

Camada Física da Computação

Aula 20 – MOSFET Digital

(2017) Rafael C e Eduardo M.

(2016) Fábio Ayres [<fabioja@insper.edu.br>](mailto:fabioja@insper.edu.br)

Objetivos

- Entender o funcionamento do MOSFET
- Analisar circuitos CMOS

O que vimos até o momento

Assunto

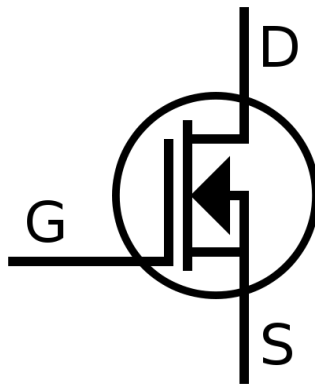
Diodos, escrita técnica

Transistor bipolar

Transistores FET e MOSFET

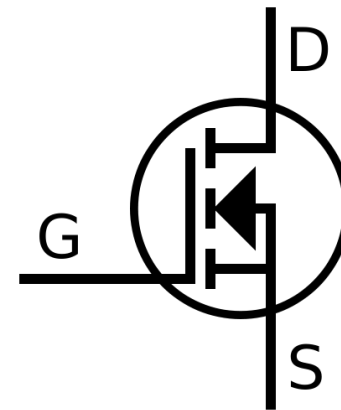
MOSFET

- *Metal-oxide-semiconductor field-effect transistor*



Fonte: Wikipedia

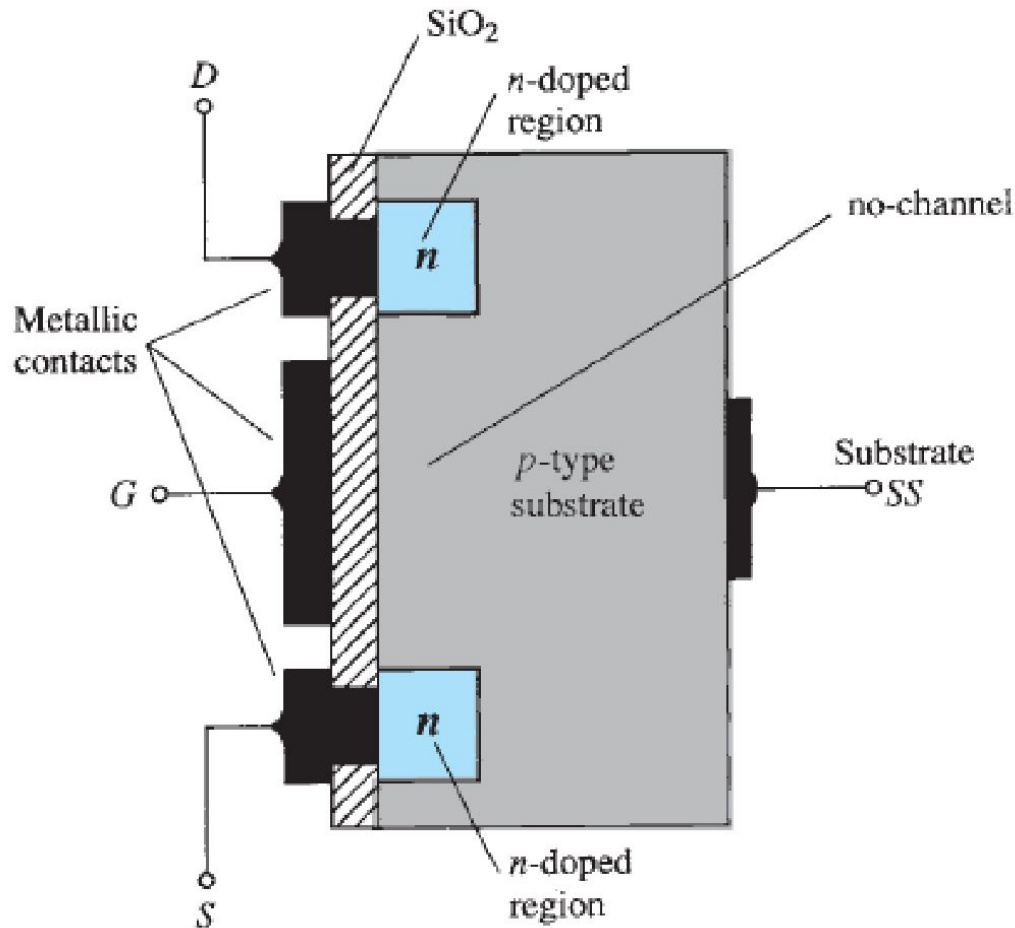
Depleção
(*depletion*)



Fonte: Wikipedia

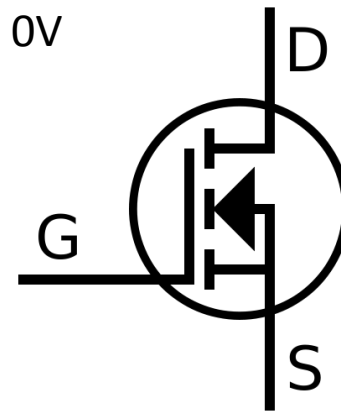
Intensificação
(*enhancement*)

