



## Resumo Expandido

<b>Título da Pesquisa (Português):</b> Projeto de layouts de circuitos integrados digitais utilizando tecnologia cmos		
<b>Título da Pesquisa (Inglês):</b> Layout project of digital integrated circuits using cmos technology		
<b>Palavras-chave:</b> Circuitos integrados. materiais semicondutores. desenvolvimento tecnológico. plataforma SPICE. microeletrônica.		
<b>Keywords:</b> Integrated circuits. semiconductor materials. technologic development. SPICE platform. microelectronics.		
<b>Campus:</b> Formiga	<b>Tipo de Bolsa:</b> PIBITI	<b>Financiador:</b> CNPq / IFMG
<b>Bolsista(s):</b> Renner Ribeiro Brandão, Tarlei Almeida.		
<b>Professor Orientador:</b> Rafael Vinicius Tayette da Nobrega		
<b>Área de Conhecimento:</b> Engenharia Elétrica		<b>Editais:</b> 051/2014

**Resumo:** Na atualidade, tem se observado o quanto a utilização dos circuitos integrados é importante para o desenvolvimento da tecnologia, eles não só mantêm o crescimento da indústria eletrônica, como faz parte do cotidiano do ser humano, estando presentes em praticamente todos os aparelhos eletrônicos utilizados no dia-a-dia. O que permitiu o desenvolvimento dos circuitos integrados da maneira que este se dá nos dias de hoje foi o domínio e entendimento dos materiais semicondutores, que permitiu a criação do transistor que é o dispositivo que permite a integração de componentes em circuito integrado. A indústria eletrônica concentra seus esforços em estar sempre diminuindo a escala dos transistores a serem integrados, isso permite que uma maior quantidade de componentes possam ser fixados em um mesmo circuito integrado (CI), hoje em dia já se utiliza microprocessadores com dezenas de milhões de transistores integrados em um pequeno *chip*. Portanto os esforços não devem ser direcionados apenas à redução dos componentes, mas também à etapa de *layout* destes dispositivos. Em função disso, neste projeto de pesquisa, desenvolveu-se primeiramente um estudo dos materiais semicondutores, dos transistores e do surgimento dos circuitos integrados, bem como das linguagens de descrição de *hardware* e da plataforma SPICE que são utilizadas no projeto de CIs. Tais estudos foram realizados para se empregar os conhecimentos adquiridos no projeto de CIs específicos, que é o principal objetivo deste projeto.

**Abstract:** Currently, it has been observed how the use of integrated circuits is important for technology development, it not only keeps the growth of the electronics industry, as it's a part of human daily life, being present in practically all electronic devices used in the routine. What allowed the development of the integrated circuit by the way it takes today was the domain and understanding of semiconductor materials, at that time allow the invention of the transistor which is the device that allows the placement of discrete components in integrated circuits. The electronics industry focused their efforts on reducing the scale of the transistors to be integrated; it allows a larger quantity of components can be fixed in a single IC, nowadays already uses microprocessors with tens of millions of transistors integrated in a small chip. Therefore, efforts must be directed not only to the reduction of components scale, but also to the layout stage of these devices. As a result, in this research project first was developed a study about semiconductor materials, transistors and the emergence of integrated circuits, and about hardware description languages and SPICE that are used in ICs design. These studies were performed to use the knowledge acquired in ICs project specific, which is the main objective of this project.

### INTRODUÇÃO:

Os circuitos integrados, são considerados a descoberta tecnológica mais significativa e importante do século XX, pois a descoberta e evolução destes dispositivos permitem a expansão tecnológica na área da eletrônica à velocidade que esta expansão se dá atualmente (KANG et al, 2003).

O conceito de circuito integrado foi proposto em 1958 por Jack Kilby, quando desenvolveu o primeiro dispositivo desta forma, vindo a receber o prêmio Nobel mais tarde no ano de 2000. A principal razão para a grande evolução da indústria eletrônica é o avanço no desempenho dos circuitos integrados, enquanto os custos de fabricação se mantêm fixos ou às vezes diminui. Além do fato destes dispositivos se tornarem cada vez menores, ocupando menos espaço e permitindo maior portabilidade nas aplicações dos mesmos, o que permite que os circuitos que utilizam os mesmos se tornem menores, mais confiáveis e dissipem menos potência (CHEAH, 2008).

Como a utilização dos circuitos integrados também reduz a quantidade de componentes em um circuito eletrônico, os CIs também aumentam a confiabilidade de um circuito, pois a confiabilidade de um circuito está diretamente relacionada à quantidade de componentes neste circuito, porque quanto mais componentes há em um circuito maior a chance de falha do mesmo, além do fato de que componentes fixos (como os componentes internos do CI) são mais confiáveis do que componentes variáveis (discretos) (KANG et al, 2003).

