



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI0903651-2 A2**

(22) Data de Depósito: 23/09/2009
(43) Data da Publicação: 01/02/2011
(RPI 2091)



(51) *Int.Cl.:*
G01R 31/02

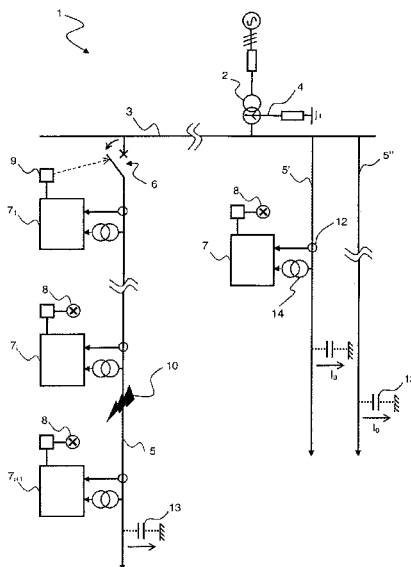
(54) Título: **DETECÇÃO DIRECIONAL DE UMA FALHA NO ATERRAMENTO ELÉTRICO**

(30) Prioridade Unionista: 25/09/2008 FR 08 05265, 25/09/2008 FR 08 05266

(73) Titular(es): Schneider Electric Industries SAS

(72) Inventor(es): Guillaume Verneau, Pascal Cumunel

(57) **Resumo:** DETECÇÃO DIRECIONAL DE UMA FALHA NO ATERRAMENTO ELÉTRICO. A presente invenção refere-se ao método e ao dispositivo para detecção direcional de uma falha no aterramento elétrico em um sistema de força polifásico que são baseados na comparação da variação da amplitude ou qualquer outro valor de norma das correntes de cada fase (5A, 5B, 5c). Em particular, a média (μ) da norma (III AII, IIIBII, IIICII) de cada fase é comparada com cada uma das ditas normas e, dependendo do número de vezes que a média (μ) é maior do que as normas (III AII, IIIBII, IIICII), a falha pode ser localizada (L) com relação aos sensores da corrente de fase (12). Alternativamente, o método e o dispositivo para detecção direcional de uma falha no aterramento elétrico em um sistema de força polifásico são baseados na dispersão dos fatores de correlação lineares (r_A , r_B , r_C) entre as correntes de fase (I_A , I_B , I_C) e a corrente de sequência zero (I_0). O uso dessas variáveis possibilita que seja determinado se a falha está a montante ou a jusante da medição das correntes de fase (I_A , I_B , I_C) sem usar qualquer medição de voltagem.





PI0903651-2

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "DETECÇÃO DIRECIONAL DE UMA FALHA NO ATERRAMENTO ELÉTRICO".

Antecedentes da Invenção

A presente invenção refere-se à detecção direcional de uma falha no aterramento elétrico sem a medição da voltagem da linha. Em particular, a invenção refere-se a um método para detectar uma falha no aterramento elétrico em um sistema de força, além do mais, tornando possível determinar se a falha no aterramento elétrico está localizada a montante ou a jusante do ponto de detecção. O método de acordo com a invenção é baseado somente nos sinais representativos das correntes de cada fase do sistema de força, cujo processamento resulta em parâmetros possibilitando a localização direcional.

De acordo com outro aspecto, a invenção refere-se a um dispositivo de detecção capaz de implementar o método acima mencionado. Em particular, o dispositivo de detecção de falha no aterramento elétrico direcional compreende recurso para calcular parâmetros a partir dos sinais de corrente de cada fase, a interpretação dos ditos parâmetros fornecendo a localização relativa da falha sem usar valores representativos da voltagem entre fases ou valores representativos das voltagens da linha para o neutro.

A invenção finalmente refere-se a um dispositivo de indicação de falha e um relé de disparo compreendendo sensores de corrente associados com cada fase do sistema de força e suprindo o dispositivo de detecção acima mencionado com os sinais possibilitando a indicação, por exemplo, por lâmpada indicadora ou o disparo de um dispositivo de distribuição do sistema de força.

Estado da Técnica

Dispositivos de detecção de falha no aterramento elétrica são usados em particular em sistemas de distribuição de força elétrica trifásicos de voltagem média. A figura 1, dessa maneira, representa um diagrama de um sistema de distribuição de força elétrica 1 que compreende um transformador trifásico 2, cujo secundário está conectado em uma linha de distribuição principal 3. O secundário também compreende um condutor neutro co-

mum 4 geralmente aterrado através de uma impedância. A linha principal 3 supre força para as linhas alimentadoras 5, 5', 5'', algumas das quais podem compreender um disjuntor de chegada ou outro dispositivo de distribuição 6 protegendo a linha. As linhas alimentadoras 5', ou seções da linha 5, podem compreender um dispositivo de detecção de falha no aterramento elétrico 7. O dispositivo 7 pode agir como indicador de fluxo da falha, por exemplo, iluminando uma lâmpada indicadora 8. Um dispositivo 7₁ pode também ser associado com ou integrado em um relé de proteção 9 capaz de comandar a abertura dos contatos do disjuntor 6.

10 Idealmente, o sistema de força 1 é balanceado, isto é, a corrente de sequência zero I_0 fluindo no último é zero. O que é planejado por corrente de sequência zero é, dentro de um fator possível de três, a soma de vetores das correntes de fase diferentes, ou a corrente correspondendo com o resultante instantâneo das correntes de fase, algumas vezes chamada corrente residual, que podem corresponder com a corrente de falha no aterramento elétrico ou a corrente de vazamento para o terra. Se uma das fases é acidentalmente aterrada, esse balanço desaparece a jusante da falha 10. A detecção de uma falha pode então consistir, como ilustrado na figura 2A, na medição da corrente de sequência zero I_0 , por exemplo, por meio de um toroide 11 circundando a linha 5 e a comparação do sinal representativo da dita corrente I_0 com um limiar S_d , o limiar sendo excedido sendo entendido como a detecção D de uma falha 10. Alternativamente, a corrente de falha no aterramento elétrico I_0 pode ser obtida somando os sinais de corrente de cada fase, um sensor de corrente 12 então estando localizado em cada condutor da linha 5 (ver figuras 2B e 2C).

25 Entretanto, e em particular se as linhas alimentadoras 5 são cabos enterrados, valores de alta capacitância podem ocorrer entre os condutores da linha 5_A, 5_B, 5_C e o aterramento elétrico. Assim, no caso da presença de uma falha no aterramento elétrico 10 em uma linha 5, as capacitâncias 30 13 ficam na origem de grandes correntes de sequência zero I_0 fluindo nas outras linhas alimentadoras 5', 5'' (que não apresentam qualquer falha no aterramento elétrico) ou a jusante da falha 10. Essas correntes de falha (re-

lativamente) fortes I_0 podem acarretar detecções errôneas pelos dispositivos de detecção 7 presentes nas linhas próximas não defeituosas 5'.

Portanto, é importante fazer a distinção entre uma falha 10 localizada a jusante do dispositivo de detecção 7_i e uma falha 10 a montante do dispositivo 7_{i+1} , que possa, de fato, detectar um mau funcionamento de uma alimentadora próxima pela conexão capacitiva. Essa diferenciação não é capaz de ser executada pelo dispositivo representado esquematicamente na figura 2A, especialmente no caso de um sistema de força 1 com neutro compensado (isto é, o neutro 4 é aterrado por uma bobina de compensação) que gera uma corrente residual I_0 de valor insuficiente, em particular no caso de cabos enterrados 5. Para tais detecções de falha direcionais, dispositivos de detecção 7, como ilustrado mais precisamente na figura 2B, são baseados na medição da corrente, mas também na voltagem da linha 5. O sistema de detecção, dessa maneira, compreende sensores de corrente 12A, 12B, 12C suprimindo os sinais representativos das correntes I_A , I_B , I_C fluindo em cada uma das fases da linha 5 e sensores de voltagem 14A, 14B, 14C, em particular na forma de transformadores de voltagem, que suprem sinais representativos das voltagens V_A , V_B , V_C de cada condutor de fase. O dispositivo de detecção 7 compreende recurso de processamento 15 dos dados dos ditos sensores 12, 14 e um módulo de processamento 16 que, com base nos sinais representativos da corrente de sequência zero I_0 e da voltagem de sequência zero V_0 dessa maneira obtidos, possibilita que ambas a presença D e a localização relativa L de uma falha 10 sejam detectadas.

Transformadores de voltagem 14 são, entretanto, volumosos e onerosos. Além disso, eles não são sempre necessariamente adequados para a instalação em linhas já existentes 5. Para uma implementação economicamente viável, é preferível que os dispositivos de detecção de falha 7 sejam desprovidos de recurso para medir 14 ou processar as voltagens do sistema de força 1.

Dessa maneira, como ilustrado na figura 2C, dispositivos de falha no aterramento elétrico 17 foram desenvolvidos nos quais a voltagem não é usada. Por exemplo, o documento EP 1.475.874 apresenta um dispo-

sitivo de detecção de falha no aterramento elétrico direcional para o qual, além do sinal representativo da corrente residual I_0 , o módulo de processamento 18 usa o sinal representativo da corrente inversa I_i , cada um dos sinais sendo comparado com um limiar a fim de indicar uma falha no aterramento elétrico a jusante dos sensores de corrente 12. A detecção de uma falha a montante, entretanto, exige uma segunda unidade de processamento e a necessidade de ter recurso para componentes complexos sobrecarrega o dispositivo de detecção 17 ainda mais.

Outra abordagem foi desenvolvida no documento EP 1.890.165, no qual o módulo de processamento 19 compara a forma da corrente de sequência zero I_0 com as correntes de fase I_A , I_B , I_C para determinar se a falha no aterramento elétrico detectada é a jusante do dispositivo de detecção 17 ou não. Essa comparação, entretanto, é baseada em uma rede neural 19, um sistema complexo, cuja base de aprendizagem condiciona grandemente o diagnóstico da detecção D e o diagnóstico de direção L (uma base de aprendizagem que não iguala o sistema de força final 1 pode levar a resultados de detecção errôneos). Além do mais, a base de aprendizagem requer coeficientes fixos (peso da rede neural e fatores de polarização) que correspondem com um modo de operação específico, tais como o neutro do sistema de força e o nível de disparo do detector. Qualquer modificação do ajuste ou dos parâmetros de operação do dispositivo de detecção 17 pode então requerer uma nova operação de aprendizagem, que é complexa para executar, em particular pelas equipes encarregadas da instalação ou manutenção de tal equipamento.

