

PEA3504 Laboratório de Qualidade de Energia

Influência da Circulação de Harmônicos de Corrente em Redes

Prof. Lourenço Matakas Jr

Versão 29/Ago/2018 (editado pelo prof. Wilson Komatsu)

1. Objetivos

O principal objetivo desta aula é verificar que as cargas que drenam correntes distorcidas:

- requerem superdimensionamento da instalação elétrica;
- causam distorção na tensão da rede;
- causam aumento na corrente que circula nos capacitores de correção de fator de potência;
- causam o aumento da corrente de neutro.

Os problemas acima listados serão verificados através de simulações utilizando o PSIMCAD v9.0, e também através de demonstração experimental no Laboratório.

2. Necessidade de superdimensionamento da Instalação Elétrica

A circulação de harmônicos provoca um aumento no valores eficazes da corrente de carga I_{ef} , conforme descrito pela equação 1, onde “ I_{h_ef} ” corresponde ao valor eficaz do harmônico de ordem h.

$$I_{ef} = \sqrt{\sum_{h=0}^{\infty} I_{h_ef}^2} \quad (1)$$

Pode-se também analisar este fato através da eq. 2, de onde se conclui que para alimentar duas cargas com a mesma potência e mesma tensão nominal, aquela com menor fator de potência apresenta maior valor eficaz da corrente. Ressalta-se que o fator de potência abaixo pode ser causado tanto pela defasagem entre os componentes fundamentais de tensão e corrente, como pela presença de componentes harmônicos na corrente, conforme explicitado na equação 3.

$$FP = \frac{P_{CA}}{S} = \frac{P_{CA}}{V_{ca_ef} I_{CA_ef}} \Rightarrow I_{CA_ef} = \frac{P_{CA}}{V_{ca_ef} FP} \quad (2)$$

$$FP = \frac{I_{1_ef}}{I_{CA_ef}} \cos(\theta_1) = (\text{Fator Distorção}) \times (\text{Fator de Defasagem}) \quad (3)$$

Como a potência dissipada em um condutor é dada por $P_{diss} = I_{ef}^2 R_{cond}$, independente da forma de onda da corrente, conclui-se que a corrente eficaz define o diâmetro do condutor, a potência construtiva dos transformadores (dada por $S_{trafo} = V_{ef} I_{ef}$, e em cujos enrolamentos circulam as correntes com harmônicos) e a corrente nominal dos disjuntores. Existe assim a

necessidade de se superdimensionar a instalação elétrica, para que esta seja capaz de transportar os componentes harmônicos sem superaquecimento dos equipamentos.

A partir do arquivo “**exp4A-quali.psimsch**” cujo diagrama esquemático é mostrado na figura 1, pedem-se:

- Os valores da potência ativa, da corrente eficaz e da tensão eficaz na entrada do retificador e na carga resistiva. Lembre-se que o **Demo** só permite a visualização de no máximo 7 variáveis. Coloque apenas os instrumentos necessários para cada medida. Não há a necessidade de se plotarem os gráficos de P , I_{ef} e V_{ef} , basta tomar os valores do **SIMVIEW**.
- Calcular o fator de potência para os dois casos.
- Comentar as implicações de se operar com baixo fator de potência.

