ELEMENTO DIRECIONAL DE IMPEDÂNCIA DE SEQÜÊNCIA NEGATIVA

Bill Fleming
Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.
Pullman, WA USA

INTRODUÇÃO

O Relé SEL-321 contém um elemento direcional inovador que usa as grandezas de seqüência-negativa tradicionais de um modo um pouco diferente do que é usado pelos elementos direcionais de seqüência-negativa tradicionais. Este paper descreve e fornece um método para testar esse novo elemento direcional.

O QUE É SEQÜÊNCIA-NEGATIVA E POR QUE NÓS USAMOS A SEQÜÊNCIA-NEGATIVA PARA OS ELEMENTOS DIRECIONAIS?

A seqüência-negativa é uma das três grandezas utilizadas na análise de componentes simétricas dos sistemas de potência trifásicos. As componentes simétricas são usadas para calcular as condições de desbalanço de um sistema trifásico usando somente o cálculo monofásico. Isso simplifica enormemente o processo do cálculo das grandezas de falta para faltas fase-fase, fase-terra e fase-fase-terra nos sistemas de potência.

As componentes simétricas consistem de grandezas positivas, negativas e de seqüência-zero. Basicamente os valores de seqüência-positiva são aqueles presentes durante condições trifásicas equilibradas. As grandezas de seqüência-positiva representam as correntes e tensões normais observadas nos sistemas de potência durante condições típicas de regime. As grandezas de seqüência-negativa medem a quantidade de desbalanço existente no sistema de potência. As grandezas de seqüência-zero estão mais comumente associadas ao fato de se envolver a terra em condições de desbalanço. As grandezas de seqüência-negativa e zero somente estão presentes com valores substanciais durante condições de faltas desequilibradas no sistema de potência.

Uma vez que as grandezas de seqüência-negativa e zero somente são apresentadas através de valores relativamente elevados em condições de falta, elas são freqüentemente utilizadas para determinar se existe uma condição de falta no sistema de potência. A seqüência-negativa pode ser usada para detectar faltas fase-fase, fase-terra e fase-fase-terra. A seqüência-zero pode ser usada para detectar faltas fase-terra e fase-fase-terra.

Como exemplo, nós vamos calcular as componentes de seqüência positiva e negativa das três seguintes condições das tensões de fase:

- Um sistema perfeitamente equilibrado
- Um sistema perfeitamente desequilibrado ou rotação de fases invertida
- Uma falta típica da fase A à terra

As equações para calcular as seqüências positiva e negativa são dadas a seguir:

$$V_1 = 1/3 \cdot (Va + aVb + a^2Vc)$$

$$V_2 = 1/3 \cdot (Va + a^2Vb + aVc)$$

V1 é a tensão de seqüência-positiva, V2 é a tensão de seqüência-negativa e "a" é um operador igual a $1 \angle 120º$. Multiplicando um fasor por "a" faz girar esse fasor 120 graus no sentido horário. Quando elevado ao quadrado, o operador "a^2" torna-se igual a $1 \angle 240º$ e faz girar um fasor em 240 graus no sentido horário.

Considere um sistema perfeitamente equilibrado.

$Va = 67 \angle 0º$ volts

$Vb = 67 \angle -120º$ volts

$Vc = 67 \angle 120º$ volts

$$V_1 = 1/3 \cdot (67 \angle 0º + 1 \angle 120º \cdot 67 \angle -120º + 1 \angle 240º \cdot 67 \angle 120º)$$

$$= 1/3 \cdot (67 \angle 0º + 67 \angle 0º + 67 \angle 0º) = 1/3 \cdot 3 \cdot 67 \angle 0º = 67 \angle 0º \text{ volts}$$

$$V_2 = 1/3 \cdot (67 \angle 0º + 1 \angle 240º \cdot 67 \angle -120º + 1 \angle 120º \cdot 67 \angle 120º)$$

$$= 1/3 \cdot (67 \angle 0º + 67 \angle 120º + 67 \angle 240º) = 1/3 \cdot 0 = 0 \text{ volts}$$

Para um sistema perfeitamente equilibrado, a tensão de seqüência-positiva é igual a $67 \angle 0º$ volts e a tensão de seqüência-negativa é zero.

A seguir examinaremos um sistema perfeitamente desequilibrado ou um sistema que tenha rotação de fases invertida.