MOSFET intensificação



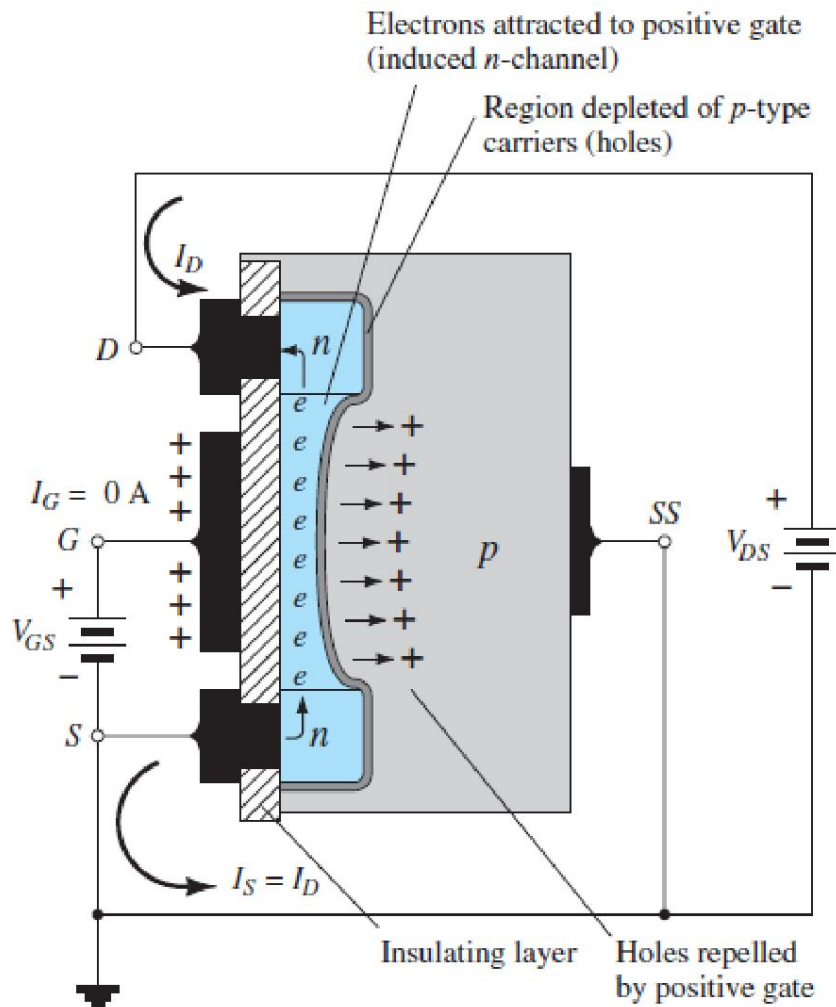
Valem as mesmas observações do MOSFET depleção, exceto que:

- Note a ausência de canal: o canal será induzido por V_{GS} !
- Equações são diferentes do JFET. Feito para trabalhar com $V_{GS} > 0V$
- $V_p > 0V$



Fonte: Boylestad e Nashelsky: "Electronic Devices and Circuit Theory"

Como funciona? (MOSFET intensificação)



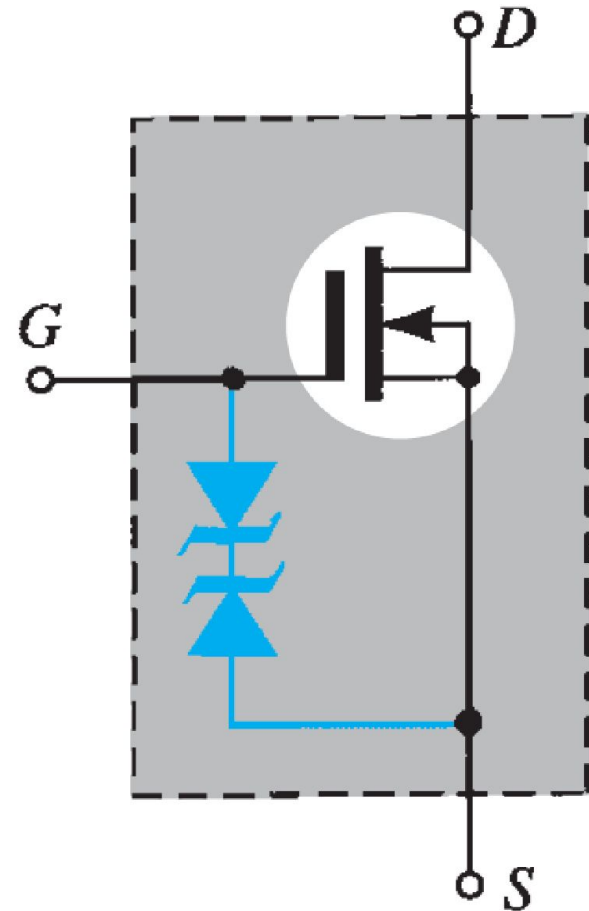
Caso inicial: $V_{DS} = 0V$

- A tensão V_{GS} atrai elétrons para a proximidade da placa isolante
- Estes elétrons formam um canal
- Este MOSFET é do tipo canal-n (n-channel)
- Quando V_{GS} aumentar o canal permitirá a condução de corrente entre o dreno e a fonte

