

## 10 – Proteções direcionais

### 10.1 – Proteção de sobrecorrente direcional de fase

Relé de sobrecorrente direcional de fase com função 67.

#### 10.1.1 – Ajustes disponíveis

A programação dos parâmetros é realizada nas pastas **SET 1**, **SET 2**, **SET 3** e **SET 4** do programa aplicativo de configuração e leitura do relé. A figura 10.1 sinaliza os parâmetros disponíveis da unidade de sobrecorrente direcional de fase para o **SET 1**.

Figura 10.1: Pasta SET 1 sinalizado com os parâmetros da unidade de sobrecorrente direcional de fase.

Os ajustes de fase estão disponíveis nos parâmetros listados na tabela 10.1.

Parâmetro	Descrição do parâmetro	Faixa de ajuste	
AMTdf	Ângulo de máximo torque de fase. <b>67</b>	(0,00 ... 90,0) <sup>0</sup>	
MEMdf	Memória. <b>67</b>	0,00	sem memória angular
		1,00	com memória angular
dF inv	Reversão do elemento direcional de fase. <b>67</b>	on	com reversão do plano
		oFF	sem reversão do plano
I>Fd ip	Corrente de partida do direcional tempo dependente de fase. <b>67</b>	In = 1 A	0,04 ... 2,60 (x RTC FN) A
		In = 5 A	0,04 ... 6,50 (x RTC FN) A

I>Fd cuv	Tipo de curva de atuação para fase. <b>67</b>	NI – MI – EI – IT – I2T – FLAT – USER	
I>Fd $\alpha$	Constante $\alpha$ para a curva USER de fase. <b>67</b>	0,020 ... 3,00	
I>Fd $\beta$	Constante $\beta$ para a curva USER de fase. <b>67</b>	0,000 ... 1,00	
I>Fd $\delta$	Constante $\delta$ para a curva USER de fase. <b>67</b>	0,000 ... 1,00	
I>Fd K	Constante K para a curva USER de fase. <b>67</b>	0,10 ... 100	
I>Fd dt	Constante dt para a curva de fase. <b>67</b>	0,01 ... 3,0	
I>>>Fd ip	Corrente de partida do direcional instantâneo de fase. <b>67</b>	In = 1 A	0,04 ... 40 (x RTC FN) A
		In = 5 A	0,10 ... 100 (x RTC FN) A
I>>>Fd t	Tempo instantâneo de fase. <b>67</b>	0,05 ... 1,0 s	

Tabela 10.1: Parâmetros para ajuste da unidade de sobrecorrente direcional de fase.

### 10.1.2 – Funcionamento

O elemento trifásico direcional de controle é formado através da tensão de polarização de cada fase ( $\hat{u}_P$ ) e o ângulo de máximo torque do relé. Cada fase opera com o relé de sobrecorrente direcional polarizado na respectiva tensão em quadratura. Para cada fase é definido um plano de separação angular que limita as regiões de operação (TRIP) e não-operação (restrição ou não TRIP) do relé, ou seja, na região de operação o relé atua como um relé de sobrecorrente com funções 50 / 51 e na região de não-operação o relé está bloqueado através do elemento direcional.

No manual de operação adotaremos como nomenclatura padronizada região de operação, região de restrição e tensão de polarização ( $\hat{u}_P$ ).

Fase	Tensão de polarização
A	$\hat{u}_{PA} = \hat{u}_B - \hat{u}_C$
B	$\hat{u}_{PB} = \hat{u}_C - \hat{u}_A$
C	$\hat{u}_{PC} = \hat{u}_A - \hat{u}_B$

Onde:

$\hat{u}_{PA}$  – tensão vetorial de polarização da fase A.

$\hat{u}_{PB}$  – tensão vetorial de polarização da fase B.

$\hat{u}_{PC}$  – tensão vetorial de polarização da fase C.

$\hat{u}_A$  – tensão vetorial da fase A.

