

PMR2450 - Projeto de Máquinas

Mecatrônica - EPUSP

# Acionamentos e Sensores para Máquinas CNC

Julio Cezar Adamowski

setembro/2005

# Acionamentos Motores elétricos

Características:

linearidade

torque

velocidade

geração de calor

massa

Principais tipos de motor elétrico:

motor CA de indução

motor *Brushless* (CA e CC)  mais utilizado

motor CC

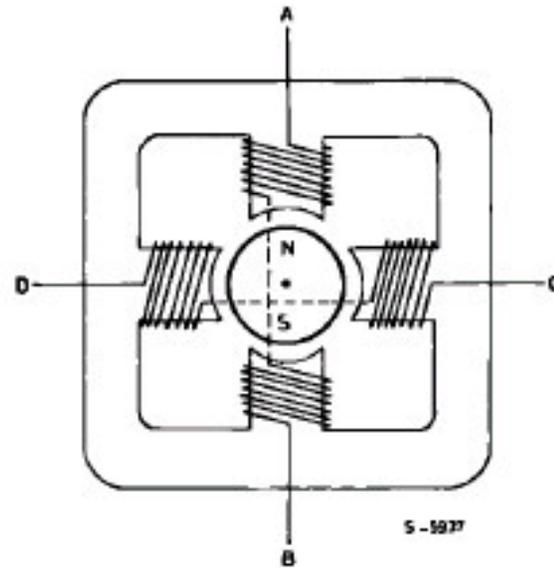
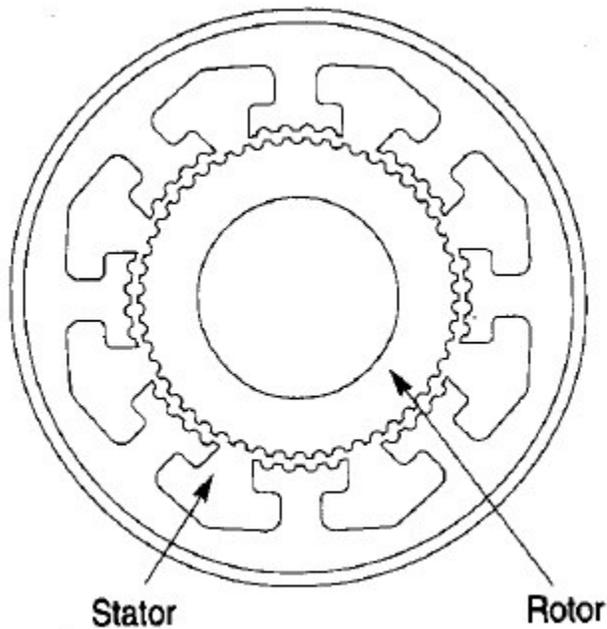
motor de passo

# Motor de passo

Imã permanente

Relutância variável

Híbrido

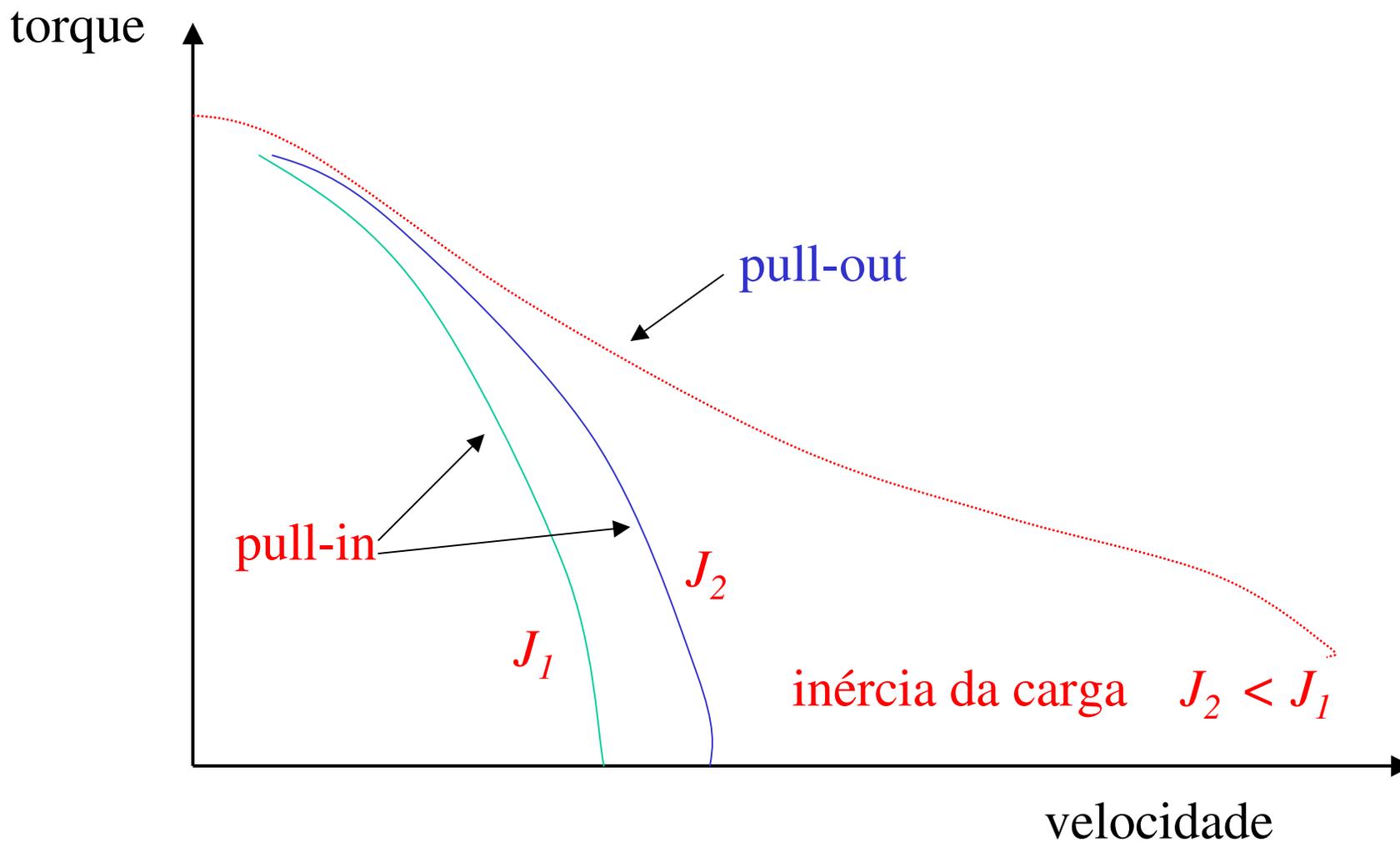


Passo completo: 200 p/volta

Meio passo: 400 p/volta

Curva de torque x velocidade

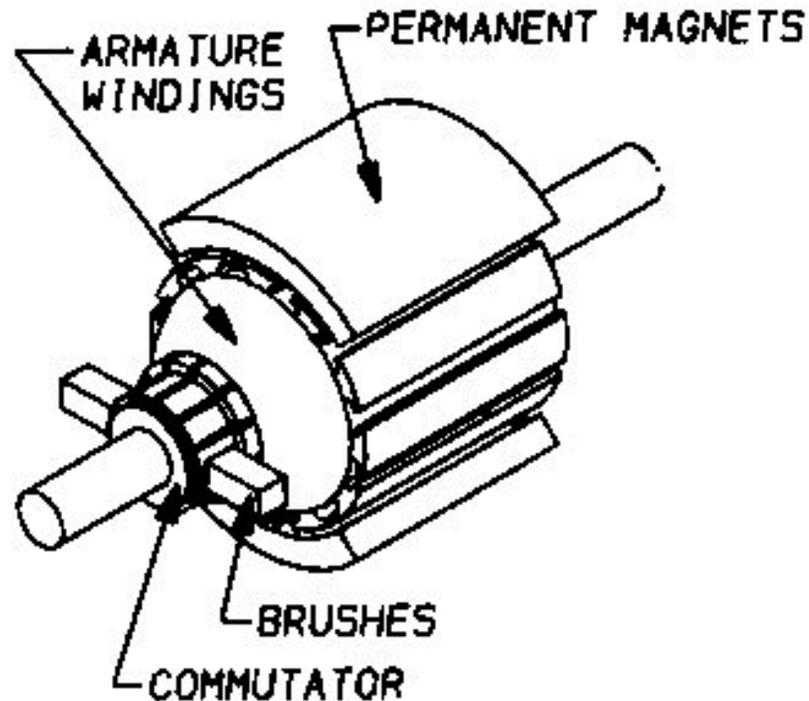
## Curva torque x velocidade: motor de passo