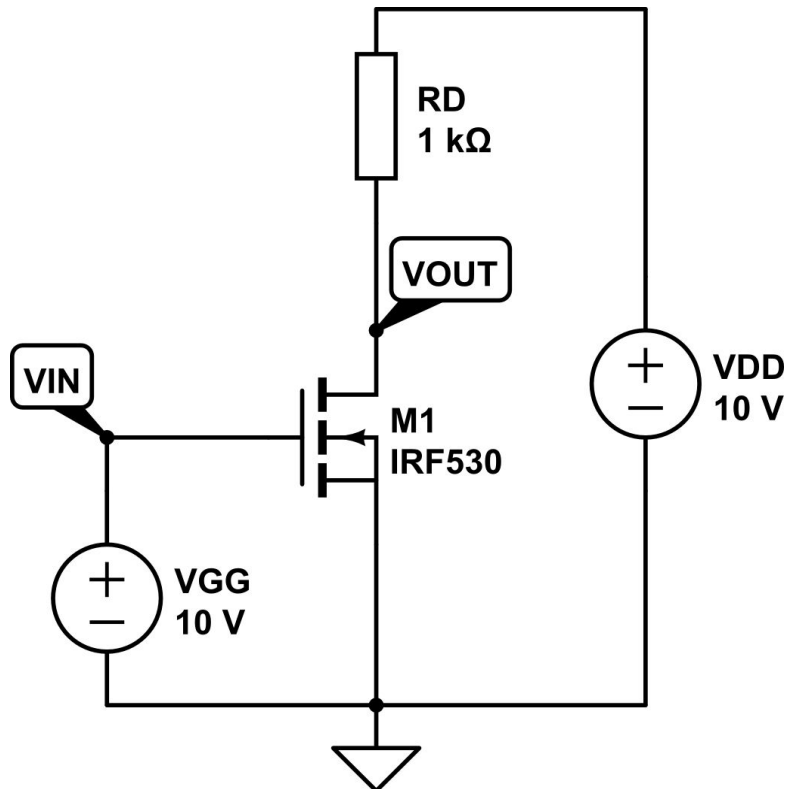
Cuidado com cargas estáticas!

O MOSFET é muito sensível à descargas elétricas no terminal da porta!

- As altas tensões da eletricidade estática podem criar furos no material isolante, destruindo o transistor
- Alguns MOSFETs já vem com diodos Zener internos para proteção.



MOSFET em regime digital



1. Simule o circuito ao lado no CircuitLab, em modo DC.
2. Mude V_{GG} para zero, e simule novamente.

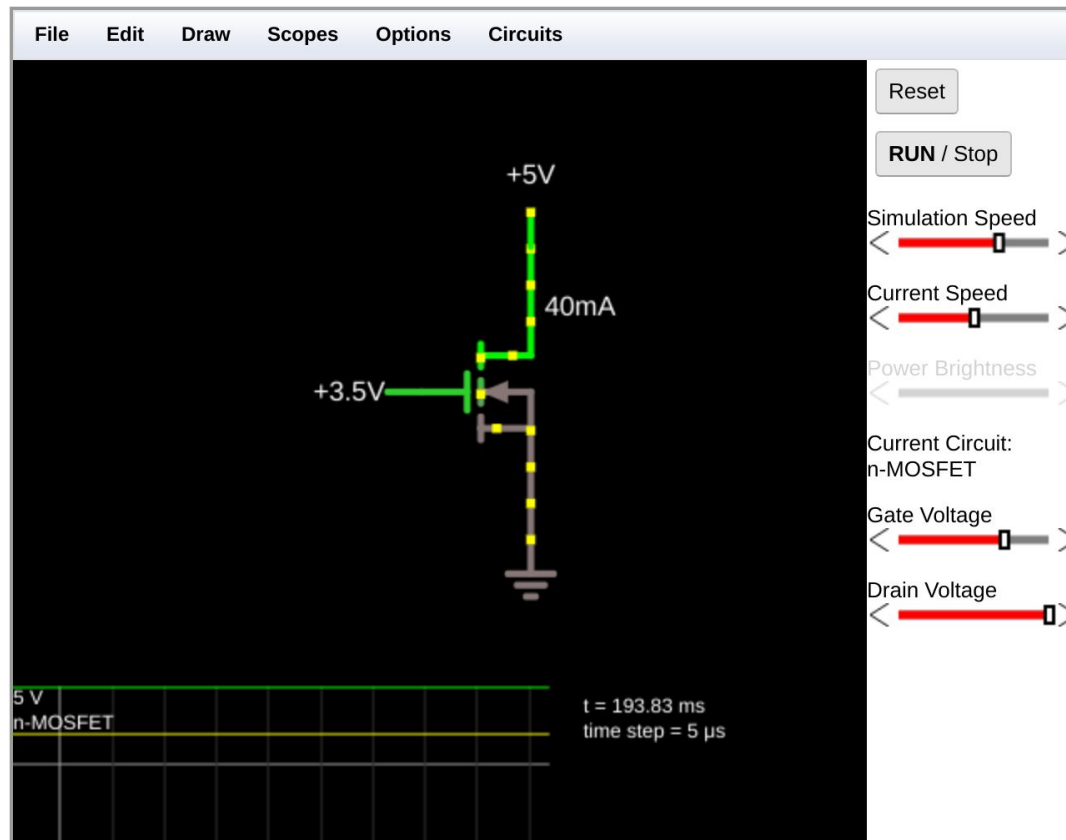
Observe que o MOSFET-e canal-n atua como

- uma chave fechada quando V_{GS} é alto, e
- como um circuito aberto quando V_{GS} é zero!

