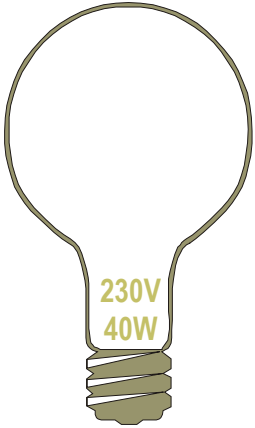

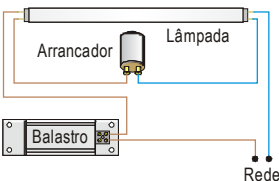
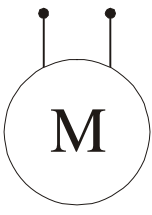
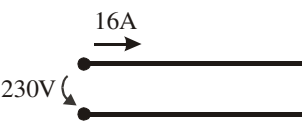

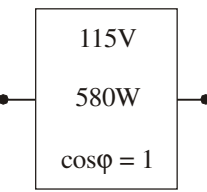

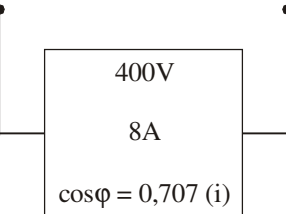

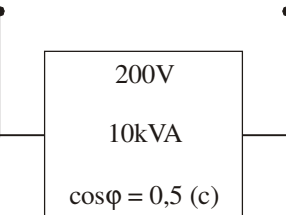

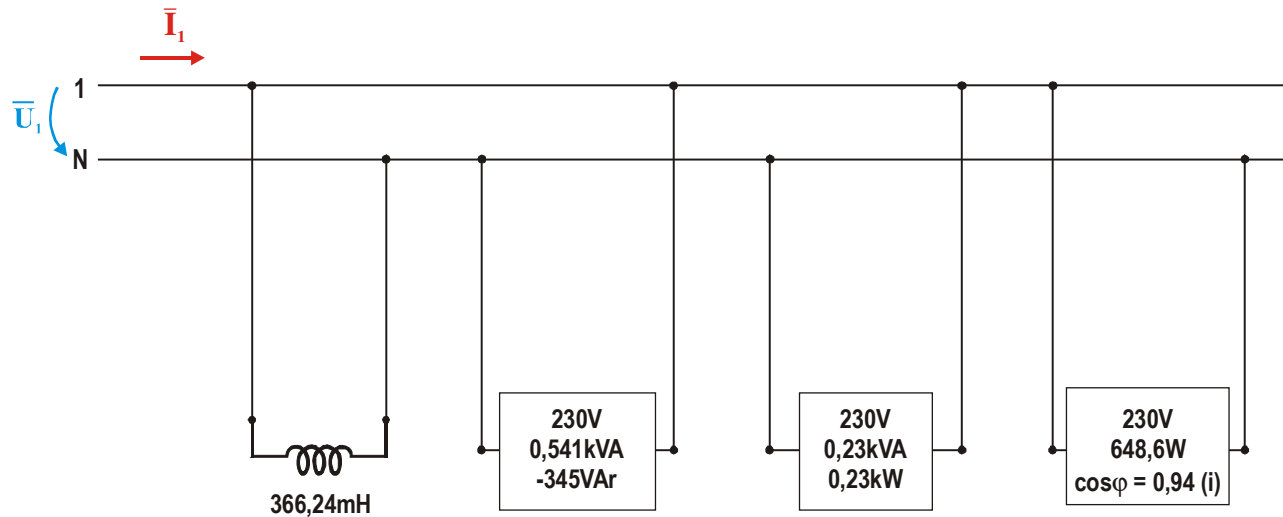


32. Valores Nominais (rede) e Valores Estipulados (receptores)

	<p>Lâmpada feita para trabalhar a uma tensão de 230V. Quando tal acontece, absorve uma potência de 40W.</p> <p>Uma lâmpada de incandescência é um receptor resistivo.</p>  <p>Uma lâmpada fluorescente e o respectivo balastro formam um receptor indutivo.</p> 	<p>Motor de indução</p>  <p>230V 50W rendimento = 80%</p>	<p>Motor de indução (receptor indutivo) feito para trabalhar a uma tensão de 230V. Quando tal acontece, se o motor funcionar à plena carga então</p> <ul style="list-style-type: none"> • fornece uma potência mecânica de 50W à carga accionada; • absorve uma potência eléctrica dada por $\frac{50}{0,8} = 62,5W$
<p>Rede eléctrica monofásica de 230V / 16A</p> 	<p>Rede eléctrica monofásica cujas linhas foram dimensionadas para correntes de 16A.</p> <p>O fornecedor de energia eléctrica compromete-se a colocar entre as duas linhas uma tensão de 230V.</p>	 <p>17,6Ω / 3kW</p>	<p>Receptor resistivo com uma resistência de 17,6Ω, que foi dimensionado para absorver uma potência de 3kW.</p>
	<p>Receptor resistivo feito para trabalhar a uma tensão de 115V. Quando tal acontece, absorve uma potência de 580W.</p> <p>A resistência do receptor é dada por</p> $R = \frac{U^2}{P} = \frac{115^2}{580} = 73,5\Omega$	 <p>230V / 3kW</p>	<p>Receptor resistivo feito para trabalhar a uma tensão de 230V. Quando tal acontece, absorve uma potência de 3kW.</p> <p>A resistência do receptor é dada por</p> $R = \frac{U^2}{P} = \frac{230^2}{3000} = 17,6\Omega$
	<p>Receptor indutivo feito para trabalhar a uma tensão de 400V. Quando tal acontece, absorve uma corrente de 8A.</p> <p>A tensão e a corrente estão desfasadas de um ângulo cujo valor é dado por $\arcsin(0,707)$.</p> <p>A corrente está atrasada relativamente à tensão.</p>	 <p>400V / 3kVA</p>	<p>Receptor puramente indutivo feito para trabalhar a uma tensão de 400V. Quando tal acontece, absorve uma potência aparente de 3kVA.</p> <p>A reactância indutiva do receptor é dada por</p> $\omega L = \frac{U^2}{S} = \frac{400^2}{3000} = 53,3\Omega$
	<p>Receptor capacitivo feito para trabalhar a uma tensão de 200V. Quando tal acontece, absorve uma potência aparente de 10kVA.</p> <p>A tensão e a corrente estão desfasadas de um ângulo cujo valor é dado por $\arccos(0,5)$.</p> <p>A corrente está adiantada relativamente à tensão.</p>	 <p>230V / 2kVA</p>	<p>Receptor puramente capacitivo feito para trabalhar a uma tensão de 230V. Quando tal acontece, absorve uma potência aparente de 2kVA.</p> <p>A reactância capacitiva do receptor é dada por</p> $\frac{1}{\omega C} = \frac{U^2}{S} = \frac{230^2}{2000} = 26,5\Omega$

