

Ficha de Unidade Curricular – (Versão A3ES 2018-2023)

1. Caracterização da Unidade Curricular.

- 1.1. **Designação da unidade curricular** (1.000 carateres).
Projeto de Circuito Integrado (substitui -> Microeletrónica)
- 1.2. **Sigla da área científica em que se insere** (100 carateres).
MEET : AE
- 1.3. **Duração¹** (100 carateres).
Semestral
- 1.4. **Horas de trabalho²** (100 carateres).
162 h
- 1.5. **Horas de contacto³** (100 carateres).
Total = 67,5 ; T= 22,5 ; TP=22,5 ; PL=22,5
- 1.6. **ECTS** (100 carateres).
6 ECTS
- 1.7. **Observações⁴** (1.000 carateres).
Unidade curricular optativa
- 1.7. **Remarks** (1.000 carateres).
Optional course

2. Docente responsável e respetiva carga letiva na Unidade Curricular (preencher o nome completo) (1.000 carateres). João Manuel Ferreira Martins / 67,5 h

3. Outros docentes e respetivas cargas letivas na unidade curricular (1.000 carateres). Não se aplica

4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes). (1.000 carateres).

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 - transístor, 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). (1.000 characters).

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 (1.000 carateres).

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 (1.000 characters).

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 (1.000 caracteres).

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 (1.000 characters).

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) (1.000 caracteres).

Avaliação com 4 trabalhos (TP):

- TP1 (10%): 2/3 exercícios de introdução aos assuntos em estudo (individual);

- TP2 (30%): estudo por simulação de duas tecnologias CMOS, a partir dos modelos SPICE dos MOSFET (grupo);

- TP3 (50%): pequeno projecto de circuito integrado: especificação e esquemático, simulação, layout e verificação - todas as fases do fluxo de projecto (grupo);

- TP4 (10%): uma apresentação - tema / leituras seleccionados (individual).

Aulas teórico-práticas e de laboratório com apoio a: aprendizagem das ferramentas; simulação para caracterização de tecnologias e os seus parâmetros essenciais para projectos analógico e digital; layout de circuitos CMOS com *toolkit* de fabricante; estudo dos tipos de simulação que estabelecem a correcção de um circuito para produção.

Apresentações convidadas de especialistas. Utilização de ferramentas de projecto comerciais e outras de índole

pedagógica.

7. Teaching methodologies (including assessment) (1.000 characters).

Assessment with 4 practical works (TP):

- TP1 (10%): 2/3 simple assignments - introduction to the subjects under study (individual);
- TP2 (30%): simulation study of two CMOS technologies, based on SPICE models of MOSFETs (group);
- TP3 (50%): a small design of an integrated circuit: specifications and schematics, simulation, layout, verification - design flow (group);
- TP4 (10%): a presentation - selected topic/readings (individual).

The practical and lab classes with support for: learning of software tools; simulations for the characterisation of CMOS technologies, and their key parameters for analog and digital design; layout of CMOS circuits, with the tool-kit of a manufacturer; study of different types of simulations to establish the correctness of a circuit for production.

Invited presentations from experts. Use of commercial design tools and other tools with a more pedagogical emphasis.

8. Demonstração da coerência das metodologias de ensino com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular (3.000 carateres).

Nas aulas teóricas e teórico-práticas são expostos os conteúdos programáticos e promove-se a interacção 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 (3.000 characters).

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 (1.000 carateres).

Jacob Baker, "CMOS: Circuit Design, Layout, and Simulation", Wiley-IEEE, 3e 2010.

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.

¹ Anual, semestral, trimestral, ...

² Número total de horas de trabalho.

³ Discriminadas por tipo de metodologia adotado (T - Ensino teórico; TP - Ensino teórico-prático; PL - Ensino prático e laboratorial; TC - Trabalho de campo; S - Seminário; E - Estágio; OT - Orientação tutorial; O - Outro).

⁴ Assinalar sempre que a unidade curricular seja optativa.