



**Instituto Politécnico de Tomar**

**Escola Superior de Tecnologia de Tomar**

**Departamento de Engenharia Electrotécnica**

## **ELECTRÓNICA DE INSTRUMENTAÇÃO**

**Trabalho Prático N.º 3**

### **MEDIÇÃO DE POTÊNCIA ACTIVA E REACTIVA CONTAGEM DE ENERGIA ACTIVA**

|                  |       |             |
|------------------|-------|-------------|
| <u>Efectuado</u> | _____ | Turma: ____ |
| <u>pelos</u>     | _____ | Turma: ____ |
| <u>alunos:</u>   | _____ | Turma: ____ |
|                  | _____ | Turma: ____ |

|               |       |
|---------------|-------|
| <u>Curso:</u> | _____ |
| <u>Data:</u>  | _____ |
| <u>Grupo:</u> | _____ |

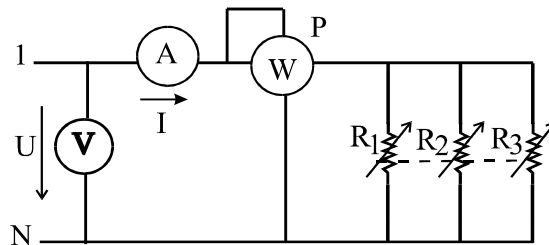
**2007/2008**

## 1 - Objectivos

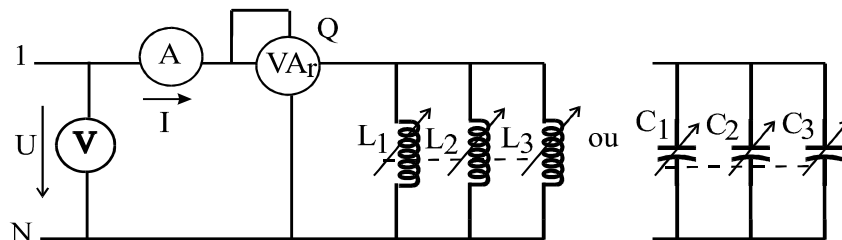
- Medir a potência activa e reactiva numa carga monofásica.
- Medir a potência activa e reactiva numa carga trifásica equilibrada, pelo método de Aron.
- Medir a potência reactiva numa carga trifásica desequilibrada, alimentada a 4 fios, por meio de wattímetros.
- Sensibilização para a necessidade da troca de ligações nos aparelhos de medida analógicos (wattímetro e varímetro) e correspondente atribuição do sinal negativo (-) às leituras subsequentes.
- Efectuar a compensação do factor de potência numa carga indutiva monofásica.
- Proceder à contagem da energia activa numa carga monofásica.

## 2 - Esquemas de ligação

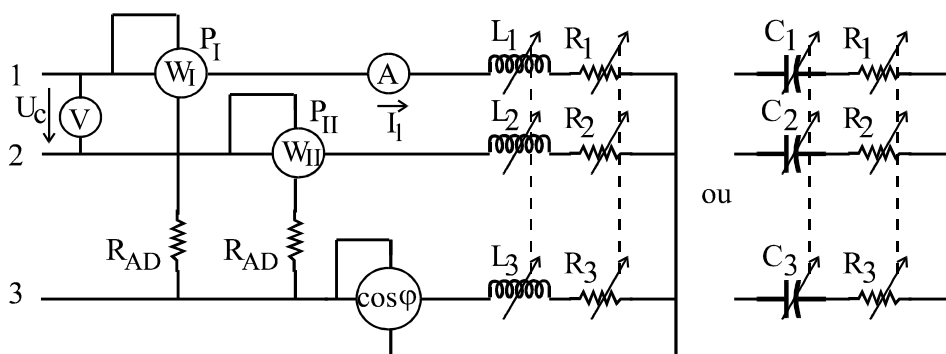
### 2.1 - Medição de potência activa numa carga monofásica.



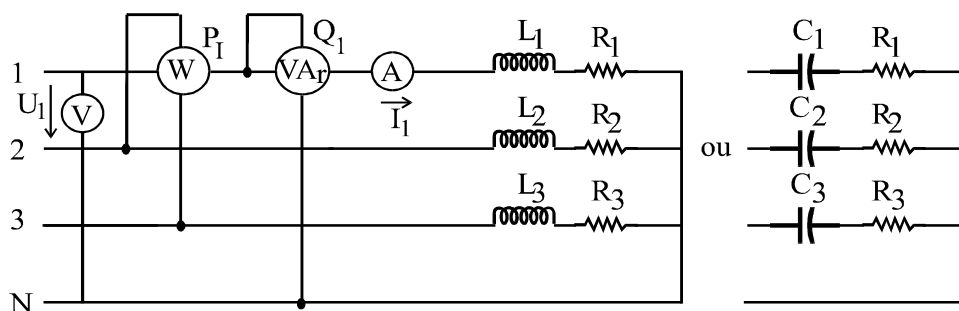
### 2.2 - Medição de potência reactiva numa carga monofásica