Exercício A

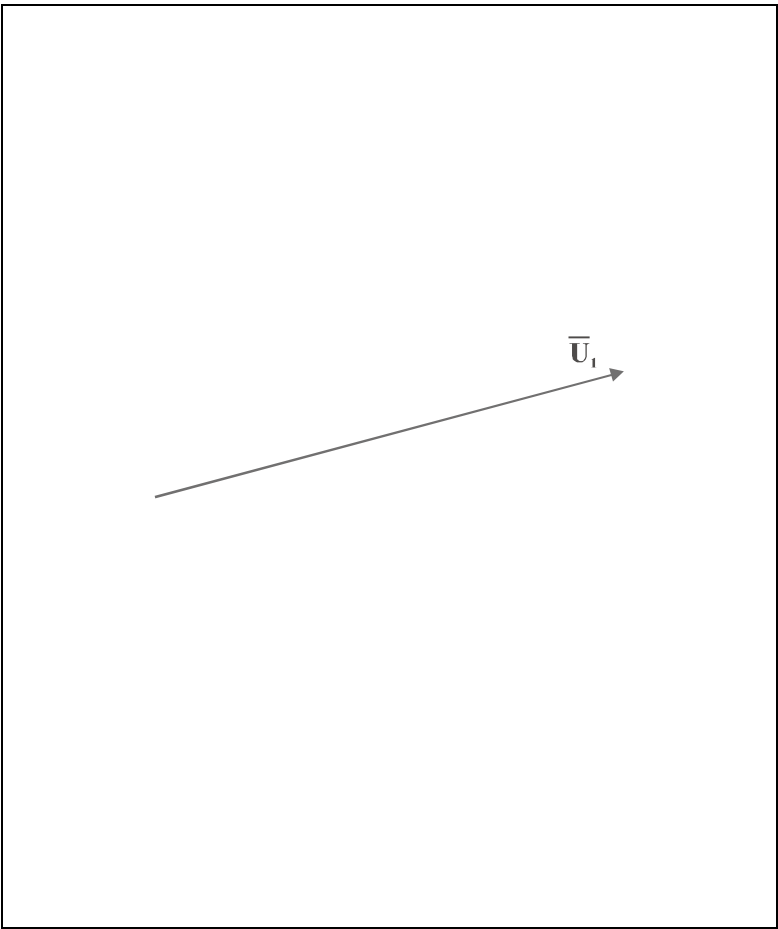
Rede monofásica de 230V / 50 Hz



Preencha o quadro:

	$\bar{I}_1 =$
Desfasamento angular entre a tensão da rede e a corrente que alimenta a instalação	
Desfasamento temporal entre a tensão da rede e a corrente que alimenta a instalação	
Potência activa da instalação	
Potência reactiva da instalação	
Potência aparente da instalação	
Factor de potência da instalação	
Potência reactiva do componente que, uma vez acrescentado à instalação, permite eliminar o consumo de energia reactiva da mesma	

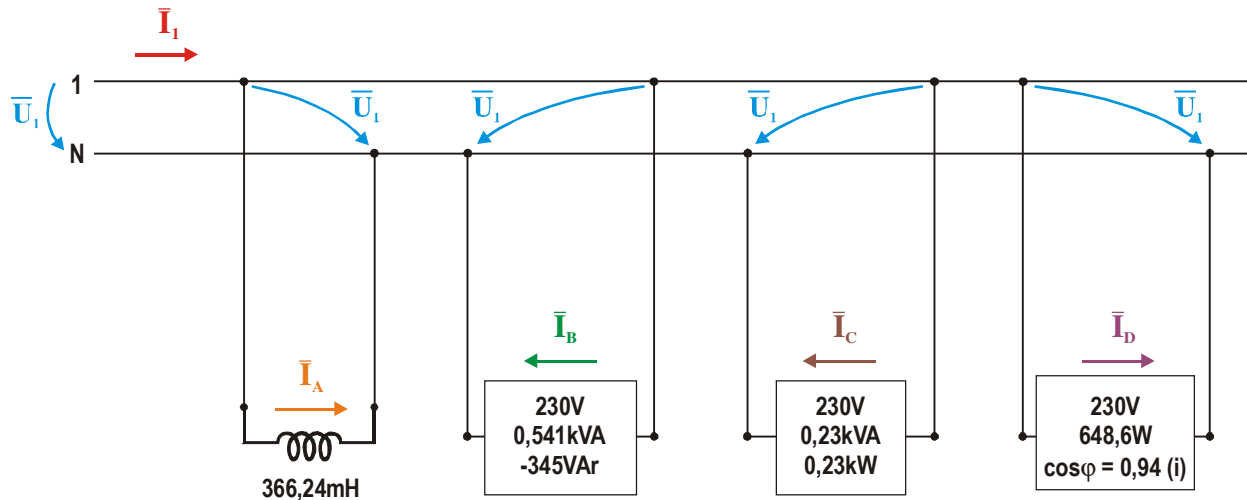
Complete o diagrama fasorial da instalação.