$Va = 67 \angle 0º$ volts

$Vb = 67 \angle 120º$ volts

$Vc = 67 \angle -120º$ volts

$$V_1 = 1/3 \cdot (67 \angle 0º + 1 \angle 120º \cdot 67 \angle 120º + 1 \angle 240º \cdot 67 \angle -120º)$$

$$= 1/3 \cdot (67 \angle 0º + 67 \angle 240º + 67 \angle 120º) = 1/3 \cdot 0 = 0 \text{ volts}$$

$$V_2 = 1/3 \cdot (67 \angle 0º + 1 \angle 240º \cdot 67 \angle 120º + 1 \angle 120º \cdot 67 \angle -120º)$$

$$= 1/3 \cdot (67 \angle 0º + 67 \angle 0º + 67 \angle 0º) = 1/3 \cdot 3 \cdot 67 \angle 0º = 67 \angle 0º \text{ volts}$$

Para um sistema perfeitamente desequilibrado, a tensão de seqüência-negativa é igual a $67 \angle 0º$ volts e a tensão de seqüência-positiva é zero.

Finalmente, nós vamos examinar uma falta típica da fase A à terra.

$Va = 37 \angle 0º$ volts

$Vb = 67 \angle -120^o$ volts

$Vc = 67 \angle 120^o$ volts

$$V_1 = 1/3 \cdot (37 \angle 0^o + 1 \angle 120^o \cdot 67 \angle -120^o + 1 \angle 240^o \cdot 67 \angle 120^o)$$

$$= 1/3 \cdot (37 \angle 0^o + 67 \angle 0^o + 67 \angle 0^o) = 1/3 \cdot 171 \angle 0^o = 57 \angle 0^o \text{ volts}$$

$$V_2 = 1/3 \cdot (37 \angle 0^o + 1 \angle 240^o \cdot 67 \angle -120^o + 1 \angle 120^o \cdot 67 \angle 120^o)$$

$$= 1/3 \cdot (37 \angle 0^o + 67 \angle 120^o + 67 \angle 240^o) = 1/3 \cdot 30 \angle 180^o = 10 \angle 180^o \text{ volts}$$

Para uma falta da fase A à terra, a tensão de seqüência-positiva é reduzida e a tensão de seqüência-negativa está 180º defasada com relação a tensão de seqüência-positiva.

ELEMENTO DIRECIONAL DE SEQÜÊNCIA-NEGATIVA TRADICIONAL

Quando o termo "Elemento Direcional de Seqüência-Negativa" é usado, o pensamento que mais ocorre é que ele é um elemento que observa a tensão de seqüência-negativa e verifica a corrente de seqüência-negativa de uma linha de transmissão, e em seguida compara os ângulos de fase relativos das duas grandezas. Uma falta à frente é declarada quando a corrente de seqüência-negativa está adiantada da tensão de seqüência-negativa em 180º menos o ângulo característico da linha de transmissão. Essa característica pode ser descrita pela seguinte equação:

$$T32Q = |V_2| \cdot |I_2| \cdot \cos(\angle -V_2 - (\angle I_2 + MTA))$$

T32Q é o "torque" produzido pelo elemento direcional de seqüência-negativa e MTA é o ângulo característico da linha de transmissão. Um torque positivo indica uma falta à frente.

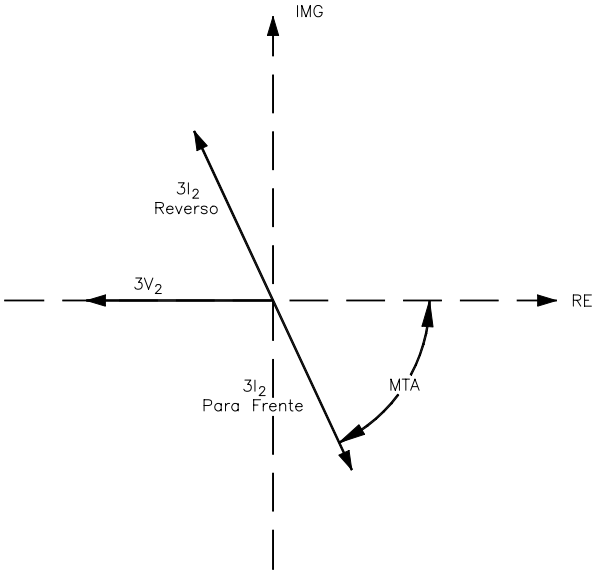

Figura 1: Características do Elemento Direcional de Seqüência-Negativa Tradicional

