

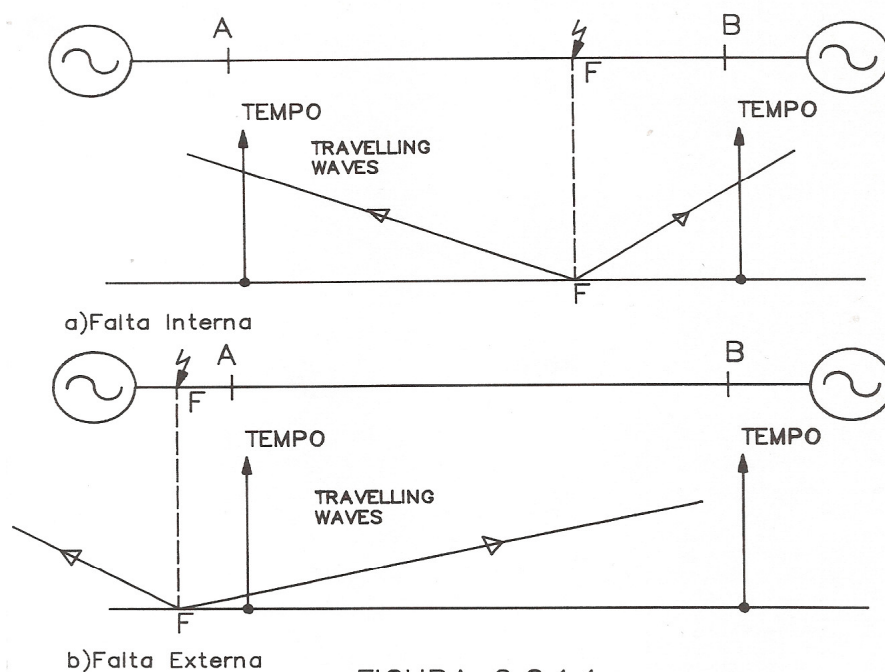


FIGURA 2.2.1.1

A aplicação desta teoria pode ser melhor entendida ao considerarmos que a falta ocorre no instante tal que a corrente cresce no sentido positivo e a tensão decresce para um determinado valor, positivo para outro menor, o que obviamente caracteriza uma variação de ΔI e ΔV de sinal opostos. Este conceito de variação de polaridade instantânea na corrente não é novo, já que o conceito das proteções diferenciais o utiliza bastante, o que varia basicamente é a introdução da variação de tensão em conjunto com a variação de corrente no mesmo terminal, para discriminação da direcionalidade sem necessidade de informações do terminal remoto.

2.2.2 - Teorema da Superposição:

Seja o circuito da Fig. 2.2.2.1 onde será aplicado um defeito no Ponto F indicado:

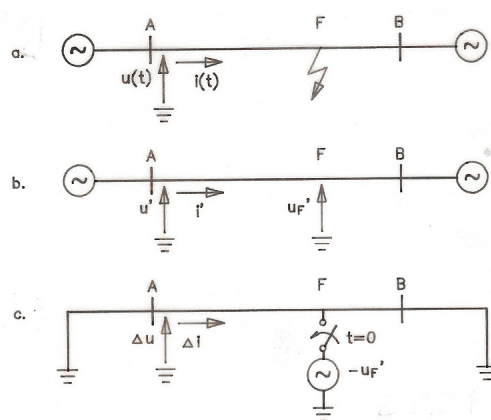


FIGURA 2.2.2.1

Aplicando o Teorema da Superposição citado no item 2.1

temos:

$$i_A = i'_A + \Delta i_A = i_A + (\Delta i_A)_{\text{regime permanente}} + (\Delta i_A)_{\text{transitório}}$$

(2.2.2.1)

e

$$V_A = V'_A + \Delta V_A = V'_A + (\Delta V_A)_{\text{regime}} + (\Delta V_A)_{\text{transitório}} \quad (2.2.2.2)$$

Um exame cuidadoso das equações 2.2.2.1 e 2.2.2.2 nos indica que os termos Δi_A e ΔV_A estão diretamente ligados ao defeito aplicado e, conseqüentemente, serão os escolhidos para a discriminação do defeito.

Com o objetivo de se obter Δi e ΔV as componentes de Pré-Falta i' e v' são eliminadas por filtros de regime permanente com resposta rápida. (referência item 2.2.4).

Por outro lado os sinais Δi e Δv contém as componentes de regimes permanentes e transitórias de ambas as variações, ou seja os respectivos transitórios de corrente e tensão auxiliam no Processo de Medição.

