

A stylized graphic of a human face, composed of large, overlapping, semi-transparent shapes in shades of grey, green, red, and purple. The face is oriented forward, with the eyes and mouth area defined by the negative space and the edges of the colored shapes.

PRINCÍPIOS DA CORRENTE ALTERNADA PARTE 2

Adrielle C. Santana

Medição de Corrente Alternada

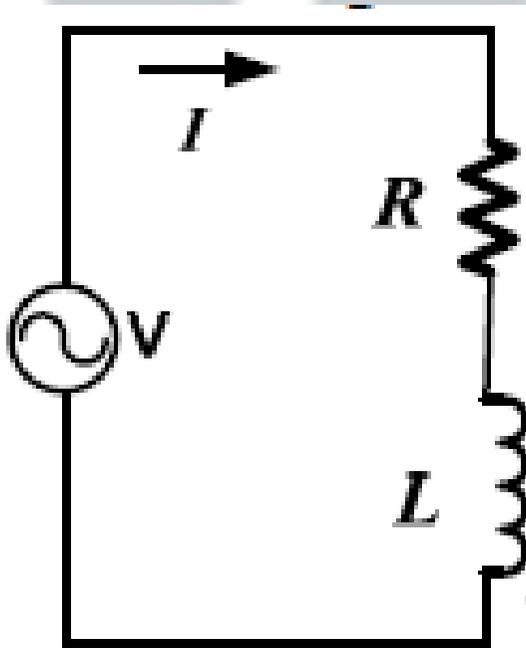
Medidor Alicate

Vídeo (26 min)

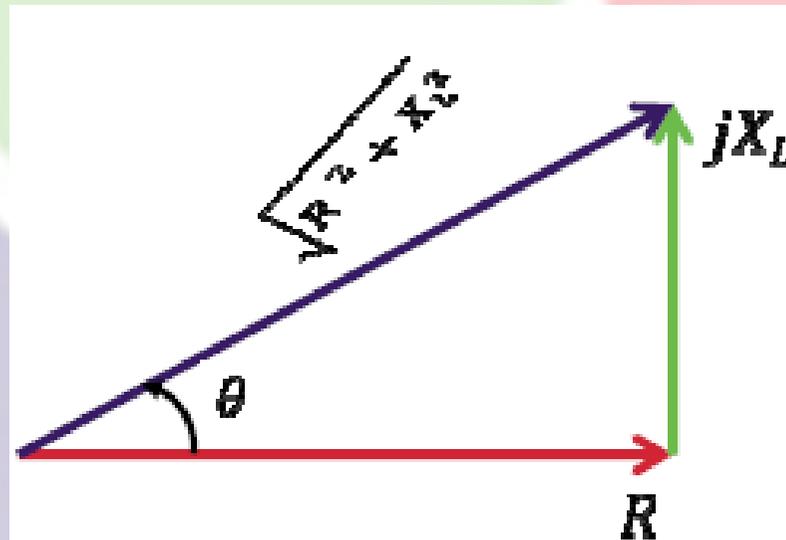


Impedância Indutiva

Quando num mesmo circuito de corrente alternada tem-se uma resistência e um indutor temos a **Impedância Indutiva (Z)** dada por:



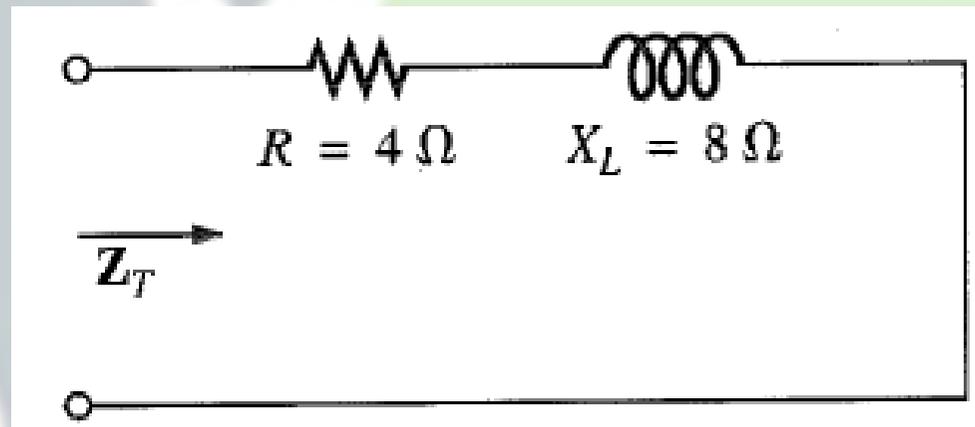
$$Z = R + jX$$



Impedância Indutiva

Exemplo:

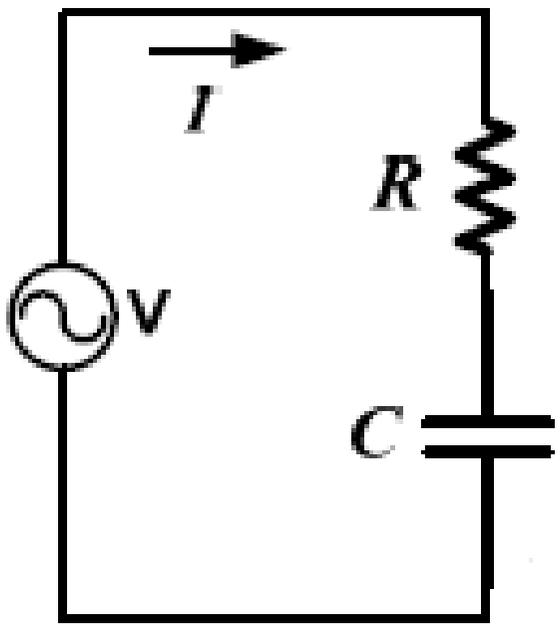
Seja o circuito abaixo. Calcule sua Impedância Indutiva.



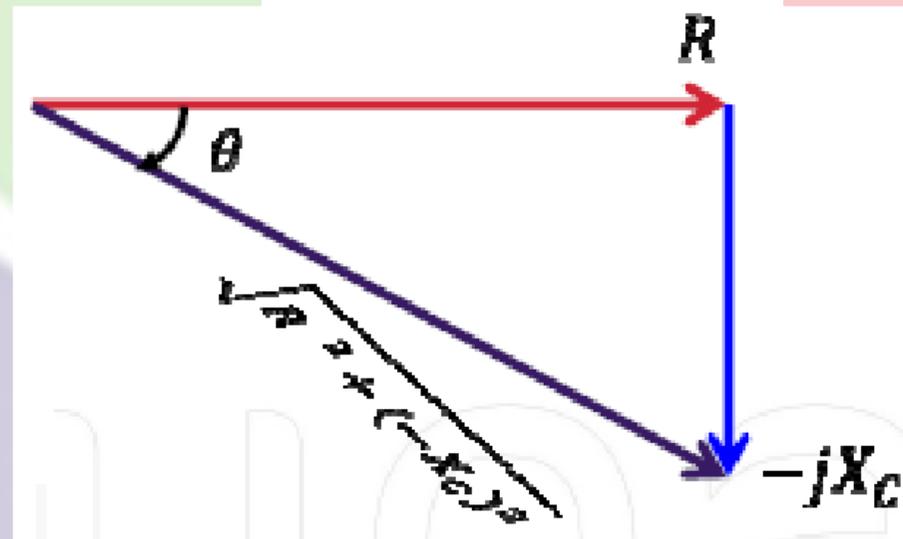
$$\begin{aligned} Z_T &= Z_1 + Z_2 \\ &= R \angle 0^\circ + X_L \angle 90^\circ \\ &= R + jX_L = 4 \Omega + j8 \Omega \\ Z_T &= 8,944 \Omega \angle 63,43^\circ \end{aligned}$$

