

# Condensadores para motores de corrente alternada

EDGAR PINTO MEISTER

Eng.º Mecânico (U. P.)  
Roederstein Electrónica Portugal, Ld.ª

## resumo

Os motores de indução requerem condensadores de arranque e permanentes. O autor descreve essas aplicações, indicando os modos de dimensionamento da capacidade e da tensão, além de discutir as respectivas técnicas de construção.

## abstract

The induction motors require start and run capacitors. The author describes these applications, indicating how to calculate the capacitance and voltage, besides a brief discussion of construction and testing.

### 1. Condensadores de motores

Os condensadores de motores permitem o arranque automático de motores de indução monofásicos. Para isso são ligados em série com o enrolamento auxiliar. Além disso estes condensadores permitem ainda o arranque automático de motores trifásicos que, por razões especiais estão ligados à rede monofásica.

Em ambos os tipos de motor acima citados, os condensadores são dimensionados por forma a colocar a corrente do enrolamento auxiliar avançada de  $\pi/2$  radianos, relativamente à corrente que circula no enrolamento principal. Assim fica criado o campo magnético girante que é necessário para o arranque automático (fig. 1).

O binário de arranque é dado pela expressão

$$T = k I_a I_b \sin \beta$$

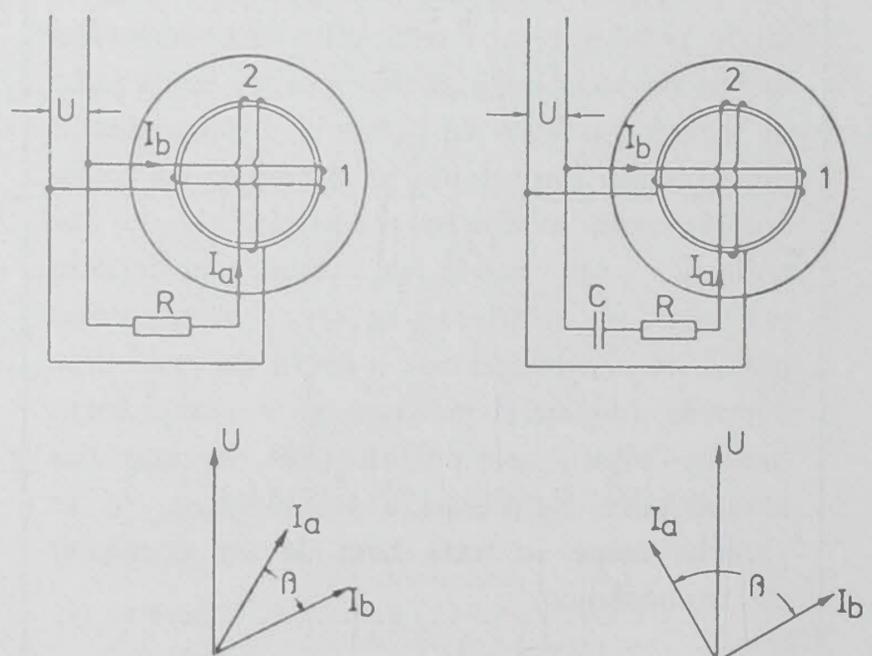


Fig. 1 — Efeito de desfasamento da corrente pelo condensador  
1 — enrolamento principal  
2 — enrolamento auxiliar

Dependendo do modo de actuação existem dois tipos diferentes de condensadores para motores: condensadores de arranque e condensadores permanentes.

### 1.1. Condensadores de arranque de motores

Estes condensadores geram um campo magnético girante de arranque e estão em carga somente durante um curto intervalo inicial, após o que são desligados por um interruptor centrífugo ou por um relé, logo que o motor atinge a sua velocidade normal (fig. 2).

Para a mesma tensão os condensadores de arranque têm normalmente uma capacidade tripla dos condensadores permanentes. Isto tem a vantagem de se obterem binários de arranque superiores a 200 % do binário nominal, isto porque o enrolamento auxiliar apenas actua durante um curto intervalo de tempo.