Tópicos de Resolução

Em cada receptor, marcar o sentido positivo da corrente de acordo com o sentido positivo da tensão:

Rede monofásica de 230V / 50 Hz



$$U_1 = \omega L \cdot I_A \quad \Rightarrow \quad I_A = \frac{U_1}{\omega L} = \frac{U_1}{2\pi f L} = \frac{230}{2\pi \cdot 50 \cdot 366,24 \cdot 10^{-3}} = 2A$$

$\varphi_A = 90^\circ$ (a corrente está atrasada 90° da tensão porque se trata de uma bobina ideal)

$$S_B = U_1 \cdot I_B \quad \Rightarrow \quad I_B = \frac{S_B}{U_1} = \frac{0,541 \cdot 10^3}{230} = 2,352A$$

$$Q_B = U_1 \cdot I_B \cdot \sin\varphi_B \quad \Rightarrow \quad \sin\varphi_B = \frac{Q_B}{U_1 \cdot I_B} = \frac{-345}{541} = -0,6377$$

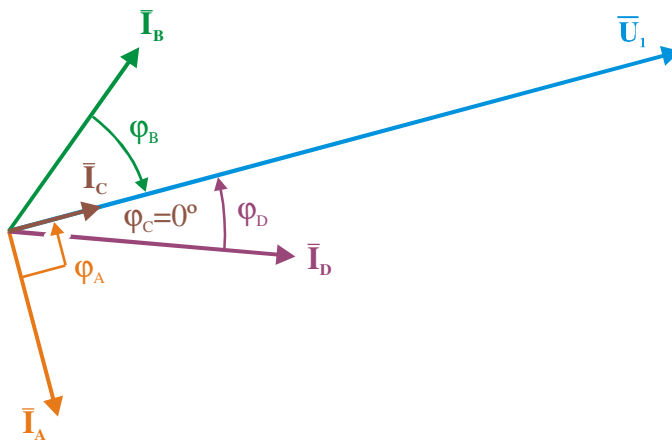
$$\Rightarrow \quad \varphi_B = -39,62^\circ \quad (\text{a corrente está adiantada } 39,62^\circ \text{ da tensão})$$

$$S_C = U_1 \cdot I_C \quad \Rightarrow \quad I_C = \frac{S_C}{U_1} = \frac{0,23 \cdot 10^3}{230} = 1A$$

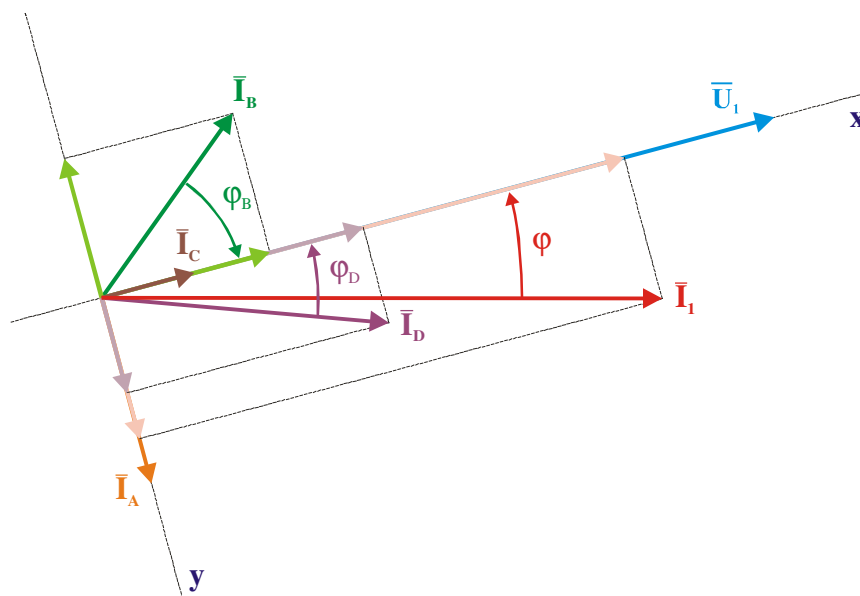
Como $S_C = P_C$, então $Q_C = 0$ e $\varphi_C = 0^\circ$ (receptor puramente resistivo)

$$P_D = U_1 \cdot I_D \cdot \cos\varphi_D \quad \Rightarrow \quad I_D = \frac{P_D}{U_1 \cdot \cos\varphi_D} = \frac{648,6}{230 \cdot 0,94} = 3A$$

$$\cos\varphi_D = 0,94(i) \quad \Rightarrow \quad \varphi_D = 20^\circ \quad (\text{a corrente está atrasada } 20^\circ \text{ da tensão})$$



Definir um sistema de eixos conveniente e decompor os fasores segundo os eixos. Depois, determinar I_1 .



$$\bar{I}_B = \bar{I}_{Bx} + \bar{I}_{By}$$

$$I_{Bx} = I_B \cdot \cos \varphi_B = 2,352 \cdot \cos(-39,62^\circ) = 1,81A$$

$$I_{By} = I_B \cdot \sin \varphi_B = 2,352 \cdot \sin(-39,62^\circ) = -1,5A$$

$$\bar{I}_D = \bar{I}_{Dx} + \bar{I}_{Dy}$$

$$I_{Dx} = I_D \cdot \cos(20^\circ) = 3 \cdot \cos(20^\circ) = 2,82A$$

$$I_{Dy} = I_D \cdot \sin(20^\circ) = 3 \cdot \sin(20^\circ) = 1,03A$$

$$I_{1x} = I_C + I_{Bx} + I_{Dx} = 1 + 1,81 + 2,82 = 5,63A$$

$$I_{1y} = I_A + I_{By} + I_{Dy} = 2 - 1,5 + 1,03 = 1,53A$$

$$I_1 = \sqrt{(I_{1x})^2 + (I_{1y})^2} = \sqrt{(5,63)^2 + (1,53)^2} = 5,83A$$

$$\cos \varphi = \frac{I_{1x}}{I_1} = \frac{5,63}{5,83} = 0,966A \Rightarrow \varphi = 15,05^\circ$$

Exercício B

Oito receptores de uma instalação funcionam nos respectivos valores estipulados, sempre em conjunto, 16 horas por dia. Complete o quadro.

