

Máquinas de indução monofásicas

Gil Marques
2005

Conteúdo

- Introdução
- Constituição
- Princípio de funcionamento
- Circuito equivalente
- Características
- Métodos de arranque
 - Condensador de arranque
 - Enrolamento de arranque simples
 - Espira de sombra

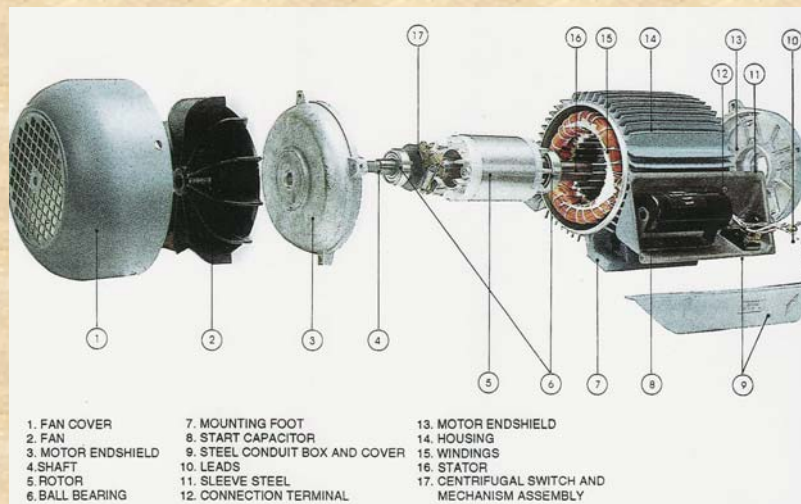
Introdução

- O motor de indução monofásico é o motor mais usado em aplicações domésticas como frigoríficos, máquinas de lavar, relógios, compressores, bombas, etc.
- A potência vai até 10 HP
- Acima de 1HP têm menor binário de arranque, são mais caros e mais ruidosos que os motores trifásicos

Introdução (cont.)

- Tem dois enrolamentos no estator colocados perpendicularmente
 - Um é o principal
 - O outro é o auxiliar ou de arranque
- Consoante o tipo de arranque tem designações diferentes e características e aplicações diferentes
- É difícil obter correntes desfasadas de 90° a partir de uma fonte monofásica

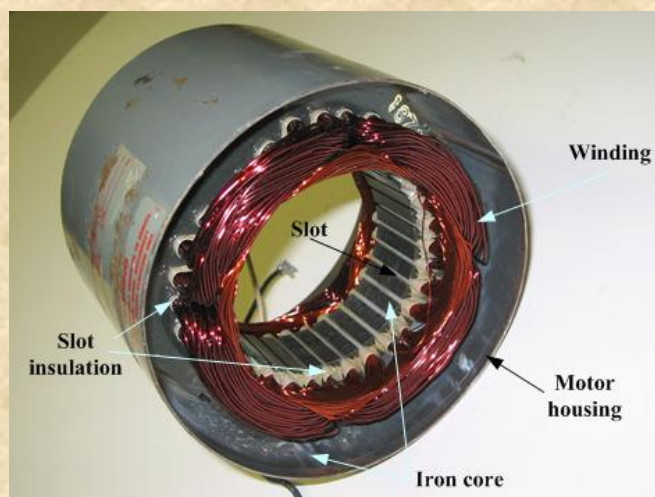
Constituição:



Máquinas de Indução Monofásicas – Gil Marques 2005

5

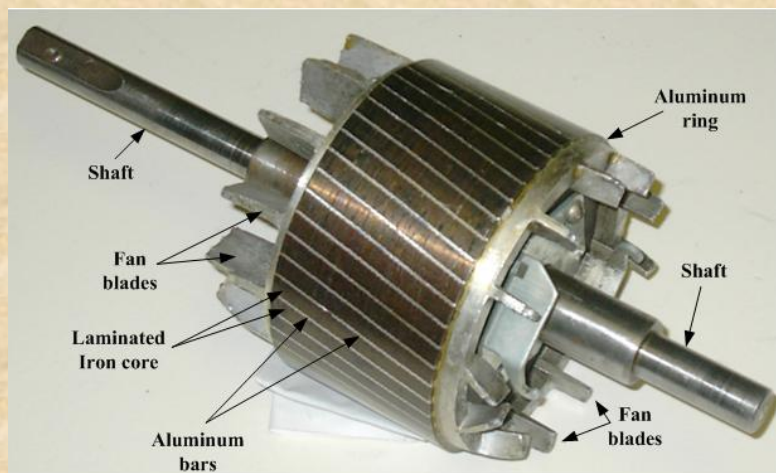
Constituição do estator



Máquinas de Indução Monofásicas – Gil Marques 2005

6

Constituição do rotor

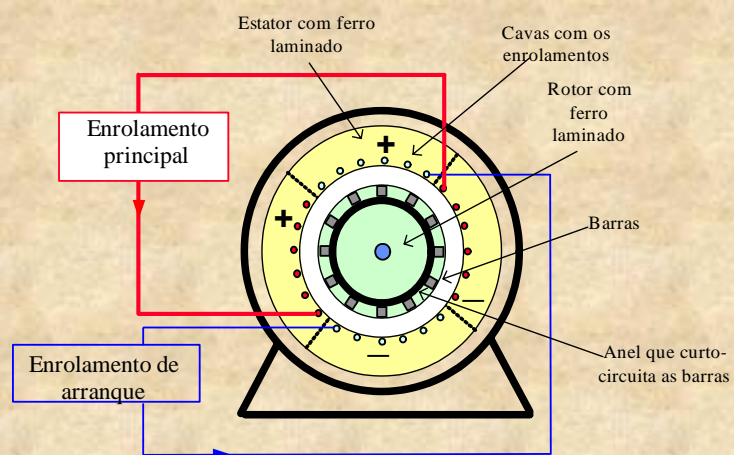


Máquinas de Indução Monofásicas – Gil Marques 2005

7

Constituição

- É na realidade um motor bifásico



Máquinas de Indução Monofásicas – Gil Marques 2005

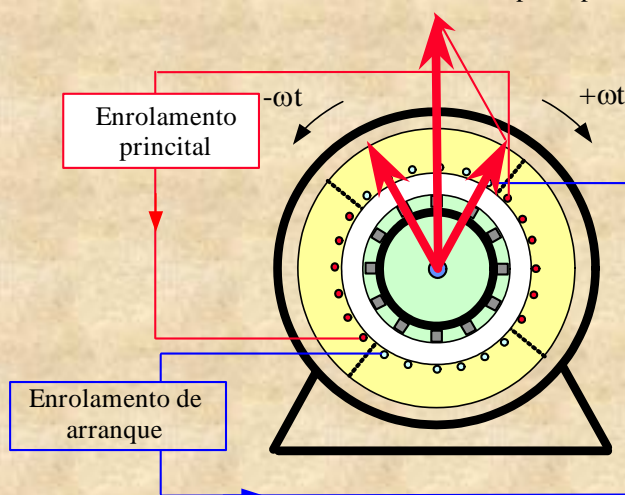
8

Princípio de funcionamento

- O enrolamento principal monofásico produz um campo pulsante
- Matematicamente o campo pulsante pode ser decomposto em dois campos girantes rodando em oposição
- A interação entre estes campos e as correntes induzidas no rotor produzem binários opostos

Decomposição do campo pulsante

Fluxo do enrolamento principal

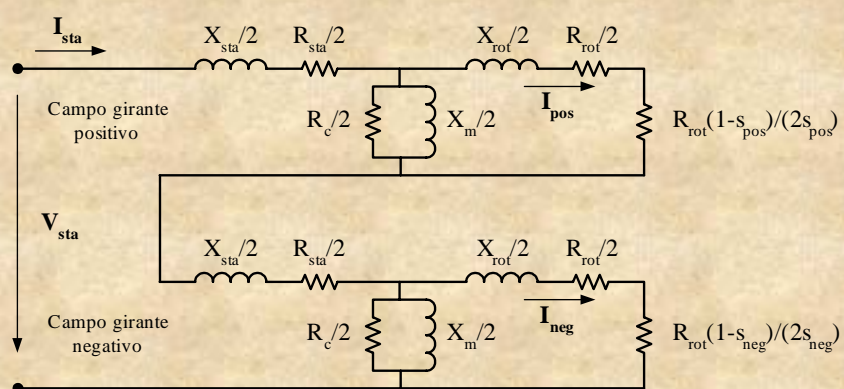


Escorregamentos

$$s_{pos} = s = \frac{N_{sin} - N}{N_{sin}} = 1 - \frac{N}{N_{sin}}$$

$$s_{neg} = \frac{N_{sin} + N}{N_{sin}} = 1 + \frac{N}{N_{sin}} = 2 - s$$

Circuito equivalente



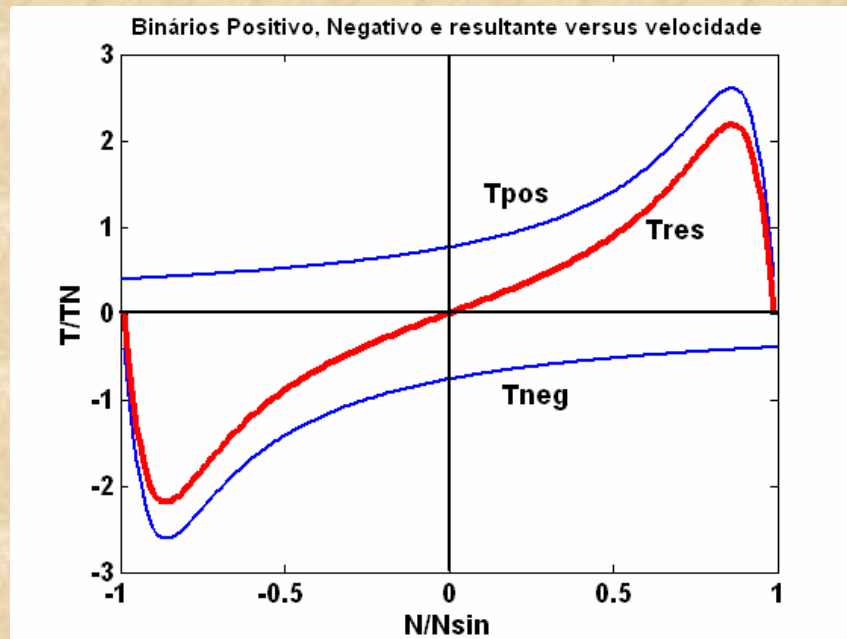
Expresões

- Potência de entrada:

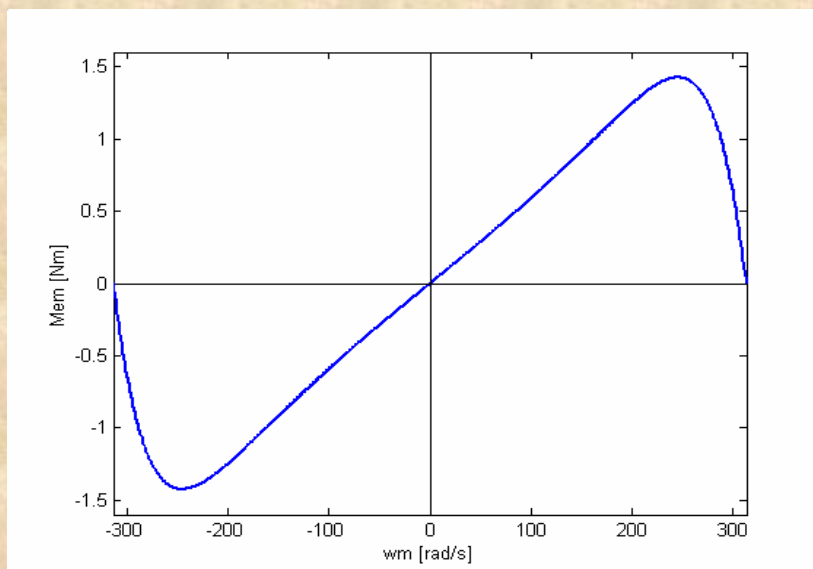
$$S_{in} = V_{sta} I_{sta}^*$$

- Potência de saída:

$$P_{dev} = |I_{pos}|^2 \frac{R_{rot}}{2} \frac{1-s_{pos}}{s_{pos}} + |I_{neg}|^2 \frac{R_{rot}}{2} \frac{1-s_{neg}}{s_{neg}}$$