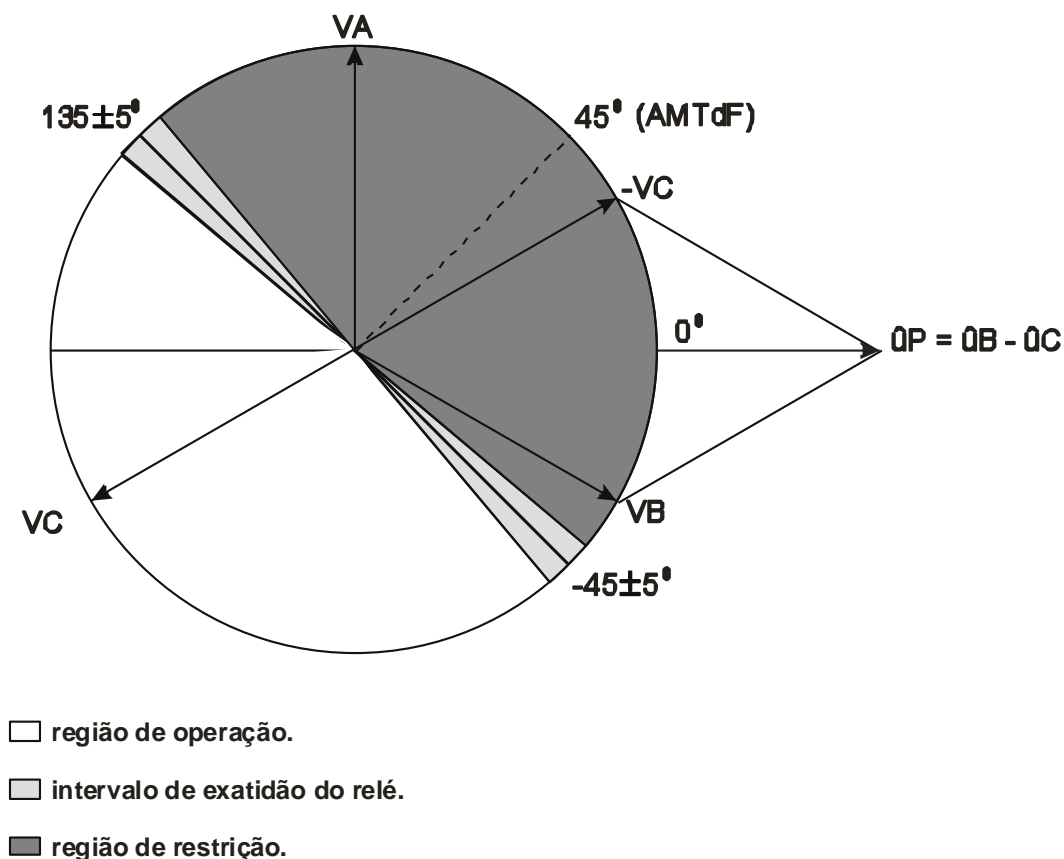
$\hat{u}_B$  – tensão vetorial da fase B.

$\hat{u}_C$  – tensão vetorial da fase C.

Tabela 10.2: Tensões de polarização das fases A, B e C.

A figura 10.2 descreve o diagrama fasorial de operação do elemento direcional para a fase A. O ângulo característico programado no parâmetro **AMT<sub>dF</sub>** é plotado no diagrama em função da tensão de polarização ( $\hat{u}_{PA}$ ). Fixado o ângulo de máximo torque é definido um plano de

separação entre as regiões de operação e não-operação (restrição) do relé. Este plano é formado com um deslocamento de  $\pm 90^\circ$  em torno do ângulo característico.



