

Z = V/I Não Faz um Relé de Distância

J. Roberts, A. Guzman, and E. O. Schweitzer, III
Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.

Apresentado na
48th Annual Georgia Tech Protective Relaying Conference
Atlanta, Georgia
4–6 de maio de 1994

Apresentado previamente na
47th Annual Conference for Protective Relay Engineers, março de 1994

Originalmente apresentado na
20th Annual Western Protective Relay Conference, outubro de 1993

Traduzido para o português em julho de 2017

Z = V/I NÃO FAZ UM RELÉ DE DISTÂNCIA

INTRODUÇÃO

Os relés de distância podem prover proteção efetiva para as linhas de transmissão. Suas características têm sido usualmente implementadas a partir de comparadores e várias combinações de tensões e correntes.

A característica mho, por exemplo, é uma aplicação popular porque pode ser implementada a partir de um único comparador, tem alcance bem definido, é inerentemente direcional e pode ser feita para tolerar bastante bem a resistência de falta sem sofrer erros sérios de sobrealcance devido ao carregamento.

As características quadrilaterais tradicionalmente requerem quatro comparadores, ou seja, um para cada lado da característica.

Devido à variedade de tipos de falta possíveis num circuito trifásico, os relés de distância devem estar disponíveis para responder às tensões e correntes associadas a seis diferentes circuitos (“loops”) de falta (AB, BC, CA, AN, BN, e CN).

O número de elementos de medição requeridos para esquemas completos é usualmente bastante grande. Por exemplo, um relé de distância tipo mho com quatro zonas para defeitos entre fases e fase-terra requer 24 comparadores. Relés quadrilaterais requerem ainda mais.

Um enfoque para implementar um relé de distância com um computador (processador de sinais) é calcular a impedância aparente $Z = V/I$, e então verificar se essa impedância localiza-se no interior de alguma forma geométrica, como um círculo ou um quadrilátero. A expectativa é de que um cálculo de impedância (por “loop” de falta) possa ser útil para todas as zonas.

Embora relés tenham sido construídos a partir deste critério, seu desempenho varia sob várias condições práticas de fluxo de potência e resistência de falta.

Este artigo examina o critério baseado em $Z = V/I$ e expõe as degradações devidas ao fluxo de potência e à resistência de falta. É mostrado que calcular $Z = V/I$ e testar Z contra um círculo que passa pela origem equivale a um elemento de medição tipo mho auto-polarizado – geralmente de baixo desempenho como relé de distância.

Este artigo mostra métodos muito melhores que são empregados em relés numéricos e enfatiza que tais métodos têm suas raízes em melhores critérios de polarização.

Z = V/I COMO MEDIÇÃO DE DISTÂNCIA

Considere a implementação de um relé de distância pelo cálculo da impedância aparente e subsequente comparação contra alguma forma geométrica. Neste artigo esse critério será referido como o método $Z = V/I$. Este método é atraente naquilo em que requer apenas um cálculo de impedância por “loop” de falta. Zonas múltiplas (ou formas geométricas) só requerem mais testes geométricos do resultado Z . Estas equações das impedâncias aparentes estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1: Equações da Impedância Aparente $Z = V/I$

“Loop” de Falta	Equações
AN	$V_A/[I_A + k_0 \cdot I_R]$
BN	$V_B/[I_B + k_0 \cdot I_R]$
CN	$V_C/[I_C + k_0 \cdot I_R]$
AB	$[V_A - V_B]/[I_A - I_B]$
BC	$[V_B - V_C]/[I_B - I_C]$
CA	$[V_C - V_A]/[I_C - I_A]$

Nota: $I_R = 3I_0 = I_A + I_B + I_C$

Primeiro deve-se analisar o desempenho do elemento AN para uma falta AN no sistema de configuração radial da Figura 1. A tensão entre a fase A e a terra na Barra S é:

$$V = m \cdot Z_{1L} \cdot (I_A + k_0 \cdot I_R) + R_F \cdot I_F \quad \text{Equação 1}$$

onde:

V = tensão da fase A medida na Barra S

m = distância em por-unidade da falta até a barra S

Z_{1L} = impedância de seqüência positiva da linha

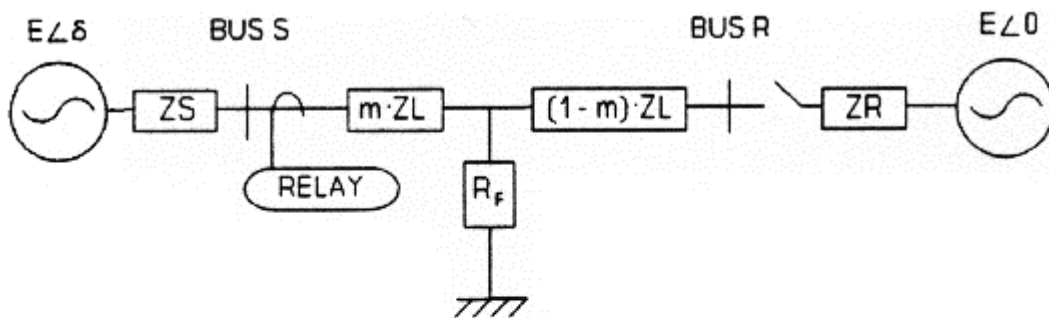
I_A = corrente da fase A medida na Barra S

$k_0 = (Z_{0L} - Z_{1L})/(3 \cdot Z_{1L})$ (Z_{0L} = impedância de seqüência zero da linha)

I_R = corrente residual medida na Barra S

R_F = resistência de falta

I_F = corrente total que flui em R_F



$$\begin{aligned} Z_{1S} &= Z_{1L} \cdot (0.1) \\ Z_{0S} &= 3 \cdot Z_{1S} \\ PTR &= 3500:1 \\ CTR &= 320:1 \\ m &= 0.85 \\ kV &= 400 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{1L} &= 10 + j \cdot 110 \Omega \text{ pri.} \\ &= 0.91 + j \cdot 10.06 \Omega \text{ sec.} \\ Z_{0L} &= 3 \cdot Z_{1L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{1R} &= Z_{1S} \\ Z_{0R} &= Z_{0S} \end{aligned}$$

Figura 1: Diagrama Unifilar do Sistema

Convertendo a Equação 1 em uma medição de impedância pela divisão de todos os termos por I , onde $I = (I_A + k_0 \cdot I_R)$, tem-se:

$$Z = \frac{V}{I} = m \cdot Z_{1L} + R_F \cdot \frac{I_F}{I} \quad \text{Equação 2}$$

Z inclui a impedância da linha até o ponto de falta mais $R_F \cdot (I_F/I)$. Para o sistema radial, $\angle I_F = \angle I$ e Z mede acuradamente a reatância até a falta. A Figura 2 mostra as componentes resistiva e reativa da impedância medida pelo relé para uma falta AN em $m = 0,85$, com $R_F = 4,6 \Omega$ secundários (ou 50Ω primários, dados RTP/RTC = 3500/320). Como $R_F \cdot (I_F/I)$ é um número real, $\text{Im}(V/I) = m \cdot |X_{1L}|$, qualquer que seja o valor de R_F .

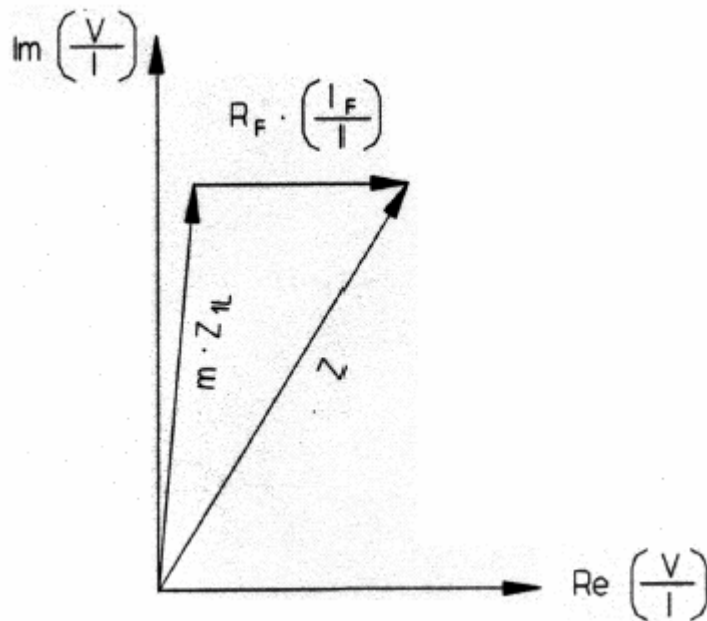


Figura 2: Método da Impedância Aparente AN Mede Corretamente a Reatância até a Falta para uma Linha Radial

Isto sugere que se pode definir uma zona de proteção de distância com dois limites de reatância e resistência; isto é, o teste geométrico é um retângulo.

