



Plano de Ensino

Disciplina:

- Código: EEL 7303
- Nome: Circuitos Eletrônicos Analógicos (teoria e laboratório)
- Turmas: 06235
- Carga horária: 72 h.a. (60 -teoria, 12 -prática)
- Período: 2020-1
- Cursos: Engenharia Elétrica, Engenharia Eletrônica
- Prof. Jader A. De Lima (jader.lima@eel.ufsc.br)
- Atendimento presencial: 3ª feiras, 10:00h – 11:15h 6ª feiras, 8:45h – 10:00h
- Monitoria: Pedro Paulo (ppaulo437@gmail.com), Alexandre (genthner.ah@gmail.com)

Ementa:

Amplificadores multi-estágios; ruído em circuitos analógicos; amplificadores diferenciais; espelhos de corrente; estágios de saída e amplificadores de potência; resposta em frequência de amplificadores; referências de corrente e tensão; circuitos com amplificadores operacionais; circuitos realimentados; osciladores.

Objetivos:

- Geral: Desenvolver habilidades de análise e de síntese de circuitos eletrônicos analógicos
- Específicos:
 - Introduzir noções elementares sobre o tratamento de sinais em circuitos eletrônicos, tais como distorção harmônica e ruído intrínseco.
 - Familiarizar o aluno com blocos elementares que compõem circuitos para processamento da informação analógica, tais como espelhos de corrente, amplificadores diferenciais, amplificadores operacionais, referências de tensão tipo bandgap e osciladores.
 - Introduzir modelos de componentes dependentes da frequência e seus efeitos em amplificadores.
 - Relacionar a importância da polarização dos componentes não-lineares no desempenho do circuito, com ênfase na largura de banda, no consumo, na linearidade e na robustez ao ruído e interferência.
 - Revisar e aplicar os conceitos de realimentação na análise e no projeto de amplificadores e osciladores.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CAMPUS UNIVERSITÁRIO REITOR JOÃO DAVID FERREIRA LIMA - TRINDADE
CEP: 88040-900 - FLORIANÓPOLIS - SC
TELEFONE (048) 3721-2262 - FAX (048) 3721-9280

Conteúdo programático:

| |
|--|
| Amplificador a BJT/MOS (estágios simples) |
| Distorção e Ruído Intrínseco em Amplificadores |
| Amplificador BJT/MOS Diferencial |
| Amplificadores de Potência (classe A/B/AB) |
| Espelhos de Corrente BJT/MOS |
| Referência de Tensão/Corrente |
| Resposta em Frequência de Amplificadores |
| Sistemas Realimentados |
| Amplificador Operacional |
| Osciladores |



Metodologia:

Instrumentos metodológicos:

A disciplina compreende aulas teóricas e atividades em laboratório. O conteúdo teórico será desenvolvido por meio de aulas expositivas e seminários, com auxílio de recursos multimídia, vídeo-aulas realizadas pelo professor e notas de aula em repositório de acesso geral.

As atividades de laboratório compreenderão sessões experimentais onde o aluno será confrontado com problemas práticos e deverá buscar soluções no contexto da disciplina. Deve-se observar a integração que deverá haver por parte dos alunos entre as atividades em sala de aula e no laboratório.

Pressupostos da metodologia:

Assiduidade: é obrigatória a presença do aluno em pelo menos 75% das atividades da disciplina (teoria e laboratório). As aulas terão início nos referidos horários, **pontualmente**.

Fórum da Disciplina: Extremamente recomendado que os alunos utilizem essa ferramenta para a colocação de dúvidas técnicas, permitindo uma maior dissiminação das respostas e comentários.

Avaliação:

Instrumentos de avaliação:

O desempenho do estudante será avaliado através de provas e tarefas teóricas e experimentais.

A nota final do semestre será composta pela média ponderada das notas das avaliações parciais (A1 e A2) e das tarefas de laboratório (L1), calculadas a partir da seguinte fórmula: NF (nota final) = $(0.35 \times A1) + (0.40 \times A2) + (0.25 \times L1)$.