Impedância Capacitiva

Quando num mesmo circuito de corrente alternada tem-se uma resistência e um capacitor temos a **Impedância Capacitiva (Z)** dada por:



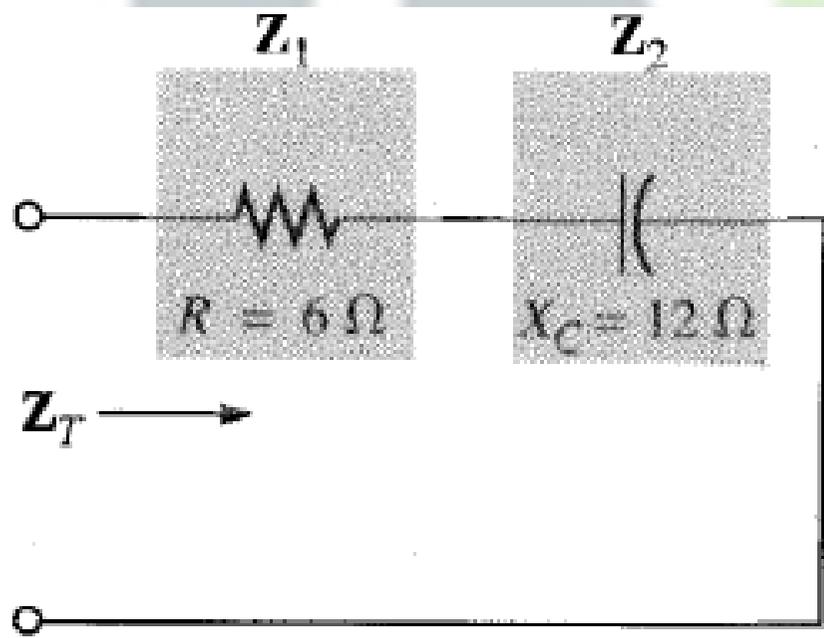
$$\mathbf{Z} = R - jX$$



Impedância Capacitiva

Exemplo:

Seja o circuito abaixo. Calcule sua Impedância Capacitiva.



$$Z_T = Z_1 + Z_2$$

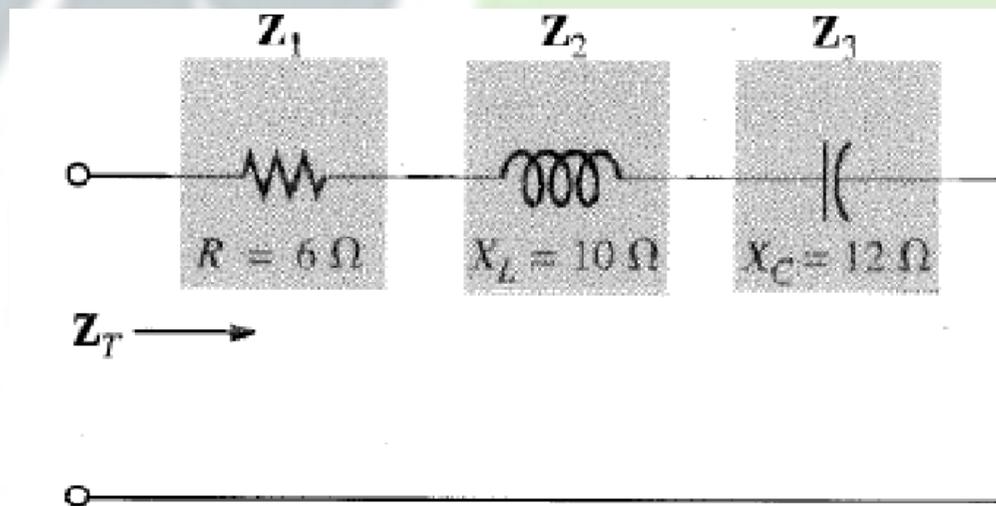
$$= R \angle 0^\circ - X_C \angle 90^\circ$$

$$= R - jX_C = 6 - j12$$

$$Z_T = 13,42 \Omega \angle -63,43^\circ$$

Impedância Capacitiva e Indutiva

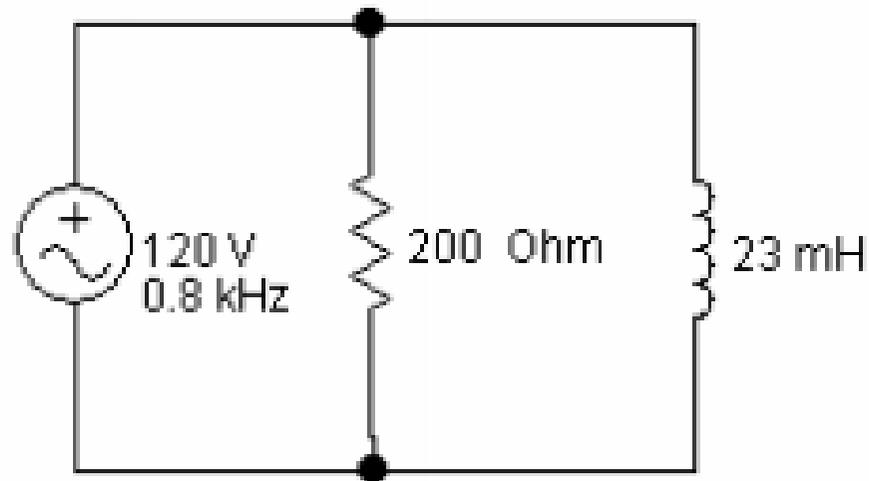
Calcule a Impedância total para o circuito abaixo:



$$\begin{aligned}Z_T &= Z_1 + Z_2 + Z_3 \\&= R \angle 0^\circ + X_L \angle 90^\circ + X_C \angle -90^\circ \\&= R + jX_L - jX_C \\&= R + j(X_L - X_C) = 6 \Omega + j(10 \Omega - 12 \Omega) \\&= 6 \Omega - j2 \Omega \\Z_T &= \mathbf{6,325 \Omega \angle -18,43^\circ}\end{aligned}$$

Impedância Capacitiva e Indutiva

Impedância indutiva em paralelo:

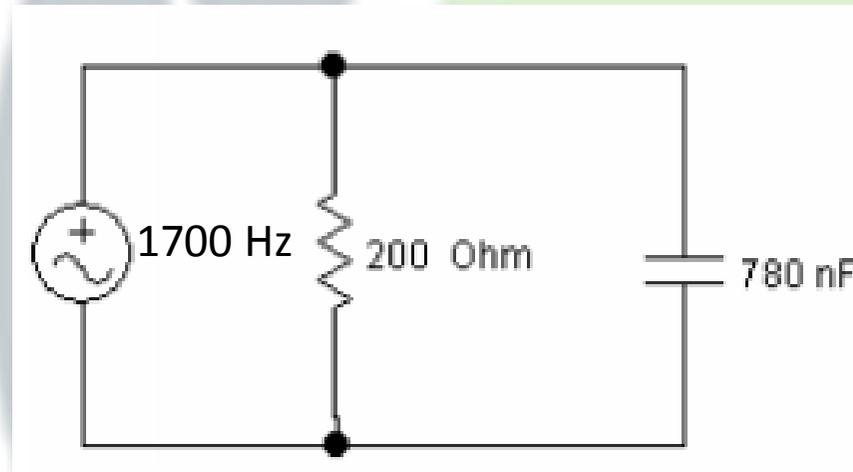


$$X_L = 6,28 \cdot 0,8k \cdot 23m \rightarrow X_L = 115,552 \text{ Ohm}$$

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{200^2} + \frac{1}{115,552^2}}} \Rightarrow Z = 100,053 \Omega$$

Impedância Capacitiva e Indutiva

Impedância capacitiva em paralelo:



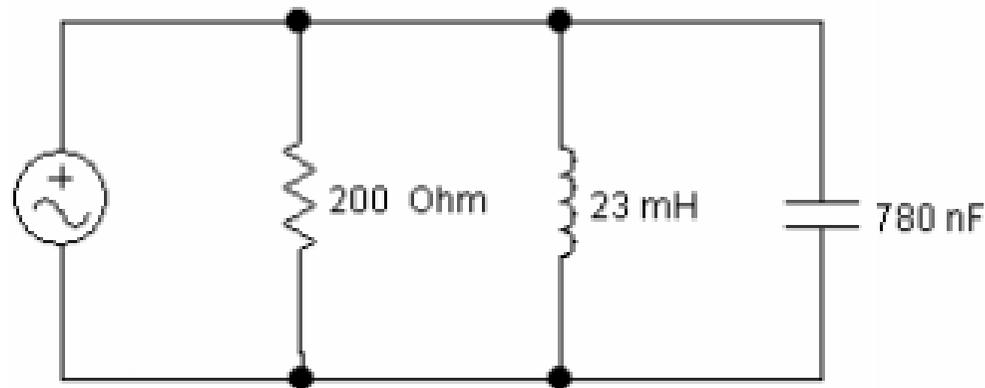
$$X_c = 1 / (6,28 \times 1700 \times 780\text{n}) \rightarrow X_c = 120,087 \text{ Ohm}$$
$$R = 200 \text{ Ohm}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{200} + \frac{1}{-j120,087}$$

$$R_{eq} = \frac{24017,4j}{120,087j - 200} = \frac{24017,4}{23,328} = 102,95\Omega$$

Impedância Capacitiva e Indutiva

Indutor e capacitor em paralelo:



$$X_L = 6,28 \times 1700 \times 23\text{m} \rightarrow X_L = 245,548 \text{ Ohm}$$

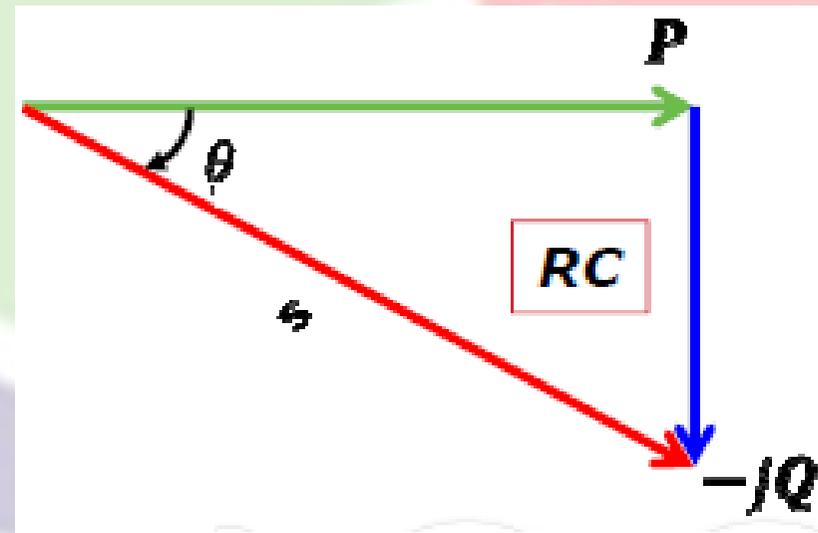
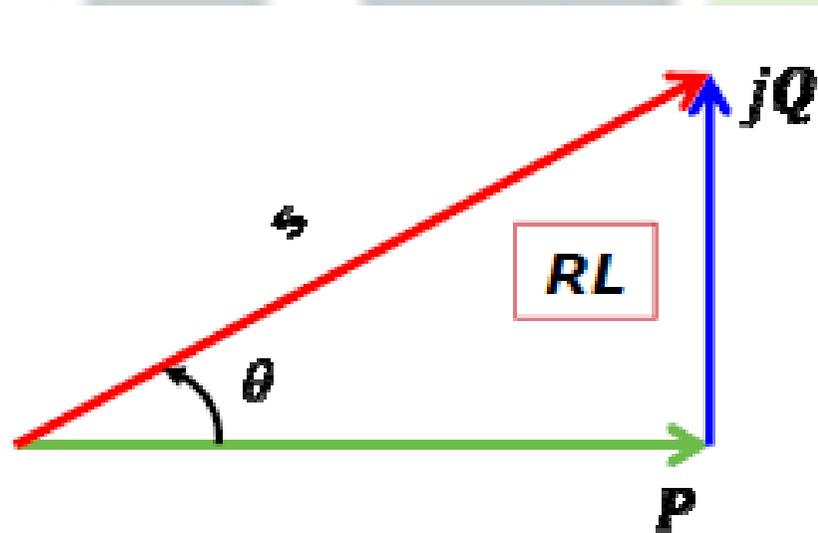
$$X_C = 1 / (6,28 \times 1700 \times 780\text{n}) \rightarrow X_C = 120,087 \text{ Ohm}$$

$$R = 200 \text{ Ohm}$$

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{200^2} + \left(\frac{1}{245,548} - \frac{1}{120,087}\right)^2}} \Rightarrow Z = 152,316\Omega$$

Potência em Circuitos CA

- Tem-se que devido a **impedância** conter uma parte real e outra complexa, a potência também será separada em potência real (ou ativa) e potência complexa (ou reativa).
- Sendo a **potência real** aquela relacionada à parte **resistiva** (resistores) do circuito e a **potência complexa** à parte **reativa** (capacitores e indutores). Lembrando que a impedância é:



Potência em Circuitos CA

Onde:

Q = Potência Reativa (Var)