A comparação de Polaridade entre Δi e Δv diretamente após a inserção da falta indica a posição do defeito após a primeira onda alcançar os pontos A e B. O circuito está indicado na fig. 2.2.2.2 onde, conforme já mostrado no item 2.1, ao aplicarmos um curto no ponto P, aplicamos uma fonte fictícia no mesmo com polaridade instantânea - V_p (tensão de Pré-Falta no Ponto P). Esta fonte causa ondas de corrente e tensão que trafegam para os terminais A e B diretamente relacionadas pela equação $\pm I \cdot Z_c$. Portanto, para um defeito interno os sinais Δi e Δv terão sinais opostos em ambos os semi-ciclos e mesmo sinal para os defeitos localizados fora do trecho protegido.

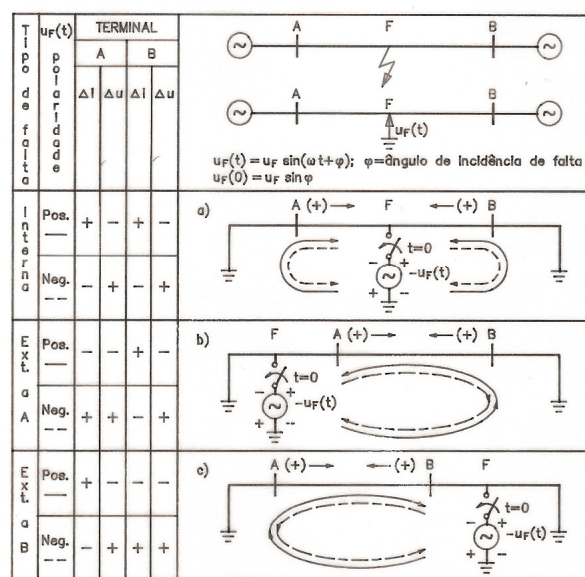
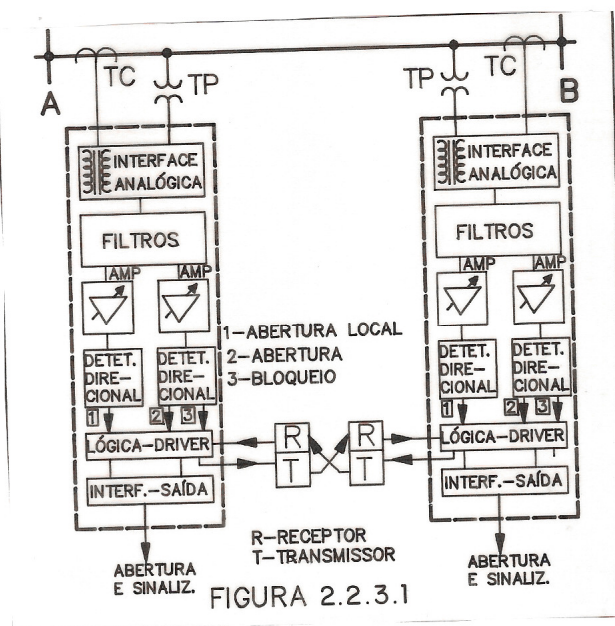


FIGURA 2.2.2

2.2.3 - Esquemas de Proteção e Procedimentos para Ajustes

Seja a fig. 2.2.3.1;



O esquema mostrado na figura acima indica que a proteção DOT (Detector de Ondas Trafegantes) opera no esquema de Comparação Direcional, requerendo um link de comunicação (teleproteção) entre os terminais. Os sinais de corrente e tensão provenientes dos transformadores de corrente e tensão são introduzidos nas interfaces analógicas que têm como objetivo efetuar uma adequada isolação galvânica. Os filtros eliminam as componentes de pré-falta conforme já mencionado no item 2.2.2, e possuem uma característica tal que a sua função de transferência é desenvolvida de forma que as variações iniciais de corrente e tensão geradas pela falta são transmitidas internamente na proteção sem atrasos significativos. Portanto, ambas as variações de regime permanente e transitória são medidas momentos após a incidência do defeito. Essa premissa é baseada no fato de que durante as condições de defeito a variação total na amplitude da tensão (ΔV) e da corrente (ΔI) serão pelo menos maiores o suficiente do que as mesmas variações em regime permanente.

A componente transitória contribui portanto no acréscimo de sensibilidade do esquema já que os ajustes são baseados somente nas alterações em regime permanente. A seguir o estágio de amplificação supre com o critério de amplitude o alcance máximo e mínimo, dependendo de qual esquema de operação (sub/sobrealcance) é requerido. Os sinais amplificados são introduzidos nos detetores direcionais onde a direcionalidade do defeito é determinada pela comparação dos sinais de ΔV e ΔI conforme citado no item 2.2.2.

