

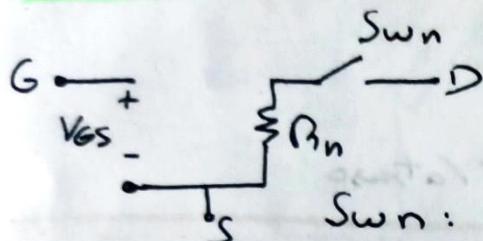
# MOSFET 3

## Modelo de Comutação

- Interruptor em série com resistência

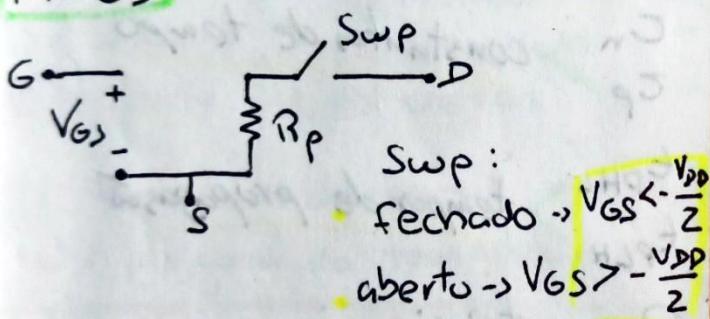
$$V_{HIGH} = V_{DD} \quad V_{LOW} = GND$$

### NMOS



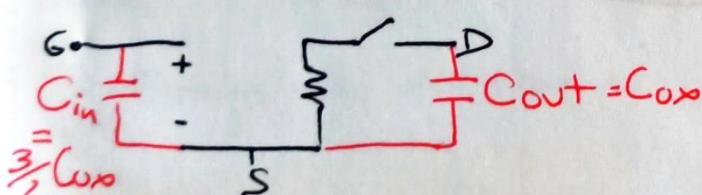
- fechado  $\rightarrow V_{GS} > \frac{V_{DD}}{2}$
- aberto  $\rightarrow V_{GS} < \frac{V_{DD}}{2}$

### PMOS



- fechado  $\rightarrow V_{GS} < -\frac{V_{DD}}{2}$
- aberto  $\rightarrow V_{GS} > -\frac{V_{DD}}{2}$

## Capacidades



No inverter:

$$C_{in} = \frac{3}{2} (C_{oxn} + C_{oxp})$$

$$\begin{aligned} C_{out} &= C_{oxn} + C_{oxp} \\ &= C_{outn} + C_{outp} \end{aligned}$$

↳ Usados na determinação de tempo de atraso e propagação

## Tempos de atraso/propagação\*

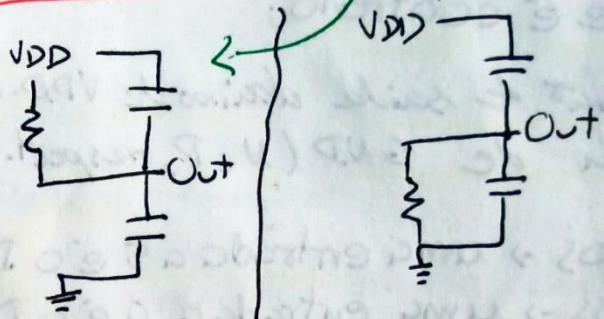
- LOW  $\rightarrow$  HIGH  $\rightarrow A = 0 \rightarrow \bar{A} = 1$

$$t_{PLH} = 0,7 R_p C_{out}$$

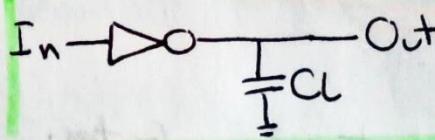
- HIGH  $\rightarrow$  LOW  $\rightarrow A = 1 \rightarrow \bar{A} = 0$

$$t_{PHL} = 0,7 R_n C_{out}$$

\* No inverter!