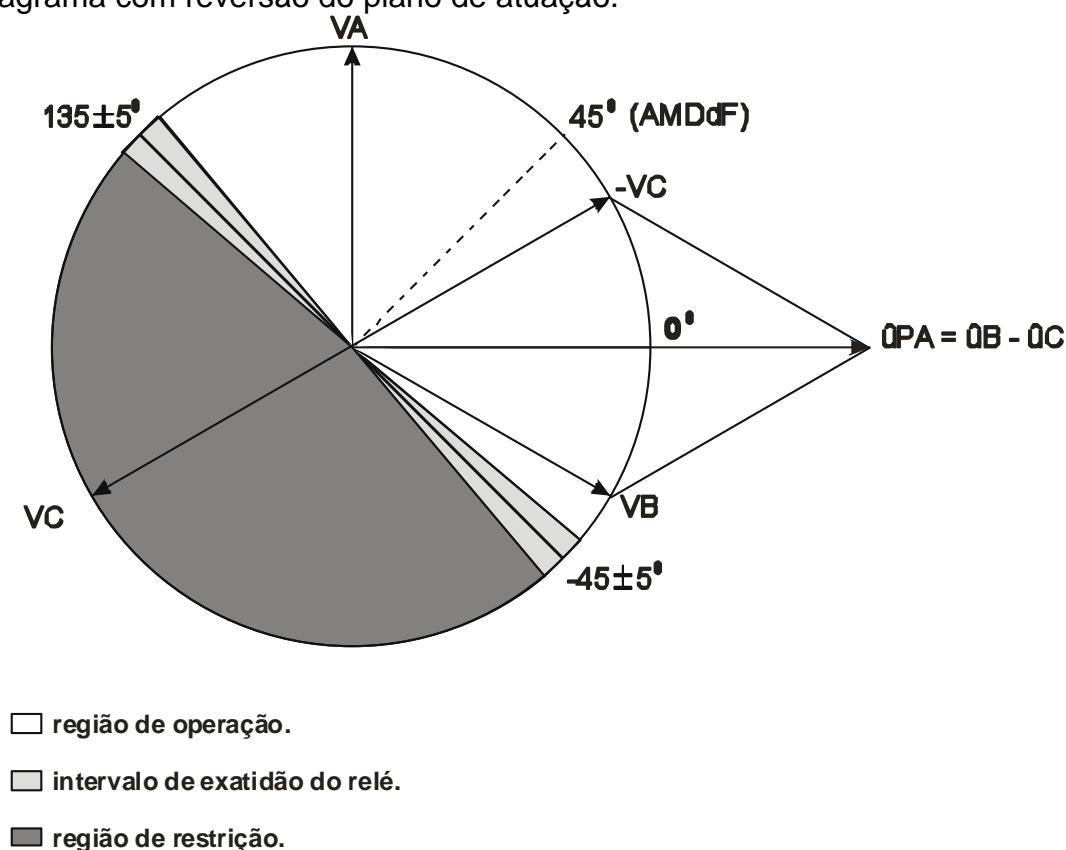
Notas:

- 1 – o ângulo de máximo torque de  $45^\circ$  é programado no parâmetro **AMTdF**.
- 2 – relé configurado para operação sem reversão do plano (parâmetro **dF inv** em OFF).
- 3 – tensão de polarização  $\hat{u}_p \geq 16V_{ca}$ .

Figura 10.2: Diagrama fasorial da unidade direcional (67) com ângulo de máximo torque  $45^\circ$  para a fase A.

Para a fase B e C os planos de separação são gerados pela defasagem  $120^\circ$  para a fase B e  $240^\circ$  para a fase C. A operação para as fases B e C é igual a da fase A com os planos defasados.

O parâmetro **dF inv** permite inversão da região de operação e restrição do relé. A figura 10.3 mostra o diagrama com reversão do plano de atuação.



Notas:

- 1 – o ângulo de máximo torque de  $45^\circ$  é programado no parâmetro **AMTdF**.
- 2 – relé configurado para operação com reversão do plano (parâmetro **dF inv** em on).
- 3 – tensão de polarização  $\hat{u}_{PA} \geq 16V_{ca}$ .

Figura 10.3: Diagrama fasorial da unidade direcional (67) com ângulo de máximo torque  $45^\circ$  para a fase A com reversão de plano.

#### 10.1.2.1 – Memória angular

Com o parâmetro **MEMdF** ativo o relé opera com memória angular para tensão de polarização das fases  $< 16V_{ca}$ . Nesta situação o relé utiliza uma memória angular registrada no relé antes da perda da tensão de polarização. A memória atua somente no intervalo de aproximadamente 2 ciclos da rede.

#### 10.1.2.2 – Relé de sobrecorrente direcional instantânea de fase

Quando habilitado através do elemento direcional opera como função 50.