Os detetores dão sinais de abertura (T) se as variações de corrente (ΔI) e tensão (ΔV) estão opostas, e sinal de bloqueio (B) se os mesmos estiverem em fase (vide figura 2.2.3.2). Os sinais de saída do elemento direcional são então processados no circuito lógico para determinar a sequência na qual os sinais T e B são medidos pela proteção. Este procedimento é tomado para se evitar erros no processo de medição causados por múltiplas reflexões das ondas incidentes.

Seja a fig. 2.2.3.2;

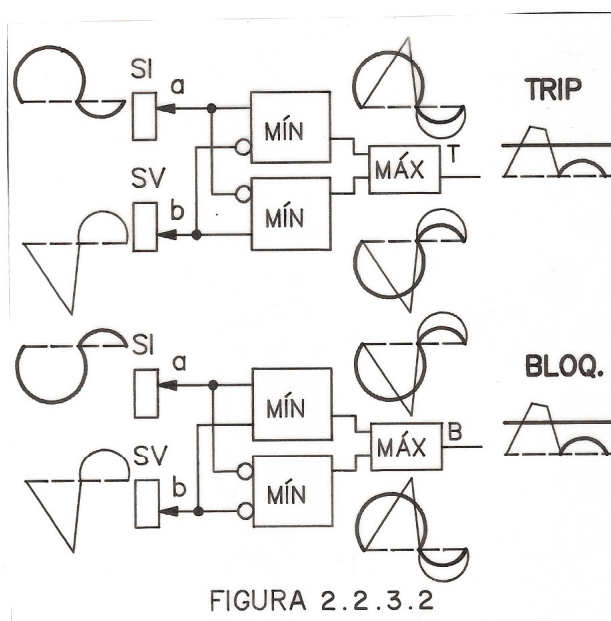


FIGURA 2.2.3.2

O método para a medição relativa de polaridade entre ΔV e ΔI é descrito como se segue:

- A relação entre os sinais $SI(\Delta I)$ e $SV(\Delta V)$ tem como proporção a impedância característica Z_c da linha.

- Os blocos "Mín" selecionam a menor das duas entradas e os blocos "Máx" a maior.

Essas duas funções são relativas a uma polaridade arbitrária, onde no bloco "Mín" qualquer sinal negativo pode ser medido sobre qualquer outro positivo ou nulo, se aplicando o mesmo sobre o bloco "Máx". O sinal de entrada reverso assegura uma correta medição instantânea, onde a magnitude de SV e SI é ajustada através de potenciômetros "a" e "b" na frontal da proteção.

Portanto da figura 2.2.3.2 podemos deduzir que os sinais T e B obedecem as seguintes equações;

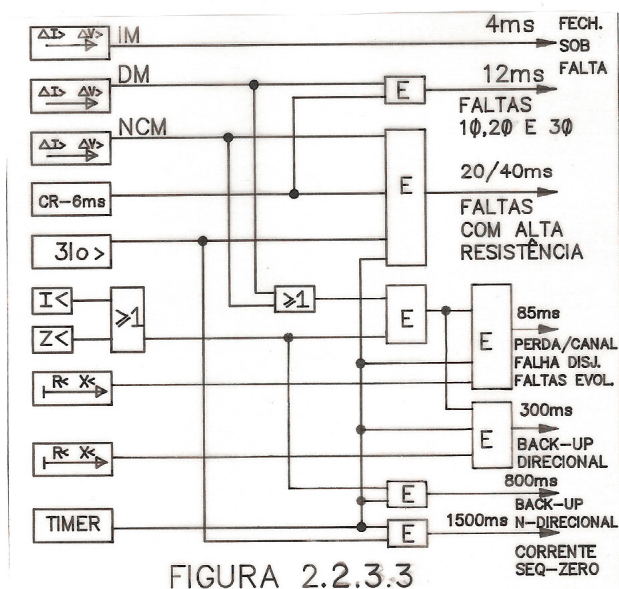
$$T = \max [\min (S_i^+, S_u^-), \min (S_i^-, S_u^+)] \quad (2.2.3.1)$$

e

$$B = \max [\min (S_i^+, S_u^+), \min (S_i^-, S_u^-)] \quad (2.2.3.2)$$

onde $Si(V/K\Delta)$ e $Su(V/KV)$ são os sinais normalizados derivados do filtro supressor de regime. Das equações 2.2.3.1/2 e dos diagramas de blocos mostrado na figura 2.2.3.3 mostra-se que a proteção em pauta possui 03 métodos principais de medição:

- Modo Independente (IMD).
- Modo Dependente (DM).
- Modo Controlado de Terra (NCMD).



