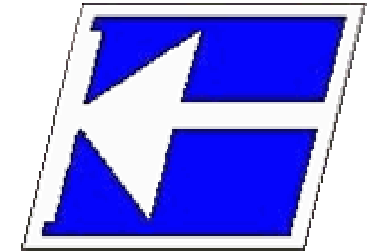


Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina

Departamento de Eletrônica

Retificadores



Correção de fator de potência

Clóvis Antônio Petry, professor.

Florianópolis, abril de 2007.

Bibliografia para esta aula



Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina
Gerência Educacional de Eletrônica



Prof. Fernando Luiz Rosa Mussoi

Terceira Edição

Florianópolis – Março, 2006.

DEIVIS BORGONOVO

*ANÁLISE MODELAGEM E CONTROLE DE
RETIFICADORES PWM TRIFÁSICOS*

FLORIANÓPOLIS

2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação
Departamento de Sistemas e Controle de Energia

Pré-reguladores de Fator de Potência

José Antenor Pomílio

Publicação FEE 03/95
Revisado e atualizado em Janeiro de 2007

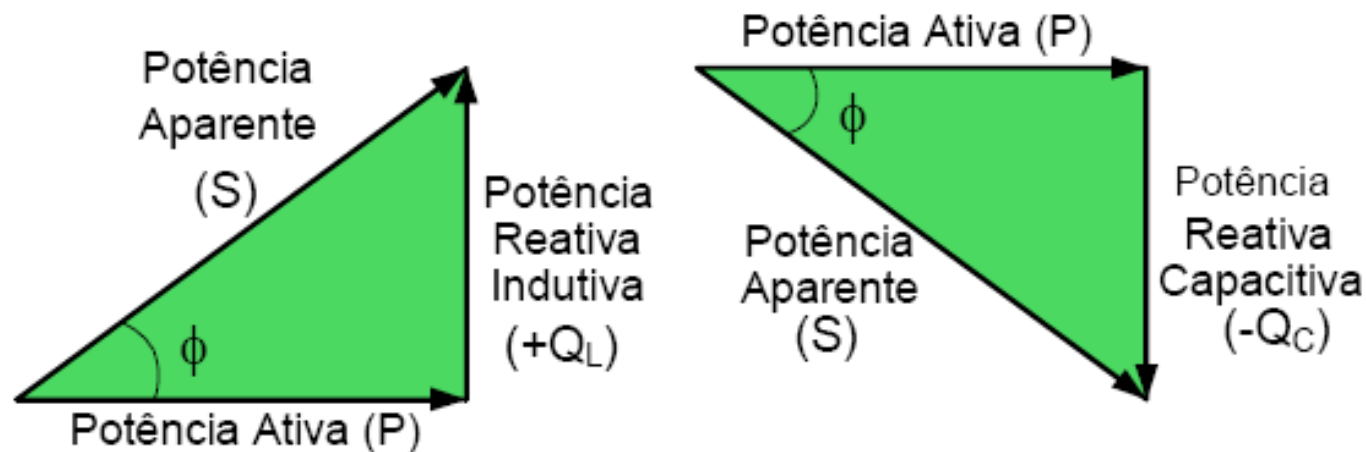
Nesta aula

Seqüência de conteúdos:

1. Resumo das relações de potência nos elementos passivos;
2. Conceito de correção de fator de potência;
3. Correção passiva;
4. Correção ativa.

Resumo das relações de potências

| Potência Ativa no Resistor R | Potência Reativa no Capacitor C | Potência Reativa no Indutor L | Potência numa Impedância Mista Z |
|---|---|---|--|
| $P_R = V_{efR} \cdot I_{efR}$ $P_R = R \cdot I_{efR}^2$ $P_R = \frac{V_{efR}^2}{R}$ | $Q_C = V_{efC} \cdot I_{efC}$ $Q_C = X_C \cdot I_{efC}^2$ $Q_C = \frac{V_{efC}^2}{X_C}$ | $Q_L = V_{efL} \cdot I_{efL}$ $Q_L = X_L \cdot I_{efL}^2$ $Q_L = \frac{V_{efL}^2}{X_L}$ | $P_Z = S \cdot \cos \phi$ $Q_Z = S \cdot \text{sen} \phi$ $S = V_{ef} \cdot I_{ef}$ $\dot{S} = S \angle \phi = P + jQ$ $\dot{S} = \dot{V} \cdot \dot{I}^*$ |



Conceito de fator de potência

Fator de potência:

- Relação entre a potência ativa (P) e a potência aparente (S).

$$FP = \frac{P}{S} \quad P = S \cdot \cos \phi \quad FP = \cos \phi = \left(\frac{P}{S} \right)$$

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{\frac{1}{T} \int v_i(t) \cdot i_i(t) \cdot dt}{V_{RMS} \cdot I_{RMS}}$$