As desvantagens são a diminuição da potência nominal admissível do motor, devido ao condensador de arranque ter de ser desligado, e a diminuição do

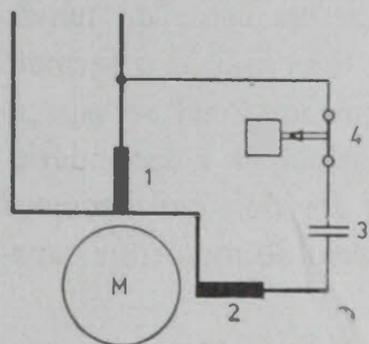


Fig. 2 — Esquema do motor monofásico com condensador de arranque

- 1 — enrolamento principal
- 2 — enrolamento auxiliar
- 3 — condensador de arranque
- 4 — interruptor centrífugo

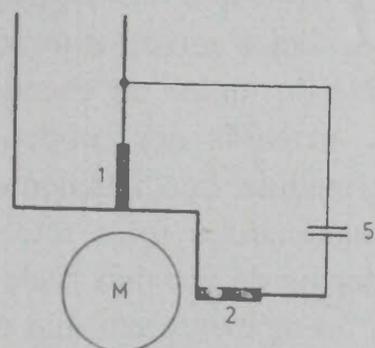


Fig. 3 — Esquema do motor monofásico com condensador permanente

- 1 — enrolamento principal
- 2 — enrolamento auxiliar
- 5 — condensador permanente

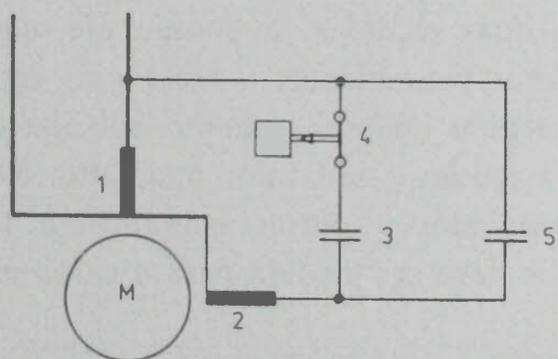


Fig. 4 — Esquema do motor monofásico com condensador de arranque e condensador permanente

- 1 — enrolamento principal
- 2 — enrolamento auxiliar
- 3 — condensador de arranque
- 4 — interruptor centrífugo
- 5 — condensador permanente

binário, bem como do rendimento e do factor de potência.

### 1.2. Condensadores permanentes para motores

Os condensadores permanentes permanecem sempre ligados durante todo o tempo de funcionamento do motor (fig. 3). Geram um campo magnético girante no estator, não apenas no período do arranque mas até à paragem do motor. É assim possível evitar o custo do interruptor centrífugo, quando o motor arranca em vazio. O binário de arranque é pequeno, principalmente porque a corrente inicial no enrolamento auxiliar é muito limitada pelo baixo valor da capacidade.

As **vantagens** deste sistema são: quando bem dimensionado, o condensador permanente aumenta a aptidão do motor contra as sobrecargas, melhora o rendimento, o aquecimento é menor e o funcionamento mecânico é mais suave e menos ruidoso.

Em contrapartida, apresenta algumas **desvantagens**: para evitar uma sobrecarga permanente sobre o enrolamento auxiliar teremos de escolher uma capacidade muito inferior à do condensador de arranque. Isto tem um efeito negativo no binário de arranque. Assim num motor com rotor em gaiola de esquilo equipado com um condensador permanente, o binário de arranque é apenas 70 % a 90 % do binário nominal.

A **construção** do condensador tem certas propriedades especiais: a tampa metálica é enrolada e prensada no revestimento em alumínio do condensador, aumentando assim a sua segurança técnica e uma vedação perfeita e durável.

