

$$f[n] - 0.2\ f[n-1] = c[n-1]\ .$$

2. Calcule $T_P(D) = \frac{N_P(D)}{D_P(D)}$, $T_F(D) = \frac{N_F(D)}{D_F(D)}$ e $T_S(D) = \frac{N_S(D)}{D_S(D)}$. (0.50 pts)

3. Calcule o ganho K, os zeros z_i e os pólos p_i, de $T_P(D)$, $T_F(D)$ e $T_S(D)$. (0.50 pts)

4. Desenvolva um código Octave que gere uma figura contendo 3 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Na primeira linha, primeira coluna, deverá ser gerado um gráfico, contendo o DPZ de $T_P(D)$, com K_P anotado em algum ponto do gráfico.
   - Na segunda linha, primeira coluna, deverá ser gerado um gráfico, contendo o DPZ de $T_F(D)$, com K_F anotado em algum ponto do gráfico.
   - Na segunda linha, segunda coluna, deverá ser gerado um gráfico, contendo o DPZ de $T_S(D)$, com K_S anotado em algum ponto do gráfico.
   - Cada DPZ deve ser visualizado na faixa [-2.5 ; 2.5], para abscissa e para ordenada.
   - Cada DPZ deve ser acompanhado do círculo de raio unitário.

   (0.50 pts)

5. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que, empregando a função $filter(\cdot)$, calcule $h_P[n]$ e $h_S[n]$, para $0 \leq n \leq 50$. (0.50 pts)

6. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 3 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Na primeira linha, deverá ser gerado um gráfico, contendo a função $\delta[n]$.
   - Na segunda linha, deverá ser gerado um gráfico, contendo a função $h_P[n]$.
   - Na terceira linha, deverá ser gerado um gráfico, contendo a função $h_S[n]$.
   - Cada gráfico deve ser calculado e visualizado na faixa $0 \leq n \leq 50$.

   (0.50 pts)

7. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 4 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Na primeira linha, primeira coluna, deverá ser gerado um gráfico, contendo o DPZ de $T_P(D)$, com K_P anotado em algum ponto do gráfico.
   - Na segunda linha, primeira coluna, deverá ser gerado um gráfico, contendo o DPZ de $T_S(D)$, com K_S anotado em algum ponto do gráfico.
   - Na primeira linha, segunda coluna deverá ser gerado um gráfico, contendo a função $h_P[n]$.
   - Na segunda linha, segunda coluna deverá ser gerado um gráfico, contendo a função $h_S[n]$.
   - Cada gráfico deve ser gerado com as especificações citadas anteriormente.

   (0.50 pts)

8. Baseado nos resultados encontrados, sugira uma relação entre a estabilidade e a posição dos zeros e pólos do sistema. (0.50 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (1.5 pts)

9.8 TEC8

9.8.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.

- Título: Influência da posição dos zeros e dos pólos do Operador de Transferência: Análise no domínio do tempo.

- Objetivo: Verificar o efeito causado por zeros e pólos do Operador de Transferência, em diferentes configurações, sobre características de um dado sistema.

9.8.2 Especificações

- O Operador de Transferência $T(D)$ de um SLIT SISO genérico é definido como

$$
\begin{aligned}
T(D) &= \frac{N_T(D)}{D_T(D)} \\
&= \frac{\left(b_0 + b_1 D^{-1} + \cdots + b_L D^{-L}\right)}{(a_0 + a_1 D^{-1} + \cdots + a_N D^{-N})} \\
&= \left(\frac{b_0}{a_0}\right) \frac{\left(1 + \left(\frac{b_1}{b_0}\right) D^{-1} + \cdots + \left(\frac{b_L}{b_0}\right) D^{-L}\right)}{\left(1 + \left(\frac{a_1}{a_0}\right) D^{-1} + \cdots + \left(\frac{a_N}{a_0}\right) D^{-N}\right)} \\
&= \left(\frac{b_0}{a_0}\right) \frac{\left(D^N\right)}{\left(D^L\right)} \frac{\left(D^L + \left(\frac{b_1}{b_0}\right) D^{L-1} + \cdots + \left(\frac{b_L}{b_0}\right)\right)}{\left(D^N + \left(\frac{a_1}{a_0}\right) D^{N-1} + \cdots + \left(\frac{a_N}{a_0}\right)\right)} \\
&= (K) \frac{\left(D^N\right)}{\left(D^L\right)} \frac{(D - z_1)(D - z_2) \cdots (D - z_L)}{(D - p_1)(D - p_2) \cdots (D - p_N)} ,
\end{aligned}
$$

  onde $K = (b_0/a_0)$ é ganho de transmissão, z_k são os zeros e p_k são os pólos de $T(D)$.

