

ELETRÔNICA – III ENG04038

Eric Ericson Fabris
Eric.Fabris@ufrgs.br

ENG-04038 – ELETRÔNICA III

Informações Gerais

- Professor: Eric Ericson Fabris
 - » Eric.Fabris@ufrgs.br
 - » Gabinete: DELET – Sl. 302
II – Sl. 227
 - » Ramais: 3308 4272 e 3308 7023
- Site da Disciplina: www.ece.ufrgs.br/~fabris

ENG-04038 – ELETRÔNICA III

Informações Gerais

- **Descrição do curso**
 - TJB e MOSFET
 - Análise completa de circuitos transistorizados
 - Distorção, realimentação, estabilidade e compensação
 - Estrutura interna de amplificadores operacionais
 - Filtros ativos de tempo contínuo e a capacitor chaveado
 - Ruído intrínseco em dispositivos eletrônicos
 - PLL e amplificador Lock-In
 - Técnicas de projeto e simulação
- **Objetivos**
 - Aprender os princípios básicos de projetos de blocos analógicos empregando tecnologia CMOS.
- **Pré-requisitos (desejáveis)**
 - Conhecimentos básicos de circuitos elétricos e eletrônica básica, modelo de pequenos sinais e resposta em frequência.

ENG-04038 – ELETRÔNICA III

Informações Gerais

Objetivos

- Capacitar os alunos para projeto de circuitos transistorizados de um e de múltiplos estágios empregando TJB e MOSFET. Analisar aspectos de resposta transientes, resposta em frequência e estabilidade, distorção, ruído e técnicas de simulação.
 - Analisar a estrutura interna de amplificadores operacionais.
 - Complementar a formação quanto ao emprego de amplificadores operacionais, incluindo a resposta dinâmica e em frequência.
 - Introduzir algumas técnicas de projeto de filtros analógicos tanto de tempo contínuo como de tempo discreto (filtros a capacitor chaveado).
 - Descrever e projetar circuitos do tipo PLL e amplificadores Lock-In.
- **Pré-requisitos**
 - Conhecimentos básicos de circuitos elétricos e eletrônica básica, modelo de pequenos sinais e resposta em frequência.

ENG-04038 – ELETRÔNICA III

Bibliografia

- Notas de aula.
- Sedra/Smith
Microelectrônica 4/e
- Material complementar fornecido e indicado pelo professor.

ENG-04038 – ELETRÔNICA III

Avaliação

- Duas Provas – 60%
- Problemas propostos – 10%
- Um projeto – 30%
 - Objetivo: exploração do espaço de projeto envolvendo desempenho. Busca-se também a familiarização com técnicas de simulação elétrica analógica.
 - Técnicas de laboratório para avaliação de desempenho de circuitos analógicos ou mistos.

ENG-04038 – ELETRÔNICA III

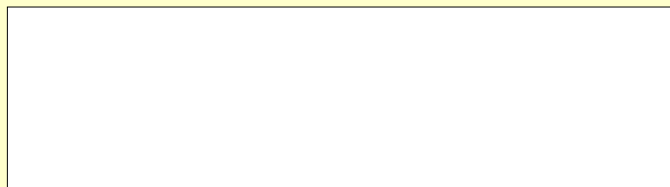
Ferramentas de CAD

- Simulação elétrica – Spice Opus (Shareware)
- As ferramentas serão distribuídas após a definição da tecnologia a ser utilizada para prototipação.
- Suporte técnico:



ENG-04038 – ELETRÔNICA III

Introdução



ENG-04038 – ELETRÔNICA III

Quando se fala em circuito analógico, o que vem a sua cabeça?

