



## COMPENSAÇÃO DE POTÊNCIA REATIVA

Este roteiro de laboratório foi convertido para simulação computacional usando o software PSIM, tendo sido mantido os objetivos da prática original.

### OBJETIVOS

- Determinar a potência complexa de cargas tipicamente indutivas e capacitivas
- Realizar compensação de reativos

### MATERIAL UTILIZADO NA PRÁTICA

- Computador
- Simulador PSIM

### COMPONENTES E EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

- Fonte de tensão senoidal, 80 V eficazes, 60 Hz
- Banco de Resistores  
Valor Nominal  $150 \Omega \pm 10\%$
- Banco de Indutores  
Valor Nominal  $1,47 \text{ H} \pm 10\%$
- Banco de Capacitores Mod. 111A433  
Valor Nominal  $10 \mu\text{F} \pm 10\%$
- Voltímetro C.A.
- Amperímetro C.A.
- Wattímetro

### CONCEITO TEÓRICO

A grande maioria das cargas é do tipo RL. Quando o percentual de potência reativa indutiva em uma instalação é maior que 39,2% da potência aparente, o fator de potência de deslocamento torna-se menor do que 0,92 ( $\theta = 23,07^\circ$ ), limite estabelecido pela ANEEL.

$$|S|^2 = P^2 + Q^2 = \left(\frac{Q}{\tan \theta}\right)^2 + Q^2 = \left(\frac{Q}{\tan 23,07^\circ}\right)^2 + Q^2 = 6,51 Q^2$$

$$Q = \frac{|S|}{\sqrt{6,51}} = 0,39 \cdot |S|$$

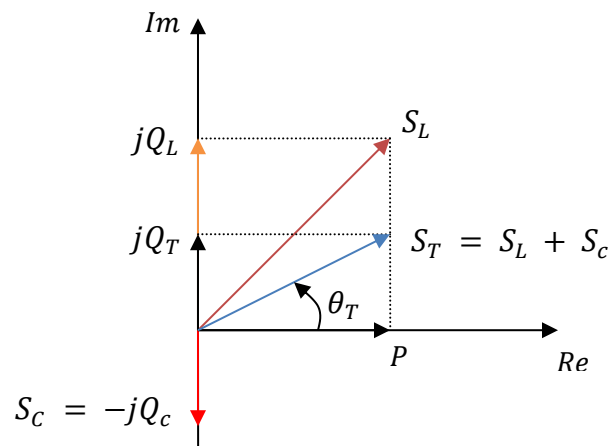
A compensação de reativos indutivos usando capacitores é a mais utilizada técnica em sistemas elétricos de potência e instalações industriais. Em geral, o objetivo principal da compensação de reativos é a elevação do fator de potência. Nem sempre os bancos de capacitores são a melhor solução para correção de um baixo fator de potência. Por exemplo, motores de indução operando sob condição leve de carga apresentam um fator de potência de deslocamento muito baixo. Nessa situação, um ajuste na condição de operação do motor, elevando a sua carga a um valor próximo da nominal, permitirá a elevação do fator de potência a um custo nulo.

Benefícios que podem ser obtidos com a compensação de reativos são: diminuição das perdas em linhas de alimentação com a diminuição da corrente eficaz da linha; liberação de capacidade de potência útil de uma instalação; redução de queda de tensão; e elevação do nível de tensão de cargas consumidoras (regulação de tensão).

A compensação de reativos é realizada a partir da consideração de que a *potência complexa entregue a várias cargas interligadas é a soma das potências complexas de cada uma das cargas*. Ao introduzir um banco capacitivo em paralelo com uma carga tipicamente indutiva, a potência ativa da carga não sofrerá alteração, pois o capacitor somente introduz reativos no sistema. No entanto, as componentes imaginárias das potências complexas individuais serão algebricamente somadas, resultando em uma componente imaginária de menor módulo. Desta forma, reduzindo a potência reativa total de um sistema, o seu fator de potência pode ser corrigido.

Considerando uma carga tipicamente indutiva de potência complexa  $S_L = P + jQ_L$  em paralelo com um banco capacitivo de potência complexa puramente capacitiva  $S_C = -jQ_C$ , sendo  $Q_L > Q_C$ , então a potência complexa total,  $S_T = S_L + S_C$ , é a soma das potências complexas individuais da carga e do banco. A Figura 1 mostra as potências individuais em paralelo e a potência complexa total  $S_T$  resultante da soma das componentes reais e imaginárias de cada carga. Pode ser observado que o ângulo total resultante ( $\theta_T$ ) é menor do que o ângulo da carga tipicamente indutiva. Logo, o fator de potência sofre uma elevação.