- No caso de um sistema do tipo Biquad, o operador de transferência é dado por

$$
\begin{aligned}
T(D) &= \frac{(b_0 + b_1 D^{-1} + b_2 D^{-2})}{(a_0 + a_1 D^{-1} + a_2 D^{-2})} \\
&= (K) \frac{(D - z_1)(D - z_2)}{(D - p_1)(D - p_2)} ,
\end{aligned}
$$

  onde $K = (b_0/a_0)$.

- Os polinômios de segunda ordem, de variáveis complexas e coeficientes reais, podem ser descritos das seguintes formas

$$
\begin{aligned}
p(x) &= x^2 + c_1 \ x + c_0 \\
&= (x - r_1)(x - r_2) \\
&= (x - |r_1| \ e^{j\angle r_1})(x - |r_2| \ e^{j\angle r_2}) \\
&= x^2 - \left(|r_1| \ e^{j\angle r_1} + |r_2| \ e^{j\angle r_2}\right) x + \left(|r_1| \ |r_2| \ e^{j(\angle r_1 + \angle r_2)}\right) ,
\end{aligned}
$$

  onde

$$
r_1, r_2 = \frac{-c_1 \pm \sqrt{c_1^2 - 4 c_0}}{2} .
$$

  Se $(r_1, r_2) \in \mathbb{R}$ e $r_1 \neq r_2$, tem-se que

$$
p(x) = x^2 - (\pm|r_1| \pm |r_2|) \, x + (\pm|r_1| \ |r_2|) .
$$

  No caso de $(r_1, r_2) \in \mathbb{R}$ e $r_1 = r_2$, tem-se que

$$
p(x) = x^2 - (\pm 2 \ |r|) \, x + \left(\pm|r|^2\right) .
$$

  Por fim, quando $r_1 = r \ e^{j\theta} = r_2^*$, tem-se que

$$
p(x) = x^2 - 2 \ r \ cos(\theta) \ x + r^2 .
$$

9.8.3 Tarefas

Teoria

1. Para uma condição inicial $y[-1]$ e uma entrada $x[n] = z^n \ u[n]$, onde $z \in \mathbb{C}$, o sistema definido pela equação de diferença

$$y[n] + a_1 \ y[n-1] = b_0 \ x[n] \ ,$$

apresenta a resposta ao estado

$$y_h[n] = y[-1](-a1)^{n+1}u[n]$$

e a resposta à entrada

$$y_z[n] = y_p[n] + y_c[n] \ ,$$

onde, para $n \geq 0$,

$$y_p[n] = \left(\frac{b_0}{1 + a_1 z^{-1}} \right) (z^n)$$

e

$$y_c[n] = (-1) \left(\frac{b_0}{1 + a_1 z^{-1}} \right) z^{-1} \left(-a_1\right)^{n+1} \ .$$

Da resposta particular $y_p[n]$, definem-se a Função de Transferência $H_{D0}(z)$ e a Resposta em Frequência $H_{D0}(e^{j\Omega})$, respectivamente dadas por

$$H_{D0}(z) = \left(\frac{b_0}{1 + a_1 z^{-1}} \right)$$

e

$$H_{D0}(e^{j\Omega}) = \left(\frac{b_0}{1 + a_1 e^{-j\Omega}} \right) \ .$$

Por sua vez, para uma entrada $x[n] = cos(\Omega_0 n) \ u[n]$, a resposta à entrada é dada por

$$\begin{aligned} y_{cos}[n] \ &= \ |H_{D0}(e^{j\Omega_0})| \ cos \left(\Omega_0 n + \angle H_{D0}(e^{j\Omega_0}) \right) u[n] \ + \\ & \quad (-1)|H_{D0}(e^{j\Omega_0})| \ cos \left(\Omega_0 + \angle H_{D0}(e^{j\Omega_0}) \right) \left(-a_1\right)^{n+1} u[n] \ . \end{aligned}$$

2. Dado o sistema definido pela equação de diferença

$$y[n] + a_1 \ y[n-1] = b_1 \ x[n-1] \ ,$$

com condição inicial $y[-1]$ e entrada $x[n] = z^n \ u[n]$, apresente a resposta à entrada do sistema. Baseado na resposta particular, calcule $H_{D1}(z)$ e $H_{D1}(e^{j\Omega})$, para $n \geq 1$.

(0.50 pts)

3. Dado o sistema definido pela equação de diferença

$$y[n] + a_1 \ y[n-1] = b_0 \ x[n] + b_1 \ x[n-1] \ ,$$

com condição inicial $y[-1]$ e entrada $x[n] = z^n \ u[n]$, apresente a resposta à entrada do sistema. Baseado na resposta particular, calcule $H_{D01}(z)$ e $H_{D01}(e^{j\Omega})$, para $n \geq 1$.

