

# OBTENÇÃO DA CURVAS CARACTERÍSTICAS DOS SEMICONDUCTORES DE FORMA AUTOMÁTICA UTILIZANDO O LTSPICE E PYTHON

TIARLES GUTERRES<sup>1</sup>

## SUMÁRIO

1	Objetivos	2
1.1	Objetivos específicos	2
2	Desenvolvimento	3
3	Resultados	4
4	Apêndices	7
4.1	Ajustes na simulação no LTSpice	7

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Vista geral do esquema de teste para o <i>Half-Bridge</i> monofásico, com tensão pulsante no comando dos transistores e corrente constante no braço.	2
Figura 2	Visão geral do código a ser criado para o cálculo de perdas de comutação.	2
Figura 3	Esquemático utilizado para a obtenção das curvas. Em azul estão as configurações de duas das fontes utilizadas, em vermelho as variáveis de ambiente configuráveis da simulação SPICE, também chamadas de diretivas, em verde os parâmetros a serem modificados pelo código em Python.	3
Figura 4	(a) Captura do explorador de arquivos com os esquemáticos gerados. Cada um com o modelo de transistor e corrente escolhidos e (b) o trecho de código que gera os diferentes esquemáticos dependentes da especificação passada ao código.	4
Figura 5	Dois exemplos (a) e (b) de gráficos com diferentes modelos e valores de correntes das ondas de potência instantânea com as regiões de interesse sombreadas dos transistores S e $\bar{S}$ . A primeira região sombreada, de cada um dos <i>subplots</i> , é a que <b>liga S e desliga <math>\bar{S}</math></b> , a segunda <b>desliga S e liga <math>\bar{S}</math></b> .	5
Figura 6	Resultado obtido simulando diferentes componentes com o código.	6

<sup>1</sup> Grupo de Eletrônica de Potência e Controle (GEPOC), UFSM, Santa Maria, Brasil

## 1 OBJETIVOS

O objetivo principal é a partir de um modelo *spice* de um semicondutor obter as curvas características de consumo no chaveamento dos semicondutores presentes no circuito. A planta de testes escolhida é um *half-bridge* monofásico (Figura 1).

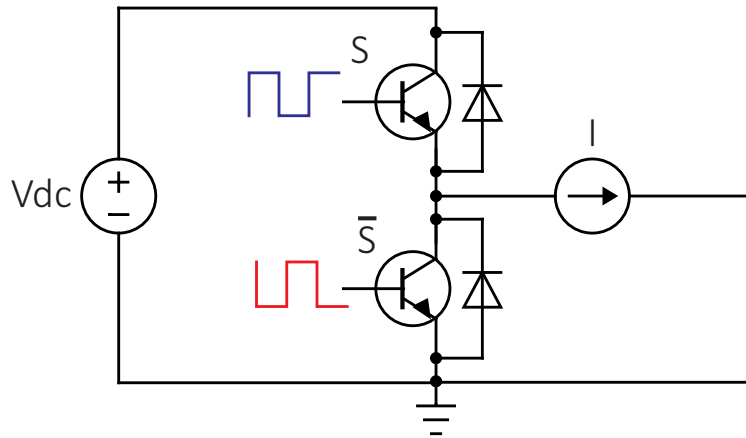


Figura 1: Vista geral do esquema de teste para o *Half-Bridge* monofásico, com tensão pulsante no comando dos transistores e corrente constante no braço.

### 1.1 Objetivos específicos

O plano de trabalho é a elaboração de um código (Figura 2) que tenha a capacidade de:

1. Alternar condições do circuito genérico presente no *LTSpice* (corrente passante e o tipo de semicondutor). Este circuito genérico possui alguns campos abertos para serem editados pelo código;
2. Realizar a análise de cada sinal deste circuito para a montagem das curvas (selecionar as ondas corretas e trechos delas para a experimentação das perdas em cada condição listada em 1);
3. Poder, de forma clara, comparar os diferentes comportamentos das ondas de perdas para diferentes tipos de semicondutores.

