

FILTROS ATIVOS: UMA ABORDAGEM COMPARATIVA

Héctor Arango José Policarpo G. Abreu Adalberto Candido

Instituto de Engenharia Elétrica - EFEI
Av. BPS, 1303 - 37500-000 - Itajubá (MG)
e-mail: arango@iee.efei.rmg.br

Resumo - O objetivo deste artigo é efetuar uma comparação entre os filtros ativos que operam sem e com elemento armazenador. Conclui-se da mesma que cada um dos tipos apresenta vantagens e desvantagens que exigem uma análise específica para cada caso particular.

Palavras-Chaves - Distorções - Mitigações - Filtro Ativo.

Abstract - In this paper a comparison is made between active filters having or not having energy storage elements. It is concluded that each type has advantages and disadvantages which impose on specific analysis for each particular case.

Keywords - Distortion - Mitigation - Active Filter.

1. INTRODUÇÃO

A partir dos anos oitenta popularizaram-se métodos de compensação baseados no objetivo de cancelar aquela parcela da corrente de carga que não está associada ao transporte de energia e que, justamente por isso, pode ser vista como supérflua.

Entretanto, identificar a parcela supérflua requer uma definição do que é não-supérfluo, no vetor de corrente \underline{i} absorvida pela carga. É claro que este componente não supérfluo deve transportar a mesma energia que a corrente total, desde que se ela for menor não atenderia as necessidades da carga, e se for maior seria, supérflua por antonomásia.

Isto posto, a indagação recai no conjunto dos vetores-corrente que transportem a mesma energia que \underline{i} . Estes vetores se diferenciam, entretanto, em relação às perdas que acontecem durante sua passagem pelo sistema de fornecimento (uma linha, por exemplo).

Parece natural assumir que o vetor capaz de transferir a energia em questão com menor perda é, precisamente, a parte não supérflua de \underline{i} . Com efeito, desde que o tamanho da linha é determinado pelas perdas, o vetor não supérfluo é aquele que ocupa a mínima capacidade de transmissão e requer, portanto um menor investimento. Pelo contrário, um vetor que induz perdas maiores exige um investimento também maior para transferir a mesma energia havendo assim um custo adicional que é, no senso de eficiência, desnecessário.

Conquanto o raciocínio anterior pareça convincente, existe em elemento ambíguo nele, no que diz respeito ao intervalo computado para avaliar a energia transportada. Sabe-se que a energia de uma carga trifásica linear e balanceada, alimentada por uma tensão senoidal simétrica é absorvida a um ritmo (potência) constante.

E bem conhecido, também, o fato de que desvios deste padrão de fornecimento determinam alterações no ritmo de transferência, isto é, flutuações na potência circulando para a carga.

O componente supérfluo da corrente está intimamente ligado a estas flutuações de potência de modo que o conceito de compensação baseado em gerar a parcela supérflua da corrente pode ser reformulado no sentido de gerar a parcela flutuante da potência a ela associada.

2. A DECOMPOSIÇÃO DA CORRENTE DISTORCIDA

Dada uma carga, caracterizada pela absorção de uma corrente instantânea

$$\underline{i}(t)$$

é possível definir analiticamente a parcela \underline{i}_p de mínimas perdas e igual potência instantânea através do problema

$$\begin{aligned} \|\underline{i}_p\|^2 &= \min \\ \text{sujeito a } \underline{v}^t \underline{i}_p &= P \end{aligned}$$

A solução pode ser obtida pelo método de Lagrange

$$\underline{i}_p = \frac{P}{\|\underline{v}\|^2} \cdot \underline{v}$$

Note-se que a corrente remanescente

$$\underline{i}_q = \underline{i} - \underline{i}_p$$

não transporta nenhuma potência instantânea e portanto, um filtro que injete \underline{i}_q não requer elemento de armazenagem. Todavia, é possível definir uma outra parcela de \underline{i}_p de mínimas perdas, ligeiramente diferente no sentido de que não se exige de \underline{i}_p igual a potência instantânea, mas apenas que transporte a mesma potência média.

$$P = AV(p)$$

onde "AV" representa o valor médio (Average) de p.

A solução do problema

$$\begin{aligned} \|\underline{i}_p\|^2 &= \min \\ \text{sujeito a } AV(\underline{v}^t \underline{i}_p) &= P \end{aligned}$$

pode ser obtida como

$$\underline{i}_p = \frac{P}{V^2} \underline{v}$$

onde

$$V^2 = AV(\|\underline{v}\|^2)$$

é o valor médio quadrático, ou eficaz (RMS) da tensão.