(0.50 pts)

4. Dada a Função de Transferência

$$H_k(z) = K \, \frac{(z - z_k)}{(z - p_k)}$$

e a associada Resposta em Frequência

$$H_k(e^{j\Omega}) = K \, \frac{(e^{j\Omega} - z_k)}{(e^{j\Omega} - p_k)} \ ,$$

tem-se que

$$|H_k(e^{j\Omega})| = |K| \, \frac{|(e^{j\Omega} - z_k)|}{|(e^{j\Omega} - p_k)|}$$

e que

$$\angle H_k(e^{j\Omega}) = \angle K + \angle(e^{j\Omega} - z_k) - \angle(e^{j\Omega} - p_k) \ .$$

Para o valor $\Omega = \Omega_0$, os módulos $|(e^{j\Omega_0} - z_k)|$ e $|(e^{j\Omega_0} - p_k)|$ representam, respectivamente, as distâncias entre o ponto do círculo unitário com argumento Ω_0 e os pontos z_k e p_k. Por sua vez, os ângulos $\angle(e^{j\Omega_0} - z_k)$ e $\angle(e^{j\Omega_0} - p_k)$ representam, respectivamente, os ângulos dos vetores diferenças entre o ponto do círculo unitário com argumento Ω_0 e os pontos z_k e p_k. Portanto, as posições dos zeros z_k e dos pólos p_k têm influência direta sobre $H_k(e^{j\Omega})$.

Uma vez que a resposta à entrada é definida em função de $H(e^{j\Omega})$, conclui-se que a resposta a um sinal senoidal $x[n] = cos(\Omega_0 n) \ u[n]$ depende da posição de z_k e p_k.

Discuta a influência das posições do zero z_k e do pólo p_k de $H_k(z)$ sobre o escalamento e o defasamento da resposta à entrada senoidal $x[n] = cos(\Omega n) \ u[n]$, para $0 \leq \Omega \leq \pi$.

(1.00 pts)

5. Considerando a equação de diferença, a resposta ao estado e a resposta complementar, definidas acima, estabeleça uma relação entre os coeficientes da equação de diferença e a estabilidade do sistema.

(0.50 pts)

6. Relacione as posições do zero z_k e do pólo p_k com os coeficientes da equação de diferença. Em seguida, estabeleça uma relação entre as suas posições e a estabilidade do sistema.

(0.50 pts)

Prática

1. Desenvolva um código Octave que obtenha do usuário os seguintes dados sobre a Função de Transferência $H(z)$ de um sistema de segunda ordem: um ganho K, um par de zeros $\mathbf{z} = [z_1, z_2]$ e um par de pólos $\mathbf{p} = [p_1, p_2]$. (0.50 pts)

2. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que, empregando os dados obtidos do usuário, calcule os coeficientes a_k e b_k da equação de diferenca do sistema. (0.50 pts)

3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a resposta ao impulso $h[n]$ do sistema, usando a função $filter()$, para $0 \leq n \leq 50$.

(0.50 pts)

4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a resposta ao degrau $y_d[n]$ do sistema, usando a função $filter()$, para $0 \leq n \leq 50$.

   (0.50 pts)

5. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a Resposta em Frequência $H(e^{j\Omega})$ do sistema, usando a função $freqz()$, para $0 \leq \Omega \leq \pi$, usando um passo $\Delta\Omega = \pi/360$ rad. (0.50 pts)

6. Desenvolva um código Octave que gere uma figura contendo contendo o DPZ de $H(z)$, com K anotado em algum ponto do gráfico.

   O DPZ deve ser acompanhado do círculo de raio unitário.

   O gráfico deve possuir um título e os eixos devem ser corretamente identificados.

   (0.50 pts)

7. Desenvolva um código Octave que gere uma figura contendo a resposta ao impulso $h[n]$ do sistema, para $0 \leq n \leq 50$.

   O gráfico deve possuir um título e os eixos devem ser corretamente identificados.

   (0.50 pts)

8. Desenvolva um código Octave que gere uma figura contendo a resposta ao degrau $y_d[n]$ do sistema, para $0 \leq n \leq 50$.

   O gráfico deve possuir um título e os eixos devem ser corretamente identificados.

   (0.50 pts)

9. Desenvolva um código Octave que gere uma figura contendo 2 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

   - Na primeira linha, deverá ser gerado um gráfico, contendo $|H(e^{\Omega})|$, para $0 \leq \Omega \leq \pi$, usando um passo $\Delta\Omega = \pi/360$ rad.
   - Na segunda linha, deverá ser gerado um gráfico, contendo $\angle H(e^{\Omega})$, para $0 \leq \Omega \leq \pi$, usando um passo $\Delta\Omega = \pi/360$ rad.

     O gráfico deve ser visualizado na faixa $[-200^o; 200^o]$.
   - A abscissa de ambos deverá apresentar a variável $\Omega_{norm} = \Omega/\pi$.

