

Fator de Potência, Potências Média, Aparente, Reativa e de Distorção Harmônica: Estudo de Caso com Carga Não Linear

José Roberto B. A. Monteiro

Escola de Engenharia de São Carlos
Universidade de São Paulo

12 de março de 2020



Objetivos

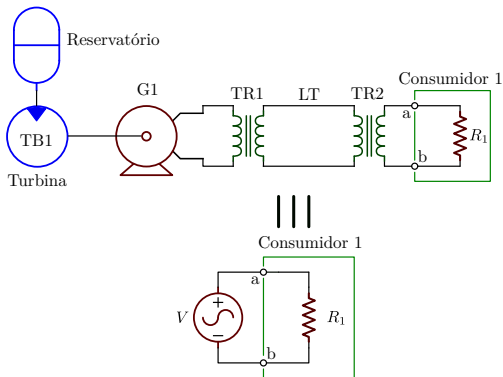
Esta aula tem como objetivos trabalhar com os conceitos matemáticos apresentados na aula anterior, principalmente no que se refere às definições de potência elétrica.

Para isso, pode-se supor dois cenários (casos) simplificados:

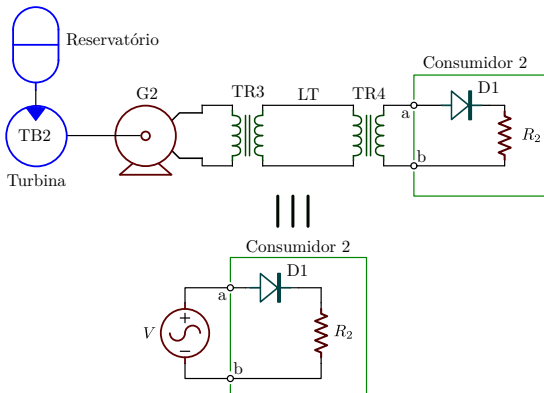
1. Um sistema elétrico com geração, transmissão e distribuição com um consumidor apenas com uma carga resistiva (Consumidor 1); e
2. Um outro sistema elétrico com geração, transmissão e distribuição com um consumidor apenas com uma carga resistiva alimentada através de um diodo (Consumidor 2);



Consumidor 1



Consumidor 2



Consumidores

Cada um dos consumidores é alimentado por um sistema elétrico que consiste desde o gerador elétrico (G1 e G2), os transformadores elevadores (TR1 e TR3), as linhas de transmissão de alta tensão (LT) e os transformadores abaixadores (TR2 e TR4).

Por sua vez, cada gerador elétrico é acionado por uma turbina hidráulica (TB1 e TB2)¹ que por sua vez é alimentada por um reservatório de água.

¹Somente como exemplo, poderia ser outro tipo de fonte de energia.

Questões imediatas

Tem-se que a potência média em R_1 e em R_2 são iguais e valem 1MW; a tensão nos terminais a e b de ambos os consumidores são iguais e valem 13,8kV. Nessas condições, pode-se perguntar:

1. Qual é o valor de R_1 e R_2 ?
2. Qual é o fator de potência visto na fonte V , para cada um dos consumidores?
3. Esse fator de potência seria o mesmo para os transformadores TR1 a TR4?
4. E para os geradores G1 e G2?



Respondendo às questões imediatas

$$P_1 = \frac{V^2}{R_1} \Rightarrow 1 \cdot 10^6 = \frac{13800^2}{R_1} \Rightarrow R_1 = 190,4\Omega$$
$$P_2 = \frac{V^2}{2R_2} \Rightarrow 1 \cdot 10^6 = \frac{13800^2}{2R_2} \Rightarrow R_2 = 95,2\Omega$$



As questões levantadas anteriormente podem ser consideradas como imediatas ou naturais a serem feitas ao se comparar os dois casos. O fator de potência visto pela fonte do Consumidor 1 é igual a 1, pois sua carga é puramente resistiva, sem nenhum componente não linear envolvido. supondo que o Consumidor 1 nunca ultrapasse esses valores e que a perda nos demais componentes de transmissão e distribuição sejam nulas², a potência aparente nos transformadores TR1 e TR2, bem como no gerador G1, é de 1MVA também.