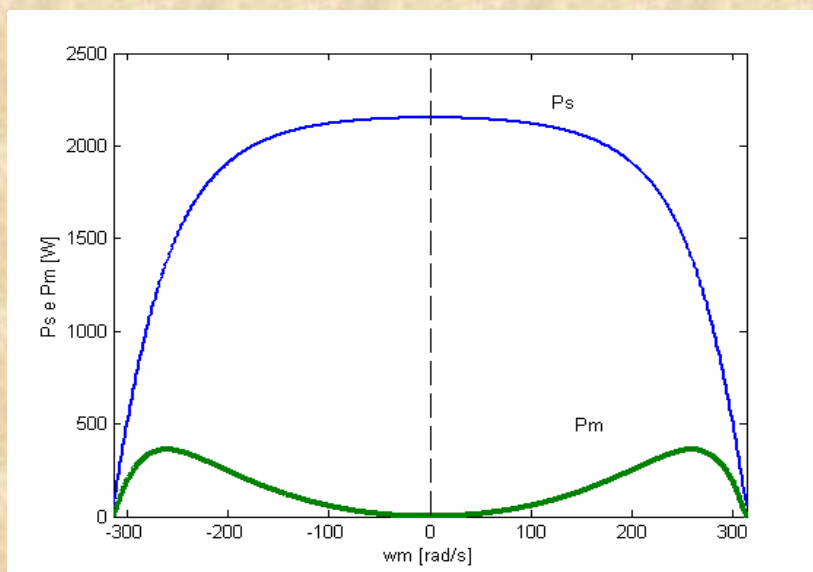
Binário versus velocidade



Máquinas de Indução Monofásicas – Gil Marques 2005

15

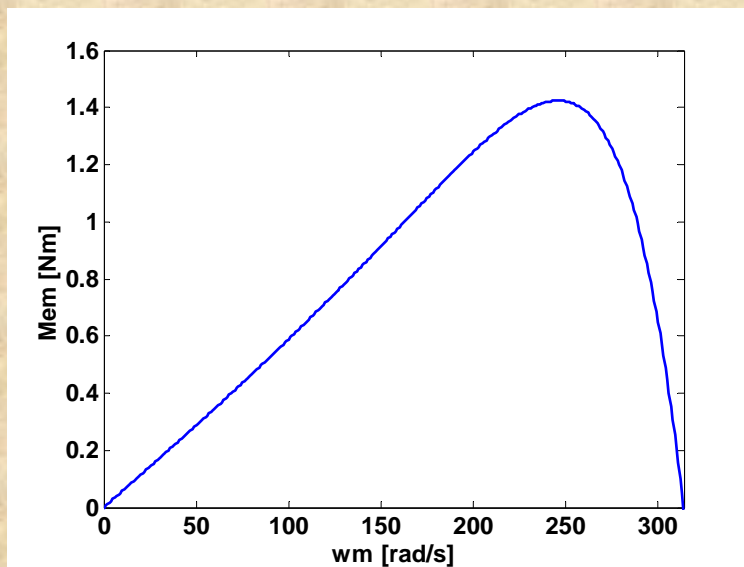
Potência de entrada P_s e de saída P_m



Máquinas de Indução Monofásicas – Gil Marques 2005

16

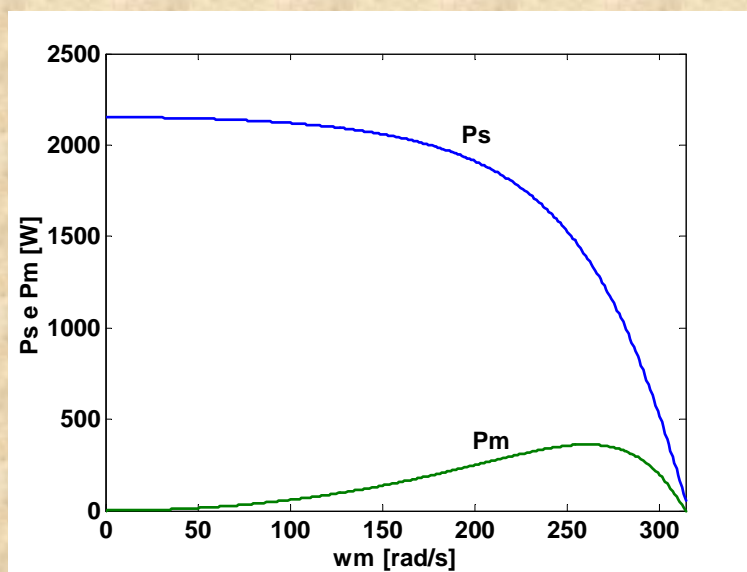
Binário versus velocidade



Máquinas de Indução Monofásicas – Gil Marques 2005

17

Potência de entrada e de saída



Máquinas de Indução Monofásicas – Gil Marques 2005

18

- Nas condições de circuito monofásico o motor não arrancará.
- Se o motor for accionado para fora da velocidade nula ele arrancará no sentido da velocidade inicial
- Para que o motor possa arrancar é necessário dispor de um circuito auxiliar disposto a 90° no espaço em relação ao principal e alimentado por uma corrente também desfasada de 90° no tempo

Métodos de arranque

- **A diferença de fase é obtida através de:**
 - **uma resistência,**
 - **uma indutância, ou**
 - **Um condensador**

Em série com o enrolamento de arranque.

- **O mais vulgar é usar um condensador em série com o enrolamento de arranque.**

Motor de indução monofásico

Quando o motor alcançar a velocidade de operação, um interruptor centrífugo desliga o circuito do enrolamento de arranque.

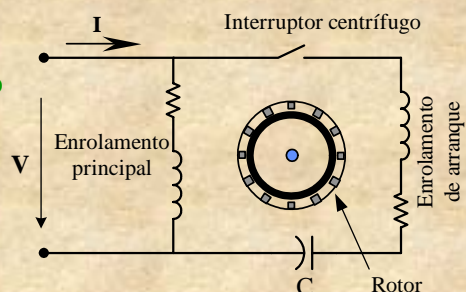


Figura: Esquema do motor de indução monofásico.

Motor de indução monofásico

- É necessário o interruptor centrífugo porque a maioria dos motores utiliza um condensador electrolítico barato que pode ser percorrido por correntes alternadas durante apenas um curto espaço de tempo
- Um condensador apropriado produz aproximadamente uma desfasagem de 90° e consequentemente um grande binário de arranque.

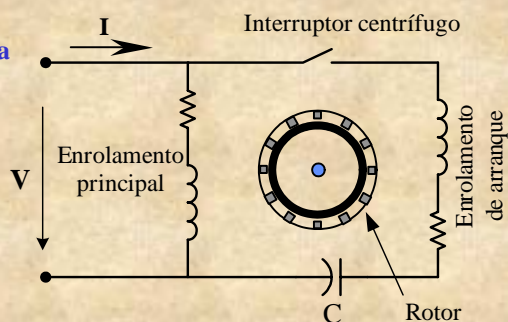


Figura: Esquema do motor de indução monofásico.