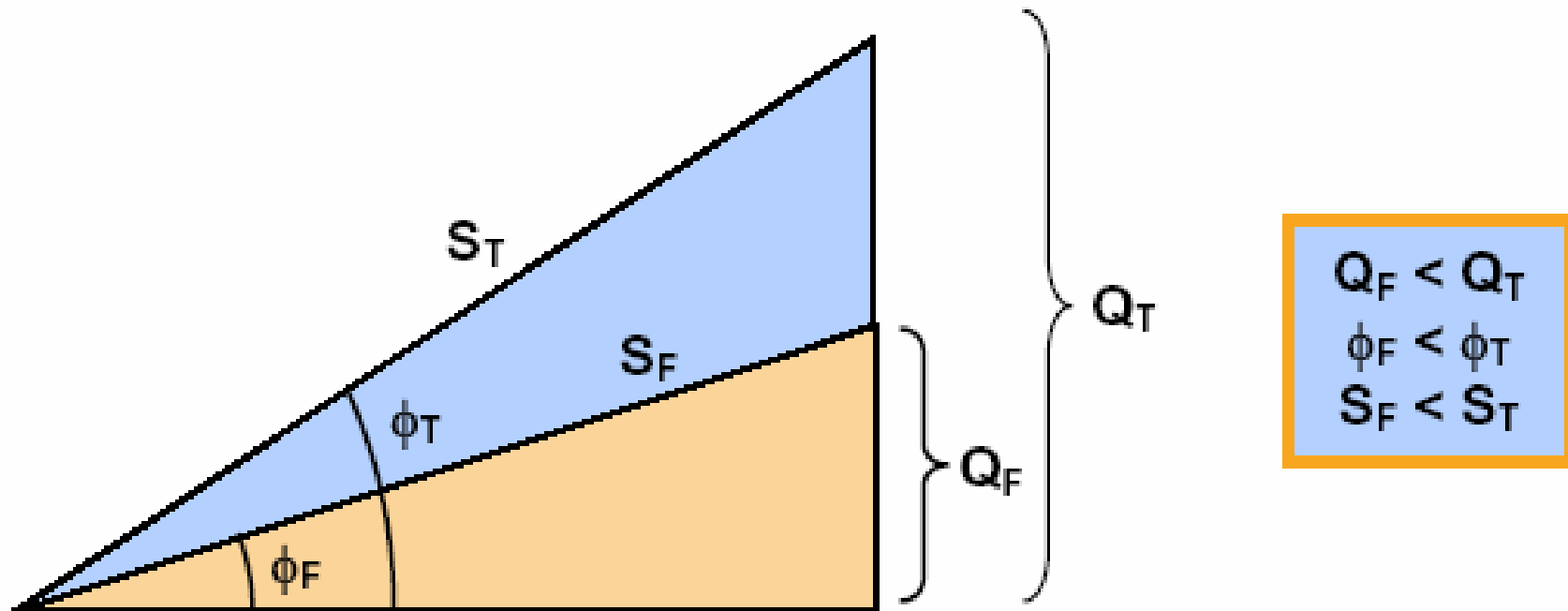
Conceito de fator de potência

- O fator $\cos\phi$ é, conhecido como **fator de deslocamento**, e somente é igual ao Fator de Potência quando o sinal é **puramente senoidal**.
- O fator de potência pode ser determinado diretamente da fase (ϕ) da Impedância Equivalente;
- O fator de potência não-unitário deve ser indicado como indutivo (em atraso) ou capacitivo (em avanço).
- O fator de potência é uma medida do aproveitamento da energia fornecida pela fonte à carga:
 - carga puramente resistiva ($\phi = 0^\circ$) $\Rightarrow \cos\phi = 1$ (FP = 1)
 - carga puramente indutiva ($\phi = +90^\circ$) $\Rightarrow \cos\phi = 0$ (FP = 0)
 - carga puramente capacitiva ($\phi = -90^\circ$) $\Rightarrow \cos\phi = 0$ (FP = 0)
 - carga mista ($-90^\circ < \phi < +90^\circ$) $\Rightarrow 0 < \phi < 1$ ($0 < \text{FP} < 1$)

Correção de fator de potência

Correção de fator de potência:

- Introduzir elementos no circuito para tornar o fator de potência o mais próximo possível de 1.



Correção de fator de potência

Exemplo:

- Um motor elétrico de 10 CV de potência mecânica, cujo fator de potência é de 0,75 apresenta um rendimento de 90% e é alimentado a partir da rede de 220 Vef. Determine:
 - a) O triângulo de potência para este motor;
 - b) O capacitor ideal que deve ser conectado em paralelo ao motor para corrigir o fator de potência para 0,92, segundo as normas brasileiras;
 - c) A variação no nível de corrente para o sistema não compensado e compensado.

Correção de fator de potência

Potência ativa do motor:

$$1\text{CV} = 736\text{W}$$

$$P_{\text{mec}} = 736 \cdot 10 = 7360\text{W}$$

$$\eta(\%) = \frac{P_{\text{mec}}}{P_{\text{eletrica}}} \cdot 100$$

$$P_{\text{eletrica}} = \frac{7360}{90} \cdot 100 = 8177,8\text{W}$$

Correção de fator de potência

Potência aparente e reativa do motor:

$$P = S \cdot \cos \phi$$

$$S = \frac{P}{\cos \phi} = \frac{8177,8}{0,75} = 10903,7\text{VA}$$

$$\phi = \cos^{-1}(0,75) = 41,41^\circ$$

$$Q = S \cdot \sin \phi = 10903,7 \cdot \sin(41,41^\circ) = 7212,1\text{VAr}$$

Correção de fator de potência

Correção do fator de potência de 0,75 para 0,92:

$$\phi_F = \cos^{-1}(0,92) = 23,07^\circ$$

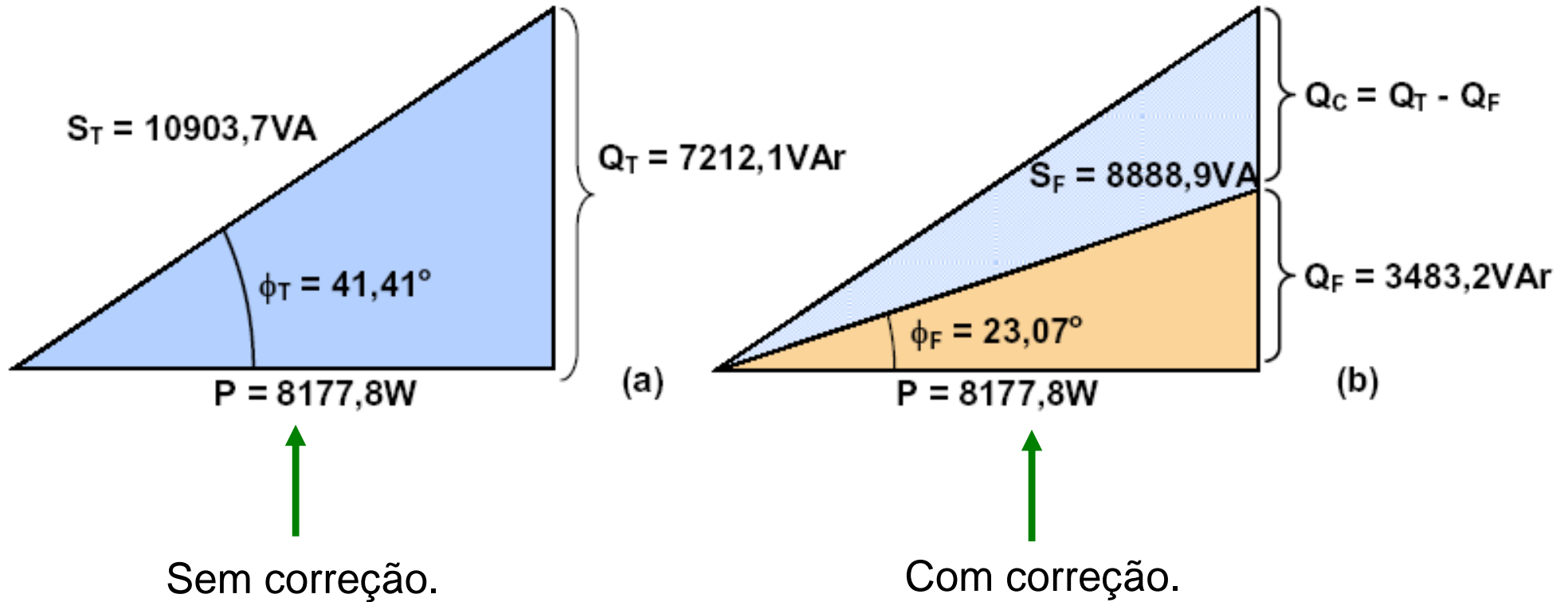
$$S_F = \frac{P_F}{\cos \phi_F} = \frac{8177,8}{0,92} = 8888,9\text{VA}$$

Potência ativa não muda.

$$Q_F = S_F \cdot \sin \phi_F = 8888,9 \cdot \sin(23,07^\circ) = 3483,2\text{VAr}$$

Correção de fator de potência

Triângulo das potências:



Correção de fator de potência

Escolha do capacitor:

$$Q_C = Q_T - Q_F = 7212,1 - 3483,2 = 3728,9 \text{ VAr}$$

$$Q_C = \frac{V_{\text{efC}}^2}{|X_C|} = \frac{V_{\text{efC}}^2}{\left| \frac{1}{\omega C} \right|} = V_{\text{efC}}^2 \cdot (\omega C) = V_{\text{efC}}^2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f \cdot C)$$

$$C = \frac{Q_C}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot V_{\text{efC}}^2} = \frac{3728,9}{2 \cdot \pi \cdot 60 \cdot 220^2} = 204 \mu\text{F}$$