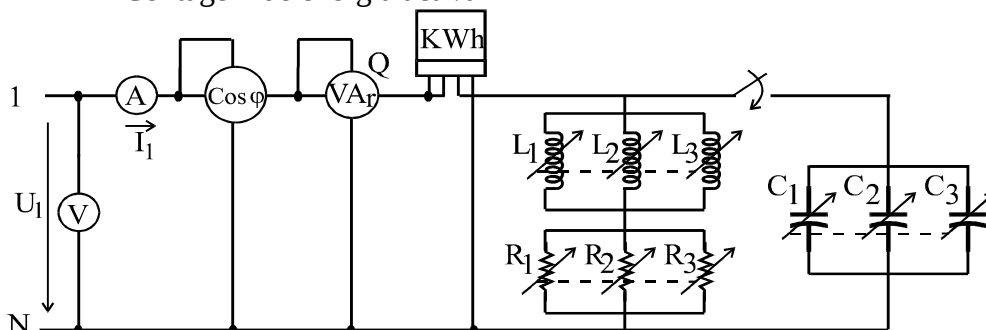
### 2.3 - Medição de potência activa e reactiva numa carga trifásica Método de Aron - carga equilibrada



## 2.4 - Medição da potência reactiva numa carga trifásica desequilibrada Alimentação a 4 fios - Método dos 4 wattímetros



## 2.5 - Compensação do factor de potência numa carga indutiva monofásica Contagem de energia activa



### 3 - Lista de material

Fonte de tensão alternada sinusoidal trifásica fixa:  $U_s=220/U_c=380V$   $f=50$  Hz

Fonte de tensão alternada sinusoidal trifásica regulável:  $U_c=0--430V$   $f=50$  Hz

1 Voltímetro: Multímetro -

1 Amperímetro: Multímetro -

1 Contador de indução monofásico - SIEMENS

$U_n=220$  V  $I_n=10$  A  $f_n=50$  Hz

$a=600$  Rot/KWh ou  $a=375$  Rot/KWh

2 Wattímetros electrodinâmicos - FERRARI

|                      |               |               |               |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|
| Calibres de tensão   | 120 V         | 240 V         | 480 V         |
| RV                   | 12 K $\Omega$ | 24 K $\Omega$ | 48 K $\Omega$ |
| Calibres de corrente | 5 A           |               | 10 A          |
| RA                   | 0.2 $\Omega$  |               | 0.1 $\Omega$  |
| Escala               | 120 divisões  |               |               |

1 Varímetro electrodinâmico - FERRARI

|                      |              |             |              |
|----------------------|--------------|-------------|--------------|
| Calibres de tensão   | 120 V        | 240 V       | 480 V        |
| RV                   | 17 $\Omega$  | 66 $\Omega$ | 270 $\Omega$ |
| Calibres de corrente | 5 A          |             | 10 A         |
| RA                   | 0.2 $\Omega$ |             | 0.1 $\Omega$ |
| Escala               | 120 divisões |             |              |

## 1 Fasímetro electrodinâmico - FERRARI

|                      |                                                                   |      |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------|------|
| Calibre de tensão    | 220 V                                                             |      |
| Calibres de corrente | 5 A                                                               | 10 A |
| Gama de medida       | $0.5 \text{ c} \leftarrow \cos \varphi \rightarrow 0.5 \text{ i}$ |      |
| Escala               | 100 divisões                                                      |      |

Cargas trifásicas - Resistiva:  $P_{\max}=3 \times 400 \text{ W}$   $U_n=220/380 \text{ V } \Delta / Y$

(7 escalões) - Indutiva:  $Q_{L_{\max}}=3 \times 300 \text{ VAr}$   $U_n=220/380 \text{ V } \Delta / Y$

- Capacitiva:  $Q_{C_{\max}}=-3 \times 275 \text{ VAr}$   $U_n=220/380 \text{ V } \Delta / Y$

Fios de ligação

## 4 - Procedimento experimental

Notas: - Tome as precauções necessárias para **não** tocar nas partes activas dos fios e terminais de ligação, dado que os níveis da tensão de trabalho podem revelar-se perigosos em caso de contacto accidental.

- Pelo mesmo motivo deve, **evitar** efectuar alterações no circuito, bem como trocar as ligações dos aparelhos de medida, com a fonte de tensão ligada. Desta forma reduz-se o risco de provocar curto-circuitos.

- Efectue as leituras dos aparelhos de medida quando estes se encontrarem na posição indicada: posição **horizontal** para os wattímetros, varímetro e fasímetro e posição **vertical** para o contador de indução.