Portanto, é evidente que os dispositivos de detecção de falha no aterramento elétrico direcionais existentes 7, 17 não são otimizados para implementação difundida por conta da sua complexidade, quer ela seja devido ao número de sensores 12, 14 a serem ajustados ou ao sistema de processamento de sinal 18, 19.

30 Sumário da Invenção

Entre outras vantagens, um objetivo da invenção é remediar os inconvenientes dos dispositivos de detecção de falha no aterramento elétrico

direcionais existentes e métodos. Em particular, o princípio de capacidade direcional implementado é baseado na análise das amplitudes ou outros valores de corrente de fase padronizados, sem usar as voltagens do sistema de força e sem qualquer amostragem de alta frequência dos sinais representativos das ditas correntes (tipicamente uma frequência de amostragem menor do que 1 kHz, por exemplo, de cerca de 500 Hz, é suficiente), que possibilita que um equipamento não tendo uma grande memória ao nível de software e/ou hardware seja implementado. Alternativamente, de novo sem usar as voltagens diferentes do sistema de força, o princípio da capacidade direcional implementado pode ser baseado na análise dos coeficientes de correlação entre o sinal representativo da corrente de sequência zero e os sinais representativos das correntes de fase.

De acordo com um dos seus aspectos, a invenção refere-se a um método para detecção de falha no aterramento elétrico direcional em um sistema de força polifásico, de preferência trifásico, compreendendo uma primeira etapa de detecção de falha comparando um sinal representativo da corrente de sequência zero fluindo na seção monitorada da linha com um limiar de detecção. O sinal representativo da corrente de sequência zero pode ser obtido diretamente ou pelo cálculo a partir dos sinais representativos das correntes de cada condutor de fase da dita seção.

Se a primeira etapa detectar a presença de uma falha no aterramento elétrico na dita seção, a segunda etapa do método de acordo com a invenção será disparada. A segunda etapa é baseada no processamento dos sinais representativos de uma norma de vetor das correntes de cada fase da dita seção, esses sinais sendo obtidos sobre um período preestabelecido suficiente, por exemplo, um número inteiro de semiciclos do sistema de força. Qualquer norma de corrente AC é adequada para a localização relativa de acordo com a invenção, mas, em maneira preferencial, o valor da corrente rms ou a amplitude da corrente é usado. De acordo com a invenção, os sinais representativos da norma das correntes de fase podem ser supridos diretamente, por exemplo, de um sensor de amplitude ou de valor rms. Alternativamente, os sinais podem ser determinados a partir de sinais

representativos das correntes de fase que são então processadas por qualquer recurso adequado para extrair a norma seleccionada delas.

Vantajosamente, os sinais representativos das correntes de fase são filtrados, em particular analogicamente e/ou amostrados. De acordo com a invenção, uma frequência de amostragem relativamente baixa, em particular menor do que 1 kHz, por exemplo, de cerca de 500 Hz, pode ser usada.

Depois da aquisição dos sinais representativos da norma das correntes de fase, a segunda etapa do método continua com o processamento dos ditos sinais para interpretar se a falha detectada na primeira etapa está localizada a montante ou a jusante do ponto de medição da corrente de fase. De acordo com a invenção, o processamento do sinal compreende calcular a média dos sinais representativos da norma da corrente de fase e a comparação da média com cada um dos sinais. Se uma norma de corrente de fase única depois que a falha ocorreu é maior do que a média das normas computadas para as três fases, então a falha está localizada a jusante do ponto de detecção.

Em particular, de acordo com uma modalidade particular da invenção, a etapa de interpretação compreende a comparação sucessiva entre a média e cada um dos sinais e a soma das saídas de comparação, que é comparada com 1. Se a soma dos indicadores de comparação tomando o valor 1 no caso de inferioridade for igual a um, então a falha estará a jusante do ponto onde os sinais foram obtidos.

Alternativamente, a segunda etapa é baseada no processamento dos sinais representativos das correntes de cada fase da dita seção e da corrente de falha dessa mesma seção, esses sinais sendo obtidos sobre um tempo preestabelecido suficiente, por exemplo, um número inteiro de semiciclos do sistema de força. Vantajosamente, os sinais representativos das correntes de fase são filtrados, em particular analogicamente e/ou amostrados, de preferência em uma frequência possibilitando que pelo menos vinte ou mais ou menos sejam obtidos sobre o período de tempo preestabelecido, por exemplo, cerca de 1 kHz para um sistema de força de 50 Hz e um semiciclo. O sinal representativo da corrente de sequência zero pode também ser

obtido aqui diretamente ou pelo cálculo dos sinais representativos das correntes de cada condutor de fase da dita seção, antes ou depois da filtragem e/ou amostragem.

Depois da aquisição dos sinais representativos das correntes diferentes, a segunda etapa do método continua com o processamento dos ditos sinais para interpretar se a falha detectada na primeira etapa está localizada a montante ou a jusante do ponto de medição da corrente de fase. De acordo com a invenção, o processamento do sinal compreende o cálculo dos coeficientes de correlação linear padronizados entre o sinal representativo da corrente de sequência zero da seção e cada um dos sinais representativos das correntes de fase. A fórmula Bravais-Pearson e/ou coeficientes sem sinais são preferivelmente usados. A dispersão dos ditos coeficientes é então analisada, em particular pelo cálculo da sua média e o seu desvio-padrão.

Se a dispersão dos coeficientes de correlação linear sem sinais for alta, por exemplo, com um desvio-padrão maior do que 0,3 e uma média maior do que 0,5, então a falha estará localizada a jusante do dispositivo de detecção. Para uma dispersão menor, por outro lado, em particular uma média menor do que 0,5 e um desvio-padrão menor do que 0,2, a falha está então localizada a montante do dispositivo de detecção.

A dispersão dos coeficientes é preferivelmente executada pela formulação de uma relação comparativa. Em particular, se a diferença entre o desvio-padrão multiplicado pela raiz cúbica e a diferença entre a média e um é positiva, então a falha está a montante do ponto de detecção. Qualquer outra comparação com base na desigualdade $3\sigma^2 > (1-\mu)^2$ pode ser usada. De acordo com outra opção, a comparação é executada graficamente com relação a uma linha reta de uma equação $y = \frac{1-x}{\sqrt{3}}$. Dependendo de se o ponto de coordenadas da média e do desvio-padrão está posicionado no meio plano contendo a origem ou não, a falha está a montante ou a jusante.

Ambas as opções para a segunda etapa e seguintes do método podem ser usadas em sucessão ou com exceção uma da outra dependendo da amostragem possível. Em particular, de acordo com uma modalidade pre-

ferida, uma etapa preliminar para verificar as possibilidades na amostragem é realizada e, dependendo de se a frequência é, por exemplo, maior ou menor do que 1 kHz, a opção com o cálculo dos fatores de correlação ou com a determinação de normas é usada. Em outra modalidade, uma primeira localização é determinada através das normas e, se a falta é considerada como a jusante, a localização é confirmada por uma determinação através dos coeficientes de correlação.

De acordo com uma modalidade preferida de acordo com a invenção, o dito método (métodos) de detecção direcional é associado com a atuação de um dispositivo de distribuição para isolar a seção iniciando do ponto a jusante do qual uma falha foi detectada.

De acordo com outro aspecto, a invenção refere-se a um dispositivo de detecção de uma falha no aterramento elétrico direcional de uma linha em um sistema de força polifásico, de preferência trifásico, adequado para o método (métodos) acima mencionado. O dispositivo de detecção direcional de acordo com a invenção pode ser associado com sensores de amplitude, de valor rms ou de outra norma da corrente de cada uma das fases da linha ou sensores de corrente de cada uma das fases da linha, por exemplo, toroides de detecção, que suprem os sinais representativos das ditas correntes para o dispositivo. O dispositivo de detecção direcional pode também formar parte de um indicador de fluxo de falha, por exemplo, acionando um recurso de alarme do tipo de lâmpada indicadora se uma falha for detectada a jusante dos sensores. Em uma modalidade particularmente preferencial, o dispositivo de detecção direcional de acordo com a invenção é associado a um relé de proteção protegendo a linha, o recurso de alarme fazendo com que um dispositivo de distribuição da linha seja acionado, dessa maneira isolando a seção na qual uma falha foi detectada.

Em particular, o dispositivo para detecção direcional de uma falha no aterramento elétrico de acordo com a invenção compreende o primeiro recurso para receber sinais representativos de uma norma da corrente de cada fase da linha a ser monitorada. O primeiro recurso pode receber o dito sinal diretamente ou compreende recurso para receber os sinais representa-

tivos das correntes de cada fase e recurso para determinar a partir deles a norma considerada, por exemplo, o valor de amplitude ou de rms, ou até mesmo a norma Manhattan ou a norma dos infinitos. Vantajosamente, o primeiro recurso para receber os sinais representativos das normas das correntes de fase é associado com recurso para filtrar os ditos sinais, por exemplo, um filtro analógico. O primeiro recurso preferivelmente compreende recurso de amostragem para obter certo número de valores discretos, por exemplo, na frequência de 500 Hz.

O dispositivo de acordo com a invenção compreende primeiro recurso de processamento para processar os sinais representativos obtidos associados ao recurso de atuação para acionar o dito primeiro recurso de processamento, o recurso de atuação sendo disparado pela detecção da ocorrência de uma falha no aterramento elétrico. A detecção da ocorrência de uma falha no aterramento elétrico acionando o recurso de atuação é preferivelmente executada pelo dispositivo de acordo com a invenção que compreende recurso apropriado, em particular segundo recurso para receber um sinal representativo da corrente de sequência zero da dita linha e recurso para comparar o sinal representativo da corrente de sequência zero com um limiar de detecção. O segundo recurso preferivelmente compreende recurso para deduzir a corrente de sequência zero dos sinais representativos das correntes de fase ou da sua norma, em particular pela soma.

O primeiro recurso para processar os sinais do dispositivo de acordo com a invenção compreende recurso para calcular a média aritmética dos sinais representativos das normas de cada uma das fases. O recurso para calcular é preferivelmente associado a um recurso de retardo de tempo possibilitando que os sinais sejam adquiridos durante um período correspondendo com um número inteiro de semiciclos do sistema de força.