Correção de fator de potência

Corrente antes e depois da correção:

Antes da correção.

$$I_{\text{efT}} = \frac{S_T}{V_{\text{ef}}} = \frac{10903,7}{220} = 49,6\text{A}$$

Depois da correção.

$$I_{\text{efF}} = \frac{S_F}{V_{\text{ef}}} = \frac{8888,9}{220} = 40,4\text{A}$$

Formas de correção de fator de potência

Correção passiva de fator de potência:

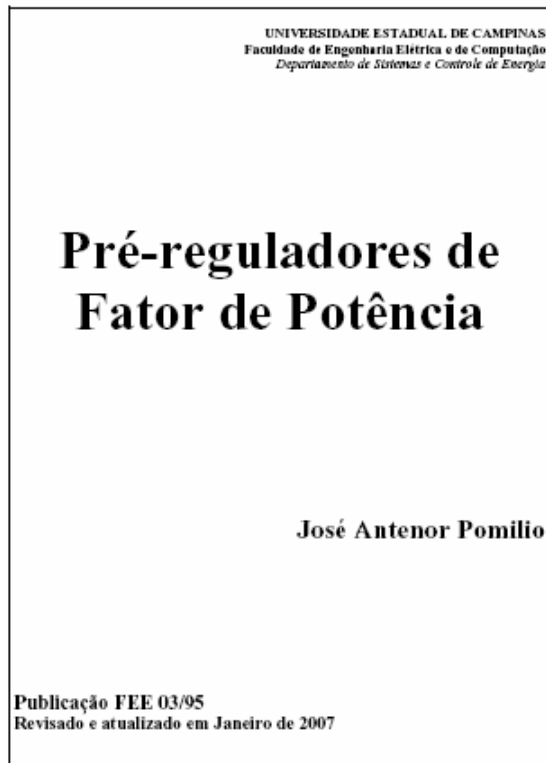
- Introduzir elementos passivos (resistores, capacitores, indutores) para aumentar o fator de potência;
- Se o fator de potência da carga mudar, o circuito compensador projetado se tornará ineficiente;
- Circuitos passivos são robustos, mas são volumosos e pesados.

Correção ativa de fator de potência:

- Introduzir elementos ativos (conversores) para aumentar o fator de potência;
- Se o fator de potência da carga mudar, o circuito compensador poderá se ajustar e continuar eficiente;
- Circuitos ativos são menos robustos, mas são mais leves e menos volumosos.

Correção passiva e ativa

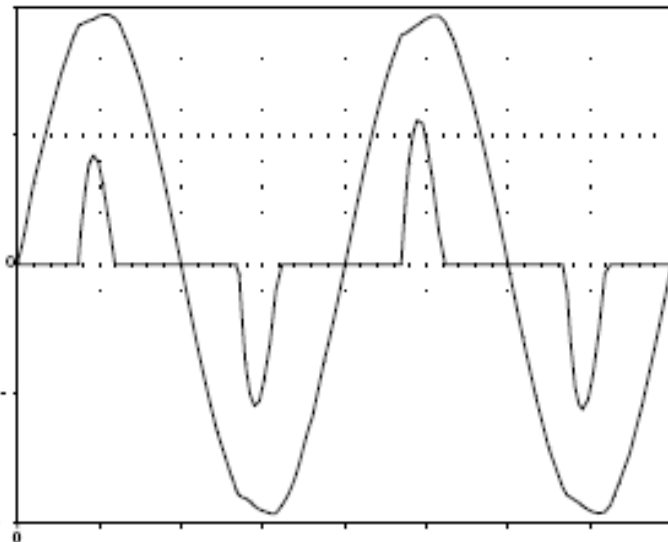
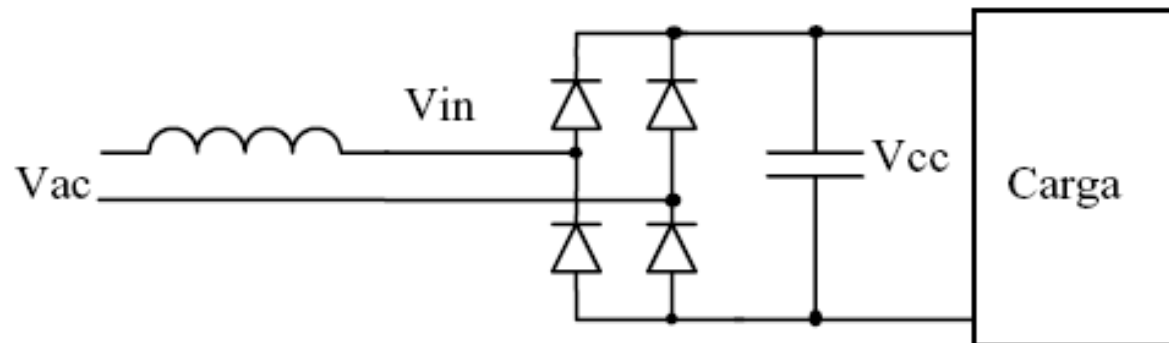
Material de apoio, disponível em:



<http://www.dsce.fee.unicamp.br/%7Eantenor/pfp.html>

Correção passiva e ativa, a necessidade

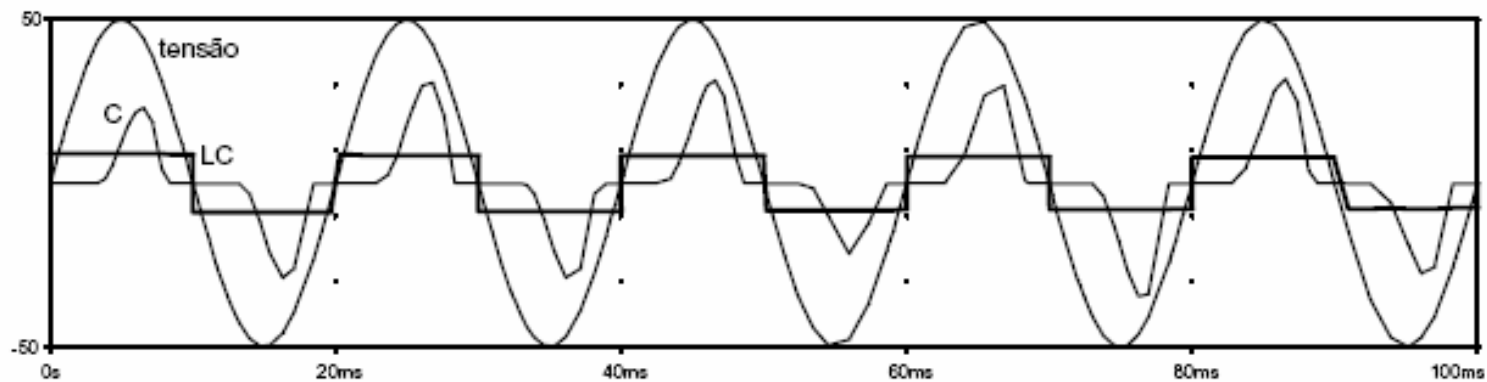
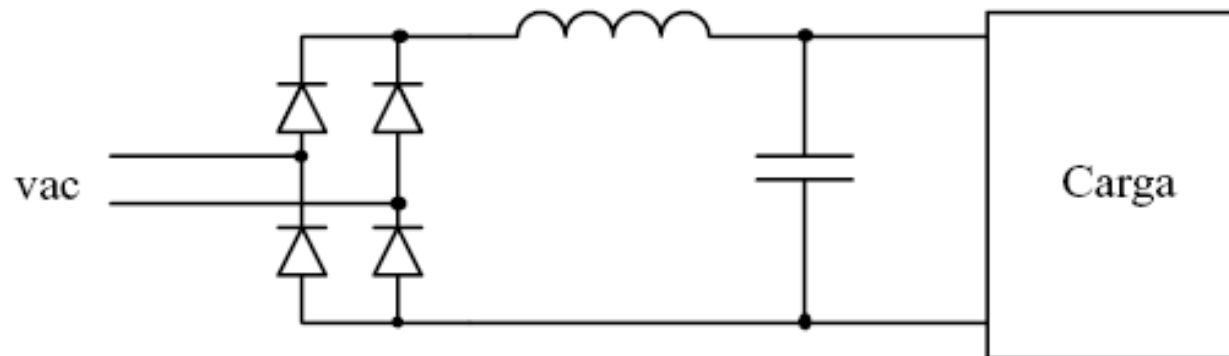
Carga não-linear (fontes lineares e fontes chaveadas):