#### 10.1.2.3 – Relé de sobrecorrente direcional temporizado de fase

Quando habilitado através do elemento direcional opera como função 51.

#### 10.1.3 – Sinalização

O estado da proteção é indicado nos leds da IHM local e na pasta **MEDIÇÕES** do programa aplicativo de configuração e leitura do relé.

## 10.2 – Proteção de sobrecorrente direcional de neutro

Relé de sobrecorrente direcional de neutro com função 67N.

### 10.2.1 – Ajustes disponíveis

A programação dos parâmetros é realizada nas pastas **SET 1**, **SET 2**, **SET 3** e **SET 4** do programa aplicativo de configuração e leitura do relé. A figura 10.4 sinaliza os parâmetros disponíveis da unidade de sobrecorrente direcional de neutro para o **SET 1**.

Figura 10.4: Pasta SET 1 sinalizado com os parâmetros da unidade de sobrecorrente direcional de neutro.

Os ajustes de neutro estão disponíveis nos parâmetros listados na tabela 10.3.

Parâmetro	Descrição do parâmetro	Faixa de ajuste	
Tipo N	Tipo de aterramento do neutro. 67N	0,00	sistema solidamente aterrado ou aterrado por resistência
		1,00	sistema isolado em modo seno
		2,00	sistema compensado em modo cosseno
VpoldN	Tensão de polarização (3V0) de neutro. <b>67N</b>	10,0 ... 400 V	
AMTdN	Ângulo de máximo torque de neutro. <b>67N</b>	0,00 ... 359 <sup>0</sup>	
dN inv	Reversão do elemento direcional de neutro. <b>67N</b>	on	com reversão do plano
		oFF	sem reversão do plano

I>Nd ip	Corrente de partida do direcional tempo dependente de neutro. <b>67N</b>	In = 1 A	0,02 ... 2,60 A (x RTC FN para IN N/D = 0) 0,004 ... 0,650 A (x RTC D para IN N/D = 1)
		In = 5 A	0,048 ... 6,50 A (x RTC FN para IN N/D = 0) 0,012 ... 1,625 A (x RTC D para IN N/D = 1)
I>Nd cuv	Tipo de curva de atuação para neutro. <b>67N</b>	NI – MI – EI – IT – I2T – FLAT – USER	
I>Nd α	Constante α para a curva USER de neutro. <b>67N</b>	0,020 ... 3,00	
I>Nd β	Constante β para a curva USER de neutro. <b>67N</b>	0,000 ... 1,00	
I>Nd δ	Constante δ para a curva USER de neutro. <b>67N</b>	0,000 ... 1,00	
I>Nd K	Constante K para a curva USER de neutro. <b>67N</b>	0,10 ... 100	
I>Nd dt	Constante dt para a curva de neutro. <b>67N</b>	0,01 ... 3,00	
I>>Nd ip	Corrente de partida do direcional instantâneo de neutro. <b>67N</b>	In = 1 A	0,020 ... 20,0 A (x RTC FN para IN N/D = 0) 0,004 ... 5,0 A (x RTC D para IN N/D = 1)
		In = 5 A	0,097 ... 100 A (x RTC FN para IN N/D = 0) 0,024 ... 25 A (x RTC D para IN N/D = 1)
I>>Nd t	Tempo instantâneo de neutro. <b>67N</b>	0,05 ... 240 s	

Tabela 10.3: Parâmetros para ajuste da unidade de sobrecorrente direcional de neutro.

## 10.2.2 – Funcionamento

### 10.2.2.1 – Sistema solidamente aterrado ou aterrado por resistência

O relé direcional de falta à terra usada em sistemas solidamente aterrado ou aterrado através de resistência no neutro é aplicado para proteção em sistema em anel e redes com alimentadores em paralelo. O princípio de determinação da direcionalidade da falta à terra é a medição do ângulo ( $\varphi$ ) entre a corrente de terra a tensão de sequência zero (3V0). A tensão residual (3V0) é calculada através da soma vetorial das tensões das fases A, B e C. O valor programado no parâmetro **VpoldN** habilita a operação da unidade direcional de neutro.