Com carga externa



$$t_{PLH} = 0,7 R_p (C_{out} + C_L)$$

$$t_{PHL} = 0,7 R_n (C_{out} + C_L)$$

Nota:  $t_d = t_p \rightarrow C_n$

Nota: fento (f)  $\rightarrow 10^{-15}$   
atto (a)  $\rightarrow 10^{-18}$

## Consumo Dinâmico

$$C_L = C_{out} + C_{in} \rightarrow \text{ligações exteriores}$$

$$E = \frac{1}{2} C_L (V_{DD})^2 \rightarrow \text{energia armazenada}$$

$$P_d = C_L (V_{DD})^2 f \rightarrow \text{potência dinâmica}$$

$$P_{DP} = P_{avg} \cdot (t_{PHL} + t_{PLH}) \quad * \text{na outra página}$$

## PUN - PDN

- Normas variáveis nas duas redes;
- AND  $\rightarrow$  Série
- OR  $\rightarrow$  Paralelo
- PUN = 1 e PDN = 0
- Ou está 1 ou está zero, nunca ambos ou nenhum

## Transistor de Passagem (PG)

- 1 MOSFET;
  - Gate é controle;
  - Tensão de saída abaixo de VDD ou acima de GND (NeP, respect.)
- NMOS  $\rightarrow$  uma entrada a 5 é o D.  
PMOS  $\rightarrow$  uma entrada a 0 é o D.

## Porta de Transistor (TG)

- 2 MOSFET;
- Valores complementares na Gates;
- Ou ambos ON ou ambos OFF

## Lógica tri-state

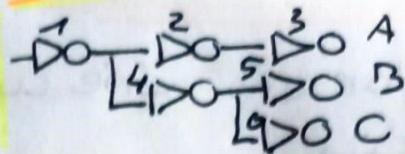
- NCS é PDN-PDN convencionais, mas tem a possibilidade de HIGH, LOW ou Hi-Z

alta  $\downarrow$  impedância

$$Fator de dreno = \frac{1}{n(t_{PLH} + t_{PHL})}$$

$\hookrightarrow$  n inversores

## Mutón Inversores



O atraso/propagação maior é o ① porque depende do ② e do ③, que depende do ⑤ e ⑥.

A      B  
      C

$\longrightarrow$   
Propagação / atraso

## Grandezas que caracterizam o Inversor

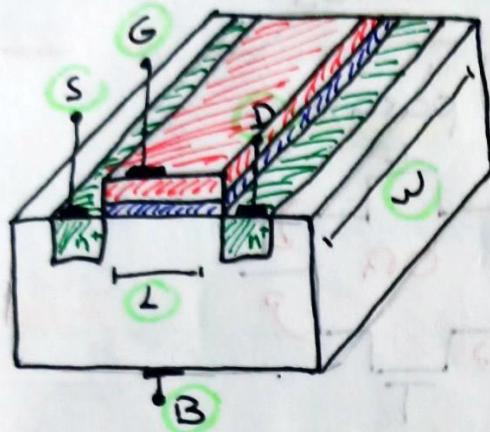
- $C_n >$  constantes de tempo
- $\tau_p >$  tempo de propagação
- $t_{PHL} >$  tempo de propagação
- $t_{PLH} >$  tempo de propagação
- $P_d$  - potência
- $E$  - energia armazenada

$$\begin{aligned} K &\Rightarrow 10^3 \\ N &\Rightarrow 10^6 \\ G &\Rightarrow 10^9 \\ T &= 10^{-12} \end{aligned}$$

# MOSFET - 1

## Introdução

### Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor



- S → Source
- G → Gate
- D → Drain
- B → Body

- Semiconductor P<sub>Si</sub>
- Semiconductor N<sub>Si</sub>
- isolador, SiO<sub>2</sub>
- Poli-silício
- Metal