### 1.3. Condensador de arranque e condensador permanente combinados

Neste tipo de bobinagem do motor, o enrolamento auxiliar nunca é desligado e o motor funciona sempre como que em duas fases (fig. 4). A capacidade aplicada **C** está dividida por dois condensadores em paralelo e, a cerca de 75 % da velocidade de sincronismo, o interruptor centrífugo desliga um destes condensadores. O funcionamento ideal requeria uma diminuição contínua de **C** desde a velocidade zero até à velocidade de regime, mas o processo indicado dá resultados muito satisfatórios.

### 1.4. Motores trifásicos com alimentação monofásica

Estes motores estão equipados com um condensador permanente. O motor pode ser ligado em triângulo ou em estrela.

Quando ligado em triângulo (fig. 5), o condensador fica em paralelo com uma das fases de enrolamento do motor que, por sua vez, é ligada à rede.

Quando o motor é ligado em estrela (fig. 6) o condensador é colocado entre os pontos iniciais de duas das fases do motor, uma das quais não é ligada à rede.

O sentido de rotação do motor pode ser trocado mudando um polo do condensador ligado à rede para a outra fase.

O binário de arranque atingido oscila entre 25 % e 30 % do binário nominal. No caso de ser insuficiente para garantir um arranque sem problemas, ter-se-á de montar um condensador de arranque com capacidade dupla. Deverá atender-se a que um motor trifásico funcionando com alimentação monofásica apenas poderá ser carregado com 70 % a 80 % da sua potência.

## 2. Testes e normas

As medições e ensaios frequentes, por amostragem ou a 100 %, efectuados nas diferentes fases de fabrico dos condensadores para motores, são uma garantia da sua qualidade. Depois de prontos os condensadores são submetidos aos testes especiais previstos nas Normas VDE 0560, parte 8.

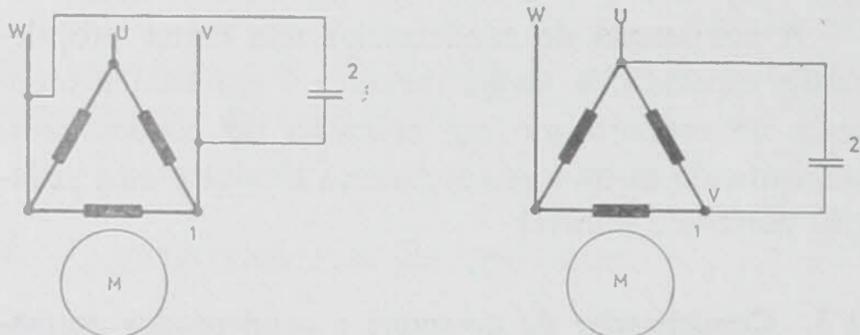


Fig. 5 — Esquema do motor trifásico em triângulo com alimentação monofásica através de condensador permanente

1 — motor em triângulo  
2 — condensador permanente

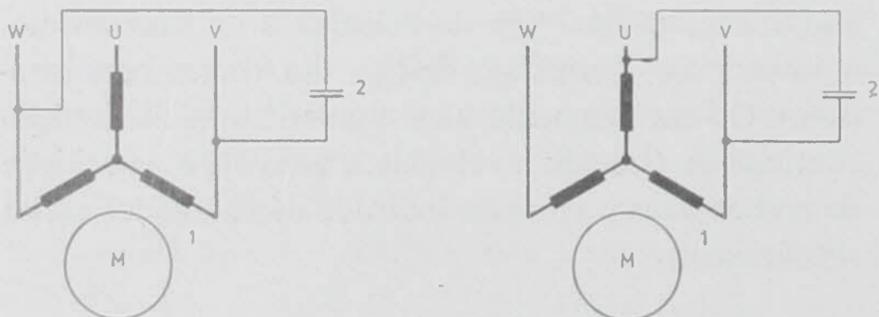


Fig. 6 — Esquema do motor trifásico em estrela com alimentação monofásica através de condensador permanente

1 — motor em estrela  
2 — condensador permanente

## 3. Dimensionamento (capacidade e tensão) do condensador para um motor

### 3.1. Factores de influência

A potência reactiva do condensador influi decisivamente nas condições do arranque e características de funcionamento dos motores monofásicos. Esta potência reactiva é definida pela capacidade e pela tensão do funcionamento do condensador.