<https://www.circuitlab.com/circuit/ef6387/chave-nmos/>

Simulador

- <http://www.falstad.com/circuit/e-nmosfet.html>



aproximação MOSFET digital

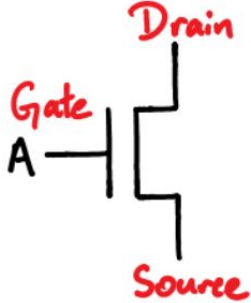
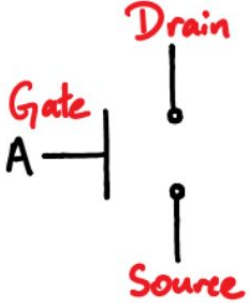
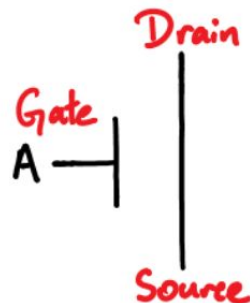
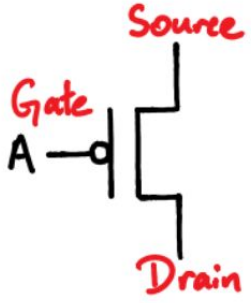
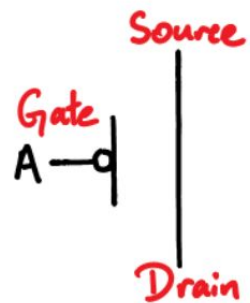
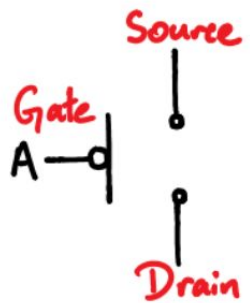
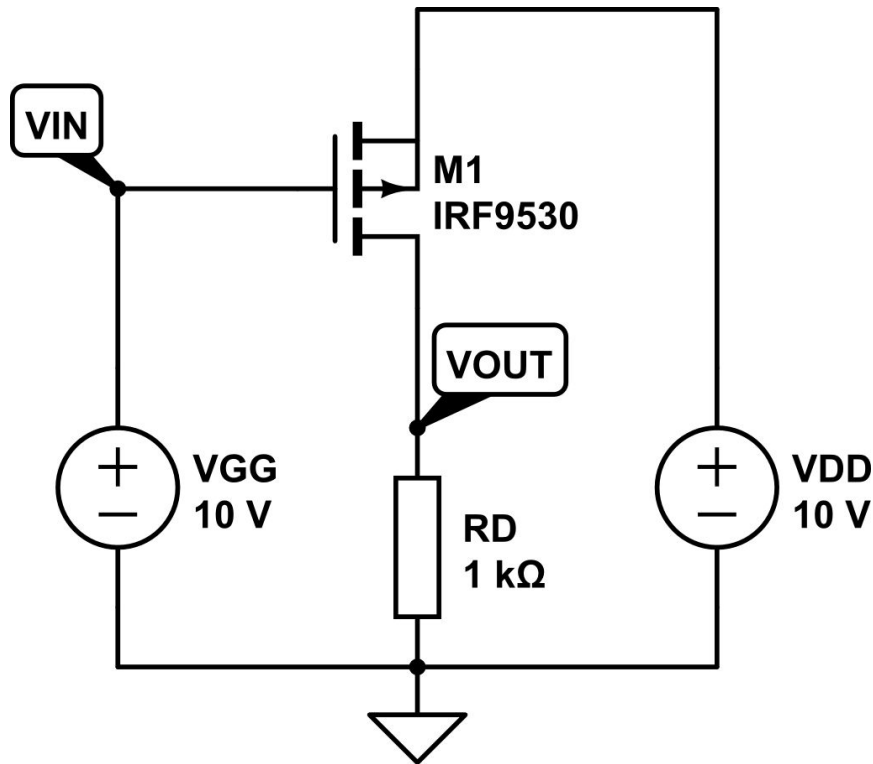
MOSFET Type	Logic Circuit Symbol	$A = 0$ Approximation	$A = 1$ Approximation
NMOS			
PMOS			

Table 1: MOSFET logic circuit symbols and approximations.

MOSFET em regime digital



1. Agora simule o circuito ao lado no CircuitLab, em modo DC
2. Mude V_{GG} para zero e simule novamente

Observe que o MOSFET canal-p, nesta configuração, atua como

- Uma chave aberta quando V_{GG} é alto, e
- Uma chave fechada quando V_{GG} é baixo