- L → comprimento do canal
- W → largura do transistors

Tipos de canal CMOS → PMOS  
NMOS

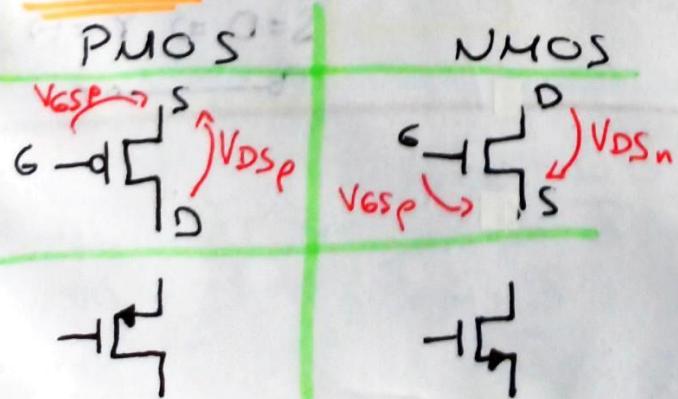
Canal P - PMOS

em substrato do tipo n

Canal N - NMOS

em substrato do tipo p

## Símbolos

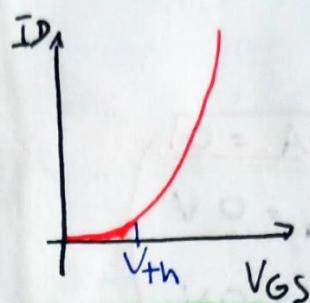


## Funcionamento

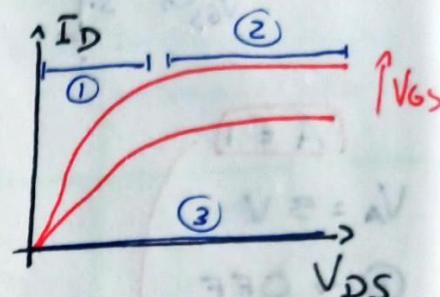
Formação do canal quando:

$$V_{GS} > V_{th}$$

$V_{th} \rightarrow$  tensão de limiar



$V_{DS}$  constante



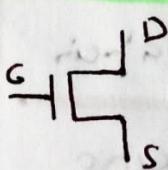
$V_{GS}$  constante

## Zonas

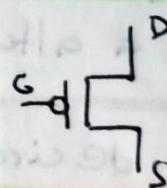
- triodo
- saturação (corrente constante)
- "ao corte" (quando não está ligado)