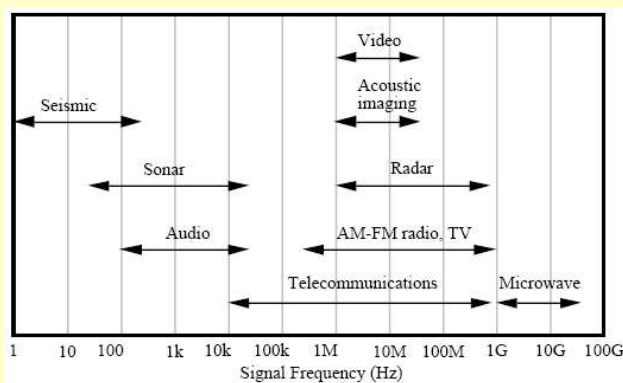
Seja honesto... Por acaso é isto



ENG-04038 – ELETRÔNICA III

Processamento de Sinais

Largura de banda de sinais normalmente utilizados em processamento



ENG-04038 – ELETRÔNICA III

Introdução

Porque circuitos (integrados) analógicos ou de sinais mistos?

- Início anos '80 muitos projetistas previam a morte dos circuitos analógicos... Circuitos digitais englobariam o processamento analógico. **Não se confirmou...**
- O mundo é analógico. Mas, hoje em dia, a maior parte do processamento e armazenamento de sinais é digital. É necessário ir de uma forma de representação para outra (Conversores A/D e D/A).

ENG-04038 – ELETRÔNICA III

Introdução – Porque Analógico?

- Questões de consumo de potência.
- Aplicações portáteis.
- Mesmo com a extraordinária evolução tecnológica, há aplicações complexas e de alto desempenho que é praticamente impossível realizá-las empregando um circuito puramente digital. Ex.: Sinais naturais, comunicações digitais, transceptores de sem fio, comunicações ópticas, sensores...

ENG-04038 – ELETRÔNICA III

Introdução – Analógico X Digital

Sinal Analógico

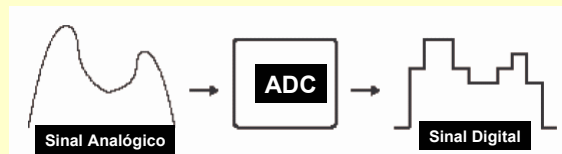
Pode assumir qualquer valor dentro da faixa dinâmica



Sinal Digital

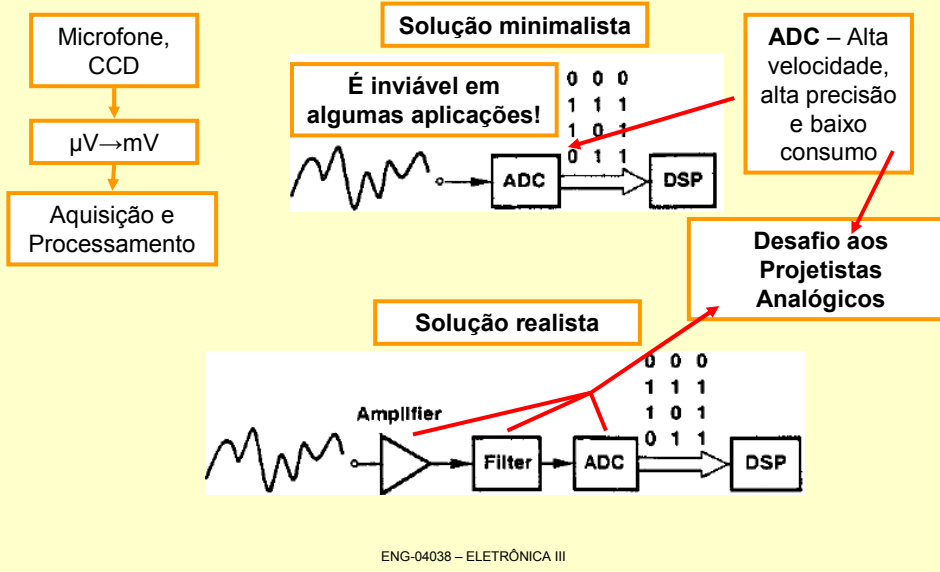
Pode assumir um número finito de valores dentro da faixa dinâmica

Interface de sinais mistos
ADC / DAC



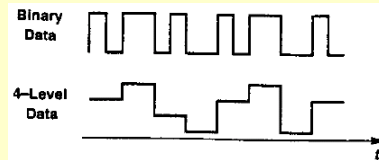
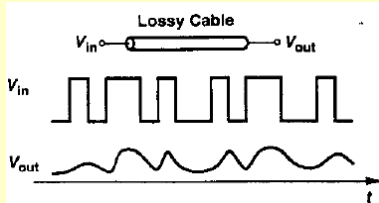
ENG-04038 – ELETRÔNICA III

Introdução – Porque Analógico?