### - Medição de potência activa numa carga monofásica:

■ Inicie o trabalho com a montagem correspondente ao **esquema 2.1**. A carga monofásica é constituída pelo **paralelo** das 3 resistências **R<sub>1</sub>**, **R<sub>2</sub>** e **R<sub>3</sub>**, pelo que a mudança de posição (**1** → **3** → **5** → **7**) deve ser simultânea em **R<sub>1</sub>**, **R<sub>2</sub>** e **R<sub>3</sub>**. A alimentação do circuito é feita entre uma das 3 fases (L1, L2, L3) dos terminais de saída “mains” e o neutro (N). Efectue as leituras de tensão (**U**), corrente (**I**) e potência activa (**P**), tanto quanto possível em simultâneo, para as posições **1** → **3** → **5** → **7** das resistências. A leitura de **P** deve ser feita em divisões.

■ Caso utilize o calibre de corrente de **5 A** do wattímetro, tenha o cuidado de efectuar **rapidamente** as leituras quando as resistências estiverem na posição **7**, dado que neste escalão a corrente é ligeiramente superior ao calibre referido.

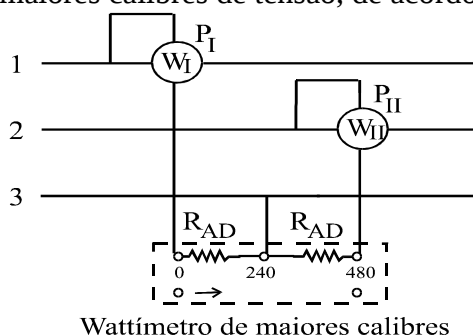
### -Medição de potência reactiva numa carga monofásica:

■ A **montagem 2.2** é semelhante à anterior, ou seja, apenas necessita de transferir o **paralelo** das 3 resistências para as 3 indutâncias **L<sub>1</sub>**, **L<sub>2</sub>** e **L<sub>3</sub>**, as quais devem ser utilizadas no mesmo escalão, e trocar o wattímetro pelo varímetro, quando a fonte de tensão estiver desligada. Efectue as leituras de tensão (**U**), corrente (**I**) e potência reactiva (**Q**), em simultâneo, para as posições **1** → **3** → **5** → **7** das indutâncias. A leitura de **Q** deve ser feita em divisões.

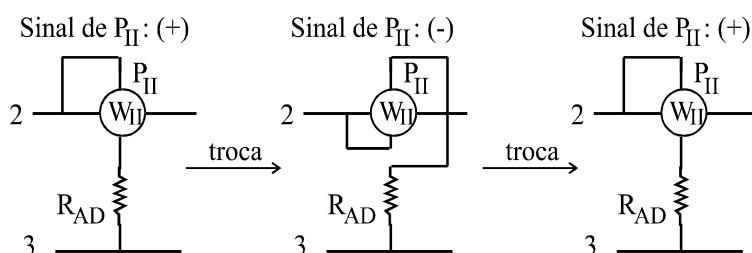
- Desligue a fonte de tensão, troque o paralelo das indutâncias pelo **paralelo** das capacidades  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$  e **troque** as ligações dos terminais da bobine de tensão do varímetro. Neste caso as leituras de  $Q$  serão **negativas**, pelo que deve registar as mesmas com o sinal - (ex:  $Q = -15 \text{ div}$ ). Efectue as leituras de  $U$ ,  $I$  e  $Q$ , em simultâneo, para as posições  $1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 7$  das capacidades.

**- Medição de potência activa e reactiva numa carga trifásica. Método de Aron - carga equilibrada:**

- Prossiga o trabalho com a realização da **montagem 2.3** - carga indutiva. Cada uma das 3 cargas é constituída pela montagem em **série** de uma resistência e de uma indutância (ex:  $R_I - L_I$ ). Proceda à montagem dos wattímetros ( $W_I$  e  $W_{II}$ ) que possuem menores calibres de tensão, tendo o cuidado de utilizar como resistências adicionais,  $R_{AD}$ , as resistências da bobine de tensão,  $R_V$ , do wattímetro de maiores calibres de tensão, de acordo com o esquema seguinte:



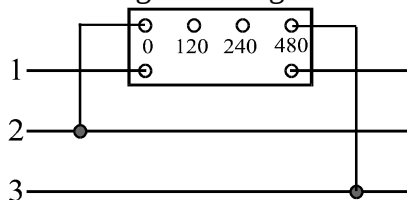
- Como fonte de tensão utiliza-se a saída de tensão (L1,L2,L3) regulável de **0 a 430 V** da bancada (posição **b**). Coloque o voltímetro entre 2 fases (L1-L2 ou L1-L3 ou L2-L3) ligue a fonte de tensão e regule a tensão lida para  $U_C = 300 \text{ V}$ . Desligue a fonte e faça o resto da montagem do circuito.
- Para que o fasímetro ( $\cos\varphi$ ) forneça leituras correctas é imprescindível que as cargas trifásicas sejam equilibradas, obtendo-se assim um ponto **neutro** artificial. Deste modo, a bobine de tensão do fasímetro fica sujeita à tensão simples  $U_3$  e a sua bobine de corrente é percorrida pela corrente de carga  $I_3$ . O equilíbrio das 3 fases é conseguido quando as 3 resistências ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ) têm a mesma posição (ou escala), o mesmo acontecendo com as 3 indutâncias ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ).
- Após a montagem dos aparelhos de medida, regule as resistências para a posição 5. Nesta posição, efectue as leituras de  $U$ ,  $I$ ,  $P_I$ ,  $P_{II}$  e  $\cos\varphi$  com as indutâncias primeiro na posição 3, depois na posição 5 e finalmente na posição 7. Se o wattímetro  $W_{II}$  tender a dar uma leitura **negativa**, desligue o circuito, troque as ligações da bobine de tensão, ligue novamente o circuito e atribua o sinal **negativo** (-) à leitura de  $W_{II}$  (ex:  $P_{II} = -2 \text{ div}$ ).



- Ao mudar ( $L_1, L_2, L_3$ ) da posição 5 para a posição 7, mantendo ( $R_1, R_2, R_3$ ) na posição 5, o wattímetro  $W_{II}$ , provavelmente, tenderá a dar uma leitura **negativa**. Desligue o circuito, troque novamente as ligações da bobine de tensão de  $W_{II}$ , ligue a fonte de tensão e atribua o sinal **positivo** (+) à leitura de  $W_{II}$  (ex:  $P_{II}=+5 \text{ div}$ ). Se o factor de potência do circuito,  $\cos\phi$ , for inferior a **0.5 i**, registre apenas  $\cos\phi < 0.5 i$ .
- Mude, agora, as resistências ( $R_1, R_2, R_3$ ) para a posição 7 e efectue as leituras de  $U, I, P_I, P_{II}$  e  $\cos\phi$  com as indutâncias primeiro na posição 3, depois na posição 5 e finalmente na posição 7. Se as leituras de  $W_{II}$  tenderem a ser negativas, aplica-se o princípio anterior, tendo o cuidado de mudar o sinal de  $P_{II}$  após cada troca de ligações.
- Desligue o circuito e substitua as indutâncias ( $L_1, L_2, L_3$ ) pelas capacidades ( $C_1, C_2, C_3$ ), de forma a que, cada carga trifásica seja formada pela série de uma resistência com uma capacidade (ex:  $R_2-C_2$ ).
- Comece as leituras de  $U, I, P_I, P_{II}$  e  $\cos\phi$  com as resistências ( $R_1, R_2, R_3$ ) na posição 5 e as capacidades ( $C_1, C_2, C_3$ ) na posição 3. Se o wattímetro  $W_I$  tender a dar uma leitura **negativa**, repita o procedimento utilizado para  $W_{II}$  na carga indutiva. Se a leitura do fasímetro for inferior a **0.5 c**, indique apenas  $\cos\phi < 0.5 c$ . Mantendo ( $R_1, R_2, R_3$ ) na posição 5, registre as novas as leituras de  $U, I, P_I, P_{II}$  e  $\cos\phi$  para ( $C_1, C_2, C_3$ ) na posição 5 e para ( $C_1, C_2, C_3$ ) na posição 7. Depois, coloque ( $R_1, R_2, R_3$ ) na posição 7 e efectue as leituras de  $U, I, P_I, P_{II}$  e  $\cos\phi$  correspondentes às posições 3, 5 e 7 de ( $C_1, C_2, C_3$ ).

**- Medição da potência reactiva numa carga trifásica desequilibrada. Alimentação a 4 fios - Método dos 4 wattímetros:**

- De seguida, faça a montagem correspondente ao esquema 2.4. Como wattímetro utiliza-se o aparelho de maiores calibres de tensão e como fonte de tensão usa-se ( $L_1, L_2, L_3, N$ ) a saída trifásica “Mains” - 220/380 V da bancada.
- Para que as leituras  $U_1, I_1, P_I$  e  $Q_1$  possam ser utilizadas em cálculos comparativos é forçoso que o amperímetro, o wattímetro e o varímetro sejam percorridos pela corrente,  $I_1$ , da fase 1. Neste caso, o voltímetro e a bobine de tensão do varímetro são ligados entre a fase 1 e o neutro (N), ao passo que a bobine de tensão do wattímetro é ligada da seguinte forma:



- Coloque  $R_1$  na posição 7 e  $L_1$  na posição 6 (as posições de  $R_2, R_3, L_2, L_3$  podem ser as que quiser), ligue o circuito e proceda à leitura de  $U_1, I_1, P_I$  e  $Q_1$ . Os valores lidos de  $P_I$  e  $Q_1$  (em divisões) devem ser **positivos** porque a carga é **indutiva**, se algum deles não o for, desligue o circuito, troque as ligações na bobine de tensão do aparelho em causa, ligue novamente o circuito e faça a leitura de  $P_I$  e  $Q_1$ , conforme o caso.