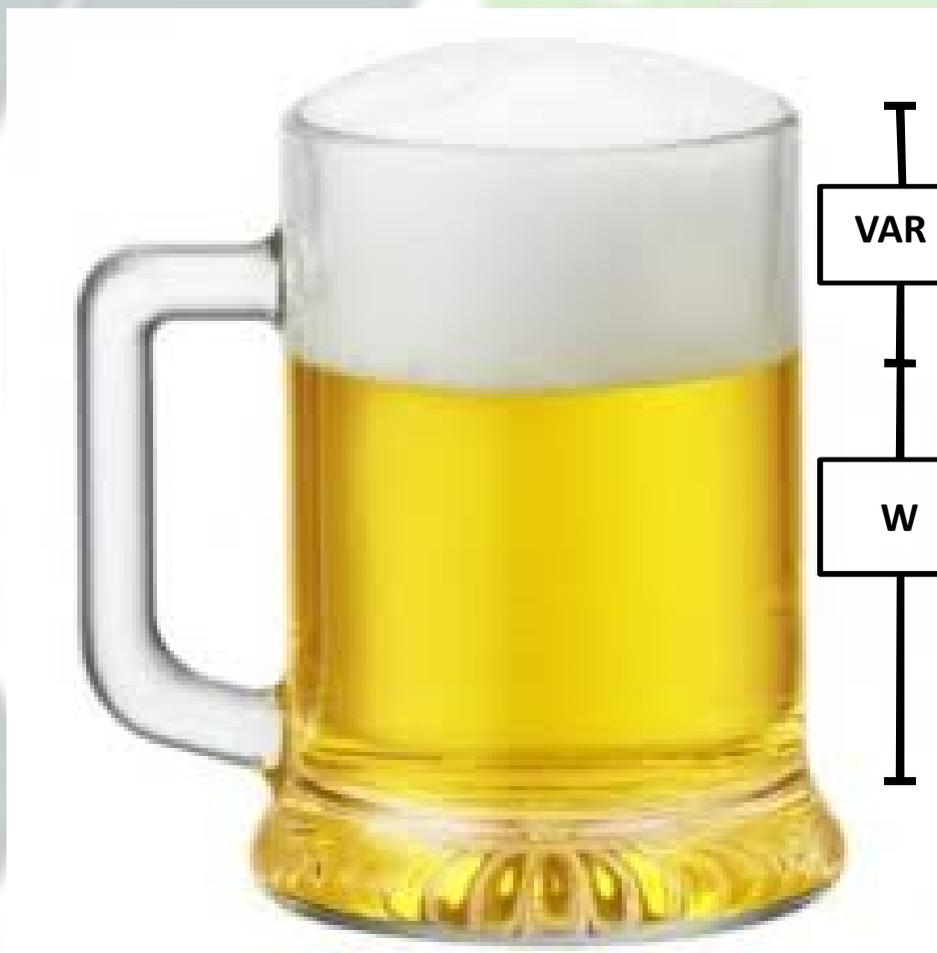
P = Potência Ativa ou Real (W)

S = Potência Aparente, Total ou Complexa (VA)

Potência em Circuitos CA

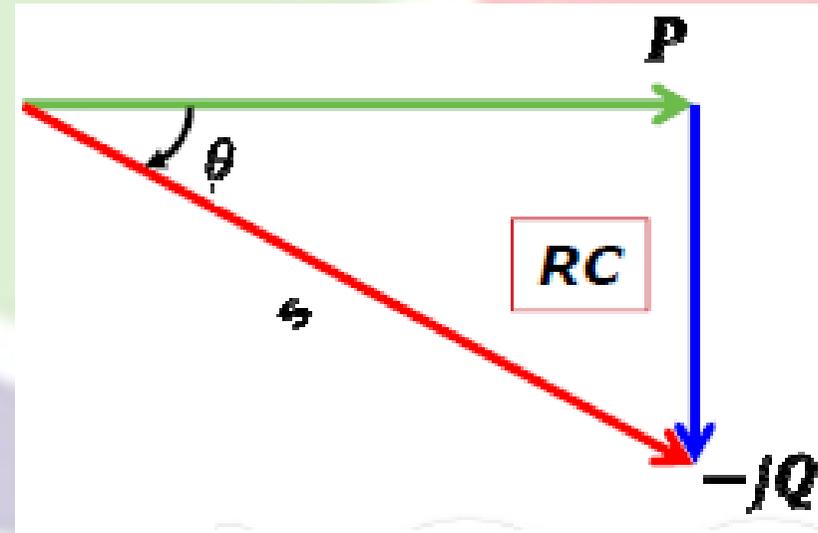
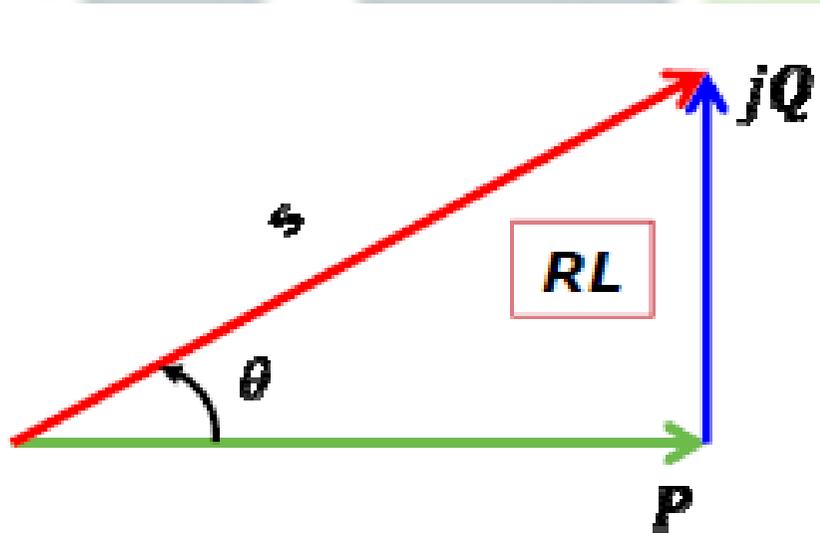
- A Potência média (ou Ativa) é a potência realmente dissipada no circuito para geração de trabalho.
- A Potência aparente é a potência puxada da rede.
- A Potência reativa é a potência consumida por um circuito indutivo ou capacitivo para criação de campo (magnético e elétrico respectivamente) e não gera trabalho.

Potência em Circuitos CA



Potência em Circuitos CA

A partir dos triângulos de potência, é possível obter facilmente todas as fórmulas necessárias para os cálculos das potências Ativa, Reativa e Aparente.