Os receptores funcionam nos respectivos valores estipulados, sempre em conjunto, 16 horas por dia.		
	Potência activa em jogo no receptor	Potência reactiva em jogo no receptor
Receptor 1 (puramente resistivo): 7kVA	$P_1 =$	$Q_1 =$
Receptor 2: 11kW, 15kVAr	$P_2 =$	$Q_2 =$
Receptor 3 (bobina): 15kVA	$P_3 =$	$Q_3 =$
Receptor 4: 8kW, -4kVAr	$P_4 =$	$Q_4 =$
Receptor 5: 5kW	$P_5 =$	$Q_5 =$
Receptor 6 (indutivo): 4kW, 5kVA	$P_6 =$	$Q_6 =$
Receptor 7: 10kVA, -6kVAr	$P_7 =$	$Q_7 =$
Receptor 8 (condensador): 1kVA	$P_8 =$	$Q_8 =$
Potência activa em jogo no conjunto dos receptores: $P_{\text{conj}} =$		
Potência reactiva em jogo no conjunto dos receptores: $Q_{\text{conj}} =$		
Tipo de receptor formado pelo conjunto dos receptores:		
Potência aparente em jogo no conjunto dos receptores: $S_{\text{conj}} =$		
Factor de potência da instalação: $fp_{\text{conj}} =$		
Energia activa consumida pelo conjunto dos receptores em 7 dias: $W_{a \text{ conj}} =$		
Energia reactiva consumida pelo conjunto dos receptores em 7 dias: $W_{r \text{ conj}} =$		
Custo da energia eléctrica consumida pelo conjunto dos receptores em 7 dias: $C_{\text{conj}} =$		
Energia activa	Energia reactiva	
	Fornecida pela rede (indutiva)	Fornecida à rede (capacitiva)
0,15€/kWh	0,1€/kVArh	0,08€/kVArh

Exercício C

Uma oficina é alimentada por uma rede monofásica de 230V / 50Hz e dispõe dos seguintes receptores monofásicos:

- Um motor de 1750W / 230V / 50Hz / $\eta=0,951$ / $\cos\phi=0,8$ (i)
- 10 lâmpadas de incandescência de 230V / 60W

O motor funciona 8 horas por dia e as lâmpadas funcionam – todas em simultâneo – 16 horas por dia. A energia activa e a energia reactiva são cobradas às taxas apresentadas na tabela.

Energia activa	Energia reactiva	
	Fornecida pela rede (indutiva)	Fornecida à rede (capacitiva)
0,15€/kWh	0,1€/kVArh	0,08€/kVArh

- a) Determine o valor nominal da impedância do motor.
- b) Calcule o valor da corrente fornecida pela rede à oficina quando todos os receptores estão ligados.
- c) Determine o factor de potência da oficina quando todos os receptores estão ligados.
- d) Calcule o custo mensal da energia eléctrica consumida pela oficina.
- e) Determine os valores da potência activa e da potência reactiva em jogo na oficina quando todos os receptores estão ligados.
- f) Investigue um dispositivo que, ligado à rede de forma conveniente, permita reduzir ao mínimo o custo mensal da energia eléctrica consumida pela oficina. Devem verificar-se as seguintes condições:
 1. Todos os receptores previamente instalados devem funcionar nas respectivas condições estipuladas e durante os períodos indicados;
 2. O novo dispositivo não deve consumir energia activa.
- g) Determine a tensão e a corrente em jogo no novo dispositivo.
- h) Determine a impedância do novo dispositivo.
- i) Determine a característica eléctrica do novo dispositivo.
- j) Quando é que o novo dispositivo deve estar ligado?
- k) Quando é que o novo dispositivo deve estar desligado?
- l) Em que ponto da instalação deve ser introduzido o novo dispositivo?
- m) Determine o valor da corrente fornecida pela rede à oficina quando todos os receptores estão ligados, incluindo o novo dispositivo.
- n) Determine o valor do factor de potência da oficina quando todos os receptores estão ligados, incluindo o novo dispositivo.
- o) Determine os valores da potência activa e da potência reactiva em jogo na oficina quando todos os receptores estão ligados, incluindo o novo dispositivo.

Tópicos de Resolução

a) *Determine o valor nominal da impedância do motor.*

Um motor de 1750W (potência nominal do motor, que é uma potência mecânica) e rendimento nominal 0,951 absorve à rede uma potência activa estipulada dada por

$$P_M = \frac{1750}{0,951} = 1840\text{W}$$

Uma vez que o motor é monofásico, com tensão nominal $U_N = 230\text{V}$ e $\cos\phi = 0,8$ (valor nominal do factor de potência), então

