



PLANO DE ENSINO 2020.2 ¹

| I. IDENTIFICAÇÃO DA DISCIPLINA | | | | |
|--------------------------------|--------------------|---------------------|----------|-----------------------|
| CÓDIGO | NOME DA DISCIPLINA | HORAS-AULA SEMANAIS | | HORAS-AULA SEMESTRAIS |
| | | TEÓRICAS | PRÁTICAS | |
| EEL7319 | Circuitos RF | 2 | 2 | 72 |

| II. PROFESSOR MINISTRANTE |
|--------------------------------|
| Prof. Fernando Rangel de Sousa |

| III. PRÉ-REQUISITOS |
|-----------------------------------------------|
| EEL7053 Ondas Eletromagnéticas |
| EEL7061 Eletrônica I |
| EEL7062 Princípios de Sistemas de Comunicação |

| IV. CURSOS PARA OS QUAIS A DISCIPLINA É OFERECIDA |
|---------------------------------------------------|
| 235 - Engenharia Eletrônica (obrigatória) |
| 202 - Engenharia Elétrica (optativa) |

| V. EMENTA |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Especificação de sistemas e circuitos em RF, figuras de mérito dos circuitos RF (ganho, figura de ruído, linearidade, distorção, eficiência, etc.), ruído em circuitos RF, análise de distorção (sinais pequenos e sinais fortes), componentes passivos e ativos em RF, parâmetros de espalhamento, ábaco de Smith, técnicas de adaptação de impedância. Análise e projeto de amplificadores de baixo ruído, amplificadores de potência, misturadores e osciladores senoidais. PLL. Técnicas de simulação de circuitos RF. Práticas de laboratório. |

| VI. OBJETIVOS |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivo Geral: Desenvolver habilidades de análise e de síntese de circuitos para aplicações de radio-frequência. No laboratório os alunos se confrontarão com os aspectos práticos do projeto de circuitos RF, usando como ferramenta softwares que incluem técnicas de simulação de circuitos não-lineares, de simulação de circuitos que processam sinais modulados e de simulação eletromagnética. |

- Objetivos Específicos:** A disciplina permitirá ao aluno:
- Realizar a conexão de conteúdos de disciplinas mais fundamentais (Circuitos elétricos, Princípios de comunicação, Ondas eletromagnéticas, Eletrônica básica);
 - Desenvolver habilidades básicas em engenharia utilizando como suporte o projeto de circuitos eletrônicos dedicados ao processamento analógico de sinais de radiofrequência;
 - Compreender a relação entre especificação de sistemas de comunicação e sua implementação eletrônica;
 - Aprender a projetar circuitos RF com ruído mínimo.
 - Perceber as especificidades associadas à utilização de componentes passivos em frequências altas;
 - Desenvolver técnicas de adaptação de impedância;
 - Compreender a importância da ressonância na operação dos circuitos RF;
 - Compreender a influência do comportamento não-linear dos dispositivos eletrônicos em circuitos RF;
 - Aprender a projetar osciladores visando aplicações em síntese de frequência.

¹ Plano de Ensino adaptado, em caráter excepcional e transitório, para substituição de aulas presenciais por aulas em meios digitais, enquanto durar a pandemia de COVID19, em atenção à Resolução Normativa 140/2020/CUn



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica
CAMPUS UNIVERSITÁRIO REITOR JOÃO DAVID FERREIRA LIMA - TRINDADE
CEP: 88040-900 - FLORIANÓPOLIS - SC
TELEFONE: (48) 3721-2260 – FAX: (48) 3721-8422
E-MAIL: deel@eel.ufsc.br

VII. CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

1. Especificação de sistemas e circuitos em RF

- (a) Revisão sobre sistemas de comunicação
- (b) Revisão sobre grandezas e unidades fundamentais relacionadas aos circuitos/sistemas RF
- (c) Equação de Friss
- (d) Relação entre especificações de sistema e especificações de circuitos
- (e) Arquitetura básica dos transceptores de RF

2. Adaptação de Impedâncias

- (a) Quadripolos lineares
- (b) Coeficiente de reflexão
- (c) Parâmetros S
- (d) Ábaco de Smith
- (e) Técnicas de adaptação de impedância
- (f) Síntese de redes de adaptação de impedância
- (g) Extração de parâmetros de quadripolo em simuladores

3. Componentes passivos em RF

- (a) Fator Q
- (b) Ressonância
- (c) Modelos de componentes passivos localizados
- (d) Conexões, Resistores, Indutores e Capacitores em altas frequências
- (e) Impacto de imperfeições dos componentes na performance de circuitos
- (f) Modelagem de componentes passivos com o auxílio de simuladores
- (g) Simulação de Monte-Carlo

4. Amplificadores de ruído mínimo (LNA)

- (a) Ruído em dispositivos eletrônicos
- (b) Relação sinal-ruído
- (c) Figura/Fator de ruído
- (d) Figura/Fator de ruído de blocos em cascata
- (e) Figura/Fator de ruído de amplificadores
- (f) Projeto e simulação de amplificadores de ruído mínimo