- Desligue o circuito, substitua as indutâncias ( $L_1, L_2, L_3$ ) pelas capacidades ( $C_1, C_2, C_3$ ), mantenha  $R_1$  na posição 7, coloque  $C_1$  na posição 6 ( $R_2, R_3, C_2, C_3$  podem estar em qualquer posição), ligue o circuito e verifique que ambos os aparelhos que medem  $P_1$  e  $Q_1$  tendem a dar uma leitura **negativa**, já que a carga é **capacitiva**. Desligue o circuito, troque as ligações das bobines de tensão do wattímetro e varímetro, ligue o circuito e efectue as leituras de  $U_1, I_1, P_1$  e  $Q_1$ , tendo o cuidado de atribuir o sinal **negativo** (-) a  $P_1$  e  $Q_1$ .

**- Compensação do factor de potência numa carga indutiva monofásica. Contagem de energia activa:**

- Para a realização da montagem correspondente ao esquema 2.5 pode manter-se o voltímetro ( $U_1$ ), o amperímetro ( $I_1$ ) e o varímetro ( $Q_1$ ) nas posições do esquema 2.4. A única diferença reside na recolocação dos terminais da bobine de tensão na posição original, na qual as leituras têm sinal positivo (+). Ligue as bobines de corrente e de tensão do contador de indução e do fasímetro de modo idêntico às bobines homólogas do varímetro.
- Posteriormente, efectue os **paralelos** das 3 resistências ( $R_1, R_2, R_3$ ), entre si, das 3 indutâncias ( $L_1, L_2, L_3$ ) e das 3 capacidades ( $C_1, C_2, C_3$ ). Ligue o paralelo das 3 indutâncias em **série** com o paralelo das 3 resistências e insira esta série no restante circuito, colocando ( $R_1, R_2, R_3$ ) na posição 7 e ( $L_1, L_2, L_3$ ) na posição 5. Depois, ligue a fonte de tensão e faça as leituras de  $U_1, I_1, Q_1$  e  $\cos\phi$ .
- Desligue o circuito, faça a ligação dos condensadores aos terminais da carga indutiva de forma a que as capacidades fiquem em **paralelo** com a carga. Coloque ( $C_1, C_2, C_3$ ) na posição 2, ligue o circuito e proceda às novas leituras de  $U_1, I_1, Q_1$  e  $\cos\phi$ . Para completar o trabalho, registe o **tempo** em segundos (s) que o contador de energia activa demora a atingir **10** rotações.

**5 - Quadro de resultados**

**Montagem 2.1**

| Posição R | Valores Medidos |       |         | Valores Calculados |                  |                  |
|-----------|-----------------|-------|---------|--------------------|------------------|------------------|
|           | U (V)           | I (A) | P (Div) | P (W)              | $\Delta P_I$ (W) | $\Delta P_V$ (W) |
| 1         |                 |       |         |                    |                  |                  |
| 3         |                 |       |         |                    |                  |                  |
| 5         |                 |       |         |                    |                  |                  |
| 7         |                 |       |         |                    |                  |                  |

$$P \text{ (W)} = P \text{ (Div)} \cdot K_w \quad \text{c /} \quad K_w = \quad W / \text{Div}$$

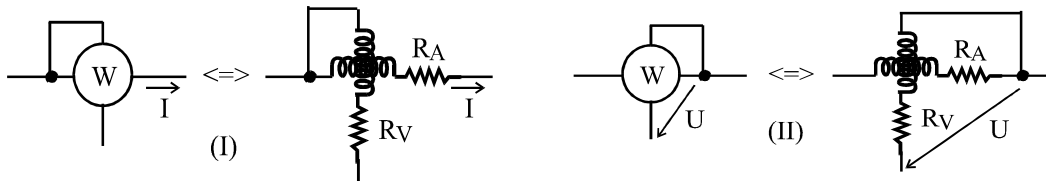
$$\text{Calibre de potência: } P_{\max} = U_{\max} \cdot I_{\max} = \quad W$$

$$\text{Valor por divisão: } K_w = \frac{P_{\max}}{N^{\circ} \text{ de divisões}} = \quad W / \text{Div}$$

Calibre de potência:  $Q_{\max} = U_{\max} \cdot I_{\max} = \text{VAr}$

Valor por divisão:  $K_Q = \frac{Q_{\max}}{\text{N}^\circ \text{ de divisões}} = \text{VAr} / \text{Div}$

Consumo das bobinas de corrente e de tensão para as ligações I e II:



Montagem I:  $\Delta P_I = R_A \cdot I^2$  c/  $R_A = \Omega$  (ver lista de material)

Montagem II:  $\Delta P_V = \frac{U^2}{R_V}$  c/  $R_V = \Omega$  (ver lista de material)