Introdução – Porque Analógico?

Comunicações Digitais

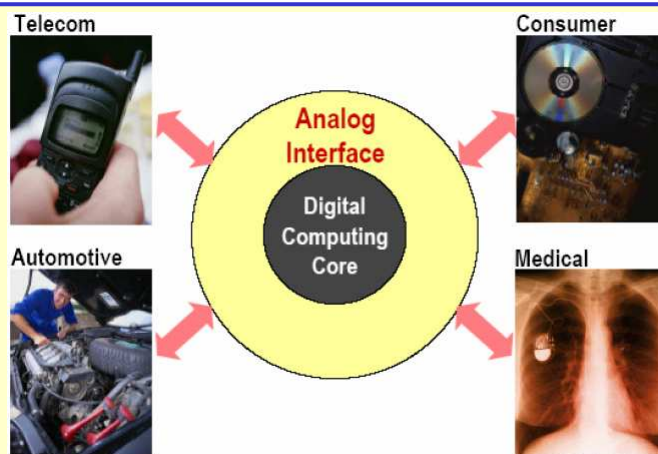


- Dados binários deve ser transmitidos em longas distâncias
- Sinal sofre distorção e atenuação
- Perde sua semelhança com o sinal original
- Solução?
- Transmissão multi-nível
- Melhorar qualidade da comunicação
- Redução de largura de banda
- DAC (T) e ADC (R)
- Resolução x BW!

ENG-04038 – ELETRÔNICA III

Introdução

Sistemas modernos tem interfaces analógicas



ENG-04038 – ELETRÔNICA III

Digital X Analógico

Vantagens dos sistemas digitais

- Baixa sensibilidade à ruído
- Alta flexibilidade e programabilidade
 - FPGA...
- Vasta gama de ferramentas automatizadas para projeto e teste
- Escalonamento para as tecnologias VLSI

Desvantagens dos sistemas digitais

- Necessidade de conversores de dados de alta performance
- Resolução, potência e velocidade do conversores (DAC e ADC) podem limitar o desempenho global do sistema

Circuitos Analógicos

Por que o projeto de Circuitos ou Sistemas Analógicos é normalmente mais complexo?

Há muitos blocos analógicos:

- Amplificadores, *buffers*, comparadores, osciladores
- Reguladores de tensão e corrente
- Conversores
- Circuitos condicionadores e de sensoriamento
- Filtros analógicos
- Células de Memória, registradores
- PLL, VCO
- ...

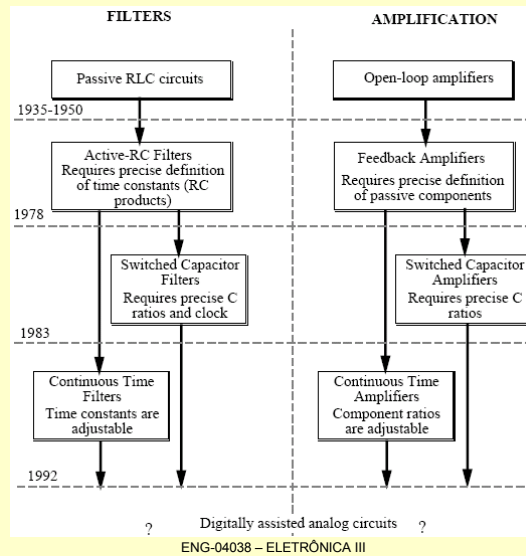
ENG-04038 – ELETRÔNICA III

Sistemas Mistos A & D

- Possuem tanto blocos digital como analógicos
- Representam em torno de 65% da indústria de semicondutores
- “SOC – Systems-On-Chip”: projeto desafiador...
Principalmente quando A & D no mesmo CI
- ADC e DAC são os blocos chave
- Ruído... Dor de cabeça... Acoplamento pelo substrato
- Exemplos: Câmeras digitais CMOS, radios *bluetooth*, Transceiver de radio CMOS ...