## Modelo Digital

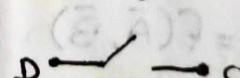
NMOS



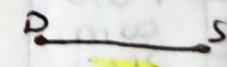
PMOS



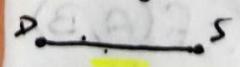
"0" lógico : OFF



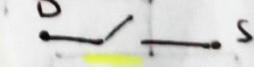
"0" lógico : ON



"1" lógico : ON



"1" lógico : OFF



NMOS

ON

$$V_{GS} > \frac{V_{DD}}{2}$$

OFF

$$V_{GS} < \frac{V_{DD}}{2}$$

PMOS

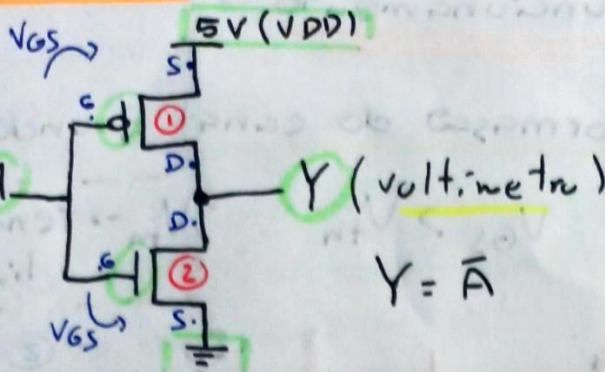
ON

$$V_{GS} < -\frac{V_{DD}}{2}$$

OFF

$$V_{GS} > -\frac{V_{DD}}{2}$$

## Inverter (NOT)



$$A = 1$$

$$V_A = 5 \text{ V}$$

① → OFF

② → ON

$$Y = 0$$

$$V_{GS\textcircled{1}} \rightarrow (5 - 5) = 0 \text{ V}$$

$$V_{GS\textcircled{2}} \rightarrow (5 - 0) = 5 \text{ V}$$

$$A = 0$$

$$V_A = 0 \text{ V}$$

① → ON

② → OFF

$$Y = 1$$

$$V_{GS\textcircled{1}} \rightarrow (0 - 5) = -5 \text{ V}$$

$$V_{GS\textcircled{2}} \rightarrow (0 - 0) = 0 \text{ V}$$

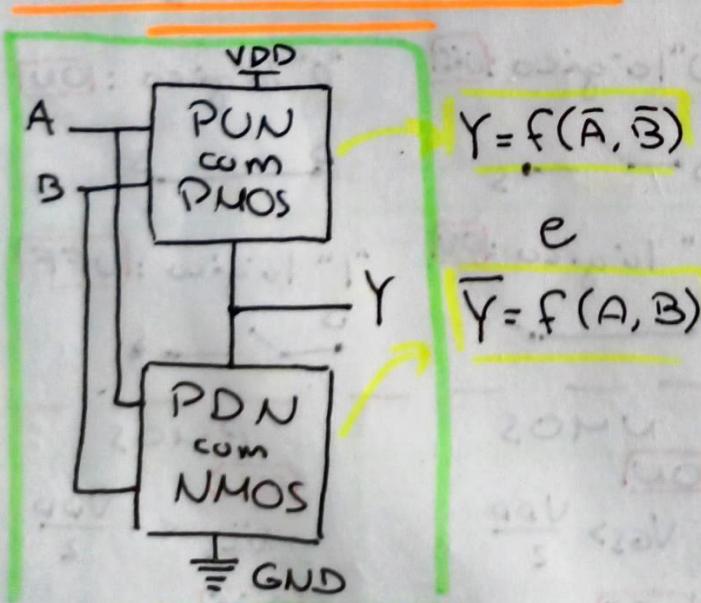
Nota:  $V_{DD} = V_{High}$

$$V_{GND} = V_{Low} = 0$$

Ambos abertos ⇒ não há corrente ⇒

⇒ Y está a alta impedance

## Síntese de circuitos CMOS

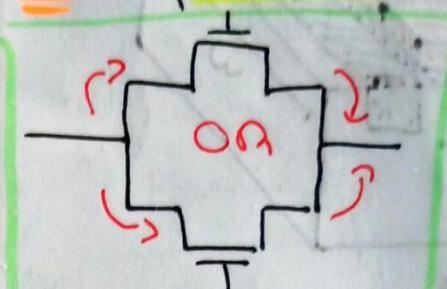


\*continua ao lado

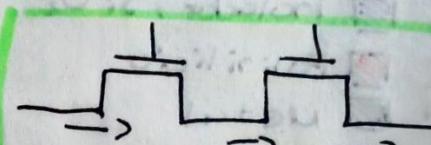
\* PUN → Pull-up Network  
PMOS

PDN → Pull-down Network  
NMOS

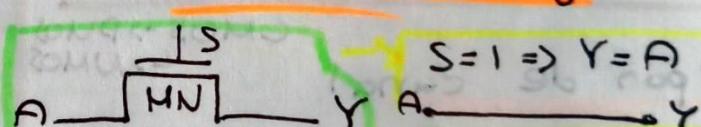
OR - paralelo



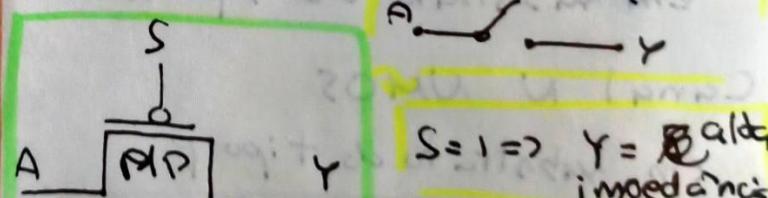
AND - série



## Transistor de Passagem



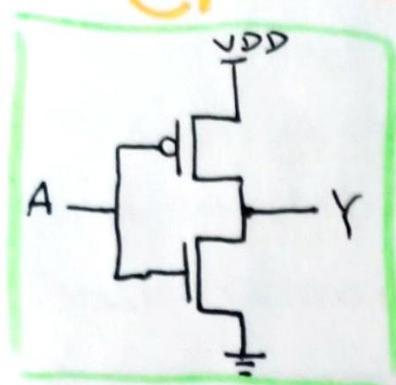
$S = 0 \Rightarrow Y = 0$   
alta  
impedância