## Montagem 2.2

| Posição L | Valores Medidos |       |         | Valores Calculados |        |            |
|-----------|-----------------|-------|---------|--------------------|--------|------------|
|           | U (V)           | I (A) | Q (Div) | Q (VAr)            | S (VA) | $\phi$ (°) |
| 1         |                 |       | +       |                    |        |            |
| 3         |                 |       | +       |                    |        |            |
| 5         |                 |       | +       |                    |        |            |
| 7         |                 |       | +       |                    |        |            |

$Q (\text{VAr}) = Q (\text{Div}) \cdot K_Q$  c/  $K_Q = \text{VAr} / \text{Div}$

$S = U \cdot I$  ;  $\phi = \arcsen\left(\frac{Q}{S}\right)$

| Posição C | Valores Medidos |       |         | Valores Calculados |        |            |
|-----------|-----------------|-------|---------|--------------------|--------|------------|
|           | U (V)           | I (A) | Q (Div) | Q (VAr)            | S (VA) | $\phi$ (°) |
| 1         |                 |       | -       |                    |        |            |
| 3         |                 |       | -       |                    |        |            |
| 5         |                 |       | -       |                    |        |            |
| 7         |                 |       | -       |                    |        |            |

$Q (\text{VAr}) = Q (\text{Div}) \cdot K_Q$  c/  $K_Q = \text{VAr} / \text{Div}$

$S = U \cdot I$  ;  $\phi = \arcsen\left(\frac{Q}{S}\right)$

### Montagem 2.3 (Carga Indutiva)

|           |           | Valores Medidos    |                    |                      |                       |       |
|-----------|-----------|--------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|-------|
| Posição R | Posição L | U <sub>C</sub> (V) | I <sub>I</sub> (A) | P <sub>I</sub> (Div) | P <sub>II</sub> (Div) | Cos φ |
| 5         | 3         |                    |                    |                      |                       |       |
| 5         | 5         |                    |                    |                      |                       |       |
| 5         | 7         |                    |                    |                      |                       |       |
| 7         | 3         |                    |                    |                      |                       |       |
| 7         | 5         |                    |                    |                      |                       |       |
| 7         | 7         |                    |                    |                      |                       |       |

|           |           | Valores Calculados |                     |                     |                       |                      |
|-----------|-----------|--------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| Posição R | Posição L | P <sub>I</sub> (W) | P <sub>II</sub> (W) | P <sub>3φ</sub> (W) | Q <sub>3φ</sub> (VAr) | S <sub>3φ</sub> (VA) |
| 5         | 3         |                    |                     |                     |                       |                      |
| 5         | 5         |                    |                     |                     |                       |                      |
| 5         | 7         |                    |                     |                     |                       |                      |
| 7         | 3         |                    |                     |                     |                       |                      |
| 7         | 5         |                    |                     |                     |                       |                      |
| 7         | 7         |                    |                     |                     |                       |                      |

$$P_I (W) = P_I (Div) \cdot K_w \quad c / \quad K_w = W / Div$$

$$P_{II} (W) = P_{II} (Div) \cdot K_w \quad c / \quad K_w = W / Div$$

$$P_{3\phi} = P_I + P_{II} \quad (P_{II} \text{ deve ter o sinal atribuído às leituras})$$

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot (P_I - P_{II}) \quad (P_{II} \text{ deve ter o sinal atribuído às leituras})$$

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot U_C \cdot I_I$$

### Montagem 2.3 (Carga Capacitiva)

|           |           | Valores Medidos    |                    |                      |                       |       |
|-----------|-----------|--------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|-------|
| Posição R | Posição C | U <sub>C</sub> (V) | I <sub>I</sub> (A) | P <sub>I</sub> (Div) | P <sub>II</sub> (Div) | Cos φ |
| 5         | 3         |                    |                    |                      |                       |       |
| 5         | 5         |                    |                    |                      |                       |       |
| 5         | 7         |                    |                    |                      |                       |       |
| 7         | 3         |                    |                    |                      |                       |       |
| 7         | 5         |                    |                    |                      |                       |       |
| 7         | 7         |                    |                    |                      |                       |       |

|           |           | Valores Calculados |                     |                     |                       |                      |
|-----------|-----------|--------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| Posição R | Posição C | P <sub>I</sub> (W) | P <sub>II</sub> (W) | P <sub>3Φ</sub> (W) | Q <sub>3Φ</sub> (VAr) | S <sub>3Φ</sub> (VA) |
| 5         | 3         |                    |                     |                     |                       |                      |
| 5         | 5         |                    |                     |                     |                       |                      |
| 5         | 7         |                    |                     |                     |                       |                      |
| 7         | 3         |                    |                     |                     |                       |                      |
| 7         | 5         |                    |                     |                     |                       |                      |
| 7         | 7         |                    |                     |                     |                       |                      |

$$P_I (W) = P_I (Div) \cdot K_w \quad c / \quad K_w = W / Div$$

$$P_{II} (W) = P_{II} (Div) \cdot K_w \quad c / \quad K_w = W / Div$$

$$P_{3\phi} = P_I + P_{II} \quad (P_I \text{ deve ter o sinal atribuído às leituras})$$