Motor de indução monofásico

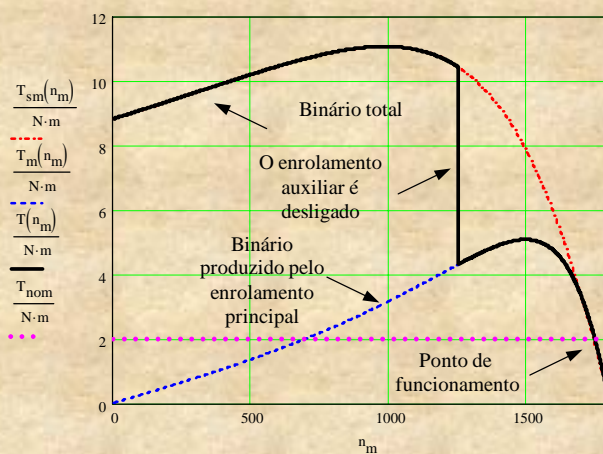


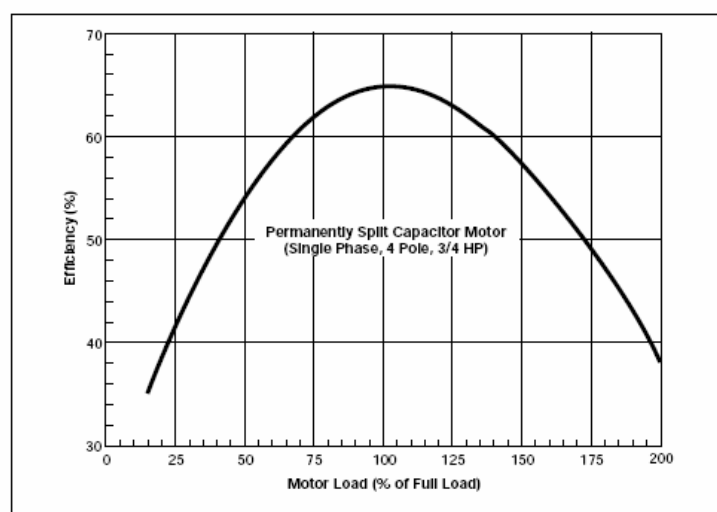
Figura: Característica Binário velocidade de um motor de indução monofásico pequeno

Máquinas de Indução Monofásicas – Gil Marques 2005

23

Rendimento vs. Carga

Figure 10. Motor Efficiency vs. Motor Load

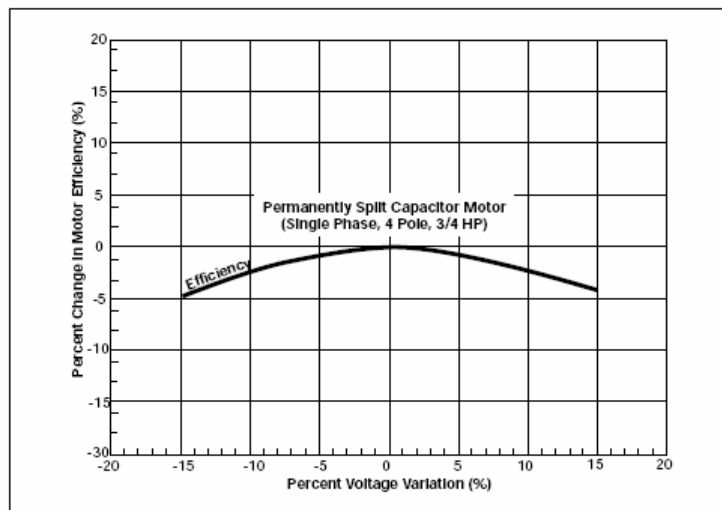


Máquinas de Indução Monofásicas – Gil Marques 2005

24

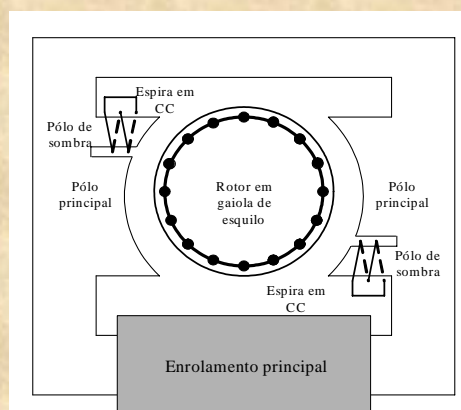
Variação do rendimento com a tensão

Figure 11. Effect of Voltage on Motor Efficiency

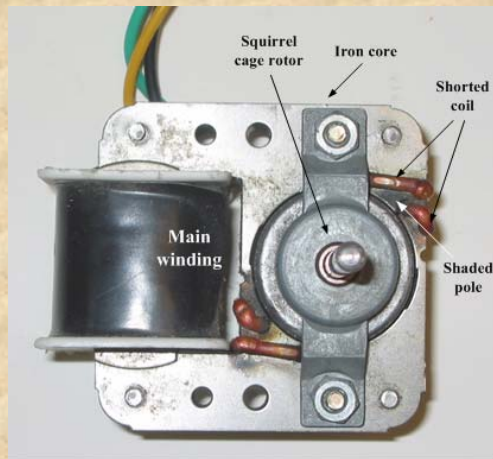


Motor de indução monofásico de espira de sombra

- O motor tem dois pólos salientes que irão ser percorridos por fluxos alternados.
- Cada pólo tem uma espira em curto-circuito.



