



e-Learning tools for Electrical Engineering

Temática – Circuitos Eléctricos

Capítulo – Sistemas Trifásicos

COMPENSAÇÃO DO FACTOR DE POTÊNCIA

INTRODUÇÃO

Nesta secção faz-se uma breve [introdução](#) à compensação do factor de potência explicitando algumas das razões para este procedimento. Para o caso de sistemas monofásicos, estuda-se a [compensação total](#) do factor de potência, bem como o procedimento a seguir no caso de uma [compensação parcial](#) do factor de potência. Finaliza-se com o estudo da [compensação total e parcial em sistemas trifásicos](#), particularizando os casos de baterias de condensadores ligadas em estrela e em triângulo.

- Pré-requisitos: [Potência em Sistemas Trifásicos](#)
- Nivel : Bases de Engenharia Electrotécnica
- Duração estimada: 1 hora
- Autor: [Maria José Resende](#)
- Realização : [Sophie Labrique](#)



Este projecto é financiado pela União Europeia no âmbito de uma acção Sócrates-Minerva. As informações nele contidas são da exclusiva responsabilidade dos seus autores. A União Europeia declina toda a responsabilidade relativamente ao seu uso.

1. INTRODUÇÃO

Os motores e grande parte das cargas alimentadas pelas redes de energia eléctrica, são cargas de carácter indutivo, isto é, para além de consumirem energia activa, também são consumidores de energia reactiva.

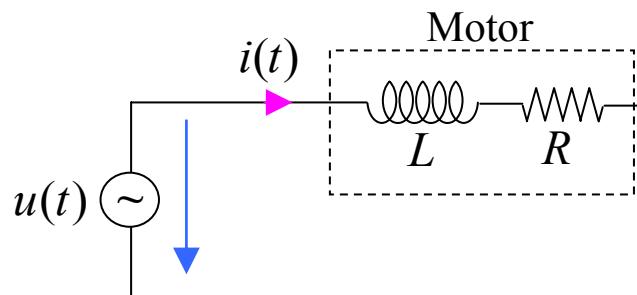


Figura 1 – Representação esquemática de um motor monofásico alimentado em corrente alternada

Em termos de diagrama vectorial, tem-se:

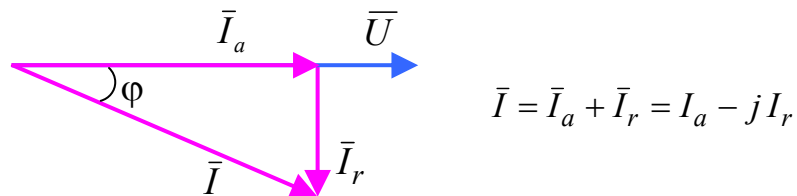


Figura 2 – Diagrama vectorial do esquema da Figura 1

sendo \bar{I}_a a componente activa da corrente e \bar{I}_r a componente reactiva. A presença da componente reactiva (devida à indutância) faz com que tensão e corrente aos terminais da fonte não estejam em fase; a corrente está atrasada φ relativamente à tensão.

A fonte que alimenta este motor deverá ser capaz de fornecer as potências:

$$P = U I \cos \varphi = U I_a$$

$$Q = U I \sin \varphi = U I_r$$

ou seja, deverá ter, pelo menos, uma potência aparente de:

$$S = U I$$

e ser capaz de fornecer uma corrente de amplitude eficaz I .

Caso a fonte não tivesse de fornecer a energia reactiva (devida à presença da indutância), poderia ter uma potência aparente de apenas:

$$S' = U I_a = U I \cos \varphi$$

fornecendo uma corrente de amplitude eficaz $I_a = I \cos \varphi$

Esta solução é possível e implementa-se através da introdução, no circuito, de um condensador; este procedimento é conhecido por compensação do factor de potência.

Os inconvenientes de não se proceder à compensação do factor de potência são:

- as fontes de energia eléctrica (os geradores das centrais eléctricas) ao terem de produzir energia reactiva têm, forçosamente, de diminuir a energia activa produzida, de forma a não ultrapassarem a sua potência aparente nominal, uma vez que $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$;
- as linhas de transmissão têm maiores perdas pois, como não são ideais (impedância nula), mas sim caracterizadas por uma impedância não nula, as perdas associadas serão tanto maiores quanto maior for a corrente que as percorre ($|\bar{I}| > |\bar{I}_a|$);
- as quedas de tensão nas linhas são maiores, pela mesma razão indicada no ponto anterior.