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot (P_I - P_{II}) \quad (P_I \text{ deve ter o sinal atribuído às leituras})$$

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot U_c \cdot I_l$$

#### Montagem 2.4

|                |  | Valores Medidos    |                    |                      |                      |
|----------------|--|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
|                |  | U <sub>1</sub> (V) | I <sub>1</sub> (A) | Q <sub>1</sub> (Div) | P <sub>1</sub> (Div) |
| Carga Indutiva |  |                    |                    | +                    | +                    |
| Carga          |  |                    |                    | -                    | -                    |

|                |  | Valores Calculados   |                           |                     |                    |
|----------------|--|----------------------|---------------------------|---------------------|--------------------|
|                |  | Q <sub>1</sub> (VAr) | P <sub>1</sub> / √3 (VAr) | S <sub>1</sub> (VA) | cos φ <sub>1</sub> |
| Carga Indutiva |  | +                    | +                         |                     | i                  |
| Carga          |  | -                    | -                         |                     | c                  |

$$Q_1 (VAr) = Q_1 (Div) \cdot K_Q \quad c / \quad K_Q = VAr / Div$$

$$P_1 / \sqrt{3} (VAr) = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot P_1 (Div) \cdot K_w \quad c / \quad K_w = W / Div$$

$$S_1 = U_1 \cdot I_1 \quad ; \quad \cos \phi_1 = \cos \left[ \arcsen \left( \frac{Q_1}{S_1} \right) \right]$$

#### Montagem 2.5 (Compensação do factor de potência)

|                   |  | Valores Medidos    |                    |                      |                    |
|-------------------|--|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
|                   |  | U <sub>1</sub> (V) | I <sub>1</sub> (A) | Q <sub>1</sub> (Div) | cos φ <sub>1</sub> |
| sem Condensadores |  |                    |                    | +                    | i                  |
| com Condensadores |  |                    |                    | +                    | i                  |

|                          | Valores Calculados |            |           |
|--------------------------|--------------------|------------|-----------|
|                          | $Q_1$ (VAr)        | $S_1$ (VA) | $P_1$ (W) |
| <b>sem</b> Condensadores |                    |            |           |
| <b>com</b> Condensadores |                    |            |           |

$$Q_1 \text{ (VAr)} = Q_1 \text{ (Div)} \cdot K_Q \quad \text{c/} \quad K_Q = \text{VAr} / \text{Div}$$

$$S_1 = U_1 \cdot I_1 \quad ; \quad P_1 = S_1 \cdot \cos \varphi_1$$

### Montagem 2.5 (Contagem de Energia Activa)

| Valor Medido | Valor Calculado |
|--------------|-----------------|
| $t_{10}$ (s) | $P_1$ (W)       |
|              |                 |

$$P_1 \text{ (W)} = \frac{W_1 \text{ (J)}}{t_{10} \text{ (s)}} = \frac{\frac{3.6 \times 10^6 \text{ (J)} \times 10 \text{ (rot)}}{a \text{ (rot / KWh)}}}{t_{10} \text{ (s)}} = \text{---} = \text{W}$$

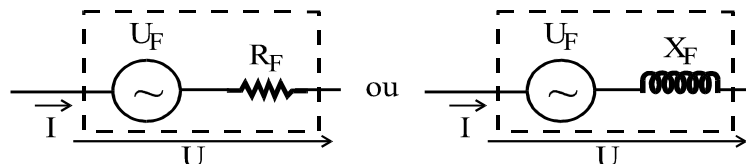
## 6 - Conclusões

Por comparação dos consumos do wattímetro ( $\Delta P_I$  ;  $\Delta P_{II}$  ) indique qual das montagem **I** ou **II** é mais adequada para a medição de **P**, tendo em conta as posições das resistências (**R<sub>1</sub>**, **R<sub>2</sub>**, **R<sub>3</sub>**). Qual seria o valor de corrente de carga, **I**, que tornaria indiferente o uso de qualquer das montagens?

Qual das cargas, indutiva (**L<sub>1</sub>**, **R<sub>2</sub>**, **R<sub>3</sub>**) ou capacitiva (**C<sub>1</sub>**, **C<sub>2</sub>**, **C<sub>3</sub>**), se aproxima mais da carga reactiva **pura**,  $\varphi = 90^\circ$  ou  $\varphi = -90^\circ$ ?

Nas montagens 2.1 e 2.2 deverá ter verificado que a tensão **U** aos terminais da fonte de tensão diminui à medida que a corrente de carga **I** aumenta. A que se deve este fenómeno e qual é o tipo de carga (resistiva, indutiva ou capacitiva) onde o efeito é mais acentuado?