5. Efeitos da não-linearidade em dispositivos e circuitos eletrônicos

- (a) Análise de circuitos não-lineares excitados com sinais pequenos
- (b) Métricas para avaliação de distorção em circuitos fracamente não-lineares
- (c) Análise de distorção em circuitos com realimentação negativa
- (d) Análise de circuitos não-lineares excitados com sinais fortes
- (e) Projeto de amplificadores não-lineares
- (f) Circuitos Misturadores
- (g) Simulação de circuitos não-lineares com o método do equilíbrio harmônico



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica
CAMPUS UNIVERSITÁRIO REITOR JOÃO DAVID FERREIRA LIMA - TRINDADE
CEP: 88040-900 - FLORIANÓPOLIS - SC
TELEFONE: (48) 3721-2260 – FAX: (48) 3721-8422
E-MAIL: deel@eel.ufsc.br

6. Osciladores

- (a) Critérios de Barkhausen
- (b) Resistência negativa
- (c) Funções descritivas
- (d) Osciladores de três pontos
- (e) Osciladores baseados em resistência negativa
- (f) Ruído de fase de osciladores
- (g) PLLs e síntese de frequência
- (h) Simulação de osciladores

7. Amplificadores de potência

- (a) Métricas para avaliação de amplificadores de potência
- (b) Análise de estabilidade
- (c) Classes de amplificadores RF
- (d) Topologias de amplificadores RF de potência
- (e) Técnicas de linearização de amplificadores de potência RF
- (f) Projeto de amplificadores de potência eficientes

VIII. METODOLOGIA

Metodologia de ensino : A disciplina compreende aulas teóricas e atividades em laboratório. O conteúdo teórico será desenvolvido por meio de aulas expositivas com auxílio de recursos multimídia diversos. As atividades de laboratório compreenderão sessões onde o aluno será confrontado com problemas práticos e deverá buscar soluções no contexto da disciplina. Haverá sessões guiadas e sessões destinadas à execução de projetos. A plataforma Moodle será utilizada para comunicação entre docente e alunos.

Metodologia de ensino adaptada em função da pandemia de COVID-19: a metodologia original foi remodelada da seguinte maneira:

- (a) A plataforma de interação com os alunos continuará sendo o Moodle.
- (b) A comunicação entre docente e discentes deverá ser realizada exclusivamente através dos fóruns disponibilizados na plataforma Moodle.
- (c) As atividades serão desenvolvidas nas modalidades síncronas e assíncronas.
- (d) As interações síncronas acontecerão sempre no horário convencional da disciplina e serão utilizadas principalmente para resolução de exercícios, discussão sobre dúvidas dos discentes, além de eventuais aulas expositivas e/ou apresentação de trabalhos.
- (e) As aulas síncronas serão (re)marcadas sempre com uma semana de antecedência.
- (f) As aulas síncronas serão desenvolvidas com o apoio de software webconferência informado através da plataforma Moodle.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica
CAMPUS UNIVERSITÁRIO REITOR JOÃO DAVID FERREIRA LIMA - TRINDADE
CEP: 88040-900 - FLORIANÓPOLIS - SC
TELEFONE: (48) 3721-2260 – FAX: (48) 3721-8422
E-MAIL: deel@eel.ufsc.br

- (g) As atividades assíncronas serão propostas semanalmente, podendo ser baseadas em recomendação de leitura ou de vídeos elaborados pelo docente ou por terceiros, etc.
- (h) Semanalmente (ou outra periodicidade definida ao longo do semestre) serão passadas listas de exercício acompanhadas de roteiros de experimentos. Os roteiros resultarão em relatórios a serem entregues em datas definidas de acordo com a dimensão das atividades.
- (i) O simulador de circuitos "Open Source" QUCStudio (OS Windows) ou QUCS (OS Linux) será a principal ferramenta de simulação utilizada ao longo do curso, em substituição ao software ADS Keysight.

IX. ATIVIDADES PRÁTICAS

As atividades de laboratório serão executadas pelos discentes com o auxílio do simulador de circuitos "Open Source" QUCStudio (OS Windows) ou QUCS (OS Linux). O link para "download" será colocado na plataforma Moodle.

X. AVALIAÇÃO E CONTROLE DE FREQUÊNCIA

Assiduidade: Enquanto durar a pandemia, o registro de frequência se dará a partir da observação do registro de atividades na plataforma Moodle e da assiduidade na entrega de tarefas conforme estabelecido no roteiro de estudos disponibilizado na plataforma Moodle.

Avaliação: As listas de exercício, os relatórios de atividades práticas e o projeto final serão utilizados para aferição de desempenho dos estudantes.