Para a falta típica da fase A à terra na seção acima, a corrente na fase A ficaria atrasada da tensão na fase A o valor de MTA da linha. Para nosso sistema simplificado, vamos admitir um MTA de 90 graus. Então, a corrente na fase A apareceria com um ângulo de –90 graus. Para calcular a corrente de seqüência-negativa dessa falta, nós usaremos a mesma equação que usamos para a tensão de seqüência-negativa, substituindo a tensão pela corrente. Isso dá:

$Ia = 9 \angle -90^o$ amps

$Ib = 0$ amps

$Ic = 0$ amps

$I_2 = 1/3 \cdot (Ia + 1 \angle 240^o \cdot Ib + 1 \angle 120^o \cdot Ic) = 1/3 \cdot (9 \angle -90^o + 1 \angle 240^o \cdot 0 + 1 \angle 120^o \cdot 0)$

$= 1/3 \cdot 9 \angle -90^o = 3 \angle -90^o$ amps

A corrente de seqüência-negativa é 1/3 da corrente da fase A e está na mesma direção (tem o mesmo ângulo de fase da corrente da fase A).

Agora nós podemos avaliar a equação do torque para o elemento direcional de seqüência-negativa tradicional.

$V_2 = 10 \angle 180^o$ volts

$I_2 = 3 \angle -90^o$ amps

$T32Q = |V_2| \cdot |I_2| \cdot \cos(\angle -V_2 - (\angle I_2 + MTA))$

$= |10 \angle 180^o| \cdot |3 \angle -90^o| \cdot \cos(\angle -10 \angle 180^o - (\angle 3 \angle -90^o + 90^o))$

$= |10| \cdot |3| \cdot \cos(0 - (-90^o + 90^o)) = 30 \cdot \cos(0) = 30 \cdot 1 = 30$ VA

Para essa falta simulada, podemos ver que um torque positivo é produzido indicando uma direção à frente.

Uma falta reversa poderia ser avaliada da mesma forma. Todas as grandezas seriam as mesmas, exceto a corrente da fase A (e a corrente de seqüência negativa resultante) estaria 180 graus defasada com relação ao exemplo anterior. Isso resultaria num torque negativo e numa declaração direcional reversa.

Esse elemento direcional tem sido usado com bastante sucesso por muitos anos. Entretanto, pode ser demonstrado que a tensão de seqüência-negativa que ocorre durante uma falta é inversamente proporcional à potência da fonte que existe atrás do relé, no caso de uma falta à frente, ou na frente do relé, para uma falta reversa. Isto é, quanto mais potente a fonte (menor será a impedância da fonte), menor será a tensão de seqüência-negativa produzida. Esse fato, somado ao efeito da resistência de falta, que tende a diminuir o valor da corrente de falta (e da corrente de seqüência-negativa) existente durante uma falta, produz uma sensibilidade mínima para o elemento direcional de seqüência negativa tradicional. Você vai observar acima que o torque produzido por esse elemento direcional é diretamente proporcional à tensão de seqüência-negativa e à corrente de seqüência-negativa existentes durante a falta.

Para superar essas limitações, um novo elemento direcional de seqüência-negativa foi desenvolvido.

ELEMENTO DIRECIONAL DE IMPEDÂNCIA DE SEQÜÊNCIA-NEGATIVA

O elemento direcional de impedância de seqüência-negativa do Relé SEL-321 utiliza as mesmas grandezas que foram abordadas nas seções anteriores, porém determina a direção usando uma equação diferente. Em vez de usar o produto da tensão de seqüência-negativa e corrente de seqüência-negativa, o Relé SEL-321 utiliza a relação dessas duas grandezas. Essa relação da tensão de seqüência-negativa pela corrente de seqüência-negativa tem como resultado a impedância de seqüência-negativa.