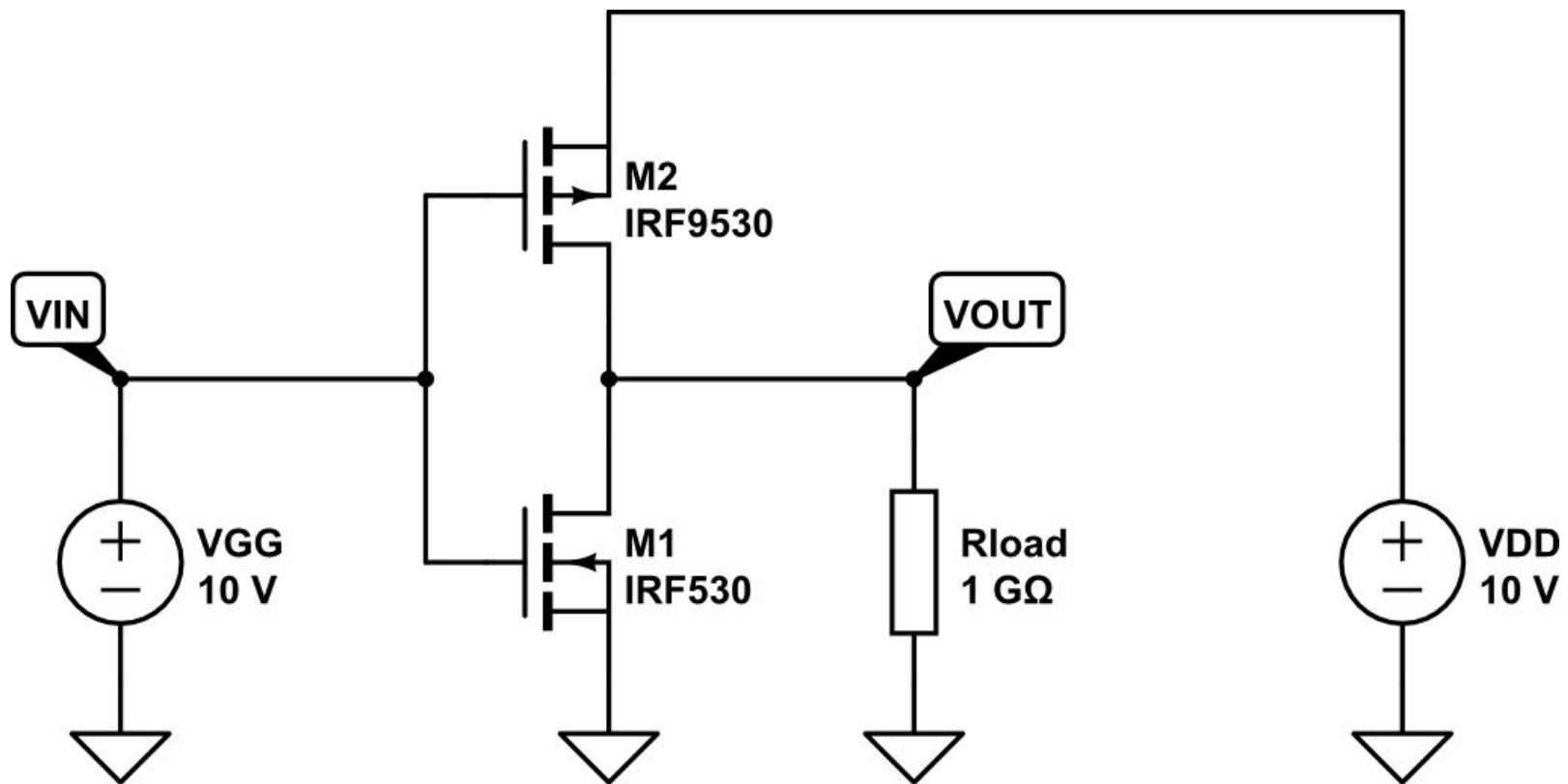
É o contrário do caso anterior!

ATENÇÃO:

- O transistor é canal-p aqui!
- A fonte está para cima, o dreno para baixo!

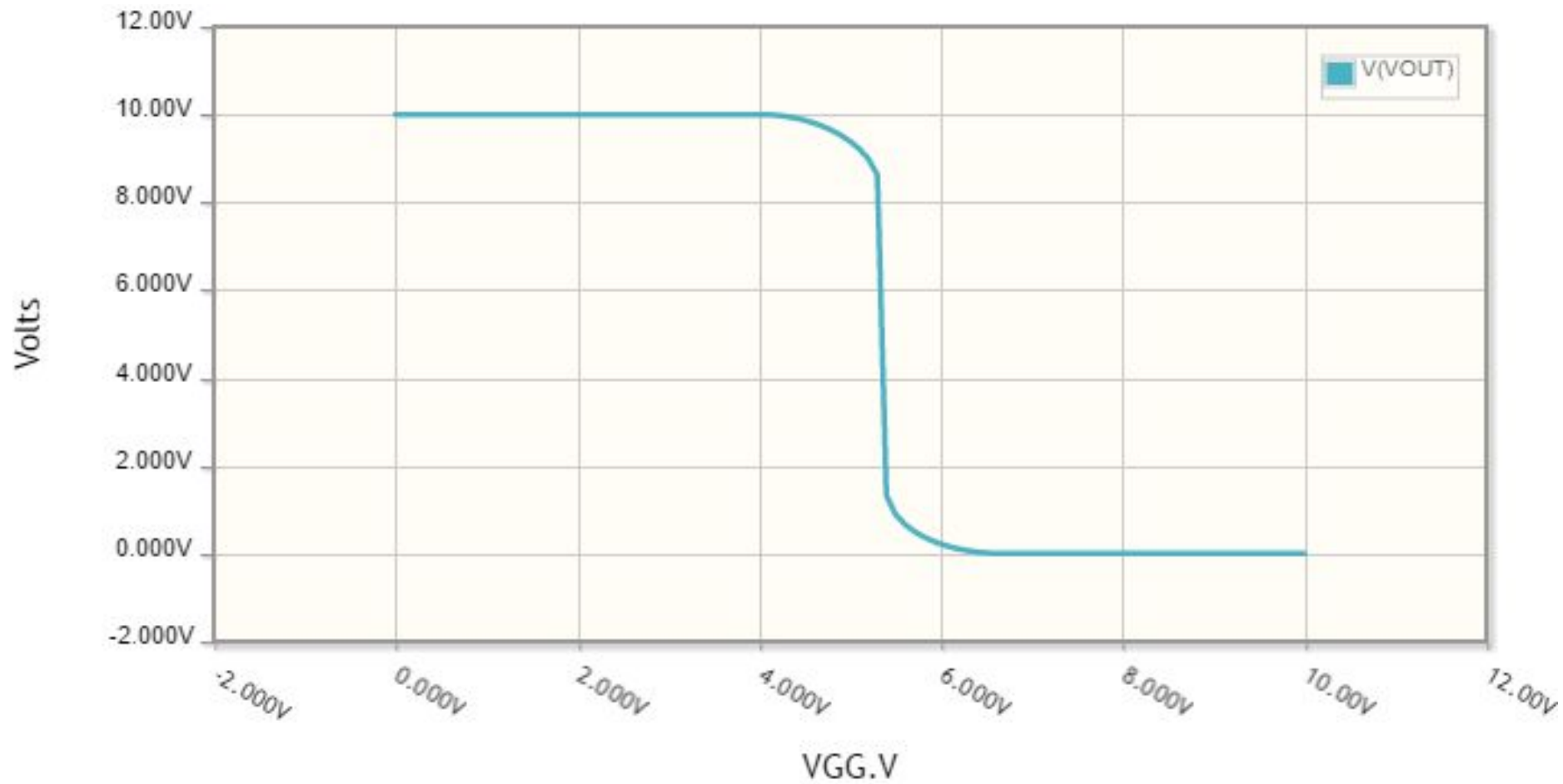
<https://www.circuitlab.com/circuit/3vsk8j/chave-pmos/>