Potência em Circuitos CA

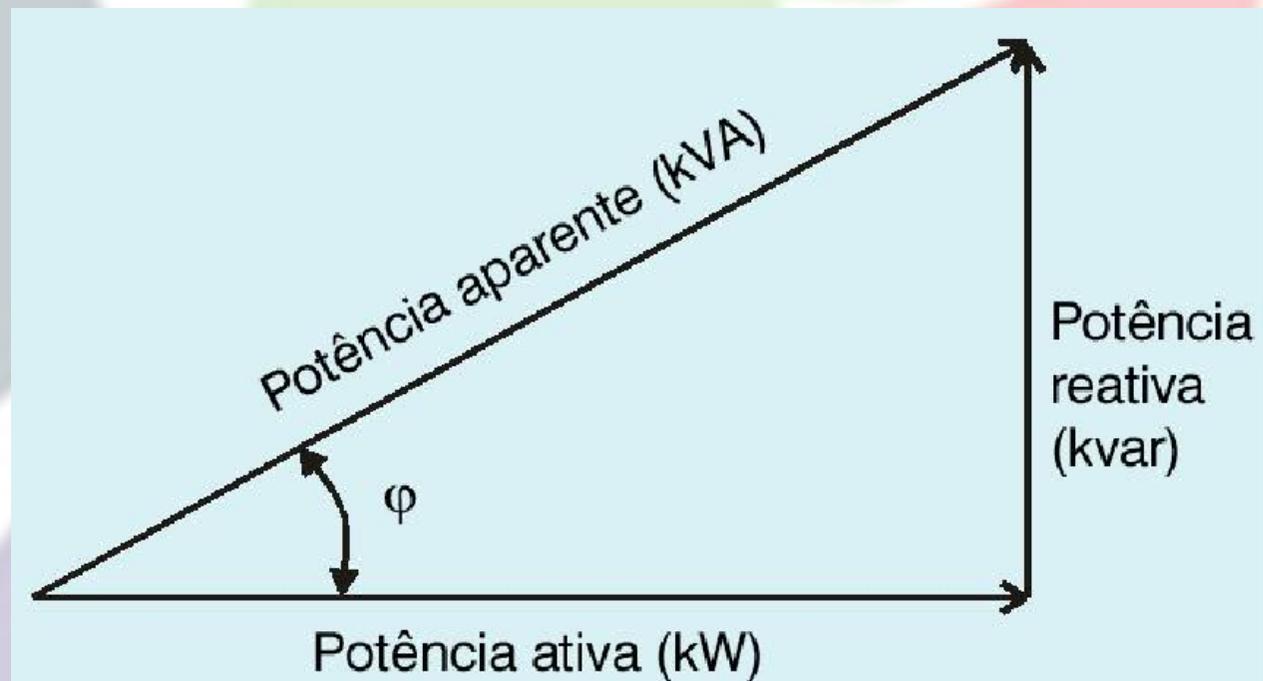
As potências Aparente e Ativa, estão relacionadas pelo cosseno do ângulo θ , de acordo com o triângulo de potências. De modo que:

$$\cos\theta = \frac{P}{S}$$

O valor de **$\cos\theta$** é conhecido como **Fator de Potência**.

Potência em Circuitos CA

Da trigonometria sabe-se que o cosseno de um ângulo diminui na medida em que esse ângulo varia de 0 a 90° . Observa-se que isso corresponde a uma potência reativa (Q) maior no triângulo de potências.



Potência em Circuitos CA

Portanto, quanto **menor** o valor de $\cos\theta$, **maior** é a potência reativa do circuito. A potência reativa é uma potência que não realiza trabalho num circuito (serve para criar campo) e faz aumentar a quantidade de corrente puxada por uma mesma carga. Isso onera a instalação.

Potência em Circuitos CA

Além disso, a potência reativa não constitui energia medida pelo medidor de energia e portanto representa prejuízo para a concessionária (CEMIG).

Para não ter prejuízo, as concessionárias cobram uma taxa denominada FER (Faturamento de Energia Reativa) ou multa por baixo fator de potência, dos consumidores que estiverem com fator de potência abaixo de 0,92 em sua rede.

Potência em Circuitos CA

Para não pagar multas, as indústrias e comércios que apresentam equipamentos que causam a diminuição do fator de potência; podem fazer a **correção do fator de potência** utilizando **capacitores de potência**.

Os capacitores de potência são vendidos com especificação da potência reativa que apresentam (em KVar) que irá anular total ou parcialmente a potência reativa do circuito a ser corrigido e assim, corrigir o fator de potência.

Potência em Circuitos CA

- Desta forma, a legislação brasileira exige que os grandes consumidores mantenham o seus respectivos **FP** $\geq 0,92$.
- A fim de se evitar problemas com a legislação e por sua vez não prejudicar o sistema elétrico, deve-se manter o **FP** corrigido, ou seja, no mínimo igual a 0,92.
- Devido a grande quantidade motores elétricos, a potência reativa dominante no sistema elétrico é indutiva ($+jX_L$). Assim, corrigir o **FP** consiste basicamente em anular a quantidade indutiva adicionando ao sistema capacitores ($-jX_C$).

$$Z = R + jX_L - jX_C$$

- O capacitor inserido irá fornecer a corrente excessiva exigida pelos indutores, *i.e.*, bobinas de motores e transformadores.
 - A inserção de capacitores no sistema deve ser feita em paralelo.

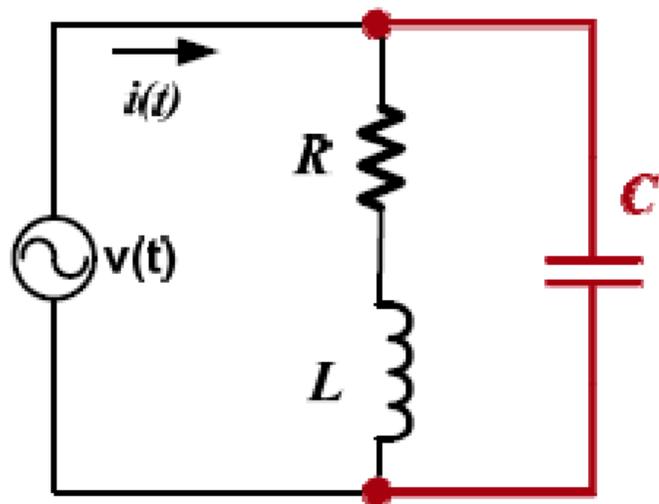
Potência em Circuitos CA

[Conta.png](#)