Acoplamento motor - carga

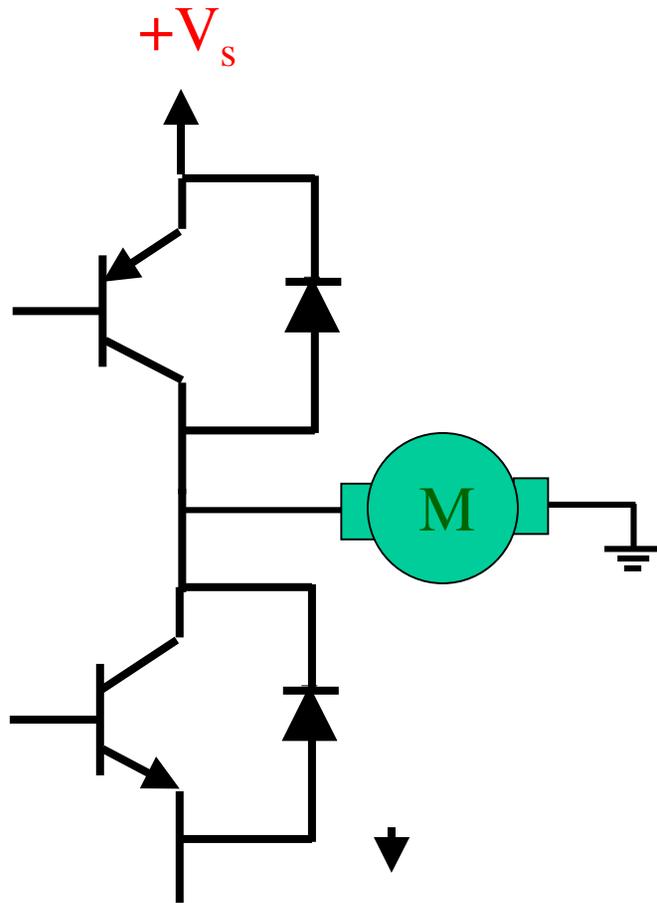
# Motor CC

Núcleo de ferro → aumenta o fluxo magnético  
(elevada permeabilidade magnética)