²Supor que as perdas são nulas é uma idealização que é útil somente para simplificações de análise, por isso foram adotadas aqui. Na prática, as perdas devem ser levadas em consideração e sua influência deve ser contabilizada no projeto, porém costumam ser pequenas frente às potências totais.



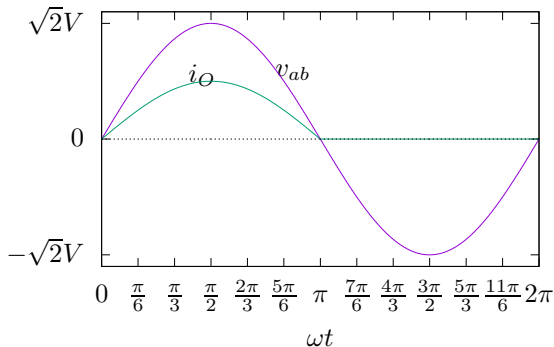
5. Analisando o fator de potência do Consumidor 2, pode-se ver que não existem elementos reativos, dessa forma, é razoável supor que o fator de potência seja unitário também, como no Consumidor 1?

Pode-se responder qualitativamente, com base no que foi apresentado na aula anterior: existindo um componente não linear no circuito, espera-se a introdução de componentes harmônicos na corrente. Mais notadamente, a corrente vai apresentar um valor médio não nulo devido ao diodo, fazendo com que exista essa componente de corrente que contribui para um maior valor eficaz, porém essa componente não gera potência média com a senoide de tensão da rede.



Forma de Onda Consumidor 2

Forma de onda de tensão e de corrente na carga do Consumidor 2



Forma de Onda Consumidor 2

- ▶ Com base na figura anterior, pode-se calcular o valor eficaz da corrente na carga do Consumidor 2 (I_{2R}):

$$P_2 = \frac{V^2}{2R_2} = I_{2R}^2 R_2 \Rightarrow 1 \cdot 10^6 = I_{2R}^2 \cdot 95,2 \Rightarrow I_{2R} = 102,49\text{A}.$$

- ▶ A corrente no Consumidor 1: $P_1 = \frac{V^2}{R_1} = I_{1R}^2 R_1 \Rightarrow I_{1R} = 72,5\text{A}.$
- ▶ Portanto: $S_1 = V \cdot I_{1R} = 1\text{MW}$ e $S_2 = 1,4142\text{MW}.$
- ▶ E, finalmente: $fp_1 = 1$ e $fp_2 = 0,7071.$

Mesmo não havendo nenhum elemento reativo, o fator de potência não é unitário.



- ▶ Os fatores de potências de G1, TR1 e TR2 são também unitários, considerando que a linha não insira nenhum tipo de reatância, ou que seja desprezível. O mesmo para G2, TR3 e TR4, que possuem fator de potência 0,7071.
- ▶ Para atender o Consumidor 1, G1, TR1 e TR2 devem ser de 1MVA.
- ▶ Para atender o Consumidor 2, G2, TR2 e TR4 devem ser de 1,4142MVA.
- ▶ Toda a fiação, incluindo enrolamento dos geradores e transformadores precisam ter bitola maior para o Consumidor 2, para manter as perdas por condução no mesmo patamar.



- ▶ No entanto, ambos consomem 1MW de potência, o que significa que para um mesmo intervalo de tempo, será consumido o mesmo volume de água em cada reservatório.
- ▶ Ao intervalo de 30 dias, cada um terá consumido $1 \cdot 10^6 \text{W} \cdot 24 \cdot 30 = 720.000 \text{kWh}$.



Mais questões

6. Ambos deveriam ser tarifados com o mesmo valor?
7. O investimento na infraestrutura no parque de equipamentos do sistema elétrico foi o mesmo para os dois consumidores?
8. Qual deles “aproveita” melhor o parque de equipamentos?
9. Com base nas respostas anteriores, o que é indicado através do valor do fator de potência?
10. Como o Consumidor 2 por melhorar seu fator de potência?



Conclusões

- ▶ Nessa aula foi analisado um caso onde existe um elemento não linear na carga e suas consequências no fator de potência.
- ▶ Foi debatido o significado do fator de potência como um índice que aponta a melhor utilização do parque de equipamentos do sistema elétrico.
- ▶ Pode-se constatar que mesmo sem elementos reativos, o fator de potência pode não ser unitário.