XI. LEGISLAÇÃO

Não será permitido gravar, fotografar ou copiar as aulas disponibilizadas no Moodle. O uso não autorizado de material original retirado das aulas constitui contrafação – violação de direitos autorais – conforme a Lei nº 9.610/98 – Lei de Direitos Autorais.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica
CAMPUS UNIVERSITÁRIO REITOR JOÃO DAVID FERREIRA LIMA - TRINDADE
CEP: 88040-900 - FLORIANÓPOLIS - SC
TELEFONE: (48) 3721-2260 – FAX: (48) 3721-8422
E-MAIL: deel@eel.ufsc.br

BIBLIOGRAFIA BÁSICA PARA O PERÍODO EXCEPCIONAL

- [1] W. Alan Davis, Radio Frequency Circuit Design, Second Edition, Wiley, 2010. (Acessível PARA CONSULTA a partir do portal de periódicos da BU-UFSC)
- [2] Steer, Michael. Microwave and RF Design (Third Edition, 2019). NC State University, 2019.(Licença CC BY-NC 4.0, acessível a partir do link <https://uncpress.org/book/9781469656885/fundamentals-of-microwave-and-rf-design/>).
- [3] Material disponibilizado na plataforma Moodle.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

- [4] J.W.M. rogers, C. Plett, "Radio Frequency Integrated Circuit Design", Second Edition, Artech House, 2010.
- [5] B. Razavi, "RF Microelectronics", Second Edition, Prentice Hall, 2011.
- [6] Thomas Lee; "The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits", 2nd ed, Cambridge University Press, 2004.
- [7] Bosco Leung; "VLSI for Wireless Communication", Prentice Hall, 2002.
- [8] R. Ludwig, P. Bretchko; "RF Circuit Design- Theory and applications"; Prentice Hall, 2000.
- [9] Chris Bowick, "RF Circuit design", 2nd edition, Newnes, 2008.
- [10] G.Hueber, A.M. Niknejad, "Millimeter-Wave Circuits for 5G and Radar", Cambridge University Press, 2019.
- [11] Donald O. Pederson, Kartikeya Mayaram, "Analog Integrated Circuits for Communication: Principles, Simulation and Design", Springer, 2nd edition, 2007.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica
CAMPUS UNIVERSITÁRIO REITOR JOÃO DAVID FERREIRA LIMA - TRINDADE
CEP: 88040-900 - FLORIANÓPOLIS - SC
TELEFONE: (48) 3721-2260 – FAX: (48) 3721-8422
E-MAIL: deel@eel.ufsc.br

CRONOGRAMA DE AULAS

| Data | Estratégia de aula | Conteúdo |
|-------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 01/02 | Síncrona | Apresentação do curso e do simulador QUCStudio |
| 03/02 | Assíncrona | Atividades de revisão |
| 08/02 | Síncrona | Parâmetros de espalhamento |
| 10/02 | Assíncrona | Atividades sobre parâmetros de espalhamento + Ábaco de Smith |
| 17/02 | Assíncrona | Atividades sobre componentes passivos em RF |
| 22/02 | Síncrona | Componentes passivos em RF / Adaptação de impedância |
| 24/02 | Assíncrona | Atividades sobre adaptação de impedância |
| 01/03 | Síncrona | Ruído em circuitos RF |
| 03/03 | Assíncrona | Atividades sobre ruído em circuitos RF |
| 08/03 | Síncrona | Projeto de LNA |
| 10/03 | Assíncrona | Atividades sobre projeto de LNA |
| 15/03 | Síncrona | Simulação de um LNA |
| 17/03 | Assíncrona | Atividades sobre projeto de LNA |
| 22/03 | Síncrona | Distorção em circuitos RF não-lineares (sinais fracos) |
| 24/03 | Assíncrona | Atividades sobre métricas de distorção em circuitos RF (sinais fracos) |
| 29/03 | Síncrona | Análise de distorção e estabilidade em LNA |
| 31/03 | Assíncrona | Atividades sobre análise de estabilidade em LNA |
| 05/04 | Síncrona | Distorção em Circuitos RF não-lineares (sinais fortes) |
| 07/04 | Assíncrona | Atividades sobre análise de distorção em circuitos RF não-lineares (sinais fortes) |
| 12/04 | Síncrona | Osciladores RF |
| 14/04 | Assíncrona | Atividades sobre osciladores RF |
| 19/04 | Síncrona | PLLs e Sintetizadores de Frequência |
| 26/04 | Síncrona | Amplificadores de potência |
| 28/04 | Assíncrona | Atividades sobre projeto de amplificadores de potência |
| 03/05 | Síncrona | Circuitos misturadores |
| 05/05 | Assíncrona | Atividades sobre circuitos misturadores |
| 10/05 | Síncrona | Discussão sobre projeto final |
| 12/05 | Assíncrona | Atividades relativas ao projeto final |
| 17/05 | Síncrona | Apresentação do projeto final |
| 19/05 | Síncrona | Apresentação do projeto final (continuação) |