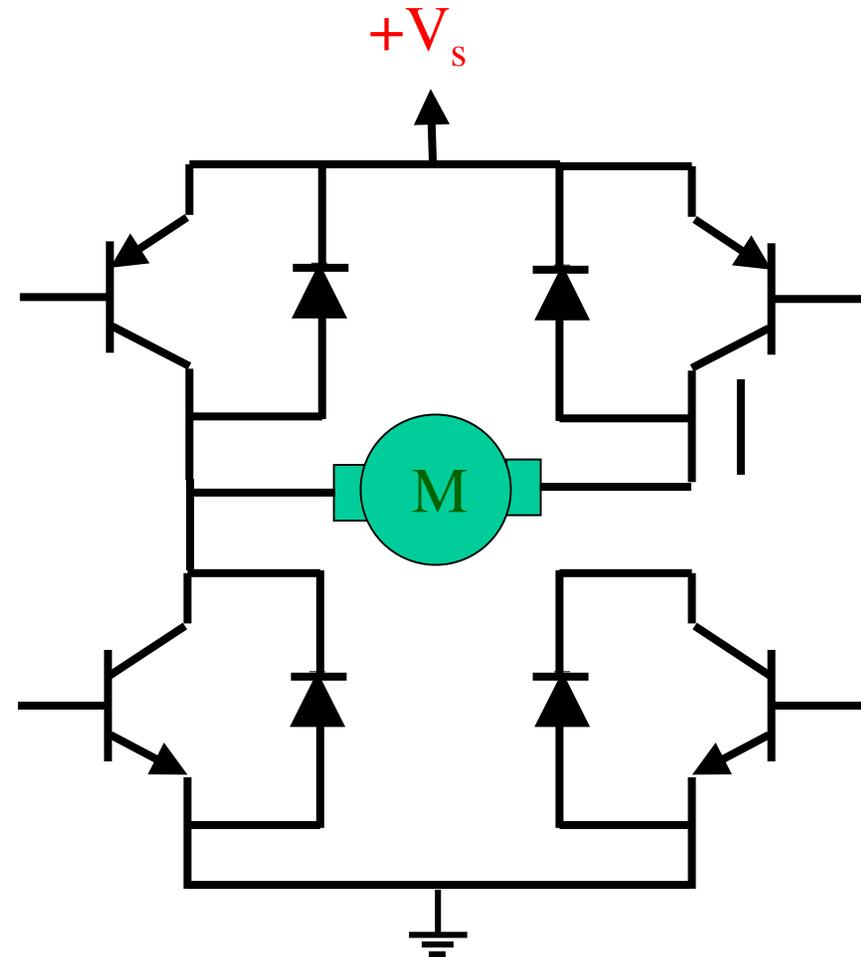


Enrolamentos no rotor → comutação através de escovas

# Amplificador chaveado - PWM



$-V_s$   
duas fontes

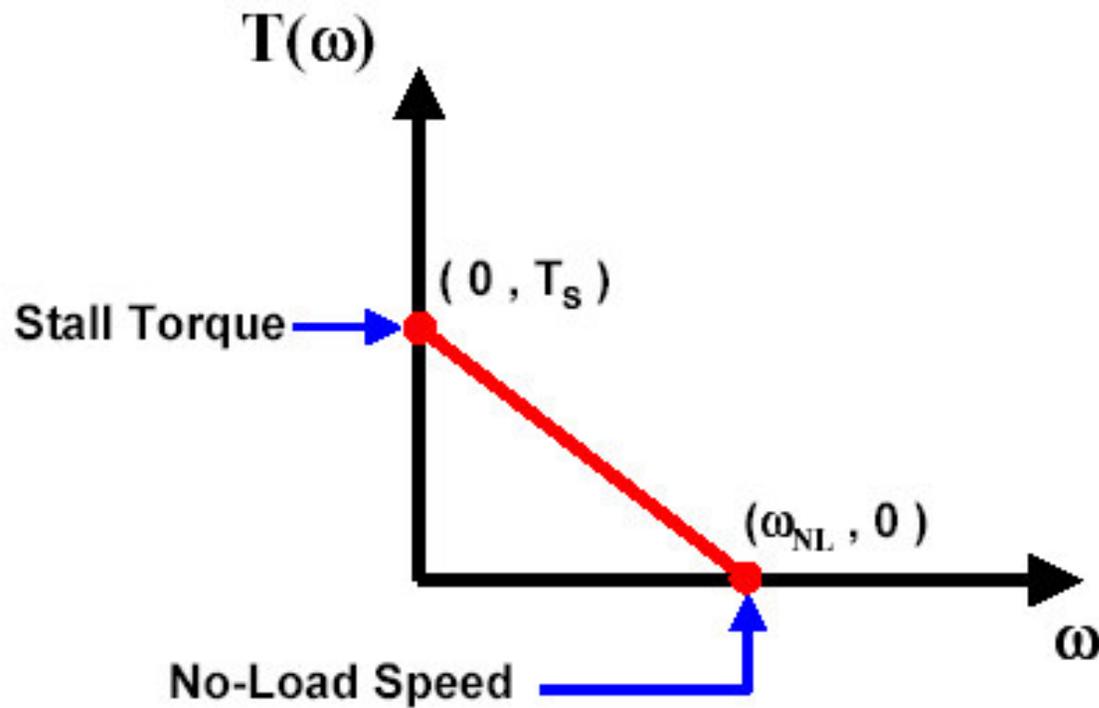


uma fonte

## Torque, velocidade e potência

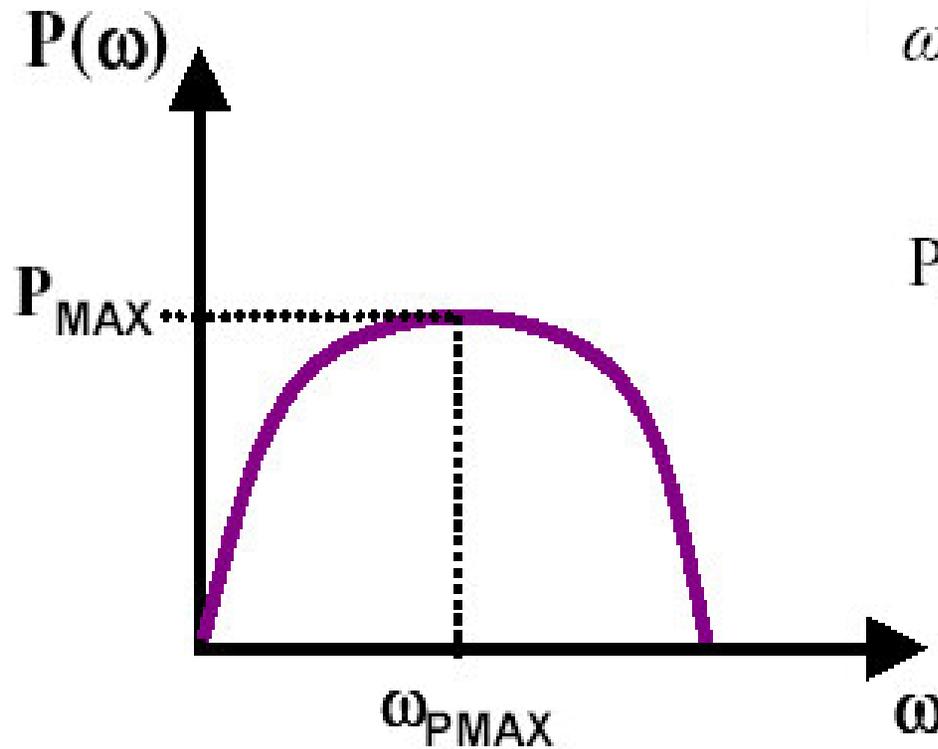
Torque x velocidade

$$T(\omega) = T_S \cdot \left( 1 - \frac{\omega}{\omega_{NL}} \right)$$



Potência

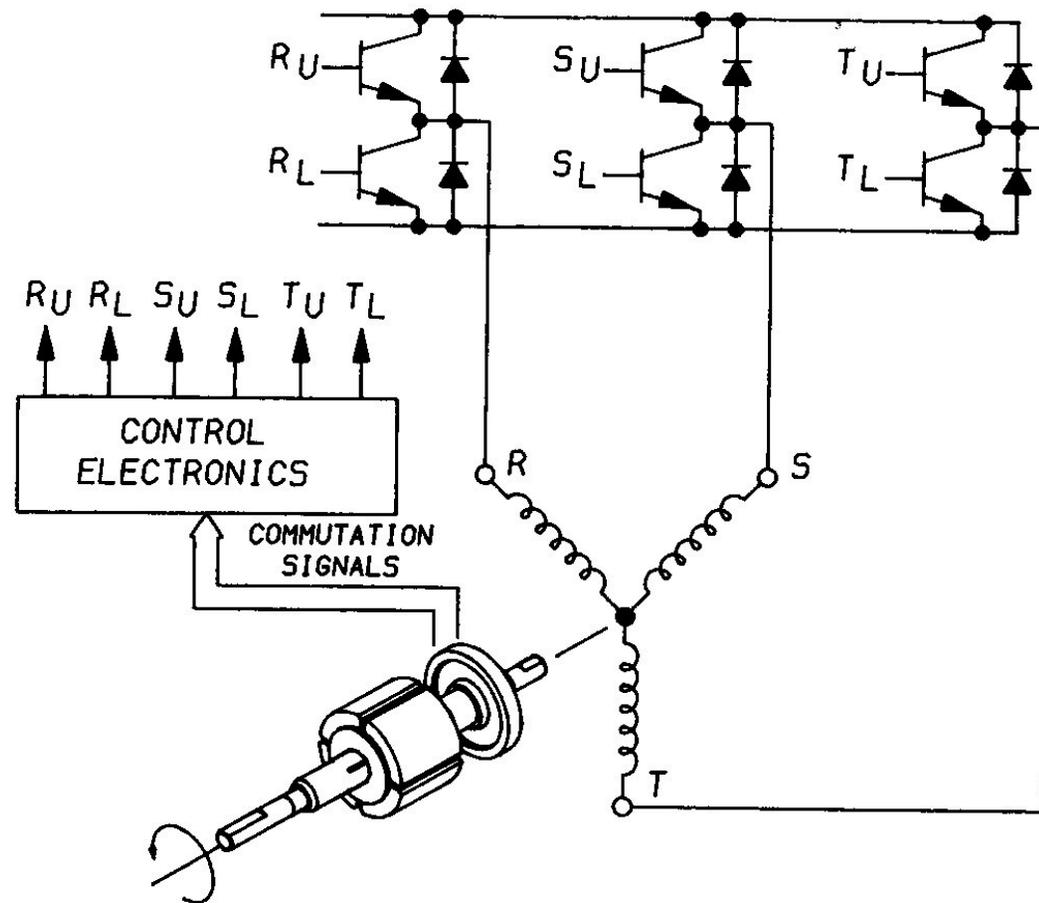
$$P(\omega) = T(\omega) \cdot \omega = T_S \cdot \left( \omega - \frac{\omega^2}{\omega_{NL}} \right)$$



$$\omega_{P_{MAX}} = \frac{\omega_{NL}}{2}$$

$$P_{MAX} = T_S \cdot \left( \frac{\omega_{NL}}{4} \right)$$

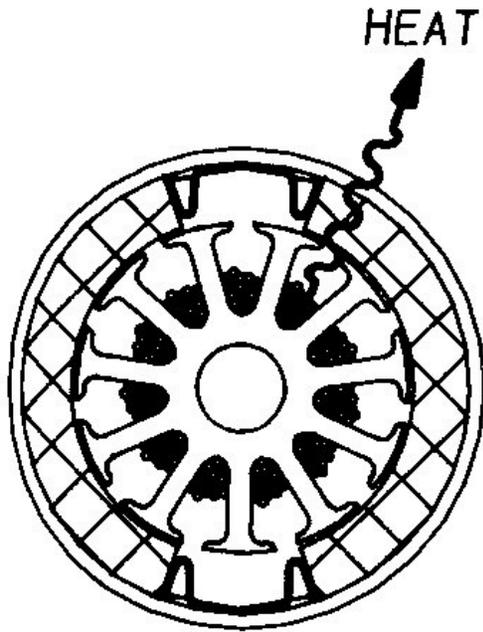
# Motor de corrente contínua sem escovas (brushless)



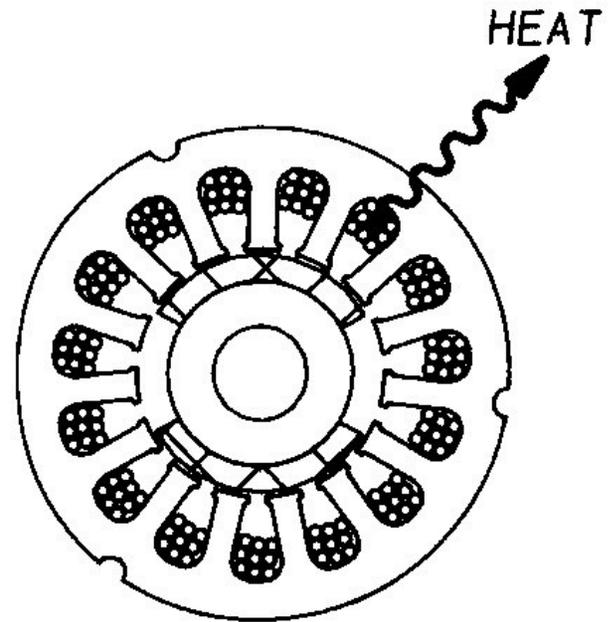
Enrolamentos no estator e ímãs permanentes no rotor