Figura 1 - Potência complexa total de uma carga tipicamente indutiva em paralelo com uma carga capacitiva pura.



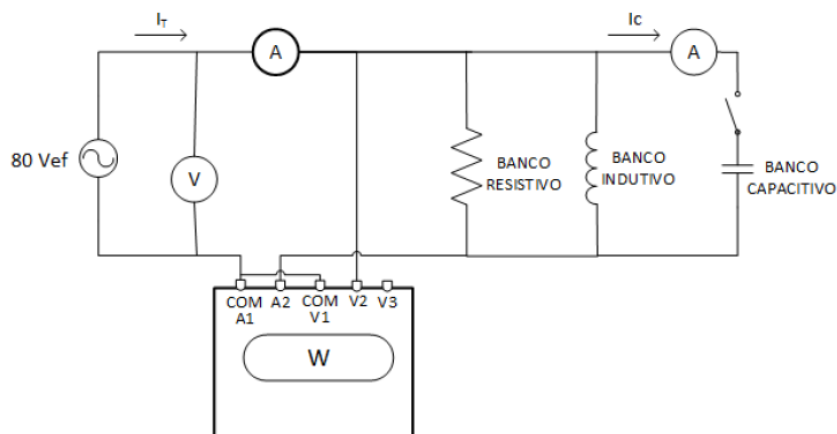
Na Figura 1 pode ser observado que, ao realizar a compensação de reativos, o módulo da potência complexa total do sistema ( $|S_T|$ ) é menor do que o módulo da potência complexa da carga tipicamente indutiva ( $|S_L|$ ). Logo, para uma mesma tensão de alimentação, a corrente eficaz suprida pela rede sofre uma redução e, conseqüentemente, as perdas por efeito Joule ( $I_{ef}^2 R^2$ ) nas linhas de alimentação da carga também serão reduzidas.

A correção do fator de potência pode ser feita instalando capacitores em diferentes pontos da instalação: na entrada do suprimento no lado de alta tensão; na entrada do suprimento no lado de baixa tensão; correção por grupo de cargas; correção localizada; e, correção mista.

## PROCEDIMENTO

1. Montar e simular no PSIM o circuito da Figura 2, alimentado com tensão eficaz de 80 [V], 60 Hz. Com o banco capacitivo desabilitado, preencher a Tabela 1 de acordo com a condição de carga RL estabelecida (considere componentes ideais). Medir a corrente eficaz total  $I_T$  suprida pela fonte e a potência ativa  $P$  medida pelo wattímetro. Calcular a potência aparente  $|S|$ , o fator de potência de deslocamento  $FP$ , a potência reativa indutiva  $Q_L$  e a potência complexa  $S$  do circuito.

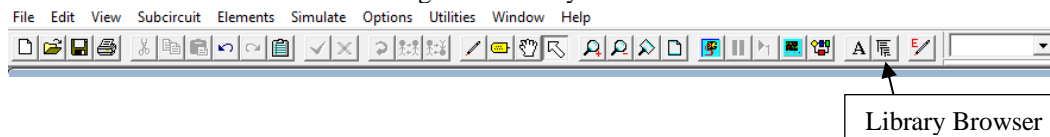
Figura 2 - Cargas RL em paralelo com compensação de reativo.



### Dicas:

- O wattímetro (wattimeter) pode ser encontrado na barra de ferramentas em “**Library Browser**”, como ilustrado na Figura 3. Procurar os elementos de interesse.

Figura 3. Library Browser



- Os valores de resistência individual e indutância individual estão indicados em COMPONENTES E EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO no início da prática.
- Na janela *Simulation Control* ajustar o **tempo total de simulação** em 0.5 s.

- Funções **Enable** e **Disable** podem ser utilizadas para habilitar ou desabilitar componentes (p.ex. capacitor), clicando sobre o(s) elemento(s) de interesse.

Tabela 1 – Determinação da potência complexa  $S_L$  da carga tipicamente indutiva

Condição de carga (*)	$V$ [V]	$I_T$ [A]	$ S_L $ [VA]	$P$ [W]	$FP_D$	$Q_L$ [var]	$S_L = P + jQ_L$ [VA]
3R // 9L	80						

(\*) 3R: 3 resistores em paralelo; 9L: 9 indutores em paralelo; Sinal "//": paralelo

2. Calcular a capacitância necessária para corrigir o fator de potência da carga do circuito da Figura 2 para 0,92 atrasado. Conecte em paralelo à carga o capacitor projetado. Calcular a potência complexa total  $S_T$  e preencher a Tabela 2.