A unidade de modo independente IM normalmente opera sem o canais de teleproteção, utilizando valores de ajuste bem altos possibilitando operações para falhas próximas e fechamentos sob defeito.

O critério de ajuste para esta unidade é calculado portanto para a máxima variação de tensão (ΔV) e corrente (ΔI) no terminal remoto, assumindo resistência de falta igual a zero e diferentes tipos de defeito. (vide equações 2.2.3.3/4).

$$\Delta V_{\text{máx}} = \text{máx} [(\Delta V)_{1\phi-T}, (\Delta V)_{2\phi}, (\Delta V)_{3\phi}, (\Delta V)_{2\phi-T}] \quad (2.2.3.3)$$

$$\Delta I_{\text{máx}} = \text{máx} [(\Delta I)_{1\phi-T}, (\Delta I)_{2\phi}, (\Delta I)_{3\phi}, (\Delta I)_{2\phi-T}] \quad (2.2.3.4)$$

Portanto o ajuste de amplitude de tensão deverá ser proporcional a relação $\Delta V_{\text{máx}}/V_{\text{nom}}$ e, de corrente, a relação $\Delta I_{\text{máx}}/I_{\text{nom}}$. Os ajustes da unidade "IM" não precisam ser necessariamente iguais nos terminais a serem protegidos.

A unidade de modo dependente (DM) opera em conjunto com o esquema de teleproteção já que seu ajuste é normalmente feito de forma a trabalhar em sobrealcance visando detectar faltas no terminal remoto. Como este ajuste é de pelo menos 100% da linha o mesmo é calculado através da mínima variação na tensão (ΔV) e corrente (ΔI) no terminal remoto, assumindo uma esperada resistência de falta e também diferentes tipos de defeito. (Vide equações 2.2.3.5/6)

$$\Delta V_{\text{min}} = \min [(\Delta V)_{1\phi-T}, (\Delta V)_{2\phi}, (\Delta V)_{3\phi}, (\Delta V)_{2\phi-T}] \quad (2.2.3.5)$$

$$\Delta I_{\text{min}} = \min [(\Delta I)_{1\phi-T}, (\Delta I)_{2\phi}, (\Delta I)_{3\phi}, (\Delta I)_{2\phi-T}] \quad (2.2.3.6)$$

No modo dependente o ajuste em ambos terminais devem ser iguais, de forma a garantir que o ajuste do terminal "A" não sobrealcance o ajuste reverso do terminal "B" se o esquema de teleproteção em pauta é o de bloqueio (Blocking) (fig. 2.2.3.1). O respectivo ajuste de amplitude deve ser proporcional a $\Delta V_{\text{min}}/V_{\text{nom}}$ e $\Delta I_{\text{min}}/I_{\text{nom}}$, seguindo a mesma filosofia utilizada no modo independente.

O modo controlado de terra (NCMD) é o mais sensível dos três métodos apresentados até agora, pois utiliza a corrente de neutro ($3I_0$) e um tempo de atraso de 20 a 40 ms, combinados com o princípio DOT (Detector de Ondas Trafegantes). Este modo provê uma segura proteção contra

curto monofásicos com alta resistência de arco.

Com relação a fig. 2.2.3.3 pode-se notar que o esquema proposto possui ainda uma proteção Back-up de distância chaveada, que é controlada pelas unidades de ondas trafegantes. Esta unidade tem basicamente as seguintes funções:

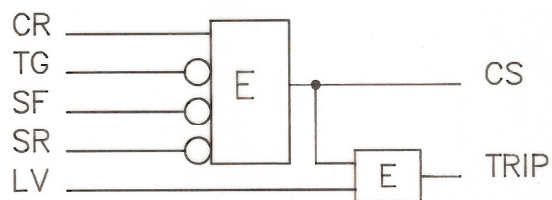
- proteção contra fechamentos sob falta;
- proteção back-up direcional em zonas 1 e 2 e não direcional em zona 3.

A situação operativa de fechamento sob falta é necessária uma vez que o DOT é usualmente colocado nos TP's do lado da linha e pode não detectar tais condições. A proteção de distância opera então se a tensão permanecer abaixo de um valor pré-determinado e por certo tempo, ocasionando a operação da unidade de partida por impedância.