   (0.50 pts)

10. Desenvolva um código Octave que gere uma figura contendo 5 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

    - Na primeira linha, primeira coluna, deverá ser gerado um gráfico, contendo a resposta ao impulso $h[n]$ do sistema.
    - Na segunda linha, primeira coluna, deverá ser gerado um gráfico, contendo a resposta ao degrau $y_d[n]$ do sistema.
    - Na primeira linha, segunda coluna, deverá ser gerado um gráfico, contendo o DPZ de $H(z)$, com K anotado em algum ponto do gráfico.
    - Na primeira linha, terceira coluna, deverá ser gerado um gráfico, contendo $|H(e^{\Omega})|$.
    - Na segunda linha, terceira coluna, deverá ser gerado um gráfico, contendo $\angle H(e^{\Omega})$.

- Cada gráfico deve usar as mesmas especificações definidas anteriormente.

(0.50 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

9.9 TEC9

Realizar o TEC9 de 2018-1.

9.10 TEC10

Realizar o TEC10 de 2018-1.

Capítulo 10

Definição dos trabalhos TEC 2019-2

10.1 TEC1

Realizar o TEC-BM1.

10.2 TEC2

Realizar o TEC-BM2.

10.3 TEC3

Realizar o TEC-BC1.

10.4 TEC4

Realizar o TEC5 de 2019-1.

10.5 TEC5

Realizar o TEC6 de 2018-2.

10.6 TEC6

10.6.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.

- Título: Representação de SLIT por equação de diferença, por operador de transferência e por diagrama de pólos e zeros.

- Objetivo: Relacionar algumas das representações de um SLIT, bem como realizar cálculos e elaborar gráficos relativos a tais representações.

10.6.2 Especificações

- Um Sistema Linear e Invariante ao Tempo (SLIT), definido por uma equação de diferença, pode ser representado de diversas formas diferentes.

- Algumas delas são o Operador de Transferência $T(D)$ e o Diagrama de Pólos e Zeros (DPZ).

- Suponha o SLIT representado pela equação de diferença

$$\sum_{k=0}^{N} a_k \ y[n-k] = \sum_{k=0}^{L} b_k \ x[n-k] \ .$$

- Empregando-se um operador de atraso $D^{-|k|}\{v[n]\} = v[n-|k|]$, a equação de diferença pode ser reescrita como

$$y[n] = T(D) \ \{x[n]\} \ ,$$

  onde

$$T(D) = \frac{\sum_{k=0}^{L} b_k \ D^{-k}}{\sum_{k=0}^{N} a_k \ D^{-k}}$$

  é o operador de transferência do sistema.

- Por sua vez, $T(D)$ pode ser fatorado e reapresentado como

$$T(D) = K \ \frac{(D-z_1)\cdots(D-z_L)}{(D-p_1)\cdots(D-p_N)} \ .$$

- Uma terceira forma de representação para o SLIT pode ser obtida elaborando-se o gráfico de um plano complexo, contendo os zeros z_k, representados pelo símbolo "O", os pólos p_k, representados pelo símbolo "X", todos devidamente posicionados, bem como o valor da constante de ganho K escrita em algum lugar do gráfico. Singularidades (zeros ou pólos) com multiplicidade m_k maior que a unidade devem possuir uma indicação do seu valor próximo ao símbolo. Tal gráfico é denominado de Diagrama de Pólos e Zeros (DPZ) do Operador de Transferência $T(D)$ do sistema.

10.6.3 Tarefas

Teoria

1. Pesquise e estude o comportamento das seguintes funções: input(), roots(), plot(), axis().

2. Suponha o SLIT descrito por

$$\sum_{k=0}^{N} a_k \ y[n-k] = \sum_{k=0}^{L} b_k \ x[n-k] \ .$$

3. Apresente o operador de transferência na forma

$$T(D) = K \ \frac{N_T(D)}{D_T(D)} \ ,$$

   de tal forma que $N_T(D)$ e $D_T(D)$ sejam expressos apenas por meio do operador atraso $D^{-|k|}\{v[n]\} = v[n-|k|]$. (0.5 pts)

4. Apresente o operador de transferência na forma

$$T(D) = K \, \frac{N_T(D)}{D_T(D)} \; ,$$

de tal forma que $N_T(D)$ e $D_T(D)$ sejam expressos apenas por meio do operador avanço $D^{|k|}\{v[n]\} = v[n + |k|]$. (1.0 pts)

Prática

1. Desenvolva um código Octave que obtenha do usuário o valor de cada constante inteira a_k e b_k, que descrevem um sistema. (0.5 pts)

2. Para realizar testes e apresentar resultados em relatório, utilize os seguintes sistemas:

   - Sistema 1: y[n] - 1.20 y[n - 1] + 0.85 y[n - 2] = x[n - 1] + 0.80 x[n - 2].
   - Sistema 2: y[n] - y[n - 1] + 0.61 y[n - 2] = 0.10 x[n - 1].
   - Sistema 3: y[n] - 0.10 y[n - 1] - 0.56 y[n - 2] = 0.40 x[n] - 0.04 x[n - 1] - 0.12 x[n - 2].
   - Sistema 4: y[n] - 0.09 y[n - 2] = 0.50 x[n - 1].