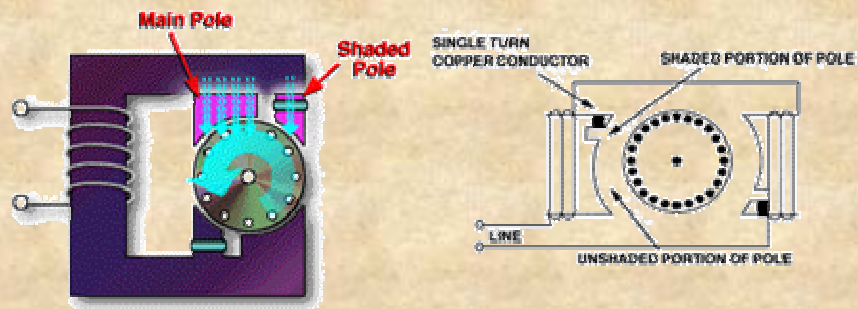
Motor de indução monofásico de espira de sombra



Motor de espira de sombra para ventilador doméstico.

Máquinas de Indução Monofásicas – Gil Marques 2005

27



Máquinas de Indução Monofásicas – Gil Marques 2005

28

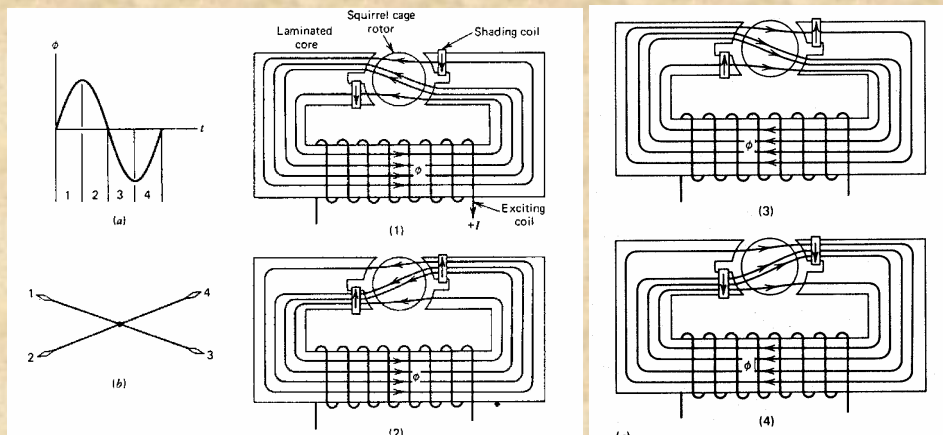
Motor de indução monofásico de espira de sombra

- É um método menos eficiente, mas mais económico e usa pólos com espira de sombra
- O motor tem dois pólos salientes excitados por fluxos alternados.
- Cada pólo inclui uma pequena parte que tem uma espira em curto-circuito. Designa-se esta parte do pólo por pólo com espira de sombra.
- O enrolamento principal produz um fluxo pulsante que é ligado com o circuito do rotor.
- O fluxo principal induz uma Fem na espira de sombra que por sua vez é percorrida por uma corrente.

Motor de indução monofásico de espira de sombra (cont.)

- Esta corrente gera um fluxo que se opõe à variação do fluxo principal no pólo com a espira de sombra.
- O resultado é que o fluxo na parte com espira de sombra e na outra parte serão diferentes.
- Tanto a amplitude como o ângulo de fase serão diferentes.

Funcionamento do motor de espira de sombra



Máquinas de Indução Monofásicas – Gil Marques 2005

31

Motor de fase auxiliar simples

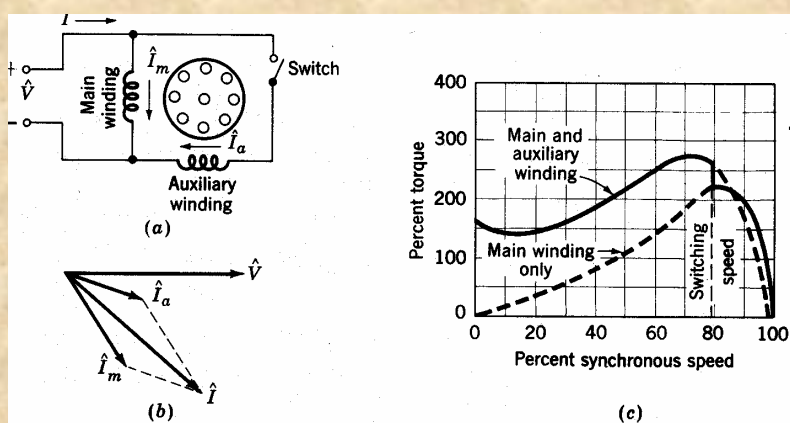


Fig. 11-3. Split-phase motor: (a) connections, (b) phasor diagram at starting, and (c) typical torque-speed characteristic.