| | Convencional | PFP |
|---------------------|--------------|---------|
| Potência disponível | 1440 VA | 1440 VA |
| Fator de potência | 0,65 | 0,99 |
| Eficiência do PFP | 100% | 95% |
| Eficiência da fonte | 75% | 75% |
| Potência disponível | 702 W | 1015 W |

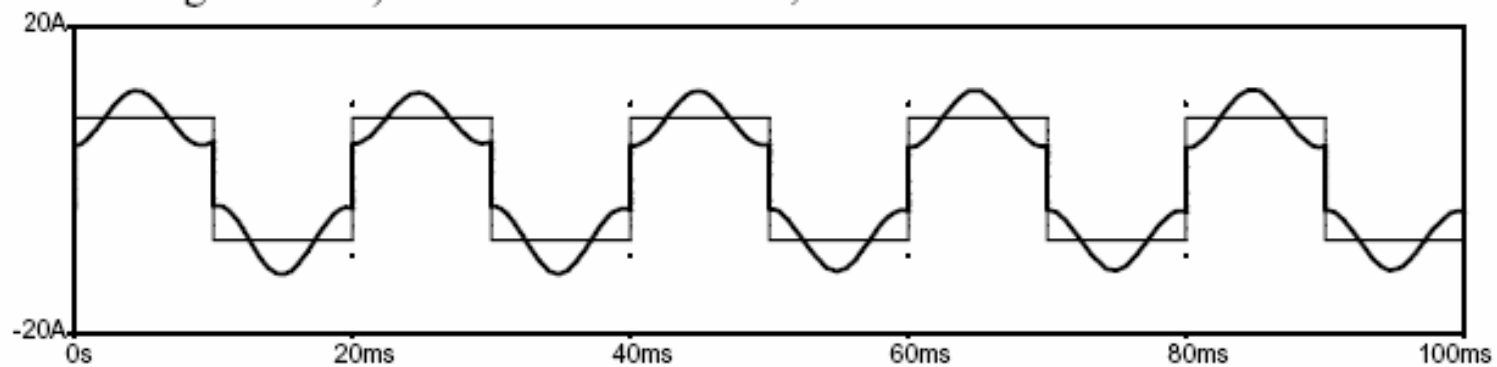
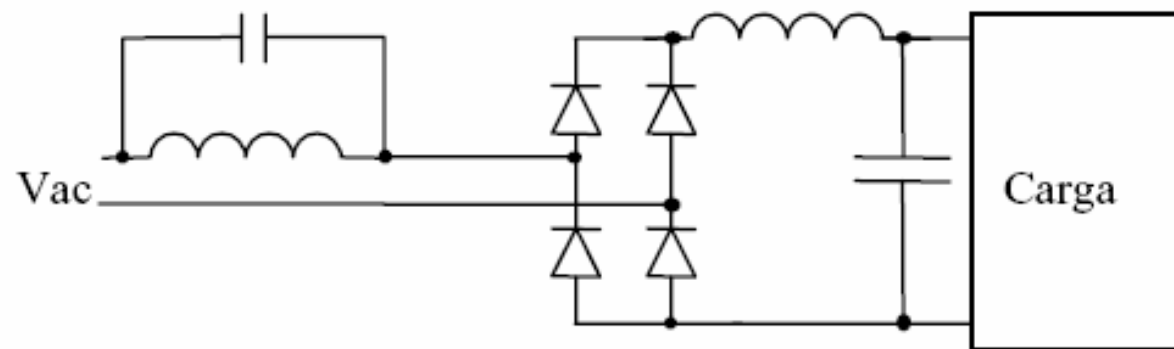
Correção passiva

Inserção de um filtro LC na saída do retificador:



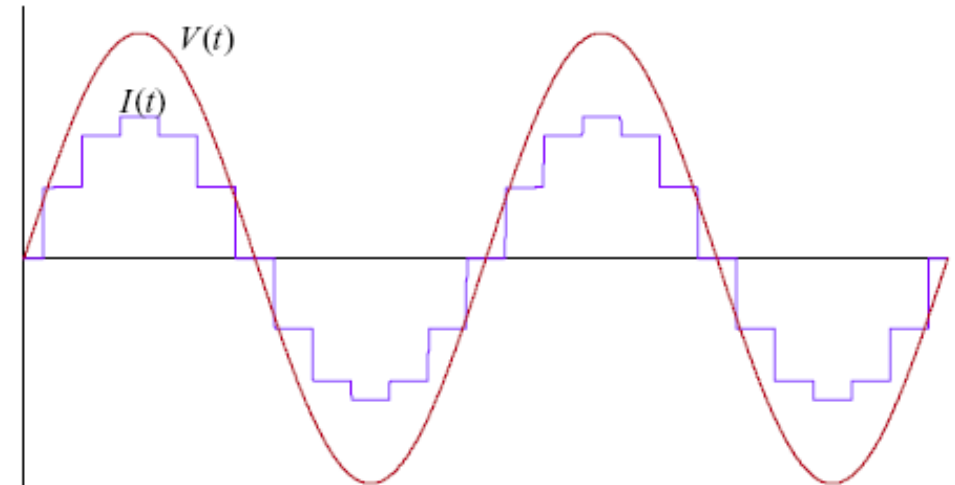
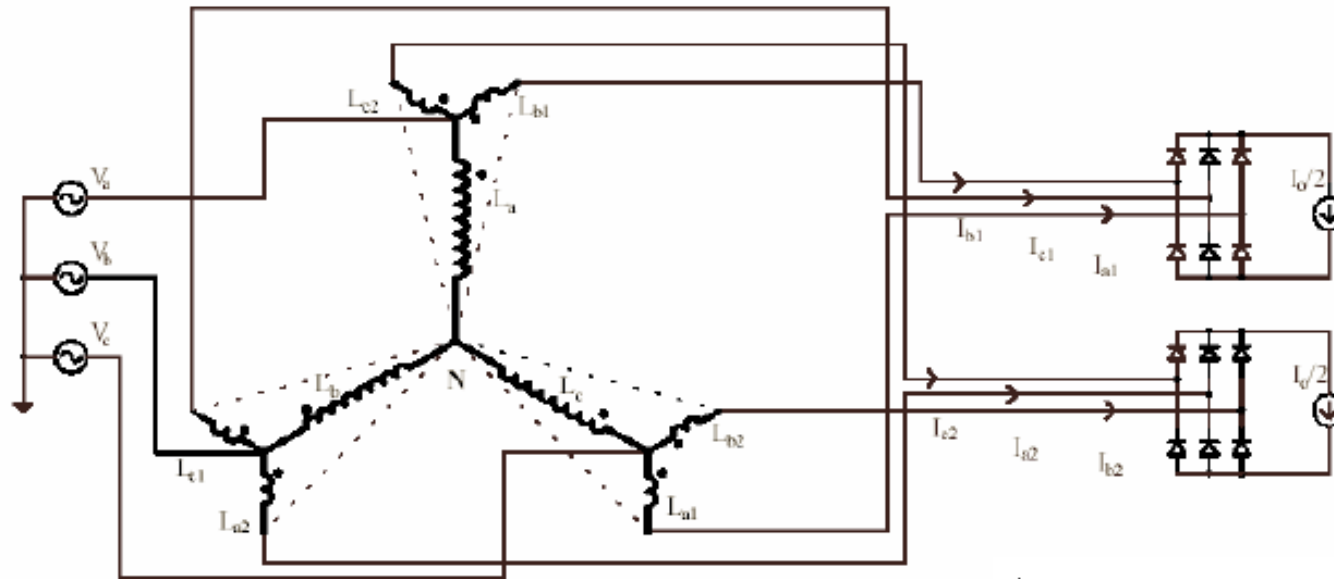
Correção passiva

Inserção de um filtro LC na entrada do retificador, sintonizado em 180 Hz:



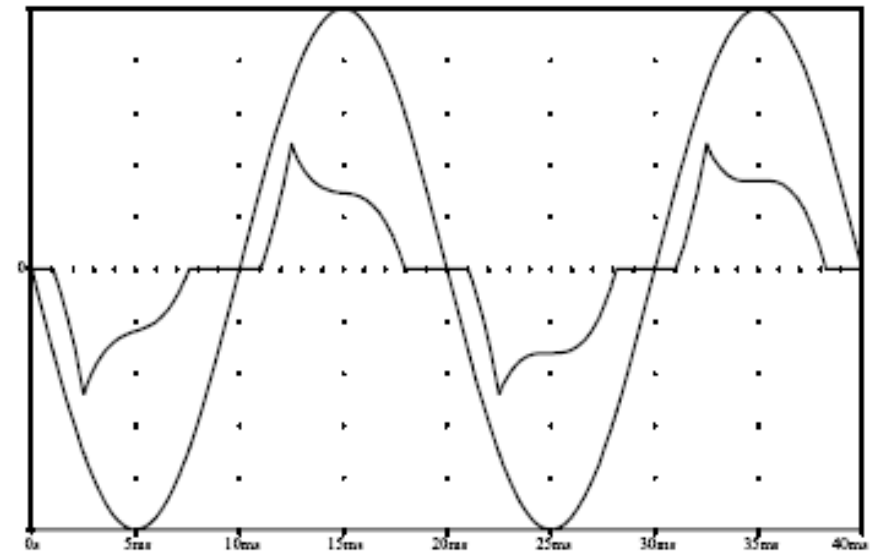
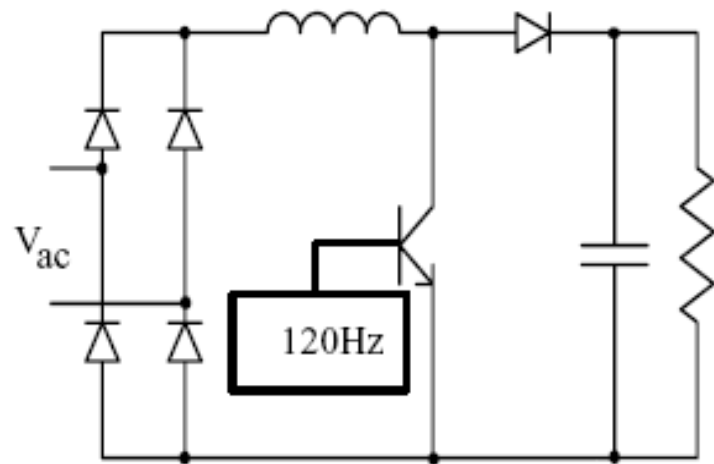
Correção passiva

Retificador de múltiplos pulsos:



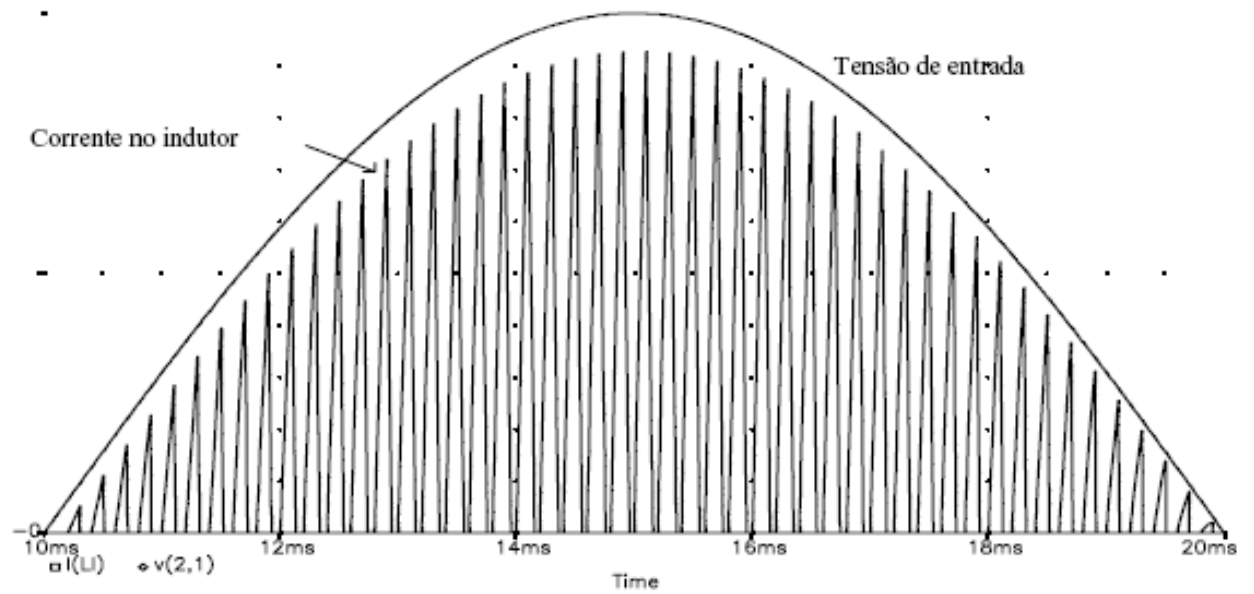
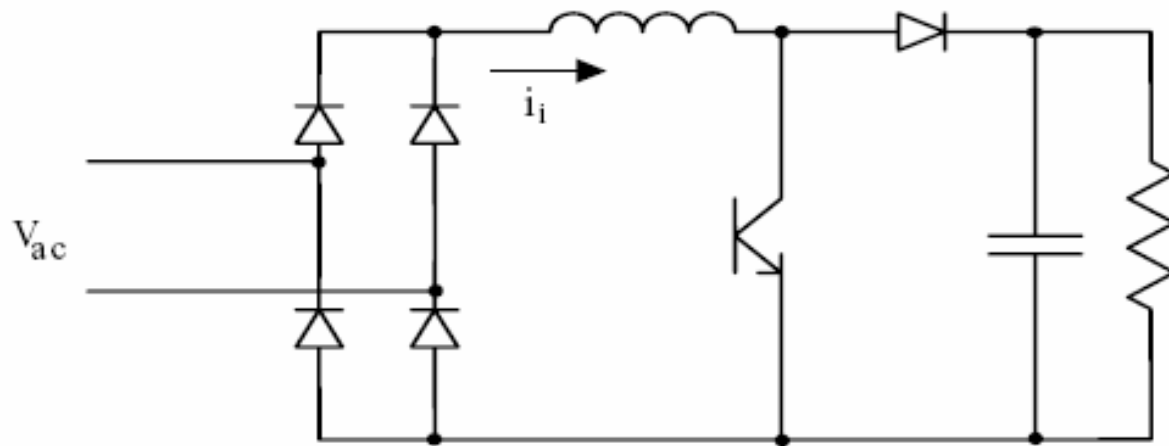
Correção ativa

Inserção de um conversor operando em baixa frequência:



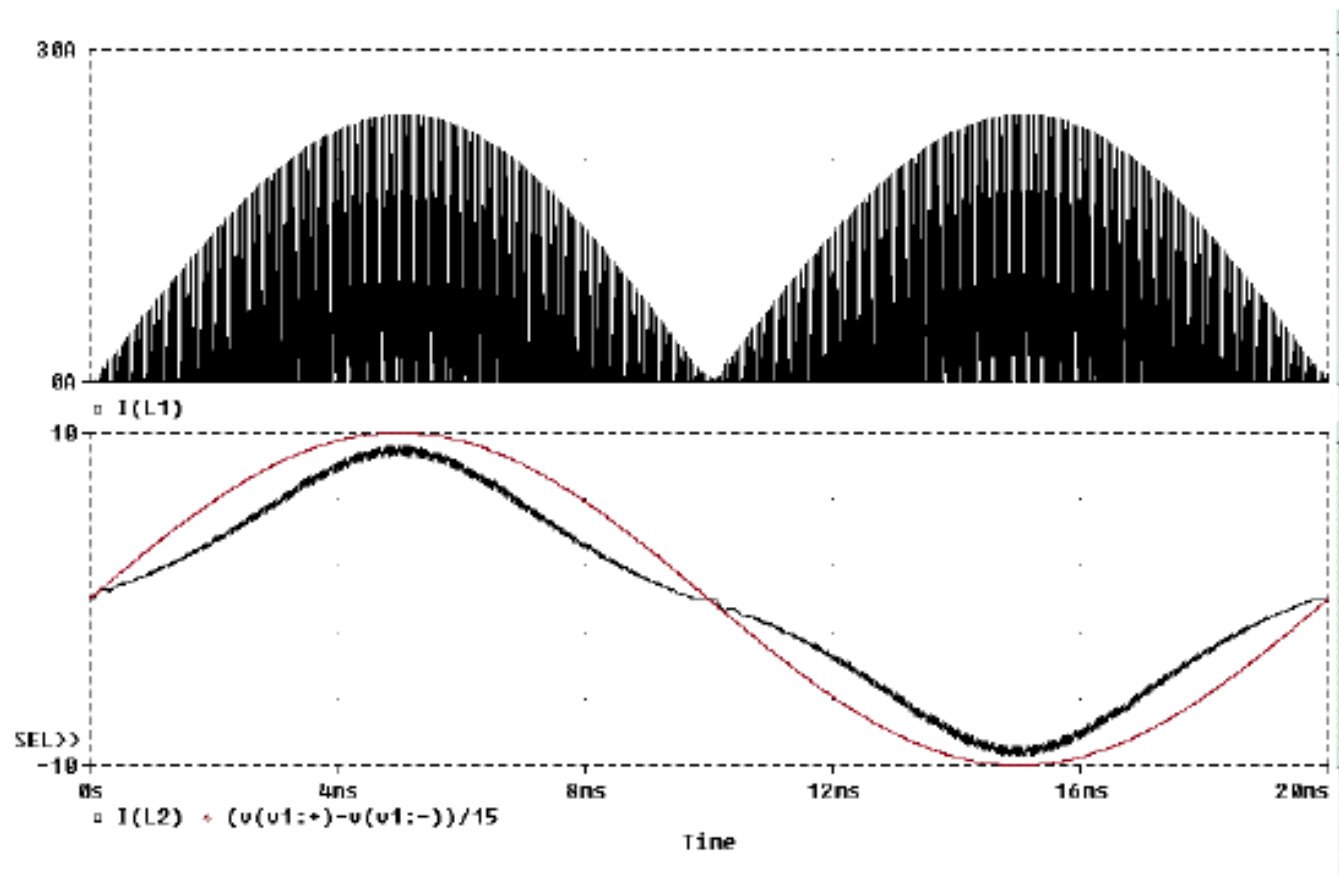
Correção ativa

Uso de um conversor elevador de tensão (Boost):