A Figura 3 mostra como estas verificações dos limites englobam faltas AN até $m = 0,85$ com R_F menor que $9,2 \Omega$ secundários. O Limite de Reatância 2 e o Limite de Resistência 2 definem os alcances máximos de reatância e resistência, respectivamente. O Limite de Reatância 1 e o Limite de Resistência 1 restringem a definição da zona de operação principalmente ao primeiro quadrante do plano de impedância. Seus pequenos ajustes negativos acomodam ligeiros erros de medição próximos tanto ao eixo $\text{Im}[V/I]$ quanto ao $\text{Re}[V/I]$. Estes últimos limites devem ser substituídos por um elemento independente de medição direcional para aumentar a segurança direcional.

Assim, o primeiro grande problema é perceber que o critério $Z = V/I$ não é inerentemente direcional para faltas à terra.

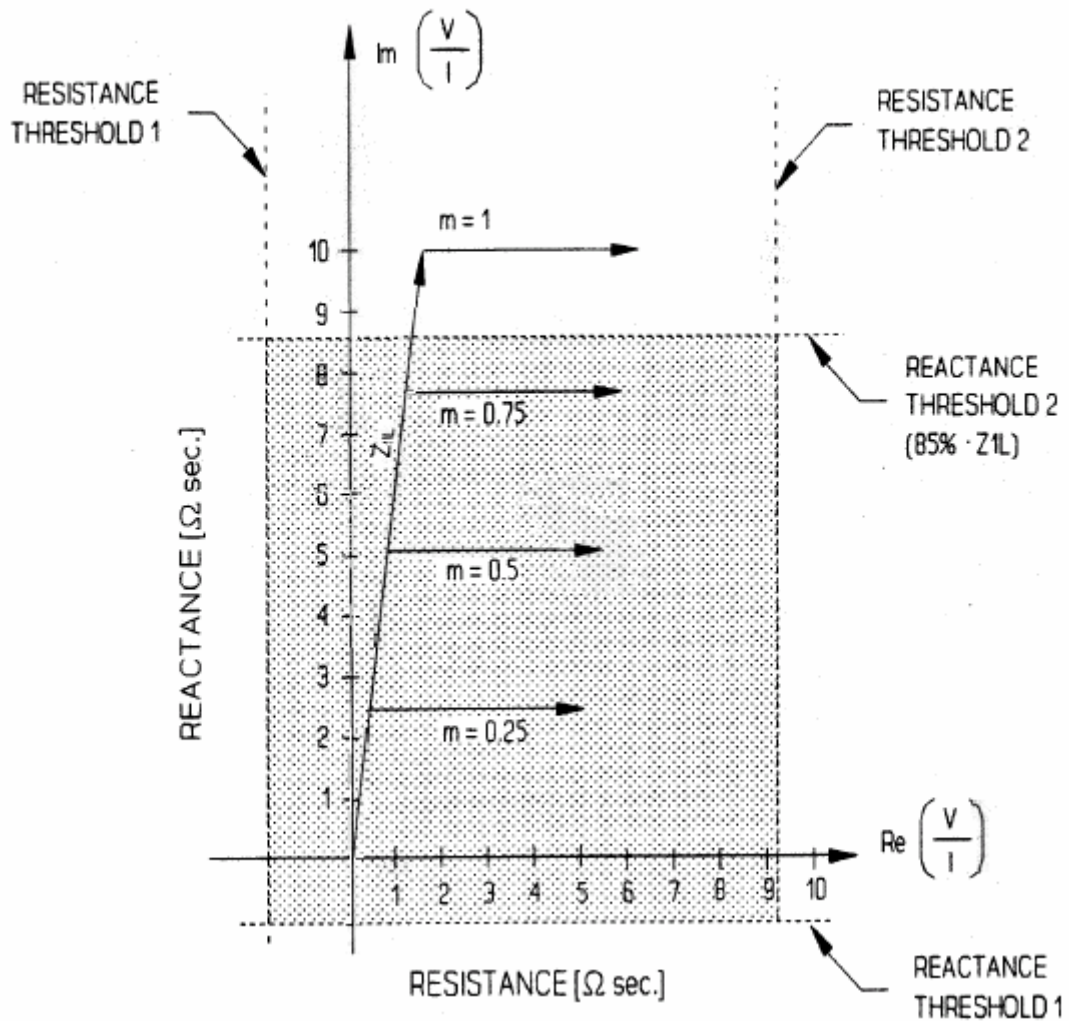


Figura 3: Impedância Aparente AN Comparada com os Limites de Reatância e de Resistência (Caso Radial)

Os Efeitos do Fluxo de Potência e da Resistência de Falta na Z

Que efeito o fluxo de potência e R_F têm na medição $Z = V/I$? Considere novamente a falta no sistema da Figura 1, exceto que agora deve ser fechada a chave junto à Barra R e assumido fluxo de potência da Barra S para a Barra R com $\delta = 30^\circ$.

A Figura 4a mostra que o relé da Barra S sobrealça em função de $\text{Im}(V/I)$ medir uma reatância menor que a reatância da linha até a falta. Isto é porque I_F e I não estão em fase (Figura 4b) e R_F aparece como uma impedância complexa.

Este sobrealça torna-se mais pronunciado conforme R_F e δ aumentam.

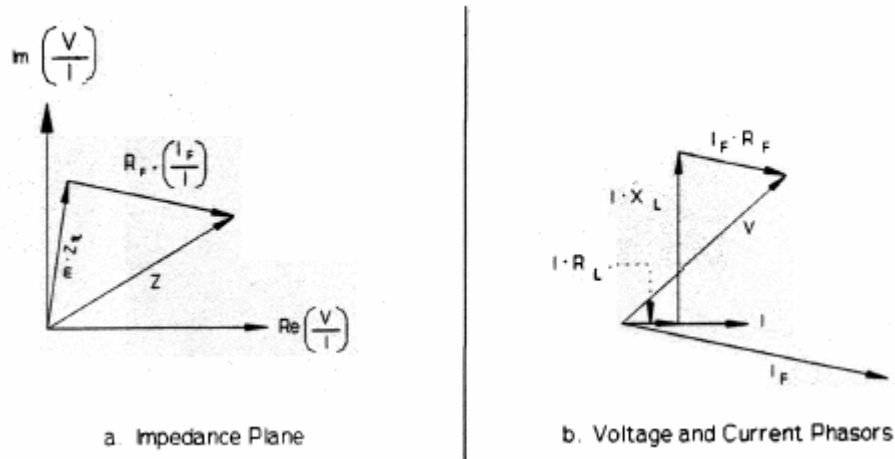


Figura 4: Sobrealcance da Impedância Aparente AN com R_F e Fluxo de Potência Exportado ($\delta = 30^\circ$)

A Figura 5 ilustra sub e sobrealcances do critério $Z = V/I$ para diferentes R_F e condições de fluxo de potência. O alcance do relé está ajustado em $r \cdot Z_{IL}$, onde $r = 0,85$. O critério $Z = V/I$ subalcança para potência importada (I_F adiantada de I) e sobrealcança para potência exportada (I_F atrasada de I).