Máquinas de Indução Monofásicas – Gil Marques 2005

32

Table 1. Summary of Split-Phase Motor Characteristics

CHARACTERISTIC	NOTES
Peak Efficiency	50 to 60%
Power Factor	60 to 70%
Starting Torque	100% Full Load Torque
Noise & Vibration	120 Hz Torque Pulsations
Components	Contains Centrifugal Switch
Other	High Inrush Starting Current
Cost	Moderate

Motor com arranque por condensador

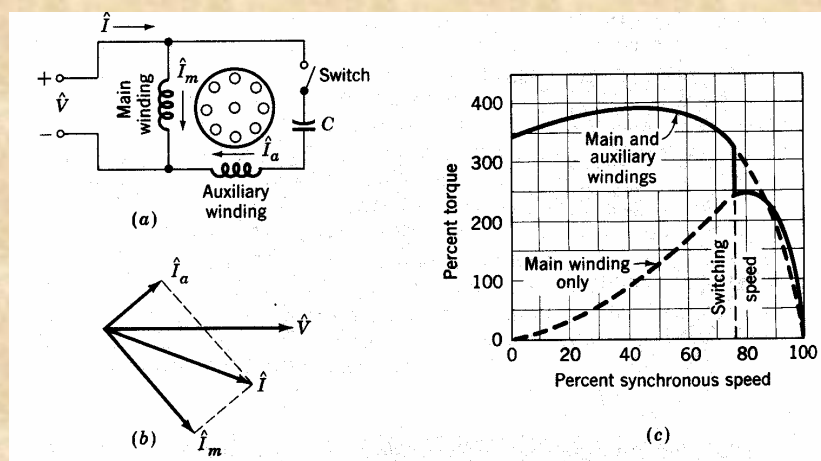


Table 2. Summary of Capacitor-Start Motor Characteristics

CHARACTERISTIC	NOTES
Peak Efficiency	50 to 60%
Power Factor	60 to 70%
Starting Torque	Up to 300% Full Load Torque
Noise & Vibration	120 Hz Torque Pulsations
Components	Contains Centrifugal Switch & Capacitor (Intermittent Duty)
Other	Capacitor Controls Inrush Starting Current (Lower Than Split-Phase Type)
Cost	Slightly Higher Than Split-Phase Type

Motor com condensador permanente

Figure 19. Phase Relationships (PSC Motor)

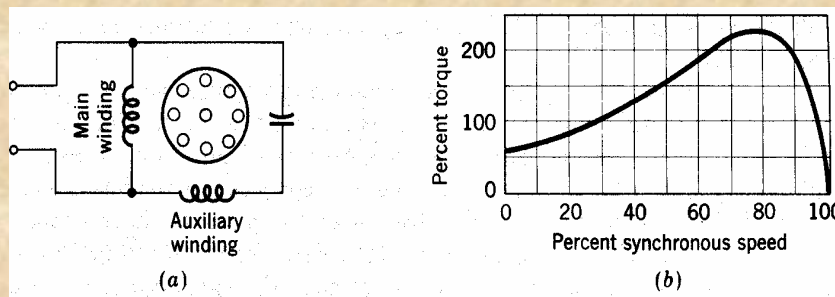
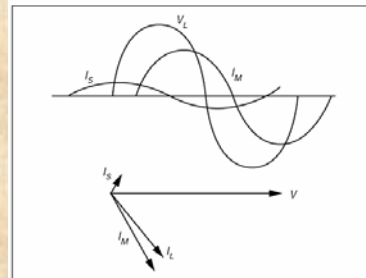


Table 3. Summary Permanently Split Capacitor Motor Characteristics

CHARACTERISTIC	NOTES
Peak Efficiency	55 to 65%
Power Factor	80 to 100%
Starting Torque	50 to 80% Full Load Torque
Noise & Vibration	120 Hz Torque Pulsations Reduced
Components	Contains Capacitor (Continuous Duty)
Other	Can be used with speed control devices (not possible with SP & CSIR types)
Cost	Smallest motor for given output

Motor de dois condensadores um para o arranque e o outro permanente

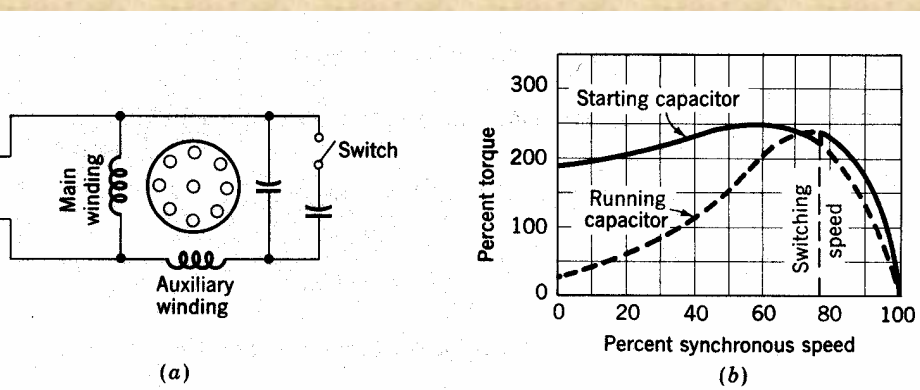


Table 4. Summary Capacitor Start-Capacitor Run Motor Characteristics

CHARACTERISTIC	NOTES
Peak Efficiency	55 to 65%
Power Factor	80 to 100%
Starting Torque	Up to 300% Full Load Torque
Noise & Vibration	120 Hz Torque Pulsations Reduced
Components	Contains Centrifugal Switch & Capacitor (Intermittent Duty). Contains 2nd Capacitor (Continuous Duty).
Other	Capacitor controls inrush starting current & run capacitor simulates 2-phase operation.
Cost	The best of the single-phase motor types. Exceptionally quiet. Most expensive motor design type.