Em geral, o cálculo direcional que ocorre é determinado conforme:

$$Z_2 = V_2 / I_2 \text{ ou } 3V_2 / 3I_2$$

Conforme vimos acima, a tensão de seqüência-negativa desenvolvida para uma falta à frente ou reversa é sempre negativa (para nosso exemplo, $V_2 = 10 \angle 180º$ ou –10 volts). Para uma falta à frente, a corrente de seqüência-negativa está atrasada da tensão (tensão da fase em falta) o valor de MTA da linha e é considerada positiva. Para nosso exemplo, a corrente de seqüência- negativa para a falta à frente foi $3 \angle -90º$ (ficando atrás da tensão da fase em falta, A, que era de 0 graus). Para uma falta reversa, a corrente de seqüência-negativa está 180 graus defasada, ou na direção reversa da corrente de seqüência-negativa para uma falta à frente. Essa direção é considerada reversa ou negativa. Para nosso exemplo, a corrente de seqüência-negativa para a falta reversa foi de $3 \angle 90º$.

Uma vez que a tensão de seqüência-negativa é sempre negativa, e a corrente de seqüência-negativa é positiva para uma falta à frente e negativa para uma falta reversa, uma relação simples pode ser desenvolvida. Para uma falta à frente, a impedância de seqüência negativa é sempre negativa (Z_2 = valor negativo / valor positivo) e para uma falta reversa, a impedância de seqüência-negativa é sempre positiva (Z_2 = valor negativo / valor negativo).

Resumindo:

Falta à frente

$Z_2 = V_2 / I_2 = 10 \angle 180º / 3 \angle -90º = 3{,}33 \angle 270º$ ohms ou ...

$Z_2 = -3{,}33$ ohms

Falta reversa

$Z_2 = V_2 / I_2 = 10 \angle 180º / 3 \angle 90º = 3{,}33 \angle 90º$ ohms ou ...

$Z_2 = +3{,}33$ ohms

Uma vez que é usada uma relação tensão / corrente, faltas com valores de tensão de seqüência-negativa muito pequenos podem ser detectadas. À medida que a tensão de seqüência-negativa é reduzida, a impedância de seqüência-negativa tende à zero. Conforme vai ser abordado na próxima seção, uma impedância de seqüência-negativa praticamente igual a zero pode ser detectada e utilizada para as decisões necessárias de acordo com os ajustes do elemento. Em geral, uma impedância de seqüência-negativa próxima de zero indica uma falta à frente.

AJUSTES PARA O ELEMENTO DIRECIONAL DE IMPEDÂNCIA DE SEQÜÊNCIA-NEGATIVA

Existem cinco ajustes necessários para o elemento direcional de impedância de seqüência-negativa no Relé SEL-321. Esses ajustes consistem de valores limites de impedância de seqüência-negativa para faltas à frente e reversa (Z2F e Z2R), um valor limite de corrente de seqüência-negativa para faltas à frente e reversa (50QF e 50QR), e um fator de restrição de corrente de seqüência-positiva (a2).

Os ajustes Z2F e Z2R são os principais ajustes para esse elemento direcional. Uma vez que uma falta reversa tem uma impedância de seqüência-negativa que é positiva e uma falta à frente tem uma impedância de seqüência-negativa que é negativa, Z2R é sempre ajustado mais positivo do que Z2F. Praticamente em todas as aplicações, Z2F pode ser ajustado em 1/2 da impedância de seqüência-positiva da linha e Z2R pode ser ajustado igual a Z2F + 0,1 ohms. Qualquer impedância de seqüência-negativa medida que for menor do que o ajuste de Z2F é declarada como uma falta à frente e qualquer impedância de seqüência-negativa medida que for maior do que Z2R é considerada uma falta reversa.

Os ajustes 50QF e 50QR atuam como detectores de falta para faltas à frente e reversa respectivamente. Esses elementos atuam de acordo com os valores de $3I_2$, e não de I_2. Para uma declaração de faltas à frente, a magnitude de $3I_2$ deve exceder o ajuste de 50QF. Para uma declaração de faltas reversas, a magnitude de $3I_2$ deve exceder o ajuste de 50QR. Ajustes típicos para esses elementos são 50QF = 0,5 A e 50QR = 0,25 A.