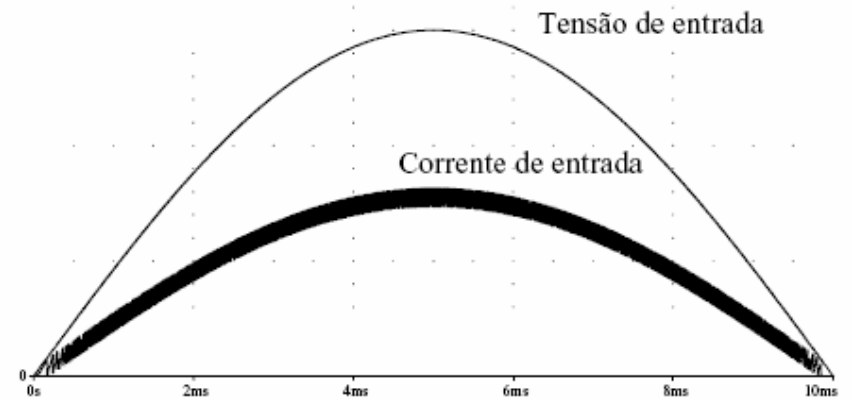
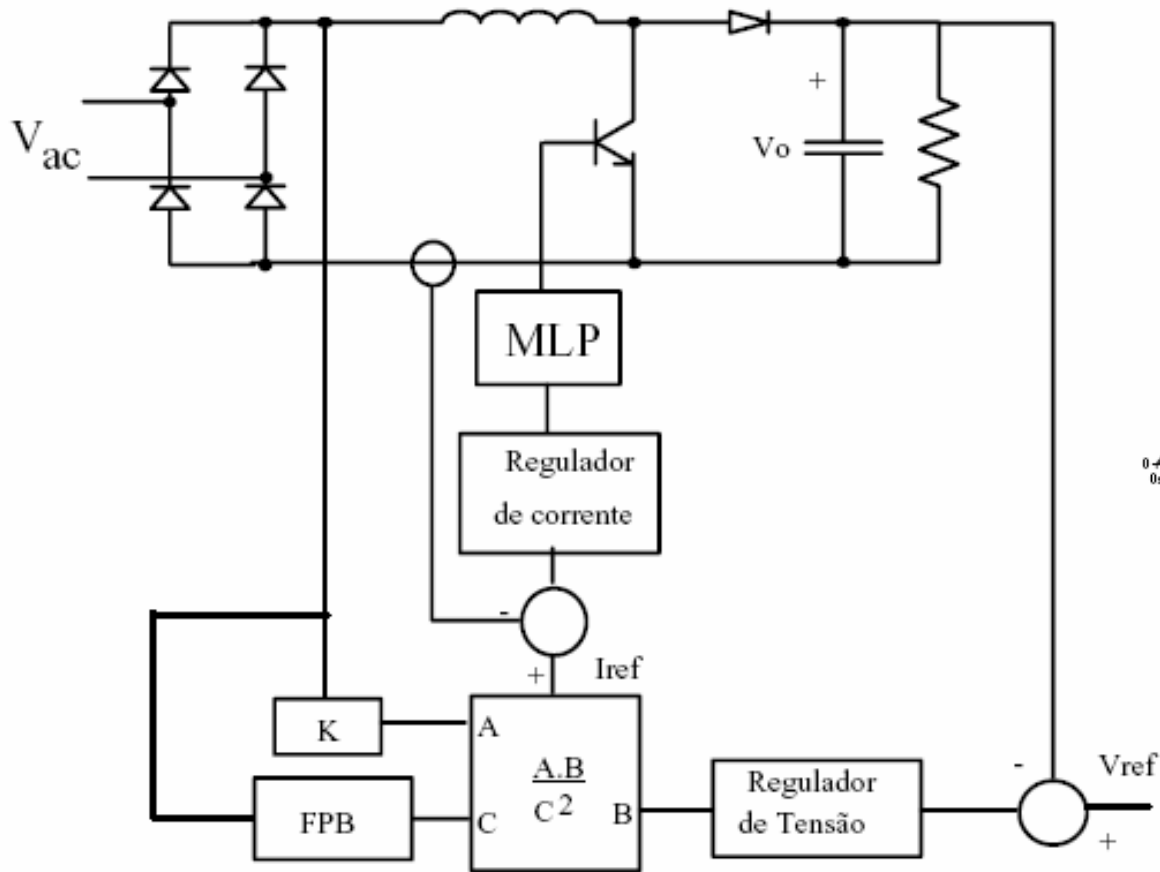
Correção ativa

Uso de um conversor elevador de tensão (Boost):



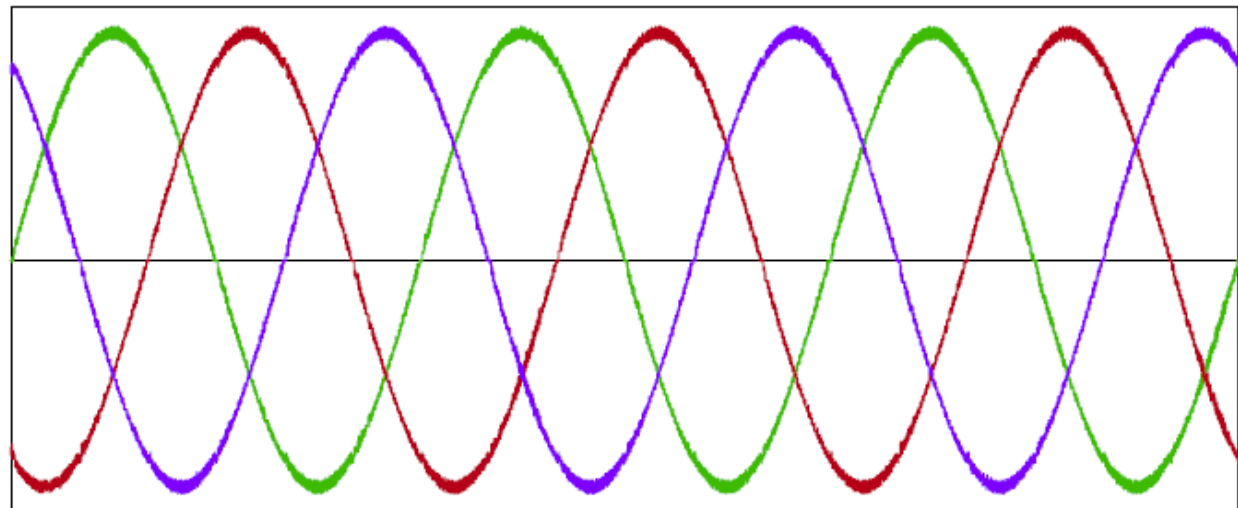
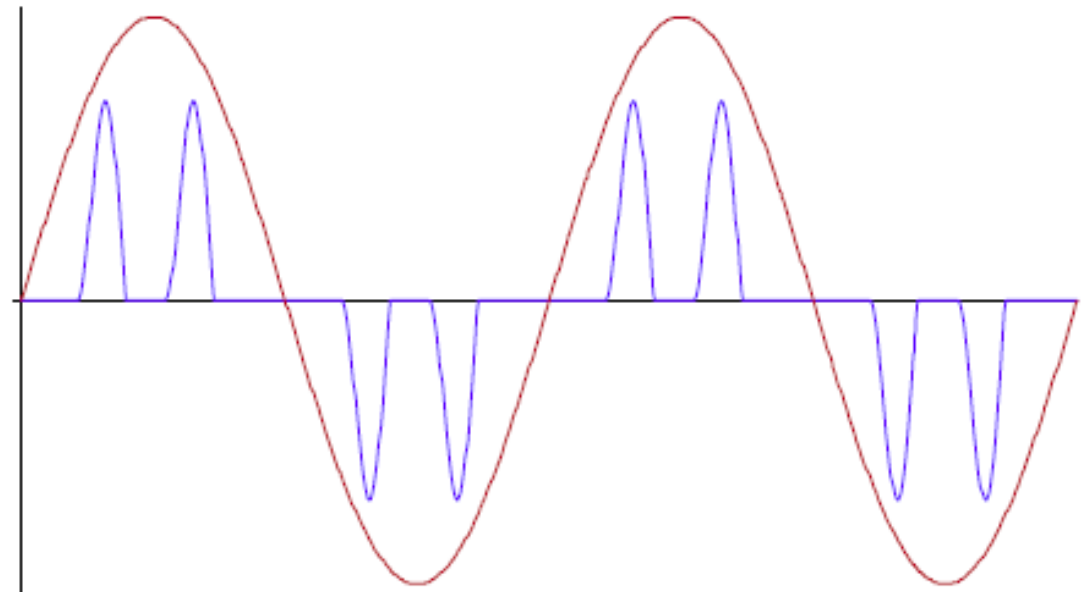
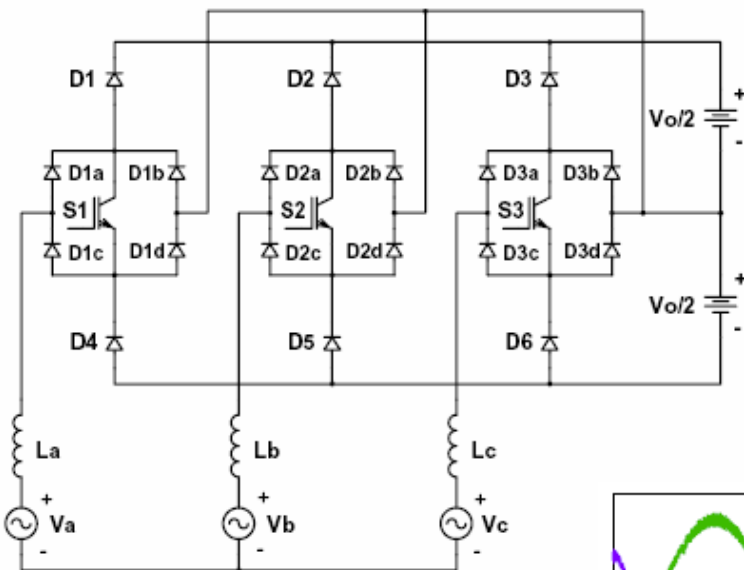
Correção ativa