2. SISTEMA MONOFÁSICO – COMPENSAÇÃO TOTAL

No caso de um sistema monofásico, a compensação do factor de potência efectua-se com a montagem de um condensador em paralelo com a carga (e, portanto, com a fonte), tal como esquematizado na Figura 3

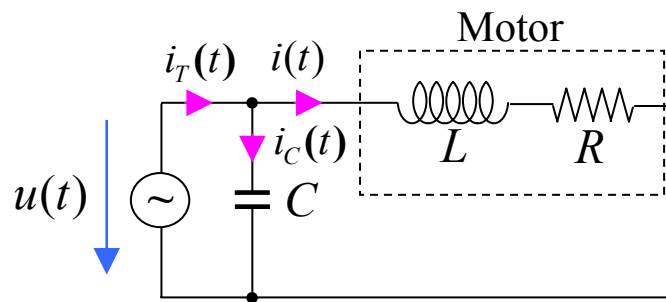


Figura 3 – Representação esquemática de um motor monofásico alimentado em corrente alternada, com condensador de compensação de factor de potência

O valor da capacidade C deverá ser dimensionado para que o respectivo diagrama vectorial seja:

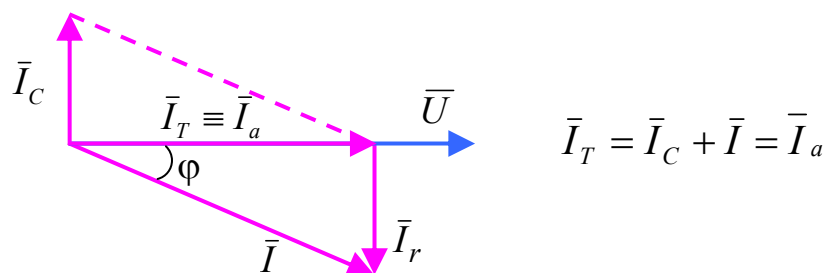


Figura 4 – Diagrama vectorial do esquema da Figura 3

A corrente do condensador deverá compensar totalmente a componente reactiva do motor. A corrente absorvida pelo motor, \bar{I} , não sofre qualquer alteração. As alterações residem na corrente fornecida pela fonte que, para além de ter diminuído a sua amplitude eficaz de I para $I \cos \varphi$ (reduzindo, assim, as perdas e as quedas de tensão nas linhas), também passou a

estar em fase com a tensão na fonte (a fonte deixou de fornecer energia reactiva). A potência activa que a fonte fornece não sofreu qualquer alteração, porque a corrente da fonte é exactamente igual à componente activa da corrente antes da compensação.

Com a introdução do condensador, procedeu-se à **compensação total do factor de potência**; do ponto de vista da fonte de energia, é como se o conjunto Motor+Condensador se comportasse como uma carga resistiva; é como se o condensador fornecesse toda a energia reactiva que o motor necessita absorver

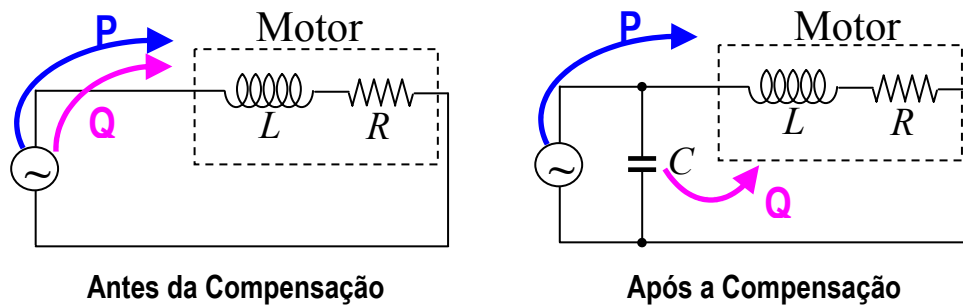


Figura 5 – Representação esquemática das potências activa e reactiva antes e após a compensação

A potência reactiva absorvida pelo motor é:

$$Q = U I \sin \varphi$$

Como a potência reactiva fornecida pelo condensador, Q_C , (ver [Potências em Elementos Ideais](#) e [Elementos Ideais](#)) é:

$$Q_C = U I_C = \omega C U^2$$

a igualdade entre estas duas potências conduz a:

$$C = \frac{I \sin \varphi}{\omega U}$$

que deverá ser a capacidade do condensador para compensar totalmente o factor de potência.

3. SISTEMA MONOFÁSICO – COMPENSAÇÃO PARCIAL

Os regulamentos não impõem a necessidade de uma compensação total do factor de potência, limitando-se a impor um valor mínimo para o factor de potência ($\cos \varphi_f$).