→ sensores de posição no rotor para comutação no estator

# geração de calor

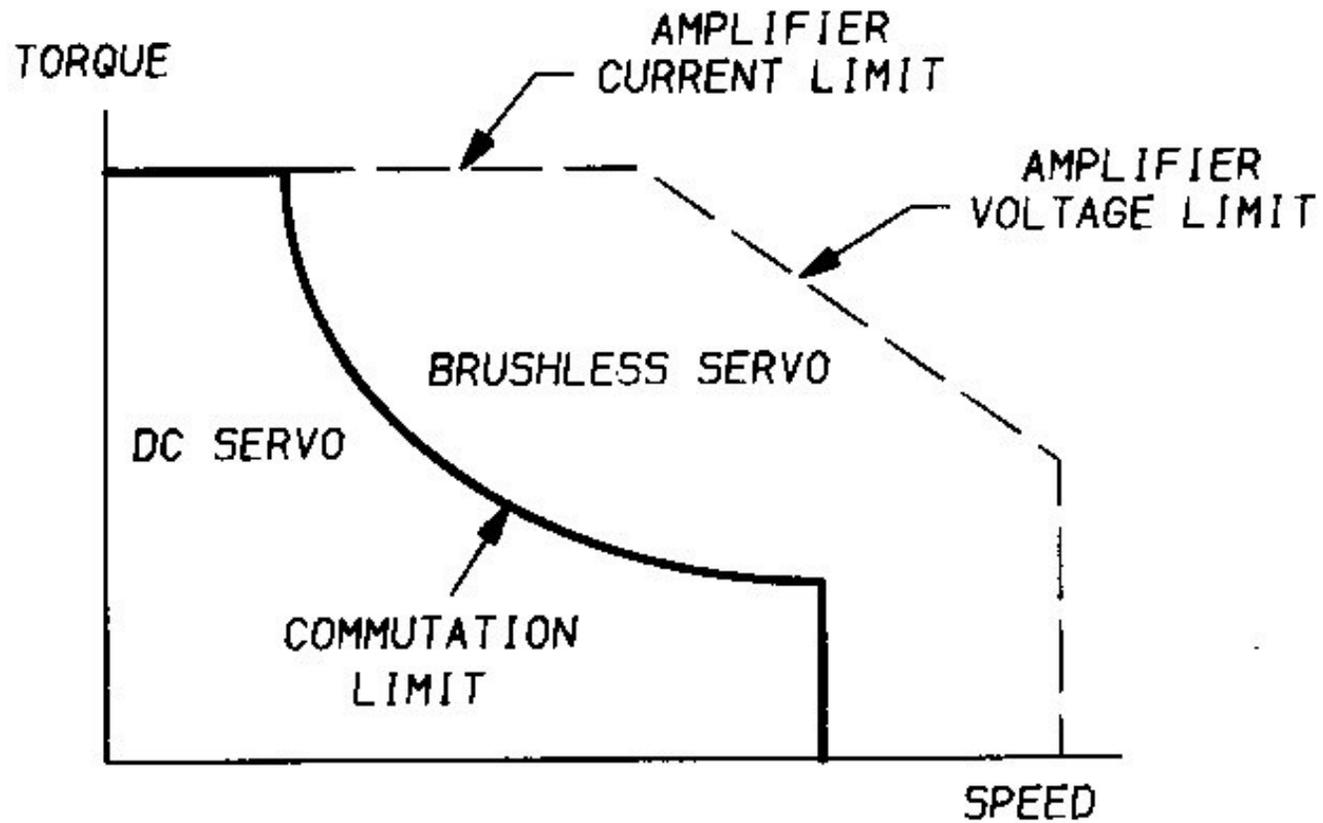


DC MOTOR

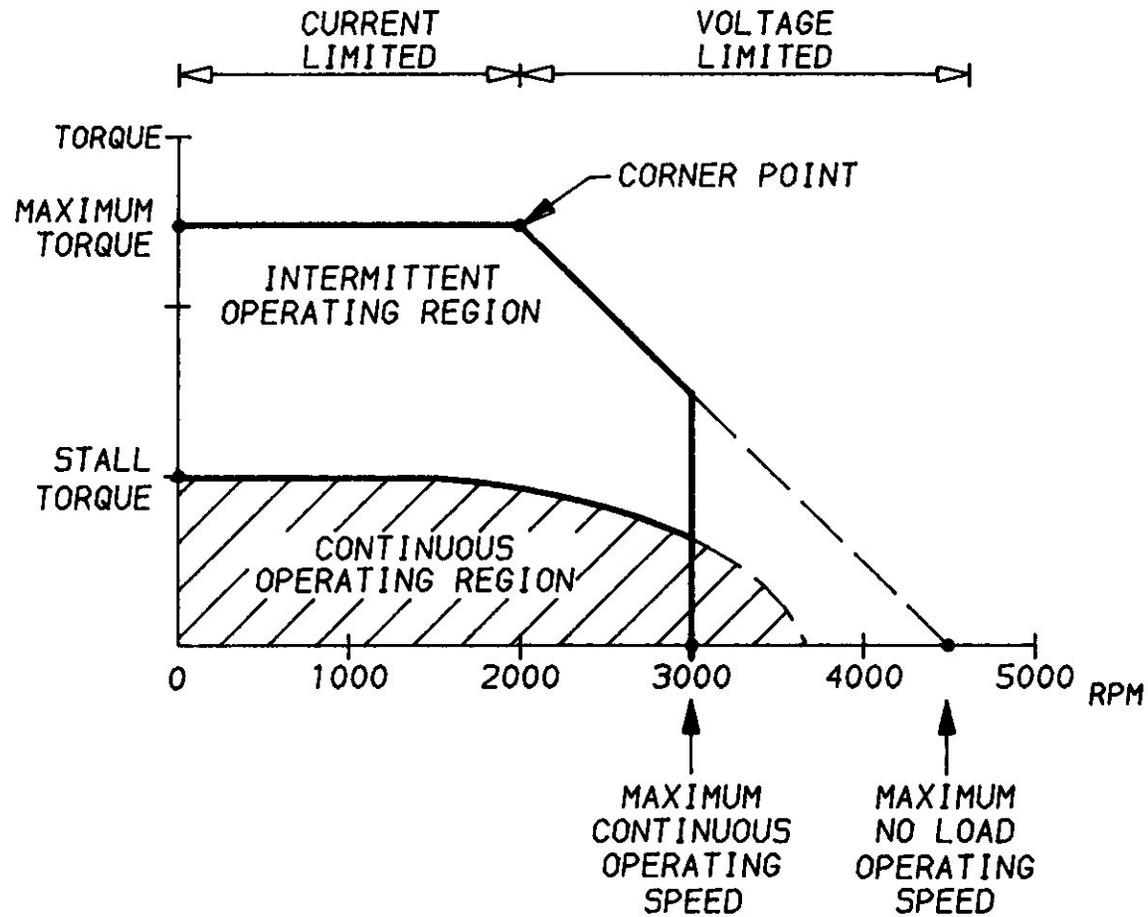


BRUSHLESS MOTOR

## Características de torque x velocidade angular



# Motor brushless

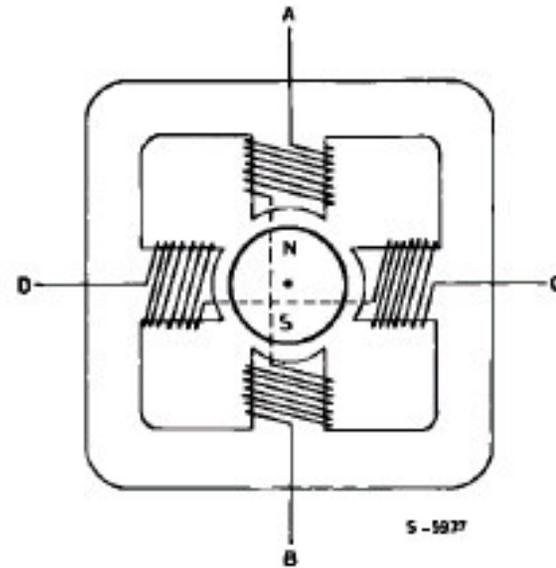
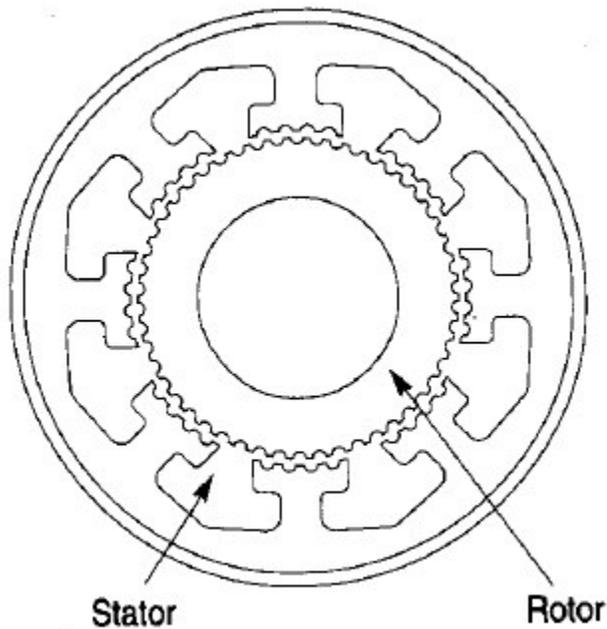


# Motor de passo

Imã permanente

Relutância variável

Híbrido

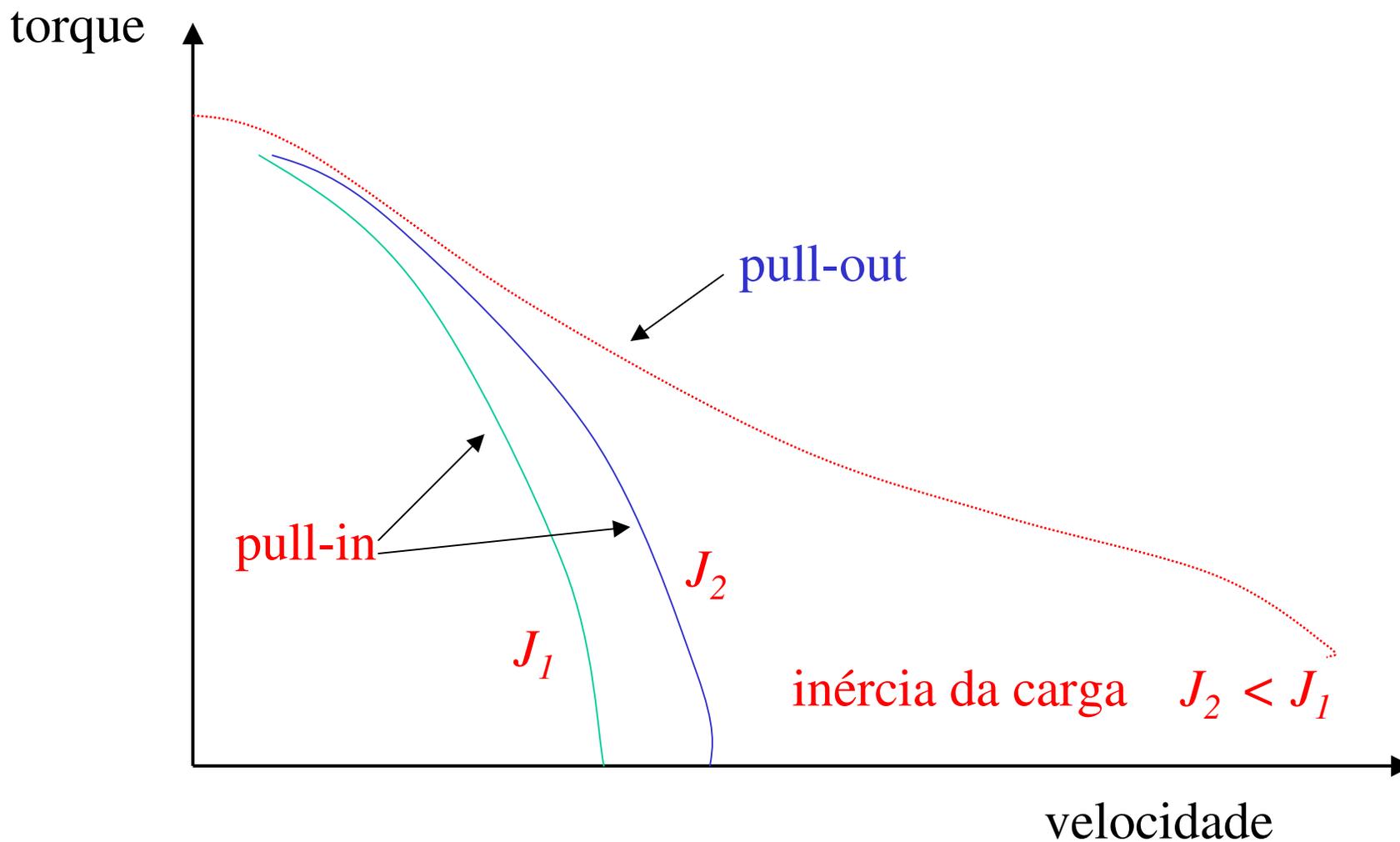


Passo completo: 200 p/volta

Meio passo: 400 p/volta

Curva de torque x velocidade

## Curva torque x velocidade: motor de passo



Acoplamento motor - carga

# Principais problemas nos 3 tipos de motores

## Motor de passo

Tem operação limitada a baixas rotações: limitação na velocidade de chaveamento das fases