$S = 0 \Rightarrow Y = 0$

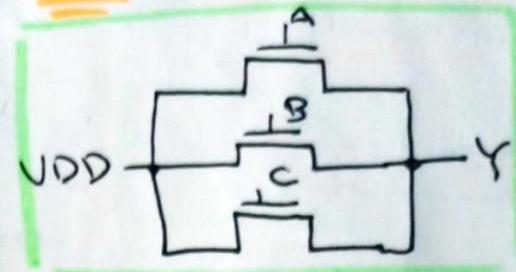
## MOSFET - 2

NOT (inversor)



$$Y = \bar{A}$$

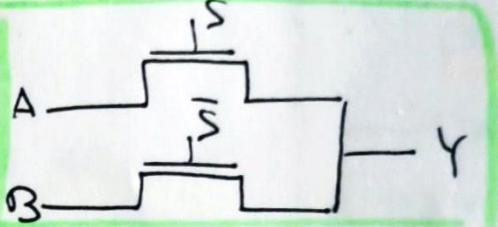
OR



$$Y = A + B + C$$

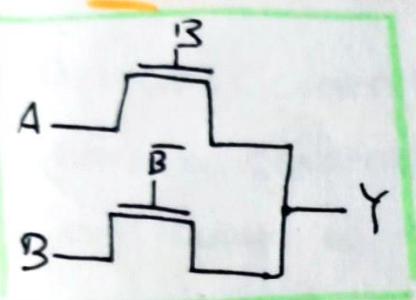
MUX 2:1

exemplo de mux



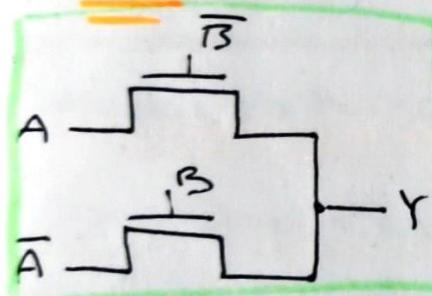
$$Y = AS + B\bar{S}$$

AND



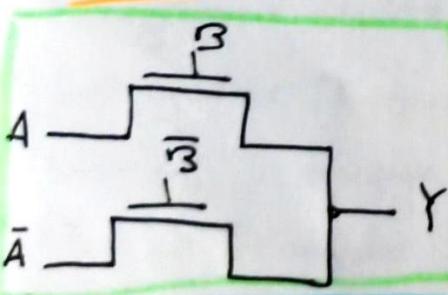
$$Y = A \cdot B + B \cdot \bar{B}$$

XOR



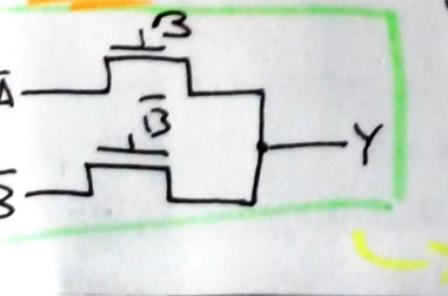
$$Y = A \bar{B} + \bar{A} \cdot B$$

XNOR



$$Y = AB + A\bar{B}$$

NAND



$$\begin{aligned} Y &= \bar{A} \cdot B + \bar{B} \cdot \bar{B} \\ &= \bar{A} \cdot B + \bar{B} \\ &= \bar{A} + \bar{B} \\ &= \overline{A \cdot B} \end{aligned}$$

# Eletônica -> Lab.

## Medir Resistências

- Valor nominal calculado com código de cores
- Valor medido no Ohmímetro
- Escolha o maior valor

## Gerador de Tensão

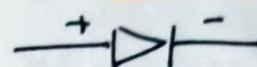
- Deixar Corrente e tensão no zero 0
- Mover a corrente até acender luz "CV"
- Configurar a tensão
- Curtocircuitar a fonte e configurar a corrente.