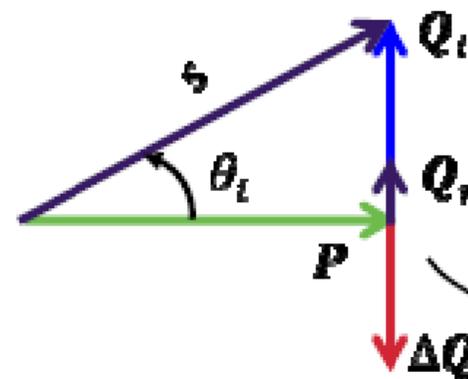
 Empresa Energética de Mato Grosso 00 Sul S.A. - ENERSUL Avenida Ouri Marquês, 8000 - Campo Grande - MS CNPJ 15.413.825/0001-50 INSC. EST. 28-105.553-0 http://www.enersul.com.br		EMIÇÃO: 17/07/2010		NOTA FISCAL/FATURA DE ENERGIA ELÉTRICA - B 1 GRUPO 18 93845 - FAT - 08 - 200941943333 - 50 REFERÊNCIA: 01/2010																																																																		
RESERVADO AO FISCO D00D.B728.A183.2D36.D571.AA12.4F85.E10B		Nº DA UNIDADE CONSUMIDORA [REDACTED]		VENCIMENTO 20/01/2010																																																																		
PERÍODO FISCAL: 07/01/2010		ATENDIMENTO AO CLIENTE LIGUE 0800 7227272		CONSUMO TOTAL FATURADO 12520 kWh																																																																		
DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA / FATURAMENTO / FORNECIMENTO		LANÇAMENTOS																																																																				
CLASSIFICAÇÃO B 3 / COMERCIAL, SERVIÇOS, OUTRAS ATIVID / CONVENCIONAL / TRIFASICO USUÁRIO DA UNIDADE CONSUMIDORA (CL) [REDACTED]		<table border="1"> <thead> <tr> <th>DESCRIÇÃO</th> <th>QTDE-REF</th> <th>TARIFA</th> <th>VALOR (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CONSUMO</td> <td>12520</td> <td>0,353370</td> <td>4.424,19</td> </tr> <tr> <td>EXCED DE CONSUMO REATIVO</td> <td>3045</td> <td>0,353370</td> <td>1.076,01</td> </tr> <tr> <td>CONTR CUSTEIO SERV IL.PUBLICA</td> <td></td> <td></td> <td>143,78</td> </tr> <tr> <td>VALOR DO ICMS</td> <td></td> <td></td> <td>1.126,53</td> </tr> </tbody> </table>				DESCRIÇÃO	QTDE-REF	TARIFA	VALOR (R\$)	CONSUMO	12520	0,353370	4.424,19	EXCED DE CONSUMO REATIVO	3045	0,353370	1.076,01	CONTR CUSTEIO SERV IL.PUBLICA			143,78	VALOR DO ICMS			1.126,53																																													
DESCRIÇÃO	QTDE-REF	TARIFA	VALOR (R\$)																																																																			
CONSUMO	12520	0,353370	4.424,19																																																																			
EXCED DE CONSUMO REATIVO	3045	0,353370	1.076,01																																																																			
CONTR CUSTEIO SERV IL.PUBLICA			143,78																																																																			
VALOR DO ICMS			1.126,53																																																																			
INSTALAÇÃO TRANSFORMADORA/CHAVE DADOS DA MEDIÇÃO - CONSUMO REGISTRADO NO MÊS 01/2010		LANÇAMENTOS																																																																				
EQUIPAMENTO: [REDACTED] UNIDADE DE MEDIÇÃO: [REDACTED] ORIGEM DA LEITURA ATUAL: [REDACTED] DATA DA LEITURA ATUAL: 05/01/2010 DATA DA LEITURA ANTERIOR: 05/12/2009 NÚMERO DE DIAS FATURADOS: 33 LEITURA ATUAL: 3230 LEITURA ANTERIOR: 925 CONSTANTE DE FATURAMENTO: 40,00 CONSUMO DE FATURAMENTO: 12520 CONSUMO FATURADO NO MÊS: 12520 FATOR DE POTÊNCIA: 11400		<table border="1"> <thead> <tr> <th>DESCRIÇÃO</th> <th>QTDE-REF</th> <th>TARIFA</th> <th>VALOR (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CONSUMO</td> <td>12520</td> <td>0,353370</td> <td>4.424,19</td> </tr> <tr> <td>EXCED DE CONSUMO REATIVO</td> <td>3045</td> <td>0,353370</td> <td>1.076,01</td> </tr> <tr> <td>CONTR CUSTEIO SERV IL.PUBLICA</td> <td></td> <td></td> <td>143,78</td> </tr> <tr> <td>VALOR DO ICMS</td> <td></td> <td></td> <td>1.126,53</td> </tr> </tbody> </table>				DESCRIÇÃO	QTDE-REF	TARIFA	VALOR (R\$)	CONSUMO	12520	0,353370	4.424,19	EXCED DE CONSUMO REATIVO	3045	0,353370	1.076,01	CONTR CUSTEIO SERV IL.PUBLICA			143,78	VALOR DO ICMS			1.126,53																																													
DESCRIÇÃO	QTDE-REF	TARIFA	VALOR (R\$)																																																																			
CONSUMO	12520	0,353370	4.424,19																																																																			
EXCED DE CONSUMO REATIVO	3045	0,353370	1.076,01																																																																			
CONTR CUSTEIO SERV IL.PUBLICA			143,78																																																																			
VALOR DO ICMS			1.126,53																																																																			
HISTÓRICO DE CONSUMO		COMPOSIÇÃO DO ICMS BASE DO CÁLCULO (R\$): 6.626,73 ALIQUOTA(%) 17 VALOR (R\$): 1.126,53																																																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>REFERÊNCIA</th> <th>NÚMERO DIAS</th> <th>ENERGIA FATURADA</th> <th>ORIGEM</th> <th>ENERGIA MÉDIA DIÁRIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>12/2009</td><td>29</td><td>8120</td><td>LIDO</td><td>280,00</td></tr> <tr><td>11/2009</td><td>33</td><td>8240</td><td>LIDO</td><td>249,69</td></tr> <tr><td>10/2009</td><td>30</td><td>7400</td><td>LIDO</td><td>246,66</td></tr> <tr><td>09/2009</td><td>29</td><td>7040</td><td>LIDO</td><td>242,75</td></tr> <tr><td>08/2009</td><td>33</td><td>7960</td><td>LIDO</td><td>241,21</td></tr> <tr><td>07/2009</td><td>30</td><td>7320</td><td>LIDO</td><td>244,00</td></tr> <tr><td>06/2009</td><td>29</td><td>6840</td><td>LIDO</td><td>235,86</td></tr> <tr><td>05/2009</td><td>31</td><td>6960</td><td>LIDO</td><td>224,51</td></tr> <tr><td>04/2009</td><td>30</td><td>6200</td><td>LIDO</td><td>206,66</td></tr> <tr><td>03/2009</td><td>29</td><td>6280</td><td>LIDO</td><td>192,06</td></tr> <tr><td>02/2009</td><td>31</td><td>7160</td><td>LIDO</td><td>230,96</td></tr> <tr><td>01/2009</td><td>31</td><td>9280</td><td>LIDO</td><td>299,35</td></tr> </tbody> </table>		REFERÊNCIA	NÚMERO DIAS	ENERGIA FATURADA	ORIGEM	ENERGIA MÉDIA DIÁRIA	12/2009	29	8120	LIDO	280,00	11/2009	33	8240	LIDO	249,69	10/2009	30	7400	LIDO	246,66	09/2009	29	7040	LIDO	242,75	08/2009	33	7960	LIDO	241,21	07/2009	30	7320	LIDO	244,00	06/2009	29	6840	LIDO	235,86	05/2009	31	6960	LIDO	224,51	04/2009	30	6200	LIDO	206,66	03/2009	29	6280	LIDO	192,06	02/2009	31	7160	LIDO	230,96	01/2009	31	9280	LIDO	299,35	PARA PAGAMENTO APÓS O VENCIMENTO, SERÁ COBRADO MULTA DE 2% ACRESCIDO DE JUROS DE 1% POR DIA DE ATRASO, CONFORME LEI Nº 10.438/02 E CORREÇÃO MONETÁRIA CONFORME LEI Nº 10.192/01. ESTA UNIDADE CONSUMIDORA ESTARÁ PASSÍVEL DE SUSPENSÃO DO FORNECIMENTO, EM CASO DE NÃO PAGAMENTO DESTA FATURA, CONFORME LEGISLAÇÃO VIGENTE.			
REFERÊNCIA	NÚMERO DIAS	ENERGIA FATURADA	ORIGEM	ENERGIA MÉDIA DIÁRIA																																																																		
12/2009	29	8120	LIDO	280,00																																																																		
11/2009	33	8240	LIDO	249,69																																																																		
10/2009	30	7400	LIDO	246,66																																																																		
09/2009	29	7040	LIDO	242,75																																																																		
08/2009	33	7960	LIDO	241,21																																																																		
07/2009	30	7320	LIDO	244,00																																																																		
06/2009	29	6840	LIDO	235,86																																																																		
05/2009	31	6960	LIDO	224,51																																																																		
04/2009	30	6200	LIDO	206,66																																																																		
03/2009	29	6280	LIDO	192,06																																																																		
02/2009	31	7160	LIDO	230,96																																																																		
01/2009	31	9280	LIDO	299,35																																																																		
AGÊNCIA DE ATENDIMENTO / MENSAGENS 0800 722 7272 CONTA PAGA - NÃO RECEBER O VALOR DESTA CONTA INCLUI A REDUÇÃO DE R\$ 535,78 CORRESPONDENTE 2ª PARC		Conta Paga - DETALHES DA FATURA -																																																																				