O primeiro recurso para processar os sinais é acoplado na saída com o primeiro recurso de interpretação para determinar a posição relativa da falha no aterramento elétrico detectada com relação ao ponto no qual os ditos sinais foram obtidos. O primeiro recurso de interpretação compreende comparadores entre a média calculada e cada um dos sinais usados para

calcular a dita média. De acordo com um aspecto particular da invenção, o recurso para interpretar a comparação da média aritmética das normas das correntes de fase com as normas em questão compreende um comparador por fase, comparando a média aritmética e a norma da fase considerada, um
5 somador adicionando as saídas lógicas dos comparadores prévios e um comparador comparando a saída do somador com o valor 1.

Alternativamente ou em complemento, o dispositivo para a detecção direcional de uma falha no aterramento elétrico de acordo com a invenção compreende terceiro recurso para receber sinais representativos de
10 correntes de cada fase da linha a ser monitorada e o segundo recurso para receber um sinal representativo da corrente de sequência zero da dita linha, que preferivelmente compreende recurso para deduzir o dito sinal representativo da corrente de sequência zero dos sinais representativos das correntes de fase, em particular pela soma. Vantajosamente, o terceiro recurso
15 para receber sinais representativos das correntes de fase é associado com recurso para filtrar os ditos sinais, por exemplo, um filtro analógico. O terceiro recurso preferivelmente compreende recurso de amostragem para obter um número suficiente de valores discretos, por exemplo, na frequência de 1 kHz.

20 O dispositivo de acordo com essa modalidade da invenção compreende segundo recurso de processamento para processar os sinais representativos obtidos associados com o recurso de atuação para acionar o dito recurso de processamento associado com o primeiro recurso de processamento, o recurso de atuação sendo disparado pela detecção da ocorrência
25 de uma falha no aterramento elétrico.

O segundo recurso para processar os sinais do dispositivo de acordo com a invenção compreende recurso para calcular os coeficientes de correlação lineares padronizados, que são vantajosamente sem sinais, de preferência de acordo com a fórmula Bravais-Pearson, entre o sinal repre-
30 sentativo da corrente de sequência zero e cada um dos sinais representativos das correntes de fase. O recurso de cálculo é preferivelmente associado com o recurso de retardo de tempo possibilitando a aquisição dos sinais du-

rante um período de tempo correspondendo com um número inteiro dos semiciclos do sistema de força. Os dados calculados são então transmitidos para um módulo para cálculo da média aritmética e do desvio-padrão, acoplado na saída com o segundo recurso de interpretação comparando os resultados para determinar se a falha for a montante ou a jusante do ponto onde os sinais representativos das correntes de fase foram obtidos. O segundo recurso de interpretação pode ser do tipo gráfico ou computacional.

O dispositivo de acordo com a invenção pode compreender recurso para ativar o segundo recurso de processamento dependendo do resultado que é obtido pelo primeiro recurso de interpretação.

Primeiro e segundo recursos de processamento, tais como primeiro e segundo recursos de interpretação, podem compreender uma entidade individual ou podem ser agrupados no mesmo módulo que é então adaptado para a execução de ambos os métodos. Além do mais, o primeiro e o terceiro recursos, e também o segundo recurso, para receber os sinais representativos de um valor de corrente, podem ser os mesmos. Nesse caso, de preferência, um recurso para determinar a opção da amostragem está presente, o dito recurso sendo capaz de seleccionar a frequência de amostragem e dessa maneira ativar o primeiro ou o segundo recurso de processamento.

Breve Descrição dos Desenhos

Outras vantagens e aspectos se tornarão mais claramente evidentes a partir da descrição seguinte das modalidades particulares da invenção, fornecidas por finalidades ilustrativas e de exemplo não restritivo somente e representadas nos desenhos acompanhantes.

A figura 1, já descrita, representa um sistema de força elétrica no qual os dispositivos de detecção de falha no aterramento elétrico podem ser usados.

As figuras 2A, 2B e 2C, já descritas, representam diagramas de bloco dos dispositivos de detecção de falha no aterramento elétrico de acordo com a técnica anterior.

A figura 3 mostra os sinais representativos das correntes de fase

quando uma falha no aterramento elétrico ocorre em uma fase, respectivamente a montante e a jusante do dispositivo de detecção, em maneira esquemática e filtrada.

As figuras 4A e 4B ilustram o método de detecção de acordo com uma modalidade preferida da invenção.

A figura 5 representa um diagrama de blocos do dispositivo de detecção de falha no aterramento elétrico de acordo com uma modalidade preferida da invenção.

Descrição Detalhada de uma Modalidade Preferida

O dispositivo 20 para detecção direcional de uma falha 10, de acordo com a invenção, pode ser usado em qualquer sistema de força polifásico 1, tal como o descrito na figura 1, no lugar dos dispositivos existentes 7, 17. Na modalidade preferida ilustrada do produto e de uso e uso da invenção, a linha 5 na qual o dispositivo 20 é adaptado compreende condutores trifásicos 5_A , 5_B , 5_C e o sistema de força é balanceado, isto é, a corrente de sequência zero I_0 é zero na ausência de uma falha. Entretanto, é possível se afastar dessa situação ideal, e o sistema de força pode compreender outro número de fases.

Quando uma falha no aterramento elétrico 10 ocorre em uma das fases A, a corrente da dita fase I_A (idealmente) se torna zero a jusante da falha 10, mas é enfraquecida a montante, com sua amplitude sendo aumentada. Como ilustrado na figura 3, um sensor de corrente 12A no condutor defeituoso 5_A , dessa maneira, supre um sinal representativo da corrente I_A (em linha tracejada) marcando uma ruptura evidente no nível da falha 10, e diferente dependendo de se o dispositivo de acordo com a invenção estiver localizado a montante 20_i ou a jusante 20_{i+1} do dito sensor 12. A figura 3 também mostra que a corrente é pontualmente enfraquecida nas outras duas fases B e C, mas permanece de forma quase constante embora sua amplitude seja ligeiramente modificada. Finalmente, a figura 3 ilustra a corrente de sequência zero I_0 detectada na linha 5 por um sensor adequado 11 (ver figura 2A) ou pelo cálculo das correntes trifásicas I_A , I_B , I_C obtidas pelos sensores 12.

De acordo com a invenção, a variação diferencial das normas de corrente, tal como em particular a amplitude, é usada. Na realidade, como apresentado na figura 3, as amplitudes da corrente de fase são quase constantes. Antes da falha, a amplitude $||I_x||$ de cada um dos sinais da corrente de fase I_x é idêntica. Depois da falha, a amplitude dos sinais de corrente de fase não-enfraquecidos $||I_B||$, $||I_C||$ permanece substancialmente constante. A amplitude da corrente de fase defeituosa $||I_A||$ é, por outro lado, grandemente aumentada no caso de uma falha a jusante 20_i e se torna quase zero para uma falha a montante 20_{i+1} . Mais particularmente, no caso de uma falha a jusante 20_i , a média das amplitudes da corrente pós-falha será então menor do que essa da corrente da fase defeituosa e maior do que as amplitudes respectivas das correntes das outras fases. No caso de uma falha ocorrendo a montante do dispositivo 20_{i+1} , por outro lado, a média das amplitudes de corrente pós-falha será maior do que essa da corrente da fase defeituosa A e menor do que as amplitudes respectivas das correntes das outras duas fases B, C.

De acordo com a invenção, a média dos sinais representativos das amplitudes das correntes de cada fase é, portanto, calculada e sua posição com relação aos seus componentes diferentes é então determinada para localizar a falha com relação aos sensores 12 suprimindo os sinais representativos das amplitudes das correntes preferivelmente filtradas da linha 5. A localização como tal depende do número de vezes que a média é maior do que os sinais usados para calcular essa média. Se a média das amplitudes é maior do que as amplitudes uma vez somente, então a falha é a montante. Os sinais são preferivelmente analisados sobre um tempo suficiente T_{acq} , com, em particular, um tempo de aquisição de sinal que é mais longo do que um semiciclo do sistema de força, por exemplo, um período ou qualquer número inteiro de semiciclos.

Embora ele seja apresentado com a amplitude de corrente, o método de acordo com a invenção pode também ser aplicado com qualquer norma representativa da variação do sinal representativo da corrente de fase. Em particular, a amplitude pode ser substituída pelo valor da raiz qua-

drada média (rms), ou pela norma Euclidiana (isto é, norma 2), ou pela norma 1 (também conhecida sob o nome de norma Taxicab ou norma Manhattan), ou novamente pela norma dos infinitos (ou norma superior). O sinal representativo do valor de norma da corrente de cada fase pode ser obtido por um sensor de corrente usual 12 e a seguir ser determinado por recurso apropriado. De acordo com a invenção, entretanto, é possível limitar o número de calculadores, e dessa maneira usar um sensor de amplitude instantânea (ou valor de rms) em cada linha de fase 5.

Dessa maneira, no método de acordo com a invenção esquematizado na figura 4A, depois que a falha foi detectada D, por exemplo, por um método similar ao descrito em relação à figura 2A, os sinais representativos das amplitudes da corrente de fase $||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$ são adquiridos durante um tempo de aquisição T_{acq} . Alternativamente, como também ilustrado na figura 4, é possível usar os sinais preferivelmente filtrados representativos das correntes de fase I_{Af} , I_{Bf} , I_{Cf} diretamente, em particular no caso onde esses sinais foram medidos para outras finalidades, por exemplo, para determinar a corrente de sequência zero. Os ditos sinais adquiridos sobre um tempo de aquisição T_{acq} são então preferivelmente amostrados. Na realidade, é preferível trabalhar em valores discretos com intervalos de tempo regulares. De acordo com a invenção, não é necessário que a frequência de amostragem seja alta, e de cinco a dez valores de amplitude sobre uma duração de aproximadamente um semiciclo ou um período do sistema de força 1 são suficientes - uma frequência de amostragem de aproximadamente 500 a 1000 Hz para uma corrente trifásica em 50 Hz é, por exemplo, adequada para o método de acordo com a invenção. A norma do vetor dos ditos sinais amostrados filtrados $||I_{Af}||$, $||I_{Bf}||$, $||I_{Cf}||$ é então determinada pelas fórmulas apropriadas para a norma escolhida.