Quanto às demais condições operativas, como por exemplo, oscilação de potência e perda de potencial, o princípio DOT opera corretamente, pois na primeira as variações de ΔI e ΔV geralmente ocorrem de forma lenta sendo bloqueadas nos filtros mostrados na fig. 2.2.3.1. Como as unidades de distância são supervisionadas, os mesmos não operarão incorretamente para esta condição. Convém ressaltar que a 3^a zona da proteção back-up não tem esta supervisão, sendo necessária uma unidade de bloqueio externa para esta zona, caso a oscilação de potência entre na característica e permaneça por 800 ms ou mais aproximadamente. Com relação à perda de potencial, pela mesma razão como só temos variação de tensão (ΔV), as

unidade IM e DM supervisionarão a unidade de distância de uma operação indevida.

Por último, conforme mostrado na figura 2.2.3.4, caso o esquema de teleproteção seja permissivo a proteção de fonte fraca (weak-Infeed) é feita de forma a rebater o sinal recebido desde que não haja atuação de nenhuma das unidades direcionais em conjunto com a medição de subtensão.



CR—RECEBIMENTO SINAL CARRIER
 TG—TRIP GERAL
 SF—PARTIDA SENTIDO DIRETO
 SR—PARTIDA SENTIDO REVERSO
 LV—BAIXO NÍVEL DE TENSÃO
 CS—PARTIDA SINAL DE CARRIER

FIGURA 2.2.3.4

2.2.4 - Aspectos de Filtragem

A priori o Algoritmo de Chamia utiliza como principal conceito no processo de medição do esquema, o fato de que qualquer mudança no estado elétrico da rede implica em uma porcentagem considerável de componentes de alta e baixas frequências em conjunto com a componente fundamental por um breve período de tempo. Assume-se que estas componentes não fundamentais descrevem completamente a "mudança" nos sinais de corrente e tensão se comparados com a componente fundamental. Baseado no exposto acima a filtragem do esquema visa basicamente o seguinte:

- Eliminar as componentes de pré-falta.
- Eliminar e/ou restringir os efeitos decorrentes das variações lentas ocasionadas pela oscilação de potência.

Com as condições citadas acima e com o fato de que o esquema opera com as "mudanças" transitórias e de regime nos sinais, pode-se implementar significativamente a relação "sinal-ruído" dos filtros reduzindo com isto o tempo total de medição dos mesmos.

O algoritmo utiliza portanto dois filtros analógicos (passivo e ativo) conectados em série. O filtro passivo (fig. 2.2.4.1) tem por objetivo eliminar a componente fundamental de regime permanente dos sinais, bem como suprimir altas frequências (ruído) dos mesmos, além de bloquear as componentes "DC" e baixas frequências que podem estar presentes nos sinais. Através da figura 2.2.4.1 abaixo verifica-se que através dos ajustes de L2 e C11, C15 e C16 ajusta-se o mesmo para a frequência f_n . Por outro

lado os capacitores C12 e C14 atenuam as componentes de altas frequências na saída.

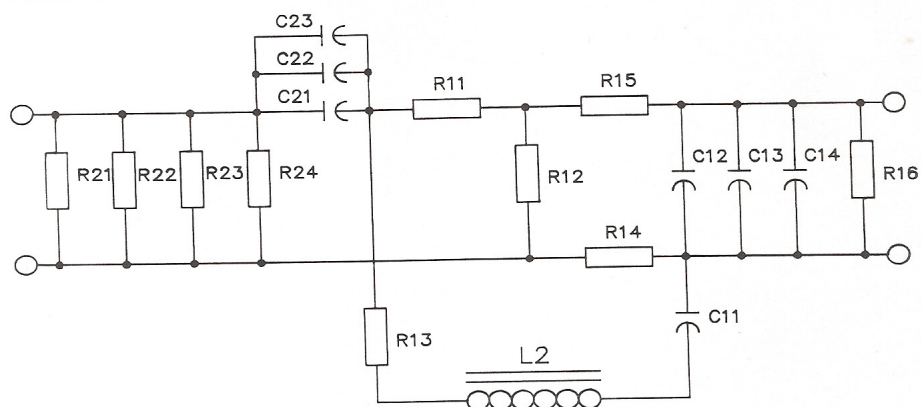


FIGURA 2.2.4.1

A seguir, na figura 2.2.4.2 é mostrado o esquema do filtro ativo que é composto por amplificadores operacionais e circuitos "RC" podendo os mesmos serem analisados pelo Método dos Biquads. Conforme indicado este filtro é composto por 03 filtros rejeita-banda (NOTCH) para as frequências de $3x f_n$, $2x f_n$ e f_n respectivamente, além das funções passa-baixa (LOW-PASS) e passa-alta (HIGH-PASS), todos conectados em série.