O fator de restrição da corrente de seqüência-positiva atua como uma condição de supervisão para o elemento direcional. O elemento direcional de impedância de seqüência-negativa detecta todos os tipos de faltas desequilibradas e não é projetado para detectar faltas equilibradas (faltas trifásicas). Condições assimétricas da linha resultam em uma pequena quantidade de corrente de seqüência-negativa e, como resultado, tensão de seqüência-negativa presente durante faltas trifásicas equilibradas. O elemento a2 evita que o elemento direcional de impedância de seqüência-negativa opere, impondo a condição necessária de que o valor da corrente de seqüência-negativa (I_2) tenha que exceder o valor da corrente de seqüência-positiva em algumas vezes o ajuste de a2. Ajustes típicos para o elemento a2 são 0,07 a 0,1 (esse ajuste é uma relação e, portanto, não tem unidade).

TESTANDO O ELEMENTO DIRECIONAL DE IMPEDÂNCIA DE SEQÜÊNCIA-NEGATIVA

Para testar o elemento direcional de impedância de seqüência-negativa, nós precisaremos conhecer os valores dos cinco ajustes acima; Z2F, Z2R, 50QF, 50QR e a2. Além disso, precisaremos saber o ângulo característico da linha que é representado pelo ajuste Z1ANG.

Para este exemplo, usaremos os seguintes ajustes:

Z2F = 3,9 ohms

Z2R = 4,0 ohms

50QF = 0,5 amps

50QR = 0,25 amps

a2 = 0,1

Z1ANG = 83,97 graus

A seguir, vamos preparar o Relé SEL-321. Nós estamos interessados em testar somente o elemento direcional, portanto vamos isolar as saídas "à frente" e "reversa" do elemento direcional. Uma decisão direcional "à frente" é indicada pelo "Relay Word bit" 32QF e uma decisão direcional "reversa" é indicada pelo "Relay Word bit" 32QR. Para especificar esses "Relay Word bits" para contatos de saída individuais, execute os seguintes comandos no Nível de Acesso 2 no Relé SEL-321.

```
=>>SET L OUT7 TERSE
SELogic group 1

OUT7  =NA

 ? 32QR
OUT8  =NA

 ? 32QF
OUT9  =NA

 ? END
Save changes (Y/N) ? Y
Settings saved
```

Todas as saídas podem ser usadas. Este exemplo está usando a Saída 7 (Output 7) para indicar uma decisão reversa e a Saída 8 (Output 8) para indicar uma decisão à frente.

Nós vamos também desabilitar a lógica de perda de potencial (LOP – Loss-of-Potential) efetuando os seguintes ajustes. Desabilitar a lógica LOP vai evitar que a mesma atue durante os testes. Quando a lógica LOP atua, o elemento direcional de impedância de seqüência-negativa vai automaticamente para o estado de decisão à frente. Um valor típico de atuação (pickup) da lógica LOP é 14 volts de tensão de seqüência-negativa, que é um valor fácil de ser alcançado durante os testes.

```
=>>SET ELOP TERSE
GROUP 1

Enable Loss-of-Potential: (Y/N)                ELOP  = Y      ? N
Loss-Of-Potential Delay: (TDPU)(1-60 cyc)      LOPD  = 3.00   ? END
Save changes (Y/N) ? Y
Settings saved
```

Para testar o elemento direcional de seqüência-negativa, é necessário monitorar as saídas designadas para 32QR e 32QF. Neste exemplo, elas são as Saídas 7 e 8 (Outputs 7 e 8).

Para calcular os valores de pickup e dropout, nós vamos usar a equação $Z_2 = V_2 / I_2$ ou $3V_2 / 3I_2$. Vamos simular uma falta fase-terra e monitorar o elemento direcional.

Para calcular a tensão de seqüência-negativa e a corrente de seqüência-negativa para nossa falta fase-terra, vamos usar equações simplificadas.