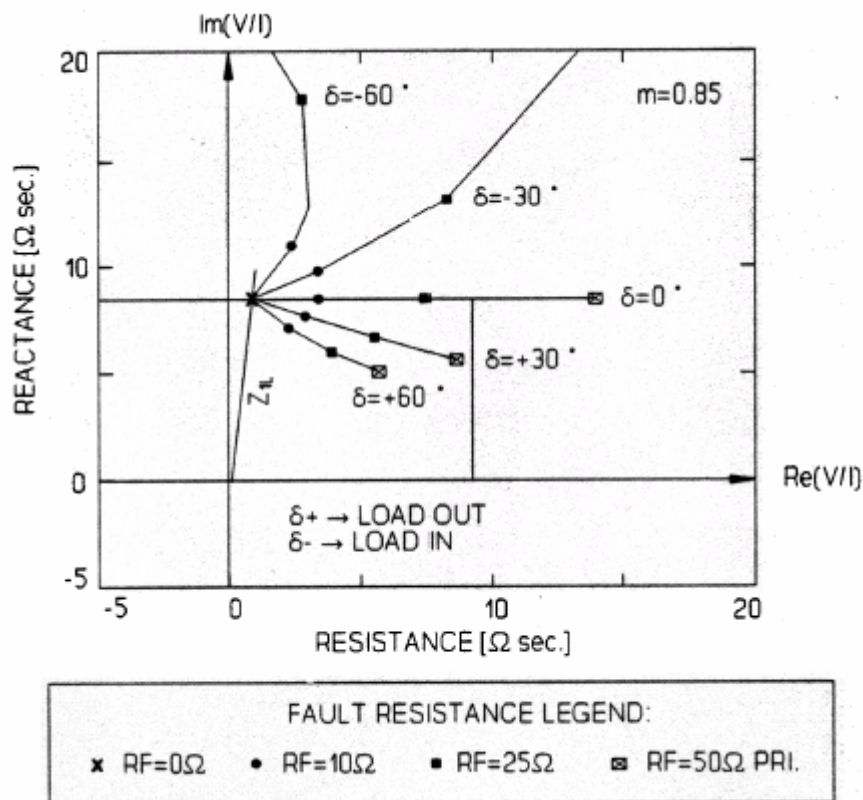


Figura 5: O Desempenho do Critério de Impedância Aparente Depende de R_F e de δ

Para melhor ilustrar os sub e sobrealcances desta medição de reatância, deve-se comparar $\underline{x} = \text{Im}(Z)/\text{Im}(r \cdot Z_{IL})$ em relação à unidade para as mesmas condições mostradas na Figura 5. Os resultados estão descritos na Figura 6, onde o \underline{x} ideal é a unidade.

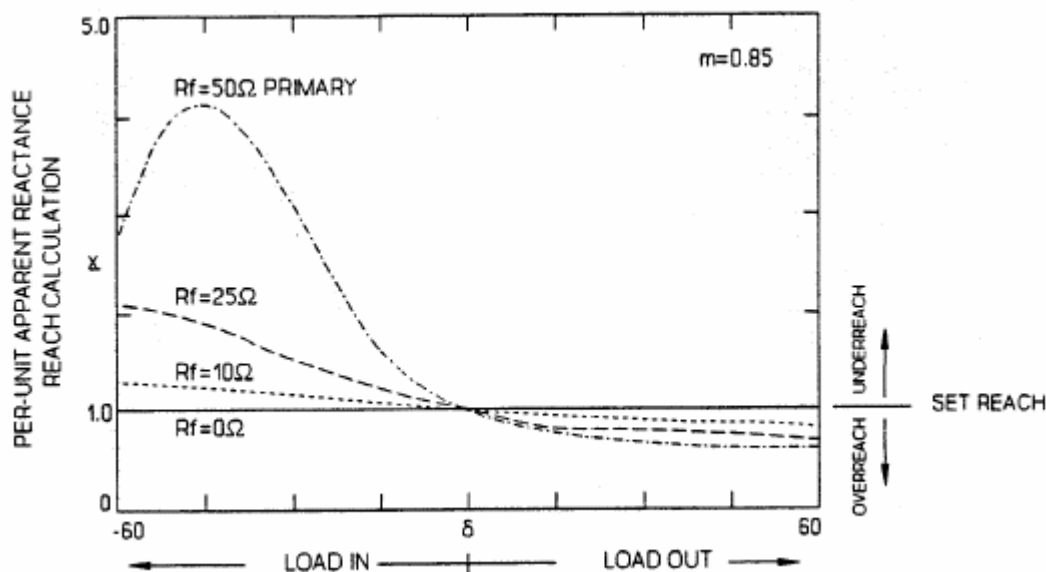


Figura 6: Cálculo de Impedância Aparente por Unidade AG (κ) Ilustra a Quantidade de Subalcance e Sobrealcance com Resistência de Falta e Fluxo de Potência

O problema do sobrealcance pode ser minimizado pela limitação do alcance reativo. Para um elemento de medição de distância de terra de zona 1 isto significa reduzir o valor da cobertura de proteção instantânea. Poderia-se também restringir a cobertura resistiva para evitar o sobrealcance que ocorre quando de faltas no fim da linha. No entanto, isto penaliza a cobertura de resistência de falta para todas as localizações de falta.

CARACTERÍSTICA QUADRILATERAL OTIMIZADA

Há meios muito melhores para se estimar a reatância até a falta, e a resistência de falta, do que usar $R + j \cdot X = V/I$.

Estes métodos melhores dependem da seleção adequada das grandezas de polarização.

Elemento de Reatância

A Referência 1 descreve uma forma de obtenção de uma característica de reatância aperfeiçoada usando o comparador de fase tipo seno. Este comparador mede o ângulo, θ , entre os sinais de operação (S_{OP}) e de polarização (S_{POL}). O torque deste comparador é definido por $\text{Im}(S_{OP} \cdot S_{POL}^*)$; onde * indica o conjugado complexo. Para $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$, a característica é uma linha reta e o torque é positivo. Os ângulos $\theta = 0^\circ$ e $\theta = 180^\circ$ definem a linha divisória no plano de impedância.

O comparador do elemento de reatância tem os seguintes sinais de entrada:

$$S_{OP} = \delta V \qquad S_{POL} = I_P$$

onde:

$$\begin{aligned} \delta V &= (r \cdot Z_{1L} \cdot I - V), \text{ tensão compensada} \\ r &= \text{alcance em por-unidade} \\ Z_{1L} &= \text{impedância de seqüência positiva da linha} \\ I &= I_A + k_0 \cdot I_R \\ V &= \text{tensão medida na fase A} \\ I_P &= \text{corrente de polarização} \end{aligned}$$

A Figura 4 mostra que a corrente da fase defeituosa não está sempre em fase com a corrente total de falta, I_F . Portanto, a corrente de fase é uma opção fraca para ser o sinal de referência ou polarização. A corrente de seqüência negativa ou a corrente residual são opções muito melhores.

A Equação 3 ilustra porque I_R é uma opção apropriada. Nesta equação, a corrente residual medida na Barra S é expressa em termos da corrente total de falta, I_F . Para sistemas onde $\angle Z_{0S} = \angle Z_{0L} = \angle Z_{0R}$ (sistemas homogêneos), o ângulo de fase de I_R é igual ao de I_F , independentemente das condições de carregamento e da resistência de falta.

$$I_R \left[\frac{(1-m) \cdot Z_{0L} + Z_{0R}}{Z_{0S} + Z_{0L} + Z_{0R}} \right] \cdot I_F \qquad \text{Equação 3}$$

Selecionando $I_P = I_R$, a medição pelo elemento de reatância é insensível às condições de carregamento. A Equação 4 define o alcance de um elemento de reatância polarizado por corrente residual (I_R) de alcance r para uma condição de falta limítrofe (falta no ponto de balanço, o limite do alcance ajustado).

$$\underline{r} = \frac{\text{Im}(V \cdot I_R^*)}{\text{Im}(I \cdot Z_{1L} \cdot I_R^*)} \qquad \text{Equação 4}$$

Na Equação 4, \underline{r} é igual ao alcance ajustado r para uma falta no limite de uma zona. Para faltas internas a uma zona, $\underline{r} < r$.

Para observar o desempenho otimizado do elemento de reatância polarizado por I_R para diferentes valores de R_F e condições de fluxo de potência, compare o alcance em por-unidade resultado da Equação 4 com a unidade, onde o alcance em por-unidade é $r' = \underline{r}/r$. Estes resultados estão expostos na Figura 7.

Por meio da figura, observe que este elemento de reatância não tem os problemas de subnem de sobrealcance que foram descritos para o critério $Z = V/I$.