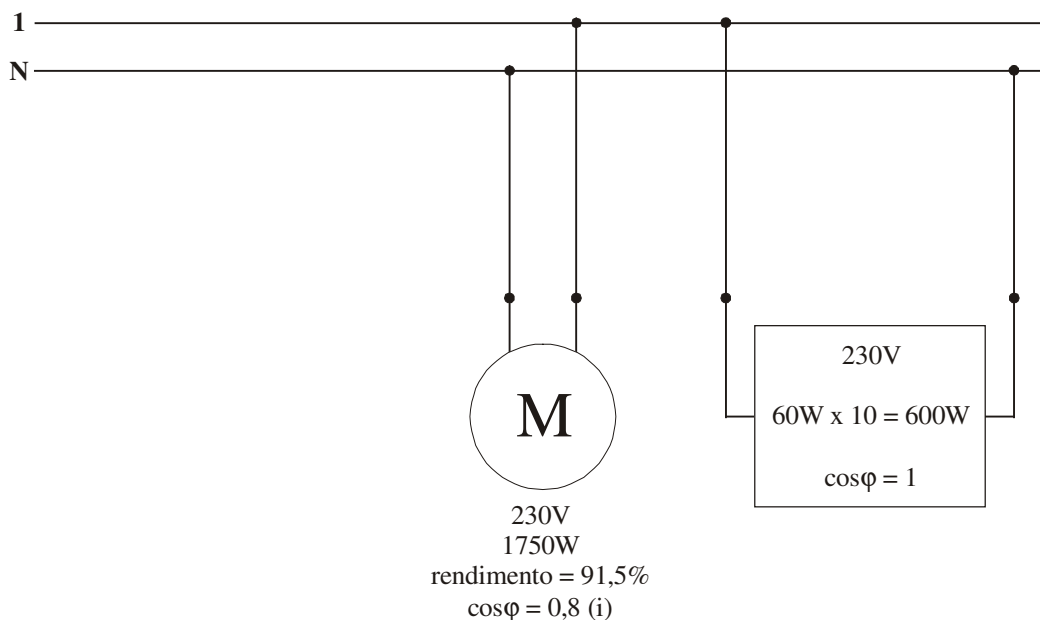
$$P_M = 1840 = 230 \cdot I_N \cdot 0,8 \Rightarrow I_N = 10\text{A}$$

O valor nominal da impedância do motor é dado por

$$Z_N = \frac{U_N}{I_N} = \frac{230}{10} = 23\Omega$$

b) *Calcule o valor da corrente fornecida pela rede à oficina quando todos os receptores estão ligados.*

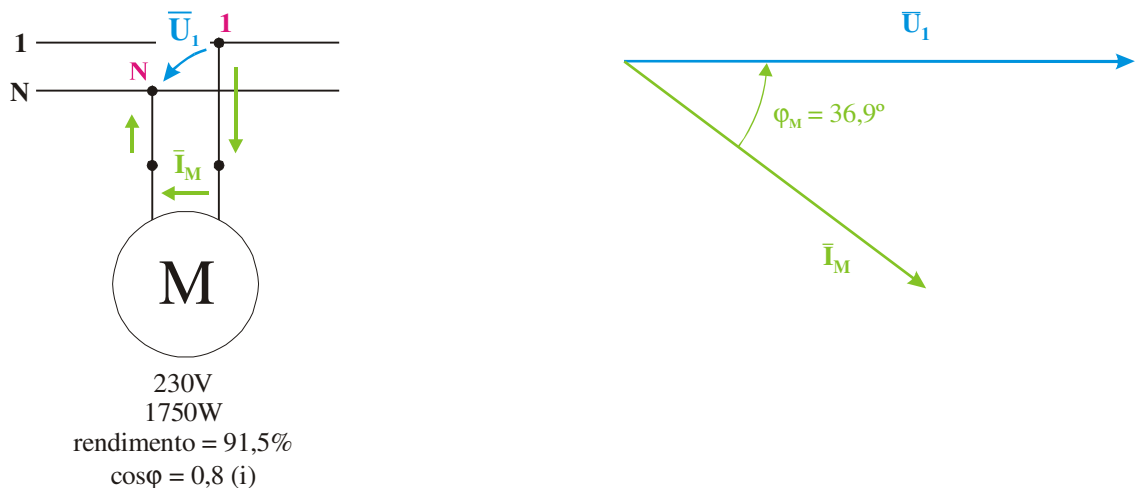
Cada lâmpada tem uma potência estipulada P_{ILamp} e absorve uma corrente \bar{I}_{ILamp} . Para efeitos do cálculo da corrente fornecida pela rede à oficina, pode considerar-se que o conjunto das lâmpadas constitui um único receptor monofásico com uma potência estipulada $P_{\text{Lamp}} = 10 \times P_{\text{ILamp}} = 10 \times 60 = 600\text{W}$ e que absorve uma corrente $\bar{I}_{\text{Lamp}} = 10 \times \bar{I}_{\text{ILamp}}$ (isto pode fazer-se porque as lâmpadas são idênticas e funcionam todas em simultâneo).



Para calcular a corrente fornecida pela rede à oficina, o primeiro passo é calcular as correntes absorvidas por cada receptor.

A corrente \bar{I}_M absorvida pelo motor, com **sentido positivo definido de 1 para N** (como se mostra na figura) está **atrasada** (porque o motor é um receptor indutivo) **de um ângulo ϕ_M da tensão que lhe dá origem**, que é a tensão \bar{U}_1 .

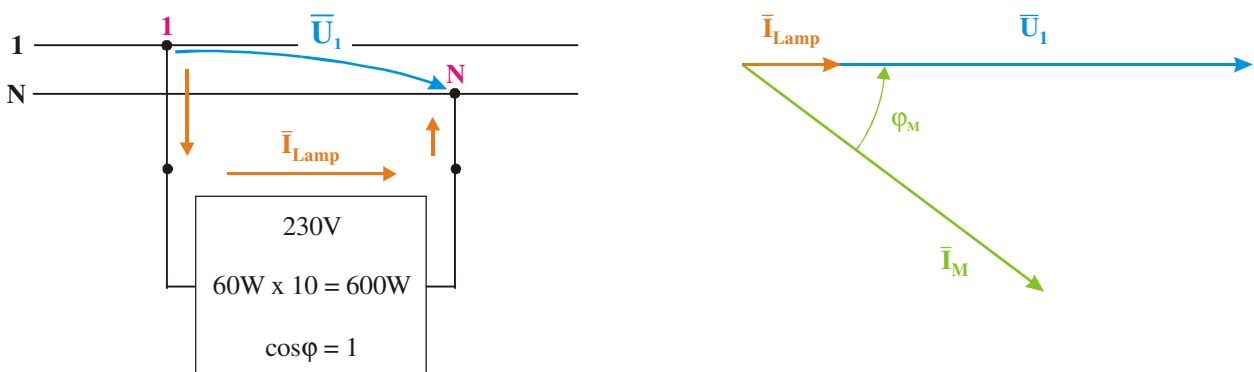
Uma vez que se desconhecem mais pormenores sobre o funcionamento do motor, deve-se assumir que este funciona em regime nominal (apesar de que, regra geral, isso não acontece). Então, o valor da corrente absorvida pelo motor é a sua corrente estipulada, calculada na alínea anterior: $I_M = 10\text{A}$. Além disso, $\cos\phi_M = 0,8 \Rightarrow |\phi_M| = 36,9^\circ$.