- Corrente de Seqüência-Negativa, Monofásica

Vamos admitir um sistema radial de forma que somente a corrente monofásica está envolvida. Assim, $3I_2$ vai ser igual a corrente da fase em falta em magnitude e ângulo.

$$I_2 = 1/3 \cdot (Ia + a^2Ib + aIc)$$

se Ib = Ic = 0, então

$$3I_2 = Ia$$

- Tensão de Seqüência-Negativa, Monofásica

Se uma fonte de tensão monofásica for usada, o mesmo princípio permanece válido. $3V_2$ vai ser igual a tensão monofásica aplicada em magnitude e ângulo.

$$V_2 = 1/3 \cdot (Va + a^2Vb + aVc)$$

se Vb = Vc = 0, então

$$3V_2 = Va$$

- Tensão de Seqüência-Negativa, Trifásica

Em nosso cálculo da tensão de seqüência-negativa apresentado acima, vimos que para ângulos de fase equilibrados (0, -120, 120), $3V_2$ = "tensão da fase boa" – "tensão da fase em falta" com um ângulo de 180 graus em oposição ao da tensão da fase em falta. Isto é, nosso exemplo usou:

$$Va = 37 \angle 0^o$$

$$Vb = 67 \angle -120^o$$

$$Vc = 67 \angle 120^\circ$$

$$3V_2 = 67 - 37 = 30 \angle 180^o \text{ volts}$$

Use essas equações para determinar a corrente e tensão de seqüência-negativa quando da realização de testes.

A seguir, calcule os valores de pickup (atuação) para cada valor limite de impedância de seqüência-negativa.

$Z2F = 3{,}9 \text{ ohms} = 3V_2 / 3I_2$

então, $3I_2 = 3V_2 / Z2F = 3V_2 / 3{,}9$

Escolha um valor apropriado de $3V_2$ que dê um valor razoável (e viável) de $3I_2$. Para esse exemplo, uma tensão de seqüência-negativa $3V_2 = 30$ volts vai atender perfeitamente.

$3I_2 = 3V_2 / Z2F = 30 / 3{,}9 = 7{,}69$ amps

Efetue os mesmos cálculos para o pickup reverso.

$Z2R = 4{,}0$ ohms $= 3V_2 / 3I_2$

então, $3I_2 = 3V_2 / Z2R = 30 / 4{,}0 = 7{,}5$ amps

Aplique $3V_2 = 30 \angle 180^o$ volts no relé através de um dos dois métodos descritos acima.

Monofásico	Trifásico
$Va = 30 \angle 180^o$ volts	$Va = 37 \angle 0^o$ volts
	$Vb = 67 \angle -120^o$volts
	$Vc = 67 \angle 120^o$volts

Em seguida, aplique a corrente e lentamente eleve a magnitude mantendo o ângulo de fase constante. Uma vez que ambos os valores limites neste exemplo são positivos (Z2F = 3,9 ohms, Z2R = 4,0 ohms) indicando uma falta reversa, a corrente aplicada terá um ângulo de fase de 180 graus defasada com relação a uma falta à frente. Estamos usando a fase A para este exemplo, logo uma falta à frente teria um ângulo de $\angle$ Va – MTA ou 0 – 83,97 graus = -83,97 graus. Adicione 180 à esse valor para obter 96,03 graus para o ângulo de teste.

Ajuste o ângulo de fase da corrente em +96,03 graus e, vagarosamente, aumente a corrente aplicada à entrada Ia do relé. No valor do ajuste de 50QR de 0,25 A, o elemento 32QR deve atuar indicando uma falta reversa. No valor limite de Z2R de 7,5 A, o elemento 32QR deve resetar. No valor limite de Z2F de 7,69 A, o elemento 32QF deve atuar.