Avaliação A1 corresponde a uma prova individual. Avaliação A2 será composta por uma nota de prova individual P2 (peso 50%) e uma nota de projeto NP (peso 50%), sendo esse último realizado em grupo de 2 alunos (número máximo), sobre os temas apresentados no Anexo I. No caso de uma turma com número ímpar de alunos, haverá um único grupo de 1 aluno para a realização do projeto. Quando da apresentação do projeto, o professor poderá arguir os alunos individualmente, razão pela qual a nota NP poderá ser atribuída diferentemente aos membros da equipe.

Os experimentos de laboratório – e respectivos relatórios - serão realizados em grupos de 2 alunos (número máximo). Cada aluno deverá entregar ao professor o Pré-Laboratório individual devidamente realizado, no início da aula de laboratório, como condição necessária para a realização da parte experimental, o qual comporá em 15% a nota final do relatório, constatando-se que o aluno tenha terminado o experimento. A folha com os dados experimentais coletados deverá ser apresentada pela equipe ao final de cada experimento para visto do professor, e deverá estar contida no relatório, como apêndice. O relatório de cada experimento, por equipe, deverá ser entregue na aula do experimento seguinte, **impreterivelmente**; caso contrário, não será considerado.

A prova de recuperação abrange a matéria total do semestre.

Os critérios para aprovação são aqueles estabelecidos pela Resolução 017/CUn/97.



Cronograma:

| Previsão de aulas teóricas | | |
|---------------------------------|-----|---|
| Data | | Assunto |
| 06/03 | sex | Amplificador a BJT/MOSFET |
| 09/03 | seg | Amplificador a BJT/MOSFET- Distorção Harmônica. |
| 16/03 | seg | Referência de Tensão/Corrente |
| 23/03 | seg | Dia não letivo |
| 30/03 | seg | Amplificador a BJT/MOSFET(multi-estágios) |
| 06/04 | seg | Amplificador a BJT/MOSFET (ruído intrínseco) |
| 13/04 | seg | Entrega Documental Inicial do projeto. Amplificador Diferencial. |
| 20/04 | seg | Dia não letivo |
| 27/04 | seg | Amplificador Diferencial. Exercícios. |
| 04/05 | seg | Prova 1 |
| 11/05 | seg | Amplificadores de Potência (classe A, classe B) |
| 18/05 | seg | Amplificadores de Potência (classe AB). |
| 25/05 | seg | Entrega Documental Intermediária do projeto. Espelhos/Fontes de Corrente. |
| 01/06 | seg | Resposta em Frequência |
| 08/06 | seg | Sistemas Realimentados |
| 15/06 | seg | Sistemas Realimentados (Exercícios) |
| 22/06 | seg | Amplificador Operacional (projeto e utilização). |
| 29/06 | seg | Osciladores |
| 06/07 | seg | Prova 2 |
| 08/07 | qua | Apresentação Projetos (parte I) |
| 10/07 | sex | Apresentação Projetos (parte II) |
| 13/07 | seg | Prova de Recuperação |
| Previsão de aulas laboratoriais | | |
| Data | | Assunto |
| 13/03 | sex | Lab 1: Amplificador a 2 estágios |
| 20/03 | sex | Lab 2: Referência de Tensão (bandgap) |
| 27/03 | sex | Lab 3: Amplificador Diferencial |
| 03/04 | sex | Lab 4: Estágios de Saída |
| 10/04 | sex | Feriado Nacional |
| 17/04 | sex | Lab 5: Amplificador de Potência |
| 24/04 | sex | Lab 6: Resposta em frequência de um amplificador (I) |
| 01/05 | sex | Feriado Nacional |
| 08/05 | sex | Lab 7: Resposta em frequência de um filtro passa-faixas a opamp (II) |
| 15/05 | sex | Lab 8 : Espelhos de Corrente |
| 22/05 | sex | Lab 9: Amplificador operacional CMOS (parte 1) |
| 29/05 | sex | Lab 9: Amplificador operacional CMOS (parte 2) |
| 05/06 | sex | Lab 10: Oscilador a Deslocamento de Fase |
| 12/06 | sex | Dia não letivo |
| 19/06 | sex | Lab 11: Filtro Ativo |
| 26/06 | sex | Lab 12: Osciladores Colpitts e Hartley |
| 03/07 | sex | Recuperação de um (1) experimento de laboratório |