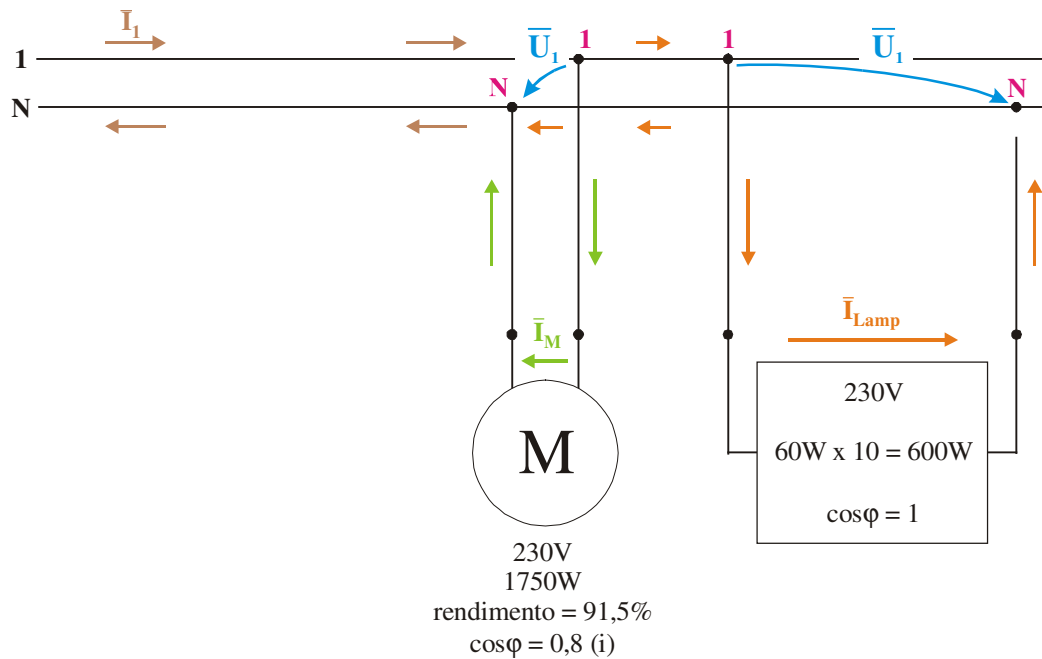
A corrente \bar{I}_{Lamp} absorvida pelo conjunto das lâmpadas, com **sentido positivo definido de 1 para N** (como se mostra na figura) está **em fase** (porque as lâmpadas são receptores puramente resistivos) **com a tensão que lhe dá origem**, que é a tensão \bar{U}_1 .

O valor da corrente \bar{I}_{Lamp} é dado por:

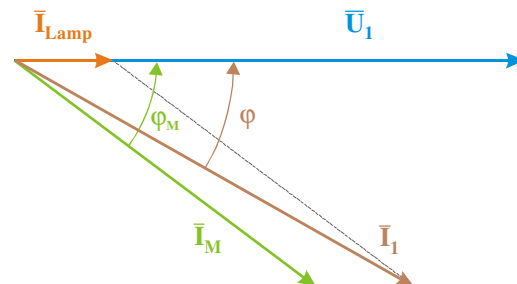
$$I_{Lamp} = \frac{P_{Lamp}}{U_1 \cdot \cos\phi_{Lamp}} = \frac{600}{230 \cdot 1} = 2,6\text{A}$$



A corrente \bar{I}_1 fornecida pela rede à oficina é a soma das correntes absorvidas pelo motor e pelas lâmpadas.



$$\bar{I}_1 = \bar{I}_M + \bar{I}_{Lamp}$$



Para calcular o valor de \bar{I}_1 e também o valor de φ , a corrente \bar{I}_M pode decompor-se nas correntes \bar{I}_{Mf} (em fase com \bar{U}_1) e \bar{I}_{Mq} (em quadratura com \bar{U}_1).

$$I_{Mf} = I_M \cdot \cos\varphi_M = 10 \cdot 0,8 = 8A$$

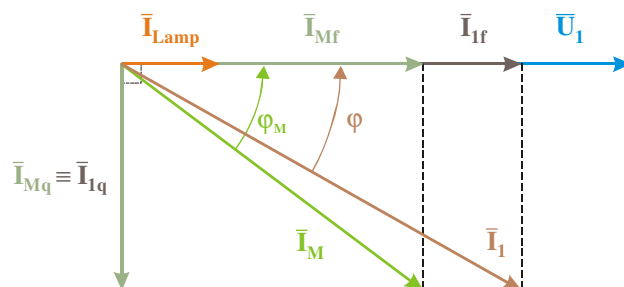
$$I_{Mq} = I_M \cdot \sin\varphi_M = 10 \cdot \sin(36,9^\circ) = 6A$$

$$I_{1f} = I_{Lamp} + I_{Mf} = 2,6 + 8 = 10,6A$$

$$I_{1q} = I_{Mq} = 6A$$

$$I_1 = \sqrt{(I_{1f})^2 + (I_{1q})^2} = \sqrt{(10,6)^2 + (6)^2} = 12,2A$$

$$\cos\varphi = \frac{I_{1f}}{I_1} = \frac{10,6}{12,2} = 0,869 \Rightarrow |\varphi| = 29,7^\circ$$



c) Determine o factor de potência da oficina quando todos os receptores estão ligados.

$$\frac{P_{\text{Total}}}{S_{\text{Total}}} = \frac{U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi}{U_1 \cdot I_1} = \cos \varphi = \frac{I_{1f}}{I_1} = \frac{10,6}{12,2} = 0,869$$

d) Calcule o custo mensal da energia eléctrica consumida pela oficina.