Em uma modalidade, uma etapa para verificar a possibilidade para aumentar a frequência de amostragem é feita. Se o seu resultado for positivo e uma amostragem de, por exemplo, mais do que 1 kHz pode ser feita, para mais precisão e dependendo do recurso de processamento disponível, o método poderá ser continuado *PI* por uma alternativa discutida

mais tarde.

Depois que as três normas $||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$ foram obtidas, sua média aritmética M é calculada e a seguir comparada com cada uma das normas tomadas individualmente. Se uma única norma $||I_A||$ for menor do que a média M , a falha 10 será considerada como estando localizada a montante. A última etapa de interpretação é preferivelmente executada somando os resultados dos comparadores cujas saídas são binárias, isto é, iguais a 1 se a média for maior e 0 se a média for menor. A soma dos resultados é comparada com 1 e associada a uma falha a montante se existe igualdade.

O método de acordo com a invenção pode ser adaptado a um relé de proteção 9, a um indicador de falha com sistema de alarme 8, pela implementação em um dispositivo de detecção de falha no aterramento elétrico direcional adequado 20. Um dispositivo 20 de acordo com uma modalidade preferida da invenção é representado em forma esquemática na figura 5. Dependendo do tipo de sensor 12 com o qual ele está associado, ele pode compreender recurso 22 para obter sinais representativos das correntes de fase supridas pelos sensores, por exemplo, toroides de detecção, vantajosamente com a filtragem por recurso adequado 24, tal como um filtro analógico. Na modalidade preferida, os sinais filtrados I_{Af} , I_{Bf} , I_{Cf} são, além disso, condicionados pela amostragem e o recurso para obter os sinais representativos 22 compreende um módulo de amostragem 26, operando em particular em menos do que 1 kHz, dessa maneira provendo sinais amostrados filtrados I_{Af^*} , I_{Bf^*} , I_{Cf^*} para o recurso 28 para calcular a sua norma, amplitude, valor rms ou outros, as ditas normas então sendo processadas em um módulo de processamento 30.

O módulo de amostragem 26 pode compreender recurso adequado para modificar a frequência de amostragem e/ou para verificar se uma frequência de amostragem acima de 1 kHz é possível. Alternativamente, o segundo módulo de amostragem 26' operando em mais do que 1 kHz está disponível e associado com um recurso de seleção. O recurso de amostragem 26, 26' pode ser acoplado em outro módulo de processamento 30' descrito mais tarde quando eles funcionam em frequência mais alta.

O módulo de processamento 30 é ativado como uma função da detecção de uma falha no aterramento elétrico 10. Para essa finalidade, o módulo de processamento 30 é conectado em qualquer dispositivo de detecção de falha 32. Em particular, o dispositivo de detecção de falha 32 é associado com um recurso 34 para obter um sinal representativo da corrente de sequência zero I_0 e compreende um módulo de comparação comparando a corrente de sequência zero I_0 com um limiar de detecção S_d . Se o limiar for excedido, então uma falha D será detectada e o módulo de processamento 30 será ativado. O recurso para obter a corrente de sequência zero I_0 pode ser conectado em um sensor apropriado 11 (ver figura 2A) ou preferivelmente determinar a dita corrente pelo processamento dos sinais relativos às correntes de fase I_A , I_B , I_C (não ilustrado), I_{Af} , I_{Bf} , I_{Cf} vantajosamente filtradas (não ilustradas) e possivelmente amostradas (figura 5) ou até mesmo diretamente a partir da sua amplitude $||I_{Af}||$, $||I_{Bf}||$, $||I_{Cf}||$ (não ilustrada).

O recurso para calcular as normas 28 preferivelmente forma parte do módulo de processamento 30, de modo a ser acionado somente depois da ocorrência D de uma falha no aterramento elétrico 10. Alternativamente, esses elementos diferentes 22, 28 para suprir os sinais representativos da norma das correntes provenientes dos sinais representativos das correntes podem ser omitidos dependendo da natureza dos sensores 12. Os sinais supridos pelos sensores de amplitude instantânea 12 são diretamente utilizáveis em um módulo de processamento 30.

O módulo de processamento 30 então compreende sucessivamente um dispositivo 36 para calcular a média aritmética M dos três dados inseridos $||I_{Af}||$, $||I_{Bf}||$, $||I_{Cf}||$, um dispositivo para comparação 38 com quatro entradas, esses três valores e a média calculada, conectados no recurso de interpretação 40, cuja saída é um sinal de detecção direcional L de uma falha no aterramento elétrico a jusante ou a montante dos sensores 12 dependendo do resultado da interpretação.

Recurso 36 para calcular a média M é associado ao recurso de retardo de tempo para garantir que os sinais representativos das normas de corrente de fase $||I_{Af}||$, $||I_{Bf}||$, $||I_{Cf}||$ tenham sido adquiridos sobre um período

de tempo suficiente T_{acq} , por exemplo, um semiciclo ou um período do sistema de força 1, ou até mesmo mais. Vantajosamente, no caso onde esses sinais foram determinados a partir dos sinais representativos da corrente de fase I_{Af} , I_{Bf} , I_{Cf} , o recurso de determinação 28 é também associado a esse

5 recurso de retardo de tempo, que pode ser acoplado, por exemplo, diretamente no dispositivo de atuação 32.

O recurso de comparação 38 compara cada um dos valores de norma com sua média e vantajosamente supre um sinal binário para o recurso de interpretação 40 de acordo com a direção da comparação. Dependendo do número de resultados nulos, o recurso de interpretação proporciona o seu sinal de localização relativa L . Em uma modalidade preferida, o recurso de interpretação 40 ou recurso de comparação 38 compreende recurso de soma dos resultados binários da comparação, nessa ordem, entre a média e cada norma, a falha sendo qualificada como a montante se a soma

10 é igual a 1 e a jusante para uma soma igual a dois.

Se a amostragem pode ser feita a uma frequência suficiente, para mais precisão, de acordo com a invenção, é preferível usar os coeficientes de correlação entre as curvas diferentes para determinar se a falha está localizada a montante ou a jusante dos sensores 12 suprimindo os sinais

20 preferivelmente filtrados representativos das correntes da linha 5. Na realidade, pode ser observado que, depois que uma falha no aterramento elétrico ocorreu, no caso de uma falha 10 ocorrendo a jusante do dispositivo 20_i , a semelhança entre a corrente de sequência zero I_0 e a corrente I_A da fase defeituosa é grande, ao contrário da semelhança entre a corrente de sequência zero I_0 e as correntes I_B , I_C das outras fases que é média. Os coeficientes de correlação padronizados com a corrente de sequência zero I_0 devem, dessa maneira, em valor absoluto, estar perto de 1 para a fase A e médio, por exemplo, próximo de 0,5, para as outras fases. No caso de uma falha 10 ocorrendo acima da linha do dispositivo 20_{i+1} , por outro lado, depois

25 que a falha ocorreu, a semelhança da corrente de sequência zero I_0 com a corrente I_A da fase defeituosa é pequena enquanto que a semelhança entre a corrente de sequência zero I_0 e as correntes I_B , I_C das outras fases perma-

30

nece média. Os coeficientes de correlação padronizados sem sinais com a corrente de sequência zero I_0 devem permanecer, portanto, médios, por exemplo, perto de 0,5, para as fases B e C, e podem ficar perto de zero para a fase A. Os sinais são aqui, novamente de preferência, analisados sobre um tempo suficiente T_{acq} , com, em particular, a aquisição dos sinais sobre um tempo mais longo do que um semiciclo do sistema de força, por exemplo, um período do sistema de força ou qualquer número inteiro de semiciclos.

O coeficiente de correlação linear padronizado usado no método de acordo com a invenção é preferivelmente obtido pela fórmula Bravais-Pearson e sem sinal. Os sensores 12, na realidade, suprem um sinal da corrente AC fluindo em cada uma das fases 5_A , 5_B , 5_C , que é preferido amostrar de modo a obter um número definido de valores discretos representativos da corrente. Vantajosamente, o número N de valores supridos pela amostragem é adaptado para se adequar ao tempo de aquisição T_{acq} para otimizar a capacidade de reprodução e confiabilidade dos resultados da fórmula Bravais-Pearson, isto é, de preferência mais do que 20 valores no caso de um tempo de aquisição T_{acq} igual a um semiciclo do sistema de força, com, por exemplo, uma frequência de amostragem de aproximadamente 1 quilohertz para um sistema de força trifásico 1 em 50 Hz.

Dessa maneira, no método de acordo com a invenção representado esquematicamente na figura 4, depois que a falha foi detectada D, por exemplo, por um método similar ao descrito em relação à figura 2A, os sinais preferivelmente filtrados representativos das correntes de fase são adquiridos sobre um tempo de aquisição T_{acq} e a seguir amostrados. Em paralelo, a corrente de sequência zero I_0 é calculada para o mesmo período de tempo. Os coeficientes de correlação, sem sinais aqui, entre os sinais filtrados amostrados representativos das correntes de fase I_{A^*} , I_{B^*} , I_{C^*} e o sinal representativo da corrente de sequência zero I_0 são calculados pela fórmula Bravais-Pearson de acordo com a equação (1), na qual r_{XY} indica o índice de correlação linear sem sinal entre as duas variáveis X, Y respectivamente, os N valores pontuais x, y das quais são conhecidos.

$$(1) \quad r_{xy} = \frac{\sum_{k=1}^N \left(x_k - \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \right) \times \left(y_k - \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \right)}{\sqrt{\sum_{k=1}^N \left(x_k - \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \right)^2} \times \sqrt{\sum_{k=1}^N \left(y_k - \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \right)^2}}$$

Três coeficientes de correlação lineares padronizados sem sinais r_A , r_B , r_C são, dessa maneira, obtidos. Como indicado no precedente, dependendo de se a falha 10 for a montante ou a jusante, os coeficientes r_A ficam mais próximos de 1 ou de 0. De acordo com a invenção, para avaliar essa proximidade, a média aritmética μ e o desvio-padrão σ da distribuição dos coeficientes de correlação são usados. Na realidade, um par de média/desvio-padrão (μ , σ) com altos valores (por exemplo, $\mu > 0,5$ e $\sigma > 0,3$) corresponde com uma falha a jusante, enquanto que, por outro lado, um par de média/desvio-padrão (μ , σ) com baixos valores (por exemplo, $\mu < 0,5$ e $\sigma < 0,2$) corresponde com uma falha a montante.