Tabela 2 – Valores calculados para capacitância  $C$  e potência complexa total  $S_T$  do circuito para  $FP = 0,92$  atrasado.

$C_{EQ}$ ( $\mu F$ )	
$S_T = P_T + j Q_T$	

**Dica:**

- É possível utilizar uma **calculadora** no PSIM, em Barra principal -> *Utilities* -> *Calculator*.

3. Conectar, em paralelo à carga (3R//9L), o banco capacitivo com um valor de capacitância equivalente  $C_{EQ}$  que seja o mais próximo possível do valor calculado. Preencher a Tabela 3, segundo a condição do sistema formado por carga RL em paralelo com o banco capacitivo. Plotar a tensão e corrente de entrada antes e depois da inserção do banco de capacitores.

Tabela 3 – Carga tipicamente indutiva em paralelo com o banco capacitivo.

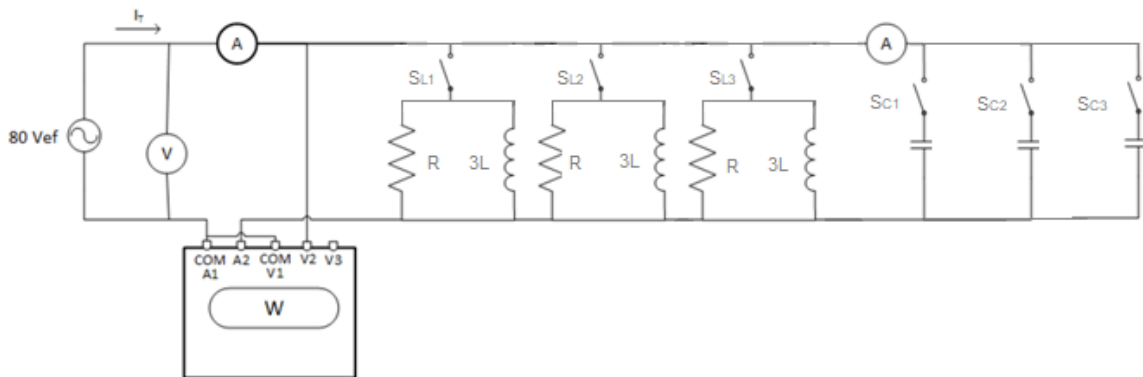
Condição do sistema (**)	$V$ [V]	$C_{EQ}$ [ $\mu F$ ]	$I_T$ [A]	$P$ [W]	$ S_T $ [VA]	$FP$	$S_T = P + jQ_T$
(3R + 9L)//CEQ	80						

(\*\*) Símbolo //: paralelo.

Avalie o circuito compensado em relação ao circuito não compensado.

4. Considere a condição em que a carga é variável, sendo formada por 3 estágios em que cada estágio é constituído de um resistor em paralelo com três indutores em paralelo (R//3L) como ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Cargas variável em 3 estágios com compensação de reativo.



Calcular e conectar ao circuito os estágios de compensação de reativos correspondentes à entrada em operação somente de  $S_{L1}$ , seguida de  $(S_{L1}+S_{L2})$  e  $(S_{L1}+S_{L2}+S_{L3})$ , de modo que o fator de potência em cada estágio de carga permaneça igual ou superior a 0,92 indutivo. Preencher a Tabela 4 e 5 com informações para cada estágio de operação sem compensação e com compensação, respectivamente.

Tabela 4 – Comportamento da potência complexa total  $S_T$  e do fator de potência total  $FP_T$  para estágios de carga sem compensação de reativos.

Nº Estágio.	V [V]	$I_T$ [A]	P [W]	$ S_T $ [VA]	$Q_{LT}$ [var]	$S_T = P \pm jQ_T$ [VA]	$FP_T$ indutivo
1	80						
2							
3							

Tabela 5 – Comportamento da potência complexa total  $S_T$  e do fator de potência total  $FP_T$  para estágios de carga com compensação de reativos.

Nº Estágio.	V [V]	$I_T$ [A]	$I_{CT}$ [A]	P [W]	$ S_T $ [VA]	$Q_{LT}$ [var]	$Q_{CT}$ [var]	$S_T = P \pm jQ_T$ [VA]	$FP_T$ indutivo
1	80								
2									
3									

## REFERÊNCIAS

HAYT, Jr., W.H.; KEMMERLY, J.E. **Análise de Circuitos em Engenharia**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1973.

EDMINISTER, J.A. **Circuitos Elétricos**. São Paulo: Editora McGraw-Hill, 2.ed., 1991.