3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule o ganho K, os zeros z_k e os pólos p_k do sistema. (1.0 pts)

4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura, contendo o DPZ, conforme definido acima, do T(D) do sistema.

   O gráfico deve apresentar um título, os eixos devem ser identificados e o fator de forma deve ser 1x1. (5.0 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

10.7 TEC7

10.7.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.

- Título: Transformações entre representações de um SLIT e cálculo da resposta ao estado nulo de um SLIT usando o operador de transferência.

- Objetivo: Realizar transformações entre representações de um SLIT, por meio de cálculos e elaboração de gráficos relativos a tais representações, bem como calcular a resposta ao estado nulo de um SLIT.

10.7.2 Especificações

- Um Sistema Linear e Invariante ao Tempo (SLIT), definido por uma equação de diferença, pode ser representado de diversas formas diferentes.

- Algumas delas são o Operador de Transferência $T(D)$ e o Diagrama de Pólos e Zeros (DPZ).

- Suponha o SLIT representado pela equação de diferença

$$\sum_{k=0}^{N} a_k \; y[n-k] = \sum_{k=0}^{L} b_k \; x[n-k] \; .$$

- Empregando-se um operador de atraso $D^{-|k|}\{v[n]\} = v[n-|k|]$, a equação de diferença pode ser reescrita como

$$y[n] = T(D) \; \{x[n]\} \; ,$$

  onde

$$T(D) = \frac{\sum_{k=0}^{L} b_k \; D^{-k}}{\sum_{k=0}^{N} a_k \; D^{-k}}$$

  é o operador de transferência do sistema.

- Por sua vez, $T(D)$ pode ser fatorado e reapresentado como

$$T(D) = K \; \frac{(D-z_1)\cdots(D-z_L)}{(D-p_1)\cdots(D-p_N)} \; .$$

- Uma outra forma de fatoração de $T(D)$ pode ser obtida por meio de frações parciais, cujo exemplo é dado por

$$T(D) = P(D) + \frac{K_1}{(D-p_1)} + \frac{K_2}{(D-p_2)} + \cdots + \frac{K_N}{(D-p_N)} \; .$$

- Uma terceira forma de representação para o SLIT pode ser obtida elaborando-se o gráfico de um plano complexo, contendo os zeros z_k, representados pelo símbolo "O", os pólos p_k, representados pelo símbolo "X", todos devidamente posicionados, bem como o valor da constante de ganho K escrita em algum lugar do gráfico. Singularidades (zeros ou pólos) com multiplicidade m_k maior que a unidade devem possuir uma indicação do seu valor próximo ao símbolo. Tal gráfico é denominado de Diagrama de Pólos e Zeros (DPZ) do Operador de Transferência $T(D)$ do sistema.

10.7.3 Tarefas

Teoria

1. Pesquise e estude o comportamento das seguintes funções: input(), real(), imag(), roots(), conv(), filter(), plot(), axis().

2. Suponha o SLIT descrito por

$$T(D) = K_0 + \frac{K_1}{(1-p_1 D^{-1})} + \frac{K_2}{(1-p_2 D^{-1})} \; .$$

3. Calcule os parâmetros do operador de transferência na forma

$$T(D) = \frac{b_0 + b_1 D^{-1} + b_2 D^{-2}}{a_0 + a_1 D^{-1} + a_2 D^{-2}} \ .$$

(0.25 pts)

4. Calcule os parâmetros do operador de transferência na forma

$$T(D) = K \ \frac{(1 - z_1 D^{-1})(1 - z_2 D^{-1})}{(1 - p_1 D^{-1})(1 - p_2 D^{-1})} \ ,$$

(0.5 pts)

5. Calcule a equação de diferença do sistema. (0.25 pts)

6. Calcule a resposta ao impulso do sistema $h[n]$, a partir de $T(D)$, considerando p_1, $p_2 \in \mathbb{R}$. (0.5 pts)

7. Calcule a resposta ao impulso do sistema $h[n]$, a partir de $T(D)$, considerando $p_1 = p_c$, $p_2 = p_c^* \in \mathbb{C}$. (0.5 pts)