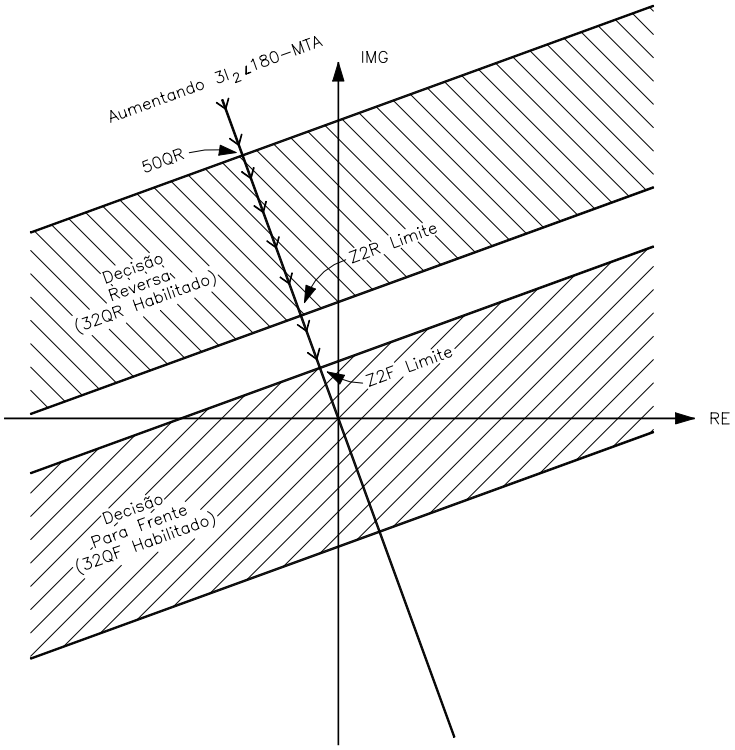

Figura 2: Ambos Z2R e Z2F são Positivos

Na maioria das aplicações, Z2F e Z2R serão ajustados com valores positivos. É possível encontrar situações onde Z2R e Z2F são negativos. Especificamente, duas outras condições podem ocorrer: Z2R é positivo e Z2F é negativo ou Z2R e Z2F são ambos negativos. Para testar essas duas condições é necessária uma pequena modificação nos procedimentos mostrados acima.

Se Z2R for positivo e Z2F for negativo, dois testes devem ser efetuados separadamente para testar o elemento direcional por completo. Inicialmente, comece com o ângulo de fase de corrente ajustado para uma falta reversa e lentamente eleve a corrente. Ao atingir o ajuste de 50QR, 32QR vai atuar. À medida que a corrente vai sendo elevada, o elemento 32QR vai resetar (drop out) no valor limite de Z2R calculado. Em seguida, comece com o ângulo de fase de corrente ajustado para uma falta à frente e lentamente eleve a corrente. Ao atingir o ajuste de 50QF o elemento 32QF vai atuar. À medida que a corrente vai sendo elevada, o elemento 32QF vai resetar no valor limite de Z2F calculado.

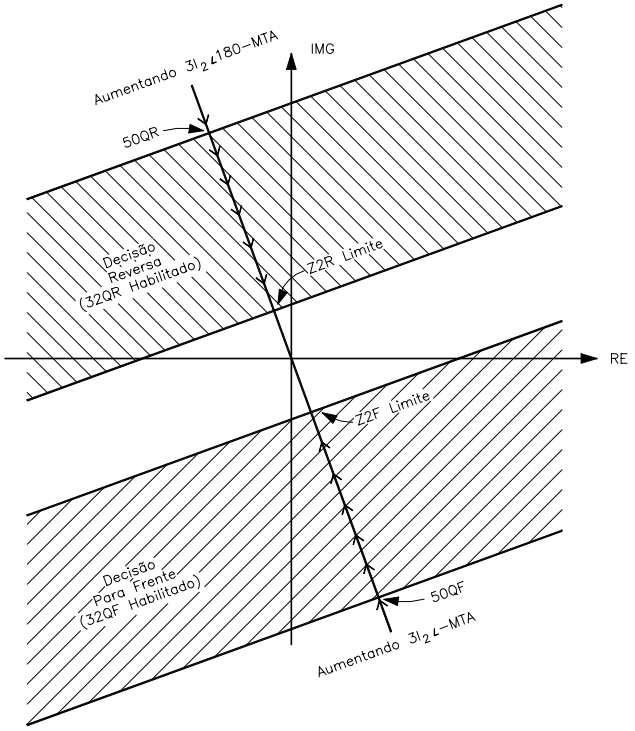

Figura 3: Z2R é Positivo e Z2F é Negativo

Se Z2R e Z2F são ambos negativos, somente um teste é necessário para testar o elemento direcional por completo. Ajuste o ângulo de fase da corrente para uma falta à frente e lentamente aumente a magnitude da corrente. Ao atingir o ajuste de 50QF, 32QF vai atuar. À medida que a corrente vai sendo elevada, o elemento 32QF vai resetar no valor limite de Z2F calculado. À

medida que a corrente vai sendo elevada, o elemento 32QR vai atuar assim que a magnitude da corrente atingir o valor limite de Z2R calculado.