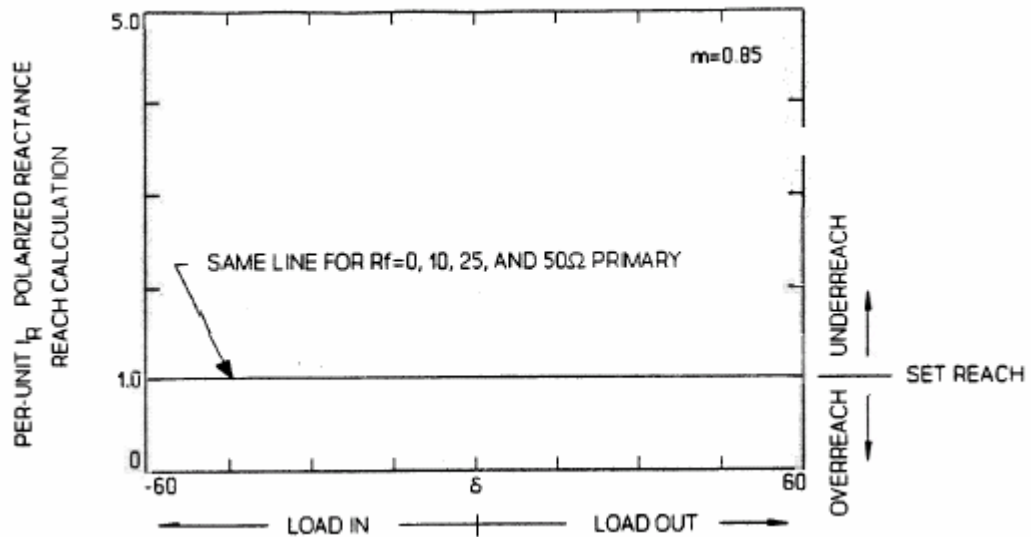


Figura 7: O Cálculo Otimizado do Alcance Reativo em Por-Unidade (r') Mostra que a Polarização por I_R não é Afetada por δ nem pela Resistência de Falta em Sistemas Homogêneos

Elemento de Resistência

A função de um elemento de resistência é limitar a cobertura resistiva para uma zona quadrilateral de proteção. Alguns elementos de resistência medem a resistência da linha acrescida de R_F . A Referência 1 descreve um elemento de resistência que restringe sua medição exclusivamente a R_F . A Referência 1 também descreve a dedução da seguinte equação para R_F :

$$R_F = \frac{\text{Im}[V \cdot (Z_{1L} \cdot I)^*]}{\text{Im}\left[\left(\frac{3}{2}\right) \cdot (I_2 + I_0) \cdot (Z_{1L} \cdot I)^*\right]}$$

A maior vantagem deste elemento de resistência de falta é que sua medição não é significativamente afetada pelas condições de carregamento. Isto permite ajustar o limite resistivo para um valor maior que a mínima impedância aparente de carga. A característica quadrilateral resultante e a sua resposta a diferentes condições de fluxo de potência e de R_F para uma falta AN em $m = 0,85$ é mostrada na Figura 8.

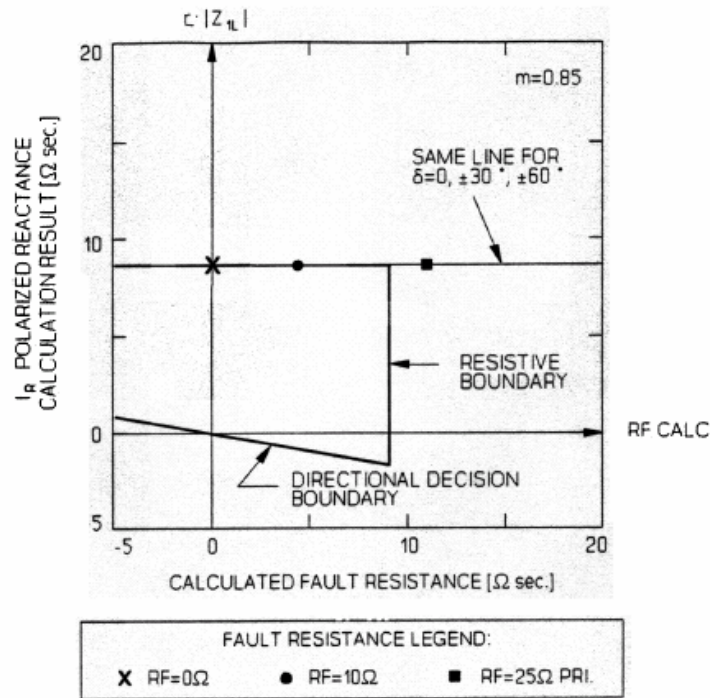


Figura 8: O Desempenho da Característica Quadrilateral Otimizada não Depende de δ

CARACTERÍSTICA TIPO MHO

O modo de típico de obter uma característica tipo mho é utilizar um comparador de fase tipo co-seno. Este comparador mede o ângulo de fase, θ , entre os sinais de operação e de polarização. Para $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$, a característica é circular. Os ângulos $\theta = -90^\circ$ e $\theta = 90^\circ$ definem o limite da característica no plano de impedância.

O comparador da característica tipo mho tem duas entradas que são os sinais de operação (S_{OP}) e de polarização (S_{POL}):

$$S_{OP} = \delta V \qquad S_{POL} = V_P$$

onde:

$$\delta V = (r \cdot Z_{1L} \cdot I - V), \text{ tensão compensada}$$

r = alcance em por-unidade

Z_{1L} = impedância de seqüência positiva da linha

$$I = I_A + k_0 \cdot I_R$$

V = tensão medida na fase A

V_P = tensão de polarização

A Referência 1 descreve a expressão do torque para este comparador de fase tipo co-seno, denominado P , como sendo:

$$P = \text{Re}(S_{OP} \cdot S_{POL}^*) = \text{Re}[(r \cdot Z_{1L} \cdot I - V) \cdot V_P^*] \qquad \text{Equação 5}$$

Todos os pontos onde $P = 0$ definem o limite de uma característica tipo mho de alcance $r \cdot Z_{1L}$.

Característica Tipo Mho Auto-Polarizada

Antes foi verificado o resultado de $Z = V/I$ contra uma característica retangular. Agora será testado Z contra uma característica tipo mho auto-polarizada para se observar como é o seu desempenho.

Para uma característica tipo mho auto-polarizada, $V_p = V$. Para determinar a característica limítrofe deste elemento, faça $P = 0$, substitua V em V_p na Equação 5 e resolva-a para Z :

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}[r \cdot Z_{1L} \cdot I - V] \cdot V^* &= 0 \\ \operatorname{Re}(r \cdot Z_{1L} \cdot I \cdot V^*) - |V|^2 &= 0 \end{aligned} \quad \text{Equação 6}$$

Fazendo $r \cdot Z_{1L} = |r \cdot Z_{1L}| \angle \theta_L$ onde $\theta_L = \hat{\text{ângulo de seqüência positiva da linha}}$

$\theta_V = \hat{\text{ângulo de V}}$

$\theta_I = \hat{\text{ângulo de I}}$

$$\begin{aligned} |r \cdot Z_{1L}| &= \frac{|V|^2}{\operatorname{Re}(I \cdot 1 \angle \theta_L \cdot V^*)} \\ |r \cdot Z_{1L}| &= \frac{|V|}{|I| \cdot \cos[\theta_L - (\theta_V - \theta_I)]} \end{aligned}$$

Em seguida, fazendo $Z = |Z| \angle \phi = V/I$ and $\phi = (\theta_V - \theta_I)$

$$|Z| = |r \cdot Z_{1L}| \cdot \cos(\theta_L - \phi) \quad \text{Equação 7}$$

Quando $\phi = \theta_L$, $|Z| = |r \cdot Z_{1L}|$. A Equação 7 descreve um círculo mho passando pela origem e por $r \cdot Z_{1L}$ no plano de impedância (Figura 9). A Equação 7 também mostra que o elemento de distância tipo mho auto-polarizado é equivalente a testar $Z = V/I$ contra uma característica circular no plano de impedância.