Porém o advento dos circuitos integrados se deve à descoberta e à evolução de outros componentes eletrônicos, os transistores. Estes dispositivos foram descobertos e evoluíram a partir do domínio da utilização dos materiais semicondutores, pois os transistores trouxeram grande avanço para a indústria eletrônica que viu a possibilidade de substituir a válvula eletrônica (dispositivo eletrônico que dominava a indústria eletrônica na época, por permitir o controle de corrente) que era grande, frágil, dissipava altas potências e produzia muito calor (CALVERT, 2003).

Foram feitos estudos a respeito do histórico do desenvolvimento dos circuitos integrados, desde os dispositivos primários que motivaram o desenvolvimento destes, bem como da física por trás destes dispositivos. Em seguida iniciou-se os estudos acerca do processo de produção atual dos circuitos integrados, bem como do processo de *layout* e *design* dos mesmos, que é um dos objetivos finais deste projeto.

#### **METODOLOGIA:**

Foram feitos estudos a respeito do histórico do desenvolvimento dos circuitos integrados, desde os dispositivos primários que motivaram o desenvolvimento destes, bem como da física por trás destes dispositivos. Em seguida iniciou-se os estudos sobre as linguagens de descrição de hardware, a plataforma SPICE e o processo de produção atual dos circuitos integrados.

#### **Linguagens de Descrição de Hardware**

Uma linguagem de descrição de *hardware* (HDL) permite que circuitos digitais sejam descritos por meio de sentenças, de tal forma que eles possam ser simulados e sintetizados. Um sistema descrito em HDL pode ser implementado tanto em um dispositivo programável FPGA (*Field Programmable Gate Array*) quanto em um dispositivo ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*). As linguagens de descrição de

*hardware* mais utilizadas atualmente são o VHDL (*VHSIC Hardware Description Language*) e o Verilog. Estas duas são linguagens padrões do IEEE (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos), facilitando o desenvolvimento com diferentes sistemas (CASILLO, 2010).

A descrição VHDL suporta diversos níveis de hierarquia, assim a descrição pode consistir na interligação de outras menores. Com ela um circuito pode ser descrito de diversas maneiras, e em uma mesma descrição é possível mesclar diferentes níveis de abstração. Como ela não foi concebida para síntese de circuitos, nem todas as construções da linguagem são suportadas na síntese. Na linguagem VHDL também estão presentes os operadores lógicos, os numéricos e os de comparação. Embora a descrição VHDL utilize um código sequencial, ela modela circuitos que operem de forma concorrentes. A ordem da declaração não importa e a mudança de valor em um sinal acarreta a execução de todas as declarações envolvidas (GOMES, 2014).

## **Plataforma SPICE**

Ao contrário de projetos realizados em nível de componentes discretos, os projetos de circuitos integrados devem ser simulados, e além disso suas propriedades e comportamentos devem ser estudados antes do fabrico. Pois, devido aos altos custos de máscaras de fotolitografia e outros pré-requisitos de fabricação tornam essencial a simulação do comportamento do circuito, antes que o circuito chegue a sua fase de produção, pois mesmo que o circuito tenha sucesso no funcionamento com componentes discretos, podem ocorrer falhas a nível micro de produção. Portanto, o circuito deve ser projetado para estar o mais próximo possível da perfeição antes de ser construído. Devido a esta necessidade, existe um programa, que representa a maneira padrão de mercado de verificar a operação do circuito a nível de transistor antes de acometer o mesmo à fabricação, este programa é o SPICE.