Prática

1. Desenvolva um código Octave que obtenha do usuário o valor de cada parâmetro do conjunto $\{ \ K_0, \ K_1, \ K_2, \ p_1, \ p_2 \ \}$, que descreve um sistema. (0.25 pts)

2. Para realizar testes e apresentar resultados em relatório, utilize os seguintes sistemas:

   - Sistema 1: $\{ \ K_0 = 0.1, \ K_1 = -1.5, \ K_2 = 1.5, \ p_1 = 0.9, \ p_2 = -0.9 \ \}$.
   - Sistema 2: $\{ \ K_0 = -0.2, \ K_1 = 0.1, \ K_2 = 0.1, \ p_1 = 0.9 \ e^{+j30\frac{\pi}{180}}, \ p_2 = 0.9 \ e^{-j30\frac{\pi}{180}} \ \}$.

3. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule os coeficientes b_k e a_k de $T(D)$, com base nos cálculos teóricos efetuados. (0.25 pts)

4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule o ganho K, os zeros z_k e os pólos p_k com base nos cálculos teóricos efetuados. Empregue a função roots() para checar os seus cálculos. (0.5 pts)

5. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura, contendo o DPZ, conforme definido acima, do T(D) do sistema.

   O gráfico deve apresentar um título, os eixos devem ser identificados e o fator de forma deve ser 1x1.

   (1.0 pts)

6. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a resposta ao impulso $h[n]$ do sistema, com base nos cálculos teóricos efetuados. Empregue a função filter() para checar os seus cálculos. (1.0 pts)

7. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura, contendo $h[n]$ do sistema.

   O gráfico deve apresentar um título, os eixos devem ser identificados.

   (0.5 pts)

8. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a resposta ao degrau $y_u[n]$ do sistema, com base nos cálculos teóricos efetuados. Empregue a função filter() para checar os seus cálculos. (2.0 pts)

9. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura, contendo a entrada $u[n]$ (em vermelho) e a saída $y_u[n]$ (em azul) do sistema.

   O gráfico deve apresentar um título, os eixos devem ser identificados.

   (0.5 pts)

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

10.8 TEC8

Realizar o TEC10 de 2018-2.

10.9 TEC9

Realizar o TEC9 de 2018-2.

10.10 TEC10

Realizar o TEC10 de 2018-1.

10.11 TEC11

10.11.1 Definições

- Tempo de execução: 1 semana.
- Título: Emprego das transformadas Z e DTFT para cálculo da resposta ao impulso e da resposta à entrada de um SLIT descrito por equação de diferença.
- Objetivo: Calcular a resposta ao impulso e a resposta à entrada de um SLIT descrito por equação de diferença, empregando as transformadas Z e DTFT. Para validação do resultado, calcular as mesmas respostas por meios alternativos e comparar os resultados.

10.11.2 Especificações

- Um Sistema Linear e Invariante ao Tempo (SLIT), definido por uma equação de diferença, pode ser representado de diversas formas diferentes.
- Algumas delas são a sua resposta ao impulso $h[n]$, a sua função Resposta em Frequência $H(e^{j\Omega})$ e a sua Função de Transferência $H(z)$.

- Sabe-se que a sua função Resposta em Frequência $H(e^{j\Omega})$ é a DTFT (*Discrete-Time Fourier Transform*) da sua resposta ao impulso $h[n]$, enquanto a sua Função de Transferência $H(z)$ é a transformada Z de $h[n]$.

- Suponha o SLIT representado pela equação de diferença

$$\sum_{k=0}^{N} a_k \; y[n-k] = \sum_{k=0}^{L} b_k \; x[n-k] \; .$$

- A função Resposta em Frequência $H(e^{j\Omega})$ de tal sistema é dada por

$$H(e^{j\Omega}) = DTFT\{h[n]\} = \frac{\sum_{k=0}^{L} b_k e^{-j\Omega}}{\sum_{k=0}^{N} a_k e^{-j\Omega}} \; .$$

- A Função de Transferência $H(z)$ de tal sistema é dada por

$$H(z) = Z\{h[n]\} = \frac{\sum_{k=0}^{L} b_k z^{-k}}{\sum_{k=0}^{N} a_k z^{-k}} \; .$$

- Se tal SLIT for estável e causal, pode-se mostrar que a ROC (*Region Of Convergence*) de $H(z)$ inclui o círculo de raio unitário $z = e^{j\Omega}$. Portanto, a seguinte igualdade é garantida:

$$H(z)\big|_{z=e^{j\Omega}} = H(e^{j\Omega}) \; .$$

- Sabe-se que a resposta $y_{ent}[n]$ de tal SLIT, relaxado e submetido à entrada $x[n]$, pode ser calculada por

$$y_{ent}[n] = h[n] * x[n] = Z^{-1}\left\{Y_{ent}(z)\right\} = Z^{-1}\left\{H(z) \; X(z)\right\} \; ,$$

  onde $*$ denota a convolução discreta linear e $X(z) = Z\{x[n]\}$.