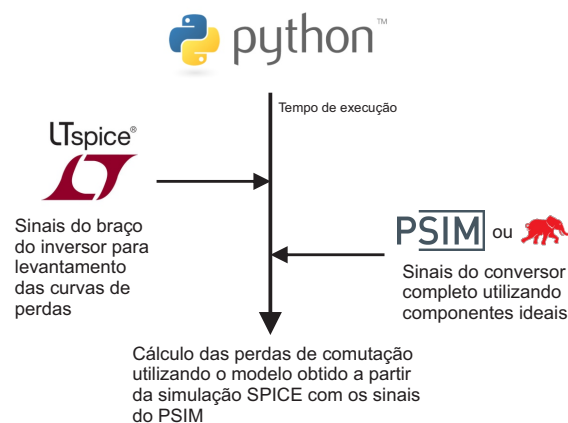


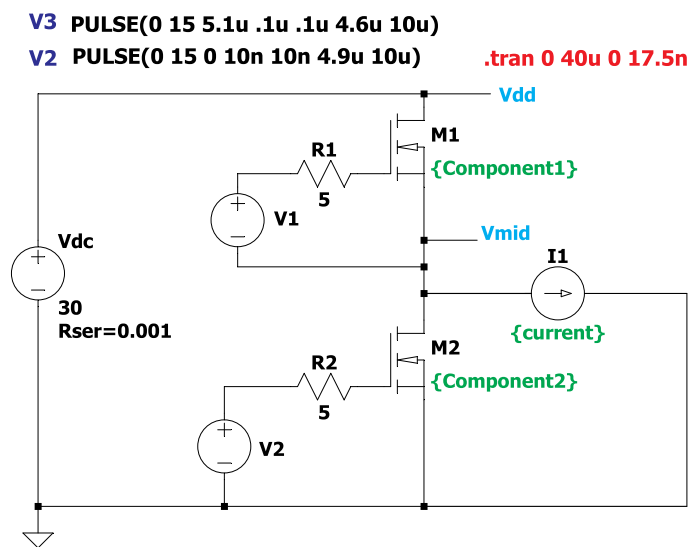
Figura 2: Visão geral do código a ser criado para o cálculo de perdas de comutação.

## 2 DESENVOLVIMENTO

As etapas do método de obtenção das curvas foram:

1. Carregamento do modelo genérico como o apresentado na Figura 3, definição dos modelos a serem utilizados e os valores de corrente testados (Tabelas 1 e 2).
2. Geração dos esquemáticos, um para cada modelo e valor de corrente (Figura 4).
3. Obtenção das curvas de tensão e corrente e determinação dos pontos de análise no entorno das comutações da fonte no comando do transistor, o cálculo da potência instantânea e a integral da área no entorno da comutação (Figura 5).
4. Lógica para separação das comutações que contabilizam a energia  $E_{on}$  e  $E_{off}$  dos transistores e  $E_{Don}$  e  $E_{rec}$  dos diodos (Tabela 3).
5. Obtenção e geração gráfica dos polinômios de energia para cada um dos casos citados anteriormente (Figura 6).

Utilizando a ferramenta *LTSpice* pode-se visualizar o circuito da Figura 3. Consiste em uma planta de testes onde a tensão do barramento DC e a corrente passante pelo braço deste conversor é fixada. O passo de simulação foi ajustado para que todos os cenários criados conseguissem rodar com sucesso.



**Figura 3:** Esquemático utilizado para a obtenção das curvas. Em azul estão as configurações de duas das fontes utilizadas, em vermelho as variáveis de ambiente configuráveis da simulação SPICE, também chamadas de diretivas, em verde os parâmetros a serem modificados pelo código em Python.