Não suporta picos de torque: perde sincronismo

## Motor CC

Uso de escovas: desgaste, produção de detritos e centelhamento

Enrolamento no rotor: aquecimento devido a perdas nos condutores elétricos e conseqüente aquecimento dos componentes mecânicos ligados ao eixo do motor

## Motor Brushless

Imãs permanentes no rotor: passível de desmagnetização quando submetido a correntes elétricas ou temperaturas elevadas

Torque de retenção devido aos imãs permanentes, quando acionado com formas de ondas quadradas ou trapezoidais. Desaparece quando acionado com forma de onda senoidal (difícil de implementar)

## Dimensionamento

Torque, rotação, inércia do rotor, potência, rigidez

Constante de tempo: inércia de massa do sistema mecânico e rigidez do atuador

Constante de tempo do controlador: pelo menos a metade da constante de tempo mecânica (na prática, 10 a 20 vezes menor)

Casamento de inércias: inércia da carga = inércia do motor  $\Rightarrow$  potência do motor pelo menos 2 vezes a potência da carga

Taxa de potência:  $P_R = T^2/J$  (W/s)

Significa: quão rápido o motor consegue acelerar sua própria inércia

Constante mecânica de tempo:  $\tau_m = \frac{R_a J_{ef}}{k_e k_t}$

$R_a$  resistência do enrolamento ( $\Omega$ )

$J_{ef}$  inércia efetiva ( $\text{kg.m}^2$ )

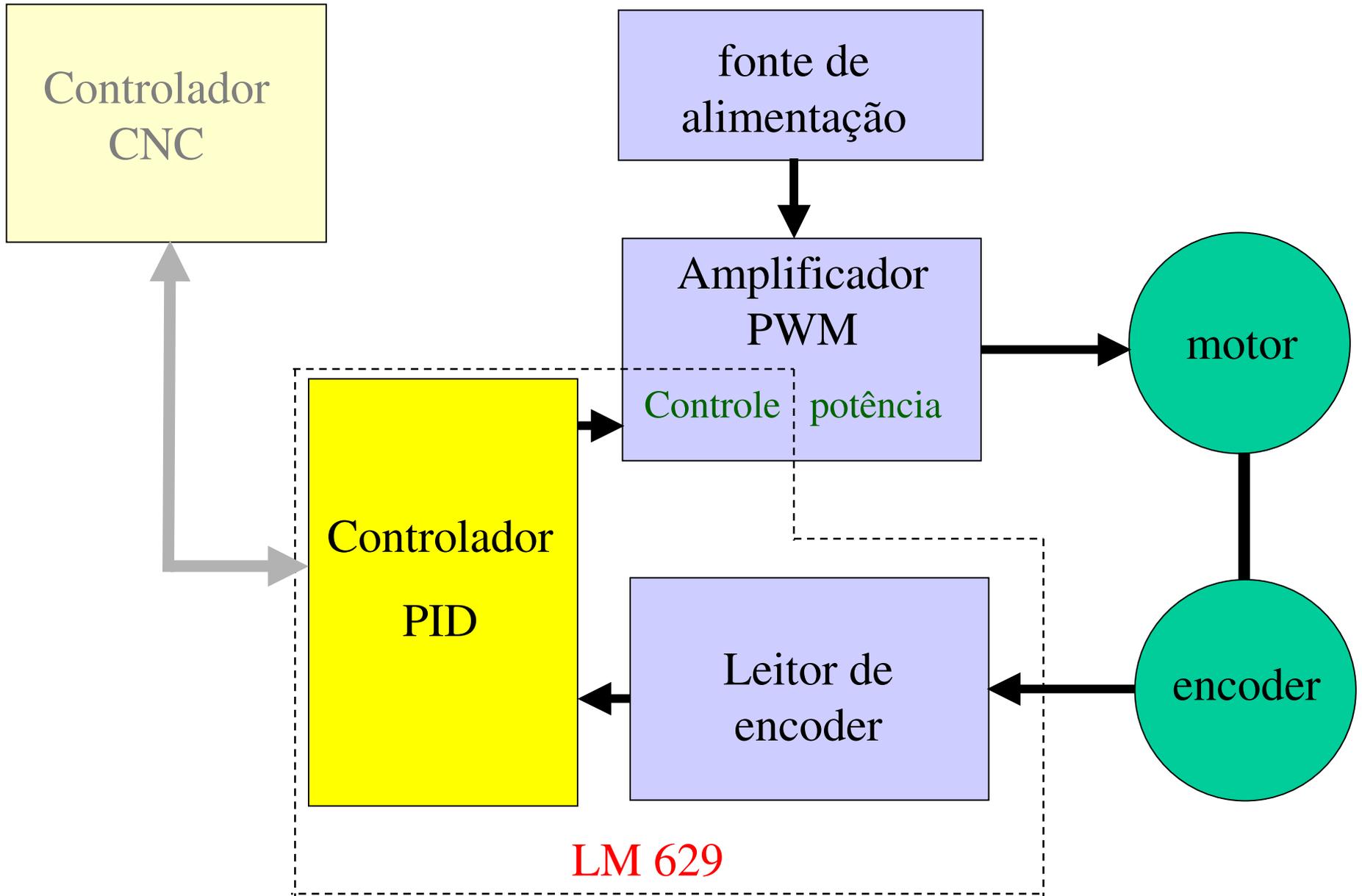
$k_t$  constante de torque ( $\text{Nm/A}$ )

$k_e$  constante da força contra-eletromotriz ( $\text{Vs/rad}$ )

$H_a$  indutância do enrolamento (H)

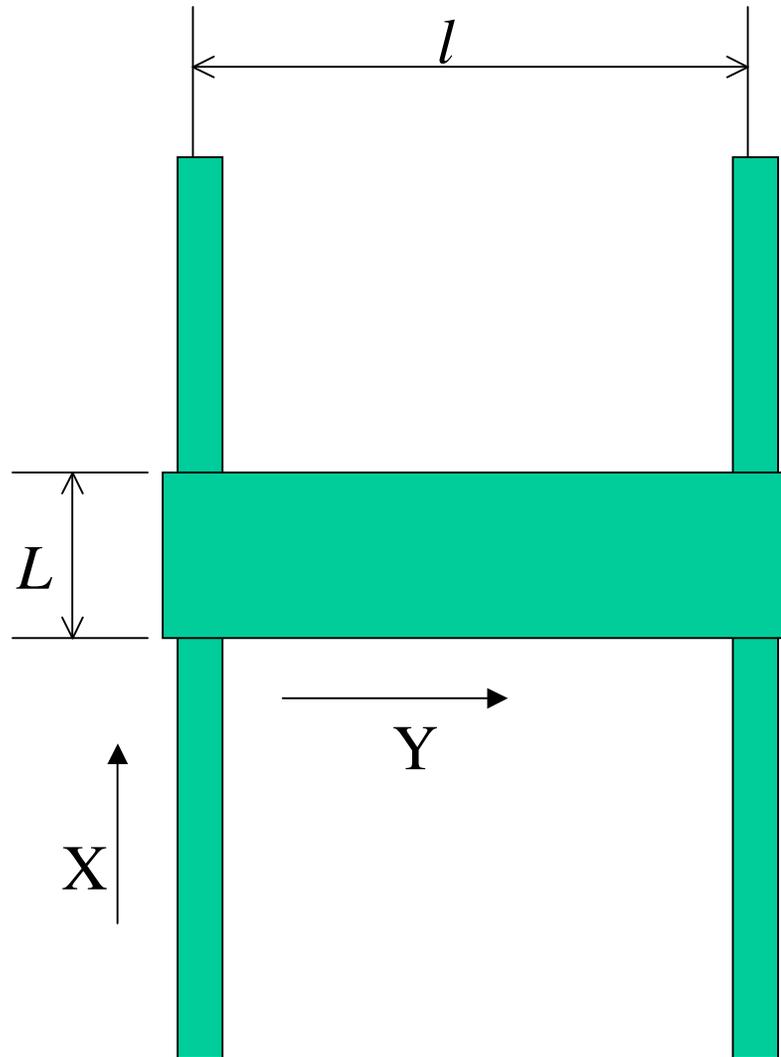
Constante elétrica de tempo:  $\tau_e = \frac{H_a}{R_a}$

