



1. Caracterização da Unidade Curricular

1.1 Designação

[4108] Projeto de Circuito Integrado / Integrated Circuit Design

1.2 Sigla da área científica em que se insere

AE

1.3 Duração

Unidade Curricular Semestral

1.4 Horas de trabalho

162h 00m

1.5 Horas de contacto

Total: 67h 30m das quais T: 22h 30m | TP: 22h 30m | P: 22h 30m

1.6 ECTS

6

1.7 Observações

Unidade Curricular Opcional

2. Docente responsável

[1254] João Manuel Ferreira Martins

3. Docentes e respetivas cargas letivas na unidade curricular

Não existem docentes definidos para esta unidade curricular

4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes)

Os estudantes que terminam com sucesso esta unidade curricular serão capazes de:

1. Conhecer as tecnologias full-custom usadas no desenvolvimento de circuitos integrados CMOS.
2. Compreender os assuntos relacionados com os componentes básicos - transistor, resistência, condensador, bobine: concretização física; utilização em circuitos; e caracterização para projecto.
3. Aplicar as técnicas de projecto: especificação, caracterização, modelação, desenho, verificação e simulação a níveis diversos.
4. Dominar as ferramentas e o fluxo das tarefas de projecto.
5. Projectar um circuito integrado personalizado.



**4. Intended learning outcomes
(knowledge, skills and
competences to be developed
by the students)**

Students who successfully complete this course will be able to:

1. Recognise the full-custom technologies used in the development of CMOS integrated circuits.
2. Understand the issues related to the basic electronic components - transistor, resistor, capacitor, and inductor: physical implementation; use in circuits; and characterisation for the design.
3. Apply the design techniques: specification, characterization, modelling, verification and simulation at various levels.
4. Mastering the design tools and the design flow of the project tasks.
5. Design a custom integrated circuit.

5. Conteúdos programáticos

- I. Sistemas de produção de circuitos integrados full-custom. Fabrico CMOS. Processos: wafer, oxidação térmica, dopagem, fotolitografia, remoção e deposição de filmes finos. Integração do processo CMOS: FEOL-front end of line, BEOL-back end of line.
- II. Aspectos e técnicas de implantação física. MOSFET: operação/tecnologia. Modelos para projectos analógico e digital. Circuitos básicos analógicos e digitais. Circuitos mistos. Novas tecnologias.
- III. Ferramentas e fluxo de projecto: editores de esquemático e de implantação física; verificação geométrica e critérios de projecto; validação; parâmetros eléctricos; vários tipos de simulação electrónica. Espaço/tempo/potência. Escalonamento. Abordagem a ruído, a colocação e interligação automáticas e a teste de circuitos.
- IV. Projecto de circuitos mistos e bolachas multi-projecto. Projecto de um circuito integrado personalizado. Desenho, caracterização e modelação de células básicas. Modelos de atraso. Metodologia de projecto meet-in-the-middle.

5. Syllabus

- I. Production systems for full-custom integrated circuits. CMOS manufacturing. Processes: wafer, thermal oxidation, doping, photolithography, removal and deposition of thin films. Integration of the CMOS process: FEOL front-end of line, BEOL back-end of line.
- II. Technical aspects of layout. MOSFET: technology and operation. Models for analog and digital design. Basic analog and digital circuits. Mixed circuits. New technologies.
- III. Tools and project design flow: schematics and layout editors; geometric verification and design criteria; validation; electrical parameters; various types of electrical simulation. Area / time / power. Scaling. Approach to noise, automatic placement and interconnection, and test of circuits.
- IV. Design of mixed circuits and multi-project wafers. Design of a custom integrated circuit. Design, characterization and modelling of basic cells. Delay models. Meet-in-the-middle design methodology.



6. Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular

Familiarização com as tecnologias full-custom usadas no desenvolvimento de ASIC. Projecto de circuitos integrados personalizados associados à indústria da microelectrónica, visando a produção de dispositivos vocacionados.

A base (II) para a compreensão dos circuitos CMOS é apresentada e discutida ao longo do semestre de modo a abranger as fases de projecto e fabrico de circuitos integrados (1 e 2). Em momentos oportunos são referidos os passos de fabrico e a caracterização física (I) que determinam algumas opções de projecto. Os aspectos de projecto explorados pelas ferramentas e tecnologias disponíveis (III e IV) permitem a compreensão das técnicas de projecto (3 e 4) e como objectivo final a realização de circuitos integrados (5).

6. Evidence of the syllabus coherence with the curricular unit's intended learning outcomes

Familiarization with the technologies used in full-custom ASIC development. Design of custom integrated circuits associated with the microelectronics industry, aiming at the production of application specific devices.

The ground (II) for the understanding of CMOS circuits is presented and discussed throughout the semester, to cover the phases of design and manufacture of integrated circuits (1 and 2). At opportune times, the manufacturing steps and the physical characterization (I) are referred, as these steps determine some design options. Design issues are explored with the help of design tools and with the help of available technologies (III and IV), and they allow the understanding of the design techniques (3 and 4), and, as a final objective, the realisation of integrated circuits (5).

7. Metodologias de ensino (avaliação incluída)

4,5 horas de aulas semanais teórico-práticas.

Avaliação com 2 trabalhos práticos (TP) de grupo de 2 ou 3 estudantes.

TP1 (50%): estudo e comparação por simulação de duas tecnologias CMOS, a partir dos modelos SPICE dos MOSFET.