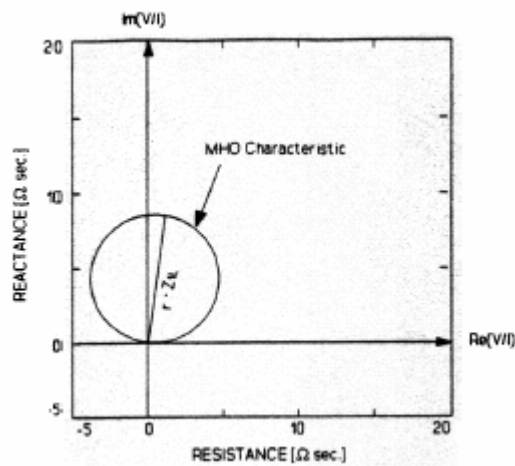


Figura 9: Característica Tipo Mho Auto-Polarizada com Alcance $r \cdot Z_{1L}$.

A Figura 10 mostra os valores da impedância aparente $Z = V/I$ do “loop” AN testados contra a característica tipo mho auto-polarizada para diferentes condições de fluxo de potência e de resistência de falta. Com fluxo de potência e resistência de falta, este relé apresenta problemas drásticos de subalcance e problemas ligeiros de sobrealcance. Comparado com a característica retangular, o problema de sobrealcance é reduzido porque há menor cobertura resistiva.

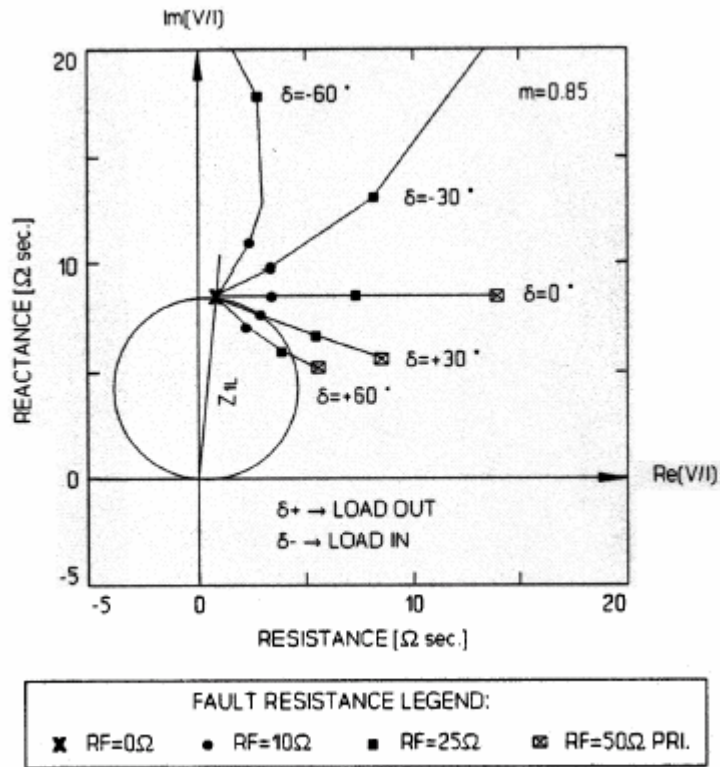


Figura 10: O Desempenho da Característica Tipo Mho Auto-Polarizada Depende de R_F e δ

Resolvendo a Equação 6 para o alcance mínimo requerido para apenas detectar uma falta (condição limite), em lugar de Z , obtém-se a seguinte expressão:

$$\underline{r} = \frac{\text{Re}(V \cdot V^*)}{\text{Re}(I \cdot Z_{1L} \cdot V^*)}$$

Para determinar se a falta está no interior ou no exterior da característica, compare o cálculo de \underline{r} contra r (mesmo processo adotado para o elemento de reatância). O resultado para o alcance em por-unidade do elemento tipo mho auto-polarizado, r' , na Figura 11 mostra os valores de sub e de sobrealcance para várias condições de fluxo de potência e de R_F para o sistema descrito na Figura 1. A razão da impedância da linha sobre o alcance ajustado (SIR – Source Impedance Ratio) para este exemplo é de 0,1 ($\text{SIR} = Z_{1S}/(r \cdot Z_{1L})$).

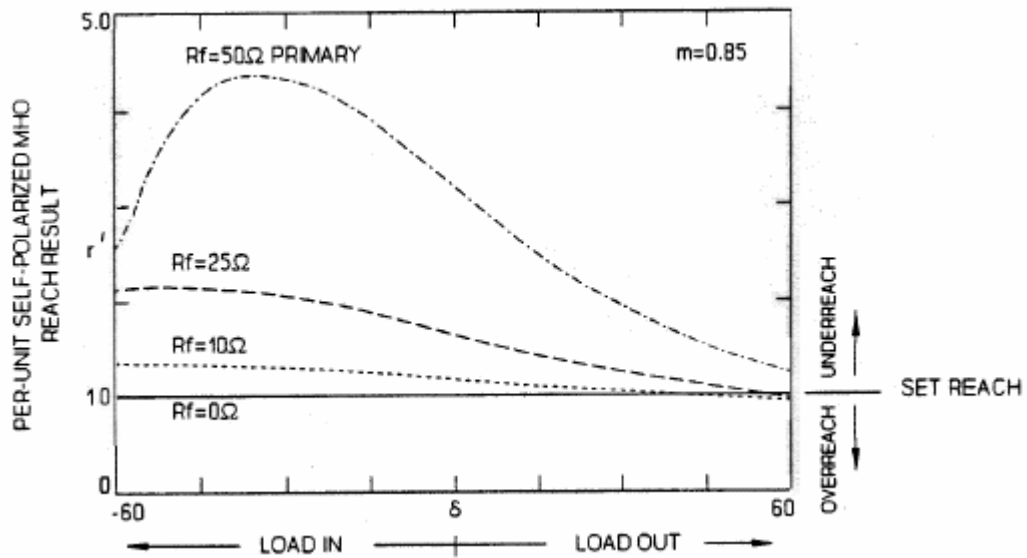


Figura 11: O Resultado para o Alcance em Por-Unidade do Elemento Tipo Mho Auto-Polarizado Ilustra os Valores de Sub e Sobrealcance (para $SIR = 0,1$)

Característica Tipo Mho Polarizada com Memória de Seqüência Positiva

A maior desvantagem de usar V como sinal de polarização é a falta de segurança para faltas de tensão zero (faltas sólidas próximas). Para estas faltas o sinal de polarização não tem um ângulo de fase definido.

O sinal de polarização ideal deve estar disponível permanentemente e não desaparecer com a falta. É sabido que, se o sistema está energizado antes da falta, a tensão pré-falta está disponível. Esta tensão pré-falta deve ser memorizada e empregada como sinal de polarização.

A Tabela 2 compara os resultados dos comparadores de fase tipo co-seno auto-polarizado e com polarização por memória da tensão fase-neutro para uma falta AN em $m = 0$. Observe que o ângulo $\theta_{\delta V} - \theta_{V_{PRE}}$ está disponível (não é indeterminado) e é menor que 90° para todos os casos. Isto demonstra que a tensão pré-falta memorizada é uma excelente grandeza de polarização.

Tabela 2: A Polarização por Memória É Melhor que a Auto-Polarização para Falta Próximas

δ	R_F [Ω pri.]	Auto-Polarizado $\theta_{\delta V} - \theta_V$	Polarizado por Memória $\theta_{\delta V} - \theta_{VPRE}$
0°	0	Indeterminado	0,00°
0°	1	85,20°	3,80°
0°	5	86,80°	18,00°
0°	10	88,90°	33,30°
0°	15	90,80°	45,30°
30°	0	Indeterminado	2,40°
30°	1	87,60°	6,10°
30°	5	89,10°	20,30°
30°	10	90,90°	35,30°
30°	15	92,60°	47,10°

Se for empregada a tensão memorizada de seqüência positiva ($V_{1_{mem}}$) para V_p , o sinal de polarização está presente mesmo que a memória tenha expirado para todos os tipos de falta, a menos das trifásicas. Outro benefício de $V_p = V_{1_{mem}}$ é a otimização da segurança durante condições de abertura monopolar para esquemas de proteção dotados de religamento automático monopolar.