Neutro	Tensão de polarização
N	$3V0 = \hat{u}A + \hat{u}B + \hat{u}C$

Onde:

3V0 – tensão vetorial de polarização da fase A.

$\hat{u}A$  – tensão vetorial da fase A.

$\hat{u}B$  – tensão vetorial da fase B.

$\hat{u}C$  – tensão vetorial da fase C.

Tabela 10.4: Tensão residual 3V0 calculado.

Para sistema solidamente aterrado as características de grande parte das faltas à terra é predominantemente indutiva. O ângulo ( $\varphi$ ) entre a corrente de falta e a tensão residual  $3V_0$  é próximo a  $110^\circ$ . Este ângulo é programado no relé no parâmetro **AMTdN** e define as regiões de operação e restrição do relé. A figura 10.5 fixa o diagrama da proteção para sistema solidamente aterrado.

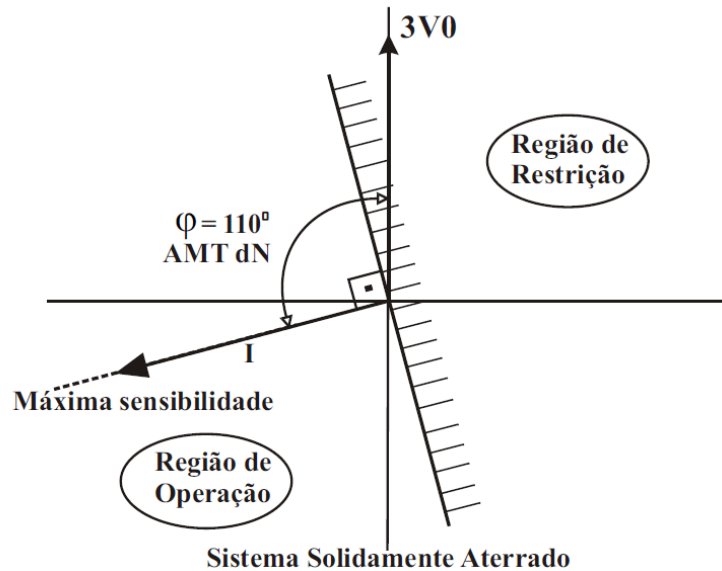


Figura 10.5: Falha à terra para sistema solidamente aterrado.

O sistema aterrado através de resistência as características das faltas à terra é predominantemente resistiva. O ângulo ( $\varphi$ ) entre a corrente de falta e a tensão residual é próximo a  $170^\circ$ . Este ângulo é programado no relé no parâmetro **AMTdN** e define as regiões de operação e restrição do relé. A figura 10.6 fixa o diagrama da proteção para sistema aterrado através de resistência.

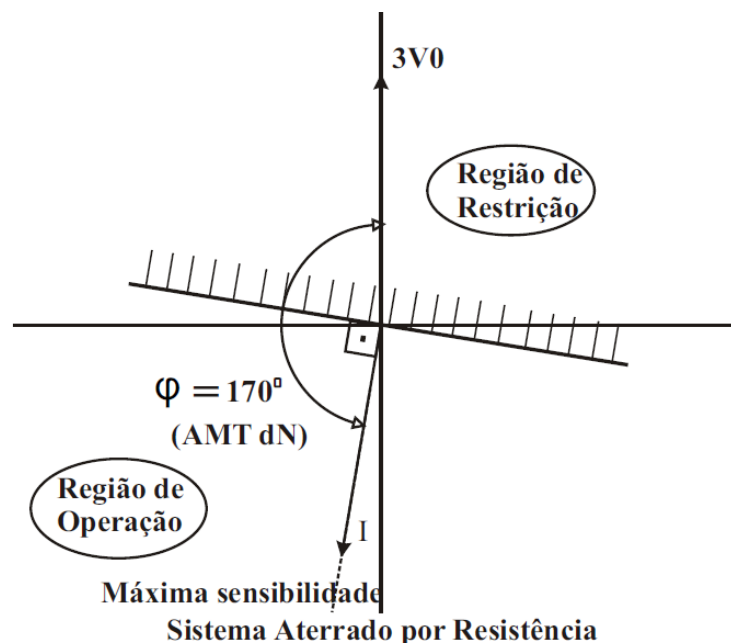


Figura 10.6: Falha à terra para sistema aterrado através de resistência.