Bibliografia:

- **B. Razavi, Fundamentals of Microelectronics, J. Wiley, 2006**
- **A. S. Sedra and K. C. Smith, Microelectronic Circuits, 6th ed., Oxford, 2009.**
- **R. Boylestad e L. Nashlky, Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos, 11ª Edição, Pearson**
- P.R. Gray, P. J. Hurst, S. H. Lewis and R. G. Meyer, "Analysis and Design of Analog Integrated Circuits", Fourth Edition, J. Wiley and Sons, 2001.
- D. A. Johns and K. Martin, Analog Integrated Circuit Design, J. Wiley and Sons, 1997.

NOTAS DE AULAS (Módulos):

https://drive.google.com/open?id=0B5OZPh4KR_74YjJwRXFreFVOQW8

LISTAS DE EXERCÍCIOS:

https://drive.google.com/folderview?id=0B5OZPh4KR_74flnV2ZLU3p0YVNoTjhRZWttWVFMOE9OdWNIQTJHbIJPVUF4YkdBaTNtcjg&usp=sharing

ROTEIROS DE LABORATÓRIO (+ Procedimentos de Laboratório):

<https://drive.google.com/drive/folders/1yUhWlooEcJRZlvpZFmWyJ9rQdzdiDRaR>

ARQUIVOS LTSPICE DOS ROTEIROS DE LABORATÓRIO

https://drive.google.com/drive/folders/1vv_qMvapVYSomMQEy0lnIz3nFw70JjL_-?usp=sharing

VÍDEO-AULAS

http://youtu.be/NB-Kb_ZxVEQ

<https://www.youtube.com/watch?v=F3Y6Urntvvg>

<https://youtu.be/SaaOotil-TY>

https://youtu.be/crz1_6wmXRk

<http://youtu.be/yRc5Ks4skwl>

<http://youtu.be/AAA8hswed1k>

https://youtu.be/he26uhrX_o

<http://youtu.be/p8tkvG9KqHE>

http://youtu.be/6ioQ8r_1aqo

<http://youtu.be/XjBq4-Be0t4>

http://youtu.be/_IO_ECNjE3A

<http://youtu.be/AIUJ6plKedE>

<http://youtu.be/2h1Hzeg0XNs>

http://youtu.be/Ow1m_Js-r_c



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CAMPUS UNIVERSITÁRIO REITOR JOÃO DAVID FERREIRA LIMA - TRINDADE
CEP: 88040-900 - FLORIANÓPOLIS - SC
TELEFONE (048) 3721-2262 - FAX (048) 3721-9280

SIMULADOR ELÉTRICO (versões gratuitas): *Altamente recomendado que o mesmo seja utilizado, como ferramenta de aprendizado do curso.*

LTspice

<http://www.linear.com/designtools/software>

Pspice:

<http://pspice.softonic.com.br/download>



ANEXO I

TEMAS DE PROJETO

1. Oscilador a Cristal de Micropotência
2. Oscilador linear controlado por tensão (VCO)
3. Regulador linear de tensão *Low-Dropout* (LDO)
4. Conversor DC-DC chaveado abaixador de tensão tipo “buck” (com feedback)
5. Amplificador com controle de ganho automático (com detector de amplitude)
6. Conversor DC-DC chaveado elevador de tensão tipo “booster” (a indutor e feedback)
7. Conversor DC/DC a capacitores chaveados (*charge-pump*)
8. Conversor A/D tipo “pipeline”
9. Conversor A/D tipo “dual-slope” (com interface digital)
10. Conversor A/D tipo “flash”
11. Conversor D/A tipo “segmentado”
12. Amplificador de sinais biomédicos EEG
13. Estetoscópio eletrônico
14. Controle de velocidade motores CC via modulação PWM
15. Medidor eletrônico de energia elétrica
16. Amplificador de Audio Classe-D em Ponte-H
17. Amplificador de Isolamento
18. Amplificador de Áudio Valvulado
19. Sensor de Temperatura Integrado
20. Fonte de Corrente Ajustável (0 - 20A)
21. Gerador de Formas de Onda
22. Proteção/Controle para Iluminação Pública LED
23. Amplificador Operacional MOS Integrado
24. Afinador Violão (utilizando circuitos MOS a capacitores chaveados)
25. Circuito de detecção de infravermelho
26. Umidificador de Ar Ultrassônico
27. Carregador de Baterias Íon-Li