Uso de um conversor elevador de tensão (Boost):

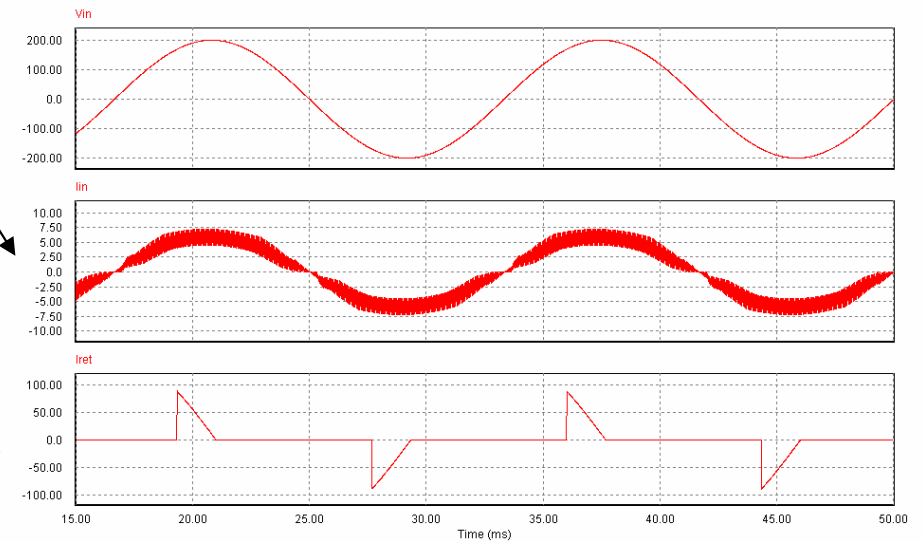
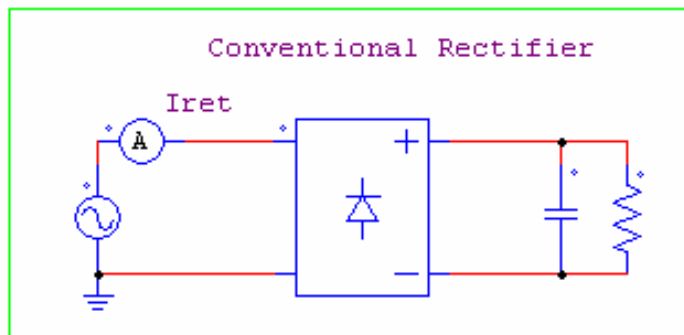
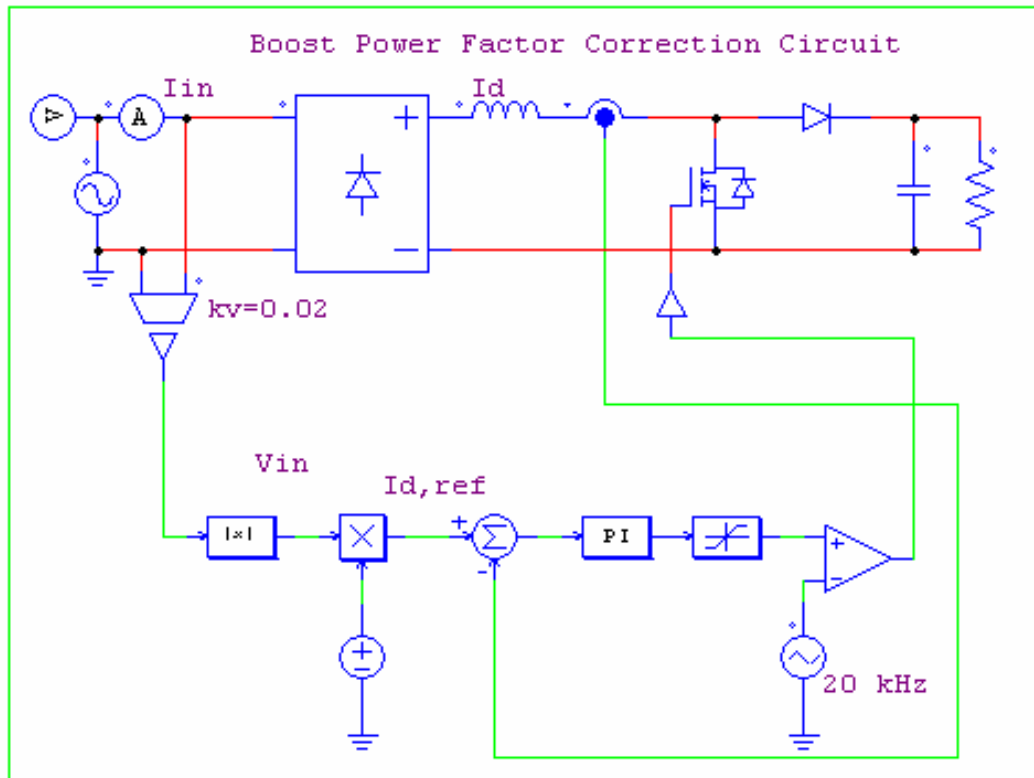


Correção ativa

Conversores trifásicos:



Simulação usando PSIM



Na próxima aula

Seqüência de conteúdos:

1. Laboratório.