Note-se que agora a corrente remanescente

$$\underline{i}_q = \underline{i} - \underline{i}_p$$

transporta a potência instantânea

$$p_Q = \underline{v}^t \underline{i}_q = P - \underline{v}^t \underline{i}_p = p - \underline{P} \frac{\|\underline{v}\|^2}{V}$$

que tem, obviamente, um valor médio zero.

Expressando a potência p como soma do valor médio e de uma parcela oscilatória \tilde{P} , chega-se a

$$P_Q = \underline{P} + \tilde{p} \frac{\|\underline{v}\|^2}{V^2} = \tilde{p} + \underline{P} \left(-1 \frac{\|\underline{v}\|^2}{V^2} \right)$$

esta potência deve ser fornecida por um elemento de armazenagem que faça parte do filtro quando este injete \underline{i}_p em vez de \underline{i}_p . Na prática, a tensão está muito menos distorcida que a corrente, e portanto o segundo termo da resulta pequeno em relação ao primeiro. Assim, o tamanho do elemento de armazenagem pode ser avaliado a partir do componente oscilatório da potência instantânea.

3. CONSIDERAÇÃO SOBRE AS MODALIDADES DE FILTRAGEM

A injeção de \underline{i}_q ou \underline{i}_Q implica em duas políticas de compensação, cada uma das quais tem vantagens e desvantagens.

No essencial, a principal qualidade oferecida por um filtro ativo que trabalha injetando \underline{i}_q é que esta injeção acontece sem transferência de potência instantânea alguma, e portanto não há necessidade de um elemento de armazenagem que possa emprestar a energia transistoriamente cedida à rede (e que em outra parte do ciclo retornará ao elemento)

Em contrapartida, existem dois aspectos negativos: em primeiro lugar, como resulta da expressão de \underline{i}_p , esta corrente vai conter harmônicas que não existem em \underline{v} ou \underline{i} ; a verdade, os harmônicos de \underline{i}_p podem-se estender até ordens bem maiores que os máximos da tensão e/ou da corrente.

Isto será comprovado no exemplo da seção 3.

Em segundo lugar, deve-se observar que

$$\|\underline{i}_Q\| \leq \|\underline{i}_q\|$$

que pode ser demonstrado analiticamente ou aceito de modo intuitivo a partir do fato de que \underline{i}_Q é no mínimo sujeito a uma condição mais branda do que \underline{i}_q .

Distarte, ter-se-à

$$FP_q = \frac{\|\underline{i}_Q\|}{\|\underline{i}_q\|} \leq 1$$

ou seja, em geral, o filtro que injeta \underline{i}_q não consegue levar o fator de potência ao seu valor ideal.

Pelo contrário, o filtro que injeta \underline{i}_Q precisa de um elemento de armazenagem, o que é um aspecto negativo, contudo, os harmônicos e injetar limitam-se àqueles já naturalmente contidos em \underline{v} , \underline{i} .

A seguir, desenvolver-se-á um exemplo simples de uma carga linear e desequilibrada, onde é possível visualizar de um modo bastante claro as diferenças apresentadas pelas duas técnicas de compensação analisadas:

4. EXEMPLO COMPARATIVO DAS MODALIDADES DE FILTRAGEM

Com a finalidade de evitar que a superposição de distorções de várias origens possa escurecer a interpretação dos resultados, considerar-se-á um caso particularmente simples onde não existem elementos reativos na carga, e a tensão aplicada é ideal.

Mostrar-se-á que o desequilíbrio da carga por si só, permite apreciar comportamentos bastante diferenciados para as duas modalidades de filtragem explicitadas na seção anterior.

Seja pois o circuito da Fig. 1

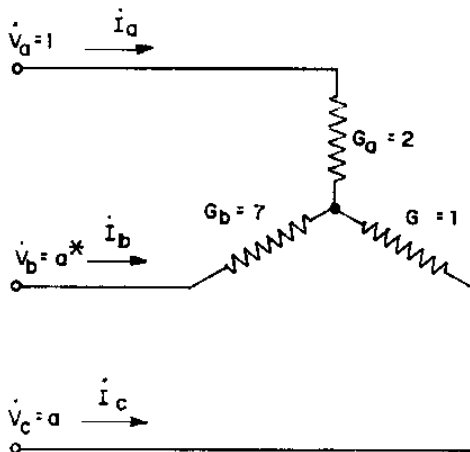


Fig. 1 - Representação da Carga do Exemplo.