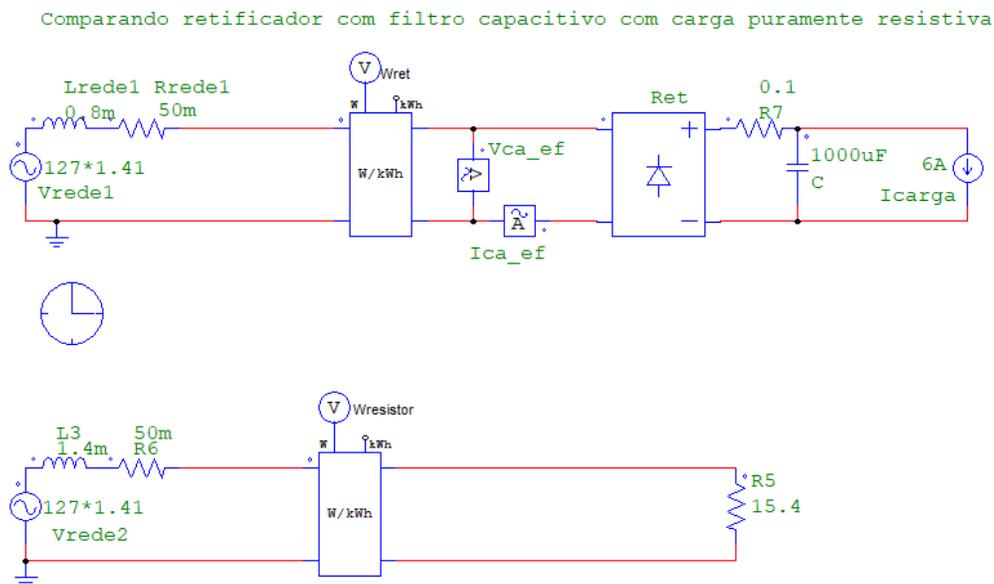


Figura 1: Comparando o retificador com filtro capacitivo com uma carga puramente resistiva (arquivo **exp4A-quali.psimsch**).

3. Sobreaquecimento de Bancos de Capacitores Conectados à Rede

A figura 2 mostra o circuito contido no arquivo “**exp4B-quali.psimsch**”. Nele estão inseridos:

- um retificador com filtro capacitivo alimentado pelo ramal 1, com impedância equivalente representada por $R1$ e $L1$;
- uma carga indutiva, (R_{carga} e L_{carga}), cujo baixo fator de potência é plenamente compensado pelo capacitor C_{comp} . O conjunto é alimentado pelo ramal 2 ($R2$ e $L2$).
- Os dois ramais são alimentados pela rede com impedância equivalente definida por L_{rede} e R_{rede} .

Verificando elevação da corrente em capacitores de correção de fator de potência

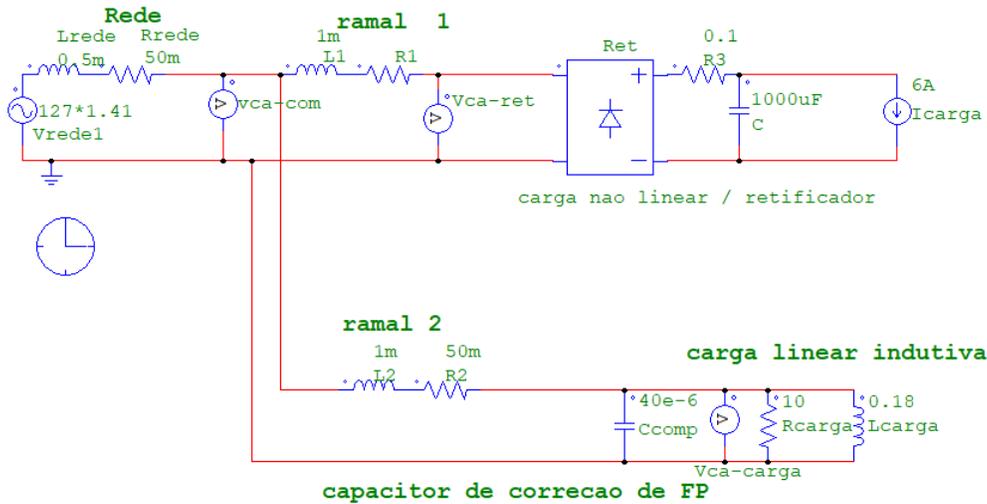


Figura 2: Verificação da elevação da corrente em capacitores de correção de fator de potência (arquivo **exp4B-quali.psimsch**).