Após a geração dos esquemáticos todos estes foram simulados e foram extraídas as suas ondas de  $V_{DS}$  (tensão dreno-fonte) e  $I_D$  (corrente no dreno) para o cálculo da potência instantânea. Essa métrica foi isolada em torno do momento de comutação dos comandos dos transistores para que se possa calcular a área da curva, classificar o tipo de perda (Tabela 3) e obter os polinômios para cada tipo de perda para cada um dos modelos SPICE de transistores testados (Figura 5).

**Tabela 1:** Valores de corrente utilizados na simulação.

Corrientes testadas	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10
	10	20	30	40	50	60	70

Tabela 2: Modelos de componentes utilizados na simulação.

Componentes utilizados	IRFH5207	SUP90No8-8m2P	FDB045ANo8Ao
	IRF1407	PSMN5R560YS	Si4980DY

Tabela 3: Tipos de perdas consideradas.

Tipos de Perdas	Transistor		Diodo	
	On	Off	On	Off
	$\epsilon_{on}$	$\epsilon_{off}$	$\epsilon_{d,on}$	$\epsilon_{rec}$

### 3 RESULTADOS

A Tabela 1 mostra os valores de corrente e a Tabela 2 os modelos utilizados para a geração dos esquemáticos do LTSpice. Os modelos utilizados são os disponibilizados pelo *LTSpice*<sup>1</sup> com equivalência de tensão *dreno-source* ( $V_{DS}$ ) e resistência do canal ( $R_{DS}$ ).

Na Figura 4a podemos ver os arquivos que foram gerados a partir do código da Figura 4b.

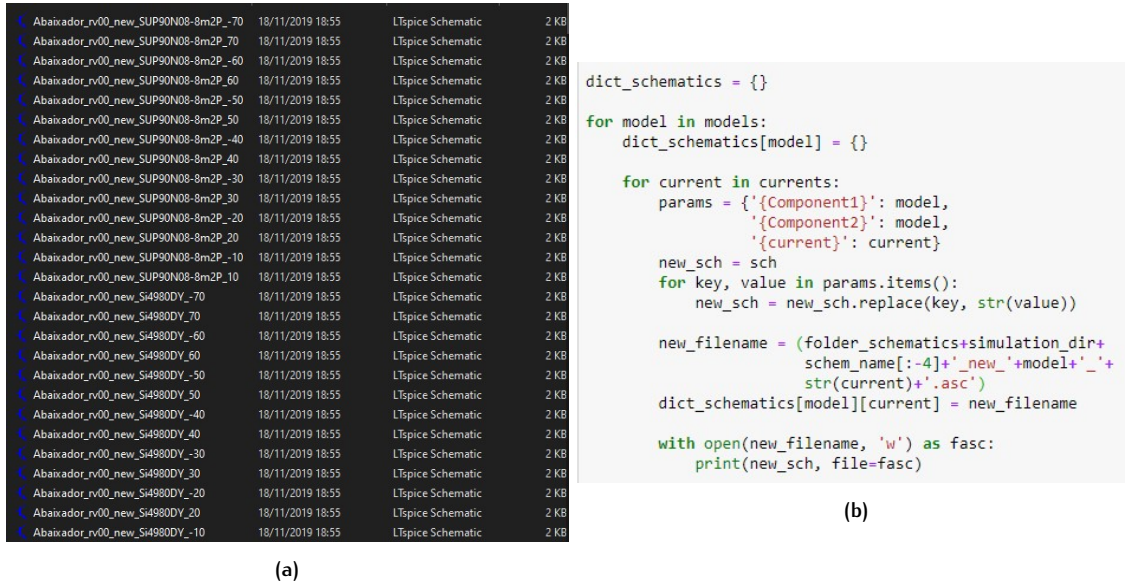
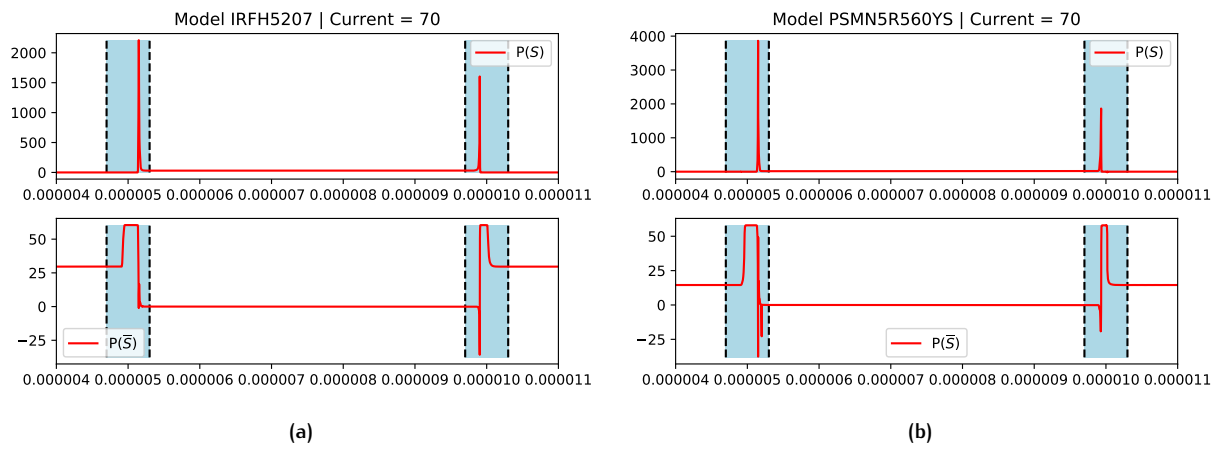