# Acionamento eletrônico motor CC



Relação  $L/l < 1$ : acionamento em ambos os lados do eixo X

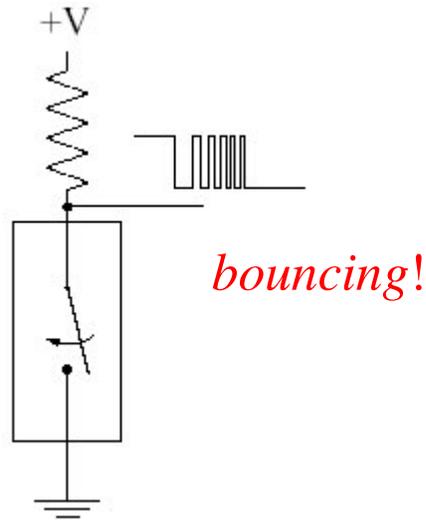
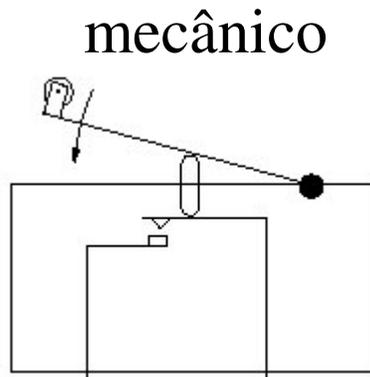
controlador: estratégia mestre - escravo



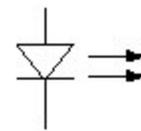
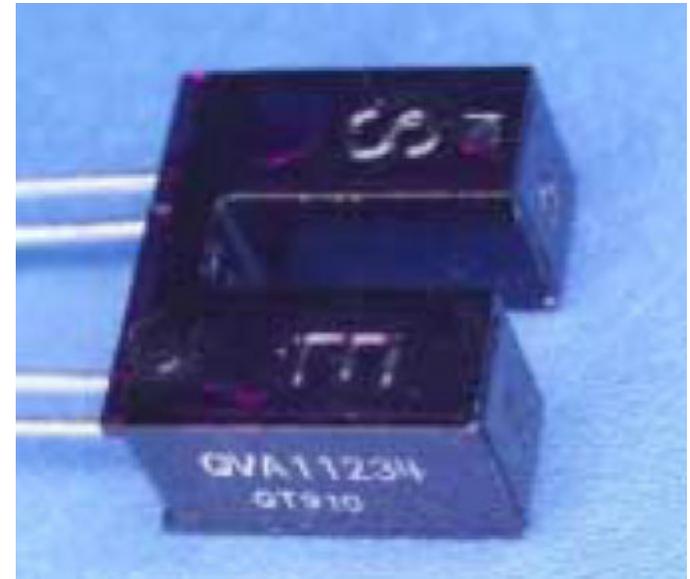
eliminação de folgas!

# Sensores

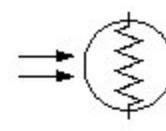
Chaves de fim de curso:



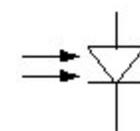
óptico



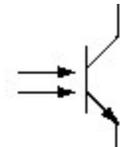
LED



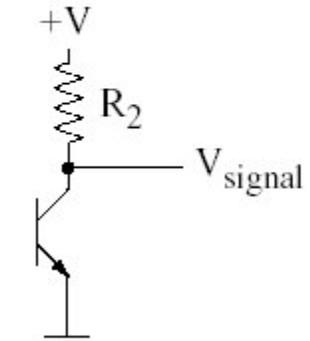
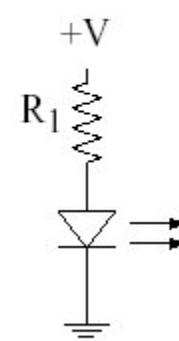
photoresistor