Para uma compensação parcial do factor de potência, partindo de um sistema que consome um determinado conjunto de valores iniciais de S_i , P_i , Q_i e $\cos \varphi_i < \cos \varphi_f$, pretende manter-se a potência activa solicitada ao distribuidor de energia eléctrica, P_i , e, através da instalação de um condensador com um valor C na entrada da nossa instalação, conseguir solicitar à rede um valor menor de potência reactiva final, Q_f , que assegure um valor de $\cos \varphi_f$

Partindo do valor de potência activa pretendida, P_i , e impondo $\cos \varphi_f$, obtêm-se o valor final da potência aparente, a solicitar à rede:

$$S_f = \frac{P_i}{\cos \varphi_f}$$

assim, como o respectivo valor da potência reactiva:

$$Q_f = S_f \sin (\varphi_f)$$

A diferença entre Q_i e Q_f deverá ser fornecida pelo condensador:

$$Q_C = \Delta Q = Q_i - Q_f$$

Deste modo, será possível calcular o valor de C , tal que:

$$C = \frac{\Delta Q}{\omega U^2}$$

4. SISTEMA TRIFÁSICO – COMPENSAÇÃO TOTAL E PARCIAL

A compensação do factor de potência em sistemas trifásicos não difere, substancialmente, da compensação em sistemas monofásicos; a diferença essencial reside no facto de serem necessários 3 e não apenas um condensador. Estes 3 condensadores tanto poderão ser ligados em estrela como em triângulo, independentemente da forma como a carga esteja ligada.

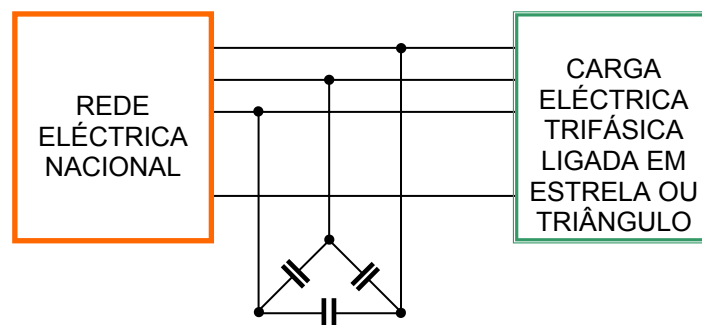


Figura 6 – Representação esquemática da compensação de factor de potência com os condensadores ligados em triângulo

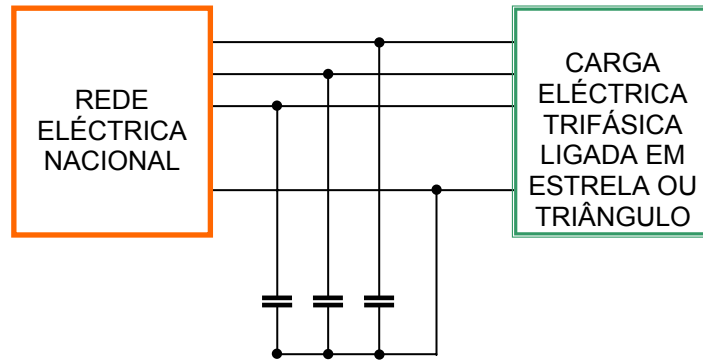


Figura 7 – Representação esquemática da compensação de factor de potência com os condensadores ligados em estrela

Sendo (ver [Potências em Elementos Ideais](#) e [Elementos Ideais](#)):

$$Q_C = \omega C U^2$$

a potência reactiva fornecida por um condensador cuja tensão aos seus terminais é U , será:

$$Q_{C\Delta} = 3 \omega C_{\Delta} U_C^2 \quad (1)$$

a potência reactiva fornecida por 3 condensadores de capacidade C_{Δ} que estão ligados em triângulo e que, portanto, estão alimentados por uma tensão composta U_C (ver [Tensões Simples e Compostas](#)):

Analogamente, será:

$$Q_{CY} = 3 \omega C_Y U_S^2 \quad (2)$$

a potência reactiva fornecida por 3 condensadores de capacidade C_Y que estão ligados em estrela e que, portanto, estão alimentados por uma tensão simples U_S .

Se a capacidade dos condensadores em estrela e em triângulo for igual, isto é, se $C_Y = C_{\Delta}$ e como $U_C = \sqrt{3} U_S$ (ver [Tensões Simples e Compostas](#)), das expressões (1) e (2) obtém-se:

$$Q_{C\Delta} = 3 Q_{CY}$$

Isto é, um grupo de 3 condensadores ligados em triângulo fornece o **triplo** da reactiva que os mesmos condensadores fornecem se estiverem ligados em estrela.