Energia Activa	
Potência activa em jogo no motor	$P_M = 1840\text{W} = 1,84\text{kW}$
Potência activa em jogo nas lâmpadas	$P_{\text{Lamp}} = 600\text{W} = 0,6\text{kW}$
Energia activa consumida pelo motor num mês (funciona 8 horas por dia)	$W_{aM} = P_M \cdot \Delta t_M = \underbrace{1,84}_{\substack{\text{Potência} \\ \text{activa} \\ \text{em} \\ \text{jogo} \\ \text{no} \\ \text{motor}}} \cdot \underbrace{8 \cdot 30}_{\substack{\text{Número} \\ \text{de} \\ \text{horas} \\ \text{mensais}}} = 441,6\text{kWh}$
Custo mensal da energia activa consumida pelo motor	$C_{WaM} = 441,6 \cdot 0,15 = 66,24\text{€}$
Energia activa consumida pelas lâmpadas num mês (funcionam 16 horas por dia)	$W_{aLamp} = P_{\text{Lamp}} \cdot \Delta t_{\text{Lamp}} = \underbrace{0,6}_{\substack{\text{Potência} \\ \text{activa} \\ \text{em} \\ \text{jogo} \\ \text{nas} \\ \text{lâmpadas}}} \cdot \underbrace{16 \cdot 30}_{\substack{\text{Número} \\ \text{de} \\ \text{horas} \\ \text{mensais}}} = 288\text{kWh}$
Custo mensal da energia activa consumida pelas lâmpadas	$C_{WaL} = 288 \cdot 0,15 = 43,2\text{€}$
Custo mensal da energia activa consumida pela oficina	$C_{Wa} = C_{WaM} + C_{WaL} = 66,24 + 43,2 = 109,44\text{€}$

Energia Reactiva	
Potência reactiva em jogo no motor	$Q_M = U_1 \cdot I_M \cdot \sin \varphi_M = 230 \cdot 10 \cdot 0,6 = 1380\text{VAr} = 1,38\text{kVAr}$
Potência reactiva em jogo nas lâmpadas	$Q_{\text{Lamp}} = 0\text{kVAr}$ (porque as lâmpadas são receptores puramente resistivos)
Potência reactiva em jogo na oficina (apenas a do motor, que funciona 8 horas por dia)	$Q = Q_M + Q_{\text{Lamp}} = Q_M = 1,38\text{kVAr}$ (quando o motor funciona)
Energia reactiva consumida pela oficina num mês (apenas a do motor, que funciona 8 horas por dia)	$W_r = Q \cdot \Delta t_M = \underbrace{1,38}_{\substack{\text{Potência} \\ \text{reactiva} \\ \text{em} \\ \text{jogo} \\ \text{no} \\ \text{motor}}} \cdot \underbrace{8 \cdot 30}_{\substack{\text{Número} \\ \text{de} \\ \text{horas} \\ \text{mensais}}} = 331,2\text{kVArh}$
Custo mensal da energia reactiva consumida pela oficina	$C_{Wr} = 331,2 \cdot 0,10 = 33,12\text{€}$

Total	
Custo mensal da energia eléctrica consumida pela oficina	$C_T = C_{Wa} + C_{Wr} = 109,44 + 33,12 = 142,56\text{€}$

e) Determine os valores da potência activa e da potência reactiva em jogo na oficina quando todos os receptores estão ligados.

$$P_{\text{Total}} = P_M + P_{\text{Lamp}} = 1840 + 600 = 2440 \text{ W}$$

$$Q_{\text{Total}} = Q_M = 1380 \text{ VAR}$$

f) Investigue um dispositivo que, ligado à rede de forma conveniente, permita reduzir ao mínimo o custo mensal da energia eléctrica consumida pela oficina. Devem verificar-se as seguintes condições:

1. Todos os receptores previamente instalados devem funcionar nas respectivas condições nominais e durante os períodos indicados;
2. O novo dispositivo não deve consumir energia activa.

Para que os receptores previamente instalados continuem a funcionar nas respectivas condições nominais e durante os períodos indicados, o novo dispositivo deve ser ligado em paralelo com esses receptores. Assim, o dispositivo ficará sujeito à tensão \bar{U}_1 .

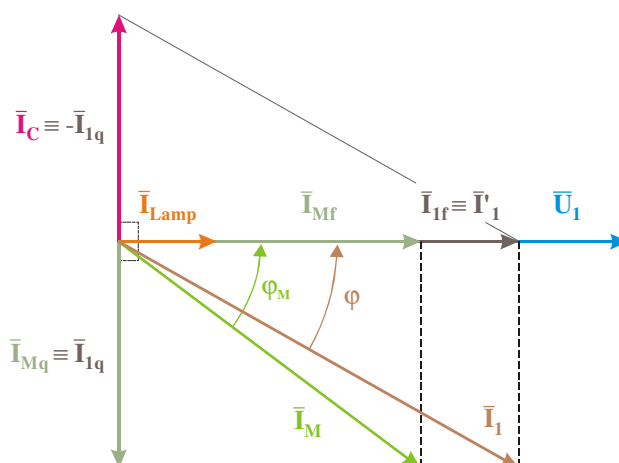
Com todos os receptores previamente instalados a funcionar nas respectivas condições nominais e durante os períodos indicados, não é possível reduzir o consumo de energia activa.