O cálculo do vetor das correntes em coordenadas de seqüência resulta:

$$\underline{j} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{5}{4}\sqrt{3} \\ \frac{1}{4}\sqrt{3} \end{bmatrix}$$

A partir da qual resulta uma potência instantânea definida por

$$P = \frac{15}{4}$$

$$\tilde{p} = \frac{3}{4} \cdot \cos 2\omega t$$

E uma potência aparente

$$S = \frac{\sqrt{234}}{4}$$

Como $Q = 0$, a potência de Assimetria valerá

$$A = \frac{3}{4}$$

Se utilizando das expressões deduzidas na seção anterior, é possível chegar ao valor das duas correntes de mínimas perdas, e à demais grandezas de interesse em ambas modalidades de filtragem.

Os resultados se mostram nas Figs. , onde estão representadas as situações sem compensação e com filtro em ambas as modalidades.

Observa-se que no caso da utilização de \underline{i}_p , aparecem componentes harmônicos e subsiste uma parte do componente de seqüência negativa na corrente da fonte, motivo pelo qual não é possível atingir o fator de potência unitário.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AKAGI, H et alii "Reactive Power Compensators comprising Switching Devices without Energy Storage Components". IEEE Trans. Ind Appe IA-20 (1984) n°3 pp. 625-30
2. FERRERO, A., SUPERTI-FIGA, G. "A New Approach to the Definition of Power Components in Three-Phase Systems Under Non-Sinusoidal Conditions".