## Limitar a corrente da fonte

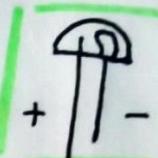
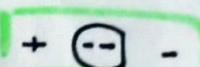
$$I_g = \frac{V_g}{R_{eq}}$$

Calcular  $R_{eq}$  antes de escolher resistência

## Diodo



+ → Anodo  
- → Catodo



## Gerador de Funções + Osciloscópio

- Ligar Dispositivo ..
- Definir frequência com roda e botão "Range".
- Trigger: "Mode": "Auto" / "Source": "Channel ?".
- Programar voltagem por divisão ("Volt/Div").
- Selecionar "Ground" e meter no "0".
- No "AC": mudar o Valor Vamp no gerador ..
- No "DC": mudar o valor no "Offset" para o valor  $V_Dc$  ..

## Multímetro

Amperímetro: colocar em série no circuito

Voltímetro: colocar em paralelo

Ohmímetro: medir individualmente cada resistência

# Eletrônica

Carga (q)

Coulomb (C)

Corrente (I)

Coulomb / s

Ampere (A)

Tensão (V)

Volt (V)

Resistência (R)

Ohm ( $\Omega$ )

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Lei de Ohm

$$R = \frac{U}{I}$$

Múltiplas Resis.

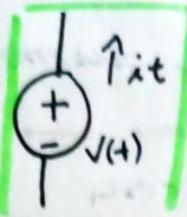
Série:

$$R_s = R_1 + R_2$$

Paralelo:

$$R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

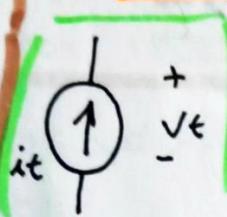
Fonte de Tensão



$$S: V_t = V_1 + V_2$$

$$P: V_t = V_1 = V_2$$

Fonte de Corrente



$$S: -$$

$$P: i_t = i_1 + i_2$$

Potência

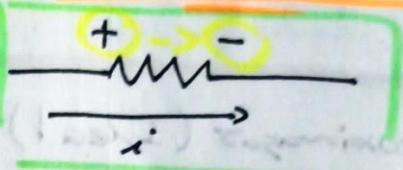
Watt (W)

$$P = VI = R I^2 = \frac{V^2}{R}$$

$\rightarrow$  Diminuída ( $> 0$ )

$\rightarrow$  Fornecida ( $< 0$ )

Sentido da Corrente



Círculo:

$$\sum P = 0$$

Malha — caminho fechado

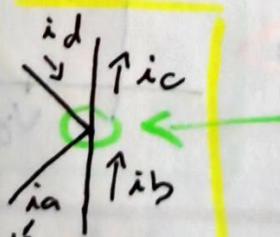
Nó — divide os componentes

Ramo — componentes

Lei de Kirchhoff

Lei dos Nós (Correntes)

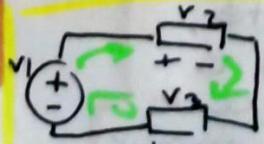
$\hookrightarrow$  Não se acumula carga nos nós



$$i_b - i_c + i_d - i_a = 0$$

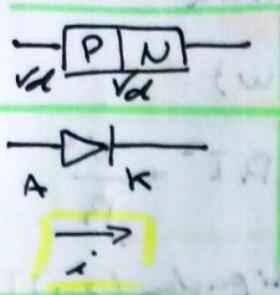
Lei das Malhas (Tensões)