ENG-04038 – ELETRÔNICA III

Projeto Analógico no Tempo



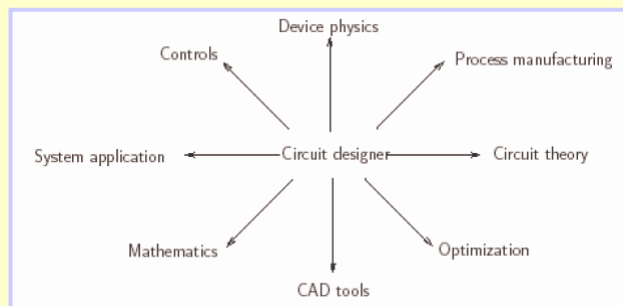
Projeto Analógico Discreto x Integrado

Activity/Item	Discrete	Integrated
Component Accuracy	Well known	Poor absolute accuracies
Breadboarding?	Yes	No (kit parts)
Fabrication	Independent	Very Dependent
Physical Implementation	PC layout	Layout, verification, and extraction
Parasitics	Not Important	Must be included in the design
Simulation	Model parameters well known	Model parameters vary widely
Testing	Generally complete testing is possible	Must be considered before the design
CAD	Schematic capture, simulation, PC board layout	Schematic capture, simulation, extraction, LVS, layout and routing
Components	All possible	Active devices, capacitors, and resistors

ENG-04038 – ELETRÔNICA III

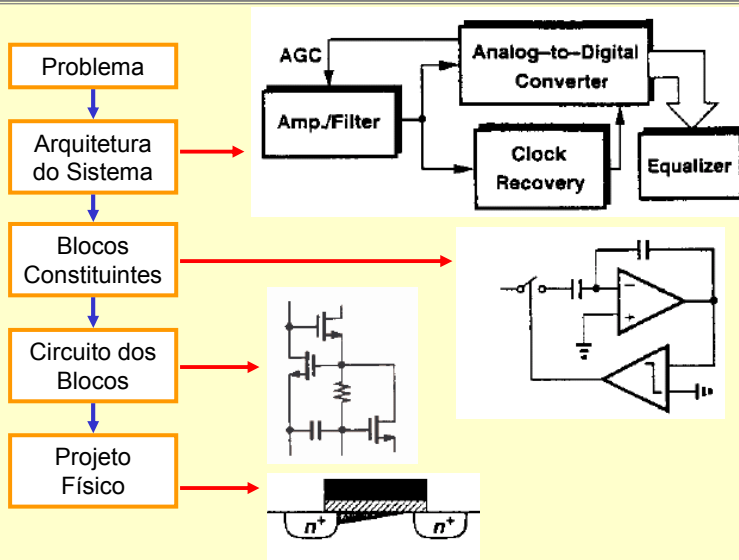
Projeto de Sistemas Analógicos

- Os projetista de circuitos analógicos empregam diversos níveis de abstração:
 - Nível de sistema, nível de circuito e nível de dispositivo
Top-down design
- Bons projetistas analógicos precisam conhecer muitas coisa, ter intuição, rigor na análise e criatividade