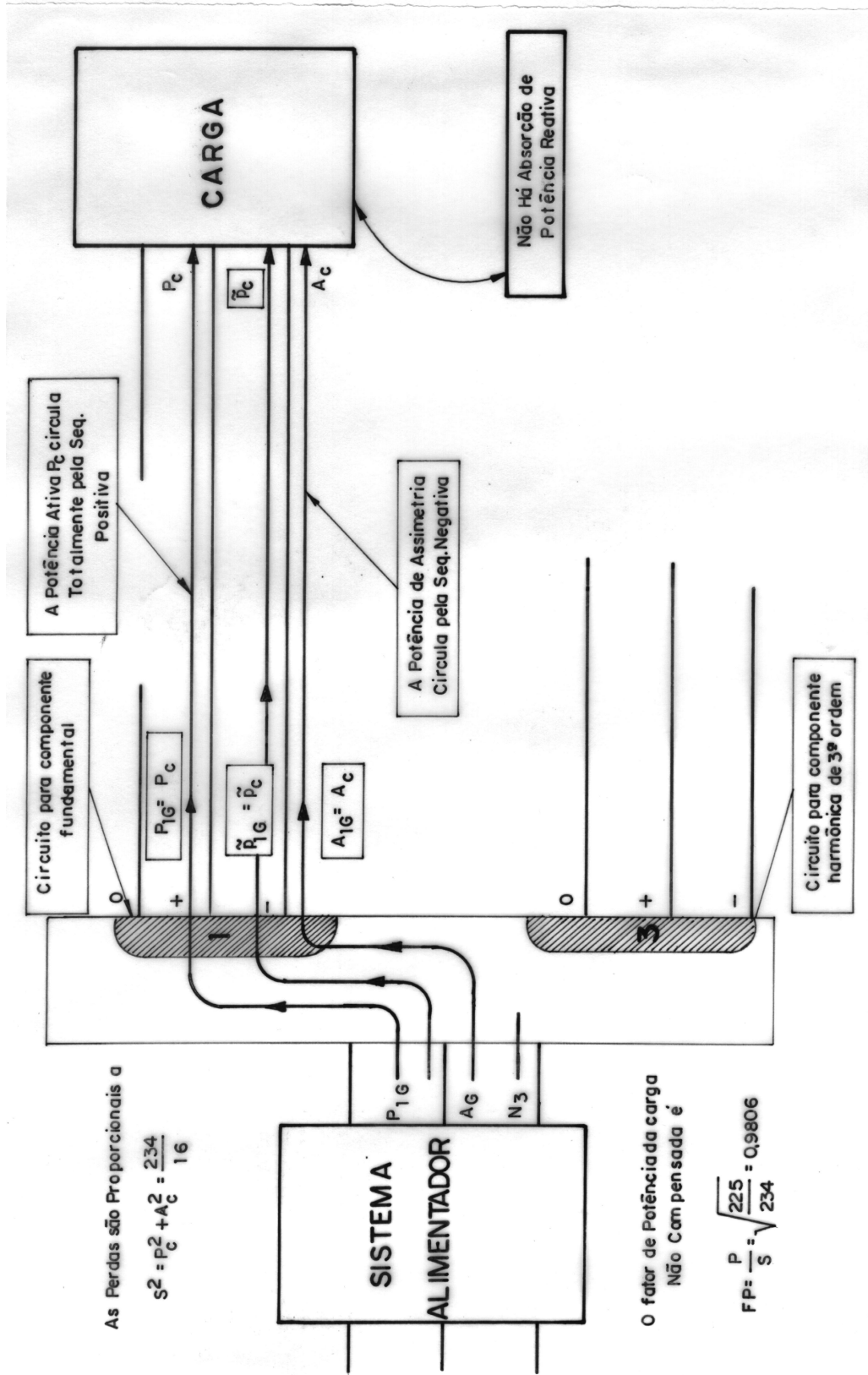


Fig. 6.3.6 - O sistema do exemplo 6.3 sem compensação.

Fig. 6.3.6 - O sistema do exemplo 6.3 sem compensação.

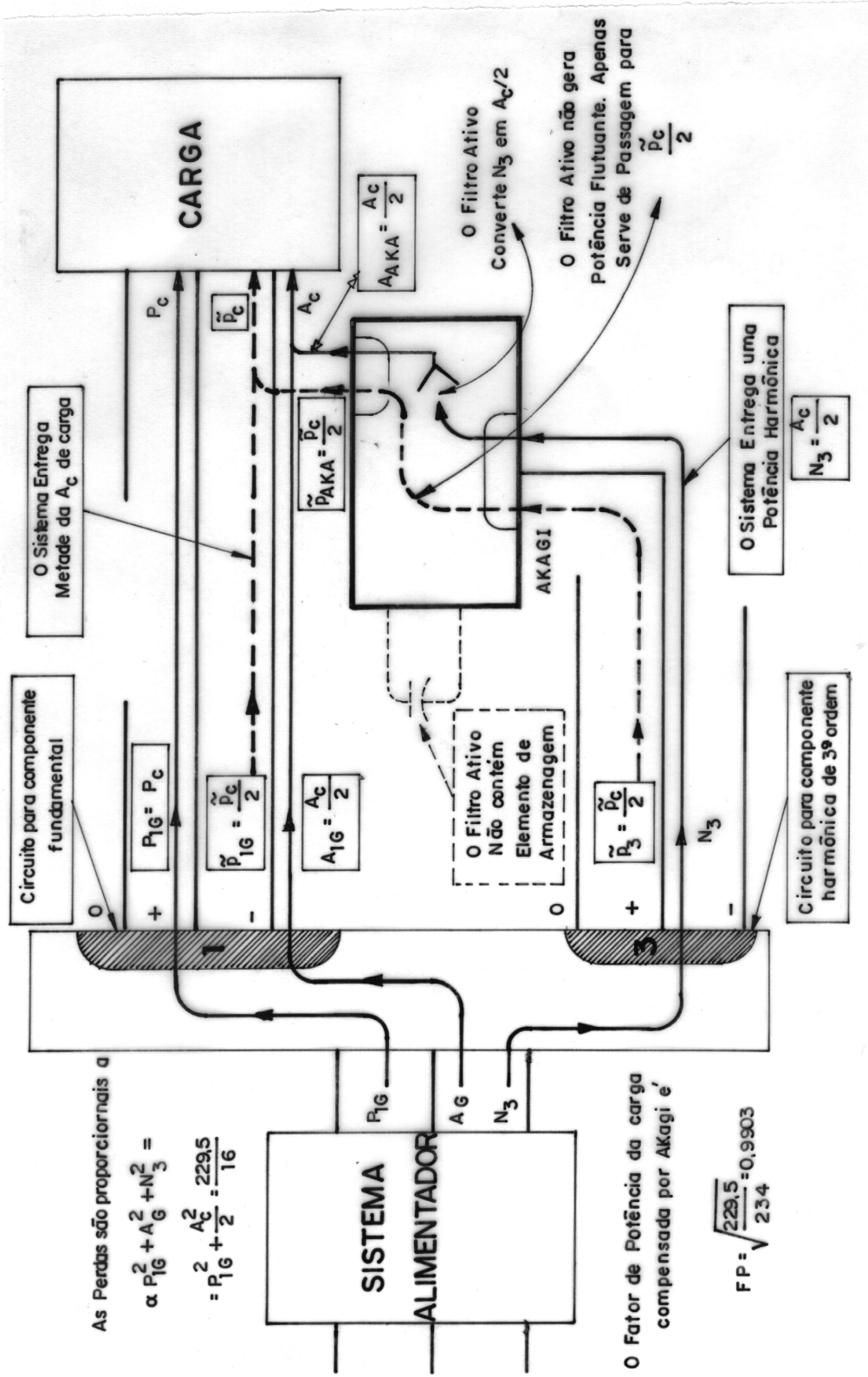


Fig. 6.3.7 - O sistema do exemplo 6.3 com compensação baseada em i_p .