Figura 4: (a) Captura do explorador de arquivos com os esquemáticos gerados. Cada um com o modelo de transistor e corrente escolhidos e (b) o trecho de código que gera os diferentes esquemáticos dependentes da especificação passada ao código.

Na Figura 5 podemos ver os gráficos de potência instantânea gerados a partir do código com a região sombreada, a qual foi considerada para o cálculo da integral e definição da perda de comutação na região.

E, por fim, podemos ver as curvas de perdas para todos os modelos testados (Figura 6).

<sup>1</sup> Os modelos podem ser também baixados da internet e incluídos por meio de diretiva totalmente configurável no esquemático genérico e no código, ver também a Seção 4.1



**Figura 5:** Dois exemplos (a) e (b) de gráficos com diferentes modelos e valores de correntes das ondas de potência instantânea com as regiões de interesse sombreadas dos transistores  $S$  e  $\bar{S}$ . A primeira região sombreada, de cada um dos *subplots*, é a que **liga**  $S$  e **desliga**  $\bar{S}$ , a segunda **desliga**  $S$  e **liga**  $\bar{S}$ .

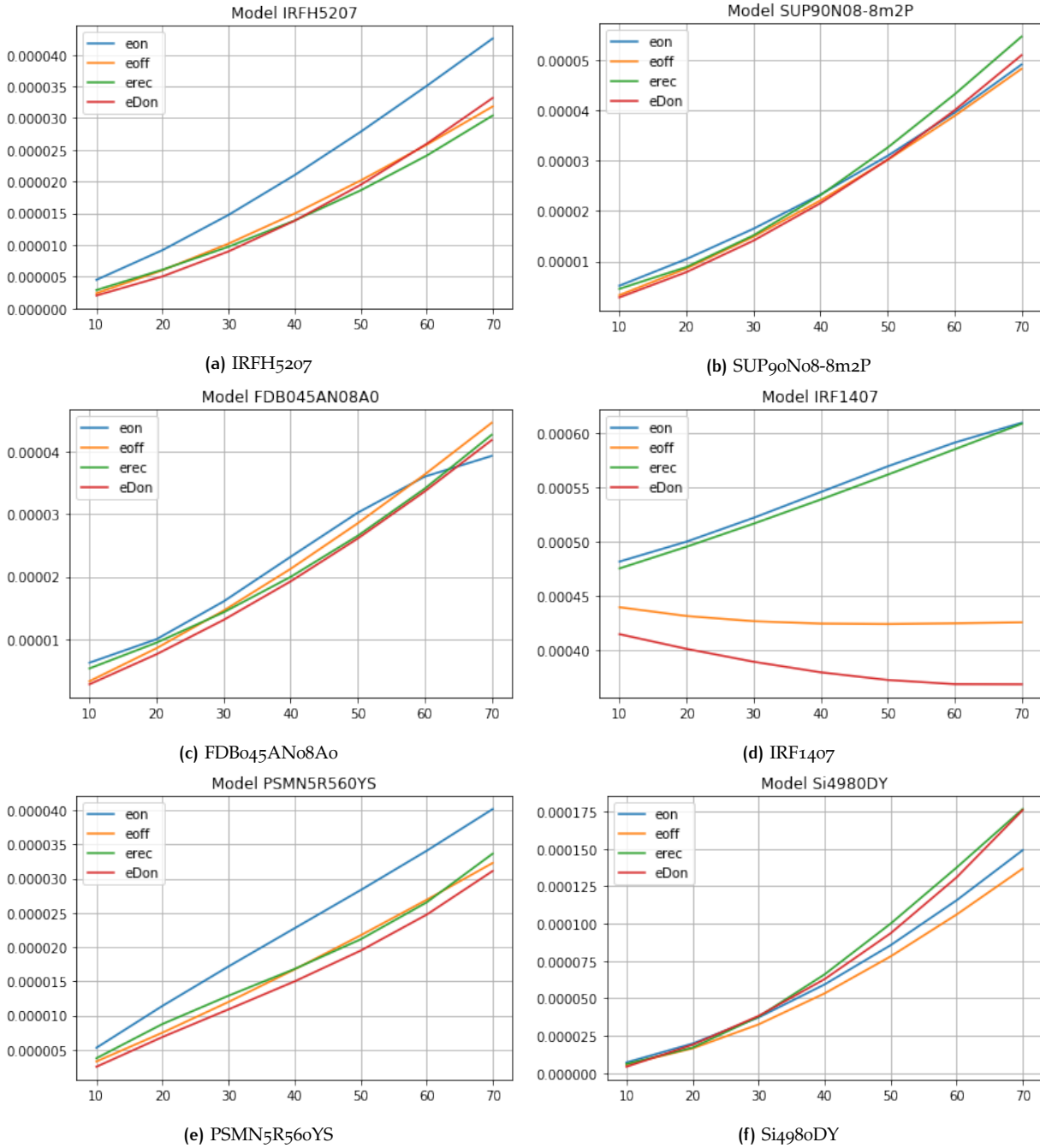


Figura 6: Resultado obtido simulando diferentes componentes com o código.

## 4 APÊNDICES

### 4.1 Ajustes na simulação no LTSpice

Dependendo da complexabilidade da simulação podemos utilizar diretivas<sup>2</sup> com o comando *.options* <op<sub>1</sub>> <op<sub>2</sub>> ... <op<sub>N</sub>> para que a simulação numérica possa ter uma folga maior para solução do circuito [1]. Estas opções podem mudar parâmetros como o valor mínimo de tolerância a correntes (*Abstol*), o valor de condutância adicionada a elementos não-lineares (*Gmin*), o número máximo de pontos em um *plot* (*Limpts*), o *threshold* relativo da seleção de pivôs quando fatorada a matriz Jacobiana (*Pivrel*), o valor mínimo de um pivô da matriz Jacobiana (*Pivtol*), o controle universal da acurácia (*Reltol*), o valor absoluto de tolerância a tensão (*Vntol*) semelhante ao *Abstol* entre outros.

## REFERÊNCIAS

[1] Ken Kundert. *The Designer's Guide to Spice and Spectre (Appendix A : Simulator Options)*. Springer, 1995.

---

<sup>2</sup> Parâmetros que setam os *solvers* do LTSpice