$\hookrightarrow$  Soma na malha é sempre 0



$$-V_1 + V_2 - V_3 = 0$$

## Diodo



## Polarização Direta

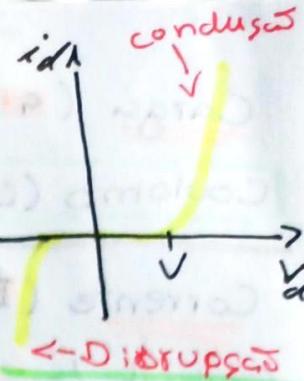
$V_d < V_0$  Não há corrente

$V_d \geq V_0$  corrente aumenta

## Polarização Inversa

$V_d < 0$  Não há corrente ("corte")

$V_d \rightarrow -\infty$  Disrupção



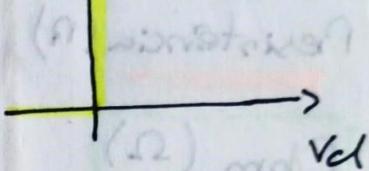
## 1ª Aproximação (Ideal)

$i = 0$

Curto Circuíto - Conduz -  $i > 0$

Circuito Aberto - Não conduz -  $i = 0$

$i = 0$



## 2ª Aproximação

Fonte de  $T$

$i = 0$

Conduz -  $V > V_0$  \*

Corte -  $V < V_0$

Nota:

$$0,2 \leq V_0 \leq 0,8$$

\* Fica fonte de tensão de valor  $V_0$   
 $V = V - V_0$

## 3ª Aproximação

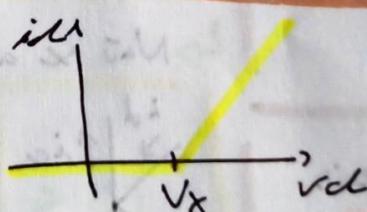
Fonte  $T + R$

$i = 0$

$$V = V - V_0$$

$$R = R + R_0$$

Semelhante à segunda, \*  
 só que tem resistência.



## Divisão de Tensão

$$V_x = V \frac{R_x}{R_{eq}}$$

## Subtração

Unir-se com 2 ou mais fontes independentes, calculando o valor para cada uma e dps somar

$$I_{R_x} = \frac{R_y}{R_{eq}}$$

$R_x \rightarrow$  o que queremos calcular

$R_y \rightarrow$  resistência da corrente do outro lado

$R_{eq} \rightarrow$  Toda essa resistência envolvida

em série apenas

## Eletônica 2

### Sinais Períodicos

- formas de variáveis em minúscula

### Unidades

mili	m	$10^{-3}$
micro	M	$10^{-6}$
nano	n	$10^{-9}$
pico	P	$10^{-12}$

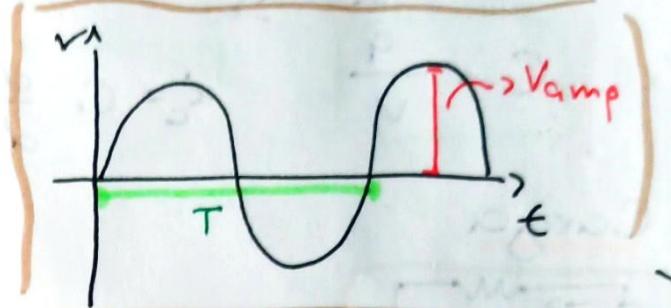
### Onda Sinusoidal

- Período ( $T$ ) - tempo que onda demora a terminar 1 ciclo
- Frequência ( $f$ ) - n = ciclos num segundo

$$T = \frac{1}{f}$$

$$v(t) = V_{DC} + V_{amp} \sin(2\pi f t)$$

$$\text{- Frequência Angular } (\omega) \rightarrow \omega = 2\pi f$$

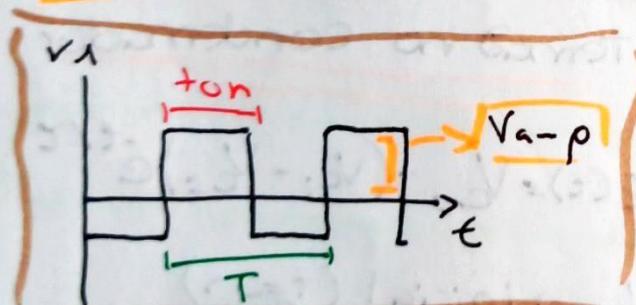


-  $V_{DC}$  - corrente contínua (no ex: corrente é 0)