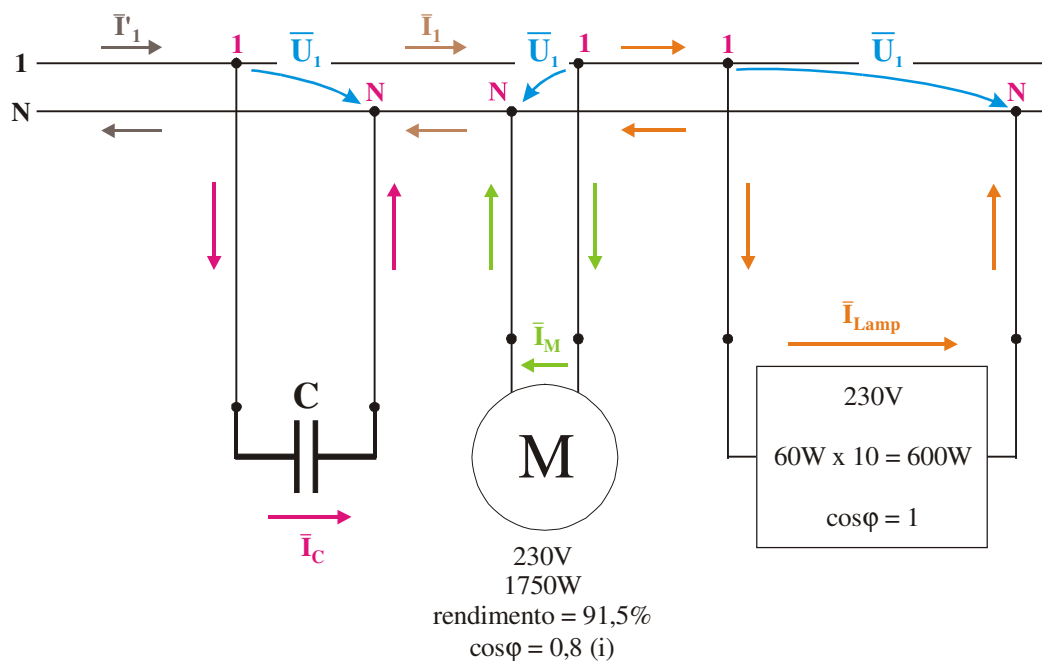
A energia reactiva consumida pela instalação deve-se, exclusivamente, à corrente \bar{I}_{Mq} .

Para eliminar a energia reactiva consumida pela instalação, é necessário ligar à rede um dispositivo que absorva uma corrente tal que a sua componente em quadratura com \bar{U}_1 tenha um valor I_{Mq} e esteja em oposição de fase com \bar{I}_{Mq} .

O novo dispositivo não deve consumir energia activa, o que só é conseguido por um receptor sem resistência. Assim, o dispositivo deverá ser puramente indutivo ou puramente capacitivo, não possuindo componente em fase com \bar{U}_1 .

As condições anteriores são satisfeitas por um dispositivo que, submetido à tensão \bar{U}_1 , absorve uma corrente de valor I_{Mq} que se encontra avançada de 90° relativamente a \bar{U}_1 . Tal dispositivo é puramente capacitivo: o seu circuito equivalente (com um número mínimo de componentes) é um condensador ideal.





g) Determine a tensão e a corrente em jogo no novo dispositivo.

Ao ser ligado em paralelo com os outros receptores, o condensador fica sujeito à tensão \bar{U}_1 , cujo valor é de 230V.

A corrente \bar{I}_C que passa no condensador tem um valor $I_C = I_{Mq} = 6A$

h) Determine a impedância do novo dispositivo.

$$Z_C = \frac{U_1}{I_C} = \frac{230}{6} = 38,3\Omega$$

i) Determine a característica eléctrica do novo dispositivo.

$$Z_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot C} = 38,3\Omega \Rightarrow C = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 38,3} = 83,1\mu F$$

Em resumo: para reduzir ao mínimo o custo mensal da energia eléctrica consumida pela oficina deve ligar-se à rede, em paralelo com os outros receptores, um **condensador de 83,1μF** preparado para ser percorrido por uma **corrente de 6A** e submetido a uma **tensão de 230V**.

j) Quando é que o novo dispositivo deve estar ligado?

O condensador deve estar ligado sempre que o motor também o estiver. Se o condensador permanecer desligado quando o motor for ligado, a oficina irá consumir energia reactiva (indutiva).

k) *Quando é que o novo dispositivo deve estar desligado?*

O condensador deve estar desligado sempre que o motor também o estiver. Se o condensador permanecer ligado quando o motor for desligado, a oficina irá fornecer energia reactiva (capacitiva) à rede.

l) *Em que ponto da instalação deve ser introduzido o novo dispositivo?*

O condensador deve situar-se tão próximo quanto possível do motor, que é o único componente da oficina que consome energia reactiva.

m) *Determine o valor da corrente fornecida pela rede à oficina quando todos os receptores estão ligados, incluindo o novo dispositivo.*

$$I_1 = I_{1f} = 10,6\text{A}$$

n) *Determine o valor do factor de potência da oficina quando todos os receptores estão ligados, incluindo o novo dispositivo.*

A corrente \bar{I}_1 está em fase com a tensão \bar{U}_1 . Por isso, $\varphi' = 0^\circ$ (φ' é o ângulo existente entre \bar{I}_1 e \bar{U}_1).

$$\frac{P'_{\text{Total}}}{S'_{\text{Total}}} = \frac{U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi'}{U_1 \cdot I_1} = \frac{U_1 \cdot I_1 \cdot 1}{U_1 \cdot I_1} = 1$$

o) *Determine os valores da potência activa e da potência reactiva em jogo na oficina quando todos os receptores estão ligados, incluindo o novo dispositivo.*

A potência activa não se altera quando se liga à rede o novo componente, que é puramente capacitivo.

$$P'_{\text{Total}} = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi' = P_{\text{Total}} = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi = 2440\text{W}$$

$$Q'_{\text{Total}} = U_1 \cdot I_1 \cdot \sin \varphi' = U_1 \cdot I_1 \cdot 0 = 0\text{VAr}$$