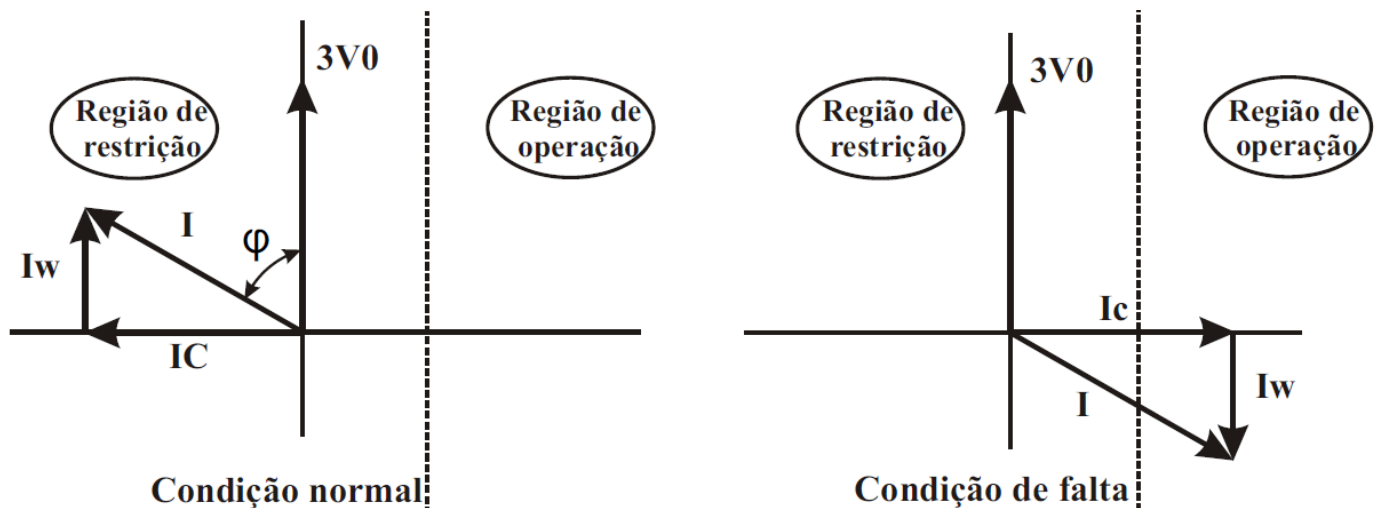
### 10.2.2.2 – Sistema isolado

O princípio de determinação da direcionalidade da falta à terra é a medição do ângulo ( $\varphi$ ) entre a corrente de terra (sequência zero) e a tensão de sequência zero ( $3V_0$ ). A tensão residual ( $3V_0$ ) é calculada através da soma vetorial das tensões das fases A, B e C como descrito na tabela 10.4. O valor programado no parâmetro **VpoldN** habilita a operação da unidade direcional de neutro.

Em sistema isolado ou compensado, a medida da potência reativa ou ativa é decisiva para determinar a direcionalidade da falta. Consequentemente é necessário programar o parâmetro **Tipo N** para atuação em  $\sin\varphi$  ou  $\cos\varphi$  dependendo do método aterramento.

#### 10.2.2.2.1 – Sistema isolado em modo seno

Após cálculo da componente reativa da corrente ( $\sin\varphi$ ) e comparação angular em relação a tensão residual ( $3V_0$ ) o relé fixa a linha para proteção de falta à terra. Em sistema isolado sem falta, a componente capacitiva da corrente está adiantada de  $90^\circ$  da tensão residual ( $3V_0$ ). Em caso de falta a componente capacitiva de corrente está atrasada de  $90^\circ$  em relação a tensão residual ( $3V_0$ ). O diagrama da figura 10.7 fixa os planos de operação em modo seno.



Onde:

$I$  – corrente de sequência zero.

$I_w$  – componente resistiva da corrente de sequência zero.

$I_C$  – componente capacitiva da corrente de sequência zero.