Trabalhando em conjunto: inversor CMOS

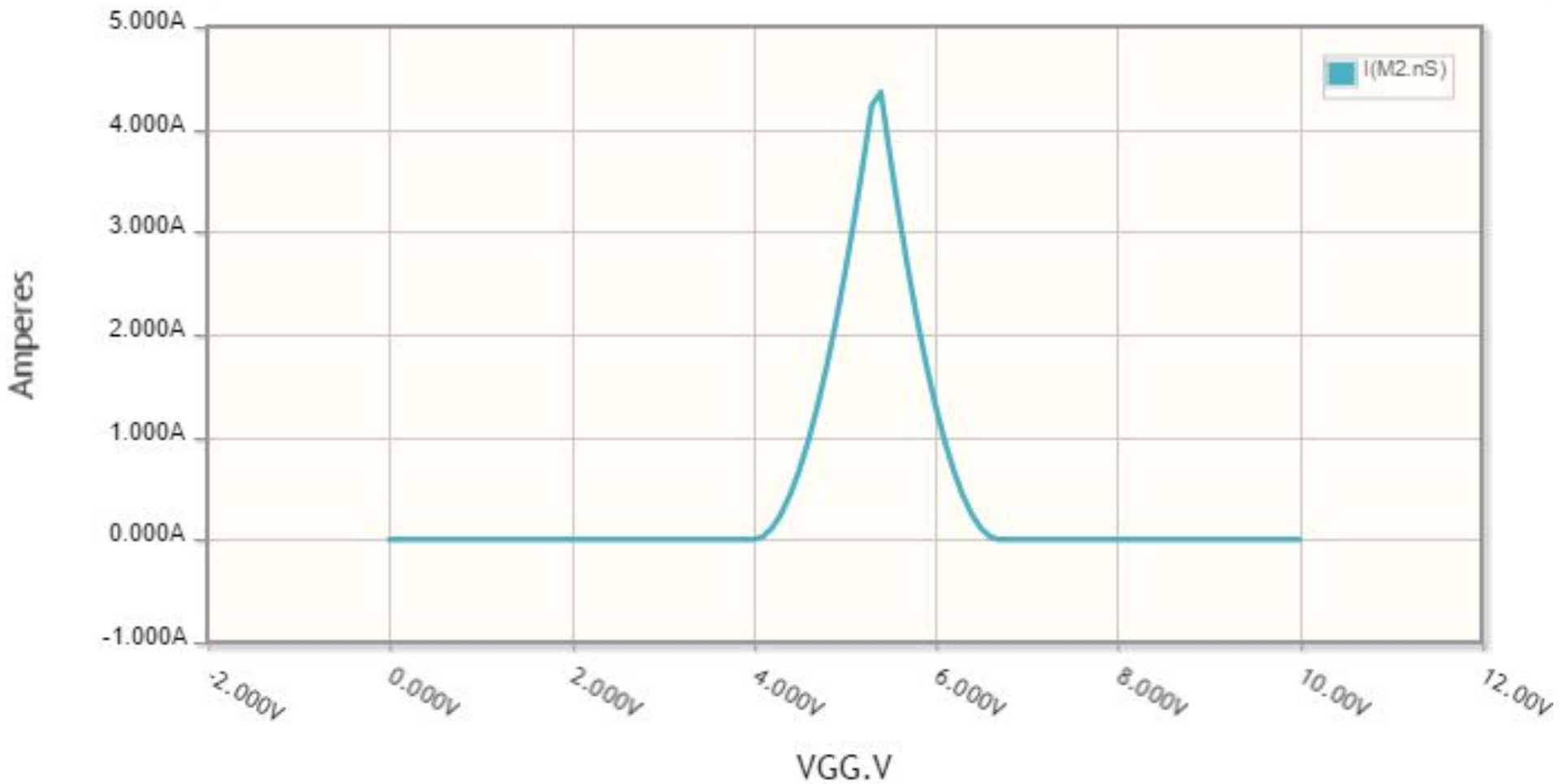


<https://www.circuitlab.com/circuit/r73584/inversor-cmos/>

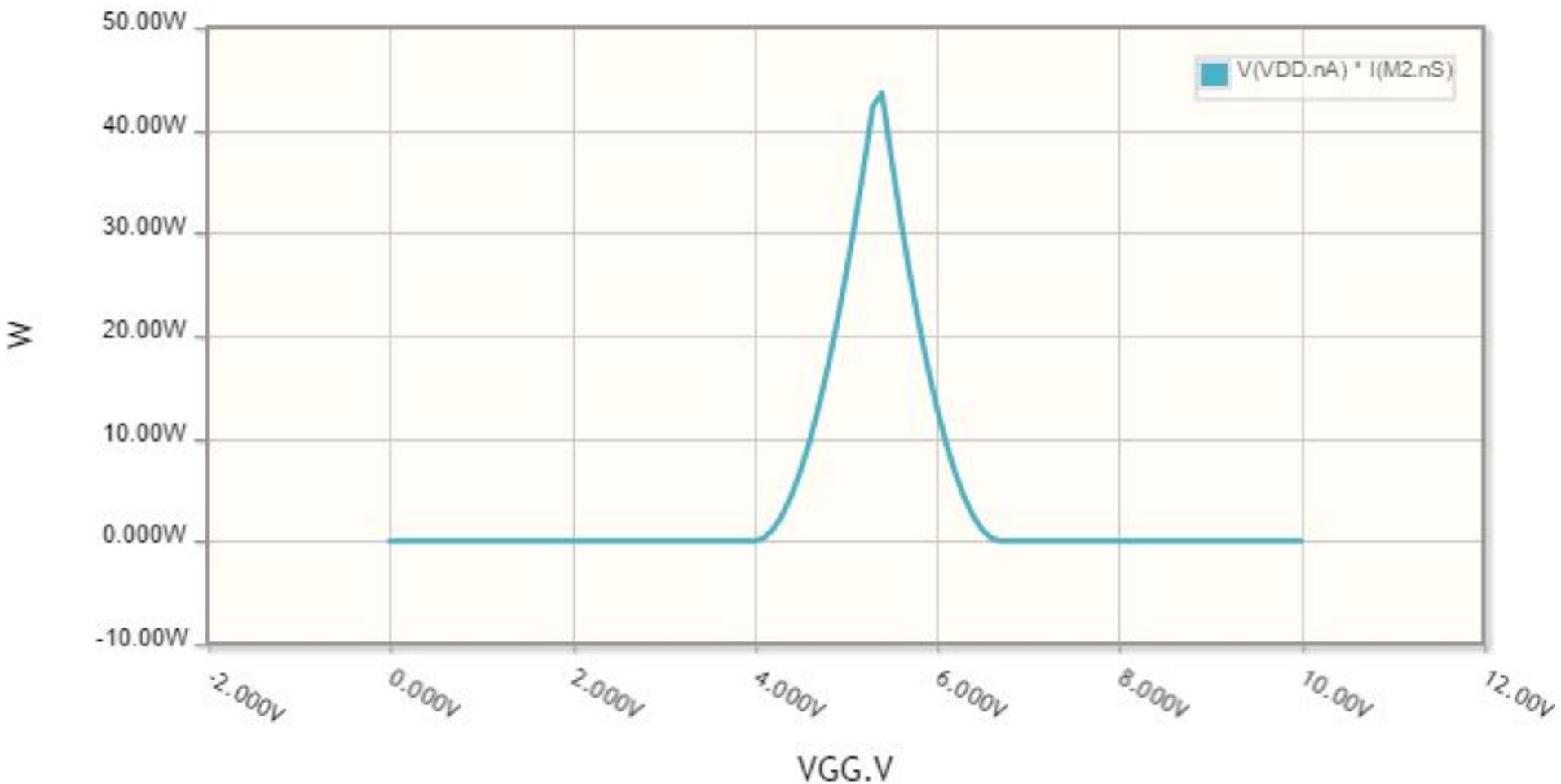
V_{out} versus V_{in}



I_{total} versus V_{in}