Para obter a equação do limite da característica tipo mho polarizada por memória de seqüência positiva, faça $V_p = V_{1_{mem}}$ na Equação 5 e resolva para a condição limite:

$$r = \frac{\text{Re}(V \cdot V_{1_{mem}}^*)}{\text{Re}(I \cdot Z_{1L} \cdot V_{1_{mem}}^*)} \quad \text{Equação 8}$$

A Figura 12 mostra o cálculo do alcance em por-unidade (r') para diferentes R_F e condições de fluxo de potência para $SIR = 0,1$. Observe que não há muita diferença entre o desempenho dos elementos tipo mho polarizados por $V_{1_{mem}}$ ou V para faltas AN em $m = 0,85$. Isto se deve à fonte relativamente forte atrás do relé. O que acontece se a razão SIR for aumentada?

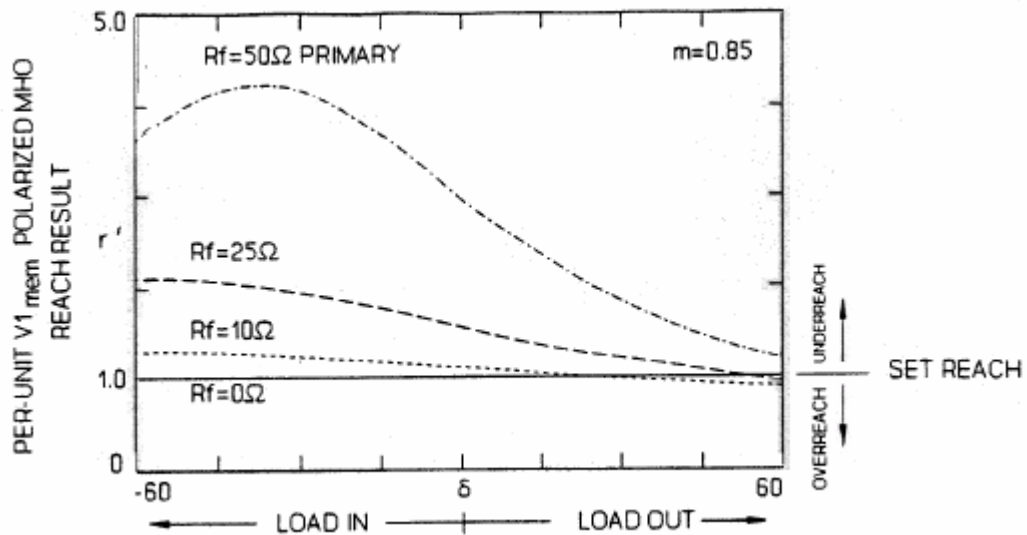


Figura 12: O Resultado do Alcance em Por-Unidade do Elemento Tipo Mho Polarizado por $V_{1_{mem}}$ Ilustra os Mesmos Valores de Sub e Sobrealcance para o Elemento Tipo Mho Auto-Polarizado (para $SIR = 0,1$)

As Figuras 14 e 15 mostram os valores de subalcance dos relés auto-polarizados e polarizados com memória de seqüência positiva para uma falta AN em $m = 0,85$ no sistema da Figura 13 ($SIR = 1,2$). Destas figuras, pode-se ver que o desempenho do relé polarizado por $V_{1_{mem}}$ é melhor do que o do relé auto-polarizado, porque seu subalcance é muito menor. Esta vantagem aumenta com o crescimento do SIR.

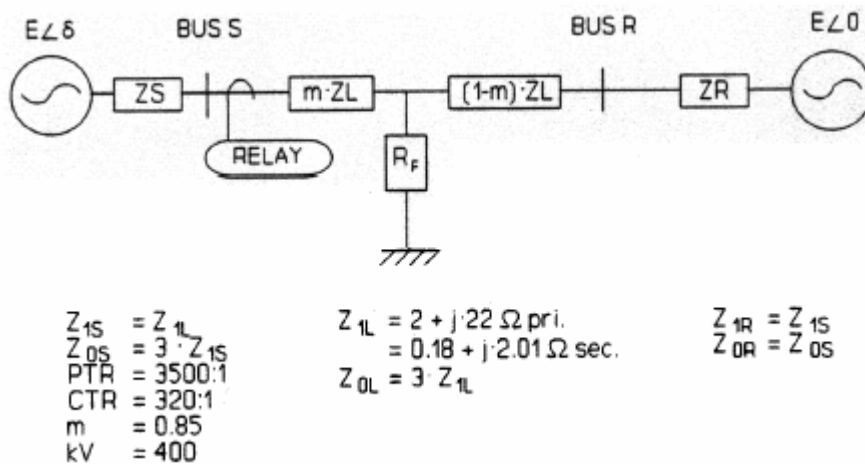


Figura 13: Diagrama Unifilar do Sistema ($SIR = 1,2$)

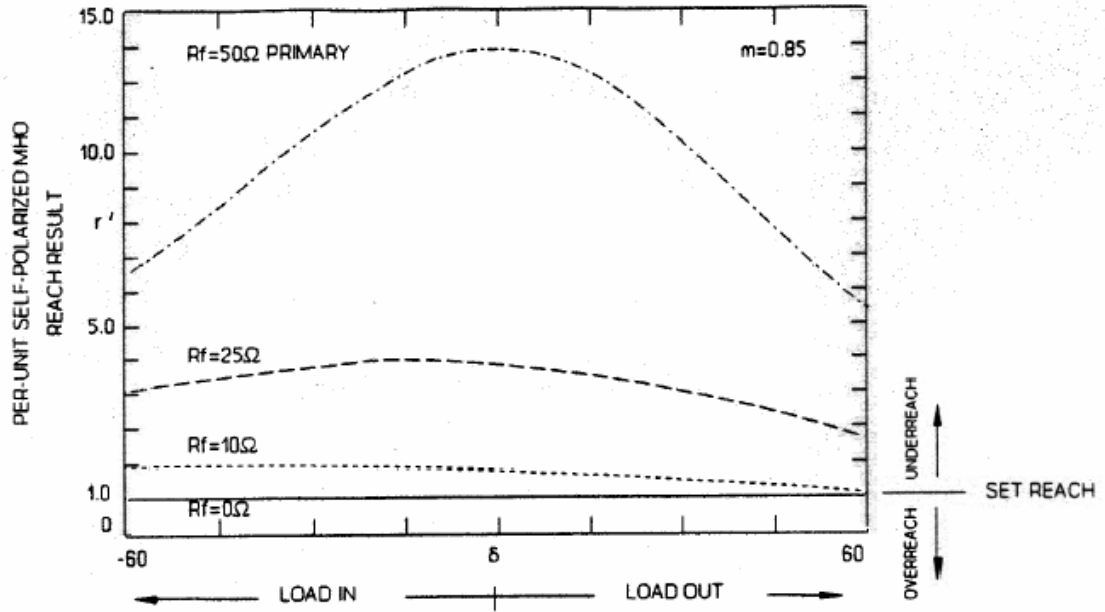


Figura 14: O Subbalcance do Elemento Tipo Mho Auto-Polarizado Aumenta Drasticamente com o Aumento do SIR (SIR mostrado = 1,2)