$\varphi$  – ângulo entre a corrente de terra (sequência zero) e a tensão residual ( $3V_0$ ).

$3V_0$  – tensão residual (tensão de sequência zero)

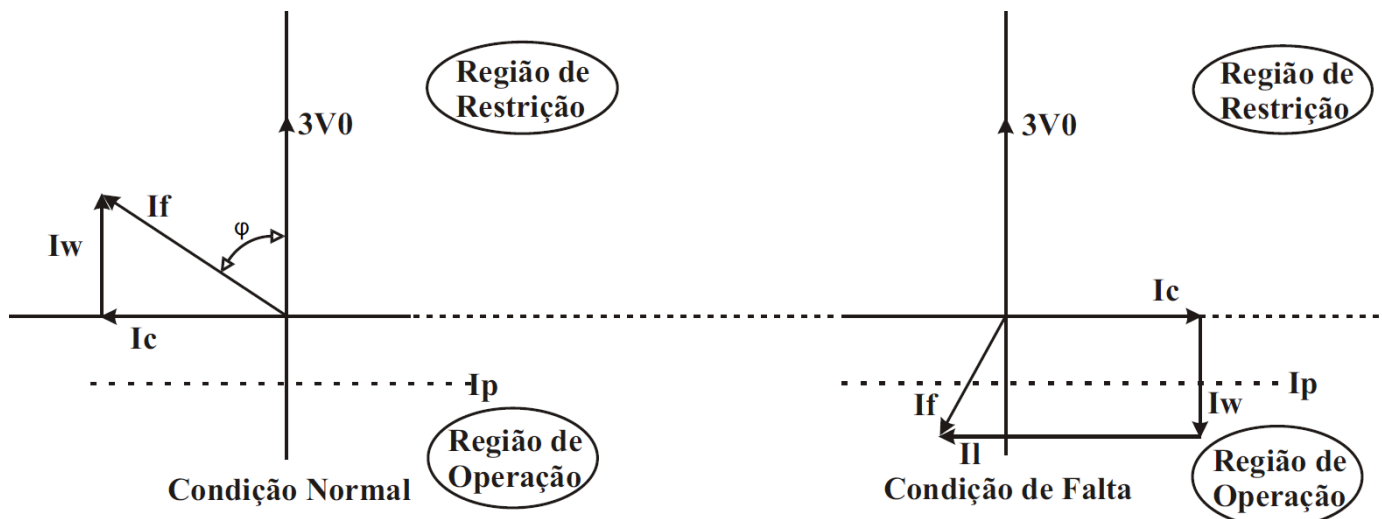
Figura 10.7: Falha à terra para sistema isolado em modo seno.

#### 10.2.2.2.2 – Sistema compensado (bobina de Petersen)

Em sistemas compensados a análise da direcionalidade não pode ser determinada através da componente reativa, porque a parte reativa depende do nível de compensação aplicado pelo sistema durante a falta. A componente ativa ( $\cos\varphi$ ) é usada para determinar a direcionalidade.

A componente ativa da corrente está em fase com a tensão residual ( $3V_0$ ) no sistema sem falta. Quando ocorre a falta à terra, a componente ativa está oposta ( $180^\circ$ ) em relação a tensão residual ( $3V_0$ ). O diagrama da figura 10.8 fixa os planos de operação em modo cosseno.





Onde:

$I_f$  – corrente de sequência zero.

$I_w$  – componente resistiva da corrente de sequência zero.

$I_c$  – componente capacitiva da corrente de sequência zero.

$\varphi$  – ângulo entre a corrente de terra (sequência zero) e a tensão residual ( $3V_0$ ).

$3V_0$  – tensão residual (tensão de sequência zero)

$I_l$  – componente indutiva

$I_p$  – Corrente de partida

Figura 10.8: Falha à terra para sistema compensado através de impedância em modo cosseno (bobina de Petersen).

### 10.2.3 – Sinalização

O estado da proteção é indicado nos leds da IHM local e na pasta **MEDIÇÕES** do programa aplicativo de configuração e leitura do relé.

## 10.3 – Proteção direcional de potência

Relé direcional de potência com função 32P / 32Q.