Fig. 6.3.7 - O sistema do exemplo 6.3 com compensação baseada em i_p .

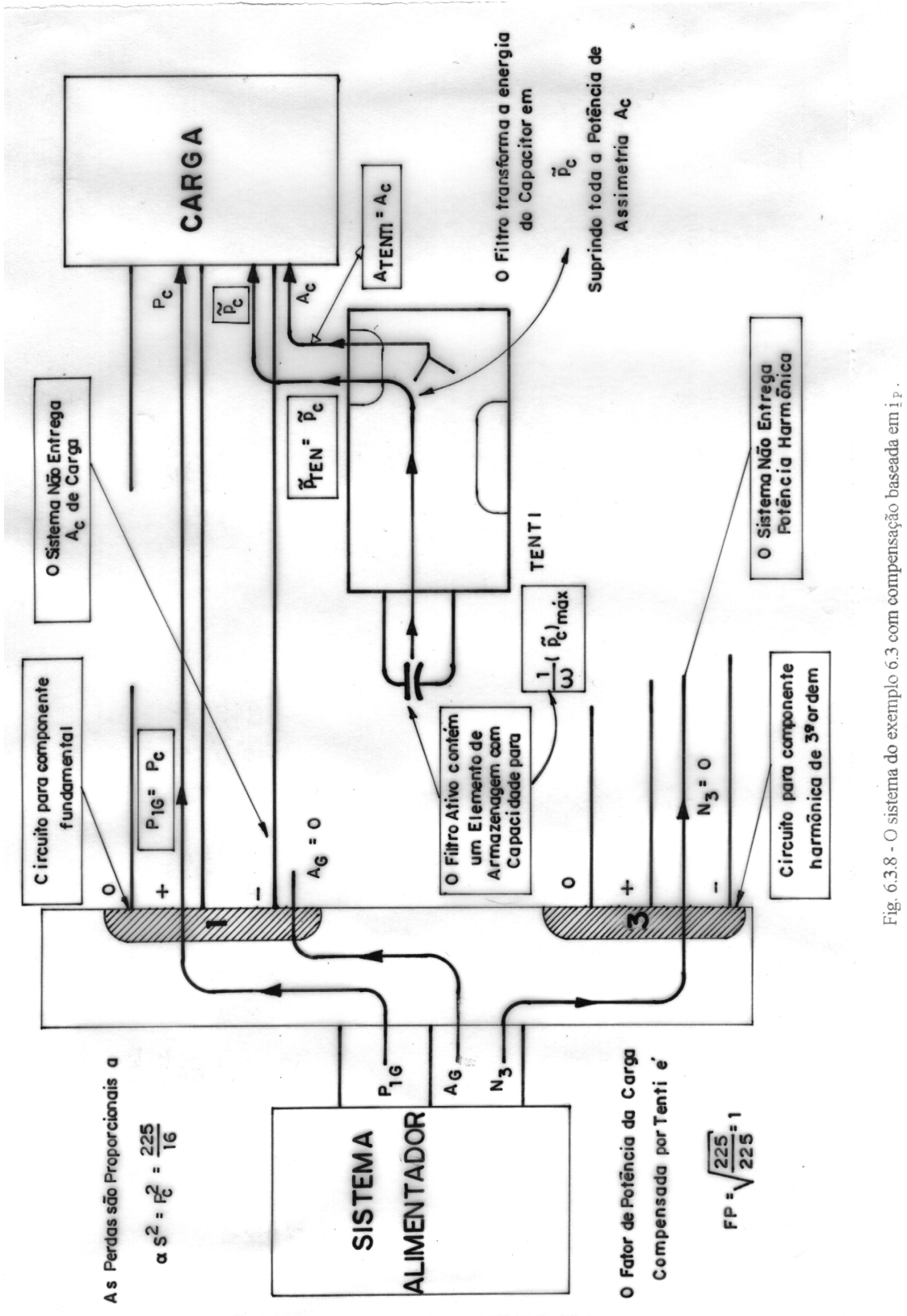


Fig. 6.3.8 - O sistema do exemplo 6.3 com compensação baseada em i_p .