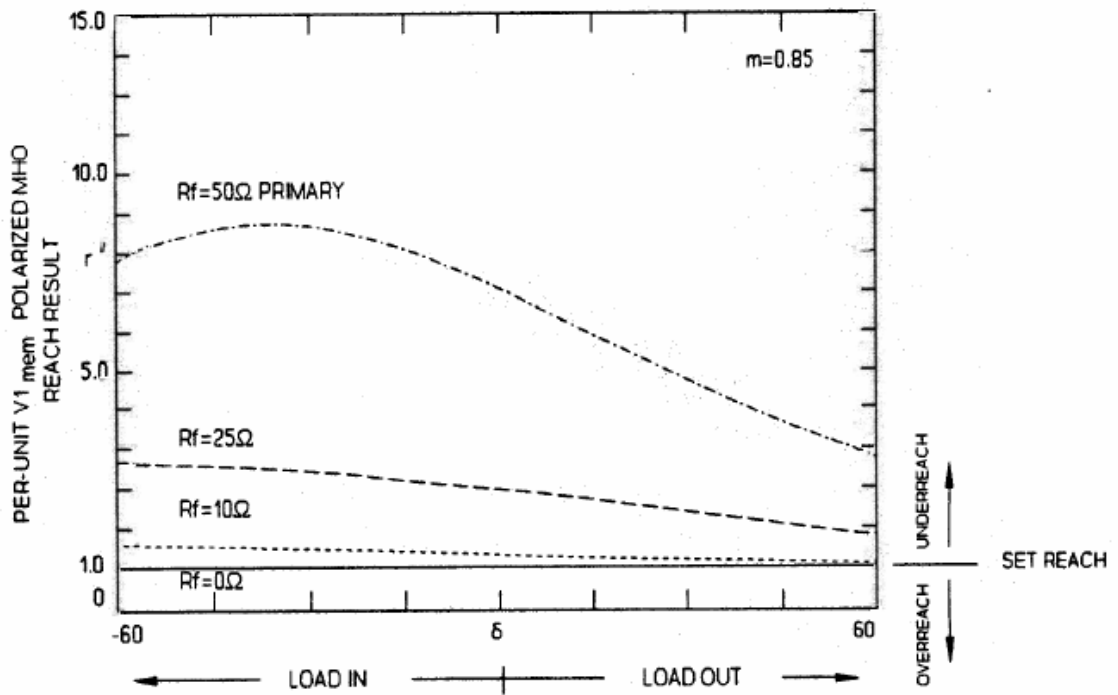


Figura 15: O Subbalcance do Elemento Tipo Mho Polarizado por V1mem É Menor do que o do Auto-Polarizado com SIR Crescente (SIR mostrado = 1,2)

O DENOMINADOR DO ELEMENTO TIPO MHO POLARIZADO POR $V1_{mem}$ É UM ELEMENTO DIRECIONAL

Na Equação 8, a tensão (V) no numerador pode ser nula para faltas sólidas próximas. Portanto, não se pode confiar no sinal de \underline{r} para indicar confiavelmente a direcionalidade. Felizmente, o denominador da Equação 8 define um elemento direcional. Este elemento direcional mede o ângulo θ entre o sinal de operação ($I \cdot Z_{1L}$) e o sinal de polarização ($V1_{mem}$). Os ângulos $\theta = -90^\circ$ e $\theta = 90^\circ$ definem a condição limite de torque nulo.

Denominando-se MAGD ao denominador para o elemento tipo mho AN, a partir da Equação 8 pode-se definir MAGD como:

$$MAGD = \text{Re}[I \cdot Z_{1L} \cdot (V1_{mem})^*] \quad \text{Equação 9}$$

A Figura 16 mostra as entradas deste denominador para faltas AN à frente (16a) e reversas (16b). Para simplicidade da ilustração, este exemplo assume $\delta = 0^\circ$, $R_F = 0$ e sistema com ângulo de 90° (impedâncias puramente reativas).

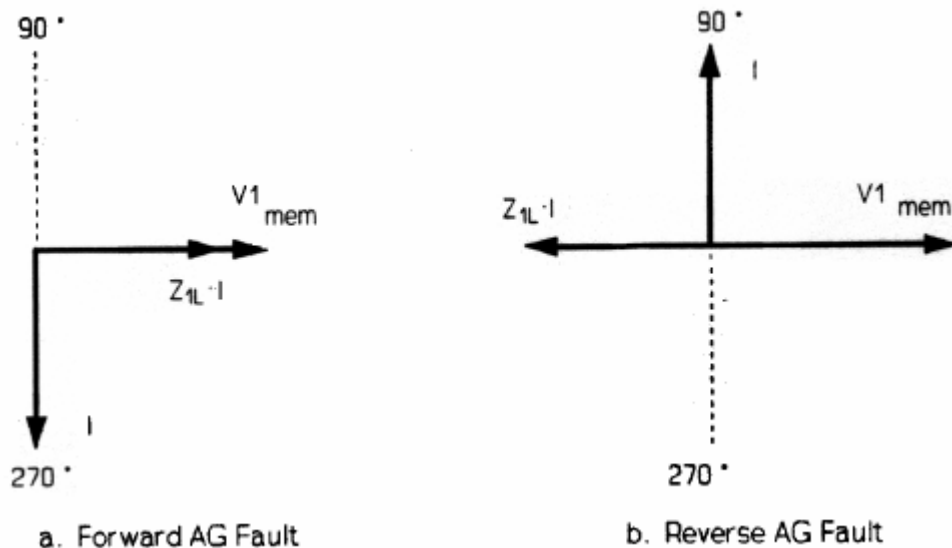


Figura 16: Entradas do Denominador do Elemento Tipo Mho AN para Faltas AN à Frente e Reversas

O sinal de MAGD é positivo para faltas à frente e negativo para faltas reversas. Como o sinal muda com a direção da falta, pode-se usar o denominador da Equação 8 como um elemento direcional.

A SUPERPOSIÇÃO PODE MELHORAR O DESEMPENHO DE $Z = V/I$?

O critério $Z = V/I$ sub e sobrealcança para faltas resistivas à terra porque I e I_F não estão em fase. Subtraindo a corrente equilibrada pré-falta (I_{APRE}) da corrente da fase em falta (I_A) resulta numa corrente (I') que está em fase com a corrente total de falta (I_F), assumindo que a carga pré-falta é equilibrada. Esta corrente I' é denominada de corrente de superposição. Será analisado a seguir o enfoque de substituir I' pela corrente da fase em falta na Equação AN mostrada na Tabela 1 para verificar seu desempenho.

A Figura 17 mostra os resultados do cálculo da impedância aparente (Z') com a corrente de superposição para faltas AN em $m = 0,85$ e diferentes R_F e condições de fluxo de potência. Esta modificação no relé de impedância aparente tem tendências severas a sub e a sobrealcançar. Uma diferença entre os resultados da medição de distância mostrados na Figura 17 e aqueles expostos na Figura 10 é que as condições de fluxo de potência que causam sub e sobrealcançe são exatamente opostas. O relé de impedância aparente por superposição subalcança para fluxo de potência exportado e sobrealcança para fluxo de potência importado, enquanto o relé de impedância aparente convencional subalcança para fluxo de potência importado e sobrealcança para fluxo de potência exportado.

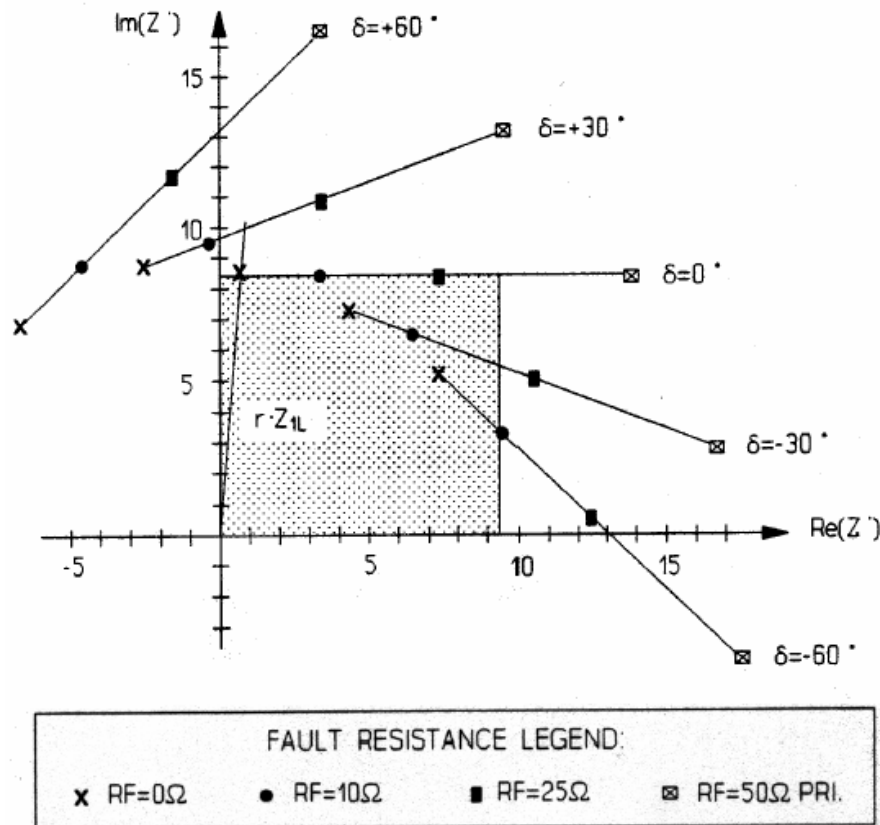


Figura 17: O Desempenho da Impedância Aparente com Superposição Depende de R_F e de δ

Observe também que o limite resistivo da direita deve ser ajustado em quase dez vezes mais do que o alcance da característica de resistência para apenas detectar um defeito AN com resistência de falta nula durante condições de elevado fluxo de potência importado ($\delta = -60^\circ$). Embora seja desejável detectar estas faltas, o grande alcance resistivo torna o relé suscetível a sobrealcançar para condições menos severas de fluxo de potência importado (por exemplo, $\delta = -30^\circ$) com resistência de falta.