Potencia total versus V_{in}



CMOS

Complementary metal–oxide–semiconductor

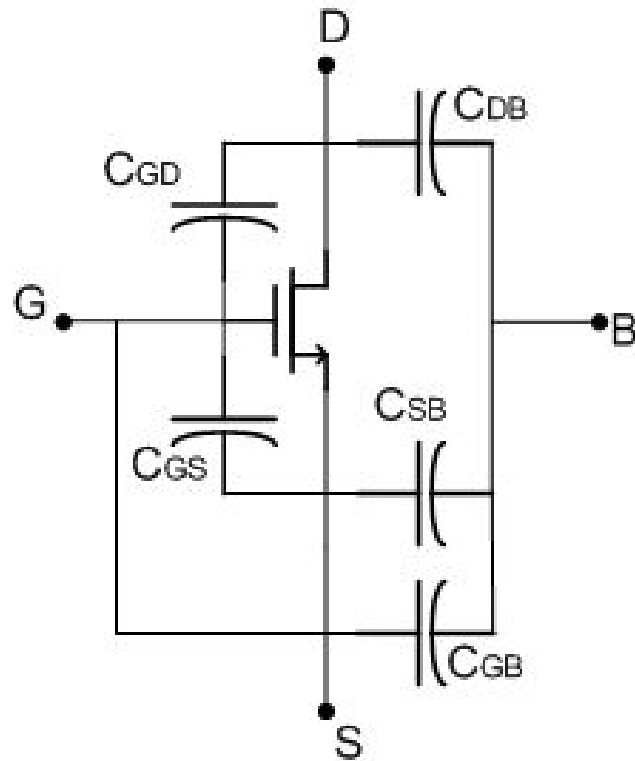
- Circuitos digitais feitos com MOSFET tipo n e p
- Muito utilizado em processadores e microcontroladores modernos