photodiode



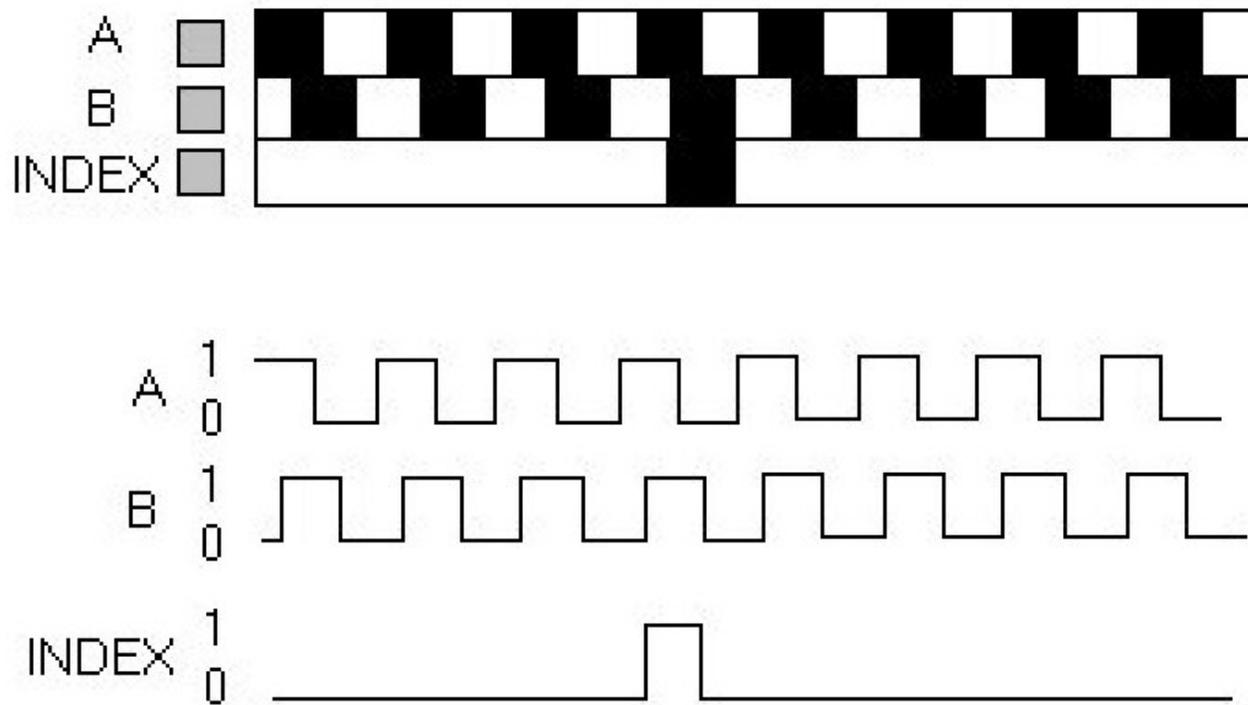
phototransistor



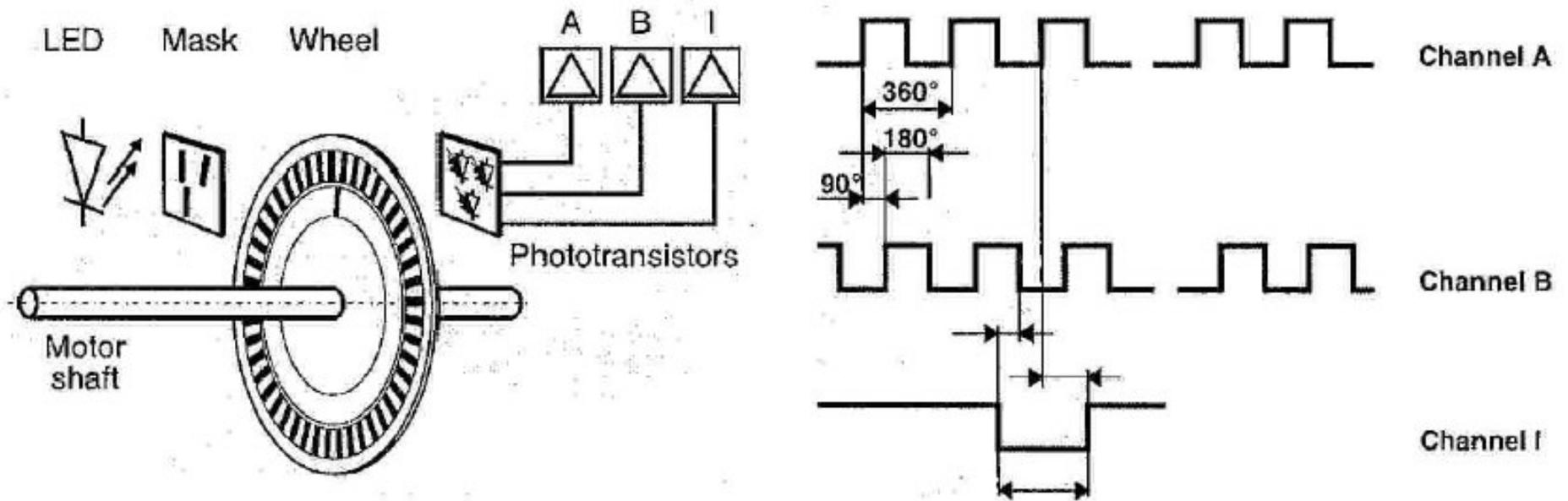
typical configuration

# Encoder óptico

## Incremental

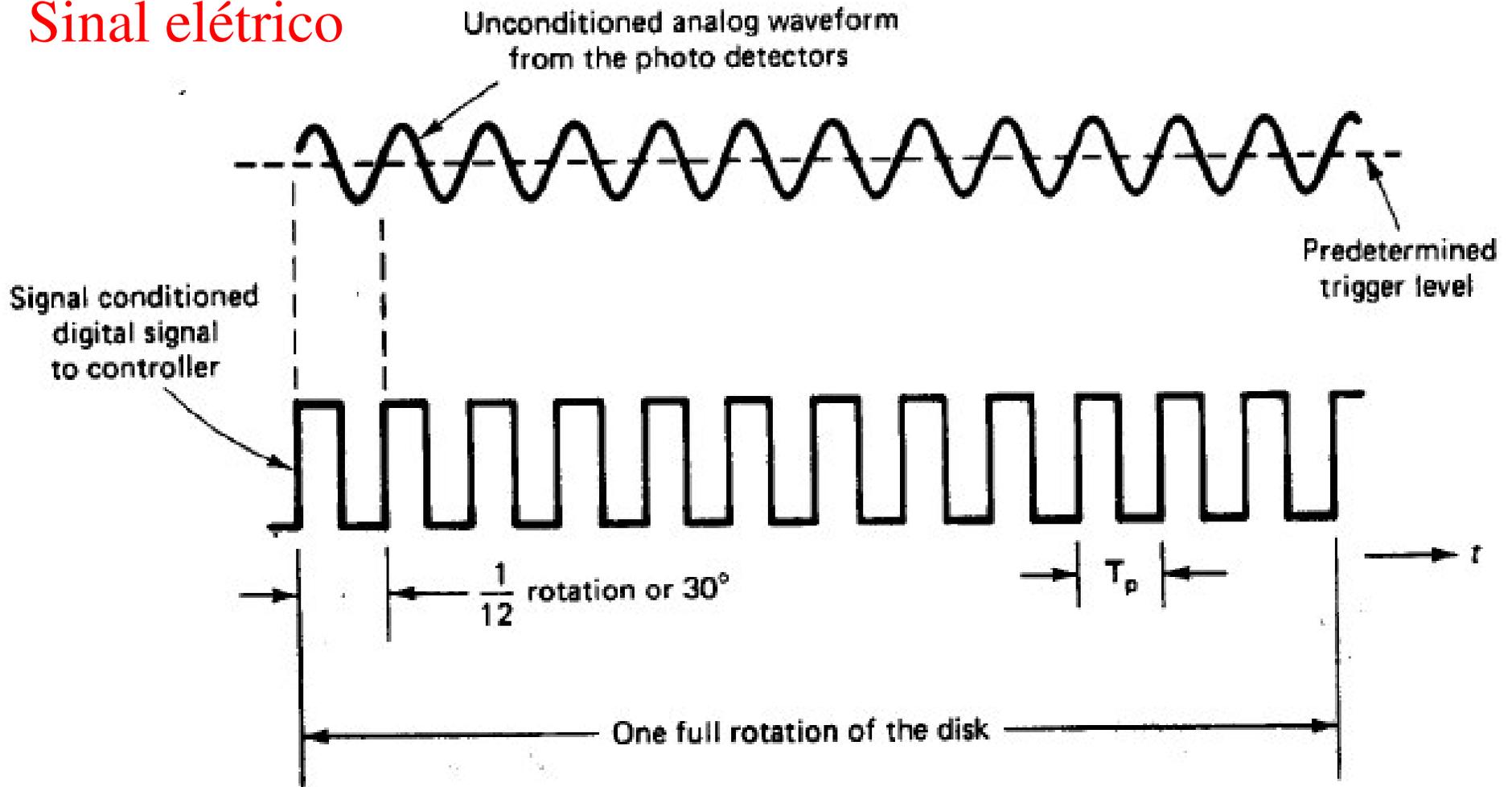


# Encoder óptico incremental



# Encoder óptico incremental

## Sinal elétrico



• Sentido de movimento

• vibração

limitação: 125 fendas/mm

# Encoder óptico

## Absoluto

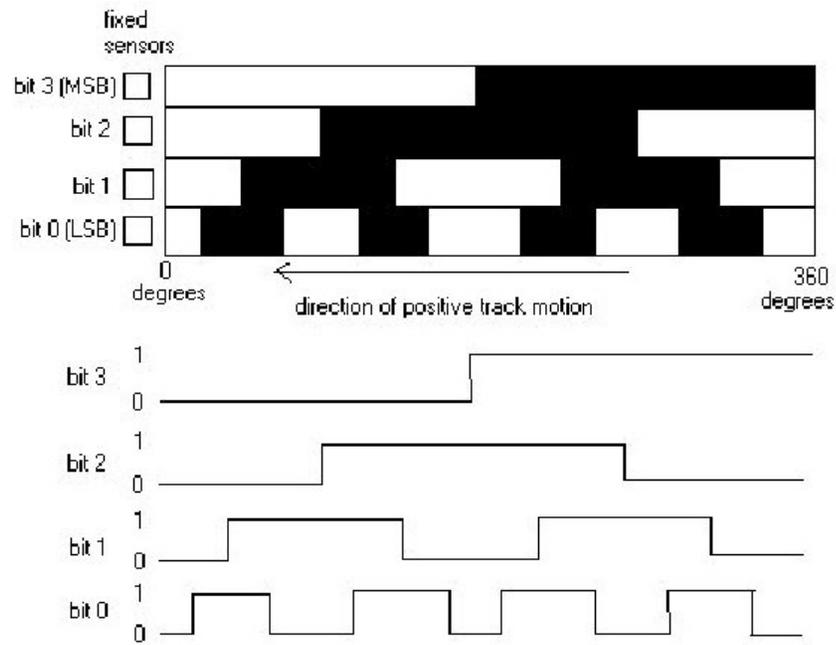
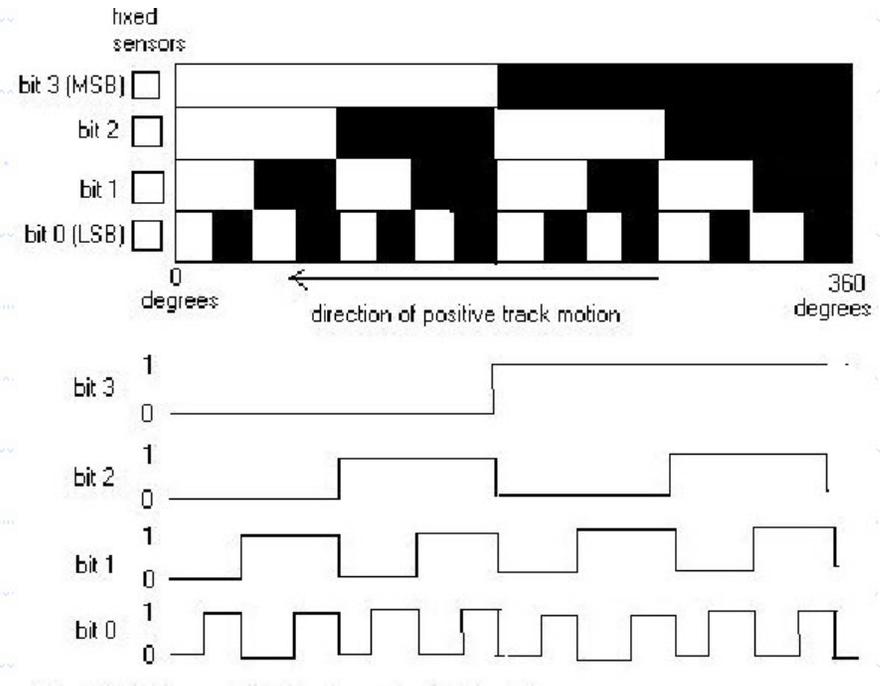


Fig. 2. Gray code absolute encoder disk track system.

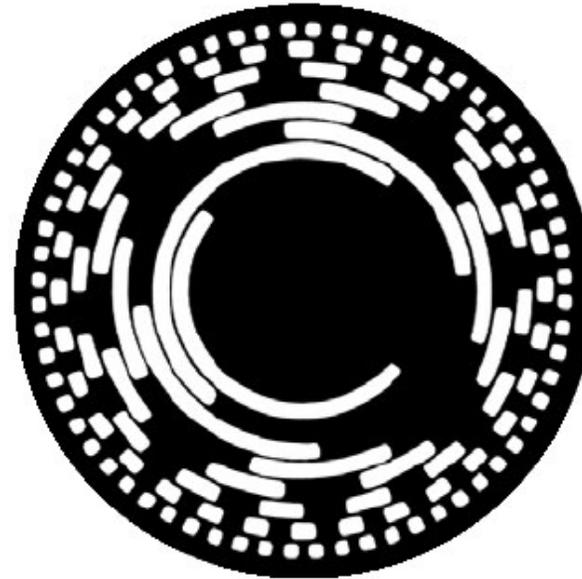
código *gray*



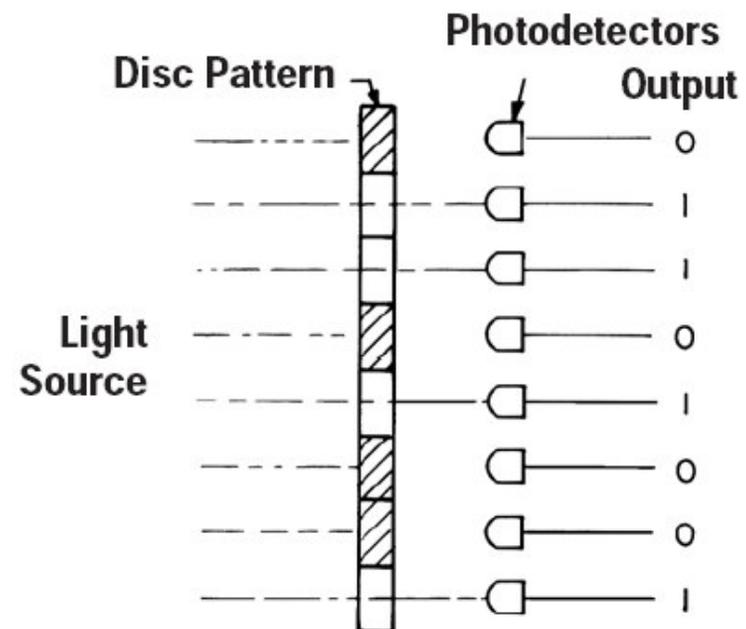
código binário

Por que código gray?