Em seu entender, qual dos esquemas se adaptaria melhor para representar o esquema equivalente da fonte **real**?



Na medição de  $P_{3\phi}$  e  $Q_{3\phi}$  pelo método de *Aron* poderia ter considerado ambas as leituras  $P_I$  e  $P_{II}$  como **positivas**, tendo o cuidado de adoptar outras fórmulas de cálculo de  $P_{3\phi}$  e  $Q_{3\phi}$ , como seja:  $P_{3\phi} = P_I - P_{II}$  ;  $Q_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot (P_I + P_{II})$  (1), para a carga indutiva

$(L_1, R_2, R_3)$  e  $P_{3\phi} = P_{II} - P_I$  ;  $Q_{3\phi} = -\sqrt{3} \cdot (P_I + P_{II})$  (2), para a carga capacitiva ( $C_1, C_2, C_3$ ), em vez de  $P_{3\phi} = P_I + P_{II}$  ;  $Q_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot (P_I - P_{II})$ .

Indique em que cargas (posição de **R** e **L** ou posição de **R** e **C**) utilizaria as fórmulas (1) ou (2) e qual o ângulo de carga  $\varphi$  correspondente. Justifique o facto pelos diagramas  $P_I(\varphi)$  e  $P_{II}(\varphi)$ .

Em sua opinião e por comparação dos resultados  $Q_1$  e  $P_I / \sqrt{3}$ , da montagem 2.4, justifica-se a utilização de **varímetros** para medir  $Q_1$ ,  $Q_2$  e  $Q_3$ , numa carga trifásica, quando a mesma medição poderá ser feita com boa aproximação por meio de **wattímetros**, cujo custo é muito inferior? Verifique se as diferenças entre os valores  $Q_1$  e  $P_I / \sqrt{3}$  podem ser justificadas apenas pelos erros de leitura que poderão ser de **0.5** divisões em cada caso.

No montagem referente à compensação do factor de potência, **cos $\varphi$** , confirme a redução da corrente de carga  $I_1$  e aumento do **cos $\varphi$**  quando se introduzem as capacidades em paralelo com a carga indutiva.

Apresente, em papel milimétrico numa escala à sua escolha, os diagramas seguintes correspondentes à compensação do factor de potência.

Diagrama de Potências

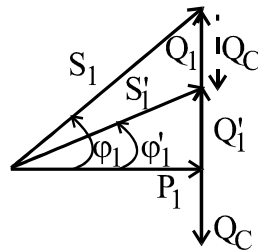
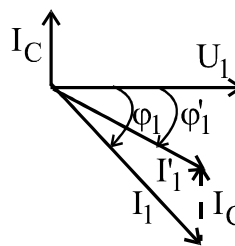


Diagrama de Correntes

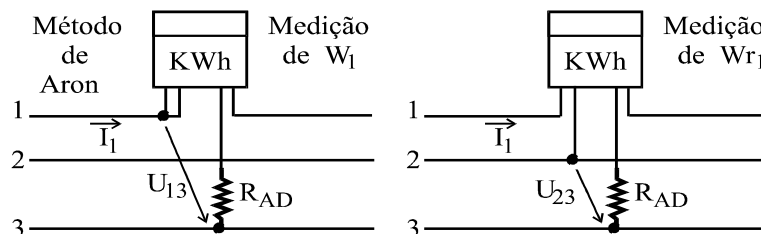


Para a construção destes diagramas calcule:  $Q_C = Q_1 - Q'_1$  ;  $S'_1 = U'_1 \cdot I'_1$

$$I_C = I_1 \cdot \text{sen} \varphi_1 - I'_1 \cdot \text{sen} \varphi'_1 \quad \text{c/} \quad \begin{cases} \varphi_1 = \arccos(\cos \varphi_1) \\ \varphi'_1 = \arccos(\cos \varphi'_1) \end{cases}$$

onde:  $Q'_1$ ,  $U'_1$ ,  $I'_1$  e **cos $\varphi'_1$**  são os valores de  $Q_1$ ,  $U_1$ ,  $I_1$  e **cos $\varphi_1$**  medidos com condensadores.

Sendo a bobine de tensão do contador dimensionada para a tensão simples,  $U_s=220$  V, indique porque motivo **não** deveria utilizar resistências adicionais,  $R_{AD}$ , para poder aplicar a tensão composta,  $U_C=380$  V, ao conjunto bobine+resistência nas seguintes montagens?



Caso utilizasse as montagens anteriores, o efeito da resistência  $R_{AD}$  sobre o ângulo  $\delta$  seria no sentido do seu aumento ou diminuição em relação ao valor  $\delta = 90^\circ + \psi_i$  de calibração? Que consequências teria essa variação do ângulo  $\delta$  sobre o valor medido  $W'_1$ , seria inferior ou superior ao real  $W_1$ ? ( $T_M = U_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \text{sen} \beta$ ).