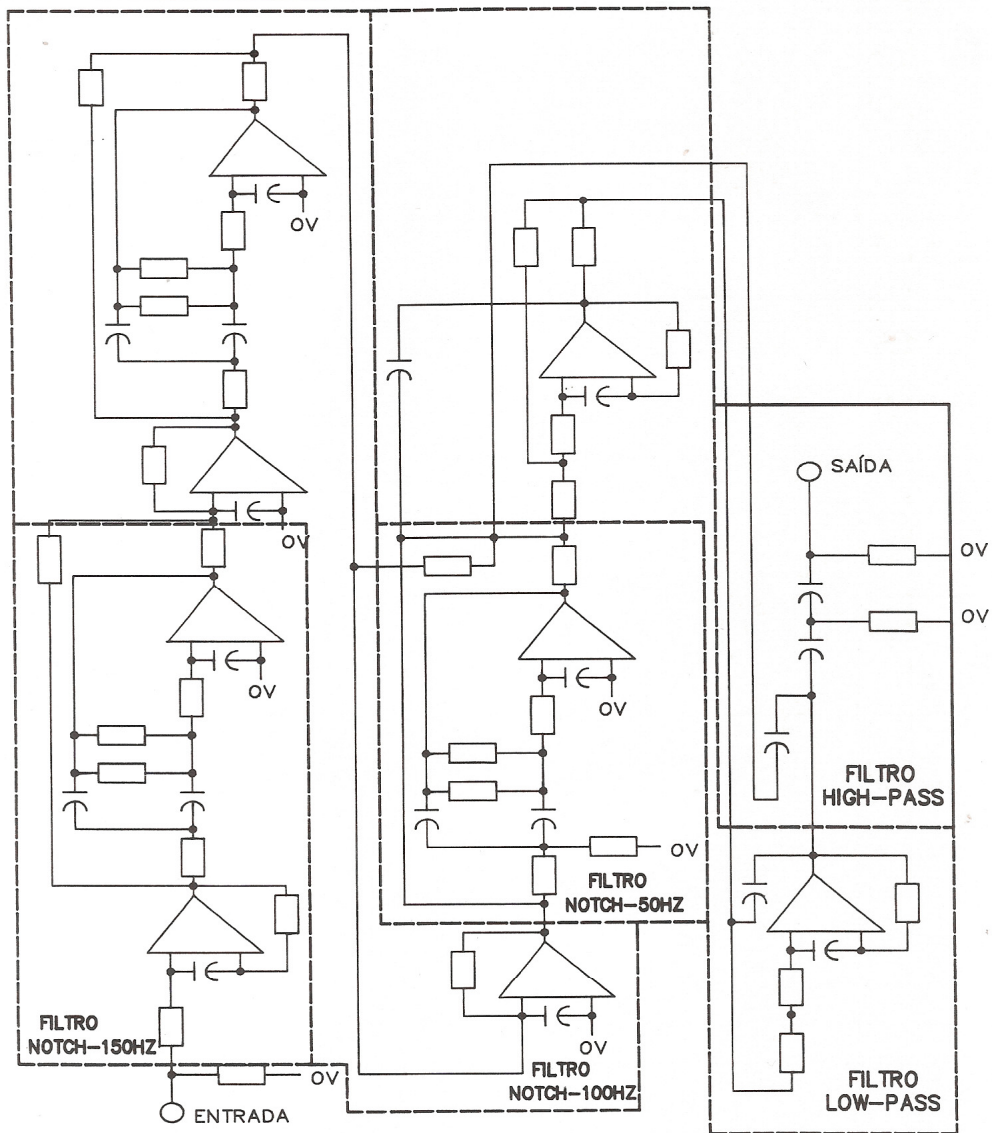


FIGURA 2.2.4.2

Nas simulações efetuadas a seguir, da figura 2.2.4.3 à figura 2.2.4.10, procurou-se obter as respectivas respostas em frequência (módulo e fase) para os filtros em questão, porém com algumas simplificações tais como;

- O amplificador operacional é ideal.
- Procurou-se levar em consideração somente os componentes que efetivamente caracterizassem a respectiva função de transferência de cada filtro.