TP2 (50%): pequeno projeto de circuito integrado ? especificação e esquemático, simulação, layout e verificação ? todas as fases do fluxo de projeto.

Avaliação para cada TP: ficheiros de projeto e relatório final, com discussão final.

Apoio para: aprendizagem das ferramentas de estudo e de projeto; simulação para caracterização de tecnologias e os seus parâmetros essenciais para projetos analógico e digital; layout de circuitos CMOS com toolkit de fabricante; estudo dos tipos de simulação que estabelecem a correção de um circuito para produção.

Utilização de ferramentas de projeto comerciais e outras de índole pedagógica.

A UC tem uma avaliação distribuída sem exame final. Todas as componentes de avaliação são consideradas pedagogicamente fundamentais.

**7. Teaching methodologies
(including assessment)**

4.5 hours of weekly theoretical-practical classes.

Assessment with 2 practical assignments (TP) for groups of 2 or 3 students.

TP1 (50%): study and comparison by simulation of two CMOS technologies, based on SPICE models of MOSFETs.

TP2 (50%): a small design of an integrated circuit ? specification and schematic, simulation, layout, and verification ? all phases of the design flow.

Assessment for each TP: design files and final report, with final discussion.

Support for: learning of the design tools; simulation to characterize technologies and their key parameters for analog and digital design; layout of CMOS circuits with a manufacturer toolkit; study of the types of simulation that establish the correctness of a circuit for production.

Use of commercial design tools and other pedagogical tools.

The course unit has a distributed assessment without a final exam. All assessment components are considered pedagogically fundamental.

**8. Demonstração da coerência
das metodologias de ensino
com os objetivos de
aprendizagem da unidade
curricular**

Nas aulas teóricas e teórico-práticas são expostos os conteúdos programáticos e promove-se a interação com os estudantes e o seu sentido crítico e de exploração. Não existem pré-requisitos muito exigentes: parte-se das bases de electrónica adquiridas pelos estudantes e pretende-se alcançar a compreensão das opções e das fases de projecto de circuitos integrados CMOS. Exploram-se ligações a outras unidades curriculares.

Os tópicos fundamentais (1 e 2) são essencialmente apresentados e discutidos nas aulas teóricas. Este estudo aponta para as decisões de projecto e para a introdução das tarefas de desenho/especificação e simulação (3 e 4), que têm o apoio das aulas práticas e das aulas de laboratório, com exemplos e também com o apoio aos trabalhos de avaliação do aluno na unidade curricular.

O circuito electrónico seleccionado para o trabalho principal de avaliação na UC é de livre escolha pelo aluno ou proposto pelo docente. As especificações do circuito são discutidas entre o grupo de alunos e o docente. O enunciado do projecto é assim debatido e confirmado para a avaliação.

O trabalho dos estudantes tem algum acompanhamento por parte do docente fora das horas de contacto semanais fixas, em especial o projecto final do circuito integrado (5).

8. Evidence of the teaching methodologies coherence with the curricular unit's intended learning outcomes

Syllabus is exposed in theoretical and practical lectures, promoting the interaction with students, their critical sense, and research motivation. There are no very demanding prerequisites: from electronics fundamentals acquired by students, the course aims to achieve an understanding of the options and phases for the design of CMOS integrated circuits. The course explores and promotes links to other courses of the master degree.

The fundamental course topics (1 and 2) are essentially presented and discussed in the theoretical lectures. This study points to the design decisions, and to the introduction of specification and simulation tasks (3 and 4), that have the support of practical and laboratory lectures, with examples and with support to the work of the student in this course.

The electronic circuit selected for the main assessment work is freely chosen by the student or proposed by the teacher. The circuit specifications are discussed between the students of each group and the teacher. The project statement is thus debated and confirmed for evaluation.

Students' work has some monitoring by the teacher outside of contact hours, weekly fixed, especially the final design project of an integrated circuit (5).

9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória

Jacob Baker, "CMOS: Circuit Design, Layout, and Simulation", Wiley-IEEE, 4e 2019.
Harry Veendrick, "Nanometer CMOS ICs: from basics to ASICs?", Springer, 2e 2017.
Yannis Tsvividis, "Operation and Modelling of the MOS Transistor", Oxford Un. Pr., 3e 2012.
William Liu, "MOSFET Models for SPICE Simulation Including BSIM3v3 and BSIM4?", Wiley-IEEE, 2008.
David Binkley, "Tradeoffs and Optimization in Analog CMOS Design?", Wiley-Blackwell, 2008.
E. Sicard, S. Bendhia, "Advanced CMOS Cell Design?", McGraw-Hill, 2007.
Jan Rabaey, A. Chandrakasan, B. Nikolic, "Digital Integrated Circuits: A Design Perspective", Prentice-Hall, 2e 2003.
Paul Gray, Paul Hurst, Stephen Lewis, Robert Meyer, "Analysis and Design of Analog Integrated Circuits", Wiley, 5e 2009.
Wayne Wolf, "Modern VLSI Design: IP-Based Design", Prentice-Hall, 4e 2009.
Neil Weste, David Harris, "CMOS VLSI Design: A Circuits and Systems Perspective", Addison Wesley, 4e 2010.
Jacob Baker, "CMOS: Mixed-Signal Circuit Design?", Wiley-IEEE, 2e 2008.

10. Data de aprovação em CTC «INFORMAÇÃO NÃO DISPONIVEL»

11. Data de aprovação em CP «INFORMAÇÃO NÃO DISPONIVEL»