- Sabe-se que a DTFT $V(e^{j\Omega})$ de um sinal $v[n]$ pode ser aproximada pela chamada N-*point* DFT $V[k]$, que é um conjunto de amostras da DTFT, de tal forma que $0 \le k \le (N-1)$, $V[k] = V(e^{jk\Delta\Omega})$ e $\Delta\Omega = 2\pi/N$. Por sua vez, a DFT pode ser acelerada por algum procedimento de cálculo alternativo, denominado de FFT (*Fast Fourier Transform*).

10.11.3 Tarefas

Teoria

1. Suponha o SLIT estável e causal, descrito por

$$\sum_{k=0}^{N} a_k \; y[n-k] = \sum_{k=0}^{N} b_k \; x[n-k] \; .$$

2. A Função de Transferência $H(z)$ de tal sistema é dada por

$$H(z) = Z\{h[n]\} = \frac{\sum_{k=0}^{N} b_k z^{-k}}{\sum_{k=0}^{N} a_k z^{-k}} = K \cdot \frac{(D-z_1)\cdots(D-z_N)}{(D-p_1)\cdots(D-p_N)} \; ,$$

   onde z_k, p_k e K são, respectivamente, os zeros, os pólos e a constante de ganho de $H(z)$, bem como $K = \frac{b_0}{a_0}$.

3. Dados K, $\boldsymbol{z} = [z_1, z_2]$, $\boldsymbol{p} = [p_1, p_2]$ e $x[n] = \alpha^n \; u[n]$, suponha que $z_1 \neq z_2 \neq p_1 \neq p_2 \neq \alpha$ são todos reais e calcule:

   - $X(z)$. (0.5 pts)
   - $h[n]$. (0.5 pts)
   - $Y_{ent}(z)$ e $y_{ent}[n]$. (1.0 pts)

Prática

1. Desenvolva um código Octave que obtenha do usuário o valor de cada parâmetro do conjunto $\{ \; K, \; z_k, \; p_k, \; \alpha \; \}$, de tamanho indeterminado, que descreve um sistema e uma entrada exponencial. (0.25 pts)

2. Para realizar testes e apresentar resultados em relatório, utilize os seguintes conjuntos:

   - Sistema 1:
     $\{ \; K = 1, \; z_1 = -1, \; z_2 = -1, \; z_3 = -1, \; p_1 = 0.80 - j * .3, \; p_2 = 0.80 + j * .3, \; p_3 = 0.72, \; \alpha = 0.95 \; \}$.
   - Sistema 2:
     $\{ \; K = 1, \; z_1 = 1, \; z_2 = 1, \; z_3 = 1, \; p_1 = -0.80 - j * .3, \; p_2 = -0.80 + j * .3, \; p_3 = -0.72, \; \alpha = 0.95 \; \}$.

3. Para realizar testes e apresentar resultados em relatório, utilize os seguintes parâmetros:

   - $N_x = 100$ pontos.
   - $N_\Omega = (4 * 360)$.
   - $\Delta\Omega = 2\pi / N_\Omega$ rad.
   - $0 \leq \Omega \leq (2\pi - \Delta\Omega)$ rad.

4. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule os coeficientes b_k e a_k, da equação de diferença que define o sistema. (0.25 pts)

5. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a função Resposta em Frequência $H(e^{jk\Delta\Omega})$, a partir dos coeficientes b_k e a_k. (0.5 pts)

6. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule as funções $x_\delta[n] = \delta[n]$ e $x_{exp}[n] = \alpha^n \; u[n]$, bem como a função $X(e^{jk\Delta\Omega})$, com base nos cálculos teóricos efetuados. (0.5 pts)

7. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a função $h[n]$ das seguintes formas: usando a função $\mathit{filter}(b, a, x_\delta)$ e usando a função $\mathit{ifft}(H(e^{jk\Delta\Omega}))$. (0.5 pts)

8. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que calcule a função $y_{ent}[n]$ das seguintes formas: usando a função $\mathit{filter}(b, a, x_{exp})$ usando a função $\mathit{conv}(h, x_{exp})$ e usando a função $\mathit{ifft}(Y_{ent}(e^{jk\Delta\Omega}))$. (0.5 pts)

9. Esboce o DPZ (Diagrama de Pólos e Zeros) da Função de Transferência $H(z)$ do sistema, anotando o valor do ganho K em alguma parte do gráfico.

10. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 2 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

    - Na primeira linha, deverá ser gerado um gráfico, contendo a curva $|H(e^{j\Omega})|$.
    - Na segunda linha, deverá ser gerado um gráfico, contendo a curva $\angle H(e^{j\Omega})$, com visualização na faixa $[-200\ ;\ 200]$ graus.