# Encoder óptico absoluto



8 Bit Gray Code Absolute Disc



# Encoder absoluto multi-voltas

4096 (12 bits) posições/volta

Contagem de 4096 (12 bits) voltas

Transmissão por engrenagens



## Série 10 - Encoder Incremental com eixo



1	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		<b>Eixo</b>							<b>Resolução</b>		
		06 = 6mm							<b>Fixação das conexões</b>		
		10 = 10mm						<b>Conexão</b>	1 = Axial		
		12 = 12mm							2 = Radial		
		38 = 3/8"									
						<b>Saídas</b>		1 = cabo 2m	2 = cabo 4m		
						1 = A		5 = con com 5p			
						2 = AB		8 = con com 8p			
						3 = ABO					
						6 = ABO + ABO					
					<b>Driver</b>						
					0 = HTL 5-28V						
					8 = P.Pull 5-28V						

Desenho 3D AutoCAD do encoder (zip)

DWG = [R13] [R14] [R2000]

DXF = [R13] [R14] [R2000]

### Especificações Técnicas

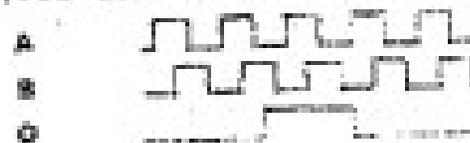
Temperatura de	
Operação:	- 20...+ 60 graus C
Freq Máxima:	100 kHz
Consumo Máximo:	80 mA (máx.)
Corrente por saída:	50 mA (máx.)
Alimentação:	5 - 28V
<b>Especificações Mecânicas</b>	
Peso:	0,4 kg
Proteção:	Até IP 65
Cabeça:	Aço Inox.
Eixo:	Aço Inox.
Rolamentos:	6000 ZZ C2
Torque:	8N / cm <sup>2</sup>
Carga / Eixo:	Radial/Axial máx. 20 kg
Rotação:	6000 RPM máx.

### Ligações

	6 pinos	8 pinos	Cabo 4 vias	Cabo 8 vias
GND	1	1	Preto	Marron
+ V	2	2	Vermelho	Vermelho
Saída A	3	3	Azul	Laranja
Saída B	4	4	Branco	Amarelo
Saída O	5	5		Verde
Saída A inv		6		Azul
Saída B inv		7		Violeta
Saída O inv		8		Cinza

### Saída

A 90° adiantado em relação a B sent. horário

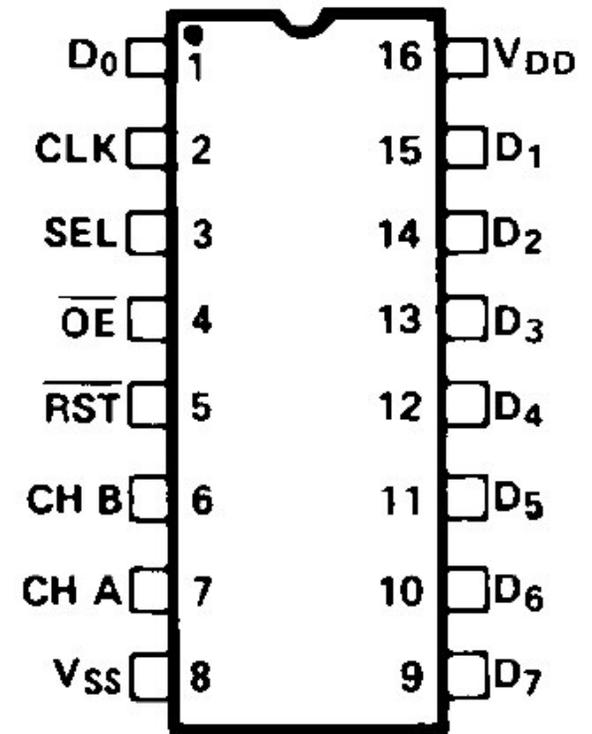
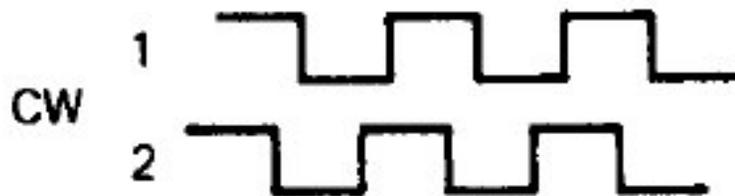
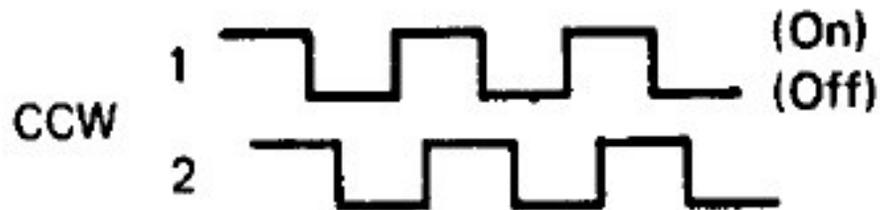


# Detector de quadratura e contador

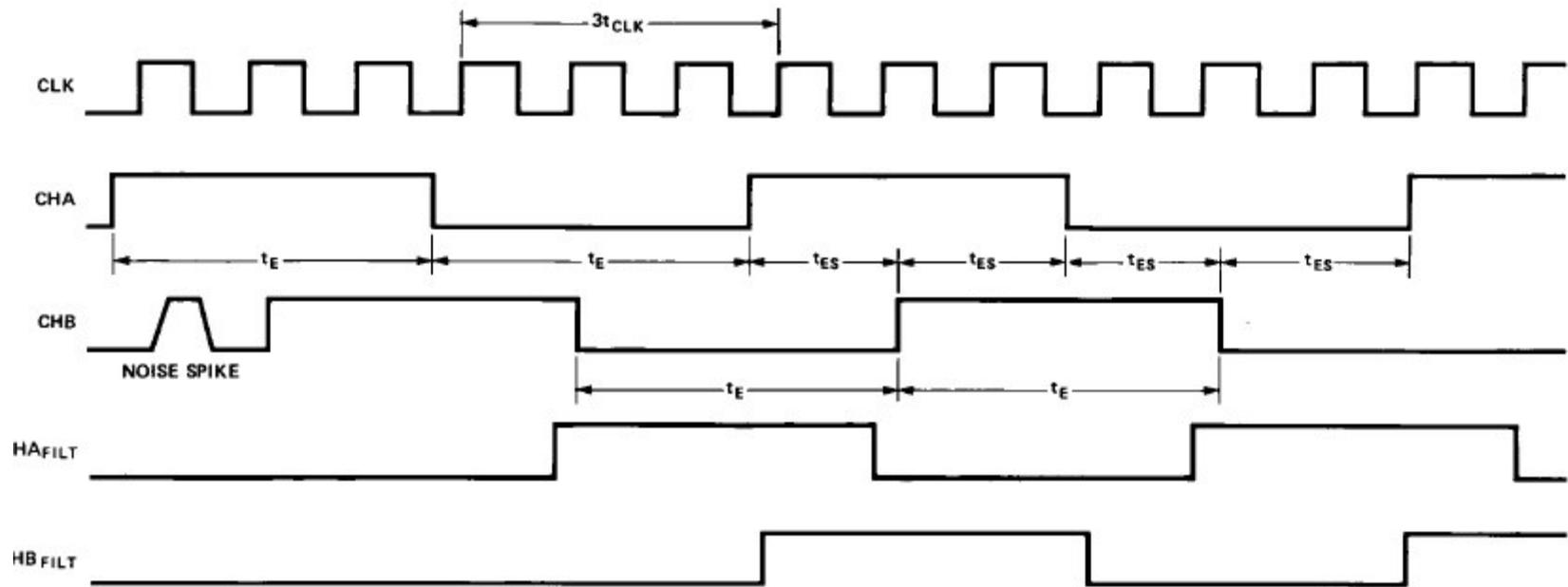
Componente eletrônico: HCTL 2016

contador de 16 bits

Sentido de movimento



## Leitura de encoder - HCTL 2016



$$f_{CLK} > 6.f_{CHA}$$