-  $V_{amp}$  - amplitude

-  $V_{pp}$  - valor pico-a-pico =  $2V_{amp}$

### Onda Quadrada



Duty-cycle (Dc) =

$$= \frac{t_{on}}{T} \times 100\%$$

### Potência do Sinal

$$P_{sinal} = V_{ef} \times I_{ef}$$

$$\downarrow = \frac{V_{amp}}{\sqrt{2}} \times \frac{I_{amp}}{\sqrt{2}}$$

$$V_{ef} = \frac{V_{amp}}{\sqrt{2}}$$

$$f_{máx} = \frac{1}{T_{mín}}$$

$$Td = 0.5 \text{ s}$$

L > Número da subida

$$\text{ex: DC} = 75\%$$



$$T_{mín, mís} = 5\text{s}$$

$$T_{mín, mís} = 3 \times 5\text{s} = 15\text{s}$$

$$\left\{ T_{mín} = 5 + 15 = 20\text{s} \right.$$

## Condensador

C capacidade - Farad (F)

Armazena  $q$



$$C = \frac{q}{V}$$

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

$\epsilon$  constante dielettrica

A área das placas

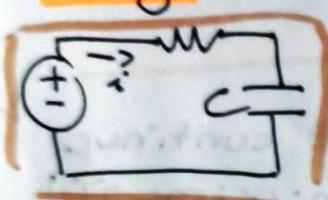
d distância das placas

### Associação

Paralelo:  $C_p = C_1 + \dots + C_n$

Série:  $C_p = \frac{1}{C_1} + \dots + \frac{1}{C_n}$

## Carga

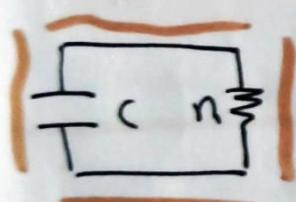


Metade da energia é dissipada na resistência, e metade é armazenada no C

Energia Armazenada

$$W = \frac{1}{2} C V^2$$

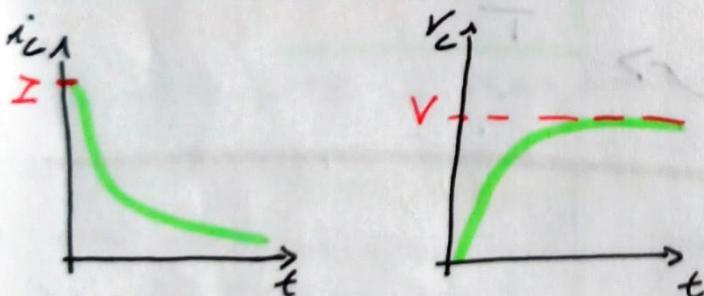
## Descarga



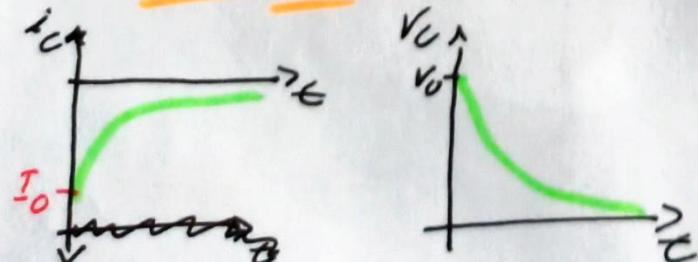
Energia previamente armazenada em C é fornecida à R

$\rightarrow$  Joules (J)

## Gráficos na Carga



## Gráficos na Descarga



## Temps no Condensador

$$V_C(t) = V_{C_f} + (V_{C_i} - V_{C_f}) e^{-t/\tau}$$

$V_{C_i}$  -> inicial ( $t=0$ )

$V_{C_f}$  -> final  $\rightarrow$  regime estacionário

$\tau$  -> constante de tempo ( $\gamma$ )

Regime estacionário =  $5 \tau$

$$\tau = RC$$