Estas últimas observações, acrescidas àquelas apontadas antes para os resultados do cálculo de $Z = V/I$, enfatizam que um relé de impedância aparente não é uma alternativa aceitável em comparação com elementos de distância adequadamente polarizados.

QUANDO PODEM SER USADAS CARACTERÍSTICAS V/I?

Um exemplo onde $Z = V/I$ pode ser útil é a detecção de condições equilibradas, como as de carga. Por exemplo, pode-se definir as regiões de potência importada (Z_{LOAD_IN}) e exportada (Z_{LOAD_OUT}) por meio de limites geométricos e verificar o cálculo de V/I contra tais limites. Estas regiões definem as Características de Interferência de Carga. Se a razão V/I estiver dentro de ambas as regiões, a lógica de interferência de carga irá bloquear a atuação dos elementos de distância de fase. Uma condição de carga, um elemento tipo mho trifásico (3P21) e as características de interferência de carga estão descritos na Figura 18. Para esta condição de elevado fluxo de potência exportado, o elemento 3P21 tem sua atuação bloqueada porque a carga também reside dentro da característica de interferência de carga Z_{LOAD_OUT} .

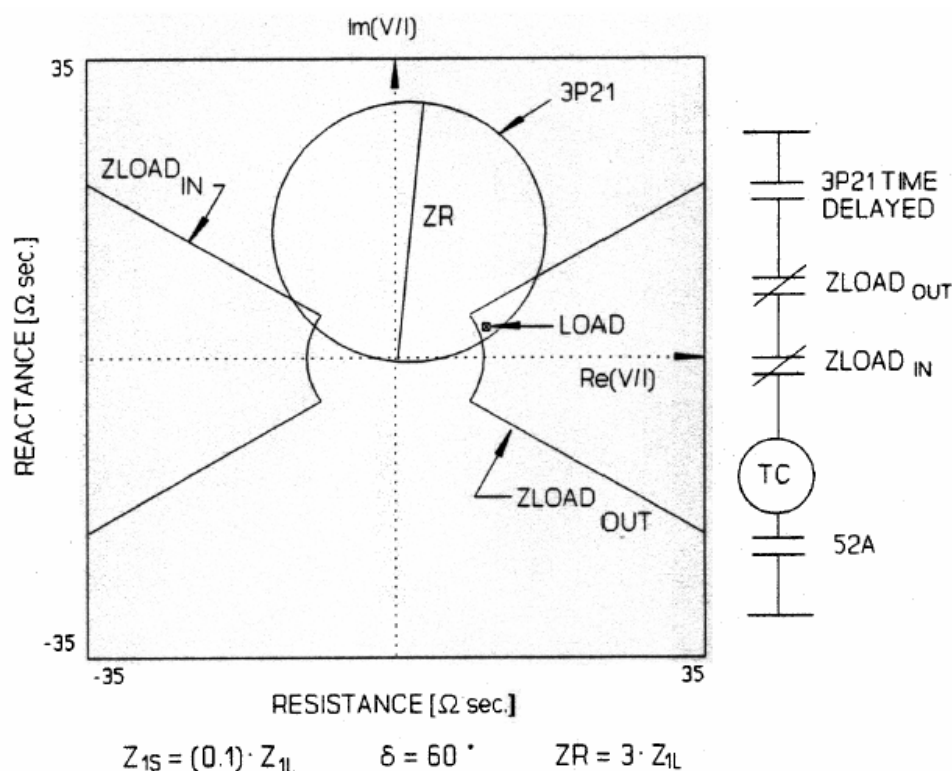


Figura 18: As Características de Interferência de Carga por $Z = V/I$ Evitam que os Elementos de Distância de Fase Operem sob Condições de Carregamento Elevado

SUMÁRIO

1. O resultado do cálculo da impedância aparente ($Z = V/I$) comparado com características geométricas (quadrilátero ou círculo) apresenta sérios problemas de sub e de sobrealcançe quando fluxo de potência e resistência de falta são combinados.
2. O critério $Z = V/I$ tem as mesmas deficiências de desempenho que os relés auto-polarizados.
3. O critério $Z = V/I$ não é otimizado pelo uso da corrente de superposição.

4. Escrever a equação de torque de uma característica de relé adequadamente polarizado, igualá-la a zero e resolvê-la para o alcance mínimo necessário para apenas detectar a falta (condição limite) conduz a um resultado que pode ser testado contra limites numéricos escalares (Referência 1). Este método propicia o resultado altamente desejável de fornecer um cálculo (por “loop” de falta) para todas as zonas com o desempenho de elementos adequadamente polarizados.
5. Foram apresentados elementos de resistência de terra que estimam o valor da resistência de falta. Esta estimativa, que não emprega a corrente de seqüência positiva influenciada pela carga, pode ser usada para zonas múltiplas e pode ser ajustada para um valor maior do que a impedância mínima de carga.
6. O cálculo de $Z = V/I$ pode ser empregado para detectar condições de carga, como na nova característica de interferência de carga (Referência 1).

Concluindo, os cálculos de $Z = V/I$ têm algum uso em elementos destinados a medir ao carregamento, mas desempenham-se mal em comparação com os cálculos de elementos de relés adequadamente polarizados, como representado pelas equações apresentadas para \underline{I} e R_F

REFERÊNCIAS

1. Edmund O. Schweitzer III and Jeff Roberts, *Distance Element Design*, 19th Annual Western Protective Relay Conference, October 1992, Spokane, WA, USA.
2. A. R. van C. Warrington, *Protective Relays: Their Theory and Practice*, Chapman and Hall, 1969, Volumes I and II.
3. V. Cook, *Analysis of Distance Protection*, John Wiley and Sons Inc., 1985.
4. Paul M. Anderson, *Analysis of Faulted Power Systems*, The Iowa State University Press, 1983.

BIOGRAFIAS

Edmund O. Schweitzer, III é Presidente da Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., Pullman, Washington, EUA, uma companhia que projeta e fabrica relés de proteção baseados em microprocessadores para sistemas elétricos de potência. Ele é também Professor Adjunto na Washington State University. Ele recebeu seus diplomas de Engenheiro Eletricista (BSEE) pela Purdue University em 1968 e de Mestrado por essa mesma universidade em 1971. Ele conquistou seu Doutorado (PhD) na Washington State University em 1977. Ele é autor ou co-autor de mais de 30 artigos técnicos. Ele é membro das Sociedades Eta Kappa Nu e Tau Beta Pi.

Jeff B. Roberts recebeu seu diploma de Engenheiro Eletricista (BSEE) pela Washington State University em 1985. Ele trabalhou na Pacific Gas and Electric Company como Engenheiro de Relés de Proteção por mais de três anos. Em novembro de 1988 ele uniu-se à Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. como Engenheiro de Aplicação. Ele atualmente trabalha como Gerente de Engenharia de Aplicação. Ele tem artigos publicados na Western Protective Relay Conference, Texas A&M University, Georgia Tech e Southern African Conference on Power System Protection. Ele possui diversas patentes e tem outras patentes pendentes.

Armando Guzman recebeu seu diploma de Engenheiro Eletricista (BSEE) pela Universidad Autonoma de Guadalajara (UAG), México, em 1979. Ele recebeu diploma de Fiber Optics Engineering do Monterey Advanced Studies Technological Institute (ITESM), México, em 1990. Ele trabalhou como Supervisor Regional do Departamento de Proteção na Região de Transmissão Oeste da Comissão Federal de Eletricidade (a companhia de eletricidade do México) por treze anos. Ele lecionou proteção de sistemas de potência na Universidad Autonoma de Guadalajara. Desde 1993 ele tem trabalhado com a Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., onde é atualmente um Engenheiro de Aplicação. Ele é autor e co-autor de diversos artigos técnicos.