Ligação do capacitor de potência

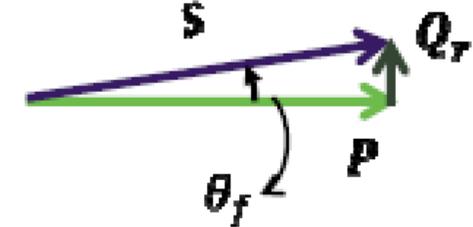
A correção é feita colocando-se o capacitor de potência em **Paralelo** com a carga ou todo o circuito de um prédio ou fábrica (nesse caso, direto na caixa de distribuição).



FP Baixo Indutivo

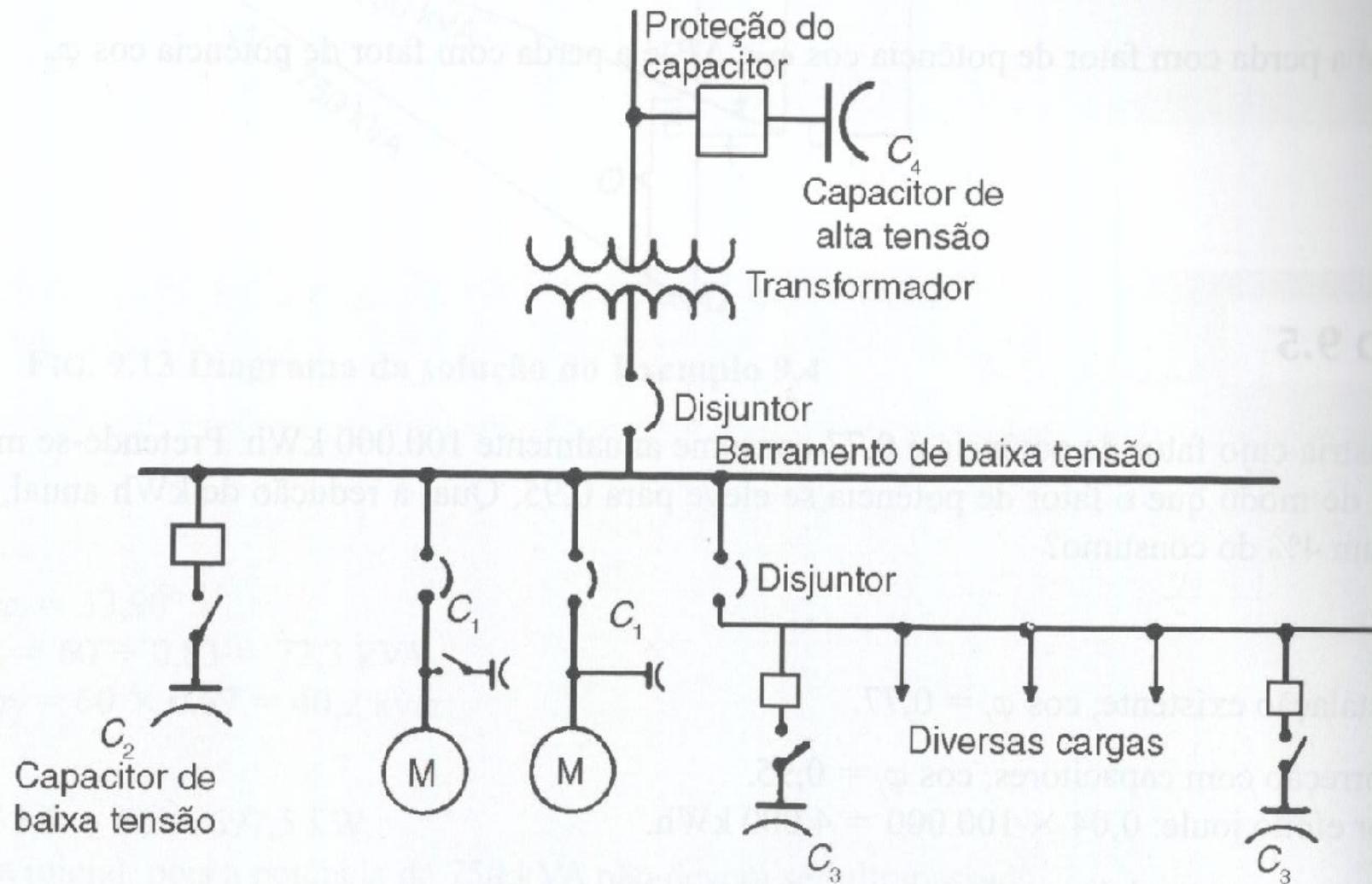


FP Corrigido



FP desejado: $\frac{P}{S} \geq 0,92$

Ligação do capacitor de potência



Capacitor de Potência



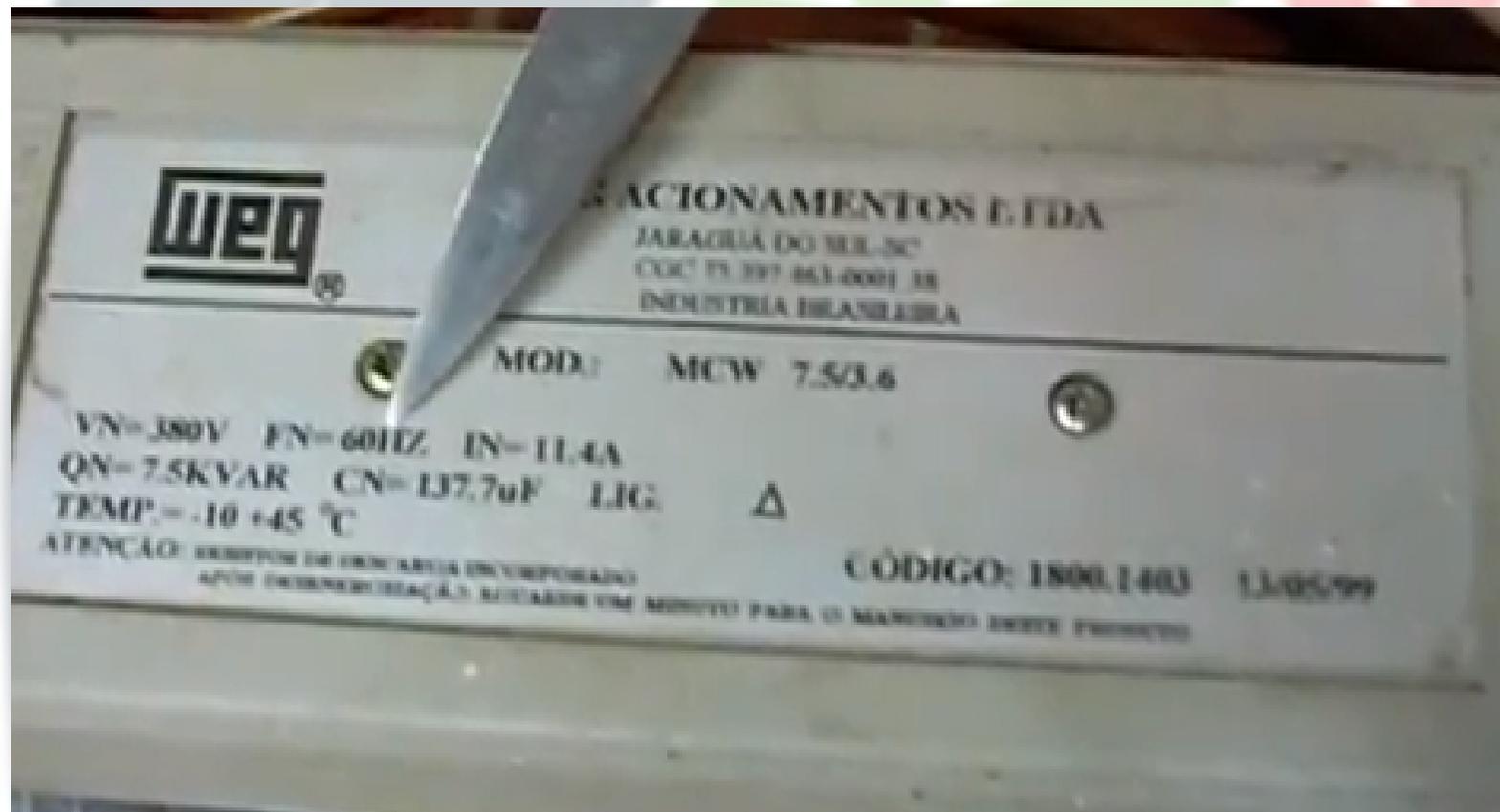
Capacitor de Potência



Capacitor de Potência



Capacitor de Potência



Exemplos

Determine os fatores de potência das cargas nas figuras mencionadas a seguir e verifique se eles são atrasados ou adiantados:

a. Figura 14.32

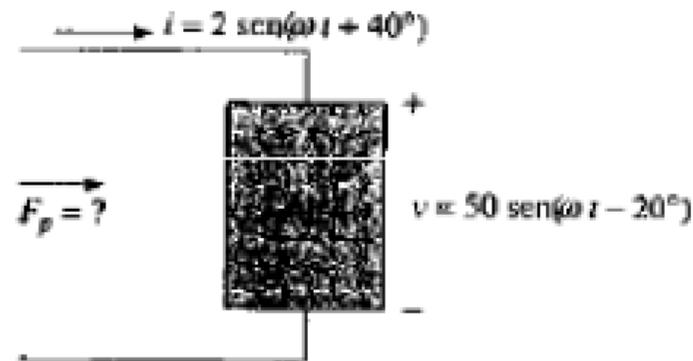


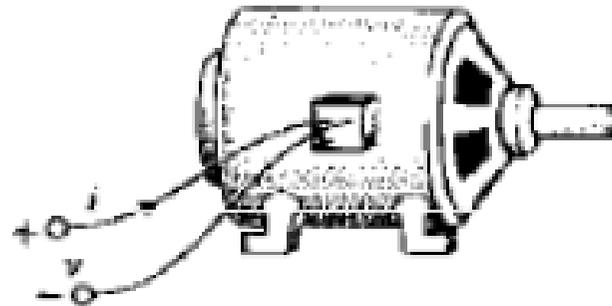
Figura 14.32 Exemplo 14.12(a).

Solução:

a. $F_p = \cos \theta = \cos |40^\circ - (-20^\circ)| = \cos 60^\circ$
 $= 0,5$ adiantado

Exemplos

b. Figura 14.33



$$v = 120 \sin(\omega t + 80^\circ)$$

$$i = 5 \sin(\omega t + 30^\circ)$$

Figura 14.33 Exemplo 14.12(b).

Solução:

$$\begin{aligned} \text{b. } F_p &= \cos \theta \quad |80^\circ - 30^\circ| = \cos 50^\circ \\ &= \mathbf{0,6428 \text{ atrasado}} \end{aligned}$$

Exemplos

c. Figura 14.34

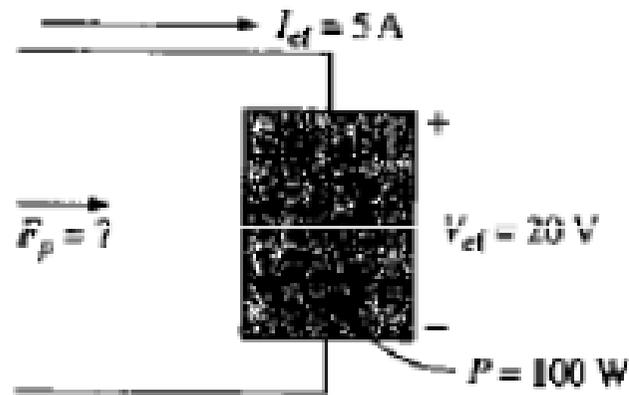


Figura 14.34 Exemplo 14.12(c).

Solução:

$$c. F_p = \cos \theta = \frac{P}{V_{\text{eff}} I_{\text{eff}}} = \frac{100 \text{ W}}{(20 \text{ V})(5 \text{ A})} = \frac{100 \text{ W}}{100 \text{ W}} = \mathbf{1}$$