Mais particularmente, é observado que, para uma falha 10 a jusante da detecção 20_i, a seguinte relação (2) é verificada, enquanto que para uma falha a montante 10, 20_{i+1}, o oposto é verdadeiro, isto é, $3 \cdot \sigma^2 < (1 - \mu)^2$.

$$(2) \quad \sqrt{3} \sigma > (1 - \mu)$$

Em um método preferido de acordo com a invenção, depois que a média e o desvio-padrão foram calculados, uma comparação é feita de acordo com a relação (2) ou qualquer relação que seja derivada diretamente dessa e, dependendo do resultado, a interpretação direcional L quanto à posição da falha é fornecida, ou indicada fora ou transmitida para um relé 9 para disparar um disjuntor a montante 6 ou qualquer outro uso.

Para minorar essa etapa de cálculo do método de acordo com a invenção, é possível determinar a localização relativa da falha 10 a montante ou a jusante graficamente pelo posicionamento do ponto das coordenadas (μ, σ) em um gráfico (x,y) onde uma linha da equação (3) é marcada. Se o ponto está situado no semiplano contendo a origem (0,0), uma falha a montante está envolvida.

$$(3) \quad y = \frac{1-x}{\sqrt{3}}.$$

Para implementar esse método de acordo com a invenção, um dispositivo adequado de detecção de falha no aterramento elétrico direcional 20 pode ser criado. De acordo com uma modalidade preferida da invenção representada em forma esquemática na figura 5, o dispositivo anterior 20 é
 5 complementado com recurso adequado. Em particular, o módulo de amostragem 26' opera vantajosamente em mais do que 1 kHz, dessa forma provendo sinais amostrados filtrados I_{Af} , I_{Bf} , I_{Cf} para serem processados. Ambos os módulos de amostragem 26, 26' podem ser misturados e compreender recurso para selecionar a frequência. Os sinais representativos das cor-
 10 rentes de fase amostradas filtradas I_{Af} , I_{Bf} , I_{Cf} são transmitidos para um segundo módulo de processamento 30' que também compreende uma quarta entrada para o sinal representativo da corrente de sequência zero I_0 . O segundo módulo de processamento 30' pode ser o mesmo que o primeiro módulo de processamento 30.

15 O módulo de processamento 30' sucessivamente compreende um dispositivo 28' para calcular os coeficientes de correlação padronizados sem sinais r a partir dos quatros sinais de entrada I_{Af} , I_{Bf} , I_{Cf} , I_0 , um dispositivo 36' para calcular a média aritmética μ e o desvio-padrão σ dos três itens de dados r_A , r_B , r_C inseridos, um dispositivo de comparação 38' para compa-
 20 rar com duas entradas μ , σ que é conectado no segundo recurso de interpretação 40', cuja saída é um sinal de detecção direcional L de uma falha no aterramento elétrico a jusante ou a montante dos sensores 12 dependendo do resultado da interpretação. O dispositivo de computação 28' para os coeficientes de correlação pode ser integrado no dispositivo de computação 28
 25 para a norma dos sinais ou constituir uma entidade independente. Os dispositivos de processamento e comparação 36', 38', respectivamente, o segundo recurso de interpretação 40', relativo aos coeficientes de correlação, da mesma maneira, podem ser integrados ou não nos dispositivos de processamento e comparação 36, 38, respectivamente o primeiro recurso de inter-
 30 pretação 40, relativo às normas.

O recurso 28' para calcular os coeficientes de correlação padronizados sem sinais preferivelmente usa a fórmula Bravais-Pearson (1) e é

associado com o recurso de retardo de tempo para garantir que os sinais representativos das correntes de fase I_{A^*} , I_{B^*} , I_{C^*} tenham sido adquiridos sobre um período de tempo suficiente T_{acq} , por exemplo, um semiciclo ou um período do sistema de força 1 ou até mesmo mais.

5 O recurso de comparação 38' suprimindo o valor para o módulo de interpretação 40' pode usar funções diferentes. Em particular, o recurso de comparação 38' pode compreender uma comparação gráfica por dois valores inseridos com relação a um semiciclo limitado pela linha da equação (3). O recurso 38' pode determinar a diferença entre três vezes o quadrado do
10 desvio-padrão e o quadrado da diferença entre um e a média para compará-la com zero. Qualquer outra opção é possível.

O dispositivo da figura 5 pode ser associado vantajosamente com um relé de proteção 9 para sistemas de força elétrica ou a um indicador de fluxo de falha para linhas de média tensão enterradas 5 conectadas no
15 sistema de força 1, a saída do módulo de interpretação disparando a abertura de um disjuntor 6, a iluminação de uma lâmpada indicadora 8 ou qualquer outro recurso de segurança e/ou alarme.

Dessa maneira, de acordo com a invenção, um método e dispositivo para detecção direcional 20 de uma falha no aterramento elétrico 10 de
20 uma linha de um sistema de força polifásico 1 foram obtidos sem medição de tensão, em que ambos tornam os dispositivos mais leves e minoram a sua implementação. Além do mais, a amostragem usada para o processamento dos sinais de acordo com a invenção pode ser pouca, em particular de uma frequência compreendida entre 500 e 1000 Hz, dessa forma apresentando
25 facilidades em termos de memória e processador para o dito dispositivo. O método pode ser adaptado, além do mais, dependendo das opções para amostragem.

Mesmo quando o recurso de amostragem 26 é adaptado para mais do que 1 kHz como uma frequência, é possível usar ambos os cálculos
30 a fim de acelerar a localização. O método com as normas, na realidade, precisa de menos cálculo e uma tal rápida localização relativa pode ser vantajosa para uma determinação preliminar. Em algumas circunstâncias, se o pri-

meio recurso de interpretação 40 não determina uma falta a montante, pode ser preferível validar o resultado através de uma segunda determinação $P2$ pelo coeficiente de correlação, que é mais longa e precisa de mais memória. Recurso adequado 42 então ativa o recurso de amostragem 26' e/ou diretamente o segundo recurso de processamento 28' para a confirmação da localização a jusante.

Embora a invenção tenha sido descrita com referência a um sistema de distribuição de força trifásico no qual o neutro é aterrado pela impedância compensada, ela não é limitada a isso. Outros tipos de sistemas de força polifásicos podem ser considerados pela invenção, em particular, qualquer regime de neutro é apropriado. Além disso, embora ela tenha sido descrita com a determinação e o processamento da corrente de sequência zero I_0 instantânea, o método de acordo com a invenção pode usar a variação da dita corrente I_0 com relação ao seu valor determinado sobre um período anterior. Essa variação prova ser particularmente interessante no caso de sistemas de força apresentando um ligeiro desequilíbrio entre as fases, cuja corrente de sequência zero I_0 , portanto, não é nula em situações sem falhas.

Os circuitos, módulos e funções diferentes apresentados no escopo da modalidade preferida da invenção podem ser obtidos, na realidade, a partir de componentes que são analógicos, digitais ou em forma programável operando com microcontroladores ou microprocessadores e os sinais representativos descritos podem ter formas de sinal elétrico ou eletrônico, podem ser na forma de dados ou valores de informação em memórias ou registradores, de sinais óticos capazes de serem exibidos em particular em mostradores ou saídas, ou de sinais mecânicos agindo com atuadores. De maneira similar, os sensores de corrente podem ser diferentes dos transformadores descritos, tal como sensores de efeito Hall ou magnetoresistências.

REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo (20) para detecção direcional de uma falha no aterramento elétrico (10) em um sistema de força polifásico (1), compreendendo:

5 - primeiro recurso para receber sinais representativos de uma norma da corrente ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$) de cada uma das fases;

 - primeiro recurso de processamento (30) para processar os sinais representativos da norma da corrente ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$) compreendendo recurso (36) para calcular a média (M) das normas ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$) sobre um
10 tempo preestabelecido (T_{acq});

 - recurso (32) para acionar o dito primeiro recurso de processamento (30) de acordo com um sinal de detecção (D) de ocorrência de uma falha no aterramento elétrico no sistema de força (1);

 - primeiro recurso (40) para interpretar os resultados do processamento dos sinais para determinar se a falha é a montante ou a jusante do
15 dispositivo (20), compreendendo recurso para comparar a dita média (M) com as ditas normas ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$).

2. Dispositivo (20) para detecção direcional, de acordo com a reivindicação 1, em que o recurso (36) para calcular a média (M) das normas
20 é associado com recurso para adquirir os sinais durante um período de tempo (T_{acq}) correspondendo com um número inteiro de semiciclos do sistema de força (1).

3. Dispositivo (20) para detecção direcional, de acordo com uma das reivindicações 1 a 2, em que o primeiro recurso para receber os sinais
25 representativos da norma da corrente ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$) de cada uma das fases compreende recurso para receber os sinais representativos da corrente (I_A , I_B , I_C) de cada uma das fases e recurso (28) para calcular uma norma de cada um dos sinais representativos, e o primeiro recurso para receber os sinais representativos das correntes de cada fase ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$) compre-
30 ende recurso de amostragem (26).

4. Dispositivo de acordo com uma das reivindicações 1 a 3, compreendendo, além disso, segundo recurso (34) para receber um sinal

representativo da corrente de sequência zero (I_0) de todas as fases.

5. Dispositivo de acordo com a reivindicação 4, também compreendendo

- terceiro recurso (22) para receber os sinais representativos da corrente (I_A , I_B , I_C) de cada uma das fases,

- segundo recurso de processamento (30') dos sinais (I_0 , I_A , I_B , I_C) representativos da corrente compreendendo recurso (28') para calcular coeficientes de correlação padronizados (r_A , r_B , r_C) entre o sinal representativo da corrente de sequência zero (I_0) e cada um dos sinais representativos das correntes de fase (I_A , I_B , I_C) sobre um período de tempo preestabelecido (T_{acq}) e recurso (36') para calcular a média (μ) e o desvio-padrão (σ) entre o valor absoluto dos coeficientes de correlação calculados (r_A , r_B , r_C);

- recurso para acionar o dito segundo recurso de processamento (30') de acordo com um sinal de detecção (D) de uma falha no aterramento elétrico ocorrendo no sistema de força (1),

- segundo recurso (40') para interpretar os resultados de processamento dos sinais para determinar se a falha é a montante ou a jusante do dispositivo compreendendo recurso para comparar a dita média (μ) e o dito desvio-padrão (σ).