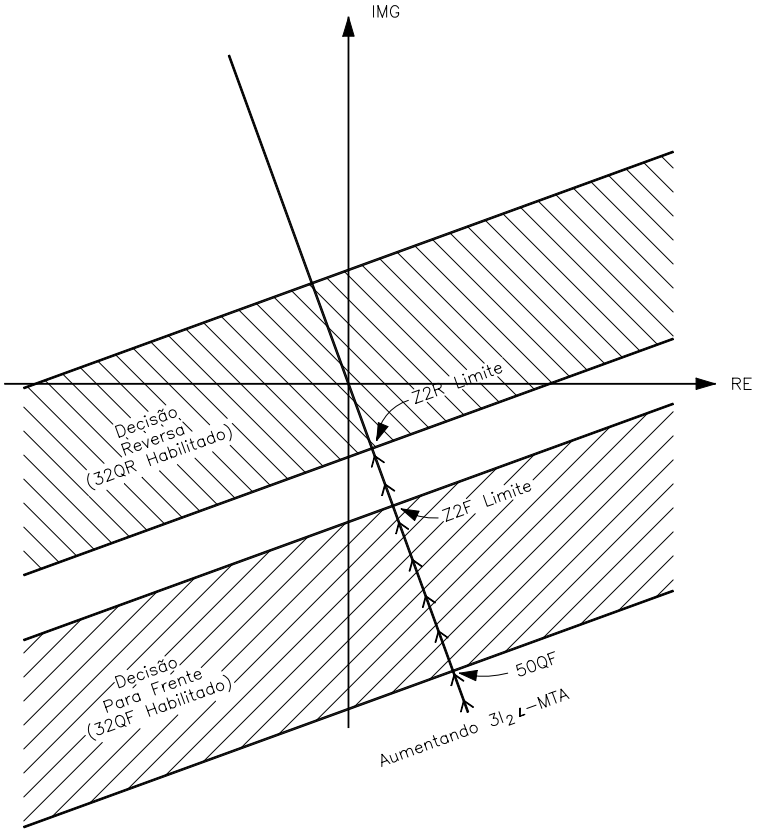

Figura 4: Ambos Z2R e Z2F são Negativos

SUMÁRIO

Para testar o elemento direcional de impedância de seqüência-negativa:

1. Determine os ajustes de Z2R e Z2F observando os ajustes do Relé SEL-321.
2. Calcule a corrente de pickup ($3I_2$) para esses valores usando as equações $3I_2 = 3V_2$ / Z2R para o valor limite reverso e $3I_2 = 3V_2$ / Z2F para o valor limite à frente.
3. Selecione uma tensão de teste $3V_2$ apropriada que dê valores razoáveis (e viáveis) de $3I_2$ para os testes dos valores limites reverso e à frente.

4. Aplique a tensão $3V_2$ selecionada usando uma tensão monofásica (com um ângulo de 180 graus) ou uma tensão trifásica (com a tensão a 0 graus) conforme apresentado acima.

5. Quando ambos os valores limites (Z2R e Z2F) forem positivos, aplique a corrente da fase A com um ângulo de 180º – MTA. Lentamente eleve a corrente observando o instante em que o elemento reverso (32QR) atua, ao ser atingido o ajuste de 50QR, e o instante em que ele reseta, ao ser atingido o valor limite reverso calculado. Continue a elevar a corrente observando o instante em que o elemento "à frente" atua ao atingir o valor limite "à frente" calculado.

6. Quando Z2R for positivo e Z2F for negativo, primeiro aplique a corrente da fase A com um ângulo de 180º – MTA. Lentamente eleve a corrente observando o instante em que o elemento reverso (32QR) atua, ao atingir o ajuste de 50QR, e o instante em que ele reseta, ao ser atingido o valor limite reverso calculado. Em seguida, aplique a corrente da fase A com um ângulo de –MTA. Lentamente eleve a corrente observando o instante em que o elemento "à frente" (32QF) atua, ao atingir o ajuste de 50QF, e o instante em que ele reseta, ao atingir o valor limite "à frente" calculado.

7. Quando ambos os valores limites (Z2R e Z2F) forem negativos, aplique a corrente da fase A com um ângulo de –MTA. Lentamente eleve a corrente observando o instante em que o elemento "à frente" (32QF) atua, ao atingir o ajuste de 50QF, e o instante em que ele reseta, ao atingir o valor limite "à frente" calculado. Continue a elevar a corrente observando o instante em que o elemento reverso atua, ao atingir o valor limite reverso calculado.