Para motores monofásicos a tensão do condensador terá de ser bastante superior à tensão da rede. O condensador e o enrolamento auxiliar constituem uma ligação em série com componentes capacitiva, óhmica e indutiva, estando as duas últimas combinadas no enrolamento auxiliar. Devido à defasagem provocada, surgem duas tensões parciais em oposição de fase, cuja resultante, naturalmente de valor muito inferior às componentes, representa a tensão principal.

Outros factores que influem no valor da tensão nominal do condensador são a dimensão e o formato das espiras do enrolamento (é proporcional ao espaçamento entre os enrolamentos principal e secundário, à relação do número de espiras dos dois enrolamentos e à reacção do condutor), o binário do motor e a capacidade do condensador.

Uma vez que a dimensão e o formato das espiras do enrolamento variam muito, os dados correctos terão de ser fornecidos pelo fabricante do motor ou encontrados por meio de medições. A tensão nos condensadores de arranque deve ser medida imediatamente depois do motor ser ligado, mantendo o rotor totalmente frenado e, se possível, depois de ter sido acelerado até à velocidade nominal, no momento em que o condensador é desligado. A tensão nominal será a maior das duas medidas de tensão efectuadas. Para condensadores permanentes a tensão no condensador deve ser medida quando o motor trabalha em vazio, atingindo a tensão o seu valor mais alto. No caso de motores acoplados a outras máquinas a tensão no condensador deve ser medida para a carga mínima do motor.

A Norma VDE 0560, parte 8, determina que a tensão nos terminais do condensador, quando a rede está à tensão nominal e a capacidade do condensador é a indicada, não pode exceder a sua tensão nominal durante todo o período de funcionamento do motor.

Em motores trifásicos operando com rede monofásica a tensão nos terminais do condensador tem um valor aproximado da tensão nominal da rede.

### 3.2. Elementos de cálculo

Indicam-se a seguir os valores de orientação para o dimensionamento do condensador:

- cada 1 CV de potência do motor exige um condensador de arranque com cerca de 3 kVAr de potência reactiva;
- cada 1 CV de potência do motor exige um condensador permanente com cerca de 1 kVAr de potência reactiva;
- para motores trifásicos aplica-se o seguinte:
  - a) cada 1 kW de potência do motor, para a tensão da rede de 220 V, requer um condensador permanente de 70  $\mu$ F;
  - b) cada 1 kW de potência do motor, para a tensão da rede de 110 V, exige um condensador permanente de 240  $\mu$ F;
  - c) cada 1 kW de potência do motor, para a tensão da rede de 380 V, exige um condensador permanente de 22  $\mu$ F.

A potência reactiva pode ser calculada usando a expressão:

$$N = 2 \pi f C U^2 \cdot 10^{-9} \text{ [kVAr]}$$

em que

- C** capacidade em  $\mu$ F
- U** tensão do condensador em V~
- f** frequência da rede em Hz

A capacidade do condensador será então

$$C = \frac{N}{2 \pi f U^2 \cdot 10^{-9}} \text{ [\mu F]} .$$

Se for conhecido o valor da corrente **I** em amperes no enrolamento auxiliar, podemos calcular a tensão do condensador através da expressão

$$U = \frac{I \cdot 10^5}{2 \pi f C} \text{ [V]} .$$

### 3.3. Ábaco para a determinação da capacidade e da tensão de condensadores permanentes

Este ábaco (fig. 7) interrelaciona a potência do motor e a corrente no enrolamento auxiliar com a tensão e a capacidade do condensador permanente que deverá ser aplicado. O binário de arranque obtido com este condensador é cerca de 70 % do binário nominal.