6. Dispositivo (20) para detecção direcional de acordo com a reivindicação 5, em que o recurso para calcular os coeficientes de correlação (28') é associado com recurso para adquirir os sinais durante um tempo (T_{acq}) correspondendo com um número inteiro de semiciclos do sistema de força (1) e o terceiro recurso (22) para receber os sinais representativos das correntes de cada fase (I_A , I_B , I_C) compreende recurso de amostragem (26) adequado para prover um número suficiente de valores durante o período de tempo preestabelecido (T_{acq}).

7. Dispositivo de acordo com uma das reivindicações 4 a 6, também compreendendo recurso (32) para detectar a ocorrência de uma falha no aterramento elétrico no sistema de força conectado ao recurso para acionar o recurso de processamento de sinal (30) compreendendo um comparador do sinal representativo da corrente de sequência zero (I_0) com um limiar

de detecção (S_d).

8. Indicador de fluxo de falha no aterramento elétrico compreendendo sensores de corrente (12_A , 12_B , 12_C) dispostos em cada condutor de fase (5_A , 5_B , 5_C) de um sistema de força elétrica (1) a ser monitorado e compreendendo um dispositivo (20) para detecção direcional como definido em uma das reivindicações 1 a 7, conectado aos ditos sensores de corrente (12_A , 12_B , 12_C) para receber os sinais representativos das normas da corrente de fase ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$).

9. Relé de proteção de falha no aterramento elétrico (9) compreendendo pelo menos um indicador de falha como definido na reivindicação 8, e recurso para acionar um dispositivo de distribuição (6) de acordo com os resultados do recurso de interpretação (40) do dispositivo (20) para detecção direcional do indicador.

10. Método para detecção direcional (D, L) de uma falha no aterramento elétrico (10) em um sistema de força polifásico (1) compreendendo disparar a determinação direcional (L) da falha (10) seguinte a um sinal (D) sendo obtido indicando a presença da dita falha no aterramento elétrico (10), a dita determinação direcional compreendendo as etapas sucessivas de:

- obter sinais representativos de uma norma de cada uma das correntes de fase ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$) sobre um tempo (T_{acq}) de pelo menos um semiciclo do sistema de força;

- processar os sinais representativos das normas das correntes de fase ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$) compreendendo o cálculo da média aritmética (M) dos sinais representativos da norma de cada uma das correntes de fase ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$) sobre um período de tempo preestabelecido (T_{acq});

- interpretar os resultados do processamento do sinal para indicar se a falha detectada (D) está localizada a jusante ou a montante do lugar onde os sinais representativos das normas das correntes de fase ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$) foram obtidos, pela comparação entre a dita média (M) e os ditos sinais representativos da norma de cada uma das correntes de fase ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$).

11. Método para detecção direcional de acordo com a reivindica-

ção 10, onde a etapa de obter sinais representativos da norma de cada uma das correntes de fase ($|I_A|, |I_B|, |I_C|$) sobre um período de tempo (T_{acq}) compreende a aquisição dos sinais representativos de cada uma das correntes de fase (I_A, I_B, I_C) e o cálculo da sua norma.

5 12. Método para detecção direcional de acordo com uma das reivindicações 10 ou 11, onde a etapa de suprir os sinais representativos das normas das correntes de fase ($|I_A|, |I_B|, |I_C|$) compreende a amostragem da corrente em uma frequência menor do que 1 kHz.

10 13. Método para detecção direcional de acordo com a reivindicação 11, em que a etapa de suprir os sinais representativos das correntes de fase (I_A, I_B, I_C) compreende a amostragem da corrente em uma frequência maior do que 1 kHz e também compreendendo as etapas sucessivas de:

- obter um sinal representativo da corrente de sequência zero (I_0) fluindo no sistema de força através do mesmo período de tempo (T_{acq});
15 - calcular os coeficientes de correlação padronizados sem sinais (r_A, r_B, r_C) entre os sinais representativos da corrente de sequência zero (I_0) e cada uma das correntes de fase (I_A, I_B, I_C) sobre o período de tempo preestabelecido (T_{acq}),

- calcular a média aritmética (μ) e o desvio-padrão (σ) dos ditos
20 coeficientes de correlação (r_A, r_B, r_C);

- interpretar os resultados do processamento dos sinais para indicar se a falha detectada (D) está localizada a jusante ou a montante do local onde os sinais representativos das correntes de fase (I_A, I_B, I_C) foram obtidos por uma comparação usando a dita média (μ) e o dito desvio-padrão (σ).
25

14. Método para detecção direcional de acordo com a reivindicação 13, em que a etapa de interpretação compreende comparar a diferença entre três vezes o quadrado do desvio-padrão (σ) e o quadrado da diferença entre a média (μ) e um com zero, alternativamente a comparação gráfica da média (μ) e desvio-padrão (σ) com uma linha da equação $y = \frac{1-x}{\sqrt{3}}$.
30

15. Método para proteger uma linha de corrente (5) quando uma falha no aterramento elétrico (10) ocorre compreendendo a atuação de um

dispositivo de distribuição (6) da dita linha (5) se uma falha no aterramento elétrico (10) foi detectada por um método como definido em uma das reivindicações 10 a 14, a jusante do dito dispositivo de distribuição (6).