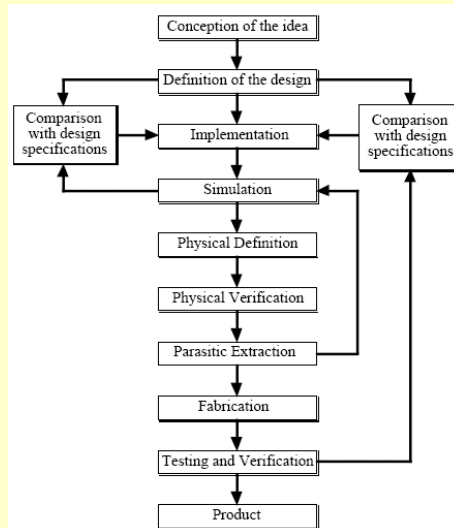
ENG-04038 – ELETRÔNICA III

Metodologia de Projeto Analógico



ENG-04038 – ELETRÔNICA III

Metodologia de Projeto Analógico



ENG-04038 – ELETRÔNICA III

Comparação Projeto Digital x Analógico

Analog Circuits	Digital Circuits
Signals are continuous in amplitude and can be continuous or discrete in time	Signal are discontinuous in amplitude and time - binary signals have two amplitude states
Designed at the circuit level	Designed at the systems level
Components must have a continuum of values	Component have fixed values
Customized	Standard
CAD tools are difficult to apply	CAD tools have been extremely successful
Requires precision modeling	Timing models only
Performance optimized	Programmable by software
Irregular block	Regular blocks
Difficult to route automatically	Easy to route automatically
Dynamic range limited by power supplies and noise (and linearity)	Dynamic range unlimited

ENG-04038 – ELETRÔNICA III

Metodologia de Projeto de Circuitos

- Os circuitos digitais empregam muitos transistores, mas as relações de compromisso entre potência e área são altamente automatizadas
- Os circuitos analógicos não precisam de muitos transistores, mas... **experiência**... Muitas relações de compromisso (ganho, distorção, potência, velocidade,...) e requer habilidade do projetista
- **Habilidade se adquire projetando**
- Projeto dos circuitos = “arte” & experiência
- Análise de circuitos = “arte” em quebrar um circuito grande em blocos menores de menor complexidade.

ENG-04038 – ELETRÔNICA III

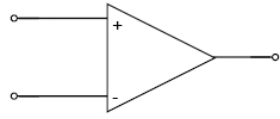
Projetista analógicos

- Mão de obra escassa!
- Boas oportunidades!
- Alta demanda para projetistas de “*mixed-signal systems*”

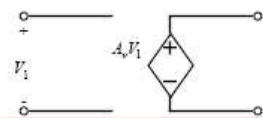
ENG-04038 – ELETRÔNICA III

Notação

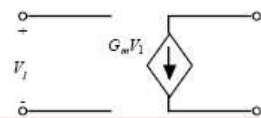
Amplificador Operacional / OTA



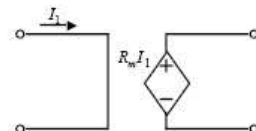
Fonte de Tensão e Corrente



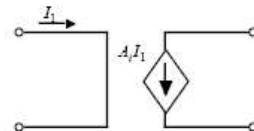
Fonte de Tensão Controlada por Tensão – VCVS



Fonte de Corrente Controlada por Tensão – VCCS



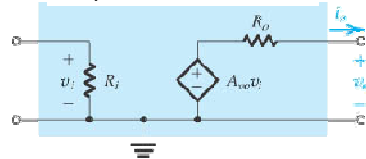
Fonte de Tensão Controlada por Corrente – CCVS



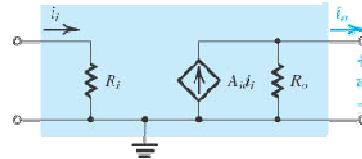
Fonte de Corrente Controlada por Tensão – VCCS

Os quatro tipos básicos de amplificadores

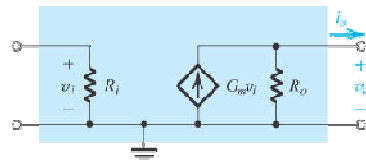
Amplificador de Tensão



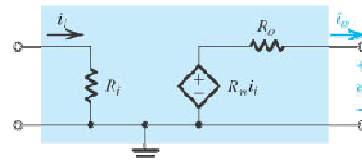
Amplificador de Corrente



Amplificador de Transcondutância



Amplificador de Transresistência



ENG-04038 – ELETRÔNICA III