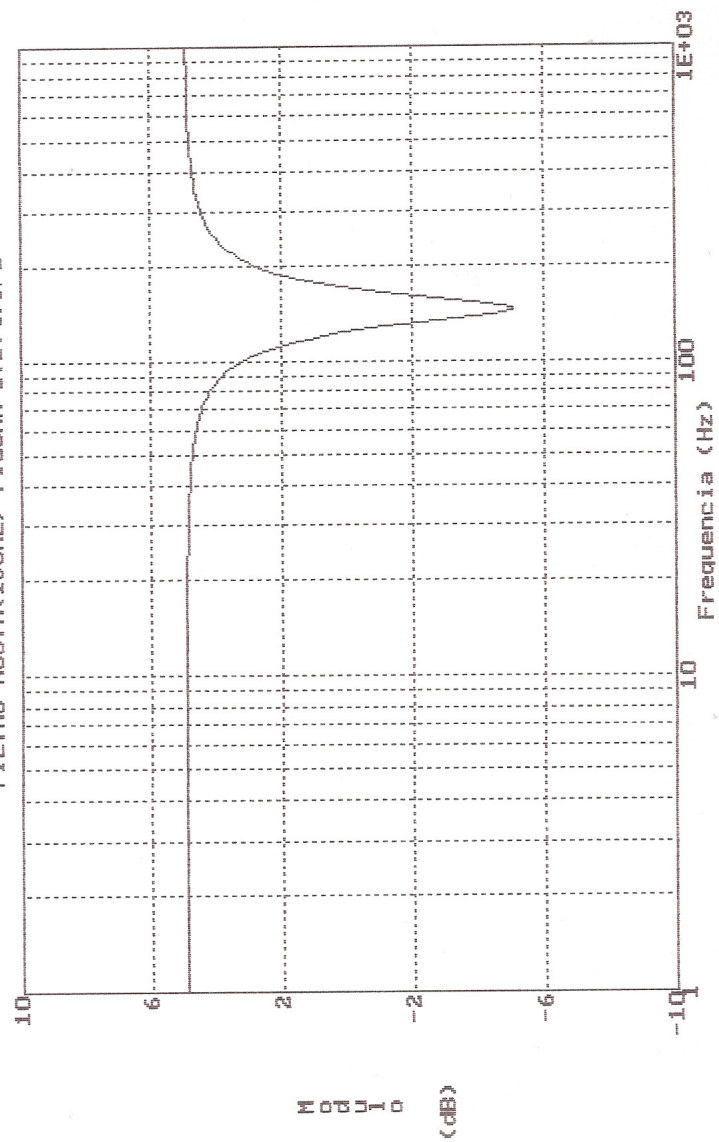
Pode-se observar portanto que nas figs. 2.2.4.10 a/b onde é mostrada a resposta total em frequência dos filtros em questão, que a resposta do esquema de proteção em pauta tem uma ampla "passband" de frequências a menos da fundamental, o que possibilita utilizar de uma forma efetiva os aspectos transitórios contidos nos sinais de corrente e tensão após o defeito. A seguir na tabela 2.2.4.a estão indicados os coeficientes do polinômio da respectiva função de transferência total dos dois filtros conectados em série no Domínio de Laplace.

Tabela 2.2.4.a:

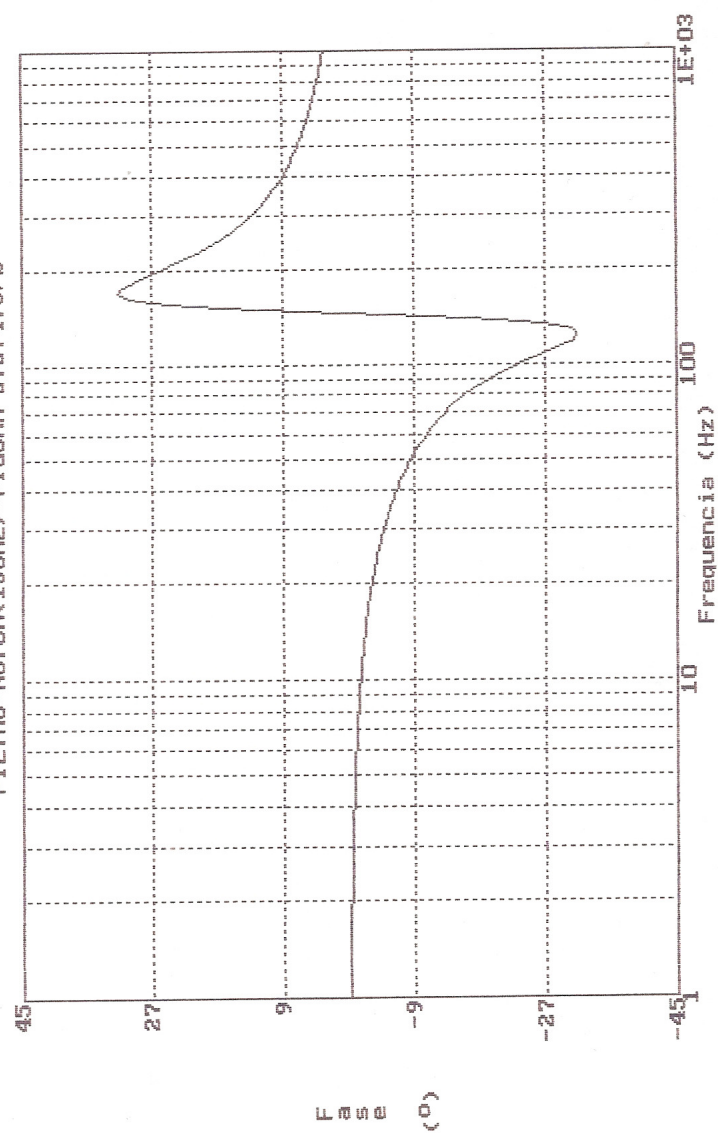
Coeficientes dos polinômios:

	Numerador	Denominador
s ⁰	1.57681E+17	4.9361E+38
s ¹	7.16251E+15	2.28516E+37
s ²	8.05661E+13	3.35163E+35
s ³	2.10341E+23	2.64059E+33
s ⁴	1.8654E+21	1.37581E+31
s ⁵	4.31081E+18	5.20567E+28
s ⁶	2.55199E+16	1.47561E+26
s ⁷	2.09798E+13	3.18395E+23
s ⁸	7.44208E+10	5.30474E+20
s ⁹	2.43838E+07	6.81801E+17
s ¹⁰	55064.4	6.63521E+14
s ¹¹	1	4.73428E+11
s ¹²		2.28836E+08
s ¹³		58385.7
s ¹⁴		1

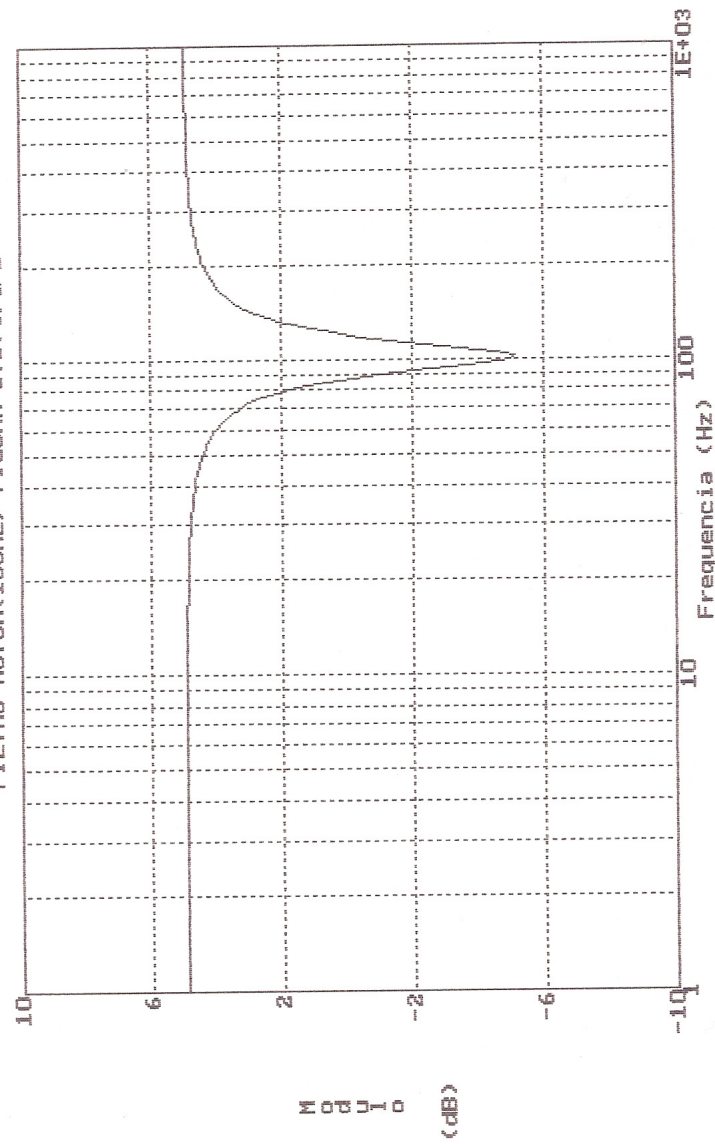
FILTRO-NOCTH(150HZ)-FIGURA 2.2.4.3/a



FILTRO-NOTCH(150HZ)-FIGURA 2.2.4.3/b



FILTRO NOTCH(100HZ)-FIGURA 2.2.4.4/a



FILTRO NOTCH(50HZ)-FIGURA 2.2.4.5/a