Pedem-se:

- Retirando-se o retificador (sugere-se que se imponha $I_{carga}=0.001A$), meça as formas de onda da corrente no capacitor C_{comp} e da tensão na carga ($V_{ca-carga}$)
- Inserindo-se o retificador ($I_{carga}=6A$), meça a corrente no capacitor e seu espectro. (Não esqueça de “janelar”, tomando apenas 1 ciclo)
- Mostrar em **três gráficos distintos, em uma única página** as formas de onda das correntes na rede, no ramal 1 e no ramal 2. Sugere-se mostrar apenas um ciclo, após o regime permanente.
- Calcular o espectro das três correntes do item C, mostrando-os em uma única página. Basta “janelar” um período (em regime!!!) dos graficos obtidos no item c, e apertar o botão FFT.
- Mostrar em **três gráficos distintos, em uma única página** as formas de onda das tensões no Ponto Comum de Acoplamento (v_{ca-com}), na entrada CA do retificador (V_{ca-ret}) e na carga linear indutiva ($V_{ca-carga}$). Sugere-se mostrar apenas um ciclo, após o regime permanente.
- Calcular o espectro das três tensões do item E, mostrando-os em uma única página. Basta “janelar” um período (em regime!!!) dos graficos obtidos no item c, e apertar o botão FFT.
- Explicar porque a corrente no capacitor ficou deformada ao se ligar o retificador ao sistema.
- Comentar sobre o nível de harmônicos de corrente nos três ramais, e de tensão nos três pontos de acoplamento medidos.

4. Sobreaquecimento do Condutor de Neutro

A figura 3 mostra o circuito contido no arquivo “**exp4C-quali.psimsch**” . Nele estão inseridos:

- carga equilibrada formada por 3 retificadores monofásicos idênticos, conectados entre as fases R, S e T , e o neutro de uma rede trifásica, com valor eficaz de tensão de linha de 220V;
- as impedâncias de linha representadas por Z-fase-R, Zfase-S e Zfase-T

Verificação da elevação do valor eficaz da corrente de neutro

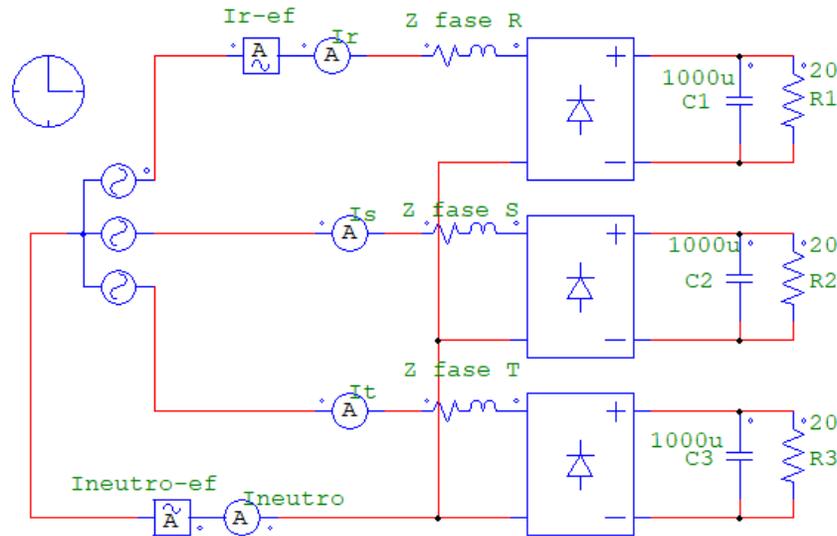


Figura 3: Verificação da elevação do valor eficaz da corrente de neutro (arquivo **exp4C-quali.psimsch**).

Pedem-se:

- Mostrar em quatro gráficos distintos, em uma única página as formas de onda das correntes nas fases r, s, t e no neutro. (Mostrar apenas um período após atingido o regime)
- Mostrar em quatro gráficos distintos, em uma única página os espectros das correntes nas fases r, s, t e no neutro.
- Se as cargas são equilibradas, como é que existe corrente no neutro?
- Quais são os valores das frequências das correntes de fase e de neutro?
- Medir os valores eficazes das correntes na fase R e no neutro, calculando a relação “ $I_{\text{neutro-ef}} / I_{\text{fase-ef}}$ ”
- Provar que se as correntes nas três fases são não-coincidentes, tem-se $I_{\text{neutro-ef}} / I_{\text{fase-ef}} = \sqrt{3}$.
- Comentar a recomendação dos livros antigos de Instalações Elétricas, de se utilizar condutor de neutro com bitola igual ao dos condutores de fase.

5. Bibliografia

- Matakas. Lourenço Jr, Análise de Correntes e Tensões Distorcidas, Apostila, EPUSP-PEA- Versão 2.5, 2017.