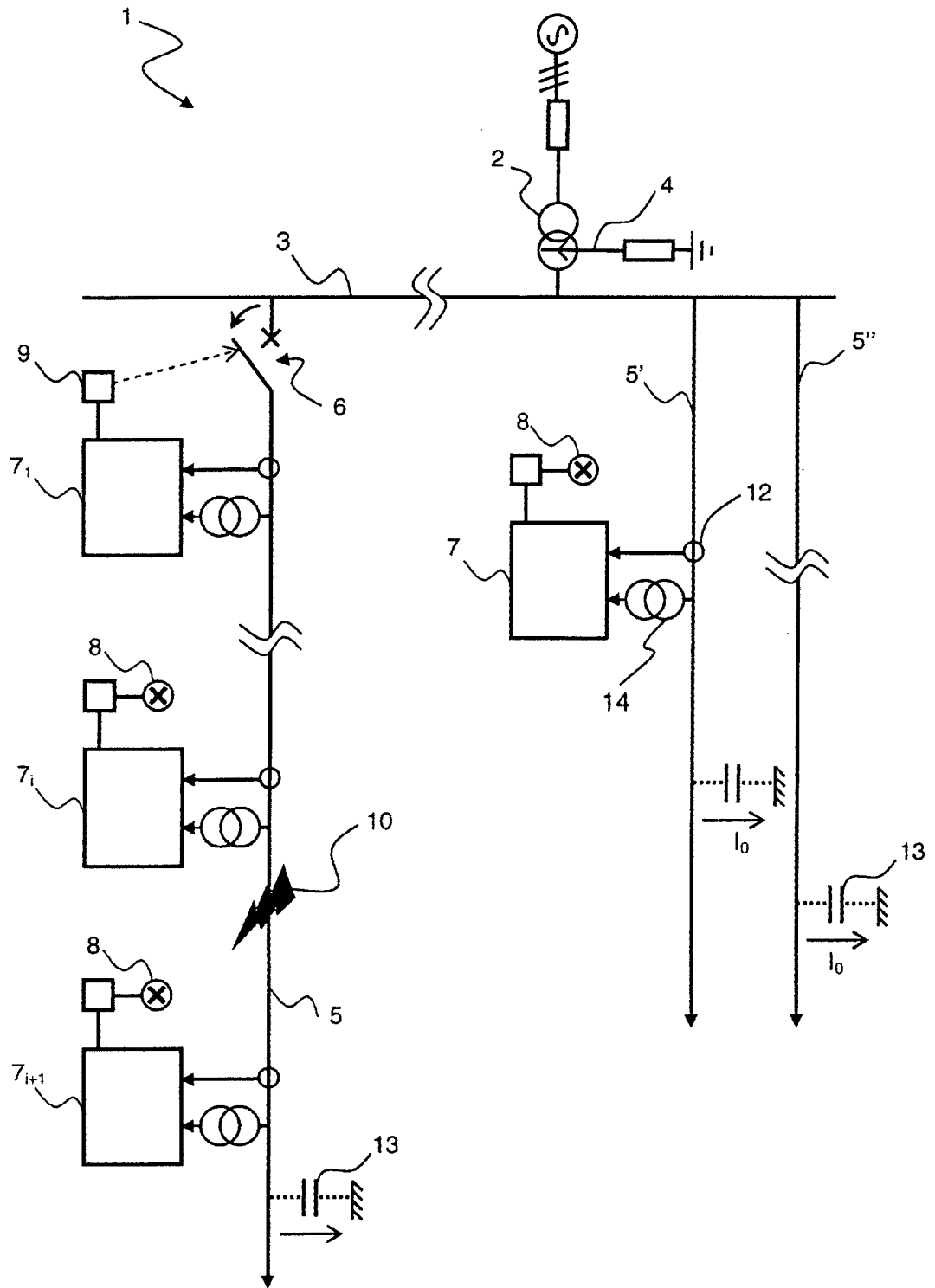


Fig.1

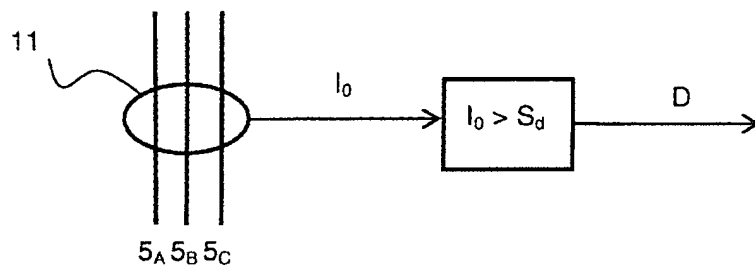


Fig. 2A

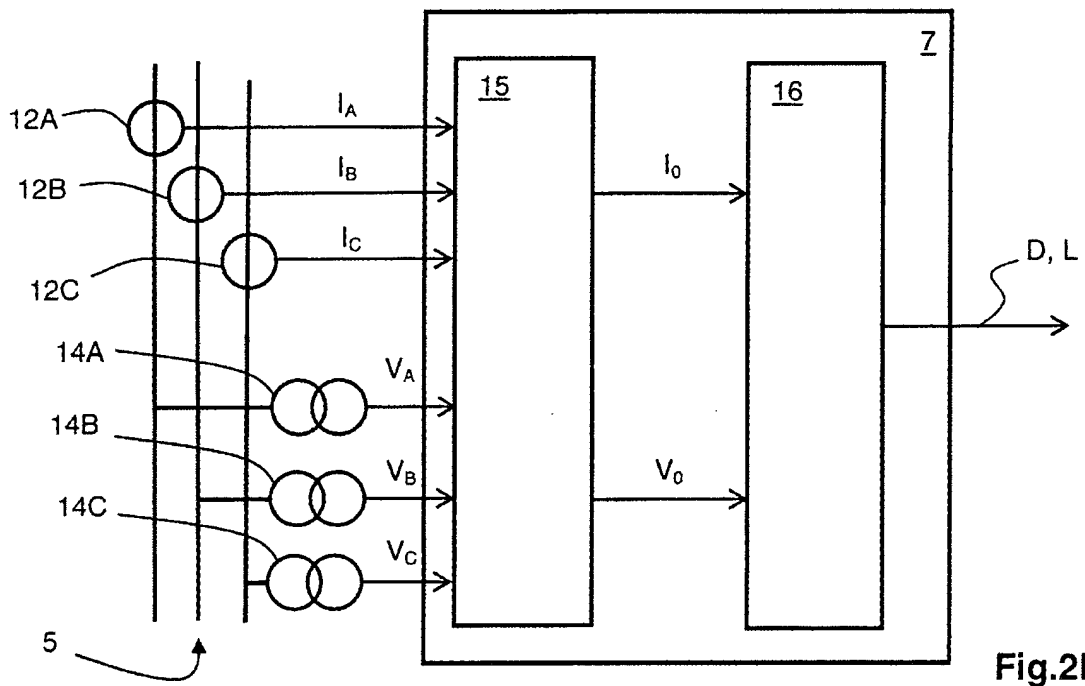


Fig. 2B

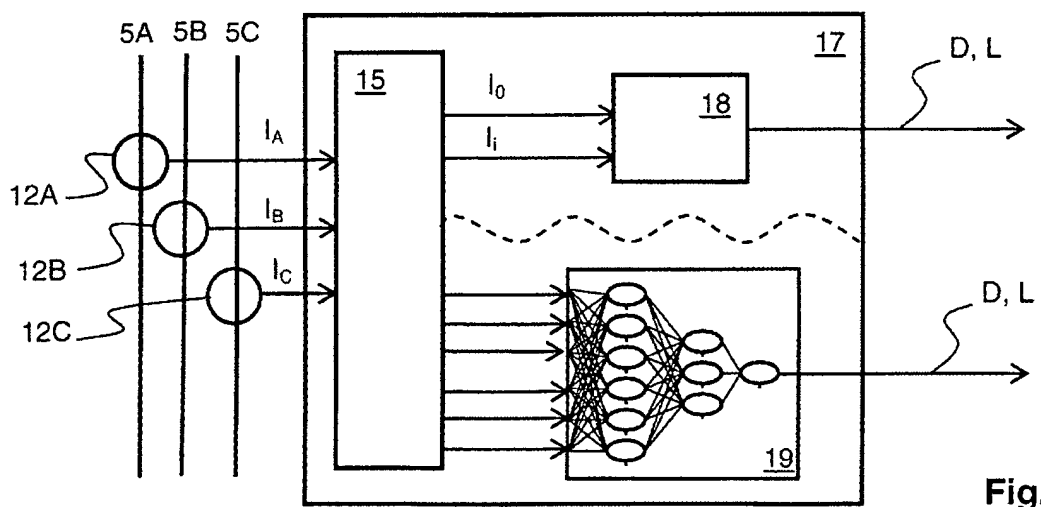


Fig. 2C

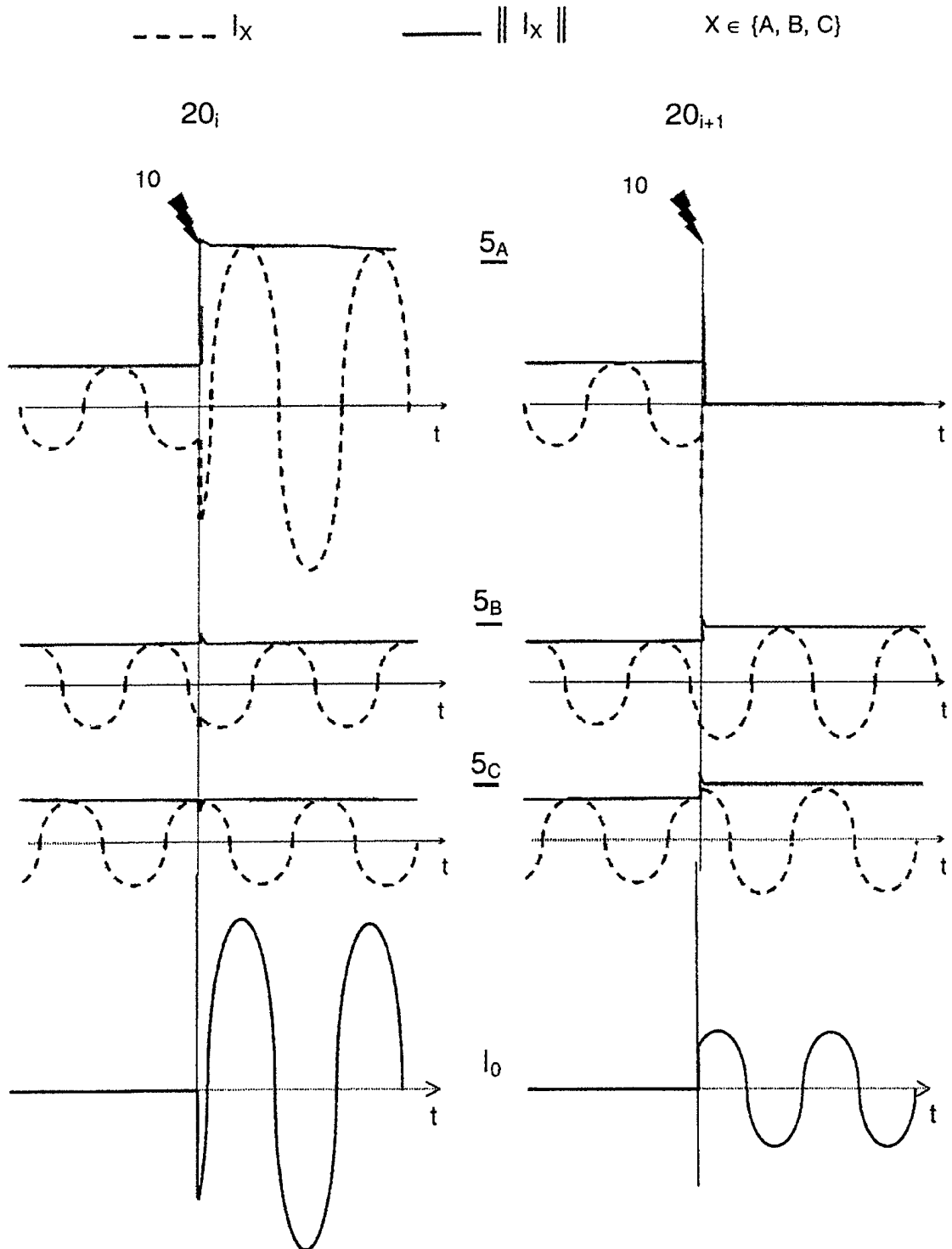


Fig.3

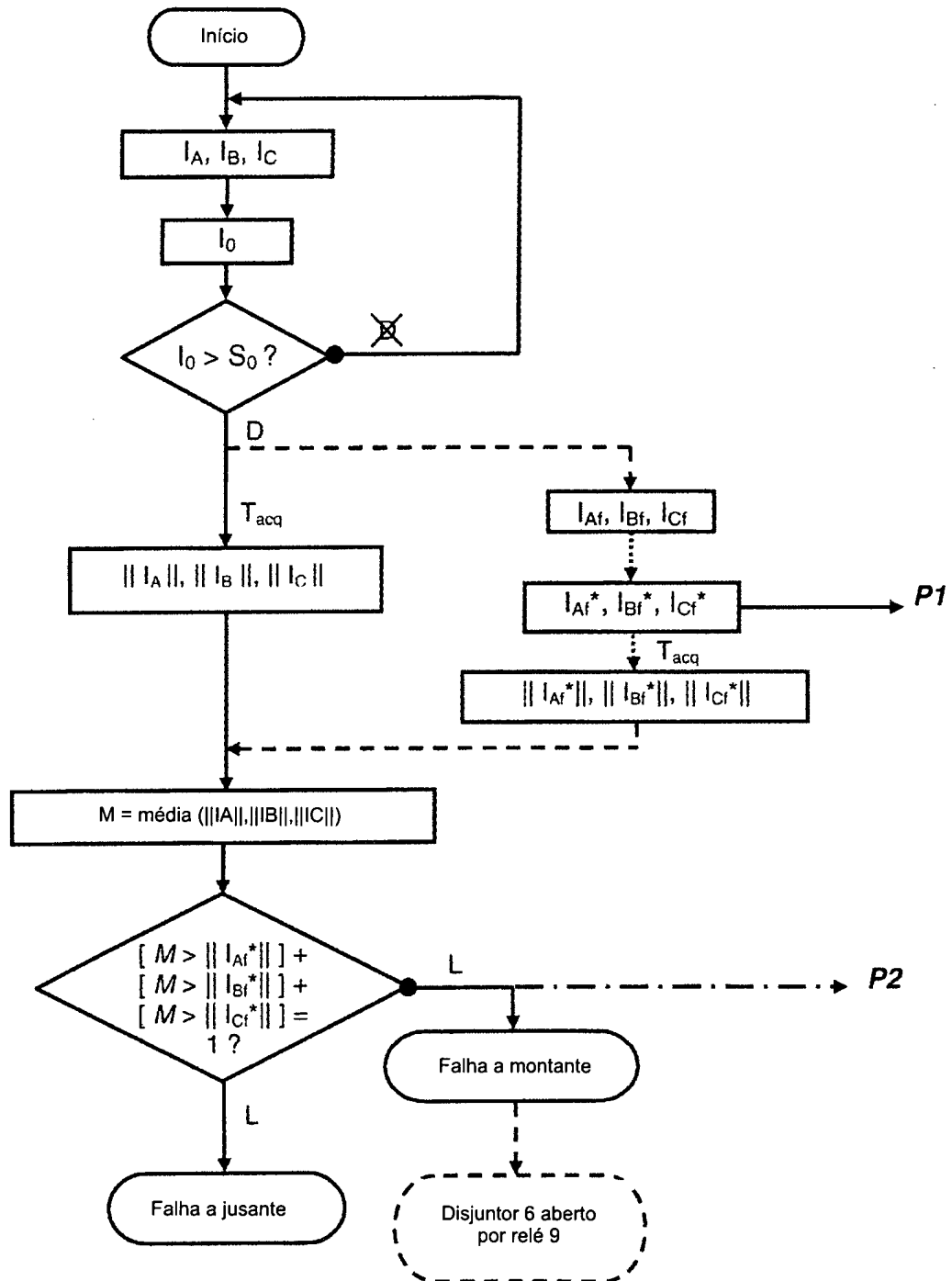


Fig.4A

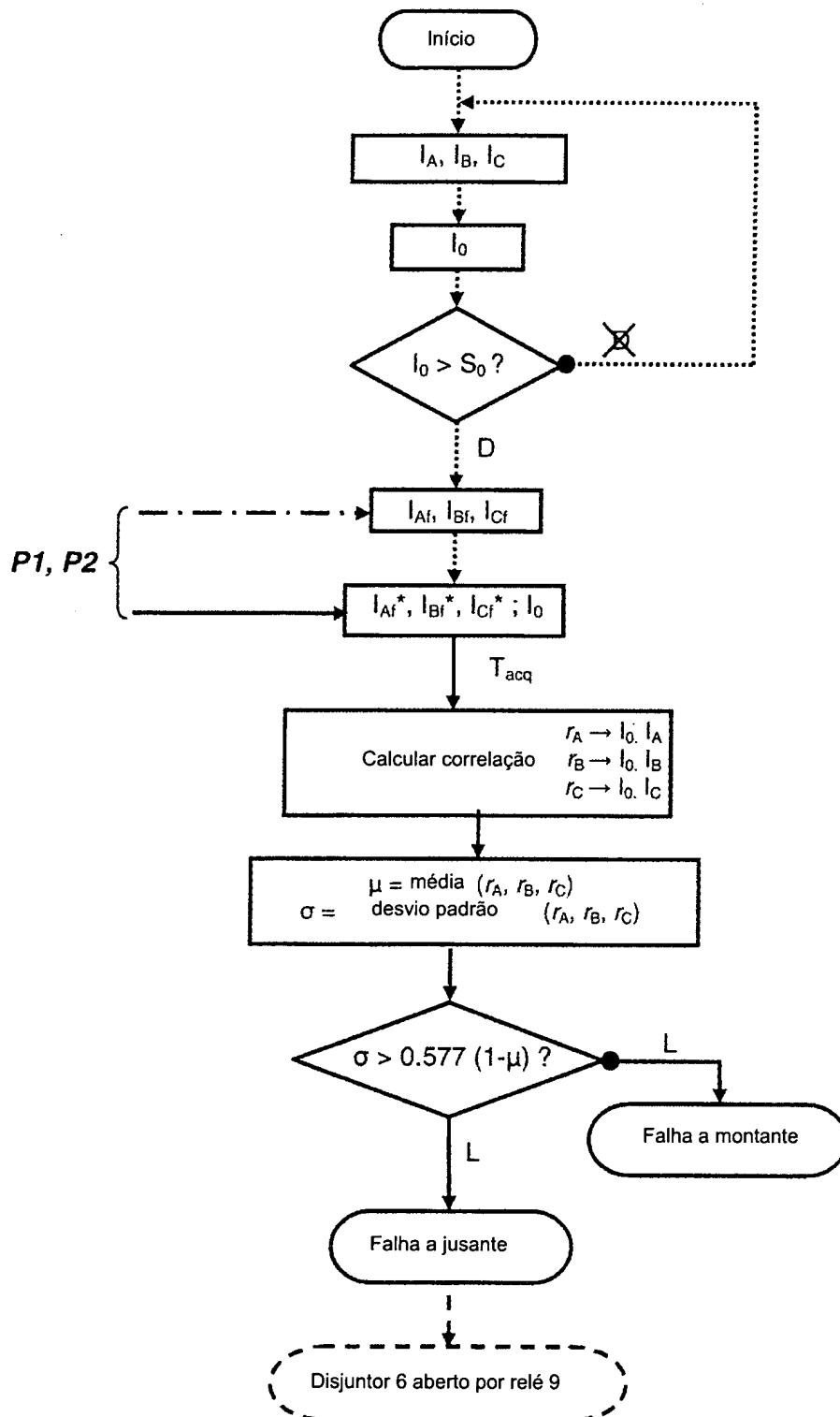


Fig.4B

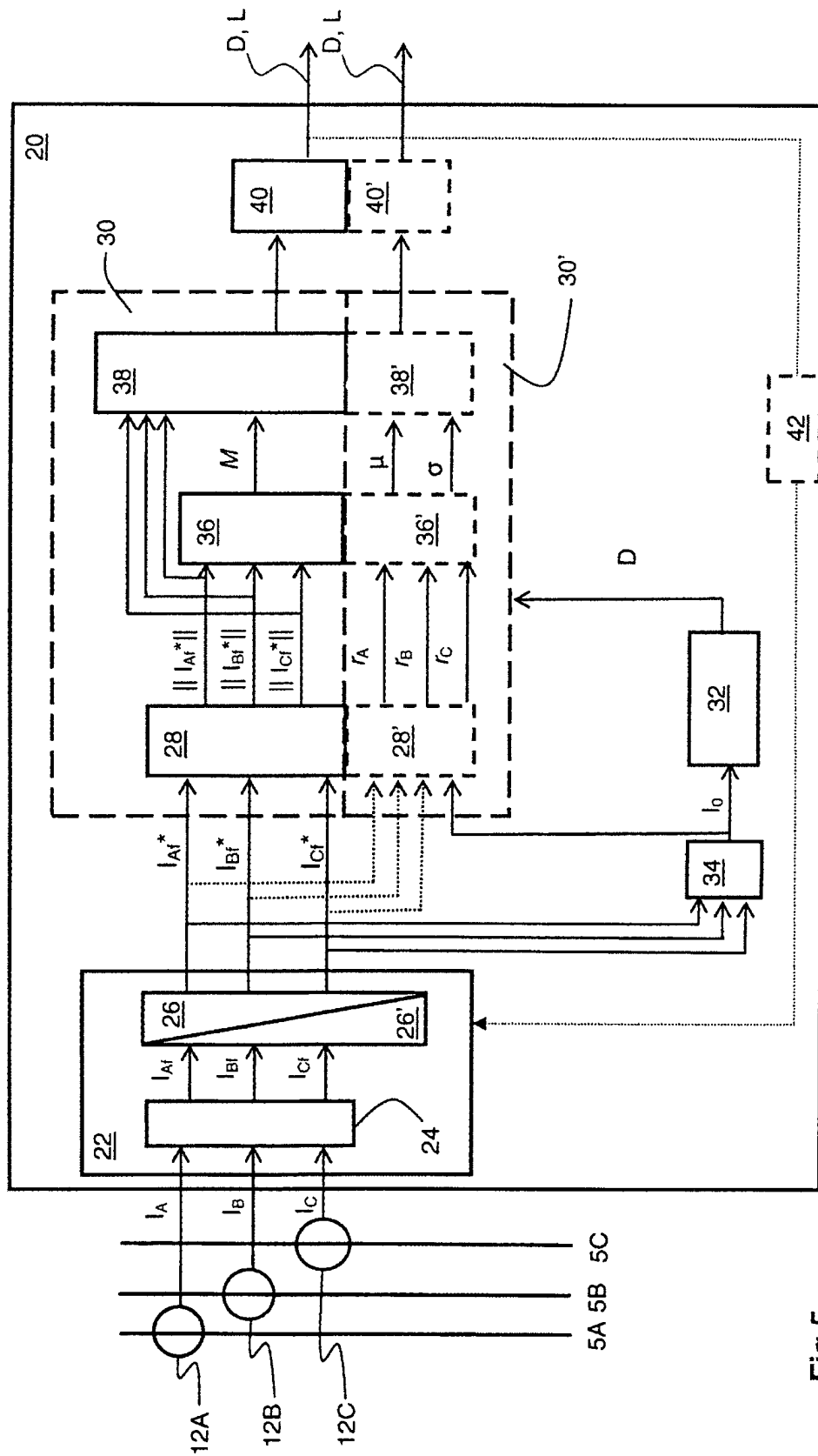


Fig.5

RESUMO

Patente de Invenção: **"DETECÇÃO DIRECIONAL DE UMA FALHA NO ATERRAMENTO ELÉTRICO"**.

A presente invenção refere-se ao método e ao dispositivo para
5 detecção direcional de uma falha no aterramento elétrico em um sistema de
força polifásico que são baseados na comparação da variação da amplitude
ou qualquer outro valor de norma das correntes de cada fase (I_A , I_B , I_C).
Em particular, a média (μ) da norma ($\|I_A\|, \|I_B\|, \|I_C\|$) de cada fase é compa-
rada com cada uma das ditas normas e, dependendo do número de vezes
10 que a média (μ) é maior do que as normas ($\|I_A\|, \|I_B\|, \|I_C\|$), a falha pode ser
localizada (L) com relação aos sensores da corrente de fase (12). Alternati-
vamente, o método e o dispositivo para detecção direcional de uma falha no
aterramento elétrico em um sistema de força polifásico são baseados na
dispersão dos fatores de correlação lineares (r_A , r_B , r_C) entre as correntes de
15 fase (I_A, I_B, I_C) e a corrente de sequência zero (I_0).

O uso dessas variáveis possibilita que seja determinado se a
falha está a montante ou a jusante da medição das correntes de fase (I_A, I_B, I_C) sem usar qualquer medição de voltagem.