### 3.4. Exemplo

Conhecidas a potência do motor  $N=0,05$  kW e a corrente máxima permitida no enrolamento auxiliar

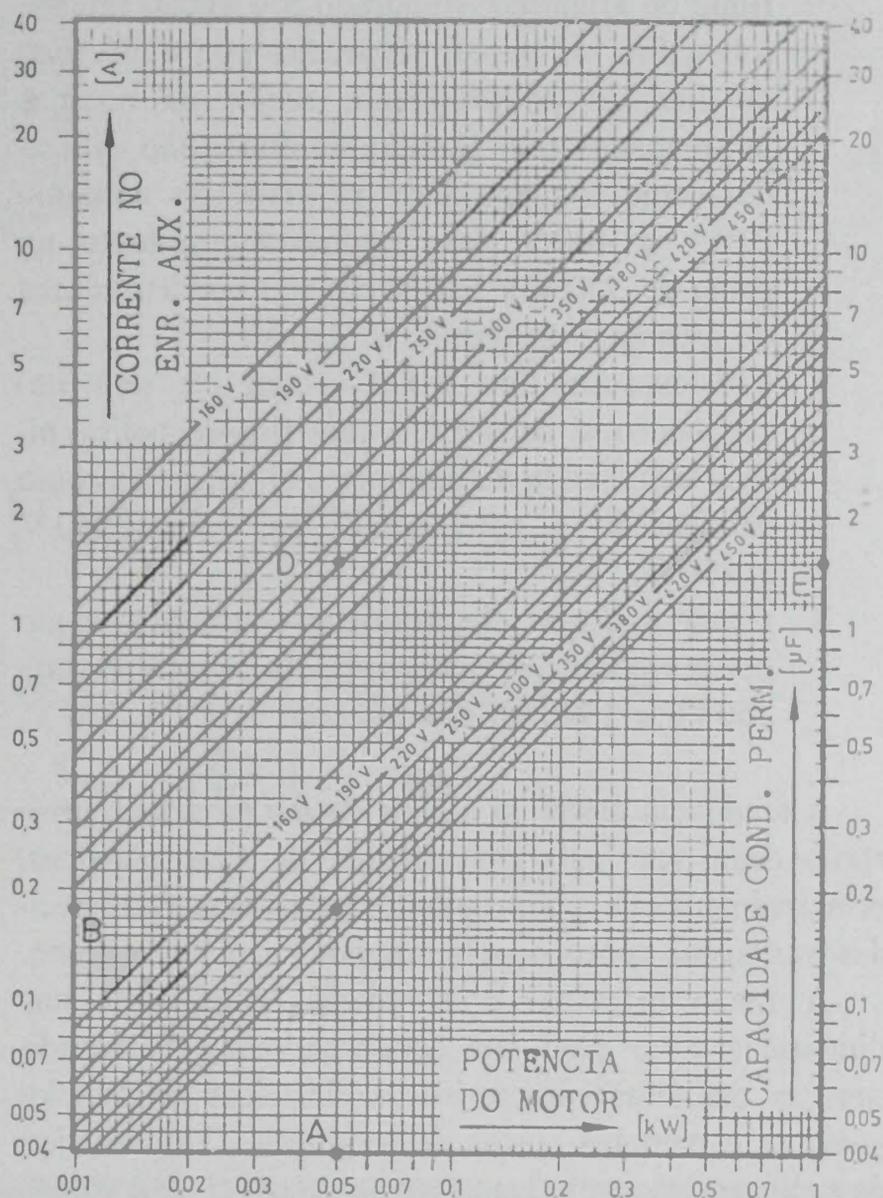


Fig. 7 — Ábaco que relaciona a potência do motor e a corrente no enrolamento auxiliar com a tensão e a capacidade do condensador permanente

$I=0,18$  A interessa-nos dimensionar o condensador permanente.