O procedimento de dimensionamento dos condensadores para se proceder a uma **compensação parcial** do factor de potência, ou seja, para que se obtenha um determinado factor de potência final, $\cos \varphi_f$, é análogo ao já apresentado em [Sistemas monofásicos – Compensação Parcial](#).

Partindo do valor de potência activa consumida pela carga e que não se altera com a introdução dos condensadores, P_i , e impondo $\cos \varphi_f$, obtém-se o valor final da potência aparente, a solicitar à rede:

$$S_f = \frac{P_i}{\cos \varphi_f}$$

assim, como o respectivo valor da potência reactiva:

$$Q_f = S_f \sin(\varphi_f)$$

A diferença entre Q_i e Q_f deverá ser fornecida pela bateria de 3 condensadores.

$$\Delta Q = Q_i - Q_f \quad (3)$$

Se se pretender que os condensadores sejam ligados em triângulo, a expressão (3) deverá ser igualada à expressão (1), obtendo-se:

$$C_{\Delta} = \frac{\Delta Q}{3 \omega U_C^2} \quad \text{em triângulo}$$

Se se pretender que os condensadores sejam ligados em estrela, a expressão (3) deverá ser igualada à expressão (2), obtendo-se:

$$C_Y = \frac{\Delta Q}{3 \omega U_S^2} \quad \text{em estrela}$$

Para uma **mesma potência** a fornecer pelos condensadores, ΔQ , as duas expressões anteriores permitem concluir que:

$$C_Y = 3 C_{\Delta}$$

Isto é, se se quiser ligar em estrela os condensadores, eles têm de ter uma capacidade **3 vezes superior** à capacidade dos condensadores a ligar em triângulo.

Para proceder a uma **compensação total do factor de potência em sistemas trifásicos**, bastará considerar nas expressões anteriores que $\cos \varphi_f = 1$.

EXERCÍCIOS

1. Uma carga trifásica equilibrada ligada à rede eléctrica nacional, 230 V / 400 V, 50 Hz, consome uma potência activa de 44 kW e uma potência reactiva de 52,4 kvar. Determine potência reactiva da bateria de condensadores, para que o factor de potência seja compensado para 0,85.

Resposta>>

Considere-se que após a compensação, a carga vai consumir da rede as potências finais P_f e Q_f e o factor de potência final será $\cos \varphi_f = 0,85 \Rightarrow \varphi_f = 31,8^\circ$

Como a potência activa não se altera com a compensação, será então $P_i = P_f$

$$\text{e} \quad Q_f = S_f \sin \varphi_f = P_f \tan \varphi_f = P_i \tan \varphi_f$$

Pelo que: $Q_f = 44\,000 \times \tan 31,8 = 27\,281 \text{ var}$

A energia reactiva fornecida pelos condensadores deverá então ser:

$$\Delta Q_C = Q_i - Q_f = 52\,400 - 27\,281 = 25\,119 \text{ var}$$

2. Determine a capacidade de cada um dos condensadores, se a bateria for ligada em estrela.

Resposta>>

Se os condensadores forem ligados em estrela, a tensão aos terminais de cada um deles é a tensão simples da rede, $U_S = 230 \text{ V}$, pelo que será:

$$C_Y = \frac{\Delta Q}{3 \omega U_S^2}$$

Substituindo valores, obtém-se:

$$C_Y = \frac{21\,119}{3 \times 2\pi \times 50 \times 230^2} = 503 \times 10^{-6} = 503 \mu F$$

3. Determine a capacidade de cada um dos condensadores, se a bateria for ligada em triângulo.

Resposta>>

Se os condensadores forem ligados em triângulo, a tensão aos terminais de cada um deles é a tensão composta da rede, $U_C = 400 \text{ V}$, pelo que será:

$$C_\Delta = \frac{\Delta Q}{3 \omega U_C^2}$$

Substituindo valores, obtém-se:

$$C_\Delta = \frac{21\,119}{3 \times 2\pi \times 50 \times 400^2} = 168 \times 10^{-6} = 168 \mu F$$

Este resultado também poderia ser encontrado sabendo que, para uma mesma potência a compensar, ΔQ_C , a capacidade de cada um dos condensadores a ligar em triângulo é 3 vezes inferior à capacidade de cada condensador a ligar em estrela.

$$C_\Delta = \frac{C_Y}{3} = \frac{503 \times 10^{-6}}{3} = 168 \times 10^{-6} = 168 \mu F$$

4. Represente num diagrama vectorial as tensões e as correntes nas fases, antes e depois de compensar o factor de potência.

Resposta>>

Como a potência activa não se altera com a compensação, as componentes activas das correntes, antes e depois da compensação, são iguais $\Leftrightarrow I_i \cos \varphi_i = I_f \cos \varphi_f$