Quanto aos tópicos de projeto, não será permitido que dois ou mais grupos escolham o mesmo tema. Assim, o procedimento para a definição do tópico será “first-come, first-served”. Neste caso, o grupo (já previamente constituído) deverá enviar sua opção preferencial de tema (mais duas opções secundárias) através de email ao endereço jader.lima@eel.ufsc.br, necessariamente, a partir de 10:00h de 10/03/2020. Apenas uma mensagem por grupo será aceita; Mensagens de diferentes membros do mesmo grupo serão sumariamente todas desconsideradas. O limite para escolha do tema é 27/03/2020, às 18:00h, após o qual os temas serão sorteados e as equipes definidas aleatoriamente pelo professor.

Obs: Alunos que já cursaram a disciplina não poderão repetir temas anteriormente por eles escolhidos.



Cronograma do Projeto:

- 1) Para a Entrega da Documentação Inicial do projeto, o grupo deverá identificar uma aplicação específica para o projeto a ser desenvolvido. Deverá propor especificações elétricas preliminares, definindo parâmetros como tensão de alimentação, frequência de operação, tensão/corrente/potência de entrada/saída, consumo máximo de potência, eficiência, linearidade (THD), precisão, intervalo de temperatura, etc. Ainda, propor uma arquitetura inicial do circuito, assim como o simulador a ser utilizado. O arquivo a ser entregue será composto no máximo por 6 slides técnicos, e enviado por email até 10h de 13/04. Uma análise do material será feita pelo professor e comunicada à equipe.
- 2) Para a Entrega da Documentação Intermediária, o grupo deverá apresentar os cálculos básicos de projeto, incluindo o dimensionamento dos componentes a serem utilizados. Resultados iniciais de simulação, mostrando a funcionalidade do circuito em condições nominais de parâmetros, são esperados. O arquivo a ser entregue será enviado por email até 10h de 25/05. Uma análise do material será feita pelo professor e comunicada à equipe.
- 3) Para a Apresentação do Projeto, o grupo deverá apresentar os resultados finais de dimensionamento do projeto e resultados de simulação que efetivamente comprovem a funcionalidade do circuito em situação nominal, assim como em condições de descasamento de componentes críticos, variações de temperatura, ruídos na alimentação, etc., ou seja, cenários que possam afetar o desempenho do circuito “no campo” devem ser explorados. Um confronto entre a tabela de especificações iniciais e os valores obtidos por simulação (consumo máximo de potência, eficiência, linearidade (THD), precisão, intervalos de utilização, etc...), deve ser apresentado, calculando os erros relativos e os pontos mais sensíveis de projeto. Analisar o que poderia ser melhorado ou re-proposto no caso de um re-projeto. Como relatório, o grupo deverá preparar um arquivo Power Point com o conteúdo acima, de maneira detalhada, e disponibilizado ao professor até 10:00h do dia 08/07, **impreterivelmente**. Um material resumido, a partir do arquivo PPT descrito, deverá ser utilizado para a apresentação final, que terá uma duração máxima de 20 minutos, sem limitação de slides.

A critério do professor, a equipe deve estar preparada para, durante a apresentação, rapidamente realizar simulações referentes ao circuito, completa ou parcialmente.

Convém salientar que a pontualidade na apresentação final é também critério de avaliação. Portanto, é sugerido ao grupo um ensaio antes da apresentação do seminário.