    (0.5 pts)

11. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 3 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

    - Ocupando as linhas 1 e 2 da primeira coluna, deverá ser gerado um gráfico, contendo a curva $x[n]$.
    - Na primeira linha da segunda coluna, deverá ser gerado um gráfico, contendo a curva $|X(e^{j\Omega})|$.
    - Na segunda linha da segunda coluna, deverá ser gerado um gráfico, contendo a curva $\angle X(e^{j\Omega})$, com visualização na faixa $[-200\ ;\ 200]$ graus.

    (1.0 pts)

12. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 3 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

    - Na primeira linha, deverá ser gerado um gráfico, contendo a curva $h[n]$, calculada por $\mathit{filter}(b, a, x_\delta)$.
    - Na segunda linha, deverá ser gerado um gráfico, contendo a curva $h[n]$, calculada por $\mathit{ifft}(H(e^{jk\Delta\Omega}))$.
    - Na terceira linha, deverá ser gerado um gráfico, contendo a curva de diferença das duas anteriores.
    - Utilize a mesma faixa de visualização vertical nos dois primeiros gráficos.
    - Em todos os gráficos, utilize $0 \leq n \leq (N_x - 1)$.

    (1.0 pts)

13. Desenvolva um código Octave extra, a ser anexado ao código anterior, que gere uma figura contendo 3 gráficos, organizados de forma matricial, de tal forma que:

    - Na primeira linha, deverá ser gerado um gráfico, contendo a curva $y_{ent}[n]$, calculada por $\mathit{filter}(b, a, x_{exp})$.
    - Na segunda linha, deverá ser gerado um gráfico, contendo a curva $y_{ent}[n]$, calculada por $\mathit{conv}(h, x_{exp})$.
    - Na terceira linha, deverá ser gerado um gráfico, contendo a curva $y_{ent}[n]$, calculada por $\mathit{ifft}(Y_{ent}(e^{jk\Delta\Omega}))$.
    - Utilize a mesma faixa de visualização vertical em todos os gráficos.
    - Em todos os gráficos, utilize $0 \leq n \leq (N_x - 1)$.

    (1.0 pts)

14. Em todos os gráficos, coloque um título e identifique os eixos.

Relatório

1. Escreva um relatório, baseado no modelo definido para a disciplina. Comente o código ao longo do texto. Coloque as listagens dos códigos desenvolvidos na seção Anexos, organizadas em subseções. (2.0 pts)

Referências bibliográficas

[Ant86] A. Antoniou. *Digital Filters: Analysis and Design.* Tata McGraw-Hill, New Delhi, India, 2nd reprint edition, 1986.

[Cad73] J. A. Cadzow. *Discrete-Time Systems: An Introduction with Interdisciplinary Applications.* Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1973.

[DdSN10] P. S. R. Diniz, E. A. B. da Silva, and S. Lima Netto. *Digital Signal Processing: System Analysis and Design.* Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2nd edition, 2010.

[Jac96] L. B. Jackson. *Digital Filters and Signal Processing - with MATLAB exercises.* Kluwer Academic Publishers, 3rd edition, 1996.

[KD04] H. Kopka and P. W. Daly. *A Guide to LaTeX and Electronic Publishing.* Addison-Wesley, Harlow, England, 4th edition, 2004.

[MG04] F. Mittelbach and M. Goosens. *The LaTeX Companion.* Addison-Wesley, Boston, MA, USA, 2th edition, 2004.

[Mit98] S. K. Mitra. *Digital Signal Processing: A Computer-Based Approach.* McGraw-Hill, New York, NY, 1998.

[OS75] A. V. Oppenheim and R. W. Schafer. *Digital Signal Processing.* Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1975.

[OWY83] A. V. Oppenheim, A. S. Willsky, and I. T. Young. *Signals and Systems.* Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1983.

[PL76] A. Peled and B. Liu. *Digital Signal Processing: Theory, Design and Implementation.* John Wiley, New York, NY, 1976.

[PM06] J. G. Proakis and D. G. Manolakis. *Digital Signal Processing: Principles, Algorithms and Applications.* Prentice Hall, 4th edition, 2006.

[Rob09] M. J. Roberts. *Fundamentos em Sinais e Sistemas.* McGraw-Hill, São Paulo, SP, 2009.

[SDD84] W. D. Stanley, G. R. Dougherty, and R. Dougherty. *Signals and Systems.* Prentice-Hall, Reston, Virginia, 2nd edition, 1984.

[She95] K. Shenoi. *Digital Signal Processing in Telecommunications.* Prentice-Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, 1995.

[SK89] R. D. Strum and D. E. Kirk. *First Principles of Discrete Systems and Digital Signal Processing.* Addison-Wesley, Massachusetts, 1989.