Característica do motor de bobina de sombra

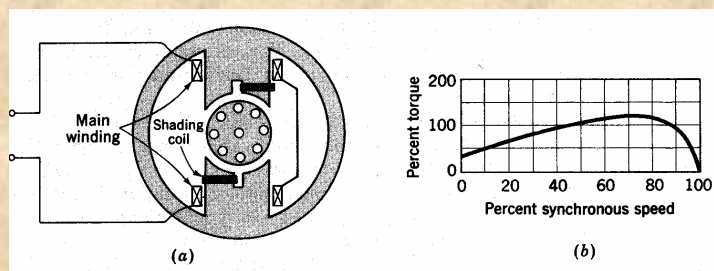


Figure 24. General Performance Characteristic (Shaded Pole Motor)

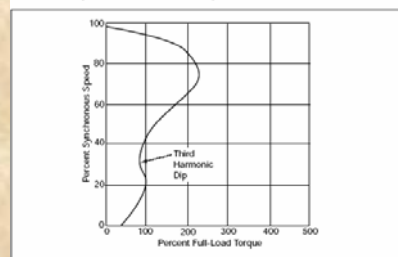


Table 5. Summary Shaded Pole Motor Characteristics

CHARACTERISTIC	NOTES
Peak Efficiency	20 to 40%
Power Factor	50 to 60%
Starting Torque	40 to 50% full load torque plus third harmonic dip
Noise & Vibration	120 Hz torque pulsations plus winding harmonics
Components	No additional components needed
Other	Can be used with speed control devices (not possible with SP & CSIR types)
Cost	Cheapest of all single-phase motors

Table 6. Summary of Five Single-Phase Motor Types

MOTOR TYPE	SPLIT-PHASE	CAPACITOR-START	PERMANENTLY SPLIT CAPACITOR	CAPACITOR START-CAPACITOR RUN	SHADED POLE
DESCRIPTION	Start winding connected in parallel with main winding, connection controlled by centrifugal switch or relay.	Identical to the split-phase design except includes the addition of a capacitor in series with the start winding circuit.	Start winding permanently connected in parallel to main winding with a continuous duty capacitor in the circuit at all times.	Combination of capacitor-start and PSC type motor. Start winding permanently connected in parallel to main winding with a continuous duty capacitor in the circuit at all times and capacitor in series with the start winding circuit.	Single main winding with shading coils for providing starting torque.
HP RANGE	1/8 to 1	1/4 to 2	1/100 to 1	3/4 to 20	1/1000 to 1/4
TYPICAL RATED SPEED (60 HZ)	860, 1140, 1725, 3450	860, 1140, 1725, 3450	1050, 1625, 3250	1725, 3450	1050, 1550, 3100
EFFICIENCY RANGE	50 to 80%	50 to 80%	55 to 65%	55 to 65%	20 to 40%
POWER FACTOR	60 to 70%	60 to 70%	80 to 100%	80 to 100%	50 to 60%
STARTING TORQUE (% OF FULL LOAD)	100%	Up to 300%	50 to 80%	Up to 300%	40 to 50%
TYPICAL APPLICATION	Suitable for frequent starting of fans in both direct and belt driven units.	All-purpose motor for high starting torque, low starting current used in both direct and belt driven units.	Intended for direct drive models and applications requiring speed control.	All-purpose motor for high starting torque, low starting current used mainly in larger belt driven units.	Suitable for direct drive low power fans and multi-speed applications.
ADVANTAGES	a. Good starting torque. b. Medium efficiency.	a. High starting torque. b. Lower starting current than split phase design.	a. High running efficiency. b. Capable of multi-speed operation. c. Can be used with speed control devices (i.e., triacs). d. Quietest of all small induction motors.	a. High starting torque. b. Lower starting current than split-phase design. c. Available in larger HP sizes than capacitor-start or PSC motor types. d. High running efficiency.	a. Inexpensive to manufacture. b. Multi-speed operation. c. Compact.
DISADVANTAGES	a. Not suited for high starting torque loads. b. Not applicable for speed control. c. High starting current	a. More expensive than split-phase design. b. Not applicable for speed control.	a. Low starting torque. b. Speed varies more under load.	a. Most expensive single-phase motor type. b. Not applicable for speed control.	a. Low efficiency. b. Low starting torque.