### 10.3.1 – Ajustes disponíveis

A programação dos parâmetros é realizada nas pastas **SET 1**, **SET 2**, **SET 3** e **SET 4** do programa aplicativo de configuração e leitura do relé. A figura 10.9 sinaliza os parâmetros disponíveis da unidade direcional de potência para o **SET 1**.

Figura 10.9: Pasta SET 1 do programa aplicativo sinalizado com os parâmetros da unidade direcional de potência.

Os ajustes estão disponíveis nos parâmetros listados na tabela 10.5.

Parâmetro	Descrição do parâmetro	Faixa de ajuste	
Pr>>f Pp	Partida direcional de potência Ativa. <b>32P</b> *A partir da versão 2.17 passa a ser a Potência Total	In = 1 A	1 ... 6.000 W (x RTC FN x RTP)
		In = 5 A	3 ... 15.000 W (x RTC FN x RTP)
Pr>>F t	Tempo direcional de potência. <b>32P</b>	0,10 ... 240 s	
dN inv	Reversão do elemento direcional de potência <b>32P</b>	on	com reversão do plano
		oFF	sem reversão do plano
Qr>>f Qp	Partida direcional de potência Reativa. <b>32Q</b> *A partir da versão 2.17 passa a ser a Potência Total	In = 1 A	1 ... 6.000 W (x RTC FN x RTP)
		In = 5 A	3 ... 15.000 W (x RTC FN x RTP)
Qr>>F t	Tempo direcional de potência. <b>32Q</b>	0,10 ... 240 s	
dN inv	Reversão do elemento direcional de potência <b>32Q</b>	on	com reversão do plano
		oFF	sem reversão do plano

Tabela 10.5: Parâmetros para ajuste da unidade direcional de potência ativa.

### 10.3.2 – Funcionamento

O relé recebe as três correntes IA, IB e IC e as três tensões de fase VA, VB e VC do sistema e calcula a potência direta ativa (P) e reativa (Q) utilizando expressões relacionadas na tabela 10.6.

Potência fase A	Potência fase B	Potência fase C	Potência total
$PA = \hat{u}A \times \hat{i}A$	$PB = \hat{u}B \times \hat{i}B$	$PC = \hat{u}C \times \hat{i}C$	$Pt = PA + PB + PC$

Onde:

- $\hat{u}A$  – tensão vetorial da fase A.
- $\hat{u}B$  – tensão vetorial da fase B.
- $\hat{u}C$  – tensão vetorial da fase C.
- $\hat{i}A$  – corrente vetorial da fase A.
- $\hat{i}B$  – corrente vetorial da fase B.
- $\hat{i}C$  – corrente vetorial da fase C.
- PA – potência ativa da fase A.
- PB – potência ativa da fase B.
- PC – potência ativa da fase C.
- Pt – potência ativa total.

Tabela 10.7: Expressões de potência

A multiplicação da tensão vetorial da fase A  $\hat{u}A$  pela corrente vetorial  $\hat{i}A$  tem como resultado a potência direta ativa e reativa vetorial da fase. A integral deste vetor gera o módulo da potência direta ativa, reativa e o sinal deste resultado, positivo ou negativo, indica a direção do fluxo desta potência. O fator de potência ( $\cos \phi$ ) é sinalizado no display do relé com a seguinte sinalização de **+** para potência direta e **-** para potência reversa. A atuação do relé é realizada sobre o valor da potência reversa total do sistema. O relé dispara a partida da unidade para potências reversas maior que o valor programado no parâmetro **Pr>>F Pp** ( ou **Qr>>F Qp**), ficando inoperante para qualquer valor de potência direta.

### 10.3.3 – Sinalização

O estado da proteção é indicado nos leds da IHM local e na pasta **MEDIÇÕES** do programa aplicativo de configuração e leitura do relé. A bandeira 32 sinaliza a proteção 32P e 32Q.

Bandeiras				A	B	C	
51	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	27
50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	32
67	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	37
59	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
				81	Q	GS	
				47	86	78	27-0

Figura 10.10: Sinalizando potência total 32P e 32Q.