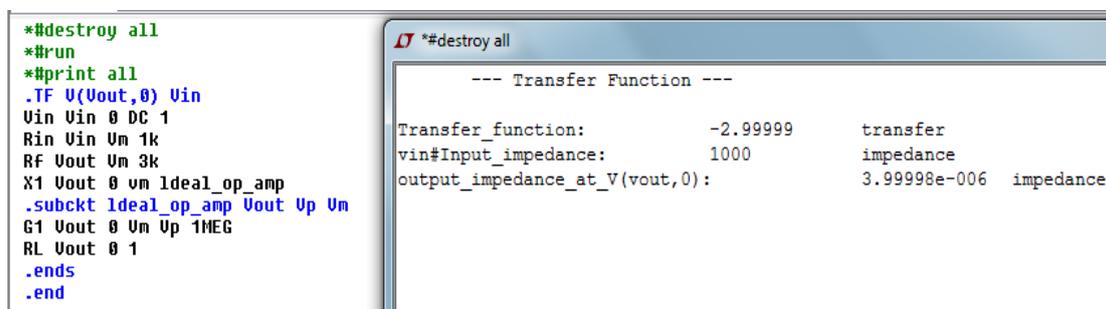
SPICE (*Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*) é um programa de simulação de circuitos de propósito geral para análise de circuitos em corrente contínua, transitórios não-lineares, e de análise de pequenos sinais em corrente alternada. Os circuitos simulados neste programa podem conter resistores, capacitores, indutores, indutores mútuos, tensão independente, fontes de corrente, fontes dependentes, linhas de transmissão, *switches* e dispositivos semicondutores comuns. O SPICE é um programa versátil e muito útil no projeto de circuitos, pois é usado em projetos de circuitos tanto em nível eletrônico (macro) como em nível de circuitos integrados, para verificar a integridade de projetos de circuitos e para prever o comportamento do circuito (STEER, 2007).

Basicamente, o SPICE permite três tipos de operações, sendo elas a simulação por *netlist* - código que descreve o circuito, simulação por esquemático - desenho do circuito, e criação de sua própria biblioteca de componentes - opção que permite a criação de componentes específicos com diferentes parâmetros.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES:**

Para se iniciar os estudos da plataforma SPICE, realizou-se a simulação e análise dos circuitos propostos no primeiro e no segundo capítulo do livro CMOS - *Circuit Design, Layout and Simulation*, neste aspecto foram utilizadas as *netlists* propostas a fim de se entender como descrever uma determinada

configuração de circuito utilizando-se o SPICE, isso também permitiu obter os dados os quais o SPICE permite analisar, portanto se teve uma boa ideia do quanto o programa é útil na análise de circuitos discretos. A Figura1 demonstra a descrição de um circuito em *netlist* SPICE, e a resposta devido à sua simulação.



```
##destroy all
##run
##print all
.TF U(Vout,0) Vin
Vin Vin 0 DC 1
Rin Vin Um 1k
Rf Vout Um 3k
X1 Vout 0 um Ideal_op_amp
.subckt Ideal_op_amp Vout Up Um
G1 Vout 0 Um Up 1MEG
RL Vout 0 1
.ends
.end
```

```
--- Transfer Function ---
Transfer_function:          -2.99999      transfer
vin#Input_impedance:       1000          impedance
output_impedance_at_V(vout,0): 3.99998e-006 impedance
```

Figura 1 – *Netlist* do SPICE (esquerda) e resposta à sua simulação (direita).

Fonte: Autor.

A Figura 1 permitiu a observação do quanto o SPICE é útil em questões de simulação, pois neste caso sua resposta demonstrou o quanto o circuito altera o sinal de entrada, lembrando que o SPICE é uma plataforma com o foco na descrição do funcionamento do circuito a nível integrado, e visa eliminar falhas neste aspecto. Tal programa permite também que se descreva componentes discretos, e que se realize os testes de seu próprio componente em circuito.

## CONCLUSÕES:

O projeto se encontra em andamento, sendo assim ainda há etapas a serem cumpridas, uma delas, de fundamental importância é a descrição dos transistores a serem integrados em parâmetros SPICE. O estudo inicial dos *softwares* foi importante para que se tenha uma base do que ainda deve ser desenvolvido. Na sequência, deve-se estudar a física dos transistores MOS (*Metal Oxide Semiconductor*) para que se descreva os mesmos em parâmetros SPICE e em seguida se desenvolva o *layout*.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA:

KANG, Sung-Mo; LABLEBICI, Yusuf. **CMOS Digital Integrated Circuits - Analysis and Design**. WCB McGraw-Hill, Third Edition, 2003.

CHEAH, Kok Wai. **History of Integrated Circuit (IC)**. Department of Physics, Hong Kong Baptist University.

CALVERT, James B. **History and Theory of Thermionic or Vacuum Tubes**. Disponível em: <<http://mysite.du.edu/~etuttle/electron/elect27.htm#Theory>>. Acesso em: 06 jan. 2015.

CASILLO, Leonardo Augusto. **Minicurso: Tópicos em VHDL**. Escolha Potiguar de Computação e suas Aplicações, 2010.

GOMES, Otávio de Souza Martins. **Curso de Extensão - Linguagens de Descrição de Hardware**. Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Formiga, 2014.

STEER, Michael B. **SPICE: User's guide and reference**. Manual, Edition 1.3, July 2, 2007.