A carga é resistiva e, portanto, F_p não é atrasado nem adiantado.

Exemplos

Os dados relativos às cargas que funcionam simultaneamente em uma instalação alimentada por rede de 220V são dados no quadro que se segue.

Pede-se preencher o quadro com os dados que faltam.

Carga	P (kW)	S (kVA)	Q (kVAr)	FP	I (A)
1	3,0			0,5 ind.	
2		12,0	8,0 ind.		
3	4,5		5,0 cap.		

RESPOSTAS

Carga	P (kW)	S (kVA)	Q (kVAr)	FP	I (A)
1	3,00	6,00	5,20 ind.	0,50 ind.	27,27
2	8,94	12,00	8,00 ind.	0,75 ind.	54,55
3	4,50	6,73	5,00 cap.	0,67 cap.	30,59

Exercício

Num determinado sistema monofásico com alimentação de 127V, o fator de potência encontra-se valendo 0,85 devido a cargas indutivas na linha. A corrente medida na linha é de 150 A. Com essa informação calcule o valor da capacitância do capacitor a ser colocado em paralelo com as cargas na linha para corrigir o valor do fator de potência para o valor de 0,95.

Referências

- BOYLESTAD, R. L. Introdução à Análise de Circuitos. 12ª. Edição. Editora Pearson. São Paulo, SP, 2012.
- TIPLER, P. A. Física. 4ª. Edição, LTC, RJ, 2000.
- DORF, R. C.; SVOBODA, J. A. Introdução aos Circuitos Elétricos. 5ª. Edição. Editora LTC. Rio de Janeiro, RJ, 2003
- O'MALLEY, J. Análise de Circuitos. 2ª. Edição, Makron Books, SP, 1994.
- GUSSOW, M. Eletricidade Básica. 2ª. Edição, Pearson Makron Books, SP, 1997.
- GUIMARÃES, M. Notas de aula teórica. FEELT, Universidade Federal de Uberlândia.