<http://www.visual6502.org/sim/varm/armgl.html>

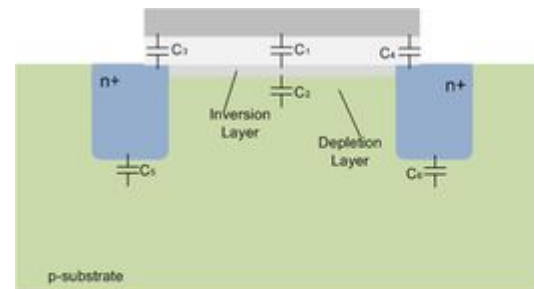
Potência consumida no chaveamento!

- Quando o circuito CMOS muda de estado, existe uma região onde ambos os transistores conduzem
- Consequência: consumo de potência
- Quanto mais rápido o chaveamento, menos energia gasta por chaveamento
- Limite de velocidade: capacitâncias internas!
 - Constante de tempo RC ataca novamente!

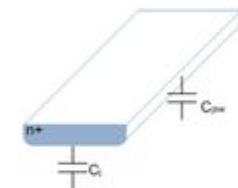
Capacitâncias no MOSFET



- Limita a velocidade na qual o capacitor pode mudar de estado.



(a)



(b)

Potência no CMOS

- Cada chaveamento consome potência por uma duração pequena
 - Energia = Potência x Tempo
- A frequência do circuito dita o número de chaveamentos por segundo

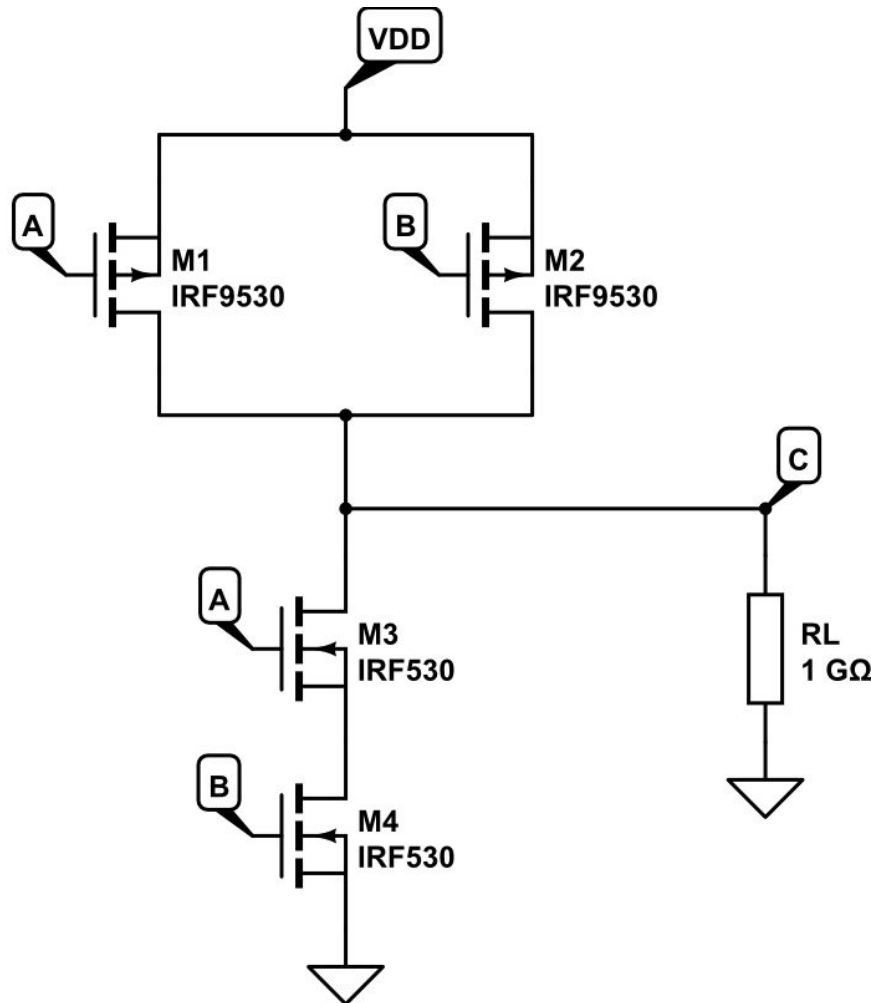
$$P = \alpha C V_{DD}^2 f$$

- P: potência média
- C: capacitância efetiva
- V_{DD} : tensão de alimentação
- f: frequência de clock
- α : fator de chaveamento (depende da utilização do circuito)

Exercício

- Baseado na fórmula da potência média, discuta:
 - Poderíamos controlar o consumo de potência de uma CPU com alteração na tensão de operação? Qual o fator limitante?
 - E com alteração de frequência? Qual o fator limitante?
 - Como o *overclocking* funciona? Se eu quiser aumentar a frequência de operação da minha CPU, o que devo fazer?
 - O que faz o fator α mudar no seu laptop?

Circuitos mais complexos



1. Faça a tabela da verdade deste circuito. Que porta lógica temos aqui?
2. Desenhe uma porta AND
3. Desenhe uma porta NOR
4. Desafio: desenhe uma porta XOR

<https://www.circuitlab.com/circuit/zp3k23/mystery/>

Insper

www.insper.edu.br