O ponto de encontro da vertical no ponto A com a horizontal no ponto C a tensão do condensador de 380 V. A vertical de C encontra a diagonal dos 380 V no ponto D cuja ordenada, no ponto E, nos dá a capacidade recomendada para o condensador, igual a 1,5  $\mu$ F.

### 4. Tecnologias dos condensadores para motores

São quatro as tecnologias utilizadas em condensadores para motores:

1. Condensadores com armaduras de fita de alumínio separadas por dieléctrico composto por várias fitas de papel especial, sendo as bobinas desgasificadas sob alto vácuo e então impregna-

das com um líquido sintético. São utilizados como condensadores permanentes para a gama de 220 V até 600 V.

2. Condensador tipo MPK — com armaduras de filme de alumínio evaporado sob vácuo interno sobre fita de papel, separadas por dieléctrico de fita de polipropileno, sendo as bobinas impregnadas com líquido sintético. São utilizados como condensadores permanentes na gama 220 V a 400 V para regime intermitente na gama de 300 V a 520 V e como condensadores de arranque na tensão de 330 V.
3. Condensador tipo MKP — com ou sem impregnação, é construído com fita de polipropileno metalizada a alumínio. São aplicadas como condensadores permanentes nas gamas 240 V a 450 V.
4. Condensadores electrolíticos — usam-se como condensadores de arranque para capacidades de 160  $\mu\text{F}$  a 1540  $\mu\text{F}$  e tensões de 110 V a 330 V.

A tendência desde há alguns anos é para uma utilização cada vez mais generalizada de fitas plásticas, principalmente de polipropileno, pelas suas reconhecidas vantagens sobre o policarbonato e o poliestireno.

A razão principal é a redução conseguida nas dimensões e no peso dos condensadores, combinada com as melhores características eléctricas de funcionamento e menores custos de produção. O dieléctrico de polipropileno, relativamente ao de papel de celulose sodada, tem um factor perdas e, portanto, um aquecimento próprio muito inferior. Além disso tem uma elevada aptência para a impregnação e metalização das armaduras e dos topos das bobinas.

Na eventualidade de existirem perfurações no dieléctrico, coberto a filme de alumínio vaporizado, ainda

durante o processo de fabrico, é feito um pré-tratamento de tensão pondo à prova a propriedade autocatrizante do sistema dieléctrico-armadura.

Para tensões até 280 V os condensadores de armaduras metalizadas podem ser utilizados sem qualquer impregnação. Para tensões superiores usar-se-á, como líquido de impregnação, o polisobutileno ou o óleo mineral, uma vez que o Askarel auto-extinguível apenas pode impregnar os condensadores com armaduras de folha de alumínio. O líquido de impregnação preenche todos os espaços livres no interior dos condensadores o que lhes permite suportar tensões eventuais superiores à tensão nominal.

No capítulo de segurança estão previstos, para tipos não impregnados, fusíveis que actuam sob tensões superiores a  $3x U_N$ ; para tipos impregnados estão previstos fusíveis de sobrepressão. Uns e outros colocam o condensador fora de serviço se os valores eléctricos de segurança forem ultrapassados.

Finalmente, no que respeita aos terminais de ligação para este tipo de condensadores são utilizados os

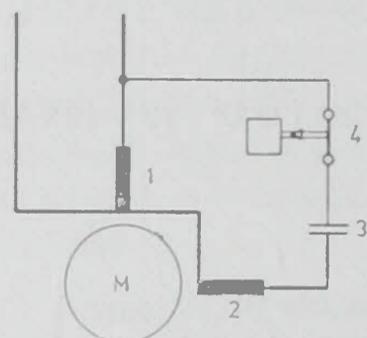


Fig. 8 — Tipo construtivo de condensador para motores

seguintes (fig. 8): terminais «Fastor» em motores para electrodomésticos e terminais de cabo em motobombas e motores industriais.